



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



**М-р Ана-Марија Мирче Стаменкоска**

**ВЛИЈАНИЕ НА ДИСПОЗИЦИИТЕ НА БИЧЕЊЕ ВРЗ  
КВАНТИТАТИВНОТО ИСКОРИСТУВАЊЕ НА ПИЛАНСКИТЕ  
ТРУПЦИ ОД ЕЛА/СМРЧА (*Abies alba* Mill./*Picea abies* L.)**

**Докторски труд**

**Скопје, 2025 година**



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



М-р Ана-Марија Мирче Стаменкоска

ВЛИЈАНИЕ НА ДИСПОЗИЦИИТЕ НА БИЧЕЊЕ ВРЗ  
КВАНТИТАТИВНОТО ИСКОРИСТУВАЊЕ НА ПИЛАНСКИТЕ ТРУПЦИ  
ОД ЕЛА/СМРЧА (*Abies alba* Mill./*Picea abies* L.)

Докторски труд

Скопје, 2025 година

Докторанд:  
М-Р АНА-МАРИЈА СТАМЕНКОСКА

Тема:  
ВЛИЈАНИЕ НА ДИСПОЗИЦИИТЕ НА БИЧЕЊЕ ВРЗ КВАНТИТАТИВНОТО  
ИСКОРИСТУВАЊЕ НА ПИЛАНСКИТЕ ТРУПЦИ ОД ЕЛА/СМРЧА (*Abies alba* Mill./  
*Picea abies* L.)

Ментор:  
Проф. д-р БРАНКО РАБАЦИСКИ

Комисија за одбрана:

1. Проф. д-р \_\_\_\_\_, (претседател)  
Факултет за

2. Проф. д-р БРАНКО РАБАЦИСКИ,  
Факултет за дизајн и технологии на мебел и ентериер – Скопје, Универзитет „Св. Кирил  
и Методиј“ во Скопје

3. Проф. д-р \_\_\_\_\_,  
Факултет за

4. Проф. д-р \_\_\_\_\_,  
Факултет за

5. Проф. д-р \_\_\_\_\_,  
Факултет за

Научна област:  
ПРИМАРНА ПЕРЕРАБОТКА НА ДРВОТО

Датум на одбрана:  
\_\_\_\_\_ година

**ВЛИЈАНИЕ НА ДИСПОЗИЦИИТЕ НА БИЧЕЊЕ ВРЗ КВАНТИТАТИВНОТО ИСКОРИСТУВАЊЕ НА ПИЛАНСКИТЕ ТРУПЦИ ОД ЕЛА/СМРЧА (*Abies alba* Mill/ *Picea abies* L.)**

- Апстракт -

Во докторскиот труд се прикажани резултати за пилански трупци од ела/смрча, начините на бичење, диспозициите на бичење, квантитативното искористување на трупците во бичени сортименти, и дрвени летви.

Трупците се бичени по пат на остро (затворено, групно) бичење и призирање/разбичување на призма. Тие се распоредени во 8 дебелински групи со дијаметар од 26,0 до 65,0 cm, должина 4,0 m, класа на квалитет I/II, пад на дијаметар од 0,50 до 1,00 cm/m и влажност од 45,0 до 55,0 %. Во секоја дебелинска група од 26,0 – 30,0 cm до 61,0 – 65,0 cm се анализирани по 10 трупци. Средниот пад на дијаметарот изнесува 0,72 cm/m.

Квантитативното искористување (остро бичење), за трупците со дијаметар од 26,0 до 40,0 cm изнесува од 66,20 до 69,91%. Средната вредност за квантитативното искористување при остро бичење изнесува 68,07%.

Квантитативното искористување (призирање/разбичување на призма), за трупците со дијаметар од 41,0 до 65,0 cm, изнесува од 67,55 до 75,50%, со средна вредност 73,67%.

Квантитативното искористување во дрвени летви иokraјчена граѓа на трупци со дијаметар од 52,0 до 59,0 cm, I/II класа на квалитет, пад на дијаметар од 0,50 до 1,75 cm/m и дрвна зафатнина од 7,777 m<sup>3</sup> изнесува 72,66%. Од вкупното квантитативно искористување, дрвените летви учествуваат со 51,89%, аokraјчената граѓа со 20,77%.

**Клучни зборови:** диспозиции, дрвени летви, ела/смрча, квантитативно искористување,okraјчена граѓа, трупци.

Ana Marija Mirce Stamenkoska, MSc.

**INFLUENCE OF THE SAWING METHODS ON THE QUANTITATIVE YIELD OF FIR/SPRUCE  
SAWLOGS (*Abies alba* Mill/*Picea abies* L.)**

- Abstract -

In the doctoral dissertation, results are presented for fir/spruce sawlogs, including sawing methods, sawing layouts, the quantitative yield of sawlogs converted into sawn assortments, and the production of wooden battens.

The sawlogs were processed using live sawing (closed, group sawing) and prism cutting/re-sawing of prisms. They were classified into eight diameter groups ranging from 26.0 to 65.0 cm, with a length of 4.0 m, quality class I/II, a diameter taper from 0.50 to 1.00 cm/m, and moisture content between 45.0 and 55.0%. In each diameter group, from 26.0–30.0 cm to 61.0–65.0 cm, ten logs were analysed. The mean diameter taper was 0.72 cm/m.

The quantitative yield obtained by live sawing for logs with diameters between 26.0 and 40.0 cm ranged from 66.20% to 69.91%. The average quantitative yield under live sawing was 68.07%.

The quantitative yield achieved by prism cutting/re-sawing for logs with diameters between 41.0 and 65.0 cm ranged from 67.55% to 75.50%, with an average value of 73.67%.

The quantitative yield of wooden battens and edged timber obtained from logs with diameters between 52.0 and 59.0 cm, quality class I/II, a diameter taper between 0.50 and 1.75 cm/m, and a total log volume of 7.777 m<sup>3</sup> amounted to 72.66%. Of the total quantitative yield, wooden battens accounted for 51.89%, while edged timber represented 20.77%.

**Keywords:** edged lumber, fir/spruce, quantitative yield, sawing layouts, sawlogs, wooden battens.

*Особена, искрена и длабоко благодарност упатувам до мојот ментор, проф. д-р Бранко Рабациски, чија несебична поддршка, посветеност и верба во мојот потенцијал го обликуваа не само овој труд, туку и мојот академски и професионален пат. Неизмерно сум благодарна што ми беше укажана можноста да учам и да растам покрај професор со исклучителна стручност, авторитет и достоинство. Ви благодарам за мудроста, трпението, охрабрувањето и за секој миг на поддршка. Вие бевте и останувате моја вистинска инспирација.*

*Искрена благодарност изразувам и до членовите на Комисијата за одбрана и оценка на докторскиот труд, за нивните вредни насоки, конструктивни препораки и поддршката во процесот на реализација на овој труд.*

*Голема благодарност упатувам и до целокупниот персонал на „ДРВО БОР“ ДООЕЛ Берово и до м-р Петре Каламадевски, чија соработка беше од исклучително значење за спроведувањето на практичните истражувања во рамките на трудот.*

*Исто така, се заблагодарувам на целиот колегиум на Факултетот за дизајн и технологии на мебел и ентериер - Скопје за поддршката, соработката и помошта што ми ја укажаа во текот на сите фази од овој докторски труд.*

*Со особена почит, најискрената и најдлабоката благодарност ја упатувам до моето семејство, мојата мајка Светлана, татко ми Мирче и сестра ми Христина. Ви благодарам за безусловната поддршка, разбирање и трпение. Ви благодарам што верувавте во мене дури и тогаш кога и самата се сомневат. Секој успех е подеднакво ваш како и мој.*

*Докторскиот труд го посветувам на моите родители.*

*За сè она што сум и за сè она што ќе бидам – ВИ БЛАГОДАРАМ.*

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

М-р Ана-Марија Стаменкоска

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

М-р Ана-Марија Стаменкоска



## СОДРЖИНА

1. ВОВЕД .....	10
2. ЗНАЧЕЊЕ НА ПИЛАНСКАТА ИНДУСТРИЈА.....	12
2.1. Како да се организира пиланската индустрија? .....	12
3. ЦЕЛ И ПРЕДМЕТ НА ИСТРАЖУВАЊЕ .....	14
4. ДОСЕГАШНИ ИСТРАЖУВАЊА .....	15
5. НАКУСО ЗА ДРВНИТЕ ВИДОВИ .....	19
5.1. Ела ( <i>Abies alba</i> Mill) .....	19
5.1. Смрча ( <i>Picea abies</i> L.) .....	21
6. ОБЈЕКТ НА ИСТРАЖУВАЊЕ.....	23
6.1. „ДРВО БОР” ДООЕЛ – Берово.....	23
6.1. Технологија на преработка на суровината .....	27
6.3. Машини, транспортни средства и уреди.....	29
6.3.1. Примарни машини .....	29
6.3.2. Секундарни машини .....	31
6.3.3. Транспортни средства и уреди .....	31
7. МЕТОД НА РАБОТА .....	33
7.1. Мерење и пресметка на параметрите на трупците.....	33
7.2. Мерење на влажноста на трупците.....	36
7.3. Мерење и пресметка на параметрите на бичените сортименти .....	36
7.4. Пресметка на квантитативното искористување.....	38
7.5. Применети статистички методи за обработка на податоците .....	39
8. РЕЗУЛТАТИ ОД ИСТРАЖУВАЊАТА .....	42
8.1. Суровина за истражување .....	42
8.1.1. Трупи од ела/смрча (26,0 – 30,0 cm) .....	45
8.1.2. Трупи од ела/смрча (31,0 – 35,0 cm) .....	47
8.1.3. Трупи од ела/смрча (36,0 – 40,0 cm) .....	48
8.1.4. Трупи од ела/смрча (41,0 – 45,0 cm) .....	49
8.1.5. Трупи од ела/смрча (46,0 – 50,0 cm) .....	50
8.1.6. Трупи од ела/смрча (51,0 – 55,0 cm) .....	52
8.1.7. Трупи од ела/смрча (56,0 – 60,0 cm) .....	53
8.1.8. Трупи од ела/смрча (61,0 – 65,0 cm) .....	54
8.1.9. Пад на дијаметар на пиланските трупи.....	57
8.1.10. Влажност на пиланските трупи од ела/смрча.....	59
8.2. Начини на бичење на пиланските трупи.....	59

8.2.1. Остро (затворено, групно) бичење на трупците .....	60
8.2.2. Призмирање – разбичување на призма .....	61
8.2.3. Ширина на рез .....	62
8.3. Диспозиции на бичење на трупците од ела/смрча .....	62
8.4. Квантитативно искористување на трупците од ела/смрча во пилански производи..	67
8.4.1. Квантитативно искористување на трупците од ела/смрча во бичени сортименти	67
8.4.1.1. Квантитативно искористување на трупците во бичени сортименти при остро бичење .....	67
8.4.1.2. Квантитативно искористување во бичени сортименти при призмирање .....	77
8.4.2. Квантитативно искористување на трупците од ела/смрча во дрвени летви .....	88
8.4.2.1. Суловина за бичење .....	90
8.4.2.2. Диспозиции на бичење на трупците од ела/смрча за дрвени летви .....	90
8.4.2.3. Одограм и технолошка постапка при бичење на дрвени летви од ела/смрча .....	91
8.4.2.4. Квантитативно искористување на трупците во дрвени летви и окрајчена граѓа	96
9. ДИСКУСИЈА И ЗАКЛУЧОЦИ .....	101
КОРИСТЕНА ЛИТЕРАТУРА .....	107
ПРИЛОЗИ .....	111
СПИСОК НА ОБЈАВЕНИ ТРУДОВИ.....	121
БИОГРАФИЈА.....	123
BIOGRAPHY.....	124
АВТОРЕЗИМЕ НА ДОКТОРСКИОТ ТРУД.....	126
DOCTORAL DISSERTATION SHORT SUMMARY .....	135

## 1. ВОВЕД

Дрвото е еден од највредните природни ресурси. Неговата распространетост и добрите својства го категоризираат овој материјал како еден од најкористените материјали од природната, заслужен за развој на човечката цивилизација. Како материјал, дрвото наоѓа примена низ сите ери на човековиот развој. Од дамнешни времиња, дрвото претставувало основна суровина за конструирање на живеалишта на многу цивилизации, но и алати и оружје. Со развојот на цивилизацијата и технологијата, се појавиле посовремени материјали. Главната предност на дрвото се неговите технички својства. Релативно малата зафатнинска маса го прави исклучително лесен конструктивен материјал. Дрвото лесно се обликува и се обработува, што го прави материјал со широко подрачје на употреба. Околу 31,0% од копнената површина на планетата е покриена со шуми, што го прави дрвото лесно достапен и обновлив материјал.

Најважен аспект при употребата на дрвото како материјал е планското искористување на суровината, а со тоа и на шумските потенцијали. При употребата на дрвото и набројувањето на неговите добри својства, често се заборава на неговата примарна улога. Дрвото е вредно и кога е во жива, стоечка положба во шумата. Од еколошки аспект, треба да се обрне внимание на одржливото стопанисување со шумите, односно сечата да биде планирана во однос на повторното обновување на исеченото.

На експлоатацијата на шумите се наметнува и прашањето за планско искористување на суровината, а со преработката на суровината (трупци) се занимава пиланската технологија на дрвото.

Пиланската преработка на дрвото претставува важен фактор во стопанството на една земја. Оваа технологија го користи дрвото како главна суровина за добивање на многу производи кои наоѓаат примена во секојдневниот живот.

Пиланската технологија на дрвото е дел од дрвната индустрија, односно основен дел на примарната преработка на дрвото. Примарната преработка на дрвото ги опфаќа технолошките процеси на трансформација на трупците во пилански производи. Примарната преработка на дрвото го вбројува и процесот на хидротермичка обработка на суровината, како важен предуслов за добивање на квалитетна бичена граѓа. Во хидротермичката обработка на дрвото спаѓаат процесите на парење и сушење на суровината.

Главна суровина во пиланската технологија претставуваат трупците. Трупците можат да бидат од лисјарско и иглолисно потекло. Механички се преработуваат со помош на примарни и секундарни машини. Во групата на примарните машини се лентовидните пили и гатерите. Со овие машини се врши првата трансформација на суровината. При тоа, суровината го менува својот облик. Конечните димензии на избичената суровина се добива на секундарните машини, каде се вбројуваат кружните пили за напречно и надолжно режење. На секундарните машини се дефинираат должината и широчината на пиланските сортименти. Крајна цел на преработката на трупците е добивањето на квалитетна бичена граѓа. Квалитетот на бичената граѓа зависи од квалитетот на трупците. Квалитетот на трупците и на бичената граѓа се одредува според критериумите на стандардите.

Успешноста на работата на пиланската постројка ја дефинираат повеќе фактори од кои позначајни се: дрвниот вид кој се преработува, искористувањето на трупците, квалитетот на суровината, квалификуваноста на работната сила, трошоците на производството, потрошувачката на енергија, продуктивноста на работата итн. (Рабацки 2019).

Рационалното користење на дрвото во индустриското производство значи и негова заштеда, која е возможно да се оствари со воведување на нови технолошки постапки во механичката или хемиската преработка на дрвото. За успешност во преработката на

дрвото не е доволно само да се води сметка за квантитативното искористување. Општите интереси при преработката не упатуваат кон максималните економски (финансиски) ефекти при преработката на дрвото. Финансиските ефекти наложуваат од еден преработен трупец со преработка да се добијат максимален број на бичени сортименти, но со максимална финансиска вредност (Nikolić 2010).

Квантитативното искористување е комплексен поим во пиланската преработка на дрвото и зависи од многу фактори кои се поврзани со технолошката опременост на пиланскиот капацитет, квалитетот на суровината, но и подготвеноста на работната сила. Технолошките фактори кои влијаат на квантитативното искористување се однесуваат на степенот на инсталираните машини за примарна и секундарна преработка на суровината, нивните технички карактеристики, како и на степенот на механизираниост на пиланата.

Заради тоа за истражување се определивме за објект на територијата на Република Северна Македонија. Тоа е пиланскиот капацитет „ДРВО-БОР“ ДОО од Берово. Изборот не е случаен туку врз основа на фактот дека пиланата е опремена со примарни и секундарни машини подобни за преработка на иглолисни дрвни видови, конкретно пилански трупци од ела и смрча. Бичената граѓа наменски ќе се користи за потребите на градежништвото, кровни конструкции, земјени градежни работи, занаетчиски изработки и слично.

## 2. ЗНАЧЕЊЕ НА ПИЛАНСКАТА ИНДУСТРИЈА

Во земјите богати со шуми пиланската индустрија е значајна привредна гранка.

Во недоволно развиените индустриски земји, може да претставува и една од главните учесници за извор на приходи тесно поврзана со механичката и финалната обработка на дрвото.

Исто така, вредно е да се спомене дека вработува поголем број на работници, користи релативно малку учество на капитал за развој, има мали релативни потреби од енергетика, како и солидни еколошки карактеристики.

Пиланската преработка во Државата има богата и долга традиција. Околу 30,0% од територијата е покриена со шуми. Шумски потенцијал нуди можности за развој на дрвопреработувачката индустрија. Во минатото, земјата располагала со поголем број на дрвопреработувачки претпријатија кои користеле домашна суровина и извезувале производи од дрво. Со глобализацијата, домашното производство се намалува и дел од пазарот се насочува кон увоз, наместо кон извоз.

Во државата, се среќаваат пилански капацитети со мал и среден капацитет на годишна преработка. Пиланите се најчесто се „мешовити“ и преработуваат суровина со домашно потекло, но и увозна. Од аспект на дрвните видови, од иглолисните најчесто се преработуваат ела, смрча и бор, а од лисјарските даб, бука и орех. Граѓата од иглолисните се користи во градежништвото, додека граѓата од лисјарските видови е наменета за производството на мебел. Пиланските постројки се најчесто полумеханизирани.

### 2.1. Како да се организира пиланската индустрија?

Во поново време, се јавуваат целосно автоматизирани пилани, кои имаат голем капацитет на преработка на суровината. Во автоматизирани пилани, речиси и целосно се избегнува човечкиот фактор и работна сила, со што се зголемува и капацитетот на преработка. Но, главно прашање останува набавката на суровина во една пиланска постројка. Производството и опременоста на пиланите треба да се организирани и усогласени со количеството на трупци кои може да се набават, како и со побарувачката на бичена граѓа. Слика 1.



Слика 1. Пиланска постројка

Рационализацијата на пиланските процеси во поново време се сведува на автоматизацијата на производството. Пилански капацитет работи рационално доколку тежнее кон максимално искористување на суровината и технолошката опременост одговара на видот и количеството на дрвните видови коишто се преработуваат.

При проектирање на пиланскиот капацитет, треба однапред да се предвидат дрвните видови коишто ќе се проработуваат и годишниот дотур на трупци, за да се одреди и внимателно планира целокупното производство. Постојат пилани кои преработуваат само иглолисни или само лисјарски дрвни видови. Најчесто се застапени т.н. „мешовити пилани“. Во тие пилани видот на суровината која се преработува не е ограничен. Со ограничување на преработка на само еден дрвен вид, пиланскиот капацитет значително го намалува својот пазар. Со добра организација на производството, може да се елиминира ова ограничување и да се зголеми финансиската добивка (Brežnjak 2000).

### 3. ЦЕЛ И ПРЕДМЕТ НА ИСТРАЖУВАЊЕ

Во рамките на овој докторски труд извршено е истражување во производно-експлоатациони услови на работа. Предмет на истражување се пиланските трупци од ела (*Abies alba* Mill.) и смрча (*Picea abies* L.). Поради блискоста на анатомската градба и сличните технички својства, двата дрвни вида се анализирани како еден.

Целта на истражување е да се утврди влијанието на диспозициите на бичење врз квантитативното искористување кај пиланските трупци од ела и смрча од I/II класа на квалитет.

Врз основа на проучената научна и стручна литература, констатиравме дека има скромни сознанија во врска со квантитативното искористување при бичење на трупци од ела и смрча. Таа констатација побуди интерес да ги прошириме сознанијата.

Трупците ќе се преработат според два начини на бичење, и тоа:

- остро (затворено, групно) и
- призмање.

Предметот на истражување ги засега дрвните видови достапни во праксата. Идејата е да се направи анализа на квантитативното искористување при различни диспозиции на преработка на трупците во пиланските капацитети. Особено внимание ќе се обрне при составувањето на диспозиции на бичење во зависност од димензиите на трупците.

Истражувачките прашања се насочени кон различните диспозиции на бичење и вредностите на квантитативното искористување што се нудат.

Диспозициите на бичење на трупците во пилански сортименти ќе бидат следени според дијаметарот на трупците на тенкиот крај, а се во склад со однапред познати димензии на бичените сортименти.

Оттука се наметнуваат прашањата:

- која метода е најпогодна за формирање на диспозиција на бичење што ќе понуди најрационално искористување,
- при кои диспозиции се манифестира најмало, односно максимално квантитативно искористување на дрвната маса,
- сознанија за причините на мален процент на квантитативно искористување и
- тесна поврзаност меѓу квантитативното и квалитативното искористување на трупците во бичени сортименти.

Се очекува, според диспозициите на бичење на трупците од I-ва класа на квалитет кои на напречен пресек се со покружна форма, потоа поцилиндрични (помал пад на дијаметар), во однос на трупците од II-ра класа на квалитет, да се добијат вредности позначајни за максималното квантитативно искористување, како и во однос на квалитетот на сортиментите поврзан со квалитативното искористување.

#### 4. ДОСЕГАШНИ ИСТРАЖУВАЊА

Истражувањата поврзани со квантитативното искористување на пиланската суровина, особено кај трупците од ела (*Abies alba* Mill) и смрча (*Picea abies* L.), се од посебно значење во насока на подобрување на технолошката ефикасност и рационалното користење на дрвната суровина. Некои автори укажуваат дека степенот на искористување зависи од комбинацијата на анатомските карактеристики на дрвната суровина, техничките параметри на пиланската опрема и начинот на бичење.

Со оглед на тоа дека податоците за искористувањето на трупците во македонските пилани се ограничени, ова истражување има за цел да обезбеди нови сознанија за реалното ниво на квантитативното искористување при преработката на трупци од ела и смрча. Притоа, се поставува основа за споредбена анализа на резултатите со достапните истражувања во регионот и пошироко, со цел подобрување на технолошките параметри и зголемување на економската ефикасност на производниот процес.

Истражувањата во врска со квантитативното искористување на трупците од ела и смрча опфаќаат анализа на дрвниот отпадок од бичењето, бичените сортименти, начини и диспозиции на бичење, како и фактори што влијаат на квалитетот и квантитетот на сортиментите.

Преработката на трупци од ела и смрча имаа долга традиција во Југоисточна и Централна Европа. Согласно со оваа констатација, спроведени се неколку истражувања во врска со квантитативното и вредносно искористување на овие дрвни видови. Основниот фокус на овие студии е постигнување на максимално квантитативно и вредносно искористување на трупците, преку соодветен избор на начини на бичење, сортирање на трупците и диспозиции на бичење.

Од анализираната домашна и странска литература достапна во моментот на пишување, во продолжение ќе бидат наведени позначајните истражувања кои се однесуваат на темата на овој докторски труд.

Според **Рабациски (2019)** просечниот процент на квантитативно искористување се движи во доста широки граници и изнесува од 48,0% до 70,0%. Во домашни услови на работа во пиланите искористувањето се движи во рамките:

- трупци од бука од 48,0 до 52,0%,
- трупци од даб од 48,0 до 54,0%,
- трупци од бел бор од 56,0 до 72,0% и
- трупци од ела/смрча (чам) од 64,0 до 74,0%.

Авторите **Рабациски, Златески, Трпоски и Кољозов (2018a)** во студија за техничко-технолошка анализа на пиланската преработка на суровината во пилански капацитет го анализирале квантитативното искористување на пилански трупци од ела/смрча од I/III класа на квалитет. Преработени се трупци со должина од 3,0; 4,0 и 5,0 m. Трупците со должина од 3,0 m се со среден дијаметар во граници од 28,0 до 71,0 cm и среден пад на дијаметар 1,32 cm/m. Кај трупците со должина од 4,0 m средниот дијаметар е во граници од 29,0 до 58,0 cm, а средниот пад на дијаметарот изнесува 1,44 cm/m. Трупците со должина од 5,0 m имале среден дијаметар од 29,0 до 55,0 cm и среден пад на дијаметар 0,86 cm/m. За квантитативното искористување се наведени следниве релативни вредности:

- I класа на квалитет: 69,0%,
- II класа на квалитет: 63,40%,
- III класа на квалитет: 58,60% и
- Средно квантитативно искористување за I/III класа на квалитет: 66,50%.

Од истите автори спроведена е студија (**Rabadziski et al. 2018b**) во пилански капацитет за пилански трупци од ела/смрча со должина од 5,0 и 6,0 m. Трупците



припаѓале на I/III класа на квалитет. Трупците со должина од 5,0 m имале среден дијаметар во граници од 33,0 до 57,0 cm и среден пад на дијаметар 0,96 cm/m. Трупците со должина од 6,0 m имале среден дијаметар во рамките од 40,0 до 54,0 cm и среден дијаметар 1,34 cm/m. Квантитативното искористување на пиланските трупи наведено во оваа студија е како што следува:

- I класа на квалитет: 69,55%,
- II класа на квалитет: 64,20%,
- III класа на квалитет: 58,55% и
- Средно квантитативно искористување за I/III класа на квалитет: 64,82%.

Според **Чернаев (1960)**, при преработката на трупеците од иглолисни видови, каде ги анализира трупеците од ела/смрча, квантитативното искористување на трупеците според класата на квалитет го прикажува како што следува:

Табела 1. Квантитативно искористување на иглолисни трупи според Чернаев (1960)

Класа на квалитет	Пилански производ	Квантитативно искористување (%)
I класа	Штици	68,0
	Летви	4,0
	Елементи за амбалажа	2,0
	Вкупно	Σ: 74,0
II класа	Штици	62,0
	Летви	4,0
	Елементи за амбалажа	4,0
	Вкупно	Σ: 70,0
III класа	Штици	50,0
	Летви	4,0
	Елементи за амбалажа	6,0
	Вкупно	Σ: 60,0

Исто така, авторот заклучува дека средниот процент на квантитативно искористување на трупеците од I, II и III класа на квалитет изнесува 69,60%.

Според **Каламадевски (2012)**, авторите **Brežnjak, Hitrec и Butković (1985)** при преработка на трупец од ела и смрча на вертикален гатер по експериментален пат процентот на квантитативно искористување се движи во граници од 60,0 до 67,0%. Анализираниите трупец се од I/II класа на квалитет со дијаметар од 26,0 до 60,0 cm. При симулирано бичење, резултатите за квантитативното искористување се во рамките од 63,0 до 72,0%.

Авторот **Butković (1979)** извршил анализа на разлики помеѓу експериментално и симулирано бичење на трупец од ела. Анализираниите трупец биле со должина од 4,0 m и дијаметар од 20,0 до 61,0 cm. Во истражувањето трупеците се распоредени во 14 дебелински класи со пораст по 2,0 cm помеѓу нив. Од експерименталните истражувања, квантитативното искористување се движи во граници од 52,5 до 69,9%, а според извршената симулација на бичењето се движи во граници од 54,0 до 71,5%. Просечниот пад на дијаметарот кај трупеците изнесувал 1,3 cm/m.

Истиот автор нуди резултати за влијанието на различните начини на бичење на квантитативното, квалитативното и вредносно искористување на трупеците од ела/смрча (**Butković 1993**). Трупеците со дијаметар поголем од 55,0 cm и должина од 4,0 и 5,0 m. Начини на бичење кои се применети се:

- призирање паралелно со осовинската линија на трупецот,
- призирање по изводница на трупецот,
- призирање по 4 дијаметрално спротивни изводници,
- призирање паралелно со осовинската линија на трупецот за изработка на бичени сортименти со радијална текстура и

- кружно – индивидуално бичење паралелно со 4 дијаметрално спротивни изводници за изработка на бичени сортименти со радијална текстура.

Резултатите од истражувањето покажуваат дека со првиот начин на бичење (призмирање) се добива најголемо квантитативно, а најмало вредносно искористување на суровината. Вториот и третиот начин на бичење даваат најслаби резултати за квантитативно и вредносно искористување. Најголемо вредносно искористување се добива со кружно – индивидуално бичење, но овој начин дава најслаби резултати за квантитативното искористување. Во истражувањето не се прикажани релативни износи (проценти) за квантитативното искористување.

**Ugrenović (1968)** изнесува резултати од експериментални истражувања за трупци од ела и смрча. Според него, квантитативното искористување на трупците од ела изнесува од 60,0 до 70,0%, а на трупците од смрча од 65,0 до 75,0%.

**Zupcević (1971)** го истражувал квантитативното искористување на иглолистните дрвни видови. Во истражувањето за ела и смрча наведува дека трупците се со должина од 4,0 m и дијаметар од 21,0 до 24,0 cm и 39,0 до 41,0 cm, од I, II и III класа на квалитет. За трупците од I класа на квалитет квантитативното искористување изнесува 74,23%, за II класа 71,56% и за III класа 67,23%. Падот на дијаметарот се движи во граници од 0,98 до 1,77 cm/m.

Во врска со диспозициите на бичење на трупците во практични услови, формирањето на диспозицијата не е само ограничено на попречниот пресек на трупецот. При формирање на диспозициите, во предвид треба да се земат и димензиите на сортиментите (широчина и дебелина), како и надмерот на собирање. Поради наведените причини, во теоријата, освен геометријата на максималното квантитативно искористување, се формираат и методи на оптимизација при формирање на диспозициите на бичење (Nikolić 2010).

**Knežević (1968)** нуди метода за составување на диспозицијата на бичење на трупците според методот на коефициенти, според кој дебелината на сортиментите се сведува на најблиската дебелина на штици или талпи според пропишаниот стандард. Овој метод претставува математички модел, но како недостаток се јавува приближната дебелина на сортиментите, односно неможност да се добие точна вредност. Имајќи ги во предвид ваквите фактори, истиот автор ја утврдува метода за формирање на диспозиција на бичење (Knežević 1955), така што се започнува од најтенкиот сортимент од бочните страни на попречниот пресек, а дебелината на сортиментите се зголемува кон средишниот дел на трупецот. Според оваа метода, сортиментите со најголема дебелина се сместени во средината на напречниот пресек.

Во понови истражувања спроведени од страна на **Brandstetter, Ispas и Campean (2020)** анализирано е квантитативното искористување на трупци од смрча. За скенирање на трупците, пред преработката и мерење на нивните параметри (должина, среден дијаметар и пад на дијаметар) користен напреден 3Д инфраред скенер од производителот Microtec и компјутерска томографија за идентификација на грешките на трупецот (пукнатини, смолни цевови, сраснати метални делови и сл.). Овие уреди обезбедуваат добар увид во состојбата на суровината и овозможуваат оптимално позиционирање на трупецот на линијата за преработка. Преку овие напредни технолошки методи обезбедено е утврдување на диспозицијата на бичење која дава најголем процент на квантитативно искористување, како и највисок квалитет на бичените сортименти. Во анализата се опфатени 11 окорани трупци, со среден дијаметар од 30,0 до 35,0 cm. Должината е во граница од 3,00 до 3,30 m. Трупците се преработени со технолошка линија VM50 од германскиот производител Linck. Технологијата на преработка е со агрегатни машини, по пат на призмирање. Квантитативното искористување се движи во

граници од 54,9 до 61,9%, со средна вредност 55,8%. Како заклучок авторите наведуваат дека при формирање на диспозициите треба да се земе во предвид падот на дијаметарот.

Во поглед на користење на современи технологии во пиланите, спроведено е големо емпириско истражување од страна на **Ravoajanahary et. Al (2025)**. Резултатите покажуваат дека внатрешната хетерогеност на трупците (глуждовите, распоредот на влагата, односот на беловината и срцевината) е основен фактор за предвидување на резултатот од бичењето. Во истражувањата е користен индустриски рендгенски скенер. Утврдена е варијабилност која влијае на квантитативното и вредносното искористување при различни начини на бичење. Овие резултати укажуваат на потребата од интегрирање на напредни технолошки уреди во пиланите за добивање на дијагностички податоци при составување на диспозиции на бичење, како и за оптимизација на квантитативното, квалитативното и вредносно искористувањето.

**Kukko et al. (2025)** го истражување квалитетот на бичената граѓа од смрча преку ласерско скенирање на трупците. Користено е ласерско скенирање со ласер тип LiDAR / ALS и индустриски податоци за моделирање на варијабилноста на квалитетот меѓу различните делови од стеблото. Резултатите покажале високата внатрешна варијабилност (73,0%) во квалитетот меѓу различни делови од истото стебло, што го нагласува значењето на правилно класирање и составување на диспозиции на бичење на трупците за максимално квантитативно, квалитативно и вредносно искористување.

## 5. НАКУСО ЗА ДРВНИТЕ ВИДОВИ

Секој дрвен вид има свои посебни карактеристики. Од особена важност е да се знаат карактеристиките (макроскопски и микроскопски) на одделните дрвни видови. Одредување на родот, а по можност и видот на дрвото, според макроскопските и микроскопските карактеристики на анатомската градба, претставува идентификација на дрвото. За идентификација на дрвото од различни дрвни видови, се користат трајни и сигурни карактеристики за неговата градба. Постојат два начини за идентификација на дрвните видови, и тоа макроскопска и микроскопска идентификација.

Макроскопските карактеристики при идентификација на дрвото, најдобро се забележуваат на попречен пресек. Затоа, сите анализи за макроскопската идентификација на дрвото се базираат врз структурата и текстурата на тој пресек.

За разлика од макроскопската, микроскопската идентификација на дрвото, е мошне поточна метода. Таа се базира врз хистолошките препарати, на кои се набљудуваат трите пресеци (попречен, радијален и тангенцијален). Според карактеристиките на пресеците се одредува дрвниот вид.

Набљудувајќи ги трите пресеци на дрвото, а особено попречниот, може да се забележи дека хистолошката градба на иглолисното дрво е едноставна и симетрична. Едноставната градба на иглолисното дрво е од малиот број на клетки кои го градат дрвото, а симетричноста од тоа што тие клетки се правилно наредени и што се со приближно еднакви димензии. Симетричноста, кај некои видови се нарушува, заради присуството на смолни канали. Со цел на полесна идентификација на иглолисните дрвни видови, поделени се на видови со смолни и видови без смолни канали. Видовите со смолни канали ги делиме на две подгрупи: видови со дебелосидни епителни клетки околу смолните канали (смрча, дуглазија, ариш) и видови со тенкосидни епителни клетки околу смолните канали (сите видови борови). Групата на иглолисни дрвни видови без смолни канали е поделена на две подгрупи: видови со видлив аксилајен паренхим (смрча) и видови со невидлив аксијален паренхим (ела и тиса).

Од аспект на дрвни видови, за докторската дисертација, предмет на истражување се ела и смрча, и за нив ќе бидат изнесени некои значајни карактеристики.

### 5.1. Ела (*Abies alba* Mill)

Елата претставува една од важните иглолисни дрвни видови и заедно со смрчата (*Picea excelsa*), во трговијата се познати под името „чамово дрво”.

Родот ела (*Abies sp.*) вбројува околу 50 дрвни видови, распространети во умерените планински области на Северната полутопка (Европа, Северна Америка, Мала Азија, Кавказ, Азија и централна Америка). Првите претставници на родот се познати уште од периодот на палеогенот. Во Европа се распространети неколку дрвни вида, од кои за нас големо значење има обичната ела (*Abies alba* Mill.). Слика 2.



Слика 2. Ела (*Abies alba* Mill.)

Стеблата од ела достигнуваат височина од 30,0 m до 40,0 m (во прашумски подрачја и до 60,0 m) со дијаметар од 1,5 m до 2,0 m. Векот на живеење им е од 800 до 1000 години. Се вбројуваат во бакуљави дрвни видови со белуздава со кремава боја на дрвото. Под нормални услови од елата нема сјај и смолни канали. Младите стебла се покриени со мазна светлосива кора, покриена со смолни канали. По 40 или 50 годишна возраст, кората на стеблото пука во вид на мали, со неправилна форма лушпи и добива темносива до црвенокафеава боја. Кората е цврсто прикрепена за стеблото. Нејзината дебелина достигнува и до 1,0 cm. Нормални смолни канали има во кората и во игличките, а во дрвото тие недостасуваат.

Елата се разликува од другите членови на семејството борови по тоа што иглестите листови се држат на стебленцето со основа налик на вакумска лепенка. Друга заедничка одлика се исправените цилиндрични шишарки долги од 5,0 cm до 25,0 cm, кои се распаѓаат и испуштаат крилести семиња кога ќе узреат. Видовите се распознаваат по големината и распоредот на листовите, големината и обликот на шишарките, и по тоа дали малите лушпички се долги и издадени или кратки и скриени во шишарката. Дрвјата се полни и густы со силен зимзелен мирис и се едни од најдолготрајните по сечењето. Во шумата, елата формира насади со бука. Во римско време, дрвото од ела се користело за изработка на дрвени буриња.

Поважни физичко – механички својства на елата се:

- зафатнина на порите => од 52,7% до 78,7%, а на клеточните сидови од 21,3% до 47,3%;

- зафатнинска маса на дрвото =>  $t_0=320 \text{ kg/m}^3$  за апсолутно суво дрво и  $t_{12}=380 \text{ kg/m}^3$  при стандардно просушена состојба;
- собирање =>  $\alpha_1 = 0,1\%$ ,  $\alpha_r = 3,8\%$ ,  $\alpha_t=7,8\%$  и  $\alpha_v=11,7 \%$ ;
- тврдост на дрвото по Јанка => 34 МПа;
- јакост на притисок => 40 МПа;
- јакост на свиткување => 62 МПа;
- јакост на удар =>  $50 \text{ kJ/m}^2$ ;
- калорична вредност => 3860 kcal/kg (16173 kJ/kg).

Наведените физичко – механички својства, дрвото на елата го вбројуваат во едно од најупотребуваните во градежништвото и за изработка на столарски производи. Постојано потопено во вода, има голема трајност. Импрегнирано се користи и за ПТТ столбови, електроводи и сл. Во планински подрачја, елата се користи за шиндра, огради и сл. Претставува ценето дрво за добивање на целулоза, а од нејзината кора се добива „страсбуршки терпентин“. Од игличките преку нивна екстракција се добива етерично масло. Од американската ела (*Abies balsama*) се добива смола наречена „Канада балсам“, без која не може да се замисли оптичката индустрија и микроскопската техника.

Покрај другите разлики, дрвото од ела се разликува од дрвото од смрча и по тоа што, елата нема смолни канали, нејзините глуждови се заобиколени со црно ткиво, а истите по испаѓањето имаат црн прстен. Гранките од стеблата од ела тешко се отстрануваат, затоа што нивното зараснување е заедно со кората.

Според напречниот пресек, дрвото се вбројува во бакуљави дрвни видови, односно во видови со зрело дрво и беловина. Овие два дела на пресек, се разликуваат по содржината на влага, кога дрвото е во сува состојба. Во моментот веднаш по сечата, беловината содржи влага околу 200,0 %, а зрелото дрво околу 60,0 %. Затоа се вели дека, елата во средината од пресекот има т.н. „мокра срцевина“.

### 5.1. Смрча (*Picea abies* L.)

Како и елата, истотака и смрчата во Европа има суштинско значење и голем ареал. Во Република Северна Македонија е крајна граница на јужниот ареал. Родот смрча (*Picea* sp.) е застапен во околу 45 вида, со голема распространетост на сите континенти, со исклучок во Африка. Дрвото на смрчата содржи смолни канали. Во Европа се сретнуваат два вида: обична смрча (*Picea abies* L. или *Picea excelsa* Ling).

Стеблата на смрчата се прави и со долго полнодрвно дрво. Тие достигнуваат височина од околу 40,0 до 55,0 m, со дебелина до 1,5 m и возраст до 1000 години. Кај младите стебла, кората е мазна и со сивозеленикава боја. Подоцна, таа пука во неправилни ситни плочи кои имаат црвенокафеава или сивокафеава боја. Кората достигнува дебелина до 1,0 cm. Годовите се широки и видливи на трите пресеци со голо око. Доцното дрво во годот е потемно обоено и е многу покомпактно, отколку раното дрво. Смолните канали се гледаат во вид на мали светли точки. Смрчата се вбројува во бакуљави дрвни видови (беловина и зрело дрво). Кога дрвото е во сурова состојба, влагата во беловината изнесува и до 165,0 %, а во срцевината само 33,0 %.

Игличките од смрча се четирирабни и прицврстени во снопчиња. Од ова дрво се изработуваат многу жичани инструменти, како што се: гитара, мандолина, виолончело, виолина, резонантна кутија во средината на пијаното и харфата, како и примена во авиоиндустријата.

Дрвото од смрча е со белузлавожолтеникава до жолтеникавокафеава боја. Беловината се разликува од зрелото дрво по тоа што по соборувањето на стеблото се забележува смола настаната од смолните канали.

Поважни физичко – механички својства на смрчата се:

- порозност => од 57,3% до 80,0%, а зафатнината на клеточните ѕидови од 20% до 42,7%;
- собирање =>  $\alpha_l = 0,3 \%$ ,  $\alpha_r = 3,6 \%$ ,  $\alpha_t = 7,8 \%$  и  $\alpha_v = 12 \%$ ;
- зафатнинска маса на дрвото =>  $t_0 = 360,0 \text{ kg/m}^3$  за апсолутно суво дрво и  $t_{12} = 390,0 \text{ kg/m}^3$  при стандардно просушена состојба;
- средна тврдост по Јанка => 27,0 МПа;
- средна јакост на притисок => 50,3 МПа;
- средна јакост на свиткување => 66,0 МПа;
- средна јакост на смолкнување => 6,7 МПа;
- средна јакост на удар => 50,0 kJ/m<sup>2</sup>;
- калорична вредност => 4500 kcal/kg (18855 kJ/kg).

Дрвото од смрча е меко и лесно. Лесно се обработува и има широка употреба. Исто така лесно се бои и полира, а тешко се импрегнира. Се користи во градежништвото, за столарски потреби, дрвни конструкции, музички инструментите, итн. Многу е ценето во целулозната индустрија, поради долгите целулозни влакна. Од нејзината кора се добиваат штавни материи, а од игличките етерично масло. Се вбројува во многу ценетите дрвни видови, заради белата боја на дрвото, малите глуждови, правилната анатомска градба, рамномерно распоредени широките годови, малата тежина, големата еластичност и лесната обработка. Слика 3.



Слика 3. Смрча (*Picea abies* L.)

## 6. ОБЈЕКТ НА ИСТРАЖУВАЊЕ

Истражувањата во овој докторски труд се спроведени во пилански капацитет лоциран на територијата на Република Северна Македонија, во Малешевскиот регион, поточно во општина Берово. Оваа локација е одбрана поради неколку значајни причини. Регионот е традиционално познат по развојот на шумарски активности и дрвопреработувачкиот сектор, со длабоко вкоренета локална експертиза и постојана зависност од шумските ресурси како економска гранка. Пиланскиот погон каде што се спроведува истражувањето функционира со стабилна производна динамика и применува класична, но индустриски релевантна технологија со користење на хоризонтална лентовидна пила - трупчарка, што овозможува репрезентативни производи и споредливост со други пилански капацитети од сличен технолошки профил.

Малешевијата претставува регион со специфична микроклима и надморска височина која влијае врз карактеристиките на дрвната суровина. Дрвото од овој регион го карактеризира изразена специфична структура, стабилност во протегането на дрвните влакната и добар однос меѓу зафатнинската маса и механички својства, што е од особено значење при користење на граѓата од ела/смрча за конструктивни изведби.

Објектот на истражување ги опфаќа сите чекори од прием и класификација на трупците, нивно окорување и миеење, мерење на димензии и утврдување на зафатнината, избор на диспозиција и процесна бичење.

Имајќи ги во предвид претходните наведени, најповолни можности за истражување се остварија во пиланската постројка на компанијата „ДРВО БОР“ ДООЕЛ од Берово.

Со дефинирањето на објектот на истражување се создаде основа за понатамошна методолошка анализа. Истражувањата се спроведени во реални производно-експлоатациони услови на работење, без нарушување на производниот циклус.

Накучо за компанијата „ДРВО БОР“ ДООЕЛ од Берово е изнесено во текстот што следува.

### 6.1. „ДРВО БОР“ ДООЕЛ – Берово

Компанијата „ДРВО БОР“ ДООЕЛ е пиланска постројка специјализирана за преработка на иглолисна и лисјарска суровина лоцирана во општина Берово. Лоцирана е на 2,0 km од градот Берово. Близината до градот, како најголем административен, културен и стопански центар во Малешевскиот регион и близината до алиментационо подрачје за набавка на суровина за преработка одат во полза за работата на претпријатието.

Компанијата ги бележи своите почетоци од шеесеттите години од минатиот век. Започнала со работа како столарска работилница, а во 2007 година примарна дејност станува пиланската преработка на трупците. Во почетоките, пиланата врши само преработка на трупци, а од 2011 година започнува со работа погон за преработка на крупен и ситен отпадок од кој се добиваат брикети. Компанијата од неодамна има инсталирано сопствена технолошка линија за производство на палети. Денес, во пиланата работат пет работници во една смена. По потреба се организира и втора смена на работа.

Набавката на суровината се врши од шумските подружници од Малешевскиот регион, Маврово и Република Бугарија. Бичената граѓа се нуди на познат купувач, а создаденото количество на дрвен отпадок се користи како суровина за производство на палети. Перспективно, настојувањата се насочени кон производство на пелети, како и сушење и парење на пиланските сортименти од бука.



Вкупното годишно количество на преработени трупци изнесува околу 3200 m<sup>3</sup>/god, а годишното количество на преработени трупци, според дрвниот вид, е прикажано во табела 2.

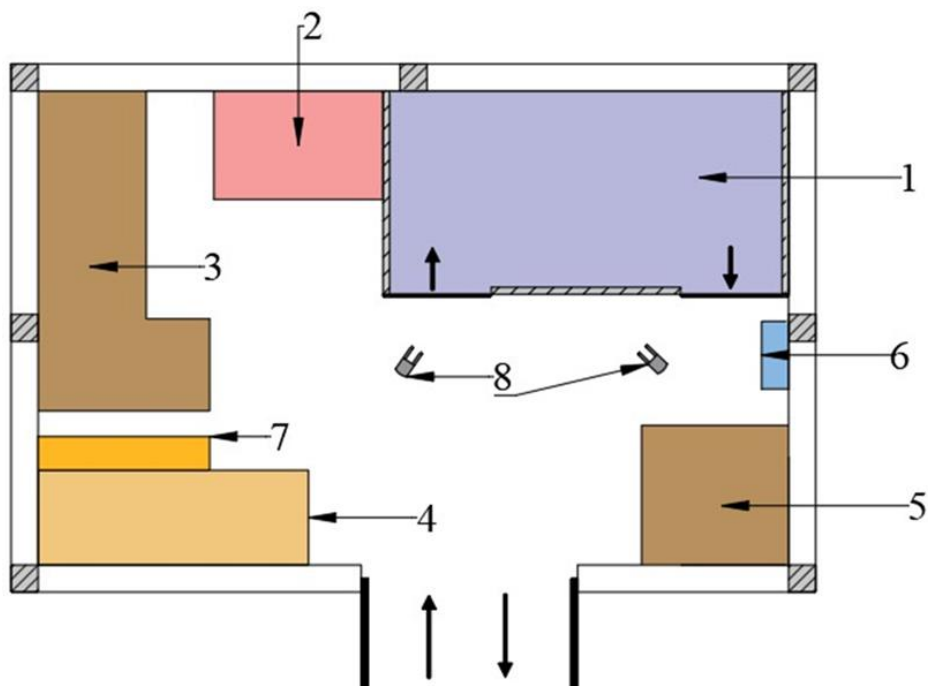
Табела 2. Годишно количество на преработени трупци во компанијата „ДРВО БОР“

Дрвен вид	Годишно количество [m <sup>3</sup> /god]
Бука ( <i>Fagus sylvatica</i> L.)	1600
Бор ( <i>Pinus sylvestris</i> , <i>Pinus nigra</i> )	1200
Ела/смрча ( <i>Abies alba</i> Mill/ <i>Picea abies</i> )	300
Останато	100
Вкупно годишно количество	3200

Пиланската постројка е расположена на површина од 5000 m<sup>2</sup>. Површината е распоредена на следниов начин:

- пиланска хала (слика 5) => 450 m<sup>2</sup>,
- натстрешница за складирање на бичена граѓа (слика 6) => 140 m<sup>2</sup>,
- станица за миење на трупците (слика 7) => 10 m<sup>2</sup>,
- управна зграда (слика 8) => 100 m<sup>2</sup>,
- склад за трупци (слика 9) => 2500 m<sup>2</sup> и
- довозни и манипулативни патишта (слика 10) => 1800 m<sup>2</sup>.

На сликата 4 е прикажан распоредот на површините на пиланската постројка.



Слика 4. Распоред на површините во пиланската постројка,

- 1) пиланска хала, 2) управна зграда, 3) склад за трупци, 4) натстрешница за складирање на бичена граѓа, 5) склад за бичена граѓа, 6) станица за миење на трупци, 7) крупен и ситен отпадок, 8) челен виљушка



*Слика 5. Пиланска хала*



*Слика 6. Настрешница за складирање на бичени сортименти*



*Слика 7. Станица за мијење на трупуци*



*Слика 8. Управна зграда*



*Слика 9. Склад за трупци*

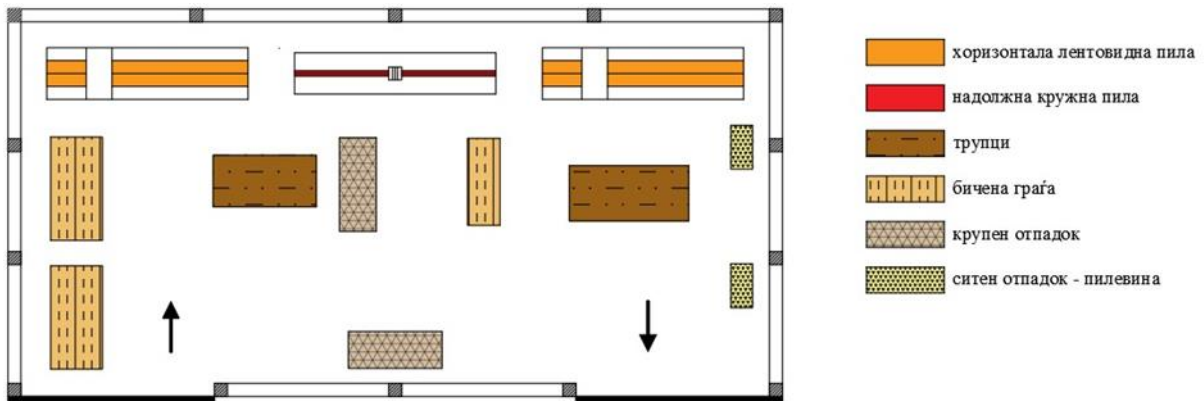


*Слика 10. Довозни и манипулативни патишта*

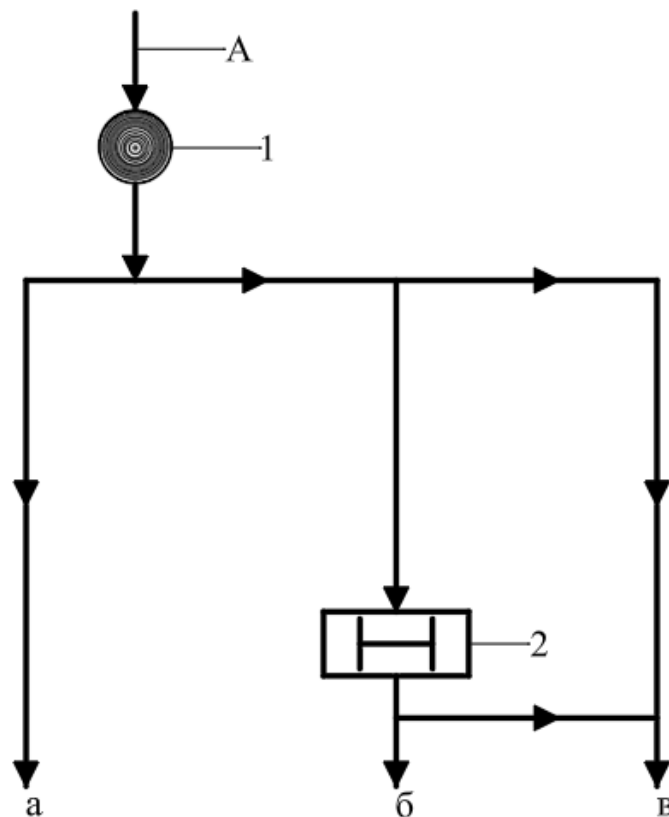
### **6.1. Технологија на преработка на суровината**

Технолошките процеси во пиланата се дефинирани со технолошката линија на движење ба трупците, бичените сортименти, крупниот и ситниот отпадок. Во технологијата на преработка, трупците се бичат на хоризонтална лентовидна пила –

трупчарка „Wood Mizer LT 20” и „Šumska kraljica”. Бичењето е според различни диспозиции, во зависност од дрвниот вид и побарувачката на потрошувачите. Се применува т.н. „наменско бичење”, според однапред дефинирани димензии за познат купувач. При бичење на трупците се применува „еднофазна преработка”, односно „суро̀ва постапка”. Според ваквата преработка, трупците се бичат според однапред дефинирана постапка на примарната машина и не подлежат на хидротермичка обработка. Бичените сортименти се кратат и окр̀ајчуваат со инсталираните машини за секундарна преработка. Технолошката опременост на пилањската хала е прикажана на слика 11. На сликата 12 е прикажана технолошката постапка при бичење на суровината.



Слика 11. Технолошка опременост на пилањската хала



Слика 12. Технолошка постапка при преработка на суровината,  
 А – склад за трупци, 1 – примарна машина лентовидна пила – трупчарка, 2 – кружна пила за надолжно режење, а и б – транспорт на бичена граѓа, в - транспорт на крупен отпадок

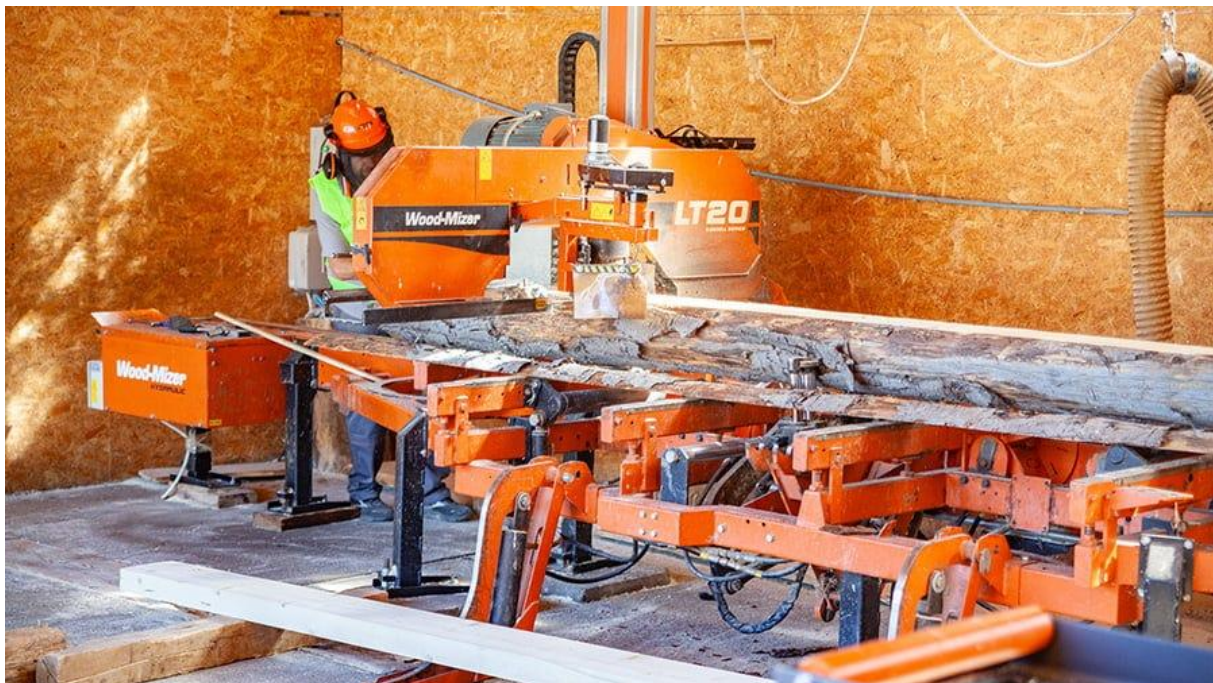
Технолошката постапка при преработка на суровината е прикажана на слика 12. Трупците од складот за трупи (А) се транспортираат кон примарната машина, хоризонтална лентовидната пила – трупчарка (1). Според однапред дефинирана спецификација и познати димензии, трупците се преработуваат во бичени сортименти. Секундарната преработка се изведува на кружна пила за надолжно режење (2) каде сортиментите се дефинираат по широчина. Бичената граѓа се транспортира по потоците а и б, а крупниот отпадок по потокот в.

### 6.3. Машини, транспортни средства и уреди

Примарното бичење во пиланата се изведува на две лентовидни пили – трупчарки. Секундарната преработка се врши со една кружна пила за надолжно режење - окрајчување. Овие машини ги задоволуваат потребите за производство на пиланскиот капацитет. Подготовката на трупците пред бичењето се врши со миење, на посебно наменет простор под настрешница, кој е лоциран веднаш до пиланската хала. Инсталираната моќност во пиланата, за сите машини, изнесува околу 40 kW. Транспортот на трупците и на бичената граѓа се врши со помош на два челни виљушкари и трактор. Компанијата располага со два објекти, на различни локации. Во едниот објект се врши бичење на трупците и складирање на бичената граѓа, додека другиот објект е наменет за одржување на машините и подготовка на работниот алат, односно на пилите. Во пиланската хала не е инсталиран систем за отпашување на пилевината и ситните иверчиња.

#### 6.3.1. Примарни машини

Целокупното количество на суровина што се преработува е со хоризонтални лентовидни пили – трупчарки „Wood – Mizer LT 20” (слика 13) и „Šumska kraljica” (слика 14) со технички карактеристики дадени во продолжение на материјата.



Слика 13. Хоризонтална лентовидна пила Wood – Mizer LT 20

Технички карактеристики:

- дијаметар на тркалата => 450 mm;
- должина на машината и конструкцијата => 6000 mm;
- инсталирана моќност на машината => 11 kW;
- потекло => Норвешка;



Слика 14. Хоризонтална лентовидна пила „Šumska kraljica”

Технички карактеристики:

- дијаметар на тркалата => 900 mm;
- максимална должина на трупец => 6000 mm;
- вид на транспорт на трупецот => хидрауличен;
- инсталирана моќност на машината => 22 kW;
- димензии на пилата (дебелина x широчина x должина) => 1,6 x 130 x 7750 mm
- разметнување на забите => рачно
- големина на разметнување => 0,3 mm
- широчина на рез => 3,2 mm;
- брзина на движење на пилата => 30 m/s;

### 6.3.2. Секундарни машини

Избичените сортименти (шпици и талпи) се окрајчуваат со кружна пила за надолжно режење (слика 15), при што се формираат широчините на сортиментите.



Слика 15. Кружна пила за надолжно режење

Технички карактеристики:

- дијаметар на пилата => 250 – 400 mm;
- дебелина на пилата => 1,8 – 3,2 mm;
- максимална височина на рез => 80 mm;
- моќност на електромотор => 11 kW;
- максимална должина на сортиментите за обработка => 5,0 m.

### 6.3.3. Транспортни средства и уреди

Пиланата располага со два челни виљушкари и еден трактор за манипулација со суровината. Во пиланата нема инсталирани уреди за внатрешен транспорт на суровината. За транспорт на суровината од складот до примарната машина, и транспорт и редење на бичената граѓа се користат челните виљушкари (слика 16). За помошен транспорт на крупен и ситен отпадок се користи трактор (слика 17). Пиланата нема инсталиран систем за отпрашување. Ситниот отпадок (пилевината) се отстранува мануелно со помош на метли, четки и лопати.





*Слика 16. Челни виљушкар*



*Слика 17. Трактор*

## 7. МЕТОД НА РАБОТА

Истражувањата се извршени во производно-експлоатациони услови на работа во пиланскиот капацитет „ДРВО БОР“ во Берово, Република Северна Македонија. Целокупниот процес на преработка се одвиваше во својата вообичаена динамика и организација, со што се обезбедија објективни и репрезентативни податоци за реалното искористување на дрвната суровина. Класирањето на трупците е извршено согласно македонските стандарди МКС EN Д.Б4.028/1:1990, МКС EN Д.Ц1.022 и МКС EN 1316-1:2013, што овозможи усогласеност со пропишаните критериуми за квалитет и димензионални параметри.

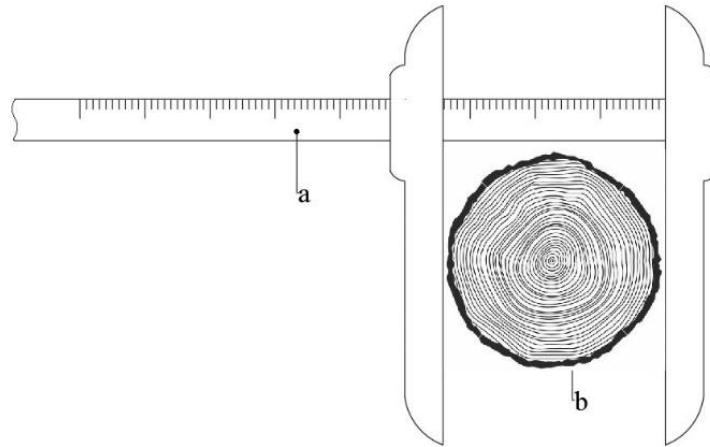
Методот на работа се состои од две фази. Во првата фаза беше извршено мерење на параметрите на трупците, при што се бележеа должината и дијаметрите на тенкиот и дебелиот крај на трупците. Врз основа на добиените вредности се пресметуваше средниот дијаметар, зафатнината на трупците според стандардизирани формули, како и падот на дијаметарот. Овие податоци претставуваат основа за утврдување на почетната суровинска структура и создавање на прецизна база за подоцнежната анализа на квантитативното искористување.

Втората фаза се однесува на мерењето и евидентирањето на параметрите на добиените бичени сортименти по завршената преработка на примарните и секундарните машини. Секој сортимент беше измерен по должина, ширина и дебелина, по што беше пресметана неговата зафатнина.

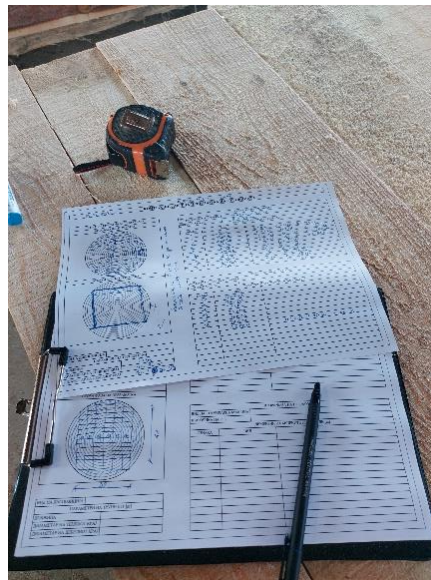
Врз основа на добиените податоци од мерењата и пресметките беше извршена пресметка на квантитативното искористување на секој трупец вклучен во анализата поединечно. За обработка, споредба и интерпретација на податоците беа применети соодветни статистички методи (дескриптивна статистика, регресиона анализа и Студентов „t-test“), со цел добивање валидни и научно поткрепени заклучоци.

### 7.1. Мерење и пресметка на параметрите на трупците

Мерењето на трупците е извршено на складот од трупци. За мерење на потребните димензии на трупците користени се дрвена клупа и челична лента. Со дрвена клупа се мерени дијаметрите на трупците предвидени за преработка. Линијата на клупата е градуирана во сантиметри (Слика 18). Челичната лента е со должина од 10 метри, поделена на метри, сантиметри и дециметри, а првиот метар е поделен на милиметри. Со челичната лента е мерена должината на трупците. Сите измерени параметри се регистрирани во однапред подготвени табели за евиденција (слика 19). На трупците е извршено и мерење на влажноста со електричен влагомер од производителот Nigos NIŠ тип RVD 904 (слика 20).



Слика 18. Дрвена клупа за мерење на дијаметарот на трупците  
*a* – дрвена клупа, *b* – тилански трупец



КОНТРОЛЕН ЛИСТ ЗА ПРЕРАБОТКА НА СУРОВИНАТА			
<b>ШЕМАТСКИ ПРИКАЗ НА ДИСТОВИДНОСТА</b> ПРВА ФАЗА НА ПРЕРАБОТКА		<b>ПРВА ФАЗА НА ПРЕРАБОТКА</b>	
		ВИД НА ПРИМАРНА МАШИНА	
		ШИРОЧИНА НА РЕЗ	
<b>ВТОРА ФАЗА НА ПРЕРАБОТКА</b>		ДИМЕНЗИИ НА БИРНАТА ГРАГА [m]	
		ОЗНАКА	ВИД
		<b>ВТОРА ФАЗА НА ПРЕРАБОТКА</b>	
		ВИД НА СЕКУНДАРНА МАШИНА	
<b>ВИД НА ДИСТОВИДНОСТА</b> ПАРАМЕТРИ НА ТРУПЕЦОТ [m]		ШИРОЧИНА НА РЕЗ	
		ДИМЕНЗИИ НА БИРНИТЕ ПРОЗВОДИ [m]	
ДОЛЖИНА ДИЈАМЕТАР НА ТЕРЖНОТ КРАЈ ДИЈАМЕТАР НА ДЕВЕЛНОТ КРАЈ		ОЗНАКА	ВИД
		ОЗНАКА	ВИД
		ОЗНАКА	ВИД

Слика 19. Евиденција на параметрите на трупците

За потребите на анализите во истражувањето, се применети следниве математички формули:

1) Среден дијаметар ( $d_{sr}$ ):

$$d_{sr} = \frac{d_1 + d_2}{2} \text{ (cm)}$$

Каде:

$d_1$  – дијаметар на тенкиот крај на трупецот (cm)

$d_2$  – дијаметар на дебелиот крај на трупецот (cm)

2) Зафатнина на трупец ( $V$ ):

$$V = \frac{d_{sr} \cdot \pi}{4} \cdot l \text{ (m}^3\text{)}$$

Каде:

$d_{sr}$  – среден дијаметар (cm)

$l$  – должина на трупецот [m]

$\pi$  – Лудолфов број (константа) = 3,14

3) Пад на дијаметар ( $S$ ):

$$S = \frac{d_2 - d_1}{l} \text{ (cm/m)}$$

Каде:

$d_1$  – дијаметар на тенкиот крај на трупецот (cm)

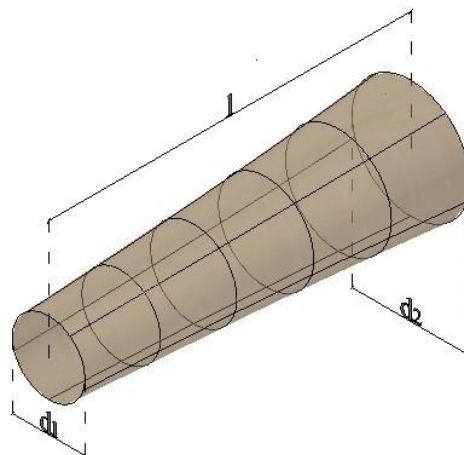
$d_2$  – дијаметар на дебелиот крај на трупецот (cm)

$l$  – должина на трупците (m)

Михајлов (1968) падот на дијаметарот (слика 20) го дели во 5 дебелински степени на полнодрвност (Табела 3).

Табела 3. Дебелински степени на полнодрвност

Степен на полнодрвност	Пад на дијаметарот (cm/m)
A	до 0,5
B	0,5 ÷ 1,0
C	1,1 ÷ 1,5
D	1,51 ÷ 2,0
E	над 2,0



Слика 20. Пад на дијаметар кај пиланските трупци

## 7.2. Мерење на влажноста на трупците

На складот за трупци ќе биде извршено и мерење на влажноста на трупците кои се предмет на анализа. За таа цел ќе се користи електричен влагомер, тип RVD 904, со кој се овозможува, брзо и сигурно определување на содржината на влага во дрвото.

Постапка: се отстранува кората по обемот на трупците на три места и тоа на растојание на 45,0 cm од дебелиот и тенкиот крај на трупецот (2 мерења) и едно мерење, на ист начин, на средината на трупецот. Вредностите се запишани во формулари за таа намена. Слика 21.



Слика 21. Електричен влагомер за мерење на влажноста на дрвото

## 7.3. Мерење и пресметка на параметрите на бичените сортименти

Мерењето на бичените сортименти е извршено веднаш после бичењето на примарната машина и дефинирање на широчината на секундарната машина. Мерењата за широчината на бичената окрајчена граѓа (штици и талпи) и на гредите е извршена на средина од должината. На гредите е извршено мерење на димензиите на напречниот пресек. Мерењето е извршено со помош на метро, а податоците од мерењата се внесени во формулирате за евиденција, прикажани на слика 19. По бичењето на примарната машина, неокрајчените сортименти се бележени со шумска креда (слика 22) за полесна евиденција по секундарната преработка.



Слика 22. Шумска креда (ила) за обележување на неокрајчените сортименти

1) Зафатнина на окрајчена бичена граѓа ( $V_{bg}$ ) (слика 23):

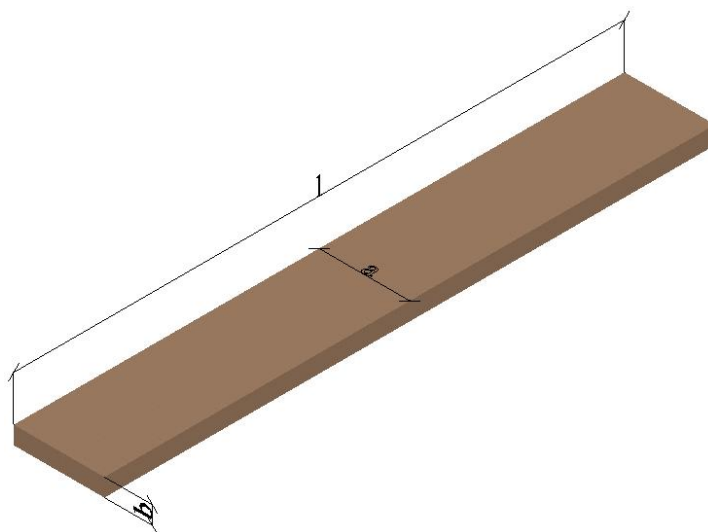
$$V_{bg} = a \cdot b \cdot l \text{ (m}^3\text{)}$$

Каде:

a – широчина на бичена граѓа (m)

b – дебелина на бичена граѓа (m)

l – должина на бичена граѓа (m)



Слика 23. Окрајчена бичена граѓа

2) Зафатнина на греди ( $V_g$ ) (слика 24):

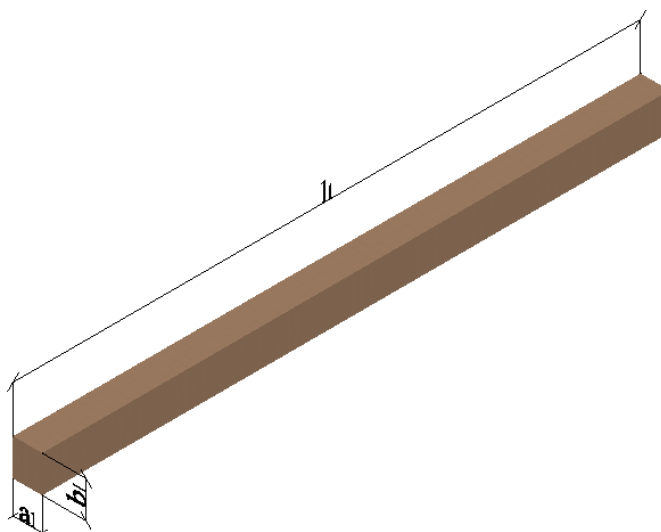
$$V_g = a_1 \cdot b_1 \cdot l_1 \text{ (m}^3\text{)}$$

Каде:

$a_1$  – широчина на бичена граѓа (m)

$b_1$  – дебелина на бичена граѓа (m)

$l_1$  – должина на бичена граѓа (m)



Слика 24. Греда

#### 7.4. Пресметка на квантитативното искористување

Врз основа на претходно изнесените податоци (7.1. Мерење и пресметка на параметрите на трупците и 7.2. Мерење и пресметка на параметрите на бичените сортименти) извршена е пресметка на квантитативното искористување, количеството на ситен отпадок (пилевина) и количеството на крупен отпадок.

1) Квантитативно искористување (P):

$$P = \frac{V_{bg}}{V} \cdot 100 (\%)$$

Каде:

$V_{bg}$  – зафатнина на бичени сортименти ( $m^3$ )

$V$  – зафатнина на трупец ( $m^3$ )

2) Ситен отпадок (пилевина) ( $P_{so}$ ):

$$P_{so} = \frac{V_{so}}{V} \cdot 100 (\%)$$

Каде:

$V_{so}$  – зафатнина на ситен отпадок ( $m^3$ )

$V$  – зафатнина на трупец ( $m^3$ )

2) Крупен отпадок ( $P_{ko}$ ):

$$V_{ko} = V - (V_{bg} + V_{so})(m^3)$$

Каде:

$V$  – зафатнина на трупец ( $m^3$ )

$V_{bg}$  – зафатнина на бичени сортименти ( $m^3$ )

$V_{so}$  – зафатнина на ситен отпадок ( $m^3$ )

$$P_{ko} = \frac{V_{ko}}{V} \cdot 100 (\%)$$

Каде:

$V_{ko}$  – зафатнина на крупен отпадок ( $m^3$ )  
 $V$  – зафатнина на трупец ( $m^3$ )

## 7.5. Применети статистички методи за обработка на податоците

За потребите на статистичката обработка на податоците е користена дескриптивна статистика и регресиона анализа. Проверката на разликите помеѓу средните вредности и сигнификантноста е извршена со тестирање по Студентов тест („t-тест“). Анализата на податоците е извршена во релативни вредности ( вредностите се изразени во %).

За истражување на меѓусебните врски на две појави се употребуваат методите на проста (праволиниска или криволиниска) регресиона и корелациона анализа, а за повеќе појави методите на повеќекратна (праволиниска и криволиниска) регресиона и корелациона анализа. Обработката на податоците е извршена во софтверот Microsoft Excel.

Регресионата анализа претставува една од најважните и најчесто употребуваните статистички методи. Важен показател за карактерот на врската е коефициентот на корелација ( $R$ ). Овој коефициент ја мери силата и насоката на линеарната врска помеѓу две променливи вредности. Ако вредноста на коефициентот  $R=1$ , корелацијата е перфектна и тоа значи дека двете променливи вредности се зголемуваат линеарно и рамномерно. Ако вредноста на коефициентот  $R=-1$ , корелацијата е негативна, и едната променлива вредност се зголемува, а другата се намалува. Доколку  $R=0$ , не постои линеарна корелација. Колку вредноста е поблиска до 1, толку врската е посилна. Со регресионата анализа се испитува дали податоците имаат линеарен тренд.

Дескриптивната статистика ги опишува главните карактеристики на некој сет на податоци. Се заснова на средната вредност на сетот од податоци. Важен параметар при дескриптивната статистика претставува стандардната девијација. Овој вид на обработка на податоците се користи со цел да се организираат и толкуваат податоците. Главната намена е при голема количина на податоци. Во зависност од средната вредност, се вршат споредби на повеќе групи на податоци и се утврдува нивната врска.

Основни статистички показатели се:

1)  $\bar{x} - x_{sr}$  ( $x$  средно) – средна вредност на испитаните својства заснована на класирани податоци од мерењата. Мерките зависат од дрвниот вид.

$$\bar{x}/x_{sr} = x_0 + I \cdot \frac{f_i \cdot d_i}{n}$$

Каде:

$x_0$  – средна вредност на избраната нулта класа

$i$  - ширина на класата

$d_i$  – дистанца, односно оддалеченост на одделните класи од нулта класа

$f_i$  – фреквенција, или број на мерења во рамките на одделни класи

2)  $\sigma$  – сигма, односно стандардна девијација или стандардно отстапување на податоците од мерењата на својствата на дрвото од средната вредност (мерка за варијабилитетот на испитаното својство во апсолутен износ).

$$\sigma = i \cdot \sqrt{\frac{f_i \cdot d_i^2}{n} - \left(\frac{f_i \cdot d_i}{n}\right)^2}$$

Каде:

$i$  - ширина на класата

$d_i$  – дистанца, односно оддалеченост на одделните класи од нулта класа

$f_i$  – фреквенција, или број на мерења во рамките на одделни класи



$n$  – број на мерења

3)  $v$  – коефициент на варијација. Мерка на варијабилитетот на испитаните својства, поточно на податоците на средната вредност (мерка за варијабилитетот во релативен износ).

$$v = \frac{\sigma}{\bar{x}} \cdot 100 (\%)$$

Каде:

$\sigma$  – стандардна девијација

$\bar{x}$  – средна вредност

4)  $f_{\bar{x}}$  – грешка на средната вредност

$$f_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

Каде:

$\sigma$  – стандардна девијација

$n$  – број на мерења

5)  $f_{\sigma}$  – грешка на стандардната девијација

$$f_{\sigma} = \frac{\sigma}{\sqrt{2n}}$$

Каде:

$\sigma$  – стандардна девијација

$n$  – број на мерења

6)  $f_v$  – грешка на коефициентот на варијација

- Кога  $v \leq 10 \%$ :

$$f_v = \frac{v}{\sqrt{2n}}$$

- Кога  $v > 10 \%$ :

$$f_v = \frac{v}{\sqrt{2n}} \cdot \sqrt{1 + 2 \left( \frac{v}{100} \right)^2}$$

Каде:

$v$  – коефициент на варијација

$n$  – број на мерења

Проверката и потврдувањето на точноста на резултатите е извршено според вредноста на средната вредност ( $\bar{x}$ ), стандардната девијација ( $\sigma$ ), како и според вредноста на коефициентот на варијација ( $v$ ), каде што секоја вредност е поделена со вредноста на својата грешка ( $f_{\bar{x}}$ ,  $f_{\sigma}$ ,  $f_v$ ). За релевантност на податоците, добиените резултати треба да бидат поголеми од 3.

За таа цел се користени формулите:

$$1) \frac{\bar{x}}{f_{\bar{x}}} \leq 3$$

Каде:

$\bar{x}$  – средна вредност

$f_{\bar{x}}$  – грешка на средната вредност

$$2) \frac{\sigma}{f_{\sigma}} \leq 3$$

Каде:

$\sigma$  – стандардна девијација

$f_b$  - грешка на стандардната девијација

$$3) \frac{v}{f_v} \leq 3$$

Каде:

$v$  – коефициент на варијација

$f_v$  - грешка на коефициентот на варијација

Јачината на корелацијата е потврдена според Romer – Orphalova табела. Табела 4.

Табела 4. Romer – Orphalova табела

Реден број	Коефициент на корелација ( r )	Корелација
1	0,00 до 0,10	нема
2	0,10 до 0,25	многу слаба
3	0,25 до 0,30	слаба
4	0,30 до 0,50	средна
5	0,50 до 0,75	јака
6	0,75 до 0,90	многу јака
7	0,90 до 1,00	потполна

Студентовиот т-тест се користи кога сакаме да утврдиме дали постои статистички значајна разлика помеѓу две групи податоци, при услови кога примерокот е релативно мал (обично  $< 30$ ) и кога варијансата е непозната. Тој е особено корисен во истражувања како истражувањето спроведено во овој докторски труд, каде што се споредува квантитативното искористување помеѓу две дебелински групи на трупци. Овој тест овозможува да се процени дали разликата во аритметичките средини на две групи е резултат на реална разлика или само случајна варијација. Во производно-експлоатациони услови, обично се работи со ограничен број трупци. Т-тестот е прилагоден токму за такви ситуации. Резултатот од т-тестот дава р-вредност, преку која се утврдува дали разликите што ги мериме се статистички значајни (научно оправдани), или се појавиле по случаен пат. Ова го прави тестот особено важен во истражувања на искористување, каде и мали разлики можат да имаат економски и производни импликации. Се изведува според формулата:

$$t_p = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{f_{\bar{x}_1} - f_{\bar{x}_2}}} >< t_n$$

Каде:

$t_p$  – (пресметано) практична вредност на разликите од средните вредности

$t_n$  – нормална распределба:

$$p/1\% = 2,576$$

$$p/5\% = 1,960$$

$\bar{x}_1$  – средна вредност на првата група

$\bar{x}_2$  – средна вредност на втората група

$f_{\bar{x}_1}$  – грешка на средната вредност на првата група

$f_{\bar{x}_2}$  – грешка на средната вредност на втората група

## 8. РЕЗУЛТАТИ ОД ИСТРАЖУВАЊАТА

Во овој докторски труд резултатите од истражувањата се насочени главно кон:

- суровина за истражување,
- начини на бичење на пиланските трупци,
- искористување на суровината во пиланската технологија на преработка и
- квантитативно искористување.

### 8.1. Суровина за истражување

Како што е понапред споменато, суровината за анализите кои што ќе следуваат е од ела/смрча или чам. Податоците за пиланските трупци од ела/смрча за подобар преглед најнапред ќе ги прикажеме во т.н. „збирна табела“. Табела 5.

Табела 5. Преглед на пиланските трупци од ела/смрча

Реден број	Дијаметар на тенкиот крај	Дијаметар на дебелиот крај	Среден дијаметар	Должина	Пад на дијаметар	Зафатнина	Класа на квалитет	Вкупен број на трупци
	d <sub>1</sub> (cm)	d <sub>2</sub> (cm)			S (cm/m)			
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	28,0	30,0	29,0	4,0	0,50	0,264	I/II	91
2	56,0	60,0	58,0		1,00	1,056		
3	57,0	60,0	58,0		0,75	1,056		
4	58,0	60,0	59,0		0,50	1,093		
5	26,0	29,0	27,0		0,75	0,228		
6	46,0	50,0	48,0		1,00	0,723		
7	47,0	49,0	48,0		0,50	0,723		
8	46,0	50,0	48,0		1,00	0,723		
9	53,0	60,0	58,0		1,75	1,056		
10	46,0	49,0	47,0		0,75	0,693		
11	46,0	50,0	48,0		1,00	0,723		
12	36,0	38,0	37,0		0,50	0,43		
13	38,0	40,0	39,0		0,50	0,477		
14	36,0	40,0	38,0		1,00	0,453		
15	51,0	55,0	53,0		1,00	0,882		
16	53,0	55,0	54,0		0,50	0,916		
17	52,0	58,0	55,0		1,50	0,95		
18	38,0	46,0	42,0		2,00	0,554		
19	25,0	29,0	27,0		1,00	0,228		
20	25,0	28,0	26,0		0,75	0,212		
21	28,0	30,0	29,0		0,50	0,264		
22	26,0	29,0	27,0		0,75	0,228		
23	56,0	59,0	57,0		0,75	1,02		
24	57,0	60,0	58,0		0,75	1,056		

25	58,0	60,0	59,0	0,50	1,093
26	56,0	59,0	57,0	0,75	1,02
27	31,0	35,0	33,0	1,00	0,341
28	32,0	34,0	33,0	0,50	0,341
29	32,0	35,0	33,0	0,75	0,341
30	33,0	35,0	34,0	0,50	0,363
31	63,0	65,0	64,0	0,50	1,286
32	48,0	59,0	53,0	2,75	0,882
33	35,0	45,0	40,0	2,50	0,502
34	48,0	58,0	53,0	2,50	0,882
35	61,0	64,0	62,0	0,75	1,207
36	62,0	65,0	63,0	0,75	1,246
37	41,0	45,0	43,0	1,00	0,58
38	42,0	44,0	43,0	0,50	0,58
39	42,0	45,0	43,0	0,75	0,58
40	56,0	58,0	57,0	0,50	1,02
41	56,0	59,0	57,0	0,75	1,02
42	36,0	39,0	37,0	0,75	0,429
43	31,0	34,0	32,0	0,75	0,321
44	31,0	35,0	33,0	1,00	0,341
45	32,0	35,0	33,0	0,75	0,341
46	31,0	34,0	32,0	0,75	0,321
47	31,0	35,0	32,0	1,00	0,321
48	32,0	35,0	33,0	0,75	0,341
49	57,0	59,0	58,0	0,50	1,056
50	28,0	30,0	29,0	0,50	0,264
51	25,0	28,0	26,0	0,75	0,212
52	52,0	55,0	53,0	0,75	0,882
53	51,0	53,0	52,0	0,50	0,849
54	25,0	29,0	27,0	1,00	0,228
55	46,0	48,0	47,0	0,50	0,694
56	26,0	29,0	27,0	0,75	0,228
57	53,0	55,0	54,0	0,50	0,916
58	51,0	55,0	53,0	1,00	0,882
59	42,0	44,0	43,0	0,50	0,58
60	43,0	45,0	44,0	0,50	0,608
61	41,0	45,0	43,0	1,00	0,58
62	44,0	50,0	47,0	1,50	0,694
63	52,0	55,0	53,0	0,75	0,882
64	52,0	54,0	53,0	0,50	0,882
65	61,0	65,0	63,0	1,00	1,246
66	62,0	64,0	63,0	0,50	1,246
67	37,0	39,0	38,0	0,50	0,453
68	52,0	58,0	55,0	1,50	0,95
69	36,0	40,0	38,0	1,00	0,453

70	37,0	39,0	38,0	0,50	0,453
71	47,0	50,0	48,0	0,75	0,723
72	48,0	58,0	53,0	2,50	0,882
73	34,0	46,0	40,0	3,00	0,502
74	36,0	40,0	38,0	1,00	0,453
75	36,0	38,0	37,0	0,50	0,43
76	44,0	50,0	47,0	1,50	0,694
77	47,0	49,0	48,0	0,50	0,723
78	46,0	48,0	47,0	0,50	0,694
79	47,0	50,0	48,0	0,75	0,723
80	38,0	46,0	42,0	2,00	0,554
81	41,0	45,0	43,0	1,00	0,58
82	61,0	63,0	62,0	0,50	1,207
83	61,0	65,0	63,0	1,00	1,246
84	62,0	65,0	63,0	0,75	1,246
85	63,0	65,0	64,0	0,50	1,286
86	61,0	64,0	62,0	0,75	1,207
87	42,0	45,0	43,0	0,75	0,58
88	41,0	45,0	43,0	1,00	0,58
89	52,0	58,0	55,0	1,50	0,95
90	37,0	40,0	38,0	0,75	0,453
91	44,0	50,0	47,0	1,50	0,694
Вкупно зафатнина:				$\Sigma = 63,352 \text{ m}^3$	

Во табелата 5 се прикажани основните податоци за параметрите на трупците од ела/смрча, кои се предмет на нашите истражувања, а се однесуваат за дијаметарот на тенкиот крај на трупците, дијаметарот на дебелиот крај, средниот дијаметар, нивната должина, падот на дијаметарот, зафатнината на трупците, класата на квалитет, како и бројот на анализирани трупци.

На складот за трупци се прибрани податоци за вкупно 91 трупец по број (слика 25). Должината на трупците е константна и изнесува 4,0 m. Трупците се од I/II класа на квалитет и се класирани во однос на нивните надворешни белези, користејќи ги нормативите на стандардот MKC EN 1316-1:2013. Во колоната 2 од истата табела се прикажани податоци за дијаметарот на тенкиот крај на трупците и може да се забележи дека најмалиот дијаметар изнесува 25,0 cm, а најголемиот дијаметар изнесува 63,0 cm.



*Слика 25. Пилански трупци од ела/смрча*

Во колоната 3 се дадени вредностите за минималниот и максималниот дијаметар на трупците на дебелиот крај и изнесуваат 26,0 cm и 65,0 cm. Вредностите за средниот дијаметар на трупците се прикажани во колона 4 и може да се констатира дека средниот дијаметар се движи во граници од 26,0 cm до 64,0 cm. Падот на дијаметарот на трупците кои беа предмет на овие истражувања е во рамките од 0,50 cm/m до 2,75 cm/m. Вкупно дрвната зафатнина изнесува 63,352 m<sup>3</sup>.

Врз основа на податоците за трупците од ела/смрча прикажани во табелата 5, е извршено распоредување на трупците во дебелински класи или т.н. дебелински групи. Распонот меѓу дебелинските групи најповолно се однесуваше, ако трупците се класирани во дебелински групи со распон од 5,0 cm по дебелина, при што беа опфатени поголем број на трупци во обемот на дијаметрите на анализираниите трупци. На овој начин се формирани 8 (осум) дебелински групи и тоа: 26,0 ÷ 30,0 cm; 31,0 ÷ 35,0 cm; 36,0 ÷ 40,0 cm; 41,0 ÷ 45,0 cm; 46,0 ÷ 50,0 cm; 51,0 ÷ 55,0 cm; 56,0 ÷ 60,0 cm и 61,0 ÷ 65,0 cm.

#### **8.1.1. Трупци од ела/смрча (26,0 – 30,0 cm)**

Трупците од првата дебелинска група (26,0 ÷ 30,0 cm) се прикажани во табела 6.

Табела 6. Трупци од ела/смрча – I-ва дебелинска група

Реден број	Дијаметар на тенкиот крај	Дијаметар на дебелиот крај	Среден дијаметар	Должина	Пад на дијаметар	Зафатнина	Класа на квалитет	Вкупен број на трупци
	d <sub>1</sub> (cm)	d <sub>2</sub> (cm)			S (cm/m)			
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	28,0	30,0	29,0	4,0	0,50	0,264	I/II	10
2	26,0	29,0	27,0		0,75	0,228		
3	26,0	29,0	27,0		0,75	0,228		
4	26,0	28,0	27,0		0,50	0,228		
5	28,0	30,0	29,0		0,50	0,264		
6	26,0	29,0	27,0		0,75	0,228		
7	28,0	30,0	29,0		0,50	0,264		
8	26,0	28,0	27,0		0,75	0,228		
9	26,0	29,0	27,0		0,75	0,228		
10	26,0	29,0	27,0		1,00	0,228		
Вкупно зафатнина за I дебелинска група:							Σ <sub>1</sub> = 2,388 m <sup>3</sup>	

Во табелата 6 и на слика 26 се прикажани параметрите за трупците од I-та дебелинска група, а се однесуваат за дијаметарот на трупците на тенкиот крај, кој се движи од 26,0 cm до 30,0 cm, на дебелиот крај изнесува 28,0 cm до 30,0 cm, а средниот дијаметар е во рамките од 27,0 cm до 29,0 cm. Падот на дијаметарот е од 0,50 cm/m до 1,00 cm/m. Во оваа група се анализирани 10 по број учесници, со должина од 4,0 m, чија дрвна зафатнина изнесува 2,388 m<sup>3</sup>. Трупците се од I/II класа на квалитет.



Слика 26. Пилански трупци од I-ва дебелинска група

### 8.1.2. Трупци од ела/смрча (31,0 – 35,0 cm)

Трупците од ела/смрча од втора дебелинска група (31,0 ÷ 35,0 cm) се забележани во табела 7.

Табела 7. Трупци од ела/смрча – II-ра дебелинска група

Реден број	Дијаметар на тенкиот крај	Дијаметар на дебелиот крај	Среден дијаметар	Должина	Пад на дијаметар	Зафатнина	Класа на квалитет	Вкупен број на трупци
	$d_1$ (cm)	$d_2$ (cm)	$d_{sr}$ (cm)	L (m)	S (cm/m)	V (m <sup>3</sup> )	K	N
1	31,0	35,0	33,0	4,0	1,00	0,341	I/II	10
2	32,0	34,0	33,0		0,50	0,341		
3	32,0	35,0	33,0		0,75	0,341		
4	33,0	35,0	34,0		0,50	0,363		
5	31,0	34,0	32,0		0,75	0,321		
6	31,0	35,0	33,0		1,00	0,341		
7	32,0	35,0	33,0		0,75	0,341		
8	31,0	34,0	32,0		0,75	0,321		
9	31,0	35,0	32,0		1,00	0,321		
10	32,0	35,0	33,0		0,75	0,341		
Вкупно зафатнина за II дебелинска група:							$\Sigma_{II} = 3,372 \text{ m}^3$	

Според податоците за трупците од II-ра дебелинска група прикажани во табелата 7 и на слика 27, може да се констатира дека најмалиот дијаметар на трупците на тенкиот крај изнесува 31,0 cm, а најголемиот дијаметар изнесува 35,0 cm. Во колоната 3 се вредностите за дијаметарот на трупците на дебелиот крај, кој е во граници од 34,0 cm до 35,0 cm. Средниот дијаметар се движи од 32,0 cm до 34,0 cm. Вредностите за падот на дијаметарот на трупците се во рамките од 0,50 cm/m до 1,00 cm/m. Трупците се од I/II класа на квалитет, со константна должина од 4,0 m и дрвна зафатнина од 3,372 m<sup>3</sup>. Во втората дебелинска група во анализата се опфатени 10 (десет) пилански трупци.





Слика 27. Трупци од II-ра дебелинска група

### 8.1.3. Трупци од ела/смрча (36,0 – 40,0 cm)

Користејќи ги изворните податоци за параметрите на трупците од табела 5, е формирана третата дебелинска група (36,0 ÷ 40,0 cm) на пиланските трупци од ела/смрча. Податоците за таа дебелинска група се прикажани во табелата 8.

Табела 8. Трупци од ела/смрча – III-ра дебелинска група

Реден број	Дијаметар на тенкиот крај	Дијаметар на дебелиот крај	Среден дијаметар	Должина	Пад на дијаметар	Зафатнина	Класа на квалитет	Вкупен број на трупци
	$d_1$ (cm)	$d_2$ (cm)			$S$ (cm/m)			
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	36,0	38,0	37,0	4,0	0,50	0,430	I/II	10
2	38,0	40,0	39,0		0,50	0,477		
3	36,0	40,0	38,0		1,00	0,453		
4	37,0	39,0	38,0		0,50	0,453		
5	36,0	40,0	38,0		1,00	0,453		
6	37,0	39,0	38,0		0,50	0,453		
7	36,0	39,0	37,0		0,75	0,430		
8	36,0	40,0	38,0		1,00	0,453		

9	36,0	38,0	37,0	0,50	0,430
10	37,0	40,0	38,0	0,75	0,453
Вкупно зафатнина за III дебелинска група:					$\Sigma_{III} = 4,485 \text{ m}^3$

Во табелата 8 и на слика 28 се прикажани податоците за трупците со дијаметар од 36,0 cm до 40,0 cm. Дијаметарот на трупците на тенкиот крај се движи од 36,0 cm до 38,0 cm, а на дебелиот крај се движи од 38,0 cm до 49,0 cm. Трупците се со должина од 4,0 m. Во колоната 7 од истата табела се прикажани вредностите за падот на дијаметарот кој се движи од 0,50 cm/m до 1,00 cm/m. Вкупно зафатнината на анализираниите трупци изнесува 4,485 m<sup>3</sup>. Трупците се од I/II класа на квалитет и по број се 10.



Слика 28. Трупци од III-та дебелинска група

#### 8.1.4. Трупци од ела/смрча (41,0 – 45,0 cm)

Во табелата 9 се прикажани карактеристиките на трупците од четвртата дебелинска група.

Табела. 9. Трупци од ела/смрча – IV-та дебелинска група

Реден број	Дијаметар на тенкиот крај	Дијаметар на дебелиот крај	Среден дијаметар	Должина	Пад на дијаметар	Зафатнина	Класа на квалитет	Вкупен број на трупци
	$d_1$ (cm)	$d_2$ (cm)	$d_{sr}$ (cm)	L (m)	S (cm/m)	V (m <sup>3</sup> )	K	N
	2	3	4	5	6	7	8	9
1	41,0	45,0	43,0		1,00	0,580		
2	42,0	44,0	43,0	4,0	0,50	0,580	I/II	10
3	42,0	45,0	43,0		0,75	0,580		

4	41,0	45,0	43,0	1,00	0,580
5	43,0	45,0	43,0	0,50	0,580
6	42,0	45,0	43,0	0,75	0,580
7	41,0	45,0	43,0	1,00	0,580
8	42,0	44,0	43,0	0,50	0,580
9	43,0	45,0	44,0	0,50	0,608
10	41,0	45,0	43,0	1,00	0,580
Вкупно зафатнина за IV дебелинска група:					$\Sigma_{IV} = 5,828 \text{ m}^3$

Од табелата 9 може да се констатира дека дијаметарот на тенкиот крај на трупците се движи од 41,0 cm до 43,0 cm, додека на дебелиот крај се движи од 44,0 cm до 45,0 cm. Средниот дијаметар се движи од 43,0 cm до 44,0 cm. Падот на дијаметарот е во рамките од 0,50 cm/m до 1,00 cm/m. Трупците се со должина од 4,0 m и се од I/II класа на квалитет. Во анализата се опфатени 10 учесници, со вкупна зафатнина од 5,828 m<sup>3</sup>. Трупците од четвртата дебелинска група се прикажани на слика 29.



Слика 29. Трупци од IV-та дебелинска група

#### 8.1.5. Трупци од ела/смрча (46,0 – 50,0 cm)

Според прибраните податоци за трупците од табела 6, исто така е формирана петта дебелинска група (46,0 ÷ 50,0 cm) на трупците од ела/смрча, чии параметри се сместени во табелата 10.

Табела 10. Труpci од ела/смрча – V-та дебелинска група

Реден број	Дијаметар на тенкиот крај	Дијаметар на дебелиот крај	Среден дијаметар	Должина	Пад на дијаметар	Зафатнина	Класа на квалитет	Вкупен број на труpci
	$d_1$ (cm)	$d_2$ (cm)	$d_{sr}$ (cm)	L (m)	S (cm/m)	V (m <sup>3</sup> )	K	N
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	46,0	48,0	47,0	4,0	0,50	0,694	I/II	10
2	47,0	50,0	48,0		0,75	0,723		
3	46,0	50,0	48,0		1,00	0,723		
4	47,0	49,0	48,0		0,50	0,723		
5	46,0	50,0	48,0		1,00	0,723		
6	47,0	49,0	48,0		0,50	0,723		
7	46,0	48,0	47,0		0,50	0,694		
8	47,0	50,0	48,0		0,75	0,723		
9	46,0	49,0	47,0		0,75	0,794		
10	46,0	50,0	48,0		1,00	0,723		
Вкупно зафатнина за V дебелинска група:							$\Sigma v = 7,243 \text{ m}^3$	

Според податоците од табела 10, може да се заклучи дека дијаметарот на труpcите од ела/смрча, на тенкиот крај е од 46,0 cm до 47,0 cm. Дијаметарот на дебелиот крај е со вредност од 48,0 cm до 50,0 cm. Средниот дијаметар се движи од 47,0 cm до 48,0 cm. Должината на труpcите е 4,0 m. Падот на дијаметарот е во граници од 0,50 cm/m до 1,00 cm/m. Анализирани се 10 труpci по број од I/II класа на квалитет, чија дрвна зафатнина изнесува 7,243 m<sup>3</sup>. Труpcите се прикажани на слика 30.



Слика 30. Труpci од V-та дебелинска група

### 8.1.6. Трупци од ела/смрча (51,0 – 55,0 cm)

Исто така, според податоците за трупците од табелата 16, е формирана шеста дебелинска група на трупците од ела/смрча со дијаметар од 51,0 cm до 55,0 cm. Нивните карактеристики се прикажани во табелата 11.

Табела 11. Трупци од ела/смрча – VI-та дебелинска група

Реден број	Дијаметар на тенкиот крај	Дијаметар на дебелиот крај	Среден дијаметар	Должина	Пад на дијаметар	Зафатнина	Класа на квалитет	Вкупен број на трупци
	$d_1$ (cm)	$d_2$ (cm)	$d_{sr}$ (cm)	L (m)	S (cm/m)	V (m <sup>3</sup> )	K	N
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	53,0	55,0	54,0	4,0	0,50	0,916	I/II	10
2	51,0	55,0	53,0		1,00	0,882		
3	52,0	55,0	53,0		0,75	0,882		
4	52,0	54,0	53,0		0,50	0,882		
5	51,0	55,0	53,0		1,00	0,882		
6	53,0	55,0	54,0		0,50	0,916		
7	52,0	55,0	53,0		0,75	0,882		
8	53,0	55,0	54,0		0,50	0,916		
9	52,0	55,0	53,0		0,75	0,882		
10	51,0	53,0	52,0		0,50	0,849		
Вкупно зафатнина за VI дебелинска група:							$\Sigma_{VI} = 8,889 \text{ m}^3$	

Во табелата 11 се дадени податоци за пиланските трупци од ела/смрча, според кои може а се забележи дека дијаметарот на трупците на тенкиот крај во оваа дебелинска група е од 51,0 cm до 53,0 cm, додека дијаметарот на дебелиот крај е од 53,0 cm до 55,0 cm. Средниот дијаметар е во рамките од 52,0 cm до 54,0 cm, а падот на дијаметарот бележи вредност од 0,50 cm/m до 1,00 cm/m. Трупците се од I/II класа на квалитет, со должина од 4,0 m и имаат зафатнина од 8,889 m<sup>3</sup>. Трупците се прикажани на слика 31.



Слика 31. Трупци од VI-та дебелинска група

### 8.1.7. Трупци од ела/смрча (56,0 – 60,0 cm)

Во седмата дебелинска група трупците се со дијаметар од 56,0 cm до 60,0 cm. Нивните параметри се прикажани во табелата 12.

Табела 12. Трупци од ела/смрча – VII-та дебелинска група

Реден број	Дијаметар на тенкиот крај	Дијаметар на дебелиот крај	Среден дијаметар	Должина	Пад на дијаметар	Зафатнина	Класа на квалитет	Вкупен број на трупци
	$d_1$ (cm)	$d_2$ (cm)						
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	56,0	60,0	58,0	4,0	1,00	1,056	I/II	10
2	57,0	60,0	58,0		0,75	1,056		
3	58,0	60,0	59,0		0,50	1,093		
4	56,0	59,0	57,0		0,75	1,02		
5	57,0	60,0	58,0		0,75	1,056		
6	58,0	60,0	59,0		0,50	1,093		
7	56,0	59,0	57,0		0,75	1,02		
8	56,0	58,0	57,0		0,50	1,02		
9	56,0	59,0	57,0		0,75	1,02		
10	57,0	59,0	58,0		0,50	1,056		
Вкупно зафатнина за VII дебелинска група:							$\Sigma_{VII} = 10,490 \text{ m}^3$	

Врз основа на податоците од табела 12, накусо може да се констатира дека во анализата се опфатени 10 по број трупци од ела/смрча, со должина од 4,0 m, I/II класа на квалитет, чија дрвна зафатнина им изнесува 10,490 m<sup>3</sup>. Дијаметарот на тенкиот крај е од 56,0 cm до 58,0 cm, на дебелиот крај е од 58,0 cm до 60,0 cm, а средниот дијаметар е од

57,0 cm до 59,0 cm. Падот на дијаметарот на трупците е во граници од 0,50 cm/m до 1,00 cm/m. Трупеците се прикажани на слика 32.



Слика 32. Трупци од VII-та дебелинска група

### 8.1.8. Трупци од ела/смрча (61,0 – 65,0 cm)

Во последната дебелинска група се распоредени трупци од ела/смрча со дијаметар од 61,0 cm до 65,0 cm, со што е формирана осмата дебелинска група (61,0 ÷ 65,0 cm) на трупци. Податоците се прикажани во табелата 13.

Табела 13. Трупци од ела/смрча – VIII-ма дебелинска група

Реден број	Дијаметар на тенкиот крај	Дијаметар на дебелиот крај	Среден дијаметар	Должина	Пад на дијаметар	Зафатнина	Класа на квалитет	Вкупен број на трупци
	$d_1$ (cm)	$d_2$ (cm)	$d_{sr}$ (cm)	L (m)	$S$ (cm/m)	V (m <sup>3</sup> )	K	N
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	61,0	63,0	62,0	4,0	0,50	1,207	I/II	10
2	61,0	65,0	63,0		1,00	1,246		
3	62,0	65,0	63,0		0,75	1,246		
4	63,0	65,0	64,0		0,50	1,286		
5	61,0	64,0	62,0		0,75	1,207		
6	61,0	65,0	63,0		1,00	1,246		

7	62,0	64,0	63,0	0,50	1,246
8	63,0	65,0	64,0	0,50	1,286
9	61,0	64,0	62,0	0,75	1,207
10	62,0	65,0	63,0	0,75	1,246
Вкупно зафатнина за VIII дебелинска група:					$\Sigma VIII = 12,423 \text{ m}^3$

Може да се заклучи дека дијаметарот на тенкиот крај на трупците се движи од 61,0 до 63,0 cm. Дијаметарот на дебелиот крај на трупците се движи од 63,0 до 65,0 cm. Средниот дијаметар е од 62,0 до 64,0 cm, а должината на трупците изнесува 4,0 m. Во анализата се опфатени 10 броја на трупци, од I/II класа на квалитет, со дрвна зафатнина од  $12,423 \text{ m}^3$ . Падот на дијаметарот варира во граници од 0,50 до 1,00 cm/m. Трупците се прикажани на слика 33.



Слика 33. Трупци од VIII-ма дебелинска група

**Како заклучок**, може да се констатира дека во анализата е опфатено:

- број на трупци  $\rightarrow N = 80$  броја
- должина на трупци  $\rightarrow L = \text{const}$  должина = 4,0 m
- среден дијаметар на трупците  $\rightarrow d_{\text{sr}} = 27,0 \div 64,0 \text{ cm}$
- зафатнина на трупци  $\rightarrow V_{\text{вкупно}} = 55,118 \text{ m}^3$ .

Заради потребите на идната анализа на максималното искористување на трупците, а во зависност од применетата диспозиција на бичење, од интерес ќе претставува да ја прикажеме нивната зафатнина по дебелински групи.

Резултатите се прикажани во табелата 14.

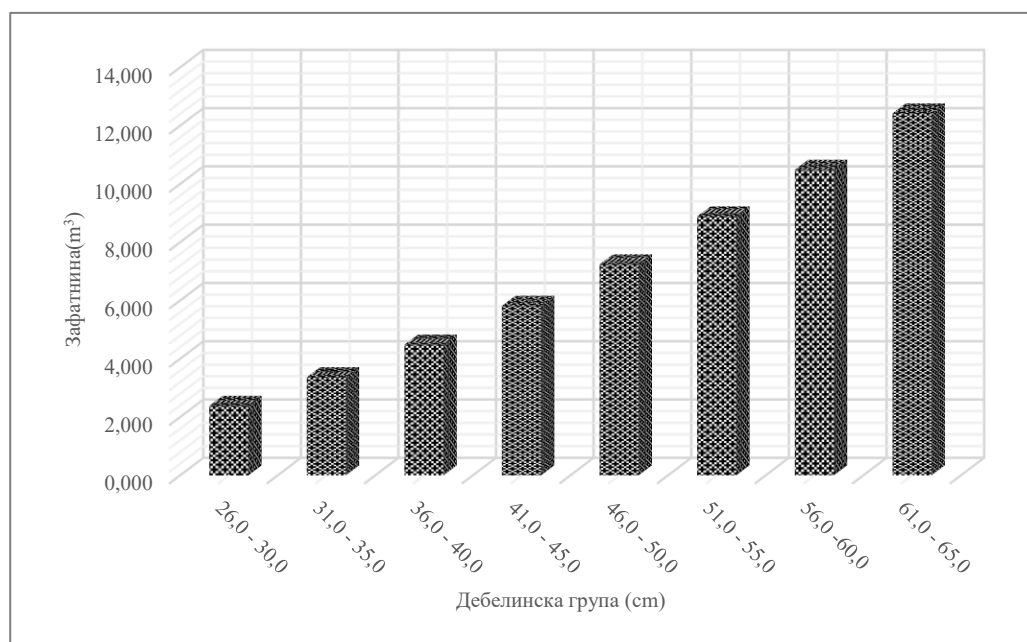


Табела 14. Зафатнина на трупците од ела/смрча по дебелински групи

Реден број	Дебелинска група	Зафатнина на трупци
1	2	3
1	26,0 - 30,0	2,388
2	31,0 - 35,0	3,372
3	36,0 - 40,0	4,485
4	41,0 - 45,0	5,820
5	46,0 - 50,0	7,243
6	51,0 - 55,0	8,889
7	56,0 - 60,0	10,490
8	61,0 - 65,0	12,423
Вкупно зафатнина:		55,110 m <sup>3</sup>

Врз основа на резултатите за зафатнината на трупците по дебелински групи (табела 10), може да се заклучи дека со наголемување на дијаметарот на трупците, при константна должина на трупците ( $L_{\text{const}} = 4,0 \text{ m}$ ) зафатнината од најмалата дебелинска група (26,0 ÷ 30,0 cm) до најголемата дебелинска група (61,0 ÷ 65,0 cm) прогресивно се наголемува од 2,338 m<sup>3</sup> до 12,423 m<sup>3</sup>. Вкупно изнесува 55,118 m<sup>3</sup>, што е резултат на вкупно анализирани 80 по број трупци.

За подобар преглед е изработен хистограм на односот на дебелинските групи и зафатнината на трупците од ела/смрча, прикажан на слика 34.



Слика 34. Однос на дебелинските групи и зафатнината на трупците од ела/смрча

### 8.1.9. Пад на дијаметар на пиланските трупци

Анализата на падот на дијаметарот е извршена со цел да се добијат релевантни резултати за тоа како се однесува падот на дијаметарот на трупците.

Целта е да се осознае, како фактор, како влијае на класата на квалитет на пиланските трупци. На овој начин е потврдена цилиндричноста на трупците и нивната распределеност во I и II класа на квалитет според нормативите на стандардот MKC EN 1316-1:2013.

Исто така, од значење е и тоа што ќе биде добар претпоставен показател за очекување на повисоки вредности на квантитативното искористување, заради помалото учество на бичените сортименти во дополнителната зона на трупците.

Статистички обработените резултати се прикажани во табелата 15.

Табела 15. Статистички вредности за средниот пад на дијаметарот за трупците од ела/смрча

Реден број	Дебелинска група (cm)	$x_{sr} \pm f_{x_{sr}}$	$\sigma \pm f_{\sigma}$	$v \pm f_v$
1	2	3	4	5
1	26,0 - 30,0	0,68±0,05	0,17±0,04	25,00±5,93
2	31,0 - 35,0	0,78±0,06	0,18±0,04	23,80±5,62
3	36,0 - 40,0	0,70±0,07	0,23±0,05	32,82±8,09
4	41,0 - 45,0	0,75±0,07	0,24±0,05	31,43±7,69
5	46,0 - 50,0	0,73±0,07	0,22±0,05	30,19±7,34
6	51,0 - 55,0	0,68±0,07	0,21±0,05	30,49±7,43
7	56,0 - 60,0	0,68±0,05	0,17±0,04	25,00±5,93
8	61,0 - 65,0	0,70±0,06	0,20±0,04	28,17±6,78
Среден пад на дијаметар		$S_{sr} = 0,71 \pm 0,06$		

Врз основа на податоците за падот на дијаметарот на трупците од табелите 6,7,8,9,10,11,12 и 13, со користење на метод од варијационата статистика, за секоја од дебелинските групи е пресметан падот на дијаметарот, стандардната девијација, коефициентот на варијација и нивните статистички грешки. Така, падот на дијаметарот е во граници од 0,68 до 0,78 cm/m, и грешки во рамките од 0,05 cm/m до 0,07 cm/m. Стандардната девијација се движи од  $0,16 \pm 0,0$  cm/m до  $0,22 \pm 0,05$  cm/m. Коефициентот на варијација е во рамките од  $22,58 \pm 5,30$  % до  $31,13 \pm 7,60$  %.

Може да се заклучи дека според средниот пад на дијаметарот на трупците од ела/смрча ( $0,71 \pm 0,06$ ) трупците припаѓаат во вториот степен на полнодрвност (Рабациски (2019) според Михајлов И. (1964)) со што се потврдува полнодрвноста на трупците, а воедно и припадноста во I и II класа на квалитет.

За поткрепа на оваа констатација извршивме проверка на статистичките пресметани вредности, така што секоја статистичка вредност ја поделивме со нејзината грешка. Табела 15.

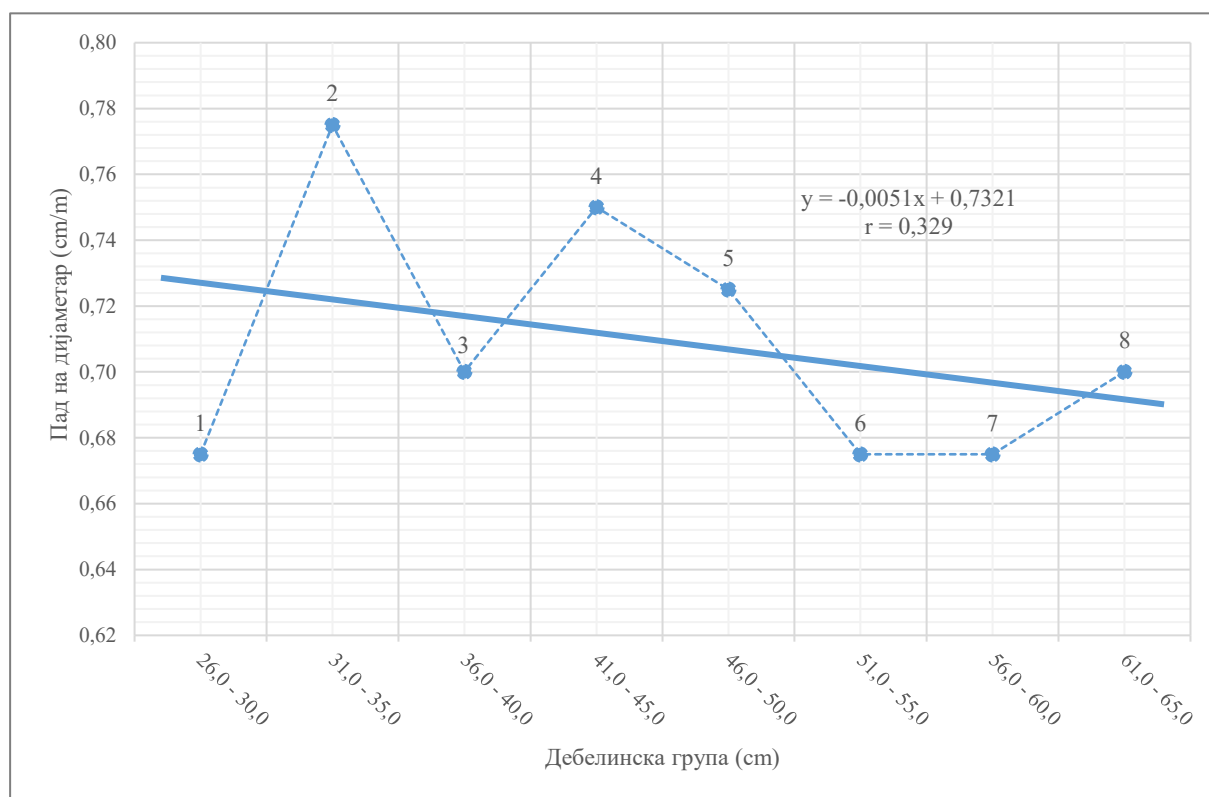
Табела 16. Точност на вредностите за падот на дијаметарот на трупците од ела/смрча

Реден број	Дебелинска група (cm)	$x_{sr}/f_{x_{sr}} > 3$	$\sigma/f_{\sigma} > 3$	$v/f_v > 3$
1	2	9	10	11
1	26,0 - 30,0	12,65>3	4,47<3	4,22<3
2	31,0 - 35,0	13,29>3	4,47<3	4,24<3
3	36,0 - 40,0	9,64>3	4,47<3	4,06<3
4	41,0 - 45,0	10,06>3	4,47<3	4,09<3
5	46,0 - 50,0	10,47>3	4,47<3	4,11<3
6	51,0 - 55,0	10,37>3	4,47<3	4,11<3
7	56,0 - 60,0	12,65>3	4,47<3	4,22<3
8	61,0 - 65,0	11,22>3	4,47<3	4,15<3

Врз основа на извршената математичка пресметка можеме да заклучиме дека добиените резултати, прикажани во табела 15 покажуваат вредности поголеми од 3, што зборува за веродостојноста на податоците.

Исто така, врз основа на податоците од табела 16 изработен е за подобар преглед и графички приказ за односот на дебелинските групи и падот на дијаметарот на трупците од ела/ смрча. Иако вредностите се доста блиски, се потрудивме на графиконот 1, малку да ги „развлечеме”, за подобро осознавање на влијанието на падот на дијаметарот врз квантитативното искористување.

Односот е прикажан на графикон 1.



Графикон 1. Однос помеѓу дебелинските групи и падот на дијаметарот кај трупците од ела/смрча

Може да се забележи дека се добива права линија која во почетокот е со растечки потенцијал, а потоа опаѓа кон трупците од повисоките дебелински групи (51,0-55,0; 56,0-60,0 и 61,0-65,0 cm).

Односот е изразен со равенката:

$$y = -0,0051x + 0,7321$$

Исто така, може да се констатира дека во втората дебелинска група (31,0-35,0 cm) заклучно со четвртата дебелинска група (41,0-45,0 cm) падот на дијаметарот на трупците е најголем што укажува на поголемо учество на трупците од II класа на квалитет кои биле предмет на преработка.

Коефициентот на корелација ( $r$ ) изнесува 0,329, според Romer – Orphalovata табела, укажува на средна позитивна линеарна зависност помеѓу дијаметарот на трупците и падот на дијаметарот. Ова значи дека со зголемување на дијаметарот се забележува умерено зголемување на падот, но врската не е изразена силно, туку претставува општа тенденција со значајни индивидуални отстапувања меѓу трупците. Трупците со поголем среден дијаметар обично имаат малку поизразен конусен облик (поголем пад на дијаметарот), но тоа не важи секогаш, туку во просек – што го покажува слабата корелација.

### **8.1.10. Влажност на пиланските трупци од ела/смрча**

Во текот на истражувањата беше измерена влажноста на трупците пред нивната преработка, со цел да се обезбеди реална проценка на состојбата на суровината. Мерењето на влажноста беше извршено со електричен влагомер од производителот Nigos Niš тип RVD 904, кој овозможува брзо и сигурно определување на содржината на влага во дрвото. Добиените измерени вредности покажаа дека влажноста на трупците се движи во интервал од 45,0 до 55,0%.

Влажноста на дрвото претставува еден од клучните фактори што влијаат врз механичката преработка. При влажност од околу 50,0%, дрвото е во состојба во која клеточните ѕидови се заситени, но сепак содржината на врзана вода не е предизвикувач на значајни деформации во структурата. Оваа влажност е повољна за процесот на бичење, затоа што дрвната материја е пластична и еластична, што овозможува полесно движење на резниот алат, намалување на отпорот на режење (бичење), како и помало механичко оптоварување на пилата. Со тоа се намалува ризикот од настанување на грешки како што се рапавост, појават на крив рез, оштетување на површината на бичените сортименти, итн.

Исто така при оваа влажност се постигнува порамномерно оптоварување на уредите, што придонесува за повисока енергетска ефикасност и помала затапеност на алатот. Бичените сортименти покажуваат подобар квалитет на површината, како и помала појава на пукнатини при природното или вештачкото сушење.

Затоа, контролата на влажноста претставува значаен сегмент за проценка на производната ефикасност, бидејќи се овозможува поврзување на технолошките параметри со квалитетот на пиланските сортименти.

### **8.2. Начини на бичење на пиланските трупци**

Трупците во пиланските постројки може да се бичат на различни начини. Процесот отпочнува на примарните машини (гатер или лентовидна пила – трупчарка) и главно

зависи од видот на дрвото, димензиите на трупците, класата на квалитет, сортиментската структура на бичените производи, нивната намена и слично.

Во практика се користат и познати се неколку начини на бичење на трупците во пилански сортименти и тоа:

- остро (затворено, групно) бичење на трупците,
- призирање – разбичување на призма,
- кружно – индивидуално бичење,
- бичење на трупци со глодање и
- останати начини на бичење на трупци.

Во докторската дисертација нашето внимание е насочено кон преработката на трупците од ела/смрча кон остро (затворено или групно бичење), како и кон призирањето и разбичувањето на призмата во бичена граѓа.

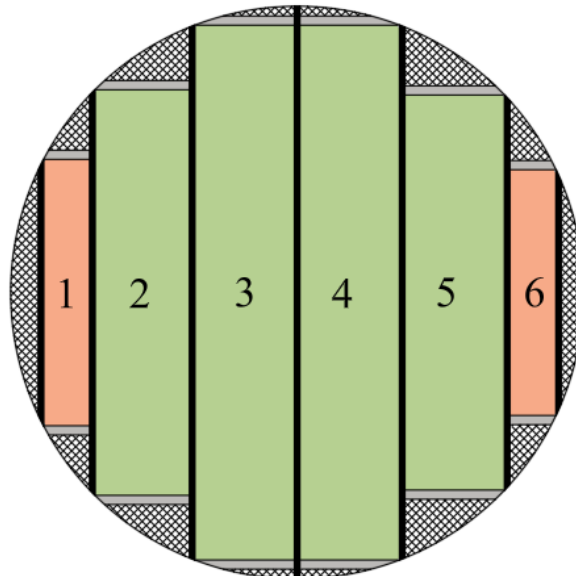
### 8.2.1. Остро (затворено, групно) бичење на трупците

Се применува при бичење на иглолисни и лисјарски дрвни видови. Се користи кај лентовидната пила – трупчарка, но и кај вертикален гатер, како примарна машина, при што се постигнува висока продуктивност.

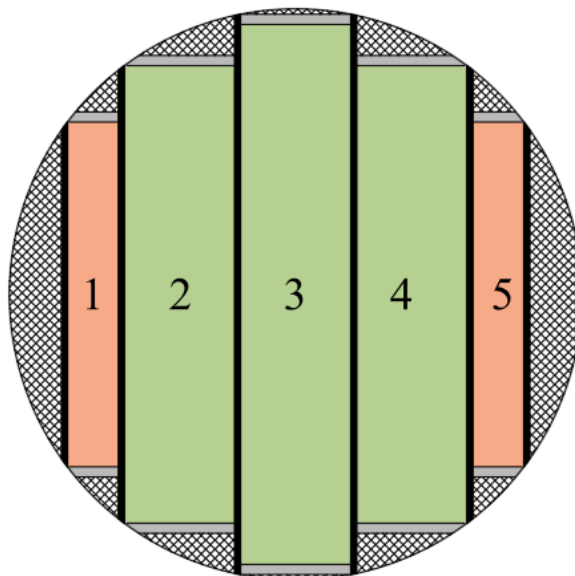
На напречен пресек на трупците може да биде со сортименти со разбичено срце или со вклопено срце.

Конкретно, во нашите истражувања, трупците од дебелинските групи: 26,0 – 30,0 cm; 31,0 - 35,0 cm и 36,0 – 40,0 cm како и дел на трупци од дебелинската група 41,0 – 45,0 cm, исто така се бичени според острото бичење во сортименти со разбичено и со вклопено срце.

Начините на бичење се прикажани на сликите 35 и 36.



Слика 35. Остро бичење на трупци – разбичено срце



Слика 36. Остро бичење на трупци– вклопено срце

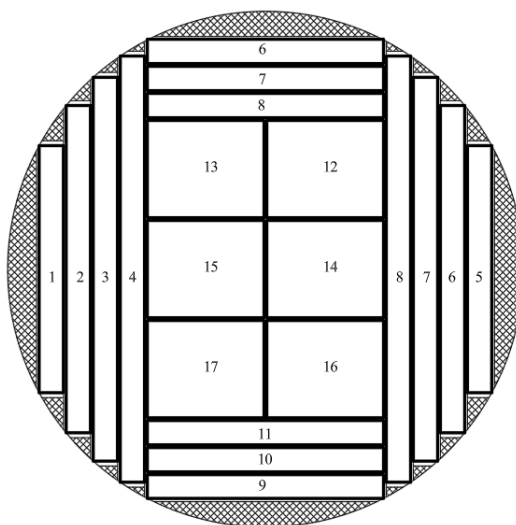
### 8.2.2. Призмирање – разбичување на призма

Бичењето на трупците по пат на призмирање се применува кај иглолисните и лисјарските видови. Кај лисјарските видови се користи кога трупците се со грешки во централниот дел (пример, лажна срцевина кај буката) и треба да се одвои квалитетната дрвна маса од помалку квалитетната.

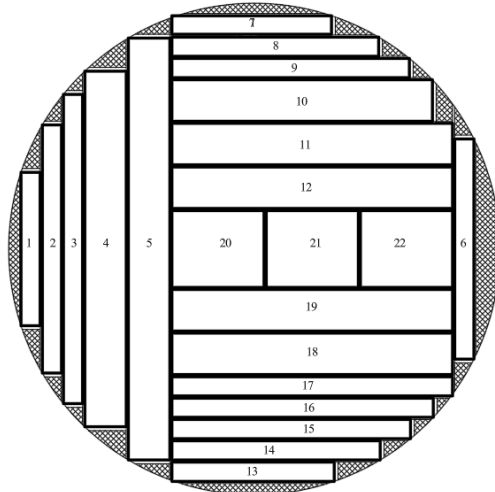
При преработка на трупците од иглолисните видови (бор, ела, смрча, ариш, дуглазија и сл.) се добиваат сортименти во форма на окрајчена граѓа, греди, гредички и летви (Рабациски 2018).

Конкретно во докторскиот труд, трупците преработени по пат на призмирање и разбичување на призмата, се од дебелинските групи, 41,0 – 45,0 cm; 46,0 – 50,0 cm; 51,0 – 55,0 cm; 56,0 – 60,0 cm и 61,0 – 65,0 cm.

Начините на бичење се прикажани на сликите 37 и 38.



Слика 37. Призмирање на трупец – дебелинска група 51,0 – 55,0 cm



Слика 38. Призмирање на трупец – дебелинска група 61,0 – 65,0 cm

### 8.2.3. Широчина на рез

Широчината на резот претставува еден од клучните параметри кои директно влијаат врз квантитативното искористување на дрвната маса при процесот на бичење. Во конкретното истражување, користена е лентовидна пила – трупчарка со широчина на резот од 3,2 mm, додека кај секундарната машина, кружната пила за надолжно режење, широчината на резот изнесува 5,0 mm. Овие вредности не се само техничка карактеристика на алатот, туку формираат реална загуба на дрвна маса во пилевина и дрвен прав.

Колку што широчината на резот е помала, толку е помала и загубата на дрвната маса при преработка. Лентовидната пила со својата релативно мала дебелина на рез дозволува поголема искористеност на трупците, што особено е значајно кај трупци со помал дијаметар, како и при производството на поголем број потесни сортименти. Спротивно, кружната пила со 5,0 mm широчина на рез создава поголемо количество на отпадок. Резултат е намалување на дрвната зафатнина и помало квантитативно искористување.

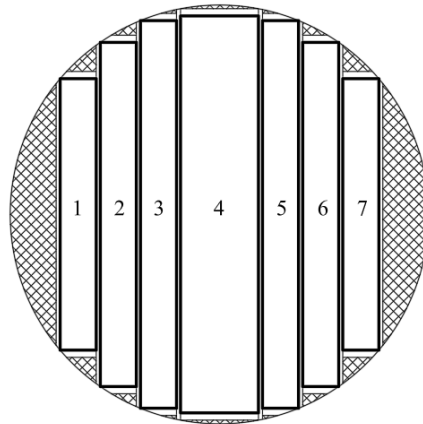
### 8.3. Диспозиции на бичење на трупците од ела/смрча

Диспозициите на бичење се формираат со цел да се добие максимално квантитативно, квалитативно и вредносно искористување на трупците во бичени сортименти.

Под поимот диспозиција на бичење на трупци се подразбира распоредот на сите резови на тенкиот крај на напречниот пресек на трупците. Или, уште се дефинира и како план на бичење на познати по димензии бичени материјали.

Диспозицијата може да биде симетрична и несиметрична, во склад со димензиите и квалитетот на трупците како и во склад со спецификацијата на бичените материјали. Најчесто симетричната диспозиција се користи при бичење на трупците со вертикален гатер, а несиметрична кога бичењето на трупците е со лентовидна пила – трупчарка.

Во материјата што следува ќе ги прикажеме диспозициите на бичење според кои се бичени трупците поединечно за секоја дебелинска група, на сликите 39,40,41,42,43,44,45 и 46.

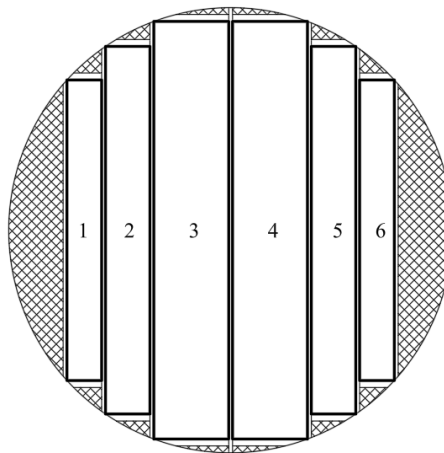


$$\frac{1}{25}, \frac{1}{25}, \frac{1}{25}, \frac{1}{54}, \frac{1}{25}, \frac{1}{25}, \frac{1}{25} \Rightarrow \text{долга форма}$$

$$\frac{1}{25}, \frac{1}{54}, \frac{1}{25} \Rightarrow \text{куса форма}$$

$$\frac{1}{54}, \frac{3}{25} \Rightarrow \text{куса форма}$$

Слика 39. Симетрична диспозиција на бичење на трупци од 25,0 до 30,0 ст

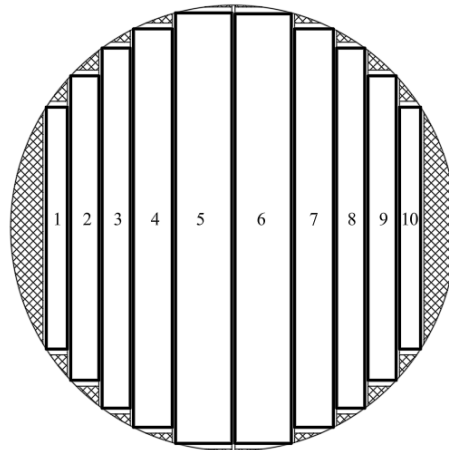


$$\frac{1}{25}, \frac{1}{32}, \frac{2}{54}, \frac{1}{32}, \frac{1}{25} \Rightarrow \text{долга форма}$$

$$\frac{1}{54}, \frac{1}{32}, \frac{1}{25} \Rightarrow \text{куса форма}$$

Слика 40. Симетрична диспозиција на бичење на трупци од 31,0 до 35,0 ст

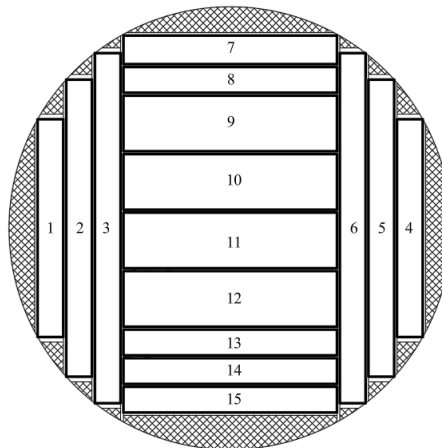




$$\frac{1}{18}, \frac{1}{24}, \frac{1}{24}, \frac{1}{33}, \frac{2}{48}, \frac{1}{33}, \frac{1}{24}, \frac{1}{24}, \frac{1}{18} \Rightarrow \text{долга форма}$$

$$\frac{2}{48}, \frac{1}{33}, \frac{2}{24}, \frac{1}{18} \Rightarrow \text{куса форма}$$

Слика 41. Симетрична диспозиција на бичење на трупци од 36,0 до 40,0 см



$$I \frac{1}{22}, \frac{1}{25}, \frac{1}{25}, \frac{P}{210}, \frac{1}{25}, \frac{1}{25}, \frac{1}{25} \Rightarrow \text{долга форма}$$

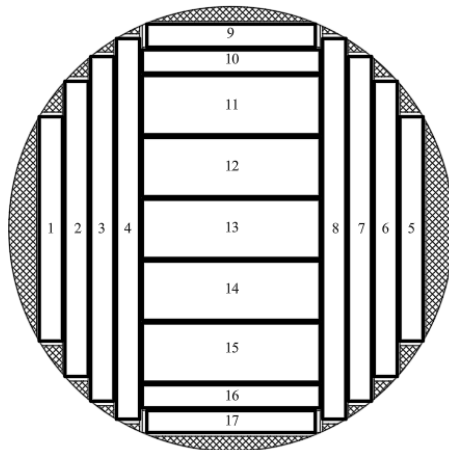
$$II \frac{P}{210} \rightarrow \frac{5}{25}, \frac{4}{50}$$

$$I \frac{P}{210}, \frac{3}{25}$$

$$\frac{P}{210} \rightarrow \frac{5}{25}, \frac{4}{50} \Rightarrow \text{куса форма}$$

$$II \frac{P}{210} \rightarrow \frac{5}{25}, \frac{4}{50}$$

Слика 42. Диспозиција на бичење на трупци од 41,0 до 45,0 см



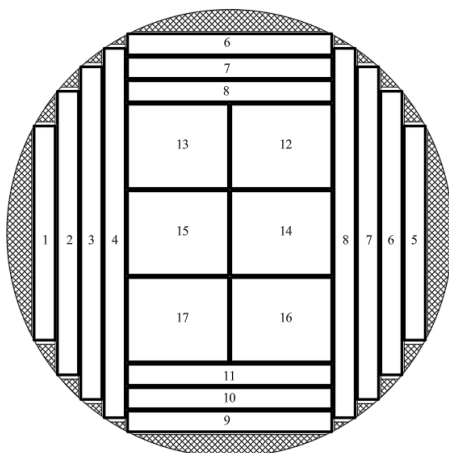
$$I \frac{1}{25}, \frac{1}{25}, \frac{1}{25}, \frac{1}{25}, \frac{P}{200}, \frac{1}{25}, \frac{1}{25}, \frac{1}{25}, \frac{1}{25} \Rightarrow \text{долга форма}$$

$$II \frac{P}{200} \rightarrow \frac{5}{64}, \frac{4}{25}$$

$$I \frac{P}{200}, \frac{4}{25}$$

$$II \frac{P}{200} \rightarrow \frac{5}{64}, \frac{4}{25} \Rightarrow \text{куса форма}$$

Слика 43. Диспозиција на бичење на трупци од 46,0 до 50,0 см



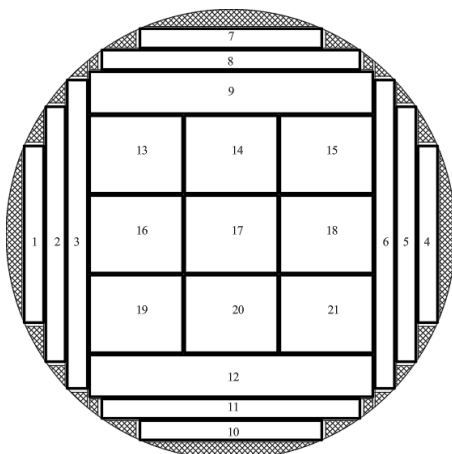
$$I \frac{1}{25}, \frac{1}{25}, \frac{1}{25}, \frac{1}{25}, \frac{P}{240}, \frac{1}{25}, \frac{1}{25}, \frac{1}{25}, \frac{1}{25} \Rightarrow \text{долга форма}$$

$$II \frac{P}{240} \rightarrow \frac{6}{100 \times 120}, \frac{6}{25}$$

$$I \frac{P}{240}, \frac{4}{25}$$

$$II \frac{P}{240} \rightarrow \frac{6}{100 \times 120}, \frac{6}{25} \Rightarrow \text{куса форма}$$

Слика 44. Диспозиција на бичење на трупци од 51,0 до 55,0 см



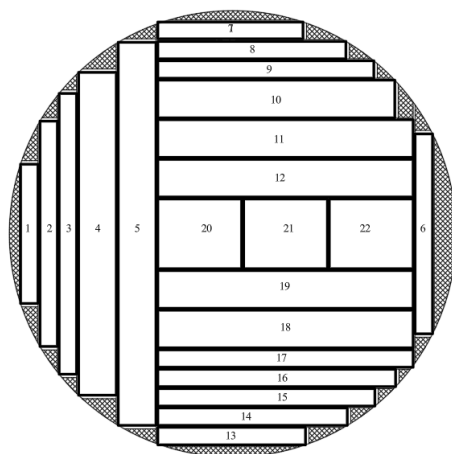
$$I \frac{1}{25}, \frac{1}{25}, \frac{1}{25}, \frac{P}{365}, \frac{1}{25}, \frac{1}{25}, \frac{1}{25} \Rightarrow \text{долга форма}$$

$$II \frac{P}{365} \rightarrow \frac{100 \times 120,54,25}{6 \quad 2 \quad 3}$$

$$I \frac{P}{365}, \frac{1}{25}$$

$$II \frac{P}{365} \rightarrow \frac{100 \times 120,54,25}{6 \quad 2 \quad 3} \Rightarrow \text{куса форма}$$

Слика 45. Диспозиција на бичење на трупци од 56,0 до 60,0 см



$$I \frac{1}{25}, \frac{1}{25}, \frac{1}{25}, \frac{1}{54}, \frac{1}{54}, \frac{P}{365}, \frac{1}{25} \Rightarrow \text{долга форма}$$

$$II \frac{P}{365} \rightarrow \frac{100 \times 120,54,25}{3 \quad 5 \quad 8}$$

$$I \frac{3}{25}, \frac{2}{54}, \frac{P}{365}, \frac{1}{25}$$

$$II \frac{P}{365} \rightarrow \frac{100 \times 120,54,25}{3 \quad 5 \quad 8} \Rightarrow \text{куса форма}$$

Слика 46. Диспозиција на бичење на трупци од 61,0 до 65,0 см

**Како заклучок:** диспозициите на бичење на трупците се формираат во производни услови на работење во зависност од спецификацијата на бичените сортименти.

Општата хипотеза на ова истражување се заснова на претпоставката дека цилиндричните трупци даваат најголем процент на квантитативно искористување. Но,

бидејќи во праксата ретко се среќаваат цилиндрични трупци, обликот на трупците претставува најголем предизвик при составувањето на диспозициите. Од општата хипотеза за формата на трупците, се јавува една друга посебна хипотеза произлезена од праксата, а тоа е претпоставката дека кај трупците со речиси идеален облик се јавуваат анатомски грешки кои го намалуваат процентот на квантитативно искористување и се формира количество на отпадок, со цел да се избегнат грешките.

Досегашните истражувања не нудат податоци за повеќе дрвни видови и се од застарена природа. Потребни се нови истражувања за да се утврди квантитативното искористување при различни диспозиции на бичење на трупците.

Квантитативното искористување е директно поврзано со димензиите на граѓата која се бичи и нејзината намена. Неповолно врз рентабилноста на производниот процес се однесуваат диспозициите кои имаат мал процент на квантитативно и квалитативно искористување, а голем процент на крупен и ситен отпадок.

#### **8.4. Квантитативно искористување на трупците од ела/смрча во пилански производи**

Анализата на квантитативното искористување на трупците од ела/смрча ќе биде направена врз основа на два аспекта:

- квантитативно искористување на трупците од ела/смрча во бичени сортименти и
- квантитативно искористување на трупците од ела./смрча во дрвени летви.

##### **8.4.1. Квантитативно искористување на трупците од ела/смрча во бичени сортименти**

Најнапред, пред да ги изнесеме резултатите од истражувањата, ќе наведеме што подразбираме под поимот „бичени сортименти“, за да може во понатамошниот текст да се користи како синоним на сортиментите кои се содржани во тој израз.

Следува: поимот „бичени сортименти“, подразбира **окрајчени штици, талпи и греди.**

##### **8.4.1.1. Квантитативно искористување на трупците во бичени сортименти при остро бичење**

Квантиативното искористување на трупците во бичени сортименти по дебелински групи е прикажано во табела 17.

Според табелата може да се заклучи дека трупците од првите три дебелински групи (I: 26,0 – 30,0 cm; II: 31,0 – 35,0 cm и III: 36,0 – 40,0 cm) се бичени според остро бичење. Во секоја дебелинска група се бичени по 10 трупци, односно вкупно 30 трупци.

Табела 17. Квантитативно искористување на трупците од ела/смрча при остро бичење

Реден број	Дебелинска група	Среден дијаметар	Должина	Зафатнина	Класа на квалитет	Број на трупци	Квантитативно искористување	Ситен отпадок					Крулен отпадок		Вкупно			
								$V_1$ (m <sup>3</sup> )	$P_1$ (%)	$O_1$ (m <sup>3</sup> )	$P_{O_1}$ (%)	$O_2$ (m <sup>3</sup> )	$P_{O_2}$ (%)	$V$ (m <sup>3</sup> )		$P$ (%)		
1	2	$d_{sr}$ (cm)	$l$ (cm)	$V$ (m <sup>3</sup> )	(K)	(N)	8	9	10	11	12	13	14	15				
1		29,0		0,264			0,197	74,77	0,024	9,09	0,043	16,14	0,264	100,00				
2		27,0		0,228			0,149	65,55	0,028	12,19	0,051	22,26	0,228	100,00				
3		27,0		0,228			0,152	66,85	0,031	13,60	0,045	19,55	0,228	100,00				
4		27,0		0,228			0,144	63,05	0,033	14,56	0,051	22,39	0,228	100,00				
5	I	29,0	4,0	0,264	I/II	10	0,171	64,95	0,033	12,32	0,060	22,73	0,264	100,00				
6		27,0		0,228			0,145	63,80	0,024	10,45	0,059	25,75	0,228	100,00				
7		29,0		0,264			0,170	64,40	0,044	16,52	0,050	19,08	0,264	100,00				
8		27,0		0,228			0,150	65,95	0,031	13,50	0,047	20,55	0,228	100,00				
9		27,0		0,228			0,151	66,28	0,033	14,50	0,044	19,22	0,228	100,00				
10		27,0		0,228			0,151	66,40	0,039	17,30	0,037	16,30	0,228	100,00				
11				33,0				0,341			0,234	68,60	0,033	9,55	0,075	21,85	0,341	100,00
12				33,0				0,341			0,231	67,82	0,030	8,78	0,080	23,405	0,341	100,00
13				33,0				0,341			0,232	68,16	0,035	10,32	0,073	21,52	0,341	100,00
14				34,0				0,363			0,251	69,12	0,046	12,54	0,067	18,34	0,363	100,00
15	II	32,0	4,0	0,321	I/II	10	0,211	65,87	0,043	13,4	0,067	20,73	0,321	100,00				
16		33,0		0,341			0,226	66,36	0,030	8,9	0,084	24,74	0,341	100,00				
17		33,0		0,341			0,223	65,35	0,035	10,32	0,083	24,33	0,341	100,00				
18		32,0		0,321			0,224	69,70	0,040	12,32	0,058	17,98	0,321	100,00				
19		32,0		0,321			0,211	65,58	0,031	9,63	0,080	24,79	0,321	100,00				
20		33,0		0,341			0,240	74,90	0,028	8,72	0,053	16,37	0,341	100,00				

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
21		37,0		0,430			0,284	65,98	0,043	9,96	0,103	24,06	0,430	100,00
22		39,0		0,477			0,338	70,85	0,052	10,96	0,087	18,19	0,477	100,00
23		38,0		0,453			0,326	71,87	0,054	11,96	0,073	16,17	0,453	100,00
24		38,0		0,453			0,311	68,65	0,059	12,96	0,083	18,39	0,453	100,00
25	III	38,0	4,0	0,453	I/II	10	0,316	69,85	0,063	13,96	0,073	16,19	0,453	100,00
26		38,0		0,453			0,303	66,86	0,068	14,96	0,082	18,18	0,453	100,00
27		37,0		0,430			0,313	72,70	0,069	15,96	0,049	11,34	0,430	100,00
28		38,0		0,453			0,311	68,61	0,077	16,96	0,065	14,43	0,453	100,00
29		37,0		0,430			0,301	69,89	0,077	17,96	0,052	12,15	0,430	100,00
30		38,0		0,453			0,335	73,85	0,039	8,61	0,079	17,51	0,453	100,00

Врз основа на податоците за процентот на квантитативното искористување, од табела 17, за трупците од ела/смрча, статистички пресметаните вредности се прикажани во табела 18.

Табела 18. Статистички вредности од квантитативното искористување при остро бичење

Реден број	Дебелинска група (cm)	$x_{sr} \pm f_{x_{sr}}$	$\sigma \pm f_{\sigma}$	$v \pm f_v$
1	2	9	10	11
1	26,0 - 30,0	66,20±1,03	3,25±0,73	4,90±1,10
2	31,0 - 35,0	68,15±0,89	2,83±0,63	4,15±0,93
3	36,0 - 40,0	69,91±0,79	2,50±0,56	3,57±0,80
Средна вредности		$P_{sr}=68,07\pm0,90$		

Во табелата 18 се прикажани дебелинските групи, средните вредности за квантитативното искористување, стандардната девијација, коефициентот на варијација и нивните грешки. Вредностите на квантитативното искористување се движат од 66,20 до 69,91%, а вредностите за стандардната девијација и коефициентот на варијација покажуваат доста изедначени показатели. Средната вредност на квантитативното искористување за трупците со дијаметар од 26,0 до 40,0 cm при остро бичење изнесува 68,07%.

За поткрепа на оваа констатација извршивме проверка на статистичките вредности каде секоја статистичка вредност ја поделивме со нејзината грешка. Табела 19.

Табела 19. Точност на вредностите од квантитативното искористување при остро бичење

Реден број	Дебелинска група	$x_{sr}/f_{x_{sr}} > 3$	$\sigma/f_{\sigma} > 3$	$v/f_v > 3$
1	2	9	10	11
1	26,0 - 30,0	64,47>3	4,47>3	4,47>3
2	31,0 - 35,0	76,15>3	4,47>3	4,47>3
3	36,0 - 40,0	88,58>3	4,47>3	4,47>3

Врз основа на извршената математичка пресметка добиените резултати, прикажани во табелата 19, покажуваат вредност поголема од 3, што зборува за веродостојноста на податоците.

За подобар преглед на процентот на квантитативното искористување при бичење на трупци од ела/смрча на одделните дебелински групи истиот може да го изразиме и преку релативни односи, така што првата дебелинска група (I: 26,0 – 30,0 cm) ќе ја земеме за индекс 100. Резултатите се прикажани во табела 20.

Табела 20. Релативен однос на процентот на квантитативно искористување при остро бичење

Реден број	Дебелинска група	Процент на квантитативно искористување	Релативен процент
	(cm)	(%)	(%)
1	2	3	4
1	26,0 - 30,0	66,20	100,00
2	31,0 - 35,0	68,15	102,94
3	36,0 - 40,0	69,91	105,61

Интересно е да се забележи дека пораст на процентот на квантитативно искористување, прикажан и како „релативен процент” постигнува максимална вредност од 105,61%, во третата дебелинска група (III: 36,0 – 40,0 cm).

Исто така, поради потреба за искажување на веродостојноста на податоците за квантитативното искористување и дебелинските групи на трупците, во таа смисла применуваме Студентов тест или „t-тест”.

Резултатите се прикажани во табелата 21.

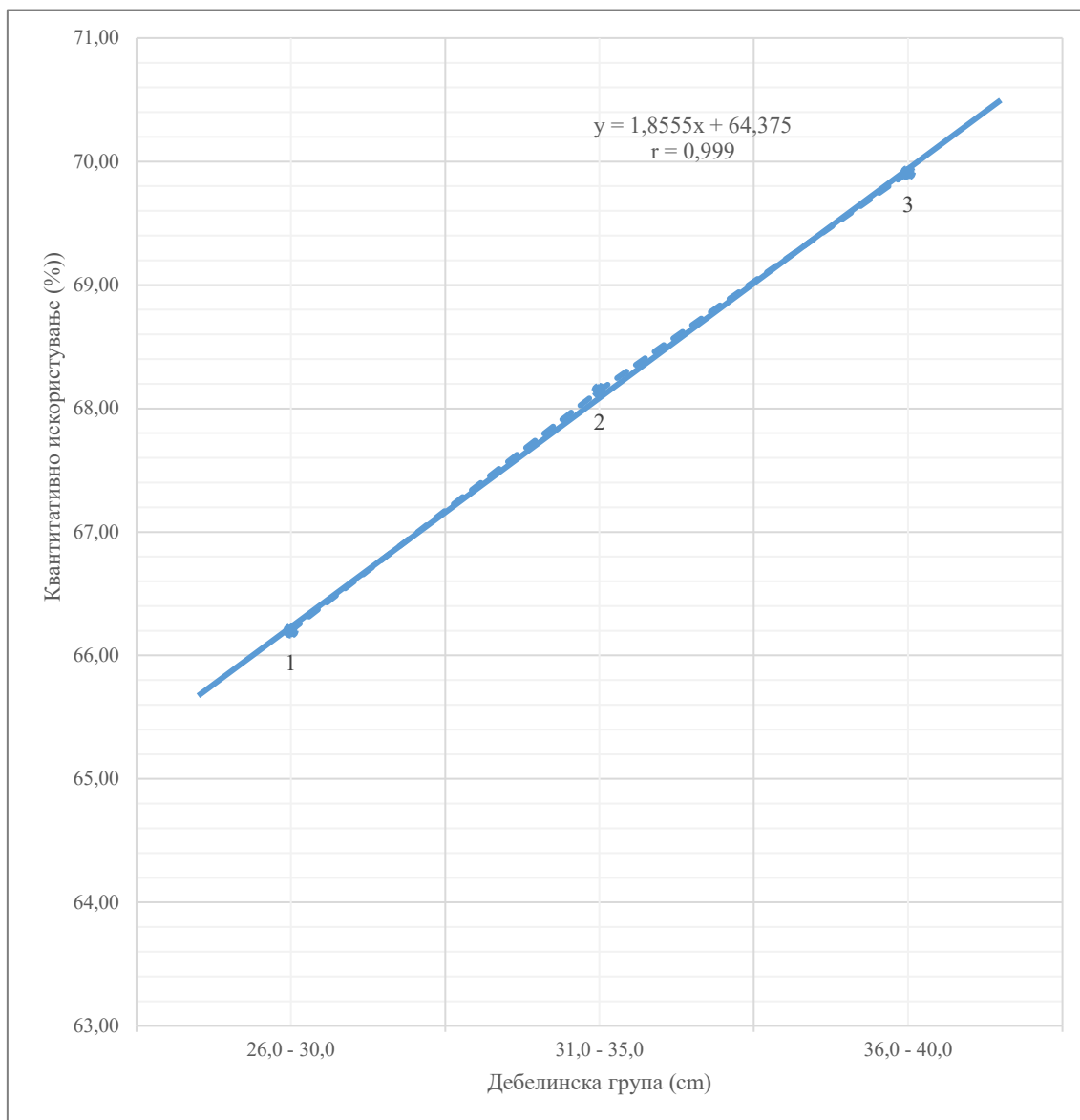
Табела 21. Тестирање на значајноста на разликите помеѓу средните вредности на процентот на квантитативно искористување при остро бичење

Реден број	Дебелинска група	Вредност на процентот на квантитативно искористување	$t_{pres.} > t_{norm. raspr.}$ p/1%=2,576 p/5%=1,960	Значајност на разликите
	(cm)			
1	2	3	4	5
1	26,0-30,0/31,0-35,0	66,20/68,15	1,94 <	нема
2	26,0-30,0/36,0-40,0	66,20/69,91	3,71 >	има
3	31,0-35,0/36,0-40,0	68,15/69,91	9,3 >	има

Од табелата 21 се гледа значајноста на разликите на вредностите на квантитативното искористување меѓу поединечните дебелински групи. Значајност или сигнификантност постои во втората и третата дебелинска група. Заклучок е дека при тестирањето на дебелинските групи 26,0 – 30,0/31,0 – 35,0, значајност не постои, што не наведува кон заклучок дека трупците со дијаметар од 26,0 до 36,0 cm може да се групираат во една дебелинска група со степен на распон од 10,0 cm.

За подобар преглед на квантитативното искористување на трупците со дијаметар од 26,0 до 40,0 cm при остро бичење го применивме методот на регресиона анализа. Графикон 2.





Графикон 2. Однос помеѓу дебелинските групи и квантитативното искористување за трупи од ела/смрча при остро бичење

Од графикон 2 може да се забележи пораст на квантитативното искористување во зависност од дебелинската група, односно дијаметрите на трупците од ела/смрча.

Овој однос е искажан со регресионата линија изразена со равенката:

$$y = 1,8555x + 64,375$$

Во однос на коефициентот на корелација чија вредност е  $r = 0,999$ , според Romer – Orphalova табела, спаѓа во групата на потполна корелација, со што се потврдува дека помеѓу дијаметарот на трупците од ела/смрча и процентот на квантитативното искористување постои голема зависност.

При преработката на трупците во бичени сортименти на машините за примарна и секундарна преработка се добива извесно количество на отпадок. Отпадокот е сочинет од ситен (пилевина) и крупен отпадок. Врз основа на податоците од табела 13 е извршена анализа на ситниот, крупниот и вкупниот отпадок, која ќе ја прикажеме во продолжение.

Според колона 10 и 11 од табелата статистички пресметаните вредности за процентот на ситен отпадок се прикажани во табела 17.

Табела 22. Статистички вредности за ситниот отпадок при остро бичење

Реден број	Дебелинска група (cm)	$\bar{x}_{sr} \pm f_{x_{sr}}$	$\sigma \pm f_{\sigma}$	$v \pm f_v$
1	2	3	4	5
1	26,0 - 30,0	13,40±0,80	2,53±0,56	18,85±4,22
2	31,0 - 35,0	10,45±0,54	1,71±0,38	16,35±3,66
3	36,0 - 40,0	13,43±0,98	3,09±0,69	22,99±5,14
Средна вредности		$P_{01sr}=12,34\pm0,75$		

Табелата 22 ги прикажува средните вредностите за ситниот отпадок по дебелински групи, нивната стандардна девијација, коефициентот на варијација и нивните грешки. Вредноста на ситниот отпадок се движи во граници од 10,45 до 13,43%. Средната вредност на ситниот отпадок при остро бичење изнесува 12,34%. Може да се забележи дека во првата (26,0 – 30,0 cm) и третата (36,0 – 40,0 cm) дебелинска група процентите за ситниот отпадок се блиски, а во втората (31,0 – 35,0) процентот има најмала вредност. Може да се заклучи дека во втората дебелинска група се создало најмало количество на пилевина, односно дека имало помало количество на резови на примарната и секундарната машина.

Проверката на статистичките вредности за ситниот отпадок е прикажана во табела 23.

Табела 23. Точност на вредностите од ситниот отпадок при остро бичење

Реден број	Дебелинска група (cm)	$\bar{x}_{sr}/f_{x_{sr}} > 3$	$\sigma/f_{\sigma} > 3$	$v/f_v > 3$
1	2	3	4	5
1	26,0 - 30,0	16,77>3	4,47>3	4,47>3
2	31,0 - 35,0	19,34>3	4,47>3	4,47>3
3	36,0 - 40,0	13,75>3	4,47>3	4,47>3

Според табела 23 може да заклучиме дека сите вредности за средната вредност, стандардната девијација и коефициентот на варијација поделени со нивните грешки даваат вредност поголема од 3, што укажува на веродостојност на податоците за ситниот отпадок при остро бичење.

Податоците за крупниот отпадок се дадени во колона 12 (апсолутен износ) и 13 (релативен износ) од табела 17. Врз основа на прикажаните податоци извршена е дескриптивна статистичка анализа за средните вредности на процентот на крупен отпадок, стандардната девијација, коефициентот на варијација како и нивните грешки. Податоците се прикажани во табела 24.

Табела 24. Статистички вредности за крупниот отпадок при остро бичење

Реден број	Дебелинска група (cm)	$x_{sr} \pm f_{x_{sr}}$	$\sigma \pm f_{\sigma}$	$v \pm f_v$
1	2	9	10	11
1	26,0 - 30,0	20,40±0,94	2,99±0,67	14,65±3,27
2	31,0 - 35,0	21,41±0,96	3,02±0,68	14,13±3,16
3	36,0 - 40,0	16,66±1,14	3,61±0,81	21,66±4,84
Средна вредности		$P_{02sr}=19,38\pm1,01$		

Од табелата според прикажаните средни вредности може да заклучиме дека крупниот отпадок покажува блиски вредности во првата (26,0 – 30,0) и втората (36,0 – 40,0) дебелинска група. Најмала вредност се забележува во третата дебелинска група (36,0 – 40,0) cm, што е резултат на зголемувањето на процентот на квантитативно искористување. Средната вредност на крупниот отпадок при остро бичење изнесува 19,38%.

За проверка на точноста на податоците од табела 20, извршивме проверка прикажана во табела 25.

Табела 25. Точност на вредностите од крупниот отпадок при остро бичење

Реден број	Дебелинска група (cm)	$x_{sr}/f_{x_{sr}} > 3$	$\sigma/f_{\sigma} > 3$	$v/f_v > 3$
1	2	9	10	11
1	26,0 - 30,0	21,59>3	4,47>3	4,47>3
2	31,0 - 35,0	22,39>3	4,47>3	4,47>3
3	36,0 - 40,0	14,60>3	4,47>3	4,47>3

Според изнесените податоци во табелата може да се заклучи дека сите проверки на вредностите даваат резултат поголем од 3, што ја потврдува веродостојноста на податоците за крупниот отпадок.

Според прикажани податоци во табела 17, извршивме анализа на вкупниот отпадок при бичење на трупците од ела/смрча по пат на призмаирање. Статистичките вредности за вкупниот отпадок се прикажани во табела 26.

Табела 26. Статистички вредности за вкупниот отпадок при остро бичење

Реден број	Дебелинска група (cm)	$x_{sr} \pm f_{x_{sr}}$	$\sigma \pm f_{\sigma}$	$v \pm f_v$
1	2	3	4	5
1	26,0 - 30,0	33,80±1,03	3,25±0,73	9,61±2,15
2	31,0 - 35,0	31,85±0,90	2,83±0,63	8,89±1,99
3	36,0 - 40,0	30,09±0,79	2,50±0,56	8,31±1,86
Средна вредности		$P_{\sigma}=31,88\pm0,90$		

Од прикажаните податоци во табела 26 за вредните вредности на вкупниот отпадок може да се заклучи дека вкупниот отпадок се намалува со зголемување на средниот дијаметарот на трупците, односно со зголемување на дебелинската група. Намалување се забележува и кај стандардната девијација и кај коефициентот на варијација. Вредностите за вкупниот отпадок се движи во граници од 30,09±0,79 до 33,80±1,03. Стандардната

девијација е од  $2,50 \pm 0,56$  до  $3,25 \pm 0,73$ , а коефициентот на варијација од  $8,31 \pm 9,61$ . Средната вредност на крупниот отпадок при бичење на трупците со дијаметар од 26,0 до 40,0 cm по пат на остро бичење изнесува 31,88%.

Извршена е проверка на точноста на податоците за статистичките вредности, прикажана во табела 27.

Табела 27. Точност на вредностите за вкупниот отпадок при остро бичење

Реден број	Дебелинска група (cm)	$x_{sr}/f_{xsr} > 3$	$b/f_b > 3$	$v/f_v > 3$
1	2	3	4	5
1	26,0 - 30,0	32,92 > 3	4,47 > 3	4,47 > 3
2	31,0 - 35,0	35,56 > 3	4,47 > 3	4,47 > 3
3	36,0 - 40,0	38,04 > 3	4,47 > 3	4,47 > 3

Прикажаните вредностите во табелата 27 за средната вредност, стандардната девијација и коефициентот на варијација поделени со нивните грешки имаат вредности поголеми од 3, што укажува на веродостојност на податоците.

За подобар приказ на податоците за вкупниот отпадок истите ги изразуваме преку релативни односи. Првата дебелинска група (26,0 – 30,0 cm) е земена за индекс 100,00. Резултатите се прикажани во табела 28.

Табела 28. Релативен однос на вкупниот отпадок при остро бичење

Реден број	Дебелинска група (cm)	Процент на отпадок (%)	Релативен процент (%)
1	2	3	4
1	26,0 - 30,0	33,80	100,00
2	31,0 - 35,0	31,85	94,24
3	36,0 - 40,0	30,09	89,01

Врз основа на добиените резултати може да констатираме дека при 33,80%, индекс 100 релативната (процентуална вредност) кај третата дебелинска група (36,0 – 40,0 cm) изнесува 89,01%. Може да се заклучи дека со пораст на дебелинската група, релативните вредности на вкупниот отпадок опаѓаат, односно со намалување на вкупниот отпадок расте квантитативното искористување.

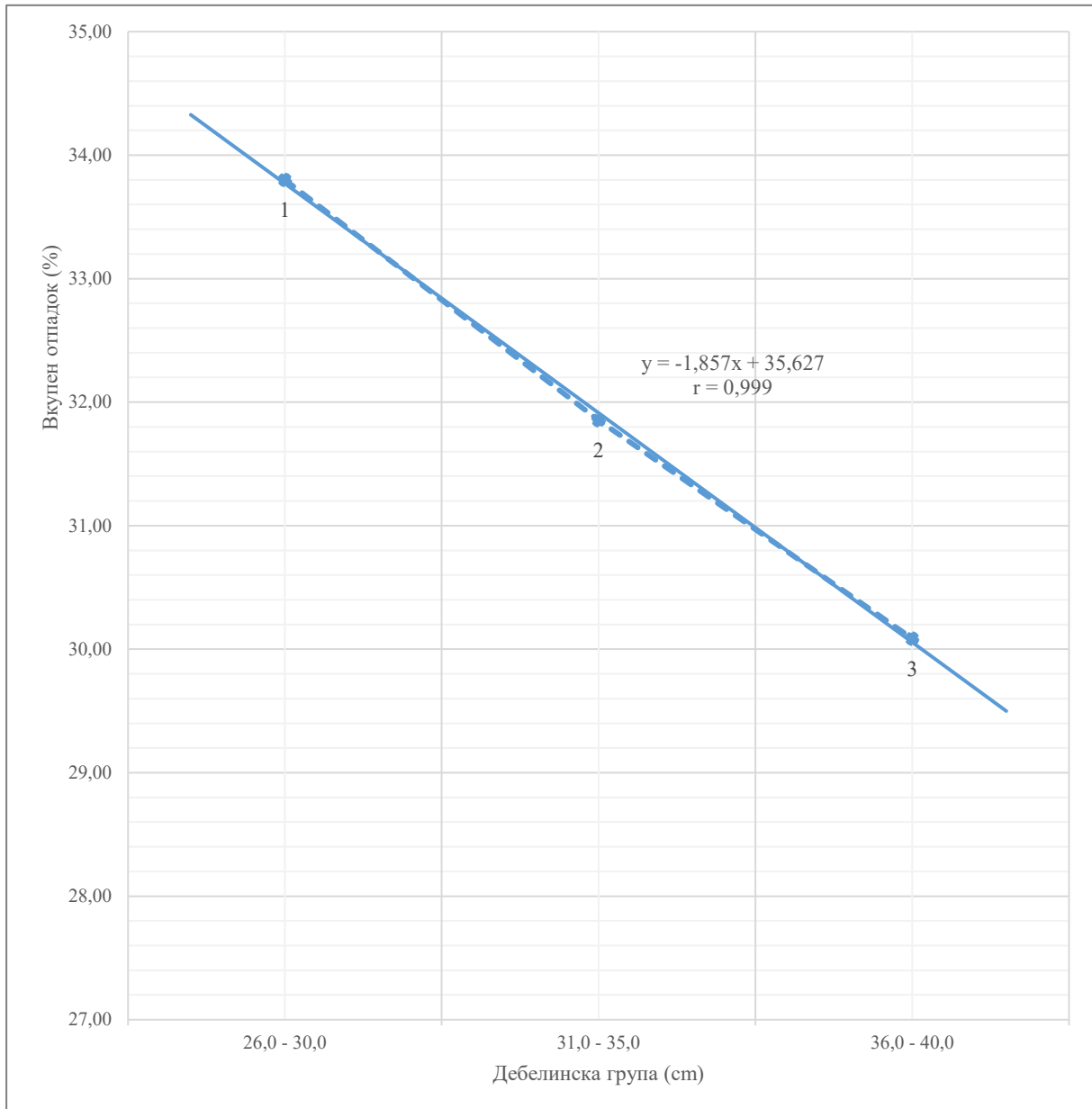
За дополнителна проверка на веродостојноста на податоците за вкупниот отпадок при остро бичење применет е Студентов тест, т.н. „t-тест”.

Табела 29. Тестирање на значајноста на разликите помеѓу средните вредности на вкупниот отпадок при остро бичење

Реден број	Дебелинска група (cm)	Вредност на процентот на вкупниот отпадок (%)	$t_{pres.} > t_{norm. raspr.}$ $p/1\%=2,576$ $p/5\%=1,960$	Значајност на разликите
1	2	3	4	5
1	26,0-30,0/31,0-35,0	33,80/31,85	16,88 >	има
2	26,0-30,0/36,0-40,0	33,80/30,09	34,97 >	има
3	31,0-35,0/36,0-40,0	31,85/30,09	30,38 >	има

Врз основа на табелата 29 може да заклучиме дека веројатност од 99,0% или  $p/1\%=2,576$  и 95,0% или  $p/5\%=1,960$  има во сите дебелински групи во однос на вкупниот отпадок. Тоа значи дека помеѓу процентот на вкупниот отпадок и дебелинската група постои зависност, односно дека може да се констатира дека со пораст на дебелинската група се намалува процентот на вкупниот отпадок.

За подобар преглед на односот на процентот на вкупен отпадок и дебелинските групи при остро бичење применет е методот на регресиона анализа, прикажана на графикон 3.



Графикон 3. Однос помеѓу дебелинските групи и вкупниот отпадок за трупците од ела/смрча при остро бичење

Од графикон 3 може да се забележи линеарното намалување на процентот на вкупниот отпадок со порастот на дебелинската група. Овој однос е искажан со следната равенка на регресиона линија:

$$y = -1,857x + 35,627$$

Според коефициентот на корелација  $r$  со вредности 0,999 може да се заклучи дека постои потполна корелација, што ја потврдува зависноста на процентот на вкупниот отпадок од дебелинската група. Вредноста на коефициентот  $r$  се наоѓа во седмата група на Romer-Orphalova.

#### **8.4.1.2. Квантитативно искористување во бичени сортименти при призмање**

Квантитативното искористување на трупците во бичени сортименти по дебелински групи е прикажано во табела 30.

Според табелата може да се заклучи дека пет дебелински групи (IV: 41,0 – 45,0 cm; V: 46,0 – 50,0 cm; VI: 51,0 – 55,0 cm; VII: 56,0 – 60,0 cm; VIII: 61,0 – 65,0 cm) се бичени по пар на призмање. Од секоја дебелинска група избичени се по 10 трупци, односно вкупно 50 трупци.

Табела 30. Квантитативно искористување на трупците од ела/смрча при призирање

Реден број	Дебелинска група	Среден дијаметар	Должина	Зафатнина	Класа на квалитет	Број на трупци	Квантитативно искористување		Ситен отпадок		Крупен отпадок		Вкупно	
							$V_1$ (m <sup>3</sup> )	$P_1$ (%)	$O_1$ (m <sup>3</sup> )	$P_{O1}$ (%)	$O_2$ (m <sup>3</sup> )	$P_{O2}$ (%)	$V$ (m <sup>3</sup> )	$P$ (%)
1	2	$d_{sr}$ (cm)	$l$ (cm)	$V$ (m <sup>3</sup> )	(K)	(N)	8	9	10	11	12	13	14	15
1	IV	43,0	4,0	0,580	I/II	10	0,384	66,16	0,094	16,14	0,103	17,70	0,580	100,00
2		43,0		0,580			0,402	69,31	0,088	15,23	0,090	15,46	0,580	100,00
3		43,0		0,580			0,389	67,10	0,077	13,25	0,114	19,65	0,580	100,00
4		43,0		0,580			0,335	65,84	0,075	14,77	0,098	19,29	0,453	100,00
5		43,0		0,580			0,400	68,90	0,073	12,63	0,107	18,47	0,580	100,00
6		43,0		0,580			0,388	66,85	0,085	14,65	0,107	18,50	0,580	100,00
7		43,0		0,580			0,395	68,08	0,077	13,23	0,108	18,69	0,580	100,00
8		43,0		0,580			0,391	67,35	0,090	15,45	0,100	17,20	0,580	100,00
9		44,0		0,608			0,409	67,34	0,097	16,01	0,101	16,65	0,608	100,00
10		43,0		0,580			0,398	68,55	0,077	13,22	0,106	18,23	0,580	100,00
11	V	47,0	4,0	0,694	I/II	10	0,463	66,68	0,09	13,54	0,137	19,78	0,694	100,00
12		48,0		0,723			0,496	68,60	0,102	14,12	0,125	17,28	0,723	100,00
13		48,0		0,723			0,499	69,75	0,092	12,73	0,132	18,26	0,723	100,74
14		48,0		0,723			0,483	66,75	0,105	14,56	0,135	18,69	0,723	100,00
15		48,0		0,723			0,499	68,95	0,113	15,65	0,111	15,40	0,723	100,00
16		48,0		0,723			0,489	67,68	0,113	15,65	0,121	16,67	0,723	100,00
17		47,0		0,694			0,481	69,35	0,132	18,95	0,081	11,70	0,694	100,00
18		48,0		0,723			0,491	67,85	0,105	14,56	0,127	17,59	0,723	100,00
19		47,0		0,794			0,547	68,95	0,105	13,22	0,142	17,83	0,794	100,00
20		48,0		0,723			0,503	69,54	0,106	14,65	0,114	15,81	0,723	100,00

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
21		54,0		0,916			0,642	70,10	0,087	9,50	0,187	20,40	0,916	100,00
22		53,0		0,882			0,643	72,95	0,120	13,56	0,119	13,49	0,882	100,00
23		53,0		0,882			0,625	70,85	0,099	11,23	0,158	17,92	0,882	100,00
24		53,0		0,882			0,665	75,43	0,089	10,06	0,128	14,51	0,882	100,00
25	VI	53,0	4,0	0,882	I/II	10	0,635	71,95	0,085	9,63	0,162	18,42	0,882	100,00
26		54,0		0,916			0,654	71,40	0,081	8,88	0,181	19,72	0,916	100,00
27		53,0		0,882			0,641	72,65	0,088	9,98	0,153	17,37	0,882	100,00
28		54,0		0,916			0,671	73,25	0,092	10,02	0,153	16,73	0,916	100,00
29		53,0		0,882			0,669	75,87	0,086	9,78	0,127	14,35	0,882	100,00
30		52,0		0,849			0,614	72,35	0,095	11,22	0,139	16,43	0,849	100,00
31		58,0		1,056			0,769	72,85	0,128	12,14	0,159	15,01	1,056	100,00
32		58,0		1,056			0,780	73,86	0,108	10,23	0,168	15,91	1,056	100,00
33		59,0		1,093			0,785	71,85	0,149	13,65	0,158	14,50	1,093	100,00
34		57,0		1,02			0,745	73,07	0,102	10,01	0,173	16,92	1,020	100,00
35	VII	58,0	4,0	1,056	I/II	10	0,780	73,90	0,123	11,65	0,153	14,45	1,056	100,00
36		59,0		1,093			0,789	72,15	0,109	9,98	0,195	17,87	1,093	100,00
37		57,0		1,02			0,744	72,90	0,092	9,01	0,185	18,09	1,020	100,00
38		57,0		1,02			0,734	71,93	0,105	10,32	0,181	17,75	1,020	100,00
39		57,0		1,02			0,734	71,92	0,126	12,32	0,161	15,76	1,020	100,00
40		58,0		1,056			0,785	74,30	0,116	11,02	0,155	14,68	1,056	100,00
41		62,0		1,207			0,887	73,50	0,119	9,87	0,201	16,63	1,207	100,00
42		63,0		1,246			0,947	76,03	0,154	12,32	0,145	11,65	1,246	100,00
43		63,0		1,246			0,932	74,80	0,140	11,23	0,174	13,97	1,246	100,00
44		64,0		1,286			0,966	75,10	0,129	10,01	0,191	14,89	1,286	100,00
45	VIII	62,0	4,0	1,207	I/II	10	0,917	76,00	0,137	11,32	0,153	12,68	1,207	100,00
46		63,0		1,246			0,923	74,10	0,123	9,87	0,200	16,03	1,246	100,00
47		63,0		1,246			0,928	74,45	0,112	9,01	0,206	16,54	1,246	100,00
48		64,0		1,286			1,028	79,92	0,133	10,34	0,125	9,74	1,286	100,00
49		62,0		1,207			0,910	75,40	0,120	9,98	0,176	14,62	1,207	100,00
50		63,0		1,246			0,943	75,70	0,129	10,32	0,174	13,98	1,246	100,00



Податоците во табелата 30 ќе ни послужат да ги пресметаме статистичките вредности за квантитативното искористување на трупците од ела/смрча при призирање и разбичување на призмата.

Статистичките пресметаните вредности се прикажани во табелата 31.

Табела 31. Статистички вредности од квантитативното искористување при призирање/разбичување на призма

Реден број	Дебелинска група (cm)	$x_{sr} \pm f_{x_{sr}}$	$\sigma \pm f_{\sigma}$	$v \pm f_v$
1	2	3	4	5
1	41,0 - 45,0	67,55±0,36	1,15±0,26	1,70±0,38
2	46,0 - 50,0	68,41±0,35	1,11±0,25	1,63±0,36
3	51,0 - 55,0	72,68±0,58	1,84±0,41	2,53±0,57
4	56,0 - 60,0	72,87±0,29	0,91±0,20	1,25±0,28
5	61,0 - 65,0	75,50±0,56	1,76±0,39	2,33±0,52
Средна вредности		$P_{sr}=71,42\pm0,43$		

Во табелата 31 се прикажани дебелинските групи од 41,0 – 45,0 до 61,0 – 65,0 cm, 5 на број. Вредностите на квантитативното искористување и нивните грешки кои се движат од 67,55±0,3% до 75,50±0,5%. Потоа стандардната девијација која е во рамките од 0,91±0,2 до 1,76±0,3%, како и резултатите за коефициентот на варијација кои се во граници од 1,25±0,2 до 2,53±0,5%. Може да се заклучи дека средната вредност на квантитативното искористување за трупците со дијаметар од 41,0 до 65,0 cm при призирање/разбичување на призма изнесува 71,42%.

Во однос на квантитативното искористување може да се заклучи дека постои тренд на наголемување од 67,55% до 75,50% со наголемување и на средниот дијаметар на трупците во дебелинските групи од 41,0 до 65,0 cm.

За поткрепа на претходната констатација извршивме проверка на статистичките вредности. Резултатите се прикажани во табелата 32.

Табела 32. Точност на вредностите од квантитативното искористување при призирање/разбичување на призма

Реден број	Дебелинска група (cm)	$x_{sr}/f_{x_{sr}} > 3$	$\sigma/f_{\sigma} > 3$	$v/f_v > 3$
1	2	3	4	5
1	41,0 - 45,0	186,28>3	4,47>3	4,47>3
2	46,0 - 50,0	194,18>3	4,47>3	4,47>3
3	51,0 - 55,0	125,01>3	4,47>3	4,47>3
4	56,0 - 60,0	252,91>3	4,47>3	4,47>3
5	61,0 - 65,0	135,77>3	4,47>3	4,47>3

Според резултатите во табела 32, може да се констатира дека сите вредности за квантитативното искористување, стандардната девијација и коефициентот на варијација е прва контрола за веродостојноста на податоците, бидејќи сите се поголеми од 3.

Анализата на веродостојноста на податоците за квантитативното искористување така што ќе го прикажеме методот на „релативни односи“, така што првата дебелинска група (41,0 – 45,0 cm) ќе ја земеме за индекс 100.

Резултатите се прикажани во табелата 33.

Констатација е дека квантитативното искористување прогресивно се наголемува од 41,0 – 45,0 cm со индекс 100% кон дебелинската група 61,0 – 65,0 cm и изнесува 111,77%.

Табела 33. Релативен однос на процентот на квантитативно искористување при призирање/разбичување на призма

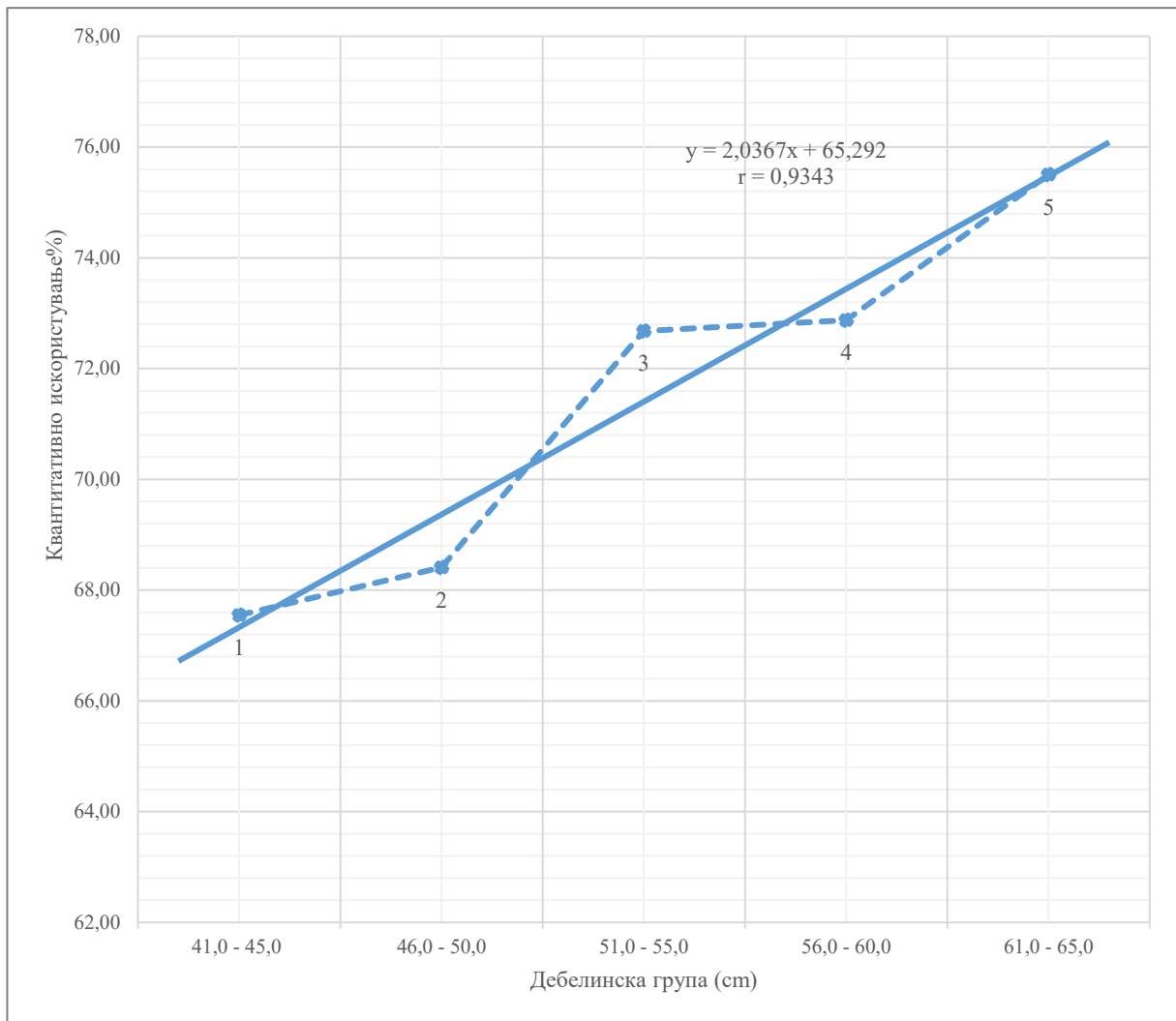
Реден број	Дебелинска група (cm)	Процент на искористување	Релативен процент
1	2	3	4
1	41,0 - 45,0	67,55	100,00
2	46,0 - 50,0	68,41	101,28
3	51,0 - 55,0	72,68	107,60
4	56,0 - 60,0	72,87	107,88
5	61,0 - 65,0	75,50	111,77

Во табелата 34 се прикажани резултатите за значајноста меѓу вредностите на квантитативното искористување и дебелинските групи.

Заклучок е дека сигнификантност не постои при примена на „Т-тестот” меѓу дебелинските групи 41,0 – 45,0/46,0 – 50,0 cm и дебелинските групи 51,0 – 55,0/56,0 – 60,0 cm, што наведува на констатација дека трупците од овие дебелински групи може да се класираат на групи од 41,0 до 50,0 cm или од 46,0 до 56,0 cm, со распон од 10 cm. Многу се блиску и сознанијата за дебелинската група 51,0 – 55,0/61,0 – 65,0, чија вредност е 2,82%, многу блиску до  $p/5\% = 1,96$ , така што може да се формира дебелинска група на трупци од 51,0 – 65,0 cm, што ќе биде корисно, посебно кога трупците би се бичеле на вертикален гатер. Исто се однесува и за трупци од дебелинската групи 56,0 - 60,0/61,0 - 65,0 cm.

Табела 34. Тестирање на значајноста на разликите помеѓу средните вредности на процентот на квантитативно искористување при призирање/разбичување на призма

Реден број	Дебелинска група (cm)	Вредност на процентот на квантитативно искористување		$t_{pres.} > t_{norm. raspr.}$ $p/1\%=2,576$ $p/5\%=1,960$	Значајност на разликите
			(%)		
1	2	3	4	5	
1	41,0-45,0/46,0-50,0	67,55/68,41	0,86 <	нема	
2	41,0-45,0/51,0-55,0	67,55/72,68	5,13 >	има	
3	41,0-45,0/56,0-60,0	67,55/72,87	5,32 >	има	
4	41,0-45,0/61,0-65,0	67,55/75,50	7,95 >	има	
5	46,0-50,0/51,0-55,0	68,41/72,68	4,27 >	има	
6	46,0-50,0/56,0-60,0	68,41/72,87	0,19 >	има	
7	46,0-50,0/61,0-65,0	68,41/75,50	4,46 >	има	
8	51,0-55,0/56,0-60,0	72,68/72,87	0,19 <	нема	
9	51,0-55,0/61,0-65,0	72,68/75,50	2,82 >	има	
10	56,0-60,0/61,0-65,0	72,87/75,50	2,62 >	има	



Графикон 4. Однос помеѓу дебелинските групи и квантитативното искористување за трупци од ела/смрча при призмавање

За подобар преглед на односот помеѓу дебелинските групи и квантитативното искористување при бичење на трупци од ела/смрча по пат на призмавање и разбичување на призма е изработен графикон 3 со примена на методот на регресиона анализа.

Од графиконот 4 се забележува пораст на квантитативното искористување во однос на дијаметрите на трупците.

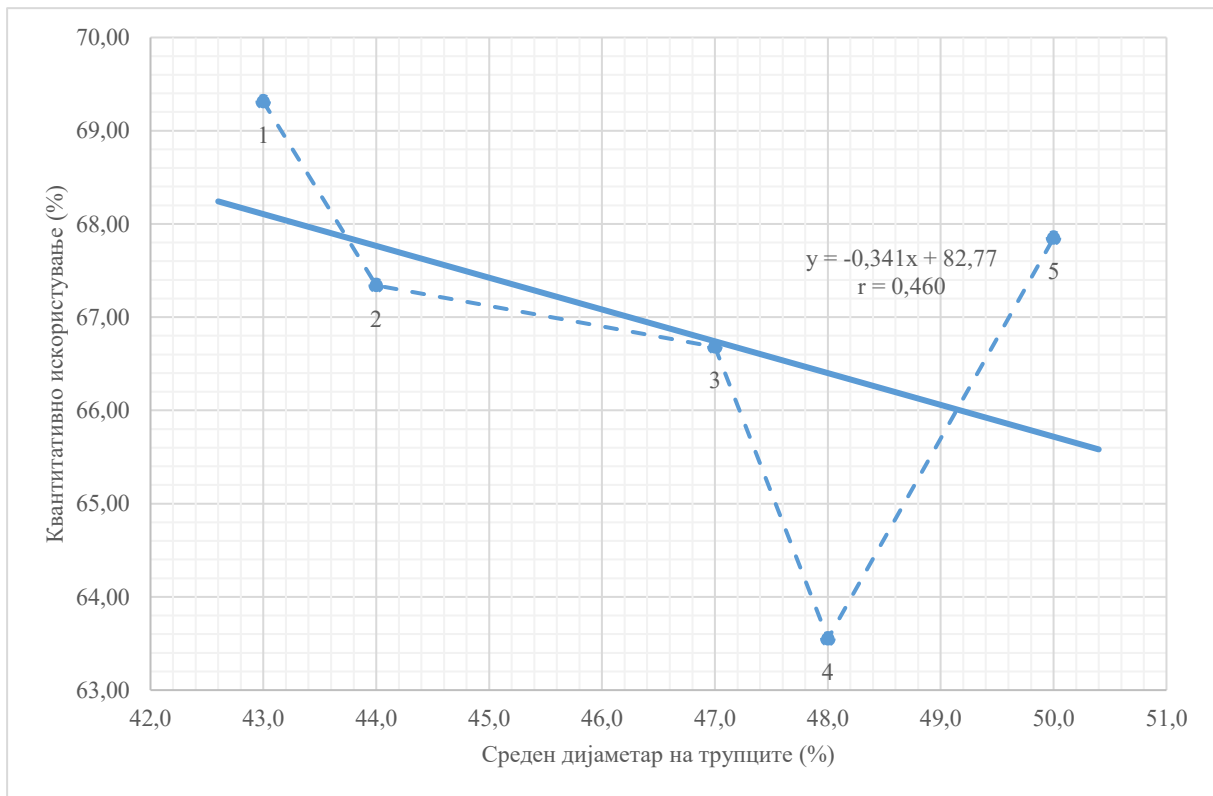
Односот е искажан со регресиона права линија изразена со равенката:

$$y = 2,0367x + 65,292$$

Во однос на коефициентот на корелација, со вредност  $r = 0,966$ , според Romer – Orphalova табела, припаѓа на потполна корелација. Се потврдува силна зависност на квантитативното искористување на трупците при константна должина ( $l = 4,0$  m) и дијаметар од 41,0 до 65,0 cm.

При бичење на трупците по пат на призмавање, се забележува појава на намалување на квантитативното искористување за трупците со среден дијаметар помеѓу 40,0 и 50,0 cm, односно трупци кои припаѓаат на четвртата и петтата дебелинска група. Намалувањето се должи на зголемено учество на трупците од II класа на квалитет заради појавата на анатомските грешки.

Резултатите графички се прикажани на графикон 5.



Графикон 5. Однос на квантитативното искористување и средниот дијаметар на трупците од 40,0 до 50,0 cm

Трендот на намалување се појавува веќе кај трупците со дијаметар од 43,0 до 48,0 cm, а потоа од 48,0 кон 50,0 cm, се јавува релација на покачување на вредноста на квантитативното искористување.

Односот е изразен со равенката:

$$y = -0,341x + 82,77$$

Во однос на коефициентот на корелација, кој има вредност,  $r = 0,460$ , и според Romer – Orphalova табела, припаѓа во групата на средна корелација, со што се потврдува влијанието на средниот дијаметар на трупците од II класа на квалитет.

Од аспект на влијанието на процентот на квантитативно искористување извршена е анализа на крупниот, ситниот и вкупниот отпадок којшто се јавуваат при бичење на трупците по пат на призирање/разбичување на призма. При бичењето по пат на призирање, ситниот отпадок (пилевината) се создава на примарната и секундарната машина и зависи од широчината на резот. При бичење по пат на призирање се јавуваат поголем број на резови на попречниот пресек на трупецот на примарната машина. Крупниот отпадок го сочинуваат капаците, исечоците и отсечоците кои се создаваат при формирање на должините и широчините на бичените сортименти. Податоците за отпадокот се дадени во табела 30.

Статистичките вредности за ситниот отпадок (пилевината) се пресметани врз основа на колона 10 и 11 од табелата 30, а прикажани се во табела 35.

Табела 35. Статистички вредности за ситниот отпадок при призирање/разбичување на призма

Реден број	Дебелинска група (cm)	$\bar{x}_{sr} \pm f\bar{x}_{sr}$	$\sigma \pm f\sigma$	$v \pm f_v$
1	2	3	4	5
1	41,0 - 45,0	14,46±0,41	1,28±0,29	8,87±1,98
2	46,0 - 50,0	14,76±0,55	1,75±0,39	11,87±2,65
3	51,0 - 55,0	10,39±0,42	1,33±0,30	12,79±2,86
4	56,0 - 60,0	11,03±0,44	1,39±0,31	12,64±2,83
5	61,0 - 65,0	10,43±0,30	0,95±0,21	9,07±2,03
Средна вредности		$P_{olsr}=10,61\pm 0,38$		

Од табелата може да се забележи дека вредноста на ситниот отпадок при призирање/разбичување на призма се движи од 10,39±0,42 до 14,76±0,55, стандардната девијација од 0,95±0,21 до 1,75±0,39, а коефициентот на варијација од 8,87±1,98 до 12,79±2,96. Средната вредност на ситниот отпадок изнесува 10,61%. Може да се забележи дека со пораст на дебелинската група, процентот на ситен отпадок опаѓа, со исклучок на четвртата дебелинска група (56,0 – 60,0 cm) каде се јавува зголемување.

Извршена е проверка на точноста на статистичките податоци за процентот на ситен отпадок така што средната вредност, стандардната девијација и коефициентот на варијација се поделени со нивните грешки. Проверката е прикажана во табела 36.

Табела 36. Точност на вредностите за ситниот отпадок при призирање/разбичување на призма

Реден број	Дебелинска група (cm)	$x_{sr}/f\bar{x}_{sr} > 3$	$\sigma/f\sigma > 3$	$v/f_v > 3$
1	2	3	4	5
1	41,0 - 45,0	35,66>3	4,47>3	4,47>3
2	46,0 - 50,0	26,65>3	4,47>3	4,47>3
3	51,0 - 55,0	24,73>3	4,47>3	4,47>3
4	56,0 - 60,0	25,01>3	4,47>3	4,47>3
5	61,0 - 65,0	34,87>3	4,47>3	4,47>3

Според табелата 36 може да се констатира дека сите вредности имаат вредност поголема од 3 што укажува на веродостојност на податоците.

Статистичките вредности за крупниот отпадок при бичење по пат на призирање/разбичување на призма се прикажани во табела 37. Статистичката анализа на средните вредности е извршена согласно табела 30, колона 12 и 13.

Табела 26. Статистички вредности за крупниот отпадок при призирање/разбичување на призма

Реден број	Дебелинска група (cm)	$\bar{x}_{sr} \pm f\bar{x}_{sr}$	$\sigma \pm f\sigma$	$v \pm f_v$
1	2	3	4	5
1	41,0 - 45,0	17,98±0,40	1,26±0,28	7,03±1,57
2	46,0 - 50,0	16,90±0,71	2,24±0,50	13,28±2,97

3	51,0 - 55,0	16,93±0,73	2,31±0,52	13,62±3,05
4	56,0 - 60,0	16,09±0,46	1,46±0,33	9,06±2,03
5	61,0 - 65,0	14,07±0,70	2,21±0,49	15,72±3,51
Средна вредности		$P_{02sr}=15,65±0,62$		

Според дадената табела може да се заклучи дека вредноста на крупен отпадок се движи од  $14,07±0,70$  до  $17,89±0,40$ , стандардната девијација од  $1,26±0,28$  до  $2,31±0,52$ , а коефициентот на варијација од  $7,03±1,57$ . Средната вредност за крупниот отпадок изнесува 15,65%. Може да се забележи дека со зголемување на дебелинската група се намалува и крупниот отпадок. Од оваа констатација отстапува третата дебелинска група (51,0 – 55,0 cm) каде се забележува зголемување на отпадокот.

Точноста на податоците за крупниот отпадок е дадена во табела 38. Според дадените податоци, може да се забележи дека сите вредности се поголеми од 3 што укажува на веродостојност на податоците за крупниот отпадок при призмаирање/разбичување на призма.

Табела 38. Точност на вредностите за крупниот отпадок при призмаирање/разбичување на призма

Реден број	Дебелинска група (cm)	$x_{sr}/f_{x_{sr}} > 3$	$\sigma/f_{\sigma} > 3$	$v/f_v > 3$
1	2	3	4	5
1	41,0 - 45,0	44,97>3	4,47>3	4,47>3
2	46,0 - 50,0	23,81>3	4,47>3	4,47>3
3	51,0 - 55,0	23,22>3	4,47>3	4,47>3
4	56,0 - 60,0	34,91>3	4,47>3	4,47>3
5	61,0 - 65,0	20,12>3	4,47>3	4,47>3

Значајност за анализата на квантитативното искористување при бичење по пат на призмаирање/ разбичување на призма има вкупниот отпадок, кој претставува збир од ситниот и крупниот отпадок. Статистичките вредности за вкупниот отпадок се дадени во табела 39.

Табела 39. Статистички вредности за вкупниот отпадок при призмаирање/разбичување на призма

Реден број	Дебелинска група (cm)	$x_{sr} \pm f_{x_{sr}}$	$\sigma \pm f_{\sigma}$	$v \pm f_v$
1	2	3	4	5
1	41,0 - 45,0	32,44±0,36	1,13±0,25	3,49±0,78
2	46,0 - 50,0	31,66±0,33	1,04±0,23	3,28±0,73
3	51,0 - 55,0	27,32±0,58	1,84±0,41	6,73±1,50
4	56,0 - 60,0	27,13±0,29	0,91±0,20	3,36±0,75
5	61,0 - 65,0	24,50±0,56	1,76±0,39	7,18±1,60
Средна вредности		$P_o=26,28±0,45$		

Според табелата, вредноста на вкупниот отпадок се движи во граници од  $24,50±0,56$  до  $32,44±0,36$ , стандардната девијација од  $0,91±0,20$  до  $1,76±0,39$ , а коефициентот на

варијација од  $3,28 \pm 0,73$  до  $6,73 \pm 1,50$ . Средната вредност на вкупниот отпадок изнесува 26,28%.

Точноста на податоците за вкупниот отпадок е прикажана во табела 40. Од табелата може да се констатира дека сите прикажани вредности се поголеми од 3, што ја потврдува веродостојноста на податоците.

Табела 40. Точност на вредностите за вкупниот отпадок при призмавање/разбичување на призма

Реден број	Дебелинска група (cm)	$x_{sr}/f_{x_{sr}} > 3$	$\sigma/f_{\sigma} > 3$	$v/f_v > 3$
1	2	3	4	5
1	41,0 - 45,0	90,73 > 3	4,47 > 3	4,47 > 3
2	46,0 - 50,0	96,54 > 3	4,47 > 3	4,47 > 3
3	51,0 - 55,0	46,99 > 3	4,47 > 3	4,47 > 3
4	56,0 - 60,0	94,15 > 3	4,47 > 3	4,47 > 3
5	61,0 - 65,0	44,06 > 3	4,47 > 3	4,47 > 3

За подобар преглед на процентот на вкупниот отпадок кај одделните дебелински групи, во табелата 41 се прикажани релативните односи. За индекс 100,00 е земена петта дебелинска група (41,0 – 45,0 cm), а останатите групи се пресметани според овој индекс. Може да се заклучи дека со пораст на дебелинската група релативните вредности на вкупниот отпадок опаѓаат, што значи дека квантитативното искористување се зголемува.

Табела 41. Релативен однос на вкупниот отпадок при призмавање/разбичување на призма

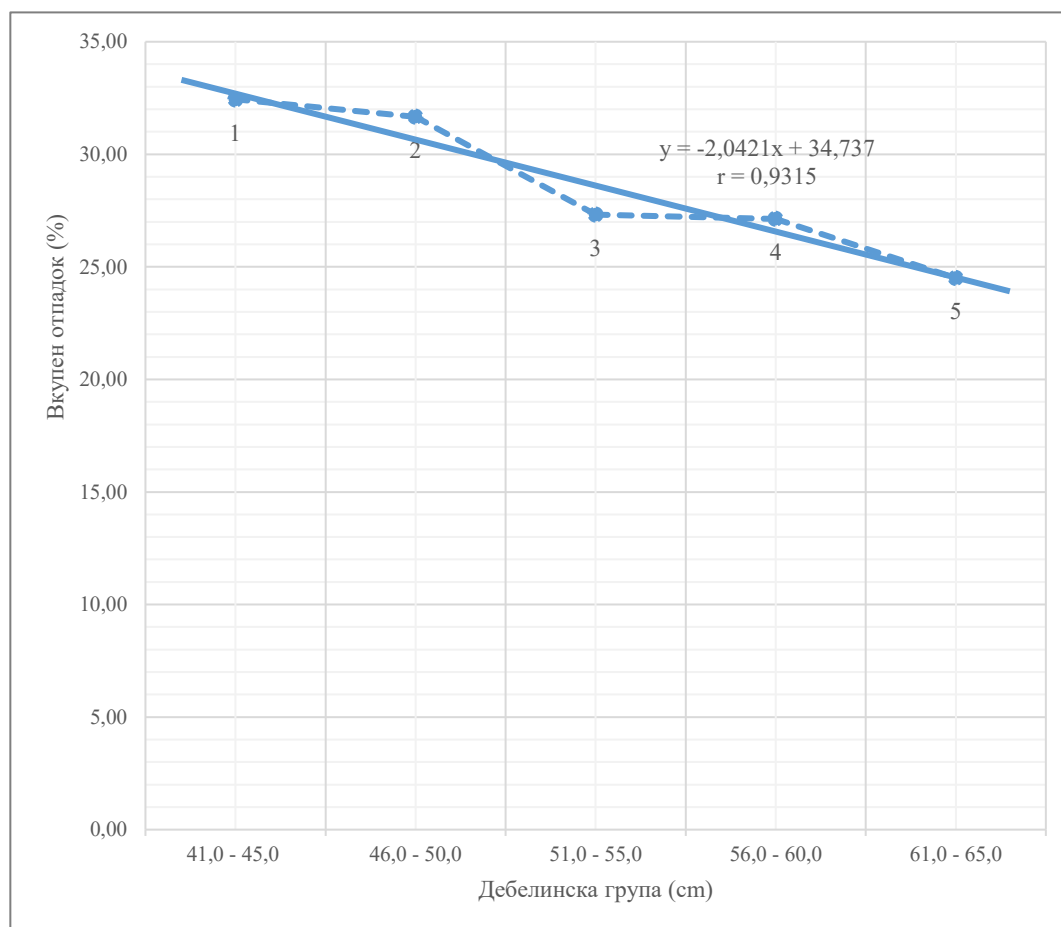
Реден број	Дебелинска група (cm)	Процент на вкупен отпадок (%)	Релативен процент (%)
1	2	3	4
1	41,0 - 45,0	32,44	100,00
2	46,0 - 50,0	31,66	97,60
3	51,0 - 55,0	27,32	84,21
4	56,0 - 60,0	27,13	83,62
5	61,0 - 65,0	24,50	75,52

Бидејќи релативните односи за вкупниот отпадок не можат да не донесат до краен заклучок за односот на процентот на вкупен отпадок по дебелински групи, применет е статистички Студентов тест („t-тест“) за проверка на разликите на средните вредности на процентот на вкупниот отпадок. Врз основа на резултатите од тестот може да се забележи дека помеѓу сите дебелински групи постои значајност во разликите во однос на процентот на вкупен отпадок. Значајноста на разликите се изразува со веројатност од 99,0% или  $p/1\% = 2,576$  и 95,0% или  $p/5\% = 1,960$ . Ова значи дека процентот на вкупен отпадок е зависен од дебелинската група, односно од средниот дијаметар на трупеците. Резултатите од Студентовиот тест се прикажани во табела 42.

Табела 42. Тестирање на значајноста на разликите помеѓу средните вредности на процентот на вкупен отпадок при призирање/разбичување на призма

Реден број	Дебелинска група	Вредност на процентот на вкупен отпадок	$t_{pres.} > t_{norm. raspr.}$ $p/1\%=2,576$ $p/5\%=1,960$	Значајност на разликите
	(cm)	(%)		
1	2	3	4	5
1	41,0-45,0/46,0-50,0	32,44/31,66	75,95 >	има
2	41,0-45,0/51,0-55,0	32,44/27,32	41,0 >	има
3	41,0-45,0/56,0-60,0	32,44/27,13	60,76 >	има
4	41,0-45,0/61,0-65,0	32,44/24,50	28,54 >	има
5	46,0-50,0/51,0-55,0	31,66/27,32	22,90 >	има
6	46,0-50,0/56,0-60,0	31,66/27,13	23,74 >	има
7	46,0-50,0/61,0-65,0	31,66/24,50	11,00 >	има
8	51,0-55,0/56,0-60,0	27,32/27,13	7,52 >	има
9	51,0-55,0/61,0-65,0	27,32/34,50	3,22 >	има
10	56,0-60,0/61,0-65,0	27,13/24,50	7,51 >	има

За подобар преглед на податоците од средните вредности за процентот на вкупен отпадок при призирање/разбичување на призма применет е методот на регресиона анализа, прикажан на графикон 6.



Графикон 6. Однос помеѓу дебелинските групи и вкупниот отпадок за труците од ела/смрча при призирање/разбичување на призма



Од графиконот може да се забележи дека постои зависност на процентот на вкупен отпадок од дебелинската група. Односот на дебелинската група и вкупниот отпадок е искажан со равенката:

$$y = -2,0421x + 34,737$$

Коефициентот на корелација  $r$  изнесува 0,9315 и според Romer-Orphalova табела постои потполна корелација со што се потврдува зависноста на вкупниот отпадок од дебелинската група. Како заклучок може да се каже дека со зголемување на дебелинската група и средниот дијаметар на трупците, се намалува процентот на вкупен отпадок, а се зголемува квантитативното искористување.

#### **8.4.2. Квантитативно искористување на трупците од ела/смрча во дрвени летви**

Како што веќе напред спомнавме внимание ќе се посвети и на преработка на трупците од ела/смрча во дрвени летви.

Дрвените летви се пилански производи со правоаголен напречен пресек (слика 47). Најчесто се користат во градежништвото при изработка на покриви, како делови на секундарна кровна конструкција. Слика 48.



*Слика 47. Попречен пресек на дрвени летви*



*Слика 48. Дрвени летви на покривна конструкција*

При стандардните покривки се фиксираат на покривната конструкција, а врз нив се поставуваат ќерамиди или друг покривен материјал.

Исто така, дрвените летви се користат во ситуација кога е потребно да се изведе подигнат под за изведување на водоводни, електрични и слични инсталации, како и за обезбедување на потребно растојание на ѕидот од облогата која ќе се постави на него. Слика 49.

Дрвените летви како еколошки прифатлив пилански производ се користат за уредување на ентериери и екстериери, но и како детали кои имаат декоративна улога.



*Слика 49. Дрвени летви – подна конструктивна изведба*

### 8.4.2.1. Суровина за бичење

Суровината за бичење се трупец од ела/смрча, која за подобар преглед е прикажана во табелата 43.

Табела 43. Преглед на трупеците за бичење во дрвени летви

Реден број	Дијаметар на тенкиот крај	Дијаметар на дебелиот крај	Среден дијаметар	Пад на дијаметар	Зафатнина	Должина	Класа на квалитет	Вкупен број на учесници
	$d_1$ (cm)	$d_2$ (cm)	$d_{sr}$ (cm)	$S$ (cm/m)	$V$ (m <sup>3</sup> )	$l$ (m)	K	N
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	52,00	59,00	55,00	1,75	0,950			
2	54,00	56,00	55,00	0,50	0,950			
3	52,00	55,00	53,00	0,75	0,882			
4	56,00	59,00	57,00	0,75	1,020			
5	56,00	58,00	57,00	0,50	1,020	4,0	I/II	8
6	56,00	59,00	57,00	0,75	1,020			
7	52,00	58,00	55,00	1,50	0,950			
8	54,00	58,00	56,00	1,00	0,985			
Вкупна зафатнина $\Sigma =$					7,777 m <sup>3</sup>			

Почитувајќи ги производните услови на работа, во истражувањата за квантитативното искористување на трупеците во дрвени летви, се укажа можност да се преработат по број 8 трупец, од I/II класа на квалитет со должина од 4,0 m. Дијаметарот на трупеците се движи од 52,0 до 59,0 cm. Падот на дијаметарот е во граници од 0,5 до 1,75 cm/m. Вкупната дрвена зафатнина на трупеците која е преработена изнесува 7,777 m<sup>3</sup>.

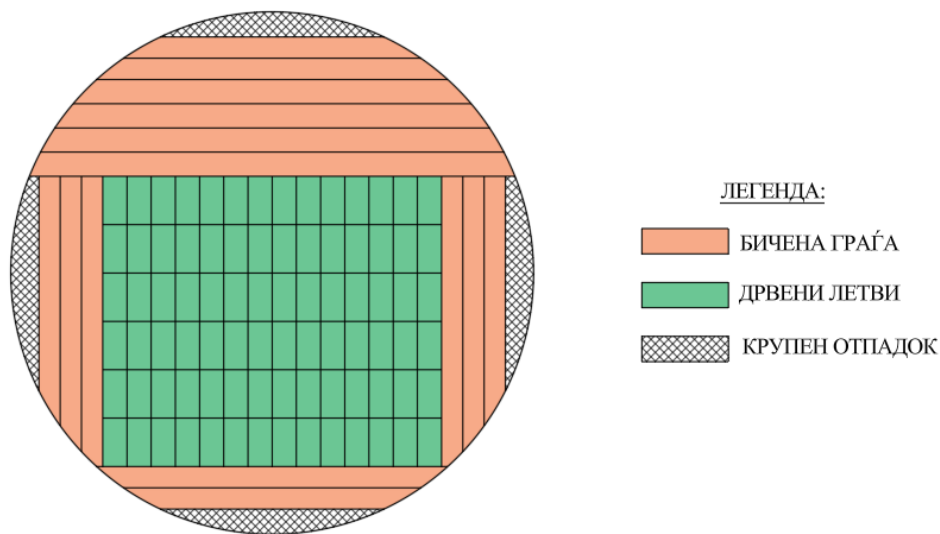
### 8.4.2.2. Диспозиции на бичење на трупеците од ела/смрча за дрвени летви

Диспозицијата на бичење на трупеците е формирана според дијаметрите на тенкиот крај на трупеците, при што се добиени штици, дрвени летви, крупен и ситен отпадок (пилевина).

Штиците се со ширина од 200,0 до 400,0 mm, дебелина 22,0 mm и должина 4,0 m.

Дрвените летви се со дебелина 25,0 mm, ширина 50,0 mm и должина од 3,0 до 4,0 m.

Карактеристична диспозиција на бичење на трупец од ела/смрча во дрвени летви е прикажана на слика 50.



Слика 50. Диспозиција на бичење на трупците од ела/смрча во дрвени летви

Диспозицијата на бичење:

$$\frac{I \frac{n_1}{b}, \frac{P}{h}}{II \frac{P}{h} \rightarrow \frac{n_2}{a}} \bullet$$

Пример:

$$\frac{I \frac{10}{22}, \frac{P}{390}}{II \frac{P}{390} \rightarrow \frac{84}{25 \times 50}}$$

Каде:

$n_1$  – број на штици

$b$  – дебелина на штицата (mm)

$P$  – призма (mm)

$h$  – височина на призмата (mm)

$n_2$  – број на летви

$a$  – димензија на летвите – напречен пресек (mm)

#### 8.4.2.3. Одограм и технолошка постапка при бичење на дрвени летви од ела/смрча

Одограмот на технолошката постапка за производство на дрвени летви е прикажан на слика 51.

Одограмот дава јасна слика на технолошката постапка за изработка на дрвени летви, и од него може да се констатира:

- трупците од ела/смрча најпрво се складираат на складот на трупци. Со користење на челен виљушкар се транспортираат во пиланската хала и се димензионираат по должина. Следува бичење на трупците со хоризонтална лентовидна пила. По бичењето на трупците се добиваат дрвени летви и неокрајчена граѓа. Дрвените летви се класираат, редат и транспортираат до складот за бичена граѓа под

настрешница. Неокрајчената граѓа сеokraјчува со кружна пила за надолжно режење. Okрајчената граѓа иokraјоците се редат и складираат.

Технолошкиот процес е прикажан на технолошката шема прикажана на сликата 4. За појасна претстава, според слика 52, најпрво ќе ја изнесеме легендата, како што следува.

Легенда:

А – склад за трупци,

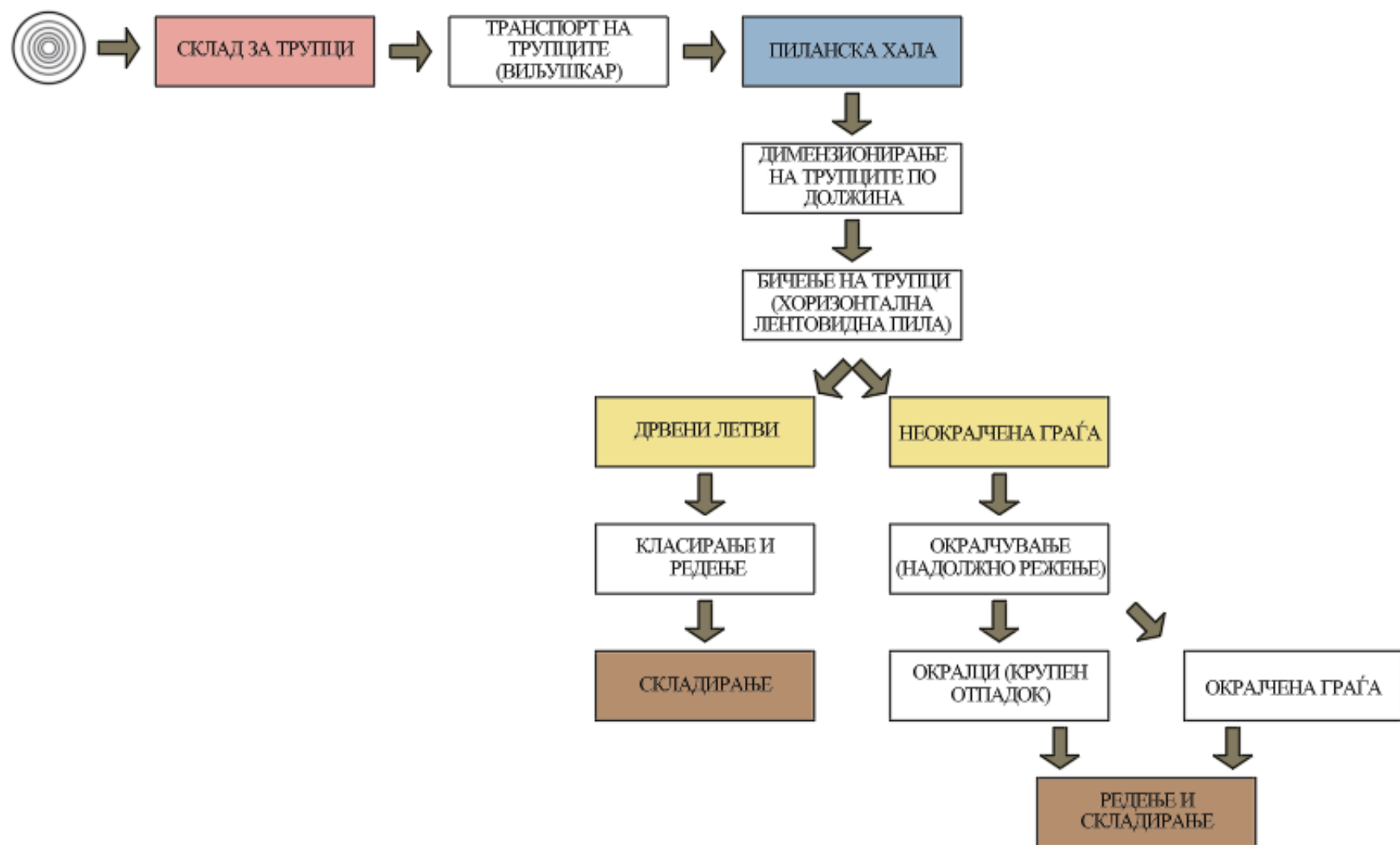
Б – станица за миење на трупци,

В – пиланска хала,

Г – настрешница за готови пилански производи (бичена граѓа, летви, дрвени елементи и сл.).

Транспортна опрема и машини:

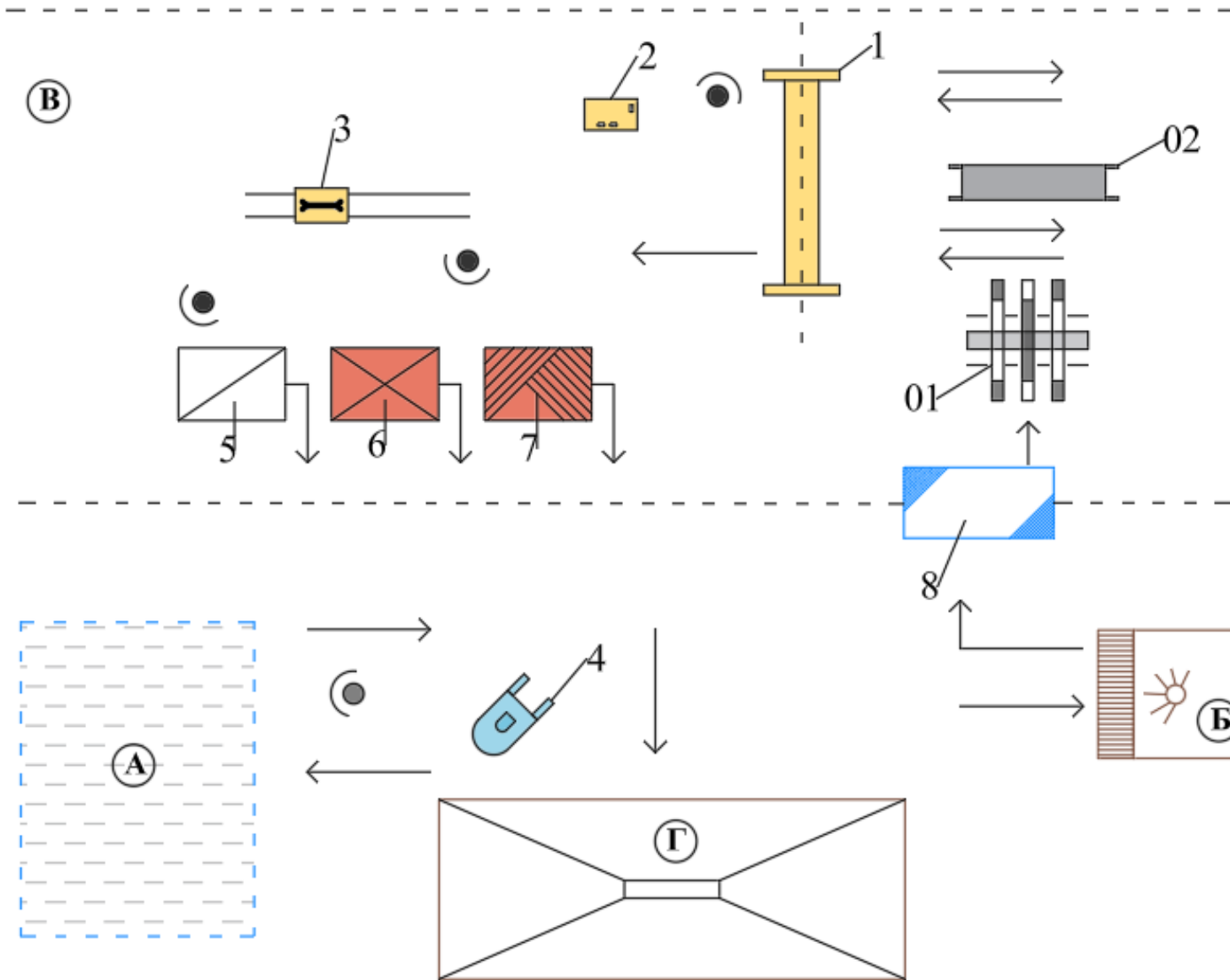
1. хоризонтална лентовидна пила „Šumska kraljica”,
2. командно место,
3. кружна пила за надолжно режење MABA-Maschinen AG LA,
4. челен виљушкар,
5. камара со крупен отпадок,
6. камара соokraјчена бичена граѓа,
7. камара со дрвени летви,
8. моторна пила (димензионирање на трупците по должина),
01. транспортер и
02. количка на лентовидна пила.



Слика 51. Одограм на технолошка постапка на производство на дрвени летви

Накучо за технолошкиот процес:

- од складот за трупци (А) со челниот виљушкар (4) трупците најпрво се транспортираат до станицата (Б) каде се мијат од сите нечистотии. Оттука со виљушкарот (4) се допремуваат до моторната пила (8) и се кратат на точна должина. Следува транспорт до транспортерот (01) и поставување на количката (02) на лентовидната пила. Лентовидната пила (1) е во хоризонтална изведба и со неа според зададената диспозиција се бичат трупците во неокрајчена граѓа (од бочната страна на трупецот) и дрвени летви. По разбичувањето неокрајчената граѓа сеokraјчува со машината за надолжно режење (3). Целиот процес се следи од командното место (2). Okрајците се редат во камарата (5), бичената граѓа во камарата (6), а дрвените летви во камарата (7). На крај, со челниот виљушкар граѓата и летвите се транспортираат на складот за бичена граѓа и редат под настрешницата (Г).



Слика 52. Технолошка шема на преработка на трупците во дрвни летви



#### 8.4.2.4. Квантитативно искористување на трупците во дрвени летви и окрајчена граѓа

Според применетите диспозиции на бичење на трупците покрај дрвени летви е бичена неокрајчена и окрајчена граѓа. Неокрајчената граѓа технолошки е окрајчена со машини за надолжно режење, при што се формирани широчините на штиците во форма на окрајчени сортименти.

Окрајчената граѓа е со дебелина од 22,0 mm, широчина од 180,0 до 460,0 mm и должина од 4,0 m.

Исто така, пред да ги изнесеме резултатите од пресметаните трупци сакаме да потсетиме дека дрвените летви се со широчина,  $a = 50,0$  mm, дебелина  $b = 25,0$  mm и должина  $l = 4,0$  m.

Врз основа на извршените истражувања, резултатите од преработката на трупците од ела/смрча се прикажан во табелата што следува. Табела 44.

Во колоните 1 до 17 се прикажани редниот број, зафатнината на трупците, класата на квалитет, бројот на трупци, бројот на летви, вредностите за квантитативното искористување и дрвениот отпадок во апсолутни и релативни показатели.

Во анализата се опфатени 8 трупци со зафатнина од 0,822 до 1,020 m<sup>3</sup>, од I/II класа на квалитет. Бројот на летвите од бичените трупци се движи од 84 до 110 броја. Дрвната маса на летвите изнесува од 0,420 до 0,550 m<sup>3</sup>, а квантитативното искористување е од 44,20 до 57,80%. Окрајчената граѓа има дрвна зафатнина од 0,163 до 0,262 m<sup>3</sup>, а искористувањето е во рамките од 15,98 до 27,72%. Вкупното квантитативно искористување (дрвени летви и бичена граѓа) се движи од 66,11 до 75,39%. Дрвната зафатнина е во рамките од 0,628 до 0,769 m<sup>3</sup>.

Табела 44. Квантитативно искористување на трупците од ела/смрча во дрвени летви иokraјчена граѓа

Реден број	Зафатнина на трупци	Квантитативно искористување									Дрвен отпадок					
		Класа на квалитет	Број на трупци	Број на летви	Дрвени летви			Окрајчена граѓа			Зафатнина на ситен отпадок (пилевина)			Крупен отпадок		
					V <sub>1</sub> (m <sup>3</sup> )	P <sub>1</sub> (%)	V <sub>2</sub> (m <sup>3</sup> )	P <sub>2</sub> (%)	V <sub>3</sub> (m <sup>3</sup> )	P <sub>3</sub> (%)	O <sub>1</sub> (m <sup>3</sup> )	P <sub>4</sub> (%)	O <sub>2</sub> (m <sup>3</sup> )	P <sub>5</sub> (%)	O <sub>3</sub> (m <sup>3</sup> )	P <sub>6</sub> (%)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1	0,950			84	0,420	66,88	0,628	33,12	0,628	66,11	0,118	12,42	0,209	22,02	0,327	33,89
2	0,950			110	0,550	77,14	0,713	22,86	0,713	75,05	0,116	12,21	0,121	12,74	0,287	24,95
3	0,882			96	0,480	73,73	0,651	26,27	0,651	73,81	0,115	13,04	0,116	13,15	0,231	26,19
4	1,020	I/II	8	110	0,550	72,56	0,758	27,44	0,758	74,31	0,160	15,69	0,102	10,00	0,262	25,69
5	1,020			110	0,550	77,14	0,713	22,86	0,713	69,90	0,151	14,80	0,156	15,29	0,307	30,10
6	1,020			109	0,545	70,87	0,769	29,13	0,769	75,39	0,137	13,43	0,114	11,18	0,251	24,61
7	0,950			85	0,425	61,86	0,687	38,14	0,687	72,32	0,125	13,16	0,138	14,53	0,263	27,68
8	0,985			103	0,515	70,45	0,731	29,55	0,731	74,21	0,133	13,50	0,121	12,28	0,254	25,79

Накусо за дрвениот отпадок. Од преработката на трупците се создава ситен и крупен отпадок. Ситниот отпадок го сочинуваат пилевината и ситните иверчиња, а крупниот отпадок го формираат одрезоците од напречното и изрезоците од надолжното режење со кружните пили, како и капаците од разбичувањето на трупците со лентовидната пила.

Ситниот отпадок е во граници од 12,21 до 15,69% или од 0,115 до 1,60 m<sup>3</sup>. Крупниот отпадок е со вредност од 10,00 до 22,02%, со дрвна зафатнина од 0,102 до 0,209 m<sup>3</sup>. Вкупниот отпадок е од 0,231 до 0,327 m<sup>3</sup> или од 24,61 до 33,89%.

Анализата за средниот процент на квантитативно искористување при бичењето на трупците од ела/смрча, врз основа на податоците од табелата 22, резултатите се прикажани во табелата 45.

Табела 45. Средни вредности за искористувањето на трупците од ела/смрча во дрвени летви иokraјчена граѓа

Зафатнина на трупците V <sub>0</sub> (m <sup>3</sup> )	Среден процент на квантитативно искористување						
	Дрвени летви			Okрајчена граѓа		Вкупно	
	V <sub>1</sub> (m <sup>3</sup> )	P <sub>1</sub> (%)	V <sub>2</sub> (m <sup>3</sup> )	P <sub>2</sub> (%)	V (m <sup>3</sup> )	P (%)	
1	2	3	4	5	6	7	
7,777	4,035	51,89	1,615	20,77	5,650	72,66	

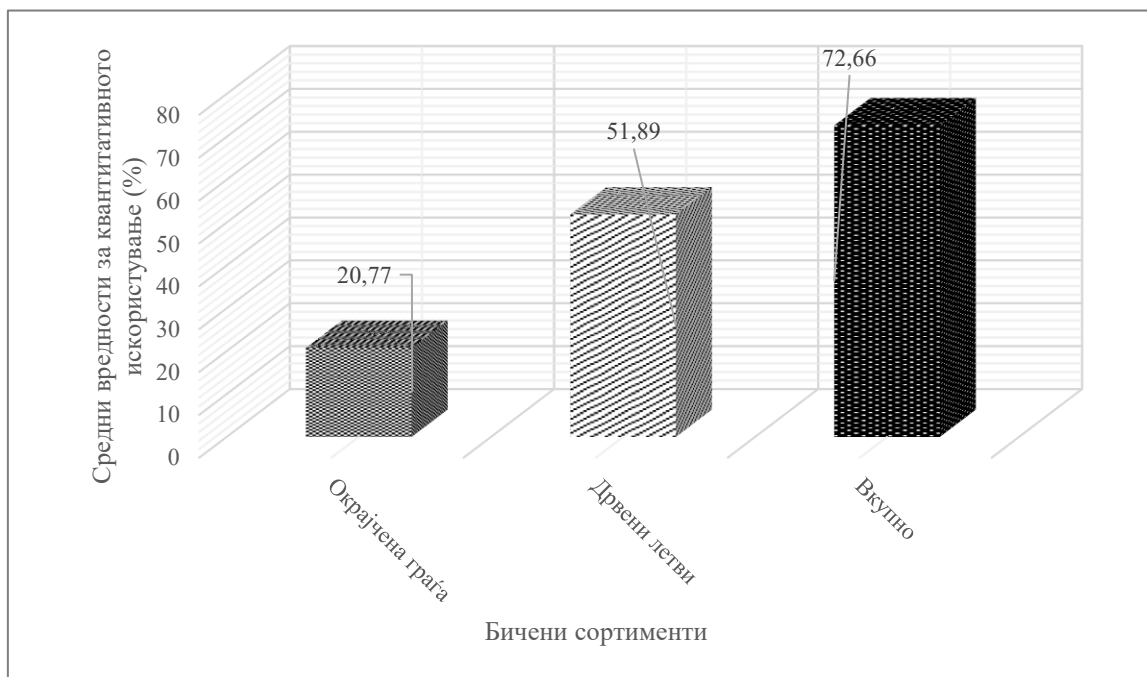
Во табелата 44 се прикажани податоците за дрвната маса на трупците која изнесува 7,777 m<sup>3</sup>, како и вредностите за средниот процент на квантитативното искористување на трупците од ела/смрча.

Може да се заклучи дека од преработката на 7,777 m<sup>3</sup> трупци добиени е дрвени летви во количество од 4,035 m<sup>3</sup> така што средниот процент на квантитативното искористување на дрвените летви изнесува 51,89%.

Понатаму, количеството на okрајчена граѓа изнесува 1,615 m<sup>3</sup> или 20,77%.

На крај, исто така, може да се констатира дека од вкупното количество на трупци (7,777 m<sup>3</sup>) се добиени пилански сортименти (дрвени летви и okрајчена граѓа) во износ од 5,650 m<sup>3</sup>, така што вкупното средно квантитативно искористување на трупците изнесува 72,66%.

За подобар преглед на резултатите од табелата 45, истите се прикажани со помош на хистограм на сликата 53.



Слика 53. Средни вредности на квантитативното искористување на трупците од ела/смрча во дрвени летви

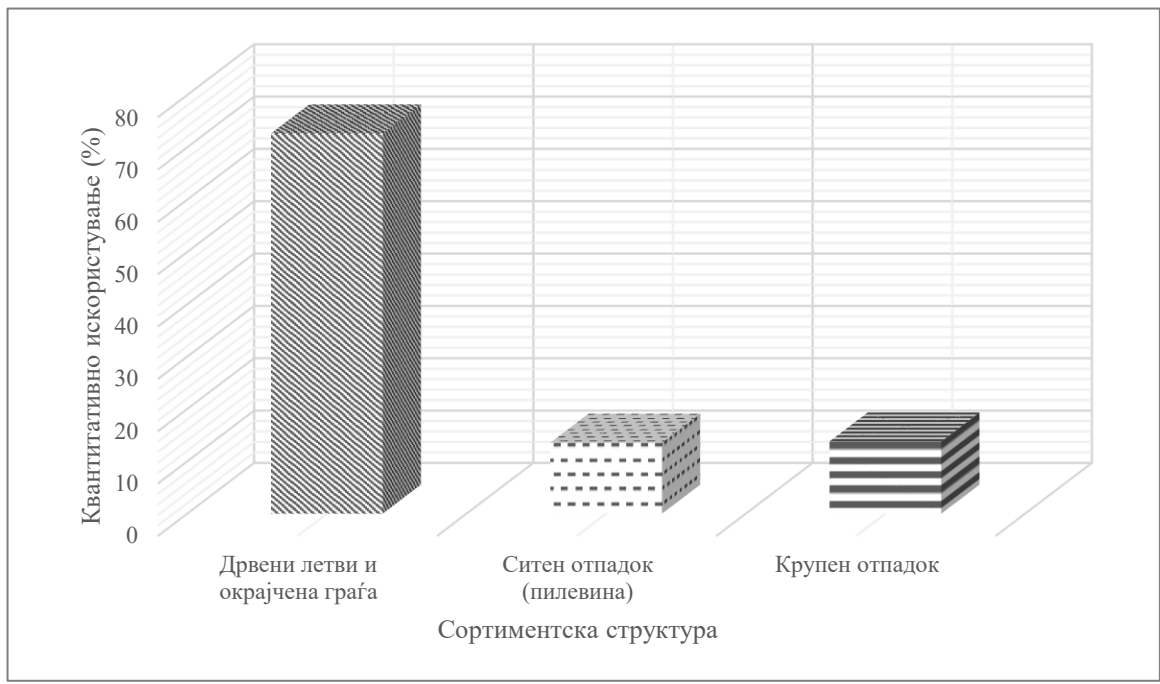
Имајќи ги во предвид податоците за искористување на трупците во дрвени летви, окрајчена граѓа, ситен и крупен отпадок во табелата 46, ќе ги изнесеме нивните средни вредности за квантитативното искористување на трупците.

Табела 46. Квантитативно искористување на трупците од ела/смрча во дрвени летви, окрајчена граѓа, ситен и крупен отпадок

1	Квантитативно искористување	
	V (m <sup>3</sup> )	P (%)
2	3	
Дрвени летви и окрајчена граѓа	5,650	72,66
Ситен отпадок (пилевина)	1,053	13,54
Крупен отпадок	1,074	13,80
Вкупно	7,777	100,00

Врз основа на податоците од табела 46 може да се констатира дека од преработката на трупците се добиени дрвени летви и окрајчена граѓа од 5,650 m<sup>3</sup> или 72,66%. Ситниот отпадок е застапен со 13,54%, или 1,053 m<sup>3</sup>, а крупниот отпадок учествува со 13,80% или 1,074 m<sup>3</sup>. Вкупното количество на преработени трупци изнесува 7,777 m<sup>3</sup>.

За подобар преглед на резултатите од табелата 46, истите на сликата 54 се прикажани со помош на хистограм.



Слика 54. Квантитативно искористување на трупци од ела/смрча во дрвени летви,okraјчена граѓа, ситен и крупен отпадок

## 9. ДИСКУСИЈА И ЗАКЛУЧОЦИ

Во докторскиот труд по извршените математички и статистички обработки на податоците од истражувањето за однесувањето на квантитативното искористување на трупците од ела/смрча и дијаметрите на трупците ќе ги изнесеме нашите поважни заклучоци и препораки, од опфатените истражувања.

Користењето на дрвната маса од шумските ресурси во бичени пилански производи, отсекогаш го привлекувало вниманието на стручните лица, но и на пошироката јавност. Оваа проблематика предизвикува голем интерес и потребно е перманентно следење и истражување, бидејќи така ќе се создадат услови за поволно користење на шумскиот потенцијал (трупци), но и количеството на преработени бичени сортименти (штици, талпи, греди, гредички, дрвени летви и сл.), корисни во секојдневието на животот на луѓето.

Како што веќе наведовме, основата на истражувањето се пилански трупци од ела/смрча (*Abies alba* Mill./*Picea abies* L.). Според одредена методологија се анализирани диспозиции на бичење, како и начини на бичење на трупците.

Врз основа на тие сознанија е пресметано квантитативното искористување на трупците во пилански производи. Пиланските производи се прикажани како: окрајчена граѓа (штици и талпи), потоа греди и дрвени летви.

Од гледна точка на математичката и статистичката анализа, воспоставен е однос на дебелинските групи (дијаметри на трупците) и квантитативното искористување. За таа цел се користени два начини на бичење на трупците и тоа: остро (затворено или групно) бичење и бичење по пат на призма и разбичување на призма.

Спроведените истражувања се реални и експериментално се извршени во производно-експлоатациони услови на работење во пиланската постројка „ДРВО БОР“ ДООЕЛ во Берово, која успешно работи повеќе децении во источниот дел на Република Северна Македонија. Расположена е на површина од околу 5000 m<sup>2</sup>, а вкупното количество на преработена суровина од бука изнесува околу 3200 m<sup>3</sup>/год. Пиланата е опремена со две хоризонтални лентовидни пили, машина за надолжно режење-окрајчување на граѓата, моторна пила, машини за подготовка и одржување на алатот, виљушканици и трактори, но и покрај тоа не спаѓа во пилани од современ тип.

Пред да ги споредиме нашите резултати со резултати на други истражувачи, накусо ќе ги изнесеме нашите поважни резултати за квантитативното искористување на трупците од ела/смрча, во зависност од диспозициите на бичење и дијаметрите на трупците.

Основно е дека трупците се бичени според два приода и тоа: остро (затворено, групно) бичење и призма/разбичување на призма.

Трупците се распоредени во 8 дебелински групи и се со дијаметар од 26,0 до 65,0 cm. Должината е константна и изнесува 4,0 m, како и класа на квалитет I/II. Падот на дијаметарот на трупците се движи од 0,5 до 1,0 cm/m и средно изнесува 0,7 cm/m. Влажноста на трупците е од 45,0 до 55,0%.

Квантитативно искористување на трупците при остро бичење, со дијаметар од 26,0 до 40,0 cm се движи од 66,20 до 69,91%.

Квантитативното искористување на трупците при призма/разбичување на призма, со дијаметар од 41,0 до 65,0 cm е во рамките од 67,55 до 75,50%.

За споредба на нашите резултати со резултатите од истражувањата на други автори, користена е научна и стручна литература која беше достапна.

Врз основа на тоа констатиравме:

**Рабациски (2019)**, наведува дека во домашни услови во пиланите кои преработуваат трупци од ела/смрча искористувањето се движи од 64,0 до 74,0%. Меѓутоа, авторот не

нуди информации за дијаметарот на трупците, должината, начинот на бичење, класата на квалитет, како и диспозициите на бичење и со кои примарни машини се бичени трупците.

Резултатите од нашите истражувања во голема мерка се во рамките на овие вредности, но недостасуваат дополнителни информации.

Авторите **Рабациски, Златески, Трпоски и Кољозов (2018a)**, го анализирале квантитативното искористување на пианските трупци од ела/смрча од I/III класа на квалитет и должина од 3,0 до 5,0 m.

Трупците се со дијаметар од 28,0 до 71,0 cm и среден пад на дијаметар од 0,86 до 1,44 cm/m. За квантитативното искористување по класа на квалитет ги наведуваат следните вредности: I класа = 63,40%; II класа = 63,40% и III класа = 58,60%. Средната вредност за квантитативното искористување изнесува 66,50%.

Во споредба со нашите резултати, прикажаните резултати од авторите се со пониска вредност на искористување на дрвната маса.

Истите автори (**Рабациски et al. 2018b**) за квантитативното искористување на трупците од ела/смрча со должина од 5,0 и 6,0 m, среден дијаметар од 33,0 до 57,0 cm, среден пад на дијаметар од 0,96 cm/m, по класа на квалитет дефинираат: I класа = 69,55%; II класа = 64,20% и III класа = 58,55%, средно 64,82%. Истражувањата се вршени на хоризонтална лентовидна пила – трупчарка.

Резултатите иако изгледаат доста блиску до нашите, сепак се разликуваат и не се споредуваат, заради различна должина на трупците, која кај нашите трупци е 4,0 m, а кај авторите е 5,0 и 6,0 m.

Според **Каламадевски (2012)**, авторите **Brežnjak, Hitrec и Butković (1985)**, при преработка на трупците од ела/смрча на вертикален гатер, наведуваат дека искористувањето за трупците од I/II класа на квалитет се движи од 60,0 до 67,0%. Трупците се со дијаметар од 26,0 до 60,0 cm.

За споредба не е наведена должината на трупците, но исто така е различен и приодот кон примарната машина. Истражувањата авторите ги вршеле со вертикален гатер, во споредба со нашите вршени на хоризонтална лентовидна пила – трупчарка. Резултатите за искористувањето на трупците се помали во споредба со нашите.

**Butković (1979)** вршел анализа на разлики меѓу експерименталното и симулирано бичење на искористувањето на трупците од ела. Трупците се распоредени во 14 дебелински групи со пораст меѓу нив од 2,0 cm. Падот на дијаметарот на трупците изнесува 1,3 cm/m, при дијаметри од 20,0 до 61,0 cm. Должината на трупците е 4,0 m.

Може да се констатира дека заради различниот приод, посебно во дебелинските групи не е можно да се вршат блиски споредби на резултатите за квантитативното искористување.

**Zupčević (1971)**, во истражувањата за квантитативното искористување на трупците од ела/смрча, наведува две дебелински групи, и тоа од 21,0 до 24,0 cm и од 39,0 до 41,0 cm, од I, II и III класа на квалитет. Констатира дека за трупците од I класа на квалитет искористувањето изнесува 74,23%; за II класа изнесува 71,56% и за III класа 67,23%. Падот на дијаметарот се движи во рамките од 0,98 до 1,77 cm/m.

Споредба со нашите резултати не е возможна поради различните дебелински групи, иако вредностите за искористувањето дост високи вредности.

Според **Ugrenović (1968)**, квантитативното искористување на трупците од ела изнесува од 60,0 до 70,0%, за трупците од смрча 65,0 до 75,0%.

За споредба доста скромни податоци, бидејќи н е се познати дијаметрите на трупците, нивната должина, класа на квалитет и сл. Вредностите за квантитативното искористување, се доста блиски со вредностите од нашите истражувања (нашите истражувања нудат вредности во граници од 66,20 до 75,50%).

Врз основа на извршените истражувања, од досегашните прикажани анализи можеме да ги изнесеме следниве поважни заклучоци:

1. Дрвен вид за преработка:
  - ела/смрча => претставуваат важни иглолисни видови во трговијата познати под име како „чамово дрво”.
2. Поважни физичко – механички својства:
  - а) Ела (*Abies alba* Mill.):
    - зафатнинска маса =>  $t_0=320 \text{ kg/m}^3$  за апсолутно суво дрво и  $t_{12}=380 \text{ kg/m}^3$  при стандардно просушена состојба,
    - собирање =>  $\alpha_l = 0,1\%$ ,  $\alpha_r = 3,8\%$ ,  $\alpha_t = 7,8\%$  и  $\alpha_v = 11,7\%$ ,
    - тврдост на дрвото по Јанка => 34 МПа,
    - јакост на притисок => 40 МПа,
    - јакост на свиткување => 62 МПа,
    - јакост на удар =>  $50 \text{ kJ/m}^2$  и
    - калорична вредност => 16173 kJ/kg.
  - б) Смрча (*Picea abies* L.)
    - зафатнинска маса на дрвото =>  $t_0 = 360,0 \text{ kg/m}^3$  за апсолутно суво дрво и  $t_{12}=390,0 \text{ kg/m}^3$  при стандардно просушена состојба,
    - собирање =>  $\alpha_l = 0,3\%$ ,  $\alpha_r = 3,6\%$ ,  $\alpha_t = 7,8\%$  и  $\alpha_v = 12\%$ ,
    - средна тврдост по Јанка => 27,0 МПа,
    - средна јакост на притисок => 50,3 МПа,
    - средна јакост на свиткување => 66,0 МПа,
    - средна јакост на смолкнување => 6,7 МПа;
    - средна јакост на удар =>  $50,0 \text{ kJ/m}^2$  и
    - калорична вредност => 18855 kJ/kg.
3. Објект на истражување:
  - „ДРВО БОР” ДООЕЛ – Берово
4. Суровина за истражување:
  - првичните истражувања се однесуваа за 91 по број трупци со дијаметар од 26,0 до 65,0 cm, должина 4,0 m, I/II класа на квалитет со дрвна зафатнина од  $63,352 \text{ m}^3$ .
5. Од претходно наведените трупци (91 по број) се формирани 8 дебелински групи и тоа:
  - I дебелинска група: трупци со дијаметар од 26,0 до 30,0 cm;
  - II дебелинска група: трупци со дијаметар од 31,0 до 35,0 cm;
  - III дебелинска група: трупци со дијаметар од 36,0 до 40,0 cm;
  - IV дебелинска група: трупци со дијаметар од 41,0 до 45,0 cm;
  - V дебелинска група: трупци со дијаметар од 46,0 до 50,0 cm;
  - VI дебелинска група: трупци со дијаметар од 51,0 до 55,0 cm;
  - VII дебелинска група: трупци со дијаметар од 56,0 до 60,0 cm и
  - VIII дебелинска група: трупци со дијаметар од 61,0 до 65,0 cm.
6. Карактеристики на трупците од ела/смрча од I дебелинска група (26,0 – 30,0 cm):
  - дијаметар на тенкиот крај ( $d_1$ ), од 26,0 до 30,0 cm,
  - дијаметар на дебелиот крај ( $d_2$ ), од 28,0 до 30,0 cm,
  - среден дијаметар ( $d_{sr}$ ), од 27,0 до 29,0 cm,
  - пад на дијаметар (S), од 0,50 до 1,00 cm/m,
  - должина (l), 4,0 m,
  - класа на квалитет (K), I/II,
  - дрвна зафатнина ( $V_I$ ),  $2,388 \text{ m}^3$ .
7. Карактеристики на трупците од ела/смрча од II дебелинска група (31,0 – 35,0 cm):
  - дијаметар на тенкиот крај ( $d_1$ ), од 31,0 до 33,0 cm,



- дијаметар на дебелиот крај ( $d_2$ ), од 34,0 до 35,0 cm,
  - среден дијаметар ( $d_{sr}$ ), од 32,0 до 34,0 cm,
  - пад на дијаметар (S), од 0,50 до 1,00 cm/m,
  - должина (l), 4,0 m,
  - класа на квалитет (K), I/II,
  - дрвна зафатнина ( $V_1$ ), 3,371 m<sup>3</sup>.
8. Карактеристики на групите од ела/смрча од III дебелинска група (36,0 – 40,0 cm):
- дијаметар на тенкиот крај ( $d_1$ ), од 36,0 до 38,0 cm,
  - дијаметар на дебелиот крај ( $d_2$ ), од 38,0 до 40,0 cm,
  - среден дијаметар ( $d_{sr}$ ), од 37,0 до 39,0 cm,
  - пад на дијаметар (S), од 0,50 до 1,00 cm/m,
  - должина (l), 4,0 m,
  - класа на квалитет (K), I/II,
  - дрвна зафатнина ( $V_1$ ), 4,485 m<sup>3</sup>.
9. Карактеристики на групите од ела/смрча од IV дебелинска група (41,0 – 45,0 cm):
- дијаметар на тенкиот крај ( $d_1$ ), од 41,0 до 43,0 cm,
  - дијаметар на дебелиот крај ( $d_2$ ), од 44,0 до 45,0 cm,
  - среден дијаметар ( $d_{sr}$ ), од 43,0 до 44,0 cm,
  - пад на дијаметар (S), од 0,50 до 1,00 cm/m,
  - должина (l), 4,0 m,
  - класа на квалитет (K), I/II,
  - дрвна зафатнина ( $V_1$ ), 5,828 m<sup>3</sup>.
10. Карактеристики на групите од ела/смрча од V дебелинска група (46,0 – 50,0 cm):
- дијаметар на тенкиот крај ( $d_1$ ), од 46,0 до 47,0 cm,
  - дијаметар на дебелиот крај ( $d_2$ ), од 48,0 до 50,0 cm,
  - среден дијаметар ( $d_{sr}$ ), од 47,0 до 48,0 cm,
  - пад на дијаметар (S), од 0,50 до 1,00 cm/m,
  - должина (l), 4,0 m,
  - класа на квалитет (K), I/II,
  - дрвна зафатнина ( $V_1$ ), 7,243 m<sup>3</sup>.
11. Карактеристики на групите од ела/смрча од VI дебелинска група (51,0 – 55,0 cm):
- дијаметар на тенкиот крај ( $d_1$ ), од 51,0 до 53,0 cm,
  - дијаметар на дебелиот крај ( $d_2$ ), од 53,0 до 55,0 cm,
  - среден дијаметар ( $d_{sr}$ ), од 52,0 до 54,0 cm,
  - пад на дијаметар (S), од 0,5 до 1,00 cm/m,
  - должина (l), 4,0 m,
  - класа на квалитет (K), I/II,
  - дрвна зафатнина ( $V_1$ ), 8,889 m<sup>3</sup>.
12. Карактеристики на групите од ела/смрча од VII дебелинска група (56,0 – 60,0 cm):
- дијаметар на тенкиот крај ( $d_1$ ), од 56,0 до 58,0 cm,
  - дијаметар на дебелиот крај ( $d_2$ ), од 58,0 до 60,0 cm,
  - среден дијаметар ( $d_{sr}$ ), од 57,0 до 59,0 cm,
  - пад на дијаметар (S), од 0,5 до 1,00 cm/m,
  - должина (l), 4,0 m,
  - класа на квалитет (K), I/II,
  - дрвна зафатнина ( $V_1$ ), 10,490 m<sup>3</sup>.
13. Карактеристики на групите од ела/смрча од VIII дебелинска група (61,0 – 65,0 cm):
- дијаметар на тенкиот крај ( $d_1$ ), од 61,0 до 63,0 cm,

- дијаметар на дебелиот крај ( $d_2$ ), од 63,0 до 65,0 cm,
- среден дијаметар ( $d_{sr}$ ), од 62,0 до 64,0 cm,
- пад на дијаметар ( $S$ ), од 0,5 до 1,00 cm/m,
- должина ( $l$ ), 4,0 m,
- класа на квалитет ( $K$ ), I/II,
- дрвна зафатнина ( $V_I$ ), 12,423 m<sup>3</sup>.

14. Во дебелинските групи вкупниот број на анализирани трупци изнесува 80 броја. Должина од 4,0 m, среден дијаметар на трупците од 27,0 до 64,0 cm и вкупна зафатнина 55,118 m<sup>3</sup>. Средниот пад на дијаметарот на трупците изнесува 0,71 cm/m.

15. Влажноста на трупците од ела/смрча пред бичењето изнесува од 45,0 до 55,0%.

16. Начини на бичење на трупците:

- остро (затворено, групно) бичење и
- призирање/разбичување на призма.

17. Според остро бичење се бичени трупци од дебелинските групи: 26,0 – 30,0 cm, 31,0 – 35,0 cm и 36,0 – 40,0 cm, како и дел на трупци од дебелинската група од 41,0 – 45,0 cm.

18. По пат на призирање/разбичување на призма се преработени трупци од дебелинските групи: 41,0 - 45,0 cm, 46,0 – 50,0 cm, 51,0 – 55,0 cm, 56,0 – 60,0 cm и 61,0 – 65,0 cm.

19. Широчината на резот при бичењето на трупците на примарната машина изнесува 3,2 mm, а на машината заokraжување на штиците и талпите, 5,0 mm.

20. Диспозициите на бичење на трупците се симетрични и несиметрични. Симетрична диспозиција на бичење е користена кај трупците со дијаметар до 40,0 cm. Диспозициите на бичење на трупците се формираат во зависност од спецификацијата на бичените сортименти.

21. Квантитативно искористување на трупците при остро бичење:

- дебелинска група => 26,0 – 30,0 cm → 66,20%, ситен и крупен отпадок → 33,80%,
- дебелинска група => 31,0 – 35,0 cm → 68,15%, ситен и крупен отпадок → 31,85% и
- дебелинска група => 36,0 – 40,0 cm → 69,91%, ситен и крупен отпадок → 30,09%.

Зависноста на одделните својства (квантитативното искористување – дебелински групи) е претставена со регресиона анализа, при што е користен модел на права линија на која одговара соодветна равенка. Пресметан е и коефициентот на корелација,

Равенката на регресионата линија е прикажана како:

$$y = 1,8555x + 64,375$$

Коефициентот на корелација изнесува  $r = 0,999$ . Коефициентот на корелација припаѓа во групата на потполна корелација, што потврдува дека помеѓу дијаметрите на трупците и искористувањето, при константна должина од 4,0 m, постои голема зависност.

22. Квантитативно искористување на трупците при призирање:

- дебелинска група => 41,0 – 45,0 cm → 67,55%, ситен и крупен отпадок → 32,44%,

- дебелинска група => 46,0 – 50,0 cm → 68,41%, ситен и крупен отпадок → 31,66%,
- дебелинска група => 51,0 – 55,0 cm → 72,68%, ситен и крупен отпадок → 27,32%,
- дебелинска група => 56,0 – 60,0 cm → 72,87%, ситен и крупен отпадок → 27,13% и
- дебелинска група => 61,0 – 65,0 cm → 75,50%, ситен и крупен отпадок → 24,50%.

Зависноста на дебелинската група и квантитативното искористување е прикажана со регресиона анализа со модел на права линија, со следнава равенка:

$$y = 2,0367x + 65,292$$

Коефициентот на корелација има  $r$  има вредност 0,934, што укажува на потполна корелација или со други зборови со пораст на дебелинската група расте и квантитативното искористување.

23. Во однос на квантитативното искористување на трупците од ела/смрча во дрвени летви, се анализирани 8 по број трупци од I/II класа на квалитет, должина 4,0 m, дијаметар од 52,0 до 59,0 cm. Падот на дијаметарот на трупците е од 0,50 до 1,75 cm/m. Трупците се со вкупна дрвна зафатнина која изнесува 7,777 m<sup>3</sup>.

Димензии на штици:

- широчина, од 200,0 до 400,0 mm,
- дебелина, 22,0 mm и
- должина, 4,0 m.

Димензии на летви:

- дебелина, 50,0 mm,
- широчина, 50,0 mm и
- должина, 3,0 и 4,0 m.

Квантитативно искористување:

- дрвен летви => 4,035 m<sup>3</sup> → 51,89%,
  - крајчена граѓа => 1,615 m<sup>3</sup> → 20,77%,
- 
- вкупно  $\Sigma$  => 5,650 m<sup>3</sup> → 72,66%,
  - дрвен отпадок => 2,127 m<sup>3</sup> → 51,89%.

На крај ќе го забележиме и следново дека нашите истражувања ги одредуваат производните услови на работа во пиланската постројка. Се работи за познат купувач и оттука е и формулацијата дека бичењето е наменско.

Врз основа на овие наши сознанија добиени од истражувањата, можеме да констатираме дека зафаќаме дел од проучувањата за суровината при пиланска преработка, што наведува на перманентно следење на преработката на трупците во пиланските постројки.

## КОРИСТЕНА ЛИТЕРАТУРА

- [1] Breznjak, M. (2000). Pilanska tehnologija drva, II dio, udzbenik. Zagreb: Sumarski fakultet Sveucilista u Zagrebu.
- [2] Breznjak, M. (1963). Analiza elemenata koji utjecu na iskoristenje pilanskih trupaca, interna studija. Sumarski fakultet Sveucilista u Zagrebu, Zagreb.
- [3] Breznjak, M. (1963). Primjer obracuna kvantitativnog, kvalitativnog i vrijednosnog iskoristenja zadane kolicine trupaca, interna studija. Zagreb: Sumarski Fakultet Sveucilista u Zagrebu.
- [4] Breznjak, M. (1996). Drvo, taj divni materijal. Sumarski list, 12(5-6), 219-224.
- [5] Breznjak, M. (1997). Pilanska tehnologija drva, I dio, udzbenik. Zagreb: Sumarski fakultet Sveucilista u Zagrebu.
- [6] Butkovic, J. (1993). Utjecaj nekih nacina piljenja trupaca jele/smreke na iskoristenje i primarnoj preradi. Drvna industrija, 29(5-6), 85-90.
- [7] Butkovic, J. (1993). Utjecaj nekih nacina raspiljavanja trupaca jele/smreke na iskoristenje u primarnoj preradi. Drvna industrija, 44(3), 85-90.
- [8] Butkovic, J. (1998). Usporedba iskoristenja za tri nacina piljenja jelovih/smrekovih trupaca. Drvna industrija, 49(1), 3-7.
- [9] Dunmire D.E, L. E. (1972). Logging residue is a source of valuable dimension stock. Forest Products Journal , 22(1), 14-17.
- [10] Dunmire, D., Landt, E., & Bodkin, R. (1972). Logging residue is a source of valuable dimension stock. Forest Production Journal, 22(1), 14-17.

- [11] Gotycz, W., & Hruzik, G. (1996). Wplyw struktury jakosciowo-wymiarowej bukowych klod tartacznych na optymalizacje ich przerobu. *Przemysl Drzewny*, 4, 20-22.
- [12] Horvat, I. (1963). *Pilanska prerada drva 1 i 2 dio*. Zagreb: Sumarski fakultet Sveucilista u Zagrebu.
- [13] Huber, H., Rosen, H., Stewart, H., & Harsh, S. (1983). A financial analysis of furniture parts from short bolts. *Forest Production Journal*, 33(9), 55-58.
- [14] Krutel, F. (1983). Iskoristenje bukovine u pilanskoj preradi u ovisnosti od kvalitete trupaca. *Bilten ZIDI*, 11(3), 26-38.
- [15] Phelps, J., & Chen, P. (1989). Lumber and wood properties of plantation-grown and naturally grown black walnut. *Forest Products Journal*, 39(2), 58-60.
- [16] Prka, T. (1973). Trziste i proizvodnja elemenata. *Drvna industrija*, 24(11-12), 280-282.
- [17] Prka, T. (1995). *Pilanska prerada drva, stanje, pravci i strategija razvitka industrijske prerade drva u RH*. Croatiandrvo.
- [18] Prka, T. (1998). Razvoj pilanske preradbe hrastovine. *Drvna industrija*, 39(9-10), 217-220.
- [19] Rabadziski, B., Kalamadevski, P., & Zlateski, G. (2013). Quantative exploitation of white pine logs during experimental and simulated sawing. *Wood, Design & Technology*, 2(1), 10-15.
- [20] Rosen, H., Stewart, H., & Polak, D. (1980). *Dimension yields from short logs od low-quality hardwood trees*. North Central Forest Experiment Station. St.Paul, Minnesota: U.S. Departament of Agriculture Forest Science.

- [21] Stewart, H., Rosen, H., Huber, H., & Rasher, A. (1982). 4/4 Hardwood dimension from short bolts: economic and processing comparison of conventional and inovative production. *Forest Products Journal*, 32(11-12), 71-76.
- [22] Tanusev, V., Istvanić, J., Moro, M., & Butkovic, J. (2009). Yield of low quality and small-sized diameter common beech (*fagus sylvatica l.*) logs in rough dimension stock production. *Sumarski list*, 133(9-10), 483-492.
- [23] Zubcevic, R. (1963). *Analiza elemenata koji utjecu na iskoristenje pilanskih trupaca, interna studija*. Sumarski fakultet Sveucilista u Zagrebu, Zagreb.
- [24] Михајлов, И. (1968). *Дендометрија*. Скопје: Земјоделско - шумарски факултет.
- [25] Рабаџиски, Б. (1991). *Квантитативно и квалитативно искористување на букови пилански трупци при бичење на гатер и лентовидна пила-трупчарка*, Магистерски труд. Скопје: Шумаски факултет, Универзитет „Св. Кирил и Методиј“.
- [26] Рабаџиски, Б. (1994). *Проучување на техничкото дрво со мали димензии од аспект на технологијата и сортиментската структура во примарната преработка*, Докторска дисертација. Скопје: Шумарски факултет, Универзитет „Св.Кирил и Методиј“.
- [27] Рабаџиски, Б. (2019). *Пиланска технологија на дрвото*. Скопје: Факултет за дизајн и технологии на мебел и ентериер.
- [28] Каламадевски, П. (2012). *Експериментално и симулирано бичење на трупци од бел бор I/II класа на квалитет и споредба на квантитативното искористување при бичење на лентовидн пила трупчарка*. Магистерски труд. Скопје: Факултет за дизајн и технологии на мебел и ентериер.

[29] MKC EN 1312:2010.

[30] MKC EN 1313-2:2010.

[31] MKC EN 1316-1:2013.

## **ПРИЛОЗИ**

Прилог 1: Диспозиција на бичење на трупците со дијаметар 26,0 – 30,0 см

Прилог 2: Диспозиција на бичење на трупците со дијаметар 31,0 – 35,0 см

Прилог 3: Диспозиција на бичење на трупците со дијаметар 36,0 – 40,0 см

Прилог 4: Диспозиција на бичење на трупците со дијаметар 41,0 – 45,0 см

Прилог 5: Диспозиција на бичење на трупците со дијаметар 46,0 – 50,0 см

Прилог 6: Диспозиција на бичење на трупците со дијаметар 51,0 – 55,0 см

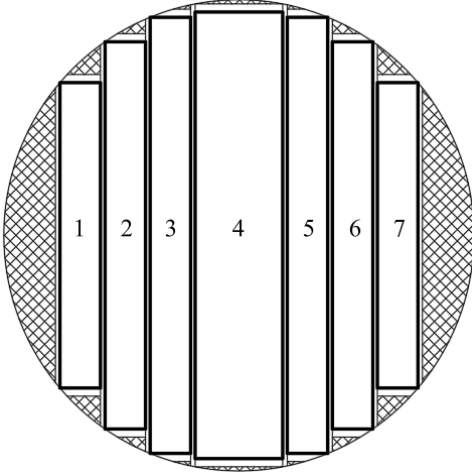
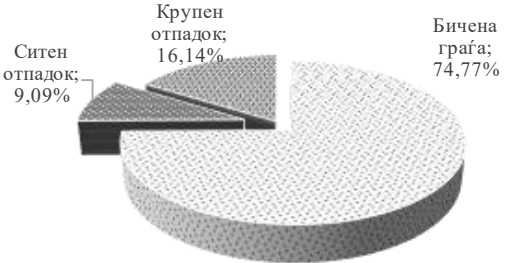
Прилог 7: Диспозиција на бичење на трупците со дијаметар 56,0 – 60,0 см

Прилог 8: Диспозиција на бичење на трупците со дијаметар 61,0 – 65,0 см

Прилог 9: Диспозиција на бичење на трупците во дрвени летви



**Прилог 1: Диспозиција на бичење на трупците со дијаметар од 26,0 до 30,0 cm**

Број на трупец: 1/0	Штици						
	Ознака	Број на штици	Дебелина	Широчина	Должина	Зафатнина	
Параметри:			a (mm)	b (mm)	l (m)	$V_{штици} (m^3)$	
$d_1 = 28,0 (cm)$							
$d_2 = 30,0 (cm)$	1 и 7	2	25,0	190,0	4,0	0,038	
$d_{sr} = 29,0 (cm)$	2 и 6	2	25,0	235,0	4,0	0,047	
$l = 4,0 (m)$	3 и 5	2	25,0	265,0	4,0	0,053	
$V = 0,264 (m^3)$	<b>Талпи</b>						
$S = 0,50 (cm/m)$	Ознака	Број на талпи	Дебелина	Широчина	Должина	Зафатнина	
<b>Диспозиција на бичење</b>			a (mm)	b (mm)	l (m)	$V_{талпи} (m^3)$	
		4	1	54,0	275,0	4,0	0,059
	Вкупна зафатнина (штици + талпи)						0,197
	<b>Квантитативно искористување</b>						
				$V (m^3)$	P (%)		
		1. Бичена граѓа (штици + талпи) $V_1$			0,197	74,77	
		2. Ситен отпадок $O_1$			0,024	9,09	
		3. Крупен отпадок $O_2$			0,043	16,14	
	Вкупно			0,264	100,00		
							
	$\frac{1}{25'} \frac{1}{25'} \frac{1}{25'} \frac{1}{54'} \frac{1}{25'} \frac{1}{25'} \frac{1}{25'}$						

Прилог 2: Диспозиција на бичење на трупците со дијаметар од 31,0 до 35,0 cm

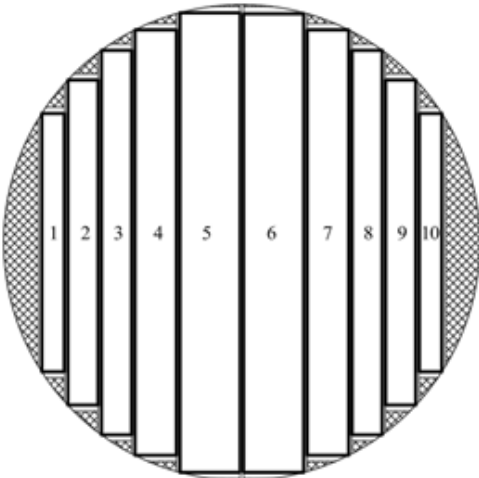
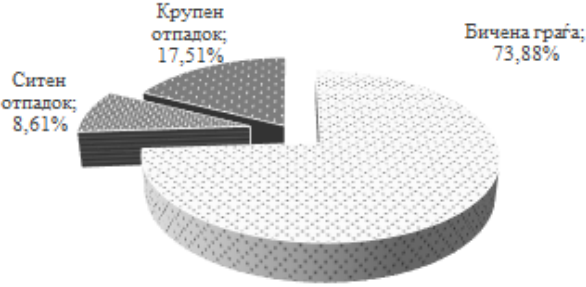
Број на трупец: 20/0	Штици					
Параметри:	Ознака	Број на штици	Дебелина	Широчина	Должина	Зафатнина
$d_1 = 31,0$ (cm)			a (mm)	b (mm)	l (m)	$V_{штици}$ (m <sup>3</sup> )
$d_2 = 35,0$ (cm)	1 и 6	2	25,0	215,0	4,0	0,043
$d_{sr} = 32,0$ (cm)	2 и 5	2	32,0	265,0	4,0	0,068
$l = 4,0$ (m)	Талпи					
$V = 0,321$ (m <sup>3</sup> )	Ознака	Број на талпи	Дебелина	Широчина	Должина	Зафатнина
$S = 1,00$ (cm/m)			a (mm)	b (mm)	l (m)	$V_{талпи}$ (m <sup>3</sup> )
<b>Диспозиција на бичење</b>	3 и 4	2	54,0	300,0	4,0	0,130
Вкупна зафатнина (штици + талпи)						0,240
<b>Квантитативно искористување</b>						
				V (m <sup>3</sup> )	P (%)	
1. Бичена граѓа (штици + талпи) $V_1$				0,240	74,90	
2. Ситен отпадок $O_1$				0,028	8,72	
3. Крупен отпадок $O_2$				0,053	16,37	
Вкупно				0,321	100,00	

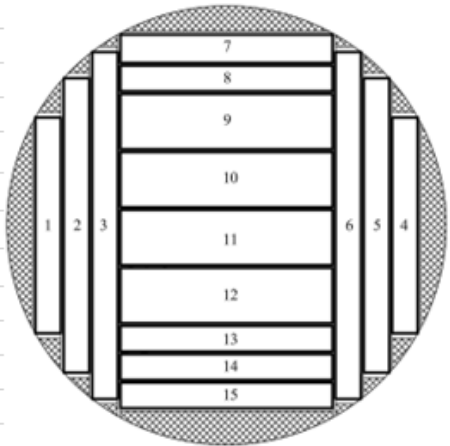
$\frac{1}{25} + \frac{1}{32} + \frac{2}{54} + \frac{1}{32} + \frac{1}{25}$

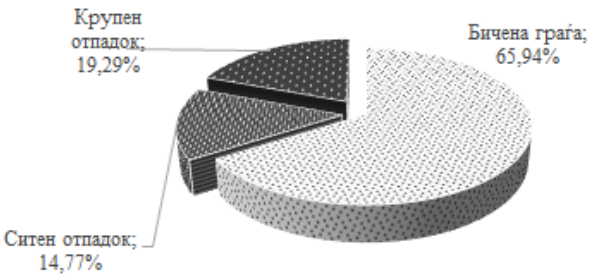
Бичена граѓа; 74,90%  
 Крупен отпадок; 16,37%  
 Ситен отпадок; 8,72%

Прилог 3: Диспозиција на бичење на трупецте со дијаметар од 36,0 до 40,0 см

Број на трупец: 30/0	Штици					
	Ознака	Број на штици	Дебелина a (mm)	Ширина b (mm)	Должина l (m)	Зафатнина $V_{штици}$ (m <sup>3</sup> )
Параметри:						
$d_1 = 37,0$ (cm)						
$d_2 = 40,0$ (cm)	1 и 10	2	18,0	200,0	3,0	0,022
$d_{sr} = 38,0$ (cm)	2 и 9	2	24,0	260,0	4,0	0,050
$l = 4,0$ (m)	3 и 8	2	24,0	300,0	4,0	0,058
$V = 0,453$ (m <sup>3</sup> )	4 и 7	2	33,0	340,0	3,0	0,067
$S = 0,75$ (cm/m)	5 и 6	2	48,0	360,0	4,0	0,138
<b>Диспозиција на бичење</b>	Вкупна зафатнина (штици)					0,335
	<b>Квантитативно искористување</b>					
				(m <sup>3</sup> )	(%)	
	1. Бичена граѓа (штици) $V_1$		0,335	73,88		
	2. Ситен отпадок $O_1$		0,039	8,61		
	3. Крупен отпадок $O_2$		0,079	17,51		
	Вкупно		0,453	100,00		
						
	$\frac{1}{18'} \frac{1}{24'} \frac{1}{24'} \frac{1}{33'} \frac{2}{48'} \frac{1}{33'} \frac{1}{24'} \frac{1}{24'} \frac{1}{18'}$					

Прилог 4: Диспозиција на бичење на трупеците со дијаметар од 41,0 до 45,0 cm

Број на трупец: 4/P	Штици					
Параметри:	Ознака	Број на штици	Дебелина	Широчина	Должина	Зафатнина
$d_1 = 41,0$ (cm)			a (mm)	b (mm)	l (m)	$V_{штици}$ (m <sup>3</sup> )
$d_2 = 45,0$ (cm)	1 и 4	2	25,0	210,0	3,0	0,032
$d_{гр} = 43,0$ (cm)	2 и 5	2	25,0	285,0	3,0	0,043
$l = 4,0$ (m)	3 и 6	2	25,0	340,0	3,0	0,051
$V = 0,508$ (m <sup>3</sup> )	7,8,13,14 и 15	5	25,0	205,0	3,0	0,077
$S = 1,00$ (cm/m)	Талпи					
Диспозиција на бичење	Ознака	Број на талпи	Дебелина	Широчина	Должина	Зафатнина
			a (mm)	b (mm)	l (m)	$V_{талпи}$ (m <sup>3</sup> )
	10,11 и 12	3	54,0	205,0	4,0	0,133
Вкупна зафатнина (штици + талпи)						0,335
<b>Квантитативно искористување</b>						
				$V$ (m <sup>3</sup> )	$P$ (%)	
1. Бичена граѓа (штици+талпи) $V_1$				0,335	65,94	
2. Сиген отпадок $O_1$				0,075	14,77	
3. Крупен отпадок $O_2$				0,098	19,29	
Вкупно				0,508	100,00	



Крупен отпадок; 19,29%

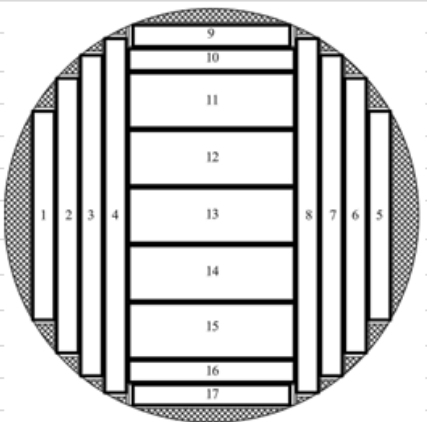
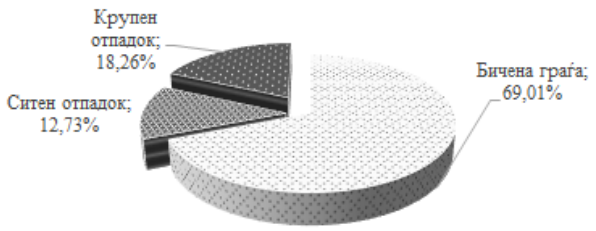
Бичена граѓа; 65,94%

Сиген отпадок; 14,77%

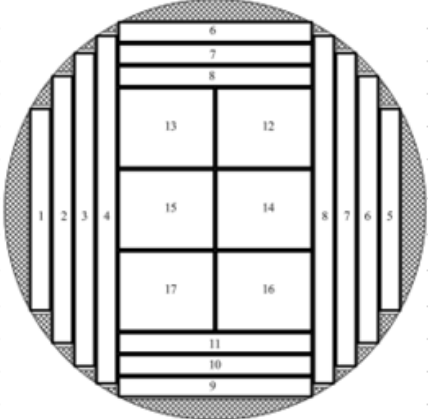
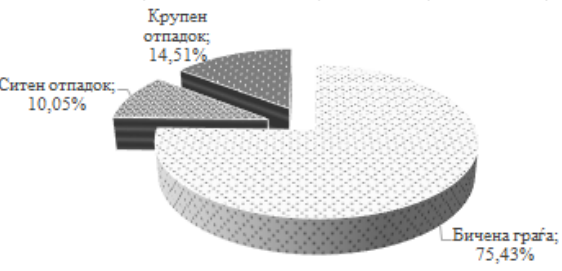
$$I \frac{1}{22} \cdot \frac{1}{25} \cdot \frac{1}{25} \cdot \frac{P}{210} \cdot \frac{1}{25} \cdot \frac{1}{25} \cdot \frac{1}{25}$$

$$II \frac{P}{210} \rightarrow \frac{5}{25} \cdot \frac{4}{50}$$

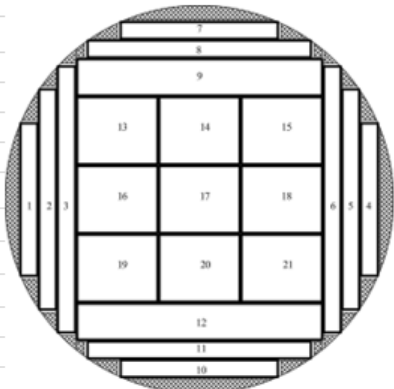
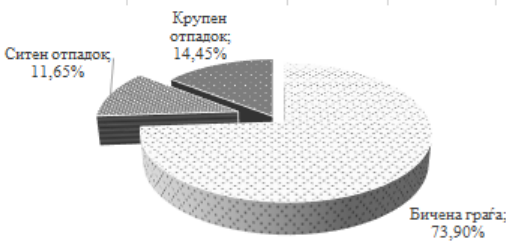
Прилог 5: Диспозиција на бичење на трупеците со дијаметар од 46,0 до 50,0 cm

Број на трупец: 13/P Параметри:	Штици					
	Ознака	Број на штици	Дебелина	Широчина	Должина	Зафатнина
$d_1 = 46,0$ (cm)			a (mm)	b (mm)	l (m)	$V_{штици} (m^3)$
$d_2 = 50,0$ (cm)	1 и 5	2	25,0	240,0	3,0	0,036
$d_{sr} = 48,0$ (cm)	2 и 6	2	25,0	315,0	3,0	0,047
$l = 4,0$ (m)	3 и 7	2	25,0	370,0	3,0	0,056
$V = 0,723$ (m <sup>3</sup> )	4 и 8	2	25,0	410,0	3,0	0,062
$S = 1,00$ (cm/m)	9 и 17	2	25,0	180,0	3,0	0,027
<b>Диспозиција на бичење</b>	10 и 16	2	25,0	190,0	3,0	0,0285
	Галпи					
	Ознака	Број на галпи	Дебелина	Широчина	Должина	Зафатнина
			a (mm)	b (mm)	l (m)	$V_{галпи} (m^3)$
	11,12,13,14 и 15	5	64,0	190,0	4,0	0,243
	Вкупна зафатнина (штици + галпи)					0,499
<b>Квантитативно искористување</b>						
					$V (m^3)$	P (%)
	1. Бичена граѓа (штици+галпи) $V_1$				0,499	69,01
	2. Ситен отпадок $O_1$				0,092	12,73
	3. Крупен отпадок $O_2$				0,132	18,26
	Вкупно				0,723	100,00
						
	$I \frac{1}{25} \cdot \frac{1}{25} \cdot \frac{1}{25} \cdot \frac{1}{25} \cdot \frac{P}{200} \cdot \frac{1}{25} \cdot \frac{1}{25} \cdot \frac{1}{25} \cdot \frac{1}{25}$ $II \frac{P}{200} \rightarrow \frac{5}{64} \cdot \frac{4}{25}$					

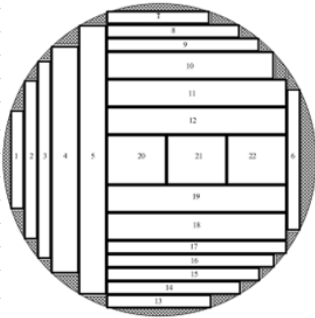
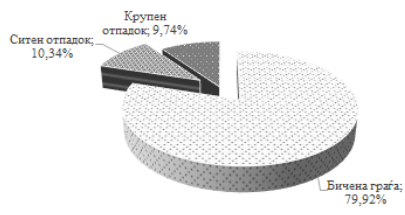
Прилог 6: Диспозиција на бичење на трупеците со дијаметар од 51,0 до 55,0 cm

Број на трупец: 24/P		Штици				
Параметри:	Ознака	Број на штици	Дебелина	Широчина	Должина	Зафатнина
$d_1 = 52,0$ (cm)			a (mm)	b (mm)	l (m)	$V_{штици}$ (m <sup>3</sup> )
$d_2 = 54,0$ (cm)	1 и 5	2	25,0	250,0	3,0	0,038
$d_{sr} = 53,0$ (cm)	2 и 6	2	25,0	335,0	3,0	0,050
l = 4,0 (m)	3 и 7	2	25,0	390,0	3,0	0,059
V = 0,882 (m <sup>3</sup> )	4 и 8	2	25,0	435,0	4,0	0,087
S = 0,50 (cm/m)	6,7,8,9,10 и 11	6	25,0	240,0	4,0	0,144
Диспозиција на бичење		Греди				
	Ознака	Број на греди	Дебелина	Широчина	Должина	Зафатнина
			a (mm)	b (mm)	l (m)	$V_{греди}$ (m <sup>3</sup> )
	12,13,14,15,16 и 17	6	100,0	120,0	4,0	0,288
	Вкупна зафатнина (штици + греди)					0,665
<b>Квантитативно искористување</b>						
				V(m <sup>3</sup> )	P (%)	
1. Бичена граѓа (штици+греди) $V_1$				0,665	75,43	
2. Ситен отпадок $O_1$				0,089	10,06	
3. Крупен отпадок $O_2$				0,128	14,51	
Вкупно				0,882	100,00	
$I \frac{1}{25} \cdot \frac{1}{25} \cdot \frac{1}{25} \cdot \frac{1}{25} \cdot \frac{P}{240} \cdot \frac{1}{25} \cdot \frac{1}{25} \cdot \frac{1}{25} \cdot \frac{1}{25}$ $II \frac{P}{200} \rightarrow \frac{6}{100 \times 120} \cdot \frac{6}{25}$						

Прилог 7: Диспозиција на бичење на трупеците со дијаметар од 56,0 до 60,0 cm

Број на трупец: 35/P Параметри: d <sub>1</sub> = 57,0 (cm) d <sub>2</sub> = 60,0 (cm) d <sub>sr</sub> = 58,0 (cm) l = 4,0 (m) V = 1,056 (m <sup>3</sup> ) S = 0,75 (cm/m)	Штици					
	Ознака	Број на штици	Дебелина	Широчина	Должина	Зафатнина
			a (mm)	b (mm)	l (m)	V <sub>штици</sub> (m <sup>3</sup> )
	1 и 4	2	25,0	275,0	3,0	0,041
	2 и 5	2	25,0	330,0	4,0	0,066
	3 и 6	2	25,0	395,0	4,0	0,079
	7 и 10	2	25,0	230,0	3,0	0,035
	8 и 11	2	25,0	330,0	4,0	0,066
Диспозиција на бичење	Талпи					
	Ознака	Број на талпи	Дебелина	Широчина	Должина	Зафатнина
				a (mm)	b (mm)	l (m)
	9 и 12	2	54,0	365,0	4,0	0,158
	Греди					
	Ознака	Број на греди	Дебелина	Широчина	Должина	Зафатнина
			a (mm)	b (mm)	l (m)	V <sub>греди</sub> (m <sup>3</sup> )
	13,14, 15,16,17,18,19	7	100,0	120,0	4,0	0,336
	Вкупна зафатнина (штици + талпи + греди)					0,780
	Квантитативно искористување					
					V (m <sup>3</sup> )	P (%)
	1. Бичена граѓа (штици+талпи+греди) V <sub>1</sub>			0,780	73,90	
	2. Ситен отпадок O <sub>1</sub>			0,123	11,65	
	3. Крупен отпадок O <sub>2</sub>			0,153	14,45	
	Вкупно			1,056	100,00	
						
	$I \frac{1}{25} \cdot \frac{1}{25} \cdot \frac{1}{25} \cdot \frac{P}{365} \cdot \frac{1}{25} \cdot \frac{1}{25} \cdot \frac{1}{25}$ $II \frac{P}{365} \rightarrow \frac{6}{100 \times 120} \cdot \frac{2}{54} \cdot \frac{3}{25}$					

## Прилог 8: Диспозиција на бичење на трупците со дијаметар од 61,0 до 65,0 cm

Број на трупци: 48/P		Штици					
Параметри:	Ознака	Број на штици	Дебелина	Широчина	Должина	Зафатнина	
$d_1 = 63,0$ (cm)			a (mm)	b (mm)	l (m)	$V_{штици}$ (m <sup>3</sup> )	
$d_2 = 65,0$ (cm)	1	1	25,0	200,0	3,0	0,015	
$d_w = 64,0$ (cm)	2	1	25,0	320,0	4,0	0,032	
l = 4,0 (m)	3	1	25,0	390,0	3,0	0,029	
V = 1,286 (m <sup>3</sup> )	6	1	25,0	285,0	3,0	0,021	
S = 0,50 (cm/m)	7	1	25,0	205,0	3,0	0,015	
<b>Диспозиција на бичење</b>	8	1	25,0	265,0	3,0	0,020	
	9	1	25,0	330,0	3,0	0,025	
	13	1	25,0	210,0	3,0	0,016	
	14	1	25,0	270,0	3,0	0,020	
	15	1	25,0	310,0	4,0	0,031	
	16	1	25,0	340,0	4,0	0,034	
	17	1	25,0	365,0	4,0	0,037	
	Талпи						
	Ознака	Број на талпи	Дебелина	Широчина	Должина	Зафатнина	
			a (mm)	b (mm)	l (m)	$V_{талпи}$ (m <sup>3</sup> )	
	4	1	54,0	460,0	4,0	0,099	
5	1	54,0	550,0	4,0	0,119		
10	1	54,0	340,0	3,0	0,055		
11,12, 18 и 19	4	54,0	365,0	4,0	0,315		
Греди							
Ознака	Број на греди	Дебелина	Широчина	Должина	Зафатнина		
		a (mm)	b (mm)	l (m)	$V_{греди}$ (m <sup>3</sup> )		
20,21 и 22	3	100,0	120,0	4,0	0,144		
Вкупна зафатнина (штици + талпи + греди)						1,028	
$I \frac{1}{25} \cdot \frac{1}{25} \cdot \frac{1}{25} \cdot \frac{1}{54} \cdot \frac{1}{54} \cdot \frac{P}{365} \cdot \frac{1}{25}$ $II \frac{P}{365} \rightarrow 100 \times 120 \cdot 54 \cdot 25$							
Квантитативно искористување							
					V (m <sup>3</sup> )	P (%)	
1. Бичена граѓа (штици+талпи+греди) V <sub>1</sub>					1,028	79,92	
2. Ситен отпадок O <sub>1</sub>					0,133	10,34	
3. Крупен отпадок O <sub>2</sub>					0,125	9,74	
Вкупно					1,286	100,00	
							



Прилог 9: Диспозиција на бичење на трупците во дрвени летви

Број на трупец: 3/L	Штици					
Параметри:	Ознака	Број на штици	Дебелина	Широчина	Должина	Зафатнина
$d_1 = 52,0$ (cm)			a (mm)	b (mm)	l (m)	$V_{штици}$ (m <sup>3</sup> )
$d_2 = 55,0$ (cm)	1	1	22,0	235,0	4,0	0,021
$d_{гр} = 53,0$ (cm)	2	1	22,0	315,0	4,0	0,028
$l = 4,0$ (m)	3	1	22,0	235,0	4,0	0,021
$V = 0,882$ (m <sup>3</sup> )	4	1	22,0	315,0	4,0	0,028
$S = 0,75$ (cm/m)	5	1	22,0	340,0	4,0	0,030
<b>Диспозиција на бичење</b>	6	1	22,0	265,0	4,0	0,023
	7	1	22,0	370,0	4,0	0,033
	Дрвени летви					
	Ознака	Број на штици	Дебелина	Широчина	Должина	Зафатнина
			a (mm)	b (mm)	l (m)	$V_{летви}$ (m <sup>3</sup> )
	8 - 103	96	25,0	50,0	4,0	0,480
	Вкупна зафатнина (штици + летви)					0,663
	Квантитативно искористување					
					$V$ (m <sup>3</sup> )	P (%)
	1. Бичена граѓа (штици+летви) $V_1$			0,651	73,81	
	2. Ситен отпадок $O_1$			0,115	13,04	
	3. Крупен отпадок $O_2$			0,116	13,15	
	Вкупно			0,882	100,00	

$$I \frac{7}{22} \cdot \frac{P}{389}$$

$$II \frac{P}{389} \rightarrow \frac{96}{25 \times 50}$$

Крупен отпадок; 13,15%

Ситен отпадок; 13,04%

Бичена граѓа; 73,81%

## СПИСОК НА ОБЈАВЕНИ ТРУДОВИ

- [1] Temelkova, A., Trposki, Z., Koljozov, V., Stamenkoska, A.M. (2025). Impact of feed rate on roughness of the cut surface during cutting dry beech and spruce wood with a circular saw. *Proceedings of the 7-th International Scientific Conference "Wood, Technology & Product Design"*, 17 – 2 September, Ohrid, p. 211 - 218.
- [2] Stamenkoska, A.M., Zlateski, G., Rabadziski, B., Temelkova, A. (2025). Yield comparison of beech (*Fagus sylvatica* L.) and fir/spruce (*Abies alba* Mill./*Picea abies* L.) logs in the sawmill processing industry, *Proceedings of the 7-th International Scientific Conference "Wood, Technology & Product Design"*. 17 – 2 September, Ohrid, p. 285 - 296.
- [3] Zlateski, G., Stamenkoska, A.M., Rabadziski, B. (2025): Analysis of heat consumption during convective wood drying of beech sawn timber of different thickness. *Proceedings of the 7-th International Scientific Conference "Wood, Technology & Product Design"*, 17 – 2 September, Ohrid, p. 78 - 86.
- [4] Stamenkoska, A.M., Meloska, Ž., Meloska, A., Petrovska, I., Antovska, I., Temelkova, A. (2025). The state of export and import of wood products and furniture in the Republic of North Macedonia: trends and strategies for growth. *Proceedings of WoodEMA 2025 – Wood for the future: Integrating sustainability across industries*, 17 – 19 September, 2025, Ohrid, p. 187 – 193.
- [5] **Stamenkoska, A.M. (2025). Analysis of Diameter Taper in Fir (*Abies alba* Mill.) and Spruce (*Picea abies* L.) Sawlogs from 1st and 2nd Quality Class. *Innovations in Woodworking Industry and Engineering Design*. 14(1), p. 13 – 19.**
- [6] Stamenkoska, A.M., Rabadziski, B., Zlateski, G., Trposki, Z., Temelkova, A., Koljozov, V. (2024). Processing Sawlogs into Parquet Blanks. *Innovations in Woodworking Industry and Engineering Design*. 13(2), p. 63 – 70.
- [7] Zlateski, G., Stamenkoska, A.M., Rabadziski, B., Trposki, Z., Koljozov, V. (2024). Impact of Length and Diameter Variations in Beech (*Fagus sylvatica* L.) Sawlogs on the Yield and Waste. *International Journal - Wood, Science and Technology*. 13 (1), p. 55 - 65.
- [8] **Stamenkoska, A.M. (2024). Comparative Analysis of Yield Distribution in First and Second-Class Quality Fir and Spruce Sawlogs (*Abies alba* Mill./*Picea abies* L.): A Case Study from North Macedonia. *International Journal - Wood, Science and Technology*. 13 (1), p. 28 - 36.**
- [9] Stamenkoska, A.M., Rabadziski, B., Zlateski, G. (2023). Wood Waste in the Sawmill Industry of Wood Processing. *Proceedings of the 6th International Scientific Conference „Wood, Technology and Product Design"*, 13 – 15 September, Ohrid, p. 12 – 18.
- [10] Stamenkoska, A.M., Zlateski, G. (2023). Determination of the Heat Energy Used for Hydrothermal Treatment of Ashwood (*Fraxinus excelsior*) by Log Soaking.

*Proceedings of the 6th International Scientific Conference „Wood, Technology and Product Design”, 13 – 15 September, Ohrid, p. 125 – 133.*

- [11] Zlateski, G., Stamenkoska, A.M., Trposki, Z., Koljozov, V. (2023). Analysis of Heat and Steam Consumption During Artificial Convective Drying of Oak Sawn Timber of Different Thickness. *Proceedings of the 6th International Scientific Conference „Wood, Technology and Product Design”, 13 – 15 September, Ohrid, p. 210 – 218.*
- [12] Stamenkoska, A.M., Rabadziski, B., Zlateski, G. (2023). Comparison of Log Taper in Different Wood Species. *Proceedings of the 32nd International Conference on Wood Science and Technology „ Unleashing the of Wood-based Materials”, 7 – 8 December, Zagreb, p. 186 – 194.*
- [13] Stamenkoska, A.M., Rabadziski, B., Zlateski, G. (2023). Technical Analysis of a Metal Chamber for Direct Steaming of Beech Lumber (*Fagus sylvatica* L.). *International Journal - Wood, Science and Technology*. 12 (1), p. 62 - 70.
- [14] Stamenkoska, A.M., Zlateski, G., Rabadziski, B. (2023). Solar Drying of Wood. *International Journal - Wood, Science and Technology*. 12 (1), p. 70 - 76.
- [15] Stamenkoska, A.M. (2022). Analysis of the Heat Energy Used for Steaming Edged Beech Lumber (*Fagus sylvatica* L.) with the Thickness of 50 mm. *International Journal - Wood, Science and Technology*. 11 (1), p. 22 – 32.
- [16] Stamenkoska, A.M., Zlateski, G. (2022): Milled Lumber Steaming Chambers. *International Journal - Wood, Science and Technology*. 11 (1), p. 79 - 85.
- [17] Rabaziski, B., Zlateski, G., Stamenkoska, A.M., Krstev, M. (2021). Analysis of the Influence of Beech Sawmill Logs on Maximum Quantity Exploitation. *Proceedings of the 5th International Scientific Conference, Wood, Technology and Product Design”, 14 – 17 September, Ohrid, p. 187 – 198.*
- [18] Stamenkoska, A.M., Rabadziski, B., Zlateski, G. (2021). Influence of Beech Sawlogs Length (*Fagus sylvatica* L.) Quality on Milled Lumber Quality. *International Journal - Wood, Science and Technology*. 10 (1), p. 100 – 105.

## БИОГРАФИЈА

Ана-Марија Стаменкоска е родена на 14.03.1998 година во Тетово.

Основното образование го завршува во Тетово, а по завршувањето на истото се запишува во Гимназијата „Кирил Пејчиновиќ“, на природно-математичка насока.

По завршувањето на средното образование, во 2016 година, се запишува на Факултетот за дизајн и технологии на мебел и ентериер при Универзитетот „Св.Кирил и Методиј“ во Скопје, на насоката Инженерство на мебел и дрво. Во 2017 година, се запишува и на насоката Дизајн на мебел и ентериер.

Во текот на студирањето паралелно изучува предмети од областа на технологијата на преработка и обработка на дрвото, како и предмети од областа на проектирањето и дизајнот на мебел и ентериер.

Во 2020 година дипломира на насоката Инженерство на мебел и дрво со просечна оценка 9,71, со дипломска работа под наслов „Масивни дрвени системи на градба“. Во 2021 година дипломира на насоката Дизајн на мебел и ентериер со просечна оценка 9,55, со дипломска работа под наслов „Пластификација на дрвото по пат на варење“.

По дипломирањето, се запишува на втор циклус на студии, под менторство на проф. д-р Бранко Рабациски. За понатамошно поле на интерес и проучување ја избира областа примарна преработка на дрвото. Како дел од оваа област, конкретно, ја проучува пластификацијата на дрвото. Во 2022 година магистрира со магистерскиот труд под наслов „Технолошка анализа на топлинската енергија на парилница за пластификација на бичена граѓа од бука (*Fagus sylvatica* L.)“. Вториот циклус на студии го завршува со просечна оценка 10,00. Во текот на студиите од првиот и вториот циклус активно е под менторство на проф. д-р Бранко Рабациски. Под менторство на проф. д-р Рабациски ги изработува дипломскиот и магистерскиот труд.

Во 2023 година се запишува на трет циклус – докторски студии на Факултетот за дизајн и технологии на мебел и ентериер. За поле на интерес и проучување ја задржува областа Примарна преработка на дрвото, под менторство на проф. д-р Бранко Рабациски.

Во 2021 година е избрана за носител на Инженерскиот прстен од страна на Комората на овластени инженери и архитекти и Инженерската асоцијација на Република Северна Македонија, а под покровителство на Претседателот на државата. Во 2022 година се стекнува со наградата за студент на генерација за 2021/2022 година на Универзитетот „Св. Кирил и Методиј“. Наградата и ја врачува Ректорот на Универзитетот, проф. д-р Никола Јанкуловски.

Автор е на осумнаесет научни труда од областа на примарната преработка на дрвото.

Ана-Марија Стаменкоска поседува високо познавање на англиски јазик, ниво Ц2 според Европската јазична рамка на Советот на Европа. Во 2021 годна успешно ја завршува Официјалната академија за внатрешен дизајн од Семос едукација, со што се стекнува со повеќе сертификати за работа со Autodesk софтвери.

Во 2023 година е избрана за демонстратор на Катедрата за примарна преработка на дрвото. Во 2025 година е избрана за асистент на истата Катедра.

## BIOGRAPHY

Ana-Marija Stamenkoska was born on 14 March 1998 in Tetovo, North Macedonia.

She completed her primary education in Tetovo, after which she enrolled at the “Kiril Pejčinovikj” Gymnasium.

In 2016, upon completing her secondary education, she enrolled at the Faculty of Design and Technologies of Furniture and Interior at Ss. Cyril and Methodius University in Skopje, undertaking studies in Furniture and Wood Engineering. In 2017, she additionally enrolled in the study program Furniture and Interior Design.

Throughout her studies, she simultaneously attended courses in wood processing technology and machining, as well as in furniture and interior design, thus developing a comprehensive academic profile that integrates the technological and design aspects of the wood-processing industry.

In 2020, she graduated from the Furniture and Wood Engineering program with a grade point average of 9.71, defending her bachelor’s thesis titled “Massive Timber Construction Systems.” In 2021, she completed her degree in Furniture and Interior Design with a grade point average of 9.55, defending the thesis “Wood Hydrothermal Treatment through Steaming.”

Following her undergraduate studies, she enrolled in the second cycle of studies (Master’s degree) under the mentorship of Prof. Dr. Branko Rabadžiski, choosing primary wood processing as her main field of academic and research interest. Within this domain, she focused particularly on the phenomenon of wood plasticization. In 2022, she earned her Master of Science degree, defending the thesis “Technological Analysis of Thermal Energy Consumption in a Steaming Chamber for the Hydrothermal Treatment of Beech (*Fagus sylvatica* L.) Timber.” She completed her master’s studies with an outstanding grade point average of 10.00. Both her bachelor’s and master’s theses were completed under the mentorship of Prof. Dr. Rabadžiski.

In 2023, she commenced the third cycle of studies (Doctoral studies) at the Faculty of Design and Technologies of Furniture and Interior, once again selecting Primary Wood Processing as her main field of research interest, under the continued mentorship of Prof. Dr. Branko Rabadžiski.

In 2021, she was awarded the Engineering Ring, a prestigious national recognition conferred by the Chamber of Certified Engineers and Architects and the Engineering Institution of the Republic of North Macedonia, under the patronage of the President of the State. In 2022, she received the Student of the Generation Award for 2021/2022 at Ss. Cyril and Methodius University in Skopje, presented to her by the University Rector, Prof. Dr. Nikola Jankulovski.

She is the author of eighteen scientific papers in the field of primary wood processing.

Ana-Marija Stamenkoska possesses advanced knowledge of the English language at the C2 level, according to the Common European Framework of Reference for Languages (CEFR). In 2021, she successfully completed the Official Interior Design Academy at Semos Education, earning multiple certificates in the use of Autodesk software tools.

In 2023, she was appointed as a Demonstrator at the Department of Primary Wood Processing. In 2025, she was elected to the position of Assistant at the same Department.



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



**М-р Ана-Марија Мирче Стаменкоска**

**ВЛИЈАНИЕ НА ДИСПОЗИЦИИТЕ НА БИЧЕЊЕ ВРЗ  
КВАНТИТАТИВНОТО ИСКОРИСТУВАЊЕ НА ПИЛАНСКИТЕ  
ТРУПЦИ ОД ЕЛА/СМРЧА (*Abies alba* Mill./*Picea abies* L.)**

**Авторезиме на докторскиот труд**

**Скопје, 2025 година**

## 1. ВОВЕД

Дрвото е еден од највредните природни ресурси. Неговата распространетост и добрите својства го категоризираат овој материјал како еден од најкористените материјали од природната, заслужен за развој на човечката цивилизација. Како материјал, дрвото наоѓа примена низ сите ери на човековиот развој. Од дамнешни времиња, дрвото претставувало основна суровина за конструирање на живеалишта на многу цивилизации, но и алати и оружје. Со развојот на цивилизацијата и технологијата, се појавиле посовремени материјали. Главната предност на дрвото се неговите технички својства. Релативно малата зафатнинска маса го прави исклучително лесен конструктивен материјал. Дрвото лесно се обликува и се обработува, што го прави материјал со широко подрачје на употреба. Околу 31,0% од копнената површина на планетата е покриена со шуми, што го прави дрвото лесно достапен и обновлив материјал.

Пиланската преработка на дрвото претставува важен фактор во стопанството на една земја. Оваа технологија го користи дрвото како главна суровина за добивање на многу производи кои наоѓаат примена во секојдневниот живот.

Пиланската технологија на дрвото е дел од дрвната индустрија, односно основен дел на примарната преработка на дрвото. Примарната преработка на дрвото ги опфаќа технолошките процеси на трансформација на трупците во пилански производи. Примарната преработка на дрвото го вбројува и процесот на хидротермичка обработка на суровината, како важен предуслов за добивање на квалитетна бичена граѓа. Во хидротермичката обработка на дрвото спаѓаат процесите на парење и сушење на суровината.

Главна суровина во пиланската технологија претставуваат трупците. Трупците можат да бидат од лисјарско и иглолисно потекло. Механички се преработуваат со помош на примарни и секундарни машини. Во групата на примарните машини се лентовидните пили и гатерите. Со овие машини се врши првата трансформација на суровината. При тоа, суровината го менува својот облик. Конечните димензии на избичената суровина се добива на секундарните машини, каде се вбројуваат кружните пили за напречно и надолжно режење. На секундарните машини се дефинираат должината и широчината на пиланските сортименти. Крајна цел на преработката на трупците е добивањето на квалитетна бичена граѓа. Квалитетот на бичената граѓа зависи од квалитетот на трупците. Квалитетот на трупците и на бичената граѓа се одредува според критериумите на стандардите.

Во земјите богати со шуми пиланската индустрија е значајна привредна гранка.

Во недоволно развиените индустриски земји, може да претставува и една од главните учесници за извор на приходи тесно поврзана со механичката и финалната обработка на дрвото.

Исто така, вредно е да се спомене дека вработува поголем број на работници, користи релативно малку учество на капитал за развој, има мали релативни потреби од енергетика, како и солидни еколошки карактеристики.

Пиланската преработка во Државата има богата и долга традиција. Околу 30,0% од територијата е покриена со шуми. Шумски потенцијал нуди можности за развој на дрвопреработувачката индустрија. Во минатото, земјата располагала со поголем број на дрвопреработувачки претпријатија кои користеле домашна суровина и извезувале производи од дрво. Со глобализацијата, домашното производство се намалува и дел од пазарот се насочува кон увоз, наместо кон извоз.

Во државата, се среќаваат пилански капацитети со мал и среден капацитет на годишна преработка. Пиланите се најчесто се „мешовити“ и преработуваат суровина со домашно потекло, но и увозна. Од аспект на дрвните видови, од иглолисните најчесто се

преработуваат ела, смрча и бор, а од лисјарските даб, бука и орев. Граѓата од иглолисните се користи во градежништвото, додека граѓата од лисјарските видови е наменета за производството на мебел. Пиланските постројки се најчесто полумеханизирани.

Во рамките на овој докторски труд извршено е истражување во производно-експлоатациони услови на работа. Предмет на истражување се пиланските трупци од ела (*Abies alba* Mill.) и смрча (*Picea abies* L.). Поради блискоста на анатомската градба и сличните технички својства, двата дрвни вида се анализирани како еден.

Целта на истражување е да се утврди влијанието на диспозициите на бичење врз квантитативното искористување кај пиланските трупци од ела и смрча од I/II класа на квалитет.

Врз основа на проучената научна и стручна литература, констатиравме дека има скромни сознанија во врска со квантитативното искористување при бичење на трупци од ела и смрча. Таа констатација побуди интерес да ги прошириме сознанијата.

Трупците ќе се преработат според два начини на бичење, и тоа:

- остро (затворено, групно) и
- призирање.

Предметот на истражување ги засега дрвните видови достапни во праксата. Идејата е да се направи анализа на квантитативното искористување при различни диспозиции на преработка на трупците во пиланските капацитети. Особено внимание ќе се обрне при составувањето на диспозиции на бичење во зависност од димензиите на трупците.

Истражувачките прашања се насочени кон различните диспозиции на бичење и вредностите на квантитативното искористување што се нудат.

Диспозициите на бичење на трупците во пилански сортименти ќе бидат следени според дијаметарот на трупците на тенкиот крај, а се во склад со однапред познати димензии на бичените сортименти.

Оттука се наметнуваат прашањата:

- која метода е најпогодна за формирање на диспозиција на бичење што ќе понуди најрационално искористување,
- при кои диспозиции се манифестира најмало, односно максимално квантитативно искористување на дрвната маса,
- сознанија за причините на мален процент на квантитативно искористување и
- тесна поврзаност меѓу квантитативното и квалитативното искористување на трупците во бичени сортименти.

Се очекува, според диспозициите на бичење на трупците од I-ва класа на квалитет кои на напречен пресек се со покружна форма, потоа поцилиндрични (помал пад на дијаметар), во однос на трупците од II-ра класа на квалитет, да се добијат вредности позначајни за максималното квантитативно искористување, како и во однос на квалитетот на сортиментите поврзан со квалитативното искористување.

## **1.1. Содржина на трудот**

1. ВОВЕД
2. ЗНАЧЕЊЕ НА ПИЛАНСКАТА ИНДУСТРИЈА
- 2.1. Како да се организира пиланската индустрија?
3. ЦЕЛ И ПРЕДМЕТ НА ИСТРАЖУВАЊЕ
4. ДОСЕГАШНИ ИСТРАЖУВАЊА
5. НАКУСО ЗА ДРВНИТЕ ВИДОВИ
- 5.1. Ела (*Abies alba* Mill)
- 5.1. Смрча (*Picea abies* L.)
6. ОБЈЕКТ НА ИСТРАЖУВАЊЕ



- 6.1. „ДРВО БОР” ДООЕЛ – Берово
- 6.1. Технологија на преработка на суровината
- 6.3. Машини, транспортни средства и уреди
- 6.3.1. Примарни машини
- 6.3.2. Секундарни машини
- 6.3.3. Транспортни средства и уреди
- 7. МЕТОД НА РАБОТА
- 7.1. Мерење и пресметка на параметрите на трупците
- 7.2. Мерење на влажноста на трупците
- 7.3. Мерење и пресметка на параметрите на бичените сортименти
- 7.4. Пресметка на квантитативното искористување
- 7.5. Применети статистички методи за обработка на податоците
- 8. РЕЗУЛТАТИ ОД ИСТРАЖУВАЊАТА
- 8.1. Суровина за истражување
- 8.1.1. Трупи од ела/смрча (26,0 – 30,0 cm)
- 8.1.2. Трупи од ела/смрча (31,0 – 35,0 cm)
- 8.1.3. Трупи од ела/смрча (36,0 – 40,0 cm)
- 8.1.4. Трупи од ела/смрча (41,0 – 45,0 cm)
- 8.1.5. Трупи од ела/смрча (46,0 – 50,0 cm)
- 8.1.6. Трупи од ела/смрча (51,0 – 55,0 cm)
- 8.1.7. Трупи од ела/смрча (56,0 – 60,0 cm)
- 8.1.8. Трупи од ела/смрча (61,0 – 65,0 cm)
- 8.1.9. Пад на дијаметар на пиланските трупи
- 8.1.10. Влажност на пиланските трупи од ела/смрча
- 8.2. Начини на бичење на пиланските трупи
- 8.2.1. Остро (затворено, групно) бичење на трупците
- 8.2.2. Призмирање – разбичување на призма
- 8.2.3. Широчина на рез
- 8.3. Диспозиции на бичење на трупците од ела/смрча
- 8.4. Квантитативно искористување на трупците од ела/смрча во пилански производи
- 8.4.1. Квантитативно искористување на трупците од ела/смрча во бичени сортименти
- 8.4.1.1. Квантитативно искористување на трупците во бичени сортименти при остро бичење
- 8.4.1.2. Квантитативно искористување во бичени сортименти при призмирање
- 8.4.2. Квантитативно искористување на трупците од ела/смрча во дрвени летви
- 8.4.2.1. Суровина за бичење
- 8.4.2.2. Диспозиции на бичење на трупците од ела/смрча за дрвени летви
- 8.4.2.3. Одограм и технолошка постапка при бичење на дрвени летви од ела/смрча
- 8.4.2.4. Квантитативно искористување на трупците во дрвени летви и окрајчена граѓа
- 9. ДИСКУСИЈА И ЗАКЛУЧОЦИ
- КОРИСТЕНА ЛИТЕРАТУРА

## **2. ПРИМЕНЕТИ НАУЧНИ МЕТОДИ И НАЧИН НА РАБОТА**

Истражувањата се извршени во производно-експлоатациони услови на работа во пиланскиот капацитет „ДРВО БОР” во Берово, Република Северна Македонија. Целокупниот процес на преработка се одвиваше во својата вообичаена динамика и организација, со што се обезбедија објективни и репрезентативни податоци за реалното искористување на дрвната суровина. Класирањето на трупците е извршено согласно македонските стандарди МКС EN Д.Б4.028/1:1990, МКС EN Д.Ц1.022 и МКС EN 1316-

1:2013, што овозможи усогласеност со пропишаните критериуми за квалитет и димензионални параметри.

Методот на работа се состои од две фази. Во првата фаза беше извршено мерење на параметрите на трупците, при што се бележеа должината и дијаметрите на тенкиот и дебелиот крај на трупците. Врз основа на добиените вредности се пресметуваше средниот дијаметар, зафатнината на трупците според стандардизирани формули, како и падот на дијаметарот. Овие податоци претставуваат основа за утврдување на почетната суровинска структура и создавање на прецизна база за подоцнежната анализа на квантитативното искористување.

Втората фаза се однесува на мерењето и евидентирањето на параметрите на добиените бичени сортименти по завршената преработка на примарните и секундарните машини. Секој сортимент беше измерен по должина, ширина и дебелина, по што беше пресметана неговата зафатнина.

Врз основа на добиените податоци од мерењата и пресметките беше извршена пресметка на квантитативното искористување на секој трупец вклучен во анализата поединечно. За обработка, споредба и интерпретација на податоците беа применети соодветни статистички методи (дескриптивна статистика, регресиона анализа и Студентов „t-test“), со цел добивање валидни и научно поткрепени заклучоци.

### 3. ДОБИЕНИ РЕЗУЛТАТИ И НИВНО ЗНАЧЕЊЕ

Врз основа на извршените истражувања, од досегашните прикажани анализи можеме да ги изнесеме следниве поважни заклучоци:

1. Дрвен вид за преработка:

- ела/смрча => претставуваат важни иглолисни видови во трговијата познати под име како „чамово дрво“.

2. Поважни физичко – механички својства:

а) Ела (*Abies alba* Mill.):

- зафатнинска маса =>  $t_0=320 \text{ kg/m}^3$  за апсолутно суво дрво и  $t_{12}=380 \text{ kg/m}^3$  при стандардно просушена состојба,

- собирање =>  $\alpha_l = 0,1\%$ ,  $\alpha_r = 3,8\%$ ,  $\alpha_t = 7,8\%$  и  $\alpha_v = 11,7\%$ ,

- тврдост на дрвото по Јанка => 34 МПа,

- јакост на притисок => 40 МПа,

- јакост на свиткување => 62 МПа,

- јакост на удар =>  $50 \text{ kJ/m}^2$  и

- калорична вредност =>  $16173 \text{ kJ/kg}$ .

б) Смрча (*Picea abies* L.)

- зафатнинска маса на дрвото =>  $t_0 = 360,0 \text{ kg/m}^3$  за апсолутно суво дрво и  $t_{12}=390,0 \text{ kg/m}^3$  при стандардно просушена состојба,

- собирање =>  $\alpha_l = 0,3\%$ ,  $\alpha_r = 3,6\%$ ,  $\alpha_t = 7,8\%$  и  $\alpha_v = 12\%$ ,

- средна тврдост по Јанка => 27,0 МПа,

- средна јакост на притисок => 50,3 МПа,

- средна јакост на свиткување => 66,0 МПа,

- средна јакост на смолкнување => 6,7 МПа;

- средна јакост на удар =>  $50,0 \text{ kJ/m}^2$  и

- калорична вредност =>  $18855 \text{ kJ/kg}$ .

3. Објект на истражување:

- „ДРВО БОР“ ДООЕЛ – Берово

4. Суровина за истражување:

- првичните истражувања се однесуваа за 91 по број трупци со дијаметар од 26,0 до 65,0 cm, должина 4,0 m, I/II класа на квалитет со дрвна зафатнина од 63,352 m<sup>3</sup>.

5. Од претходно наведените трупци (91 по број) се формирани 8 дебелински групи и тоа:

- I дебелинска група: трупци со дијаметар од 26,0 до 30,0 cm;
- II дебелинска група: трупци со дијаметар од 31,0 до 35,0 cm;
- III дебелинска група: трупци со дијаметар од 36,0 до 40,0 cm;
- IV дебелинска група: трупци со дијаметар од 41,0 до 45,0 cm;
- V дебелинска група: трупци со дијаметар од 46,0 до 50,0 cm;
- VI дебелинска група: трупци со дијаметар од 51,0 до 55,0 cm;
- VII дебелинска група: трупци со дијаметар од 56,0 до 60,0 cm и
- VIII дебелинска група: трупци со дијаметар од 61,0 до 65,0 cm.

6. Карактеристики на трупците од ела/смрча од I дебелинска група (26,0 – 30,0 cm):

- дијаметар на тенкиот крај ( $d_1$ ), од 26,0 до 30,0 cm,
- дијаметар на дебелиот крај ( $d_2$ ), од 28,0 до 30,0 cm,
- среден дијаметар ( $d_{sr}$ ), од 27,0 до 29,0 cm,
- пад на дијаметар (S), од 0,50 до 1,00 cm/m,
- должина (l), 4,0 m,
- класа на квалитет (K), I/II,
- дрвна зафатнина ( $V_1$ ), 2,388 m<sup>3</sup>.

7. Карактеристики на трупците од ела/смрча од II дебелинска група (31,0 – 35,0 cm):

- дијаметар на тенкиот крај ( $d_1$ ), од 31,0 до 33,0 cm,
- дијаметар на дебелиот крај ( $d_2$ ), од 34,0 до 35,0 cm,
- среден дијаметар ( $d_{sr}$ ), од 32,0 до 34,0 cm,
- пад на дијаметар (S), од 0,50 до 1,00 cm/m,
- должина (l), 4,0 m,
- класа на квалитет (K), I/II,
- дрвна зафатнина ( $V_1$ ), 3,371 m<sup>3</sup>.

8. Карактеристики на трупците од ела/смрча од III дебелинска група (36,0 – 40,0 cm):

- дијаметар на тенкиот крај ( $d_1$ ), од 36,0 до 38,0 cm,
- дијаметар на дебелиот крај ( $d_2$ ), од 38,0 до 40,0 cm,
- среден дијаметар ( $d_{sr}$ ), од 37,0 до 39,0 cm,
- пад на дијаметар (S), од 0,50 до 1,00 cm/m,
- должина (l), 4,0 m,
- класа на квалитет (K), I/II,
- дрвна зафатнина ( $V_1$ ), 4,485 m<sup>3</sup>.

9. Карактеристики на трупците од ела/смрча од IV дебелинска група (41,0 – 45,0 cm):

- дијаметар на тенкиот крај ( $d_1$ ), од 41,0 до 43,0 cm,
- дијаметар на дебелиот крај ( $d_2$ ), од 44,0 до 45,0 cm,
- среден дијаметар ( $d_{sr}$ ), од 43,0 до 44,0 cm,
- пад на дијаметар (S), од 0,50 до 1,00 cm/m,
- должина (l), 4,0 m,
- класа на квалитет (K), I/II,
- дрвна зафатнина ( $V_1$ ), 5,828 m<sup>3</sup>.

10. Карактеристики на трупците од ела/смрча од V дебелинска група (46,0 – 50,0 cm):

- дијаметар на тенкиот крај ( $d_1$ ), од 46,0 до 47,0 cm,
- дијаметар на дебелиот крај ( $d_2$ ), од 48,0 до 50,0 cm,
- среден дијаметар ( $d_{sr}$ ), од 47,0 до 48,0 cm,
- пад на дијаметар (S), од 0,50 до 1,00 cm/m,
- должина (l), 4,0 m,

- класа на квалитет (К), I/II,
- дрвна зафатнина ( $V_1$ ), 7,243 m<sup>3</sup>.

11. Карактеристики на трупците од ела/смрча од VI дебелинска група (51,0 – 55,0 cm):

- дијаметар на тенкиот крај ( $d_1$ ), од 51,0 до 53,0 cm,
- дијаметар на дебелиот крај ( $d_2$ ), од 53,0 до 55,0 cm,
- среден дијаметар ( $d_{sr}$ ), од 52,0 до 54,0 cm,
- пад на дијаметар (S), од 0,5 до 1,00 cm/m,
- должина (l), 4,0 m,

- класа на квалитет (К), I/II,
- дрвна зафатнина ( $V_1$ ), 8,889 m<sup>3</sup>.

12. Карактеристики на трупците од ела/смрча од VII дебелинска група (56,0 – 60,0 cm):

- дијаметар на тенкиот крај ( $d_1$ ), од 56,0 до 58,0 cm,
- дијаметар на дебелиот крај ( $d_2$ ), од 58,0 до 60,0 cm,
- среден дијаметар ( $d_{sr}$ ), од 57,0 до 59,0 cm,
- пад на дијаметар (S), од 0,5 до 1,00 cm/m,
- должина (l), 4,0 m,

- класа на квалитет (К), I/II,
- дрвна зафатнина ( $V_1$ ), 10,490 m<sup>3</sup>.

13. Карактеристики на трупците од ела/смрча од VIII дебелинска група (61,0 – 65,0 cm):

- дијаметар на тенкиот крај ( $d_1$ ), од 61,0 до 63,0 cm,
- дијаметар на дебелиот крај ( $d_2$ ), од 63,0 до 65,0 cm,
- среден дијаметар ( $d_{sr}$ ), од 62,0 до 64,0 cm,
- пад на дијаметар (S), од 0,5 до 1,00 cm/m,
- должина (l), 4,0 m,

- класа на квалитет (К), I/II,
- дрвна зафатнина ( $V_1$ ), 12,423 m<sup>3</sup>.

14. Во дебелинските групи вкупниот број на анализирани трупи изнесува 80 броја. Должина од 4,0 m, среден дијаметар на трупците од 27,0 до 64,0 cm и вкупна зафатнина 55,118 m<sup>3</sup>. Средниот пад на дијаметарот на трупците изнесува 0,71 cm/m.

15. Влажноста на трупците од ела/смрча пред бичењето изнесува од 45,0 до 55,0%.

16. Начини на бичење на трупците:

- остро (затворено, групно) бичење и
- призирање/разбичување на призма.

17. Според остро бичење се бичени трупи од дебелинските групи: 26,0 – 30,0 cm, 31,0 – 35,0 cm и 36,0 – 40,0 cm, како и дел на трупи од дебелинската група од 41,0 – 45,0 cm.

18. По пат на призирање/разбичување на призма се преработени трупи од дебелинските групи: 41,0 - 45,0 cm, 46,0 – 50,0 cm, 51,0 – 55,0 cm, 56,0 – 60,0 cm и 61,0 – 65,0 cm.

19. Широчината на резот при бичењето на трупците на примарната машина изнесува 3,2 mm, а на машината заokraжување на штиците и талпите, 5,0 mm.

20. Диспозициите на бичење на трупците се симетрични и несиметрични. Симетрична диспозиција на бичење е користена кај трупците со дијаметар до 40,0 cm. Диспозициите на бичење на трупците се формираат во зависност од спецификацијата на бичените сортименти.

21. Квантитативно искористување на трупците при остро бичење:

- дебелинска група => 26,0 – 30,0 cm → 66,20%, ситен и крупен отпадок → 33,80%,
- дебелинска група => 31,0 – 35,0 cm → 68,15%, ситен и крупен отпадок → 31,85% и

- дебелинска група => 36,0 – 40,0 cm → 69,91%, ситен и крупен отпадок → 30,09%.

Зависноста на одделните својства (квантитативното искористување – дебелински групи) е претставена со регресиона анализа, при што е користен модел на права линија на која одговара соодветна равенка. Пресметан е и коефициентот на корелација,

Равенката на регресионата линија е прикажана како:

$$y = 1,8555x + 64,375$$

Коефициентот на корелација изнесува  $r = 0,999$ . Коефициентот на корелација припаѓа во групата на потполна корелација, што потврдува дека помеѓу дијаметрите на трупците и искористувањето, при константна должина од 4,0, постои голема зависност.

22. Квантитативно искористување на трупците при призмање:

- дебелинска група => 41,0 – 45,0 cm → 67,55%, ситен и крупен отпадок → 32,44%,

- дебелинска група => 46,0 – 50,0 cm → 68,41%, ситен и крупен отпадок → 31,66%,

- дебелинска група => 51,0 – 55,0 cm → 72,68%, ситен и крупен отпадок → 27,32%,

- дебелинска група => 56,0 – 60,0 cm → 72,87%, ситен и крупен отпадок → 27,13% и

- дебелинска група => 61,0 – 65,0 cm → 75,50%, ситен и крупен отпадок → 24,50%.

Зависноста на дебелинската група и квантитативното искористување е прикажана со регресиона анализа со модел на права линија, со следнава равенка:

$$y = 2,0367x + 65,292$$

Коефициентот на корелација има  $r$  има вредност 0,934, што укажува на потполна корелација или со други зборови со пораст на дебелинската група расте и квантитативното искористување.

23. Во однос на квантитативното искористување на трупците од ела/смрча во дрвени летви, се анализирани 8 по број трупци од I/II класа на квалитет, должина 4,0 m, дијаметар од 52,0 до 59,0 cm. Падот на дијаметарот на трупците е од 0,50 до 1,75 cm/m. Трупците се со вкупна дрвна зафатнина која изнесува 7,777 m<sup>3</sup>.

Димензии на штици:

- широчина, од 200,0 до 400,0 mm,

- дебелина, 22,0 mm и

- должина, 4,0 m.

Димензии на летви:

- дебелина, 50,0 mm,

- широчина, 50,0 mm и

- должина, 3,0 и 4,0 m.

Квантитативно искористување:

- дрвен летви => 4,035 m<sup>3</sup> → 51,89%,

- окрјачена граѓа => 1,615 m<sup>3</sup> → 20,77%,

---

- вкупно  $\Sigma$  => 5,650 m<sup>3</sup> → 72,66%,

дрвен отпадок => 2,127 m<sup>3</sup> → 51,89%.

#### 4. ЗАКЛУЧОК

Во докторскиот труд по извршените математички и статистички обработки на податоците од истражувањето за однесувањето на квантитативното искористување на трупците од ела/смрча и дијаметрите на трупците ќе ги изнесеме нашите поважни заклучоци и препораки, од опфатените истражувања.

Користењето на дрвната маса од шумските ресурси во бичени пилански производи, отсекогаш го привлекувало вниманието на стручните лица, но и на пошироката јавност. Оваа проблематика предизвикува голем интерес и потребно е перманентно следење и истражување, бидејќи така ќе се создадат услови за поволно користење на шумскиот потенцијал (трупци), но и количеството на преработени бичени сортименти (штици, талпи, греди, гредички, дрвени летви и сл.), корисни во секојдневието на животот на луѓето.

Како што веќе наведовме, основата на истражувањето се пилански трупци од ела/смрча (*Abies alba* Mill./*Picea abies* L.). Според одредена методологија се анализирани диспозиции на бичење, како и начини на бичење на трупците.

Врз основа на тие сознанија е пресметано квантитативното искористување на трупците во пилански производи. Пиланските производи се прикажани како: окрајчена граѓа (штици и талпи), потоа греди и дрвени летви.

Од гледна точка на математичката и статистичката анализа, воспоставен е однос на дебелинските групи (дијаметри на трупците) и квантитативното искористување. За таа цел се користени два начини на бичење на трупците и тоа: остро (затворено или групно) бичење и бичење по пат на призирање и разбичување на призма.

Спроведените истражувања се реални и експериментално се извршени во производно-експлоатациони услови на работење во пиланската постројка „ДРВО БОР“ ДООЕЛ во Берово, која успешно работи повеќе децении во источниот дел на Република Северна Македонија. Расположена е на површина од околу 5000 m<sup>2</sup>, а вкупното количество на преработена суровина од бука изнесува околу 3200 m<sup>3</sup>/god. Пиланата е опремена со две хоризонтални лентовидни пили, машина за надолжно режење-окрајчување на граѓата, моторна пила, машини за подготовка и одржување на алатот, виљушкари и трактори, но и покрај тоа не спаѓа во пилани од современ тип.



**SS. CYRIL AND METHODIUS  
UNIVERSITY IN SKOPJE**  
**FACULTY OF DESIGN AND  
TECHNOLOGIES OF FURNITURE AND  
INTERIOR-SKOPJE**



**Ana Marija Mirče Stamenkoska, MSc**

**INFLUENCE OF THE SAWING METHODS ON THE QUANTITATIVE  
YIELD OF FIR/SPRUCE SAWLOGS (*Abies alba* Mill/*Picea abies* L.)**

**Doctoral thesis short summary**

**Скопје, 2025 година**

## 1. INTRODUCTION

Wood is one of the most valuable natural resources. Its wide distribution and favourable properties classify it among the most widely used natural materials and make it a key driver in the development of human civilisation. As a material, wood has found application throughout all stages of human progress. Since ancient times, it has represented the primary raw material for constructing dwellings for many civilizations, as well as for producing tools and weapons.

With the advancement of civilisation and technology, more contemporary materials have emerged. Nevertheless, the principal advantage of wood lies in its technical properties. Its relatively low volumetric mass makes it an exceptionally light structural material. Wood is easily shaped and machined, which renders it suitable for a wide range of applications. Approximately 31.0% of the Earth's terrestrial area is covered with forests, which makes wood a readily accessible and renewable material.

Sawmilling of wood is an important factor in the economy of every country. This technology uses wood as the primary raw material for the production of numerous products that find application in everyday life.

Sawmilling technology forms an integral part of the wood industry, representing the core of primary wood processing. Primary wood processing encompasses the technological processes by which logs are transformed into sawn products. Within primary processing, the hydrothermal conditioning of the raw material is also included as an important prerequisite for obtaining high-quality sawn timber. Hydrothermal treatment of wood comprises processes such as steaming and drying of the raw material.

The main raw material in sawmilling technology are logs. The logs may originate from broadleaved or coniferous species. They are mechanically processed with the aid of primary and secondary machines. The group of primary machines includes band saws and frame saws (gaters), with which the initial transformation of the raw material is carried out, whereby the material changes its form. The final dimensions of the sawn raw material are achieved on secondary machines, which include circular saws for cross-cutting and ripping. On the secondary machines, the length and width of the sawn assortments are defined.

The ultimate goal of log processing is the production of high-quality sawn timber. The quality of the sawn timber depends directly on the quality of the logs. The quality of both logs and sawn timber is determined according to the criteria prescribed by relevant standards.

In countries rich in forests, the sawmilling industry represents a significant industrial branch. In less industrially developed countries, it may be one of the main generators of income, closely linked to the mechanical and final processing of wood. It is also important to mention that it employs a larger number of workers, requires relatively modest capital investments for development, has comparatively low energy demands, and is characterised by solid environmental performance.

Sawmilling in the country has a rich and longstanding tradition. Around 30.0% of the national territory is covered with forests. The forest potential offers favourable opportunities for the development of the wood-processing industry. In the past, the country had a larger number of wood-processing enterprises that used domestic raw material and exported wood products. With globalisation, domestic production has declined and part of the market has shifted from export-oriented production towards increased import dependence.

Within the country, sawmilling capacities with small and medium annual processing volumes prevail. The sawmills are most often "mixed", processing both domestic and imported raw material. From the aspect of wood species, among conifers, fir, spruce and pine are most frequently processed, while among broadleaves, oak, beech and walnut predominate. Timber from coniferous species is used mainly in construction, whereas timber from broadleaved



species is intended primarily for furniture production. The sawmilling plants are most often semi-mechanised.

Within the framework of this doctoral dissertation, the research was carried out under real production and operating conditions. The subject of investigation are sawlogs of fir (*Abies alba* Mill.) and spruce (*Picea abies* L.). Owing to the similarity of their anatomical structure and their comparable technical properties, the two wood species are analysed jointly.

The aim of the research is to determine the influence of sawing patterns (dispositions) on the quantitative yield of fir/spruce sawlogs of I/II quality class.

On the basis of the reviewed scientific and professional literature, it was established that there is relatively limited knowledge regarding quantitative yield when sawing fir and spruce logs. This observation provided an incentive to expand the existing understanding in this field.

The logs are processed according to two sawing methods, namely:

live (closed, group) sawing and  
cant sawing (prism sawing and resawing).

The subject of research involves wood species commonly used in practice. The idea is to carry out an analysis of the quantitative yield under different dispositions of log processing in sawmilling capacities. Particular attention is paid to the design of sawing patterns in relation to the dimensions of the logs.

The research questions focus on the different sawing dispositions and the values of quantitative yield they provide.

The sawing dispositions for converting logs into sawmill assortments are followed according to the diameter of the logs at the small end and are aligned with the predetermined dimensions of the required sawn assortments.

In this context, the following questions arise:

Which method is most suitable for designing a sawing disposition that will ensure the most rational yield?

Under which dispositions is the minimum, and under which the maximum quantitative utilisation of the wood mass achieved?

What are the underlying causes of reduced quantitative yield?

What is the nature of the relationship between quantitative and qualitative utilisation of logs in sawn assortments?

It is expected that, according to the sawing dispositions applied to logs of the first quality class, which are more circular in cross-section and more cylindrical in shape (smaller diameter taper), compared to logs of the second quality class, values more favourable for maximum quantitative yield will be obtained, as well as superior quality of the assortments in terms of qualitative utilisation.

## **1.1. Structure of the Dissertation**

INTRODUCTION

SIGNIFICANCE OF THE SAWMILLING INDUSTRY

2.1. How should the sawmilling industry be organised?

AIM AND SUBJECT OF THE RESEARCH

PREVIOUS RESEARCH

BRIEF OVERVIEW OF THE WOOD SPECIES

5.1. Fir (*Abies alba* Mill.)

5.1. Spruce (*Picea abies* L.)

OBJECT OF THE RESEARCH

6.1. “DRVO BOR” LLC – Berovo

6.1. Technology of raw material processing

6.3. Machines, transport means and devices

6.3.1. Primary machines

6.3.2. Secondary machines

6.3.3. Transport means and devices

#### METHODOLOGY

7.1. Measurement and calculation of log parameters

7.2. Measurement of log moisture content

7.3. Measurement and calculation of parameters of sawn assortments

7.4. Calculation of quantitative yield

7.5. Applied statistical methods for data processing

#### RESEARCH RESULTS

8.1. Raw material for research

8.1.1. Fir/spruce logs (26.0–30.0 cm)

8.1.2. Fir/spruce logs (31.0–35.0 cm)

8.1.3. Fir/spruce logs (36.0–40.0 cm)

8.1.4. Fir/spruce logs (41.0–45.0 cm)

8.1.5. Fir/spruce logs (46.0–50.0 cm)

8.1.6. Fir/spruce logs (51.0–55.0 cm)

8.1.7. Fir/spruce logs (56.0–60.0 cm)

8.1.8. Fir/spruce logs (61.0–65.0 cm)

8.1.9. Diameter taper of the sawlogs

8.1.10. Moisture content of fir/spruce sawlogs

8.2. Sawing methods for the sawlogs

8.2.1. Live (closed, group) sawing of logs

8.2.2. Cant sawing – prism sawing and resawing

8.2.3. Kerf width

8.3. Sawing dispositions for fir/spruce logs

8.4. Quantitative yield of fir/spruce logs in sawmill products

8.4.1. Quantitative yield of fir/spruce logs in sawn assortments

8.4.1.1. Quantitative yield of logs in sawn assortments under live sawing

8.4.1.2. Quantitative yield in sawn assortments under cant sawing

8.4.2. Quantitative yield of fir/spruce logs in wooden battens

8.4.2.1. Raw material for sawing

8.4.2.2. Sawing dispositions for fir/spruce logs intended for wooden battens

8.4.2.3. Flow diagram and technological procedure for sawing wooden battens from fir/spruce

8.4.2.4. Quantitative yield of logs in wooden battens and edged timber

#### DISCUSSION AND CONCLUSIONS

#### REFERENCES

## **2. APPLIED SCIENTIFIC METHODS AND WORKING PROCEDURE**

The research was conducted under real production and operating conditions in the sawmilling capacity “DRVO BOR” in Berovo, Republic of North Macedonia. The entire processing workflow proceeded within its usual dynamics and organisation, thereby ensuring objective and representative data on the actual utilisation of the wood raw material.

The grading of the logs was carried out in accordance with Macedonian standards MKS EN D.B4.028/1:1990, MKS EN D.C1.022 and MKS EN 1316-1:2013, which ensured compliance with prescribed criteria relating to quality and dimensional parameters.

The working procedure consists of two phases. In the first phase, the parameters of the logs were measured, recording their length and the diameters at the small and large end. Based on

the obtained values, the mean diameter, log volume according to standard formulae, and the diameter taper were calculated. These data form the basis for determining the initial raw material structure and for creating a precise foundation for the subsequent analysis of quantitative yield.

The second phase relates to the measurement and recording of the parameters of the resulting sawn assortments after processing on the primary and secondary machines. Each assortment was measured for length, width and thickness, after which its volume was calculated.

On the basis of the data obtained from measurements and calculations, the quantitative yield was determined for each log included in the analysis individually. For the processing, comparison and interpretation of the data, appropriate statistical methods were applied (descriptive statistics, regression analysis and Student's t-test), with the aim of deriving valid and scientifically substantiated conclusions.

### 3. OBTAINED RESULTS AND THEIR SIGNIFICANCE

On the basis of the conducted research and the analyses presented so far, the following key conclusions may be drawn:

Wood species processed:

Fir/spruce – important coniferous species in trade, commonly known under the commercial name “softwood”.

Main physical–mechanical properties:

a) Fir (*Abies alba* Mill.):

Density:  $t_0 = 320 \text{ kg/m}^3$  for absolutely dry wood;  $t_{12} = 380 \text{ kg/m}^3$  at standard air-dry condition;

Shrinkage:  $\alpha_l = 0.1\%$ ,  $\alpha_r = 3.8\%$ ,  $\alpha_t = 7.8\%$  and  $\alpha_v = 11.7\%$ ;

Janka hardness: 34 MPa;

Compressive strength parallel to grain: 40 MPa;

Bending strength: 62 MPa;

Impact strength: 50 kJ/m<sup>2</sup>;

Calorific value: 16,173 kJ/kg.

b) Spruce (*Picea abies* L.):

Density:  $t_0 = 360.0 \text{ kg/m}^3$  for absolutely dry wood;  $t_{12} = 390.0 \text{ kg/m}^3$  at standard air-dry condition;

Shrinkage:  $\alpha_l = 0.3\%$ ,  $\alpha_r = 3.6\%$ ,  $\alpha_t = 7.8\%$  and  $\alpha_v = 12\%$ ;

Mean Janka hardness: 27.0 MPa;

Mean compressive strength parallel to grain: 50.3 MPa;

Mean bending strength: 66.0 MPa;

Mean shear strength: 6.7 MPa;

Mean impact strength: 50.0 kJ/m<sup>2</sup>;

Calorific value: 18,855 kJ/kg.

Object of the research:

“DRVO BOR” LLC – Berovo.

Raw material for the research:

The initial investigations covered 91 logs with diameters from 26.0 to 65.0 cm, length 4.0 m, quality class I/II, with a total wood volume of 63.352 m<sup>3</sup>.

From the above-mentioned 91 logs, 8 diameter classes were formed:

I diameter class: logs with diameter from 26.0 to 30.0 cm;

II diameter class: logs with diameter from 31.0 to 35.0 cm;

III diameter class: logs with diameter from 36.0 to 40.0 cm;

IV diameter class: logs with diameter from 41.0 to 45.0 cm;

V diameter class: logs with diameter from 46.0 to 50.0 cm;  
 VI diameter class: logs with diameter from 51.0 to 55.0 cm;  
 VII diameter class: logs with diameter from 56.0 to 60.0 cm;  
 VIII diameter class: logs with diameter from 61.0 to 65.0 cm.

Characteristics of fir/spruce logs in the I diameter class (26.0–30.0 cm):  
 Small-end diameter ( $d_1$ ): 26.0–30.0 cm;  
 Large-end diameter ( $d_2$ ): 28.0–30.0 cm;  
 Mean diameter ( $d_{sr}$ ): 27.0–29.0 cm;  
 Diameter taper (S): 0.50–1.00 cm/m;  
 Length (l): 4.0 m;  
 Quality class (K): I/II;  
 Wood volume ( $V_i$ ): 2.388 m<sup>3</sup>.

Characteristics of fir/spruce logs in the II diameter class (31.0–35.0 cm):  
 Small-end diameter ( $d_1$ ): 31.0–33.0 cm;  
 Large-end diameter ( $d_2$ ): 34.0–35.0 cm;  
 Mean diameter ( $d_{sr}$ ): 32.0–34.0 cm;  
 Diameter taper (S): 0.50–1.00 cm/m;  
 Length (l): 4.0 m;  
 Quality class (K): I/II;  
 Wood volume ( $V_i$ ): 3.371 m<sup>3</sup>.

Characteristics of fir/spruce logs in the III diameter class (36.0–40.0 cm):  
 Small-end diameter ( $d_1$ ): 36.0–38.0 cm;  
 Large-end diameter ( $d_2$ ): 38.0–40.0 cm;  
 Mean diameter ( $d_{sr}$ ): 37.0–39.0 cm;  
 Diameter taper (S): 0.50–1.00 cm/m;  
 Length (l): 4.0 m;  
 Quality class (K): I/II;  
 Wood volume ( $V_i$ ): 4.485 m<sup>3</sup>.

Characteristics of fir/spruce logs in the IV diameter class (41.0–45.0 cm):  
 Small-end diameter ( $d_1$ ): 41.0–43.0 cm;  
 Large-end diameter ( $d_2$ ): 44.0–45.0 cm;  
 Mean diameter ( $d_{sr}$ ): 43.0–44.0 cm;  
 Diameter taper (S): 0.50–1.00 cm/m;  
 Length (l): 4.0 m;  
 Quality class (K): I/II;  
 Wood volume ( $V_i$ ): 5.828 m<sup>3</sup>.

Characteristics of fir/spruce logs in the V diameter class (46.0–50.0 cm):  
 Small-end diameter ( $d_1$ ): 46.0–47.0 cm;  
 Large-end diameter ( $d_2$ ): 48.0–50.0 cm;  
 Mean diameter ( $d_{sr}$ ): 47.0–48.0 cm;  
 Diameter taper (S): 0.50–1.00 cm/m;  
 Length (l): 4.0 m;  
 Quality class (K): I/II;  
 Wood volume ( $V_i$ ): 7.243 m<sup>3</sup>.

Characteristics of fir/spruce logs in the VI diameter class (51.0–55.0 cm):  
 Small-end diameter ( $d_1$ ): 51.0–53.0 cm;  
 Large-end diameter ( $d_2$ ): 53.0–55.0 cm;  
 Mean diameter ( $d_{sr}$ ): 52.0–54.0 cm;  
 Diameter taper (S): 0.50–1.00 cm/m;  
 Length (l): 4.0 m;

Quality class (K): I/II;

Wood volume ( $V_i$ ): 8.889 m<sup>3</sup>.

Characteristics of fir/spruce logs in the VII diameter class (56.0–60.0 cm):

Small-end diameter ( $d_1$ ): 56.0–58.0 cm;

Large-end diameter ( $d_2$ ): 58.0–60.0 cm;

Mean diameter ( $d_{sr}$ ): 57.0–59.0 cm;

Diameter taper (S): 0.50–1.00 cm/m;

Length (l): 4.0 m;

Quality class (K): I/II;

Wood volume ( $V_i$ ): 10.490 m<sup>3</sup>.

Characteristics of fir/spruce logs in the VIII diameter class (61.0–65.0 cm):

Small-end diameter ( $d_1$ ): 61.0–63.0 cm;

Large-end diameter ( $d_2$ ): 63.0–65.0 cm;

Mean diameter ( $d_{sr}$ ): 62.0–64.0 cm;

Diameter taper (S): 0.50–1.00 cm/m;

Length (l): 4.0 m;

Quality class (K): I/II;

Wood volume ( $V_i$ ): 12.423 m<sup>3</sup>.

In all diameter classes, the total number of analysed logs is 80. They have a length of 4.0 m, mean diameters ranging from 27.0 to 64.0 cm, and a total volume of 55.118 m<sup>3</sup>. The mean diameter taper of the logs is 0.71 cm/m.

The moisture content of the fir/spruce logs prior to sawing ranges from 45.0 to 55.0%.

Sawing methods applied to the logs:

live (closed, group) sawing, and

cant sawing/prism sawing and resawing.

Under live sawing, logs from the following diameter classes were processed: 26.0–30.0 cm, 31.0–35.0 cm and 36.0–40.0 cm, as well as part of the logs from the 41.0–45.0 cm diameter class.

Through cant sawing/prism sawing and resawing, logs from the following diameter classes were processed: 41.0–45.0 cm, 46.0–50.0 cm, 51.0–55.0 cm, 56.0–60.0 cm and 61.0–65.0 cm.

The kerf width on the primary machine when sawing the logs is 3.2 mm, whereas on the edging saw for boards and planks it is 5.0 mm.

The sawing dispositions for the logs are both symmetrical and asymmetrical. Symmetrical sawing dispositions are used for logs with diameters up to 40.0 cm. The sawing dispositions are designed depending on the specification of the required sawn assortments.

Quantitative yield of logs under live sawing:

Diameter class 26.0–30.0 cm → 66.20%, small and large wood residues → 33.80%;

Diameter class 31.0–35.0 cm → 68.15%, small and large wood residues → 31.85%;

Diameter class 36.0–40.0 cm → 69.91%, small and large wood residues → 30.09%.

The dependence of the individual variables (quantitative yield – diameter classes) is expressed by regression analysis using a linear model described by the following equation:

$$y=1.8555x+64.375y = 1.8555x + 64.375y=1.8555x+64.375$$

The correlation coefficient is  $r = 0.999$ . This value belongs to the category of practically complete correlation, confirming that there is a strong dependence between log diameter and yield, at a constant log length of 4.0 m.

Quantitative yield of logs under cant sawing:

Diameter class 41.0–45.0 cm → 67.55%, small and large wood residues → 32.44%;

Diameter class 46.0–50.0 cm → 68.41%, small and large wood residues → 31.66%;

Diameter class 51.0–55.0 cm → 72.68%, small and large wood residues → 27.32%;

Diameter class 56.0–60.0 cm → 72.87%, small and large wood residues → 27.13%;

Diameter class 61.0–65.0 cm → 75.50%, small and large wood residues → 24.50%.

The dependence between diameter class and quantitative yield is represented by a linear regression model with the following equation:

$$y=2.0367x+65.292y = 2.0367x + 65.292y=2.0367x+65.292$$

The correlation coefficient has a value of  $r = 0.934$ , which indicates a very strong correlation; in other words, with increasing diameter class, the quantitative yield also increases.

Regarding the quantitative yield of fir/spruce logs in wooden battens, 8 logs of quality class I/II were analysed, with length 4.0 m and diameters from 52.0 to 59.0 cm. The diameter taper of the logs ranged from 0.50 to 1.75 cm/m. The total wood volume of the logs is 7.777 m<sup>3</sup>.

Dimensions of boards:

width: 200.0–400.0 mm;

thickness: 22.0 mm;

length: 4.0 m.

Dimensions of battens:

thickness: 50.0 mm;

width: 50.0 mm;

length: 3.0 and 4.0 m.

Quantitative yield:

wooden battens → 4.035 m<sup>3</sup> → 51.89%;

edged timber → 1.615 m<sup>3</sup> → 20.77%;

total  $\Sigma$  → 5.650 m<sup>3</sup> → 72.66%;

wood residues → 2.127 m<sup>3</sup> → 51.89%.

#### CONCLUSION

In this doctoral dissertation, after the completed mathematical and statistical processing of the data from the research on the relationship between the quantitative yield of fir/spruce logs and their diameters, the principal conclusions and recommendations derived from the conducted investigations are presented.

The utilisation of wood mass from forest resources in sawn products has always attracted the attention of professionals as well as of the broader public. This issue is of considerable interest and requires continuous monitoring and research, since in this way conditions are created for optimal utilisation of forest potential (logs), as well as for increasing the amount of processed sawn assortments (boards, planks, beams, scantlings, wooden battens, etc.) that are indispensable in everyday life.

As previously stated, the basis of the research consists of fir/spruce sawlogs (*Abies alba* Mill./*Picea abies* L.). According to a defined methodology, both the sawing dispositions and the sawing methods applied to the logs were analysed.

Based on these findings, the quantitative yield of logs in sawmill products was calculated. The sawmill products are presented as: edged timber (boards and planks), beams and wooden battens.

From the viewpoint of mathematical and statistical analysis, a relationship was established between diameter classes (log diameters) and quantitative yield. For this purpose, two sawing methods were applied, namely: live (closed or group) sawing and sawing by cant sawing and prism resawing.

The research was carried out under real, experimental production conditions at the sawmilling plant “DRVO BOR” LLC in Berovo, which has been operating successfully for several decades in the eastern part of the Republic of North Macedonia. The plant occupies an area of about 5,000 m<sup>2</sup>, and the total quantity of processed beech raw material amounts to around 3,200 m<sup>3</sup> per year. The sawmill is equipped with two horizontal band saws, a machine for ripping and edging timber, a chainsaw, machines for the preparation and maintenance of tools, forklifts and tractors; nevertheless, it cannot be classified as a modern-type sawmill.