



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

POLÜMEERMATERJALIDE INSTITUUT
PUIDUTÖÖTLEMISE ÕPPETOOL

**SAEMATERJALIDE SORTTEERIMINE KÄSITSI NING
AKUSTIKAL PÕHINEVA MEETODIGA**

The Classification of Sawtimber by Visual and Acoustic Grading

Bakalaureusetöö

Martin Püssa

Juhendaja: Professor Jaan Kers, Puidutöötlemise õppetool, õppetooli juhataja

Materjalitehnoloogia õppekava

KAOB02/09

Tallinn 2015

TÄNUAVALDUSED

Käesoleva bakalaureusetöö valmimisel olid suureks abiks ettevõttes Erapuit AS teostatud mõõtmised. Sooviksin tänada ettevõtte juhatust selle võimaluse eest.

Deklareerin, et käesolev bakalaureusetöö, mis on minu iseseisva töö tulemus, on esitatud Tallinna Tehnikaülikooli bakalaureusekraadi taotlemiseks ja et selle alusel ei ole varem taotletud akadeemilist kraadi.

Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud või (avaldamata tööde korral) toodud autorlus välja põhitekstis.

.....

Martin Püssa

SISUKORD

SISSEJUHATUS	6
1. ÜLEVAADE PUIDU OMADUSTEST, TUGEVUSSORTEERIMISE MEETODITEST NING ETTEVÕTTEST	7
1.1. Ettevõtte kirjeldus.....	7
1.2. Harilik kuusk (<i>Picea abies</i>)	8
1.3. Puiduehitus	9
1.4. Puidu füüsilised ja mehaanilised omadused.....	9
1.4.1. Puidu akustilised omadused	9
1.4.2. Puidu niiskus	10
1.4.3. Puidu tihedus	11
1.4.4. Puidu tugevus	12
1.5. Saematerjali tugevussorteerimine	14
2. TÖÖ METOODIKA.....	17
2.1. Niiskussisalduse määramine	17
2.2. Temperatuuri määramine.....	18
2.3. Akustiline sorteerimine	18
2.3.1. Metoodika.....	18
2.3.2. Akustilise tugevussorteerimise seade Timber Grader MTG 920	20
2.3.3. Tulemuste usaldusväarsus	22
2.4. Visuaalne sorteerimine	22
2.4.1. Metoodika.....	22
2.4.2. Tulemuste usaldusväarsus	26
2.5. Mõõtmistulemuste võrdlemine	26
3. TULEMUSED JA JÄRELDUSED	27

3.1. Akustilise ja visuaalse tugevussorteerimise tulemuste võrdlemine.....	27
3.1.1. Esimene seadistus	28
3.1.2. Teine seadistus.....	31
3.2. Kasulikkus ettevõttele.....	33
3.3. Probleemid ettevõttele	34
KOKKUVÕTE.....	35
KASUTATUD KIRJANDUS	37
SUMMARY	39

SISSEJUHATUS

Seoses Eesti riigi metsarohkusega, on siin ka metsa- ja puidutööstuse osakaal majanduses suur. Puit on laialdaselt kasutusel ehitustööstuses ning ka teistes tööstusharudes. Eestis on mitmeid erinevate tootmismahudega saeveskeid ja paljud neist on keskendunud toodangu eksportmüügile. Seoses sellega pööratakse üha enam tähelepanu puidu kvaliteedile ning selle kontrollimisele. Kvaliteedikontrolli on võimalik teostada visuaalsel meetodil ning mehaanilisel meetodil. Visuaalne meetod kui kõige vanem sorteerimismeetod on kasutusel olnud juba pikka aega. Kuid kuna paljude ettevõtete tootmismahud on kasvanud väga suureks ning visuaalse tugevussorteerimise standardid ei ole enam igal pool aksepteeritavad, on vajadus mehaaniliste tugevussorteerimise meetodite järele. Nendest enimlevinud on akustilisel tugevussorteerimisel ning saematerjali skanneerimisel põhinevad meetodid. Saematerjali skanneerimisel põhinevad seadmed on kallid ja suure sorteerimiskiirusega ning seetõttu ei ole sobilikud väiksemate ning keskmiste tootmismahudega saeveskitele.

Käesoleva töö eesmärgiks on tutvustada tugevussorteerimise meetodeid ning võrrelda akustilist ja visuaalset tugevussorteerimist saeveskis. Ettevõtte sooviks oli uurida, millised on toodangu kvaliteedi erinevused sorteerimisviiside võrdluses ning katsetada masinsorteerimist. Tootmiseripärade tõttu ei ole toodangu maht väga suur ning seetõttu täisautomaatne masinsorteerimisliin oleks olnud liialt kulukas ja alternatiivse lahendusena sooviti proovida akustilist masinsorteerimist.

Töös kasutatakse andmeid, mis saadakse mõõtmistel seadmega Timber Grader MTG 920 firmalt Brookhuis. Mõõtmised teostatakse uurimise käigus ettevõtte Erapuit AS.

Uurimistöö koosneb kolmest peatükist. Esimeses peatükis on antud ülevaade puidu mehaanilistest ja füüsilistest omadustest ning tugevussorteerimise meetoditest. Teises peatükis on antud ülevaade kasutatavatest seadmetest ning katseandmete kogumise metoodikast ning kolmandas peatükis on võrreldud ja analüüsitud töö tulemusi.

1. ÜLEVAADE PUIDU OMADUSTEST, TUGEVISSORTEERIMISE MEETODITEST NING ETTEVÕTTEST

Käesolevas peatükis kirjeldatakse mõõtmistel kasutatud puuliiki, antakse ülevaade puidu omadustest ning tutvustatakse tugevussorteerimise meetodeid. Lühidalt tutvustatakse ka ettevõtet, milles mõõtmised teostatakse.

1.1. Ettevõtte kirjeldus

Erapuit AS on ettevõtte, mille äriideeks on mittetavapärase (jäme, pikkusega üle 6 meetri) palgi töötlemine lintsaagidega saematerjali saamise eesmärgil. Saematerjal valmistatakse Eestist päris toorainest – kuusepalgist. Palkide saagimine toimub kahe lintsaega (BW110), materjali servamiseks kasutatakse seimrit (Karhula P6S) ning mõõtu lõikamiseks järkamispinke (ZKB-40-01 ja Paul 15AO).

Erapuit AS kasutab saematerjali kuivatamiseks nelja *ca* 80m³ puitu mahutavat kambrit, mida varustab soojaga oma katlamaja, mille võimsuseks on 1 MW. Kuivatusprotsessi pikkus sõltub materjali paksusest ja soovitud kuivatusastmest. Programmi pikkus on 130...240 tundi ning paksude ristlõigete puhul ka rohkem. Tsükli lõppedes on materjali niiskustase 18 %. Kuivatist väljuv materjal transporditakse hõvellingile, kus *ca* 2 päeva jooksul materjal kalibreeritakse hõvllil (Waco). Enne kalibreerimist toimub tugevussorteerimine vastavalt standardile [1]. Materjali tugevussorteerimisega kaasneb puidu niiskuse mõõtmine kuivatuse tsükli lõppetel ja materjali kuivuse kontroll iga paki puhul eraldi kalibreerimise käigus.

1.2. Harilik kuusk (*Picea abies*)

Harilik kuusk on männiliste sugukonda, kuuseliste perekonda kuuluv igihaljas okaspuu, mis kasvab Euroopas (välja arvatud Lõuna – Euroopa) ja Venemaal. Harilik kuusk on ainuke Eestis looduslikult kasvav kuuseliik ja peale mändi ja kaske kolmas levinud puiduliik Eesti metsades. Kuusikud moodustavad 22,5 % Eesti metsadest ning 21,5 % puiduvarudest [2]. Kuusk kasvab tavaliselt 30...35 m kõrguseks, kuid soodsates oludes võib kasvada kuni 60 m kõrguseks. Noori puid kasutatakse traditsiooniliselt jõulukuusena. [3].

Hariliku kuuse füüsilised omadused on männipuidust erinevad. Sellel on väiksem vaigusisaldus, on vähem tundlik sinetus- ja hallitusseentele ning niiskuse mõju on aeglasema toimega.

Kuusepuitu kasutatakse laialdaselt tööstuses ehitus-, konstruktsioon- ja tiseripuiduna. Sellest valmistatakse põrandaid ja sisustust ning mööblit. Kuna kuusekoor sisaldab ligikaudu 12 % parkainet, kasutatakse seda parkimistöodeks [4]. Hariliku kuuse omadusi kirjeldab tabel 1.

Tabel 1 Hariliku kuuse omadused [5]

Puidu omadus	Numbriline väärtus ühikuga
Tihedus õhukuivalt	390...480 kg/m ³
Kahanemine	12,0 %
Tõmbetugevus pikikiudu	88 MPa
Survetugevus pikikiudu	35...44 MPa
Paindetugevus	66...84 MPa
Elastsusmoodul	8300...13 000 MPa
Kõvadus	Otspinnal 270...290, radiaalpinnaal 160...230 Janka

1.3. Puiduehitus

Puit on anisotroopne materjal mille anatoomilised ja füüsikalised omadused on eri suundades erinevad. Sellepärast on vajalik puidu omaduste kirjeldamiseks määrata puitu iseloomustavad põhisuunad. Puutüve ristlõikes paistavad säsi, aastarõngad ja kooreosa. Võimalik on määrata kaks erinevate omadustega põhisuunda. Säsi suunda nimetatakse radiaalsuunaks, ning lõige, mis on paralleelne tüve teljega, aga kulgeb piki aastarõngaid, moodustab tangentsiaallõike. Puitmaterjali parimad omadused on puidukiudude pikisuundades.

Puidu põhikomponentideks on tselluloos, hemitselluloosid ning ligniin ning puidu keemiline koostis on süsinik, vesinik, hapnik ja lämmastik [5].

1.4. Puidu füüsikalised ja mehaanilised omadused

1.4.1. Puidu akustilised omadused

Otsese löögi tagajärjel võib puit tekitada heli ning sealjuures ka võimendada ning summutada helisid, mis on tekitatud teiste kehade poolt. Tekkinud heli kõrgus sõltub lainete võnkesagedusest [4].

Heli kiirust puidus saab kasutada määramaks puidu tugevust ja selle järgi sorteerimiskvaliteeti. Heli kiirus sõltub mitmest muutujast nagu näiteks niiskuse sisaldus, temperatuur, helilainete võnkesagedus ning vibratsiooni amplituud. Puidu akustilisi omadusi mõjutab ka selle elastsusmoodul, tihedus ning okste arv [4].

$$v = \sqrt{E/\rho} \quad (1)$$

kus

v – heli kiirus

E – elastsusmoodul

P – tihedus

Helilained levivad õhus kiirusega *ca* 340 m/s. Olenevalt puiduliigist levib heli puidus niiskusega 5...7% pikikiudu 3800...4800 m/s ning ristikiudu 500...1500 m/s. Puidu akustilisi omadusi mõjutab selle elastsusmoodul ja tihedus. Tervel deformatsioonideta puidul on selge ning ilus kõla, mädaniku ja lõhedega kahjustatud puidul aga kume kõla, mis on põhjustatud materjali struktuuri muutustest. Puit on madala heliisolatsiooniga [5,6].

1.4.2. Puidu niiskus

Paljud looduslikud materjalid, nagu ka puit, on hügroσκοopsed. See tähendab, et puit on võimeline adsorbeerima ja desorbeerima vett. Puidu ja õhu vahel toimuvat niiskusevahetust mõjutavad temperatuur, õhurõhk, suhteline õhuniiskus ja puidu hetkeline niiskus [5].

Niiskuseks nimetatakse puidus leiduva vee massi suhet kuiva puidu massi. Niiskus mõjutab puidu füüsikalisi omadusi. Niiskusetaseme muutusega kaasnevad muutused puidu tugevuses, jäikuses, kujus ja elektrilises juhitavuses. Vee sisaldus puidus mõjutab ka vastupidavust lagunemisele [7].

$$W_{\text{abs}} = \frac{A-B}{B} * 100\% \quad (2)$$

kus

W_{abs} – absoluutne niiskus

A – niiske puidu kogumass

B – absoluutselt kuiva puidu mass

$$W_{\text{suht}} = \frac{A-B}{A} * 100\% \quad (3)$$

kus

W_{suht} – suhteline niiskus

A – niiske puidu kogumass

B – absoluutselt kuiva puidu mass

Niiskus võib puidus esineda nii-öelda vaba ja seotud niiskusena. Niiskusesisaldust, mille juures puidu rakuseinad on täitunud veega, kuid raku õõnsustes vett ei ole, nimetatakse kiu küllastuspunktiks. See niiskus on seotud ehk hüdrokoopne niiskus. Vaba niiskus ehk kapillaarne niiskus saadakse küllastuspunkti ületamisel. Niiskusesisalduse suurenemisel koguneb liigne vesi raku õõnsustesse, puidu soontesse ja mitsellidesse. Küllastuspunkti loetakse piiriks, kust alates niiskusesisalduse tõus enam puidu füüsikalisi ja mehaanilisi omadusi ei mõjuta, muutud vaid puidu mass [8].

1.4.3. Puidu tihedus

Tihedus on füüsikaline suurus, mis kirjeldab materjali massi ja mahu suhet ning mille ühikuks on g/cm^3 või kg/m^3 . Puit on ehituselt poorne materjal, seetõttu sisaldab see suuri kui ka väikeseid õõnsusi ning võib endasse imeda palju rohkem vett, kui on ta kuivaine mass. Loomulikus olekus tähistatakse puidu tihedust mahukaaluga. Kuna puit on hügrokoopne materjal, sisaldab ta alati vett. Puidu tiheduse määramiseks on vajalik teada niiskussisaldust, kuna tihedus võib erineva niiskuse korral suurelt varieeruda [5].

Tiheduse määramiseks peab väga täpselt teada olema ruumala, kuna kuivatamisel tõmbub puit tugevalt kokku. Kuna puit on anisotroopne materjal, toimub kahanemine ebakorrapäraselt. Puiduliikide tiheduse võrdlemine on otstarbekas ainult samaväärsete niiskussisaldustega. Puidu täpse tiheduse määramiseks tuleb proovikeha uputada elavhõbedasse, kuna vesi ning ülejäänud laialt kasutatavad vedelikud võivad tungida

puitmaterjali. Puidu kuivtiheduse määramine toimub järgnevalt : määratakse puidu mass absoluutkuivas olekus (niiskus 0 %) ning ruumala mõõdetakse õhukuivas olekus (niiskusesisaldus 12...15 %). Mõõtmised tuleb sooritada kiiresti, kuna absoluutkuiv puit hakkab niiskema õhuga kokku puutudes endasse niiskust sisse koguma [5].

1.4.4. Puidu tugevus

Materjali tugevuseks nimetatakse selle võimet taluda koormust ilma purunemata. Ka väiksemate jõudude mõjul tekivad materjalis pinged ja väikesed deformatsioonid. Koormuse suurenedes materjal võib puruneda. Sellel juhul on saavutatud materjali purunemistugevusele vastav maksimaalne pinge, mis määratakse koormuse ja ristlõikepinna suhtega [5].

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (4)$$

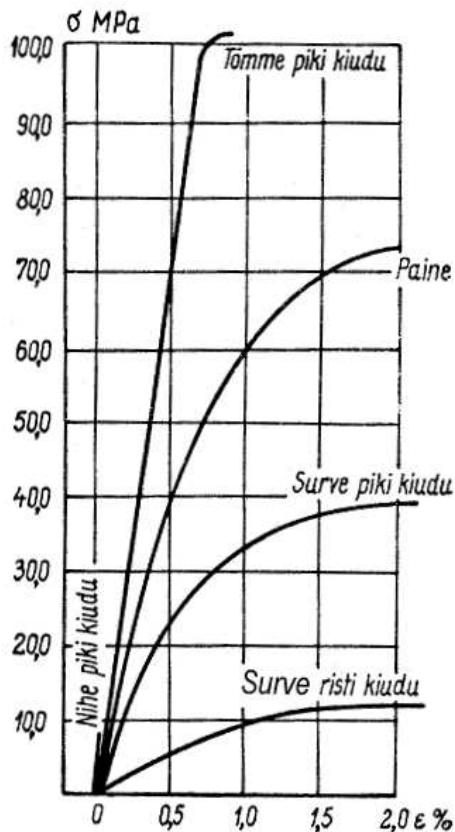
kus

σ – pinge

P – koormus

A – ristlõikepindala

Kuna puidu ehitus on anisotroopne, siis on selle mehaanilised omadused erinevad vaadeldavatel tasapindadel. Puidu tugevus oleneb jõu mõjumise suunast kiudude suhtes. Seda kirjeldab joonis 1. Puit on kõige tugevam pikikiudu, kõige nõrgem ristikiudu [5].



Joonis 1 Okaspuidu pingedeformatsiooni graafikud [5]

Puidu tugevusele avaldab mõju niiskus, mis on mikrofiibrillide vahel. Puidu tugevus väheneb oluliselt 0...20 - 25 %, kuid pärast hügrooskoopsuse piiri (30 %) puidu tugevus ei ole enam sõltuv niiskusest [5].

Puidu kõige silmapaistvam omadus on tema tõmbetugevus pikikiudu. Eritugevus võib olla suurem kui duralumiiniumil või konstruktsiooniterasel. Tõmbetugevus ristikiudu on aga märkimisväärselt väiksem, moodustades ligikaudu 5 % tõmbetugevusest pikikiudu [5].

Puidu kõvadus otspinnal ületab kõvadust külgpinnal ligi 40 %, kuid erinevused radiaal- ja tangentsiaalsuundades on väikesed. Puidu kõvadus on tähtis mehaaniliste lõikeprotsesside kirjeldamiseks [5].

1.5. Saematerjali tugevussorteerimine

Saematerjali tugevussorteerimine on vajalik teadmaks materjali tugevust ja vastupidavust. Euroopas teostatakse hindamine 20 % niiskuse juures.

Saematerjal klassifitseeritakse kvaliteedi järgi klassidesse (tabel 2) [9].

Tabel 2 Puidu tugevusklassid [9]

KLASSID			
A	B	C	D
A1 A2 A3 A4			

Põhiklassid on A, B, C ja D.

A on kõige kõrgem kvaliteediklass, mis sisaldab vastavaid alamklasse A1-A4.

B- ja C- klasse pole alamklassideks jaotatud.

Euroopas kasutusel olev süsteem liigitab puitkonstruktsioonid omaduste järgi tugevusklassidesse, kus tehakse vahet okaspuul ja lehtpuul [9].

Tabel 3 Puidu tugevuse alamklassid [9]

Okaspuu	Lehtpuu
C14, C16, C18, C20, C22, C24, C27, C30, C35, C40, C45, C40	D30, D35, D40, D50, D60, D70

Saematerjali määratakse vastavasse tugevusklassi siis, kui selle paindetugevus ja tihedus on võrdsed või suuremad ette nähtud piirnormist ning elastsusmoodul paindel on vähemalt 95 % tugevusklassi ettenähtud väärtusest. Uuringud on näidanud, et kõik vajalikud karakteristikud

tugevusklassidesse sorteerimiseks on arvatavad kas paindetugevusest, elastsusmoodulist või puidu tihedusest.

Saematerjalide tugevussorteerimist on võimalik teostada vastavalt ettevõtte tootmismahudele ja toodangule kas visuaalselt või kasutades selleks mehhaanikat. Visuaalne sorteerimine on võimalikest vanim meetod. Selle käigus uuritakse saematerjali tahkusi ning otsasid visuaalselt, avastamaks tugevust vähendavaid defekte (tabel 4) [6].

Tabel 4 Visuaalsel sorteerimisel uuritavad tunnused [10]

Visuaalsed tunnused	Geomeetrilised tunnused	Bioloogilised tunnused	Muud tunnused
Aastarõngaste laius	Kaardumus	Mädanikud	Töötlusvead
Oksakogumid	Keerdumus	Sinavus	Putukakahjustused
Mustad oksad	Poomkant		Vaigupesad
Tulioksad			Mõõtmed
Lõhed			

Läbi aegade on erinevates riikides välja kujunenud erinevad normid ja reeglid visuaalseks hindamiseks, kuid kõik sellekohased standardid peavad olema kooskõlas BS 4978 standardiga. Standard annab ette lubatud defektide piirmäärad tugevusklasside kaupa [5].

Akustilisel tugevussorteerimisel määratakse tugevusklass arvutustega, mis põhinevad mõõdetud elastsusmoodulil (MoE). Helilaine suunatakse läbi puidu ning seejärel saadakse elastsusmoodul [11].

Elastsusmooduli arvutamiseks kasutatakse valemit

$$MoE_D = v^2 * \rho \quad (5)$$

kus

MoE_D – elastsusmoodul

ν – puidus leviva laine kiirus

ρ – puidu tihedus

Saematerjalide tugevussorteerimine skaneerimise meetodil põhineb standardis ettenähtud nõuetel [12]. Tehnoloogia seisneb selles, et defektide jäädvustamine toimub skännerite ja fotode abil. Saematerjalist koostatakse täpne kujutis, mida analüüsiv tarkvara paigutab selle vastavasse tugevusklassi. Terve puidu pind mõõdetakse lühikeste intervallidega, kasutades kaameraid [13].

Kõige täpsemalt saab puidu tugevusklassi määrata mehaanilise painde tekitamisega. Selle tehnoloogiaga saadakse teada täpne tugevus, mis on vaja puidu lõhkumiseks. Puudus seisneb selles, et lõhutud puitu ei ole võimalik enam kasutada [13].

2. TÖÖ METOODIKA

2.1. Niiskussisalduse määramine

Tugevusklassi määramiseks peab standardi järgi olema niiskussisaldus 15...20 % [1]. Hinnatud saematerjal oli eelnevalt läbinud kuivatustsükli, mille lõppedes peab paki niiskussisaldus olema keskmiselt 18 %. Selle kontrollimiseks kasutati seadet Evikon LG9NG.



Joonis 2 Niiskusemõõtja Evikon LG9NG [14]

2.2. Temperatuuri määramine

Korrektsete mõõtmistulemuste saamiseks peab mõõdetava puitprussi temperatuur olema vahemikus 0...50 °C. Selle jaoks kasutati infrapunakiirgusel töötavat termomeetrit XHC BENETECH GM550E. Seadme mõõtepiirkond on -50...380 °C.



Joonis 3 Infrapunatermomeeter XHC BENETECH GM550E [15]

2.3. Akustiline sorteerimine

2.3.1. Metoodika

Saematerjali akustilisel sorteerimisel kasutati puitprusse, mis olid läbinud kuivatustsükli ning mille niiskussisaldus oli 15...20 %. Enamasti tulid puidupakid otse kuivatuskambrist. Tõstukiga transporditi pakk hõõvli juurde, kus enne kalibreerimist toimus akustiliste mõõtmiste sooritamine. Tugevusklassi määramiseks kasutasin seadet Timber Grader MTG 920. Mõõtmistel asetasin seadme sensori prussi otsa vastu ning helilaine tekitamiseks kasutasin tavalist haamrit.



Joonis 4 Helilaine tekitamine haamriga [16]

Mõõtmistulemused salvestusid automaatselt arvutisse ning need kuvati ka seadme ekraanil. Seejärel läbis pruss hõvelmasinas kalibreerimise ning akustiliseks hindamiseks võeti pakist uus pruss. Paki lõppedes kirjutati üles, mitu prussi oli tugevusklassis C16, mitu C24 ning kui palju oli praaktoodet. Sorteerimise läbiviimiseks oli võimalik kasutada kahte erinevat seadistust. Esimese seadistuse järgi sorteeris tarkvara prussid kolme erinevasse rühma: C24, C16 ning praak. Teise seadistuse järgi määras seade prussid kas C24 rühma või minimaalsetele nõuetele mittevastavaks. Vahe seisnes selles, et kasutades seadistust, kus sorteerimine käib kahte rühma, kasutas tarkvara standardis ettenähtud piirnorme, kuid kolme rühma sorteerides määrati piirnormi lähedased mõõtmistulemused automaatselt nõrgemasse tugevusklassi.

Akustiline mõõteseade ei suuda kindlaks määrata kõiki võimalikke defekte ning ka materjali vastavust mõõtmetele. Seetõttu tuleb siiski hinnata ka kalibreeritud puidu kvaliteeti visuaalselt ning suuremate defektide esinemisel ei tohi toodangut märgistada C24 tugevusklassi kuulumise templiga. Lisaks sellele, vastavalt standardile ei ole lubatud juba akustiliselt hinnatud toodangut teistkordselt hinnata [1].

Ettevõtte tegelik toodang ei koosne ainult kahes tugevusklassis olevatest puitprussidest, kuid liigse sorteerimise vältimiseks, töö lihtsustamiseks ning otstarbe puudumise tõttu (hinnavahe suurematel tugevusklassidel on minimaalne või üldse puudub) toimub sorteerimine kahte

tugevusklassi. Tegelikuses on toodangus ka materjali, mille elastsusmoodul ületab ka C30 elastsusmooduli miinimumnõudeid, kuid tarkvara omistab neile automaatselt C24 väärtuse, sest on tagatud, et materjal vastab vähemalt nendele nõuetele.

2.3.2. Akustilise tugevussorteerimise seade Timber Grader MTG 920

Kasutatav seadmeks oli Timber Grader MTG 920 firmalt Brookhuis. Timber Grader MTG on ergonomiline mõõtevahend puidu tugevusklassi määramiseks. See ei ole mõeldud puidu jaoks, mis on liimiga ühendatud, sõrmjätkatud või eelnevalt töödeldud tulekaitsevahenditega. Standardi järgne mõõtmine ja tugevusklassi ennustamine põhineb enam kui 3000 mõõtmisel ja purustaval katsel. Seadme maksumuseks oli 8000 eurot.

Seade töötab koos spetsiaalselt välja töötatud tarkvaraga, mis konverteerib helisignaali kiirelt ümber mõõtetulemustele vastavasse tugevusklassi. Seadme otsas on sensor, mis loeb saematerjalile tekitatud helilainet. Helilaine liikumiskiiruse järgi arvutatakse puidu elastsusmoodul ning tulemus koos vastava tugevusklassiga kuvatakse nii seadme kui arvuti ekraanile.



Joonis 5 Seadme Timber Grader MTG 920 mõõteots [17]

Helilaine tekitamiseks on seadmel olemas sisemine haamer, kui suurema ristlõikega materjali hindamiseks on soovitatav helilaine tekitada lüües haamriga vastu puidu otsa.



Joonis 6 Timber Grader MTG [18]

Timber Grader MTG on võimeline ennustama puidu tugevusklassi niiskusesisaldustel 2...50 %. Puidu tihedus peab jääma okaspuudel vahemikku 300...800 kg/m³ ning lehtpuudel 400...1400 kg/m³. Hinnatava puitmaterjali temperatuur peab olema vahemikus 0...50 °C.

Tabel 5 Seadme tolerantsid[19]

Suurused	Väärtus
Puidu pikkus	+/- 1 %
Puidu laius ja/või puidu paksus ≤ 100mm	+/- 1 mm
Puidu laius ja/või puidu paksus > 100mm	+/- 1.5 mm
Puidu kaal	+/- 1 %
Puidu niiskusesisaldus	+/- 5 % puidu niiskusesisaldusest

Seadme juurde kuuluvad spetsiaalne kasutamissertifikaatidega turvavõti (USB ühendusega mälupulk), kalibreerimiseks vajalik katsekeha, tarkvara ning laadija.

Tarkvara seab vastavalt seadme sensori saadetud tulemustele puittala vastavasse tugevusklassi. Enne mõõtma asumist tuleb programmis seadmele teada anda materjali puuliik ning selle kasvukoht, niiskusesisaldus, ristlõike mõõtmed ning tala pikkus ja

kasutatav standard. Lisaks on igale partiile võimalik juurde lisada kliendi andmed ning sorteerija andmed. Tarkvara salvestab automaatselt iga mõõtmise andmed (kuupäev, kellaaeg, partii number, mõõtmised, elastsusmoodul, tulemus). Salvestatud partiid on avatavad keskkonnas MS Excel.

Selle seadmega teostatud mõõtmised ning seejärel sorteerimine on vastavuses EVS – EN 14081 – 2:2010+A1:2012 standardiga [1].

2.3.3. Tulemuste usaldusväärsus

Kasutatud seadme mõõtetulemuste usaldusväärsete kinnitamiseks on seda tootev ettevõtte Brookhuis viinud läbi mitmeid teste erinevate puuliikide kohta. Testiti korrelatsiooni mittepurustavate mõõtmiste ja paindetugevuse vahel standardiseeritud laboriuuringutele põhinedes. Kuuse puhul saadi korrelatsioonikordajaks $R = 0.88$, mis näitab väga tugevat lineaarset seost [19].

Inimvea tõenäosus on väike, kuna tulemus ei olene sellest, kui tugevasti helilainet tekitada (haamriga löömise tugevus) ega ka sellest, kui suure haamriga helilainet tekitada. Tulemuste mõõtmise käigus sai korduvalt proovitud, kas mõõtmistulemused sellistel juhtudel erinevad, kuid muutused elastsusmoodulis olid kas olematud või jäid 0,5...2 % piiridesse. Samuti ei ole tähtis kummas puitprussi otsast helilainet tekitada.

2.4. Visuaalne sorteerimine

2.4.1. Metoodika

Visuaalset sorteerimist teostasid selle jaoks vastava sertifikaadi omandanud 2 ettevõtte Erapuit AS töötajad. Kalibreerimisest väljudes kontrollis sorteerija prussi pealmist ning kahte külgtahku ning nähtuvast järeldades määras puidu tugevusklassi (C24, C16 või praak).

Visuaalsel sorteerimisel pöörati tähelepanu defektidele ning visuaalsetele omadustele. Tugevusomadusi vähendavateks näitajateks loeti oksasid, oksakogumeid, aastarõnga laiuseid ning lõhesid. Geomeetriliste tunnuste seast pöörati tähelepanu kaardumusele ja keerdumusele ning poomkantidele ning bioloogilistest vigadest jälgiti sinavust, pruunisust ning mädanikke. Tähtis on see, et visuaalne hindamine on subjektiivne ning oleneb sorteerijast.

Olles määranud tugevusklassi märgistati pruss klassi ning standardit tähistava templiga. Tugevusklasside määramine käis vastavalt BS4978 Suurbritannia standardile [12].

Tabel 6 C-tugevusklassi lubatud defektid [12]

Oksad						
Okste kogus			Välisküljel: 6 tk, neist 4 koorega oksa			
halvimal ühe meetri			või mädaoksa			
pikkusel lõigul			Serval: 4 tk, neist 3 koorega oksa			
			või mädaoksa			
Okste suurus						
Terved oksad, mm					Muud oksad	
					% terve	
					oksa suurusest	
Sortimendi paksus, mm	Väliskülg			Serv	Oksa tüüp	%
	Sortimendi laius mm					
	75-115	125-150	175-225			
16-25	50	55	60	*	Koondoks	80
32-38	55	60	65	*	Kuivoks	100
44-50	60	65	70	*	Koorega oks	90
63-75	65	70	75	*	Mädaoks	90

Tabel 7 C-tugevusklassi lubatud defektid [12]

Lõhed		
Kuivalõhed pikkusega üle 100 mm		Ringlõhed
Sortimendi paksus, mm	Kogupikkus välisküljel ja servadel protsentides sortimendi pikkusest	% sortimendi pikkusest
16-25	70	20
32-50	90	20
63-75	100	20

Tabel 8 C-tugevusklassi lubatud defektid [12]

Poomkant üle 3 mm				
	Pikkus		Sügavus	Laius
Sortimendi paksus, mm	%		%	mm
	sortimendi pikkusest		sortimendi paksusest	
	Mõlemad kandid	Üks kant	Servavad	Välisküljel ja mõlemal serval
≤ 25	40	50	20	17
>25	30	40	20	17

Tabel 9 C-tugevusklassi lubatud defektid [12]

Kaardumused				
halbimal 2 m pikkusel lõigul				
Sortimendi paksus, mm	Piki-kaardumus	Serva pikikaardumus	Kõmmeldumus	Keerdumus
	Millimeetrites		% sortimendi laiusest	
≤ 44	30	8	4	20
> 44	20	8	4	10
Muud omadused				
Vaigupesad	2 tk, maksimaalsuurusega 150 mm halbimal ühe meetri pikkusel lõigul.			
Mõlud, koorerebendid	1 tk, maksimaalsuurusega 300 mm halbimal ühe meetri pikkusel lõigul			
Kaldkiulisus	1/2			
Murdunud latv	50 % sortimendi laiusest			
Ränipuit, salmilisus	50 % sortimendi mahust			
Vaikpuit	70 % sortimendi mahust			
Vesipuit	30 % sortimendi mahust			
Palgisinavus	30 % sortimendi mahust			
Kõvamädanik	30 % sortimendi mahust			

2.4.2. Tulemuste usaldusväärsus

Kuigi kõik sorteerimist teostavad töötajad olid läbinud vastava koolituse ning omandanud sertifikaadi, on visuaalse sorteerimise juures olulist rolli mängiv ka inimfaktor. Otsus võib olla mõjutatud mitmest tegurist, nagu näiteks hiline või varajane kellaaeg, ebapiisav valgustus, vahetuse lõpp jne. Kahjuks ei ole teostatud uuringuid nende mõju kohta inimese töö kvaliteedile ning seetõttu tuleb loota, et töötaja täidab oma ülesandeid professionaalselt ning tulemused ei ole nii kergesti mõjutatavad.

2.5. Mõõtmistulemuste võrdlemine

Iga puidupaki kohta kirjutati üles andmed jagunemise kohta tugevusklassidesse nii akustilise tugevussorteerimise kui ka visuaalse tugevussorteerimise meetodit kasutades. Andmete töötlemiseks kasutati MS Excel keskkonda. Kuna oluline oli võrdlus saada mitte ainult tükisarvu vaid ka tihumeetrite kohta, tuli sooritada sellekohased arvutused. Võrdlused tuli teha kahe erineva masina seadistuse kohta. Saamaks aimu seadme rahalisest tasuvusest tegin arvutused ka võimaliku käibemuutuse kohta eeldades, et C24 materjali hinnaks on 210 €/tm³ ning C16 materjali müüki ei arvestata, kuna sellel puudus kindel lepinguline hind ning ümbertöötlemiseks minevaid kulusid on raske arvestada.

3. TULEMUSED JA JÄRELDUSED

Käesolevas peatükis antakse ülevaade mõõtmistulemuste võrdlusest akustilise ning visuaalse sorteerimise vahel ning tehakse järeldused kasulikkusest ettevõttele. Võrdluseks on kasutatud tehtud katseid ettevõttes Erapuit AS, ning välja tuuakse tulemused kahe erineva seadistusega. Lisaks tuuakse välja ka ettevõtte juhtkonnale tekkinud probleemid ja kasulikkus seoses uue sorteerimislahendusega.

3.1. Akustilise ja visuaalse tugevussorteerimise tulemuste võrdlemine

Andmeid koguti 85 puidupaki kohta, milles prussi ristlõike suurused olid erinevad ning pikkused 6,0 või 6,6 m. Puiduprusside suuruseid kirjeldab tabel 7.

Tabel 10 Puiduprusside pikkused ja ristlõigete suurused

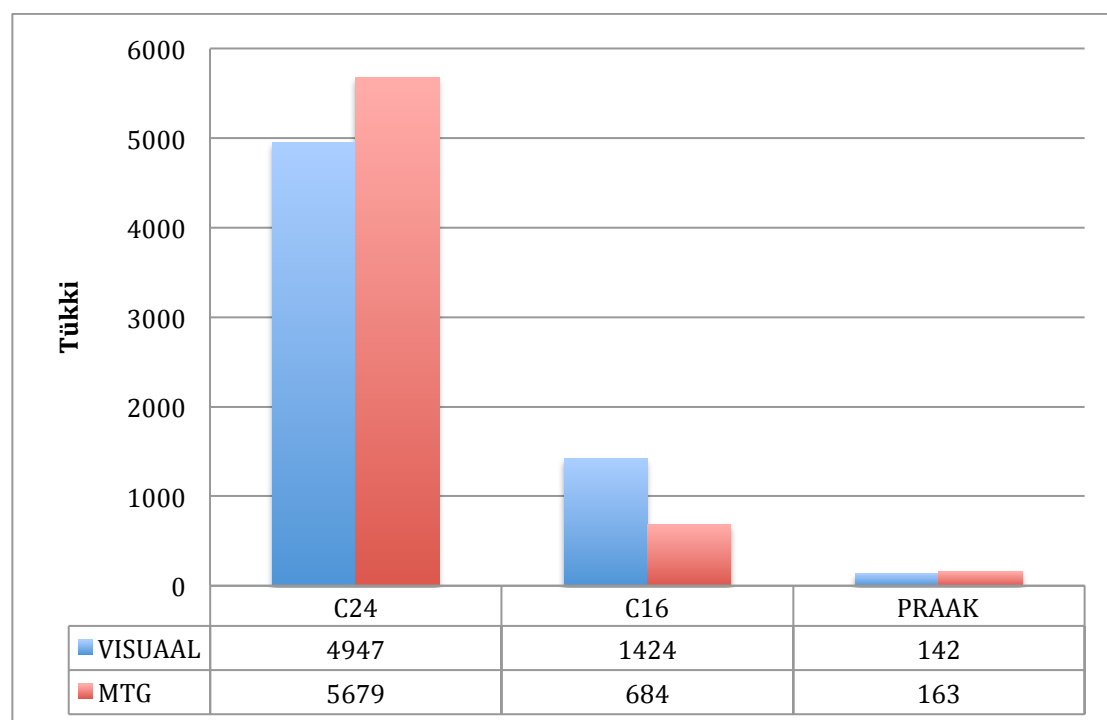
Suurused	Väärtused	
Pikkused mm	6000	6600
Ristlõigete suurused mm	44 x 150	35 x 150
	44 x 175	47 x 100
	44 x 225	47 x 150
	47 x 150	47 x 175
	47 x 175	47 x 225
	47 x 225	47 x 300
	75 x 200	75 x 225
	75 x 225	75 x 250

Toodangu müügist saadavaid käibemuutuseid võrreldes ei arvestata C16 tugevusklassi kuuluvat materjali, kuna selle ümbertootmise kulud võivad varieeruda ning sellele toodangule ei ole määratud kindlat lepingupõhist hinda.

Tulemustes esineb minimaalseid ebakõlasid, mille põhjuseks võib olla visuaalsete sorteerimistulemuste ülesmärkimisel tekkinud vead. 6513 hinnatud puitprussi kohta selgus, et märgitud sai visuaalsel hindamisel 13 puitprussi rohkem. See tähendab, et erinevus on 0,2 %.

3.1.1. Esimene seadistus

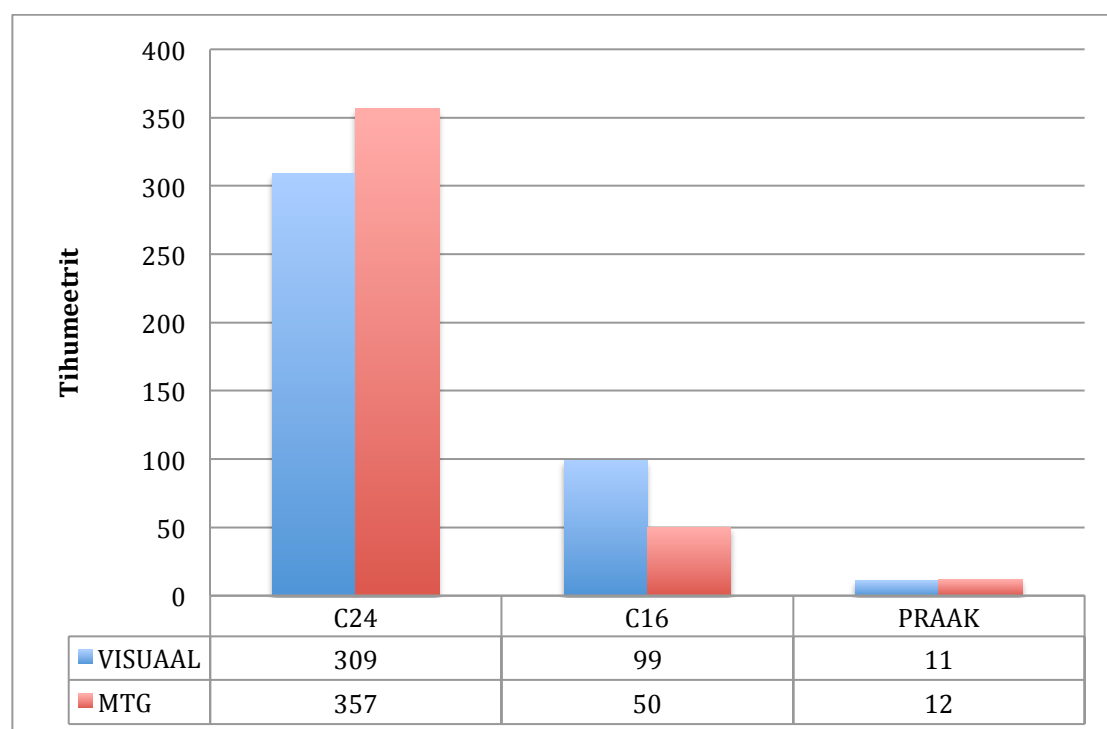
Esimese seadistuse järgi sorteeriti prussid kolme erinevasse klassi, milleks olid tugevusklassid C24 ja C16 ning materjal, mille kvaliteet ei vastanud C - tugevusklassi minimaalsetele nõuetele. Tegelikult võib paljude prusside kvaliteet ületada ka C24 nõudeid, kuid seadistuse järgi määratakse nende prusside tugevusklassiks siiski C24. Puidu niiskus ja temperatuur olid kõikidel mõõtmistel vastavuses EVS-EN 14081-2:2010+A1:2012 standardiga [1]. Tulemused on antud nii tükiarvu kui ka tihumeetrite kohta.



Joonis 7 Tulemused esimese seadistusega tükiarvu kohta

Sellest võrdlusest selgub, et kasutades seadistust, mis sorteerib puitmaterjali kolme erinevasse rühma, on erinevused küll olemas, kuid mitte väga suured (joonis 7). Akustilisel sorteerimisel sertifitseeritud seadmega on toodangu kvaliteet kõrgem. Tulemustest tuleb välja, et C24 toodangu tõus akustilisel sorteerimisel tuleb C16 arvelt. Visuaalsel sorteerimisel liigitati C16 hulka 740 puiduprussi rohkem kui akustilisel sorteerimisel. Sealjuures akustilise meetodiga oli C24 toodang suurem 732 tükki.

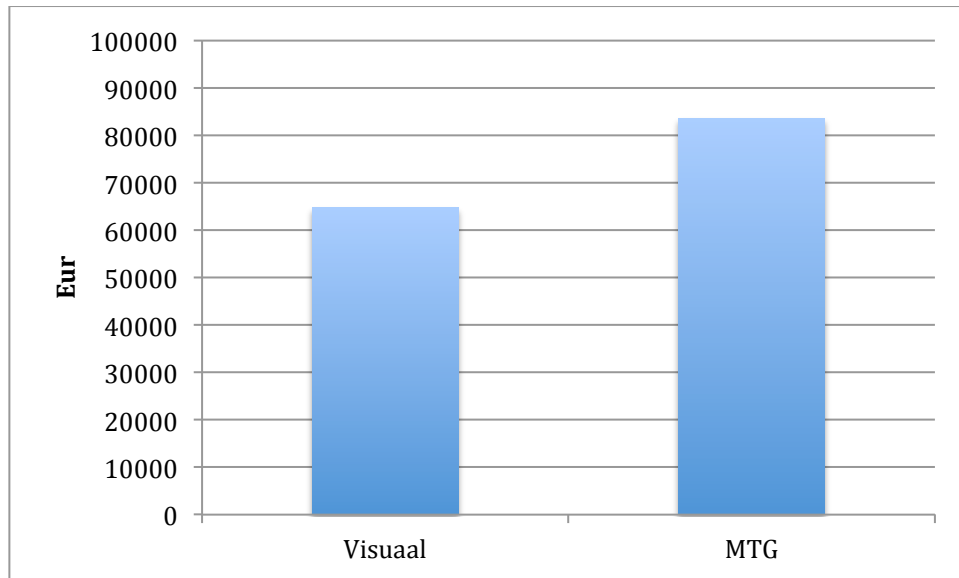
See erinevus võib tuleneda sellest, et akustilisel sorteerimisel on C16 elastsusmooduli piirkond väiksem kui C24, sest seadistuse järgi sorteeritakse ka tugevamad kui C24 puitprussid siiski eelolevasse tugevusklassi.



Joonis 8 Tulemused esimese seadistusega tihumeetrite järgi

Tihumeetrite järgi tulemusi võrreldes on tabel sarnane sellele, mis saadi tükiarvused võrreldes (joonis 8). C24 toodang akustilisel sorteerimisel oli 48 tm^3 võrra suurem, C16 aga 49 tm^3 väiksem. Praaktoodangu maht on suhteliselt sarnane. Protsentuaalselt moodustab C24 toodang akustilist tugevussorteerimist kasutades 85,2 % ning visuaalselt sorteeritud 73,7

% kogutoodangust. Praaktoodangu minimaalne erinevus võib tuleneda sellest, et väga suured defektid ning ebakvaliteetne puit on kergesti eristatav kvaliteetsemast toodangust.



Joonis 9 Käibe erinevused eurodes

Müügist saadava eeldatava kasumi arvutamiseks kasutati valemit:

$$X = T * B \quad (6)$$

kus

X – käibe suurus

T – tihumeetrite arv

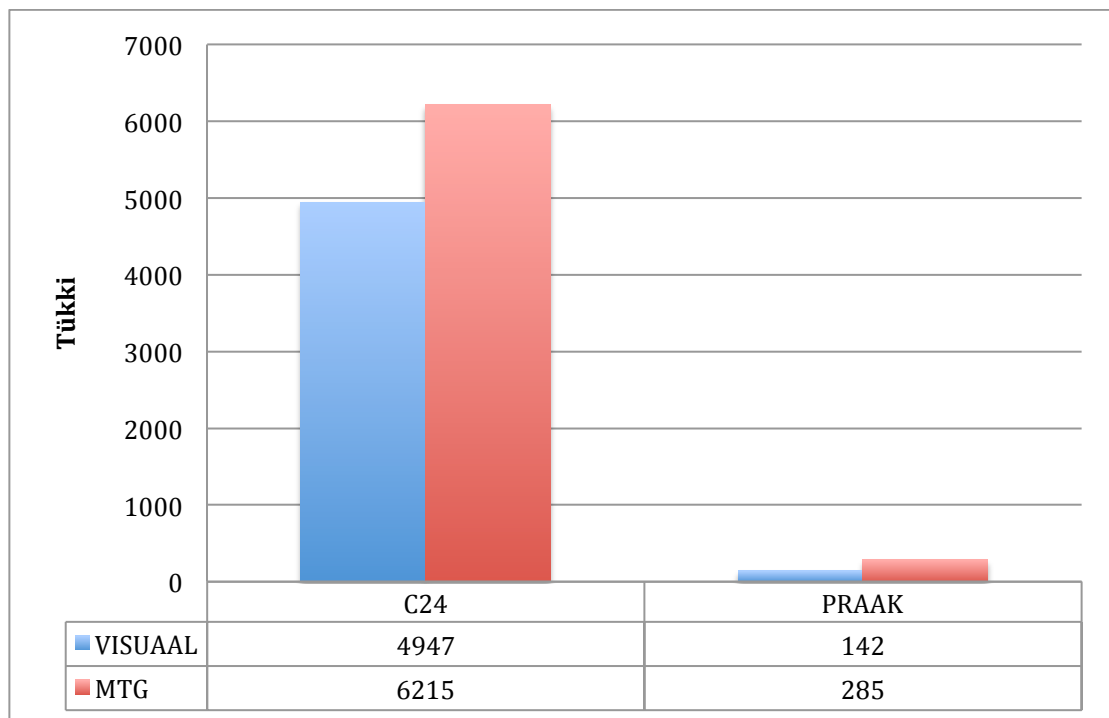
B – tihumeetri hind

Tihumeetri hinnaga 210 eurot saadi visuaalsel sorteerimisel C24 tugevusklassi kuuluva materjali müügist tulevaks eeldatavaks käibeks 64 890 eurot ning esimese seadistusega akustilisel sorteerimisel 74 970 eurot (joonis 9). Sellisel juhul on eeldatav kasum 10 080 eurot. Mõõtmisi teostati 11 päeval. Tegelikult on tootmisprotsess kiirem ning tootmismahud suuremad, kuna uue seadmega harjumine ning ka muutused töökorralduses olid aeglasema tootmise põhjusteks.

Vaadates eeldatava kasumi suurust sellisel perioodil, võib öelda, et akustiline tugevussorteerimine on tõsiseltvõetavaks alternatiiviks visuaalsele tugevussorteerimisele.

3.1.2. Teine seadistus

Teise seadistuse järgi sorteeriti saematerjal kahte erinevasse klassi, milleks olid tugevusklassi C24 elastsusmooduli miinimumnõuetele vastav materjal ning toodang, mille kvaliteet jäi alla eelmainitud tugevusklassi piiride. Selline sorteerimine oli ka ettevõtte töötajatele lihtsam, kuna ei olnud vaja paigutada toodangut kolme erinevasse pakki. Puidu niiskus ja temperatuur olid kõikidel mõõtmistel vastavuses EVS-EN 14081-2:2010+A1:2012 standardiga [1]. Tulemused on antud nii tükiarvu kui ka tihumeetrite kohta.

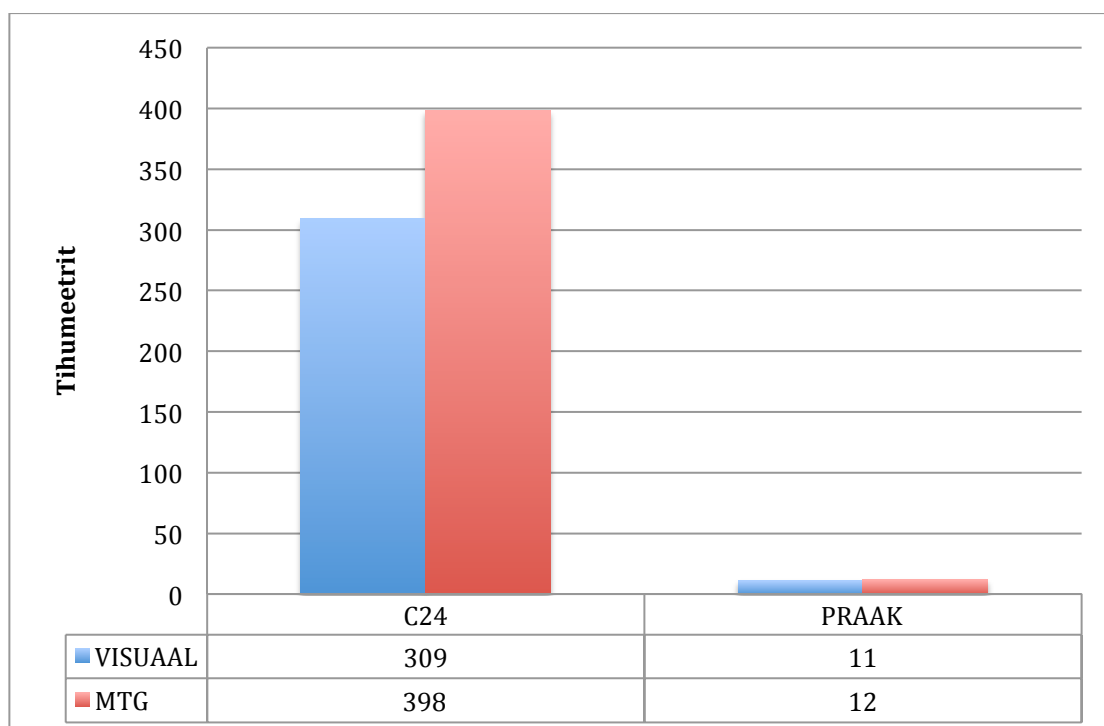


Joonis 10 Tulemused teise seadistusega tükiarvu kohta

Sellelt jooniselt selgub, et kasutades seadistust, mis sorteerib toodangu ainult tugevusklassi, mille elastsusmoodul vastab C24 miinimumnõuetele, on erinevused palju suuremad (joonis 10). Tükiarvu järgi on akustilisel sorteerimisel C24 toodang 1269 ühiku võrra suurem.

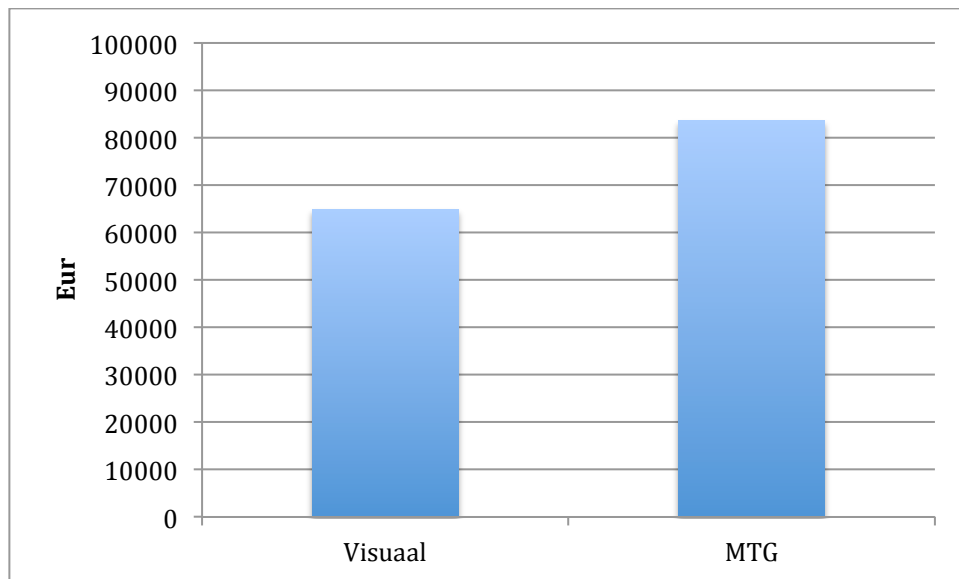
Protsentuaalselt on see 20,4 % suurem. Nii suur kvaliteedi erinevus tuleneb sellest, et tarkvara lähtus tugevusklassi määramisel üks-ühele standardiga ette nähtud piirnormidest ning ei liigitanud piiripealse elastusmooduliga materjali automaatselt nõrgemasse tugevusklassi.

Märkimisväärne on ka see, et akustilisel sorteerimisel teise seadistusega suurenes praaktoodangu arv võrreldes visuaalse sorteerimisega 143 ühikut, mis on 50,1 %. Võib arvata, et enamjaolt toimus see suurenemine C16 toodangu arvelt.



Joonis 11 Tulemused teise seadistusega tihumeetrite järgi

Tihumeetrite järgi võrreldes on erinevus toodangu kvaliteedis väga selgelt näha. Akustilise sorteerimiseseadmega on C24 toodang 89 tm^3 suurem võrreldes sellega, mis saadi visuaalsel sorteerimisel (joonis 11). Võib eeldada, et nii suur tõus tuleneb selle materjali arvelt, mille elastusmoodul oli piinormi väärtuse lähedane ning esimese seadistuse järgi sai C16 väärtuse.



Joonis 12 Käibe erinevused eurodes

Teise seadistuse järgi oleks prognoositavaks müügist saadavaks tuluks, kasutades akustilist tugevussorteerimist, 83 580 eurot (joonis 12). See oleks 18 690 eur rohkem, kui saaks visuaalselt sorteeritud materjali müügist.

Kasutades akustilise sorteerimise MTG Timber Grader teist seadistust, on erinevused toodangu kvaliteedis võrreldes visuaalse sorteerimisega märkimisväärsed. C24 toodangu maht oleks ühikuliselt 20,4 % ning tihumeetrite järgi 22,4 % suurem. Selline vahe protsentuaalsetes tulemustes on tingitud sellest, et visuaalsel sorteerimisel määrates suurema ristlõikepindalaga puitprussi praagi hulka, kaotatakse ka suurem kogus toodangust tihumeetriselt.

3.2. Kasulikkus ettevõttele

Üks peamisi põhjuseid, miks ettevõtte peaks visuaalse sorteerimise vahetama masinsorteerimise vastu on see, et masinsorteerimise standard on laiemalt aksepteeritav. See pakub võimalusi sisenemaks kergemini uutele turgudele kindla kvaliteediga toodanguga. Lisaks sellele on näha, et antud ettevõtte toodangu kvaliteet on akustilise sorteerimismeetodiga kõrgem. See võib tähendada ka väiksemaid kulusid ümbertootmisel ning suuremat käivet. Kasutatud mõõtmiste ning arvutuste põhjal 11 päeva jooksul oleks

ettevõtte kalibreeritud puiduprusside müügist saadav tulu eeldatavalt suurenenud 18 690 eur ehk 22,4 %. Tegelikuses võib see kasv olla isegi suurem, kui võtta arvesse seda, et tootmisprotsess oli mõnevõrra uue seadme katsetamisest tulenenud probleemidest natukene aeglustunud.

Üldiselt võib öelda, et akustiline sorteerimismeetod on võimeline asendama keskmise tootmismahuga ettevõtetes visuaalset käsitsi sorteerimismeetodit.

3.3. Probleemid ettevõttele

Üheks suurimaks probleemiks ettevõtte juhtkonnale sai see, et väiksemate ristlõikega (laius 100 mm) puitprusside akustiliseks sorteerimiseks on vaja lisatöölist, kelle ülesandeks oleks mõõtmiste teostamine. Kui prussil on suurema pindalaga ristlõige, on ka etteandekiirus väiksem ning töötajal, kelle tööülesandeks on paigutada materjal etteandeliinile, on piisavalt aega mõõtmised ja märkmed ise ära teha. Kuid väiksema ristlõikega puitprusside korral on etteandekiirus nii suur, et selle töö peab ära tegema keegi teine.

Lisaks sellele tuli väiksemal määral muuta tootmisprotsessi. Kuna hilisemalt paigaldati ka puiduprinter, mis prindib puitprussile peale vastava tugevusklassi sertifikaattempli, tuleb vastavalt EVS-EN 14081-2:2010+A1:2012 standardile eemaldada ebakvaliteetne toodang juba enne kalibreerimist liinilt [1].

KOKKUVÕTE

Töö eesmärgiks oli tutvustada erinevaid tugevussorteerimise meetodeid ning katsete põhjal võrrelda visuaalse käsitsi ja akustilise sorteerimise meetodeid. Mõõtmised teostati seadmega Timber Grader MTG firmalt Brookhuis ning andmeid koguti 85 puidupaki ehk rohkem kui 400 tm³ kohta.

Akustilisel meetodil põhinev sorteerimismeetod on keskmise tootmismahuga ettevõtetes alternatiiviks kallimatele skaneerivatele tugevussorteerimise seadmetele, kuna vastavate seadmete hind on odavam ning need vastavad EN standarditele.

Akustilisel sorteerimise mõõtmise tulemused on välja toodud kahe seadistusega. Esimene neist sorteeris materjali kolme rühma: puitprussid, mille kvaliteet vastas C24 tugevusklassi miinimumnõuetele, puitprussid, mille tugevus jäi C16 tugevusklassi piirnormidesse ning materjali, mis ei vastanud C16 klassi miinimumnõuetele. Selle seadistuse korral paigutas tarkvara materjali, mille elastsusmooduli väärtus jäi tugevusklassi miinimumnõude lähedusse, automaatselt nõrgemasse klassi. Teise seadistuse järgi sorteeriti ainult materjal, mille tugevus vastab C24 nõuetele üks-üheselt standardis välja toodud piirnormidega ning materjal, mille tugevus jääb sellest alla poole.

Mõõtmistel selgus, et toodangu kvaliteet akustilisel tugevussorteerimisel on kõrgem kui käsitsi visuaalsel sorteerimisel. Esimese seadistuse järgi oli C24 tugevusklassi sorteeritud materjali osakaal 11,5 % suurem ning teise seadistuse järgi tervelt 22,4 % suurem. Võttes tihumeetri hinnaks 210 eurot, tähendaks see C24 toodangu müügist saadavat eeldatavat käibe kasvu 18 690 eurot.

Akustilise tugevussorteeri kasutusele võtmisega kaasnes väiksemaid probleeme. Väiksema ristlõikepindalaga puiduprusside kalibreerimisel on hõõvelmasina etteandekiirus niivõrd palju suurem, et sorteerimise teostamiseks ning märkmete tegemiseks on vaja lisatöölist.

Suuremate ristlõikepindalaga puiduprusside puhul on etteandekiirus väiksem, ning vastavad toimingud jõuab teostada tööline, kelle ülesandeks on puiduprusside liinile asetamine.

Üldiselt võib öelda, et akustilise tugevussorteerimise meetod on tõsiseltvõetavaks alternatiiviks visuaalsele käsitsisorteerimisele.

Töö eesmärkideks oli tutvustada saematerjali tugevussorteerimise meetodeid ning võrrelda akustilist ja visuaalselt sorteerimist. Püstitatud eesmärgid täideti ning ettevõttes Erapuit AS on nüüdseks akustiline tugevussorteerimine visuaalse meetodi praktiliselt välja vahetanud.

KASUTATUD KIRJANDUS

1. Puitkonstruktsioonid. (2012). Nelinurkse ristlõikega tugevussorditud ehituspuit. Osa 2: Masinsortimine. Täiendavad nõuded esmasteks tüübikatsetusteks. Euroopa standard : EVS – EN 14081 – 2:2010+A1:2012. Tallinn : Eesti Standardiamet
2. Laas, E. Okaspuud. Tartu : Atlex, 2004
3. Etverk, I. Ta on lihtsalt parim puu meie aladel [WWW] http://www.loodusajakiri.ee/eesti_loodus/EL/vanaweb/9701/kuusk.html (10.05.2015)
4. Jackson, A. Day, D. Puutöömeistri käsiraamat. Tallinn : TEA Kirjastus, 2006
5. Saarman, E. Puiduteadus. Tartu : Vali Press OÜ, 1997
6. Tsoumis, T.G. Wood Plant Tissue, Electric Properties, lk16. [WWW] Encyclopedia Britannica <http://www.britannica.com/EBchecked/topic/647253/wood/26164/Electric-properties> (15.05.2015)
7. Buschow, K.H.J., Cahn, R.W., Flemings, M.C., Encyclopedia of Materials – Science and Technology. – Wood:Moisture Content, Hygroscopicity and Sorption, 2001, lk 9668. [Online] Knovel (19.05.2015)
8. U.S. Army Materiel Command, Engineering Design Handbook – Environmental Series, Part Two. – Paper, lk 65. [Online] Knovel (19.05.2015)
9. Forde, M. ICE Manual of Construction Materials, Volume 2. – Sustainability, lk 714-714. [Online] Knovel (20.05.2015)
10. Wood Handbook : Wood as an engineering material. Forest Products Laboratory, United States Department of Agriculture Forest Service, Madison, Wisconsin : 2010
11. Buchanan, A.H. Sawn Timber – Grading Systems for Structural Timber [WWW] <http://www.nzwood.co.nz/wpcontent/uploads/2013/06/sawngrading.pdf>(15.05.2015)
12. Visual strength grading of softwood. (2007). Specification. BS 4978:2007+A1:2011

13. Holland, C. Reynolds, T. Timber Grading and Scanning [WWW]
[http://www.forestry.gov.uk/pdf/Timber-grading-and-scanning_DG492.pdf/\\$FILE/Timber-grading-and-scanning_DG492.pdf](http://www.forestry.gov.uk/pdf/Timber-grading-and-scanning_DG492.pdf/$FILE/Timber-grading-and-scanning_DG492.pdf) (21.05.2015)
14. Niiskusemõõtja EVIKON LG9NG pilt
http://www.evikon.ee/catalog/images/logica/LG9NG_L.jpg (20.05.2015)
15. Infrapunatermomeetri XHC BENETECH GM550E pilt
http://img.dxcn.com/productimages/sku_104614_1.jpg (20.05.2015)
16. Timber Grader MTG 920 pilt
https://cdn.agrarverlag.at/to/mmedia/image//2011.12.19/13242965511279_1.jpg?1324296551 (21.05.2015)
17. Timber Grader MTG 920 mõõteotsa pilt <http://www.warensortiment.de/technische-daten/images/holzfestigkeitsbestimmer-timber-grader-sensor-mtg-gr-250.jpg>
(21.05.2015)
18. Timber Grader MTG 920 pilt <http://www.brookhuis.com/timber-grader-mtg.html>
(21.05.2015)
19. Seadme Timber Grader MTG 920 kasutusjuhend

SUMMARY

The aim of this paper was to introduce a variety of strength grading methods and to compare visual and acoustic strength grading methods on the basis of tests. Acoustic grading was performed with Timber Grader MTG 920 from Brookhuis and data was collected from 85 timber packages, which is more than 400 solid cubic meters.

Enterprises with average production capacity can use acoustic timber grading as an alternative to high-performance scanners. The price of acoustic timber grading machines is lower and they meet the EN standards.

The results from acoustic strength grading are shown in two settings. The first setting sorted the material into three groups: beams with strength qualities meeting the minimum required to C24 strength class, beams with strength qualities below C24 but above C16 minimum requirements and beams not meeting the minimum requirements for C16 strength class. With the first setting, if the module of elasticity was near the minimum requirement, the software of Timber Grader MTG automatically determined the beam as of lower quality. The second configuration sorted the material into two groups: beams with quality meeting the minimum requirements of C24 strength class and beams not meeting the minimum requirements for it.

The measurements with acoustic timber grader showed higher quality of production. With the first configuration the proportion of C24 strength class material was 11,5 % higher than and with the second configuration the same number was 22,4 % higher. Having a solid cubic meter price of 210 euros, it would mean an increase of 18 690 euros in turnover from the sales of C24 production.

The introduction of acoustic strength grading was accompanied by some minor problems. The feeding speed of planing machine is higher with smaller cross-sectional area beams so that additional worker was necessary for grading and marking of the beams. With higher

cross-sectional area beams the feeding speed is lower so that the worker, whose task is to place wooden beams on the line, has enough time to manage these operations.

In general it can be said that the acoustic timber grading method is a suitable alternative to the visual timber grading method.