

Sahan sivutuotemäärien mittaaminen

Opinnäytetyö

LAB-ammattikorkeakoulu
Insinööri (AMK), Puutekniikka
2023
Marko Ahtiainen

Tiivistelmä

Tekijä(t) Ahtiainen, Marko	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK Sivumäärä 26	Valmistumisaika 2023
Työn nimi Sahan sivutuotemäärien mittaaminen		
Tutkinto ja koulutusala Insinööri (AMK), puutekniikka		
Toimeksiantajan organisaatio UPM Kymmene Oyj, Seikun saha		
Tiivistelmä Voidaanko sivutuotemääriä mittaroimalla vaikuttaa sahan arvosaantoon? Opinnäytetyötä alettiin tekemään lähtökohdasta, jossa sivutuotteita hankkivat asiakkaat kertoivat sahalle prosessissa syntyneiden sivutuotejakeiden määrät. Asiaa lähdettiin korjaamaan investoimalla ennen kuivausta muodostuvien sivutuotejakeiden kuljettimille hihnavaa´at. Niitä muodostunut data siirretään sahan raportointipalvelimelle eräkohtaisesti. Vertailemalla eri jakeiden muodostumista asetekohtaisesti saadaan entistä tarkempaa tietoa tuotannonsuunnittelun ja tuotannon tueksi. Eri jakeiden määrillä ja keskinäisillä suhteilla on merkittävä rooli sahan arvosaannon kannalta. Prosessissa jakeiden muodostumiseen vaikuttavien tuotannollisten muutosten vaikutavuuden arviointi on helpompaa mitattua tietoa hyödyntämällä.		
Asiasanat sivutuotteet, saanto, tuotannonsuunnittelu		

Abstract

Author(s) Ahtiainen, Marko	Type of Publication Thesis, UAS	Published 2023
	Number of Pages 26	
Title of Publication Measuring by products in a sawmill		
Degree and field of study Bachelor of Engineering, Wood Technology		
Organisation of the client UPM Kymmene Oyj, Seikku sawmill		
Abstract <p>At the starting point of this thesis, there was a situation where the customers who use our by-product fractions gave us information about the quantities we had produced for them. We started to change this by investing in by-product scales on our belt conveyors before kilning. The measured data is transferred to our reporting platform on a batch basis. By comparing this information with different sawing patterns, we can help production planning at the mill. The quantities and the ratio between these different by-product fractions play an important role when estimating the value of the yield. In the process itself, it is much easier to estimate the effectiveness of the changes made to production when utilizing the measurement data.</p>		
Keywords by products, yield, production planning		

Sisällys

1	Johdanto.....	1
2	Raaka-aine	2
2.1	Metsävarat.....	2
2.2	Ominaisuudet	2
2.3	Tiheys.....	3
3	Sahausprosessi	5
4	Tukista saatavat jakeet ja mittaus	7
4.1	Kuori.....	7
4.2	Hake.....	8
4.3	Puru.....	11
4.4	Sahatavara	12
4.5	Mittalaitteet	13
5	Saanto	16
5.1	Määräsaanto.....	16
5.2	Arvosaanto	16
6	Tuotannonsuunnittelu	17
7	Vertailu	18
7.1	Mittaustulosten muuntaminen	18
7.2	Vertailupari 1	18
7.3	Vertailupari 2	21
8	Yhteenveto	24
	Lähteet	26

1 Johdanto

Voidaanko sahan sivutuotevirtojen määriä mittaroimalla vaikuttaa sahan arvosaantoon? Tutkimuksessa arvioidaan määrien muodostumiseen vaikuttavia tekijöitä sekä jakeiden keskinäisiä suhteita. Selvityksessä keskitytään prosessissa ennen kuivausta muodostuviin jakeisiin sekä niiden määriin. Lisäksi tutkitaan määrien vaikutusta sahan kannattavuuden kannalta.

Länsisuomalainen kohdesaha, missä tutkimus tehdään, käyttää raaka-aineenaan yksinomaan kotimaista kuusitukkia. Lajiteltujen tukkien keskipituus v. 2022 oli 4,67 m/tukki ja keskitilavuus 0,227 m³/tukki. Tukkeja käytettiin n. 800 000 m³. Tukki kuljetetaan sahalle valtaosin autokuljetuksin n.100 km säteeltä. Tukkeja toimitetaan lisäksi rautateitse n. 10 %.

Tukkiraaka-aine on sahoille suurin yksittäinen kuluerä ja siksi sen maksimaalinen hyödyntäminen on tärkeää. Pieni käyttösuhde auttaa osaltaan parantamaan sahan tuloksenteokkyä. Tukkiluokista sahattavien asetteiden optimaalinen valinta ei tosin aina korreloi suoraan pieneen käyttösuhteeseen. Sahan arvosaanto on kokonaisuus, minkä pitäisi olla prosessia ohjaava tekijä.

Sahauksen onnistumiseen vaikuttaa monta tekijää. Tässä tutkimuksessa keskitytään niistä sivutuotteiden määrään ja muodostumiseen. Kohdesahalla on käytössä Valon Koneen valmistama 2-roottorinen kuorimakone sekä Veisto Oy:n profiloiva pyörösahalinja.

2 Raaka-aine

2.1 Metsävarat

Suomen maapinta-alasta 86 % on metsätalousmaata. Tämä 26,2 miljoonaa hehtaaria pitää sisällään myös puuntuotannon ulkopuolella olevia suojeltuja alueita 5,0 miljoonaa hehtaaria. Metsätalousmaasta 20,3 miljoonaa hehtaaria on metsämaata, jossa puuntuottokyky ylittää vuodessa 1 m³/ha. (Korhonen 2018, 9.)

Suomalaisesta metsästä korjataan hakkuilla noin 65 miljoonaa m³ puuta vuosittain, kokonaispoistuman ollessa noin 79 miljoonaa m³ (määrät vaihtelevat vuosittain). Suomen metsien puuston kokonaistilavuus on 2 357 miljoonaa m³ ja vuotuinen kasvu on 105,5 miljoonaa m³. (Räsänen ja Pajuoja 2018, 37.)

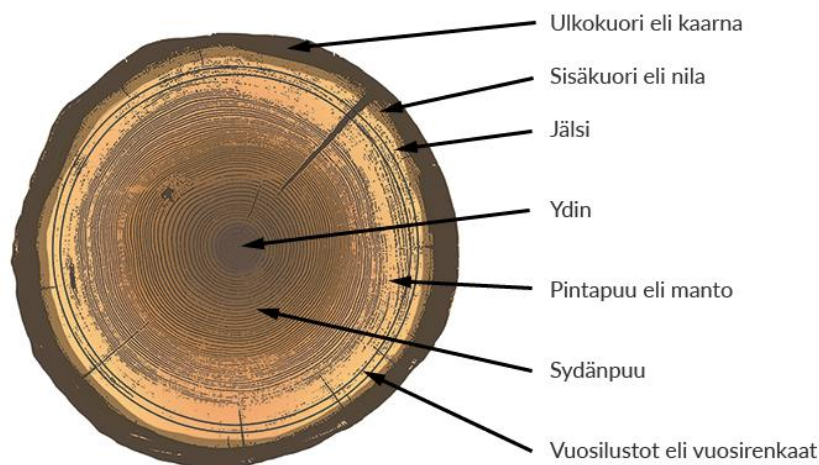
1970-luvulta lähtien suomalaisten metsien puuston tilavuus on kasvanut noin kolmanneksella 1 600 → 2 357 miljoonaa m³. Puuntuotannon metsämaasta 2/3 on yksityismetsänomistajien omistuksessa. 17 % on valtio-omisteisia ja loput esimerkiksi kuntien, seurakuntien ja pienien yhteisöomistajien hallinnassa. (Räsänen ja Pajuoja 2018, 37.)

Noin 90 % Suomessa korjatusta puusta tulee PEFC-sertifioiduista metsistä, määrä vastaa 18,5 miljoonaa hehtaaria metsäalaa. PEFC on tae siitä, että raaka-aine on peräisin kestävästi hoidetusta metsästä. Ulkoinen puolueeton taho valvoo, että puun alkuperä on sertifiointin vaatimusten mukainen. (pefc.fi, 2023.) Suomessa on käytössä myös toinen suuri metsäsertifiointijärjestelmä FSC, jonka piirissä Suomen metsistä on 10 %. (metsäkeskus.fi, 2023.)

2.2 Ominaisuudet

Puun ominaisuudet vaihtelevat mm. puulajin, iän, kasvupaikan olosuhteiden, vuodenaikojen ja kasvukauden pituuden mukaan. Lisäksi vaihtelua syntyy myös yksittäisen rungon sisällä ytimestä pintaan sekä tyvestä latvaan. (Räsänen ja Pajuoja 2018, 37–38.)

Tässä tutkimuksessa ominaisuuksista keskitytään lähinnä kuusitukin tuoretiheyteen (kg/m³) kohdesahan puunkorjuualueella. Kuvassa 1 on esitetty tukin poikkileikkauskuva havainnollistamaan puun rakennetta.



Kuva 1: Puun poikkileikkaus (Puuinfo Oy, Antti Saikkonen)

2.3 Tiheys

Puutavaran tuoretiheyden vaihteluun vaikuttavat mm. puumassan tiheys, puulaji, puutavaran mitat, maantieteellinen kasvualue, mittausajankohta, sydänpuuosuus ja kosteussuhde. Kuusitukin tuoretiheys (kg/m^3) on tiedettävä, jotta tutkimuksessa käytettävien hihnavaakojen avulla saatu mittaustulos (kg) saadaan muutettua vertailtavaksi tilavuudeksi (m^3) kunkin sivutuotejakeen osalta. Taulukossa 1 on kuvattu Metsäntutkimuslaitoksen Määräys 2/2013, kuusitukin tuoretiheyden muuntotaulukko. Sen avulla voidaan määrittää puun tilavuus (m^3) punnitustiedon avulla, tai muuntaa mitattu tilavuusmitta massaksi (kg).

Kuukausi	Etelä-Suomi	Pohjanmaa	Kainuu-Koillismaa	Lappi	Ylä-Lappi
	Tuoretiheys, kg/m^3				
tammi	794	769	780	780	780
helmi	789	762	775	775	775
maalis	782	754	769	769	769
huhti	773	746	762	762	762
touko	765	740	757	757	757
kesä	760	737	753	753	753
heinä	759	737	753	753	753
elo	762	742	755	755	755
syys	768	749	760	760	760
loka	776	758	767	767	767
marras	785	766	774	774	774
joulu	792	771	779	779	779

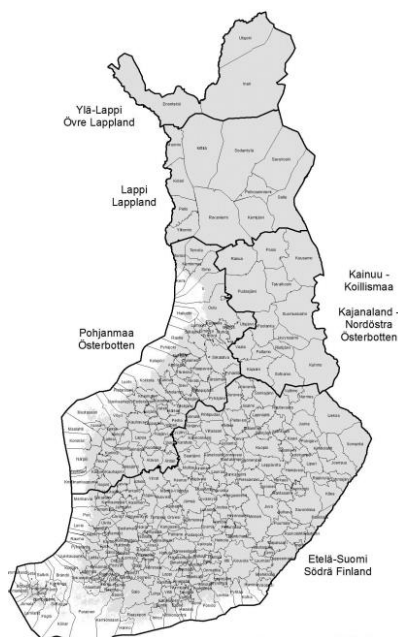
Taulukko 1: Kuusitukin tuoretiheydet, latvaläpimitta ≥ 14 cm (Metsäntutkimuslaitos Määräys 2/2013 liite 4)

Mittauserän tilavuus saadaan jakamalla mittauserän massa (kg) puutavaran tuoretiheysluvulla (kg/m^3). Mittauserän kiintotilavuus ilmoitetaan kuutiometrin kymmenesosan tarkkuudella ($0,1 \text{ m}^3$). (puuhuolto.fi, 2022.)

Tuoretiheystaulukon lukuja suhteutetaan tutkimuksessa eri sivutuotejakeille hieman eri tavoin. Tuorehake on pääsääntöisesti tukin kosteampaa ja tiheämpää pintapuuta ja puru sisältää enemmän myös kuivempaa sydänpuuta. Järeän kuusen sydänpuun osuus läpimitasta on suurimmillaan (25 %) n. 1/5 korkeudella puun pituudesta. Rungon puolivälissä sydänpuun osuus on enää alle 10 % ja 4/5 korkeudessa alle 1 %. Kosteusvaihtelut sydän- ja pintapuun välillä ovat merkittävät. Kosteussuhteet vaihtelevat pintapuun 120–150 %:sta, sydänpuun 30–40 %:iin. (Marjomaa ja Uurtamo 1996, 13–15.)

Puun pintaosan korkeampaa kuivatuoretiheyttä (kuivan puuaineksen suhde tuoreen puun tilavuuteen) selittää se, että kevätpuuta tiheämmän kesäpuun osuus on puun pintaosassa sydänpuuta suurempi. Lisäksi vanhemman puun jälsisolut tuottavat nuorta puuta tiheämpää puuainesta. (Marjomaa ja Uurtamo 1996, 6–7.)

Tuoretiheystaulukon mukainen aluejako on kuvattu kuvassa 2. Kohdesahan raaka-aine tulee pääasiassa Etelä-Suomen alueelta mutta jonkin verran myös Pohjanmaalta. Vertailuna mainittakoon, että samalla Etelä-Suomen alueella kasvavan mäntytukin tuoretiheys on n. $60 \text{ kg}/\text{m}^3$ ja koivutukin n. $125 \text{ kg}/\text{m}^3$ suurempi kuin kuusella.



Kuva 2: Aluejako (Metsäntutkimuslaitos Määräys 2/2013 liite 4A)

3 Sahausprosessi

Kuvassa 3 havainnollistetaan kohdesahan tuotantoprosessia. Tämän tutkimuksen sivutuotejakeet syntyvät pääsääntöisesti kuorinnan, sahausen ja tuorelajittelun aikana. Jakeiden osuudet vaihtelevat tukkiluokkien ja sahausasetteiden sekä niiden eri yhdistelmien mukaan.



Kuva 3: Tuotantoprosessi (UPM, 2023)

Tukkilajittelussa sahalle kuljetetut tukit lajitellaan eri kriteereillä sahattaviin tukkiluokkiin, joita sahalla on tällä hetkellä käytössä 51 kpl. Sahaan lajiteltavien tukkien latvaläpimitat vaihtelevat 141–390 mm:n ja pituudet 3350–6150 mm:n välillä. Tukkeja voidaan lajitella myös sisäisten ominaisuuksien mukaan eri asiakastarpeisiin röntgenmittarin avulla. Lajitellut tukkiluokat varastoidaan omiin teloihinsa odottamaan sahausta.

Tuotannosuunnittelu määrittelee milloinkin sahattavan tukkiluokan ja asetteen. Tällaisia eri kombinaatioita kohdesahalla on n. 150. Sahaansyötön mittareiden avulla varmennetaan tukkien oikeellisuus sahattavaan erään. Saadun mittatiedon ja kuljetinratkaisujen avulla tukit käännetään niin, että kuorimakoneeseen ne kulkeutuvat latvapää edellä. Kuorinnan jälkeen tukit ohjataan pienen välivarastoinnin kautta sahalinjalle.

Sahalinjalla tukki mitataan, jotta se saadaan ohjattua ensimmäiseen sahausyksikköön (pelkkahakkuri) saannon kannalta optimaalisessa asennossa. Tärkein suuntauskriteeri on tukin lenkous ja sen kääntäminen tavoiteltuun asemaan. Pelkkahakkurin avulla saadaan pyöreästä tukista neljän tasaisen, ohjaavaan pinnan muodostama pelkka.

Sahausasetteessa on ennalta määrätty sahattavien lautojen kappalemäärät ja vahvuudet kahdessa seuraavassa koneyksikössä (pelkkasahat 1 & 2). Pelkkamittarin avulla jokaisesta pelkasta lähetetään pelkkasahoille yksilöity tieto sahattavien lautojen leveydestä ja sijainnista pelkan kyljessä. Kohdesahalla laudat profiloidaan ja särmätään pelkkasahojen sisällä. Viimeisessä sahayksikössä (jakosaha) neliskanttinen pelkka jaetaan keskitavarakappaleisiin (2–5 kpl).

Tuorelajittelussa sahatut kappaleet mitataan ja lajitellaan dimension mukaan lajittelulokeroihin odottamaan rimoitusta kuivaamokuormiin. Tässä vaiheessa myös sahauksessa syntyneet epäkurantit kappaleet ohjataan haketukseen. Lautakappaleita ohjataan esim. vaajasärmälaadutuksen avulla lautatrimmerissä lyhennettäväksi 30 cm:n teräjaolla. Näin syntyneet tasauspätkät ohjataan alasahaan haketukseen.

Prosessin seuraavat vaiheet eivät vaikuta tämän tutkimuksen sivutuotejakeisiin. Niissä vaikutetaan lähinnä sahatavaran loppulaadun muodostukseen kuivauksen ja laatulajittelun kautta.

4 Tukista saatavat jakeet ja mittaus

4.1 Kuori

Kuusitukissa on kuorta 8–12 %. Suomen puukaupoissa tukit mitataan kuoripäällisinä eli tukeista metsänomistajalle maksettavaan kantohintaan sisältyy myös kuoren osuus. Kuori käytetään pääasiassa polttoaineena energian tuotantoon. Sahoilla se poltetaan sahaus- ja kuivausprosessien tarvitsemaksi lämmöksi. (Räsänen ja Pajuoja 2018, 46–48.) Kuoren osuus sahan liikevaihdosta on 3 % (Merivuori 2018, 30).

Kuoren arvo polttoaineena riippuu sen kosteudesta. Kuiva-ainepitoisuuden tulisi olla vähintään 35 %, jotta sen polttaminen olisi kannattavaa. Tukkien uiton ja vesivarastoinnin vähentyminen on helpottanut kuoren käyttöä polttoaineena, koska erillistä kuivausta ei juurikaan tarvita. (Sipi 2006, 196–199.) Aiemmin Suomessa paljon käytetyssä uitossa ja vesivarastoinnissa saattoi jopa puolet kuoresta hävitä (Sipi 2006, 192).

Kuvassa 4 havainnollistetaan roottorikuorimakoneen toimintaperiaate. Roottorikuorinta on yleisin käytössä oleva kuorintamenetelmä sahateollisuudessa. Tukit syötetään koneeseen yksitellen latva edellä. Tärkein peruste kuorinnalle liittyy sivutuotteena saatavan sahakkeen laatuvaatimukseen. Selluteollisuuden raaka-aineena käytettävän hakkeen pitää olla riittävän puhdasta. (valonkone.com, 2023.) Myös puuainekselle vahingollisten tuhohyönteisten elinolosuhteet heikkenevät kuoren poistamisen jälkeen.



© Valon Kone

Kuva 4: VK Kuorimakone (Valon Kone, 2023)

Kuorimaroottorien terävarsien avulla (kuva 5) kaavitaan kaarna, nila ja jälsi pois tukin pinnasta. Sahahakkeessa sallittu kuoripitoisuus on korkeintaan 1 %. Pitoisuudella tarkoitetaan näytteen kuivan kuoren massan suhdetta koko kuivaan massaan. (Sipi 2006. 197.)

Puulajille ja olosuhteisiin soveltuvat teräpalat ja -paineet varmistavat hyvän kuorimatuloksen. Väärillä asetuksilla saatetaan ”kuoria” arvokasta pintapuuta kuoren sekaan heikentämällä samalla saantoa.



Kuva 5: Terävarret ja -palat

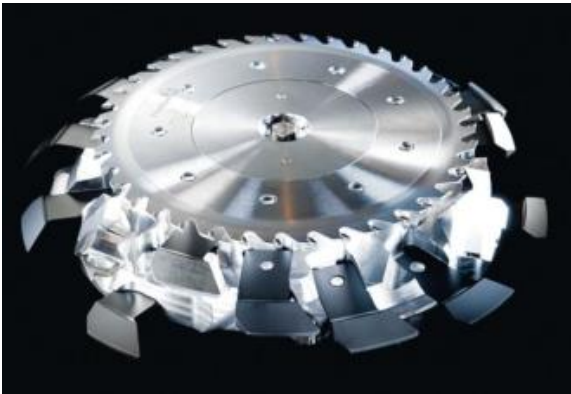
4.2 Hake

Hake on sahan sivutuotejakeista arvokkainta. Sen osuus sahan liikevaihdosta on 11 %. (Merivuori 2018, 30). Sitä syntyy sivutuotteista eniten, 28–32 %. Sahan tuorehakkeet käytetään yleisimmin sellun- ja paperinvalmistukseen. Selluntuotantoon käytettävän tuorehakkeen irtotiheys on keskimäärin 145–170 kg/m³. Sahalla suoritetaan seulonta (kuva 6), jossa sahalinjalla ja tuorelajittelussa muodostuva puru ja hake erotellaan toisistaan. Yleisimmin on käytössä taso- tai kiekkoseuloja. Seulottu tuorehake varastoidaan maakasaan, josta se lastataan ja kuljetetaan haketavararekalla loppukäyttökohteeseen. (Räsänen ja Pajuoja 2018, 46–47.)



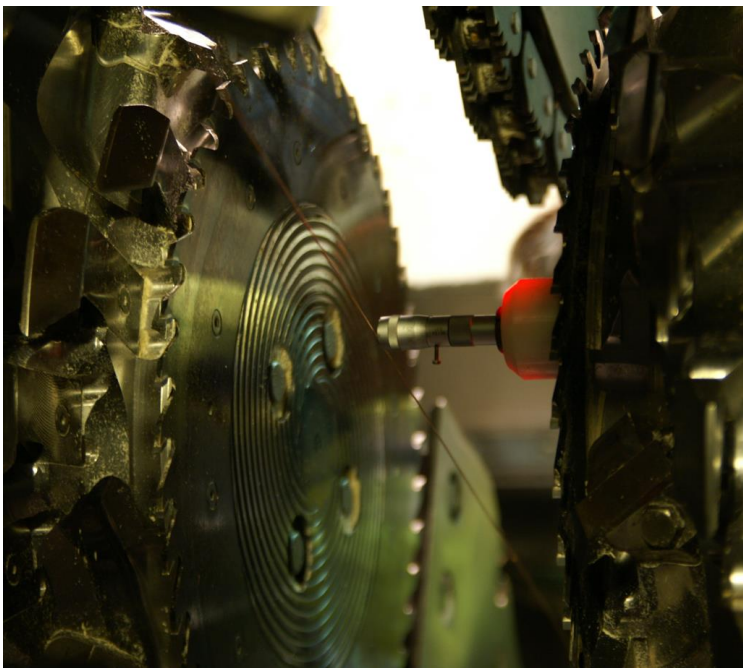
Kuva 6: Kiekkoseula

Tuorehakkeesta valtaosa syntyy pelkkahakkurissa, missä tukin pinnat haketetaan neljältä sivulta. Kuvassa 7 on esimerkki Veisto Oy:n valmistaman pelkkahakkurin teräpästä, jonka kaltaisia pelkkahakkurissa on 4 kappaletta, 2 vastakkain pysty- ja vaakasuunnassa. Kuvassa ylimpänä on silityskiekko, jolla tehdään pelkkaan tasainen ohjaava pinta, mikä on samalla myös uloimpien sahatavarakappaleiden yksi valmis pinta. Alempana kuvassa näkyy haketusteräpaloja, jotka hakettavat silityskiekon ulkopuolelle jäävän puuaineksen.



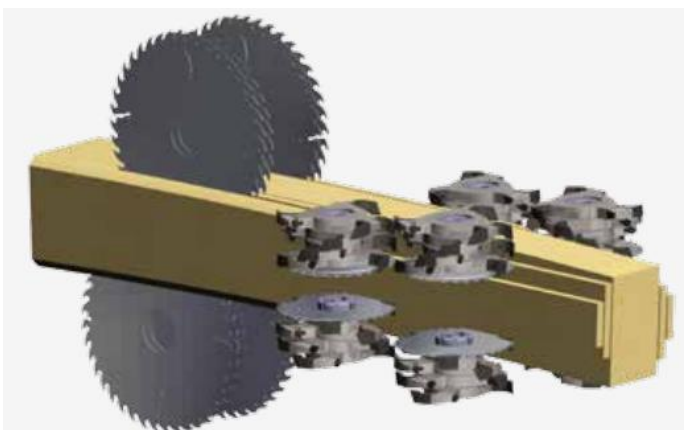
Kuva 7: Pelkkahakkurin teräpää (Veisto Oy)

On tärkeä, että sahalinjan laitteet pidetään hyvässä kunnossa. Koneiden linjaus (kuva 8) on tärkeässä osassa tätä kokonaisuutta.



Kuva 8: Pelkkahakkurin teräpään linjausta

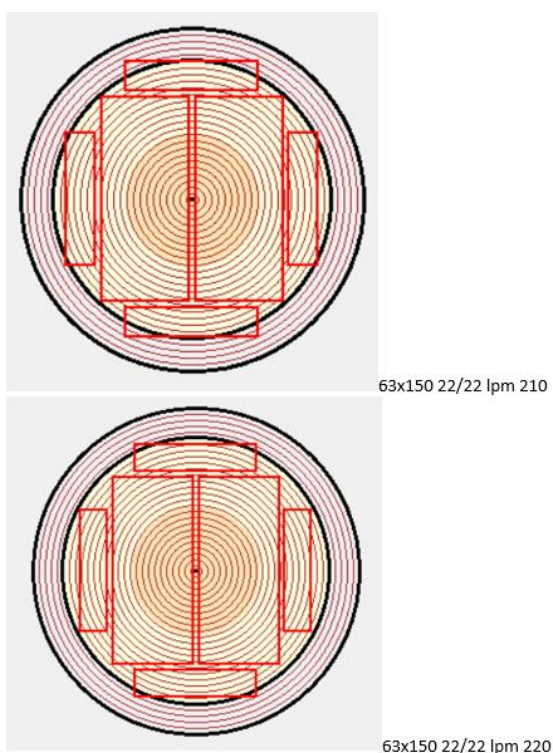
Osa tuorehakkeesta syntyy lautojen särmäyksestä. Kohdesahalla on niin sanottu profiloiva särmäys. Se tarkoittaa, että särmäys tehdään samassa sahakoneessa erillisillä särmäyskursoilla sen jälkeen, kun lauta-aihiot on sahattu pelkan kyljestä irti. (Ropilo ja Kauppinen 2018, 87.) Toimintaperiaate on, että otsaterällä sahataan laudan syrjät ja hakettavilla teräpaloilla kursotaan ylimääräinen puuainehakkeeksi. (kuva 9)



Kuva 9: Profiloiva särmäys (Veisto Oy)

Loput tuorehakkeesta tehdään tuorelajittelun tasauspätkistä alasahan rumpuhakkurilla tai kokonaisina hylätyistä laudoista ruuvihakkurilla. Näiden hakemäärien suhde vaihtelee

tukkiluokasta ajettavan asetteen mukaan. Mitä pienempi tukki ja tiukempi asete, sitä enemmän syntyy vajaasärmäistä lautaa, jota joudutaan trimmerillä osittain katkomaan. Sahauksessa saattaa syntyä myös täysin epäkurantteja kappaleita, jotka haketetaan kokonaan. Kuvassa 10 kuvattu esimerkkiä, jossa sama asete sahattaisiin latvaläpimitaltaan 210 tai 220 millimetrin tukista. Ylempi asete on huomattavasti tiukempi. Sisempi kellertävä ympyrä kuvaa tukin latvan lieriötä ja isompi ympyrä tukin kartiokkuudesta johtuvaa laajenemaa tukin tyveä kohden. Yleisesti ottaen voidaan sanoa, että tukin kartiokkuus on n. 10 mm pituusmetriä kohden.



Kuva 10: Asetteen simulointi eri tukkiluokista

4.3 Puru

Kohdesahalla on Veisto Oy:n valmistama 2-akselinen pyörösahalinja. Se tarkoittaa sitä, että pelkasta sahataan sahatavarakappaleet kahdella ajosuuntaan nähden samassa linjassa päällekkäin pyörivällä sirkkelinterällä (kts. kuva 9: profiloiva särmäys). Purua muodostuu

pääasiassa näistä sahausraoista, pelkkahakkurin silityskiekoista sekä profiloivien särmäyskursojen otsateristä. Tuorelajittelun trimmerillä tasauspätkiä katkottaessa muodostuu myös purua. Purun määrä sahausprosessissa vaihtelee 10–15 % välillä (Räsänen ja Pajuoja 2018, 46). Purun osuus sahan liikevaihdosta on 5 % (Merivuori 2018, 30). Kohdesahan puru hyödynnetään tutkimushetkellä kuoren seassa energiantuotantoon.

Purun muodostukseen vaikuttaa sahaavien terien määrän lisäksi terärunkojen ja -palojen vahvuudet. Tavoitteena on sahata mahdollisimman ohuilla rungoilla pyrkien minimoimaan sahausrako ja siten purun määrä. Samalla yritetään välttää ylimääräisiä terärikkoja sekä mahdollista ohuemman terärungon aiheuttaman huojunnan kasvattamaa sahausrakoa sekä yleisesti sahausvirheitä. Nykyisin yleisesti käytössä olevista sahanteräteknikoista vannesahalla syntyy vähemmän purua kuin pyörösahalla johtuen pääasiassa terän ohuemmasta runkorakenteesta.

Kohdesahalla saadaan yhdestä tukista 4–11 sahatavarakappaletta. Tämä tarkoittaa 7–14 sirkkelinterän tekemää kappaleen lappeen leikkuupintaa.

4.4 Sahatavara

Sahatavaralla tarkoitetaan tukkipuusta sahattuja puutavarakappaleita, jotka jakautuvat keskitavaraan sekä pinta- ja sivulautoihin. Keskitavara on sahatavaraa, joka saadaan tukin keskiosasta. Pinta- ja sivulaudat vastaavasti tukin pintaosasta keskitavaran ulkopuolelta. (Pohjoismainen sahatavara-lajitteluluohjeet 2020, 14.) Järeistä tyvitukeista saadaan pääsääntöisesti parempilaatuisia sivulautoja. Tilavuudeltaan sahatavarasta n. 2/3 on järeämpää keskitavaraa ja 1/3 sivulautoja. Kuusitukki raaka-aineena on tasalaatuista ja yksittäisen rungon sisällä ei ole samanlaisia laatuominaisuuksista johtuvia eroja kuten esimerkiksi männyllä, ja siten jalostusarvon kannalta suurin merkitys on tukin järeydellä. Yleensä järeämmästä tukista saadaan parempi määräsäntö. Tukista saadaan sahatavaraa 45–50 %. (Räsänen ja Pajuoja 2018, 44–46.) Vaikka sahatavaran osuus tukista on vain noin puolet, niin sen osuus liikevaihdosta on 80 % (Merivuori 2018, 30).

Taulukossa 2 on kuvattuna UPM:n vakiosahatavaramitat. Näiden lisäksi tuotevariaatioita on lukuisia kahdesta puulajista, dimensioista, pituuksista, laaduista ja kuivausasteista johtuen. Kaikkiaan yhtiöllä on tuotteita yli 1 500 ja sahausasetteitakin yli 300 erilaista. (upmtimber.com, 2023.) Kuvassa 11 on kuvattuna erilaisia sahatavaralaatuja.

VAKIOMITAT

Vakiopituudet: 2,1–6,0 m, pituusmoduulit 300 mm

	Kuusi ●	Mänty ●						
mm	100	125	150	175	200	225	250	
19	●●	●	●					
22	●	●	●	●	●			
25	●●	●●	●●	●●	●●	●●		
32	●●	●●	●●	●●	●●	●●		
38	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●	
44	●●	●	●	●	●	●		
47	●●	●●	●●	●	●	●		
50	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●	
63	●●	●●	●●	●●	●●	●●		
75	●●	●●	●●	●●	●●	●●		
100	●		●		●	●		

Taulukko 2: Vakiosahatavaramitat (UPM, 2023)

Kuusisahatavaran laadut



Kuva 11: Kuusisahatavaran laadut (UPM, 2023)

4.5 Mittalaitteet

Sahalla aloitettiin hihnavaakatoimittajan kartoitus syksyllä 2021. Tarkoitus oli löytää sahan sivutuotejaehihnoille (3 kpl) luotettavat ja riittävän tarkkuuden omaavat hihnavaa´at suunniteltuina ja mekaanisesti asennettuina. Vaakoja ei varmenneta kaupalliseen

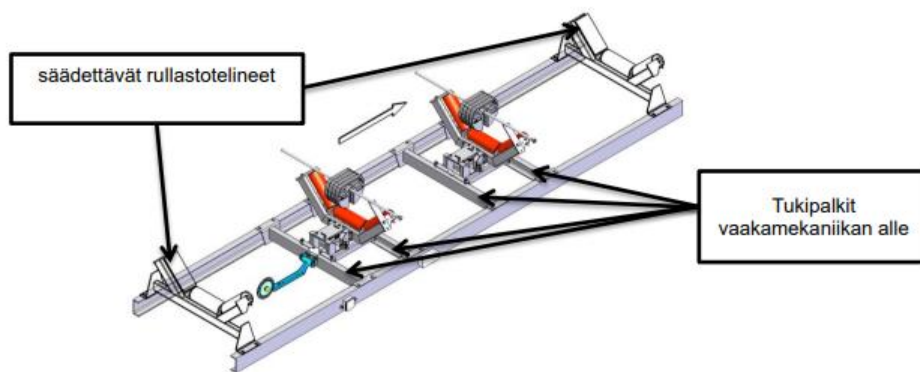
punnituskäyttöön. Toimittajista investointiin valikoitui kumppaniksi Lahti Precision, joka tarjosi tarkkuusluokan 1 kaksirullahihnavaakoja BS2, WA-810 hihnavaakapäätteillä. Kyseisten vaakojen mittausvirhe (määritellyillä kapasiteettialueilla) on alle $\pm 1\%$.

Mittalaitteiden valikoitumiseen vaikutti mm. hihnakohtainen massavirta, pyörintänopeus, hihnaleveys- ja pituus sekä olemassa oleva rullastorakenne. Kuvassa 12 kuvaparina tilanne yhdeltä sivutuotehihnalta ennen ja jälkeen asennuksen. Oikean puolen kuvassa näkyy yksityiskohtana nopeusanturin juoksupyörä paluuhihnan pinnassa.



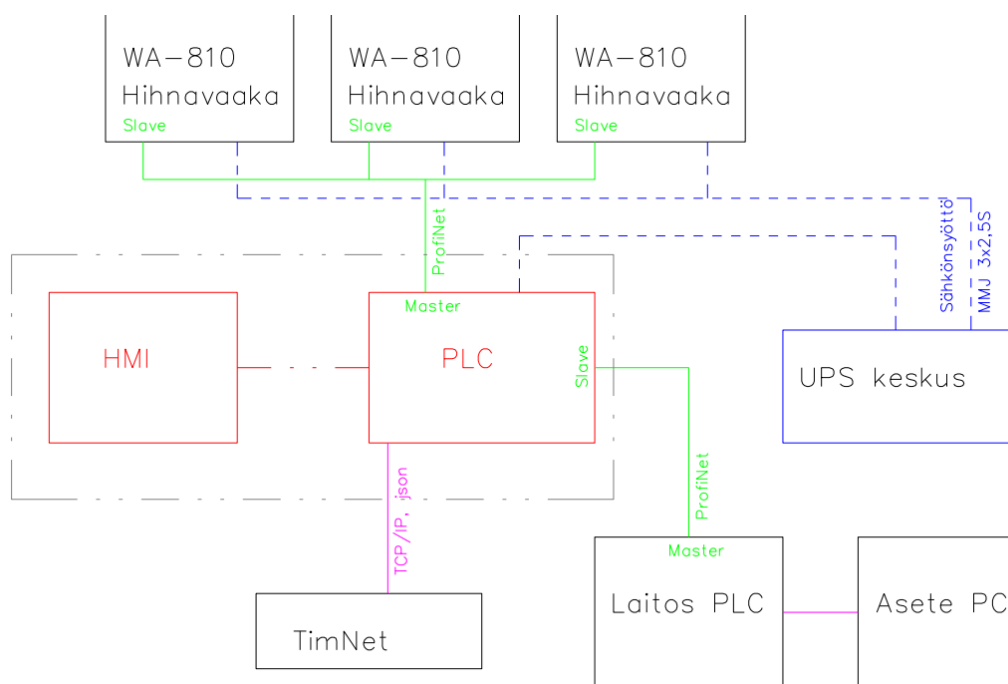
Kuva 12: Ennen ja jälkeen asennuksen

Investoinnissa kullekin sivutuotehihnalle asennettiin alkuperäisten kannatinrullien tilalle (osalle matkaa) kaksirullahihnavaaka ja 2 kpl säädettäviä rullastotelineitä (kuva 13). Rullastotelineiden avulla saadaan hihna rihdattua asennuksessa vaa'alle mahdollisimman hyvin, jotta saavutetaan paras mahdollinen mittatarkkuus. Vaakojen käyttöönoton yhteydessä testipainojen avulla säädetyt vaa'at tarkastettiin lisäksi ajamalla testierät materiaaliajona ja punnitsemalla sivutuotteet teollisuusalueelta löytyvän staattisen autovaa'an avulla.



Kuva 13: Havainnekuva asennuksesta (Lahti Precision)

Lisäksi valikoitiin automatiikkatoimittaja (Notra Oy). Toimittajan tehtäväksi jäi hihnavaaka-päätteille tuotetun datan lukeminen ja yhdistäminen muualta kerättyyn informaatioon sekä sen siirtäminen sahan tuotannonohjausjärjestelmään liitettäväksi sahauserien muihin tietoihin. Kuvassa 14 on automatiikkatarjouskyselyssä liitteenä ollut havainnekuva järjestelmien osalta.



Kuva 14: Havainnekuva sähkö ja automaatio järjestelmästä, sekä kaapeloinnista

5 Saanto

5.1 Määräsaanto

Sahan määräsaanto eli käytösuhde määrittelee sen, kuinka monta kuutiometriä (m^3) kuorellista tukkia tarvitaan yhden sahatavarakuutiometrin (m^3) valmistamiseen. Käytösuhde saadaan sahoilla laskettua tarkasti, kun tiedetään sahaan syötetty, mitattu tukkimäärä (m^3) ja valmistunut sahatavaramäärä (m^3).

Nykyaikaisilla sahoilla keskimääräinen käytösuhde on 2–2,2 ja siihen vaikuttavia tekijöitä ovat mm. tukin koko ja laatu, tuotantostrategia ja sahan tekninen taso. Järeämmillä tukeilla käytösuhde on pääsääntöisesti pikkutukkeja parempi. Tuotantotehojen kannalta on tavoiteltavampaa sahata pitkiä ja järeitä tukkeja. Laatutekijöistä erityisesti tukkien lenkous alentaa saantoa. Piensahat pyrkivät jalostamaan raaka-aineen tarkemmin kuin taas suurille (konserni)sahoille saattaa olla strategisesti tärkeämpää, vaikkapa laadukkaan sahatavaran tekeminen. (Sipi 2006, 24–25.) Käytösuhde ei aina määritä tukista saatavaa arvoa sahalle.

5.2 Arvosaanto

Arvosaannolle ei ole olemassa selkeää, yksinkertaista mittaria mutta sahan tuottavuudella sitä voidaan mitata. Sipin (2006, 201) mukaan tuottavuudella tarkoitetaan tuotosta panosyksikköä kohden. Panoksia ovat esimerkiksi raaka-aine, työ ja energia. Yksittäisen panoksen tuotantokehitys kertoo siitä, miten kyseisen panoksen kulutus on kehittynyt suhteessa tuoteyksikköä (sahatavarakuutiota) kohden. Jonkun panoksen positiivinen kehitys tuottavuuden kannalta saattaa olla seurausta jonkun toisen panoksen negatiivisesta kehityksestä. Kokonaistuottavuuden kannalta kaikkien yksittäisten panoskehitysten painotettu summa kertoo todellisen tuottavuuden.

Esimerkki raaka-ainepanoksesta:

Sydäntavaralla on yleensä parempi hinta kuin sivulaudoilla. Sen takia tukin käyttö pyritään pääsääntöisesti optimoimaan sydäntavaran mukaan. Eri markkinoilla voi tuotteilla olla hyvinkin erilaiset hinnat ja siten kannattaa välillä sahata huonommallakin käytösuhteella korkean hinnan markkinaan haluttuja tuotteita. (Virtanen 2018, 59.)

Sahauksen arvosaantoon vaikuttaa koko prosessi ja sen pitää ohjata tuotantoa enemmän kuin määräsaannon.

6 Tuotannonsuunnittelu

Sahan tuotannonsuunnittelun tehtävä on optimoida raaka-aineesta saatava arvosanto. Käytössä oleva raaka-ainepooli ja asiakaskysyntä raamittavat suunnittelua. Sydäntavaran hinta on pääsääntöisesti sivulautoja korkeampi, joten sahaus optimoidaan usein sen mukaan. Tämän päivän sahaussimulaattoreilla eri asetteiden vertailu on helppoa ja niitä käytetäänkin merkittävästi osana tuotannonsuunnittelua. (Virtanen 2018, 59.)

Tuotannonsuunnittelu jakautuu eri pituisten aikavälien suunnitteluun. *Pitkän aikavälin suunnitelmista* puhutaan yleensä vuosisuunnittelun yhteydessä. Tämän pohjana käytetään usein strategiaa sekä edellisen vuoden toteutunutta dataa. Tavoitteena on harmonisoida asiakastarpeita ja oletettu tukkiraaka-aine. *Keskipitkän välin suunnittelussa* liikutaan kuukausi- tai kvartaalitasolla. Silloin on tiedossa paljon yksityiskohtaisempaa tietoa edellisistä sekä mm. varastotilanne ja tehdyt kaupat. Näitä tietoja yhdistelemällä laaditaan sahaussuunnitelmia, jotka *lyhyen aikavälin suunnittelussa* konkretisoituvat yksityiskohtaisiksi sahausohjelmiksi. Näissä otetaan huomioon mm. lajiteltu tukkivarasto, valmiin tavaran lähetyssajankohdat ja koko tuotantoketjun toimivuus. (Virtanen 2018, 60–61.)

Eri tukkiluokkien lajittelurajat pohjautuvat sahattaviin asetteisiin ja lopputuotteisiin. Historiasta kertynyt aseterekisteri ja sahan raportointipalvelin antavat paljon hyödyllistä lisätietoa. Tuotannonsuunnittelija mahdollistaa puuhuollon, tuotannon, lähetyksen ja myynnin saumattoman yhteistyön toimimalla linkkinä näiden kaikkien välillä.

7 Vertailu

7.1 Mittaustulosten muuntaminen

Tutkimuksessa eri jakeiden mittavaakojen punnitustuloksia muunnettiin kuutiometreiksi (m^3) raportointiin eri painotuksin. Metsäntutkimuslaitoksen vuoden 2013 kuusitukin tuoretiheyksien kuukausittaiset keskiarvot puunhankkimisalueelta taulukoitiin muuntokertoimiksi niin, että kuoren osalta pitäydyttiin taulukon perusarvossa (1,00 x kk:n tuoretiheys). Tuorehakkeen osalta tuoretiheys arvotettiin kertoimella 1,03 ja puru 0,97 perustuen puun tiheysvaihteluun rungon säteen suunnassa. Vuoden 2022 mittaustulokset ovat valideja vasta syyskauden osalta kesän automaatioteknisten ongelmien jälkeen. Näin ollen kuusen kuoren irtoamisesta johtuvan haasteellisen kesäkauden sivutuotemittauksen säätäminen jää tulevan kesän työlistalle. Tulokset olivat kokonaisuuden kannalta osittain oletetun kaltaiset. Selvää oli, että esimerkiksi aiempina vuosina tehty terärunkojen vahvennus korreloi suoraan purun osuuteen jakeista.

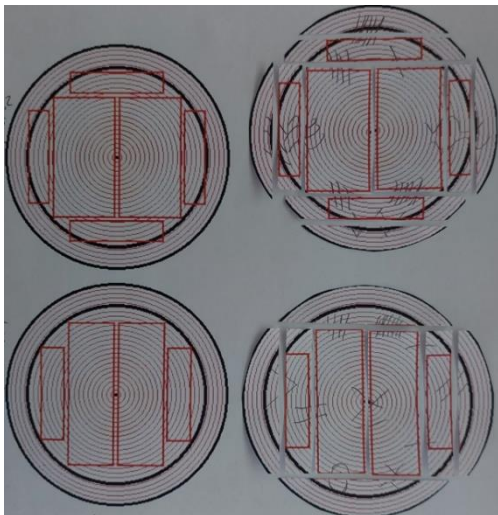
Q4/2022 - Q1/2023 tarkastelujaksolla todettiin, että sivutuotteiden kuutiointiin käytettäviä muuntokertoimia tarvitsee vielä säätää. Järjestelmäteknisistä syistä tuoretiheystaulukon kg / m^3 on muutettu kertoimeksi, millä hihnavaa'alla punnittu tulos (kg) kerrotaan, jotta saadaan kuutiometrejä. Käytössä olevan raportointipalvelimen järjestelmä tuki alkuvaiheessa 4 desimaalin tarkkuutta, joka kertoimen pyöristyksen takia vääristää osaltaan tuloksia. Neljän desimaalin pyöristäminen aiheuttaa maksimissaan 4 %:n virheen sivutuotejakeen muuntamisessa kuutiometreiksi. Seuraavassa vaiheessa saadaan 1 desimaali lisää, joka pienentää muuntamisesta johtuvan virheen maksimissaan 0,4 %:iin. Tällä hetkellä on käynnissä toimenpiteitä esim. purun osuuden pienentämiseksi, joten näiden kerroinmuutosten tekeminen ei ole vielä ajankohtaista tulosten vertailukelpoisuuden ja vaikuttavuuden arvioinnin takia.

Osin edellä mainituiden syiden takia, on osa vertailusta suoritettu myös kahden mitatun suuren perusteella. Sivutuotehihnavaa'oilla punnittuja massoja on verrattu mitattuihin eräkohtaisiin tukkitilavuuksiin. Sivutuotteiden osalta saatu arvo $kg / tukki-m^3$ on vertailukelpoinen myös jatkossa kuutiointiin käytettyjen muuntokertoimien hienosäädön jälkeen.

7.2 Vertailupari 1

Ensimmäisenä vertailuparina oli läpimittaluokan (lpm) 190 kaksi eri sahausasetetta. Kuvassa 15 on ylempänä kuvattu asete, jossa sydänkappaleet (2 kpl) ovat nimellimitoiltaan 63 x 125 mm ja näiden ympäriltä tulevien lautojen vahvuudet 22 mm (4kpl). Lautojen

leveydet optimoidaan sahakoneissa pelkkamittarin lähettämien tietojen mukaan tukkikohtaisesti, joten tässä kohtaa niiden leveydet jätetään mainitsematta. Alempi sydänasete on 47 x 150 mm (2 kpl), laudat 25 mm (2 kpl). Oikealla asetteen kappaleet on leikattu sahausprosessijärjestyksessä. Muodostuneet ”sahausrakojen” pituudet on kerrottu todellisilla leikkuvahvuuksilla ja saatu siten teoreettinen suhdeluku asetteisiin syntyneestä purutilavuudesta.



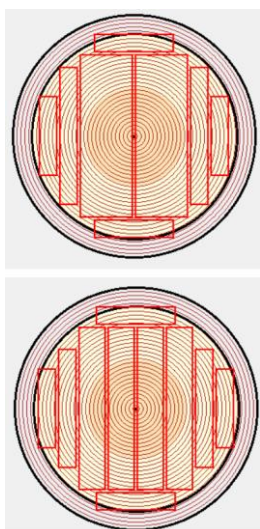
Kuva 15: 63x125/2, 22/22 ja 47x150/2, -/25

Taulukossa 3 esitetään näistä asetteista koostettua jakeiden vaihtelua Q4/2022 - Q1/2023 aikana sahattujen erien osalta. 63 x 125 mm sydänasetetta sahattiin ajankohtana 11 erää ja 47 x 150 mm 17 erää, joten vertailun pohjana on käytetty sahauseristä summattua, mitattua dataa. Käyttösuhteen osalta on esitetty erien keskiarvon lisäksi myös eri erien vaihteluväli. Osa luvuista on kertoimien avulla muunnettuja ja osa eri yhdistelmistä laskettuja. Luvut on värikoodattu taulukkoon näillä perusteilla. Sääolosuhteet sahattujen erien aikana vaihtelivat +12,9 °C:n ja -11,1 °C:n välillä, ilmankosteuden ollessa 51–99 RH%. Sahan raportointipalvelimelle tallentuva eräkohtainen ulkolämpötila ja ilmankosteus auttavat päivämäärän ohella tulkitsemaan olosuhteiden aiheuttamia määrien vaihteluja raportoinnissa.

Sahattu tuotantomäärä (m³) on laskettu sahatavaran nimellismittojen mukaan, eli niillä mitoilla, joilla tuote myydään. Sahattaessa nimellismittoihin täytyy huomioida puiden kutistuminen kuivauksessa eli puhutaan tuoremitasta, joka on nimellismitta lisättynä kuivumisvaralla. Esimerkkiasetteiden sydäntavaran tuoremitat ovat 64,6 x 128,3 mm ja 48,3 x 153,8 mm. Lautojen tuoremita on n. 1 mm vahvempi ja 3,8–5,0 mm leveämpi nimellismittaa.

7.3 Vertailupari 2

Toisena vertailtiin lpm 260 tukkiluokasta 2 eri asetetta. Lauta-asete molemmissa on samanlainen, mutta sydänaseteessa on eroa. Kuvan 16 ylemmässä asetteessa sydäntavara 2 kpl 63 x 200 mm ja alemmassa 4 kpl 32 x 200 mm lankut. Tuoremitoiltaan kappaleet ovat 64,6 x 204,8 mm sekä 33 x 204,8 mm. Sahalinjan viimeiseen sahakoneeseen (jakosaha) ohjattava pelkka on ylemmässä tapauksessa sahausrako mukaan huomioituna 133,7 x 204,8 mm ja alemmassa 145,5 x 204,8 mm. Eli alemman asetteen useampi sahausrako sekä 2,2 % paksumpi sydäntavaroiden yhteenlaskettu vahvuus leventää pelkkaa 11,8 mm.



Kuva 16: lpm 260 asetheet

Taulukossa 4 esitetään näistä asetteista koostettua jakeiden vaihtelua Q4/2022 - Q1/2023 aikana sahattujen erien osalta. 63 x200 mm sydänasetetta kyseisestä tukkiluokasta sahattiin ajankohtana 6 erää ja 32 x 200 mm 8 erää, joten vertailun pohjana tässäkin esimerkissä on käytetty sahauseristä summattua, mitattua dataa.

Vertailtavien asetteiden käyttösuhteet ovat lähellä toisiaan. Asetteiden yhteenlasketuissa sivutuotemäärissä on vain n. 3 kg:n ero tukkikuutiota kohden. Ylemmästä asetteesta saatiin 7,6 % enemmän haketta ja vastaava määrä vähemmän purua. Arvosaannon kannalta tämä suhde puoltaa ylemmän asetteen suosimista markkinan niin salliessa.

Esimerkiksi 22 x 175 ja 22 x 150 mm:n lautakappaleet ovat ylemmässä asetteessa jakautuneet suhteellisen tasaisesti, kun alemmasta on saatu näistä pääsääntöisesti 22 x 150 mm leveitä kappaleita. Lisäksi on havaittavissa, että kumpaakin leveyttä muodostettaessa on ylemmässä asetteessa tuorelajittelun trimmerillä katkaistu vähemmän pituudesta, jotta on saatu täyssärmäinen lautakappale.

Näissä esimerkin laudoissa ainoastaan 22 x 100:ssa sallitaan vajaasärmälaatua. Mitä lähempää tukin pintaa lauta sahataan, sitä suurempi osa kappaleista on kapeita (100 mm) ja vajaasärmäisiä. Asetteiden erojen takia kapeampia lautoja on muodostunut merkittävästi enemmän alemmasta asetteesta ja niitä on jouduttu vielä tuorelajittelussa katkomaan enemmän.

Myös epäkuranttien hylkykappaleiden määrät ovat alemmassa asetteessa korkeammat. Osa näistä, 100 mm leveiden osalta, on sellaisia, jotka eivät täytä riittävältä pituudelta vaadittavaa laatua ja siten haketetaan kokonaan. Leveämmissä laudoissa sahalinjan pelkkamittarin laskelma ei ole käytännössä toteutunut tavoitteen mukaisesti ja kappaleesta tulee hylky.

8 Yhteenveto

Opinnäytetyön tavoitteena oli arvioida sahan sivutuotemääriä ja niiden vaikutusta arvosaannon kannalta. Tutkimuksessa hyödynnettiin sahalle asennettujen sivutuotehihnaakojen tuottamia sahausasetekohtaisia mittaustuloksia. Saatuja tuloksia taulukoitiin ja vertailtiin eri asetteiden välillä. Eri jakeiden välisiä osuuksia vertailtiin alalla yleisesti käytettyihin arvoihin.

Sahalle ostetusta raaka-ainemäärästä alle puolet päätyy sahatavarapakettiin. Vaikka sahatavaran myynnistä muodostuu nykyisellään yli 80 % sahan liikevaihdosta, ei ole yhdentekevää, mitä muita jakeita tukista tulee. Mitä tarkemmin, tehokkaammin ja laadukkaammin tuotantoprosessia mitataan ja ohjataan, sitä parempi on sahan tuloksentelekyky.

Kun pelkän käyttösuhteen merkitystä avataan kohdesahan kokoisessa laitoksessa, niin ymmärtää sen potentiaalın tuloksentelekykyyn. Sahaamalla esim. 800 000 m³ tukkia vuodessa 2,20 käyttösuhteella, muodostuu sahatavaraa n. 364 000 m³, samasta tukkimäärästä 2,10 käyttösuhteella n. 17 000 m³ enemmän. Toisinpäin ajateltuna sahan 364 000 m³ vuosituotantoon tarvittaisiin 2,10 käyttösuhteella n. 35 000 m³ vähemmän raaka-ainetta. Käyttösuhteeseen vaikuttaa raaka-aineen ominaisuuksien ja sahausasetteiden lisäksi lukuisia teknisiä tekijöitä kuten terätekniikka, kuorimapaineet ja koneiden linjaukset. Mitta- ja ohjauslaitteet sekä operaattoreiden ammattitaidon on oltava kunnossa. Mittaamalla asetekohtaisia sivutuotemääriä ja vertaamalla niitä historiatietoihin, voidaan linjalla tehtyjen muutosten vaikuttavuutta havainnollistaa. Asetettuja raja-arvoja suuremmista poikkeamista sivutuotemäärissä, voidaan operaattori esim. ohjata tarkastamaan prosessilaitteita.

Sahan arvosaannon osalta sivutuotejakeiden määrät ja keskinäiset suhteet ovat merkittäviä. Puuraaka-aineen hyödyntämisessä on globaalisti meneillään useita tuotekehitysprojekteja. Perinteisten metsäteollisuustuotteiden rinnalle on jatkuvasti kehitetty mitä moninaisempia tapoja hyödyntää puuraaka-ainetta yhä monipuolisemmin ja tarkemmin. Esimerkiksi sellusta tehdään tekstiilikuituja, nanosellusta erilaisia terveydenhoidon tuotteita, ligniinistä akkujen anodimateriaalia ja mäntyöljystä uusiutuvaa dieseliä. Lisäksi puukuidusta valmistetaan astioita, monoetyleeniglykolista pakkasnestettä tai polyesterin ja pet-muovin raaka-ainetta. Sahanpurusta saadaan biokaasua, bioetanolia ja hiilidioksidia sekä "vihreän" asfaltin raaka-ainetta. Sahan sivutuotejakeiden arvo saattaa kehittyä näiden ja lukuisten muiden projektien myötä tuloksenteon kannalta positiivisempaan suuntaan. Mitä tarkemmin sahan arvosaantoon vaikuttavat tekijät saadaan yksilöityä ja todennettua, sitä helpommin saadaan tuotanto optimoitua.

Sivutuotemittauksen tuoma lisäinfo tuo mielenkiintoisen tulokulman asetteiden väliseen vertailuun. Prosessissa on lukuisia muuttujia, joita ei kaikkia pysty ottamaan aina huomioon.

”Mutuiliu” vähenee mitatun datan hyödyntämisen ansiosta. Asetekohtainen sivutuotedata ja sen hyödyntäminen muuttuvassa markkinassa ja strategiassa helpottaa tuotannosuunnittelua. Kulloinkin esiintyviin tarpeisiin on mitatun tiedon pohjalta helpompi tehdä perusteltuja päätöksiä.

Tulevaisuudessa biomassapolttoaineiden kestävyuden osoittaminen kansallisen kestävyyslain mukaisesti helpottuu jaekohtaisen sivutuotemittauksen ansiosta. Jaekohtaiset sivutuotemäärät ja niiden keskinäiset suhteet helpottavat mahdollisten uusien markkinoiden hahmottamisessa.

Tutkimuksen vertailuasetteet osoittivat, että ennakkoon selkeiltäkin vaikuttavissa tilanteissa mitattu tieto saattaa herättää lisäselvitystarpeita, etenkin jos tulokset poikkeavat selvästi oletetuista. Tutkimuksessa vertailtavana oli vasta 4 asetetta sahan n.150:stä joten tutkittavaa riittää myös jatkossa. Pitkäjänteisellä työllä aiheen ympärillä löytyy varmasti vielä lisää parannuspotentiaalia. Raaka-aineeseen on sahalla käsin kohtalaisen vaikeaa mittavasti vaikuttaa ja asiakkaiden tarpeet tulevat pääsääntöisesti heidän suunnaltansa. Siinä miten arvokkaasta kuusitukista sahalla jalostetaan lopputuotetta asiakkaalle, on varmasti näinkin perinteikkäässä mekaanisen metsäteollisuuden haarassa vielä parannettavaa.

Lähteet

Korhonen, K. 2018. Suomen metsävarat. Teoksessa Rantala, S. (toim.) Tapion taskukirja. Helsinki: Metsäkustannus Oy, 9–28.

Marjomaa, J. ja Uurtamo, K. 1996. [viitattu 25.2.2023]. Puutavaran tilavuuspainon määrittäminen - Metsätehon raportti 007. Saatavissa: https://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/1996/12/metsatehon_raportti_007.pdf

Merivuori, K. 2018. Suomen sahateollisuus 2000-luvulla ja sen merkitys kansantaloudessa. Teoksessa Varis, R. (toim.) Sahateollisuus. Helsinki: Kustannuspalvelut Kirjakaari Oy, 18–36.

Metsäkeskus. [viitattu 11.2.2023]. Saatavissa: <https://www.metsakeskus.fi/fi/metsan-kaytto-ja-omistus/oikeudet-ja-velvollisuudet/metsasertifiointi>

PEFC. [viitattu 5.2.2023]. Saatavissa: <https://pefc.fi/metsanomistajalle/>

Pohjoismainen sahatavara-lajitteluohjeet 2020. Helsinki: Suomen Sahateollisuusmiesten Yhdistys ry.

Puuhuolto. [viitattu 5.2.2023]. Saatavissa: <https://puuhuolto.fi/mittaus-ja-laatu/mittaus-maastossa/kuormainvaakamittaus/kuormainvaakamittauksen-vaiheet/ainespuu/>

Ropilo, J. ja Kauppinen, T. 2018. Sahausprosessi tukista sahatavaraksi. Teoksessa Varis, R. (toim.) Sahateollisuus. Helsinki: Kustannuspalvelut Kirjakaari Oy, 83–105.

Räsänen, T. ja Pajuoja, H. 2018. Sahateollisuuden puuraaka-aine. Teoksessa Varis, R. (toim.) Sahateollisuus. Helsinki: Kustannuspalvelut Kirjakaari Oy, 37–57.

Sipi, M. 2006. Sahatavaratuotanto. 3. tarkistettu painos. Helsinki: Opetushallitus.

Upm Timber. [viitattu 5.2.2023]. Saatavissa: https://www.upmtimber.com/siteassets/documents/brochures/upm_timber_grown_to_sustain_a5_2017_fi_final.pdf

Valon Kone. [viitattu 5.2.2023]. Saatavissa: <https://valonkone.com/fi/kuorinnan-osaaja/root-torikuorinta>

Virtanen, S. 2018. Sahan tuotannonsuunnittelu. Teoksessa Varis, R. (toim.) Sahateollisuus. Helsinki: Kustannuspalvelut Kirjakaari Oy, 59–64.