

# **Sahausasetteiden simulointi tukkiluokkiin**

## **SDM-asetesimulaattorilla**

**Case ER-Saha**

## Tiivistelmä

Tekijä Kansanaho, Jukka	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Valmistumisaika 2021
	Sivumäärä 39	
Työn nimi <b>Sahausasetteiden simulointi tukkiluokkiin SDM-asetesimulaattorilla</b> Case ER-saha		
Tutkinto Insinööri (AMK) puutekniikka		
Ohjaavan opettajan nimi, titteli ja organisaatio Ilkka Tarvainen, lehtori, teknologia		
Toimeksiantajan nimi, titteli ja organisaatio Petri Säteri, tuotantojohtaja, ER-saha Oy		
<p>Tiivistelmä</p> <p>Opinnäytetyössä selvitettiin, miten SDM-asetesimulaattorilla voidaan simuloida ja havainnollistaa ER-Sahan kuusituotannon sahausasetteiden sopivuutta sahattaviin tukkiluokkiin. Tarkoituksena oli löytää sahausasetekohtaisesti paras tukkihalkaisija, mistä mikin asete kannattaisi sahata sekä löytää paras lautamalli asetteeseen. Saman aikaisesti tutkittiin, tukeeko asetesimulaattorin ominaisuudet opetuskäyttöä ammatillisessa koulutuksessa.</p> <p>Simulaattoriin määriteltiin ER-Sahalta kaikki tarvittavat lähtötiedot raaka-aineesta ja tuotteista sekä sahausprosessin ominaisuuksista. Sahausaseteistä tiedettiin vain tukkiluokka ja sahaus-exlog. Asetteiden lautamallit optimoitiin asetesimulaattorilla noudattaen sahaustekniikan antamia mahdollisuuksia ja sovittuja rajoitteita. Simulaattorin analyysityökalujen avulla löydettiin aseteille parhaat lautamallit ja tukin halkaisija. Tunnuslukuina käytettiin raaka-aineen käyttösuhdetta ja raaka-ainekatetta.</p> <p>Simuloinnin tulokset osoittivat asetteet ja tukkiluokat, joiden käyttösuhteissa tai raaka-ainekatteissa oli parannettavaa. Tutkimus myös osoitti SDM-simulaattorin ja sen analyysityökalujen soveltuvuuden opetuskäytössä.</p> <p>SDM-asetesimulaattori soveltuu hyvin sahalaitoksen asetteiden simulointiin sekä opetuskäyttöön puuteollisuuden ammattitutkinnoissa.</p>		
Asiasanat sahausasete, simulointi, tukkiluokka		

## Abstract

Author Kansanaho, Jukka	Type of Publication Thesis, UAS Number of Pages 39	Published 2021
Title of Publication <b>Simulations of the sawing patterns to the log classes with SDM simulator</b> Case ER-Saha		
Name of Degree Engineer (UAS) wood technology		
Name, title and organization of the supervising teacher Ilkka Tarvainen, Senior Lecturer, Technology		
Name, title and organization of the client Petri Säteri, Production Manager, ER-Saha Oy.		
<p>Abstract</p> <p>The thesis investigated how the SDM sawing pattern simulator can be used with ER-Saha spruce production. The purpose was to find the best log top diameter for each sawing pattern. At the same time, the purpose to the educational use was evaluated.</p> <p>All the necessary input data of the raw material and products as well as the technical features of the sawing process were collected to the simulator. The sawing patterns were constructed knowing only the sawing exlogs, the optimal sideboards were made during the simulation. Simulator analysis tools were used to determine the best sideboards and log top diameter for the sawing patterns. Raw material utilization ratio and raw material margin were used as key figures.</p> <p>The results of the simulation indicated settings and log categories that could be improved in utilization ratio or raw material margin. The study also demonstrated the illustrative use of SDM simulator analysis tools in educational use.</p> <p>The SDM pattern simulator is well suited for simulating sawing patterns and for teaching use in vocational degrees in the wood industry.</p>		
Keywords Sawing pattern, Simulation, log class		

## Sisällys

1	Johdanto.....	1
1.1	Tutkimuksen tavoitteet ja tutkimuskysymykset .....	1
1.2	Tutkimuksen rajaus.....	2
1.3	Yritysesittely.....	2
2	Tuotantoprosessi ja sahaustapa.....	3
2.1	Prosessikuvaus.....	3
2.2	Sahaustapa.....	5
2.3	Sahausasete .....	7
2.4	Asetteen kannattavuus .....	10
2.5	Tukkiluokat.....	12
3	Sahausasetteiden suunnittelu.....	14
3.1	Astesimulaattori .....	14
3.2	Lähtötiedot .....	15
4	Tutkimuksen toteutus .....	21
4.1	Menetelmä .....	21
4.2	Toteutus .....	21
4.3	Rajoitteet.....	21
4.4	Simulointi.....	23
5	Tulokset ja tulosten tarkastelu .....	27
5.1	Tulokset.....	27
5.2	Tulosten tarkastelu.....	27
6	Kehitysehdotukset.....	35
7	Yhteenveto .....	36
	Lähteet.....	38

## Sanasto

Tukkiluokka	Haluttua kokoluokkaa ja laatua oleva tukkilajitelma
Käyttösuhde	Kuorellinen tukkiraaka-aine m <sup>3</sup> / valmistettu sahatavara m <sup>3</sup>
Saanto %	Saanto-% kuvaa tukista syntyvien jakeiden osuutta prosentuaalisesti
Raaka-ainekate	Myyntituotot – tuotteeseen käytetyn raaka-aineen hinta
Sahausasete	Määrittelee tukista sahattavat sahatavarakappaleet
Tukkilajittelun 3D-mittari	Tukkilajittelun lajittelu- ja vastaanottomittari
Tukkiröntgen	Tukkien sisälaatuja lajitteleva röntgenmittari
Tukinkääntäjä	Kääntää tukin latvan haluttuun suuntaan linjastolla
Roottori	Pyörivä tukin kuorinta- tai sievistysterillä varustettu pyörivä kehä
Pelkka	Tukki, jonka sivut on haketettu tai sahattu
Pelkkahakkuri	Hakettaa tukin sivut ennen sahausta
Pelkkasaha	1. vaiheen sahaus, sahaa tukista ensimmäiset laudat
Jakosaha	2. vaiheen sahaus, pelkasta sahataan laudat ja sydäntavarat
Lauta-aiho	Särmäämätön lauta
Särmääminen	Lauta-aiho työstetään haluttuun leveyteen
Keskitavara	Tukin keskiosista sahattu sahatavarakappale
Exlog	Sahauksen exlog ilmoittaa sydäntavarakappaleiden määrän
Tuorelajittelu	Tuoreelle sahatavaralle tehtävä lajittelu
Sahatavaradimensio	Sahatavaran mitta
Rimoitus	Sahatavarakerrokset erotellaan välirimoilla kuivausta varten
Kamarikuivaamo	Kertatäyttöinen kuivaamo
Kanavakuivaamo	Jatkuvatoiminen kuivaamo'
Tasaamo	Kuivattujen sahatavarakappaleiden tasaus- ja laatulajittelu

## 1 Johdanto

Opinnäytetyön aiheena oli sahalaitoksen sahausasetteiden simulointi Sawing Decision Maker simulointiohjelmalla. SDM oli hankittuna Jyväskylän Gradialle mekaanisen metsäteollisuuden lehtorien tiimin opetuskäyttöön. SDM-asetesimulaattoria käytetään tuotannonsuunnittelun työkaluna sahalaitoksilla.

Toimeksianto opinnäytetyöhön tuli Viitasaarelaiselta ER-Sahan tuotantojohtajalta Petri Säteriltä. Sahalla oli meneillään kuusen sahausasetteiden tarkastelu ja kehittäminen uuden tukkilajitteluinvestoinnin myötä. Opinnäytetyö tarjosi mahdollisuuden yhdistää tarpeet SDM-asetesimulaattorin käyttöönotolle opetuskäyttöön sekä olla hyödyksi ER-Sahan sahausasetteiden kehitysprojektissa. ER-Sahan tuotannosta mukana oli kuusituotanto.

SDM-asetesimulaattori on käytössä Jyväskylän Gradian toisen asteen ammatillisen koulutuksen opetusvälineenä puuteollisuuden ammattitutkinnoissa, sahateollisuuden osaamisalalla. Koulutuksissa käytetään asetesimulaattoreita havainnollistamaan sahausasetteiden suunnittelua ja kannattavuutta. Tutkimuksessa kiinnitettiin huomiota simulaattorin käytettävyyteen, joka on tärkeä asia niin teollisessa toiminnassa kuin koulutuksessakin.

Tutkimus antoi tuloksena simulaatioiden kautta ER-sahan kuusen tukkiluokkien käyttösuhteita ja raaka-ainekatteita sekä antoi huomioita tukkiluokkien raja-arvoihin määritettäessä optimaalisia tukin latvahalkaisijoita tukkilajittelun 3D-mittarille.

SDM-aseteohjelman ruotsalainen valmistaja Kråkfors Forest Products AB oli yhteistyössä ja tukena opinnäytetyössä. Yhteistyökumppanina oli myös Gradian mekaanisen metsäteollisuuden ammattitutkintoja kouluttava lehtori Katariina Suutala, joka arvio SDM-asetesimulaattorin soveltuvuutta operaattoreiden koulutuksessa.

### 1.1 Tutkimuksen tavoitteet ja tutkimuskysymykset

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää SDM-asetesimulaattorin avulla ER-Sahan asetteiden kannattavuutta ja soveltuvuutta käytössä oleviin tukkiluokkiin. Tavoitteena oli simuloida ja tuottaa tunnuslukuja, joilla asetteiden kannattavuutta voitiin kuvata. Tunnuslukuja olivat raaka-aineen käytösuhde, saanto-% ja raaka-ainekate. Toinen tavoite oli selvittää asetesimulaattorin soveltuvuutta ja havainnollisuutta opetuskäytössä.

Tutkimuskysymykset:

- Onko simulaattorilla mahdollista optimoida ER-Sahan sahausasetteita ja tukkiluokkia?
- Soveltuuko SDM opetuskäyttöön?

## 1.2 Tutkimuksen rajaus

Tutkimus on rajattu käsittämään ER-Sahan kuusituotannon asetteiden ja tukkiluokkien simulointi SDM-asetesimulaattorilla. Tutkimus ei ota huomioon mahdollisia poikkeamia tuotannon koneiden ja laitteiden toiminnassa. Tutkimuksessa oletetaan, että tukkiluokat ovat teoreettisen tarkkoja raja-arvoiltaan sekä sahatavaran mitat ovat asetettujen arvojen mukaisia. Tutkimuksesta ei tutkita miten sahausasete vaikuttaa tuotantolinjojen tehokkuuteen.

## 1.3 Yritysesittely

ER-Saha on viitasaarelainen Poutasen perheen omistama yritys. Toimitusjohtajana toimii Olli Poutanen ja tuotantojohtajana Petri Säteri. ER-Sahan vuosituotantomäärä vuonna 2020 oli 160 000 m<sup>3</sup> valmista sahatavaraa ja liikevaihto oli noin 41 miljoonaa euroa. Vuonna 2020 noin kuukauden kestänyt teollisuusliiton lakko vaikutti tuotantoon vähentäen sitä kymmeniä tuhansia kuutioita. Puulajisuhde on 55 % mäntyä ja 45 % kuusta. Henkilöstöä sahalla on noin 50. Tuotannosta suuntautuu vientiin 80 % ja kotimaahan 20 %. Päämarkkina-alueet ovat Keski-Eurooppa, Pohjois-Afrikka ja Aasia. ER-Sahan tuorein investointi on uusi tukkilajittelulinjasto, joka otettiin käyttöön tammikuussa 2021. (Säteri 2021.) Kuvassa 1 on ilmakuva saha-alueesta ennen tukkilajitteluinvestointia.



Kuva 1. Ilmakuva ER-Sahan saha-alueesta (ER-Saha 2021)

## **2 Tuotantoprosessi ja sahaustapa**

### **2.1 Prosessikuvaus**

ER-Saha on Suomen sahoihin suhteutettuna keskisuuri sahalaite. Sahaustoimintaa harjoitetaan kahdessa vuorossa viitenä päivänä viikossa. Sahauskapasiteetti on noin 200 000 m<sup>3</sup> valmista sahatavaraa vuodessa. Sahan prosessi on katkeamaton linjasto sillä puolivalmiiden tuotteiden trukki- ja laiturisiirtoja ei ole kuin yhden laiturivaamon osalta. ER-Sahan prosessin vaiheet voidaan jakaa seuraavasti.

#### **Tukkilajittelu**

Prosessi alkaa tukkilajittelusta, joka on uusiin laiteinvestointi. Tukkilajittelussa on tukin lajittelu- ja vastaanottomittarina 3D-mittari sekä lisäksi tukin sisälaatujen lajittelun mahdollistava tukkiröntgen. Lajittelulokeroita on 60 kappaletta, mitkä sijoittuvat molemmin puolin lajittelulinjaa. Tukkilajittelun lokeroitten tyhjennys tehdään pyöräkoneella ja varastoidaan lajiteltuihin tukkiteloihin. Lajiteltu tukkivarasto sijaitsee tukkilajittelulinjan läheisyydessä molemmin puolin linjastoa.

#### **Sisäänsyöttö ja kuorimo**

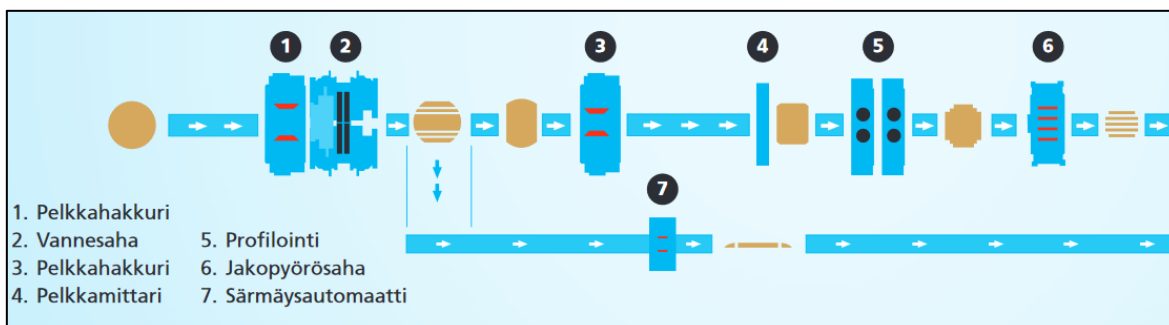
Tukin sisäänsyöttö, kuorimo ja tukin kääntö on yksilinjainen kuljetinkokonaisuus. Kuorinta tapahtuu 3 roottorisella kuorimakoneella, jossa ensimmäinen roottori on tyvisievistäjä ja seuraavat kaksi roottoria ovat paineilmasäätöisiä kuorintaroottoreita. Kuorimakoneen jälkeen kuoritut tukit käännetään latva edelle ja syötetään sahalinjalle.

#### **Sahalinja ja särmäys**

Sahalinja muodostuu tukinpyörittimestä sekä pelkka- ja jakosahausyksiköistä. Heinolan Sahakoneiden sahalinjan periaatekuvassa (kuva 2) ensimmäisenä koneena on pelkkasahausyksikön pelkkahakkuri (1). Tukin pyörittäjää ei ole prosessikuvaan merkitty, mutta se on sahalinjassa ensimmäisenä. Tukinpyörittäjän tarkoitus on pyörittää tukki parhaaseen sahausasentoon lenkouden ja mutkaisuuden mukaan. Pelkkahakkuri (1) hakettaa tukin molemmat sivut. Pelkkasahausyksiköissä sijaitsee neljä vannesahaa(2), jotka sahaavat tarvittaessa molemmin puolin kahdet laudat. Pelkkasahoilta lauta-aihiot siirtyvät optimoivan kammeran kautta särmäysautomaatille (7), jossa laudat saavat lopullisen leveytensä. Pelkkasahausvaiheen jälkeen pelkka kaadetaan 90 astetta eli kyljelleen jakosahausta varten. Jakosahausvaiheen ensimmäinen kone on pelkkahakkuri (3), joka hakettaa pelkan pyöreät sivut. Jakosahaa edeltää profilointiyksiköt (5), jonka jälkeen on pyörösahausyksikkö (6). Profiloinnin tehtävä on profiloida lautojen leveydet pelkkaan ja sen jälkeen jakosaha sahataa profiloituneita lautoja irti. Jakosahassa sahataan myös keskikappaleet haluttuun exlogiin



saman aikaisesti lautojen sahauksen kanssa. Sahalinjassa pelkkasahan lautoja voidaan sahata kaksi kappaletta puoleltaan ja jakosahassa myös kaksi kappaletta puoleltaan. Jakosahassa voidaan sahata keskitavaraa 1-5 exlog sahauksin. Sahalinjalla voidaan ajaa optimoiden tukkikohtaisesti muuttuvalla sahausasetteella.



Kuva 2. Heinola Sahakoneiden sahalinjan periaatekuva (Heinolan Sahakoneet 2019)

## Tuorelajittelu ja rimoitus

Sahatavaran tuorelajittelussa käytetään värikameratekniikkaa sahatavarakappaleiden dimensioiden ja laatuojen lajitteluun ja katkaisukohdan määrittämiseen. Servovasteella voidaan määrittää sahatavarakappaleen katkaisu portaattomasti ja sen jälkeen sijaitsee täysilevää katkaisutrimmeri 30 cm teräjaolla. Lajittelulokeroita on 58 kappaletta. Kaksi lokeroa muodostaa rimakuorman sahatavaroiden kappalemäärän.

Tuorelajittelun jälkeen on yksi rimoituskone rimoittamassa tuoretuotannossa syntyneitä kappaleita. Rimoituskone tekee rimakuorman jakaen 7 rimaa jokaiseen kerrosväliin. Rimakuorman mitat ovat syvyys 1,65 m, leveys 6 m ja korkeus 4,55 m. Kuormat rimoitetaan kuivaamovaunujen päälle.

## Kuivaamot

Rimoitusvaiheen jälkeen valmiit rimakuormat siirretään kuivaamoiden märkään päähän odottamaan kuivausta. Kuivaamot koostuvat 3 kanavakuivaamosta ja 17 kamarikuivaamosta. Kuivat rimakuormat siirtyvät vaunuilla tasaamon purkuhissille. Trukkisiirtoja ei tarvita kuin yhden lautakuivaamon osalta.

## Tasaamo

Tasaamon purkuhissillä rimat erotellaan sahatavarasta ja rimat palautuvat rimoitukseen si-dottuina rimapaaleina. Purkuhissiä seuraa annostelu, jossa sahatavaran latvapää on ope-raattorin puolella. Sahatavaraa voidaan ajaa myös tyvipää operaattoriin päin tarpeen mu-kaan. Annostelun jälkeen on optimoiva värikameralajittelija antamassa katkaisukäskyjä

täyspitkälle trimmerille, jossa on katkaisuteriä 30 cm välein. Lajitellut ja lopulliseen mittaan katkaistut kappaleet ajetaan lajittelukuljettimella lajittelulokeroihin, joita on 35 kappaletta. Yhteen lokeroon kerätään yhden sahatavarapaketin kappalemäärä. Lokeroista sahatavara siirtyy paketointiin kuljettimia pitkin.

### **Paketointi**

Sahatavaran paketointi tapahtuu kiramoiden, annostimen ja kerroslatimien välityksellä pakettihissille, joka on varustettu apuhissillä paketin vaihtojen nopeuttamiseksi. Pakettihissiltä valmis paketti kulkee puristimien ja vanteutuksen kautta suojaukseen ja rekisteröintiin. Paketti voidaan suojata muovikääreellä.

### **Varastointi ja lähetys**

Sahatavaran lähetys kotimaahan ja satamiin tapahtuu rekkakuljetuksin. Varastointi sijaitsee sahan omalla tontilla tuotantorakennusten läheisyydessä.

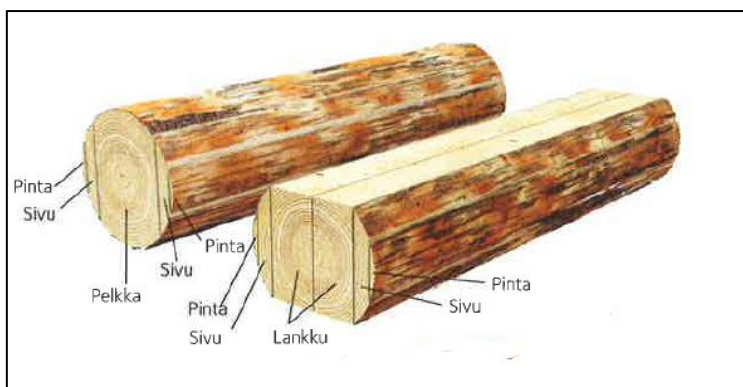
## **2.2 Sahaustapa**

Sahausasetteet ovat tyypillisiä Suomessa ja Pohjoismaissa nelisahaustekniikalla toteutettuja sahauksia. Nelisahaustekniikalla voidaan sahata sekä 2- ja 4-exlog sahauksia että 3- ja 5-exlog sahauksia. (Pohjoismainen sahatavara – Lajitteluohjeet 2020, 11.) Kuhunkin sahauserään valitaan soveltuvat terät sekä sahattavien sahatavaradimensioiden tuoremitat. Sahalinja mahdollistaa asetteiden sahaamisen muuttuva-asetteisesti.

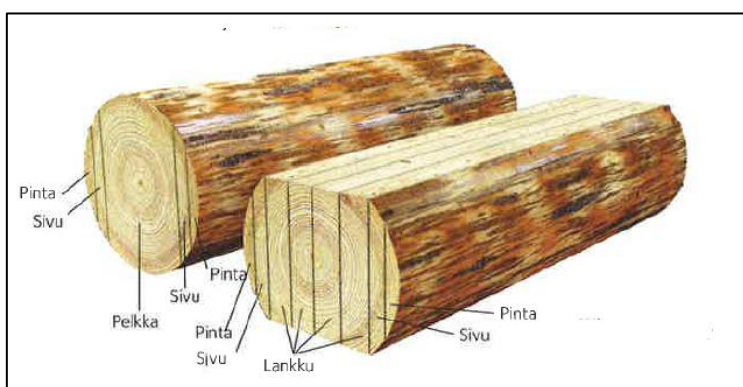
Muuttuva-asetteinen sahaus tarkoittaa sitä, että jokainen tukki voidaan sahata parhaalla mahdollisella saannolla yksilöllisesti. Asetteen muuttuminen tapahtuu tukkivälissä eli terät vaihtavat asemaansa mahdollistaen erilaiset sahatavaradimensiot tukkikohtaisesti. (Ropilo & Kauppinen 2017, 89).

### **Nelisahaus 2- ja 4-exlog**

Ensimmäisessä sahausvaiheessa eli pelkkasahausvaiheessa sivut haketetaan pelkkahakurilla ja sahataan tarvittavat laudat. Pelkkasahausvaiheen jälkeen pelkka käännetään 90 astetta. Jakosahauksessa pelkka halkaistaan ja muodostetaan parillinen määrä keskitavaroita 2-exlog tai 4-exlog. (Pohjoismainen sahatavara – Lajitteluohjeet 2020, 11.) Kuvassa 3 on 2-exlog sahaus ja kuvassa 4 on 4-exlog sahaus.



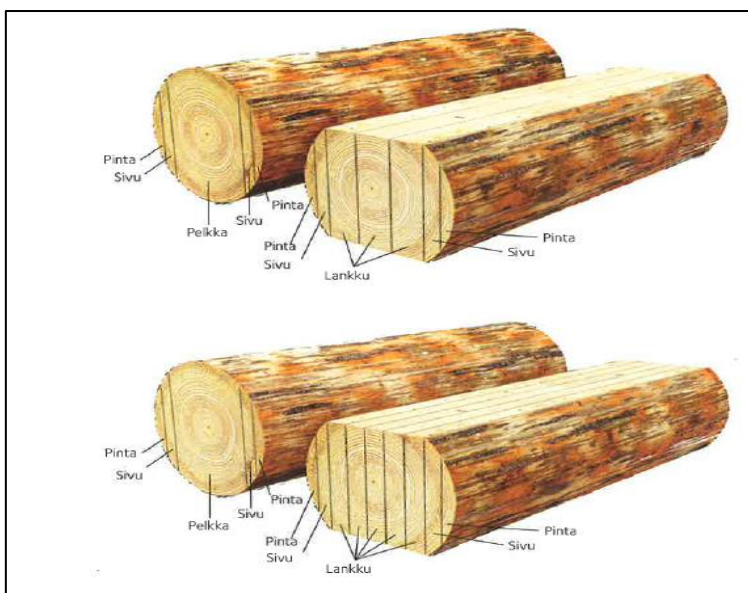
Kuva 3. Nelisahaus keskihalkaisilla 2-exlog (Pohjoismainen sahatavara - Lajitteluohjeet 2020,11)



Kuva 4. Nelisahaus keskihalkaisilla 4-exlog (Pohjoismainen sahatavara - Lajitteluohjeet 2020,11)

### Nelisahaus 3- ja 5-exlog

3- ja 5-exlog sahaus toimii periaatteitaan samoin kuin 2- ja 4-exlog sahaus. Poikkeuksena on pariton sisäkappaleiden määrä. Parittomassa sisäkappaleiden sahauksessa keskimäistä kappaletta nimitetään sydänkappaleeksi. Kun taas reunimmaisista keskitaavaroista kutsutaan sydänvapaiksi. (Kuva 5.)

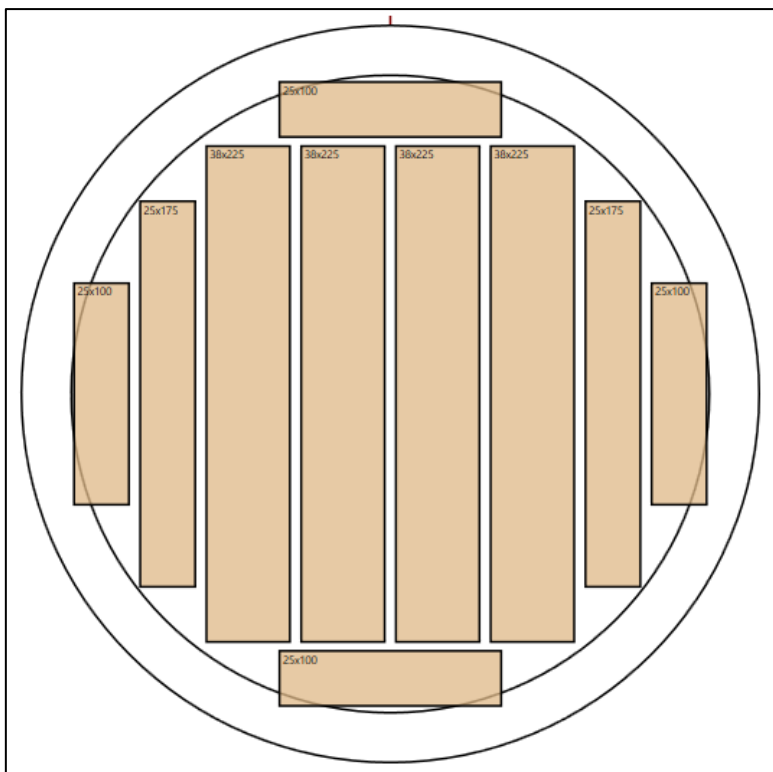


Kuva 5. Nelisahaus pariton keskitavara 3- ja 5-exlog (Pohjoismainen sahatavara – Lajitteluhjeet 2020, 12)

## 2.3 Sahausasete

Asetteen lähtötiedot ovat suunnittelun kannalta olennaisia tekijöitä, joita ilman asetetta ei voida suunnitella eikä sahata. Suunniteltaessa on vähintään tiedettävä sahatavaradimensiot, tuoremitat ja sahaavien terien vahvuudet. Vaatimus tukin halkaisijalle määräytyy näiden tekijöiden lisäksi asetteeseen sisältyvien sahatavarakappaleiden määrästä. Suunniteltavan asetteen tukkiluokan pituus, lenkous, kartiokkuus- ja soikeusarvot ovat oleellisia lähtötietoja simuloinnille, joista pituus, halkaisija ja kartiokkuus ovat välttämättömiä lähtötietoja.

Prosessin, ominaisuudet, optimoinnit ja tekniikan kunto ovat erittäin tärkeitä saantoon vaikuttavia tekijöitä. Kaikki nämä edellä mainitut tekijät ovat oleellisia määrittäessä sahausasetteen kannattavuutta. Raaka-aineen käyttösuhde sekä arvosaanto muodostuvat asetteen lähtötietojen perusteella. Asetetta suunniteltaessa joudutaan ottamaan huomioon myös sahaustapahtuman jälkeisiä prosesseja esimerkiksi kuivaus, tasaus ja laadutus. Kuvan 6 sahausasetteessä näkyy tukin latvapäästä kuvattuna sahatavaradimensiot, sahausraot ja tukin latvahalkaisija sekä tyvihalkaisija. Sahatavaradimensiot näkyvät nimellismittoina, mutta todellisesti ne ovat tuoremittojen kokoisia kappaleita suhteutettuna tukin halkaisijaan.



Kuva 6. Sawing Decision Maker asetekuva (Sawing Decision Maker – Asetesimulaattori 2021)

### Sahatavaradimensiot

ER-Sahan sahatavarakoot eli sahatavaradimensiot noudattelevat yleisesti Suomessa sahattavia mittoja. Keskitavaran mitat paksuudessa vaihtelevat 25–100 mm ja leveydessä 100–250 mm. Sahatavaran pituus vaihtelee 30 cm moduulijaon mukaisesti välillä 2,4–6,0 m. Sivulaudoissa ovat käytössä vahvuudet 19 mm ja 25 mm. Erikoismittoja on paksuudessa, leveydessä ja pituudessa asiakkaan tarpeiden mukaan. Sahatavaran vakiokoot on esitetty kuvassa 7.

Paksuus (mm)	Leveys (mm)							
	75	100	125	150	175	200	225	250
16								
19								
22								
25								
32								
38								
44								
47								
50								
63								
75								
100								

Kuva 7. Sahatavaran poikkileikkausmitat (Pohjoismainen sahatavara – Lajitteluohjeet 2020,17)

### Tuoremitat

Sahauksessa käytetään tuoremittoja sahatavarakappaleen nimellisen paksuuden ja leveyden lisäksi. Kuivausasteesta riippuen sahatavarakappaleelle määritellään kutistumisvara. Puun kutistuminen ja turpoaminen on anisotrooppista. Se tarkoittaa, että kutistuminen säteen, tangentin ja pituuden suunnassa on eri suuruista. Puun kutistuminen tangentin suunnassa on 6–12 %, säteen suunnassa 3–6 % ja pituuden suunnassa 0,1–0,3 % tuoreesta puusta kuivattaessa absoluuttisen kuivaksi. Kutistumisen määrä riippuu mm. puulajista ja tiheydestä. (Kärkkäinen 2007, 195.)

Kutistumisvarat ovat määritelty sahanlinjan automatiikan taulukoissa ja sahausasetteille tuoremitat valitaan tapauskohtaisesti. ER-Sahan kuusituotannossa erikoiskuivia kosteusprosentteja ovat 10–14 %. Normaali laivauskuiva sahatavara on 16–18 % asiakkaan tarpeiden mukaan. Tuoremitat vaikuttavat raaka-aineen käyttösuhteeseen siten, että mitä kuivemmaksi sahatavara kuivataan, sitä enemmän kuivumisvaraa tuoremittoihin tulee sisällyttää eli erikoiskuivaus heikentää raaka-aineen käyttösuhdetta.

### Sahausyksiköiden terät

Vannesahan terät ovat leikkuuvahvuudeltaan 3,0 mm ja jakosahassa käytetään pelkan korkeuden mukaan erilaisia terävahvuuksia. Pienet pelkat 100–115 mm sahataan 3,8 mm vahvoilla terillä, 115–200 mm pelkat 4,2 mm ja yli 200 mm pelkat sahataan 4,6 mm vahvaisilla terillä. Terien vahvuudet ja tarvittava terien määrä vaikuttavat raaka-aineen käyttösuhteeseen ja siten ovat tarvittavia lähtötietoja asetteiden simulointiin.

## 2.4 Asetteen kannattavuus

Asetteiden käyttösuhteeseen eli tilavuussaantoon vaikuttavat useat asiat:

- tukin ominaisuudet
- asete
- sahausluokkien lajittelu
- sahaustekniikka
- kuivaus
- tilavuuslaskenta.

Tukkien ominaisuuksilla on suuri vaikutus saantoon. Kartiokkaat tukit heikentävät saantoa, mutta toisaalta saattavat kompensoida tukin suuntausvirheitä. Lyhyet ja suorat tukit antavat paremman saannon kuin pitkät ja mutkikkaat tukit. Myös halkaisijaltaan suurilla tukeilla on yleensä parempi saanto kuin pienillä. (Nylinder & Fryk 2015, 172–173.)

Aseteilla on merkittävä vaikutus saantoon. Sahatessa parruja yhdistettynä vajaasärmäisiin sivulautoihin on tilavuussaanto korkea. Läpisahausksissa on myös hyvä saanto. Normaalissa nelisahauskassa tilavuussaanto riippuu paljon otettavien kappaleiden määrästä. Tukkiluokkien leveys on myös merkittävä tekijä. Jos tukkiluokat ovat kapeita ja jokaiselle asetelle on oma tukkiluokkansa, niin tilavuussaanto voidaan saada hyvin korkealle tasolle. (Nylinder & Fryk 2015, 173.)

Sahalinjan tekniikka on myös ratkaisevassa roolissa. Tukin muotoja huomioivat suuntaukset ja tukin pyöritys ovat merkittäviä tekijöitä. Muuttuva-asetteinen sahalinja ja särmäyksen suuntaukset ja keskitykset ovat isoja tekijöitä saannon kannalta. Terävähvuudet vaikuttavat tilavuussaantoon. Ohuemmat terät tuottavat kapeamman sahausraon ja siten sahaus on kannattavampaa. Kuivausaste vaikuttaa tarvittavaan tuoremittaan; mitä kuivempana sahatavara on myyty, sitä enemmän tuoremittoihin on otettava kuivumisvaraa. Sahatavaran vajaasärmäisyys parantaa saantoa, koska vajaa- ja täyssärmäisen kappaleen tilavuus laskeaan samalla tavalla eli vajaasärmän määrää ei vähennetä tilavuudesta. Myös asiakkaan vaatima laatu, pituusvaatimukset ja erikoispituudet voivat laskea saantoa. (Nylinder & Fryk 2015, 173–174.)

Asetteiden kannattavuutta mitataan yleisimmin raaka-ainekatteella ja käyttösuhteella. Simuloitaessa asetteita on myös mahdollista ottaa huomioon käyttöasteet asetekohtaisesti. Käyttöaste tarkoittaa miten hyvin tuotanto pyörii. Jos asetteessa on paljon kappaleita, kuten isoissa tukeissa yleensä on, vaikuttaa se linjan kapasiteettiin. Käyttöasteita voi laskea

monella tavalla, mutta yleisesti linjan häiriöt vähennetään täydestä käynnistä ja saadaan käyttöaste esimerkiksi 80 %. Linjan häiriöitä ovat seisokit ja tyhjän kuljettimen käynti.

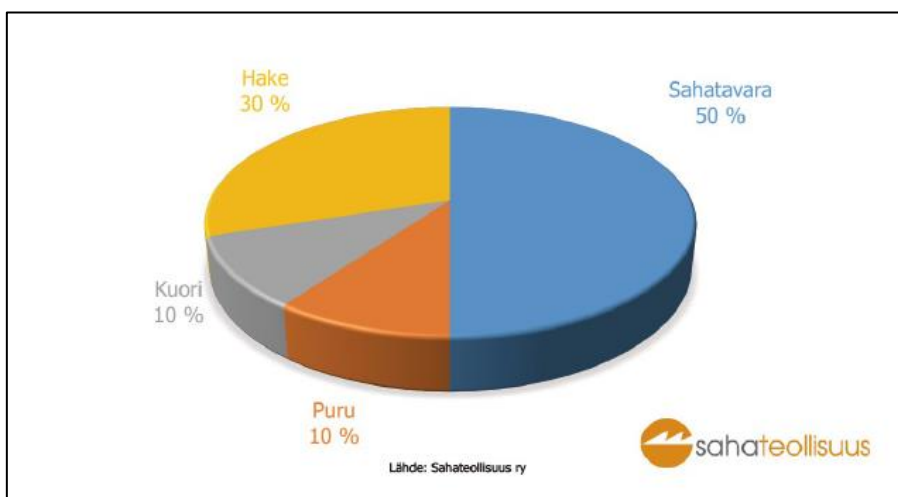
### Raaka-aineen käyttösuhde

Raaka-aineen käyttösuhde tarkoittaa yhden sahatavarakuution valmistukseen tarvittavaa kuorellisen tukkiraaka-aineen määrää, joka vaihtelee yleensä 2–2,2 k-m<sup>3</sup> välillä (Sipi 2002, 24). Käyttösuhde on sitä parempi mitä pienempi se on. Keskisuurella sahalla yhden kymmenyksen muutos ylöspäin käyttösuhteessa voi merkitä yli miljoonan euron lisäystä raaka-ainekustannuksissa.

Käyttösuhde voidaan laskea kuorellisena tai kuorettomana. Kuoren tilavuuden laskeminen käyttösuhteeseen mukaan heikentää käyttösuhdetta noin 10 %. Tämä johtuu siitä, että havupuussa on kuorta tukin tilavuudesta noin 10 %. Suomessa käytetään kuorellista käyttösuhdetta, koska tukit ostetaan sahalle kuoren päältä mitatulla tilavuudella.

### Saanto-%

Saanto voidaan laskea tilavuussaantona tai arvosaantona. Tilavuussaanto on toisin sanoen käyttösuhde, mutta saanto ilmoitetaan prosentuaalisena osuutena. Raaka-aineen käyttösuhde 2,0 tarkoittaa 50 % saantoa eli raaka-aineesta puolet päätyy sahatavaraksi. Yleisesti sahatavaran osuus on noin 50 %, haketta 30 %, purua 10 % ja kuorta 10 % (kuva 8). Arvosaanto puolestaan määräytyy hinnoitteleamalla jakeet todellisilla hinnoilla. (Ropilo & Kauppinen 2017, 100.)



Kuva 8. Jakeiden osuudet tukkikuutiosta (Merivuori 2017, 30)



### **Raaka-ainekate euroa/t-m<sup>3</sup>**

Tukkikuutiota kohden lasketaan raaka-ainekate. Tutkimuksessa SDM-asetesimulaattorissa raaka-ainekatetta esitetään käsitteellä tuotto. Samassa yhteydessä esiintyy tunnusluku sahan kate, joka on tuotannon synnyttämä raaka-ainekate tunnissa eli tuotto tunnissa.

## **2.5 Tukkiluokat**

Tukkiluokat muodostetaan sahauskriteerien mukaan pohjautuen tukin geometrisiin ja sisäisiin ominaisuuksiin. Tukkiluokkien määrä riippuu siitä, kuinka tarkalla jaolla tukit halutaan lajitella sekä siitä kuinka paljon lajittelulokeroita on käytettävissä. (Ojala 2017, 65.) Tukkiluokat ovat leveydeltään noin 5–25 mm, tyypillisimmillään noin 10 mm.

Tukkiluokkaan voidaan sisällyttää myös tukin sisälaatuja, joita on lajiteltu joko visuaalisesti tai tukkiröntgenillä. Laatuja ovat esimerkiksi vuosiluston tiheys, sydänpuun osuus, oksaryhmien välit, oksamassa ja rungon osa. Tukin sisälaatuja voi päätellä visuaalisesti, mutta tukkiröntgen on selkeästi tarkempi vaihtoehto. Tutkimuksessa tehdyissä simuloinneissa ei otettu huomioon sisälaatuja.

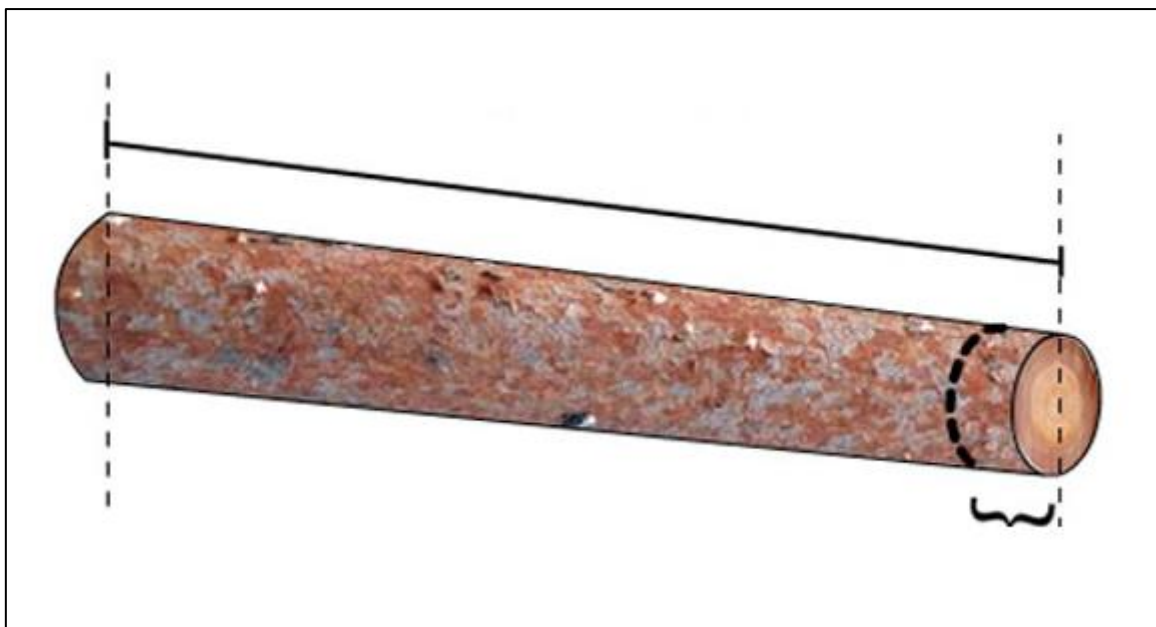
### **Läpimitta- ja pituusrajat**

Tukkiluokalle määritellään tukin latvahalkaisijan ala- ja yläraja. Läpimittarajojen määrittelyssä otetaan huomioon kuoren vahvuus ja mahdolliset läpimittakorjaukset kuten kartiokkuus, lenkous, mutkaisuus ja soikeus. Läpimitta kuoren alta on asetus suunnittelun tärkeimpiä tekijöitä.

Tukkiluokalle määritellään pituuden ala- ja yläraja tai pituudet, joita tukkiluokassa saa esiintyä. Pituudet sisältävät tukin tasausvaran, joka on noin 10 cm pidempi kuin varsinaiset sahatavaramitat. Simuloinnissa käytetään keskipituutta 4,6 m kaikille tukkiluokille.

### **Tukin muodot**

Tukkiluokkaan hyväksytään määritellyt maksimi arvot lenkoudelle, mutkaisuudelle, kartiokkuudelle- ja soikeudelle. Geometriset muodot voidaan lajitella 3D-mittarilla tai visuaalisesti. Simuloinnissa käytettiin keskimääräistä 10 mm/m kartiokkuutta kaikille tukkiluokille. Lenkous ja soikeusarvoja ei käytetty. Kuvassa 9 on suora tukkipuu, joka on kartiokas eli tyvi on paksumpi kuin latva.



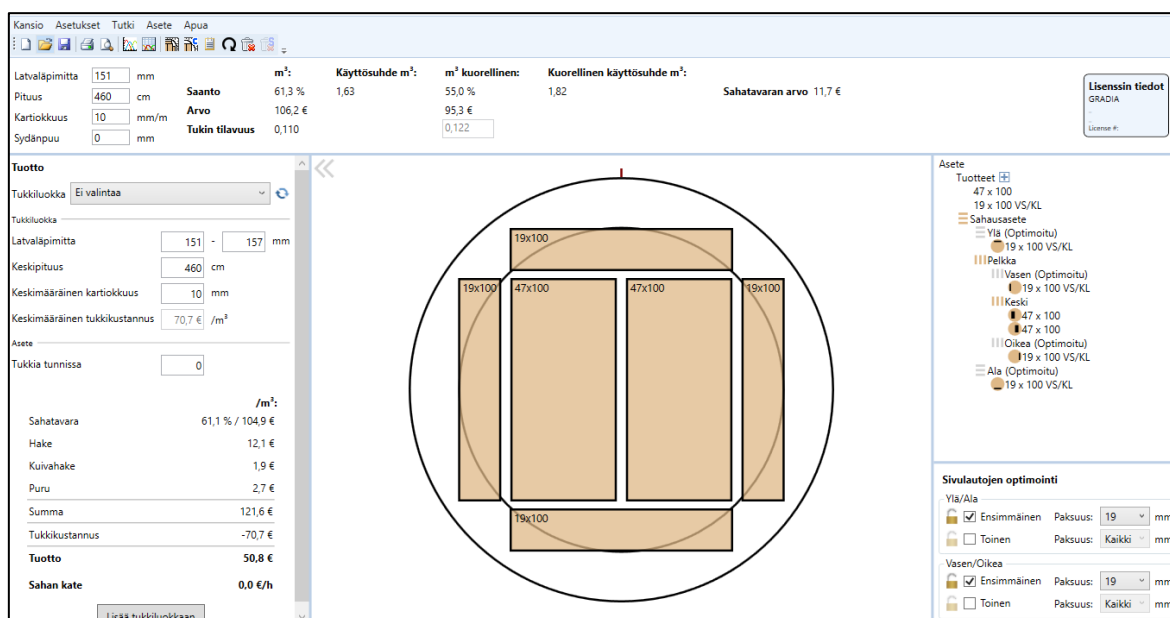
Kuva 9. Suora kartiokas tukki (Mittaus ja laatu 2018)

### 3 Sahausasetteiden suunnittelu

#### 3.1 Asetesimulaattori

Asetesimulaattori on sahauksen suunnitteluun tarkoitettu tietokoneohjelma. Asetesimulaattorilla voidaan laskea sahausprosessissa syntyvän sahatavaran, hakkeen ja purun määrä ja arvo. Simulaattorilla voidaan simuloida eri asetevaihtoehtojen kannattavuutta tukkiluokassa. Asetteiden simulointia varten ohjelmaan pitää syöttää lähtötiedot sahaustekniikasta sekä tukkiraaka-aineesta ja tuotettavasta sahatavarasta. (Virtanen 2017, 62.)

Sawing Decision Maker on Kråkfors Forest Products AB:n valmistama asetesimulaattori. Yritys on perustettu lokakuussa 2018. Yrityksen omistaa Mats Nylinder ja Johan Annerstedt. Yrityksen pääliiketoimintaa on SDM-simulaattorin kehittäminen, markkinointi ja myynti. Kråkfors tarjoaa myös konsultointia ja koulutusta sahateollisuudelle. (Kråkfors Forest Products.) Kuvassa 10 on asetesimulaattoriohjelman etusivun näkymä.



Kuva 10. Sawing Decision Maker asetesimulaattoriohjelman etusivu (Sawing Decision Maker – Asetesimulaattori 2021)

Sawing Decision Maker on kehitetty sahausasetteiden suunnitteluun ja kannattavuuslaskentaan. Ohjelmalla voidaan tehdä asetteiden suunnittelua ja vertailua sekä nähdä asetteiden arvosaanto ja tilavuussaanto. Lähtötiedot, kuten esimerkiksi tukin latvaläpimitta, pituus, kartiokkuus, tuotteet ja hinnat ovat aseteltavissa ohjelmaan.

Laskenta perustuu pääasiassa Pythagoran suorakulmaiseen kolmioon. Todetaan, että hypotenuusan neliö on yhtä suuri kuin kahden muun sivun neliöiden summa. (Kråkfors Forest Products)


### 3.2 Lähtötiedot

SDM-simulaattorille tarvittavat lähtötiedot ovat kerätty ER-Sahan järjestelmistä sekä tuotannonsuunnittelijan ja tuotantojohtajan haastatteluilla. Tukkiluokat ja niiden lajittelukriteerit ovat peräisin tukkilajittelun ohjelmasta. Sahauksen tuoremitat ja käytettävien terien paksuudet ovat kerätty sahalinjan aseteautomatiikan taulukoista. Käytetyt keskihinnat ja sivulautojen vajaasärmäsäännöt ovat peräisin ER-Sahan tuotannonsuunnittelijalta.

Lähtötietoja ovat myös asiakkaiden tilaamat tuotteet. Sahatavaran valmistuksen suunnitteluprosessin kulkusuunta on asiakkaalta kannolle päin, mikä voidaan käsittää myös prosessin imuohjauksena. Tutkimuksessa simuloidaan asiakkaiden tilaamia tuotteita käytössä oleviin lajiteltuihin tukkeihin.

#### Terävahvuudet

Simulaattorin asetuksissa määritellään simuloitavan asetteen terävahvuudet (kuva 11). Ensimmäinen vaihe tarkoittaa pelkkasahausta ja toinen vaihe jakosahausta. Terävahvuuden yksikkönä on millimetri. Terävahvuus valitaan sahattavan pelkan korkeuden mukaan. Leikkaussyvyyden kasvaessa vaaditaan runkovahvuudeltaan paksumpi terä.

SDM Teräasetukset		
Vaihe	Paksuus	Yksikkö
	3,0	mm
	4,2	mm

Kuva 11. Sawing Decision Maker, terävahvuudet (Sawing Decision Maker - Asetesimulaattori 2021)

#### Tuotetaulukko

Kuvan 12 mukaisesti asetetaan jokaiselle sahatavaradimensiolle ja laadulle tarvittavat tiedot. Dimensiot ovat samassa taulukossa allekkain. Nimellismittojen lisäksi tarvitaan tuorepaksuus ja tuoreleveys. Oleellista on myös sallittu vajaasärmän paksuus ja leveys sahatavarakappaleessa. Katkonta-%:iin määritellään tasausvara ja mahdollinen keskimääräinen laatukatkaus. Kappaleelle määritetään myös keskihinta sekä missä kohden asetetta

kappale saa sijaita. Tuotetaulukko on mahdollista valita myös lisää määrittelyjä, mutta tutkimuksessa päädyttiin käyttämään edellä mainittuja. Tuotteita määriteltiin yhteensä 46 kappaletta. Laatuja määriteltiin 4 kpl; täysisärmäinen sydäntavara, täysisärmäinen lauta, vajaasärmäinen lauta 90 % ja vajaasärmäinen lauta 70 %. Keskikappaleet eli sydäntavarat määriteltiin kaikki laadulle täysisärmäinen. Jokaiselle laadulle on määritetty oma keskihinta. Vajaasärmäiset laadut rajoittuivat 100 mm leveisiin sivulautoihin.

Image	Species	Description	Thickness	Width	Wane Thickness %	Wane Width %	Trim Factor %	Sawed Thickness	Sawed Width	Price	Center	Sides	Active
	Pine	16 x 75	16	75	0	0	5	17	78	1200	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	Pine	16 x 100 W	16	100	10	10	0	17	104	1000	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	Pine	16 x 100	16	100	0	0	6.5	17	104	1200	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	Pine	16 x 125	16	125	0	0	4.1	17	129	1300	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	Pine	19 x 75	19	75	0	0	0	20	78	2511	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	Pine	19 x 100	19	100	0	0	5	20	104	2613	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	Pine	19 x 125	19	125	0	0	6	20	129	2500	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	Pine	19 x 150	19	150	0	0	0	20	153	2000	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	Spruce	25 x 36	25	36	0	0	0	27	38	1500	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	Spruce	25 x 75 demo	25	75	0	0	0	27	78	1700	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	Pine	25 x 75	25	75	0	0	0	26	78	2000	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	Pine	25 x 79	25	79	0	0	0	26	79	2000	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	Pine	25 x 100	25	100	0	0	0	26	100	2000	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Kuva 12. Sawing Decision Maker, tuotetaulukko (Sawing Decision Maker - Asetesimulaattori 2021)

## Tukkien hinnat

Tukkien kuutiohinnat ovat simulaattorissa halkaisijaperusteisia ja jakaantuivat ER-Sahalla kolmeen hintaluokkaan. Sivutuotteet hake ja puru ovat myös hinnoiteltu todellisten hintojen mukaan. Simuloinnissa käytetyn tukkiluokan hinta muodostuu siten, että ohjelma laskee tukille painotetun keskiarvon esimerkiksi kahdesta hintaryhmästä. Painotettu keskiarvo tulee silloin kysymykseen jos tukin läpimitan alaraja on esimerkiksi 1. hintaryhmän sisällä ja yläraja 2. hintaryhmän sisällä. Kuvassa 13 on kuvattu tukkien ja sivutuotteiden hintataulukko, jonne raaka-aineiden ja sivutuotteiden hinnat merkitään.

☒ Käytä tukkien hintataulukkoa.

Tukkihinasto

Oletus Mänty Kuusi

Halkaisijaväli	Kustannus m <sup>3</sup>
140-199	0,0 €
200-259	0,0 €
260-410	0,0 €

Sivutuotteiden arvo

Hake 0,0 € m<sup>3</sup> ▼

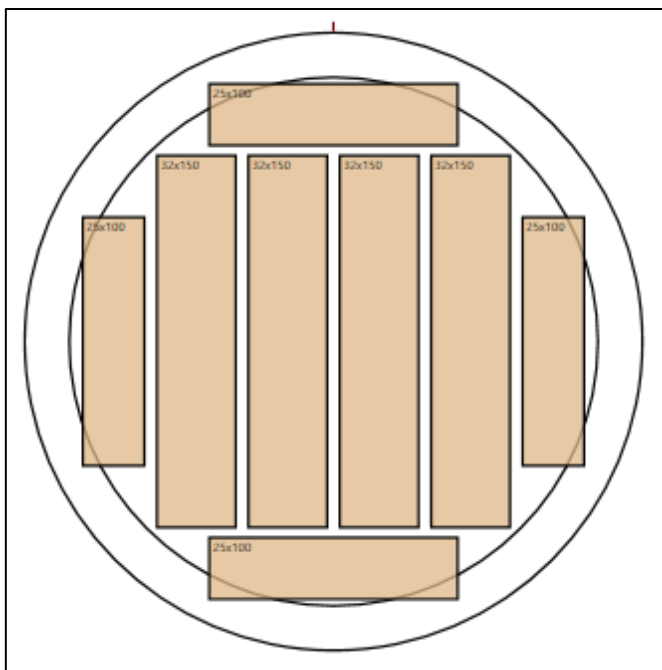
Puru 0,0 € MWh ▼

Kuivahake 0,0 € MWh ▼

Kuva 13, Sawing Decision Maker, tukkien ja sivutuotteiden hintataulukko (Sawing Decision Maker - Asetesimulaattori 2021)

### Sahausexlog

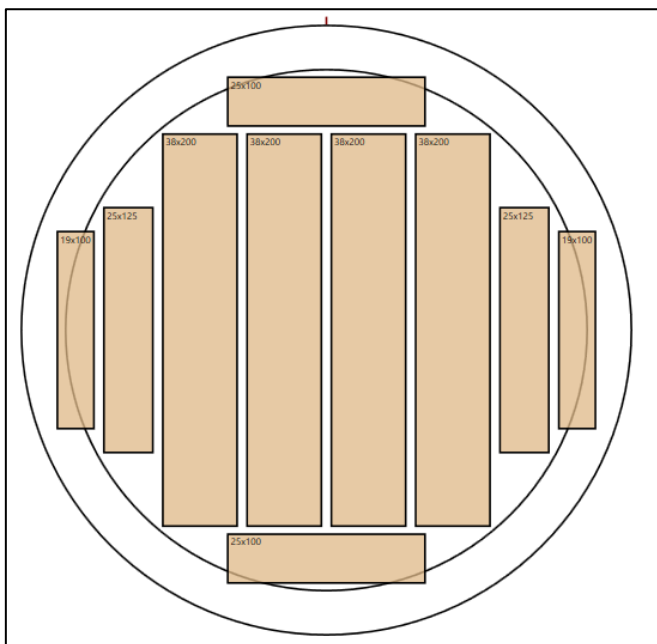
ER-Sahan tämänhetkisessä kuusituotannossa on sahaussexlogeja 1–4. Exlogeilla tarkoitetaan sitä kuinka moneen osaan sydäntavara sahataan jakosahassa. Esimerkkikuvassa 14 on sydäntavara 32x150 4 exlogilla sahattu.



Kuva 14. Sawing Decision Maker, asetekuva (Sawing Decision Maker - Asetesimulaattori 2021)

## Lautamallit

Lautamalli tarkoittaa sitä lauta-asetetta mitä sydäntavaran lisäksi tukista sahataan. ER-Sahalla on mahdollista sahata pelkkasahausvaiheessa yhdet laudat puoleltaan ja jakosahausvaiheessa kahdet laudat puoleltaan. Kuvassa 15 pelkkasahan laudat ovat 25x100 mm, jakosahan 25x125 mm ja 19x100 mm. Sydäntavarana sahataan jakosahalla keskeltä 32x200/4.



Kuva 15. Sawing Decision Maker, asetekuva (Sawing Decision Maker - Asetesimulaattori 2021)

## Kuoren tilavuus

Käytösuhde esiintyy simulaattorissa kuorettomana, mutta asetuksissa on mahdollista määrittää kuorellinen käytösuhde (kuva 16). Kuorellinen käytösuhde on Suomessa yleisesti käytetty. Sen sijaan Ruotsissa ja Baltian maissa sekä Venäjällä käytetään kuoretonta käytösuhdetta. Ero johtuu siitä, että Suomessa tukki ostetaan metsänomistajilta kuoripäällisenä. Kuori ostetaan tukkipuun hinnalla sahalle, mikä tarkoittaa 10–12 %:n hinnankorotusta puuainekselle verrattuna edellä mainittuihin kilpailijamaihin.

**Kuorellisen tilavuuden laskenta**

Määrittelemällä kuorettoman ja kuorellisen latvaläpimitan välinen yhteys pystytään laskemaan tukin kuorellinen tilavuus.

▼ Lisätietoja

Puulaji	Aktiivinen	Käyrän kaltevuus	Käyrän siirtymä
	<input type="checkbox"/>	0	0
Mänty	<input type="checkbox"/>	0	0
Kuusi	<input checked="" type="checkbox"/>	1,0421	3,3763

Kuva 16. Sawing Decision Maker, kuorikertoimet (Sawing Decision Maker - Asetesimulaattori 2021)

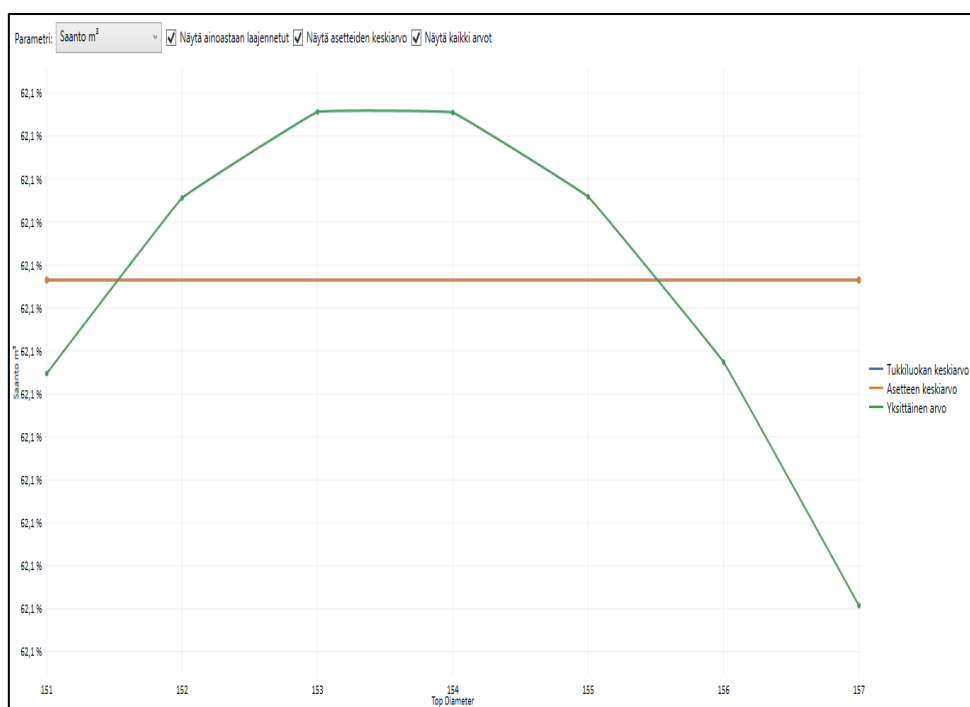
## Tukkiluokat

Tukkiluokat syötetään tukkiluokkataulukkoon. Taulukossa vaaditaan tukkiluokalle nimi, halkaisijaväli, kartiokkuus ja pituus (kuva 17). Taulukko hakee tukille hinnan halkaisijan perusteella tukkihinnastosta. Tukkiluokkataulukkoon tallentuvat myös simuloidut sahausasetteet ja taulukko laskee aseteille erilaisia kannattavuuden tunnuslukuja sekä piirtää kuvaajia halutun tunnusluvun ja latvaläpimitan suhteessa. Samaan taulukkoon voi valita myös kaikki tukkiluokasta sahattavat asetteet. Kuvassa 18 on esitetty kuoreton saanto-% eräästä aseteesta. Vihreä käyrä kuvaa, että asete tuottaa parasta saantoa halkaisijan ollessa 153–154 mm.

Timber Class Table													
Name	Diameter Range	Log Ta	Log Length	Log Cost €	Pattern	Logs	Ac	Yield m³	Value m³	Board Yield m³	CM m³	CM	
▶ T140	140-160	8	456	587 kr	-	-	-	50,0 %	847 kr	Boards...	416 kr		
▶ T161	161-178	8	435	636 kr	-	-	-	58,5 %	1 077 kr	Boards...	569 kr	27	
▶ T179	179-195	9	445	650 kr	-	-	-	55,8 %	1 001 kr	Boards...	488 kr	29	
▼ T196	196-210	10	450	262 kr	-	-	-	47,4 %	906 kr	Boards...	805 kr	60	
					2_50x150 2_19x100	500	<input checked="" type="checkbox"/>	49,8 %	945 kr	Boards...	836 kr	75	
					2_50x150 2_25x100	350	<input checked="" type="checkbox"/>	47,0 %	892 kr	Boards...	792 kr	49	
					2_25x150 2x_16x100	400	<input checked="" type="checkbox"/>	45,5 %	881 kr	Boards...	786 kr	56	
Add Row													
▶ T211	211-230	10	480	675 kr	-	-	-	59,1 %	1 078 kr	Boards...	533 kr	78	
▶ T231	231-256	11	462	681 kr	-	-	-	0,0 %	0 kr	Boards...	0 kr	0	
▶ T257	257-270	11	458	700 kr	-	-	-	0,0 %	0 kr	Boards...	0 kr	0	
Add Timber Class Copy Timber Class Remove													

Kuva 17. Sawing Decision Maker, tukkiluokkataulukko (Sawing Decision Maker - Asetesimulaattori 2021)





Kuva 18. Sawing Decision Maker, tukkiluokkataulukon kuvaaja (Sawing Decision Maker - Asetesimulaattori 2021)

## 4 Tutkimuksen toteutus

### 4.1 Menetelmä

Tutkimuksessa on käytetty määrällistä eli kvantitatiivista tutkimusmenetelmää. Määrällisessä tutkimuksessa tehdään erilaisia luokitteluja, syy- ja seuraussuhteita, vertailuja ja esitetään ilmiötä numeerisin tuloksin. Määrälliseen tutkimukseen sisältyy erilaisia laskennallisia ja tilastollisia analyysimenetelmiä. (Jyväskylän yliopisto 2015.)

Tutkimus käsittää asetteiden simuloinnin SDM-asetesimulaattorin versiolla 1.3.81.0. ER-Sahan kuusen tukkiluokkiin. Tarkoituksessa selvitettiin asetteiden sopivuus käytössä oleviin tukkiluokkiin SDM-asetesimulaattorin ominaisuuksia hyödyntäen. SDM muodostaa erilaisia tunnuslukuja simuloinnin tuloksena. Tulokset ovat euromääräisiä tuottoarvoja sekä raaka-aineen käyttöä kuvaavia lukuarvoja. Tuloksista esitetään myös Excelillä laadittuja kuvaajia, jotka havainnollistavat vertailtavat asiat.

### 4.2 Toteutus

Tutkimuksen aloitettiin lähtötietojen keräämisellä ja ER-Sahan asiantuntijoiden haastatteluilla. SDM-asetesimulaattorista ei ollut aikaisempaa kokemusta ja toteutuksen alkuvaiheessa sen ominaisuuksiin tutustuminen oli perusta koko tutkimukselle. Asetteiden sopivuus tukkiluokkiin tai toisaalta tukkiluokkien sopivuus asetteisiin on sahan kannattavuuden kannalta tärkeää.

Tutkimus alkoi lähtötietojen asettamisella simulaattoriin. Ensimmäisenä perustettiin käytössä olevat tukkiluokat raja-arvoineen simulaattorin tukkiluokkataulukkoon. Seuraava vaihe oli asetteiden tekeminen ja lautamallien optimointi. Tutkimuksessa haluttiin simuloida mahdollisimman hyvät lautamallit teoriassa ja saada siten vertailupohja käytössä oleviin lautamalleihin. Ainoastaan sahaus-exlog ja tukkiluokka, mistä kyseinen asete sahataan, olivat tiedossa. Kun asetteet oli simuloitu ja tallennettu simulaattorin tukkiluokkataulukkoon, alkoi varsinainen asetteiden vertailu ja sopivuuden tarkastelu.

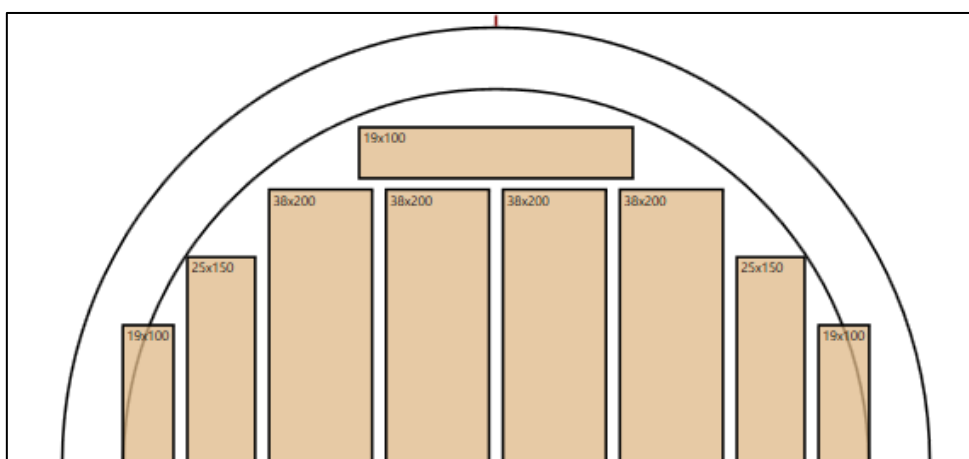
Jyväskylän Gradian saha-alan lehtorin Katariina Suutalaa haastateltiin eri toimintojen osalta. Hän arvioi SDM-simulaattorin soveltuvuutta opetuskäyttöön puuteollisuuden ammatitutkinnoissa.

### 4.3 Rajoitteet

ER-Sahan sahalinja on muuttuva-asetteisen, joka tarkoittaa että sahattavat dimensiot voivat muuttua tukin vaihtuessa eli asete voi muuttua tukkivälin aikana. Tehokkuuden vuoksi

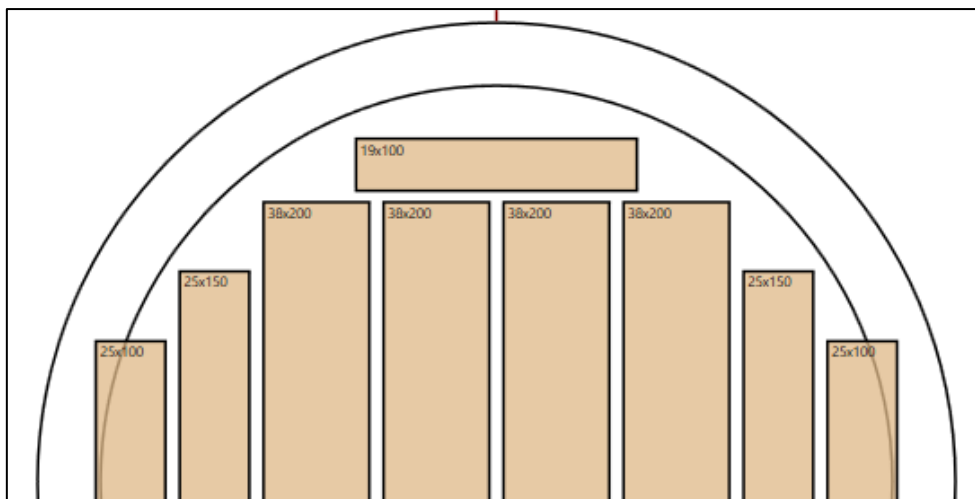
asetteiden, lähinnä lautamallien muuttumista, rajoitettiin siten että asetteet simuloitiin kiinteillä pelkkasahan lautavahvuuksilla. Jakosahan laudat saivat simulaattorissa muuttua arvosaannon mukaisesti parhaiksi mahdollisiksi paksuuden ja leveyden suhteen. Tutkimuksessa muuttuva-asete tarkoittaa, että sahalinjalla on mahdollista muuttaa sahattavan kappaleen vahvuutta tai sahattavien kappaleiden kappalemäärää tukkikohtaisesti. Sivulautojen optimoidut leveydet ovat arvosaannon mukaan muuttuvia, mutta ne eivät vaikuta halkaisevien terien asemaan. Muuttuvat lautaleveydet ovat siten tässä tutkimuksessa vahvuuksiltaan kiinteitä eli lautamalli on kiinteä vahvuuden suhteen. Tuoterajoitteet tulivat myytävien sahatavaradimensioiden mukaan

Kuvassa 19 pelkkasahan lauta on 19x100 mm, mutta koska se on rajoitettu kiinteäksi niin se ei saa muuttua 25 milliseksi. Jakosahan laudat ovat kuvassa mitoiltaan 19x100 mm ja 25x150 mm ja ne ovat määritetty muuttuviksi.



Kuva 19. Sawing Decision Maker, asetekuva (Sawing Decision Maker - Asetesimulaattori 2021)

Kuvassa 20 on tukkikokoa kasvatettu, mutta 19 x 100 mm lauta on edelleen muuttumaton eli sama kuin kuvassa 19. Ainoastaan leveys on sallittu muuttuvaksi, mutta tuotetta 19x125 mm ei ole valinnaisena joten lauta ei ole voinut muuttua. Jakosahan ulompi lauta on muuttunut vahvemmaksi ja on mitoiltaan 25 x100 mm. Jakosahauksessa lautojen vahvuudet optimoidaan sahakoneessa olevaa tukkikokoa vastaavaksi. Tukkien koko vaihtelee tukkiluokan maksimi- ja minimiläpimitan välillä. Todellisuudessa on lisäksi vaihtelua osumatarkkuudesta johtuen, sillä käytännössä tukkeihin tulee myös mittausvirhettä. Tukkiluokkien osumatarkkuutta ei ole mitattu tutkimuksessa. Osumatarkkuus tukkiluokkaan tarkoittaa kuinka suuri osuus tukeista ovat tukkiluokalle asetetun halkaisijan ala- ja ylärajan sisällä.

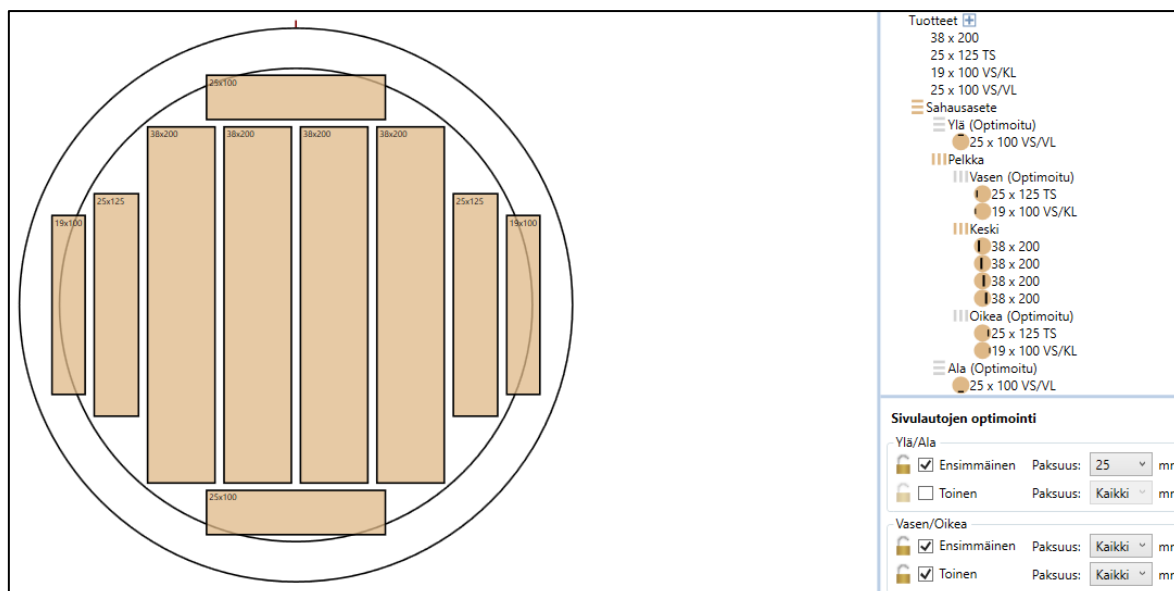


Kuva 20. Sawing Decision Maker (Sawing Decision Maker - Asetesimulaattori 2021)

#### 4.4 Simulointi

Simulointi aloitetaan rakentamalla asete asetesimulaattoriin. Simulaattorin tyhjään aseteikkunaan valitaan keskimmäiset sahatavarat eli sydäntavarat ja niiden exlog eli kappalemäärä. Seuraavana vaiheena on pelkka- ja jakosahan lautojen valitseminen. Kuvan 21 oikeassa yläreunassa näkyvät tehdyt tuotevalinnat. Kuva asetteesta piirtyy automaattisesti sitä mukaan kun valitaan tuotteita asetteeseen. Kuvan 21 oikeassa alalaidassa sijaitsee sivulautojen optimointivalinnat. Pelkkasahausvaiheen (ylä/ala) laudoiksi on valittu vain 25 mm vahvuus eli lauta on kiinteä. Jakosahausvaiheen (vasen/oikea) laudoiksi on valittu kaikki eli ohjelma saa käyttää kaikkia sivulaudoiksi merkittyjä tuotteita. Ohjelmalla voi tehdä lautamallin myös täysin manuaalisesti.

On myös mahdollista antaa simulaattorin valita parhaat mahdolliset laudat sydäntavaran ympärille. Jos valitsee sydäntavaran mukaisen optimoinnin niin ohjelma laskee tarvittavan tukkihalkaisijan sydäntavaroille. Sen jälkeen ohjelma sovittaa laudat, jotka sopivat vielä tukin äärimittojen sisäpuolelle kunkin laudan vajaasärmäsääntöjen mukaisesti. Sydäntavarahalkaisijan vaatimusten mukaan simuloimalla ei välttämättä tule aina paras mahdollinen käyttösuhde tai raaka-ainekate. Ohjelmassa on myös toiminto, jolla voidaan laskea kokonaisuudessa paras ratkaisu eli laudat ja sydäntavarat yhteensä, ja muodostetaan sitten vasta tarvittava tukin latvahalkaisija simuloitavalle asetteelle.



Kuva 21. Sawing Decision Maker, asetteen muodostaminen (Sawing Decision Maker - Asetesimulaattori 2021)

### Asetteen tuotto

Simulaattori laskee aseteelle tuoton, joka on raaka-ainekate tukkikuutiometrille euroissa. Laskelmassa vähennetään tukkiraaka-aineen kustannukset sahatavaran ja sivutuotteiden tuotoista (Kuva 22). Kuori ei ole mukana laskelmassa. Laskelmaan voi syöttää myös sahatavien tukkien lukumäärän tunnissa, jolloin lasketaan sahan raaka-ainekate euroa / tunti. Lisäksi laskelmalla voi tehdä analyysiä myös latvahalkaisijan vaihteluvälin alueelta.

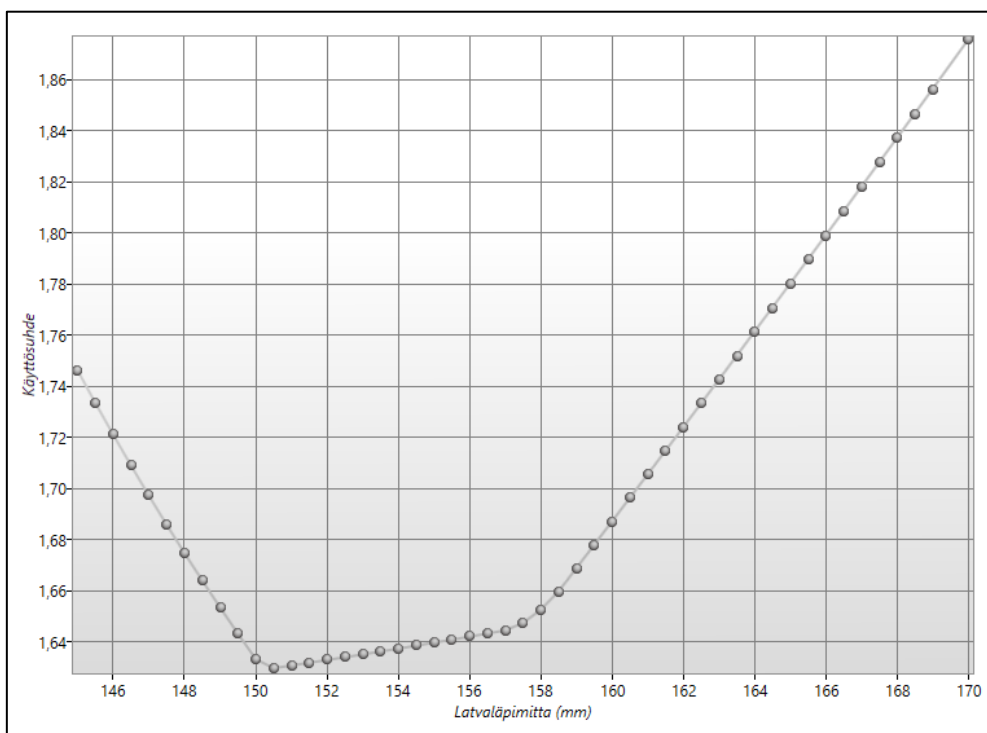
<b>Tukkiluokka</b>	
Latvaläpimitta	151 - 157 mm
Keskipituus	460 cm
Keskimääräinen kartiokkuus	10 mm
Keskimääräinen tukkikustannus	70,7 € /m <sup>3</sup>
<b>Asete</b>	
Tukkia tunnissa	1000
<b>/m<sup>3</sup>:</b>	
Sahatavara	52,6 % / 95,3 €
Hake	15,5 €
Kuivahake	1,5 €
Puru	3,4 €
Summa	115,7 €
Tukkikustannus	-70,7 €
<b>Tuotto</b>	<b>45,0 €</b>
<b>Sahan kate</b>	<b>5.125,3 €/h</b>

Kuva 22. Sawing Decision Maker, tuottolaskelma (Sawing Decision Maker - Asetesimulaattori 2021)

## Analyysityökalu

Asetteen simuloinnin kannalta on tärkeää tunnistaa, miten rakennetun asetteen kannattavuus muuttuu tukkiluokan halkaisijan muuttuessa. Tukkiluokalla on minimi- ja maksimihalkaisija, joita nimitetään myös tukkiluokan latvahalkaisijan ala- ja ylärajaksi. Asetteen kannattavuus on erilainen halkaisijan ala- tai ylärajalla. Asetteen kannattavuus voi olla myös kaareva ala- ja ylärajan välillä, siten että huippukohta osuu johonkin välille. Jos asetteen sahatavaran, esimerkiksi sivulaudat, sallitaan vahventua tai ohentua tukin halkaisijan mukaan niin silloin asete pyrkii pitämään paremmin ja pitempään kannattavuutensa. Tämä tarkoittaa, että raaka-aine hyödynnetään tukkikohtaisesti. Jos asete on kiinteä ja kappaleiden vahvuudet eivät voi muuttua niin silloin asetteella on kapeampi kannattava alue tukin halkaisijan vaihtuessa.

SDM-simulaattorissa on analyysityökalu, jolla tukin halkaisijan muuttumista ja asetteen tuotteiden mahdollista muuttumista voidaan analysoida. Analyysityökalu oli tärkeä tutkimuksen kannalta. Työkalun avulla oli mahdollista löytää paras tukkihalkaisija simuloitavalle aseteelle. Analyysityökalu näyttää kuvassa 23 miten muuttuva-asete käyttäytyy tukkihalkaisijan kasvaessa tai pienentyessä.

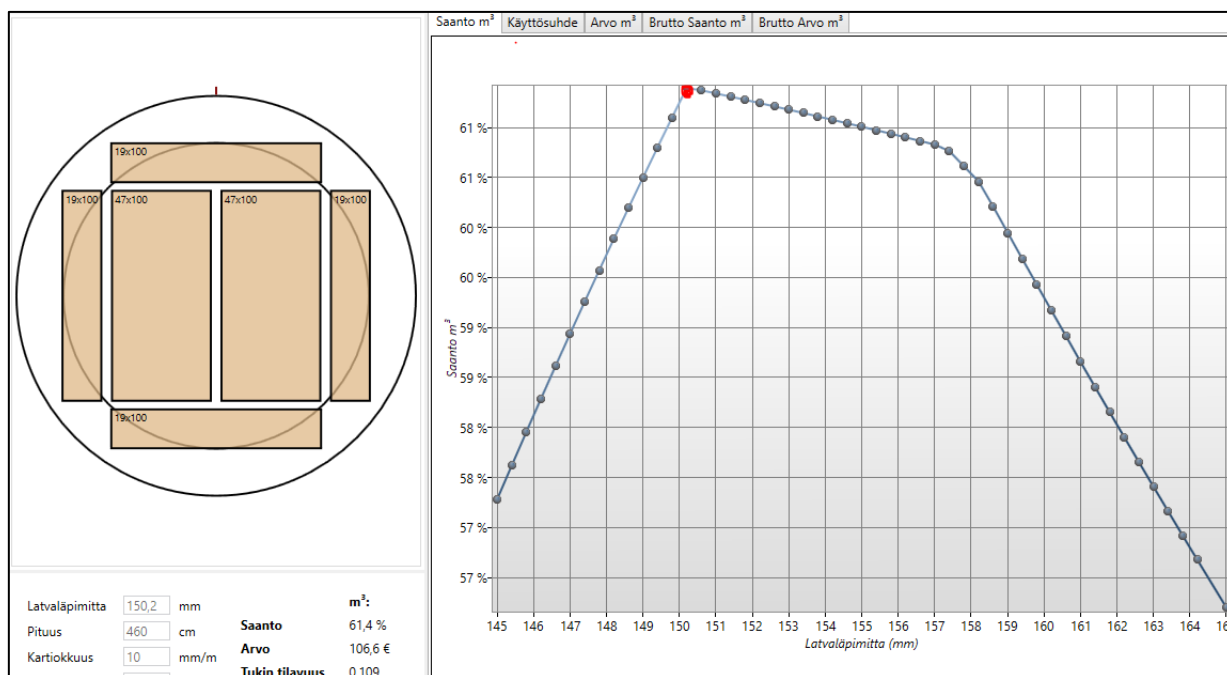


Kuva 23. Sawing Decision Maker, analyysityökalu (Sawing Decision Maker - Asetesimulaattori 2021)

Kuvassa 23 nähdään erään asetteen kuorettoman käyttösuhteen käyttäytyminen. Käyttösuhte on parhaimmillaan eli pienimmillään läpimitan 150 mm ja 157 mm välillä. Halkaisijan ollessa tämän alueen ulkopuolella käyttösuhte heikkenee nopeasti. Kyseisen asetteen tukkiluokan halkaisijaväli olisi siis hyvä valita tuolle optimialueelle. Simulointien mukaan paras raaka-ainekate osuu myös lähes aina tuolle samalle käyttösuhteen optimialueelle. Analyysityökalussa voi tarkastella lisäksi saantoa ja arvoa.

Tutkimuksen tärkein ja mielenkiintoisin havainto oli löytää kunkin asetteen paras latvaläpimitta. Tärkeä havainto oli myös se, että osuuko asetteen paras kannattavuus käytössä olevan tukkiluokan ala- ja ylärajan väliin tai sen välittömään läheisyyteen. Toisin sanoen tällä tavalla saadaan selville ovatko asetteet ja tukkiluokat sopivia toisilleen parhaan kannattavuuden saavuttamiseksi. Tutkimus ei ota kantaa siihen onko käytännössä mahdollista jakaa tukit siten kuin ne olisivat kannattavinta sahata käyttösuhteen tai arvosaannon kannalta. Sahausprosessin tekniset ratkaisut, markkinatilanne tai jokin muu asia, kuten esimerkiksi tukin sisäinen laatu voivat ohjata tukkien jakamista eri tavalla.

Analyysityökalu näyttää asetteen kuvan ja tiedot käyrän valitusta kohdasta. Klikkaamalla haluttua kohtaa käyrällä nähdään miten asetteen tunnusluvut muuttuvat sekä miten esimerkiksi lautojen vahvuuksien ja leveyksien muutokset tapahtuvat. Kuvassa 24 näytöltä klikattu kohta on korostettu punaisella värillä.



Kuva 24. Sawing Decision Maker, analyysityökalu (Sawing Decision Maker - Asetesimulaattori 2021)

## 5 Tulokset ja tulosten tarkastelu

### 5.1 Tulokset

Simulaattorilla simuloitiin kaikki ER-Sahan kuusituotannon asetteet. Jokainen asete tallettiin valittuun tukkiluokkaan. Yhdessä tukkiluokassa oli yksi tai useampi asete. Simulaattori näyttää jokaisen asetteen tunnusluvut ja simulaatiokuvan.

Simulointitulosten tarkastellut tunnusluvut:

- tukkiluokka
- läpimitan alaraja
- läpimitan yläaraja
- läpimitta parhaalle käyttösuhteelle
- tukkiluokan leveys
- sydäntavara ja lautamalli
- raaka-ainekate euroa/tukki-m<sup>3</sup> tukkiluokan ala- ja ylärajalla
- maksimi raaka-ainekate/tukki-m<sup>3</sup>
- simuloitu kuorellinen käyttösuhde.

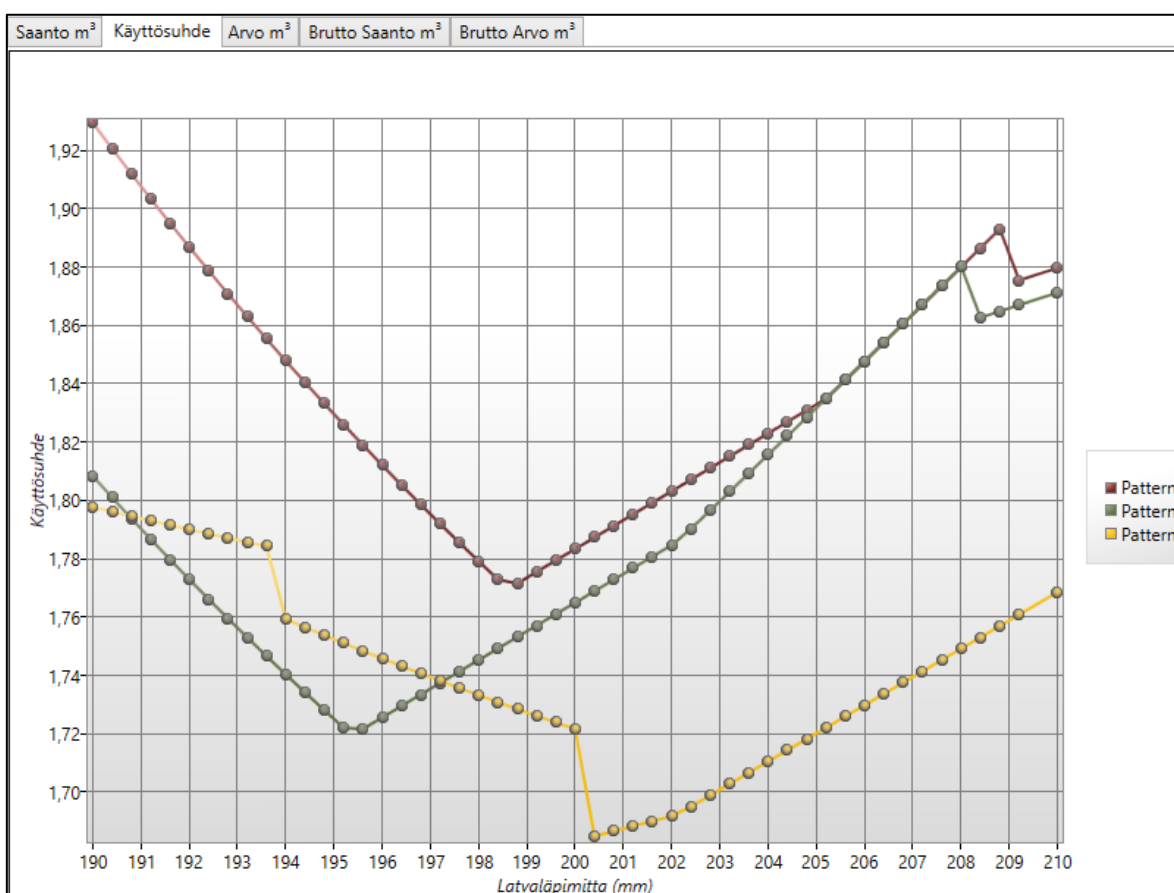
### 5.2 Tulosten tarkastelu

Tulokset on jaettu useaan ryhmään. Tuloksista voidaan löytää sahausasetteet, jotka osuvat optimaalisesti tukkiluokan rajoihin. Lisäksi voidaan löytää myös asetteita, jotka eivät tuota parasta saantoa nykyisessä tukkiluokassaan. Asetteen paras kannattavuus voi esiintyä tukkiluokan rajojen ulkopuolella, mikä tarkoittaa, että asetteen tukkiluokan rajoja pitäisi muuttaa tai sahata asete viereisestä tukkiluokasta jos röntgeniltä lajiteltu tukkilaatu soveltuu tarkoitukseen. Jos laatu ei sovi, tulisi sitten myös röntgenlajittelua muuttaa. Tukkiluokka voi olla liian leveä pudottaen asetteen raaka-ainekatetta. Tukkiluokan ollessa liian leveä asetteen kannattavuus pienenee joko ala- tai ylärajan tuntumassa. Muutuva-asetteisuuskaan ei aina riitä korjaamaan tukkiluokan liiallista leveyttä. Tuloksia tarkasteltaessa pitää muistaa, että pelkkasahausvaiheen laudat ovat prosessin ominaisuuksista johtuen vahvuudeltaan kiinteitä eli ne osaltaan kaventavat kannattavuutta. Tulosten mukaan todelliset käyttösuhteet ovat keskimäärin korkeampia eli huonompia kuin simuloidut tulokset. Tähän vaikuttavat osaltaan lähtötiedot, joita ei voi täydellisesti ja aukottomasti määrittää sillä ne



saattavat muuttua hieman sahauseräkohtaisesti. Sahausasetteiden lautamallit eivät myöskään välttämättä toteudu kuten ne ovat simuloinnissa määritetty. Tuotannon pullonkaulat ovat osa ajo- ja asetesuunnittelua.

Tuloksia tarkastellessa lähtökohtana on, että parhaan raaka-ainekatteen ja käyttösuhteen tulisi osua tukkiluokan rajojen sisäpuolelle. Toisin sanoen tukki pitäisi olla mitoitettu niin että sahattava asete antaa parhaan mahdollisen arvon kyseisestä asetteesta. Myös kannattavuuden kuvaajan muodot analyysityökalussa vaikuttavat siihen miten tukkiluokan rajat tulisi asettaa. Huomioitavaa on myös se miten monta asetetta tukkiluokasta sahataan. Jos asetteita on useita, esimerkiksi 3 kpl yhtä tukkiluokkaa kohden, kuten kuvassa 25, on silloin tehtävä kompromisseja ja priorisoitava luokkarajat sahausmäärien mukaan.

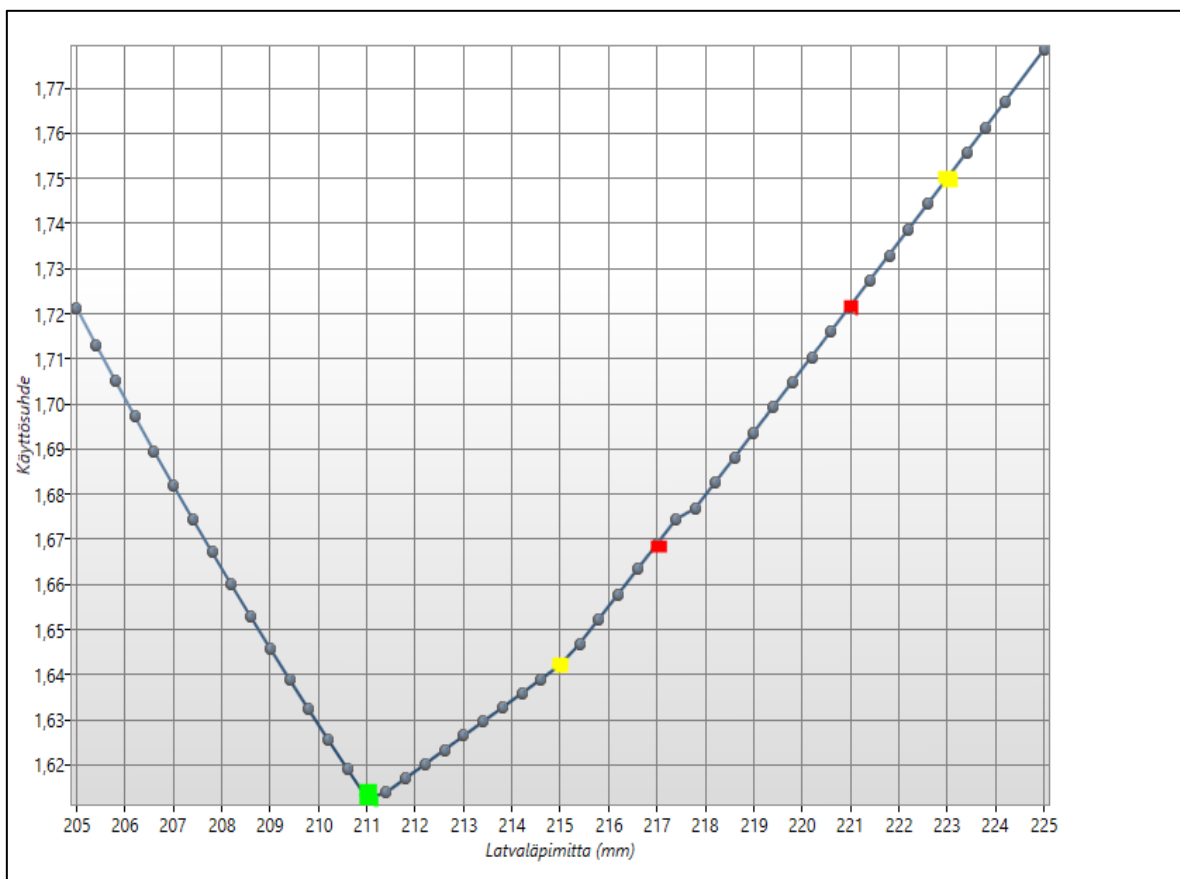


Kuva 25. Sawing Decision Maker, analyysityökalu (Sawing Decision Maker - Asetesimulaattori 2021)

### Asetteen paras käyttösuhte latvahalkaisijassa

Kuvassa 26 on mukailtu SDM-asetesimulaattorin analyysityökalun kuvaa. Kuvassa on erään tukkiluokan latvahalkaisijan ala- ja yläraja 217–221 mm korostettuna punaisella. Keltaiset korostukset ovat 2 mm päässä näistä latvahalkaisijan rajoista. Vihreä korostus kuvaa parasta käyttösuhdetta, joka saavutetaan 211 mm kohdalla. Kuvasta voidaan päätellä että

asete tulisi sahata pienemmästä tukista parhaan käyttösuhteen saavuttamiseksi. Kuva 26 edustaa tutkimustyön olennaista osaa, jossa selvitettiin asetteiden kannattavuuden osu- mista tukkiluokkien halkaisijarajoihin. Asetteiden kannattavuutta tutkittiin käyttösuhteen ja raaka-aine katteen avulla.



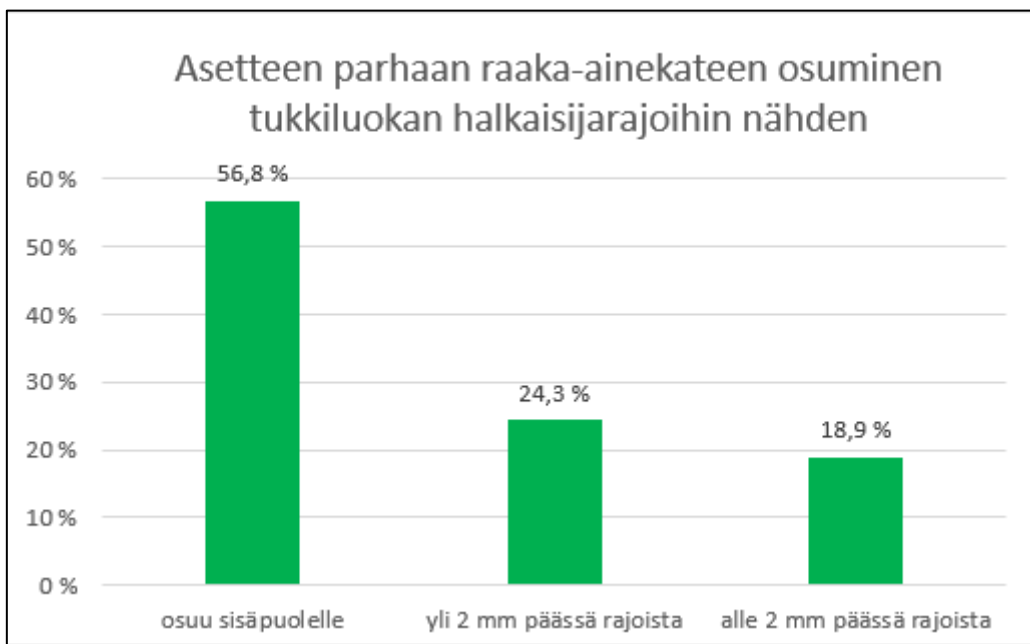
Kuva 26. Sawing Decision Maker, analyysityökalua mukailtuina. Tukkiluokan ala- ja ylärajat korostettuna punaisella värillä, paras käyttösuhde vihreällä värillä. (Sawing Decision Maker - Asetesimulaattori 2021)

### Asetteiden raaka-ainekatteet ja tukkiluokat

Taulukossa 1 on esitetty prosentuaalisesti miten asetteet jakaantuivat parhaan raaka-aine- kатteen suhteen tukkiluokassa simuloinnin perusteella. Taulukossa 56,8 % asetteista to- teuttaa parhaan raaka-ainekatteensa tukkiluokan latvahalkaisijan läpimittarajojen sisäpuo- lella. Maksimissaan 2 mm päässä, ulkopuolella rajoista on 18,9 % asetteista. Yli 2 mm päässä ulkopuolella tukkiluokan rajoista on 24,3 2 millimetrin etäisyys rajoista on tutkimuk- sessa käytetty tulkinta hyvin lähellä rajaa olevista osumista.

Parhaat asetekohtaiset raaka-ainekatteet osuvat tukkiluokkiin, tai niin että ne ovat 2 mm päässä, noin 75 prosenttisesti. Noin neljännes asetteiden parhaista raaka-ainekatteista jää

oman tukkiluokansa ulkopuolelle. Ulkopuolelle jäämisen syinä voivat olla tukkien laadulliset ja määrälliset tavoitteet, joihin tutkimus ei ottanut kantaa.

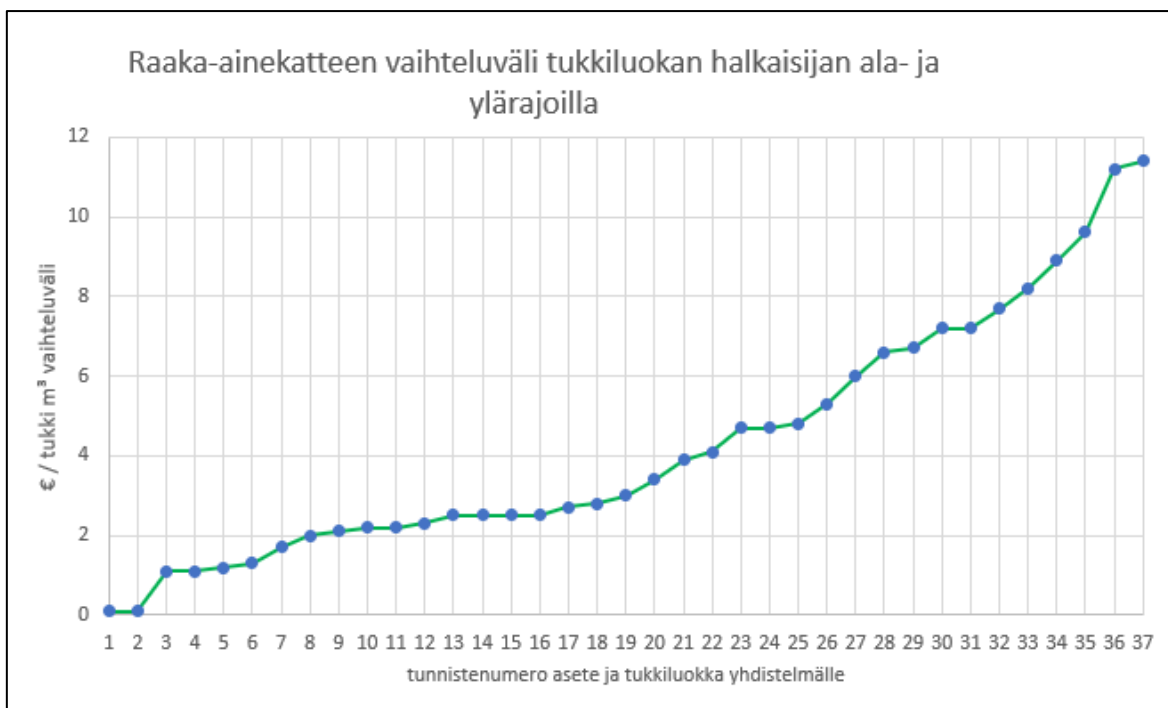


Taulukko 1. Parhaan raaka-ainekatteen osuminen tukkiluokan halkaisijarajoihin nähden

### **Raaka-ainekatteen vaihteluväli tukkiluokassa**

Taulukossa 2 on esitetty raaka-ainekatteen ero tukkiluokan ala- ja ylärajalla. Asetteet on lajiteltu x-akselille tuloksen mukaan nousevasti. Raaka-ainekate voi kuitenkin olla korkeimmillaan tai alimmillaan jossain eri kohdassa kuin luokkarajojen päätepisteissä. Yleensä suuri vaihtelu raaka-ainekatteessa voi johtua tukkiluokan suuresta leveydestä tai siitä, että paras raaka-ainekate ei osu luokkarajojen sisäpuolelle ollenkaan. Lisäksi asetteen geometria ja miten lautamalli muuttuu tukkiluokan halkaisijan myötä vaikuttavat asiaan. Taulukosta 2 voidaan nähdä, että asetteella 37 raaka-ainekatteiden ero tukkiluokan pienimmän ja suurimman tukkihalkaisijan välillä on noin 11 euroa/t-m<sup>3</sup>.

Leveä tukkiluokka eli latvahalkaisijan sallittu minimi ja maksimi ovat kaukana toisistaan voi johtua useasta eri seikasta. Esimerkiksi kyse voi olla suurista tukeista, joita tulee sahalle vähän. Kertymän aikaansaamiseksi tukkiluokkarajat pitää levittää laajaksi esimerkiksi 25 mm leveäksi. Myös halutunlaisen sisälaadun tarve voi vaatia luokkarajojen levittämistä. Raaka-ainekatetta voidaan parantaa muuttuvalla asetteella esimerkiksi antamalla sahalinjan optimoinnin tehdä vahvempia tai useampia lautoja tuokin halkaisijan ylärajaa lähestyttäessä. Yleensä muuttuva-asetteisuus lisää tukkiväliä, joka näkyy siten käyttöasteen huononumisena.

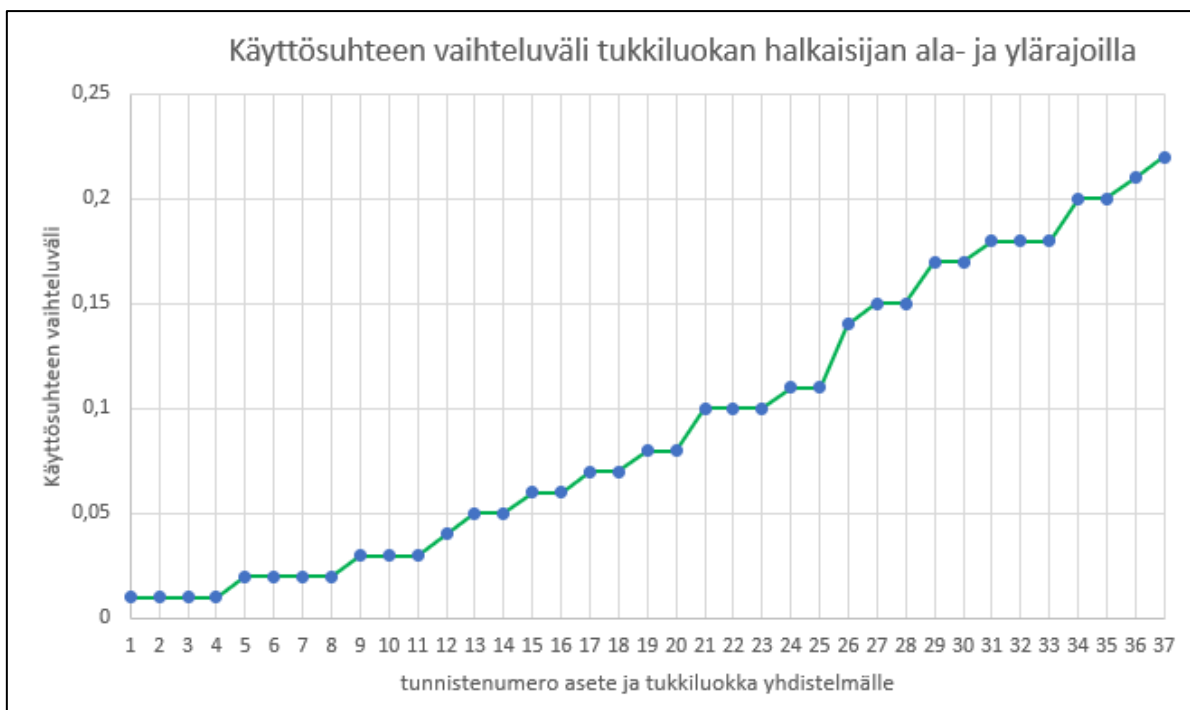


Taulukko 2. Raaka-ainekatteen vaihteluväli luokkarajoissa

### Käyttösuhteen vaihteluväli tukkiluokassa

Taulukossa 3 on esitetty raaka-aineen käyttösuhteen ero tukkiluokan ala- ja ylärajalla. Asetteet ovat järjestetty x-akselille tuloksen mukaan nousevasti. Käyttösuhte voi kuitenkin olla parhaimmillaan jossain muussa kohdin kuin luokkarajojen päätepisteissä. Suuri vaihtelu käyttösuhteessa voi johtua tukkiluokan suuresta leveydestä tai että paras käyttösuhte ei osu luokkarajojen sisäpuolelle ollenkaan. Käyttösuhte noudattelee samaa trendiä kuin raaka-ainekate. Taulukossa 3 asetteen 37 käyttösuhteen vaihtelu tukkiluokan pienimmän ja suurimman tukkihalkaisijan välillä on 0,22. Käyttösuhteen ero 0,22 on suuri. Se tarkoittaisi 1000 kuution sahatavaraerässä 220 kuution raaka-aineen lisätarvetta.

Käyttösuhte on raaka-aineen tilavuussaanto. Tukiin ollessa liian suuri suhteessa sahattaviin kappaleisiin on käyttösuhte silloin myös liian suuri. Suuri vaihtelu tukin latvahalkaisijassa johtaa käyttösuhteen huononemiseen ellei muuttuva-asetteisuus pysty kasvattamaan sahattavien kappaleiden kokoa tai määrää samassa suhteessa. Lautamallien kasvattaminen muuttuva-asetteisesti oli ER-Sahalla mahdollista rajauksin. Jakosahan lautamallit simuloitiin muuttuvina ja pelkkasahan kiinteävahvuksina. Keskitavaran muutoksia ei simuloitu eikä käytännössä sahattu.

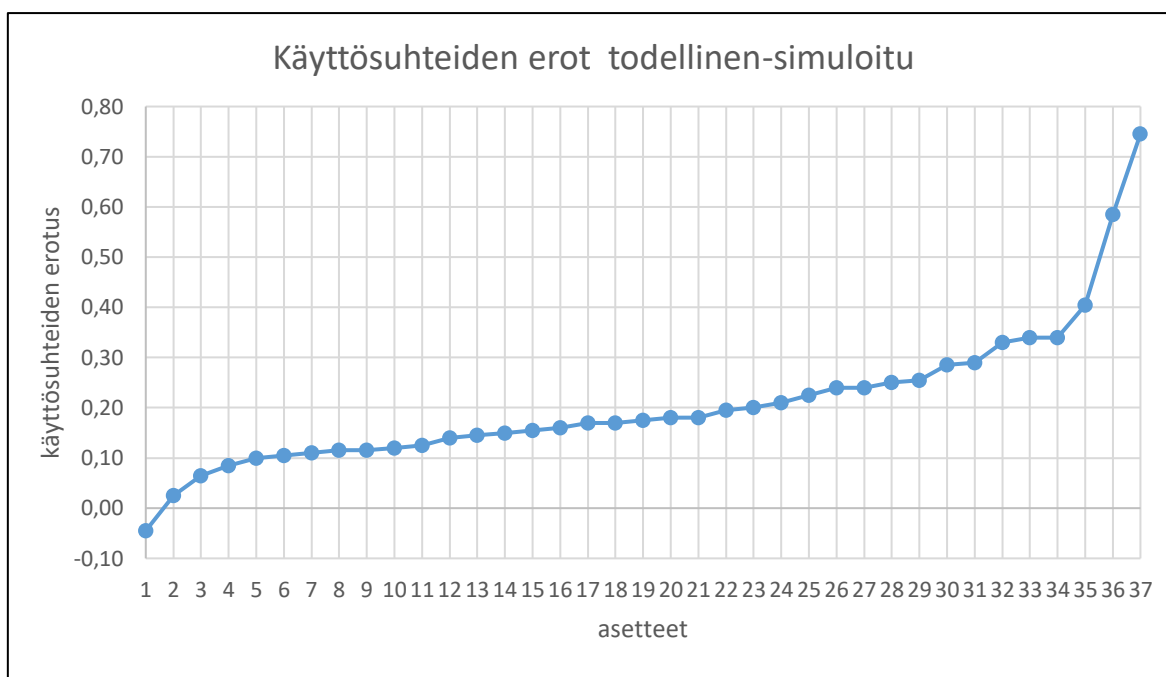


Taulukko 3. Käyttösuhteen vaihtelu luokkarajoissa

### Käyttösuhteiden erot simuloidun ja mitatun välillä

Taulukossa 4 kuvataan todellisen eli mitatun käyttösuhteen ja simuloidun eroja. Asetteet ovat järjestetty tuloksien mukaan nousevasti x-akselilla. Todellisten ja simuloitujen painotamattomien keskiarvojen ero on 0,21. Erot johtuvat lähtötietojen tarkkuudesta, lautamallien eroista, sahatavaran mittatarkkuudesta sekä muista mahdollisista prosessin virheitoiminoista. Sahan tulokseen vaikuttaa moni asia ja tässä tutkimuksessa sitä ei ole tutkittu tarkemmin.

Sahatavaran mittatarkkuus vaikuttaa käyttösuhteeseen. Ylimitan sahaaminen esimerkiksi varmuuden vuoksi on mahdollista. Ylimitalla voidaan kompensoida teristä johtuvat huojunnat, jotka voisi johtaa esimerkiksi alimitan syntymiseen. Asetteiden lautamallit voivat olla käytännössä erilaiset kuin simuloinnissa käytetyt mallit. Syitä eroihin voi olla linjaston kapasiteetti tai pelko huonoista laudoista. Käyttöasteen pitäminen korkealla tasolla vaarantuu jos hyvin huonoja lautoja syntyy häiritsemään tuotantoa. 100 mm korkean pelkan pelkka-sahausvaiheen lautojen pois jättäminen antaa noin 0,5 huonomman käyttösuhteen ollen noin 2,5.



Taulukko 4. Käyttösuhteiden erot simuloidun ja mitatun välillä

### Soveltuvuus opetuskäyttöön

Puuteollisuuden ammattitutkinnon sahateollisuuden osaamisalan koulutukset toteutetaan pääasiassa oppisopimuksena. Opiskelussa pääpaino on työssäoppimisessa mitä täydennetään teoriaopinnoilla. Teoriaopinnoissa opiskellaan mm. raaka-aineeseen ja prosessiin liittyviä asioita. Opetusta tukee ja opiskelijoille asioita havainnollistetaan esimerkiksi animaatioilla ja simulointiohjelmissa.

SDM-asetesimulointiohjelman visuaalinen ulkonäkö on selkeä ja yksinkertainen. Esimerkiksi kuvat asetteista sekä analyysityökalujen kuvaajat ovat nopeasti selostettavissa ja opiskelijoiden helppo ymmärtää myös vähäisellä pohjaosaamisella. Analyysityökalujen käyttömahdollisuus poistaa taulukoinnin ja niiden pohjalta tehtävien kuvaajien tarvetta. (Suutala 2021.)

Ohjelmassa olevan sivulautaoptimoinnin kautta voidaan havainnollistaa muuttuva-asetteisyyttä sekä parasta lautamallia kiinteäasetteisessä sahauksessa. Sivulautaoptimoinnin kautta voidaan tuoda hyvin opiskelijoille esille näiden kahden tavan eroa ja vaikutusta sahauksen kannattavuuteen. Samassa näkymässä voidaan seurata samalla tuottolaskelmassa tapahtuvia muutoksia sahatavaran ja sivutuotteiden arvossa. Analysointityökalut auttavat ymmärtämään asetteen saannon merkitystä sahaukseen kannattavuuteen. (Suutala 2021.)

Opettajan näkökulmasta ohjelman perustoiminnot ovat helposti opittavissa ja käyttöönotettavissa. Syvällisempi ohjelman osaaminen edellyttää aktiivista käyttämistä. Käyttäjällä on oltava riittävä osaaminen simuloinnista ja kannattavuutta kuvaavista arvoista. Tämä on tärkeää, jotta voi varmistua, että ohjelma laskee juuri haluttuja asioita. (Suutala 2021.)

## 6 Kehitysehdotukset

Simulaattorin hyödyntäminen asetteiden suunnittelussa antaa mahdollisuuden tarkastella sahauksen kannattavuutta teoriassa. Simulaattoriin voi liittää lisäosia, jotka tuovat mahdollisuuden ottaa käyttöön tuotehintaoptimoinnin, tuotantokustannukset ja sahaustuotannon tehon.

Simuloinnin perusteella asetteiden lautamalleja tulisi tarkastella ja tehdä niistä testiajoja tuotannossa. Tukkiluokkien läpimittarajoja olisi myös syytä tarkastella. Uuden tukkilajitteluinvestoinnin myötä tukkiluokkien määrän kasvattaminen on mahdollista lokeromäärien lisääntymisen ansiosta. Leveät tukkiluokat olisi mahdollista jakaa useampaan kapeampaan tukkiluokkaan.

Simulointi perustuu teoreettisiin arvoihin ja siten kehitysehdotuksena on myös tuotantoprosessin tarkastuksien lisääminen ja kontrollointi. Olisi tärkeä tietää mikä estää teoreettiset lautamallit asetteissa ja miksi tarvitaan suurempia tukkeja kuin simuloidut tukkihalkaisijat.

Sahalinjassa oleva muuttuva-asetteisuus on erinomainen ominaisuus. Asetemuutosten tekeminen tukkivälissä parantaa saantoa merkittävästi. Hitaudet tukkivälissä tapahtuvassa asetteen vaihdossa ja siitä johtuva pitkä tukkiväli olisi hyvä tutkimuskohde. Tuoretuotanto on suuri kokonaisuus ja tuotannon pullonkaulat ovat helpointa tai jopa pakko ratkaista vähentämällä asetteiden lautamääriä. Lautamallien optimoinnilla ja määrien lisäämisellä saadaan teoriassa parannusta saantoon ja tuotantomääriin.

Ammatillisen koulutuksen opetuskäytössä SDM vaikuttaa hyvältä työkalulta. Periaatteet opetuskäytössä ovat samat kuin teollisessa tuotannonsuunnittelussa. Molemmissa tapauksissa halutaan tietää asetteen kannattavuus ja mitkä seikat siihen vaikuttavat. Kehitysehdotus opetuskäytössä onkin ohjelmiston käyttöönotto täysimääräisesti ja yhteistyössä laite-toimittajan kanssa kehittää sitä tarpeen mukaan. Erityisesti ohjelmapäivitysten käyttöönotto on tärkeää ylläpitävää toimintaa.



## 7 Yhteenveto

Tutkimus vastasi tutkimuskysymyksiin. ER-Sahan kuusituotanto simuloitiin ja tulokset olivat uskottavia. Simulaattori soveltui myös opetuskäyttöön. Simulointitulokset ovat hyödynnettävissä asetesuunnittelussa.

Simulointien tuloksina saatiin kaikkien ER-Sahan kuusiasetteiden raaka-aineen käyttösuhteet ja raaka-ainekatteet. Tulokset paljastivat tukkiluokkien teoreettisen sopivuuden asetteisiin ja toisaalta lautamallien hyödyntämisen mahdollisuudet asetteissa. Muuttuva-asetteisuuden edut tuli myös esille tutkimuksessa.

Sahausasetteiden sopivuus tallentui simulaattoriin. Jokaisen asetteen kohdalla on nähtävissä käyttösuhteen ja raaka-ainekatteen lisäksi soveltuvuus tai sopimattomuus tukkiluokkaan, josta asete on sahattu. Jokaiselle asetteelle simuloitiin paras tukin halkaisija raaka-ainekatteella mitattuna. Halkaisijaa verrattiin tukkiluokan halkaisijaväliin. Tuloksissa esiintyi tapauksia, joissa paras halkaisija ei osunut tukkiluokan alueelle. Asetteen kannattavuuskäyrä SDM-analyysityökalussa on kaareva. Kannattavuus paranee tiettyyn pisteeseen kunnes kannattavuus alkaa heikentyä. Kuvaajan kaarevuuteen vaikuttaa asetteen mahdollisuus muuttua sahauksen aikana tukkiluokan muutoksien mukana. Jos asete on määritetty muuttuvaksi niin silloin kannattavuuden heikentyminen on käyrältä katsottuna loivempaa. Toisin sanoen jos asetteen laudat saavat vahventua tukin vahvenemisen mukaisesti niin kannattavuus säilyy pidempään hyvänä. Tukkiluokan leveyden haittavaikutukset tulivat myös esiin simuloinnissa. Simulointi tukkiluokan latvahalkaisijan ala- ja ylärajalla osoitti tunnusluvuissa suurta vaihtelua tukkiluokan ollessa leveä. Lautamallien muutokset vaikuttivat tunnuslukuihin myös merkittävästi. Simuloituja käyttösuhteita verrattiin käytännössä mitattuihin. Osalla asetteista erot olivat suuria, mutta myös samansuuntaisia tuloksia havaittiin.

Tutkimuksessa onnistuttiin saamaan selkeitä tuloksia, mutta myös lähtötietojen tarkennuksien tarpeet tulivat esille. Tukkien hintataulukko oli hyvin tarkka eli halkaisijan mukaan hinnoiteltu tukkiraaka-aine kohtasi tarkasti asetteen. Simuloitavat tukkiluokat perustettiin keskipituuden ja keskikartiokkuuden mukaan. Poikkeamia tuloksiin olisi syntynyt enemmän jos tukkiluokkakohtaiset pituudet ja muut geometriset ominaisuudet olisi onnistuttu tarkentamaan tarkemmin. Tuotteiden eli sahatavaroiden hinnat olivat keskihintoja sahattaville dimensioille. Tasaus ja laatukatkaisu olivat myös keskiarvoistettu tuotetaulukossa. Tuotteiden laatujauma ja laatukatkaisun tarkentaminen olisi tuonut muutoksia tuloksiin. Simuloinnista on kuitenkin hyvä todeta, että tulokset ovat vertailukelpoisia toisiinsa nähden ja antaa selkeät suuntaviivat jatkokehitykselle.

SDM-asetesimulaattorissa on lisäosia, joita ei simuloinnissa käytetty. Tärkeää oli saada selkeä käsitys simulaattorin toiminnasta sekä selkeät tulokset ilman liiallista tarkkuutta. Jatkokehityksenä olisi mahdollista tehdä tarkempaa simulointia tietyille tämän tutkimuksen tuloksien perusteella valituille asetteille. Asetteiden simulointi on jatkuvaa kehittämistä ja parantamista. Tuotannon tukkiraaka-aine muuttuu ajan kuluessa ja erilaiset asiakasvaatimukset asettaa rajapintoja tukin ulkoiselle ja sisäiselle laadulle. Raaka-aineessa tapahtuvat muutokset muuttavat asetteen kannattavuutta. Pelkästään kartiokkuuden tai pituuden muutos voi aiheuttaa merkittäviä parannuksia tai heikennyksiä käyttösuhteessa ja raaka-ainekatteessa. Tukkiluokan ja asetteen muuttuminen ajan kuluessa erilaisten raaka-aineen ja tuotannon muutoksien paineessa voi viedä siltä kannattavuuden. Onkin hyvä seurata tuotannon tuloksia jatkuvasti ja reagoida niihin esimerkiksi simuloimalla uudelleen, selvittäen mikä aiheutti muutoksia ja miten niihin voisi vaikuttaa.

Yleisesti voidaan todeta, että raaka-aineen käytösuhde ja raaka-ainekate ovat edelleen tärkeitä ja hyvin kuvaavia tunnuslukuja sahauksen kannattavuudelle. SDM-simulaattorissa nämä ovat hyvin esillä. Lisäksi simulaattorilla on mahdollista tutkia myös tuotannon tehoa asettamalla asetteelle parametri tukkia tunnissa ja simulaattori laskee tuntikohtaisen tuoton euroissa. Simuloinnissa tätä ominaisuutta ei käytetty. ER-Sahan ylempi seurantajärjestelmä mittaa sahausasetteiden tehot ja kannattavuuden huomioiden myös tuotantokustannukset. SDM-simulaattorin analyysityökalut olivat tutkimuksen kannalta tärkeässä roolissa. Analyysityökaluilla oli mahdollista tarkastella asetteiden saantoa ja arvoa kuvaajan käyrältä. Kuvaaja näytti asetteen kannattavuuden graafisesti. Lisäksi kuvaajan käyrän arvopisteitä klikkaamalla sai asetteen kuvan ja tunnusluvut näkyviin. Analyysityökalun käyttö tällä tavalla oli tutkimuksen kannalta erittäin tärkeä tekijä.

Simulaattorin vahvuutena voidaan pitää selkeää parametrisointia ja hyviä analyysityökaluja. Ominaisuuksille on käyttöä niin teollisessa tuotannon simuloinnissa kuin opetustarkoituksessa tehdyissä harjoituksissa. Tutkimuksen aikana SDM-simulaattoriin tuli muutamia ohjelmistopäivityksiä ja joitakin ohjelmavirheitä sekä myös käyttövirheitä esiintyi tutkimuksen aikana. Kråkfors Forest Products korjasi kaikki viat ja oli tiiviissä yhteistyössä asiakkaan kanssa. Simulaattorilla löydettiin useita sahausasetteisiin ja tukkiluokkiin liittyviä asioita, joilla on suora vaikutus sahan kannattavuuteen. Tutkimus tukee ER-Sahan kehitystä ja antaa vihjeitä parannuskohteista. Tutkimus tuotti useita jatkotutkimusehdotuksia.

## Lähteet

- ER-Saha. 2021. Viitattu 7.4.2021. Saatavissa <http://www.ersaha.fi/index.php/fi/>
- Heinolan Sahakoneet. 2019. Sahalinjat. Viitattu 11.4.2021. Saatavissa [https://www.heinolasm.fi/wp-content/uploads/2019/05/HSM\\_sahalinjat\\_esite\\_FIN\\_netti.pdf](https://www.heinolasm.fi/wp-content/uploads/2019/05/HSM_sahalinjat_esite_FIN_netti.pdf)
- Jyväskylän yliopisto. 2015. Määrällinen tutkimus. Viitattu 2.4.2021. Saatavissa <https://koppa.jyu.fi/avoimet/hum/menetelmapolkuja/menetelmapolku/tutkimusstrategiat/maarallinen-tutkimus>
- Kråkfors Forest Products. Sawing Decision Maker. Viitattu 2.4.2021. Saatavissa <https://www.sawingdecision.com/krakfors>
- Kärkkäinen, M. 2007. Puun rakenne ja ominaisuudet. Hämeenlinna: Karisto Oy.
- Merivuori K. 2017. Suomen sahateollisuus 2000-luvulla ja sen merkitys kansantaloudessa. Teoksessa Varis, R. (toim.) Sahateollisuus. 2. painos. Helsinki: Suomen Sahateollisuusmiesten Yhdistys ry, 18–36.
- Mittaus ja laatu. 2018. Metsätehon opas. Melkas, T. (toim.) Viitattu 14.4.2021. Saatavissa <http://puuhuolto.fi/mittaus-ja-laatu/mittaus-maastossa/puutavarapolkkyjen-mittaus/havutukkien-mittaus-latvasta/>
- Nylinder, M. & Fryk, H. 2015. Timmer. Uppsala: Wikströms Tryckeri AB 2015.
- Ojala, J. 2017. Tukkien lajittelu. Teoksessa Varis, R. (toim.) Sahateollisuus. 2. painos. Helsinki: Suomen Sahateollisuusmiesten Yhdistys ry, 65–72.
- Pohjoismainen sahatavara - Lajitteluohjeet. 2020. Helsinki: Suomen Sahateollisuusmiesten Yhdistys ry; Svenskt Trätekniskt Forum.
- Ropilo, J. & Kauppinen, T. 2017. Sahausprosessi tukista sahatavaraksi. Teoksessa Varis, R. (toim.) Sahateollisuus. 2. painos. Helsinki: Suomen Sahateollisuusmiesten Yhdistys ry, 83–105.
- Sawing Decision Maker – Asetesimulaattori. 2021. Kråkfors Forestry Products 2015-2020. Simulaattori Versio 1.3.81.0. Päivitetty 2.5.2021.
- Sawing Decision Maker – Manual. Kråkfors Forest Products. Document Version: 2B
- Sipi, M. 2002. Puutuoteteollisuus 5 Sahatavaratuotanto. 2. täydennetty laitos. Helsinki: Opetushallitus.

Suutala, K. 2021. Lehtori. Jyväskylän Gradia. Haastattelu 12.4.2021.

Säteri, P. 2021. Tuotantojohtaja. ER-Saha Oy. Haastattelu 26.3.2021.

Virtanen, S. 2017. Sahan tuotannonsuunnittelu. Teoksessa Varis, R. (toim.) Sahateollisuus. 2. painos. Helsinki: Suomen Sahateollisuusmiesten Yhdistys ry, 59–64