

Kevyen ja siirrettävän kenttäsaahan tuottaminen ja testaus

Eetu Kanerva

Joonas Hyrsky

Käsityökasvatuksen Pro gradu -tutkielma

Helmikuu 2018

Turun yliopisto, Rauman kampus

Turun yliopiston laatujärjestelmän mukaisesti tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck -järjestelmällä.

TURUN YLIOPISTO

Opettajankoulutuslaitos, Rauman kampus

HYRSKY, JOONAS & KANERVA, EETU:

Kevyen ja siirrettävän kenttäsahan tuottaminen ja testaus

Pro gradu -tutkielma, 105 sivua, 14 liitesivua ja tuote

Käsityökasvatus

Helmikuu 2018

Tämän tutkielman tarkoituksena on luoda laatutavoiteteoreema kevyelle ja siirrettävälle kenttäsahalle. Tarve uuden tuotteen luomiseen lähti tutkijoiden omasta tarpeesta, sillä haluttuja vaatimuksia täyttäviä tuotteita ei ollut tutkielman tekemisen aikaan saatavilla. Tutkielmassa luotiin kenttäsahalle uniikki laatutavoitekriteeristö. Laatutavoiteteoreeman todistamiseksi suunniteltiin ja valmistettiin tuote sekä suoritettiin tuotetestaus.

Tutkimus on tutkivan tuottamisen metodilla suoritettu laadullinen tutkimus. Kevyen ja siirrettävän kenttäsahan valmistuksen ja testauksen tieteelliseksi tutkimiseksi tuottavan tutkimisen tutkimusotteella määriteltiin sekä teoreettinen että empiirinen tutkimuskysymys. Teoreettinen tutkimuskysymys on johdettu suoraan tutkimuksen taustateoriasta ja empiirinen tutkimuskysymys pohjautuu taustateoriasta johdettuihin laatutavoitteisiin. Teoreettinen tutkimuskysymys on: Miten laatutavoitteiston mukaisen kevyen ja siirrettävän kenttäsahan valmistus onnistuu käsityönaineenopettajan koulutuksen antamin edellytyksin? Empiirinen tutkimuskysymys on: Miten kevyt ja siirrettävä kenttäsaha toimii käyttöympäristössään? Tutkimusaineisto on kerätty suorittamalla mittauksia sekä keräämällä subjektiivisia arvioita sahalaitosta käyttäneiltä ja käyttöä observeineilta henkilöiltä.

Tutkielman tuloksena tuotettiin kevyt ja siirrettävä kenttäsaha. Yhden henkilön käytettävyyden, kuljetettavuuden ja turvallisuuden osalta laatutavoitteisto täyttyi. Kokoamisajan sekä tuotettavan sahatavaran mittatarkkuuden osalta ei tavoitettu laatutavoitteiston vaatimuksia. Saatujen tuloksien perusteella tehtiin pieniä muutoksia sahakelkan rakenteen jäykistämiseksi. Silti tutkielmassa tuotettu tuote on edelleen prototyypituote. Tutkimustuloksista nousi esiin jatkokehityskohteita. Näitä ovat tukin siirto sahalaitoksen päälle, tukin kiinnikkeet, sahan kaasun pikakiinnitys sekä sahalaitoksen kokoamista ja käyttökuntoon saattamista helpottavat ratkaisut.

Asiasanat: kenttäsaha, sahatavara, moottorisaha, tutkiva tuottaminen, laadullinen tutkimus, käsityötaju, käsityökasvatus

Sisällys

1. Johdanto	4
2. Tutkimusmenetelmä.....	6
3. Määrittelyteoreettinen osa.....	9
3.1 Taustateorian ja laatutavoiteteoreeman määrittely.....	9
3.1.1 Kenttäsahan määrittely.....	11
3.1.2 Puumateriaali, sahatavaralajit ja laatuluokitukset.....	15
3.1.3 Käyttäjäperusta.....	20
3.1.4 Käyttökohteen perusta.....	22
3.1.5 Käsityöperusta ja työperusta	23
3.1.6 Materiaaliperusta, muotoperusta ja rakenneperusta	24
3.1.7 Turvallisuusperusta	26
3.1.8 Ekologinen perusta.....	27
3.1.9 Laatutavoitteiden määrittely.....	27
3.2 Tutkimuskysymykset	29
3.3 Tutkimusmittarien operationalisointi	30
3.3.1 Sahattavan tukin paksuus	32
3.3.2 Paksuuden säätö	32
3.3.3 Kantavuus.....	33
3.3.4 Käytettävyys yhden henkilön voimin.....	33
3.3.5 Ergonominen käytettävyys.....	33
3.3.6 Syöpymisen kestävyys	34
3.3.7 Sään ja olosuhteiden vaikutus toimivuuteen.....	34
3.3.8 Kuljetuskoko	35
3.3.9 Yksittäisten osien paino	35
3.3.10 Kokoamisaika yksin.....	35
3.3.11 Hinta.....	36

3.3.12 Turvallisuus.....	36
4. Todistamisteoreettinen osa.....	37
4.1 Tuotteen ja sen valmistuksen suunnittelun teoretisointi	37
4.1.1 Suunnittelun teorit	37
4.1.2 Tuotteen suunnittelu piirtämällä	39
4.1.3 Kestävyyden, painon ja kustannusten arviointi.....	39
4.2 Kenttäsahan valmistuksen suunnittelu- ja valmistusryhmät.....	40
4.3 Aineiston kerääminen ja analysointi	70
4.3.1 Kohdejoukon määrittely.....	71
4.3.2 Testauslomakkeiden laatiminen	72
4.3.3 Testaustapahtuma.....	74
4.3.4 Tutkimusaineiston analyysi.....	75
4.4 Vastaus teoreettiseen tutkimusongelmaan	75
4.5 Laatuvaikutusteoreeman testaus eli vastaus empiiriseen tutkimusongelmaan	77
4.5.1 Sahalaitoksen rakenteen tulokset	79
4.5.2 Sahalaitoksen käytettävyyden tulokset	83
4.5.3 Sahalaitoksen turvallisuuden tulokset.....	86
5. Luotettavuusteoreettinen osa.....	88
5.1 Tutkimuksen luotettavuuden arviointi	88
5.2 Tutkimuksen johtopäätökset	92
5.2.1 Laatuvaikutteiden asettelun ja täyttymisen pohdintaa	92
5.2.2 Parannusehdotuksia.....	94
5.2.3 Prosessin suhde opettajuuteen.....	97
Lähteet.....	101
Liitteet	106

1. Johdanto

Tämän tutkielman innoittajana ovat omat käsityön aineenopettajan koulutuksen aikana ilmenneet ongelmat sahatavaran hankkimisessa sopivassa muodossa opiskelijaystävälliseen hintaan. Hyödyntämiskelpoista materiaalia kasvaa omissa metsissä, mutta sen jalostaminen käytettävään muotoon on ollut ongelmallista. Tuntuu välillä haaskaukselta sahata koivua saunan haloiksi, kun saman puun olisi voinut käyttää omiin projekteihin, jos sen olisi voinut saattaa sahatavaran muotoon. Kynnys ostaa omiin projekteihin varsinkin hintavampaa sahatavaraa on ollut korkea. Tästä johtuen hintavampaa ja hankalasti saatavaa materiaalia vaativat puutyöprojektit ovat toisinaan jääneet tekemättä.

Esiin nousi ajatus, miten omaan harrastekäyttöön voisi sahata puutavaraa oman metsän puista. Koska tarve on vähäinen, ei omien puiden sahauttaminen ulkopuolisella sahayrittäjällä ole kannattavaa. Syntyi idea kenttäsaahan valmistamisesta, jolla voisi sahata omaan tarpeeseen sahatavaraa tarvittavassa muodossa. Samalla voisi kokea sen tyydytyksen, jonka voi saada katsellessaan huonekalua, jonka on tehnyt oman metsän puista alusta loppuun.

Lähdimme tutkivan tuottamisen avulla etsimään ongelmaan ratkaisua. Koska tarve omalle puutavaralle ei ole suuri, eikä näin ollen nopeus ja tuottavuus ole tärkeimpiä kriteerejä, päädyimme kehittämään kenttäsaaha, jossa hyödynnettäisiin moottorisaha, jota jo muutenkin tarvitaan metsän hoidossa. Samalla halusimme sahalaitoksen, joka olisi helposti liikuteltavissa ja sillä voisi sahata juuri sen paksuista ja pituista puutavaraa kuin haluamme ja omiin tarpeisiin tarvitsemme.

Tutkimuksessa valmistamme yhden henkilön käytettävän kenttäsaahan. Muodostamme kenttäsahalle tuotekriteerit, joiden pohjalta laadimme laatutavoitteiston ja tälle testusteorian. Teoriamme pohjalta suunnittelemme ja valmistamme tuotteen, jonka jälkeen suoritamme tuotteen testauksen.

2. Tutkimusmenetelmä

Keveyen ja siirrettävän kenttäseuran valmistuksen ja testauksen tutkimus on laadullinen tutkimus, joka toteutetaan tutkivan tuottamisen metodilla. Keveyelle ja siirrettävälle kenttäseuralle luodaan uniikki teoria, joten tutkielma ei voi perustua määrälliseen mittaamiseen, koska mittaamisen pohjaksi ei ole olemassa riittävän yhdenmukaista teoriaa. Tutkielman suorittamiseksi joudutaan soveltamaan eri teorioiden osa-alueita toisiinsa laatutavoitteiden määrittelemiseksi.

Laadullisessa eli kvalitatiivisessa tutkimuksessa pyritään kuvailemaan ja ymmärtämään tutkittavaa ilmiötä mahdollisimman kokonaisvaltaisesti. Tutkimuksen aiheina ovat ihmisten elämäntodellisuudessa esiintyvät ilmiöt, joita ei voi mitata määrällisen eli kvantitatiivisen tutkimuksen keinoin. Laadullisen tutkimuksen aineistoa kerätään laadullisten tutkimusmenetelmien avulla. (Hirsjärvi, Remes & Sajavaara 2015; 161,164) Käytettävien tiedonhankinnan menetelmien tavoitteena on mahdollistaa erilaisten merkitysten ja näkökulmien esiin nostaminen aineistosta ja laadullinen tutkimus pyrkiikin ymmärtämään ihmisten ilmiöille antamia merkityssuhteita (Brannen 2007, 282).

Laadullisen tutkimuksen sisältävien erilaisten tutkimussuuntausten joukosta parhaiten tutkimuksemme suorittamiseen sopii fenomenologia. Fenomenologia pyrkii kuvaamaan ihmisten kokemuksia, mutta sen tarkoituksena ei ole ainoastaan luetella ja kuvata inhimillisiä kokemuksia vaan erotella ja ymmärtää syvällisemmin tutkittavaa todellisuutta kokemusten yleisten rakenteiden selvittämiseksi (Tuomi & Sarajärvi 2009, 14; Miettinen, Pulkkinen & Taipale 2010, 11; Grönfors 1982, 21). Fenomenologia määrittyy yksilön subjektiivisesta kokemuksesta eli ensimmäisen persoonan suhteesta ympäröivään todellisuuteen ja se pyrkii selvittämään todellisuuden rakentumista subjektin intentionaalisessa ja aktiivisessa suhteessa todellisuuteen ja maailmaan (Miettinen ym. 2010, 151). Toisin sanottuna fenomenologinen tutkimus tekee näkyväksi ja tietoiseksi kaiken sen kokemuksen ja tiedon, joita yksilöllä on. Tämän tutkielman tapauksessa kokemus ja tieto on käsityötaju, joka ohjaa tuottamistoimintaa. Tämän tiedon ja kokemuksen olemassaolo on saattanut tottumuksen myötä muuttua itsestäänselvyydeksi tai yksilö voi olla vielä toistaiseksi tietämätön tiedon olemassaolosta eli tieto on tiedostamatonta hiljaista tietoa. (Tuomi & Sarajärvi 2009, 35) Pulkkinen kutsuu tällaista suhdetta ympäröivään todellisuuteen luonnolliseksi asenteeksi. Fenomenologinen tutkimus pyrkii tutki-

musaiheensa kaikenkattavan itsestänselvyyden muuttamiseen ymmärrettäväksi selvyudeksi. (Miettinen ym. 2010; 29,31)

Tutkivassa tuottamisessa on kyse tuottamista ohjaavan uuden tiedon luomisesta sekä sen todistamisesta ja arvioinnista konkreettisen tuottamistoiminnan avulla. Tutkivan tuottamisen tutkimusprosessi jakautuu kolmeen osaan, joita ovat määrittelyteoreettinen, todistamisteoreettinen sekä arviointiteoreettinen osa. (Metsärinne & Kallio 2011, 21)

Tutkivan tuottamisen avulla voidaan tutkia käsityötajua, käsityöteknologiaa että didaktiikkaa (Metsärinne & Kallio 2011, 7). Tutkivan tuottamisen tutkimusprosessin osat ovat samat riippumatta siitä, lähestytäänkö tutkimusta käsityötajun, käsityöteknologian tai didaktiikan kannalta. Sen sijaan tutkimusosien sisältämät vaiheet vaihtelevat suuntauksen mukaisesti (Metsärinne & Kallio 2011; 35, 74).

Tämä tutkielma keskittyy käsityötajun tutkimukseen. Metsärinne ja Kallio mainitsevat käsityötajun merkitsevän päättelykykyä, joka tuottaa ratkaisuja tilanteisiin, joita ei voi rationaalisesti perustella. Tällaisia ratkaisuja ovat tutkivan tuottamisen kohteen rajaaminen, ratkaisuvaihtoehtojen rajaaminen, aietuotteen olemassaolon ehtojen määrittäminen, tuote- ja valmistusteorioiden määrittäminen sekä tuottamistaito eli kätevyys ja välineenhallinta. Kyse on siis käsityöhön kasvun tutkimuksesta (Metsärinne & Kallio 2011; 7, 68-69).

Tässä tutkielmassa keskitymme tutkivaan tuottamiseen deduktiivisen mallintamisen kautta. Deduktiivinen mallintaminen sisältää teoreettisena määrittelynä laatutavoiteteoreeman luomisen sekä laatutavoiteteoreeman pohjalle rakentuvan testiteorian luomisen. Teoreettisia määrittelyjä testataan ja todistetaan tuotteen valmistamisen ja käytön avulla. Lopuksi tutkimuksen luotettavuutta arvioidaan kokonaisuudessaan huomioiden kaikki tutkimuksen vaiheet. (Metsärinne & Kallio 2011, 23)

Tutkiva tuottaminen alkaa määrittelyteoreettisella osalla. Määrittelyteoreettinen osa koostuu tuottamiskohteen ja siihen liittyvän teorian määrittelystä (Metsärinne & Kallio 2011, 35). Määrittelyn taustalla vaikuttava ajatus on tuoteongelman ja välineettömyyden tunteen jäsentäminen kuvailemalla tuottamisen kohdetta järjestelmällisesti. Kuvauksen avulla määritetään välineettömyyden poistavan tuotteen ehdot. Tuote-ehtojen pohjalta määritetään laatutavoitdimensiot sekä -kriteerit sisältävä laatutavoiteteoreema, joka ohjaa tuotteen tuottamisprosessia. Laatutavoiteteoriaan sisältyy tuote-ehtojen lisäksi myös testiteoreema, joka sisältää määritelyjen ehtojen toteutumisen testaamisen kohteet

ja tavat. (Metsärinne & Kallio 2011, 36) Määrittelyteoreettisessa osassa määritetään siis sekä tehtävän tuotteen olemassaolon ehdot että niiden toteutumisen testaaminen käytännössä.

Todistamisteoreettinen osa keskittyy nimensä mukaisesti laatutavoiteteoreeman testaukseen tuottamalla testivälineeksi määrittelyteoreettisessa vaiheessa määriteltyjen kriteerien mukainen tuote. Tähän vaiheeseen kuuluu tuotteen ja valmistuksen teoretisointi ennen varsinaisen valmistuksen aloittamista. Teoretisoinnin pohjalta syntyy tuote- ja valmistusteoreema, jonka toteutumista testataan suunnitelman mukaisella tuottamisella. On tärkeää huomata, ettei tuote- ja valmistusteoreeman testauksessa ole kyse laatutavoitteiden arvioinnista, vaan tuotteen suhteesta suunnitteluteoreemaan (Metsärinne & Kallio 2011, 36). Toisin sanottuna testataan tuotteen tuottamisprosessin teoretisointia.

Tuottamisprosessin teoretisoinnin jälkeen todistamisteoreettisessa osassa testataan laatutavoiteteoreema. Tämä testaus tapahtuu asettamalla valmistettu tuote sen suunniteltuun käyttökohteeseen. Tuotetta käyttämällä saadaan empiiristä tietoa tuotteen toiminnasta, ja tätä tietoa arvioidaan määrittelyteoreettisessa osassa määriteltyjen ehtojen mukaisesti. (Metsärinne & Kallio 2011, 35) Tavoitteena on siis selvittää, vastaako tuote sille asetettuja kriteerejä rakenteen ja toiminnan osalta. Tätä tietoa kutsutaan laatutavoiteteoreeman testauksen tulokseksi (Metsärinne & Kallio 2011, 35).

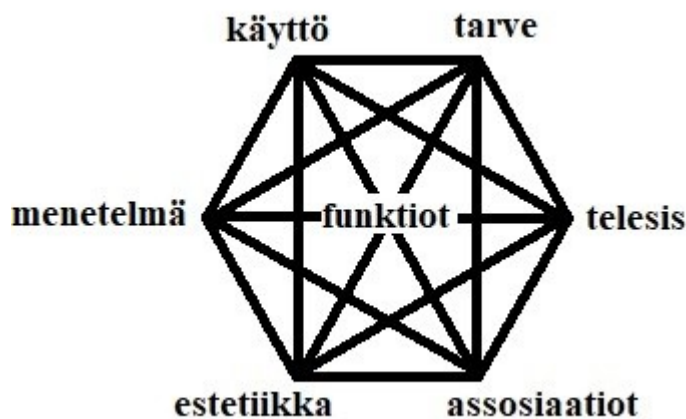
Tutkivan tuottamisen teoriaketjun viimeinen osa on luotettavuusteoreettinen osa. Tässä osassa pohditaan koko tutkimuksen luotettavuutta, jolloin arvioitavaksi tulee jokainen teoriaketjun vaihe. Luotettavuuden arviointi sisältää määrittelyteorian osalta valittujen tutkimusmetodien luotettavuuden sekä tutkimusvaiheiden johdonmukaisuuden ja tutkimusratkaisujen luotettavuuden arvioinnin. (Metsärinne & Kallio 2011, 67)

Todistamisteorian osalta keskeistä on pohtia laatutavoiteteoreeman ja suunnitteluteoreeman väliset ratkaisut, suunnitteluteoreeman ja valmistuksen tulosten vertailu, testiteoreemassa määriteltyjen empiirisen tiedon hankintamenetelmien luotettavuuden arviointi sekä tuotetta käyttämällä saadun empiirisen tiedon luotettavuuden arvioiminen. Tutkimuksen luotettavuuden kannalta testiteorian vaiheiden tulisi niveltä luontevasti toisiinsa ja viimeiseksi arviointitehtäväksi jääkin todistamisteorian vaiheiden toisiinsa kytkeytymisen luotettavuuden arviointi. (Metsärinne & Kallio 2011, 67)

3. Määrittelyteoreettinen osa

3.1 Taustateorian ja laatutavoiteteoreeman määrittely

Kenttäsahan valmistuksen määrittelyn kannalta tarpeellisten tietojen analysointiin käytettiin apuna Victor Papanekin esittämää tuotteen funktioanalyysin kuutiomallia. Kyseisessä tuotteen funktiokokonaisuuden mallissa tuotteen funktiot on jaettu kuuteen eri funktioon. Papanekin määrittämiä tuotteen funktioita ovat käytön, tarpeen, menetelmän, esteettisyyden, assosiaatioiden sekä telesiksen funktiot. Nämä funktiot ovat yhteydessä toisiinsa, mitä kuvaa kuutiomallin havainnekuvan funktioita yhdistävät janat. (Anttila 1993, 147 - 148)



Kuvio 1. Papanekin funktiomallin havainnollistus mukailten Anttila (1993, 148).

Tämän tutkielman osalta tuotefunktioiden analyysiä edustaa tutkielman taustateoria ja siitä johdettavat laatutavoitekriteerit ja -dimensiot. Teknistä toteutusta edustaa tuotteen valmistusprosessin määrittely.

Edellä esitetyn funktioanalyysin käyttöfunktio keskittyy käyttäjän näkökulmaan ja käyttötarkoituksen näkökulmaan. Papanek esittää käyttöfunktion kuvailussaan lyhyen ja ytimekkään kysymyksen: ”Toimiiko se?” (Papanek 1973, 29). Käyttöfunktion analyysissä siis kiinnitetään huomiota tuotteen toiminnallisuuteen ja tarkoituksenmukaisuuteen. Esteettinen designtuote ei välttämättä ole toimivin käyttötarkoituksessaan ja toisi-

naan tuotteen ulkonäön suunnittelu ajaa tuotteen toiminnallisuuden ohi. Käyttöfunktion tarkastelu keskittyy lyhyesti ilmaistuna tuotteen toiminnallisuuden tarkasteluun.

Tarvefunktio vastaa kysymyksiin, miksi tuote on suunniteltu tai mitä tarpeita se toteuttaa (anon 2018a). Ollakseen hyödyllinen tuotteen tulisi vastata sille asetettuun tarpeeseen eli johonkin välineettömyyden tunteeseen. Tarvefunktio voidaan jakaa pienempiin osiin, joista kentäsahan tapauksessa relevantteja ovat turvallisuuden tarve, mukavuuden tarve sekä toiminnan tarve.

Turvallisuuden tarve voi liittyä esimerkiksi ihmisen tunteeseen järjestelmien ja teknologian hallinnasta. Mukavuuden tarve sisältää ajatuksen tuotteen miellyttävästä ja helposta käytöstä sekä ergonomisuudesta. Toiminnan tarpeen täytyminen merkitsee tuotteen tarjoavan käyttäjälleen uusia kokemuksia, elämyksiä tai onnistumisen tuomaa mielihyvää. (anon 2018a)

Telesisfunktio liittyy tuotteen suunnittelun ja tuottamisen aikakauteen sekä sen vaikutuksiin tuotteeseen. Jokainen tuote heijastaa omaa aikakauttaan sekä olosuhteita, jotka ovat luoneet tarpeen tuotteelle. Telesisfunktioon liittyy vaatimus tuotteen soveltuvuudesta käyttöympäristönsä sosioekonomiseen järjestelmään. Tuotetta ei siis voi siirtää alkuperäisen käyttöympäristönsä ulkopuolelle rikkomatta sen alkuperäistä funktiota (Papanek 1973; 32, 34).

Assosiaatiofunktio eli tuotteen käyttäjälle syntyvät mielleyhtymät ovat haasteellinen aihe tuotesuunnittelussa. Usein tuotesuunnittelussa on sivuutettu todellinen käyttäjäryhmän arvostusten kartoitus ja analysointi. Tästä huolimatta jokaiseen tuotteeseen liittyy arvoja, joiden assosiatiiivisuus on saavutettu joko täysin sattumalta tai tietoisien suunnittelun tuloksena. (Papanek 1973, 34-35) Tietoisessa assosiatiiivisuuden tavoittelussa tavoitteena on luoda myönteinen vuorovaikutus suunniteltavan tuotteen ja käyttäjän välille.

Estetiikan käsite on monitahoinen eikä se sisällä vain pinnallisia ulkonäköpiirteitä. Tuote-estetiikkaan voidaan lukea kuuluvaksi kaikki tuotteeseen ja sen laatuun myönteisesti vaikuttavat suunnittelutekijät. (anon 2018a) Estetiikkaa ei kuitenkaan tule sekoittaa menetelmän tai käytön funktioihin, vaikka ne ovatkin yhteydessä toisiinsa kaikessa suunnittelussa.

Kentäsahan tapauksessa estetiikan osa-alue on merkitykseltään vähäisin funktioanalyysin osa-alue, mutta sitä ei kuitenkaan voida sivuuttaa analyysissä. Kuten aiemmin to-

tesimme, kaikki Papanekin funktioanalyysin osa-alueet ovat yhteydessä toisiinsa ja siksi tutkielman puitteissa tuotettavan produktin funktioanalyysissä jokainen osa-alue on huomioitava edes jollakin tavoin. Funktioanalyysin eri osa-alueiden tärkeyden painotuksen mukaisesti olemme myös painottaneet tuotteen testauksen määrittelyssä sekä arviointivaiheessa eri laatutavoitteiden merkitystä.

Kuudes Papanekin funktioanalyysin osa-alue on menetelmä. Menetelmäfunktio sisältää työvälineiden, -menetelmien ja materiaalien välisen vuorovaikutuksen. Kyseessä on käytännön tasolla parhaiten kulloiseenkin tarpeeseen vastaavien materiaalien ja työtapojen valinta. (Papanek 1973, 30)

3.1.1 Kenttäsahan määrittely

Kenttäsaha on kotitarpeeseen tai muuhun vähäiseen tarpeeseen tarkoitettu siirreltävä sahauslaitos, joka on tyypillisesti yksiteräinen (Metsäteollisuus ry & Suomen Metsäyhdistys ry 1999, 65). Kenttäsahoja on erityyppisiä sekä kokoisia ja niiden käyttöön voidaan hyödyntää sähkömoottoria, polttomoottoria, traktorin voiman ulosottoa tai moottorisahaa. Yhteistä kaikille kenttäsahoille on niiden kyky sahata tukista läpisahaamalla eli tuppeen sahaamalla hyödyntämiskelpoista sahatavaraa. Olemassaolon ehtona on, ettei kenttäsaha ole kenttäsaha, jollei sillä voi muuttaa tukkeja sahatavaraksi. Tämä määritelmä voidaan liittää kenttäsahan käyttöfunktioon sen perimmäisenä todellisuusehtona.

Kenttäsahoja on kolmea päätyyppiä. On pyörö-, vanne- ja moottorisahalla toteutettuja kenttäsahoja. Tutkielman myöhemmässä vaiheessa esiteltävän tuotteen käyttökohteen ja käyttäjäperustan takia moottorisahalla toteutettu kenttäsaha valikoituu sahalaitoksemme tyyppiä.

Moottorisahavalmistajat ovat kautta aikain suunnitelleet erilaisia moottorisahan lisälaitteita myynnin edistämiseksi. Erityisesti moottorisahan alkuaikoina 1930-1960-luvuilla lisälaitteiden avulla pyrittiin osoittamaan uuden sahateknologian monikäyttöisyys ja sillä tavoin vauhdittamaan metsurien siirtymävaihetta käsisahoista kohti polttomoottori-käyttöisiä sahoja. Esimerkiksi sahavalmistajat suunnittelivat moottorisahan käyttämistä perämoottorin, vesipumpun, valaistuksen, tukkivinssin, puomikairan ja moottoripetke-

leen voimanlähteenä. Useat näistä lisälaitteista jäivät kuitenkin pois tuotannosta, sillä niiden käyttö oli vaivalloista tai niiden käyttöfunktion pystyi täyttämään jollakin juuri kyseiseen käyttötarkoitukseen tarkoitettulla laitteella paremmin. Lisäksi 1960-luvulla yleistyneen moottorisahalla suoritettavan karsinnan takia moottorisahojen moottoreista tuli keveitä ja kierrosherkkiä, eivätkä ne enää soveltuneet yhtä hyvin lisälaitteisiin. (Riihilä 2014, 8-9) Nykyään moottorisahojen lisälaitteet keskittyvät lähinnä sahan sahausominaisuuksien muuttamiseen kulloisenkin käyttötarpeen mukaan eivätkä sahan koko käyttötarkoituksen muuttamiseen. Nykyisin moottorisahaa voidaan käyttää kuorintaan, jyrshintään ja erilaisiin erikoissahauksiin lisälaitteiden avulla.

Olemme ajatelleet kenttäsamme moottoriksi polttomoottorikäyttöistä moottorisahaa. Kenttäsamme voidaankin siis käsittää myös moottorisahan lisälaitteeksi. Tämän voi perustella sillä, että moottorisahan olemassaolon ehdot ovat voimassa, vaikka kenttäsamme ei olisi. Moottorisaha toimii yhtä hyvin ja sahaa puuta, joskin raakalankkujen sahaus tukista on miltei mahdotonta. Sen sijaan kenttäsamme ei toimi sahana ilman siihen kiinnitettyä moottorisahaa. Siksi tämän tutkimuksen puitteissa syntyvän produktin, kenttäsahan, voidaan ajatella olevan myöskin moottorisahan lisälaitte.

Moottorisahalla toteutettuja sahalaitoksia on sekä teollisesti tuotettuja että käyttäjien itse suunnittelempia ja rakentamia. Koska erilaisia sahalaitoksia on jo olemassa, ei moottorisahalla toteutettava sahalaitos ole ideana uusi. Näin ollen on luonnollista, että tuotteella on kehityspöytä, joka pohjautuu aiemmin valmistettuihin sahalaitoksiin (Metsärinne & Kallio 2011, 85).

Sahalaitoksen suunnittelu aloitettiin perehtymällä erilaisiin moottorisahalla tehtyihin sahalaitoksiin valmistajien nettisivujen, internetkeskusteluiden sekä internetin videopalveluista löytyvien videoiden avulla. Sahalaitosratkaisuja tukkien sahaamiseksi laudoiksi on kolmea päätyyppiä. Ensimmäinen ratkaisutyyppi on moottorisahaan kiinnitettävä ohjuri, joista yleisin on Alaska Mill -ohjuri. Varsinaisia sahalaitoksia on kahta päätyyppiä. Sahalaitoksien peruserätyyppinä on se, että tukki pysyy paikallaan ja saha liikkuu johdekiskojen avulla eteenpäin. Korkeudensäätö tapahtuu joko tukkien tai sahan korkeutta säätämällä. Moottorisaha mukaan lukien valmis teollisesti valmistettu sahalaitos maksaa noin 3000-4000 euroa (Linna 2014).

Alaska Mill -ohjuri



Kuva 1. Alaska Mill -ohjuri. (<http://i.ebayimg.com/images/g/G7gAAOSw~uhUqcM1/s-l1600.jpg>) Lainattu 7.11.2016.

Alaska Mill -tyyppiset ohjurit perustuvat moottorisahan laippaan kiinnitettävään ohjuriin. Ne eivät ole siis varsinaisia sahalaitoksia, vaan enemmänkin moottorisahaan saattavia halkaisusahausta helpottavia ohjureita. Niiden hyviä puolia ovat edullinen hinta, mahdollisuus sahata erityisen leveää tukkia ja helppo liikuteltavuus. Alaska Mill -ohjurin heikkoutena on ensimmäisen sahauksen vaikeus puun epätasaisuudesta johtuen. Tukin ensimmäisen lappeen sahaukseen tarvitaan esimerkiksi laudasta rakennettua ohjuria, jotta sahaus saataisiin suoraan. Lisäksi menetelmä on muita sahalaitostyyppisiä hitaampi ja työskentelyasennot ovat yleensä epäergonomisempia kuin sahalaitoksissa, joissa tukki nostetaan erillisen sahauspöydän päälle. Alaska Mill -ohjurit ovat parhaimmillaan paksujen tukkien sahaamisessa leveiksi laudoiksi (Luostarinen, 2016). Tukkien sahaaminen hirsiksi on vaikeampaa kuin muita kenttäsahtatyyppisiä käyttäen johtuen ensimmäisen sahauksen vaikeudesta.

Maassa oleva sahalaitos



*Kuva 2. Maassa oleva sahalaitos.
(http://www.northerntool.com/images/product/700x700/190/190610_700x700.jpg)
Lainattu 7.11.2016*

Maassa olevan sahalaitoksen hyvä puoli on se, ettei tukkia tarvitse nostaa korkealle. Tämä rakenne on tyypillinen vannesahalla toteutetuille sahalaitoksille, mutta samalla tyyllillä on toteutettu myös moottorisahalla toimivia sahalaitoksia. Haittapuolena ovat huono työskentelyasento sekä vaikeudet sahalaitoksen käytössä talvella. Ennen sahalaitoksen käyttöönottoa maa pitäisi puhdistaa lumesta, etteivät sahalaitoksen keskeiset toiminnot tai tukki ole lumen alla. Joissakin maassa olevissa sahalaitoksissa sahalaitoksen kaasu on siirretty kaasuvaijerin avulla parempaan käyttöpaikkaan, jolloin työskentelyasento on ergonominen ja työskentelyä helpottava. Kuvassa 2 esitetyllä kaupallisella sahalaitoksella on kuitenkin hyvin rajallinen sahauspituus eikä sitä maahantuoda Suomeen.

Sahapöydällä olevat sahalaitokset



Kuva 3. Sahapöydällinen sahalaitos. (http://www.logosol.fi/images/product-images/m8/large/logosol_m8_7531.jpg) Lainattu 7.11.2016.

Sahapöydällisten sahalaitosten hyvä puoli on se, että tukki on hyvällä työskentelykorkeudella eikä lumi pääse haittaamaan sahaustapahtumaa samalla tavalla kuin maassa olevissa sahalaitoksissa. Monet sahauspöydälliset sahalaitokset saa myös purettua kuljettusta ja varastointia varten. Tukin nosto korkealle kuitenkin hidastaa sahausprosessia ja voi aiheuttaa painavien tukkien kanssa hankaluuksia. Monesti kaupallisissa malleissa onkin kehitetty erilaisia apuvälineitä tukin nostamiseksi. Sahalaitoksen koko vaikeuttaa myös siirtelyä, vaikka paino muuten olisikin saatu materiaalivalintojen kautta pieneksi. Yleensä sahauspöydällisiä sahalaitoksia ei ole tarkoitettu purettavaksi jokaista siirtoa varten, vaan ne ovat suunniteltu siirrettäviksi kokonaisina. Tämä vaikeuttaa niiden kuljettamista ja asettaa rajoituksia kuljetusvälineille. Lisäksi kaupalliset sahalaitokset ovat varsin hintavia. Kuvan 3 mukainen sahauspöydällä oleva sahalaitos maksaa valmistajan sivujen mukaan ilman moottorisahaa 3 550 euroa (anon 2017a).

3.1.2 Puumateriaali, sahatavaralajit ja laatuluokitukset

Puut ovat eläviä organismeja, jotka koostuvat miljoonista soluista. Puun solut muodostavat solukoita, jotka muodostuvat enimmäkseen soluista ja vähäisellä tilavuusosuudella soluväleistä (Kärkkäinen 2007, 19). Elävän puun solut sisältävät aina vettä, mutta veden

määrä soluissa vaihtelee vuodenajan mukaan. Juuri kaadetun, tuoreen puun kosteuspitoisuus on aina korkea (Corbett 2001, 16). Kaadetun puun sisältämän veden ja kuiva-aineiden, käytännössä solukoiden määrän, välisestä suhteesta puhutaan puun tuoretiheytenä. Tuoretiheys ja soluissa olevan veden määrä eivät ole merkityksettömiä, vaan soluissa olevan veden määrällä on merkitystä puutavaran jalostamisen kannalta. Mitä vähemmän vettä puun solukoissa on, sitä suurempi on sen kuiva-aineisuus. Toisin sanottuna tämä merkitsee sitä, että samasta tilavuusmäärästä tuoretta raakamateriaalia saadaan enemmän varsinaista puuainesta (Kärkkäinen 2007, 175). Enemmän vettä sisältävä puumateriaali kutistuu kuivumisen aikana enemmän ja menettää veden haihtumisen myötä enemmän painoaan. Lisäksi suuremman kosteuspitoisuuden omaavalla puumateriaalilla on suurempi riski taipua sahauskesän jälkeisessä kuivauksessa. Siksi sahatavaraksi jalostettava puu kannattaa kaataa aikana, jolloin puun tuoretiheys on suurin eli solujen sisältämä vesimäärä on pienin.

Keskimäärin vähiten vettä puun solukoissa on kevättalvella, ja siksi kevättalvi onkin otollisinta aikaa tukkipuun kaatoon. Sahateollisuuden kannalta kevättalvi on myös kuljetusten kannalta hyvä kaatoajankohta, sillä routainen maa kantaa hyvin painavat metsätyökoneet ja tukkirekat. Lisäksi lahottajasienten toiminnasta johtuvaa sinistymistä ei tapahdu talvella samoin kuin lämpimänä aikana kesällä tai alkusyksyllä (Kärkkäinen 2007, 321; Loukola 2001, 36). Sinistymäsienten kannalta optimaalinen kasvu- ja elämäntilanne on 25–30 C, mutta ne voivat toimia myös alle 5 C lämpötiloissa (Kärkkäinen 2007, 321).

Kokonaisen tukin kuivuminen on hidasta. Siksi tukit sahataan sahatavaraksi erilaisia sahalaitoksia hyödyntäen ennen kuivaamista ja tämä toimii pohjana kaikkien sahalaitosten yhteiselle tarvefunktiolle. Tukin läpisahausta on sahaustavoista yleisin ja yksinkertaisin (Scott 2004, 236). Tällä sahaustavalla saadaan eniten käyttökelpoista lautta, joka on leikattu puun rungon tangentin suuntaisesti (Scott 2004, 236; Corbett 2001, 15; Eichhorn & Duginske 1986, 152). Yhdensuuntaisten sahausten vuoksi läpisahaauksessa syntävä hukka on muita sahaustapoja pienempi. Muita yleisesti käytössä olevia sahaustapoja ovat pelkkasahausta, neljännessahausta ja tähtisahausta. (Corbett 2001, 14-15)

Sahatavaraa puhuttaessa kyseiseen luokkaan mielletään monenlaista puujalostetta. Tässä yhteydessä määrittelemme kyseisellä termillä karkeamman, sahapintaisen, puutavaran, jota ei ole vielä tarkemmin mitallistettu höyläämällä.

Sahatavaraa voidaan luokitella sekä lujutensa että ulkonäkönsä perusteella. Ulkonäön perusteella tapahtuvassa luokittelussa sahatavara luokitellaan neljään laatuluokkaan, joita ovat A, B, C ja D (Isomäki, Koponen, Nummela & Suomi-Lindberg 2008, 32; anon 2016a). Laadultaan parasta puumateriaalia on A-luokkaan luokiteltu puuaines ja vastaavasti heikointa D-luokkaan luokiteltu. Ainoastaan laatuluokalla A on alaluokkia, joita ovat A1, A2, A3 ja A4. Näistä alaluokista A1 sisältää kaikkein vähiten minkäänlaisia esteettisiä virheitä, ja sitä käytetään erityisen hyvää ja kaunista puumateriaalia vaativiin erityiskohteisiin. Normaaliin käyttöön, esimerkiksi ovi- ja ikkunateollisuuteen käytetään luokkiin A3, A4 ja B luokiteltua puuta (Isomäki ym. 2008, 33). Lujuuden osalta puutavaran luokittelu perustuu standardeihin EN 338 ja INSTA 142 (anon 2016b). Luokitteluperusteet löytyvät kyseisiä standardeja käsittelevistä oppaista, emmekä käsittele niitä tässä tarkemmin. Sahatavaran esteettinen luokittelu tapahtuu tarkastelemalla sahatua lankkua metrin matkalta sen huonoimmasta kohdasta. Tarkastelun kohteena ovat oksakohtien määrä ja laatu sekä muut pintavirheet kuten esimerkiksi pihkakolot (Isomäki ym. 2008, 32).

Sahapintaiselle puutavaralle on olemassa tiettyjä standardimittoja. EN-standardi 1313-1 määrittelee sahatavaran mittoja sekä niihin sallittuja mittapoikkeamia. Alle 100 mm paksulle sahatavaralle sallitaan 20 %:n kosteudessa mittavirhe -1mm - +3mm ja yli 100 mm paksulle sahatavaralle sallittu mittavirhe on -1mm - + 4mm. Mikäli mitattavan puumateriaalin kosteus eroaa 20 %:n kosteudesta, niin sahatavaralle sallitun mittavirheen määrä muuttuu +- 0,25 % jokaista kosteusprosentin muutosta kohti. (Suomen saha-teollisuusmiesten Yhdistys 2002, 23) Kosteusprosentin laskiessa sallitun mittapoikkeaman toleranssit myös laskevat ja päinvastoin.

Yleisimmin tuotetut sahapintaisen puutavaran mitat käyvät ilmi taulukosta 1. Erikoismittaisen sahatavaran tuottaminen on mahdollista, mutta pienemmän kysynnän ja ylimääräisen työn vuoksi tällainen puutavara on standardimittaista kalliimpaa ja vaatii erillisen etukäteistilauksen puutavaran tuottajalta.

TAULUKKO 1. Yleisimmin tuotetut sahatavaran mitat. (anon 2016c)

Paksuus	Leveys							
	50	75	100	125	150	175	200	225
19			X					
22	X	X	X	X	X			
25			X					
32			X					
38			X	X				
50		X	X	X	X	X	X	
75							X	X
100			X					
125				X				
150					X			

Jotta kenttäsaahalla voitaisiin sahata käyttötarkoituksensa mukaisesti sahatavaraa, pitää sahatavaran paksuus olla säädeltävissä. Sahatavaralle on määritelty tietyt mittastandardit, jotka sen pitää täyttää, jotta se olisi yhdenmukaista markkinoilla olevan puutavaran kanssa. Sahatavaralle määritellyistä mittastandardeista johdamme kenttäsaahallemme laatutavoitteen, jonka mukaan sahattavan puutavaran paksuutta tulee pystyä säätämään tarkasti. Laatutavoitteena on, että sahalaitoksen tuottama puutavara täyttää pohjoismaiset sahatavaran standardit mitoitukseltaan. Standardimitat selviävät taulukosta yksi ja sahatavaran mitoitukselle sallitut mittavirheet ovat:

paksuus ja leveys ≤ 100 mm: - 1,0 ... + 3,0 mm

paksuus ja leveys ≥ 100 mm: - 2,0 ... + 4,0 mm

(Suomen sahatöiden Yhdistys 2002, 23)

Standardit ovat yleisiä sopimuksia tuotteiden ja materiaalien yhdenmukaistamiseksi. Standardien tavoitteena on lisätä tuotteiden yhteensopivuutta sekä turvallisuutta, suojella ympäristöä ja helpottaa kaupankäyntiä (Suomen standardoimisliitto SFS ry 2013, 7). Standardoimistoiminta jakaantuu kansainvälisiin, kansallisiin sekä alakohtaisiin standardoimisjärjestöihin ja yritysten omiin standardoimiselimisiin (Autio & Hasari 1999, 14; Suomen standardoimisliitto SFS ry 2013, 11). Suomessa standardoimistoiminnasta vastaa Suomen standardoimisliitto SFS ry. Standardit voidaan jakaa alalajeihin, joita ovat perustandardit, tuotestandardit, menetelmästandardit, palvelustandardit, turvallisuus-

standardit, sanastostandardit sekä testausstandardit (Suomen standardoimisliito SFS ry 2013, 8 - 9). Seuraavaksi kuvailemme standardien alalajit lyhyesti.

Perusstandardien tehtävänä on määritellä käytettävät mittayksiköt, käsitteet, tunnukset ja merkit (Suomen standardoimisliito SFS ry, 2013. 8). Tällaisen määrittelyn avulla eri puolilla maailmaa suunnitellut ja tuotetut tuotteet ovat keskenään yhteensopivia ja niiden käyttäminen ja huolto on mahdollista kaikkialla. Standardoinnin avulla saadaan myös laskettua tuotteiden hintoja, sillä laaja yhteensopivuus mahdollistaa massatuotannon ja tuotannon automatisoinnin kautta saavutettavan tuotteen valmistuskustannusten alenemisen (Autio & Hasari 1999, 17).

Tuotestandardit voivat koskea tuotetta tai palvelua, ja sen tavoitteena on varmistaa tuotteen tai palvelun vastaavan sille asetettuja tavoitteita ja ehtoja. (Suomen standardoimisliito SFS ry 2013, 8). Standardointi läpäisee tuotteen olemassaolon ehtojen lisäksi myös tuotteen tai palvelun tuotantoprosessin, sillä mitoitusta, rakennetta ja koostumusta, kestävyyttä ja turvallisuutta koskevien standardien lisäksi nykyään on olemassa tuotteen tai palvelun tuotannon ympäristöystävällisyyteen liittyviä standardeja (Suomen standardoimisliito SFS ry 2013, 8).

Menetelmästandardit koskevat tuotteen valmistukselta vaadittavia ehtoja ja tuotteen rakenteelta ja materiaalilta vaadittavia ominaisuuksia (Suomen standardoimisliito SFS ry 2013, 9). Tuotantotapojen ja valmistukseen käytettävien materiaalien standardoinnin avulla tuotteen loppukäyttäjä voi varmistua eri tuottajien tuotteiden olevan keskenään vertailukelpoisia. Palvelustandardit koskevat palveluita, ja ovat vastaavat kuin tuotteen menetelmästandardit. Palvelustandardilla varmistetaan palvelun tuottamisen ja käytön vastaavan palvelulle asetettuja tavoitteita (Suomen standardoimisliito SFS ry 2013, 9). Turvallisuusstandardeilla pyritään nimensä mukaisesti takaamaan tuotteen turvallisuus käyttäjälleen ja sanastostandardin avulla määritellään käytettävät käsitteet ja niiden määritelmät. Testausstandardeissa määritetään menetelmät, joilla valmistettujen tuotteiden ominaisuuksia, kuten käytettävyyttä ja turvallisuutta testataan. Tarkemmin sanottuna standardointi koskee testausnäytteiden valintaa ja arvioinnissa käytettäviä analyysimenetelmiä. (Suomen standardoimisliito SFS ry 2013, 8-9.)

Tämän tutkielman kannalta oleellinen standardi on sahatavaran mittoja koskeva tuotestandardi. Kyseistä standardia käytetään tutkielmassa tuotettavan tuotteen, sahalaitoksen, testauksessa eräänä toimivuuden mittarina. Ajatus standardin käyttämisestä toimivuuden mittarina voidaan johtaa menetelmäfunktiosta. Standardit ovat luonteeltaan so-

pimuksia, jotka eivät ole muuttumattomia. Standardeja voidaan muuttaa, poistaa tai lisätä tarpeen mukaan, mikä tekee niiden tarkastelusta aikasidonnaista. Nykyisin käytössä oleva sahatavaran mittoja koskeva standardi sitoo kenttäsahan osaksi omaa valmistusajankohtaansa, mikä ilmentää kenttäsahan telesisfunktioita.

3.1.3 Käyttäjäperusta

Kenttäsahan käyttäjä asettaa omia ehtojaan kenttäsahan olemassaolon määrittelyyn. Näiden ehtojen esille tuomiseksi on tutkittava tuotteen käyttö- ja tarvefunktioita. Tämän tutkielman puitteissa tuotettava kenttäsaha suunnitellaan yksityiseen käyttöön sahatavaran tuottamiseen omaan tarpeeseen. Käyttäjällä ei ole taloudellisia intressejä sahauksessa, eivätkä tehokkuus, nopeus ja sahauksessa syntyvä hukka ole tärkeimpiä kriteereitä käyttäjän kannalta. Käyttäjälle oleellisempaa on sahatavan laatu, käytön helppous ja käytettävyyys yhden henkilön voimin. Saha tulee yhden henkilön käyttöön, joten sen käsiteltävyyys ilman apuvoimia nousee yhdeksi tärkeimmistä olemassaolon ehdoksi. Sahalaitos ei tule olemaan käytössä jatkuvasti ja se tulee tilasyistä todennäköisesti olemaan ulkosäilytyksessä. Tämä aiheuttaa vaatimuksia sen säänkestävyydelle.

Käyttäjä- ja muotoiluperausta nostaa esiin vaatimuksen tuotteen ergonomiasta. Ergonomia on moniulotteinen käsite, joka jakautuu fyysiseen ergonomiaan, kognitiiviseen ergonomiaan sekä organisatoriseen ergonomiaan. Kansainvälinen Ergonomiajärjestö IEA määrittelee ergonomian tieteenalaksi, joka pyrkii ymmärtämään ihmisen ja toimintajärjestelmien muiden osien välistä vuorovaikutusta. Ergonomia korostaa ihmisen elämänalan toimintajärjestelmien kokonaisvaltaisuutta ja sitä sovelletaan kaikkeen inhimilliseen toimintaan. Ergonomian tavoitteena on luoda edellytykset turvalliselle työskentelylle, optimoida työprosessien tehokkuus sekä työntekijän henkinen ja fyysinen suorituskyky. (Väyrynen, Nevala & Päivinen 2004, 310.)

Fyysinen ergonomia käsittelee ihmisen fysiologisten ominaisuuksien ja anatomian soveltamista toimivasti ympäristön kanssa fyysisessä toiminnassa. Fyysisen ergonomian tutkimusalalle kuuluvia toimintoja ovat esimerkiksi työasennot, toistuvat työliikkeet, työtapahtuman turvallisuus sekä työperäiset tuki- ja liikuntaelinsairaudet ja niiden ehkäisy. (Väyrynen ym. 2004, 310; anon 2018b)

Kognitiivinen ergonomia pyrkii sovittamaan järjestelmät ja käyttöliittymät ihmisen ajatustoimintaa vastaaviksi. Kognitiivisen ergonomian kiinnostuksen kohteita ovat ihmisen havainnointikykyyn, muistiin, päättelyyn, motorisiin toimintoihin, työstressiin sekä ylipäätään työstä suoriutumiseen liittyvät tekijät (Väyrynen ym. 2004, 310).

Organisatorinen ergonomia painottaa teknisten järjestelmien ja sosiaalisen järjestelmän yhteensovittamista (anon 2018b). Kyseessä on organisaatioiden rakenteen ja menettelytapojen optimoinnin tutkimus, jossa keskeiseksi nousee esimerkiksi viestinnän, työyhteisön, osallistavan suunnittelun ja laatujohtamisen tutkiminen (Väyrynen ym. 2004, 310).

Tässä tutkielmassa käsittelemme ergonomiaa fyysisen ergonomian kannalta ja erityisesti kenttäsaahan turvallisen, tehokkaan ja tarkoituksenmukaisen käytettävyyden näkökulmasta. Käytettävyyden käsitteessä on kyse ergonomian soveltamisesta tuotesuunniteluun (anon 2018c). Ergonomia itsessään ei siis ole itseisarvo vaan tuottavuuden ja turvallisuuden mahdollistaja (Helander 1999, 48). Tekijälleen epämukavuutta aiheuttava haitallinen työympäristö ja fyysisen työn olosuhteet myös aiheuttavat työn tuloksen laadun alenemista. Syynä tähän voi olla epämukavien tai toimimattomien työskentelyolosuhteiden huomiokykyä heikentävät tekijät. (Eklund 1999, 66)

Ergonomian vaatimus nostaa esille tarpeen käyttäjälähtöisestä suunnittelusta. Hyödynämme tutkielmamme produktin eli kenttäsaahan suunnittelussa käyttäjälähtöisyyttä. Käyttäjälähtöinen suunnittelu tässä tutkielmassa määritellään tarkemmin luvussa 4.1.1 suunnittelun teorioiden esittelyn yhteydessä. Lyhyesti ilmaistuna kenttäsaahan tapauksessa fyysinen ergonomia on koko suunnitteluprosessin läpäisevä teema, joka vaikuttaa sekä tuotteen rakenteeseen, muotoiluun, käytettävyyteen sekä turvallisuuteen.

Käyttäjäperustasta johdetaan kenttäsahalle laatutavoitekriteeriksi sen käytettävyys yhden henkilön voimin. Kyseinen laatutavoitekriteeri johdetaan Papanekin funktioanalyysin käyttöfunktion tarkastelusta.

Yhden henkilön käytettävyydellä tarkoitamme sitä, että kaikkia sahan keskeisiä toimintoja voi hoitaa yksi henkilö ilman apuvoimia. Keskeisiin toimintoihin kuuluu sahan vieressä olevan tukin nosto sahapöydän päälle, tukin kiinnitys, sahauskorkeuden säätö sekä tukin sahaaminen.

Kenttäsaaha tulisi olla miellyttävä käyttää. Kaikki sahalaitoksen keskeiset toiminnot tulisi olla työskentelyn kannalta hyvällä korkeudella ja käytettävissä talvella työkäsineet

kädessä. Vaatimuksena on, että varsinaisen sahausken voi suorittaa selkä suorana, sahaus ei aiheuta tärinärasitusta sahaajaan ja sahausliike ei rasita kohtuuttomasti sahaajaa. Tämä vaatimus on johdettu menetelmäfunktion tarkastelun avulla.

3.1.4 Käyttökohteen perusta

Tuotteen käyttökohde on hyvin keskeinen tuotteen määrittelyssä (Metsärinne & Kallio 2011, 85) Kenttäsahan käyttökohde paikka, jossa tukit ovat. Tässä tapauksessa kenttäsahan tarve on metsätilalla, jossa sahattavat puut kaadetaan metsästä ja niitä sahataan paikan päällä. Tukkeja pyritään liikuttamaan metsästä mahdollisimman vähän, koska valmiin sahatavaran liikuttaminen on paljon kevyempää, kuin kokonaisten tukkien (Luostarinen 2016). Lisäksi metsään soveltuvaa tukkien kuljetuskalustoa ei tilalla ole käytettävissä. Sahan pitää siis olla liikutettavissa ja pystytettävissä sinne, missä tarve tukkien sahaamiselle on. Sahan pääasiallinen käyttöympäristö on siis metsä. Metsä asettaa käyttöympäristönä sahalaitokselle haasteita. Maasto voi olla epätasainen ja vaikeakulkuinen. Lisäksi metsässä voi olla paljon esimerkiksi lunta, joka vaikeuttaa sahalaitoksen käyttöä. Kenttäsahan käyttöfunktion tarkastelusta johdetaan vaatimus, että sahan tulee myös kestää käyttöympäristön asettamia rasituksia, kuten säätä.

Sahalaitoksen menetelmäfunktiosta johdetaan vaatimus, että sahalaitoksen tulee olla kuljetettavissa ilman erityistä kuljetuskalustoa. Sen pitää mahtua normaaliin farmarimalliseen henkilöautoon penkit kaadettuina. Tässä tutkimuksessa tavaratilan mitoituksen selvittämisen apuna on käytetty Suomessa hyvin yleistä Volkswagen Passat farmariautoa. Tavaratilan käyttökelpoiseksi kooksi penkit kaadettuina sovitaan pituudeltaan 1,6 metriä, leveydeltään 1,0 metriä ja korkeudeltaan 0,8 metriä kokoinen tila.

Käyttäjä- sekä käyttökohteen perustasta nousee tärkeäksi laatutavoitteeksi sahan liikuteltavuus ja käyttöönottavuus yhden hengen voimin. Koska sahalaitoksen pitää olla liikuteltavissa tukkien luokse paikkoihin, joihin välttämättä ei voi autolla ajaa, pitää sen osien olla painoltaan sellaisia, että ne voi helposti kantaa yksitellen. Työterveyslaitoksen (2009) suositusten mukaan 25 kg on taakka, jonka pystyvät turvallisesti nostamaan suurin osa perusterveistä aikuisista henkilöistä. Tämän sekä sahalaitoksen ergonomisen käytettävyyden perusteella yksittäisen sahalaitoksen osan enimmäispainoksi asetettiin

25 kiloa. Koska käytettävyys yhden hengen voimin on tärkeä käyttäjäperustasta nouseva tarve, laatutavoitteeksi asetetaan, että sahalaitos on yksin koottavissa. Toiseksi koostamiseen liittyväksi laatutavoitteeksi asetetaan sahan kokoaminen kuljetuskunnosta sahauskuntoon yhden henkilön voimin 15 minuutissa.

3.1.5 Käsityöperusta ja työperusta

Käsityöperustaan kuuluvat kaikki tieto ja taitotieto, joka tuotteen luomiseen sijoitetaan. Tämän tiedon ja taidon ohjaamana tuotteen luojat sijoittavat tuottamiseen työtä. Tämä on tuotteen työperusta, johon kuulu työhön kulunut aika sekä työssä käytettävien välineiden ja tilojen arvo. Tuotteen tuottamisedellytysten arvioinnista muodostuvat käsityö- ja työperustat. (Metsärinne & Kallio 2011; 84,86) Käsityö- ja työperustan tutkiminen liittyy tuottamistapahtuman tarkastelun osaksi suurempaa käsityöllisen prosessin mahdollistavaa kokonaisuutta eli kyseessä on assosiaatiofunktion tarkastelu.

Tätä projektia on toteuttamassa kaksi käsityön aineenopettajaopiskelijaa. Kummallakaan ei ole ennestään käsityöllistä tutkintoa, vain käsityön aineenopettajaopintojen aikana suoritettavat aine- ja perusopinnot sekä oman harrastuneisuuden kautta hankitut taidot. Turun yliopiston opettajankoulutuslaitoksen Rauman kampus tarjoaa työskentelytilat sekä työkalut ja työstökoneet opiskelijoiden käyttöön.

Tämän tutkielman käsittävää tuottamisprosessia rajoittavina tekijöinä toimivat aika ja rahalliset resurssit. Tämän tutkielman tekijät ovat käsityökasvatuksen maisterivaiheen opiskelijoita, joiden tarkoituksena on valmistuminen koulutuksen tavoiteajassa. Tämä sulkee pois pitkät tuotekehitysprojektit, joten tutkielman puitteissa syntyvä tuote on prototyypituote.

Taloudelliset resurssit asettavat myös rajoitteita sille, kuinka kallis tuotteesta voi tulla. Ei ole järkevää lähteä kehittämään uutta tuotetta, jos ominaisuuksiltaan vastaavia laitteita on mahdollista saada kaupallisina tuotteina edullisemmin. Taloudelliset resurssit ohjaavat optimoimaan materiaalivalintoja sekä tuotteen rakennetta. Kustannustehokkaiden ratkaisujen tekeminen vaatii tietoa käytettävistä materiaaleista ja työstötekniikoista

(Norman, Riley, Urry & Whittaker 1993, 65). Kaupalliset moottorisahalla toteutetut sahalaitoksen maksavat moottorisahan kanssa 3000-4000 euroa (Linna 2014).

Laatutavoitteeksi asetetaan, että sahalaitos on halvempi kuin teollisesti valmistetut sahalaitokset. Sahalaitoksen valmistuskustannuksien tulisi pysyä moottorisahaa lukuun ottamatta alle 800 eurossa. Tämän laatutavoitteen määrittely pohjautuu menetelmäfunktioon.

3.1.6 Materiaaliperusta, muotoperusta ja rakenneperusta

Tuotteita suunniteltaessa on tärkeää tuntee fyysisiä materiaaleja sekä niiden soveltamista käyttötarkoituksen mukaan (Turunen 2007, 41). Muotoilu ja tuotteen suunnittelu ovat yhteydessä materiaalivalintoihin, sillä tuotteen tai sen osan aiottu käyttötarkoitus tai toiminto määrää käytettävän materiaalin (Kleimola 1995, 87). Materiaalivalinnat tulisi suorittaa niin, että tuote saavuttaisi sille asetetut laatutavoite-ehdot mahdollisimman tehokkaasti, taloudellisesti ja turvallisesti (Tiainen & Laitinen 1997, 248).

Ennen käytettävien materiaalien valintaa pitäisikin olla tiedossa, mitä ominaisuuksia aietuotteelta vaaditaan. Koska tarkoituksena on valmistaa konkreettinen esine, kenttäsaaha, on sillä materiaaliperusta, muotoperusta ja rakenneperusta. Jotta saha toimisi sahana, pitää sillä olla jonkinlainen muoto ja rakenne. Muotoon ja rakenteeseen taas vaikuttaa materiaali. Kaikki nämä kolme osa-aluetta ovat siis sidoksissa toisiinsa. Jotta saha olisi tarkoituksenmukainen aiotussa tehtävässään, pitää sillä olla siihen sopiva muoto.

Muotoilultaan sahalaitoksen pitää olla sellainen, että siihen saa tukin ja sahan kiinni tukevasti ja ainakin toisen niistä on oltava liikuteltavissa, jotta sahaus onnistuu. Ergonominen käytettävyys asettaa myös muotoilulle ehtoja. Ei siis riitä, että tukki ja saha ovat tukevasti kiinni vaan niiden pitää olla ergonomisia. Ergonominen käytettävyys pitää sisällään myös vaatimuksen tuotteen helppokäyttöisyydestä. Esimerkiksi talvella tukki ja saha on saatava pois maan pinnalta lumihangesta, ja kaikki säädöt pitäisi pystyä tekemään työkäsineet kädessä. Muotoiluun kuuluu yleisesti esteettisyys, mutta kenttäsa-

han tapauksessa se ei ole kovin tärkeä osa-alue, vaan käytettävyys menee tässä tapauksessa ulkonäön edelle.

Kenttäsahalle sopiva muoto ei kuitenkaan yksistään riitä, vaan muodon pitää olla myös käytössä kestävä, mikä asettaa vaatimuksia sekä rakenteelle että materiaalille. Rakenteen pitää olla sellainen, että se kestää tukin painon ja sahauksen aiheuttaman rasituksen. Lisäksi sahan pitää olla rakenteeltaan helposti kuljetettavissa ja käyttöön otettavissa yhden henkilön voimin.

Materiaalit asettavat omat ehtonsa sahalaitokselle. Materiaalin pitää täyttää vaadittavat kriteerit kestävyys- ja painon osalta. Vaikka materiaali olisi riittävän kestävä sahalaitokseen, saattaa se olla liian painavaa liikuteltavuuden suhteen. Kestävyudessa pitää huomioida sahauksen aiheuttamien rasitusten lisäksi käyttöympäristön asettamat kestävyysvaatimukset. Tällaisia ovat esimerkiksi ulkoilmassa tapahtuva materiaalien syöpyminen. Materiaalin on kestävä myös sahalaitoksen kuljetuksessa mahdollisesti syntyvät kolhut.

Materiaaliperustasta ja rakenneperustasta tulee sahalaitoksen runkoa määrittäviä tuotekriteereitä. Tukkien paino asettaa rungolle kestävyysvaatimuksia. 35 cm paksu ja neljä metriä pitkä kuusitukki painaa tuoreena noin 370 kiloa eli näin ollen kuusimetrisen kuusitukki painaa noin 555 kiloa (Kärkkäinen 2007, 174). Näin painava tukki ei ole enää ihmisvoimin järkevästi liikuteltavissa, vaikka sahan sahauskapasiteetti mahdollistaisi sen sahauksen. Markkinoilla olevan Logosol M8 -sahalaitoksen suurin sallittu tukin paino on 500 kiloa. Tavoitteena on saada sahalaitokselle yhtäläinen kantavuus.

Sahan pitää myös kestää ulkosäilytystä. Se ei saa olla siis herkkä auringolle, sateelle eikä kylmyydelle. Sahan rakenne ei saisi heikentyä olosuhteiden takia, eikä esimerkiksi alkaa syöpymään.

Tarve-, käyttö- ja menetelmäfunktioiden tarkastelun pohjalta laatutavoitedimensioksi määritellään, että sahalla pitää pystyä sahaamaan halkaisijaltaan enintään 35 cm tukkeja. Tukkien enimmäispituudeksi asetetaan 6 metriä. Esimerkiksi 35 cm paksu tuore kuusitukki nelimetrisenä painaa noin 370 kiloa mikä on yhdelle miehelle liikaa nostettavaksi (Kärkkäinen 2007, 174). Näin isoa tukkia tuskin yhden henkilön voimin sahataan, mutta lyhyitä ja paksuja tai pitkiä ja ohuita tukkeja voidaan myös yhden henkilön voimin käsitellä. Koska eri puulajeilla on fysiologisia eroja, rajataan puulajit Suomessa yleisesti

sekametsässä kasvaviin puulajeihin. Näihin puulajeihin luetaan tässä tutkimuksessa kuusi, mänty, koivu, haapa, leppä ja pihlaja.

3.1.7 Turvallisuusperusta

Metsärinteen & Kallion (2011) mukaan jokainen tuote aiheuttaa riskejä siinä todellisuudessa, jossa se ilmenee. Näin ollen tuotteella on turvallisuusperusta, joka kuuluu osaksi tuotteen tarvefunktioita. Suurimmat turvallisuusriskit liittyvät kenttäsaahassa moottorisahaan. Sen pitäisi olla tukevasti kiinni ja suojattu niin, ettei sahan terään pääse vahingossa osumaan sahauksen aikana. Kuitenkaan suojaukset eivät saisi kohtuuttomasti vaikeuttaa ja hidastaa työntekoa. Toinen iso riskitekijä aiheutuu tukin painosta. Kenttäsaaha ei saa kaatua tukin painon vaikutuksesta eikä tukin nosto kenttäsaahalle saa aiheuttaa nostajalle tapaturmariskiä. Lisäksi sahauksesta aiheutuva melu ja lentävä sahausjäte vaativat käyttäjän kuulon ja silmien suojaamista.

Sahalaitokseen sisältyy aina turvallisuusriskejä. Laatutavoitteena on, että sahalaitos on turvallinen käyttää. Suurimman riskin muodostaa moottorisaha ja siinä pyörivä teräketju. Tämän takia pitää huolehtia, että sahaajan yksikään ruumiinosa ei ole liian lähellä teräketjua ja teräketjun mahdollinen katkeaminen ei aiheuta vaaratilanteita. Lisäksi sahalaitos ei saa aiheuttaa sivullisille vaaraa. Moottorisahan laippa ja ketju tulee suojata niin, ettei niihin voi vahingossa osua sahauksen aikana. Kenttäsaaha ei myöskään saa kaatua käytön aikana. Sahalaitoksen tulee pysyä pystyssä, vaikka sen päällä olisi sahalaitoksen maksimikestävyuden mukainen tukki. Sahan kuljetuksen, kasauksen tai purkamisen sekä käytön aikana ei saa esiintyä puristumisvaaraa, toisin sanottuna sahalaitos pitää suunnitella niin, ettei käyttäjän raajoilla ole riskiä jäädä laitteen liikkuvien osien tai tukin väliin.

3.1.8 Ekologinen perusta

Jokaisella tuotteella on oma ekologinen vaikutus, jota voidaan tarkastella eri näkökulmista (Metsärinne ym. 2011, 86). Tuotteiden eettisten ja ekologisten tekijöiden analyysi sisältyy tuotteen käyttöfunktion analyysiin. Kestävän kehityksen kannalta on eduksi, jos voidaan hyödyntää jo olemassa olevia tuotteita ja löytää niille uudenlaisia käyttöfunktioita.

Moottorisahaa tarvitaan metsänhoidossa, joten moottorisahalla toteutettu kenttäsaaha antaa moottorisahalle uuden käyttömahdollisuuden. Näin voidaan hyödyntää jo olemassa olevaa saaha ja näin ollen välttyä ylimääräisen saahan hankinnalta. Näin myös sahalaitoksen kustannukset pysyvät todennäköisesti kohtuullisina käyttömäärään nähden.

Kenttäsaaha, joka on toteutettu moottorisahalla, on omalla tavalla myös ekologinen, sillä samaa moottorisahaa voidaan käyttää useampaan kuin yhteen käyttötarkoitukseen. Kenttäsaaha varten ei siis ole pakollista hankkia toista moottorisahaa, vaan sen käyttöön voi hyödyntää myös muussa metsänhoidossa käytettävää moottorisahaa.

Moottorisahalla, kuten kaikilla polttomoottoreilla, on käytöstä aiheutuva päästövaikutus. Omasta metsästä valikoiden kaadettu ja sahattu puu taas on kestävä ja monimuotoisuutta lisäävää metsänhoitoa. Lisäksi omaan käyttöön lähellä tuotettu ja sahattu puu vähentää kuljetuksesta syntyviä päästöjä, joita syntyy ostamalla teollisesti tuotettua sahatavaraa.

3.1.9 Laatutavoitteiden määrittely

Keveyden ja siirrettävän kenttäsaahan suunnittelu- ja valmistusprosessin aluksi muodostetaan aietuote, joka on siis ennakkokuva eli tajunnallinen konstruktio valmiista tuotteesta ja tuottamistapahtumasta (Peltonen 2007, 66). Aietuotteen eksistenssiehtojen asettaminen määrittää sen olemassaolon perusedellytykset. Ensimmäinen vaihe prosessissa on nimetä perustavanlaatuisen todellisuusehto. (Metsärinne & Kallio 2011)

Kenttäsahan perusedellytys on se, että se sahaa. Ilman tätä ominaisuutta kyseessä ei olisi kenttäsaha. Kuitenkaan mikä tahansa asia, joka sahaa ei ole kenttäsaha. Kenttäsahan perustavanlaatuisen todellisuusehto on se, että sillä voi sahata tukeista sahatavaraa. Lisäksi siirrettävän kenttäsahan määritelmään kuuluu se, että se on siirrettävissä.

Suunniteltavalla tuotteella on materiaaliperusta, muotoperusta, rakenneperusta, käyttökohteen perusta, käyttäjäperusta, käsityöperusta, työperusta, ekologinen perusta, turvallisuusperusta ja kehityksperusta, joihin olemme perehtyneet edellä taustateorian yhteydessä (Metsärinne & Kallio 2011, 83-84). Taustateorian yhteydessä esitetyistä tuotteen vaatimuksista johdetaan seuraavat laatutavoitteet:

1. Sahalaitoksella tulee pystyä sahaamaan halkaisijaltaan enintään 35 cm olevia tukkeja.
2. Sahalaitoksella tulee kyetä sahaamaan 6 metriä pitkä tukki tuppeensahatuksi lankuksi.
3. Sahatavaran paksuutta tulee pystyä säätämään tarkasti.
4. Sahalaitoksen tulee olla käytettävissä yhden henkilön voimin.
5. Sahanlaitoksen tulee olla ergonomisesti hyvä käyttää.
6. Sahalaitoksen rungon tulisi kestää käyttöä ja säilytystä ulkona.
7. Sahalaitoksen rungon tulee olla kuljettavissa farmarimallisen auton sisätiloissa.
8. Sahalaitoksen tulee olla helposti siirrettävissä purettuna sekä käyttöönotettavissa yhden henkilön voimin.
9. Sahalaitoksen valmistuskustannusten tulee olla alle 800 e ilman moottorisahaa.
10. Sahalaitoksen tulee olla turvallinen käyttää.

Ylläolevista laatutavoitteista voidaan muodostaa kolme osa-aluetta. Näitä ovat:

1. Rakenne
 - a. Sahalaitoksella tulee pystyä sahaamaan halkaisijaltaan enintään 35 cm olevia tukkeja.
 - b. Sahalaitoksella tulee kyetä sahaamaan 6 metriä pitkä tukki tuppeensahatuksi lankuksi.
 - c. Sahatavaran paksuutta tulee pystyä säätämään tarkasti.
 - d. Sahalaitoksen rungon tulisi kestää käyttöä ja säilytystä ulkona.

- e. Sahalaitoksen valmistuskustannusten tulee olla alle 800 e ilman moottorisahaa.

2. Käytettävyys

- a. Sahalaitoksen tulee olla käytettävissä yhden henkilön voimin.
- b. Sahalaitoksen tulee olla helposti siirrettävissä purettuna sekä käyttöön-otettavissa yhden henkilön voimin.
- c. Sahalaitoksen rungon tulee olla kuljettavissa farmarimallisen auton sisätiloissa.
- d. Sahanlaitoksen tulee olla ergonomisesti hyvä käyttää.

3. Turvallisuus

- a. Sahalaitoksen tulee olla turvallinen käyttää.

3.2 Tutkimuskysymykset

Keveyen ja siirrettävän kenttäsahan valmistuksen ja testauksen tieteelliseksi tutkimiseksi tuottavan tutkimisen tutkimusotteella määrittelimme sekä teoreettisen että empiirisen tutkimuskysymyksen. Teoreettinen tutkimuskysymys on johdettu suoraan tutkimuksen taustateoriasta ja empiirinen tutkimuskysymys pohjautuu taustateoriasta johdettuihin laatutavoitteisiin. Teoreettisen tutkimuskysymyksen ratkaisu saadaan teoretisoimalla tuotteen valmistusprosessi sekä valmistamalla tuote. Empiirisen tutkimuskysymyksen ratkaisu taas saadaan asettamalla tuotettu tuote sille määriteltyyn käyttöympäristöön ja vertaamalla tuotteen toimivuutta sille asetettuihin laatutavoitevaatimuksiin.

Teoreettinen tutkimuskysymys: **Miten laatutavoitteiston mukaisen keveyen ja siirrettävän kenttäsahan valmistus onnistuu käsityönaineenopettajan koulutuksen antamin edellytyksin?**

Empiirinen tutkimuskysymys: **Miten kevyt ja siirreltävä kenttäsaha toimii käyttöympäristössään?**

3.3 Tutkimusmittarien operationalisointi

Testusteoreeman määrittelemiseksi laatutavoiteteoreeman sisältämät laatutavoitteet on operationalisoitava eli muutettava mitattavaan muotoon. Operationalisointi on tutkijan tekemä tulkinta tutkittavan ilmiön saattamiseksi mitattavaan muotoon. Operationaalisilla määritelmillä on metodologinen, mittaamisen osoittava, tehtävä eivätkä ne kerro termien semanttista merkitystä. Samalle teoreettiselle käsitteelle voidaan siksi määrittää useita erilaisia sisältöjä ja merkityksiä operationalistamisen yhteydessä. (Hirsjärvi, Remes & Sajavaara, 2015. 154-155.) Tutkielmassa käytettävät käsitteet sekä niiden operationalisointi on siksi tehtävä lukijalle yksikäsitteisesti ymmärrettävään muotoon.

Operationalisoinnissa on kiinnitettävä huomiota mittauksen validiusongelmaan eli siihen, mittaavatko valitut muuttujat ilmiöitä, joita niiden on tarkoitus mitata. (Hirsjärvi, Remes & Sajavaara, 2015. 155.) Validiusongelmaan ja muihin tutkimuksen luotettavuuskysymyksiin palaamme luvussa 5.1 tutkimuksen luotettavuuden arvioinnin yhteydessä.

Monet laatutavoitteistamme ovat monimuotoisia eikä niitä sellaisina voida muuntaa mitattavaan muotoon. Esimerkiksi sahalaitoksen turvallisuutta ja ergonomiaa käsittelevät laatutavoitteet rakentuvat useammasta laatutavoitekriteeristä heijastaen tuotteen funktioiden välisiä yhteyksiä. Ilmiöiden monimuotoisuuden takia ne on purettava pienempiin osiin, jotka on helpompi muuntaa mitattavaan muotoon (Vehkalahti, 2014. 18–19).

Operationaalistamisen yhteydessä painotimme eri laatutavoitteiden merkittävyyttä arvioinnin kannalta. Laatutavoitteiden painokertoimet on laadittu painottamalla Papanekin funktioanalyysin osa-alueita kevyen ja siirrettävän kenttäseuran tarpeiden mukaisesti. Olemme taustateorian pohjalta antaneet kullekin laatutavoitteelle painokertoimen, joka osaltaan on ohjannut suunnitteluprosessia. Painokertoimet 1-2 merkitsevät vähemmän merkittävää osa-aluetta, kun taas kertoimet 4-5 merkitsevät erittäin tärkeää osa-aluetta. Koska painokertoimien 4-5 osa-alueiden tavoitteiden saavuttaminen on arvoitu hyvin tärkeiksi, voidaan alemman painokertoimen (1-2) omaavien osa-alueiden tavoitteista tinkiä, jos tärkeämmät osa-alueet sitä vaativat. Painokertoimet ovat listattuna tutkimusmittarien taulukon (taulukko 2) ensimmäiseen sarakkeeseen.

Laatutavoitteista johdetut tutkimusmittarit:

TAULUKKO 2. Tutkimusmittarit.

Ominaisuus	Paino- kerroin (1-5)	Minimi- ja ideaaliarvot (tavoitearvo punaisella)					
		1	2	3	4	5	
Sahattavan tukin paksuus	4	20	25	30	35	40	cm
Paksuuden säätö	4	-3,0 +5,0	-2,5 +4,5	-2,0 +4,0	-1,5 +3,0	- 1,0 + 3,0	keskimääräinen heitto korkeintaan – mm...+mm
Käytettävyys yhden hengen voimin	5						Subjektiiivinen arviointi
Ergonominen käytettävyys	3						Subjektiiivinen arviointi
Kantavuus	4	300	350	400	450	500	kg
Syöpymisen kestävyys	4						
Sään ja olosuhteiden vaikutus toimivuuteen	4						Subjektiiivinen arviointi
Kuljetuskoko	5						kts. erillinen testauskriteeristö 3.3.8
Yksittäisten osien paino korkeintaan	5	35	30	25	20	15	kg
Kasausaika yksin	2	25	20	15	10	5	min
Hinta	2	1500	1200	1000	800	600	euroa
Turvallisuus	5						Subjektiiivinen arviointi

3.3.1 Sahattavan tukin paksuus

Sahattavan tukin paksuuden määrittäminen suoritetaan asettamalla eri paksuisia tukkeja kenttäsahan sahauspöydälle ja sahaamalla tukeista raakalankkua. Sahattavat tukit mitataan ennen sahausta halkaisijan selvittämiseksi.

Tukki on pystyttävä kiinnittämään tukevasti kiinni sahauspöytään, jotta sahan voidaan katsoa pystyvän kyseisen kokoisen tukin käsittelyyn. Tämä ei kuitenkaan yksinään riitä, vaan kenttäsahan moottorina toimivan moottorisahan tehon sekä laipan pituuden olisi oltava riittävä myös tukin sahaukseen lankuksi. Mittaustulokseksi merkitään halkaisijaltaan suurin tukki, jonka kohdalla nämä ehdot täyttyvät.

3.3.2 Paksuuden säätö

Testitukkeja sahattaessa sahaa säädetään niin, että syntyvä sahatavara on standardimittojen mukaista. Tavoitteena on selvittää, vastaako kenttäsaha sille asetettua laatutavoitetta tuotetun sahatavaran mittatarkkuudesta. Syntyneet laudat mitataan työntömitan avulla kuudesta kohtaa, jotta saadaan selville laudan paksuus sekä mitan säilyminen koko laudan matkalla.

Testaukseen valitaan satunnaisotannalla kolme testikappaletta, joiden mittatarkkuutta mitataan. Satunnaisotannan tarkoituksena on ehkäistä mahdollisuus vaikuttaa testitulosten tarkkuuteen. Mikäli esimerkiksi sahalaitoksen tuottaman sahatavaran mittatarkkuus vaihtelisi sahan eri korkeusasetuksilla, ilman satunnaisotantaa mittaustilannetta varten olisi mahdollista valita parhaan tuloksen antavan korkeussäädön lankkuja ja siten vääristää tulosta. Kaikkia testilautoja ei ole mahdollista sahata samalla kertaa eikä testejä varten hankittujen tukkien kosteusprosenttiin ole mahdollista vaikuttaa. Näistä syistä syntyvien mittaustulosten vääristymistä pyritään ehkäisemään testaukseen valitun puumateriaalin säilytyksellä. Sahaamatonta puumateriaalia säilytetään ulkona, kuten tukkeja säilytetään väliaikaisesti metsässä ja sahattuja lautoja säilytetään ulkotiloissa sateelta suojattuna. Tällä tavoin kaikkien mittaukseen tulevien lautojen kosteusprosentti asettuu ulkoilman suhteellisen kosteuden mukaiseen luonnolliseen kosteuteen.

3.3.3 Kantavuus

Testausta varten sahauspöydälle asetetaan etukäteen punnittuja tukkeja tai vastaavia pitkiä ja painavia kapeita kappaleita. Tällaisia ovat esimerkiksi rautaputket. Mittaukseen käytettävät kappaleet valikoituvat mittaushetkellä parhaiten saatavilla olevista kappaleista.

Tällainen mittaustapa on mahdollinen, mutta työläs. Mittausta varten tarvitaan useampia tukkeja tai vastaavia mittakappaleita eikä kappaleiden painon lisäämistä voi suorittaa tasaisesti. Lisäksi pitkien kappaleiden punnitseminen voi olla haastavaa. Koska tarkoituksena ei ole rikkoa sahalaitoksen sahauspöytää, testauksella ei haeta maksimipainoa, jonka pöytä kestää. Jokaisen painonlisäyksen jälkeen tarkastellaan silmämääräisesti, miten sahauspöytä näyttää kestävän. Jos se taipuu uhkaavasti tai osoittaa hajoamisen merkkejä, koe keskeytetään.

3.3.4 Käytettävyys yhden henkilön voimin

Sahaustapahtuma pitäisi olla hallittavissa yhden henkilön voimin. Sahaustapahtumaan kuuluu tukiin asettaminen sahauspöydälle, tukiin kiinnitys sekä itse tukiin sahaus. Tämä prosessi tulisi olla hoidettavissa yhden henkilön voimin ilman, että siihen tarvitaan toisia henkilöitä avuksi. Yhden henkilön, joka on perehtynyt hyvin sahalaitoksen toimintaan ja ominaisuuksiin tulisi testaustilanteessa pystyä toteuttamaan itsenäisesti sahaustapahtuma.

3.3.5 Ergonominen käytettävyys

Ergonomisen käytettävyyden arvioinnissa keskitytään sahalaitoksen keskeisten toimintojen ergonomisen käytettävyyden arviointiin. Keskeisiä toimintoja ovat tukiin sahauspöydälle asettaminen, tukiin kiinnitys, sahan korkeudensäätö ja sahaus. Näistä toimin-

noista kerätään työergonomiaan liittyviä havaintoja ja niiden perusteella arvioidaan ergonomista käytettävyyttä. Ergonomisen käytettävyyden arvioita kysytään sekä sahaus-tapahtuman observoilta että sahalaitosta kokeilevilta käsityön aineenopettajaopiskeli-joilta. Observoijien osalta ergonomisen käytettävyyden arviointi perustuu havainnointiin ja sen perusteella tehtyihin arvioihin ja testaajien osalta taas omakohtaiseen kokemukseen. Sahaajille ja observoilille esitettävät kysymykset eroavat hieman toisistaan, joten molemmille ryhmille laaditaan oma arviointilomake (ks. Liite 2 & Liite 3). Yhteistä molemmille arvioijaryhmille esitettyihin kysymyksiin on kuitenkin kenttäsaahan toimintaan ja käyttöön liittyvän subjektiivisen tutkimustiedon kartoittaminen.

3.3.6 Syöpymisen kestävyys

Syöpymisen kestävyttä arvioidaan suunnitteluvaiheessa kirjallisuuden ja omakohtais-ten havaintojen perusteella. Testausvaiheessa syöpymisen kestävyden arviointi perus-tuu observoijien ja testisahaajien antamiin arvioihin. Sahalaitoksen materiaalia, raken-etta ja pintakäsittelyä koskevat vertaisarviot pohjautuvat käsityön aineenopettajan kou-lutuksen sisältämien kurssien antamiin materiaaliopin tietoihin sekä empiiriseen tietoon, jota esitellään luvussa 4.2.2 sahalaitoksen pintakäsittelyn kuvailun yhteydessä. Subjek-tiivisten arvioiden analyysin pohjalta luodaan arvio sahalaitoksen syöpymisen kestä-vyydestä, kun sitä säilytetään ja käytetään ulkona suomalaisessa metsäisessä sisämaan ilmastossa.

3.3.7 Sään ja olosuhteiden vaikutus toimivuuteen

Sahalaitos testataan sen käyttötarkoituksen mukaisessa ympäristössä ja sen toimivuudesta tehdään havaintoja. Käyttöympäristönä on metsä tai metsäinen pihapiiri, josta löy-tyy 2 x 8 metrin kokoinen alue, jossa ei ole yli 20 senttimetrin korkeuseroja. Myös sää-olosuhteet huomioidaan arvioinnissa, mutta testausajan ollessa rajallinen, kaikissa mah-dollisissa sääoloissa ja kaikkina vuodenaikoina ei testaamista kyetä suorittamaan. Näiltä

osin tutkimustuloksien osalta joudumme turvautumaan arvioihin ja päätelmiin muissa olosuhteissa kerätyn empiiristen kokemusten perusteella.

3.3.8 Kuljetuskoko

Sahalaitoksen pitää olla kuljetettavissa farmarimallisen henkilöauton sisätiloissa penkit kaadettuina. Tässä tutkielmassa farmarimallisen henkilöauton tavaratilan mitat määritettiin Suomessa yleisen Volkswagen Passat farmariauton tavaratilan mitoista. Tavaratilan kooksi tässä tutkielmassa määräytyi siten pituudeltaan 1,6 metriä, leveydeltään 1,0 metriä ja korkeudeltaan 0,8 metriä. Sahalaitoksen pitäisi mahtua kyseiseen tilaan kuljetuskokoon purettuna kaikkine osineen ja olla lastattavissa sinne yhden henkilön voimin.

3.3.9 Yksittäisten osien paino

Sahalaitoksen osien painot punnitaan erikseen sahalaitoksen ollessa purettuna kuljetusta varten. Laatutavoite-ehtojen mukaisesti painavin yksittäinen osa saisi olla painoltaan korkeintaan 25 kilogrammaa. Testauksen tulosten analyysissä keskitytään painavimman yksittäisen osan painon vertaamiseen tutkimusmittarin arvoihin. Tulokseksi tulkitaan siis painavimman osan painon suhde tutkimusmittarissa määritelyihin arvoihin.

3.3.10 Kokoamisaika yksin

Kokoamisajan mittaus suoritetaan yhden henkilön voimin sahan ollessa testipaikalla kuljetusasennossa. Sahalaitoksen kokoamiseen vaadittavat työkalut ovat testaajan saatavilla testaushetkellä. Kuljetusasennolla tarkoitetaan sitä osien kokoamisastetta, jossa sahalaitoksen osat olisivat autoon pakattuna. Kokoamisaikaan ei kuitenkaan lasketa osi-

en purkamista auton tavaratilasta eikä siihen kuulu moottorisahan asentaminen paikoilleen sahalaitokseen. Moottorisahan säädöt, tankkaus ja mahdollisesti lämmityskäyttö kannattaa tehdä rauhassa ennen sahalaitokseen asentamista. Sahalaitoksen kokoamisesta otetaan aika ja se arvotetaan tutkimusmittarin antamien tavoiteaikojen perusteella.

3.3.11 Hinta

Hinta muodostuu laskemalla sahalaitokseen käytettyjen materiaalien ostohinnat yhteen. Mikäli sahalaitokseen käytetään tekijöiden omistuksessa olevia materiaaleja, niille arvioidaan materiaalien tarveajankohdan hintatasoa vastaava hinta. Moottorisahan osuutta kokonaiskustannuksiin ei lasketa, koska se määritetään tutkielman lähtökohdissa jo olemassa olevaksi, ja sitä käytetään myös muuhun käyttöön kuin sahalaitoksen käyttömoottorina.

3.3.12 Turvallisuus

Turvallisuutta arvioidaan tarkkailemalla sahalaitosta ja sahaustapahtumaa todellisessa sahaustilanteessa. Lisäksi tehdään arvioita siitä, millaisia poikkeus- tai vaaratilanteita voisi syntyä ja miten niihin on varauduttu. Sahalaitoksen rakennetta arvioidaan työturvallisuuden näkökulmasta. Oletettavasti suurin riski liittyy käynnissä olevan moottorisahan teräketjuun osumiseen. Erityisesti se, miten tähän on varauduttu, on tärkeä arviointikriteeri.

4. Todistamisteoreettinen osa

4.1 Tuotteen ja sen valmistuksen suunnittelun teoretisointi

Kaikkien tuotteiden suunnitteluvaihe on tärkeä, sillä tuotteen käytön tarkoituksenmukaisuuden sekä käytön sujuvuuden edellytykset luodaan suunnitteluvaiheessa (Launis 1999, 32). Käyttäjän ja tuotteen välisen vuorovaikutuksen sekä sen tuloksena olevan toiminnon laatu määrittävät käyttäjäkokemuksen laadun. Tuotesuunnittelun tavoitteena on kehittää myönteisen käyttökokemuksen tarjoava tuote. (Cagan & Vogel 2003, 262) Käytettävyyssuunnittelussa on oleellista tuotteen käyttäjien tarpeiden ja toiminnan selvittäminen sekä tuotteen käytettävyyden testaaminen koko suunnitteluprosessin aikana. Käytännön tason keinoja tällaiseen toimintaan ovat esimerkiksi käyttötilanteiden ja tuotteen rakenteen reflektointi, vastaavien tuotteiden rakenteen ja toiminnan tutkiminen sekä tietokonemallinteiden tutkiminen. (Launis 1999; 32, 35)

4.1.1 Suunnittelun teorit

Keveyen ja siirrettävän kenttäsaahan suunnittelun perusteena on käyttäjälähtöinen tuotesuunnittelu. Cagan ja Vogel (2003) puhuvat samasta aiheesta käyttäjäkeskeisenä prosessina. Molemmat nimitykset kuvastavat kuitenkin samanlaista suunnitteluprosessia, jossa suunnittelun lähtökohtana sekä keskeisimpänä tekijänä on tuotteen käyttäjän tarpeet ja käyttökokemus. Tässä tutkielmassa käytämme ilmiöstä nimitystä käyttäjälähtöinen tuotesuunnittelu.

Käyttäjälähtöisessä tuotesuunnittelussa pyritään prosessin aluksi selvittämään ja kuvaamaan mahdollisimman tarkasti käyttäjän tuotteelle asettamat vaatimukset. Nämä vaatimukset voivat koskea esimerkiksi tuotteen rakennetta, toimivuutta tai helppokäyttöisyyttä. Tässä tutkielmassa sahalaitoksen vaatimuksia on analysoitu aiemmin esitellyn Papanekin funktioanalyysin avulla.

Käyttäjätiedon hankinta ja analysointi on tärkeä osa prosessia, sillä tuotesuunnittelu ja -kehitys on luonteeltaan kumulatiivista eli aiempaan tietoon pohjautuvaa toimintaa. Aiemmat tuoteratkaisut ja niistä saatu tieto sekä ohjaavat että rajaavat uusien ratkaisujen luomista. (Hyysalo 2009, 34.)

Käyttäjätiedon lisäksi myös suunnittelijoiden, eli tämän tutkielman tapauksessa kahden käsityön aineenopettajaopiskelijan, tietotaito on myös tärkeä varanto, jota tulee hyödyntää prosessin aikana. Hyysalo toteaa ennako-oletuksilla ja -arvioilla olevan sekä hyviä että huonoja puolia tuotekehitysprosessin kannalta. Parhaimmillaan ennako-oletukset mahdollistavat kokonaisvaltaisen ymmärryksen saavuttamisen tuotteen käyttäjistä tai käyttöympäristöstä. Nämä ennako-oletukset on kuitenkin tuotava selkeästi esille, jotta niistä voisi selkeyttää ja jalostaa tuotteen suunnittelun kannalta tarpeellista käyttäjätietoa (Hyysalo 2009, 80).

Tässä tutkielmassa käyttäjätiedon hankintatavaksi tarkempaa analysointia varten valikoitui aktiivinen tiedonhankinta tutkimalla ja vertaamalla tutkielman produktia vastaavia valmiita tuotteita. Näiden tuotteiden rakennetta ja toimivuutta tutkimalla ja reflektoimalla olemme hankkineet taustatietoa suunnitteluprosessin käynnistämiseen. Kentäsahan käyttöön liittyvän valmistusprosessin aikaisen esitestauksen sekä kokemustiedon hankintaan olemme käyttäneet hyödyksi tutkielmaa tekeviä henkilöitä. Oman itsensä käyttäminen muiden käyttäjien vertailukohtana perustuu ajatukselle, että ihmisen fysiologiassa, luonteessa ja toiminnassa on kaikille yksilöille yhteisiä, yleisinhimillisiä, piirteitä (Hyysalo 2009, 81). Lisäksi tämän tutkielman produkti on tulossa tekijöiden omaan käyttöön, jolloin käyttäjätiedon hankintaan on luonnollista hyödyntää edellä mainittua keinoa. Koko tuotesuunnitteluprosessi ei kuitenkaan voi pohjautua ainoastaan tekijöiden aiempiin tietoihin ja kokemuksiin, vaan prosessi vaatii tietoista kokemusten sekä tietojen kartuttamista.

Ongelmien ja parannusehdotusten kartoitus on Hyysalon mukaan yksi tapa suorittaa käyttäjäyhteistyötä (Hyysalo 2009, 99). Kyseisen toimintatavan tavoitteena on tuoda esiin tuotteen käyttäjien kokemia ongelmia sekä yrittää löytää niihin ratkaisuja yhteistyössä ongelman kokeneen käyttäjän kanssa. Kyseessä on dialogi käyttäjän ja tuotesuunnittelijan välillä. Voidaan puhua myös osallistuvasta suunnittelusta, jossa päästään lähemmäksi ihmisten ajattelua, subjektiivisia tunteita sekä arvostuksia (Launis 1999, 36). Tutkivan tuottamisen teorian mukaisesti etenevä kevyen ja siirrettävän kentäsahan valmistus poikkeaa kuitenkin tässä vaiheessa käyttäjäyhteistyöstä. Tutkivassa

tuottamisessa tuotteen suunnittelu, valmistus sekä testaus kehittävät käsityötajua tutkimuksen tekemisen avulla ja vain ainoastaan tuotteen testausvaiheessa saadaan käyttäjätietoa tutkimuksen kohderyhmän henkilöiltä. Suunnittelun ja valmistuksen aikana tuotteen tekijät eivät siis ole dialogissa tuotteen käyttäjien kanssa, mikäli käyttäjäryhmä poikkeaa tuotteen tekijöistä.

4.1.2 Tuotteen suunnittelu piirtämällä

Tässä tutkielmassa luotavan produktin, kenttäsaahan, suunnitteluprosessin aikaiseen ideoiden hahmotteluun on käytetty apuna Sketchup-mallinnusohjelmalla piirrettyjä 3d-malleja. Suunnitteluprosessin alkuvaiheessa luonnostelmat olivat ylimalkaisempia joutuksen sahalaitoksen rakenneideoiden jäsentymättömyydestä, mutta suunnittelun edetessä myös tietokoneavusteisesti piirretyt hahmotelmat tarkentuivat. Suunnitelmien kehittelyn lisäksi 3d-malleja hyödynnettiin myös suunnittelusyöklän testauksen aikana. Tarkkaan mallinnettujen suunnitelmien avulla voitiin ennakoita valmistusprosessin aikaisia haasteita ja suunniteltujen rakenteiden mahdollisia heikkouksia. Kriittisen tarkastelun ja reflektoinnin avulla kyetään havainnoimaan jo ennalta toimimattomia tai valmistuksen kannalta mahdottomia rakenneratkaisuja. Sahalaitoksen suunnittelun aikaiset 3d-mallit on säästetty ja liitetty mukaan lukuun 4.2 suunnitteluprosessin kuvaamisen havainnollistamiseksi. Pelkkiä hahmomalleja tutkimalla tutkielman lukija saa käsityksen suunnitteluprosessimme etenemisestä.

4.1.3 Kestävyyden, painon ja kustannusten arviointi

Kenttäsaahan materiaalit joutuvat käytössä kovalle rasitukselle. Käyttöympäristössä sahalaitoksen rakennetta rasittavat sahan käyttöön liittyvät tekijät sekä ilmastolliset tekijät. Sahalaitoksen käyttöön liittyviä rasittavia tekijöitä ovat esimerkiksi sahattavan tukin sahalaitoksen runkoon kohdistamat (piste-)kuormat, käynnissä olevan moottorisahan aiheuttama sahakelkan tärinä sekä sahausessa syntyvät jätteet, kuten sahanpuru. Ilmas-

tollisia ja käyttöympäristöön liittyviä rasitteita aiheuttavat erilaiset sääilmiöt, lämpötilojen vaihtelut ja maapohjan epätasaisuus. Sahalaitoksen suunnittelussa on huomioitava kaikki nämä tekijät sekä niiden sahalaitokselle asettamat vaatimukset. Lisävaatimuksia sahalaitoksen rakennesuunnitteluun asettaa myös laatutavoitteissa määritelty yksittäisen osan enimmäispaino 25 kilogrammaa. Tämä on työterveyslaitoksen asettama suositus suurimmalle kuormalle, jota saa kantaa ja nostaa ilman apuvälineitä (Työterveyslaitos 2009, 6).

Sahalaitokselle määritelty kantavuus, jäykkyys, kuljetettavuus ja paino ovat osittain ristiriidassa keskenään. Esimerkiksi kantavuutta ja jäykkyyttä tavoiteltaessa myös paino kasvaa ja kuljetettavuus heikkenee. Vaatimusten välille on löydettävä tasapaino ja suunnittelussa on tarvittaessa tehtävä kompromisseja. Keskenään ristiriitaisten laatutavoitteiden vaatimuksien arvottamiseksi olemme luoneet painokertoimet kullekin laatutavoitteelle. Suuremman painokertoimen laatutavoitteet olemme kokeneet tärkeämmiksi kuin pienemmän painokertoimen omaavat. Kompromisseja tehtäessä ratkaisussa painotetaan näitä tärkeämpiä tavoitteita vähemmän tärkeiden kustannuksella.

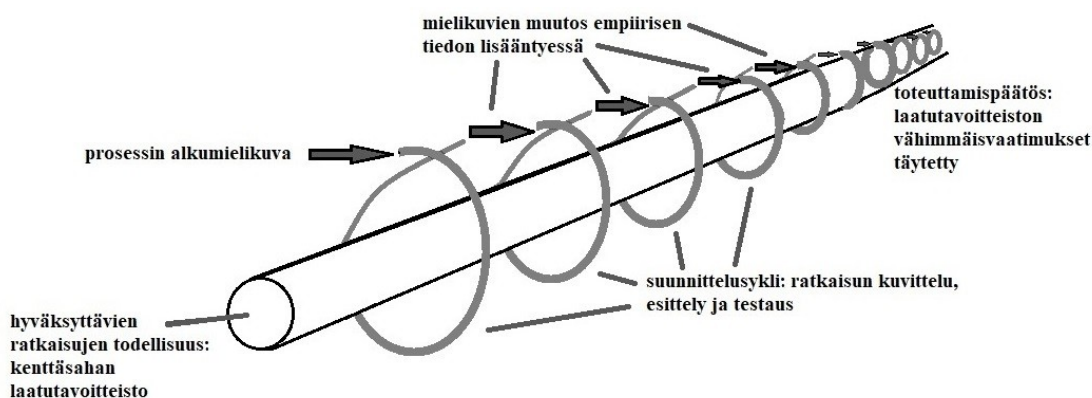
Sahalaitoksen suunnittelussa tulee huomioida myös kustannustehokkuus. Tavoitteenamme on luoda laatutavoitteitamme vastaava sahalaitos myös kustannusten osalta. Siksi materiaali- ja työstötapojen valinnassa sekä rakennesuunnittelussa on pyrittävä optimoimaan myös sahalaitoksen hinta-laatu -suhde.

4.2 Kenttäsaahan valmistuksen suunnittelu- ja valmistussyklit

Tuotesuunnittelu ei ole yksiulotteista toimintaa vaan sisältää kaikille kehitysprosesseille ominaisia piirteitä, kuten ongelmanratkaisujen kuvittelua, esittämistä sekä testaamista (Zeisel 2006, 22). Tuotesuunnitteluprosessien kuvaamiseksi on kehitelty erilaisia teoreettisia malleja, joista lineaarinen tuottamisprosessi on selkeä ja yksinkertainen. Linearisessa tuottamisprosessissa prosessin tulos voidaan saavuttaa suoraviivaisella toiminnalla (Yli-Piipari 1991, 17). Linearisesti eteneville malleille on mahdollista löytää yhteisiä peruspiirteitä.

Lineaaristen tuottamisprosessien perusvaiheita ovat tuottamisongelman muotoilu, ratkaisun kehittäminen sekä prosessin tulokset. Linearisessa mallissa tuottamisprosessin ajatellaan alkavan ongelmasta ja päättyvän tuoteongelman ratkaisuun eli tuloksiin. Lineaarinen malli ei huomioi kuitenkaan kaikkeen tuottamistoimintaan liittyvää mahdollisuutta epäonnistumisiin ja tekemällä oppimiseen. Huomiotta jäävät siis yritys-erehdys -vaiheet, jotka edellyttävät palaamista taaksepäin prosessissa (Yli-Piipari 1991, 17-18).

Suunnitteluprosessia ei voi kuvata täysin lineaarisesti etenevänä jatkumona ongelmanratkaisuja, sillä yhden tuoteongelman ratkaisu voi johtaa seuraavaan ja ratkaisuketjun lopputuloksena voi olla täysin ratkaisemattomissa oleva ongelma. Suunnitteluprosessien esittämiseen on kehitetty lineaarisen mallin lisäksi monia muita teoreettisia malleja, joista kenttäsaahan suunnittelu- ja valmistusprosessin etenemistä kuvaa parhaiten Zeiselin syklinen spiraalimalli.



Kuvio 2. Syklisen prosessin spiraalimalli mukailten Yli-Piipari (1991, 20).

Spiraalimallissa prosessi alkaa alkumielikuvien muodostamisella empiirisen, kokemusperäisen tiedon avulla. Tutkimussyklit muodostuvat tutkimuskysymyksen ratkaisumallin kuvittelusta, idean esittelystä sekä sen testauksesta (Zeisel 2006, 22-24). Ratkaisumallin kuvittelussa on kyse suunnittelijan oman empiirisen sekä saatavissa olevan tiedon pohdinnasta ja prosessoinnista, minkä tuloksena suunnittelijalla on mielessään enemmän tai vähemmän selvä käsitys tuotteesta ja sen ominaisuuksista. Tämä käsitys heijastaa kokonaisvaltaisesti suunnittelijan tietämystä sekä visuaalista hahmotuskykyä. (Zeisel 2006, 23 - 24.) Suunnittelija siis ennakoii tulevaa tuotetta sekä pohtii ratkaisuja, miten kyseinen tuote olisi mahdollista toteuttaa (Zeisel 2006, 26). Tässä vaiheessa tuo-

teidea on ainoastaan suunnittelijan sisäisenä ajatusrakenteena, joka vaatii idean esittelyä sen saattamiseksi myös muille ymmärrettävään muotoon. (Zeisel 2006, 23)

Tuoteidean esittely sisältää hahmottelua, suunnitelmien laatimista ja esimerkiksi hahmomallien tekoa. Idean esittely vaatii taitoa esittää ideoita sekä valita esittelyyn kulloiseen tilanteeseen parhaiten sopiva esitystapa. Tärkeintä on kyetä esittämään tuoteidea sellaisessa muodossa, jossa suunnittelija itse sekä mahdollisesti myös muut suunnittelu-prosessiin liittyvät henkilöt voivat ymmärtää tuoteideaa ja ryhtyä kehittämään ratkaisuja. Pohjimmiltaan kyse on siis tuoteongelmien näkyväksi tekemisestä. (Zeisel 2006, 24.)

Tuoteidean esittelyn jälkeen tehtyjä suunnitelmia tulee testata niiden tarkoituksenmukaisuuden ja toimivuuden varmistamiseksi (Zeisel 2006, 24). Prosessin etenemisen kannalta tehokkaampaa on testata suunnitelmia mahdollisimman aikaisessa vaiheessa kuin palata taaksepäin prosessin myöhemmissä vaiheissa. Tällainen ideaali toimintatapa on kuitenkin harvoin täysin mahdollinen tuotesuunnitteluprosesseissa. (Zeisel 2006, 30)

Tuoteidean testaaminen voi sisältää vertailua, arviointia, haastatteluja tai reflektiota. Kriittisen tarkastelun tavoitteena on varmistaa, että suunnitteluratkaisut vastaavat tuotteelle asetettuja mielikuvia ja ehtoja, suunnitelmat ovat toimivuuden ja taloudellisuuden kannalta järkeviä sekä toisiinsa sidoksissa olevat suunnitelmat yhdessä muodostavat sisäisesti ehyen kokonaisuuden. Ilman testausta ei voi tapahtua edistystä, sillä testaus on kehitettävän tuotteen ominaisuuksien vertailua sille määriteltyihin tuote-ehtoihin (Zeisel 2006, 25).

Edellä esitetyt tuotesuunnitteluprosessin piirteet sisältävän tutkimussyklin tuloksena saadaan uutta testitietoa tutkittavasta kohteesta. Tämän tiedon pohjalta voidaan luoda uusia mielikuvamalleja tuotesuunnitteluprosessin seuraavaa sykliä varten. Tuotesuunnitteluprosessin piirteiden painoarvo vaihtelee suunnitteluprosessin aikana. Prosessin alkuvaiheessa suunnittelijat käyttävät yleensä enemmän aikaa ideointiin ja mielikuvien luomiseen testauksen jäädessä lähes kokonaan pois syklistä. Sen sijaan prosessin myöhemmissä vaiheissa ideoiden esittely nousee tärkeämpään rooliin. (Zeisel 2006, 31; Yli-Piipari 1991, 21)

Jokainen tutkimussykli tuottaa uutta tietoa tutkimusaiheesta ja edistää prosessia kohti tavoiteltua päämäärää eli hyväksyttävien ratkaisumallien todellisuutta. (Zeisel 2006, 31)

Luvussa 5 määrittelemämme laatutavoitekriteerit ja -dimensiot muodostavat tutkimuksemme hyväksyttävien ratkaisujen todellisuuden.

Spiraalimallille ominaista on tutkijan perääntyminen prosessin aikana (Yli-Piipari 1991, 20; Zeisel, 2006. 29). Perääntyminen ilmenee suunnittelijan palaamisena uudelleen aiempiin suunnittelutehtäviin ratkaistakseen ne uudelleen tilanteeseen paremmin soveltuvina tai paremmin niiden tarpeen synnyttämän ongelman poistavina. Jokainen suunnitteluprosessin aikainen ratkaisu vaikuttaa sekä tuleviin että aiempiin prosessin ratkaisuihin. (Zeisel 2006, 29 - 30) Suunnitteluprosessin jokainen vaihe on kytköksissä toisiinsa ja tämä ilmenee esimerkiksi tuotesuunnitteluprosessin syklin tuloksena ilmenevänä ylitsepääsemättömänä ongelmana, jota ei voi ratkaista muuten kuin palaamalla prosessin edeltäviin vaiheisiin ja ratkaisemalla ne uudelleen poikkeavalla tavalla.

Zeiselin mukaan samat vaiheet toteutuvat suunnitteluprosessin sykleissä yhä uudelleen. Tutkija pohtii, esittää ja testaa tuotesuunnitteluprosessissa ratkaisumallejaan ongelman ratkaisemiseksi. (Zeisel 2006, 29) Prosessin eri vaiheissa esiintyvät ongelmat ja testauksen kohteet vaihtuvat ja siksi tuotesuunnitteluprosessin syklit eivät ole keskenään samanlaisia samoista vaiheista huolimatta (Zeisel 2006, 31).

Kolmas Zeiselin spiraalimallille ominainen piirre on suunnittelun jatkuva suuntautuminen kohti yhtä ratkaisua tai tavoitetta (Zeisel 2006, 29, 31). Toisin sanottuna tuotesuunnitteluprosessin aikana esiintyvät siirtymät taaksepäin prosessissa edistävät kuitenkin prosessin etenemistä kohti suunniteltua ratkaisua.

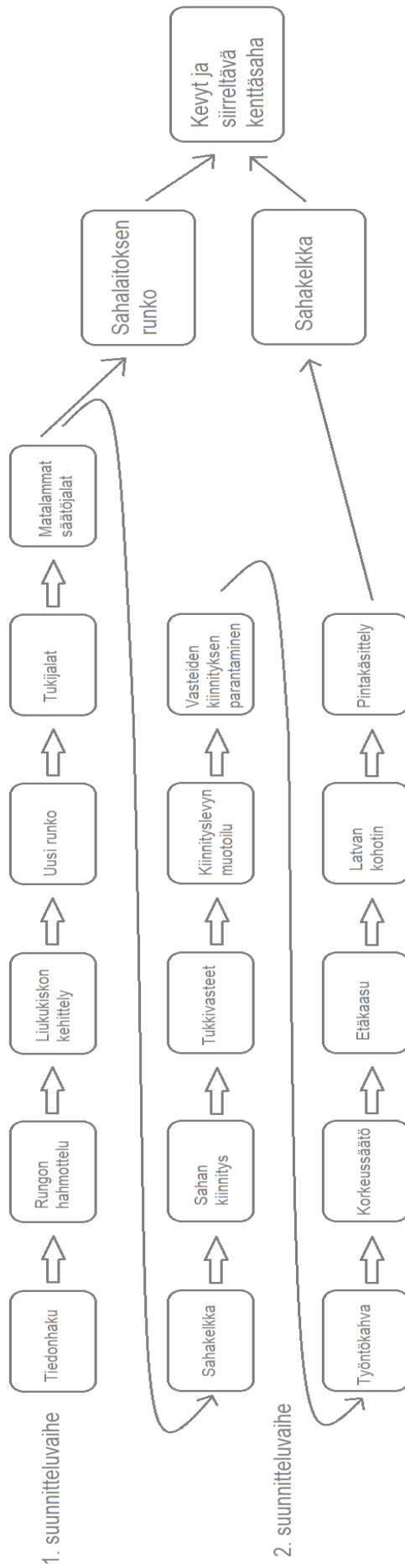
Suunnittelun syklejä toistetaan suunnitteluprosessin aikana niin kauan, kunnes viimein saavutetaan hyväksyttävien ratkaisujen todellisuus. Tällöin tuote täyttää sille asetetut vähimmäisvaatimukset ja tuottamispäätös voidaan tehdä.

Spiraalimallista ei aina voida erottaa selviä vaiheita vaan prosessin vaiheet nivelöityvät kiinteästi toisiinsa (Zeisel 2006, 31). Toisin sanottuna edellä esiteltyjä piirteitä esiintyy suunnitteluprosessissa myös ajoittain päällekkäisesti. Tuotesuunnitteluprosessi ei siis ole sarja toisistaan irrallisia suunnittelutehtäviä vaan muodostaa ehyen ja jatkuvan kokonaisuuden prosessin alusta loppuun asti. Tämän takia prosessin vaiheiden havaitseminen ja pilkkominen osiin ei aina ole helppoa.

Kenttäsahan suunnittelu- ja valmistusprosessin etenemisen kuvaamiseksi määrittelimme 17 suunnittelusykliä, jotka jaottuvat kahteen suunnitteluvaiheeseen. Vaikka tutkielmamme lopputulos, yhden miehen käytettävä sahalaitos, on yksi tuotekokonaisuus, se

käsittää käytännössä kahden erillisen toisiinsa sopivan tuotteen suunnittelun ja valmistuksen. Kyseisiä tuotteita ovat sahalaitoksen runko sekä sahakelkka. Yhdessä kyseiset tuotteet muodostavat tuotekokonaisuuden, jonka on tarkoitus vastata esineettömyyden kokemukseen määrittelemämme laatutavoitteiston täyttäen. Yksinään kumpikaan tuotteista ei voi täyttää laatutavoitteiston vaatimuksia ja siksi niiden suunnittelu- ja valmistusprosessia on käsiteltävä kokonaisuutena. Prosessia selventävänä jaotteluna prosessi on jaettu kahteen vaiheeseen: Sahalaitoksen rungon suunnitteluun sekä sahakelkan suunnitteluun.

Seuraavassa esittelemme kenttäsahan suunnittelu- ja valmistusprosessin syklit. Prosessin kulku noudattaa edellä esitettyä spiraalimallia, mutta havainnollisuuden takia kenttäsahan suunnittelusyklit on esitetty seuraavassa kuviossa peräkkäisinä prosesseina. Kyse ei kuitenkaan ole lineaarisesti etenevästä tuottamisprosessista.



Kuvio 3. Kenttäsaahan valmistuksen suunnittelu- ja valmistusprosessi.

1. suunnitteluvaihe: Sahalaitoksen rungon suunnittelu

Sykli 1: Käsityön aineenopettajakoulutuksessa opitun tiedon reflektointi ja tiedonhaku

Kenttäsaahan suunnitteluprosessi aloitettiin refleктоimalla opettajankoulutuksen aikana saatuja tietoja ja taitoja. Nämä seikat liittyvät esimerkiksi materiaalitietouteen, mahdollisiin työstötekniikoihin sekä mekaanisten koneiden rakennesuunnitteluun. Kyse oli oman käsityötajumme analysoinnista ja näkyväksi tekemisestä. Nämä tiedot muodostavat sekä tutkimuksen pohjalla olevan kokemuseräisen tiedon että vaikuttavat prosessin alkumielikuvaan.

Tuotesuunnitteluprosessin ensimmäinen sykli sisälsi tiedonhakua aiemmin tehdyistä kenttäsaahoista. Tässä vaiheessa hankkimaamme tietoa on esitelty luvussa 3.1.1 Valmiiden ratkaisujen hyvien puolien ja ongelmakohtien analysoinnilla saimme tietoa laatutavoitteen toteuttamiseksi tukevista ratkaisuista.

Aiempien kenttäsaahojen rakenteen tutkimisen pohjalta päädyimme valitsemaan sahalaitoksen runkomateriaaliksi alumiinin. Alumiini on hyvin syöpymisenkestävää johtuen alumiinin pinnalle syntyvästä alumiinioksidikerroksesta. Kova alumiinioksidikerros passivoi alumiinin eli tekee siitä luonnostaan hyvin korroosiokestävän (Keinänen & Kärkkäinen 2008, 71). Alumiinioksidikerros myös uusiutuu eli oksidipinnan rikkova naarmu kuroutuu umpeen alumiinin ollessa kosketuksissa ilman hapen kanssa (Laitinen ym. 1997, 164).

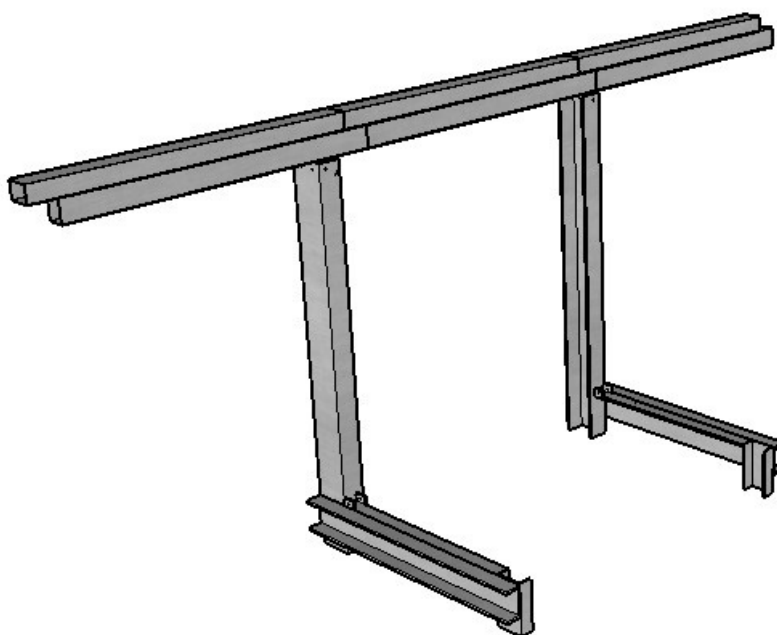
Alumiinin luontainen kestävyys helpottaa rungon pintakäsittelyn vaatimuksia, mutta rajoittaa esimerkiksi käyttökelpoisia työstömenetelmiä. Suunniteltavan sahalaitoksen olisi oltava valmistettavissa käytettävissä olevan teknologian ja oman kompetenssimme asettamissa rajoissa. Esimerkiksi alumiinin hitsaus on oksidikerroksesta johtuen teräksen hitsausta haastavampaa, mutta onnistuu parhaiten MIG- tai TIG-hitsauksella (Keinänen & Kärkkäinen 2008, 71). Kyseinen teknologia on käytettävissämme, joten tämän osalta materiaalivalinta ei rajaa pois vaihtoehtoja. Materiaalivalinnan jälkeen suunnittelumme keskittyi parhaiten laatutavoitteitamme vastaavan rungon muodon suunnitteluun.

Sykli 2: Sahauspöydällisen sahalaitoksen rungon hahmottelua

Toisessa syklissä alkumielikuvamme mukaan sahauspöydällinen sahalaitos olisi paras ratkaisu tuoteongelmaamme. Sahauspöydällisen sahalaitoksen vahvuutena on tukin nosto irti maasta, jolloin lumi tai maaperän kasvillisuus ei haittaa sahaustapahtumaa. Lisäksi sahauspöydällisessä sahalaitoksessa sahauspaksuutta säädetään tukin korkeutta muuttamalla, joten moottorisaha voidaan pysyvästi asettaa ergonomisesti hyvälle työskentelykorkeudelle.

Toisessa suunnittelusyklissä suunnittelimme empiirisen tiedon ohjaamana runkomuodon sekä sahakelkan liukukiskon sahauspöydälliselle sahalle. Suunnittelimamme liukukisko oli ontelorakenteinen T-mallinen kisko, jossa liitoskohdat limittyvät toisiinsa ja kiskon osien kiinnitys tapahtuu pikasokkien avulla. Materiaaliksi suunnittelimme rungon tavoin alumiinia.

Tämän suunnittelusyklän suunnitelmien testaus suoritettiin suunnittelun yhteydessä kriittisenä reflektiona eli syklissä korostui vahvasti mielikuvan kehittäminen. Liukukiskon suunniteltu rakenne todettiin turhan monimutkaiseksi ja kustannuksiltaan liian korkeaksi tarpeisiimme. Runkomuoto vaikutti kuitenkin vielä tässä vaiheessa toteuttamiskelpoiselta.

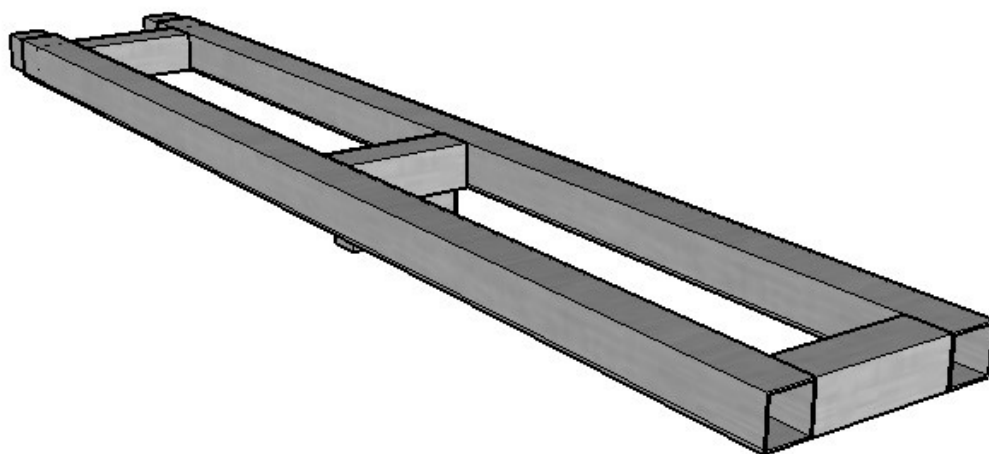


Kuva 4. Ensimmäinen hahmotelma sahalaitoksen rungosta.

Sykli 3: Liukukiskon kehittäjä

Kolmannessa syklissä suunnittelimme toisenlaisen jatkettavan liukukisko tukirakenteineen sahakelkkaa varten sekä jatkoehittelimme sahauspöydän rakennetta. Suunnittelimme tässä vaiheessa korkeussäädettävä sahauspöytä muodostui kahdesta erillisestä saksinostimesta, joiden korkeussäätöön käytetään sahalaitoksen rungon pystyputkeen kiinnitettyä vinssiä. Ajatuksenamme oli lisätä sahauspöytään integroidut rampit, joita pitkin voisi siirtää tukkeja sahauspöydälle samoja vinssejä käyttäen. Kyseinen suunnitelma jäi ajatuksen tasolle eikä sitä kehitetty suunnitteluprosessin aikana pidemmälle.

Sahalaitoksen liukukisko suunniteltiin rakennettavaksi alumiinisesta neliöputkesta hitsaamalla. Liitoskohtiin neliöputken sisälle suunniteltiin liukukiskomuovista (tarkemmin ilmaistuna HDPE 1000 -muovista) tehtävät liitoskappaleet, jotka asettuvat tiukasti neliöputken sisäpintaa vasten, mutta ovat silti helposti irrottavissa pitkittäissuuntaan vetämällä. Liukukiskon liitosten varmistus suunniteltiin toteutettavan liukukiskon alapintaan asennettavien salpojen avulla. Liukukiskon sivujohteiden ja keskipalkkien liitos ajateltiin toteutettavan TIG-hitsaamalla. Näin kiskon rakenteesta olisi mahdollista tehdä viimeistelty ja siisti.



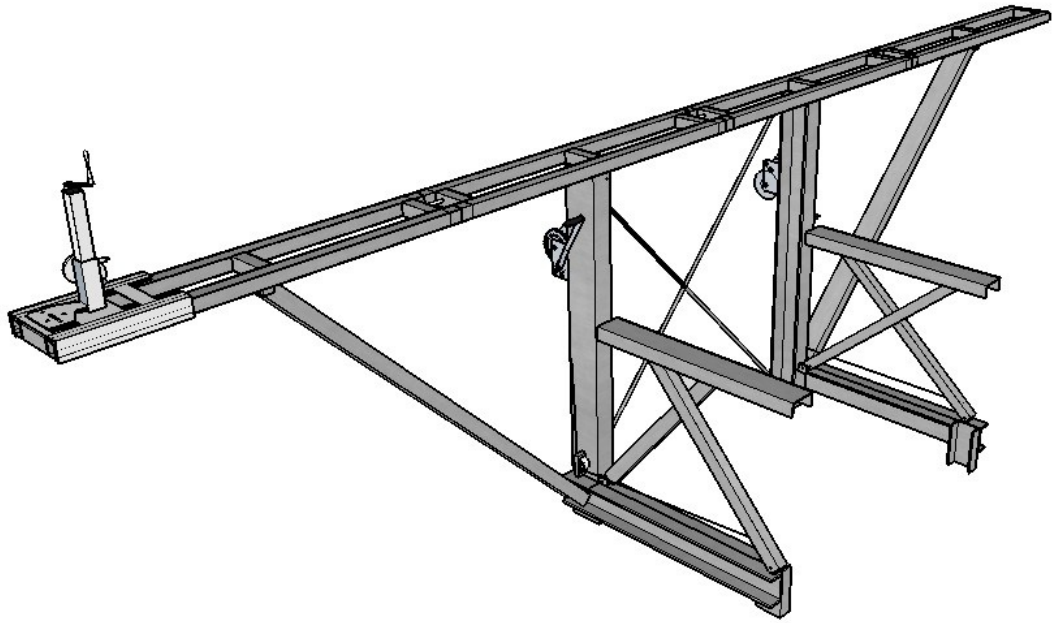
Kuva 5. Alumiininelioputkesta TIG-hitsaamalla valmistettavan liukukiskon havainnekuva.

Kolmannen syklin testausvaiheen kriittinen reflektio osoitti kuitenkin suunnittelemamme rakenteen toimimattomaksi sahauspöydän osalta, sillä sahauspöydän korkeussäätöä ei ollut mahdollista toteuttaa vinssin avulla tarkasti säädettäväksi tai vaivattomasti käytettäväksi. Erityisesti sahauspöydän laskeminen alaspäin hallitusti tukin ollessa sen päällä osoittautui haastavaksi. Sahauspöydän saksinostimen tyyppiset nostomekanismit eivät olisi myöskään kestäneet tukin mahdollista pitkittäisliikettä kaatumatta sahauspöydän ollessa yläasennossa, minkä lisäksi molempia nostimia ei olisi pystynyt säätämään yhtäaikaisesti.

Sahauspöydän erillinen säätö olisi tarpeellinen sahattaessa ensimmäistä sahausta voimakkaasti kapenevalle tukille, mutta muissa tilanteissa erillinen korkeussäätö tuottaisi vain kaksinkertaisen vaivan yhdellä säädöllä toimivaan säätöön verrattuna. Näiden suunnitteluhaasteiden vuoksi totesimme ensimmäisen runkosuunnitelmamme olevan tällaisenaan toimimaton ja vaativan paljon muutoksia kestäväen rakenteen aikaansaamiseksi.

Suunnittelemamme liukukisko olisi ollut täysin toteuttamiskelpoinen, mutta erittäin työläs valmistaa johtuen pienten erillisten osien suuresta määrästä. Lisäksi alumiinin hitsaaminen on haastava liitostekniikka tottumattomalle tekijälle. Virheettömän ja kestäväen liitoksen aikaansaaminen vaatii runsaasti harjoittelua. Alumiinin hitsaukseen haasteita tuovat alumiinioksidikerros, joka perusainetta tiheämpänä painuu helposti hitsisulan sisään estäen liitettävien kappaleiden kiinnittymisen toisiinsa. Lisäksi alumiinia hitsattaessa ilman kosteudesta, lisäaineen epäpuhtauksista tai hitsausliekistä voi liueta hitsisulaan vetyä, joka voi aiheuttaa huokoisuutta saumaan. Alumiinilla on myös taipumus ajan kuluessa varsinkin tärisevissä ympäristöissä halkeilla joko hitsaussaumastaan tai sauman ja perusaineen välisestä muutosvyöhykkeestä (Blom 1975; 127,132-133). Kyseinen halkeilutaipumus on tulosta hitsaukseen vaaditun kuumuuden aiheuttamista rakennemuutoksista, jotka haurastuttavat alumiinia liitoskohdasta ja sen välittömästä ympäristöstä. Alumiinin hitsausta vaativat rakenteet asettavat siis suuria haasteita sekä valmistusprosessiin että valmiin rakenteen kestävyysajan pidempiaikaisessa käytössä.

Jouduimme useiden suunnitteluongelmien vuoksi tässä vaiheessa suunnitteluprosessia palaamaan takaisin päin prosessissa kokonaan toisenlaisen runkomuodon suunnitteluun. Tähän vaiheeseen asti olimme suunnitelleet säätävämme sahauskorkeutta tukkipöydän korkeutta muuttamalla sahan pysyessä vakiokorkeudella.



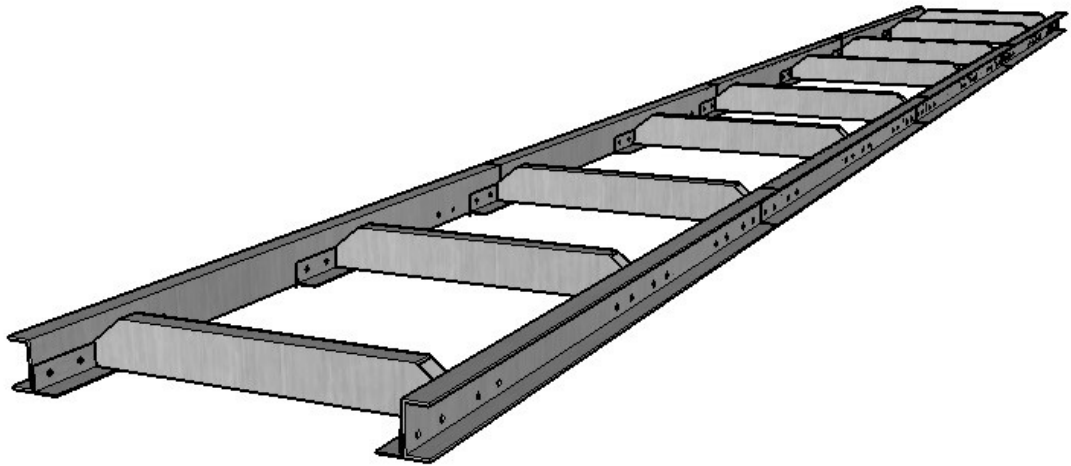
Kuva 6. Kenttäsahan ensimmäisen mallin suunnitelma kolmen ensimmäisen suunnittelusyklin jälkeen.

Sykli 4: Uusi runkomuoto

Neljäs suunnittelusykli sisälsi kokonaan erilaisen runkomuodon luomisen. Rungoksi muotoutui syklissä tikasmallinen kiskorakenne, jossa sivujohteet ovat alumiinista U-palkkia ja keskituet alumiinista suorakaidepalkkia. Esikuvana uudelle runkomallille toimi maassa olevat sahalaitokset ja erityisesti sahalaitokset, joiden moottorina käytetään vannesahaa. Tarkastelumme perusteella moottorisahakäyttöisissä maassa olevissa sahalaitoksissa käytetään yleisesti johteina kevyempiä valmiita rakenteita, kuten alumiinitikkaita.

Suunnittelimme omaan sahalaitokseemme tukevamman rakenteen vastaamaan laatutavoitteistossa määriteltyä kantavuutta. Suunnitelmassa sahalaitoksen rungon sivujohteet olisi kiinnitetty pulttiliitoksilla keskipalkkeihin, jotka olisivat toimineet myös rungon osien liitoskappaleina. Keskituet olisivat alumiinista suorakaidepalkkia, johon on hitsattu päätyjen alareunaan alumiinisesta L-kulmaprofilista tehdyt liitoslaipat. Kyseinen rakenne on purettavissa pieniin osiin kuljetusta varten, mutta osien määrä (17 kpl) ja

jokaisen osan liittäminen toisiinsa pulttiliitoksilla veisi oletettavasti kokoamiseen enemmän aikaa kuin laatutavoitteistossa olemme määritelleet.

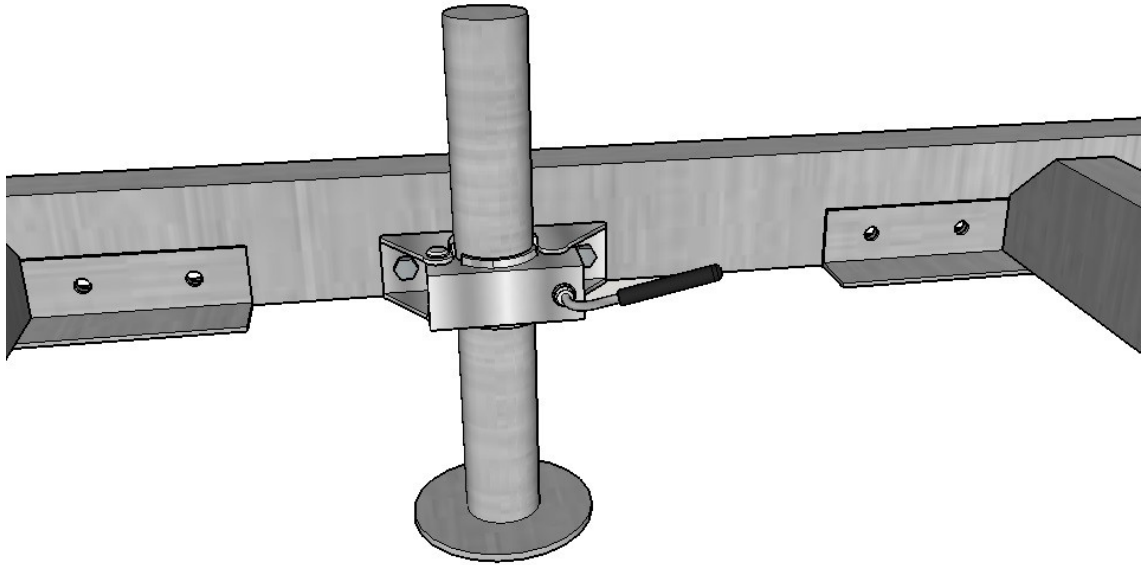


Kuva 7. Ensimmäinen suunnitelma ”tikasmallisesta” runkorakenteesta.

Teoreettisessa tarkastelussa totesimme edellä esitellyn uuden runkorakenteen jäykäksi, painoa kestäväksi sekä varsin kevyeksi. Tässä runkomallissa sahattava tukki makaa va-kiokorkeudella olevan tukkipöydän päällä ja sahauskorkeuden säätö tapahtuu moottorisahan korkeutta säätämällä. Runkomuodolle sopivaa sahakelkan rakennetta eikä korkeussäädön toteutusta ei suunniteltu vielä tässä vaiheessa.

Sykli 5: Tukijalat

Määrittelemämme käyttöympäristö eli metsämaa ei ole koskaan täysin tasainen, minkä takia runko on saatava tuettua tukevasti koko pituudeltaan. Viidennen syklin kohdalla suunnittelimme tukkipöytää varten tukijalkoja, joilla tukkipöytä voidaan nostaa irti maasta ergonomiselle työskentelykorkeudelle. Suunnittelusyklin lopputuloksena runkoon saatiin suunniteltua säätöjalat, joilla pöydän saa riittävän korkealle. Säätöjalkojen rakenne muodostui alumiinista valmistettavasta jalkaputkesta sekä valmiista kaupallisesta peräkärryn nokkapyörän kiinnikkeestä. Kiinnikkeet suunniteltiin kiinnitettäväksi rungon sivupalkkien sisäpintaan, jolloin sivupalkit olisivat olleet tukin painoa eniten kantavat rakenteet.



Kuva 8. Tukijalkojen rakenne.

Kriittisessä tarkastelussa totesimme korkealla olevan tukkipöydän haittaavan käyttöä, sillä tukin saaminen tukkipöydälle tarvitsisi jo hydraulisia tukinnostimia. Pitkät tukijalat ovat lyhyitä huterampia emmekä halunneet ottaa riskiä mahdollisuudesta tukkipöydän kaatumiseen.

Tukijalkojen pituus aiheutti myös ongelmia. Tukijalat olisivat vaatineet teleskooppirakenteen, jotta eivät olisi tulleet tukin tai sahan tielle missään tilanteessa. Käytännössä ilman teleskooppirakennetta tukijalat olisi täytynyt asettaa lähelle täyttä korkeuttaan ja käytettävä säätövara maapohjan epätasaisuuksien tasoittamiseen ei olisi ollut suuri. Tässä kohtaa myös totesimme monimutkaisen jalkarakenteen olevan vikaherkkä sekä sen valmistuskustannukset olisivat karanneet turhan korkeaksi. Suurempien ja painavampien tukkien kohdalla myös jalkojen suunniteltu sijoituspaikka olisi saattanut aiheuttaa ongelmia. Pitkät ja useita jatkospaikkoja sisältävät sivupalkit olisivat saattaneet alkaa taipua painavien tukkien alla. Viidennen suunnittelusyklin tuloksena luovuimme ajatuksesta nostaa tukkipöytä reilusti irti maasta ja totesimme tukijalkojen kestävyuden kannalta parhaan sijoituspaikan olevan keskipalkeissa.

Sykli 6: Matalammat säätöjalat

Kuudennessa suunnittelusykliissä korkeat säätöjalat korvattiin matalammilla keskipalkkiin kiinnitettävillä säätöjaloilla. Säätöjalkojen rakennetta yksinkertaistettiin huomattavasti ja lyhyemmät säätöjalat rakentuvat haponkestävästä M10-pultista sekä turkkilevystä valmistetuista tassuista. Tukijalkojen kiinnitys sahalaitoksen rungon keskipalkkeihin toteutettiin alumiinisilla niittimuttereilla.

Tukijalkoihin kohdistuva rasitus on enimmäkseen puristusrasitusta, jota pultit kestävät erittäin hyvin. Tukijalkojen puristuksen kesto vastaa noin 6400 kilogramman painoa yhtä tukijalkaa kohti ja vastaavasti kaksi tukijalkaa sisältävän keskipalkin teoreettinen kestävyys tukijalkojen osalta on siis 12 800 kilogrammaa. Rajoittavaksi tekijäksi sahalaitoksen kantavuuden osalta muodostuukin muu runkorakenne.

Runkomuoto muuttui kuudennen suunnittelusyklin aikana hieman verrattuna neljännessä sykliissä määriteltyyn muotoon. Johdekiskojen U-palkki korvattiin saatavissa olleella I-profiilin kaltaisella alumiiniprofiililla sekä keskipalkeiksi valittiin alumiiniset I-palkit, jotka mittojensa puolesta sopivat johdekiskojen sisälle.

Johdekiskoiksi sekä keskipalkeiksi valitut alumiiniprofiilit ovat alun perin tarkoitettu kevyiden seinärakenteiden kuten hitsauspisteiden turvaseinien tukirakenteiksi. Kyseiset alumiiniprofiilit osoittautuivat muotonsa perusteella jäykäksi sekä kohtuullisen ohuen seinämäpaksuutensa osalta myös kevyeksi. Valittujen alumiiniprofiilien muoto myös mahdollisti johdekiskon ja keskipalkkien keskinäisten liitosten sekä jatkospaikkojen liitosten valmistamisen yksinkertaisesti, kustannustehokkaasti sekä ennen kaikkea turvallisesti.

Suunnittelemamme runko on täydessä mitassaan 6,5 metriä pitkä ja se on purettavissa viiteen keskenään identtiseen moduuliin. Moduuleita voi liittää toisiinsa missä järjestyksessä tahansa, mikä helpottaa rungon kokoamista kuljetusasennosta käyttövalmiiksi. Lisäksi moduuleita voi kiinnittää toisiinsa kulloiseenkin tarpeeseen tarvittavan määrän.

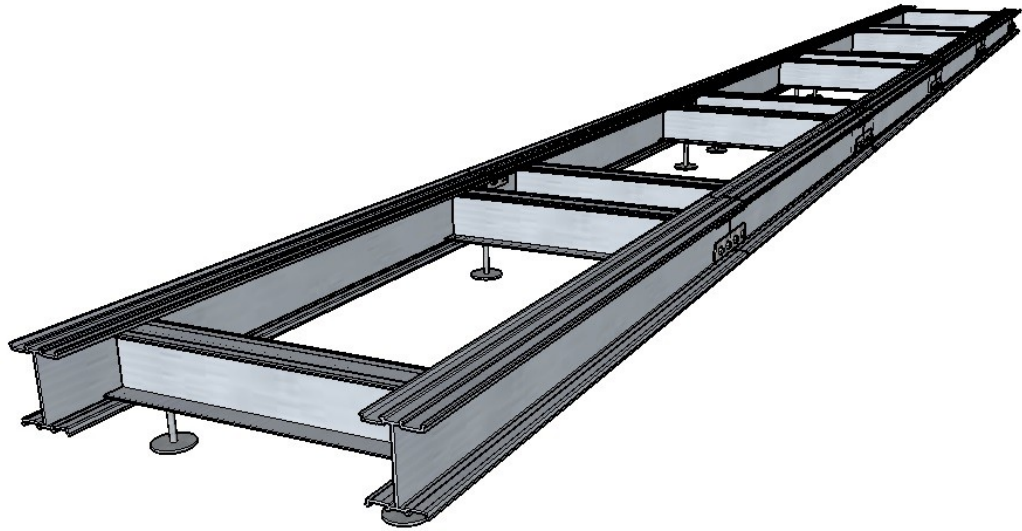
Runkomoduleita ei ole tarkoitus purkaa kuljetusta varten, minkä takia niiden koko oli määriteltävä kuljetusta käsitteleviä laatutavoitteita vastaavaksi. Yhden runkomoduulin pituudeksi määriteltiin 1,3 metriä ja kokonaisleveydeksi 0,8 metriä. Tämän kokoisina osina runko on kannettavissa kokonsa puolesta yksin sekä se on mahdollista saada mah-

tumaan farmarimallisen henkilöauton sisään. Yksittäinen runkomoduuli rakentuu kahdesta sivujohteesta sekä kahdesta keskipalkista. Keskipalkit kiinnittyvät sivujohteisiin pulttiliitoksella.

Alumiinirakenteiden kiinnittäminen toisiinsa ei aiheuta ongelmia korroosionkestävyyden kanssa ulkotiloissa, mutta kiinnitysvälineiden valinta on haastavampi. Alumiini on pehmeä ja helposti kolhiintuva metalli eikä siitä valmisteta kiinnitystarpeiksi tarvitsemme pultteja ja muttereita. Erilaisten metallien yhdistäminen toisiinsa aiheuttaa aina sähkökemiallisia reaktioita metallien välille ja näissä reaktioissa jalompi metalli syövyttää epäjalompaa. Metallien syöpymistä voidaan toisinaan käyttää myös hyödyksi esimerkiksi suojaamalla syövyttävissä ympäristöissä olevia metallirakenteita epäjalomman uhrimetallin avulla. (Ansaharju ym. 1988, 174.) Sähkökemiallisia reaktioita erilaisten metallien välillä voidaan vähentää ja jopa kokonaan estää eristämällä eri metallimateriaalit toisistaan esimerkiksi maalikerroksella, muovilla tai kumilla.

Kiinnitysvälineiksi sivujohteiden ja keskipalkkien välille valitsimme haponkestävät pultit ja mutterit, sillä ne kestävät sähkö- tai kuumasinkittyjä vastaavia pidempään ulko-olosuhteissa. Haponkestävän teräksen korroosionkestävyys perustuu sen pinnalle ilman hapen vaikutuksesta syntyvään ohueen, mutta kestäväan oksidikerrokseen. Haponkestävästä teräksestä valmistetut kiinnitysvälineet soveltuvat käytettäväksi alumiiniosien liittämiseen. (Airila, Ekman, Hautala, Kivioja, Kleimola, Martikka, Miettinen, Niemi, Ranta, Rinkinen, Salonen, Verho, Vilenius & Välimaa 1995, 184.) Emme kokeneet oman materiaalitietoisuutemme ja asiantuntijan neuvon pohjalta tarpeelliseksi eristää haponkestäviä pultteja ja alumiinirunkoa toisistaan pulttiliitokseen sijoitettavan muoviholkin avulla.

Suunnittelimme johdekiskojen jatkamiseen pulteilla kiinnitettävät liitoslaipat, jotka tukeutuvat pulttien lisäksi myös alumiiniprofiilin sisäpuoliseen uraan. Liitoslaippojen materiaaliksi valikoitui 40 millimetriä leveä ja 4 millimetriä paksu alumiinilatta. Runkomoduulien sivupalkkien päihin porattiin metallijyrsimellä reiät liitoslaippojen kiinnittämistä varten. Kuudennen suunnittelusyklin tuloksena koimme suunnitelleemme laatu-tavoitteitamme vastaavan sahalaitoksen rungon ja valmistimme sen.



Kuva 9. Sahalaitoksen runko.

2 suunnitteluvaihe: Sahakelkan suunnittelu

Sykli 7: Sahakelkka

Seitsemäs sykli sisälsi sahakelkan muodon sekä suojiensuunnittelua. Vaihtoehtoina kelkan muodoksi oli symmetrinen ja epäsymmetrinen malli. Epäsymmetrisessä mallissa moottorisaha liukuisi vain toista johdekiskoa pitkin yhden pystytuen varassa. Tällaista rakennetta on aiemmin hyödynnetty moottorisahalla toimivissa kenttäsaahoissa ja se on osoittautunut toimivaksi ainakin pienempien sahojen osalta. Tällaiseen epäsymmetriseen sahakelkan rakenteeseen on kuitenkin haastavaa suunnitella käyttöä haittaamattomia suoja- ja useissa epäsymmetrisen sahakelkan sahalaitoksissa suoja- ei esiintynyt lainkaan. Halusimme suunnittelun avulla minimoida sahalaitoksen riskit käyttäjälle, joten päädyimme symmetriseen sahakelkan malliin, jossa erityisesti moottorisahan teräketjun ja laipan suojaaminen tahattomalta osumiselta niihin on helpommin estettävissä.

Tämän suunnittelusyklin tuloksena suunnittelimme symmetrisen eli molempia johdekiskoja pitkin liukuvan kuulalaakeroidun sahakelkan, jossa moottorisahan korkeussäätö tukeutuu sahakelkan kahteen pystyputkeen ja korkeussäätö tapahtuu trapetsikierretangon välityksellä.

Sahakelkan materiaaliksi valitsimme rakenneteräksen sen helpon työstettävyyden vuoksi. Sahakelkkaa ei myöskään ole tarkoitus säilyttää pitkiä aikoja ulkona säiden armoilla, joten valitun materiaalin ei tarvitse olla itsessään hyvin syöpymisen kestävä. Lisäksi sahakelkan syöpymisenkestoa parantaa sille suunniteltu pintakäsittely eli kuumasinkitys.

Teräsrakenteinen sahakelkka on alumiinista vastaavaa painavampi, mutta edullisempi. Suunnittelun yhteydessä tehdyn arvion mukaan teräksestä tehty sahakelkka ei ylitä laatuvoitteistossa määriteltyä yhden osa suurinta painoa. Lisäksi painavampi kelkka absorboi kevyttä kelkkaa enemmän liike-energiaa, mikä sahalaitoksen tapauksessa vähentää moottorisahan aiheuttamaa sahakelkan värinää.

Turvallisuuden lisäämiseksi sahakelkkaan suunniteltiin suoja sekä sivulle että päälle. Moottorisahan laipan puoleiseen kelkan reunaan suunniteltiin teräsverkkosuoja estämään ulkopuolisten henkilöiden raajojen tai sahausalueella olevien esineiden päätymistä pyörivään teräketjuun. Materiaalina suojaan on sinkitty joustava teräsverkko, jota toisinaan kutsutaan myös minkkiverkoksi. Tällainen verkko joustaa hieman, kun siihen kohdistaa voimaa, mutta ei anna periksi tai rikkoudu. Verkko on myös kevyttä ja ominaisuuksiensa puolesta vastaa käyttötarpeeseemme. Verkkosuojan kiinnittämisen helpottamiseksi ja ulkonäön parantamiseksi teimme verkon reunoihin 0,5 millimetriä paksusta molemmin puolin käsitellystä kattopelistä reunalistat, joiden väliin verkko on puristettu. Suojan materiaaliksi pohdimme myös läpinäkyvää akryylilevyä, mutta päädyimme teräsverkkorakenteeseen, sillä sahanpuru pääsee poistumaan verkon kautta eikä keräänny johdekiskon päälle. Lisäksi akryylistä valmistetun suojan ominaisuudet vaihtelisivat ympäristön lämpötilan mukaan. Erityisesti kovilla talvipakkasilla akryylilevy halkeaa helpommin siihen kohdistuvan kovan iskun myötä kuin kesähelteillä. Paksumman akryylilevyn valinnalla voidaan lisätä myös sen iskunkestävyyttä, mutta tämä tapahtuu painon kustannuksella, joten totesimme teräsverkon akryyliä paremmaksi materiaaliksi sahakelkan sivusuojaa varten.

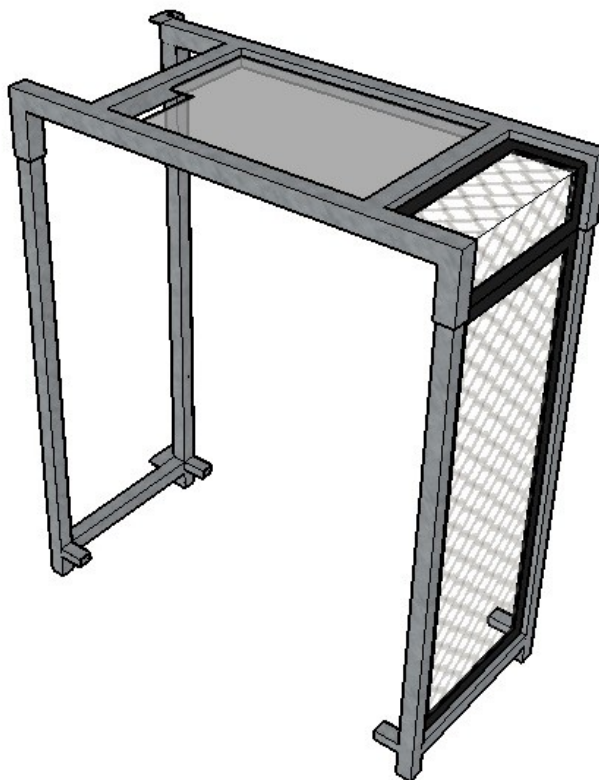
Sen sijaan sahakelkan yläpuoliseen suojaan valitsimme akryylilevyn. Sahakelkan yläpuolisen suojan tarkoitus on estää sahaajan käsien päätyminen missään tilanteessa terä-

ketjuun yläkautta sahaamisen aikana, mutta ei saa estää näkemästä laippaa ja teräketjua sahausajan aikana. Esteetön näkyvyys teräketjuun on ehdoton vaatimus turvallisen ja onnistuneen sahausajan mahdollistamiseksi.

Tähän käyttötarkoitukseen soveltuu ohut akryylilevy, sillä se estää sahaajan käsien joutumisen sahakelkan sisälle eikä akryylilevyyn kohdistu suuria voimia, sillä teräketjun yläpuolelle lentävät kappaleet ovat lähinnä sahanpurua ja pihimmillaan pieniä puusäleitä.

Nämä suojat eivät yksistään riitä takaamaan täysin turvallista ja terveyshaittoja aiheuttamatonta sahaustapahtumaa, vaan sahaajan ja muiden sahaustapahtumaa seuraavien henkilöiden on käytettävä kasvo- ja kuulosuojaimia. Huomioimme tämän tekijän lisäämällä sahakelkan yläpuoliseen akryylisuojailevyyn laserleikkurilla kaiverretut suojainmerkinnät.

Suunnittelutavoitteena suojien osalta oli suunnitella mahdollisimman vähän käyttöä haittaavat suojat, minkä takia emme lisänneet suojia sahakelkan etu- ja takareunaan tai sahan korkeussäädön puolelle.



Kuva 10. Sahakelkka.

Sykli 8: Sahan kiinnitys sahakelkkaan

Seuraavassa suunnittelusykliissä suunnittelimme sahan kiinnityslevyn. Sahan korkeussäätömekanismi kiinnittyy tähän kiinnityslevyyn, joka liukuu kahta sahakelkan pystyputkea pitkin. Moottorisaha kiinnittyy kiinnityslevyyn laippapultteihin asetettavilla jatkomuttereilla. Kiinnitysratkaisun malli on kopioitu Logosol-sahalaitoksesta. Pohdimme myös sahan tukemista muualta rungostaan kiinnityslevyä vasten, mutta moottorisahan myyjä ei suositellut kyseistä ratkaisua. Jälleenmyyjän mukaan ainoastaan moottorisahan laippapultit ovat suunniteltu kestäämään sahan koko paino kiinnitettäessä.

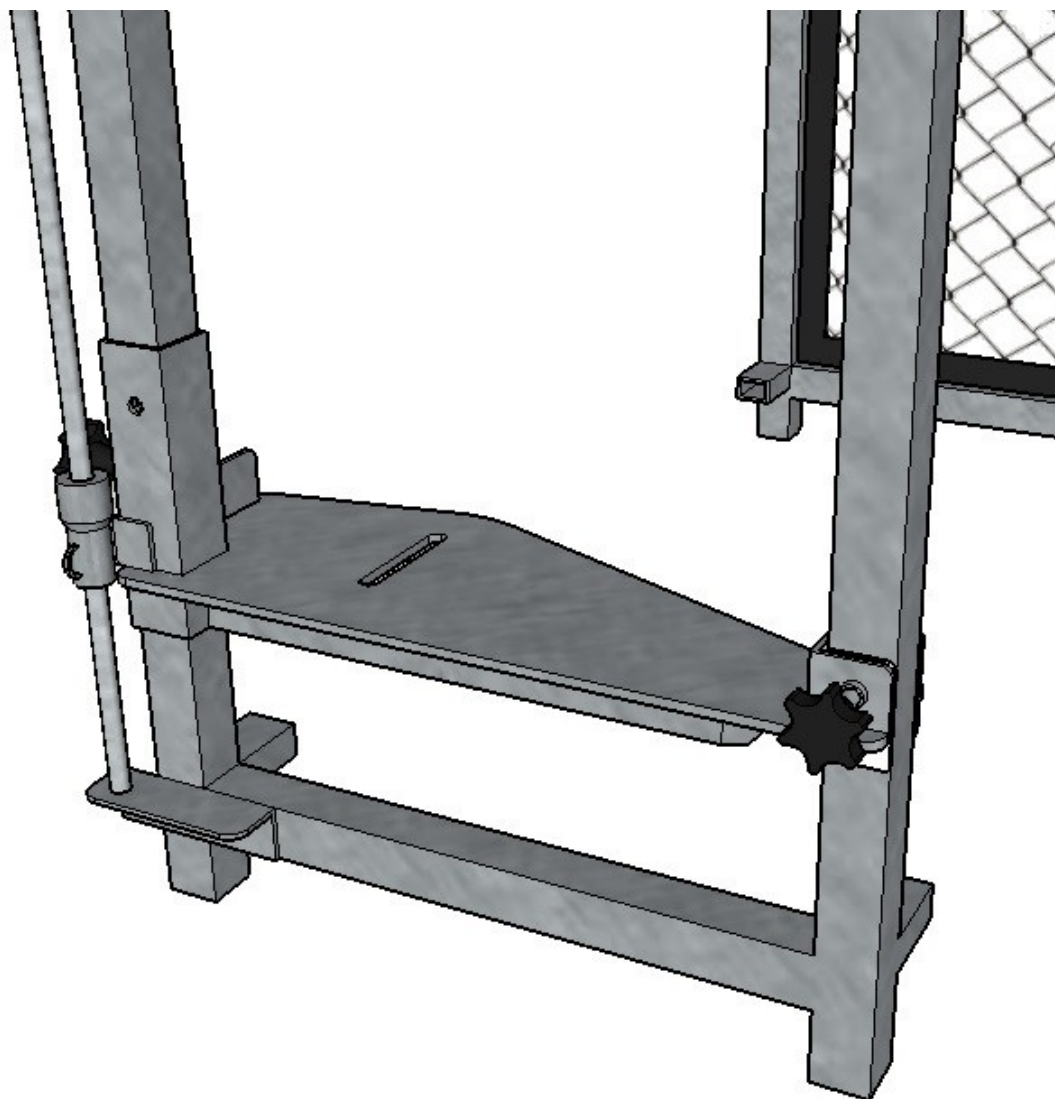
Materiaalivalinta sahan kiinnityslevylle oli tehtävä sahakelkan materiaalivalinnan mukaan, sillä toisiinsa jatkuvasti kosketuksissa olevien metallien tulisi olla jaloudeltaan toisiaan vastaavia sähkökemiallisen syöpmisen estämiseksi. Korkeussäätömekanismin ja kiinnityslevyn materiaaliksi valikoitui edellä mainitulla perusteella rakenneteräs.

Ensimmäisessä suunnitelmassa sahan kiinnityslevyn päätyjen liukuputket olivat keskenään samanpituisia ja umpinaisia putkirakenteita, mutta tekemämme esitestauksen perusteella totesimme kyseisen rakenteen varman toimivuuden vaativan tasaista korkeussäätöä kiinnityslevyn molemmista päistä. Muussa tapauksessa vaarana on kelkan epätaaisesta nousemisesta johtuva toisen liukuputken sekä samalla koko korkeussäädön jumituminen.

Tasaisesti molemmilta puolilta nostava korkeussäätömekanismi vaatii kiinnityslevyn molempiin päihin keskenään identtiset nostinmekanismit. Kahden samanlaisen mekanismin suunnittelu ja valmistaminen ei ole ongelma, mutta niiden samanaikainen säätö vaatisi molempia mekanismeja pyörittävän voimansiirron esimerkiksi ketjun ja ketjupyörien avulla. Totesimme kyseisten vaatimusten tekevän korkeussäätömekanismin rakenteesta liian monimutkaisen, painavan ja kalliin valmistaa.

Ratkaisimme ongelman muuttamalla suunnitelmassa kiinnityslevyn toisen päädyn liukuputki yhdeltä sivultaan avoimeksi tukiholkiksi. Tukiholkin tehtävä on taata kiinnityslevyn vääntymättömyys ja vaakasuoruus. Tukiholkin sisäpuolelle valmistettiin liukukiskumuovinen liukupala vähentämään kitkaa sahakelkan pystyputken ja tukiholkin välillä ja näin parantamaan kelkan vertikaalista liikkuvuutta.

Kiinnityslevy hitsattiin kiinni liukuputkeen ja tukiholkkiin, minkä lisäksi levyn alapuolelle lisättiin lattaraudasta valmistettu tukikehikko. Tukikehikko jakaa moottorisahan painon tasaisemmin kiinnityslevylle ja lisäksi tukevoittaa levyä sekä pituus- että leveys-suunnassa. Havaitsimme saha kiinnikkeen alapuolisen tukikehikon myötä saha kiinnikkeen olevan niin tukeva, että toisen päädyn tukilaipan voisi jättää kokonaan pois ja moottorisahan kiinnittää pelkän yhden liukuputken varaan. Jäykkyytensä osalta suunniteltu saha kiinnike sopisi käytettäväksi jopa epäsymmetrisessä sahakelkassa.



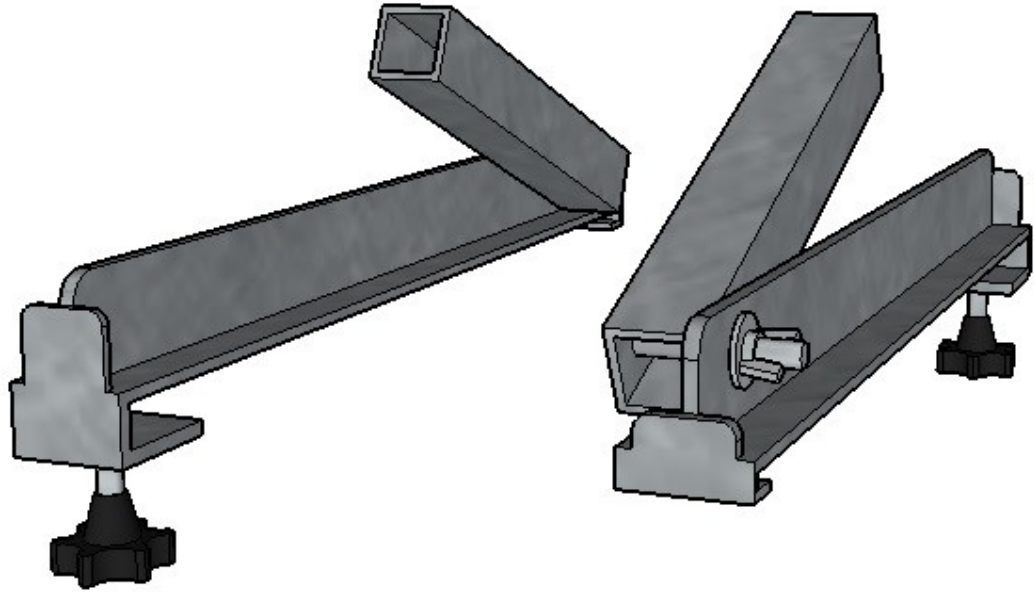
Kuva 11. Kiinnikelevy ja korkeussäätömekanismi.

Sykli 10: Tukkipöydät

Seuraavana suunnittelutehtävänä oli tukin kiinnittämiseen tarvittavien vasteid^{en} suunnittelu. Eri paksuisten tukkien käsittelyä varten vähintään toisen puolen vasteen olisi oltava siirrettävissä leveyssuunnassa. Lisäksi nopeasti ja helposti irrotettavissa oleva vastee olisi helppoa siirtää pois tieltä nostettaessa tukkia tukkipöydälle. Tukkipöyd^{en} suunnittelu ja valmistus muodostivat suunnittelu- ja valmistusprosessin 10. syklin. Suunnittelemamme teräksestä valmistettavat tukkipöydät kiinnittyvät kahden runkomo-
duulin välisiin keskipalkkeihin ja ovat säädettävissä sivuttaissuunnassa kulloisenkin tarpeen mukaan. Tukkipöyd^ä ei ole suunniteltu pitkäaikaissäilytettäväksi kiinni saha-
laitoksen rungossa ja osittain tästä syystä vastee suunniteltiin helposti ja nopeasti irro-
tettaviksi. Pitkäaikainen ulkosäilytys kiinni rungossa voi johtaa tukkipöyd^{en} kiinnitys-
ruuvien kiinnisöypymiseen sekä mahdollisesti rungon alumiinin ja tukkipöyd^{en} teräk-
sen välisiin kemiallisiin syöpyemisreaktioihin, mikäli tukkipöyd^{en} kiinnityspintojen eris-
tävä maalikerros on kulunut puhki.

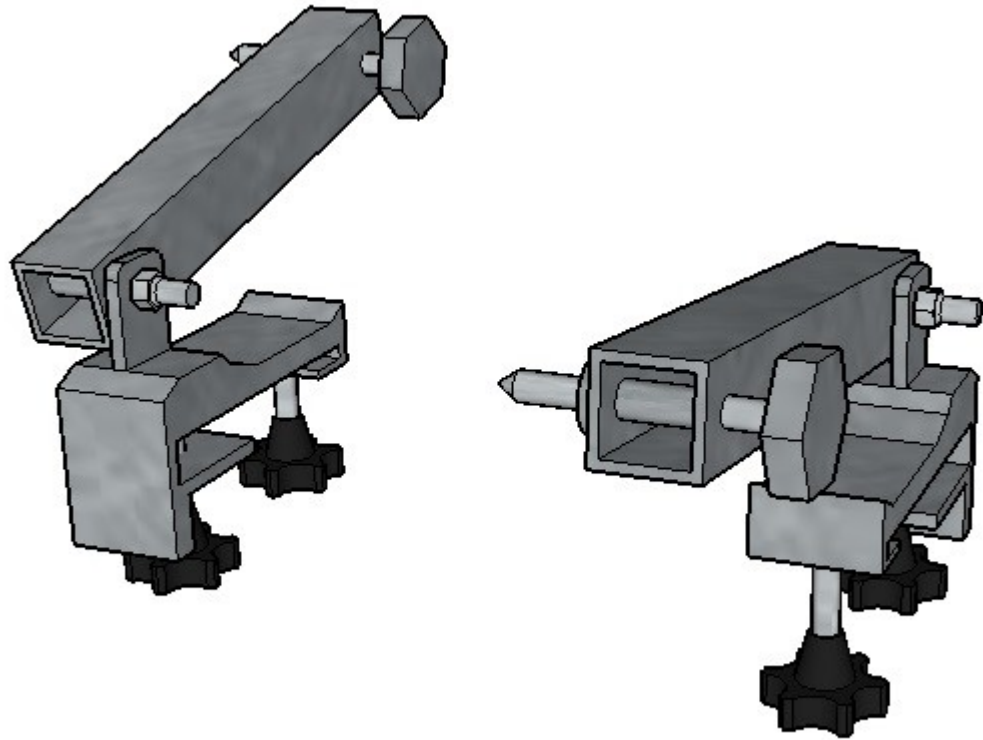
Sisempi tukkipöytä on suunniteltu asetettavaksi tavallisimmissa sahaustilanteissa johde-
kiskon sisäreunan laippaa vasten. Sisemmän tukkipöyd^{en} reuna on suunniteltu niin, että
se painuu johdekiskon laipan alle ja tukeutuu keskipalkkien lisäksi johdekiskoon. Tar-
vittaessa sisemmän vasteen voi asettaa keskipalkin sivuttaissuunnassa mihin tahansa
kohtaan. Sisemmän vasteen asettaminen muualle kuin johdekiskon laippaa vasten tulee
tarpeeseen vain erittäin käyrän tukin sahaamista varten.

Sisemmän tukkipöyd^{en} korkeussäätö suoritetaan kääntämällä vastee käsin oikeaan asen-
toon ja kiristämällä siipimutteria, kunnes vastee jää haluttuun asentoon. Lisäksi ulomman
tukkipöyd^{en} asettamisen ja säädön jälkeen sahattava tukki painautuu sisemmän tukki-
pöyd^{en} vartta vasten varmistaen varren paikallaan pysymisen sahaustapahtuman ajan.



Kuva 12. Havainnekuva sisemmästä tukkivasteesta.

Sisemmän tukkivasteen kanssa yhtäaikaaisesti suunnittelimme myös ulomman tukkivasteen. Myös tässä tukkivasteessa on korkeudeltaan säädettävä varsi, jonka kireyttä säädellään mutterin avulla. Tukin puristamiseksi tiukasti tukkivasteiden väliin suunnittelimme ulomman tukkivasteen säädettävän varren päähän teräväpäisen sormiruuvin, jonka kiristäminen saa ruuvin kärjen uppoamaan puuhun ja varmistamaan tukin kiinnityksen.



Kuva 13. Ulommat tukkivasteet.

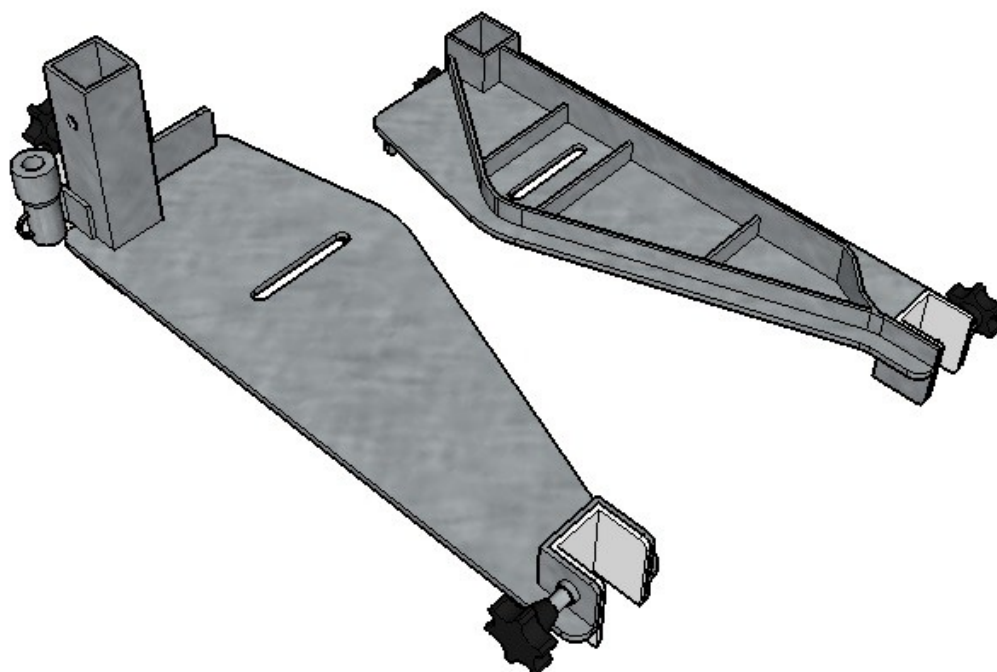
Tukkivasteet on suunniteltu toimimaan pareina eli samaan keskipalkkiin tulee kiinnittää sekä sisempi että ulompi tukkivaste. Vasteet tulee asettaa vastakkain toisiaan vasten, jolloin ulomman tukkivasteen sormiruuvin kiristys puristaa tukin tiukasti sisemmän tukkivasteen vartta vasten.

Tukkivasteita tulee säätää ennen jokaista sahausta turvallisen työskentelyn varmistamiseksi. Tukkivasteen oikea asento on aina noin puolivälissä sahattavaa tukkia ja vastetta tulee säätää alaspäin tukin korkeuden lasiessa sahausten myötä.

Tukkivasteiden valmistuksen eli 10. syklin jälkeen pääsimme ensimmäistä kertaa koamaan ja testaamaan valmistetun sahalaitoksen kokonaisuuden. Tässä vaiheessa testaus rajoittui kuitenkin vain sahan kiinnityksen ja korkeussäädön toimivuuden testaukseen sekä osien yhteensopivuuden varmistamiseen. Testissä selvisi, että sahan kiinnityslevy ottaa ala-asennossa liukuessaan kiinni sisempään tukkivasteeseen, mikäli vaste on asetettu johdepalkin sisäpinnan laippaa vasten.

Sykli 11: Kiinnityslevyn uudelleenmuotoilu

Seuraava suunnittelusykli keskittyikin sahan kiinnityslevyn uudelleenmuotoiluun. Kiinnityslevylle aiemmassa vaiheessa määritelty muoto todettiin toimivaksi ja jopa esteettisesti hyvän näköiseksi ja kiinnityslevyn leveyttä pienennettiin sen muoto säilyttäen. Kiinnityslevyn pienentäminen ei vaikuttanut levyn alapuolisiin tukirakenteisiin. Sahan kiinnityslevyn muodosta johtuen sahan teräketjun ei ole mahdollista osua kiinni tukkivasteisiin edes ala-asennossaan, mikäli myös tukkivasteet on säädetty alimpaan asentoonsa.



Kuva 14. Sahan kiinnityslevyn lopullinen malli ylä- ja alapinnalta.

Sykli 12: Ulompien tukkivasteiden kiinnityksen parantaminen

Sahan kiinnityslevyn uudelleenmuotoilun jälkeen kokeilimme uudestaan osien yhteensopivuutta sekä tukin asettamista tukkipöydälle. Tämän testauksen yhteydessä totesim-

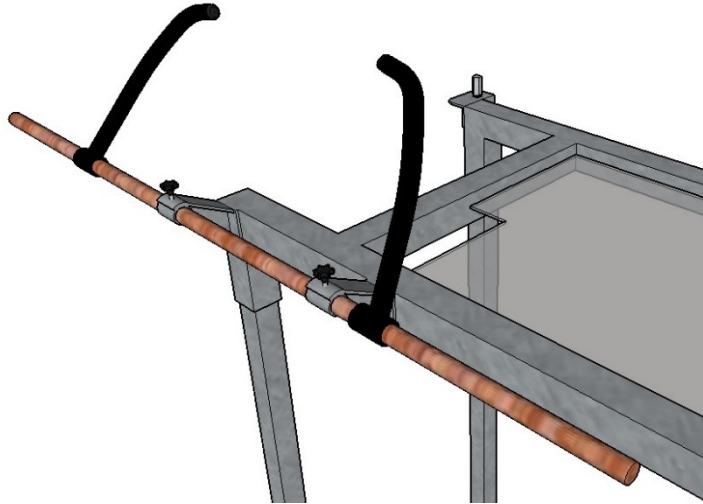
me ulompien tukkivasteiden luistavan paikoiltaan ja kääntyilevän hieman, kun tukin kiinnityksen varmistamiseen tarkoitettuja sormiruuveja väänsi niin tiukalle kuin sormin vääntämällä kykeni. Ulompien tukkivasteiden liikkumisesta huolimatta tukki oli mahdollista asettaa tukevasti paikoilleen, mutta varmuuden vuoksi lisäsimme tukien kiinnitysymistä parantamaan toiset kitkaruuvit vasteiden alapintaan. Muilta osin tukkivasteet toimivat kokeiltaessa suunnitellusti.

Sykli 13: Työntökahva

Toimivan sahakelkan ja tukin kiinnitysvasteiden jälkeen seuraava suunnittelutehtävä oli ergonomisen työntökahvan suunnittelu. Työntökahvan tulisi olla säädettävissä eripituisia sahalaitoksen käyttäjiä varten. Sahalaitosta ei ole suunniteltu lasten käytettäväksi, joten tarvittava säätövara mitoitettiin suunnitteluvaiheessa aikuisten tarpeen mukaan. Tällä perusteella emme esimerkiksi kokeneet tarvetta työntökahvan vertikaaliseen säätöön.

Suunnittelimme työntökahvalle rakenteen, joka muodostuu sahakelkkaan hitsatuista kiinnikkeistä, käsikahvoista, jotka toteutettiin maastopolkupyörään tarkoitetuista ns. nousukahvoista sekä työntöputkesta, jota voi säätää sivuttaissuunnassa. Työntöputken kiinnitys sahakelkan kiinnikkeisiin suunniteltiin toteutettavaksi kitkaruuveilla, jotta työntökahvan säätö olisi helppoa ja nopeaa.

Suunniteltu rakenne mahdollistaa hallintalaitteille kolme säätöä: kaikkia hallintalaitteita samanaikaisesti sivuttaissuunnassa säätävän työntöputken säädön, käsikahvojen keskinäisen etäisyyden säädön (tarvitaan kun sahaajien hartioiden leveys ja käsien pituudet vaihtelevat) sekä käsikahvojen kulman säädön. Viimeksi mainittu säätövara on erityisen tärkeä, jotta kelkkaa työnnettäessä sahaajan ranteet olisivat suorassa. Näin voidaan välttää sahaajan rannevammoja poikkeustilanteessa, kuten tukin sisällä olevaan suurempaan metalliesineeseen osumisesta johtuvasta takapotkusta, ja välttää muuta turhaa räsitusta pidempiaikaisessa sahauksessa.



Kuva 15. Työntökahva yhdistettynä sahakelkkaan

Sykli 14: Esiasetettu korkeussäätö

Koska sahalaitoksella on tarkoitus tuottaa standardimittaista sahatavaraa, sahan kiinnityslevyyn ja toiseen korkeussäädön pystyputkeen suunniteltiin mittareikiä esiasetettua korkeussäätöä varten. Mittareikien läpi työnnetään kiinnityssokka, joka suunniteltiin muodoltaan sellaiseksi, että se ei pääse vahingossa irtoamaan sahalaitoksen käytössä esiintyvässä värinässä.

Mittareikien mitoituksen yhteydessä pohdimme sahalaitoksella tuotettavan sahatavaran tarvetta ja totesimme sopivan välin esiasetetulle korkeussäädölle olevan noin tuuman verran. Pystyputken reikien mitoituksessa huomioitiin myös moottorisahan teräketjun aiheuttama hukka, joka empiirisessä esitestauksessa todettiin olevan 8 millimetriä sahausta kohden.

Esiasetettujen reikien avulla on helppo tuottaa standardimittaista sahatavaraa, sillä yhden reikävälin säätö alaspäin sahausten välillä tuottaa 25 mm (noin 1 tuuma) paksun lankun. Vastaavasti kahden reikävälin muutos tuottaa 50mm eli noin 2 tuumaa paksun lankun. Muita standardimittoja ovat esimerkiksi 22 millimetriä paksu sahatavara. Tällaista tarvetta varten moottorisahan korkeussäätö on portaattomasti säädettävissä kul-

loinkin haluttuun sahauskorkeuteen. Mikäli esiasetettuja sahauskorkeuksia ja korkeussäädön paikalleen lukitsevaa kiinnityssokkaa ei käytetä, sahan korkeussäädön paikallaan pysyminen varmistetaan sahakiinnikkeen kitkaruuvien avulla.

Sykli 15: Etäkaasu

Viidestoista suunnittelusykli sisälsi etäkaasun suunnittelun ja toteutuksen. Etäkaasujärjestelmää varten suunnittelimme moottorisahan kaasukahvaan kiinnittyvän kiinnityspalan, jossa on painin moottorisahan käsikahvan kaasupainikkeen säätelyyn. Etäkaasu on vajjerikäyttöinen järjestelmä, jossa sahalaitoksen muiden hallintalaitteiden läheisyyteen sijoitettuna kaasukahvana toimii ruohonleikkuriin tarkoitettu käsikaasu. Käsikaasu ei ole palautuvaa mallia eli kaasukahvaa ei tarvitse pidellä koko sahaustapahtuman ajan. Etuina palautuvaan kaasukahvaan verrattuna on sormivoimien säästäminen pidempiaikaisessa sahauksessa, kun kaasukahvaa ei tarvitse koko ajan puristaa. Turvallisuuden kannalta jatkuvaa puristamista vaativa malli voisi olla parempi joissain tilanteissa, sillä palautuva kaasukahva ei mahdollistaisi kaasun jättämistä pohjaan sahalaitoksen hallintalaitteista irrotettaessa. Totesimme kuitenkin ruohonleikkuriin tarkoitettuna kaasukahvan etujen olevan sahalaitoksen suunnitellussa käyttötarkoituksessa sen haittoja suurempia.

Etäkaasun prototyypimalli suunniteltiin ensin tekemällä kovalevystä ja jätemetallin paloista toimiva hahmomalli sekä testaamalla sen toimivuutta ja sopivuutta sahaan. Toimivan mallin suunnittelun ja onnistuneen testauksen jälkeen valmistimme lopullisen kiinnityspalan alumiinilevystä. Materiaalivalintaan vaikutti alumiinin kestävyys ulkoikäytössä, sen keveys sekä ulkonäkö.

Lopullisen kiinnityspalan valmistus tapahtui CNC-jyrsimällä. Kiinnityspalan ala- ja ylälevy mallinnettiin tietokoneella BobCad CAD-piirrosohjelmalla. Mallinnusohjelman valintaan vaikutti Turun yliopiston Rauman kampuksella käytettävissä olevat ohjelmistot. Etäkaasun loput osat eli painin, vajjeriohjuri, vajjerikiinnike sekä väliholkit tehtiin perinteisillä metallintyöstötekniikoilla.



Kuva 16. Moottorisahan etäkaasu.

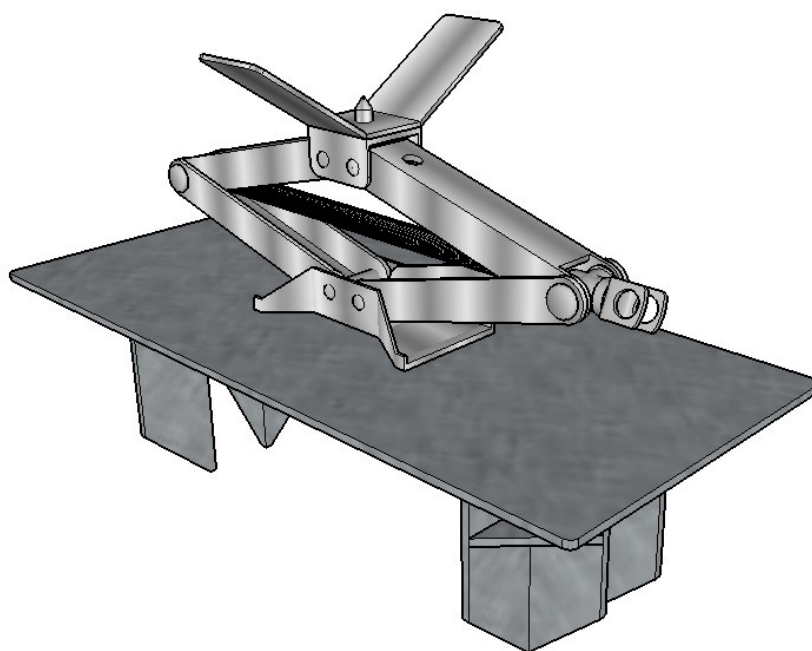
Kaasukahvan suunnittelussa huomioitiin mahdollisuus käyttää moottorisahan kaasua sormin etäkaasun lisäksi. Tällainen käyttötarve on tarpeellista ainoastaan sahan kylmäkäynnistyksen yhteydessä. Ominaisuuden tarve vaihtelee sahalaitokseen kiinnitetyn moottorisahan mukaan, mutta valitsemamme Stihl MS661C saha vaatii kylmäkäynnistyksen jälkeen kaasun painallusta rikastimen poiskytkemiseksi. Totesimme tämän toimenpiteen sujuvan parhaiten, jos sen voi suorittaa sormin sahan vieressä heti käynnistyksen jälkeen. Suunnittelemamme etäkaasu on myös rakenteeltaan sahaspesifi eikä välttämättä sovi muihin moottorisahamalleihin. Etäkaasun kiinnityspalan soveltuvuutta muihin sahamalleihin emme kokeneet tarpeelliseksi ominaisuudeksi vaan suunnittelimme valitsemaamme moottorisahamalliin soveltuvan kiinnikkeen.

Etäkaasujärjestelmän testauksessa ilmeni, että suunnittelemamme kaasuvaijerin kiinnike oli valmistettu liian ohuesta alumiinilevystä. Kiinnikkeen vääntymisen takia kaasuvaijeri pääsi luiskahtamaan pois paikaltaan ja sahan kierrokset laskivat tyhjäkäynnille. Ratkaisuna tähän ongelmaan teimme uuden muodoltaan aiempaa vastaavan kiinnikkeen paksummasta alumiinilevystä.

Sykli 16: Latvankohotin

Viimeinen suunnittelusykli ennen sahalaitoksen virallista testausta oli latvankohottimen teko. Latvankohottimella voidaan tarvittaessa nostaa tukkia ensimmäistä sahausta varten. Latvankohotin on tarpeellinen erityisesti voimakkaasti kapenevia latva- tai tyvitukkeja sahattaessa. Ilman tukin kohotusta sahaus ei tällaisten tukkien kohdalla menisi puun syysuunnan mukaisesti vaan vinosti syiden poikki. Vinosti syiden poikki sahattu sahatavara on kestävyydeltään syiden mukaisesti sahattua heikompaa. Siksi voimakkaasti kapenevia tukkeja sahattaessa tukki on saatava ensin sahattua syysuunnan mukaisesti suoraksi yhdeltä sivultaan.

Tätä tarkoitusta varten suunnittelimme latvankohottimen. Emme liittäneet latvankohotinta osaksi sahalaitoksen runkoa, koska sitä ei tarvita läheskään kaikissa sahausissa. Lisäksi latvankohotin ei ole tukkivaste, johon tukkia voisi yksinään tukea. Tätä seikkaa korostaaksemme teimme latvankohottimesta erillisen osan, ettei se antaisi käyttäjälle väärää kuvaa kyvystään tukea tukkia. Latvankohotinta käytettäessä on edelleen ehdotonta käyttää kaikkia sahalaitoksen tukkivasteita pitämään tukki paikoillaan ja tukemaan sitä sivusuunnassa. Latvankohotin ei myöskään erillisenä lisälaitteena pääse missään oloissa rajoittamaan sahaustapahtumaa, sillä sen voi aina poistaa, kun sitä ei tarvita.



Kuva 17. Latvankohotin.

Sykli 17: Pintakäsittely

Sahalaitoksemme alumiinirunko ei vaadi erityistä pintakäsittelyä johtuen alumiinin pinnalle ilman hapen vaikutuksesta syntyvästä kovasta ja tiiviistä alumiinioksidikerroksesta. Sen sijaan sahalaitoksen teräsosat vaativat suunnitellusta käyttöympäristöstä johtuen teräksen syöpymiseltä eli korroosiolta suojaavan kerroksen. Vaihtoehtoja teräsrakenteen suojaukseen ovat maalaus, metalliset pinnoitteet, öljyäminen sekä ruosteenestoöljyt (Ansaharju, Ilomäki, Katainen, Maaranen & Mäkinen 1988, 175). Metallisia pinnoitteita ovat esimerkiksi sinkitys.

Valitsimme sahalaitoksen pintakäsittelymenetelmiksi kuumasinkityksen sekä öljyäminen. Öljyämistä käytämme sahan korkeussäädön trapetsikierretangon suojaamiseen ja toimintakykyisenä pitämiseen. Kyseistä osaa ei voi pinnoittaa maalilla tai metallisilla pinnoitteilla, koska ne lisäisivät kappaleen paksuutta, tukkisivat kierteiden välejä ja estäisivät kierretankoa mahtumasta pyörimään korkeussäätömekanismin sisällä. Trapetsikierretankoja ei ole yleisesti saatavilla kuin käsittelemättömästä rakenneteräksestä tehtyinä, joten valmistusvaiheessa emme kyenneet materiaalivalinnalla vaikuttamaan kyseisen osan syöpymisenkestävyyteen.

Edellä esitetyistä syistä johtuen päädyimme käsittelemään korkeussäätömekanismin trapetsikierretangon ainoastaan vesivaseliinilla, joka parantaa korroosiosuojauksen lisäksi myös osan liikkuvuutta voitelemalla sitä. Metallin pintaan levitettävän rasvakerroksen kesto ei kuitenkaan ole hyvä, vaan se irtoaa jo kevyestä kosketuksesta tai raaputuksesta (Barth 1964, 143). Kyseinen rasvakäsittely on hyvä uusia aina otettaessa sahalaitos käyttöön sekä jätettäessä sahalaitos pitkäaikaissäilytykseen. Tarvittaessa pidempiaikaisessa sahauksessa vesivaseliinia on hyvä lisätä myös sahauksien välillä parantamaan korkeussäädön voitelua ja siten vähentämään osien kulumista. Erityisesti sadesäällä sahattaessa vesi voi huuhtoa vaseliinia pois kierretangon pinnalta heikentäen voitelua. Ympäristöhaittojen minimoimiseksi vaseliiniksi olisi hyvä valita jokin ympäristöystävällinen vaihtoehto.

Sahakelkka ja tukkivasteet saivat pintakäsittelyksi kuumasinkityksen. Kuumasinkityksen etuina on tasapaksu ja kestävä pinnoitekerros sekä pinnoitteen tunkeutuminen myös putkirakenteiden sisälle. Millään muulla käytettävissä olevalla pintakäsittelymenetelmällä rakenteiden suojaus sisäpuolelta ei onnistuisi yhtä tarkasti.

Kuumasinkityksessä pinnoitettavat teräsrakenteet kastetaan sulaan, noin 460-asteiseen, sinkkisulaan. Kuumasinkityksessä teräksen pintaan syntyy kerros, jossa lähimpänä teräksen pintaa on rauta-sinkkiyhdisteitä sekä uloimpana kerroksena puhdasta sinkkiä. (Ansaharju ym. 1988, 177. & anon 2017b)



Kuva 18. Kuumasinkityn pinnan koostumus mukaillen Ansaharju ym. (1988, 177.)

Kuumasinkitystä varten sahakelkan suljettuihin putkirakenteisiin porattiin alapinnalle muutamia reikiä. Näiden reikien kautta sinkkisula pääsee tunkeutumaan sahakelkan putkirakenteiden sisälle. Lisäksi poratut reiät tasaavat painetta sinkityksen aikana. Sinkitystä varten teräsrakenteet on peitattava. Peittauksessa metallin pinnalta poistuu epäpuhtauksia, joita ei saada poistettua millään muulla puhdistustavoilla. (Jokinen, Kuusela & Nikkari 2012, 40) Sinkitystä edeltävästä peittauskäsittelystä, eli kappaleiden upotuksesta laimeaan rikki- tai suolahappoliuokseen, jää kappaleen pintaan pieniä määriä happoa, joka reagoi kuumen sinkkiliuoksen kanssa. Suljetuissa rakenteissa tämä reaktio aiheuttaa räjähdysten, joka rikkoo suljetun putkirakenteen. (anon 2017c)

4.3 Aineiston kerääminen ja analysointi

Keveyen ja siirrettävän kenttäseuran testausaineiston keräykseen ja testaukseen on käytetty kvalitatiivisia eli laadullisia menetelmiä. Alasuutari toteaa laadullisessa tutkimuksessa arvoituksen ratkaisemisen merkitsevän merkitystulkintojen tekemistä käytettävistä vihjeistä sekä tuotetuista johtolangoista (Alasuutari 2011, 44). Kyseessä on siis tutkijoiden tulkinta aineistosta.

Aineiston tulkinnan objektiivisuutta on mahdoton saavuttaa täysin, mutta tämän tutkielman aineistojen analyysissä olemme pyrkineet pitämään omat tulkintamme minimissä. Tämä on tapahtunut jo testauslomakkeen laatimisen yhteydessä minimoimalla kyselylomakkeen aiheuttaman vastaajan ohjailun avoimien kysymysten avulla sekä tutkimustulosten analyysin yhteydessä monimetodisuuden avulla.

Monimetodista lähestymistapaa käytetään tässä tutkimuksessa lisäämään tutkimuksen kattavuutta sekä vähentämään tutkimuksen luotettavuusvirhettä. (Vilkkä 2015, 70) Tämän tutkielman tapauksessa tarkempi kuvaus käytetystä monimetodisuudesta on aineistotriangulaatio, jossa yhdistetään erilaisia tutkimusaineistoja keskenään (Vilkkä 2015, 71). Tutkimusaineisto koostuu kahdella tavalla kerätystä aineistosta, joita yhdistelemällä ja analysoimalla on saatu aikaiseksi tutkielman tulokset. Osa sahalaitokselle määritellyistä laatutavoitteista on mitattavissa tarkasti mittausvälineitä hyödyntäen, mutta sahalaitoksen käytettävyyteen liittyvät laatutavoitteet vaativat subjektiivista arviota.

Laatutavoiteteoreeman testaus määriteltiin toteutettavaksi numeerisesti mitattavien arvojen osalta itsenäisesti ja subjektiivista arviointia vaativat laatutavoiteteoreemat määriteltiin testavaksi ulkopuolisten observoinnin ja käyttäjäkokemusten avulla. Subjektiivisten arvioiden keräämiseen hyödynsimme informoitua kyselyä. Informoidussa kyselyssä tutkija on henkilökohtaisesti paikalla tutkimustilanteessa sekä jakaa kyselylomakkeet vastaajille. Tutkija voi myös kertoa tutkimuksen tarkoituksesta, kyselylomakkeen rakenteesta ja sisällöstä sekä vastaa esitettyihin kysymyksiin. (Hirsjärvi, Remes & Sajavaara 2015, 196 - 197.)

Testauksen avuksi laadittiin mittauslomake (Liite 1) mitattavia arvoja varten, jonne koottiin testisahauksista saatavat mitattavat tulokset ja näitä verrattiin laatutavoiteteoreemasta johdettuihin tavoitearvoihin.

4.3.1 Kohdejoukon määrittely

Testaustapahtumaan osallistui 11 käsityön aineenopettajaopiskelijaa, jotka edustivat eri vuosikursseja. Kohdejoukon kokoon vaikuttivat käytettävissä oleva testauspaikka. Testaus suoritettiin Rauman kampuksen piha-alueella kustannus- ja logistisista syistä. Saha-

laitoksen suuren koon ja sen vaatiman varoalueen takia testaustapahtumaan voitiin ottaa vain rajoitettu määrä ihmisiä, jotta kaikilla voitiin varmistaa riittävän väljä ja turvallinen observointipaikka. Pakkanen, talvinen pimeys, testauspaikan vaatima loppusii-
vius sekä sahalaitoksen siirtäminen pois testipaikalta rajoittivat käytettävissä olevaa testausaikaa. Varsinaisessa testaustapahtuman yhteydessä sahalaitosta pääsi koekäyttämään yksi koehenkilö muiden observoidessa tapahtumaa. Muut testaukset suoritettiin erillisinä sahauskertoina ilman observoijia. Sahalaitosta käytti yhteensä viisi eri henkilöä.

Seitsemän observoijaa edusti viidennen tai sitä vanhemman vuosikurssin opiskelijoita ja loput observoijista opiskelivat ensimmäistä vuotta. Kaikki sahalaitosta kokeilleet opiskelijat ovat opiskelleet Turun yliopiston Rauman kampuksella vähintään neljän vuoden ajan sekä kaikkien pääaineena on käsityökasvatus. Observoivien opiskelijoiden kohdalla suurimmalla osalla opiskelijoista on suoritettuna sekä käsityön perus- että aineopinnot. Neljän observoijan tietopohja perustuu käsityön perusopintoihin, aiempaan koulutustaustaan sekä omaan harrastuneisuuteen. Lisäksi kohdejoukon henkilöt olivat tutustuneet sahalaitoksen suunnitteluun ja valmistukseen jo aikaisemmin. Siten kaikilla testajilla sekä observoijilla voidaan olettaa olevan riittävät tiedot ja taidot arvioimaan sahalaitoksen toimintaa, sen tuottaman sahatavaran laatua sekä sahalaitoksen suunnittelussa tehtyjä ratkaisuja.

4.3.2 Testauslomakkeiden laatiminen

Yleisimmin käytettyjä tiedonhankintametojeja laadullisissa tutkimuksissa ovat haastattelut, kyselyt, havainnointi sekä erilaiset kirjalliset tekstit. Laadullisen tutkimuksen tiedonhankinnan ei ole pakko pohjautua ainoastaan yhteen metodiin, vaan eri metodeja voi käyttää vaihtoehtoisina, rinnan tai yhdisteltyinä. (Tuomi & Sarajärvi 2009; 71,164) Laadullisen tutkimuksen tulokset eivät ole yleistettävissä samoin kuin määrällisten tutkimusten tulokset (Brannen 2007, 282). Laadullisessa tutkimuksessa kohdejoukko voidaan valita tarkoituksenmukaisesti (Hirsjärvi ym. 2015, 164).

Testauslomakkeiden laatiminen aloitettiin jakamalla laatutavoiteteoreemasta johdetut tutkimusmittarit kahteen osaan. Sahalaitosta testanneille ja sahalaitoksen käyttöä obser-

voiville olivat omat lomakkeensa. Subjektiiivista arviointia vaativat laatutavoitteet mitattiin ”Kysymyksiä sahaajalle” -lomakkeella (liite 2) ja ”Sahaustapahtuma”-lomakkeella (liite 3).

Ensimmäisessä testauslomakkeessa (liite 1) on kaikki laatutavoiteteoreeman tavoitteet, jotka ovat numeerisesti mitattavassa muodossa. Näitä olivat suurin tukin paksuus ja pituus, paksuuden säädön tarkkuus, kantavuus, paino, kasausaika ja hinta. Lomaketta muodostettaessa pyrittiin siihen, että lomakkeen täyttäjällä ei vaikuta tuloksiin vaan mittaus- ja testaustilanne on sellainen, että tulokset ovat mittaushenkilöstä riippumaton. Tähän pääsemiseksi määriteltiin mittaustapahtuma ja -tapa huolellisesti laatutavoitteiden määrittelyn yhteydessä ja lomakkeesta tehtiin sellainen, että kaikkiin sen kysymyksiin vastataan numeraalisesti.

Kahden muun kyselylomakkeen kysymykset ovat luonteeltaan subjektiivisia arvioita. Subjektiiivisten arvioiden heikkous on siinä, että vastaajien näkemykset ja kriteerit esimerkiksi jonkin ilmiön hyvyydelle ja huonoudelle vaihtelevat eikä siksi pelkistä hyvähuono -vaihtoehtoista kyetä saamaan vastauksia tutkimuskysymyksiin. Kyselylomakkeen kysymystenasettelussa tulee varoa johdattelemasta vastaajaa tutkijan haluamien vastausten suuntaan. Pyrimme vähentämään mahdollista virhettä laatimalla kyselylomakkeiden kysymyksistä avoimia kysymyksiä. Avoimet kysymykset antavat vastaajalle mahdollisuuden kertoa ajatuksistaan, ne paljastavat vastaajien tietämyksen tason sekä osoittavat vastaajan mielestä keskeiset seikat (Hirsjärvi ym. 2015, 201). Kysymysten yhteydessä vastaajia pyydetään myös lyhyesti perustelemaan arvioitaan. Perustelujen pyytämistä perustelemme sillä, että lyhyiden perusteluiden avulla tutkielman suorittajat voivat varmistua vastaajan ymmärtäneen kysymyksen oikein sekä aineiston tulkinnan yhteydessä tutkijan on helpompi varmistaa ymmärtäneensä ja tulkinneensa vastaajan antaman vastauksen oikein. Hirsjärvi ym. (2015) toteavat vastaavasti pelkkien havaintojen ja kokemusten pohjalle perustuvan tiedon olevan petollista ilman varmennusta ja perustelua.

Lomakkeet koostettiin laatutavoitteista johdetuista avoimista kysymyksistä, joiden avulla pyrittiin saamaan tietoa laatutavoitteiden toteutumisesta. Molemmissa lomakkeissa kyseltiin osittain samoja asioita, jotta saatiin mahdollisimman kattava kuva testattavista osa-alueista. Näitä osa-alueita olivat käytettävyys, ergonomia, sahausjäljen laatu, sahalaitoksen kestävyys ja turvallisuus. Sahaajalle tarkoitettussa lomakkeessa pääpaino on

sahalaitoksen käytettävyydessä ja turvallisuudessa, kun taas observoijat keskittyivät arvioimaan sahalaitoksen kestävyyttä ja sahausjälkeä.

Jokaisesta aihealueesta laadittiin useampi kysymys, jotta jokainen osa-alue tulisi käsiteltyä riittävän perusteellisesti. Lisäksi lomakkeisiin laitettiin kohdat muille esiin nouseville huomioille sekä parannus- ja kehitysehdotuksille. Näin pyrittiin varmistamaan kyselylomakkeen vastaajille mahdollisuus tuoda esille kaikki, myös kyselylomakkeen laadinnassa huomiotta jääneet, tekijät sahalaitoksesta. Tavoitteena oli, ettei yksikään huomio jäisi kertomatta kyselylomakkeen kysymystenasettelun takia.

4.3.3 Testaustapahtuma

Sahalaitoksen testaus toteutettiin ulkona todellisissa olosuhteissa erilaisilla puulajeilla. Koekäytön aikana sahattiin ongelmitta kuusta, tammea, leppää, pihlajaa ja koivua. Näistä sahausista tehtiin tarvittavat mittaukset sekä kerättiin omia huomioita sahalaitoksen toiminnasta. Testaustapahtuman yhteydessä suoritimme tutkimusaineiston subjektiivisten arvioiden keräämisen laatimienne kyselylomakkeiden (liite 2 & liite 3) avulla. Yksikäsitteisesti ja numeerisesti mitattavissa olevien tutkimuskysymysten (liite 1), kuten sahatun lankun mittatarkkuuden, osalta suoritimme mittaukset itse. Testaustapahtumassa kerätyllä tutkimusaineistolla on tarkoitus hankkia käytettävyystietoa valmistamamme kenttäsahausta.

Hyysalo esittää nyrkkisäännöksi käytettävyyden testaukseen, ettei yhden testaajan suoriutumisesta voi päätellä kuin suurimmat ongelmakohdat tuotteen käytössä (Hyysalo 2009, 166). Tämän perusteella annoimme sahalaitoksen itsemme mukaan lukien yhteensä viiden eri käsityön aineenopettajaopiskelijan kokeiltavaksi. Tämä on Hyysalon mukaan täysin riittävä määrä, sillä kolmesta viiteen testaajaa suuremmilla testaajamäärillä työmäärää vastaavat hyödyt vähenevät nopeasti (Hyysalo 2009, 166).

Sekä sahalaitosta käyttäneet opiskelijat että observoijat saivat vastattavakseen kyselylomakkeen. Ryhmien kyselylomakkeet eroavat hieman toisistaan, mutta mittaavat samoja asioita. Perusteluna kahden erillisen kyselylomakkeen laadintaan on erilainen lähtökohta vastaamiseen. Sahalaitosta käyttäneet opiskelijat vastaavat kysymyksiin oman

empiirisen kokemuksensa perusteella, kun taas observoijien vastaukset perustuvat heidän tekemiinsä havaintoihin ilman omakohtaista kokemusta sahalaitoksen käytöstä. Kyselylomakkeet jaettiin kaikille vastaajille ennen testaustapahtuman alkua, jotta vastaajat ehtivät tutustumaan lomakkeen sisältöön ennen testauksen aloittamista. Näin heidän oli helpompi havainnoida tutkielman tutkimuskysymysten kannalta oleellisia seikkoja.

4.3.4 Tutkimusaineiston analyysi

Kerättyjä havaintoja analysoidaan laadullisen analyysin keinoin. Analyysin tavoitteena on ymmärtää vastaajien ajatuksia sekä tehdä niistä päätelmiä valmistamamme kenttäsaahan toimivuudesta sille suunnitellussa käytössä. (Hirsjärvi ym. 2015, 224) Tiedon analysoinnissa tulee olla tarkkana ja sulkeistaa omat ennakko-oletuksensa sekä käsityksensä aineiston ulkopuolelle. Toisin sanottuna vastausten analyysin tuloksiin ei saa lisätä mitään prosessoimattomissa vastauksissa esiintymätöntä seikkaa eikä vastaavasti mitään vastausten osa-aluetta saa jättää pois analyysistä. Tällaisen toiminnan avulla voidaan parantaa tutkielman reliabiliteettia.

4.4 Vastaus teoreettiseen tutkimusongelmaan

Tutkimuksen teoreettisena tutkimuskysymyksenä on, miten laatutavoitteiston mukaisen kevyen ja siirreltävän kenttäsaahan valmistus onnistuu käsityönaineenopettajan koulutuksen antamin edellytyksin. Vastaus kyseiseen tutkimuskysymykseen on saatu reflektoidulla kenttäsaahan suunnittelu ja valmistusvaihetta. Suunnittelu- ja valmistustoimintaa ohjaa käsityötaju eli teoreettisen tutkimusongelman vastauksessa kyse on tutkielman tekijöiden käsityötajun reflektoinnista.

Kevyen ja siirreltävän kenttäsaahan valmistus ei täysin onnistu pelkän käsityökasvatuksen oman tieteellisen tiedon perusteella, vaan vaatii tietoa myös muilta aloilta. Varsin-

kin koneensuunnittelun osalta päädyimme tutkimaan tekniikan alan kirjallisuutta ja syventämään osaamistamme sen avulla. Tämä on täysin luonnollista, sillä opettajankoulutuksen tarkoituksena ei ole tuottaa koneita suunnittelevia insinöörejä, vaan käsityöprosessessa kokonaisvaltaisesti hallitsevia pedagogeja.

Tuotesuunnittelun ja tuotefunktioiden osalta saatavissa on tieteellisiä lähteitä, mutta kenttäsaioihin liittyen vastaavia lähteitä ei ole tarjolla. Siksi jouduimme etsimään tietoa myös arkisemmista tietolähteistä kuten internetin keskustelupalstoilta, videopalveluista sekä kuvahakujen avulla. Tiedonhankinnan ja kriittisen asenteen oppiminen on kuitenkin edellytyksenä tämän kaltaisen tutkielman vaatiman riittävän laajan ja luotettavan teoriapohjan saavuttamiseksi. Tiedonhankinnan lisäksi teoriapohjan luominen vaatii myös tekijöiden aiemman osaamisen ja tiedon käyttöönottoa. Hiljainen tieto on tiedostamatta mukana prosessissa ohjaamassa sen kulkua. Kyseessä on siis osaaminen, joka on jo muuttunut itsestäänselvyudeksi. Tällainen tieto on kumulatiivista ja se on syntynyt opintojen, harrastuneisuuden sekä aiemman työkokemuksen pohjalta.

Saavutetun teoriapohjan muuttaminen käytännön tason toiminnaksi vaatii ajatusten pohdintaa ja jalostamista erilaisin keinoin. Käyttämiämme keinoja ovat keskustelut sekä alan ammattilaisten että muiden käsityön aineenopettajaopiskelijoiden kanssa. Keskustelujen kautta olemme saaneet uutta tietoa sekä voineet jakaa ja vastaanottaa ideoita. Kevyen ja siirreltävän kenttäsaion suunnittelun ja havainnollistuksen apuna käytimme alusta asti 3d-mallinnusta (liite 5). Perinteisiä teknisiä piirroksia emme tehneet. Kaksiulotteisiin piirroksiin verrattuna kolmiulotteiset mallit helpottavat esimerkiksi tuotteen mittasuhteiden hahmottamista sekä antaa mahdollisuuden testata suunnitelmien toimivuutta jo ennen varsinaisen valmistuksen aloittamista.

Toimivuuden teoreettinen testaus vaatii kriittistä reflektiota omaa työtä kohtaan. Kriittisen reflektion tuloksena päädyimme toisinaan suunnitteluprosessin aikana perääntymään prosessissa taaksepäin. Kriittisestä toimivuuden reflektiosta huolimatta valmistusprosessi on edelleen tekemällä oppimista. Tätä ilmentävät esimerkiksi valmistusvaiheessa ilmenneet tarpeet parannella aiempien suunnittelusyklin tuotoksia myöhemmissä sykleissä. Tukkipisteiden kiinnityksen vaatimat parannukset ovat esimerkki valmistuksen aikana ilmenneestä seikasta, jota emme kyenneet ennakoimaan kriittisellä reflektiolla. Hyvän ja kriittisen suunnittelun lisäksi vaaditaan myös tuottamisen aikana tapahtuvaa kykyä muuttaa suunnitelmia tarpeen mukaisesti.

Kokoavasti todettuna kevyen ja siirrettävän kenttäsahan valmistus on mahdollista käsi-työnaineenopettajankoulutuksen antamin edellytyksin. Koulutuksen aineenhallinnalliset tiedot luovat pohjan tarvittaville työstötaidoille ja teoreettiselle ymmärrykselle. Yliopistokoulutuksen tarjoama lähdekriittisen tiedonhaun ja tutkimuksen laatimisen opetus mahdollistaa teoreettisen viitekehyksen ja ylipäättään tällaisen tutkielman tekemisen. Tutkielman tekemisestä saadun kokemuksen perusteella toteamme myös harrastuneisuuden ja aiemman työkokemuksen auttavan prosessissa varsinkin konkreettisen tekemisen tasolla, mutta se ei ole ehdoton edellytys vastaavan projektin toteuttamiseen.

4.5 Laatutavoiteteoreeman testaus eli vastaus empiiriseen tutkimusongelmaan

Laatutavoitteista johdetut tuotekriteerit jakaantuivat kolmeen erilaiseen osa-alueeseen. Näitä olivat sahan rakenteeseen liittyvät kriteerit, käytettävyyteen liittyvät vaatimukset sekä työturvallisuus. Laatutavoitteiden jakautuminen eri osa-alueisiin on esitelty luvussa 3.1.9. Laatutavoiteteoreeman testauksen tulosten avulla vastaamme tutkielman empiiriseen tutkimuskysymykseen.

Mitattavassa muodossa olevat tulokset esitettiin taulukossa 2. Taulukosta ilmenee mitauksissa saatu tulos sinisellä, jos se on eri kuin tavoitetulos. Punaisella on merkitty tavoitearvo. Jokaiselle osa-alueelle on annettu painokerroin, joka kertoo kyseisen osa-alueen tärkeydestä kokonaisuuden kannalta. Painokerroin numero viisi merkitsee erittäin tärkeää ja numero yksi vähiten merkittävää osa-aluetta.

TAULUKKO 3. Mittaustulokset.

Ominaisuus	Painokerroin 1-5	Minimi- ja ideaaliarvot (tavoitearvo punaisella ja toteutunut sinisellä, jos eri kuin tavoitearvo)					Yksikkö
		1	2	3	4	5	
Sahattavan tukin paksuus	4	20	25	30	35	40	cm
Sahattavan tukin pituus	4	4	4,5	5	5,5	6	m
Paksuuden säätö	4	-3,0 +5,0	-2,5 +4,5	-2,0 +4,0	-1,5 +3,0	- 1,0 + 3,0	keskimääräinen heitto korkeintaan – mm...+mm
Kantavuus	4	300	350	400	450	500	kg
Yksittäisten osien paino korkeintaan	5	35	30	25	20	15	kg
Kasausaika yksin	2	25	20	15	10	5	min
Hinta	2	1500	1200	1000	800	600	euroa

Rakenteen osalta tavoitteet täyttyivät sahattavan tukin paksuuden ja pituuden, sahalaitoksen kantavuuden sekä olosuhteiden kestävyuden osalta. Sahatavaran paksuuden säädön ja valmistuskustannusten osalta ei päästy tavoitearvoihin. Käytettävyyden osalta arvioitiin sahalaitoksen olevan käytettävissä yhden hengen voimin ja sahalaitoksen ergonomia arvioitiin yleisesti ottaen hyväksi. Suurimmat epäkohdat ergonomiassa liittyivät tukin nostoon ja kiinnittämiseen. Sahalaitoksen kuljetuskoko oli määriteltyjen arvojen mukainen ja sen siirrettävyys purettuna täytti asetetut laatuavoitteet. Purettun sahalaitoksen käyttöönotto onnistui yhden hengen voimin, mutta kasausaika ylitti tavoiteajan. Turvallisuuden osalta sahalaitoksen turvallisuus arvioitiin hyväksi, mutta myös kehitysehdotuksia löytyi.

4.5.1 Sahalaitoksen rakenteen tulokset

Sahalaitoksella pitäisi pystyä sahaamaan halkaisijaltaan enintään 35 cm olevia tukkeja

Sahattavan tukin paksuutta mitattiin asettamalla sahauspöydälle halkaisijaltaan eri paksuisia tukkeja. Niistä halkaisijaltaan suurin oli koivu, jonka paksuus yksittäiseltä suurimmalta sahapinnaltaan oli 47 senttimetriä. Yleisesti tämän tukin leveys oli yli 40 senttimetriä. Sahaus sujui ilman ongelmia. Sahausnopeus oli hitaampi kuin ohuemmillä tukkeilla, mutta sahausjälki jopa parempaa. Saha jaksoi ilman ongelmia sahata paksujakin tukkeja ja sillä sahattiin useampikin sahaus, jossa lankun leveys ylitti 35 senttimetriä.

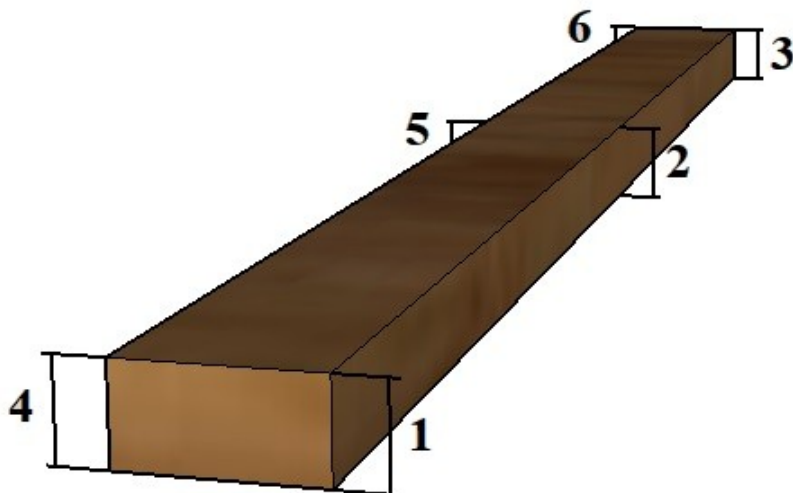
Sahalaitoksella pitää voida sahata 6 m tukki

Testiä varten ei saatu kuuden metrin tukkia, joten tämän kriteerin testaaminen hoidettiin mittaamalla sahauspöytä ja kelkka. Sahauspöytä on 6,5 metriä pitkä kaikki palat yhteen liitettyinä ja se mahdollistaa kelkan vaatiman tilankin kanssa 6 metrin sahauskapasiteetin.

Sahatavaran paksuutta pitää pystyä säätämään tarkasti

Sahatavaran paksuuden testaus toteutettiin sahaamalla puusta lankkuja, joista valittiin sattumanvaraisesti kolme mitattavaksi. Kaikki niistä oli pyritty sahaamaan 50 mm paksuuteen käyttäen hyväksi sahalaitoksen korkeudensäätöreikiä. Ennen sahausta siis ei mitattu mitalla tulevan sahatavaran paksuutta vaan korkeudensäätö tapahtui ainoastaan

säätöreikien avulla. Sahalaitosta tehdessä on pyritty siihen, että kahden mittareian väli on 50 mm. Sahatut lankut mitattiin työntömitalla kuudesta kohdasta kuvan 19 mukaisesti. Tulokset ovat esitelty taulukossa 4.



Kuva 19. Mittauspisteet.

TAULUKKO 4. Taulukointi tuotetun sahatavaran mittatarkkuudesta.

Paksuuden säätö	Tavoitepaksuus	mittauspiste 1	mittauspiste 2	mittauspiste 2	mittauspiste 4	mittauspiste 5	mittauspiste 6	poiksuurin keama
testikappale 1	50 mm (koivu)	49,8	52,0	52,8	49,4	52,0	52,1	-0,6 +2,8
testikappale 2	50 mm (kuusi)	53,0	53,1	53,5	54,3	54,9	53,5	+4,9
testikappale 3	50 mm (kuusi)	53,2	55,4	54,0	54,0	55,6	54,2	+5,6

Suurin mittaheitto oli +5,6 mm, joten tavoitteeseen, jossa mittaheitto on korkeintaan välillä -1,0 - +3,0 ei päästy. Huomattavaa on kuitenkin se, sahan säätöreikien aiheuttama mittavirhe on merkittävä. Jos mittauspisteestä 1 ja 4 lähdetään vertaamaan muihin mittapisteesiin, pysyy mittatarkkuuden vaihtelu tavoiterajoissa. Sahan mittatarkkuus on siis hyvin pitkälti sahaajan tekemästä korkeuden säätämisestä ja mittareista kiinni.

Sahalaitoksen rungon tulisi kestää käyttöä ja säilytystä ulkona

Sahalaitoksen kantavuudelle asetettiin 500 kiloinen tavoite. Testejä varten ei saatu riittävän isoa vaakaa, jolla olisi voinut punnita isompia tukkeja, joten kantavuutta arvoitiin laskennallisilla menetelmin. I-palkki, joka kannattaa tukkia, kesti hydraulisessa puristimessa muodon muuttumatta ja juurikaan taipumatta reilusti yli 100 baarin paineen, joka kohdistui keskelle palkkia 0,0019 m² alalle. Paineen yhtälön

$p = \frac{F}{A}$ mukaan saadaan $p = \frac{mg}{A} \rightarrow m = \frac{pA}{g}$, jossa g on yleinen putoamiskiihtyvyys 9,81 $\frac{m}{s^2}$, p on paine pascalleina ja A vaikuttava pinta-ala. Näin ollen palkki kestää pisterasitusta muotoa muuttamatta ainakin:

$$\frac{100\,000\text{ kPa} \times 0,0019\text{ m}^2}{9,81\frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 1936\text{ kg} \approx 1900\text{ kg}$$

Koska todellisuudessa palkki kesti yli 100 baaria, kestää palkki pistemäistä rasitusta vielä enemmän. Todellisuudessa rasitus kohdistuu laajemmalle alueelle ja useammalle, jopa 10 palkille, joten palkkien kestävyys ylittää 500 kg reilusti. Kierrejalkojen kestävyttä eräs observoija epäili. ISO 892 / 2 -standardin mukaan 8.8 lujuusluokitellun pultin vetolujuus on $800\frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$, joten kierrejalkoina toimivat M10 8.8 luokitellut haponkestävät pultit kestävät kilogrammoiksi muunnettuna vetoa

$m = \frac{800\frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \times A}{g}$, jossa g on yleinen putoamiskiihtyvyys 9,81 $\frac{m}{s^2}$ ja A pultin halkaisijan avulla laskettu pinta-ala.

Näin ollen pultti kestää vetosuuntaan noin 6 400 kilogrammaa vetoa. Painesuuntaan pultti kestää vielä enemmän, joten kestävyys on hyvinkin riittävä. Sahalaitoksen kestävyden rajoittaviksi tekijöiksi ei siis tule palkkien tai kierrejalkojen kestävyys. Lisäksi paino jakaantuu 20:lle kierrejalalle, joten yksittäiseen jalkaan kohdistuva rasitus ei ole kovin suuri.

Sahakelkan kestävyyttä arvioitiin observojien sekä käyttökokemusten perusteella. Kelkan yläkulmien hitsaussaumojen kestävyys herätti epäilyksiä osassa observoijia. Niihin ehdotettiin lisätukia. Myöskin kelkan jalkojen mahdollinen vääntymisen herätti huolto. Testeistä kelkka selvisi kuitenkin ilman minkään osan hajoamista tai vääntymistä. Kuu-lalaakereiden kestävyyttä pohdittiin, mutta testeissä ei saatu mitään viitteitä niiden toimintakyvyn heikkenemisestä, vaikka niitä ei huollettu tai rasvattu testien aikana.

Sahalaitoksen rungon korroosion kestävyyttä arvioitiin yleisen kokemuksen ja tieteellisen tiedon avulla. Sahauspöydän alumiinirunko on luonnostaan korroosionkestävä alumiinin pinnalla olevan alumiinioksidikerroksen ansiosta (Keinänen & Kärkkäinen, 2008. 71). Runkomoduurien osien liitokset sekä moduurien väliset liitokset on toteutettu haponkestävillä pulteilla ja muttereilla, jotka kestävät hyvin käyttöä ja säilytystä ulkotiloissa. Myöskään alumiinin ja haponkestävän teräksen yhdistäminen ei aiheuta ongelmia, vaan on kiinnitysvälineet myyneen asiantuntijan mukaan ainoa oikea liitostapa ulko-olosuhteisiin.

Sahalaitoksen valmistuskustannukset alle 800 e ilman moottorisahaa

Sahalaitoksen valmistuskustannukset koostuvat alumiinisen sahauspöydän hinnasta, sahauskelkan materiaaleista, tarvittavien kiinnitystarvikkeiden hinnasta sekä pintakäsittelystä. Alumiinien hinta on arvio, joka on laskettu arvioimalla sen arvoa alumiiniprofiileja myyvän liikkeen alumiinien kilohinnan mukaisesti. Alumiinin hinta-arvio on suhteutettu hankinta-ajankohdan vallitsevaan keskimääräiseen hintatasoon. Todellinen hinta voi olla myös korkeampi, johtuen sen poikkeuksellisesta muodosta. Arviointiin jouduttiin turvautumaan siitä syystä, että kyseiset profiilit olivat jo tekijöidensä omistuksessa eikä niiden tarkemmasta hinnasta ole tietoa. Tarvikkeiden hankinnassa on käytetty

myös hyväksi Turun yliopiston Rauman kampuksella toimivaan käsityön aineenopettajaopiskelijoiden ainejärjestö TK-kiltaa, joiden kautta materiaaleja on saatu hankittua edullisesti. Tuloksissa näkyvät todelliset maksetut hinnat alumiinia lukuun ottamatta.

TAULUKKO 5. Kenttäsahan kustannukset.

Materiaalit	Hinta
Alumiinit	400 euroa
Kelkan materiaalit	128 euroa
Kiinnitystarvikkeet	342 euroa
Pintakäsittely	81 euroa
Yhteensä	951 euroa

4.5.2 Sahalaitoksen käytettävyyden tulokset

Sahalaitoksen pitää olla käytettävissä yhden hengen voimin

Käytettävyyttä yhden hengen voimin arvioitiin testissä, jossa yksi sahaaja hoiti koko tapahtuman observojien tarkastellessa tapahtumaa. Sekä sahaajalta, että observoilta kerättiin havainnot kyselylomakkeilta, joiden havaintojen perusteella arvioidaan käytettävyyttä yhden hengen voimin. Kaikkien arvioijien mukaan sahaustapahtuma on toteutettavissa yhden hengen voimin. Rajoittavana tekijänä pidettiin tukin kokoa. Observojien mielestä tukin liikuttaminen sahalle oli ainoa yhden hengen käyttöä haittaava tekijä ja se asettaa rajoituksia sille, millaista tavaraa yhden hengen voimin voi sahata. Ehdotuksia tuli myös erilaisista apuvälineistä, joilla isompia tukkeja voisi nostaa sahauspöydälle. Esimerkiksi ramppia tai vinssiä ehdotettiin ratkaisuksi tukin liikutteluun.

Sahalaitoksen pitää olla helposti siirrettävissä purettuna sekä käyttöön- otettavissa yhden hengen voimin

Sahalaitos painaa kokonaisena moottorisahan kanssa alle 100 kiloa. Näistä rungon osuus on noin 60 kiloa, sahakelkan 21 kiloa ja moottorisahan paino terävarustuksella tankattuna noin 10 kiloa. Sahalaitoksen runko menee viiteen osaan, jolloin yksittäinen rungon moduuli painaa 12,5 kiloa. Kun sahakelkka on purettuna, painaa sen suurin yksittäinen osa 9,5 kiloa. Näin ollen painavin yksittäinen osa on runkomoduuli 12,5 kilon painolla. Tavoitteeksi oli asetettu, että painavin yksittäinen osa on alle 25 kiloa, joka alitettiin selvästi. Purettuna sahalaitos on siis helposti liikuteltavissa yhden hengen voimin.

Testien perusteella sahalaitoksen käyttöönotto onnistuu yhden hengen voimin. Kasauksessa ei tule eteen mitään sellaista tilannetta, jossa toisen henkilön apu olisi välttämätöntä. Purettavasta rakenteesta johtuen kasausaika oli ennakoitua suurempi. Maaperän tasaaisuudella oli suuri merkitys kasausaikaan. Säätojalkojen suuresta määrästä johtuen, sahalaitoksen saaminen vaakasuoraan vei aikaa. Sahalaitoksen kasaus kuljetuskunnosta käyttökuntoon moottorisahan kiinnitystä lukuun ottamatta vei 47 minuuttia, mikä oli enemmän kuin laatutavoitteeksi asetettiin. Kasausajan osalta laatutavoite ei siis toteutunut.

Sahalaitoksen rungon tulee olla kuljettavissa farmarimallisen auton sisätiloissa

Sahalaitoksen piti mahtua farmarimallisen auton sisätiloihin, jotka penkit kaadettuina olivat leveydeltään 1,0 metriä, pituudeltaan 1,6 metriä ja korkeudeltaan 0,8 metriä. Tähän tavoitteeseen päästiin, kun sahalaitoksen kelkka oli purettu ja sahalaitoksen runko oli viidessä osassa. Osien pakkaaminen ja purkaminen onnistui ongelmitta yhden henkilön voimin.



Kuva 20. Kenttäsaha pakattuna farmarimalliseen autoon.

Sahalaitoksen tulee olla ergonomisesti hyvä käyttää

Sahalaitoksen sahausasentoa ja säätömahdollisuuksia pidettiin hyvinä. Yleisesti ergonomia arvioitiin hyväksi. Suurimmat ergonomiset epäkohdat olivat tukin nosto sahauspöydälle ja tukin kiinnitykset. Sahaajalta tuli myös palautetta korkeussäädön hankaludesta reikiin kohdistamisen suhteen. Kun pyörittää korkeussäätöä kammesta, on vaikea nähdä alhaalla olevia kohdistusreikiä. Eräs observoija piti sahan käynnistysasentoa epäergonomisena. Tosin saha oli tällöin säädetty ala-asentoon, jolloin sahaaja joutui kumarumaan yltääkseen moottorisahan käynnistimeen. Paremman käynnistysergonomian saa

käynnistämällä sahan sen yläasennossa ja laskemalla sen vasta käynnistyksen jälkeen halutulle sahauskorkeudelle.

4.5.3 Sahalaitoksen turvallisuuden tulokset

Sahalaitoksen pitää olla turvallinen käyttää

Sahalaitoksen turvallisuutta pidettiin yleisesti hyvänä, mutta kehityskohteitakin löytyi. Eniten mainintoja tuli päätystoppareista, jotka estäisivät sahakelkan putoamisen kisko-
jen päädyistä, mikäli sahakelkan liikettä ei huomaa pysäyttää ajoissa. Tukin nostaminen keräsi myös mainintoja. Potentiaalisina uhkina pidettiin tukin kierähtämistä nostajan jaloille tai selän satuttamista noston aikana.

Eniten mielipiteitä jakoi mahdollisuus osua moottorisahan pyörivään teräketjuun. Noin puolet piti sitä mahdollisena, jos hyvin huonosti kävisi. Terään horjahtamisen estämiseksi observoijat miettivät erilaisia suojia kelkan takaosaan. Toiset observoijat pitivät terään osumista hyvin epätodennäköisenä tai mahdottomana. Tällöinkin usean observoi-
jan mielestä mahdollinen vaaratilanne voisi syntyä oikeastaan vain, jos kelkka pääsisi putoamaan päädyistä pois. He ehdottivat stoppareita rungon päähän poistamaan tämän riskin.

Turvallisuushuomioita sahalaitoksen rakenteeseen liittyen keräsivät myös tukin kiinnit-
tystuet. Mahdollisuus niihin osumiseen sahauksen aikana keräsi kolme mainintaa. Täl-
lainen tapahtuma ei todennäköisesti aiheuttaisi vaaraa sahaajalle, todennäköisempää on
ainoastaan moottorisahan teräketjun tylsyminen tai ketjun hampaiden tuhoutuminen. Jos
pahin tapahtuisi ja ketju katkeaisi, mikä huolestutti erästä arvioijaa, sahassa oleva ket-
jusieppari estäisi vahinkojen syntymisen.

Toinen moottorisahaan liittyvä kommentti oli sahan käynnistämisen näyttäminen ”hie-
man hasardilta”. Tämänkin riskit voi poistaa käyttämällä sahan ketjujarrua käynnistettä-
essä valmistajan ohjeistuksen mukaisesti.

Eräs vastaaja mietti mahdollisuutta, että tukki pääsisi irtoamaan kiinnityksistä ja tällöin saha voisi hirttää kiinni ja laippa vääntyä. Muita huomioita, joita turvallisuusteen tuli, olivat vaatimus lisäsuojista, mikäli lapsia on sahauspaikan lähetyvillä, tarve kirjalliselle käyttö-, huolto- ja turvallisuusohjeistukselle, sekä epäily suoja-verkon kestävydestä. Lisäsuojien tarpeellisuudesta nousi esiin myös kommentti, jossa todettiin että ”turvallisuus ja käytettävyys ei kulje monestikaan käsikädessä”. Yleisesti ottaen arvioijat pitivät kuitenkin sahalaitoksen rakennetta ja sahaustapahtuman työturvallisuutta hyvänä.

5. Luotettavuusteoreettinen osa

5.1 Tutkimuksen luotettavuuden arviointi

Suomalainen opettajankoulutus on yliopistotasosta koulutusta, johon kuuluu aineenhalinnallisen sekä didaktisen osaamisen lisäksi myös tieteellistä opiskelua. Maisterivaiheen opiskelijat toteuttavat joko yksin tai pareina tieteellisen Pro gradu -tutkielman. Tutkielman tulee noudattaa tieteellisen tutkimuksen perusteita ja kulkua sekä tieteelliselle tutkimukselle asetettuja eettisiä säännöksiä. Tutkimusten tieteellinen perusta muodostuu tieteellisille tutkimuksille asetetuista vaatimuksista, joita ovat tutkimuskohteen täsmällinen määrittely, vaatimus uuden tiedon tuottamisesta, vaatimus tutkimuksen hyödyllisyydestä muille sekä tutkimuksen kyvystä antaa perusteita julkiselle keskustelulle. Tieteellisen tutkimusetiikan mukaisesti tutkimuksen tekeminen on kurinalaista, järjestelmällistä ja täsmällistä. (Vilka 2015, 30-31) Tieteellinen tieto on myös kumulatiivaa eli uudet tutkimustulokset rakentuvat aina aiemman tietämyksen pohjalle ja lisäävät sitä. Tässä luvussa pohdimme kevyen ja siirrettävän kentäsahan valmistuksen ja testauksen luotettavuutta tieteellisen tutkimuksen vaatimusten mukaisesti.

Tutkimuksen reliaabelius eli kyky antaa ei-sattumanvaraisia tuloksia on eräs tieteellisen tutkimuksen luotettavuuden arvioinnin mittari (Hirsjärvi ym. 2015, 231). Reliaabeliutta käytetään määrällisten tutkimusten luotettavuuden arviointiin ja se on ongelmallinen sovellettava tuottavan tutkimisen metodilla suoritettavaan laadulliseen tutkimukseen. Tutkivan tuottamisen menetelmää hyödyntävässä tutkielmassa tutkimuksen toistettavuus sellaisenaan on hankalaa, minkä takia emme pidä vaatimusta kevyen ja siirrettävän kentäsahan valmistusprosessin toistettavuudesta relevanttina tämän tutkielman kohdalla. Perustelemme näkemystämme sillä, että jokainen yksilö havainnoi ja arvottaa ympäröivää maailmaa eri tavoin. Lincoln ja Guba (1985) esittävät erääksi laadullisen tutkimuksen luotettavuuden mittariksi tutkimuksen totuusarvoa. Totuusarvon käsite soveltuu paremmin tutkielmamme tulosten luotettavuuden arviointiin, sillä se painottaa tulosten totuudellisuutta vaatimatta kuitenkaan tutkimuksen toistettavuutta samassa määrin kuin reliaabiliteetti.

Reliabiliteetin kohdalla ongelmalliseksi muodostuu tutkivan tuottamisen lähtökohta, jossa laatutavoitteistoon liittyy subjektiivisia arvostuksia. Mikäli tutkimuksen toisintava henkilö valmistaisi identtisen sahalaitoksen seuraamalla tässä tutkielmassa kuvattua prosessin kulkua, häneltä jäisi kokonaan huomioimatta kognitiiviset prosessit, jotka ovat vaikuttaneet ja ohjanneet kenttäsaahan suunnittelua sekä valmistusta. Kyseessä olisi mallioppimisen kaltainen mekaaninen valmiin tuotteen valmistusprosessin toisintaminen, jonka lopputuloksena olisi tässä tutkielmassa asetettujen laatutavoitteiden mukainen kenttäsaaha.

Mikäli tutkimusta toisintava henkilö lähtisi liikkeelle toisenlaisesta lähtökohdasta eli laatutavoitteiden määrittelystä käsin, todennäköisesti hänen asettamansa laatutavoitteet eroaisivat tämän tutkielman alussa määritellyistä laatutavoitteista. Tutkimusprosessin toistavan henkilön lähtökohta prosessin suorittamiseen olisi siis erilaisista arvostuksista johtuen erilainen kuin meillä ja sitä kautta myös prosessin tulos poikkeaisi tässä tutkielmassa luodusta produktista.

Totuusarvo tässä tutkielmassa muodostuukin teoreettisen tutkimuskysymyksen osalta tarkasta valmistusprosessin kuvauksesta, sillä valmistusprosessi ja sen taustalla vaikuttavat kognitiiviset prosessit eli käsityötaju tarjoavat vastauksen teoreettiseen tutkimuskysymykseen. Empiirisen tutkimuskysymyksen tulosten totuusarvo syntyy määrittelemällä testaustapahtumat tarkasti sekä raportoimalla testauksen tulokset niitä muuntelematta. Tutkimustulosten analyysissä pyrimme pitämään oman tulkintamme vähäisenä välttääksemme tuomasta analyysiin omia, aineistoon liittymättömiä, käsityksiä ja ennako-oletuksia.

Analyysin yhteydessä olemme siis huomioineet ainoastaan aineistossa esiintyviä tekijöitä ja mittaukset on määritelty niin, ettei niiden kohdalla syntyisi tulkinnanvaraisuutta. Nämä tekijät lisäävät tutkielman tulosten neutraaliutta ja totuusarvoa. Toisin sanottuna empiirisen tutkimuskysymysten mittaukset olisi voinut suorittaa kuka tahansa mittaustulosten muuttumatta.

Ihmisyksilöiden ympäröivästä maailmasta luomien erilaisten arvostusten perusteella emme pyri, emmekä edes voisi vetää tutkielmamme lopputuloksen perusteella johtopäätöstä, onko valmistamamme kenttäsaaha paras mahdollinen. Jonkin tuotteen ”parhaus” on aina paikka-, aika-, ja henkilösidonnaista eikä yhtä yleistä parhaan määritelmää ole siksi olemassa. Tämä aiheuttaa haasteita tutkimustulosten pysyvyyden määritelmälle, joka on Lincolnin ja Guban (1985) mukaan toinen laadullisen tutkimuksen luotettavuus-

den mittari. Toisenlaisen kohdejoukon arviot sahalaitoksesta saattaisivat olla erilaisia kuin tähän tutkielmaan valitun kohdejoukon arviot.

Tuotteen ominaisuuksien arvottamiseen liittyy aina enemmän tai vähemmän tiedostettu tuotefunktioiden kokonaisvaltainen tarkastelu. Tuotteen ”parhaus” liittyy käyttöfunktioon eli tuote ”on paras ja tehokkain käyttötarkoituksessaan”, tarvefunktioon eli tuote ”täyttää parhaiten käyttäjän toiveet ja odotukset”, telesisfunktioon eli ”parempaa ei ole tähän mennessä kehitetty”, assosiaatiefunktioon eli tuote ”antaa positiivisimman käyttökokemuksen, estetiikkaan eli ”on kaunein kaikista” sekä menetelmäfunktioon eli tuote ”on valmistettu parhaista soveltuvista materiaaleista”.

Edellä esitettyjen tuotteen ”parhautta” koskevien johtopäätösten tekeminen on täysin turhaa, sillä tuotteen paremmuus ja arvostus muodostuvat aina tuotteen ja sen käyttäjän välisessä vuorovaikutuksessa. Tämän tutkielman puitteissa määritelty ja tuotettu sahalaitos vastaa tutkijoiden käsityötäjua. Tutkimuksen toistava tekijä voi pitää suunnittelemaamme tuotetta huonona ja suunnitella sekä toteuttaa itse paremman. Tällöin kyseessä ei suinkaan ole tutkielmamme tai sen produktin epäonnistuminen, vaan kyse on erilaisista arvotuksista ja määrittelyistä.

Tutkielmamme lopputuloksesta ei myöskään voida tehdä yleistäviä johtopäätöksiä kenttäsahausta ylipäätään, vaan tutkielman tulos tulee nähdä enemmän tapaustutkimuksen kaltaisena. Tutkimustulosten sovellettavuus tarkoittaa, miten tuloksia voidaan soveltaa toiseen asetelmaan tai ryhmään (Lincoln & Guba 1985, 165). Kenttäsahausta tuloksia ei voi soveltaa tämän tutkielman tutkimuskontekstin ulkopuolelle, mutta käsityötäjän tutkimuksen eli teoreettisen tutkimuskysymyksen osalta tuloksia voidaan soveltaa esimerkiksi peruskouluopetuksen kontekstiin. Tätä siirtovaikutusta käsittelemme luvussa 5.2.3 pohtiessamme tämän tutkimusprosessin suhdetta opettajuuteen.

Kenttäsahausta testauksen yhteydessä emme kyenneet suorittamaan testausta kaikilta osin niin kuin olimme suunnitelleet. Törmäsimme siis tutkimuksen validiusongelmaan eli ongelmaan mitattavien muuttujien operationalisoinnissa mitattavaan muotoon (Hirsjärvi ym. 1997 155). Tämä heikentää hieman tutkimustulosten totuusarvoa. Esimerkiksi sahalaitoksen rungon suurinta kestoamme saaneet selvitettyä. Haasteita tähän toivat sopivien testikappaleiden ja soveltuvan punnitusvälineen puute sekä käytävissä olevat nostinvälineet. Painavin sahattu tukki oli vajaa kolme metriä pitkä ja leveimmältä kohdaltaan 47 cm paksu koivutukki. Jo tämän tukin nostaminen sahauspöydälle vaati kolme

henkilöä ilman nostoapuvälineitä. Sahalaitoksen rungon kestävyysmuuttujan operationalisointia jouduttiin muuttamaan tilanteen vaatimalla tavalla.

Empiirisen testauksen perusteella totesimme sahalaitoksen rungon kestävän yhden henkilön nostettavissa olevat tukit ja muutimme suurimman kantavuuden selvittämisen teoreettiseksi tarkasteluksi. Teoreettinen tarkastelu pohjautuu saatavilla olevaan kirjallisuuteen ja empiiriseen testaukseen, esimerkiksi sahalaitoksen runkoon käytetyn alumiini-profiilin kuormitukseen hydraulisella puristimella. Teoreettisen tarkastelun tulokset sekä sahalaitoksen rungon kestävyden laskelmat on esitetty luvussa 4.5.1.

Sahalaitoksen kestävyden arviointi perustuu tutkielmassa pelkkiin arvioihin. Luotettavuuden lisäämiseksi päädyimme testausvaiheessa pyytämään observoijia arvioimaan sahalaitoksen materiaali- ja rakenneratkaisujen kestävyttä. Observoijien joukko oli heterogeeninen koulutustaustansa osalta ja ryhmästä löytyi esimerkiksi pienkone- ja raskasajoneuvoasentajia sekä metallialan ammattilaisia. Näin arvioiden tekeminen ei perustunut ainoastaan omaan materiaalitietouteemme. Taustaltaan vaihtelevan ja suuremman arvioijajoukon arviot ovat oletettavasti luotettavampia kuin pelkkä oma arviomme. Tutkielmamme kohdejoukko (n=11) riitti saturaatiopisteen saavuttamiseen useassa subjektiivista arviota vaativassa tutkimuskysymyksessä. Esimerkiksi kysymys sahalaitoksen käytettävyydestä yhden hengen voimin oli tällainen kysymys ja kaikissa vastauksissa korostui yhden hengen käytettävyyden rajoituksena olevan sahattavan tukin paino.

Pro gradu -tutkielman tekoon käytettävissä olevan ajan puitteissa sahalaitosta ei myöskään voitu sijoittaa pitkäksi aikaa suunniteltuun käyttöympäristöönsä. Emme siksi tee pitkälle meneviä johtopäätöksiä sahalaitoksen toimivuudesta pidempiaikaisessa käytössä. Aikataulullisista syistä myös sahakelkan pintakäsittely suoritettiin vasta testaustapahtuman jälkeen. Testaustapahtuman yhteydessä observoijille kerrottiin sahakelkkaan tulevasta pintakäsittelystä ja observoijia pyydettiin arvioimaan sahakelkan kestävyttä kyseisellä pintakäsittelyllä. Sahakelkan toimivuuteen pintakäsittelyllä ei ole mitään vaikutusta, joten sahaustapahtuman testaustuloksien luotettavuuteen sahakelkan pintakäsittelyn puuttumisella ei ole vaikutusta.

Sahalaitoksen testeissä sahattiin useita kotimaisia puulajeja sahalaitoksen suorituskyvyn mittaamiseksi. Testauksen määrittelyn yhteydessä määritellyistä puulajeista lähes jokaista pääsimme sahaamaan testauksen puitteissa. Testimateriaalin saatavuudesta johtuen joutuimme jättämään ainoastaan mäntytukin sahaamatta. Kenttäsaaha kykeni kuitenkin

kin työstämään ongelmitta mäntyä kovempia kotimaisia puulajeja, joten tällä tekijällä ei ole erityistä merkitystä tutkimuksen tulosten luotettavuuden kannalta.

Mittalankuiksi valittiin satunnaisotannalla kolmea eri puulajia edustavia lankkua. Eri puulajien valinnalla halusimme poistaa puulajien tiheyden ja syyrakenteen erilaisuudesta johtuvan muuttujan ja selvittää, toimiiko sahalaus kaikilla testatuilla puulajeilla tasavertaisesti. Testilankut oli sahattu eri päivinä, ja mittaushetkellä tuorein lankku oli sahattu vain tunteja ennen mittausta, kun taas vanhimman lankun sahausesta oli kulu- nut joitakin päiviä. Sahattuja lankkua säilytettiin ulkotiloissa, ettei lämpimään tuodun tuoreen ja vastasahatun lankun liian nopea kuivuminen aiheuttaisi mittalankkujen käy- ritymistä tai kutistumista. Lisäksi sekä sahattua että sahaamatonta puumateriaalia säily- tettiin ulkotiloissa, jotta puumateriaalin kosteus vastaa sen luonnollista kaadon jälkeistä kosteutta. Eri puulajit sitovat itseensä eri määrän vettä eli testisahaukseen valittujen tuk- kien keskinäinen kosteusprosentti on saattanut vaihdella. Sahattavan materiaalin kosteus tulee vaihtelevaan joka tapauksessa vuoden ajan ja sahattavan tukin kaatoajankohdan mukaisesti. Olennaista onkin sen sijaan sahauksen kyky tuottaa mittatarkkaa sahata- varaa vaihtelevasta puumateriaalista.

Puumateriaalin säilytysolosuhteiden huomioimisesta huolimatta emme pystyneet täysin poistamaan sahatun puumateriaalin elämisestä johtuvaa mittamuuttujaa. Puun elämisestä johtuva mittamuutos on myös vaikeasti todennettavissa. Puun elämisestä johtuva mit- tamuutos saattaa aiheuttaa virhettä sahatavaran mittatarkkuutta käsitteleviin tuloksiin ja aiheuttaa merkittävää eroa suhteutettaessa tuloksia tutkimusmittareihin johtuen sahatulle materiaalille asetetusta tiukasta mittatoleranssista.

5.2 Tutkimuksen johtopäätökset

5.2.1 Laatutavoitteiden asettelun ja täyttymisen pohdintaa

Tutkimuksen tuloksia tarkastellessa huomaa eri osa-alueille annetut painokertoimet. Ne tulevat tuloksissa näkyväksi siten, että pienemmän painokertoimen osa-alueet eivät aina

saavuttaneet tavoitearvoja. Painokertoimet ovat selvästi olleet suunnittelua ohjaavia tekijöitä. Koska esimerkiksi kuljetuskoko ja paino ovat olleet merkittäviä tekijöitä, ovat niiden ehdoilla tehdyt ratkaisut näkyneet esimerkiksi kasaussajassa ja hinnassa. Pieni kuljetuskoko näkyy muun muassa siinä, että sahalaitos menee useaan osaan kuljetuskuntoon laitettaessa. Tämä taas heijastuu sahalaitoksen käyttökuntoon valmisteluun vaadittavassa ajassa.

Valmistuskustannukset toimivat osittain rajoittavana tekijänä. Rungon tekeminen alumiinista on mahdollistanut sahalaitoksen keveän rakenteen, mutta alumiinin ja haponkestävien pulttien takia hinta nousi selvästi korkeammaksi, mitä rakenneteräksestä ja sinkityistä pulteista tehty rakenne olisi maksanut. Toisaalta, hinta ohjasi myös kelkan suunnittelua. Jos taloudellisia rajoitteita ei olisi ollut, olisi kelkan voinut tehdä esimerkiksi ruostumattomasta teräksestä, jolloin sen korroosion kestävyys olisi ollut jo luonnostaan parempi. Suunnittelussa on täytynyt priorisoida ominaisuuksia ja löytää sopiva tasapaino eri osa-alueiden välillä. Tässä on onnistuttu, koska painokertoimiltaan merkittävässä (4-5) osa-alueissa vain sahauspaksuus ei täyttänyt asetettuja tavoitteita tai ylittänyt niitä.

Sahauspaksuuden säädössä tulos jäi mittausarvoille laaditun arvosteluasteikon heikoimmalle tasolle. Tältä osin siis epäonnistuttiin tavoitteiden täyttämässä. Huomattavaa kuitenkin on, että mittavirhe johtui sahan säädön korkeudensäätöreistä, joiden keskinäinen etäisyys saattoi vaihdella hieman. Tämä pieni heitto riitti aiheuttamaan vaihtelun sahauspaksuudessa. Kaikkien testattavien kappaleiden sisäinen mittaheitto pysyi tavoitearvon sisällä, mutta koska kappaleelle oli määritetty tavoitepaksuus etukäteen, mittavirhettä tuli jo sahan alkuaseman takia niin paljon, että mahdollisuutta täyttää mittavaatimusta ei enää ollut. Tuloksien perusteella voisi olettaa, että ilman säätöreikiä tarkasti sahan korkeuden mittaamalla voisi sahata standardin mukaista sahatavaraa ilman, että mittavirhe ylittäisi tavoitearvoa. Tämä tietysti aiheuttaa sahaustapahtumaan inhimillisen muuttujan ja lisää sahaustapahtuman kestoa.

Observoijien ja sahalaitosta testanneiden henkilöiden ajatuksista nousi esiin kestävyysliittyviä ajatuksia, joiden perusteella sahalaitoksen kelkan rakennetta vielä vahvistettiin. Sahakelkasta tuli jäykempi ja samalla sen turvallisuus parani liikuteltavan tuen takia, joka samalla estää tahattoman osumisen terään sahakelkan takapuolelta. Sahalaitosta testattiin vielä muutosten jälkeen ja totesimme lisätukien vahvistaneen ja jäykentäneen rakennetta. Tämä toimenpide tosin myös nosti painoa. Sahakelkan paino on yhä

edelleen alle 15 kiloa, joten suurin määritelty paino ei kuitenkaan ylittynyt edes sahalaitoksen vahvistuksen jälkeen. Lisäksi liikuteltavan tuen lisäys ei aiheuta kuljetettavuuteen merkittävää muutosta.

Sahalaitoksen turvallisuus arvioitiin testeissä riittäväksi ja myöhemmin sitä vielä parannettiin liikuteltavan tuen avulla. Yksikään työstökone ei koskaan ole täysin riskitön, mutta suojavälineillä riskiä voidaan pienentää ja hallita. On hyvin pitkälti sahaajasta kiinni, kuinka turvallista sahalaitosta on käyttää. Oikein käytettynä asianmukaisin suojaruustein vaikuttaa kuitenkin siltä, että sahalaitoksen käyttöön ei liity suuria riskitekijöitä.

Tuotetta varten luodut laatutavoitteet eivät olleet aivan täydelliset. Prosessin aikana syntyi sellaisia tutkimusongelmia, joita ei osattu ennakoita laatutavoitteita tehdessä. Niiden ulkopuolelta syntyi tarve latvankohottimelle, jolla puun syysuunta saadaan suoraksi, jos sahattava tukki on hyvin voimakkaasti kapeneva. Syysuunnan suoruus vaikuttaa suuresti tuotetun sahatavaran kestävyYTEEN, mutta tätä emme osanneet huomioida laatutavoitteiden asettelussa. Tarpeen ollessa kuitenkin ilmeinen, rakennettiin erillinen latvankohotin ratkaisemaan ongelma.

5.2.2 Parannusehdotuksia

Tutkimustulosten analyysin perusteella onnistuimme kehittämään yhden hengen käytettävissä olevan kevyen kenttäsahan. Kaikkien koesahaajien ja observojien mielestä sahalaitos oli yhden henkilön liikuteltavissa, käyttöönotettavissa sekä käytettävissä. Rajoitavaksi tekijäksi ilmeni tukin koon mukana seuraava tukin painon lisääntyminen sekä sahaajan fyysiset ominaisuudet. Sahalaitos kyllä selviytyi kaikista niistä tukeista, joita testaajat jaksoivat sen päälle nostaa.

Kyseessä ei kuitenkaan ole täydellinen ja virheetön työstökone. Suunnittelemamme ja valmistamamme kevyt ja siirrettävä kenttäsaha voidaan nähdä prototyypituotteena, jota kaupallisessa tuotekehitysprojektissa lähdetäisiin kehittämään edelleen. Suorittamamme testaus vastaa pitempien tuotekehitysprojektien ensimmäistä testauskertaa, jolla voidaan vasta selvittää sahalaitoksen toiminnan pääpiirteitä sekä havaita suurimpia ongel-

mia sen käytössä. Oman tutkielmamme puitteissa tällaista emme tee tällaista jatkokehittelyä, vaan ainoastaan pohdimme parannusehdotuksia ja jatkotutkimusaiheita, joista käsin kenttäsaahaa voisi kehittää edelleen.

Testaustulosten analyysin jälkeen teimme observoijien huomioiden pohjalta pieniä muutoksia sahakelkkaan ennen sen kuumasinkitystä. Nämä muutokset käsittävät kulmatukien lisäämisen sahakelkan yläreunoihin sekä siirrettävän keskituen valmistamisen. Muilta osin sahalaitoksen rakenteeseen ei tehty muutoksia.

Observoijien huomioiden ja käyttötesteistä saatujen kokemusten perusteella löysimme mahdollisia jatkokehittelykohteita. Ensimmäinen jatkokehitysehdotus liittyy sahalaitoksen käytön ohjeistukseen. Osa observoijista kaipasi kirjallista käyttöohjetta. Tällainen käyttöohje olisi luonnollisesti tehty, mikäli sahalaitos olisi suunniteltu kaupalliseksi tuotteeksi. Tämän tutkielman kenttäsaaha on kuitenkin suunniteltu tutkielman tekijöiden omaan käyttöön, minkä takia emme kokeneet kirjallisen käyttöohjeen tekoa tarpeelliseksi. Siksi ulkopuolisten henkilöiden käytössä sahalaitos vaatii tarkan ja perusteellisen käyttöperehdytyksen, sillä sahalaitoksen käyttö vaatii sahaajalta tietoja sen toiminnasta, huolellisuutta sekä tarkkaavaisuutta. Käyttöperehdytyksen lisäksi sahalaitoksen tekijän olisi aina hyvä olla paikalla ulkopuolisen henkilön käyttäessä sahalaitosta.

Tukin siirtäminen yhden henkilön voimin ilman nostoapuvälineitä on aina haastavaa. Tällaisessa tilanteessa myös työasennot ovat usein epäergonomisia. Tukin siirto säilytyspaikalta kenttäsaahan sahauspöydälle ei suoranaisesti liity kenttäsaahan ominaisuuksiin, mutta kenttäsaahan jatkokehittelyllä tätä työvaihetta voidaan helpottaa. Vaikka sahauspöytä onkin keskimäärin vain noin 15-20 senttimetrin korkeudella maasta, vaatii tukin nostaminen maasta sahauspöydälle ponnisteluja. Tästä syystä sahalaitoksen todellista työstökapasiteettia rajoittaa sahalaitoksen kestävyys sijaan sen käyttäjän fyysiset ominaisuudet.

Käyttäjän fyysisten ominaisuuksien vaikutuksen poistamiseksi sahalaitoksen jatkokehittelyssä yksi tutkimusaihe olisi tukin siirtoa helpottavien apuvälineiden suunnittelu. Sahalaitokseen integroituja rampeja tai tukkinostimia avuksi käyttäen sahauspöydälle olisi mahdollista saada yhden henkilön voimin nykyistä painavampia tukkeja. Nämä apuvälineet sekä tukin käsittelyn apuvälineet, kuten tukin kääntäjä ja isot tukkisakset, parantaisivat työstökapasiteetin lisäksi myös työergonomiaa tukin siirtelyssä.

Seuraava pieni ja yksinkertainen parannus sahalaitoksen toimintaan olisivat stopparit sahalaitoksen sivujohteiden päätyihin. Stopparien lisäämistä ehdotti lähes jokainen observoijista. Yksinkertaisimmillaan stopparit voisi toteuttaa asettamalla pitkät pultit sahalaitoksen päädyissä olevien runkomoduulien kiinnitysreikiin. Tällaisen yksinkertaisen stoppariratkaisun avulla poistetaan kustannustehokkaasti ja helposti pohjimmiltaan inhimillinen vaaratekijä sahalaitoksen käytössä. Nykyisellään sahalaitoksen käyttäjän on oltava tarkkana, ettei aseta tukkia liian lähelle sahalaitoksen päätyjä ja sahauksen aikana epähuomiossa pudota sahakelkkaa pois sivujohteilta. Stopparien avulla sahakelkkaa ei olisi enää mahdollista saada putoamaan vahingossa pois sivujohteilta.

Muita jatkokehityskohteita ovat nopeammin irrotettavat ja säädettävät tukin kiinnikkeet. Osa observoijista koki ennen sahauksen aloittamista suoritettavan tukin kiinnikkeiden säädön olevan nykyisellään turhan hidas ja työläs. Pikakiinnityksellä kiinnittyvät tukki-kiinnikkeet voisivat ratkaista ongelman, mutta tällaisten kiinnikkeiden suunnittelussa on oltava tarkkana, ettei nopeamman irrotettavuuden myötä menetetä tukin kiinnikkeiden tukevuutta. Tukin kiinnikkeet kuitenkin estävät tukkia pyörähtämästä sivusuunnassa sekä liikkumasta sahalaitoksen pituussuuntaan. Tukin irtoaminen kiinnikkeistään sahaustapahtuman aikana saattaisi aiheuttaa vaaraa ja loukkaantumisriskin sekä sahaajalle että lähiympäristössä oleville henkilöille.

Lisäksi jatkokehittelyn yhteydessä olisi hyvä pohtia keinoja pienentämään riskiä moottorisahan teräketjun osumisesta sahakiinnikkeisiin. Nykyisellään tukki-kiinnikkeiden laskeminen alaspäin sahausten välillä jää sahaajan muistettavaksi, mikä on myös inhimillinen riskitekijä.

Sahan etäkaasun rakenne osoittautui tukevaksi, mutta myös työlääksi kiinnittää ja irrottaa sahasta. Etäkaasun rakennetta voisi jatkokehittelyssä kehittää helpommin poistettavaksi.

5.2.3 Prosessin suhde opettajuuteen

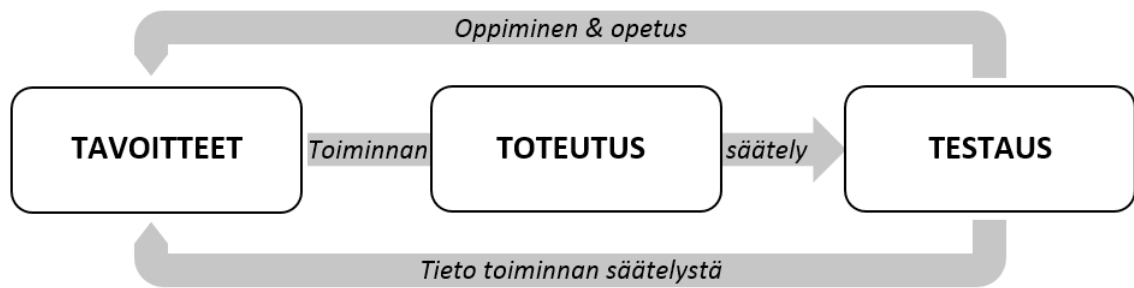
Tutkivan tuottamisen metodilla toteutettu tutkimuksemme, jossa syntyi tuotteena uudenlainen kenttäsaha, toimii hyvänä mutta peruskouluun turhan laajana ja vaativana esimerkkinä uuden opetussuunnitelman korostamasta kokonaisesta käsityöprojektista. Tällaisenaan kenttäsahan valmistusprosessia ei voi soveltaa peruskoulun käsityön opetuksessa, mutta kevyen ja siirrettävän kenttäsahan tuottamisprosessilla voidaan nähdä olevan siirtovaikutus myös perusopetukseen erityisesti oman didaktisen osaamisemme lisääntymisen myötä.

Käsityö keskittyy holistiseen eli kokonaisvaltaiseen käsitykseen toiminnasta, sen yhteydestä elintodellisuuteen, ympäristöön sekä aikaan. Käsityöllisessä tekemisessä on siis mukana kaikki persoonallisuuden osa-alueet ja tekemisen tuotteena on konkreettisen tekemisen ja tuotteen lisäksi inhimillistä kehitystä – oppimista. (Lindfors 1999, 41-42) Peltosen mukaan käsityössä onkin ensisijaisesti kyse toimintamuotojen rakentamisesta (Peltonen 1988, 14). Olemme tutkimusprosessimme aikana käyneet läpi samat kognitiiviset vaiheet, joita oppilaat kohtaavat kokonaisen käsityöprosessin mukaisissa oppimistehtävissä ja sitä kautta lisänneet omaa ymmärrystämme vastaavien prosessien vaatimuksista ja toteutuksesta. Tämä ymmärrys on tärkeätä suunniteltaessa ja toteutettaessa kokonaisen käsityön mukaisia oppimistehtäviä.

Uuden opetussuunnitelman mukaan käsityön tehtävänä on ohjata oppilaita kokonaiseen käsityöprosessin hallintaan. (Perusopetuksen opetussuunnitelman perusteet 2014, 430) OPS 2016 käsitöiden tukimateriaalin mukaan kokonainen käsityö koostuu seuraavista vaiheista:

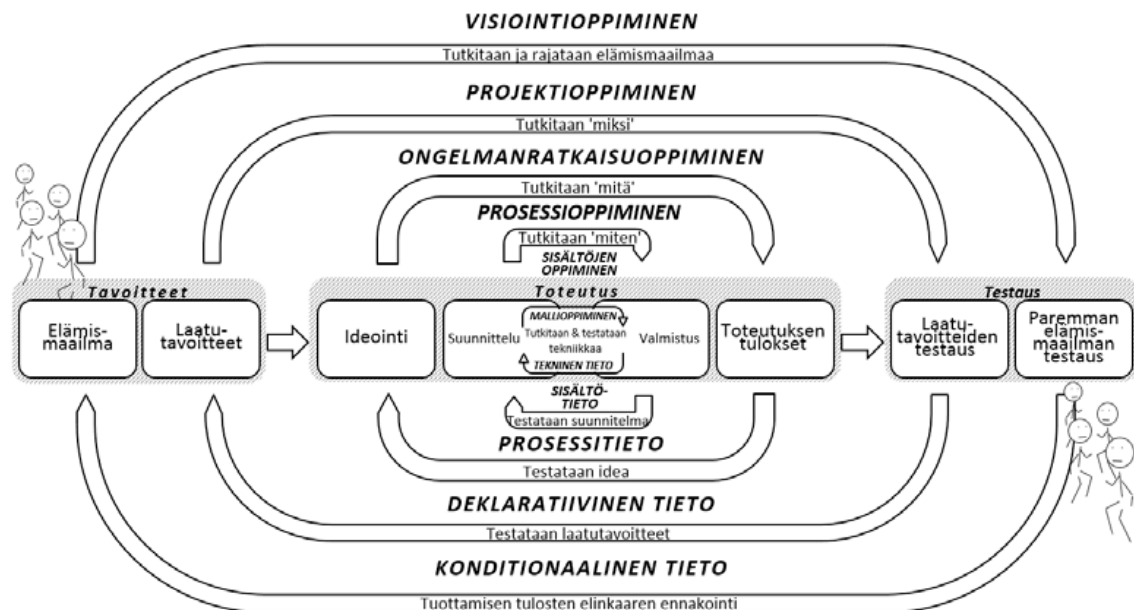
1. Ideointi
2. Suunnittelu
3. Tekeminen
4. Arviointi

Tutkivan tuottamisen pääosat ovat tavoitteet, toteutus ja testaus. Niistä on löydettävissä kaikki samat vaiheet kuin kokonaisesta käsityöstä.



Kuvio 4. Tutkivan tuottamisen pääosat (Kallio & Metsärinne 2017,287)

Tutkivan tuottamisen didaktisen mallin mukaisesti tavoitteet osiassa luodaan halutusta asiasta laatutavoitteet. Toteutus-osioissa tapahtuu ideointi, suunnittelu ja valmistus, jotka ovat kokonaisen käsityön kolme ensimmäistä vaihetta. Testaus-vaiheessa testataan laatutavoitteiden täyttymistä. Tämä vaihe on rinnastettavissa kokonaisen käsityön viimeiseen vaiheeseen, arviointiin. (Kallio & Metsärinne 2017, 287-288; anon 2018d) Tutkivan tuottamisen didaktinen malli on siis hyvä keino toteuttaa kokonaisen käsityön opetusta peruskoulussa.



Kuvio 5. Tutkivan tuottamisen didaktinen malli (Kallio & Metsärinne 2017,288)

Tutkivan tuottamisen didaktisen mallin avulla voidaan opetusta järjestää kuudella erilaisella tavalla. Näitä ovat visiointioppiminen, projektioppiminen, ongelmanratkaisuoppi-minen, prosessioppiminen, teknisten sisältöjen oppiminen ja mallioppiminen. Kent-täsahamme tuottamisprosessi sijoittuu näistä visiointioppimiseen. Siinä tekijä asettaa teknologiselle toiminnalleen täysin yksilölliset tavoitteet ja lähtee rakentamaan niitä

ehtoja, joita koko toiminnalla voidaan saavuttaa sekä niitä riskejä, joita voi toteutusvaiheessa kohdata. (Kallio & Metsärinne 2017, 289-291)

Projektioppimisessa opettaja antaa oppilaalle ennalta määrittelemänsä teknologisen toiminnan teeman. Erona visiointioppiseen onkin se, että opettaja on rajannut teeman, jonka puitteissa oppilas asettaa projektin alussa omia tuottamisen ja oppimisen tavoitteita. (Kallio & Metsärinne 2017, 290)

Ongelmanratkaisuoppimisessa opettaja on ennalta määritellyt ongelman, jonka oppilas voi ratkaista teknologisella ratkaisulla. Erona projektioppimiseen on se, että oppilas saa ongelman suoraan, eikä hänen odoteta itse löytävänsä ongelmaa, vaan opettaja on valmiiksi määritellyt ehdot, joiden on täyttyvä. Ongelmanratkaisuoppimisessa oppilas tekee tuotteen, jolla opettajan asettamat ehdot täyttyvät ja ongelma ratkeaa. (Kallio & Metsärinne 2017, 290)

Prosessioppimisessa oppilasideoi prosessitietoa teknologisen tuotteen suunnittelua ja valmistusta varten. Prosessioppimistehtävät ovat suljettuja kuin visiointi-, projektitai ongelmanratkaisutehtävät. Erona ongelmanratkaisutehtävään verrattuna prosessioppimisessa on se, että oppilas kohtaa teknologista tuottamista vaativan ratkaisuidean, joka ei ole tuotemalli. (Kallio & Metsärinne 2017, 291) Kentäsahan tapauksessa se voisi tarkoittaa sitä, että ongelmana olisi tukkien muuttamiseksi laudoiksi. Ratkaisu tähän olisi sahata ne moottorisahalla, mutta se miten moottorisahaa olisi varusteltava tai muutettava, jotta tämä olisi mahdollista, voisi olla oppilaan suunnittelutehtävä.

Teknisten sisältöjen oppiminen tarkoittaa sitä, että opetus järjestetään jonkin tekniikka tai materiaali edellä. Toisin sanottuna opettaja rajaa tehtävänannot niin, että niiden ratkaisemiseen pitää käyttää jotakin tiettyä tekniikkaa tai materiaalia. Tällä tavoin opettaja voi ohjata oppilaiden suunnittelua ja tuottamista sekä varmistaa, että suunnitellut opetussisällöt tulevat opetettua. (Kallio & Metsärinne 2017, 291) Opettaja voisi esimerkiksi antaa tehtäväksi kehittää huonekalun, jonka rakenne sisältää putkea taivutettuna ja vähintään yhden hitsausseaman. Oppilasta ohjaavalla tehtävänannolla opettaja voi varmistaa, että kaikki oppivat esimerkiksi käyttämään putkentaivutinta ja hitsaamaan, mutta samalla antaa oppilaille mahdollisuuden tiettyjen rajojen puitteissa suunnitella ja toteuttaa tuotteensa.

Mallioppiminen on tutkivan tuottamisen didaktisista malleista rajoittunein. Mallioppimisessa opettaja valitsee tuotteen jonka oppilas toteuttaa. Tällöin oppilaalla on hyvin

vähän mahdollisuuksia muokata tuotetta tai sen tuottamistapaa. Mallioppimista voidaan käyttää hyväksi tekniikoiden opettelussa, materiaalien ominaisuuksien opiskelussa sekä kädentaitojen kehittämisessä. (Kallio & Metsärinne 2017, 291)

Tutkivan tuottamisen didaktista mallia soveltamalla voidaan eriyttää opetusta. Visiointioppimistehtävä on näistä oppimistehtävistä kaikkein avoimin ja mallioppiminen taas suljetuin. Eri oppilaille tai ryhmille voisi näiden mallien avulla antaa kullekin sopivia tehtäviä. Osalle oppilaista voisi antaa projektitehtävän jonkin tietyn teeman, jota lähteä kehittämään. Niille, joille tämä on liian haastavaa, voi opettaja muuttaa tehtävänantoa teeman sisällä ongelmanratkaisutehtäväksi tai vaikka prosessitehtäväksi. (Kallio & Metsärinne 2017, 294-295) Tässä tutkielmassa tekemämme tuottamisprosessi on peruskouluun turhan laaja ja haastava, mutta sopivasti rajattuna siitäkin olisi mahdollista saada koulumaailmaan sopiva versio, vaikkakin moottorisahan hinnan ja vaarallisuuden takia se ei olisi paras vaihtoehto peruskoulun oppimistehtäväksi. Kuitenkin tämä tuottamisprojekti on valmistanut meitä ohjaamaan samanlaisia projekteja omassa opetuksessamme. Esimerkiksi teemasta selviytymispakkaus voi saada esimerkiksi projekti-, ongelmanratkaisu-, prosessi- tai mallioppimisen mukaisen tehtävän oppilaille. Projektioppimisen tehtävänä pelkkä teema voi riittää osalle oppilaista, jotka alkavat ideoida itse sitä, mitä vaatimuksia kyseisen pakkauksen pitäisi täyttää ja miten vaatimukseen päästään. Osalle oppilaista, jotka tarvitsevat enemmän apua, voi opettaja antaa samaan teemaan liittyvän ongelman, jonka oppilaan pitäisi ratkaista opettajan antamien reunaehtojen mukaisesti. Ongelmana voisi olla se, että miten tulentekovälineet, sytykkeet, puukko ja kalastusvälineet voidaan suojata niin, etteivät ne pääse kastumaan. Niille, joille tämä on turhan haastavaa, voi opettaja antaa heille prosessitehtävän, jossa heidän pitää ratkaista annettu ongelma esimerkiksi muoviputkea hyväksi käyttämällä. Ne jotka eivät tästäkään huolimatta pääse aiheessa eteenpäin, voi opettaja näyttää erilaisia ratkaisuja ja näin oppilas pääsee suunnittelemaan oman tuotteen esimerkkien avulla. Näin yhdestä teemasta voidaan eriyttää opetusta hyvin eritasoisille oppilaille.

Lähteet

Airila, M., Ekman, K., Hautala, P., Kivioja, S., Kleimola, M., Martikka, H. Miettinen, J., Niemi, E., Ranta, A., Rinkinen, J., Salonen, P., Verho, A., Vilenius, M. & Välimaa, V. 1995. Koneenosien suunnittelu. Helsinki: WSOY.

Alasuutari, P. 2011. Laadullinen tutkimus 2.0. Tampere: Vastapaino.

anon 2016 a.

<http://www.puuinfo.fi/sites/default/files/Puutavaran%20laadut%20ja%20mitat%20A4.pdf>, viitattu 8.11.2016.

anon 2016b. <http://www.puuinfo.fi/puutieto/sahatavara/puutavaran-laatuokitus>, viitattu 8.11.2016.

anon 2016c. <http://www.puuinfo.fi/puutieto/sahatavara/vakiokoot-paksuudet-leveydet-ja-pituudet>, viitattu 16.11.2016.

anon 2017a. <http://www.logosol.fi/store/sahat/sahalaitokset/logosol-m8/logosol-m8.html>, viitattu 14.2.2017

anon 2017b. <http://helonkuumasinkitys.fi/prosessi/>, viitattu 8.12.2017.

anon 2017c. <http://helonkuumasinkitys.fi/Taskut.pdf> , viitattu 8.12.2017

anon 2018a. <http://www.haktonopetus.fi/kultsova/funktio.htm> Viitattu 19.1.2018.

anon 2018b. <http://www.ergonomiayhdistys.fi/yhdistys/uusi-sivu/>, viitattu 9.1.2018

anon 2018c. <http://www.ergonomiayhdistys.fi/yhdistys/uusi-sivu/>, viitattu 9.1.2018.

anon 2018d.

http://www.edu.fi/perusopetus/kasityo/ops2016_tukimateriaalit/kasityoprosessi_perusopetuksessa, viitattu 28.1.2018.

Ansaharju, T., Ilomäki, O., Katainen, H., Maaranen, K. & Mäkinen, A. 1988. Kone- ja metallitekniikka. Raaka-aineet 1 – 2. Helsinki: WSOY.

Anttila, P. 1993. Käsityön ja muotoilun teoreettiset perusteet. Helsinki: WSOY.

- Autio, A. & Hasari, H. 1999. Koneenpiirustus ammattikorkeakouluille ja teknillisille oppilaitoksille. Helsinki: Kustannusosakeyhtiö Otava.
- Barth, C. 1964. Metallit raaka-aineena. Helsinki: WSOY.
- Blom, S. 1975. Hitsaustekniikka 2. Rakenne- ja aineoppi. Helsinki: WSOY.
- Brannen, J. 2004. Working qualitatively and quantitatively. Teoksessa Seale, C., Gobo, G., Gubrium, J.F. & Silverman, D. Qualitative Research Practice. Lontoo: Sage Publications.
- Cagan, J. & Vogel, C.M. 2003. Kehitä kärkituote. Ideasta innovaatioksi. Helsinki: Talentum.
- Corbett, S. 2001. Suuri puutyökirja. Käytännön käsikirja kotinikkareille. Lontoo: Anness Publishing Limited.
- Eichhorn, K. & Duginske, M. 1986. Koneellinen puuntyöstö. Asiantuntijan ohjeita puunikkareille. Teufenthal: INCA CH-5723.
- Eklund, J., 1999. Ergonomia, laatu ja jatkuva kehittäminen - ajankohtainen katsaus. Teoksessa Nygård, C-H., Seppälä, P., Luopajarvi, T. & Louhevaara, V. Ergonomiaa ensi vuosituhannele. Helsinki: Suomen ergonomiayhdistys ry
- Grönfors, M. 1982. Kvalitatiiviset kenttätömenetelmät. Helsinki: WSOY.
- Helander, M.G., 1999. Ergonomian systemaattinen määrittely. Teoksessa Nygård, C-H., Seppälä, P., Luopajarvi, T. & Louhevaara, V. Ergonomiaa ensi vuosituhannele. Helsinki: Suomen ergonomiayhdistys ry
- Hirsjärvi, S., Remes, P. & Sajavaara, P. 2015. Tutki ja kirjoita. Helsinki: Kustannusosakeyhtiö Tammi.
- Hyysalo, S. 2009. Käyttäjä tuotekehityksessä. Tieto, tutkimus, menetelmät. Helsinki: Taideteollisen korkeakoulun julkaisu B 97.
- Isomäki, O., Koponen, H., Nummela, A. & Suomi-Lindberg, L. 2008. Puuteollisuus 2. Raaka-aineet ja aihiot. Helsinki: Opetushallitus.
- Jokinen, I., Kuusela, A. & Nikkari, T. 2012. Pinnalla 2. Metallituotteiden maalaus. Helsinki: Opetushallitus.

- Kallio M. & Metsärinne, M. 2017. Tutkivan tuottamisen didaktiikka teknologiakasvatuksessa. Teoksessa Kallio, M., Juvonen, R. & Kaasinen A. Jatkuvuus ja muutos opettajankoulutuksessa. Suomen ainedidaktisen tutkimusseuran julkaisuja. Ainedidaktisia tutkimuksia 12. Helsinki: Helsingin yliopisto
- Keinänen, T. & Kärkkäinen, P. 2008. Konetekniikan perusteet. Helsinki: WSOY.
- Kärkkäinen, M. 2007. Puun rakenne ja ominaisuudet. Helsinki: Metsäkustannus Oy.
- Laitinen, E., Niinimäki, M., Tiainen, T., Tiilikka, P., Tuomikoski, J. & Koivisto, K. 1997. Konetekniikan materiaalioppi. Helsinki: Edita.
- Launis, M. 1999. Toimivuutta ja käytettävyyttä osallistuvalla suunnittelulla. Teoksessa Nygård, C-H., Seppälä, P., Luopajarvi, T. & Louhevaara, V. Ergonomiaa ensi vuosituhannele. Helsinki: Suomen ergonomiayhdistys ry
- Lincoln, Y.S. & Guba, E.G. 1985. Naturalistic Inquiry. Newbury Park, Calif: Sage.
- Lindfors, L. 1999. Sloyd Education in the Cultural Struggle: Part VIII, an outline of a sloyd educational theory. Vaasa: Åbo Akademi University.
- Linna, M. 2014. Sahatavaraa kevyellä kalustolla. Maaseudun tulevaisuus 24.2.2014. Viitattu 9.11.2016 <http://www.maaseuduntulevaisuus.fi/suomalainen-maaseutu/sahatavaraa-kevyell%C3%A4-kalustolla-1.57300>
- Loukola, S. 2001. Puusta pitkään. Puutuotteiden suunnittelu ja valmistus. Helsinki: WSOY.
- Luostarinen, T. 2016. Myrskyn kaatamat puut laudoiksi ja hirsiksi -Moottorisahasta oma sahalaitos. Metsäalan Ammattilehti 10.6.2016. Viitattu 9.11.2016
- Metsärinne, M. & Kallio, M. 2011. Johdatus tutkivaan tuottamiseen. Techne Series. Research in Sloyd Education and Craft Science. B: 16/2011. NordFo.
- Metsäteollisuus ry & Suomen Metsäyhdistys ry, 1999. Puusta jalosteeksi. Helsinki: Metsäteollisuus ry & Suomen Metsäyhdistys ry.
- Miettinen, T., Pulkkinen, S. & Taipale, J. 2010. Fenomenologian ydinkysymyksiä. Helsinki: Gaudeamus Helsinki University Press.

Norman, E., Riley, J., Urry, S. & Whittaker, M. 1993. *Advanced Design And Technology*. Essex: Longman Group UK Limited.

OPS 2016 käsityön tukimateriaalit. Viitattu 28.1.2018

http://www.edu.fi/perusopetus/kasityo/ops2016_tukimateriaalit/kasityoprosessi_perusopetuksessa

Papanek, V. 1973. *Turhaa vai tarpeellista?* Helsinki: Kirjayhtymä.

Peltonen, J. 2007. Katosiko tekninen työ Turun yliopistosta? -Tiede pieni, koulutuspolitiikka suuri. *Techne Series. Research in Sloyd Education and Craft Science*. B: 11/2007. NordFo.

Peltonen, J. 1988. *Käsityökasvatuksen perusteet. Koulukäsityön ja sen opetuksen teoria sekä teoreettinen ja empiirinen tutkimus peruskoulun yläasteen teknisen työn oppisisällöistä ja opetuksesta*. Rauma: Turun yliopiston Rauman opettajankoulutuslaitos.

Perusopetuksen opetussuunnitelman perusteet 2014. Viitattu 28.1.2018

http://www.oph.fi/download/163777_perusopetuksen_opetussuunnitelman_perusteet_2014.pdf

Riikilä, M. *Moottorisaha sata vuotta Suomessa*. 2014. Helsinki: Metsäkustannus Oy

Suomen sahateollisuusmiesten Yhdistys. 2002. *Pohjoismainen sahatavara. Sahatavarakaupan käsikirja eli miten välttää erimielisyyksiä sahatavarakaupoissa ja -toimituksissa*. Helsinki: Suomen sahateollisuusmiesten yhdistys ry.

Suomen standardoimisliitto SFS ry. 2013 *SFS-käsikirja 1. Standardit ja standardisointi 2013*. Helsinki: Suomen standardoimisliitto SFS ry.

Tuomi, J. & Sarajärvi, A. 2009. *Laadullinen tutkimus ja sisällönanalyysi*. 10. uud. laitos Helsinki: Tammi.

Turunen, V. 2007. Teoksessa Seitamaa-Hakkarainen, P., Pöllänen, P., Luutonen, M., Kaipainen, M., Kröger, T., Raunio, A., Sipilä, O., Turunen V., Vartiainen, L. & Heinonen, A. *Käsityötieteen ja käsityömuotoilun sekä teknologiakasvatuksen tutkimusohjelma Savonlinnan opettajankoulutuslaitoksessa*. Joensuu: Joensuun yliopisto.

Työterveyslaitos. 2009 *Työpaikan työergonomian tarkastusohje*. Helsinki: Työterveyslaitos

- Vehkalahti, K. 2014. Kyselytutkimuksen mittarit ja menetelmät. Helsinki: Finn Lectura.
- Vilka, H. 2015. Tutki ja kehitä. Jyväskylä: PS-kustannus.
- Väyrynen, S., Nevala, N. & Päivinen, M. 2004. Ergonomia ja käytettävyys suunnittelussa. Helsinki: Teknologiateollisuuden julkaisuja nro 4/2004.
- Yli-Piipari, E. 1991. Tuotteiden suunnittelusta ja suunnitteluprosesseista peruskoulun teknisessä työssä: Teoreettis - didaktista tarkastelua. Turku: Turun yliopiston kasvatustieteiden tiedekunta, julkaisusarja B:34.
- Zeisel, J. 2006. Inquiry by Design. Environment / Behavior / Neuroscience in Architecture, Interiors, Landscape, and Planning. New York: W. W. Norton & Company, Inc.

Liite 1

Kenttäsahan testauslomake

Testinsuorittaja: _____

Päivämäärä: _____

Suurin tukin paksuus								cm
Suurin tukin pituus								m
Paksuuden säätö	Tavoitepaksuus	mittauspiste 1	mittauspiste 2	mittauspiste 2	mittauspiste 4	mittauspiste 5	mittauspiste 6	suurin poikkeama
testikappale 1								
testikappale 2								
testikappale 3								
Kantavuus								kg
Painavimman osan paino								kg
Tekijän kasausaika yksin								min
Ulkopuolisen testaajan kasausaika yksin								min
Hinta								euroa

Liite 2

Kysymyksiä sahaajalle

Olisiko koko sahaustapahtuman (tukin siirto sahauspöydälle, tukin kiinnitys, korkeuden säätö) suorittaminen mahdollista yksin? Miten arvioisit sahalaitoksen käytettävyyttä yksin?

Oliko sahalaitoksen käyttö helppoa omaksua?

Mikä oli haastavinta sahalaitoksen käytössä?

Miten sahausympäristön olosuhteet vaikuttavat mielestäsi sahalaitoksen toimintaan?

Olivatko sahan hallintalaitteet mahdollista säätää ergonomiseen työskentelyasentoon? Miten arvioisit sahaustapahtumaa ergonomian näkökulmasta?

Aiheuttiko sahalaitoksen käyttö terveyshaittoja, kuten lihassärkyä, käytön jälkeistä tärinää tms?

Havainnoi sahaustapahtumaa kokonaisuutena. Minkälaisia potentiaalisia riskejä sahalaitoksen käyttöön liittyy?

Ovatko sahalaitoksen suojat riittäviä?

Vaikuttiko sahaustapahtuma turvalliselta? Perustele lyhyesti.

Aiheuttiko sahan rakenne vaaraa tai loukkaantumisriskiä testaustapahtuman aikana?

Tuleeko mieleesi muita huomiota sahalaitoksesta tai sahaustapahtumasta?

Tuleeko mieleesi parannus- ja kehitysehdotuksia sahalaitokseen?

Liite 3

Sahaustapahtuma

Onko sahaustapahtuma (tukin siirto, kiinnitys, sahan käyttöönotto ja säätö, sahaus) mahdollista suorittaa yksin? Kuvaile observointisi perusteella sahan käytettävyyttä yhden hengen voimin.

Kestääkö sahalaitos sille asetettujen tukkien painot? Onko rungossa havaittavissa vääntymistä, halkeamia tai muuta poikkeavaa?

Tarkastele sahalaitoksen teknisiä ratkaisuja. Arvioi sahalaitoksen kestävyyttä ja toimintaa sahan elinkaaren aikana. Vaikuttavatko ratkaisut perustelluilta? Löydätkö kehityksiä tai korjausehdotuksia?

Miten sahausympäristön olosuhteet vaikuttavat mielestäsi sahalaitoksen toimintaan? (esimerkiksi lumi, kylmyys, maaperä...)

Aiheuttavatko sahauksessa syntyvät sahanpurut ja muut sahausjätteet sahan toimivuutta heikentäviä tekijöitä? Jos aiheuttavat, niin millaisia?

Arvioi silmämääräisesti syntynyttä sahatavaraa. Onko sahatavarassa havaittavissa sahausta tai sahaustapahtumasta johtuvia virheitä (Esimerkiksi repivä sahausjälki, ketjuöljyn tahrima pinta, selvät terän jäljet, palamisjäljet...)? Millaisen arvion antaisit sahausjäljestä?

Miten arvioisit sahaustapahtumaa työergonomian näkökulmasta?

Tuleeko mieleesi muita huomioita sahaustapahtumasta tai sahalaitoksesta?

Tuleeko mieleesi parannus- ja kehitysehdotuksia sahalaitokseen?

Turvallisuus

Onko sahaajan mahdollista osua pyörivään teräketjuun sahalaitosta käytettäessä?

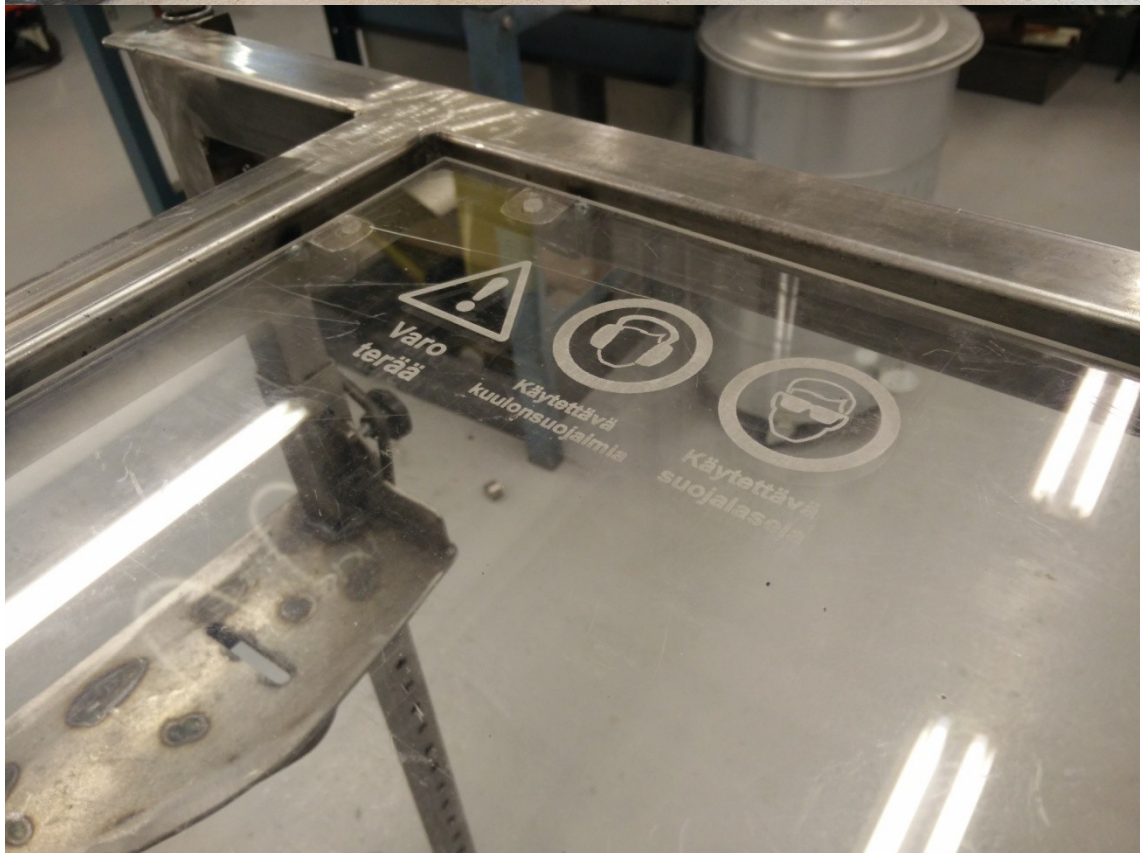
Minkälaisia vaaratilanteita sahaustapahtumassa voisi esiintyä? Onko johonkin potentiaaliseen vaaratekijään varauduttu puutteellisesti tai ei ollenkaan?

Esiintyikö sahaustapahtumassa vaaratilanteita? Jos esiintyi, millaisia.

Aiheuttiko sahan rakenne vaaraa tai loukkaantumisriskiä testaustapahtuman aikana?

Millaisena pidät sahalaitoksen työturvallisuutta? Onko turvallisuusnäkökohdat riittävästi huomioitu?

Liite 4









Liite 5



