



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Reima Hemminki

Kenttäsahan suunnittelu

Pienikokoisen puun sahaamiseen tarkoitettun kenttäsahan suunnittelu

Opinnäytetyö

Kevät 2023

Insinööri (AMK), Konetekniikka



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

Opinnäytetyön tiivistelmä

Tutkinto-ohjelma: Insinööri (AMK), Konetekniikka

Suuntautumisvaihtoehto: Auto- ja työkonetekniikka

Tekijä: Reima Hemminki

Työn nimi: Kenttäsahan suunnittelu: Pienikokoisen puun sahaamiseen tarkoitettun kenttäsahan suunnittelu

Ohjaaja: Juho Yli-Suomu

Vuosi: 2023

Sivumäärä: 103

Liitteiden lukumäärä: 0

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on suunnitella ja valmistaa prototyyppi pienikokoisten tukkien sahaamiseen soveltuvasta kenttäsahasta. Työllä ei ollut varsinaista toimeksiantajaa, vaan työ tehtiin omasta mielenkiinnosta aihetta kohtaan. Työssä on tarkoitus esitellä uuden tuotteen kulku ajatuksesta fyysiseksi tuotteeksi. Tähän kuuluu puun sahausta, tuotekehitysprosessin kulkua ja seikkoja, joilla tuotteen valmistettavuutta ja kokoonpantavuutta voidaan kehittää. Lisäksi työssä on esitetty useimpia koneenrakennukseen liittyviä mitoituksia ja muita tekniseen suunnitteluun liittyviä asioita.

Työ alkoi tutustumalla erilaisiin sahaustapoihin ja sahateollisuudessa käytettyihin koneisiin, ja tarkoituksena oli selvittää niiden toimintaa ja sitä, miten niiden ominaisuuksia voitaisiin hyödyntää kehitettävässä tuotteessa. Sahaukseen tutustumisen jälkeen perehdyttiin tuotekehitykseen ja tuotteen valmistettavuuteen. Erytystä huomiota kiinnitettiin asioihin, joilla tuotteen valmistettavuutta ja kokoonpantavuutta voidaan kehittää. Selvitettyjen asioiden avulla aloitettiin kehittämään uutta tuotetta. Pääasiallisena tutkimusaineistona käytettiin alan kirjallisuutta.

Tulokseksi työssä saatiin toimiva prototyyppi kehitetystä koneesta. Prototyyppiä testaamalla saatiin käsitys siitä, miten kone soveltuu käyttötarkoitukseensa ja kannattaako sitä jatkokehittää. Prototyypin kokoonpano ja testikäyttö antoivat myös tietoa siitä, miten tuotetta tulisi kehittää ja mitkä ratkaisut olivat onnistuneita ja mitkä eivät.

¹ Asiasanat: sahalaitokset, puutavara, tuotekehitys, tekninen suunnittelu

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Degree programme: Bachelor of Engineering, Mechanical Engineering

Specialisation: Automotive and Work Machine Engineering

Author: Reima Hemminki

Title of thesis: Engineering of a mobile sawmill

Supervisor: Juho Yli-Suomu

Year: 2023

Number of pages: 103

Number of appendices: 0

The purpose of the thesis was to design and manufacture a prototype of a small mobile sawmill. The thesis was done out of personal interest in the subject. The purpose of the thesis was to describe how an idea became a real product, and what all that entailed. The focus of the thesis was on product development and mechanical engineering. Sawn timber production was also reviewed.

The thesis started by researching sawmill industry machines and sawing methods. The goal was to find solutions that could be used in the design of the new machine. Product development and the factors to be considered were studied. It was important to get information about the design of an easily manufactured and assembled product. Almost all information was obtained from books. On the basis of the researched data, the development of a new product was started.

The result was a working prototype of the developed machine. This was used to study the functionality of the product and the solutions used in it. It would also help in decision-making, whether it were worth continuing the development of the product. With the help of the prototype, it would be noticed how the product could be improved.

¹ Keywords: sawmills, timber, product development, engineering

SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä	2
Thesis abstract	3
SISÄLTÖ	4
Kuva- ja taulukkoluetelo.....	6
Käytetyt termit ja lyhenteet.....	10
1 JOHDANTO	11
1.1 Työn tausta	11
1.2 Työn eteneminen.....	11
1.3 Rajaus.....	12
2 SAHAUSTAVAT JA SAHAKONEET.....	13
2.1 Sahaustapojen merkitys.....	13
2.2 Läpisahaus.....	14
2.3 Nelisahaus	16
2.4 Ympärisahaus	17
2.5 Muut sahaustavat.....	18
2.6 Saanto.....	20
2.7 Pyörösaha.....	20
2.8 Vannesaha	21
2.9 Pelkkahakkuri.....	22
2.10 Sahalinjat	23
2.11 Kenttäsahat.....	23
3 TUOTEKEHITYS JA VALMISTETTAVUUS.....	24
3.1 Tuotekehitystoiminta	24
3.2 Työvaiheet tuotekehityksessä	26
3.3 Valmistettavuus ja kokoonpantavuus	30
3.4 Ohutlevyosien valmistettavuus ja kokoonpantavuus	34
4 SUUNNITELTAVAN SAHAN RATKAISUPERIAATTEIDEN KARTOITUS ...	37
4.1 Tuotevaatimukset.....	37
4.2 Sahaustapa.....	38

4.3	Tuotteen valmistustapa	38
5	RUNGON SUUNNITTELU	39
5.1	Tuotevaatimukset	39
5.2	Runkorakenteen suunnittelu	39
5.3	Ruuviliitoksen mitoitus	41
5.4	Varusteet ja niiden huomiointi suunnittelussa	51
5.5	Valmistettavuuden ja kokoonpantavuuden huomiointi	51
6	SAHAYKSIKÖN SUUNNITTELU	55
6.1	Tuotevaatimukset	55
6.2	Konseptisuunnittelu	55
6.3	Tarvittavan tehon määrittäminen ja moottorin valinta	57
6.4	Terän kiinnitys	59
6.5	Hihnamitoitus	63
6.6	Akselimitoitus	68
6.7	Laakereiden valinta	73
6.8	Kiskopyörien suunnittelu	79
6.9	Sahayksikön runkorakenne	82
7	TURVALLISUUS	87
7.1	CE-merkintä	87
7.2	Turvallisuus kehitetyssä kenttäsaahassa	89
8	PROTOTYYPIN TESTAUS JA ARVIOINTI	92
8.1	Prototyypin kokoonpano ja koekäyttö	92
8.2	Havaitut viat ja puutteet	92
8.3	Muutokset prototyypin kehittämiseksi	95
9	YHTEENVETO JA POHDINTA	99
	LÄHTEET	100

Kuva- ja taulukkoluetelo

Kuva 1. Tukin keskilinjan mukainen sahaus	13
Kuva 2. Tukin sahaus tukin pinnan mukaisesti	14
Kuva 3. Läpisahaus	15
Kuva 4. Vajaasärmäisen laudan särmäys.....	15
Kuva 5. Nelisahaus.....	16
Kuva 6. Pelkan vasempaan kylkeen profiloitu lauta	17
Kuva 7. Ympärisahaus.....	18
Kuva 8. Tähtisahaus	19
Kuva 9. Sydänkeskeinen	19
Kuva 10. Pyörösahausten toimintaperiaate.....	20
Kuva 11. Vannesahausten toimintaperiaate.....	22
Kuva 12. Pelkkahakkurin toimintaperiaate	22
Kuva 13. Kokonaistoiminnon jakaminen osatoiminnoiksi.....	25
Kuva 14. Tuotekehitysprosessin kulku.....	25
Kuva 15. Vaatimukset.....	27
Kuva 16. Toimintorakenne oksasilppurille.....	28
Kuva 17. Työvaiheet luonnostelussa	29
Kuva 18. Viimeistelyn vaiheet.....	30
Kuva 19. Ohutlevytuotteiden valmistusmenetelmät	35
Kuva 20. Kehitettävä tuote jaettuna pienempiin osakokonaisuuksiin	38

Kuva 21. Välipöytä	40
Kuva 22. Rungon rakenne	40
Kuva 23. Runkoprofiilien liitos	41
Kuva 24. Reiän etäisyys taivutuksesta.....	44
Kuva 25. Reiän etäisyys taivutuslinjasta	44
Kuva 26. Ruuviryhmän reunaetäisyydet ja ruuvijako	45
Kuva 27. Rungon kuormitustilanne	46
Kuva 28. Todenmukainen kuormitustilanne	47
Kuva 29. Vapaakappelekuva rungon liitoksesta	47
Kuva 30. Keskipöytien liittäminen runkoaisaan	52
Kuva 31. Pitkittäisen runkoprofiilin liitos	52
Kuva 32. Ulompi sidoslevy	53
Kuva 33. Akselin kiinnitys	54
Kuva 34. Symmetria apuna osanimikkeiden vähentämisessä	54
Kuva 35. Sahayksikön ensimmäisen konseptin luonnos.....	56
Kuva 36. Sahayksikön ensimmäinen konsepti.....	56
Kuva 37. Jatkokehitykseen valittu sahayksikön konsepti	57
Kuva 38. Taaempi terän kiinnityslaippa	60
Kuva 39. Etummainen terän kiinnityslaippa	60
Kuva 40. Kartiokulma 1:10	62
Kuva 41. Teräakseli	62
Kuva 42. Hihnapyörien akselivälin tarkistus.....	67

Kuva 43. Koneisto.....	68
Kuva 44. Välitysakselin laakerointi.....	75
Kuva 45. Välitysakselin säätö	75
Kuva 46. Teräakselin laakerointi	76
Kuva 47. Teräakselin sisempi laakeriyksikkö korostettuna	76
Kuva 48. Ylempi kiskopyörä.....	81
Kuva 49. Kiskopyörien runko	81
Kuva 50. Kiskopyörien asettelu sahayksikössä	82
Kuva 51. Niittiryhmän mitoitus suosituksia.....	84
Kuva 52. Sahayksikön runkolevy	85
Kuva 53. Sahayksikön runko	85
Kuva 54. Terän kiinnitysmutterille helppo pääsy.....	86
Kuva 55. Prototyyppi koekäytössä.....	92
Kuva 56. Taivutuksen aiheuttamat muodonmuutokset	93
Kuva 57. Rako pitkittäisten runkoprofiilien välillä	93
Kuva 58. Tiivistynyttä sahajauhoa	94
Kuva 59. Terä poikennut suorasta linjasta	95
Kuva 60. Luonnostelu kohdistusta helpottavista muodoista.....	96
Kuva 61. Luonnostelu kokoonpanoa helpottavista kiinnikkeistä	96
Kuva 62. Luonnostelu rungon liitoksen parantamisesta.....	97
Taulukko 1. Reiänreunan minimi etäisyys taivutuksesta pitkittäisessä runkoprofilissa	45

Taulukko 2. Taulukko yksiruuviliitoksen karkeaan mitoitukseen	50
Taulukko 3. Ruuviliitoksen mitoitus.....	50
Taulukko 4. Sahayksikön tuotevaatimukset.....	55
Taulukko 5. Vertailussa tutkitut sahat	58
Taulukko 6. Tarvittava teho.....	58
Taulukko 7. Väilyssuhteet.....	64
Taulukko 8. Hihnojen määrän laskentaan käytetyt arvot.....	66
Taulukko 9. Kartiokiinnitysholkkien tarkastus.....	68
Taulukko 10. Suurin sallittu jännitys.....	70
Taulukko 11. Akselimitoituksen arvot.....	72
Taulukko 12. Akselin halkaisija	73
Taulukko 13. Sysäyskertoimia	73
Taulukko 14. Valittujen laakereiden kestoikä.....	79
Taulukko 15. Kestoikävaatimuksia erityyppisten koneiden laakereille	79

Käytetyt termit ja lyhenteet

Pelkka	Pelkka on tukki, jonka pinta on sahattu vastakkaisilta sivuilta
Ruuviliitos	Rakenneosien liitosmenetelmä, puhekielessä myös pulttiliitos.
Sahayksikkö	Työssä kehitetyn kenttäsahan keskeinen osakokonaisuus
Tukki	Tukilla tarkoitetaan sahattavaksi soveltuvaa puun rungon osaa
Välipöytä	Työssä kehitetyn kenttäsahan runkoon kuuluva alikokoonpano

1 JOHDANTO

1.1 Työn tausta

Työllä ei ollut varsinaista toimeksiantajaa, vaan työ tehtiin omasta mielenkiinnosta aihetta kohtaan. Työn tavoitteena oli suunnitella kone, jolla voidaan tuottaa pääasiallisesti pienikokoisista, metsän harvennuksesta kertyvistä puista sahatavaraa kotitarverakentamista varten. Kehitetyn koneen tulisi olla myös helposti ja edullisesti valmistettava ja kuljetettava. Koneen tulee olla myös turvallinen käyttää, ja sen suunnittelussa tulee ottaa huomioon mahdollinen tuotteen saattaminen markkinoille.

1.2 Työn eteneminen

Työssä tutustuttiin erilaisiin sahaustapoihin, joilla raakapuusta tuotetaan sahatavaraa. Lisäksi työssä käytiin läpi erilaisia sahaukseen käytettäviä koneita, joita käytetään sahateollisuudessa. Sahaukseen perehtymisen jälkeen tutustuttiin tuotekehityksestä kertovaan kirjallisuuden tarkoituksena perehtyä tuotekehitysprosessin kulkuun ja siinä huomioitaviin asioihin. Tuotekehityksessä kertovassa kirjallisuudessa usein mainittuun tuotteen valmistettavuuteen ja kokoonpantavuuteen perehdyttiin myös alan kirjallisuuden avulla.

Tutkittujen tietojen pohjalta alettiin kehittämään uutta sahaa. Suunnitellun sahan ominaisuudet valittiin yhdistelemällä olemassa olevista sahoista sellaisia ominaisuuksia, joiden katsottiin toimivan parhaiten käyttötarkoituksessa, johon saha kehitettiin. Sahan osia mitoittaessa hyödynnettiin koneenrakennukseen liittyvää kirjallisuutta ja Excel-taulukkolaskentaohjelmaa. Sahan osista tehtiin CAD-ohjelmalla mallinnukset, joiden avulla tuotetta voitiin tarkastella ja valmistaa toimiva prototyyppi.

Prototyyppi kokoonpantiin ja sillä tehtiin koesahauksia. Kokoonpanon aikana arvioitiin kokoonpanoystävällisyyden onnistumista ja kiinnitettiin huomiota esiintyviin virheisiin. Koesahausten aikana arvioitiin tuotteen toimivuutta ja kiinnitettiin huomioita mahdollisiin vikoihin. Lopuksi arvioitiin tuotteen jatkokehityksen kannattavuutta ja tehtiin alustavia suunnitelmia tuotteen jatkokehittämiseksi.

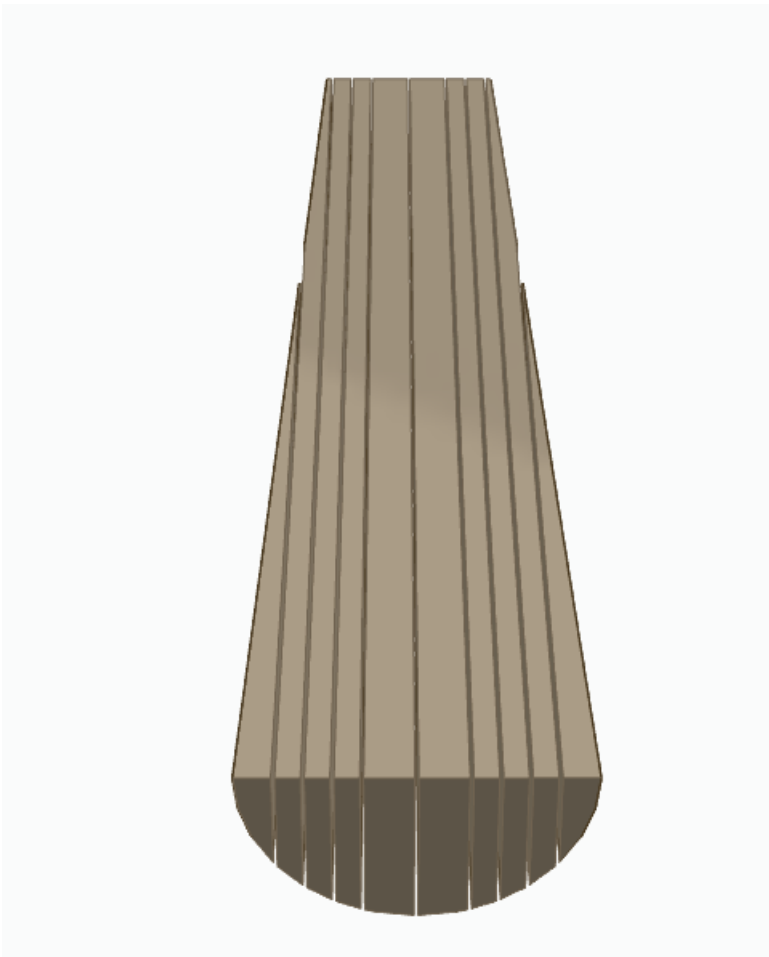
1.3 Rajaus

Työn pääpaino on tuotekehityksessä, valmistus- ja kokoonpanoystävällisessä suunnittelussa sekä koneenosien suunnittelussa. Työssä ei esitellä yksityiskohtaisesti jokaista suunniteltua kappaletta. CAD-suunnitteluun tai kappaleiden valmistukseen ja siinä käytettyihin koneisiin työssä ei myöskään työssä perehdytä erityisemmin. Koneenosien mitoitukselta ei ole esitetty yksityiskohtaisia laskuja, sillä työn tavoitteena on kuitenkin vain ensimmäinen prototyyppi kehitetystä tuotteesta. Koska työtä kirjoitettiin yhtä aikaa tuotetta suunniteltaessa ja suunnittelun aikana jotkin ratkaisut rakenteessa muuttuivat, työssä esiintyvät kuvat mallinnetusta sekä valmiista tuotteesta voivat olla ristiriidassa keskenään.

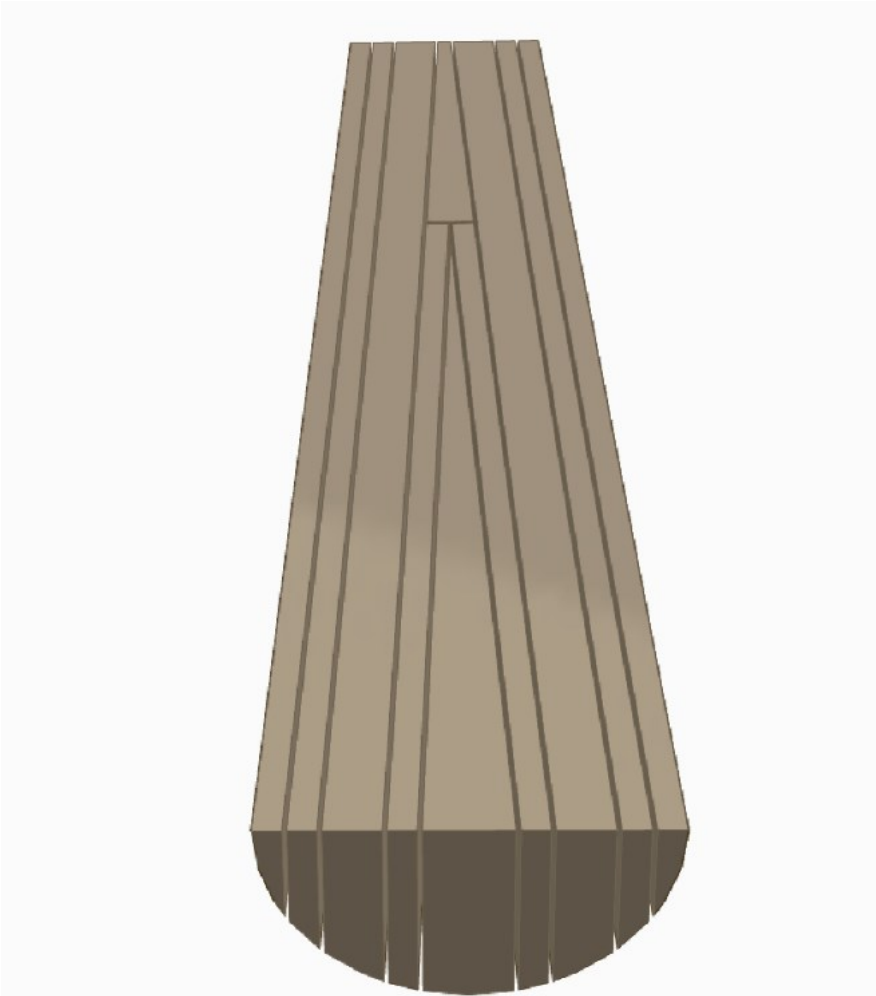
2 SAHAUSTAVAT JA SAHAKONEET

2.1 Sahaustapojen merkitys

Sahausperiaatteita on kaksi, skandinaavinen ja pohjoisamerikkalainen (ProPuu, i.a.-a). Skandinaavisessa tavassa tukki sahataan sen keskilinjan suuntaisesti (kuva 1) ja pohjoisamerikkalaisessa tavassa tukin ulkopinnan mukaisesti (kuva 2). Pohjoisamerikkalaisessa tavassa hyödynnetään pintapuu paremmin kuin skandinaavisessa tavassa. Pohjoisamerikkalaisen tavan etuna on myös se, että hukkapuu keskittyy tukin ytimeen, joka on puun huonoin osa.



Kuva 1. Tukin keskilinjan mukainen sahaus (mukaillen Saikkonen, i.a., Ropilon & Kauppisen, 2018, s. 92 mukaan)



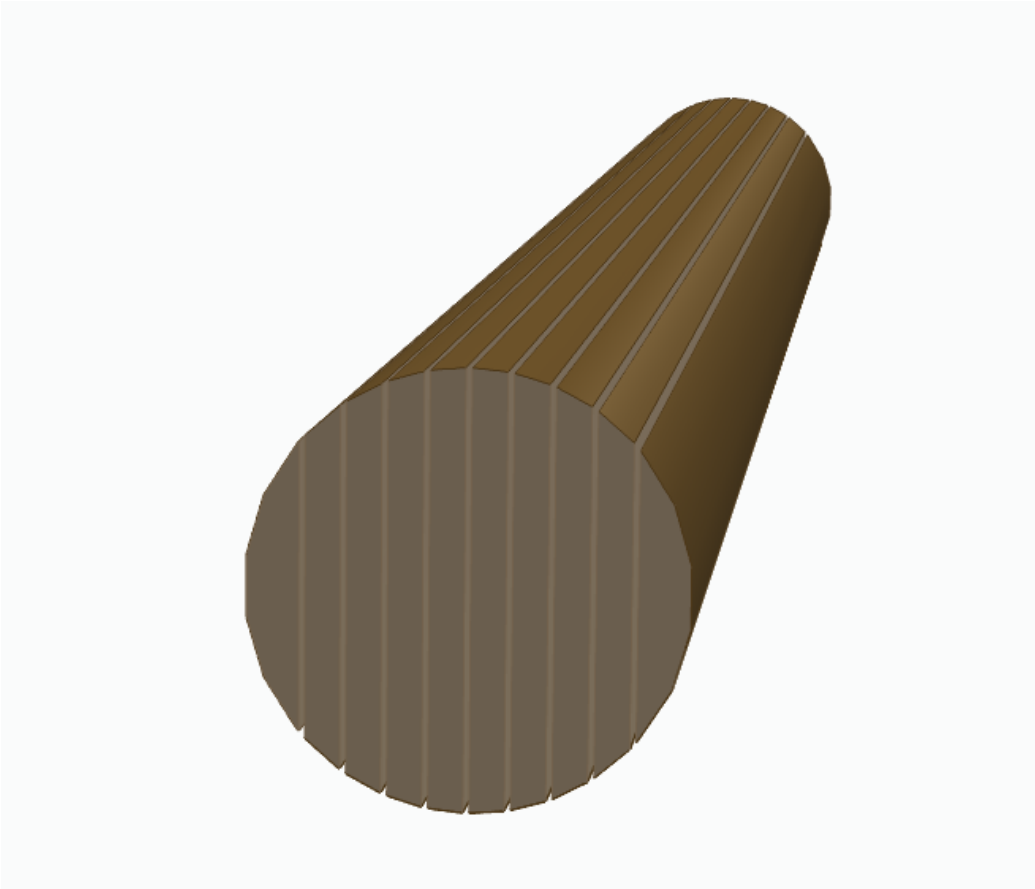
Kuva 2. Tukin sahaus tukin pinnan mukaisesti (mukaillen Saikkonen, i.a., Ropilon & Kauppinen, 2018, s. 92 mukaan)

Sahaustapoja on useita (ProPuu, i.a.-a). Sahaustapa valitaan sen mukaan, mitä ominaisuuksia valmiilta sahatavaralta halutaan. Haluttuja ominaisuuksia ovat esimerkiksi taloudellinen tuotantotapa tai sahatavaran korkea laatu. Myös tukin ominaisuudet, kuten järeys, kartiomaisuus ja lenkous tulee ottaa huomioon sahaustapaa valittaessa.

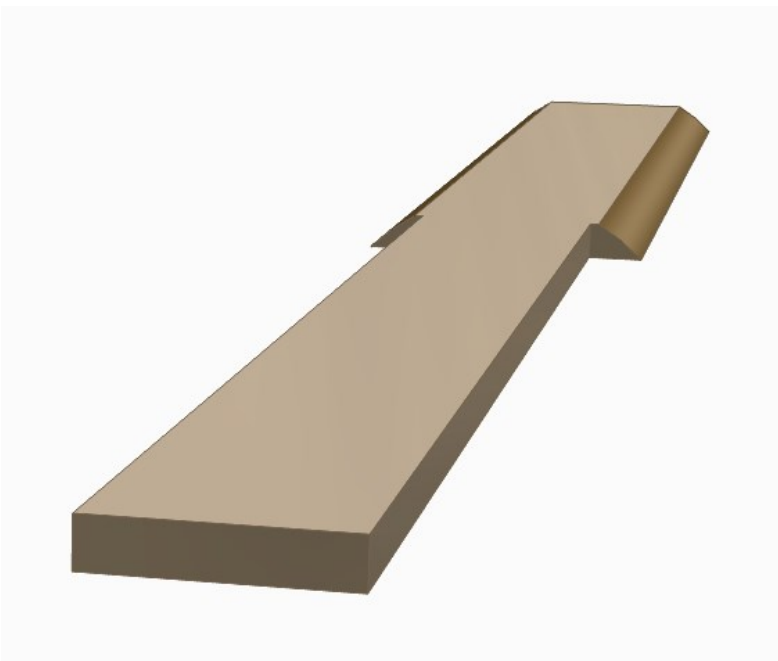
2.2 Läpisahaus

Läpisahaus sopii hyvin tukeille, jotka eivät ole järeitä (Propuu, i.a.-a; Puuinfo, i.a.-a). Läpisahaus (kuva 3) tukki sahataan halutun paksuisiksi laudoiksi ja lankuiksi (ProPuu, i.a.-a). Saaduista laudoista voidaan sahata tukin pinta pois ja sahata ne haluttuun leveyteen (kuva 4). Tätä kutsutaan särmäämiseksi. Läpisahattua sahatavaraa käytetään usein huonekalujen valmistukseen (Ropilo & Kauppinen, 2018, s. 88). Läpisahaus tunnetaan myös nimellä tuppeensahaus.

Lehtipuissa saanto on parempi läpisahauksella kuin nelisahauksella (ProPuu, i.a.-a). Tämä johtuu lehtipuitten rungoissa yleisestä kartiomaisuudesta ja lenkoudesta.



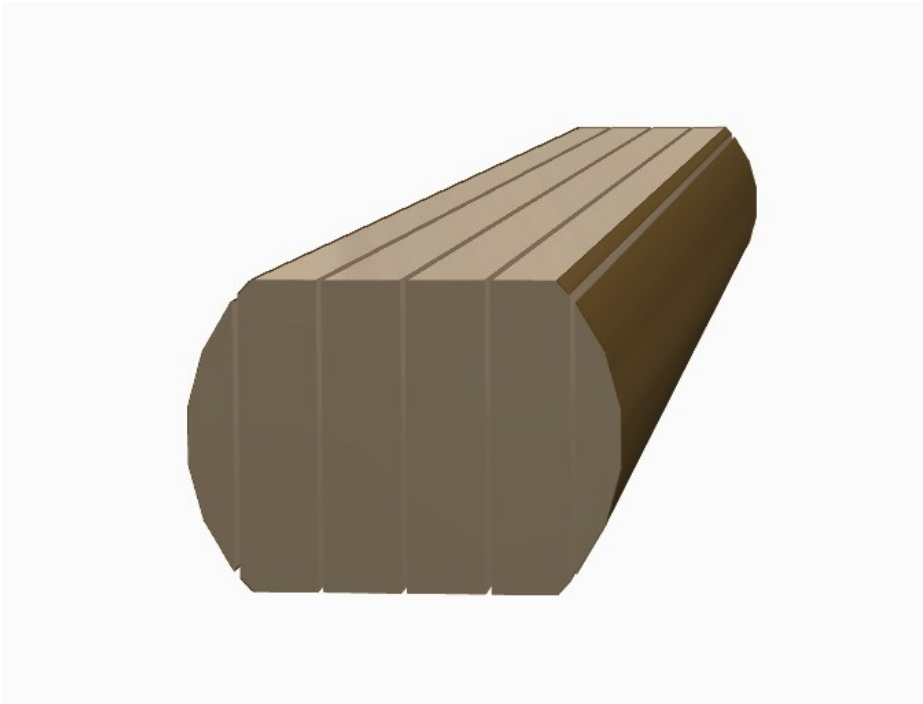
Kuva 3. Läpisahaus (mukaillen Saikkonen, i.a., Ropilon & Kauppisen, 2018, s. 84 mukaan)



Kuva 4. Vajaasärmäisen laudan särmäys (mukaillen Saikkonen, i.a., Ropilon & Kauppisen, 2018, s. 84 mukaan)

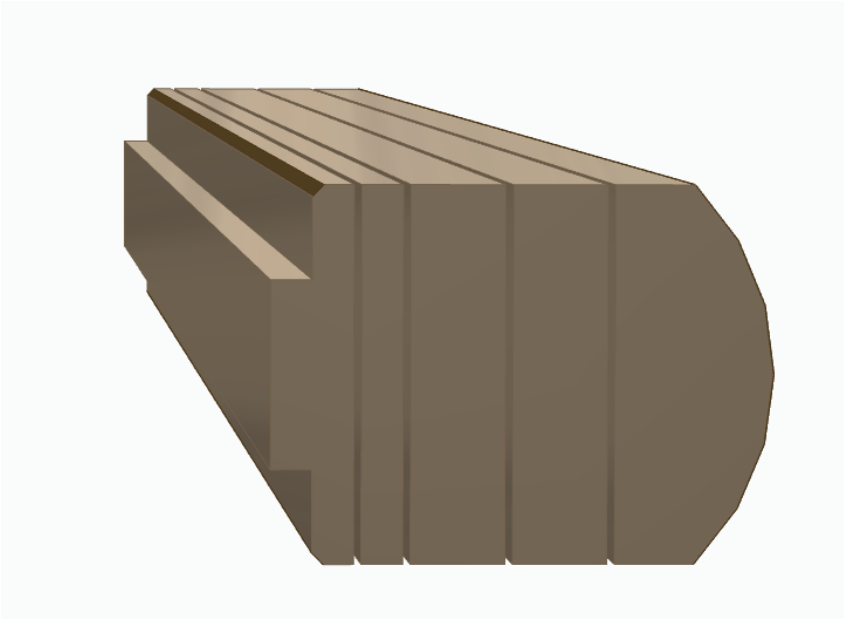
2.3 Nelisahaus

Nelisahauksesta (kuva 5) käytetään myös nimitystä pelkkasahaus (ProPuu, i.a.-a). Pelkaksi kutsutaan tukkia, jonka molemmilta sivuilta on sahattu lautoja. Pelkasta saadaan sahatava-
raa mutta se soveltuu myös sellaisenaan hirsiäihioksi. Pelkkasahaus on edullinen ja yleisesti käytetty sahaustapa Suomen sahateteollisuudessa.



Kuva 5. Nelisahaus (mukaillen Saikkonen, i.a., Ropilon & Kauppinen, 2018, s. 84 mukaan)

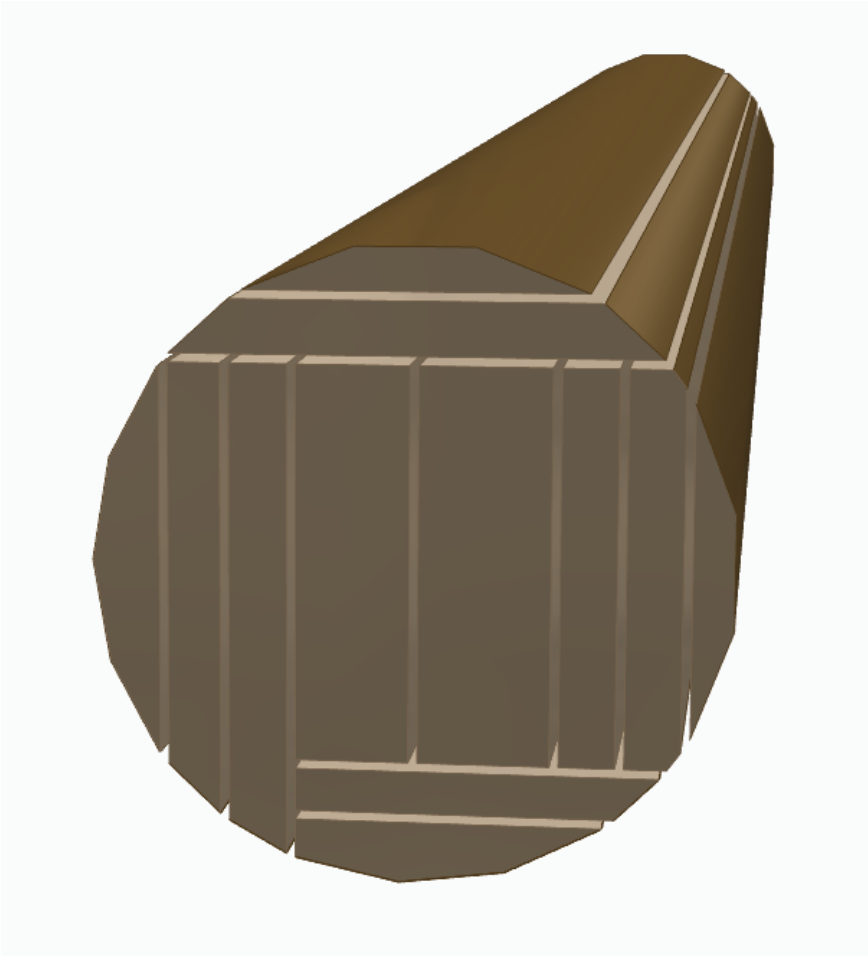
Pelkasta sahatut sivulaudat voidaan hakettaa tai särmätä laudoiksi (Ropilo & Kauppinen, 2018, s. 85, 93–94). Sivulaudat voidaan myös profiloida, eli työstää pelkkaan ennen niiden irti sahaamista (kuva 6).



Kuva 6. Pelkan vasempaan kylkeen profiloitu lauta (mukaillen Saikkonen, i.a., Ropilon & Kauppisen, 2018, s. 84 mukaan)

2.4 Ympärisahaus

Ympärisahaus on yleinen kenttäsiirkeli sahureitten käyttämä sahaustapa (Ropilo & Kauppi-
nen, 2018, s. 88). Ympärisahausta käytetään myös sahattaessa isoja lehtipuutukkeja vanne-
sahalla. Ympärisahauksessa tukista sahataan yksi sahatavara kerrallaan (kuva 7). Ympärisa-
haus on hidasta, mutta sillä saadaan suuri saanto.



Kuva 7. Ympärisahaus (mukaillen Saikkonen, i.a., Ropilon & Kauppisen, 2018, s. 84 mukaan)

2.5 Muut sahaustavat

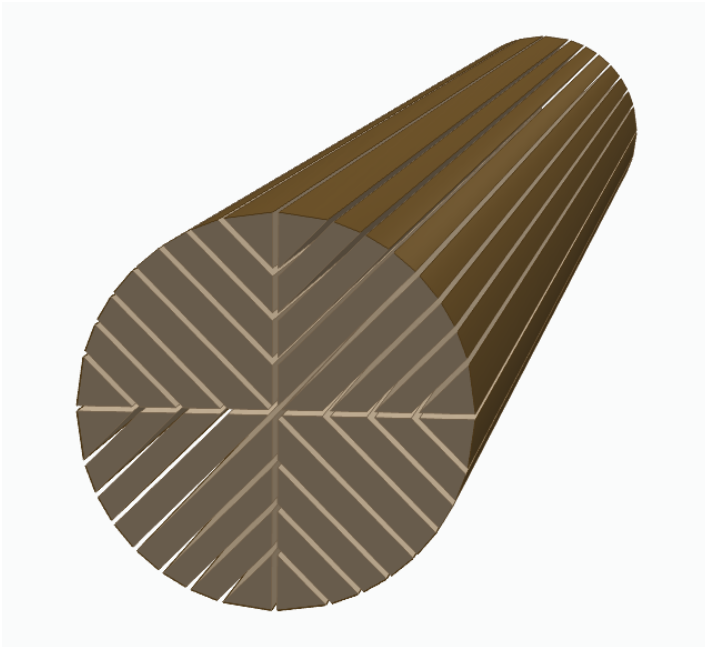
Kvarttisahaus ja sen erilaiset sovellukset ovat muita sahaustapoja (ProPuu, i.a.-a; Puuinfo, i.a.-b). Mainittuja sahaustapoja käytetään pääasiassa, kun halutaan puun vuosirenkaat kohtisuoraan sahatavaran pintaa kohti. Kvarttisahauksesta käytetään myös nimeä radiaalisahaus sekä säteissahaus.

Kvarttisahaus voidaan tehdä erilaisilla tavoilla (ProPuu, i.a.-a). Kvarttisahaustavan valintaan vaikuttavat tukin järeys ja käytettävä saha. Kvarttisahausta käyttämällä sahatavara saadaan säteen suuntaisesti. Kvarttisahauksessa tukki sahataan ensin neljään suorakulmaiseen lohkokoon (kuva 8, 9). Lohkot sahataan sahatavaraksi valitun sahaustavan mukaisesti.

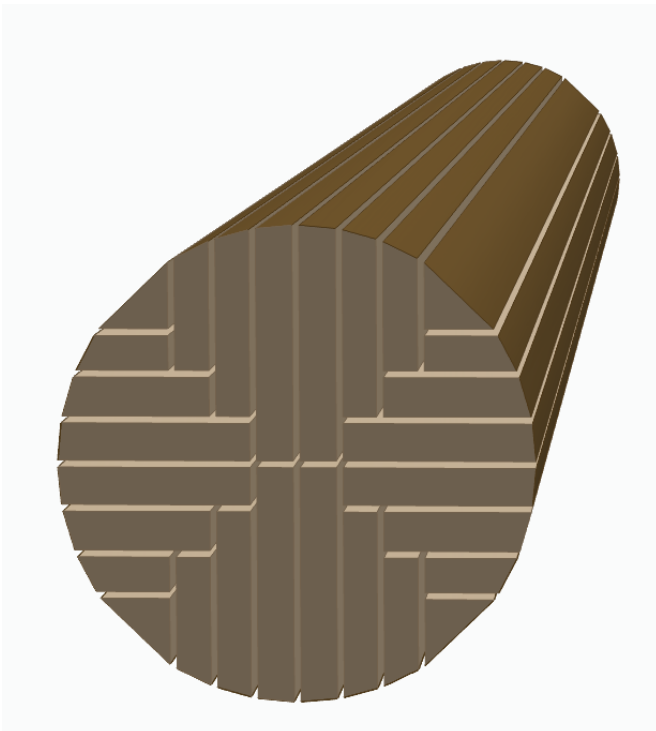
Edellä mainittuja sahaustapoja käytettäessä saadaan sahatavaraa, jossa on hyvä muotopysyvyys (ProPuu, i.a.-a). Muotopysyvyydellä tarkoitetaan sahatavaran kykyä vastustaa kuivumisesta johtuvia muodonmuutoksia (Puuinfo, i.a.-c).

Edellä mainitut sahaustavat ovat hitaita ja niillä saanto on huonoa (ProPuu, i.a.-a).

Radiaalisahatussa puutavarassa puun vuosilustot ovat lähes kohtisuorassa puutavaran pinta-
taa päin (ProPuu, i.a.-a). Tämän takia muotopysyminen on parempaa (Puuinfo, i.a.-c).



Kuva 8. Tähtisahaus (mukaiillen Saikkonen, i.a., Ropilon & Kauppisen, 2018, s. 84 mukaan)



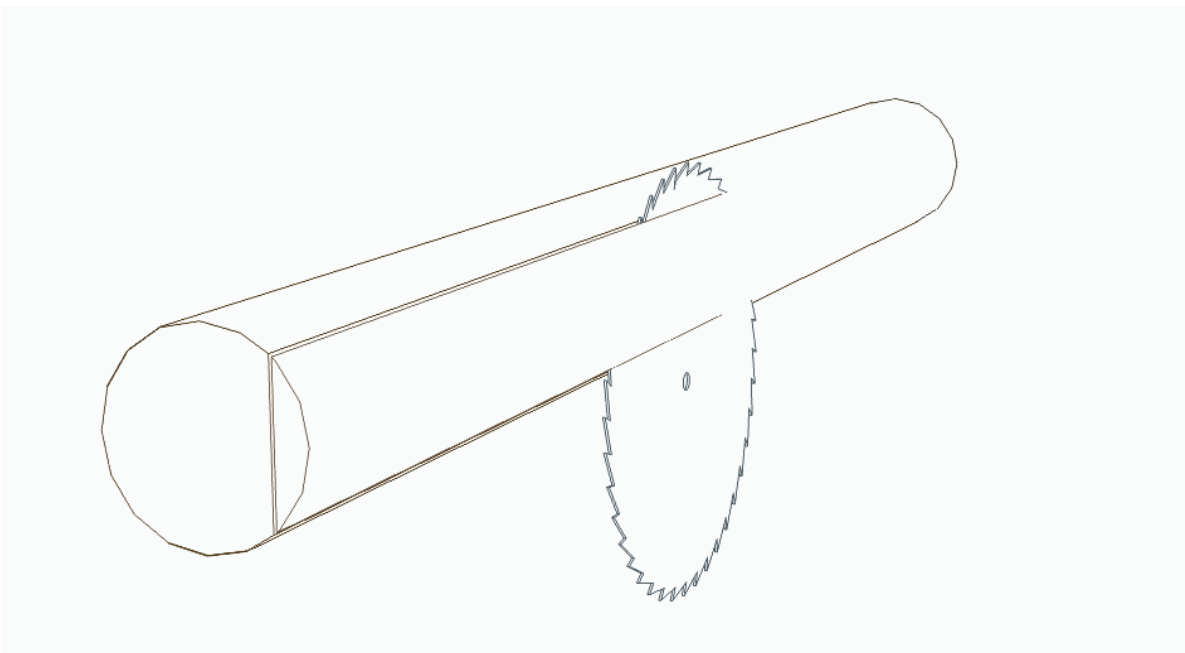
Kuva 9. Sydänkeskeinen sahaus (mukaiillen Saikkonen, i.a., Ropilon & Kauppisen, 2018, s. 84 mukaan)

2.6 Saanto

Saannolla tarkoitetaan saadun tuotemäärän suhdetta raaka-aineeseen, eli raakapuusta saatava sahatavara on saantoa (suomisanakirja, i.a.). Sahateollisuudessa tilavuussaanto tarkoittaa raakapuusta saatua valmista sahatavaraa (Ropilo & Kauppinen, 2018, s. 100). Tavallisesti kuorimattoman tukin tilavuussaanto on 45–50 %. Saantoon vaikuttaa muun muassa tukin ominaisuudet, kuten halkaisija tai lenkous. Myös sahakoneiden ominaisuudet ja terien kunto ja ominaisuudet vaikuttavat saantoon.

2.7 Pyörösaha

Pyörösahalla tarkoitetaan sahaa, jossa sahaus (kuva 10) tapahtuu pyöröterällä (ProPuu, i.a.-b). Pyörösahasta käytetään myös nimeä sirkkelisaha. Kenttäsirkkelit ovat sahauspaikalta toiselle siirrettäviä pyörösahoja, ja ne ovat yleisiä kotitarvekäytössä (ProPuu, i.a.-b; ProPuu, i.a.-c; Puuinfo, i.a.-a). Nykyaikaisissa sahalaitoksissa pyörösahoja käytetään osana sahauslinjaa (Puuinfo, i.a.-a; Ropilo & Kauppinen, 2018, s. 99). Pyörösahanterien paksuus on tavallisesti 2,5–4,0 mm (Koivisto, 2018, s. 106).



Kuva 10. Pyörösahauksen toimintaperiaate (mukaillen Saikkonen, i.a., Ropilon & Kauppinen, 2018, s. 95 mukaan)

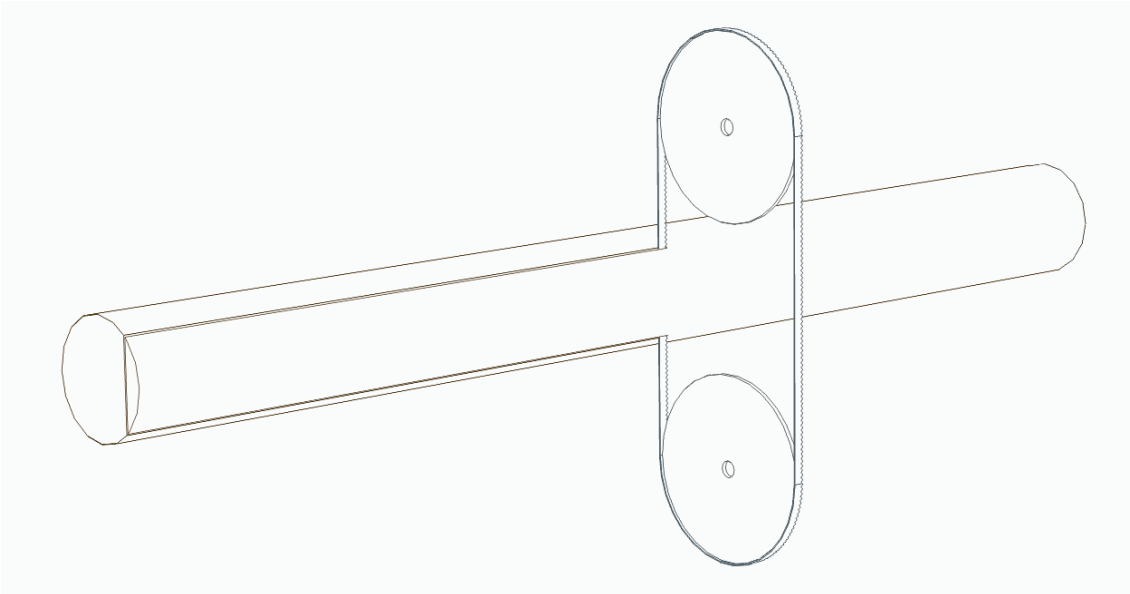
2.8 Vannesaha

Vannesahassa (kuva 11) kahden teräpyörän väliin jännitetty nauhamainen sahanterä sahaa puuta jatkuvalla yhdensuuntaisella liikkeellä (ProPuu, i.a.-b; Rauha, 2018, s. 109; Ropilo & Kauppinen, 2018, s.97). Vannesahan sahausrako on kapea (Ropilo & Kauppinen, 2018, s. 97). Vannesahan terän paksuus vaihtelee 0,7–1,8 mm välillä (Rauha, 2018, s. 109). Tästä voidaan siis päätellä, että tilavuussaanto on pyörösahaa parempi, sillä sahajauhoa syntyy vähemmän.

Vannesahassa sahaus tapahtuu joko pystysuorassa, jolloin teräpyörät ovat päällekkäin, tai vaakasuorassa, jolloin teräpyörät ovat vierekkäin (Ropilo & Kauppinen, 2018, s. 97). Vannesaha soveltuu hyvin järeiden tukkien ja erikoispuun sahaukseen (Ropilo & Kauppinen, 2018, s. 97; ProPuu, i.a.-c).

Sahateollisuudessa vannesahaa käytetään pääasiassa useammasta vannesahasta koostuvalla sahalinjalla (Ropilo & Kauppinen, 2018, s. 97). Vannesahat ovat linjalla paikallaan, ja niiden lävitse syötetään tukkia kuljettimella. Vaakasuorassa olevia vannesahoja käytetään sahauspaikkojen välillä siirrettävissä kenttävannesahoissa (Ropilo & Kauppinen, 2018, s. 97–98; ProPuu, i.a.-b). Kenttävannesahassa sahattava tukki pysyy paikoillaan, ja vanneyksikköä liikutetaan sen yli.

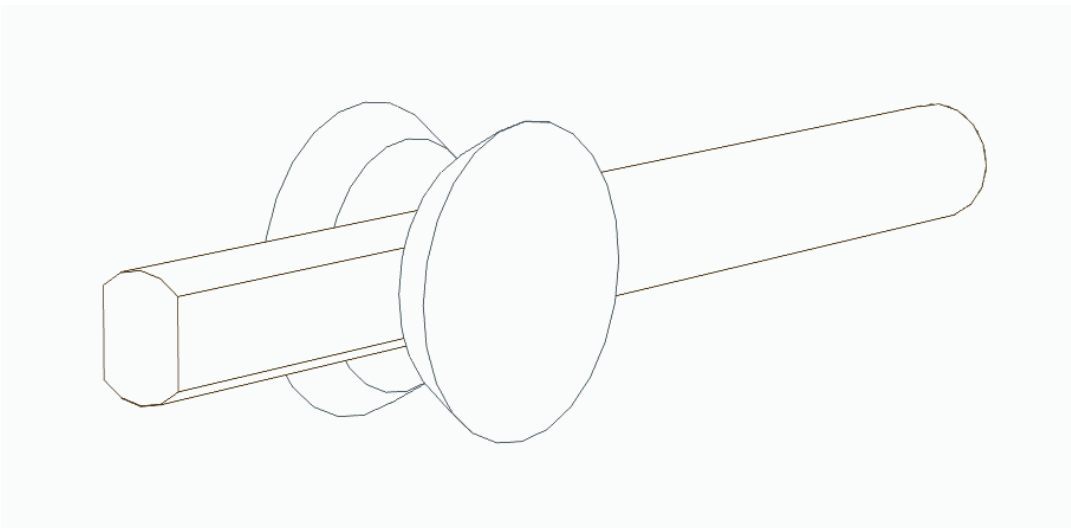
Vannesahojen terät ja teräohjaimet tarvitsevat vesi- tai öljyvoitelun sahattaessa (Ropilo & Kauppinen, 2018, s. 97).



Kuva 11. Vannesahauksen toimintaperiaate (mukaiillen Saikkonen, i.a., Ropilon & Kauppisen, 2018, s. 97 mukaan)

2.9 Pelkkahakkuri

Pelkkahakkurit ovat yleisiä koneita nykyaikaisilla sahauslinjoilla (Ropilo & Kauppinen, 2018, s. 93). Pelkkahakkuri hakettaa tukin kaksi vastakkaista pintaa hakkeeksi (kuva 12). Pelkkahakkurilla saadaan työstettyä suoraan selluteollisuudelle haketta tukin ja pelkan ulkopinoista.



Kuva 12. Pelkkahakkurin toimintaperiaate (mukaiillen Saikkonen, i.a., Ropilon & Kauppisen, 2018, s. 93 mukaan)

2.10 Sahalinjat

Vaikka tukki voidaan sahata alusta loppuun laudoiksi yhdellä koneella, se on tehotonta eikä sitä käytetä kuin pienen tuotantokapasiteetin sahoilla (Ropilo & Kauppinen, 2018, s. 88, 99). Nykyaikainen sahauslinja koostuu useista koneista ja erilaisten koneiden yhdistelmästä (Ropilo & Kauppinen, 2018, s.99–100; Puuinfo, i.a.-a). Sahaus voidaan suorittaa yhdellä koneella, joka suorittaa kaikki tarvittavat vaiheet kerralla tai kuljettamalla tukkia erilaisten koneiden läpi.

2.11 Kenttäsahat

Kenttäsahat ovat sahauspaikkojen välillä liikutettavia sahakoneita (ProPuu, i.a.-b). Kenttäsirkkeli on usein traktorilla kuljetettava ja traktorista käyttövoimansa saava pyörösaha, jossa sahattava tukki kiinnitetään tukkipöydälle, jota liikutetaan terää päin (Kara, i.a.; Laimet, 2023; Slidetec, i.a.). Sahausten jälkeen tukkipöytä palautetaan terän eteen seuraavaa sahausta varten. Tämän paluuliikkeen aikana puuta ei sahata. Tukkipöydän liikuttaminen on toteutettu esimerkiksi hydraulikan avulla. Terän ohitse edestakaisin liikkuvan tukkipöydän tukemiseen käytettävien rakenteiden takia kenttäsirkkeli vaatii paljon tilaa toimintakunnossaan. Liikkuvan tukkipöydän tukemiseen tarkoitettujen rakenteiden on usein mahdollista taittaa tai kääntää pienemmän tilaan kuljetuksen ajaksi.

Henkilöauton tai mönkijän perässä vedettävät omalla moottorillaan toimivat kenttäsahat ovat usein vaakavannesahoja (AAA-Sahakone, i.a.; Veistokone, i.a.; Woodland mills, i.a.; Woodmizer, i.a.). Kenttävannesahalla sahaus tapahtuu liikuttamalla vanneyksikköä tukin ylitse. Vannesahan terässä puuta sahaavan hammastuksen ollessa vain toisella puolella vanneyksikkö voi sahata puuta vain toisella edestakaisista liikkeistä. Tukki on sahausten aikana kiinnitetty kenttävannesahan runkoon, jonka reunat toimivat vanneyksikön liikuttamiseen tarkoitettuina kiskoina. Sahaaja liikuttaa vanneyksikköä työntämällä sitä sivusta, mutta vanneyksikön liikuttaminen voidaan toteuttaa esimerkiksi hydraulikalla. Kenttävannesahat eivät tarvitse yhtä paljon tilaa sahauspaikalla kuin kenttäsirkkelit, mutta niiden sahausteho on myös huomattavasti kenttäsirkkeliä alhaisempi.

3 TUOTEKEHITYS JA VALMISTETTAVUUS

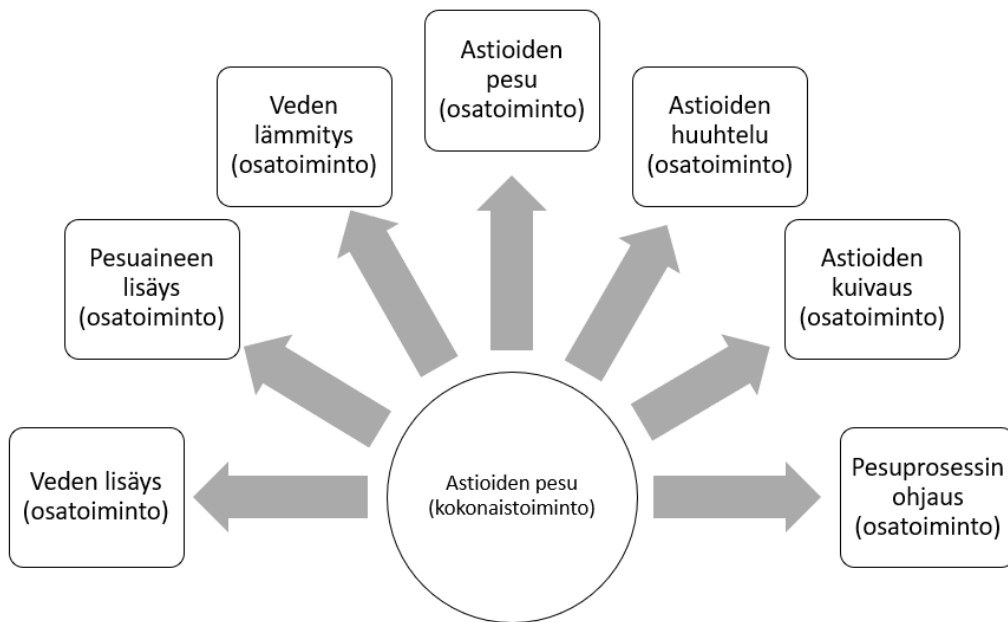
3.1 Tuotekehitystoiminta

Tuotekehitys tarkoittaa toimintaa, jonka tavoitteena on kehittää uusi tuote tai parannella vanhaa (Jokinen, 1999, s. 9). Siihen sisältyy useita eri vaiheita aina tarpeen tunnistamisesta tuotteen yksityiskohtien suunnitteluun. Tuotekehityksessä pyritään täyttämään asetetut tavoitteet niin hyvin kuin se on mahdollista kaikki muuttuvat tekijät huomioiden. Tuotekehityksen voi ajatella yksinkertaisesti toimintana, jossa tunnettuja ratkaisuja yhdistetään uusilla ja erilaisilla tavoilla, tarkoituksena saada aikaan uusi innovatiivinen ja kilpailukykyinen tuote (Kleimola, 2014, s. 9). Tuotekehityksen tavoitteena voi olla myös tuotteen valmistuskustannuksien alentaminen tai tuotteen tekninen parantaminen (Jokinen, 1999, s. 10).

Tuotekehityksessä suunnittelun apuna käytetään erilaisia sovellettavia suunnittelumenetelmiä (Jokinen, 1999, s.10–11). Aiemmin tuotekehitys tapahtui ilman erityisiä suunnittelumenetelmiä kohdattavien tilanteiden mukaan. Tällainen toiminta on luonnollista, sillä suunnittelutyö on luovaa työtä, joka ei asetu aina jäykkiin kaavoihin. Suunnittelumenetelmien käyttö on kuitenkin nykyään koettu tarpeelliseksi, kun kasvavan kilpailun vuoksi halutaan alentaa tuotteen valmistuskustannuksia ja parantaa kilpailukykyä entistä enemmän. Eri suunnittelumenetelmiä yhdistää kuitenkin samat perusteet. Kun etsitään ongelmaan ratkaisua, on oltava huolellinen ja ideointiin on käytettävä monipuolisia ideointimenetelmiä. Suunnittelua helpottamaan monimutkaiset toiminnot tulisi jakaa useampaan osatoimintoon, joista jokaiselle ideoidaan ratkaisu erikseen (kuva 13). Osaratkaisut yhdistetään kokonaisratkaisuksi. Lopullinen ratkaisu valitaan arvostelukriteerejä käyttäen.

Ongelmaa ratkaistaessa on usein seuraavat vaiheet (Jokinen, 1999, s. 21):

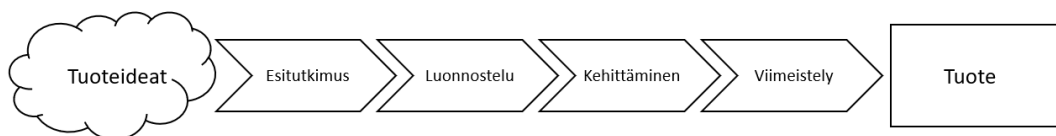
- ongelman havaitseminen
- tiedonhankinta
- analysointi
- vaatimusten ja tavoitteiden asettaminen
- ratkaisuideoiden etsiminen
- ideoiden arviointi ja karsinta
- valittujen ratkaisujen testaaminen
- lopullisen päätöksen tekeminen.



Kuva 13. Kokonaistoiminnon jakaminen osatoiminnoiksi (Jokinen, 1999, s. 31)

Tuotekehitysprosessin alkuvaiheessa olevassa luonnosteluvaiheessa tärkeimpiä työmenetelmiä ovat luovan insinööriyön tekemiseen parhaiten sopivat ideointimenetelmät (Jokinen, 1999, s. 21).

Viimeistelyssä kehitetystä tuotteesta tehdään tuotteen valmistamiseen ja käyttämiseen tarvittavat dokumentit, kuten työpiirustukset ja käyttöohjeet (Jokinen, 1999, s. 96). Tuotteesta voidaan tehdä prototyyppi ja nollasarja. Tuotannon aloitus ei pysäytä tuotekehitystä täysin (Jokinen, 1999, s. 99). Jos tuote halutaan pitää kilpailukykyisenä mahdollisimman kauan, on sen oltava jatkuvassa kehityksessä.



Kuva 14. Tuotekehitysprosessin kulku (perustuu Kleimola, 2014, s. 10)

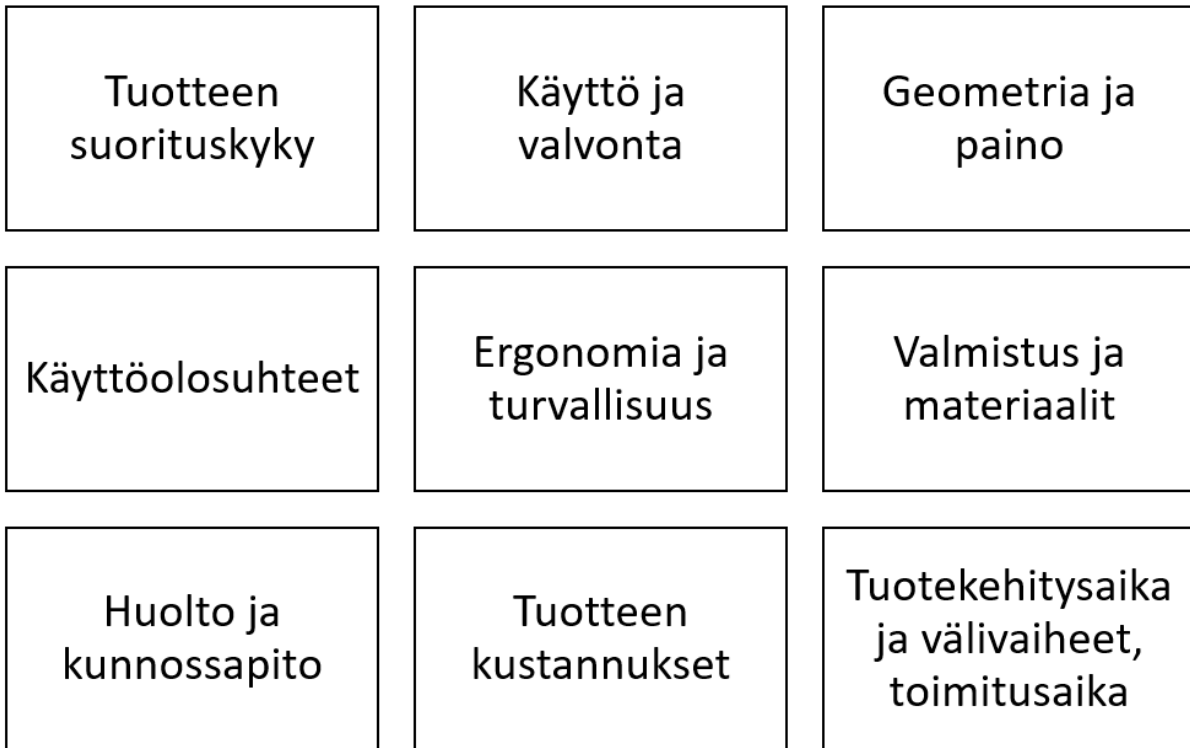
Tuotekehitystoiminnassa tulee huomioida erilaiset projektin aikana tapahtuvat ja siihen vaikuttavat sattumat, sillä niitä ilmenee usein (Jokinen, 1999, s. 18–19). Näiden sattumien takia lopputulos on aina jonkin verran erilainen, kuin projektin alussa on kuviteltu. Joustavuus tuotekehityksessä mahdollistaa tuotteelle asetettujen tavoitteiden muuttamisen odottamattomien ongelmien tai uusien mahdollisuuksien edessä.

3.2 Työvaiheet tuotekehityksessä

Tuotekehitysprojehtin neljä työvaihetta (kuva 14) ovat käynnistäminen tai esitutkimus, luonnostelu, kehittäminen ja viimeistely (Jokinen, 1999, s.14; Kleimola, 2014a, s. 10).

Tuotekehitysprojehtin käynnistäminen vaatii tarpeen tuotteelle ja ajatuksen sen toteuttamis-mahdollisuudesta, että se voidaan aloittaa (Jokinen, 1999, s. 17). Ilman mielikuvaa tuotteen toteuttamismahdollisuudesta projektia on mahdoton käynnistää. Näiden perusedellytysten havaitsemiseen voidaan käyttää systemaattista hakutoimintaa, tai ne voidaan havaita sattumalta (Jokinen, 1999, s. 18). Vaikka sattuma voi tuottaa hyvän tuoteidean, ei tuotekehitystoimintaa voida perustaa pelkästään sattumien varaan (Jokinen, 1999, s. 19). Tuoteidean etsimisessä voidaan käyttää apuna erilaisia ideointimenetelmiä (Jokinen, 1999, s. 20–21). Ideoinnilla pyritään tuottamaan useita erilaisia ratkaisuja. Näistä ratkaisuista valitaan paras, ja sitä aloitetaan luonnostelemaan. Tuote-ehdotukseksi valitaan tuoteideoista sellainen, joka vastaa parhaiten asiakkaiden tarpeisiin (Kleimola, 2014, s. 11). Tuote-ehdotus sisältää kuvauksen tuotteen toiminnasta, tekniset vaatimukset sekä taloudelliset vaatimukset (Jokinen, 1999, s.21; Kleimola, 2014a, s.11). Vaatimuksista (kuva 15) kootaan vaatimuslista, johon merkitään kaikki tarvittavat tuotteelta vaaditut ominaisuudet (Kleimola, 2014a, s. 11–12). Vaatimukset asetetaan omien laskelmien, markkinatutkimuksen ja kilpailevien tuotteiden analysoinnin pohjalta. Ensisijaisesti vaatimukset tulee esittää tarkkoina lukuarvoina. Mikäli vaatimusta ei voi esittää lukuarvoina, sen sanallisen kuvauksen on oltava selkeä.

Tuotteen suorituskyky ja miellyttävyyys ovat tärkeimmät ominaisuudet takaamaan asiakkaan tyytyväisyyden (Kleimola, 2014a, s. 11). Hankintapäätökseen vaikuttaa suorituskyvyn lisäksi esimerkiksi tuotteen ergonomia, ulkonäkö ja valmistusmateriaalit. Työkalun paino tai kestävyys luovat vaikutelman laadukkaasta tuotteesta.



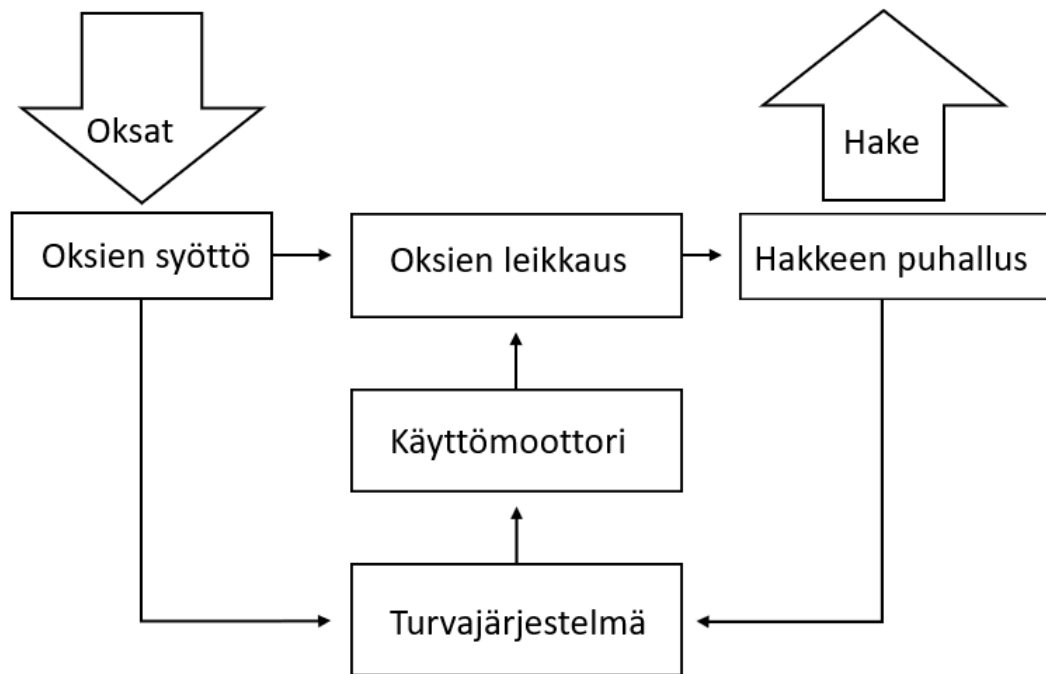
Kuva 15. Vaatimukset (perustuu Kleimola, 2014a, s. 12)

Ideointimenetelmiä on useita erilaisia (Jokinen, 1999, s. 39–40). Ideointimenetelmät voidaan jakaa intuitiota hyödyntäviin menetelmiin ja systemaattisiin menetelmiin. Intuitiota hyödyntävällä ideointimenetelmällä idea ratkaisusta voi tulla yllättäen mieleen hankalasti kuvailtavalla tavalla. Systemaattinen ideointi on pääpiirteittäin samanlaista, mutta siinä idea koitetaan saada järjestelmällisesti edeten. Kaikkia ideointimenetelmiä yhdistää samat periaatteet. Parhaan mahdollisen idean löytämiseksi ideointia ei saa lopettaa ensimmäisen käyttökelpoisen idean kohdalla. Ideoiden etsimistä ja niiden arvostelua ei saa sekoittaa keskenään. Erityisesti intuitiota hyödyntävissä ideointimenetelmissä tarvitaan lennokkaita ajatuksia, ja jos miettii ideointivaiheessa idean realistisuutta, toteuttamiskelpoinen ideakin saattaa tulla ohitetuksi. Ideointimenetelmissä on tarkoituksenmukaisesti päästävä pois totutuista ratkaisuista. Hyvä ratkaisu asiaan voi löytyä vasta kun sitä katsotaan aivan eri suunnasta kuin aiemmin. Vaikka ratkaisujen etsiminen perustuu intuitioon, siinä kuitenkin tarvitaan tietoa, kokemusta ja vertailtavaa tietoa aiheeseen liittyen (Kleimola, 2014a, s. 13).

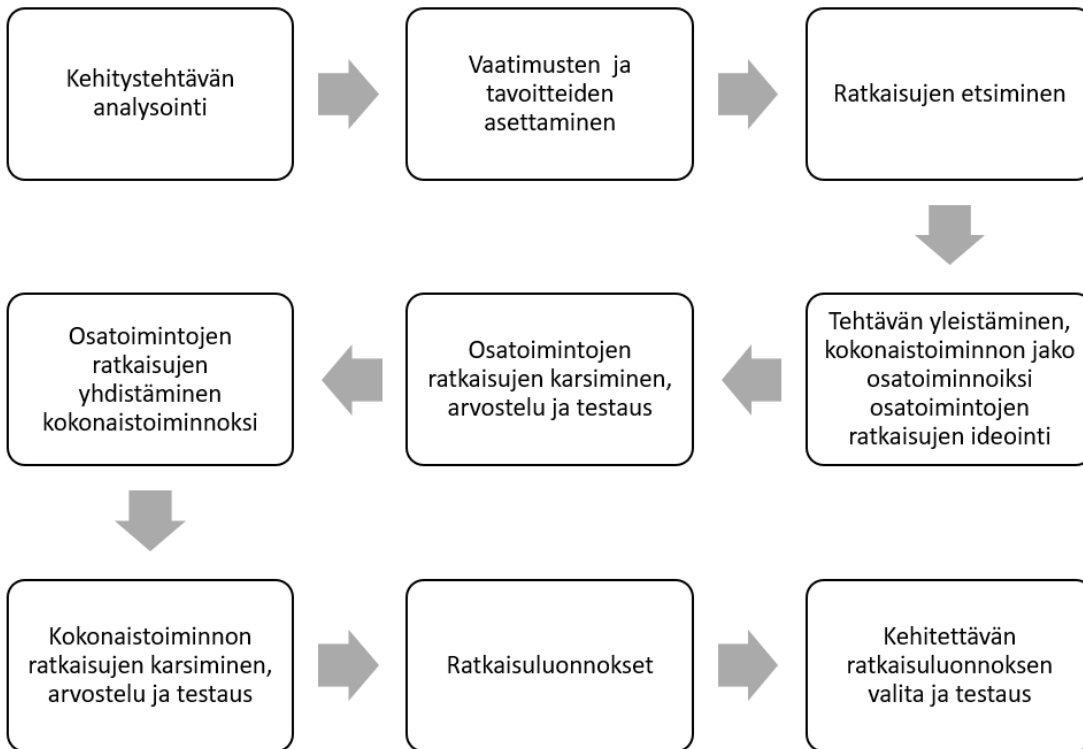
Luonnosteluvaiheessa etsitään erilaisia ratkaisuluonnoksia (kuva 16) kehityksen kohteena olevalle tuotteelle (Jokinen, 1999, s. 21). Tässä vaiheessa voidaan piirtää käsin toimintaperiaatetta avaavia kuvia. Kaikki mahdolliset ratkaisut ongelman ratkaisemiseksi pidetään avoinna, kunnes voidaan olla varmoja parhaasta mahdollisesta ratkaisusta (Kleimola, 2014a, s.13). Ratkaistavaa ongelmaa ei tule lähestyä tarkasti ja yksityiskohtaisesti, vaan

soveltamalla ja laajentamalla. Esimerkiksi vanhaa työkalua ei tule parantaa, vaan on kehitettävä kokonaan uusi työkalu tähän tarkoitukseen.

Luonnostelussa ratkaisuperiaate (kuva 17) määrittellään vaatimusluettelon pohjalta (Kleimola, 2014a, s. 13). Ratkaisuperiaatteet ovat usein suuntaa antavia piirustuksia ja luonnosteluja. Tuotteen toimintorakenne koostuu toisiinsa liitoksissa olevista osatoiminnoista. Toimintorakenteen osatoimintojen väliset yhteydet tulee toteutua riippumatta siitä, millaiseen ratkaisuun tuotteessa päädytään. Toimintorakenteen mukaisesti suunniteltaessa uutta tuotetta on taloudellista ja tehokasta suunnitella tuote modulaariseksi osatoimintojen mukaan.



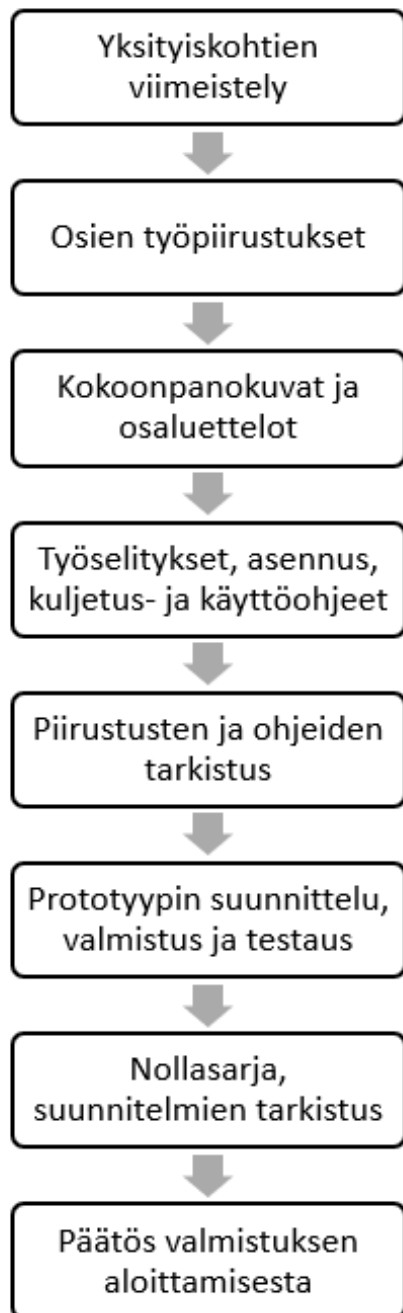
Kuva 16. Toimintorakenne oksasilppurille (perustuu Kleimola, 2014a, s. 12)



Kuva 17. Työvaiheet luonnostelussa (perustuu Jokinen, 1999, s. 22)

Kehittämisympäristössä jatkokehitetään tuotekonseptia, joka on valittu parhaaksi vaihtoehdoksi (Kleimola, 2014a, s. 14). Kehittämisympäristössä aikana tuotekonseptin mukainen tuote suunnitellaan siten, että se on mahdollista valmistaa.

Viimeistelyssä (kuva 18) tuotteen ominaisuudet ja yksityiskohdat, kuten materiaali ja valmistustapa päätetään lopullisesti. (Jokinen, 1999, s. 96; Kleimola, 2014a, s. 14). Viimeistelyvaiheessa jokaisen yksittäisen osan muodot, mitoitus, valmistettavuus, kustannukset ja käytettävät materiaalit tarkistetaan ja valitaan. Kustannusten alentamiseksi pääpaino osien optimoinnissa kannattaa kuitenkin keskittää luonnosteluvaiheeseen. Tuotteen ollessa halpa ja sarjavalmistukseen tuleva, siitä tehdään usein prototyyppi ja nollasarja (Jokinen, 1999, s. 96). Kehitetystä tuotteesta laaditaan valmistamiseen ja käyttämiseen tarvittavat dokumentit, kuten työpiirustukset ja käyttöohjeet. Lisäksi kaikkien dokumenttien oikeellisuuden tarkastaminen on tärkeää, ja se tehdään ennen päätöstä tuotannon aloituksesta (Jokinen, 1999, s. 97). Näitä työvaiheita ei kuitenkaan tehdä täydellisesti, jos valmistetaan prototyyppi (Jokinen, 1999, s. 98). Usein prototyypistä saadaan tietoa, jota hyödynnetään dokumenttien täydentämiseen. Täydennetään ja tarkistetaan prototyypin testauksesta saatujen tietojen perusteella.



Kuva 18. Viimeistelyn vaiheet (perustuu Jokinen, 1999, s. 97)

3.3 Valmistettavuus ja kokoonpantavuus

Valmistettavuudella tai valmistusystävällisyydellä tarkoitetaan yleisesti kaikkia tapoja ja menetelmiä, joilla pyritään yksinkertaistamaan tuotteen valmistusta ja alentamaan valmistuskustannuksia (Lempiäinen & Savolainen, 2003, s. 13; Lohtander, 2009, s. 224). Valmistettavuuteen ja kokoonpantavuuteen panostamalla on mahdollista nostaa yrityksen tuottavuutta ilman

investointeja. DFM- ja DFA-menetelmien perusajatuksena on suunnitella tuote tunnettuja ongelmia välttämällä, eikä etsimällä niihin ratkaisua. Valmistettavuudesta käytetään lyhennettä DFM, joka tulee sanoista Design For Manufacturability. DFM-menetelmän yhteydessä puhutaan usein myös DFA-menetelmästä. DFA on lyhenne sanoista Design For Assembly, jolla tarkoitetaan kokoonpanoystävällistä suunnittelua, kokoonpantavuutta tai tuotteen suunnittelua kokoonpanon yksinkertaistamiseksi (Lohtander, 2009, s. 227). Tuotekehitysprojektia on usein hankala määritellä pelkästään DFM- tai DFA-projektiksi, koska molempiin kuuluu paljon erilaisia asioita tuotteen suunnitteluun, valmistukseen ja kokoonpanoon liittyen. Molempien menetelmien yhdistävänä tekijänä on tavoite yksinkertaistaa tuotetta ja tuotantoa, sekä päästä eroon tunnetuista epäkohdista.

Valmistus- ja kokoonpanoystävällisesti suunnitellussa tuotteessa (Lempiäinen & Savolainen, 2003, s. 71–72, 81, 164–165; Lohtander, 2009, s. 233) on minimoitu

- osien määrä
- materiaalin tarve
- osanimikkeiden määrä
- erilaiset käsittelyvaiheet ja tarpeellisten käsittelyvaiheiden määrä
- tuottamattomat operaatiot
- kuljettaminen
- työstettävien pintojen määrä
- liitokset
- valmistuksessa köytettävien työkalujen määrä.

Valmistus- ja kokoonpanoystävällisyyden kehittämiseksi (Lempiäinen & Savolainen, 2003, s. 164–165; Lohtander, 2009, s. 233) tuotteessa tulee välttää

- tarkkoja toleransseja
- erilaisia kiinnittimiä ja kiinnityselimiä
- paljon esivalmistelua vaativia valmistusmenetelmiä
- hankalasti käsiteltäviä ja valmistettavia materiaaleja.

Kokoonpanoystävällisyyttä saa lisättyä käyttämällä itsepaikoittavaa, yksinkertaista ja selkeää rakennetta (Lohtander, 2009, s. 233). Lisäksi moduulien käyttö ja alikokoonpanot ovat suositeltavia varsinkin testausta vaativissa osakokoonpanoissa. Usein tuotteeseen kannattaa suunnitella helposti havaittava runkorakenne, johon muut osat ja moduulit voidaan kiinnittää

(Lempiäinen & Savolainen, 2003, s. 72, 82; Lohtander, 2009, s. 233). Tuote ja yksittäiset osat tulee suunnitella siten, että kokoonpano voidaan suorittaa tasoittain, yhdestä suunnasta, ensisijaisesti ylhäältäpäin suoraviivaisella liikkeellä (Lempiäinen & Savolainen, 2003, s. 71–72; Lohtander, 2009, s. 233). Ylhäältä alas tapahtuva liike on luontainen liike kokoonpanoon riippumatta siitä, tehdäänkö kokoonpano koneellisesti vai käsityönä. Osien suunnittelussa on pyrittävä siihen, että niiden asentaminen väärin ei ole mahdollista. Tuote tulisi suunnitella koneelliseen kokoonpanoon soveltuvaksi, sillä hankalasti koneellisesti kokoonpantava tuote on myös hankala kokoonpantava käsityönä (Lempiäinen & Savolainen, 2003, s. 42, 81).

Valmistus- ja kokoonpanoystävällisessä tuotteessa (Kleimola, 2014a, s. 14; Lempiäinen & Savolainen, 2003, s. 71–72, 81, 164; Lohtander, 2009, s. 233) tulee käyttää ja hyödyntää

- modulaarista rakennetta
- useita samanlaisia osia sarjoina ja moduuleina
- osien symmetrisyyttä
- yksinkertaisia muotoja
- standardiosia ja komponentteja
- edullisia valmistustapoja ja materiaaleja
- osia niin, että yhdellä osalla toteutetaan mahdollisimman monta eri toimintoa.

Osien ja osanimikkeiden poistaminen ja vähentäminen on mahdollista yhdistämällä useat eri toiminnot yhteen osaan (Lempiäinen & Savolainen, 2003, s. 71). Osien yhdistäminen ja nimikemäärän vähentäminen voi kuitenkin monimutkaistaa tuotteessa käytettäviä osia. CNC-tekniikkaa käyttävillä työstökoneilla monimutkaisemmatkin kappaleet on usein mahdollisia valmistaa. Osien vähentämisellä ja poistamisella saadaan säästöjä kuluihin. Osaa, jota ei ole, ei tarvitse suunnitella, ostaa, kuljettaa varastoida tai valmistaa.

Valmistettavuuden ja kokoonpantavuuden toteutumiseksi on varmistuttava osien ja materiaalien sopivuudesta toisiinsa, materiaalin sopivuudesta käytettävälle valmistusmenetelmälle, tuotteen kokoonpantavuudesta (Lohtander, 2009, s. 233).

Valmistettavuutta tulee arvioida useista eri näkökulmista (Lempiäinen & Savolainen, 2003, s. 20). Esimerkiksi alhaisten valmistuskustannusten suunnitteluperiaatteilla tuotteen laatu voi kärsiä. Tuotteen valmistettavuutta arvioitaessa hyviä mittareita ovat muun muassa laatu, tuotantokustannukset, joustavuus ja läpimenoaika. Myös käytössä olevien resurssien

hyödyntäminen tehokkaasti on tärkeää. Valmistettavuutta arvioitaessa tulee ottaa huomioon myös tuotantoon liittyvät riskit, kuten tuotantovolyymien muutokset. Tuotteen ympäristövaikutukset, kuten tuotteen kierrättäminen sen elinkaaren päässä, otetaan myös huomioon valmistettavuutta arvioidessa.

Tuotteen valmistettavuuden arvioiminen on tärkeää aloittaa heti projektin alkuvaiheessa (Lempiäinen & Savolainen, 2003, s. 22). Tuotekehitysprojektin alkuvaiheessa on tärkeää suunnitella erilaisia vaihtoehtoisia tuotekonsepteja. Oikeaa vaihtoehtoa ei voi valita, jos ei ole mistä valita (Lempiäinen & Savolainen, 2003, s. 19, 49). Huolellinen konseptisuunnittelu lisää kokonaiskehitysaikaa, mutta ilman sitä tuotteen suunnittelu on heikolla perustalla. Laiminlyömällä konseptisuunnittelun voi yrityksen kilpailukyky kärsiä ja lopullinen tuote epäonnistua. Vaikka ihmisluonne on taipuvainen löytämään nopeasti itselleen mieluisimman ratkaisun erilaisista vaihtoehdoista, suunnittelijan tulee kyetä valitsemaan paras tuotekonsepti tarkan laskelmoivan arvioinnin perusteella erilaisista vaihtoehtoisista tuotekonsepteista. Konsepteja tulee arvioida koko valmistettavuuden kannalta, eikä vain tuotantokustannusten. Valmistettavuuden arvioinnissa on huomioitava, onko tuotteen valmistaminen teknisesti mahdollista ja taloudellisesti kannattavaa (Lohtander, 2009, s. 239).

Tiedonhankinta on tärkeässä osassa valmistettavuutta parantaessa (Lempiäinen & Savolainen, 2003, s. 23–24). Omien suunnitelmien ja niissä ilmenneiden virheiden kautta voidaan oppia. Omien virheiden kautta tuotteen valmistettavuuden kehittäminen on kuitenkin hidas ja kallis tapa. Vanhemmilta suunnittelijoilta ja ammattilaisilta saadut neuvot ja tieto ovat kokeemukseen perustuvaa, ja niitä noudattamalla voidaan välttyä toistamasta vanhoja virheitä. Eri alojen edustajilla on erilaisia näkökulmia ja tietämystä heidän omista aloistaan. Näitä hyödyntämällä voidaan saada hyviä tuloksia. Ideoita valmistettavuuden parantamiseksi voidaan myös saada tutkimalla ja vertaamalla kehitettävää tuotetta muiden valmistamiin vastaaviin tuotteisiin. Vertailua ja tutkimusta voidaan tehdä myös monimutkaiseen tuotteeseen tavoitteena uusien ideoiden löytäminen.

Erilaiset suunnitteluperiaatteet on tärkeä huomioida valmistettavuuden parantamista ajatella (Lempiäinen & Savolainen, 2003, s. 46, 70–71, 81–82). Esimerkiksi koneistusta vaativa osa voidaan valaa tai osien liitosmenetelmiä voidaan muuttaa. Suunnitteluperiaatteita muuttaessa on kuitenkin huomioitava sen vaikutus kokonaisuuteen. Esimerkiksi napsausliitos on ruuviliitosta parempi ratkaisu automaattisessa kokoonpanossa, mutta purkamista ja

huollettavuutta ajatellen ruuviliitos on parempi. Ylimääräisiä komponentteja ja osanimikkeitä tulee välttää

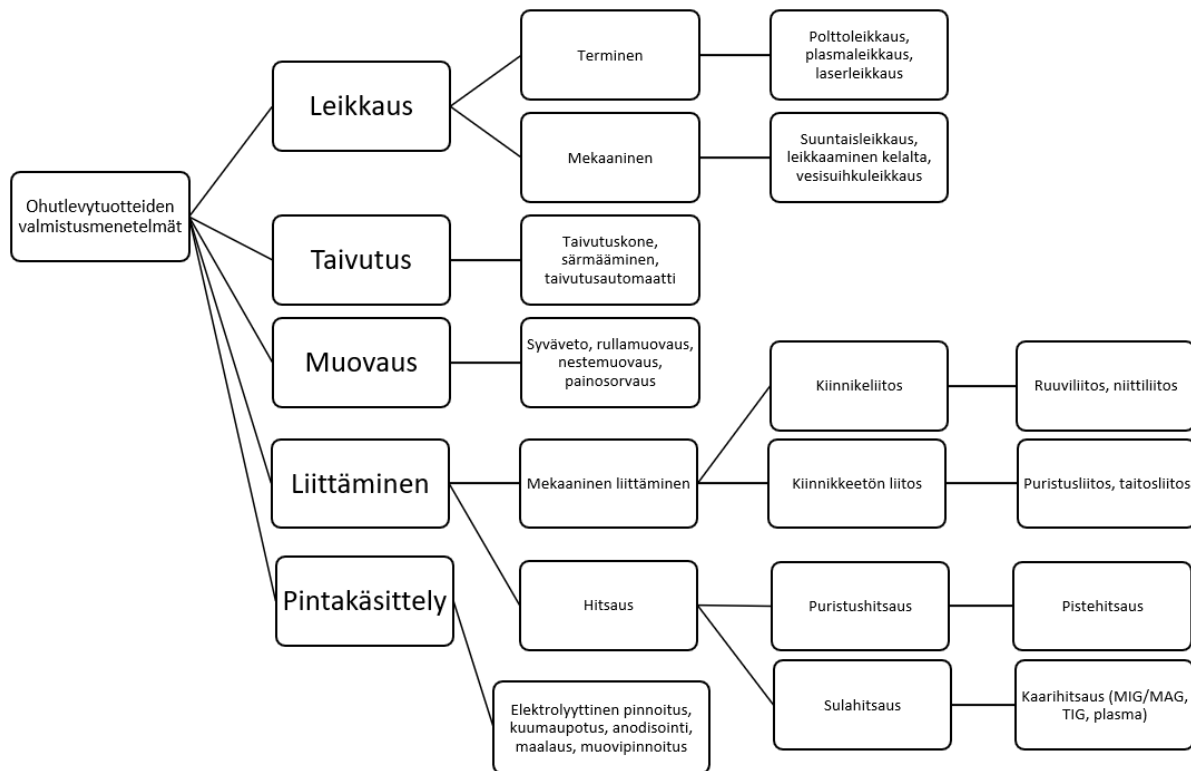
Valmistettavuuden arvioinnissa ja suunnittelussa on tärkeää ottaa huomioon tuotteen moduointi ja tuoteperhe (Lempiäinen & Savolainen, 2003, s. 50–51). Moduointi tarkoittaa tuotteen jakamista osakokoonpanoihin, jotka voidaan valmistaa parhaalla niille soveltuvalla menetelmällä (Lempiäinen & Savolainen, 2003, s. 47–48). Moduloinnin tavoitteena on myös vähentää osien määrää sekä mahdollistaa samanlaisten osien käyttö. Moduuleita suunniteltaessa on tärkeää huomioida, etteivät ne vaikeuta kokonaisen tuotteen kokoonpanoa. Modulaarinen tuote on mahdollista valmistaa kustannustehokkaasti sarjatuotantona samalla mahdollistaen sen muokkaamisen asiakkaan toivomalla tavalla. (Lempiäinen & Savolainen, 2003, s. 50–51). Modulaarinen rakenne myös helpottaa tuotteen jatkuvaa kehitystä. Moduloitu tuote voidaan suunnitella uudelleen ilman tuotteen peruskonstruktion muuttamista. Tuoteperheen valmistettavuutta parantaa, kun samat moduulit käyvät useampaan eri tuoteperheen tuotteeseen.

Yksittäisen osan valmistettavuutta arvioitaessa on tärkeää tuntea käytettävän valmistusperiaatteen vaatimukset, käytettävissä olevat työkalut sekä osan valmistamiseen käytettävän materiaalin ominaisuudet (Lempiäinen & Savolainen, 2003, s. 53–67). Osia suunnitellessa on otettava toleranssit tarpeenmukaisesti huomioon ja asentamisen helpottaminen. Osan valmistusmenetelmästä tai käytettävästä materiaalista riippumatta valmistettavuutta parantaa aina se, kun materiaaliäihio käytetään tehokkaasti, eikä hukkamateriaalia synny (Lempiäinen & Savolainen, 2003, s. 53, 66). Materiaalihukan syntymistä voidaan vähentää valmistettavan tuotteen muotoilulla ja väistämättä syntyvien hukkapalojen hyödyntämisellä. Tehokkaan materiaalin käytön vuoksi kannattaa myös arvioida, voiko suunnitellun osan valmistaa jollain vaihtoehtoisella edullisemmalla menetelmällä.

3.4 Ohutlevyosien valmistettavuus ja kokoonpantavuus

Ohutlevytuotteella tarkoitetaan tavanomaisesti 3...4 millimetrin vahvuisesta metallista valmistettua kappaletta (Matilainen, 2011, s. 3–4). Usein kuitenkin ohutlevytuotteiden valmistamiseen soveltuvat menetelmät sopivat myös muille ainevahvuuksille. Ohutlevyrakenteita hyödynnetään muun muassa silloin, kun tavoitellaan kevyttä rakennetta ja kustannustehokkuutta. Ohutlevytuotteiden suunnittelussa on otettava huomioon materiaalin ominaisuudet sekä

lujuustekniset ilmiöt, jotka vaikuttavat tuotteen suunnitteluun. Ohutlevy tuotteiden valmistukseen käytetään useita erilaisia valmistusmenetelmiä (kuva 19). Erilaisten valmistusmenetelmien ja koneiden sekä niiden ominaisuuksien tunteminen kuuluu ohutlevy tuotteiden suunnitteluun. Ohutlevy tuotteiden liitos- ja pintakäsittelymenetelmiä on useita, ja myös niiden tunteminen on tärkeää ohutlevy tuotteiden suunnittelussa.



Kuva 19. Ohutlevy tuotteiden valmistusmenetelmät (perustuu Matilainen, 2011, s. 4)

Ohutlevystä leikattuja ja taivutettuja monimutkaisiakin kappaleita kannattaa käyttää, jos siten saadaan karsittua osanimikkeitä merkittävästi pois (Lempiäinen & Savolainen, 2003, s. 58). Usein suunnittelijat pyrkivätkin suunnittelemaan mahdollisimman monta toimintoa samaan kappaleeseen (Lohtander, 2009, s. 230). Kuitenkin jos kappaleessa on yli viisi taivutusta, sitä voidaan pitää melko monimutkaisena valmistettavana (Lohtander & Ojanperä, 2009, s. 417, 421). Kun taivutuksia on yli viisitoista, se voi olla erittäin hankala valmistaa. Valmistettavuuden kannalta yli viiden taivutuksen osia ei kannattaisi valmistaa, vaan rakenteet kannattaisi toteuttaa useammalla vähemmän taivutuksia sisältävällä osalla. Tämä kuitenkin kasvattaisi osanimikkeiden määrää ja vaatisi enemmän liitoksia. Taivuttamisen tehostamiseksi kaikki taivutettavat sivut myös muissa valmistettavissa kappaleissa tulisi suunnitella saman korkuiseksi, ellei sivun pituudella ole jotain erityistä teknistä tai toiminnallista syytä. (Lohtander & Ojanperä, 2009, s. 417, 421). Taivutettavan sivun korkeuden vakioiminen nopeuttaa

taivuttajan työtä, kun useampi osa voidaan valmistaa samalla taivutusohjelmalla (Lohtander & Ojanperä, 2009, s. 419).

Ohutlevyjen liittämässä toisiinsa tulee ottaa huomioon mahdollisesta hitsauksesta aiheutuvat muodonmuutokset Lempiäinen & Savolainen, 2003, s. 59). Valmistettavuuden ja kokoonpantavuuden parantamiseksi kiinnityselementtejä tulisi olla vähän, ja niiden tulisi olla samanlaisia (Lempiäinen & Savolainen, 2003, s. 46; Lohtander & Ojanperä, 2009, s. 413–416, 420; Lohtander, 2009, s. 233). Samanlaisten kiinnityselementtien käyttö vähentää osanimikkeitä ja kokoonpanossa tarvittavia työkaluja. Kokoonpanossa käytettävien työkalujen vaatima tila tulee huomioida tuotteen kiinnityksiä suunniteltaessa. Kiinnityselementtien moduloinnin seurauksena niiden vaatimien reikien valmistus tehostuu, kun on mahdollisuus käyttää mekaanista leikkausta tehokkaammin reikien ollessa samanlaisia. Jos kappaleessa olevat reiät voidaan valmistaa laserleikkaamisen lisäksi lävistämällä, kappaleen teettäminen useammassa eri tehtaassa onnistuu, vaikka tehtailla olisi erilainen konekanta (Lohtander & Ojanperä, 2009, s. 421; Lohtander, 2009, s. 231). Reikien tekeminen lävistämällä on laserleikkausta nopeampaa (Parviainen & Havas, 2011, s.182).

4 SUUNNITELTAVAN SAHAN RATKAISUPERIAATTEIDEN KARTOITUS

4.1 Tuotevaatimukset

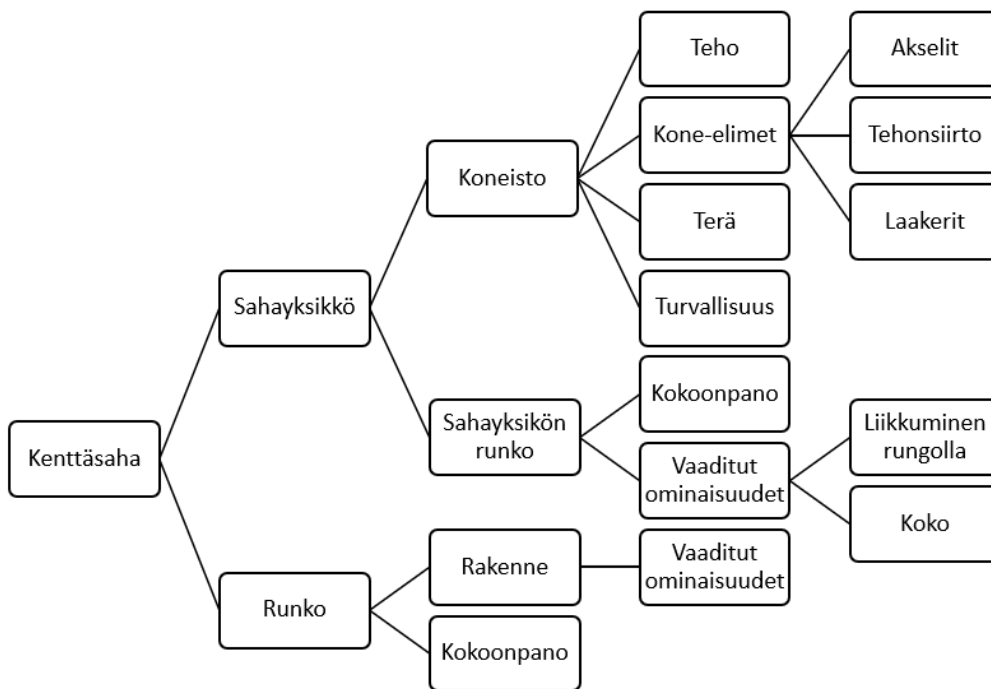
Sahan suunnittelu alkoi kartoittamalla sahalta vaadittuja ominaisuuksia ja toimintoja.

Tässä työssä kehitettävän sahan

- on kyettävä tuottamaan sahatavaraa pienistä tukeista
- tulee olla modulaarinen
- tulee olla helposti valmistettava ja kokoonpantava
- tulee olla yksinkertainen, toimintavarma ja kestävä
- suunnittelussa on otettava huomioon osien kuljetus ja varastointi
- on sovelluttava tieliikenteessä siirrettäväksi.

Sahan rakenteessa päädyttiin ratkaisuun, jossa sahayksikkö liikkuu paikalleen kiinnitetyn tukin ylitse. Sahana toimii pystysuuntainen pyörösaha. Valitulla ratkaisulla pyritään yhdistämään pyörösahan yksinkertainen rakenne ja kenttävannesahan tilaa säästävä runkorakenne. Lisäksi ratkaisulla pyritään tutkimaan mahdollisuuksia molempiin suuntiin tapahtuvasta sahauson onnistumisesta. Sahausta tapahtuisi aina, kun saha liikutetaan rungon päästä toiseen päähän eikä vain joka toisella liikkeellä kuten aiemmin esitellyssä vannesahassa tai kenttäsiirreissä. Tavoitteena on sahayksikön liikuttamiseen käytettävän energian minimoiminen ja sahauson tehostaminen. Sahan suunnittelun helpottamiseksi suunniteltava saha jaettiin useampiin kokonaisuuksiin (kuva 20). Mitään varsinaista systemaattista ideointimenetelmää ei käytetty, vaan ajatus tuotteesta syntyi mielikuvituksen avulla muuntelumenetelmän mukaisesti. Muuntelumenetelmä on ideointimenetelmä, jota on käytetty tuotekehityksessä kauan, ja useat käyttävät sitä huomaamattaan (Jokinen, 1999, s. 44).

Muuntelumenetelmän periaatteen voisi tiivistää sanomalla sen olevan tapa ajatella, miten olemassa olevia ratkaisuja voidaan hyödyntää uudella tavalla (Jokinen, 1999, s. 44–45). Esimerkiksi millainen ratkaisu saadaan vaihtamalla osien järjestystä, kääntämällä osaa tai muuttamalla sen kokoa tai liikettä. Muuntelumenetelmässä voidaan myös hyödyntää havaintoja siitä, miten toinen samankaltaista työtä tekevä laite toimii.



Kuva 20. Kehitettävä tuote jaettuna pienempiin osakokonaisuuksiin

4.2 Sahaustapa

Koneella tulee olla mahdollista sahata kaikkien sahaustapojen mukaisesti tukkeja. Erilaiset sahaustavat toteutetaan runkoon kiinnitettävien varusteiden avulla. Erikokoisen sahatavaran tuotto tapahtuu myös runkoon kiinnitettävien takavasteiden avulla.

4.3 Tuotteen valmistustapa

Sahan suunnittelussa noudatetaan yleisiä valmistettavuutta ja kokoonpantavuutta parantavia ohjeita. Sahassa pyritään käyttämään mahdollisimman paljon valmiita, ostettavia osia. Osat, joita ei ole mahdollista ostaa valmiina, suunnitellaan itse. Osia yritetään suunnitella mahdollisimman vähän. Osien suunnitteluun käytetään CAD-ohjelmaa. Suunniteltavien osien tulisi ensisijaisesti olla laserleikattuja sekä tarvittaessa taivutettuja ohutlevykappaleita. Sorvausta sekä jysintää vaativia osia pyritään välttämään. Tuotteen kokoonpano tulee suorittaa ilman hitsausliitoksia, mahdollisimman tehokkaasti ja mahdollisimman pienellä kiinnikkeiden osanimikkeiden määrällä.

5 RUNGON SUUNNITTELU

5.1 Tuotevaatimukset

Sahan rungon suunnittelu alkoi määrittelemällä siltä vaaditut ominaisuudet

Rungon tulee olla

- edullisesti valmistettava
- modulaarinen
- erilaisille sahaustavoille soveltuva
- kestävä
- helposti valmistettava ja kokoonpantava
- kokoonpantavissa ilman hitsauskonetta
- purettavissa kuormalavalle mahtuvaksi
- sopiva tieliikenteessä siirrettäväksi
- soveltuva sarjatuotantoon
- helposti puhdistettavissa sahajauhoista
- säänkestävä.

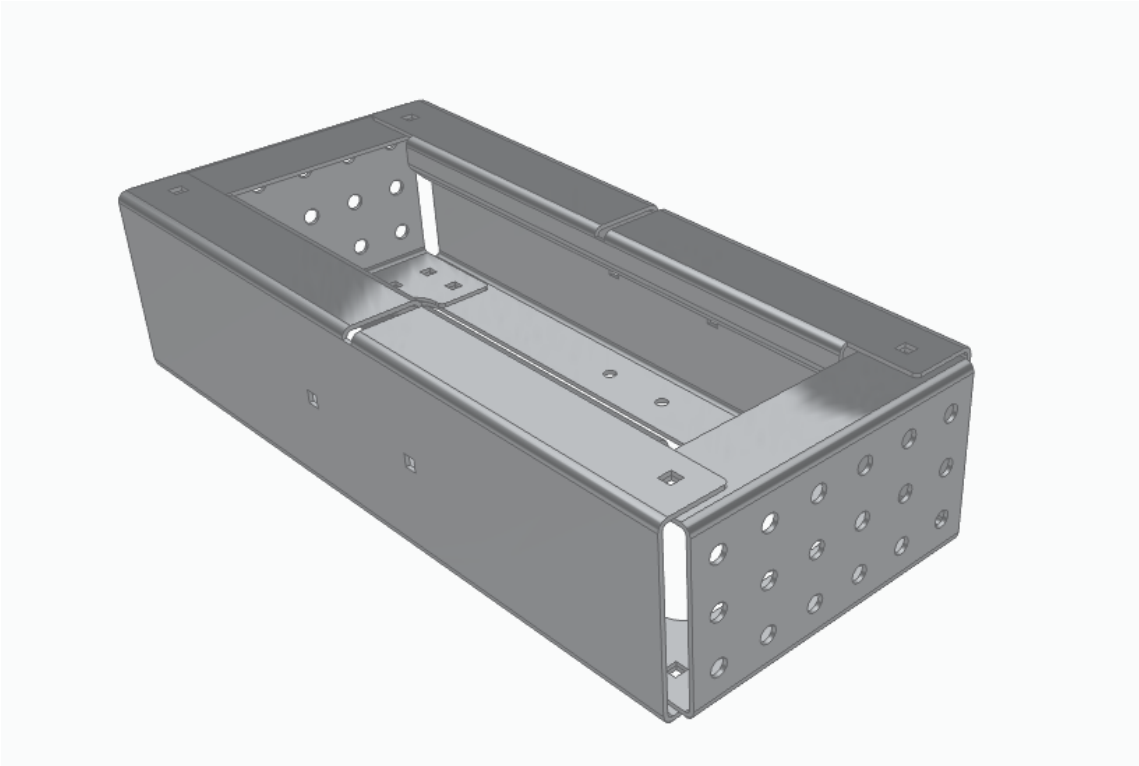
5.2 Runkorakenteen suunnittelu

Sahalla on voitava sahata pituudeltaan noin 5 m pitkiä tukkeja. Koska rungon on kuitenkin mahduttava purettuna kuormalavalle, se on valmistettava useammasta osasta. Jokaisen rungonssa käytetyn kappaleen pisin sivu voi olla enintään 1200 mm. Yleisen kuormalavan koko on 800 mm * 1200 mm (Suomen Standardisoimisliitto (SFS), 2004, s. 16). Rungon on toimitettava yhtäaikaisesti tukkipöytänä, sahausyksikön johteina ja kantavana runkona kokonaisuudelle. Lisäksi siihen on pystyttävä kiinnittämään tarvittavat työkalut, kuten tukin pitimet ja mittalaitteet. Myös liikenteessä vetämisen mahdollistava akseli ja vetoaisa tulevat runkoon kiinni.

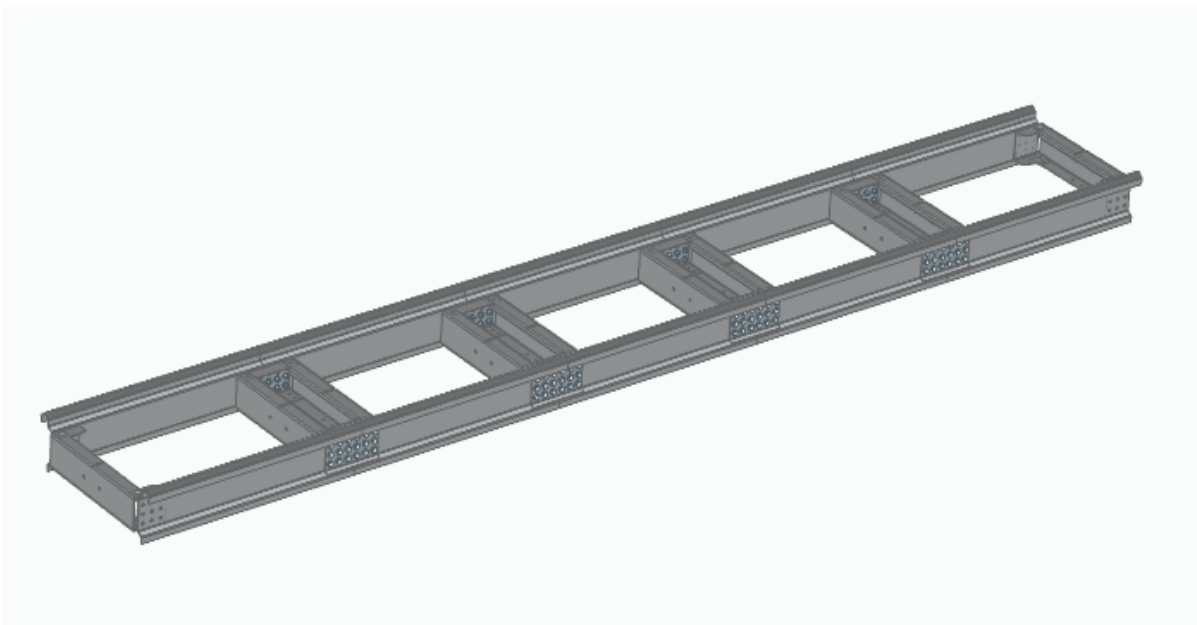
Runkoa pitkin kulkevan sahausyksikön on kuljettava tasaisesti runkoa pitkin. Sahausyksikkö ei saa päästä putoamaan rungolta, eikä sen terä saa osua missään tilanteessa runkoon.

Runko päätettiin valmistaa erilaisista toisiinsa liitettävistä laserleikatuista ja taivutetuista teräsprofiileista. Runko koostuu kahdesta eri profiilista koostuvasta välipöydästä (kuva 21) ja

pitkittäisistä runkoprofiileista, jotka on liitetty toisiinsa keskityslevyn ja kiinnitysruuvien avulla (kuva 22).

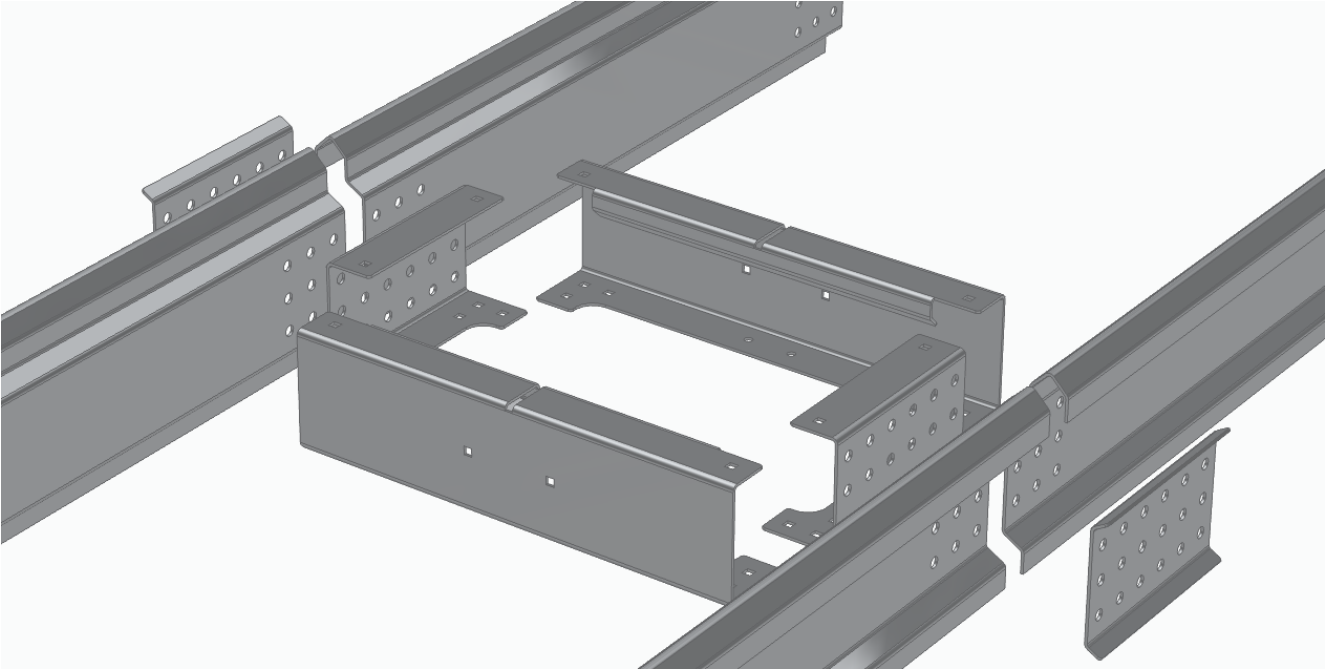


Kuva 21. Välipöytä



Kuva 22. Rungon rakenne

Rungon osat kiinnitetään toisiinsa ruuviliitoksilla. Ruuvit mahdollistavat helpon kokoonpanon ja tarvittaessa purkamisen. Runko on modulaarinen, joten sen pituutta tai leveyttä voidaan myöhemmin muuttaa vaihtamalla tai lisäämällä osia (kuva 23).



Kuva 23. Runkoprofiilien liitos

Koska rungon reunat toimivat sahausyksikön kiskoina, niiden välisen liitoskohdan tulee olla mahdollisimman saumaton.

5.3 Ruuviliitoksen mitoitus

Rungon osien liitettä toisiinsa toteutettiin moniruuviliitännällä. Ruuviliitoksen mitoitus alkoi selvittämällä, mitä rajaehdoja rungon rakenne asetti käytettävälle ruuviryhmälle. Ruuviryhmän rajaehdojen määrittelyn jälkeen selvitettiin, mihin ruuviryhmään vaikuttaisi kovin rasitus ja missä tilanteessa.

Runkoon tehtävälle ruuviliitokselle asetti ehtoja liitoskappaleiden koko sekä niissä olevat taivutukset. Moniruuviliitoksessa ruuviryhmän ruuvijaon tulee olla tarpeeksi tiheä ja tasainen, että ruuvien kiristämällä saadun voiman voidaan katsoa jakaantuvan tasaisesti liitettäviin kappaleisiin (Blom ym., 1999, s. 56).

Vaativissa liitoksissa suositeltu ruuvijako t saadaan kaavasta (Blom ym., 1999, s. 54)

$$t = d_w + s \quad (1)$$

missä

d_w on ruuvin tai mutterin kantopinnan ulkohalkaisija

s on ruuvin tai mutterin alla olevan liitososan paksuus

Lisäksi liitettävien osien heikentymisen rajoittamiseksi suositellaan ruuvijaoksi t ja reunaetäisyydeksi e (Blom ym., 1999, s. 55)

$$t \geq 3 d \quad (2)$$

$$e \geq 1,5 d \quad (3)$$

missä

d on liitososan reiän halkaisija

Tiiviuden varmistamiseksi ja rakokorroosion estämiseksi suositellaan reikäjaoksi ja reunaetäisyydeksi (Blom ym., 1999, s. 55)

$$t \leq 14 s \quad (4)$$

$$e \leq 6 s \quad (5)$$

Metallilevyn taivutettu reuna aiheutti myös omat rajoituksensa pulttijaolle. Taivutettavassa metallilevyssä liian lähelle taivutusta sijoitettu reikä altistuu muodonmuutoksille (Parviainen & Havas, 2011, s. 257). Tämä johtuu metalliin puristumisesta taivutuksen sisäpuolella ja venymisestä taivutuksen ulkopuolella. Reikien haluttiin olevan tarkkoja, joten ne sijoitettiin niin, ettei muodonmuutosta tapahdu.

Tarkka pyöreän reiän minimietäisyys x_1 taivutuksesta (kuva 24) saadaan kaavasta (Parviainen & Havas, 2011, s. 258)

$$x_1 = \sqrt{d \times s} + 0,8 \times R_i \times \sqrt{\frac{b}{d}} \quad (6)$$

missä

d on reiän halkaisija

s on levypaksuus

- R_i on sisäpuolinen taivutussäde
 b on sivun pituus

Reiän ja taivutuksen väliselle minimietäisyydelle voidaan pitää nyrkkisääntönä sitä, että reiän ulkoreunan ja taivutuksen välinen minimietäisyys tulisi olla enemmän kuin lyhyin mahdollinen taivutettava sivun pituus (Parviainen & Havas, 2011, s. 258). Lyhin mahdollinen sivun pituus riippuu taivutuksessa käytettävän alatyökalun v - aukon leveydestä. Se voidaan laskea alatyökalun leveyden avulla (kaava 7). Työkaluvalmistajilla on myös olemassa valmiita taulukkoarvoja sivun pituudelle.

Lyhin mahdollinen taivutettavan kappaleen sivun pituus b 90 asteen alatyökalulle saadaan kaavasta (Parviainen & Havas, 2011, s. 258)

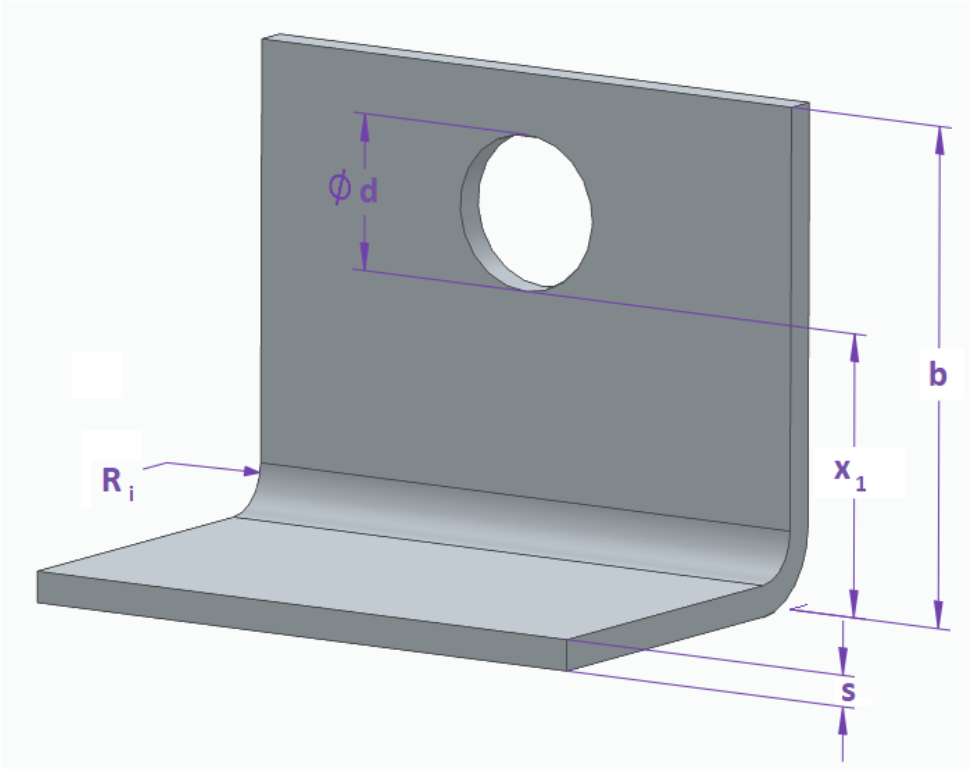
$$b = \frac{\sqrt{2}}{2} \times W \quad (7)$$

missä

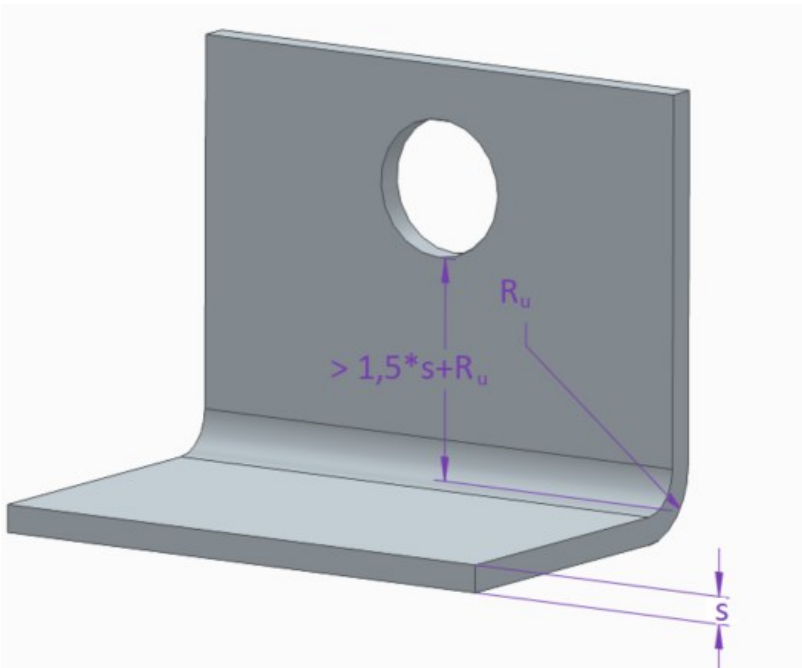
- W on alatyökalun leveys

Toisena nyrkkisääntönä voidaan pitää, että reiän etäisyys taivutuslinjasta (kuva 25) tulee olla enemmän kuin puolitoista kertaisen ainevahvuuden ja ulkopuolinen taivutussäteen summa (Lempiäinen & Savolainen, 2003, s. 54).

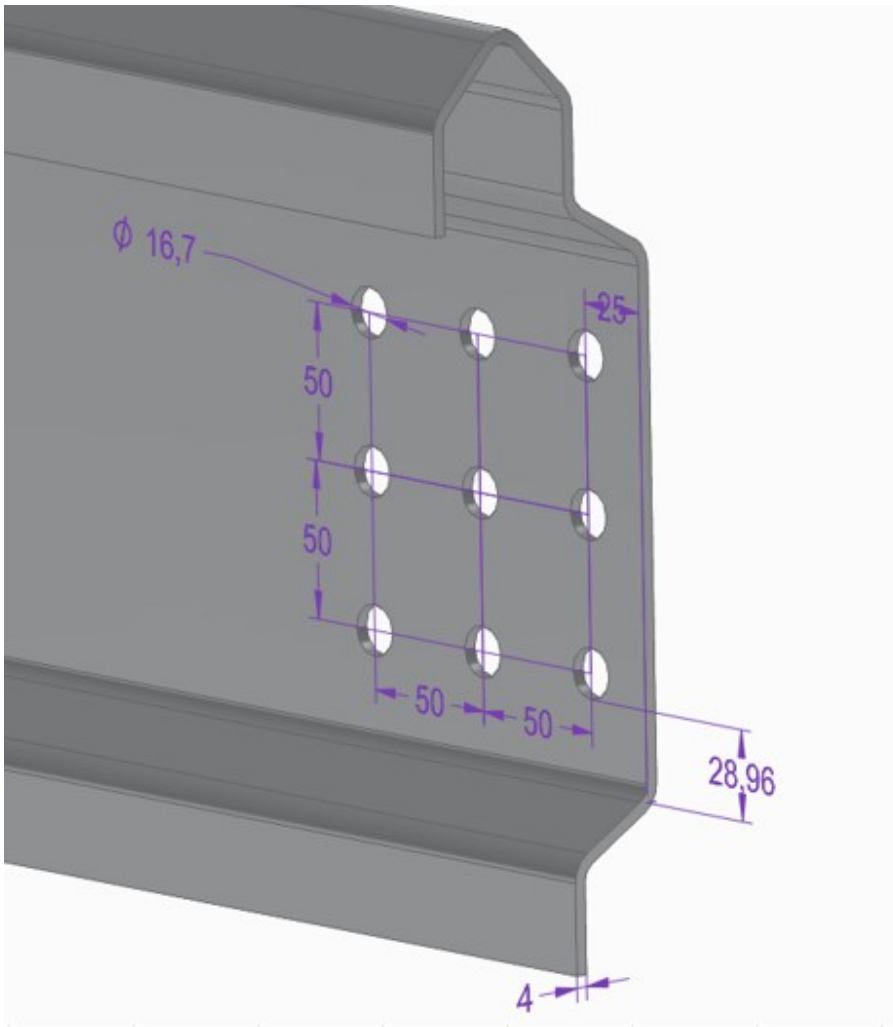
Mitoituksessa käytettyjen arvojen ja siitä saadun tuloksen perusteella (taulukko 1) ruuviryhmän ruuvijaoksi valittiin 50 mm. Valitulla ruuvijaolla pitkittäisessä runkoprofiilissa ruuviryhmälle käytettävissä oleva tila saatiin hyödynnettyä tehokkaasti, ruuviryhmälle suositeltavien ehtojen mukaisesti (kuva 26).



Kuva 24. Reiän etäisyys taivutuksesta (perustuu Parviainen & Havas, 2011, s. 258)



Kuva 25. Reiän etäisyys taivutuslinjasta (perustuu Lempiäinen & Savolainen, 2003, s. 54)



Kuva 26. Ruuviryhmän reunaetäisyydet ja ruuvijako

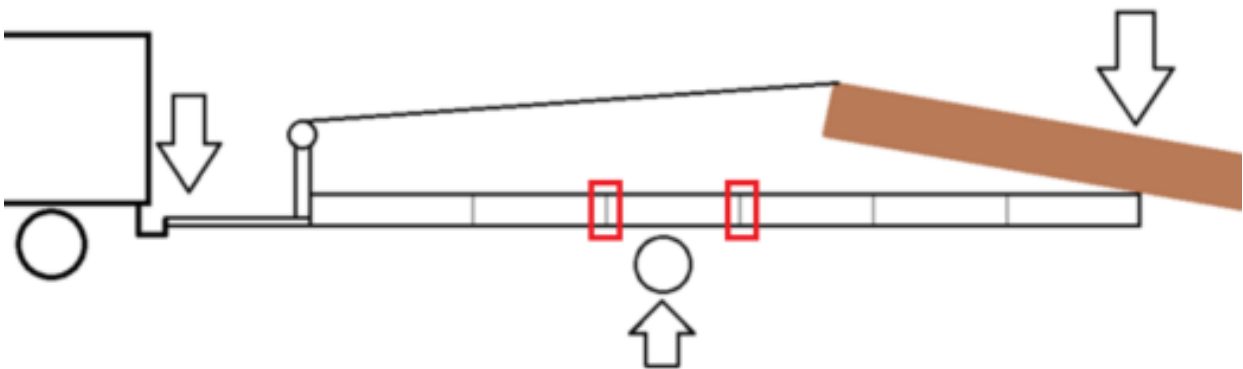
Taulukko 1. Reiänreunan minimietäisyys taivutuksesta pitkittäisessä runkoprofilissa

d	16,5
s	4
Ri	6
b	70
X1	26,6

Käytettävän ruuviryhmän määrittelyn jälkeen laskettiin liitoksiin kohdistuva kuormitus ja tarvittava pulttien määrä. Runkoa eniten kuormittavimmaksi tilanteeksi arvioitiin tilanne, jossa rungon päälle vinssataan sahattavaa tukkia. Tukin paino kohdistuisi pistemäisesti rungon takaosaan. Rungon pituussuuntaisessa keskiosassa sijaitseva akseli toimii tukipisteenä, jonka

takia tukin painaessa rungon takaosaa, rungon etuosa pyrkisi ylöspäin. Mikäli rungon vetoaisa on kiinni vetoautossa eikä se pääse nousemaan vapaasti ilmaan, tukin massa aiheuttaa kuormituksen akselia lähimpänä olevissa liitoksissa. Myös rungon oma massa vaikuttaa kuormitukseen.

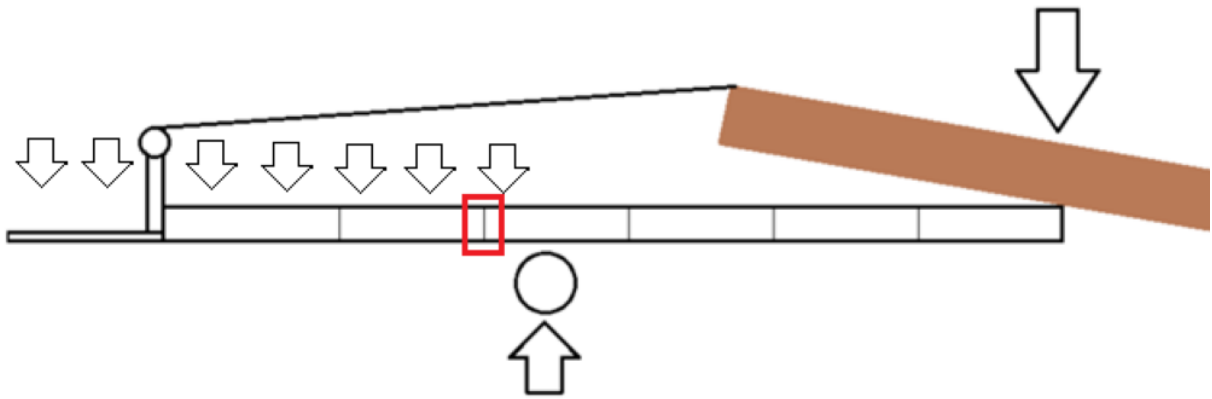
Kuormitustilanne (kuva 27) voidaan kuitenkin välttää käyttämällä rungossa tukijalkoja ja kytkemällä saha irti vetoautosta. Tämän takia ruuviliitosta ei mitoiteta kyseiselle tilanteelle.



Kuva 27. Rungon kuormitustilanne

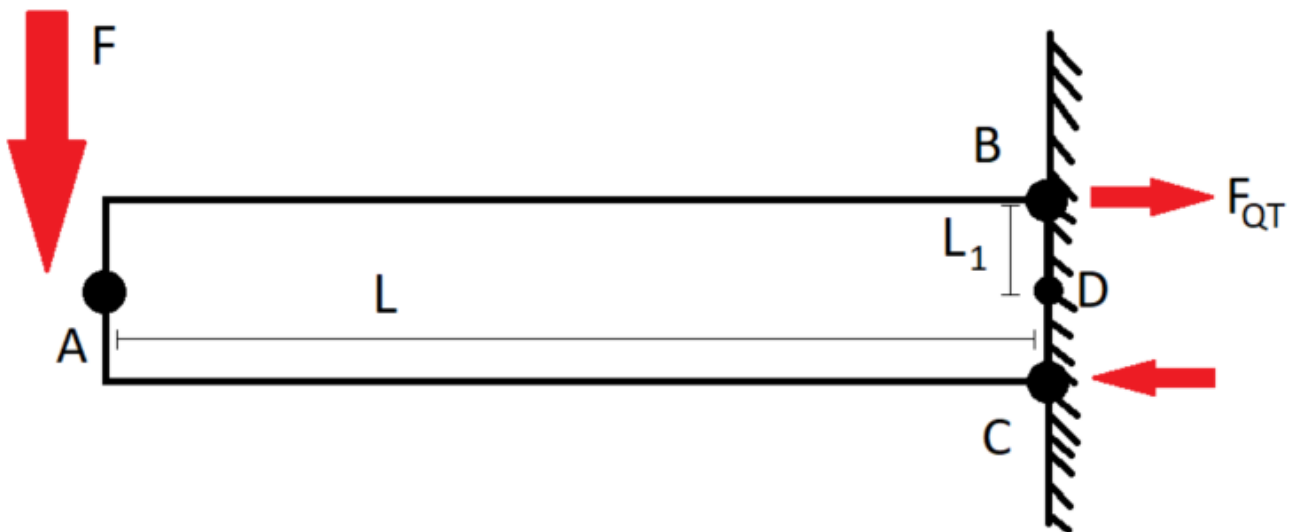
Todenmukaiseksi eniten kuormittavimmaksi tilanteeksi arviottiin tilanne, jossa sahattavaa tukkia vinssataan rungon päälle, kun siinä ei ole tukijalkoja käytössä eikä se ole vetoaisastaan kytkettynä vetoautoon (kuva 28).

Tilanteessa suurimmat kuormitukset aiheutuisivat rungon keskiosan liitoksiin akselin etupuolelle. Liitosta kuormittaisivat voimat, jotka pyrkivät painamaan nousutta runkoa alaspäin. Voimia aiheutuisi rungon ja sahausyksikön massasta. Tilanne voitaisiin välttää myös tukijalkoja käyttämällä, mutta mitoitus haluttiin tehdä niin, että runko ei vaurioituisi, vaikka tukijalkojen käyttö unohtuisi tai tukijalkojen alla oleva maa pettäisi. Kyseisen tilanteen katsottiin myös vastaavan riittävän paljon tilannetta, jossa rungolla ei sahata, vaan se on vetoaisastaan kytketty autoon ja runkoa ei tueta tukijaloilla, esimerkiksi kuljetustilanteessa.



Kuva 28. Todenmukainen kuormitus tilanne

Tilanteesta piirrettiin vapaakappalekuva (kuva 29). Vapaakappalekuvassa tilanne yksinkertaistettiin reunastaan kiinnitetyksi staattiseksi kappaleeksi. Pisteeseen A vaikuttaa voima F , joka on rungon tarkasteltavan osuuden massan aiheuttava voima.



Kuva 29. Vapaakappalekuva rungon liitoksesta

Momenttiehto pisteen D ympäri saadaan kaavasta

$$F * L - F_{QT} * L_1 = 0 \quad (8)$$

missä

- F on rungon tarkasteltavan osuuden massan aiheuttama voima
- L on tarkasteltavan osuuden massakeskipisteen etäisyys liitoksesta

- F_{QT} on tarkasteltavaan ruuviin kohdistuva leikkaava voima
 L_1 on tarkasteltavan ruuvien etäisyys ruuvirivin keskeltä pystysuunnassa

Tuntematon tekijä F_{QT} saadaan kääntämällä kaava muotoon

$$F_{QT} = \frac{F * L}{L_1} \quad (9)$$

Sijoittamalla kaavaan vaatimuslistan mukaiset painot ja CAD-mallista tarkastetut etäisyydet (taulukko 3) saadaan tarkasteltavaa ruuvia leikkaavaksi voimaksi noin 29kN.

Koska rungon kokoonpanon tulee olla tehokasta ja ruuvien kiristys tapahtuisi moottorivääntimellä ilman kiristysmomentin erillistä tarkastusta momenttiavaimella, puhutaan arviokiristyksestä (Blom ym., 1999, s. 72). Kiristysmenetelmänä arviokiristys on epätarkka mutta sitä käytetään laajasti (Blom ym., 1999, s. 68). Jos kiristysmenetelmänä käytetään arviokiristystä, ruuviliitoksen mitoituksen laskentaan ei kannata käyttää paljoa resursseja (Blom ym., 1999, s. 64). Tämän takia ruuviliitos mitoitettiin yksinkertaisella menettelyllä. Mitoituksessa sovellettiin yksiruuviliitoksen karkeaan mitoittamiseen käytettävää taulukkoa (taulukko 2). Yksiruuviliitosta mitoittaessa taulukkoa kuuluu käyttää siten, että siinä olevasta voimasarakkeesta valitaan liitokseen kohdistuvaa voimaa lähin suurempi arvo (Blom ym., 1999, s. 91–92). Liitoksen kuormitustapauksen ja kiristysmenetelmän mukaan taulukon voimasarakkeessa siirrytään vaadittu määrä rivejä alaspäin. Jos liitokseen kohdistuu leikkaava kuormitus, siirrytään neljä riviä alas, ja jos kiristys tapahtuu arviokiristykseenä, siirrytään vielä kaksi riviä. Käytettävä pultti valitaan siltä riviltä, mihin voimasarakkeessa on siirrytty.

Taulukkoa 2 sovellettiin valitsemalla ensin liitoksessa käytettävät pultit. Käytettäviksi pulteiksi valittiin m16 pultit, lujusluokassa 8.8. Pulttien valintaan vaikutti niiden helppo saatavuus ja niiden tarvitsemien reikien soveltuvuus käytettävissä olevaan tilaan ja ruuvijaon ehtoihin. Pulttien valinnan jälkeen siirryttiin taulukossa ylöspäin kuormitustapauksen ja kiristysmenetelmän vaatimalla tavalla. Koska liitoksessa oli leikkaava kuormitus ja kiristys tehtiin arviokiristykseenä, siirryttiin taulukossa yhteensä kuusi riviä ylöspäin. Koko liitosta rasittava voima jaettiin sillä voimasarakkeen arvolla, johon valitun pultin kohdalta kuusi riviä ylöspäin siirtyminen johti. Tulokseksi saatavaa lukua voidaan pitää riittävän tarkkana tarvittavana pulttien määränä, koska leikkaava kuormitus jakautuu moniruuviliitoksessa tasan kaikille ruuveille (kaava 10), jos liitososat ovat riittävän lujia ja jäykkiä (Blom ym., 1999, s. 60). Tasaisen kuormituksen

mahdollistavan ruuvijaon ja kappaleissa olevien taivutusten takia näiden ehtojen voitiin katsoa täyttyneen.

Ruuviryhmässä tarvittaisiin pyöristys huomioiden vähintään kahdeksan kappaletta valittuja 8.8 luokan m16 pultteja (taulukko 3). Tuotteen rakenne ja valmistus- ja kokoonpanoystävällisyys huomioiden liitoksen toteuttaminen neljällä pultilla katsottiin olevan epäedullinen ratkaisu. Rakenteen takia ja rakokorroosion torjumisen vuoksi välipöydän pituus määräytyisi käytettävän ruuviryhmän mukaan. Välipöydän ollessa liian lyhyt, rungon päällä olevan tukin paino ei jakautuisi runkoon yhtä tasaisesti kuin pitemmällä välipöydällä. Välipöydän väliin asennettavat varusteet olisivat olleet myös vaikeampi toteuttaa lyhyemmällä välipöydällä. Osien symmetrisyys, kuorman jakautuminen ja keskipöydän järkevä pituus huomioiden ruuviryhmä päätettiin toteuttaa kahdeksallatoista 8.8 luokan m16 pultilla. Käytettävien pulttien määrää jakamalla laskennallisella vaadittujen pulttien määrällä saatua arvoa 2,5 voidaan pitää varsin kohtuullisena varmuuskertoimena vaadittuun. On myös muistettava, että mielikuvaan tuotteen laadusta vaikuttaa tuotteen ulkonäkö ja paino (Kleimola, 2014a, s. 11). On helppo kuvitella, että tuotteen mahdollisen ostajan silmissä kahdeksan pultin liitos näyttäisi heikolta ja epäluotettavalta, vaikka se todellisuudessa olisikin kestävä ja luotettava.

Yksittäiseen ruuviin kohdistuva voima F_Q saadaan kaavasta (Blom ym., 1999, s. 60)

$$F_Q = \frac{Q}{n} \quad (10)$$

missä

- Q on liitosta kuormittava leikkausvoima
- n on ruuvien lukumäärä

Taulukko 2. Taulukko yksiruuviliitoksen karkeaan mitoitukseen (perustuu Blom ym., 1999, s. 91)

F (N)	12.9	10.9	8.8
250			
400			
630			
1 000			
1 600	3	3	3
2 500	3	3	4
4 000	4	4	5
6 300	4	5	5
10 000	5	6	8
16 000	6	8	8
25 000	8	10	10
40 000	10	12	14
63 000	12	14	16
100 000	16	16	20
160 000	20	20	24
250 000	24	27	30
400 000	30	36	
630 000	36		

Taulukko 3. Ruuviliitoksen mitoitus

	kg	N
Sahayksikön suurin sallittu paino	150	1 472
Rungon suurin sallittu paino	675	6 622
Rungon paino sen etuakselin ylittävältä osuudelta \approx rungon suurin sallittu paino / 2	338	3 311
Liitosta kuormittava voima F (sahayksikkö + puolet rungosta)		4 782
Kuormittava voima jaetaan kahdella, koska kuormituksen oletetaan jakautuvan rungon vastakkaisella puolella olevaan liitokseen		2 391
Jaetaan edelleen kahdella, koska voiman oletetaan jakautuvan kahdelle pultille		1 196
F	1 196	N
L	1,2	m
L1	0,05	m
FQT	28 704	N
Valitun pultin ja vallitsevan kuormitustapauksen mukainen voimasarakkeen arvo	4 000	N
Tarvittava pulttien määrä (FQT/voimasarakkeen arvo)	7,2	kpl

5.4 Varusteet ja niiden huomiointi suunnittelussa

Tukkien sahaamien haluttuun mittaan tapahtuu työntämällä tukki takavastetta vasten. Takavastetta vasten työnnetty tukki lukitaan pöytään kiinni. Tämän jälkeen suoritetaan sahaus. Sahauksen jälkeen sahattu kappale poistetaan takavasteen ja tukin välistä. Tukkia paikalla pitävät lukitukset vapautetaan, ja tukki työnnetään uudestaan takavastetta vasten. Takavasteen etäisyyttä terästä voidaan muuttaa ja tukkia kääntää sahaustavan vaatimalla tavalla. Takavasteita vasten alusta asti sahattaessa puun sahausperiaate on pohjoisamerikkalainen. Skandinaavisen sahausperiaatteen vaatima puun keskilinjan mukainen halkaisu tehdään tukemalla tukki sahan rungosta esiin käännettäviin tukiin, jotka keskittävät tukin vaaditulla tavalla.

Takavasteen säätäminen haluttuun mittaan tapahtuu asettamalla takavaste poikittaiseen runkopalkkiin kiinnitettyyn asteikkoon. Mitta-asteikossa on takavasteelle paikka jokaisen halutun mitan kohdalla, josta valitaan takavasteen ja sahanterän välinen etäisyys. Takavasteen mitta-asteikossa ja poikittaiseen runkopalkkiin tehdyissä mittavasteen paikoissa on huomioitu puun kutistumisvara ja sahan terän paksuus.

Takavaste ja mitta-asteikko ovat teräslevystä leikattuja kappaleita. Lisäksi poikittaiseen runkopalkkiin on tehty erilaisia reikiä, jotka mahdollistaisivat myöhemmin tehtävien erilaisten varusteiden asennuksen, kuten portaattomasti säädettävän takavasteen.

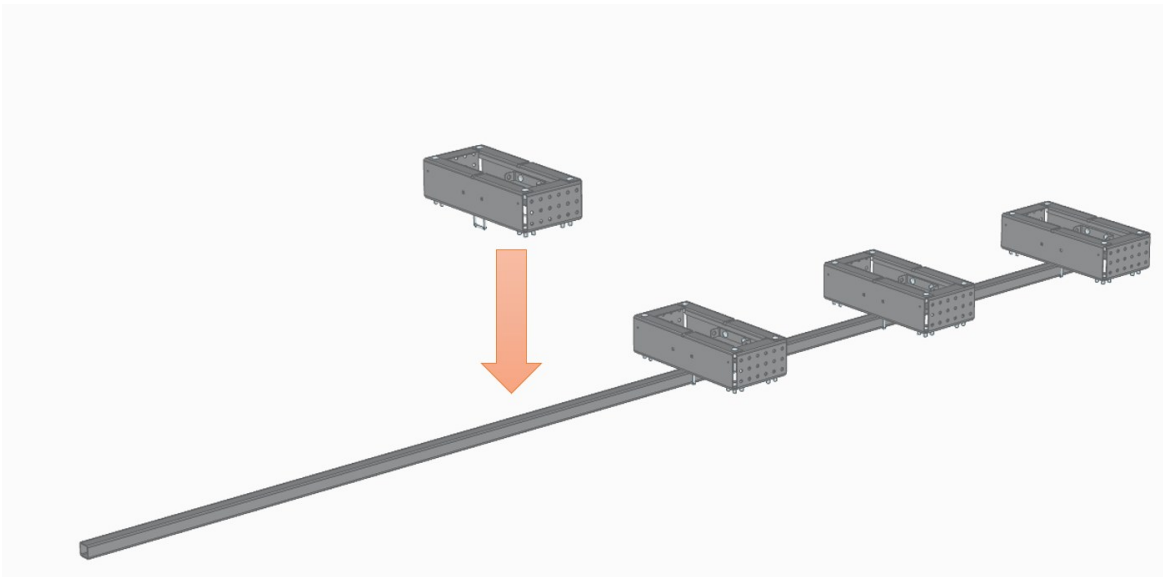
5.5 Valmistettavuuden ja kokoonpantavuuden huomiointi

Rungon osien suunnittelussa kiinnitettiin erityistä huomiota osanimikkeiden määrään ja kappaleiden symmetrisyyteen. Symmetrisyyden avulla tarvittavien osanimikkeiden määrä saatiin pidettyä kohtuullisena. Rungon molempiin päihin asennettava päätypalkki (kuva 34) koostuu samasta poikittaisesta runkopalkista, jota käytetään välipöydissä. Päätypalkin kiinnitykseen tarkoitetut raudat on tehty symmetrisiksi, jolloin ei tarvita erikseen oikean ja vasemman puolen kappaleita. Kaikissa osissa on mahdollisuuksien mukaan käytetty samaa taivutettavan sivun pituutta. Rungon päätyihin asennettavat kappaleet, joihin kiinnitetään tukijalat sekä takavalot, käyvät symmetrisyytensä ansiosta jokaiseen rungon nurkkaan.

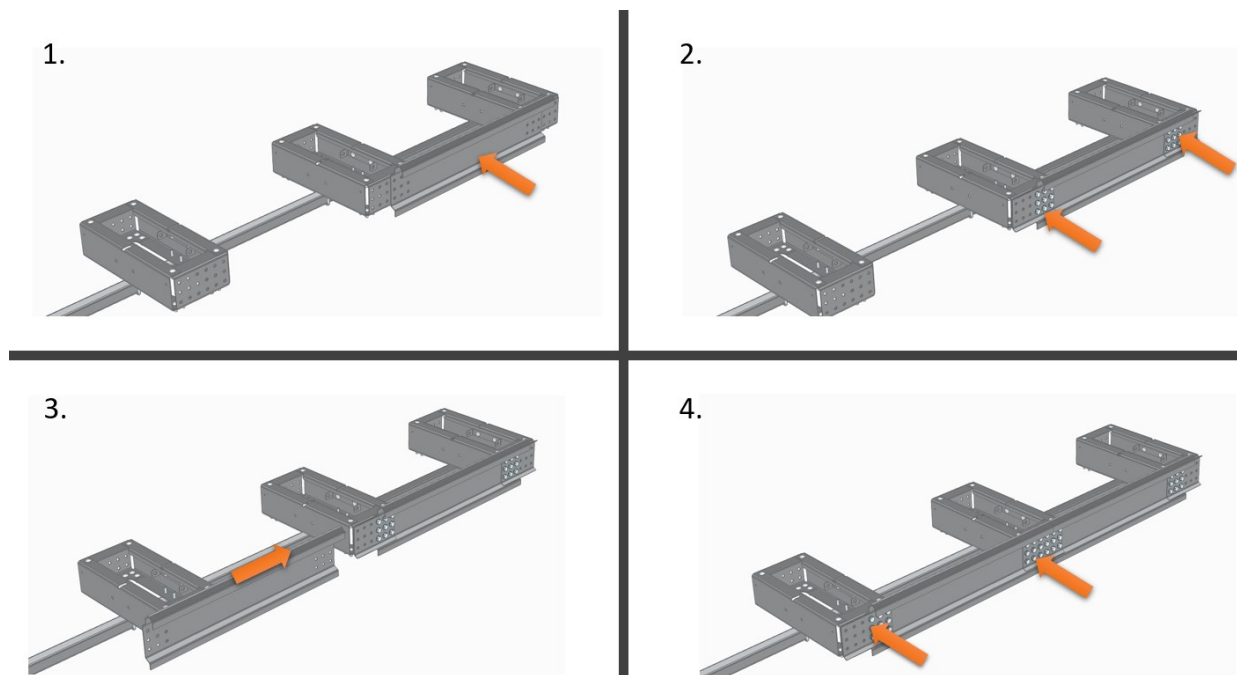
Välipöytien nurkat jätettiin avoimeksi, ja tällä mahdollistettiin akselin kiinnitykseen käytettävien rakenteiden sijoitus samojen ruuviryhmien yhteyteen (kuva 33). Akselin kiinnityskohtaa

voidaan näin siirtää, jos rungon pituutta muutetaan. Akseli voidaan myös kokonaan poistaa, jos saha asennetaan kiinteästi, eikä akseli ja sen kiinnitysrakenteiden puuttuminen vaikuta mitään rungon toimintaan tai ulkonäköön.

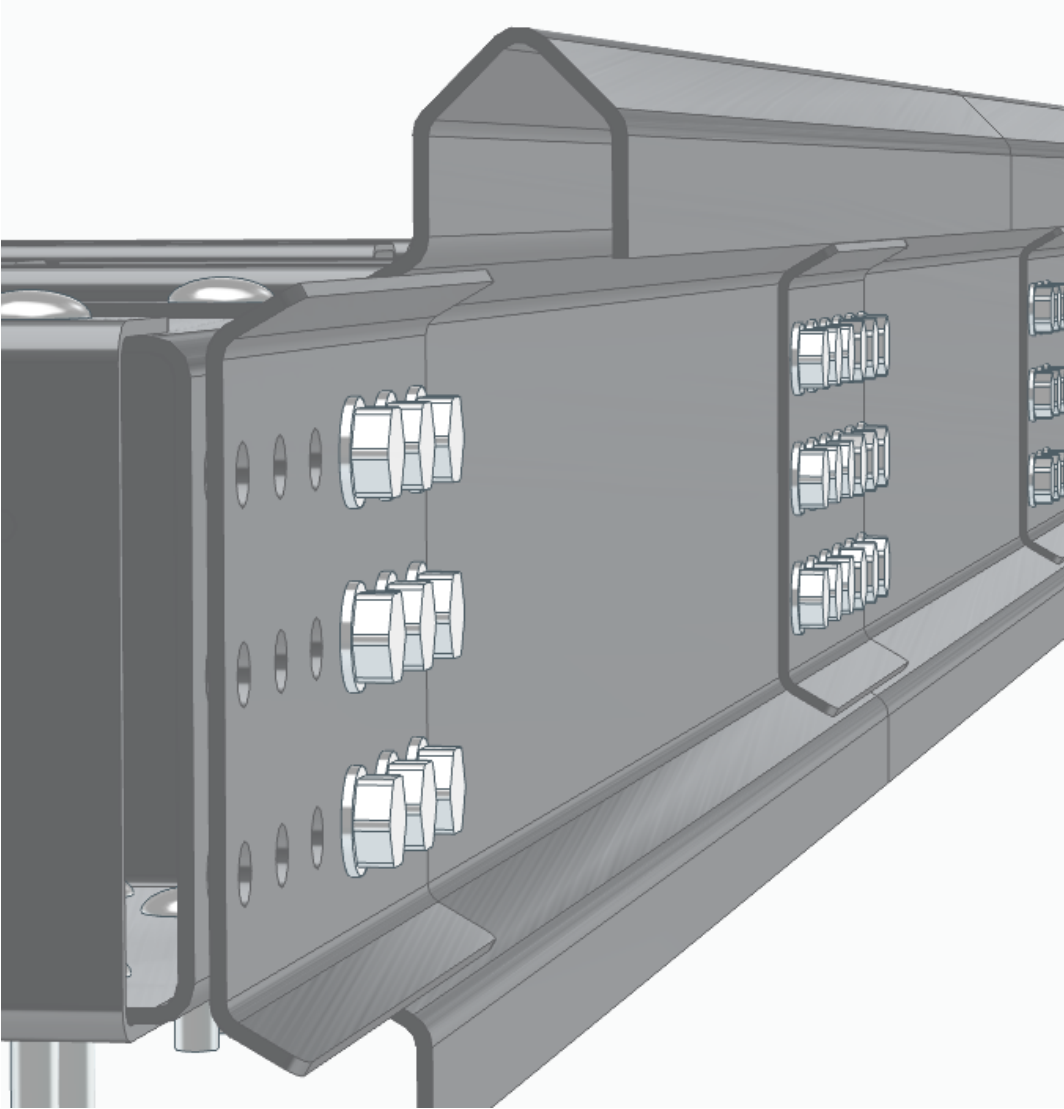
Sahan rungon kokoonpano suunniteltiin tapahtuvan yhdistämällä alikokoonpanona tehdyt välipöydät kokoonpanossa kantavana runkona toimivan runkoaisan päälle (kuva 30). Välipöytiin kiinnitetään pitkittäiset runkoprofiilit (kuva 31). Pitkittäisten runkoprofiilien kohdistamiseen käytetään ulompaa sidoslevyä, joka toimii samalla osana liitosta (kuva 32).



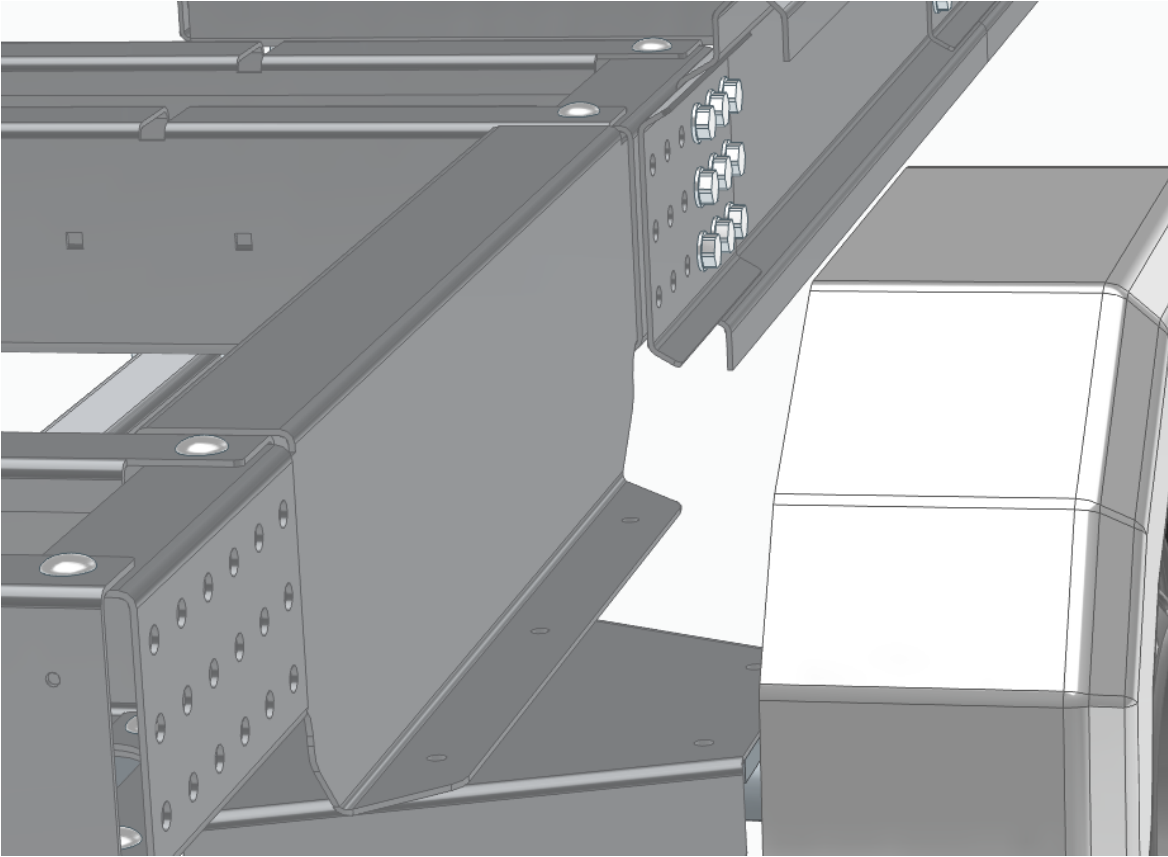
Kuva 30. Keskipöytien liittäminen runkoaisaan



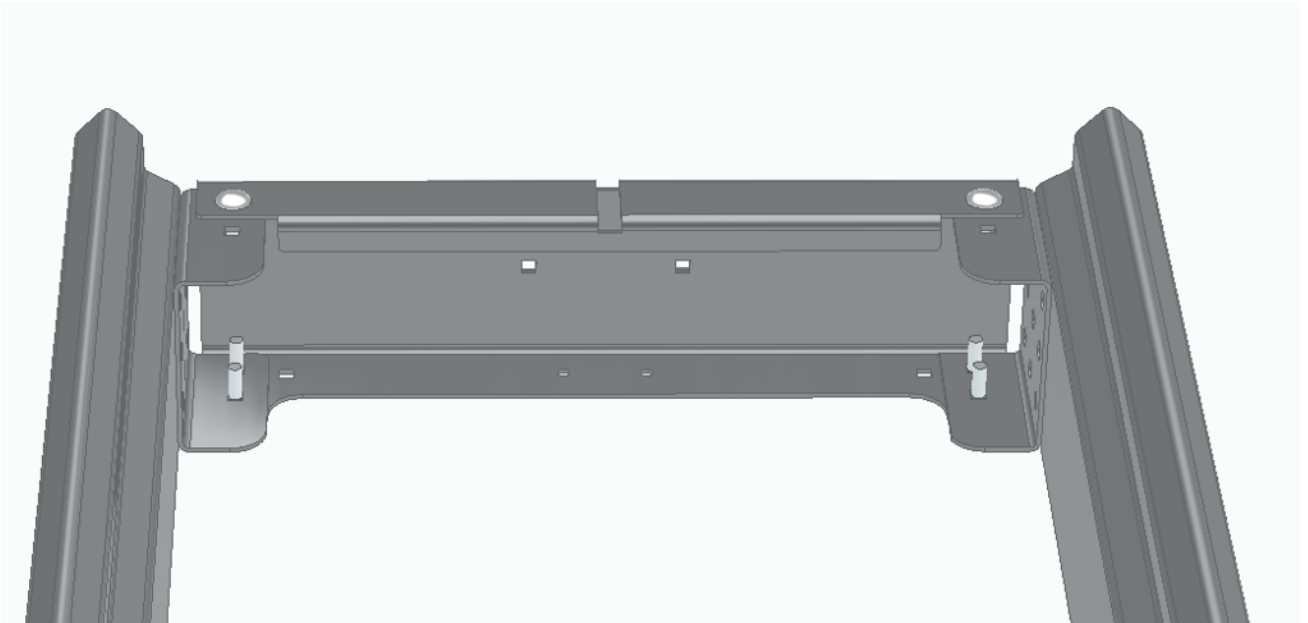
Kuva 31. Pitkittäisen runkoprofiilin liitos



Kuva 32. Ulompi sidoslevy



Kuva 33. Akselin kiinnitys



Kuva 34. Symmetria apuna osanimikkeiden vähentämisessä

6 SAHAYKSIKÖN SUUNNITTELU

6.1 Tuotevaatimukset

Sahayksikön tuotevaatimukset keskittyivät pääasiassa ulkomittoihin, valmistettavuuteen ja kokoonpantavuuteen. Sahayksikön tuotevaatimukset listattiin taulukkoon (taulukko 4). Vaatimuksille ei tehty erityisempää arviointia. Kaikki vaatimuslistaan kirjatut asiat olivat tärkeitä, mutta eivät kuitenkaan niin tarkkoja ja yksityiskohtaisia, että niihin perustuvaa arviointia voisi hyödyntää kunnolla parhaan tuotekonseptin valinnassa.

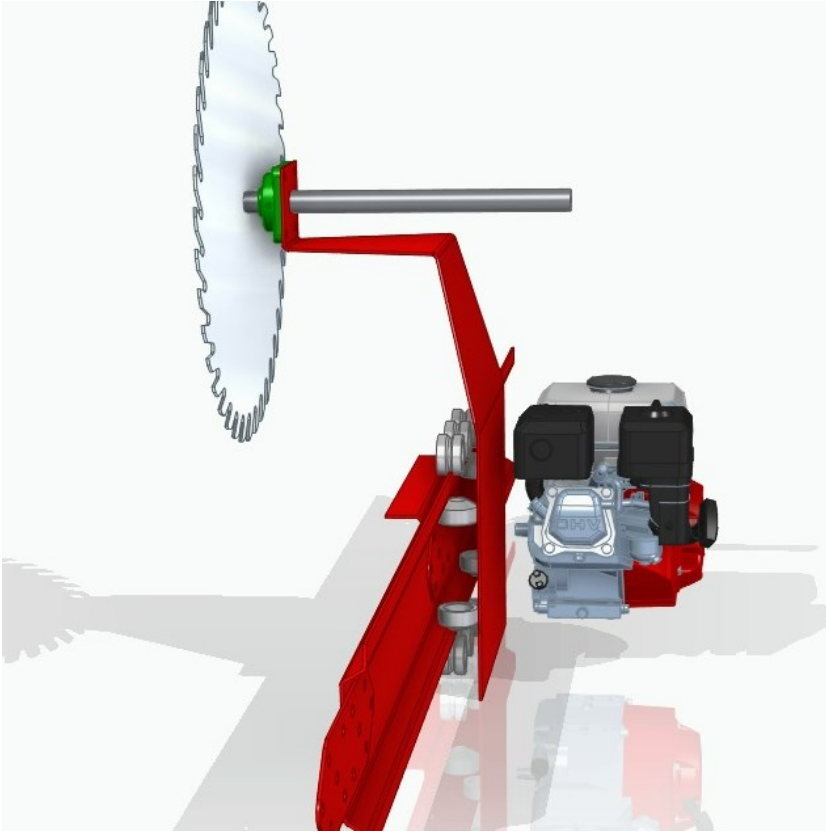
Taulukko 4. Sahayksikön tuotevaatimukset

Sahayksikkö		
Vaatus	Suure	Huomiot
Tukin halkaisija	≥ 20 cm	
Teho	Riittävä	
Leveys	≤ 1200 mm	
Pituus	750... 1200 mm	
Korkeus	750... 1200 mm	
Paino	≤ 150 kg	
Käytettävyys	Yksi käyttäjä pystyy käyttämään konetta, mahdollisuus käyttöä helpottavaan varusteluun huomioitava suunnittelussa	
Turvallisuus	Asianmukaiset suojaukset	
Käyttöympäristö	Ympärivuotiseen käyttöön ulkona	
Huollettavuus	Sahanjauhojen kertyminen rakenteisiin estettävä, tai helposti puhdistettavissa. Hihnojen ja terän vaihto tehtävissä helposti	
Modulaarisuus	Mahdollisimman moni osa sovellettava muihin sahan rungolla mahdollisesti käytettäviin koneisiin, kuten vannesahaan ja hirsihöylään	
Valmistettavuus	DFM mukaisesti	Sorvattavia ja jyrättäviä osia vältettävä
Kokoonpantavuus	DFA mukaisesti	Ei hitsausliitoksia

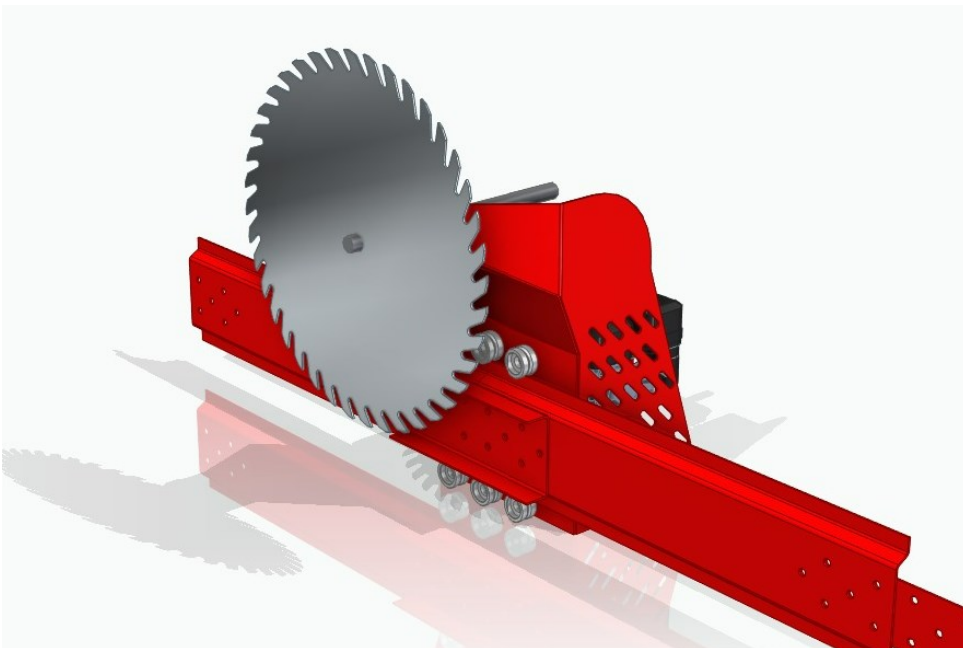
6.2 Konseptisuunnittelu

Sahayksiköstä hahmoteltiin kaksi tuotekonseptia. Ensimmäisessä versiossa (kuva 35, 36) sahayksikkö kulki vain rungon toiseen puoleen kiinnitettynä, tuettuna pitkittäiseen runkoprofiliin sen ylä- ja alareunasta kiskopyörillä. Lisäksi sahayksikköä tuettiin kartionmuotoisilla

kiskopyörillä pitkittäisen runkoprofiilin sivusta. Voimansiirto moottorilta teräkselille olisi toteutettu suoralla hihnavedolla. Tässä konseptissa pitkittäisen runkoprofiilin poikkileikkaus oli erilainen kuin se, millä prototyyppi toteutettiin.



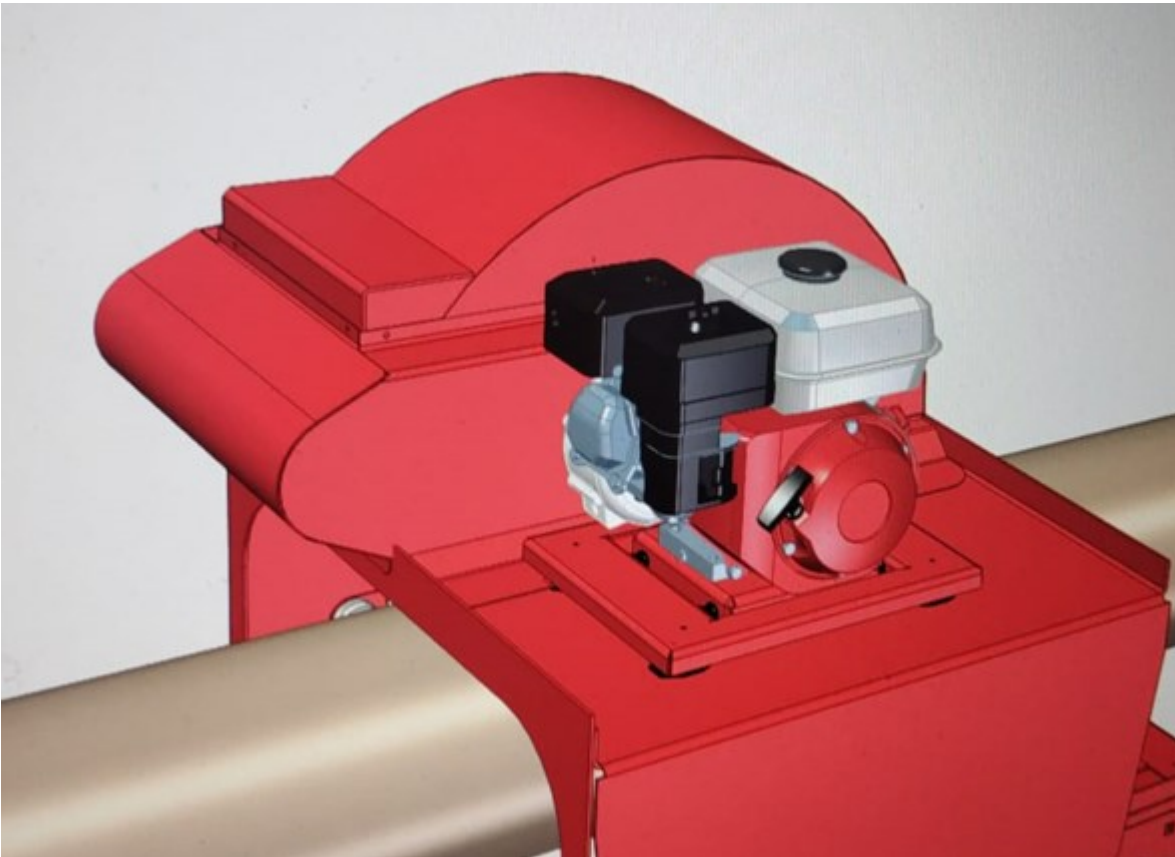
Kuva 35. Sahayksikön ensimmäisen konseptin luonnos



Kuva 36. Sahayksikön ensimmäinen konsepti

Toisessa versiossa (kuva 37) sahayksikkö oli tuettu pitkittäiseen runkoprofiiliin molemmilta puolilta. Moottori sijoitettiin sahayksikön päälle, ja voimansiirto moottorilta teräkselille toteutettiin välitysakselin kautta terän ohitse. Välitysakselia käyttämällä hihnapyörät saatiin sijoiteltua siten, etteivät ne vie terän vieressä tilaa ja pienennä sahauskapasiteettia.

Jatkokehitykseen valittiin molemmilta puolilta runkoon tuettu versio. Valinta tehtiin, koska katsottiin kyseisen ratkaisun olevan valmistusystävällisempi, koska se voitaisiin toteuttaa pienemmällä osanimikkeiden määrällä hyödyntämällä osien symmetrisyyttä. Valitun version arvioitiin olevan myös yksinkertaisempi kokoonpanna ilman hitsausliitoksia, eikä se tarvitsisi niin paljon koneistettavia osia kuin ensimmäinen versio. Molemmilta puolilta tuetun sahayksikön arvioitiin olevan myös tukevampi, ja sillä saisi sahattua tarkemmin.



Kuva 37. Jatkokehitykseen valittu sahayksikön konsepti

6.3 Tarvittavan tehon määrittäminen ja moottorin valinta

Sahan tarvitsema teho määriteltiin markkinoilla olevien pöytäsiirkelien teknisiä tietoja hyödyntäen. Tavoitteena oli selvittää keskiarvo tehon ja sahauskapasiteetin suhteesta, jotta sitä voitaisiin käyttää työssä suunniteltavan sahan tehotarpeen määrittämisessä. Vertailtavista

sahoista kirjattiin ylös ilmoitettu sahauskapasiteetti ja teho, ja molemmista arvoista laskettiin keskiarvo sekä mediaani (taulukko 5). Tehon suhde saatiin jakamalla teho sahauskapasiteetilla. Suunniteltavan sahan sahauskapasiteetti kertomalla tulokseksi saadulla tehon suhteella saatiin tarvittava teho. Tarvittava teho laskettiin tehon suhteen keskiarvolla sekä mediaanilla (taulukko 6).

Taulukko 5. Vertailussa tutkitut sahat (IKH, i.a.; K-Rauta, i.a.; Kärkkäinen, i.a.)

Nimi	Sahauskapasiteetti (mm)	Teho (kW)	Teho-sahauskapasiteetti suhde (kW/mm)
Bernardo FKS 1250 N - 230 V levysirkkeli	80	1,9	0,0238
Bernardo TK 200 PRO pöytäsaaha	60	1,5	0,0250
Bernardo TK 200 RN pöytäsaaha	55	1,1	0,0200
PÖYTÄSIRKKELE (TARKKUUS) 254MM 400V WOODTEC	75	2,6	0,0347
RAKENNUSSIRKKELE 500MM 400V/4,2KW 103KG	157	4,2	0,0268
RAKENNUSSIRKKELE 2,8KW 400V 315MM LIUKUPÖYTÄ	83	2,8	0,0337
RAKENNUSSIRKKELE 2,2KW 230V 315MM LIUKUPÖYTÄ	83	2,2	0,0265
Pöytäsaaha Scheppach HS100S 230V 2,0kW	85	2	0,0235
Rakennussaha Scheppach TS310 400V 2,8kW	83	2,8	0,0337
Rakennussaha Scheppach TS310 230V 2,2kW	83	2,2	0,0265
Pöytäsaaha Scheppach HS105 230V 2,0kW	75	2	0,0267
Rakennussaha Scheppach Tisa 3.0 400V 3,0kW	82	3	0,0366
Keskiarvo	83,42	2,36	0,0281
Mediaani	82,5	2,2	0,0266

Taulukko 6. Tarvittava teho

Suunniteltavan sahan sahauskapasiteetti	280 mm
Tarvittava teho vertailtavien sahojen keskiarvon mukaan	7,9 kW
Tarvittava teho vertailtavien sahojen mediaanin mukaan	7,4 kW

Saatu tulos vaikutti uskottavalta ja todenmukaiselta, vaikka vertailussa olleet sahat eivät ole rakenteeltaan ja käyttötarkoitukseltaan täysin samanlaisia. On huomioitava, että vertailussa käytetyt sirkkelit on tarkoitettu valmiin sahatavaran sahaamiseen. Valmis sahatavara on kuivattua, ja suunniteltava saha olisi tarkoitettu tuoreen puun sahaamiseen. Puun kosteus vaikuttaa puun lujuusteknisiin ominaisuuksiin (Puuinfo, i.a.-d). Kuivalla puulla on tuoretta puuta paremmat lujuusominaisuudet. Tämän takia voidaan olettaa, että tuoreen puun sahaamisessa riittää pienempi teho. Tarkempaa ja yksityiskohtaista laskemista ei nähty tarpeelliseksi, sillä valmis tuote olisi kuitenkin prototyyppi.

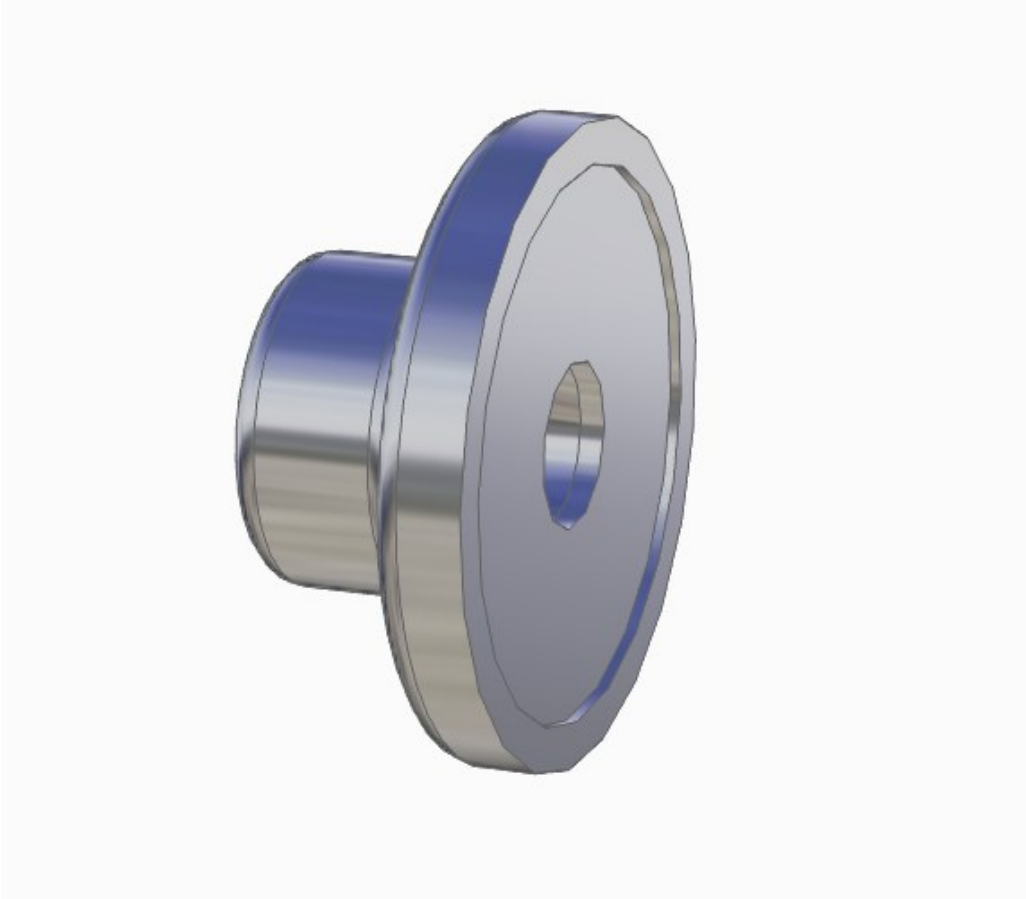
Sahaan sopivaa polttomoottoria etsittiin moottorivalmistaja Hondan mallistosta. Lähimmäksi haluttua 7,4 kW tehoa päästäisiin Hondan GX340 moottorilla, jonka ilmoitettu nettoteho on 8 kW (Honda engines, i.a.). Toinen vaihtoehto moottoriksi olisi pienempitehoinen GX270, jonka ilmoitettu nettoteho on 6,3 kW. Sahan kone-elimet mitoitettiin suurimman mahdollisen käytettävän tehon mukaisesti. Sahan runkorakenteessa huomioitiin kuitenkin myös

pienemmän, GX240 mallisen moottorin asennus, sillä prototyyppi tultaisiin kustannussyistä valmistamaan pienellä moottorilla.

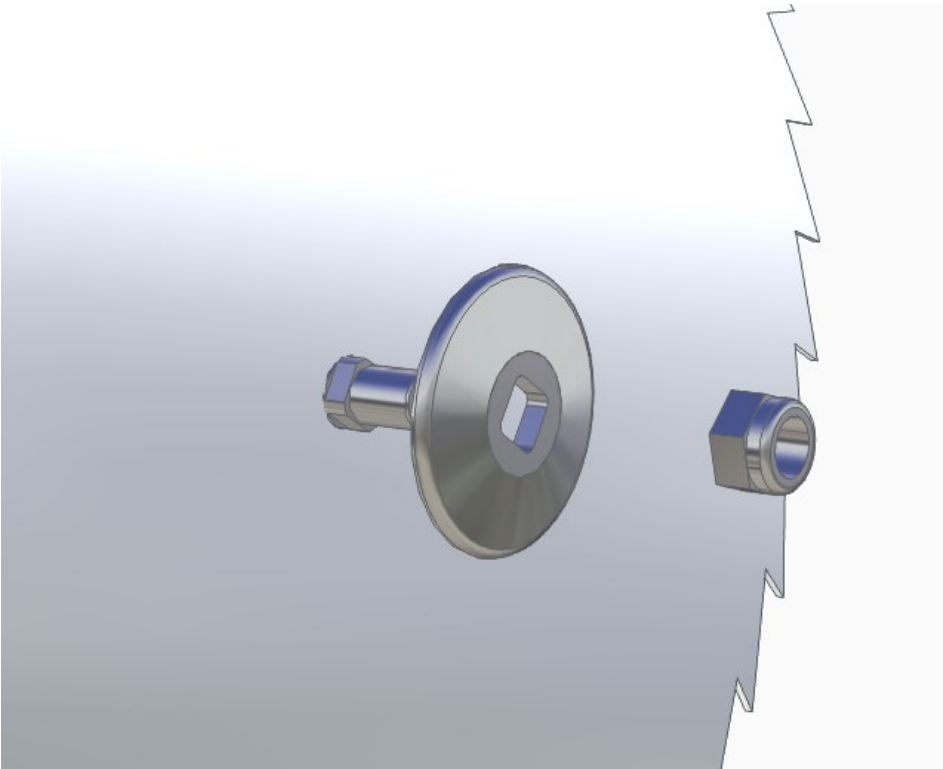
6.4 Terän kiinnitys

Kenttäsiirrelin terän kiinnityksen suunnittelua on ohjeistettu standardissa SFS-EN 1870-7 (Suomen Standardisoimisliitto (SFS), 2012, s. 24–25). Standardin mukaan kenttäsiirrelin terän kiinnitykseen käytettävien laippojen tulee olla riittävän kokoisia, ja terän kiinnitys tulee toteuttaa siten, ettei terä pääse löystymään käytön aikana. Terän ja teräakselin välillä tai etummaisena terän kiinnityslaipan ja teräakselin välillä tulee olla yhteys, joka estää terän irtoamisen. Terän kiinnityslaippojen ulkohalkaisijan tulee olla vähintään yksi kuudesosa suurimman koneessa käytettävän terän halkaisijasta. Kiinnityslaippojen ulkokehällä olevan puristuspinnan (kuva 38) tulee olla vähintään 5 % kiinnityslaipan halkaisijasta, mutta kuitenkin vähintään 5 mm.

Terän kiinnityksen varmistus toteutettiin teräakselin ja terän etummaisena kiinnityslaipan välillä muotosulkeisella liitoksella (kuva 39). Muotosulkeisessa liitoksessa momentti siirtyy kehän suuntaisen pintapaineen ja leikkausjännityksen avulla (Blom ym., 1999, s. 93). Tämä mahdollistaa sen, että terän sisempi kiinnityslaippa ei pääse pyörimään eri nopeutta teräakselin kanssa ja täten aiheuttamaan terän kiinnitysmutterin löystymistä ja terän irtoamista.



Kuva 38. Taaempi terän kiinnityslaippa



Kuva 39. Etummainen terän kiinnityslaippa

Terälaipan liitos teräakseliin toteutettiin kitkakartioliitoksella (kuva 41). Kartioliitos kuuluu kitkasulkeisten akseliliitosten ryhmään (Blom ym., 1999, s. 93, 112–113). Kitkasulkeisessa liitoksessa pyritään saamaan akselin ja navan välille riittävän suuri pintapaine, joka mahdollistaa momentinsiirron kitkavoiman avulla. Kartioliitoksessa riittävä pintapaine kappaleiden välille saadaan aikaiseksi liitettävien kappaleiden akselin suuntaisella esikiristysvoimalla. Yleinen kartion kärkikulma (kuva 40) kartioliitoksissa on $5,724^\circ$, joka vastaa kartiota 1:10.

Kartiokkuus C saadaan kaavasta (Blom ym., 1999, s. 113)

$$C = \frac{(D-d)}{L} \quad (11)$$

missä

- D on kartion isompi halkaisija
- d on kartion pienempi halkaisija
- L on halkaisijoiden välinen etäisyys akselin suunnassa

Liitoksen momentinsiirtokyvyn tarkistamista varten laskettiin pintapaineen p_F suuruus liitoksessa kaavasta (Blom ym., 1999, s. 113)

$$p_F = \frac{F_V}{D_F \times \pi \times l_F \times \tan(\alpha/2 + \varrho)} \quad (12)$$

missä

- F_V on ruuvin esikiristysvoima
- D_F on kartio-osan keskihalkaisija $D - C \cdot L/2$
- l_F on kantava pituus liitoksessa
- ϱ on kitkakulma, voidaan käyttää arvoa $0,12$
- α on kartion kärkikulma

Esikiristysvoimana käytettiin valitun kiinnitysmutterin koon mukaista taulukkoarvoa. Tulokseksi saatu pintapaine 115 MPa ei ylitä suurinta sallittua pintapainetta, joka on teräksisille liitospinnoille 150 MPa (Blom ym., 1999, s. 94).

Kartioliitoksen momentinsiirtokyky T saadaan kaavasta (Blom ym., 1999, s. 113)

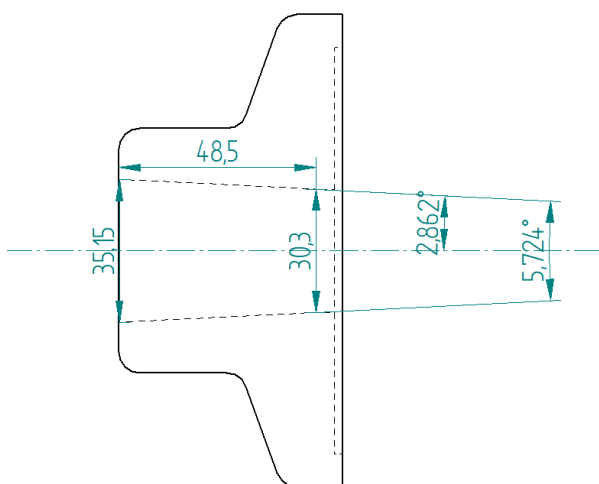
$$T = \frac{\pi \times D_F^2 \times l_F \times v \times p_F}{2 \times S_r} \quad (13)$$

missä

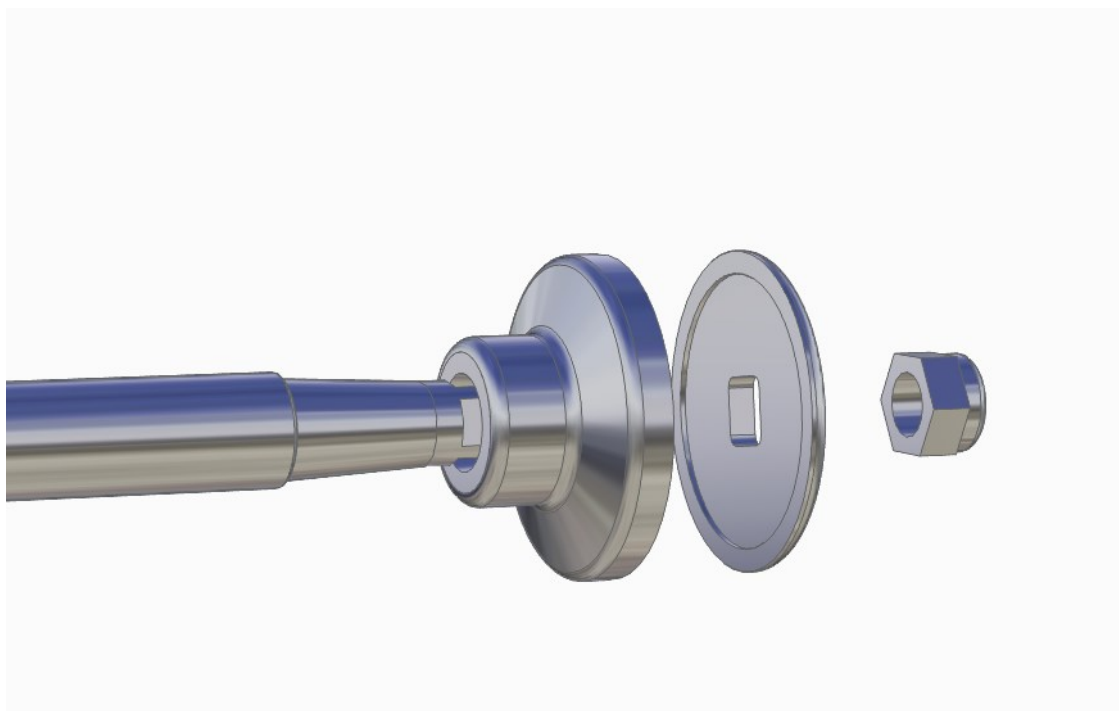
v on radiaalinen liukukerroin

S_r on varmuus liukumiseen nähden

Liitoksen momentinsiirtokyvyksi saatiin noin 370 Nm, joka voidaan katsoa riittäväksi.



Kuva 40. Kartiokulma 1:10



Kuva 41. Teräkseli

6.5 Hihnamitoitus

Kun voimanlähteeltä välitettävä teho oli tiedossa, voitiin mitoittaa tehonsiirtoon käytetyt kiilahiinat. Tehonsiirto haluttiin toteuttaa hihnalla, koska tehonsiirtomenetelmänä hihnakäyttö on edullinen, hiljainen, helposti huollettava, ei tarvitse voitelua ja mahdollistaa myöhemmin välityssuhteen muuttamisen helposti (Blom ym., 1999, s. 234).

Hihnavälitykset mitoitettiin alennusvaihteen ja välitysakselin sekä välitysakselin ja teräkselin välille. Hihnavälityksen tehtävänä oli välittää teho moottoriin kiinnitetyltä alennusvaihteelta teräkselille ja samalla alentaa pyörimisnopeus sahanterälle sopivaksi (kuva 43). Suurimmaksi sallituksi pyörimisnopeudeksi valitulle sahanterälle on ilmoitettu 1400 kierrosta minuutissa. Mitoitus alkoi välityssuhteiden laskemisella. Pyörimisnopeus alennettiin ensin välitysakselille, josta se alennettiin vielä teräkselille.

Tarvittava välityssuhde i saadaan kaavasta (Blom ym., 1999, s. 237)

$$i = \frac{n_1}{n_2} \quad (14)$$

missä

n_1 on nopeamman akselin pyörimisnopeus

n_2 on hitaamman akselin pyörimisnopeus

Tavoiteltavien pyörimisnopeuksien mukaan laskettiin välityssuhteet, joilla toivottu välitys saataisiin (taulukko 7). Toteutunut välityssuhde poikkesi tavoitteesta, sillä välitys toteutettiin käytämällä helposti saatavilla olevia standardikokoisia hihnapyöriä. Käytettävät välityssuhteet valittiin siten, että kokonaisvälityssuhde ei pienene tavoitellusta välityssuhteesta. Välityssuhteen pienenessä terän kierrosnopeus kasvaisi yli sallitun.

Hihnapyöräparin välityssuhteen laskemiseksi käytettiin yleistä toistensa suhteen samalla kehänopeudella pyörivien pyörien kaavaa (Blom ym., 1999, s. 249)

$$i = \frac{D_2}{D_1} \quad (15)$$

missä

D_2 on käytettävän pyörän halkaisija

D_1 on käytettävän pyörän halkaisija

Sarjaan liitettyjen välitysten kokonaisvälityssuhde saadaan kertomalla osavälityssuhteet keskenään (Blom ym., 1999, s. 250).

Taulukko 7. Välityssuhteet

Saatu pyörimisnopeus (n_1)	1 800	r/min
Tavoite pyörimisnopeus (n_2)	1 400	r/min
Toteutuu välityssuhteella (i)	1,29	
Alennusvaihte-välitysakseli		
Pienempi hihnapyörä (d)	132	mm
Isompi hihnapyörä (D)	150	mm
Välityssuhde i_1 (D/d)	1,14	
Välitysakseli-teräkseli		
Pienempi hihnapyörä (d)	180	mm
Isompi hihnapyörä (D)	212	mm
Välityssuhde i_2 (D/d)	1,18	
Toteutuva kokonaisvälityssuhde ($i_1 \cdot i_2$)		
Toteutuva pyörimisnopeus teräkseli	1 345	r/min
Toteutuva pyörimisnopeus väliakseli	1 584	r/min

Oikean hihnaprofiilin valintaan tarvitaan suunnitteluteho ja pyörimisnopeus (SKS-mekaniikka, i.a., s. 25). Suunnitteluteho saadaan kertomalla vaadittava teho käyttökertoimella. Käyttökerroin riippuu hihnan käyttökohteesta, ja sille on olemassa valmiita taulukkoarvoja (SKS-mekaniikka, i.a., s. 24). Jatkuvassa käytössä olevalle yksisylinterisen polttomoottorin käyttämälle sahateollisuuskoneelle käyttökertoimeksi suositellaan arvoa 1,6. Jatkuvan käytön käyttökerroimia suositellaan käytettäväksi aina, kun käytettävänä koneena on polttomoottori. Jos käytettävä kone toimii kuormituksen ääriarjoilla, käyttökertoimeksi suositellaan arvoa 2,0. Koska sahan oletetaan toimivan kuormituksen ääriarjoilla, käyttökertoimeksi valitaan arvo 2,0.

Suunnittelutehon ja nopeamman akselin pyörimisnopeuden perusteella valintanomogrammista valittiin oikea hihnaprofiili (SKS-mekaniikka, i.a., s. 26) Suunnittelutehon ollessa 16 kW ja välitysten nopeampien akselien pyörimisnopeuksien ollessa 1 800 r/min ja 1 584 r/min hihaksi sopisi XPZ/SPZ-profiilin hihnat mutta myös XPA/SPA-profiilin hihnat. Mikäli suunnittelutehon ja pyörimisnopeuden mukaan taulukosta tarkasteltu kohta on eri hihnaprofiilien rajalla,

voidaan hihnäkäyttö tehdä kummallakin profiililla (SKS-mekaniikka, i.a., s. 25). Hihnaprofiiliksi valittiin XPA-profiilin hihna, sillä molemmat välitykset haluttiin toteuttaa samaa profiilia käyttämällä, ja se soveltui hyvin molemmille välityksille. Lisäksi XPA-profiilin hihnalla on parempi tehonsiirtokyky kuin SPA-ihnalla (SKS-mekaniikka, i.a., s. 50, 58). Paremman tehonsiirtokyvyn takia välitys on mahdollista toteuttaa pienemmällä hihnojen lukumäärällä.

Vaadittava hihnojen lukumäärä saadaan kaavasta (SKS-mekaniikka, i.a., s. 50–51)

$$\frac{P_s}{(A+B+C) \times G \times C_L} \quad (16)$$

missä

- P_s on suunnitteluteho (kW)
- A on tehonsiirtokyky hihnaa kohden (taulukko arvo)
- B on välityssuhteesta aiheutuva lisäteho hihnaa kohden (taulukko arvo)
- C on hinnan käyttöiästä riippuva lisäteho hihnaa kohden
- G on kosketuskulman korjauskerroin
- C_L on hinnan pituuden korjauskerroin (taulukko arvo)

Hinnan käyttöiästä riippuva lisäteho C lasketaan 6 000 tunnin käyttöiälle kaavasta (SKS-mekaniikka, i.a., s. 50)

$$C = \frac{d \times 1/\text{min}}{202922} \quad (17)$$

missä

- d on pienemmän pyörän jakohalkaisija (mm)
- $1/\text{min}$ on pienemmän pyörän kierrosnopeus (r/min)

Kosketuskulman korjauskerroin G on taulukkoarvo, joka valitaan isomman ja pienemmän hihnapyörän erotuksen ja akselivälin suhteesta (SKS-mekaniikka, i.a., s. 51).

Kosketuskulman korjauskertoimen määrittämiseen tarvittava arvo saadaan kaavasta

$$\frac{D-d}{A} \quad (18)$$

missä

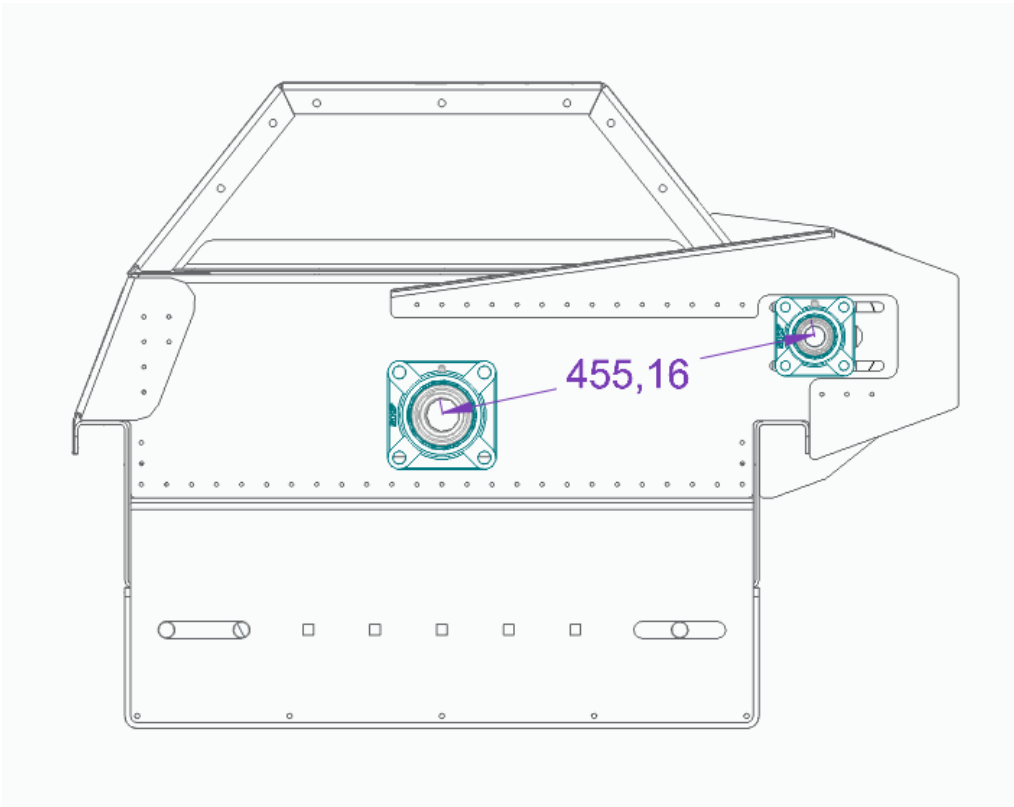
- D on isomman hihnapyörän jakohalkaisija
- d on pienemmän hihnapyörän jakohalkaisija
- A on hihnapyörien akseliväli

Laskennallisesti riittävän hihnojen lukumäärän ollessa murtoluku, se pyöristetään seuraavaan kokonaiseen lukuun (SKS-mekaniikka, i.a., s. 33). Molemmat välitykset voidaan toteuttaa kahta XPA-hihnaa käyttämällä. Tarvittava hihnan jakopituus selvitettiin käyttämällä apuna Laakerinetin sivulta löytynyttä hihnalaskuria (Laakerinetti, i.a.-a). Hihnan jakopituuden määrittämiseksi tarvittavat akselivälit tarkistettiin CAD-mallista (kuva 42). Hihnat valittiin standardikokoisista hihnoista (SKS-mekaniikka, i.a., s. 10–11), joiden pituus oli lähimpänä laskurilla saattua tulosta (taulukko 8).

Taulukko 8. Hihnojen määrän laskentaan käytetyt arvot

Alennusvaihte-välityks akseli		Välityks akseli-teräks akseli	
Pienempi hihnapyörä (d)	132 mm	Pienempi hihnapyörä (d)	180 mm
Isompi hihnapyörä (D)	150 mm	Isompi hihnapyörä (D)	212 mm
Akseliväli	375 mm	Akseliväli	455 mm
D-d/A	0,048	D-d/A	0,07
Välityssuhde	1,14	Välityssuhde	1,18
Nopeamman akselin kierrosnopeus	1 800 r/min	Nopeamman akselin kierrosnopeus	1584 r/min
Siirrettävä teho	8 kW	Siirrettävä teho	8 kW
Käyttökerroin	2	Käyttökerroin	2
Suunnitteluteho	16 kW	Suunnitteluteho	16 kW
A	7,74	A	10,84
B	0,23	B	0,25
C (kestoikä 6 000 h)	1,170893	C (kestoikä 6 000 h)	1,405072
G	1	G	0,995
CL	0,89	CL	0,935
Vaadittu hihnojen määrä	1,97 kpl	Vaadittu hihnojen määrä	1,38 kpl
Laskennallinen hihnan jakopituus	1193 mm	Laskennallinen hihnan jakopituus	1526 mm
Lähin standardikokoinen hihna	XPA 1207	Lähin standardikokoinen hihna	XPA 1532

Hihnojen asentamista ja kiristämistä varten akselille suositellaan säätövaraa akselille (SKS-mekaniikka, i.a., s. 33–34). Asennus- ja säätövaralle on suositeltuja minimiarvoja, jotka riippuvat käytettävästä hihnaprofiilista sekä hihnan jakopituudesta. Sahayksikössä käytettäville jakopituuksille ja hihnaprofiilille suositellaan asennusvaraksi vähintään 25 mm ja kiristysvaraksi vähintään 35 mm.



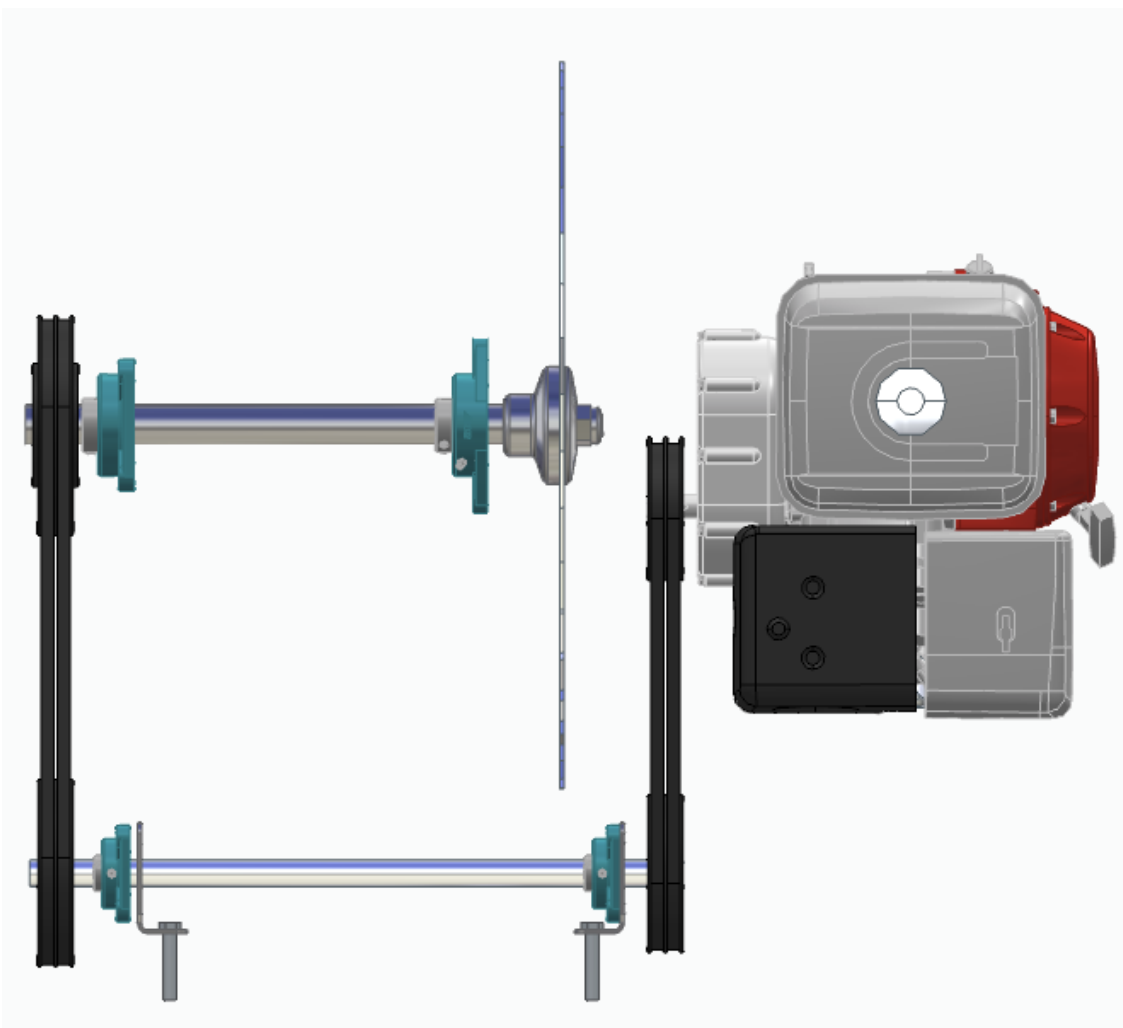
Kuva 42. Hihnapyörien akselivälin tarkistus

Hihnapyörät kiinnitettiin akseleihin kartiokiinnitysholkeilla. Kartiokiinnitysholkit voidaan asettaa akseliin kiilan kanssa tai ilman (Laakerinetti, i.a.-b). Ilman kiilaa asennettuna momentinvälityskyky on pienempi kuin kiilan kanssa. Kartiokiinnitysholkit valittiin käytettävälle hihnapyörälle ja vaaditun paksuiselle akselille sopivaksi. Kiristysholkit suositellaan mitoittavaksi valmistajan ohjeiden mukaan (Blom ym., 1999, s. 177). Myyjän ilmoittamat momentinvälityskyvyt ilman kiilaa (Laakerinetti, i.a.-b) kirjattiin ylös, ja niitä verrattiin koneen laskennallisiin vääntömomenteihin. Siirrettävän vääntömomentin laskentaan sovellettiin akselien mitoituksessa käytettyä (kaava 21) laskentavääntömomentin kaavaa (Blom ym., 1999, s. 282).

Laskennalliset siirrettävät momentit alittivat ilman kiilaa asennettujen kartiokiinnitysholkkien ilmoitetun momentinvälityskyvyn, joten niiden käyttö ilman kiilaa on mahdollista (taulukko 9). Työvaiheiden ja osamäärän vähentämiseksi liitos haluttiin toteuttaa ilman kiiloja. Kiilojen käyttö olisi vaatinut kiilaurien koneistamisen akseleihin.

Taulukko 9. Kartiokiinnitysholkkien tarkastus

	Välitysakseli	Teräkseli	
Kierrosnopeus	1 584	1 345	r/min
	26,4	22,4	r/s
Kulmanopeus	165,9	140,8	rad/s
Siirrettävä nimellisteho	8 000	8 000	W
Käyttökerroin	2	2	
Siirrettävä vääntömomentti	96,5	113,6	Nm
Käytettävä kartiokiinnitysholkki	2012-25	2517-40	
Ilmoitettu momentivälityskyky ilman kiilaa	187	412	Nm



Kuva 43. Koneisto

6.6 Akselimitoitus

Koneistoon kuuluu kaksi akselia, teräkseli ja välitysakseli. Teräkseli on laakeroitu sahayksikön runkoon, ja sen päähän on kiinnitetty sahanterä ja toisessa päässä kiilahihnapyörä. Välitysakseli on laakeroitu sahayksikön etuosaan, ja sen molemmissa päissä on

kiilahihnapyörät. Välityksakselin tehtävänä on välittää teho moottorilta teräkselillä ja mahdollistaa kiilahihnojen kiristäminen. Tässä työssä esitellään välityksakselin mitoitus.

Pyörivää akselia kuormittaa taivutusmomentti ja vääntömomentti (Blom ym., 1999, s. 281). Pyörivä tehonsiirtoakseli on dynaamisesti kuormitettu ja siihen kohdistuu suunnitellun kestoajan aikana useita satoja tai tuhansia miljoonia kuormituskertoja (Ranta, 2014, s. 31). Parhaaksi mitoitusmenetelmäksi tällaisille rakenteille voidaan katsoa mitoitus väsymisrajaan nähden äärettömän pitkälle kestoajalle (Ranta, 2014, s. 28, 30–31). Akselin mitoittaminen äärettömän pitkälle kestoajalle tarkoittaa sen mitoittamista Wöhler-käyrän vaakasuoralle osuudelle. Wöhler-käyrä on materiaalikohtainen väsytykskokeisiin perustuva kaavio, joka ilmaisee materiaalin jännityksen keston suhteessa sen kuormituskertoihin. Mitoitus väsymisrajaan nähden on vanhin ja yleisimmin käytetty menetelmä väsyttävästi kuormitettuja rakenteita suunniteltaessa.

Vakiovoimalla kuormitettua pyörivää akselia väsyttää harmoninen dynaaminen kuormitus (Ranta, 2014, s. 20–21). Kuormitustapauksena puhutaan vaihtokuormituksesta. Jos akselissa on lovia, uria tai muita kappaleen geometrisiä epäjatkuvuuksia, on ne huomioitava akselia mitoittaessa (Blom ym., 1999, s. 281; Ranta, 2014, s. 36). Lovet ja muut tasapaksusta akselista poikkeavat piirteet aiheuttavat kohdalleen jännityshuippuja.

Kappaleen murtumiseen staattisessa tilanteessa johtaa kuormituksen aiheuttaman kappaleen sisäisen jännityksen nousemisen kappaleen murtorajan yli (Pennala, 1998, s. 343). Murtumaan johtaa kuitenkin myös murtorajaa alhaisempi jännitys, mikäli se toistuu tarpeeksi monta kertaa tarpeeksi lyhyessä ajassa. Taivutusmomentin kuormittaessa pyörivää akselia, jännitys sen pinnalla kierroksen aikana vaihtelee kohdistuvan jännityksen, nollan, kohdistuvan jännityksen negatiivisen arvon ja nollan välillä (Pennala, 1998, s. 346). Suurin jännitys, millä akseli kestää loputtomiin vaihtokuormitusta, on materiaalikohtainen kokeellisesti mitattu taivutusvaihtolujuus. Vaihtolujuuteen vaikuttaa materiaalin lisäksi myös kappaleen koko, käyttöympäristö, luotettavuuskerroin ja pinnanlaatu (Pennala, 1998, s. 354; Ranta, 2014, s. 31).

Akselin mitoitusta varten selvitettiin akselissa käytetyn materiaalin suurin sallittu jännitys ja akseliin kohdistuvat kuormitukset. Mitoitus alkoi laskemalla valitulle akselimateriaalille suurin sallittu jännitys, jonka se kestäisi murtumatta. Akselin materiaalina käytettiin 42CrMo4-nuorrutusterästä. Nuorrutusteräkset kestävät hyvin väsytystä, ja niitä käytetään usein akseleiden ja muiden koneenosien materiaalina. (Kleimola, 2014b, s. 95). Nuorrutusteräksissä

taivutusvaihtolujuuden suuntaa antavana arvona voidaan pitää puolta materiaalin murtorajasta. Mitoituksessa voidaan käyttää myös taulukkoarvoja (Blom ym., 1999, s. 281–283). 42CrMo4-nuorrutusteräkselle on ilmoitettu taivutusvaihtolujuuden arvoksi 540 MPa.

Akselin väsymislujuus σ_D siihen vaikuttavat kertoimet huomioiden saadaan kaavasta (Ranta, 2014, s. 32)

$$\sigma_D = k_1 k_2 k_3 k_4 k_5 \sigma_{D0} \quad (19)$$

missä

- k_1 on pinnanlaadun kerroin
- k_2 on kappaleen koon kerroin
- k_3 on luotettavuuden kerroin
- k_4 on lämpötilakerroin
- k_5 on jännityshuippukerroin
- σ_{D0} on nimellinen väsymislujuus

Usein laskennassa käytetään vain pinnanlaadun ja kappaleen koon kertoimia (Ranta, 2014, s. 32). Varmuuskertoimen määrittämiseen käytetään usein väsymislujuuspiirrosta. Koska mitoitettava akseli oli sileä, ja sen mitoitus tehtiin yksinkertaisesti, ei väsymislujuuspiirrokseen ja sen käyttämiseen työssä perehdytty. Varmuuskerroin huomioitiin ottamalla se mukaan akselin väsymislujuutta laskiessa. Akselin kokokerroimen määrittämiseksi käytettävän akselin halkaisijaksi arvioitiin 25 mm, josta kokokerroimeksi saatiin noin 0,87 (Pennala, 1998, s. 354). Pinnanlaatukerroimeksi arvioitiin 0,75. Luotettavuuskertoimena käytettiin arvoa 0,753, joka vastaa 999 % luotettavuutta (Ranta, 2014, s. 36). Käytettyjen kertoimien mukaan suurimmaksi sallituksi jännitykseksi valitulle 42CrMo4 akselille saatiin 265,3 MPa (Taulukko 10).

Taulukko 10. Suurin sallittu jännitys

Taivutusvaihtolujuus		540	MPa
Pinnanlaadun kerroin	k_1	0,75	
Kokokerroin	k_2	0,87	
Luotettavuuskerroin	k_3	0,753	
Suurin sallittu jännitys		265,3	MPa

Akseliin kohdistuvat jännitykset katsottiin aiheutuvan kiilahihnojen kiristämiseen käytettävän voiman ja hihnapyörän ja laakerin välisen akselin suuntaisen etäisyyden aiheuttamasta

taivutusmomentista, sekä siirrettävän tehon aiheuttamasta vääntömomentista. Akselin mitoituksessa käytetyt arvot on esitetty taulukossa 11.

Hihnalle sopiva kiristysvoima saadaan kertomalla hihnaa kuormittava vetävä voima arvolla 1,5 (Blom ym., 1999, s. 236–237).

Hihnaa kuormittava vetävä voima F saadaan johtamalla kaavasta (Blom ym., 1999, s.236)

$$P = F \times v \quad (20)$$

missä

- P on siirrettävä teho
- v on hinnan nopeus

Taivutusmomentin laskemista varten hihnapyörien etäisyydet tarkistettiin CAD-mallista. Kuormitustapauksena tilanne arvioitiin toisesta päästä kiinteästi kiinnitetyksi palkiksi, jota kuormitetaan palkin ääripäästä (Pennala, 1998, s. 105). Kyseisessä tilanteessa suurin vaikuttava taivutusmomentti saadaan kertomalla vaikuttava voima sen etäisyydellä palkin kiinnityspisteestä.

Laskennassa käytettävä siirrettävä vääntömomentti T saadaan kaavasta (Blom ym., 1999, s. 282)

$$T = \frac{K_a \times P_{nim}}{\omega} \quad (21)$$

missä

- P on käyttöteho
- ω on kulmanopeus
- K_a on kuormituskerroin

Kuormituskertoimeksi katsotaan soveltuvan tavanomaiset käyttökertoimet (Blom ym., 1999, s. 294). Käyttökerroin (taulukko 13) riippuu kuormituksen tasaisuudesta, johon vaikuttaa käytettävä kone ja sitä käyttävä moottori. Kohteeseen parhaiten soveltuvaksi käyttökertoimeksi valitaan arvo 2,0. Teho on tällöin sama, jota käytettiin hihnavälityksen mitoituksessa.

Yhdistetty taivutusmomentti saadaan kaavasta (Valtanen, 2019, s. 278)

$$M_{ti} = \sqrt{M_t^2 + M_v^2} \quad (22)$$

missä

M_t on suurin taivutusmomentti

M_v on suurin vääntömomentti

Taulukko 11. Akselimitoituksen arvot

Välitys akseli (moottorin puoli)			Välitys akseli (teräkselin puoli)		
Siirrettävä nimellisteho	8 000	W	Siirrettävä nimellisteho	8 000	W
Käyttökerroin	2		Käyttökerroin	2	
Siirrettävä teho	16 000	W	Siirrettävä teho	16 000	W
Akselin kierrosnopeus	1 584	r/min	Akselin kierrosnopeus	1 584	r/min
	26,4	r/s		26,4	r/s
Kulmanopeus	165,9	rad/s	Kulmanopeus	165,9	rad/s
Samana akselin hihnapyörän jakohalkaisija	150	mm	Samana akselin hihnapyörän jakohalkaisija	180	mm
Hihnanopeus	12,4	m/s	Hihnanopeus	14,9	m/s
Siirrettävä vääntömomentti	96,5	Nm	Siirrettävä vääntömomentti	96,5	Nm
Hihnaa kuormittava vetävä voima	1 286,2	N	Hihnaa kuormittava vetävä voima	1 071,8	N
Hihnan kiristysvoima	1 929,3	N	Hihnan kiristysvoima	1 607,7	N
Hihnapyörän ja laakerin välinen etäisyys	0,078	M	Hihnapyörän ja laakerin välinen etäisyys	0,074	M
Hihnan kiristymisen akselille aiheuttama taivutusmomentti	150,5	Nm	Hihnan kiristymisen akselille aiheuttama taivutusmomentti	119,0	Nm

Akselin vähimmäishalkaisija d laskettiin kaavalla (Valtanen, 2019, s. 278)

$$d = \sqrt[3]{\frac{32 \times M_{ti}}{\pi \times \sigma_i}} \quad (23)$$

missä

M_{ti} on yhdistetty taivutusmomentti

σ_i on sallittu jännitys

Akselin halkaisijaksi saatiin 19 mm (taulukko 12). Saatua tulosta lähinnä olevin järkevä akselikoko olisi ollut 20 mm, mutta akselin halkaisijaksi kuitenkin valittiin 25 mm. Isompaan akseliin päädyttiin, sillä se mahdollistaa jouston tulevaisuudessa tuotteen kehityksessä. Esimerkiksi akselimateriaalin tai voimansiirron muutokset voidaan tietyissä rajoissa toteuttaa tekemättä akselille tai sen tuennalle muutoksia.

Taulukko 12. Akselin halkaisija

Suurin sallittu jännitys	265 319 550,0	Pa
Yhdistetty taivutusmomentti	178,7	Nm
Akselin halkaisija	0,0190	m
	19,0	mm

Taulukko 13. Sysäyskertoimia (perustuu Blom ym., 1999, s. 294)

Kuormitus	Työkone	Käyttömoottori		
		Polttomoottori 1... 3- sylinterinen	Polttomoottori 4... 6- sylinterinen	Sähkömoottori
Tasainen	keskipakopumput, neste sekoittimet, generaattorit	1,5... 2,5	1,3... 2,0	1,2... 1,5
Epätasainen	Työstökoneet, sekoittimet, generaattorit, nostolaitteet	2,0... 3,0	1,6... 2,5	1,4... 2,0
Iskumainen	Mäntäpumput, vintturit, kompressorit, lävistimet, leikkurit, lingot	2,5... 4,0	2,0... 3,0	1,6... 2,5
Erittäin iskumainen	murskaimet, puristimet, raskaat rullaradat, tärastimet	3,0... 5,0	2,5... 4,0	2,0... 3,5

6.7 Laakereiden valinta

Laakereita käytetään pyörivien ja edestakaisin kiertyvien koneenosien tukemiseen ja ohjaukseen (Blom ym., 1999, s. 121–122; Salonen, 2014, s. 274). Laakerointia suunniteltaessa on tärkeää valita oikea laakerointitapa.

Laakerointia suunniteltaessa (Salonen, 2014, s. 274) on huomioitava

- kuormitustilanne
- käytettävissä oleva tila
- lämpötila
- voitelun toteuttaminen
- värinä
- tarkkuusvaatimukset
- huollettavuus
- aiheutuva melu

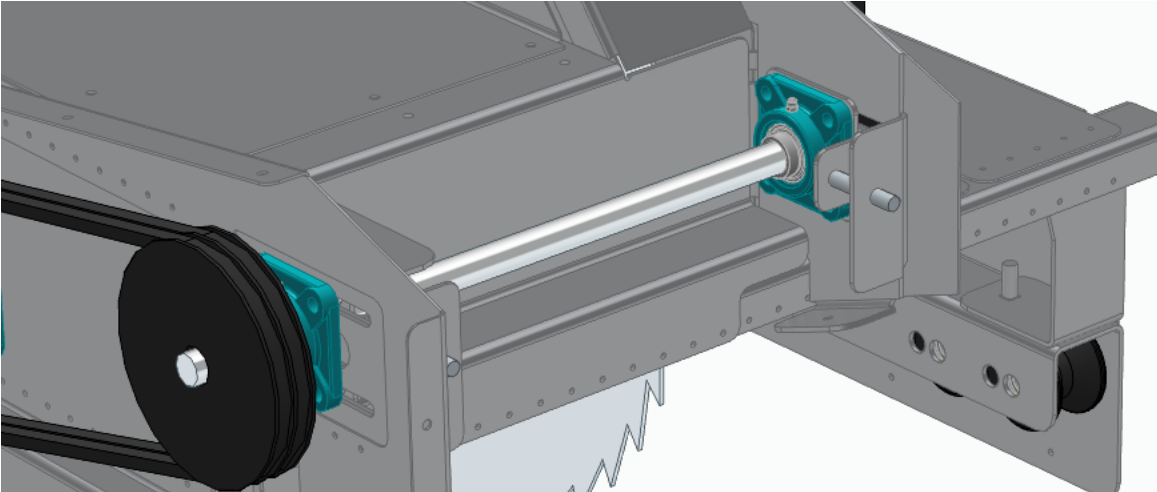
- kustannukset.

Rakenteen ja toimintatavan mukaan laakerit voidaan jakaa vierintä- ja liukulaakereihin (Blom ym., 1999, s. 121–122; Salonen, 2014, s. 274). Vierintälaakereissa pyörimisliikkeen mahdollistaa laakerin kehien välissä omalla kulku-urallaan vierivät vierintäelimet, kuten kuulat tai rullat (Blom ym., 1999, s. 121). Liukulaakereissa ei ole samanlaisia vierintäelimiä, vaan niissä toiminta perustuu laakerin ja laakeroitavan kohteen väliseen voiteluainekalvoon (Salonen, 2014, s. 274).

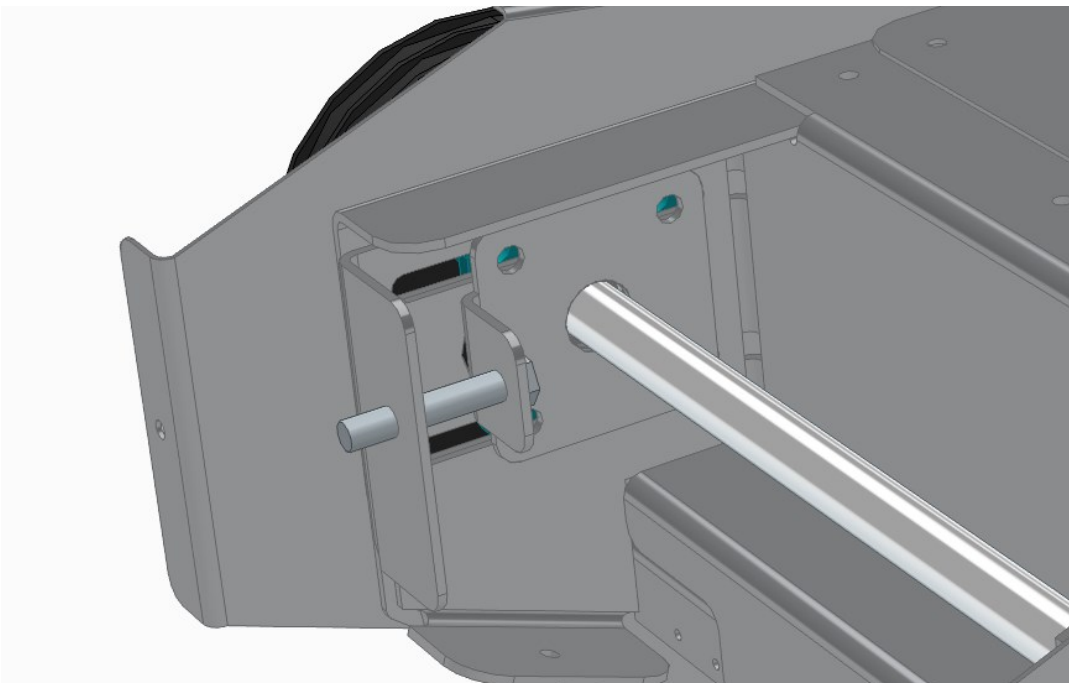
Riippumatta siitä, käytetäänkö laakerina vierintä vai liukulaakeria, laakerit tarvitsevat aina voitelun (Blom ym., 1999, s. 173). Voitelun tehtävänä on pienentää kitkaa ja johtaa pois laakereihin syntyvää lämpöä (Blom ym., 1999, s. 161, 166, 173; Salonen, 2014, s. 274). Kitkan vähentyessä myös kappaleiden kuluminen vähenee. Laakerien voitelun toteuttamiseksi laakerille voidaan tuoda voiteluaine ulkoisesti, tai laakeri voi olla itsevoiteleva. Laakeroinnin ulkoinen voitelu voidaan toteuttaa hydrodynaamisesti tai hydrostaattisesti. Hydrodynaamisessa voitelussa pintojen välissä oleva voiteluaine paineistuu liikkuvien pintojen välissä (Salonen, 2014, s. 279–280). Esimerkiksi liukulaakeroidussa nivelessä voiteluaine paineistuu, kun laakeria kuormitetaan ja voiteluaine pyrkii pois kuormituksen alta. Hydrostaattisessa voitelussa kosketuspintojen välissä olevaan voiteluainetaskuun johdetaan paineistettu voiteluaine (Blom, 1999, s. 173; Salonen, 2014, s. 287). Esimerkiksi polttomoottoreissa käytetään hydrostaattisia laakereita. Itsevoitelevassa laakerissa voitelu on toteutettu kyllästämällä huokoinen laakerimateriaali voiteluaineella (Blom ym., 1999, s. 182; Salonen, 2014, s.274). Itsevoitelevia laakereita käytetään usein puhtautta vaativissa kohteissa, kuten kodinkoneissa (Blom ym., 1999, s. 174).

Laakerit voidaan erotella säteislaakereihin ja aksiaalilaakereihin riippuen siitä, miten laakeria kuormitetaan (Salonen, 2014, s. 274). Käytettävä laakerityyppi valitaan kuormitustilanteen mukaan (Salonen, 2014, s. 297). Jos laakeria kuormittava voima tulee pelkästään kohtisuoraan sen pyörimisakselia vastaan, käytetään säteislaakeria. Pelkästään akselin suuntaisesti vaikuttava kuorma vaatii kohteeseen aksiaalilaakerin (Salonen, 2014, s. 274). Tavanomainen painelaakeri on esimerkki aksiaalilaakerista (Salonen, 2014, s. 297). Vaikka yleinen ja laajasti käytetty säteislaakeri, yksirivinen urakuulalaakeri kestää säteittäisen kuormituksen lisäksi myös aksiaalista kuormaa, yhdistetylle kuormitukselle soveltuu paremmin viistokuula- tai kartiorullalaakeri (Blom ym., 1999, s. 122, 132; Salonen, 2014, s. 274, 296).

Välitysakselin ja teräakseli laakeroinnit haluttiin toteuttaa mahdollisimman yksinkertaisesti. Parhaaksi ratkaisuksi katsottiin toteuttaa laakerointi valmiilla laakeriyksiköillä, jotka liitetään ruuviliitoksella sahayksikön rakenteisiin. Välitysakselin laakereiksi valittiin UCF 205 laakeriyksiköt (kuva 44). Valittujen laakeriyksikköjen sekä sahayksikön runkorakenteeseen tehtyjen yksityiskohtien (kuva 45) avulla mahdollistetaan välitysakselin liikuttaminen ja kiilahihnojen kiristäminen.



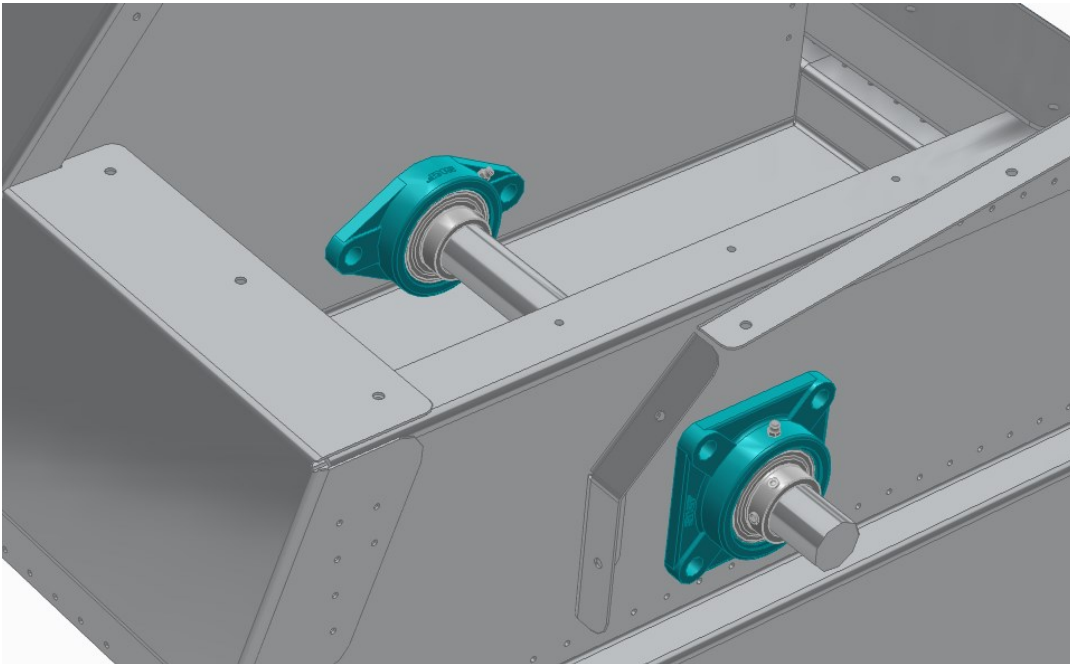
Kuva 44. Välitysakselin laakerointi



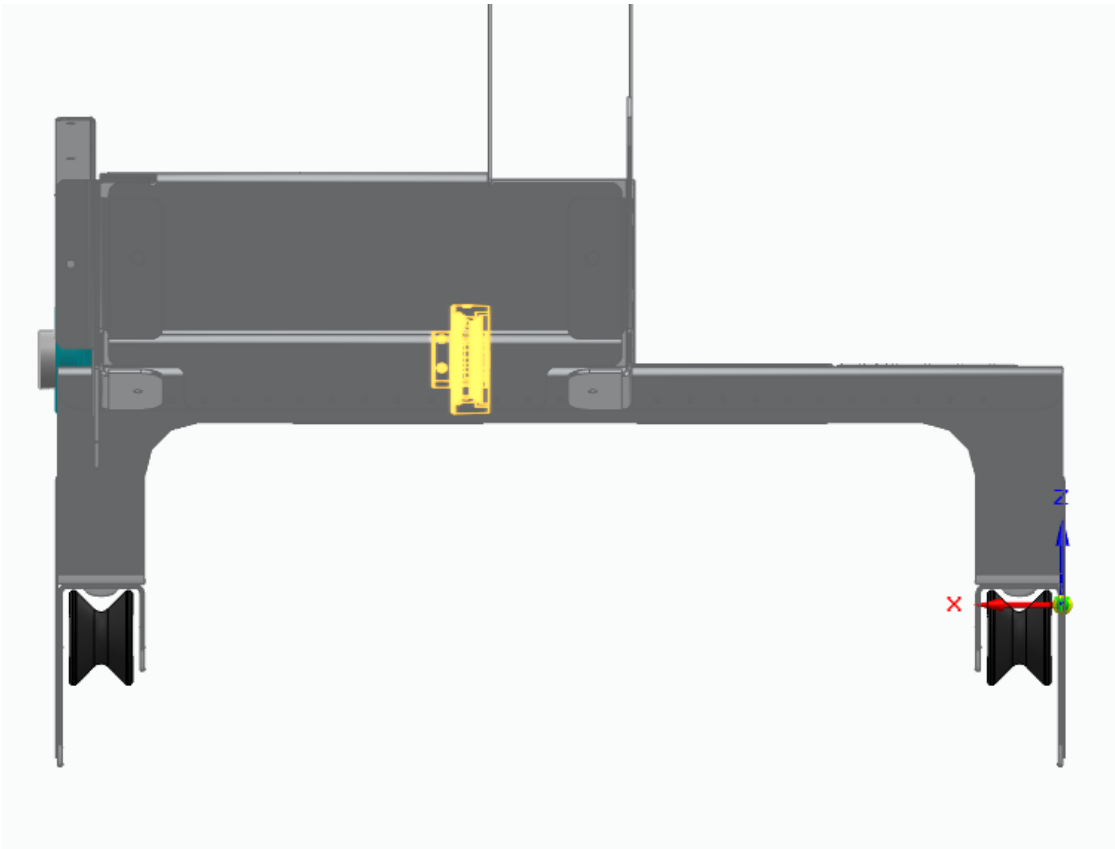
Kuva 45. Välitysakselin säätö

Teräakselin laakeriyksiköt valittiin siten, että ne mahtuvat parhaiten niille varattuun tilaan (kuva 46). Laakeriyksiköille varattuun tilaan vaikuttaa sahayksikön runkorakenteen muotoilu,

joka ei rajoita sahauskapasiteettia. Teräkselin sisemmäksi laakeriyksiköksi valittiin UCFL 208 laakeriyksikkö (kuva 47).



Kuva 46. Teräkselin laakerointi



Kuva 47. Teräkselin sisempi laakeriyksikkö korostettuna

Laakereiden kestoikä tarkistettiin kaavalla (SKF, i.a.-a)

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^p \quad (24)$$

missä

- L_{10} on laakerin kestoikä (90 % luotettavuus, miljoona kierrosta)
- C on dynaaminen kantavuusluku (laakerikohtainen taulukkoarvo)
- P on verrannollinen dynaaminen laakerikuorma
- p on laakeriekspONENTTI, kuulalaakereilla 3, rullalaakereilla 10/3

Laakerin verrannollinen dynaaminen laakerikuorma P saadaan kaavasta (SKF, i.a.-b)

$$P = X \times F_r + Y \times F_a \quad (25)$$

missä

- X on säteiskerroin (laakerikohtainen taulukkoarvo)
- F_r on laakeriin kohdistuva säteiskuorma
- Y on aksiaalikerroin (laakerikohtainen taulukkoarvo)
- F_a on laakeriin kohdistuva aksiaalikuorma

Jos laakeriin ei kohdistu sen normaalin pyörimissuunnan vastaisia voimia, voidaan käyttää verrannollisena dynaamisena laakerikuormana pelkkää sen pyörimissuunnan mukaista kuormaa (SKF, i.a.-b). Sahayksikköön akseleiden laakereiksi valituissa UCF 205 laakeriyksiköissä on yksiriviset urakuulalaakerit (SKF, i.a.-c). Yksirivisiä urakuulalaakereita käytetään säteittäisen pyörimisliikkeen laakerointiin (Blom ym., 1999, s. 121–122, 132).

Laakereita kuormittavana verrannollisena dynaamisena laakerikuormana käytettiin hihnojen kiristymisestä aiheutuvaa voimaa.

Laakereiden kestoikä kierroksina muutettiin tunneiksi kaavalla (SKF, i.a.-a)

$$L_{10h} = \frac{10^6}{60 \times n} L_{10} \quad (26)$$

missä

- n on pyörimisnopeus, kierrosta minuutissa
- L_{10h} on laakereiden kestoikä tunteina

Laakereiden kestoikä on annettu vaatimuksia (taulukko 15), jotka vaihtelevat laakerien käyttökohteiden mukaan (Blom ym., 1999, s. 129; Salonen, 2014, s. 299; SKF, i.a.-a). Laakerien mitoittaminen oikean käyttöikänsä mukaan on tärkeää, sillä liian lyhytikäiseksi suunniteltu laakeri aiheuttaa tarpeettomia kuluja koneen korjaamisesta ja käyttökatkoksista. Laakerin ennenaikainen rikkoutuminen voi aiheuttaa myös vaaratilanteita. Toisaalta liian pitkäikäiseksi suunniteltu laakeri puolestaan aiheuttaa tarpeettomia kustannuksia. Koti- ja maatalouskoneiden laakereiden vaadittu käyttöikä on lyhyin ja korkean käyttövarmuuden vaativilla kohteilla kuten voimalaitosten ja valtamerialusten laakereilla suurin.

Välitysakselin ja teräkselin kestoikä (taulukko 14) voidaan katsoa riittäviksi. Laskuissa on tarkasteltu kummankin akselin enemmän kuormittuvaa laakeria. Vähemmän kuormittuvan akselin laakerin tarkastelua ei koettu tarpeelliseksi. Välitysakselin voitiin katsoa kuuluvan maatalouskoneiden tai rakennuskoneiden kanssa samaan luokkaan. Maatalouskoneiden luokkaan laakerin kestoikä ylittää kuitenkin kyseisen luokan vaatimukset. Välitysakselin laakerille riittäisi lyhyempi kestoikä, mutta valittujen laakereiden käyttö on perusteltavissa, sillä niiden katsottiin olevan yksinkertaisin ja edullisin ratkaisu valitun kokoisen akselin laakerointiin. Laakerointien kestoikävaatimuksia (taulukko 15) katsottaessa teräkselin laakerien voidaan todeta olevan ylimitoitettuja, jos teräkselin laakeroinnin arvioidaan kuuluvan työstökoneiden luokkaan. Laakerin käyttö on kuitenkin perusteltavissa teräkseliltä vaaditun koon takia.

Taulukko 14. Valittujen laakereiden kestoikä

Välitysakselin laakeroinnin kestoikä		
L10	382	milj. kierrosta
L10h	4 021	käyttötuntia
C	14,0	kN
P	1,929	kN
p	3	
n	1 584	r/min
Teräkselin laakeroinnin kestoikä		
L10	8 260	milj. kierrosta
L10h	102 366	käyttötuntia
C	32,5	kN
P	1,608	kN
p	3	
n	1 345	r/min

Taulukko 15. Kestoikävaatimuksia erityyppisten koneiden laakereille (Blom ym, 1999, s. 129; Salonen, 2014, s. 299; SKF, i.a.-a)

Konelaji	Nimelliskestoikä käyttötunteina (L10h)
Kotitalous- ja maatalouskoneet, kojeet, lääketieteelliset laitteet	300... 3 000
Lyhytaikaisesti tai ajoittain käyvät koneet, sähkökäyttöiset käsityökalut, nostoapuvälineet, rakennuskoneet	3 000... 8 000
Lyhytaikaisesti tai ajoittain käyvät koneet, joilta vaaditaan suurta käyttövarmuutta, hissit, materiaalinkäsittelyyn tarkoitetut nosturit	8 000... 12 000
8 h vuorokaudessa käytettävät koneet, joita ei käytetä jatkuvasti täydellä teholla, murskaimet, kiinteät sähkömoottorit, hammasvaihteet	10 000... 25 000
8 h vuorokaudessa käytettävät koneet, joita käytetään jatkuvasti täydellä teholla, työstökoneet, puuntyöstökoneet, ilmanvaihtopuhaltimet, hihnakuljettimet, seulantakoneet	20 000... 30 000
Tuulivoimalaitosten laakerit, sisältäen kaikki laakerit	30 000... 100 000
Jatkuvasti käytössä olevat tehtaiden koneet, kompressorit, pumput, valssaimen vaihteet, tekstiilikoneet	40 000... 50 000
Valtamerialusten voimansiirron laakerit, vesilaitosten koneet	60 000... 100 000
Valtamerialusten potkurien laakerit, kaivosten ilmanvaihtokoneet ja pumput, voimalaitosten koneet, selluloosa- ja paperitehtaiden koneet	≈ 100 000

6.8 Kiskopyörien suunnittelu

Kiskopyörien tehtävänä on tehdä sahayksikön liikuttamisesta rungon päällä kevyttä ja tarkkaa. Kiskopyörät ovat sahausyksikköön kiinnitettyjä laakeroituja pyöriä, joiden vierintäpinta on sorvattu vastaamaan rungossa olevan johteen muotoa (kuva 48).

Kiskopyörät sijoitettiin sahayksikön jokaiseen reunaan. Kiskopyörät sijoitettiin siten, että niiden aksiaaliset linjat eivät ole kohtisuorassa vastakkaisen puolen kiskopyörien kanssa (kuva 50). Kiskopyöräryhmien sijoittelulla on pyritty varmistamaan sahausyksikön tasainen kulku rungolla, mikäli rungon liitoksissa olisi rakoa.

Sahausyksikön alaosaan kiskoilla pysymisen varmistamiseksi ideoitiin kaksi eri ratkaisua. Ensimmäisessä ratkaisussa laakeroidut kiskopyörät vastaavat kiskon alaosaan. Alemmat kiskopyörät tulisivat kiinni sahausyksikön sivuille niille tarkoitettulla erillisillä raudoilla. Toisessa ratkaisussa alemmat kiskopyörät korvattiin muovista valmistetulla liukupalalla, joka ei suoraan koske kiskoon, mutta varmistaa sahausyksikön pysymisen kiskoilla ja estää ei toivotun liikkumisen. Alapuolen tuennassa valittiin ratkaisuksi muovinen kourumainen liukupala.

Kiskopyörien materiaalinvalintaan kiinnitettiin huomiota, koska haluttiin välttää rungon ja kiskopyörien kulumista. Yksinkertaistettuna kulumisen aiheutuu kappaleiden välisestä kitkasta tai jännityksistä (Kleimola, 2014b, s. 80–81). Kappaleiden valmistusmateriaalin ominaisuudet kuten kovuus ja kimmokerroin vaikuttavat kulumiseen. Kimmoisuus pienentää kappaleiden välistä pintapainetta, kun pistemäisen tai viivamaisen kosketuspinnan on mahdollista laajentua. Pintapaineen pienentyessä kappaleiden kulutusnopeus hidastuu. Kahden täysin saman materiaalin liukuminen toisiaan vastaan aiheuttaa voimakasta kulumista. Kulumisen välttämiseksi suositellaan, että toisiinsa kitkaa aiheuttavien kappaleiden materiaalien kovusero tulisi olla vähintään 1:3. Tällöin kuitenkin pehmeämpi kappale kuluu.

Kiskopyörien materiaaliksi valittiin polyasetaaali, koska sen katsottiin olevan ominaisuuksiltaan oikea valmistettavaan tuotteeseen. Polyasetaaalin ominaisuuksia ovat mittatarkkuus, helppo koneistettavuus, soveltuvuus kosteisiin ympäristöihin ja pieni kitkakerroin (Kleimola, 2014b, s. 104; Muovia, i.a.). Polyasetaaali tunnetaan myös nimellä POM. Polyasetaaalin pinta on itsevoiteleva, ja kitkakerroin metallia vasten on pieni. Polyasetaalaa käytetään muun muassa laakereiden materiaalina. Myös alapuolisen tuennan vaatimat kappaleet valmistettiin polyasetaalista.

Sahan rungon valmistamiseen käytettiin rakenneteräksestä. Yleinen rakenneteräksen kimmokerroin on noin 206 GPa ja kovuus 130... 180 HB (Valtanen, 2019, s. 1193–1194). Polyasetaaalin kimmokerroin on tyypillisesti 2,8... 3,9 GPa ja kovuus 150... 170 HB (Valtanen, 2019, s. 1028). Kappaleissa käytettyjen materiaalien kovuuksien ollessa samaa suuruusluokkaa ja kiskopyörän materiaalin ollessa huomattavasti rungon materiaalia kimmoisampi voidaan rakennetta pitää kulutusta kestäväenä. Kiskopyörän muotoilulla on myös pyritty mahdollisimman laajalle ja tasaisesti jakautuvaan pintapaineeseen. Lisäksi kiskopyörät on laakeroitu.

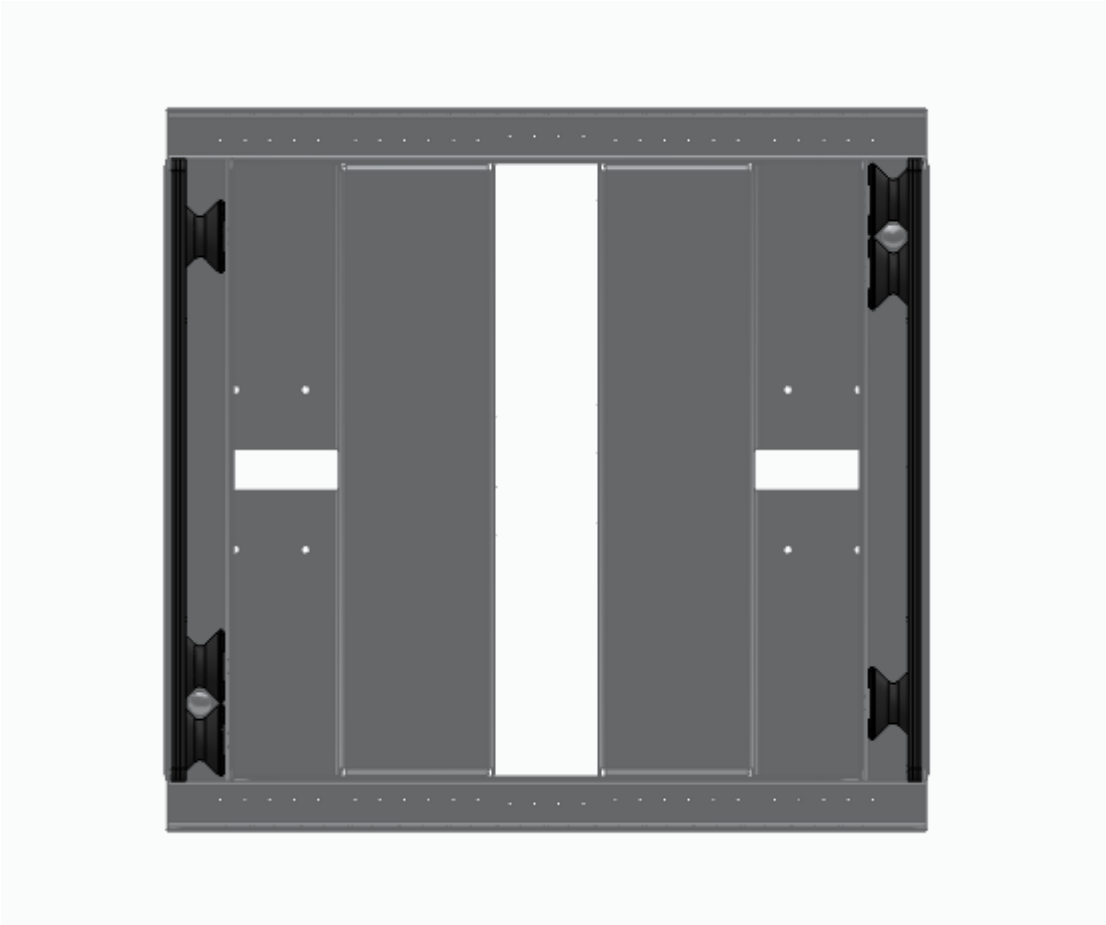
Sahayksikön liikuttamiseen käytetyt rakenteet suunniteltiin omaksi moduuliksi (kuva 49), jota voitaisiin käyttää myös muissa mahdollisissa koneissa, jota suunnitellun rungon päällä käytettäisiin.



Kuva 48. Ylempi kiskopyörä



Kuva 49. Kiskopyörien runko



Kuva 50. Kiskopyörien asettelu sahayksikössä

6.9 Sahayksikön runkorakenne

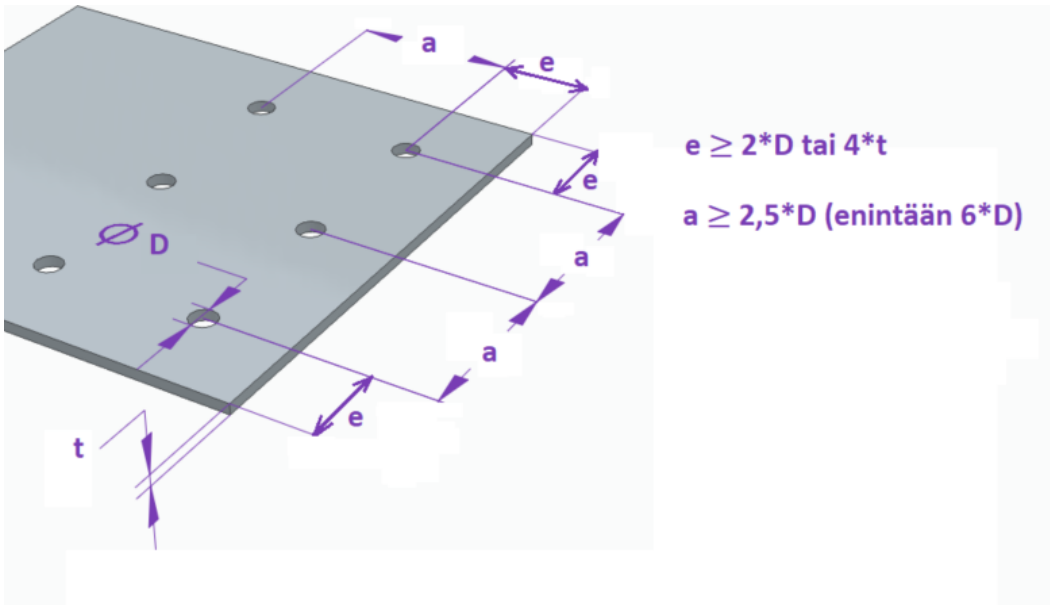
Sahayksikölle suunniteltiin projektin suunnitteluperiaatteiden ja vaatimusten mukainen runkorakenne. Lopuksi arvioitiin muutamien osien kohdalta, kannattaisiko niissä poiketa projektin suunnitteluperiaatteista ja parannettaisiinko sillä osan valmistusystävällisyyttä ja olisiko lopputuloksena kokonaisuutena parempi tuote.

Sahayksikön osat suunniteltiin liitettäväksi toisiinsa niiteillä. Niittiliitos on mekaaninen liittämismenetelmä (Parviainen & Havas, 2011, s. 331). Mekaaninen liittäminen voidaan toteuttaa erilaisten kiinnikkeiden, kuten ruuvien tai niittien avulla tai ilman erillisiä kiinnikkeitä liitettävien kappaleiden muotoa muuttamalla. Erilaiset puristus- ja taitosliitokset sekä kielekeliitokset ovat kiinnikkeettömiä mekaanisia liitosmenetelmiä (Parviainen & Havas, 2011, s. 274). Mekaanista liittämistä käyttämällä voidaan välttää lämmöntuonti liitettäviin osiin (Parviainen & Havas, 2011, s. 331). Niittiliitoksia suositellaan kohteisiin, joiden ei tarvitse olla purettavissa, ja lämmöstä aiheutuvia haittoja halutaan välttää (Martikkala, 2014, s. 209).

Kappaleiden liittäminen toisiinsa hitsaamalla tuo kappaleeseen lämpöä (Parviainen & Havas, 2011, s. 318). Lämmöntuonilla tarkoitetaan hitsauksen aikana liitokseen siirtynyttä lämpö-
määrää. Lämmöntuontiin vaikuttaa hitsaukseen käytetty teho ja hitsausnopeus. Lämmön-
tuonti aiheuttaa hitsattavan levyn mikrorakenteeseen muutoksia, joista aiheutuu kappalee-
seen sisäisiä jännityksiä. Erityisesti ohuissa kappaleissa liika lämmöntuonti johtaa kappaleen
muototarkkuuden kärsimiseen hitsausjännitysten aiheuttamien taipumien ja venymien takia.
Lämmöntuontia ja ei-toivottua kappaleen vääntyilyä voidaan pienentää oikealla hitsausliitok-
sen mitoituksella ja hitsausjärjestyksellä, kuten katkohitsillä (Parviainen & Havas, 2011, s.
318–320).

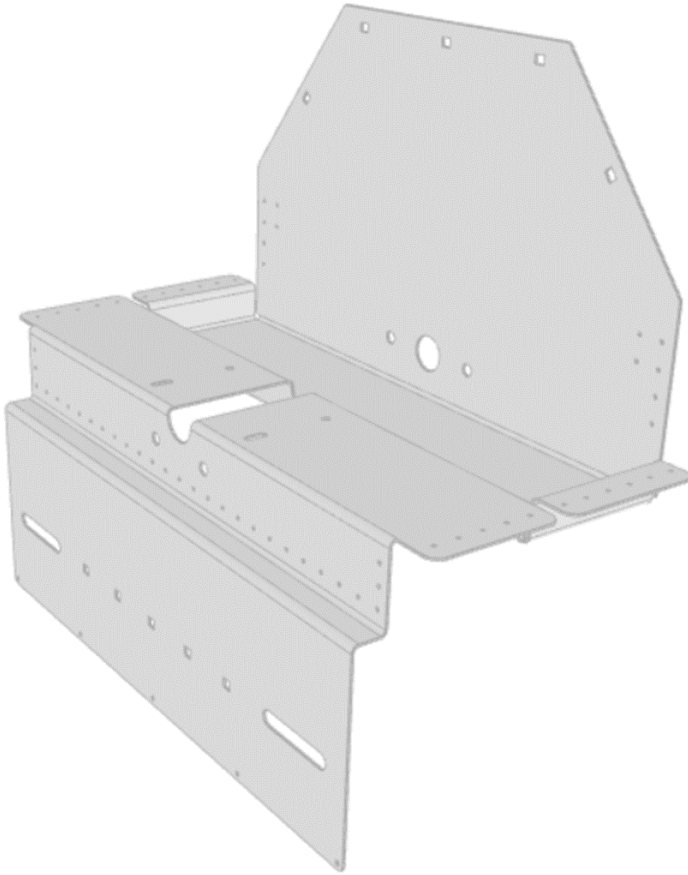
Sahayksikön osien liittämiseen käytettäviksi niiteiksi valittiin sokkoniitit. Sokkoniittiliitos vaatii
liitettäviin kappaleisiin valmiit reiät, joihin niitit asetetaan (Parviainen & Havas, 2011, s. 336).
Sokkoniittiliitos tehdään asettamalla niitti liitettävien kappaleiden reikiin, jonka jälkeen työka-
lulla niitin kanta painetaan päällimmäistä liitettävää osaa vasten ja niitin vetokaraa vedetään,
jolloin niitti kiristyy ja vetokaran katketessa liitos on valmis. Sokkoniittiliitoksen tekeminen ei
vaadi pääsyä liitoksen toiselle puolelle. Liitoksen lujuteen vaikuttaa ensisijaisesti niittien leik-
kauslujuus, ja toisena liitettävien kappaleiden välinen kitka (Martikkala, 2014, s. 211). Liitos-
menetelmässä käytetty niitti tunnetaan yleisesti myös nimellä pop-niitti tai vetoniitti.

Vetoniittiliitosta suunniteltaessa liitoksen tiivyyden varmistamiseksi on valittava liitososien ai-
nevahvuuden mukaan oikean pituinen niitti ja liitososiin tehtävien reikien tulee olla oikean ko-
koiset käytettävälle niitille (Parviainen & Havas, 2011, s. 340). 4,8 mm niitille liitososiin tehtä-
vien reikien halkaisijaksi suositellaan 4,9... 5 mm. Useampaa niittiä liitoksessa käytettäessä
niittiryhmän niittijaolle ja reiän etäisyydelle kappaleen reunasta on annettu myös suosituksia
(kuva 51). Reikien etäisyys toisistaan tulisi olla enintään reiän halkaisija kerrottuna kahdella
ja puolella, tai enintään reiän halkaisija kerrottuna kuudella. Reiän keskipisteen etäisyys le-
vyn reunasta tulisi olla enintään reiän halkaisija kerrottuna kahdella tai levyn ainevahvuus
kerrottuna neljällä.

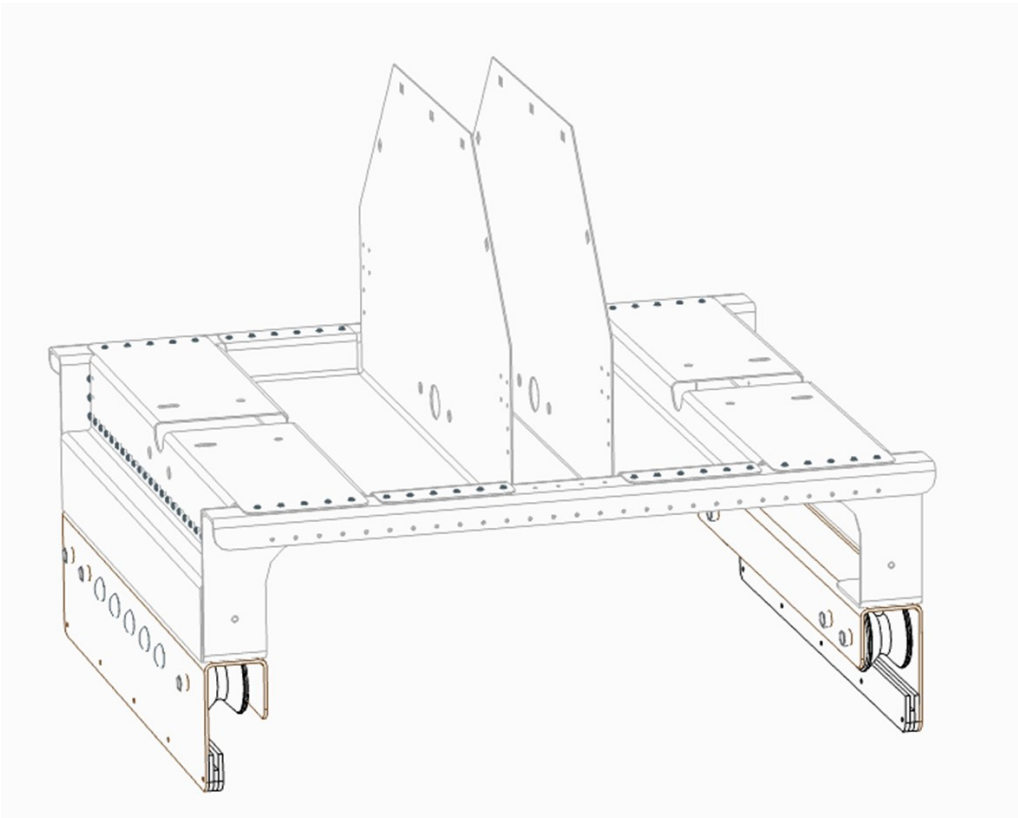


Kuva 51. Niittiryhmän mitoitus suosituksia (Parviainen & Havas, 2011, s. 340)

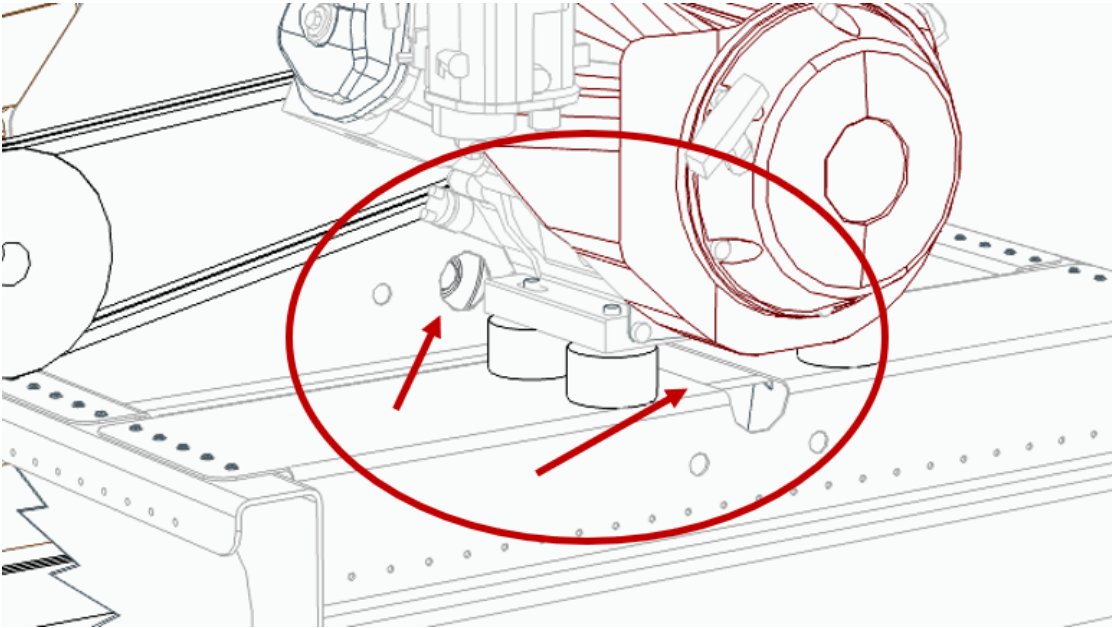
Sahayksikön rakenteessa on pyritty hyödyntämään kappaleiden symmetrisyyttä, ja useita taivutuksia sisältävillä osilla on pyritty vähentämään osanimikkeiden määrää. Sahayksikön runkolevy (kuva 52) oli sahayksikön isoin ja monimutkaisin osa, mutta se onnistui hyvin ja toimi rakenteessa halutulla tavalla. Symmetrisyyttä saatiin hyödynnettyä hyvin, ja osanimikkeiden määrä pysyi pienenä (kuva 53). Symmetrisyydestä johtuvia toiselle puolelle tarpeettomia yksityiskohtia kappaleissa on pyritty hyödyntämään. Teräkselin kiinnityksen vaatimia yksityiskohtia voitiin käyttää terän kiinnitysmutterin avaamiseen ja kiristämiseen tarvittavana huolto-
luukkuna. Lukitusmutteriin pääsee hyvin käsiksi hylsyavaimella ja jatkoavarrella näiden yksityiskohtien ansiosta (kuva 54).



Kuva 52. Sahayksikön runkolevy



Kuva 53. Sahayksikön runko



Kuva 54. Terän kiinnitysmutterille helppo pääsy

Kaikkia sahayksikköön tarvittavia, prototyypin testauksen kannalta epäolennaisia osia ei suunniteltu. Osa osista suunniteltiin, mutta ne jätettiin valmistamatta. Yksi suunnitelluista mutta valmistamattomista osista oli hihnakotelo. Hihnakotelo oli mahdollista valmistaa projektin suunnitteluperiaatteiden mukaisesti, eli ilman tarvetta hitsaukselle. Vaikka hihnakotelo olisi ollut projektin suunnitteluperiaatteiden mukainen, sen valmistaminen yhdestä levyleikkeestä taivuttamalla katsottiin olevan epäedullinen valmistusmenetelmä verrattuna muihin menetelmiin, joilla se voitaisiin valmistaa. Tähän vaikutti mm. hihnakotelon haluttu muoto. Jos hihnakotelo valmistettaisiin useammasta osasta hitsaamalla, sen tekemiseen tarvittaisiin vähemmän materiaalia, sekä siitä saataisiin pyöreä, joka toisi tuotteen ulkonäköön viimeistellyn vaikutelman.

Hihnakotelon sekä muiden suojiensa kanssa tulisi miettiä myöhemmin niille edullisinta valmistustapaa, jolla saataisiin niistä mahdollisimman valmistusystävällisiä käyttämällä materiaaleja tehokkaasti sekä tinkimättä valmiin tuotteen ulkonäöstä.

7 TURVALLISUUS

7.1 CE-merkintä

Koneet on suunniteltava siten, että ne ovat turvallisia käyttää (Turvallisuus- ja kemikaalivirasto (Tukes), i.a.-a). Koneen tulee olla suunniteltu ja rakennettu koneiden turvallisuutta koskevien vaatimusten mukaisesti. Vaatimusten täytyttyä valmistaja osoittaa vaatimusten täyttymisen antamalla CE-merkinnän koneelle.

Turvallisen suunnittelu pääperiaatteet Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivin (EU) 2006/42/EY mukaan ovat seuraavat:

- riskit poistetaan tai niitä pienennetään koneen suunnittelussa
- asianmukaiset suojaustoimenpiteet niihin riskeihin, joiden poistaminen on mahdotonta
- jäävistä riskeistä tiedotetaan ja ohjeistetaan koneen käyttäjää.

Ennen kuin valmistaja voi kiinnittää CE-merkinnän koneeseen, kaikkien vaatimusten on täyttyvä (Tukes, i.a.-a). Koneen valmistajan velvollisuuksia on useita. Valmistajan tulee selvittää, mitä riskejä koneeseen ja sen käyttöön kuuluu ja arvioida, miten vakavia ne ovat. Myös mahdolliset koneen väärinkäytöstä aiheutuvat riskit on otettava huomioon. Valmistajan tulee laatia koneestaan tekninen tiedosto. Teknisellä tiedostolla tarkoitetaan dokumenttia, josta käy ilmi koneen toiminta, käyttöohjeet, piirustukset, testaustulokset, riskien arviointi ja muut koneeseen ja sen turvallisuuteen liittyvät asiakirjat. Teknisellä tiedostolla valmistaja voi tarvittaessa osoittaa viranomaiselle koneen olevan vaatimustenmukainen.

Vaatimustenmukaisuuden täyttymiseksi koneelle on suoritettava vaatimustenmukaisuuden arviointimenettely (Tukes, i.a.-a). Arviointiin käytetään erilaisia menettelyjä, jotka riippuvat koneesta. Useimmat kuluttajien käyttöön tarkoitetut koneet on arvioitu valmistajan sisäisellä tarkastuksella. Valmistajan sisäisessä tarkastuksessa koneen valmistaja itse varmistaa itse koneen täyttävän sille annetut vaatimukset. Sisäiseen tarkastukseen ei tarvita ulkopuolisen tahon testauksia tai arviointeja.

Ulkopuolisen tahon arviointia tarvitaan usein koneissa, joihin liittyy isompia riskejä (Tukes, i.a.-a). Tällaisia koneita on Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivin (EU) 2006/42/EY liitteessä IV mainitut koneet, joihin kuuluvat mm. sahat, metallintaivutukseen käytettävät

taivutuskoneet tietyin ehdoin, nivelakselit ja niiden suojuukset, autonostimet sekä putoavilta esineiltä suojaavat ja kaatumisen kestävät rakenteet. Kyseisten koneiden vaatimustenmukaisuuden arviointi voidaan kuitenkin suorittaa sisäisellä vaatimusten arviointimenettelyllä, mikäli kone on valmistettu täysin yhdenmukaistettujen standardien mukaisesti ja täyttää kaikki oleelliset standardeissa vaaditut terveyttä ja turvallisuutta koskevat vaatimukset.

Standardit ovat ohjeellisia asiakirjoja, joissa on määritelty yhteinen toimintatapa (Tukes, i.a.-b). Standardien tarkoitus on helpottaa tuotteiden suunnittelua, lisätä turvallisuutta ja tuotteiden ja palveluiden yhteensopivuutta. Koneen valmistaja voi käyttää standardeja osoittamaan, että kone täyttää sille asetetut vaatimukset. Viranomaiset käyttävät standardeja tarkastessaan, onko tuote turvallinen. Yhdenmukaistetut standardit ovat tietyille tuotteille tai tuoteryhmille tarkoitettuja standardeja. Yhdenmukaistettujen standardien mukaisesti suunnitellun tuotteen voidaan katsoa täyttävän lainmukaiset vaatimukset.

Jos koneen valmistaja poikkeaa yhdenmukaistettujen standardien vaatimuksista, on vastaava turvallisuustaso saavutettava jollain toisella tavalla, ja se on pystyttävä todistamaan (Tukes, i.a.-a).

Riskien arvioinnin, teknisen tiedoston laatimisen ja vaatimustenmukaisuuden arvioinnin lisäksi koneen valmistajan on vielä ennen CE-merkinnän kiinnitystä laadittava tuotteelle käyttöohjeet ja vaatimustenmukaisuusvakuutus (Tukes, i.a.-a). Ohjeen tulee sisältää valmistajan nimi ja osoite, koneen nimi, yleinen kuvaus koneesta ja sen toiminnoista. Lisäksi käyttöohjeen tulee sisältää myös ohjeita ja tietoa koneen turvallisesta käyttämisestä, huolto- ja kunnossapitotoimenpiteistä sekä käsittelystä ja kuljetuksesta. Tarvittaessa käyttöohjeessa tulee myös kertoa koneen kielletyistä käyttötavoista, käytön aikana tarvittavista suojarusteista ja koneeseen asennettavista lisävarusteista. Koneesta aiheutuvasta melusta ja mahdollisesta tärinästä tulee myös kertoa käyttöohjeissa. EY-vaatimustenmukaisuusvakuutus on usein käyttöohjeissa liitteenä.

EY-vaatimustenmukaisuusvakuutuksessa koneen valmistaja vakuuttaa allekirjoituksellaan koneen täyttävän kaikki sitä koskevat oleelliset terveyttä ja turvallisuutta koskevat vaatimukset (Tukes, i.a.-a). Vaatimustenmukaisuusvakuutukseen on merkitty kaikki standardit ja säännökset, joita on sovellettu koneeseen. Mikäli vaatimustenmukaisuuden arviointiin liittyy ulkopuolinen taho, se käy myös ilmi todistuksesta.

Lisäksi EY-vaatimustenmukaisuusvakuutuksesta (Tukes, i.a.-a) on käytävä ilmi

- valmistajan toiminimi ja osoite täydellisenä
- koneen tunniste ja kuvaus
- nimi ja osoite henkilölle, joka tarvittaessa laatii teknisen tiedoston
- vakuutus siitä, että kone täyttää konedirektiivin säännökset
- vaatimustenmukaisuusvakuutuksen antamisen aika ja paikka
- tämän vakuutuksen laatimiseen valmistajan valtuuttaman henkilön nimi ja allekirjoitus.

Kun vaatimustenmukaisuusvakuutus on allekirjoitettu, koneeseen saa kiinnittää CE-merkinnän (Tukes, i.a.-a). CE-merkintä pitää kiinnittää näkyvästi ja pysyvästi koneeseen valmistajan nimen läheisyyteen. Muita pakollisia koneeseen tehtäviä merkintöjä CE-merkinnän, valmistajan toiminimen ja osoitteen lisäksi on koneen nimi, sarja- tai tyyppimerkintä, valmistusvuosi ja tarvittaessa sarjanumero. Myös koneen turvalliseen käyttöön liittyvät tiedot on merkittävä koneeseen. Konekohtaisissa yhdenmukaistetuissa standardeissa on annettu tarkemmin ohjeita konetyyppiin merkittävistä tiedoista.

7.2 Turvallisuus kehitetyssä kenttäsaahassa

Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivin (EU) 2006/42/EY liitteestä I tutkittiin koneen suunnittelua ja rakentamista koskevat olennaiset terveyttä ja turvallisuutta koskevat vaatimukset, jotka koskisivat kehitettyä tuotetta. Jos kehitetty kone on prototyyppi ja siinä käytetyt rakenteet ja ratkaisut voivat vielä vaihdella, on vaikea määrittää jokainen mahdollinen riski. Lopullinen riskien ja vaatimustenmukaisuuden arviointi on toteutettava perusteellisesti täydelliselle valmiille koneelle. Koneen pääpiirteisen toiminnan ja tiettyjen rakenteiden ja ratkaisujen pohjalta voitiin kuitenkin konedirektiivistä ottaa tarkasteluun muutamia vaatimuksia, joiden varmasti tulisi täytyä koneessa. Vaatimukset liittyivät pääasiassa mekaanisilta riskeiltä suojautumiseen ja koneen käyttöön.

Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivin (EU) 2006/42/EY liitteessä I mainittujen kohtien perusteella koneessa tulee ainakin olla

- liikutettavat kohteet helposti ja turvallisesti liikutettavissa
- huomioitu ergonomia ja looginen käytettävyys
- pakokaasut ohjattu pois koneen käyttöpaikalta

- estetty odottamaton käynnistys ja koneen liikkuminen
- kestävät, helposti tunnistettavat ja yksiselitteiset ohjauslaitteet
- turvallinen pysäytysjärjestelmä
- käytön aiheuttaman rasituksen kestävät osat
- estetty hajoavasta osasta sirpaleiden sinkoaminen
- terävät reunat ja pinnat suojattu vaadittaessa
- asianmukaiset suojat liikkuvissa osissa kuten voimansiirron osat
- osat on suunniteltu siten, että niiden asennus väärin ei ole mahdollista
- rakenne, joka ei lisää tulipalon riskiä
- huomioitu melu ja värinä
- erotus energialähteestään huoltotöiden vuoksi
- vaaditut tiedot ja varoitukset selkeästi ja havaittavissa.

Keskeisimpien riskien arvioitiin aiheutuvan terästä ja pyörivistä voimansiirron osista. Näistä aiheutuvat riskit voidaan poistaa asianmukaisilla suojilla. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivin (EU) 2006/42/EY liitteestä I on annettu yleisiä vaatimuksia suojille. Yleisiä suojilta vaadittuja ominaisuuksia ovat mm. kestävä rakenne, varma pysyminen paikallaan ja ne eivät saa rajoittaa liikaa työprosessin tarkkailua. Kiinteiden suojien irrottaminen tulee olla mahdollista vain työkaluilla, ja kiinnikkeiden on jäätävä koneeseen tai suojaan kiinni, kun se irrotetaan. Suojat ja niiden toiminta on suunniteltava tarkasti lopulliseen koneeseen.

Toinen mahdollinen vaaraa aiheuttava tekijä, jota vastaan voidaan suojautua koneen suunnittelulla, on sahayksikön odottamaton liikkuminen rungolla. Mikäli sahayksikköä ei ole lukittu runkoon mitenkään, se saattaa lähteä liikkeelle rungon kallistuessa. Odottamaton liikkuminen voi aiheuttaa vaaraa esimerkiksi rungolle tukkia asettaessa tai valmiita sahatavarakappaleita poistaessa. Odottamaton liikkuminen voidaan estää niin, että sahayksikön liikuttaminen on mahdollista vain silloin kun joku tietty vipu on painettuna alas. Tällainen kahva voidaan esimerkiksi liittää sahayksikön liikuttamiseen käytettävään kahvaan.

Muita vähäisempiä riskejä, joita voitiin torjua koneen suunnittelulla, on terävät reunat. Rakenteissa olevat reunat pyöristettiin jo valmistettavuutta ja kokoonpantavuutta parantamaan.

Koneen käyttäminen suljetussa rakennuksessa aiheuttaa vakavan vaaran siinä olevasta polttomoottorista muodostuvien pakokaasujen vuoksi. Tätä riskiä on kuitenkin mahdoton poistaa

koneen suunnittelulla, mikäli käytetään polttomoottoria. Riskiä voidaan kuitenkin pienentää kertomalla käyttöohjeissa, ettei konetta saa käyttää sisätiloissa. Muista vastaavista riskeistä, kuten väärän materiaalin sahaamisesta, suojien poistamisesta tai sahauksen aikana sahauspaikalla asiaankuulumattomista henkilöistä ja niihin liittyvistä riskeistä on tiedotettava käyttöohjeessa.

On huomioitava, että työssä kehitetty prototyyppi ei ole täysin vaatimustenmukainen. Kehitettyä prototyyppiä ei ole tarkoitettu työkäyttöön tai muiden henkilöiden kuin suunnittelijan käytettäväksi. Kehitetyn prototyypin pääasiallinen tehtävä on antaa tietoa suunnittelijalle käytettyjen ratkaisujen toiminnasta ja tuotteen valmistettavuudesta ja kokoonpanosta. Koneen suunnittelija testaa prototyyppiä omalla vastuullaan ja äärimmäistä varovaisuutta noudattaen.

8 PROTOTYYPIN TESTAUS JA ARVIOINTI

8.1 Prototyypin kokoonpano ja koekäyttö

Prototyypin kokoonpano tehtiin suunnitelmien mukaisesti, ja se sujui pääasiassa odotetulla tavalla. Kokoonpanon aikana arvioitiin kokoonpanotyön työergonomiaa ja sitä, miten kokoonpanoystävällisyys onnistui tuotteessa. Kun prototyyppi (kuva 55) oli valmis, sillä suoritettiin useita erilaisia sahausia erikokoisiin tukkeihin. Sahausten aikana kiinnitettiin huomiota tuotteen käytettävyyteen, kuten ergonomiaan ja turvallisuuteen. Rungon ja sahayksikön rakenteiden ja ratkaisujen toimivuutta käytössä tarkasteltiin ja sitä arvioitiin. Sahausjälki oli myös tärkeä tarkastelun kohde



Kuva 55. Prototyyppi koekäytössä

8.2 Havaitut viat ja puutteet

Kokoonpanossa havaittiin joitain pieniä tai vähäisiä kokoonpanoystävällisyyttä heikentäviä tekijöitä. Pitkittäisten runkoprofiilien kohdistaminen kohtisuoraan toisiinsa oli odotettua hankalampaa, sekä pitkittäisen runkoprofiilin päädyissä taivutusten aiheuttamat muodonmuutokset (kuva 56) tekivät odotettua isomman raon pitkittäisten runkoprofiilien välille (kuva 57). Alikokoonpanona suoritettujen välipöytien kasauksessa kului ylimääräistä aikaa siihen, että osat kohdistettiin toisiinsa nähden niin, että välipöytä saatiin suorakulmaiseksi. Pitkittäisten

runkoprofiilien, välipöydän ja ulomman sidoslevyn ruuviliitoksen kokoonpano vai ajateltua kauemman aikaa irrallisten aluslevyjen takia, sekä kaksi ruuviryhmän pulttia olivat hankalassa paikassa kiristää samoilla työkaluilla kuin muut kyseisen ryhmän pultit. Vetoaisan kiinnityspulttien kiristäminen oli hidasta.



Kuva 56. Taivutuksen aiheuttamat muodonmuutokset



Kuva 57. Rako pitkittäisten runkoprofiilien välillä

Sahan käytössä havaittiin muutamia parannusta vaativia kohtia, joista merkittävin oli sahayksikön tuenta runkoon. Sahayksikön kiskopyörät toimivat hyvin ja olivat kevyet työntää, mutta ne tiivistivät alleen sahajauhoa, jolloin sahayksikön rullaaminen alkoi muuttua huonoksi (kuva 58). Sahayksikön tukemista ja rungolta putoamisen estämistä varten suunnitellut liukupalat eivät toimineet halutulla tavalla. Ne olivat sivuttaisessa suunnassa niin tiukat, että sahayksikön liikuttelu oli raskasta, sekä pystysuunnassa niin väljät, että sahayksikkö pääsi nousemaan rungon päältä hiukan sahausliikkeen aikana. Lisäksi liukupalat tökkivät pitkittäisten runkoprofiilien välisiin rakoihin.



Kuva 58. Tiivistynyttä sahajauhoa

Välillä sahan terä lähti vaeltamaan, jolloin sahattu pinta oli aaltoileva (kuva 59). Muuten sahausjälki oli siistiä ja mittatarkkuus riittävää. Terän vaeltaminen oli kuitenkin odotettavissa, sillä teräohjaimet puuttuivat sahasta.

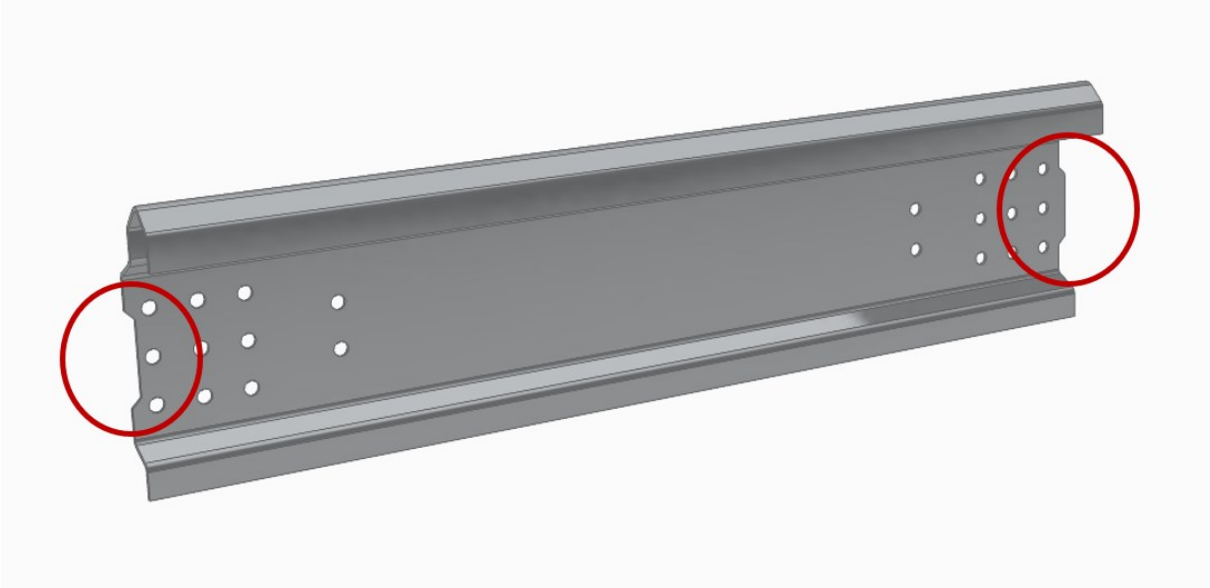


Kuva 59. Terä poikennut suorasta linjasta

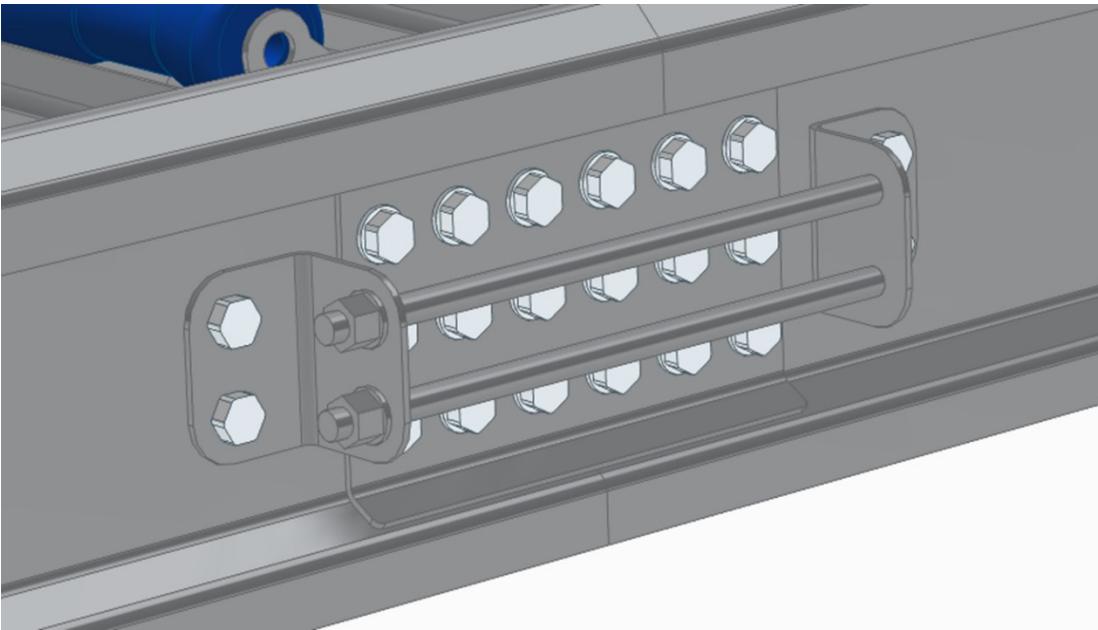
Sahaus molempiin suuntiin onnistui hyvin. Toisesta suunnasta sahatessa terän liike nostaa sahattavaa puuta ylöspäin, kun taas toisesta suunnasta tapahtuva sahaus painaa puuta alaspäin. Puuta alaspäin painavan sahausliikkeen aikana sahayksikkö nousee ylöspäin puutteellisen tuennan takia. Alaspäin puuta painavan sahausliikkeen aikana sahayksikköä liikuttaessa sen vauhti tuntui kiihtyvän. Tällöin liian pientä puuta sahattaessa ilman kiinnitystä on vaara taaksepäin sinkoavasta sahattavasta puusta sekä vauhdilla eteenpäin lähtevästä sahayksiköstä.

8.3 Muutokset prototyypin kehittämiseksi

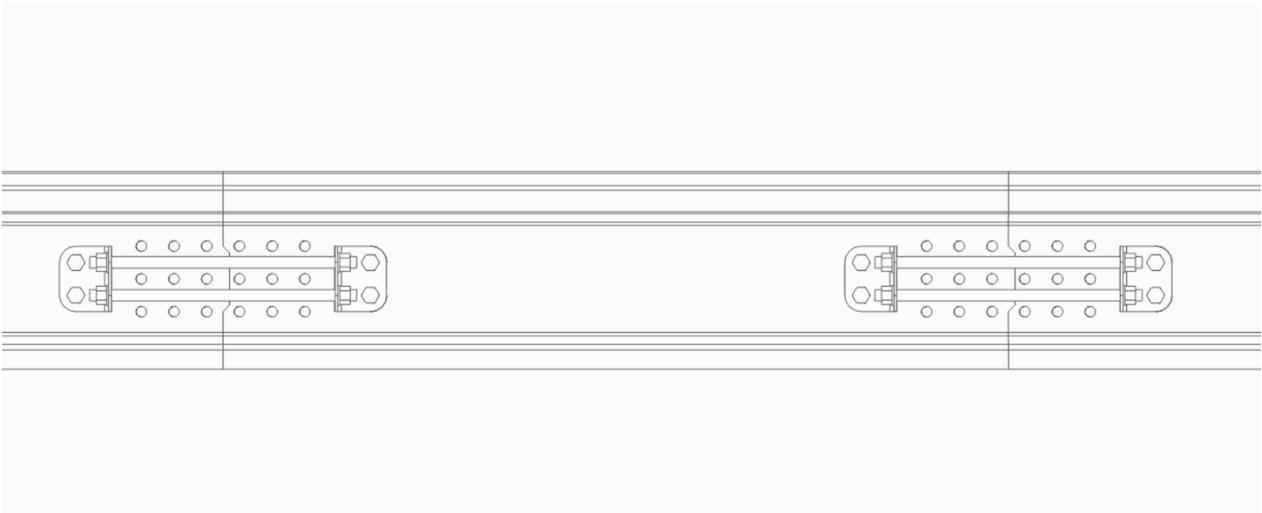
Rungon kokoonpantavuutta parantamaan pitkittäiseen runkoprofiiliin voitaisiin lisätä kohdistamista helpottavia muotoja (kuva 60) sekä kiinnikkeet (kuva 61), joilla pitkittäisten runkoprofiilien päät voitaisiin vetää toisiaan vastaan (kuva 62). Vaihtoehtoisesti päät voitaisiin vetää toisiaan vastaan kokoonpanossa siihen tarkoitetulla työkalulla, joka kiinnitettäisiin kappaleessa oleviin reikiin. Rungon kokoonpano voitaisiin myös suorittaa siihen tarkoitetussa telineessä. Myös alikokoonpanona tehtävien välipöytien kanssa voitaisiin hyödyntää telineessä tapahtuvaa kokoonpanoa.



Kuva 60. Luonnostelu kohdistusta helpottavista muodoista



Kuva 61. Luonnostelu kokoonpanoa helpottavista kiinnikkeistä



Kuva 62. Luonnostelu rungon liitoksen parantamisesta

Ruuviliitosten kokoonpanoystävällisyyttä voitaisiin parantaa lisäämällä osiin piirteitä, jotka mahdollistavat paremmin tiettyjen työkalujen käytön tai tekevät työkalujen käytön tarpeettomaksi. Kiinnikkeinä voitaisiin myös käyttää laippamuttereita ja laippapultteja, jolloin erillisiä aluslevyjä ei tarvitsisi käyttää.

Sahajauhon tiivistyminen kiskopyörien alle voitaisiin estää muuttamalla kiskopyörien muotoilua tai kehittämällä sahajauhon poistoon jokin menetelmä. Sahayksikön tuentaa runkoon voisi parantaa tekemällä sen tuennasta täysin välyksetön. Tällaisen tuennan voisi toteuttaa tekemällä alapuolisesta tuennasta laakeroidun sekä kiristettävän. On kuitenkin mietittävä, onko kehityksiä järkevää tai mahdollista tehdä kunnolla sopimaan prototyypissä käytettyyn pitkittäiseen runkoprofiiliin, vai täytyykö pitkittäistä runkoprofiilia muuttaa.

Pitkittäisen runkoprofiilien päädyissä esiintyvät muodonmuutokset voitaisiin poistaa hiomalla. Muodonmuutoksien vaikutusta voitaisiin vähentää myös suunnittelemalla rungon rakenne sellaiseksi, jossa niitä ei esiintyisi tai niistä ei olisi haittaa. Tämä olisi mahdollista esimerkiksi valmistamalla pitkittäinen runkoprofiili ohuemmasta teräksestä sekä käyttämällä enemmän limittäistä rakennetta.

Koska useimmat havaitut viat liittyivät pitkittäiseen runkoprofiiliin, on harkittava sen muotoilua uudestaan tai mahdollisesti sen korvaamista kokonaan erilaisella rakenteella.

Valmistetussa prototyypissä ei osien pintakäsittelyyn kiinnitetty erikoisempaa huomiota. Osille sopiva pintakäsittelymenetelmä olisi jauhemaalaus tai kuumasinkitys. Osien avoin

rakenne sekä mahdollisuus ripustamiseen mahdollistavat hyvin molemmat pintakäsittelymenetelmät.

Teräohjaimet sekä tukinpitimet tulee suunnitella ja lisätä seuraavaan prototyyppiin. Myös käytetty mittavaste vaatii kehitystä. Seuraavassa prototyypissä on kokeiltava myös sahayksikön liikuttamiseen tarkoitettuja vaihtoehtoisia ratkaisuja sekä sahajauhon poistoa. Kaikki asianmukaiset suojat tulee valmistaa myös seuraavaan prototyyppiin.

9 YHTEENVETO JA POHDINTA

Tämän työn tavoitteena oli suunnitella konsepti sekä valmistaa prototyyppi uudesta kenttäsaahasta, joka olisi edullinen valmistaa ja sopisi pienikokoisten puiden sahaamiseen. Prototyypillä oli tarkoitus testata konseptin toimivuutta.

Työ alkoi tutustumalla erilaisiin käytössä oleviin sahakoneisiin ja sahausmenetelmiin. Lisäksi tutustuttiin tuotekehitysprosessista kertovaan kirjallisuuteen. Tämän jälkeen sahaa alettiin suunnitella. Suunnittelu tehtiin pääasiassa CAD-ohjelmalla. Lähes koko suunnittelun ajan käytettiin apuna myös taulukkolaskentaohjelmaa sekä koneenosien mitoitukseen tarkoitettua kirjallisuutta. Taulukkolaskentaohjelman avulla tehdyt laskut ja mitoitukset helpottivat työtä, sillä niiden avulla voitiin nopeasti mitoittaa useita samankaltaisia kohteita. Mahdollisten rakenteeseen tehtyjen muutosten jälkeen mitoituksia voitiin myös tarkastaa, jos muutos vaikutti mitoituksen lähtöarvoihin.

Suunnittelu eteni vaiheittain jokaisen eri suunniteltavan osa-alueen välillä. Suunnittelun eteneminen ei kuitenkaan ollut suoraviivaista, vaan aina välillä jouduttiin palaamaan taaksepäin suunnitelmissa ja miettimään jokin kohta uusiksi. Tämä johtui siitä, että suunnittelun edetessä tuli parempi ratkaisu mieleen jonkin jo aiemmin suunnitellun toiminnon toteuttamiseksi tai jouduttiin muokkaamaan jotain muuta ratkaisua, joka sitten taas vaikutti johonkin toiseen ratkaisuun tai yksityiskohtaan.

Prototyyppiä kokoonpantaessa havaittiin muutamia pieniä valmistus- ja kokoonpanoystävällisyyttä heikentäviä kohtia, joita voidaan parantaa seuraavaa prototyyppiä varten. Valmiilla prototyypillä suoritettiin sahauksia, ja se toimi odotetulla tavalla, vaikkakin myös siitä löytyi pientä parannettavaa.

Prototyypin valmistus opetti hyvin mitä parannettavaa siinä vielä on. Lisäksi oikean ja toimivan prototyypin kokoonpano ja käyttäminen ja näkeminen antoi lisää ideoita siitä, miten jokin ratkaisu voidaan toteuttaa paremmin. Tietokoneen näytöltä CAD-mallin tarkastelu ei mahdollistanut vastaavia näkökulmia asiaan. Koska konsepti tuntui toimivalta ja tuote vastasi siltä vaadittuja ominaisuuksia, voidaan sen jatkokehittämistä pitää perusteltuna.

LÄHTEET

- AAA-Sahakone. (i.a.). *Siirrettävät vannesahat – CZ-1/U*. <http://www.aaa-sahakone.fi/CZ1-U-FIN.html>
- Blom, S., Lahtinen, P., Nuutio, E., Pekkola, E., Pyy, S., Rautiainen, H., Sampo, A., Seppänen, P., & Suosara, E. (1999). *Koneenelimet ja mekanismit* (4. uudistettu painos). Edita.
- Direktiivi (42/2006). Direktiivi koneista ja direktiivin 95/16/EY muuttamisesta. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/ALL/?uri=CELEX%3A32006L0042>
- Honda engines. (i.a.). *Engines*. <https://www.honda-engines-eu.com/en/products/engines>
- IKH. (i.a.). *Pöytäsiirrekelit*. <https://www.ikh.fi/fi/tekniset-koneet-ja-laitteet/sahkotyokalut/puun-tyosto/poytasirrekelit>
- Jokinen, T. (1999). *Tuotekehitys* (4. tarkastettu ja korjattu jatkopainos). Valopaino.
- Kara. (i.a.). *F2000*. <http://kara.fi/fi/f2000-suomi/>
- Kleimola, M. (2014a). Johdatus tuotekehitykseen. Teoksessa T. Björk, P. Hautala, K. Huhtala, S. Kivioja, M. Kleimola, M. Lavi, H. Martikkala, J. Miettinen, A. Ranta, J. Rinkinen, & P. Salonen (toim.), *Koneenosien suunnittelu* (6. uudistettu painos, s. 9–15). Sanoma Pro.
- Kleimola, M. (2014b). Materiaalinvalinta. Teoksessa T. Björk, P. Hautala, K. Huhtala, S. Kivioja, M. Kleimola, M. Lavi, H. Martikkala, J. Miettinen, A. Ranta, J. Rinkinen, & P. Salonen (toim.), *Koneenosien suunnittelu* (6. uudistettu painos, s. 73–110). Sanoma Pro.
- Koivisto, T. (2018). Pyöröterät. Teoksessa R. Varis (toim.) *Sahateollisuus* (3. painos, s.106–109). Suomen Sahateollisuusmiesten Yhdistys.
- K-Rauta. (i.a.). *Pöytäsahta*. <https://www.ikh.fi/fi/tekniset-koneet-ja-laitteet/sahkotyokalut/puun-tyosto/poytasirrekelit>
- Kärkkäinen. (i.a.). *Levysirrekelit*. <https://www.karkkainen.com/verkkokauppa/tyokalut-ja-tyoturvallisuus/tyostokoneet/levysirrekelit-ja-vannesahat/levysirrekelit-25486001>
- Laakerinetti.com. (i.a.-a). *Hihnalaskuri*. <https://www.laakerinetti.com/hihnalaskuri/hihnalaskuri.php>
- Laakerinetti.com. (i.a.-b). *Lukitus kiinnitys säätö: Taperlock kartiokiinnitysholkit*. https://www.laakerinetti.com/lukituskiinnityssttaperlockkartiokiinnitysholkit-c-52_125.html
- Laimet. (2023). *Sahat*. Haettu 22.4.2023, <https://www.laimet.com/sahat/>

- Lempiäinen, J., & Savolainen, J. (2003). *Hyvin suunniteltu – puoliksi valmistettu*. Hakapaino.
- Lohtander, M. (2009). Valmistettavuuden arviointi. Teoksessa P. Huhtala, & A. Pulkkinen (toim.), *Tuotettavuuden kehittäminen: Parempi tuoteisto useasta näkökulmasta*. (s. 222–249). Teknologiateollisuus.
- Lohtander, M., & Ojanperä, H. (2009). Ohutlevytuotteen valmistettavuuden arviointi. Teoksessa P. Huhtala, & A. Pulkkinen (toim.), *Tuotettavuuden kehittäminen: Parempi tuoteisto useasta näkökulmasta*. (s. 406–422). Teknologiateollisuus.
- Martikkala, H. (2014). Liitososat ja liitokset: Muita liitoksia. Teoksessa T. Björk, P. Hautala, K. Huhtala, S. Kivioja, M. Kleimola, M. Lavi, H. Martikkala, J. Miettinen, A. Ranta, J. Rinkinen, & P. Salonen (toim.), *Koneenosien suunnittelu* (6. uudistettu painos, s. 209–220). Sanna Pro.
- Matilainen, J. (2011). Johdanto. Teoksessa J. Matilainen, M. Parviainen, T. Havas, E. Hiitelä, & S. Hultin (toim.). *Ohutlevy tuotteiden suunnittelijan käsikirja*. (s. 3–4). Teknologianfo Teknova.
- Muovia.com. (i.a.). *Muovimateriaalit: Tekniset muovit*. <https://muovia.com/materiaali/tekniset-muovit/>
- Parviainen, M., & Havas, T. (2011). Valmistusmenetelmien mukaiset näkökohdat. Teoksessa J. Matilainen, M. Parviainen, T. Havas, E. Hiitelä, & S. Hultin (toim.), *Ohutlevy tuotteiden suunnittelijan käsikirja*. (s. 137–377). Teknologianfo Teknova.
- Pennala, E. (1998). *Lujuusopin perusteet*. (8. tarkastettu ja korjattu painos). Otatieto.
- ProPuu. (i.a.-a). *Puuproffa: Sahaustapoja*. <https://puuproffa.fi/puutieto/puun-sahaus/sahaustapoja/>
- ProPuu. (i.a.-b). *Puuproffa: Sanasto*. <https://puuproffa.fi/sanasto/>
- ProPuu. (i.a.-c). *Puuproffa: Puun sahaus*. <https://puuproffa.fi/puutieto/puun-sahaus/>
- Puuinfo. (i.a.-a). *Puutieto | Sahatavara ja sen jalosteet: Tukin sahaus*. <https://puuinfo.fi/puutieto/sahatavara-ja-sen-jalosteet/tukin-sahaus/>
- Puuinfo. (i.a.-b). *Suunnittelu | Tekniset tiedotteet: Tiheäsyinen sahatavara ja radiaalisahaus*. <https://puuinfo.fi/suunnittelu/ohjeet/tekniset-tiedotteet/tiheasyinen-sahatavara-ja-radiaalisahaus/>
- Puuinfo. (i.a.-c). *Suunnittelu | Tekniset tiedotteet: Puun kosteuskäyttäytyminen*. <https://puuinfo.fi/suunnittelu/ohjeet/tekniset-tiedotteet/puun-kosteuskayttaytyminen/>
- Puuinfo. (i.a.-d). *Puutieto | Puun ominaisuudet: Kosteustekniset ominaisuudet* <https://puuinfo.fi/puutieto/puun-ominaisuuksia/puun-kosteustekniset-ominaisuudet/>

- Ranta, A. (2014). Koneenosien lujuuslaskenta. Teoksessa T. Björk, P. Hautala, K. Huhtala, S. Kivioja, M. Kleimola, M. Lavi, H. Martikkala, J. Miettinen, A. Ranta, J. Rinkinen, & P. Salonen (toim.), *Koneenosien suunnittelu* (6. uudistettu painos, s. 17–72). Sanoma Pro.
- Rauha, M. (2018). Vannesahanterien materiaalit ja ominaisuudet. Teoksessa R. Varis (toim.) *Sahateollisuus* (3. painos, s.109–118). Suomen Sahateollisuusmiesten Yhdistys.
- Ropilo, J., & Kauppinen, T. (2018). Sahausprosessi tukista sahatavaraksi. Teoksessa R. Varis (toim.) *Sahateollisuus* (3. painos, s.83–105). Suomen Sahateollisuusmiesten Yhdistys.
- Salonen, A. (2014). Laakerit. Teoksessa T. Björk, P. Hautala, K. Huhtala, S. Kivioja, M. Kleimola, M. Lavi, H. Martikkala, J. Miettinen, A. Ranta, J. Rinkinen, & P. Salonen (toim.), *Koneenosien suunnittelu* (6. uudistettu painos, s. 274–319). Sanoma Pro.
- SKF. (i.a.-a). *Bearing rating life*. <https://www.skf.com/group/products/rolling-bearings/principles-of-rolling-bearing-selection/bearing-selection-process/bearing-size/size-selection-based-on-rating-life/bearing-rating-life>
- SKF. (i.a.-b). *Equivalent dynamic bearing load, P*. <https://www.skf.com/group/products/rolling-bearings/principles-of-rolling-bearing-selection/bearing-selection-process/bearing-size/size-selection-based-on-rating-life/equivalent-dynamic-bearing-load-p>
- SKF. (i.a.-c). *UCF 205: Technical specification*. <https://www.skf.com/uk/products/mounted-bearings/ball-bearing-units/flanged-ball-bearing-units/productid-UCF%20205>
- SKS-mekaniikka Oy. (i.a.). *Kiilahiinakäytön suunnitteluopas*. <https://docplayer.fi/5133936-Kiilahiinakayton-suunnitteluopas.html>
- Slidetec. (i.a.). *Products – Slidetec*. <https://www.slidetec.fi/products/slidetec/>
- Suomen Standardisoimisliitto (SFS). (2004). *Kuormalavat: Osa 1: 800 mm x 1200 mm puisen kuormalavan rakenne* (SFS-EN 13698-1).
- Suomen Standardisoimisliitto (SFS). (2012). *Safety of woodworking machines: Circular sawing machines. Part 7: Single blade log sawing machines with integrated feed table and manual loading and/or unloading* (SFS-EN 1870-7).
- Suomisanakirja. (i.a.). Saanto. Suomisanakirja. Haettu 26.1.2023, <https://www.suomisanakirja.fi/saanto>
- Turvallisuus- ja kemikaalivirasto (Tukes). (i.a.-a). *Koneen valmistajan velvollisuudet*. <https://tukes.fi/tuotteet-ja-palvelut/koneet/koneen-valmistaja>
- Turvallisuus- ja kemikaalivirasto (Tukes). (i.a.-b). *Standardien asema vaatimustenmukaisuuden osoittamisessa*. <https://tukes.fi/tuotteet-ja-palvelut/vaatimustenmukaisuus/standardien-asema-vaatimustenmukaisuuden-osoittamisessa>

Valtanen, E. (2019). *Tekniikan taulukkokirja*. (22. painos). Genesis-kirjat.

Veistokone. (i.a.). *TEHNIKA ZBL-P50H hinattava tukkivannesaha*. <https://www.veistokone.fi/tehnika-zbl-p50h-hinattava-tukkivannesaha.html>

Woodland mills. (i.a.). *Siirrettävät vannesahat*. <https://fi.woodlandmills.eu/portable-sawmills/>

Wood-mizer. (i.a.). *Sahat – LT20 saha*. <https://woodmizer.fi/lt20-sawmill>