



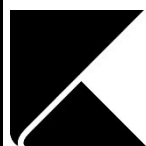
Karelia-ammattikorkeakoulu
Insinööri (AMK)

Vetopyörästönostimen sovitin- työkalun suunnittelu

Pekka Heiskanen

Opinnäytetyö, helmikuu 2024

www.karelia.fi



Karelia
AMMATTIKORKEAKOULU

OPINNÄYTETYÖ
Tammikuu 2024
Konetekniikan koulutus

Tikkarinne 9
80200 JOENSUU
+358 13 260 600 (vaihde)

Tekijä(t)
Pekka Heiskanen

Nimeke
Vetopyörästönostimen sovitintyökalun suunnittelu

Toimeksiantaja
Patria Land Oy

Tiivistelmä

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli suunnitella sovitintyökalu, jolla Patria 6x6 -ajoneuvon etu- ja takavetopyörästö saadaan kiinnitettyä nostolaitteeseen. Sovitintyökalun tarkoituksena on mahdollistaa vetopyörästöjen vaihtotyö kenttä- ja kevytkorjaamo-olosuhteissa ilman käytettävissä olevaa ajoneuvonostinta.

Opinnäytetyön tietoperustassa tarkasteltiin Ulrich & Eppinger- ja VDI 2221 -tuotekehitysprosessimalleja sekä lainsäädännön suunnittelutyölle asettamia vaatimuksia. Opinnäytetyön toteutusvaiheessa tuotekehitystyölle laadittiin tietoperustassa tarkasteltujen menetelmien pohjalta suunnitteluprosessi, jonka mukaan työ toteutettiin. Suunnittelutyötä ohjasivat prosessin lisäksi sovitintyökalulle asetetut vaatimukset ja tavoitteet. Työn aikana konseptoitiin vaatimusten mukaiset ratkaisuvaihtoehdot, jotka konkretisoitiin 3D-malleiksi.

Opinnäytetyön tuloksena syntyi asetettujen vaatimusten mukainen sovitintyökalu, jonka suunnittelussa on huomioitu standardoinnin, valmistettavuuden, käyttöturvallisuuden sekä käytettävyyden näkökulmat. Opinnäytetyön aikana saatiin myös toimeksiantajayritykselle uutta informaatiota nostolaitteiden lainsäädäntöön liittyen.

Kieli
suomi

Sivuja 87
Liitteet 9
Liitesivumäärä 9

Asiasanat
tuotekehitys, nostolaite, FEM



THESIS
January 2024
Degree Programme in Mechanical Engineering

Tikkarinne 9
80200 JOENSUU
FINLAND
+ 358 13 260 600 (switchboard)

Author (s)
Pekka Heiskanen

Title
Design of drive gear lifting adapter

Commissioned by
Patria Land Oy

Abstract

The purpose of this thesis was to design an adapter tool to attach the front and rear drive gears of Patria 6x6 vehicle to a lifting device. The aim of the tool is to enable the replacement of drive gears in field and light repair shop conditions without the need for a vehicle lift and an external power source.

The literature review of this thesis was based on the Ulrich & Eppinger process model and the VDI 2221 design guidelines, as well as the legal requirements for design work. In the implementation phase of the thesis, the most suitable methods were applied to the development process. The design work was guided by both the utilized design process and the requirements and goals set for the adapter tool. During the design process, the concept ideas were concretized into 3D models.

As a result of the thesis, an adapter tool that meets the specified requirements was designed. The design considered aspects of standardization, manufacturability, safety, and usability. Additionally, during the thesis work, new information was obtained regarding the legislation related to lifting devices, which will benefit the client company.

Language
Finnish

Pages 87
Appendices 9
Pages of Appendices 9

Keywords
product development, lifting device, FEM

Sisältö

1	Johdanto	7
1.1	Opinnäytetyön aihe	7
1.2	Patria Oyj	7
1.3	Toimeksianto	10
1.4	Rajaus ja tavoitteet	10
2	Tuotekehitystoiminta	11
3	Ulrich & Eppinger	13
3.1	Tuotekehitysprosessin vaiheet	13
3.2	Tuoteohjelman suunnittelu	13
3.3	Konseptisuunnittelu	14
3.4	Systeemis suunnittelu	16
3.5	Detaljis suunnittelu	17
3.6	Testaus ja parannus	18
3.7	Tuotannon käynnistäminen	18
4	VDI 2221	19
4.1	Systemaattinen suunnitteluprosessi	19
4.2	Tehtävän selvittely	20
4.3	Luonnostelu	21
4.3.1	Yleiskäsityksen muodostaminen	22
4.3.2	Toimintorakenteen luominen	23
4.3.3	Vaikutusperiaatteiden haku ja yhdistäminen	24
4.3.4	Ratkaisuvaihtoehtojen valinta	26
4.4	Kehittely	29
4.5	Viimeistely	31
5	Lainsäädäntö	32
5.1	Konedirektiivi	32
5.2	Terveys- ja turvallisuusvaatimukset	33
5.3	CE-Merkintä ja tekninen tiedosto	35
6	Sovitintyökalun suunnittelu	37
6.1	Suunnitteluprosessi	37
6.2	Tehtävän selvittelyvaihe	37
6.2.1	Tehtävän asetus	38
6.2.2	Vaatimusten määrittely	38
6.2.3	Spesifikaatiot	39
6.3	Konseptisuunnitteluvaihe	41
6.4	Kehittelyvaihe	43
6.4.1	Käyttöympäristö	44
6.4.2	Työkalun runkorakenteen suunnittelu	46
6.4.3	Kallistuksen säätömekanismi	50
6.4.4	Vetopyörästäön kiinnitysmekanismi	52
6.4.5	Ruuviliitokset	54
6.4.6	Hitsausliitokset	58
6.4.7	Lujuustarkastelu	60
6.5	Viimeistelyvaihe	71
7	Tulokset	72
8	Yhteenveto	74
	Lähteet	77

Liitteet

Liite 1	Tehtävän asetus
Liite 2	Vaatimuslista
Liite 3	QFD-laatukaavio
Liite 4	Valintalista
Liite 5	Teräsruuvi esikieristysvoimat ja -momentit metrin kierre
Liite 6	SSAB multisteel data sheet
Liite 7	Sten 42CrMo4 tuoteominaisuudet

Termit ja standardit

Failure Index	Varmuuskertoimen käänteisluku, joka osoittaa kestääkö rakenne siihen kohdistetut kuormitukset materiaalin myötörajaan nähden. Luvun ollessa alle 1 rakenne kestää sille asetetut kuormitukset. Luvun ollessa ≥ 1 rakenteen myötöraja ylittyy. (PTC 2024a.)
FEM-analyysi	(Finite Element Method) on elementtimenetelmä, jota käytetään rakenteiden tarkasteluun simuloimalla fyysisiä ilmiöitä. (PTC 2024b.)
MPA-analyysi	(Multi Pass Adaptive) on tarkempi analyysityyppi, jossa polynomiastetta lisätään, kunnes konvergoitumiskriteeri on täytetty. (PTC 2024c.)
SFS 5998	Valssatun teräsohutlevyn kylmätaivutus.
SFS-EN 1993-1-8	Eurocode 3. Teräsrakenteiden suunnittelu. Osa 1–8: Liitosten mitoitus.
SFS-EN ISO 286-1	Geometrinen tuotemäärittely (GPS). Pituusmittojen toleranssien ISO-merkintäjärjestelmä. Osa 1: toleranssien, eromittojen ja sovitteiden perusteet.
SFS-EN ISO 5817	Hitsaus. Teräksen, nikkelin, titaanin ja niiden seosten sulahitsaus. Hitsiluokat.
Singulariteetti	Matemaattisesti äärettömään terävään kulmaan syntyvä fyysisesti epätodellinen jännityskeskittymä.
SPA-analyysi	(Single Pass Adaptive) on analyysityyppi, jossa ensimmäinen laskentakierros lasketaan kolmannen asteen polynomifunktiona ennen lopullista laskentakierrosta. (PTC 2024c.)

1 Johdanto

1.1 Opinnäytetyön aihe

Panssaroidun ajoneuvon tarkoitus on tuoda käyttäjälleen suojaa, liikkuvuutta ja tulivoimaa. Ajoneuvon voimansiirron vikaantuessa yksi näistä tekijöistä puuttuu, eikä ajoneuvo kykene enää suorittamaan siltä vaadittavia toimintoja. Tästä syystä sotilasajoneuvossa huoltovarmuuden varmistaminen ja turvaaminen on ensisijaisen tärkeää. Pahimmassa tapauksessa ajoneuvon vikaantuminen voi tapahtua konfliktialueella, jossa sopivien korjaus- ja huoltotilojen löytäminen voi olla haasteellista tai jopa mahdotonta. Ajoneuvon vikaantuessa on tärkeää varmistaa, että saatavilla on käyttötarkoitukseen sopivat työkalut, joilla ajoneuvo saadaan palautettua tehtäväänsä mahdollisimman nopeasti.

Tässä opinnäytetyössä käsitellään Patria 6x6 -ajoneuvon tasauspyörästöjen vaihtoon tarkoitetun sovitintyökalun suunnittelutyötä. Opinnäytetyön toimeksiantajana oli Patria Land Oy. Työ toteutettiin yrityksen omiin sekä asiakkaiden tarpeisiin. Opinnäytetyössäni panostin laadukkaaseen ja laajaan tietoperustaan. Lähde-aineistossa käsitellään systemaattisen suunnittelun prosessimalleja osana tuotekehitystoimintaa. Lisäksi tarkastellaan lainsäädännön suunnittelutyölle asettamia vaatimuksia. Työn toteutusvaiheessa sovelletaan tietoperustassa esitettyjä VDI 2221- ja Ulrich & Eppinger -tuotekehitysprosessimallien menetelmiä. Työkalun suunnittelussa pyritään huomioimaan käyttäjän tarpeita, turvallisuutta sekä valmistettavuuden näkökulma. Lopuksi verrataan suunnittelutyön tuloksia sille asetettuihin tavoitteisiin.

1.2 Patria Oyj

Patria Oyj:n historia juontaa juurensa aina vuonna 1921 Suomenlinnaan perustettuun Ilmailuvoimien lentokonetehtaaseen. Seitsemän vuoden jälkeen tehdas nimettiin Valtion lentokonetehtaaksi ja sen toiminta siirrettiin Helsingistä Tampereelle vuonna 1935. (Patria 2020c, 3.) Tehdas toimi myöhemmin osana Valmet-

yhtymää ja siitä syntyi Patria Oyj monen muun kotimaisen yrityksen fuusioituessa vuonna 1997. Muita keskeisiä yrityksiä olivat muun muassa Vammass Oy, SISU Defence Oy, Lapua Oy, Finavitec Oy ja Vihtavuori Oy, joista jokainen on tuonut oman ydinosansa osaksi organisaatiota. Yrityksen historian kohokohtia on kuvattu kuviossa 1. (Patria 2020a, 5.)



Kuvio 1. Patria Oyj:n historia (Patria 2020a, 5).

Nykyään Patria tuottaa kansainvälisiä elinkaarentukipalveluita, lentokoulutusta sekä teknologiaratkaisuja turvallisuus-, puolustus- ja ilmailualan tarpeisiin. Yritys työllistää yli 3000 työntekijää. Toimipisteitä Patria Oyj:llä on Suomen lisäksi muun muassa Norjassa, Virossa, Belgiassa, Alankomaissa sekä Espanjassa. Patria Oyj:stä 50,1 % omistaa Suomen valtio ja 49,9 % norjalainen Kongsberg Defence & Aerospace AS. Lisäksi Patria Oyj:llä on enemmistö- ja yhteisomistajuuksia useaan alalla toimivaan yritykseen. (Patria 2023a.)

Patria Oyj:n organisaatorakenne koostuu neljästä ydintoiminnoista: Finland, Global, Portfolio ja Operations. Jokaisella edellä mainituista on omat liiketoimintonsa. Operations vastaa tuotannon ja toimitusketjun organisoinnista. Se jakautuu viiteen linjaan, jotka ovat Land Operations, Airframe & Structure Operations,

Aeronautical Engineering & Avionics, Component & Training Operations, Systems & Integrations Operations ja Engine. (Patria 2023b.)

Tämä opinnäytetyö on toteutettu Patria Oyj:n Land Operations -yksikössä. Patria Land Oy tuottaa panssaroituja pyöräajoneuvoja ja epäsuoran tulen asejärjestelmiä. Sen tunnettuja tuotteita ovat muun muassa AMOS- ja NEMO-kranaatinheitinjärjestelmät sekä AMV- ja 6x6- panssaroidut pyöräajoneuvot (kuvissa 1 ja 2). (Patria 2023c.)



Kuva 1. Patria 6x6 (Patria 2021).



Kuva 2. Patria AMV, NEMO-kranaatinheitinjärjestelmällä (Patria 2020b).

1.3 Toimeksianto

Toimeksiannon opinnäytetyölle antoi Patria Land Oy:ssä toimiva Integrated Logistic Support (ILS) -osasto syyskuussa 2023. Tarve opinnäytetyössä suunniteltavalle sovitintyökalulle on ollut toimeksiantajan tiedossa jo aiemmin. Työ aloitettiin heti ja sen valmistumisen tavoitteeksi asetettiin tammikuu 2024.

Opinnäytetyön toimeksiantona oli suunnitella nostolaitteeseen kiinnitettävä sovitintyökalu, joka mahdollistaa Patria 6x6 -ajoneuvon etu- sekä takavetopyörästöjen irrottamisen ja kiinnittämisen. Sovitintyökalulla oli tarkoituksena mahdollistaa vetopyörästöjen vaihtotyö ajoneuvon ollessa tuettuna nostopukeille. Tällä hetkellä kyseisen toimenpiteen suorittaminen vaatii korjaamo-olosuhteet, missä on riittävän nostokyvyn omaava ajoneuvonostin sekä tarkoituksenmukaiset työkalut. Suunnittelutyön jälkeen sovitintyökalu tuotteistettaisiin osaksi ajoneuvojen huoltokokonaisuutta.

1.4 Rajaus ja tavoitteet

Opinnäytetyössä suunniteltiin ainoastaan sovitin, joka kiinnitetään kaupalliseen, ennalta määritettyyn ja käyttötarkoitukseen sopivaan hydrauliseen nostolaitteeseen. Toimeksiantaja määrittä opinnäytetyölle joitakin toiminnallisia ja valmistuksellisia reunaehtoja ja toiveita, joiden pohjalta suunnittelutyö tuli toteuttaa.

Työn suorittamisen tuli olla mahdollista tasaisella alustalla, kenttä- tai kevytkorjaamo-olosuhteissa ajoneuvon ollessa tuettuna nostopukeilla. Nostimen käytön tuli olla mahdollista käsivoimin, ilman ulkoista voimanlähdettä. Vetopyörästöjen kiinnitys sovitintyökaluun tuli olla riittävän tukeva turvallisen nostotoimenpiteen takaamiseksi. Suunnittelutyössä tuli pyrkiä käytettävyydeltään, painoltaan ja valmistettavuudeltaan optimaaliseen lopputulokseen. Lisäksi toimeksiantaja toivoi, että työkalu on helposti irrotettavissa nostolaitteesta. Tällä mahdollistetaan nostolaitteen laajempi käyttö. Sovitintyökalun suunnittelussa tuli myös huomioida yrityksen sisäinen standardointi.

Opinnäytetyön tavoitteena oli tuottaa toimeksiannon mukaisen sovittimen valmistukseen ja tuotteistamiseen tarvittavat 3D-mallit sekä tarvittaessa vaatimuksenmukaisuuden osoittava dokumentaatio. Tavoitteena oli, että suunnittelutyön pohjalta valmistetulla sovitintyökalulla pystytään jatkossa suorittamaan toimeksiannon mukainen vetopyörästöjen vaihtotehtävä. Lopputuloksena syntyvän työkalun suunnittelutyön tuli olla toteutettu käytettävyyden, turvallisuuden ja standardointi huomioiden niin, että lopputulos täyttää lainsäädännön nostimelle asetetut määräykset.

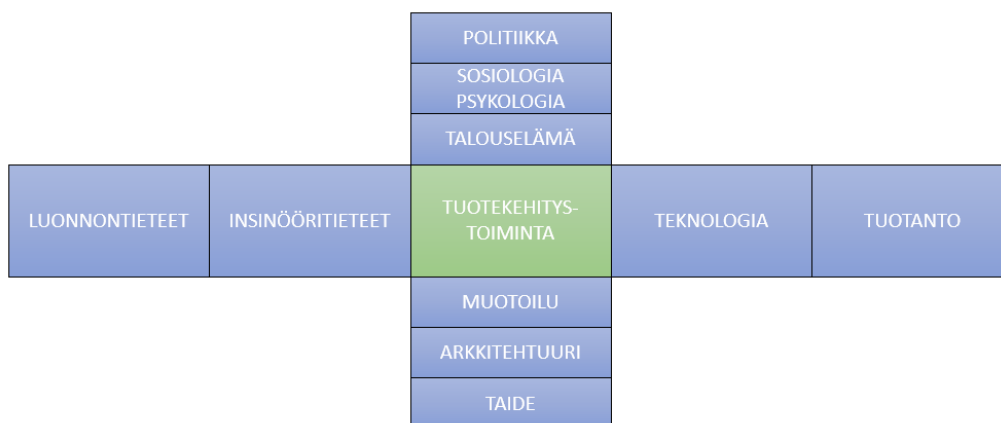
2 Tuotekehitystoiminta

Jokinen (2010, 9) määrittelee tuotekehityksen prosessimaiseksi toiminnaksi, jonka tavoitteena on kehittää uusia tai jo olemassa olevia tuotteita paremmiksi. Olemassa olevan tuotteen kehittämisellä voidaan tarkoittaa sen teknistä parantamista tai valmistuskustannuksien optimointia. Jokinen kuvailee tuotekehitystä monivaiheiseksi prosessiksi, joka sisältää vaiheet tuoteidean etsimisestä aina tuotantomenetelmien kehittämiseen. (Jokinen 2010, 9–10.) Samaan tapaan Karl T. Ulrich ja Steven D. Eppinger (2020) kuvaavat tuotekehitystä sarjaksi vaiheita, joilla joukko panoksia muutetaan tuotoksiksi. Prosessin tarkoituksena on tuotteen saattaminen tuoteideasta sen kaupallistamiseen. (Ulrich & Eppinger 2020, 11.)

Hietikon (2021) mukaan tuotekehitys on nykyään ennemminkin innovaatiotoimintaa, joka prosessimaisen toimintamallin sijaan on integroitunut osaksi yrityksen jokapäiväisiä toimintoja. Tuotekehitystoiminnan ollessa osa yrityksen jokapäiväisiä toimintoja sitä ei voida enää esittää kaaviomaisena kuvaajana. (Hietikko 2021, 45.)

Tuotekehitysprosessin lopputuloksena syntyy tuote tai innovaatio. Sitä voidaan pitää eräänlaisena ongelmanratkaisuprosessina, jonka alussa on ongelma tai tarve ja ratkaisuna on tuote. Kehittäjän on kyettävä hahmottamaan, minkä ongelman tuote ratkaisee. On myös kyettävä kuvittelemaan tuote, jolla tilannetta

saadaan parannettua tai ratkaistua kokonaan. Tuotekehitys on monialainen prosessi, jossa täytyy huomioida tuotteen valmistettavuutta, sen ympäristöllisiä-, taloudellisia- ja liiketoiminnallisia-, kulttuurillisia- sekä lainsäädännöllisiä vaikutuksia ja rajoitteita (Kuvio 2). (Hietikko 2021, 18.)



Kuvio 2. Tuotekehitystoiminta kulttuurin ja tekniikan vaikutuksen alaisena (Jokinen 2010, 10).

Jokaisessa yrityksessä on käytössä hieman toisesta poikkeava tapa toteuttaa tuotekehitystä. Hyvin määritelty tuotekehitysprosessi takaa kehitystyössä syntyvän tuotteen laadun. Se helpottaa resurssien koordinoitua, johtamista sekä aikataulutusta. Joissakin yrityksissä tuotekehitys on tarkasti määritelty prosessi, jota seurataan vaihe vaiheelta. Toisaalla taas prosessia ei välttämättä pystytä kysyttäessä kuvailemaan. (Ulrich & Eppinger 2020 12–13.)

Tuotekehityksen tueksi on kehitetty lukuisia prosessimalleja. Mallit voidaan jakaa karkeasti kahteen ryhmään: peräkkäismalleihin ja spiraalimalleihin. Peräkkäismallin ominaispiirteenä on selkeä vaiheistus, jossa vaiheet seuraavat toinen toisiaan. Ennen seuraavan vaiheen aloitusta edellinen on saatava päätökseen. Spiraalimalli on nimensä mukaisesti ympyrämäinen rakenne, jota vaiheet kiertävät tarkentuen kohti ratkaisua. Yleisesti käytetyt tuotekehitysprosessimallit sisältävät samankaltaisia vaiheita. Yleisiä tuotekehitysprosessin vaiheita ovat esimerkiksi tarpeen tunnistaminen, ongelman määrittäminen, synteesi, analyysi, testaus ja optimointi, tuotannon käynnistäminen sekä onnistumisen arviointi. (Hietikko 2021, 46–47.)

3 Ulrich & Eppinger

3.1 Tuotekehitysprosessin vaiheet

Ulrich & Eppinger -mallin ovat kehittäneet kaksi yhdysvaltalaisista insinööriä: Karl T. Ulrich ja Steven D. Eppinger. Kirjassaan *Product Design and Development* he jakavat tuotekehitysprosessin kuuteen vaiheeseen. Kaikille vaiheille asetetaan tavoite, jonka lopputulos tarvitaan seuraavan vaiheen aloittamiseen. (Ulrich & Eppinger 2020, 13.) Vaiheiden välissä pidetään katselmointi, jolla varmistetaan valmius siirtymään seuraavaan vaiheeseen. (Ulrich & Eppinger 2020, 22.)



Kuvio 3. Ulrich & Eppinger tuotekehitysmalli (Ulrich & Eppinger 2020, 9).

Ulrich & Eppinger -mallin sisältämä vaiheistus on kuvattu kuviossa 9. Aluksi tuoteohjelman suunnitteluvaiheessa tuotekehitystyölle asetetaan tavoitteet. Näiden tavoitteiden ohjaamana tuotekehitysprosessi käy läpi konseptoinnin, järjestelmätason suunnittelun, detaljisuunnittelun sekä testaus ja parannusvaiheen. Prosessin viimeisessä vaiheessa aloitetaan tuotteen valmistus. (Ulrich & Eppinger 2020, 13.)

3.2 Tuoteohjelman suunnittelu

Tuoteohjelman suunnitteluvaiheessa asetetaan tuotekehitysprojektin reunaehdot ja tavoitteet yrityksen strategisten tavoitteiden ohjaamana. Alussa pyritään määrittämään projektiin vaikuttavia ulkoisia ja valmistuksellisia tekijöitä sekä määrittämään tuotteen markkinamahdollisuuksia. (Ulrich & Eppinger 2020, 13–14.) Tuoteohjelman suunnitteluvaiheen lopputuloksena syntyy projektia määrittelevä tehtävän asetus sekä projektisuunnitelma (Hietikko 2021, 51–54).

Varsinainen projektin asetus tehdään Mission Statement -määrittelyllä. Mission Statement on alustava kuvaus projektin tavoitteista ja reunaehdoista. Mission Statementilla ei ole määrämuotoista rakennetta. Tyypillisesti siihen on listattu projektin kannalta oleellisia pääkohtia. Yleisesti se sisältää lyhyen kuvauksen tuotteesta ja tuotteen toiminnoista, projektin taloudelliset ja aikataululliset tavoitteet, kuvauksen päämarkkinasegmentistä, projektin sidosryhmistä sekä rajoituksia valmistuksellisista tekijöistä. (Hietikko 2021, 51–53.)

Tuotekehitysprojekti on rakenteeltaan samankaltainen muihin projekteihin verrattuna. Siihen sisältyy normaaliin tapaan katselmointeja, palavereita sekä johtamista ja ohjaamista. Asetuksen jälkeen projektista laaditaan projektisuunnitelma. Suunnitelman laadinnassa voi hyödyntää yleisiä projektijohtamisen ja -suunnittelun periaatteita. Tyypillisesti projektisuunnitelmassa käsitellään muun muassa projektin taustoja, luonnetta, tavoitteita ja aikataulutusta. Siinä on myös esitetty sidosryhmien vaatimuksia, resurssointia, riskejä sekä taloudellisia tekijöitä. (Hietikko 2021, 54.)

3.3 Konseptisuunnittelu

Konseptisuunnitteluvaiheen yksi keskeisimmistä tarkoituksista on asiakastarpeen ja tuotespesifikaatioiden tunnistaminen. Näiden pohjalta voidaan myöhemmin muodostaa tuotteelle toiminnalliset tavoitteet. (Hietikko 2021, 63.) Nimensä mukaisesti konseptisuunnitteluvaiheessa myös ideoidaan tuotteen toimintaa ja luodaan vaihtoehtoisia toteutuskonsepteja. Konseptisuunnitteluvaiheen lopputuloksena syntyy yksi tai useampi tuotekonsepti jatkokehitystä varten. (Ulrich & Eppinger 2020, 15.)

Asiakastarpeen selvittäminen ei aina ole helppo tehtävä. Asiakas ei välttämättä osaa kuvailla, millainen tuotteen pitäisi olla. Usein hän kuitenkin osaa kertoa ongelmista tai tarpeista muiden tuotteiden käyttökokemuksen kautta. Asiakastarpeista pystytään keräämään tietoa eri menetelmillä. Tiedonkeruussa voidaan hyödyntää esimerkiksi kyselyitä, tutkimuksia tai haastatteluita. Voidaan myös tarkkailla käyttäjiä tai asettua itse käyttäjän rooliin. (Hietikko 2021, 64.)

Seuraavaksi selvitetty tiedot analysoidaan ja ne muutetaan tarpeiksi. Upper & Eppinger mallissa tarpeiden tunnistamiseen käytetään tarvelauseita. Tarvelause muodostetaan muuttamalla ongelmakuvaus tarpeeksi taulukon 1 mukaisesti. (Hietikko 2021, 68–69.)

Lausunto	Tarvelause
"Pudotan työkalun useita kertoja päivässä"	Työkalu toimii normaalisti vaikka se putoaa useita kertoja
"Työkalusta loppuu akku ja työ keskeytyy yllättäen"	Työkalussa on akun varaustason osoitin
"Pelottaa että sormet jäävät terän väliin"	Työkalun terä on suojattu suojalevyllä

Taulukko 1. Tarvelauseiden muodostaminen (Hietikko 2021, 68).

Tuotteen spesifikaatioiden määrittämiseen hyödynnetään tarvelauseita. Jokaiselle tarpeelle määritetään yksi tai useampi sitä kuvaava numeraalinen ja mitattavissa oleva suure. Joissakin tapauksissa tarpeelle ei voida määrittää mitattavaa suuretta. Tällaisessa tapauksessa tarpeen katsotaan olevan subjektiivinen, jolloin suureen tilalle voidaan kirjoittaa esimerkiksi teksti: "subj." (Hietikko 2021, 75.)

Spesifikaatioiden määrittämisen apuna on hyvä kartoittaa kilpailevia tuotteita ja niiden kykyä asiakastarpeiden täyttämisessä. Kilpailijoiden tuotteiden arviointiin voidaan käyttää esimerkiksi benchmarkkaus-menetelmää, jossa kilpailevaa tuotetta verrataan spesifikaatioihin tai tarvelauseisiin nähden. Tarkoituksena on löytää tuotteelle tavoiteltavia suurearvoja ja selvittää mihin asiakkaiden tarpeisiin tulee kiinnittää erityisesti huomiota. (Hietikko 2021, 76.)

Quality Function Deployment (QFD) -Menetelmän tarkoitus on asettaa asiakasvaatimukset tärkeysjärjestykseen ja muuttaa ne mitattaviksi tavoitteiksi. Menetelmän avulla voidaan asiakastarvelähtöisesti verrata oman tuotteen ominaisuuksia kilpaileviin tuotteisiin. QFD-menetelmän käyttö on suotavaa, vaikka ongelma olisikin hyvin tunnistettu. Menetelmälle ominaista on jäsennelty työjärjestys, jossa ensin määritetään mitä on saatava aikaan. Tämän jälkeen pohditaan, miten tehtävä toteutetaan. Tuotoksena menetelmän käytöstä syntyy QFD-laatu-kaavio. (Hietikko 2021, 83.)

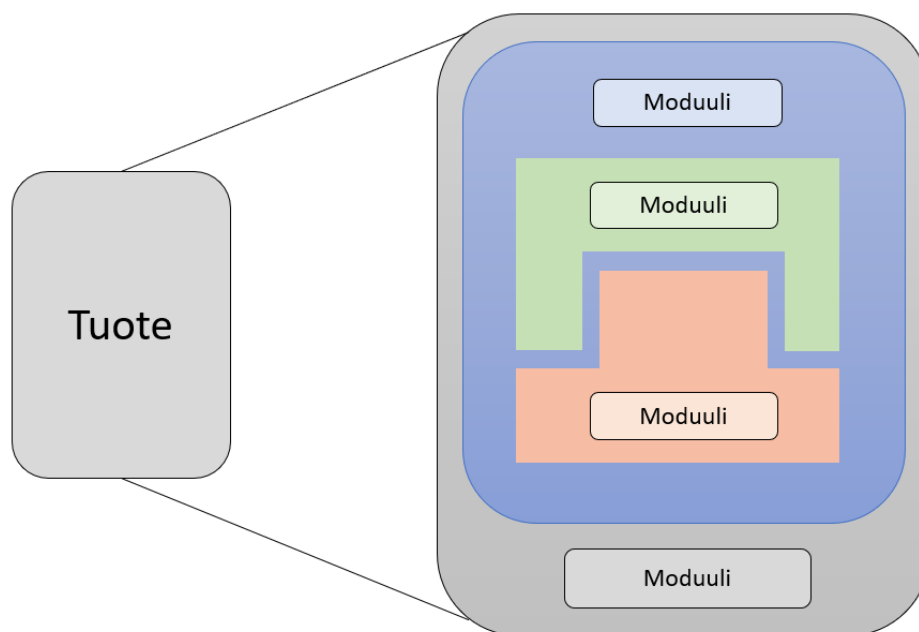
Kun tuotteelle on asetettu asiakasvaatimusten mukaiset spesifikaatiot, voidaan siirtyä luonnosteluvaiheeseen. Vaiheen tarkoituksena on luoda monipuolisia ja aikaisemmista poikkeavia näkemyksiä tuotteesta. Näiden näkemysten pohjalta tulee pystyä luomaan tuotteesta luonnos, joka on ensimmäinen visuaalinen esitys ideasta. Luonnoksen ei tarvitse olla tarkka, mutta sen tulee olla laadukas kuvaus konseptista. Laadukas luonnos on sellainen, jota voidaan tarvittaessa hyödyntää myöhemmissä kehitysaskelissa. Nykyään luonnostelun apuvälineenä pystytään hyödyntämään tietotekniikan tarjoamia mahdollisuuksia. Paperille tehdyn luonnoksen merkitystä ei kuitenkaan pidä vähätellä. (Hietikko 2021, 97,103.)

Usein luonnosteluvaiheessa syntyy lukuisia konsepteja ja kuvauksia tuotteen toiminnasta. Aikataulu ja kustannukset rajoittavat tuotteiden rinnakkaista kehittämistä. Tyypillisesti idoista vain yksi tai kaksi voidaan ottaa jatkokehitykseen. On kiinnitettävä erityistä huomioita, mitkä konseptit päätyvät jatkokehittäväksi. Evaluoinnin apuvälineenä voidaan käyttää esimerkiksi erilaisia valintamatriiseja, joiden avulla voidaan tarkastella valintaa spesifikaatioiden tai asiakastarpeen näkökohdista. (Hietikko 2021, 111.)

3.4 Systeemis suunnittelu

Systeemis suunnitteluvaiheessa jatkokehitykseen päätyneen konseptin rakenne puretaan osakokonaisuuksiin. Vaiheessa aletaan tarkemmin pohtimaan tuotteen arkkitehtuuria ja rakennetta. Systeemis suunnitteluvaiheessa otetaan myös kantaa, mikä osa tuotteesta valmistetaan itse, mikä alihankintana ja mitä ostetaan. (Hietikko 2021, 123.)

Systeemis suunnitteluvaiheessa luonnosteltu konsepti jaetaan toiminnallisesti osiin. Toiminnallisista kokonaisuuksista pyritään jakamaan järkevästi moduloitu toimintorakenne. Moduloidussa rakenteessa toimintokokonaisuuksille on määriteltä kuvion 3 mukaiset selkeät rajapinnat. Moduloinnin suunnittelussa voidaan hyödyntää erilaisia menetelmiä, kuten Modular Function Deployment (MFD) -modulointijärjestelmää. (Hietikko 2021, 124.)



Kuvio 3. Tuotteen modulointi (Hietikko 2021, 124).

Hyvin moduloidun rakenteen hyötynä on saavuttaa useampien asiakkaiden vaatimukset sekä nopeuttaa ja helpottaa myyntiprosessia. Moduloinnilla on saavutettavissa samaan alustaan perustuva tuoteperhe, jonka ominaisuuksia voidaan lisätä tai karsia asiakastarpeen mukaan. Tällä saadaan pienennettyä asiakaskohtaisen räätälöinnin tarvetta ja vapautettua resursseja tuotekehityksen tarpeisiin. (Hietikko 2021, 125.)

3.5 Detaljisuunnittelu

Detaljisuunnitteluvaiheessa tuote saa lopullisen muotonsa. Prosessissa laaditaan tuotteen valmistukseen tarvittavat yksityiskohtaiset suunnitelmat. Vaiheessa tehdään myös päätös käytettävistä materiaaleista ja toleransseista. (Ulrich & Eppinger 2020, 15.) Tuotteiden suunnittelutyö tapahtuu nykypäivänä lähtökohtaisesti tietokoneella. Tietotekniikan kehittyessä perinteisten piirustusten lisäksi 3D-malli on yhä enenemissä määrin osa tuotteen valmistamissuunnitelmaa. (Hietikko 2021, 135.)

Detalji-suunnitteluvaiheen lopputuloksena syntyy kaikki tuotteen valmistukseen tarvittavat tiedostot ja dokumentointi. Tyypillisesti liitteenä on muun muassa kokoonpano-, osakokoonpano- ja yksittäiset osapiirustukset. Kokoonpanopiirustusten yhteydessä tulee olla osaluettelo, jossa on merkitty kaikki kokoonpanossa käytetyt osat. Muut yrityksen sisäiset luonnokset sekä laskentadokumentit tulee arkistoida ja pystyä esittämään tarvittaessa. (Hietikko 2021, 150.)

3.6 Testaus ja parannus

Tuotteen testaamiseen voidaan käyttää prototyyppiä. Yleisesti prototyyppi käsitetään tuotteen ensimmäisenä fyysisenä muotona. Parhaimmillaan prototyyppi voi vastata lähes täydellisesti lopullista tuotetta tai vaihtoehtoisesti kuvata yksittäistä tuotteen ominaisuutta. Tietotekniikan ja simulointimenetelmien kehittymisen mahdollistaa tuotteen toiminnan testaamisen jo tuotekehitysprosessin aikaisemmissa vaiheissa. Simuloinnilla pystytään lisäämään varmuutta tuotteen toiminnallisuudesta. Näin ollen saadaan vähennettyä fyysisten prototyyppien määrää ja tarvetta. (Hietikko 2021, 195–196, 199.)

Testausvaiheen tavoitteena on varmistua tuotteen toiminnasta ja valmistuskustannuksista ennen tuotannon käynnistämistä. Testauksella pyritään tunnistamaan puutteita ja minimoimaan lopputuotteeseen tarvittavien suunnittelumuutoksien määrää. (Ulrich & Eppinger 2020, 15–16.)

3.7 Tuotannon käynnistäminen

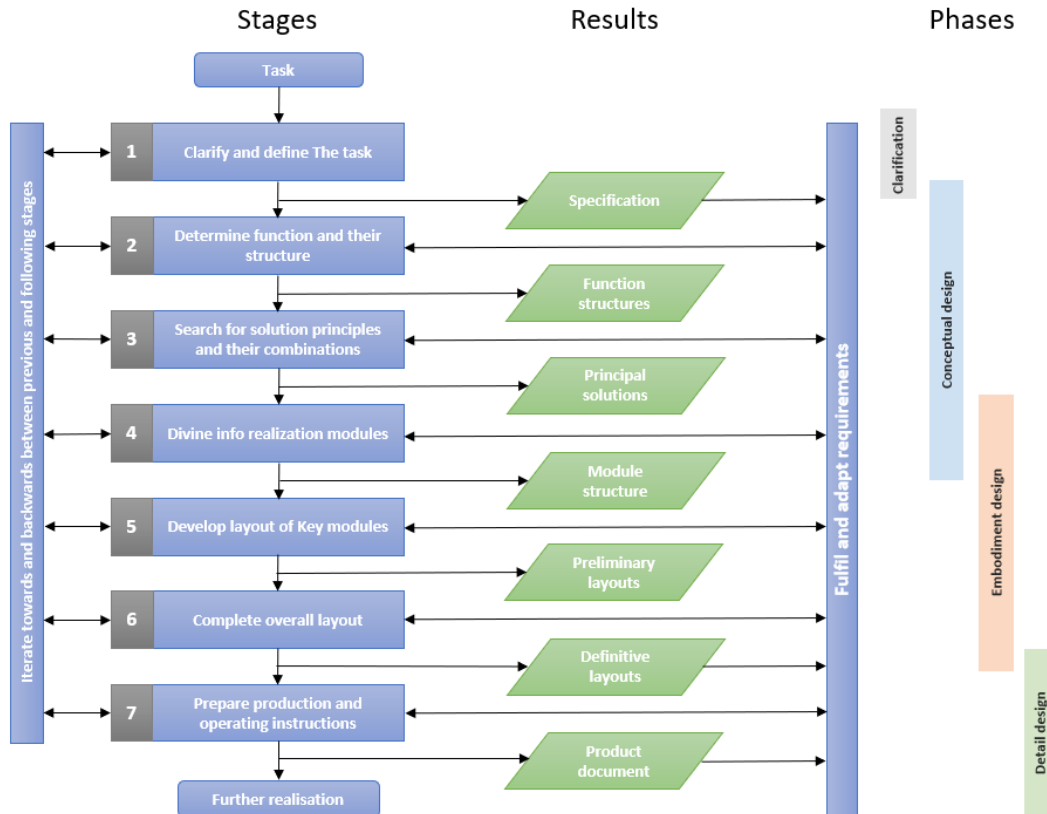
Ulrich & Eppinger- mallin viimeinen vaihe on tuotannon käynnistäminen. Tuotannonkäynnistämisvaiheessa tuote valmistetaan sille tarkoitetulla valmistusmenetelmällä. Tarkoituksena on tunnistaa ja ratkaista viimeiset ongelmat. Tuotannon käynnistämisvaiheessa voidaan myös kouluttaa henkilöstöä ennen varsinaisen tuotannon aloittamista. (Ulrich & Eppinger 2020, 15–16.)

Varsinaisen tuotannon aloitus toteutetaan yleensä asteittain. Aluksi tuotteesta valmistetaan koesarja. (Hietikko 2021, 49.) Tuotannon asteittainen käynnistäminen mahdollistaa kehityskohteiden tunnistamisen. Tunnistettuja kehityskohteita parantamalla voidaan tuotantoprosessia optimoida esisarjan aikana. Tuotannon käynnistämisvaiheen tavoitteena on saattaa tuotekehitysprojektin lopputuloksena syntyvä tuote markkinoille. (Ulrich & Eppinger 2020, 15–16.)

4 VDI 2221

4.1 Systemaattinen suunnitteluprosessi

Systemaattinen suunnitteluprosessi VDI 2221 on VDI:n (Association of German Engineers) laatima suunnitteluohjeistus. Ohjeistus on laadittu vuonna 1993 ja sen viimeisin päivitys on tehty vuonna 2006. Ohjeistus perustuu vuonna 1973 laadittuun VDI 2222-standardiin. Ohjeistuksen tavoite on tarjota suunnitteluprosessi tekniikan alan tuotekehityksen tarpeisiin. (Jänsch ja Birkhofer 2006, 45,47.) VDI 2221 -tuotekehitysprosessi on jaettu neljään kuviossa 4 kuvattuun päävaiheeseen. Samaan tapaan kuin Ulrich & Eppinger -prosessimallissa, jokaisen vaiheen lopuksi tehdään päätös jatkamisesta seuraavaan vaiheeseen. Mikäli vaiheessa ei ole saavutettu haluttua tulosta, voidaan tarvittaessa palata taaksepäin ja täydentää puutteita. (Jänsch ja Birkhofer 2006, 49.)



Kuvio 4. VDI 2221 mukainen malli (Jänsch ja Birkhofer, 49).

VDI 2221 -prosessin päävaiheet ovat: tehtävänmäärittely-, luonnostelu-, kehittäminen- ja viimeistelyvaihe. Päävaiheet koostuvat seitsemästä toteutusvaiheesta, joilla kaikilla on tarkoituksensa ja ne tuottavat tietyn lopputuloksen. Vuonna 2006 päivitettyssä prosessimallissa päävaiheistus on pysynyt samana. Vanhempiin julkaisuihin verrattuna siinä on kuitenkin painotettu enemmän dynaamisuutta ja vaatimusten mukauttamista prosessin aikana. (Jänsch ja Birkhofer 2006, 47–49.)

4.2 Tehtävän selvittely

VDI 2221 -ohjeistuksen ensimmäinen vaihe on tehtävän selvittely. Pahl ja Beitz (1990) mukaan tehtävän selvittelyvaiheen tarkoituksena on selvittää mahdollisimman kattavasti suunnittelutyöhön tarvittavia lähtötietoja. Kattavat tiedot mahdollistavat optimaaliseen lopputulokseen päätyksen. Tehtävän selvittelyvaiheessa pyritään selvittämään, mistä ongelmassa on oikeasti kysymys ja mitä

vaatimuksia se asettaa tuotteelle. Lopulta kaikki informaatio yhdistetään taulukon 2 mukaiseksi vaatimuslistaksi. Vaatimusten määrittelyssä tulee kiinnittää erityistä huomiota siihen, että kaikki osapuolet ymmärtävät vaatimukset samalla tavalla. On myös huomioitava, että tehtävän asettelussa edeltä määritetyt ratkaisuvaihtoehdot ja ohjaileva toiminta voivat häiritä optimaaliseen tulokseen pääsemistä. (Pahl & Beitz 1990, 62–64.)

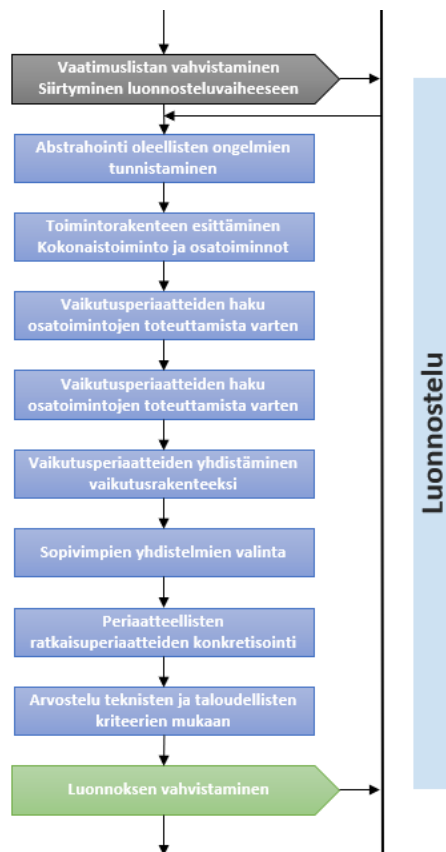
Päivämäärä	V	Vaatus	Vaatuslista	
	T	Toive		
Muutos päivämäärä			Vaatuskset	Vaataava
XX.XX.XXXX	V	Vaatus 1.		
XX.XX.XXXX	V	Vaatus 2.		
XX.XX.XXXX	T	Toivomus 1.		
XX.XX.XXXX	T	Toivomus 2.		
XX.XX.XXXX	V	Vaatus 3.		
XX.XX.XXXX	T	Toivomus 3.		

Taulukko 2. Esimerkki vaatimuslistasta (Pahl & Beitz 1990, 75).

Vaatimuslistassa esitetään selkeästi ja yksiselitteisesti kaikki tuotteen toiminnan kannalta oleelliset vaatimukset. Vaatimukset tulisi esittää listassa tarkkoina numeerisina lukuarvoina. Määritettyjen lukuarvojen avulla niiden täyttyminen on myöhemmin helppo todentaa. Vaatimuksen voi myös esittää selkeällä ja yksiselitteisellä sanallisella kuvauksella. Vaatimuslistaa laadittaessa erotellaan tuotteelta vaadittavat ja siltä toivottavat ominaisuudet. Vaatus on ehdoton ominaisuus, joka tuotteessa on oltava. Toivomus on toissijainen ominaisuus, joka toteutetaan resurssien salliessa. (Pahl & Beitz 1990, 64.)

4.3 Luonnostelu

Luonnosteluvaiheessa muodostetaan yleiskäsitys tuotteen toiminnasta. Ennen vaiheen aloittamista tehdään päätös siitä, ovatko lähtötiedot konstruktion kehittämiselle tarpeeksi kattavat, vai tarvitseeko vaatimuksia tarkentaa. Ennen luonnosteluvaiheen aloittamista on myös suotavaa muodostaa johtopäätös, onko tavoitteiden saavuttaminen realistista. (Pahl & Beitz 1990, 71.)



Kuvio 5. Ideointivaihe (Pahl & Beitz 1990, 72).

VDI 2221 mukainen luonnosteluvaihe etenee kaavion 5 mukaisesti. Vaiheen tarkoituksena on määrittää ongelman ydinolemus ja etsiä siihen ratkaisu. Luonnosteluvaiheessa määritetään konstruktiolta vaadittavat toiminnot ja niiden ratkaisuvaihtoehdot. Vaiheen lopputuloksena syntyy yksi tai useampi ongelman ratkaiseva muunnelma. Lopuksi ratkaisumuunnelma tai -muunnelmat konkretisoidaan luonnokseksi. (Pahl & Beitz 1990, 71–72.)

4.3.1 Yleiskäsityksen muodostaminen

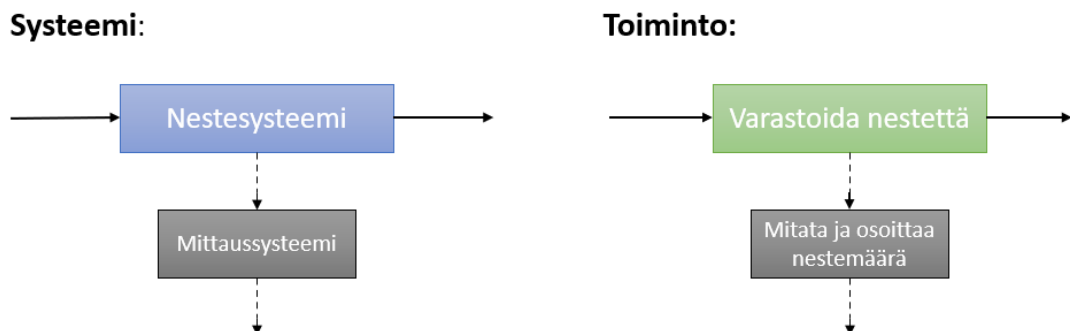
Kokonaistoiminnon ja ongelmaa luonnehtivien edellytysten tunnistamiseen voidaan käyttää apuna abstrahointi -menetelmää. Sen tarkoituksena on korostaa yleispätevyyttä ja oleellisuutta sekä ehkäistä ennakkokäsitysten vaikutusta lopputulokseen. Abstrahointia voidaan toteuttaa vaatimuslistan toiminnallisten riippuvuuksien ja oleellisten reunaehtojen löytämiseksi. Ensin vaatimuslistassa

karsitaan toiveet sekä toiminnan kannalta epäolennaiset vaatimukset. Abstrahointi prosessin aikana vaatimuslistan määrälliset määritelmät muutetaan neutraaleiksi ja lyhyiksi laadullisiksi kuvauksiksi. (Pahl & Beitz 1990, 73.)

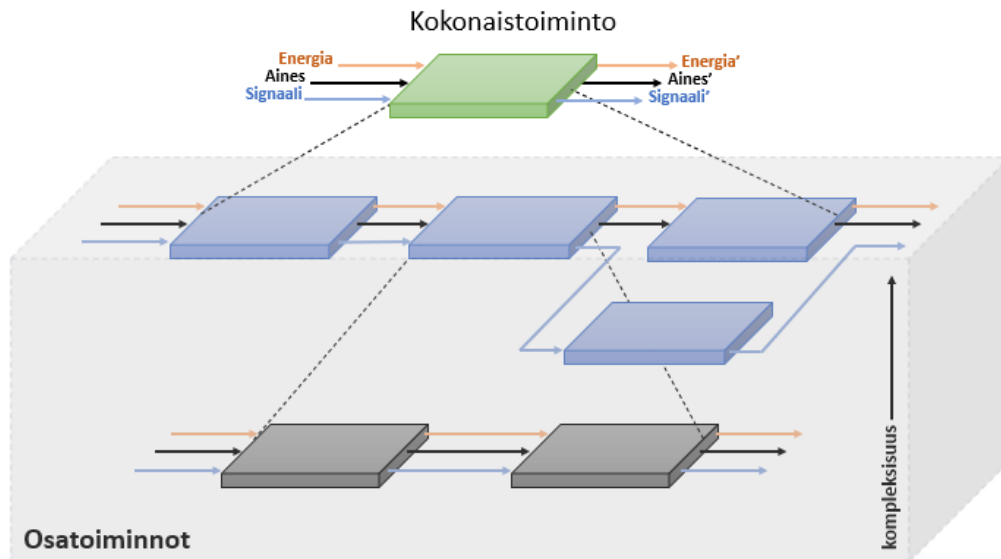
Abstrahointiprosessin lopputuloksena syntyy kuvaus ongelman ydinolemuksesta. Prosessi auttaa rajaamaan pois näennäisiä rajoitteita ja tunnistamaan konstruktion kannalta oleelliset vaatimukset. Tällä pyritään poistamaan suunnittelijan mielikuvien muodostamia näennäisrajoitteita kriittisen analysoinnin avulla. Näin suunnittelija voi löytää innovatiivisemman tavan ongelmanratkaisuun. (Pahl & Beitz 1990, 80.)

4.3.2 Toimintorakenteen luominen

Abstrahoinnin lopputuloksena syntynyt kuvaus ongelman ydinolemuksesta kuvaa myös tuotteen toiminnallista tavoitetta. Tästä voidaan muodostaa konstruktion kokonaistoiminto. Toiminto voidaan esittää kuvion 6 mukaisella lohkokaavilla. Lohkokaavion tarkoituksena on esittää yksiselitteisesti tulo- ja lähtösuureiden riippuvuus. Määritelty kokonaistoiminto voidaan jakaa edelleen pienempiin osatoimintoihin. Kuviossa 7 on esitetty kolmetasoinen toimintorakenne. Toimintorakenteen syvyys ilmaisee konstruktion kompleksisuutta. (Pahl ja Beitz 1990, 81–82.)



Kuvio 6. Systeemin kokonaistoiminnon kuvaus (Pahl & Beitz 1990, 81).



Kuvio 7. Toimintorakenteen muodostuminen (Pahl & Beitz 1990, 82).

Uusia konstruktioita kehitettäessä tuotteen toiminnot ovat usein tuntemattomia. Tämän takia osatoimintojen määrittäminen on yksi luonnosteluvaiheen tärkeimmistä tehtävistä. Toimintojen erillinen tarkastelu mahdollistaa moduloinnin sekä optimaalisen ratkaisunhaun ja osasysteemien kehittämisen. (Pahl ja Beitz 1990, 82.)

4.3.3 Vaikutusperiaatteiden haku ja yhdistäminen

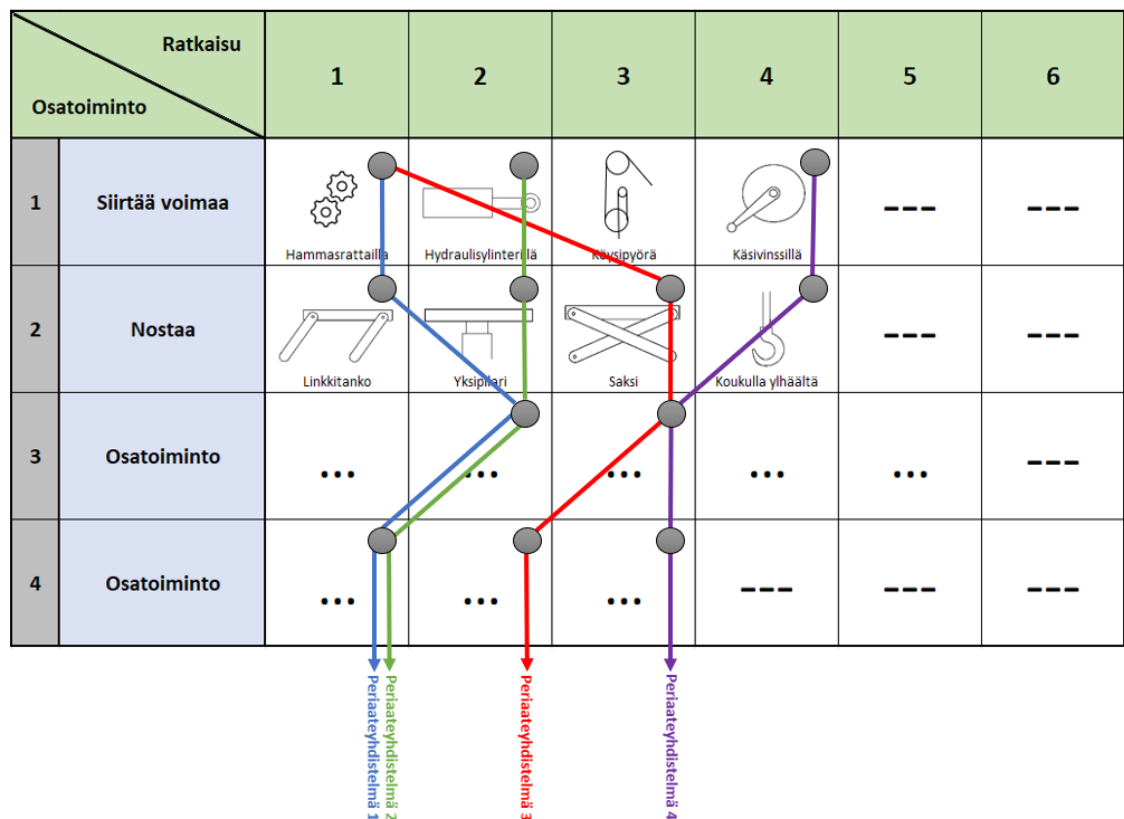
Vaikutusperiaatteiden haulla pyritään löytämään ratkaisuvaihtoehtoja tunnistetuille osatoiminnoille. Tarkoituksena on ideoida jokaiselle toiminnolle useampia mahdollisia ratkaisuehdotuksia. Ideoinnin tuloksena syntyneistä ratkaisuvaihtoehtoista valitaan myöhemmin parhaimmat kokonaisuudet jatkokehitykseen. (Pahl & Beitz 1990, 99.)

Kokemuksen ja aikaisemman osaamisen lisäksi ideoinnin apuvälineenä voidaan käyttää tunnettuja teknisiä systeeimejä. Ideoita voidaan hakea esimerkiksi analysoimalla samankaltaisten ja kilpailevien tuotteiden rakenteita. Ideoita voidaan myös saada tutkimustiedosta tai luonnon biomekaanisia konstruktioita

analysoimalla. (Pahl & Beitz 1990, 99–100.) Ideoinnin tueksi on myös kehitetty lukuisia ideointimenetelmiä kuten aivorihi, delfi-metodi ja synetiikka (Pahl & Beitz 1990, 103–104).

Kokonaistoiminnon toteuttamiseksi ideoinnin pohjalta syntyneet vaikutusperiaatteet yhdistetään vaikutusrakenteeksi. Jotkin ideoinnin tuloksena syntyneistä ratkaisuehdotuksista voivat olla sellaisenaan käyttökelpoisia ja yhteensopivia.

Usein yhdelle osatoiminnolle on kuitenkin useampia ratkaisuehdotuksia, joiden toimivuutta ja yhteensopivuutta voidaan tarkastella erilaisilla yhdistelymenetelmillä. Optimaalisen kokonaisratkaisun hakuun voidaan käyttää esimerkiksi kuvion 8 mukaista morfologista jäsentelykaaviota. (Pahl & Beitz 1990, 129.)



Kuvio 8. Morfologinen jäsentelykaavio (mukaillen Pahl & Beitz 1990, 130).

Kaaviossa jokaiselle osatoiminnolle valitaan sitä vastaava vaikutusperiaate toimintorakenteen määräämässä järjestyksessä. Tarkoituksena on tunnistaa toiminnaltaan yhteensopivat vaikutusperiaatteiden yhdistelmävaihtoehdot. Prosessin lopputuloksena tulisi syntyä useita toiminnaltaan yhteensopivia

vaikutusrakenteita. Näiden vaikutusrakenteiden tulee mahdollistaa kokonaistoinnin toteuttaminen. (Pahl & Beitz 1990, 129.)

4.3.4 Ratkaisuvaihtoehtojen valinta

Vaikutusperiaatteiden yhdistelyvaiheessa pyritään löytämään mahdollisimman monta ratkaisuvaihtoehtoa. Vaihtoehtojen suuren määrän takia voi olla haasteellista löytää näistä taloudellisesti ja toiminnallisesti optimaalisin vaihtoehto. Päätöksessä tehtävien virheiden minimoimiseksi valinnan apuna voidaan käyttää esimerkiksi valintalista-menettelyä. (Pahl & Beitz 1990, 133.)

Valintalista-menettelyssä taulukon 3 mukaiseen valintalistaan asetetaan selkeitä kriteereitä, jotka ratkaisuvaihtoehdon tulee täyttää. Aluksi kriteereillä A ja B hylätään selvästi vaatimuslistan vaatimuksia laiminlyövät vaihtoehdot. Seuraavaksi jälkeen jäljelle jääviä vaihtoehtoja voidaan karsia entisestään kriteereillä C ja D. Tässä vaiheessa tarkastellaan ratkaisuvaihtoehdon toteutettavuutta niiden realisoitavuuden ja taloudellisen kannattavuuden näkökulmista. Tarpeen mukaan taulukkoon voidaan lisätä myös muita tarkoitukseen sopivia arviointikriteereitä. Mikäli päätöstä ei voida tehdä tiedon puutteen vuoksi, on selvitettävä valintaan tarvittavat lisätiedot. Tämän jälkeen arviointiprosessi suoritetaan uudelleen kyseisen ratkaisun osalta. (Pahl & Beitz 1990, 134.)

VALINTALISTA									
Ratkaisumuunnelman tunnus ja numero:	RATKAISUMUUNNELMA (RM)						Päätöksenteko		
	Arvostellaan valintakriteerien mukaan						Ratkaisumuunnelmat (RM)		
	+ Kyllä						Merkittään:		
	- Ei						(+): Ratkaisuja kehitellään edelleen		
	? Informaation puute						(-): Ratkaisu hylätään		
	! Vaatimuslistaa tarkistettava						(?) Hankittava informaatiota (ratkaisu arvioitava uudelleen)		
							(!) Harkittava vaatimuslistan muutosta		
	Yhteensopivuus taattu								
	Vaatimuslistan vaatimukset täytetty								
	Periaatteessa realisoitavissa								
Kustannukset hyväksyttävissä									
Välitön turvallisuustekniikka olemassa									
Omalle yritykselle hyvin sopiva									
RM	A	B	C	D	E	F	G	Huomautuksia	
1	+	+	+	?				Mittauskohtien lukumäärä	
2	+	-						Massan sijoitus	
3	-							Radioaktiivisuus	
4	+	+	+	+		(+)		(Tähänastisten ratkaisujen jatkokehiteelmä)	
5	+	+	+	+					
6	-							Neste ei johtuvaa	
7	+	+	+	+					
8	+	+	+	+				Kts. RM 7.	
9									
10									
11									
12									
13									
14									
15									

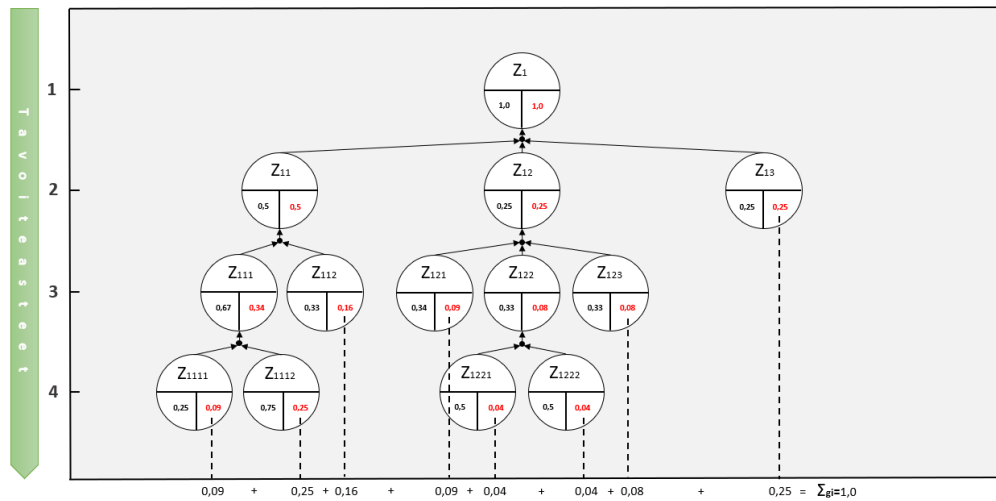
Taulukko 3. Esimerkki valintalistasta (mukaillen Pahl & Beitz 1990, 136).

Valintalistassa ratkaisuvaihtoehtoja käsitellään periaatteellisesti. Periaatteellisen ratkaisun pohjalta ei vielä voida tehdä luotettavaa luonnoksen vahvistamispäätöstä. On tärkeää hakea ratkaisuperiaatteesta myös konkreettisempi näkökulma. Konkreettisemmän arvioinnin tueksi voidaan tehdä esimerkiksi suuntaa antavia laskelmia, esi- ja mallikokeita, simulointeja, markkinatutkimuksia, havaintomalleja tai luonnoksenomaisia kuvauksia. Tarkoituksena on hankkia riittävästi informaatiota niin, että ominaisuuksia pystytään kuvaamaan jollakin mitattavalla suureella. Tämä mahdollistaa myöhemmin vaikutusrakenteiden arvioinnin pisteyttämällä. (Pahl & Beitz 1990, 138.)

Ratkaisuvaihtoehtojen arviointiin on myös luotu erilaisia pisteytykseen perustuvia arviointimenetelmiä. Menetelmien avulla päätöksenteolle saadaan konkreettinen peruste. Hyötyarvoanalyysimenetelmä jakaa tavoitejärjestelmän hierarkkisesti osatavoitteisiin. Menetelmä auttaa kaikkien olennaisten osatavoitteiden

huomioimisessa. Kuviossa 9 on kuvattu neljään tavoiteasteeseen jaettu pisteytämisyjärjestelmä. Järjestelmässä painokertoimet asetetaan niin, että jokaisen tavoiteasteen ja tavoitejoukon painokertoimien summa vaakasuunnassa on 1.

Osatavoitteen painoarvo on itsensä ja sitä ylempien osatavoitteiden tulo. Esimerkiksi $Z_{1111} \cdot Z_{111} \cdot Z_{11} \cdot Z_1 = 0.09$. (Pahl & Beitz 1990, 141.)



Kuvio 9. Tavoitejärjestelmän rakenne painokertoimilla (mukaillen Pahl & Beitz 1990, 142).

Seuraavaksi aikaisemmin analysoinnin ja selvityksien kautta määritetyt ominaisuudet asetetaan vastaamaan arviointikriteereitä. Tämä voidaan toteuttaa taulukon 4 mukaisella arviointilistalla. Lista asetetaan vierekkäin arviointikriteeri, -kriteerin painoarvo ja jokaisen ratkaisuvaihtoehdon niitä vastaavat ominaisuudet. Seuraavaksi hyötyarvoanalyysissä ominaisuuksille määritellään 0–10 arvo taulukon 5 mukaisella tavalla. Tämän arvon ja sitä vastaavan arviointikriteerin painoarvon tulo on muunnelman osa-arvo. Lopullinen pisteytys tapahtuu laskemalla ratkaisuvaihtoehtojen osa-arvojen summa. (Pahl & Beitz 1990, 143–145.)

Arviointikriteeri			Ominaisuudet		Muunnelma V1			Muunnelma V2			Muunnelma V3		
Nr.		Painotus		Yksikkö	Ominaisuus e ₁	Arvo w ₁	Punn arvo wg ₁	Ominaisuus e ₂	Arvo w ₂	Punn arvo wg ₂	Ominaisuus e ₃	Arvo w ₃	Punn arvo wg ₃
1	Pieni polttoaineen kulutus	0,3	Polttoaineen kulutus	$\frac{g}{kWh}$	240	8	2,4	300	5	1,5	—	—	—
2	Kevyt rakenteinen	0,15	Tehopaino	$\frac{kg}{kW}$	1,7	9	1,35	2,7	4	0,6	—	—	—
3	Helppo valmistaa	0,01	Valuosien valmistuksen helppous	-	Mutkikas	2	0,2	Keskimääräinen	5	0,5	—	—	—
4	Pitkä elinikä	0,2	Elinikä	km	80000	4	0,8	150000	7	1,4	—	—	—
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
i		g _i			e ₁	w ₁	wg ₁	e ₂	w ₂	wg ₂	e ₃	w ₃	wg ₃
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
n		g _n			e ₁	w ₁	wg ₁	e ₂	w ₂	wg ₂	e ₃	w ₃	wg ₃
		$\sum_{i=1}^n p_i = 1$				Gw ₁ w ₁	Gwg ₁ Wg ₁		Gw ₂ w ₂	Gwg ₂ Wg ₂		Gw ₃ w ₃	Gwg ₃ Wg ₃

Taulukko 4. Arviointilista (mukaillen Pahl & Beitz 1990, 148).

Arvoasteikko		Ominaisuudet			
Hyötyarvoanalyysi		Polttoainekulutus	Tehopaino	Valuosien yksinkertaisuus	Elinikä
Pisteet w _i	merkityksellisyys	g/kWh	kg/kW		
0	täysin käyttökelvoton ratkaisu	400	3,5	Erittäin mutkikas	20000
1	hyvin puutteellinen ratkaisu	380	3,3		30000
2	heikko ratkaisu	360	3,1	Mutkikas	40000
3	siedettävä ratkaisu	340	2,9		60000
4	riittävä ratkaisu	320	2,7	Kesinkertainen	80000
5	tydyttävä ratkaisu	300	2,5		100000
6	hyvä ratkaisu, pieniä puutteita	280	2,3	Yksinkertainen	120000
7	hyvä ratkaisu, pieniä puutteita	260	2,1		140000
8	hyvin hyvä ratkaisu	240	1,9	Erittäin yksinkertainen	200000
9	tavoitteet ylittävä ratkaisu	220	1,7		300000
10	ideaaliratkaisu	200	1,5		500000

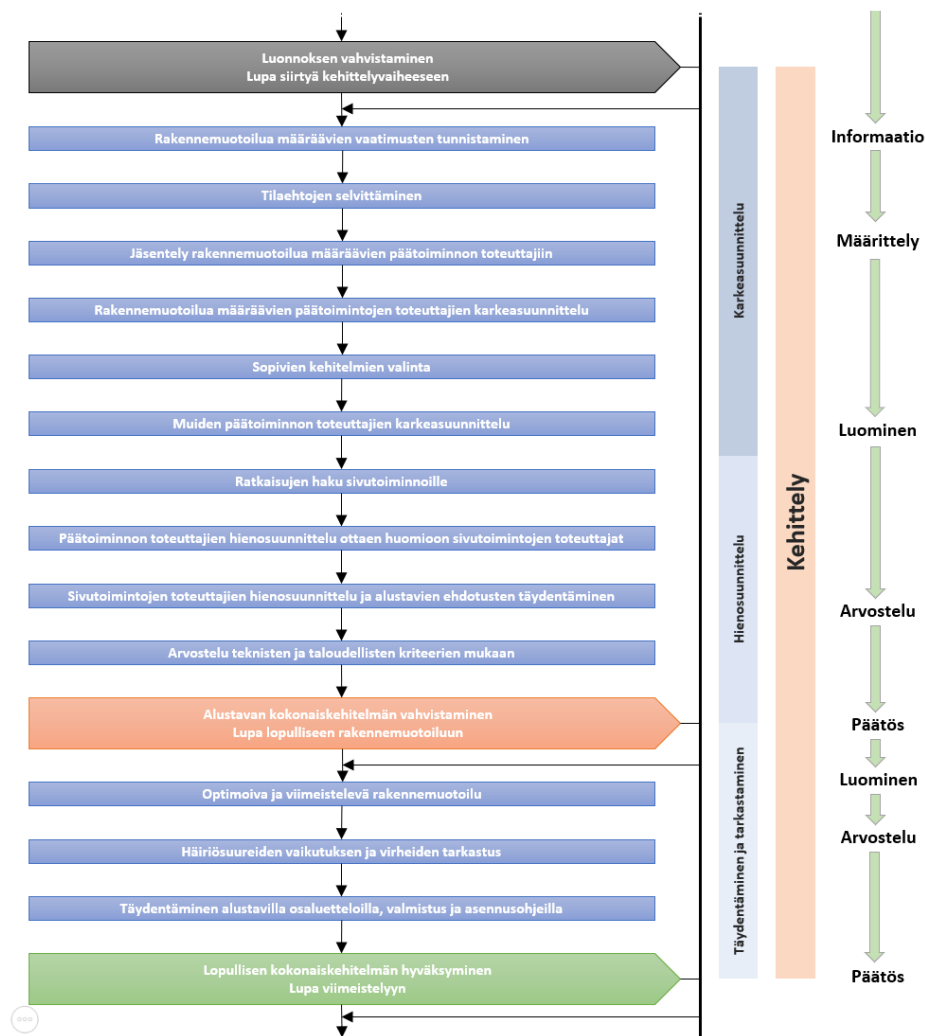
Taulukko 5. Hyötyarvoanalyysin mukainen arvostelukaavio (mukaillen Pahl & Beitz 1990, 147).

Pisteytyksen perusteella voidaan ratkaisuvaihtoehtojen paremmuutta tarkastella objektiivisemmin. Valintalista-menettelyn tapaan tulosten kriittinen tarkastelu on kuitenkin tarpeellista ennen lopullisen päätöksen tekemistä. (Pahl & Beitz 1990, 145.)

4.4 Kehittely

Luonnoksen vahvistamisen jälkeen siirrytään kehittelyvaiheeseen. Vaiheessa luonnoksesta aletaan määrittämään konstruktion lopullista kokoonpanorakennetta. Sen aikana tuotteelle valitaan valmistusmenetelmät ja materiaalit, määritellään päämitat sekä kiinnitetään huomiota teknisiin ja taloudellisiin tekijöihin. (Pahl & Beitz 1990, 176.)

VDI 2221 -prosessin mukainen kehittäminen vaihe on kuvattu kuviossa 10. Monien toimien samanaikaisuus, työvaiheiden toistot ja muutosten rakenteelliset vaikutukset tekevät vaiheesta erityisen monimutkaisen. Tämän takia täysin systemaattinen ja kaavioimainen eteneminen voi olla haasteellista. Kehittelyvaiheessa on kuitenkin suotavaa pyrkiä etenemään vaiheistetusti. Prosessi on jaettu kolmeen vaiheeseen: Karkeasuunnittelu, hienosuunnittelu sekä täydentämis- ja tarkastusvaihe. (Pahl & Beitz 1990, 177.)



Kuvio 10. Kehittelyn työaskeleet (Pahl & Beitz 1990, 178).

Karkeasuunnitteluvaiheessa selvitetään vaatimuslistassa määritetyt oleellisesti rakennemuotoiluun vaikuttavat tekijät ja reunaehdot. Rakenteeseen vaikuttavia tekijöitä ovat esimerkiksi tilarajoitteet, kuormitukset, ergonomia- ja turvallisuusvaatimukset. Ne määräävät rakenteen muotoilua, mitoitus- ja

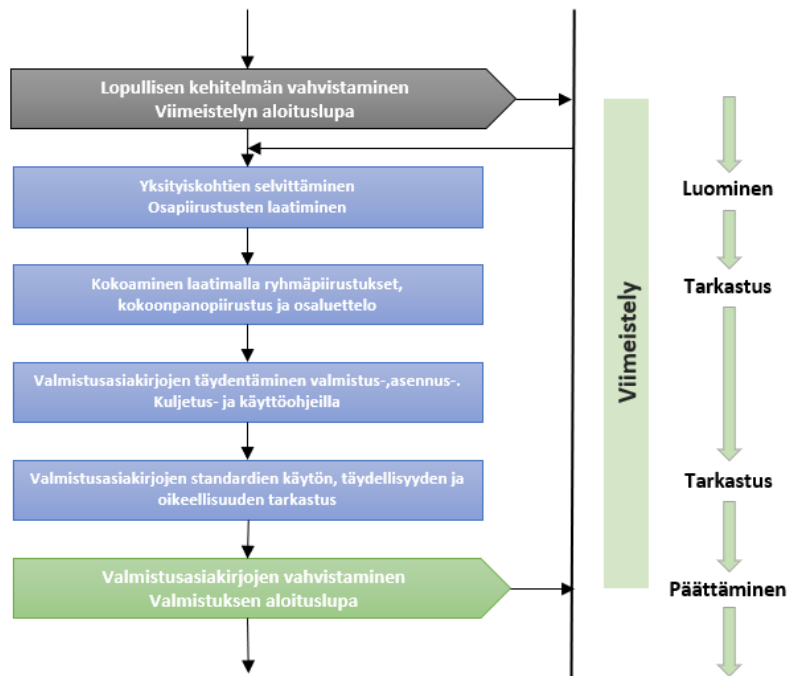
materiaalivalintoja. Tietojen selvittämisen jälkeen voidaan hahmotella konstruktion päätoiminnot toteuttavia kehitelmiä. Tässä vaiheessa on myös hyvä kiinnittää huomiota standardointiin ja modulointiin. (Pahl & Beitz 1990, 177, 179.)

Hienosuunnitteluvaiheessa tarkennetaan suunnittelua ohjeiden ja standardien avulla sekä tarkennetaan toteutusta tarkemmilla laskelmilla ja koetuloksilla. Vaiheessa viimeistellään pää- ja sivutoimintojen rajapinnat sekä lisätään rakenteesseen alihankinta ja standardiosat. Hienosuunnitteluvaiheen lopuksi kokoonpanorakenteille toteutetaan teknistaloudellinen arvio, jolla pystytään etsimään teknillisesti ja taloudellisesti paras ratkaisukehitelmä. (Pahl & Beitz 1990, 179.)

Täydentämis- ja tarkastusvaiheessa kokonaiskehityksen rakenne optimoidaan. Tässä vaiheessa pyritään löytämään viimeisiä puutteita sekä varmistetaan kustannustavoitteiden toteutuminen. Ilmentyneitä puutteita voidaan vielä parantaa esimerkiksi hyödyntämällä muiden kehitelmien parhaita puolia. Ennen rakenteen luovutusta viimeistelyyn sen tilankäytön sopivuus, toiminnot ja kestävyys tarkastetaan. (Pahl & Beitz 1990, 179.)

4.5 Viimeistely

Viimeistelyvaiheessa hyväksytylle kokoonpanorakenteelle tehdään valmistusteknillinen määrittely (Pahl & Beitz 1990, 50). Sen rakenteen kaikille osille määrätään lopulliset mitoitus, pinnanlaatu, materiaalit, sovitteet ja toleranssit. Viimeistelyvaiheen eteneminen on kuvattu kuviossa 11. Sen tavoitteena on laatia kaikki valmistuksen aloittamiseen tarvittava dokumentaatio, tiedostot sekä varmistaa laitteen häiriötön toiminta. (Pahl & Beitz 1990, 458–459.)



Kuvio 11. Viimeistelyn vaiheet (Pahl & Beitz 1990, 459).

Yleisesti viimeistelyvaiheessa laadittava dokumentointi sisältää ainakin osa- ja kokoonpanopiirustukset, lopulliset 3D-mallit, osaluettelot ja käyttö- sekä huolto-ohjeet. Vaiheen lopuksi tarkastetaan valmistusasiakirjojen, -dokumentoinnin ja tuotteen rakenteen laadullinen ja standardien vastaavuus. Vahvistamisen jälkeen tuote voidaan hyväksyä valmistukseen. (Pahl & Beitz 1990, 459.)

5 Lainsäädäntö

5.1 Konedirektiivi

Euroopan unionin alueella koneiden tulee olla konedirektiivi 2006/42/EY vaatimusten mukaisia. Tällä pyritään varmistamaan tuotteiden turvallisuus ja vapaa liikkuvuus EU:n alueella. Suomessa direktiivi on asetettu valtioneuvoston asetuksella koneiden turvallisuudesta 400/2008. (Tukes 2023.) Konedirektiivin tuotteelle asettamat vähimmäisvaatimukset ovat seuraavat: Koneen suunnittelun tulee olla toteutettu niin, että se täyttää konedirektiivin mukaiset olennaiset

terveys ja turvallisuusvaatimukset. Koneen mukana on toimitettava EY-vaatimuksenmukaisuusvakuutus sekä tekninen tiedosto. Koneessa on myös oltava direktiivinmukainen CE-merkintä. (Tukes 2023.)

Koneasetuksen 2 § mukaan asetuksen on määritetty koskevan koneita, vaihdettavia laitteita, nostoapuvälineitä, turvakomponentteja, nostoketjuja, -vöitä, -köysiä, osittain valmiita koneita sekä nivelakseleita. Soveltamisalan rajaukset on määritetty 3 §:ssä. Rajauksen mukaan asetus ei koske tietyntylaisia turvakomponentteja, tivoli- ja huvipuistolaitteita, tiettyjä ydinteknisiä laitteita, ajoneuvoja, kulkuvälineitä, merialuksia, lento- vesi- ja rautatieliikennevälineitä, erityisesti soveltaalliseen tai poliisin käyttöön tehtyjä koneita, kaivoskuiluissa käytettäviin nostolaitteita sekä tietyntylaisia sähkölaitteita. (Valtioneuvoston asetus koneiden turvallisuudesta 400/2008.)

Koneasetuksen 3 § määrittelee koneen muulla kuin ihmis- tai eläinvoimalla toimivaksi osien tai komponenttien yhdistelmäksi, jossa on yksi tai useampi liikkuva komponentti. Lisäksi koneeksi luokitellaan myös käsikäyttöiset nostovälineet, kuten käsivinssit ja tunkit. Asetus koskee myös muita ihmisvoimalla toimivia osista tai komponenteista muodostuvia laitteita, jotka ovat kokoonpantu nostamistarkoitukseen. (Valtioneuvoston asetus koneiden turvallisuudesta 400/2008.)

Koneasetuksen 4 § määrittelee nostoapulaitteen nostolaitteesta irtolaiseksi komponentiksi tai laitteeksi. Nostoapuväline on sijoitettu koneen ja kuorman väliin ja sen avulla kuormaan pystytään tarttumaan. Se voi olla kiinnitettynä kuormaan tai olla kiinteä osa sitä. (Valtioneuvoston asetus koneiden turvallisuudesta 400/2008.)

5.2 Terveys- ja turvallisuusvaatimukset

Koneasetuksen liitteessä 1 on asetettu koneen suunnittelua ja rakentamista koskevat olennaiset terveys- ja turvallisuusvaatimukset. Niiden mukaan valmistajan tulee varmistaa tarpeenmukaisesta terveys- ja turvallisuusvaatimukset

täyttävästä riskien arvioinnista. Riskinarvioinnissa tulee muun muassa huomioida käytön oikeellisuuden raja- ja mahdollinen ennakoitavissa oleva väärinkäyttö. Lisäksi on tunnistettava koneen käyttöön liittyviä vaaroja ja arvioitava riskien vaikutuksia sekä minimoitava riskejä tai niiden haittoja. (Valtioneuvoston asetus koneiden turvallisuudesta 400/2008.)

Koneen suunnittelun on oltava toteutettu käyttötarkoitukseen sopivaksi. Sen asianmukaisesta käytöstä tai huoltamisesta ei saa koitua vaaraa henkilölle. Koneen käyttäjälle on myös tiedotettava koneen käyttöön liittyvistä jäännösriskeistä sekä erikoiskoulutuksen tarpeesta. Lisäksi koneen mukana on toimitettava kaikki erikoisvarusteet ja -laitteet joita koneen turvallinen käyttäminen ja huoltaminen vaatii. (Valtioneuvoston asetus koneiden turvallisuudesta 400/2008.)

Koneen rakennemateriaaleista ei saa olla vaaraa terveydelle ja turvallisuudelle. Myös sen komponenttien kuljetus ja käsittely on oltava turvallisesti toteutettavissa. Koneen suunnittelun tulee olla toteutettu niin, että sen komponentit sekä liitoskappaleet ovat riittävän vakaita hallitsemattoman liikkeen estämiseksi. Koneen painopisteen heilahdukset eivät saa vaikuttaa koneen vakauteen liikuteltaessa. Heilahdukset eivät myöskään saa aiheuttaa koneen rakenteeseen liiallisen suuria rasituksia. (Valtioneuvoston asetus koneiden turvallisuudesta 400/2008.)

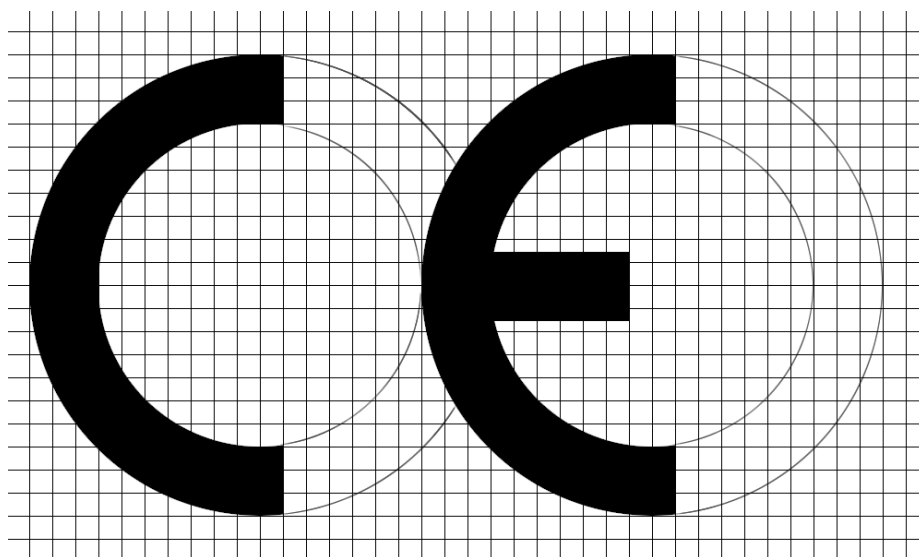
Koneiden ja nostolaitteiden on kestävä niihin käytössä sekä säilytyksessä kohdistuvat kuormitukset. Suunnittelussa ja materiaalin valinnassa on otettava huomioon mahdolliset olosuhteiden aiheuttamat vauriot. Mahdollisia rakennetta vaurioittavia tekijöitä ovat muun muassa korroosio, värinä, iskut, kuluminen, väsymisen, hauraus sekä vanheneminen. (Valtioneuvoston asetus koneiden turvallisuudesta 400/2008.)

Nostolaitteisiin on merkittävä selkeästi ja yksiselitteisesti niiden suurin sallittu nostokapasiteetti. Lujuuslaskelmissa on käytettävä riittävän suurta varmuuskertoainta koneen kestävyys turvaamiseksi. Koneen lujuus on mitoitettava niin, että se kestää staattisten kokeiden ylikuorman ilman näkyviä

muodonmuutoksia. Sen tulee myös kestää dynaaminen koe maksimi käyttökuormalla kuormitettuna. Yleisesti koneille käytettävä varmuuskerroin on 1,5 ja nostoapulaiteille 4–5. (Valtioneuvoston asetus koneiden turvallisuudesta 400/2008.)

5.3 CE-Merkintä ja tekninen tiedosto

CE-Merkintä on tuotteen valmistajan vakuutus siitä, että tuote täyttää sitä koskevien EU:n asetusten ja direktiivien olennaiset vaatimukset. Se sallii tuotteen vapaan liikkuvuuden EU:n alueella. CE-merkitä kiinnitetään tuotteeseen valmistajan tai sen valtuuttaman edustajan toimesta. (Tukes 2023.) Koneasetuksen liitteessä 3 on määritetty CE-merkinnän kokoa ja mittasuhteita koskevat määräykset. Kuvassa 3. on esitetty koneasetuksen mukainen merkintätapa. (Valtioneuvoston asetus koneiden turvallisuudesta 400/2008.)



Kuva 3. CE-merkintätapa (Valtioneuvoston asetus koneiden turvallisuudesta 400/2008).

Jos CE-merkintä on kiinnitetty laitteeseen väärin tai sitä ei tuotelainsäädännön nojalla vaadita, voi valvova viranomainen puuttua asiaan. CE-merkinnän väärinkäytön rangaistuksista on säädetty laissa 187/2010 laki CE-merkintärikkomuksesta. Koneiden lisäksi CE-merkinnän pitää löytyä muun muassa, hisseistä,

sähkölaitteista, leluista, henkilösuojaimista, kaasu- ja mittauslaitteista sekä tietyistä rakennustuotteista. (Tukes 2023.)

CE-merkinnän lisäksi valmistaja on velvoitettu toimittamaan koneen mukana teknisen tiedoston. Teknisen tiedoston on osoitettava, että tuotteen suunnittelu ja valmistus on toteutettu sitä koskevien asetuksen ja direktiivin mukaisesti. Sarjatuotteiden tapauksessa tekniseen tiedostoon kuuluu myös kuvaus toimenpiteistä, jolla vaatimuksenmukaisuutta pidetään yllä. Teknisen tiedoston sisältö on määritetty koneasetuksen liitteessä 7. (Valtioneuvoston asetus koneiden turvallisuudesta 400/2008.)

Konedirektiivin mukainen teknisen tiedosto sisältää:

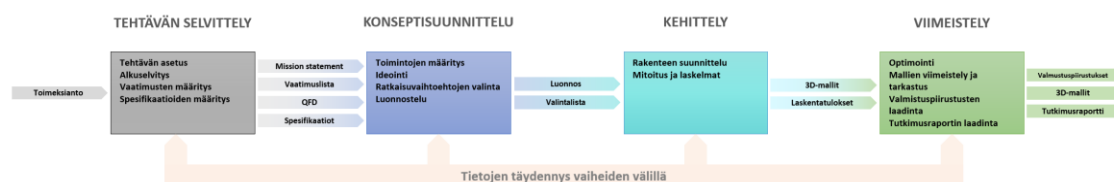
- yleiskuvauksen koneesta sekä sen toiminnasta
- koneen yleispiirustuksen sekä ohjauspiirikaavion
- yksityiskohtaiset piirustukset ja laskelmat
- valmistajan tai valtuutetun edustajan tekemien testien testaustulokset
- riskinarvioinnin tulokset ja kuvauksen arvioinnissa käytetystä menetelmästä
- kuvauksen toteutetuista suojaustoimenpiteistä sekä maininnan jäännösriskeistä
- luettelon konetta koskevista olennaisista terveys- ja turvallisuusvaatimuksista
- luettelon käytetyistä standardeista
- tarvittaessa valmistajan tai tämän valtuuttaman edustajan laitteelle toteuttamien testien testiraportit
- kopion koneen ohjekirjasta
- kopion EY-vaatimustenmukaisuusvakuutuksesta. (Valtioneuvoston asetus koneiden turvallisuudesta 400/2008).

EY-vaatimustenmukaisuusvakuutus on dokumentti, jolla valmistaja vakuuttaa tuotteen täyttävän 2006/42/EY direktiivin sille asettamat vaatimukset. EY-vaatimustenmukaisuusvakuutuksen sisältö on määritetty koneasetuksen liitteessä 2. (Valtioneuvoston asetus koneiden turvallisuudesta 400/2008.)

6 Sovitintyökalun suunnittelu

6.1 Suunnitteluprosessi

Opinnäytetyön toteutuksessa sovellettiin tietoperustassa esitettyjen Ulrich & Eppinger- ja VDI 2221 -prosessimalleja. Molemmista prosessimalleista hyödynnettiin suunnittelukohteen näkökulmasta tarkoituksenmukaisimpia menetelmiä. Suunnittelutyöstä oli vastuussa yksi henkilö, joten monen asian samanaikainen tekeminen ei ollut mahdollista. Tästä syystä opinnäytetyössä käytettiin systemaattista ja selkeästi vaiheistettua prosessimallia. Opinnäytetyössä suunnitteluprosessi jaettiin neljään vaiheeseen kuvion 12 mukaisella tavalla.



Kuvio 12. Opinnäytetyön suunnitteluprosessi.

Suunnitteluprosessin vaiheiden lopputuloksena syntyvät tuotokset on merkitty prosessikaavioon nuolilla. Edellisen vaiheen lopputuloksena syntyneitä tuotoksia käytettiin lähtötietona seuraavan vaiheen aloittamiselle. Vaiheiden välissä tarkasteltiin tuloksien riittävyyttä ennen seuraavaan vaiheeseen etenemistä. Vaiheistuksella ei suljettu pois edelliseen vaiheeseen palaamista, mikäli tämä nähtiin suunnittelutyön aikana tarpeelliseksi. Myös prosessin aikana selvinneitä tietoja täydennettiin vaiheiden välillä, jos niillä koettiin olevan merkittävää vaikutusta suunnittelutyöhön tai sen vaatimuksiin.

6.2 Tehtävän selvittelyvaihe

Opinnäytetyön toteutusvaihe aloitettiin suunnittelun prosessin mukaisesti tehtävän selvittelyvaiheesta. Vaiheessa kerättiin suunnittelutyöhön tarvittavia

lähtötietoja sekä asetettiin suunnittelutyölle tavoitteet. Tiedon hankinnalla pyrittiin muodostamaan yleiskuva tehtävästä sekä siihen kohdistuvista rajoitteista. Tavoitteiden ja selvitettyjen tietojen pohjalta laadittiin suunnittelutyötä ohjaavat vaatimukset.

Selvittelyvaiheessa määritettiin myös sovitintyökalun tuotespesifikaatiot. Spesifikaatioiden avulla voitiin vaatimukset muuttaa mitattaviksi suureiksi sekä tunnistaa sovitintyökalun tärkeät toiminnallisuudet. Niiden avulla voitiin myös myöhemmin vertailla suunnittelutyön onnistumista numeraalisiin tavoitearvoihin nähdä.

6.2.1 Tehtävän asetus

Opinnäytetyössä suunniteltava sovitintyökalu on osa laajempaa vetopyörästönostimen suunnittelukokonaisuutta. Kokonaisuudelle asetetut tavoitteet ja rajoitteet määrittävät myös sovitintyökalun suunnittelutyön vaatimuksia. Liitteessä 1 on esitetty Ulrich & Eppinger -mallin mukainen vetopyörästönostimen Mission Statement -tehtävän asetus. Asetus on laadittu opinnäytetyön toimeksiannon sisällöstä, sekä asiayhteyteen liittyvistä sähköpostikeskusteluista.

Asetuksessa on esitetty lyhyt kuvaus vetopyörästönostimen toiminnasta ja sen toiminnan keskeisistä tavoitteista. Dokumentissa esitetään myös aikatauluun ja käyttöympäristöön liittyvät vaatimukset, tärkeimmät sidosryhmät sekä joitakin työkalulta toivottuja ominaisuuksia.

6.2.2 Vaatimusten määrittely

Heti toimeksiannon jälkeen toteutettiin alkuselvitys. Selvityksessä tarkasteltiin, onko suunnittelutyön aloittamiseen edellytyksiä. Sillä pyrittiin luomaan yleiskuva suunnittelutyöhön liittyvistä rajoitteista ja mahdollisista tulevista haasteista. Selvityksen aikana kiinnitettiin huomiota muun muassa käyttöympäristön tuomiin tilarajoitteisiin, lainsäädäntöön sekä turvallisuustekijöihin. Alkuselvityksessä

tiedonkeruu toteutettiin tarkastelemalla ajoneuvon 3D-malleja, ohjeistuksia, määrittelydokumentointia, piirustuksia sekä yhteydenotoilla ajoneuvon suunnittelijoihin. Selvityksen tuloksista selvisi, että työn suorittamiseen oleva tila on hyvin rajallinen.

Opinnäytetyössä suunniteltava nostotyökalu ja sen käyttötarkoitus ovat luonteeltaan sellaiset, ettei konedirektiivissä suoraan määritellä sen kuuluvan direktiivin soveltamisalaan. Asian varmistamiseksi otettiin sähköpostitse yhteyttä Turvallisuus- ja kemikaalivirastoon, josta asia ohjautui Sosiaali- ja terveysministeriöön. Saadun vastauksen mukaan tapauksessa, jossa työkalu kiinnitetään osaksi nostolaitetta ei siltä vaadita konedirektiivin mukaisuutta. Nostolaitteen käyttötarkoituksen ei myöskään katsota merkittävästi muuttuvan, joten sen vaatimuksenmukaisuus pysyisi voimassa.

Toimeksiannon ja alkuselvityksessä ilmenneiden tietojen pohjalta laadittiin VDI 2221 -suunnitteluohjeistuksen mukainen vaatimuslista (liite 2). Vaatimuslistaan on määritetty suunnittelutyöhön oleellisesti vaikuttavat vaatimukset ja toivomukset. Vaikka suunniteltavalta työkalulta ei edellytetä konedirektiivin määrittelemää vaatimuksenmukaisuutta, päätettiin suunnittelutyö toteuttaa konedirektiivi ja koneturvallisuuden standardointi huomioiden. Näin voitiin varmistua suunniteltavan työkalun käyttöturvallisuudesta.

6.2.3 Spesifikaatiot

Seuraavaksi vaatimuslistassa esitetyille vaatimuksille määritettiin niitä kuvaava spesifikaatio. Spesifikaatioiden määrittely toteutettiin Hietikko (2021, 78) esitetyn spesifikaatiotaulukon mukaisesti (taulukko 6). Spesifikaatioiden määrittelyssä hyödynnettiin alkuselvityksessä selvinneitä tietoja. Suunnittelutyön onnistumisen kannalta kriittisille vaatimuksille asetettiin tarkat numeraaliset tavoite- tai raja-arvot.

Vaatimus	Spesifikaatio	Mittayksikkö	Tavoitearvo	
			Min	Max
Sopiva tilantarve	Tarttumiskorkeus	mm	60	280
Tukeva kiinnitys vetopyörästöön	Tukeva kiinnitys	Subj.		
Säädettävä	Säätämismahdollisuuksien määrä	Kpl	1	
Kallistus säädettävissä	Kallistuksen säätökulma	°		
Vakaa	Maksimi kallistuskulma ennen kaatumista	°		
Kevyt rakenne	Massa	Kg		20
Nostokyky	Kuormankantokyky	Kg	200	
Yksinkertainen rakenne	Liitosten lukumäärä	Kpl		
Huollettavuus	Huollettavuus	Subj.		
Myös ulkokäyttöön	Toimintalämpötila	°C	-30<	
Edullinen	Valmistuskustannukset	€		
Helppokäyttöinen	Helppokäyttöinen	Subj.		

Taulukko 6. Spesifikaatiot.

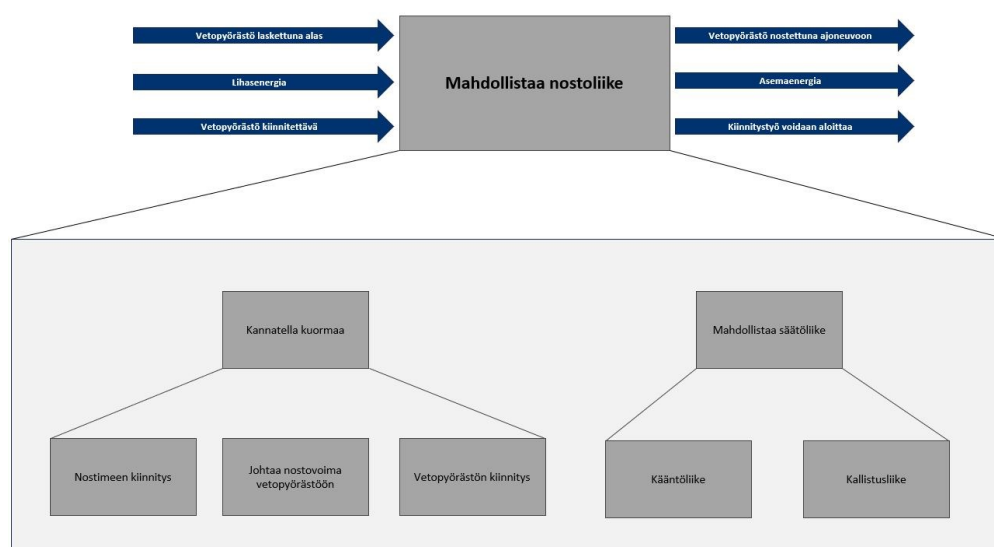
Määriteltyjen vaatimusten ja spesifikaatioiden tärkeyden arviointiin käytettiin QFD-menetelmää. Tuotekehitystyön kohteena oli tuote, joka suunniteltiin yhteen tiettyyn käyttötarkoitukseen. Sitä ei myöskään ollut tarkoitettu julkisille markkinoille. Näin ollen QFD-markkina-arviointi nähtiin tarpeettomaksi ja se jätettiin pois tarkastelusta. QFD-laatukaavion tulokset on esitetty liitteessä 3. Sen mukaan tärkeimmiksi vaatimuksiksi osoittautui konstruktion vakaa rakenne, säädettävyys, tukeva kiinnitys sekä sopiva tilantarve. Tuloksista ilmeni, että monessa tapauksessa spesifikaatioiden välinen korrelaatio on negatiivinen. Tästä voitiin päätellä monien sovitintyökalulta vaadittavien tavoitteiden olevan ristiriidassa keskenään.

Tehtävän selvittelyvaiheen lopputuloksena saatiin kerättyä kattava määrä suunnittelutyöhön tarvittavia tietoja sekä todettua monia rajoitteita. Erityisesti nostimen käyttöympäristön tuomat tilarajoitteet osoittautuivat todelliseksi haasteeksi tuotekehitystyölle. Haasteet ilmenivät myös QFD-laatukaaviossa. Negatiivisesta korrelaatiosta pystyttiin päättämään, että moni mekaaninen ominaisuus lisää työkalun tilantarvetta ja massaa. Selvityksen perusteella toimivan ratkaisun löytäminen katsottiin kuitenkin mahdolliseksi ja päätettiin jatkaa konseptisuunnitteluvaiheeseen.

6.3 Konseptisuunnitteluvaihe

Konseptisuunnitteluvaiheessa pyrittiin löytämään ratkaisuvaihtoehto tehtävän selvittelyvaiheessa määritetyille vaatimuksille. Aluksi konstruktiolle määritettiin osa- ja kokonaistoiminnot, jotka ovat nostotoimenpiteen kannalta välttämättömiä. Toimintojen määrittämisen jälkeen ideointiin ratkaisuvaihtoehtoja, joilla toiminnot saadaan toteutettua. Ideoinnin lopputuloksena syntyneet ratkaisuvaihtoehdot taulukoitiin ja niistä yhdistettiin yhteensopivia ratkaisumuunnelmia. Valintamenettelyllä parhaat ratkaisumuunnelmat valittiin jatkokehitykseen vertaamalla niiden ominaisuuksia asetettuihin vaatimuksiin. Parhaimmasta ratkaisuvaihtoehdosta luotiin myös 3D-luonnos, jolla sen toiminnallisuutta voitiin havainnollistaa konkreettisemmin.

Konseptisuunnitteluvaiheen aluksi konstruktiolle laadittiin toimintorakenne. Toimintojen määrittäminen toteutettiin tehtävän selvittelyvaiheessa määritettyjen vaatimusten ja spesifikaatioiden pohjalta. Kokonais- ja osatoimintojen määrittämiseksi hyödynnettiin abstrahointiprosessia, jolla voitiin poistaa ideoinnista kaikki epäolennainen. Kuviossa 13 on esitetty VDI 2221 -ohjeistuksen mukainen kuvaus konstruktion toimintorakenteesta. Toimintorakenteessa kokonaistoiminnoksi määritettiin nostoliikkeen mahdollistaminen, jonka jälkeen pohdittiin mitä toimintoja sen toteuttaminen edellyttää. Prosessin lopputuloksena syntyi viisi osatoimintoa, jotka voitiin jakaa kahteen pääryhmään.



Kuvio 13. Konstruktion toimintorakenne.

Seuraavaksi toimintorakenteessa määritettyjen toimintojen toteuttamiseen ideoi-
tiin erilaisia ratkaisuvaihtoehtoja. Ideoiden generointia toteutettiin yhdessä asi-
aan perehtyneiden suunnittelijoiden kanssa. Ideoita haettiin tutkimalla saman-
kaltaisiin käyttötarkoituksiin käytettäviä laitteita, kuten raskaan kaluston vaihteis-
tonostimia, nostoapuvälineitä sekä erilaisia mekaanisia osajärjestelmiä. Lopuksi
kaikki ideoinnin tuloksena syntyneet ratkaisuehdotukset taulukoitiin VDI 2221
-prosessin mukaisessa morfologisessa jäsentelykaaviossa. (Kuvio 14).

Ratkaisu		1	2	3	4	5
Osatoiminto	1	Jäykkä ruuviiliitos nostimen alkuperäiseen satulakannattimeen	Tappi, sokkaliitos satulakannattimen tilalle	Holkkiliitos alkuperäiseen nostosatalaan		
	2	Kehto	Vastinlevy vetopyörästön tukemiseen ennen kiinnitystä			
	3	Kiristettävä lukituslevy	Irtomain kiinnityskappale	Panta/ketju kiinnitys	Ei erillistä kiinnitystä	
	4	Painelaakeri	Laakeroimaton	Pallonivel	Ei kääntömahdollisuutta	
	6	Liikeruuvi, akseli	Rajoitettu vapaa liike	Pallonivel	Ei kallistumahdollisuutta	Matoruuvi

V1
 V2
 V3
 V4

Kuvio 14. Ratkaisuvaihtoehtojen yhdistäminen.

Taulukoinnin jälkeen ideoinnin pohjalta syntyneistä ratkaisuvaihtoehtoista yh-
distettiin toisiinsa sopivia ratkaisumuunnelmia. Osatoimintojen ratkaisuvaihtoeht-
dot eivät tässä tapauksessa osoittautuneet täysin toisiaan pois sulkeviksi, jolloin
erilaisia variaatioita olisi voinut tarvittaessa muodostaa enemmän. Tehtävän
luonteen takia ratkaisuvaihtoehtot pyrittiin yhdistelemään niiden oletetun raken-
teellisen monimutkaisuuden perusteella. Tuloksena syntyi neljä hieman toisis-
taan poikkeavaa ratkaisuvaihtoehtoa, joiden osaratkaisut on kuvattu kuviossa
14.

Seuraavaksi toteutuskelpoisimmat ratkaisuvaihtoehtot valittiin jatkokehitykseen.
Valinnan apuvälineenä käytettiin VDI 2221 -prosessin mukaista valintalista-me-
nettelyä. Ratkaisuvaihtoehtojen toiminnallisen samankaltaisuuden ja niiden

pienen määrän takia pisteyttämismenetelmän käyttöä ei nähty tarpeelliseksi. Opinnäytetyön liitteessä 4 on esitetty ratkaisuvaihtoehtojen valintalista. Valintalistassa esitetyillä vaatimuksilla pyrittiin rajaamaan vaihtoehtoista ne, jotka täyttävät asetetut toiminnallisuus- ja turvallisuustavoitteet. Valinnassa hylättiin myös selkeästi toiminnallisiin tavoitteisiin nähden liiallisen monimutkaiset muunnellamat, jotka eivät tuota lisäarvoa. Valintalista-menettelyn lopputuloksena V2- ja V3-muunnellmat hyväksyttiin jatkokehitykseen.

V2- ja V3-muunnellmien rakenteellinen samankaltaisuus mahdollisti niiden samanaikaisen kehittämisen. Valinnan jälkeen V2-ratkaisumuunnellmasta luotiin 3D-luonnos ja päätettiin siirtyä kehittälyvaiheeseen. Myöhemmässä vaiheessa suunnitteluprosessia V2-ratkaisumuunnellma osoittautui toteutukseltaan tarpeetoman haasteelliseksi. Tästä syystä ratkaisumuunnellman kehittämien päätettiin keskeyttää. Tämän jälkeen valintalistaan tehtiin päivitys ja kehitystyötä jatkettiin V3-muunnellman osalta.

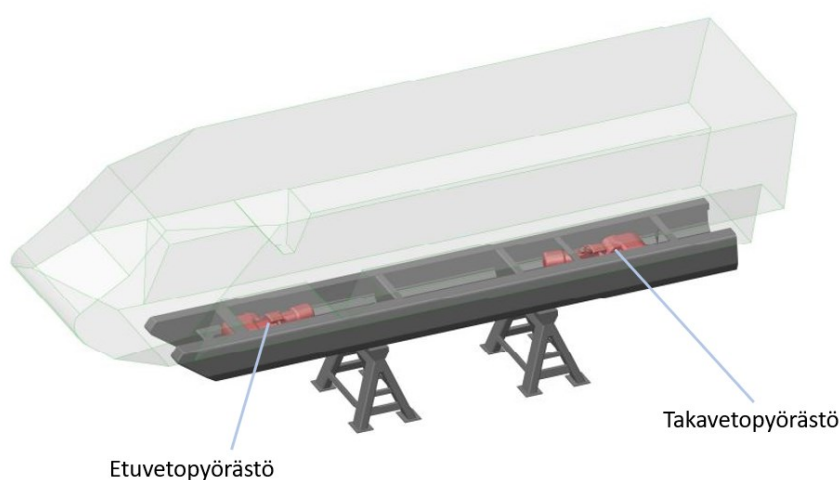
6.4 Kehittälyvaihe

Kehittälyvaiheessa alkoi sovitintyökalun varsinainen suunnittelutyö. Suunnittelu toteutettiin Creo 6 Parametric -suunnitteluohjelmistolla. Prosessin alussa luotiin käyttöympäristön simulointikokoonpano, jolla pystyttiin havainnollistamaan nostimen toimintaa ja liikeratoja suunnittelun apuvälineenä. Suunnitteluprosessin aikana kaikille toiminnoille kehitettiin lopulliset ratkaisut ja luotiin rakenteen 3D-mallit. Tässä vaiheessa tehtiin myös kaikki työkalun lujuuteen liittyvät laskelmat ja mitoitus.

Työkalun suunnittelussa pyrittiin alusta asti huomioimaan valmistettavuuden ja käytettävyyden näkökulmat. Materiaali ja komponenttivalinnat tehtiin toimeksiantajayrityksen standardointi huomioiden sekä suosittiin ISO- ja DIN-standardoituja kiinnittimiä. Suunnittelussa käytettiin mahdollisimman paljon samoja materiaaleja, valmistusmenetelmiä ja liittostyypppejä osavalmistuskustannusten minimoimiseksi.

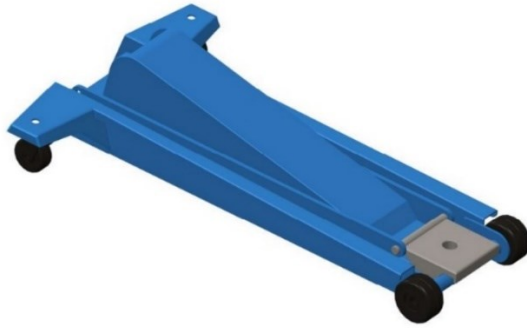
6.4.1 Käyttöympäristö

Sovitintyökalun suunnittelu aloitettiin luomalla nostimen käyttöympäristöä vastaava CAD-kokoonpano. Kokoonpano mahdollisti nostimen käyttöympäristön havainnoimisen suunnittelun apuvälineenä ja toimivuuden testaamisen simuloinnin avulla. Opinnäytetyössä ajoneuvoa ja sen rakennetta kuvaavat mallit ovat tietoturvasyistä yksinkertaistettuja. Kuvassa 4 on esitetty vetopyörästöjen ja nostopukkien sijainti. Nostopukit sijoitettiin malliin ohjeistuksen mukaisesti niin, että ne ovat mahdollisimman keskelle ajoneuvon rakennetta. Tällöin nostotehtävän suorittamiseen jäi mahdollisimman paljon tilaa.



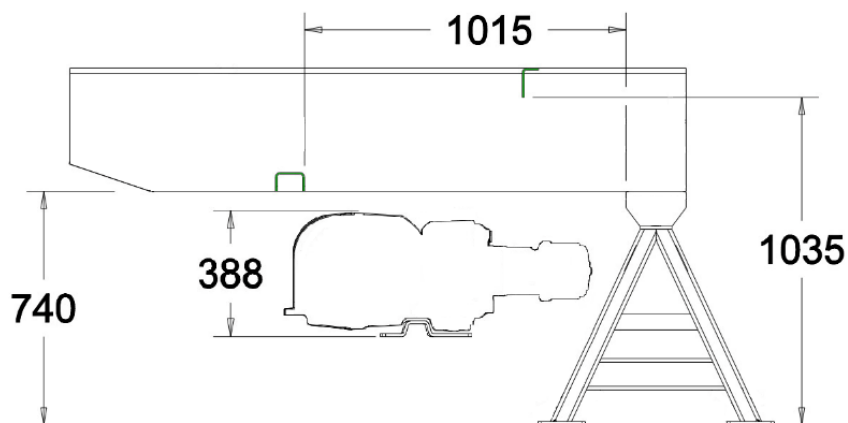
Kuva 4. Simulointikokoonpano.

Vetopyörästöön vaihtotyössä käytettäväksi nostimeksi oli valittu hydraulikäyttöinen AC hydraulic -hallinostin, joka oli katsottu ominaisuuksiltaan ja suorituskyvyltään tehtävään sopivimmaksi. Nostimesta luotiin kuvan 5 mukainen 3D-malli valmistajalta saatujen tietojen perusteella. Sovittimen suunnittelun kannalta olennaiset osat kuten nostimen satulakannatin mallinnettiin valmistajalta saatujen piirustusten mukaiseksi. Näin saatiin varmistettua sovitintyökalun sopivuus nostimeen ja simuloitua nostimen liikeratoja.



Kuva 5. Hallinostimen 3D-malli.

Aiemmin tehtävän selvittelyvaiheessa todettiin tilan rajallisuuden aiheuttamat haasteet nostimen sekä sovitintyökalun suunnittelulle. Huoltopukkien sijoitus ja ajoneuvon rakenne aiheuttivat haasteita erityisesti takavetopyörästä irrottamisessa. Kuvassa 6 on esitetty ajoneuvon takavetopyörästä irrottamiseen saatavilla oleva tila optimitilanteessa, jolloin pukki on sijoitettu mahdollisimman keskelle ajoneuvoa. Etutasauspyörästä irrottamiseen tilaa on saatavilla enemmän.



Kuva 6. Nostimen käyttöympäristö ajoneuvon takaosassa.

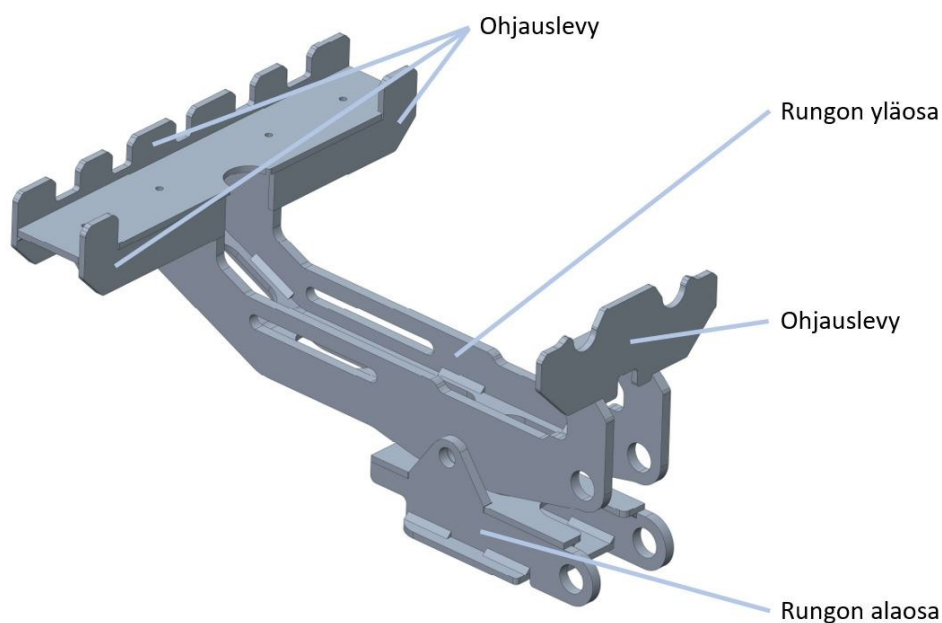
Vetopyörästä on kiinnitetty ajoneuvoon neljällä kiinnitysruuvilla. Sen kiinnittäminen nostolaitteeseen on mahdotonta ennen vetopyörästä alapuolella olevan kiinnityslevyn irrottamista. Tämän takia taakan täytyy olla tuettuna etummaisten kiinnitysruuvien ja kiinnityslevyn irrottamisen ajan. Sovitintyökalussa täytyy

myös olla riittävästi tilaa kiinnityslevyn ja ruuvien irrottamiselle, jonka jälkeen vetopyörästä kiinnittäminen nostolaitteeseen on mahdollista.

6.4.2 Työkalun runkorakenteen suunnittelu

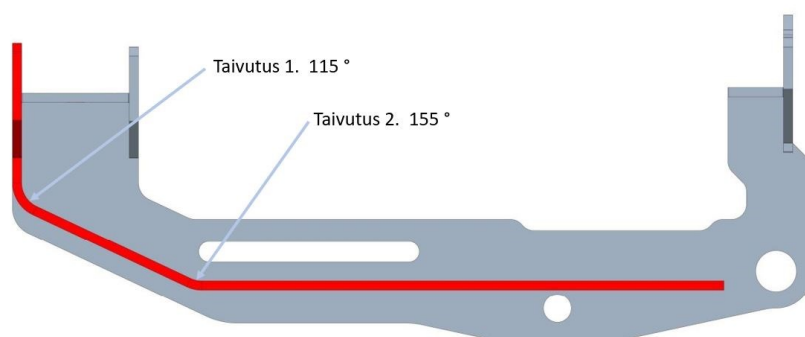
Simulointikokoonpanon luomisen jälkeen aloitettiin varsinainen sovitintyökalun mallinnustyö. Valmistukseen oli päätetty käyttää päämateriaalina teräksisiä levyleikkeitä, joten valtaosa suunnittelutyöstä toteutettiin Creon sheet metal-työkalulla. Työkalun rungossa käytettäväksi materiaaliksi valittiin kuumavalssattu S355K2+N-teräslevy. Materiaalilla katsottiin olevan käyttötarkoitukseen sopivat mekaaniset ominaisuudet, niin valmistettavuuden kuin lujuudenkin näkökulmasta. Runkorakenteen suunnittelussa eri levyn paksuuksien tarve pyrittiin minimoimaan, jotta mahdollisimman paljon osia pystytään valmistamaan samasta raaka-aineesta. Kevyesti kuormitetuissa osissa päätettiin käyttää 5 mm levyleikkeitä ja rungon kantavissa rakenteissa 8 mm levyleikkeitä.

Rungon rakenne jaettiin kahteen pääosaan kuvan 7 mukaisesti. Rungon ylä- ja alaosa ovat liitetty toisiinsa akselitappiliitoksella, jota käytetään myös saranana työkalun kallistusmekanismissa. Vetopyörästä tukeutuu työkaluun etu- ja takaosassa olevien kannatin- ja ohjauslevyjen avulla. Ohjauslevyjen tarkoituksena on paikoittaa työkalu oikeaan kohtaan vetopyörästä nähden niin, että vetopyörästä kiinnittäminen on myöhemmin mahdollista. Kantavissa rakenteissa käytettyjen levyleikkeiden muotoilulla vältettiin voimaa välittävät hitsausliitokset. Koneistuksen helpottamiseksi levyleikkeisiin mitoitettiin alkureiät akselitappien reikiä varten.



Kuva 7. Työkalun runkorakenne.

Koska rakenteessa vaikuttavat kuormitukset eivät jakaudu tasaisesti, tarvittiin runkorakenteeseen myös sivusuuntaista jäykkyyttä. Erillisten jäykistelevyjen sijaan päätettiin rungon takaosan ohjauslevy särmätä muun runkorakenteen muodon mukaisesti kuvan 8 mukaisella tavalla. Tällä vähennettiin merkittävästi hitsattavien osien määrää ja lisättiin jäykkyyttä runkorakenteeseen.



Kuva 8. Särmätty jäykistelevy.

Teräslevyjen taivutuksessa käytettävät taivutuskulmat ja laskentakaavat määritellään standardissa SFS 5998 valssatun teräsohutlevyn kylmätaivutus. Standardin mukaan taivutetun kappaleen taivutuslinjan sijainnin mitoittaminen

edellytti korjaavan tekijän v laskemista. Avautumiskulman β ollessa $90^\circ < \beta \leq 165^\circ$ korjaavalle tekijälle v on voimassa kaava 1. Ensin täytyi kuitenkin selvittää laskentaan tarvittava k kerroin, jonka avulla saadaan selville levyn neutraaliakselin sijainnin poikkeama taivutuksessa. Standardin mukaan k kertoimen arvolle on voimassa kaava 2. (SFS 5998, 2015, 7–8.)

$$v = \pi \cdot \left(\frac{180^\circ - \beta}{180^\circ} \right) \cdot \left(r + \frac{s}{2} \cdot k \right) - 2 \cdot (r + s) \cdot \tan \frac{180^\circ - \beta}{2} \quad (1)$$

Missä	v	on korjaava tekijä
	β	on avautumiskulma, °
	r	on sisätaivutussäde, mm
	s	on levynpaksuus, mm (SFS 5998, 2015, 7–8).

$$k = 0.65 + \frac{1}{2} \lg \frac{r}{s} \quad (2)$$

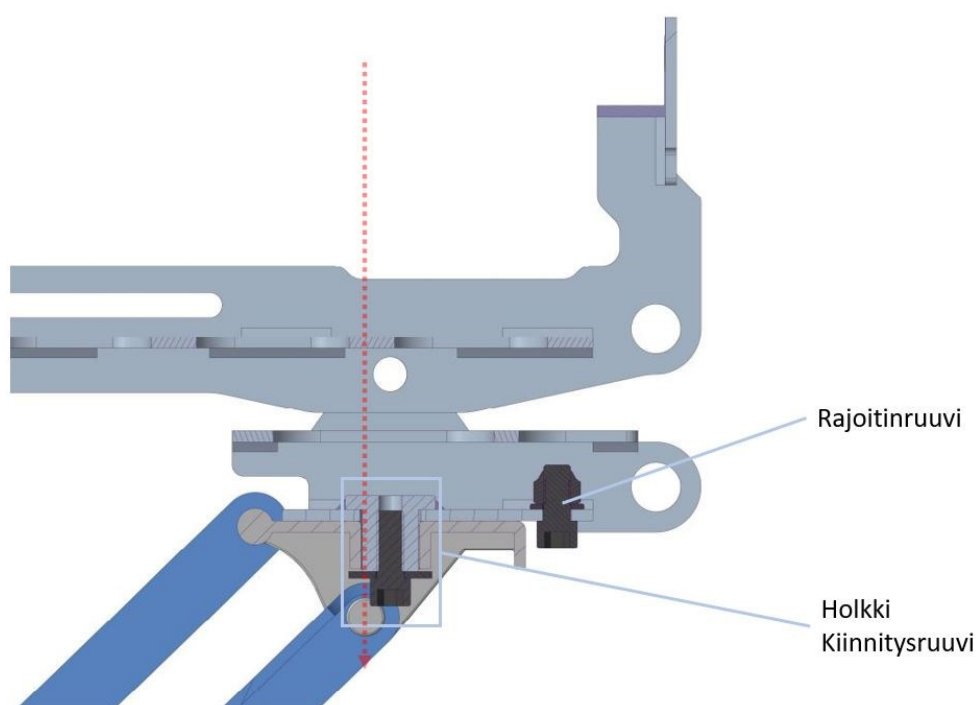
Missä	k	on kerroin neutraaliakselin sijainnin poikkeamalle
	r	on sisätaivutussäde, mm
	s	on levynpaksuus, mm (SFS 5998, 2015, 7–8).

Laskenta aloitettiin kertoimen k selvittämällä kaavan 2 mukaisella laskukaavalla. Laskentatulokset on esitetty opinnäytetyön liitteessä 8. Tulosten mukaan taivutussäteen ollessa $r = 16$ mm kerroin $k = 0,903$. Seuraavaksi korjaavan tekijä v laskettiin molemmille taitettaville kulmille laskukaavalla 1. Laskennan mukaan ensimmäisen taivutuskulman ollessa 115° saatiin muuttuvaksi tekijäksi $v = -6,05$ mm. Toisen taivutuskulman ollessa 155° saatiin taivutuskulman korjaavaksi tekijäksi $-1,35$ mm.

SFS 5998 mukaan levyn suoristettu pituus on laippojen pituuden ja taitosten korjaavien tekijöiden summa. Näin ollen levyn suoristetuksi pituudeksi saatiin 474,1 mm. Taivutuslinjan sijainti taas saadaan summaamalla laipan pituus ja $v/2$. (SFS 5998, 2015, 8). Näin ollen ensimmäisen taitoksen taivutuslinja on

84,48 mm levyn reunasta ja toisen taivutuslinjan sijainti on 188,78 mm levyn reunasta.

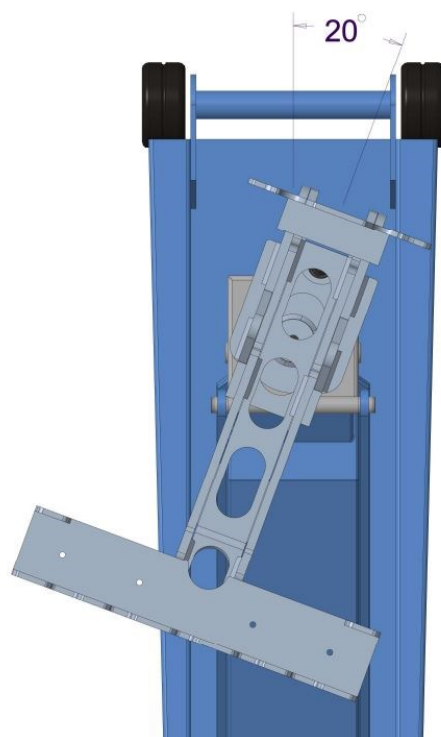
Nostotyökalun kiinnitys hydraul nostimeen toteutettiin kuvan 9 mukaisella holkki ja ruuviliitoksella. Aluksi tarkoituksena oli poistaa nostimesta alkuperäinen satulakannatin ja suunnitella sen tilalle työkalun kiinnityksen mahdollistava sovitinkappale. Tämä todettiin kuitenkin myöhemmin tarpeettomaksi, jolloin konstruktiossa voitiin hyödyntää nostimen alkuperäistä satulakannatinta. Tällä säästyttiin myös nostimen muokkaamiselta, jolloin sitä voidaan tarpeen vaatiessa käyttää alkuperäisellä tavalla.



Kuva 9. Leikkauskuva kiinnityksestä.

Työkalun kallistussäädön ollessa vaaka-asennossa, taakan painopiste kohdistettiin nostinrungon kantavalle akselille. Kuvassa 9 taakan massakeskipisteen gravitaatiovoiman suunta ja sijainti on kuvattu punaisella nuolella. Sijoittelulla vältetään nostimen ohjaustankojen liialliselta kuormitukselta ja suurilta massakeskipisteen siirtymiltä työkalua kallistettaessa ja käännettäessä.

Holkki- ja ruuviliitoksen ansiosta nostimen välistä liitosta voitiin käyttää myös työkalun kääntömekanismiä. Työkalun kääntymisliike haluttiin rajoittaa noin $\pm 20^\circ$:een kulmaan kuvan 10 mukaisella tavalla. Kääntöliikkeen rajoittamisen tarkoituksena on estää taakan massakeskipisteen liiallinen siirtymä kaatumisriskin estämiseksi. Kääntöliikkeen rajoittamisessa käytettiin M12 kuusioruuvia, jonka kanta toimii liikkeen rajoittavana vastimena.

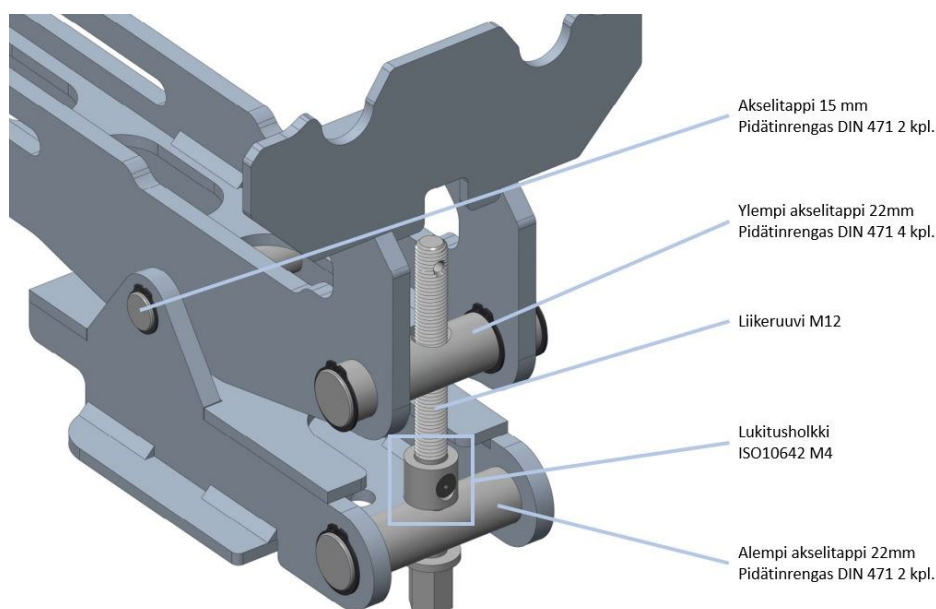


Kuva 10. Kääntöliike.

6.4.3 Kallistuksen säätömekanismi

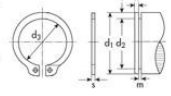
Nostotilanteessa täysin tasaisella alustalla ja pukkien oikealla sijoittelulla ei kallistuksen säädölle ole nostotyön aikana välttämättä tarvetta. Säädöstä on kuitenkin hyötyä nostimen paikoittamiseen tilanteissa, jossa nostoalusta ei ole täysin tasainen. Säädöstä voi olla myös apua tilanteessa, jossa huoltopukit on sijoitettu liian lähelle vetopyörästä. Tällaisissa tilanteissa voidaan säädön avulla lisätä liikkumatilaa ajoneuvon rakenteiden välissä.

Liikervuvi on kiinnitetty rungon ylä- ja alaosan välille 22 mm aksleilla kuvan 11 mukaisella tavalla. Alempi aksleista on läpiviivillä ja ylempi kierteitetty, jolloin ruuvien kiertoliike muuttuu lineaarisiksi liikkeeksi. Kallistuskulma rajoitettiin rungon muotoilulla ja liikervuvin pituudella. Säädön kallistuskulmaksi määritettiin $\pm 12^\circ$ vaakatasoon nähden.



Kuva 11. Liikervuvimekanismi.

Liikervuvimekanismin komponenttien raaka-aineeksi valittiin 42 CrMo4 nuortusteräksinen pyörötanko. Kovalla ja lujalla teräslaadulla pyrittiin välttämään liikervuvin leikkautumista ja akselien kulumista ajan myötä. Akselien paikallaan pitämiseen käytetään DIN 471 standardin mukaisia pidätinrenkaita. Pidätinrenkaiden urien mitoittamisessa ja pidätinrenkaiden valinnassa sovellettiin standardin mukaista mitoitusohjetta. Työkalussa käytettyjen akselien mitoitus ja valitut pidätinrenkaat on kuvattu taulukossa 7.

DIN 471 Pidätinrenkaat aksleita varten							
d1 (mm)	d2 (mm)	m (mm)	n min. (mm)	d3 (mm)	s (mm)	Valittu lukitusrenas	
15	14.03	1.1	1.1	13.8	1	DIN 471-A 15 mm	
22	21	1.3	1.5	20.5	1.2	DIN 471-A 22 mm	

Taulukko 7. Pidätinrenkaat aksleita varten (Valtanen 2019, 784–785).

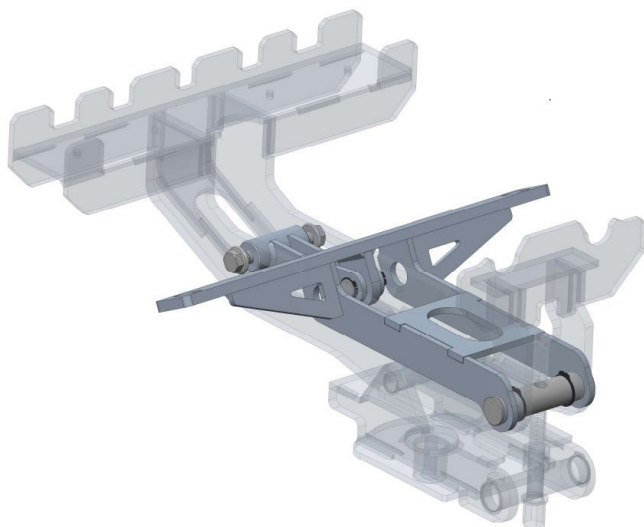
Reikien ja akselitappien väliset sovitteet määritettiin standardin SFS-EN ISO 286 osan 1 mukaisesti. Standardi käsittelee toleranssien, eromittojen ja sovitteiden perusteita sekä valintaperiaatteita. (SFS-EN ISO 286-1, 2010, 1). Akselitappien ja reikien mitoituksessa pyrittiin välttämään liiallisen tiukkaa välystä. Työkalulle tyypillisessä käyttöympäristössä se altistuu epäpuhtauksille, korroosiovaikutukselle sekä nostoliikkeen aikana tapahtuville muodonmuutoksille. Tämän takia liiallisen tiukka sovite olisi erittäin ongelmallinen. Kaikkien akseleiden sovitteeksi päädyttiin valitsemaan reikäkantajärjestelmän mukaan isovälyksinen H11/c11 sovitepari. Näin ollen 22 mm akselien välyksien toleranssit ovat 0,11–0,37 mm ja 15 mm akselien 0,095–0,345 mm. Sovitteiden valinnassa noudatettiin SFS-EN ISO 286-1 standardissa suositeltuja sovitekokoja sekä valintataulukoita. (Valtanen 2019, 574–575.)

6.4.4 Vetopyörästä kiinnitysmekanismi

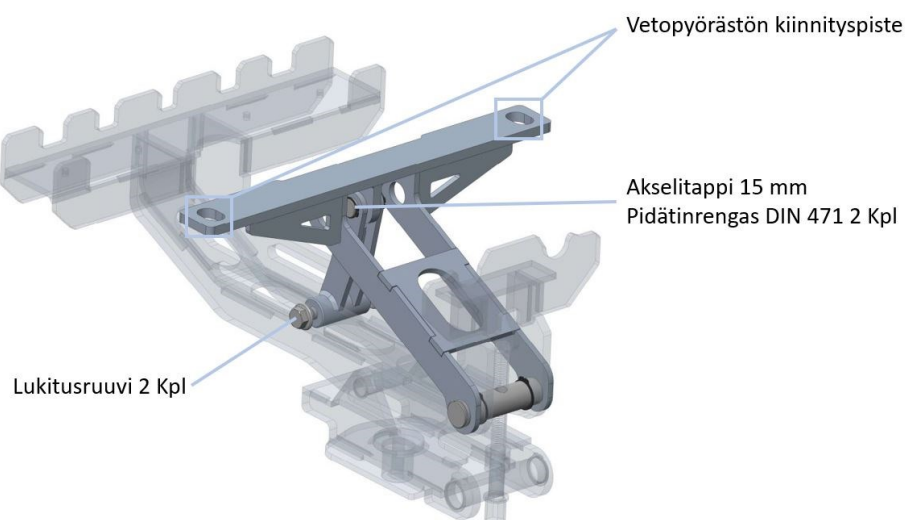
Alkuselivityksessä oli todettu, että vetopyörästä irrotus ajoneuvosta on mahdollista, jos sen alapuolelle sijoitettu kiinnityslevy on kiinnitettynä vetopyörästä nostamisen ajan. Tämän takia työkalua ei ole mahdollista kiinnittää vetopyörästä ennen kiinnityslevyn irrottamista. Ensiksi kiinnitys ajateltiin toteuttaa irrallisen kappaleella, joka asennettaisiin työkalun ja vetopyörästä välille kiinnityslevyn irrottamisen jälkeen. Irrallisen kiinnitinkappaleen ajateltiin kuitenkin vaikeuttavan työkalun käyttöä ja lisäävän väärinkäytön riskiä. Ratkaisuvaihtoehdon osalta päädyttiin palaamaan ideointivaiheeseen ja arvioimaan vaihtoehdon sopivuutta uudelleen. Ratkaisu löydettiin ideoimalla V3-ratkaisumuunnelman kiristettävä kiinnityslevy uudelleen.

Uudelleen ideoinnin lopputuloksena työkaluun päätettiin suunnitella mekanismi, joka on kokoon taitettuna kiinnityslevyn irrotuksen ajan. Näin irtonaisilta osilta välttyttiin sekä vetopyörästä ruuvien ja kiinnityslevyn poistamiseen jäi riittävästi tilaa. Kuvassa 12 on esitetty vetopyörästä kiinnitysmekanismi kokoon taitettuna. Kuvassa 13 on kiinnitys asennossa oleva mekanismi, jolloin vetopyörästä voidaan kiinnittää työkaluun kiinnityslevyn irrottamisen jälkeen. Osamäärän

pienentämiseksi mekanismin kiinnityksessä päädyttiin käyttämään samaa akselia kuin kallistusmekanismeissa.



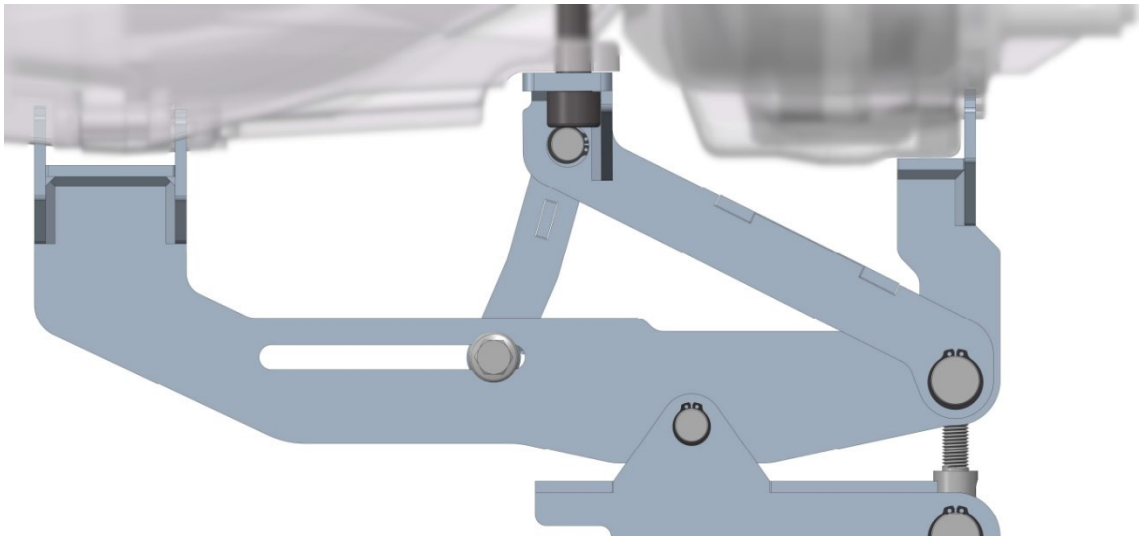
Kuva 12. Kiinnitysmekanismi ala-asennossa.



Kuva 13. Kiinnitysmekanismi yläasennossa.

Kiinnitysmekanismi lukitaan paikalleen työkalua molemmin puolin sijoitetuilla M10 lukitusruuveilla (Kuva 13). Ruuvien tarkoituksena on lukita mekanismi ruuvien kannan ja alustan väliin syntyvällä kitkavoimalla. Taakan kiinnipysyminen varmistettiin mitoittamalla kiristysruuvien liukureiän pituus niin, ettei

vetopyörästä pääse nousemaan ohjauslevyjien yli ruuvien löystyessä. Vetopyörästä kiinnitys työkaluun tapahtuu samoilla ruuveilla, joilla se on kiinnitetty ajo-neuvoon kuvan 14 mukaisella tavalla.



Kuva 14. Vetopyörästä kiinnitettyä työkaluun.

6.4.5 Ruuviliitokset

Konstruktiossa käytettävät ruuviliitokset ovat kevyesti kuormitettuja kiinnitys- ja liikeruuviliitoksia. Sovitintyökalun käytön yksinkertaistamiseksi ruuviliitoskomponenttien valinta toteutettiin käyttötarkoitukseen perusteisesti suosimalla yleisiä käyttö-tarkoitukseen sopivia standardiruuveja. Valinnan jälkeen liitosten lujuustarkas-telu toteutettiin SFS-EN 1993-1-8 Eurocode 3:ssa esitettyjen mitoitusperiaattei-den mukaisesti. Standardin mukaan ruuvien leikkauskestävyydelle on voimassa kaava 3 (SFS-EN 1993-1-8, 2005, 28).

$$F_v, R_d = \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M2}} \quad (3)$$

missä F_v on ruuvien leikkauskestävyys, N
 f_{ub} on ruuvien vetomurtolujuus, N/mm²

α_v	on 0,6 ruuvien kierteiden ollessa leikkaustasossa lujuusluokille 4.6, 5.6 ja 8.8 α_v on 0,5 ruuvien kierteiden ollessa leikkaustasossa lujuusluokille 4.8, 5.8, 6.8 ja 10.9
A	on ruuvien jännityspinta-ala, mm ²
γ_{M2}	on osavamuuskerroin γ_{M2} on ruuveilla 1,25 (SFS-EN 1993-1-8, 2005, 28).

Liitoksissa käytettävien ruuvikomponenttien kiristysmomentin määrittäminen toteutettiin VDI 2030 mukaista mitoitusohjeistusta soveltaen. VDI 2030 mukaan ruuvien kiristysmomentin määrittämiseksi on voimassa kaavat 4–8. (Martikka 2014, 142–157.)

$$M_G = \frac{1}{2} \cdot d_2 \cdot F_s \cdot \left(1.155 \cdot \mu_G + \frac{P}{\pi \cdot d_2} \right) \quad (4)$$

missä	M_G	on kierteen kitkamomentti, Nm
	d_2	on kylkihalkaisija, mm
	F_s	on mutterin kiristämiseen tarvittava kehävoima, N
	μ_G	on kierteen kitkakerroin
	P	on kierteen nousu, mm (Martikka 2014, 142).

$$M_K = \frac{1}{2} \cdot \mu_K \cdot D_{km} \cdot F_m \quad (5)$$

missä	M_K	on mutterin tai ruuvien kannan välinen kitkamomentti, Nm
	μ_K	on mutterin tai ruuvien kannan välinen kitkakerroin
	D_{km}	on ruuvien ja alustan välisen kosketuspinnan keskihalkaisija, mm
	F_m	on ruuvien esikiristysvoima, Nm (Martikka 2014, 143).

$$D_{km} = \frac{d_w + d_h}{2} \quad (6)$$

missä	D_{km}	on ruuvien ja alustan välisen kosketuspinnan keskihalkaisija, mm
-------	----------	--

d_w	on reiän halkaisija, mm
d_h	on mutterin tai ruuvin kantavan pinnan ulkohalkaisija, mm keskihalkaisija (Martikka 2014, 143).

$$M_a = M_k \cdot M_G \quad (7)$$

missä	M_a	on kokonaiskiristysmomentti, Nm
	M_K	on mutterin tai ruuvin kannan välinen kitkamomentti, Nm
	M_G	on kierteen kitkamomentti, Nm (Martikka 2014, 143).

$$F_{KR} = \frac{Q_\mu}{m \cdot \mu \cdot z} \quad (8)$$

missä	F_{KR}	on yhden ruuvin liitospinnassa vaikuttava puristusvoima, N
	Q_μ	on liitoksen suurin kitkan välityksellä kantama voima, N
	μ	on pintojen välinen kitkakerroin
	m	on liukupintojen lukumäärä
	z	on ruuvien lukumäärä (Martikka 2014, 157).

Vetopyörästä kiinnitysmekanismin lukitusruuviksi valittiin laippakantainen DIN6921 M10x30 ruuvi. Lukitusruuvin tarkoituksena on estää kiinnitysmekanismin liike ruuvin esikiristyksestä syntyvän kitkan avulla. Mikäli liitos on oikein kiristetty ruuviin ei kohdistu leikkausvaikutusta. Ruuviliitoksen kestävyys tarkastettiin kuitenkin vetopyörästä gravitaatiota vastaavaan voimaan nähden.

Ruuvien mitoituslaskelmien tulokset on esitetty liitteessä 9. Laskennassa käytettiin liitteen 5 mukaisia laskenta arvoja, jolloin M10 ruuville $A = 58 \text{ mm}^2$ ja $f_{ub} = 800 \text{ N/mm}^2$ (Etra 2021). Kaavan 3 mukaan kiristysruuvien leikkauskestävyydeksi saatiin 22272 N. Näin ollen leikkauskestävyyden katsotaan olevan riittävä, koska vetopyörästä massaa vastaava gravitaatiovoima on vain noin 1960 N.

Lukitusruuvien kiristysmomentin määrittämiseksi sijoitettiin vetopyörästön gravitaatiovoimaa vastaava kitkavoima kaavaan 5. Laskennassa kitkakertoimena on käytetty lukuarvoa 0,14 joka on teräsruuveille tyypillinen (Etra 2021). Laskennan tuloksena vetopyörästön gravitaatiota vastaava kitkavoima saavutetaan yhdellä ruuvilla, kun sen esikiristysvoima on ≥ 14007 N.

Seuraavaksi laskettiin ruuvien esikiristämiseen tarvittava momentti. Edellä laskettu esikiristysvoima sijoitettiin ruuvien kierteestä johtuvan kitkamomentin kaavaan (kaava 4). Kierteen aiheuttamaksi kitkamomentiksi saatiin 13,6 Nm. Seuraavaksi selvitettiin ruuvien kannan ja alustan välinen kitkamomentti kaavoilla 5 ja 6. Tulokseksi saatiin 16,3 Nm, jolloin esikiristämiseen tarvittava kokonaismomentti on 30 Nm.

Kallistussäätöön käytettävän liikeruuvien lukitsemiseen käytettiin kuvan 11 mukaista holkkiiliitosta. Liitoksen paikallaan pitämiseen valittiin uppokantainen ISO10642 M4 kuusioruuvi, lujuusluokassa 12.9. Ruuvien arvioitiin kohdistuvan noin 1000 N suuruinen leikkausvoima kallistussäädön ollessa ääriasennossa. Ruuvien leikkauskestävyys laskettiin kaavan 3 mukaisesti käyttämällä liitteessä 5 M4 ruuville määritettyjä arvoja. Tulokseksi saatiin noin 4200 N, jonka katsottiin olevan käyttötarkoitukseen riittävä.

Työkalun kiinnittäminen hydraulinostimeen toteutettiin holkkiiliitoksella, jonka paikallaanpitämiseen valittiin ISO 4762 M12 kuusioruuvi, lujuusluokassa 10.9. Liitos ei ole kuormaa kantava, joten sille määritettiin ainoastaan liitteen 5 mukainen 137 Nm suuruinen kiristysmomentti (Etra 2021). Taulukossa 8 on esitetty lista konstruktiossa käytettävistä ruuvikiinnittimistä sekä niille määritetyt kiristysmomentit ja kokoonpanossa huomioitavat asiat.

Kohde	Ruuvi	Kpl	Koko	Ruuvien lujuusluokka	Aluslevy	Kpl	Mutteri	Kpl	Kiristysmomentti (Nm)	Huomiot
Kiinnitysmekanismin lukitus	DIN 6921	1	M10x30	8.8	-	0	-	-	30	
Liikeruuvien lukitus	ISO 10642	1	M4X20	12.9	-	0	-	-	-	Käytetään lukitetta
Työkalun kiinnitys	ISO 4762	1	M12X30	10.9	ISO 7093	1	-	-	137	
Vastinlevyjen kiinnitys	ISO 10642	4	M4X20	8.8	DIN 125	4	DIN 985	4	-	
Kääntömekanismin vastinruuvi	DIN 4762	1	M12X25	8.8	DIN 125	1	DIN 985	1	-	

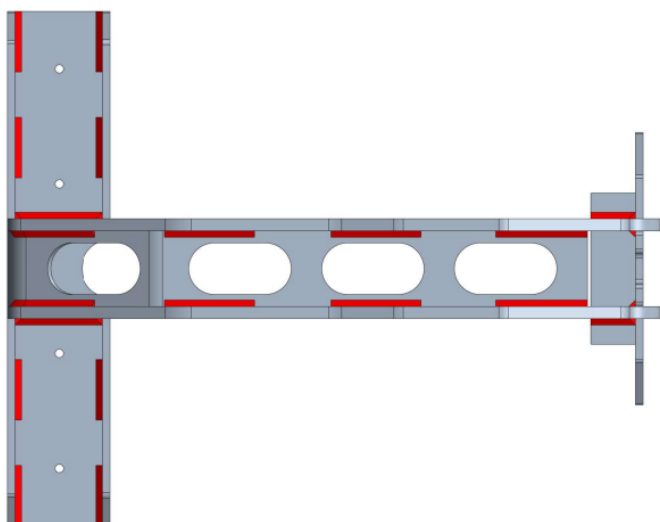
Taulukko 8. Sovitintyökalussa käytetyt ruuvikiinnittimet.

Ruuvien lujuus valittiin käyttökohteen tarpeiden mukaan. Pääasiassa ruuveiksi valittiin yleisiä 8.8 lujuusluokan ruuveja. Suuremman lujuuden omaavaa ruuvia käytettiin esimerkiksi kallistussäädössä käytettävän liikeruuvien holkkiliitoksessa, jossa ruuviin kohdistuu vaihtelevaa leikkausjännitystä. Ruuviliitosten mitoitus ja lujuustarkastelun tuloksena voitiin valittujen ruuvien kestävyys todeta riittäväksi.

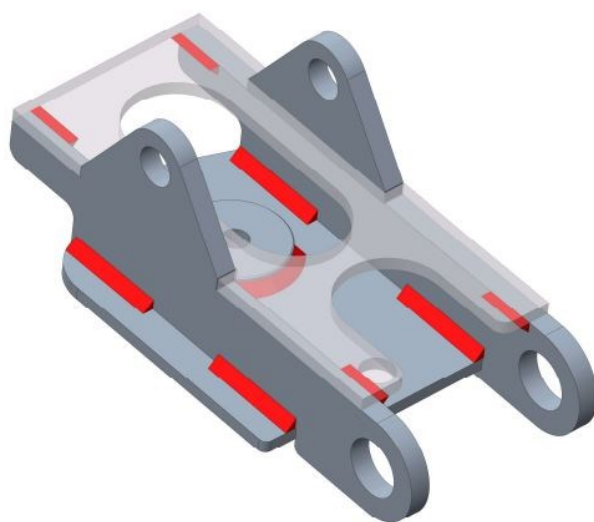
6.4.6 Hitsausliitokset

Työkalun rakenne koostuu pääasiassa hitsausliitoksella liitettävistä levyleikeosista. Hitsaustyön aiheuttamiin kustannuksiin pyrittiin vaikuttamaan muun muassa hitsausliitosten sijoittelulla, liitostyyppien valinnalla ja välttämällä liitosten ylimitoittamista. Työkalun rungon suunnittelu toteutettiin niin ettei rakenteessa ole kantavia tai raskaasti kuormitettuja hitsausliitoksia. Rungon osat ovat sijoitettu päällekkäin voimien vaikutussuuntaan nähden, jolloin suurimmat kuormitukset kohdistuvat rakenteessa käytettyihin levyleikeosiin. Hitsaustyön helpottamiseksi hitsattavien levyosien muotoilusta pyrittiin myös tekemään helposti paikoitettavia. Rakenteessa käytetyt hitsausliitokset ovat pääasiassa 90 ° pienahitsein toteutettavia side- ja kiinnitysliitoksia.

Liitosten mitoittaminen toteutettiin soveltaen SFS-EN 1993-1-8 Eurocode 3 suunnitteluperiaatteita. Standardin mukaan pienahitsin pienin efektiivinen a-mitta on $a \geq 3$ mm (SFS-EN 1993-1-8, 2005, 45). Hitsien ollessa kevyesti kuormitettuja valittiin kaikkien pienahitsien a-mitaksi 3 mm. Rakenteessa esiintyy monia pitkiä hitsausliitoksia, joiden hitsaus liitosten koko matkalta olisi lujuuden kannalta tarpeetonta. Tämän takia pidemmät hitsausliitokset toteutettiin katko-hitsein kuvan 15 ja 16 mukaisella tavalla.



Kuva 15. Rungon yläosan hitsausliitokset alapuolelta.



Kuva 16. Rungon alaosan hitsausliitokset.

Hitsausluokitusten määrittämisessä sovellettiin SFS-EN ISO 13155 standardin velvoitteita. Standardin mukaan hitsauksen laadun on oltava standardin EN ISO 5817 vaatimusten mukainen. Nostimen käyttöiän aikana sen suorittama kuormitusjaksojen määrä on alle 16000 ja sen kannatteleman taakan massa on vakio.

Näin ollen siltä ei vaadittu väsymislujuuden tarkastelua. Tällaisessa tapauksessa hitsiluokan B käyttäminen olisi ollut tarpeetonta ja aiheuttanut ylimääräisiä kustannuksia. Näin ollen työkalun hitsiluokaksi valittiin luokka C. Hitsiluokaa C käytetään yleisesti staattisesti kuormitetuissa rakenteissa.

Liitoksiin kohdistuvat kuormitukset johtuvat pääasiassa kuormitetussa rakenteessa esiintyvistä siirtymistä, joiden määrittäminen perinteisin laskentamenetelmin olisi ollut tarpeettoman haasteellista ja aikaa vievää. Hitsien suunnittelun jälkeen niiden riittävä lujuus tarkastettiin FEM analyysin avulla osana rakenteen muuta lujuustarkastelua.

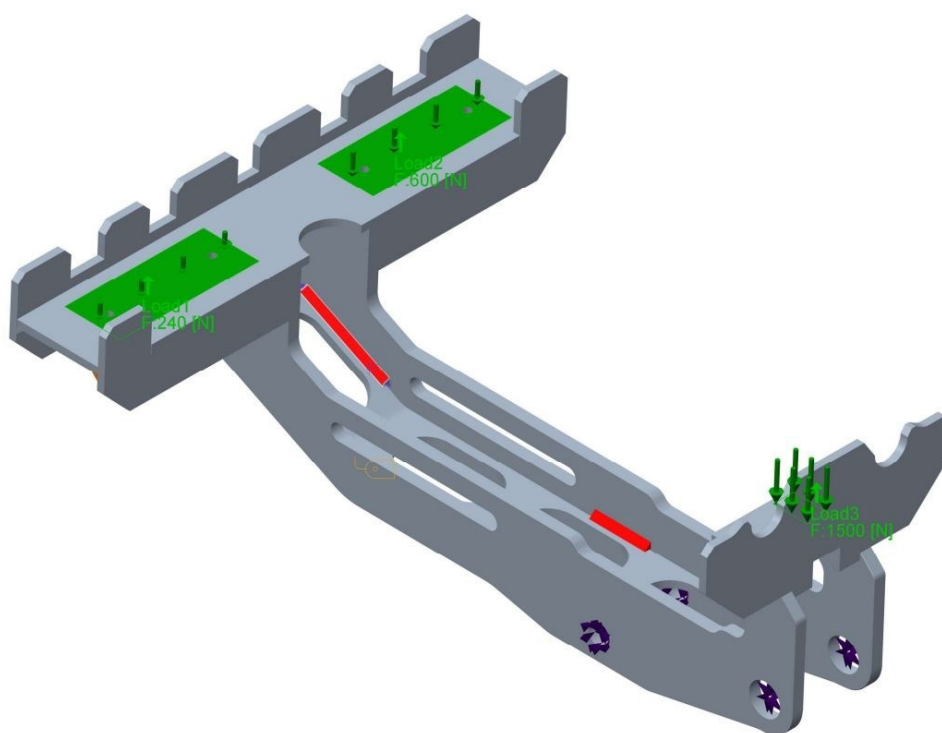
6.4.7 Lujuustarkastelu

Kehittelyvaiheen aikana sovitintyökalun rakenteelle tehtiin suuntaa antavia lujuus analyysyjä, joilla rakenteen muotoilua voitiin optimoida. Lopullinen lujuustarkastelu toteutettiin kehittelyvaiheen lopussa, jolla rakenteen kestävyys voitiin todentaa. Rakenteen kriittisten komponenttien kestävyys tarkastettiin Creon FEM-työkalulla.

Laskennan keventämiseksi rakenteen analysointi toteutettiin osakokoonpanoitain. Aluksi kaikista tarkasteltavista kokoonpanoista luotiin yksinkertaistetut laskentamallit shrinkwrap-tallennustoiminnolla. Laskentamalleihin jätettiin kaikki lujuuteen olennaisesti vaikuttavat piirteet ja niille määritettiin materiaalivalinnan mukaiset lujuusominaisuudet. Ennen laskennan aloittamista rakenteisiin asetettiin nostotilannetta vastaavat tuennat ja kuormitukset. Laskentaan kuluvan ajan säästämiseksi kaikista malleista ajettiin ensin kevyempi SPA-analyysi, jonka pohjalta laskenta-asetuksia voitiin optimoida. Lopullinen laskenta suoritettiin MPA-analyysillä, jonka tuloksia verrattiin materiaalien lujuusominaisuuksiin.

Vetopyörästöjen muoto ei ollut täysin symmetrinen, joten massakeskipisteen sijainti vaikuttaa kuormitusten jakautumiseen sovitintyökalun rungossa. Myös kallistuskulman säätö vaikuttaa kuormitusten jakautumiseen työkalun etu- ja takaosan välillä. Epätasaista kuormitustilannetta simuloitiin jakamalla kuormitukset

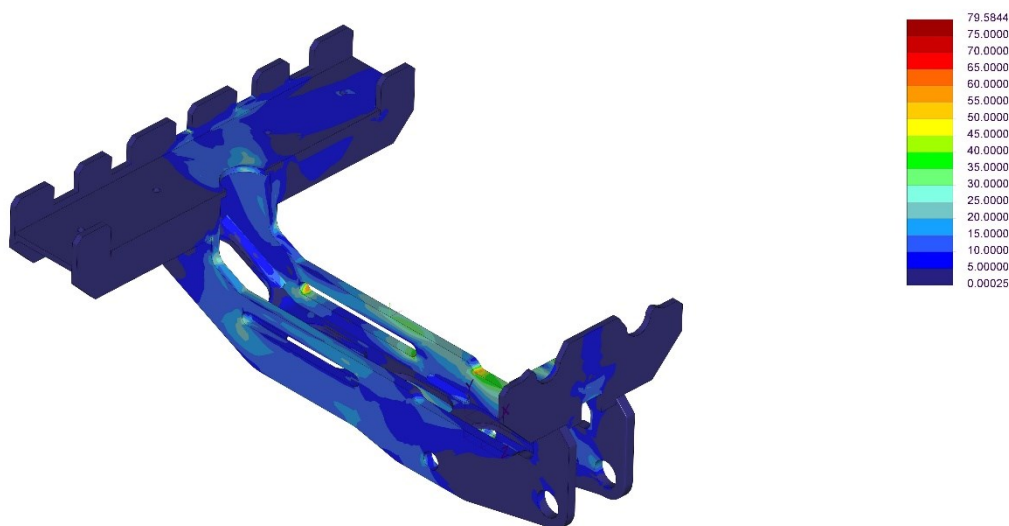
rakenteeseen kuvan 17 mukaisella tavalla. Rakenteen takaosan kohdistetut kuormitukset on jaettu kahdelle runkoon asennettavien vastinlevyjen alueelle. Takaosaan kohdistuvien voimien summa vastaa kuormitustilannetta, jossa kallistussäädön asento on -12° vaakatasoon nähden. Tällöin takaosaan kohdistuva kuormitus on suurimmillaan. Rungon etuosaan sijoitettu kuormitus vastaa 12° kallistuskulmaa, jolloin rungon etuosan kuormitus on suurimmillaan. Kokoonpanon tuennaksi asetettiin kaksi akselituentaa, jotka simuloivat akselien käyttäytymistä laskennassa.



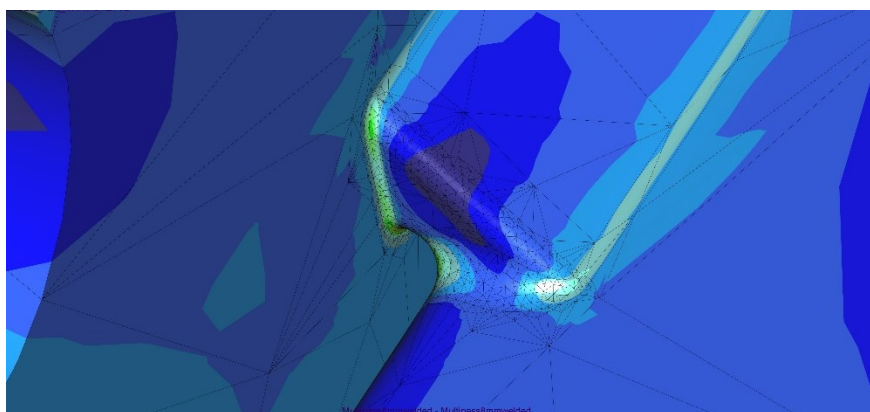
Kuva 17. Kuormitusten sijoittelu.

Rungon laskentamallia optimoitiin vielä lisäämällä SPA-analysoinnin tuloksissa todettuihin singulariteettipisteisiin säteeltään 1 mm suuruiset pyöritykset ja tiheämpi verkotus. Näin estettiin epätodenmukaisien jännityskeskittymien syntyminen ja saatiin tuloksista luotettavampia. Esivalmistelujen jälkeen laskenta käynnistettiin.

Kuvassa 18 on esitetty rungon yläosassa esiintyvät jännitykset. MPA-analyysin tuloksena saatiin maksimi vertailu jännityksen arvoksi 80 MPa. Epätasaisen kuormituksen takia rungon jännitykset olivat hieman toispuoleisia. Merkittäviä jännityskeskittymiä rakenteeseen ei kuitenkaan syntynyt. Kuvassa 19 on esitetty hitsin päähän mallinnetut pyöristykset ja tihennetty verkotus, jolla singulariteettien syntymistä pyrittiin estämään.

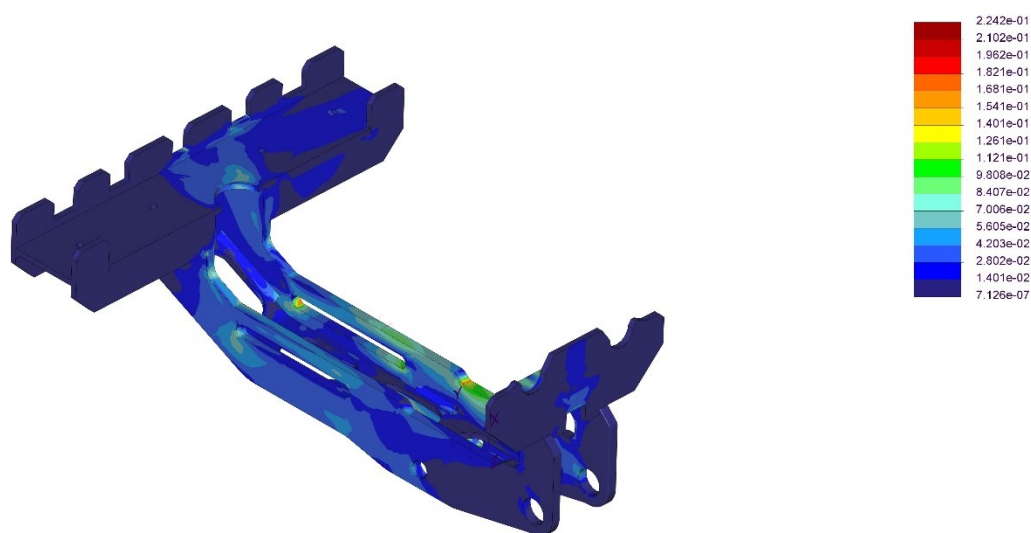


Kuva 18. Rungon yläosan vertailujännitys (MPa).



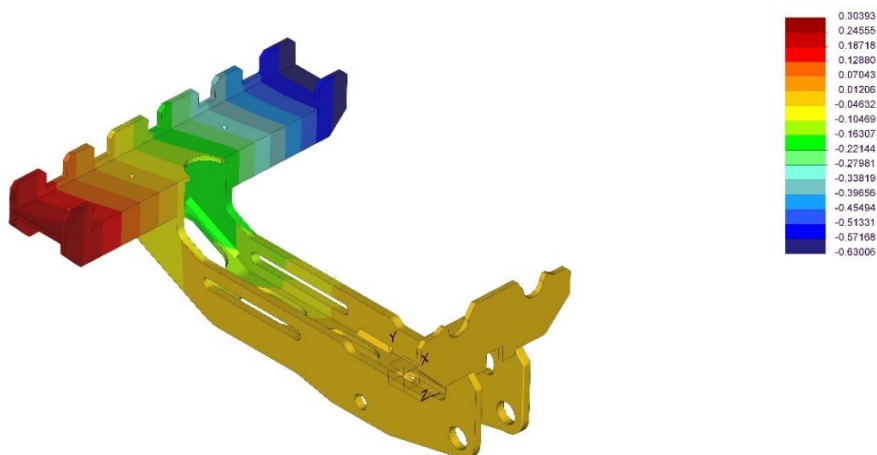
Kuva 19. Pyöristykset ja tihennetty verkotus hitsausaumoissa.

Tässä opinnäytetyössä lujuuden mitoittamisessa noudatettiin toimeksiantajayrityksen linjausta. Yrityksessä on nostolaitteiden suunnittelussa käytetty varmuuskerrointa $n=4$. Kuvan 20 mukaan MPA-analyysin tuloksena rakenteen failure index -arvoksi saatiin 0,224. Failure indexin ollessa pienempi kuin 1 voitiin todeta, että rakenteen myötöraja ei ylity. Todellinen varmuusluku saatiin laskutoimituksella $n = 1/0,22 = 4,46$. Varmuusluvun ollessa $n>4$, voitiin rakenne todeta riittävän kestäväksi.



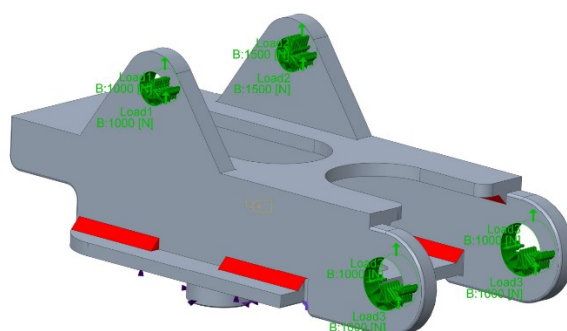
Kuva 20. Failure index runkorakenteessa.

Aikaisemmin osana suunnittelutyötä rungolle tehtiin muutamia FEM-analyyskejä, joiden pohjalta rakenteen muotoilua pyrittiin optimoimaan. Analyysseissä kokeiltiin muun muassa rakennetta, jossa koko runko oli suunniteltu käyttäen 5 mm teräslevyä. Tuloksista huomattiin, että rungon epätasainen kuormitus aiheutti liian suuria siirtymiä runkorakenteeseen, jolloin rakenteen kaksi kantavaa levyosaa päätettiin korvata 8 mm levyleikkeillä. Suuremmalla levyn paksuudella ja rakennetta jäykistämällä siinä esiintyviä siirtymiä saatiin merkittävästi pienennettyä. Kuvassa 21 on esitetty rungon takaosassa esiintyvä siirtymä millimetreinä. Tuloksista voitiin todeta jäykemmässäkin rakenteessa tapahtuvaa kiertymistä, joka johti noin 0,93 mm pystysuuntaisiin kokonaissiirtymään. Rakenteen lujuus oli kuitenkin riittävä ja siirtymä kohtuullinen, joten tätä voitiin pitää hyväksyttävänä.



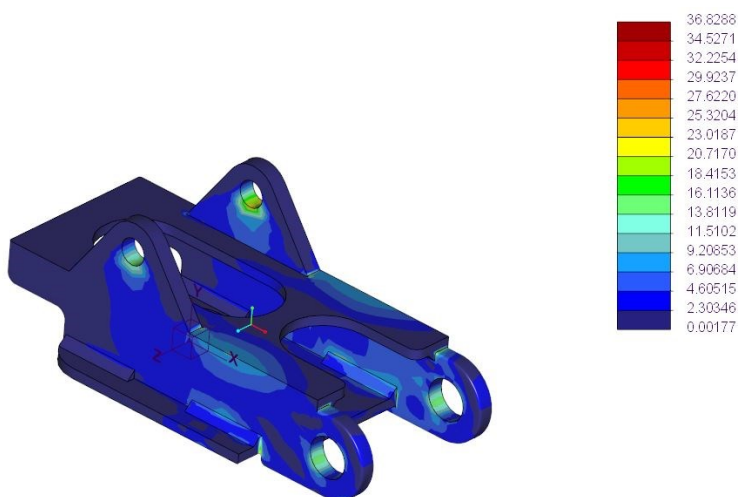
Kuva 21. Siirtymät runkorakenteessa (mm).

Rungon alaosan lujuustarkastelu toteutettiin vastaavasti. Aluksi asetettiin rakenteelle pystysuuntainen tuenta satulakannattimen tasopintaa vastaavalta alueelta. Sovitintyökalun kiinnitysholkin ulkopintaan käytettiin akselituentaa, jonka tarkoituksena oli estää kappaleen liike. Rakenteen kuormitukset asetettiin akselien reikiin laakerityyppisenä kuormituksena kuvan 22 mukaisella tavalla. Laakerityyppinen kuormitus vastaa kuormitusjakaumaltaan parhaiten akselikiinnitystä. Laskennassa käytetyt kuormitukset ovat hieman todellista nostotilannetta suurempia ja ne on aseteltu toispuoleisesti.

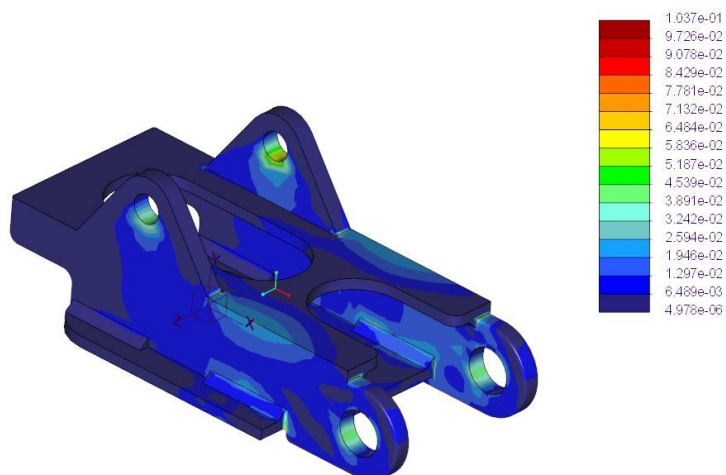


Kuva 22. Rungon alaosan kuormitukset.

Alarungon MPA-analyysin tulokset on esitetty kuvissa 23 ja 24. Analyysin tuloksena rungon alaosan suurimmaksi vertailujännitykseksi saatiin 37 MPa. Failure index arvon ollessa 0,1037, saadaan varmuuskertoimen arvoksi $n = 1/0,10 = 9,64$. Tuloksista voidaan todeta alarungon rakenteen riittävä kestävyys jopa yli-kuormitus tilanteessa.



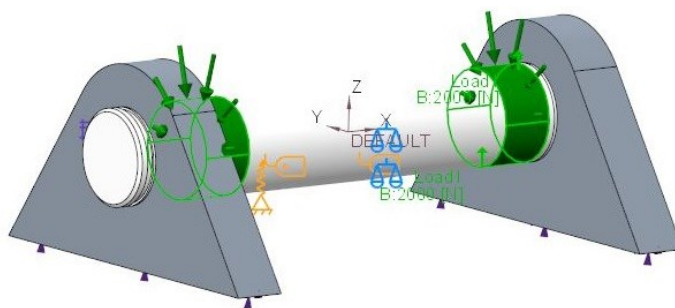
Kuva 23. Alarungon jännitykset (MPa).



Kuva 24. Alarungon Failure Index.

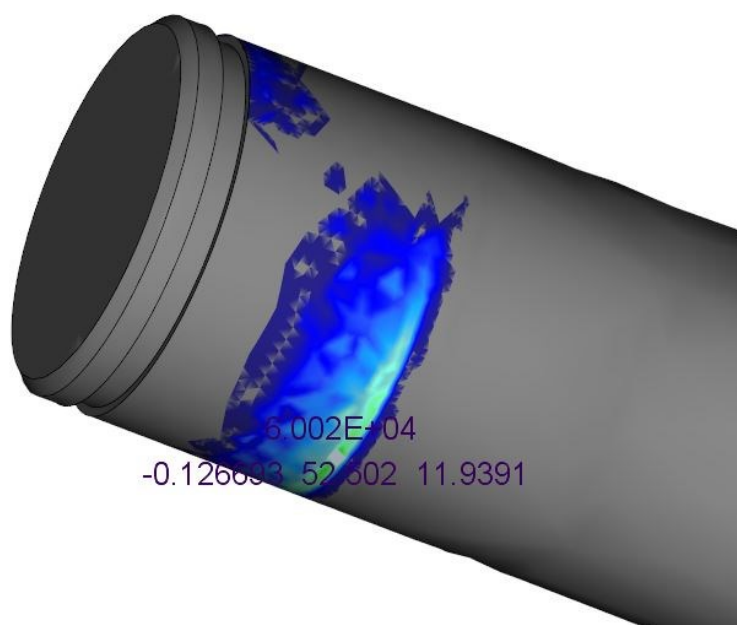
Seuraavaksi tarkastettiin rakenteessa käytettävien akselien kestävyyttä. Rakenteen kaikkiin akseleihin kohdistuu leikkaus- ja reunapuristusvaikutus. Kaikissa rakenteen akseleissa käytettiin samaa materiaalia ja niiden kuormitusolosuhteet olivat hyvin samanlaisia. Näin ollen kaikkien erillinen tarkastelu olisi ollut tarpeetonta. Tarkasteluun valittiin runkorakenteen välissä käytetty 15 mm akseli, johon kohdistuu suurimmat kuormitukset ja sillä on pienin kontaktipinnan pinta-ala.

Lujuustarkastelu toteutettiin MPA-kontaktianalyysillä. Tarkastelua varten tehtiin kuvan 25 mukainen kuormitustilannetta vastaava laskentakokoonpano. Laskennan keventämiseksi kokoonpanosta rajattiin pois laskennan kannalta epäolennainen osa rakennetta. Akselin ja reikien välille määritettiin kontaktipinnat, joissa verkotusta tihennettiin laskentatuloksen tarkkuuden lisäämiseksi. Kuormitukseksi asetettiin vetopyörästäön massaa vastaava 2000 N suuruinen kuormitus rungon yläosan kiinnitysreikiä vastaavalle alueelle. Akselin tuennaksi määritettiin jousituenta, jolla akseli sidottiin koordinaatistoon laskennan ajaksi. Rungon alaosan tuenta toteutettiin lukitsemalla pohjapinnan liike kaikilla vapausasteilla.



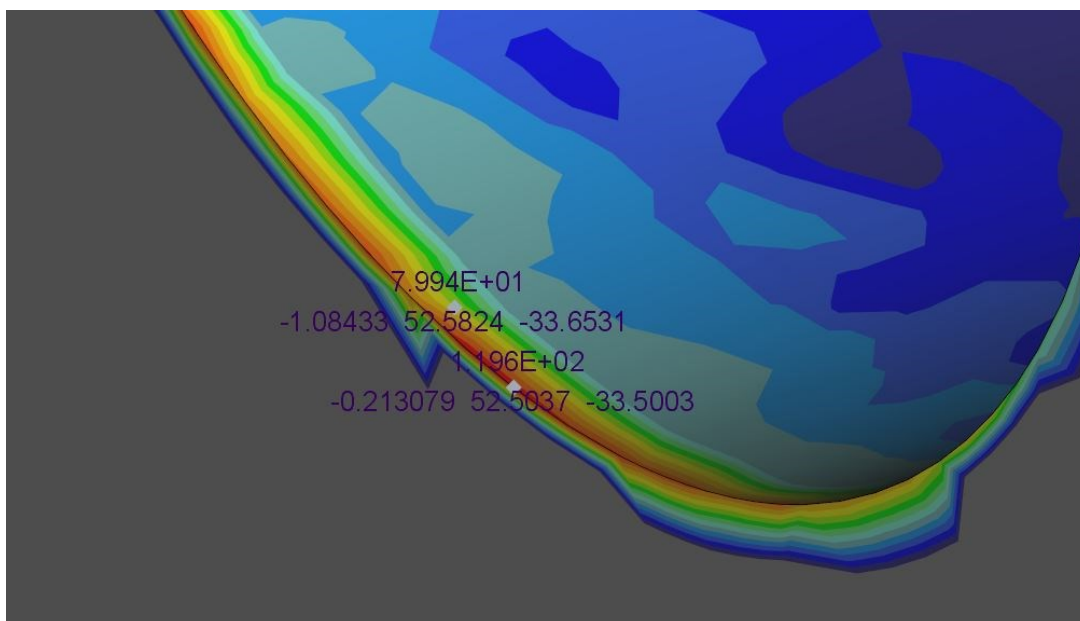
Kuva 25. Kontaktipintojen laskentakokoonpano.

Akseleissa käytettävän 42CrMo4 teräksen myötörajan on 750 MPa (Sten. 2006, 1). Kuvissa 26 ja 27 on esitetty kontaktianalyysin tulokset. Analyysin tuloksena suurin akselissa esiintyvä pintapaine on noin 60 MPa. Varmuuskertoimen ollessa 4 materiaalilta sallittava vertailujännitys on 188 MPa. Analyysin tuloksista todettiin akselitappien kestävän niihin kohdistuvat kuormitukset.



Kuva 26. Reunapuristus akselissa (KPa).

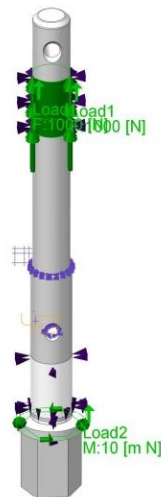
Kuvassa 27 on esitetty rungon alaosan akselireiässä vaikuttava reunapuristus. Tuloksista huomattiin akselireiän reunaan syntynyt singulariteetti. Todellisessa tilanteessa reiän reuna ei kuitenkaan ole täysin terävä, jolloin siihen ei katsottu muodostuvan tulosta vastaavaa jännityskeskittymää. Tässä tapauksessa singulariteetti päätettiin jättää tarkastelussa huomioimatta. Muualla akselireiän kontaktipinnalla reunapuristukset pysyivät 85 MPa alapuolella, joten rakenteen lujuuskestävyys todettiin riittäväksi.



Kuva 27. Reunapuristus akselireiässä (MPa).

Viimeisenä tehtiin kallistussäätömekanismissa käytettävän liikeruuvin lujuustarkastelu. Kallistussäädön asennon mukaan liikeruuviin kohdistuu veto- tai puristusvaikutus. Tarkastelussa molemmista kallistussäädön ääriasennosta tehtiin oma FEM-analyysi. Puristuskuormituksen alaisena liikeruuvin nurjahduspituus on hyvin pieni, joten nurjahdustarkastelua ei nähty tarpeelliseksi.

Kuvassa 28 on esitetty liikeruuvin laskenta-asettelu. Asettelussa ruuvin yläosaan asetettiin 1000 N suuruinen vetokuormitus sekä kääntymisliikkeen estävä akselituenta. Ruuvin alaosa tuettiin vapaalla akselituennalla sekä pystyliikkeen estävällä tuennalla ruuvin laipasta. Lisäksi ruuvin laipan alapinnalle asetettiin 10 Nm suuruinen vääntömomentti. Vääntömomentilla haluttiin simuloida tilannetta, jossa ruuvin kierteeseen syntyvä kitka aiheuttaa jännityksiä ruuvia käännettäessä. Ennen analyysin aloittamista verkotusta tihennettiin kriittisillä alueilla, kuten kierteen alussa sekä lukitusruuvien reiän reunapinnoilla.



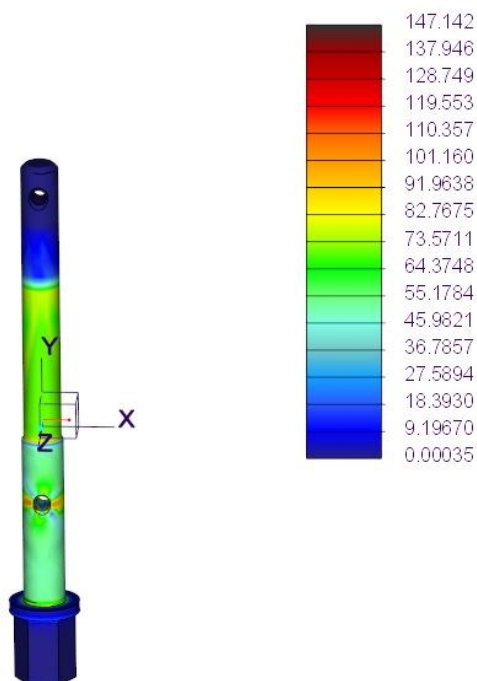
Kuva 28. Liikeruuvien asettelu vedossa.

Puristuskuormituksen alaiselle ruuville tehtiin toista ääriasemaa vastaava las-
kenta-asettelu (Kuva 29). Asettelussa liikeruuvien pystysuuntainen tuenta asetet-
tiin lukitusruuvien reiän sisäpinnalle sekä ylätuenta siirrettiin alemmas akselin
kierrettä vastaavalle kohdalle. Kuormitukseksi asetettiin 1000 N ja 10 Nm suu-
ruinen vääntömomentti.



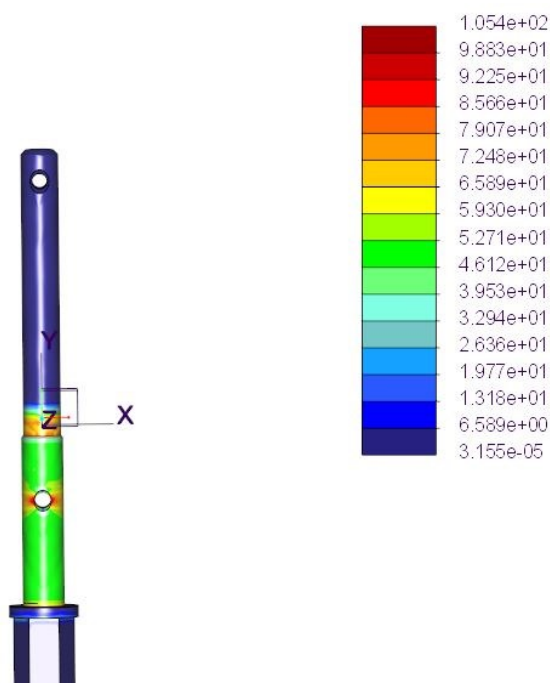
Kuva 29. Liikeruuvien asettelu puristuksessa.

Vetokuormituksen alaisen liikeruuvin tulokset on esitetty kuvassa 30. MPA-analyysin tulokeksi saatiin 147 MPa suuruinen vertailujännitys. Suurimmat jännitykset esiintyivät liikeruuvin lukitusreiän sisäpinnalla. Tästä voitiin todeta ruuvin kestävän siihen kohdistuvat kuormitukset kallistussäädön ääriasemassa.



Kuva 30. Liikeruuvin jännitykset vedossa (MPa).

Lujuustarkastelua päätettiin kokeilla myös huomattavassa ylikuormitustilanteessa. Tarkastelussa laskenta-asetukset pidettiin muuten samana, mutta ruuvin vääntömomentiksi asetettiin 60 Nm. Tuloksena vertailujännitykseksi saatiin 802 MPa, joka ylittää 42CrMo4 materiaalin myötörajan. Vastaavaa tilannetta ei kuitenkaan pääse syntymään, mikäli työkalua käytetään ja kunnossapidetään tarkoituksen mukaisesti. Vastaava analyysin tulos puristuskuormitetulle liikeruuville on esitetty kuvassa 31. Tuloksista todettiin 108 MPa suuruinen vertailujännitys. Näin ollen liikeruuvin katsottiin kestävän siihen kohdistuvat kuormitukset.



Kuva 31. Liikervuvin puristus (MPa).

Lujuustarkastelussa sovitintyökalun kestävyyttä analysoitiin tilanteissa, joissa siihen kohdistuvat kuormitukset ovat suurimmillaan. Tarkastelussa huomioitiin käytettävien materiaalien mekaaniset ominaisuudet sekä työkalun lujuudelle asetettu varmuuskerroin. Lujuustarkastelussa tehtävien analyysien tarkkuutta ja luotettavuutta arvioitiin yksilöllisesti. Arviointia toteutettiin muun muassa tarkastelemalla analyysissä toteutuneiden laskentakierrosten määrää sekä konvergenssia. Kaikki MPA-analyysit tehtiin maksimipolynomiasteella 9. Tarkastelun lopuksi työkalun todettiin kestävän siihen kohdistuvat kuormitukset ja siirryttiin suunnitteluprosessin viimeistelyvaiheeseen.

6.5 Viimeistelyvaihe

Viimeistelyvaiheessa sovitintyökalun rakenne optimoitiin tuotteistamista varten. Rakenteeseen tehtiin vielä joitakin pieniä parannuksia. Esimerkiksi kiinnitysmekanismissa olevat erilliset jäykistelevyt korvattiin yhdellä paikoittuvalla levyllä. Näin saatiin pienennettyä osamäärää sekä parannettua valmistettavuutta.

Tässä vaiheessa osille päätettiin lopulliset toleranssit, jonka jälkeen 3D-mallit viimeisteltiin ja tarkastettiin. Rakenteeseen lisättiin myös loput standardikiinnittimet, kuten pidätinrenkaat ja ruuvit. Viimeistelyvaiheessa päätettiin myös työkalun pintakäsittelymenetelmä lisäämään työkalun korroosionkestoa. Lopuksi laadittiin sovitintyökalun valmistus- ja kokoonpanopiirustukset sekä osaluettelo. Tuotekehitysprosessin tuloksista laadittiin myös yrityksen toimintatapojen mukainen tutkimusraportti.

7 Tulokset

Opinnäytetyössä toteutetun suunnitteluprosessin tuloksena syntyi kuvien 32 ja 33 mukainen sovitintyökalu. Lopputuloksen 3D-malleista voitiin suoraan nähdä tuotekehitystyön visuaalinen tulos. Konkreettisemmin työn tulosta arvioitiin vertaamalla prosessin tuotosta, työlle asetettuihin tavoitteisiin ja spesifikaatioihin.



Kuva 32. Sovitintyökalun 3D-malli.



Kuva 33. Sovitintyökalu kiinnitettynä nostimeen.

Lopputuloksesta voitiin todeta työkalun täyttävän kaikki vaatimuslistassa esitetyt kiinteät sekä vähimmäisvaatimukset. Näiden vaatimusten lisäksi työkalun suunnittelulle esitettiin myös joitakin toiveita. Kaikkia näistä toiveista suunnitteluprosessissa ei pystytty täyttämään. Esimerkiksi vetopyörästä kiinnitykseen toivotut pikaliitokset todettiin tarpeettoman haasteelliseksi suunnittelun ja valmistettavuuden kannalta. Lisäksi niistä katsottiin olevan mahdollista haittaa nostolaitteen käyttöturvallisuudelle. Toiveena oli myös, että etu- sekä takavetopyörästä irrotus ja kiinnitys pystytään suorittamaan ilman vetopyörästä kiinnitetyn jarrukokoonpanon purkamista. Tilarajoitteista huolimatta työn suorittaminen onnistuu komponentteja purkamatta.

Käyttöturvallisuuden näkökulmasta tavoitteena oli suunnitella työkalu, joka vastaa konedirektiivissä asetettuja terveys- ja turvallisuusvaatimuksia. Lujuustarkastelun avulla sovitintyökalun lujuuden todettiin täyttävän direktiivissä asetetut vaatimukset. Turvallisuutta edistettiin myös tukevalla kuorman kiinnityksellä sekä estämällä painopisteen hallitsematon liikehdintä. Yrityksen sisäisten turvallisuusvaatimusten täyttäminen todennetaan myöhemmin työkalun testaus- ja validointikäytännöillä. Työkaluun tulee myös kiinnittää tarvittavat varoitukset ja nostokapasiteetin ilmaisevat merkinnät.

Työkalun kunnossapidettävyyteen ja helppokäyttöisyyteen vaikutettiin suunnitteluvaihtoehdoilla. Valitsemalla yksinkertaisia osajärjestelmiä, saatiin mahdollisten huoltokohteiden määrä minimoitua. Mitoitukset sekä osa- ja materiaalivalinnat tehtiin niiden kestävyys huomioiden, jolloin niiden kulumisesta aiheutuva vikaantuminen on epätodennäköisempää. Työkalun helppokäyttöisyyttä optimoitiin muotoilulla. Työkalun kapea muotoilu mahdollistaa esteettömän pääsyn vetopyörästä ja kiinnityslevyn kiinnitysruuvin irrottamiseksi. Työkalun käyttöön tarvittavien lukitusruuvien ja liikeruuvien avainväli on sama, jolloin työkalun käyttö on mahdollista yhdellä työkalulla. Etu- ja takavetopyörästä jarrukokoonpano on sijoitettu vastakkaisille puolille. Tämän takia työkalun runko suunniteltiin symmetriseksi, jolloin samaa työkalua voidaan käyttää kummankin vetopyörästä vaihdossa.

8 Yhteenveto

Opinnäytetyön tarkoituksena oli suunnitella sovitintyökalu, jolla Patria 6x6 -ajoneuvon etu- sekä takavetopyörästä saadaan kiinnitettyä nostotoimenpiteeseen tarkoitettuun hydraul nostimeen. Ajankohtaisen opinnäytetyön aiheesta tekee 6x6 -ajoneuvojen kysynnän jatkuva kasvu ja ajoneuvojen elinjakson hallinnan tavoitteet.

Työ aloitettiin laatimalla suunnittelutyön tueksi laaja tietoperusta tuotekehitystoiminnasta ja sen apuna käytettävistä prosessimalleista. Vaikka VDI 2221 -suunnitteluohjeistuksen ja Ulrich & Eppinger -prosessimallien juuret yltävät vuosikymmenien päähän, niiden tarjoamat työkalut ja menetelmät ovat osa nykyaikaista tuotekehitystoimintaa. Prosessimalleja kannattaa käyttää suuntaviivoina ja adaptoida niiden vahvuuksia yrityksen tai tuotekehityskohteen tarpeiden mukaisesti. Prosessimallien samankaltaisuus mahdollistaa niiden vaiheiden ja menetelmien soveltamisen tuotekehityskohteen luonteen mukaiseksi. Tässä opinnäytetyössä molemmista prosesseista valittiin käyttötarkoitukseen sopivimmat menetelmät, jolla prosessi pysyi tarkoituksenmukaisena ja sujuvana.

Opinnäytetyön tietoperustassa käytettiin pääasiassa tuotekehityksen asiantuntijoiden ja tutkijoiden kirjallisuutta. Molemmat opinnäytetyössä tarkastellut prosessimallit olivat usean eri asiantuntijan laatimia sekä yleisesti tunnettuja ja hyväksyttyjä. Alkuperäinen lähdemateriaali on vanhaa. Sen ajantasaisuutta on kuitenkin ylläpidetty, tasaisin väliajoin uusilla painoksilla tai päivityksillä. Kirjallisuuslähteiden lisäksi käytettiin Suomen standardisoimisliitto SFS ry:n hyväksymiä ajantasaisia standardeja tai niihin perustuvia oppikirjoja. Nettilähteiden luotettavuus ja ajantasaisuus taattiin käyttämällä valmistajien ja palveluntarjoajien virallisia sivuja.

Toteutusvaiheessa työn pääpaino oli suunnittelu ja mallinnustyössä. Suunnittelutyön aikana todelliseksi haasteeksi osoittautui käytännön kannalta toimivien ratkaisuvaihtoehtojen ideointi tilarajoitteiden tuomiin ongelmiin. Vaikka tehtävän selvittelyvaiheessa tehtiin laaja alkuselvitys, uusia haasteita todettiin myös myöhemmässä vaiheessa prosessia. Ongelmatilanteissa hyödynnettiin toimeksiantajayrityksen sisäistä osaamista. Työn aikana otettiin myös yhteyttä nostolaitteen valmistajaan sekä valvottiin viranomaistahoihin. Lopulta kaikki haasteet saatiin ratkaisua ja työ valmistui tavoiteaikataulun mukaisesti.

Työn tuloksena syntyi sovitintyökalu, joka vastaa yrityksen tarpeeseen sekä työkalulle asetettuihin vaatimuksiin. Sen suunnittelussa pyrittiin huomioimaan käyttäjän, käyttöturvallisuuden sekä valmistettavuuden näkökulmat mahdollisimman laaja-alaisesti. Toimeksiantajayrityksessä tiedostettiin työn haasteellisuus ja työn lopputulos sai hyvän vastaanoton.

Opinnäytetyö toteutettiin myös eettisten periaatteiden mukaisesti. Mikäli opinnäytetyössä käytetty tieto perustui johonkin lähteeseen, merkittiin lähdeviite tekstiin asianmukaisesti. Työkalun suunnittelutyössä huomioitiin nostolaitteisiin liittyvä käyttöturvallisuus ja lainsäädäntö, ettei sen asianmukaisesta käytöstä aiheudu vaaraa käyttäjälle. Lopuksi opinnäytetyön sisältö tarkastettiin toimeksiantajayrityksen tietoturvaosastolla. Tällä varmistettiin, ettei opinnäytetyö sisällä salassa pidettävää tietoa, josta voisi koitua haittaa toimeksiantajayritykselle.

Opinnäytetyössä pääsin monipuolisesti soveltamaan opintojeni aikana saamani osaamista. Työn toteuttaminen mielenkiintoisen aiheen ja ympäristön parissa tekivät kokonaisuudesta mielekkään. Prosessin aikana opin myös paljon uutta suunnittelutyöstä, tuotekehitystoiminnasta sekä koneensuunnittelun standardoinnista. Työlle asetetut vaatimukset toivat työhön haastetta ja edellyttivät tarkastelemaan asioita eri näkökulmista. Tämä herätti paljon ajatuksia suunnittelutyön luonteesta.

Lähteet

- Björk, T., Hautala, P., Huhtala, K., Kivioja, S., Klemola, M., Lavi, M., Martikka, H., Miettinen, J., Ranta, A., Rinkinen, J. & Salonen, P. 2014. Koneen-
osien suunnittelu. 6. Painos. Helsinki: Sanoma Pro Oy.
- Eppinger, S. D. & Ulrich, K. T. 2020. Product Design and Development. 7.
Painos. New York: McGraw-Hill.
- Etra. 2021. Ruuvien tekniset ominaisuudet. https://www.etra.fi/media/mage-worx/downloads/attachment/file/e/t/etra_ruuvien-tekniset-mitat_taulu-kot_2021_muokattu.pdf. 13.12.2023.
- Hietikko, E. 2021. Tuotekehitystoiminta. 4. painos. Helsinki: Books on Demand.
- Jänsch, J. & Birkhofer, H. 2006. The Development of The Guideline VDI 2221 -
The Change of Direction. <https://urly.fi/3qZm>. 1.10.2023.
- Pahl, G. & Beitz, W. 1990. Koneensuunnitteluoppi. Helsinki: Suomen metalli-,
kone ja sähköteknisen teollisuuden keskusliitto.
- Patria. 2020a. Katsaus. Vuosikertomus 2020. <https://www.patriagroup.com/fi/download/vuosikertomus-2020-katsaus>. 21.09.2023.
- Patria. 2020b. News. U.S. Army to demonstrate the capabilities of Patria Nemo
120 mm mortar system through Foreign Comparative Testing.
<https://www.patriagroup.com/newsroom/news/2020/us-army-to-demonstrate-the-capabilities-of-patria-nemo-120-mm-mortar-system-through-foreign-comparative-testing>. 21.09.2023.
- Patria. 2020c. Patria 100. Perusta turvalliselle tulevaisuudelle. <https://patria.smartpage.fi/patria-100-fi/#page=3>. 27.1.2024.
- Patria. 2021. News. Patria showcasing 6x6 vehicle and other state-of-the-art
products at DSEI. <https://www.patriagroup.com/newsroom/news/2021/patria-showcasing-6x6-vehicle-and-other-state-of-the-art-products-at-dsei>. 21.09.2023.
- Patria. 2023a. Tietoa meistä. Patria lyhyesti. <https://www.patriagroup.com/fi/tietoa-meista/patria-lyhyesti>. 21.09.2023.
- Patria. 2023b. Tietoa meistä. Toimintamalli. <https://www.patriagroup.com/fi/tietoa-meista/toimintamalli>. 21.09.2023.
- Patria. 2023c. Tietoa meistä. Land. <https://www.patriagroup.com/fi/tietoa-meista/toimintamalli/land>. 21.09.2023.
- PTC. 2024a. Failure Index. https://support.ptc.com/help/creo/creo_pma/r9.0/usascii/index.html#page/simulate/simulate/failure_index.html. 19.1.2024.
- PTC. 2024b. Finite Element Analysis (FEA).
<https://www.ptc.com/en/technologies/cad/simulation-and-analysis/finite-element-analysis>. 19.1.2024.
- PTC. 2024c. Convergence Method.
https://support.ptc.com/help/creo/creo_pma/r10.0/usascii/index.html#page/simulate/simulate/stat_conv.html. 19.1.2024.
- PTC. 2024d. Singularities.
https://support.ptc.com/help/creo/creo_pma/r10.0/usascii/index.html#page/simulate/simulate/singular.html. 19.1.2024.
- SFS 5998. 2015. Valssatun teräsosutlevyn kylmätaivutus. Helsinki: Suomen
Standardisoimisliitto SFS. 18.1.2024.

- SFS-EN 1993-1-8. 2005. Eurocode 3. Teräsrakenteiden suunnittelu. Osa 1–8: Liitosten mitoitus. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS. 18.1.2024.
- SFS-EN ISO 286-1. 2010. Geometrinen tuotemäärittely (GPS). Pituusmittojen toleranssien ISO-merkintäjärjestelmä. Osa 1: toleranssien, eromittojen ja sovitteiden perusteet. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS. 18.1.2024.
- SFS-EN ISO 5817. 2023. Hitsaus. Teräksen, nikkelin, titaanin ja niiden seosten sulahitsaus. Hitsiluokat. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS. 18.1.2024.
- SSAB. 2022. SSAB multisteel. https://www.ssab.com/api/sitecore/Datasheet/Get?key=19d488761b104f18bd4524cd0a65343e_en. 6.1.2024.
- Sten. 2006. Nuorrutusteräs https://www.sten.fi/document/1/27/aea4431/tuote_f8be181_42crmo4.pdf. 8.1.2024.
- Turvallisuus- ja kemikaalivirasto. 2023 Koneita koskevat määritelmät. <https://tuokes.fi/tuotteet-ja-palvelut/koneet#c5cfc079>. 01.10.2023.
- Valtanen, E. 2019. Tekniikan taulukkokirja. 22. painos. Jyväskylä: Genesis-kirjat.
- Valtioneuvoston asetus koneiden turvallisuudesta 400/2008.

Tehtävän asetus

Tuotteen kuvaus

- Nostolaite, joka mahdollistaa 6x6 -ajoneuvon vetopyörästön irrotuksen ja kiinnityksen
- Vetopyörästön vaihto mahdollista kenttäolosuhteissa tai kevyellä korjaamolla, missä ei ole käytössä ajoneuvonosturia

Keskeiset tavoitteet

- Suunnittelutyö valmis: 01.02.2024 mennessä
- Edulliset valmistuskustannukset, ei tarkemmin määritelty

Päämarkkinat

- Patria Land Oy:n omaan käyttöön
- Asiakkaille osana ajoneuvon erikoistyökaluja
- Ei julkisille markkinoille

Oletukset ja rajat

- Nostolaitteena käytetään kaupallista käyttötarkoitukseen sopivaa nostinta
- Pienet valmistuskustannukset
- Yksinkertainen ja kevyt rakenne

Sidosryhmät

- ILS-osasto
- Suunnittelu
- Asiakas
- Huolto
- Tuotanto
- Alihankinta

Vaatimuslista

12/10/2023	KV VV T	Kiinteä vaatimus Vähimmäis Vaatimus Toive	Vaatimuslista 6X6 vetopyörästönostimen sovitin
Muutos päivämäärä		Vaatimukset	
12.10.2023	KV	1. GEOMETRIA	
12.10.2023	VV	Nostimen ja nostosovittimen on mahdollista ajoneuvon alle, sen ollessa tuettuna nostopukeilla (Pukkien korkeus noin. 730 mm).	
12.10.2023	VV	Ylin tarttumiskokeus ≥800 mm. (Nostimen nostokorkeus: 740 mm)	
12.10.2023	T	Tukeva kiinnitys vetopyörästöön	
	T	Yksinkertainen toteutus	
3.11.2023	T	2. KINEMATIikka	
12.10.2023	T	Tarttumapinnan kallistuksen säätö	
	T	Kääntyvä tartuntapinta	
12.10.2023	KV	3. KUORMA JA RASITUKSET	
12.10.2023	KV	Sovitintyökalun on kyettävä kannattelemaan 200 Kg painoista vetopyörästöä	
	KV	Riittävän vakaa painopisteeseen nähden	
12.10.2023	KV	4. KÄYTTÖVOIMA	
	KV	Lihasvoima	
12.10.2023	VV	5. AINE	
12.10.2023	VV	Raaka-aineena teräs	
	VV	Materiaalin riittävä lujuus	
12.10.2023	VV	6. VALMISTUS	
	VV	Levyleike, Hitsaus, Ruuvi ja Sokkaliitokset	
12.10.2023	VV	7. TURVALLISUUS	
	VV	Konedirektiivi 2006/42/EY huomointi suunnittelussa. (Ei vaadita vaatimuksenmukaisuutta)	
12.10.2023	KV	8. TARKASTUS	
	KV	Tuote on testattu toimivaksi ja turvallisiksi, ennen toimitusta	
12.10.2023	VV	9. SIIRRETTÄVYYS	
	VV	Käsin kuljetettavissa, nostettavissa ja asennettavissa nostimeen	
12.10.2023	VV	10. KÄYTTÖYMPÄRISTÖ	
12.10.2023	VV	Käyttö mahdollista tukevalla ja tasaisella alustalla myös ulko-olosuhteissa	
12.10.2023	VV	Ei tarvitse ulkoista voimanlähdettä	
12.10.2023	T	11. KÄYTTÖ	
12.10.2023	T	Helposti kiinnitettävissä ja irroitettavissa vetopyörästöstä (Pikaliitokset)	
12.10.2023	T	Helposti kiinnitettävissä ja irroitettavissa nostolaitteesta	
12.10.2023	T	Vetopyörästön irroitus ja kiinnitys mahdollisimman vähällä komponenttien purkamisella	
12.10.2023	T	12. KUNNOSSAPITO	
12.10.2023	VV	Huollon tarve minimoitava	
	VV	Tarvittaessa helposti huollettava	
12.10.2023	VV	13. KUSTANNUKSET	
	VV	Suositaan kustannustehokkaita valmistusmenetelmiä	
12.10.2023	KV	14. AIKATAULU	
	KV	Suunnittelutyö valmis 01.02.2024 mennessä	
12.10.2023	VV	15. MUUT VAATIMUKSET	
	VV	Suunnitteluprosessi on toteutettu Patrian suunnitteluohjeistuksen ja standardointi huomioiden	

Teräsruuvien esikivistysvoimat ja -momentit metrinen kierre

Koko	Nousu (mm)	As (mm²)	Esikivistysvoima F (kN)					Kivistysmomentti Ma (Nm)				
			4.6	5.6	8.8	10.9	12.9	4.6	5.6	8.8	10.9	12.9
M4	0,7	8,78	1,28	1,71	4,3	6,3	7,4	1,02	1,37	3,3	4,8	5,6
M5	0,8	14,20	2,1	2,79	7	10,3	12	2	2,7	6,5	9,5	11,2
M6	1,0	20,10	2,96	3,94	9,9	14,5	17	3,5	4,6	11,3	16,5	19,3
M8	1,3	36,60	5,42	7,23	18,1	26,6	31,1	8,4	11	27,3	40,1	46,9
M10	1,5	58,00	8,64	11,5	28,8	42,2	49,4	17	22	54	79	93
M12	1,8	84,30	12,6	16,8	41,9	61,5	72	29	39	93	137	160
M14	2,0	115,00	17,3	23,1	57,5	84,4	98,8	46	62	148	218	255
M16	2,0	157,00	23,8	31,7	78,8	115,7	135,4	71	95	230	338	395
M18	2,5	193,00	28,9	38,6	99	141	165	97	130	329	469	549
M20	2,5	245,00	37,2	49,6	127	181	212	138	184	464	661	773
M22	2,5	303,00	46,5	62	158	225	264	186	250	634	904	1057
M24	3,0	353,00	53,6	71,4	183	260	305	235	315	798	1136	1329
M27	3,0	459,00	70,6	94,1	240	342	400	350	470	1176	1674	1959
M30	3,5	561,00	85,7	114	292	416	487	475	635	1597	2274	2662
M33	3,5	694,00	107	142	363	517	605	645	865	2161	3078	3601
M36	4,0	817,00	125	167	427	608	711	1080	1440	2778	3957	4631
M39	4,0	976,00	151	201	512	729	853	1330	1780	3597	5123	5994
M42	4,5	1117,00	212	265	584	832	974	1605	2006	4413	6285	7354
M45	4,5	1302,00	249	311	684	974	1140	2005	2506	5512	7851	9187
M48	5,0	1468,00	280	350	770	1096	1283	2424	3030	6667	9495	11112
M52	5,0	1753,00	335	419	922	1314	1537	3116	3896	8570	12206	14284
M56	5,5	2024,00	387	484	1064	1516	1774	3883	4854	10678	15208	17797
M60	5,5	2356,00	452	565	1242	1770	2071	4818	6022	13249	18870	22082
M64	6,0	2669,00	511	639	1406	2003	2344	5802	7252	15955	22724	26592
M68	6,0	3047,00	585	732	1610	2293	2683	7012	8765	19282	27462	32137
M72	6,0	3451,00	665	831	1828	2603	3046	8739	10474	23043	32819	38405
M76	6,0	3881,00	749	936	2059	2933	3432	9903	12378	27232	38785	45387
M80	6,0	4335,00	838	1047	2304	3282	3840	14610	14514	31960	45476	53216
M90	6,0	5580,00	1083	1353	2977	4240	4962	16796	20995	46188	65783	76980
M100	6,0	6983,00	1359	1698	3736	5322	6227	23381	29226	64297	91574	107161

SSAB multisteel data sheet

SSAB Multisteel

Data sheet 2384 SSAB Multisteel SN 2022-02-11

SSAB Multisteel SN

General Product Description

Normalized or normalized rolled structural steel heavy plate.

SSAB Multisteel SN is hot rolled structural steel for general steel constructions. SN = Structural Normalized.

Exceeding the requirements of several standard steel grades, SSAB Multisteel SN is a versatile structural steel for fabricated products and steel frame structures. Formability and highly consistent quality guarantee fast, uninterrupted production, generating clear savings in the costs of material management.

SSAB Multisteel SN exceeds several steel standards and is available as four standard steel grades: S355K2+N, S355J2+N, S355J0+N and S355JR+N according to EN 10025-2.

CE marking:

SSAB Raabe Works is authorized to use the CE marking for structural steels according to EN 10025-2 based on EN 10025-1.

The CE marking is marked on an extra page of inspection certification 3.1.

Dimension Range

SSAB Multisteel SN is available in thickness of 5.00 - 150.00 mm.

Mechanical Properties

Thickness (mm)	Yield strength (min MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation A ₅ (min %)
5.00 - 16.00	355	470 - 630	21
16.01 - 40.00	345	470 - 630	21
40.01 - 63.00	335	470 - 630	20
63.01 - 80.00	325	470 - 630	19
80.01 - 100.00	315	470 - 630	19
100.01 - 150.00	295	450 - 600	19

The mechanical properties are tested transverse to the direction of rolling.

Impact Properties

	Min. impact energy for longitudinal testing, Charpy V 10x10 mm test specimens
SSAB Multisteel SN	40 J / -20 °C
EN 10025-2 S355K2+N	40 J / -20 °C
EN 10025-2 S355J2+N	27 J / -20 °C
EN 10025-2 S355J0+N	27 J / 0 °C

The impact test is made longitudinal to the rolling direction in compliance with EN 10025-1 and EN 10025-2.

Chemical Composition (ladle analysis)

C (max %)	Si (max %)	Mn (max %)	P (max %)	S (max %)	Nb (max %)
0.18	0.50	1.60	0.020	0.010	0.05

Carbon Equivalent CEV

Thickness (mm)	5.00 - 20.00	20.01 - 50.00	50.01 - 150.00
CEV (max %)	0.41	0.43	0.45

$$CEV = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Cu + Ni}{15}$$

Sten 42CrMo4 tuoteominaisuudet



NUORRUTUSTERÄS

42CrMo4

Kemiallinen koostumus paino-%	C	Si	Mn	Cr	Mo
	0,41	0,30	0,70	1,10	0,2

Tuoteominaisuudet

Kromi- ja molybdeeniseosteinen nuorrutusteräs. Soveltuu suurille ja keskikokoisille kappaleille, joilta vaaditaan lujuutta ja sitkeyttä. Mo-seostuksen ansiosta vähäinen taipumus päästöhaureuteen. Soveltuu nitraukseen ja induktiokarkaisuun.

Käyttö

Koneenrakennus, akselit, akselitapit, karat, moottoreiden osat, ajoneuvoteollisuus, aseiden osat ja piiput.

Hitsaus

Rajoitettu hitsattavuus. Mikäli hitsausta ei voida välttää, on noudatettava elektrodivalmistajien suosituksia.

Mekaaniset ominaisuudet

SFS-EN 10083-1 tai SEW 550 mukaan.

Toimitustila

Nuorrutettu SFS-EN 10083-1 tai SEW 550.

Vastaavat normit ja kauppanimet			
DIN	42CrMo4	SIS	2244
W.Nr	1.7225	GOST	~ 38ChM
SFS	460	AISI / ASTM	B7
AFNOR	42CD4	UNS	~ G41400
BS	~ 708A40	UNE	40CrMo4
JIS	SCM4	Böhler	V320

Mekaaniset ominaisuudet

Tuotteen halkaisija, d [mm]	Myötöraja, R _m [N/mm ²]	Murtolujuus, R _m [N/mm ²]	Murtovenymä, A min [%]	Murtokurouma, Z min [%]	Iskusitkeys, KV min [J]
d ≤ 16	900	1100...1300	10	40	30
16 < d ≤ 40	750	1000...1200	11	45	35
40 < d ≤ 100	650	900...1100	12	50	35
100 < d ≤ 160	550	800...950	13	50	35
160 < d ≤ 250	500	750...900	14	55	35
250 < d ≤ 500	460	690...840	L: 15, T: 13, Q: 11	-	DVM, L: 38
500 < d ≤ 750	390	590...740	L: 16, T: 14, Q: 12	-	DVM, L: 38

Staattiset mekaaniset ominaisuudet nuorrutetussa tilassa (+QT). d ≤ 250 mm SFS-EN 10083-1, d > 250 mm SEW 550.

Stén & Co Oy Ab Ilvesvuorenkatu 4 01900 Nurmijärvi	Puhelin 0207 434 610	Faksi 0207 434 629	Sähköposti myynti@sten.fi	Kotisivu www.sten.fi	Kotipaikka Nurmijärvi Y-tunnus 0114140-3
---	-------------------------	-----------------------	------------------------------	-------------------------	---

Taivutuslinjojen laskenta

Kerroin k

$$k = 0.65 + \frac{1}{2} \lg \frac{16 \text{ mm}}{5 \text{ mm}} = 0.903$$

Ensimmäisen taitoksen korjaava tekijä

$$v = \pi \cdot \left(\frac{180^\circ - 115^\circ}{180^\circ} \right) \cdot \left(16 \text{ mm} + \frac{5 \text{ mm}}{2} \cdot 0.903 \right) - 2 \cdot (16 \text{ mm} + 5 \text{ mm}) \cdot \tan \frac{180^\circ - 115^\circ}{2} = -6.05 \text{ mm}$$

Toisen taitoksen korjaava tekijä

$$v = \pi \cdot \left(\frac{180^\circ - 155^\circ}{180^\circ} \right) \cdot \left(16 \text{ mm} + \frac{5 \text{ mm}}{2} \cdot 0.903 \right) - 2 \cdot (16 \text{ mm} + 5 \text{ mm}) \cdot \tan \frac{180^\circ - 155^\circ}{2} = -1.35 \text{ mm}$$

Ensimmäisen taitoksentäivutuslinjan sijainti

$$87.5 \text{ mm} + \frac{-6.05 \text{ mm}}{2} = 84.48 \text{ mm}$$

Toisen taitoksentäivutuslinjan sijainti

$$87.5 - 6.04568 + 108 + \frac{-1.35 \text{ mm}}{2} = 188.78 \text{ mm}$$

Levyn suoristettu pituus

$$87.5 \text{ mm} + 108 \text{ mm} + 286 \text{ mm} - 1.35 \text{ mm} - 6.05 \text{ mm} = 474.1 \text{ mm}$$

Ruuviliitosten mitoitus

Lukitusruuvien leikkauskestävyys

$$F_v, R_d = \frac{0.6 \cdot 800 \frac{N}{mm^2} \cdot 58 \text{ mm}^2}{1.25} = 22272 \text{ N}$$

Lukitusruuvilta vaadittava kitkamomentti

$$F_{KR} = \frac{1961 \text{ N}}{1 \cdot 0.14 \cdot 1} = 14007 \text{ N}$$

Lukitusruuvien kierteen kitkamomentti

$$M_G = \frac{1}{2} \cdot 9.026 \text{ mm} \cdot 14007 \text{ N} \cdot \left(1,155 \cdot 0.14 + \frac{1.5}{\pi \cdot 9.026 \text{ mm}} \right) = 13.6 \text{ Nm}$$

Lukitusruuvien keskihalkaisija

$$D_{km} = \frac{11 \text{ mm} + 22.3 \text{ mm}}{2} = 16.65 \text{ mm}$$

Lukitusruuvien ja rungon välille syntyvä kitkamomentti

$$M_K = \frac{1}{2} \cdot 0.14 \cdot 16.65 \text{ mm} \cdot 14007 \text{ N} = 16.33 \text{ Nm}$$

Lukitusruuvien kiristysmomentti

$$M_a = 16.33 \text{ Nm} + 13.6 \text{ Nm} = 29.9 \text{ Nm}$$

Kallistuksen säädön lukitusruuvien leikkauskestävyys

$$F_v, R_d = \frac{0.5 \cdot 1200 \frac{N}{mm^2} \cdot 8.78 \text{ mm}^2}{1.25} = 4214 \text{ N}$$