



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Pasi Mäki-Könnö

R3-luokan perävaunun tuotekehitys ja suunnittelu

Opinnäytetyö
Kevät 2021
SeAMK Tekniikka
Konetekniikka



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

Opinnäytetyön tiivistelmä

Koulutusyksikkö: Tekniikka

Tutkinto-ohjelma: Konetekniikka

Suuntautumisvaihtoehto: Kone- ja tuotantotekniikka

Tekijä: Pasi Mäki-Könnö

Työn nimi: R3-luokan perävaunun tuotekehitys ja suunnittelu

Ohjaaja: Heikki Järvi

Vuosi:2021

Sivumäärä:47

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli tehdä traktorin perävaunun tuotekehitystä ja mekaniikkasuunnittelua tekijän omaan käyttöön. Tavoitteena oli suunnitella perävaunun 3D-malli, jonka avulla voitiin tehdä simulointia ja lujuuden tarkasteluja. Lisäksi tavoitteena oli luoda 3D-mallista tarvittavat piirustukset, joiden avulla perävaunu pystytään valmistamaan. Työssä keskityttiin erityisesti perävaunun lavaosan suunnitteluun.

Työn teoriaosuudessa käytiin läpi vaiheistetun tuotekehitysprojektin eteneminen, valmistettavuuden, kokoonpantavuuden ja 3D-mallinnuksen teoriaa sekä lujuuslaskentaa. Käytännön osuudessa määriteltiin ensin esitutkimusvaiheessa tärkeimmät perävaunulta vaadittavat ominaisuudet, jotka olivat monikäyttöisyys, kestävyys ja hyötykuorma. Suunnittelussa painotettiin tuotteen valmistettavuutta ja kokoonpantavuutta, koska ne vaikuttavat merkittävästi valmistuskustannuksiin ja tuotteen kannattavuuteen. Luonnosteluvaiheessa laadittiin luonnoksia, joista valittiin parhaiten tavoitteisiin vastaavat ratkaisut. Kehittämisvaiheessa tehtiin materiaali- sekä profiilivalinnat. Profiilien valintaa varten laadittiin suhdelukutaulukko. Lavan suunnittelussa pyrittiin saamaan aikaan tukevat rakenteet mahdollisimman vähillä osilla ja kokoonpanon kannalta yksinkertaisesti ja yksiselitteisesti. Prototyypinä käytettiin analyttistä 3D-mallia, jonka avulla simuloitiin rakenteiden toimivuutta. Lujuuden tarkasteluja suoritettiin FEM-simuloinnin avulla, jolloin saatiin varmistettua rakenteiden kestävyyttä.

Työn lopputuloksena saatiin suunniteltua perävaunun 3D-malli sekä piirustukset. Prototyypin avulla simuloitiin tärkeät kohdat ja FEM-simuloinnin avulla varmistettiin rakenteiden kestävyys. Suunnittelussa pystyttiin huomioimaan tärkeimmät perävaunulle määritellyt ominaisuudet sekä tuotteen valmistettavuus ja kokoonpantavuus. Tehtyjen piirustusten pohjalta perävaunu pystytään valmistamaan.

Asiasanat: tuotekehitys, suunnittelu, lujuuslaskenta, FEM-analyysi

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Faculty: School of Technology

Degree programme: Mechanical Engineering

Specialisation: Mechanical and Product Engineering

Author: Pasi Mäki-Könnö

Title of thesis: Product development and designing of R3 class trailer

Supervisor: Heikki Järvi

Year:2021

Number of pages:47

The purpose of the thesis was to develop and mechanically design a tractor-trailer for the author's use. The aim was to plan a 3D model of a trailer and to use it to make simulations and test the strength of the designed structure. In addition, it was aimed to create all necessary drawings and other documents which would be needed for manufacturing the trailer. The thesis mainly focuses on designing the platform of the trailer.

The theory part of the thesis covered the different phases of a product development process, the concepts of Design for Manufacturing (DFM) and Design for Assembly (DFA) and theory of 3D modeling and strength calculation. In the practical part, the phases of the product development process of the trailer were explained. In the feasibility study phase, the target specifications for the product were established; versatility, durability, and weight-carrying capacity. Design for Manufacturing and Design for Assembly were followed throughout the design as they significantly affected the product cost and the profitability of the product. In the sketching phase several sketches were drafted, after which the most suitable ones were chosen. In the development phase the materials and profiles were selected. The platform of the trailer was designed to be as simple to manufacture and to consist of as few parts as possible yet to be robust. An analytical 3D model was used as a prototype to simulate the functionality of the structure. Strength tests of the structure were performed by using FEM-analysis.

As a result of the work a 3D model of a trailer was designed, and the drawings and other documents needed for manufacturing were prepared. By using a prototype all the important parts were simulated and through a FEM analysis the strength of the structure was ensured. The design of the trailer met the target specifications that had been established in the first phase of the process. Also, the principles of Design for Manufacturing (DFM) and Design for Assembly (DFA) were followed. The trailer can be manufactured based on the drawings that were made.

Keywords: product development, designing, strength calculation, FEM-analysis

SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä	2
Thesis abstract	3
SISÄLTÖ	4
Kuva- ja taulukkoluetelo.....	6
Käytetyt termit ja lyhenteet.....	8
1 JOHDANTO	9
1.1 Työn tausta	9
1.2 Työn tavoite	9
1.3 Työn rakenne	9
2 TUOTEKEHITYS.....	10
2.1 Tuotekehitysprojektin vaiheet.....	11
2.1.1 Esitutkimus.....	12
2.1.2 Luonnostelu ja konseptisuunnittelu	13
2.1.3 Kehittäminen	15
2.1.4 Viimeistely.....	17
2.2 Valmistettavuus, kokoonpantavuus	18
2.2.1 Valmistettavuus, Design for Manufacturing (DFM).....	18
2.2.2 Kokoonpantavuus, Design for Assembly (DFA).....	20
2.3 3D-mallinnus	21
2.4 Lujuuslaskenta	22
2.4.1 FEM-laskenta.....	23
2.4.2 FEM-analyysin kulku.....	23
2.4.3 Profiilin muoto	24
3 TRAKTORIN PERÄVAUNUN TUOTEKEHITYS.....	26
3.1 Esitutkimus.....	26
3.2 Luonnostelu	28
3.3 Kehittäminen	32

3.4	Prototyyppi	37
3.5	Lujuuslaskenta	38
3.5.1	Jännitykset.....	39
3.5.2	Siirtymät.....	40
3.5.3	Värähtely.....	41
3.6	Viimeistely.....	41
4	YHTEENVETO	45
	LÄHTEET	47

Kuva- ja taulukkoluetelo

Kuva 1. Tuotekehitysprosessi.....	12
Kuva 2. Esimerkki elementtimallista.....	23
Kuva 3. Havainnekuva.....	26
Kuva 4. Laitaprofiilin luonnokset.....	30
Kuva 5. Vetoaisan luonnokset.....	31
Kuva 6. Takalaitaluonnokset.....	32
Kuva 7. Lavan tuet.....	33
Kuva 8. Rungon vahvike.....	34
Kuva 9. Lava.....	35
Kuva 10. Takalaita.....	36
Kuva 11. Prototyyppi.....	37
Kuva 12. Visualisointi.....	38
Kuva 13. Lavan simulointi.....	39
Kuva 14. Lavan siirtymät.....	40
Kuva 15. Lavan ominaistajuus.....	41
Kuva 16. Levityspiirustus.....	42
Kuva 17. DXF-tiedosto.....	43
Kuva 18. Kokoonpanopiirustus.....	43
Kuva 19. Räjätyskuva.....	44

Kuva 20. Kaksiosainen väritys.....	44
Taulukko 1. Asiakastarpeet.....	27
Taulukko 2. Asiakastarpeiden järjestäminen.....	28
Taulukko 3. Asiakastarpeiden muuttaminen tavoitteiksi.....	28
Taulukko 4. Suhdelukuja.....	33

Käytetyt termit ja lyhenteet

Tuotekehitys	Luodaan tuote, jonka avulla ratkaistaan asiakkaan asettama ongelma.
3D-Mallinnus	Kolmiulotteisen mallin luominen tietokoneavusteisella ohjelmalla.
FEM-laskenta	Finite Element Method, tutkitaan elementtimallien avulla rakenteiden lujuutta, jäykkyyttä sekä värähtelyä.
DFM	Design for Manufacturing, valmistusystävällinen suunnittelu. Yksinkertaistaa valmistamista sekä laskee valmistuksen kustannuksia.
DFA	Design for Assembly, kokoonpanoystävällinen suunnittelu. Yksinkertaistaa rakennetta ja kokoonpanotyötä.
Prototyyppi	Suunnitellun tuotteen toimintojen arvioinnin avuksi valmistettu malli.
Renderöinti	3D-mallista luodaan realistinen valokuvankaltainen malli.

1 JOHDANTO

1.1 Työn tausta

Tämän opinnäytetyön aiheena on traktorilla vedettävän perävaunun tuotekehitys ja mekaaninen suunnittelu. Idea työhön tuli tämän työn tekijän omista käytännön kokemuksista ja tarpeesta saada käyttöön mahdollisimman monikäyttöinen traktorin perävaunu.

1.2 Työn tavoite

Tavoitteena on suunnitella perävaunun 3D-malli, jonka avulla voidaan tehdä simulointia ja lujuuden tarkasteluja. Lisäksi tavoitteena on luoda 3D-mallista tarvittavat piirustukset, joiden avulla perävaunu pystytään valmistamaan. Työssä edetään suunnittelijan näkemyksen mukaan keskittyen erityisesti lavaosaan sekä mietitään valmistettavuuteen ja kokoonpantavuuteen liittyviä ratkaisuja.

1.3 Työn rakenne

Opinnäytetyön rakenne koostuu johdannosta, jossa kerrotaan työn taustat ja tavoitteet. Luvussa kaksi käydään läpi tuotekehitykseen, valmistettavuuteen ja kokoonpantavuuteen liittyvää teoriaa sekä 3D-mallinnusta ja lujuuslaskentaa. Luvussa kolme suunnitellaan perävaunu ja tehdään prototyyppi, mallinnukset, simuloinnit ja lujuuslaskelmat. Lopuksi luvussa neljä tehdään yhteenveto.

2 TUOTEKEHITYS

Tuotekehityksen tavoite perustuu kykyyn tunnistaa asiakkaiden tarpeita sekä suunnitella ja valmistaa tuotteita, jotka täyttävät asiakkaiden asettamat vaatimukset. Tuotekehitysprosessissa on kysymys siitä, että tunnettuja ratkaisuja yhdistellään innovatiivisella tavalla tavoitteena saavuttaa ominaisuuksiltaan ja hinnaltaan kilpailukykyinen tuote. Asiakkaiden osallistuminen tuotteiden kehittämiseen ja tuotekehitystyön ohjaus on merkittävästi yleistynyt sekä kulutus- että kestohyödykkeiden valmistuksessa. Usein tuotteet räätälöidään asiakastarpeisiin ja asiakasvaatimusten toteutumista seurataan tarkasti. (Björk ym. 2014, 9.)

Tuotekehityksellä pyritään yrityksessä toiminnan tehostamiseen. Yhtenä keskeisistä tehtävistä on kehittää yrityksen tuotteita tai tuotteistoa paremmaksi. Tuotekehityksen tehtävänä on oman osaamisen avulla sekä markkinoilta saadun tiedon perusteella kehittää tuotteistoa kilpailukykyiseen muotoon pitäen mielessä oman valmistuksen mahdolliset rajoitteet. (Välimaa ym. 1994, 9.)

Oikeiden tuotekehityshankkeiden käynnistäminen on erittäin tärkeää yrityksen menestyksen kannalta. Ennen tuotekehityshankkeen aloittamispäätöstä on selvitettävä huolellisesti uuden tuotteen kehittämiskustannukset, markkinointinäkymät, saavutettavat tuotot sekä myös työterveydelliset ja ympäristönsuojelulliset asiat. (Jokinen 2001, 14.)

Yrityksen tuotekehitysoosaamista voidaan kuvata seuraavilla tekijöillä:

- **Tuotekehityskyky.** Onko yrityksellä ja tuotekehitykseen osallistuvilla taito kehittää tulevaisuuden tuotteita, jotka perustuvat jo olemassa oleviin tuotteisiin tai tekniseen osaamiseen? Tuotekehityskyky on tärkeä yrityksen pääoma silloin, kun tuotetaan uusia tuotteita tehokkaasti.
- **Tuotekehityskustannusten hallinta.** Tuotekehityskustannukset ovat merkittävä investointi tuotteeseen ennen kuin tuotanto voidaan aloittaa. Tuotekehityskustannusten suuruus vaikuttaa takaisinmaksu-aikaan eli mitä suuremmat tuotekehityskustannukset ovat, sitä pidempi aika kuluu niiden kattamiseen tuotteesta saatavilla tuotoilla.

- **Tuotekehitysaika.** Miten nopeasti tuotekehitys pystyy suorittamaan annetun tehtävän. Tuotekehitysaika kuvaa yrityksen johtamista, osaamista, resursseja sekä sisäistä että ulkoista yhteistyökykyä.
- **Tuotteen laatu.** Miten hyvin tuote täyttää asiakkaan tarpeet. Kestävyys sekä luotettavuus, jotka heijastuvat myös tuotteesta saatavaan hintaan.
- **Tuotekustannukset.** Mitkä ovat tuotteen valmistuskustannukset. Tuotekustannukset ja tuotteista saatu hinta luovat yrityksen kannattavuuden. (Björk ym. 2014, 9.)

Tuotekehitysprojektin onnistumiseen vaikuttavat useat eri tekijät. Björk ym. (2014, 9) ovat määritelleet kolme avaintekijää, joiden vaikutusta onnistumiseen voidaan pitää tärkeänä:

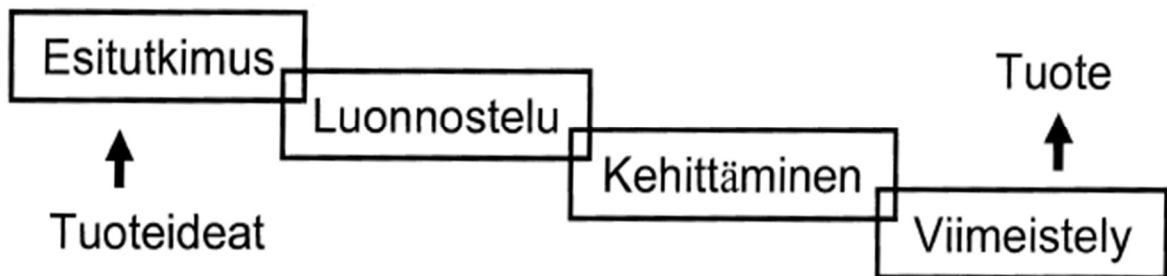
- **Kyky havaita tuotemahdollisuuksia.** Kulttuurien ja tottumusten jatkuva muuttuminen synnyttää mahdollisuuksia uusille tuotteille, joilla ratkaistaan ongelmia ja voidaan antaa myös elämyksiä. Teknologiamurrokset ovat tyypillisiä ajankohtia uusille tai korvaaville tuotteille.
- **Asiakastarpeiden syvällinen ymmärtäminen ja jalostaminen ideoiksi.** Asiakastarpeet toimivat suuntaviivoina tuotteen ominaisuuksien ja muotojen kehittämisessä. Harvoin asiakkaalta saa suoraan kysymällä tuoteidean tai kehityskohteen.
- **Teknisen suunnittelun, teollisen muotoilun ja markkinoinnin yhdistäminen.** Jokainen uusi tuote pitää markkinoida luovalla tavalla, hyväkään tuote ei myy itseään. Markkinoinnin on oltava hankkeessa mukana alusta alkaen. (Björk ym. 2014, 9.)

2.1 Tuotekehitysprojektin vaiheet

Tuotekehitysprojektin vaiheita kuvaamaan on kehitetty erilaisia tuotekehitysprosessimalleja. Näihin kaikkiin katsotaan kuuluvaksi ainakin tarvekuvaus,

luovan työn vaihe ja detaljisuunnittelu. Karkeasti mallit jaetaan peräkkäismalleihin sekä spiraalimalleihin. Peräkkäismallissa, jonka vaiheet seuraavat toisiaan, edetään seuraavaan vaiheeseen vasta edellisen vaiheen päättymisen jälkeen. Spiraalimallissa vaiheet sijoittuvat ympyrämallisesti ja niitä tarkennetaan koko prosessi ajan, lopullisen ratkaisun saamiseksi. (Hietikko 2008, 41.)

Tässä työssä käydään läpi Björkin ym. (2014, 10) esittelemää peräkkäismallia, jossa tuotekehitysprosessi on vaiheistettu loogisesti ja selkeästi. Tuotekehitysprojeffin vaiheet ovat esitutkimus, luonnostelu, kehittäminen ja viimeistely.



Kuva 1. Tuotekehitysprosessi (Björk ym. 2014, 10).

2.1.1 Esitutkimus

Esitutkimusvaiheessa kartoitetaan tarvetta markkinoilla, kuvataan tuotteen alustavat vaatimukset ja käytettävä teknologia, laaditaan aikataulu, selvitetään tuotekehityskustannukset sekä arvioidaan myyntimääriin perustuva kannattavuus. Tuoteidea ja tuote-ehdotus voi perustua esimerkiksi markkinatutkimukseen, kilpailija-analyysiin tai omaan uudistettavaan tuotteeseen. Oleellista on tunnistaa asiakkaiden ja käyttäjien tarpeet ja käsitellä ne tuoden ilmi tärkeimmät vaatimukset, mitä painotetaan tuotekehityksessä. (Björk ym. 2014, 10–11.)

Esitutkimuksen laajuus ja suoritustapa vaihtelevat. Esitutkimuksen voi suorittaa yksittäinen henkilö, mutta yleisesti käytetään pientä ryhmää, joka muodostuu yrityksen eri osa-alueiden osaajista. Markkinointi tunnistaa asiakastarpeita spesifioinnin pohjaksi sekä varmistaa, että

tuotteen määrittely tehdään asiakaslähtöisesti oikein. Arvioidaan tuotteiden menekki markkinoilla sekä kilpailutilanne ja hintataso. Tuotekehitys etsii teknisiä mahdollisuuksia toteuttamiselle. Tuotanto arvioi tuotannon, koneiden sekä työkalujen tarvetta. Taloushallinto sekä yrityksen johto laskevat kannattavuutta sekä liiketoiminnan edellytyksiä. Esitutkimuksen suoritus tapahtuu lyhyessä ajassa ja kustannuksiltaan se on pieni verrattuna kustannuksiin, jotka muodostuvat koko tuotekehitysprojektista. (Välimaa ym. 1994, 28–29.)

Parhaasta tuoteideasta laaditaan tuote-ehdotus, johon tarvitaan kuvaus toiminnoista, vaatimuslista, kustannustavoite sekä liiketoimintatavoitteet. Asetetut tuotevaatimukset ohjaavat tuotesuunnittelua ja ovat keskeinen kriteeri onnistuneelle tuotekehitysprojektille. Tuotekehitysprojektin alkuvaiheessa voidaan vaikuttaa tuotteen ominaisuuksiin vielä ilman suurempia kustannuksia. On tärkeää, että kokemus omista sekä kilpailijoiden tuotteista saadaan suunnittelijoiden käyttöön. (Björk ym. 2014, 11.)

2.1.2 Luonnostelu ja konseptisuunnittelu

Luonnosteluvaiheessa etsitään ja tutkitaan vaihtoehtoisia ratkaisuja kehitettävälle tuotteelle. Yksityiskohtaisia mittakaavaan laadittuja piirustuksia ei vielä luonnosteluvaiheessa laadita. Tarkoituksena on laatia ratkaisuperiaatteita selventäviä luonnoksia. (Jokinen 2001, 21.)

Luonnostelun alkuvaiheessa voidaan määrittelyjä vielä tarkentaa, tällöin ajatukset täytyy tulla tuotteesta päin ja tuoda sille lisäarvoa. Tuotekehitys luo ratkaisuja, joilla tuotteen toteuttaminen mahdollistetaan. Näiden ratkaisujen mukaan tuotekehitystyötä viedään eteenpäin. Ennen prototyypin valmistamista sille luodaan testiohjelma, jonka avulla tuotteen kehitystyötä viedään eteenpäin ennen uudelleen testausta. (Välimaa 1994, 29–30.)

Luonnosteluvaiheessa suunnitelmat ovat sillä tasolla, että ajatusmallista voidaan tuottaa suunnitteilla olevasta tuotteesta ensimmäinen luonnosmalli. Tuotteen arviointi ja ideoiden vertaileminen käyvät luonnosten avulla konkreettisemmiksi, samalla osastojen välinen kommunikointi paranee fyysisen kuvan avulla. Luonnos perustuu käytettävissä olevaan tietoon ja on laadukas malli tuoteideasta. (Hietikko 2008, 90–91.)

Luonnosteluvaiheen lopuksi ratkaisuluonnokset arvostellaan sekä testataan ja niistä valitaan lupaavin luonnos, josta suunnitellaan yksityiskohtainen tuote lopulliseksi markkinoitavaksi tuotteeksi. (Jokinen 2001, 89.)

Tuotekehitykseen liittyvässä kirjallisuudessa tulee usein esiin myös konseptisuunnittelun käsite. Seuraavassa käydään konseptisuunnittelua lyhyesti läpi, vaikka sitä ei Björkin ym. (2014, 10.) prosessimallissa mainita. Konseptisuunnitteluvaihe sisältyy muun muassa Ulrichin ja Eppingerin kuvaamaan prosessimalliin (Hietikko 2008, 42).

Konseptisuunnittelu alkaa asiakastarpeen tunnistamisella, jonka lisäksi tarkastellaan kilpailijoiden tuotteita. Näiden toimenpiteiden avulla pystytään asettamaan tuotespesifikaatiot, jotka ovat tuotteesta mitattavissa olevia ominaisuuksia. Seuraavaksi vuorossa on luovan työn vaihe, jossa ideoidaan ratkaisuja asiakastarpeen täyttämiseksi. Lopuksi ideat arvioidaan ja valitaan jatkokehitykseen menevät. (Hietikko 2008, 43.)

Konseptisuunnittelu on likimääräinen kuvaus kehitteillä olevan tuotteen tekniikasta, toiminnoista ja ulkonäöstä. Suunnittelija luo lyhyen kuvauksen siitä, miten tuote vastaa asiakkaiden tarpeita käyttämällä luonnoksia, malleja ja kuvauksia. Tämän vaiheen merkitystä suunnitteluprosessissa ei kannata aliarvioida. Konseptisuunnittelun laatu määrittää hyvin pitkälti sen, miten tuote vastaa asiakkaiden toiveita ja voidaanko tuote myöhemmin onnistuneesti kaupallistaa. Vaikka hyvä konsepti voidaan toteuttaa huonona tuotteena, silti huono konsepti voidaan harvoin muuttaa hyväksi tuotteeksi. Arvion mukaan 85 % kaikista tuotekustannuksista valmistuksesta materiaaleihin, määritellään ja sidotaan konseptisuunnitteluvaiheessa. (Rodgers & Milton 2011, 78.)

Ulrich, Eppinger, Yang (2020, 144) mukaan konseptisuunnittelun aikana voidaan ongelmien ratkaisussa käyttää seuraavanlaista viiden askeleen menetelmää:

1. Selvitä ja ymmärrä ongelma. Jaa isompi ongelma pienempiin osiin selventääksesi ongelma, jolloin sen ratkaiseminen on helpompaa.
2. Etsi tietoa ulkoisesti, kerää tietoa kohderyhmän käyttäjiltä. Käytä apuna eri alojen erikoisasiantuntijoita, patenteja, esitteitä ja samankaltaisia tuotteita.

3. Etsi tietoa sisäisesti käyttämällä yksilöllistä osaamista sekä ryhmätyöskentelyä jakaaksesi tietoa ryhmälle.
4. Tutki järjestelmällisesti. Luo ongelmasta kaavio, jonka avulla voidaan ratkaista eri vaihtoehtojen sopivuus sulkemalla pois sopimattomat vaihtoehdot.
5. Pohdi ratkaisuja ja prosessia. Tunnista parannusmahdollisuudet myöhemmissä iteraatioissa tai tulevissa projekteissa.

Konseptisuunnittelun tarkoituksena on tuottaa monia eri konsepteja, joilla etsitään uusia vaihtoehtoja. Useiden eri konseptien luominen helpottaa vertailua kilpailijoiden tuotteisiin. Jos vertailu tapahtuisi vain yhden konseptin avulla, konseptisuunnittelun idea ja toteutus ei toimisi. Parhaan konseptisuunnitelman löytämiseksi täytyy tehdä laajoja teknillisiä ja taloudellisia vertailuja. Konseptisuunnittelun aikana ei voida valita tunnepohjalta mitään suosikkikonseptia, vaan valinnan täytyy perustua laajoihin yhdenmukaisiin vertailuihin. (Lempiäinen & Savolainen 2003, 19.)

Ulrichin ja Eppingerin mallissa (Hietikko 2008, 55) konseptisuunnittelu pitää sisällään asiakastarpeiden tunnistamisen, tavoitteiden asettamisen, luonnostelun ja luonnosten valinnan. Björkin ym. (2014, 10) mallissa asiakastarpeiden tunnistaminen ja tavoitteiden asettaminen sisältyvät esitutkimusvaiheeseen.

2.1.3 Kehittäminen

Kehittämävaiheessa tuotteelle suunnitellaan rakenne parhaaksi valitun luonnoksen mukaan teknisten ja taloudellisten näkökulmien avulla yksiselkoiseksi ja täydelliseksi. Kehittämävaiheessa tuotteen rakenteille tehdään laskentaa ja simulointia, valitaan materiaaleja ja optimoidaan tuotetta. Tuotteen vikojen tunnistaminen on tässä vaiheessa keskeinen asia. Kehitystyön päätavoitteita ovat yksikäsitteisyys, yksinkertaisuus ja turvallisuus. Yksikäsitteisyys auttaa ennakoimaan tuotteen käyttäytymistä ja säästää aikaa ja laajoja tutkimuksia. Yksinkertaisuus varmistaa yleisesti ratkaisujen taloudellisuuden, osien pienen lukumäärän ja valmistusta helpottavat yksinkertaiset muodot. Turvallisuuden

kautta tarkastellaan tuotteen kestävyyttä, luotettavuutta, tapaturma-alttiutta ja ympäristövaikutuksia. (Björk ym. 2014, 14.)

Tuotekehitys viimeistelee kehittämisvaiheessa tuotteen yksityiskohtia ja dokumentointia. Kehittämisvaiheessa prototyypin testaamisen aikana tulleet muutokset tuodaan tuotteeseen ja dokumentoidaan. Tuotantokelpoisuus, työvaiheistukset ja tuotantokustannukset voidaan tarkastaa olemassa olevan prototyypin, tuotteen piirustuksien ja osaluetteloiden avulla. (Välimaa ym. 1994, 30.)

Prototyyppi voidaan valmistaa tuotteen tulosten analysointia varten, sekä suunnitelmien tarkistamisen avuksi. Näiden tietojen pohjalta tehdään muutoksia prototyyppiin ja suoritetaan uudelleen analysointia ja testauksia. Prototyypin avulla saadaan selville tuotteen teknisiä ja taloudellisia ominaisuuksia, sekä mahdollisesti sopivia edullisimpia valmistusmenetelmiä. (Jokinen 2001, 98.)

Prototyyppinä käytetään neljään eri tarkoitukseen.

- **Oppiminen.** Prototyypin avulla on tarkoitus saada vastauksia, toimiiko laite ja miten se vastaa asiakkaan vaatimukseen. Kun halutaan vastata näihin kysymyksiin, prototyyppi palvelee oppimistyökaluna.
- **Keskustelu.** Prototyyppi toimii keskustelun apuna edistämällä keskustelua ylimmän johdon, myyjien, osakkaiden, tiimin jäsenien, asiakkaiden ja sijoittajien välillä. On erittäin paljon helpompaa ymmärtää fyysisen prototyypin avulla visuaalista kosketettavaa kolmiulotteista tuotetta, verraten kuvilla ja tekstillä varustettuun esitykseen.
- **Integrointi.** Liitettävyyden tarkistaminen prototyypin avulla, jolloin varmistetaan komponenttien ja osajärjestelmien yhteensopivuus. Täydellinen fyysinen prototyyppi on tehokas työkalu tuotekehitysprojektissa, koska se edellyttää kaikkien komponenttien ja osajärjestelmien yhdistämistä tehden siitä tuotteen.

- **Välitavoite.** Erityisesti myöhemmässä tuotekehitysvaiheessa prototyypillä voidaan demonstroida, että tuotekehityksessä on saavutettu välitavoitteen mukaiset tuotteen toiminnalliset ominaisuudet. Välitavoitteiden avulla osoitetaan, että tuotekehitys etenee aikataulujen mukaisesti. Usein yrityksen johdon tai asiakkaan tulee hyväksyä tällainen prototyyppi, jotta tuotekehitysprojektia voidaan jatkaa. (Ulrich ym. 2020, 300–302.)

Prototyyppejä käytetään lähes kaikkien tuotteiden, palvelujen ja järjestelmien kehityksessä. Prototyyppi voidaan valmistaa konseptista tai viimeisestä suunnitteluvärsiosta ennen tuotannon aloittamista. Prototyypin valmistamisen avulla saadaan selville, miten paljon resursseja valmistamiseen vaaditaan ja tämä vaikuttaa projektin onnistumiseen. Prototyypin avulla saadut tiedot voidaan jakaa karkeasti kahteen ryhmään, siihen miten tuotetta kehitetään prototyypin avulla ja siihen, miten valmistuksessa saadaan tehostettua aikaa ja kustannuksia. (Camburn ym. 2017.)

Prototyypit voidaan jakaa fyysisiksi ja analyttisiksi prototyypeiksi. Fyysinen prototyyppi on konkreettinen esine, joka on rakennettu tuotteen arvioimista varten. Tuotteen kehitykseen liittyvät kiinnostavat kohteet on rakennettu testaamista ja toiminnallista kokeilua varten. Prototyyppiin liittyen voidaan valmistaa tarkkailtavasta kohteesta vain yksittäinen osa, joka voidaan testata ja analysoida ilman suurempaa kokonaisuutta. Analyttinen prototyyppi ei esittele tuotetta fyysisesti vaan matemaattisella tai visuaalisella tavalla. Analyttiset mallit voivat olla komiulotteisia 3D-malleja, renderöinnin avulla luotuja valokuvan kaltaisia malleja sekä FEM-analysointimalleja. (Ulrich ym. 2020, 297.)

2.1.4 Viimeistely

Viimeistelyvaiheessa tuotteen kokoonpano täydennetään lopullisilla kuvauksilla ja määräyksillä koskien osien mitoitus, muotoa, pinnanlaatua ja materiaaleja. Viimeistelyvaiheessa tarkistetaan valmistusmahdollisuudet sekä selvitetään lopulliset valmistuskustannukset. Tuotteelle laaditaan lopulliset piirustukset sekä muut tarvittavat asiakirjat, jotka dokumentoidaan. Viimeistelyssä laadittavat asiakirjat ovat perustana tilauksen käsittelylle, valmistuksen suunnittelulle sekä ohjaukselle. (Björk ym. 2014, 14.)

2.2 Valmistettavuus, kokoonpantavuus

2.2.1 Valmistettavuus, Design for Manufacturing (DFM)

Tuotekehityksen apuna olisi hyvä käyttää valmistusystävällisen suunnittelun DFM-apuvälineitä. Lyhenne DFM tulee englanninkielisistä sanoista Design for Manufacturing, joka sisältää kaikki menetelmät ja järjestelyt, jotka yksinkertaistavat tuotteen valmistamista sekä alentavat tuotteen valmistuskuluja. Rajatusti sanottuna DFM on tietokantapohjainen systemaattinen tuotekehitysmenetelmä, joka auttaa tuotekehitystä suunnittelemaan tuotteen, joka on helpompi valmistaa. DFM:n avulla saadaan tuote toimimaan paremmin ja luotettavammin, saadaan tuote näyttämään siistimmältä, helpotetaan huollettavuutta ja parannetaan ympäristökuormitusta. Tärkeimpänä tavoitteena on kuitenkin valmistuskustannusten alentaminen. (Lempiäinen & Savolainen 2003, 13.)

DFM:n avulla voidaan yhdistää konseptivaiheessa olevan tuotteen asiakastarpeita sekä ominaisuuksia valmistusystävällisempään muotoon ja alentaa tuotantokustannuksia. Kustannusten hallinta määrittelee tuotteen taloudellisen onnistumisen. Taloudellinen onnistuminen muodostuu tuotteen katteesta ja volyymistä eli myytyjen tuotteiden määrästä. Tuotekohtainen kate muodostuu tuotteen valmistuskustannusten ja myyntihinnan erotuksesta. Taloudellisesti menestyvän tuotteen täytyy olla korkealaatuinen ja valmistuskustannuksia säästävällä tavalla valmistettavissa. DFM:n avulla voidaan saavuttaa alhaiset valmistuskustannukset ja laadukas tuote. (Ulrich ym. 2020, 262.)

Useiden eri tietolähteiden yhdistäminen on oleellisessa asemassa DFM-tuotekehityksessä päämäärien saavuttamiseksi. DFM:ssä käytetään monenlaista tietoa kuten luonnokset, piirustukset, tekniset tiedot ja vaihtoehtoiset suunnitelmat, ymmärrystä tuotanto- ja kokoonpanoprosessista, tietoja toimittajista ja arvioita valmistus kustannuksista, tuotantovolyymistä ja tuotannon käynnistämiseen tarvittavasta ajasta. Tuotekehitys DFM:n avulla edellyttää tuotannon, taloushallinnon ja suunnittelijoiden osallistumista tuotekehitysprosessiin. (Ulrich ym. 2020, 262–263.)

Yhteys tuotesuunnittelun ja valmistuksen välillä voidaan nähdä usealla eri tasolla. DFM-ideoinnin kannalta on neljä tutkittavaa hierarkiatasoa, joihin vaikuttamalla määrätään tulevat valmistustoiminnot. Näillä neljällä tasolla pienennetään epätoivottujen yllätysten riskiä. Usein resursseja käytetään komponenttitason DFM-ideointiin, vaikka tuotekehitystavoitteiden saavuttamiseksi täytyisikin DFM-ideoinnin lähteä yritystasolta alkaen. (Lempiäinen & Savolainen 2003, 16–17.)

- **Yritystaso.** Tällä tasolla tutkitaan ja vertaillaan yrityksen olemassa olevia tuotteita kehitteillä olevaan tuotteeseen, jolloin varmistetaan, ettei kehitetä ja valmisteta päällekkäisiä tuotteita sekä käytetään mahdollisuuksien mukaan samoja teknisiä ratkaisuja.
- **Tuoteperhetaso.** Vertaillaan ja tutkitaan tuotevarianttien suhtautumista toisiinsa ja miten ne voidaan tuoda markkinoille. Tämä tason suunnittelu määrittelee pitkälti tuotteen eliniän. Uusien tuotteiden kehityksessä voidaan hyödyntää vanhoja hyväksi todettuja tekniikoita ja esimerkiksi skaalata uusi tuote isommaksi ja tehokkaammaksi.
- **Rakennetaso.** Ymmärretään, miten tuote ja tuotanto sopivat toisiinsa. Valmistaminen koostuu erillisistä toiminnoista, kuten osien ja alikokoonpanojen valmistuksesta, kokoonpanosta, testauksesta ja pakkaamisesta sekä logistiikasta ja varastoinnista. Näihin voidaan suunnittelijan avulla vaikuttaa esimerkiksi yhdistämällä tai yksinkertaistamalla rakenteita. Kilpailijoiden valmistamia samankaltaisia tuotteita vertailemalla voidaan löytää rakenteita, jotka eroavat huomattavasti omasta tuotteesta.
- **Komponenttitaso.** Kiinnitetään huomiota komponentteihin, jotka ovat kalliita, joiden saatavuus on huono tai niissä on muita epävarmuustekijöitä. Suunnittelijan täytyy olla komponenttitasolla perillä viimeisemmistä valmistusmenetelmistä, jotka mahdollisesti ovat tulleet edellisten suunnittelujen jälkeen. Useasti osien tuotekehitys kannattaa jättää niitä valmistavalle taholle ja keskittyä itse osien saatavuuden varmistamiseen tuotantoa varten. (Lempiäinen & Savolainen 2003, 16–17.)

2.2.2 Kokoonpantavuus, Design for Assembly (DFA)

Tuotteiden kokoonpantavuutta kuvaava lyhenne DFA tulee englanninkielisistä sanoista Design for Assembly. Kyseessä on systemaattinen tuotekehitysmenetelmä, jonka tavoitteena on yksinkertaistaa tuotteen rakenne ja kokoonpanotyö. Usein tämä johtaa toimintojen yhdistämiseen ja osien lukumäärän vähenemiseen. DFA-taustainen suunnittelu edesauttaa tuotetta toimimaan paremmin ja luotettavammin, näyttämään siistimmältä ja helpottaa tuotteen huollettavuutta sekä parantaa tuotteen ympäristökuormitusta. Lisäksi DFA-suunnitellun tuotteen modulaarinen rakenne auttaa räätälöimään tuotetta. Menetelmän onnistuminen vaatii yhteistyötä tuotekehityksen ja kokoonpanon välillä. (Lempiäinen & Savolainen 2003, 69.)

Yleisesti voidaan sanoa, että on tärkeämpää kehittää kokoonpantavuutta kuin valmistettavuutta, koska kokoonpanotyö on työvoimavaltaisempaa kuin osien valmistus. Kokoonpanotyön yksinkertaistaminen DFA:n avulla vaikuttaa suoraan palkkakustannuksiin ja osien lukumäärän vähenemisellä on laajasti vaikutusta tuotteen kiinteisiin kustannuksiin. (Lempiäinen & Savolainen 2003, 69–70.)

Kokoonpantavuus on syytä ottaa huomioon tuotekehitysprojektin alkuvaiheissa. Kun pohditaan tuotteen rakennetta, pidetään kokoonpantavuutta yhtenä tärkeimpänä kriteerinä. Kokoonpantavuuden arviointiin vaikuttaa myös se, valmistetaanko tuote mekanisoidussa vai automatisoidussa kokoonpanossa. Tärkeintä hyvän kokoonpanon suunnittelussa on pyrkiä vähentämään tarvittavia osia. Jokaisen asennetun osan myötä kustannukset lisääntyvät ja siksi onkin hyvä miettiä kaikkien osien tarpeellisuutta. (Hietikko 2008, 155.)

Professori Geoffrey Boothroydin teorian mukaan osan tarpeellisuuteen tuotteessa on olemassa tasan kolme hyväksyttävää perustetta.

- Osan on oltava erillinen, jos tuotteen toiminnan kannalta sen on oltava eri materiaalia kuin viereiset osat
- Osan on oltava erillinen, jos osa liikkuu viereisiin osiin nähden, eikä tätä liikettä voida aikaansaada osan materiaalia tai elastisuutta hyväksikäyttäen.

- Osan on oltava erillinen, jotta tuotteen kokoonpano tai purkaminen on mahdollista. (Lempiäinen & Savolainen 2003, 70.)

Kolmen kohdan perusteella voidaan havaita, että niissä ei puhuta mitään esimerkiksi ulkonäöllisistä seikoista. Tämän vuoksi voidaan todeta, että kaupallisiin tuotteisiin suunnitellaan usein ylimääräisiä osia ulkonäöllisistä syistä. (Lempiäinen & Savolainen 2003, 70.)

Poisjätettävällä osalla on suuri merkitys kiinteisiin kuluihin, sillä silloin osaa ei tarvitse suunnitella, valmistaa, tehdä prototyyppiä, testata, valvoa, varastoida, poistaa kelvottomana, kierrättää, hävittää, ostaa ja kuljettaa. (Lempiäinen & Savolainen 2003, 71.)

Suunnittelijan täytyy ottaa huomioon osien määrän vähentämisessä, ettei vaikeuta kokoonpanoa tällä toimenpiteellä. Ihmisellä käytössä olevilla kahdella kädellä on hankala paikoittaa ja liittää kolmea erillistä osaa. Tällöin täytyy välttää sovituksia, joihin ei kaksi kättä riitä. Suunnittelussa täytyy ottaa huomioon, että toisella kädellä pidetään tai säädetään osa kohdalle ja toisella tehdään kiinnitys. (Lempiäinen & Savolainen 2003, 73.)

Osan pintaan toteutetaan yksinkertaisia piirteitä, joiden avulla osan oikea asennus varmistetaan sekä autetaan osaa hakeutumaan oikeaan paikkaan kokoonpanossa. Näinä piirteinä voivat olla ohjaustapit, sokat, olakkeet, viisteet ja reiät. Ainoana paikoitusvälineenä ei tulisi käyttää irtonaisiä kiinnitysruuveja, koska tällöin kokoonpanossa menee aikaa sovittamiseen ja reikien etsimiseen. (Lempiäinen & Savolainen 2003, 75.)

2.3 3D-mallinnus

Nykyisin 3D-grafiikka on korvaamaton apu suunnittelutehtävissä. 3D-mallien luonti ja visualisointi on tärkeässä osassa koneensuunnittelua, sillä niissä voidaan monimutkaisetkin toiminnot mallintaa ja tutkia niitä virtuaalisessa muodossa ennen kuin kone rakennetaan. 3D:n avulla voidaan havainnollistaa suurta määrää tietoa. (Puhakka 2008, 24.)

Yritykset ovat huomanneet 3D-mallinnuksen olevan tehokkaampi tapa tehdä mallinnuksia kuin 2D-mallinnuksen. Kustannusten säästö on tullut ilmi uusia tuotteita suunniteltaessa ja

prototyypin valmistuksessa. 3D-mallin suurin hyöty on osien yhteensovittamisessa ja rakenteiden toiminnan tarkasteluissa. Mallien avulla voidaan tehdä myös lujuustarkasteluja. (Tuhola & Viitanen 2008, 13.)

Mallinnuksessa 3D-ohjelmalla suunnittelijan tekemät kappaleet, osat ja kokoonpanot ovat oikeiden osien kaltaisia sekä niille voidaan antaa samat fysikaaliset ja mekaaniset ominaisuudet kuin tulevalla tuotteella on. Tuotetta mallinnetaan avaruudessa, joka koostuu x-, y- ja z- koordinaattiakseleista. (Tuhola & Viitanen 2008, 17.)

Suunnitteluprosessissa mallintaminen perustuu kolmeen kohtaan, jotka ovat yhteydessä toisiinsa: esitiedot, osamallit ja kokoonpano. Esitietojen pohjalta luodaan osamallit, joiden avulla luodaan kokoonpano. Nämä kolme kohtaa luovat yhdessä 3D-mallintamisen suunnitteluprosessin ja näiden kautta voidaan tehdä tarvittavat piirustukset, tiedot tuotannonohjaukseen sekä valmis tuote. Mallintaminen ja suunnittelu perustuvat tiedonhankintaan, joten suunnittelijalla täytyy olla kaikki mahdollinen tieto siitä, miten konetta käytetään, käyttöolosuhteista sekä kuormitus- ja mitoitusvaatimuksista. (Tuhola & Viitanen 2008, 54–55.)

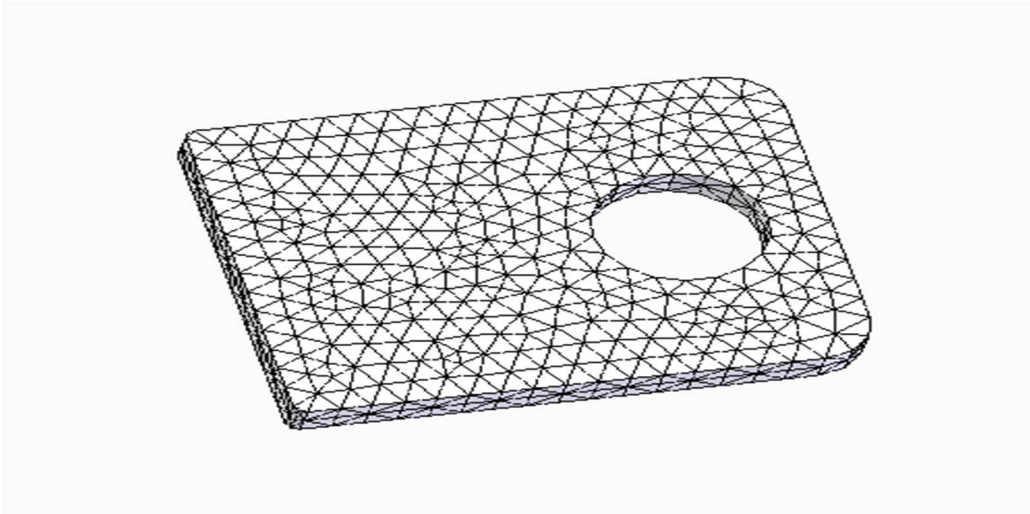
2.4 Lujuuslaskenta

Jokaiselta koneelta ja laitteelta käyttötarkoituksesta riippumatta oletetaan tiettyä käyttöikä. Tämän aikana voi kuitenkin laitteen toiminta heikentyä tai tulla mahdottomaksi. Käyttötarkoituksen mukaisen toiminnan estyessä konetta tai laitetta kutsutaan vaurioituneeksi tai rikkoutuneeksi. (Björk ym. 2014, 17.)

Aina ei ole mahdollista vielä suunnitteluvaiheessa ennakoida käyttöolosuhteita, jotka myöhemmin johtavat vaurioon. Joissain tapauksissa olisi ollut mahdollista etukäteen selvittää vaurioon johtanut käyttötilanne, jolloin voidaan puhua virheellisestä suunnittelusta. Suunnittelijan haastavimpia tehtäviä on ennustaa vielä rakentamattoman laitteen käyttäytyminen. Lujuusopin avulla pyritään selvittämään rakenteen käyttäytymistä tietyissä kuormitustilanteissa. Todellisuudessa voi vaurio tapahtua laskelmista huolimatta, tällöin laskelmat eivät ole simuloineetkaan riittävän hyvin rakenteen käyttäytymistä. (Björk ym. 2014, 17.)

2.4.1 FEM-laskenta

Tietokoneiden kasvaneen laskentakapasiteetin avulla FEM (finite element method) on tullut yleiseksi analysointivälineeksi. Menetelmän avulla voidaan mallintaa ja tarkastella lähes kaikenlaiset kappaleet sekä kokonaisuudet, materiaaliominaisuudet sekä kuormitukset. FEM-menetelmällä voidaan tehdä likimääräisiä ratkaisuja lähes jokaiselta insinööritieteen alueelta aina jännityksistä lämpötilan jakaumiin. FEM:n avulla on voitu korvata melkein kokonaan kokeellisten menetelmien käyttö. Menetelmässä rakennetta kuvataan elementeillä, jotka kytkeytyvät toisiinsa solmupisteillä. Elementtien muoto on yleensä sidottu, mutta yhdistelemällä niitä sekä muuttamalla niiden kokoa voidaan mallintaa lähes kaikenlaiset muodot. (Hietikko 2004, 148.)



Kuva 2. Esimerkki elementtimallista.

2.4.2 FEM-analyysin kulku

FEM-analyysin voidaan ajatella etenevän vaiheittain. Aluksi on syytä tehdä tarkasteltavalle kappaleelle idealisointia, jonka avulla voidaan pienentää laskentakapasiteettia sekä lyhentää laskenta-aikaa. Käytännössä yksinkertaistetaan yksityiskohtia, jotka eivät vaikuttaisi saataviin tuloksiin, mutta veisivät turhaan laskentakapasiteettia. Kuvassa 2. on esimerkki elementtimallista. Elementtiverkon luonnissa on tarkasteltava, millä tavalla malli verkotetaan. Verkkoa on syytä tihentää niiltä osin, joilta halutaan tarkemmat tulokset tai on odotettavissa malliin tulevia muutoksia. Reunaehtojen asettamisessa malli kiinnitetään

mahdollisimman tarkasti todellisuutta vastaavista kohdista, tällöin estetään mallin liikkuminen kuormituksessa. Reunaehtojen puutteellisuus tai vääryys on yleisesti syynä virheellisiin tuloksiin. Kuormitukset asetetaan halutulle kohdalle joko piste-, viiva- tai pintakuormana. Kuormitusten oikea määrittäminen on myös oleellista analysoinnin onnistumiseksi. Laskenta tapahtuu malliin asetettujen määrityksiä jälkeen ja sen kesto voi olla sekunneista useisiin tunteihin mallin koosta ja monimuotoisuudesta johtuen. Laskennan jälkeen tehdään tuloksien analysointia ja kiinnitetään huomiota jännityksiin ja rakenteiden muodonmuutoksiin. (Hietikko 2004, 149–151.)

2.4.3 Profiilin muoto

Käytettävällä profiilin muodolla on rakenteiden parhaimman jäykkyyden saavuttamiseksi merkitystä. Samanlaisesta materiaalista valmistetut profiililtaan erilaiset kappaleet käyttäytyvät eri tavalla taivutuksessa. Harkitulla profiilin muodolla pystytään rakenne toteuttamaan mahdollisimman kevyenä. Muotoluku φ_B^e saadaan laskettua kaavalla, joka on profiili kohtainen. (Ashby 2010, 244–245.)

Profiilin muodon jäykkyyden selvittämisessä apuna pystytään käyttämään matemaattisia kaavoja. Suorakaiteen muotoisen profiilin muotoluku lasketaan kaavalla 1. (Ashby 2010, 252.)

$$\varphi_B^e = \frac{1}{2} \frac{h(1+3b/h)}{t(1+b/h)^2} \quad (1)$$

missä

h on profiilin korkeus

b on profiilin leveys

t on profiilin ainevahvuus

Profiilin poikkileikkauksen pinta-ala kaavalla 2. (Ashby 2010, 249).

$$A = 2t(h + b) \quad (2)$$

missä

h on profiilin korkeus

b on profiilin leveys

t on profiilin ainevahvuus

Vertailuarvo M_1 tiheyden suhteen kaavalla 3. (Ashby 2010, 266).

$$M_1 = \frac{\varphi_B^e E^{1/2}}{\rho} \quad (3)$$

missä

φ_B^e on muotoluku

E on kimmokerroin

ρ on tiheys

Työssä käytetään vertailuarvoa M_2 kaava 4., joka ei sisällä tiheyden arvoa, kun tarkastellaan pelkästään jäykkyyttä.

$$M_2 = \varphi_B^e E^{1/2} \quad (4)$$

missä

φ_B^e on muotoluku

E on kimmokerroin

3 TRAKTORIN PERÄVAUNUN TUOTEKEHITYS



Kuva 3. Havainnekuva.

Työn tarkoituksena on tehdä tuotekehitystä traktorin perävaunulle, jonka rakenteisiin kiinnitetään huomiota valmistettavuuden ja kokoonpanon osalta. Kuvassa 3. on tehdasvalmisteinen perävaunu, jonka rakenne koostuu erittäin monista komponenteista, jotka täytyy ensin valmistaa ja kokoonpanossa asemoida ja jonka kokoonpano vaatii merkittävän määrän hitsausta. Perävaunusta pyritään suunnittelemaan monikäyttöinen, rakenteeltaan ja käytettävyydeltään yksinkertainen sekä parantamaan käyttömukavuutta. Tuotekehityksessä käsitellään mekaniikkasuunnittelun näkökulmasta rakenneratkaisuja, sekä tehdään niille lujuuden tarkasteluja.

3.1 Esitutkimus

Työn alussa kerättiin ensin asiakastarpeita (taulukko 1.), jotka listattiin ja samankaltaiset tarpeet yhdisteltiin yhdeksi. Listattuihin asiakastarpeisiin lisättiin, miten tärkeä ominaisuus on kyseessä, jolloin saatiin tarpeet järjestelyä tärkeimmästä alkaen. Peräkärjiltä vaadittavia tärkeimpiä ominaisuuksia olivat monikäyttöisyys, kestävyys ja hyötykuorma. Asiakastarpeiden selvittäminen on tuotekehityksen tärkeimpiä osa-alueita, jolla saadaan tuote vastaamaan asiakkaan tarpeita.

Tarve	Asiakastarve perävaunulle	Tärkeys
1	Monikäyttöisyys	1
2	Kestävyys	1
3	Käytettävyys	2
4	Ulkonäkö	3
5	Varusteltavuus	2
6	Käyttömukavuus	2
7	Hyötykuorma	1

Taulukko 1. Asiakastarpeet.

Seuraavaksi asiakastarpeet järjestettiin (taulukko 2.) ja niitä lähdettiin kehittämään eteenpäin ja pyrittiin tarkentamaan, miten tarpeet tulisi ottaa huomioon kehitystyössä. Monikäyttöisyydellä tarkoitetaan erilaisten kuormien viemistä; kuormat voivat olla mursketta, maa-aineksia, kappaletavaroita tai toisia työkoneita, esimerkiksi kaivinkone. Monikäyttöisyyteen vaikuttava tekijä on myös kokonaispaino, joka ei saa nousta liian suureksi. Kokonaispainon merkitys tulee hyvin ilmi silloin, kun perävaunua käytetään erilaisissa tehtävissä erikokoisella vetokalustolla. Kestävyden osalta täytyy suunnittelutyössä ottaa huomioon, että tuote olisi pitkäikäinen. Tämänkaltaiset koneet ovat pitkäikäisiä sijoituksia, jolloin kestävyden merkitys nousee esiin ja tuo koneelle laadukkaamman imagon. Hyötykuorman optimointi on myös taloudellisesti kannattavaa toimintaa, jolloin saadaan maksimoitua kuljetettavan tavaran määrää. Tilavuuden ja kantavuuden täytyy olla suhteessa toisiinsa. Käytettävyttä analysoidessa tuli esiin yksinkertaisuus. Yksinkertainen käytettävyys luo tuotteelle lisää käyttöarvoa, koska silloin kun tuote on helposti otettavissa käyttöön ja sen käyttö on sujuvaa, tuotteen käyttöaste nousee. Käyttömukavuuteen vaikuttaa se, miten tuote käyttäytyy sen käyttötilanteissa. Esimerkiksi perävaunun vakaus tien päällä ja ominaisuudet pellolla vaikuttavat käyttömukavuuteen. Varusteltavuuteen liittyen tilavuuden muuttaminen oli tärkeä kriteeri. Tilavuuden muuttamisella saadaan perävaunulle lisää monikäyttöisyyttä, kun tiheydeltään keveämpää materiaalia voidaan kuljettaa maksimikantavuuden verran. Ulkonäköön täytyy nykyaikaisissa työkoneissa kiinnittää myös huomiota. Tuote ja valmistaja voivat olla tunnistettavissa ulkonäköpiirteiden tai värityksen ansiosta. Ulkonäölliset seikat myös vahvistavat mielikuvaa tuotteen laadukkuudesta.

Tärkeys	Tarve	Suure
1	1	Monikäyttöisyys, erilaiset kuormat, kokonaispaino
1	2	Kestävyys, materiaalit
1	7	Hyötykuorma, optimointi
2	3	Käytettävyys, yksinkertainen
2	5	Käyttömukavuus, veto-ominaisuudet
2	6	Varusteltavuus, tilavuuden muuttaminen
3	4	Moderni ulkonäkö

Taulukko 2. Asiakastarpeiden järjestäminen.

Lopuksi oli vuorossa asiakastarpeiden muuttaminen tuotekehitykseen sopiviksi tavoitteiksi. (taulukko 3). Tuotekehityksen lähtökohtana tulee olla konkreettiset tavoitteet, jotta voidaan onnistuneesti aloittaa suunnittelua. Kestävyteen pyrittiin vaikuttamaan rakenteiden oikeaoppisella suunnittelemisella. Materiaalien valitsemisella on myös kestävyuden kannalta merkitystä; voidaan valita ominaisuuksiltaan kestävämpää materiaalia tai sellaista, joka tuo profiilillaan kestävyttä tuotteeseen. Mahdollisimman suuren hyötykuorman saavuttamiseksi täytyy materiaalivalintojen lisäksi tehdä myös lujuussimulointia tuotteelle. Simuloinnin avulla voidaan havaita tuotteessa olevia kriittisiä paikkoja ja tarpeen mukaan muuttaa rakennetta tai materiaaleja.

Tärkeys	Tarve	Suure	Vaatus
1	1	Takalaita, koko	Hydraulinen, paino
1	2,7	Erikoisteräket	Kovuus, lujuus
1	2,7	Rakenteiden simulointi	FEM
2	3,5	Traktorin sisältä käytettävät	Hydraulinen
2	3,5	Aisan jousitus, jarrut	Hydraulinen
2	6	Lisälaidat	Vaihdeettavat
3	4	Muodot, väri	Yhtenäiset

Taulukko 3. Asiakastarpeiden muuttaminen tavoitteiksi.

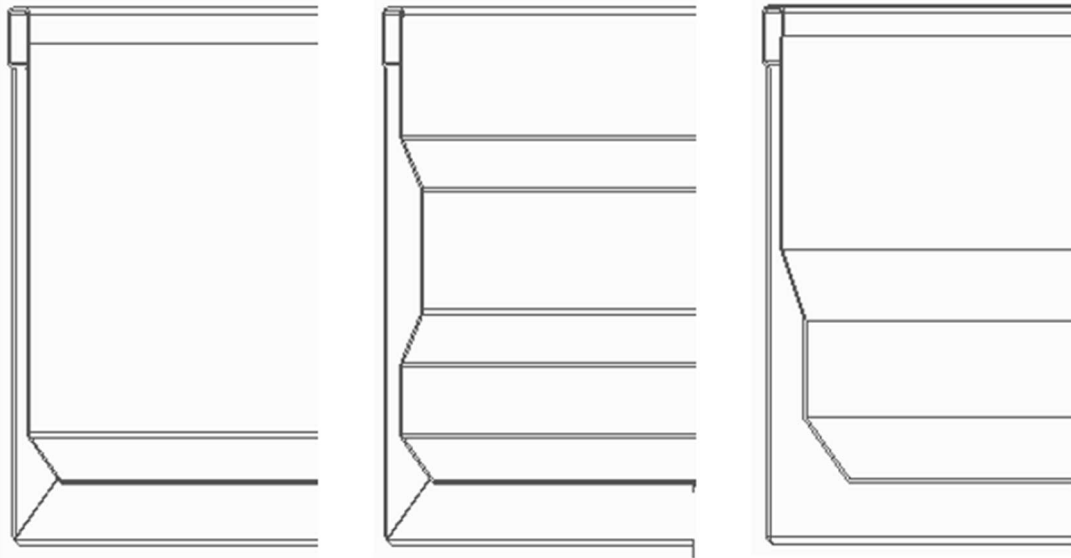
3.2 Luonnostelu

Asiakastarpeiden tavoitteiksi saattamisen jälkeen oli vuorossa luonnosteluvaihe. Luonnosten apuna käytettiin ideointia sekä tarkasteltiin samankaltaisia tuotteita. Luonnostelun aikana pidettiin valmistettavuutta ja kokoonpantavuutta mukana suunnitelmissa. Rungon luonnostelussa yksinkertaisuus ja tukevuus olivat tärkeitä

tavoitteita. Malliltaan rungosta luonnosteltiin suorakaiteen muotoinen palkkirakenne, jonka jäykkyyteen voidaan vaikuttaa erilaisilla ainevahvuuksilla, materiaaleilla sekä profiileilla. Lavan luonnokset alkoivat muotoutua palkkirungon päälle tulevalla pohjalevyllä sekä laitojen ja niiden tukien luonnoksilla. Laitojen ja pohjan nurkkaukseen suunniteltiin viiste, joka helpottaa tuotteen toimintaa käytännössä sekä jäykistää rakennetta. Laitojen sivuprofiiliksi ideoitiin tässä vaiheessa kolme vaihtoehtoa, joista kahdessa on suoran osuuden tilalla erilaisia jäykistätaitoksia, jotka jäykistävät rakennetta. Takalaidan täytyy tukea monikäyttöisyyttä ja yksinkertaista toimintaa. Malliltaan takalaitaluonnokset ovat alaspäin ja ylöspäin aukeavat.

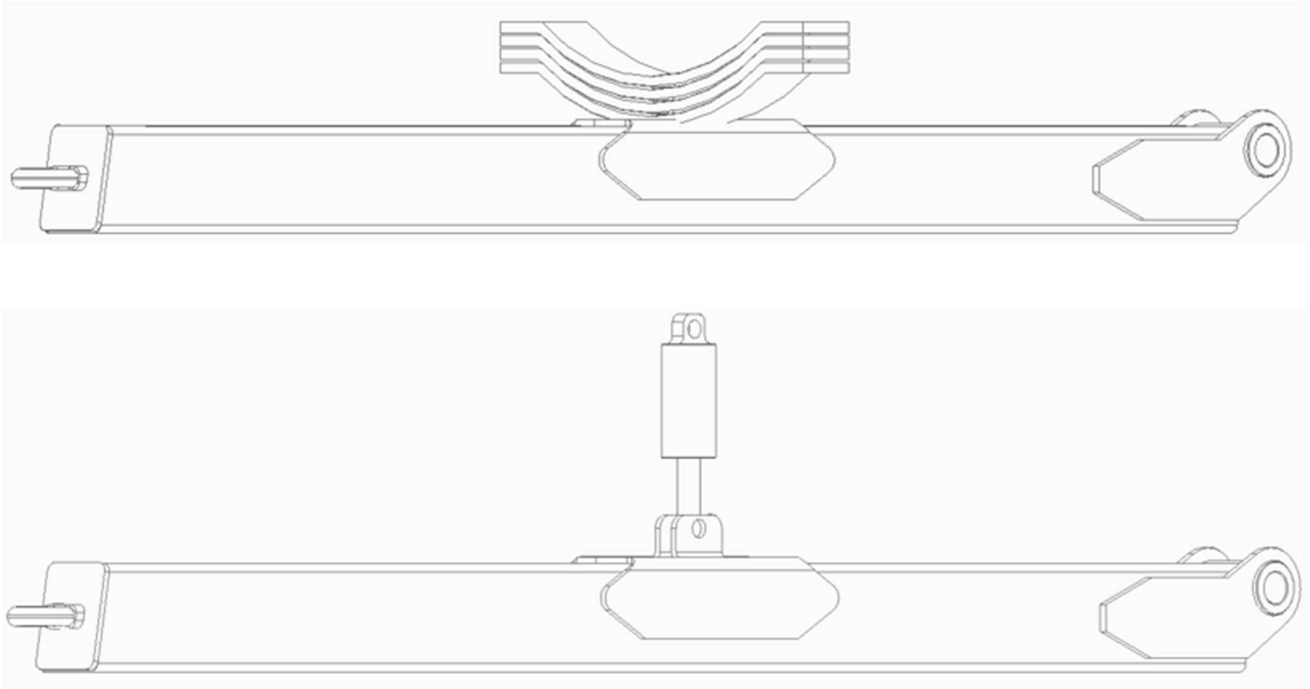
Vetoaisan jousituksen rakennetta pohdittaessa vaihtoehtoina olivat mekaaninen tai hydraulinen jousitus. Mekaanisen jousituksen etuihin voidaan lukea sen yksinkertaisuus ja huoltovapaus, toisaalta taas sen toiminta voidaan optimoida vain tietyille toiminta-alueelle. Hydraulikalla toimivan jousituksen etuihin kuuluu sen portaaton säädettävyys sekä liitettävyys muihin hydraulikkatoimintoihin.

Perävaunun fyysiset mitat ja paino vaikuttavat monikäyttöisyyteen ja siihen, miten ketterä vaunu on käyttää. Luonnostelussa kantavuudeksi suunniteltiin 12 tonnin kantavuutta ja mietittiin tilavuuden muuttamisen mahdollisuutta. Tilavuutta voidaan muuttaa helpoimmin ylöspäin, tällöin laitojen korkeuden kasvattaminen on järkevin vaihtoehto. Tätä varten lavaan täytyisi suunnitella kiinnikkeet, joihin korkeammat laidat voidaan kiinnittää. Kiinnikkeiden avulla täytyisi tilavuuden muuttaminen saada yksinkertaiseksi ja nopeaksi. Laidat eivät kuitenkaan saa olla liian korkeat, jotta kuorman lastaaminen on sujuvaa. Vaunun ei tulisi olla liian pitkä, jotta se on ketterä käyttää. Leveydelle on olemassa lakisääteinen maksimimitta, jota ei voida ylittää. Ulkonäköseikkoihin liittyen yksinkertaisuus sopii hyvin, levyrakenteet tuovat viimeistellyn ilmeen ja harkitulla värityksellä vaikutetaan lopputulokseen.



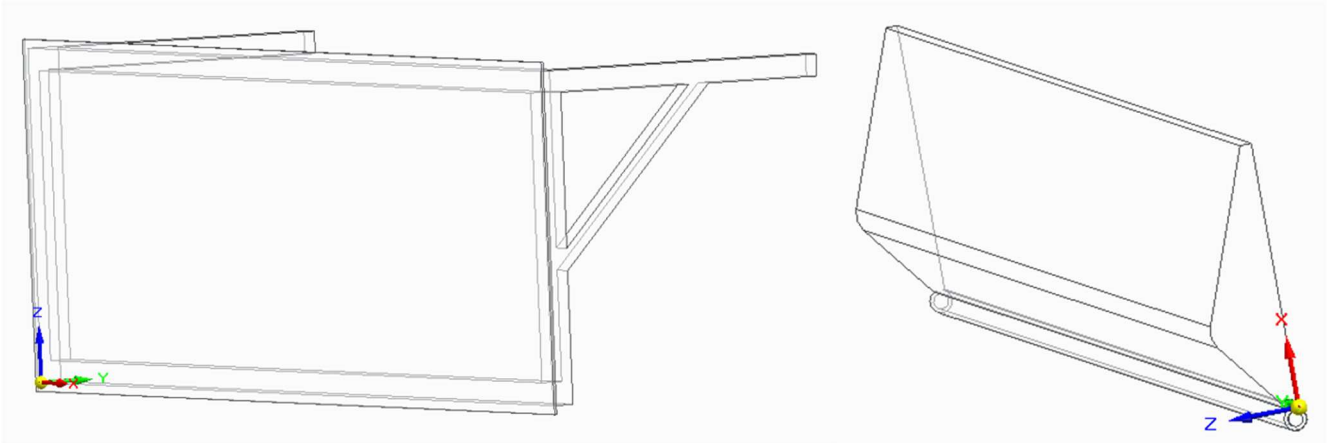
Kuva 4. Laitaprofiilin luonnokset.

Sivulaitaprofiileiksi luonnosteltiin kolme erilaista mallia (kuva 4.). Kuvassa vasemmanpuolimmainen profiili on alhaalta taitettu 45 asteen kulmaan, jolla profiili liittyy pohjalevyyn. Kulman etuna on, että se jäykistää laitarakennetta ja käytössä auttaa kuljetettavaa materiaalia liukumaan pois lavalta. Keskimmaisessä profiilissa luonnosteltiin keskelle laitaa jäykistetaitokset. Näiden taitoksien avulla saadaan lavaan jäykempi pitkittäinen rakenne samoilla ainevahvuuksilla. Profiilin haittapuolena on kuljetettavalle materiaaleille enemmän tartuntapintaa taitoksien kohdalla. Sivulta tulevaa voimaa profiili ei kestä vasemmanpuoleista profiilia enempää. Oikeanpuoleisessa profiilissa on kolme taitosta, jotka jäykistävät lavan pitkittäistä rakennetta sekä auttavat myös laitaa kestäämään sivultapäin kohdistuvaa voimaa. Verrattuna keskimmäisen profiilin viiteen taitokseen, tulee valmistuskustannuksissa säästöä kahden pois jäävän taitoksen verran. Laitaprofiilien luonnostelun lopputuloksena valittiin oikeanpuoleinen profiili, koska se jäykistää rakennetta myös sivusuunnassa tulevilta voimilta.



Kuva 5. Vetoaisan luonnokset.

Vetoaisan jousituksen luonnostelussa vertailtiin kahta vaihtoehtoa (kuva 5.). Ylempänä esitetty mekaaninen lehtijousityyppinen jousitus olisi täysin mekaaninen ja huoltovapaa ratkaisu. Haittapuolena on kuitenkin paljon tilaa vaativan rakenteen sovittaminen rungon sisälle. Säättötoimenpiteiden tekeminen on myös hankalampi toteuttaa mekaaniseen rakenteeseen. Alempana esitetyn hydraulisen jousituksen voi toteuttaa yhdellä sylinterillä sekä letkuilla ja paineakulla. Hydraulisesti toimivan jousituksen etuihin kuuluu sen kuormasta riippumaton säädettävyys, sekä liitettävyys toisiin hydraulisiin järjestelmiin. Vetoaisa on hyvä saada perävaunun lavaa kipatessa liikkumattomaksi; hydraulisen jousituksen sylinterin voi liittää kippauksen hydraulisynteriin suuntaventtiilin avulla. Tämä toimisi siten, että kippisynterille menevä paine kulkee suuntaventtiilin kautta myös aisan jousituksen sylinterille jäykistäen aisan. Tällainen toiminto estäisi ei-toivotut hallitsemattomat liikkeet. Vetoaisan luonnostelussa ideoitiin myös kiinteää vetoaisaa, jolloin rakenteet saadaan yksinkertaisemmiksi sekä voidaan säästää valmistuskustannuksissa. Kiinteän vetoaisa voisi ottaa valikoimiin myös jousitetun aisan lisäksi.



Kuva 6. Takalaitaluonnokset.

Takalaidoista (kuva 6.) luonnosteltiin ylöspäin ja alaspäin aukeava versio. Perävaunulta vaaditaan monikäyttöisyyttä, johon takalaidalla on merkittävä vaikutus. Ylöspäin aukeavan laidan etuihin kuuluu kuorman pysyminen lavalla takalaidan yläreunan sijoittuessa samalle korkeudelle kuin sivulaidat. Haittapuolena on, että korkeampia kuormia esimerkiksi työkoneita ei voida kuormata. Alaspäin aukeavan laidan etuna ovat työkoneiden ja muiden pidempien kappaleiden kuljettamisen mahdollisuus. Haittapuolena on, että laita ei ulotu yhtä korkealle kuin sivulaidat. Tämä johtuu siitä, että kipatessa laita laskee alaspäin lavan geometriasta johtuen ja liian korkea takalaita koskettaisi maata. Luonnostelun lopputuloksena valittiin monikäyttöisyyttä ajatellen alaspäin aukeava hydraulikalla toimiva takalaita.

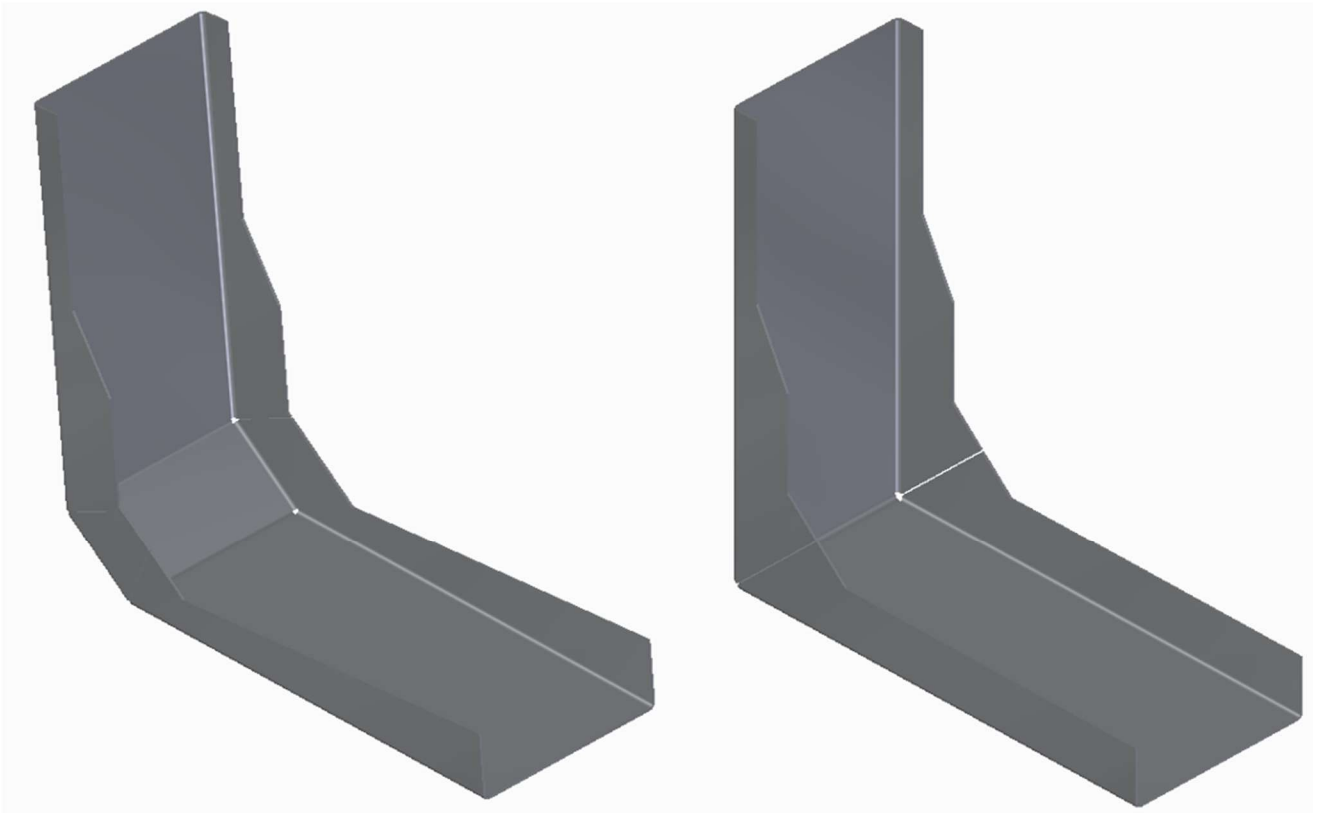
3.3 Kehittäminen

Kehittämisvaiheessa suunniteltiin valmis tuote, joka perustuu luonnosteluvaiheessa valittuihin parhaimpiin ratkaisuihin. Tärkeimpinä kohteina voidaan pitää perävaunussa lavarakennetta sekä runkoa. Kehittämisvaiheessa tehtiin materiaali- sekä profiilivalinnat. Profiilien valinnassa käytettiin apuna suhdelukuja, joiden avulla pystyttiin valitsemaan jäykkä profiili mahdollisimman kevyellä massalla (taulukko 4.). Suhdelukutaulukkoa varten rakennettiin Excel-ohjelmaan kaavat 1, 2 ja 4, joiden avulla saatiin erilaisten suorakaiteen muotoisten profiilien vertailujäykkyys sekä massa. Taulukon avulla voitiin valita jo likimääräisesti oikeat ainevahvuudet sekä profiilit ennen lujuuslaskentaa. Taulukosta 4. näkyy, että keltaisella merkityt massat ovat samoja, mutta niiden vertailujäykkyudessa on

suuria eroja. Profiiliksi valittiin vihreällä merkitty, jonka vertailujäykkyys on taulukon toiseksi suurin ja paino suhteessa pituuteen taulukon pienin. Taulukon käyttö nopeutti materiaalien valintaa sekä vähensi lujuuslaskennassa tehtävää työtä.

Tiheys	Kimmokerroin	h	b	t	Muotoluku	M2	A	Vertailujäykkyys	Massa KG/m
7850	210	200	100	8	13,9	54,01	4800	259230	37,7
7850	210	150	150	8	9,4	44,37	4800	212979	37,7
7850	210	200	100	10	11,1	48,30	6000	289828	47,1
7850	210	250	150	6	22,8	69,17	4800	332039	37,7
7850	210	250	150	5	27,3	75,78	4000	303109	31,4

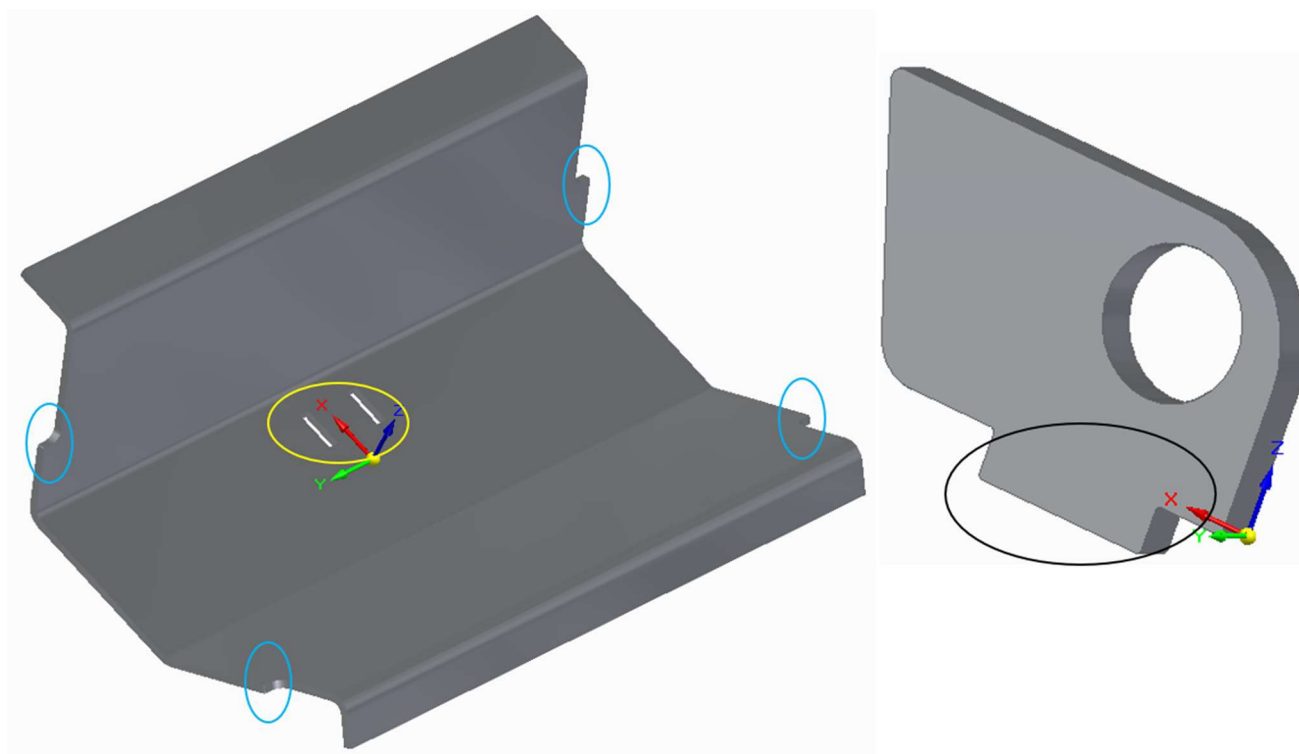
Taulukko 4. Suhdelukuja.



Kuva 7. Lavan tuet.

Rakenteiden suunnittelemisessa otettiin huomioon valmistettavuus ja kokoonpantavuus. Lavan rakenteissa laitojen tueksi suunnitellut tukiprofiilit ovat yksiselitteisiä, sekä vasemmalle että oikealle puolelle sopivia (kuva 7.). Tukirakenteet suunniteltiin yhdeksi kappaleeksi, jolloin ne valmistetaan levyleikkeestä ja niiden muodot tehdään taittelemalla

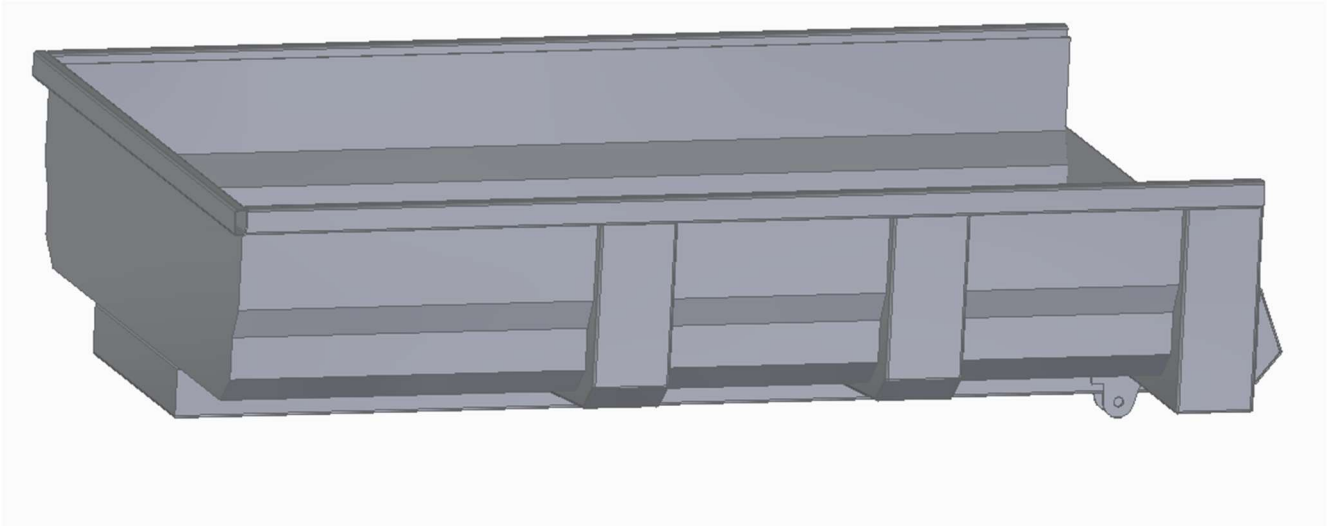
levyleikettä. Tällainen profiili vähentää valmistettavien osien tarvetta sekä nopeuttaa asennusvaiheessa kappaleen asemointia ja myös hitsauksen määrää pystytään vähentämään. Tämä vaikuttaa suoraan valmistukseen käytettävään aikaan ja kustannuksiin.



Kuva 8. Rungon vahvike.

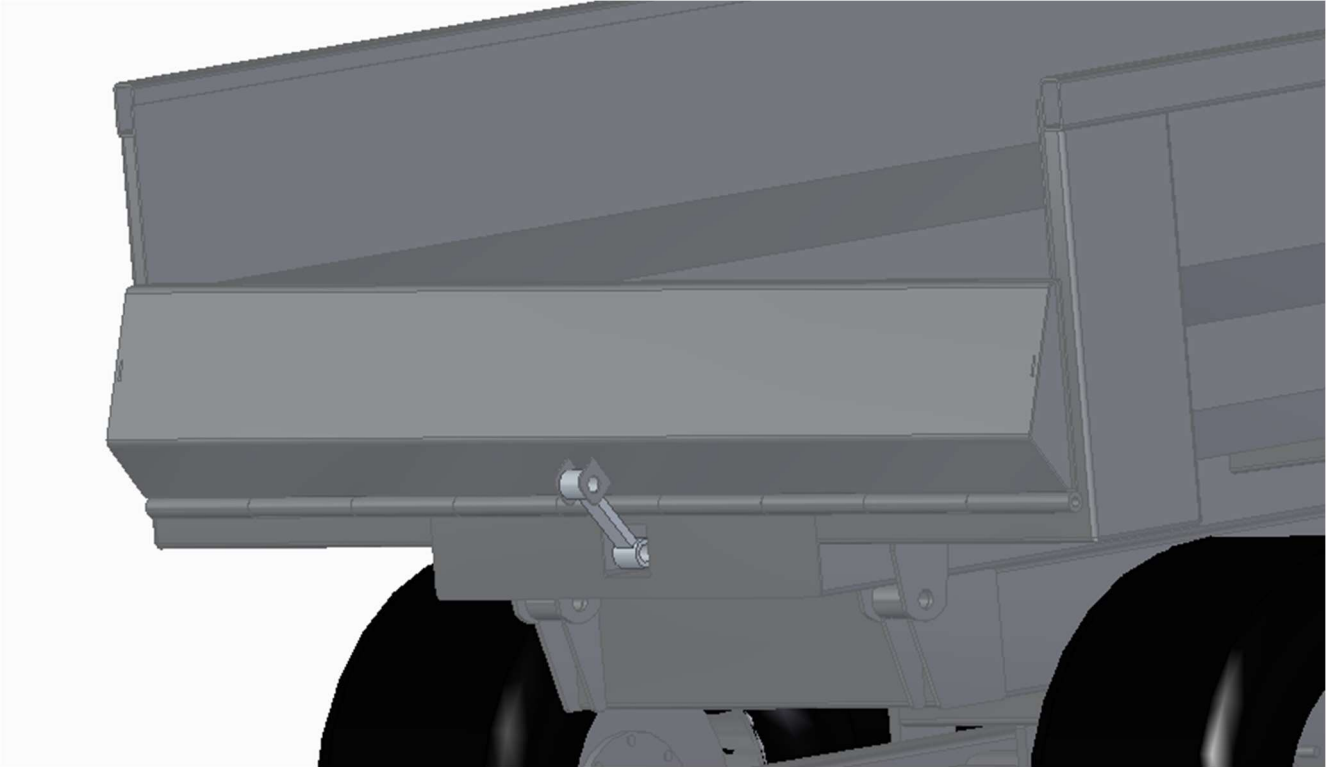
Rungon vahvikkeen (kuva 8.) suunnittelussa otettiin huomioon kokoonpantavuus, jonka avulla suunniteltiin kappaleeseen yksinkertaisia piirteitä, jotka eivät lisää valmistuksen kustannuksia, mutta nopeuttavat kokoonpanossa työskentelyä. Kuvassa sinisellä merkityt kohdat auttavat vahvikkeen asentamisessa runkoon. Vahvikkeen voi jättää lepäämään runkoa vasten suunniteltujen piirteiden avulla, jolloin vahvikkeen asentamisesta jää sen kannattelemisen ja kohdistaminen syvyysuunnassa kokonaan pois. Pituussuunnassa vahvike vastaa rungossa olevaan poikkipalkkiin, jolloin pituussuunnan asemointiin ei tarvita muuta kohdistusta. Keltaisella merkitty kohta pohjalla on kippauksen sylinterin alakorvakkeen asemointia varten suunnitellut piirteet,

joiden avulla mustalla ympyröity korvakkeeseen suunniteltu uloke asettuu oikeaan kohtaan. Kaikki piirteet tulevat laserleikkauksen yhteydessä ilman muita toimenpiteitä.



Kuva 9. Lava.

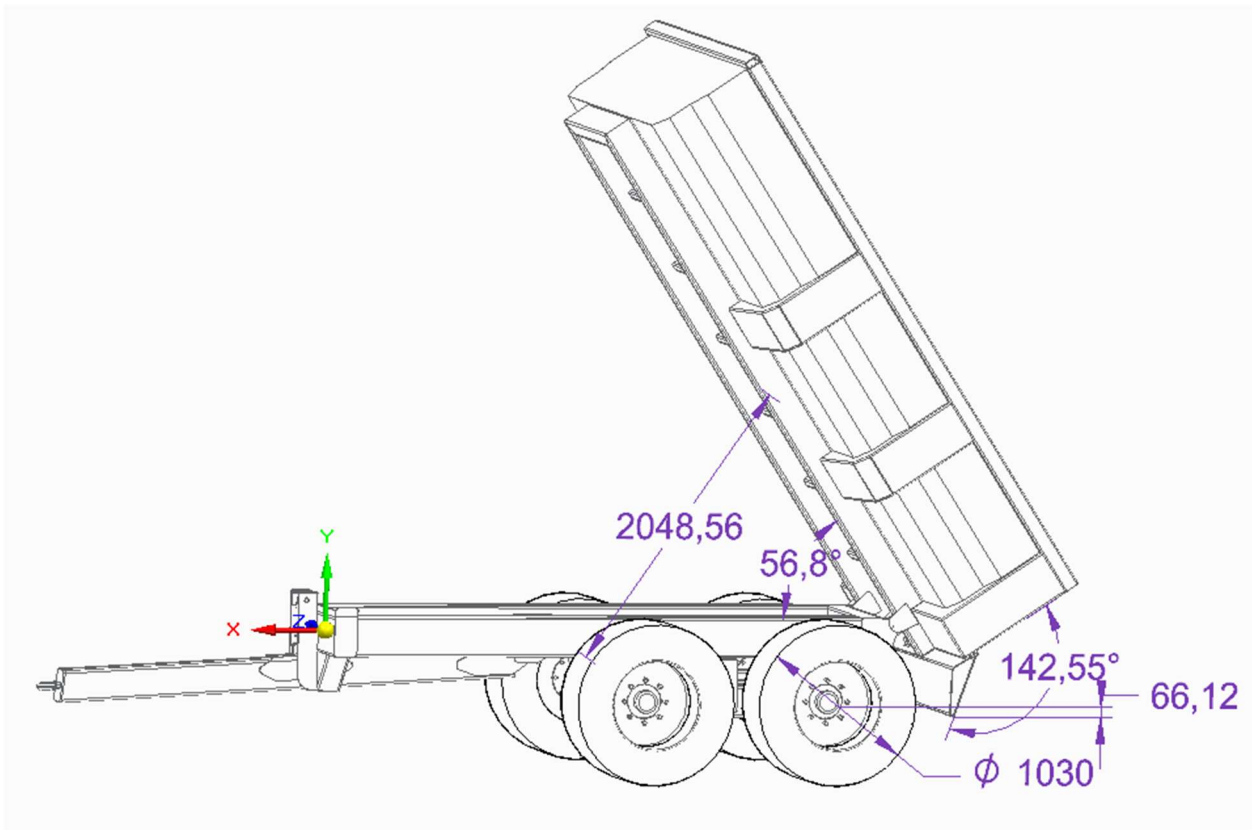
Lava (kuva 9.) suunniteltiin mahdollisimman vähillä osilla ja kokoonpanovaihetta varten yksiselitteiseksi sekä yksinkertaiseksi. Sen kokoonpano tapahtuu hitsaamalla ja tämä on otettu rakenteita suunnitellessa huomioon; hitsattavat saumat on suunniteltu pienahitseiksi. Lavan rakenne on modulaarinen, jolloin sen kokoa voidaan muuttaa pituuden avulla ja samalla tukirakenteita tarvittaessa lisäämällä. Koon muuttamiseen ei tarvitse suunnitella mitään uusia osia. Lisäksi lavan nurkissa on kiinnikkeiden paikat mahdollisille korokelaidoille.



Kuva 10. Takalaita.

Takalaita (kuva 10.) oli yksi tuotekehityksen kohde ja sen täytyi tukea monikäyttöisyyttä. Se suunniteltiin alaspäin aukeavaksi ja toimii yhdellä hydraulikkasyliinterillä reaktiotangon avulla. Rakenteesta suunniteltiin kotelomainen, joka jäykistää rakennetta sekä auttaa pitämään takalaitaa muodossaan. Levyosiin suunniteltiin myös piirteitä, jotka auttavat kokoonpanon aikana komponenttien asemoinnissa helpottaen ja nopeuttaen kokoonpanotyötä.

3.4 Prototyyppi



Kuva 11. Prototyyppi.

Prototyypinä käytettiin analyttistä 3D-mallia, jonka avulla tutkittiin perävaunun toiminnallisia ominaisuuksia. 3D-ohjelmalla tehtiin simulointia, jonka avulla tarkasteltiin suunniteltujen komponenttien ja osajärjestelmien yhteensopivuutta. Simulointia tehtiin toisiinsa nähden liikkumaan tarkoitetuille kohteille, niille suunnitelluin liikeradoin ja matkoin. Kuvan 11. perävaunun prototyypin 3D-mallin mitoituksia tarkasteltiin, jolloin voitiin todeta, ovatko suunnitellut komponentit loogisia. Lavan kippauksen ja takalaidan toimintaa tarkasteltiin niiden tekemien liikeratojen avulla. Suunnitteluohjelmassa voitiin valita simulointia tehdessä, että komponenttien fyysiset kosketukset otetaan huomioon. Fyysisten kosketuksien tarkkailun ollessa käytössä voitiin todeta simuloinnin yhteydessä, miltä osin komponentit ovat kosketuksissa toisiinsa. 3D-mallin avulla pystyttiin hyvin simuloimaan, miten perävaunu vastasi suunnittelua ja miten se toimii todellisuutta vastaavissa tilanteissa. Prototyypin 3D-mallia pidettiin välitavoitteena, jolla saatiin varmuus siihen, että kaikki suunnitellut ominaisuudet tulevat tarkasteltua. Sylintereiden ja lavan kiinnityskorvakkeiden etäisyyksiä asetettiin uudelleen sekä takalaidan reaktiotangon mitoitusta muutettiin ja

muutoksien jälkeen suoritettiin uudelleensimuloinnit. Hyväksytyä välitavoitteen saavuttamisen jälkeen voitiin jatkaa tuotekehitysprosessia.



Kuva 12. Visualisointi.

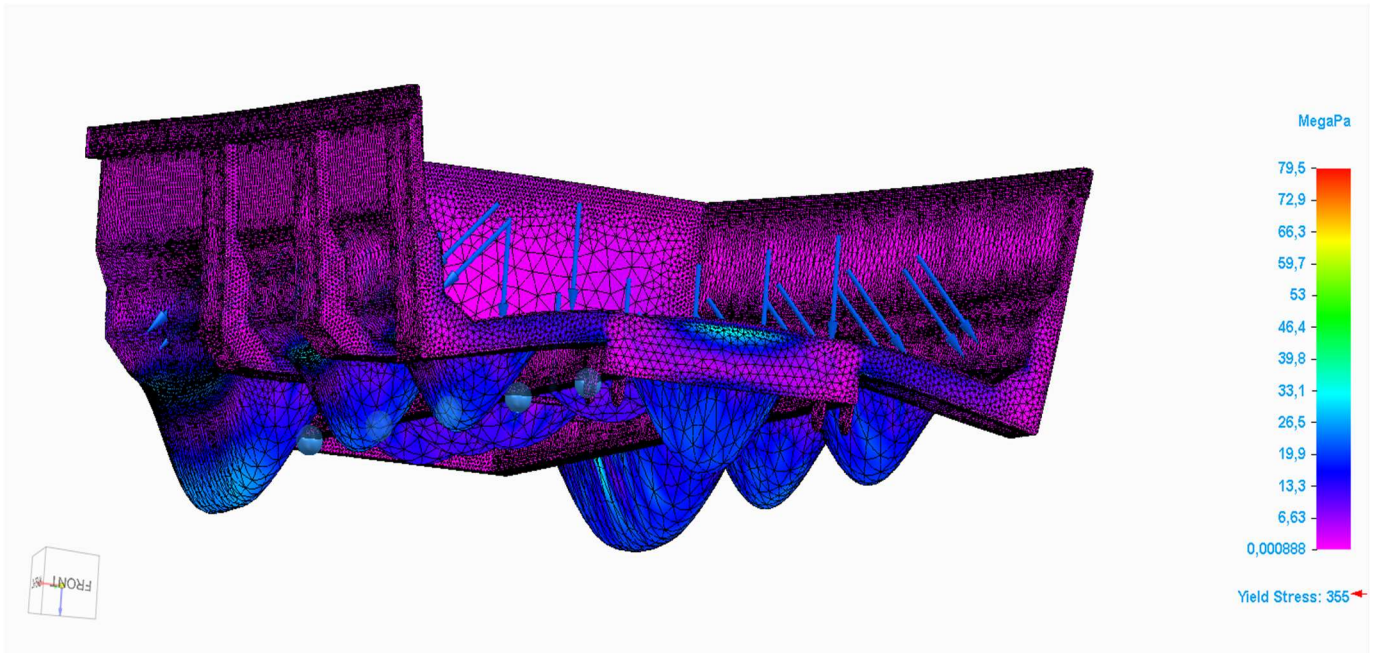
Prototyypistä tehtiin renderöinnin avulla visuaalinen valokuvan kaltainen kuva (kuva 12.). Sitä voidaan tarpeen mukaan esitellä kohderyhmälle ja saada tietoa heiltä. Lisäksi kuvaa pystytään käyttämään tulevissa esitteissä ja markkinoinnissa. Kuva auttoi arvioimaan prototyypin ulkoista olemusta ja vertaileminen jo markkinoilla oleviin vastaaviin tuotteisiin helpottui.

3.5 Lujuuslaskenta

Lujuuden tarkastelua suoritettiin FEM-ohjelman avulla. FEM-simulointien avulla laskettiin rakenteisiin kohdistuvia jännityslukemia sekä rakenteissa tapahtuvia muodonmuutoksia siirtyminä. FEM-simuloinnilla saatiin analysoitua suunniteltua rakennetta

suunnitteluvaiheessa. Kaikille suunnitelluille rakenteille tai yksittäisille komponenteille pystyttiin tekemään simulointia niiden ominaisuuksien tarkastamiseksi.

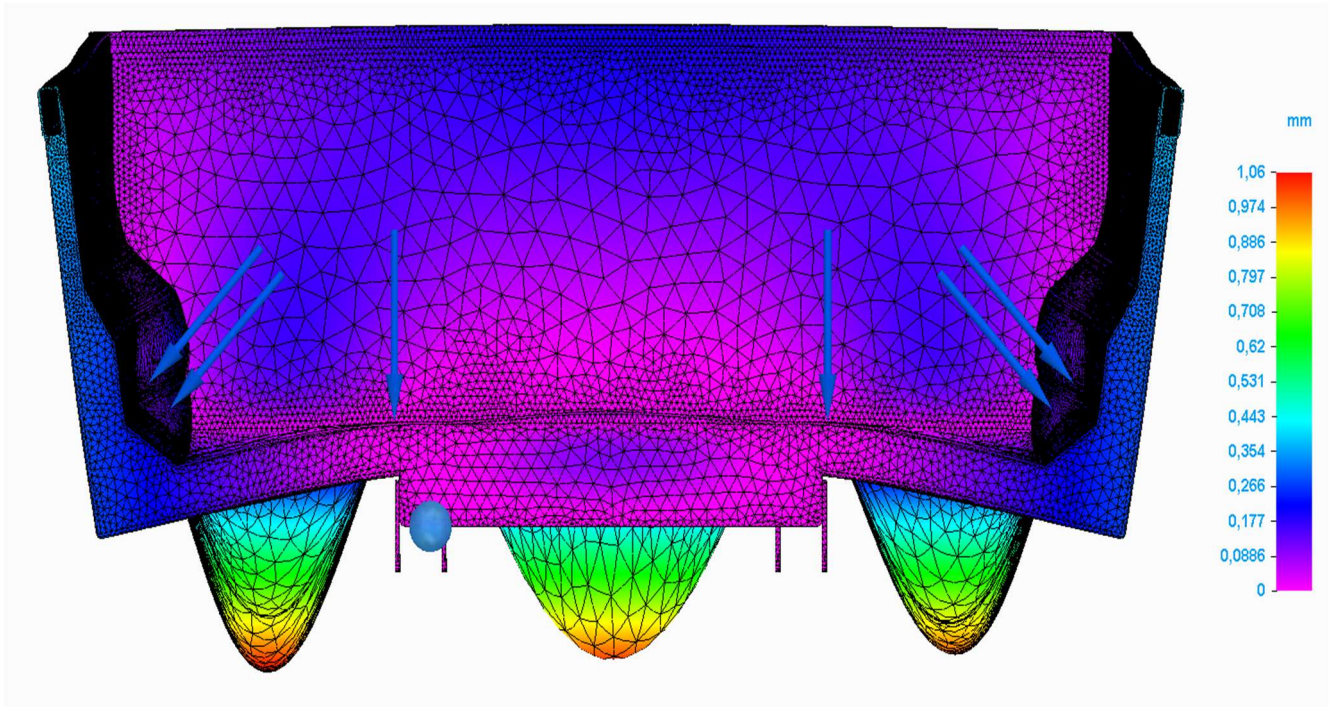
3.5.1 Jännitykset



Kuva 13. Lavan simulointi.

Lavan FEM-simulointi (kuva 13.) aloitettiin simuloimalla suunnitellun maksimikuorman arvoilla. Simuloinnissa lavan runko, joka tulee perävaunun runkoa vasten, asetettiin kiinteäksi. Lavan pohjaan ja pohjan viisteisiin asetettiin 120 000 N voima, joka vastaa 12 232 kg:n kuormaa. Simuloinnin tuloksena saatiin jännitykset, jotka kohdistuvat lavan eri kohtiin. Simuloidusta kuvasta nähdään värien perusteella, millaiset voimat mihinkin kohtaan kohdistuvat. Simulointimallin käyttäytyminen on liioitellun suureellista, mikä kuitenkin helpottaa mallista saatujen tulosten analysointia. Simuloinnissa saatu maksimijännitys on 79,5 Megapascalia. Käytettävän materiaalin myötöraja on 355 Megapascalia. Lavaan ei kohdistu suuria jännityskeskittymiä, jotka voisivat aiheuttaa paikallisesti materiaalin plastisoitumista eli pysyvää muodonmuutosta. Lavan rakenteen varmuuskerroin tulee näillä jännityksillä noin 4,5 kohdalle. Lavan rakennetta voidaan jännityksien puolesta pitää onnistuneesti suunniteltuna.

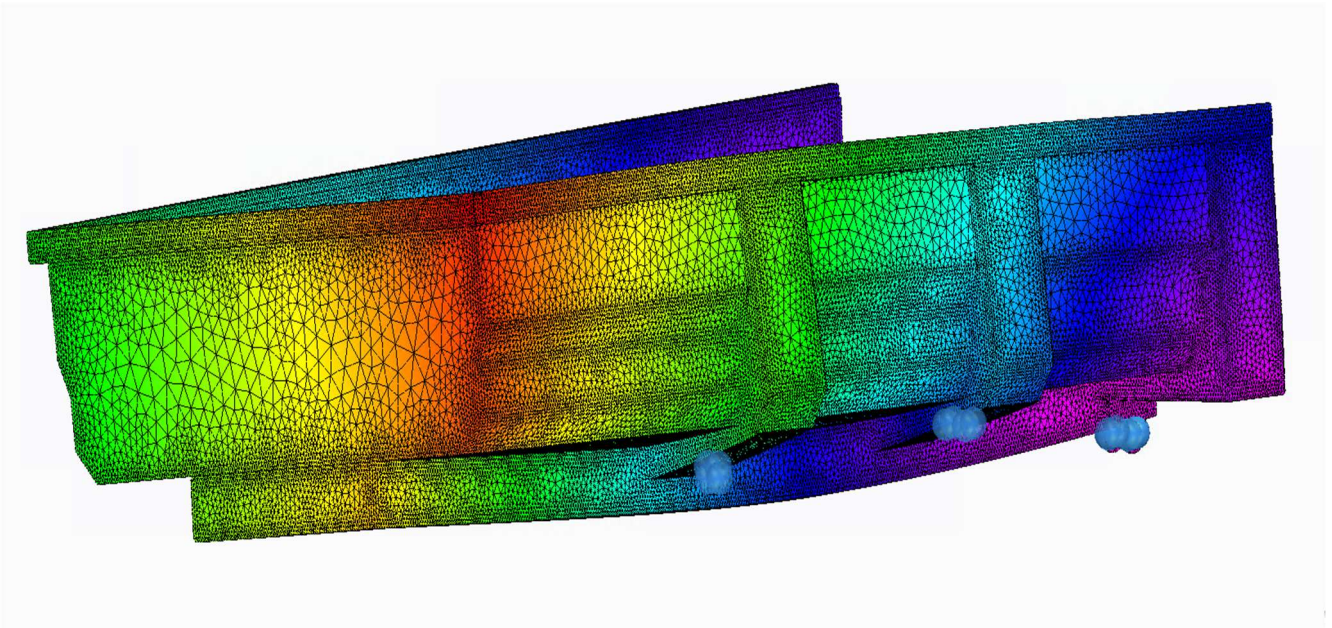
3.5.2 Siirtymät



Kuva 14. Lavan siirtymät.

Lavan siirtymiä (kuva 14.) tarkasteltiin samoilla arvoilla kuin jännityksiä. Siirtymäarvoiksi saatiin maksimissaan 1,06 millimetriä, joka kohdistuu lavan pohjaan. Muodon muutokset laitojen osalta olivat erittäin pienet, noin 0,3 millimetrin luokkaa. Rakenteet pysyivät hyvin muodossaan. FEM-simuloinnin perusteella lavan rakenne myös siirtymien osalta on onnistunut.

3.5.3 Värähtely



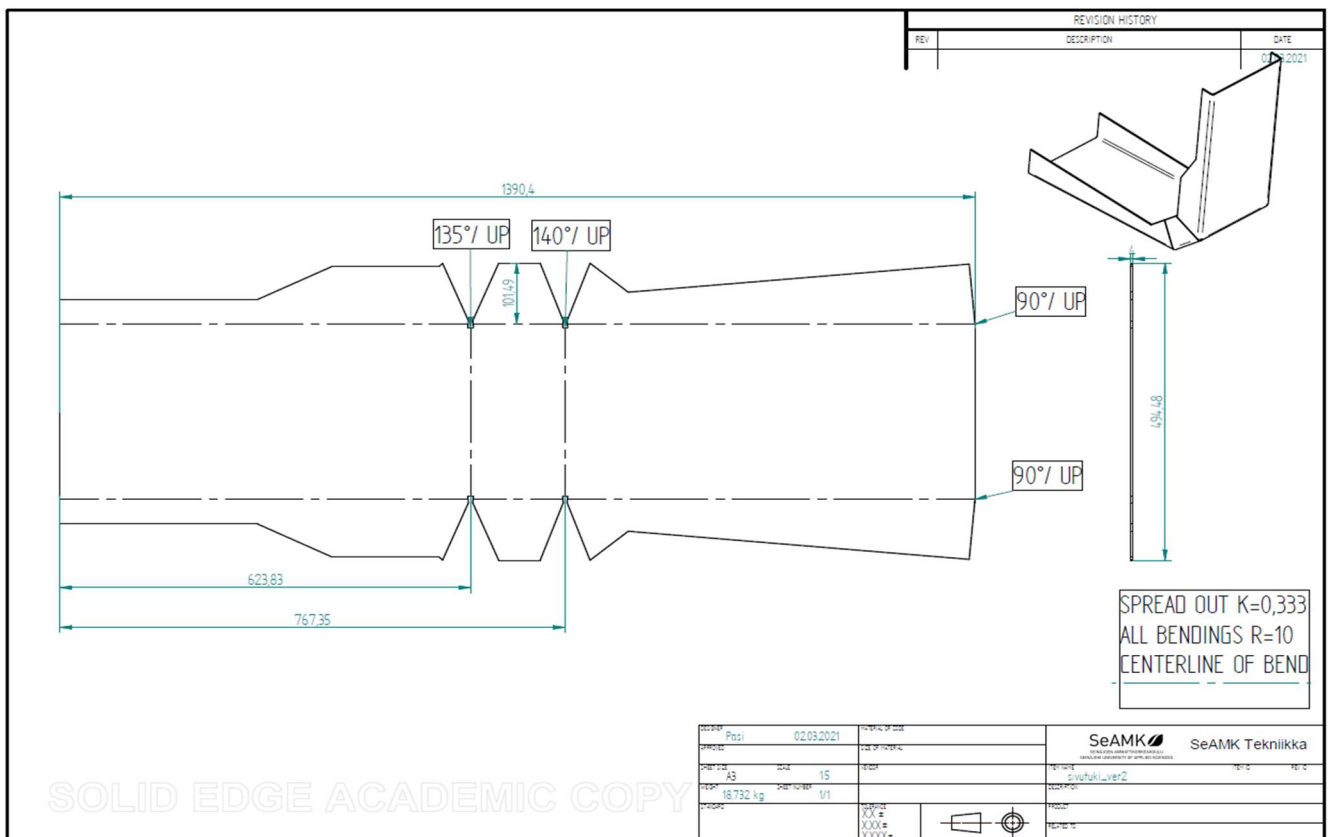
Kuva 15. Lavan ominaistaajuus.

Lavalle simuloitiin myös ominaistaajuudet (kuva 15.). Ominaistaajuus on sellainen taajuus, jolla rakennelma pyrkii värähtelemään. Mitatuista ominaistaajuuksista kaksi matalinta taajuutta olivat 15,46 Hz pitkittäisakselin ympäri sekä 15,68 Hz poikittäisakselin ympäri. Värikartta auttaa rakennelman värähtelyn ominaismuodon tulkitsemisessä. Ominaismuoto havainnollistaa, miten rakennelma käyttäytyy värähtelytilanteessa ja missä kohdassa on suurin värähtelyn amplitudi. Ominaistaajuutta voidaan käyttää hyödyksi esimerkiksi lavaan asennettavalla täryttimellä. Tässä tapauksessa olisi hyvä käyttää poikittäisakselin ympäri tapahtuvaa värähtelyä ja herättää se täryttimen avulla, joka tekee herätetaajuuden 15,68 Hz. Värähtelijän olisi tehokkainta sijaita lavan etureunassa kuvassa 15. olevalla punaisella alueella, jolla on suurin värähtelyn amplitudi. Tällöin lavan ominaistaajuus herää ja alkaa pakkovärähtelemään resonanssissa. Värähtelyn avulla saadaan lavalla kuljetettava materiaali helpommin irtoamaan kipatessa.

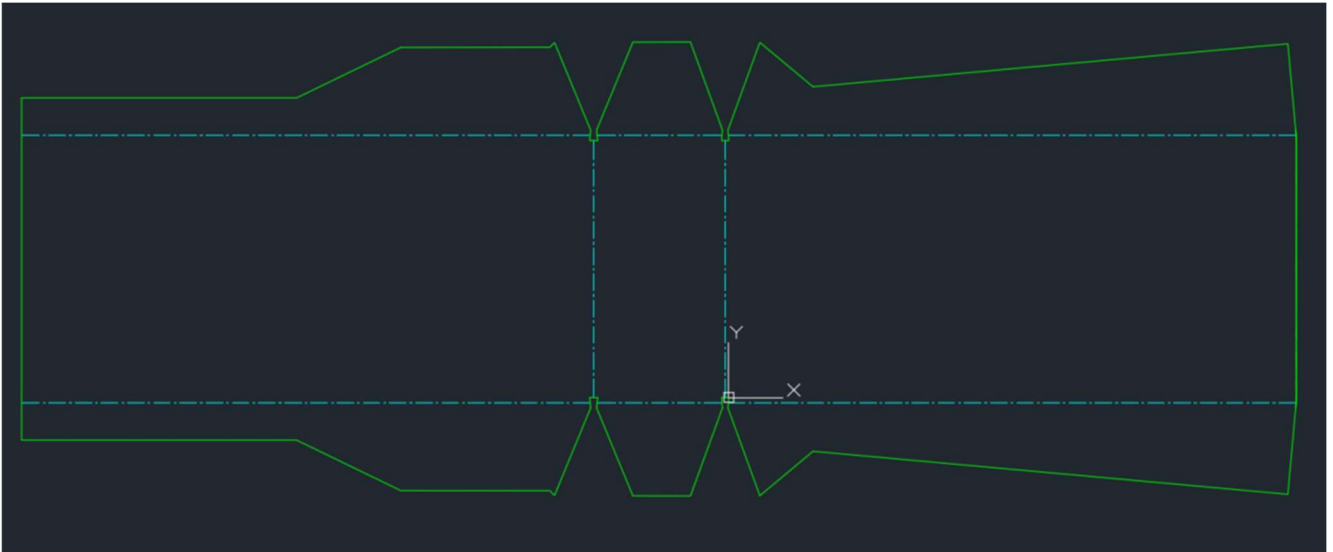
3.6 Viimeistely

Viimeistelyvaiheessa kaikista suunnitelluista osista luotiin piirustukset ja levyosista levityskuvat, joiden mukaan pystytään pyytämään tarjoukset tai valmistamaan osat omana

tuotantona (kuva 16.). Piirustusten täytyy olla yksiselitteisiä ja täydellisiä, ja niiden mukaan täytyy pystyä valmistamaan komponentit, kuten ne on suunniteltu valmistettavaksi. Lopullisista piirustuksista täytyy löytyä tuotteen kaikki tarvittavat mitat. Suunnitelluista levyleikkeistä luotiin DXF-tiedostot, joiden avulla saadaan NC-koneille työstöön koordinaatit (kuva 17.). Kokoonpanosta luotiin kokoonpanopiirustukset (kuva 18.) sekä räjäytyskuvat (kuva 19.), jotka edesauttavat kokoonpanon suorittamista. Kaikki luodut piirustukset ja kuvat dokumentoitiin tulevaa käyttöä varten. Viimeistelyn aikana pohdittiin vielä eri materiaalivaihtoehtoja. Materiaaliksi valittiin S355-rakenneteräs, joka on yleisesti käytetty materiaali ja hinnaltaan edullinen. Lavan osalta olisi hyvä olla valittavissa myös kulutusta enemmän kestäviä materiaaleja. Esimerkiksi kulutusteräs on ominaisuuksiltaan kovempi materiaali, jota käyttämällä rakenteet kestävät paremmin mekaanista kulutusta ja perävaunun käyttöikä saadaan pidennettyä. Perävaunun väriyksellä on merkittävä vaikutus perävaunun ulkonäköön ja tarkasti valittujen värien avulla saadaan perävaunu näyttämään viimeistellyltä (kuva 20.). Tässä työssä valittiin runkoon tummanharmaa väri, jossa ei näy lika. Lavan väriksi valittiin punainen, joka näkyy hyvin liikenteessä.



Kuva 16. Levityspiirustus.



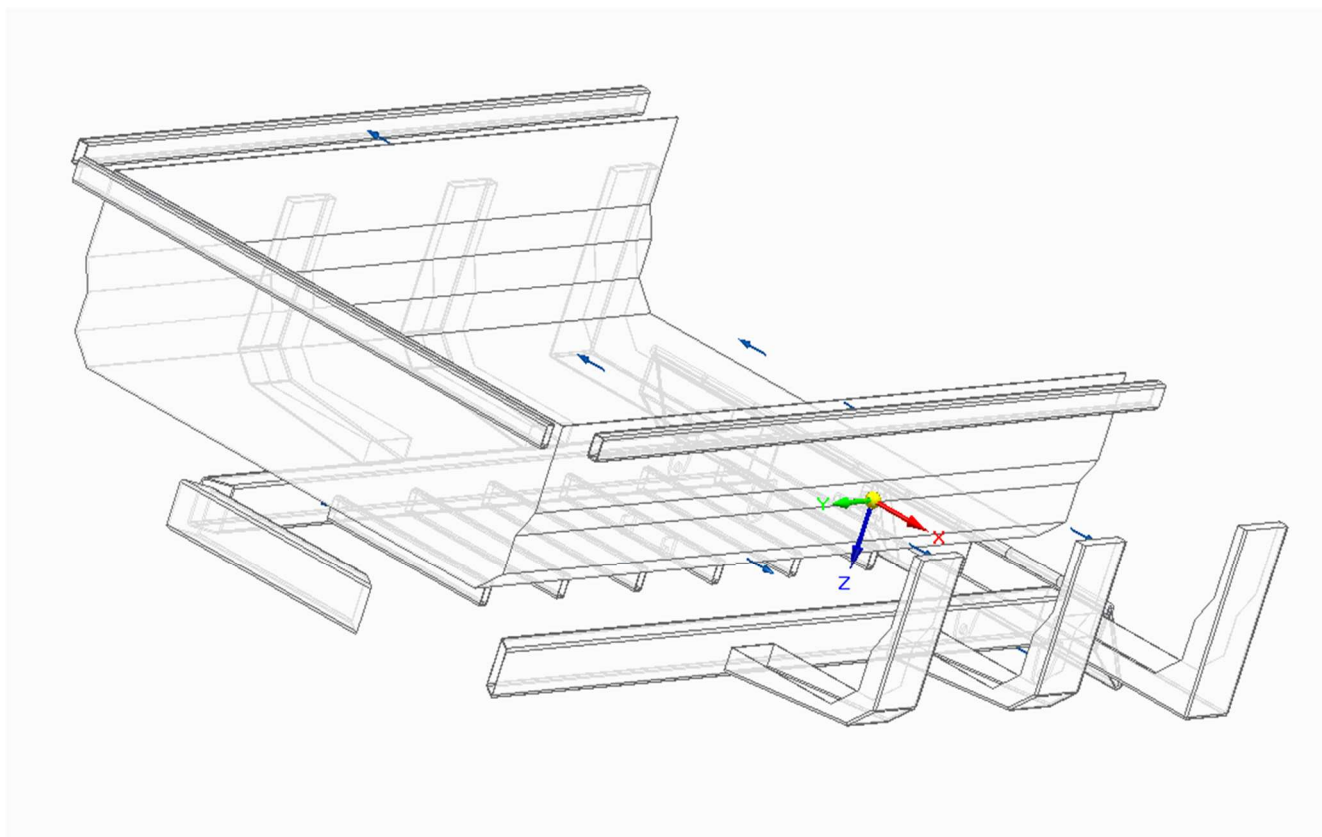
Kuva 17. DXF-tiedosto.

REVISION HISTORY		
REV	DESCRIPTION	DATE
		02.03.2021

DESIGNER: Pizzi APPROVED: 02.03.2021 SHEET CODE: A3 WEIGHT: 0,000 kg PART NUMBER: 1/1	NUMBER OF COPIES: SIZE OF MATERIAL: 120 SCALE: 1/1 DATE: 02.03.2021 PROJECT: SeAMK	SeAMK SeAMK Tekniikka PROJECT: luvn_ver222 DRAWING NO:
---	--	--

SOLID EDGE ACADEMIC COPY

Kuva 18. Kokoonpanopiirustus.



Kuva 19. Räjätyskuva.



Kuva 20. Kaksiosainen väritys.

4 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tavoitteena oli traktorilla vedettävän perävaunun tuotekehitys ja mekaaninen suunnittelu. Tavoitteena oli suunnitella perävaunun 3D-malli, jonka avulla voitiin tehdä simulointia ja lujuuden tarkasteluja. Lisäksi tavoitteena oli luoda 3D-mallista tarvittavat piirustukset, joiden avulla perävaunu pystytään valmistamaan. Työssä keskityttiin erityisesti perävaunun lavaosan suunnitteluun.

Työn teoriaosuudessa käytiin läpi vaiheistetun tuotekehitysprojektin eteneminen, valmistettavuuden, kokoonpantavuuden ja 3D-mallinnuksen teoriaa sekä lujuuslaskentaa. Käytännön osuudessa määriteltiin ensin esitutkimusvaiheessa tärkeimmät perävaunulta vaadittavat ominaisuudet, jotka olivat monikäyttöisyys, kestävyys ja hyötykuorma. Suunnittelussa pidettiin tuotteen valmistettavuutta ja kokoonpantavuutta tärkeänä, koska ne vaikuttavat merkittävästi valmistuskustannuksiin ja tuotteen kannattavuuteen.

Luonnosteluvaiheessa laadittiin luonnoksia, joista valittiin parhaiten tavoitteisiin vastaavat ratkaisut. Sivulaitaprofiileista valittiin luonnos, joka oli mahdollisimman yksinkertainen ja toisaalta rakenteeltaan tukeva. Vetoaisan jousituksen luonnoksista valittiin hydraulisesti toimiva jousitus, jonka etuihin kuuluu sen kuormasta riippumaton säädettävyys sekä liitettävyys toisiin hydraulisiin järjestelmiin. Takalaitaluonnoksista valittiin alaspäin aukeava laita, joka tekee perävaunusta monikäyttöisemmän ja mahdollistaa esimerkiksi työkoneiden kuljettamisen.

Kehittämävaiheessa tehtiin materiaali- sekä profiilivalinnat. Profiilien valinnassa käytettiin apuna suhdelukuja, joiden avulla pystyttiin valitsemaan jäykkä profiili mahdollisimman kevyellä massalla. Rakenteiden suunnittelemisessa otettiin huomioon valmistettavuus ja kokoonpantavuus. Lava suunniteltiin mahdollisimman vähillä osilla ja kokoonpanovaihetta varten yksiselitteiseksi sekä yksinkertaiseksi. Lavan rakenne suunniteltiin modulaariseksi, jolloin sen kokoa voidaan muuttaa pituuden avulla ja samalla tukirakenteita tarvittaessa lisäämällä.

Prototyypinä käytettiin analyttistä 3D-mallia, jonka avulla simuloitiin rakenteiden toimivuutta. Lujuuden tarkasteluja suoritettiin FEM-simuloinnin avulla, jolloin saatiin varmistettua rakenteiden kestävyyttä.

Projektin toteutus eteni sujuvasti ja teoriaosuudessa läpikäytyjä tuotekehitysprojektin vaiheita noudattaen. Haastavin ja eniten aikaa vievä vaihe oli FEM-simuloinnissa käytettävien mallien muokkaaminen simulointiin sopiviksi. Malleja täytyi yksinkertaistaa ja elementtiverkkojen kokoa vaihdella eri kohdissa mallia yksityiskohtien mukaan. Vaihe oli kuitenkin työn kannalta tärkeä ja myös oppimisen kannalta hyödyllinen.

Lopputuloksena saatiin perävaunun tuotekehitys ja suunnittelu suoritettua tavoitteiden mukaisesti. 3D-suunnitelmista luotiin piirustukset, valmistus-, kokoonpano- sekä DXF-kuvat, joiden pohjalta perävaunu on mahdollista valmistaa. Työn tulokset ovat suoraan hyödynnettävissä valmistukseen.

LÄHTEET

- Björk, T., Hautala, P., Huhtala, K., Kivioja, S., Kleimola, M., Lavi, M., Martikka, H., Miettinen, J., Ranta, A., Rinkinen, J. & Salonen, P. 2014. Koneenosien suunnittelu. 6. uud. p. Helsinki: Sanoma Pro.
- Välimaa, V., Kankkunen, M., Lagerroos, O., Lehtinen, M. Opetushallitus & Välimaa, V. 1994. Tuotekehitys: Asiakastarpeesta tuotteeksi. Helsinki: Painatuskeskus.
- Jokinen, T. 2001. Tuotekehitys. 6. korj. p. Helsinki: Otatieto.
- Hietikko, E. 2008. Valmistettavuus: Tuotteen valmistettavuuden ja kustannusten hallinta tuotekehitysvaiheessa. 1. p. Kuopio: Savonia-ammattikorkeakoulun kuntayhtymä.
- Rodgers, P. & Milton, A. 2011. Product design. London: Laurence King.
- Ulrich, K. T., Eppinger, S. D. & Yang, M. C. 2020. Product design and development. Seventh edition. New York: McGraw-Hill Education.
- Lempiäinen, J. & Savolainen, J. 2003. Hyvin suunniteltu - puoliksi valmistettu: Lyhyt johdatus tuotteiden valmistettavuuteen ja kokoonpantavuuteen. 2. p. (CD-ROM). Helsinki: Suomen robotiikkayhdistys.
- Camburn, B., Viswanathan, V., Linsey, J., Anderson, D., Jensen, D., Crawford, R., Otto, K. & Wood, K. 2017, ' Design prototyping methods: state of the art in strategies, techniques, and guidelines '. [Verkkokirja]. Design Science, vol. 3, pp. e13. [Viitattu 13.1.2021]. Saatavissa: <https://doi.org/10.1017/dsj.2017.10>
- Puhakka, A. 2008. 3D-grafiikka. Helsinki: Talentum.
- Tuhola, E. & Viitanen, K. 2008. 3D-mallintaminen suunnittelun apuvälineenä. Tampere: Tammertekniikka.
- Hietikko, E. 2004. Palkki: Lujuuslaskennan perusteet. Helsinki: Otava.
- Ashby, M. F. 2010. Materials selection in mechanical design. 4th ed. Amsterdam: Butterworth-Heinemann.