

Alexi Jolanki

**MODULAARISEN KULJETUS- JA
VARASTOINTIJÄRJESTELMÄN TUOTEKEHITYSPROJEKTI**

**MODULAARISEN KULJETUS- JA
VARASTOINTIJÄRJESTELMÄN TUOTEKEHITYSPROJEKTI**

Aleksi Jolanki
Opinnäytetyö
Kevät 2020
Konetekniikan tutkinto-ohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Konetekniikka, koneautomaatio

Tekijä: Aleksi Jolanki

Opinnäytetyön nimi suomeksi: Modulaarisen kuljetus- ja varastointijärjestelmän tuotekehitysprojekti

Opinnäytetyön nimi englanniksi: Product Development of Modular Transport and Storage System

Työn ohjaaja: Timo Väyrynen

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: kevät 2020

Sivumäärä: 55 + 0 liitettä

Opinnäytetyö tehtiin Oulussa sijaitsevalle Optotec Group Oy:lle. Työssä tehdään esitutkimus tuoteidealle, kehitetään tuoteideaa ja suunnitellaan modulaarisen tavaran kuljetus- ja varastointijärjestelmän konseptimalli systemaattisen tuotekehityksen menetelmiä hyödyntäen. Suunniteltava kokonaisuus koostuu kuljetus- ja kiinnitysjärjestelmästä. Opinnäytetyöstä on tehty sekä julkinen että työn tilaajalle menevä raportti.

Opinnäytetyö aloitettiin tekemällä tuoteidealle esitutkimus, jossa selvitettiin sen kilpailijat, asennuskohteet ja järjestelmää koskevat lait ja standardit. Luonnosteluvaiheessa perehdyttiin ruisku- ja rotaatiovaluun muovituotteiden valmistusmenetelminä. Valmistusmenetelmäksi valikoitui ruiskuvalu, koska se osoittautui edullisimmaksi tuotantovaihtoehdoksi opinnäytetyön edetessä. Lisäksi järjestelmästä luotiin vaatimuslistan pohjalta useita konsepteja, joista paras valittiin jatkokehitystä varten.

Kehittämävaiheessa perehdyttiin osien muovi- ja metallimateriaalien valintaan. Muoviosien materiaaleiksi valittiin HD-PE ja metalliosien materiaaleiksi alumiini AW-5754 ja ruostumaton teräs AISI 304, koska niiden mekaaniset ominaisuudet ovat sopivat ja tilaajalla on aiempaa kokemusta niiden käytöstä. Lisäksi kehittämävaiheessa mitoitettiin tarkemmin suunniteltujen osien ominaisuudet, esimerkiksi muoviset napsahdusliitokset. Lisäksi suunniteltujen osien kestävyys varmistettiin hyödyntäen FEM-analyysijä. FEM-analyysissä selvinneet muutostarpeet lisättiin osien 3D-malleihin ja niistä tehtiin tuotepiirustukset. FEM-analyysien tulokset ja tuotepiirustukset luovutettiin tilaajalle. Lopuksi selvitettiin valmistuspaikkoja ja pyydettiin järjestelmän osille hinta-arviot, joiden pohjalta selvitettiin järjestelmälle tuotannon hintarakenne.

Työn tuloksena järjestelmästä saatiin luotua toimiva konsepti, jonka pohjalta sitä voidaan jatkokehittää. Järjestelmän valmistuskustannukset osoittautuivat odotettua korkeammiksi. Valmistuskustannuksia voisi pienentää seuraavaan versioon esimerkiksi integroimalla joitain osia muihin kokonaisuuksiin, jolloin järjestelmän kokonaisosamäärä pieneneisi. Lisäksi kaikkien vaatimuslistan vaatimusten tarpeellisuus on syytä selvittää.

Asiasanat: tuotekehitys, suunnittelu, tekninen dokumentointi, FEM-analyysi

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Mechanical engineering, machine automation

Author(s): Aleksi Jolanki

Title of thesis: Product Development of Modular Transport and Storage System

Supervisor(s): Timo Väyrynen

Term and year when the thesis was submitted: Spring 2020

Pages: 55 + 0 appendices

The topic of this Bachelor thesis is product development of modular transport and storage system. The goal of the thesis was to develop the product idea further, define the main features, applications, and requirements. Once the requirements and features were known, a concept that fulfills them was to be designed and developed. The project was commissioned by Optotec Group Oy. Two copies of this report have been made, one for the company and this public report.

The project was started by defining the main features and applications. Similar products were evaluated and laws and standards concerning the system were investigated. The requirements set in the planning phase were the basis for the development phase. The development phase was started by getting to know the selected plastic manufacturing techniques: injection molding and rotational molding. Their main advantages and disadvantages were evaluated, but in the end, it was the cost of manufacturing that led to the selection of injection molding as a manufacturing technique for this project.

Several concepts were created and evaluated before a functional concept was developed. Materials were selected for the final concept mainly based on their mechanical properties. In the end, polyethylene HD-PE, stainless steel AISI 304, and aluminum AW-5754 were chosen because they fulfill the requirements, are readily available and the customer has earlier experience of working with them. The final concept design was analyzed with the FEM analysis to ensure that the system fulfills the requirements set by the laws and standards. Next, the technical documentation was created, and inquiries were sent to manufacturing facilities to clarify the total cost of manufacturing of all the parts for the system.

As a result of this project a functional concept was designed and the cost of manufacturing of most parts in the system was found out. It turned out that the concept has some design features that are quite expensive to manufacture and thus increase the total price of the system. Therefore, further product development with an aim to reduce the manufacturing costs is needed before the product is ready for the market. The manufacturing costs could be decreased by integrating some of the separate components into the existing assemblies, for example. This would decrease the total number of the parts and therefore lower the total price of the system.

Keywords: product development, designing, technical documentation, FEM analysis

ALKULAUSE

Tämä opinnäytetyö on tehty Oulussa sijaitsevalle Optotec Group Oy:lle. Työn tilaajan edustajana toimi toimitusjohtaja Jani Vehkaoja. Työn ohjaavana opettajana toimi lehtori ja tutkintovastaava Timo Väyrynen ja kielenohjaajina lehtori Tuija Juntunen ja lehtori Elina Bergroth. Kiitokset työn aiheen tarjoamisesta kuuluvat Optotec Group Oy:lle ja Timo Väyrykselle. Lisäksi kiitokset kaikille yllä mainituille henkilöille, jotka autoitte työn valmistamisessa.

Oulussa 28.5.2020

Aleksi Jolanki

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
ALKULAUSE	5
SISÄLLYS	6
1 JOHDANTO	8
2 YLEISTÄ TUOTEKEHITYSTOIMINNASTA	9
3 ESITUTKIMUS	10
3.1 Kilpailevien tuotteiden etsintä ja markkinoiden kartoitus	10
3.2 Käyttökohteiden kartoitus	12
3.3 Ajoneuvon asennettavia kalusteita koskevat säännökset ja standardit	14
3.3.1 Liikenneministeriön päätös ajoneuvojen kuormakoreista, kuormaamisesta ja kuorman kiinnittämisestä	14
3.3.2 DIN ISO 27955	16
3.3.3 DIN ISO 27956	17
3.3.4 Pohdintaa säännöksistä ja standardeista	18
3.4 Vaatimuslista	19
4 LUONNOSTELU	20
4.1 Muovituotteiden valmistusmenetelmät	20
4.1.1 Ruiskuvalu	20
4.1.2 Ruiskuvaluosan suunnitteluperusteita	21
4.1.3 Rotaatiovalu	25
4.2 Konseptointi	27
4.2.1 Kiinnitysjärjestelmä	27
4.2.2 Kuljetusjärjestelmä	30
5 KEHITTÄMINEN	32
5.1 Materiaalien valinta	32
5.2 Voimien määrittäminen	33
5.3 FEM-analyysit ja lujuuslaskenta	35
5.3.1 Kuljetus- ja kiinnitysjärjestelmän FEM-analyysit	36
5.3.2 Kuljetusjärjestelmän akselin napsahdusliitosten mitoitus	37
5.3.3 Kiinnitysjärjestelmän lukituslevyn mitoitus	39

5.3.4 Kiinnitysjärjestelmän alustaan kiinnityksen mitoitus	45
6 VIIMEISTELY	47
6.1 Tuotepiirustusten teko	47
6.2 Valmistuspaikkojen selvitys	47
6.3 Tuotannon hintarakenne	47
7 TULOKSET	48
8 YHTEENVETO	50
LÄHTEET	52

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyössä suunnitellaan modulaarinen tavarankuljetus- ja varastointijärjestelmä. Järjestelmän laajuuden takia suunniteltava kokonaisuus on rajattu kuljetus- ja kiinnitysjärjestelmän suunnitteluun.

Tuoteidea sai alkunsa asiakkaan ideasta kehittää perinteisen peräkärryn käytettävyyttä, sillä peräkärryn tavaratila on yleensä ollut pelkkä laaja neliskanttinen tila, johon on sijoitettu joitain kuormansidontapisteitä. Suunniteltava järjestelmä pyrkiikin tehostamaan peräkärryn tilankäyttöä erilaisilla lisävarusteilla. Markkinoiden laajentamiseksi tuoteidea laajennettiin koskemaan myös pakettiautoja ja järjestelmän haluttiin tarjoavan uudenlaisia kuljetus- ja säilytysratkaisuja myös muihin käyttökohteisiin.

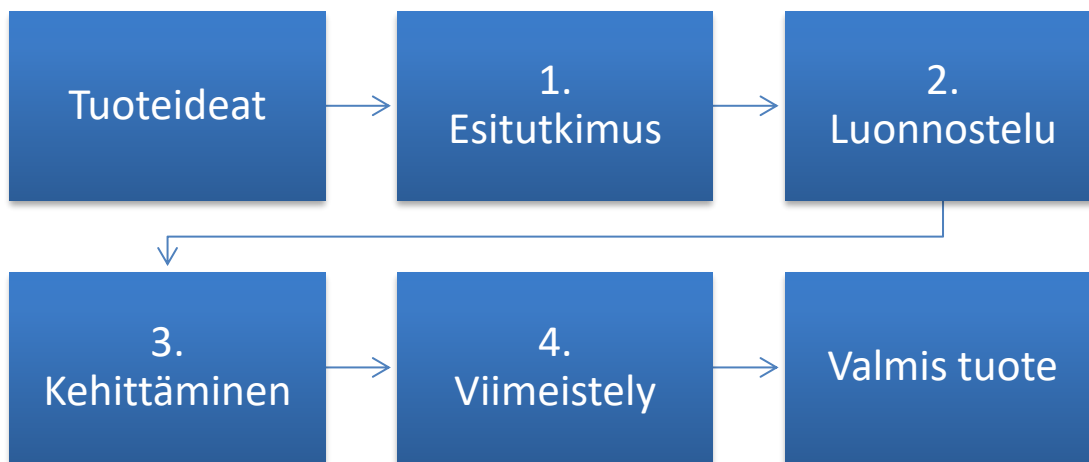
Suunnittelussa pyritään maksimoimaan tuotteen käytettävyys, sillä järjestelmän tarjoamien ratkaisujen on oltava merkittävästi helpompikäyttöisempiä kuin perinteisten ratkaisujen, esimerkiksi kuorman sitominen kuormansidontaliinalla, jotta se toisi lisäarvoa asiakkaalle. Koska järjestelmä on asennettavissa myös ajoneuvoihin, vaatimusmäärittelyn yhteydessä on selvitettävä ajoneuvoon asennettavia lisävarusteita koskevat lait ja standardit. Niiden asettamien vaatimusten perusteella suunnitellaan kiinnitysjärjestelmästä niin luja FEM-analyysijä hyödyntäen, että lakien ja standardien asettamat vaatimukset täyttyvät. Myös valmistustekniisiin seikkoihin on perehdyttävä, jotta pystytään valitsemaan kustannustehokkaat valmistusmenetelmät kilpailukykyisen hinnan saavuttamiseksi.

Tässä opinnäytetyössä hyödynnetään systemaattisen tuotekehityksen menetelmiä alkaen esitutkimuksesta ja päättyen FEM-analyysien tekemiseen luodulle konseptille ja tuotannon hintarakenteen selvittämiseen. Valinnaisiksi tavoitteiksi asetettiin tuote-esitteiden laadinta ja jakelukanavien selvittäminen, mikäli opinnäytetyö etenee aikataulun mukaisesti.

Tästä raportista on kirjoitettu kaksi versiota. Tämä versio on raportin julkinen versio, josta on poistettu kaikki yksilöivät tiedot tuoteidean salaamiseksi. Tästä syystä järjestelmän osista puhutaan epämääräisillä termeillä, mikä voi heikentää joidenkin kappaleiden tekstin täsmällisyyttä. Tämä oli välttämätöntä, jotta julkiseen raporttiin saisi sisällytettyä mahdollisimman monipuolisesti opinnäytetyön vaiheita.

2 YLEISTÄ TUOTEKEHITYSTOIMINNASTA

Tuotekehitystoiminta alkaa aina asiakastarpeesta. Asiakastarpeen pohjalta syntyy ideoita uusiksi tuotteiksi tai tuoteparannuksiksi. Parhaiden ideoiden kannattavuus selvitetään esitutkimuksella. Jos tuotekehitysprojektin käynnistäminen tuntuu järkevältä esitutkimuksen valossa ja yrityksellä on hankkeeseen resursseja, käynnistetään varsinainen tuotekehitysprojekti. Tuotekehitysprojekti jakaantuu eri vaiheisiin, joiden läpikäyminen on tärkeää sekä suunnittelussa, valmistuksessa että markkinoinnissa (kuva 1). (1, s. 25 - 26.)



KUVA 1. Tuotekehitysprosessi (2, s. 10)

Ensimmäinen vaihe on asiakastarpeesta saadun tuoteidean pohjalta aloitettu esitutkimus. Esitutkimuksessa kartoitetaan tuotteen tarvetilanne markkinoilla, selvitetään tuotteen alustavat ominaisuudet, vaatimukset ja käytetyt teknologiat, laaditaan aikataulu ja selvitetään tuotekehityskustannukset sekä arvioidaan myyntimääriin perustuva kannattavuus. Toisessa vaiheessa tuotteesta luodaan luonnostelma ja hahmotellaan sen valmistamiseen käytettäviä valmistusmenetelmiä. Kolmannessa vaiheessa tuote suunnitellaan valmiiksi, päätetään lopulliset valmistusmenetelmät ja alihankinnat sekä luodaan asiakaskontaktit prototyyppien testaamiseksi. Neljännen vaiheen keskeisellä sijalla ovat suunnittelun viimeistely ja tuotedokumentointi, prototyyppien valmistus ja myyntitoimien suunnittelu. Viimeinen vaihe on tuotteiden sarjatuoantanto ja myynti. (2, s. 10.)

3 ESITUTKIMUS

Modulaarisen tavaran kuljetus- ja varastointijärjestelmän esitutkimus oli aloitettu jo ennen tämän opinnäytetyön aloittamista. Siksi alustava tuoteidea ja ehdotus olivat jo valmiina ja joitain vaatimusmäärittelyn kohtia oli jo päätetty. Tästä syystä aivan kaikkia esitutkimuksen vaiheita ei käydä perusteellisesti läpi tässä työssä.

3.1 Kilpailevien tuotteiden etsintä ja markkinoiden kartoitus

Markkinoilla on useita erilaisia kuormansidontakiskojärjestelmiä, mutta niitä kaikkia yhdistää se, että niihin voi kiinnittää lähinnä erilaisia kuormansidontapisteitä ja koukkuja. Kilpailevia tuotteita etsittäessä ei järjestelmälle löydetty varsinaisia kilpailijoita, joten tässä luvussa on perehdytty vaihtoehtoisiin ratkaisuihin, joita markkinoilla on tällä hetkellä tarjolla.

L-Track

Tunnetuin kuormansidontajärjestelmä lienee myös lentokoneiden kuormansidonnassa käytetty L-Track-kisko (kuva 2), jossa L tarkoittaa sanaa Logistic. Sen kapea profiili mahdollistaa asennuksen pienempään tilaan. (3, s. 1.)



KUVA 2. L-Track-kuormansidontakisko (4)

L-Track-kiskot ovat suhteellisen kalliita koneistuksen määrän takia. Eri valmistajien kiskoja vertailtaessa selvisi, että ainoastaan profiilin reikien keskipisteiden välinen etäisyys on standardi 1” tai 25,4 mm. Kiskojen reikien halkaisijat vaihtelevat välillä 19 - 20 mm ja

uran leveys välillä 10,9 - 11 mm. Sivuprofiilin mitoituksessa on merkittäviä eroja, sillä kiskoja on saatavilla sekä suoraan pintaan että upotukseen asennettavina versioina.

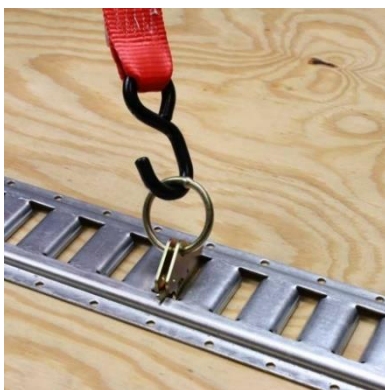
L-Track-kiskoon on saatavilla joitain lisävarusteita, esimerkiksi Reimon valmistama Quick release. Se on jälkiasenteinen universaali kiinnike, joka on tarkoitettu kuorman lukitsemiseen L-Track-kiskoon. Sen 185,00 euron kappalehinta on kuluttajakäyttöä ajatellen kuitenkin erittäin korkea (kuva 3). (5.)



KUVA 3. Vasemmalla Reimo Quick release ja oikealla Reimo Quick release asennettuna (5)

E-Track

E-Track on markkinoilla L-Track-kiskoa pidempään ollut kuormansidontajärjestelmä, johon siihen on saatavilla enemmän erilaisia kiinnikkeitä ja adaptoreita. Se on profiililtaan matalampi mutta leveämpi, joten se soveltuu paremmin esimerkiksi lattia-asennukseen kuin L-Track. E-Track-kisko on myös huomattavasti L-Track-kiskoa edullisempi valmistaa (kuva 4). (3, s. 1.)



KUVA 4. E-Track-kisko ja kiinnike (6)

Markkinoilla on muitakin kuormansidontajärjestelmiä L- ja E-Track-kiskojen lisäksi, esimerkiksi A-, F- ja T-Track. L- ja E-Track ovat kuitenkin yleisimpiä ajoneuvokäytössä. Tästä syystä vaatimusmäärittelyssä päätettiin, että suunniteltavan järjestelmän on oltava yhteensopiva myös L-Track-kiskojen kanssa. Tähän päätökseen päädyttiin, jotta tuotetta voisi markkinoida myös kuluttajille, joilla on jo L-Track-kiskojärjestelmä asennettuna peräkärryyn tai pakettiautoon.

Varsinaisten kilpailevien tuotteiden puuttuessa ei syvällisen kilpailija-analyysin tekemistä nähty tarpeelliseksi, vaan kilpailevia tuotteita käytiin läpi viikkopalaverien yhteydessä ja niiden hyviä ja huonoja puoli arvioitiin. Arvioitavia piirteitä olivat muun muassa ostohinta, käytettävyys ja varusteiden saatavuus. Näiden arvioiden perusteella päätettiin, että kiinnitysmenetelmän on oltava erittäin helppokäyttöinen, jotta se tuo lisäarvoa asiakkaalle.

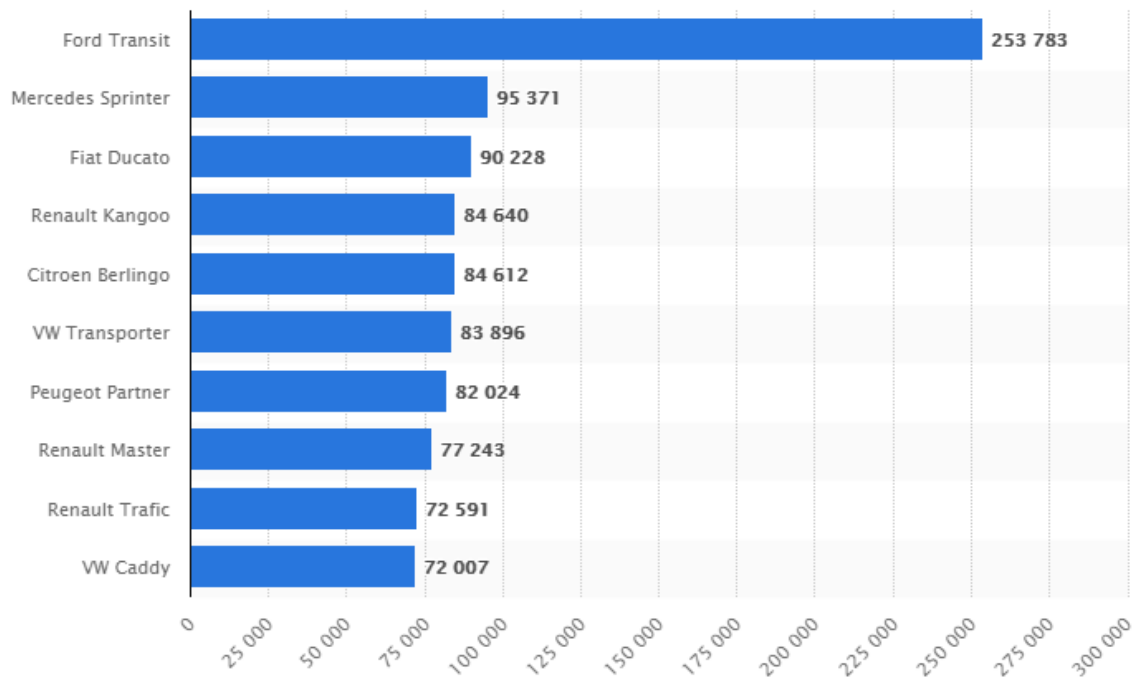
3.2 Käyttökohteiden kartoitus

Suunniteltava kuljetus- ja varastointijärjestelmä on tarkoitettu asennettavaksi myös ajoneuvoihin. Järjestelmän haluttiin sopivan mahdollisimman moneen eri ajoneuvomalliin, joten ajoneuvojen asettamiin tilarajoitteisiin oli perehdyttävä. Tästä syystä selvitettiin, mitkä ovat Suomen, Euroopan ja Yhdysvaltojen yleisimpiä pakettiautot. Suomen yleisimpiä pakettiautoja ovat Volkswagen Transport, Toyota Hiace ja Ford Transit (taulukko 1).

TAULUKKO 1. Suomen yleisimmät pakettiautot (7, linkit Merkit ja mallit ajoneuvoluokittain → Liikennekäytössä olevat henkilö- ja pakettiautot merkeittäin ja malleittain 31.12.2019 (xlsx, 4.36 MB)

Merkki	Malli	Liikenteessä olevien ajoneuvojen määrä (henkilöautoiksi rekisteröidyt / pakettiautoiksi rekisteröidyt)
Volkswagen	Transporter	(2 339 / 48 409)
Toyota	Hiace	(1 257 / 36 905)
Ford	Transit	(1 311 / 25 252)
Mercedes-Benz	Vito	(2 279 / 16 998)
Ford	Transit Custom	(370 / 9 542)
Mercedes-Benz	Sprinter	(2 711 / 7 295)

Euroopan yleisimmät pakettiautot arvioitiin myyntimäärien kautta. Ajoneuvokannan tilastot ovat yleensä maakohtaisia, joten niiden selvittäminen kaikille Euroopan maille olisi ollut turhan työlästä. Euroopan myydyimpiä pakettiautoja vuonna 2016 olivat Ford Transit, Mercedes-Benz Sprinter ja Fiat Ducato (kuva 5).



KUVA 5. Euroopan myydyimmät pakettiautot vuonna 2016 (8)

Yhdysvaltojen yleisimmät pakettiautot arvioitiin myös myyntimäärien kautta. Yhdysvallat ei ole tuotteen päämarkkina-alue, joten tämä tarkkuus nähtiin riittäväksi. Yhdysvaltojen myydyimmät pakettiautot heinäkuussa 2018 olivat puolestaan Ford Transit, Chevrolet Express ja Ford E-Series (9, Commercial Van Sales In America – July 2018 → taulukko Best Selling Commercial Van Rankings).

Ford Transit ja Mercedes-Benz Sprinter ovat suosittuja Suomessa, Euroopassa sekä Yhdysvalloissa. Myös Volkswagen Transporter on suosittu Suomessa ja Euroopassa, joten näiden kolmen pakettiauton tavaratilan sisälevyydet selvitettiin. Arvot on annettu taulukossa 2.

TAULUKKO 2. Pakettiautojen tavaratilan leveyksiä (10, s. 44; 11, dimensions and weight of the Sprinter Panel Van: Standard with standard roof, 3 500 kg, rear-wheel drive; 12, s. 36)

Merkki ja malli	Tavaratilan kokonaisleveys	Leveys pyöränkaarien kohdalla
Ford Transit	1 784 mm	1 392 mm
Mercedes-Benz Sprinter	1 787 mm	1 350 mm
Volkswagen Transporter	1 700 mm	1 244 mm

Yleisimpien peräkärriä leveyksiä ei nähty tarpeelliseksi selvittää tarkasti, sillä alle 120 cm leveät peräkärriä ovat harvinaisia ja yleensä leveydet vaihtelevat välillä 120 - 150 cm. Näiden tietojen pohjalta voitiin kuljetusjärjestelmälle määrittää maksimileveys, jolla järjestelmä on yhteensopiva mahdollisimman monen ajoneuvotyypin kanssa.

Koska järjestelmä on tarkoitettu sekä sisä- että ulkokäyttöön, asettaa se tietyt vaatimukset materiaaleille. Käyttölämpötila-alueeksi määritettiin -30... +50°C, ja materiaalin on kestävä auringon UV-säteilyä haalistumatta. Materiaalin tulee myös olla iskunkestävää ja kestää puhdistaminen painepesurilla.

3.3 Ajoneuvoon asennettavia kalusteita koskevat säännökset ja standardit

Suunnitteluvaatimuksien tarkentamiseksi selvitettiin järjestelmää koskevat säännökset ja standardit. Selvityksessä hyödynnettiin Internetin hakukoneita ja perehdyttiin jo markkinoilla oleviin vastaavan kiinnitystavan omaavien tuotteiden tuotedokumentteihin, vaikka ne eivät olisikaan varsinaisesti kilpailevia tuotteita. Löydetyt järjestelmää koskevat säädökset ja standardit on esitetty luvuissa 3.3.1, 3.3.2 ja 3.3.3.

3.3.1 Liikenneministeriön päätös ajoneuvojen kuormakoreista, kuormaamisesta ja kuorman kiinnittämisestä

Liikenneministeriön määrittelyä soveltaen järjestelmä lasketaan kuormakoriksi ja sen helpon irrotettavuuden vuoksi tarkemmin määriteltynä vaihtokuormakoriksi. Liikenneministeriön päätöksessä kuormakori on määriteltävä kuljetettavan tavarantoimittamiseen tarkoitettuna avonaiseksi tai umpinaiseksi astiaksi, joka on kiinteästi asennettu ajoneuvoon tai helposti irrotettavissa. (13, 2 §.)

Liikenneministeriön päätöksessä vaihtokuormakori on määritelty kuormakoriksi, joka on tarkoitettu erilliseksi varastointi- ja kuljetusyksiköksi. Se ei ole kiinteästi asennettu vaan tarkoitettu vaihdettavaksi kuljetusyksiköksi erilaisiin kuljetusvälineisiin. Se voidaan myös varustaa seisontajaloilla. (13, 2 §.)

3 § Kuormakorin kiinnittäminen ajoneuvoon

Kuormakorin kiinnitykselle ajoneuvoon on asetettu seuraavat kolme vaatimusta: kuormakorin ja ajoneuvon välisen kiinnityksen tulee kestää ilman pysyviä muodonmuutoksia vähintään voimat, jotka saadaan, kun kuormakorin ja kuorman yhteenlaskettuun massaan vaikuttavat (13, 3 §)

1. eteenpäin suuntautuva kiihtyvyys 14 m/s^2
2. sivuilla tai taaksepäin suuntautuva kiihtyvyys 7 m/s^2
3. pystysuuntainen kiihtyvyys 10 m/s^2 .

Säädöksessä on mainittu, että kohdat 2 ja 3 eivät koske vaihtokuormakoreja. Ei ole kuitenkaan täysin varmaa, määritelläänkö järjestelmä kuormakoriksi vai vaihtokuormakoriksi, joten ne päätettiin ottaa huomioon suunnittelussa, sillä vaatimuksien täyttäminen koettiin mahdolliseksi. Vaihtokuormakorien kiinnitykselle ei aseteta muita numeroarvoisia vaatimuksia, mutta päätöksessä mainitaan erikseen, että kiinnikkeiden on oltava luotettavat ja helppokäyttöiset. (13, 3 §.)

8 § Kiinnityspisteiden nimellislujuus

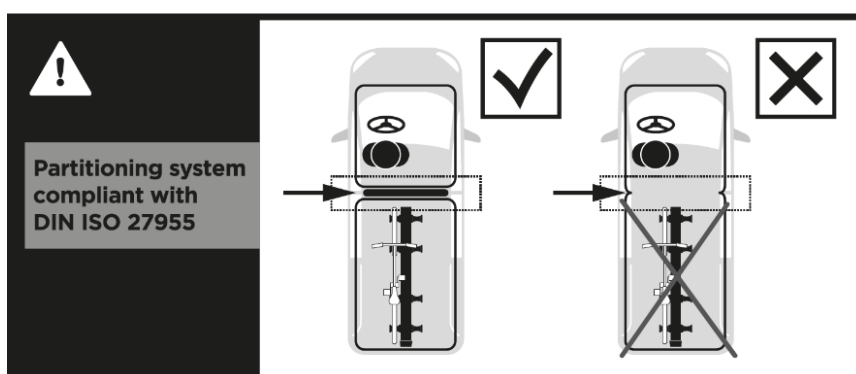
Liikenneministeriön päätöksessä on annettu taulukossa 3 esitetyt arvot kiinnityspisteiden nimellislujuusarvoille. Kiinnityspisteiden on myös kestettävä kuormitus, jonka suuruus on kaksinkertainen niiden nimellislujuuteen nähden. Lisäksi päätöksessä on mainittu, että seinään asennettuun kiinnityspisteeseen kohdistuvan voiman poikkeama seinän tasosta saa olla enintään 30° . (13, 8 §.)

TAULUKKO 3. Kiinnityspisteiden nimellislujuusarvoja (13, 8 §)

Ajoneuvon tai kuormakorin kantavuus	Lattiarakenteessa oleva kiinnityspiste	Umpinaisen kuormakorin seinärakenteessa oleva kiinnityspiste
alle 3,5 t	5 kN	2,5 kN
3,5–6,0 t	10 kN	5,0 kN
yli 6,0 t	20 kN	5,0 kN

3.3.2 DIN ISO 27955

Markkinoilla jo olevien tuotteiden etsinnän yhteydessä löytyi Thulen valmistama Veloslide. Vaikka tuote ei ole kilpaileva tuote, on sen asennustapa samantyylinen suunniteltavaan järjestelmään verrattuna. Thule VeloSliden asennusohjeessa vaatimus DIN ISO 27955:n mukaisesta ohjaamon suojasta on esitetty kuvassa 6 (14, linkit Käyttöopas → Manual_Thule_Veloslide_GR900-04.pdf, s. 4).



KUVA 6. Thule VeloSliden asennusohjeesta löytyvä vaatimus standardin DIN ISO 27955 mukaisesta ohjaamon suojasta (14, linkit Käyttöopas → Manual_Thule_Veloslide_GR900-04.pdf, s. 4)

Standardi DIN ISO 27955 koskee kuorman kiinnittämiseen tarkoitettuja laitteita henkilöautoissa, tila-autoissa ja muissa ajoneuvoissa, joissa istuimet erottavat tavaratilan ohjaamosta. Se määrittää minimivaatimukset ja testit istuimille ja väliseinille, jotta ne suojaisivat matkustajia törmäystilanteessa tavaratilassa liikkuvilta kuormilta. Se asettaa myös minimivaatimukset sidontapisteille henkilöautoissa, tila-autoissa ja muissa ajoneuvoissa, joissa istuimet erottavat tavaratilan ohjaamosta, jotta ajoneuvoissa kuorma olisi mahdollista kiinnittää tavaratilaan turvallisesti. (15, s. 1.)

Standardi DIN ISO 27955 ei koske peräkärriä, mutta liikenneministeriön päätöksestä ajoneuvojen kuormakoreista mainitaan, ettei varsinaisiin ohjaamon suojaa vaadita varsinaisissa perävaunuissa. Vaikka standardi DIN ISO 27955 koskee erityisesti henkilöautoja, sen määrittämät vaatimukset sidontapisteille koskevat myös pakettiautoja ja muita ensisijaisesti kuorman kuljettamiseen suunniteltuja ajoneuvoja. Muut vaatimukset pakettiautoille ja muille ensisijaisesti kuorman kuljettamiseen tarkoitetuille ajoneuvoille määritellään standardissa DIN ISO 27956. (13, 4 §; 15, s. 1.)

3.3.3 DIN ISO 27956

Standardi DIN ISO 27956 määrittää minimivaatimukset ja asettaa testausvaatimukset pakettiauton ja muiden ensisijaisesti kuorman kuljettamiseen tarkoitettujen ajoneuvojen ohjaamon suojallem, jotta ne suojeleisivat matkustajia tavaratilassa olevilta esineiltä törmäystilanteessa. Standardissa on määritetty, miten testaus on suoritettava ja testauksessa käytetty voima tulisi laskea. (16, s. 3 - 5.).

Testauksessa käytettävä voima lasketaan käyttämällä ajoneuvon maksimikuormaa (mP) massana kaavassa 1 (16, s. 5).

$$F = 0,5 \times mP \times g$$

KAAVA 1

g = maan vetovoima (9,81 m/s²)

Kaavalla 1 laskettava voima vaikuttaa vaakatasossa ajoneuvon pituussuunnassa ohjaamon suojaa vasten (16, s. 5).

Standardi DIN ISO 27956 ottaa kantaa myös kiinnityspisteiden sijoitteluun ja kestävyys-teen. Taulukossa 4 esitetyt kestävyysarvot ovat lähellä liikenneministeriön päätöksessä ajoneuvojen kuormakoreista, kuormaamisesta ja kuorman kiinnittämisestä annetuista arvoista (13, 8 §).

TAULUKKO 4. DIN ISO 27956:n määrittelemiä nimellislujuusarvoja (16, s. 9)

Nimellislujuusarvo F(N) [kN]	Ajoneuvon omamassa m(GVM) [t]
$F(N) = \frac{1}{4} mP \cdot g$ mutta $3,5 < F(N) \leq 8,0$	$5 < m(GVM) \leq 7,5$
$FN = \frac{1}{3} \cdot mP \cdot g$ mutta $3,5 < F(N) \leq 5,0$	$2,5 < m(GVM) \leq 5,0$
$F(N) = \frac{1}{2} mP \cdot g$ mutta $3,0 < F(N) \leq 4,0$	$m(GVM) \leq 2,5$
mP on maksimikuorma ja g on maan vetovoiman kiihtyvyyys (9.81 m/s ²)	

Standardissa DIN ISO 27956 mainitaan myös, että käytännössä monissa ajoneuvoissa on nykyään seinillä kiinnityspisteitä, jotka ovat standardin mukaan liian kaukana toisista kiinnityspisteistä. Siksi nämä kiinnityspisteet määritellään ylimääräisiksi kiinnityspisteiksi eikä niitä lasketa kuuluvaksi standardin DIN ISO 27956 alaisuuteen. (16, s. 6.)

3.3.4 Pohdintaa säännöksistä ja standardeista

Luvuissa 3.3.1, 3.3.2 ja 3.3.3 esitettyjen standardeista saadaan lähtöarvot kiinnitysjärjestelmän suunnittelun lähtökohdaksi. Tuotteen asentaminen peräkärriyn ei vaadi kuin pykälän 3 kohdan 1 täyttämisen eli määrittelyn mukaisen eteenpäin suuntautuvan kiihtyvyyden kestämisen. Järjestelmän asentaminen ajoneuvon sisälle puolestaan vaatii kuormakorin yhteydessä olevan ohjaamon suojan. Koska kuljetusjärjestelmän maksimikuormaksi oli asetettu 50 kg, on standardien DIN ISO 27955:n ja DIN ISO 27956:n mukainen ohjaamon suoja enemmän kuin riittävä. Kaavassa 1 ohjaamon suojalta vaadittu kesto on laskettu käyttäen koko ajoneuvon kantavuutta, minkä voidaan olettaa olevan moninkertainen kuljetusjärjestelmän 50 kg:n maksimikuormaan nähden. (13, 3 §.)

Lisäksi järjestelmän asennusohjeeseen on tärkeää liittää vastuunvapauslauseke, jotta järjestelmää markkinoivaa yritystä ei katsota korvausvelvolliseksi asennusvirheestä aiheutuviin henkilö- tai omaisuusvahinkoihin. Thule VeloSliden asennusohjeesta löytyvästä vastuunvapauslausekkeesta lukee (14, linkit Käyttöopas → Manual_Thule_Veloslide_GR900-04.pdf, s. 19):

”1. Thule vetäytyy vastuusta henkilövahingoissa tai välillisesti omaisuudelle tai esineille aiheutuneista vaurioista, jos tuotetta on käytetty tai se on asennettu väärin.

2. Pyöräteline on asennettava huolellisesti ohjeiden mukaan.

3. Tarkista aluksi, että seinä johon pyöräteline kiinnitetään, on riittävän tukeva. Vahvista tarvittaessa.

4. Ajoneuvon kuljettaja on yksin vastuussa siitä, että tuote on virheettömässä kunnossa ja kuorma on kiinnitetty huolellisesti.”

Vastuunvapauslauseke mahdollistaa Thulelta kaiken vastuun kiistämisen. Jos pyöräteline sattuu onnettomuustilanteessa irtoamaan, ei sen pitäisi pystyä vahingoittamaan matkustajia, jos ajoneuvossa on asennettuna standardin DIN ISO 27955:n mukainen ohjaimon suoja. Siinä tapauksessa, että henkilövahinkoja tapahtuu ja asiasta nostetaan oikeuskanne, voi Thule vedota turvallisuusohjeessa mainittuihin pykäliin vastuun kiistämiseksi. Vastaavanlainen vastuunvapauslauseke on syytä lisätä suunniteltavan järjestelmän asennusohjeeseen.

3.4 Vaatimuslista

Esitutkimuksen lopuksi kaikki selvitetty vaatimukset ja asiakkaan toivomukset tiivistettiin yhdeksi vaatimuslistaksi. Vaatimuslista jaettiin kolmeen eri kategoriaan: kiinteisiin vaatimuksiin, vähimmäisvaatimuksiin ja toivomuksiin. Kiinteisiin vaatimuksiin sisällytettiin kaikki vaatimukset, joille pystyttiin antamaan tarkka numeroarvo. Vähimmäisvaatimuksiin puolestaan sisällytettiin vaatimukset, joiden määrittäminen vaati tietyn vaihteluvälin antamisen tai joille pystyttiin määrittämään vain minimi- tai maksimiarvo. Vähimmäisvaatimuksia arvioitiin ja niiden merkitystä arvioitiin asteikoilla 1 - 4:een, missä 4 tarkoittaa ratkaisevaa merkitystä ja 1 vähäistä merkitystä. Toivomukset kategoriaan lisättiin kaikki vaatimukset, jotka nähtiin hyödyllisiksi, mutta eivät ole välttämättömiä sisällyttää järjestelmään. Vaatimuslista luovutettiin tilaajalle.

4 LUONNOSTELU

Ennen varsinaisen luonnostelun aloittamista päätettiin perehtyä käytettäviin muovituotteiden valmistusmenetelmiin, sillä muovituotesuunnittelu eroaa merkittävästi metallirakenteiden suunnittelusta. Näin varmistettiin, että valmistusmenetelmien mahdollisuudet ja rajoitukset osattiin huomioida heti konseptoinnin aloittamisesta lähtien ja päädyttäisiin mahdollisimman kustannustehokkaisiin ratkaisuihin.

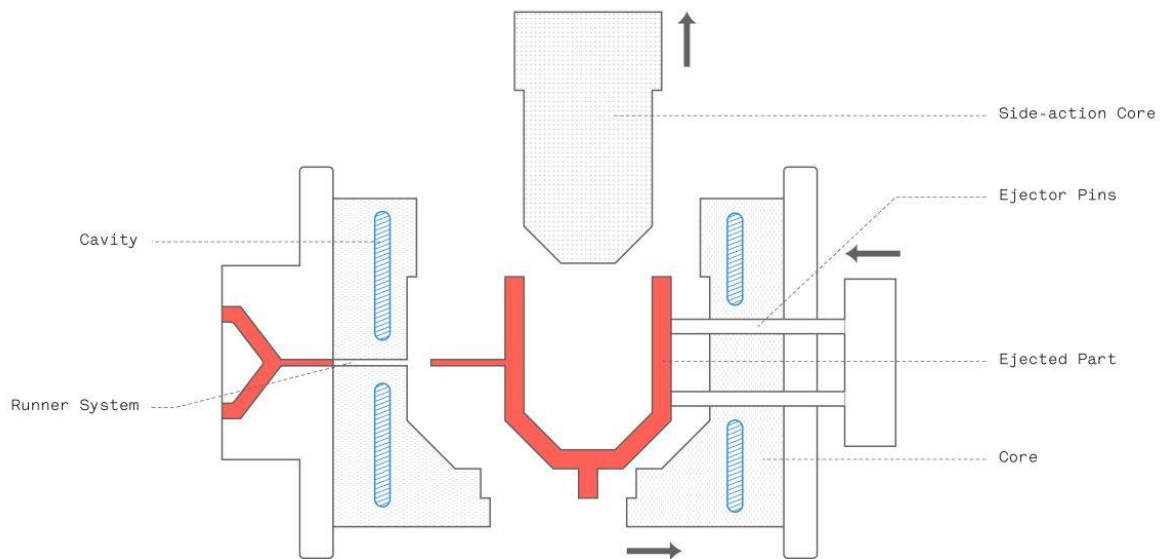
4.1 Muovituotteiden valmistusmenetelmät

Suurikokoisen muovituotteen valmistamiseen soveltuvat erityisesti kaksi valmistusmenetelmää: ruiskuvalu ja rotaatiovalu. Molemmissa on hyvät ja huonot puolensa, mistä syystä järjestelmän valmistuskustannukset molemmilla menetelmillä päätettiin selvittää ennen lopullisen valmistusmenetelmän valitsemista.

4.1.1 Ruiskuvalu

Ruiskuvalu on erityisesti kestopuovituotteiden valmistusmenetelmä, jossa juoksevaksi kuumennettu muovimassa ruiskutetaan lopputuotteen muodon määräävään muottiin. Ruiskuvalu valmistusmenetelmänä eroaa merkittävästi esimerkiksi 3D-tulostuksesta ja CNC-koneistuksesta. 3D-tulostus on materiaalia lisäävä, kun taas CNC-koneistus on materiaalia poistava valmistusmenetelmä. Ruiskuvalussa sulan muovin virtaus ja kovettuminen asettavatkin tietyt rajoitteet kappaleen suunnittelulle. Ruiskuvalu on erittäin yleinen muovien valmistusmenetelmä, sillä ruiskuvalamalla on mahdollista valmistaa suuria määriä identtisiä osia erittäin edulliseen kappalehintaan. Ruiskuvalun huonona puolena ovat tuotannon korkeat aloituskustannukset, sillä ruiskuvalumuotin valmistus voi maksaa 3 000 - 100 000 \$. Tästä syystä tuotteita on valmistettava paljon, jotta ruiskuvalutuotanto olisi ekonomisesti kannattavaa. (17, s. 3; 18, s. 5.)

Kaikista yksinkertaisin ruiskuvalumuotti koostuu kahdesta osasta: sulkupuolen ja ruiskutuspuolen muottipuoliskosta (englanniksi core ja cavity). Erilaisilla keernatoiminnoilla (englanniksi side-action-core) on mahdollista tuottaa muotoja, jotka eivät ole mahdollisia pelkästään kaksiosaisella muotilla. Keernatoimintoja on suositeltavaa käyttää mahdollisimman vähän tai välttää kokonaan, sillä ne monimutkaistavat muotin rakennetta ja voivat lisätä muotin valmistuskustannuksia 15 - 30 %:lla (kuva 7). (18, s. 19.)



KUVA 7. Ruiskuvaluoson rakenne (18, s. 8)

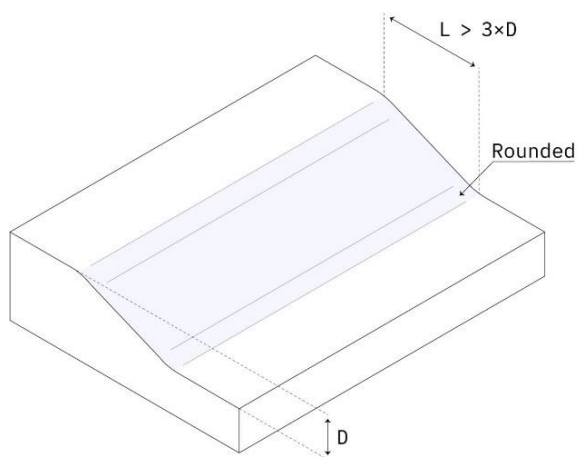
4.1.2 Ruiskuvaluosan suunnitteluperusteita

Seinämävahvuus

Suosittelua seinämävahvuus ruiskuvaluosalle on 1 - 3 mm. Ruiskuvaluosaa suunnitellessa on syytä käyttää pienintä mahdollista seinämävahvuutta, sillä suurempi seinämävahvuus hidastaa muovin jäähtymistä. Tämä puolestaan lisää osan taipumusta vääntyillä ja kasvattaa riskiä erilaisille pinnanlaadun virheille. Jos osan tietyistä kohdista on tehtävä suositeltua paksummat, kannattaa niistä tehdä ontot ja lisätä vahvikeripoja tukevuuden lisäämiseksi. Lisäksi on hyvä pitää mielessä, että 10 %:n seinämävahvuuden lisääminen jäykistää rakennetta noin 30 %:lla. (18, s. 17.)

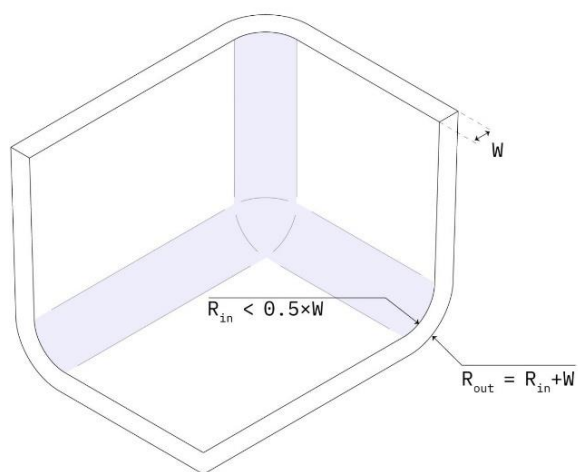
Seinämävahvuuden muutokset ja kulmien pyöritykset

Jos eri seinämävahvuuksia on käytettävä, on näiden rajapinnan muutoksesta syytä tehdä mahdollisimman sulava pyörityksillä. Tämä koskee myös vertikaalisia rakenteita, esimerkiksi vahvikeripoja. Siirtymän olisi syytä kasvaa matkalla, joka on vähintään kolminkertainen seinämäpaksuuden eroon nähden (kuva 8). (18, s. 17.)



KUVA 8. Siirtymä eri seinämävahvuuksien rajapinnassa (18, s. 17)

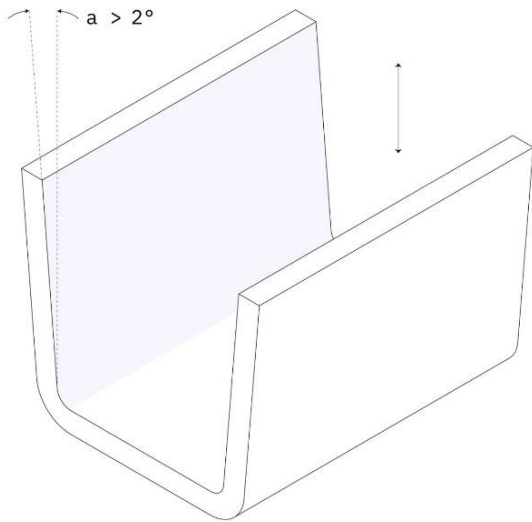
Kulmien pyöristykseen on myös syytä kiinnittää huomiota. Sisäpuolisten kulmien pyöristysten tulisi olla vähintään puolet seinämävahvuudesta ja ulkoisten kulmien sisäpuolisen pyöristysten ja seinämävahvuuden summan suuruinen. On suositeltavaa käyttää mahdollisimman suurta pyöristyssädettä kaikkialla (kuva 9). (18, s. 17.)



KUVA 9. Kulmien pyöristykset ruiskuvalukappaleessa (18, s. 17)

Päästökulmat

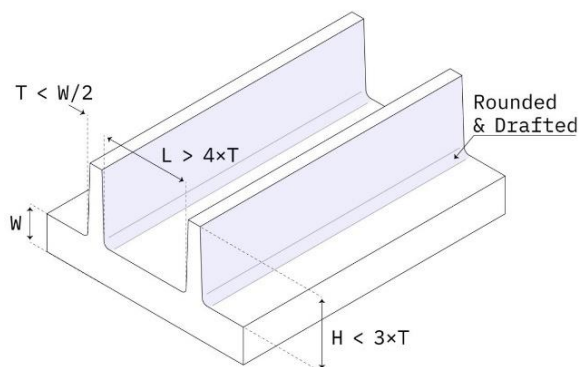
Osan muotista irtoamisen helpottamiseksi ja hankaamisesta aiheutuvien pinnanlaadun virheiden välttämiseksi on osaan lisättävä päästökulmat kaikille muotin aukeamissuuntaisille pinnoille. Suositeltu minimi on 2° (kuva 10). (18, s. 18.)



KUVA 10. Ruiskuvalukappaleen päästökulmat (18, s. 18)

Tukirakenteet

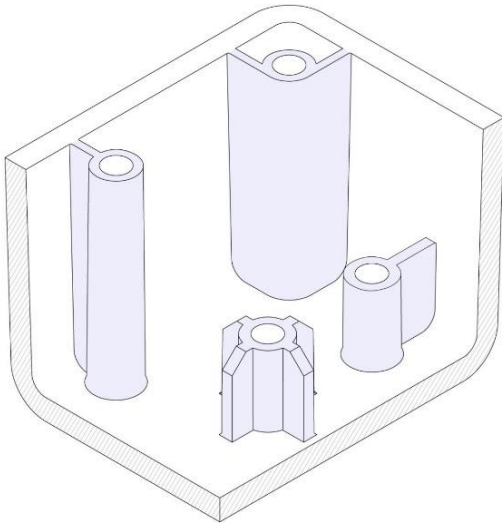
Tukirakenteiden käyttö on perusteltua, kun suositeltu maksimiseinämävahvuus ei riitä osalta vaadittujen kestävyysominaisuuksien täyttämiseen. Tukia lisätessä niiden paksuuden tulisi olla puolet osan seinämävahvuudesta ja korkeuden maksimissaan kolme kertaa niiden paksuuden arvo. Tukien juureen on syytä lisätä pyöristys, joka on yli neljäsosan rivan paksuudesta. Päästökulman tulisi olla 0,25 - 0,5°. Lisäksi tukien etäisyys osan seinistä ja toisista tulisi olla vähintään nelinkertainen niiden paksuuteen nähden (kuva 11). (18, s. 20.)



KUVA 11. Ruiskuvaluosan tukirakenne (18, s. 20)

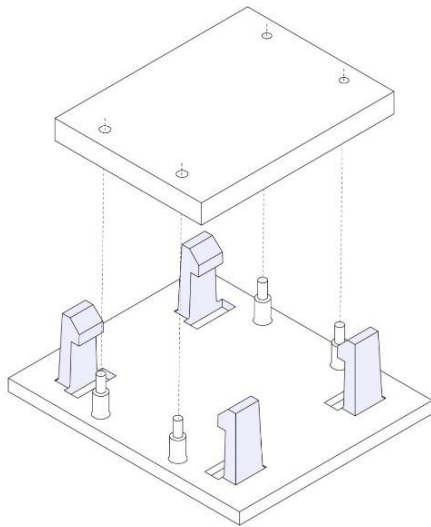
Kiinnityspisteet ja napsahdusliitokset

Muovi- ja metalliosien kiinnittäminen toisiinsa on helpointa toteuttaa ruuveilla tai pulteilla ja puristemutterilla. Ruuvia ja puristemutteria varten kannattaa muoviin integroida kiinnityspiste, joka voidaan ajatella pyöreänä tukirakenteena. Niitä ei suositella suunniteltavaksi suoraan kappaleen ulkopintoihin kiinnittyviksi, vaan ne kannattaa pitää erillään ja tukea tukirakenteilla ulkopintoihin (kuva 12). (18, s. 20.)



KUVA 12. Ruiskuvaluosaan integroituja kiinnityspisteitä (18, s. 20)

Muoviosien liittäminen toisiinsa on kuitenkin kustannustehokkainta toteuttaa napsahdusliitoksilla, sillä ruuvit ja pultit ovat erillisiä osia, mitkä lisäävät kokonaiskustannuksia. Napsahdusliitokset ovat puolestaan suoraan integroituja materiaaliin ja hyödyntävät muovien luontaista elastisuutta, joten ne eivät merkittävästi lisää lopullisen tuotteen kustannuksia (kuva 13). (18, s. 20.)

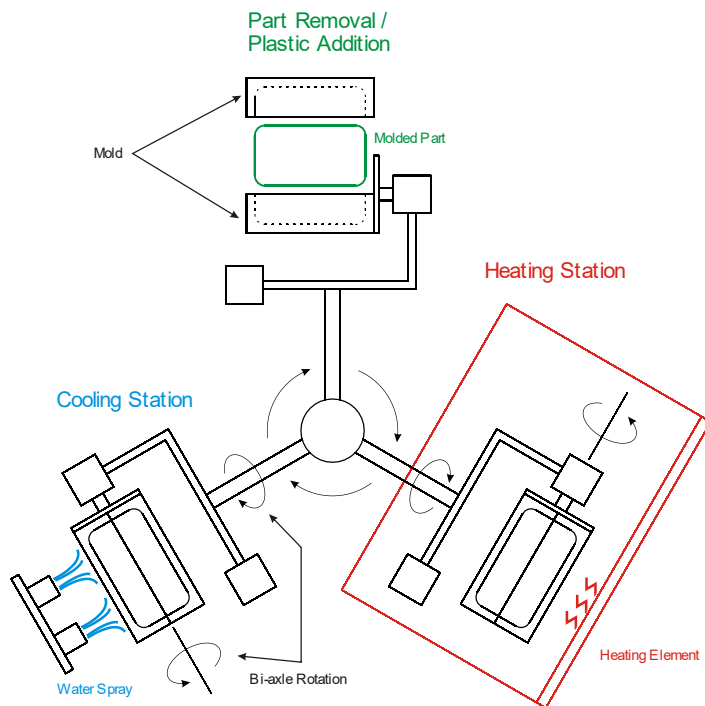


KUVA 13. Ruiskuvaluosaan integroituja napsahdusliitoksia (18, s. 20)

Napsahdusliitoksia suunnitellessa niiden sivupintoihin on syytä lisätä viisteet ja paksuutena suositellaan käytettäväksi noin puolta varsinaisen osan seinämävahvuuden arvosta. Voiman ja taipuman suuruutta hallitaan napsahdusliitoksen geometrialla, sillä syvyyden lisääminen lisää taipuma ja koko rakenteen leventäminen puristavaa voimaa. Suurin haaste on napsahdusliitosten integroiminen muottiin siten, että muotti on edelleen mahdollista irrottaa ruiskuvalutusta osasta. Ratkaisut ovat niin tapauskohtaisia, ettei niihin voida antaa suoraa vastausta. (18, s. 20.)

4.1.3 Rotaatiovalu

Rotaatiovalu eroaa merkittävästi ruiskuvalusta valmistusmenetelmänä. Toisin kuin ruiskuvalussa, rotaatiovalussa pulverimainen tai nestemäinen raaka-aine syötetään muottiin ja muottia aletaan pyörittää, tästä nimitys rotaatiovalu. Muottia lämmitetään, mikä saa muovin sulamaan ja painumaan keskipakoisvoiman seurauksena muotin ulkolaidoille. Muotin jäähtyttyä voidaan osa poistaa ja prosessi aloittaa alusta (kuva 14). (19, s. 125.)



KUVA 14. Rotaatiovaluprosessi (20, Rotational molding process)

Rotaatiovalumuotti on huomattavasti edullisempi valmistaa kuin ruiskuvalumuotti. Tämä johtuu siitä, että ruiskuvalumuotin on kestävä jopa satojen MPa:n paine ruiskuvaluprosessin aikana, kun taas rotaatiovaluprosessi tapahtuu lähes normaalissa ilmanpaineessa. Rotaatiovalumuotin seinämävahvuus vaihtelee muutamasta millimetristä kymmeneen millimetriin, kun taas ruiskuvalumuotin seinämävahvuus voi vaihdella senttimetreistä aina puoleen metriin asti. (19, s. 126.)

Rotaatiovalun etuja ovat sen soveltuvuus myös pienille sarjoille halvempien muottikustannusten takia. Se soveltuvuus myös hyvin suurien kappaleiden valmistamiseen ja lähes kaikki muodot ovat mahdollisia toteuttaa. Lisäksi sillä saavutetaan tasapaksu seinämävahvuus eikä osassa ole jännityksiä tai yhtymäsaumoja. (19, s. 126.)

Rotaatiovalun huonoiksi puoliksi voidaan laskea se, ettei kapeiden tuotteiden ja syvien syvennyksien tai ulkonemien valmistaminen ole mahdollista. Osan vastakkaiset sivut eivät saa myöskään olla liian lähellä toisiaan. Luonnollisesti myös rotaatiovaluosa vaatii pyöristysten käyttämistä kulmissa eli teräväsärmäisten osien valmistus ei ole mahdollista. (19, s. 126.)

4.2 Konseptointi

Valmistusmenetelmiin perehtymisen jälkeen esitutkimuksen pohjalta luotiin kiinnitysjärjestelmästä ja kuljetusjärjestelmästä konsepteja. 3D-mallit tehtiin Solidworks 2018 CAD -ohjelmistolla.

4.2.1 Kiinnitysjärjestelmä

Suunniteltu kiinnitysjärjestelmä suunniteltiin erityisesti ajoneuvokäyttöä varten. Sen suunnitteluperusteina käytettiin erityisesti esitutkimuksen aikana selvitettyjen lakien ja standardien asettamia vaatimuksia. Lisäksi kiinnityksen haluttiin olevan helppo ja nopea käyttää, mikä asetti omat vaatimuksensa kiinnitysjärjestelmän suunnittelulle. Näiden vaatimusten täyttäminen oli mahdollisesti usealla erityyppisellä ratkaisulla, joten kiinnitysjärjestelmästä luotiin useita erilaisia konsepteja, jotta niiden hyviä ja huonoja puoli olisi helppo arvioida.

Konseptimallien luominen mahdollisti ratkaisujen arvioimisen kokonaisuutena. Osa ratkaisuista hylättiin esimerkiksi niiden liian suuren koon, hankalan valmistettavuuden tai monimutkaisen rakenteen takia. Lopulta jäljelle jäi kaksi erilaista ratkaisua, mitkä molemmat nähtiin toimivina ratkaisuina. Suurin eroavaisuus niiden välillä oli kiinnitystapa, mihin perehdyttiin tarkemmin.

Kiinnitystapa

Kiinnitysjärjestelmän kiinnityspisteiden muoto mahdollistaa lisävarusteiden kiinnittämisen joko niiden ulko- tai sisäpintoihin. Molemmissa kiinnitystavoissa suurin haaste oli riittävän puristusvoiman tuottaminen, jotta kiinnitysjärjestelmä tuottaisi riittävän suuren kitkavoiman säännösten asettamien vaatimusten täyttämiseksi.

Erytisesti lisävarusteiden kiinnittäminen kiinnitysjärjestelmän kiinnityspisteiden ulkopintoihin vaatisi suuren puristusvoiman, jotta se kestäisi liikenneministeriön päätöksessä ajoneuvojen kuormakoreista, kuormaamisesta ja kuorman kiinnittämisestä määrän pysty-suunnassa vaikuttavan voiman. Voima lasketaan sen perusteella, kumpi seuraavista voimista on suurempi: kuormakorin ja kuorman yhteenlaskettuun massaan vaikuttava voima, jonka suuruus vastaa vähintään kiihtyvyyttä 10 m/s^2 , tai voima, joka muodostuu,

kun sama kiihtyvyys kohdistuu ajoneuvon alustan massaan. Toisin sanoen kiinnitysjärjestelmän tulisi kestää tilanne, jossa kokonaisuus käännetään ylösalaisin. (13, 3 §.)

Paremmän käsityksen saamiseksi päätettiin tarvittavan puristusvoiman suuruus laskea tilanteessa, jossa kiinnitysjärjestelmällä kiinnitettyyn kuormaan kohdistuu 10 m/s^2 :n suuruisen pystysuuntainen kiihtyvyys. Kiinnitysjärjestelmään kohdistuvaa voimaa arvioitiin kuormakorin ja kuorman kokonaismassan kautta.

Kiinnitysjärjestelmän ja kuorman kokonaismassaksi arvioitiin 60 kg . Painovoiman aiheuttama voima $F(\text{kuorma})$ voidaan laskea Newtonin toisen lain avulla kaavalla 2 (21, s. 168).

$$F = ma$$

KAAVA 2

F = voiman suuruus (N)

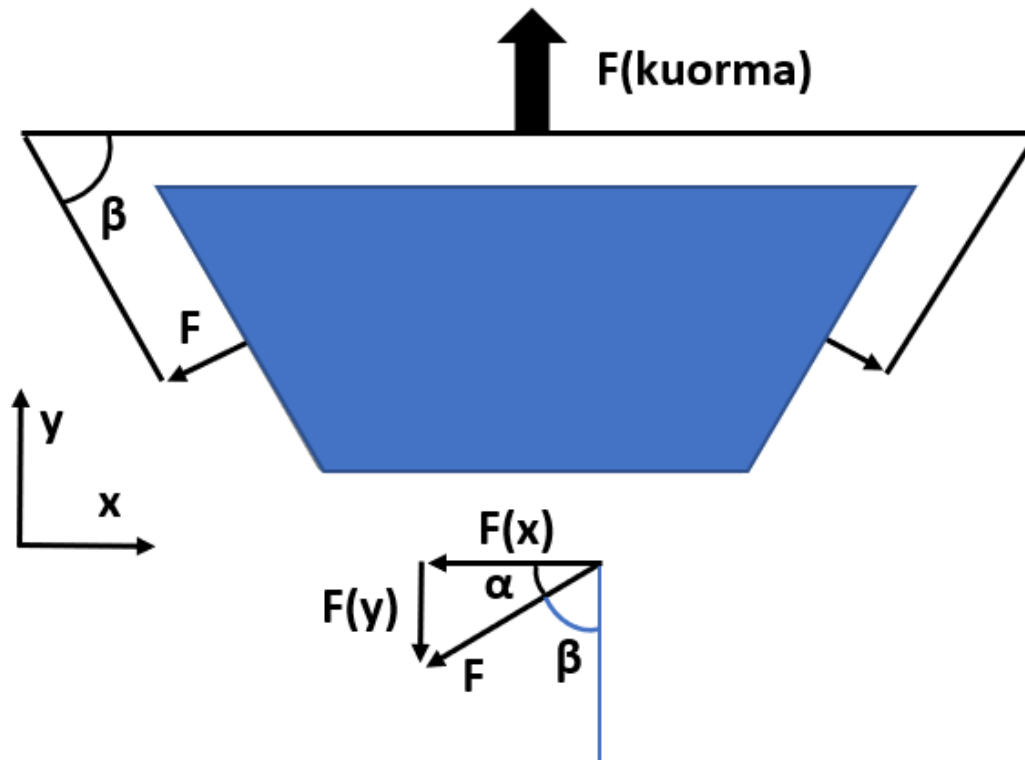
m = massa (kg)

a = kiihtyvyys (m/s^2)

Sijoittamalla kaavaan 2 massan paikalle 60 kg ja kiihtyvyyden paikalle 10 m/s^2 saadaan voimaksi $F(\text{kuorma})$

$$F(\text{kuorma}) = 60 \text{ kg} \times 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 600 \text{ N}.$$

Voima $F(\text{kuorma})$ kohdistuu kiinnitysjärjestelmän kahteen pisteeseen eli yhteen pisteeseen kohdistuvan voiman suuruuden voidaan arvioida olevan puolet tästä voimasta eli 300 N . Kiinnitystilanteen hahmottamisen helpottamiseksi piirrettiin yksinkertaistettu kuva kiinnitystilanteesta ja jaettiin voimat niiden x- ja y-suuntaisiin komponentteihin komponenttilain mukaisesti. Kiinnitysjärjestelmä kiinnittyy kiinnityspisteeseen symmetrisesti kahdesta pisteestä eli voiman $F(\text{kuorma})$ voidaan olettaa jakaantuvan tasaisesti kiinnityspisteille. Siksi kuvassa 15 esitetyn voiman $F(y)$ suuruudeksi voidaan olettaa puolet voimasta $F(\text{kuorma})$ eli 150 N . Jos sivut ovat esimerkiksi 60° kulmassa vaakatasoon nähden (kuvassa 15 kulma β), saadaan kuvassa kulmaksi $\alpha 30^\circ$ (kuva 15). (21, s. 160.)



KUVA 15. Yksinkertaistettu kuva kiinnitystilanteesta ja kiinnikkeisiin kohdistuvista voimista (21, s. 160)

Voiman $F(y)$ suuruus ja kulma α tiedetään, joten myös komponenttiesityksen muut kulmat voidaan laskea. Voima F saadaan kaavalla 3 (21, s. 160).

$$F(y) = F \times \sin \alpha$$

KAAVA 3

$F(y)$ = voiman F y -suuntainen komponentti (N)

F = voiman suuruus (N)

$\sin \alpha$ = sini, kulman α viereinen kateetti

Jakamalla yhtälö $\sin \alpha$:lla ja sijoittamalla yhtälöön $F(y) = 150 \text{ N}$ ja kulman arvoksi $\alpha = 30^\circ$ saadaan

$$F = \frac{F(y)}{\sin \alpha} = \frac{150 \text{ N}}{\sin 30^\circ} = 300 \text{ N}.$$

Voiman F ollessa tiedossa voidaan laskea voiman x -suuntaisen komponentin suuruus kaavalla 4 (21, s. 160).

$$F(x) = F \times \cos \alpha$$

KAAVA 4

$F(x)$ = voiman F x -suuntainen komponentti (N)

F = voiman suuruus (N)

$\cos \alpha$ = kosini, kulman α vastainen kateetti

Sijoittamalla kaavaan 4 voiman F arvo 300 N ja kulman arvoksi $\alpha = 30^\circ$ saadaan

$$F(x) = 600N \times \cos 30^\circ \approx 259,808 N.$$

Alustavien laskelmien perusteella pystyttiin toteamaan, että salpatyyppisellä ratkaisulla ja riittävällä mekaanisella edulla olisi mahdollista päästä riittäviin puristusvoiman arvoihin. Pelkästään näiden vaatimusten perusteella kiinnitystapaa ei voitu valita.

L-Track yhteensopivuus

Esitutkimuksen aikana selvisi, että L-Track-kiskojärjestelmä on yleisin pakettiautoihin, peräkärryihin ja lava-autoihin asennettava kiskojärjestelmä. Työn tilaajan kanssa käydyssä palaverissa tultiin siihen lopputulokseen, että asiakas, joka on jo asentanut L-Track-kiskon ajoneuvoonsa, ei todennäköisesti halua vaihtaa eri kiinnitysjärjestelmään. Kyseisten asiakkaiden kuuluessa järjestelmän kohderyhmään, päätettiin kiinnitysjärjestelmästä tehdä yhteensopiva myös L-Track-kiskon kanssa.

Vaatus L-Track yhteensopivuudesta aiheutti sen, että ainoastaan kiinnityksessä kiinnityspisteiden sisäpintaa hyödyntävä konsepti oli mahdollista muokata yhteensopivaksi L-Track-kiskon kanssa erillisellä adapterilla. Näin saatiin valittua lopullinen konsepti, jota alettiin jatkokehittämään.

4.2.2 Kuljetusjärjestelmä

Kuljetusjärjestelmän suunnittelu aloitettiin jo opinnäytetyön alkuvaiheessa ja siitä tehtiin useita erilaisia konsepteja sen aikana. Sen suunnitteluun vaikuttivat erityisesti esitutkimuksen aikana selvitettyt lait ja säädökset ja ajoneuvokohtaiset tilarajoitteet. Lisäksi suunnittelussa oli huomioitava kaikki järjestelmään sisältyvät komponentit ja varattava niille riittävästi tilaa lopulliseen konseptiin integroitavaksi.

Kuljetusjärjestelmä valmistetaan enimmäkseen muovista ja sen suunnittelussa hyödynnettiin aiemmassa luvussa esiteltyjä ruiskuvalamalla valmistettavan muovituotteen suunnitteluohjeita. Osasta kuljetusjärjestelmän komponenteista suunniteltiin kaksi eri versiota järjestelmän eri käyttötarkoituksiin.

Järjestelmästä pyrittiin suunnittelemaan mahdollisimman edullinen valmistaa. Joidenkin asetettujen vaatimusten täyttäminen vaati rakenteen vahvistamista tai kokonaan uusien ominaisuuksien lisäämistä. Ominaisuuksien vaatimista ratkaisuista saatiin toimivia, mutta niiden tiedettiin lisäävän valmistuskustannuksia. Jatkokehitystä ajatellen näiden vaatimusten läpikäyminen ja tarpeellisuuden selvittäminen on syytä selvittää.

Aikataulurajoitteiden takia kuljetusjärjestelmän suunnittelussa hyödynnettiin joitain ostettavia valmiskomponentteja. Nämä valmiskomponentit toimivat käyttötarkoituksessaan, mutta ne eivät ole kustannustehokkain ratkaisu. Jatkokehityksen kannalta ne kannattaisi integroida osaksi kuljetusjärjestelmään, koska riittävän suurella myyntimäärällä osien valmistaminen itse on todennäköisesti edullisempaa kuin valmiskomponenttien ostaminen.

5 KEHITTÄMINEN

5.1 Materiaalien valinta

Eniten järjestelmän muovimateriaalin valintaan vaikuttivat seuraavat vaatimuslistaan lisätyt vaatimukset:

- käyttölämpötila: $-30 \dots +50^{\circ}\text{C}$
- hyvä iskunkestävyys ja UV-säteilyn kesto
- edullisuus.

Materiaalin valinnassa kuljetusjärjestelmälle hyödynnettiin UL:n muovintunnistusohjelman (englanniksi UL's Plastic recognition program (Yellow Card)) tietokantaa. Se on kansainvälisesti tunnettu turvallisuuden ja laadun takaus, jonka saamiseksi materiaalin on täytettävä tietyt vaatimukset. (22.)

Tietokannassa ulkokäyttöön soveltuville materiaaleille on annettu merkintä f1 tai f2. Testauksessa materiaalista otetut näytteet altistetaan esimerkiksi UV-säteilylle xenon-testikammiossa (englanniksi xenon-arc weatherometer) 1 000 tunnin ajan. Näytteet testataan ennen altistusta ja sen jälkeen, jotta muutokset leimahduserkkyydessä, mekaanisessa ja iskunkestävyydessä tulisivat ilmi. Merkintä f1 tarkoittaa, että materiaali on läpäissyt testauksen. (23.)

Etsittäväksi materiaaliksi valittiin polyeteeni eli PE, koska se on maailman käytetyin muovin polymeerinen raaka-aine ja siten hyvin saatavilla. Se on lisäksi yksi edullisimmista polymeereistä. UL:n tietokannasta etsittäessä löytyi useita PE-muovityyppejä, joille on annettu f1 merkintä. Suurin osa löydetyistä muovityypeistä olivat HD-PE-tyyppiä eli korkeatiheyksinen polyeteeniä (englanniksi High Density Polyethylene). HD-PE:n mekaaniset ominaisuudet ovat hyvät ja se säilyy iskunkestävänä kylmissäkin lämpötiloissa, joten kuljetusjärjestelmän materiaaliksi valittiin HD-PE. (24, PE-HD; 25, linkit UL Yellow Card Search → Generic → Category: Polyethylene (PE) → Electrical & Thermal → Outdoor Suitability: f1.)

Kiinnitysjärjestelmän materiaaleiksi valittiin alumiini EN AW-5754 ja akselin ja ruostumaton teräs AISI 304. Nämä materiaalit valittiin, koska niiden mekaaniset ominaisuudet sopivat käyttötarkoitukseen, asiakkaalla on niiden käyttämisestä aiempaa kokemusta ja ne ovat hyvin saatavilla.

Materiaalien valinnan jälkeen Solidworks 2018 antoi kuljetusjärjestelmän massaksi noin 12,5 kg eli kuormattuna 62,5 kg. Tätä tarkempaa massaa käytettiin voimien laskemisessa FEM-analyysijä ja lujuuslaskentaa varten.

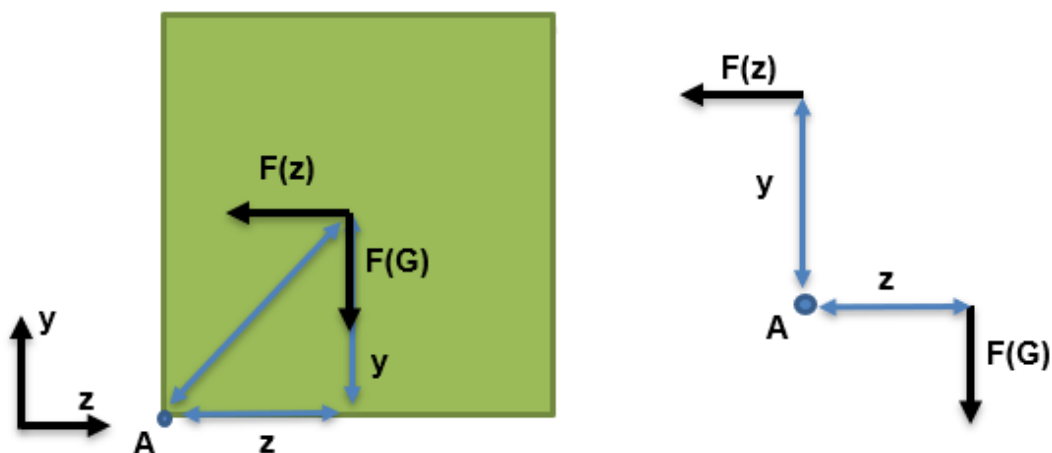
5.2 Voimien määrittäminen

Järjestelmään vaikuttavat voimat on saatu liikenneministeriön päätöksestä ajoneuvojen kuormakoreista, kuormaamisesta ja kuorman kiinnittämisestä, pykälän 3 kohdista 1, 2 ja 3. Puhekielisten merkintöjen, kuten sanojen eteenpäin, sivulle, pystysuunnassa poistamiseksi merkitään kiihtyvyyksien suunnat x-, y-, z-koordinaatiston mukaisesti ja lasketaan voiman suuruus kaavalla 2, kun massa on 62,5 kg. Lisäksi lasketaan painovoiman aiheuttama voima, kun kiihtyvyys on $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ (taulukko 5). (13, 3 §.)

TAULUKKO 5. Järjestelmään vaikuttavat voimat

Kiihtyvyyden suunta	Kiihtyvyyden suuruus	Resultantti voima
x-akseli	14 m/s ²	F(x) = 875 N
y-akseli	10 m/s ²	F(y) = 625 N
z-akseli	7 m/s ²	F(z) = 437,5 N
y-akseli (painovoima)	9,81 m/s ²	F(G) = 613,125 N

Oletetaan kuljetusjärjestelmän ja kuorman yhteisen painopisteen sijaitsevan keskellä noin 300 mm:n korkeudella. Voimat vaikuttavat tähän pisteeseen. Oletetaan laskuja varten, että kokonaisuus ei lähde liukumaan, vaan ottaa kiinni esimerkiksi matalaan kynnykseen pisteessä A. YZ-tasolla tarkasteltuna voima F(z) pyrkii kaatamaan kuljetusjärjestelmän pisteen A ympäri varrella y = 300 mm, kun taas kokonaismassaan kohdistuva painovoima F(G) pyrkii pitämään kuljetusjärjestelmän maassa varrella z = 265 mm (kuva 16).



KUVA 16. Voimat ja niiden vaikutusvarret YZ-tasolla

Molemmista voimista syntyy momentti pisteen A ympäri. Tiedetään, että momentin suuruus saadaan, kun voima kerrotaan sen varrella kaavan 5 mukaisesti (21, s. 175).

$$M = F \times l$$

KAAVA 5

M = momentti (Nm)

F = voima (N)

l = varren pituus (m)

Kaavalla 5 laskettuna saadaan $M[F(z)] = 131,25 \text{ Nm}$ ja $M[F(G)] = 162,48 \text{ Nm}$. Koska painovoiman aiheuttama momentti on suurempi kuin voiman aiheuttama, ei voima $F(z)$ riitä kaatamaan kuljetusjärjestelmää. Toisin sanoen, voiman $F(z)$ aiheuttama momentti ei merkittävästi kuormita kiinnitysjärjestelmää, vaan voima $F(z)$ on suurin kokonaisuuteen kohdistuva z-akselin suuntainen voima.

XY-tasolla tarkasteltuna kokonaisuus on leveämpi kuin YZ-tasosta tarkasteltuna, joten painovoimalle muodostuu pidempi varsi \rightarrow painovoiman aiheuttama momentti kasvaa, kun voiman varsi pysyy samana. Tästä syystä momenttitarkastelua ei nähty tarpeelliseksi XY-tasolla, vaan voimat $F(x)$ ja $F(y)$ voidaan olettaa suurimmiksi järjestelmään kohdistuviksi z ja y -suuntaisiksi voimiksi.

5.3 FEM-analyysit ja lujuuslaskenta

Fem-analyysit toteutettiin Solidworks 2018 CAD -mallinnusohjelmalla. FEM-analyysien laskeminen kokoonpanotasolla osoittautui liian raskaaksi käytössä olleelle tietokoneelle, joten FEM-laskenta suoritettiin osatasolla tai pienemmissä kokoonpanoissa.

FEM-analyyseissä käytettiin HD-PE:n myötörajana Solidworksiin sisältyvän materiaalikirjastoon merkittyä arvoa ja alumiinille ja ruostumattomalle teräkselle arvot haettiin Matwebistä. Nämä arvot on esitetty taulukossa 6.

TAULUKKO 6. Materiaalien myötörajoja (26, haku Quick Search → 5754-H26; 26, haku Quick Search → AISI 304 1/8 hard)

Materiaali	HD-PE	AW-5754-H26	AISI 304 (UNS S30400) 1/8 hard
Myötöraja R(e)	22,1 MPa	245,0 MPa	380 MPa

Varmuusluvaksi oli tilaajan toimesta määritetty kaksi. Varmuusluku määritellään kriittisen voiman ja sallitun voiman suhdelukuna, mutta se monesti esitetään materiaalin myötörajan ja sallitun jännityksen suhdelukuna kaavan 6 mukaisesti (27, s. 9).

$$n = \frac{F_{kr}}{F_{sall}} \rightarrow \frac{R_e}{\sigma_{sall}}$$

KAAVA 6

n = varmuusluku

$F(kr)$ = kriittinen voima (N)

$F(sall)$ = sallittu voima (N)

$R(e)$ = materiaalin myötöraja (MPa)

$\sigma(sall)$ = sallittu jännitys (MPa)

Kaavaa 7:n hyödyntäen, voidaan laskea materiaalien suurin sallittu jännitys, kun niiden myötöraja jaetaan varmuusluvulla kaksi. Arvot on esitetty taulukossa 7.

TAULUKKO 7. Materiaalien sallitut jännitykset

Materiaali	HD-PE	AW-5754	AISI 304
Sallittu jännitys [$\sigma(sall)$]	11,05 MPa	122,5 MPa	190 MPa

5.3.1 Kuljetus- ja kiinnitysjärjestelmän FEM-analyysit

Kuljetus- ja kiinnitysjärjestelmä koostuvat useista osista ja pienemmistä kokonaisuuksista, joiden kaikkien kestävyudet selvitettiin FEM-analyyseillä. Niiden tulokset luovutettiin tilaajalle, joten kaikkien tehtyjen analyysien mainitsemista erikseen ei nähty tarpeelliseksi. Perusteluna tälle on se, että pelkkien analyysien tilanteiden selittäminen ja parametrien listaaminen tarkasti ei juurikaan tuo lisäarvoa raportin sisällölle, sillä ilman tulosten esittelyä niiden konteksti jää vajaaksi ja hankalaksi hahmottaa. Tästä syystä tässä raportissa on annettu ainoastaan yksi esimerkki, miten FEM-analyysien tilanne ja parametrit esitettiin taulukkomuodossa tilaajan raportissa.

Kaikkia Solidworksin sisäisiä termejä ei nähty tarpeelliseksi kääntää suomeksi, sillä kaikille niille ei ole olemassa ns. virallisia käännöksiä, vaan niistä käytetään niiden englanninkielisiä nimityksiä. Taulukossa 8 on selitetty kuljetusjärjestelmän staattisen FEM-analyysin tilanne ja listattu parametrit.

TAULUKKO 8. Kuljetusjärjestelmän yläosan FEM-analyysin parametrit

Analyysin tiedot	Staattinen lujuustarkastelu kuljetusjärjestelmän kahdelle eri versiolle. "Large displacement"-optio käytössä.
Voima(t)	Tasaisesti jakautunut voima $F(G) = 613,125 \text{ N}$ kohdistuu alaspäin y-akselin suuntaisesti kuljetusjärjestelmän yläpintaan Solidworksin "Split-line"-työkalulla tehtyihin järjestelmän pohjapinta-alaa vastaaviin alueisiin.
Kiinnitys (fixtures)	"Roller/Slider"-kiinnitys osien välillä ja yhden sivun kulma lukitty XZ-tasolla.
Verkotuksen parametrit (mesh parameters)	Blended curvature-based mesh. Maksimi elementtikoko noin 40 mm ja pienin noin 6 mm. Muita parametrejä ei säädetty.

5.3.2 Kuljetusjärjestelmän akselin napsahdusliitosten mitoitus

Napsahdusliitoksen suunnittelussa hyödynnettiin Bayer Materialsciencen julkaisemaa napsahdusliitosten suunnitteluohjetta. Ensin selvitettiin, kuinka paljon napsahdusliitoksen kestää taipua, tai toisin sanoen kuinka korkea liitoksen ”koukku” voi olla. Taulukossa (28, s. 9) suunnitellun napsahdusliitoksen muoto vastaa taulukossa muotoa A (englanniksi shape of the cross section) ja tyyppiä 2 (englanniksi type of design). Sallittu taipuma voidaan laskea kaavalla 7. (28, s. 9.)

$$y = 1,09 \times \frac{\varepsilon \times l^2}{h} \quad \text{KAAVA 7}$$

y = sallittu taipuma (mm)

ε = sallittu venymä (englanniksi ”strain”)

l = napsahdusliitoksen korkeus (mm)

h = napsahdusliitoksen paksuus juuressa (mm)

HD-PE:n sallittu venymä on noin 6 - 8 % (29, s.17). Varmuuden vuoksi käytettiin 6 %:n venymää eli laskuissa 0,06.

Napsahdusliitoksen korkeus ja paksuus juuressa on tilarajoitteiden jälkeen selvitettävä kokeilemalla. Tilarajoitteen takia napsahdusliitoksen korkeudeksi valittiin 7,2 mm ja paksuudeksi asetettiin 2 mm. Kun nämä arvot sijoitetaan kaavaan 7, saadaan maksimi taipumaksi

$$y = 1,09 \times \frac{0,06 \times (7,2 \text{ mm})^2}{2 \text{ mm}} \approx 1,695 \text{ mm}.$$

Materiaalin taivuttamiseen tarvittava voima voidaan laskea kaavalla 8 (28, s. 9).

$$P = \frac{bh^2}{6} \times \frac{E_s \times \varepsilon}{l} \quad \text{KAAVA 8}$$

P = taivuttamiseen tarvittava voima (N)

b = napsahdusliitoksen leveys (mm)

h = napsahdusliitoksen paksuus juuressa (mm)

$E(s)$ = ”Secant modulus” (GPa)

ε = sallittu venymä (englanniksi ”strain”)

l = napsahdusliitoksen korkeus (mm)

Napsahdusliitoksen leveydeksi valittiin 25 mm, mutta leveyttä on tarvittaessa mahdollista lisätä 5 mm. HD-PE:n "secant moduluksen" keskimääräiseksi arvoksi annetaan 1,02 GPa, mikä on yhtä kuin 1020 MPa tai 1020 N/mm² (30). Tällöin kaavalla 8 saadaan tarvittavaksi voimaksi

$$P = \frac{25,0 \text{ mm} \times (2 \text{ mm})^2}{6} \times \frac{1020 \text{ N/mm}^2 \times 0,08}{7,2 \text{ mm}} \approx 188,889 \text{ N}.$$

Liitoksen asennukseen ja irtoamiseen tarvittavat voimat voidaan laskea kaavalla 9 (28, s. 14).

$$W = P \times \frac{\mu + \tan \alpha}{1 - \mu \times \tan \alpha}$$

KAAVA 9

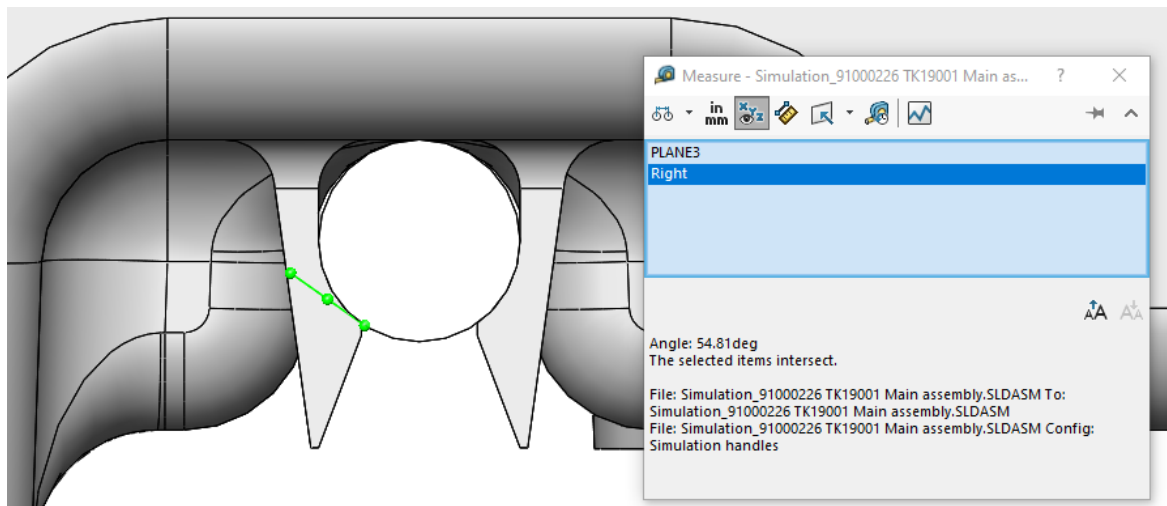
W = asennukseen tarvittava voima (N)

P = taivuttamiseen tarvittava voima (N)

α = nousukulma (°)

μ = kitkakerroin

Materiaaliin on lisätty taulukko, mistä P :n kertoimen voi katsoa suoraan, kun materiaalin kitkakerroin tiedetään. Muovin ja metallin välinen kitkakerroin on noin 0,25 - 0,4. Nousukulmaksi pyörityksen alussa Solidworks antaa noin 54,81° (kuva 17). (31.)



KUVA 17. Solidworksin antama nousukulma

Taulukosta (28, s. 15) katsottuna P :n kertoimen arvoksi, kun $\mu = 0,4$ ja α noin 55° saadaan

$$\frac{\mu + \tan \alpha}{1 - \mu \times \tan \alpha} \approx 4,2.$$

Irtoamiseen tarvittavaksi voimaksi saadaan kaavalla 9

$$W = 188,889 \text{ N} \times 4,2 \approx 793,333 \text{ N}.$$

Vastaavalla tavalla mitattuna asennuskulmaksi saadaan Solidworksillä $20,89^\circ$, mikä antaa taulukosta (28, s. 15) katsottuna P:n kertoimeksi noin 0,95. Siten asennukseen vaadittava voimaksi saadaan kaavalla 9

$$W = 188,889 \text{ N} \times 0,95 \approx 179,444 \text{ N}.$$

Edellä lasketut arvot ovat vain yhdelle napsahdusliitokselle. Akselia pitää paikoillaan yhteensä neljä napsahdusliitosta, mutta varsinkin asennukseen tarvittavan voiman ei ole loogista olettaa olevan nelinkertainen yhden kynnen voimaan nähden, sillä akselin asennuksen voi suorittaa yksi pää kerrallaan. Suunnitellun napsahdusliitoksen toimivuuden voisi varmistaa esimerkiksi HD-PE:tä vastaavasta muovista 3D-tulostetulla prototyypillä.

5.3.3 Kiinnitysjärjestelmän lukituslevyn mitoitus

Kiinnitysjärjestelmän toiminta perustuu kuljetusjärjestelmän pohjan ja pohjavanerin välisen puristusvoiman lisäämisen, jotta pintojen välinen kitkavoima olisi riittävän suuri pitämään kokonaisuuden paikoillaan, kun siihen kohdistuu ulkoisia voimia xz-tasossa. Lukituslevyn viistoihin sivuihin on mitoitettava riittävästi nousua, jotta puristusvoimaa saadaan riittävästi. Samalla on huomioitava, ettei kahvan kääntäminen avoimesta asennosta lukittu-asentoon vaadi liikaa voimaa ja tee kiinnitysjärjestelmän käyttämisestä hankalaa.

Kuljetusjärjestelmän pohja on kokonaan muovia, jonka lepokitkakerroin puuta vasten ei ole erityisen korkea: $\mu[0(\text{muovi-puu})] = 0,4$. Tästä syystä suunnittelussa on pidetty vaihtoehtona lisätä pohjaan pehmeästä kumista tehdyt tassut, koska pehmeän kumin kitkakerroin puuta vasten on huomattavasti korkeampi, jopa $\mu[0(\text{kumi-puu})] = 0,95$. (32.)

Kitkavoima voidaan laskea kaavalla 10 (21, s. 163).

$$F(\mu) = \mu \times N$$

KAAVA 10

$$F(\mu) = \text{kitkavoima (N)}$$

$$\mu = \text{kitkakerroin}$$

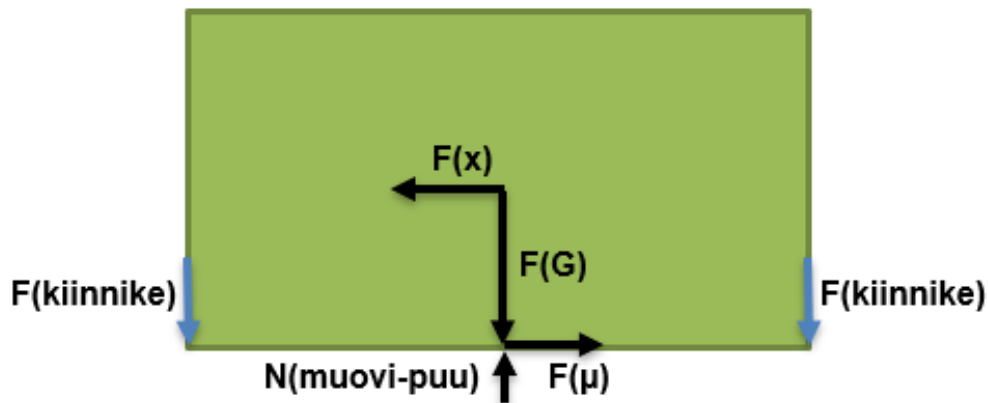
N = voima, jolla pinnat puristavat toisiaan vasten kohtisuorasti

X-akselin suuntaisen voiman maksimiarvoksi on laskettu aiemmin $F(x) = 875 \text{ N}$. Merkitään $F(x) = F(\mu)$ ja jaetaan yhtälö muovin ja puun välisellä lepokitkakertoimella $\mu = 0,4$, jolloin vaadittu pintojen välinen puristusvoima voidaan laskea kaavalla 10 ja saadaan

$$N(\text{muovi} - \text{puu}) = \frac{F(\mu) \times n}{\mu[0(\text{muovi} - \text{puu})]} = \frac{875 \text{ N}}{0,4} = 2187,5 \text{ N}.$$

Liikenneministeriön päätöksessä ajoneuvojen kuormakoreista, kuormaamisesta ja kuorman kiinnittämisestä ei ole erikseen mainittu, saako järjestelmän ja kuorman yhteenlaskettuun massaan kohdistuvasta painovoimasta $F(G)$ aiheutuvaa pintojen välistä kitkavoimaa käyttää kiinnityksen kestävyuden laskemisessa voimaa pienentävänä kertoimena. Kiinnitysjärjestelmän toiminta perustuu pitkälti sen vaikutukseen, joten tämä kitkavoima päätettiin huomioida. Kiinnitystilanne on havainnollistettu kuvassa 18. Voidaan merkitä, että

$$N(\text{muovi} - \text{puu}) = F(G) + 2 \times F(\text{kiinnike}).$$



KUVA 18. Kiinnitystilanne

Kun painovoimasta aiheutuva voima $F(G)$ vähennetään pintojen välisestä puristusvoimasta ja yhtälö jaetaan luvulla 2, saadaan voimaksi, joka yhden kiinnikkeen on tuotettava

$$F(\text{kiinnike}) = \frac{2187,5 \text{ N} - 613,125 \text{ N}}{2} \approx 787,188 \text{ N}.$$

Lasketaan samat laskut käyttämällä pehmeän kumin ja puun välistä lepokitkakerrointa $\mu(0) = 0,95$. Tällöin saadaan kiinnikkeen tuotettavaksi voimaksi kaavalla 10

$$N(\text{kumi} - \text{puu}) = \frac{F(x) \times n}{\mu[0(\text{kumi} - \text{puu})]} = \frac{875N}{0,95} \approx 921,053N.$$

Voimaksi, joka yhden kiinnikkeen on tuotettava, saadaan

$$F(\text{kiinnike}) = \frac{921,053N - 613,125N}{2} \approx 153,964N.$$

153,964 N:n suuruinen voima on paljon realistisempi voima tuotettavaksi kiinnikkeen kahvalla. Siksi kuljetusjärjestelmän pohjaan päätettiin lisätä pehmeästä kumista tehdyt kumitassut.

Kumitassut muokkaavat kiinnitystilannetta hieman. Nyt lukituslevyn nousun vaatima jousto muussa rakenteessa ei muodostu ainoastaan kuljetusjärjestelmän rakenteen joustamisesta, vaan myös kumitassut puristuvat kasaan jousen tavoin. Kumille puristusvoima ilmoitetaan yleensä paineena tietyllä puristumalla, mikä helpottaa jouston määrän arvioimista merkittävästi.

Kuljetusjärjestelmän muovimateriaalin joustavuutta voidaan yrittää arvioida FEM analyysillä. On huomioitava, että HD-PE:tä on saatavilla useita eri laatuja, joten Solidworksiiin HD-PE:lle asetetut parametrit eivät todennäköisesti vastaa täysin järjestelmän muoviosissa käytettävän HD-PE:n ominaisuuksia. Siksi on luotettavampaa mitoittaa jousto kumiin perustuen, sillä sen ominaisuudet tiedetään ja niitä pystytään kontrolloimaan paremmin. Siinä tapauksessa, että puristumaa vaaditaan enemmän kuin kumin oletetaan puristuvan tietyllä voimalla, voidaan olettaa lopun puristuman tulevan joko kumin puristumisesta enemmän kuin on arvioitu tai järjestelmän rakenteen joustamisesta.

Tiedetään, että paine on voima kerrottuna pinta-alalla kaavan 11 mukaisesti ja $Pa = N/m^2$ (21, s. 185).

$$F = pA$$

KAAVA 11

$$F = \text{voima (N)}$$

$$p = \text{paine (Pa = N/m}^2\text{)}$$

$$A = \text{pinta-ala (mm}^2\text{)}$$

Tiedetään myös, että paineesta aiheutuvan voiman on oltava vähintään $N(\text{kumi-puu}) = 921,053 N$, jotta kitkavoima pehmeään kumiin ja puun välillä on yhtä suuri kuin vaikuttava

voima $F(x) = 875 \text{ N}$. Valitaan kumitassujen materiaaliksi alustavasti Poron teollinen polyuretaanimatto 4701-50 Firm (33). Tiheydeltään 320 kg/m^3 :n mattoa saa 1,57; 2,36 ja 3,18 millimetrin paksuisena. 25 prosentin puristamalla sen tuottama puristusaine on 128 kilopascalina. Kun kaava 12 jaetaan paineella, saadaan tarvittavan pinta-alan suuruudeksi

$$A = \frac{F}{p} = \frac{921,053 \text{ N}}{128 \text{ kPa}} = \frac{921,053 \text{ N}}{128 \times 10^3 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}} \approx 7,196 \times 10^3 \text{ m}^2 \times 10^6 \approx 7196 \text{ mm}^2.$$

Jos kuljetusjärjestelmän pohjaan lisätään neljä kumitassua, tulee yhden tassun pinta-alaksi neljäsosa kokonaispinta-alasta eli 1799 mm^2 . Kumitassut voitaisiin valmistaa 3,18 mm paksusta polyuretaanista. 25 prosentin puristuma 3,18 mm paksulle polyuretaanille on 0,795 mm. Kierteen nousun ollessa 1 mm, on kahvan käännöstä aiheutuvaksi nousuksi loogista määrittää 1 mm, sillä se vastaa 1 millin nousulla olevan ruuvin kiristämistä yhdellä kierroksella.

Näiden tietojen pohjalta voidaan lähteä mitoittamaan lukituslevyn viistojen sivujen nousun kulmaa. Lukituslevyn viiston sivun nousu ja kahvaan kohdistettava voima saadaan yhdistettyä ruuvivoiman kaavalla, mikä on merkitty kaavalla 12 (21, s. 181).

$$F_2 = \frac{2\pi r}{h} \times F_1$$

KAAVA 12

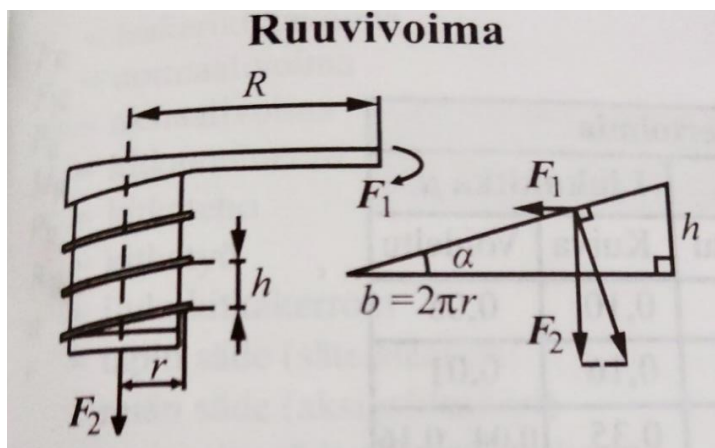
$F(2)$ = aksiaalisvoima (N)

r = keskimääräinen kierteen säde (m)

h = nousu kierrosta kohden

$F(1)$ = voima etäisyydellä r (N)

Kaavassa 12 kirjain h tarkoittaa nousua yhtä kierrosta kohden, mutta kiinnitysjärjestelmän tapauksessa kahva ei käänny kuin 90° . Kaavan 12 tekijät on havainnollistettu kuvassa 19.



KUVA 19. Ruuvivoima (21, s. 181)

Lukituslevyssä on myös oltava tasainen osuus, jotta viisto sivu ei jatkuvasti pyri kampeamaan kiinnikettä auki. Arvioidaan nousun tapahtuvan 45° käännöllä. $360^\circ/45^\circ = 8$ eli haluttu nousu tulee kertoa luvulla 8, jolloin saadaan koko kierroksen aikana tapahtuva nousu. Merkitään nousuksi 1,0 mm. Muut arvot ovat $F(2) = 153,964 \text{ N}$, $r = 9,5 \text{ mm}$, jolloin voimaksi $F(1)$ saadaan kaavalla 12

$$F_1 = \frac{F_2}{\frac{2\pi r}{8 \times h}} = \frac{153,964 \text{ N}}{\frac{2\pi \times 9,5 \text{ mm}}{8 \times 1,0 \text{ mm}}} \approx 20,64 \text{ N}.$$

Tämä voima on tuotettava siis lukituslevyn päässä 9,5 mm etäisyydellä akselin keskustasta. Kahvan pään etäisyys akselin keskiakselista on noin 120 mm. Arvioidaan ihmisen käden leveydeksi 100 mm ja oletetaan vipua työntäessä voiman kohdistuvan keskelle kämmentä. Näin saadaan käden kahvaan kohdistaman voiman etäisyydeksi akselin keskiakselista $120 \text{ mm} - 50 \text{ mm} = 70 \text{ mm}$. Kahvalla tuotettava voima voidaan laskea momenttitasapainon avulla. Merkitään

$$M(1) = M(\text{kahva}),$$

joka voidaan merkitä kaavan 5 avulla muotoon

$$F(1) \times l(1) = F(\text{kahva}) \times l(\text{kahva}).$$

$F(\text{kahva})$ on ainoa tuntematon, joten jaetaan yhtälö tekijällä $l(\text{kahva})$ ja sijoitetaan $F(1) = 50,98 \text{ N}$, $l(1) = 9,5 \text{ mm}$ ja $l(2) = 70 \text{ mm}$, jolloin saadaan

$$F(\text{kahva}) = \frac{F(1) \times l(1)}{l(2)} = \frac{20,64 \text{ N} \times 9,5 \text{ mm}}{70 \text{ mm}} \approx 2,801 \text{ N}.$$

Lukituslevyä päädyttiin muokkaamaan siten, että nousun määrä per kääntöaste on pienempi. Näin kahvan kääntämiseen tarvittava voima saadaan minimoitua. Lukituslevyyn jätettiin lyhyt tasainen osuus, jotta viisto sivu ei pyri kampeamaan kiinnikettä auki sen ollessa lukittu-asennossa.

Suoritettu tarkastelu ei ota huomioon pintojen välistä kitkaa, joten todellisuudessa kahvan kääntämiseen vaadittava voima on suurempi ja laskettu voima on vain arvio. On olemassa ruuvivoiman kaavoja, jotka ottavat huomioon pintojen välisen kitkakertoimen. Niiden käyttämistä harkittiin, mutta kiinnitystilanne ei kuitenkaan vastaa niin tarkasti pultin ja kierteen välistä tilannetta, että samoja kitkakertoimia voitaisiin suoraan hyödyntää. Tällöin kitkakerroin pitäisi arvioida itse, mikä tarkoittaa sitä, että kaavalla saatu voima ei olisi juurikaan sen tarkempi kuin nyt laskettu arvo. Tämä tarkastelu tehtiin lähinnä siksi, että saataisiin jonkinlainen arvio voiman tarpeesta ja kahvan pituuden riittävydestä. Todellinen voima selviää vasta prototyypillä testaamalla.

L-Track-kiinnitys

Kuljetusjärjestelmän ja pohjavaneroinnin välillä oleva kitkavoima on mitoitettu riittävän suureksi, että se riittää pitämään kokonaisuuden paikoillaan, kun siihen kohdistuu aiemmin lasketut x- ja z-suuntaiset voimat. Tämä tarkoittaa, että nämä voimat eivät juurikaan kuormita kiinnitysjärjestelmää.

Varmuuden vuoksi päätettiin testata kokonaisuuden kestävyys tilanteessa, jossa kiinnitysjärjestelmää ei ole säädetty oikein L-Track-kiskoon asennettuna, eikä se lisää pintojen välistä puristusvoimaa. Tällöin kitkavoiman suuruus ei riitä pitämään kokonaisuutta paikoillaan, kun siihen kohdistuu voima $F(x) = 875 \text{ N}$. Tällöin osa kuormituksesta kohdistuu kiinnitysjärjestelmään. Kitkavoiman suuruudeksi tässä tilanteessa saadaan kaavalla 10, kun käytetään kitkakertoimenä $\mu(\text{kumi-puu}) = 0,95$

$$F(\mu) = 62,5 \text{ kg} \times 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \times 0,95 = 582,469 \text{ N}.$$

Tämä voima on suurempi kuin $F(z)$ eli se riittää pitämään kuljetusjärjestelmän paikoil-
laan z-akselin suunnassa. Voima on pienempi kuin $F(x)$ eli kiinnikkeisiin kohdistuvaksi
voimaksi saadaan

$$875 \text{ N} - 582,469 \text{ N} = 292,531 \text{ N}.$$

Tämä voima jakaantuu kiinnitysjärjestelmän kahteen pisteeseen eli voiman suuruus puo-
litettiin FEM-analyysistä varten. FEM-analyysien tulokset luovutettiin tilaajalle.

5.3.4 Kiinnitysjärjestelmän alustaan kiinnityksen mitoitus

Kiinnitysjärjestelmä kiinnitetään alustaan ruuveilla. Ajoneuvokäytössä pakettiauton tai pe-
räkärryn pohjassa on oltava vanerointi järjestelmän kiinnittämistä varten. Vaneroinnin
paksuus vaihtelee, eikä sille ole asetettu mitään standardia, joten kiinnitysruuvien pituus
päädettiin minimoida. Ruuveiksi valittiin puuruuvien sijasta itseporautuvat peltiruuvit, sillä
niiden asentaminen on helpompaa ja mahdollista myös ajoneuvon pohjapellin läpi asiak-
kaan näin halutessa.

Kiinnitysjärjestelmän muoto asettaa rajoitukset reiän ja sen uppokantaruuvia varten teh-
tävän avauksen suuruudelle. Tästä syystä ruuvien halkaisijaksi valittiin 4 millimetriä. Suurin
vetokuormitus ruuveihin aiheutuu kuormituksella $F(y) = 625 \text{ N}$. Voiman suuruuden mää-
rittely löytyy tilaajan raportista.

Brittiläisessä yksikköjärjestelmässä koon #8 ruuvi vastaa halkaisijaltaan 4 millimetrin ruu-
via. 4 millimetrin ruuville keskimääräinen voima, millä se repeytyy irti vanerista, on annettu
taulukossa 9. (34.)

*TAULUKKO 9. keskimääräinen irti-repeytymisvoima halkaisijaltaan 4 millimetrin ruuville
(35, s.3)*

Kierteen läpäisyvyvyys (tuumat / millimetrit)	Pystysuuntainen voima, jolla ruuvi ir- toaa vanerista (Pauna / Newton)
3/8" / 9,5 mm	180 lbf / 800,7 N
1/2" / 12 mm	240 lbf / 1 067,6 N
5/8" / 15,9 mm	295 lbf / 1 312,2 N

Toinen huomioitava asia on liitoksen kestävyys horisontaalisissa kuormitustilanteissa. Tämän voiman suurin arvo saavutetaan voimalla $F(x) = 875 \text{ N}$. Tässä tilanteessa kiinnitysjärjestelmä pyrkii liukumaan alustaa pitkin ruuveja vasten. Metallista valmistettujen ruuvien leikkaantumiskestävyys on hyvä, joten rajoittavaksi tekijäksi voidaan olettaa materiaali, johon ruuvit kiinnittyvät. Todellisuudessa ruuvien kiristysmomentin takia pintojen välillä muodostuu kitkavoima, joka pienentää liitokseen kohdistuvaa kuormitusta. Ruuvien löystyminen on aina mahdollista, joten tätä kitkavoimaa ei huomioitu tässä mitoituksessa.

Suurin sallittu sivuttaisen kuormituksen arvo halkaisijaltaan 4 millimetrin peltiruuville on annettu taulukossa 10. Huomioi, että 9,5 mm kierteen läpäisyvyydelle ei ollut annettu arvoa.

TAULUKKO 10. Suurin sallittu sivuttainen kuormitus halkaisijaltaan 4 millimetrin ruuville (35, s. 2)

Kierteen läpäisyvyvyys (tuumat / millimetrit)	Suurin sallittu sivuttainen kuormitus (englanniksi "lateral load") (Pauna / Newton)
1/2" / 12 mm	465 lbf / 2 068,4 N
5/8" / 15,9 mm	500 lbf / 2 224,11 N

Taulukossa ilmoitetut voimat voidaan olettaa kaavan 6 mukaisesti kriittisiksi voimiksi, jolloin sallituiksi voimiksi varmuusluvulla 2 saadaan puolet taulukoissa esitetyistä arvoista. Tämä huomioon otettuna löydettiin sopiva kompromissi ruuvien määrän ja pohjavanerin minimipaksuuden välillä. Kiinnityselinten määrän ollessa tiedossa, voitiin kiinnitysjärjestelmän FEM-analyysit suorittaa, joiden tulokset luovutettiin tilaajalle.

6 VIIMEISTELY

FEM-analyysissä selvinneet muutokset päivitettiin alkuperäiseen malliin. Tämä oli tehtävä manuaalisesti yrityksen Solidworks 2018 -ohjelmalla, sillä FEM-laskenta suoritettiin ohjelman Education-versiolla, mistä jää merkintä Education-version käyttämisestä osan tuotetietoihin, eikä merkintää voi poistaa itse.

6.1 Tuotepiirustusten teko

Tuotepiirustukset tehtiin kaikista osista ja kokoonpanoista käyttäen Optotec Group Oy:n piirustus pohjia. Piirustukset löytyvät asiakkaan PDM-tietojärjestelmässä.

6.2 Valmistuspaikkojen selvitys

Suunniteltujen osien valmistuspaikkoja etsiessä hyödynnettiin Optotec Group Oy:n yrityskontakteja ja aiemmin käyttämiä valmistuspaikkoja. Hintapyyntöjen kysymistä varten alustavat tuotepiirustukset ja STEP-mallit lähetettiin yrityksille. Joillekin osille hinnoista ei kysytty tarkkoja tarjouksia, vaan ne arvioitiin yrityksessä aiemmin suunniteltujen samankaltaisten osien hintojen avulla. Ostettaville osille hinnat etsittiin verkkokaupoista ja tukkumyymälöistä, mutta niiden hintoja on syytä vielä kilpailuttaa.

6.3 Tuotannon hintarakenne

Kun valmistuspaikat ja hintatarjoukset oli selvitetty, luotiin tuotannon hintarakenne koko järjestelmälle ja alikokoonpanoille. Hintarakennetta varten luotiin Excel-taulukot kokoonpanojen osaluetteloista, johon saadut hintatarjoukset lisättiin ja kokonaiskustannukset laskettiin. Taulukot luovutettiin tilaajalle.

Tuotannon hintarakennetta tarkastellessa selvisi, että erityisesti yksi kiinnitysjärjestelmän kokonaisuus osoittautui kalliiksi valmistaa ja siten nostaa koko järjestelmän hintaa. Myös kuljetusjärjestelmästä muodostuu melko kallis kokonaisuus tiettyjen ratkaisujen takia. Nämä ratkaisut olivat välttämättömiä vaatimusten täyttämiseksi, mutta ne olisi myös mahdollista valmistaa kustannustehokkaammin.

7 TULOKSET

Alussa työn kuvaukseksi on listattu seuraavat vaiheet:

1. lähtötietojen keräys ideointitiimiltä ja jäsentäminen vaatimuslistaksi
2. käyttökohteiden tutkiminen
3. kilpailevien tuotteiden etsintä ja kartoitus
4. oman tuotteen suunnittelu yhteistyössä muotoilijan kanssa
5. valmistuspiirustukset
6. valmistuspaikkojen selvitys
7. massatuotannon hintarakenne
8. tuote-esitteiden laadinta
9. selvitetään mahdollisia tuotteen jakelukanavia.

Tässä opinnäytetyössä päästiin vaiheeseen 7 eli massatuotannon hintarakenne saatiin alustavasti tehtyä. Vaiheet 8 ja 9 olivat valinnaisia tavoitteita, joita ei keretty tässä työssä käsitellä. Työn kuvauksessa vaiheet 1 - 3 kuuluvat tässä raportissa lukuun 3 Esitutkimus, vaihe 4 kattaa luvun 4 Luonnostelu ja luvun 5 Kehittäminen ja vaiheet 5 - 7 on lyhyesti esitetty luvussa 6 Viimeistely.

On syytä huomioida, että työn kuvaus antaa hieman väärän kuvan työn todellisista vaiheista. Siitä saa käsityksen, että suunnitteluvaatimukset olivat jo valmiiksi selvillä ja ne piti vain kerätä asiakkaalta. Todellisuudessa suunnitellun tuotteen pohjaideaa pohdittiin ja kehitettiin useampia kuukausia ja siitä tehtiin kymmeniä eri luonnoksia ennen kuin päädyttiin lopulliseen konseptiin. Siten tehdyn työn määrä on suurempi, kuin mitä lähtötietomuistiossa annettua työn kuvausta lukiessa voisi olettaa.

Työn tuloksena saatiin esitutkimus tehtyä ja luotua toimiva konsepti järjestelmästä, mikä täyttää sille vaatimuslistaan asetetut vaatimukset. Suunnitellun järjestelmän tuotantokustannukset osoittautuivat odotettua korkeammiksi tiettyjen ratkaisujen takia. Korkeat tuotantokustannukset tulivat ilmi vasta myöhäisessä vaiheessa opinnäytetyötä, jolloin koko konseptin muokkaaminen edullisemmaksi valmistaa ei ollut enää vaihtoehto, sillä tämä olisi johtanut aikataulun viivästymiseen.

Jatkokehityksen kannalta tärkeintä olisikin pyrkiä laskemaan järjestelmän tuotantokustannuksia. Tuotannon hintarakennetta tarkastellessa selvisi, että kiinnitysjärjestelmän

yksi kokonaisuus osoittautui kalliiksi valmistaa järjestelmän yleiseen hintatasoon nähden. Kokonaisuuden kalliin hinnan takia koko järjestelmän hinta nousee liian korkeaksi myyntiä ajatellen. Tätä ei kuitenkaan voitu tietää ennen hintatarjousten saamista suunnitelluista osista, sillä ennen suunnittelun aloittamista lopullisen tuotteen hintatasoa on erittäin vaikea arvioida tarkasti.

Seuraavan version suunnitteluun kannattaisikin ottaa päätavoitteeksi tuotantokustannusten madaltamisen. Sekä kuljetus- että kiinnitysjärjestelmässä on ratkaisuja, jotka ovat välttämättömiä vaatimuslistassa annettujen vaatimusten täyttämiseksi, mutta olisi myös mahdollista toteuttaa halvemmalla esimerkiksi integroimalla ne osaksi muita kokonaisuuksia ja näin vähentämällä kokonaisosamäärää.

Lisäksi olisi myös hyvä käydä vaatimuslista uudelleen läpi ja pohtia, onko järjestelmän perusteltua täyttää kaikki sille asetetut vaatimukset. Yksi vaihtoehto olisi jakaa järjestelmä useammaksi eri kokonaisuudeksi, jotka on suunniteltu juuri tietynlaista käyttöä varten ja täyttävät vain tätä käyttöä koskevat lait, säädökset ja asiakaskunnan asettamat vaatimukset. Tällä pystyttäisiin minimoimaan vaatimusten määrä, mikä luonnollisesti tekisi tuotteesta halvemmän suunnitella ja valmistaa. Esimerkiksi suurin osa suunnitellun konseptin vaatimuksista muodostuu siitä, että se on asennettavissa ajoneuvoon. Jos tuotteesta tehtäisiin versio, jota ei ole tarkoitus asentaa ajoneuvoon, voitaisiin suurin osa luodun vaatimuslistan vaatimuksista jättää huomioimatta.

Konseptin kaikki dokumentit luovutettiin tilaajalle. Vaikka suunniteltu konsepti vaatii jatkokehittämistä, tarjoaa se hyvän aloituspisteen seuraavan version jatkokehittämistä varten. Suunniteltu konsepti auttaa hahmottamaan kokonaisuutta paremmin ja konseptissa on myös onnistuneita ratkaisuja, joita voi hyödyntää seuraavien versioiden suunnittelussa. Esimerkkeinä näistä ovat napsahdusliitosten ja lukituslevyn mitoitus. Lisäksi tämän konseptin esitutkimuksessa selvinneitä asioita voi hyödyntää seuraavien versioiden esitutkimuksissa.

8 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella modulaarinen kuljetus- ja varastointijärjestelmä systemaattisen tuotekehityksen menetelmiä hyödyntäen. Työn tuloksena esitutkimus saatiin tehtyä ja toimiva konsepti suunniteltua. Konseptille suoritettiin FEM-analyysit ja tehtiin valmistuspiirustukset. Lisäksi saatiin valmiiksi alustava tuotannon hintarakenne.

Suunniteltu konsepti osoittautui kalliiksi valmistaa, joten jatkokehitystä ajatellen seuraavan version suunnitteluun kannattaisikin ottaa päätavoitteeksi tuotantokustannusten mataltaminen. Suunniteltu konsepti tarjoaa hyvän aloituspisteen jatkokehittämistä varten, sillä siinä on myös onnistuneita ratkaisuja, joita voi hyödyntää seuraavissa versioissa. Lisäksi tämän konseptin esitutkimuksessa selvinneitä asioita voi hyödyntää seuraavien versioiden esitutkimuksissa.

Esitutkimuksen aikana suurimmaksi ongelmaksi muodostui tuoteidean ja asiakaskunnan määrittely. Tilaaja oli aloittanut esitutkimuksen tekemisen tuoteidealle jo ennen opinnäytetyön aloitusta ja alustava vaatimusmäärittely oli jo tehty. Joissain vaatimuksissa oli hieman päällekkäisyyksiä, minkä seurauksena niiden määrittelyä oli tarkennettava jälkikäteen. Tämä johti siihen, että vaatimusmäärittelyyn ja luonnosteluun kului enemmän aikaa kuin mitä alkuperäiseen aikatauluun oli osattu varata.

Lisäksi opinnäytetyön yhteydessä opittiin, että tuoteidealle kannattaa tehdä kattava markkinaselvitys mahdollisimman aikaisessa vaiheessa. Muuten asiakaskunnan määrittely jää helposti liian laajaksi, mikä johtaa suureen määrään vaatimuksia. Nyt suunniteltu kokonaisuus sopii kyllä moneen käyttötarkoitukseen, mutta useiden eri vaatimusten täyttämisen nosti sen hintaa merkittävästi.

Toisaalta esitutkimuksen aikana kohdatut ongelmat olivat täysin realistisia ja samoja ongelmia tulee kohtaamaan myös työelämässä. On itsestään selvää, että usean henkilön ollessa mukana projektissa on kaikilla hieman erilainen näkemys aiheesta ja erilaiset tavoitteet.

Opinnäytetyön aikana tulikin opittua, että esitutkimusvaiheessa on kriittisen tärkeää pitää säännöllisesti palavereita ja pyrkiä saamaan kriittiset vaatimukset sovittua mahdollisim-

man pian, jotta luonnostelun ja tarkan suunnittelun voisi aloittaa mahdollisimman aikaisessa vaiheessa. Kaikkien kriittisten vaatimusten hahmottaminen on kuitenkin vaikeaa esitutkimuksen alkuvaiheessa. Monesti ne tulevat esille vasta luonnostelun aloittamisen jälkeen, joten joskus vaatimuksia on tarkennettava jälkikäteen.

Kehittämävaiheessa suoritettut FEM-analyysit ja osien mitoitukset saatiin tehtyä onnistuneesti, vaikkakin käytössä ollut tietokone rajoitti hieman analyysien tekoa. Materiaalin valinnassa ja osien mitoituksessa pyrittiin hyödyntämään mahdollisimman paljon valmiita oppaita ja tietokantoja, mikä vähensi niihin käytetyn ajan ja työn määrää merkittävästi. Löydetyt oppaat ja tietokannat osoittautuivat erittäin hyödyllisiksi, ja niitä kannattaisi hyödyntää jatkossakin.

Tuotannon hintarakenteen selvittäminen ja varsinkin tuotepiirustusten teko osoittautui odotettua työläämmäksi. Varsinkin opinnäytetyön alussa luotuun aikatauluun ei tullut jätettyä riittävästi aikaa dokumentaation tekemiselle, minkä seurauksena opinnäytetyö ei aivan pysynyt aikataulussa. Varsinaisen tuotekehitysprojektin tekeminen ja vaiheet saatiin valmiiksi aikatauluun merkittyyn 30.4.2020 mennessä, mutta käytännössä kahden raportin kirjoittaminen viivästytti opinnäytetyön valmistumista. Tilaajan raportti valmistui aikaisemmin, mutta tämän julkisen raportin kirjoittaminen vei odotettua enemmän aikaa, sillä luvut 4 Luonnostelu, 5 Kehittäminen, 6 Viimeistely ja 7 Tulokset oli käytännössä kirjoitettava uusiksi. Tämä johtui salattavien tietojen poistamisesta, sillä raportin alkuperäinen rakenne ei enää toiminut tietojen poistamisen jälkeen.

Kokonaisuudessaan opinnäytetyön tekeminen sujui hyvin ja kaikkiin pakollisiksi asetettuihin tavoitteisiin päästiin. Opinnäytetyötä tehdessä oppi todella paljon uusia asioita, joihin ei ole ollut aiemmin juurikaan syytä edes perehtyä. Jälkeenpäin ajateltuna monta asiaa olisi voinut tehdä toisin tai paremmin, mutta monet asiat on yksinkertaisesti opittava virheiden kautta. Toisaalta kehitysideoiden näkeminen osoittaa, että tietotaito on lisääntynyt opinnäytetyön edetessä ja se lieneekin koko työn pääasia.

LÄHTEET

1. Välimaa, Veikko – Kankkunen, Martti – Lagerroos, Olle – Lehtinen, Markku 1994. Tuotekehitys. Asiakastarpeesta tuotteeksi. 1. painos. Helsinki: Painatuskeskus Oy.
2. Björk, Timo – Hautala, Pekka – Huhtala, Kalevi – Kivioja, Seppo – Kleimola, Matti – Lavi, Markku – Martikka, Heikki – Miettinen, Juha – Ranta, Aarno – Rinkinen, Jari – Salonen, Pekka 2014. Koneenosien suunnittelu. 6, uudistettu painos. Helsinki: Sanoma Pro Oy.
3. What's the difference between L-track and E-track? 2013. US Cargo Control. Saatavissa: <https://blog.uscargocontrol.com/q-whats-difference-l-track-e-track/>. Hakupäivä 29.1.2020.
4. 96" Airline-Style Angled Track – Aluminum. 2020. US Cargo Control. Saatavissa: <https://www.uscargocontrol.com/96-Airline-Style-Angled-Track-Aluminum>. Hakupäivä 4.3.2020.
5. Quick release 1kpl reikien väli 25 mm. Reimo. Saatavissa: https://www.reimo.com/fi/44330-quick_release_1kpl_reikien_v_li_25mm/. Hakupäivä 4.3.2020.
6. 10' Horizontal Galvanized E Track. 2020. US Cargo Control. Saatavissa: <https://www.uscargocontrol.com/E-Track-10-Horizontal-Galvanized>. Hakupäivä 4.3.2020.
7. Ajoneuvokannan tilastot. Julkaistu 17.12.2018. Päivitetty 22.1.2020. Liikenne- ja viestintävirasto Traficom. Saatavissa: <https://www.traficom.fi/fi/tilastot/ajoneuvokannan-tilastot>. Hakupäivä 29.1.2020.
8. Best-selling light-commercial vehicle models in EU-28 in 2016. Julkaistu 11/2017. Statista. Saatavissa: <https://www.statista.com/statistics/260027/best-selling-light-commercial-vehicle-models-eu-27/> (vaatii käyttäjälisenssin). Hakupäivä 4.3.2020.

9. Commercial Van Sales In America – July 2018. Goodcarbadcar, Automotive Sales Data&Statistics. Saatavissa: <https://www.goodcarbadcar.net/commercial-van-sales-in-america-july-2018/>. Hakupäivä 29.1.2020.
10. New Transit Van. 2019. Ford. Saatavissa: https://www.ford.co.uk/content/dam/guxeu/uk/documents/feature-pdfs/FT-Transit_Van.pdf. Hakupäivä 21.5.2020.
11. Under the bonnet: technical data, dimensions and weight of the Sprinter Panel Van. 2020. Mercedes-Benz. Saatavissa: <https://www.mercedes-benz.ie/vans/en/sprinter/panel-van/technical-data>. Hakupäivä 21.5.2020.
12. The Transporter 6.1, Brochure. 2020. Volkswagen Commercial Vehicles. Saatavissa: https://www.volkswagen-vans.co.uk/content/dam/vw-ngw/vw_nfz/importers/gb/Downloads/brochures/transporter-panel-van/transporters-brochure.pdf/jcr_content/renditions/original./transporters-brochure.pdf. Hakupäivä 21.5.2020.
13. 14.12.1982/940. Liikenneministeriön päätös ajoneuvojen kuormakoreista, kuormamisesta ja kuorman kiinnittämisestä. Finlex. Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1982/19820940>. Hakupäivä 5.5.2020.
14. Thule VeloSlide Standard. 2020. Thule. Saatavissa: <https://www.thule.com/fi-fi/motorhome-accessories/bike-racks/thule-veloslide-standard-302014>. Hakupäivä 14.5.2020
15. ISO 27955:2010. Road vehicles — Securing of cargo in passenger cars, station wagons and multi-purpose vehicles — Requirements and test methods. Abstract. Saatavissa: <https://www.iso.org/standard/44441.html> (vaatii käyttäjälisenssin). Hakupäivä 22.1.2020.
16. ISO 27956. A new standard describing requirements and test methods for lashing points and partitioning systems for cargo securing in delivery vans. Saatavissa: <https://www.scribd.com/document/345584161/std-iso-27956-load-restraint-system-pdf> (vaatii käyttäjälisenssin). Hakupäivä 12.1.2020.
17. Järvelä, Pentti – Syrjälä, Kai – Vastela-Martti 2000. Ruiskuvalu. 3. painos. Tampere: Plastdata Oy.

18. Injection Molding: The Definitive Engineering Guide. 2020. 3D Hubs. Saatavissa: <https://www.3dhubs.com/get/injection-molding-guide/> (vaatii sisäänkirjautumisen). Hakupäivä 4.3.2020
19. Kurri, Veijo – Malen, Timo – Sandell, Risto – Virtanen, Matti 1999. Muovitekniikan perusteet. 1. painos. Helsinki: Hakapaino Oy.
20. Rotational molding. 2020. Wikipedia. Saatavissa: https://en.wikipedia.org/wiki/Rotational_molding. Hakupäivä 3.4.2020
21. Valtanen, Esko 2016. Tekniikan taulukkokirja. 21. painos. Mikkeli: St Michel Print Oy.
22. UL Yellow Card Plastics Recognition Program. 2020. UL. Saatavissa: <https://www.ul.com/offerings/ul-yellow-card-plastics-recognition-program>. Hakupäivä 3.4.2020.
23. Outdoor Suitability - UL 746C. 2020. UL. Saatavissa: https://plastics.ulprospector.com/properties/UL746_C. Hakupäivä 3.4.2020.
24. Muovisanastoa. 2020. Muoviteollisuus RY. Finnish Plastics Industries Federation. Saatavissa: <https://www.plastics.fi/fin/muovitieto/sanasto/?ltr=16&tag=93>. Hakupäivä 3.4.2020.
25. UL Yellow Card Search. 2020. UL. Saatavissa: <https://materials.ulprospector.com/en/search/basic?SET=IQ&A=RESET> (vaatii käyttäjälisenssin). Hakupäivä 3.4.2020.
26. Search MatWeb for Property Information. 2020. MatWeb – Material property data. Saatavissa: <http://www.matweb.com/search/search.aspx>. Hakupäivä 27.4.2020.
27. Kuula, Kai 2019. Leikkausjännitys. Saatavissa: <http://www.oamk.fi/~kaik/opiskelijat/LUJU/LUJU-L2.pdf>. Hakupäivä 21.5.2020.
28. Snap-fit joints for plastics – a design guide. 2020. Bayer MaterialSciences. Saatavissa: http://fab.cba.mit.edu/classes/S62.12/people/vernelle.noel/Plastic_Snap_fit_design.pdf. Hakupäivä 24.4.2020.

29. D. Peggs – Ian, Schmucker – Bruce, Carey – Peter 2020. Assessment of maximum allowable strains in polyethylene and polypropylene geomembranes. Geosynthetica. Saatavissa: https://www.geosynthetica.com/Uploads/Peggs_AllowableStrain_Geomembranes.pdf. Hakupäivä 24.4.2020.
30. Overview of materials for High Density Polyethylene (HDPE), Injection Molded. 2020. Matweb. Saatavissa: http://www.matweb.com/search/datasheet_print.aspx?matguid=fce23f90005d4fbe8e12a1bce53ebdc8. Hakupäivä 24.4.2020.
31. Coefficient of friction, rolling resistance and aerodynamics. 2020. Tribology-abc. Saatavissa: <https://www.tribology-abc.com/abc/cof.htm>. Hakupäivä 25.4.2020.
32. Friction coefficients between different wheel/tire materials and concrete. 2020. Mae.ufl.edu. Saatavissa: <https://mae.ufl.edu/designlab/Class%20Projects/Background%20Information/Friction%20coefficients.htm>. Hakupäivä 13.4.2020.
33. PORON® 4701-50 Firm. 2020. Rogers corporation – Poron polyurethanes. Saatavissa: <https://rogerscorp.com/-/media/project/rogerscorp/documents/elastomeric-material-solutions/poron/english/data-sheets/poron-4701-50-firm-global-standards-data-sheet.pdf>. Hakupäivä 5.5.2020.
34. UK Screw Sizes. 2020. HouseholdQuotes.co.uk. Saatavissa: <https://householdquotes.co.uk/uk-screw-sizes/>. Hakupäivä 9.4.2020.
35. Fastener Loads For Plywood - Screws. 2005. APA – The Engineered Wood Association. Saatavissa: <https://www.grabberman.com/Media/TechnicalData/452.pdf>. Hakupäivä 9.4.2020.