



# Työskentelytasoauton tuotteis- taminen

Tuotekehitysprojektin vaiheet suunnittelijan näkökul-  
masta

Eetu Kolhinen

OPINNÄYTETYÖ  
Huhtikuu 2023

Ajoneuvotekniikka  
Auto- ja työkonetekniikka

## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Ajoneuvotekniikka  
Auto- ja työkonetekniikka

KOLHINEN, EETU:

Työskentelytasoauton tuotteistaminen  
Tuotekehitysprojektin vaiheet suunnittelijan näkökulmasta

Opinnäytetyö 51 sivua, joista liitteitä 2 sivua  
Huhtikuu 2023

---

Opinnäytetyössä suunniteltiin lentokenttäkäyttöön tulevan työskentelytasoauton rakenteet ja kuvattiin tuotekehitysprojektin vaiheita. Tuotteen tilanneella asiakkaalla oli tarve tietyn lentokonetyypin huoltotöihin liittyvälle, helposti siirrettävälle työskentelytasolle. Lava-auton päälle sijoitetut rakenteet suunniteltiin 3D-mallin-  
nusohjelmalla, ja niistä tehtiin työkuvat tuotantoa varten. Rakenteen suunnitel-  
lussa pyrittiin ottamaan huomioon mahdollisimman hyvin asiakkaan toiveet ja tar-  
peet ajoneuvon käyttötarkoituksen kannalta. Työ tehtiin Pajakulma Oy:n toimek-  
siannosta.

Tuotekehitysprojektin aikana tehtiin tiivistä yhteistyötä rakenteen valmistaneen alihankkijan sekä tuotteen tilanneen asiakkaan kanssa. Projektin aikana suunnit-  
telutyötä tehtiin osittain rakenteen valmistamisen kanssa samaan aikaan. Valmis-  
tamisen aikana rakenteeseen jouduttiin tekemään jonkin verran muutoksia asi-  
akkaan muuttuneiden tarpeiden ja toiveiden takia.

Työn lopputuloksena saatiin suunniteltua ja valmistettua valmis tuote, joka pysty-  
tään tarvittaessa toisintamaan työkuvien ja muun dokumentaation avulla. Val-  
miista tuotteesta tuli onnistunut, ja se vastaa hyvin asiakkaan tarpeisiin. Liitteissä  
olevat laskentatulokset ovat työn toimeksi antaneen yrityksen toiveesta salattu.

## **ABSTRACT**

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences  
Vehicle Engineering  
Industrial Vehicle Engineering

KOLHINEN EETU:  
Productizing a Work Platform Vehicle  
Product Development Project from a Designer's Perspective

Bachelor's thesis 51 pages, appendices 2 pages  
April 2023

---

The subject of the thesis was to design structures of a working platform truck to be used at an airport and to follow the steps of a product development project. The customer had a need for an easily portable working platform for certain type of aircraft. The structures of the platform were designed with 3D modeling software to be installed on a pickup truck. Technical drawings of the structure were also made for the production. Customers' wishes and needs for the product were considered as much as possible during the design of the structure. The work was commissioned by Pajakulma Oy.

There was a lot of cooperation during the project with the subcontractor who manufactured the structure and the customer that ordered the product. The design work was partly done at the same time as the construction of the structure. There were also some changes to be made to the structure during the construction due to the customers' changed needs and wishes.

The result of the project was a finished product, which can be reproduced with technical drawings and other documentation. The finished product turned out to be successful and it meets the customer's needs well. Information in appendices has been concealed as per the request of the company that commissioned the work.

---

Key words: product development, superstructure, design project

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	5
2	TUOTEKEHITYSPROJEKTIN TEORIA.....	6
	2.1 Tuotekehitys.....	6
	2.2 Suunnittelu .....	7
	2.3 Ajoneuvon rakenteen muuttaminen.....	9
3	PROJEKTIN VAIHEET .....	11
	3.1 Asiakastarve .....	11
	3.2 Alustava suunnittelu .....	12
	3.3 Rakennus.....	14
	3.4 Testaus .....	15
	3.5 Asiakkaan toivomat muutokset.....	18
	3.6 Muutosten toteuttaminen.....	19
	3.7 Muutoskatsastus .....	20
4	RAKENTEEN SUUNNITTELU.....	21
	4.1 Rakenteen kiinnitys auton keulaan.....	21
	4.2 Tukijalat.....	26
	4.3 Alumiinirakenne.....	28
	4.3.1 Taso .....	29
	4.3.2 Portaat.....	32
	4.3.3 Kiinnikkeet.....	35
	4.4 Lämmitysputkisto .....	36
	4.5 Muut muutokset.....	38
	4.6 Lujuuslaskenta .....	40
5	TURVALLISUUS.....	44
6	POHDINTA .....	46
	LÄHTEET.....	48
	LIITTEET .....	50
	Liite 1. FEM-tarkastelun tulokset.....	50
	Liite 2. Lujuuslaskenta .....	51

## 1 JOHDANTO

Nykypäivänä markkinoilla on tarjolla hyvin laaja tarjonta erilaisia ajoneuvoja ja työkoneita erilaisiin tarpeisiin. Kuitenkin aina on ja tulee olemaan myös erityisiä tarpeita, joihin ei ole valmiina tarjolla sopivaa ratkaisua ja tällaisia tarpeita syntyy muuttuvan ja kehittyvän maailman mukana jatkuvasti lisää. Näin uusille tuotteille on myös ajoneuvoteollisuudessa aina kysyntää.

Pajakulma Oy on tamperelainen yritys, jonka päätoimialaa on raskaiden ja kevyiden hyötyajoneuvojen päällirakennus. Yritys myös myy omaa tuotantoa olevia tienhoitoon ja kuormankäsittelyyn liittyviä tuotteita ja sillä on oma suunnittelu- ja tuotekehitysosastonsa, jonka jäsenenä kirjoittajakin työskentelee. Yritys pyrkii aina toteuttamaan asiakkaan toiveita parhaiten palvelevan ratkaisun, mikä ajoittain tarkoittaa uudenlaisten tuotteiden kehittämistä. Usein uusien tuotteiden kehitys lähteekin liikkeelle nimenomaan ilmi tulleesta asiakastarpeesta.

Lentokenttäolosuhteissa kalustossa on tärkeää turvallisuus, toimintavarmuus ja tehokkuus. Usein tarpeet ja kaluston käyttökohteet ovat myös hyvin tarkasti määriteltäviä ja spesifejä. Tässä opinnäytetyössä käsiteltävä tuotekehitysprojekti lähti myös liikkeelle lentokentällä toimivan asiakkaan tarkasti rajattujen tarpeiden ja määrittelyjen pohjalta. Asiakkaalla oli tarve saada helppo ja turvallinen kulku tietyn lentokonetyypin siiven päälle. Ratkaisuna tähän tarpeeseen lähdettiin kehittämään lava-auton päälle rakennettavaa kulkusiltaa, jota voidaan käyttää myös työskentelytasona.

Tuotekehitysprojekti toteutettiin rakentamalla ensin ns. prototyyppi-auto, jota suunniteltiin yhdessä rakenteen toteuttaneen alihankkijan kanssa osin valmistuksen kanssa samanaikaisesti. Suunnittelussa hyödynnettiin 3D-mallinnusta ja autovalmistajalta saatuja 3D-malleja. Kaikista rakenteista tehtiin työkuvat, joiden avulla vastaavia työskentelytasautoja voidaan valmistaa myös tulevaisuudessa.

## 2 TUOTEKEHITYSPROJEKTIN TEORIA

### 2.1 Tuotekehitys

Tuotekehityksellä tarkoitetaan yleisesti uuden tuotteen tai olemassa olevan tuotteen parantamiseen tähtäävää toimintaa. Nykyaikaiselle yritykselle, jonka liiketoimintaa on tuotteiden myyminen, tuotekehitys on tärkeä osa-alue ja siihen panostetaan jatkuvasti kasvavissa määrin. Tuotekehitykselle on myös kehitelty useita erilaisia malleja ja työskentelymenetelmiä, joilla sen tehokkuutta voidaan parantaa. (Jokinen 2001, 9–10.)

Usein tuotekehitystyö on projektiluontoista ja siihen kuuluu eri vaiheita, joiden aikana tuote jalostuu ideasta valmiiksi tuotteeksi. Käytännössä projektien työvaiheet riippuvat paljon kehitettävästä tuotteesta, käytettävistä olevista resursseista ja tuotekehitysprojektin tavoitteista. Esimerkiksi uuden henkilöautomallin kehittämiseen autotehtaalla käytetään suuri määrä resursseja ja tuotekehitysprojekti voi kestää useita vuosia. Koska tuotekehitykseen käytettyjen resurssien määrä jakautuu lopulta myytyjen tuotteiden kesken, jää suurestakin tuotekehityskulusta massatuotteen kohdalla yksittäiselle tuotteelle vain pieni osuus.

Yksinkertaisen tuotteen, jolla ei ole suurta asiakaskuntaa, kehittämiseen ei kannata käyttää määräänsä enempää resursseja, mikäli sen tuottomahdollisuudet eivät kasva, vaikka tuotteesta saisi kuinka hyvän tahansa. Esimerkiksi tässä opinäytetyössä esitelty työskentelytasoauto on suunniteltu hyvin spesifiä käyttöä varten, joten sillä ei ole oletettavasti kysyntää suurien tuotantomäärien massatuotteena. Tämän takia sen tuotekehitykseen käytetyt resurssit vaikuttavat oleellisenä osana yksittäisen kappaleen kokonaiskustannuksiin. Näin ollen ei ole järkevää käyttää tuotekehitykseen määräänsä suurempia resursseja ja optimoida jokaista yksityiskohtaa absoluuttisesti parhaaksi mahdolliseksi. Toki tuotteen tulee olla toimiva ja hyvin viimeistelty, mutta suunnittelutyön laajuus tulee muistaa suhteuttaa koko projektin kokoon.

## 2.2 Suunnittelu

Koneiden ja muiden laitteiden suunnittelussa on yleensä hyvin monenlaisia erilaisia osa-alueita mekaanisesta suunnittelusta sähkösuunnitteluun. Myös esimerkiksi hydrauliiikan tai pneumatiikan suunnittelu on monessa laitteessa suuressa roolissa. Kyseessä olevassa projektissa suunnittelu keskittyi suurelta osin auton päälle tulevien kiinteiden rakenteiden sekä sähköisesti toimivien tukijalkojen suunnitteluun.

Teollisuudessa käytetään paljon alihankintaketjuja, joissa yksi yritys valmistaa tietyn osan tuotteesta tai suorittaa yksittäisen työvaiheen suuremmasta kokonaisuudesta. Myös Pajakulma Oy käyttää useita eri alihankkijoita esimerkiksi tuotteidensa osien valmistuksessa. Koska osien tai kokonaisuuksien tekijällä ei näin ole välttämättä tietoa siitä, mihin käyttötarkoitukseen osa tulee, on suunnittelussa tärkeää tehdä selkeä ohje, jonka mukaan valmistettavasta osasta tulee oikeanlainen. Yleensä ohje on jonkinlainen tekninen piirustus, mittakuva tai kaavio. Näiden ohjeiden luomiseksi ja tulkitsemiseksi on olemassa lukuisia standardeja ja ohjeita.

Suunnittelussa on aina pidettävä mielessä suunniteltavan osan valmistustekniikka ja -mahdollisuudet. 3D-mallinnusohjelmalla pystyy helposti luomaan mitä erilaisimpia ja mielikuvituksellisimpia osia ja kokoonpanoja, mutta todellisessa maailmassa näiden valmistaminen voi olla erittäin vaikeaa tai mahdotonta. Esimerkkinä voidaan käyttää yhdestä teräslevystä särmättävää umpinaista kuutiota, jonka pystyy kätevästi mallintamaan, mutta jota ei voi särmäyspuristimella todellisuudessa valmistaa. Myös osien kokoonpanoa suunniteltaessa on varmistuttava siitä, että osat on mahdollista asemoida halutulla tavalla ja esimerkiksi hitsaukselle on tarvittava tila kaikissa tarpeellisissa paikoissa. Tämän takia suunnittelijalla tulisikin olla perustiedot ja käsitys suunnittelemansa kappaleen, johtosarjan, hydraulijärjestelmän tai muun kohteen valmistuksesta.

Komponenttien valmistuksen pelkän fyysisen mahdollisuuden lisäksi suunnittelijan on usein pidettävä mielessä myös valmistuksen kustannukset. Esimerkiksi teräsosista ja muista metalliosista pystytään valmistamaan koneistamalla hyvin monimutkaisia ja tarkkoja. Koneistettujen osien tekeminen vie kuitenkin paljon

aikaa ja vaatii erityisiä työstökoneita ja on siten melko kallista. Suunnittelussa pyritäänkin usein mahdollisuuksien mukaan suunnittelemaan kappaleet niin, että niihin tarvitsisi tehdä mahdollisimman vähän koneistusta, eli ne voisi esimerkiksi leikata suoraan levystä tai putkipalkista.

Teräsrakenteita ja muita metallirakenteita suunniteltaessa levystä valmistetut osat ovatkin usein hyvä vaihtoehto esimerkiksi juuri koneistetuille osille. Nykyaikaisilla laser-leikkureilla levyosat saa leikattua nopeasti ja tarkasti haluttuun muotoonsa jopa ilman jälkikäsittelyn tarvetta (TWI Ltd n.d.). Kun laserleikattuja kappaleita voidaan vielä särmätä hyvinkin tarkasti (Guangzhou Komaspac Mechanical and Electrical Products Manufacturing Co. Ltd 2022), saadaan levystä valmistettua hyvin monenlaisia osia.

Osia ja kokoonpanoja suunnitellaan nykyään yleensä CAD-ohjelmalla, joko kolmi- tai kaksiulotteisena, minkä jälkeen niistä luodaan valmistusta varten piirustukset. CAD-lyhenne tulee sanoista Computer Aided Design, eli tietokoneavusteinen suunnittelu. Piirustuksessa kappale, osa tai muu valmistettava kokonaisuus on kuvattuna niin, että se pystytään valmistamaan pelkästään piirustuksen perusteella ilman väärinymmärryksen mahdollisuutta. (Pere 2007, 1–3.)

Levyosia suunniteltaessa suunnittelija voi teknisen piirustuksen lisäksi luoda levystä esimerkiksi dxf-muotoisen tiedoston, jonka avulla levy voidaan leikata suoraan oikeaan muotoonsa esimerkiksi juuri laser- tai vesileikkurilla. Dxf on yleisesti käytetty tiedostomuoto, jolla voidaan siirtää CAD-tiedostoja ohjelmasta toiseen (Adobe n.d.). Tiedosto voidaan syöttää suoraan levyä leikkaavaan laitteeseen, jolloin laite pystyy leikkaamaan levyn tarkasti pienimpiä yksityiskohtia myöden ilman, että sille tarvitsee erikseen syöttää kaikkia kappaleen mittoja ja muotoja.

Suunniteltujen rakenteiden tulee kestää käytön aikana niihin kohdistuvat kuormitukset ja muut rasitukset, minkä varmistamiseksi on käytössä useampia eri keinoja. Yksi tapa on koekuormittaa rakennetta, kun se on saatu fyysisesti valmistettua, ja näin kokeilla, kestäkö rakenne vai ei. Tämän menetelmän huono puoli on siinä, että luotettavien tulosten saamiseksi jouduttaisiin monesti suorittamaan testausta koko rakenteen elinikää vastaavalla määrällä kuormitusyklejä. Toinen

menetelmän huono puoli on siinä, että valmiin rakenteen muokkaaminen aiheuttaa huomattavan määrän turhaan tehtyä työtä ja materiaalihukkaa, mikäli testauksessa todetaan rakenteen kaipaavan muutosta.

Fyysisen rakenteen testaamisen vaihtoehtona ovat erilaiset simulointityökalut, jotka perustuvat FEM-mallin, eli elementtimenetelmän (Finite Element Method), käyttöön. Elementtimenetelmässä rakenteesta luodaan malli, joka koostuu yksittäisistä elementeistä, jotka ovat toisissaan kiinni solmuilla. Tämän mallin avulla pystytään laskemaan muun muassa rakenteen eri osissa vaikuttavat voimat ja niiden aiheuttamat siirtymät. Elementtimenetelmän avulla rakenteelle voidaan suorittaa lujuuslaskentaa, jonka avulla voidaan todeta rakenteen mahdolliset heikot kohdat ja korjaustarpeet. Rakenteen mallia on tarvittaessa myös helppo muokata ja kokeilla näin erilaisia ratkaisuja. (Lähteenmäki n.d., 1.1–1.2.)

Suunnittelutyössä kehittyä ajan mukaan myös melko hyvä ”tuntuma” siitä, minkälainen rakenne kestää tavoitellussa käyttötilanteessa ja minkälainen ei. Usein tällä kokemukseen pohjautuvalla tavalla pääsee melko hyvään lopputulokseen, eikä fyysisten tai simuloitujen testien perusteella rakennetta tarvitse juurikaan muuttaa. Varsinkin jos kyseessä on tuote, jossa ei pyritä erityisen tarkkaan massan ja kestävyuden optimointiin, voi rakenteesta saada suunniteltua tarpeeksi hyvän ilman erityisen tarkkaa analysointia.

### **2.3 Ajoneuvon rakenteen muuttaminen**

Tieliikenteessä käytettäviä ja rekisteröityjä ajoneuvoja koskevat monet määräykset ja säädökset. Pääsääntöisesti tieliikenteessä käytettävien ajoneuvojen vaatimusten mukaisuus osoitetaan mallikohtaisella tyyppihyväksynnällä, jonka perusteella kyseisen malliset ajoneuvot katsotaan soveltuviksi käytettäviksi tieliikenteessä (Traficom 2022).

Ajoneuvoihin sallitaan tehdä tiettyjä pienehköjä muutoksia ilman, että niiden katsottaisiin muuttavan ajoneuvoa niin, että se ei enää vastaisi tyyppihyväksyntää. Mikäli ajoneuvon tehdään näitä suurempia muutoksia, sen ei enää katsota vastaavan tyyppihyväksyntäänsä ja se tulee muutokatsastaa. Mikäli ajoneuvoa ei

ole vielä otettu käyttöön ennen näiden muutosten tekoa, tulee ajoneuvolle suorittaa yksittäishyväksyntä. (Traficom 2021a.)

Ajoneuvon tyyppihyväksynnässä on yleensä määritelty ajoneuvon mitoille tietyt raja-arvot, joiden sisällä mittojen täytyy olla. Mitat voivat vaihdella saman mallisarjan yksilöiden välillä esimerkiksi erilaisten lisävarusteiden, kuten puskureiden ja tuuliohjainten takia. Mikäli ajoneuvoon tehdään muutoksia, joiden takia sen mitat ylittävät nämä raja-arvot, on ajoneuvo muutokatsastettava tai yksittäishyväksyttävä. Ajoneuvon massaan vaikuttavat muutokset aiheuttavat lähtökohtaisesti aina muutokatsastuksen tai yksittäishyväksynnän tarpeen. (Siekkinen 2023.)

Auton päälle rakennettava työskentelytaso luonnollisesti muuttaa auton mittoja, massaa ja käyttötarkoitusta huomattavasti, joten auto tulee muutokatsastaa asennustyön jälkeen. Vaihtoehtona kiinteälle auton päälle asennettavalle rakenteelle voisi olla se, että rakenne tulkittaisiin ajoneuvon kyydissä olevaksi kuormaksi. Tällöin itse ajoneuvolle ei oltaisi lain silmissä tehty muutoksia, vaan koko rakenne olisi sen kyydissä. Mikäli rakenne haluttaisiin tulkita kuormaksi, tulisi sen olla helposti irrotettavissa autosta esimerkiksi jonkinlaisilla pikalukituksilla, sillä pulttikiinnitteisenä rakenne tulkitaan kiinteäksi osaksi autoa (Siekkinen 2023).

Kuormaksi tulkittavan rakenteen tulisi täyttää myös ajoneuvon kuormaamista koskevat säädökset muun muassa kuorman varmistuksesta ja sijoittelusta. Kuorma saa tieliikenteessä ulottua ajoneuvon ääriviivojen yli eteenpäin enintään metrin, taaksepäin kaksi metriä ja sivuille poikkeuksia lukuun ottamatta ei lainkaan (Tieliikennelaki 2018). Yleinen kuorman varmistuksen ohje on se, että kuorman on pysyttävä paikallaan, kun siihen kohdistuu eteenpäin voima, joka aiheutuu  $8 \text{ m/s}^2$  suuruudesta hidastuvuudesta. Taakse ja sivuille päin kohdistuvan voiman aiheuttavana hidastuvuutena pidetään  $5 \text{ m/s}^2$ . (Traficom 2021b.)

### 3 PROJEKTIN VAIHEET

#### 3.1 Asiakastarve

Koko projekti lähti liikkeelle asiakkaan tarpeesta saada helppo, nopea ja turvallinen tapa päästä tietyn lentokonemallin siiven päälle tarkistamaan siipi jään varalta. Asiakas totesi Pajakulma Oy:n edustajan kanssa hyvän ratkaisun olevan lava-auton päälle rakennettava alumiininen taso, jota voisi käyttää sekä kulkusilana että työskentelytasona. Rakenteen perusajatus, jossa lava-auton lavalta tulevat portaat nousevat katon yli kulkevalle kävelytasolle, muotoutui näin jo projektin alkuvaiheessa.

Asiakkaan vaatimus työskentelytason mitoitukselle oli se, että sen tulee ylettyä 1200 mm auton etummaisen osan etupuolelle ja sen alla tulee olla vapaata korkeutta 2100 mm. Autolla on tarkoitus ajaa lentokoneen siiven viereen siten, että kulkutaso menee siiven yläpuolelle ja siitä pääsee tarvittaessa laskeutumaan siivelle. Luonnollisesti mikään osa auton rakenteesta ei saa osua lentokoneeseen missään tilanteessa.

Asiakas tilasi kaksi samanlaista autoa, joista ensimmäinen rakennettaisiin niin sanotusti prototyypiksi ja haettaisiin siinä kaikki ratkaisut kohdilleen, minkä jälkeen toinen auto rakennettaisiin samanlaiseksi kuin ensimmäinen. Ensimmäisen auton valmistuttua tarkoitus olisi siis olla olemassa valmis tuote, joka pystyttäisiin suhteellisen vaivattomasti toisintamaan jatkossa samanlaisen auton päälle. Asiakas oli tilannut kaksi keskenään samanlaista Ford Ranger Wolftrack -lava-autoa, joita käytettäisiin työskentelytason alustana.

Koska rakenne ylittää auton keulan yli metrillä, pystyttiin jo heti projektin alkuvaiheessa lyömään lukkoon se, että rakennetta ei voi tulkita auton päällä olevaksi kuormaksi. Tieto helpotti rakenteen suunnittelua siinä mielessä, että rakenne voitiin suunnitella pulttikiinnitteiseksi, eikä sen tarvinnut olla pikakiinnitteinen.

### 3.2 Alustava suunnittelu

Rakenteen suunnittelu aloitettiin alihankkijan kanssa pidetyllä palaverilla, jossa käytiin läpi alustavasti rakenteen vaatimuksia ja mitoitusta. Alihankkijana toimi Mansen Levytyö Oy, joka on erikoistunut alumiinirakenteiden valmistukseen. Yrityksellä on pitkä kokemus monenlaisten alumiinituotteiden valmistuksesta sekä aikaisempaa yhteistyötä Pajakulma Oy:n kanssa. Tässä vaiheessa saatiin auton maahantuojalta lainaksi projektissa käytettävää autoa vastaava esittelyauto, jonka avulla rakenteen mittoja oli helpompi hahmottaa ja suunnitella toteutusta. (Kuva 1.)



KUVA 1. Esittelyauto.

Mansen Levytyö Oy:llä oli ennestään kokemusta alumiinisten kulkusiltojen rakentamisesta, joten yrityksellä oli tämän takia melko hyvä käsitys sellaisten käytännön toteutuksesta. Kulkutasosta päätettiin tehdä Työturvallisuuspankin ohjeistuksen (n.d.) mukaisesti 800 mm leveä.

Tason vaadittu 1200 mm etuylitys aiheuttaa rakenteeseen merkittävän kuormituksen siinä tilanteessa, kun työntekijä on aivan tason etupäässä. Rakennetta saisi hyvin jäykistettyä toteuttamalla kulkusillan runko tukevana ristikkorakenteena. Korkea runko suurentaisi kuitenkin välimatkaa työtasolta lentokoneen siivelle, kun taso on ajettu siiven päälle. Rakenne tulisikin olla mahdollisimman matala kävelytason pinnasta rakenteen alapintaan mitattuna.

Koska työtaso vaatisi joka tapauksessa kaiteet, päätettiin kaiteista tehdä sellaiset, että ne jäykistäisivät rakennetta ristikkorakenteen tavoin. Työturvallisuuspankin ohjeen (n.d.) mukaan yli 0,5 metrin korkeudessa olevilla tasoilla tulee olla kaiteet, joiden korkeus on 1100 mm, joten kaiteiden korkeus määräytyi tämän mukaan.

Rakenne pyrittiin saamaan autoon mahdollisimman monesta kohdasta kiinni, kuitenkin aiheuttamatta itse autolle ylimääräistä vahinkoa. Auton lavalla tukevana kiinnityspisteinä voidaan käyttää kuormansidontalengkien kiinnityksiä, joita lavalla on yhteensä kuusi kappaletta. Autossa on myös ohjaamon takana oleva 40 mm putkesta valmistettu lavakaari, johon rakenteen voi kiinnittää (Kuva 1). Kaari ei ole varsinaisesti suunniteltu kantamaan kuormaa, vaan suojaamaan ohjaamoa, mutta sitä voi hyödyntää lavalle tulevien tukevampien kiinnitysten lisänä. Toinen vastaava lisätuki päätettiin tehdä auton etuovien kohdalle asennettavaan kattotelineeseen. Auton sallittu kattokuorma liikenteessä on 80 kg (Siekinen 2023), joten kattotelinekin on vain lisätukena jakamassa kuormitusta useampaan eri kohtaan autossa, eikä varsinaisena koko rakenteen painoa kannattavana kiinnityspisteinä.

Työskentelytason kiinnitys auton keulaan todettiin olevan takaosaa hieman suurempi haaste. Keulaa peittää suuri muovipuskuri, johon ei luonnollisesti voi kiinnittää mitään, mikä altistuisi merkittäville kuormituksille. Vaihtoehtoina olikin muovipuskurin poistaminen kokonaan, mikäli ei pystyittäisi toteuttamaan sellaista rakennetta, jossa tukeva kiinnitys saataisiin aikaan puskurin ollessa paikallaan.

Portaat auton lavalta työskentelytasolle päätettiin toteuttaa kuudella nousulla, eli viidellä erillisellä porrasaskelmalla. Näin yhden nousun suuruudeksi muodostuu noin 240 mm. Kävelytason ja portaiden materiaalina päätettiin käyttää Mansen Levytyö Oy:n kehittämää rei'itettyä turkkilevyä, jonka kohokuviot ja reiät aikaansaavat erittäin hyvän pidon kengän alla myös märkänä tai jäisenä.

Auton keula painuu jonkin verran alaspäin, kun työskentelytason etupäässä on kuormaa. Tason ollessa käyttötilanteessa lentokoneen siiven päällä, voi tämä

painuminen mahdollisesti aiheuttaa rakenteen osumisen siipeen, mikä ei luonnollisesti ole hyväksyttävää. Auton keulan painumisen voi estää keulaan sijoituilla tukijaloilla, jotka kantavat rakenteen ja ihmisten aiheuttaman kuormituksen. Auton keulaan päätettiin suunnitella kaksi helppokäyttöistä tukijalkaa.

Suunnittelun avuksi autosta haluttiin saada 3D-malli, jossa näkyisivät ennen kaikkea keulan osat, joiden avulla pystyttäisiin suunnittelemaan rakenteen ja tukijalkojen kiinnitys auton keulaan. Vaihtoehtona autovalmistajalta saatavalle 3D-mallille on auton skannaus 3D-skannerilla. Kaikki autovalmistajat eivät jaa autoistaan 3D-malleja, joten silloin olemassa oleva auto on skannattava 3D-skannerilla. Skannatusta kohteesta saadaan käyttöön niin sanottu pintamalli, jossa näkyvät skannatun alueen pinnan muodot. Koska skannaus on teetettävä siihen erikoistuneella yrityksellä, on tarkkaan suunniteltava mitkä kohdat autosta halutaan skannata. Ei kannata maksaa sellaisten alueiden skannaamisesta, joita ei projektissa tarvita. On kuitenkin varmistuttava siitä, että kaikki oleellinen tulee malliin mukaan.

Fordin maahantuonnin kautta saatiin tieto, että Ford tarjoaa päällirakentajille käyttöön 3D-malleja autojensa osista. Näin ei tarvinnut ryhtyä skannaamaan autoa, vaan voitiin pyytää valmistajan edustajalta suoraan tarvittavien osien mallit. Autoista ei saanut kokonaismalleja, vaan niistä tuli eritellä vain projektissa tarvittavat osat. Autosta pyydettiin muun muassa rungon, puskurin, konepellin, katon ja vetopalkin mallit, joiden avulla saatiin hahmoteltua koko auton mittasuhteita.

### **3.3 Rakennus**

Työskentelytason rakennus päästiin aloittamaan alustavien suunnitelmien mukaan, kun käytettävät autot saapuivat. Ensimmäinen auto toimitettiin alihankkijalle, joka alkoi valmistaa alumiinirakennetta alkaen itse työskentelytasosta. Alihankkijan kanssa pidettiin tiiviisti yhteyttä ja käytiin läpi yksityiskohtia rakenteesta ja mietittiin yhdessä niiden toteutustapaa. Alihankkijalle annettiin alumiinirakenteiden ammattilaisina melko vapaat kädet toteuttaa rakennetta parhaaksi katsomallaan tavalla samalla kuitenkin seuraten tiiviisti rakentamisen edistymistä.

Samaan aikaan kun työskentelytasoa valmistettiin ja sen mitat ja rakenne saivat lopullisen muotonsa, 3D-mallinnettiin koko auton päälle tuleva rakenne työskentelytasoineen, portaineen ja kiinnityksineen. Mallin avulla päästiin suunnittelemaan muun muassa rakenteen kiinnitysosat auton keulaan ja keulalle tulevien tukijalkojen rakenne. Suunnittelussa päästiin hyödyntämään valmistajalta saatuja auton 3D-malleja. Etuosaan tulevat kiinnikkeet suunniteltiin teräksestä ja ne tilattiin alihankintana Tamminiitty Oy:ltä. Suunnittelutyön vaiheista on kerrottu tarkemmin luvussa 4.

Rakentamisen aikana eteen tuli muutamia haasteita, joista selvittiin kuitenkin hyvällä yhteistyöllä ja kommunikaatiolla rakennetta toteuttavan alihankkijan kanssa. Eräs haaste oli ajoneuvon korkeus työskentelytason kanssa, sillä kaiteet nousivat niin korkealle, että auto ei sellaisenaan mahtunut Mansen Levytyö Oy:n tuotantotilojen ovista ulos. Rakennetta muutettiin niin, että itse työskentelytaso kiinnitettiin pulteilla portaisiin ja autoon kiinnitettäviin tukirakenteisiin.

Kun työskentelytason perusrakenne oli valmis ja kiinnitetty auton päälle, suoritettiin sille testaus 300 kg:n massan avulla. Massa sijoitettiin eri kohtaan rakennetta, minkä jälkeen todettiin, että se ei aiheuttanut rakenteeseen vaurioita tai pysyviä muodonmuutoksia. Tasolle määriteltävän painorajan määrittelyssä käytettiin varmuuskerrointa 2, jolloin tasolla sallittava paino on 150 kg. Koska työskentelytaso on suunniteltu yhden työntekijän käytettäväksi kerrallaan, riittää painoraja suunniteltuun käyttöön.

### **3.4 Testaus**

Kun työskentelytaso oli saatu rakennettua siihen pisteeseen, että alumiinirakenne oli kokonaisuudessaan auton päällä, sovittiin loppuasiakkaan kanssa auton näytöstä ja testauksesta. Tässä vaiheessa rakenteeseen ei oltu vielä kiinnitetty suunniteltuja tukijalkoja, valoja tai tehty muitakaan viimeistelytoimenpiteitä, mutta sitä pääsi jo testaamaan todellisessa käyttöympäristössä ja ajamaan lentokoneen siivelle. Kuvassa 2 auto alumiinirakenteineen valmiina lähtemään testaukseen.



KUVA 2. Auto testausvaiheessa.

Kuvassa auton keulalla tason pystytukien alaosissa näkyvät 100x60x5 mm U-profiilista valmistetut kotelot tukijalkoja varten. Työskentelytason päässä olevat keltaiset umpikumipyörät ovat noin 20 mm tason rungon alapinnan alapuolella. Niiden tehtävä on pehmentää kontaktia ja vähentää vaurioita, mikäli taso jostain syystä osuukin lentokoneeseen tai muuhun kohteeseen.

Auto ajettiin lentokentälle, missä loppuasiakas toimii. Työskentelytasoauton rakennetta käytiin läpi yhdessä asiakkaan edustajien ja Pajakulma Oy:n edustajan kanssa. Autoa testattiin myös suunnitellussa käyttötarkoituksessaan, eli työskentelytason etuosa ajettiin lentokoneen siiven yläpuolelle. Kuvassa 3 auto ajettuna koneen siivelle.



KUVA 3. Testiajo siiven päälle.

Kuvassa näkyy hyvin se, että työskentelytason alareunan ja lentokoneen siiven väliin jää huomattavasti tyhjää tilaa. Koska tilaa oli näin reilusti, pystyi tasolla kävelemään ja siltä laskeutumaan siivelle ilman, että auton jousitus painuisi niin paljon, että olisi vaaraa tason osumisesta siipeen, vaikka autossa ei ollut vielä tukijalkoja. Asiakkaan kanssa käydyn keskustelun pohjalta totesimme, että heidän antamassaan 2100 mm korkeusvaatimuksessa oli melko paljon ”pelivaraa”, jonka takia taso jäi näinkin paljon siiven yläpuolelle. Tason korkeus maasta oli muutaman senttimetrin yli pyydetyn, joten valmistusvirheestä ei ollut kyse.

Asiakkaan kanssa käytiin vaihtoehtoja läpi. Tämän jälkeen totesimme, että taso saa jäädä nykyiselle korkeudelle, sillä siitä pystyy edelleen laskeutumaan siivelle turvallisesti. Ratkaisu tarkoitti myös sitä, että autoon ei tarvitsisi asentaa tukijalkoja, sillä jousituksella oli nyt varaa painua sen verran alaspäin, mitä yhden työntekijän työskentely tasolla aiheutti. Tukijalkojen jättäminen pois yksinkertaisti rakennetta sen etuosasta ja vähensi mahdollisten vikakohteiden määrää ajoneuvossa. Työskentelytaso koettiin myös tarpeeksi vakaaksi ilman tukijalkoja, vaikka auton jousituksen takia siinä esiintyikin pientä heilumista tasolla liikuttaessa.

### 3.5 Asiakkaan toivomat muutokset

Lentokentällä suoritettun testin yhteydessä asiakas toi keskustelussa esiin toisen samaan lentokonemalliin liittyvän tarpeen, jota voitiin ajatella hoidettavaksi tällä samalla ajoneuvolla. Lentokoneen suihkumoottorit sijaitsevat koneen takaosassa rungon kyljissä, ja niille on myös tarve päästä tekemään huoltoja ja tarkistuksia. Työskentelytaso on juuri sopivalla korkeudella moottoriin nähden ja auton pääsee ajamaan kohtisuoraan lentokoneen runkoa vasten niin, että moottori jää työskentelytason etuosan viereen (Kuva 4).



KUVA 4. Testiajo lentokoneen moottorille (Marko Oksanen 2022).

Koska autossa nähtiin mahdollisuus käyttää sitä myös tähän työhön, rakenteeseen toivottiin tiettyjä muutoksia helpottamaan moottorille suoritettavia huoltotoimia. Työskentelytason kaiteet tulivat etuosistaan jonkin verran moottorin eteen, joten niitä haluttiin madaltaa 200 mm.

Yleensä moottorille tehtävä työ on sen sulattamista puhaltamalla siihen lämmintä ilmaa auton perässä vedettäviltä lämpöpuhaltimilta. Lämmintä ilmaa puhalletaan järeän haitariletkun kautta haluttuun kohteeseen. Letku on sen verran painavaa

ja hankalaa käsiteltävää, että sitä voisi olla vaikeaa ja riskialtista raahata mukana ylös tasolle moottorin lämmittämistä varten. Asiakas esittikin toiveen työskentelytasoon yhdistettävästä putkistosta, jolla lämmin ilma voitaisiin johtaa ylös työskentelytasolle ja sitä voisi sieltä puhaltaa haluttuun kohteeseen. Koska lämmitintä käytetään myös lentokoneiden sisäilman lämmittämiseen, on sen letkussa lentokoneen PCA (Preconditioned Air) -liittimeen sopiva liitin. Tätä liitintä voidaan käyttää hyödyksi letkun liittämiseen autoon tulevaan lämmitysputkistoon.

Edellä kuvattujen muutosten lisäksi asiakkaan kanssa käytiin läpi myös pienempiä lisäyksiä ja toiveita työskentelytasoon. Tason etummaisiin kannakkeisiin ja kaiteiden etureunaan päätettiin lisätä mahdollisia törmäyksiä pehmentävät kumit. Työskentelytason etuosaan ja auton taakse päätettiin asentaa työvalot sekä autoon istuinsuojat.

### **3.6 Muutosten toteuttaminen**

Kun rakenteeseen haluttavat muutokset olivat selvillä, muutettiin rakenteen 3D-mallia ja työkuvia vastaamaan niitä. Auto ja uudet kuvat toimitettiin alihankkijalle, joka suoritti rakenteeseen suunnitellut muutokset. Tällä välin toinen auto kävi maahantuojaan edustajalla muutostöissä, joiden ansiosta se voitiin rekisteröidä N2G-luokan kuorma-autoksi edullisempien verojen ja käyttömaksujen saavuttamiseksi.

Rakenteeseen tehtävistä muutoksista kaiteiden muuttaminen, tukijalkojen kiinnitysten poistaminen ja muut pienemmät muutokset olivat kaikki melko yksinkertaisia ja selkeitä tehdä. Ehdottomasti suuritöisin sekä suunnittelun että valmistuksen osalta oli lämmitysputkisto ja siihen liittyvä komponentit. Vaikka alihankkijana toimineen Mansen Levytyö Oy:n keskeisintä osaamisalaa on alumiinirakenteiden valmistus, sovittiin heidän kanssaan, että he voivat myös valmistaa ja asentaa lämmitysputkiston suunnitelmien pohjalta, sillä siihen liittyi myös alumiinista valmistettavia osia ja kiinnikkeitä.

Kun kaikki halutut muutokset ja lisäykset oli saatu rakenteeseen tehtyä, purettiin rakenne kokonaan auton päältä pois ja kuljetettiin Pajakulma Oy:n tuotantotiloihin. Siellä työskentelytaso siirrettiin sen auton päälle, joka oli aiemmin käynyt

kuorma-automuutoksessa. Näin toinenkin auto vapautui käymään muutostöissä ilman työskentelytasorakennetta. Rakenne oli helppo siirtää toiseen samanlaiseen autoon, sillä itse autoon ei oltu tehty muita muutoksia, kuin porattu muutama kiinnitysreikä ohjaamon suojaputkeen ja asennettu yksi kattoteline. Etukiinnikkeet oli asennettu molempiin autoihin jo aiemmin.

Kun rakenne oli saatu siirrettyä toisen auton päälle, päästiin asentamaan valoja. Asennettavissa valoissa tuli ottaa huomioon lain vaatimukset sekä asiakkaan tarpeet. Valaistuksen suunnittelusta on kerrottu tarkemmin luvussa 4. Autoon asennettiin myös penkinsuojat ja muuta asiakkaan toivomaa varustusta, kuten peruutuskamera. Auto ja koko työskentelytasorakenne viimeisteltiin siistiksi, minkä jälkeen auto oli valmis muutokatsastukseen ja sen jälkeen luovutettavaksi asiakkaalle.

### **3.7 Muutokatsastus**

Kun työskentelytasoauto oli saatu valmiiksi, tuli se muutokatsastaa. Katsastuksen suoritti SK Katsastus Oy, jota Pajakulma Oy käyttää muutenkin paljon katsastusten suorittamiseen. Ajoneuvo oli rekisteröity maahantuojan toimesta yksittäishyväksyntäperiaatteella N2G-luokan kuorma-autoksi, eikä muutokatsastus muuttanut ajoneuvoluokkaa. Katsastuksessa mitattiin auton kasvaneet kokonaismitat pituuden ja korkeuden osalta, muuttuneet omamassat akseleittain sekä muutettiin ajoneuvon korirakenteen tyyppi. Korirakenteeksi muutettiin ”muu korirakenne” ja ajoneuvon tietoihin tarkennettiin kyseessä olevan huoltotaso.

## 4 RAKENTEEN SUUNNITTELU

Työskentelytasoauton rakenteiden suunnittelussa käytettiin Solidworks 3D-mallinnusohjelmistoa. 3D-mallin avulla rakenteen mittasuhteet on helppo hahmottaa ja eri osien ja kokonaisuuksien mittoja, muotoja ja paikkoja on helppo muuttaa ja hakea kohdilleen.

### 4.1 Rakenteen kiinnitys auton keulaan

3D-suunnittelu aloitettiin alihankkijan kanssa käydyn ensimmäisen palaverin jälkeen, jossa lyötiin lukkoon rakenteen muutamia keskeisiä mittoja. Suunnittelu aloitettiin rakenteen ja tukijalkojen kiinnityksestä auton keulaan, jotta jäisi mahdollisimman paljon aikaa tilata tarvittavia osia. Toisin kuin auton lavalla, keulassa ei ole valmiina helposti saavutettavia kiinnityspisteitä, joihin rakenteen voisi kiinnittää. Koko keulaa peittää muovinen puskuri, jota ei ole tarkoitus tuhota rakenteen kiinnittämisen takia (Kuva 5.).



KUVA 5. Muovipuskuri.

Etupään kiinnitys päädyttiin ratkaisemaan niin, että tuodaan muovipuskurin etupuolelle teräspalkki, johon voi kiinnittää sekä alumiinirakenteen että tukijalat. Teräspalkki kiinnitetään auton runkoon muovipuskurin alapuolelta. Auton katon yläpuolella oleva työskentelytaso tuetaan tähän teräspalkkiin pystysuorilla alumiiniputkipalkeilla. Auton keulaan tuleva rakenne päätettiin tehdä teräksestä alumiinin sijaan muusta rakenteesta poiketen, sillä sen muoto ja käyttötarkoitus altistavat sen koville kuormituksille. Työskentelytason käyttötilanteessa tason ja tasolla olevan työntekijän aiheuttamat voimat on tarkoitus johtaa tukijalkojen avulla suoraan maahan, mutta rakenne on järkevää suunnitella niin, että se kestää suunnitellun käytön myös ilman tukijalkojen käyttöä.

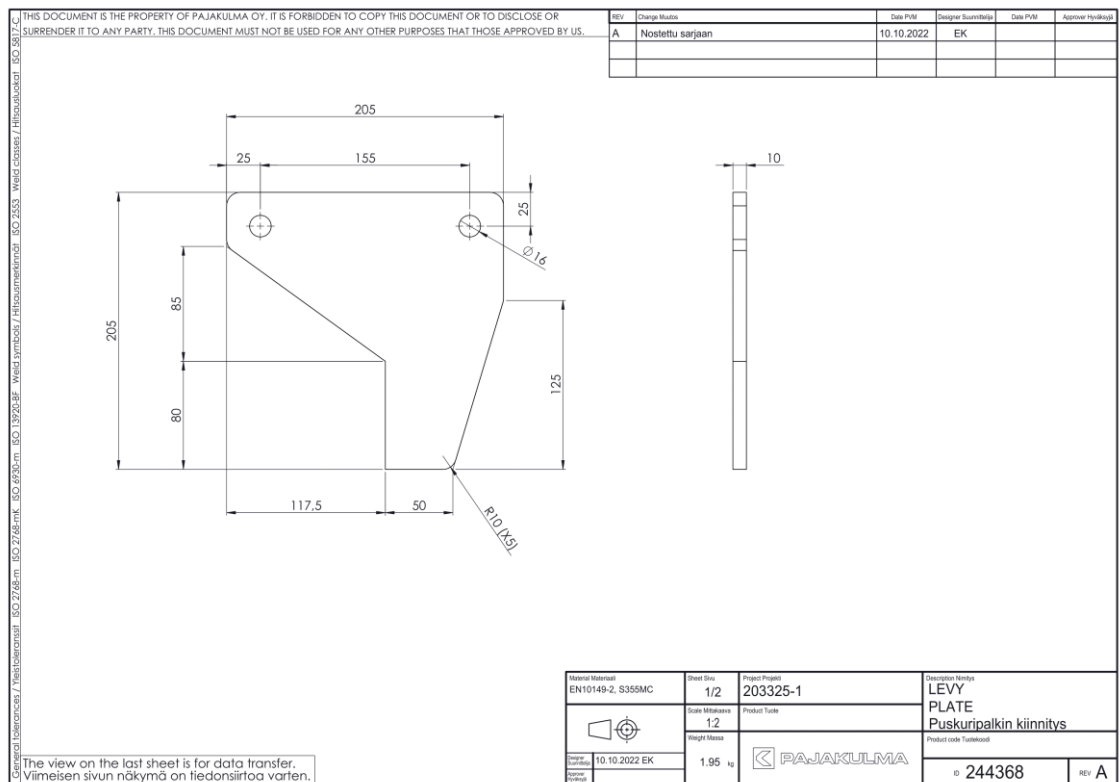
Auton runko, puskuripalkki, muovipuskuri ja muut auton keulan osat muodostavat monimutkaisen kokonaisuuden, jonka mitoittaminen käsin voi olla hyvin haasteellista. Autovalmistaja tarjoaakin suunnittelun avuksi auton eri osista 3D-malleja, joiden avulla osien mitoituksen pystyy määrittelemään hyvin tarkasti. Keulaan tulevan kiinnikkeen suunnittelussa käytettiin hyödyksi auton rungon ja muovipuskurin malleja. Suunnittelua helpotti myös se, että pääsi tutkimaan todellisen auton rakennetta ja vertaamaan sitä malleihin. Näin sai esimerkiksi käsityksen siitä, mitä kaikkia osia 3D-malleissa ei näy. Nämä osat on kuitenkin otettava huomioon rakennetta suunniteltaessa. 3D-mallien käyttöoikeussopimuksen takia niitä ei voi esittää tässä opinnäytetyössä.

Kyseessä olevan auton runkopalkit eivät ole suorat eikä selkeää tasakylkistä profiilia, kuten esimerkiksi raskaammissa kuorma-autoissa. Runkopalkkien etuosassa oli kuitenkin tasaiset kohdat, joihin rakenteen saattoi kiinnittää poraamalla reiät runkopalkista läpi pultteja varten. Toisena kiinnityskohtana voitiin käyttää runkopalkkien päihin kiinni tulevan puskuripalkin kiinnityspultteja. Näihin kiinnityspisteisiin kiinnittyvät osat suunniteltiin rungon ja muovipuskurin 3D-mallia hyödyntäen niin, että rakenne kiertäisi muovipuskurin alapuolelta, mutta jättäisi maavaran kuitenkin mahdollisimman suureksi.

Puskurin etupuolelle tulevan putkipalkin kooksi valittiin yleisesti saatavilla oleva 80x40x3 mm ja materiaaliksi yleinen putkipalkeissa käytetty materiaali S355J2H, joka kestää varmasti rakenteeseen kohdistuvan kuormituksen. Palkin etupintaan

suunniteltiin hitsattavaksi 5 mm vahvuiset kiinnityslevyt, joihin tukijalat ja työskentelytason tukirakenteet voisi kiinnittää pulteilla. Autoon kiinnittyvät osat suunniteltiin tehtäväksi levyleikkeinä 10 mm ainevahvuudella siten, että koko kiinnike voitaisiin valmistaa ja asentaa autoon yhtenä kokonaisuutena. Kaikkien levyosien materiaaliksi määriteltiin S355MC.

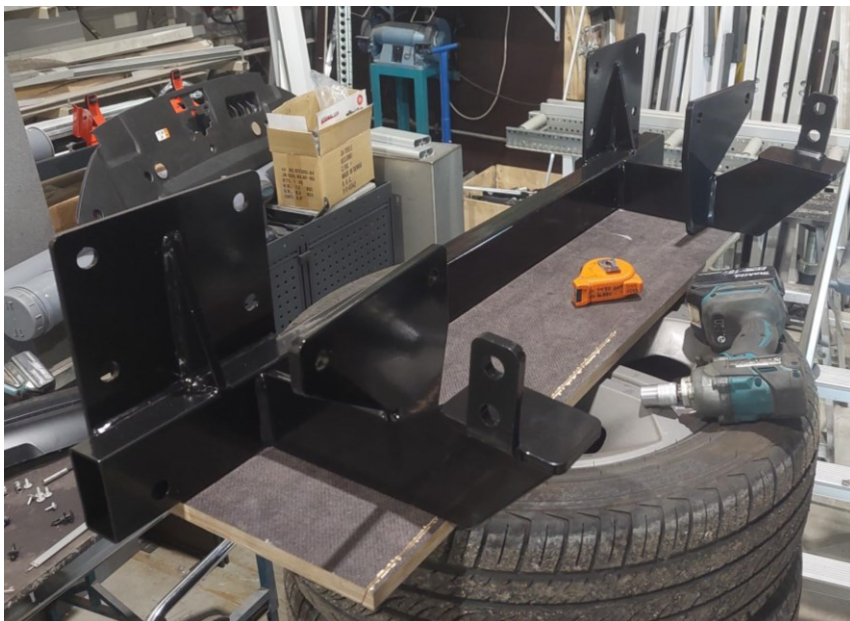
Rakenteen jokaisesta osasta tehtiin omat työkuvansa, joiden avulla osat voidaan valmistaa. Levyosista tehtiin myös dxf-tiedostot, joiden avulla levyt voidaan leikata suoraan oikeaan muotoonsa esimerkiksi laser-leikkurilla. Kuvassa 6 esimerkkinä erään levyosan mittakuva, josta käy ilmi osan kaikki mitat, massa, materiaali sekä valmistuksessa käytettävät toleranssit.



KUVA 6. Levyosan mittakuva.

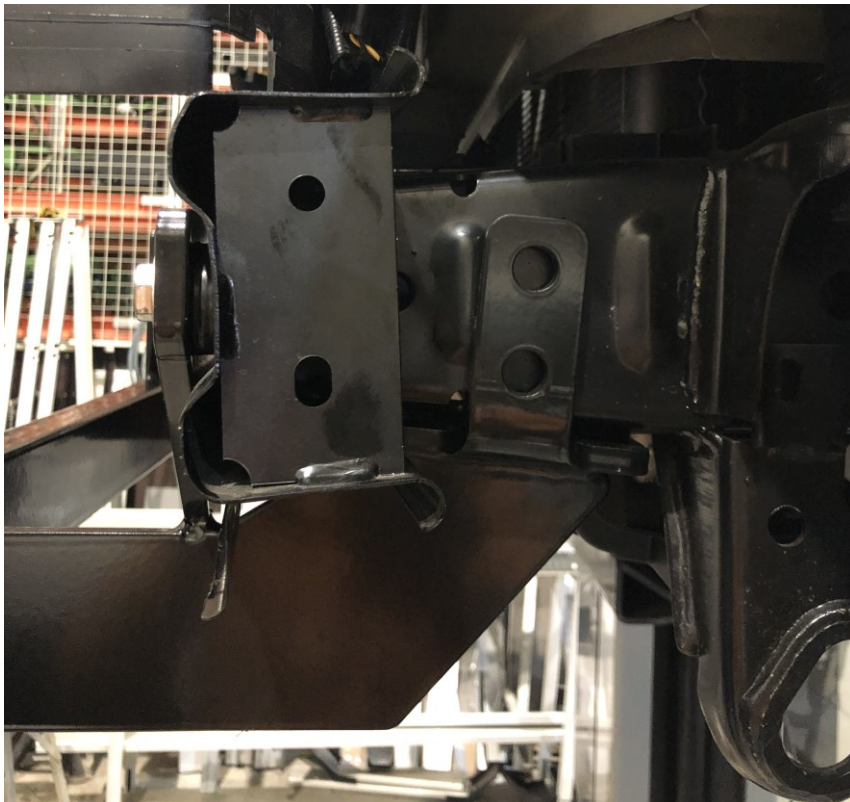
Osien mittakuvien lisäksi tehtiin hitsauskoonpanokuvat, joiden perusteella osat voidaan hitsata toisiinsa halutulla tavalla. Kuvassa 7 on esimerkki hitsauskoonpanokuvasta. Piirustuksessa on mukana osalista, jossa on määritelty kokoonpanoon tulevat osat ID-numeroineen ja niiden määrä kokoonpanossa. Osat on kuvassa numeroitu ja niiden paikoitus muihin osiin on määritelty tarvittavilla mitoilla





KUVA 8. Etukiinnike.

Kuvassa 9 näkyy sivusta päin rakenteen kiinnitys auton runko- ja puskuripalkkiin. Runkopalkkiin kiinnitys tapahtuu läpipulteilla palkin läpi ja kiinnitys puskuripalkkiin sen omiin kiinnityspultin reikiin. Kiinnike vastaa runkopalkin alapintaan.



KUVA 9. Etukiinnikkeen kiinnitys autoon.

## 4.2 Tukijalat

Alkuperäisessä suunnitelmassa auton keulalle oltiin suunniteltu tukijalkoja, jotka estäisivät jousituksen painumisen ja työskentelytason osumisen lentokoneen siipeen. Kaksi tukijalkaa työskentelytason etutukien kohdalla vakauttaisi autoa sekä pituussuunnassa että jonkin verran myös poikittaissuunnassa. Tukijaloista haluttiin tehdä mahdollisimman helppokäyttöiset ja automaattiset, jotta niitä oikeasti käytettäisiin asiakkaan jokapäiväisessä toiminnassa. Jalkojen liikuttaminen ylös ja alas tuli siis toteuttaa koneellisesti, ei siis esimerkiksi käsiveivillä. Jalat tuli myös sovittaa yhteen työskentelytason etutukien kanssa niin, että ne eivät merkittävästi tulisi auton keulan etupuolelle, sillä työskentelytason vaadittu etuylitys mitataan auton keulan etummaisesta kohdasta.

Pajakulma Oy:n kanssa samaan Jyki Group -konserniin kuuluva Fokor Oy käyttää nousevakattoisissa korirakenteissaan LINAK Oy:n valmistamia karamoottoreita, joita voidaan tietyissä tapauksissa käyttää sähkötoimisina hydraulisynterinin korvaajina. Tällaisilla karamoottoreilla todettiin olevan hyvä kantokyky ja muut sopivat ominaisuudet, kuten kompakti koko ja riittävä iskunpituus, joten niitä päätettiin käyttää tukijalkojen käyttövoimana. Karamoottoreita on saatavana useissa eri kokoluokissa ja halutulla mitoituksella, joten parhaan ratkaisun löytymiseen kyseiseen tarpeeseen käytettiin LINAK Oy:n asiantuntijan apua. Ratkaisevia tekijöitä moottorin valinnassa oli sen iskunpituus ja kuormankantokyky.

Moottoreiden iskunpituudeksi määriteltiin 450 mm, jotta tukijaloilla olisi varmasti riittävästi liikepituutta, vaikka niiden täytyisi laskeutua esimerkiksi maassa olevaan kuoppaan. Tämä tosin on lentokenttäolosuhteissa melko epätodennäköistä. Karamoottoreiden pituus ei kuitenkaan ollut kriittinen mitta, sillä keulan eteen pysyvästi sijoitetuilla moottoreilla olisi ylöspäin reilusti tilaa.

Tukijalkojen käyttötilanteessa työskentelytaso ajetaan ensin siiven päälle, minkä jälkeen tukijalat lasketaan maahan ja työntekijä kiipeää tason päälle. Tukijalkojen ei tarvitse siis varsinaisesti nostaa rakennetta, vaan kantaa vain työntekijän aiheuttama kuormitus. Moottoreiden itsepidättyvyyskyvyt ovat niin suuria, että ne

riittävät varmasti kantamaan työskentelytasolla minkälaisen työntekijästä aiheutuvan kuorman tahansa. Käyttöön valitussa LA36-moottoreissa itsepidättyvyyskyky on 8800 N (Linak n.d.), joten kahden jalan yhteinen kantokyky on 17,6 kN.

Karamoottoreiden valmistajalta saatiin tilatuista moottoreista 3D-mallit, joiden avulla päästiin suunnittelemaan itse tukijalkojen rakennetta. Koska tukijalat tulisivat osaksi alumiinista rakennetta, eikä niiden tarvitsisi kestää erityisen suuria voimia, päätettiin ne valmistaa myös alumiinista. Rakenteen perustaksi suunniteltiin kaksi sisäkkäistä neliöputkea, joista sisempi liukuisi ulos ja toimisi näin maahan laskeutuvana tukijalkana. Ulompi putki suunniteltiin kiinteäksi osaksi työskentelytason tukirakennetta.

Kuvassa 10 näkyy suunniteltu tukijalka 3D-mallina. Vasemmalla tukijalka kokoonpantuna ja oikealla ns. räjäytyskuva, josta näkee kokoonpanon eri osat. Kuvassa vaaleat osat ovat alumiinia, vihreä nylonia ja harmaat tapit ovat terästä. Kokoonpanossa on näkyvillä myös karamoottori, jonka runko on harmaa ja yläosa musta.



KUVA 10. Tukijalka.

Kuvasta nähdään tukijalan rakenne, jossa ulompi osa koostuu 1000 mm pitkstä 100x60x5 mm U-profiilista, 500 mm pitkstä 80x80x4 mm neliöprofiilista ja kiinnityslevystä. Sisempi osa tukijalkaa koostuu 640 mm pitkstä 60x60x3,8 mm neliöprofiilista ja sen pintaan kiinnitetyistä 5 mm nylonlevyistä sekä maata vasten tulevasta tallasta. Nylon-levyt toimivat kahden alumiinipinnan välissä liukuvana elementtinä ja ne myös tekevät sisäkkäisten osien sovitukselta sopivan tiukan jättäen kuitenkin 2 mm toimintavälilyksen. Karamoottorin runko tulee sisäjalan sisälle ja sen liikkuva ”mäntä” kiinnittyy tapilla tukijalan sisempään osaan. Moottorin runko kiinnittyy puolestaan tapilla tukijalan ulompaan kiinteään osaan, jolloin moottorilla pystytään ajamaan tukijalan sisempää osaa suhteessa ulompaan.

Tapin, joka kiinnittää karamoottorin tukijalan sisempään osaan, tulee mahtua liukumaan ulomman osan sisälle. Tapin pituus on siis melko kriittinen, sillä tilaa kahden profiilin välissä on vain 6 mm puolellaan. Sopivan mittaisen tapin käyttämisen lisäksi sen lukitseminen paikalleen tulee toteuttaa siten, että se mahtuu ulomman profiilin sisään, joten sitä ei voi toteuttaa perinteistä sokkaa käyttäen. Lukitus suunniteltiin toteutettavaksi lukkorenkaalla, joka tulisi tappiin koneistettavaan uraan.

Tukijalan ulommassa osassa on kiinnityslevy, joka vastaa auton keulaan kiinnitettävässä teräksisessä kiinnikkeessä oleviin vastaaviin levyihin ja kiinnittyy näin autoon. U-profiilin yläosaan on jätetty tilaa hitsata kiinni työskentelytason etuosaan tulevat pystysuorat tuet. Näin tukijalat toimivat osana työskentelytasoa kannattelevaa rakennetta ja sen aiheuttamat voimat kohdistuvat suoraan tukijalkojen kautta maahan.

Kuten edellisessä luvussa on kerrottu, jäivät tukijalat lopullisesta versiosta kokonaan pois.

### **4.3 Alumiinirakenne**

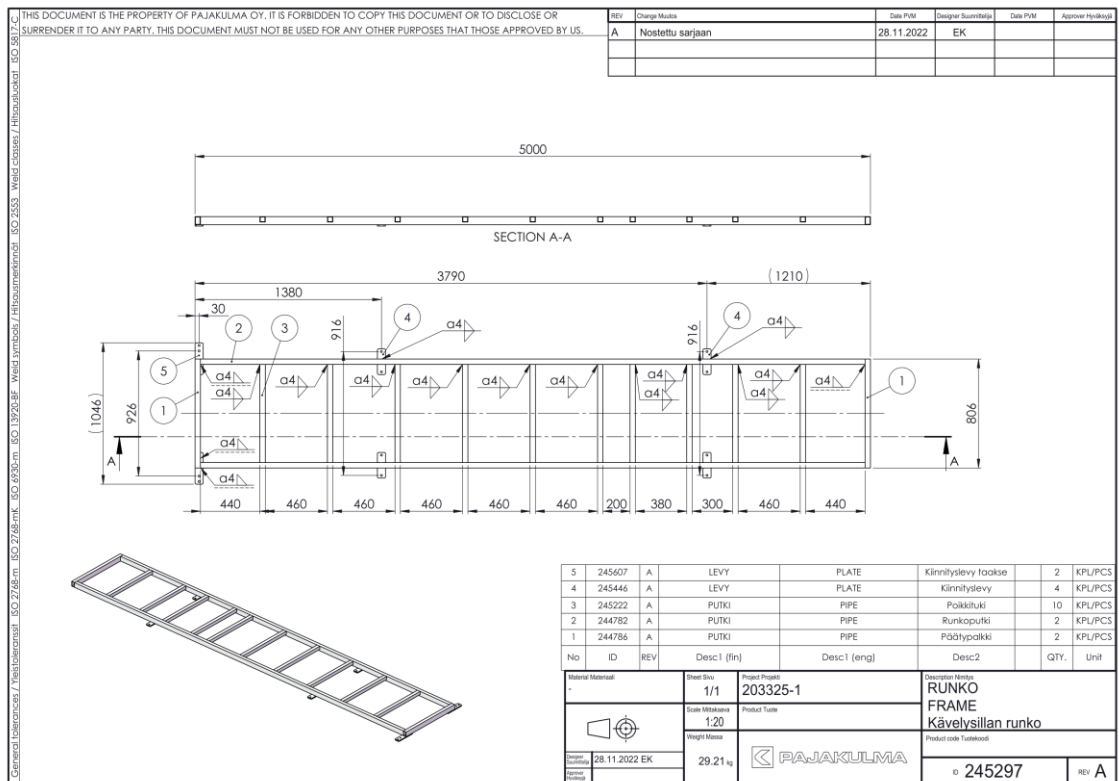
Edellä esitellyt kokonaisuudet toteutettiin selkeässä järjestyksessä, jossa ensin suunniteltiin kokonaisuudet valmiiksi asti, minkä jälkeen ne toteutettiin tarkasti suunnitelmien mukaan. Auton päälle tulevan alumiinirakenteen suunnittelutyö lavalta nousevine portaineen toteutettiin yhteistyössä Mansen Levytyö Oy:n

kanssa, osittain samaan aikaan rakentamisen kanssa. Työskentelytason rungon mitat, käytettävät putkiprofiilien koot ja kaiteiden muodot oli lyöty lukkoon jo alkuvaiheessa ja niistä tehtiin 3D-mallit, jotka vastasivat samaan aikaan rakenteilla olevaa tasoa.

Alihankkijan kanssa käydyissä säännöllisissä palavereissa käytiin yhdessä läpi rakenteen yksityiskohtia ja niiden toteutustapaa. Suurelta osin rakenne toteutettiin niin, että yhdessä sovittiin ratkaisusta pääpiirteittäin, alihankkija toteutti ne omaa ammattitaitoaan ja kokemustaan hyödyntäen, jonka jälkeen valmiit osat mallinnettiin ja niistä tehtiin työkuvat, joiden avulla osat voitaisiin toisintaa jatkossa. Mallinnuksen yhteydessä osiin tehtiin myös joitakin paranteluja ja viimeistelyjä, jotka toteutettaisiin seuraavassa autossa.

#### **4.3.1 Taso**

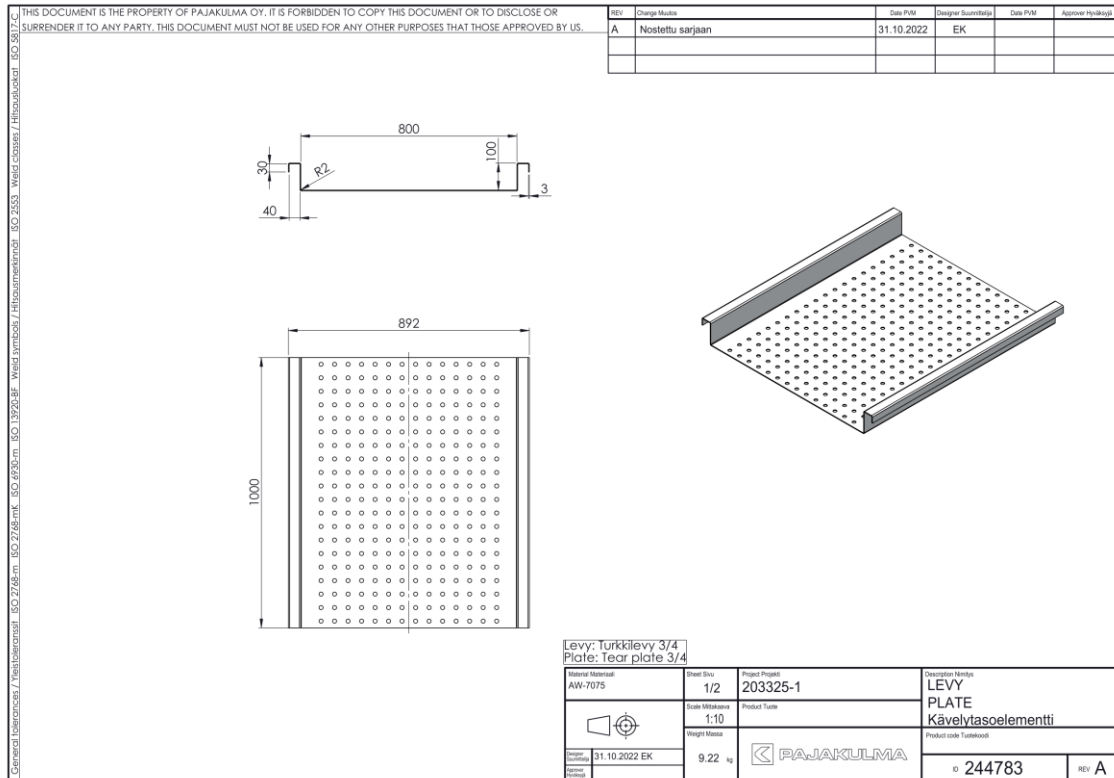
Työskentelytason runko päätettiin toteuttaa ns. tikapuurunkona, jossa pitkät runkoputket tehdään 60x40x3 putkipalkista ja poikkipalkit 40x40x3 putkipalkista. Alihankkijan mukaan tämä on yleisesti käytetty ja hyväksi todettu rakenne vastaavanlaisissa kulkutasoissa. Tikapuurungon päälle tulevat tason pohjalevyt ovat pituudeltaan metrin, joten poikkipalkkeja päätettiin sijoittaa levyjen saumakohtiin ja levyjen keskelle. Kuvassa 11 on rungon työkuva, josta näkyy rungon mitoitus. Poikkipalkkien sijoittelun yhdessä kohdassa esiintyvä epäjatkuvuus johtuu lämpöputkesta, jonka suunnittelusta kerrotaan luvussa 4.4.



KUVA 11. Työskentelytason rungon työkuva.

Alun perin ajatuksena oli tehdä koko työskentelytaseorakenteesta hitsattu kokonaisuus, johon kuuluisivat tason lisäksi portaat ja kiinnitykset autoon, mutta tason suunnittelun ja valmistuksen edetessä päätettiin taso toteuttaa niin, että se kiinnitetään pulteilla autoon tuleviin kiinnikkeisiin. Tason rungon työkuva (Kuva 11.) näkyikin kuusi kappaletta kiinnityslevyjä (Osat nro 4 ja 5), joiden avulla taso kiinnitetään.

Rungon päälle tulevat levyt, joiden päällä tasolla voi liikkua. Levynä päätettiin käyttää 3/4 mm turkkilevyä, johon alihankkija teki osittain kohollaan olevan reikäkuvion. Reikäkuvio varmistaa hyvän pidon kengän alla, sekä tehokkaan veden poistumisen tasolta. Metrin pituisiin levyihin suunniteltiin särmättäväksi reunoihin 100 mm korkeat jalkalistat, jotka estävät jalan lipeämisen tason reunan yli. Kuva 12 on levyn työkuva ensimmäinen sivu.



KUVA 12. Tason pohjalevyn työkuva.

Työskentelytason jäykkyyden ja kestävyysvarmistamiseksi kaiteet suunniteltiin kiinteäksi osaksi tasoa ja niiden rakenne ristikkomaiseksi. Kolmioista muodostuva ristikkorakenne on tehokas tapa lisätä rakenteen jäykkyyttä. Varsinainen kaideputki päätettiin toteuttaa 40x2 mm pyöreästä putkesta, joka kulkisi katkeamatta tason päästä päähän. Kaiteeseen suunniteltiin kaksi pystyputkea, jotka jatkavat kaiteen kolmeen yhtä pitkää osaan. Pystyputkien väliin suunniteltiin X:n muotoiset ristikot. Pysty- ja vinoputket päätettiin toteuttaa 30x2 mm putkesta. Kuvassa 13 näkyy kaiteiden ja pohjalevyjen toteutus.



KUVA 13. Työskentelytaso hitsattuna.

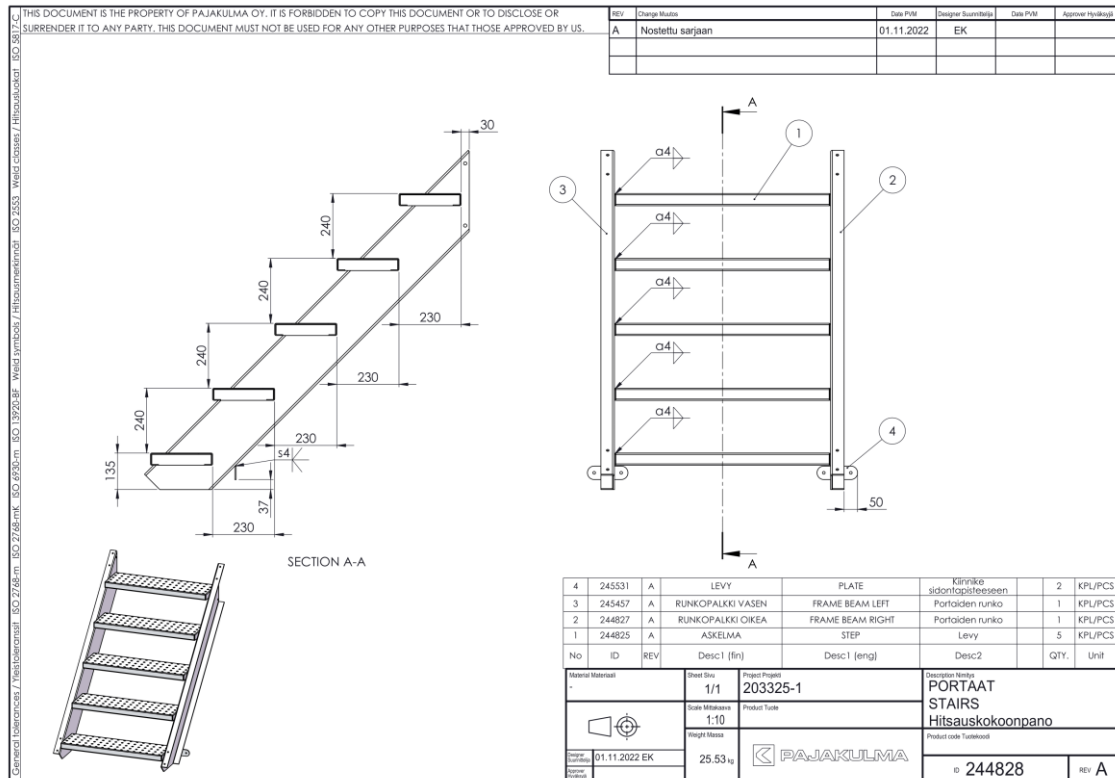
#### 4.3.2 Portaat

Auton katon yli kulkevan tason lisäksi toinen suuri kokonaisuus työskentelytason rakenteessa on portaat, joita pitkin tasolle pääsee kiipeämään. Portaiden suunnittelussa lähdettiin liikkeelle siitä, että mitattiin lavalta työskentelytason päälle muodostuva nousukorkeus, joka on noin 1,4–1,5 metriä. Yhden askelman sopivaksi nousukorkeudeksi todettiin erilaisia olemassa olevia portaita tutkimalla noin 250 mm, joten portaat päädyttiin toteuttamaan kuudella nousulla. Ensimmäinen nousu on lavalta ensimmäiselle porrasaskelmalle ja viimeinen askelmalta tasolle, joten erillisiä askelmia tarvittiin viisi kappaletta. Nousukulmaksi valittiin 45 astetta, jolloin portaat alkaisivat sopivasti lavan takaosasta.

Porrasaskelmat päätettiin valmistaa samasta levystä kuin tason pohja samalla reikäkuviolla yhtenäisen ilmeen ja hyvän pidon saavuttamiseksi. Askelmista suunniteltiin myös yhtä leveät tason kanssa, eli 800 mm.

Portaiden rungon suunnitteleminen ja toteuttaminen yhdessä sovittujen arvojen mukaan jätettiin kokonaan Mansen Levytyö Oy:n vastuulle. Runko toteutettiin

särmämällä 5 mm alumiinilevystä C-profiilin muotoiset palkit mitoilla 215x50 mm. Nämä palkit viistettiin päistään 45 asteen kulmaan ja porrasaskelmat hitsattiin niihin kiinni. Kuvassa 14 näkyy portaiden rakenne ja mitoitus. Runkopalkkeissa on kiinnitysreiät kaiteille, sekä portaiden kiinnittämiselle autoon ja työskentelytasoon.



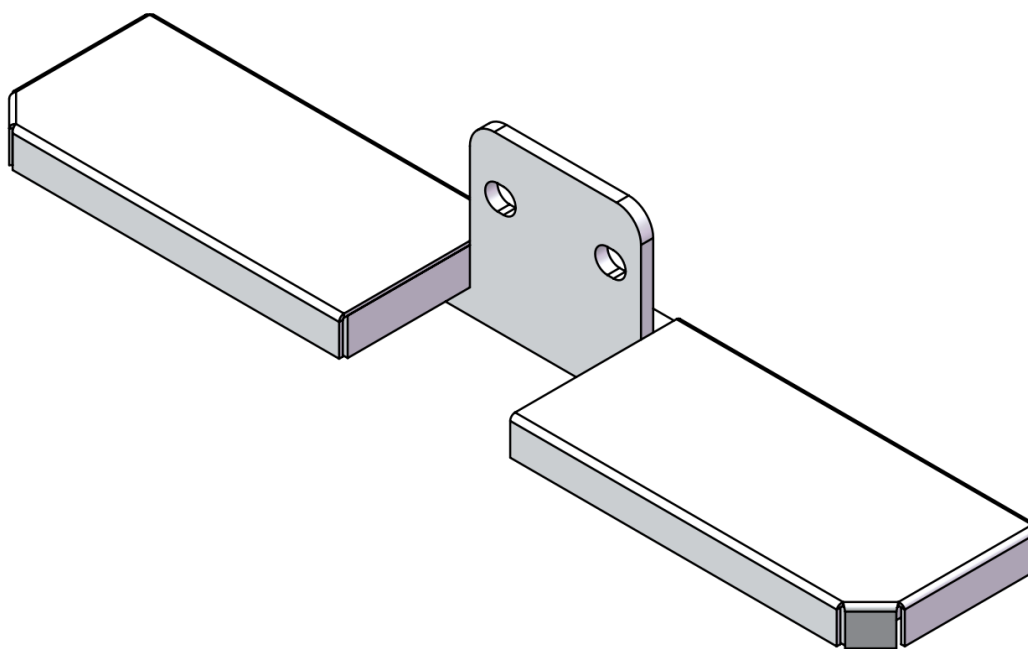
KUVA 14. Portaiden työkuva.

Koneiden kiinteiden kulkuteiden mitoittamista on ohjattu standardissa, jonka mukaan portaiden kahdella kerrotun nousun  $h$  ja etenemän  $g$  summa tulisi olla 600 ja 660 millimetrin välissä (SFS-EN ISO 14122-3 2016). Suunnitelluissa portaissa nousukorkeus on 240 mm ja etenemä 230 mm. Kun nousukorkeus kerrotaan kahdella ja siihen lisätään etenemä, saadaan tulokseksi 710 mm. Tulos on hieinan ohjearvon yläpuolella, mikä kertoo lähinnä siitä, että portaiden nousukorkeus on jonkin verran optimia suurempi. Mikäli nousukorkeutta haluttaisiin pienentää, tulisi portaisiin lisätä yksi askelma. Tämän todettiin kuitenkin olevan käytettävyyden kannalta huonompi ratkaisu, sillä nousut olisivat olleet näin melko tiheässä. Tulosta olisi voinut saada lähemmäksi tavoitearvoa myös pienentä-

mällä portaiden etenemää, mikä olisi puolestaan jyrkentänyt portaiden nousukulmaa. Tämäkin vaihtoehto todettiin huonoksi, sillä portaiden nousukulmaa ei haluttu kasvattaa jo kohtuullisen jyrkästä 45° kulmasta enempää.

Portaisiin tuleva kaide suunniteltiin toteutettavaksi samalla tavalla kuin työskentelytason kaiteet, eli kaiteen ulomainen putki toimii samalla kaiteen päädyissä olevina pystyputkina. Kaide suunniteltiin niin, että se jatkuisi mahdollisimman siististi ja helppokäyttöisesti työskentelytason kaiteen jatkoksi. Kaideputkena käytetään samaa 40x2 mm putkea kuin tasonkin kaiteessa. Kaiteeseen suunniteltiin yksi väliputki, joka kulkee samansuuntaisesti yläputken kanssa. Kaiteet suunniteltiin pulttikiinnitteisiksi portaiden runkoon.

Auton lavalle nousemista helpottamaan suunniteltiin vetokoukun kiinnityspultteihin kiinnittyvä porrasaskelma, joka valmistettiin myös samasta turkkilevystä kuin työskentelytason pohja ja porrasaskelmat. Koska askelma kiinnittyy autoon kahdella pultilla vain keskeltä, on sen rakenteen oltava hyvin jäykkä kestääkseen toispuoleiset kuormitukset lavalle nousun ja laskeutumisen aikana. Askelman on myös jätettävä tarpeeksi tilaa mahdollisen perävaunun aisan liikkeille auton suhteen. Kuvassa 15 on 3D-malli vetokoukun ja auton vetopalkin väliin kiinnitettävästä askelmasta. Askelman keskellä on tilaa vetokoukulle.



KUVA 15. Vetokoukkuaskelma.

### 4.3.3 Kiinnikkeet

Kuten aiemmin on kerrottu, työskentelytason kiinnittämisestä autoon haluttiin aiheuttaa autolle mahdollisimman vähän vaurioita. Aiemmin esitellyn keulaan tulevan kiinnityksen lisäksi rakenne suunniteltiin kiinnitettäväksi kattotelineeseen, lavan etuosassa olevaan putkeen sekä lavan sidontapisteisiin.

Rakenteen kiinnittämiseksi kattotelineeseen suunniteltiin telineen poikittaisen putken päälle asettuvat särmättävät alumiinilevyt, jotka voitaisiin kiinnittää kattotelineeseen pulteilla. Näihin levyihin suunniteltiin hitsattavaksi pystyputket, jotka tukisivat työskentelytasoa.

Lavaputken päälle tuleva kiinnike toteutettiin samalla tavalla. Putken päälle tuleva levy vain tulee särmätä eri tavalla, mutta muuten rakenne on samankaltainen kuin kattotelineeseen tulevassa kiinnikkeessä.

Portaiden kiinnittäminen lavalla oleviin sidontapisteisiin pystyttiin toteuttamaan helposti käyttämällä olemassa olevia pultinreiä, joihin sidontalenkit normaalisti kiinnittyvät. Käytettävät sidontapisteet sijaitsivat lavan etuosassa sekä keskivaiheilla laidan alaosassa. Molempien pisteiden välille suunniteltiin 60x40x3 mm suorakulmaisesta profiilista valmistettavat tuet, joiden päihin hitsataan kiinnityslevyt.

Taaemman sidontapisteen pultinreiät ovat vaakatasossa toisiinsa nähden, joten putkiprofiili asemoitiin niin, että sen pidempi kylki on vaakasuunnassa, jolloin sen jäykkyys ei ole niin suuri kuin toisinpäin. Jäykkyyden lisäämiseksi ja kiinnityksen saattamiseksi oikealle korkeudelle putken päälle hitsattiin toinen samankokoinen putkipalkki pidempi kylki pystysuunnassa. Etummaisen kiinnikkeen pultinreiät olivat pystysuunnassa, joten etummainen kiinnike toteutettiin yhdellä putkipalkilla, joka asemoitiin pidempi kylki pystysuoraan. Putkipalkkiin kiinnitettiin pultein samasta profiilista valmistetut tuet, jotka tukevat portaita niiden yläpäästä. Kuvassa 16 näkyvät portaiden kiinnityspalkit, jotka on kiinnitetty lavan sidontapisteisiin.



KUVA 16. Portaiden kiinnitys lavalle.

#### 4.4 Lämmitysputkisto

Kuten luvussa 3.5 on kerrottu, sovittiin auton testaamisen yhteydessä tietyistä muutoksista ja lisäyksistä rakenteeseen. Suurimpana muutoksena oli lämmitysputkisto, jolla voitaisiin johtaa lämpöpuhaltimen tuottamaa lämmintä ilmaa ylös työskentelytasolle ja suunnata ilmavirta helposti haluttuun kohteeseen kuten lentokoneen moottoriin.

Suunnitteluun saatiin hyvä lähtökohta asiakkaalla jo olevasta vastaavanlaisesta ratkaisusta toisessa ajoneuvossa. Siinä putkisto oli tehty eristetystä ilmastointiputkesta, joka johti lämpimän ilman haitariputkelle, jonka voi suunnata haluttuun kohteeseen. Samaa rakennetta päätettiin käyttää myös tämän auton lämmitysputkijärjestelmän toteutuksessa.

Lämmityslaitteelta tulevassa letkussa on PCA-liitin, josta otettiin mitat putkistoon tulevan liitososan suunnittelua varten. Liitososa suunniteltiin sijoitettavaksi portaiden vasemmalle puolelle kaiteen takimmaisena pystyputken kohdalle osittain auton lavan reunan päälle, johon se voitiin kaiteen lisäksi tukea. Liitososassa tuli olla keskellä halkaisijaltaan 200 mm reikä, jonka molemmilla puolilla hahlot, joihin lämmityslaitteen PCA-liitin voitaisiin kiinnittää. Koska liitososasta tuli suunnitella tarpeeksi jäykkä kestävä painavan letkun aiheuttamia kuormituksia, suunniteltiin se 5 mm alumiinilevystä, jonka reunoihin tehtäisiin 20 mm korkeat särmäykset jäykkyyden lisäämiseksi. Särmätyt reunat suunniteltiin hitsattavaksi yhteen päädyistään. Levystä suunniteltiin kuusikulmainen, jolloin se sopii visuaalisesti hyvin pyöreän putken päähän, mutta siinä on kuitenkin helposti särmättävät reunat, eikä osaan muodostu teräviä kulmia.

Letku oli halkaisijaltaan n. 200 mm, joten putkistossa päätettiin käyttää 200 mm ilmastointikanavaa. Ilmastointikanavaan on saatavilla 90 asteen ja 45 asteen kulmapaloja, joilla suoria osuuksia voi yhdistellä, joten putken reititys liitoskappaleelta työskentelytasolle tulevalle haitariletkulle suunniteltiin käyttäen näitä kulmia. Rakenteesta tehdyn 3D-mallin avulla putken reittiä ja kokoonpanoa suorista osista ja kulmista oli helppo suunnitella. Ilmastointikanavan eristämiseksi käytettiin 20 mm solukumieristettä, joka liimataan putken päälle. Putken kiinnitys hoidettiin alihankkijan toimesta ohuella alumiinilevystä taivutetuilla pannoilla, jotka kiinnittyvät tason rungon poikkipalkkeihin.

Työskentelytasolle tulevan haitariputken valinnassa kriteereinä olivat vaadittu 60 °C lämpötilankesto ja hyvä kokoonpuristuvuus. Letkuksi valittiin Würthin valikoidusta PURFLEX P 2 PU -letkua, jolla on 100 °C lämpötilankesto ja se puristuu hyvin kasaan, jolloin 5 metriä pitkän letkun saa varastoitua pieneen tilaan. Letkun halkaisijaksi valittiin 203 mm, jolloin sen pystyy pujottamaan tiukasti 200 mm ilmastointikanavan päälle.

Letkun säilytykseen suunniteltiin tasolle asennettava alumiinista valmistettava laatikko, jonne letkun saa painettua kasaan kannen alle, kun se ei ole käytössä. Laatikko suunniteltiin valmistettavaksi samasta turkkilevystä kuin kävelytason pohjakin. Laatikko päätettiin sijoittaa tasolle juuri kaiteen etummaisena välipystyputken etupuolelle, jolloin sen pystyy kiinnittämään tukevasti kaiteeseen. Lisäksi

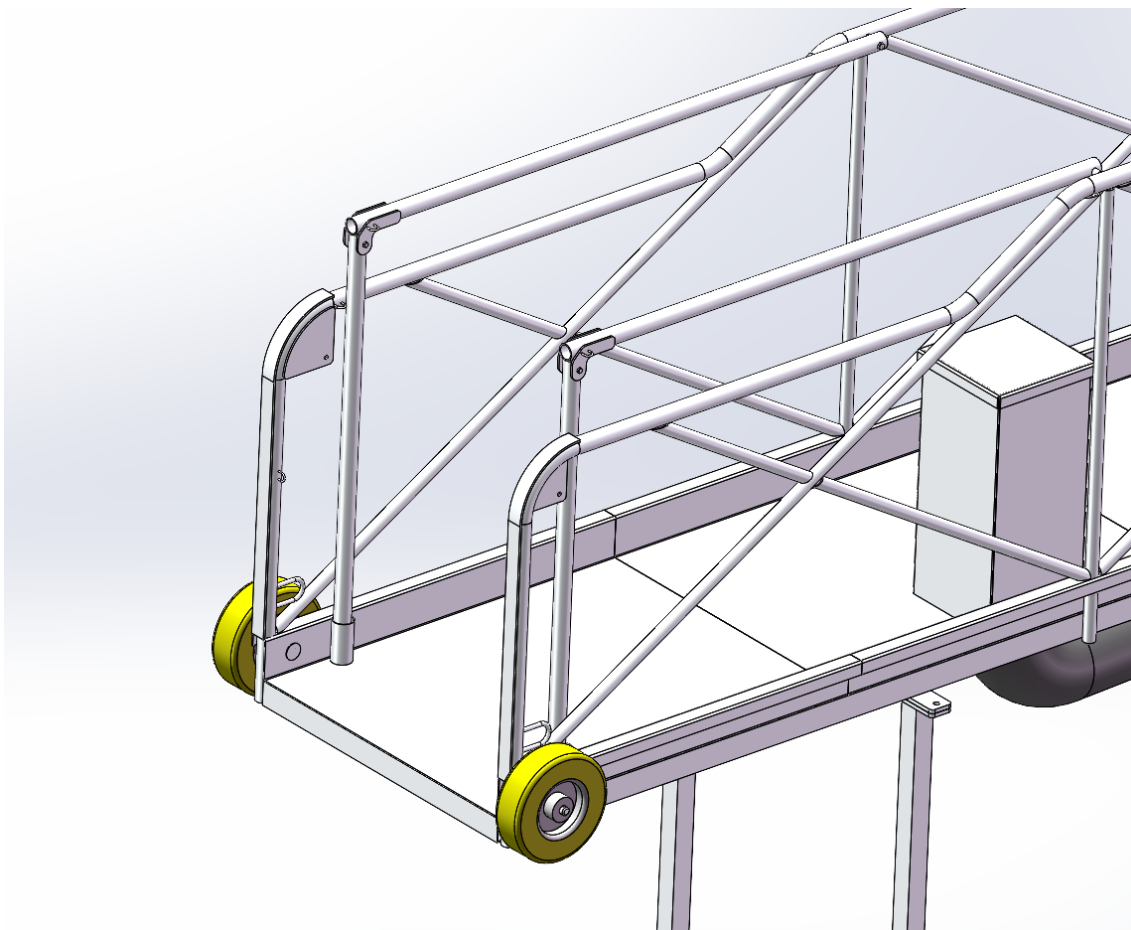
se on tällöin sopivalla kohdalla käyttöä varten. Laatikon kohta osui juuri yhden tason rungon poikkipalkin kohdalle, joten palkki piti poistaa ja korvata kahdella lämpöputken molemmin puolin tulevalla palkilla. Kuvassa 11 näkyy oikealta luet-  
tuna kolmannen ja neljännen poikkipalkin välissä lämpöputkelle suunniteltu tila.

#### **4.5 Muut muutokset**

Lämmitysputkiston lisäksi työskentelytasoon suunniteltiin muita pienempiä muu-  
toksia ja lisäyksiä. Kaiteiden etuosan madalluksessa ei ollut juuri muuta suunni-  
teltavaa, kuin muuttaa työkuvia niin, että kaideputki oli etuosasta 200 mm mata-  
lammalla ja se kulki ylös kiinni vinoputkessa etummaisena välipystyputken etupuol-  
lella.

Turvallisuusmääräyksiä mukaan kaiteen tulee olla kuitenkin vähintään 1100 mm  
korkeat, mikäli on olemassa putoamisvaara. Tästä syystä kaiteiden madalluksen  
lisäksi tuli suunnitella tapa, jolla kaiteen saa tarpeeksi korkeaksi silloin, kun sen  
yli ei suoriteta moottorin sulatusta. Kaiteisiin suunniteltiin avattavat osat, jotka voi-  
daan laskea tarvittaessa alas, kun madalletun kaiteen yli tarvitsee tehdä työtä.

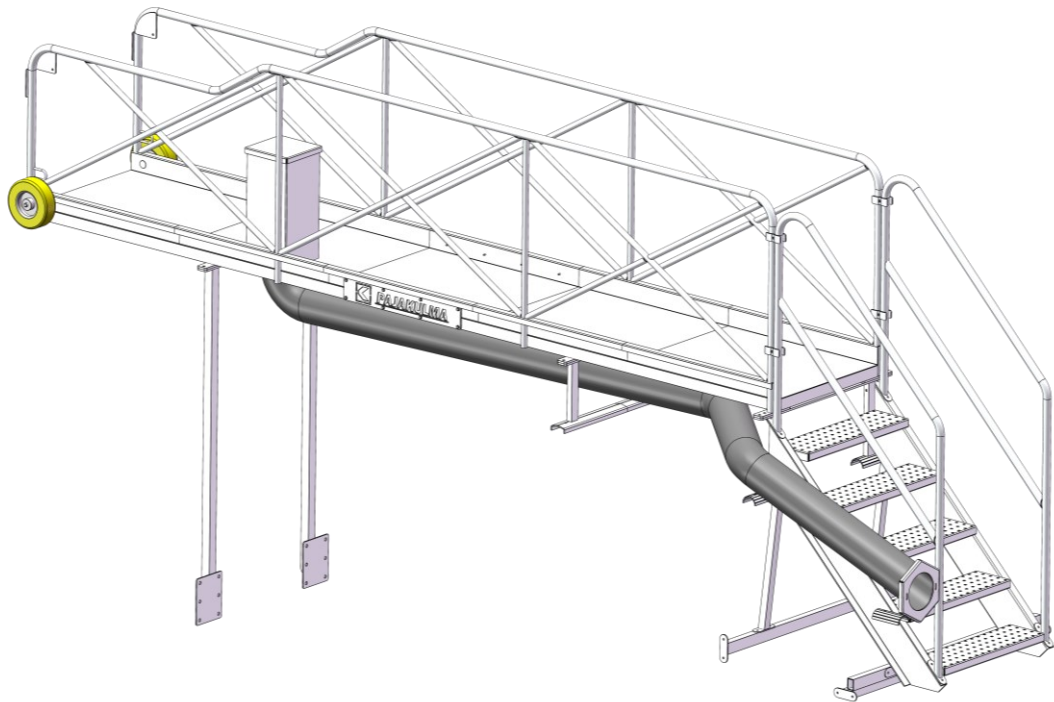
Avattavat osat suunniteltiin valmistettavaksi samasta 40x2 mm putkesta kuin  
muukin kaideputki. Kaideputki suunniteltiin kaksiosaiseksi ja sen keskelle suun-  
niteltiin nivel. Varsinainen vaakatasossa oleva putki suunniteltiin myös nivelöitä-  
väksi takaosastaan kiinteään kaiteeseen. Tasolle suunniteltiin hitsattavaksi  
holkki, jonka sisään avattavan kaiteen pystyputken alapään voi asettaa. Tämä  
lukitsee kaiteen paikalleen yläasentoon. Laskettaessa kaidetta pystyputki noste-  
taan pois holkista, minkä jälkeen putket taitetaan toisiaan vasten ja lasketaan ta-  
solle. Avattavien kaiteiden rakenne on näkyvissä kuvassa 17.



KUVA 17. Avattavat kaiteet.

Kaideputken etuosaan suunniteltiin myös työvalojen kiinnitystä varten  $\frac{1}{4}$  ympyrän muotoiset levyt, jotka suunniteltiin hitsattaviksi kaiteiden pyöreisiin etureunoihin kiinni. Työskentelytason etuosassa oleviin kaiteiden pystyputkiin suunniteltiin hitsattaviksi myös 5 mm paksuiset levyt, joihin voi kiinnittää ns. törmäyskumit, jotka suojaavat mahdollisilta pieniltä osumilta erilaisiin esteisiin. Ne ovat myös näkyvillä kuvassa 17.

Visuaalisena elementtinä työskentelytason kylkiin suunniteltiin levyt, joihin on veisileikattu Pajakulma Oy:n logo. Levyn taustalle suunniteltiin asennettavaksi heijastinteippiä niin, että logo näkyisi heijastavana pimeässä. Kuvassa 18 on esitetty koko työskentelytason 3D-malli, jossa näkyvät myös edellä kerrotut lisäykset ja muutokset lukuun ottamatta erillisiä avattavia kaiteita.



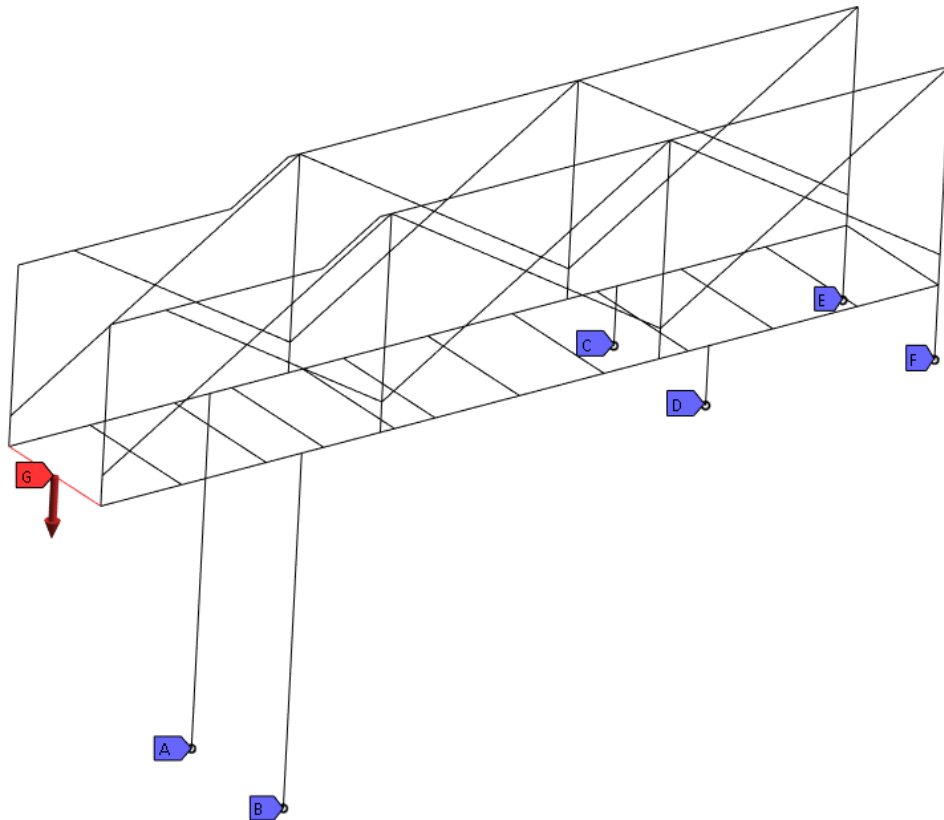
KUVA 18. Rakenteen 3D-malli.

#### 4.6 Lujuuslaskenta

Kun työskentelytason rakenne oli saatu suunniteltua valmiiksi, tehtiin sille yksinkertainen lujuustarkastelu Ansys Workbench- ohjelmistolla. Ensimmäisenä ohjelmaan tulee määritellä käytettävän materiaalin ominaisuudet. Alihankkijalta saatujen tietojen mukaan rakenteessa käytettävien putkipalkkien materiaali on EN AW-6063 T6, jonka materiaaliominaisuudet (Alumero, 2020) syötettiin Ansysiin.

Työskentelytason rungosta, kaiteista ja kiinnityksistä luotiin yksinkertaistettu rautalankamalli Solidworksilla, joka tuotiin Ansysiin. Ansyksen DesignModeler-ohjelmalla määriteltiin eri osille poikkileikkaukset, jotka vastasivat todellisessa rakenteessa käytettyjä putkipalkkeja. Kuvassa 19 näkyy rakenteen rautalankamalli sekä rakenteelle määritellyt tuennat ja sitä kuormittava voima. Tuennat määriteltiin kiinteiksi tuennoiksi niihin kohtiin, joissa rakenne kiinnittyy autoon. Laskennassa käytettäväksi voimaksi määriteltiin suoraan alaspäin suuntautuva 3 kN, joka vastaa noin 300 kg:n painoa. Voima asetettiin vaikuttamaan tason etupään

poikittaiseen palkkiin. Tilanne vastaa sitä, kun työskentelytason etupäässä on työntekijä esimerkiksi nousemassa lentokoneen siiveltä tasolle. Mallista luotiin elementtiverkko, jossa yhden elementin kooksi määriteltiin 5 mm. Tämän jälkeen annettiin tietokoneen laskea rakenteeseen kuormituksesta syntyvät siirtymät, aksiaalivoimat ja taivutusmomentit.



KUVA 19. Rakenteen rautalankamalli.

Lujuuslaskennasta saatavat tulokset osoittivat, että suurimmat muodonmuutoksista aiheutuvat siirtymät rakenteessa ovat noin neljä millimetriä kaiteiden etuosassa. Nämäkin siirtymät johtuivat lähes täysin siitä, että laskennassa koko kuormitus oli yhdellä poikkipalkilla, joka hieman taipuessaan tuo kaiteiden etureunoja lähemmäs toisiaan.

Siirtymien lisäksi rakenteesta tarkasteltiin aksiaalivoimia, joista suurimmat syntyivät kaideputken keskiosaan, tason rungon etuosaan ja etukiinnikkeen pystytukiin. Liitteessä 1 kuvassa 20 näkyy rakenteessa vaikuttavat aksiaalivoimat. Positiiviset

voimat tarkoittavat sitä, että rakenteessa vaikuttaa vetävä voima ja negatiivinen voima tarkoittaa puristavaa voimaa. Asteikko on yksikössä Newton.

Aksiaalivoimista voidaan laskea rakenteessa vaikuttavat jännitykset. Kaideputkessa vaikuttava aksiaalivoima on suurimmillaan 2341 Newtonia, josta saadaan putkessa vaikuttava normaalijännitys  $\sigma$  jakamalla voima  $F$  putken pinta-alalla  $A$  (Mäkelä, Soininen, Tuomola & Öistämö 2019, 139). Pinta-ala saadaan laskettua putken ulkohalkaisijan  $D$  ja sisähalkaisijan  $d$  avulla. 40x2 mm putken sisähalkaisija on 36 mm. Laskenta on esitetty liitteessä 2 kaavassa 1.

Käytetyn materiaalin myötöraja on 170 MPa (Alumero, 2020), joten normaalijännitys ei kasva lähellekään kriittisiä arvoja. Vaikka muissa osissa käytetään erilaista putkiprofiilia, voidaan tämän suurimman aksiaalivoiman aiheuttaman jännityksen perusteella olettaa, että muissakaan osissa jännitykset eivät kohoa kriittiseksi.

Puristava aksiaalivoima voi aiheuttaa palkissa nurjahtamisen. Nurjahdusvoima riippuu käytetyn palkin muodosta ja kimmokertoimesta. Työskentelytason etutuen palkit ovat 1900 mm pitkiä ja ne on valmistettu 50x50x4 mm neliöputkipalkista. Neliömomentin voi laskea käsin, mutta helpommalla pääsee, kun käyttää internetistä vapaasti saatavilla olevia laskureita. Käytetyn putken neliömomentiksi saadaan  $261525 \text{ mm}^4$  (AmesWeb n.d.a). Neliömomentin  $I$ , palkin pituuden  $l$  ja kimmokertoimen  $E$  avulla voidaan laskea nurjahdusvoima  $F_n$ , joka kuvastaa sitä aksiaalivoimaa, jonka ylittyessä palkki on vaarassa nurjahtaa. Nurjahdusvoiman laskentakaava riippuu palkin tuennasta. Tässä tapauksessa voidaan käyttää liitteessä esiteltyä kaavaa, sillä palkit ovat kiinteästi kiinni molemmista päistään (Mäkelä ym. 2019, 142). Materiaalin kimmokertoimeksi on ilmoitettu 70 GPa (Alumero, 2020). Laskenta on esitetty liitteessä 2 kaavassa 2.

Palkeissa vaikuttavat 3 kN:n kuormituksella noin 1,7 kN:n aksiaalivoimat, joten nurjahduksen suhteen ei olla myöskään lähellä kriittisiä arvoja.

Siirtymien ja aksiaalivoimien lisäksi Ansysella tarkasteltiin rakenteeseen syntyviä taivutusmomenteja. Suurimmat taivutusmomentit syntyivät tason pitkittäisiin runkopalkkeihin etukiinnikkeiden ja kaiteiden pystyputkien kohdalle (Liite 1, Kuva

21). Taivutusmomentin huippuarvo on 313 Nm. Koska palkit on mallinnettu viiva-geometriana, ovat kiinnityskohdat hyvin pistemäisiä, mikä lisää jonkin verran laskennan tuloksena saatavaa taivutusmomentin huippuarvoa. Asteikon yksikkö on Newtonmetri.

Taivutusmomentit aiheuttavat rakenteisiin aksiaalivoimien tavoin jännityksiä, jotka riippuvat kappaleen taivutusvastuksesta. Taivutusvastus on muodon ominaisuus vastustaa taivutuksesta aiheutuvia jännityksiä. Se on jälleen kätevin selvittää suoraan internetissä käytettävissä olevilla laskureilla. Runkopalkissa käytetyn 60x40x3 putkipalkin taivutusvastus pystysuunnassa on 9128 mm<sup>3</sup> (Ames-Web n.d.b.). Palkissa vaikuttava jännitys  $\sigma$  saadaan suoraan jakamalla taivutusmomentti  $M_t$  taivutusvastuksella  $W_z$  (Mäkelä ym. 2019, 139). Laskenta on esitetty liitteessä 2 kaavassa 3.

Myöskään taivutusmomentti ei aiheuta rakenteeseen merkittäviä jännityksiä. Sekä aksiaalivoiman että taivutusmomentin aiheuttamat jännitykset ovat suuruusluokaltaan niin pieniä, että ne eivät yhdessäkään yllä lähellekään materiaalin kestävyysrajoja. Vaikka lujuustarkastelu suoritettaisiin paljon suuremmalla kuormituksella, ei rakenteeseen aiheutuisi merkittävien suurien kuormitusten. Laskennassa ei myöskään ollut mukana työskentelytason pohjalevyjä, joiden reunoissa olevat särmykset vahvistavat rakennetta entisestään. Yleisesti voidaan todeta rakenteen olevan varmasti riittävän luja ja kestävä kestävässä suunnitelmassa käytössä monia vuosia ilman vaaraa materiaalien väsymisestä.

## 5 TURVALLISUUS

Laitteen valmistaja on vastuussa siitä, että markkinoille saatettu laite on turvallinen käyttää. Työskentelytasoautossa turvallisuuteen liittyviä riskejä on useita ja niitä on pyritty estämään ja vähentämään erilaisilla toimenpiteillä.

Selkeimmät riskit liittyvät korkealta tasolta putoamiseen tai ajoneuvon törmäyksestä lentokoneeseen tai muuhun esteeseen. Myös moottorien sulatusjärjestelmän kuuma ilma, liukkaus tai muut sääolosuhteet voivat aiheuttaa turvallisuusriskejä.

Korkealta putoaminen on luonnollisesti estetty kaiteilla, jotka kulkevat yhtenäisinä portaiden alapäästä työskentelytason etuosaan asti. Kun autolle kehiteltiin moottoreiden sulatukseen liittyvä toinen käyttötapa, muodostui myös tarve suojata työntekijä putoamiselta tason etupäästä eteenpäin. Alkuperäisessä käyttötarkoituksessahan tason etupää on lentokoneen siiven päällä, eikä putoamisriskiä maahan näin ole. Etuosa on kuitenkin tarvittaessa saatava auki, jotta siitä pääsee kulkemaan siivelle, joten siihen suunniteltiin avattava ”portti” ketjuista, jotka saa ripustettua sivuun tarpeen mukaan.

Pimeyden aiheuttamia riskejä pyrittiin poistamaan porrasaskelmien valaisulla. Valaistuille porrasaskelmille on helppo astua ja niistä näkee hyvin mahdollisen lumen, jään tai muun huomioitavan asian. Askelmien valaistus toteutettiin kiinnittämällä portaiden askelmien alapintaan valot, jotka valaisevat alapuolisen askelman. Hyvät työvalot sekä eteenpäin että taaksepäin varmistavat ajoneuvolla turvallisen liikkumisen ja työskentelytason käytön myös pimeällä. Tasossa olevat huomiovalot ja heijastinteipit auttavat ajoneuvon havainnoinnissa pimeällä.

Liukkauden aiheuttamia riskejä on pystytty vähentämään hyvin sopivalla materiaalivalinnalla työskentelytason sekä portaiden pintaan. Rei’itetty ja kohokuvioinen turkkilevy on erittäin pitävä kengän alla, vaikka sen päällä olisikin hieman lunta tai jäätä tai pinta olisi märkä.

Turvalliseen käyttöön liittyy rakenteellisten ratkaisujen lisäksi käyttäjän opastus oikeisiin laitteen käyttötapoihin. Opastusta voidaan antaa sekä käyttöohjekirjan että varoitustarrojen avulla. Myös käyttäjän koulutus laitteen käyttöön on aina hyvä tapa varmistaa, että käyttäjällä on oikeanlainen kuva laitteen sallitusta ja turvallisesta käytöstä.

Työskentelytasoautoa varten laadittiin tarrasarja, jossa ovat kaikki oleelliset varoitus- ja infotarrat, kuten tason sallittu kuormitus, sallittu henkilömäärä tasolla, lämmitysilmän suurin sallittu lämpötila sekä muutama muu varoitustarra.

Työskentelytasoautolle laadittiin myös ohjekirja, jossa opastetaan käyttäjää laitteen turvalliseen ja oikeaoppiseen käyttöön. Turvalliseen käyttöön liittyy lumen ja jään puhdistaminen tasolta ennen työskentelyä, avattavien kaiteiden oikeaoppinen käyttö, turvavaljaiden käyttö ja auton paikallaan pysymisen varmistaminen pyöräkiilojen avulla. Ohjekirjassa on kerrottu myös laitteelle tehtävät huollot ja tarkastukset, jotka koostuvat pääasiassa rakenteiden silmämääräisestä tarkastuksesta ja valojen toimivuuden tarkastuksesta. Vuosittain rakenteen kiinnityspulttien kireys on tarkistettava myös työkaluja käyttäen.

Vaikka rakenne on muutokatsastettu autoon ja ajoneuvo on täysin tieliikennekelpoinen, on sillä ajaessa noudatettava erityistä varovaisuutta. Auton päällä oleva rakenne ulottuu yli kolmen metrin korkeuteen, joten ajettaessa on riski törmätä yläpuolisiin esteisiin, joita matalalla olevasta ohjaamosta käsin ei välttämättä havaita. Ohjaamoon onkin sijoitettu varoitustarra kertomaan ajoneuvon kokonaiskorkeudesta ja käyttäjää ohjeistetaan noudattamaan erityistä varovaisuutta ajoneuvolla ajaessa.

## 6 POHDINTA

Työskentelytasoautoprojekti oli kokonaisuudessaan hyvin opettava niin suunnittelutyön kannalta kuin yleisesti teollisuuden toiminnan, alihankinnan ja muun suunnittelijan työhön liittyvän toiminnan kannalta. Myös päällirakentajan, auto-maahantuojaan ja katsastusviranomaisen yhteistyössä mukana oleminen oli hyvin opettavaista alan toimintatavoista.

Työskentelytasoauton valmistaminen oli projektina melko uniikki ja sen käyttötarve on hyvin tarkkaan määritelty ja rajattu. Oman lisämausteensa projektiin toi kesken ensimmäisen auton valmistusprosessin tulleet muutostoiveet ja autolle keksitty toinen käyttötarkoitus moottoreiden sulatukseen.

Suunnittelutyötä jouduttiin osittain tekemään samaan aikaan auton rakentamisen kanssa, mikä toi omat haasteensa tehtävään. Tämän aikataulun ja yhden käyttötarkoituksen lisääntyminen kesken ajoneuvon valmistusprosessin aiheuttivat sen, että joitakin jo valmiita osia rakenteesta jouduttiin korjailemaan ja muokkaamaan jälkikäteen.

Projektissa korostui asiakkaan, myyjän, suunnittelijan, työnjohdon, asentajien ja alihankinnan välinen yhteydenpito ja tiedottaminen. Koska projektin lähtökohtana oli hyvin tarkkaan määritelty asiakastarve, tehtiin tuotetta hyvin pitkälle asiakkaan toiveiden mukaisesti. Valmistajan vastuulla on kuitenkin huolehtia siitä, että tuotteesta tehdään turvallinen ja kaikkien sääntöjen mukainen, vaikka joku ratkaisu voisi asiakkaan mielestä olla parempi toteuttaa jollakin toisella tavalla.

Tämän kaltaisissa projekteissa on erityisen tärkeää päästä ennen projektin aloittamista asiakkaan kanssa hyvään yhteisymmärrykseen siitä, mitä ollaan tekemässä ja mitä vaatimuksia tuotteelle on. Näin tuote voidaan käydä yhdessä läpi ja ratkaisut hakea kohdalleen niin, että ne tyydyttävät sekä asiakasta että tuotteen valmistajaa jo ennen varsinaisen suunnittelu- tai valmistustyön alkamista. Näin päästään myös kohden sellaista toimintamallia, jossa voidaan suunnitella ensin kokonainen tuote, minkä jälkeen se päästään toteuttamaan suunnitelmien mukaisesti. Tällä tavalla toimiessa tarve mahdollisille jälkepäin suoritetuille

korjaus- ja muutostoimenpiteille tuotteissa vähenee. Tämä on luonnollisesti kaikkien osapuolien kannalta toivottava suunta.

Itse suunnittelutyö oli hyvin opettavaista ja oli mielenkiintoista päästä myös toimimaan tiiviissä yhteistyössä alumiinirakentamisen ammattilaisten kanssa ja saada tietoa myös siltä toiminta-alalta. Työskentelytasoauton rakenteissa onnistuttiin hyvin ja niistä tuli tarkoituksensa täyttävät. Tasolle on helppoa ja turvallista nousta portaita pitkin ja taso on tukeva ja siellä on hyvä työskennellä tai kulkea siitä siivelle. Kuten lujuuslaskenta osoitti, toimii kaiteiden ristikkorakenne suunnitellulla tavalla ja kaiteiden vinoputket kantavat suuren osan tasoon kohdistuvasta kuormituksesta. Vaikka rakenne ei täytä mitoituksen osalta aivan kaikkia standardien ohjeita esimerkiksi portaiden osalta, saatiin se toteutettua auton mittojen ja muiden ympäristön aiheuttamien rajoitteiden puitteissa todella onnistuneesti.

Kesken projektin tullut lisäys moottorien sulatusputkistosta onnistuttiin lisäämään hyvin rakenteeseen ja siitäkin tuli varsin toimiva ja siisti. Yleisilmeeltään koko rakenteesta saatiin yhteneväinen ja teollisesti valmistetun näköinen, mikä lisää tuotteen markkina-arvoa ja mahdollisuuksia lisätilauksille. Pitkän tuotekehitysprojektin jälkeen tuote on saatu sellaiseen malliin, että sitä voitaisiin myydä jatkosakin ja sitä pystyttäisiin toisintamaan melko helposti yksityiskohtaisten työkuvien ja dokumentaatioiden ansioista. Yleisesti tuotteistaminen onnistui lopulta hyvin.

## LÄHTEET

Adobe. n.d. DXF files. Viitattu 20.1.2023. <https://www.adobe.com/creativecloud/file-types/image/vector/dxf-file.html>

Alumero. 2020. EN AW-6063 Data Sheet. [pdf] Viitattu 17.2.2023. [https://www.alumerogroup.eu/fileadmin/user\\_upload/downloads/folder/technologien/ALUMERO\\_Legierungen\\_EN-AW-6063\\_EN.pdf](https://www.alumerogroup.eu/fileadmin/user_upload/downloads/folder/technologien/ALUMERO_Legierungen_EN-AW-6063_EN.pdf)

AmesWeb. n.d.a. Second moment of area (area moment of inertia) calculator. Viitattu 13.3.2023. <https://amesweb.info/section/second-moment-of-area-calculator.aspx>

AmesWeb. n.d.b. Section modulus calculator. Viitattu 13.3.2023. <https://amesweb.info/section/section-modulus-calculator.aspx>

Guangzhou Komasec Mechanical and Electrical Products Manufacturing Co. Ltd. 2022. An Engineers' Guide to Sheet Metal Bending. Viitattu 20.1.2023. <https://www.komaspec.com/about-us/blog/guide-to-sheet-metal-bending/>

Jokinen, T. 2001. Tuotekehitys. Helsinki: Otatieto Oy.

Linak. n.d. Actuator LA36 Data sheet. [pdf] Viitattu 10.2.2023. <https://cdn.linak.com/-/media/files/data-sheet-source/en/linear-actuator-la36-data-sheet-eng.pdf>

Lähteenmäki, M. n.d. Elementtimenetelmän perusteet, Johdanto. Viitattu 23.1.2023. [https://mlahteen.fi/arkistot/elpe\\_pdf/johdanto.pdf](https://mlahteen.fi/arkistot/elpe_pdf/johdanto.pdf)

Mäkelä, M., Soininen, L., Tuomola, S. & Öistämö, J. 2019. Tekniikan kaavasto. 19. Painos. Tampere: Tammertekniikka / Amk-Kustannus Oy.

Pere, A. 2007. Koneenpiirustus 1 & 2. Espoo: Kirpe Oy.

SFS-EN ISO 14122-3. 2016. Koneturvallisuus. Koneiden kiinteät kulutiet. Osa 3: Portaat, porrastikkaat ja suojakaiteet. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto

SFS. Vaatii käyttöoikeuden. Viitattu 13.2.2023. <https://online.sfs.fi/fi/index/tuotteet/SFS/CENISO/ID2/1/435139.html.stx>

Siekkinen, J. Katsastusinsinööri. 2023. Haastattelu 30.1.2023. Haastattelija Kolhinen, E. Tampere

Tieliikennelaki 10.8.2018/729. Viitattu 30.1.2023. <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2018/20180729>

Traficom. 2021a. Auton ja sen perävaunun rakenteen muuttaminen. TRAFICOM/194495/03.04.03.00/2019

Traficom. 2021b. Kuormakorit ja kuorman varmistaminen. Määräys. [pdf] Liikenne ja viestintävirasto. Viitattu 2.2.2023. [https://www.traficom.fi/sites/default/files/media/regulation/FI\\_Final\\_Kuormakorit\\_ja\\_kuorman\\_varmistaminen\\_korjaukset%20%281%29.pdf](https://www.traficom.fi/sites/default/files/media/regulation/FI_Final_Kuormakorit_ja_kuorman_varmistaminen_korjaukset%20%281%29.pdf)

Traficom. 2022. Tyypin hyväksyntä. Viitattu 30.1.2023. <https://www.traficom.fi/fi/liikenne/tieliikenne/tyyppihyaksynta>

TWI Ltd. n.d. Laser cutting - cutting processes. Viitattu 20.1.2023. <https://www.twi-global.com/technical-knowledge/job-knowledge/cutting-processes-laser-cutting-052>

Työturvallisuuspankki. n.d. Työtasot ja kaiteet. Viitattu 13.1.2023. <https://tyoturvallisuuspankki.fi/tyotasot-ja-kaiteet/>