



Valtteri Semeri

Saranoinnin suunnittelu kirjasto- auton kuljettajan oveen

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Ajoneuvotekniikka

Insinöörityö

13.2.2023

Tiivistelmä

Tekijä: Valteri Semeri
Otsikko: Saranoinnin suunnittelu kirjastoauton kuljettajan oveen
Sivumäärä: 50 sivua + 4 liitettä
Aika: 13.2.2023

Tutkinto: Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma: Ajoneuvotekniikan tutkinto-ohjelma
Ammatillinen pääaine: Ajoneuvosuunnittelu
Ohjaajat: Projektipäällikkö Joel Kontturi, Metropolia AMK
Suunnittelupäällikkö Tatu Mäkelä, Kiitokori Oy

Tässä insinööriyössä oli tehtävänä suunnitella uusiksi Kiitokori Oy:n valmistaman kirjastoauton kuljettajan oven saranointi. Tavoitteena oli toteuttaa saranointi vastaamaan mahdollisimman laajasti toimeksiantajan sille määrittelemiä toiveita ja vaatimuksia. Oven saranoinnin uudelleen suunnittelulla aloitettiin Kiitokorilla laajempi projekti, jonka aikana koko kirjastoauton oven rakenne on tarkoitus uusita.

Saranoinnin kehittämisessä päätyöskentelyvälineenä käytettiin mekaniikkasuunnittelun Vertex G4 -CAD-ohjelmistoa. Tärkeänä työkaluna toimi myös ohjelmiston FEA-lisäosa, jolla pystyttiin arvioimaan saranakokoonpanon kestävyyttä. Suunnittelussa käytettiin apuna kirjallisuudessa esiteltyä yleisen tuotekehitysprosessin vaiheita ja metodeja sekä koneensuunnittelun laskentamenetelmiä.

Työn tuloksena valmistui sovitussa aikataulussa uusi saranointi kuljettajan oveen. Yhdellä saranalla toteutettava saranointi on valmistettavissa testausta varten työpöytärustusten avulla. Sarana toteuttaa toimeksiantajan sille määrittelemät tärkeimmät vaatimukset ja toiveet.

Avainsanat: Sarana, koneensuunnittelu, CAD-ohjelmisto

Abstract

Author: Valtteri Semeri
Title: Hinging Design for the Driver's Door of a Mobile Library
Number of Pages: 50 pages + 4 appendices
Date: 13 February 2023

Degree: Bachelor of Engineering
Degree Programme: Automotive Engineering
Professional Major: Automotive Design
Supervisors: Joel Kontturi, Project Manager, Metropolia AMK
Tatu Mäkelä, Design Manager, Kiitokori Oy

In this bachelor's thesis, the task was to redesign the hinging of a driver's door of a mobile library manufactured by Kiitokori Oy. The goal was to implement the hinges to meet the wishes and requirements defined by the client as well as possible. The redesign of the door hinges started a larger project at Kiitokori during which the entire driver's door structure of the mobile library is to be updated.

In the development of the hinging, Vertex G4 -CAD software for mechanical design was used as the main design tool. The FEA add-on of the software also served as an important tool, which was used to evaluate the durability of the hinge assembly. The work also follows the steps and methods of general product development process as well as the calculation methods of mechanical engineering as presented in the literature.

As a result of the work, a new hinging for the driver's door was completed in the agreed schedule. The hinging, which is implemented with one hinge, can be prepared for testing with the help of mechanical drawings. The new hinge fulfills the most important requirements and wishes of the client.

Keywords: Hinge, Mechanical engineering, CAD software

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
1.1	Kiitokori Oy	1
1.2	Kirjastoautot	1
1.3	Tavoitteet ja rajaukset	3
1.4	Projektin etenemisen seuranta	4
2	Kirjastoauton kuljettajan ovi ja nykyinen saranointi	5
3	Tuotekehitysprosessi	9
4	Suunnitteluvaihe	11
5	Konseptien kehittäminen	12
5.1	Toiveet ja vaatimukset saranoinnille	12
5.2	Markkina-analyysi	13
5.3	Tuotevertailu	14
5.4	Saranakonseptit	17
5.5	Saranakonseptien vertailu	21
6	Järjestelmätason suunnittelu	24
6.1	Saranalinja ja saranan ovilehden rakenne	24
6.2	Korkeussuuntaiset päämitat ja staattinen analyysi	25
6.3	Saranalehtien rakenne	29
6.4	Laakerointi ja sarana-akseli versioissa 8 ja 9	34
6.5	FEA	37
7	Yksityiskohtainen suunnittelu	43
8	Yhteenveto	48
	Lähteet	49

Liitteet

Liite 1: Toiveet ja vaatimukset saranoinnille

Liite 2: Markkina-analyysin tuotetaulukko

Liite 3: Tuotevertailutaulukko ja tulokset

Liite 4: Konseptien vertailutaulukko

Lyhenteet

- FEA: Finite Element Analysis. Elementtimenetelmällä suoritettu ohjelmistopohjainen lujuuslaskenta.
- CAD: Computer-aided Design. Tietokoneavusteista suunnittelua, jossa fyysisestä kappaleesta tehdään digitaalinen malli sitä varten suunnitellulla ohjelmistolla.
- RST: Ruostumaton teräs.
- HB: Brinell- kovuus. Mitta-asteikko esimerkiksi metallien kovuuksien vertailuun.

1 Johdanto

Tässä insinööriyössä esitellään tuotekehitysprosessi, jossa tarkoituksena oli suunnitella Kiitokori Oy:n valmistamaan kirjastoautoon uusi saranointi kuljettajan oveen. Tällä oven uudelleen saranoinnilla aloitetaan projekti, jonka aikana koko kuljettajan oven rakenne on tarkoitus uudistaa ja vakioida keväällä 2023. Työt on aloitettu määräaikaisen työsuhteen aikana alkaen lokakuussa 2022, mutta työt jatkuvat toistaiseksi voimassa olevan sopimuksen myötä, eli tämän työn tekijä tulee jatkamaan projektin parissa myös jatkossa.

1.1 Kiitokori Oy

Insinööriyön toimeksiantaja Kiitokori Oy on erikoisajoneuvojen valmistukseen erikoistunut, vuonna 1948 perustettu suomalainen autokoritehdas. Alkuun Kiitokorilla rakennettiin paloautoja, minkä jälkeen tuotevalikoima laajeni vuosien mittaan esimerkiksi myymälä-, kirjasto- ja linja-autoihin. Nykypäivänä yritys valmistaa edelleen kirjastoautoja, mutta myös esimerkiksi päiväkotijä- ja kaivosbusseja sekä terveyspalveluautoja. Yritys on kansainvälinen, sillä pääosa tuotteista menee vientiin. Tällä hetkellä ajoneuvoja toimitetaan erityisesti saksankielisen Euroopan alueelle, kuten Sveitsiin ja Saksaan sekä pohjoismaista Ruotsiin ja Norjaan. Yhtiön suunnittelutoiminta ja tuotanto sijaitsee Päijät-Hämeessä Iitin Kausalassa. (Erikoisautoja erikoisosaamisella; Mäkelä 2023.)

1.2 Kirjastoautot

Kirjastoautot ovat tällä hetkellä Kiitokori Oy:n päätuote, ja niitä on valmistettu Kiitokorilla jo yli 50 vuotta. Suurin osa ajoneuvoista menee ulkomaille vientiin, mutta myös Suomeen on tilattu kirjastoautoja runsaasti varsinkin koronavuosien aikana valtion tuettua kuntia kirjastoautojen hankinnassa.

Kirjastoautot suunnitellaan asiakaslähtöisesti asiakkaan toiveet ja tarpeet huomioiden, ja esimerkiksi kirjastoauton sisustuksessa voi olla hyvinkin uniikkeja ratkaisuja, jotka heijastavat tilaajan toiveita. Kiitokorilla kirjastoautot

valmistetaan valmiille linja-auton alustalle. Alustat tulevat joko Scaniaalta tai Volvota, minkä jälkeen työ etenee teräksisen kehärungon rakentamisesta kohti valmista sisustettua kirjastoautoa. Joissain tapauksissa kirjastoauto voidaan Kiitokorilla rakentaa myös valmiiseen koriin, kuten kuvan 1 täyssähköisen Volvo-kirjastoauton tapauksessa vuodelta 2022.



Kuva 1. Täyssähköinen Kiitokorin modifioima Volvo-kirjastoauto (Kiitokorin arkisto 2023).

Suurin osa kirjastoautoista toimitetaan ilman erillistä kuljettajan ovea, mutta asiakastoiveiden mukaan sellainen on kuitenkin mahdollista asentaa esimerkiksi tilanteessa, jossa asiakkaalla on toiveena hätäpoistumistien mahdollisten kirjastotilassa tapahtuvien uhkatilanteiden varalta. Kuvassa 2 on kirjastoauto vuodelta 2021, jossa on myös erillinen kuljettajan ovi asennettuna.



Kuva 2. Kuljettajan ovella varustettu kirjastoauto (Kiitokorin arkisto 2023).

1.3 Tavoitteet ja rajaukset

Kirjastoauton nykyisessä kuljettajan oven rakenteessa ja saranoinnissa on havaittu käytössä ja tuotannossa haasteita, kuten ajonaikaista suhinaa ja saranoiden liian nopeaa kulumista. Näiden havaintojen perusteella on aloitettu projekti oven rakenteen uusimisesta ja tuomisesta nykypäivään vanhan oven rakenteen ollessa jo melko iäkäs. Projektin ensimmäinen vaihe on saranoinnin uudelleensuunnittelu, joka nähtiin oleellisimpana kehityskohtana ja lähtökohtana muun rakenteen suunnittelulle. Myöhemmät vaiheet oven uusimisprojektista rajattiin tämän insinööriyön ulkopuolelle.

Tavoitteena tässä insinööriyössä on suunnitella oven saranointi uudelleen, niin että tuotteelle yhdessä määritellyt toiveet ja vaatimukset toteutuvat. Tavoitteeseen pääsemisen apuna toimi projektia varten strukturoitu tarkka tuotteensuunnitteluprosessi ja työvälineenä eritoten mekaniikkasuunnittelun Vertex-G4-CAD-ohjelmisto. Insinööriyö on rajattu siten, että uudesta saranoinnista on valmiin

työn päätteeksi valmiina toimiva malli ja työpiirustukset, joiden pohjalta prototyyppin valmistaminen on mahdollista.

1.4 Projektin etenemisen seuranta

Projektin alussa työn etenemisen seurantaan varten luotiin projektiaikataulu Gantt-kaavion muotoon, joka on Ulrichin ym. (2020: 405–406) mukaan perinteinen työkalu aikatauluttamiseen projekteissa. Gantt-kaavion tehtävänä on rajoittaa tehtävien ajoitusta, määrittelemättä kuitenkaan tarkkaa aikataulua kullekin tehtävälle, vaan siitä selviää ennemmin, mitä tehtäviä on suoritettava ennen seuraavan aloittamista. (Ulrich ym. 2020: 405–406.) Kaavio antaa kuitenkin myös hyvän kuvan tavoitellusta aikataulusta, joten sen arvioitiin sopivan hyvin insinöörityö-projektille. Excelissä toteutettu aikataulu on esiteltyä kuvassa 3.

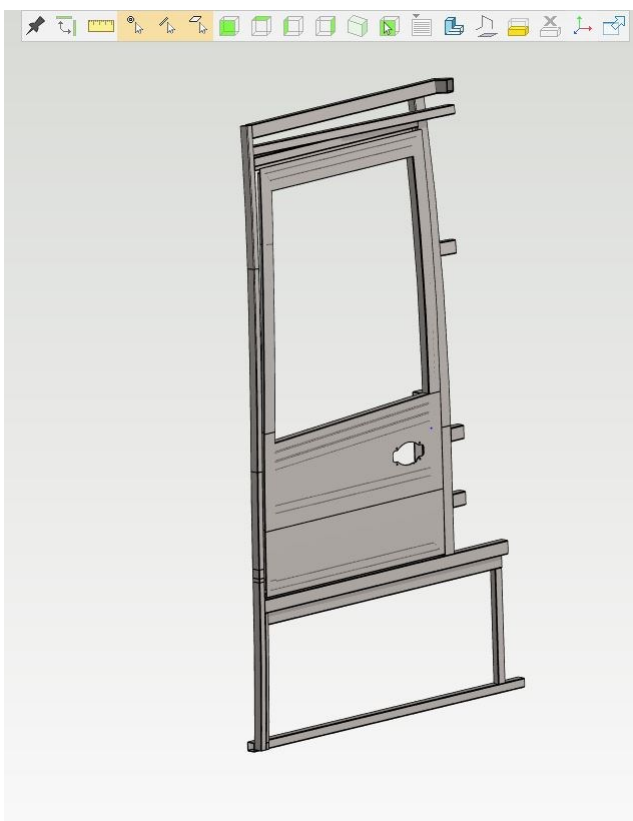


Kuva 3. Projektiaikataulu tuotekehitysprosessin vaiheisiin jaettuna.

Edellä esiteltyyn aikatauluun ei kirjattu tarkempia tehtäviä, vaan projekti jaettiin Ulrichin ym. (2020: 11–33) esittelemän tuotekehitysprosessin vaiheisiin, jota käsitellään työssä tarkemmin luvusta kolme eteenpäin.

2 Kirjastoauton kuljettajan ovi ja nykyinen saranointi

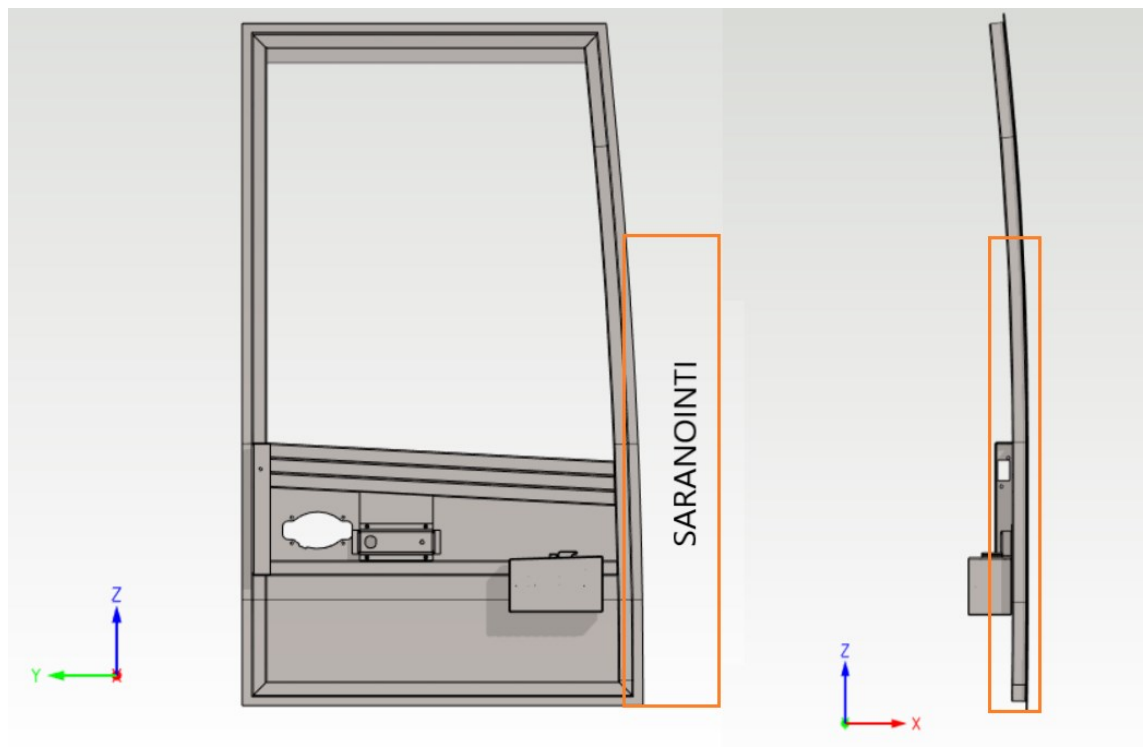
Tässä luvussa esitellään nykyinen kirjastoauton kuljettajan ovi kehärakenteiseen siinä määrin kuin sen määriteltiin olevan yleisesti esiteltävissä. Ovea ympäröivään kehärakenteeseen ei ole suunnitteilla muutoksia tällä hetkellä huolimatta laajemmasta oven rakenteen uudistamisprojektista, jonka saranoinnin uudistus aloittaa. Täten oven ulkoiset päämitat ja muoto tulevat myös jatkossa olemaan nykyisen oven kaltaiset. Tämä mahdollistaa nykyisen oven ja ovesta olevissa olevien piirustusten ja 3D-mallin käyttämisen saranoinnin uudelleensuunnittelussa. Seuraavassa kuvassa (kuva 4) esitellään ovea ympäröivän runkokehän ja oven 3D-mallit, joita käytettiin tämän työn aikana esimerkiksi mitoitukseen ja myöhemmin saranamallien toiminnan testaamiseen.



Kuva 4. Pelkistetty 3D-kokoonpano kirjastoauton ovesta ja kehärakenteesta.

Kirjastoauton kuljettajan oven rakenne on toteutettu käyttäen oven rungossa pääasiassa 40 x 40 x 2 mm:n kokoista RST-neliöputkea. Lisäksi esimerkiksi

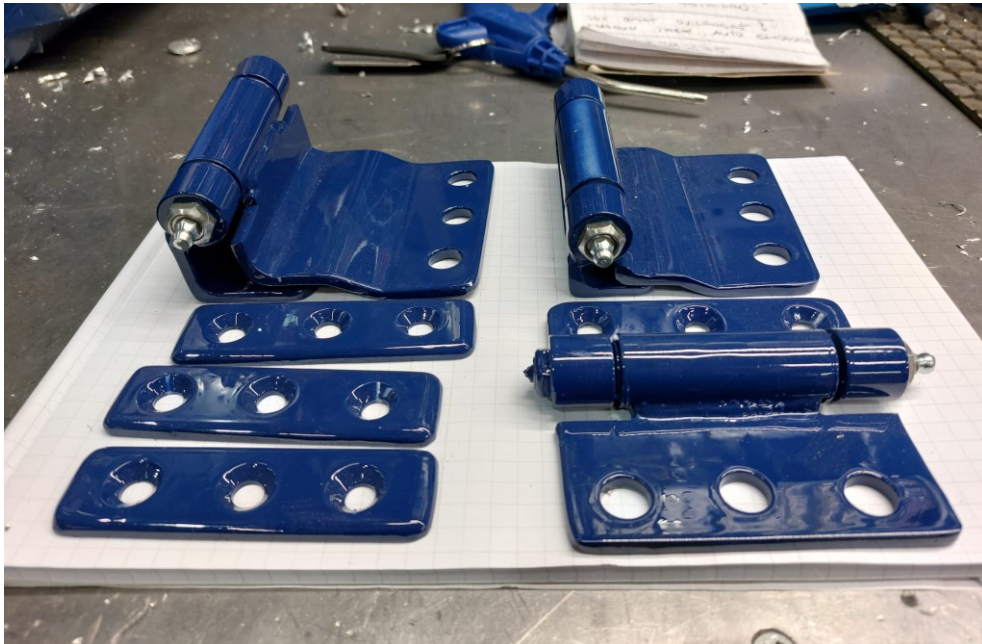
lukkomekanismin kiinnitystä varten on rakenteeseen lisätty 6 x 50 mm:n RST-lattapaloja. Oven ulkopintana on oven runkoon liimattu alumiinilevy. Teräksen käyttö oven rungossa tekee ovesta melko raskaan ja 3D-mallin mukaan ovi painaa ilman ikkunaa, oveen asennettavia komponentteja ja sisäverhoilua 52 kg. Oven kokonaismassaksi on arvioitu edellä mainittujen mallista puuttuvien osien jälkeen 64 kg ja tätä massaa on käytetty myöhemmin saranoinnin suunnitteluun liittyvissä laskelmissa. Seuraavassa kuvassa oven rakenne esiteltynä tarkemmin (kuva 5).



Kuva 5. Kuljettajan ovi sisältä- ja edestäpäin. Saranat sijaitsevat rajatulla alueella.

Oven saranointi tapahtuu oven etureunasta, mikä on ajoneuvon kulkusuuntaan taaksepäin kaarella, kuten edeltävässä kuvassa näkyy. Tämän lisäksi ovi on osittain kaareva myös sisäänpäin ja tämä kaksoiskaarevuus luo selvät haasteet

oven saranoinnille. Nykyinen saranointi on toteutettu kolmella erillissaranalla (kuva 6), jotka on kiinnitetty oven ja ajoneuvon rungon ulkopuolelle.



Kuva 6. Nykyiset tuotannossa olevat kuljettajan oven saranat lisäpaloiineen.

Saranan runkona toimii Tampereen Erikoissaranan kuulalaakeroitu KLR 80/50-sarana, johon Kiitokorilla on tuotannossa oven sovituksen yhteydessä valmistettu sopivat saralehdet hitsaten alkuperäisten tilalle. Tämän jälkeen saranat vielä maalataan kirjastoauton maalauksen yhteydessä ennen lopullista asennusta. Kuvassa 7 esiteltynä vielä valmis kirjastoauto varustettuna nykyisellä ovella ja saranoinnilla.



Kuva 7. Valmis kirjastoauto varustettuna kuljettajan ovella ja nykyisellä saranoinnilla (Kiitokorin arkisto 2023).

Nämä tiedot toimivat lähtökohdana tuotekehitysprosessille, jonka päätteeksi oli valmiina toimiva malli uudesta saranoinnista. Seuraavaksi esitellään tämä prosessi kokonaisuudessaan.

3 Tuotekehitysprosessi

Uuden tuotteen suunnittelu alkaa määrittelemällä projektille sopiva tuotekehitysprosessi sekä suunnittelusta vastaava tiimi. Tarkasti määritelty tuotekehitysprosessi edesauttaa tuotteen jatkuvaa kehitystä prosessin aikana sekä parantaa syntyvän tuotteen laatua. Lisäksi hyvin määritelty tiimi työnjakoineen helpottaa projektin aikaista kommunikaatiota ja tekee prosessista jatkuvasti kehittyvän. (Ulrich ym. 2020: 33.)

Tätä projektia lähdettiin toteuttamaan Ulrichin ym. (2020: 11–33) esittelemän yleisen tuotekehitysprosessin mukaisesti. Tarkennetuksi muodoksi yleisestä tuotekehitysprosessista voidaan Ulrichin ym. (2020: 19) mukaan valita räätälöidyn tuotteen tuotekehitysprosessista, mikä sopii hyvin tuotteille, jollaisia on jo olemassa, mutta joista tarvitsee mahdollisesti tehdä uudenlaisia variaatiota. Tämän ajateltiin sopivan hyvin kirjastoauton kuljettajan oven saranoinnille, sillä valmiita tuotteita ja erilaisia saranointiratkaisuja on jo olemassa valtava määrä.

Tuotekehitysprosessi jakautuu kuuteen vaiheeseen, joiden lopussa on aina arviointipiste, jossa voidaan todeta projektin eteneminen. Nämä vaiheet kuvataan hyvin samansuuntaisesti niin Ulrichin ym. (2020: 11–33) esittelemässä yleisessä tuotekehitysprosessissa kuin Björk ym. (2014: 9–15) johdatuksessa tuotekehitykseen. Tässä opinnäytetyössä käytetään kuitenkin Ulrichin ym. (2020) esittelemiä termejä näille kuudelle vaiheelle vapaasti suomennettuna. Tuotekehitysprosessin vaiheet esitellään kuvassa 8 esitellen samalla vaiheeseen liittyviä päätehtäviä.



Kuva 8. Tuotekehitysprosessin kuusi vaihetta.

Raportin loppuosa on jaettu edellä esiteltyihin tuotesuunnitteluprosessin vaiheisiin. Insinööriyölle tehtyjen rajausten takia testaus ja viimeistely- sekä tuotteen valmistuksen vaiheisiin ei raportointivaiheessa ole vielä siirrytty.

4 Suunnitteluvaihe

Tuotekehitysprosessin ensimmäinen vaihe on suunnitteluvaihe, jota kutsutaan Ulrichin ym. (2020 13–14) mukaan myös ”nollavaiheeksi”, koska se edeltää varsinaista projektisuunnitelman hyväksymistä ja tuotteen suunnittelun aloittamista. Vaihe alkaa mahdollisuuksien tunnistamisella, jolla tarkoitetaan tuotekehityksen yhteydessä kartoitusta uusista tuoteideoista. Mitä enemmän ideoita tuotetaan ja vielä systemaattisesti analysoidaan, sitä suurempi hyöty vaiheesta on koko tuotekehitysprosessin kannalta. (Ulrich ym. 2020 13–52.) Mahdollisuuksien tunnistamisen vaihe on käytännössä ohitettu jo ennen tämän insinööriprojektin aloittamista, kun uuden saranoinnin tarve on Kiitokorilla todettu.

Suunnitteluvaiheessa määritellään Ulrichin ym. (2020:13–52) mukaan myös kohdemarkkinat ja asiakkaat sekä tavoitteen suunniteltavan tuotteen suhteen. Koska projektin toimeksiantaja on samalla myös asiakas ja projektille on annettu selkeä tavoite uuden saranoinnin suunnittelusta, voidaan ajatella koko suunnitteluvaihe läpikäydyksi jo ennen tämän insinööriprojektin aloitusta. Tässä tapauksessa siis tuotekehitysprosessi lähtee liikkeelle suoraan konseptien kehittämisen vaiheesta, jota kuvataan raportissa seuraavaksi.

5 Konseptien kehittäminen

Tuotekehitysprosessin toinen vaihe on konseptien kehittämisen vaihe, jonka aikana kohdemarkkinoiden tai asiakkaan tarpeet ja vaatimukset tuotteelle selvitetään. Lisäksi vaiheeseen kuuluu esimerkiksi kattava analyysi jo markkinoilla olevista tuotteista. Näitä tietoja hyväksikäyttäen suunnitellaan useampi alustava konsepti, joista vaiheen lopussa arviointipisteessä valitaan jatkokehitykseen yksi tai useampi konsepti. (Ulrich ym. 2020 15–130). Konseptien kehittämisen vaiheelle varattiin tässä insinöörityöprojektissa aikataulullisesti pisin aika. Tämä nähtiin tärkeänä, sillä opinnäytetyön tekijällä ei ollut käytännössä minkäänlaista kokemusta saranoista ja varsinkaan niiden suunnittelusta, joten perehtyminen aiheeseen oli tärkeää.

5.1 Toiveet ja vaatimukset saranoinnille


Ulrich ym. (2020 77–130) ohjeistavat aloittamaan konseptisuunnittelu vaiheen asiakkaan toiveiden ja vaatimusten kartoituksella. Pidimme 17.11. aloituspalaverin Kiitokorin suunnittelupäällikkö Tatu Mäkelän ja muiden suunnitteluinsinöörin kanssa insinöörityön aiheesta. Palaverin perusteella koottiin Google Sheets-laskentataulukoon lista saranointiin liittyvistä toiveista ja vaatimuksista. Myöhemmin vielä erikseen annettiin Tatun Mäkelän kanssa näille toiveille tärkeysasteet, joita tarvittiin markkina-analyysin avulla tehtyä jatkoanalyysia varten. Tärkeysasteiden määrittämisellä alettiin soveltamaan Ulrichin ym. (2020 77–93) esittelemää metodia, jonka tarkoituksena on löytää suunnittelua varten ohjeita toimivan ja asiakkaan tarpeita toteuttavan tuotteen valmistukseen. Myöhemmin markkina-analyysin avulla pyritään selvittämään, miten nämä toiveet ja vaatimukset voitaisiin saada toteutettua. Saranointiin liittyvät toiveet ja vaatimukset ovat esiteltynä liitteessä 1.

Liitteestä 1 selviää tärkeysasteita tarkastelemalla, että tärkeimmiksi toiveiksi ja vaatimuksiksi nousivat saranan kestävyys liittyvät ominaisuudet, laadukas ja nykyaikainen vaikutelma sekä se, että uusi saranointi mahdollistaisi oven uudelleensuunnittelun. Lisäksi ehdottomana vaatimuksena uudelle saranoinnille

pidettiin sitä, että se saataisiin sijoitettua kirjastoauton kehärakenteen sisäpuolelle. Tärkeitä huomioitavia seikkoja olivat myös esimerkiksi valmistettavuuteen ja tuotteessa käytettävien materiaalien saatavuuteen liittyvät seikat. Toiveena esitettiin myös tuotteen edullisuus, mutta tämä katsottiin kaikkia muita toiveita ja vaatimuksia vähemmän tärkeäksi, joten se ei tulisi ohjaamaan suunnittelua niin paljon.

5.2 Markkina-analyysi

Kun toiveet ja vaatimukset tuotteelle oli selvitetty, siirryttiin tekemään kattavaa markkina-analyysia tutkimalla jo markkinoilla olevia tuotteista. Koska erilaisia saranoita on markkinoilla valtavat määrät, valittiin mukaan vain tuotteita, joiden arvioitiin olevan sopivia tilanteeseen tai joista voisi saada uuden saranoinnin suunnitteluun ideoita ja yksityiskohtaisia tietoja. Mukaan otettiin yhteensä 39 tuotetta, joista kerättiin mahdollisuuksien mukaan liitteestä 2 selviäviä tietoja. Taulukko sisälsi myös linkit tuotekohtaiseen tuotekorttiin (kuva 9), johon kirjattiin muun muassa saranalle itse määritelty tuoteluokka sekä saranasta ja sen designista tehtyjä huomioita.

TUOTEKOHTAISIA TIETOJA	
LINKKI	https://raitatuote.fi/tuotteet/saranat/hitsattavat-profiilisaranat/1022/ruostumaton-profiilisarana-2-d-saato
TUOTEKORTTI:	https://raitatuote.fi/Download/22029/Raitatuote_hitsattavat_profiilisaranat.pdf
TUOTELUOKKA:	HITSATTAVAT PROFILISARANAT
HUOMIOITA:	Testattu sarana, josta helposti muokattavissa halutunlainen. 3D malli mahdollisesti saatavilla. Ruostumattomasta teräksestä. Vain 180 mm koko, jossa upotettu voitelunippa. Korkeussäätö max. 10 mm.
KUVA:	
	

Kuva 9. Markkina-analyysin työkaluksi luotu tuotekortti.

5.3 Tuotevertailu

Kun markkinoilla oleviin tuotteisiin oli tutustuttu ja niitä oli luokiteltu, suoritettiin laaja tuotevertailu. Ulrichin ym. (2020 95–120) mukaan tuotevertailun avulla on mahdollista etsiä ja laatia tavoitelista niistä teknisistä vaatimuksista ja tiedoista, joiden avulla asiakkaan tarpeisiin pystytään vastaamaan. Isolla budjetilla ja pidemmällä projektiakataululla toimiessa tämä voisi tarkoittaa esimerkiksi sitä, että kilpailevat tuotteet hankittaisiin yrityksen käyttöön ja näistä testattaisiin kaikki halutut ominaisuudet, jotta saataisiin vertailukelpoisia tarkkoja arvoja esimerkiksi tuotteen massasta ja kestävydestä.

Vaikka tällainen laaja käytännön tutkimus ei tämän insinööriyön puitteissa ollut mahdollista, sovellettiin metodologiaa niitä tietoja käyttäen, joita eri tuotteista oli saatavilla. Vertailuun valittiin pienempi otos tutkituista tuotteista, yhteensä 16 saranaa. Nämä saranat edustivat potentiaalisimpina pidettyjä saranoita ja sarana-luokkia, jotka ovat nimettyinä taulukossa 1. Jokaiselle saranalle annettiin tämän

jälkeen arvostelupisteet välillä 1–5 arvioiden tuotteen kykyä toteuttaa uudelle saranoinnin asetettuja toiveita ja vaatimuksia. Nämä arviot perustuivat käytössä oleviin tietoihin tuotteista tai vertailukelpoisten arvojen ja tietojen puuttuessa suurpiirteiseen arvioon.

Taulukko 1. Tuotevertailussa mukana olleiden saranoiden tuoteluokat.

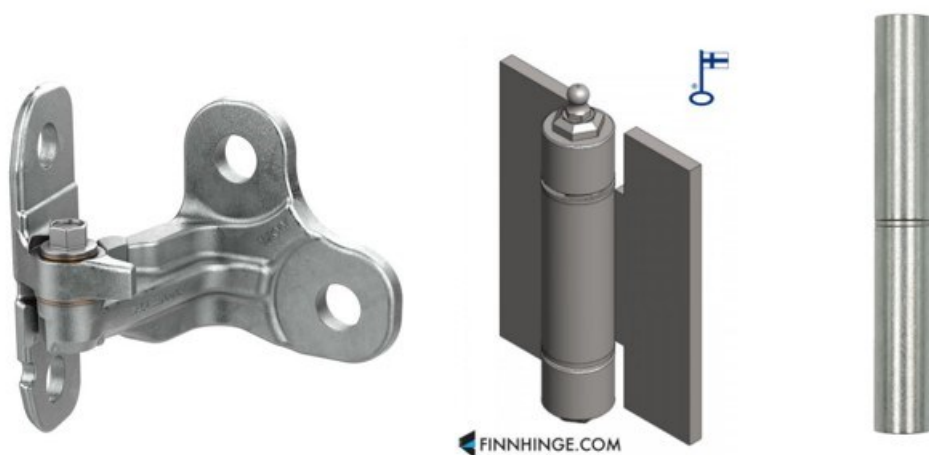
TUOTELUOKKA	VERTAILUSSA MUKANA [KPL]	VALMISTAJIA
Moninivel saranat	2	2
Ajoneuvosaranat	4	2
Hitsattavat profiilisaranat	8	2
Ovisaranat	2	1

Tuotteiden vertailutaulukko luotiin omalle välilehdelle samaan Google Sheets-laskentataulukkoon kuin saranointia koskevat toiveet ja vaatimukset oli listattu. Näin vertailussa voitiin käyttää toiveille annettuja tärkeys pisteitä laskiessa painotettua pistekeskisarvoa jokaiselle tuotteelle ja painottamaan täten tärkeimmiksi arvioituja vaatimuksia ja toiveita. Tämän arvioitiin tuottavan arvokasta lisätietoa siitä, minkäsuuntaista saranointia olisi järkevä lähteä suunnittelemaan. Painotettu keskiarvo laskettiin SUMPRODUCT-toimintoa käyttäen. Koko vertailutaulukko tuloksineen on esitetty liitteessä 3.

Tuotevertailun tulokset olivat hyvin tasaiset, eikä niistä tehty vielä suurempia johtopäätöksiä. Tasaisuuden arvioitiin johtuneen siitä, että saranoita karsittiin jo ennen vertailua, jolloin jäljelle jääneet edustivat jo valmiiksi potentiaalisimpina pidettyjä designeja. Kaikkien saranoiden pistekeskisarvo vaihteli välillä 3,35 ja 3,75. Seuraavassa taulukossa (taulukko 2) on esitelty kolme korkeimman pistekeskisarvon saanutta tuotetta ja perässä kuvat kyseisistä tuotteista (kuva 10).

Taulukko 2. Tuotevertailun kärkitulokset.

TUOTEVERTAILU			
TUOTE JA VALMISTAJA	TUOTE-LUOKKA	PAINOTETTU PISTEKESKIJARVO	SIJOITUS
Forged side door hinge, Multimatic	Ajoneuvosaranat	3,75	1.
Sarana KLR 100/80, Tampereen erikoissarana	Hitsattavat profiilisanat	3,72	2.
Ruostumaton profiilisarana liukulaakerilla, Raitatuote	Hitsattavat profiilisanat	3,71	3.



Kuva 10. Vertailun voittaneet saranat paremmuusjärjestyksessä vasemmalta oikealle (Hinge systems 2023; Sarana KLR 100/80 ilman reikiä; Ruostumaton profiilisarana liukulaakerilla, tasapää).

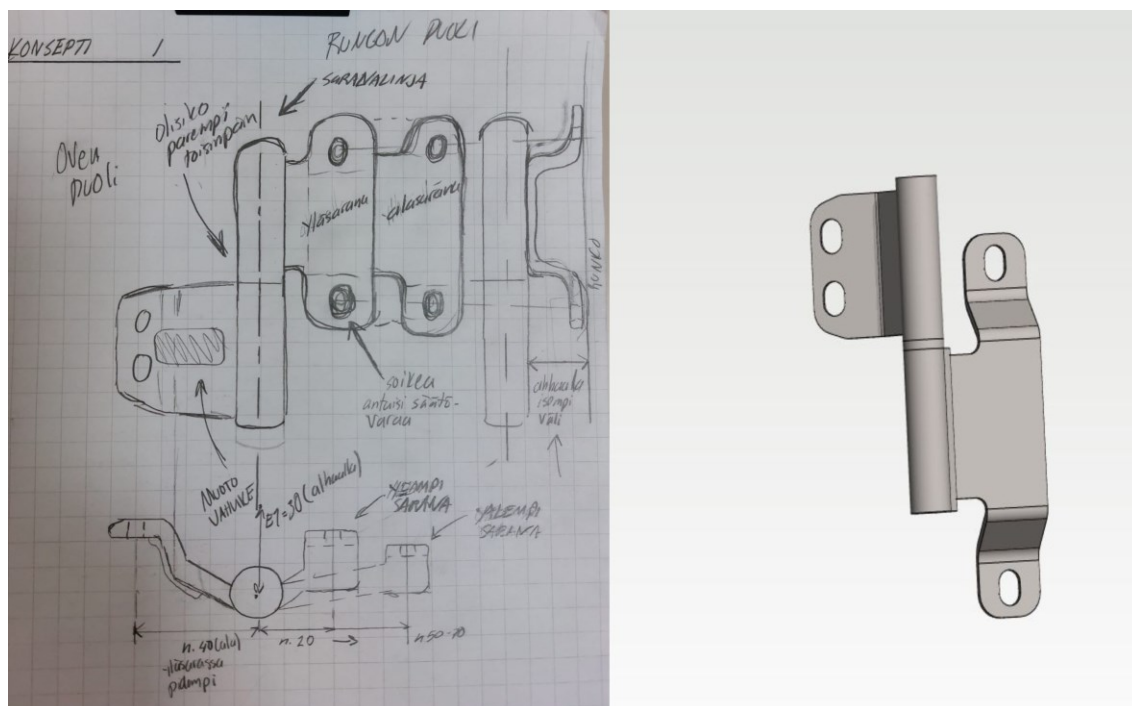
Koska pistekeskiarvon jakautui tasaisesti, päädyttiin vertailun perusteella suunnittelemaan kaikkiaan kolme alustavaa saranakonseptia, jotka perustuivat ajoneuvosaranoihin sekä hitsattavien profiilisaranoiden ja moninivelsaranoiden tuoteluokkiin. Nämä konseptit ja niiden keskinäinen vertailu esitellään seuraavaksi.

5.4 Saranakonseptit

Konseptit ovat Ulrichin ym. (2020: 121–145) mukaan likimääräisiä kuvauksia suunnittelun tuotteen tekniikasta, toimintaperiaatteista sekä muodosta, jotka luodaan perustuen asiakkaan toiveisiin ja vaatimuksiin. Konseptien suunnittelun aikana on tavoitteena selvittää mitä ongelmia ja haasteita suunniteltavaan tuotteeseen voi liittyä ja tietoa laajasti hakemalla pyrkiä ymmärtämään kuinka haasteet saataisiin ratkaistua. Isossa suunnitteluorganisaatiossa voi tässä vaiheessa syntyä useita kymmeniä konsepteja, joista vaiheen lopussa tehdään lopullinen valinta. (Ulrich ym. 2020: 121–145.)

Kuten aiemmin mainittiin, luotiin tämän insinööryön aikana kolme alustavaa konseptia. Näiden konseptien kehittämisen tavoitteena oli saada aikaan suunnittelijalle hyvä kuva saranoinnin uusimisen haasteista ja lisätä ymmärrystä saranamekanismeista yleensä. Konseptien kestävyyttä ei vielä varmistettu laskelmilla tai FEM-simulaatiolla, ja konseptia 3 lukuun ottamatta myös saranan geometrian tarkastelu oven toimivuuden suhteen oli vielä puutteellista.

Ensimmäinen konsepti pohjautui hitsattaviin profiilisaranoihin, joita löytyy markkinoilta vertailussa hyvin menestyneen mallin lisäksi suuri valikoima eri materiaaleista valmistettuna. Konseptissa käytettiin vertailussa pärjänneen Raitatuotteen 140 mm:n pituista ruostumattomasta teräksestä valmistettua saranaa. Ajatuksena oli yksinkertaisesti hitsata tähän malliin omavalmisteiset saranalehdet ja käyttää oven ripustukseen useampaa erillistä saranaa kuten nykyisessä saranoinnissa. Konseptin alustava luonnos ja valmis 3D-malli ovat esitettynä kuvassa 11.

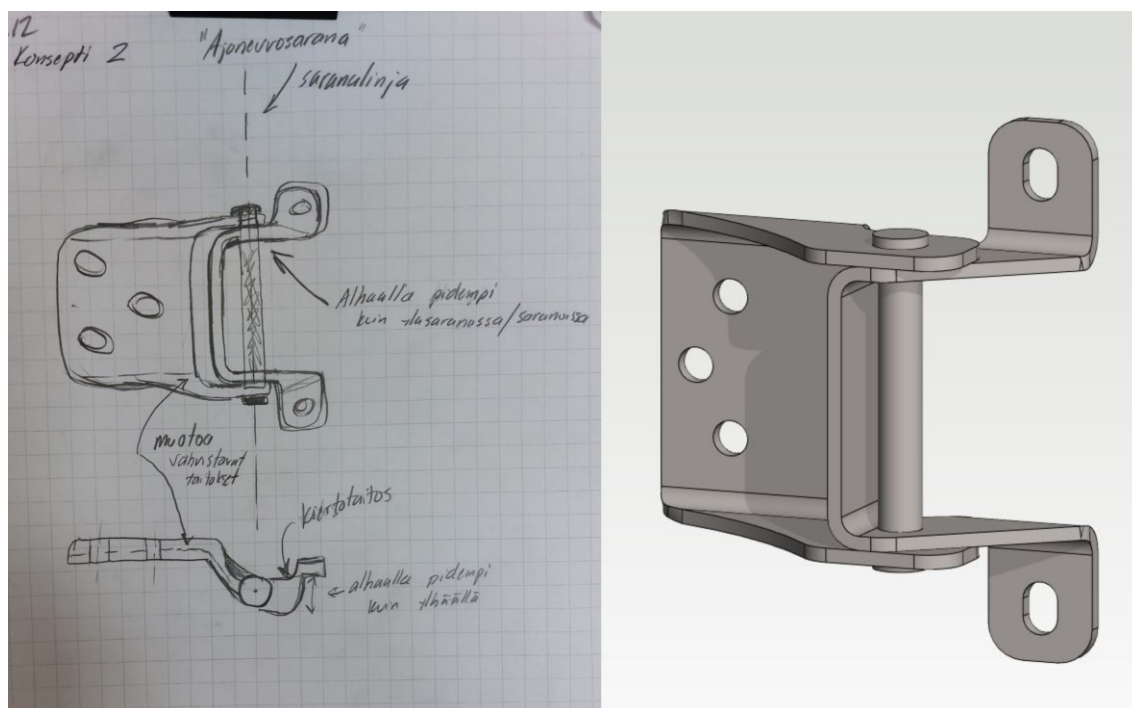


Kuva 11. Konseptin 1 piirrosluonnos ja valmis malli.

Oven ja kehärakenteen kaksoiskaarevuus oli konseptissa huomioitu siten, että saralehtien pituudet olivat varioitavissa. Saranalehdet olisi myös mahdollista mitoitaa helposti tarpeeksi vahvoiksi, ja jo konseptissa vähintään korkeussuuntainen säätö olisi mahdollista kiinnitysreikien muodon vuoksi. Hyvänä puolena konseptissa pidettiin myös edullisuutta sekä valmiin ja testatun saranan käyttöä osana tuotetta. Huonona puolena nähtiin mallin vanhanaikaisuus ja myöhemmin opittiin myös, että kyseinen geometria mahdollistaisi oven avaamisen ilman kehään osumista vain oven ja rungon väliin sijoitettuna, mikä ei tilan puolesta olisi mahdollista.

Toinen alustava konsepti perustui ajoneuvosaranoiden tuoteluokkaan. Vertailun voittanut ajoneuvosarana arvioitiin valmistetun valamalla, mitä ei pidetty mahdollisena valmistustapana, koska tulevan saranan menekki olisi hyvin pieni. Mallia ja inspiraatiota haettiin enemmän muista markkina-analyyseissä

mukana olleista saranoista. Valmis 3D-malli ja hahmotteluluonnos ovat esiteltyinä seuraavassa kuvassa (kuva 12).

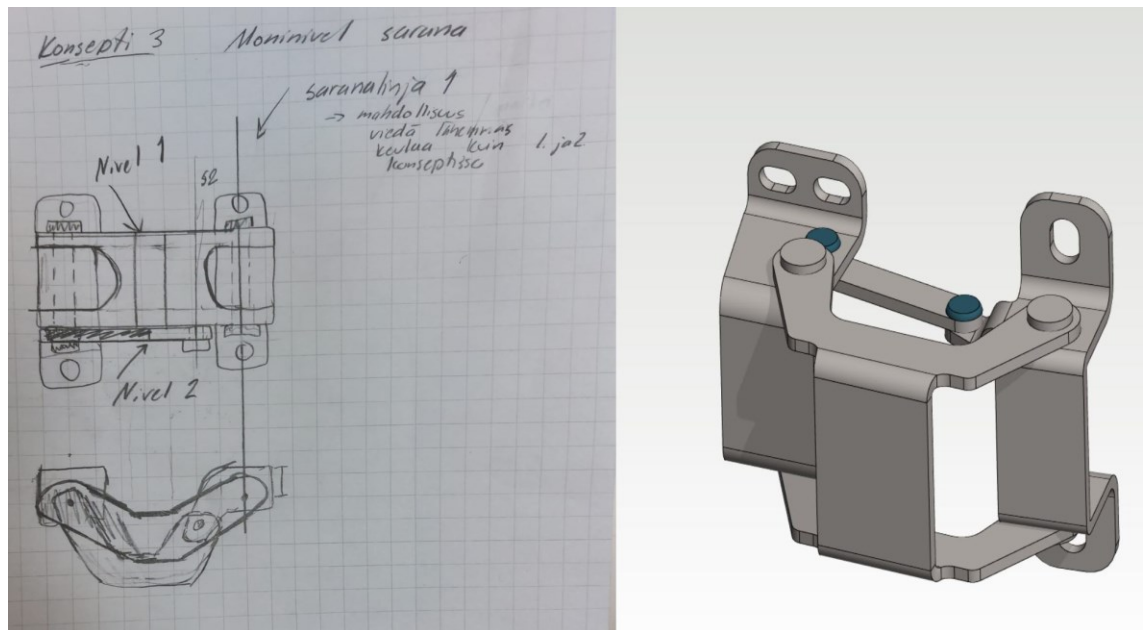


Kuva 12. Konseptin 2 piirrosluonnos sekä valmis malli.

Tässä konseptissa ei ollut käytössä valmista ja testattua sarananiveltä kuten konseptissa 1, vaan saranatappi suunniteltiin koneistettavaksi. Myös valmiin saranatappin käyttö olisi mahdollista sopivan löydyttyä. Ideana konseptissa 2 oli ensimmäisen konseptin tapaan käyttää useampaa saranaa oven saranoinnin toteutuksessa. Konseptin 1 tapaan myös tämän alustavan konseptin haasteeksi nähtiin aukeamisgeometria, sillä myös tällä konseptilla oven avaaminen nähtiin mahdollisena vain sijoittamalla saranat oven ja rungon väliin. Vastaavantyyllisiä saranoita käytetään kuitenkin hyvin paljon esimerkiksi henkilöautoissa, joten mallia pidettiin kehityskelpoisena. Koska ohutlevytyönä valmistettavat saranaletket toimivat taivutusten kautta samalla myös saranan ”runkona”, epäiltiin, että konseptin kanssa saattaisi tulla mittaongelmia.

Kolmas konsepti pohjautuu moninivelsaranoiden luokkaan, jollaisia käytetään ajoneuvoteollisuudessa esimerkiksi linja-autojen helmaluukkujen saranoina.

pystyttiin vielä kokeilemaan ja toteamaan. Kuvassa 14 on esiteltynä konseptin 3 hahmotteluluonnos ja valmis 3D-malli.



Kuva 14. Konseptin 3 piirrosluonnos ja valmis malli.

Haasteena moninivelsaranassa nähtiin ainakin kasvava komponenttien määrä ja sekä selkeä testatarve. Myös lujuuslaskennallisten haasteiden arvioitiin lisääntyvän selvästi komponenttien lisääntyessä. Kyseisessä konseptissa kiinnitysreikien muodolla mahdollistettiin sekä sivuttais- ja pystysuuntainen säätö, joka nähtiin yhtenä hyvänä puolena hienon ja modernin aukeamisliikeradan lisäksi.

5.5 Saranakonseptien vertailu

Alustavien konseptien valmistuttua pidettiin 9.1.2023 välipalaveri konseptien vertailua ja valintaa varten. Vertailussa sovellettiin Ulrichin ym. (2020, 149–169) esittelemää päätösmatriisimetodia, jossa annettiin tällä kertaan konsepteille arvostelupisteet tuotevertailun tapaan. Tämän jälkeen konsepteja arvioitiin suhteessa tuotteelle asetettuihin toiveisiin ja vaatimuksiin. Konseptien kehittämissivun alussa toiveille annetut tärkeysasteet toimivat tälläkin kertaa tulosta

painottavina kertoimina. Koko saranakonseptien vertailutaulukko on esitettyä liitteessä 4.

Palaverissa kaikki konseptit käytiin läpi suurpiirteisesti arvioiden, sillä projektin aikataulun puitteissa ei vertailua ollut mahdollista tehdä numeeristen arvojen avulla esimerkiksi kestävyyttä arvioitaessa, koska FEA-analyysit puuttuivat vielä tässä vaiheessa. Seuraavassa taulukossa 3 on esitetty saranakonseptien vertailun tulokset tiivistettynä.

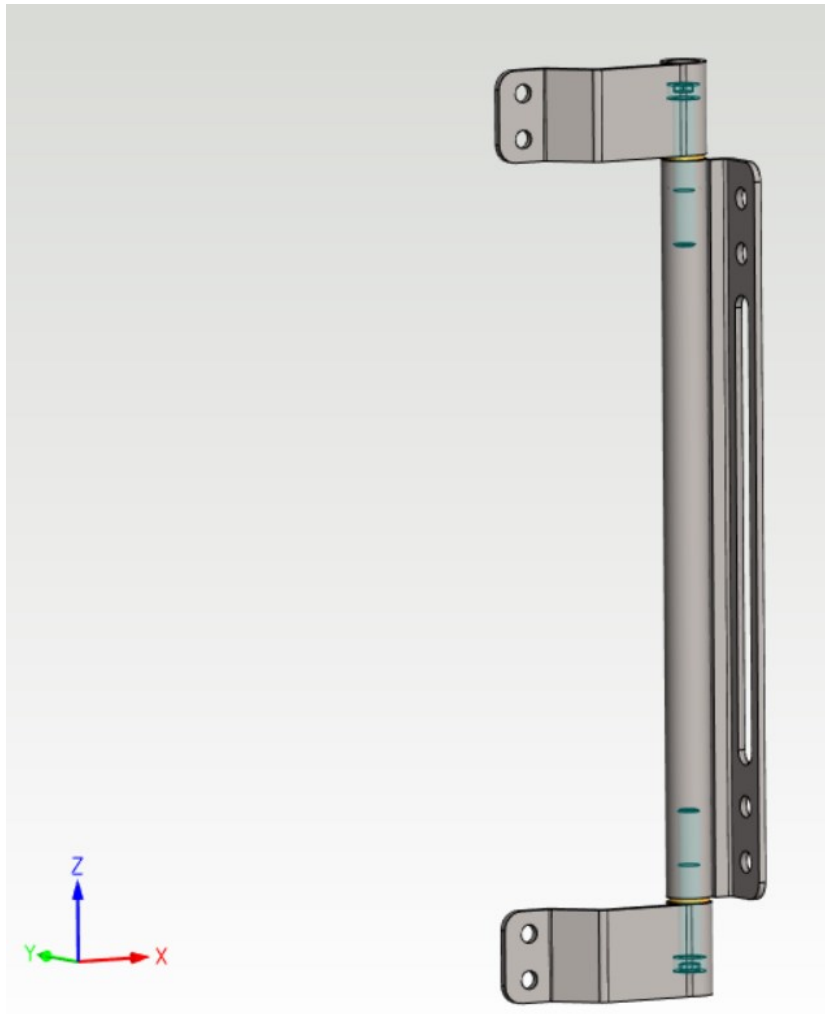
Taulukko 3 Konseptien saamat pisteet ja vertailun sijoitus.

KONSEPTIEN VERTAILU			
Konsepti	Konsepti 1: Hitsattava profiilisarana	Konsepti 2: Ajo-neuvosarana	Konsepti 3: Monivelsarana
Yhteispisteet	316	317	305
Sijoitus	2.	1.	3.

Vertailun tulokset olivat jälleen tasaiset eivätkä osoittaneet yhtä selkeää konseptia jatkokehitystä ajatellen. Vertailun ja palaverissa käytyjen keskustelujen perusteella päätettiin kuitenkin konsepti 3 jättää jatkokehityksen ulkopuolelle. Ulrichin ym. (2020: 149–169) mukaan on tavallista, että jatkokehitykseen valitaan mukaan vielä useampi konsepti.

Näin ei kuitenkaan tällä kertaa tapahtunut, sillä palaverin aikana nousi esille myös aivan uusi idea saranalle, jonka pystyi ajattelemaan hitsattavan profiilisarana kaltaiseksi tuotteeksi. Ajatuksena ja suurimpana erona tässä konseptiksi 4 nimetyssä saranassa oli alustaviin konsepteihin verrattuna se, että ovea kannattelsi vain yksi sarana. Tämä sarana mitoitettaisiin kestäväksi oven paino ja toteuttamaan sopiva ovenaukeamisliikerata hitsattavien profiilisananoiden tapaan yhden saranalinjan ympäri, jotta rakenne saataisiin pysymään yksinkertaisena.

Seuraavassa kuvassa yksi ensimmäisistä hahmotelmista konseptista 4 (kuva 15).



Kuva 15. Konseptin 4 varhaisessa vaiheessa tehty mallihahmotelma.

Vielä saman viikon aikana uusi konsepti todettiin yhdessä kaikkein potentiaalisimmaksi ja valittiin ilman vertailutaulukon käyttöä jatkokehitykseen. Ulrich ym. (2020: 151) toteavat myös intuition olevan yksi tapa valita konsepti, jonka kautta valinta lopulta tällä kertaa tapahtui. Konseptin valintaan päättyi myös tuotekehitysprosessin toinen vaihe ja seuraavaksi siirryttiin järjestelmätason suunnittelun vaiheeseen.

6 Järjestelmätason suunnittelu

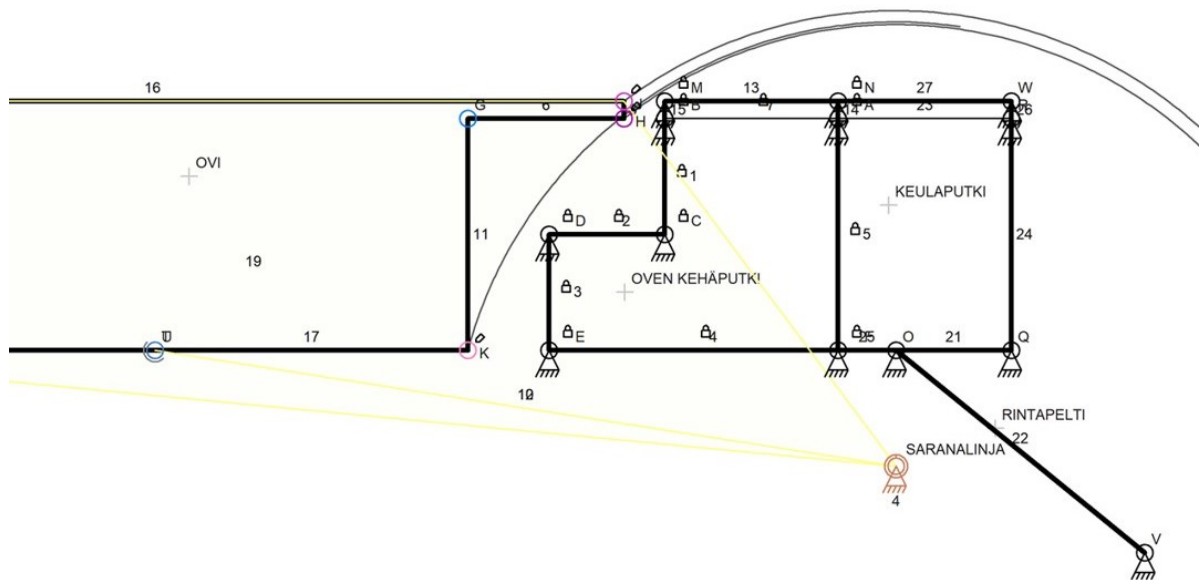
Järjestelmätason suunnittelu -vaihe pitää sisällään tuotearkkitehtuurin määrittelyn ja tuotteen jakamisen pää- ja alakomponentteihin. Tuotearkkitehtuurilla tarkoitetaan mallia, jossa tuotteen toiminnallisen elementit järjestetään fyysisiksi osakokonaisuuksiksi, mikä on erityisen tärkeää, mikäli kyseessä suuri ja monimutkainen tuotekokonaisuus. Vaiheen aikana on tarkoitus lisäksi selvittää ja suunnitella tuotteen geometrinen asettelu päämittoineen, jotta lopullinen yksityiskohtainen suunnittelu on mahdollista. (Ulrich ym. 2020: 15, 189–210.)

Uudesta konseptista 4 syntyi alkaneen jatkokehitystyön aikana useita eri versioita, joilla ratkaistiin havaittuja ongelmia ja esimerkiksi etsittiin FEA-analyysin tuloksia parantavia ominaisuuksia. Isoimpien muutosten kohdalla version numero vaihdettiin muutosten seuraamisen helpottamiseksi. Lopulta konseptista oli valmiina kaksi mallissa testattua ja laskennallisestikin toimivaa versioita. Tässä luvussa kuvataan tarkemmin suunnittelun kulku ja esitellään lopuksi versioiden 8 ja 9 välillä tehty valinta.

6.1 Saranalinja ja saranan ovilehden rakenne

Konseptin 4 kehitystyö alkoi tulevan saranan saranalinjan määrittelemisellä, eli tarkoituksena oli lopullisen saranageometria löytäminen. Tätä varten oven ympäristön kehärakenteeseen ja ohjaamon rakenteisiin perehdyttiin vielä aiempaa tarkemmin, jotta saranan asennusalueesta saatiin mahdollisimman selkeä kuva tarkkoine mittarajoituksineen. Perehtyminen alkoi rakentamalla ovesta ja ovensekä ohjaamon kehärakenteesta 3D-malli. Tämän jälkeen 3D-mallin ja kehärakenteen piirustusten avulla saranan asennusalueesta luotiin mitoiltaan aiemmin käytössä ollutta tarkempi tasokuva Linkage-sovellukseen. Sovelluksen avulla etsittäisiin saralinjalle sellainen piste, että ovi ei auetessaan osuisi kehärakenteeseen tai kirjastoauton ulkopintaan. Lisäksi pisteen tuli sijaita alueella, jonne saranan mahtuisi asentamaan sen osumatta esimerkiksi ohjaamorakenteisiin. Kuvassa 16 esiteltynä lopullinen geometria. Siinä näkyy myös

liikesimulaation piirtämät liikeviivat, joiden perusteella oven ei pitäisi osua kehäputkeen ennen kuin ovi on kunnolla auennut.

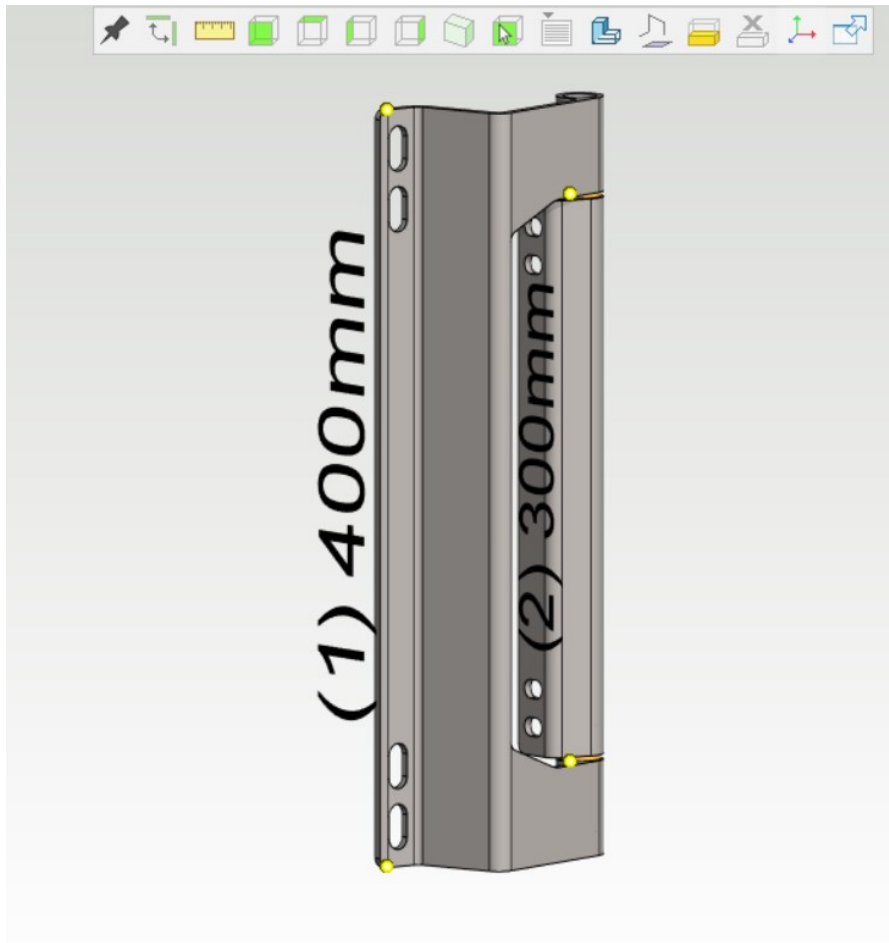


Kuva 16. Tasomalli, jossa simuloituna lopullisen saranalinjan mukainen oven avautumisen liikerata.

6.2 Korkeussuuntaiset päämitat ja staattinen analyysi

Kun saranalinjan määrittely oli tehty, alkoi saranan päämittojen tutkiminen. Ensin määriteltiin koko saranan korkeus ja nivelpisteiden etäisyys staattista analyysiä varten. Oven ja kehän rakennetta tutkimalla ja mittamalla sekä muuttamalla ensimmäisellä malliversiolla 3D-kokoonpanossa kokeilemalla arvioitiin sopivaksi saranan kokonaiskorkeudeksi 400 mm. Lisäksi sopivalta saranan nivelpisteiden etäisyydeltä toisistaan vaikutti 300 mm. Nämä korkeussuuntaiset

päämitat esitetty seuraavassa kuvassa (kuva 17), jossa samalla näkyvillä saranan neljäs kehitysversio.

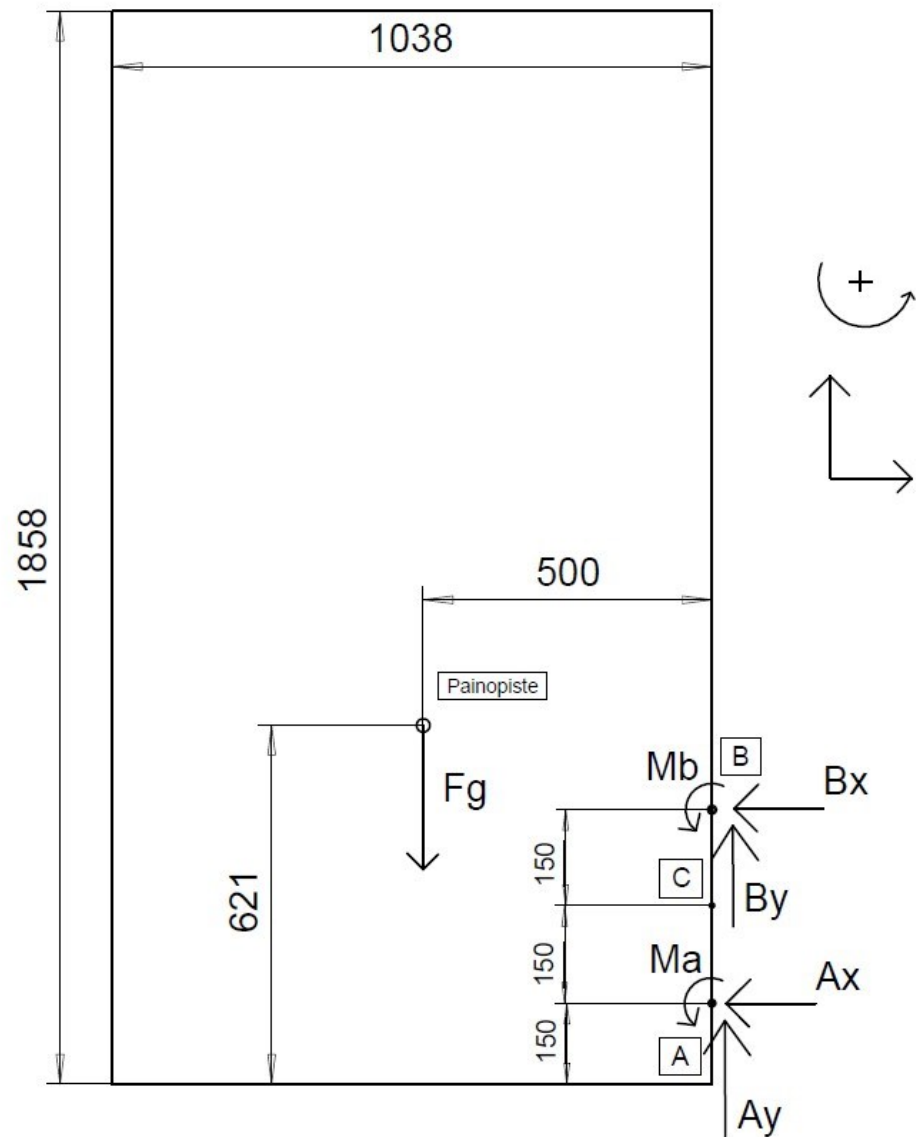


Kuva 17. Konseptin 4 malliversio 4 korkeussuuntaisten päämittojen kanssa.

Kun korkeussuuntaiset päämitat oli määritelty, pystyttiin tekemään suuntaa antava staattinen analyysi siitä, minkä suuruisia voimia saranan nivelpisteissä vaikuttaa kuljettajan oven painon ja arvioidun lisäpainoin vaikutuksesta. Laskentatilanteessa oven ajatellaan olevan auki, jolloin vain sarana kannattelee ovea. Ennen laskentaa oli vielä määritelty saranan etäisyys korkeussuunnassa 100 mm:n korkeuteen oven alareunasta.

Staattista analyysia varten oven painopiste tarkastettiin oven 3D-mallista ja painopisteen sijainti x-y-tasossa on esitetty oven vapaakappalekuvassa (kuva 18). Laskennassa käytettiin oven jo aiemmin esiteltyä 64 kg:n massaa, mutta tämä

massa kerrottiin vielä SFS-EN 1993-1-8 -standardin (2005: 19) teräsrakennesien suunnittelulle määrittelemällä osavarmuusluvulla 1,25. Lisäksi saranan mitoituksessa haluttiin käyttää lisämassaa, joka voisi oven rakenteisiin kohdistua esimerkiksi kuljettajan ottaessa siitä tukea. Koska laskenta tapahtui kaksiulotteisessa tasossa, sarananivel ajateltiin kolmen tuen arvoiseksi jäykäksi kiinnitykseksi. Räsäsen (2020), mukaan sarananivel on todellisuudessa 5 arvoinen tuki, sillä vapaana on vain liike saranalinjan ympäri.



Kuva 18. Kuljettajan oven vapaakappalekuva, jossa pisteet A ja B saranan nivelpisteitä. Piste C valittu saralinjalta saranan puolivälistä tukivoimien selvittämistä varten.

Painopisteestä vaikuttavaksi voimaksi saadaan

$$F_g = (m_1 \cdot \gamma_{m_2} + m_2) \cdot g = 1373,4 \text{ N} \quad (1)$$

jossa γ_{m_2} on osavarmuusluku 1,25, $m_2 = 60$ kg lisämassa ja $g = 9,81$ m/s².

Vapaakappalekuvasta voidaan muodostaa seuraavat jäykän kappaleen tasapainoyhtälöt (Räsänen 2020: 43):

$$\sum F_x = -A_x - B_x = 0 \rightarrow B_x = -A_x \quad (2)$$

$$\sum F_y = A_y + B_y - F_g = 0 \rightarrow A_y + B_y = 1373,4N \quad (3)$$

X:n suuntaiset tukivoimat saadaan ratkaistua muodostamalla seuraava momenttiyhtälö saranan puoliväliin määritellyssä pisteessä C:

$$\sum M_c = F_g * 0,5m + B_x * 0,15m - A_x * 0,15m = 0 \quad (4)$$

josta johdetaan seuraava lauseke

$$A_x = \frac{676,7Nm + B_x * 0,15m}{0,15m} \quad (5)$$

Tämän jälkeen sijoittamalla kaavaan 2 saadaan

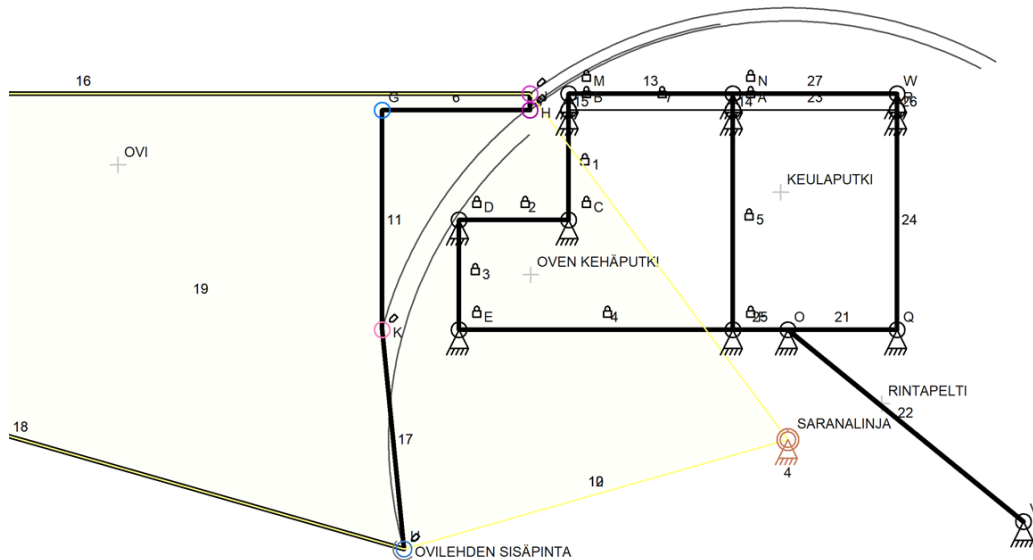
$$B_x = -2289N$$

Tällöin $A_x = 2289N$, mikä tarkoittaa, että vapaakappalekuvassa esiintyvä A-pisteen tukivoima onkin todellisuudessa vastakkaiseen suuntaan. Tarkkaa arvoa y:n suuntaisille tukivoimille ei pystytä selvittämään. Näin saatuja x:n suuntaisia tukivoimia käytettiin myöhemmin esimerkiksi laakerien pintapainelaskuissa.

6.3 Saranalehtien rakenne

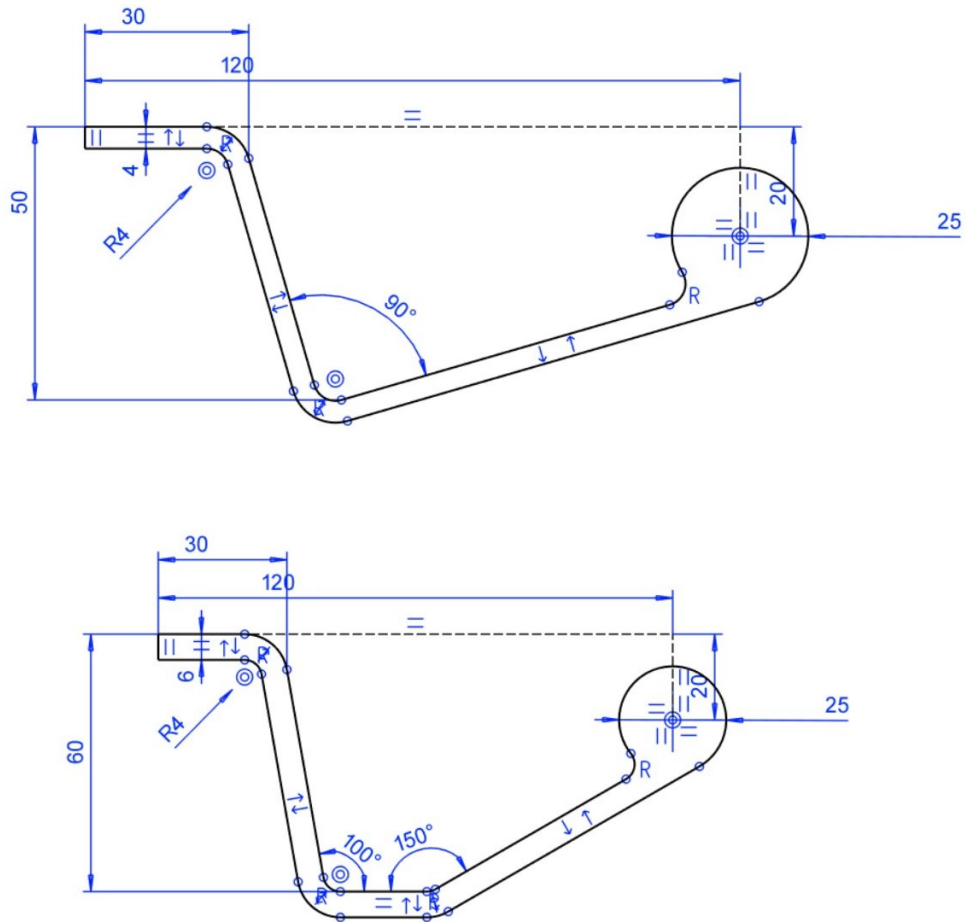
Seuraava tärkeä selvitettävä asia oli se, minkälainen rakenne oveen kiinnityvältä saranalehdeltä vaadittaisiin, jotta se ei oven auetessa osuisi oven kehärakenteeseen. Myös tässä käytettiin aluksi apuna edellä esiteltyä Linkageen luotua tasokuvaa muuttaen oven rakennetta siten, että mallin ovessa olevat pisteet kuvasivat saranan ovilehden pintoja. Tämä simulointi on esitettyinä

seuraavassa kuvassa (kuva 19).



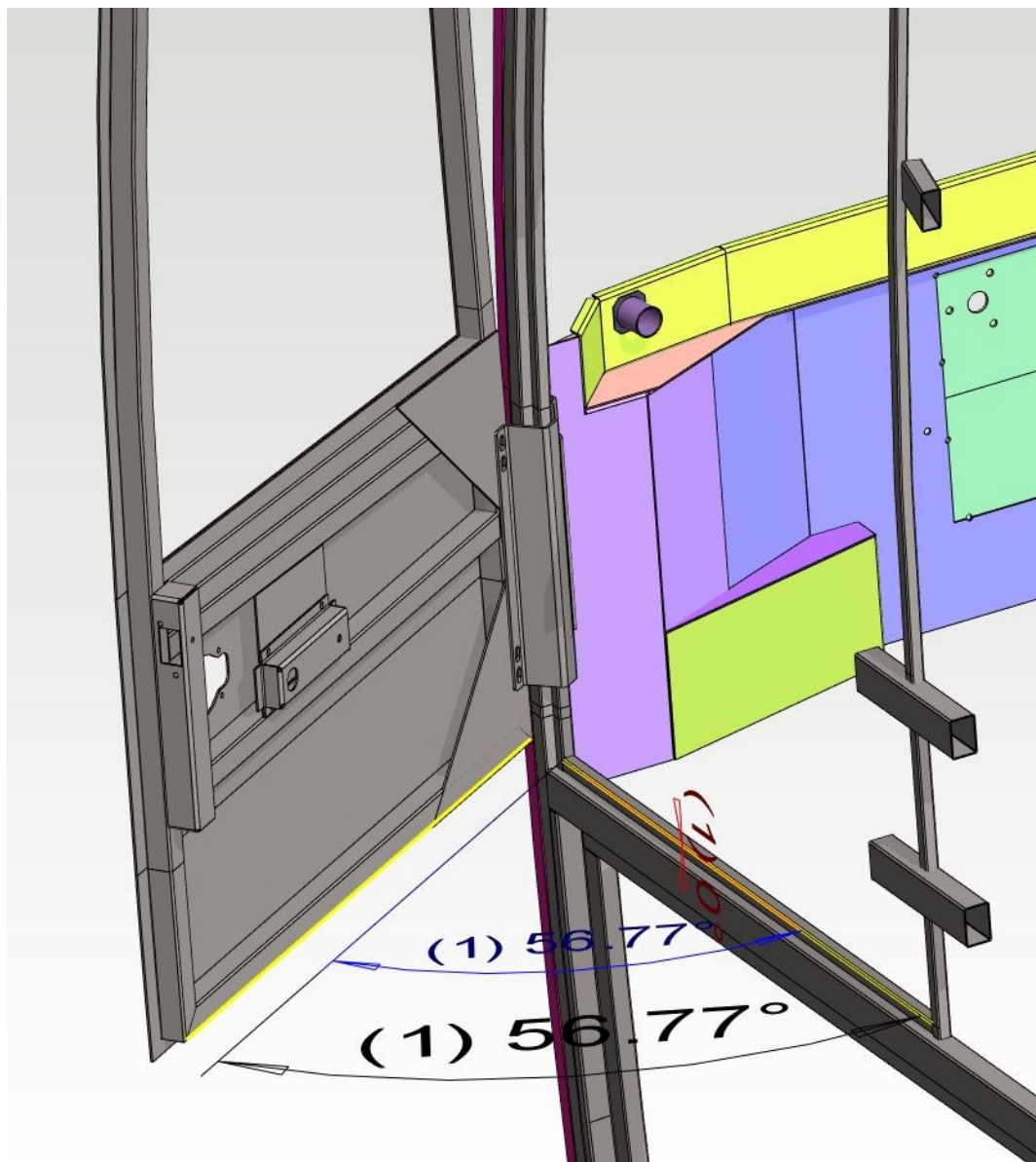
Kuva 19. Liikeratasimulaatio ovenpuoleisen saranalehden geometria määrittämiseksi.

Tasomallista saadut mitat siirrettiin tämän jälkeen 3D-malliin, jossa törmäystä voitiin testata käytännössä. Ensimmäinen testi osoitti, että saranan ovilehden sisäpintaa oli vietävä vielä tasomallisissa määriteltyjä mittoja pidemmälle, sillä kehärakenteen kaarevuus auton perää kohden aiheutti saranan yläreunan osumisen keuhään ennen kuin ovi oli tarpeeksi auki. Kuvassa 20 esiteltynä saranan ovilehden poikkileikkaus ennen muutoksia ja niiden jälkeen. Poikkileikkauksessa näkyvä pyöreä osa on erillinen sarana-akseli, joka todellisuudessa hitsattaisiin levyosaan. Mallinnuksen nopeuttamiseksi sekä tulevaa FEA-analyysiä varten mallinnettiin akseli tässä vaiheessa kiinteäksi osaksi saranalehteä.



Kuva 20. Saranan ovilehden kehittyvä geometria.

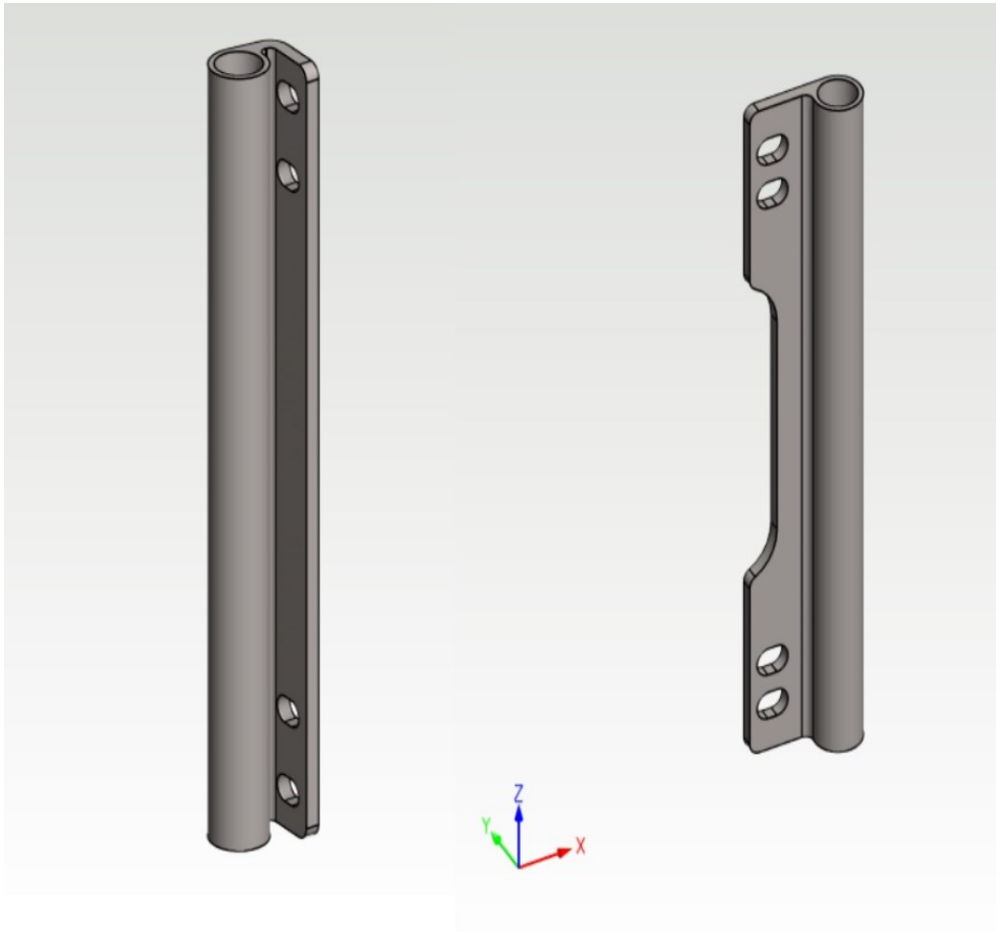
Saranan syvyyden kasvattamisen lisäksi malliin lisättiin myös kolmas taivutus, jotta oven avautumiselle saatiin lisää tilaa. Näiden oleellisimpien muutosten jälkeen ovi avautui kuvasta 21 todettavat noin 56° , mihin tyydyttiin tässä kohtaa suunnittelua.



Kuva 21. Oven avautumiskulma saranalehteen tehtyjen muutosten jälkeen.

Kun saranan ovilehden pääasiallinen rakenne oli selvillä, tarkasteltiin myös runkoon kiinnittyvää saranalehteä tarkemmin. Edellisessä kuvassa esitettyyn versioon 5 asti oli runkolehti toteutettu yhdellä 90 asteen taivutuksella, jotta saranan kiinnitys voisi tapahtua runkokehään hitsattavaan L-profiilin. Tästä suunnitelmasta päädyttiin kuitenkin luopua ja yksinkertaistaa runkolehti suoraksi kappaaleeksi. Tämä muutos mahdollisti myös sivuttaissuuntaisen säätömahdollisuuden

lisäämisen saranan runkolehteen asettamalla kiinnitysorat vaakatasoon. Kuvassa 22 on esitettyä ovilehteen tehdyt muutokset.

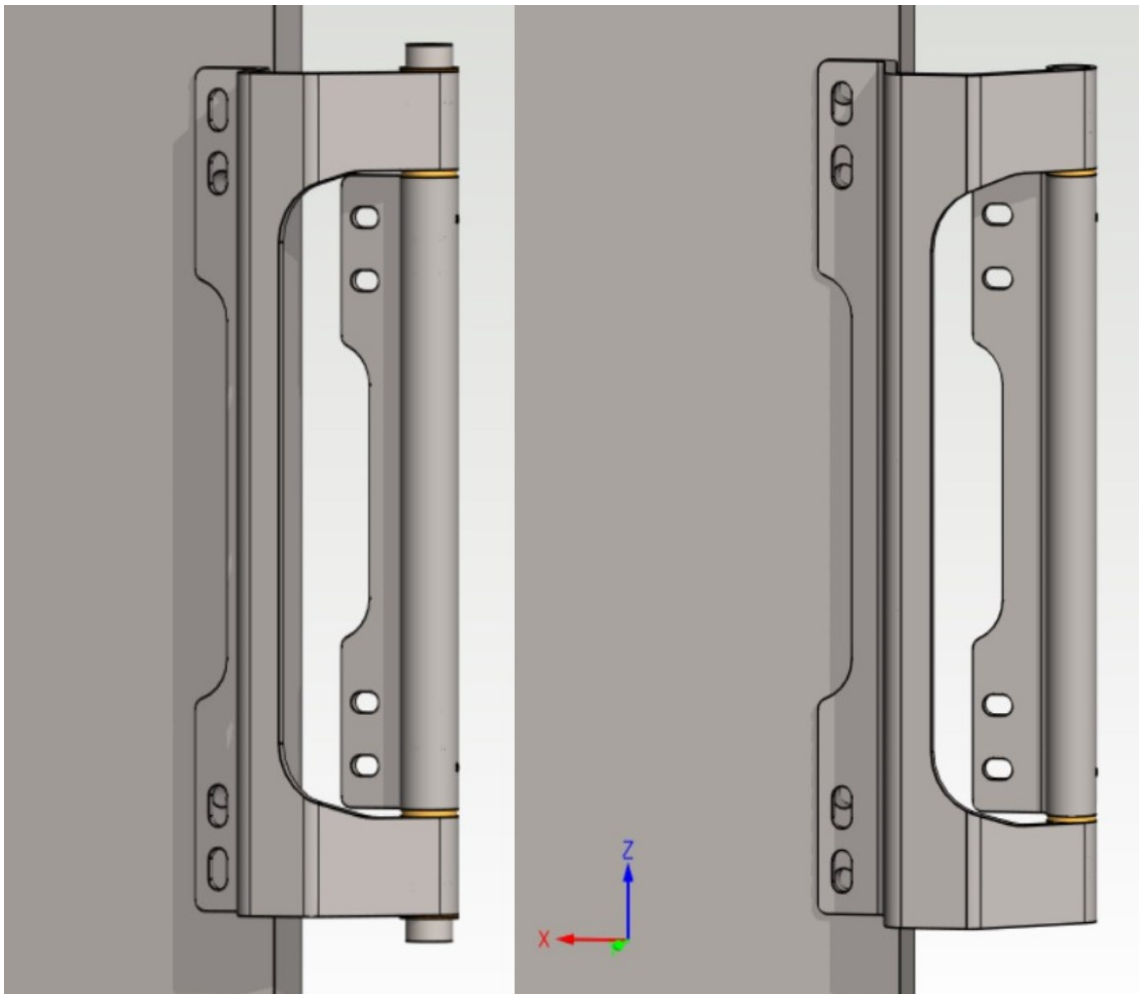


Kuva 22. Oleelliset muutokset saranan runkolehden rakenteessa versioiden 5 ja 6 välillä.

Malliversio 7 tehdyt muutokset olivat lähinnä kosmeettisia ja suurimpana erona aiempaa oli kevennysreikien lisäys saranan ovilehteen. Enempää suuria muutoksia ei tullut ennen viimeisiä malliversioita 8 ja 9, joita esiteltä enemmän seuraavissa luvuissa.

6.4 Laakerointi ja sarana-akseli versioissa 8 ja 9

Konseptin 4 kehitysversiossa 8 ja 9 erona oli saralehtien suunnitelmien vakioiduttua enää sarana-akselin ja laakeroinnin hieman eriävät ratkaisut. Molemmat versiot todettiin myös rakenteeltaan kestäviksi FEA- analyysissä, jonka tuloksia esitellään seuraavassa luvussa. Seuraavassa kuvassa esitettynä molemmat versiot kokoonpanomalleina (kuva 23).



Kuva 23. Kehitysversiot 8 ja 9 kokoonpanoina kiinni FEA-analyysissä käytetyssä oven palikkamallissa.

Molemmissa versioissa saranan ovilehden kiinnitys runkolehteen tapahtuu käyttäen ISO 7379 -standardin mukaista olakeruuvia, jonka ajateltiin sopivan erinomaisesti akselipultiksi ruuvissa olevan toleroidun olakepinnan vuoksi. Tämä

olakepinta sopii ominaisuuksiltaan hyvin vastinpinnaksi saranaan valituille sintratusta öljypronssista valmistetuille laipallisille liukulaakereille. Blomin ym. (2006: 176) mukaan liukulaakerin vastinpinnan täytyy olla hiottu eli pinnankarheudeltaan $R_a = 0,4 - 1,6 \mu m$ ja ISO 7379:n ruuvin olakepinnalle määritelty arvo on 0,8 (Tekniset tiedot). Laakerin vastinpinnan kovuuden on oltava myös vähintään 100 HB kovempaa kuin laakerimetallin. ISO 7379:n mukaiset ruuvit ovat lujuusluokaltaan 12.9, jolloin materiaalin HB arvo on 380, kun taas öljypronssin vastaava on 20–30 (Blom ym. 2006: 176–189; Schaeffler Technical Pocket Guide 2018: 464).

Sintratut öljypronssiset liukulaakerit valittiin saranaan niiden usean hyvän ominaisuuden vuoksi. Ensimmäinen ja ehkä tärkein ominaisuus niissä on olematon huollon tarve johtuen huokoisesta öljyllä täytetystä rakenteesta. Lisäksi sintratut öljypronssilaakerit ovat edullisia ja sopivat erinomaisesti käyttökohteeseen, jossa on pienet liukunopeudet ja edestakainen liike. (Blom ym. 2006: 182.) Lisäksi laakerointia tutkiessa huomattiin liukulaakereita löytyvän myös kooltaan juuri sopivia, kun taas muiden akselinsuuntaista kuormaa kantavien laakerityyppien koot olivat järjestään liian suuret verrattuna saranan runkoakseliin.

Blom ym. (2006:189) määrittelevät pronssisen liukulaakerin suurimmaksi kuormitettavuudeksi $15\text{--}55 \text{ N/mm}^2$. Versiossa 9 käytössä olevan laakerin säteissuuntaiseksi maksimipintapaineeksi laskettiin seuraava

$$p = \frac{Fx}{d \cdot L} = \frac{2289N}{12mm \cdot 20mm} = 9,54 \text{ N/mm}^2 \quad (6)$$

jossa F_x on aiemmin staattisessa analyysissä määritelty laakeriin nähden säteissuuntainen kuorma, d laakerin sisähalkaisija ja L laakerin pituus (Blom ym. 2006: 177).

Akselisuuntainen kuormitus osuu laipallisessa liukulaakerissa laippaan, joten pintapaine määriteltiin seuraavasti:

$$p = \frac{Fg \cdot 4}{\pi \cdot (D^2 - d^2)} = \frac{1373,4N \cdot 4}{\pi \cdot (24^2 - 12^2)} = 4,04 \text{ N/mm}^2 \quad (7)$$

jossa F_g on staattisessa analyysissä käytetty oven ja lisämässän laakeriin nähdyn pystysuuntainen kuorma ja D laakerin laipan ulkohalkaisija (Blom ym. 2006: 177). Kaavassa 7 voitiin käyttää F_g -muuttujaa johtuen kaavan 3 määritelmästä $A_y + B_y = 1373,4N$, vaikka tarkkoja y :n suuntaisia tukivoimia ei tiedetä. Sekä säteis- että akselisuuntaiset pintapaineet alittavat selvästi pronssilaakerille määritellyt maksimikuormituksen. Kuvassa 24 esiteltynä sekä laakeri, että ISO 7379:n mukainen olakeruuvi.

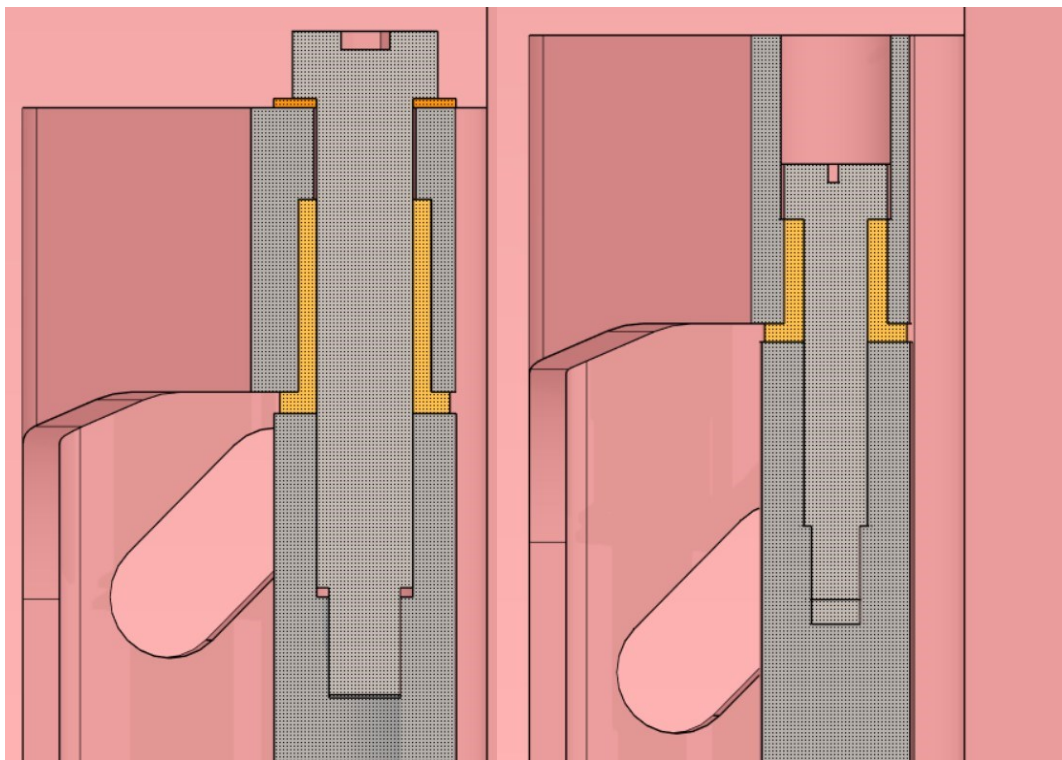


Kuva 24. BNZF-tyyppinen laipallinen öljypronssiliukulaakeri sekä ISO 7379 -standardin mukainen olakeruuvi (BNZF16x22x35-28x3,5 liukulaakeri itsevoiteleva sintrattu öljypronssi laipalla; ISO 7379 Olakeruuvit kauluksella 2023).

Oleellisimpana erona kehitysversioiden 8 ja 9 välillä on runkoakseliksi suunnitellun pyörötangon halkaisija, joka versioissa 8 on 30 mm ja versioissa 9 25 mm. Runkoakselin halkaisija määrää myös laipallisen liukulaakerin koon, sillä laakerin laipan on kuormaa kantava oltava suunnilleen akselin halkaisijaa vastaava. Koska saranassa haluttiin käyttää vain valmiita markkinoilta löytyviä laakereita mittaan koneistettavien sijasta, määräsi laakerin saatavilla olevat koot myös pulstin laipan halkaisijan. Haasteeksi sopivan laakerointiratkaisun löytämisessä tuli tässä kohtaa se, että ISO 7379:n mukaisissa ruuveissa olakkeen halkaisija tekee hyppäyksen 12–16 mm välillä. Tämä johti versioissa 8 ratkaisuun, jossa

valittiin halkaisijaltaan 16 mm pultti sijoittaen pultin kanta kokonaan sarana-akselin ulkopuolelle. Version 8 runkoakselin halkaisijaa oli edellisestä versioista 7 kasvatettu laakerin laipan alueella sijainneen liian suuren pistejännityksen takia.

Lopulta löytyi kuitenkin laakeri, jossa oli versiossa 7 käytössä ollut laakeria sopivammat mitat, jolloin akselin rakenne palautettiin versioissa 9 pienin muutoksin vastaamaan aiempia versioita upottaen pultin kanta jälleen ovilehden akseliosan sisään. Seuraavassa kuvassa (kuva 25) poikkileikkaukset versioiden 8 ja 9 akselista ja laakeroinnista.



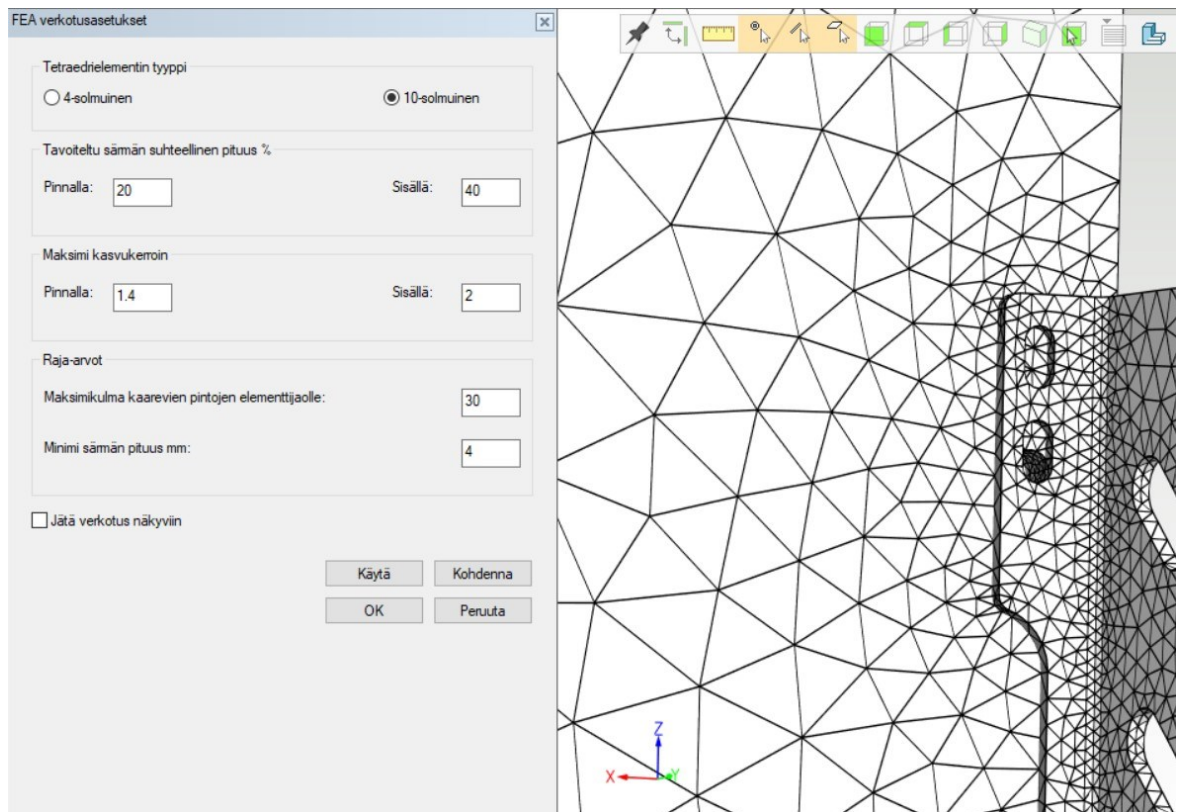
Kuva 25. Akselin poikkileikkaukset, versio 8 vasemmalla

6.5 FEA

Sanoista Finite Element Analysis muodostuva FEA tarkoittaa elementtimenetelmällä suoritettua ohjelmistopohjaista lujuuslaskentaa. Saranan FEA-laskenta suoritettiin käyttäen Vertex G4 -ohjelmiston opiskelijalisenssin mukana tulevaa FEA-lisäosaa. FEA-laskentaa käytetään eritoten rakenteen kestävyden

tarkasteluun, kuten tässäkin projektissa tehtiin. Sitä voidaan käyttää myös rakenteen muodon ja materiaalikäytön optimoimiseen. (Perustietoa lujuuslaskennasta).

Vertex G4:n FEA-lisäosalla pystyttiin suoraan analysoimaan ohjelmassa luotua saranamallia myös kokoonpanona. Ohjelma luo automaattisesti laskentaan valituille kappaleille elementtiverkon, jota voidaan tarvittaessa säätää halutuilla aluilla tai esimerkiksi tihentää kaikkialta. Tämän projektin aikana käytettiin kaikissa FEA-analyseissa samaa 10-solmuista tetraedrielementtityyppiä. (Perustietoa lujuuslaskennasta.) Kuvassa 26 on esitettyä analyseissä käytetyt elementtiverkon asetukset. Elementtiverkon tihentämiselle ei nähty tarvetta, sillä kyseisilläkin asetuksilla laskentaan meni käytössä olleella tietokoneella aina noin 20 minuuttia.

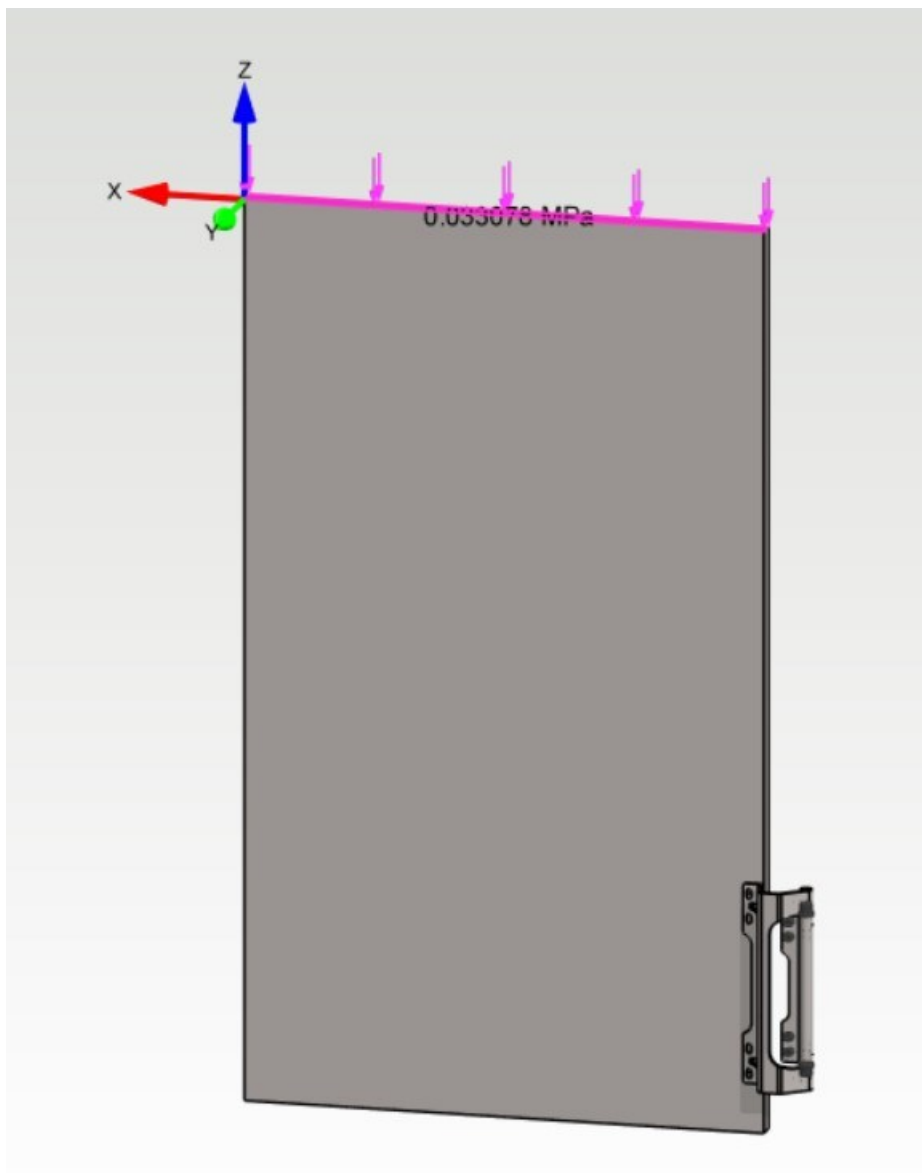


Kuva 26 FEA-analyseissä käytetyt elementtiverkotuksen asetukset.

Reunaehdot ja kuormitukset annettiin ohjelmassa kappaleiden pinnoille. Analyysia varten luotiin ovesta sen kokoa vastaava, massattomaksi määritelty palikkamalli, jonka yläpintaan asetettiin aiemmin staattisessa analyysissä määritelty F_g :n suuruinen paine. Tämä laskettu seuraavasti:

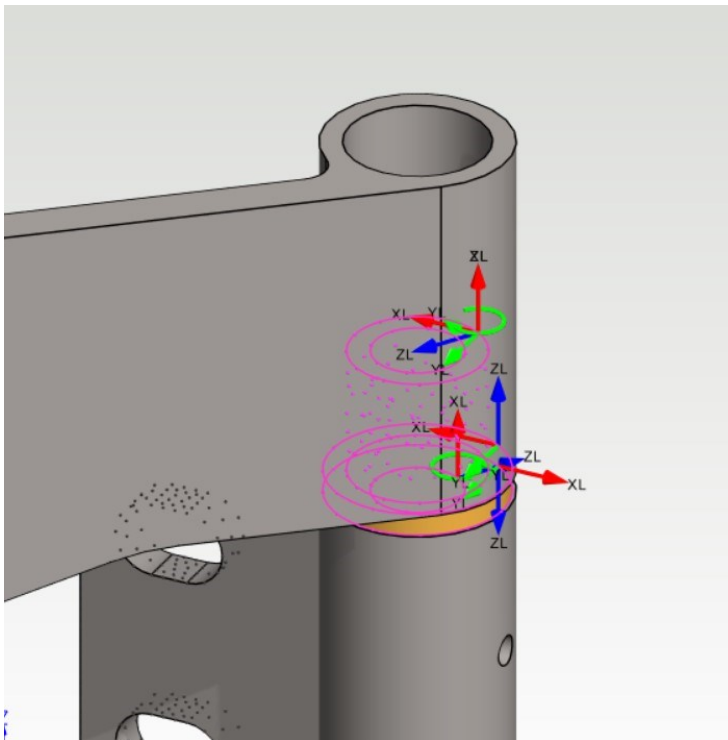
$$p = \frac{F_g}{A} = \frac{1373,4N}{0,04152m^2} = 33078 Pa = 0,033078Mpa \quad (8)$$

jossa A on palikkamallin yläpinnan pinta-ala. Asetelma nähtävillä kuvassa 27.



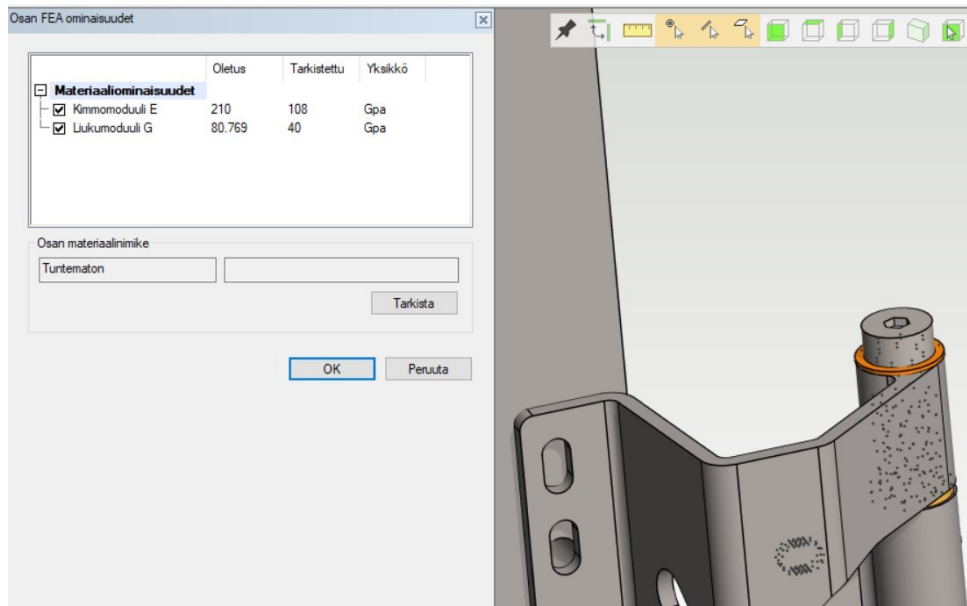
Kuva 27. FEA-analyysissä käytetty painekuorma palikan mallisen mallioven yläpinnassa.

Sarana kiinnitettiin analyysia varten saranan runkolehden kiinnitysreikien pinnoista paikkaan, jolloin pinnoilla ei ole vapausasteita. Lisäksi laakereiden toisia pintoja vasten olevat ulko- ja sisäpinnat määriteltiin kontaktipinnoiksi, jolloin pinta ei pääse vastinpintansa sisään mutta voi irrota siitä. Toimenpiteen tarkoituksena on saada aikaan tarkempia tuloksia kuin oletuksena kaikille vastinpinoille olevalla kiinnitetty vastinpintoihin – reunaehdolla. Mikäli osalla ei ole vastinpintaa, tulkitsee ohjelma sen vapausasteiltaan vapaaksi (Perustietoa lujuuslaskennasta). Kontaktipintojen määrittely esiteltynä seuraavassa kuvassa 28.



Kuva 28. Laakerin vastinpinnat määriteltynä kontaktipinnoiksi.

Materiaalina on Vertexissä oletuksena teräs, jolloin materiaaliominaisuudet olivat kohdallaan pronssisia liukulaakereita lukuun ottamatta. Tarkkoja sintratun öljypronssin materiaaliominaisuuksia ei onnistuttu löytämään, joten laakereille annettiin Schaeffler Technical Pocket Guide (2018: 216) kirjan pronssille määrittelemät arvot (kuva 29), joiden arvoitiin olevan tarpeeksi tarkat.

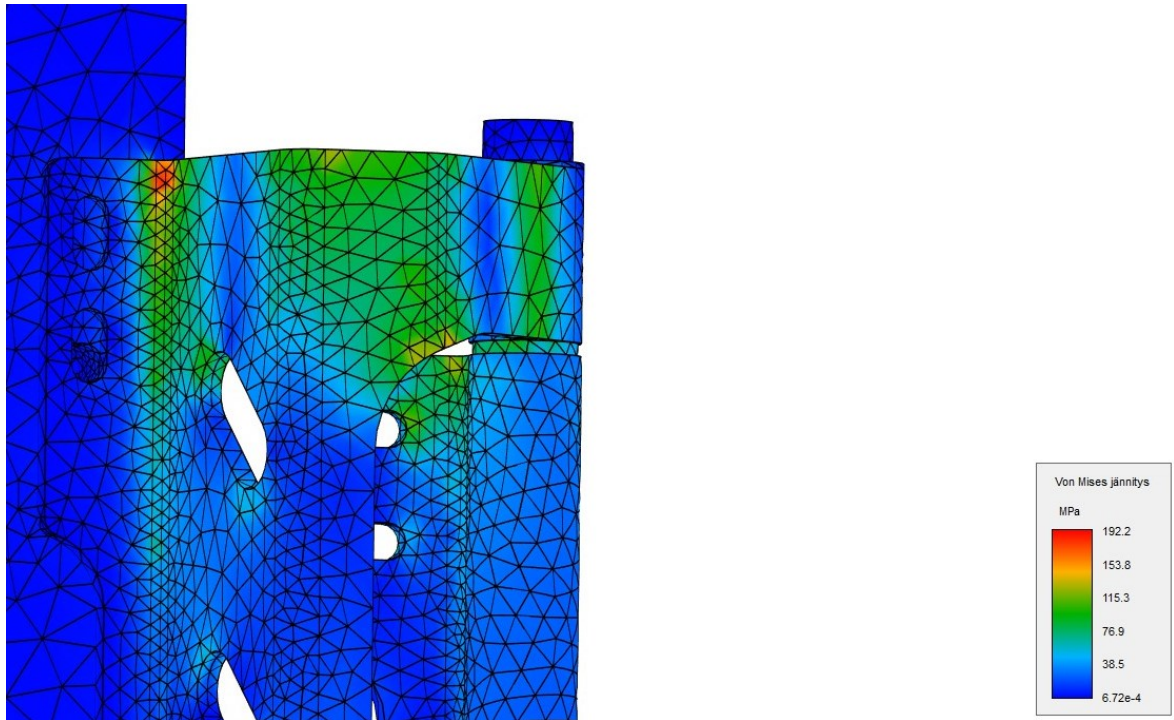


Kuva 29. Pronssisten liukulaakereiden materiaaliominaisuuksien määrittäminen.

Ensimmäiset onnistuneet FEA-analyysit tehtiin tuoteversiolla 4, jolloin huomattiin, että käytössä ollut 4 mm:n materiaalipaksuus olisi syytä kasvattaa. Ovenpuoleisen saranalehden taivutuksen yläreunassa oli 296 MPa:n maksimijännitys. Björk ym. (2014: 43) ohjeistuksen mukaisesti hyväksytty varmuusluku myötörajan suhteen staattisessa kuormituksessa on 1,2–2. Tällöin 4 mm:n materiaalivahvuudella varmuusluvaksi saatiin

$$n = \frac{Re}{\sigma_{vert}} = \frac{355\text{Mpa}}{296\text{Mpa}} = 1,19 \quad (9)$$

jossa Re on materiaalin myötöraja ja σ_{vert} maksimijännitys. Tulos alittaa ohjeistusrajan sekä tuotteen vaatimuksissa saranalle annetun varmuuskertoimen 1,5 rajan. Materiaalipaksuuden muutos ja muuten tarkentuneet rakenteet auttoivat varmuusluvun parantamisessa. Kuvassa 30 on esiteltynä jännityskuvaaja versiolla 8 tehdystä analyysistä.



Kuva 30. Kuva jännitysten jakautumisesta versiolle 8 tehdyssä FEA-analyysissä.

Kuvasta selviää, että maksimijännitys sijaitsee edelleen ylänurkassa, mutta varmuusluvuksi saadaan 1,86, joka on jo riittävä. Version 9 varmuusluvuksi saatiin 1,61.

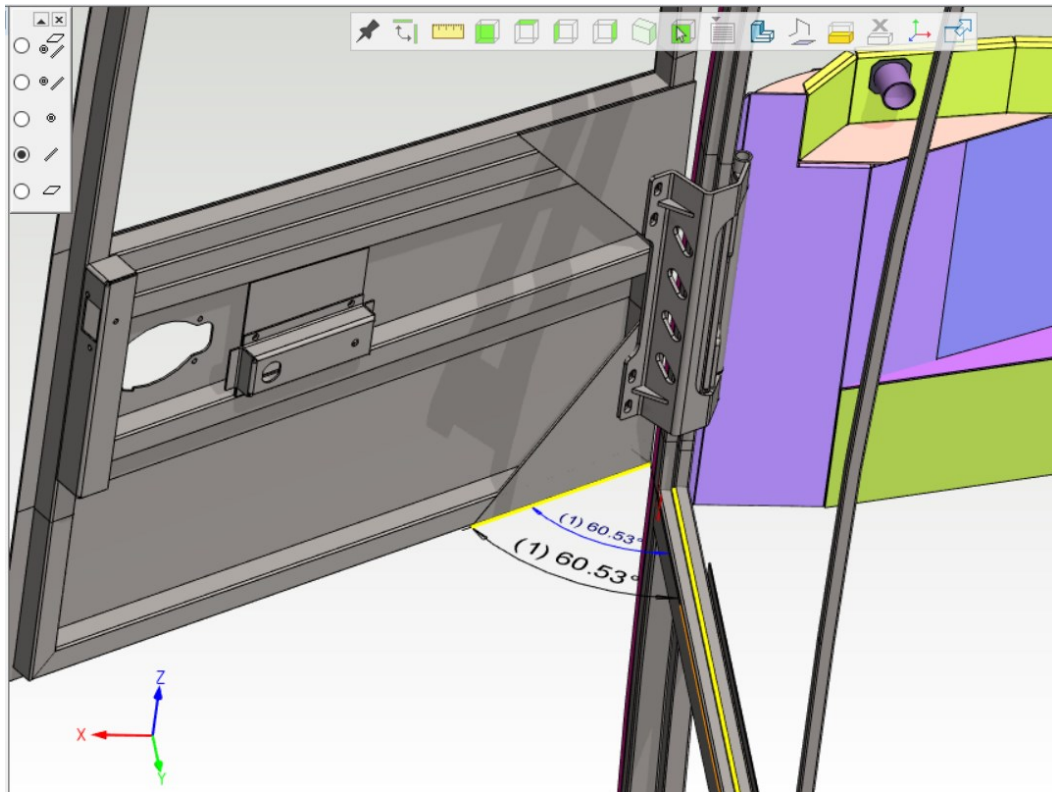
Koska version 9 tulokset olivat akselin kaventamisesta huolimatta hyväksyttäviä, nähtiin tämä versio kahdesta viimeisestä versiosta optimaalisempana valintana yksityiskohtaisen suunnittelun vaiheeseen. Version 9 puolesta puhui myös se, että koko saranan arvioitu paino laski yli 500 g käytettäessä pienempää akselipulttia ja halkaisijaltaan kapeampaa pyörätankoakselia. Lisäksi saranan komponenteille laskettu hinta-arvio oli version 8 kohdalla 30 € euroa enemmän per sarana.

7 Yksityiskohtainen suunnittelu

Konseptin 4 versio 9 valittiin siis tämän insinööriyön tuotesuunnittelun prosessin viimeiseen yksityiskohtaisen suunnittelun vaiheeseen, jonka voi ajatella menneen osittain päällekkäin järjestelmätason suunnitteluvaiheen kanssa, koska tuotetta saatiin suunniteltua jo varsin pitkälle. Yksityiskohtaisen suunnittelun vaiheen lopussa tuotteen tulisi olla siinä vaiheessa, että siitä voi valmistaa vähintään ensimmäisen prototyypin eli kaikki materiaalit on valittu ja valmistuspiirustukset ovat valmiina. (Ulrich ym. 2020:14–15).

Suunniteltuun kuljettajan oven saranaan jäi edellisen vaiheen jäljiltä vielä muutama asia, johon haluttiin parannus. Aiemmat mallit aukaisivat oven noin 56°:n kulmaan, mutta avautumiskulma haluttiin vielä nostaa noin 60°:seen. Lisäksi FEA-analyyseissä oli huomattu, että maksimijännitykset keskittyvät pistemäisesti ylä- ja alareunaan taivutuksen kohdalle. Näitä jännityshuippuja haluttiin edelleen tasata lisäämättä materiaalivahvuuksia, vaikka arvioitiin myös, että ne suurimmaksi osaksi johtuvat laskennasta eivätkä ole täysin realistisia.

Oven aukeamiskulman lisääminen ratkaistiin lisäämällä 5 mm syvyyttä saranan ovilehteen. Syvyyttä kokeiltiin lisätä myös jopa tuplasti tätä enemmän, mutta tämä vaikutti negatiivisesti FEA-analyysin tuloksiin jännitysten ja siirtymien kasvaessa. Myös 5 mm:n lisäys vaikutti tuloksiin negatiivisesti, mutta tähän ideoitiin jo ratkaisua. Saranan ovilehden geometrian muutoksella avautumiskulma saatiin kuitenkin tavoiteltuun 60°:n kulmaan, kuten seuraavasta kuvasta 31 nähdään.



Kuva 31. Oven aukeamiskulma lopullisella saranageometrialla.

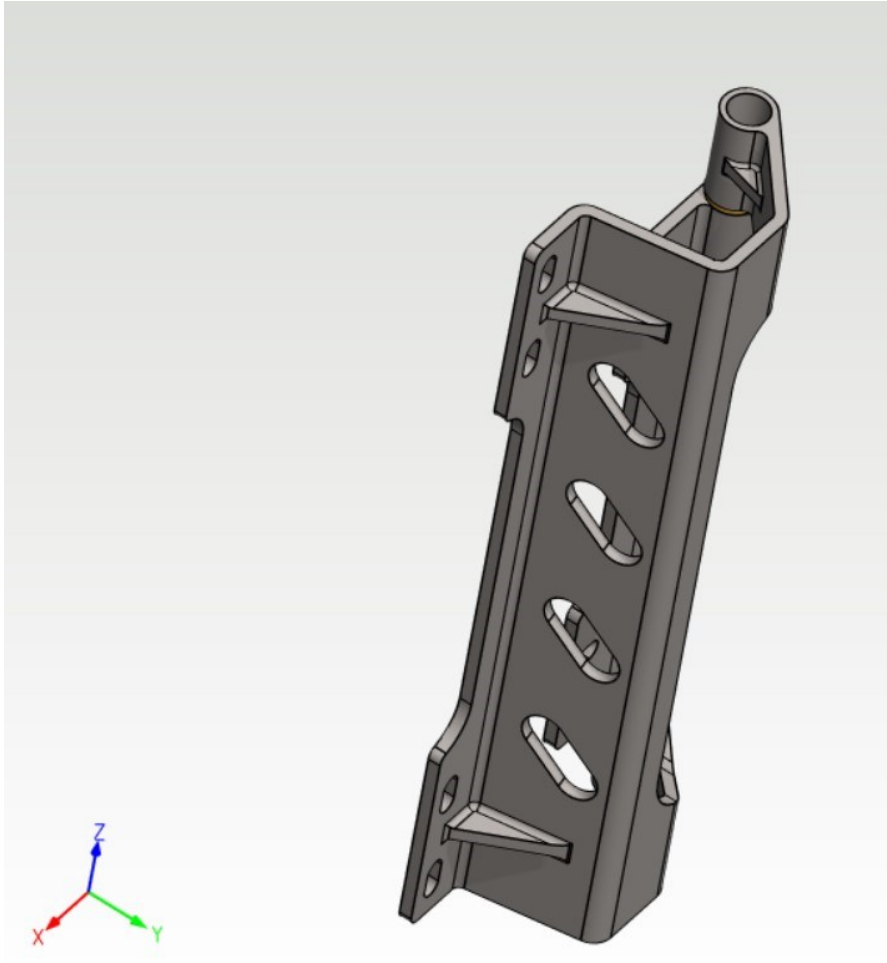
Ratkaisuksi maksimijännitysten tasaamiseen keksittiin samasta levymateriaalista laseroitavat ja lopuksi taivutusten jälkeen paikalleen hitsattavat tukilaipat. Myös suoraan taivutuksessa lisättäviä, särmästyökaluun lisättävän tangon avulla painettuja vahvistavia ulokkeita pohdittiin ratkaisuksi. Saralehtien kiinnitysreikien sijoittamista suunniteltaessa oli laskettu reikien minimietäisyys taivutuskohdasta, ilman että reiän reuna muuttaisi muotoa, ja 14,2 mm tulosta pidettiin myös ulokkeiden minimietäisyytenä kiinnitysreikiin. Tämä oli laskettu Piironen (2013: 34) esittelemän kaavan mukaan:

$$x_1 = \sqrt{ds} + 0.8r_s \sqrt{\frac{l}{d}} = \sqrt{11\text{mm} * 6\text{mm}} + 0,8 * 4\text{mm} * \sqrt{\frac{40\text{mm}}{11\text{mm}}} = 14,2\text{mm} \quad (10)$$

jossa x_1 on reiän minimietäisyys, d on reiän halkaisija, s on levypaksuus, r_s on sisäpuolinen taivutussäde ja l on laipan pituus. Määritellyn minimietäisyyden takia taivutuksessa lisättävien ulokkeiden sijoittamisesta jännitteitä alentaviin

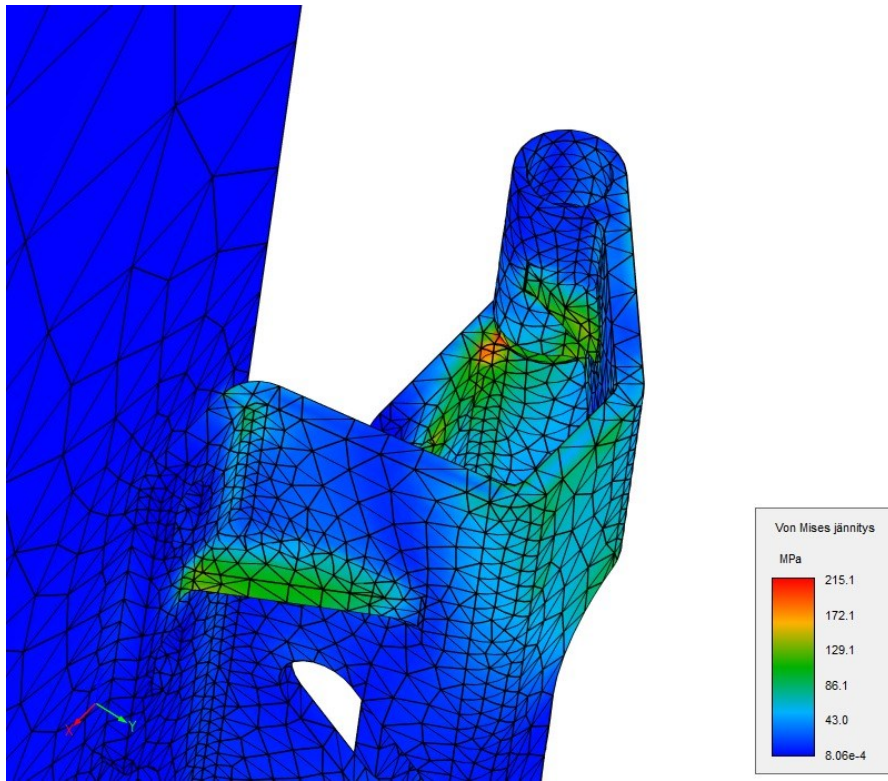
kohtiin pidettiin hyvin hankala ilman muun rakenteen muuttamista, joten ajatuksesta luovuttiin.

Muutaman FEA-laskennan jälkeen hitsattaville laipoille löytyi sopivat paikat. Tukilaippoja tuli yhteensä 4 kpl, ja niiden sijoittelu selviää kuvasta 32.



Kuva 32. Jännitysten tasaamiseksi saranaan lisätyt tukilaipat.

Viimeisen FEA-analyysin tulokset näkyvät kuvassa 33. Tulokset maksimijännityksen suhteen olivat hyvät.

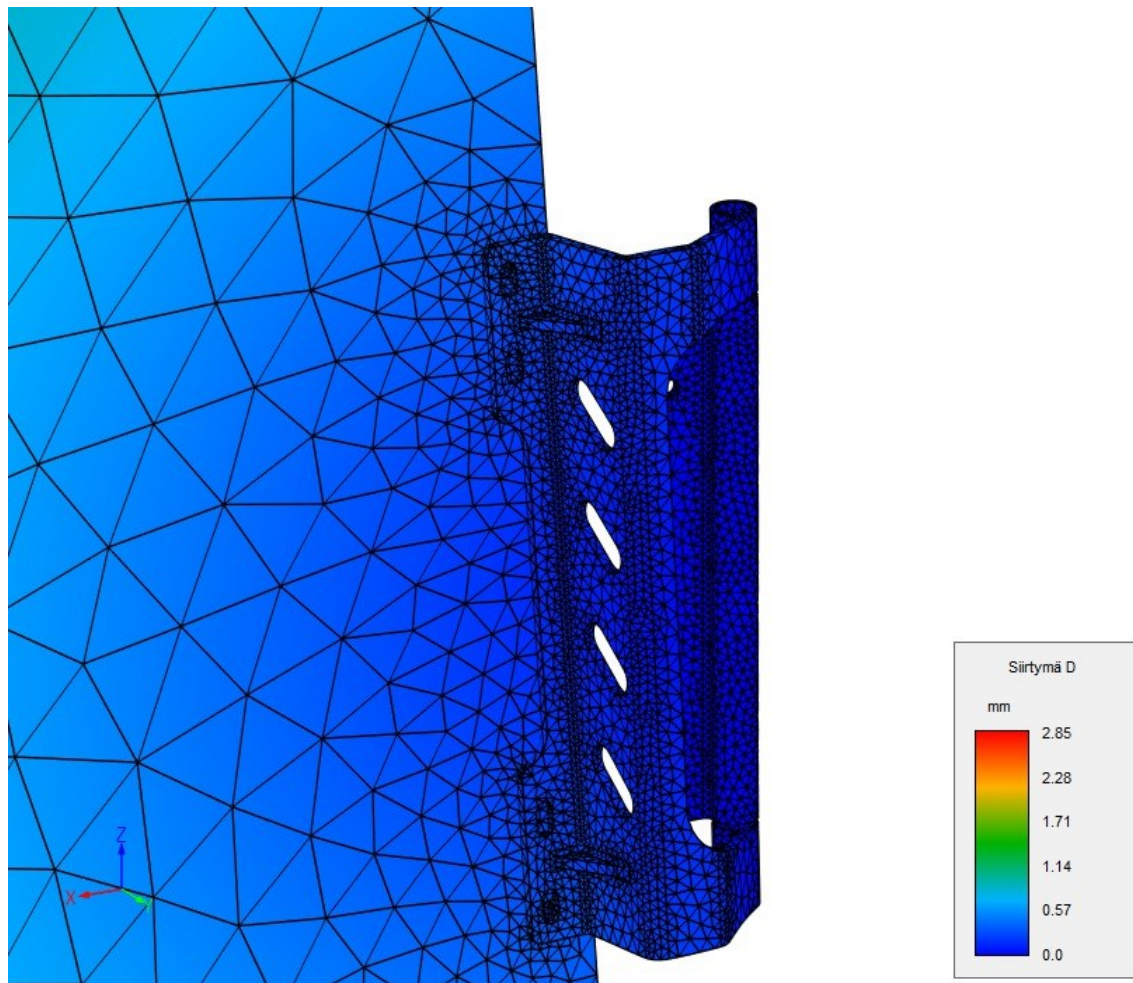


Kuva 33. Lopulliset FEA-tulokset.

Saranan ovilehteen tehdyn syvennyksen jälkeen maksimijännitys oli 240 MPa, ja kun tukilaidoille oli löydetty hyvät paikat, oli viimeisessä analyysissä tulos 215 MPa, eli rakenteen varmuuskertoimeksi saatiin 1,65. Tähän tulokseen oltiin hyvin tyytyväisiä, varsinkin kun uudelleensaranointia seuraa oven rakenteen uudelleensuunnittelu, jonka päätavoitteena on vaihtaa oven runkorakenteessa käytetty teräs alumiiniksi, jolloin oven massa pienenesi huomattavasti ja saranan varmuuskerroin kasvaisi.

Myös stabiliteettia tarkasteltiin siirtymäkuvaajan avulla (kuva 34). Saranan alueella siirtymät arvioitiin tarpeeksi pieniksi ja tuloksissa suurin siirtymä, 2,8 mm, oli palikkaoven yläkulmassa. Tämän tuloksen arvioitiin johtuvan pitkälti yläpintaan asetetusta painekuormasta, joka ei täysin vastaa todellista oven kuormitusta, joten tuloksen ei arvioitu olevan todenmukainen muuten kuin tarpeeksi

hyvät tulokset saaneen saranan osalta, jossa siirtymät olivat kaikkialla alle 0,2 mm.



Kuva 34. Siirtymäkuvaaja, jossa siirtymätila havainnollistettu todellisuutta suurempana taipumisena.

Saranan rakenne nähtiin tässä kohtaan niin toimivaksi, että tuote arvioitiin valmiiksi valmistusta varten. Täten tuotekehitysprosessissa siirryttäisiin seuraavaan testaus- ja viimeistelyvaiheeseen. Tämän insinööriyön puitteissa ei tähän vaiheeseen enää siirrytä.

8 Yhteenveto

Työssä oli tavoitteena suunnitella uusiksi jo osittain vanhanaikainen kirjastoauton kuljettajan oven saranointi. Saranoinnin kehittämisessä päätyöskentelyvälineenä käytettiin mekaniikkasuunnittelun Vertex G4 -CAD-ohjelmistoa. Tärkeänä työkaluna toimi myös ohjelmiston FEA-lisäosa, jolla pystyttiin arvioimaan sarakokoonpanon kestävyyttä. Suunnitteluprojekti jäseneltiin Ulrichin ym. 2020 esittelemän yleisen tuotekehitysprosessin vaiheiden avulla. Tässä prosessissa esiteltyjen arviointityökalujen avulla pystyttiin myös tutkimaan sitä, minkätyyppistä saranointia ovelle todellisuudessa etsittiin.

Tuotekehitysprosessin aikana onnistuttiin suunnittelemaan tuote, joka monelta osin vastaa asiakkaan eli insinööriyön toimeksiantajan Kiitokori Oy alussa tuoteteelle määrittelemiä toiveita ja vaatimuksia. Oven saranoinnin uudelleensuunnittelulla aloitettiin Kiitokorilla laajempi projekti, jonka aikana koko kirjastoauton oven rakenne on tarkoitus uusida. Uusi sarana nähdään hyvänä pohjana myös isomman projektin onnistumisen kannalta, jonka parissa kirjoittaja tulee jatkaa keväällä 2023.

Projekti oli minulle hyvin opettavainen ja erityisen paljon sen aikana tuli oppia esimerkiksi mallinnuksesta ja FEA-analyysien tekemisestä. Projekti toimi myös erinomaisena perehtymistyökaluna Kiitokori Oy:ssä työskentelyyn. Aloittaessani projektia oli ensimmäinen ajatukseni saranoinnin suunnittelusta se, että kyseessä ei voisi olla kovinkaan monimutkainen prosessi. Haastetta projektissa riitti kuitenkin todella hyvin, minkä vuoksi projekti oli hyvin mieluisa. Koska tekemistä ja haastetta oli paljon, olisi vastaavanlaisessa projektissa oltava useampia ihmisiä suunnittelemassa, jotta pystyttäisiin toimimaan tehokkaasti ilman selvittävien asioiden kasautumista. Sain projektin aikana kuitenkin paljon tukea suunnitteluinsinööri Mikko Raikiolta ja erityisesti suunnittelupäällikkö Tatu Mäkelältä, joita haluan kiittää kärsivällisestä ja opettavaisesta ohjaamisesta.

Lähteet

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. painos. Helsinki: Sanoma Pro.

Blom, Seppo; Lahtinen, Pekka; Nuutio, Erkki; Pekkola, Kari; Pyy, Seppo; Rautainen, Hannu; Sampo, Arto; Seppänen, Pekka & Suosara, Eero. 2006. Koneenelimet ja mekanismit. 5.–6. painos. Helsinki: Edita Publishing Oy.

BNZF16x22x35-28x3,5 liukulaakeri itsevoiteleva sintrattu öljypronssi laipalla. Verkkoaineisto. Laakerinetti. <<https://www.laakerinetti.com/bnzf16x22x3528x35liukulaakeriitsevoitelevasintrattuljypronssilaipalla-p-12023.html>>. Luettu 10.2.2023.

Erikoisautoja erikoisosaamisella. Verkkoaineisto. Kiitokori Oy. <<https://www.kiitokori.fi/>>. Luettu 10.2.2023.

Hinge systems. 2023. Verkkoaineisto. Multimatic Inc. <<https://www.multimatic.com/manufacturing/mechanisms/hinge-systems/>>. Luettu 5.2.2022.

ISO 7379 Olakeruuvit kauluksella. 2023. Verkkoaineisto. Otto Ganter GmbH & Co. KG. <<https://www.ganternorm.com/fi/tuotteet/3.2-Elementtien-asentaminen-kohdistaminen-tasaaminen-ruuveilla-kiinnittaaminen-ja-tukeminen/Kaaentoepultit-olakeruuvit-painepultit/ISO-7379-Olakeruuvit>>. Luettu 5.2.2023.

Kiitokorin arkisto. 2023. Kiitokori Oy:n sisäinen valokuva-arkisto.

Perustietoa lujuuslaskennasta. Verkkoaineisto. Vertex Systems Oy. <<https://kb.vertex.fi/g42021fi/vertex-fea-kaeyttoehjeet/perustietoa-lujuuslaskennasta>>. Luettu 13.2.2023.

Piironen, Tomi. 2013. Teräsrakenteiden suunnitteluohjeita parempaan valmistavuuteen. Onnistuneen suunnittelun periaatteita – DFMA. 1. painos. Kuopio: Savonia-ammattikorkeakoulu, HitNet.

Ruostumaton profiilisarana liukulaakerilla, tasapää. Verkkoaineisto. Raitatuote. <<https://raitatuote.fi/tuotteet/saranat/hitsattavat-profiilisarana/1020/ruostumaton-profiilisarana-liukulaakerilla-tasapaa>>. Luettu 1.2.2023.

Räsänen, Satu. 2020. Statiikka. Kurssimateriaali. Metropolia Ammattikorkeakoulu.

Sarana KLR 100/80 Ilman reikiä. Verkkoaineisto. Tampereen erikoissarana Oy. <<https://hinge.fi/Tampereen+Erikoissarana-024+Sarana+KLR+100+80+-3125261.html>>. Luettu 5.2.2022.

Schaeffler Technical Pocket Guide. 2018. 2nd edition. Herzogenaurach: Schaeffler Technologies AG & Co. KG.

SFS-EN 1993-1-8. Teräsrakenteiden suunnittelu. 2005. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto.

Tekniset tiedot. Verkkoaineisto. Ruuvilinja Oy. <<https://www.ruuvi.fi/tuotteet/1-kiinnikkeet/kuusiokoloruuvit/olakeruuvit-3/iso-7379-12-9-st-olakeruuvi>>. Luettu 10.2.2023.

Ulrich, Karl; Eppinger, Steven & Yang, Maria. 2020. Product design and Development. 7th edition. New York: McGraw-Hill Education.

Toiveet ja vaatimukset saranoinnille

NRO.	TOIVEET JA VAATIMUKSET	TÄRKEYS [1-5]
1	Kestävyys	5
1.1	- Saranoiden kestävä kirjastoauton käyttöelinkaaren.	5
1.2	- Oltava tarpeeksi vahvat painavan oven ja mahdollisen lisäkuorman kannatteluun. (Varmuusluku 1,5 - 2)	5
1.3	- Kestettävä ajossa esiintyvät värinät väsymättä.	5
2	Korroosion kesto	4
2.1	- Materiaalin siedettävä ruostumatta mahdollisia altistumisia kosteudelle ja suolalle.	4
2.2	- Galvaaninen korrosio vältettävä sarana materiaalien välillä.	4
3	Edullisuus	2
3.1	- Kuljettajan ovilla pieni menekki, saranoinnin uusimisesta ei haluta isoa kuluu.	2
4	Valmistettavuus	4
4.1	- Tuotteen vakiointi niin, että valmistaminen ainakin osittain mahdollinen alihankintana	4
4.2	- Mahdollisuus prototyypin tekoon	3
4.3	- Saranarakenteen yksinkertaisuus	4
4.4	- Rakenteessa mahdollisuus huomioida oven kaarevuudet	4
5	Tilantarve	4
5.1	- Oven ja rungon välinen tila n. 32 mm, mahdollisuuksia mahtua?	3
5.2	- Sisäpuolella tilaan vaikuttaa kojelaudan malli. Arvio tilantarpeesta sisäpuolen konstruktiolla	4
6	Sijoituspaikka	5
6.1	- Saranoinnin sijoittaminen auton sisäpuolelle ehdoton kriteeri	5
7	Laadukas vaikutelma	5
7.1	- Näkyvät osat siistit ja nykyaikaiset.	5
7.2	- Avaamisen äänettömyys; saranat ei narise avatessa tai sulkiessa.	3
7.3	- Uusi saranointi mahdollistaa oven uudelleen suunnittelun	5
8	Saadettavuus	3
8.1	- Kiinnityksen jälkeen oven säätämisen mahdollisuus.	3
9	Asennettavuus	3
9.1	- Oven oltava kohtuullisen helppo asentaa saranoinneen paikalleen.	3
10	Turvallisuus	4
10.1	- Kolaritilanteissa oven pysyttävä rungossa.	4
10.2	- Täytettävä erikoisajoneuvolle asetetut turvallisuus & valmistusasetukset	4
11	Saatavuus	4
11.1	- Saranassa käytettävien materiaalien saatavuus jatkossa	4

Markkina-analyysin tuotetaulukko

Tietoja taulukosta

MARKKINA-ANALYYSI, TUOTTEET										
TUOTE NRO	MYYJÄ / MAAHANTUOJA	VALMISTAJA	KUVAUS	LISÄKUVAUS	MASSA	MITAT	MATERIAALIT	HINTA [€/mp] (ALV 0 %)	PIENIN MYYNTIERÄ	VALMISTUSMAA
1	Raitajute	Chamag	Teräksinen profiilisarana liukuakselilla	Hissattava, testattu sarana	45 - 140 mm	Teräs, Messinki liukuakseli	0,74 - 1,59€	25	Sveitsi	
16	OEM	Industrias	Hissausarana FSM	Hissattava messinkisellä akselilla	40 - 200 mm	Teräs, messinki akseli	?		Ruotsi	
15	OEM	Industrias	Hissausarana FSS	Hissattava teräksisellä akselilla	40 - 200 mm	Teräs, Messinki tiivisteerigas	?		Ruotsi	
17	OEM	Industrias	Sarana 180 avautumiskulmalla	Upotetut reat / valetut puitit	60x60mm	Ruostumatonta terästä	?		Ruotsi	
18	CARD	Domnan	Ajoneuvosarana	Merkit ja mallikohdarien		Teräs	24 - 132 \$		USA	
22	TMT Mallinen Oy	TMT	Laitasarana 120 as	Perävaunujen laitoihin suunniteltu sarana	P 120 mm	Teräs			Suomi	
29	Wichi	Wichi	Monninehinen sarana	Sarana helmaukulle	950g	Sinkitty teräs		1		
30	Gartenom	Gartenom	Monninehinen sarana	Aukeamiskulma 180 °	350g	Alumiini			Saksa	
31	Gartenom	Gartenom	Monninehinen sarana	Aukeamiskulma 180 °	250g	RST			Saksa	
32	Kaltenbach	Kaltenbach	Ajoneuvosarana	Profililista, Aukeamisjohtimilla		Teräs			Saksa	
33	Multinatic	Multinatic	Ajoneuvosarana	Multinatic Bridgeless TM					Kanada	
39	Tampereen erikoissarana Oy	Tampereen erikoissarana Oy	Hissattava profiilisarana	Hissausia helpotavat levyt	P 100 mm	Teräs	23,50 €	1	Suomi	
40	Tampereen erikoissarana Oy	Tampereen erikoissarana Oy	Hissattava profiilisarana	Hissattava testattu sarana	P 140 mm	Teräs	30,00 €	1	Suomi	
41	Tampereen erikoissarana Oy	Tampereen erikoissarana Oy	Ovisarana 160 RST	Valmis RST-sarana	P 160 mm	RST	150€	1	Suomi	

Tuotevertailutaulukko ja tulokset

TUOTE		2	16	25	26	29	32	34	39	
TUOTENIMIKE		Teräksinen profiilisarana	Ajoneuvosarana	Ovisarana 1012	Takaoven sarana	Moni- veinen sarana	Ajoneuvosarana	Forged side door hinge	Sarana KLR 100/80 linan	
TUOTELUOKKA		HITSATTAVAT PROFIILISARANA I	AJONEUVOSARA NAT	OVISARANAT	OVISARANAT	MONI- VEI- EL SARA- NAT	AJONEUVOSA RANAT	AJONEUVOSA RANAT	HITSATTAVAT PROFIILISARA NAT	
MYYJÄ / MAAHANTUOJA						Widri	Kaltenbach	Multimatic	Tampereen erikoissarana	
HINTA-ARVIO		RAITUUTE	CARID	TMT Malinen Oy	TMT Malinen Oy					
NRO.	TOIVE / VAATIMUS	TÄRK.	ARVIOINTI [1-5]							
1	Kestävyys - Saranoiden kestävä kiirastoaukon käyttöelinkaaren.	5	4	5	4	5	4	4	5	
1.1	- Oltava tarpeeksi vahvat painavan oven ja mahdollisen lisäkuorman kannatteluun.	5	4	5	4	5	4	4	5	
1.2	- Kestävä ajossa esiinnyvät äänit ja väsymistä.	5	4	4	4	4	3	4	4	
1.3	- Kestävä ajossa esiinnyvät äänit ja väsymistä.	5	3	4	4	4	3	4	4	
2	Korroosion kesto	4	3	4	3	5	4	4	3	
2.1	- Materiaalin siedettävä ruostunutta mahdollisia alustamassa kosketudelle ja suolalle.	4	3	4	3	5	4	4	3	
2.2	- Galvaaninen korroosio vältettävä sarana materiaalien välillä.	4	3	3	4	4	4	4	3	
3	Edullisuus	2	5	3	4	4	4	3	2	
3.1	- Kuljetettajan ovilla pieni menekki, saranoihin uusimisesta ei haluta isoa kuluu.	2	5	3	4	4	4	3	2	
4	Valmistetavuus	4	4	1	3	3	3	3	2	
4.1	- Tuoteen vakioitni, että valmistaminen ainakin osittain mahdollinen alihankintana	4	4	2	3	3	3	3	4	
4.2	- Mahdollisuus prototyypin tekoon	3	4	1	3	3	3	3	2	
4.3	- Saranarakenteen yksinkertaisuus	4	5	3	4	4	3	4	3	
4.4	- Rakenteessa mahdollisuus huomioida oven	4	3	2	2	2	4	3	3	
5	Tiilantave	4	4	3	3	3	3	3	5	
5.1	- Oven ja rungon välinen tila n. 32 mm, mahdollisuuskaita maittua?	3	4	3	3	1	1	1	4	
5.2	- Sisäpuolella tilaan vaikuttaa kojelaudan malli. Arvio tilantarpeesta sisäpuolen konstruktiolla	4	4	3	3	3	3	3	4	
6	Sijoituspaikka	5	4	4	4	1	4	4	5	
6.1	- Saranoinnin sijoittaminen auton sisäpuolelle	5	4	4	4	1	4	4	4	
7	Laadukas vaikutelma	5	3	5	3	4	4	4	5	
7.1	- Näkyvät osat sileät ja nykyaikaiset.	5	3	5	3	4	4	3	3	
7.2	- Avaraisen äännekuvaus, saranat ei nartee avatessa tai sulkiessa.	3	3	5	3	4	4	4	4	
7.3	- Uusi saranoitni mahdollistaa oven uudelleen suunnittelun	5	4	4	3	3	4	4	4	
8	Säädettävyy	3	2	4	3	3	4	3	3	
8.1	- Kiinnityksen jälkeen oven säätämisen	3	2	4	3	3	4	3	3	
9	Asennettavuus	3	3	3	3	3	4	3	3	
9.1	- Oven oltava kohtuullisen helppo asentaa	3	3	3	3	3	4	3	3	
10	Turvallisuus	4	4	4	4	4	4	4	4	
10.1	- Kolantantassa oven pysyvävä rungossa.	4	4	4	4	4	4	4	4	
10.2	- Täytettävä erikoisajoneuvoille asetelut	4	4	4	4	4	4	4	4	
11	Saattavuus	4	3	2	3	3	4	1	1	
11.2	- Saranassa käytettävien materiaalien saattavuus	4	3	2	3	3	4	1	1	
PAINOTETTU PISTEKESKIARVO			3,56	3,56	3,37	3,40	3,67	3,39	3,75	3,72

Konseptien vertailutaulukko

NRO	TOIVE / VAATIMUS	TÄRKEYS [1-5]	KONSEPTTI 1			KONSEPTTI 2			KONSEPTTI 3	
			Arvostelu [1-5]	Hisattava profiilisarana Painotetut pisteet	Arvostelu [1-5]	Aloneuvosarana Painotetut pisteet	Arvostelu [1-5]	Moniniva-sarana Painotetut pisteet		
1	Kestävyys	5								
1.1	- Saranoiden kestävä kirjauspaikan käyttöikäen. - Oltava tarpeeksi vahvat painavan oven ja mahdollisen lisäkuoman kannatteluun. (Varmuusluku 1,5 - 2)	5	5	20	3	15	3	3	15	
1.2	- Kestävä ajossa esiinnyvät tarrat väsymättä.	5	5	25	5	25	4	4	20	
1.3	- Kestävä ajossa esiinnyvät tarrat väsymättä.	5	5	20	4	20	4	4	20	
2	Korrosion kesto	4	4							
2.1	- Materiaalin siedettävä ruostumatonta mahdollisia alituumisia kosteudelle ja suolalle.	4	4	16	4	16	4	4	16	
2.2	- Galvaaninen korrosio vältettävä sarana materiaalien välillä.	4	4	16	4	16	4	4	16	
3	Edullisuus	2	2							
3.1	- Kuljettajan ovilla pieni menekki, saranoinnin uusimisesta ei haluta isoa kuluja.	2	2	10	4	8	3	3	6	
4	Valmistettavuus	4	4							
4.1	- Tuoteen vakiointi niin, että valmistaminen ainakin osittain mahdollinen alihankintana	4	4	16	5	20	5	5	20	
4.2	- Mallollisuus prototyypin tekoon	3	4	12	3	9	2	2	6	
4.3	- Saranarakenteen yksinkertaisuus	4	4	16	4	16	3	3	12	
4.4	- Rakenteessa mahdollisuus huonotoda oven kaarevuudet	4	4	12	3	12	4	4	16	
5	Tilantarve	4	4							
5.1	- Oven ja rungon välinen tila n. 32 mm, mahdollisuuksia mahatta?	3	3	6	1	3	1	1	3	
5.2	- Sisäpuolelta tilaan vaikuttaa kojeleaudan malli. Arvio tilantarpeesta sisäpuolen konstruktioilla	4	4	16	4	16	3	3	12	
6	Sijoituspaikka	5	5	25	5	25	5	5	25	
6.1	- Saranoinnin sijoittaminen auton sisäpuolelle erillään kriteeri	5	5	25	5	25	5	5	25	
7	Laadukas vaikutelma	5	5							
7.1	- Näkyvät osat sisitit ja nykykäiset.	5	5	10	4	20	5	5	25	
7.2	- Akaamisen äänitömyys, sarana ei naise aratessa tai sulkiessa.	3	3	12	3	9	3	3	9	
7.3	- Uusi saranointi mahdollistaa oven uudelleen suunnittelun	5	5	20	4	20	4	4	20	
8	Säädettävyy	3	3							
8.1	- Kimmityksen jälkeen oven säätämisen mahdollisuus.	3	3	12	4	12	4	4	12	
9	Asemettävyy	3	3							
9.1	- Oven oltava kohtuullisen helppo asentaa saranoinneen paikalleen.	3	3	12	4	12	4	4	12	
10	Turvallisuus	4	4							
10.1	- Kolaritilanteissa oven pysyvävä rungossa.	4	4	12	3	12	3	3	12	
10.2	- Täytettävä enkoisajoneuvoille aselehtur turvallisuus & valmistusasetukset	4	4	12	3	12	3	3	12	
11	Saatavuus	4	4							
11.1	- Saranassa käytävien materiaalien saatavuus jatkossa	4	4	16	4	16	4	4	16	
			Yhteispisteet	316		314			305	
			Sijoitus	1.		2.			3	