



Keijo Linkroon

Työkoneen akkupaketin rakenteen kestävyys

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Konetekniikka

Insinöörityö

07.01.2022

Tiivistelmä

Tekijä: Keijo Linkroon
Otsikko: Työkoneen akkupaketin rakenteen kestävyys
Sivumäärä: 29 sivua
Aika: 07.01.2022

Tutkinto: Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma: Konetekniikka
Ammatillinen pääaine: Koneautomaatio
Ohjaajat: Lehtori, Maria Sjöholm
Projektipäällikkö, Juha Porvali

Työssä perehdyttiin toisessa insinööriyksössä suunniteltuun metsätyökoneen akkupakettiin ja tarkistettiin mallin rakennetta simuloimalla sitä staattisella kuormituksella. Työssä käytettiin hyväksi SolidWorks CAD -ohjelmistoa, sillä se oli ennestään tuttu.

Tavoitteena oli tutkia kestäkö akkupaketin runko siihen asennettavan kuorman määrän ja jaksavatko kiinnityskappaleet kantaa telinettä. Tuloksien analysointiin käytettiin hyväksi von Mises -vertailujännityskäyrää.

Tuloksien perusteella akkupaketin rakenne kestää hyvin siihen asennettuna staattisen kuormituksen ja kiinnityskappaleiden hitsit ovat myös kestäviä. Todettiin myös, että runko on mahdollista valmistaa kevyemmästä metallista, sillä keveys on tärkeä akun toiminnan kannalta.

Mallia oli yksinkertaistettu osittain, jotta se olisi helpommin hahmotettavissa ja laskettavissa. Tuloksiin lisättiin luotettavuutta käyttämällä korkeampia kuormituksia kuin mitä todelliset olisivat.

Avainsanat: akkupaketti, staattinen lujuus, SolidWorks

Abstract

Author: Keijo Linkroon
Title: Testing the Durability of a Battery Pack Structure in a Work Machine
Number of Pages: 29 pages
Date: 7 January 2022

Degree: Bachelor of Engineering
Degree Programme: Machine Engineering
Professional Major: Machine Automation
Supervisors: Maria Sjöholm, Lecturer
Juha Porvali, Project Manager

This thesis started by getting familiar with and studying the battery pack of a forest machine that had been designed during another, earlier Bachelor of Engineering thesis. The structure of the battery pack model was tested by simulating it with a static load. SolidWorks CAD software, which was familiar to the writer of the thesis, was used in this simulation.

The aim was to investigate whether the body of the battery pack can withstand the amount of load that was installed in it, and whether the fasteners can support the rack. The von Mises reference stress curve was used to analyze the results.

Based on the results, it seems that the structure of the battery pack withstands the static load installed in it well, and the welds of the fasteners are also durable. It was also found that the body can be made of lighter metal, as lightness is important for battery performance.

The model had been partially simplified to make it easier to conceptualize and make the calculations. Reliability was added to the results by using higher loads than the loads that would be used in reality.

Keywords: battery pack, static strength, SolidWorks

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Akkupaketin esittely	2
2.1	Akkupaketti	2
2.1.1	Runko	3
2.1.2	Akkumoduulit	3
2.1.3	Lämmitys ja jäähdytys	8
2.1.4	Kiinnityskappaleet	10
2.2	Yhteenveto ja vaatimukset	11
3	Lujuuslaskenta	12
4	Akkupaketin kestävyys	14
4.1	Runko ja pohjalevy	14
4.2	Kiinnityskappaleet	22
5	Tulokset	25
6	Yhteenveto	26
	Lähteet	28

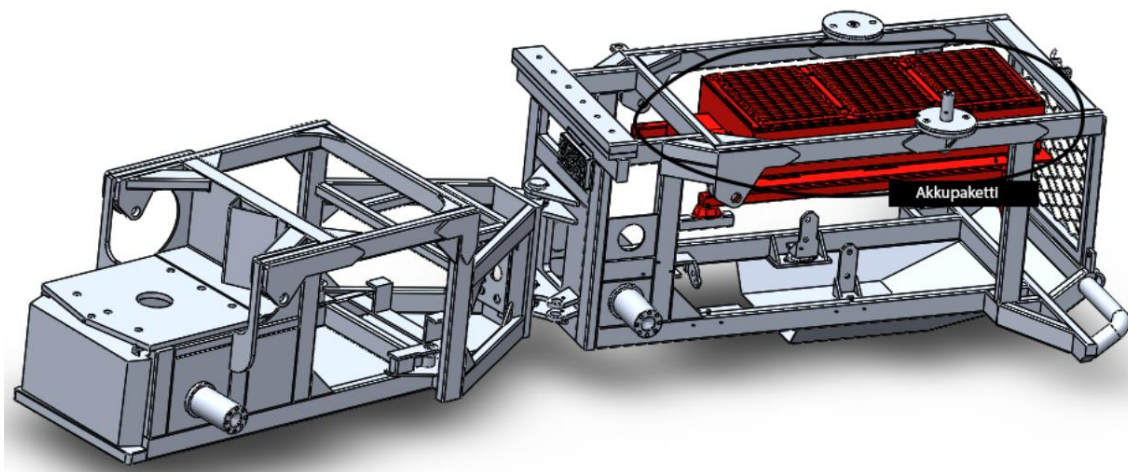
1 Johdanto

Tämä insinööriyö on tehty Metropolia Ammattikorkeakoululle. Metropolia on pääkaupunkiseudulla toimiva kansainvälinen ja monialainen teknillinen oppilaitos, joka on ollut mukana useissa innovatiivisissa ja teknologiaa edistävissä projekteissa.

Metropoliassa on projekti, missä sovelletaan Smart EQ ForFour 2020 - sähköautojen akkumoduuleita miehittämättömässä metsätyökoneessa (kuva 1). Tämän insinööriyön on tarkoitus jatkaa Rabar Hassanin 2021 insinööriyötä "Työkoneen akkupaketin mekaaninen suunnittelu". Tässä työssä on saatu käyttöön edellä mainitusta työstä saadut 3D-mallit metsätyökoneesta ja suunnitellusta akkupaketista. Kuvassa 2 näkyy 3D-malli metsätyökoneesta, mihin on asennettu suunniteltu akkupaketti.



Kuva 1. Kuvassa on harvesteri metsässä (1).



Kuva 2. 3D-malli metsätyökoneesta, missä akkupaketti asennettuna.

Insinööriyön tavoitteena on tutkia rakenteen staattista kestävyyttä simuloimalla valmiiksi suunniteltuja 3D-malleja SolidWorks CAD -mallinnusohjelmalla.

Simulaation tuloksien avulla voidaan myös mahdollisesti tutkia kevyempien materiaalien valintoja, sillä kevyempi massa vaatii vähemmän energian kulutusta, jolloin saadaan enemmän työtunteja käyttöön akkumoduuleista.

2 Akkupaketin esittely

Akkupaketin on tarkoitus toimia energialähteenä sähköistetyssä harvesterissa, eli metsätyökoneessa. Akkupaketista löytyy kolme sähköautoissa käytettyjä korkeajänniteakkumoduuleita, jotka ovat kytketty riviin. Akkumoduulien rivikytkennällä kapasiteetti kasvaa, mutta jännite pysyy samana, toisin kuin sarjakytkennässä, missä jännite kasvaa mutta kapasiteetti ei.

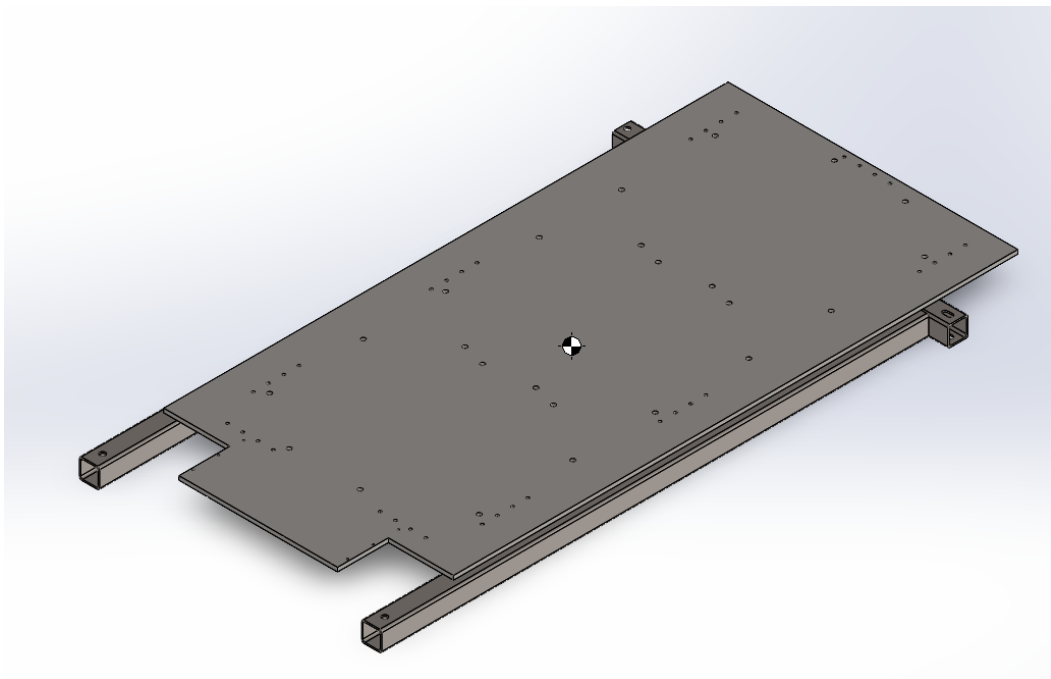
2.1 Akkupaketti

Akkupaketti koostuu rungosta, jonka päälle asennetaan akkumoduulit sekä koteloinnista, mikä suojaa akkumoduuleita. Lisäksi akkupaketissa on sähköisiä komponentteja ja kiinnityksistä, joiden avulla pystytään asentamaan akkupaketti metsäkoneeseen.

2.1.1 Runko

Runko yhdessä pohjalevyn kanssa on perusta koko akkupaketille. Sen on kestävä sen oma kuin myös siihen asennettavien komponenttien paino. Alkuperäinen runko koostuu 40 x 40 x 3 mm paksuisista neliön muotoisista putkipalkeista, mitkä ovat valmistettu S355-rakenneteräksestä (2, s. 9). Siihen päälle on suunniteltu asennettavaksi 8 mm paksuinen pohjalevy mikä on samasta materiaalista kuin putkipalkit (2, s. 10).

Tutkimalla 3D-malleja Solidworksin "Mass properties" -funktion avulla saadaan helposti rungon ja pohjalevyn paino sekä niiden painovoiman keskivoimapiste (kuva 3). Rungon paino yhteensä pohjalevyn kanssa on pyöristettynä ylöspäin noin 55 kg.



Kuva 3. Kuvassa akkupaketin rungon ja pohjalevyn kokoonpano.

2.1.2 Akkumoduulit

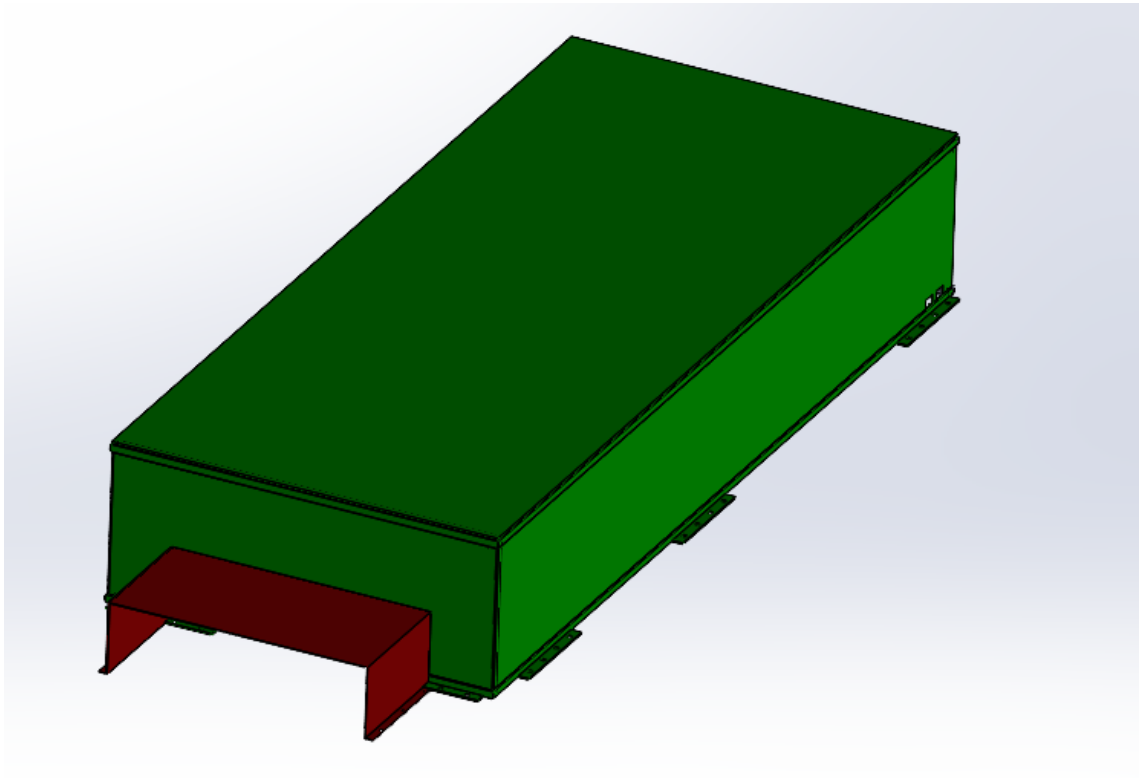
Akkumoduulit ovat suunniteltu asennettavaksi rakenneteräksestä valmistettuun telineeseen, mikä asennetaan metsätyökoneeseen. Yhden akkumoduulin paino on noin 40 kg (kuva 4). Kolme akkumoduulia painaa yhteensä 120 kg.



Kuva 4. Kuvassa on Smart ForFour EQ 2020 -akkumoduuli (2, s. 8).

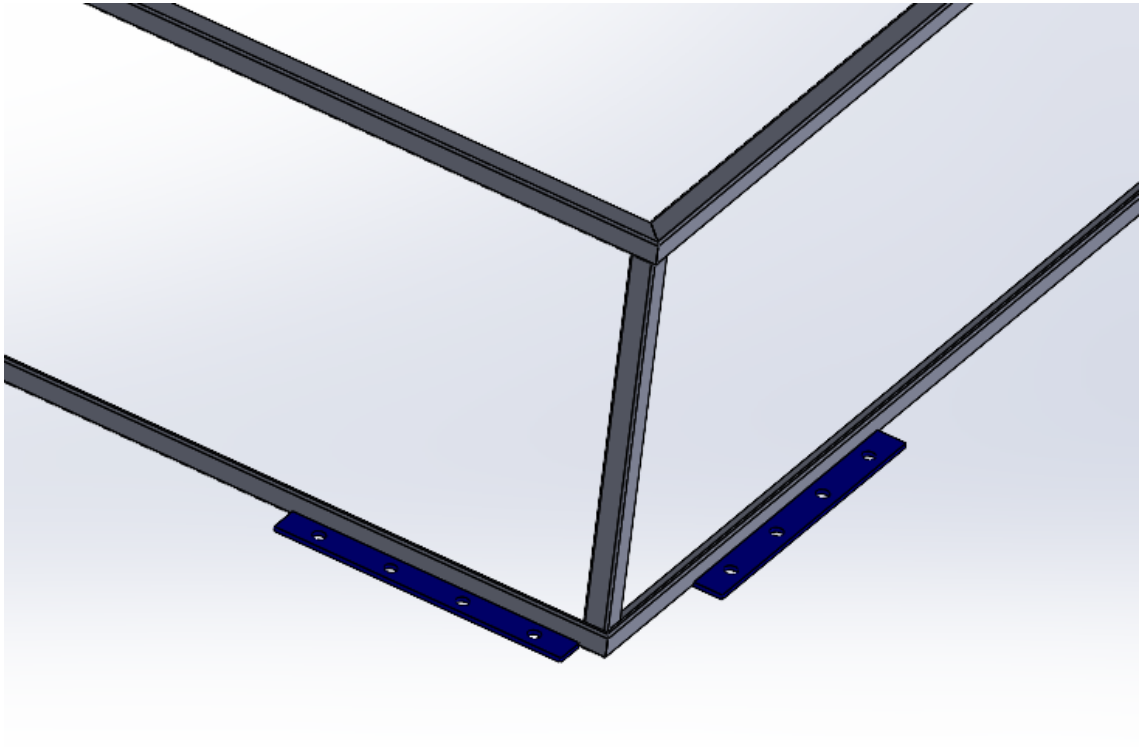
Koteloinnin on tarkoitus suojata akkumoduuleita ja muita akkupakettiin sisältyviä sähköisiä komponentteja. Koko kotelointi koostuu kahdesta osuudesta.

Kuvassa 5 vihreällä merkitty kotelo on tarkoitettu suojaamaan akkumoduuleita. Samassa kuvassa punaisella merkitty ohutlevyllä suojataan sähköiset lisälaitteet. Kotelot valmistetaan 1 mm:n paksuisesta rakenneteräs ohutlevystä (2, s. 15).



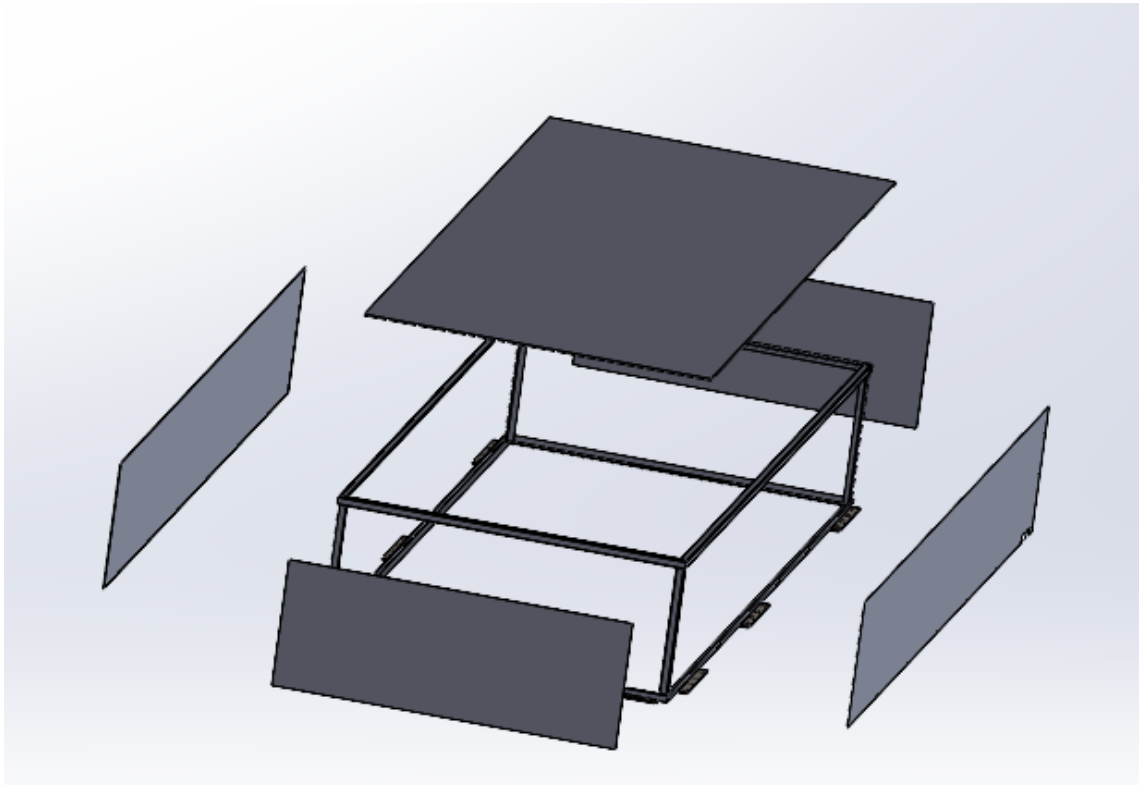
Kuva 5. Kuvassa akkupaketin kotelointi. Vihreällä merkitty on tarkoitettu suojamaan akkumoduuleita ja punaisella merkitty alue on tarkoitettu suojamaan muita sähköisiä komponentteja.

Akkumoduulien suojakotelo on suunniteltu valmistettavan siten, että sen runko on vahvistettu L-muotoisilla rakenneteräspalkeilla. Kuvassa 6 on merkitty tummansinisellä rungon hitsattavat kiinnityslevyt, joiden avulla kotelo kiinnitetään pulttikiinnityksillä pohjalevyyn.



Kuva 6. Kuvassa on akkumoduulin suojakotelonrunko, jossa sinisellä merkittynä siihen hitsattavat apulevyt kiinnitystä varten.

Kuvassa 7 näkyy runkoon hitsattavat 1 mm:n paksuiset ohutlevyt räjäytyskuvana.



Kuva 7. Akkumoduulien suojakotelon sivupellit räjäytettynä.

Taulukosta 1 käy ilmi molempien koteloiden yhteinen paino. Kotelot painavat yhteensä ilman kiinnikkeitä ylöspäin pyöristettynä noin 14 kg. Akkumoduulien suojakotelo on koon ja tukirungon takia huomattavasti painavampi.

Taulukko 1. Taulukko kuvaa koteloiden yhteistä painoa, kun ne ovat valmistettu S355-teräslaadusta.

Osa	Paino (kg)
Akkumoduulien kotelo	12,8
Sähköosien kotelo	0,61
Yhteensä	13,41

2.1.3 Lämmitys ja jäähdytys

Alhaisilla lämpötiloilla akuston täyteen lataus vie enemmän aikaa. Alle 0 °C:ssa akuston kapasiteetinpurkaus kasvaa huomattavasti. Akusto menettää latausta alhaisemman kemiallisen reaktion vuoksi (3).

Verrattuna matalan lämpötilan vaikutuksiin, jotka rajoittuvat enimmäkseen alhaisiin lämpötiloihin, korkean lämpötilan vaikutukset tapahtuvat paljon laajemmissa sovelluksissa, mukaan lukien korkean lämpötilan ympäristöjen lisäksi myös matalan lämpötilan ympäristöt. Suurimman osan ajasta korkeiden lämpötilojen vaikutukset johtuvat litiumioniakkujen korkeista sisälämpötiloista käytön aikana eikä ympäristön lämpötilasta (4).

Yli 30 celsiusasteen lämpötilassa akun suorituskyky heikkenee. Yli 40 celsiusasteen lämpötila voi aiheuttaa vakavia ja peruuttamattomia vaurioita. Yli 70 celsiusasteen lämpötiloissa voi esiintyä lämpöpoistoa. Tämä laukeaa, kun pakolämpötila saavutetaan. Tuloksena on itsekuumeneva ketjureaktio akkukennossa, joka aiheuttaa sen tuhoutumisen, kun se leviää viereiseen kennoon.

Jotta akuston käyttö olisi turvallista, sen lämpötila arvoja pitää jatkuvasti seuralla, jotta ne olisi sille määritetyissä raja-arvoissa. Litiumioniteknologiaan perustuva akuston optimaalinen käyttölämpötila on usein 15 °C – 35 °C välissä (4).

Käyttämällä akustoa optimaalisilla käyttölämpötiloilla pidennetään akun elinikää ja saadaan paras teho ja hyötysuhde. Sähköajoneuvoissa akkujen lämpötilaa säädellään aktiivisesti lämmittämällä ja jäähdyttimillä.

Lämmitys hoidetaan usein siten, että akku on kytketty verkkovirtaan ja latauksesta johtuva lämpö lämmittää akkua sisäisesti. Akun käyttö tuottaa myös lämpöä sivutuotteena.

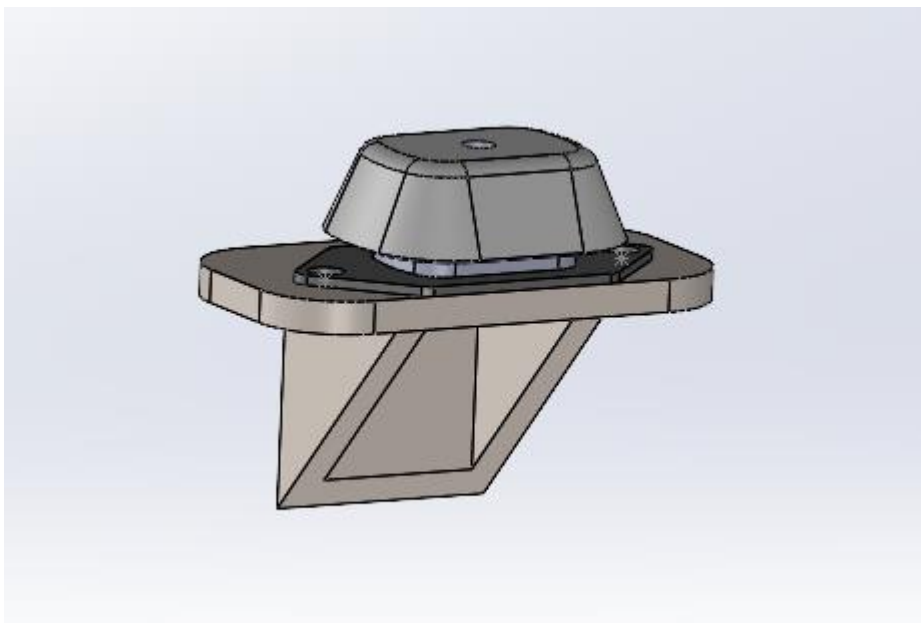
Tutkimalla markkinoilla olevia ratkaisuja sähköautojen akustojen viilennykseen, voidaan totea, että tehokkaimmat niistä perustuu nestejäähdytykseen. Verrattuna ilmajäähdytykseen, nestejäähdytyksessä, missä käytetään esim. vettä, lämpöä saadaan siirrettyä tehokkaammin korkeamman lämmönjohtavuuden ansiosta.

Akkumoduulien kotelon päälle on suunniteltu asennettavaksi vesijäähdytysjärjestelmä. Painon laskemisessa käytetään esimerkkinä kuvassa 8 AMS Technologies -yrityksen valmistamia kevytkylmälevyjä, mitkä soveltuvat erinomaisesti akkujen jäähdytykseen autoissa. Levyn paksuus on 4 mm ja paino maksimissa 9 kg/m^2 (5).



Kuva 8. Kuvassa eurooppalaisen AMS Technologies -yrityksen valmistama kevytkylmälevy.

Akkumoduulien koteloinnin pinta-ala on noin $0,46 \text{ m}^2$, jolloin kylmälevyn painoksi saadaan pyöristettynä ylöspäin $4,2 \text{ kg}$.



Kuva 10. Metsätyökoneen runkoon hitsattava tukikorva akkupaketin asennusta varten.

Yksi kiinnityskappale ilman vaimennusta ja kiinnittimiä painaa noin 1,5 kg. Kaksi kappaletta painaa yhteensä 3 kg.

2.2 Yhteenveto ja vaatimukset

Akkupaketin kokonaismassa on noin taulukko 2:n mukaan lähes 200 kg.

Akkumoduulit yhteensä koteloiden ja jäähdyttimen kanssa painaa noin 140 kg (taulukko 2).

Simulaatiossa on käytettävä varmuuden vuoksi korkeampia kuormia kuin mitä todelliset kuormat ovat. Tämä lisää tuloksien luotettavuutta.

Oletetaan, että akkupaketin telinen täytyy kestää vähintään 300 kg. Näin olettamalla saadaan kuormalle laskuissa varmuusluvaksi noin 2. Tämä tarkoittaa, että laskuissa paino on tuplattuna. Painavimmat osat ovat runko itse ja akkumoduulit.

Kotelointia ei tarvitse tutkia, sillä oletuksena on, että koteloinnin päälle asennettu jäähdytin/patterin paino on suhteellisen pieni ja rakenne on staattisesti kestävä.

Taulukko 2. Taulukko kuvaa akkupaketin komponenttien painoja.

Osa	Paino (kg)
Runko ja levy	55
Akkumoduulit	120
kotelot	14
jäähdytin	4
Kiinnityskappaleet	3
Yhteensä	196

3 Lujuuslaskenta

Akkupaketin kestävyyttä tutkitaan Solidworks Simulation -rakenneanalyysityökalulla. Työkalu laskee elementtimenetelmällä mallikappaleen todellisen fyysisen käyttäytymisen. Saatujen tuloksien avulla rakennetta voidaan optimoida, jolloin siitä saadaan turvallinen, mutta kuitenkin tuotannollisesti kannattava valmistaa.

Elementtimenetelmä (FEM eli Finite Element Method) on numeerinen tekniikka, jolla lasketaan likimääräisiä ratkaisuja monimutkaisiin matemaattisiin ongelmiin. Sitä käytetään yleensä, kun matemaattiset yhtälöt ovat liian monimutkaisia ratkaistaviksi perinteisellä tavalla (6). Näitä ovat esimerkiksi rakenneanalyysi, nestedynamiikka, aallon eteneminen ja lämpöanalyysi. Tekniikka on yleisesti käytössä insinööreillä ja CAD-suunnittelijoilla, jotka käyttävät sitä simuloidakseen stressiä suunnitteluissa (7).

Tässä työssä on tavoitteena tutkia akkupaketin rakenteen kestävyyttä vakiokuormituksella, jättäen huomioimatta dynaamisia kuormia kuten esimerkiksi, värähtelevät kuormat, iskut, törmäykset ja satunnaiset kuormat.

Analyysin voi laskea lineaarisesti tai epälineaarisesti. Tässä työssä on käytetty lineaarista tapaa, sillä oletuksella, että siirtymät ovat pieniä, ja kaikkien osien materiaalit ovat samat.

Lineaarinen staattinen analyysi tarkoittaa analyysia, jossa käytettyjen voimien ja siirtymien välillä on lineaarinen suhde. Käytännössä tämä soveltuu rakenteellisiin ongelmiin, joissa jännitykset pysyvät käytetyn materiaalin lineaarisella elastisella alueella. Linearisessa staattisessa analyysissä mallin jäykkyysmatriisi on vakio ja ratkaisuprosessi on suhteellisen lyhyt verrattuna saman mallin epälineaariseen analyysiin. Siksi ensimmäistä arviota varten käytetään usein lineaarista staattista analyysiä ennen täyden epälineaarisen analyysin suorittamista. (8.)

Kaikki todelliset rakenteet käyttäytyvät jollakin kuormitustasolla tavalla tai toisella epälineaarisesti. Joissain tapauksissa lineaarinen analyysi saattaa olla riittävä. Monissa muissa tapauksissa lineaarinen ratkaisu voi tuottaa virheellisiä tuloksia, koska sen perustana olevia oletuksia rikotaan. Epälineaarisuus voi johtua materiaalin käyttäytymisestä, suurista siirtymistä ja kosketusolosuhteista. (9.) Tämän tyyppisten analyysien validiteetin määrittäminen edellyttää kuitenkin kokenutta taitoa, ja nämä analyysit voivat helposti olla sopimattomia (8).

Analyysiä varten mallikappale on tuotava laskentaohjelmaan, jossa sille määritellään materiaalit, kiinnitykset, kontaktipinnat ja kaikki vaikuttavat voimat. Tämän jälkeen täytyy luoda elementtiverkosto.

Tietokoneet eivät pysty ratkaisemaan simulaatioita CAD-mallin todellisesta geometriamuodosta, koska hallitsevia yhtälöitä ei voida soveltaa mielivaltaiseen muotoon. Usein elementtiverkoilla ratkaistut yhtälöt ovat osittaisia differentiaaliyhtälöjä. Näiden laskelmien iteratiivisen luonteen vuoksi ratkaisun saaminen näihin yhtälöihin ei ole käytännöllistä käsin. (10.)

Elementtiverkoston luominen on tärkeä vaihe analyysia laatiessa. Ohjelma aloittaa prosessin geometrisen mallin luomisella. Tämän jälkeen ohjelma jakaa

mallin pieniin yksinkertaisiin muotoihin, joita kutsutaan elementeiksi, jotka on yhdistetty yhteisiin pisteisiin, joita kutsutaan solmuiksi.

Useimmiten hienompi elementtiverkko tuottaa tarkempia tuloksia. Hienomman elementtiverkon pienemmät elementit pystyvät kaapata tarkemmin elementin poikki jännitysgradientteja. Kuitenkin elementtien lisääminen äärellisten elementtien malliin lisää laskennallisia. Enemmän elementtejä tarkoittaa, että jokaisessa aikavaiheessa on ratkaistava enemmän yhtälöitä, mikä lisää sekä ratkaisuaikaa että muistivaatimuksia. (10.)

Elementtiverkosto oikein määriteltynä, ohjelma pystyy ratkaisemaan simulaation. Tuloksina saadaan erilaisia käyriä, joista oleellisin tässä työssä on von Mises -jännityskäyrä. Sitä käytetään analysoimaan, antaako materiaali myöten vai murtuuko se. Sitä käytetään enimmäkseen sitkeisiin materiaaleihin, kuten metalleihin. Von Mises -myötökriteeri kertoo, että jos materiaalin von Mises -jännitys kuormitettuna on yhtä suuri tai suurempi kuin saman materiaalin myötöraja yksinkertaisessa vedossa, materiaali antaa myöten.

4 Akkupaketin kestävyys

Tavoitteena on tutkia kestäväkö akkupaketin runko vaaditun kuorman ja kiinnityskappaleiden hitsit eli jääkö ne alle myötörajan.

Simulointiprosessi on vaativa prosessi, mikä käyttää paljon prosessorin resursseja. Simulaatiossa tutkitaan osa kerralla ja se on joissain kohti yksinkertaistettu. Kaikissa laskelmissa on otettu huomioon painovoima ja ennestään määritetyt kuormat.

4.1 Runko ja pohjalevy

Alkuperäistä suunnitelmaa ja sen kestävyyttä tutkitaan uudelleen. Materiaalina käytetään S355-terästä, minkä murtolujuus on 355 MPa. Jos kappaleessa esiintyy suurempia jännityksiä kuin mitä murtolujuus sallii, kappale murtuu. Jotta

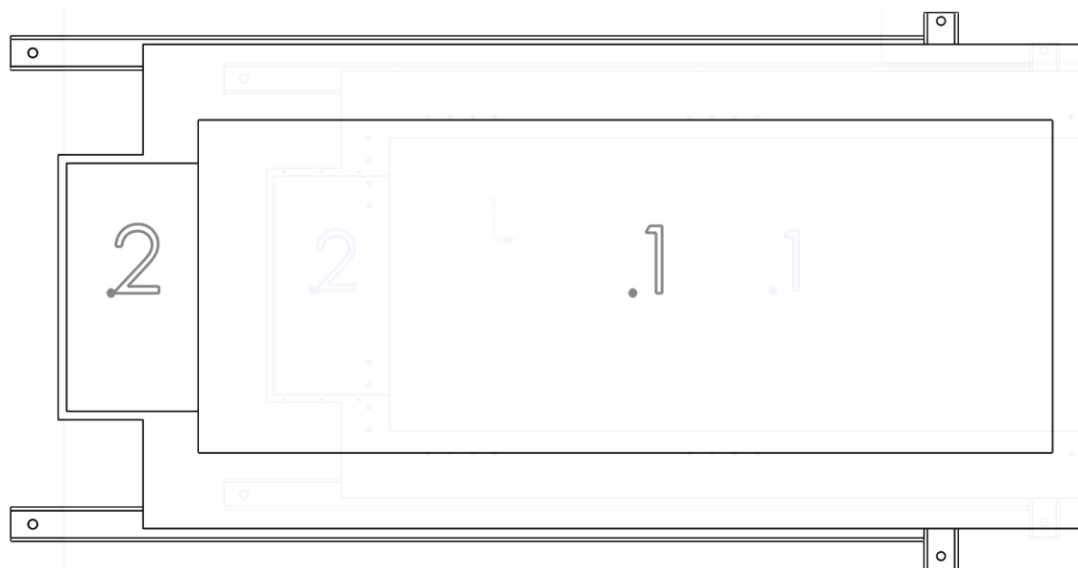
suunnitelma olisi turvallinen, olisi suotavaa, että rakenne kestää moninkertaisesti siihen kohdistetut jännitykset.

Runko makaa vaimennuksien päällä. Rungon ja vaimennuksien kontaktipinta-ala merkataan kiinteiksi, jolloin ne eivät pääse liikkumaan ja ovat tukia, jonka päällä runko makaa.

Oletetaan, että runkoputkien hitsaukset ovat tasalujia. Runko ja pohjalevy tutkitaan yhdessä. Oletuksena on, että runko ja paksu pohjalevy kestävät hyvin kuormaa. Simulaatioissa on jätetty pulttikiinnitykset pois, ja niiden tilalle on asetettu jokaista pulttia kohtaan 500 N paino alaspäin (painovoiman suuntainen).

Tuloksien salliessa simuloidaan myös kevyempi metalli valittuna materiaaliksi. Kevyempänä materiaalina käytetään 2014 -T6 -alumiiniseosta. Sitä käytetään yleisesti ajoneuvon rakenteellisissa osissa (11). Sen murtolujuus on noin 415 MPa ja on kevyempi kuin teräs, mutta se on myös kalliimpaa. Akkupaketin kannalta keveys on tärkein, joten kustannuseroja teräksen ja alumiinin välillä ei huomioita.

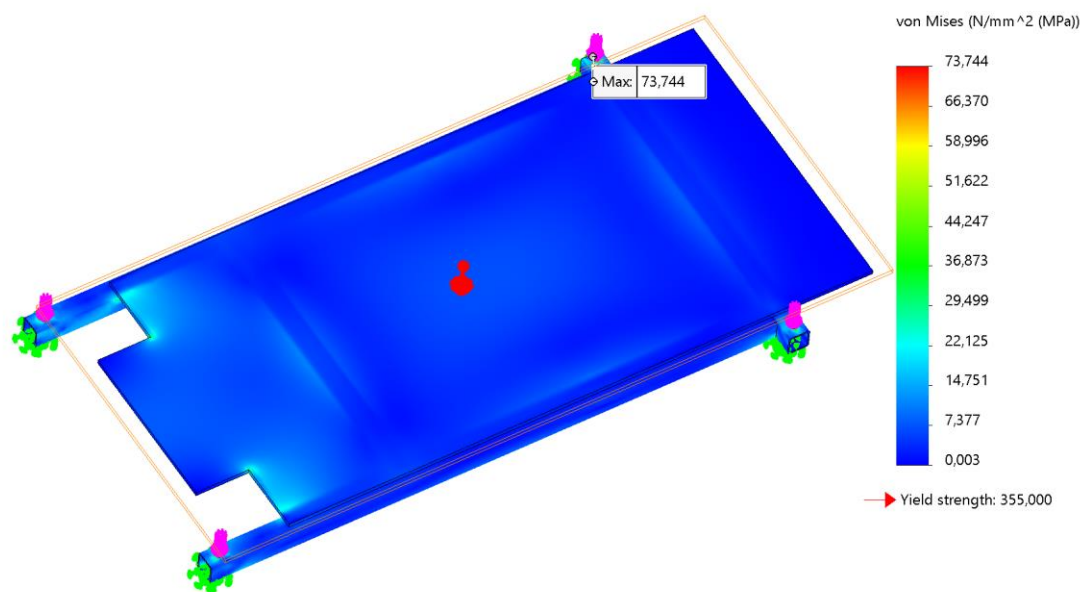
Pohjalevyn päälle piirretään alueet akkumoduuleille, sähkölaitteille ja koteloille, johon lisätään niiden vaikuttavat voimat (kuva 11), jolloin voidaan itse komponentit jättää simulaatiosta ulos. Simulaatiosta jätetään pois myös pohjalevyn poratut reiät. Näillä menetelmillä nopeutetaan simulaation laskemista. Akkumoduulit yhteensä kotelon ja jäähdyttimen kanssa painaa yhteensä noin 140 kg.



Kuva 11. Ylhäältä alaspäin kuva akkupaketin rungosta. Kuvassa kaksi aluetta johon on asetettu jaettu massa. Ensimmäiselle alueelle on asetettu 250 kg (kuvassa ".1") ja toiselle alueelle 50 kg (kuvassa ".2").

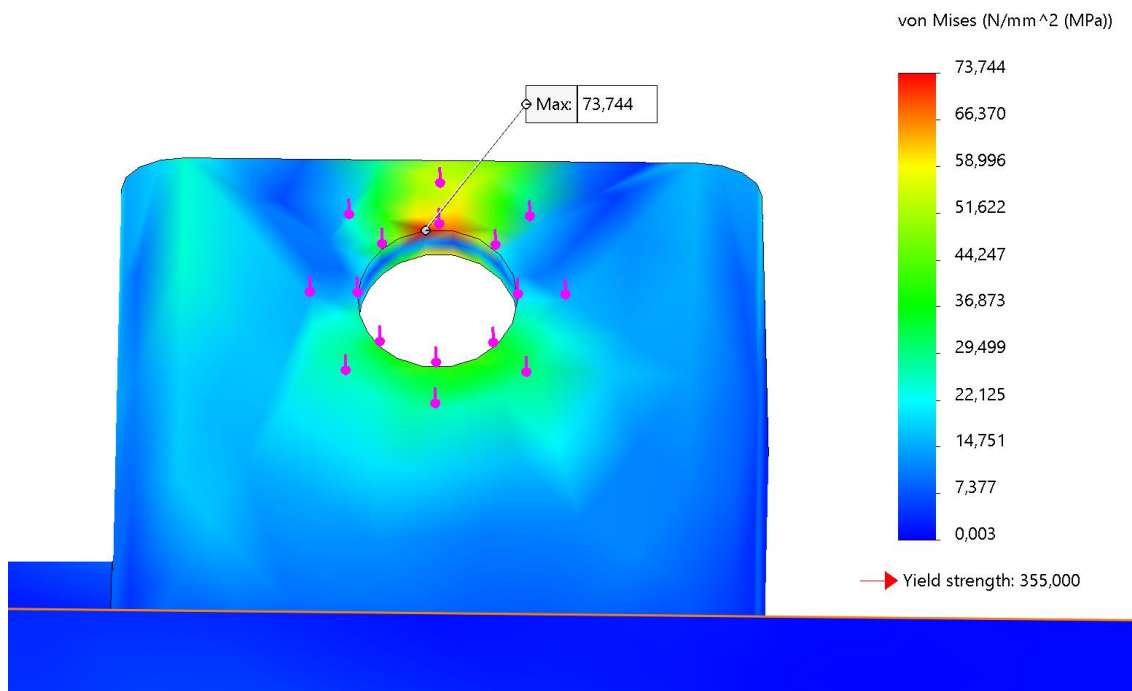
Kuvassa 12 on rungon ja pohjalevyn von Mises -jännityskäyrä. Tuloksista voidaan helposti havaita visuaalisesti, miten kuormituksesta johtuvat jännitykset jakautuvat kappaleessa ja missä ovat kriittisimmät paikat. Kuvasta huomataan, että suurin jännitys osuu takaputken pulttikiinnityskohdalle. Kuvassa 12 on suurennuskuva kyseisestä alueesta. Siitä huomataan, että suurin jännitys osuu

pulttireiän reunaan.



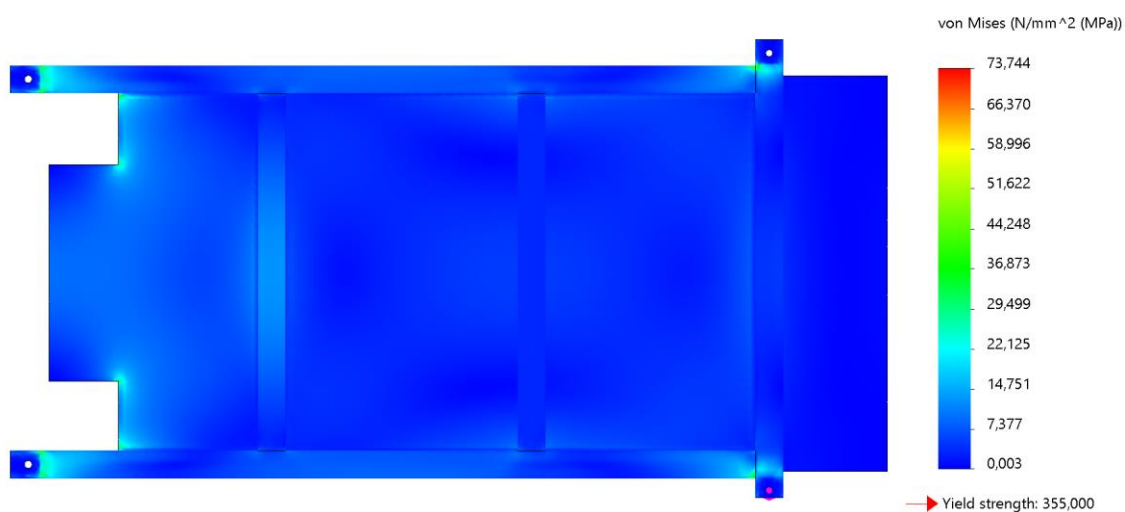
Kuva 12. Kuvassa akkupaketin rungon ja pohjalevyn von Mises -jännitysanalyysin tulokset. Suurin paine kohdistuu rungon takaputkelle.

Kuvasta 13 voidaan todeta, että suurin voima mikä tässä simulaatiossa esiintyi, oli noin 74MPa suuruudelta ja kohdistui rungon takaputken pulttireiän reunalle.



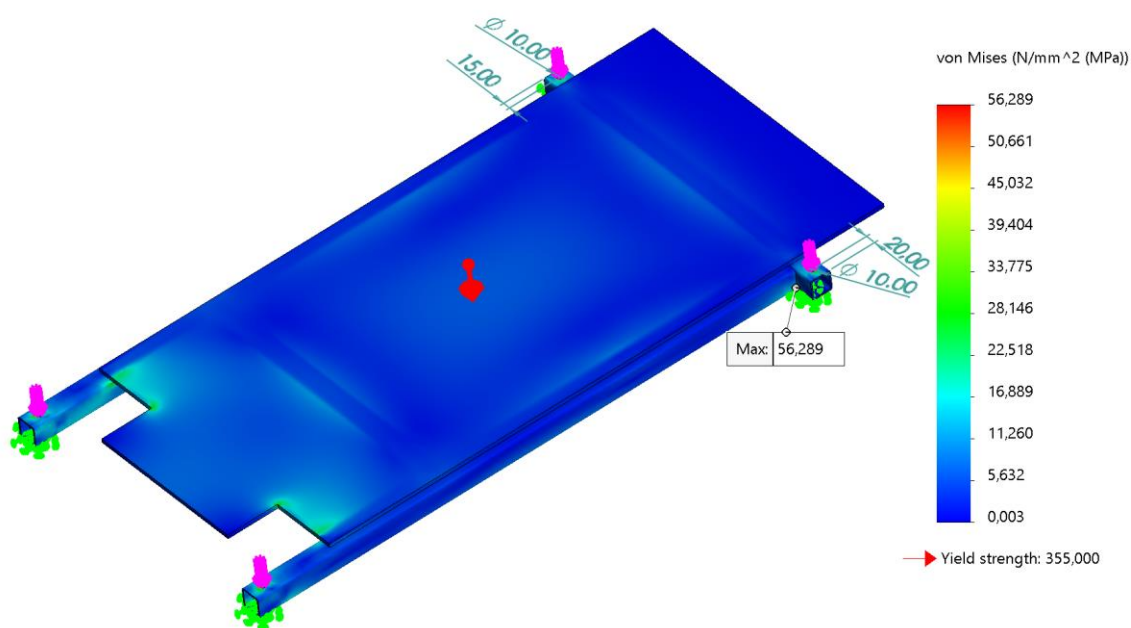
Kuva 13. Suurenuskuva akkupaketin rungon takaputkesta, johon kohdistuu suurin voima.

Kuvan 15 perusteella voidaan todeta, että toiseksi suurimmat voimat esiintyivät sivu- ja takaputkissa. Voimien suuruudet olivat noin 15 – 45 MPa välissä.

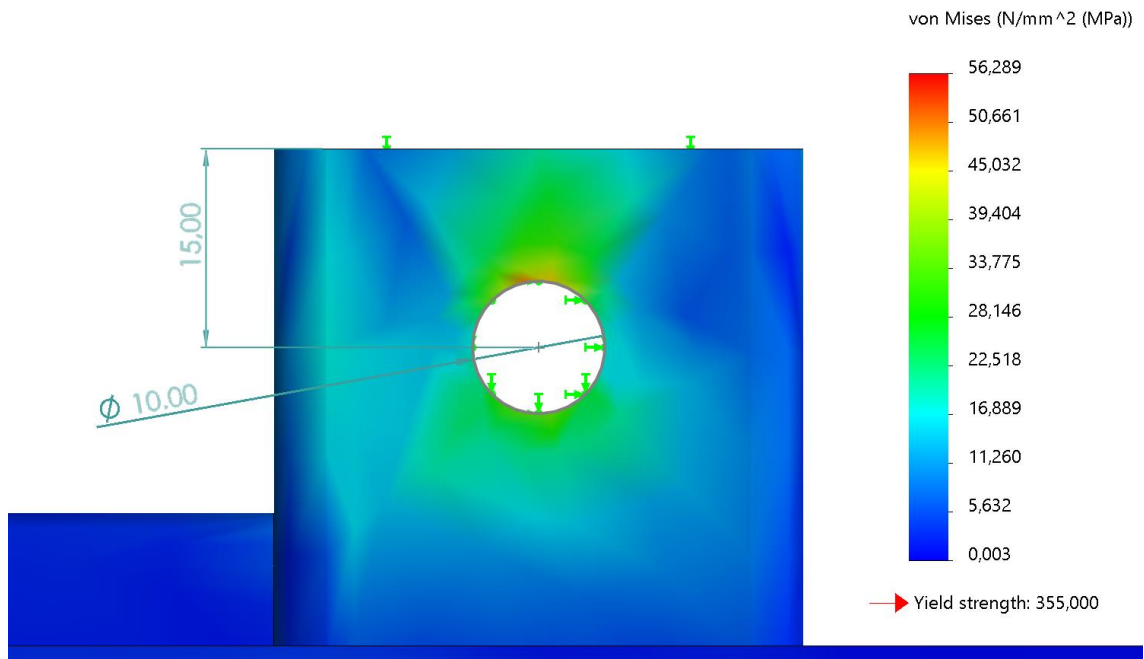


Kuva 14. Akkupaketin runko alhaalta ylöspäin. Toiseksi suurimmat voimat esiintyvät sivu- ja takaputkissa.

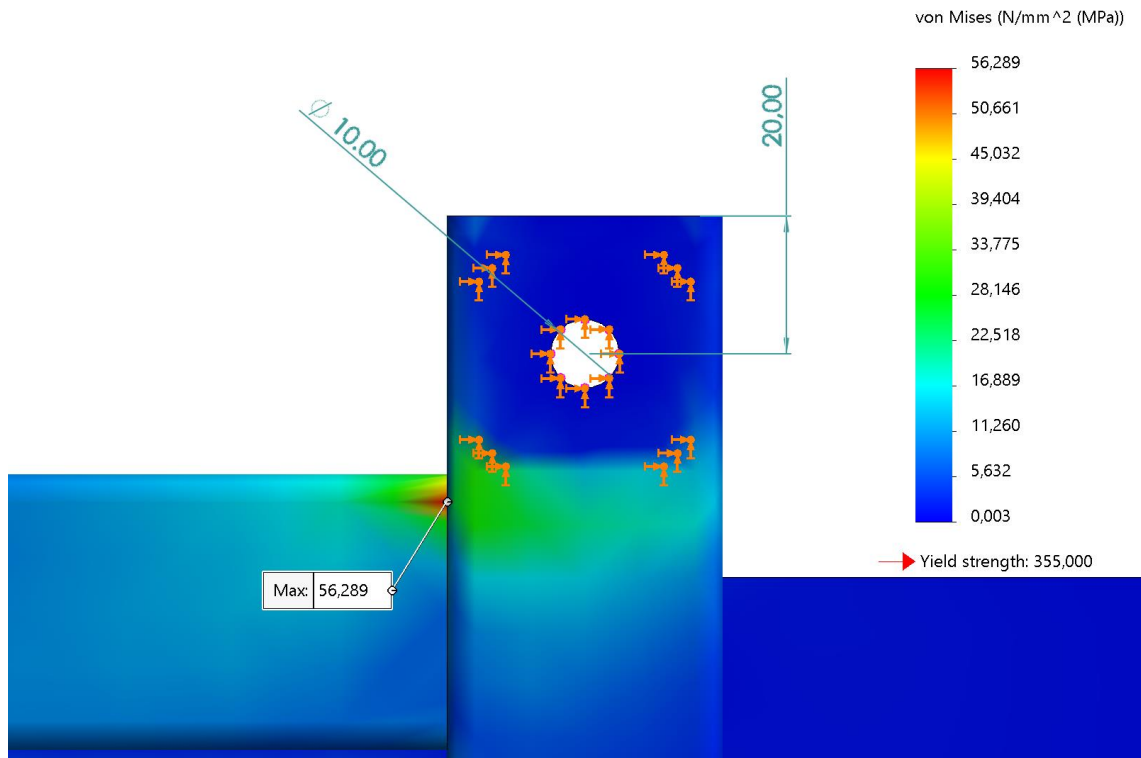
Pulttireikää siirrettiin poispäin reunasta, missä esiintyi suurin, sillä ajatuksella, että suurinta esiintyvää voimaa pystyttäisiin vähentää optimoimalla mallia. Kuvan 16 perusteella tämä kokeilu osoittautui positiiviseksi löydökseksi. Suurin voima väheni noin 74 MPa:sta noin 56 MPa:n. Siirtämällä reikää korkein jännitys väheni noin 25 % verrattuna alkuperäiseen (kuva 17 ja 18). Jännitykset ovat nyt tasaisemmin jakautuneet ja korkein jännitys on siirtynyt taka- ja sivuputkien liitoskohtiin.



Kuva 15. Simulaation tulokset osoittavat, että siirtämällä reikä reunasta poispäin väheni rasitus reiän reunalla.



Kuva 16. Kuvassa on simulaatio, missä pulttikiinnitysreikä on siirretty 15 mm reunasta. Edellinen oli 10 mm reunasta mikä osoittautui olevan liian lähellä reunaa.



Kuva 17. Vastakkainen puoli kuin kuvassa 16.

Runkoa elementtimenetelmällä tutkiessa voidaan todeta, että teline kestää hyvin siihen suunnitellun kuormamäärän.

Suurimmat jännitykset muodostuvat pulttireikien reunoille ja taka- ja sivuputkien liitoskohtiin. Optimoidun simulaation tulokset osoittavat, että pulttireikä siirtämällä pois päin reunasta saadaan aikaiseksi alempi maksimi jännitysarvo. Kaikki jännitykset ovat raja-arvoissa ja teline kestää hyvin noin 300 kg kuorman.

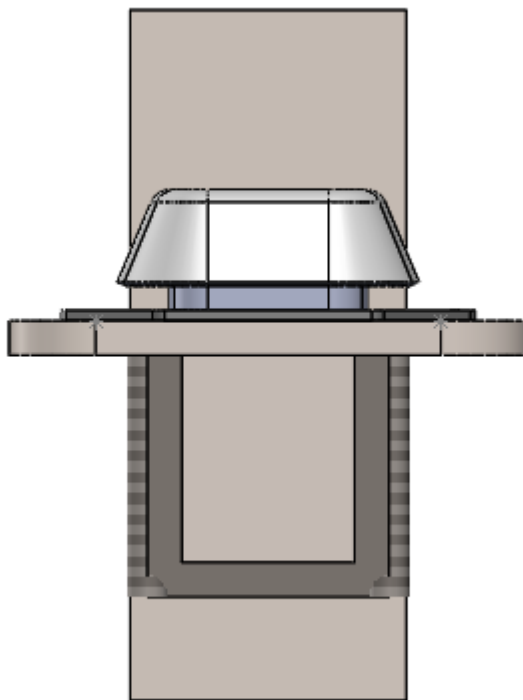
Samalla tutkittiin, että jos runko valmistettaisiin 2014 -T6 alumiiniseoksesta, saataisiin rungon ja pohjalevyn yhteistä painoa kevennettyä noin 35 kg.

4.2 Kiinnityskappaleet

Tavoitteena on määrittää kiinnityskappaleille hitsaukset metsätyökoneerunkoon kiinnitystä varten.

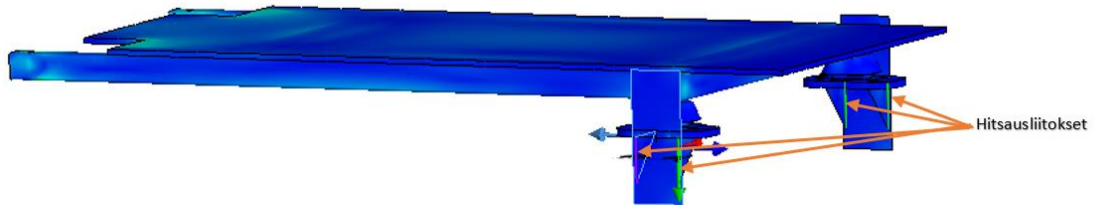
Jotta pystyttäisiin simuloimaan ja tarkastamaan kiinnityskappaleiden hitsausliitoksia, tarvitaan sellaiset mitoitettavat. Tästä mallista puuttuu sellaiset, joten tarkastellaan mallia ja mitoitetaan liitokset.

Kuvassa 18 on kiinnityskappale hitsattuna metsäkoneen runkoon. Runko on 40 mm paksu ja 80 mm leveä. Se on yksinkertaistettu jättämällä siitä reunojen pyöristykset pois.



Kuva 18. Akkupaketin kiinnityskappale liitetty hitsaamalla se metsäkoneen runkoon.

Simulaatiossa oletetaan, että osat liitetään yhteen pienahitsaamalla kiinnityskappaleen sivut metsäkoneenrunkoon (kuva 19).



Kuva 19. Kuvassa merkattu hitsausliitoksien sijainti.

Pienahitsin a-mittaa käytetään mitoituslaskelmissa hitsin laskenta-arvona. Se määritellään teräsrakenteiden suunnitteluohjeissa Eurocode 3:ssa SFS-EN 1993-1-8 mukaisesti seuraavasti: ”Pienahitsin efektiivinen a-mitta on suurimman kolmion (joko tasakylkinen – tai erikylkinen) korkeus, joka voidaan piirtää railon kylkien ja hitsin pinnan sisään mitattuna kohtisuorassa suunnassa tämän kolmion ulompaan pintaan nähden.” (12., s.162)

Suunniteltaessa pienahitsin a-mitta voidaan käyttää seuraava nyrkkikaava, jossa t = paksumman liitettävän osan seinäpaksuus:

$$a \geq \sqrt{t(\text{mm})} - 0,5 \text{ mm} \quad (12, \text{s. } 170) \quad (1)$$

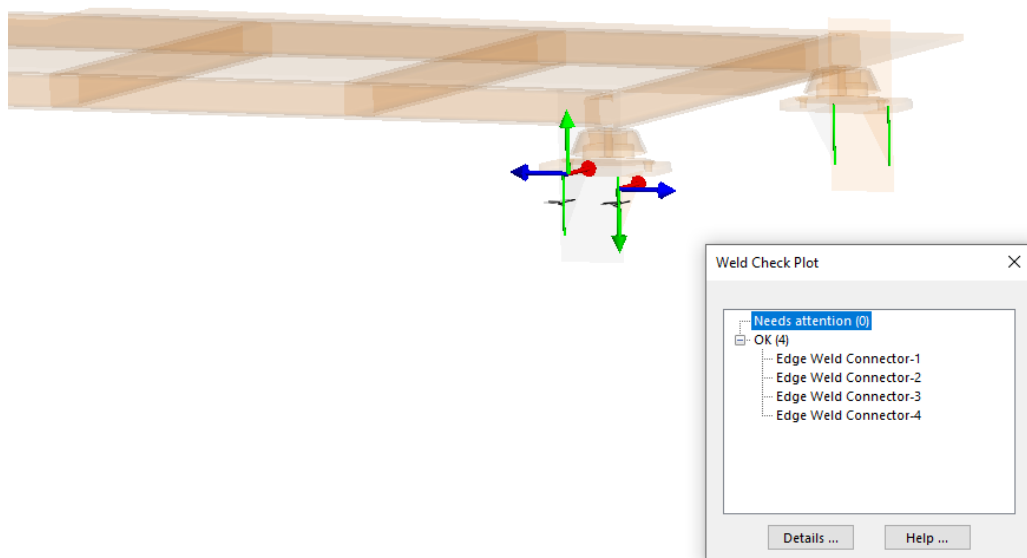
Tiedetään, että paksumman osan seinäpaksuus on 40 mm, joten sovelletaan se kaavaan:

$$t = 40 \text{ mm} \Rightarrow a \geq \sqrt{40} - 0,5 = 5,9 \approx 6 \text{ mm}$$

Kaavassa on huomioitu riittävän lämmöntuonti, jotta välttyttäisiin käyttämästä korotettua työlämpötilaa (12, s. 170). Tuloksena saatiin, että pienahitsin a-mitta on hyvä oltava 6 mm.

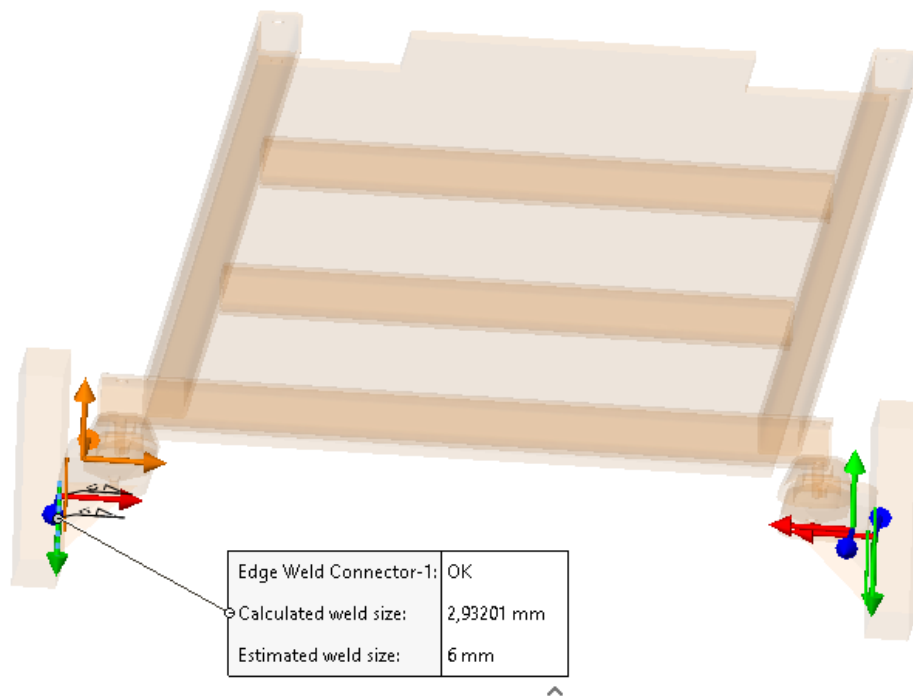
Lasketaan simuloinnin avulla kestääkö hitsiliitokset. Hitsiliitoksia on 4 kappaletta. 2 per takaosan kiinnityskappale (kuva 19). Ohjelma kysyy oletusarvon pienahitsin a-mitalle sekä myös varmuuskertoimen. Oletetaan edellisen kaavan perusteella a-mitaksi 6 mm ja varmuuskertoimeksi 3. Yhden hitsausauman pituus on 70 mm.

Tarkastellaan simulaation tuloksia ja piirretään hitsaustarkistuskuvaaja mikä kertoo meille, mitkä hitsausliitokset läpäisevät ja mitkä vaativat tarkastusta (kuva 20). Kuvan 20 perustella hitsausliitokset ovat kestäviä.



Kuva 20. Kuvassa hitsausliitoksien tarkastus, missä kaikki liitokset vaikuttavat kestäväen.

Suurimman vaaditun a-mitaksi saatiin 2,93 mm (kuva 21). Muiden liitoksien vaaditut mitat olivat 2,2 – 2,77 mm välissä. Tämä tarkoittaa, että 6 mm a-mitta on tarpeeksi kestävä.



Kuva 21. Suurin vaadittu a-mitta varmuuskertoimella 3.

Simulaation tuloksien perusteella kiinnityskappaleet näyttävät hyvin kantavan akkupakettia.

5 Tulokset

Tavoitteet saavutettiin odotetusti. Simulaatioiden tuloksien perusteella voidaan todeta, että akkupaketti kestää hyvin siihen asennetun staattisen kuorman. Akkupaketin rungon kuormitetuimpaan paikkaan saatiin laskettua lähes 5 kertainen varmuuskerroin. Rungon takaputken pulttireiän reunalla esiintyi suurin paine. Kokeiltiin siirtää akkupaketin rungon takaputkella olevaa reikää pois päin reunasta. Tämän ansiosta saatiin vähennettyä maksimipainetta 73,744 MPa:sta 56,289 MPa:n. Kiinnityskappaleet vaikuttivat myös hyvin kestäväen kuormituksen.

Simulaatiomallia oli joissain kohti yksinkertaistettu, jotta se olisi helpommin hahmotettavissa ja laskettavissa. Simulaatioissa käytettiin korkeampia kuormia kuin mitä todelliset kuormat olisivat. Tämä lisäsi luotettavuutta mallin kestävyYTEEN.

Mallia on varaa kehittää ja keventää valmistamalla se esimerkiksi kevyemmästä metallista kuten alumiinista. On myös mahdollista, että mallissa voitaisiin käyttää pienemmän kokoisia putkia, sillä 40 mm leveät putket osoittautuivat todella kestäviksi.

Akkupaketin runko ja kiinnityskappaleet osoittautuivat kestäväN staattisen kuormituksen, kun se on asennettuna metsätyökoneeseen. Tämä siis tarkoittaa, että paikalla olleessa (kappaleeseen kohdistuva kuormitus on vakio) malli on kestävä.

Metsätyökoneen liikkeessa akkupakettiin vaikuttaa myös muita voimia (esim. kiihtyvyys, nopeus, lämpötila). Tällöin puhutaan, että akkupaketti on kuormitettu dynaamisesti. Dynaamisessa kuormituksessa voima ja sen vaikutussuunta eivät ole aina samoja. Tässä työssä ei otettu huomioon dynaamista kuormitusta.

6 Yhteenveto

InsinööriTYÖN aiheena oli tutkia metsätyökoneeseen asennettavan akkupaketin rungON ja sen kiinnityskappaleiden hitsausliitoksien staattista kestävyYTEÄ.

TyÖN alkuosuudessa tutustuttiin akkupaketin rakenteeseen ja määriteltiin tyÖN vaatimukset. Tämän jälkeen alettiin rakentaa simulaatiota opinnoista tutuksi tulleella SolidWorks CAD -ohjelmalla. Simulaation tuloksina saatiin von Mises -vertailujännityskäyrä. Analysoimalla tuloksia todettiin rakenne staattisesti kestäväksi. Rakenne siis kestäÄÄ tutkitut kuormitukset paikalla olleessaan hyvin. Jännitykset pysyvät selvästi alle myötörajan teräksessä. Samalla todettiin myös, että jos runko valmistettaisiin alumiinista, niin rungON paino tippuisi noin 20 kg ja rungosta saataisiin kestävämpi.

Kuvassa 9 vihreällä merkitty metsäkoneessa jo valmiiksi olevien korvien kestävyyttä ei tutkittu. Eikä myöskään dynaamista kuormitusta ei tässä työssä tutkittu. Edellä mainitut on syytä tutkia tarkemmin ennen prototyypin valmistusta ja käyttöä.

Haastavinta työssä oli simulaation laatiminen, ja saadut tulokset saattavat poikkea todellisista. Mitä tarkemmin simulaatio on määritetty, sitä tarkempi tulos saadaan. Kuitenkin muuttujien kasvaessa myös laskuvirheiden mahdollisuus kasvaa. Tästä johtuen joitain asioita yksinkertaistettiin. Jotta tulokset olisivat luotettavimpia, määriteltiin simulaatiossa korkeammat kuormat kuin mitä todelliset kuormat olisivat.

Lähteet

- 1 Sillerkiil. 2017. Harvester metsas. Verkkoaineisto. Wikipedia. <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/6/62/Harvester_metsas.jpg/1599px-Harvester_metsas.jpg>. 27.02.2017. Luettu 13.10.2021.
- 2 Hassan, Rabar. 2021. Työkoneen akkupaketin mekaaninen suunnittelu. Insinööriyö. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.
- 3 Battery Charging and Discharging at High and Low Temperatures. Verkkoaineisto. Epectec. <<https://blog.epectec.com/battery-charging-and-discharging-at-high-and-low-temperatures>>. 03.11.2015. Luettu 14.10.2021.
- 4 Temperature effect and thermal impact in lithium-ion batteries: A review. Verkkoaineisto. ScienceDirect. <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1002007118307536>>. Luettu 16.09 2021.
- 5 Light Weight Cold Plates for Low to Medium Power Densities. Verkkoaineisto. AMS Technologies. <<https://www.amstechnologies-web-shop.com/light-weight-cold-plates-for-low-to-medium-power-densities-flammasstek-sw10266>>. Luettu 18.10.2021.
- 6 Finite Element Method – What Is It? FEM and FEA Explained. Verkkoaineisto. Ajay Harish. <<https://www.simscale.com/blog/2016/10/what-is-finite-element-method/>>. 20.12.2020. Luettu 24.01.2022.
- 7 What is FEA (Finite Element Analysis) in CAD? Verkkoaineisto. Spatial Team. <<https://blog.spatial.com/what-is-fea>>. 22.05.2017. Luettu 24.01.2022.
- 8 In FEA, what is linear and nonlinear analysis? Verkkoaineisto. Femto. <<https://www.femto.eu/stories/linear-non-linear-analysis-explained/>>. 20.12.2020. Luettu 24.01.2022.
- 9 Nonlinear Static Analysis Overview. Verkkoaineisto. Dassault Systemes. <https://help.solidworks.com/2021/english/SolidWorks/cworks/c_nonlinear_static_analysis_overview.htm>. Luettu 24.01.2022.
- 10 Why is Meshing Important for Structural FEA and Fluid CFD Simulations? Verkkoaineisto. Simutech Group. <<https://simutechgroup.com/why-is-meshing-important-for-fea-fluid-simulations/>>. Luettu 25.01.2022.

- 11 Types and applications of aluminum alloys for vehicles. Verkkoaineisto. UACJ Automobile Technology. <https://uacj-automobile.com/types_and_applications.html>. Luettu 19.09 2021.
- 12 Björk Timo, Hauhtala Pekka. 2014. Koneenosien suunnittelu. 6., uudistettu painos. Helsinki: Sanoma Pro.