OAMK
OULUN AMMATTIKORKEAKOULU

Ville Hukkanen

NEMO INTELLIGENT DEVICE INTERFACEN INTERGROINTI TUOTEVALIKOIMAAN

NEMO INTELLIGENT DEVICE INTERFACEN INTEGROINTI TUOTEVALIKOIMAAN

Ville Hukkanen
Opinnäytetyö
Kevät 2019
Kone- ja tuotantotekniikan tutkinto-ohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Konetekniikan tutkinto-ohjelma, koneautomaatio

Tekijä: Ville Hukkanen
Opinnäytetyön nimi suomeksi: Nemo Intelligent Device Interfacen integrointi nykyiseen tuotevalikoimaan
Opinnäytetyön nimi englanniksi: Integration of Nemo Intelligent Device Interface to Current Product Solutions
Työn ohjaaja: Jari Viitala
Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: kevät 2019
Sivumäärä: 41 + 0

Tässä työssä päivitettiin Keysightin Nemo Walker Backpack -kantoreppu yhteensopivaksi uuden mittauslaitteen kanssa. Työssä sovitettiin uusi laite kantoreppuun ja pyrittiin säilyttämään repun yhteensopivuus vanhojen mittauslaitteiden kanssa. Työn tärkein osa oli tunnistaa repun rakenteen ja komponenttien muutostarpeet.

Mekaniikkasuunnittelun apuna käytettiin Creo Direct modeling -sovellusta. Työ aloitettiin hahmottelemalla repun sisälle erilaisia mittauslaitekonfiguraatioita. Jatkokehitettäväksi valittiin konfiguraatio, joka ei vaatinut repun ulkomittojen muuttamista, koska se oli lähimpänä jo tuotannossa olevaa reppurunkoa. Myös jatkokehitys tehtiin Creon CAD-sovelluksella. Päivitettyyn reppuun suunniteltiin myös uusi kaapelointi, johon käytettiin apuna kaapelivalmistajien ohjetaulukoita ja repun 3D-mallia. Muuttuneen mekaniikan takia repulle tehtiin elementti-analyysi SolidWorksin simulaatiotyökalulla. Mittalaitekonfiguraatioiden varmistuttua repulle tehtiin lämpösimulaatio FloTherm-ohjelmistolla. Työn tuloksia käytetään apuna prototyypin osien tilaamiseen.

Simulaatioiden mukaan reppu kestää kohtuullista käyttöä muutosten jälkeenkin. Lisäksi reppuun laitettavien mittauslaitteiden kiinnikkeet tukevat reppua. Lämpötila-analyysin perusteella repun lämmönsiirto on hyvällä tasolla eikä nykyistä tuuletinkonfiguraatioita tarvitse muuttaa. Repun seuraavasta versiosta kannattaisi tehdä hieman suurempi. Jo 10 %:n lisäys korkeuteen ja leveyteen mahdollistaisi useita laitekonfiguraatioita. Lisäksi suurempi koko helpottaa huoltoa ja asennusta. Uuden alumiinirungon suurempi koko ei kasvattaisi massaa merkittävästi.

Asiasanat: CAD, CAE, FEA, FEM, konsultoiva suunnittelu

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Mechanical engineering, machine automation

Author: Ville Hukkanen
Title of thesis: Integration of Nemo Intelligent Device Interface to Current Product Solutions
Supervisor: Jari Viitala
Term and year when the thesis was submitted: spring 2019
Pages: 41 + 0

In this thesis work Nemo Backpack was updated to be compatible with a new measurement device, Nemo Intelligent Device Interface, NIDI. The new backpack version had to be able to fit all the previous measurement device configurations. The most important aspect of this work was to identify all the required structures and components that had to be changed in order to fit the new device, while also maintaining the backwards compatibility.

Creo Direct was used to design the new structural parts and changes. The first step was to fit as many NIDIs in the backpack as possible. After consideration, configuration with no changes to outside diameters was chosen for further development. Also, fitting cables and connectors were chosen for the devices. Manufacturer guides were used in the selection of the connectors. Because the device structure had to be changed in order to fit all the devices, finite element analysis was performed for backpack's frame. The SolidWorks simulation tool was used in the analysis. Because new device configurations bring more heat to the backpack, new heat flow simulations were required. Mentor's FloTherm was used for the flow simulation analysis.

According to the finite element analysis, the changes made to the frame do not change its structural integrity much. Some of the new parts support the frame, but that was not taken into account while doing the analysis. The heat flow analysis showed that the old fan configuration should be more than enough to move the heated air from the chassis. It might be useful to make the next version slightly bigger. A change of 10% to width and height makes the backpack fit more NIDIs and a wider range of different device configurations. The larger size of the frame should not add much weight to it, since it is from aluminum.

Keywords: CAD, CAE, FEA, FEM, consultative design

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ 3
ABSTRACT 4
SISÄLLYS 5
SANASTO 7
1 JOHDANTO 8
1.1 Keysight Technologies Inc. 8
1.2 Työn tavoitteet 8
2 PARAMETRINEN JA SUORA MALLINTAMINEN 9
2.1 Parametrinen mallintaminen 9
2.2 Suora mallintaminen 10
2.3 Parametrisen ja suoran mallintamisen yhdistelmä 10
3 TIETOKONEAVUSTEINEN TEKNIIKKA 11
3.1 Elementtimenetelmät 11
3.1.1 Kappaleen jakaminen elementtiverkkoon 12
3.1.2 Elementtianalyysien ratkaisumenetelmiä 15
3.2 Numeerinen virtausdynamiikka CFD 16
4 LÄHTÖTILANTEEN TARKASTELU JA MUUTOSTARPEIDEN TUNNISTAMINEN 18
4.1 Nemo Walker-reppu 19
4.2 Muutostarpeet 20
4.3 Kiinnikkeet DIN-kiskoille 21
4.4 USB-jakajien kiinnitys 22
4.5 Kaapeleiden mitoittaminen 23
4.6 Komponenttikotelon päivitys 24
5 REPPURUNGON LUJUUSTARKASTELU 26
5.1 Lujuustarkastelu elementtimenetelmällä 26
5.2 Nurjahdusvoiman tarkastelu 32
5.3 Lujuustarkastelu laskemalla 34
6 VIRTAUS- JA LÄMPÖTILA-ANALYYSI 36
6.1 FloTherm-simulaation asetukset 37
6.2 Simulaation tulokset 38

7 YHTEENVETO 39
LÄHTEET 40

SANASTO

CAD = Computer-aided design, tietokoneavusteinen suunnittelu

CAE = Computer-aided engineering, tietokoneavusteinen tekniikka

FEA = Finite element analysis, elementtianalyysi

FEM = Finite element method, elementtimenetelmä

NIDI = Nemo intelligent device interface, Nemon älykäs sovitin 5G-mittaukseen

1 JOHDANTO

Opinnäytetyössä päivitetään mobiiliverkkojen mittauslaitteiden kantoreppu. Päivitystarpeen aiheuttaa uusi mittauslaite, mutta reppua päivitetään myös kokoonpanemisen ja käytettävyyden parantamiseksi. Työ tehdään konsultoivana suunnitteluna Keysight Technologies Inc:lle. Työn tuloksia käytetään apuna tarjouspyynnön tekemiseen suunnittelutoimistolle.

1.1 Keysight Technologies Inc.

Keysight on ollut osa Hewlett-Packardia, mutta vuonna 2014 siitä tuli täysin irrallinen yritys Keysight Technologies Inc. Yritys valmistaa mittauslaitteita ja ohjelmistoja ilmailu- ja puolustusaloille, autoteollisuuteen ja verkkotekniikkaan. (1.)

Opinnäytetyö tehdään Nemo Wireless Network Solutions -tuoteperheeseen. Nemo-tuotteet ovat puhelinverkkojen mittaamiseen käytettäviä laitteita ja ohjelmistoja. (2.)

1.2 Työn tavoitteet

Kantorepun päivityksen tärkein tavoite on optimoida repun tilankäyttö siten, että Nemo-tuotelinjan uusin tuote sopii siihen mahdollisimman kuluttajaystävällisesti. Kantorepun ulkomitat pyritään pitämään samoina, joten työssä keskitytään optimoimaan sisätilan käyttö. Mekaniikkasuunnittelussa käytetään PTC:n Direct Modeling -ohjelmistoa. Repun mekaanista kestävyyttä tutkitaan SolidWorksin Simulation-työkalulla.

Uusien komponenttien tuoman lämpökuorman lisääntymisen takia repulle tehdään myös virtaus- ja lämpötila-analyysi FloTherm-ohjelmistolla. Repun jäähdytyksen lämmönsiirtokyky testataan simulaation lisäksi testauskammiossa.

Repun kaapelointi ja liittimet päivitetään helpomman kokoonpanon ja käytettävyyden takaamiseksi. Kaapeloinnin suunnittelussa ei käytetä erillisiä ohjelmistoja vaan se tehdään käsin mittaamalla ja laskemalla.

2 PARAMETRINEN JA SUORA MALLINTAMINEN

CAD-mallintamissovelluksia on useita, ja niiden käytettävyydessä on eroja. Sen lisäksi, että CAD-sovelluksissa on eri työkaluja ja lisäosia, myös niiden tavat luoda kolmiulotteisia malleja vaihtelee. Kaksi yleisintä tapaa luoda 3D-malli ovat parametrinen ja suora mallinnus (3). Tässä työssä mallintamiseen on käytetty PTC:n Direct Modeling -ohjelmistoa, joka käyttää suoraa mallinnusta luodessaan muotoja.

2.1 Parametrinen mallintaminen

Parametrisessa mallinnuksessa käyttäjä luo matemaattisia suhteita mallinnuspiirteiden avulla luomiinsa kaksiulotteisiin sketseihin. Jokainen uusi piirre lisätään edellisiin piirteisiin. Tämä tarkoittaa sitä, että edellisen piirteen muokkaaminen aiheuttaa muutoksia siihen kytkettyihin toisiin piirteisiin. Tällä on hyvät ja huonot puolensa. Yksinkertaisissa malleissa muutamaa arvoa muuttamalla voi tehdä nopeita muutoksia kappaleeseen. Tästä syystä parametrinen mallinnus on suosittu työkalu tuotteen valmistusvaiheessa. (3.)

Jos muokattava kappale on monimutkainen ja koostuu useista toisiinsa kytketyistä piirteistä, aiheuttaa yhden arvon muuttaminen helposti muutoksia muissakin piirteissä. Tämä hidastaa ja vaikeuttaa monimutkaisten tuotteiden muokkaamista varsinkin, jos mallin historiapuu ei ole tuttu. Aiemman piirteen muokkaaminen tai poistaminen aiheuttaa helposti myöhemmin tehtyjen piirteiden hajoamisen, koska ne ovat toisistaan riippuvaisia. Muutoksia ei siis tehdä suoraan mallin piirteisiin vaan niiden välisiin yhteyksiin. Yhdessä osassa voi olla esimerkiksi satoja piirteitä. (4.)

Jos käyttäjä haluaa muokata yhtä ensimmäisenä luomistaan piirteistä, hänellä on kaksi vaihtoehtoa. Käyttäjä voi joko yrittää muokata piirrettä suoraan historiapuusta, mutta tämä saattaa rikkoa mallin muut piirteet. Vaikka mallin muut piirteet eivät menisi lakkaisi toimimasta, pitää sovelluksen laskea kaikki uudet piirteet uudestaan. Mitä monimutkaisempi kappale on, sitä enemmän tietokoneen laskentatehoa ja aikaa tämä vie. Toinen vaihtoehto on luoda uusi piirre tai piirteitä, joiden avulla vanha piirre saa halutun muodon. Tämä tapa ei välttämättä

riko mallipiirteitä, mutta lisää kappaleen historian monimutkaisuutta. Käyttäjä siis vain siirtää ongelmaa. (4.)

2.2 Suora mallintaminen

Suorassa mallintamisessa erilaisia piirteitä, kuten viisteitä ja mutkia voi luoda joko sketseihin tai suoraan 3D-malliin. Suorassa mallintamisessa piirteiden välisiä suhteita ei luoda, joten ne eivät ole toisistaan riippuvaisia. Tämän ansiosta muutoksia voidaan tehdä suhteellisen huolettomasti, koska aiemmin luodut piirteet eivät katoa. Esimerkiksi neliön mallisesta sketsistä luodusta kuutiosta voi helposti muokata tähden muotoisen kappaleen luomatta tai muokkaamatta sketsejä. Toisaalta alkuperäisen sketsin muokkaaminen ei automaattisesti päivitä siitä syntynyttä piirrettä. (3.)

Suoraa mallinnusta voidaan pitää helpompana tapana oppia 3D-mallintamista. Sen suurin hyöty on kuitenkin konsepti- ja prototyyppisuunnittelussa. Nykyään tuotteen ulkomuoto on lähes yhtä tärkeää kuin sen toiminnallisuus. Tämän takia on etu, että suunnittelija pystyy luomaan nopeasti monimutkaisia muotoja ja tarpeen tullen myös muokkaamaan niitä koskematta sketseihin. (3.)

2.3 Parametrisen ja suoran mallintamisen yhdistelmä

Monet CAD-ohjelmistokehittäjät tarjoavat parametriseen mallinnussovellukseensa suoran mallinnuksen työkaluja. Jotkin ohjelmistot, kuten Inventor ja SolidWorks sisältävät toimintoja, joilla voidaan siirtää kappaleen pintaa samalla tavoin kuin suorassa mallinnuksessa. Pohjimmiltaan tämä on kuitenkin toiminto, joka jättää historiamerkinnän luodusta piirteestä. (4.)

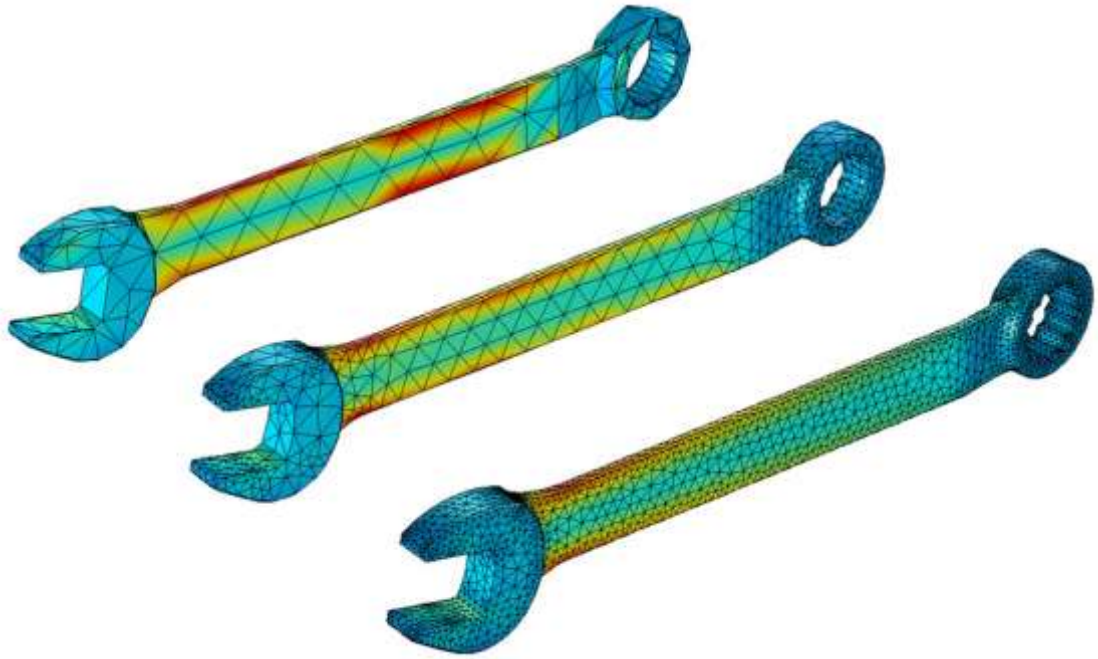
Jotkin ohjelmistot mahdollistavat mallinnustavan vaihtamisen kokonaan. Tämä tarkoittaa sitä, että suorasta mallinnuksesta parametriseen mallinnukseen siirryttäessä mallista luodaan niin sanottu tyhjä malli, joka ei sisällä mitään piirteitä. Ohjelmisto tietää mallista vain sen muodon, joten muokatakseen sitä käyttäjän täytyy luoda siihen uusia piirteitä. (4.)

3 TIETOKONEAVUSTEINEN TEKNIIKKA

Tietokoneavusteinen tekniikka (computer-aided engineering, CAE) tarkoittaa tietokonesovellusten käyttöä suunnittelun apuna (5). Tässä työssä CAE-sovellukset ovat elementtianalyysi ja numeerisen virtausdynamiikan menetelmiä. Elementtianalyysillä arvioitiin reppurungon mekaanista kestoa. Numeerisen virtausdynamiikan avulla analysoitiin väliaineen liikkumista ja lämmönsiirtymistä repussa.

3.1 Elementtimenetelmät

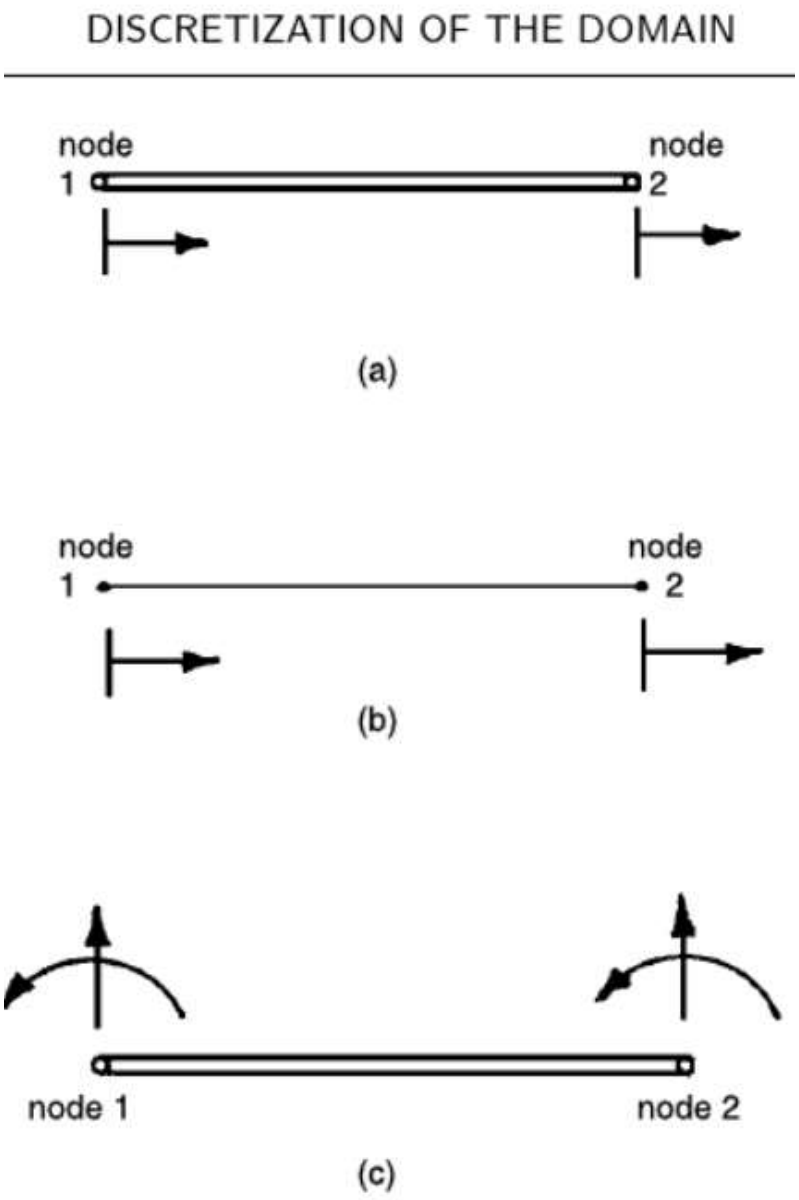
Elementtimenetelmien (finite element method, FEM) tarkoituksena on löytää ratkaisu monimutkaisiin matemaattisiin ongelmiin korvaamalla ne yksinkertaisemmilla ratkaisuilla. Tämä tarkoittaa sitä, että ongelma jaetaan pienempiin toisiinsa liittyviin elementtialueisiin. Elementtialueisiin jakaminen tehdään keinotekoisen verkon avulla. Kuvassa 1 näkyy, kuinka kappale on jaettu useisiin laskenta-alueisiin. (6, s. 3.)



KUVA 1. Elementtiverkko (7)

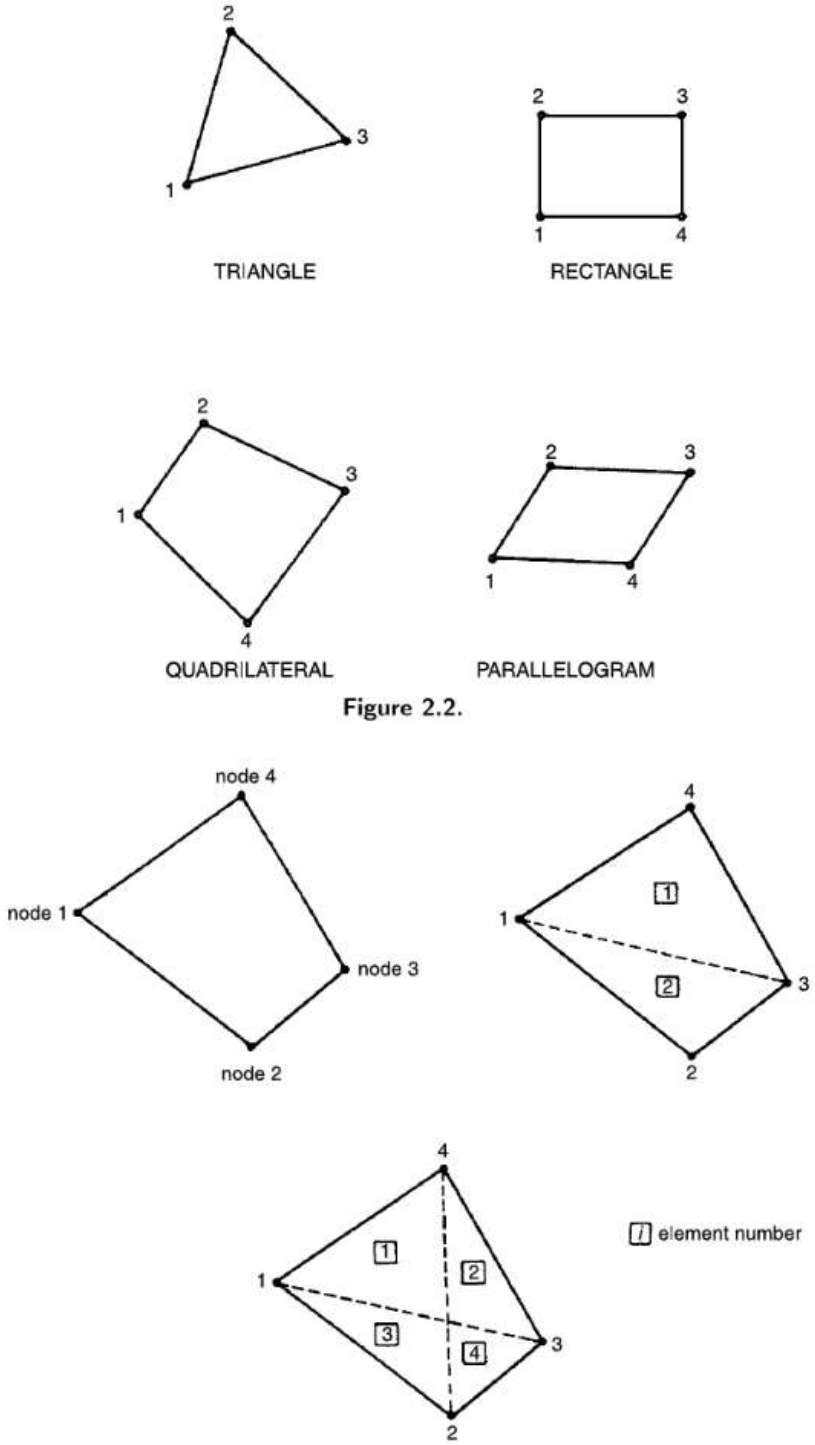
3.1.1 Kappaleen jakaminen elementtiverkkoon

Laskenta-alueiden määrän kasvattaminen lisää analyysin tarkkuutta ja vaadittavaa laskentatehoa. Kappaleiden jakaminen voi kuitenkin olla työlästä. Etenkin monimutkaisten kolmiulotteisten kappaleiden jakamiseen käytetään nykyään sovellukseen ohjelmoituja algoritmeja. Tietokonesovellukset jakavat kappaleet kolmella tavalla. Jos kappale on yksinkertainen palkki ja ongelmaa tarkastellaan yksiulotteisesti, voidaan se jakaa kahteen solmupisteeseen, kuten kuvassa 2. (6, s. 53–56.)



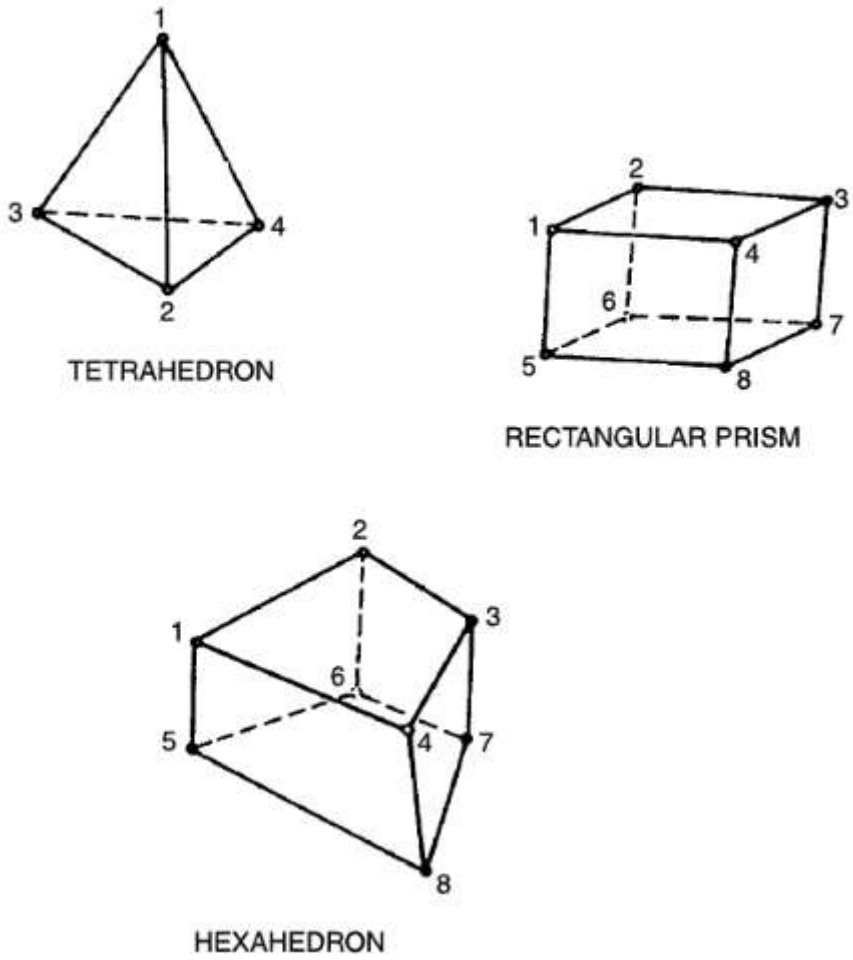
KUVA 2. Yksiulotteinen tarkastelumalli (5, s. 54)

Jos kappale voidaan kuvata kaksiulotteisena, jaetaan se kolmesta tai useammasta solmupisteestä koostuviin osiin. Yleisin näistä muodoista on kolmio. Kaikki muut muodot koostuvat kahdesta tai useammasta kolmiosta, kuten kuvassa 3 näkyy. (6, s. 54.)



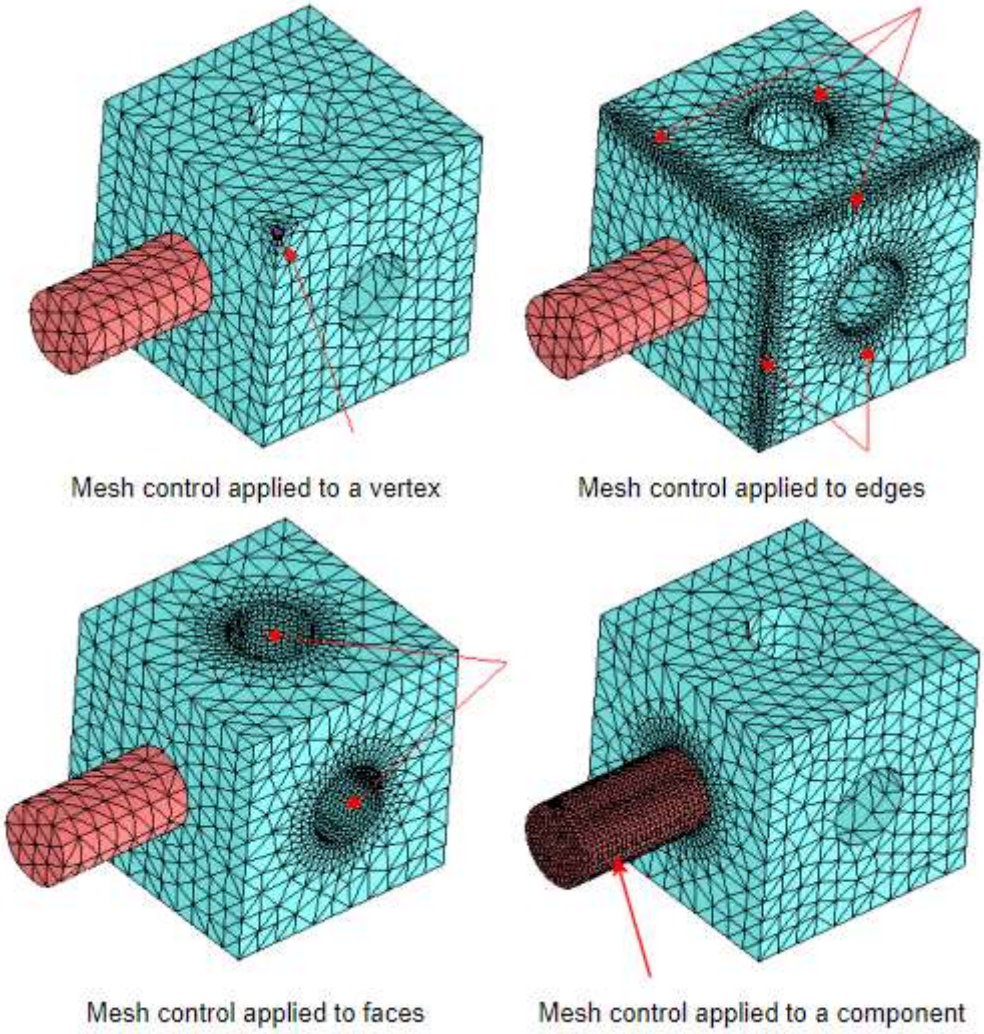
KUVA 3. Kaksiulotteinen tarkastelumalli (5, s. 55)

Kolmiulotteiset kappaleet jaetaan yleensä erimuotoisiin tetra- tai heksaedreihin kuten kuvassa 4 näkyy. 3D-mallien kaarevat reunat voidaan ottaa huomioon lisäämällä solmupisteiden määrää kaarilla (kuva 1). (6, s. 54–56.)



KUVA 4. Kolmiulotteinen tarkastelumalli (5, s. 56)

Monet FEA-sovellukset mahdollistavat laskentaverkon tarkkuuden säätämisen aluekohtaisesti (kuva 5). Tällä tavalla saadaan simulaatiolle haluttu tarkkuus, mutta samalla vähennetään prosessorin työkuormaa. Elementtiverkon hienosäätö voidaan tehdä automatisoidusti tai manuaalisesti. Manuaalinen elementtiverkon optimointi on työlästä ja vaatii käyttäjältä asiantuntemusta lujuusopista. (7.)

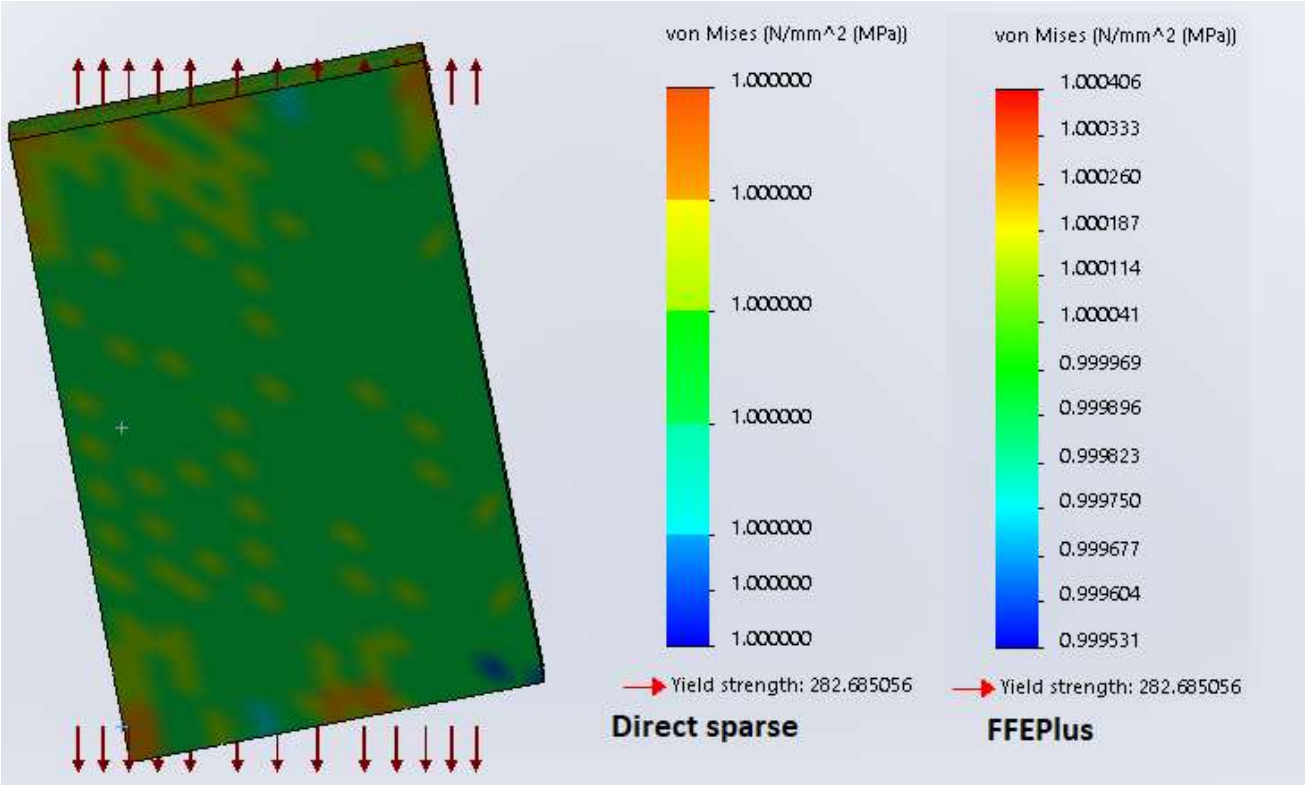


KUVA 5. Säädettävä elementtiverkko (8)

3.1.2 Elementtianalyysien ratkaisumenetelmiä

SolidWorksin simulaatiotyökalu sisältää direct sparse- ja FFEPlus-ratkaisijat. Direct sparse ja Intel direct sparse ovat suoran ratkaisun metodeja ja FFEPlus on iteroiva ratkaisu. (9.)

Suoria ratkaisumetodeja voidaan pitää yleisesti tarkempina, koska ne laskevat ongelmalle tarkan tuloksen. Tarkkuusero voidaan todeta asettamalla yhden MPa:n ulospäin osoittavat paineet kuution mallisen kappaleen päihin. Kuvasta 6 nähdään, että jo yksinkertaisessa simulaatiossa syntyy pieniä virheitä. (10.)



KUVA 6. Direct sparserin ja FFEPlussan erot

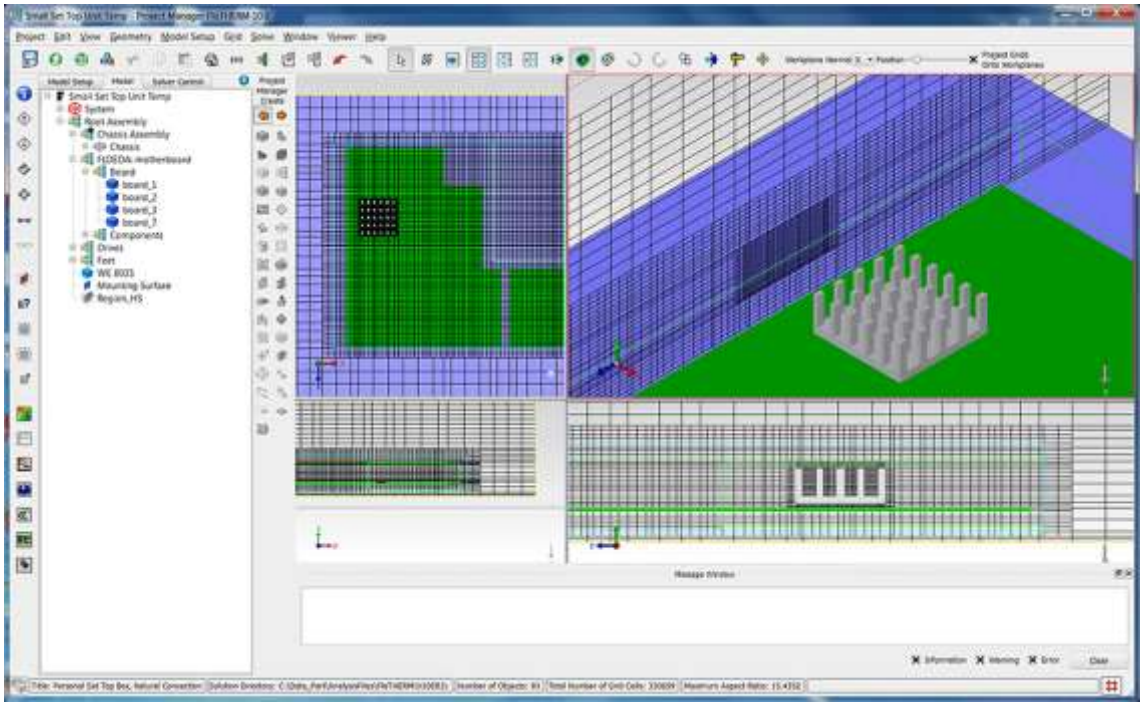
FFEPlus on iteroiva ratkaisija, jonka tulos on approksimaatio. Tämä tarkoittaa sitä, ettei laskennan tulos ole täysin tarkka. FFEPlus-ratkaisija iteroi niin kauan, kunnes kaikki ratkaisut mahtuvat ennalta määritellyn virhemarginaalin sisään. Ratkaisusta saadaan tarkempi, kun laskentaan käytetään enemmän laskentakertoja eli iteraatioita. (9.)

Vaikka FFEPlus ja muut iteroivat ratkaisijat ovat epätarkempia kuin suorat ratkaisijat, on niillä etunsa. Niiden suorittaminen on nopeampaa, jos simulaatiossa on monia vapausasteita. Lisäksi niiden virhemarginaali on pieni, jos samassa simulaatiossa ei ole muita iteroituja prosesseja. (10.)

3.2 Numeerinen virtausdynamiikka CFD

Numeerista virtausdynamiikkaa käytetään nesteiden ja kaasujen virtauksien analysoimiseen. Laskettavia muuttujia ovat esimerkiksi, nopeus, suunta, lämpötila ja paine. Samoin kuin elementtimenetelmissä, tutkittava kappale tai tila jaetaan elementtiverkkoon, jonka avulla laskusuoritus pilkotaan. (11.)

FloThermin laskentaverkko on suorakulmainen. Lisäksi sen tiheyttä voidaan säätää manuaalisesti tai automaattisesti paikoissa, joissa vaaditaan lisää laskentatarkkuutta. Kuvassa 7 näkyy FloTherm-ohjelmiston käyttämä laskentaverkko. Suorakulmaisen verkon etuna on sen laskennallinen tehokkuus. Suorakulmaisten alueiden ratkaisemiseen ei kulu yhtä paljon laskentatehoa kuin kaarevien alueiden laskemiseen. Suorakulmaisen laskentaverkon tehokkuutta voidaan optimoida vähentämällä verkon tiheyttä paikoissa, joiden tulostarkkuudella ei ole niin suurta merkitystä. Vastaavasti verkon tiheyttä voidaan lisätä tärkeiden komponenttien alueella. (12.)



KUVA 7. FloTherm grid (13)

Simulaatioita voidaan keventää asettamalla muutamia rajaehtoja, kuten halutaanko laskennassa ottaa huomioon säteilyn aiheuttama lämpeneminen, nesteen tai kaasun kokoonpuristuminen ja kokoonpuristumisen aiheuttama lämpeneminen. Lisäksi voidaan valita, halutaanko virtauksien olevan laminaarisia vai otetaanko virtauksen turbulenssi huomioon. (11.)

4 LÄHTÖTILANTEEN TARKASTELU JA MUUTOSTARPEIDEN TUNNISTAMINEN

Nemo-tuoteperheeseen on tulossa uusi laite, jota kutsutaan NIDIksi (Nemo Intelligent Device Interface). Se on laite, jonka avulla voidaan aiempaa paremmin ohjata puhelimia ja mitata puhelimien saamaa mittadataa (kuva 8). Pian markkinoille tulevan 5G-tekniikan testausvaihe on alkamassa. Tämän takia haluttiin varmistaa, että reppu tukee NIDIen lisäksi mahdollisimman monia 5G-mittauslaitteita. Mittalaitekonfiguraatiot sisältävät yleensä puhelimien lisäksi yhden tai useamman taajuusskannerin, signaalinmuuntimen ja Ethernet-kytkimen.

KUVA 8. Nemo Intelligent Device Interface (13)

4.1 Nemo Walker -reppu

Nemo Walker -reppu rakentuu palkkirungosta, jota ympäröi sähkölaitteita kosteudelta ja roiskeilta suojaava reppukangas. Rungon sisällä on komponenttikotelo, yhdestä kahteen USB-jakajaa, tuulettimet ja mittauslaitteet. Komponenttikotelo sisältää virtalähteen, kolme akkua ja niiden latausjärjestelmän. Kuvassa 9 on nykyinen reppumalli. Kuvan 9 repusta puuttuvat mittauslaitteet.

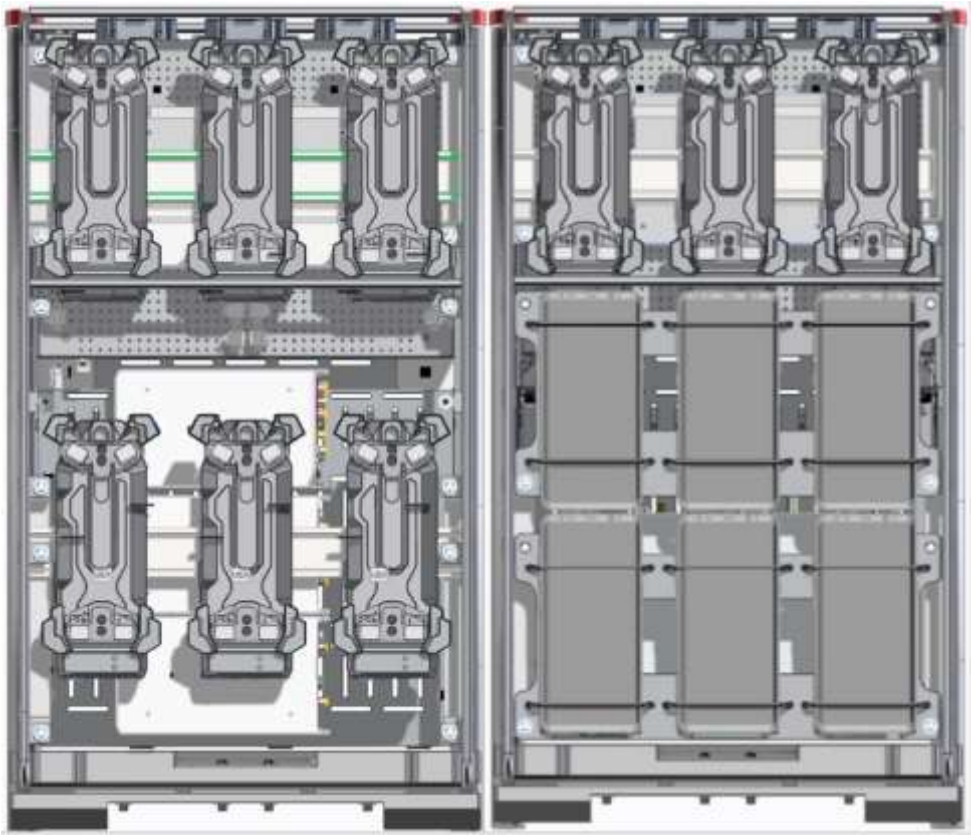
KUVA 9. Nemo Walker -reppu

4.2 Muutostarpeet

NIDIen vaatiman tilan ja kiinnitysmekanismin takia repun sisältöä täytyy optimoida. Tavoitteena oli saada mahtumaan reppuun mahdollisimman monta NIDIä muuttamatta repun ulkomittoja. Samalla haluttiin säilyttää repun taaksepäin yhteensopivuus vanhojen tuotteiden kanssa. Tämä tarkoittaa, että puhelimien vanhat kiinnityspisteet täytyi pitää ennallaan.

Työ aloitettiin sovittelemalla mahdollisimman monta NIDI-mallia reppurungon kokoonpanoon. Eri vaihtoehdoista koostettiin tiivistelmä, jossa lueteltiin vaihtoehtojen hyvät ja huonot puolet. Tässä vaiheessa sovittelua otettiin mukaan kaikki vaihtoehdot karsimatta niitä mitenkään.

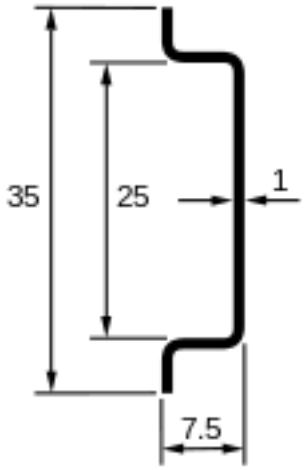
Parhaaksi valittu konfiguraatio näkyy kuvassa 10. Tämä konfiguraatio valittiin, koska ulkomitat pysyvät samana kuin vanhassa repussa ja kaikki NIDIt ovat helposti käytettävissä. Valittu konfiguraation on myös täysin yhteensopiva vanhojen tuotteiden kanssa.



KUVA 10. Valittu konfiguraatio

4.3 Kiinnikkeet DIN-kiskoille

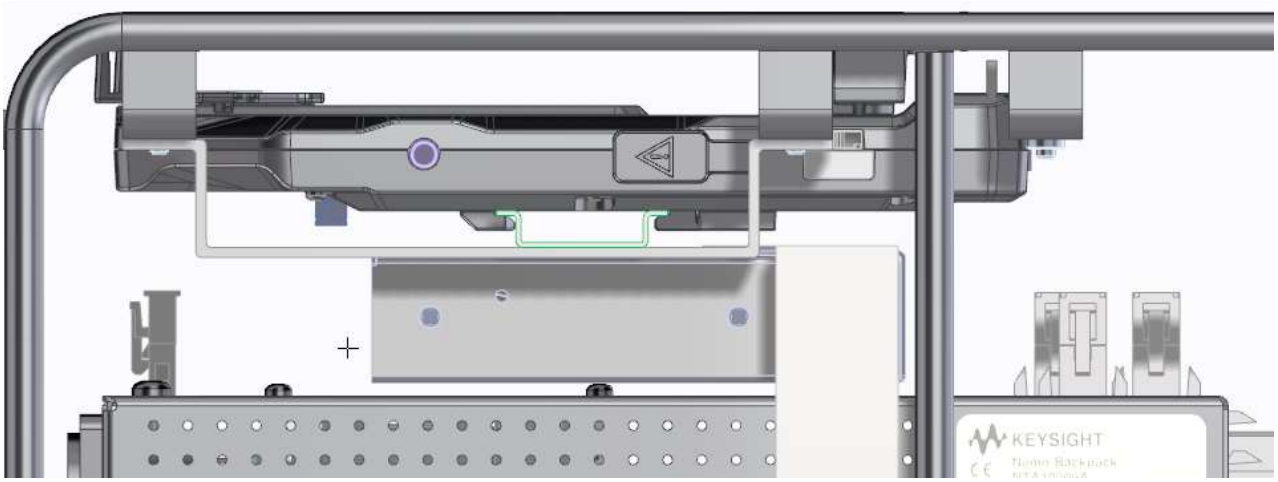
NIDIt on suunniteltu kiinnitettäväksi DIN-kiskoilla. DIN-kisko on IEC 60715 -standardin mukainen kiinnityskisko matalajännitteisille ohjausjärjestelmille (14). Kuvassa 11 on IEC/EN 60715 – 35 × 7.5 -kiinnityskiskon sivuprofiili.



KUVA 11. IEC/EN 60715 – 35 × 7.5 -kisko (14)

Seuraavaksi suunniteltiin kiinnikkeet DIN-kiskoille. Suunniteltujen osien on tarkoitus todistaa, että valittu konfiguraatio on mahdollista toteuttaa käytössä olevan tilan puitteissa. Uusien osien geometriat voivat muuttua prototyyppivaiheessa.

Taaksepäin yhteensopivuuden takaamiseksi vanhoja kiinnityskorvakkeita ei voitu poistaa. Vanhoja kiinnityskorvakkeita päätettiin käyttää DIN-kiskojen kiinnittämiseen, jonka ansiosta reppurunkoon ei tarvittu uusia kiinnityspisteitä. Kuvassa 12 näkyvät sovitekappaleet suunniteltiin, että DIN-kiskot saatiin kiinnitettyä sopivalle paikalle.



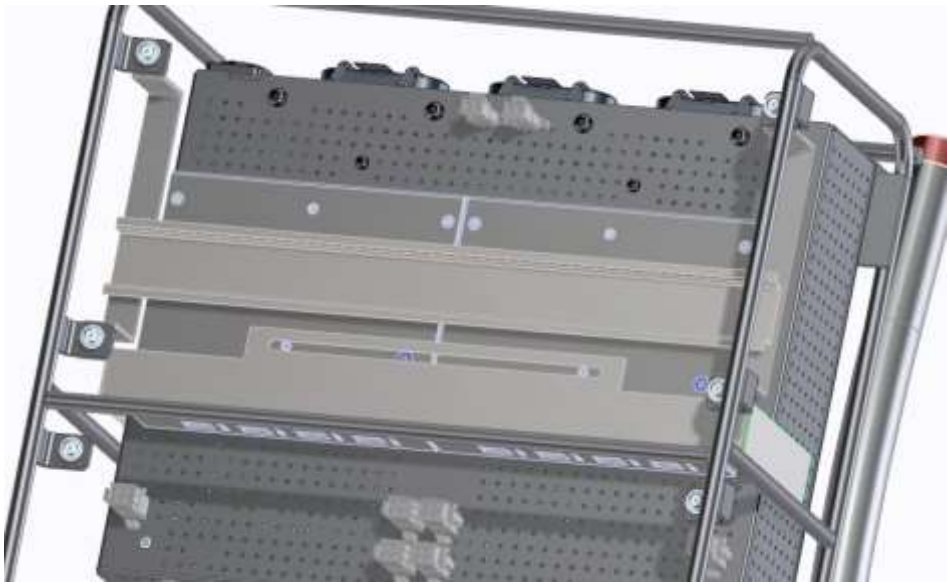
KUVA 12. NIDIn kiinnitys sovituskappaleella

4.4 USB-jakajien kiinnitys

Repun vanhassa versiossa USB-jakajat kiinnitettiin komponenttikoteloon samanlaisella DIN-kiskolla kuin NIDIt. Tilan säästämiseksi kiinnitystapaa oli muutettava. USB-jakajien pohjassa on valmiit ruuvinreiät kiinnitystä varten. Kun USB-jakajat käännetään toisinpäin, ne voidaan kiinnittää ohuella ja helposti valmistettavalla kiinnityspannalla komponenttikoteloon. Kuvassa 13 näkyy kiinnityspanta ja USB-jakajat.

KUVA 13. USB-jakajien kiinnityspanta

USB-jakajien kiinnityspanta taittuu komponenttikotelon sivuille, johon se kiinnitetään ruuveilla. Kiinnityspannassa oleva hahlo helpottaa USB-jakajien paikoitusta. Kuva 14 havainnollistaa USB-jakajien asettelua reppurungossa.



KUVA 14. USB-jakajat reppurungossa

4.5 Kaapeleiden mitoittaminen

Kaapeleiden valintaperusteina oli riittävä virrankesto ja tarpeeksi pieni jännitehäviö. Laitteiden sallittu jännitehäviö on 3 %. Jännitehäviö on riippuvainen johdinmateriaalin resistiivisyydestä ja jännitteen ja virran suuruudesta (15). Johdinmateriaalin resistiivisyyteen vaikuttaa sen pituus, poikkipinta-ala ja lämpötila (16).

Jännitehäviö voltteina voidaan laskea kaavalla 1 (17, s. 120).

$\Delta U = I*\rho*(l/A)$ *KAAVA 1*

ΔU = jännitteen alenema (V)

I = virta (A)

l = johtimen pituus (m)

Kaavalla 2 voidaan laskea piirin suhteellinen jännitehäviö.

$\Delta U(\%) = \Delta U/U_n$ *KAAVA 2*

$\Delta U(\%)$ = suhteellinen jännitehäviö (%)

U_n = nimellisjännite

Tuloksista voitiin päätellä, ettei jännitehäviö ole ratkaiseva tekijä kaapelinvalinnassa. Ratkaiseva tekijä kaapelin valinnassa on kaapelin virrankesto. Taulukosta 1 valittiin jokaiselle laitteelle sopiva kaapeli. Kaapelikoot valittiin kaupallisesti helposti saatavista 0,5 mm^2:n, 0,75 mm^2:n, 1,0 mm^2:n ja 1,5 mm^2:n vaihtoehdoista. Käytetty tasavirtapiiri noudattaa samoja virtarajoituksia kuin yksivaiheinen vaihtovirta. Kaapelin valintaan vaikutti myös virtalähteen sulakkeiden koko. Virtajohdon tuli kestää vähintään sulakkeen suojaama virta.

TAULUKKO 1. Maksimi virta (18)

Conductor	Current carrying capacity		Voltage drop	
C.S.A.	single phase a.c.	three phase a.c.	single phase a.c.	three phase a.c.
mm^2	A	A	mV/A/m	mV/A/m
0.5	3	3	93	80
0.75	6	6	62	54
1.0	10	10	46	40
1.25	13	-	37	-
1.5	16	16	32	27
2.5	25	20	19	16
4	32	25	12	10

Above ratings are based on ambient of 30°C

4.6 Komponenttikotelon päivitys

Walker Backpackin komponenttikotelo sisältää virtalähteen, akuston ja latauksenohjainyksikön. Tilan säästämiseksi komponenttikotelon päivitys on ajankohtainen. Tässä työssä ei päivitetä kotelon sisäisiä komponentteja. Komponenttikotelon pienentäminen korkeussuunnassa ei ole mahdollista sen sisällä olevien komponenttien ja kaapeleiden takia. Koteloa voidaan kaventaa, jos virtakytkin siirretään vastakkaisesta kulmasta latausportin luokse. Tästä ei kuitenkaan ole merkittävää hyötyä.

Että reppuun mahtuisi uusimmat tuetut skannerikonfiguraatiot ja kaikki kuusi NIDIä, täytyi vanhat kahdentoista voltin tupakansytytinpistorasiat korvata toisenlaisilla liittimillä. Uudeksi liitintyypiksi valittiin Molexin valmistama Mini-fit Jr. -liitin. Niiden fyysinen koko on huomattavasti pienempi kuin vanhoilla tupakansytytinpistorasioilla. Mini-fir Jr. -liittimet valittiin niiden virrankeston, koon ja edullisuuden vuoksi. Saman sarjan liittimiä löytyy jo valmiiksi laitteen virtalähteestä.

Samalla päätettiin päivittää muitakin komponenttikotelon liittimiä. Myös NIDIen, USB-jakajien ja Ethernet-kytkimen virtaliittimiksi valikoitui Mini-fit Jr. Pienemmän virrantarpeen takia tuulettimille valittiin Molexin Micro-fit sarjainen liitin. Kuvaan 15 on koostettu kaikki valitut Molex-liittimet.

KUVA 15. Valitut Molex-liittimet (19, muokattu)

Liittimiä valittaessa tärkein kriteeri oli niiden virrankesto. Virrankesto saatiin selville valmistajan dokumenteista. Mini-fit Jr. -sarjaisen liittimen yksi piiri kestää 9 A virtaa (20). Käytännössä ne noudattavat samoja perusteita, joita käytettiin kaapelinvalinnassa. Jokaiselle laitetyypille valittiin erilainen liitin, koska osa virtalähteen jännitelähteistä on reguloimattomia, mikä voi aiheuttaa ongelmia tiettyjen laitteiden kanssa. Liitinten erilaisuus tekee väärinkytkennän mahdottomaksi.

5 REPPURUNGON LUJUUSTARKASTELU

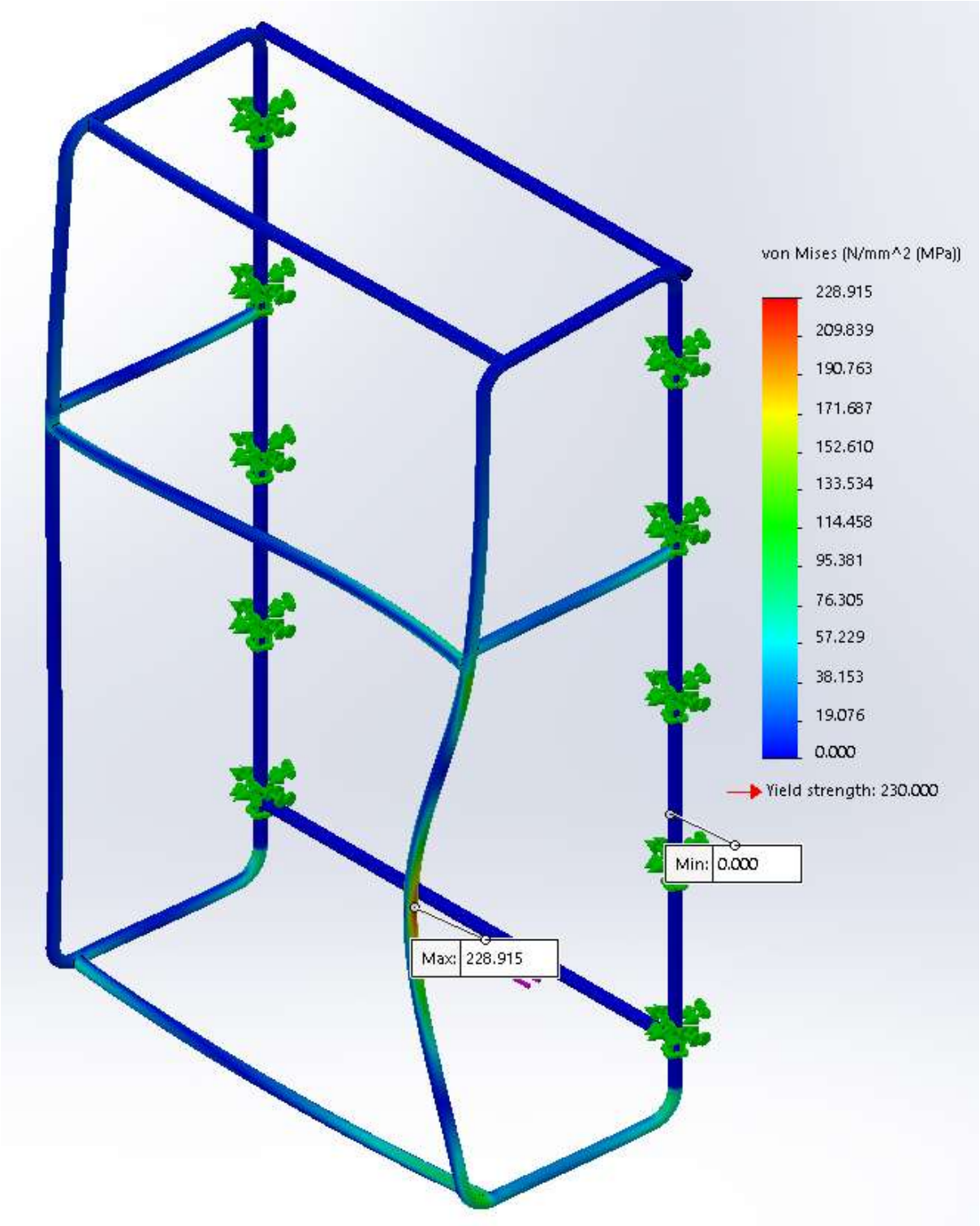
Tilanpuutteen vuoksi reppurungosta piti poistaa yksi runkoa tukevista palkeista. Palkin poistaminen heikentää rungon rakennetta, koska suurin jännitys syntyy, kun kuorma on mahdollisimman kaukana tukipisteistä. Kun repputungosta poistetaan yks poikkipalkeista, syntyy sen kohdalle pisin tukematon tanko. Todennäköisimpiä reppurunkoa vahingoittavia tilanteita ovat sen jääminen puristuksiin, siihen nojaaminen tai sen päällä istuminen.

Todellisuudessa myös repun ulkokangas ja NIDIen kiinnitykseen käytettävät DIN-kiskot tukevat rakennetta. Vanha puhelimienkiinnitysalustakin tukee rakennetta, vaikka se ei ole yhtä jäykkä kuin NIDIen kiinnitys.

5.1 Lujuustarkastelu elementtimenetelmällä

Lujuustarkasteluun käytettiin SolidWorksin Simulation-työkalua. Sovelluksella mallinnettiin uutta ja vanhaa reppurunkoa vastaavat mallit. Rungot ovat kahdeksan millimetrin tankoa. Tangon materiaali on alumiini EN AW-6082 T5. Se on luja alumiini, jolla on hyvä korroosionkesto ja hitsattavuus (21, s. 1098). Sen myötölujuus on 230 MPa (22, s. 9). Lujuustarkastelussa käytettiin FFEPlus-ratkaisijaa. Materiaalin siirtymäalueiden esiintuomiseksi simulaatioissa käytettiin large displacement -asetusta, joka näyttää siirtymät suurempina kuin ne oikeasti ovat. Todellisuudessa siirtymät ovat millimetrien luokkaa.

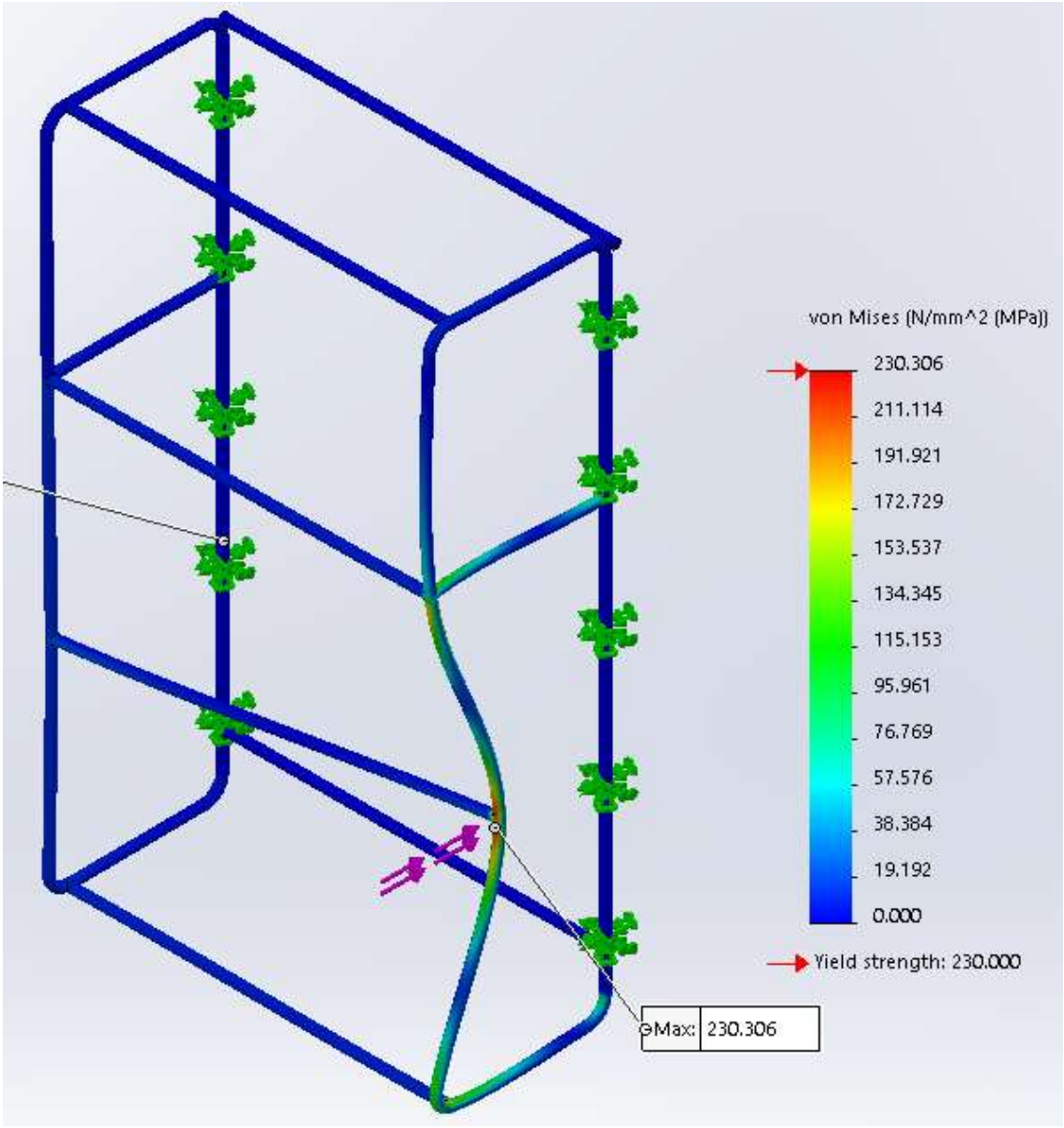
Tutkittavaan runkoon lisättiin kuormitusalueita, joiden avulla vertailtiin runkojen heikkoja kohtia keskenään. Kaikki kuormitukset olivat staattisia. Voimaa lisättiin, kunnes materiaalin myötöraja saavutettiin. Kuvassa 16 reppurunkoon kohdistuu sivusta 200 N:n voima. Jos voima olisi suurempi, tankoon tulisi pysyviä muodonmuutoksia. Maksimisiirtymä on 8 mm. Suurin jännitys oli voiman kohdalla.



KUVA 16. Uuden rungon kestävyys 1

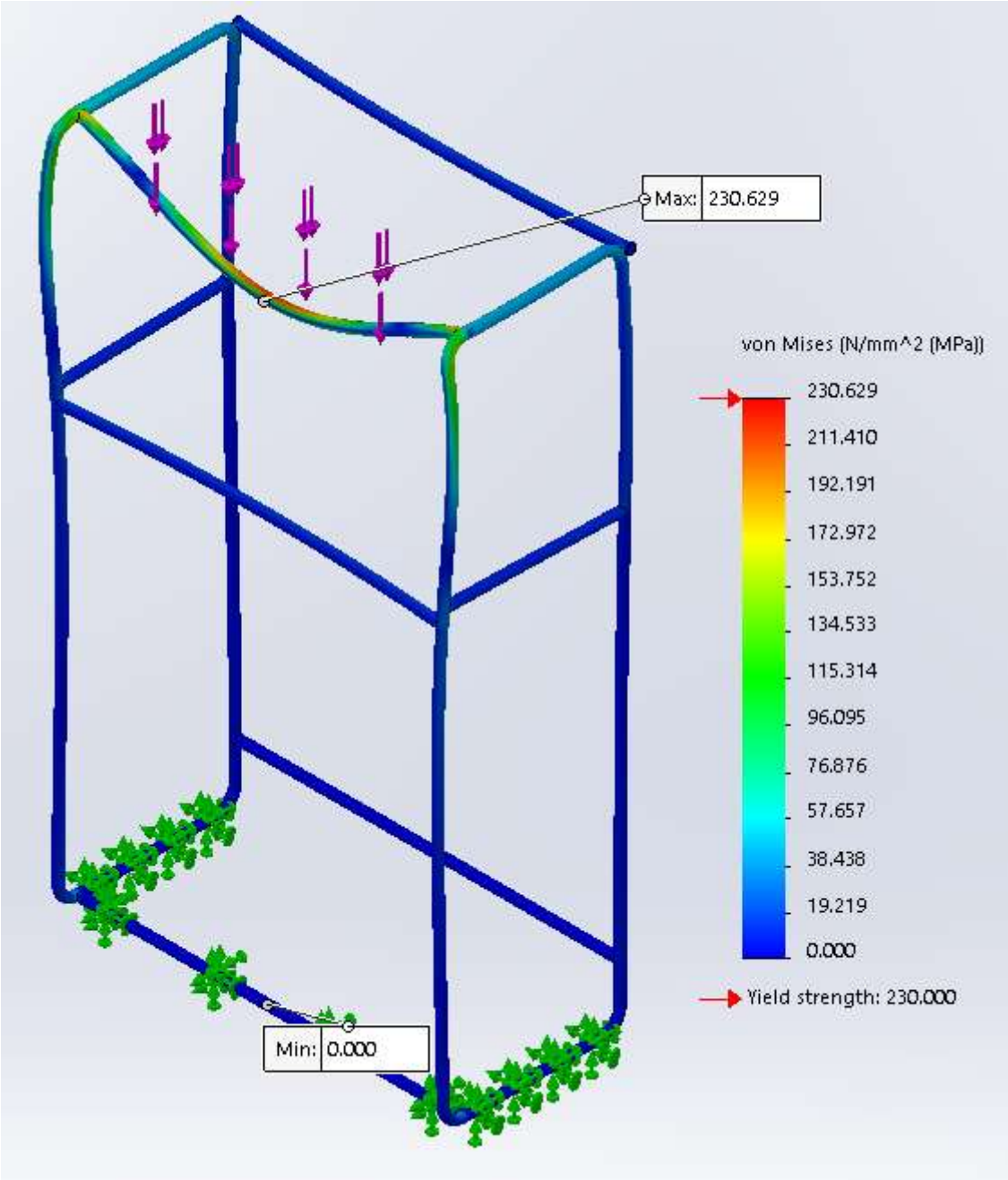
Kuvassa 17 vanhaan runkoon kohdistuu 235 N:n voima edestä. Voiman suuntaa on vaihdettu heikoimman kohdan löytämiseksi. Siirtymä voiman kohdalla on noin

6 mm. Ero vanhan reppurungon hyväksi tällä kuormitusalueella on noin 35 N. Suurin jännitys oli voiman kohdalla.



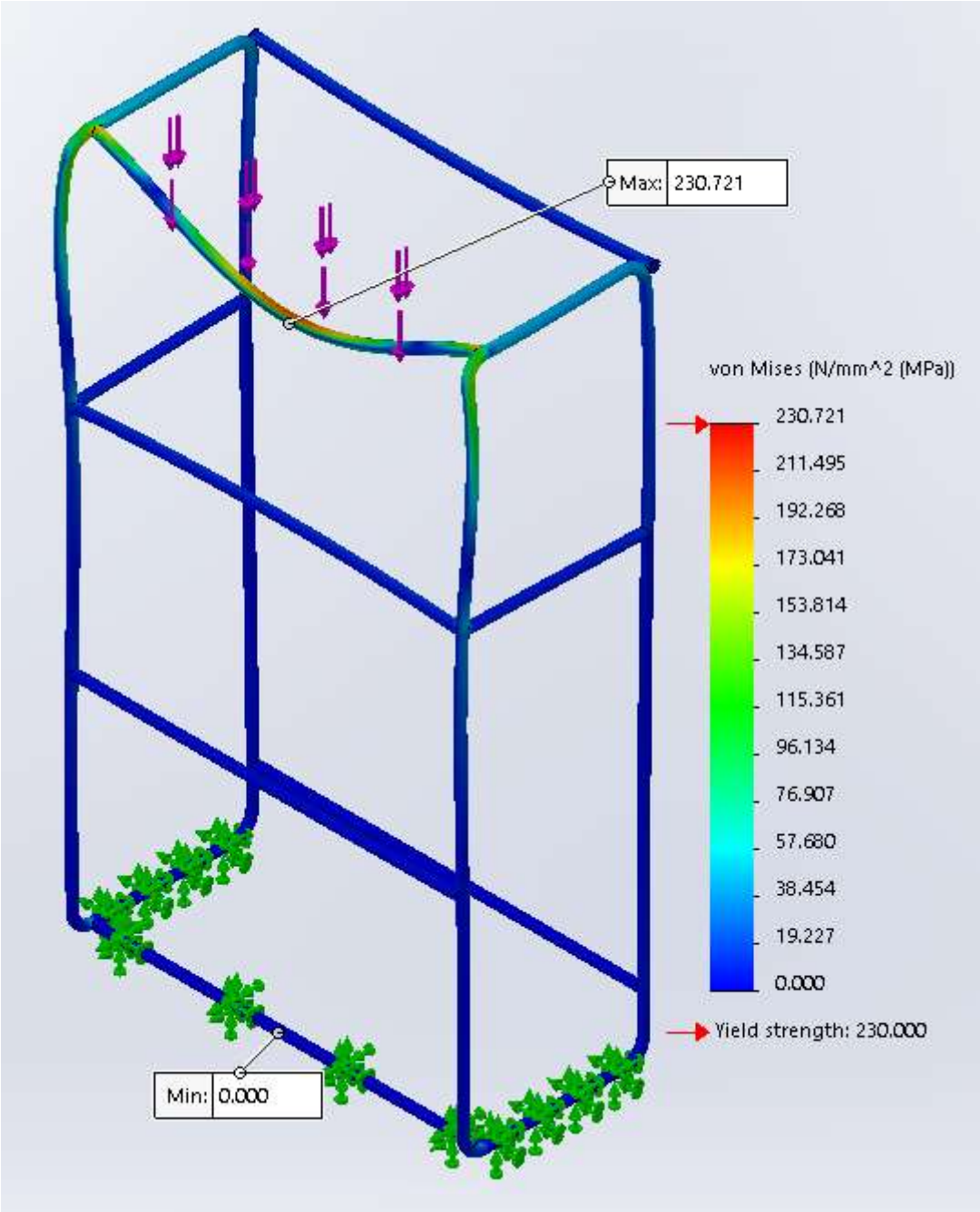
KUVA 17. Vanhan rungon kestävyys 1

Kuvassa 18 tutkittiin uuden rungon kestävyyttä ylhäältäpäin tulevaa kuormaa vastaan. Tällainen tilanne voi olla mahdollinen, jos repun päälle lastataan tavaraa tai joku istuu sen päälle. Myötöraja saavutettiin 415 N:n kohdalla. Siirtymä on noin 7 mm. Suurin jännitys oli voiman kohdalla.



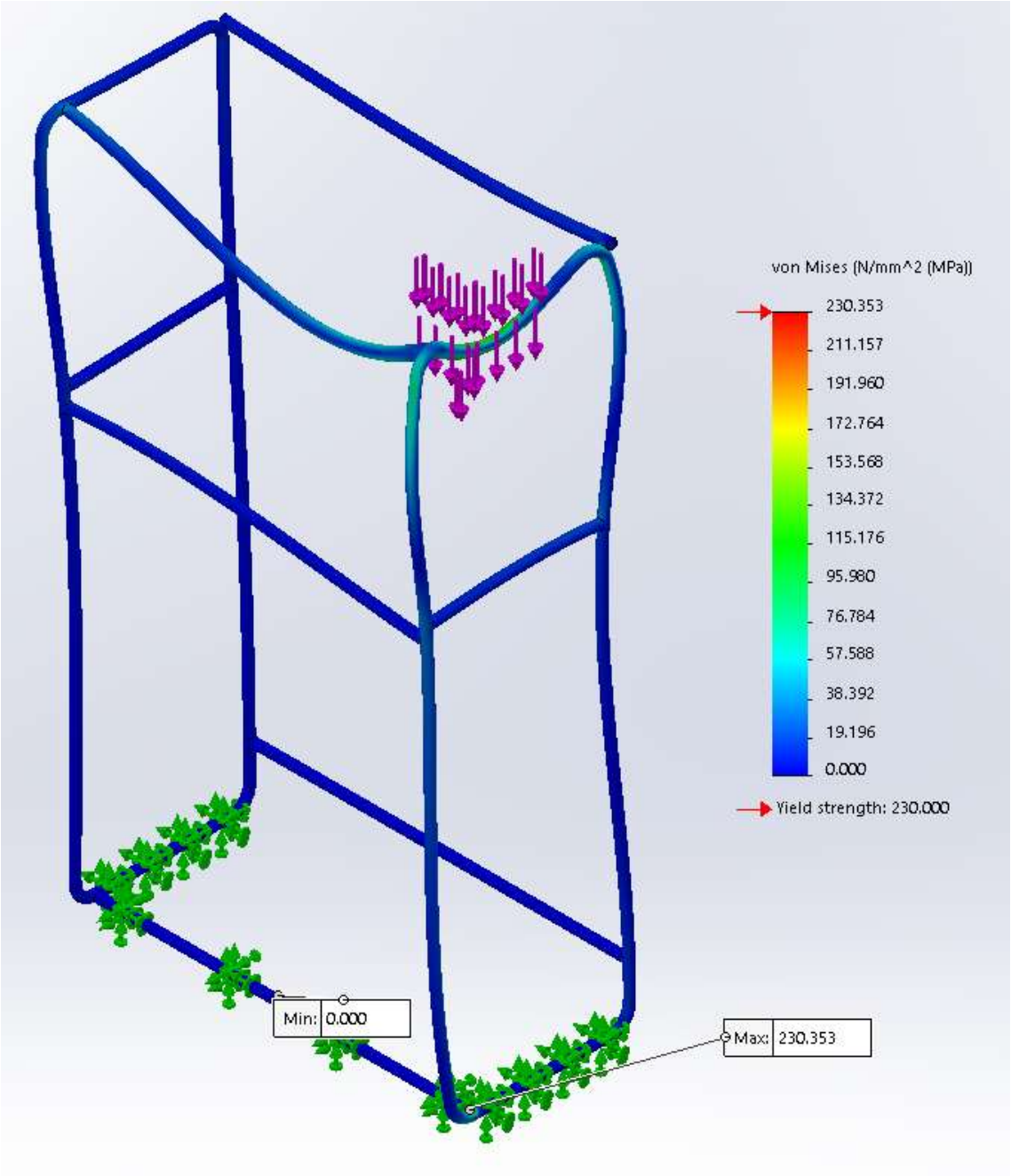
KUVA 18. Uuden rungon kestävyys 2

Kuvassa 19 vanhan reppurungon kestävyyttä testattiin samalla kuormitusalueella kuin kuvassa 18. Myötöraja saavutettiin 420 N:n kohdalla. Siirtymä oli noin 7 mm. Ero vanhan reppurungon hyväksi tällä kuormitusalueella on noin 5 N. Suurin jännitys oli voiman kohdalla.



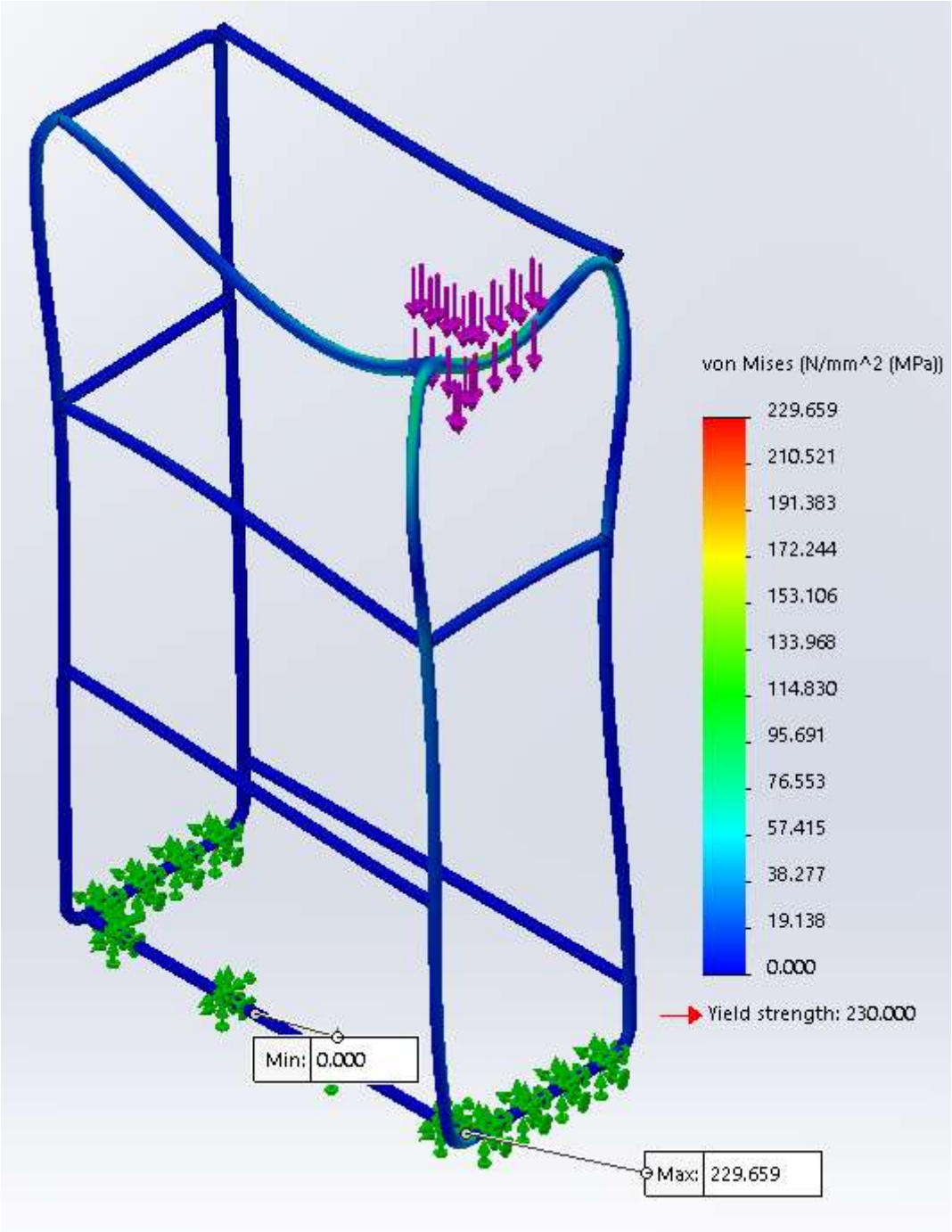
KUVA 19. Vanhan rungon kestävyys 2

Kuvassa 20 kuormitettiin uuden reppurungon ylänurkkaa. Reppurunko myötää, kun voima oli yli 320 N. Maksimi siirtymä oli alle 2 mm. Suurin jännitys oli reppurungon alanurkassa.



KUVA 20. Uuden rungon kestävyys 3

Kuvassa 21 kuormitettiin vanhan reppurungon ylänurkkaa. Reppurunko alkoi myötää, kun voima oli yli 322 N. Maksimi siirtymä oli alle 2 mm. Uuden ja vanhan repun kestävyysero oli noin 2 N vanhan rungon hyväksi. Suurin jännitys oli reppurungon alanurkassa.



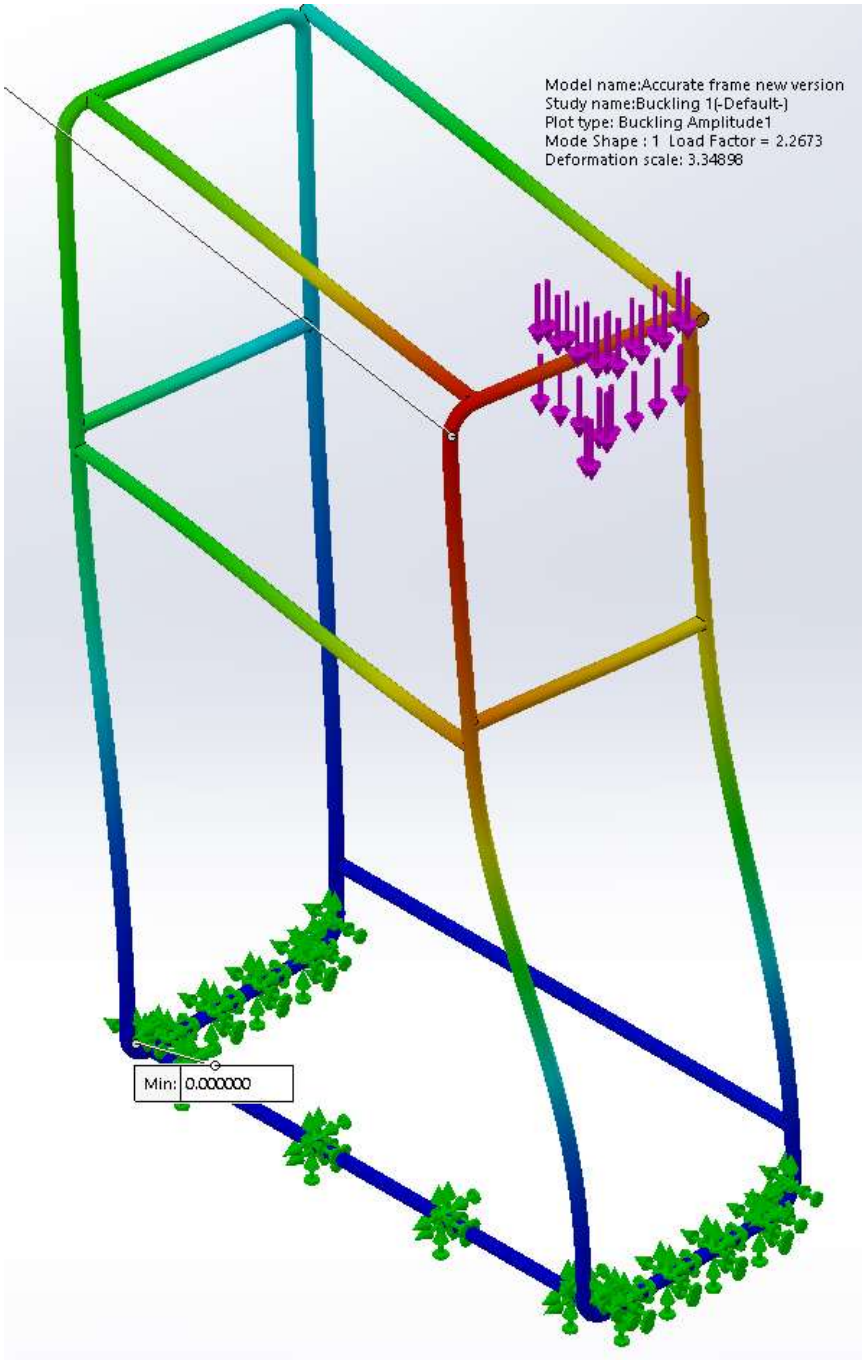
KUVA 21. Vanhan rungon kestävyys 3

5.2 Nurjahdusvoiman tarkastelu

Nurjahdus on tapahtuma, jossa aksiaalisesti keskeisesti kuormitettu kappaleen tasapaino muuttuu stabiilista labiiliksi. Stabiilin ja labiilin rajaa kutsutaan indiffe-

rentiksi. Kun aksiaalisesti keskeisesti kuormitetun kappaleen kuormitusta kasvatetaan hitaasti, lähenee se indifferenssin rajaa. Kun raja saavutetaan, kappaleen kuormitusarvo on kriittinen ja nurjahdus tapahtuu. (23, s. 3).

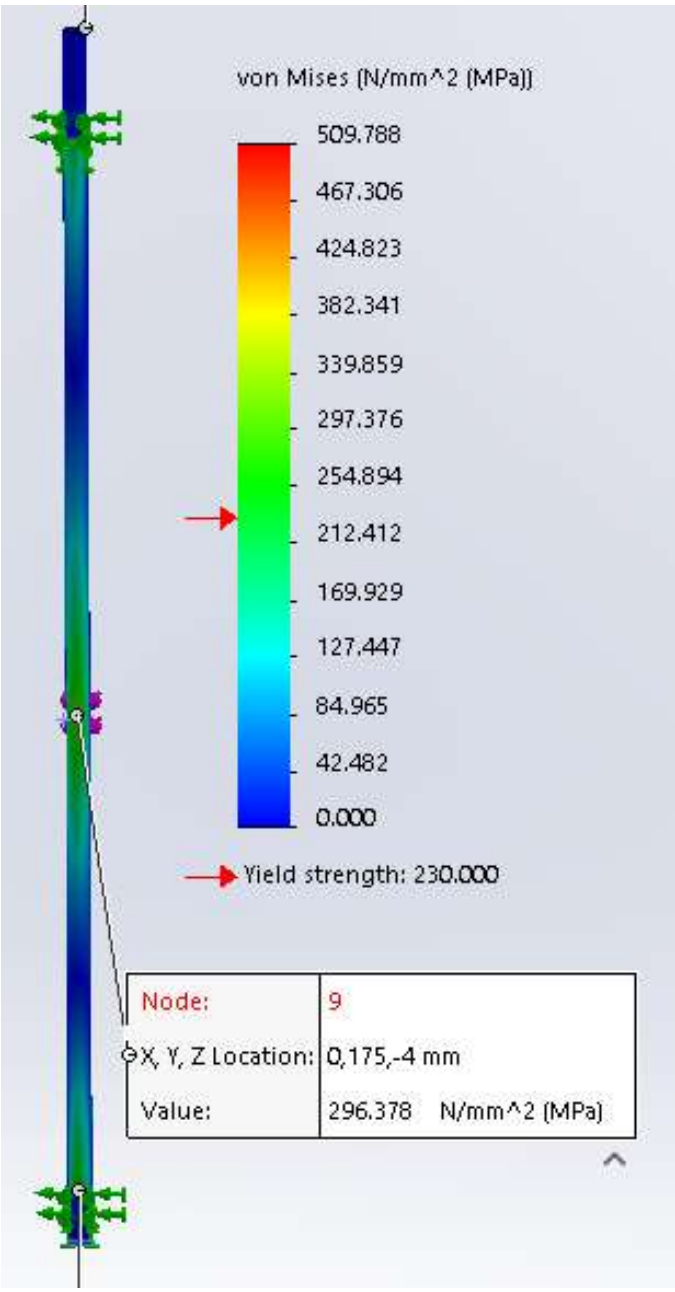
Kuvassa 22 tutkittiin nurjahduskerrointa käyttämällä samaa voimaa ja kuormitusaluetta kuin kuvassa 20. Load factor -kerroin on yli yksi, eikä nurjahdusta tapahdu.



KUVA 22. Repun nurjahduskerroin

5.3 Lujuustarkastelu laskemalla

Simulaation luotettavuuden varmistamiseksi tehtiin taivutussimulaatio pelkälle tangolle. Leikkausjännitystä ei otettu huomioon, koska se syntyi kiinteiden tukipisteiden kohdalle. Todellisuudessa reppurunko on joustava, eli myös tangon tukipisteet joustavat, eikä samanlaista leikkausjännitystä synny. Suurin taivutusjännitys syntyi tangon keskelle, joka näkyy kuvassa 23. 200 N:n voima tuottaa on noin 296 MPa:n taivutusjännityksen.



KUVA 23. Tangon taivutus

Taivutusjännityksen laskemiseen käsin käytettiin KAAVOJA 3, 4 ja 5. Kaavan 1 avulla voidaan laskea tankoon kohdistuva momentti (21, s. 319).

$M = q*c*d/L*(a+cd/2L)$ *KAAVA 3*

M = momentti (Nm)

q = voiman tiheys

c = voiman vaikutusalue (m)

L = kappaleen pituus (m)

a = tukipisteen A lyhyin matka voiman vaikutusalueelle (m)

b = Tukipisteen A pisin matka voiman vaikutusalueelle

Kaavalla 2 voidaan laskea tangon taivutusvastus (21, s. 308).

$W = (\pi*(2r)^3)/32$ *KAAVA 4*

W = taivutusvastus (m^3)

r = tankoprofiilin säde (m)

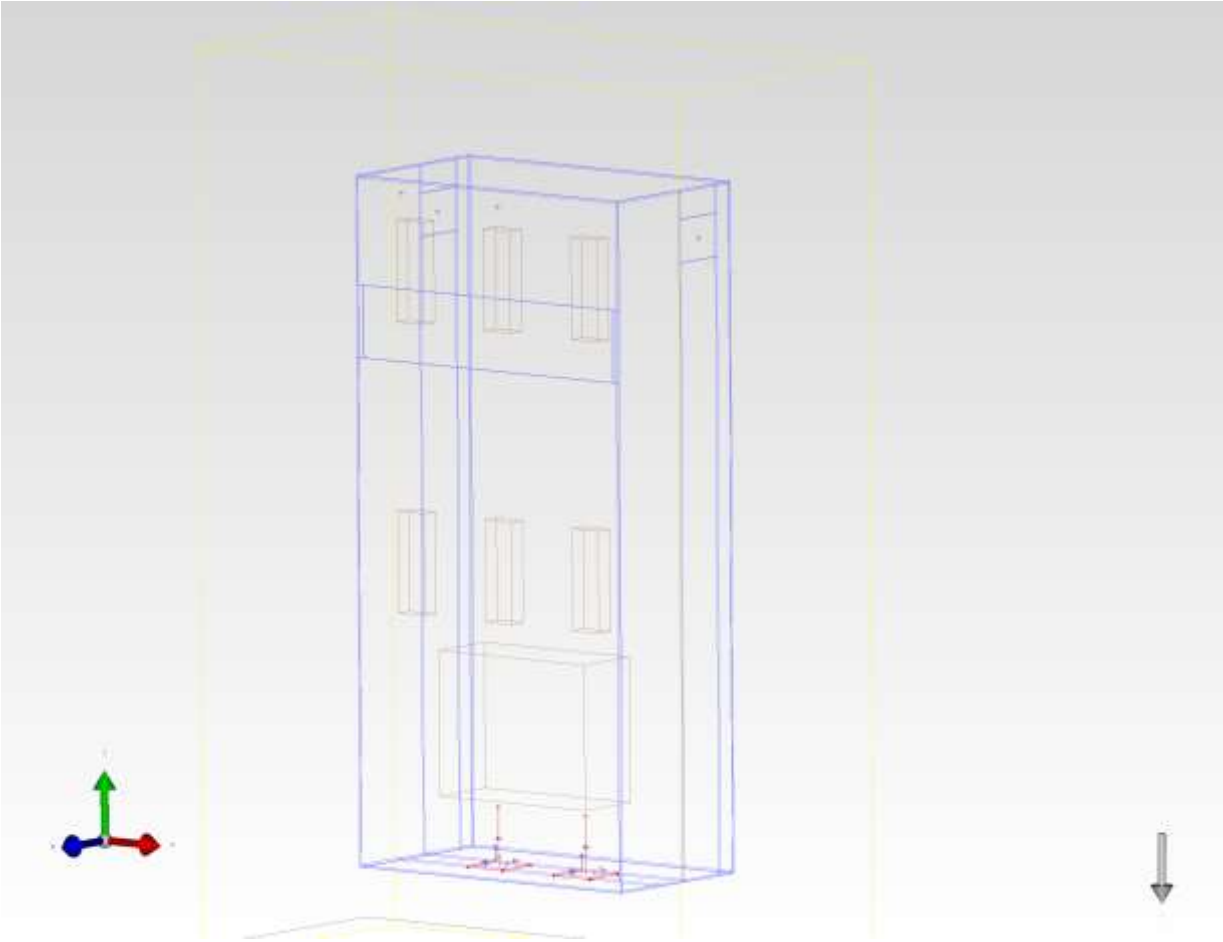
Maksimimomentin ja taivutusvastuksen arvot sijoitetaan kaavaan 3, jonka avulla saadaan selville maksimijännitys taivutuksessa (21, s. 271).

$\sigma = M/W$ *KAAVA 5*

Sijoittamalla arvot kaavoihin tulokseksi saadaan noin 340 MPa, joka ylittää simulaation arvion noin 40 MPa:lla. Tukipisteiden jäykkyys ja niiden tankoon aiheuttama leikkausjännitys vaikuttivat todennäköisesti simulaation tulokseen.

6 VIRTAUS- JA LÄMPÖTILA-ANALYYSI

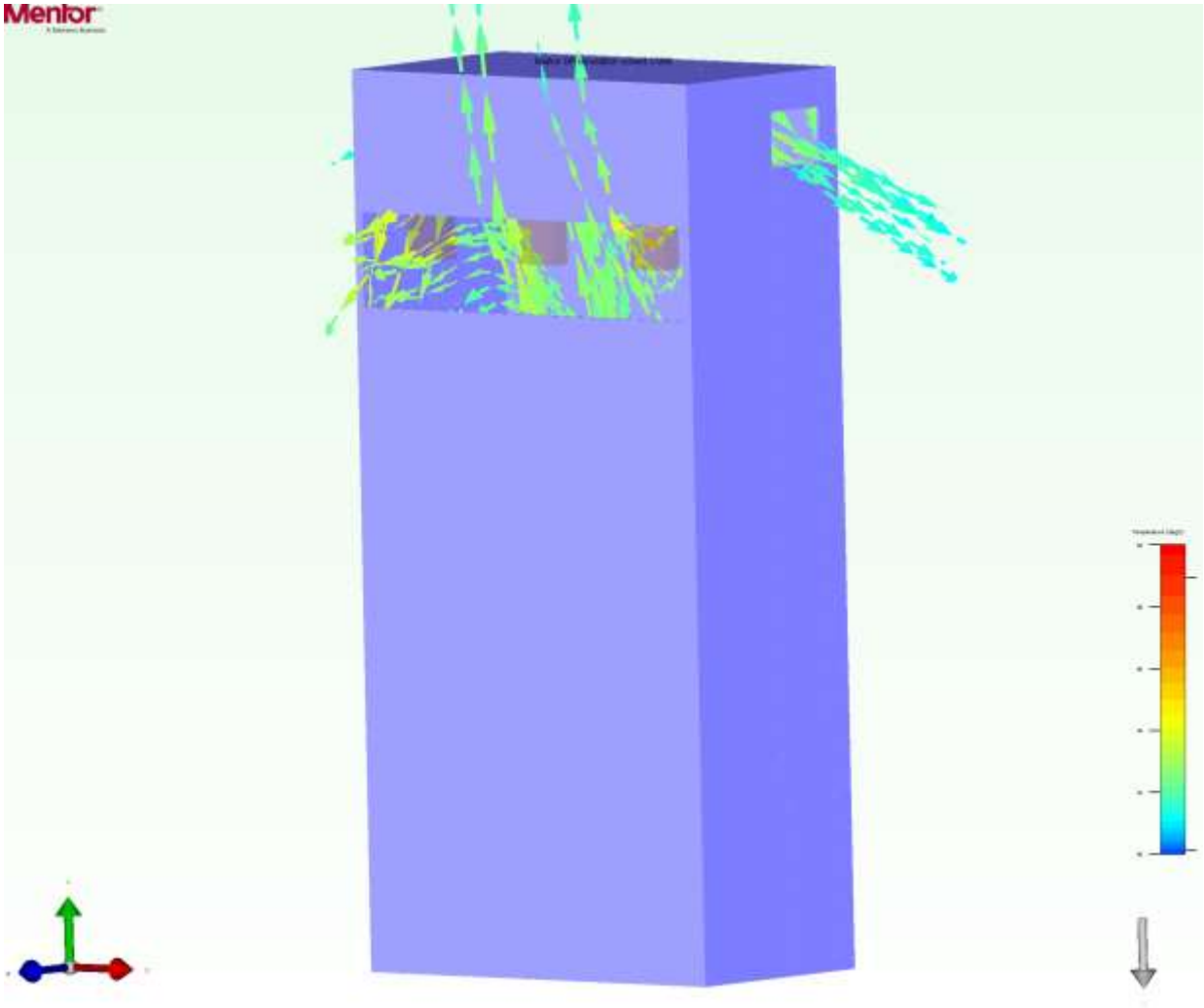
Työssä tehtiin virtaus- ja lämpötila-analyysi reppurungolle. Lämpötila-analyysi oli tarpeellinen uusien mittauslaitekonfiguraatioiden takia. Analyysissä käytettiin FloTherm-ohjelmistoa. Ohjelmistolla mallinnettiin reppua ulkomitoiltaan vastaava laatikko. Laatikon sisälle mallinnettiin kuusi NIDIä. Yhden NIDIn virrankulutus on maksimissaan kymmenen wattia. Lisäksi malliin sijoitettiin yksi 90 W:n lämmönlähde, joka kuvaa muiden mittauslaitteiden virrankulutusta. Kuvassa 24 on FloThermillä tehty reppumalli. Repun seinät on merkattu sinisellä. Ruskeat osat ovat lämmönlähteitä. Tuulettimet näkyvät repun alalaidassa punaisella.



KUVA 24. Repun FloTherm-malli

6.1 FloTherm-simulaation asetukset

Simulaatioissa ei otettu huomioon reppukankaan lämmönsiirtoa tai ultraviolettisäteilyä. Mallilla haluttiin testata tuulettimien ja ilmanvaihtokanavien riittävyyttä. Simulaatiolla haluttiin todistaa, että tuulettimet kykenevät tuottamaan tarpeeksi suuren positiivisen paineen reppuun, että lämmin ilma poistuu tehokkaasti repun yläosassa sijaitsevista ilmanvaihtokanavista (kuva 25).



KUVA 25. Virtaukset repusta

6.2 Simulaation tulokset

Uusien mittauslaitteiden teho on yhteensä noin 150 W täydellä kuormalla. Analyysissä käytettiin Worst case -tekniikkaa, eli ympäristön lämpötilaksi oletettiin 40 °C. Monet mittalaitteet kestävät jopa 70 °C, mutta esimerkiksi puhelimien suorituskyky heikkenee ympäristön lämpötilan ylittäessä 35 °C (24). Kantorepun tuulettimien virtausmäärä on 47 cfm eli noin 80 kuutiometriä tunnissa. Taulukossa 2 on simulaation tulokset. Perusprojektin lisäksi taulukossa on kahdeksan eri skenaariota, joissa tuulettimien virtausmäärää pudotetaan noin viidellä cfm:llä.

TAULUKKO 2. Simulaatiotulokset lämpötilalle

	Base Project	Scenario 1	Scenario 2
Fan 1 & 2: Open Volume Flow Rate (cfm)	2x47	2x42	2x37
Hole temperature: Temperature (°C)	42.5838	41.88833	42.65768
Enclosure top: Temperature (°C)	45.21828	44.06775	44.57505
Enclosure lower: Temperature (°C)	41.83299	44.21462	44.83695
Enclosure upper corner: Temperature (°C)	43.04803	42.57143	43.83194
Hole temperature 2: Temperature (°C)	42.00824	42.41667	42.20487
Average	42.938268	43.03176	43.621298
	Scenario 3	Scenario 4	Scenario 5
Fan 1&2: Open Volume Flow Rate (cfm)	2x32	2x27	2x22
Hole temperature: Temperature (°C)	43.27235	43.81945	44.76485
Enclosure top: Temperature (°C)	47.33514	46.28718	50.64851
Enclosure lower: Temperature (°C)	42.27025	46.86633	43.12809
Enclosure upper corner: Temperature (°C)	44.30434	45.33062	46.3315
Hole temperature 2: Temperature (°C)	43.39913	42.94248	44.91094
Average	44.116242	45.049212	45.956778
	Scenario 6	Scenario 7	Scenario 8
Fan 1&2: Open Volume Flow Rate (cfm)	2x17	2x12	2x6
Hole temperature: Temperature (°C)	49.31055	53.55408	64.83533
Enclosure top: Temperature (°C)	54.39178	59.84524	73.04084
Enclosure lower: Temperature (°C)	44.80166	45.41755	50.28466
Enclosure upper corner: Temperature (°C)	48.17571	51.82758	73.06687
Hole temperature 2: Temperature (°C)	46.52069	49.91553	64.22705
Average	48.640078	52.111996	65.09095

7 YHTEENVETO

Tässä työssä päivitettiin Nemo Walker Backpack -kantoreppu yhteensopivaksi uuden tuotteen, NIDIn, kanssa. Työn toimeksiantaja oli Keysight Technologies.

NIDIen sovittelun jälkeen oli selvää, että niitä mahtuisi reppuun vain kuusi. NIDit on suunniteltu kiinnitettäväksi DIN-kiskolla, mikä vie paljon tilaa. Tästä syystä repun sisätilankäyttöä optimoitiin. Suurin tilansäästö saatiin, kun skannereiden virtaliittimet vaihdettiin Molex Mini-fit Jr. -liittimiin. Lisäksi USB-jakajien kiinnitys vaihdettiin vähemmän tilaa vievään ratkaisuun. Näiden muutoksien jälkeen NIDIt mahtuivat reppuun ilman rungon suurentamista.

Koska osa komponenttikotelon virtaliittimistä jouduttaisiin muuttamaan, päätettiin ne kaikki muuttaa Molex-tyyppisiin virtaliittimiin. Tämä ratkaisu helpottaa kokoonpanoa ja huoltoa, koska nyt muut komponentit voidaan liittää komponenttikoteloon helposti sen asennuksen jälkeen.

Lisääntyneen lämmöntuonnin takia repun lämmönsiirtoa haluttiin tutkia lisää. Tuulettimien teho todettiin riittäväksi FloTherm-ohjelmiston avulla. Simulaatioiden mukaan tuulettimien virtausmäärä riittää helposti korvaamaan repussa olevan ilman ennen kuin komponenttien lämpötila nousee liikaa.

Prototyypin testaus ei ehtinyt tähän työhön. Prototyypin osat tilataan myöhemmin ja sen lämmönsiirto testataan testikammiossa. Lisäksi testataan repun kokoonpantavuus.

Tulevaisuudessa voisi olla järkevää suurentaa reppua. Jos repun leveyttä ja syvyyttä kasvatettaisiin 10 %, mahtuisi reppuun enemmän erilaisia mittauslaitekonfiguraatioita. Lisääntynyt massa ja koko saattaisivat huonontaa repun käyttömukavuutta, mutta voisi olla parempi antaa asiakkaalle mahdollisuus valita haluamansa konfiguraatio. Lisäksi ylimääräinen tila repussa helpottaa sen huoltoa ja mittauslaitteiden asentamista.

LÄHTEET

1. About Keysight. 2019. Keysight Technologies. Saatavissa: https://www.keysight.com/us/en/about.html. Hakupäivä 12.1.2019.

2. Nemo Wireless Network Solutions. 2019. Keysight Technologies. Saatavissa: https://www.keysight.com/en/pc-2767981/nemo-wireless-network-solutions?nid=-32104.0.00&lc=fin&cc=FI. Hakupäivä 12.1.2019.

3. Parametric vs Direct Modeling: Which is better? 2018. Sharp3D. Saatavissa: https://support.shapr3d.com/hc/en-us/articles/115001425653-Parametric-vs-Direct-Modeling-Which-is-better-. Hakupäivä 5.2.2019.

4. Alba, Michael 2018. What's the Difference Between Parametric and Direct Modeling? Engineering.com. Saatavissa: https://www.engineering.com/DesignSoftware/DesignSoftwareArticles/ArticleID/16587/Whats-the-Difference-Between-Parametric-and-Direct-Modeling.aspx. Hakupäivä 5.2.2019.

5. Computer-aided engineering. 2019. Wikipedia. Saatavissa: https://en.wikipedia.org/wiki/Computer-aided_engineering. Hakupäivä 16.2.2018.

6. Rao, Singiresu S. 2005. The finite element method in engineering. Neljäs uudistettu painos. Amsterdam; Boston, MA: Elsevier/Butterworth Heinemann.

7. Finite Element Mesh Refinement. 2017. Comsol. Saatavissa: https://www.comsol.com/multiphysics/mesh-refinement. Hakupäivä 31.3.2019.

8. Mesh Control Examples. 2019. Dassault Systèmes. Saatavissa: http://help.solidworks.com/2017/english/solidworks/cworks/c_Mesh_Control_Examples.htm. Hakupäivä 31.3.2019.

9. Zardadkhan, Irfan 2013. Which Solver? FFEPlus vs. Direct Sparse – PART 1. Javelin. Saatavissa: https://www.javelin-tech.com/blog/2013/01/which-solver-ffeplus-vs-direct-sparse-part-1/. Hakupäivä 4.2.2018.

10. Zardadkhan, Irfan 2013. Which Solver? FFEPlus vs. Direct Sparse – PART 2. Javelin. Saatavissa: https://www.javelin-tech.com/blog/2013/05/which-solver-ffeplus-vs-direct-sparse-part-2-video/. Hakupäivä 4.2.2018.

11. What is CFD | Computational Fluid Dynamics? 2017. SimScale. Saatavissa: https://www.simscale.com/docs/content/simwiki/cfd/whatiscfd.html. Hakupäivä 31.3.2019.

12. Technical specifications. Mentor. Saatavissa: https://www.mentor.com/products/mechanical/flotherm/flotherm/technical-specifications. Hakupäivä 31.3.2019.

13. Nemo Intelligent Device Interface 5G NR Drive Test and Benchmarking Solution. 2019. Keysight Technologies. Saatavissa: https://www.keysight.com/en/pd-2981067/nemo-intelligent-device-interface-5g-nr-drive-test-and-benchmarking-solution?nid=-32104.1261597&cc=FI&lc=fin. Hakupäivä 31.3.2019.

14. DIN rail. 2019. Wikipedia. Saatavissa: https://en.wikipedia.org/wiki/DIN_rail. Hakupäivä 31.3.2019.

15. Voltage drop. 2019. Wikipedia. Saatavissa: https://en.wikipedia.org/wiki/Voltage_drop. Hakupäivä 31.3.2019.

16. Ominaisvastus. 2019. Wikipedia. Saatavissa: https://fi.wikipedia.org/wiki/Ominaisvastus. Hakupäivä 31.3.2019.

17. Tekniikan kaavasto. 2015. 14. painos. Tampere: Tammertekniikka.

18. Current ratings. AEI Cables. Saatavissa: http://www.aeicables.co.uk/literature/CurrentRatings.pdf. Hakupäivä 31.3.2019.

19. Power Connectors. 2019. Molex. Saatavissa: https://www.molex.com/molex/products/group?key=power_connectors&channel=products. Hakupäivä 31.3.2019.

20. Mini-Fit Family Power Connectors. 2019. Molex. Saatavissa: https://www.molex.com/molex/products/family?key=minifit_power_connector_solutions&channel=products&chanName=family&pageTitle=Introduction. Hakupäivä 17.2.2018.

21. Valtanen, Esko 2013. Tekniikan taulukkokirja. 20. painos. Genesis-Kirjat.

22. Profiilisuunnittelun käsikirja. 2014. Purso. Saatavissa: http://www.purso.fi/files/8314/3134/9277/purso_profiilisuunnittelun_kasikirja.pdf. Hakupäivä 31.3.2019.

23. Kuula, Kai 2018. Lujuusoppi. OAMK. Saatavissa: http://www.oamk.fi/~kaik/opiskelijat/LUJU/LUJU-L9.pdf. Hakupäivä 31.3.2019.

24. Keep Your Phone at Its Normal Operating Temperature. 2019. Samsung. Saatavissa: https://www.samsung.com/us/support/answer/ANS00076952/. Hakupäivä 10.4.2019.