Jarno Juntunen

Jousenkiinnityksen ja jouston-rajoituksen yhdistävän osan suunnittelu

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Ajoneuvotekniikka

Insinöörityö

23.11.2022

Tiivistelmä

Tekijä:	Jarno Juntunen
Otsikko:	Jousenkiinnityksen ja joustonrajoituksen yhdistävän osan suunnittelu
Sivumäärä:	22 sivua
Aika:	23.11.2022
Tutkinto:	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma:	Ajoneuvotekniikka
Ammatillinen pääaine:	Ajoneuvosuunnittelu
Ohjaajat:	Osaamisaluepäällikkö Pekka Hautala Manager, Product Design Juha Pääskyvuori, Patria, Land Operations

---

Tässä työssä suunniteltiin Patria 6x6-ajoneuvon kierrejousen yläkiinnityksen ja joustonrajoituksen yhdistävästä osasta uusi versio. Uudesta osasta haluttiin tehdä nykyistä kevyempi, helpompi pintakäsitellä ja asentaa, minkä lisäksi sen mittatarkkuutta parannettiin.

Apuna suunnittelussa käytettiin elementtimenetelmällä suoritettua lujuustarkastelua. Tarkastelun tulosten perusteella osan rakenteita kehitettiin eteenpäin.

Työn tuloksena syntyi 3D-malli osasta, joka suurimmalta osin täyttää sille annetut vaatimukset. Mallin pohjalta suunnitteluprosessi voidaan viedä loppuun.

Avainsanat: jousenkiinnike, joustonrajoitin, suunnittelu

Abstract

Author:	Jarno Juntunen
Title:	Designing a part that combines functions of a spring mounting and bump stop
Number of Pages:	22 pages
Date:	23 November 2022
Degree:	Bachelor of Engineering
Degree Programme:	Automotive Engineering
Professional Major:	Automotive Design Engineering
Supervisors:	Pekka Hautala, Head of School Juha Pääskyvuori, Manager, Product Design, Patria, Land Operations

---

A new version of a part that combines functions of a coil spring mounting and bump stop in Patria 6x6 vehicle was designed during this thesis work. The new version of the part should be lighter, easier to paint and install. The measuring accuracy should be also improved.

Strength calculations which were carried out using finite elemental method was used to help in the designing process. Development of the structures of the part was based on the results of calculations.

As a result of the thesis a 3D model was created that mostly meets the requirements that were set for it. Based on the 3D model, the designing process can be completed.

Keywords: coil spring mounting, bump stop, designing

Sisällys

Lyhenteet

1 Johdanto 1

2 Pyörän tuenta ja osan sijainti 2

3 Nykyinen osa ja tavoitteet uudelle osalle 4

3.1 Nykyinen osa 4
3.2 Tavoitteet 6

4 Mitoitusperusteet 6

4.1 Kuormat 6
4.2 Materiaalitiedot 6
4.3 Massa 7

5 Lujuustarkastelu 7

6 Uuden osan hahmottelu 8

6.1 Parannusehdotus 8
6.2 Ensimmäinen versio 10
6.3 Toinen versio 10
6.4 Kolmas versio 12

7 Rakenteen optimointi 13

7.1 Osan kevennys 13
7.2 Joustonrajoittimen rakenteen jäykistäminen 14

8 Osan vaikutus ajoneuvon koriin 16

9 Jännitykset jousenkiinnikkeessä ja singulariteetti 18

9.1 Jännitykset jousenkiinnikkeessä 18
9.2 Singulariteetti 19

10 Väsyminen 20

11 Jatkotoimenpiteet 21

12 Yhteenveto 21

Lähteet 23

1 Johdanto

Patria on Suomessa perustettu kansainvälinen puolustusalan yritys. Sen tuotteita on muun muassa panssaroidut pyöräajoneuvot. (1.)

Patrialla on havaittu mahdollinen painonsäästökohde 6x6-ajoneuvon kierrejousen yläkiinnityksen ja joustonrajoituksen yhdistävässä osassa. Osasta on tehty parannusehdotus, jossa uutta osaa on hahmoteltu.

Tässä työssä suunnitellaan parannusehdotuksen pohjalta uusi osa, joka suurimmalta osin täyttää sille annetut vaatimukset. Vaatimuksista tärkein on painon vähentäminen.

Suunnittelussa apuna käytetään elementtimenetelmällä suoritettuja lujuustarkasteluja. Aluksi suunnitellaan rakenne, joka mahdollistaa vaatimusten toteutumisen. Seuraavaksi rakennetta kehitetään lujuustarkastelun tulosten perusteella.

2 Pyörän tuenta ja osan sijainti

Patria 6x6 on panssaroitu pyöräajoneuvo, josta voi modulaarisesti valmistaa versioita eri käyttötarkoituksiin. Nimensä mukaan siinä on kuusi vetävää pyörää, joista kaksi ensimäistä paria ovat kääntyviä (kuva 1). Jokainen pyörä on erillisjousitettu, eli pyörän joustoliike ei vaikuta vastakkaisen pyörän asentoon. (2.)

Kuva 1. 6x6-ajoneuvo, jonka kolmesta akselista kaksi ensimmäistä ovat ohjaavia.

Pyöräntuenta on toteutettu kahdella päällekkäisellä tukivarrella, joista ylempi on lyhyempi. Tukivarret on kiinnitetty apurunkoon. Pyöräntuenta ja kiinnitykset ovat joka akselilla samanlaiset. Taka-akselilla on myös kääntyvät pyörännavat, mutta ne on lukittu tangolla apurunkoon. (Kuva 2.)

Kierrejousen alapää on kiinnitetty alempaan tukivarteen ja yläpää ajoneuvon koriin. Korissa on ruuviliitoksella kiinnike, johon jousi asettuu. Kiinnikkeen kanssa samassa kokoonpanossa on joustonrajoituselementti. Korin pinta, johon tämän

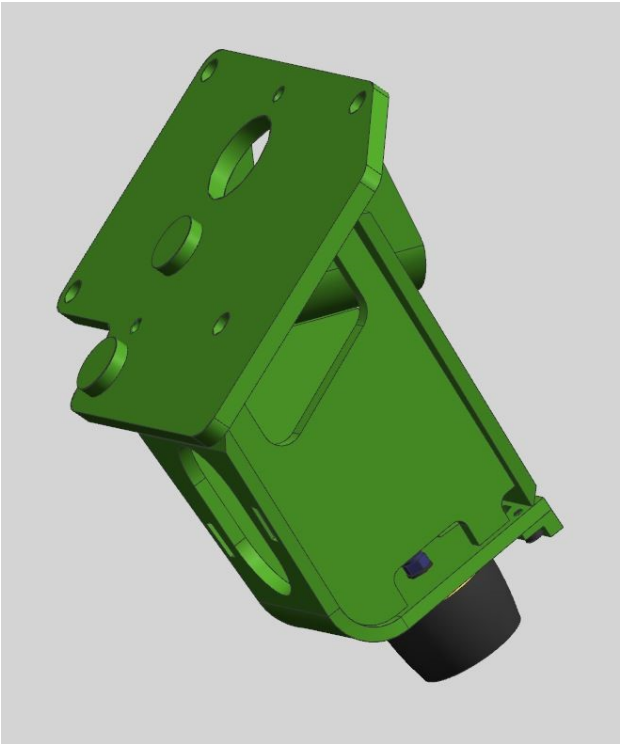
kokoonpanon muodostama osa asennetaan, on 45 asteen kulmassa vaakatasoon nähden. Tämä aiheuttaa huomattavia leikkausvoimia kiinnikkeen ja korin liitoskohtaan. (Kuva 2.)

Kuva 2. Pyöräntuennan kiinnitys koriin ja apurunkoon.

3 Nykyinen osa ja tavoitteet uudelle osalle

3.1 Nykyinen osa

Osan perustana on pohjalevy, joka asettuu ajoneuvon koria vasten. Levyssä reunoissa on neljä reikää, joista osa kiinnitetään pulteilla koriin hitsattuihin kierteellisiin holkkeihin. Ajoneuvon korin vastaisella pinnalla on kaksi nystyrää, joiden on tarkoitus ottaa vastaan liitoskohtaan syntyvät leikkausvoimat, sekä estää kiinnikettä pyörähtämästä ajoneuvon pitkittäissuunnassa (kuva 3).



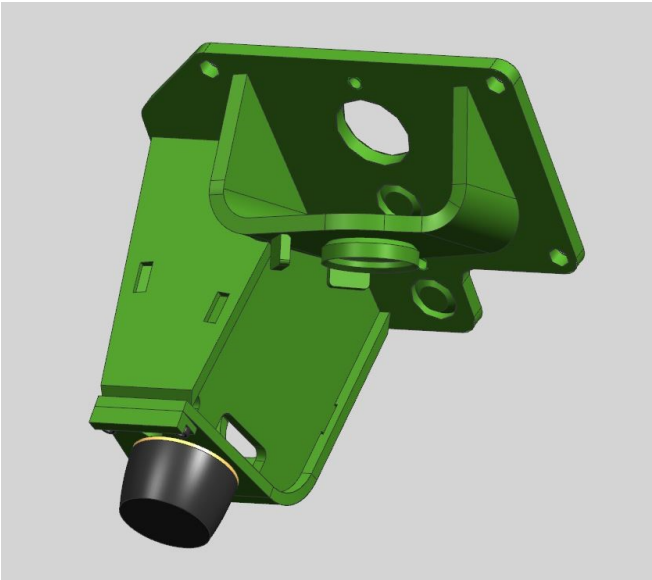
Kuva 3. Kiinnitysreiät ja nystyrät liitospinnalla.

Joustonrajoittimen runko on kotelomainen. Kotelon sisäpinnat ovat hankalat maalata. Yksi kiinnitysreistä jää kotelorakenteen sisäpuolelle, joten kokoonpanolinjalla pultin kiristäminen ei onnistu paineilmakäyttöisellä mutterinvääntimellä. Runko on lisäksi voimiin nähden turhan järeää tekoa, joten siinä on ylimääräistä massaa. (Kuva 3.)

Joustonrajoittimen päässä on ruuvikiinnityksellä pohjaanlyöntikumi sekä metallinen pysäytin. Pohjaanlyöntitilanteessa nämä ottavat kiinni ylätukivarteen ja rajoittavat joustoliikettä. Voiman ottaa vastaan ensin pohjaanlyöntikumi. Metallinen pysäytin estää pohjaanlyöntikumia painumasta liiaksi kasaan ja siten hajoamasta. (Kuva 4.)

Jousenkiinnikkeessä on levy, jota vasten jousi asettuu. Iskunvaimentimen männänvarsi kiinnittyy kumipuslan välityksellä jousenkiinnikkeeseen. Tämä liitos lukkiutuu mutterilla. Kumipusla toimii nivelpisteenä. (Kuva 4.)

Jousenkiinnike on osan pohjalevyyn nähden vinossa joka suuntaan (kuva 4). Kiinnike paikoitetaan työkalulla, joka kiinnitetään reikään, mihin iskunvaimentimen männänvarsi kiinnitetään. Työkalussa on piikki, joka paikoitetaan pohjalevyssä olevan aukon keskelle. Tämä aiheuttaa ongelmia mittatarkkuuden suhteen, koska pieni heitto mittauspisteessä kertaantuu ja aiheuttaa herkästi liikaa virhettä toiminnallisiin mittoihin.



Kuva 4. Nykyinen osa.

3.2 Tavoitteet

Ongelmakohdat nykyisessä osassa ovat siis turha massa, pintakäsittelyn ja asentamisen hankaluus sekä huono mittatarkkuus jousenkiinnikkeessä. Tavoitteena on suunnitella uusi osa, jossa edellä mainitut ongelmat on ratkaistu. Lisäksi suunnittelussa tulee huomioida, että osan kiinnitystä ajoneuvon koriin ei voi muuttaa, jotta se olisi vaihtokelpoinen vanhan osan kanssa.

4 Mitoitusperusteet

4.1 Kuormat

Testiajoissa mitattujen arvojen perusteella on määritetty voimat, joita jousen kiinnityksen ja joustonrajoittimen tulisi kestää. Mittauksissa on havaittu, että kierrejousi tuottaa maksimissaan 113 kN:n voiman, iskunvaimennin pystyy tuottamaan kiinnityskohtaan 25 kN:n voiman ja iskunvaimentimen sisäinen pohjaanlyöntikumi voi ottaa vastaan 43 kN:n voiman. Lisäksi on määritetty, että joustonrajoituselementin pohjaanlyöntikumin ja metallisen pysäyttimen täytyy kummankin kestää 100 kN:n voima. Tästä voidaan päätellä, että jousenkiinnikkeen täytyy kestää yhteensä 181 kN ja joustonrajoituselementin 200 kN.

4.2 Materiaalitiedot

Levyrakenteissa pyritään käyttämään hyvin hitsattavaa materiaalia, jonka myötöraja on 700 MPa. Tällaista teräslevyä valmistaa mm. SSAB tuotenimellä Strenx® 700 (3).

Ainesputken materiaalina pyritään käyttämään myötörajaltaan 355 MPa:n rakenneterästä, mikäli mahdollista. Tarpeen vaatiessa voidaan tilalle etsiä jokin lujempi mutta silti hyvin hitsattava materiaali. Tällainen voisi olla esimerkiksi kauppanimellä Ovako 280 valmistettava ainesputki. Sen myötöraja tarvittavalla ainepaksuudella on 470 MPa (4).

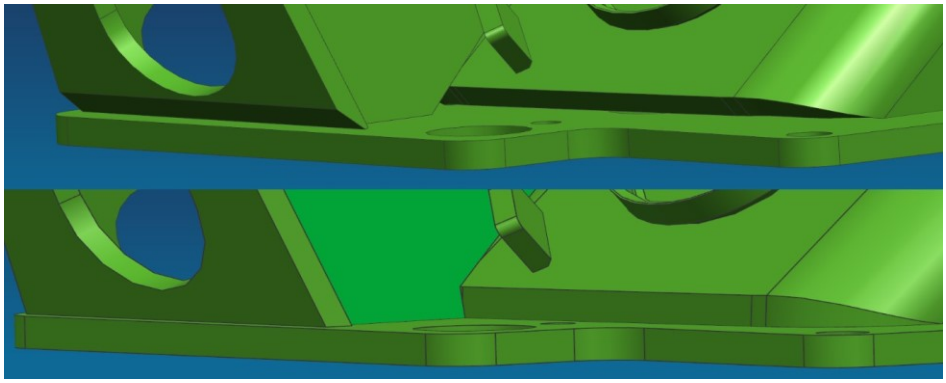
4.3 Massa

Nykyinen osa painaa noin 38 kg. Osasta on arvioitu, että se voisi olla noin 10 kg kevyempi. Uuden osan tavoite paino on siten noin 28 kg.

5 Lujuustarkastelu

Lujuustarkastelu on suoritettu elementtimenetelmällä ja laskettu suunnitteluohjelman omalla analyysimoduulilla. Laskentaa on yksinkertaistettu jättämällä hitsaussaumat pois ja korvaamalla ne täydellisellä kosketuksella olevilla kiinteillä liitoksilla.

Mikäli 3D-mallissa on hankalia piirteitä, täytyy kappaleista tehdä ideaalimallit, joissa piirteitä siistitään ja yksinkertaistetaan, jotta ohjelma pystyy laskemaan osille elementit oikein. Tämänlaisia piirteitä ovat mm. pienet viisteet ja pyöristykset, kierteet ja terävät leikkaukset. Ideaalimallissa myös liitospinnoista luodaan täydelliset. Tästä esimerkki kuvassa 5.



Kuva 5. Ideaalimallissa hitsausliitokset on korvattu täydellisellä liitoksella.

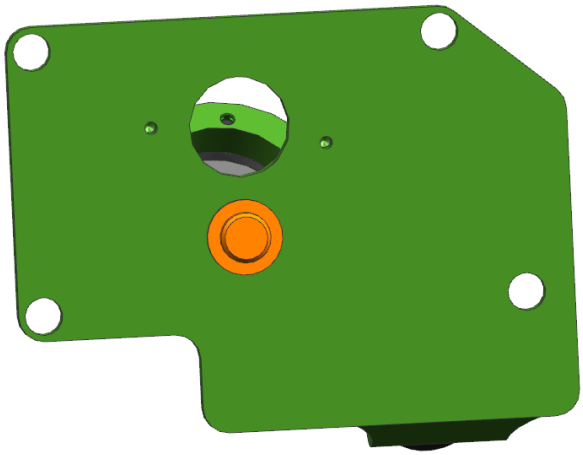
6 Uuden osan hahmottelu

6.1 Parannusehdotus

Uuden osan lähtökohtana on aikaisemmin hahmoteltu parannusehdotus. Siinä joustonrajoituselementin kotelomainen rakenne on korvattu huomattavasti kevyemmällä ja avonaisemmalla rakenteella. Jousenkiinnikkeen runko on tehty ainesputkesta, ja siinä on ruuviliitoksella lautanen, johon jousi asettuu ja iskunvaimennin kiinnitetään. (Kuva 6.)

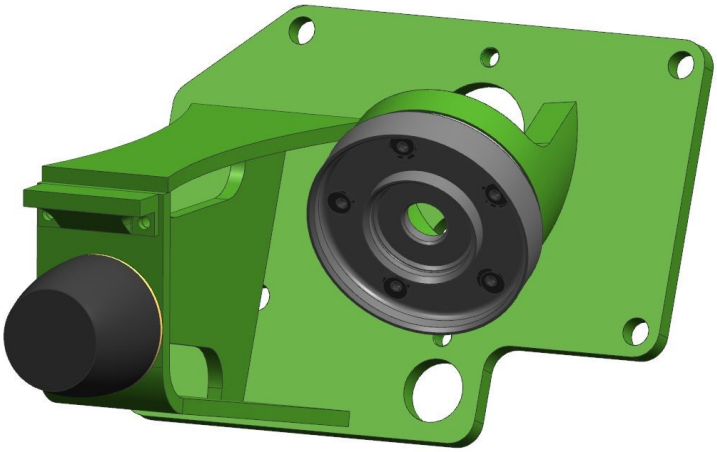
Kuva 6. Parannusehdotus.

Pohjalevyyn ja jousenkiinnikkeeseen on porattu reiät, joilla ne voidaan paikoittaa kohdilleen tappien avulla. Osan kiinnitystä koriin on muutettu ja yhden kiinnitysreiän paikkaa siirretty. (Kuva 7.)



Kuva 7. Paikoitusreiät ja muutettu kiinnitys.

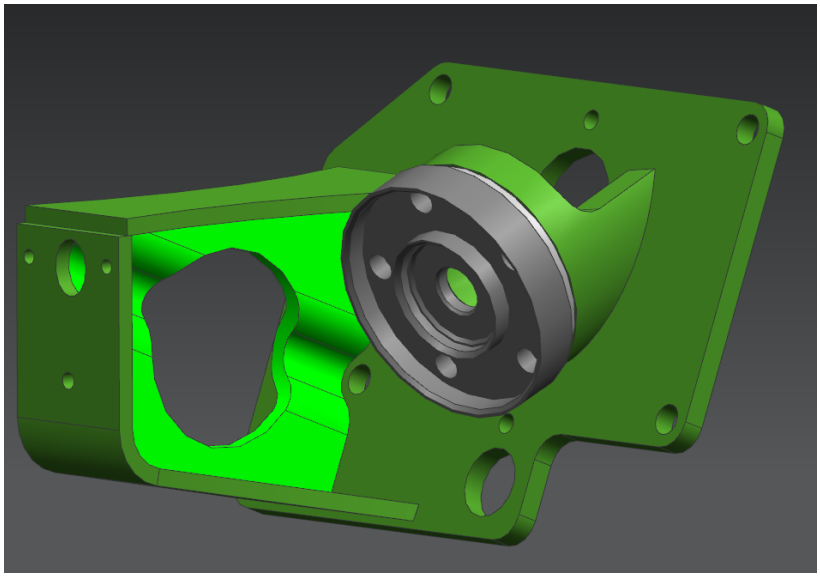
Koska osan kiinnitystä ajoneuvon koriin ei saa muuttaa, täytyy parannusehdotusta muokata joustonrajoittimen osalta. Kun kokoonpanoon vaihdetaan alkuperäinen pohjalevy, huomataan, että joustonrajoittimen rakenne osuu yhden kiinnitysreiän päälle (kuva 8). Ongelman voisi ratkaista tekemällä levyyn aukon kiinnitysreiän kohdalle, mutta silloin toive paineilmatyökalun käytöstä kokoonpanossa ei toteutuisi.



Kuva 8. Joustorajoittimen levyrakenne peittää kiinnitysreiän.

6.2 Ensimmäinen versio

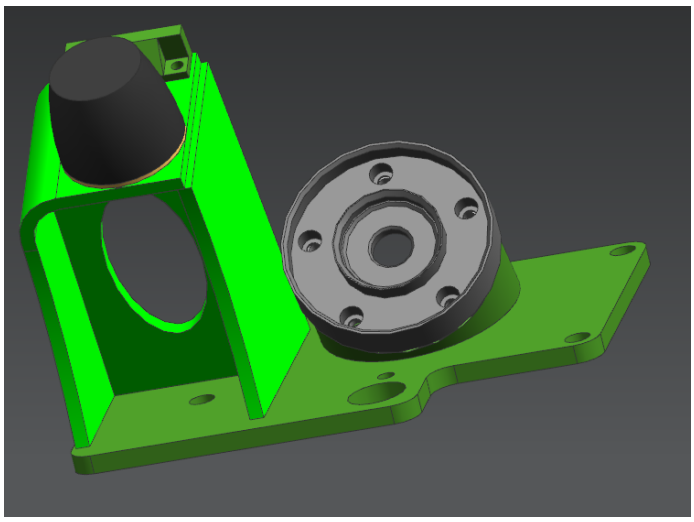
Ensimmäisessä versiossa joustonrajoituselementin sisälevyyn tehtiin väistö kiinnitysreiän kohdalle. Elementin päätylevyyn tehtiin reikä, jonka läpi kulkee suora linja kiinnitysreiälle. Tämä rakenne ei kuitenkaan onnistu, sillä väistöä ei pysty tekemään käytössä olevilla työkaluilla. (Kuva 9.)



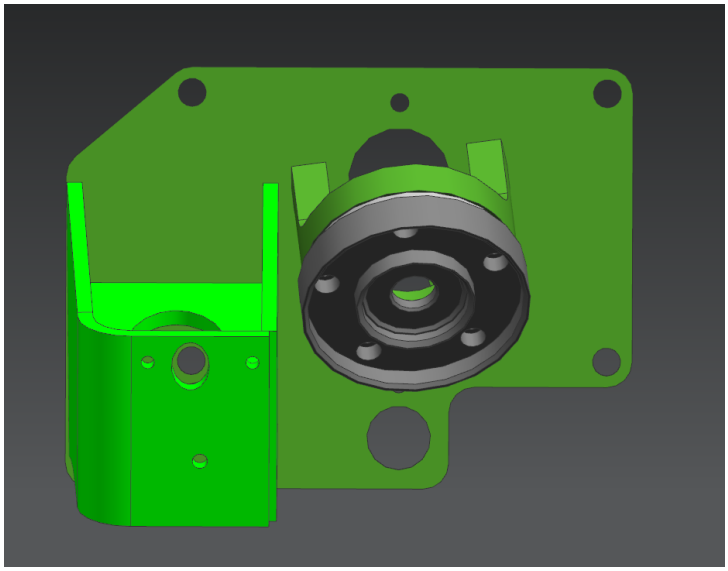
Kuva 9. Väistö ja reikä työkalulle.

6.3 Toinen versio

Seuraavassa versiossa joustonrajoituselementin rakennetta on udelleen järjestetty siten, että rakenteiden muodostamaa i-profiilia on käännetty 90 astetta (kuva 10). Käännön ansiosta, työkalulle vaadittavan suoran linjan luomiseen tarvitaan vain reiät sisälevyyn ja päätypalaan (kuva11).

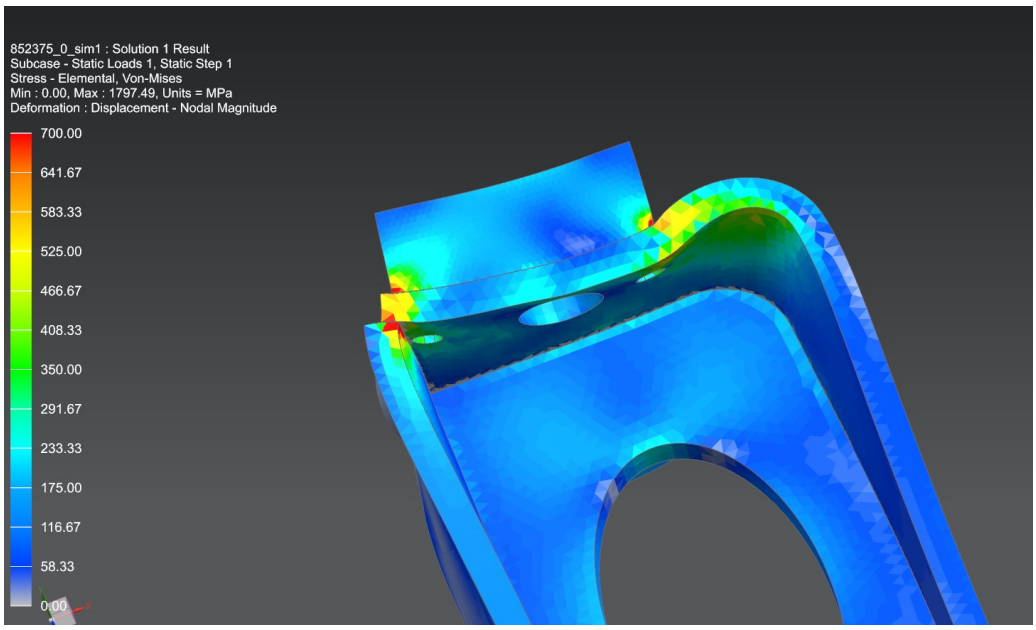


Kuva 10. Joustonrajoittimen rakennetta on käännetty 90 astetta.



Kuva 11. Suora linja joustonrajoituselementinläpi kiinnitysreiälle.

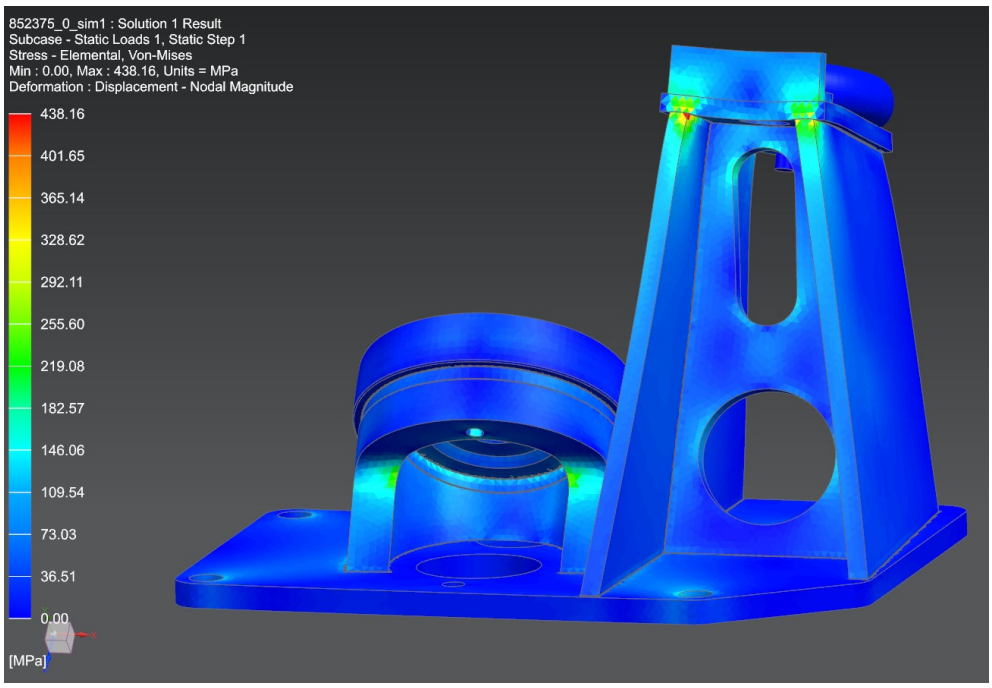
Tämä rakenne vaikuttaa lupaavalta, joten seuraavaksi sille tehdään elementti-menetelmällä alustava lujuustarkastelu. Tuloksista käy ilmi, että joustonrajoitti-men päätylevy ei ole tarpeeksi tuettu (kuva 12). Muilta osin rakenne näyttäisi kestävältä.



Kuva 12. Jännitykset joustonrajoittimen päässä. Kuvassa siirtymiä on liioiteltu.

6.4 Kolmas versio

Tässä versiossa joustonrajoituselementin päätylevyn ja ulkokyljen yhdistävä taivutus on poistettu. Kylkilevyjä on siirretty päädystä pohjaanlyöntikumin ja metallisen pysäyttimen alle, jotta ne ottaisivat enemmän voimia vastaan. Koska kuormitustilanteessa pohjalevy ja osan alueelta panssarikori joustavat, on joustonrajoittimen vaikutusalue pyritty levittämään mahdollisimman laajalle. Lujuustarkastelun perusteella, osa kestää hyvin määritellyt voimat ja sitä on mahdollista keventää. (Kuva 13.)



Kuva 13. Kolmannen version rakenne ja jännitykset.

7 Rakenteen optimointi

Kolmannen version rakenne vaikuttaa toimivalta ratkaisulta, jolla saadaan toteutettua kaikki toivotut muutokset. Seuraavaksi lähdetään optimoimaan sen rakennetta siten, että painonsäästötavoitteeseen päästään.

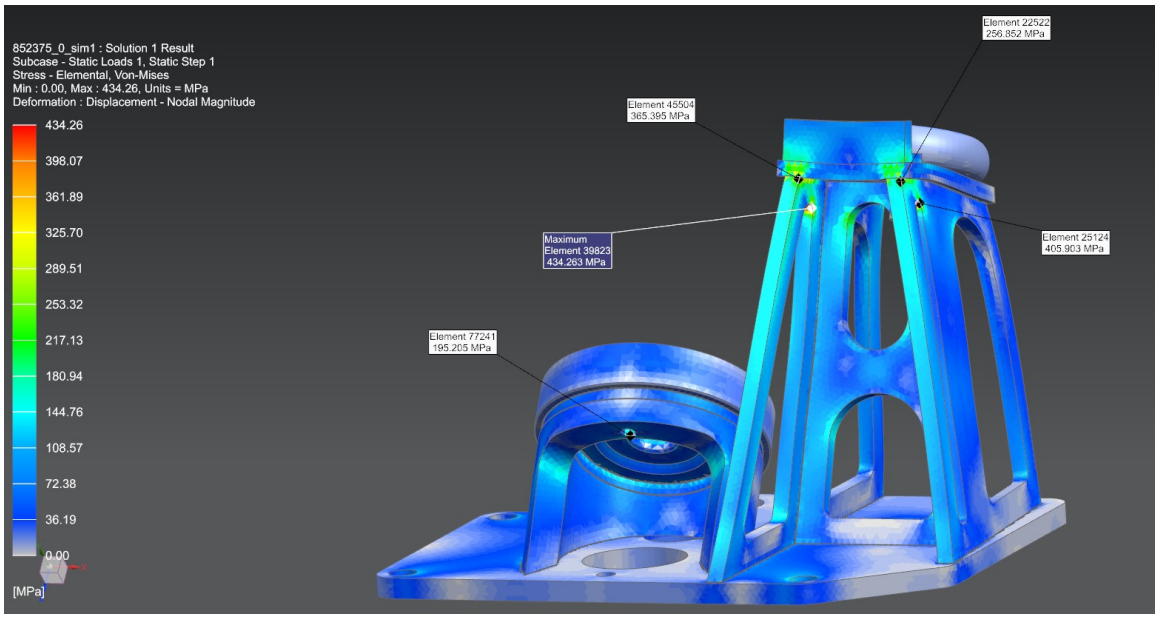
Lujuustarkastelussa käy ilmi, että jännitykset joustonrajoituselementin rakenteessa ovat todella pienet (kuva 13). Rakennetta pystyy siis keventämään reilusti.

7.1 Osan kevennys

Joustonrajoittimen rakenteeseen tehtiin kevennykset ja osalle tehtiin uusi lujuustarkastelu. Jousenkiinnikkeen putkirakenteen aukon yläreunaa nostettiin 10 mm, jotta iskunvaimentimen kiinnitysmutterin pystyy kiristämään tavallisella lenkkiavaimella. Tämä aiheuttaa rakenteessa merkittävää heikentymistä, sillä materiaalia poistetaan voiman suuntaisesta vahvuudesta. Heikentymistä kompensoimaan aukon kyljet käännettiin 60 asteen kulmaan. Näin aukon nurkissa

voimat jakautuvat tasaisemmin kylkeä pitkin. Tämän kokoonpanon vertailupaino on noin 5 kg kevyempi, kuin nykyisen osan vertailupaino. (Kuva 14.)

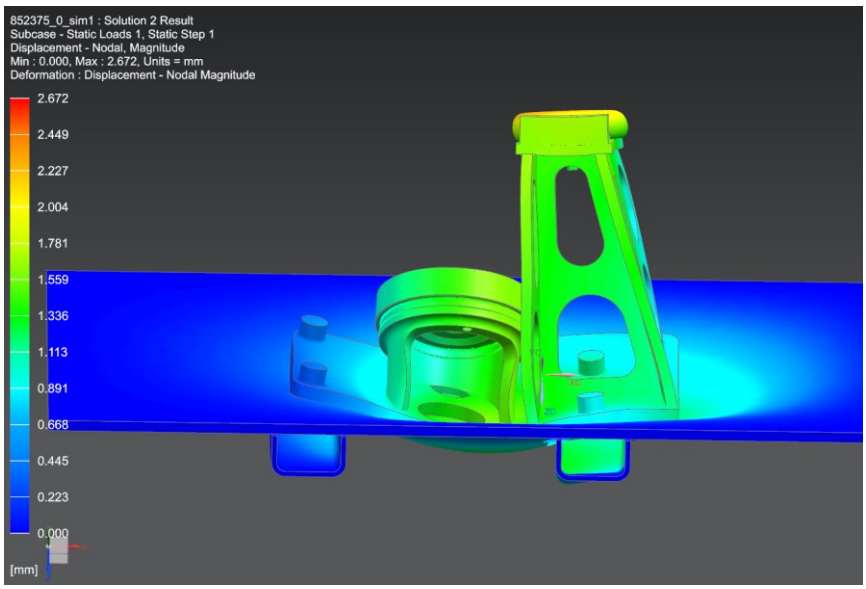
Lujuustarkastelun tuloksista käy ilmi, että jännitykset pysyvät reilusti alle myötörajan. Metallisen pysäyttimen alapuoleisten aukkojen yläreunojen alueella on suurempia jännityksiä. Näille alueille kannattaa lisätä materiaalia eli aukon reunaa laskea. Aukkojen terävimmissä nurkissa on 10 mm:n säteet. Myös näillä alueilla jännitykset ovat hieman suuremmat. (Kuva 14.)



Kuva 14. Kevennys.

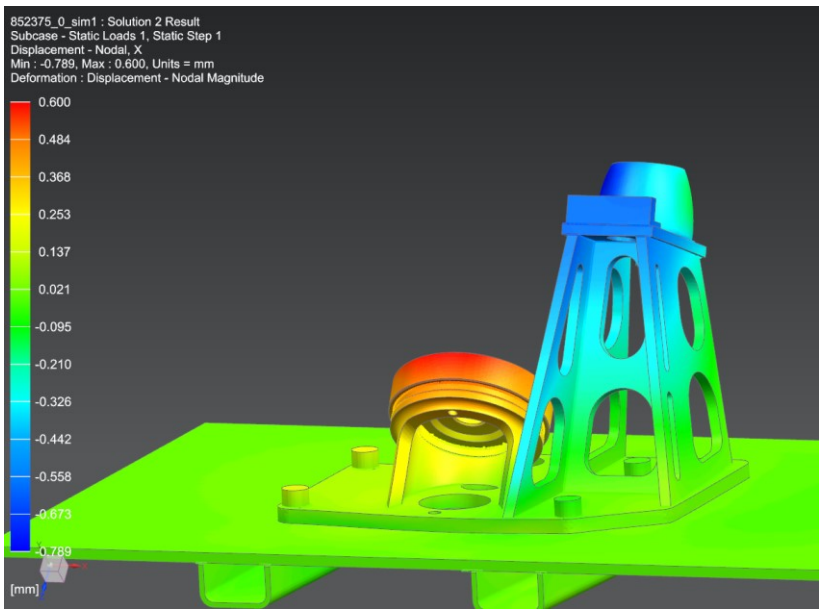
7.2 Joustonrajoittimen rakenteen jäykistäminen

Edellisissä lujuustarkasteluissa pohjalevy tuettiin siten, että se ei pääse joustamaan. Todellisuudessa kuitenkin kiinnityspinta eli panssarikori joustaa osan ympärillä. Tämä aiheuttaa taipumista osan pohjalevyssä ja siten kulman muutoksia voiman suunnan ja kappaleen rakenteiden välillä. Lähtötilanteessa voimat siis kohdistuvat kohtisuoraan niitä vastaanottavien pintojen kanssa, mutta voimien kasvaessa nämä kulmat muuttuvat jonkin verran. Tämä puolestaan aiheuttaa kappaleessa vaikeasti ennakoitavia jännityksiä, esimerkiksi vääntymisiä ja kiertymisiä. Kuva 15 havainnollistaa korin joustamista. Kuvassa siirtymisiä on korostettu.



Kuva 15. Kiinnityspinnan joustaminen.

Tarkkaa simulointia panssarikorin joustamisesta ei tämän työn puitteissa pysty tekemään. Voidaan kuitenkin olettaa, että rakenteiden tulisi kestää jonkin verran vinoja voimia ja kiertymistä. Näitä vastustamaan joustonrajoittimen kevennettyyn rakenteeseen lisättiin muutamia jäykistäviä piirteitä. Kevennysreiät jaettiin puoliksi siten, että rakenteen keskelle muodostuu yhtenäinen i-profiili. Terävien kulmien sädettä suurennettiin 10 mm:stä 20 mm:iin. Jäykisteet lisäävät massaa, joten jousenkiinnikkeen rakennetta kevennettiin poistamalla materiaalia ulkokehältä. Lujuustarkastelun perusteella siirtymät poikittaissuunnassa pysyvät maltillisina. Tämä kokoonpanon vertailupaino on noin 6 kg kevyempi, kuin nykyisen osan vastaava paino. (Kuva 16.)

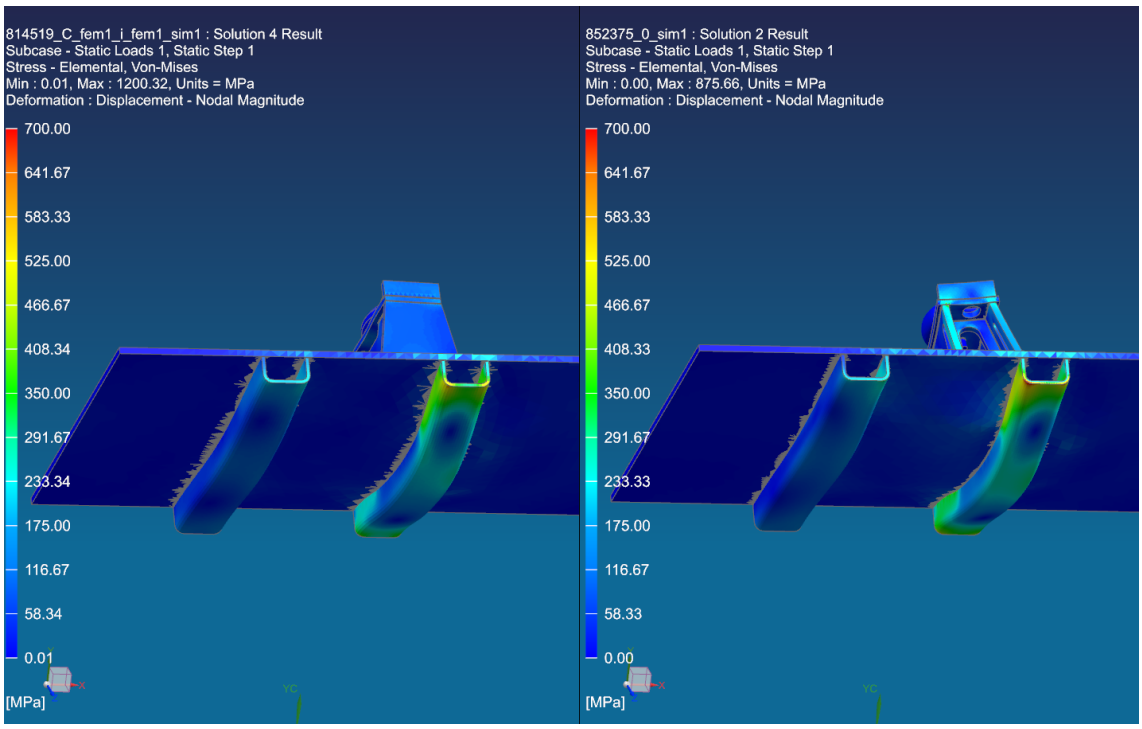


Kuva 16. Jäykisteet ja siirtymät poikittaissuunnassa.

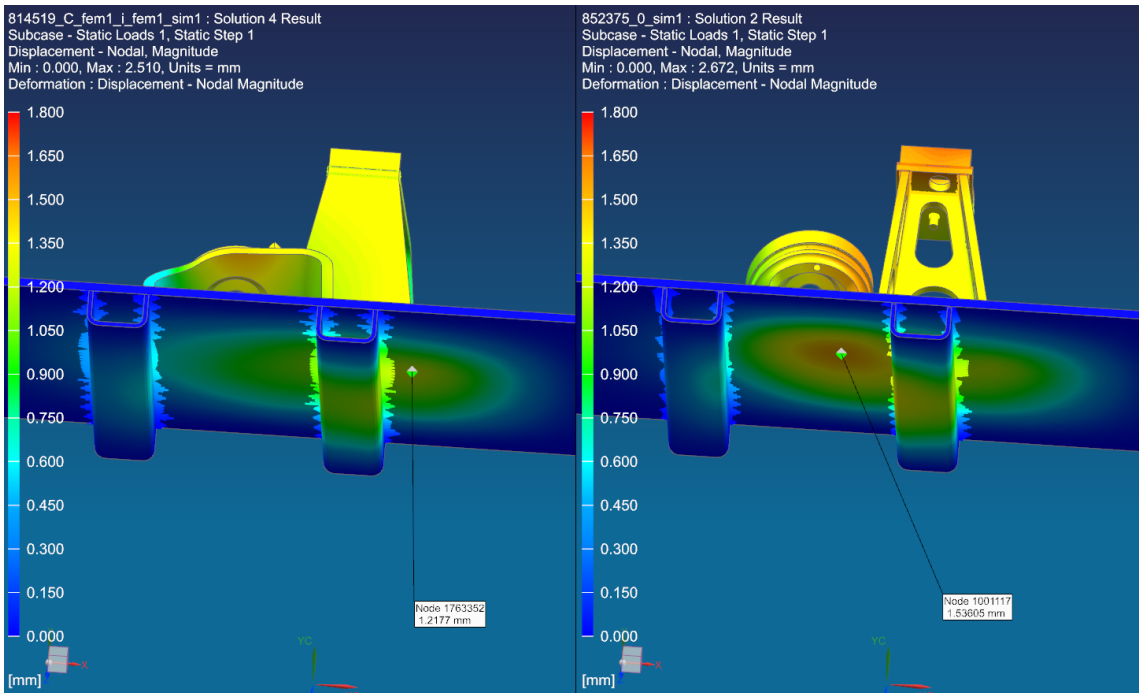
8 Osan vaikutus ajoneuvon koriin

Vaikka panssarikoria ei pystytä tarkasti simuloimaan, voidaan uuden osan vaikutusta koriin tarkastella, koska tiedetään, että nykyinen osa on korin joustamisen osalta toimiva. Mallinnetaan osan kiinnityskohdan alueelta panssarikoria muistuttava rakenne ja kiinnitetään sille sekä uusi että nykyinen osa. Pohjalevy on kiinnitetty ruuveilla taustalevyyn ja levyjen välillä on kitkaliitos. Taustalevy on tuettu kaikilta reunoilta ja palkkienpäistä. Tuennat sallivat kiertymisen. Tehdään molemmille kokoonpanolle lujuustarkastelu ja verrataan tuloksia keskenään.

Lujuustarkastelun tulosten perusteella jännitykset korirakenteessa eivät oleellisesti muutu uuden osan ja nykyisen osan välillä (kuva 17). Siirtymät kasvavat vähän uuden osan vaikutuksesta ja suurimman siirtymän paikka vaihtuu (kuva 18). Muutokset siirtymissä eivät kuitenkaan ole merkittäviä.



Kuva 17. Jännitykset korirakenteessa.



Kuva 18. Siirtymät korirakenteessa.

9 Jännitykset jousenkiinnikkeessä ja singulariteetti

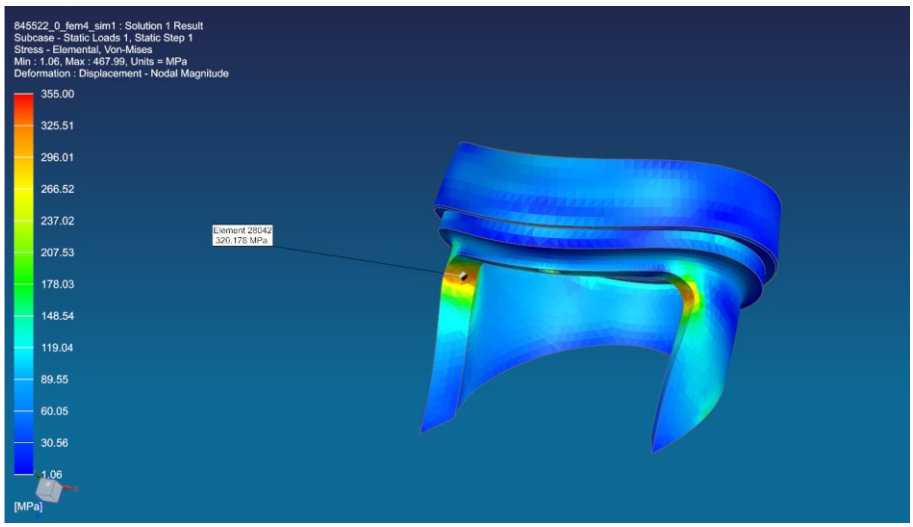
Laskentamallin keventämisen takia edellisissä lujuustarkasteluissa jousenkiinnikkeessä ruuviliitos korvattiin kiinteillä liitoksilla. Tämä tekee sen rakenteesta liian jäykän, sillä jousilautanen, säätölevy ja kiinnikkeen runko eivät pääse liikkumaan toisiinsa nähden. Rungon rakenteen kestävyyttä on syytä tarkastella erikseen, sillä sitä on merkittävästi kevennetty ja siinä käytettävän putkiaineksen myötöraja on maksimissaan 470 MPa.

Luodaan kokoonpano, jossa on jousenkiinnikkeen runko, jousilautanen ja ruuvit, joilla lautanen kiinnittyy runkoon. Laskentamallissa ruuvit on kiinnitetty jousilevyyn ja kiinnikkeen runkoon. Jousilevyn ja rungon välillä on kitkaliitos. Runko on tuettu pohjasta. Tuenta sallii tuetun pinnan kiertymisen. (Kuva 19.)

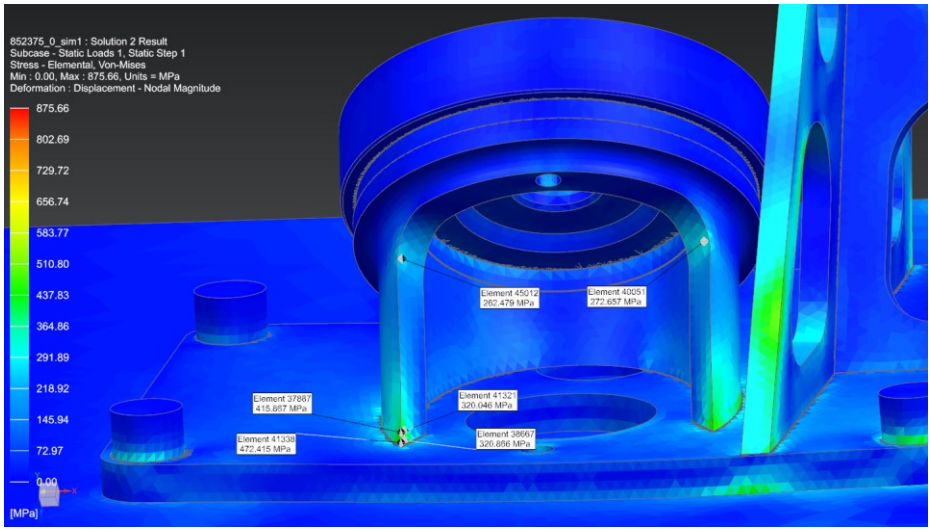
9.1 Jännitykset jousenkiinnikkeessä

Lujuustarkastelun tuloksista käy ilmi, että jännitykset pysyvät alle 355 MPa:n, joka on pehmeämmän materiaalivaihtoehdon myötöraja. Kuvan 19 tilanteessa jännitykset rungossa ovat kuitenkin suuremmat kuin todellisuudessa on mahdollista. Laskentamallissa ei ole huomioitu ruuvien esikiristystä, joka jäykistää rakennetta, eikä rungon tuenta jousta, mikä puolestaan lisää painetta rakenteessa.

Tarkemmin todellisuutta vastaavien jännitysten suuruudet ovat jotakin kuvan 19 tilanteen ja kuvan 20 tilanteen välillä. Kuvassa 20 on aikaisemmin lujuustarkasteluun käytetty tilanne, jossa osa on kiinnitetty panssarikoria muistuttavaan rakenteeseen.



Kuva 19. Jousenkiinnikkeen tarkastelu.



Kuva 20. Kokoonpano täydellisenä kiinnitettynä joustavaan taustalevyyn.

9.2 Singulariteetti

Lujuustarkastelussa, jota kuva 20 esittää, huomataan, että jousenkiinnikkeen rungon alaosassa esiintyy jännityksiä, jotka ylittävät 470 MPa:n myötörajan. Nämä ei kuitenkaan ole todellisia jännityksiä, sillä kyseisessä kohdassa tuloksia vääristää elementtimenetelmässä esiintyvä singulariteetti (5).

Singulariteetissa voima jakaantuu liian pienelle alueelle ja aiheuttaa isot jännityspiikit. Tätä esiintyy mm. kappaleiden reunoissa ja liitoskohdissa, joissa on pieniä muotoja, joita ei todellisuudessa ole, esimerkiksi täydellisen teräviä kulmia.

Laskentamallissa elementtien kokoa pienentämällä, voidaan päätellä, onko kyseessä singulariteetti vai hot spot. Sopivan elementtikoon löydyttyä hot spotin alueella vierekkäisten elementtien jännityserot tasaantuvat. Jos kyseessä on singulariteetti, erot vain voimistuvat. Teoriassa jännitykset voivat kasvaa äärettömästi kyseisillä alueilla. Mikäli näin käy ja alue on tarpeeksi kaukana kiinnostuksen kohteista, voidaan todeta, että kyseessä on singulariteetti, ja jättää tulokset pois tarkastelusta. (5.)

10 Väsyminen

Materiaalin väsyessä sen rakenteelliset ominaisuudet muuttuvat vaihtelevan kuormituksen vaikutuksesta. Vaihteleva kuormitus aiheuttaa rakenteessa syklien mukaan muuttuvaa jännitystä, mikä voi synnyttää materiaalissa mikroskooppisen pieniä murtumia. Väsymisen seurauksena rakenne voi pettää, vaikka jännitykset pysyisivät materiaalin myötörajaa pienempinä. (6.)

Uuden osan väsymistä arvioi Academic Workin kautta Patrialle työskentelevä lujuuslaskija Erik Pekkola. Arvioinnissaan Pekkola kirjoittaa seuraavaa:

> Käsiteltävän osan rakenne on suunniteltu siten, että jännitykset pysyvät materiaalien myötörajan alapuolella. Väsymistä on arvioitu maksimipääjännitysten perusteella, tarkastelemalla amplitudia sekä keskimääräistä jännitystä. Keskimääräinen jännitys on selvästi alle myötörajan ja amplitudi pieni. Leikkausjännityksiä ei synny tarkasteltavissa rakenteissa. Kuormitus on korkean syklin tapainen.
>
> Perusteluna sopivaan kestoikään on vertailuanalyysit käytössä olevaan osaan, mikä on todettu toimivaksi. Kuormitukset ovat samat, mutta kaikki jännitystasot ovat matalammat. Tämän perusteella voidaan arvioida, että uusi rakenne on kestoiältään ainakin yhtä hyvä kuin nykyinen rakenne. (7.)

11 Jatkotoimenpiteet

Seuraavaksi osan 3D-malli viimeistellään ja siihen lisätään kaikki piirteet, jotka on jätetty yksinkertaistamisen takia pois. Tämän jälkeen osalle määritellään pintakäsittely pintakäsittelyekspertin konsultoimana. Näiden pohjalta osalle tehdään työpiirustukset.

Kyseinen osa valmistetaan Patrialle alihankintana. Työpiirustusten perusteella hankintaosasto pyytää alihankkijoilta tarjoukset osan valmistukseen. Valmistuskustannusten ja osan ominaisuuksien, erityisesti massan perusteella arvioidaan, kannattaako osa ottaa käyttöön.

Mikäli osan käyttäminen on kannattavaa, tehdään sille kattavampi lujuustarkastelu ja väsymisen arviointi lujuuslaskijan toimesta. Tämän jälkeen osasta valmistetaan prototyyppi ja sille tehdään tarvittavat mittaukset, joilla pystytään varmentamaan osan toimiminen. Jos osa todetaan toimivaksi, korvataan sillä nykyinen osa tuotannossa ja varaosamyynnissä.

12 Yhteenveto

Tämän työn tärkein tavoite oli suunnitella jousenkiinnikkeen ja joustonrajoittimen yhdistävästä osasta uusi kevyempi versio. Osaa saatiin kevennettyä, mutta ei toivottua 10 kg. Painon säästötavoite oli melko optimistinen, sillä kyseessä olisi ollut noin 26 %:n vähennys nykyisen osan painoon. Uuden osan massa on noin 32 kg, joten säästöä syntyi noin 6 kg. Tätäkin voidaan pitää hyvänä saavutuksena, sillä vähennys on kuitenkin noin 16 % nykyisen osan painosta.

Mikäli toivottua 10 kg painon vähennystä haluttaisiin vielä tavoitella, voisi seuraavaksi osan pohjalevyä tarkastella. Sen massa on melkein puolet koko osan painosta. Pohjalevyn muuttamista ei tässä työssä lähdetty tekemään, korin joustamisen takia. Myös joustonrajoittimen levyrakenteen materiaalin vaihtaminen ohuempaan levyyn, voisi olla tarkastelun kohteena.

Haasteita osan suunnittelulle ja painonsäästötavoitteen toteuttamiselle toi osalle asetetut muut tavoitteet valmistamisen ja toiminnallisuuden suhteen. Työssä esitellyt ratkaisut mahdollistavat näiden tavoitteiden toteutumisen. Uuden osan avonainen rakenne on helppo maalata ja osan pystyy asentamaan koriin paineilmatyökalulla. Jousenkiinnikkeen uusi muotoilu parantaa mittatarkkuutta.

Insinöörityötä tehdessä pääsin käyttämään elementtimenetelmää lujuustarkasteluissa ja opin käyttämään suunnitteluohjelman omaa analyysimoduulia. Työ osoitti, että nämä ovat näppäriä työkaluja jo suunnittelun alkuvaiheessa ja tehostavat suunnitteluprosessia, sillä tarkastelua pystyy tekemään jo hahmottelu-vaiheessa ja saaduilla tiedoilla viemään suunnittelua oikeaan suuntaan.

Lähteet

1. Patria. Verkkoaineisto. Patria. <https://www.patriagroup.com/fi>. Luettu 18.11.2022.

2. Patria 6x6 ajoneuvo. Verkkoaineisto. Patria. <https://www.patriagroup.com/fi/tuotteet/panssaroidut-pyoraajoneuvot/patria-6x6-ajoneuvo>. Luettu 14.11.2022.

3. Strenx® 700 E/F. Verkkoaineisto. SSAB. <https://www.ssab.com/fi-fi/brandit-ja-tuotteet/strenx/tuotevalikoima/700/e-f>. Luettu 10.11.2022.

4. Ovako 280 stock sizes and technical data. Verkkoaineisto. Ovako. <https://www.ovako.com/globalassets/products/ovako_280_web_version.pdf>. Luettu 10.11.2022.

5. Acin, M. 2015. Stress singularities, stress concentrations and mesh convergence. Verkkoaineisto. Acin.net. <http://www.acin.net/2015/06/02/stress-singularities-stress-concentrations-and-mesh-convergence/>. Päivitetty 2.6.2015. Luettu 9.11.2022.

6. Socie, Darrell, F. & Marquis. Gary, B. 2000. Multiaxial Fatigue. Warrendale: SAE International.

7. Pekkola, Erik. 2022. Lujuuslaskija, Academic Work, Hämeenlinna. Arviointi 9.11.2022.