

Levyrakenteisen kappaleen lujuustarkastelu huomioiden standardi SFS-EN 1090-2 ja kone- direktiivi

LAB-ammattikorkeakoulu
Insinööri (AMK), Konetekniikka
2021
Jani Salo

Tiivistelmä

Tekijä(t) Salo, Jani	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK Sivumäärä 30	Valmistumisaika 2021
Työn nimi Levyrakenteisen kappaleen lujuustarkastelu huomioiden standardi EN 1090-2 ja konedirektiivi		
Tutkinto Konetekniikan insinööri (AMK)		
Toimeksiantajan nimi, titteli ja organisaatio Roope Rahikainen, Business Manager, ALTEN Finland		
Tiivistelmä <p>Opinnäytetyön tavoitteena oli määrittää levyrakenteisen kappaleen laskennallinen lujuus laskentakaavojen ja FEM-tarkastelun kautta. Työssä huomioitiin myös eurooppalainen teräs- ja alumiinirakenteiden toteuttamisen standardi SFS-EN 1090-2, sekä terveys- ja turvallisuusvaatimuksille asetettu konedirektiivi.</p> <p>Työ laadittiin insinööritoimisto ALTEN Finlandin toimeksiantajalle, jolle laaditut laskelmat sekä huomiot standardien vaatimuksista toimivat tuotesuunnittelua ja laadun varmistamista tukevinä dokumentteina kohti SFS-EN 1090-2 standardin mukaista kappaletta.</p> <p>Laskennassa pyrittiin määrittämään rakenteen heikot kohdat ja saamaan kestäväyydelle numeraaliset arvot, joita verrattiin FEM-analyysin kautta elementtimenetelmän saamiin arvoihin.</p> <p>Työn salassapitovelvollisuuden takia teoriaosuuden pääpaino oli esittää laskennassa käytettyjä kaavoja ja huomioida levyrakenteiseen kappaleeseen asetetut vaatimukset. Standardi SFS-EN 1090-2 ja konedirektiivin huomioiminen koski tässä työssä vain valmista rakennetta, vaikka vaatimukset kattavat laajasti myös valmistamisen ja asentamisen.</p> <p>Työn lopputuloksena saatiin tuotettua toimeksiantajalle laskelmat ja laadittua tärkeimmät vaatimukset tarkastelluista dokumenteista.</p>		
Asiasanat standardi SFS-EN 1090-2, konedirektiivi, levyrakenne		

Abstract

Author(s) Salo, Jani	Type of Publication Thesis, UAS	Published 2021
	Number of Pages 30	
Title of Publication Examination of a plate-shaped part in accordance with SFS-EN 1090-2 and the Machinery Directive		
Name of Degree Bachelor of Engineering, Mechanical Engineer (UAS)		
Name, title and organization of the client Roope Rahikainen, Business Manager, ALTEN Finland		
Abstract <p>This thesis deals with the design of a sheet metal part. The objective was to examine how to design the part so that it meets the technical requirements of the steel structure standard SFS-EN 1090-2 and the standards of the machine directive.</p> <p>Calculations of this thesis will be used in the client's product design and as a quality assurance document. The thesis examines standards and combines examined how the standards should be considered in the strength calculations.</p> <p>Standard EN 1090 is a European standard for the construction of steel and aluminum structures, which has been given the status of a national standard in the member states.</p> <p>This standard covers the requirements for the entire process. The thesis focuses on EN 1090-2 standard because this standard contains information about structures and materials. The thesis also deals with the machine directive, which includes the health and safety requirements.</p> <p>At the end of the thesis, calculations and standards were provided to the client.</p>		
Keywords standard SFS-EN 1090-2, machine directive, steel structure		

Sisällys

1	Johdanto.....	1
1.1	Työn tarkoitus, tavoite ja vaatimukset	1
2	ALTEN Finland	2
2.1	Yleistä.....	2
2.2	Historia	2
3	Standardi EN 1090-2	3
3.1	Yleistä.....	3
3.2	Kappaleentarkastelun reunaehdot	3
3.3	Hitsit	4
3.3.1	Ilmarako.....	4
3.3.2	Kiinnittäminen	5
3.4	Ruuviliitokset	5
3.5	Muotoilu.....	7
3.6	Reikien tekeminen	7
4	Konedirektiivi 2006/42/EY	8
4.1	Yleistä.....	8
4.1.1	Konedirektiivi kappaleentarkastelussa	8
4.1.2	Vastuu ja hyväksyty merkintä	8
4.2	Puolivalmisteen vaatimukset.....	9
4.2.1	Tekninen asiakirja.....	9
4.2.2	Liittämisvakuutus	10
5	Levymäisen rakenteen lujuustarkastelu	11
5.1	Rakenne ja materiaalit	11
5.2	Levyrakenteiden jännityksenkesto	12
5.3	Tukirakenteen jännityksenkesto.....	13
5.4	Hitsausliitosten jännityksenkesto	14
6	FEM-analyysi.....	16
6.1	Perustiedot	16
6.2	Kansilevy	16
6.3	Tukirakenne.....	18
6.4	Pohjalevy	21
7	Yhteenveto	22
7.1	Tarkasteluprosessi.....	22
7.2	Tavoitteet, tarkoitukset ja niiden toteutuminen	22

7.3	Jatkokehitys.....	22
	Lähteet	23

Liitteet

Liite 1. Laskelmat (poistettu julkisesta versiosta)

Liite 2. Tulokset (poistettu julkisesta versiosta)

Termit ja lyhenteet

CEN	Eurooppalainen yksityinen järjestö, jonka tarkoitus on edistää yhdenmukaisten eurooppalaisten standardien yhdenmukaisuutta. Lyhenne sanoista Comité Européen de Normalisation.
FEA	Elementtimenetelmällä suoritettu laskenta, lyhenne sanoista Finite Element Analysis.
FEM	Elementtimenetelmä, lyhenne sanoista Finite Element Method.
Hitsauskoordinaattori	Henkilö, joka vasta hitsauksen tapahtuvan sille asetettujen tehtävien ja vastuiden mukaisesti.
k-luokka	Ruuvikokoonpanon valmistajan ilmoittama luokitus. Luokkia on kolme: K0, K1 ja K2.
SFS-EN 1993	Eurokoodi 3 standardi, käsittelee teräsrakenteiden suunnittelua.
SFS-EN 1994	Eurokoodi 4 standardi, käsittelee komposiittiteräs- ja betonirakenteiden suunnittelua.
SFS-EN ISO 3834	Standardi, joka käsittelee metallien sulahitsauksen laatuvaatimuksia.
SFS-EN ISO 14554	Standardi, joka käsittelee vastushitsauksen laatuvaatimuksia
SolidWorks	Mekaniikkasuunnitteluohjelmisto, jolla voidaan laatia kaksi- tai kolmiulotteisia mallinnuksia ja piirustuksia. Lisäosien kautta mahdollista kasvattaa ohjelmiston ominaisuuksia.

von Mises	Vakiomuodonvääristymishypoteesi, jolla voidaan tarkastella sitkeää materiaalia.
Vääntömomentti- menetelmä	Menetelmä, jossa tulee käyttää käsi- tai konekäyttöistä momenttiavainta.
HRC-menetelmä	Menetelmä, jossa HRC-ruuvit kiristetään leikkausvääntimellä.
DTI- menetelmä	Suoraan vedon ilmaisuun perustuva menetelmä, jossa aluslevyn ulkonemasta voidaan päätellä vedon määrä.

1 Johdanto

1.1 Työn tarkoitus, tavoite ja vaatimukset

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli laatia levymäisen rakenteen lujuustarkastelu ja varmistaa tulokset FEM- analyysillä. Kappaleeseen tarkastelussa huomioitiin myös teräs-rakenteiden standardi SFS-EN 1090-2 ja konedirektiivi. Opinnäytetyö tehtiin insinööritoi-misto ALTEN Finlandille. Työn tavoite oli saada tietoon hitsien ja rakenteen osien kestä-vyys, sekä huomioida standardin SFS-EN 1090-2 ja konedirektiivin vaatimukset tarkastel-tavassa valmiissa rakenteessa.

Kappale oli jo osoittautunut toimivaksi ja käyttötarkoitukseensa soveltuvaksi, mutta työn yhdeksi tavoitteeksi listattiin kuitenkin määrittää mahdolliset huomiota vaativat kohdat.

Toimeksiantaja toimitti piirustukset, joiden perusteella muodostettiin kappaleen kuormituk-selle raja-arvot ja kappaleentarkistelu.

Lujuuslaskut koskivat toimeksiantajan ydinliiketoimintaa, joten yksityiskohtaisia tietoja kap-paleesta tai laskennasta ei haluttu julkiseen opinnäytetyöhön. Toimeksiantajalle on toimi-tettu laskelmat erillisinä liitteinä.

2 ALTEN Finland

2.1 Yleistä

ALTEN Finland (ent. ALTE Oy) on Raahessa vuonna 1969 perustettu insinööritoimisto, joka nykyisin on osa Ranskalaista ALTEN-konsernia. Euroopassa ALTEN Group tarjoaa insinööri- ja suunnittelupalveluja 25 maassa työllistäen globaalisti yli 35 000 ihmistä. Suomessa ALTEN Finlandilla on toimipisteitä 11 ja palveluksessaan noin 600 asiantuntijaa. Työntekijöistä 90 % on insinöörejä ja liikevaihto 39,7 milj. EUR. Yrityksen strategiana on hyödyntää globaalien monikansallisen yrityksen vahvuudet yhdistäen sitoutuminen ja yhteistyö paikallisiin asiakkaisiin. (ALTEN Finland 2021.) Suomessa yritys on toiminut enimmäkseen konepaja- ja prosessiteollisuudessa, mutta erikoisosaamista on kartoitettu myös auto- ja lentokoneiteollisuuden, sekä life science -sektoreilta. (STT Viestintäpalvelut Oy 2017.)

2.2 Historia

Tarmo Soralahti perusti vuonna 1969 Plan Verks -nimisen avoimen yhtiön, jonka nimi muodostui sanoista ”planera och verkstella” eli ”suunnitella ja valmistaa”. Myöhemmin nimi vaihdettiin ALTE Oy:ksi, joka tulee sanoista ”allaskoneisto ja teräsrakenne”. ALTE toimi aluksi kommandiittiyhtiönä, mutta vuodesta 1973 eteenpäin osakeyhtiönä. Yhtiön johtoon siirtyi samana vuonna Seppo Soralahti, joka päätti yrityksen erikoistuvan konepaja- ja perusmetalliteollisuuden suunnitteluun. Vuonna 1974 ALTE suunnitteli Vuorikemian tehtaille Poriin selkeyttimiä, jotka Raahen Putkityö valmisti. Vuosina 1975–1978 kehitettiin aiemmin suunniteltuihin sekoittimiin hydraulisia käyttökoneistoja sähköisten tilalle, sekä kaupallistettiin suunnittelija Topi Törmikosken suunnittelun perusteella AIV-rehun käsittelyyn perustuva innovaatio. Hydraulisia lavanostimia suunniteltiin myös jonkin verran, mitkä kulkivat kaupallisella nimellä Trail-Lift. ALTE:n varsinaisen toiminnan käynnisti vuonna 1978 Ruotsin Visbystä tullut diesel- lämpövoimalan suunnittelutehtävä. ALTE:n teki tässä projektissa lämpövoimalan suunnittelua ja työmaavalvontaa. Samana vuonna ALTE sai työn alihankkijana suunnitella pohjassa seisovia ja kelluvia porauslauttoja. Uusia suunnittelutehtäviä saapui Metsolta (nyk. Wärtsilä Oy), Outokummulta ja Kone Oy:ltä, joiden kanssa yhteistyö on jatkunut läpi vuosikymmenten. Insinööritoimiston asiantuntemus on kasvanut 2000-luvulla keskussairaaloitten käyttöönotto- ja määräaikaismittaus hankkeista öljyjalostamoiden tuotantolinjojen sähkösuunnitteluun. ALTE Oy:n ja sen tytäryhtiöt siirtyivät vuonna 2014 osaksi Ranskalaista ALTEN Group konsernia. (ALTE Oy – Ajatukset luotua tekniikkaa 2009,11–43.)

3 Standardi EN 1090-2

3.1 Yleistä

Standardi SFS-EN 1090-2 on osa eurooppalaista standardisarjaa, jossa esitetään teräsrakenteiden vaatimukset. Standardin tarkoitus on varmistaa stabiilius, kestävyys, käytettävyys ja ominaisuuksien säilyvyys. Standardin on luonut Euroopan komission ja Euroopan vapaakauppaliiton toimeksiannolla CEN.

Standardisarja on erityisesti tarkoitettu EN 1994 ja EN 1993 mukaan suunniteltujen teräsrakenteiden toteuttamisen standardiksi. Standardin SFS- EN 1090:n tulee olla yhdenvertaisessa asemassa kaikissa Euroopan jäsenmaissa ja sen ei tule olla ristiriidassa muiden kansallisten standardien kanssa (SFS-EN 1090-2.2018, 6–8)

Standardisarja SFS-EN 1090 koostuu kaikkiaan seuraavista osista:

- EN 1090-1, Teräs- ja alumiinirakenteiden toteutus – Osa 1: Vaatimukset rakenteellisten kokoonpanojen vaatimustenmukaisuuden arviointiin.
- EN 1090-2, Teräs- ja alumiinirakenteiden toteutus – Osa 2: Teräsrakenteiden tekniset vaatimukset.
- EN 1090-3, Teräs- ja alumiinirakenteiden toteutus – Osa 3: Alumiinirakenteiden tekniset vaatimukset.
- EN 1090-4, Teräs- ja alumiinirakenteiden toteutus – Osa 4: Kylmämuovattujen teräsosien tekniset vaatimukset katto-, lattia- ja seinäsovelluksissa.
- EN 1090-5, Teräs- ja alumiinirakenteiden toteutus – Osa 5: Kylmämuovattujen alumiiniosien tekniset vaatimukset katto-, lattia- ja seinäsovelluksissa.

3.2 Kappaleentarkastelun reunaehdot

Standardi SFS-EN 1090-2 ottaa laajasti kantaa asiakirjoihin, esivalmisteluihin, valmistamisen ja asentamisen menetelmiin, testaukseen, sekä korroosionestoon (SFS-EN 1090-2.2018).

Tässä työssä standardia käytettiin suunnittelijan näkökulmasta hitsien, ruuviliitoksien, reikien sekä muotoilun kohdalla niiltä osin, kun suunnittelijan oli mahdollista ottaa standardi huomioon. Materiaalien esikäsittely, valmistusmenetelmät tai lopulliset asennuskohteet eivät olleet tiedossa, joten standardia sivutettiin yleisellä tasolla ja pyrittiin

kappaleentarkastelu laatia niin, että tarkempaa tarkastelua vaativat kohdat käyvät ilmi. Huomioitavaa on, että standardin mukainen kappale vaatii koko standardin mukaan menetellyn kappaleen ja siihen kuuluvat asiakirjat.

3.3 Hitsit

Hitsaaminen tulisi suorittaa EN ISO 3834 tai EN ISO 14554 vaatimusten mukaan ja täyttää valitun toteutusluokan vaatimukset.

Ferriittisten ja ruostumattomien terästen kaarihitsauksessa tulisi taas noudattaa EN 1011-1, EN 1011-2 ja EN1011-3 vaatimuksia.

Toteutusluokkia oli standardin EN ISO 3834 mukaan voimassa neljä:

- EXC1 Peruslaatuvaatimukset
- EXC2 Vakiolaatuvaatimukset
- EXC3 ja EXC4 Kattavat laatuvaatimukset

(SFS-EN 1090-2.2018, 46.)

Tässä kappaleessa tulisi käyttää vähintään EXC3 -luokkaa kappaleen käyttöympäristön takia ja tällä toteutusluokan valinnalla olisi vaikutusta myös hitsausmenetelmään. Hitsausmenetelmä tarkentuisi vastaavasti SFS-EN 1090-2 standardissa hitsaustavan mukaan.

3.3.1 Ilmarako

Valmiiden pienahitsien tulee täyttää vaaditut mitat, jotka ilmaistaan piirustuksessa a-mittana tai kyljen leveytenä. Piirustukseen voidaan merkitä myös kummatkin mitat. Mikäli osien sovituksen ilmarako ylittää enimmäisarvon, voidaan SFS-EN 1090-2 standardin mukaan ylitys kompensoida kasvattamalla a-mittaa kaavan 1. mukaisesti. (SFS-EN 1090-2.2018, 53.)

$$a = a_{nom} + 0,7h \quad (1)$$

missä,

h = ilmarako

a_{nom} = a-mitan nimellisarvo

Toteutusluokituksen säilyminen sovitusrvirheen takia tulee kuitenkin tarkistaa hitsausmenetelmän standardista.

3.3.2 Kiinnittäminen

Standardi SFS-EN 1090-2 mukaan pienahitsin hitsausseaman päättyessä kokoonpanon päähän tai sen kylkeen, tulee saumaa jatkaa nurkkien ympäri vähintään kaksi kertaa kyljen leveyden verran. Tästä voidaan standardin mukaan poiketa, jos tämä on epäkäytännöllistä tai vaatimukset ovat eriävät.

Katkopienahitsien käyttö on kielletty paikoissa, jossa ruostetaskuja voi syntyä kapillaarisuus ilmiön takia. Hitsien päätepalkojen tuleekin näin ulottua osan päähän saakka. (SFS-EN 1090-2.2018, 54.)

3.4 Ruuviliitokset

Ruuvien nimellishalkaisija tulisi vähintään olla M12, ellei pienemmille ruuveille ole perusteltuja vaatimuksia esittää. Esijännitetyissä tai esijännittämättömissä ruuviliitoksissa tulee mutterin tai lisälukituslaitteen ulkopinnan päähän jäädä vähintään yhden kierteen pituinen ulkonema. Mikäli ruuvin kierteetöntä osaa hyödynnetään, tulee mutterin kantopinnan ja varren kierteettömän varren väliin jäädä vähintään yksi kierre. (SFS-EN 1090-2.2018, 58.)

Minimiesijännitysvoima tulee standardin SFS-EN 1090-2 mukaan esijännitetyissä koonpanoissa määrittää ruuveille kaavan 2. kautta.

$$F_{P,C} = 0,7f_{ub}A_S \quad (2)$$

missä,

f_{ub} = ruuvien nimellismurtolujuus standardin EN 1993-1-8 mukaan

A_S = ruuvien jännityspoikkipinta-ala

Tätä määritettyä esijännitysvoimaa käytetään kaikissa kappaleen esijännitettävissä kiinnityksissä, mikäli pienempää esijännitysvoimaa ei erikseen esitetä. Kaavan mukainen minimijännitysvoima saadaan myös taulukon 1. kautta. (SFS-EN 1090-2.2018, 61.)

Lujuusluokka	Ruuvien halkaisija (mm)									
	12	14	16	18	20	22	24	27	30	36
8.8	47	65	88	108	137	170	198	257	314	458
10.9	59	81	110	134	172	212	247	321	393	572

(SFS-EN 1090-2.2018, 61.)

Ruuvikokoonpanon esijännitysvoima voidaan standardin mukaan määrittää vääntömomentti-, HRC-, DTI- tai yhdistetyllä menetelmällä. Menetelmän valitaan ruuvikokoonpanon valmistajan hyväksymän menetelmän mukaisesti. Valmistaja ilmoittaa myös kiristykseen liittyvät k-luokat, joita tarvitaan menetelmissä taulukon 2. mukaisesti. (Teräsnormi-kortti.2014,5)

Kiristysmenetelmä	k-luokat
Vääntömomenttimenetelmä (ks. 8.5.3)	K2
Yhdistetty menetelmä (ks. 8.5.4)	K2 tai K1
HRC-kiristysmenetelmä (ks. 8.5.5)	K0 vain HRD-mutterille tai K2
Suoraan vedon ilmaisuun perustuva (DTI) menetelmä (ks. 8.5.6)	K2, K1 tai K0

(SFS-EN 1090-2.2018, 61.)

Ensimmäisen vaiheen esikiristysvoiman vääntömomentin referenssiarvo saadaan K2 luokalle kaavalla 3. ja K1 luokalle kaavalla 4. (SFS-EN 1090-2.2018, 63.)

$$M_{r,2} = k_m d F_{p,C} \quad (3)$$

jossa,

$$k_m = \text{on K2 luokan k-arvo}$$

$$M_{r,1} = 0,125 d F_{p,C} \quad (4)$$

Standardin SFS-EN 1090-2 mukaan vääntömomenttimenetelmällä esijännitystä määritettäessä ruuvikokoonpanot tulee kiristää vähintään kahdessa vaiheessa käsi- tai konekäyttöisellä momenttiavaimella. Ensimmäisessä vaiheessa voidaan käyttää myös iskevää momenttiavainta. (SFS-EN 1090-2.2018, 63.)

Ensimmäinen kiristysvaiheen momentti saadaan kaavalla 5. Kaikki ruuvit kiristetään ensimmäisen vaiheen momenttiin ennen uutta kiristystä.

$$0,75 M_{r,2} \quad (5)$$

Toisen kiristysvaiheen momentti saadaan kaavalla 6.

$$1,10 * M_{R,2} \quad (6)$$

3.5 Muotoilu

Standardi EN 1090-2 ei rajaa tarkkaa muotoa, vaan ohjaa rakenteen muotoilua menetelmien kautta.

Rakennetta voidaan standardin mukaan taivuttaa, puristaa tai takoa vapaasti kylmä- tai kuumamuovausprosessilla, mikäli teräkselle määritetyt ominaisuudet eivät heikkene. Kaikki muovaukset tulee kuitenkin tehdä standardin ohjeiden mukaisesti materiaalin ja sille asetettujen vaatimusten mukaisesti. (SFS-EN 1090-2.2018, 39.)

Mikäli muotoilun aikana tai sen jälkeen näkyy lamellirepeilyä, vaurioita pinnoitteessa tai sä-röjä, tulee tuotetta käsitellä poikkeavana tuotteena. (SFS-EN 1090-2.2018, 39.)

3.6 Reikien tekeminen

Reikiä voidaan tehdä standardin mukaan lävistäen, poraten, laserilla tai muulla termisellä leikkauksella, mikäli leikatun pinnan laatu ja karkeneminen säilyy standardin rajoissa. Kaikki reiät tulee myös toimia niin, että kiinnittimet voidaan asettaa suorassa kulmassa kosketuspintoihin nähden. (SFS-EN 1090-2.2018, 44.)

Mikäli reikien halkaisijat, ainepaksuudet ja teräslajit määritetään oikein, voidaan tässä rakenteessa käyttää lähes kaikkia rei'itys menetelmiä. Lävistämismenetelmä, jota ei avarreta tai porata jälkeinpäin ei täytä ehtoja, koska tämän kaltaiseen liitokseen ei saa kohdistua syklistä tai seismistä kuormitusta mitä voidaan olettaa tarkisteltavaan kappaleeseen kohdistuvan. (SFS-EN 1090-2.2018, 44.)

4 Konedirektiivi 2006/42/EY

4.1 Yleistä

Euroopassa on voimassa konedirektiivi, jossa määritellään tekniset vaatimukset ja vaatimuksenmukaisuuden osoittamistavat koneille. Suomessa konedirektiiviä on tarkennettu valtioneuvoston asetuksella 400/2008, jota kutsutaan koneasetukseksi. (Koneturvallisuus 2008, 3.)

Koneella viitataan direktiivissä ”toisiinsa liitettyjen tai komponenttien yhdistelmää, jossa on tai joka on tarkoitettu varustettavaksi muulla kuin välittömällä ihmis- tai eläinvoimalla toimivalla voimansiirtojärjestelmällä ja jossa ainakin yksi osa tai komponentti on liikkuva, sekä joka on kokoonpantu erityistä toimintoa varten.” (Euroopan unionin virallinen lehti 2006, 27.)

”Puolivalmisteella” direktiivissä tarkoitetaan ”yhdistelmää, joka on melkein kuin kone, mutta ei sellaisenaan pysty suorittamaan erityistä toimintoa.” Puolivalmiste on siis kokonaisuuden osa ja tarkoitettu liitettäväksi koneeseen.

Koneen ollessa suunniteltu, sekä rakennettu direktiivin mukaisten turvallisuus- ja terveysvaatimusten mukaan. Laadittu selkeä tekninen tiedosto, sekä tehty vaatimuksenmukaisuusvakuutus ja lisätty CE- merkintä koneeseen. Saa koneen tuoda Euroopan jäsenmaahan ja saattaa sen markkinoille. (Koneturvallisuus 2008, 3.) Direktiiviä sovelletaan koneisiin, vaihdettaviin laitteisiin, turvakomponentteihin, nostoapuvälineisiin, nivelakseleihin, puolivalmisteisiin, ketjuihin, köysiin ja vöihin (Euroopan unionin virallinen lehti 2006, 26).

4.1.1 Konedirektiivi kappaleentarkastelussa

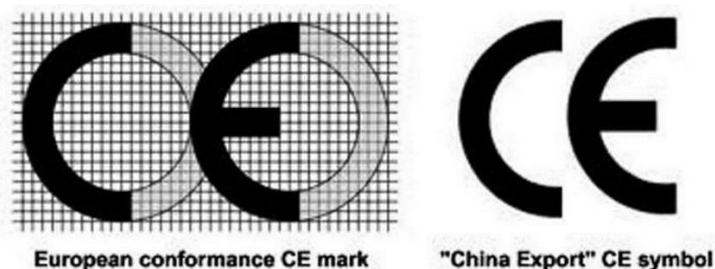
Kappaleentarkastelun kappale täyttää puolivalmisteen määritelmän, joten kappaleen tarkastelu tehdään tätä soveltaen. Tavoitteena oli määrittää kappaleen valmistajalle konedirektiivin yleiset vaatimukset ja kohdistaa ne mahdollisimman tarkasti tarkastelemaan kappaleeseen. Osio toimii raakamallin ohjeena valmistajalle ja suunnittelijalle kohti konedirektiivin mukaista kappaletta.

4.1.2 Vastuu ja hyväksytty merkintä

Valmistaja tai sen valtuutettu edustaja vastaa siitä, että kone tai puolivalmiste on konedirektiivin vaatimusten mukainen. Vaatimusten mukaisuudesta kertoo CE-merkintä ja täyttymisestä vastaavan tahon nimi merkinnän vieressä. (Euroopan unionin virallinen lehti 2006, 28.)

Konedirektiivin 2006/42/EY mukaan CE-merkintä tulisi olla ainoa merkintä, joka takaa direktiivin vaatimusten mukaisuuden. Kaikki muut merkintätavat ja erehdyttävät merkit tulisi kieltää. (Euroopan unionin virallinen lehti 2006, 26.)

Euroopan talousalueen ulkopuolelta tulee kuitenkin direktiiviä vastaisesti erehdyttäviä merkintöjä (kuva 1), jotka aiheuttavat erehtyvälle loppukäyttäjälle mahdollisen turvallisuus riskin ja heikentävät merkin merkitystä.



Kuva 1. CE-marking (Clever Compliance` s help center)

Valmistajan tai valtuutetun edustajan tulee kiinnittää ennen markkinoille saattamista CE-merkintä, joten tällä on vastuu myös noudattaa kirjoitustavan mittasuhteita (Euroopan unionin virallinen lehti 2006, 29 & 67.).

4.2 Puolivalmisteen vaatimukset

Konedirektiivi 2006/42/EY:n mukaan puolivalmisteen valmistajan tulee laatia myös teknisten asiakirjojen kooste, jonka kautta osoitetaan mitä direktiivin vaatimuksia puolivalmiste täyttää ja mitä niistä sovelletaan. Puolivalmisteen rakennetta, valmistusta ja toimintaa tulee käsitellä siinä määrin, että on selkeästi arvioitavissa terveys- ja turvallisuusvaatimusten täyttyminen rakenteessa. Asiakirjat saa laatia yhdellä tai useammalla virallisella kielellä. (Euroopan unionin virallinen lehti 2006, 72.)

4.2.1 Tekninen asiakirja

Tekniseen asiakirja koosteeseen kuuluu rakennetiedosto ja kooste toimenpiteistä, joilla taataan sarjatuotannolla valmistettavien puolivalmisteiden laatu. (Euroopan unionin virallinen lehti 2006, 72.)

Rakennetiedoston asiakirjoiksi katsotaan kuuluvan piirustukset, todistukset, laskelmat, riskianalyysit ja niiden poistamiseksi tehdyt toimenpiteet, kokoonpano-ohjeiden jäljennös, koheet ja testausmenetelmät, sekä kooste käytetyistä standardeista ja niiden mukaisuudesta. (Euroopan unionin virallinen lehti 2006, 72.)

4.2.2 Liittämisvakuutus

Puolivalmisteiden liittämisvakuutus ja sen käännökset on laadittava samoin kuin valmiin koneen vaatimustenmukaisuusvakuutus. Laadittava vakuutus tulee laatia koneella tai suuraakkosin käsin.

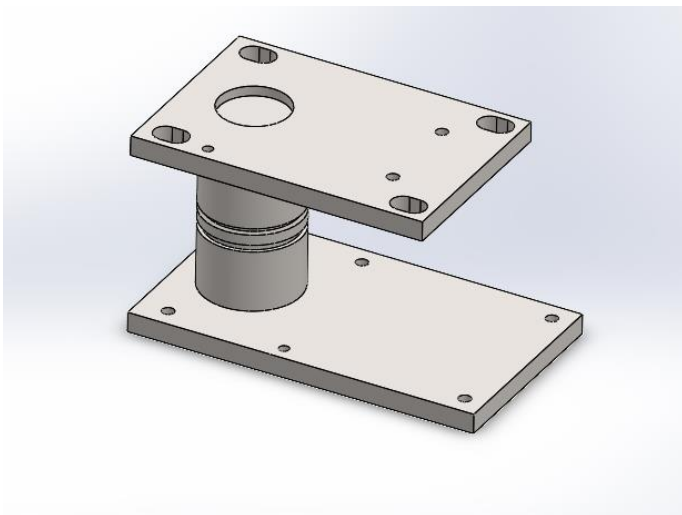
Liittämisvakuutuksen tulee sisältää puolivalmisteen valmistajan nimi, osoite ja mahdollinen valtuutettu edustaja, sekä organisaatiossa toimivan henkilön nimi ja osoite, joka kykenee keräämään ja luovuttamaan tarvittaessa tekniset asiakirjat. Liittämisvakuutuksesta tulee ilmetä puolivalmisteen toimintakuvaus, nimi, toiminta, malli, tyyppi, sarjanumero, kaupallinen nimi, sovelletusti täyttyvät ja täyttyvät vaatimukset. Mikäli rakenne on sellainen, ettei rakennetta ei saa ottaa käyttöön puolivalmisteenä tulee se mainita vakuutuksessa. Liittämisvakuutus viimeistellään kirjaamalla vakuutuksen laadinta aika, paikka, laatijan nimi ja allekirjoitus. (Euroopan unionin virallinen lehti 2006, 65)

Koneen valmistajan tai sen edustajan on säilytettävä alkuperäinen liittämisvakuutus vähintään kymmenen vuotta puolivalmisteen viimeisestä valmistumispäivästä. (Euroopan unionin virallinen lehti 2006, 66)

5 Levymäisen rakenteen lujjuustarkastelu

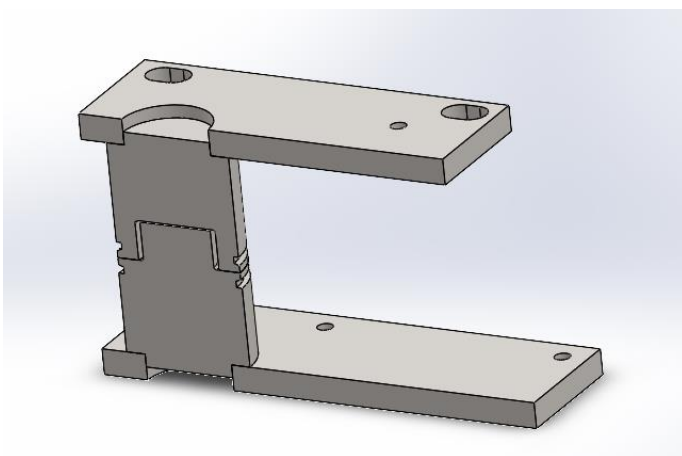
5.1 Rakenne ja materiaalit

Tarkasteltava kappale koostuu kahdesta levystä, jotka kiinnittyvät toisiinsa pyöreään pystyrakenteen kautta (kuva 2). Levyt ovat hitsattu kiinni pystyrakenteeseen, joka on kaksiosainen. Taso- ja sivuttaiskuormien katsotaan kohdistuvan päällimmäisen levyn kautta koko runkoon. Pystyrakenteen materiaali on S355 ja levyrakenteen S235 teräs.



Kuva 2. Havainnekuva tarkasteltavasta kappaleesta

Rakenteen keskellä on tappi, joka kykenee liikkumaan ± 4 mm holkin sisällä (kuva 3). Kansi- ja pohjalevy kiinnitetään jäykästi rakenteeseen, joten pystyrakenteen katsotaan kantavan kuormaa.



Kuva 3. Leikkauskuva keskeltä rakennetta

5.2 Levyrakenteiden jännitystenkesto

Kuormituksen suuruus ei ollut tiedossa, vaan tarkoitus oli määrittää kappaleen kestävä horisontaali- ja vertikaalikuormitus. Osakohtaisen keston määrittämisen tarkoitus oli tarjota tarkempi näkemys rakenteen heikoista kohdista.

Kansilevyyn kohdistuvan vertikaalivoiman katsottiin kohdistuvan keskelle levyä tai levyn reunaan. Suurin sallittu maksimi voima F määritettiin taivutusvastuksen ja materiaalin myötörajan kautta.

Taivutusvastus määritettiin levyn leveyden (b) ja paksuuden (h) kautta kaavalla 7.

$$Wt = \frac{bh^2}{6} \quad (7)$$

(Esko Valtanen 2012, 410.)

Materiaalin taivutusmomentti saadaan kaavalla 8.

$$\sigma_{myötöraja} * Wt = Mt \quad (8)$$

Saatu taivutusmomentti jaetaan pituudella x , jolloin saadaan voima F .

$$\frac{Mt}{x} = F \quad (9)$$

missä, x = levyn pituus samassa pituusyksikössä kuin taivutusmomentissa.

F = suurin pystysuuntainen voima, joka ei ylitä myötörajaa.

Kun suurin voima F tunnetaan, saadaan puristusjännitys kaavalla 10.

$$\sigma_n = \frac{F}{A} \quad (10)$$

Suora leikkausjännitys saadaan kaavalla 11.

$$\tau = \frac{F}{A} \quad (11)$$

Yhdistetty jännitys saadaan nyt von Mises kaavan kautta kaavalla 12.

$$\sqrt{(\sigma_t + \sigma_n)^2 + 3(\tau_l^2)} \quad (12)$$

missä,

σ_t = taivutusjännitys

σ_n = normaalijännitys

τ_l = suora leikkausjännitys

5.3 Tukirakenteen jännityksenkesto

Tukirakenteeseen kohdistuu puristusta ja taivutusta kansilevyn kohdistuvan voiman takia. Mikäli voima osuu vain tukirakenteen keskelle, saadaan suurin sallittu puristusjännitys kaavalla 13.

$$F_{\text{puristusjännitys}} = \sigma_{\text{myötöraja}} * A \quad (13)$$

missä

A = pinta-ala millimetreinä

Puristusjännitykseen vaikuttaa tukirakenteen keskeisyys, koska rakenne koostuu kahdesta erillisestä osasta. Näin rakenteella olisi teoriassa mahdollista siirtyä 8 mm holkin toleranssin takia sivuun. Laskenta tehtiin kuitenkin ajatuksella, että holkin siirtymää ei vertikaalikuormituksella tapahdu.

Horisontaali- tai vertikaalivoiman katsotaan kohdistuvan tukirakenteeseen kansilevyn kautta, joten tukirakenteeseen kohdistuva suurin sallittu voima tuli määrittää taivutusvastuksen kautta kaavalla 14. Tukirakenne kuitenkin koostuu kahdesta erillisestä osasta, joka tuli huomioida taivutusmomenttia määritettäessä.

$$W_t = \frac{\pi(D^4 - d^4)}{32D} \quad (14)$$

(Esko Valtanen 2012, 413.)

Itse voimien määrittäminen tapahtuu samoin kuin kansilevyn rakenteen. Kaavojen 7–12 kautta saadaan määritettyä rakenteen horisontaali- ja vertikaalivoima F. Tukirakenteeseen kohdistuu siis taivutusmomenttia ja taivutusjännitystä.

Horisontaalivoiman siirtyminen tappi- / holkki rakenteessa on suunnittelijan määritettävä. Eri halkaisijoiden takia voiman siirtyminen aiheuttaa haasteen kosketuspinta-alan määrittämisessä. Tässä opinnäytetyössä halutaan pysyä täysin varmallalla pohjalla, joten pinta-ala määritetään 15,5 mm kaaren alan mukaan.

Leikkausjännitys määritettiin kaavalla 11, jossa käytettiin pyöreän tapin pinta-alan määrittämiseen kaavaa 15.

$$A = \pi r^2 \quad (15)$$

missä,

r = tapin säde millimetreinä

5.4 Hitsausliitosten jännityksenkesto

Hitsausseamien tuli kestää horisontaalivoiman muodostama taivutusjännitys ja suora vertikaalijännitys. Näiden kuormien määrittäminen tehtiin standardin SFS-EN 1993-1-8 mukaisesti, joten korrelaatiokertoimen arvo saatiin suoraan tästä Eurokoodi 3 standardista. Pienahitsien jännitysten määrittämiseen oli standardin mukaan kaksi tapaa, vertailujännitys- ja yksinkertainen mitoitus tapa.

Standardin mukainen vertailujännitys saatiin kaavalla 16.

$$\sigma_{vert} = \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \quad (16)$$

missä, σ_{\perp} = kohtisuora jännitys laskentapintaa vastaan

τ_{\perp} = akselin vastainen leikkausjännitys laskentapinnan tasossa

τ_{\parallel} = akselin suuntainen leikkausjännitys leikkauspinnan tasossa

Pienahitsin kestävyys katsottiin riittäväksi, jos kaavat 17 ja 18 toteutuvat.

$$\sigma_{vert} = \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w * \gamma_{M2}} \quad (17)$$

$$\sigma_{\perp} \leq 0,9 \frac{f_u}{\gamma_{M2}} \quad (18)$$

Standardin mukainen hitsi saatiin mitoitettua myös yksinkertaisella mitoitustavalla, jossa hitsin jännitystä ei tarvinnut jakaa komponentteihin. Standardi antoi kuormituksen keston riippumatta voiman suunnasta. Yksinkertaisen mitoituksen kautta saatiin nimellinen jännitys kaavalla 19.

$$\sigma_w = \frac{F_d}{a * l} \quad (19)$$

missä,

F_d = mitoituskuorma, joka on kerrottu osavarmuuskertoimella

Hitsin kestävyys katsotaan riittäväksi, kun nimellinen jännitys on leikkauslujuuden mitoitusarvoa pienempi (kaava 20).

$$\sigma_w \leq f_{vw,d} = \frac{f_u}{\sqrt{3}\beta_w\gamma_{M2}} \quad (20)$$

Standardin mukaan a-mitan efektiivinen pituus tuli kuitenkin olla vähintään 3 mm.

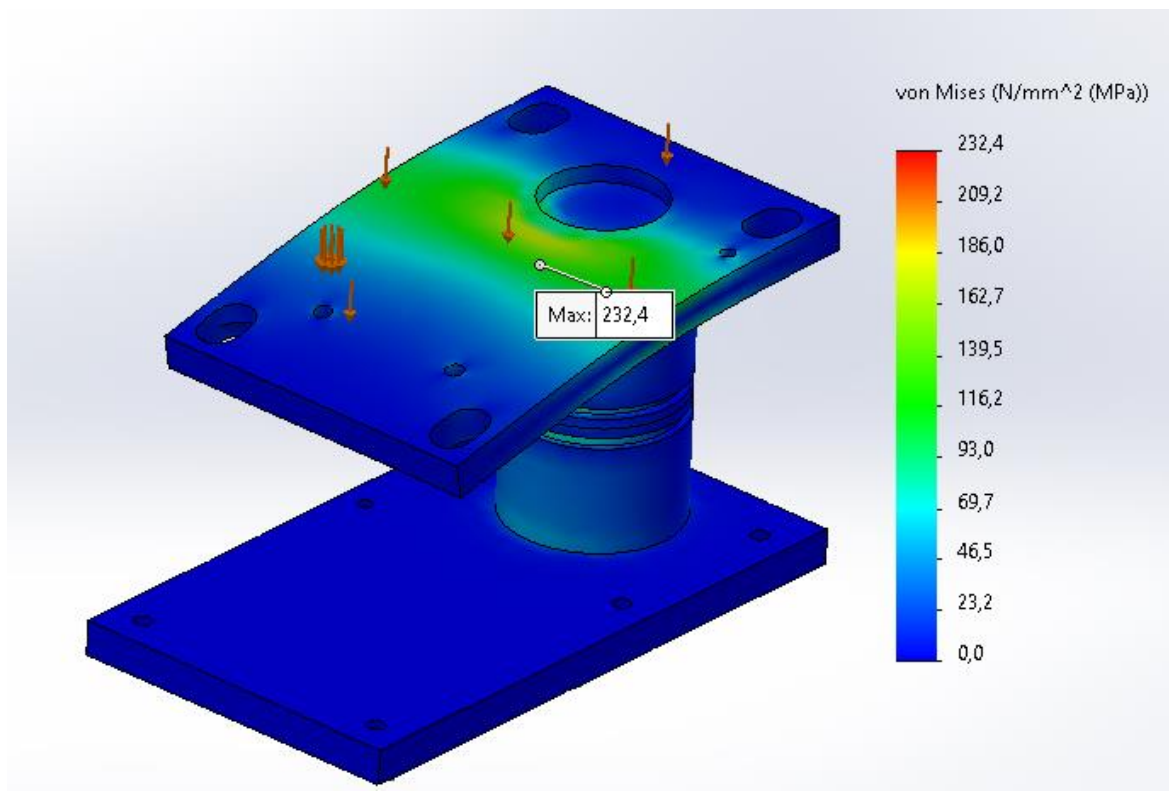
6 FEM-analyysi

6.1 Perustiedot

FEM (Finite Element Method) menetelmällä määritetään kappaleen muodon ja materiaalin reunaehdoilla laskennallinen vahvuus ohjelmiston kautta. Tätä laskennallista vahvuutta verrataan erilliseen käsin tehtyyn tarkasteluun ja pyritään saamaan samankaltaisia tuloksia oikeellisuuden määrittämiseksi. Analyysiin laadittiin 2020 SolidWorks:n Student Simulation Editionin avulla, joka yhdessä luodun 3D-mallin ja ainevahvuustietojen kanssa antoi menetelmälle rajaehdot vahvuuden ja kappaleen ominaisuuksien määrittämiseksi.

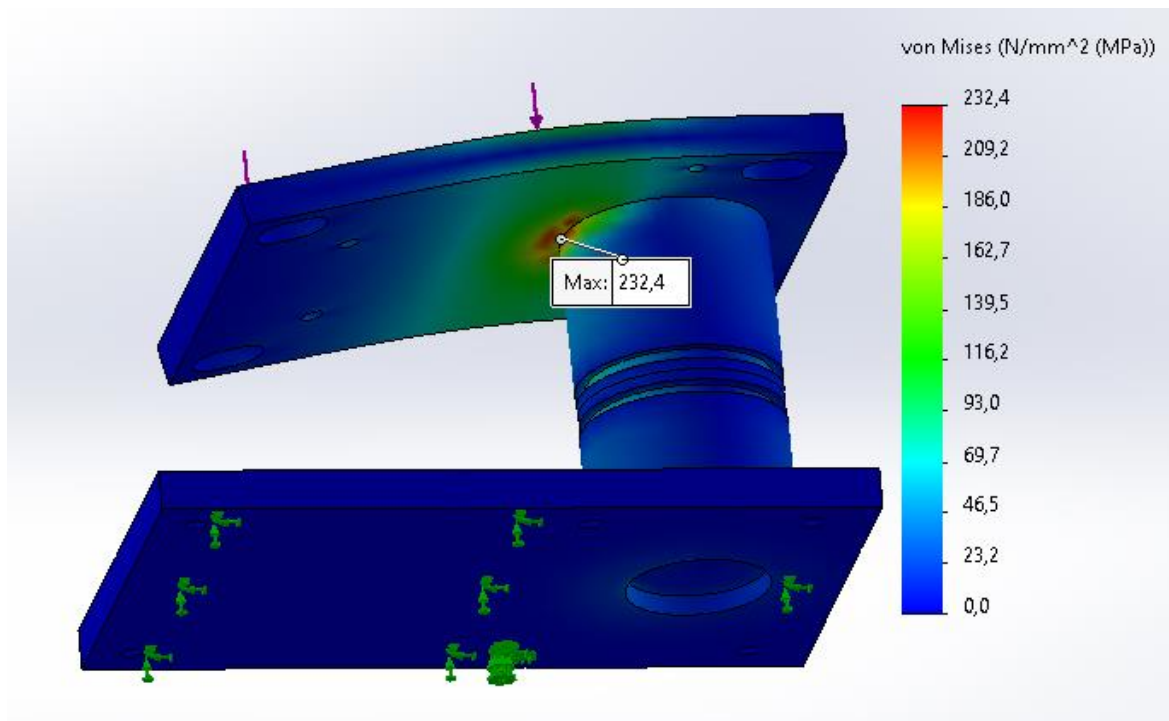
6.2 Kansilevy

Kuormitus kohdistuu kansilevyyn pintaan, mikä aiheuttaa taivutusjännityksen levyyn. Rakenteen pohja katsotaan kiinnitetyksi jäykästi kiinni alustaan. Suurin taivutus saadaan (kuva 4) pystyrakenteen vieressä levyn poikkileikkauksessa. Matemaattisen tarkastelun kautta saatiin taivutusjännityksen arvoksi 235,6 MPa. FEM-analyysillä päästiin 232,4MPa, jolloin ero menetelmien välillä on 2 % luokkaa. Suurin kuormitus levyllä on noin 38.6 kN.



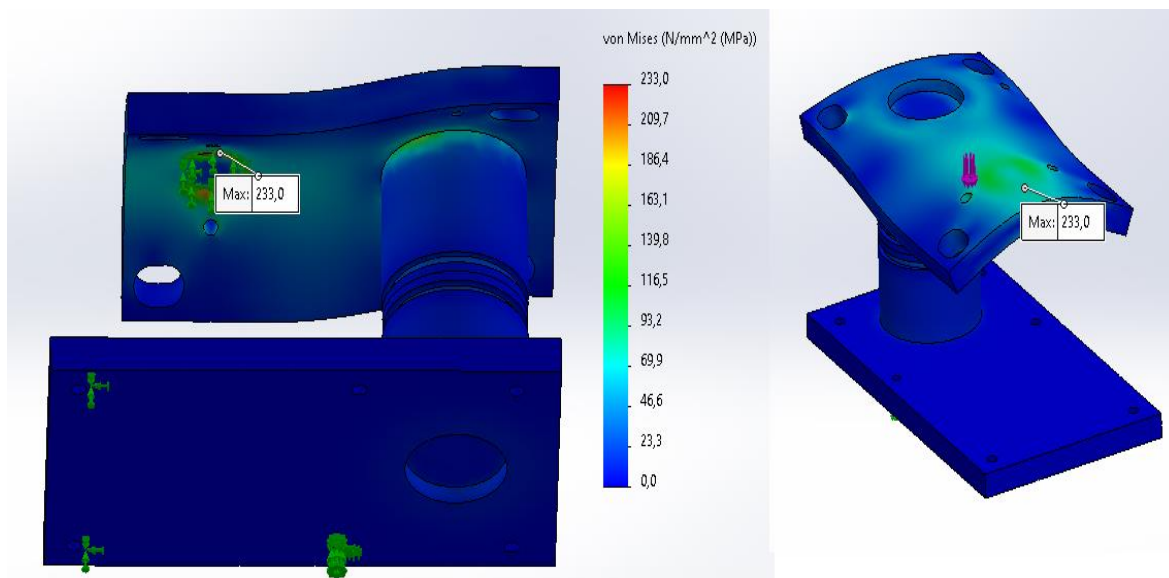
Kuva 4. Kansilevyn pintaan kohdistuva taivutusjännityksen jakautuminen

Tarkasteltaessa alakulmasta (kuva 5) levyn taivutumista saadaan tarkempi näkemys kohdasta, jossa yhdistetty jännitys (von Mises) saa suurimman arvonsa kuormituksen takia.



Kuva 5. Taivutusjännitys tukirakenteen reunassa

Vertailun vuoksi levy tuettiin $\varnothing 40$ mm äärettömän jäykällä tuennalla (kuva 6), jolloin saatiin levylle 233MPa jännitys vasta voimalla 125 kN.

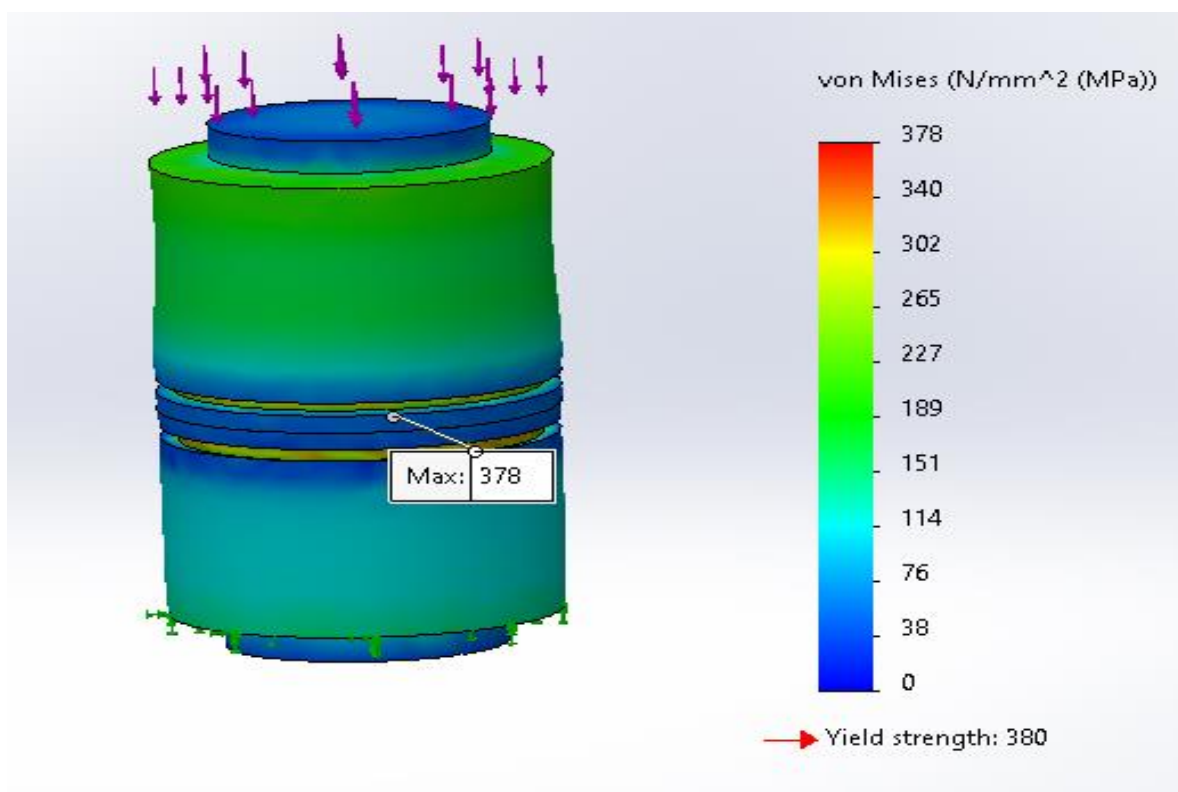


Kuva 6. Vertailumenetelmä tuettuna

6.3 Tukirakenne

Tukirakenne koostuu kahdesta erillisestä osasta, joihin kohdistuu vertikaali- ja horisontaalivoiman takia taivutusta. Rakenne on kiinnitetty ylä- ja alalevyyn $\varnothing 70$ mm ja $\varnothing 100$ mm hitsausliitoksilla.

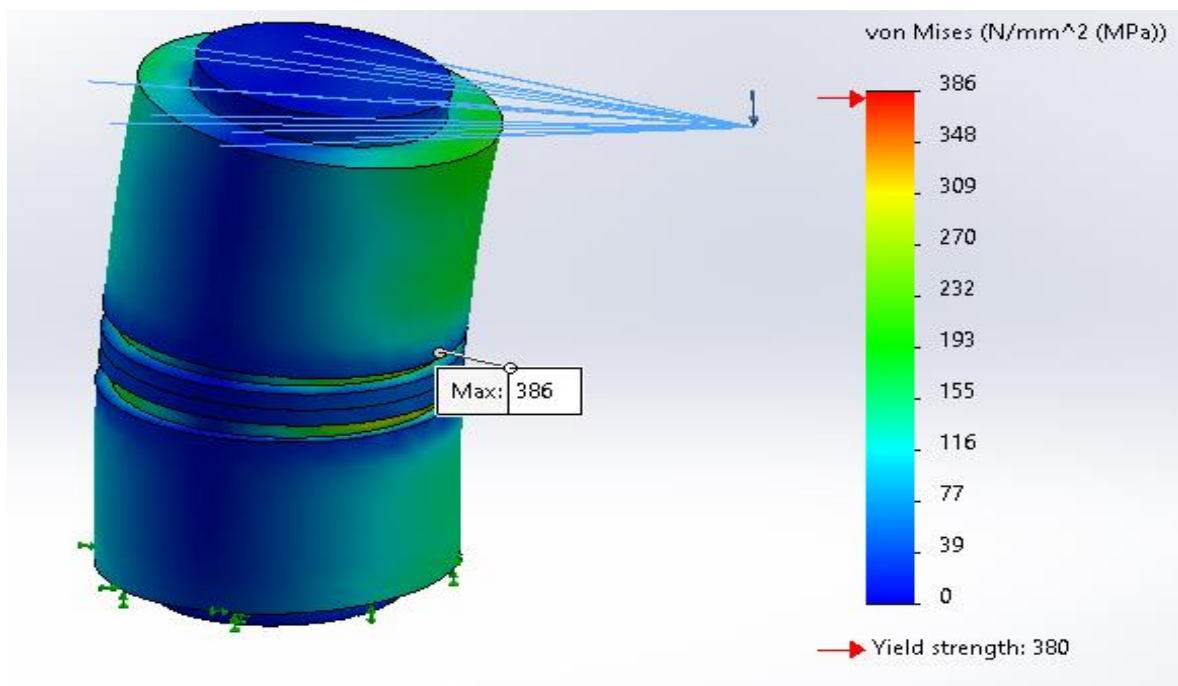
Kappaleen kuormitusta ja kohtaa ei tarkkaan tunneta, joten tarkastetaan myös pelkkä pystyrakenteen kuormankantokyky. Suora vertikaalivoima kohdistuu rakenteen päälle, mutta ei tapin päälle (kuva 7). Tämä aiheuttaa puristusta pystyrakenteeseen 378MPa von Mises jännityksen 800 kN voimalla. Käsin tarkastelussa jännitys on pienempi, koska rakenteen lovea ei otettu huomioon FEM-analyysin tavoin. Puristusta von Mises menetelmällä saatiin 355MPa.



Kuva 7. Tukirakenteen horisontaalivoiman jakautuminen

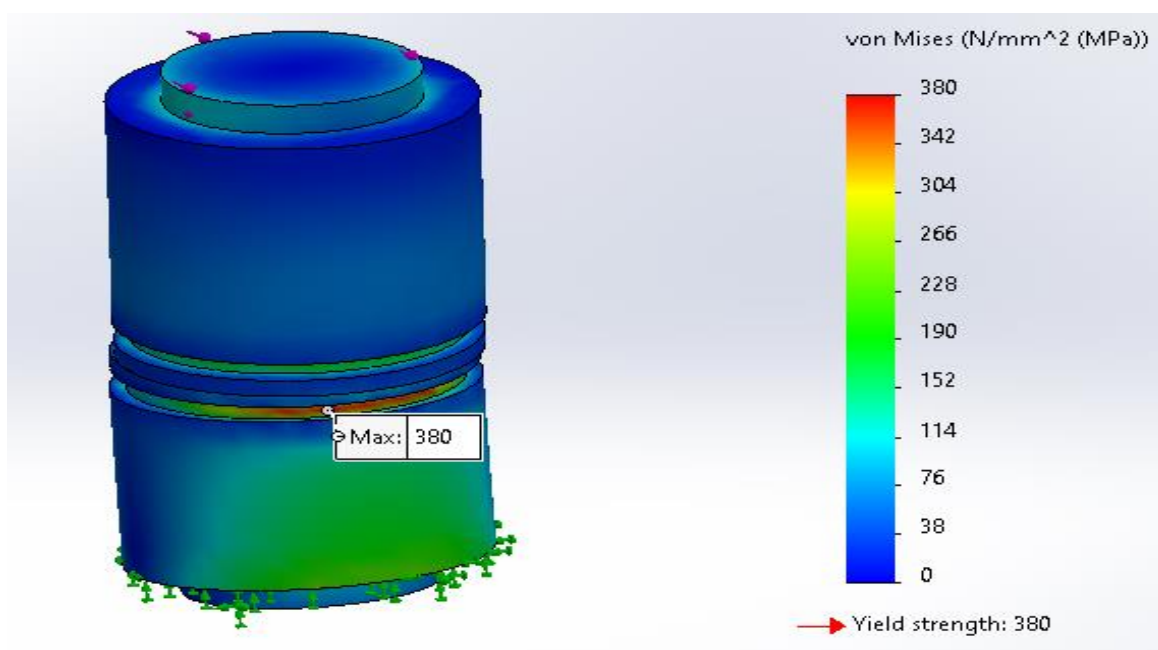
Mikäli voima F katsotaan kohdistuvan kansilevyn, saadaan taivutusjännityksen takia huomattavasti suurempi yhdistetty jännitys. Taivutusjännitys on suurimmillaan voiman kohdistuessa levyn uloimpaan reunaan. Tässä mallissa oletetaan kuitenkin kuorman jakautuvan tasaisesti levyyn eli voima F kohdistuisi keskelle kansilevyä.

Taivutusjännitys määritettiin Remote Loads / Mass ominaisuudella, jolla annettiin x - ja y -koordinaatit voimalle F (kuva 8) 95 kN voimalla saadaan jännitys jo myötörajalte.



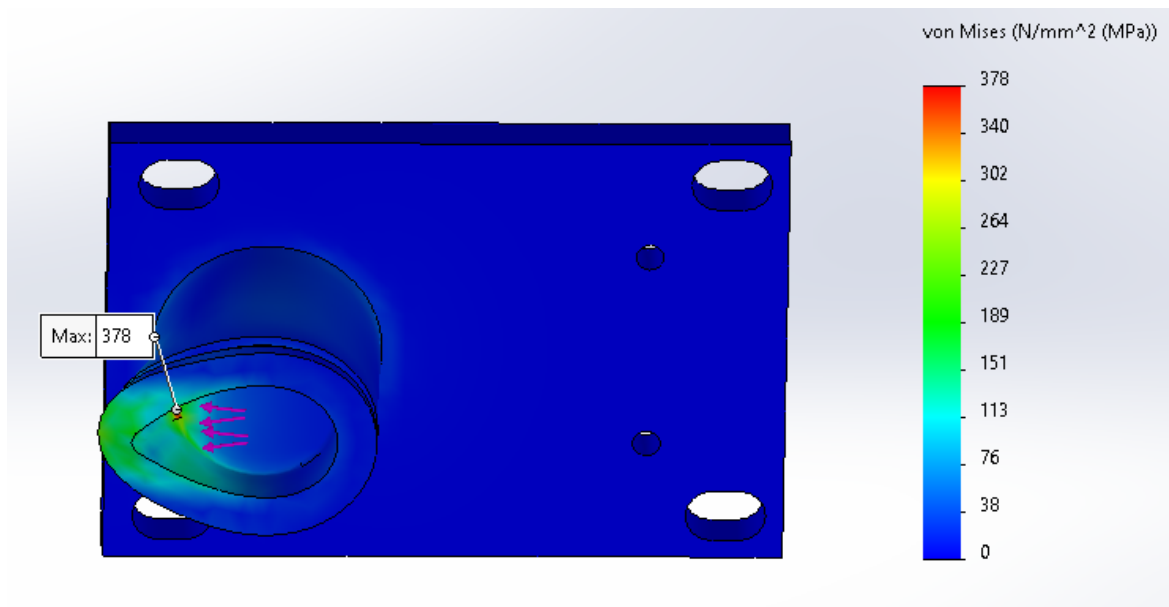
Kuva 8. Tukirakenteen taipuma kuorma siirrettynä

Horisontaalivoima määritettiin kohdistuvan kappaleen päälle (kuva 9), sekä keskellä olevan tappiliitoksen toleranssit määritettiin nollassi. Tukirakenteen ylä- ja alaosa on kiinni, joten kappale katsottiin siis jäykäksi rakenteeksi. Käsien tarkastelu antoi oletusarvona olettaa noin 158kN kestoä myötörajalta, mutta oletettavaa oli jo laskelmia laadittaessa olettaa pienempää kestoä rakenteen taivutusvastuksen määrittämisen hankaluuden takia. Simulaatio antoiinkin vain 125kN keston myötörajan kuormituksella.



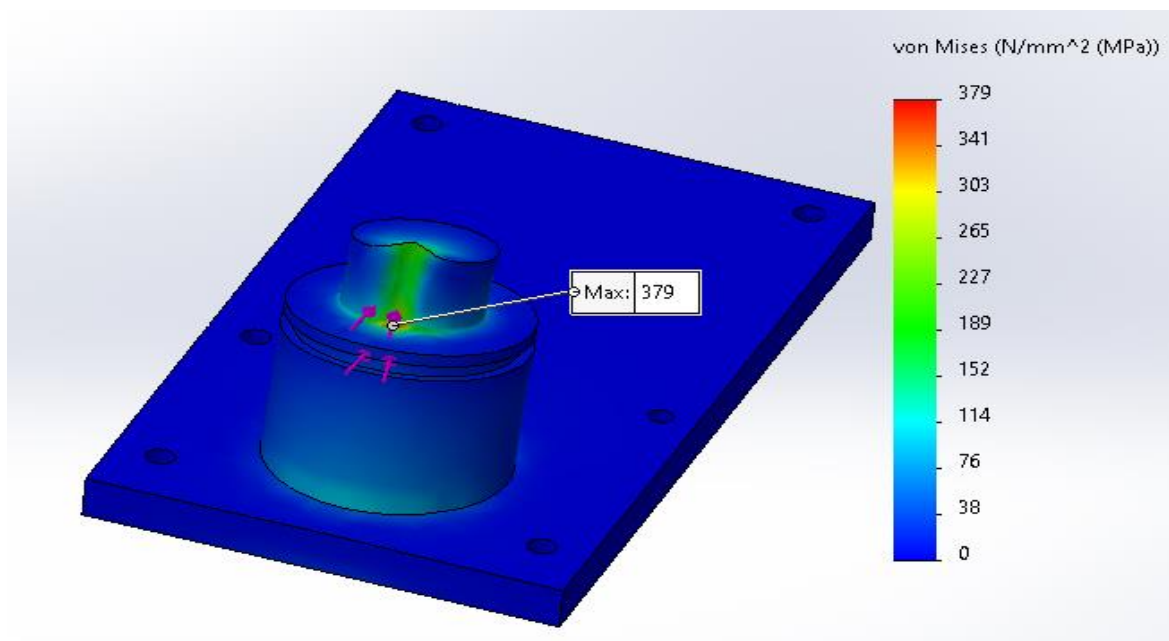
Kuva 9. Horisontaalinen kuormitus

Kappaleen yksi haasteellisimmista tarkastelukohdista on voiman siirtyminen tukirakenteen ylä- ja alaosan välillä. Tämä johtuu tappi- ja holkkirakenteen halkaisijan eroavaisuudesta, joten kosketuspinnan arvioiminen jää suunnittelijan arvioitavaksi. Halkaisijoiden eroavaisuuden takia pistepäinen jännitys on keskellä suurimmillaan. Simulaatiossa von Mises vertailujännitys saatiin myötörajaan 80kN voimalla.



Kuva 10. Tappirakenteen aiheuttama voiman siirtyminen holkkiin

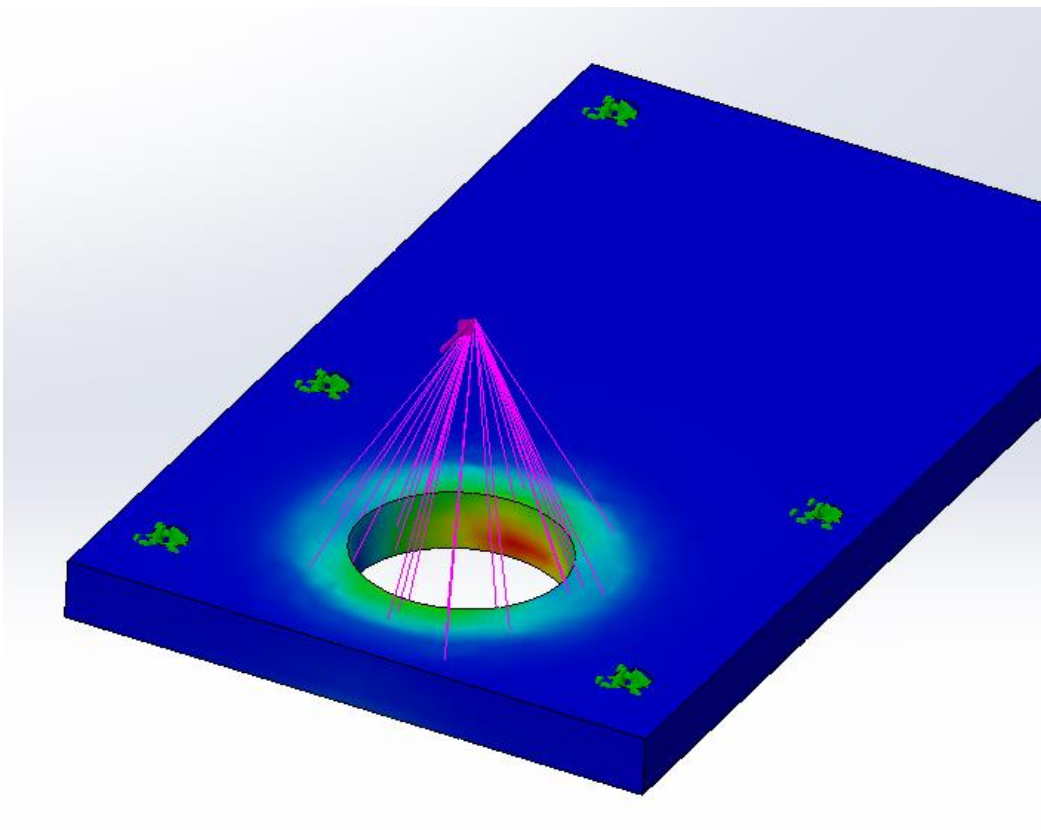
Alaosaan määritettiin vastaavasti tapin kosketuspinta-alaan kohdistuva voima, joka rakenteellisen muotonsa ansiosta kesti huomattavasti suuremman 160kN voiman. Holkkirakennetta voidaankin selkeästi pitää rakenteen heikoimpana kohtana.



Kuva 11. Holkkirakenteen aiheuttama voiman siirtyminen tappiin

6.4 Pohjalevy

Pohjalevyn horisontaalinen voima määritettiin FEM-analyysin kautta vastaavasti, kuin pystyrakenteen taipuma. Näin saatiin tarkasteltavan rakenteen suurin kuormitus selkeästi näkyviin (kuva 11) tukirakenteen aukkoon riippumatta voiman suunnasta. Myötörajan määrittynä suurimaksi voimaksi simulaatio antoi 155 kN.



Kuva 11. Horisontaalisen voiman jakautuminen pohjalevyyn.

7 Yhteenveto

7.1 Tarkasteluprosessi

Tarkastelu aloitettiin rakenteen ja standardien ominaisuuksien tarkastelulla, jotta saatiin käsitys rakenteen toiminnasta ja siihen esitettävistä vaatimuksista. FEM-analyysin laadintaan saatiin työn toimeksiantajalta koulutus, jonka ansiosta elementtimenetelmän käyttö ja asetusten määrittämien tuli tutuksi. FEM-analyysi katsottiin laadituksi oikein, kun kaavojen kautta määritetyt laskennalliset arvot olivat samaa suuruusluokkaa. Laskelmat toimitettiin toimeksiantajan asiakkaalle, mutta julkisessa opinnäytetyössä laskelmat näkyvät salattavina asiakirjoina.

7.2 Tavoitteet, tarkoitukset ja niiden toteutuminen

Opinnäytetyön tavoitteena oli määrittää laskennallisen tarkastelun kautta rakenteen kestävyys ja FEM-analyysin kautta varmistaa tulokset. Tässä tavoitteessa onnistuttiin ja laskennan tulokset olivat yhdenmukaiset toisiinsa nähden.

Standardien avaaminen kappaleen rakenne huomioiden tuotti haasteita erityisesti SFS-EN 1090-2 standardin kanssa, koska standardi ottaa laajasti kantaa valmistuksen ja toteutuksen menetelmiin. Tässä työssä tarkasteltiin kuitenkin rakennetta, joka on jo valmis kaupallinen tuote, minkä takia rakenteella oli jo tuotantoprosessi ja menetelmät. Tarkastelu laskelmineen olikin tarkoitus olla ensiaskel SFS-EN 1090-2 mukaiseen kappaleeseen ja tästä johtuen standardiin tutustuttiin huomiointimenetelmällä, jossa nostettiin esiin rakenteen kannalta oleellisia seikkoja standardissa. Tavoitteen voidaan näin katsoa toteutuneen.

Konedirektiiviä käsiteltiin pääsuunnittelijan toiveesta, koska direktiivi katsottiin hyvin oleelliseksi aloittavan suunnittelijan osa-alueeksi. Pyrkimys oli myös tuoda direktiiviä esiin alalle suuntautuville ja korostaa turvallisuustekijöiden tärkeyttä suunnittelussa. Huomioiminen tapahtui kuitenkin tarkastettavan rakenteen kautta, joten direktiivistä käsiteltiin vain puolivalmisteen osuutta.

7.3 Jatkokehitys

Tarkastelu rajattiin vastaamaan suoritettavan tutkinnon opinnäytetyön laajuutta, joten prosessin aikana tiedostettiin jo mahdollisuus jatkokehittää tarkastelua. Materiaalien, rakenteen, valmistuksen ja asentamisen kehittäminen yhdistettynä monipuolisiin laskentamenetelmiin ja ohjelmistoihin nähtiin antavan mahdollisuus kehittää koko rakenne alusta saakka standardin SFS-EN 1090-2 mukaisuuteen.

Lähteet

ALTEN Finland. Meistä. Viitattu 22.4.2021. Saatavissa <https://www.alten.fi/#meista>

Clever Compliance` s help center. CE-merkintä vertailu. Viitattu 8.5.2021. <https://support.ce-check.eu/hc/en-us/articles/360008642600-How-To-Distinguish-A-Real-CE-Mark-From-A-Fake-Chinese-Export-Mark>

Euroopan unionin virallinen lehti. 2006. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2006/42/EY. Viitattu 8.5.2021. Saatavissa <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:32006L0042&from=ES>

STT Viestintäpalvelut Oy. Ranskalaisjätti ALTEN aloittaa Suomessa. Viitattu 22.4.2021. Saatavissa <https://www.sttinfo.fi/tiedote/ranskalaisjatti-alten-aloittaa-suomessa>

SFS-EN 1090-2 2018. Teräs- ja alumiinirakenteiden toteutus. Osa 2: Teräsrakenteiden tekniset vaatimukset. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.

Teräsnormikortti 23/2014.

Työsuojeluhallinto. 2008. Koneturvallisuus. Tampere: Multiprint. Viitattu 8.5.2021. Saatavissa https://www.tyosuojelu.fi/documents/14660/2426906/Koneturvallisuus_tso_16-2009.pdf/6ae406a0-29fc-45fa-a4a6-19e38af399cc

Valtonen, E. 2012. Tekniikan taulukkokirja. 19. uudistettu painos. Mikkeli: Ganesis-Kirjat Oy.

2009. ALTE Oy. Raahen Painopiste Ky.