

Miika Haavisto

Murtolevyrakenteen kehittäminen

Opinnäytetyö

Kevät 2016

SeAMK Tekniikka

Konetekniikan koulutusohjelma



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

Opinnäytetyön tiivistelmä

Koulutusyksikkö: Tekniikan yksikkö

Tutkinto-ohjelma: Konetekniikan ko.

Suuntautumisvaihtoehto: Kone- ja tuotantotekniikka

Tekijä: Miika Haavisto

Työn nimi: Murtolevyrakenteen kehittäminen

Ohjaaja: Ilkka Estlander

Vuosi: 2016 Sivumäärä: 62 Liitteiden lukumäärä: 2

Työn lähtökohta perustui JL Metals Oy:n tarpeelle kehittää toimintaansa kokonaisvaltaisemmaksi ja kustannustehokkaammaksi. JL Metals Oy asentaa murtolevyjä silloihin ja säiliöihin merkittäviä määriä, jonka seurauksena niiden muodostamat kustannukset ovat korkeat. Tästä syystä omavalmisteiseen murtolevymalliin oli kiinnostusta.

Lähtökohtien pohjalta työn aiheeksi määräytyi murtolevykokonaisuuden kehitystyö, jonka ensimmäinen tavoite oli selvittää murtolevykokonaisuutta koskevat säädökset. Työssä referoidaan murtokalvoja käsittelevää standardia SFS-EN ISO 4126-2, jossa esitetään velvoittavat lähtökohdat kehitystyölle ja tuotteen sertifiointille.

Toinen ensisijaisista tavoitteista työssä oli kehittää standardin mukainen tuote. Tuotteen suunnittelussa otettiin huomioon standardin lisäksi myös valmistajan asettamat ehdot ja ideat. Tuotteen tuli olla myös helposti valmistettavissa.

Työn lopputulokseksi saatiin murtolevyrakenteen kokonaisuus vaadittavine komponentteineen ja laskentoineen. Lopussa analysoidaan työn tulosta sekä sen suorittamista.

Avainsanat: murtolevy, laippaliitokset, sertifiointi

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Faculty: School of Technology

Degree programme: Mechanical Engineering

Specialisation: Mechanical and Production Engineering

Author: Miika Haavisto

Title of thesis: Development of a bursting disc structure

Supervisor: Ilkka Estlander

Year: 2016 Number of pages: 62 Number of appendices: 2

The starting point for this thesis was the need of the company JL Metals Oy to make its operations more comprehensive and cost-effective. The silos and containers made by the company are provided with bursting discs in significant numbers, resulting in high costs. This makes self-manufactured bursting discs an attractive option.

Following from this, the development of a complete bursting disc assembly was chosen as the central theme of the thesis. As the first objective was to identify all relevant regulatory aspects, the thesis outlines the normative basis for the development and certification of the product as set out in SFS-EN ISO 4126-2, which specifies the requirements for bursting disc safety devices.

Another key objective was to develop a product in compliance with the said standard. Other factors considered in the development of the product included the criteria and ideas provided by the product manufacturer, as well as ease of manufacturing.

The final result of the development work was a complete bursting disc structure, including all the necessary components and calculations. The thesis ends with an analysis of the implementation and results of the project.

Keywords: bursting disc, flange joint, certification

SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä.....	2
Thesis abstract.....	3
SISÄLTÖ.....	4
Kuvio- ja taulukkoluetelo.....	6
Käytetyt termit ja lyhenteet.....	8
1 JOHDANTO.....	9
1.1 Lähtökohdat.....	9
1.2 Tavoitteet.....	9
1.3 Työn rakenne.....	10
2 ATEX-DIREKTIIVI JA PÖLYRÄJÄHDYS.....	11
2.1 ATEX-direktiivi.....	11
2.2 ATEX-tila.....	12
2.3 Pölyräjähdys.....	12
3 STANDARDI SFS-EN ISO 4126-2.....	14
3.1 Yleistä.....	14
3.2 Materiaalit.....	14
3.3 Murtokalvotyypit.....	15
3.3.1 Tavanomaiset kupumaiset murtokalvot.....	16
3.3.2 Käänteiset kupumaiset murtokalvot.....	17
3.3.3 Suorat murtokalvot.....	18
3.3.4 Muut mallit.....	19
3.4 Murtolevyn pidikkeet.....	19
3.5 Takaiskutuet.....	20
3.6 Lämpösuojat, jäykisterenkaat ja tiivisteet.....	20
3.7 Murtolevyjen kokoaminen.....	21
3.8 Määritellyt murtopainevaatimukset.....	22
3.9 Tarkastus- ja koemenettelyt.....	22
3.9.1 Tarkastus.....	22
3.9.2 Murtopainekoe.....	23
3.9.3 Murtopainekoemenettely.....	24

3.9.4 Vuototestaus.....	24
3.9.5 Rikkomaton aineenkoetus.....	25
3.10 Sertifiointi.....	25
4 MURTOLEVYRAKENTTEEN SUUNNITTELU	30
4.1 Suunnitteluehdot.....	30
4.2 Rungon putken suunnittelu	32
4.3 Laippojen mitoitus	35
4.3.1 Laipan koko	35
4.3.2 Ruuviliitoksen mitoitus	39
4.3.3 Hitsausliitoksen mitoitus.....	43
4.3.4 Toleranssi	45
4.4 Murtolevy	45
4.4.1 Tasaisen levyn tarkastelu	46
4.4.2 Uurrettu murtolevy	50
4.4.3 Tuulikuormat ja niiden vaikutus.....	53
4.4.4 Toleranssi	54
4.4.5 Tiivisteiden valinta	56
4.4.6 Murtolevyn asennus.....	57
4.4.7 Modifiointi.....	57
5 TULOSTEN ANALYSOINTI	59
LÄHTEET	61
LIITTEET	62

Kuvio- ja taulukkoluetelo

Kuvio 1. Tavanomainen kupumainen murtokalvo. 16

Kuvio 2. Käänteinen kupumainen murtokalvo. 18

Kuvio 3. Rungon putki simulaatiossa. 34

Kuvio 4. Jännitykset laipassa. 38

Kuvio 5. Siirtymät laipassa. 39

Kuvio 6. Jännitykset keskipaksussa levyssä. 47

Kuvio 7. Määritellyn murtopaineen aiheuttama jännitys keskipaksuun levyyn. 47

Kuvio 8. Jännitykset 0,02 MPa:n ylipaineella ohuemmalla levynpaksuudella. 48

Kuvio 9. Jännitykset 0,012 MPa:n ylipaineella levynpaksuuden ollessa ohuempi.
48

Kuvio 10. Määritellyn murtopaineen aiheuttama jännitys levyyn 0,021 MPa ylipaineella ja lämpötilalla -40 °C. 49

Kuvio 11. Jännitykset levyssä määritellyllä paineella 0,014 MPa keskipaksulle
levylle 49

Kuvio 12. Määritellyn murtopaineen aiheuttamat jännitykset uritetussa levyssä. 50

Kuvio 13. Tarkempi tulos jännityksistä suurinta murtopainetta määritettäessä. 51

Kuvio 14. Määritellyn murtopaineen aiheuttamat jännitykset kun +20 °C. 52

Kuvio 15. Määritellyn murtopaineen aiheuttamat jännitykset kun +80 °C. 52

Kuvio 16. Tuulen aiheuttamat jännitykset levyssä. 53

Kuvio 17. Tuulen vaikutus suurimpaan murtopaineeseen. 54

Kuvio 18. Negatiivisen suunnan toleranssi uran syvyydessä paineella 0,020 MPa.
54

Kuvio 19. Positiivisen suunnan toleranssi uran syvyydessä paineella 0,018 MPa.
55

Kuvio 20. Jännitykset uran leveyden kasvaessa. 56

Kuvio 21. Kokoonpanokuva murtolevykokonaisuuden yläpuolelta. 58

Kuvio 22. Kokoonpanokuva murtolevykokonaisuuden alapuolelta. 58

Taulukko 1. Koestettavien murtolevyjen määrä kun murtolevykokonaisuus ei ole
vaihdettavissa. 23

Taulukko 2. Murtolujuuden arvoja. 46

Käytetyt termit ja lyhenteet

Murtolevy Murtolevy on säiliörakennetta suojaava varolaite, joka suunnitellaan murtuvaksi tietyn murtopaineen ja -lämpötilan yhteisvaikutuksesta.

Murtolevykokonaisuus

Murtolevykokonaisuus pitää sisällään kaikki murtolevykokonaisuuden muodostavat komponentit.

Mesh size Mallinnuksessa käytettävä elementtiverkon koko, jota pienentämällä saadaan tarkempia tuloksia.

1 JOHDANTO

Johdannossa käsitellään työn lähtökohtia, tavoitteita ja rakennetta. Lähtökohdat esittelevät toimeksiantajan tarpeen työlle. Tavoitteet kertovat työn tutkittavista osa-alueista määritellen tutkimusongelmaa tarkemmin. Työn rakenne antaa informaatiota työn eri suoritusvaiheista.

1.1 Lähtökohdat

JL Metals Oy:n eräs merkittävimmistä toimialoista on sillojen ja säiliöiden valmistus sekä asennus. Yritys pyrkii kehittämään toimintaansa eri osa-alueilla. Kehitystyötä tehdään esimerkiksi alihankinnan vähentämisen eteen omavalmisteita lisäämällä. Edellä mainituista syistä omaa tuotantoa pyritään kehittämään kokonaisvaltaisemmaksi. Siihen kuuluu merkittävänä osana omien tuotteiden markkinoille saattaminen, jolloin riippuvuutta ulkoisiin toimittajiin saadaan vähennettyä. Tällä tavoin toimintaan saataisiin kustannustehokkuutta ja joustavuutta.

Murtokalvokokonaisuudet ovat yleisesti silloihin ja säiliöihin asennettavia komponentteja. Ne suojaavat säiliörakennetta räjähdyksessä syntyneeltä ylipaineelta rikkoutumalla ennen muita rakenteita (SFS-EN ISO 4126-2, 2003, 8). Kyseisen varolaitteen toimintaa voidaan verrata tällöin esimerkiksi sulakkeeseen.

Murtokalvojen asennusmäärä on suuressa sillossa tai säiliössä merkittävä. Niiden hankintahinta on korkea, minkä vuoksi kehitystyö omavalmisteen tuottamiseksi on perusteltu. Opinnäytetyön aiheeksi määräytyi edellä mainituista syistä vaatimusten mukaisen murtolevykokonaisuuden kehittäminen.

1.2 Tavoitteet

Opinnäytetyön ensisijainen tavoite on selvittää murtokalvoja koskevat standardit ja asetukset, jotka koskevat tuotteen markkinoille saattamista. Tarkoituksena on

tulkita niitä siten, että tuotteen valmistuksessa sekä testauksessa voidaan ottaa kaikki vaaditut asetukset huomioon.

Toisena tavoitteena on kehittää standardien ja asetusten mukainen tuote. Kehitystyössä pyritään ottamaan huomioon kaikki viittaukset muihin standardeihin, jolloin lopputuloksesta saadaan mahdollisimman täydellinen.

Kolmas tavoite on kertoa pintaraapaisuna ATEX-direktiivin sisällöstä sekä säiliöissä ja siiloissa tapahtuvista räjähdyksistä paremman kokonaiskuvan luomiseksi. Tarkoituksena on luoda pohja murtolevyjen käyttämisen tarpeellisuudelle.

1.3 Työn rakenne

Työn teoriaosa käsittelee ensin ATEX-tiloja ja esimerkkitapauksena siilossa tapahtuvaa mahdollista pölyräjähdystä. Tällä osuudella luodaan pohja murtolevyjen käyttämisen tarpeellisuudelle.

Teoriaosassa käydään läpi murtolevyjen sertifiointiin liittyviä vaatimuksia standardin SFS-EN ISO 4126-2 pohjalta. Tällaisia vaatimuksia ovat esimerkiksi materiaalivalintaa, murtokalvon tyyppiä, koemenetelmiä ja sertifiointia koskevat määräykset.

Tutkivassa osuudessa pyritään soveltamaan teoriaosuudessa esitettyjä asioita. Niiden pohjalta tulee suunnitella standardien mukainen murtolevyrakenne, joka on teknisesti toteutettavissa.

Neljännessä pääotsikossa kerätään yhteenveto saaduista tuloksista ja arvioidaan opinnäytetyön onnistumista sekä omaa oppimista.

2 ATEX-DIREKTIIVI JA PÖLYRÄJÄHDYS

Tässä osiossa käsitellään hieman ATEX-direktiiviä, joka kertoo räjähdysvaarallisissa tiloissa käytettävistä laitteista ja suojajärjestelmistä. Toinen aihealue käsittelee pölyräjähdystä, jossa esimerkkimateriaalina on käytetty puupölyä.

2.1 ATEX-direktiivi

Euroopan parlamentin ja neuvoston laatima direktiivi 2014/34/EU koskee räjähdysvaarallisissa tiloissa käytettäviä laitteita ja suojajärjestelmiä. Alkuperäinen direktiivi on 94/9/EY, mutta se on jouduttu laatimaan selkeyden ylläpitämisen takia uudelleen siihen kohdistuvien muutosten vuoksi. (2014/34/EU, 1.)

Artikla 41 määrittää jäsenvaltioiden siirtymäsäännökset. Uudistettu direktiivi astuu voimaan 20.4.2016. Uusittu direktiivi ei kuitenkaan koske tuotteita, jotka ovat siirtyneet markkinoille ennen asetettua päivänmäärää, vaan ne noudattavat alkuperäistä 94/9/EY-direktiiviä. (2014/34/EU, 18.)

Direktiivin ymmärtämisen tärkeyttä tähän opinnäytetyöhön liittyen voidaan perustella ensimmäisen artiklan mukaan, joka määrittää direktiivin soveltamisalan. Kolmesta esitetystä kohdasta voidaan kaksi todeta koskemaan murtokalvojen toimintaa. Ensimmäisenä soveltamisalana ovat laitteet ja suojajärjestelmät, joita käytetään räjähdysvaarallisissa tiloissa. Toisena kohtana mainitaan komponentit, jotka on tarkoitettu ensimmäiseksi mainitun kohdan laitteiden ja suojajärjestelmien osiksi. (2014/34/EU, 5.)

Suojalaitteille asetetut ehdot löytyvät direktiivistä liitteestä II. Voidaan kuitenkin todeta, että murtokalvoja käsittelevä standardi SFS-EN ISO 4126-2 on yhtäpitävä direktiivin kanssa ja sen sisältö on valmiiksi tuotteelle sovellettu. Tästä syystä direktiivin lähempi tarkastelu on tarpeetonta.

2.2 ATEX-tila

Toinen 2014/34/EU-direktiivin artikla käsittelee määritelmiä. Tämän artiklan neljäs kohta määrittelee ATEX-tilan, eli räjähdystilan seuraavasti:

”räjähdystilalla’ tarkoitetaan kaasun, höyryn, sumun tai pölyn muodossa olevia syttyviä aineita, jotka voivat yhdessä ilman kanssa muodostaa seoksen, jossa syttymisen jälkeen palaminen leviää koko palamattomaan seokseen.” (2014/34/EU, 6.)

Toisen artiklan viides kohta määrittelee räjähdysvaarallisen tilan seuraavasti:

”räjähdysvaarallisella tilalla’ tarkoitetaan tilaa, josta voi tulla räjähdystila paikallisten ja toiminnallisten olosuhteiden seurauksena.” (2014/34/EU, 6.)

2.3 Pölyräjähdys

Jotta kokonaisuutta ja suojalaitteiden tarvetta voidaan ymmärtää paremmin, on hyvä hieman kertoa pölyräjähdyksestä. Esimerkkinä tähän osaan käytetään puupölyräjähdystä ja kerrotaan sen mahdollisesta syntyemisreaktiosta.

Räjähdyskykyinen pölyilmaseos muodostuu kun pölyn ja ilman suhteet ovat optimaaliset syttymiselle. Pölyräjähdyksestä puhutaan silloin, kun koko pölyilmaseos palaa. Tällainen räjähdys usein mahdollistaa palon nopean leviämisen. Pölyräjähdysten tapahtuessa paine ei välttämättä nouse voimakkaasti. Räjähdysten syntymiseen tarvitaan aina sytytyslähde, jonka energia on sytytykseen riittävä. (Laaksonen 2005, 2-3.)

Puupölystä puhuttaessa on sen hiukkaskoko määräävä tekijä räjähdysten riskin syntyessä. Puupöly muodostaa vasta hiukkaskoon ollessa alle 0,5 mm räjähdyskelpoisen pölyilmaseoksen. Karkeamman materiaalin sekoittuminen räjähdykseen vaadittavaan hiukkaskokoon ei kuitenkaan vaikuta tapahtumaan. Tutkitun tiedon mukaan pölyräjähdys on mahdollinen puupölyn pitoisuuden ollessa yli 20 g/m³, mutta pitoisuuden liian suureksi kasvaessa riski pienenee. Pölypilven reuna-alueilla saattaa silti olla optimaaliset olosuhteet räjähdysten syntyemiselle. (Laaksonen 2005, 3.)

Siiloissa ja pölyn varastokatoksissa on mahdollista esiintyä räjähdysalttiita pölyilmaseoksia. Ennen siiloa ja pölyn purkupaikkaa on usein syklonisuodatin, joka erottaa siirtoilmaa pölyilmaseoksesta. Se aiheuttaa pölyn pitoisuuden kasvua ilmaseoksessa, joka saattaa aiheuttaa jatkuvan räjähdysvaaran siilossa. Useimmiten pölyn varastokatoksissa taas rakenteisiin ja ympäristöön kertynyt pöly aiheuttaa vaaran. Rakenteita putsattaessa esimerkiksi paineilmalla on huomioitava, että jo 1 mm paksuinen pölykerros rakenteissa ilmaan noustessa saattaa aiheuttaa pölyräjähdysvaaran. (Laaksonen 2005, 7-8.)

3 STANDARDI SFS-EN ISO 4126-2

Tässä osuudessa referoidaan standardia SFS-EN ISO 4126-2. Standardi sisältää murtolevyille asetettuja vaatimuksia sekä tietoa kokonaisuuden muodostavista komponenteista. Standardin pohjalta on mahdollisuus kehittää vaatimukset täyttävä murtolevykokonaisuus.

3.1 Yleistä

Murtolevy suojaa painelaitteita, kuten painesäiliöitä, murtumalla määritetystä kohdasta yli- tai alipaineen vaikutuksesta. Se on sulkeutumaton paineenpurkauslaite, joka tulee uusia sen murtumisen jälkeen. Murtolevyille on suunnitteluvaiheessa määritetty murtopaine, jolloin se saadaan reagoimaan halutulla tavalla määritetyn paineen kohdistuessa levyyn. Murtolevyjä on erityyppisiä ja niitä voidaan valmistaa erilaisista materiaaleista, kuten metalleista ja epämetalleista, jolloin niiden ominaisuuksiin pystytään vaikuttamaan monipuolisemmin. Murtolevy on komponenttikokonaisuus, johon yksinkertaisimmillaan kuuluu murtolevy sekä murtolevyn pidike. (SFS-EN ISO 4126-2, 8.)

Käsiteltävää standardia voidaan soveltaa murtolevyille asetettuihin vaatimuksiin. Tällaisia vaatimuksia ovat esimerkiksi tuotteen suunnitteluun, valmistukseen, tarkastukseen, testaukseen, sertifiointiin, merkintään ja pakkaukseen liittyvät vaatimukset. (SFS-EN ISO 4126-2, 8.)

3.2 Materiaalit

Murtolevyn komponenteissa käytettävien materiaalien valintaprosessissa tulee ottaa huomioon niiden soveltuvuus valmistukseen sekä käyttöolosuhteet. Käyttöolosuhteet määrittävät esimerkiksi siilossa säilytettävä aines ja muut fysikaaliset ominaisuudet, joille murtolevy altistuu käytön aikana. (SFS-EN ISO 4126-2, 16.)

Materiaalin valinnassa käytetään standardin sisältämiä liiteitä, jotka ovat joko velvoittavia tai opastavia. Materiaalien valinnassa tulee myös huomioida niiden yhdenmukaisuus sekä yhteensopivuus. Materiaalin tulee olla virheetöntä murtolevyn halutun toiminnan takaamiseksi. (SFS-EN ISO 4126-2, 16.)

Murtokalvot ja sen komponentit joutuvat toimimaan usein syövyttävässä ympäristössä, joten niiden korroosionkesto on tärkeä asia varmistaa niiden toimintakyvyn takaamiseksi. Tästä syystä murtokalvot ja sen komponentit ovat usein valmistettu korroosiota kestävästä materiaaleista. (SFS-EN ISO 4126-2, 18.)

Korroosiolle alttiit materiaalit voidaan suojata pinnoitteella tai vuorauksella. Pinnoitteiksi käyvät esimerkiksi maalaaminen tai metallipinnoittaminen. Pinnoitteiden tulee olla tasaisia ja homogeenisia, jolloin ne eivät vaikuta materiaalin tai komponenttikokonaisuuden ominaisuuksiin. Vuorausta sovellettaessa korroosiosuojaksi, on sen oltava saumaton sekä jo valmiiksi asennettuna toimitustilanteessa. (SFS-EN ISO 4126-2, 18.)

Standardi asettaa korroosionsuojaukselle ainoaksi toimittajavaihtoehdoksi valmistajan. Huomioitavaa on myös se, että korroosiosuojaus ei saa vaikuttaa heikentävästi murtolevyn suorituskykyyn. (SFS-EN ISO 4126-2, 18.)

3.3 Murtokalvotyypit

Yleisesti murtokalvotyypit voidaan jakaa kahteen ryhmään: kupumaisiin ja tasomaisiin murtokalvoihin. Niissä on aina vähintään yksi kerros, mutta ne voidaan valmistaa myös useammasta kerroksesta, jolloin niiden murtolujuuteen voidaan vaikuttaa tarkasti. Yksikerroksiset murtokalvot ovat usein uritettuja, jolloin sen repeytyminen saadaan hallituksi ja sen murtopaine määriteltyä halutuksi. Myös useamman kerroksen omaavat murtokalvot voidaan urittaa. (SFS-EN ISO 4126-2, 18-24.)

3.3.1 Tavanomaiset kupumaiset murtokalvot

Tavanomaiset kupumaiset murtokalvot suunnitellaan murtumaan vetojännityksen vaikutuksesta murtopaineen kohdistuessa niiden koveralle puolelle. Niiden muotoilussa tulee huomioida riittävä kupumaisuus pysyvän painauman aiheuttamiseksi tavanomaisissa ja suunnitelluissa olosuhteissa. (SFS-EN ISO 4126-2, 18.)

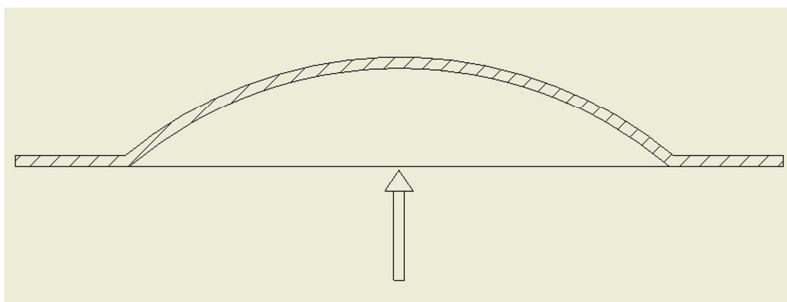
Tavanomaisia kupumaisia murtokalvoja on standardissa esitettyinä neljänlaisia. Ensimmäinen niistä on tavanomainen yksinkertainen kupu, jossa on yksi tai useampia kerroksia, ja jonka murtopaine on määritelty materiaalin tai materiaalien murtolujuudella. (SFS-EN ISO 4126-2, 18.)

Toinen malli on tavanomainen uritettu kupu, jossa on vähintään kaksi kerrosta. Tässä mallissa vähintään yhdessä kerroksessa on lovet tai urat, jotka heikentävät kalvon rakennetta mahdollistaen samalla murtopaineen säätelyn. (SFS-EN ISO 4126-2, 18.)

Kolmantena on tavanomainen uurrettu yksinkertainen kupu, jossa nimensä mukaisesti on ainoastaan yksi kerros. Siihen on uurrettu kohta, josta kalvo repeää saavutettaessa määritelty murtopaine. (SFS-EN ISO 4126-2, 18.)

Viimeisenä tästä mallisarjasta on tavanomainen yksinkertainen kupu veitsenterillä. Murtopaineen saavuttaessa murtokalvo leikkaantuu veitsenterillä auki. (SFS-EN ISO 4126-2, 20.)

Kuviossa 1 nuoli osoittaa paineen tulosuunnan.



Kuvio 1. Tavanomainen kupumainen murtokalvo.

3.3.2 Käänteiset kupumaiset murtokalvot

Käänteiset kupumaiset murtokalvot ovat malliltaan samanlaisia kuin tavanomaiset kupumaiset murtokalvot, mutta niiden toimintaperiaatteet eroavat toisistaan. Kun tavanomaiset kupumaiset murtokalvot murtuvat vetojännityksen vaikutuksesta, murtuvat käänteiset kupumaiset murtokalvot nurjahdus-, taivutus-, tai leikkausvoimien vuoksi. Erona on myös, että murtopaine kohdistuu kalvon kuperalle pinnalle. (SFS-EN ISO 4126-2, 20.)

Käänteisiä murtokalvoja on puolestaan viidenlaisia. Ensimmäinen niistä on käänteinen kupumainen uurrettu kalvo, jonka toiminta perustuu kuvun kääntymiseen toisinpäin määritellyssä murtopaineessa ja se murtuu uurretta pitkin. Se voi toimia myös siten, että kalvoon jätetyt heikot alueet määräävät murtumispaineen. (SFS-EN ISO 4126-2, 20)

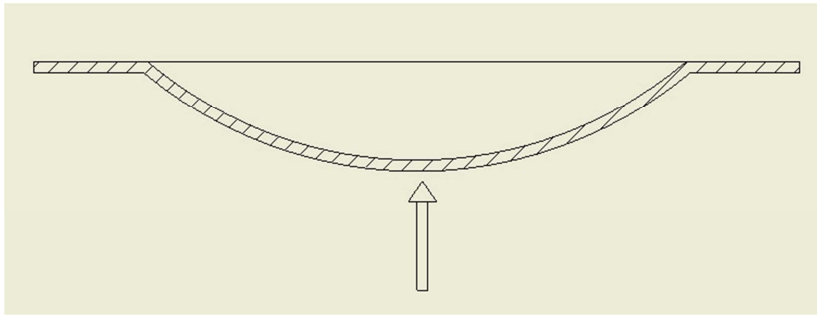
Käänteinen kupumainen, liuku- tai repäisymallinen murtokalvo painuu murtolevyn pidikkeen jättöpuolelle ja siihen on mahdollista asentaa myös tartuntalaite. Kalvo ei siis varsinaisesti murru, vaan se liukuu ulos pidikkeestään. (SFS-EN ISO 4126-2, 20.)

Käänteinen kupu veitsenterillä leikkaantuu auki silloin, kun kupu kääntyy toisinpäin ja se ottaa kosketuksen teriin. (SFS-EN ISO 4126-2, 20.)

Neljäs tyyppi käänteisistä malleista on kupu, joka toimii leikkautumalla. Tässä tapauksessa kerroksia voi olla yksi tai useampia. Kääntyessään kalvo avautuu leikkausvoimien vuoksi. (SFS-EN ISO 4126-2, 20.)

Viimeinen malli käänteisistä kupumaisista kalvoista on komposiittinen tai monikerroksinen malli. Tässä mallissa kerroksia on vähintään kaksi. Vähintään yhdessä kerroksessa tulee olla heikkoja alueita, jotka määrittävät murtokalvon kääntymispaineen. (SFS-EN ISO 4126-2, 20.)

Kuviossa 2 nuoli osoittaa paineen tulosuunnan.



Kuvio 2. Käänteinen kupumainen murtokalvo.

3.3.3 Suorat murtokalvot

Kuten kaikissa murtokalvotyypeissä, suorissa murtokalvoissa tulee olla vähintään yksi kerros. Mallista riippuen ne voidaan asentaa joko asennuslaippojen väliin tai niille tulee valmistaa erillinen murtolevyn pidike. (SFS-EN ISO 4126-2, 20.)

Ensimmäinen kolmesta suorasta murtokalvomallista on vaihdettava grafiittielementti. Sitä käytetään murtolevyn pidikkeen kanssa ja sen tulee olla joko suora tai upotettu. Sen murtumiseen vaadittavat kuormat tulee olla joko taivutusta tai leikkausta. (SFS-EN ISO 4126-2, 20.)

Seuraava malli on grafiittilohko, joka asennetaan asennuslapojen väliin. Grafiittilohkon upotukset voivat olla joko toisella puolella tai molemmilla puolilla murtopaineen kohdistumissuunnan mukaan. Tähän malliin on mahdollista tehdä vuoraus paineen tulosuunnan puolelle. Jos tarve vaatii, voidaan tätä murtokalvoa vahvistaa myös ulkoisella vahvistusrenkaalla. (SFS-EN ISO 4126-2, 22.)

Suorissa, uritetuissa ja vuoratuissa murtokalvoissa tulee olla vähintään yksi kerros, jossa tulee olla heikennykset, jolloin sen murtopainetta voidaan säätää. Tällaisia heikennyksiä voivat olla esimerkiksi urat tai lovet. Murtolevyn pidikkeen tarpeellisuutta arvioidaan mallikohtaisesti. (SFS-EN ISO 4126-2, 22.)

3.3.4 Muut mallit

Standardi antaa vapauden suunnitteluun murtokalvon tyyppiä ja mallia koskien. Toteutus tulee kuitenkin tehdä standardin asettamien vaatimusten puitteissa. (SFS-EN ISO 4126-2, 24.)

3.4 Murtolevyn pidikkeet

Murtokalvojen käyttöolosuhteiden määrittämänä tulee murtolevyn pidikkeen olla paineenpitävä. Sen pitävyys voidaan varmistaa joko suunnittelemalla se laippaliitosten suunnittelusääntöjen mukaisesti, käyttämällä valmistajan omaa suunnittelumenetelmää tai testaamalla kokeellisen suunnittelumenettelyn tuloksia prototyypille. (SFS-EN ISO 4126-2, 24.)

Pidikkeen tehtävänä käytettäessä on huolehtia murtolevykokonaisuuden tarkasta kohdistuksesta sekä siitä, että murtolevykokonaisuus asentuu varmasti oikein päin jos asennuksen yhteydessä on mahdollisuus virheelle. Pidikkeen tulee tuottaa kiristyskuorma, joka tiivistää kokonaisuuden estäen veden pääsyn säilöttävään materiaaliin. Olosuhteiden määräämänä kiristyskuorman tulee tehdä kokonaisuudesta myös paineenpitävän. (SFS-EN ISO 4126-2, 24.)

Muita vaatimuksia suunnittelulle asettaa esiasennusruuviin reikiin sijainti määriteltyjen tiivisteiden kanssa sekä sen sijainti painejärjestelmäliitoksessa. Pidikkeet eivät saa haitata järjestelmän toimintaa ja siitä syystä tulee varmistaa, että murtolevykokonaisuus toimii asianmukaisesti. Pidikkeen olisi myös hyvä suojata murtolevyä asennuksen ja poistamisen aikana. (SFS-EN ISO 4126-2, 24.)

Standardissa on esitelty erilaisia pidikemahdollisuuksia, jotka koskevat pitkälti kupumaisia murtokalvoja. Myös soveltamiselle annetaan mahdollisuus. Ehtona kuitenkin on, että kehitetty pidike täyttää standardin asettamat vaatimukset. (SFS-EN ISO 4126-2, 28.)

3.5 Takaiskutuet

Jos oletetaan murtokalvon altistuvan vastapaine-erolle, on sitä tuettava takaiskutueella jos kalvo yksin sitä ei kestä. Takaiskutuki on joko pysyvästi asennettuna kalvoon tai se muodostaa oman osansa. Takaiskutuki tulee olla asennettavissa ainoastaan oikealle puolelle kappaletta. Takaiskutueessa ei saa olla purseita tai muita virheitä, jotka altistavat murtokalvon virheelliselle toiminnalle. (SFS-EN ISO 4126-2, 30.)

Takaiskutukia on kahdenlaisia. Molempien sijoittelun tulee olla sellainen, että takaiskutuki on tiiviisti painautunut murtokalvoa vasten. Takaiskutuet eivät myöskään saa myöskään estää paineen siirtymistä murtokalvoon. (SFS-EN ISO 4126-2, 30.)

Avautuvan takaiskutuen tulee aueta murtokalvon murruttua. Se suunnitellaan siten, että se aukeaa ennen määriteltyä vähimmäismurtopainetta, joka lasketaan negatiivisella toleranssilla. Avautumattomassa takaiskutueessa tulee olla aukot, jotka mahdollistavat paineen siirtymisen murtokalvon pintaan. (SFS-EN ISO 4126-2, 30.)

3.6 Lämpösuojat, jäykisterenkaat ja tiivisteet

Lämpösuojien tarkoitus on vähentää murtokalvon lämpötilaa, jolloin voidaan välttyä murtokalvon virheelliseltä toiminnalta. Niitä käytetään määrittelyn niin vaatiessa ja valmistajan tulee tällöin toimittaa ne.

Jäykisterenkaiden tarkoituksena on vahvistaa ja suojata murtokalvon tiivistepintaa. Ne eivät silti saa haitata murtokalvon toimintaa. Jäykisterenkaiden tulee olla pysyvästi kiinnitettynä murtokalvoon.

Tiivisteitä valittaessa tulee huomioida ympäristön vaatimukset. Tällaisia ovat esimerkiksi kemialliset ja mekaaniset kontaktit ja termiset muutokset. Valmistaja määrittää tiivisteille käytön, materiaalin, tyyppin sekä mitoituksen. (SFS-EN ISO 4126-2, 30.)

3.7 Murtolevyjen kokoaminen

Yleisiin vaatimuksiin kuuluu, että valmistaja on vastuussa murtolevyjen kokoamiseen, asennukseen, käyttöön ja kunnossapitoon liittyvän ohjeistuksen luomisesta ja toimittamisesta. Kokoamisvaatimukset määräytyvät murtolevyn kiinnityspeeriaatteella sen pidikkeeseen. Tällöin murtolevy on joko vaihdettavissa tai sitten se on kiinnitettynä pidikkeeseen pysyvästi. (SFS-EN ISO 4126-2, 30.)

Vaihdettavissa olevan murtolevykokonaisuuden tulee olevan helppo purkaa. Vaihtotyön voi tässä tapauksessa tehdä joko valmistaja tai ostaja. Vaihdettavat pidikkeet ja murtolevykokonaisuudet kuitenkin tulee testata ennen kokoonpanoa. Testausmenetelmistä kerrotaan myöhemmin kohdassa 3.9. (SFS-EN ISO 4126-2, 32.)

Valmistajan merkitsemä malli- tai tyyppiviite tulee tarkastaa ennen kokoamista ja todeta sen olevan yhtäpitävä murtolevyn pidikkeen merkinnän kanssa. Komponenttien vuorovaikutus määrittelee sen suorituskyvyn ja se tulee koota laadittujen ohjeiden mukaisesti. (SFS-EN ISO 4126-2, 32.)

Valmistajan tulee koota murtolevykomponentit, joissa murtolevykokonaisuus ei ole vaihdettavissa. Liitokset tulee olla pysyviä ja ne voidaan koota esimerkiksi, hitsaamalla, puristamalla, adheesiolla tai muulla vastaavalla pysyvällä liitosprosessilla. Liitosaineiden tulee olla yhteensopivia komponenttien materiaalien kanssa ja soveltua käyttötarkoitukseen. Esimerkiksi hitsausliitoksen tekijällä tulee olla pätevyys liitoksen tekemiseen ja sen on oltava kirjallisesti todistettavissa. Liitoksen tulee olla tiivis ja paineenpitävä asennettuna. (SFS-EN ISO 4126-2, 32.)

Valmistuserä tulee valmistaa myös samasta materiaalierästä jos murtolevykokonaisuus ei ole vaihdettavissa. Testaus ja merkintäperiaate esitellään myöhemmin. (SFS-EN ISO 4126-2, 32.)

3.8 Määritellyt murtopainevaatimukset

Määritelty murtopaine voidaan ilmaista kahdella eri tavalla. Se voidaan määrittää käyttäen enimmäismurtopainetta ja vähimmäismurtopainetta yhdessä lämpötilavaikutuksen kanssa. Toinen mahdollinen määrittelymenetelmä on käyttää määriteltyä murtopainetta suoritustoleransseineen yhdessä murtumislämpötilan kanssa. (SFS-EN ISO 4126-2, 32.)

Käyttöpaineen ja määritellyn vähimmäismurtopaineen alarajalla tulee olla riittävä marginaali. Tällöin kalvo pysyy ehjänä ulkoisien rasituksien vaikuttaessa siihen. Ylitettäessä vähimmäismurtopaineen kalvo hajoaa, kun sen määritellyt olosuhteet ovat suotuisimmat kalvon hajoamiselle. Sille määritetään kuitenkin suorituskäytötoleranssi, joka sijoittuu vähimmäismurtopaineen ja enimmäismurtopaineen väliin, jolloin kalvon tulee murtua toleranssin missä tahansa kohdassa. (SFS-EN ISO 4126-2, 32.)

3.9 Tarkastus- ja koemenettelyt

Murtokalvojen hyväksymiseksi niille täytyy tehdä tarkastuksia ja kokeita. Tällä tavoin ne pystytään toteamaan toimiviksi ja vaatimukset täyttäväiksi. Silmämääräinen tarkastus on usein riittävä tarkastusmetodi. Murtolevyjä on silti koestettava joko ainetta rikkomattomilla tai rikkovilla menetelmillä.

3.9.1 Tarkastus

Komponentteja valmistettaessa valmistajan tulee tarkastaa ne omien vaatimusten mukaisesti. Valmiit komponentit tulee tarkastaa silmämääräisesti. Havaitut virheet ja viat komponenteissa tulee korjata tai sitten ne hylätään. (SFS-EN ISO 4126-2, 36.) Murtolevyn pidikkeet tulee testata paineenalaisessa kokeessa, kun murtolevykokonaisuus on vaihdettavissa, ja jos niin erikseen vaaditaan. Tällöin pidikkeelle suoritetaan nestepainekoe, jolloin pidikkeen pitävyys voidaan todeta silmämääräisesti, kun se on altistettu riittäväksi ajaksi paineelle. Murtokalvon tilalle

asennetaan tällöin sulkulaite, jolle asetetaan riittävä kiristysvoima paineen pitämiseksi. Koeneste voi olla vettä. (SFS-EN ISO 4126-2, 36.)

3.9.2 Murtopainekoe

Kun murtolevykokonaisuus ei ole vaihdettavissa, on koepaineen oltava määritelty murtopaine. Murtokalvoista tai -levyistä valitaan satunnaisesti taulukon 1 osoittama määrä testattavia kappaleita yhdestä erästä, jotka murretaan vaatimusten toteamisen vuoksi. On huomioitavaa, että hylätyt ja koemurretut murtolevyt tai -kalvot eivät lukeudu osaksi erää. (SFS-EN ISO 4126-2, 36.)

Kun murtokalvokokonaisuus ei ole vaihdettavissa ja sen murtumislämpötila on määritelty alueelle 15 °C...30 °C, on se koestettava taulukon 1 mukaan lämpötila-alueella 15 °C...30 °C. Jos murtumislämpötila on määritelty muunlaiselle alueelle, on koestus suoritettava määritellyllä alueella. (SFS-EN ISO 4126-2, 36.)

Eräs mahdollisuus on käyttää koelämpötilan asteikkona 15 °C...30 °C, vaikka murtumislämpötila olisi erilaiselle lämpötilavälille määritetty. Tällöin valmistajan tulee määrittää suhde koelämpötilan paineen ja määritellyn murtumistilan murtopaineen välillä. Se määritetään valmistajan sertifioidusta murtumiskoetiedoista. Toinen ehto kyseiselle koestusmahdollisuudelle on huomioida suhde, jolloin se on mahdollinen ja ominainen kyseiselle murtokalvolle, materiaalierälle sekä sen nimelliskoolle. Tässäkin tapauksessa koemäärän tulee olla taulukon 1 mukainen. Murtumispaineista on aina pidettävä kirjaa. (SFS-EN ISO 4126-2, 36-38.)

Taulukko 1. Koestettavien murtolevyjen määrä kun murtolevykokonaisuus ei ole vaihdettavissa.

Erän kokonaislukumäärä	Koestettava lukumäärä
Alle 10	2
10-15	3
16-30	4
31-100	6
1001-250	4%, mutta vähintään 6
251-999	3%, mutta vähintään 10
1 000 tai enemmän	vähintään 30

3.9.3 Murtopainekoemenettely

Murtopainekoemenettelyn kohdat jakautuvat useammiksi osiksi. Ensimmäisenä määrätään koestuksen tapahtuvan murtolevyn pidikkeessä tai testimatriisissa, jonka tulee vastata identtisesti asennustilannetta huomioiden aukkokoko ja aukkojen asettelu. Lisäksi asennus koestustilanteessa tapahtuu käyttämällä ohjeellista kiristyskuormaa kiinnitettäessä murtokalvoa ja pidikkeitä. Kokeita suoritettaessa tulee noudattaa turvallisuustoimenpiteitä. Kupumaisia murtokalvoja testattaessa testauslaitteistossa tulee olla riittävä kapasiteetti kääntämään kalvon ja lopulta murtamaan sen. (SFS-EN ISO 4126-2, 38.)

Koejärjestelyä tehdessä, tulee mittaus- ja ilmaisinalaitteistojen olla kalibroidut. Niiden tulee täyttää vaatimukset, jotka määräytyvät tilanteesta, jossa murtokalvo ei ole vaihdettavissa. Koe suoritetaan määritetyssä lämpötilassa. Huomioitavaa on myös se, että komponenttien tulee antaa olla halutussa lämpötilassa niin kauan, että ilman ja komponenttien lämpötilaerot ovat vakiintuneet. (SFS-EN ISO 4126-2, 38.)

Koetta suoritettaessa murtolevykokonaisuudelle, jossa murtolevy tai -kalvo ei ole vaihdettavissa, annetaan ajallinen ohjeistus. Paine tulee nostaa 90 prosenttiin oletetusta vähimmäismurtorajasta alle viidessä sekunnissa. Painetta nostetaan tämän jälkeen lineaarisella nopeudella murtokalvon repeytymiseen saakka enintään 120 sekuntia. Tällä tavalla mahdollistetaan painemittarin pienemmän asteikon tarkemmat lukemat. Tämän jälkeen murtopaine ja muut olennaiset ominaisuudet kirjataan ylös. Vaatimukset saattavat joskus poiketa mainituista koemenettelyistä, jolloin valmistajan tulee neuvotella ostajan kanssa niistä. Jos murtopaine tai vaaditut ominaisuudet eivät vastaa haluttuja ominaisuuksia, tulee koko erä hylätä. (SFS-EN ISO 4126-2, 38-40.)

3.9.4 Vuototestaus

Murtolevy alistetaan vuotokokeeseen jos niin edellytetään. Kokeen tarkoituksena on havaita mahdollinen vuoto murtokalvon läpi. Vuototestauksesta tulee laatia kirjallinen määritelmä, jonka mukaan koe suoritetaan. Siihen sisältyy käytetty

menetelmä, koestettavien murtolevyjen lukumäärä sekä hyväksymiskriteerit. Ostaja määrittelee usein suurimman sallitun vuoto nopeuden. Vuotonopeus ei saa myöskään ylittää painejärjestelmiä koskevien määräyksien tai standardien asettamia ehtoja. (SFS-EN ISO 4126-2, 40.)

3.9.5 Rikkomaton aineenkoetus

Rikkomattomalla aineenkoestuksella tarkoitetaan koemenettelyä, missä testattavia komponentteja ei vaurioiteta. Tällaisesta tilanteesta voidaan käyttää esimerkkinä kohdassa 3.9.1 mainittua murtolevyn pidikkeiden paineenalaista pitävyyскоemenetelmää. Murtokalvot ja sen yhteyteen kuuluvat komponentit koestetaan rikkomattomalla koestuksella jos niin edellytetään. Kokeen tulee noudattaa määriteltyä menetelmää, tarkastettavien komponenttien lukumäärää sekä sovittuja hyväksymiskriteereitä. (SFS-EN ISO 4126-2, 40.)

3.10 Sertifiointi

Jokaiselle murtolevy- ja murtokalvoerälle, jossa murtokalvokokonaisuus ei ole vaihdettavissa, tulee kirjoittaa todistus. Tämä koskee myös osiäriä. Todistuksesta tulee käydä ilmi, että tuotteet on valmistettu ja koestettu standardin vaatimusten mukaisesti. (SFS-EN ISO 4126-2, 40.)

Todistuksen laatimiseen on kaksi erilaista vaihtoehtoa. Ensimmäisessä niistä tulee olla kirjattuna seuraavat tiedot: (SFS-EN ISO 4126-2, 40.)

- valmistajan nimi tai tavaramerkki
- valmistajan malli- tai tyyppiviittaus
- asianmukainen nimelliskoon merkintä, esimerkiksi DN tai NPS
- määritelty enimmäismurtopaine ja määritelty vähimmäismurtopaine yhdessä murtumislämpötilan kanssa sekä niiden yksiköt

Toisessa vaihtoehtoisessa todistusmuodossa tulee olla seuraavat asiat: (SFS-EN ISO 4126-2, 40–42.)

- määritelty murtopaine ja suorituskykytoleranssi yhdessä murtumislämpötilan kanssa sekä niiden yksiköt tai jos murtorajat on laskettu suhteellisella lämpötilalla, on tiedot oltava korreloituna koeolosuhteisiin
- viite valmistajan sertifioituihin murtumiskoetietoihin, joita on käytetty määrittäessä murtopaine
- todellinen murtopaine ja todelliset lämpötilat, jotka on kirjattu kokeen aikana
- toimitettujen murtokalvojen ja komponenttien materiaali tai materiaalit.
- valmistajan tunnistetiedot
- erän tunniste
- standardin EN ISO 4126-2 tunnus
- vuototiiviyskokeiden, rikkomattoman aineenkoetuksen jne. tulokset tarvittaessa
- tuotteeseen merkitsemättä jätetyt tiedot

Tuotteen tunnistetiedot. Valmistajan vastuulla on myös tuotteen tunnistetietojen toimittaminen. Toimitettavia tunnistetietoja ovat vähintään: (SFS-EN ISO 4126-2, 42.)

- valmistajan malli- ja tyyppi viittaus
- nimelliskoko DN tai NPS
- PN tai luokka
- laitteen komponenttien materiaalispesifikaatio
- määritelty enimmäismurtopaine ja määritelty vähimmäismurtopaine yhdessä murtumislämpötilan kanssa sekä niiden yksiköt.

Tai vaihtoehtoisesti:

- määritelty murtopaine ja suorituskykytoleranssi yhdessä murtumislämpötilan kanssa sekä niiden yksiköt
- ostajalle toimitettavien murtolevykokonaisuuksien lukumäärä
- erityisvaatimukset tässä standardissa määriteltyjen lisäksi, esim. koestus, merkintä, pakkaus, sertifiointi jne.

Merkintä. Merkinnän vaaditaan murtolevyissä olevan pysyvä ja näkyvässä asentamisen jälkeen. Jos täydellisen merkinnän tekeminen ei kuitenkaan ole mahdollista, on sen kuitenkin sisällettävä vähintään viitenumero, joka yhdistää tuotteen asiakirjaan, johon vaaditut merkinnät ovat kirjattu. (SFS-EN ISO 4126-2, 42.)

Murtokalvojen ja murtolevykokonaisuuksien merkintätiedot ovat: (SFS-EN ISO 4126-2, 42–44.)

- valmistajan nimi tai tavaramerkki
- valmistajan malli- tai tyyppi-merkintä
- asianmukaisen nimelliskoon merkintä
- materiaalin tunnistetiedot
- määritelty enimmäismurtopaine ja määritelty vähimmäismurtopaine yhdessä murtumislämpötilan kanssa sekä niiden yksiköt

Tai vaihtoehtoisesti:

- määritelty enimmäismurtopaine ja suorituskäytötoleranssi yhdessä murtumislämpötilan kanssa sekä niiden yksiköt
- tieto virtauksen suunnasta
- standardin EN ISO 4126-2 tunnus
- erän tunnistus
- valmistajan viite murtolevyn pidikkeelle, johon murtokalvo tai murtolevykokonaisuus on tarkoitettu asentaa (paitsi jos erillistä pidikettä ei edellytetä)
- mahdollisten murtokalvoon pysyvästi kiinnitettyjen rajoittimien, esimerkiksi avautumattoman takaiskutuen, poistoalue
- valmistusvuosi

Murtolevyn pidikkeet. Murtolevyn pidikkeissä tulee olla vähintään seuraavat merkinnät: (SFS-EN ISO 4126-2, 44.)

- valmistajan nimi tai tavaramerkki
- valmistajan viite murtolevyn pidikkeelle
- asianmukainen nimelliskoon merkintä, esimerkiksi DN tai NPS

- PN tai luokka
- materiaalin tunnistetiedot
- tieto virtauksen suunnasta
- standardin SFS-EN ISO 4126-2 tunnus
- mahdollisten murtolevyn pidikkeen toimitettavien kiinteiden tai irtonaisten rajoittimien, esimerkiksi avautumattoman takaiskutuen, veitsenterien jne., poistoalue
- valmistusvuosi

Murtolevyt, joissa murtolevykokonaisuus ei ole vaihdettavissa. Murtolevyt, joissa murtolevykokonaisuus ei ole vaihdettavissa, tulee sisältää ainakin seuraavat merkinnät: (SFS-EN ISO 4126-2, 44–46.)

- valmistajan nimi tai tavaramerkki
- valmistajan malli- tai tyyppiä
- nimelliskoon merkintä, esimerkiksi DN tai NPS, kierteen merkintä jne.
- PN tai luokka
- murtokalvon ja murtolevyn pidikkeen materiaalin tunnistetiedot
- määritelty enimmäismurtopaine ja määritelty vähimmäismurtopaine yhdessä murtumislämpötilan kanssa sekä niiden yksiköt

Tai vaihtoehtoisesti:

- määritelty enimmäismurtopaine ja suorituskäytötoleranssi yhdessä murtumislämpötilan kanssa sekä niiden yksiköt
- tieto virtauksen suunnasta
- standardin EN ISO 4126-2 tunnus
- erän tunnistus
- mahdollisten murtokalvoon pysyvästi kiinnitettyjen rajoittimien, esimerkiksi avautumattoman takaiskutuen, poistoalue
- valmistusvuosi

Apulaitteiden merkinnät. Apulaitteiden tulee sisältää vähintään seuraavat merkinnät: (SFS-EN ISO 4126-2, 46.)

- valmistajan nimi tai tavaramerkki
- valmistajan malli- tai tyyppiäviittaus
- materiaalin tunnistetiedot
- tieto virtauksen suunnasta tarvittaessa
- standardin EN ISO 4126-2 tunnus
- poistoalue, jos komponentti aiheuttaa rajoituksen murtolevylle, jonka kanssa se on tarkoitus koota tai asentaa
- valmistusvuosi

Pakkauksen merkintä. Pakkauksen merkintä tulee sisältää esimerkiksi toimitusta ja varastointia varten vähintään seuraavat merkinnät: (SFS-EN ISO 4126-2, 46–48.)

- valmistajan nimi tai tavaramerkki
- valmistajan malli- tai tyyppiäviittaus
- asianmukainen nimelliskoon merkintä, esimerkiksi DN tai NPS
- sisällön materiaalin tunnistetiedot
- tarvittaessa: määritelty enimmäismurtopaine ja määritelty vähimmäismurtopaine yhdessä murtumislämpötilan kanssa sekä niiden yksiköt tai määritelty enimmäismurtopaine ja suorituskäytötoleranssi yhdessä murtumislämpötilan kanssa sekä niiden yksiköt
- valmistajan viite murtolevyn pidikkeelle tarvittaessa
- erän tunnistetiedot tarvittaessa
- viitenumero tarvittaessa
- tunnistetiedot merkitään myös muihin komponentteihin, kuten takauskäytökeeseen jos ne toimitetaan erillisenä

Asiakirjat. Jokaiseen pakkaukseen sisällytetään kokoamis- ja asennusohjeet. Lisäksi pakkausten tulee sisältää edellä mainittu dokumentaatio tunnistekilpiseen ja etiketteineen. (SFS-EN ISO 4126-2, 48.)

4 MURTOLEVYRAKENTEN SUUNNITTELU

Murtokalvokokonaisuutta lähdetään kehittämään standardin SFS-EN ISO 4126-2 mukaisesti, jota käsiteltiin teoriaosuudessa. Suunnittelussa pyritään käyttämään myös standardin antamia vapauksia hyväksi. Kehitystyön edetessä käsitellään myös muiden eri standardien sisältöjä, jotka ovat velvoittavia suunnittelussa. Tällaisia ovat esimerkiksi liitosten mitoituksen suunnitteluun käytettävä standardi SFS-EN 1993-1-8 sekä joiltain osin laippaliitoksen suunnitteluun käytettävä standardi SFS-EN 1092-1 + A1.

Tavoitteena on suunnitella yksinkertainen tuote, jolle vaaditut testausmenetelmät ovat mahdollisimman helposti suoritettavissa. Itse testauslaitteistojen kehittämiseen työ ei kuitenkaan ota kantaa. Tuotteeseen sisältyy pidike, murtokalvo ja siilorakenteeseen yhdistävä runko-osa, joille suoritetaan vaadittavat lujuustarkastelut. Tuotteeseen sisältyy myös kiinteä takaiskutuki, jolla voidaan eliminoida esimerkiksi tuulikuorman aiheuttamat rasitukset murtolevyille. Pidikkeen tarpeellisuus määräytyy kuitenkin murtolevyn ominaisuuksien mukaan. Kustannustehokkuuteen pyritään materiaalivahvuuden optimoinnilla sekä valmistusystävällisellä suunnitteluperiaatteella.

4.1 Suunnittelu ehdot

Suunnittelu ehdot määrittelevät tuotteen ominaisuudet ja antavat lähtökohdat tuotteen toiminnalle sekä sen suunnittelulle. Standardien lisäksi ehtoja voidaan asettaa käytetyille materiaaleille, tuotteen mitoitukselle ja sen toiminnalle. Yrityksellä on ollut mahdollisuus vaikuttaa standardien sisällön puitteissa kyseisiin ehtoihin, jolloin olemassa olevat resurssit voidaan hyödyntää. Näin valmistuksesta saadaan kustannustehokkaampaa ja käytännöllisempää. On kuitenkin huomioitavaa, että seuraavaksi mainittavat ehdot ovat pääasiassa ohjeellisia, jolloin ne soveltuvat kohdistetusti parhaiten JL Metals Oy:n toimintaan.

Ensimmäinen yrityksen asettama ehto on määritelty murtopaine. Suurin osa asennetuista murtolevyistä murtuu ylipaineessa 0,2 bar. Määräävänä tekijänä tämän ehdon asettamiseen on aikaisempi kokemus vastaavanlaisista tuotteista.

Voidaan myös todeta murtopaineen soveltuvan valmistettuihin siloihin, jolloin siilon lujuuden suhde murtolevyn lujuuteen on oikea. Murtolevyt suunnitellaan toimimaan muuten normaalissa ilmanpaineessa.

Toinen asetettu ehto koskee levyn kokoa, joka määritetään paineenalaisen pinta-alan mukaisesti. Paineenalainen pinta-ala A_p saadaan laskettua kaavasta:

$$A_p = hb \quad (1)$$

missä

h on korkeus 1 100 mm

b on leveys 900 mm

Saadaan tulokseksi:

$$A_p = 1\,100\text{ mm} \cdot 900\text{ mm} = 990\,000\text{ mm}^2$$

Myös kokoluokka on yleisin JL Metals Oy:n siloissa käytetty, jolloin ehto perustuu aikaisempaan kokemukseen. Räjähdystilanteen sattuessa paineenpurkausaukkojen pinta-ala mitoitetaan silokohtaisesti, jolloin ylipaineen poistumiseen vaadittavaa tilavuusvirtaa voidaan säädellä siilon koon mukaan. Tämän vuoksi haluttua paineenpurkausaukkojen pinta-alaa voidaan säädellä murtolevykokonaisuuksien lukumäärällä, jolloin useimmissa tilanteissa sama murtokalvon koko on pätevä.

Kolmas asetettu ehto koskee käytettävää materiaalia. Murtokalvon materiaaliksi tässä tilanteessa valikoitui ruostumaton teräs tunnusnumerolla 1.4307, jonka pinnanlaatu kuuluu luokkaan 2B. Kyseinen materiaali valikoitui yrityksen tavallisten materiaalihankintojen mukaisesti. Tällöin voidaan välttyä tilanteelta, että materiaali olisi vaikeasti saatavaa ja ominaisuuksiltaan yhteen sopimatonta muiden käytettyjen materiaalien kanssa. Suunnittelumielessä tarkka informaatio materiaalin ominaisuuksista on keskeisimmässä osassa työn onnistumisen suhteen, koska murtorajoja määritettäessä niiden lämpötilariippuvuudet on otettava huomioon. Muut standardeissa esitetyt ehdot ja vaatimukset käsitellään tapauskohtaisesti työn edetessä.

4.2 Rungon putken suunnittelu

Runko-osa yhdistää murtolevykokonaisuuden siilon vaippaan. Sen etupintaan asennetaan murtolevy pidikkeineen. Runkoon asennetaan myös takaiskutuki jos niin vaaditaan. Se voi olla pysyvästi liitettynä runkoon esimerkiksi hitsaamalla.

Runkoon tulee kiinni laipat sen etu- ja takapintaan. Laipat mahdollistavat komponenttien kiinnityksen ruuviliitoksella. Siiloon liitettävä laippapinta on mahdollisuus korvata myös pysyvällä kiinnityksellä esimerkiksi hitsaamalla se suoraan siilon vaippaan kiinni. Näin ollen tuotteen valmistusprosessiin on mahdollista hieman vaikuttaa.

Olenlaisin osa rungon suunnittelussa on sen mitoitus. Mitoituksessa tulee kiinnittää huomiota ainakin seuraaviin asioihin: kokoluokka, vaikuttavat voimat, materiaalivahvuus, ruuviliitokset sekä hitsausliitokset. Laipat suunnitellaan yhdessä ruuviliitoksen kanssa vedenpitäviksi, jolloin tiivisteen valintaan liittyviä ehtoja tulee ottaa huomioon.

Suunnittelu on hyvä aloittaa listaamalla runkoon vaikuttavia voimia. Niitä ovat:

p	on suunniteltu ylipaine 0,02 MPa
m_{a1}	murtolevykokonaisuuden arvioitu kokonaismassa 70 kg.

Tuulikuorman oletetaan aiheuttavan rakenteeseen puristusta, kun tuulen suunta on suoraan kohti murtolevyä. Runkoon sivulta päin puhaltavan tuulen aiheuttama kuorma on melko vähäinen rungon matalan ulottuvuuden aiheuttaman pinta-alan johdosta, että sen huomioiminen rungon mitoituksessa ei ole tarpeen. Se on kuitenkin huomioitava murtolevyn suunnittelussa, jolloin samalla punnitaan tarve takaiskutuelle. Murtolevykokonaisuus ei myöskään altistu lumikuormalle sen sijoittelun ansiosta, jolloin lumikuormaa ei tarvitse huomioida. Murtolevykokonaisuus kiinnitetään siilon vaipan yläosaan.

Rungon sisäpinnan etäisyydet toisistaan ovat h ja b . Oletetaan materiaalivahvuudeksi alussa 5 mm, jota tarkennetaan laskentojen edetessä. Rungon korkeutta määritettäessä on kiinnitettävä huomiota asentamiseen

vaadittavaan tilaan, että ruuviliitoksen toteuttaminen käytännössä on mahdollista. Tarkastelu suoritetaan Autodesk Inventor Professional -ohjelmistolla.

Ensimmäiseksi lähdetään tarkastelemaan rungon putkea, johon laipat kiinnitetään myöhemmässä vaiheessa. Sen sisämitta määräytyi aiemmin mainitun leveyden ja pituuden mukaan. Korkeudeksi valittiin 80 mm, jolloin ruuviliitoksen tekemiselle jää riittävästi tilaa. Mallinnuksessa rungon putken päihin sijoitettiin laipat, joille annettiin suuntaa antavat mitat. Tämä tehtiin siitä syystä, että ne tukevat omalta osaltaan rungon putken päitä. Tällä tavoin tuloksesta saadaan realistisempi.

Simulointia aloitettaessa määrättiin simulointityypiksi staattinen analyysi. Tämän jälkeen kappaleesta muodostettiin find thin bodies -toiminnolla yksinkertaistettu malli. Toiminto yksinkertaistaa mallin äärettömän ohuiksi tasoiksi, jolloin mallia kuormitettaessa levynpaksuutta ei oteta huomioon periaatteessa kuin tietokoneen laskentamallissa. Tämän jälkeen kappale tuettiin jäykästi siilon vaippaan kiinnitettävästä laipasta. Kappale kuormitettiin annettujen arvojen mukaisesti. Tällöin rungon putken sisäseinämät altistettiin paineelle p . Sama paine kohdistettiin myös murtolevyn kiinnitysleipan pinnasta poispäin, jolloin rungon putkelle kohdistuu vetoa. Kappaletta kuormitettiin alaspäin murtolevyn laipan pinnasta voimalla F_m , joka vastaa tuotteen oletetun kokonaismassan aiheuttamaa voimaa. Massan aiheuttama voima voidaan laskea kaavasta:

$$F_{m1} = m_{a1}g \quad (2)$$

missä

$$g \quad \text{on maan vetovoiman aiheuttama kiihtyvyys } 9,81 \frac{m}{s^2}$$

Näin saadaan kaavalla (2) laskettua F_m :n arvo:

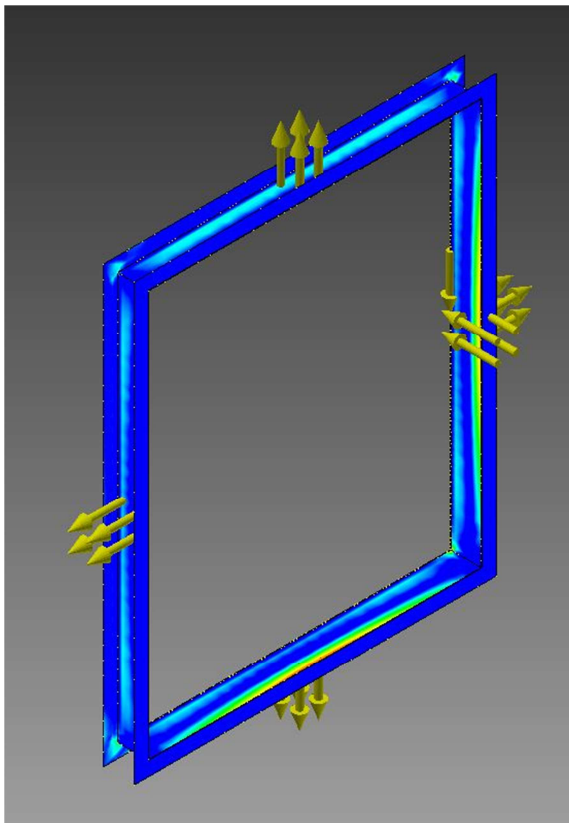
$$F_{m1} = 70 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{m}{s^2} = 686,7 \text{ N}$$

Materiaalivahvuus oli simulaatiohetkellä 5 mm ja materiaaliksi valittiin ruostumaton teräs. Huomattiin, että materiaalivahvuutta on syytä laskea. Simulointia jatkettiin materiaalivahvuudella 2 mm, joka todettiin riittäväksi. Tällöin suurin kuormitus rakenteessa oli 76,96 MPa, jossa on vielä huomattavaa ylimitoitusta. Simulointi

kokeiltiin suorittaa myös solid-mallina, jolloin saatiin suurimmaksi jännitykseksi 152,3 MPa mesh sizen ollessa 0,0125. Mesh size tarkoittaa elementtiverkon kokoa. Ohjelma laskee sen suhdeluvun perusteella keskimääräisen elementtikoon suhteessa mallin ja sen detaljien mittoihin. Suurimmat jännitykset kuitenkin kohdistuivat pienille alueille, jolloin tulos ei ole todellinen. Valmistusmielessä voidaan siis minimimateriaalivahvuudeksi hyväksyä 3 mm rungon putkelle ruostumattomalla teräksellä. Valmistusmielessä pitkiä hitsaussaumoja ohuempaan materiaaliin olisi vaikeampi tehdä ja riittämättömän jäykkyyden omaavan materiaalin käsittely on haasteellisempaa. Todettakoon, että sama materiaalivahvuus pätee myös materiaaliin S235JRG2.

Materiaalivahvuuksien tarkentuessa on arvioitu massa pudonnut kappaleelta jo 15 kg. Tällöin voidaan uuden arvioidun massan todeta olevan:

m_{a2} on uudelleen arvioitu massa 55 kg



Kuvio 3. Rungon putki simulaatiossa.

Rungon putken sisämitta tulee olla vähintään korkeudeltaan h ja leveydeltään b , koska se ei saa toimia esteenä tai kuristuksena ilmavirtaukselle. Viitaten laippojen

mitoituksesta saatuihin tuloksiin, on ulkomitalla mahdollisuus laajentua jokaiseen suuntaan 2 mm, jolloin asentamiselle jää vielä tilaa. Tällöin voidaan todeta positiivisen toleranssin olevan $h + 4$ mm ja $b + 4$ mm.

4.3 Laippojen mitoitus

Seuraava käsiteltävä asia on rungon putkeen yhdistettävät laipat laippaliitosta varten. Ruuviliitoksen asettamat ehdot määrittävät pitkälti laipan koon, joten on luonnollista käsitellä ruuviliitoksia ensimmäisenä. Tuotteen yksinkertaistamiseksi käytetään samaa laippamallia siiloon yhdistävässä laipassa, murtolevykokonaisuuden yhdistävässä laipassa sekä niin sanotussa pidikkeessä, joka tukee murtolevyä ja rajoittaa sen murtumisaluetta.

4.3.1 Laipan koko

Ennen ruuvien mitoitusta on hyvä tarkkailla reikien sijoitusta laippaliitoksessa. Standardi SFS-EN 1993-1-8 (1993, 24) asettaa ehdot muun muassa reunapuristusliitokselle. Reunaetäisyyden ja keskiövälin on vähimmillään täytettävä seuraavat ehdot:

$$1,2d_0 \leq e_2 \leq 4t + 40 \text{ mm} \quad (3)$$

$$2,2d_0 \leq p_1 \leq 200 \text{ mm tai } 14t, \text{ joista valitaan pienempi arvoista} \quad (4)$$

Tässä

d_0 on ruuvin reiän halkaisija

e_2 on reunaetäisyys

p_1 on keskiöväli

t on uloimman liitettävän levyn paksuus

Suurin sallittu arvo pätee silti ainoastaan puristetuissa osissa, joissa on lommahdusvaara sekä korroosiolle alttiissa rakenneosissa. (SFS-EN 1993-1-8, 24.)

Valittaessa oikeaa reunaetäisyyttä, on huomioitava rungon putken materiaalivahvuus, aluslaatan vaatima tila sekä hitsausliitoksen arvioitu koko. DIN 125 mukainen aluslaatta on säteeltään 8 mm ruuvien koon ollessa M8 (ESSVE Finland Oy). Jos ruuvien koko on M6, on aluslaatan säde tällöin 6 mm. Ruuvien määräämä d_0 on M6 ja M8 ruuvikoolle aina 0,5 mm suurempi asennustyön helpottamiseksi. Tällöin esimerkiksi M8 kokoluokan ruuvien pienin reunaetäisyys on ehdon (3) mukaan:

$$e_2 = 1,2 \cdot 8,5 \text{ mm} = 10,20 \text{ mm}$$

Pyöristetään reunaetäisyys käytännön syistä $e_2 = 11 \text{ mm}$.

Suunnitellessa laipan tiivistepinnan leveyttä oletetaan hitsausliitokselle jäävän tilaa laipassa 5 mm, johon lisätään rungon putken materiaalivahvuus. Tällöin hitsausliitoksen ja materiaalivahvuuden vaatima tila on luokkaa 7-8 mm. Huomioidessa myös aluslaatan vaatiman tilan, tulee laipan tiivistepinnan leveydeksi 27 mm, joka pyöristetään tässä tilanteessa 30 mm, jolloin ruuviliitoksen tekemiseen on riittävästi tilaa.

h_0 on laipan ulommainen korkeus 1 160 mm

b_0 on laipan ulommainen leveys 960 mm

Ruuvien keskiövälin suurimmaksi arvoksi asetetaan 150 mm tiivisteen pitävyyden varmistamiseksi. Tällöin reunaetäisyys e_2 huomioiden on ruuvipinnan pituus b_0 sivulla 938 mm, ja h_0 pituisella sivuilla 1138 mm. Tällöin keskiövälit ovat:

p_1 on b_0 sivun keskiöväli 134 mm

p_2 on h_0 sivun keskiöväli 142,25 mm

Sovitaan kuitenkin h_0 sivun keskiöväliä olevan kaksi mittaa, että desimaaleista päästään eroon. Sivun h_0 keskiöväliä ovat siis:

p_{21} on ensimmäisen ruuvin keskiöväli 149 mm

molemmista kulmista sivulla h_o

p_{22} on viiden keskimmäisen ruuvien keskiöväli 140 mm sivulla h_o

Saadaan selville myös:

z on ruuvien lukumäärä 30

Paineenalaiseksi pinta-alaksi kohdistuu kaavasta (1) aiemmin laskettu murtolevyn sisäpinta A_p . Kun tarkastellaan liitokseen paineen aiheuttamasta vedosta syntyvää voimaa, voidaan se muuttaa paineen aiheuttamaksi vetäväksi voimaksi kaavalla:

$$F_p = pA_p \quad (5)$$

Tästä saadaan vastaukseksi:

$$F_p = 0,02 \frac{N}{mm^2} \cdot 990\,000 \text{ mm}^2 = 19\,800 \text{ N}$$

Simulaatiossa käytettävä voima F_{p+n} saadaan kaavasta:

$$F_{p+n} = F_p n \quad (6)$$

missä

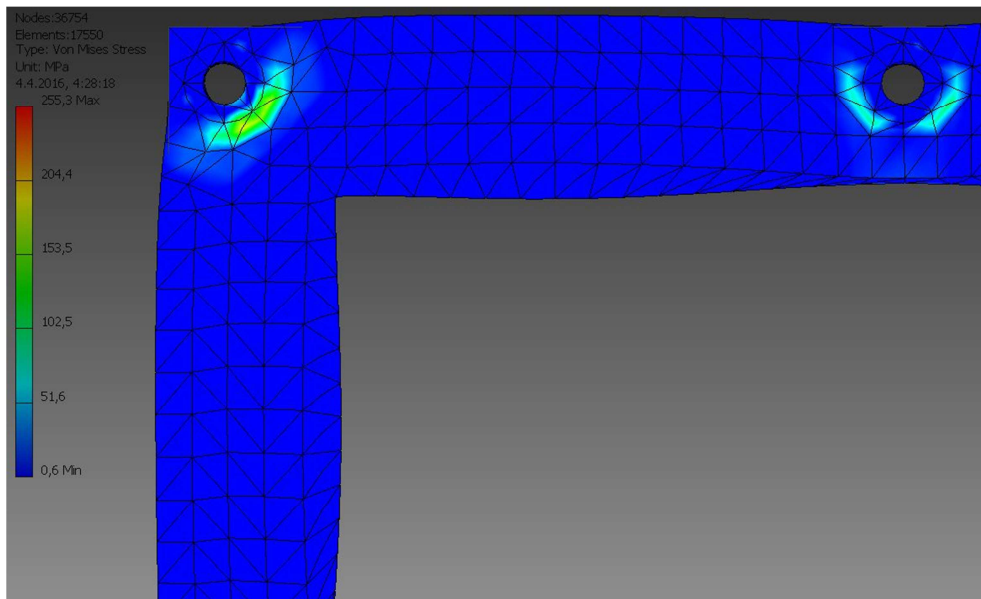
n on kuormituskerroin 1,5

Tällöin kuormituskertoimen sisältämäksi voimaksi F_{p+n} saadaan:

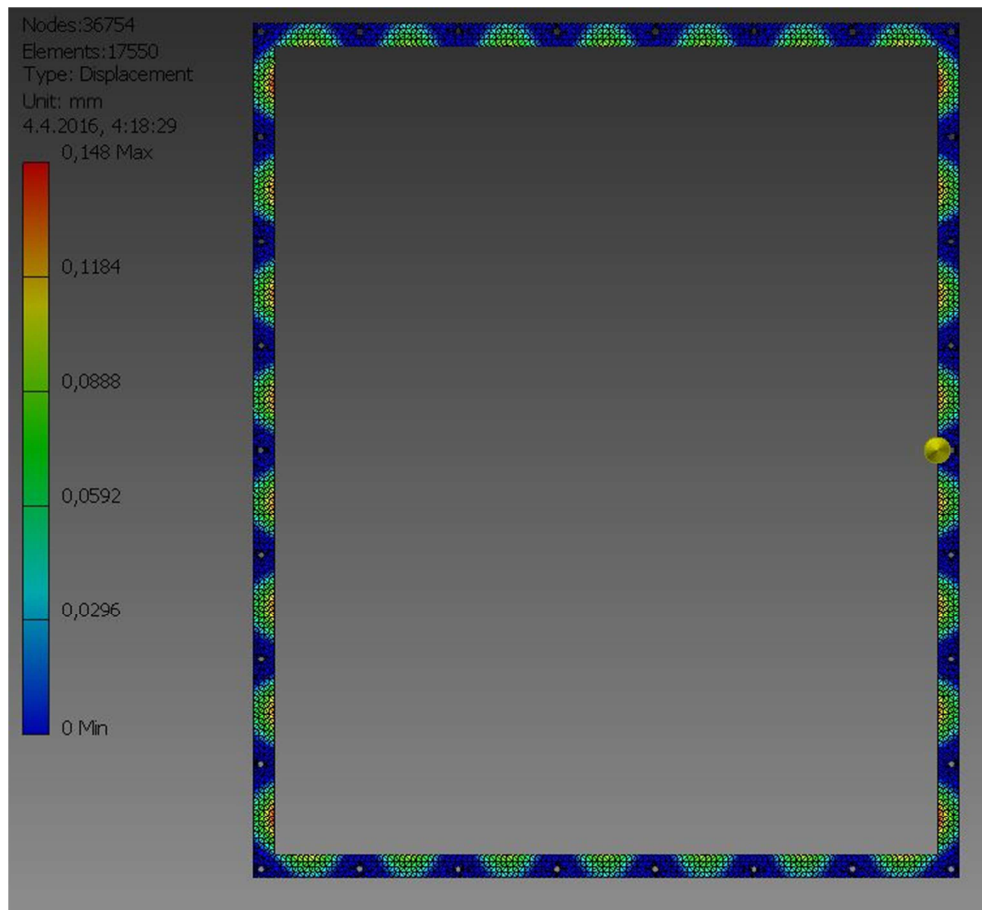
$$F_{p+n} = 19\,800 \text{ N} \cdot 1,5 = 29\,700 \text{ N}$$

Simulointi suoritetaan esitetyillä mitoilla, jolloin laipan minimimateriaalivahvuus on mahdollista selvittää. Oletuksena käytettiin ruuvien kokoa M8, johon on käytetty ulkohalkaisijaltaan DIN 125 mukaista 16 mm halkaisijalla olevaa aluslaattaa. Laippa tuettiin jäykästi aluslaattojen pinta-alan kokoisilta alueilta, jolloin ruuvien joustoa ei mitoituksessa huomioitu. Alat luotiin käyttämällä split-komentoa, jonka

jälkeen niistä muodostettiin patch-komennolla äärettömän ohuita tasoja, jolloin niiden alaa oli mahdollista hyödyntää tuentaan. Voima F_{p+n} kohdistettiin vetämään laippaa rungon putken materiaalivahvuuden ja oletetun hitsausliitoksen peittämältä alalta. Edellä mainitun pinnan luomiseen käytettiin samaa toimintamallia kuin aluslaattojen paikkojen muodostamiseen. Tulokset osoittivat 5 mm materiaalivahvuuden olevan sopiva tilanteeseen. Suurimmat jännitykset kohdistuivat aluslaattojen juureen laipan sisäpintaan päin. Suurimmaksi jännitykseksi saatiin 255 MPa mesh sizen ollessa 0,0125, mutta se kohdistui satunnaisesti pienelle alueelle erään aluslaatan juureen. Kulmissa, johon suurin voima vaikuttaa, kohdistui keskimäärin 188 MPa:n jännitys, jolloin materiaalivahvuuden voidaan kyseisessä tapauksessa päätellä olevan riittävä. Pienemmissä materiaalivahvuuksissa on myötämisen riski. Siirtymät olivat aluslaattojen välissä suurimmillaan 0,15 mm, jolloin tiivisteiden toiminnan heikkenemisestä ei ole vaaraa. Mitoitus soveltuu ruostumattomalle teräkselle sekä S235JRG2-materiaalille.



Kuvio 4. Jännitykset laipassa.



Kuvio 5. Siirtymät laipassa.

4.3.2 Ruuviliitoksen mitoitus

Tarkastellessa siilon vaippaan yhdistävää laippaa pystytään toteamaan liitokseen kohdistuvan vetoa ja leikkausvoimaa. Vetoa liitokseen aiheuttaa määritely ylipaine, esikiristysvoima ja tuotteen massasta aiheutuva momentti. Leikkausvoiman aiheuttaa tuotteen paino. Huomioitavaa on, että liitoksen yläpäähän vaikuttaa suurempi vetävä voima kun taas alapinnalle kohdistuu puristus johtuen vääntömomentista. Momentti M voidaan laskea kaavalla (7). Massan painopisteen etäisyys on saatu Inventorista. Näin saadaan selville leikkauspinnalle painopisteen korkeudelle kohdistuva momentti voiman momentin yhtälöstä:

$$M = rF \quad (7)$$

missä

r on massan painopiste 0,07 m
 F on vaikuttava voima

Massan aiheuttama voima tulee laskea uudelleen, koska sen arvo on muuttunut. Vaikuttava voima F_{m2} voidaan laskea kaavan (2) mukaisesti, jolloin tulokseksi saadaan:

$$F_{m2} = 55 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 539,55 \text{ N}$$

Tämän jälkeen voidaan laskea liitospinnalle kohdistuva voiman momentti sijoittamalla saadut lukuarvot kaavaan (7) seuraavasti:

$$M = 0,07 \text{ m} \cdot 539,55 \text{ N} \approx 37,77 \text{ Nm}$$

Valitaan ruuvien käytettäväksi lujuusluokaksi 8.8, jonka pohjalta lujuustarkastelua on mahdollista lähteä suorittamaan.

Ensimmäiseksi lasketaan esijännitysvoima kaavasta:

$$F_{p,Cd} = \frac{0,7 f_{ub} A_s}{\gamma_{M7}} \quad (8)$$

missä

f_{ub} on 8.8 lujuusluokan ruuvien murtoraja 800 MPa

A_s on ruuvin tai perustusruuvin jännityspoikkipinta-ala 36,6 mm² M8 ruuvikoossa

γ_{M7} on osavarmuusluku 1,1

Näin saadaan laskettua:

$$F_{p,Cd} = \frac{0,7 \cdot 800 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot 36,6 \text{ mm}^2}{1,1} = 18\,632,73 \text{ N}$$

Taivutusneliömomentti x-akselin suuntaisen neutraaliakselin suhteen voidaan koneenosien suunnittelun (Verho, 2010, 222) mukaan laskea kaavasta:

$$I_{x0} = \sum_{i=1}^z A_i y_i^2 \quad (9)$$

Jossa

A on ruuvien pinta-ala

y on korkeuksien neliöiden summa

Kaavasta saadaan tulokseksi:

$$I_{x0} = 6\,313\,339,5 \text{ mm}^2 \cdot A$$

Lasketaan suurin momentin aiheuttama ruuvivoima, joka vaikuttaa ylimpään ruuviryhmään. Se lasketaan kaavalla:

$$F_{tmax} = \frac{+AMh}{2I_{x0}} \quad (10)$$

Jossa

h on ylimmän ja alimman ruuvirivin välinen etäisyys

Saadaan tulokseksi:

$$F_{tmax} = \frac{A \cdot 37\,770 \text{ Nmm} \cdot 1\,138 \text{ mm}}{2 \cdot 6\,313\,339,5 \text{ mm}^2 \cdot A} = 3,40 \text{ N (vetoa)}$$

Sisällyttäen kuormituskertoimen n saatuun tulokseen, on $F_{tmax+n} = 5,11 \text{ N}$

Ruuvien määrän ollessa z voidaan laskea yhdelle ruuville kohdistuva vetovoima.

Ottaen huomioon myös kuormituskertoimen sisältämän voiman saadaan:

$$F_{p+nz} = \frac{F_{p+n}}{z} \quad (11)$$

Jolloin

$$F_{p+nz} = \frac{29\,700 \text{ N}}{30} = 990 \text{ N}$$

Tämän jälkeen yhdistetään lasketut voimat, jolloin saadaan yhdistetty vetovoima:

$$F_{t,Ed} = F_{p+nz} + F_{tmax} + F_{p,Cd} \quad (12)$$

Josta saadaan tulokseksi:

$$F_{t,Ed} = 990 \text{ N} + 5,11 \text{ N} + 18\,632,73 \text{ N} = 19\,627,84 \text{ N}$$

Seuraavaksi selvitetään leikkaavan kokonaisvoiman suuruus. Leikkaava kokonaisvoima on tässä tapauksessa sama, kuin F_{m2} . Voimaan tulee kuitenkin sisällyttää kuormituskerroin n , jolloin saadaan kaava:

$$F_{m2+n} = nF_{m2} \quad (13)$$

Josta ratkaisuksi saadaan:

$$F_{m2+n} = 1,5 \cdot 539,55 \text{ N} = 809,325 \text{ N}$$

Lasketaan kaavan (11) mukaisesti yhdelle ruuville kohdistuva leikkausvoima sijoittamalla F_{p+n} tilalle F_{m2+n} . Tulokseksi saadaan tällöin:

$$F_{m2+nz} = \frac{809,325 \text{ N}}{30} = 26,977 \dots \text{ N} \approx 27 \text{ N}$$

Seuraavaksi lasketaan suurimmat sallitut veto- ja leikkauskuormat ruuville M8 standardin SFS-EN 1993-1-8 mukaisesti. Suurin sallittu leikkausvoima, joka ruuville voidaan kohdistaa, on:

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v F_{ub} A_s}{\gamma_{M2}} \quad (14)$$

jossa

α_v on leikkauskerroin 0,6

γ_{M2} on osavarmuusluku 1,25

Kaavasta saadaan ratkaisuksi:

$$F_{v,Rd} = \frac{0,6 \cdot 800 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot 36,6 \text{ mm}^2}{1,25} = 14\,054,4 \text{ N}$$

Suurin ruuville sallittu vetovoima ratkaistaan kaavasta:

$$F_{t,Rd} = \frac{k_2 F_{ub} A_s}{\gamma_{M2}} \quad (15)$$

missä

k_2 on vetokerroin 0,9

Saadaan tulokseksi:

$$F_{t,Rd} = \frac{0,9 \cdot 800 \frac{N}{mm^2} \cdot 36,6 mm^2}{1,25} = 21\,081,6 N$$

Voidaan todeta, että leikkausvoima $F_{v,Ed} < F_{v,Rd}$, jolloin ruuviliitos kestää leikkausvoiman. Ruuviliitos kestää myös vedon aiheuttaman voiman, sillä

$$F_{t,Ed} < F_{t,Rd}$$

Tarkastetaan vielä yhdistetty veto- ja leikkausvoima. Täyttääkseen vaatimukset, on sen täytettävä seuraava ehto:

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4F_{t,Rd}} < 1 \quad (16)$$

$$\frac{27 N}{14\,054,4 N} + \frac{19\,627,84 N}{1,4 \cdot 21\,081,6 N} \approx 0,67 < 1$$

Koska $0,67 < 1$ täyttää ehdon, voidaan ruuviliitos hyväksyä, kun ruuvin lujuusluokka on 8.8 ja sen koko on M8 kiristysmomentilla 24 Nm.

Kiristysmomentti 24 Nm on saatu ruuvivalmistaja Würth Oy:n taulukosta. Ruuviliitokset tulee olla öljytyjä. (Würth Elektronik, 21, SMS HANDBOK 516:1990.)

4.3.3 Hitsausliitoksen mitoitus

Laippa liitetään pienahitsillä rungon putkeen. Hitsausliitokseen kohdistuvat voimat voidaan todeta olevan samat kuin ruuviliitosten laskelmissa. Hitsin a-mitta mitoitetaan myötörajaan nähden yhtä vahvaksi kuin rungon putki. Jännityspinta- alaksi oletetaan rungon putken materiaalivahvuus 3 mm. Hitsausliitoksen suunnittelu koskee materiaalia S235JRG2. Koska SFS-EN 1993-1-8 (1993, 41) asettama minimimateriaalivahvuus 2,5 mm täyttyy, voidaan soveltaa sen esittämiä laskentaperiaatteita a-mittaa määrittäessä.

Lasketaan rungon putken peittämä pinta-ala laipan pinnassa kaavasta:

$$A_t = (h + 2t) \cdot (b + 2t) - A_p \quad (17)$$

missä

t on levynpaksuus 3 mm

Saadaan levyn peittämäksi pinta-alaksi laipan pinnassa:

$$A_t = (1\,100\text{ mm} + 2 \cdot 3\text{ mm}) \cdot (900\text{ mm} + 2 \cdot 3\text{ mm}) - 990\,000\text{ mm}^2$$

$$A_t = 12\,036\text{ mm}^2$$

Lasketaan suurin voima, jonka pinta-ala A_t voi myötämättä kestää, kun materiaalina on S235. Se saadaan laskettua kaavasta:

$$F_h = A_t R_{eH} \quad (18)$$

missä

R_{eH} on materiaalin S235 myötöraja $235 \frac{N}{\text{mm}^2}$

Tulokseksi saadaan:

$$F_h = 12\,036\text{ mm}^2 \cdot 235 \frac{N}{\text{mm}^2} = 2\,828\,460\text{ N}$$

Edellä laskettujen tietojen perusteella voidaan lähteä määrittämään hitsausliitokseen vaadittua vähimmäistä a-mittaa. a-mitta johdetaan kaavasta:

$$\frac{F_h}{l_{eff} \cdot a} = \frac{F_{uS235}}{\sqrt{3} \beta_W \gamma_{M2}} \quad (19)$$

josta kaava johtuu muotoon:

$$a = \frac{F_h \sqrt{3} \beta_W \gamma_{M2}}{l F_{uS235}} \quad (20)$$

missä

β_W on korrelaatiokerroin 0,8 teräkselle S235

l on hitsausliitoksen pituus 4 024 mm

F_{us235} on teräksen S235 murtoraja, joka on $360 \frac{N}{mm^2}$

Ratkaisemalla kaava (20) saadaan a-mitan kooksi:

$$a = \frac{2\,828\,460\,N \cdot \sqrt{3} \cdot 0,8 \cdot 1,25}{4\,024\,mm \cdot 360 \frac{N}{mm^2}} = 3,381 \dots mm \approx 4\,mm$$

Materiaalilla S235JRG2 täytyy a-mitan olla vähintään 4 mm, että se kestää siihen kohdistuneet jännitykset. Koska kuormituskerroin n on otettu huomioon mitoitettaessa rungon putkea, ei sitä tarvitse lisätä enää erikseen tähän mitoitukseen.

4.3.4 Toleranssi

Koska rungon putken materiaalivahvuus on ympäriinsä 3 mm, saa laippojen sisämitat olla tällöin 4 mm yli mitoituksen, jolloin rungon putki ei mahdu ulkomitoiltaan laipan sisäpuolelle päittäisliitosta tehtäessä. Myös laipassa negatiivinen toleranssi on nolla, koska se ei saa myöskään haitata ilmavirtausta tai pienentää osaltaan murtolevyn pintaan muodostuvaa paineenalaista pinta-alaa.

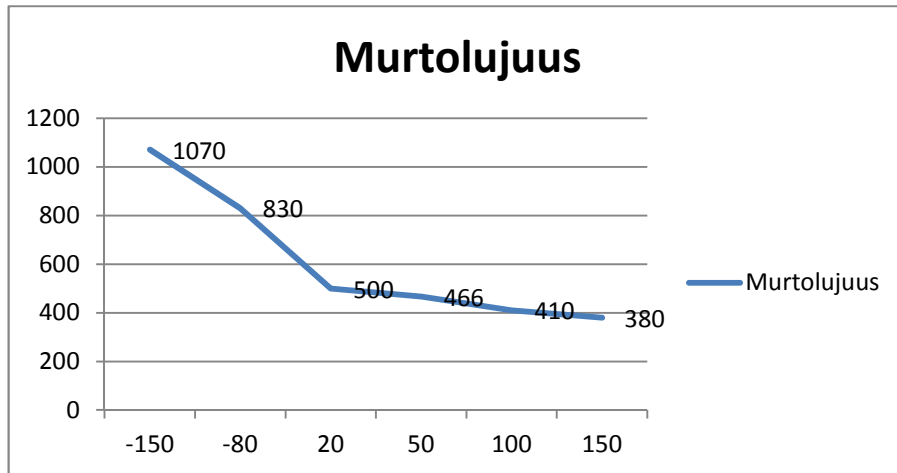
Reunaetäisyyksien ehtojen täyttämiseksi laipan ulkoreunalle ei sallita negatiivista toleranssia. Positiiviselle toleranssille ylärajaa ei periaatteessa ole, mutta rajoitetaan se kuitenkin materiaalin säästämiseksi 5 mm. On kuitenkin huomioitavaa, että reikien sijainti tulee olla kuvien mukainen vaikka toleranssin puitteissa ylitystä tapahtuisikin.

4.4 Murtolevy

Murtokalvon materiaalin tulee olla mitoitettu materiaalin EN 1.4307 ominaisuuksien mukaisesti. Murtokalvon toiminnan tarkastelua suoritetaan lämpötilavälillä -40 °C... +80 °C.

Materiaali EN 1.4307 kuuluu standardin SFS-EN-10028-7 alaisuuteen. Standardi antaa tietoa esimerkiksi materiaalin murtumisominaisuuksista eri lämpötiloissa. Lämpötilojen vaikutus murtorajaan on välttämätön tieto suurinta murtorajaa määritettäessä. (SFS-EN-10028-7, 57,34.)

Taulukko 2. Murtolujuuden arvoja.



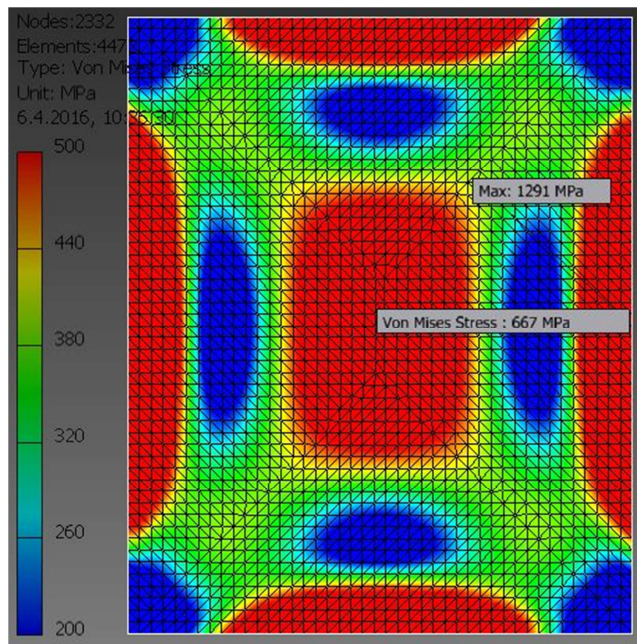
Kaaviossa on esitetty lämpötila x-akselilla ja murtoraja y-akselilla. Kaavio on muodostettu standardin mukaisesti lineaarisella interpoloinnilla, jolloin suorien kulmakertoimet laskemalla voidaan arvioida murtorajat halutuissa lämpötiloissa. (SFS-EN-10028-7, 57.)

4.4.1 Tasaisen levyn tarkastelu

Oletetaan ensin, että levyn ei tarvitse murtua hallitusti ja suoritetaan tarkastelu siten, että levynpaksuus on riittävän ohut murtuakseen vaaditussa paineessa. Tällöin malli on yksinkertaistempimpi ja tulokseksi saadaan repeämiseen vaadittava levynpaksuus suuntaa antavaksi. Tarkastellaan kuitenkin ensin kalvon toimintaa lämpötilassa +20 °C, joka on lähellä oletettuja koestusolosuhteita.

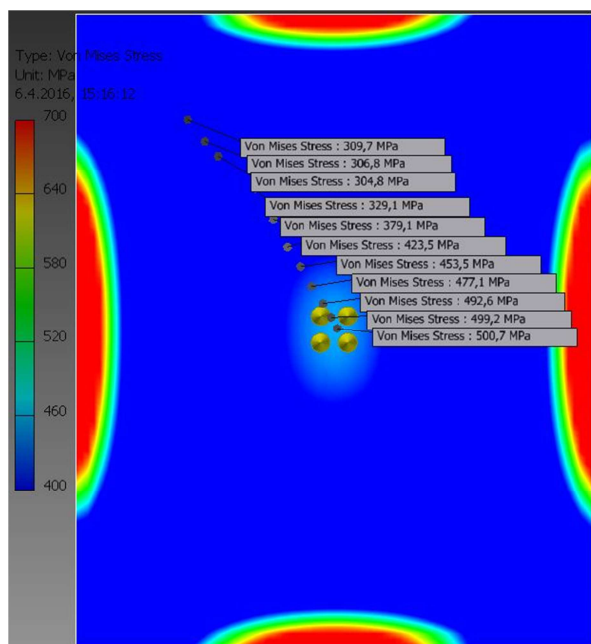
Lämpötilan ollessa +20 °C murtoraja $R_{m+20^{\circ}\text{C}}$ on materiaalilla 500 MPa ja kimmokerroin $E = 200 \text{ GPa}$. Asetetaan Inventoriin edellä mainitut arvot materiaaliominaisuuksiin. Suurimmaksi jännitykseksi saadaan levyn pidemmän sivun reunalle 1291 MPa paineen ollessa 0,02 MPa. Kuviosta 6 nähdään, että

levyn keskikohtaan kohdistuu tällöin 667 MPa jännitys, joka riittää murtamaan levyn +20 °C -lämpötilassa levynpaksuuden ollessa keskipaksu.



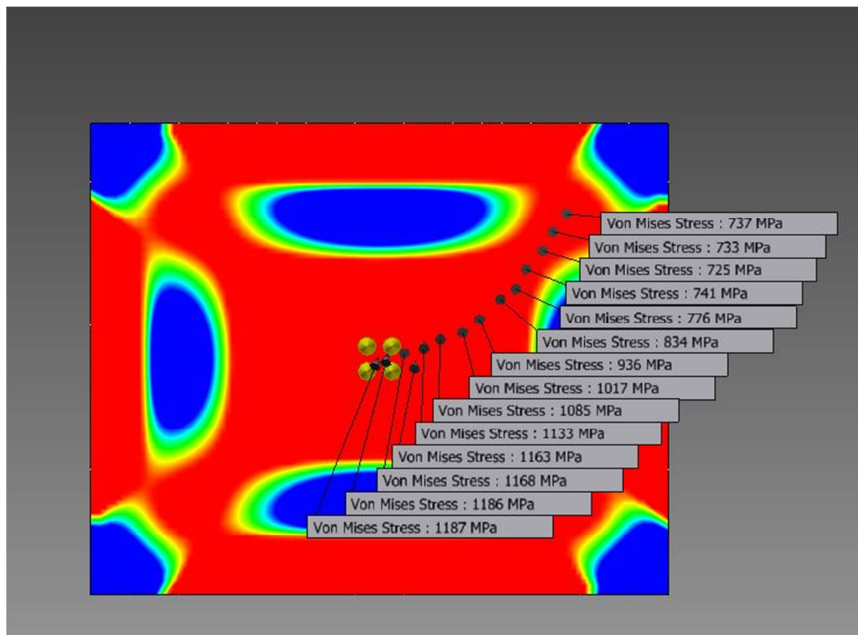
Kuvio 6. Jännitykset keskipaksussa levyssä.

Levypaksuuden ollessa edelleen keskipaksu ja lämpötilan +20 °C, riittää paine 0,015 MPa murtamaan levyn sen keskikohdasta. Osoituksena tapauksesta on kuvio 7.

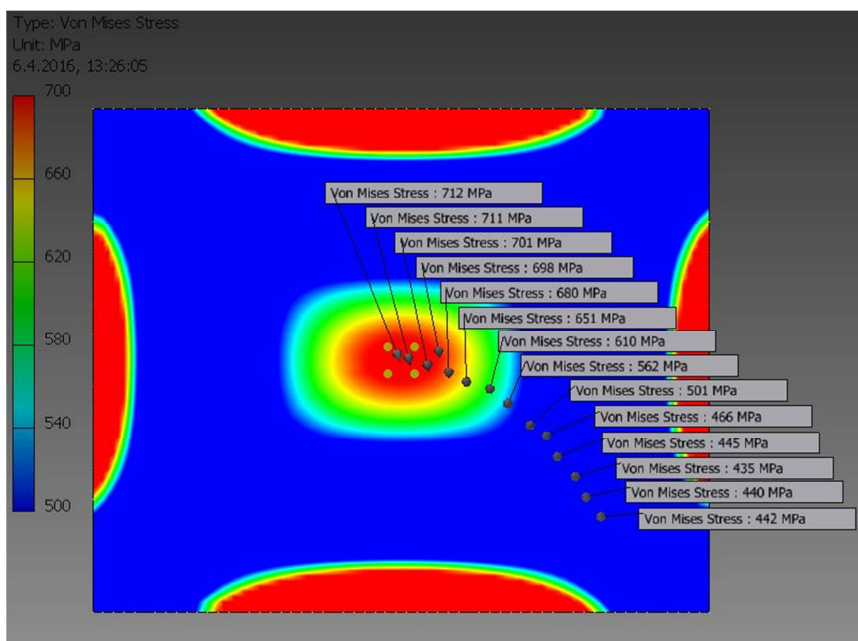


Kuvio 7. Määritellyn murtopaineen aiheuttama jännitys keskipaksuun levyyn.

Lämpötilan ollessa $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ on murtoraja $R_{m-40^{\circ}\text{C}} = 698\text{ MPa}$. Ruostumaton teräs on silti kylmäauras, jolloin se saattaa murtua jo aiemmin madaltuneesta iskusitkeydestä johtuen. Tällöin se levyn ohentuessa täyttää murtumisehdon, että levy halkeaa nurkasta nurkkaan koko matkalta (kuvio 8). Murtuminen alkaa jo kuitenkin kalvon keskikohdasta edellä mainitulla lämpötilalla ylipaineen ollessa $0,012\text{ MPa}$ (kuvio 9).

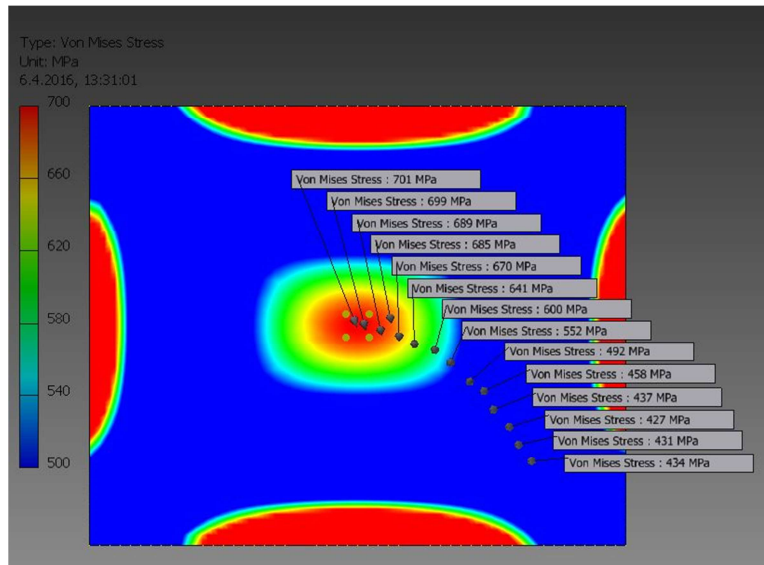


Kuvio 8. Jännitykset $0,02\text{ MPa}$:n ylipaineella ohuemmalla levynpaksuudella.



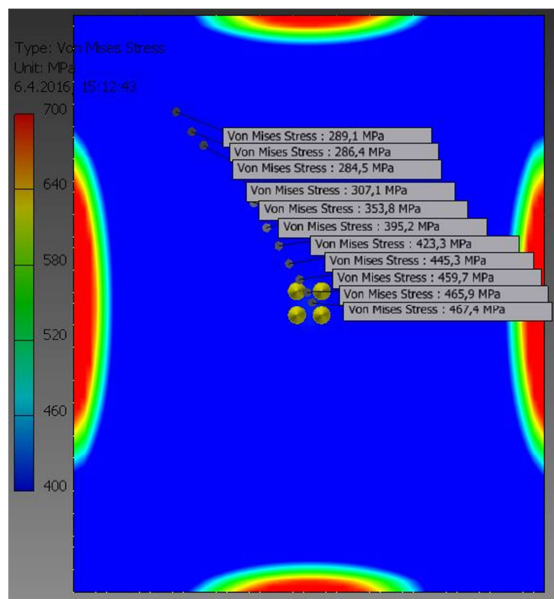
Kuvio 9. Jännitykset $0,012\text{ MPa}$:n ylipaineella levynpaksuuden ollessa ohuempi.

Levynpaksuutta nostettaessa takaisin keskipaksuun, ei 0,02 MPa ole riittävä paine murtamaan sitä lämpötilassa $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$. Murtumiseen vaadittava paine on tällöin vähintään 0,021 MPa (kuvio 10).



Kuvio 10. Määritellyn murtopaineen aiheuttama jännitys levyyn 0,021 MPa ylipaineella ja lämpötilalla $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Kun lämpötila nousee $+80\text{ }^{\circ}\text{C}$:een esimerkiksi auringon tuottaman lämmön vuoksi, on materiaalin murtoraja $R_{m+80\text{ }^{\circ}\text{C}} = 439,21\text{ MPa}$. Tämän murtamiseen vaadittava paine on vähintään 0,014 MPa levyn ollessa keskipaksu. (kuvio 11).



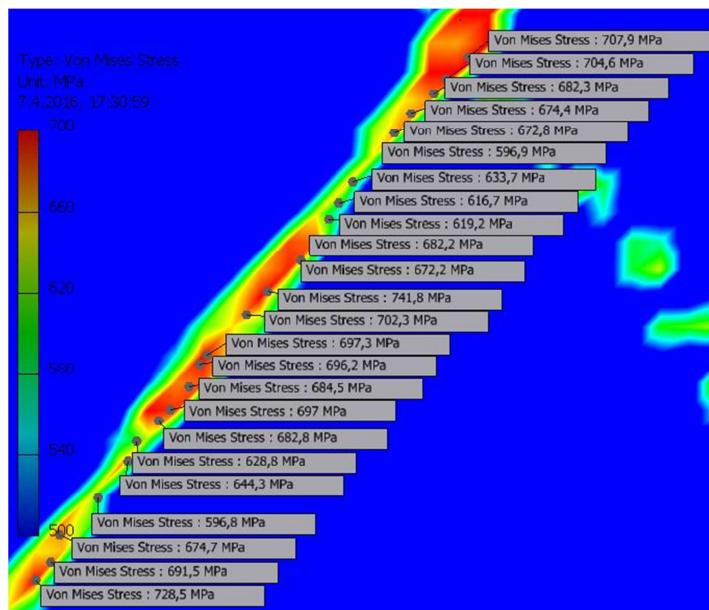
Kuvio 11. Jännitykset levyssä määritellyllä paineella 0,014 MPa keskipaksulle levyille

Levynpaksuuden noustessa suuremmaksi vaaditaan sen murtamiseen lämpötilalla -40 °C jo 0,048 MPa:n ylipaine.

4.4.2 Uurrettu murtolevy

Uran sijoitus levyssä tulee kulmasta ristikkäiseen kulmaan. Tämä johtuu siitä, että kulmien välille syntyy suurin jännitys johtuen suurimmasta venymästä, jolloin uran sijainti on edullisin repeämistä ajatellen. Kalvo halutaan murtuvaksi auki lähes koko paineenalaisen pinnan alalta hallitusti, jolloin uran alku- ja loppupisteet määritetään lähelle kulmia. Urasta tehdään symmetrinen levyn keskipisteen suhteen.

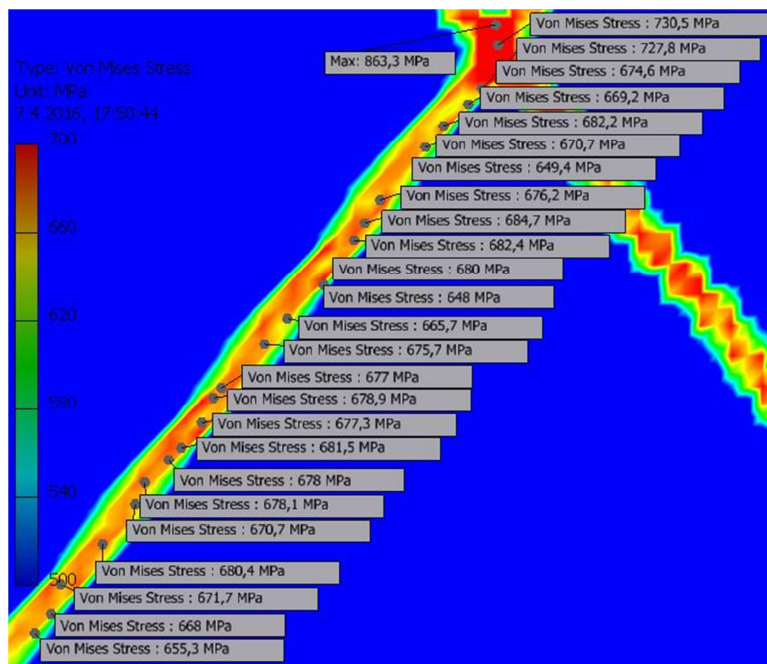
Analysoidessa uran vaadittavaa syvyyttä s , voidaan todeta urasyvyyden olevan riittävä korkeammalle levynpaksuudelle, että se halkeaa lämpötilassa -40 °C. Mesh size on mitoituksessa 0,025 (kuvio 12).



Kuvio 12. Määritellyn murtopaineen aiheuttamat jännitykset uritetussa levyssä.

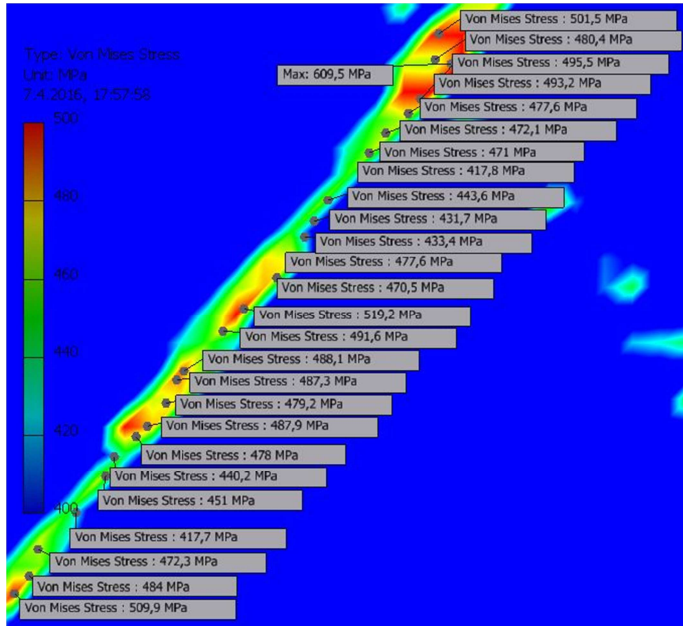
Mesh sizen kokoa muutettaessa 0,0125, saadaan tulokseksi tarkempi jännitys. Suurin jännitys muodostuu jälleen levyn keskikohtaan ollen 730 MPa ja voidaan todeta 0,02 MPa riittäväksi paineeksi murtamaan levy. Suurin paine kohdistuu ohjelmiston mukaan urien yhtymäpaikassa olevaan kulmaan, jolloin ei ole syytä

olettaa sen olevan suurin todellinen paine. Kuviossa 16 tummimmalla punaisella näkyvät osat ylittävät jännitykseltään arvon 700 MPa.



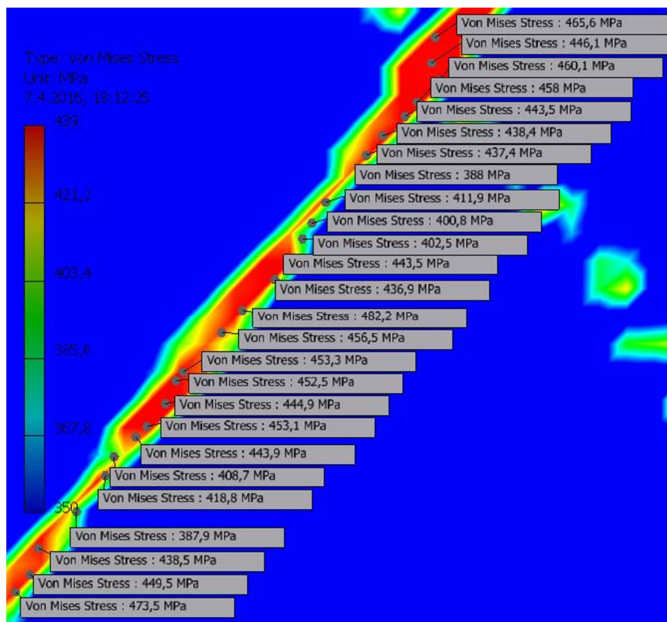
Kuvio 13. Tarkempi tulos jännityksistä suurinta murtopainetta määritettäessä.

Kun määritetään levyn murtumiseen vaadittavaa ylipainetta lämpötilassa +20 °C, riittää ylipaine 0,014 MPa murtamaan sen (kuvio 14). Mesh size kuvassa on 0,025. Kokeilemalla 0,013 MPa:n painetta mesh sizen ollessa 0,0125, ei kappale murtunut.



Kuvio 14. Määritellyn murtopaineen aiheuttamat jännitykset kun +20 °C.

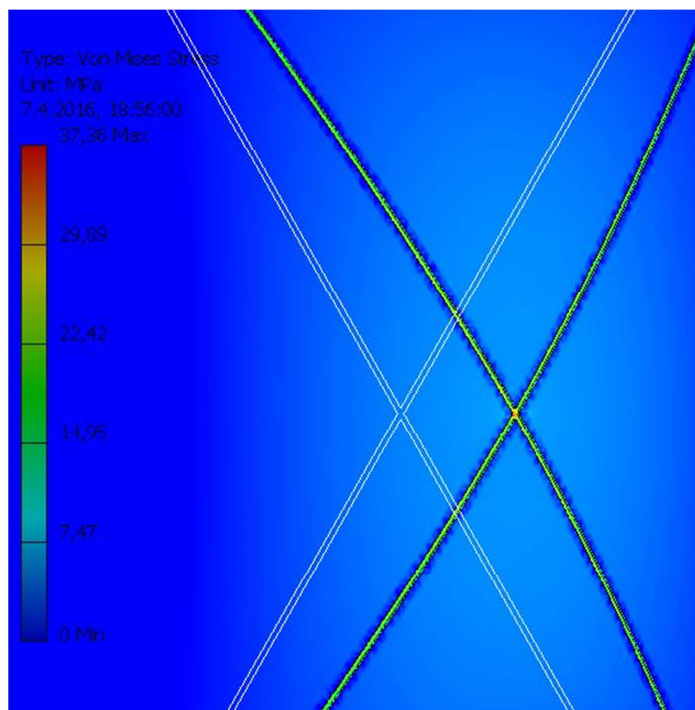
Lämpötilassa +80 °C on murtumiseen vaadittava ylipaine 0,012-0,013 MPa välissä. Mesh size kuviossa 15 on 0,025.



Kuvio 15. Määritellyn murtopaineen aiheuttamat jännitykset kun +80 °C.

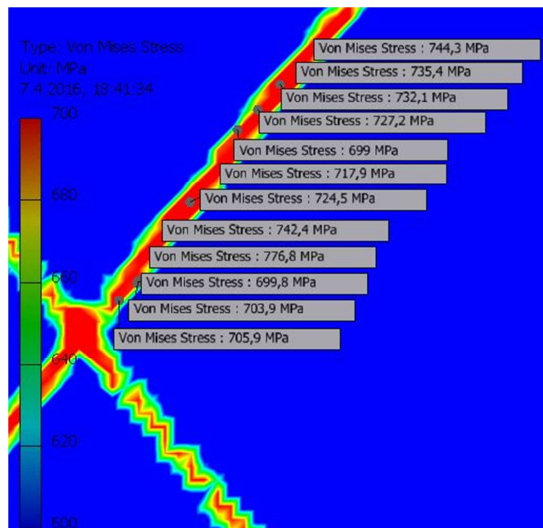
4.4.3 Tuulikuormat ja niiden vaikutus

Maastoluokan ollessa II, voidaan todeta neliökuormituksen ollessa $0,82 \text{ kN/m}^2$ murtokalvon kestävän tuulikuormituksen (PUUINFO, 2010, 16, RIL 201-1-2008). Tällöin suurin siirtymä on hieman alle 2 mm. Suurin tuulesta aiheutuva jännitys levyssä on 33 MPa (kuvio 16). Voidaan siis todeta, että murtolevy ei vaadi takaiskutukea, sillä se kestää tuulikuorman. Laskelmassa ei kuitenkaan ole huomioitu tuulen aiheuttamaa värähtelyä levyllä.



Kuvio 16. Tuulen aiheuttamat jännitykset levyssä.

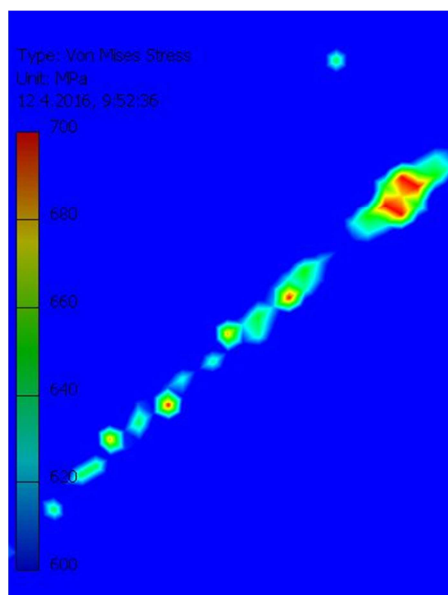
Huomioidessa tuulikuorma vastavoimaksi ylipaineelle lämpötilan ollessa $-40 \text{ }^\circ\text{C}$, on suurin murtumiseen vaadittava ylipaine välillä $0,022\text{-}0,023 \text{ MPa}$. Mittauksessa oli käytössä mesh size $0,0125$ (kuvio 17).



Kuvio 17. Tuulen vaikutus suurimpaan murtopaineeseen.

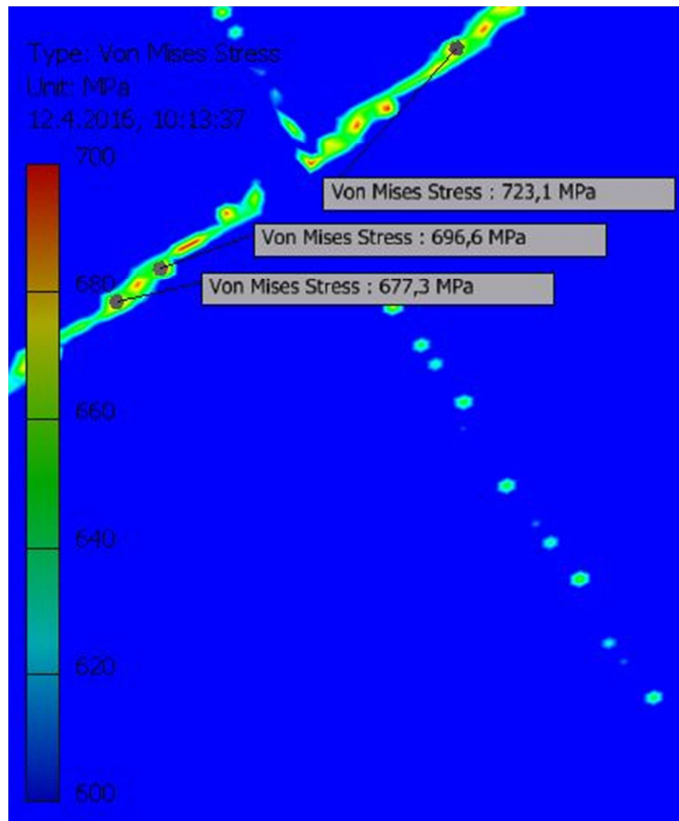
4.4.4 Toleranssi

Ensimmäisenä määritetään toleranssi murtolevyn uran syvyyteen. Voidaan todeta, että uransyvyiden ollessa pienempi ei paine 0,02 MPa riitä murtamaan levyä lämpötilan ollessa $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$. Uransyvyiden ollessa korkeampi murtuu levy ylipaineessa 0,02 MPa. Tällöin uransyvyiden ollessa mainitunlainen sen negatiivisen suunnan toleranssi on pieni. (kuvio 18).



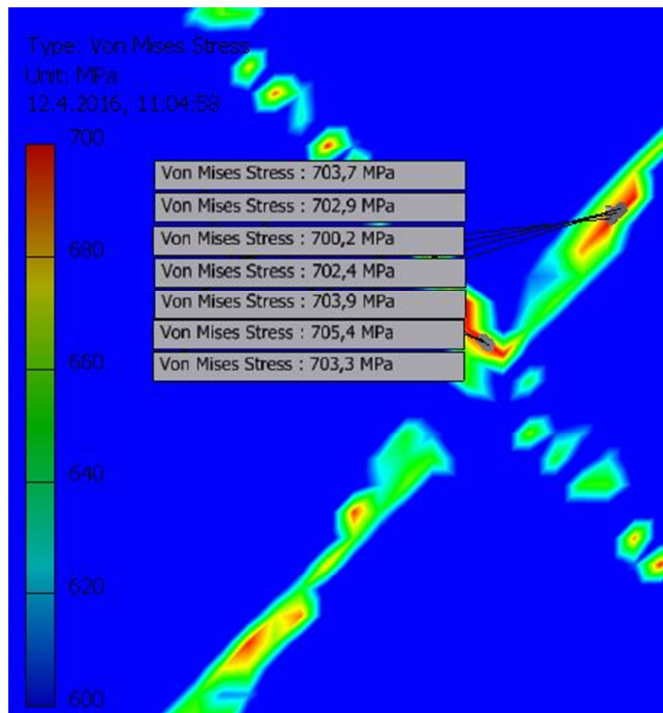
Kuvio 18. Negatiivisen suunnan toleranssi uran syvyydessä paineella 0,020 MPa.

Selvitettäessä suurinta sallittua syvyyttä huomataan, että syvemmillä uralla varustettu levy murtuu jo paineessa 0,018 MPa lämpötilan ollessa -40 °C. Tapaus on kuitenkin hyvin lähellä murtorajaa, jolloin hieman suurempi positiivinen toleranssi voidaan hyväksyä.



Kuvio 19. Positiivisen suunnan toleranssi uran syvyydessä paineella 0,018 MPa.

Uran syvyyden toleranssien määrittämisen jälkeen tutkitaan suurinta sallittua uran leveyttä. Voidaan kuitenkin todeta, että uran leveydellä ei murtumistapahtumaan ole suurta merkitystä. Simulaatio suoritettiin käyttämällä hieman leveämpää uraa, josta saatiin kuvion 20 osoittamat tulokset.



Kuvio 20. Jännitykset uran leveyden kasvaessa.

Uran leveyden ollessa edellistä tilannetta leveämpi jännitykset kasvavat vain hieman. Sovitaan uran leveyden positiivisen toleranssin olevan kuitenkin edellisellä sivulla mainitun mukainen. Koska oletuksena on, että ura työstetään aiemmin mainitulla jyrsimistyökalulla, ei negatiivista toleranssia ole syytä määrittää. Lisäksi uran leveyden vaikutus murtumiseen vaadittuun paineeseen on niin vähäinen, että kuluneen työkalun käyttö ei vaaranna murtolevyn toimintaa.

4.4.5 Tiivisteiden valinta

Ei-metallisen tiivisteiden paksuus tulee olla 3 mm. Sääntö pätee paineluokkaan PN63 asti, kun myös pinta-alavaatimus huomioidaan (SFS-EN 1092-1 + A1, 158). Tiivisteiden tulee soveltua käytettäväksi säilöttävän materiaalin kanssa.

Tiiviste kiertyy yhtenäisenä koko laipan ympäri. Siinä tulee olla reiät ruuvien kohdilla, jolloin ruuvien esikirstyksen aiheuttama paine takaa tiivisteiden toimivuuden.

4.4.6 Murtolevyn asennus

Murtolevy asennetaan siten, että sen ura tulee paineen puolelle. Tällöin vältetään tilanteelta, että jää aiheuttaisi uraan jäädessään toimintahäiriön levyssä. Murtolevyn ja laipan väliin tulee tiiviste kohdan 4.4.5 mukaisesti. Murtolevyn ulkopuolelle ruuviliitosten väliin asennetaan 5 mm paksu laippa, joka tukee murtolevyn kiinnitystä räjähdystilanteessa sekä rajoittaa ulkopuolelta paineenalaisen pinta-alan. Laippa noudattaa samaa kokoa siiloon yhdistävän laippamallin sekä murtolevyn yhdistävän laippamallin kanssa.

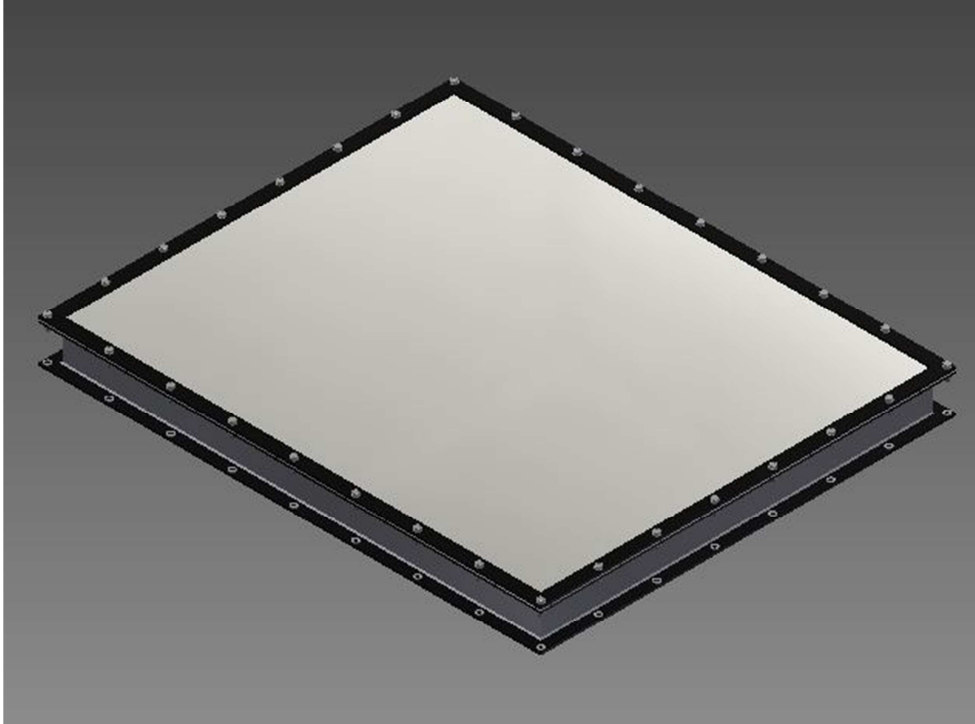
4.4.7 Modifiointi

Saatu kokonaisuutta voidaan modifioida eri tavoin. Murtolevykokonaisuus voidaan kiinnittää siiloon käyttämällä siiloon yhdistävää laippaa ja tiivistettä.

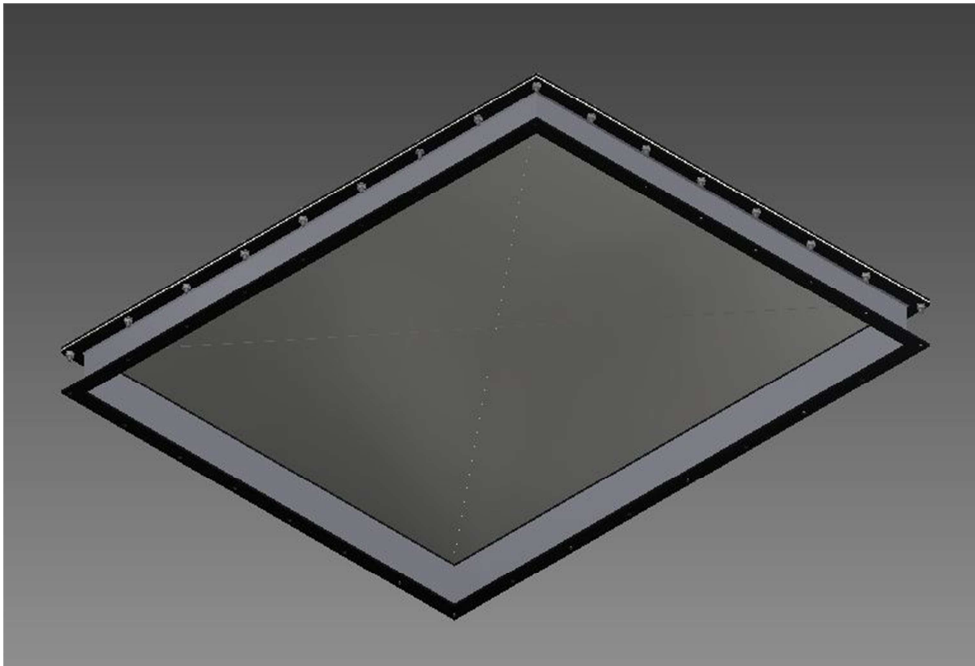
Rungon putki on mahdollista kiinnittää hitsaamalla suoraan siilon vaippaan kiinni. Hitsausliitosta tehdessä on kuitenkin noudatettava annettua a-mittaa.

Jos olosuhteet sallivat, voidaan murtolevy kiinnittää tiivisteiden kanssa suoraan siilon vaippaan ruuviliitoksella. Annettua kiristysmomenttia tulee hyödyntää. On myös huomioitava, että yhdistettäessä pelkkää murtolevyä se ei saa kohdistua taivutukselle. Kiinnityskohdassa ei tästä syystä saa olla kuperia muotoja esimerkiksi siilon säteen mukaan.

Kuvioissa 21 ja 22 on mallinnukset kokonaisuudesta. Mustat osat ovat näissä mitoitettut laipat, vaaleampi harmaa murtolevy ja tumman harmaa osa rungon putki.



Kuvio 21. Kokoonpanokuva murtolevykokonaisuuden yläpuolelta.



Kuvio 22. Kokoonpanokuva murtolevykokonaisuuden alapuolelta.

5 TULOSTEN ANALYSOINTI

Tuloksia analysoitaessa voidaan todeta lopputuloksen olevan onnistunut. Onnistuminen kriteeriksi tässä tapauksessa voidaan asettaa tavoitteiden täytyminen.

Ensimmäinen tavoite oli selvittää murtokalvoja koskevat standardit ja asetukset. Informaatiota löytyi riittävästi asiaa koskien, jolloin teoriaosuus tarjoaa kattavan ja kohdistetun tietopaketin sertifiointivaatimuksista. Lisäksi teoriaosuus on melko hyvin sovellettavissa tutkivaan osaan. Lähteet voidaan todeta myös luotettaviksi.

Toisena tavoitteena työssä oli kehittää toimiva murtokalvokokonaisuus. Murtokalvokokonaisuuden kehitystyö lähti luontevasti etenemään teoriaosuuden sisältämän informaation pohjalta. Pyrkimyksenä oli ottaa kaikki asiaan liittyvät standardit huomioon, joka takaisi parhaimman mahdollisen lopputuloksen. Tavoitteet pystyttiin työssä täyttämään saatujen tulosten perusteella. Kehitystyön lopputuloksena syntyi standardien mukaan mitoitettut laippaliitokset ruuvi- ja hitsausliitokset huomioiden.

Ongelmalliselta tuntunut murtolevyn mitoitus eteni lopulta haluttuun suuntaan. Ongelmia aiheutti esimerkiksi solid-mallin jännitysanalyysi, koska suurimmat jännitykset jakautuivat ensin melko satunnaisesti. Murtolevyn mitoituksessa saatiin kuitenkin huomioitua vaadittavat asiat ja halutut tulokset pystyttiin tulkitsemaan. Lopputuloksena murtokalvon mitoituksesta tuli realistisen tuntuinen. On kuitenkin huomioitavaa, että tulokset ovat teoreettisia, jolloin kalvon todellinen toimivuus voidaan todeta vasta käytännön kokeissa.

Parannettavaksi asiaksi jäi esimerkiksi runsaampi kommunikaatio osapuolien välillä. Työn suorittajan osalta yhteydenotot jäivät liian vähäisiksi, koska kommunikaatiota tapahtui lähes ainoastaan ongelmatilanteiden sattuessa. Kommunikaatiota lisäämällä olisi voitu ottaa lisää toimeksiantajan mahdollisia mielipiteitä ja vaatimuksia huomioon.

Toinen parannettava asia on monipuolisempien ratkaisumallien miettiminen. Tässä voidaan käyttää esimerkkinä murtolevyn kehitystyötä, jota tehtiin

ainoastaan koneistamisen näkökulmasta. Toisena vaihtoehtona olisi epäedulliset muodot levyille, jolloin siitä tulisi helposti murtuva, kun paine kohdistetaan pinnalle määrättyltä puolelta.

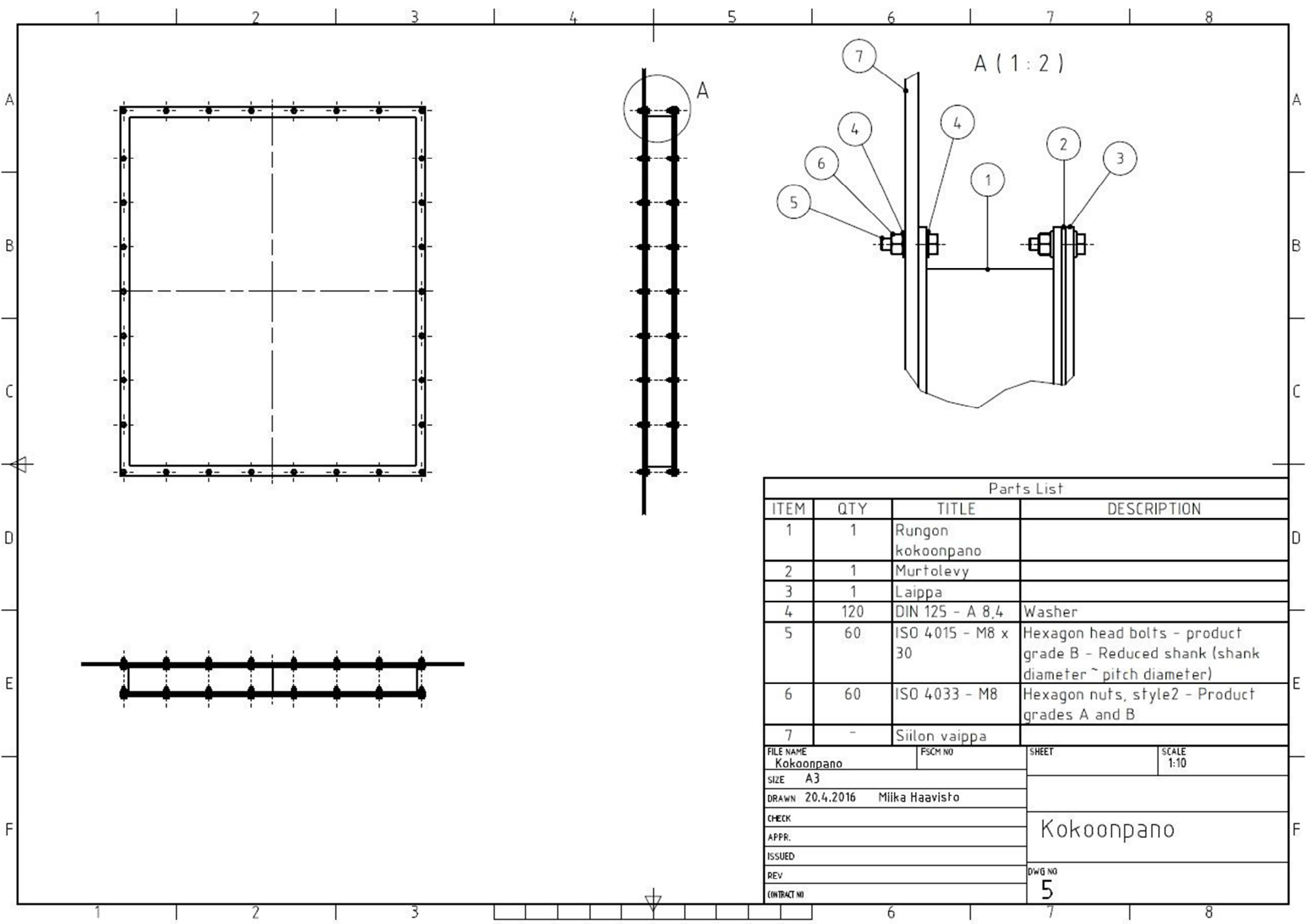
LÄHTEET

- Airila, M., Ekman, K., Hautala, P., Kivioja, S., Kleimola, M., Martikka, H., Miettinen, J., Niemi, E., Ranta, A., Rinkinen, Jari., Salonen, P., Verho, A., Vilenius, M. & Välimaa, V. 2010. Koneenosien suunnittelu. 5. uud. p. Helsinki: WSOYpro Oy.
- ESSVE Finland Oy. ”Ei päiväystä”. DIN 125: Aluslaatta. [Verkkajulkaisu]. Helsinki: ESSVE Finland Oy. [Viitattu 30.3.2016]. Saatavana: http://www.essve.com/upload/ESSVE%20Finland/elect_prod_pdf/din125.pdf
- Laaksonen E. 2005. Puupölyjen aiheuttama palo- ja räjähdysvaara ja sen torjuminen mekaanisessa puunjalostusteollisuudessa. [Verkkajulkaisu]. If Vahinkovakuutusyhtiö Oy. [Viitattu 18.1.2016]. Saatavana: http://www.ttl.fi/fi/kemikaaliturvallisuus/atex/atex_tietoa/Documents/puupoly.pdf
- PUUINFO. 2010. EC 5 Sovelluslaskelmat: Hallirakenus. [Verkkajulkaisu]. Helsinki: PUUINFO. [Viitattu 7.4.2016]. Saatavana: <http://www.puuinfo.fi/sites/default/files/content/rakentaminen/eurokoodit-ja-standardit/ec5-sovelluslaskelmat-hallirakennus/0%20Osa%201.pdf>
- SFS-EN-10028-7. 2007. Painelaiteteräkset. Levytuotteet. Osa 7: Ruostumattomat teräkset. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.
- SFS-EN ISO 4126-2. 2003. Ylipaineen varolaitteet. Osa 2: Murtolevyt ja murtokalvot. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.
- SFS-EN 1993-1-8. 2005. Eurocode 3. Teräsrakenteiden suunnittelu. Osa 1-8: Liitosten mitoitus. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.
- SFS-EN 1092-1 + A1. 2013. Laipat ja laippaliitokset. Pyöreät laipat putkille, venttiileille, yhteille ja varusteille, PN-mitoitetut. Osa 1: Teräslaipat. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.
- Würth Elektronik. ”Ei päiväystä”. Ruuviliitoksen suunnittelu. [Verkkajulkaisu]. Nurmijärvi: Würth Elektronik. [Viitattu 31.3.2016]. Saatavana: <http://www.wurthelektronik.fi/site/media/pdf/we/kuvasto/suunnitteluopas06.pdf>
- 2014/34/EU. 2014. Räjähdysvaarallisissa tiloissa käytettäviksi tarkoitettuja laitteita ja suojajärjestelmiä koskevan jäsenvaltioiden lainsäädännön yhdenmukaistaminen.

LIITTEET

Liite 1. Tekniset piirustukset

Liite 2. Yhteenveto, rakenteelliset mitat ja ominaisuudet



A (1:2)

Parts List			
ITEM	QTY	TITLE	DESCRIPTION
1	1	Rungon kokoonpano	
2	1	Murtolevy	
3	1	Laippa	
4	120	DIN 125 - A 8,4	Washer
5	60	ISO 4015 - M8 x 30	Hexagon head bolts - product grade B - Reduced shank (shank diameter ~ pitch diameter)
6	60	ISO 4033 - M8	Hexagon nuts, style2 - Product grades A and B
7	-	Siilon vaippa	
FILE NAME Kokoopano		FSCM NO	SHEET
SIZE A3			SCALE 1:10
DRAWN 20.4.2016 Miika Haavisto		Kokoopano	
CHECK			
APPR.			
ISSUED			
REV			
CONTRACT NO		DWG NO 5	