

LUT-YLIOPISTO

LUT School of Energy Systems

LUT Kone

BK10A0402 Kandidaatintyö

KAKSOISPIENALIITOSTEN HITSIN JUUREN VÄSYMISLUJUUS AKSIAALI- JA
TAIVUTUSKUORMITUKSESSA
WELD ROOT FATIGUE STRENGTH OF DOUBLE-SIDED FILLET WELD JOINTS
SUBJECTED TO AXIAL AND BENDING LOADS

Lappeenrannassa 10.12.2019

Juha Kuitunen

Tarkastaja Antti Ahola, DI

TIIVISTELMÄ

LUT-YLIOPISTO
LUT School of Energy Systems
LUT Kone

Juha Kuitunen

Kaksoispienaliitosten hitsin juuren väsymislujuus aksiaali- ja taivutuskuormituksessa

Kandidaatintyö

2019

22 sivua, 9 kuvaa, 11 yhtälöä, 1 taulukko, 2 liitettä

Tarkastaja:

Ohjaaja: Antti Ahola, DI

Hakusanat: Symmetrinen kaksoispienaliitos, Franc2D, väsymiskestävyys, taivutuksen osuuskuormituksesta

Kandidaatintyö tehdään LUT-yliopiston teräsrakenteiden laboratoriolle. Työn tavoitteena on tutkia kuinka rakenteen väsymiskestävyys muuttuu, kun taivutuksen osuutta kuormituksesta (DOB, degree of bending) lisätään ja samalla tutkia mitkä ovat kriittisimmät mitoituskriteerit hyvän väsymiskestävyyden saavuttamiseksi.

Tutkimuksessa hyödynnetään analysointina äärellistä elementtiä (FE, Finite Element). Franc2D-ohjelmalla, jolla tutkitaan symmetrisen kaksoispienahitsin väsymiskestävyyttä. Franc2D-ohjelmalla määritetään jännitysintensiiviteettikertoimet, ja kestoajat lasketaan lineaarista murtumismekaniikkaa hyödyntämällä käyttämällä Parisin lakia, jonka avulla pystytään ennustamaan särönkasvunopeutta.

Kandityössä kerättyjen tulosten perusteella voidaan todeta, kuinka paljon taivutuskuorma vaikuttaa rakenteen väsymiskestävyyteen. Tuloksista pystytään myös toteamaan, että tärkeimpänä mitoituskriteerinä on hitsin sulamattoman juuripinnan leveys huomioiden hitsauksen negatiivisen vaikutuksen rakenteen väsymiskestävyyteen.

ABSTRACT

LUT University
LUT School of Energy Systems
LUT Mechanical Engineering

Juha Kuitunen

Weld root fatigue strength of double-sided fillet weld joints subjected to axial and bending loads

Bachelor's thesis

2019

22 pages, 9 figures, 11 table and 2 appendices

Examiner: Antti Ahola, M. Sc. (Tech.)

Keywords: Symmetric double-sided fillet weld, Franc2D, fatigue strength, degree of bending

The bachelors thesis is made for the Laboratory of Steel Structures at LUT University. The goal of this thesis is to analyze how the fatigue resistance changes, when the degrees of bending (DOB) is increased and also examine what are the parameters of the design to achieve good fatigue resistance.

The study utilizes Franc2D-software to conduct finite element (FE) analysis. The program is used to analyzing the fatigue resistance of symmetric double-sided fillet joints. Franc2D is used to the obtain stress intensity factors (SIFs) and linear elastic fracture mechanics (LEFM), which are then used in contrast with Paris' law to predict the crack propagation rate.

The effects of the bending load to the fatigue resistance of the structure can be determined from the results gathered in the bachelors work. With the results we can also make a conclusion that the most important measurement criteria is the root surface width, also recognizing the negative effects of welding to the structures fatigue strength.

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

SISÄLLYSLUETTELO

SYMBOLILUETTELO

1 JOHDANTO	6
1.1 Kalvokuormitus	6
1.2 Väsymiskestävyys.....	6
1.2.1 Väsymismitoitus	7
2 TEORIA	8
2.1 Symmetrinen kaksoispienahitsi	8
2.2 Geometria mittasuhteet	9
2.3 Parisin särönkasvulaki	9
2.4 Väsymiskestävyys.....	10
2.5 Tehollinen a -mitta.....	12
3 TUTKIMUSMENETELMÄT	13
3.1 Geometrian esittely	13
3.2 FE-mallinnus.....	15
4 TULOKSET	17
5 POHDINTA	19
6 JOHTOPÄÄTÖKSET	20
6.1 Sulamattoman juuripinnan leveys.....	20
6.2 Taivutuksen osuus kuormituksesta	21
LÄHTEET	22

LIITTEET

LIITE I: Hitsin mitat.

LIITE II: Tulokset.

SYMBOLILUETTELO

a_{eff}	Tehollinen a -mitta [mm]
a	a -mitta [mm]
a_i	Murtuman minimi [mm]
a_f	Murtuman maksimi [mm]
C	Särönkasvuparametri [-]
m	Vakio tai SN-käyrien kulmakerroin [-]
F	Voima [N]
$\Delta\sigma_m$	Kalvojännitysvaihtelu [MPa]
$\Delta\sigma_b$	Taivutusjännitysvaihtelu [MPa]
$\Delta\sigma_w$	Jännitysvaihtelu [MPa]
t	Levyn paksuus [mm]
ΔM	Momentti [Nmm]
w	Sulamattoman juuripinnan leveys [mm]
$a/t, w/t$ ja a/t	Geometriamittasuhteet [-]
N	Kestoikä [-]
x	Alkusärön sijain x-akselilla [mm]
y	Alkusärön sijainti y-akselilla [mm]
FAT	Fatigue class (väsymiskestävyys)
DOB	Degree of Bending (taivutuksen osuus kuormituksesta)
FEA	Finite element analysis (äärellinen elementti analysointi)

1 JOHDANTO

Työssä lasketaan juuren puolen kaksoispienaliitoksen väsymiskapasiteettia hyödyntäen lineaarielastista murtumismekaniikkaa Franc2D-ohjelmistoa. Franc2D on numeeriseen laskentaan perustuva elementtimenetelmäohjelmisto, jolla voidaan määrittää säröllisen 2D-geometrian jännitysintensiteetikertoimet. Vertaillaan kolmella eri a - ja viidellä eri w/t -geometriamittasuhteella, jotka kuvaavat a -mitan, levyn paksuuden (t) ja sulamattoman materiaalin juuripinnan pituuden (w) suhteita. Joiden avulla tutkitaan kuormituksen taivutusjännitysosuuden (DOB) vaikutusta hitsin juuren väsymiskapasiteettiin. Tutkimuskohteena on kaksoispienahitsi, jota käsitellään virheettömänä lukuun ottamatta juuripinnan leveyttä (w -arvo). Tutkimuksessa vertaillaan myös hitsin mittojen vaikutusta rakenteen väsymiskestävyyteen, tehollista a -mittaa muuttaen.

1.1 Kalvokuormitus

Kalvokuormitus on tärkeä yksityiskohta tutkimuksessa, joka luo rakenteeseen vetoa ja se pitää mitoittaa oikein. Kalvokuormitus luo rakenteeseen symmetrisen jännityksen, jota kautta tuloksia on helpompi vertailla keskenään. Kalvokuormitus on käytettävistä kuormitustilanteista haastavin mitoituskohde, josta nähdään hyvin kun kuormitustyyppiä muutetaan kuinka rakenteen väsymiskestävyys muuttuu.

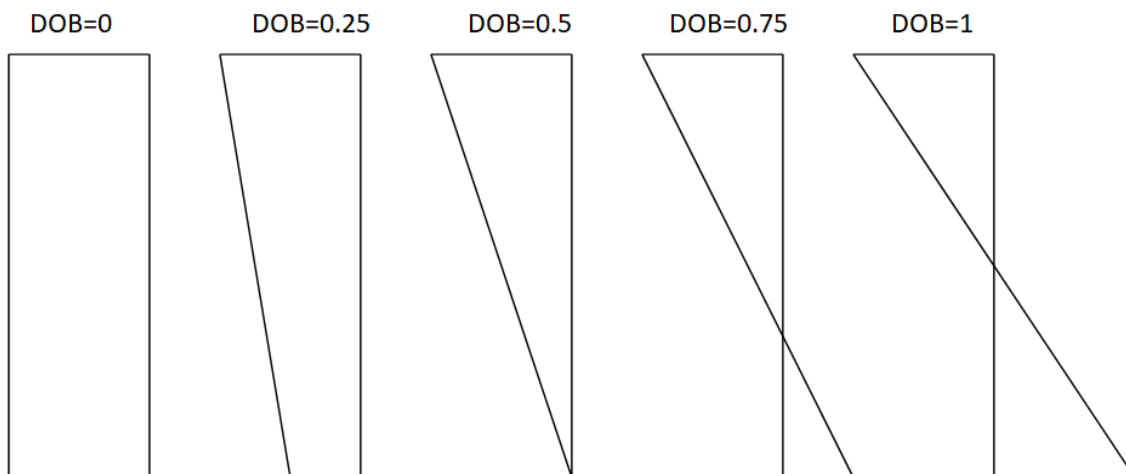
1.2 Väsymiskestävyys

Rakenteessa vaikuttava jännitysvaihtelu voi aiheuttaa rakenteen vaurioitumisen, vaikka rakenneosan nimellinen jännitysvaihtelu olisi vain murto-osan metallin myötö- tai murtolujuudesta. Tyypillisesti väsyttävästi kuormittujen rakenteiden kuormitus voi vaihdella tuhansia kertoja rakenteen käyttöiän aikana.

Säröllisellä rakenteella särönkasvu alkaa jännitysvaihtelusta, mikäli särönkasvun kynnyisarvo ylittyy ja jännitysvaihteluiden määrä ennen murtumista kuvaa rakenteen kestoikää. Todella pienillä jännitysvaihtelu välillä särö ei kasva. Murtumiseen johtavien jännitysvaihteluiden

määrä eli rakenteen kestoikä, riippuu kuormituksen luonteesta. Korkea keskijännitystaso on huomattavasti raskaampi rakenteelle, kuten Ruukin hitsauksen käsikirjassa mainitaan (Ongelin ja Valkonen, 2010, s. 426): ”Perustapauksessa kuormitus, jossa osa jännitysvaihtelusta on puristuspuolella, on väsymisen suhteen edullisempi kuin jos kokojännitysvaihtelu on vedon puolella. Lisäksi elinikä lyhenee suuremmilla keskijännitystasoilla samansuuruisilla jännitysvaihteluilla.”

Tässä tutkimuksessa tarkastellaan kalvo- ja taivutuskuormitusta, sekä molempien yhteisvaikutuksia, joista syntyy seuraavassa kuvassa esitetyt jännityskuvaajat:



Kuva 1. Tutkimuksessa käytettävät jännityskuvaajat eri DOB-arvoille.

1.2.1 Väsymismitoitus

Juuren puolen väsymismitoitus tunnetaan hyvin kalvokuormituksessa, mutta taivutusjännityksen huomioonottamiselle ei ole olemassa selviä kriteereitä. Väsymiskestävyyden mitoittaminen on erittäin vaikeaa taivutusjännityksessä, koska rakenteen kestoian määrittämistä ei ole tutkittu tarpeeksi ja monesti rakenne ylimitoitetaan kestoian suhteen. Ylimitoittaminen nostaa rakenteen hintaa erittäin nopeasti, vaikka paremmalla mitoituksella saisi rakenteesta paljon kustannustehokkaamman. Teräsrakenteen

väsymislajuuden alimitoittamisessa on taas riskinä, että rakenne vaurioituu suunniteltua aikaisemmin.

2 TEORIA

DOB on yksi tutkimuksen tärkeimmistä alkuarvoista, joten se on tärkeä mitoittaa oikein. DOB määritellään seuraavalla kaavalla, jossa σ_b on taivutusjännityksen ja σ_m on kalvojännityksen osuus kuormituksesta:

$$\text{DOB} = \sigma_b / (\sigma_m + \sigma_b) \quad (1)$$

2.1 Symmetrinen kaksoispienahitsi

Hitsauslaatu vaikuttaa paljon koko rakenteet väsymiskestävyyteen. Pieniinkin alkusäröihin syntyy jännityspiikkejä, joista särönkasvu pystyy saamaan alkunsa. Tyypillinen väsymissärön alkamispiste on hitsin ja perusmateriaalin rajaviiva. Tutkittavan rakenteen hitsiä käsitellään virheettömänä, joten alkusäröllä ei ole mahdollisuutta alkaa hitsiin syntyneistä virheistä. Hitsin rajaviivan jälkeen seuraavaksi yleisin kriittinen kohta on juuripinnassa, joka on tämän tutkimuksen kohteena. Kriittinen piste sijaitsee tunkeuman ja juuripinnan risteylässä.

Juuren puolen väsymiskestävyyteen vaikuttaa myös geometriamittasuhteet. Suuri a -mitta ei suoraan tarkoita kestäväää rakennetta, koska a -mitta ei suoraan kuvaa tunkeumaa. Hitsin tunkeuma on merkittävä tekijä väsymislajuuden kannalta, sillä tunkeuma pienentää juuripinnan pituutta ja vähentäen mahdollisuutta alkusärön syntymiselle juuripinnasta. Juuripinnan leveydellä on merkittävä vaikutus rakenteen kestävyteen, koska iso juuripinnan pituus aiheuttaa rakenteeseen isoja jännityspiikkejä. Pienempi juuripinta luo hitsattavien kappaleiden välillä enemmän yhtenäistä sulanutta materiaalia, jota kautta rakenne on vakaampi ja väsymissärön kasvaminen hidastuu. Hitsille on kuitenkin huomattavasti matalampi kestävyys kuin alkuperäismateriaalilla, joten sen mitoittaminen on erittäin tärkeää. Tutkimuksessa

käytetään taulukossa 1 esitettyjä geometriamittasuhteita (a/t ja w/t), jotka siis määräävät a -mitan ja juuripinnan pituuden.

2.2 Geometriamittasuhteet

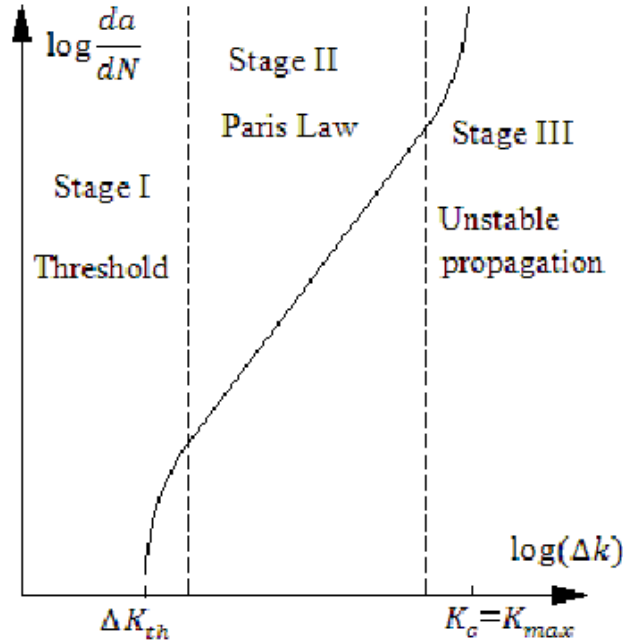
Tutkimuksen tärkeänä huomion kohteena ovat a/t - ja w/t -geometriamittasuhteet, jotka toimivat tutkimuksen tärkeimpinä rajauksina. Geometriamittasuhteet määräävät a -mitan ja w -mitan, jotka ovat tärkeitä arvoja hitsin juuren väsymislujuuden kannalta.

Taulukko 1. Tutkimuksen hitsiä rajoittavia arvoja, mutta kaikissa käytetyissä rakenteissa $t = 9$ mm.

a	a -mitta [mm]	w/t ja a/t	w -mitta [mm]
0.33	3.0	0,6	5.4
0.5	4.5	0,7	6.3
0.66	6.0	0,8	7.2
-	-	0,9	8.1
-	-	1,0	9.0

2.3 Parisin särönkasvulaki

Franc2D:llä ratkaistut jännitysintensiteettikertoimet perustuvat Parisin lakiin, jotka muistuttavat seuraavan kuvan Parisin lain osuutta (alue II):



Kuva 2. Parisin hahmotelma jännitysintensiteetikertoimen kehittymiselle, johtuen rakenteen väsymisestä. (Nemati, Metrovich & Nanni 2011, s. 5)

Pienelle jännitysintensiteettikerroimille on vaikea ennustaa kuinka särö etenee, koska se riippuu paljon materiaalin rakenteellisesta koostumuksesta (kuvan 2 aluetta I vastaava). Ensimmäisen osuuden jälkeen jännitysintensiteettikerroin kasvaa, jos II osuus halkeamasta on dominoiva osuus kestoian määrittelylle, niin särön etenemistä pystytään ennustamaan Parisin lain avulla. Alue II on Parisin laista tärkein osuus tässä tutkimuksessa, koska alue II on helpoin kohta ennustaa halkeaman etenemisestä. Tutkimuksessa halkeama jatketaan murtumaan asti, jolloin alueen III osuus tulee myös käyttöön ja tämä nopeuttaa särön etenemistä rakenteen murtumiseen asti.

2.4 Väsymiskestävyys

Franc2D:llä tehdyistä analysoinneista saadaan määritettyä jännitysintensiteettikerroin ja särön pituus, joita pystytään hyödyntämään kestoian ratkaisemiseen.

Kestoikä määritellään seuraavalla kaavalla:

$$N_f = \int_{a_i}^{a_f} \frac{da}{C(\Delta K(a))^m} \quad (2)$$

Yhtälössä 2 a_f on loppusärönkoko, a_i on alkusärönkoko, C on särönkasvuparametri (vakio), $\Delta K(a)$ on jännitysintensiiteettikertoimen vaihtelu särön pituuden funktiona, m on Parisin lain kulmakerroin (vakio) ja N_f on kestoikä.

Kestoikä lasketaan jokaiselle tapaukselle erikseen, koska kestoian laskennassa ei oteta huomioon Franc2D-ohjelmalle määritettyä 1 MPa kuormaa. Tärkeimpänä syynä tähän on myös se, että laskennassa nähdään parhaiten kuinka taivutusjännitysosuuden muuttaminen vaikuttaa kappaleen väsymiskestävyysluokkaan (FAT).

Ennen kuin pystytään ratkaisemaan väsymiskestävyysluokka jokaiselle tapaukselle, niin pitää ratkaista paljonko jännitykset ovat taivutus- ja kalvokuormille. Kalvo- ja taivutuskuormat määritellään seuraavilla kaavoilla:

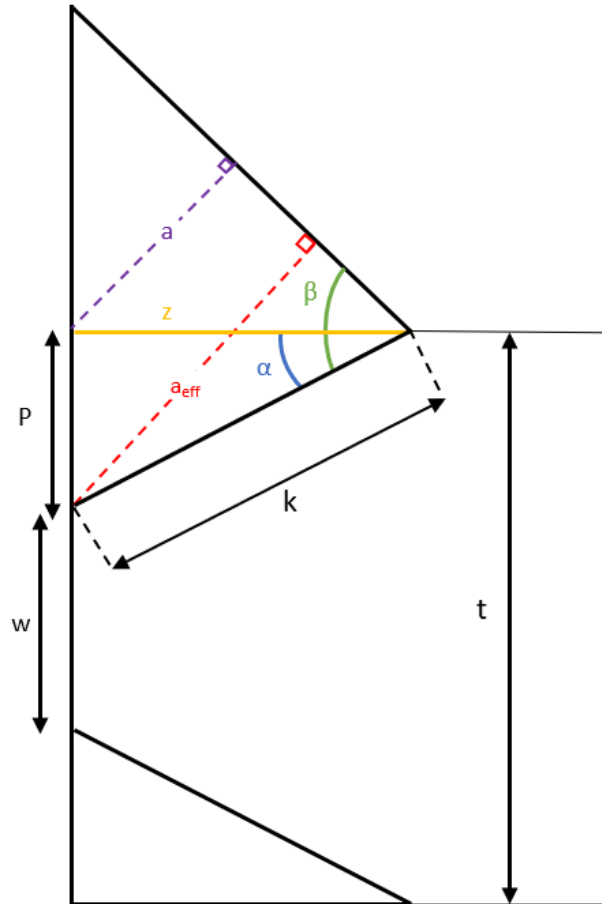
$$\Delta\sigma_{w,m} = \frac{t}{2a_{eff}} * \Delta\sigma_m, \quad (3)$$

$$\Delta\sigma_{w,b} = \frac{\Delta Mc}{I} = \frac{\frac{\Delta\sigma_b * t^2}{6} * \frac{w}{2}}{\frac{(w + 2 * a_{eff})^3 - w^3}{12}} = \frac{\Delta\sigma_b * t^2 * w}{6 * a_{eff} * w^2 + 12 * w * a_{eff}^2 + 8 * a_{eff}^3}, \quad (4)$$

$\Delta\sigma_m$ ja $\Delta\sigma_b$ yhtälöissä 3 ja 4 kuvaavat kuinka paljon kuormituksesta on, joko kalvo- tai taivutustakuormitusta. Molempia kuormitustyyppisiä voi kummiskin havaita rakenteessa. Esimerkiksi, jos $DOB = 0.75$, niin $\Delta\sigma_m = 0.25$ ja on $\Delta\sigma_b = 0.75$.

2.5 Tehollinen a -mitta

Yhtälöissä 3 ja 4 on enää yksi tuntematon: tehollinen a -mitta (a_{eff}), joka ratkaistaan geometriamittasuhteiden ja trigonometrian avulla. W -arvo saadaan taulukossa 1 esitettyjen geometriamittasuhteilla.



Kuva 3. Tehollisen a -mitan (a_{eff}) ratkaisuun käytettyjen arvojen visualisointi (kuva ei täsmää tapauksen oikeita mittasuhteita).

Tehollinen a -mitta ratkaistaan trigonometrian avulla, kuten kuvassa 3 näytetään. Trigonometrian avulla johdetaan seuraavat kaavat:

$$P = \frac{t-w}{2}, \quad (5)$$

$$\sin(45^\circ) = \frac{a}{z} \rightarrow z = \sqrt{2} * a, \quad \beta - \alpha = 45^\circ, \quad (6)$$

$$\tan(\alpha) = \frac{p}{z} \rightarrow \alpha = \tan^{-1}\left(\frac{p}{z}\right), \quad (7)$$

$$k = \sqrt{p^2 + z^2}, \quad (8)$$

$$\sin \beta = \frac{a_{eff}}{k} \rightarrow a_{eff} = \sin(\beta) * k, \quad (9)$$

Tehollisen a -mitan ratkaistua, kalvo- 3 ja taivutuskuormien 4 yhtälöistä ei ole enää yhtään tuntematonta arvoa. Kuormitusten ratkaistua pitää seuraavaksi laskea kuormitusten yhteisvaikutus, joka määritellään seuraavalla kaavalla:

$$\Delta\sigma_w = \Delta\sigma_{w,m} + \Delta\sigma_{w,b}, \quad (10)$$

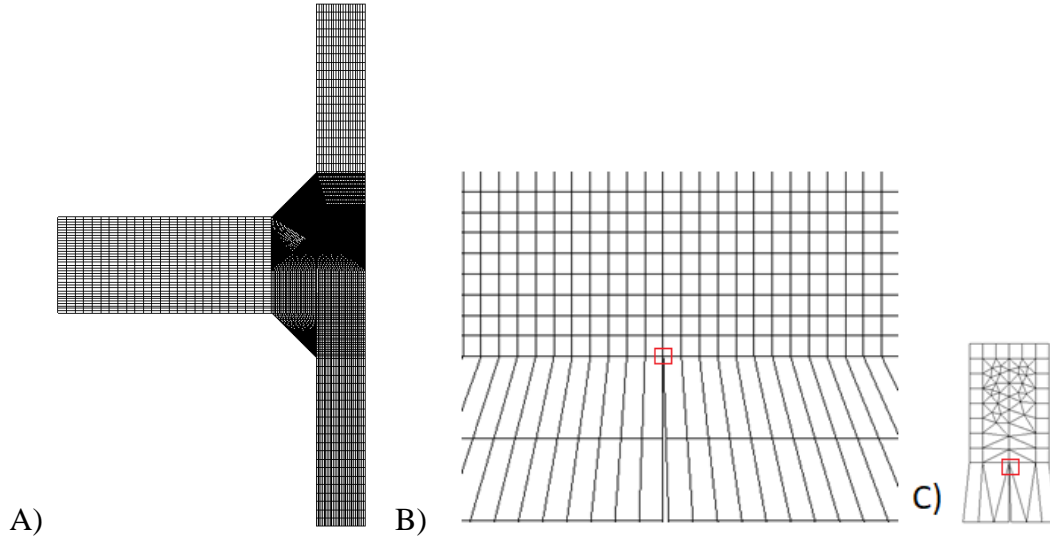
Kuormien yhteisvaikutusta hyödynnetään väsymislujuuksien (FAT) ratkaisemiseen, jotka ovat tutkimuskohteena. Väsymislujuus määritellään seuraavalla kaavalla, jossa $m = 3$ on vakio ja N_f on kestoikä ja $\Delta\sigma_w$ on edellisellä yhtälöllä ratkaistu kuormitusten yhteisvaikutus:

$$FAT = \left(\frac{N_f}{2 * 10^6}\right)^{1/m} * \Delta\sigma_w, \quad (11)$$

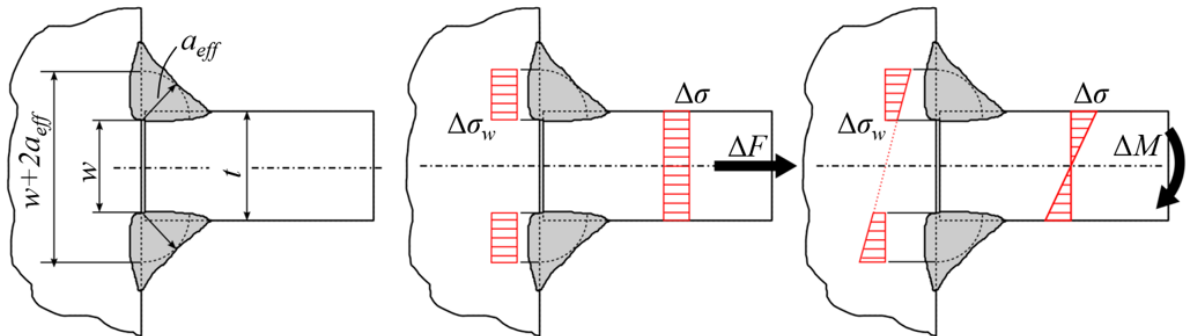
3 TUTKIMUSMENETELMÄT

3.1 Geometrian esittely

Käytettävä rakenne koostuu kahdesta yhteenhitsatusta levystä, joita yhdistää kaksoinpienahisi. Rakenteen alkusäröllä on aina sama alkupiste, josta särönkasvu alkaa. Alkusärön koko on ainut, joka kasvaa ja se riippuu a/t -geometriamittasuhteesta.



Kuva 4. Analysoitava rakenne Franc2D-ohjelmassa (A). Kappaleessa oleva alkusärön paikka kappaleessa (B). Valmis alkusärö analysointia varten (C).



Kuva 5. Tutkittavien tilanteiden mitat ja hitsin juuren nimelliset jännitykset kalvo- ja taivutuskuormituksessa. (Ahola, Björk & Barsoum, 2019, s. 6)

Kuvasta nähdään kuinka kuormitus vaikuttaa kappaleeseen, jos kuormitus on kalvokuormaa (keskimmäinen) ja miten kuormituksen ollessa pelkkää taivutusta (oikeanpuoleinen). Rakenteeseen vaikuttavat kuormitukset sijoitetaan x-akselin suuntaiseen levyn päähän, jossa hitsiä ei ole. Kuormitus saadaan täsmäämään kuvan 1 jännityskuvaajia Franc2D-ohjelmalla, kun aloitetaan kuormituksen määrittäminen yläpuolelta arvolla 1 MPa. Alapuoli asetetaan niin, jos halutaan $DOB = 0.5$, niin jännityskuvaaja päättyy nolnaan.

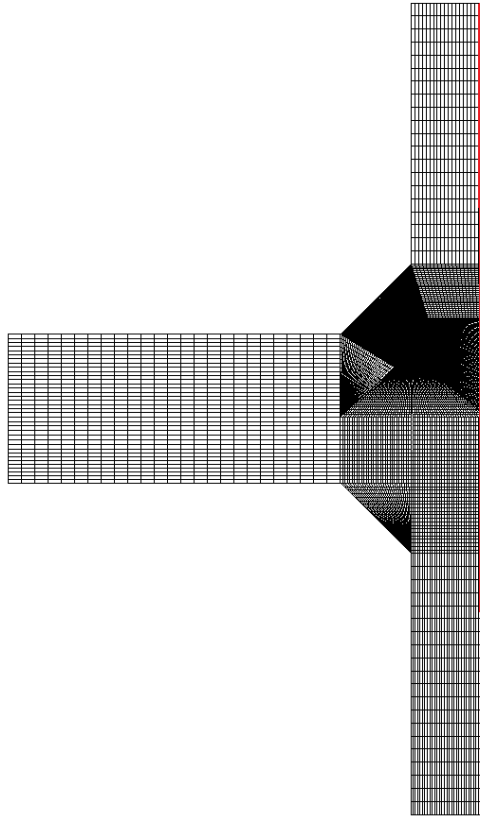
Kuva 5:ssa olevia kuorman vaikutuksia ($\Delta\sigma_w$, $\Delta\sigma$, ΔF , ΔM) ei tarvitse erikseen määrittää, koska Franc2D:llä kappaletta tutkiessa ohjelma pystyy itse määrittelemään kuorman vaikutukset. Kuormista tehdään viisi erillistä versiota jokaiselle tapaukselle kerran niin, että ne täsmäävät kuvan 1 jännityskuvaajia. Elementtiverkon tiheys säröpinnalle voidaan asettaa pienimmällä a/t -suhteella 5 elementtiin ja kasvattaen 5 jokaiselle kasvavalle a/t -suhteelle, jolloin $a/t = 1$ elementtiverkon elementtikoko olisi 25.

3.2 FE-mallinnus

Mallinnus tehdään Franc2D-ohjelmalla jolla rakenteelle luodaan rajaukset: reunaehdot, kuormitukset ja alkusärön koko, sekä alkusärön aloituspaikka.

Särön pituus ja jännitysintensiiteettikerroin saadaan Franc2D-ohjelmasta. Muut mitat saadaan ratkaistua geometriamittasuhteita ja trigonometriaa hyödyntäen. Tutkimus tehdään pääosin Franc2D:llä, jossa käytetään 1 MPa vaikuttavaa yksikkökuormaa. Tarkoituksena on verrata, miten DOB-arvon muuttaminen vaikuttaa särön käyttäytymiseen.

Ohjelmalla simuloidaan rakenteen käyttäymistä. Rakenne lukitaan x- ja y-akseleilla, jotta rakenne ei ole vapaakappale. X-akselin lukitus tehdään koko rakenteen pituudelta y-akselin suuntaisesti ja y-akselin lukitus riittää yhdelle pisteelle. Rakenteen kuormitustilannetta rajataan niin, koska tutkimuksen tuloksien pitää muistuttaa oikeaa tilannetta. Rakenteen lukitukset eivät saa olla hitsin väsymiskestävyyteen vaikuttavia, jotta tulokset eivät ole virheellisiä.



Kuva 6. Rakenteen lukitukset x-akselin suuntainen on punainen ja sininen viiva on y-akselin suuntainen lukitus.

Vaikka tutkitaankin kaikki kuvan 1 tapaukset, niin tutkimuksen pääkohteena on: $DOB = 0.5 - 1$. Kaikki kuormitustilanteet on tutkittava, jotta saadaan riittävän laaja tutkimuskohde ja on tuloksia, joihin voidaan verrata taivutuskuormituksen tuloksia. Tutkimuksen tarkoituksena on selvittää: kuinka rakenteeseen syntyvä särö käyttäytyy, kun taivutuksen osuutta kuormituksesta muutetaan. Tämä saadaan tehtyä visuaalisesti Franc2D:llä ja laskennallisesti selvittämällä väsymislujuus.

Säröä määriteltessä kannattaa huomioida, että sitä käsitellään reunahalkeamana. Muilla tavoilla ohjelma ei pysty käsittelemään säröä oletetulla tavalla, eikä edes pysty jatkamaan halkeamaa murtumaksi asti.

Franc2D käyttää FE-mallinnusta, jossa rakenteeseen luodaan alkusärön aloituspiste kuten kuvassa 4 C. Alkusärölle luodaan elementtiverkko, jotta tutkimus täsmää äärellistä elementtiä.

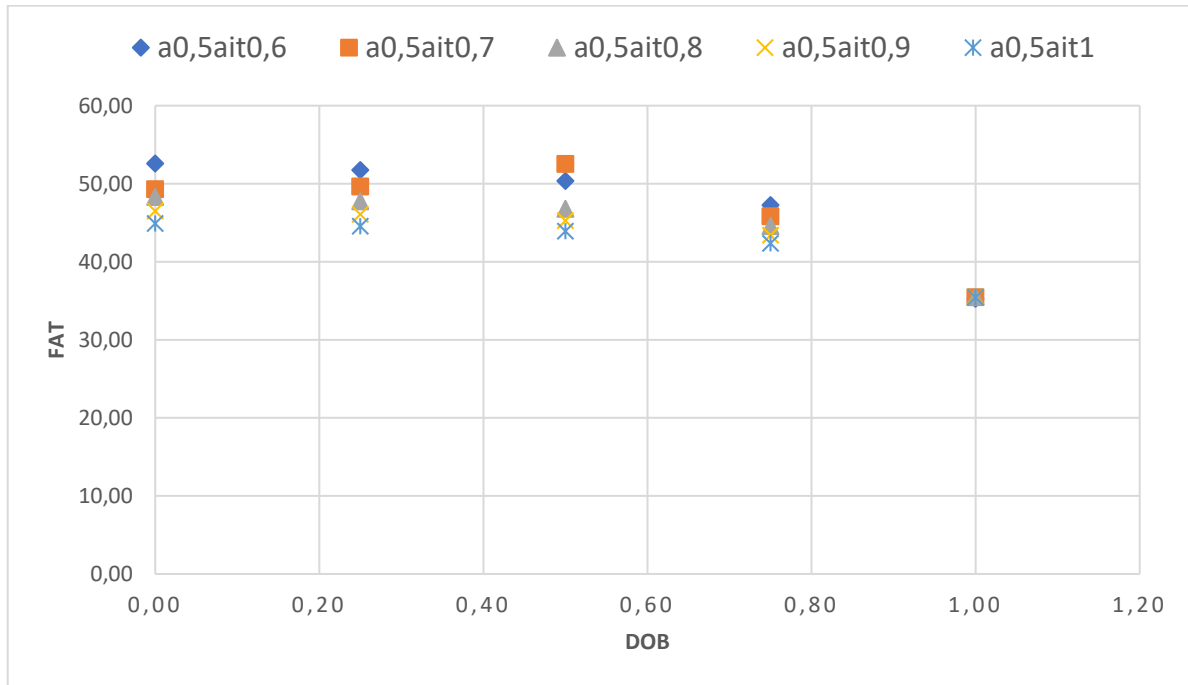
Elementtiverkon koko riippuu alkusärön suuruudesta ja elementtiverkon tiheydellä on vaikutus lopputuloksiin. Elementtiverkon tiheys ei saa olla liian suuri, eikä liian pieni.

Tutkittavassa liitoksessa särö kasvatetaan, kunnes särö on kasvanut lähes hitsin läpi murtumaksi asti. Jännitysintensiiteettikertoimet määritetään särön pituuden funktiona. Särönkasvua tutkittaessa pitää myös huomioida, että särön kasvuinkrementtiä kasvatetaan hiljattain. Särön kasvuinkrementiksi voidaan asettaa aluksi 0.05 mm, jota jatketaan noin 1.5 mm asti. Tämän jälkeen särön etenemisnopeutta voidaan kasvattaa järkevästi, vaikka 0.1 mm tai tutkittavan särön etenemisnopeus voi pitää samana loppuun asti. Tämä tekee tietenkin analyysistä ajallisesti pitempi kestoisemman, mutta ei vaikuta lopputuloksiin. Kasvuinkrementtiä ei kannata asettaa 0.2 mm isommaksi, sillä liian iso etenemisnopeus saattaa väärentää lopputuloksia. On tärkeää, että särön jännitysintensiiteettikertoimen muuttuminen saadaan mahdollisimman tarkasti 1 – 2 mm väliltä.

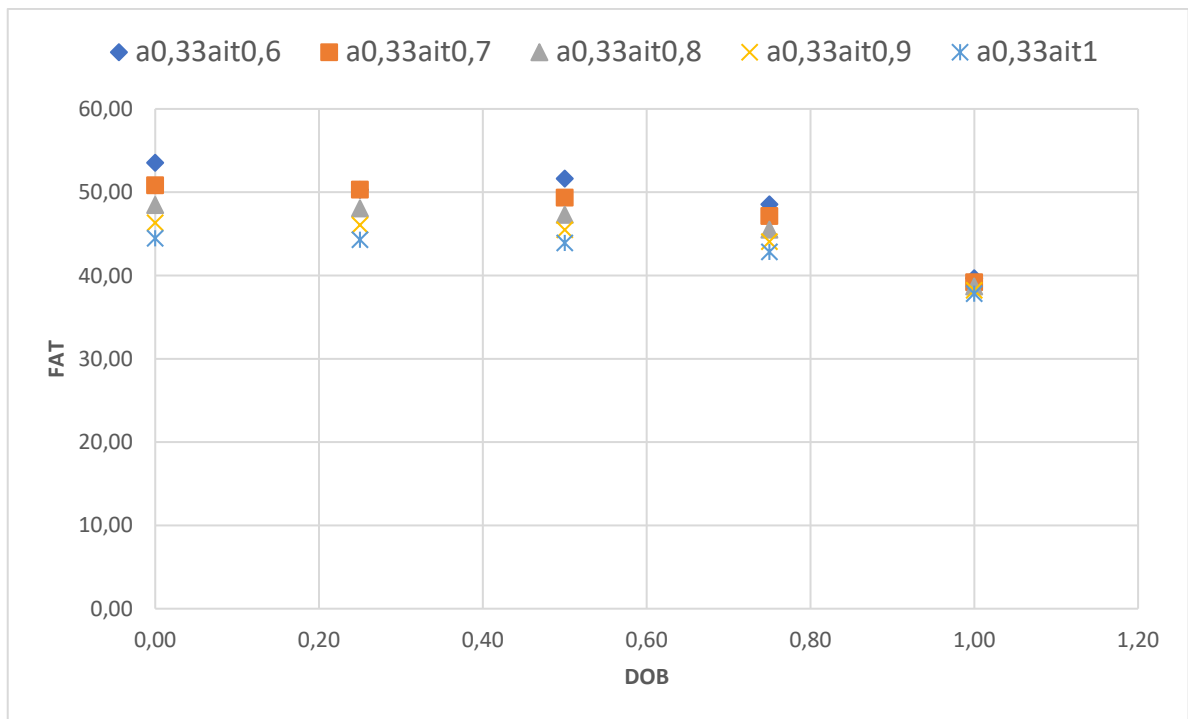
4 TULOKSET

Saadut tulokset esitetään tässä luvussa. Liitteistä I ja II löytyvät lasketut tulokset, sekä laskuihin käytetyt arvot. Tulokset esitetään DOB- ja FAT-arvojen avulla luoduista kuvaajista, joista nähdään helposti miten DOB:n lisäämisen vaikuttaa väsymiskestävyyteenluokkaan.

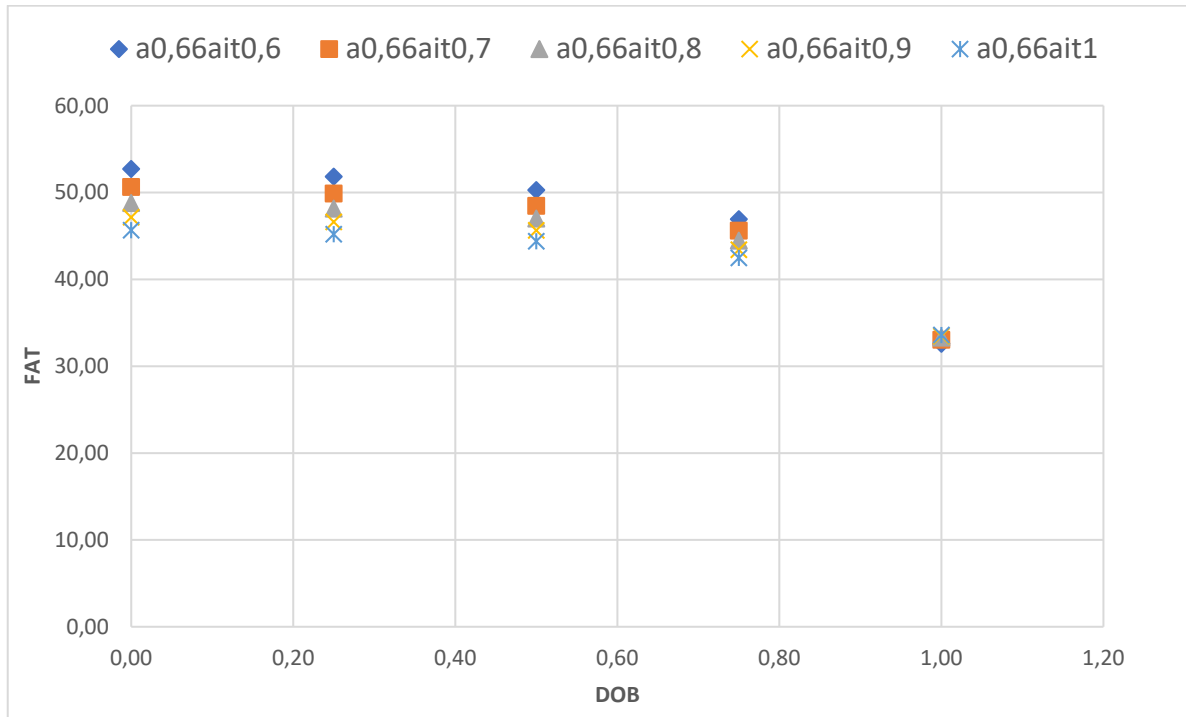
Tulokset on nimetty rakenteiden rajauksien mukaan, kuten taulukossa 1 on esitetty.



Kuva 7. Kuvaaja liitokselle, jonka a -mitta on 4.5 mm



Kuva 8. Kuvaaja liitokselle, jonka a -mitta on 3.0 mm.



Kuva 9. Kuvaaja liitokselle, jonka a -mitta on 4.5 mm.

5 POHDINTA

Työssä siis tutkittiin kuinka DOB-arvon kasvattaminen vaikuttaa särön muodostumiseen ja kuinka tärkeä a -mitan pituus on rakenteen väsymiskestävyyden kannalta. Särön etenemisestä myös huomataan, miten särön jännitysintensiteetin muuttumista voidaan ennustaa Parisin lain avulla. Tulosten jännitysintensiteetin ja särön etenemisnopeuden kuvaajat muistuttavat kuvan 2 Parisin lain osuutta. Väsymiskestävyyden tuloksia verrattiin, jota kautta nähdään kuinka väsymiskestävyys muuttuu kuormituksen aiheuttamaa taivutusta kasvatetaan.

Kuvista 7, 8 ja 9 nähdään kuinka vähän a -mitalla on merkitystä väsymiskestävyyteen. Huomattavasti suurempi merkitys rakenteen väsymiskestävyydelle löydetään w -arvosta. Tuloksista pystytään havaitsemaan, että suuremmat w -arvot löytyvät aina kalvokuormituksissa alimpina. Kun DOB-arvoa kasvatetaan FAT-arvoista saadaan samankaltaiset jokaiselle eri alkutilanteelle. Samalla huomataan mitä suurempi osuus kuormituksesta on taivutusta, niin sitä

suurempi merkitys geometria parametreillä on (a -mittalla ja tunkeumalla). $DOB = 1$, niin huomataan w -arvolla olevan pienempi vaikutus väsymiskestävyyden parantamiselle; kuten kuvista 7, 8 ja 9 nähdään.

Tehollinen a -mitta on tärkeä geometriaparametri rakenteen väsymiskestävyyden kannalta. W -arvo ja tehollinen a -mitta riippuvat toisistaan paljon, koska isompi a -mitta ei suoraan kuvaa tunkeuman syvyyttä. Tunkeuman ollessa pienempi, niin tunkeuma ei yllä syvälle rakenteen juuripinnalle ja tätä kautta w -arvo jää isommaksi.

6 JOHTOPÄÄTÖKSET

6.1 Sulamattoman juuripinnan leveys

Rakenteen tärkeimpinä mitoituskriteereinä on hitsin mitat, joista isoimpana yksityiskohtana nousee sulamattoman juuripinnan leveys. Kuten taivutuskuormituksen yhtälöä 4 tarkastelemalla huomataan, että w -arvolla on suuri merkitys hitsin juuren jännityksen suuruudessa. W -arvo on tärkeä väsymiskestävyyden kannalta, mutta sitä ei suoraan voida sanoa onko isompi w -arvo parempi kuin pienempi. Tuloksista huomataan, että parempi tunkeuma ei varmista kestäväää rakennetta kalvokuormituksen kohdalla. Hitsaus materiaalin väsymiskestävyys on huomattavasti alhaisempi kuin alkuperäismateriaalin, mutta rakennetta ei pystytä luomaan ilman hitsausta. Hitsatuissa rakenteissa pitäisi löytää tasapaino, jossa rakenteen täyttää kriteerinsä. Niin, että hitsi ei ole dominoiva materiaali rakenteen liitoksessa. Hitsiä siis ei saa olla liikaa, koska mitä enemmän hitsiä on sitä enemmän alkuperäis materiaalin kestävyys laskee samassa suhteessa.

Vaikka w -arvo on tärkein tekijä yksityiskohta kappaleen väsymiskestävyyden parantamiseksi, niin w -arvo on riippuvainen muista arvoista. W -arvon tärkeys voidaan huomata taulukoista: kun a/t -geometriamittasuhteen ollessa 1, jolloin w -arvo on pieninimmillään tutkimuksessa ja FAT-arvo on jokaisessa tilanteessa pienin. Tehollinen a -mitta kuvaa tunkeuman pituutta, jota kautta w -arvo, a -mitta ja a_{eff} ovat yhtä tärkeitä hyvän väsymiskestävyyden saavuttamiseen.

Kaikki nämä kolme mittaa ovat tärkeitä hyvän väsymiskestävyyden takaamiseksi, koska kaikki ovat toisistaan riippuvaisia. Niin jonkin arvon pienentyessä muutkin arvot pienenevät.

6.2 Taivutuksen osuus kuormituksesta

Kalvokuormituksen huomataan olevan isompi vaikutus rakenteen väsymiskestävyyteen, kuin taivutuskuormituksella. Tässä tutkimuksessa käytetyillä hitsin juuren laskentatavoilla. Kuvia 7, 8 ja 9 tarkastelemalla huomataan, että isommalla DOB-arvolla rakenteen väsymiskestävyys on on jokaiselle w -arvolla, a -mitalla ja a_{eff} :lla FAT-tulokset samoille arvoille. Tuloksia tarkastelemalla huomataan, että jokainen tuloksien kuvaaja muistuttaa toisiaan: FAT-arvoille keskiarvoiksi alkutilanteille saadaan: DOB: ollessa 0 saadaan keskiarvoksi ~ 48 ja DOB:n ollessa 1 keskiarvoksi saadaan ~ 35 . Jolloin voidaan olettaa, että kalvokuormituksen olevan huomattavasti raskaampi rakenteen väsymiskestävyydelle. Ainakin tämän tutkimuksen tuloksien osalta.

LÄHTEET

Nemati, N., Metrovich B. & Nanni A. 2011. Fatigue and fracture assessment of cracks in steel elements using acoustic emission. s. 5. [verkkodokumentti]. Julkaistu 2011. Viitattu 4.12.2019. Saatavissa:

https://www.researchgate.net/publication/253847095_Fatigue_and_fracture_assessment_of_cracks_in_steel_elements_using_acoustic_emission.

Ongelin, P. & Valkonen, I. Hitsatut profiilit en 1993 -käsikirja. 3. painos. s. 425 – 427. [verkkodokumentti] Julkaistu 1993, päivitetty 2010. Viitattu 4.12.2019. Saatavissa: http://software.ruukki.com/Handbooks+and+Guides/Ruukki-Hitsatut-Profiilit-Kasikirja-2010_PDF-versio.pdf.

Ahola, A., Björk T. & Barsoum, Z. 2019. Fatigue strength capacity of load-carrying fillet welds on ultra-high-strength steel plates subjected to out-of-plane bending. *Engineer Structures*, 196: 109282, S. 1-11.

LIITTEET

LIITE I Rakenteen ja hitsin mitat

Tunnus	a/t	a	t	w	P	Z	α	β	k	β (rad)	a_{eff}
a0,5ait0,6	0,60	4,50	9,00	5,40	1,80	6,36	15,79	60,79	6,61	1,06	5,77
a0,5ait0,6	0,60	4,50	9,00	5,40	1,80	6,36	15,79	60,79	6,61	1,06	5,77
a0,5ait0,6	0,60	4,50	9,00	5,40	1,80	6,36	15,79	60,79	6,61	1,06	5,77
a0,5ait0,6	0,60	4,50	9,00	5,40	1,80	6,36	15,79	60,79	6,61	1,06	5,77
a0,5ait0,6	0,60	4,50	9,00	5,40	1,80	6,36	15,79	60,79	6,61	1,06	5,77
a0,5ait0,7	0,70	4,50	9,00	6,30	1,35	6,36	11,98	56,98	6,51	0,99	5,45
a0,5ait0,7	0,70	4,50	9,00	6,30	1,35	6,36	11,98	56,98	6,51	0,99	5,45
a0,5ait0,7	0,70	4,50	9,00	6,30	1,35	6,36	11,98	56,98	6,51	0,99	5,45
a0,5ait0,7	0,70	4,50	9,00	6,30	1,35	6,36	11,98	56,98	6,51	0,99	5,45
a0,5ait0,7	0,70	4,50	9,00	6,30	1,35	6,36	11,98	56,98	6,51	0,99	5,45
a0,5ait0,8	0,80	4,50	9,00	7,20	0,90	6,36	8,05	53,05	6,43	0,93	5,14
a0,5ait0,8	0,80	4,50	9,00	7,20	0,90	6,36	8,05	53,05	6,43	0,93	5,14
a0,5ait0,8	0,80	4,50	9,00	7,20	0,90	6,36	8,05	53,05	6,43	0,93	5,14
a0,5ait0,8	0,80	4,50	9,00	7,20	0,90	6,36	8,05	53,05	6,43	0,93	5,14
a0,5ait0,8	0,80	4,50	9,00	7,20	0,90	6,36	8,05	53,05	6,43	0,93	5,14
a0,5ait0,9	0,90	4,50	9,00	8,10	0,45	6,36	4,04	49,04	6,38	0,86	4,82
a0,5ait0,9	0,90	4,50	9,00	8,10	0,45	6,36	4,04	49,04	6,38	0,86	4,82
a0,5ait0,9	0,90	4,50	9,00	8,10	0,45	6,36	4,04	49,04	6,38	0,86	4,82
a0,5ait0,9	0,90	4,50	9,00	8,10	0,45	6,36	4,04	49,04	6,38	0,86	4,82
a0,5ait0,9	0,90	4,50	9,00	8,10	0,45	6,36	4,04	49,04	6,38	0,86	4,82
a0,5ait1	1,00	4,50	9,00	9,00	0,00	6,36	0,00	45,00	6,36	0,79	4,50
a0,5ait1	1,00	4,50	9,00	9,00	0,00	6,36	0,00	45,00	6,36	0,79	4,50
a0,5ait1	1,00	4,50	9,00	9,00	0,00	6,36	0,00	45,00	6,36	0,79	4,50
a0,5ait1	1,00	4,50	9,00	9,00	0,00	6,36	0,00	45,00	6,36	0,79	4,50
a0,5ait1	1,00	4,50	9,00	9,00	0,00	6,36	0,00	45,00	6,36	0,79	4,50
a0,33ait0,6	0,60	3,00	9,00	5,40	1,80	4,24	22,99	67,99	4,61	1,19	4,27
a0,33ait0,6	0,60	3,00	9,00	5,40	1,80	4,24	22,99	67,99	4,61	1,19	4,27
a0,33ait0,6	0,60	3,00	9,00	5,40	1,80	4,24	22,99	67,99	4,61	1,19	4,27
a0,33ait0,6	0,60	3,00	9,00	5,40	1,80	4,24	22,99	67,99	4,61	1,19	4,27
a0,33ait0,6	0,60	3,00	9,00	5,40	1,80	4,24	22,99	67,99	4,61	1,19	4,27
a0,33ait0,7	0,70	3,00	9,00	6,30	1,35	4,24	17,65	62,65	4,45	1,09	3,95
a0,33ait0,7	0,70	3,00	9,00	6,30	1,35	4,24	17,65	62,65	4,45	1,09	3,95
a0,33ait0,7	0,70	3,00	9,00	6,30	1,35	4,24	17,65	62,65	4,45	1,09	3,95
a0,33ait0,7	0,70	3,00	9,00	6,30	1,35	4,24	17,65	62,65	4,45	1,09	3,95
a0,33ait0,7	0,70	3,00	9,00	6,30	1,35	4,24	17,65	62,65	4,45	1,09	3,95
a0,33ait0,8	0,80	3,00	9,00	7,20	0,90	4,24	11,98	56,98	4,34	0,99	3,64
a0,33ait0,8	0,80	3,00	9,00	7,20	0,90	4,24	11,98	56,98	4,34	0,99	3,64
a0,33ait0,8	0,80	3,00	9,00	7,20	0,90	4,24	11,98	56,98	4,34	0,99	3,64

(liite I jatkoa)

a0,33ait0,8	0,80	3,00	9,00	7,20	0,90	4,24	11,98	56,98	4,34	0,99	3,64
a0,33ait0,8	0,80	3,00	9,00	7,20	0,90	4,24	11,98	56,98	4,34	0,99	3,64
a0,33ait0,9	0,90	3,00	9,00	8,10	0,45	4,24	6,05	51,05	4,27	0,89	3,32
a0,33ait0,9	0,90	3,00	9,00	8,10	0,45	4,24	6,05	51,05	4,27	0,89	3,32
a0,33ait0,9	0,90	3,00	9,00	8,10	0,45	4,24	6,05	51,05	4,27	0,89	3,32
a0,33ait0,9	0,90	3,00	9,00	8,10	0,45	4,24	6,05	51,05	4,27	0,89	3,32
a0,33ait0,9	0,90	3,00	9,00	8,10	0,45	4,24	6,05	51,05	4,27	0,89	3,32
a0,33ait1	1,00	3,00	9,00	9,00	0,00	4,24	0,00	45,00	4,24	0,79	3,00
a0,33ait1	1,00	3,00	9,00	9,00	0,00	4,24	0,00	45,00	4,24	0,79	3,00
a0,33ait1	1,00	3,00	9,00	9,00	0,00	4,24	0,00	45,00	4,24	0,79	3,00
a0,33ait1	1,00	3,00	9,00	9,00	0,00	4,24	0,00	45,00	4,24	0,79	3,00
a0,33ait1	1,00	3,00	9,00	9,00	0,00	4,24	0,00	45,00	4,24	0,79	3,00
a0,66ait0,6	0,60	6,00	9,00	5,40	1,80	8,49	11,98	56,98	8,67	0,99	7,27
a0,66ait0,6	0,60	6,00	9,00	5,40	1,80	8,49	11,98	56,98	8,67	0,99	7,27
a0,66ait0,6	0,60	6,00	9,00	5,40	1,80	8,49	11,98	56,98	8,67	0,99	7,27
a0,66ait0,6	0,60	6,00	9,00	5,40	1,80	8,49	11,98	56,98	8,67	0,99	7,27
a0,66ait0,6	0,60	6,00	9,00	5,40	1,80	8,49	11,98	56,98	8,67	0,99	7,27
a0,66ait0,7	0,70	6,00	9,00	6,30	1,35	8,49	9,04	54,04	8,59	0,94	6,95
a0,66ait0,7	0,70	6,00	9,00	6,30	1,35	8,49	9,04	54,04	8,59	0,94	6,95
a0,66ait0,7	0,70	6,00	9,00	6,30	1,35	8,49	9,04	54,04	8,59	0,94	6,95
a0,66ait0,7	0,70	6,00	9,00	6,30	1,35	8,49	9,04	54,04	8,59	0,94	6,95
a0,66ait0,7	0,70	6,00	9,00	6,30	1,35	8,49	9,04	54,04	8,59	0,94	6,95
a0,66ait0,8	0,80	6,00	9,00	7,20	0,90	8,49	6,05	51,05	8,53	0,89	6,64
a0,66ait0,8	0,80	6,00	9,00	7,20	0,90	8,49	6,05	51,05	8,53	0,89	6,64
a0,66ait0,8	0,80	6,00	9,00	7,20	0,90	8,49	6,05	51,05	8,53	0,89	6,64
a0,66ait0,8	0,80	6,00	9,00	7,20	0,90	8,49	6,05	51,05	8,53	0,89	6,64
a0,66ait0,8	0,80	6,00	9,00	7,20	0,90	8,49	6,05	51,05	8,53	0,89	6,64
a0,66ait0,9	0,90	6,00	9,00	8,10	0,45	8,49	3,04	48,04	8,50	0,84	6,32
a0,66ait0,9	0,90	6,00	9,00	8,10	0,45	8,49	3,04	48,04	8,50	0,84	6,32
a0,66ait0,9	0,90	6,00	9,00	8,10	0,45	8,49	3,04	48,04	8,50	0,84	6,32
a0,66ait0,9	0,90	6,00	9,00	8,10	0,45	8,49	3,04	48,04	8,50	0,84	6,32
a0,66ait0,9	0,90	6,00	9,00	8,10	0,45	8,49	3,04	48,04	8,50	0,84	6,32
a0,66ait1	1,00	6,00	9,00	9,00	0,00	8,49	0,00	45,00	8,49	0,79	6,00
a0,66ait1	1,00	6,00	9,00	9,00	0,00	8,49	0,00	45,00	8,49	0,79	6,00
a0,66ait1	1,00	6,00	9,00	9,00	0,00	8,49	0,00	45,00	8,49	0,79	6,00
a0,66ait1	1,00	6,00	9,00	9,00	0,00	8,49	0,00	45,00	8,49	0,79	6,00
a0,66ait1	1,00	6,00	9,00	9,00	0,00	8,49	0,00	45,00	8,49	0,79	6,00

LIITE II Tulokset

Tunnus	DOB	N	σ_m	σ_b	σ_w _kalvo	σ_w _taivutus	FAT
a0,5ait0,6	0,00	6,14E+11	1,00	0,00	0,78	0,00	52,59
a0,5ait0,6	0,25	1,24E+12	0,75	0,25	0,58	0,02	51,76
a0,5ait0,6	0,50	3,08E+12	0,50	0,50	0,39	0,05	50,35
a0,5ait0,6	0,75	1,14E+13	0,25	0,75	0,19	0,07	47,27
a0,5ait0,6	1,00	1,09E+14	0,00	1,00	0,00	0,09	35,26
a0,5ait0,7	0,00	4,26E+11	1,00	0,00	0,82	0,00	49,28
a0,5ait0,7	0,25	9,11E+11	0,75	0,25	0,62	0,03	49,64
a0,5ait0,7	0,50	2,88E+12	0,50	0,50	0,41	0,05	52,53
a0,5ait0,7	0,75	8,30E+12	0,25	0,75	0,21	0,08	45,84
a0,5ait0,7	1,00	7,64E+13	0,00	1,00	0,00	0,11	35,46
a0,5ait0,8	0,00	3,35E+11	1,00	0,00	0,88	0,00	48,31
a0,5ait0,8	0,25	6,74E+11	0,75	0,25	0,66	0,03	47,76
a0,5ait0,8	0,50	1,67E+12	0,50	0,50	0,44	0,06	46,78
a0,5ait0,8	0,75	6,11E+12	0,25	0,75	0,22	0,09	44,57
a0,5ait0,8	1,00	5,51E+13	0,00	1,00	0,00	0,12	35,51
a0,5ait0,9	0,00	2,47E+11	1,00	0,00	0,93	0,00	46,51
a0,5ait0,9	0,25	4,97E+11	0,75	0,25	0,70	0,03	46,07
a0,5ait0,9	0,50	1,23E+12	0,50	0,50	0,47	0,06	45,28
a0,5ait0,9	0,75	4,51E+12	0,25	0,75	0,23	0,10	43,41
a0,5ait0,9	1,00	4,08E+13	0,00	1,00	0,00	0,13	35,50
a0,5ait1	0,00	1,81E+11	1,00	0,00	1,00	0,00	44,90
a0,5ait1	0,25	3,65E+11	0,75	0,25	0,75	0,04	44,56
a0,5ait1	0,50	9,09E+11	0,50	0,50	0,50	0,07	43,93
a0,5ait1	0,75	3,34E+12	0,25	0,75	0,25	0,11	42,37
a0,5ait1	1,00	3,06E+13	0,00	1,00	0,00	0,14	35,46
a0,33ait0,6	0,00	2,63E+11	1,00	0,00	1,05	0,00	53,53
a0,33ait0,6	0,25	4,40E+11	0,75	0,25	0,79	0,04	50,28
a0,33ait0,6	0,50	1,20E+12	0,50	0,50	0,53	0,09	51,63
a0,33ait0,6	0,75	3,81E+12	0,25	0,75	0,26	0,13	48,54
a0,33ait0,6	1,00	2,49E+13	0,00	1,00	0,00	0,17	39,66
a0,33ait0,7	0,00	1,78E+11	1,00	0,00	1,14	0,00	50,83
a0,33ait0,7	0,25	3,47E+11	0,75	0,25	0,85	0,05	50,30
a0,33ait0,7	0,50	8,12E+11	0,50	0,50	0,57	0,10	49,34
a0,33ait0,7	0,75	2,62E+12	0,25	0,75	0,28	0,15	47,14
a0,33ait0,7	1,00	1,63E+13	0,00	1,00	0,00	0,19	39,19
a0,33ait0,8	0,00	1,20E+11	1,00	0,00	1,24	0,00	48,46
a0,33ait0,8	0,25	2,34E+11	0,75	0,25	0,93	0,05	48,06
a0,33ait0,8	0,50	5,47E+11	0,50	0,50	0,62	0,11	47,29
a0,33ait0,8	0,75	1,77E+12	0,25	0,75	0,31	0,16	45,50
a0,33ait0,8	1,00	1,10E+13	0,00	1,00	0,00	0,22	38,69

(liite II jatkoa)

a0,33ait0,	0,00	7,98E+10	1,00	0,00	1,36	0,00	46,34
a0,33ait0,9	0,25	1,56E+11	0,75	0,25	1,02	0,06	46,05
a0,33ait0,9	0,50	3,66E+11	0,50	0,50	0,68	0,12	45,49
a0,33ait0,9	0,75	1,19E+12	0,25	0,75	0,34	0,18	44,06
a0,33ait0,9	1,00	7,51E+12	0,00	1,00	0,00	0,25	38,22
a0,33ait1	0,00	5,21E+10	1,00	0,00	1,50	0,00	44,46
a0,33ait1	0,25	1,02E+11	0,75	0,25	1,13	0,07	44,29
a0,33ait1	0,50	2,42E+11	0,50	0,50	0,75	0,14	43,92
a0,33ait1	0,75	7,99E+11	0,25	0,75	0,38	0,21	42,83
a0,33ait1	1,00	5,17E+12	0,00	1,00	0,00	0,28	37,82
a0,66ait0,6	0,00	1,24E+12	1,00	0,00	0,62	0,00	52,72
a0,66ait0,6	0,25	2,55E+12	0,75	0,25	0,46	0,01	51,82
a0,66ait0,6	0,50	6,62E+12	0,50	0,50	0,31	0,03	50,28
a0,66ait0,6	0,75	2,71E+13	0,25	0,75	0,15	0,04	46,93
a0,66ait0,6	1,00	3,89E+14	0,00	1,00	0,00	0,06	32,59
a0,66ait0,7	0,00	9,59E+11	1,00	0,00	0,65	0,00	50,64
a0,66ait0,7	0,25	1,97E+12	0,75	0,25	0,49	0,02	49,89
a0,66ait0,7	0,50	5,07E+12	0,50	0,50	0,32	0,03	48,46
a0,66ait0,7	0,75	2,06E+13	0,25	0,75	0,16	0,05	45,61
a0,66ait0,7	1,00	2,79E+14	0,00	1,00	0,00	0,06	33,05
a0,66ait0,8	0,00	7,45E+11	1,00	0,00	0,68	0,00	48,80
a0,66ait0,8	0,25	1,53E+12	0,75	0,25	0,51	0,02	48,15
a0,66ait0,8	0,50	3,96E+12	0,50	0,50	0,34	0,04	47,01
a0,66ait0,8	0,75	1,59E+13	0,25	0,75	0,17	0,05	44,46
a0,66ait0,8	1,00	2,06E+14	0,00	1,00	0,00	0,07	33,31
a0,66ait0,9	0,00	5,80E+11	1,00	0,00	0,71	0,00	47,15
a0,66ait0,9	0,25	1,19E+12	0,75	0,25	0,53	0,02	46,61
a0,66ait0,9	0,50	3,08E+12	0,50	0,50	0,36	0,04	45,64
a0,66ait0,9	0,75	1,23E+13	0,25	0,75	0,18	0,06	43,41
a0,66ait0,9	1,00	1,57E+14	0,00	1,00	0,00	0,08	33,47
a0,66ait1	0,00	4,51E+11	1,00	0,00	0,75	0,00	45,65
a0,66ait1	0,25	9,28E+11	0,75	0,25	0,56	0,02	45,20
a0,66ait1	0,50	2,40E+12	0,50	0,50	0,38	0,04	44,38
a0,66ait1	0,75	9,62E+12	0,25	0,75	0,19	0,06	42,47
a0,66ait1	1,00	1,22E+14	0,00	1,00	0,00	0,09	33,59