



Open your mind. LUT.
Lappeenranta University of Technology

Ultralujien terästen hitsausliitosten väsymislujuus

Timo Björk
Lappeenrannan teknillinen yliopisto
LUT Kone
Teräsrakenteiden laboratorio

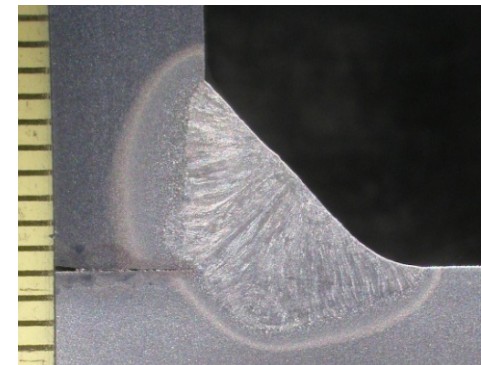


Johdanto



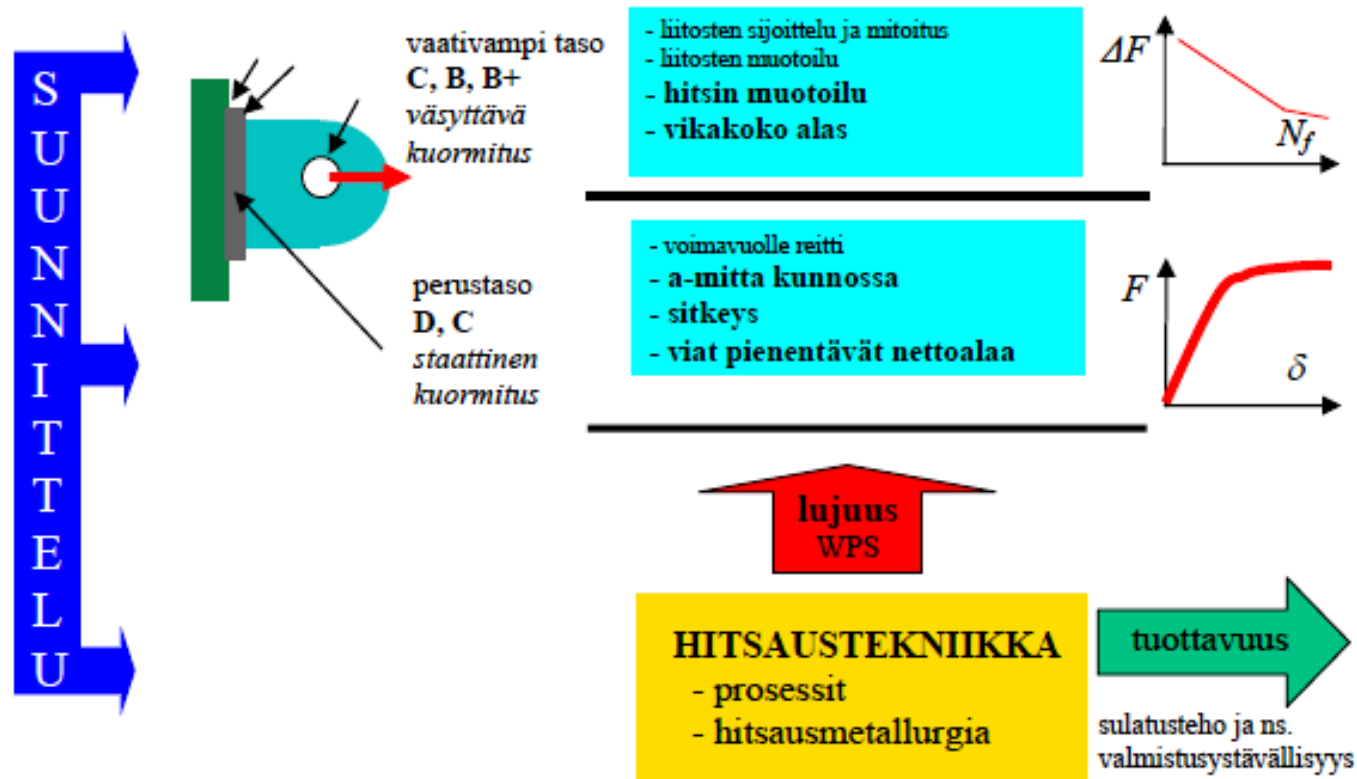
Open your mind. LUT.
Lappeenranta University of Technology

- Hitsauksen laatu ???
 - Rakenteen lopullinen käyttötarkoitus määrittää laadun
 - "Hitsi on hyvälaatuinen täyttäessään asiakkaan sille asettamat vaatimukset"
- Suunnittelun laatu & Valmistuksen laatu
- Hitsausliitoksen pääasiallinen tehtävä on liittää hitsaamalla yhdistetyt komponentit toimimaan yhdessä
→ Lujuustekninen toiminto
- Kestävyyksvaatimus on usein tärkein toiminto
 - lujuuskestävyys
 - kovuuskestävyys
 - kulumiskestävyys
 - korroosionkestävyys





Lujuustekniset laatu- tasot



- Huomioitava aina liitostyyppi ja kuormitukset !!

Laatutekijät



Open your mind. LUT.
Lappeenranta University of Technology

Hitsauksen laatu



Väsymiskestävyys



Jännityskeskittymät

Alkuvikojen koko

Jäännösjännitykset



Hitsin rajaviivan ja juuren puolen geometria

Läpihitsautumisaste

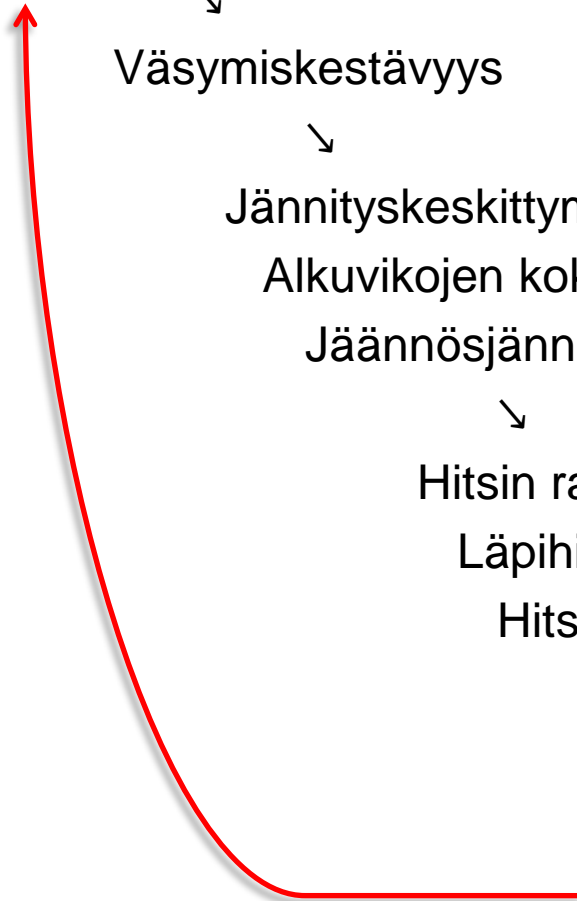
Hitsausjärjestys



Liitostyyppi

Railomuoto

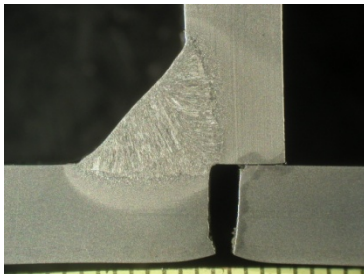
Hitsausparametrit



Hitsin väsyminen



- Yli 80 % rakenteiden vaurioista ja murtumista aiheutuu metallin väsymisestä
- Väsyttävästi kuormitetuille hitsausliitoksille asetetaan vaativampia laatuksiteerejä kuin staattisesti kuormitetuille
 - monimutkaisemmat ilmiöt
 - useat vaikuttavat parametrit
- Väsymiskestävyys määräytyy kriittisimmän detaljin mukaan
 - rajaviiva tai juurenpuoli
 - huomioitava kuormitukset ja liitostyytit



6.	Materiaaliominaisuudet	C, m, a_f
5.	Jännösännitys	σ_{res}
4.	Alkusäröt	a_i
3.	Hitsin lovivaikutus	M_k
2.	Rakenteellinen jännityskestävyys	K_s
1.	Nimellinen jännitys	$\Delta\sigma$

Hitsin väsyminen

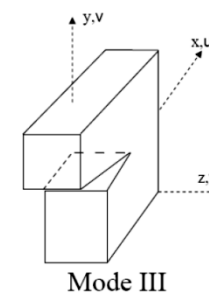
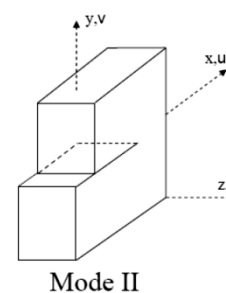
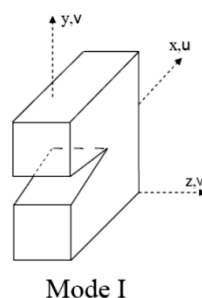


Tarkasteltaessa rakennekokonaisuuden väsymistä ja hitsauksen toteutusta on aina huomioitava:

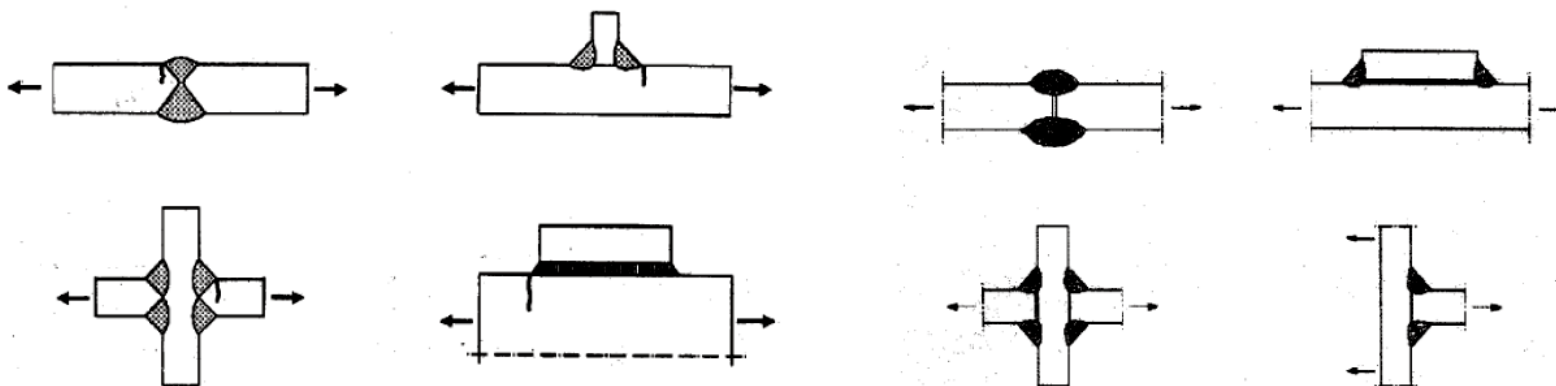
Kuormitukset ja niiden suunta

Liitostyyppi

- Voimaliitos
- Kiinnityслиitos
- Sideliitos
- Varusteluliitos



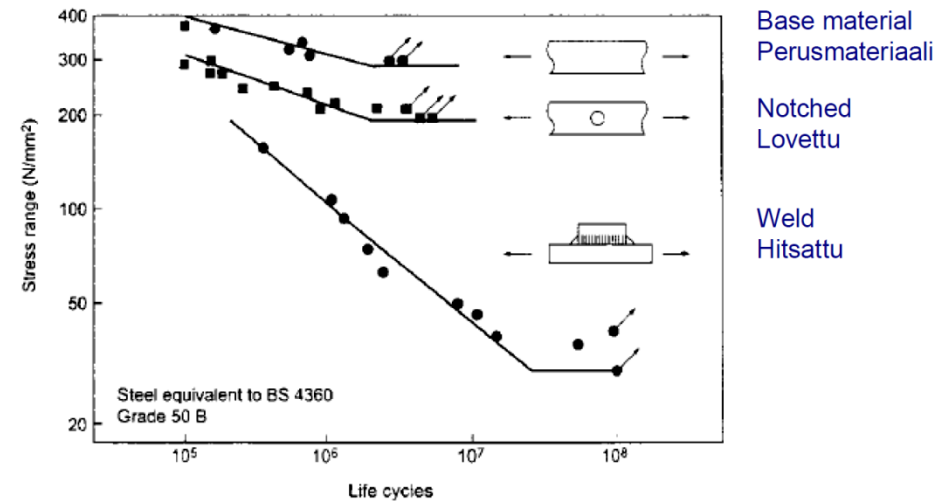
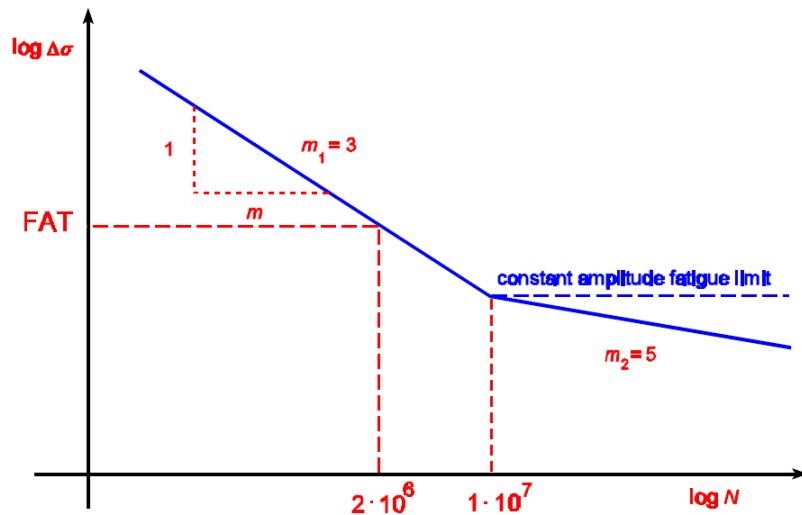
- Mode I - crack opening - avaava
- Mode II - in-plane sliding - leikkaava
- Mode III - anti-plane tearing - repivä



Hitsin väsyminen



Open your mind. LUT.
Lappeenranta University of Technology



Hitsatun rakenteen väsymiskestävyyttä parannettaessa on keskityttävä seuraaviin tekijöihin:

- särömainen alkuvika, a_0
- lovivaikutus, $M_k(r, \theta)$
- jäännösännitystilä, R

Hitsin väsyminen



On erotettavissa kolme vaihetta:

Ydintyminen

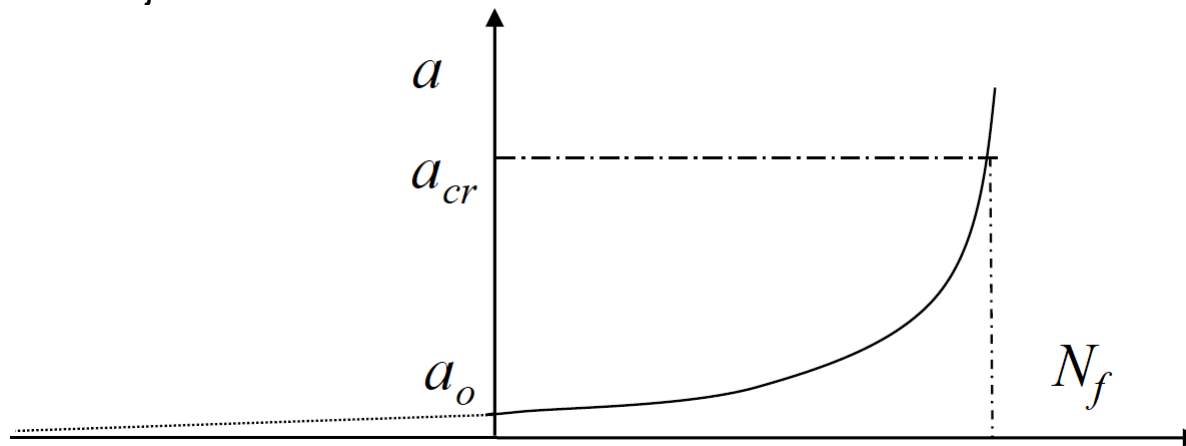
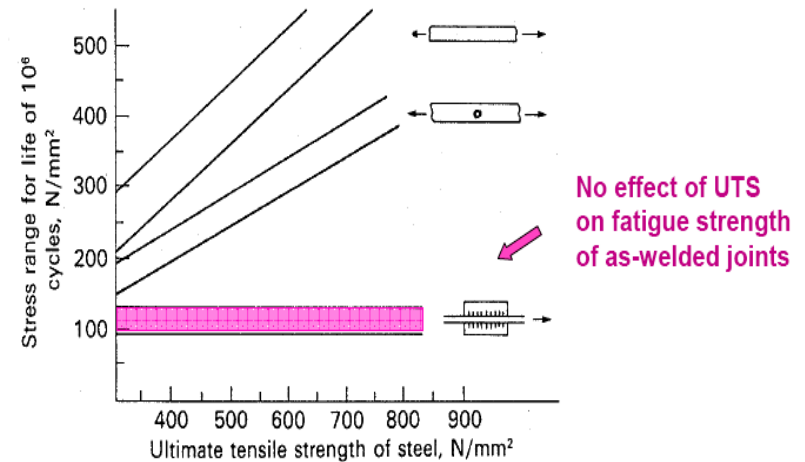
- riippuu materiaalin lujuudesta

Syklinen särön kasvu

- ei riipu materiaalin lujuudesta

Haurasmurtuma tai loppukannaksen sitkeä murtuminen

- riippuu materiaalin lujuudesta



UHSS-hitsien väsymiskestävyys



Open your mind. LUT.
Lappeenranta University of Technology

- Hitsauksen esikäsittely
 - Hitsattavien kappaleiden puhtaus vaikuttaa syntyvään laatuun (visuaalisuus & paikallinen geometria)

Käsittelemätön



Puhallettu (Al_2O_3)



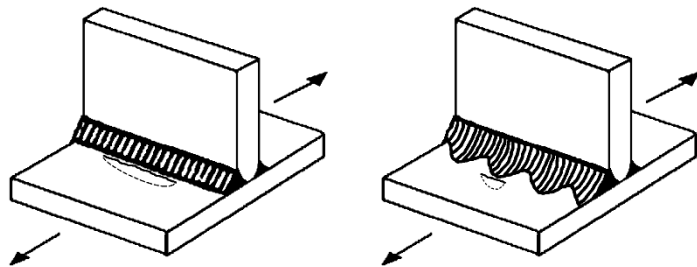
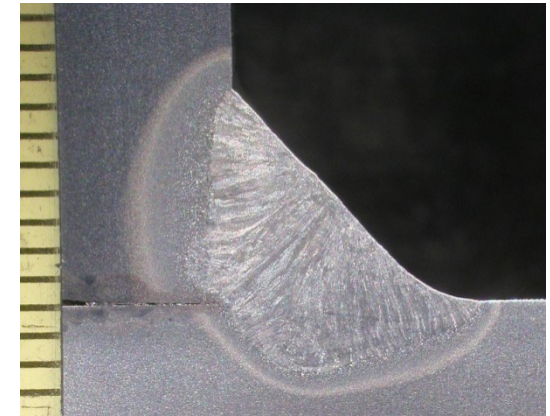
Hapotettu ($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$)



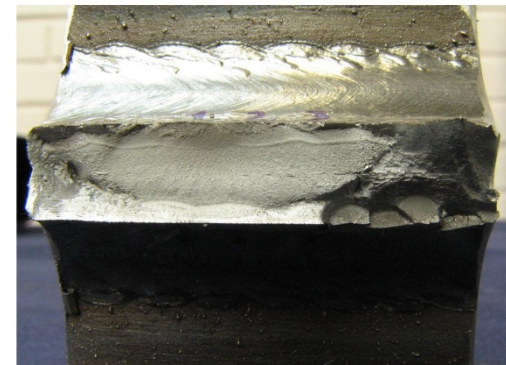
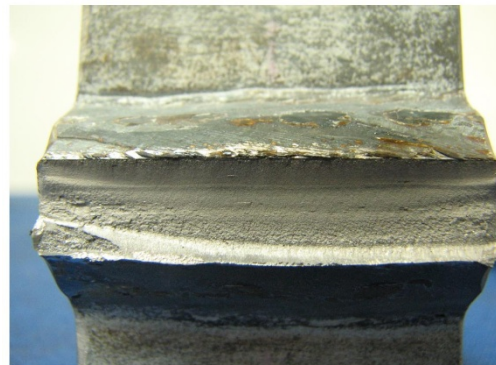
UHSS-hitsien väsymiskestävyys



- Hitsin rajaviivalta tapahtuvassa väsymisessä hitsin ja perusaineen liittymän geometria on oleellinen tekijä
 - Hitsauksen vaaputus
 - Vaaputuksella voidaan tietyissä tapauksissa parantaa väsymiskestävyyttä oleellisesti
 - Vaaputusparametrien määrittäminen ja vaaputuksen kontrollointi on haastavaa
 - piparkakkukuvion muoto ja dimensiot
 - hallittavan alueen koko
 - hitsausparametrien herkkyys
 - Hitsaus ilman vaaputusta
 - Korkea väsymiskestävyys voidaan saavuttaa myös tekemällä jouheva hitsin liittymä perusaineeseen (rajaviivalla suuri r)

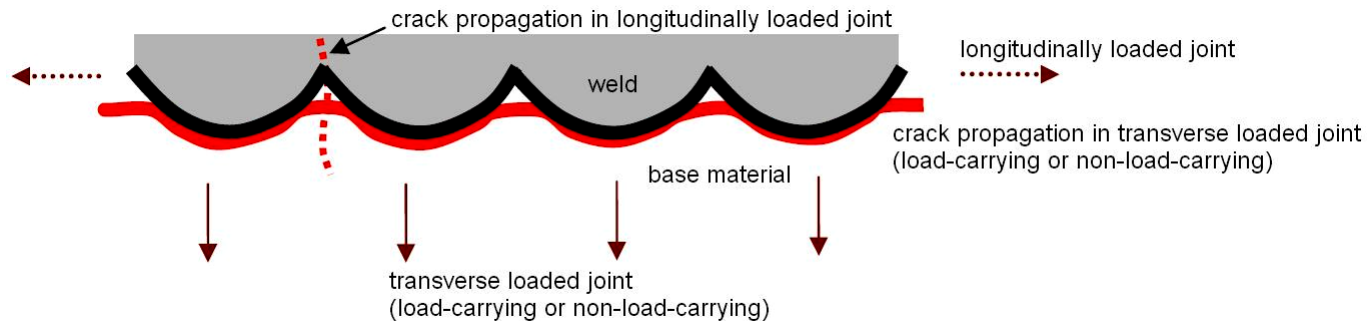


24.5.2013



UHSS-hitsien väsymiskestävyys

- Optimaalista hitsin **rajaviivageometriaa** tavoiteltaessa on kuitenkin huomioitava kuormitukset ja liitostyyppi !!
 - Esim. hitsauksen vaaputus ei sovellu kaikkiin tapauksiin



- Mikäli geometriatekijät ovat riittävän laadukkaalla tasolla, vaikuttaa väsymiskestävyyteen myös **jäännösjännitystilat** ja **hitsauksen lämmöntuonti**
 - Puristusjäännösjännitykset parantavat väsymiskestävyyttä
 - Pienemmällä lämmöntuonnilla perusmateriaalin pehmeneminen on vähäisempää (vaikuttaa särön ydintymisaikaan ja siten väsymiskestävyyteen)

LUT:n viimeaikaisia UHSS-väsymiskestävyytutkimuksia



Open your mind. LUT.
Lappeenranta University of Technology

"Jännityssuhteen vaikutus UHSS-hitsausliitoksen väsymislujuuteen"

(J. Kukkonen)

"WiseRoot-prosessilla hitsatun päittäisliitoksen väsymislujuus"

(T. Kautonen)

"Ultralujan teräksen kiinnityshitsien väsymiskestävyyden määrittäminen"

(H. Hakala, T. Skriko)

"S1100-lujuusluokan teräksen päittäishitsausliitoksen väsymiskestävyys"

(T. Nykänen)

"Hitsin rajaviivapyörityksen ja FAT-luokkien välinen yhteys UHSS:llä"

(O. Assinen)

"Fatigue study of the fillet weld waviness on weld toe and the penetration in the weld root based on the effective notch stress approach"

(S. Sattarpanah)

"Fatigue of S960 QC welded joint based on cycle-plastic behavior"

(M. Dabiri)

"The effect of residual stresses on the fatigue strength of UHSS welded joints"

(H. Sayed)

"Fatigue analysis of brackets with and without scallop for bridge and other deck structure using effective notch stress"

(S. Y. Bogale)

"Muotoilun vaikutukset väsymiskestävyyteen jäykisterivan hitsauksessa"

(N. Salehpour)

"UHSS-palkkirakenteen vauriovariaatiot"

(T. Laamanen)

"Pienahitsin sijainnin vaikutus kuormaa kantamattoman T-liitoksen väsymiskestävyyteen"

(J. Tuomainen)

"UHSS-ruuviliitosten fretting-väsyminen"

(O-P Hämäläinen)

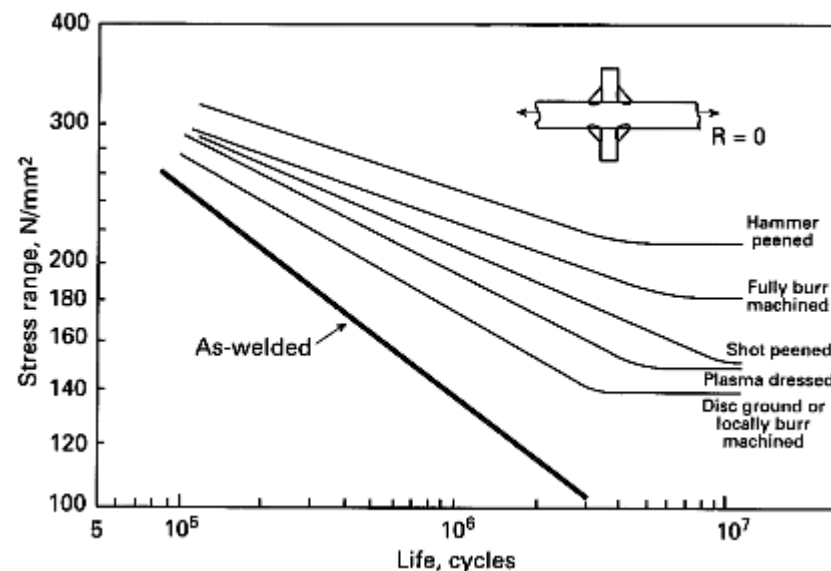
"TIG-jälkikäsittelyn vaikutukset UHSS-hitsausliitoksen väsymiskestävyyteen"

(T. Skriko)

Hitsien jälkikäsittelymenetelmät



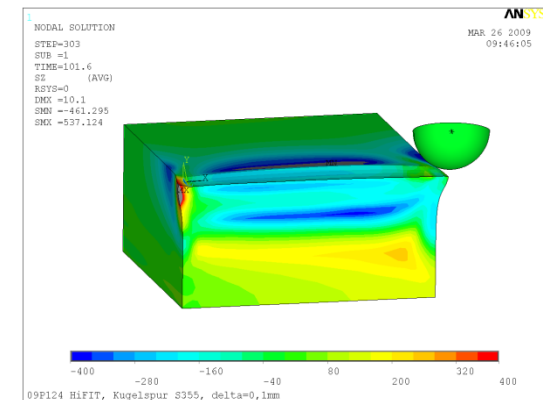
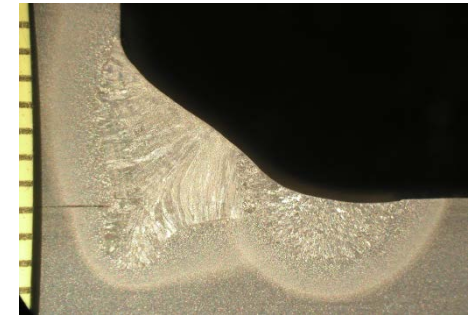
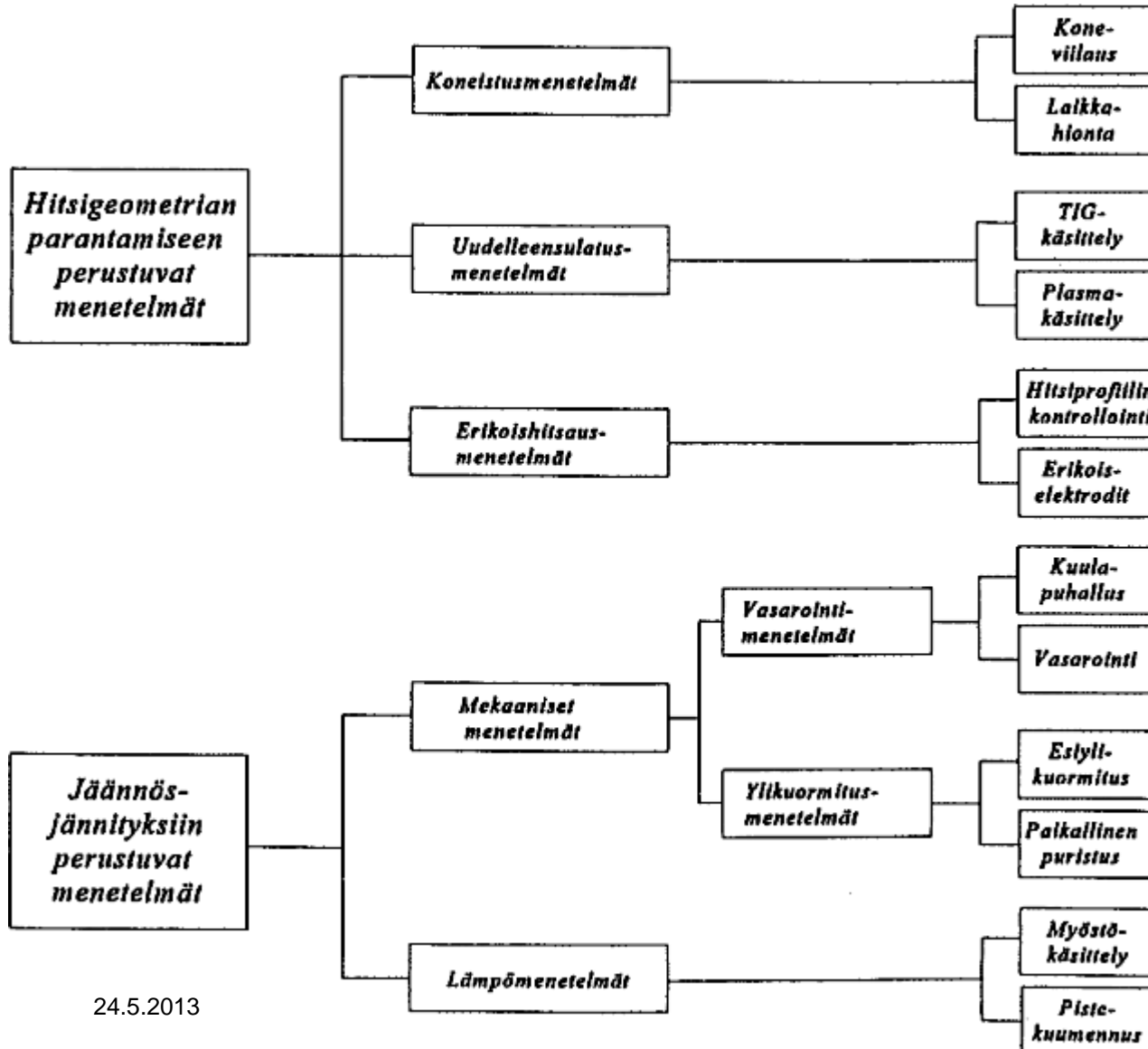
- Jaetaan kolmeen osa-alueeseen (IIW)
 - Hitsigeometrian parantamiseen perustuvat menetelmät
 - Jännösjännitystilän parantamiseen perustuvat menetelmät
 - Ympäristöolosuhteiden kestoja parantavat menetelmät
- Ei merkittävää vaikutusta staattisesti kuormitetuissa hitsausliitoksissa
- Väsyttävästi kuormitetuissa hitseissä vaikutukset parhaimmillaan erinomaiset
 - rajoitukset ja vaikutukset tunnettava
 - usein hyvin paikallisia toimenpiteitä
- Jälkikäsittely perusteltua, mikäli pieni käsittelymäärä voi parantaa suuren kokonaisuuden lujuusteknistä laatua



Hitsien jälkikäsittelymenetelmät



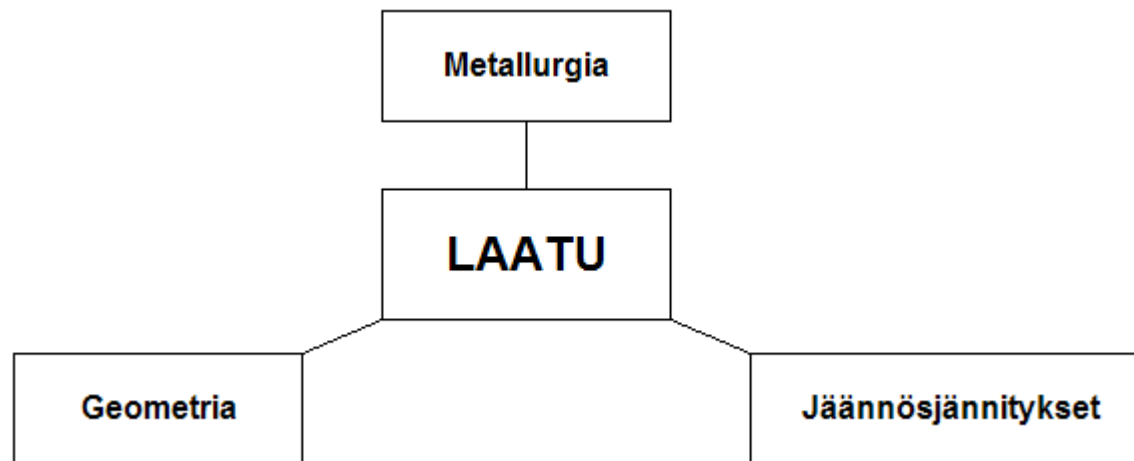
Open your mind. LUT.
Lappeenranta University of Technology



Yhteenveto



- Teräksen lujuuden kasvaessa eri laatutekijöiden merkitys korostuu tavoiteltaessa hitsausliitoksen korkeaa väsymiskestävyyttä
 - **Geometria**: hitsien sijainti, muotoilu, läpihitsautuminen, rajaviivan jouhevuus...
 - **Metallurgia**: perusmateriaalit, lisäaineet, lämmöntuonti, mikrorakenne, pehmeneminen...
 - **Jäännösjäännitykset**: rakenteelliset tekijät, hitsien sijainti, hitsausjärjestys, jälkikäsitteilyt...



Kysymyksiä?