



# Järvenpään romahtaneen urheiluhallin kattoteräsrakenteiden hitsausliitosten tutkinta

Kirjoittajat: Pekka Nevasmaa

Luottamuksellisuus: Luottamuksellinen

Raportin nimi		
Järvenpään romahtaneen urheiluhallin kattoteräsrakenteiden hitsausliitosten tutkinta		
Asiakkaan nimi, yhteyshenkilö ja yhteystiedot		Asiakkaan viite
Onnettomuustutkintakeskus Valonen Kari Sörnäisten rantatie 33 C 00500 HELSINKI		Sähköposti 17.5.2010
Projektin nimi		Projektin numero/lyhytnimi
Järvenpään romahtaneen urheiluhallin teräsrakenteiden tutkinta		72198/OTKhitsi
Raportin laatija(t)		Sivujen/liitesivujen lukumäärä
Pekka Nevasmaa		6 s. + liitt. 15 s.
Avainsanat		Raportin numero
		VTT-R-05508-10
<p><b>Tiivistelmä</b></p> <p>Järvenpäässä sijaitsevan urheiluhallin kattorakenteissa oli suurten lumikuormien aikaan kevättalvella 2010 tapahtunut vaurioita, jonka seurauksena osa katon rakenteista sortui romahtaen alas. VTT:n tutkimuksessa, joka oli osa laajempaa selvityskokonaisuutta, tarkasteltiin em. kattoristikkorakenteiden hitsausliitoksia sisältäneiden putkipalkkien rakenneosissa olevien päittäis- ja pienahitsien laatua ja eheyttä. Tutkitut päittäishitsiliitokset olivat keskenään lähes samankokoisten palkkien jatkohitsausliitoksia, pienahitsiliitokset puolestaan lähinnä erikokoisten palkkien diagonaaliliitoksia.</p> <p>VTT:n tutkimuksessa havaittiin eritoten päittäishitsattujen putkipalkkien jatkohitsausliitoksissa, mutta myös pienahitsatuissa sormi/nivelliitoksissa ja diagonaaliliitoksissa vakavia hitsausvirheitä. Päittäishitsattujen jatkoliitosten osalta sekä hitsauksen suunnittelua että hitsaavaa valmistusta voidaan pitää puutteellisena: liitosten railonvalmistus oli vaillinainen, eikä tutkituissa tapauksissa, yhtä lukuunottamatta, ollut käytetty lainkaan juuritukea. Tämä oli edelleen johtanut puutteelliseen sulamiseen, täysin riittämättömään tunkeumaan ja täten <u>vajaaseen hitsautumissyvyyteen juuressa</u>. Hitsiluokkastandardi SFS EN ISO 5817 ei hitsiluokissa B (vaativa) ja C (hyvä) salli päittäishitsille lainkaan vajaata hitsautumissyvyyttä. Täten ko. hitsien ei voida sanoa edustavan 'hyvää konepajakäytäntöä'. Osan diagonaaliliitosten pienahitseistä voitiin todeta kantaneen hyvin ulkoista kuormitusta: palkin puolella hitsin läheisyydessä oli tapahtunut paikallista plastista deformaatiota, ilman että hitsi oli murtunut ja repeytynyt irti (yksittäisiä säröjä lukuunottamatta). Pienahitsatuissa sormi/ nivelliitoksissa ilmeni putkipalkin irtirepeytymiseen johtaneita murtumia, jotka olivat edenneet osin hitsiaineessa, osin pitkin hitsin ja perusaineen rajaviivaa. Mikroskopiatarastelu satunnaisesti valitusta pienahitsiliitoksesta paljasti n. 3 mm pituisen <u>liitosvirheen</u> juuren puolella, toisella railokyljellä. Hitsiluokkastandardi SFS EN ISO 5817 ei salli liitosvirhettä missään hitsiluokassa, eikä myöskään juuren puoleista liitosvirhettä hitsiluokissa B (vaativa) ja C (hyvä). Edes hitsiluokassa D ei juuren puoleinen liitosvirhe saa ylittää kokoa 0,4 x a-mitta. Näin ollen ei ko. pienahitsi täyttänyt minkään hitsiluokan vaatimuksia.</p>		
Luottamuksellisuus	Luottamuksellinen	
Espoo 6.7.2010		
Laatija	Tarkastaja	Hyväksyjä
Pekka Nevasmaa Erikoistutkija	Jorma Salonen Erikoistutkija	Petri Kinnunen Teknologiapäällikön sijainen
VTT:n yhteystiedot		
Erikoistutkija Pekka Nevasmaa, Kemistintie 3, Espoo, PL 1000, 02044 VTT, Puh. 020 722 6872, Fax 020 722 7002, pekka.nevasmaa@vtt.fi		
Jakelu (asiakkaat ja VTT)		
Tilaaja VTT/Kirjaamo	Alkuperäinen Alkuperäinen	
<p><i>VTT:n nimen käyttäminen mainonnassa tai tämän raportin osittainen julkaiseminen on sallittu vain VTT:ltä saadun kirjallisen luvan perusteella.</i></p>		

## Sisällysluettelo

1	Tausta.....	3
2	Tavoite.....	3
3	Tilaajan toimittama aineisto .....	3
4	Tehdyt tutkimukset.....	3
5	Tulokset .....	4
6	Tulosten tarkastelu ja johtopäätökset .....	6

## 1 Tausta

Tilaaajan mukaan Järvenpäässä sijaitsevan urheiluhallin kattorakenteissa oli suurten lumikuormien aikaan keväällä 2010 tapahtunut vaurioita, jonka seurauksena osa katon rakenteista sortui romahtaen alas. Erilaisista teräsputkipalkeista koostuvat vaurioituneet kattoristikkorakenteet sisälsivät sekä hitsausliitoksilla, että pultti- ja/tai ruuviliitoksilla toisiinsa liitettyjä rakenneosia. VTT:n tutkimuksessa, joka oli osa laajempaa selvityskokonaisuutta, tarkasteltiin em. kattoristikkorakenteiden hitsausliitoksia sisältäneiden putkipalkkien rakenneosissa olevien päittäis- ja pienahitsien laatua ja eheyttä. Tutkitut päittäishitsiliitokset olivat keskenään lähes samankokoisten palkkien jatkohitsausliitoksia, kun taas pienahitsiliitokset olivat lähinnä erikokoisten palkkien diagonaalihiitoksia. Putkipalkkien materiaalin ilmoitettiin olevan seostamatonta rakenneterästä. Käytetystä hitsausmenetelmästä tai hitsausohjeesta ei ollut käytettävissä tietoja.

## 2 Tavoite

VTT:n tutkimuksen tarkoituksena oli arvioida hitsauksen suunnittelun ja hitsaavan valmistuksen asianmukaisuutta, hitsien laatua ja eheyttä, sekä em. tekijöiden osuutta havaittuihin, rakenteiden sortumiseen johtaneisiin vaurioihin.

## 3 Tilaaajan toimittama aineisto

Tilaaaja toimitti VTT:een joukon vaurioituneita kappaleita alla mainituin kuvauksin:

- (i) kattokannattajan harjaosan alapaarteessa olleita pienahitsattuja liitoksia (joissa ruuviliitokset kiinnitetty vasta kun kehät nostettiin ylös yhtenä lohkona, nivelliitokset yläpaarteessa kiinnitetty jo maassa)
- (ii) kattokannattajan yläpaarteiden pienahitsattuja sormi/nivelliitoksia (joista putkipalkki repeytynyt irti)
- (iii) alapaarteiden päittäishitsattu, eheä jatkos (putkipalkin sisällä juurituet)
- (iv) diagonaaliputki, jossa päässä irti leikkautunut pala 100x100x3 putkipalkista
- (v) yläpaarteiden päittäishitsattuja jatkoksia (harjan kohdalta, hitsauspinta leikattu viistoon)
- (vi) pätkä ohutlevyortta (nk. hattuorsi 150/1,5).

## 4 Tehdyt tutkimukset

Saaduille kappaleille tehtiin valikoidusti seuraavat tutkimukset:

- kaikkien hitsausliitosten silmämääräinen tarkistus ja kuvadokumentointi
- murtopintojen ja vauriokohtien valokuvaus valikoiduista kohdista
- makrohieiden irroitus ja hietarkastelut valituista kohdista

- valikoitujen heiden mikroskopiatutkimukset: liitos-/railonmuoto, hitsin tunkeuma ja eheys, mahdollisten hitsausvirheiden identifiointi
- vetokoheet ohutlevyorren (hattuorren) teräsmateriaalista.

## 5 Tulokset

Vaurioituneiden kappaleiden hitsausliitosten silmämääräinen tarkastelu osoitti, että tutkittujen koekappaleiden sisältämät hitsausliitokset voidaan ryhmitellä seuraaviin kategorioihin:

- (i) Eheä päittäishitsattu putkipalkin jatkohitsausliitos (1 kpl), jossa ei havaittu säröjä tai murtumia.
- (ii) Vaurioituneita päittäishitsattuja putkipalkin jatkohitsausliitoksia, joiden havaittiin murtuneen täysin, tai lähes täysin auki hitsausliitoksen kohdalta.
- (iii) Vaurioituneita pienahitsattuja sormi/nivelliitoksia ja diagonaaliliitoksia, joissa hitsausliitosten havaittiin murtuneen täysin.
- (iv) Lievästi vaurioituneita pienahitsattuja diagonaaliliitoksia, joissa havaittiin putkipalkin hitsin läheisyydessä deformatiivista plastista ja hitsin säröilleen, ilman että hitsi oli murtunut irti.
- (v) Vaurioituneita pienahitsattuja sormi/nivelliitoksia, joista putkipalkki oli repeytynyt irti, mutta itse hitsausliitos ei ollut murtunut.

Kaikki koekappaleiden hitsausliitokset ja niiden vauriokohdat valokuvattiin. Vaurioituneiden hitsien murtopinnat valokuvattiin valikoidusti, ts. keskittyen pahimpiin tapauksiin. Kuvat em. kategorioihin (i)–(iv) kuuluvista koekappaleista ja hitsausliitosten murtopinnoista on esitetty Liitteissä 1–5.

Silmämääräinen tarkastelu osoitti kategoriaan (i) kuuluvan eheän päittäishitsatun jatkoliitoksen (Liite 2: Kuva 1) hitsauksessa käytetyn juuritukea; neljästä erillisestä lattaraudan palasta heftaamalla konstruoitu juurituki oli selvästi nähtävissä putkipalkin sisäpuolella, kts. Liite 2: Kuvat 2 ja 3. Tässä tapauksessa juurituen käyttö on ollut keskeinen eheän, täystunkeumahitsin mahdollistava tekijä. Edellen havaittiin, että yhdessäkään kategoriaan (ii) kuuluvan vaurioituneen päittäishitsatun jatkoliitoksen tapauksessa ei ollut käytetty minkäänlaista juuritukea. kts Liite 1: Kuvat 1–9.

Murtopintatarkastelut vahvistivat silmämääräisessä tarkastelussa tehdyt havainnot siitä, että kategoriaan (ii) kuuluvien vaurioituneiden jatkoliitosten päittäishitsit oli hitsattu ilman kunnollista railonvalmistusta. Tämän seurauksena kaikissa tutkituissa kappaleissa havaittiin systemaattisesti railokylkien puutteellista sulamista ja hitsin vajaata tunkeumaa, mikä päittäishitsin tapauksessa merkitsee vajaata hitsautumissyvyyttä. Tunkeuman havaittiin olevan lähes kauttaaltaan puutteellinen ja suurelta osin se voitiin todeta täysin olemattomaksi, kts Liite 1: Kuvat 1–9. Pahimmillaan hitsiä oli ainoastaan ohut alle 1 mm paksuinen kerros hitsauskohdassa putkipalkin pinnalla, joilloin putken liitospinnat olivat jääneet käytännössä kokonaan sulamatta, kts Liite 1: Kuvat 7–9.

Silmämääräinen tarkastelu ja murtopintatarkastelut osoittivat täysin murtuneiden, kategoriaan (iii) kuuluvien pienahitsattujen sormi/nivelliitosten ja diagonaaliitosten murtumien edenneen osin hitsiaineessa, osin hitsin reunaviivaa pitkin hitsin ja perusaineen liittymäkohdassa, kts Liite 3: Kuvat 1–5. Murtopinnat olivat pahoin kontaminoituneet, mutta niiden olemus (so. vähäinen plastinen deformaatio murtopinnoilla), samoin kuin pienahitsien ulkonäkö, indikoivat hitsausvirheisiin: laatu, joka helposti tällaisessa ‘vaikeassa’ liitostyypissä johtaa hitsausvirheisiin: vajaan tunkeumaan, puutteelliseen sulamiseen ja liitosvirheisiin.

Silmämääräinen tarkastelu osoitti lievästi vaurioituneiden, kategoriaan (iv) kuuluvien pienahitsattujen diagonaaliitosten paikallisesti deformoituneen plastisesti, deformaation keskittyessä voimakkaasti putkipalkkiin hitsin läheisyyteen, kts Liite 4: Kuvat 1–3. Näissä tapauksissa havaittiin maalin halkeilleen putkipalkissa hitsin läheisyydessä, sekä hitsin reunaviivan paikallista säröilyä, ilman että hitsi kuitenkaan oli täysin murtunut (sitä kuin kohdan (iii) tapauksissa), kts Liite 4: Kuva 1. Nämä havainnot indikoivat hitsausliitoksen hyvää kuormankantokykyä, jolloin hitsausvirheiden laatu on mitä ilmeisimmin ollut jonkin verran parempi kuin kategorian (iii) tapauksissa.

Mikroskopiatarokastelut vahvistivat kategoriaan (ii) kuuluvien vaurioituneiden päittäishitsattujen jatkoliitosten puutteellisen railonvalmistuksen, olemattoman tunkeuman, viistetyin pinnan puutteellisen sulamisen ja vajaan hitsautumissyvyyden. Hitsiainetta oli ainoastaan n. 1 mm paksuinen kerros hitsauskohdassa, minkä seurauksena puutteellisesti viistetyt liitospinnat olivat jääneet käytännössä kokonaan sulamatta. Lisäksi havaittiin hitsien olevan tehtyihin vähäisiinkin viisteisiin nähden sijoittelultaan epäkeskeisiä, mikä edelleen on pahentanut vajaan hitsautumissyvyyden ongelmaa, kts Liite 5: Kuvat 1–3.

Kategoriaan (iv) kuuluvien osittain vaurioituneiden pienahitsien osalta paljasti satunnaisesti valitun pienahitsiliitoksen mikroskopiatarokastelu n. 3 mm pituisen liitosvirheen hitsin juuren puolella, toisella railokyljellä, kts Liite 5: Kuva 4. Tutkitussa tapauksessa hitsin a-mitta oli n. 4 mm. Tämä osoittaa, etteivät ulkonäöltään kategoriaa (iii) laadukkaammat, sinällään juoheat kategorian (iv) pienahitsit kuitenkaan olleet sisäisesti virheettömiä.

Hattuorren (ohutlevyorren) teräsmateriaalista tehtiin standardin EN ISO 6892-1 mukaiset vetokokeet irrottamalla materiaalista kaksi lattavetokoesauvaa (mittapituuden nimellimitat: 1,5 x 20 mm). Vetokokeiden tulokset on esitetty Taulukossa 1. Tutkittu hattuorsi on esitetty Liitteessä 6: Kuvat 1–2.

*Taulukko 1. Hattuorresta (ohutlevyorresta) tehtyjen vetokokeiden tulokset.*

Koesauva/ ominaisuus	Myötölujuus $R_{p0.2}$ (MPa)	Murtolujuus $R_m$ (MPa)	Murtovenymä $A_{80}$ (%)
Koesauva 1	365	479	27
Koesauva 2	369	481	26

Nähdään tutkitun teräksen myötölujuuden olevan n. 367 MPa ja murtolujuuden n. 480 MPa.

## 6 Tulosten tarkastelu ja johtopäätökset

Tulosten perusteella erityisesti päittäishitsattujen putkipalkkien jatkohitsausliitoksissa, sekä myös pienahitsatuissa sormi/nivelliitoksissa ja diagonaaliliitoksissa havaittiin vakavia hitsausvirheitä.

Päittäishitsattujen putkipalkkien jatkohitsausliitosten osalta sekä hitsauksen suunnittelua että hitsaavaa valmistusta voidaan pitää puutteellisena, mikä on johtanut havaittuihin hitsausvirheisiin. Päittäishitsattavaksi tarkoitettujen liitosten railonvalmistus oli vaillinainen, eikä tutkituissa tapauksissa, yhtä lukuunottamatta, ollut käytetty lainkaan juuritukea. Tällöin eheän liitoksen onnistumiseen ei hitsaavassa valmistuksessa enää välttämättä ole edes käytännön edellytyksiä: mikäli ilmarako liitettävien palkkien välillä on liian pieni, jää sulaminen puutteelliseksi ja tunkeuma vajaaksi (kuten tässä oli asian laita) - jos taas ilmarako on liian suuri, hitsisula valahtaa helposti kokonaan läpi, eikä ehyttä liitosta muodostu lainkaan. Ilman viistettyä railoa ja juuripintaa, tai asianmukaisen juurituen käyttöä, ei yhdeltä puolen päittäishitsattavaksi tarkoitettua voimaliitosta tulisi lähtökohtaisesti suunnitella. Kuvatut puuteet ovat nyt tutkituissa tapauksissa johtaneet puutteelliseen sulamiseen, täysin riittämättömään tunkeumaan (pahimmillaan alle 1 mm) ja täten vajaaseen hitsautumissyvyyteen juuressa. Mainittakoon, ettei esimerkiksi hitsiluokkastandardi SFS EN ISO 5817 salli hitsiluokissa B (vaativa) ja C (hyvä) päittäishitsille lainkaan vajaata hitsautumissyvyyttä (virhe no 4021). Täten nyt tutkittujen vaurioituneiden päittäishitsien ei voida sanoa edustavan nk. 'hyvää konepajakäytäntöä'.

Edellen voidaan todeta, että mikäli tutkitun kaltaisille päittäishitsausliitoksille olisi tehty esimerkiksi SFS EN ISO 15614-1 mukainen hitsauksen menetelmäkoee, käytetyn railonvalmistuksen ongelmat hitsin laatuun ja eheyteen olisi voitu ennalta havaita. Tällöin railogeometriian detaljeja olisi voitu - ja olisi pitänyt - muuttaa nykyisestä.

Pienahitsattujen sormi/nivelliitosten ja diagonaaliliitosten osalta havaittiin osan eritoten diagonaaliliitosten pienahitseistä kykenevän kantamaan hyvin ulkoista kuormitusta. Tämä ilmeni siitä, että palkin puolella hitsin läheisyydessä oli tapahtunut paikallista plastista deformaatiota, ilman että hitsi oli murtunut ja repeytynyt irti (yksittäisiä säröjä lukuunottamatta). Näissä ko. tapauksissa voidaan katsoa pienahitsien toimineen 'voimahitseinä' jopa paremmin kuin em. jatkoliitosten päittäishitsit. Varsinkin pienahitsatuissa sormi/nivelliitoksissa ilmeni kuitenkin putkipalkin irtirepeytymiseen johtaneita murtumia, jotka olivat edenneet osin hitsiaineessa, osin pitkin hitsin ja perusaineen rajaviivaa. Ko. rakenneosat ovat kiistatta hitsausteknisesti haastavia: hitsipalot jäävät pakostakin lyhyiksi ja liitos itsessään on rakennegeometriastaan johtuen hyvin jäykkä (rajoittaen mahdollisuuksia plastiseen deformaatioon) - tällaisessa tilanteessa hitsausvirheiden vaikutus korostuu ulkoisen kuormituksen kasvaessa (so. lumikuorma). Mikroskopia-tarkastelu satunnaisesti valitusta pienahitsistä paljasti n. 3 mm pituisen liitosvirheen juuren puolella, toisella railokyljellä. Tällaista sinällään vakavaa 'toispuoleista' liitosvirhettä voidaan pitää pienahitsille verrattain tyypillisenä vikana, jonka syntymistodennäköisyys korostuu hankalissa hitsausolosuhteissa.

Hitsaavan valmistuksen laatu ei täten kaikkien tutkittujen pienahitsien osalta ole ollut asianmukaista. Hitsiluokkastandardi SFS EN ISO 5817 ei salli liitosvirhettä (virhe no 401) missään hitsiluokassa, eikä myöskään juuren puoleista liitosvirhettä

(virhe no 4013) hitsiluokissa B (vaativa) ja C (hyvä). Edes hitsiluokassa D ei juuren puoleinen liitosvirhe saa ylittää kokoa  $0,4 \times a$ -mitta. Ko. pienahitsin a-mitta oli n. 4 mm; näin ollen ei tässä tutkittu po. pienahitsi täytä minkään hitsiluokan vaatimuksia.



## Puutteellinen päittäisliitoshitsi ilman juuritukea



*Kuva 1.*



*Kuva 2.*



*Kuva 3.*



*Kuva 4.*



*Kuva 5.*



*Kuva 6.*



*Kuva 7.*



*Kuva 8.*



*Kuva 9.*

## Eheä päittäisliitoshitsi juurituella



*Kuva 1.*



*Kuva 2.*



*Kuva 3.*

## Viallinen pienahitsi - vajaa tunkeuma ja liitosvirhe



*Kuva 1.*



*Kuva 2.*





*Kuva 3.*



*Kuva 4.*



*Kuva 5.*

## Kuormankantokykyinen pienahitsi - deformaatio perusaineessa



*Kuva 1.*

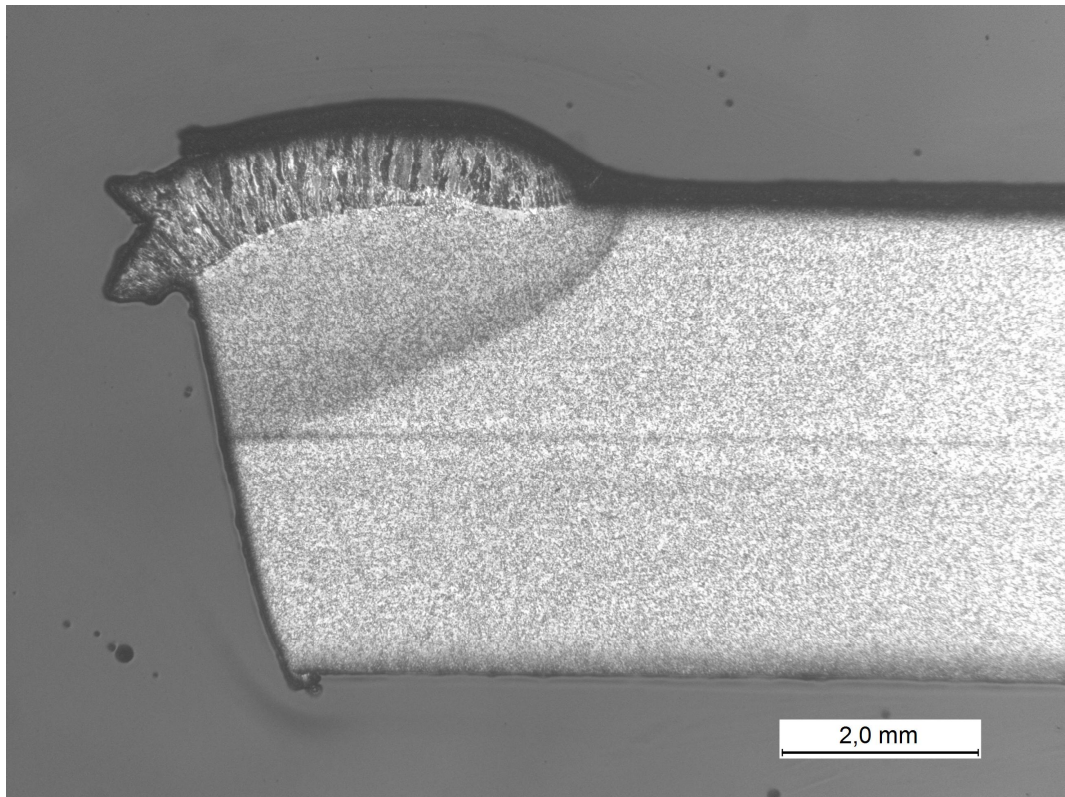


*Kuva 2.*

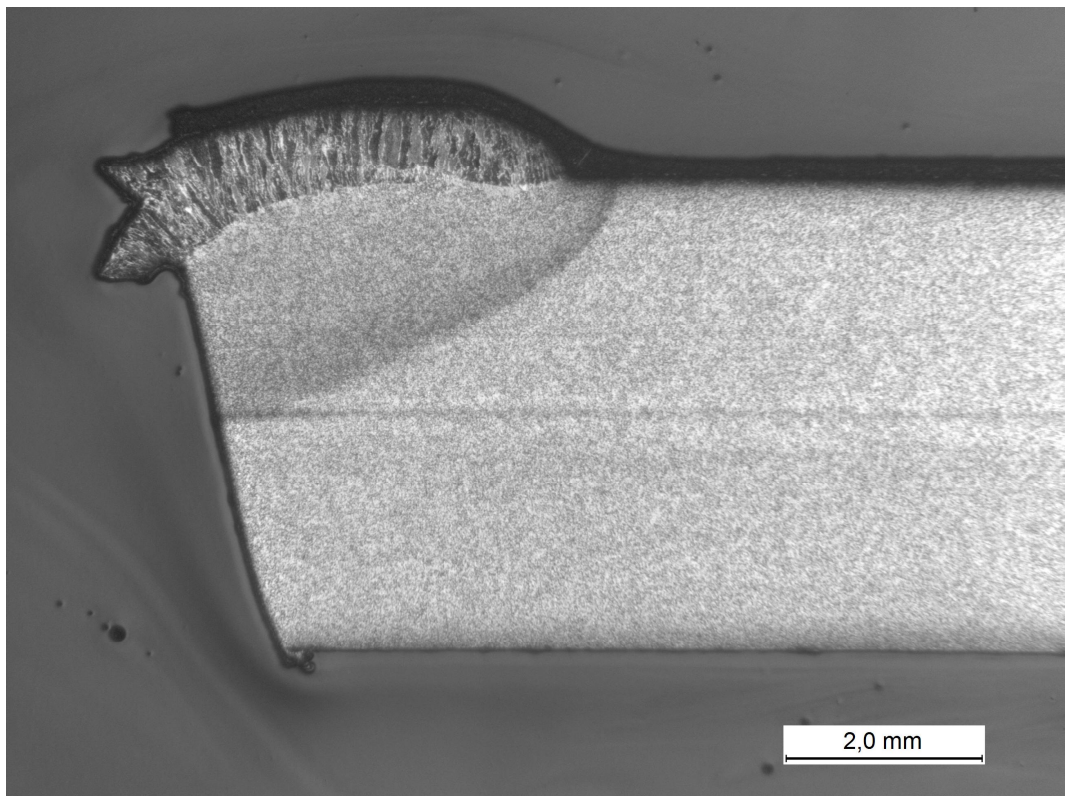


*Kuva 3.*

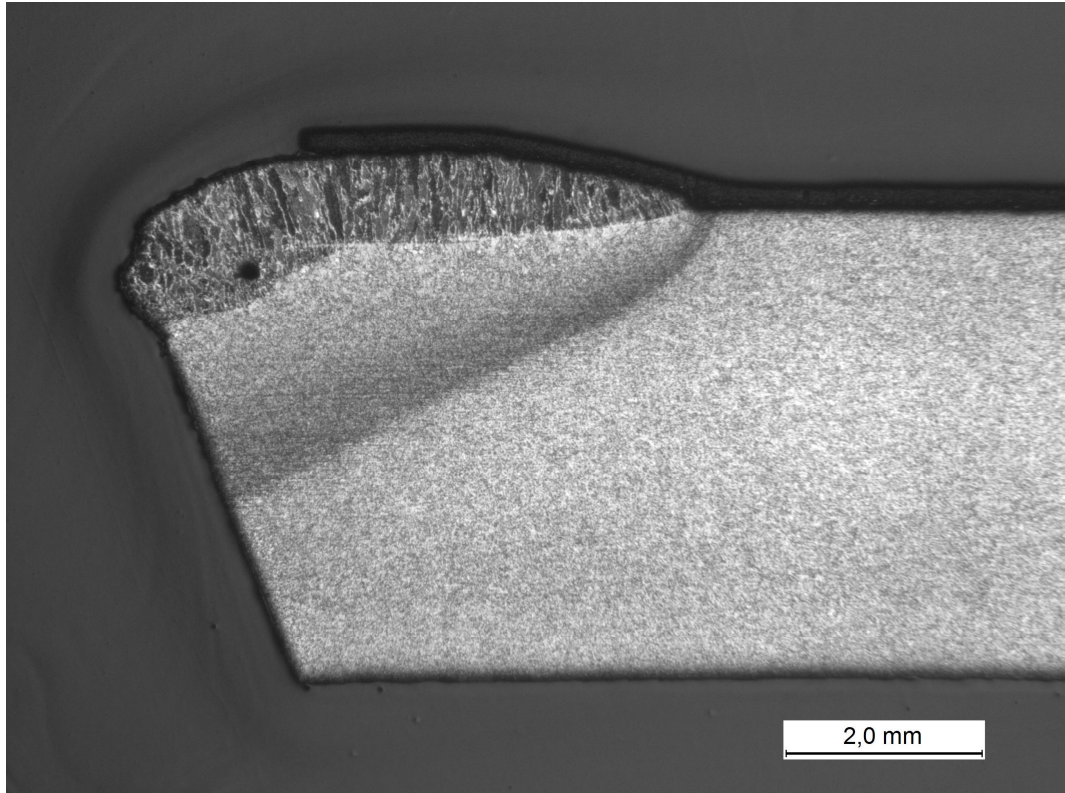
## Mikroskooppikuvat



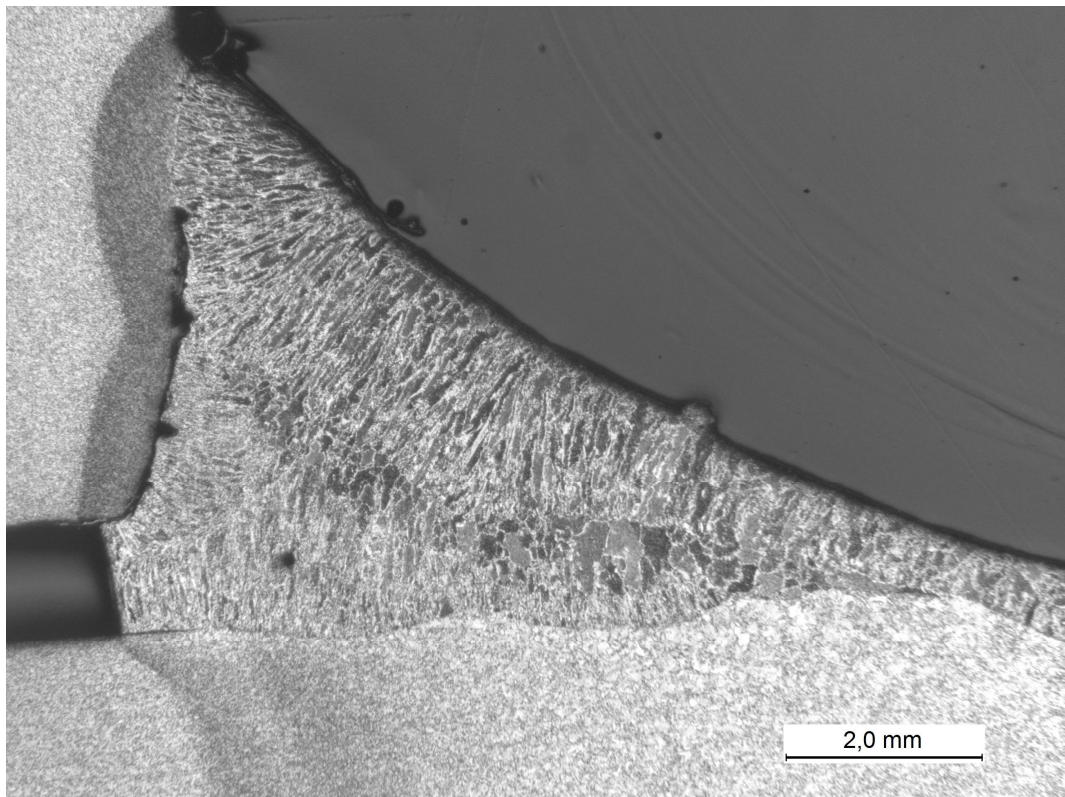
*Kuva 1.*



*Kuva 2.*



*Kuva 3.*



*Kuva 4.*

## Vetokokein tutkittu profiili



*Kuva 1.*



*Kuva 2.*