

LIITE 1

Talousasiat



Taloustilanne 2017



TULOT	Toteuma	Ennuste	Budjetti	
Jäsenmaksut ja muu säännöllinen tuki	2017	2017	2 017	Erotus
Kattilan käyttäjät	110 500	110 500	220 000	-19 500
Kattilan valmistajat	24 650	24 650	29 000	-4 350
If Vahinkovakuutus	5 950	59 50	7 000	-1 050
Pohjola	3 825	3 825	4 500	-675
FM Global	10 200	10 200	12 000	-1800
Caverion Industria	7 650	7 650	9 000	-1 350
Pöyry Finland	7 650	7 650	9 000	-1 350
Labtium	850	850	1 000	-650
Inspecta	7 650	7 650	9 000	-1 350
Replico	2 550	2 550	3 000	-450
NDT I&C	1 500	1 500	3 000	-450
Ulkojäsenet	3 600	3 600	3 600	0
Yhteensä	187 625	187 625	220 100	-32 475
Korkotuotot	0		0	0
Seminaarien osallistumismaksut				
Konemestaripäivä	25 545	25 545	25 000	545
Soodakattilapäivä	0	30 000	35 000	-5 000
Operaattoripäivä	15 470	15 470	20 000	-4 530
Yhteensä	41 015	71 015	80 000	-8 985
Tulot yhteensä	200 420	258 640	300 100	-41 460



MENOT	Toteuma	Ennuste	Budjetti	
	2017	2017	2 017	Erotus
VARSINAINEN TOIMINTA				
Seminaarikulut				
Konemestaripäivä (3010, 3011, 3012, 3013)	20 535	23 635	25 000	1 365
Soodakattilapäivä (3010, 3011, 3012, 3013)	813	30 313	40 000	9 687
Operaattoripäivä (3010, 3011, 3012, 3013)	21 598	22 098	20 000	- 2 098
Seminaarikulut yhteensä	67 359	76 046	85 000	8 954
MUU VARSINAINEN TOIMINTA				
Taloushallinto (3820, 3825)	1 812	6 012	7 000	988
Vuosikokous (3850, 3855, 3856, 3857)	9 358	9 358	8 000	-1 358
Pankin palvelumaksut (3810)	106	166	200	34
Opinnäytetyöapuraha (8000)	0	2 000	2 000	2 000
Kotisivu ylläpito (3865)	354	854	2 000	1 146
Muut ostokulut (3880,3881)	334	334	500	166
MUU VARSINAINEN TOIMINTA YHTEENSÄ	11 965	16 725	19 700	2 975
VARSINAINEN TOIMINTA YHTEENSÄ	54 911	92 771	104 700	11 929

VARAINHANKINTA	Toteuma	Ennuste	Budjetti	
	2017	2017	2017	Erotus
Sihteeristötyö (5510,5515,5513,5515)				
Sihteeristön työ	16 546	21 046	21 000	-46
Kansainvälinen toiminta	0	2000	3 000	1 000
Sihteeristötyö yhteensä	16 546	23 046	24 000	954
Hallitus ja työryhmät				
Hallitus (5520)	3 280	7 280	8 000	720
Kestoisuustyöryhmä (5530)	4 560	6 560	6 000	-560
Lipeätyöryhmä (5535)	3 760	5 760	6 000	240
Ympäristötyöryhmä (5540)	7 720	6 720	6 000	-1 720
Automaatiotyöryhmä (5545)	480	3 480	6 000	2 520
Ohjelmatyöryhmä (5550)	2 451	2 451	3 000	-51
Hallitus ja työryhmät yhteensä	21 251	33 851	35 000	1 149
VARAINHANKINTA YHTEENSÄ	37 798	56 898	59 000	2102
VARAINAINEN + VARAINHANKINTA	92 708	149 668	163 700	14 032
PROJEKTIT YHTEENSÄ	99 636	217 786	206 250	-11 536

	Toteuma	Ennuste	Budjetti	
TULOS	2017	2017	2 017	Erotus
Tulot	200 420	258 640	300 100	-41 460
Menot	192 345	361 295	369 950	8 655
Tilikauden tulos	8 075	-102 655	-69 850	-32 805
Ylijäämä vuodelta 2016		49 899		
Tilikauden tulos		-52 756		
Edellisten vuosien varaukset 50-juhlaa varten		109 468		
Varausta jäljellä vuonna 2018		56 715		

	Toteuma	Ennuste	Budjetti	
	2017	2017	2 017	Erotus
Kestoisuustyöryhmän tehtäväalue (5700)				
Sularänniohje	6 376	8 376	3 000	-5 376
Soodakattilan vuodonvalvontajärjestelmät, Varo	0	12 000	12 000	0
Hitsauspinnoitettujen putkien käyttö soodakattiloissa, OSA 2 (VTT)	9 700	9 700	9 700	0
Hitsauspinnoitettujen putkien käyttö soodakattiloissa, OSA 3 (VTT)	12 500	53 500	53 500	0
Selvitys sularännien toiminnasta vaihtelevalla kuormalla, LUT	12 000	12 000	12 000	0
Kestoisuustyöryhmän tehtäväalue yhteensä	40 576	95 576	90 200	- 5 376
Lipeätyöryhmän tehtäväalue (5710)				
Black liquor evaporation book (ÅA)	0	14 750	14 750	0
Understanding Low Temperature Corrosion in BL Combustion, Phase 3 (AÅ)	0	18 500	18 500	0
Lipeätyöryhmän tehtäväalue yhteensä	0	33 250	33 250	0
Ympäristötyöryhmän tehtäväalue (5720)				
Puun tyyppi ja sellutehtaan NOx-päästöt	0	9 000	9 000	0
Selvitys tyypillisistä savukaasuvirroista [m3/ADt] eri puulajeilla (LUT)	0	12 000	12 000	0
Hajukaasujärjestelmien turvallisuusauditointi, LUT	10 000	10 000	10 000	
Ympäristötyöryhmän tehtäväalue yhteensä	10 000	31 000	31 000	0
Automaatiotyöryhmän tehtäväalue (5730)				
Soodakattilan päästömittausten menetelmät (2007) raportin päivitys	7 900	16 800	16 800	0
Automaatiotyöryhmän tehtäväalue yhteensä	7 900	16 800	16 800	0
Muut projektit				
SKY-historiikki (5740)	41 160	41 160	35 000	-6 160
Muut projektit yhteensä	41 160	41 160	35 000	-6 160
Työryhmien projektit yhteensä	99 636	217 786	206 250	- 11 536



Saatavat

- Stora Enso Varkaus jäsenmaksut (3 x muistutus lähetetty)
 - erä 2/2016 2061,85 (alv 24%)
 - erä 1/2017 976,00 (alv 24%)
 - erä 2/2017 2100,56 (alv 24%)

LIITE 2

KTR: Sularännisuositus - alustava 26.9.2017

SISÄLLYSLUETTELO

2	YLEISTÄ	2
3	SULARÄNNEIHIN LIITTYVÄT RISKIT	3
3.1	Rännien tukkeutuminen	3
3.2	Sulavuoto	3
3.3	Jäähdytysvesivuoto / sulavesiräjähdys	3
3.4	Liuottajaräjähdykset	4
4	SULARÄNNIEN PUHDISTUS JA TYÖVÄLINEET	6
5	SULARÄNNIEN MATERIAALIT JA TARKASTUKSET.....	8
5.1	Materiaalit.....	8
5.2	Tarkastukset.....	8
6	SULARÄNNIEN JÄÄHDYTYSJÄRJESTELMÄ.....	10
6.1	Jäähdytysvesi	10
6.2	Jäähdytysjärjestelmän suunnittelukriteerit	11
6.2.1	Lappojärjestelmä	12
6.2.2	Alipainejärjestelmä.....	13
7	SULARÄNNIEN VAURIOT.....	15
7.1	Tyypilliset vauriot.....	15
7.2	Esimerkkejä raportoiduista vaurioista	15
7.2.1	Sulavuoto kattilahuoneeseen	16
7.2.2	Sulavuoto kattilahuoneeseen	17
7.2.3	Sulavuoto kattilahuoneeseen	18
7.2.4	Sularännin jäähdytysvesivuoto.....	19
7.2.5	Sularännin jäähdytysvesivuoto.....	20
7.2.6	Sulavuoto kattilahuoneeseen	21
7.2.7	Sularännin jättöreunassa vuoto.....	22
7.2.8	Sularänni jättöreuna syöpynyt.....	23
7.3	Esimerkkikuvia vaurioista	25

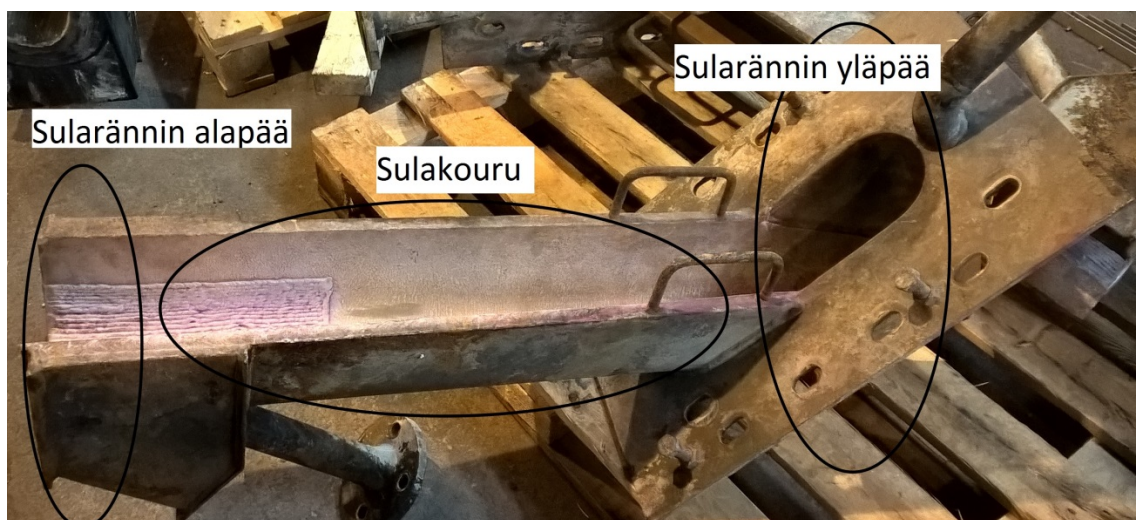
1 YLEISTÄ

Sularännit (sulakourut) ovat oleellinen osa soodakattilan rakennetta ja niiden toiminta erittäin tärkeää. Mustalipeän poltossa syntynyt sula kemikaalituhka valuu huokoisen keon läpi tulipesän pohjalle, josta se johdetaan ylijooksuna vesijäähdytettyjen sulakourujen kautta liuottimeen. Liuottimessa sula liuotetaan kaustistamolta saatavaan laihavalkolipeään. Näin muodostunut viherlipeä pumpataan kaustistamoon.

Suomen Soodakattilayhdistyksen jäsenistö on kaivannut suositusta soodakattilan sularännien suunnitteluun, käyttöön ja kunnossapitoon. Taustalla on huoli turvallisuudesta ja raportoidut sularännivauriot. Sularännien kestävyys on viime vuosina korostunut sellutehtaiden pidentyneiden ajoaikojen seurauksena.

Tässä suosituksessa sularännien osista käytetään seuraavia nimityksiä:

- sularännin yläpää kiinnitetään kattilaan. Tästä kohdasta sula tulee sisään ränniin.
- kouru on rännin kalteva osuus (jossa sula juoksee)
- sularännin alapää on liuottajan puoleinen pää. Sula jättää rännin ja juoksee liuottajaan.



Kuva 1-1. Sularännin eri osat

Yhdistys ei vastaa tämän suosituksen virheistä eikä tästä johtuvista mahdollisista ongelmista.

2 SULARÄNNEIHIN LIITTYVÄT RISKIT

2.1 Rännien tukkeutuminen

Tukkeutuneen rännin avaamiseen liittyy erittäin suuri riski. Tukoksen auettua ja sulamäärän ollessa suuri saattaa liuottajassa tapahtua voimakas sula-vesiräjähdyks.

Työn suorittamisesta tulee olla kirjalliset ohjeet ja työhön osallistuvilla henkilöillä aiempaa kokemusta tukkeutuneen sularännin avaamisesta. Henkilöstön on käytettävä tähän työhön ja tarkoitukseen suunniteltuja välineitä, suojaimia ja vaatteita. Suositeltavaa on, että kattilan käytönvalvoja saa asiasta tiedon ennen työn aloittamista.

2.2 Sulavuoto

Sulavuoto rännin ohi voi johtua monesta syystä kuten esimerkiksi kiinnityskehysten irtoamisesta, massauksen sulamisesta tai asennusvirheestä (massauksen unohtaminen tai sen riittämättömästä tiiveydestä vajavaisen tärytyksen vuoksi).

Sulan kertyminen seinien viereen esimerkiksi tulistin nuohouksen aikana voi johtaa tilanteeseen jossa sulaa pääsee primääri-ilma-aukkojen kautta ilmakanaavaan ja sitä kautta kattilan ulkopuolelle.



Kuva 2-1. Esimerkkejä sulavuodosta kattilan ulkopuolelle

2.3 Jäähdytysvesivuoto / sulavesiräjähdyks

Sularännien sijainnista johtuen ränneissä kiertävä jäähdytysvesi aiheuttaa sulavesiräjähdyksen vaaran. Vuodon seurauksena vettä voi joutua suoraan tulipesään tai sulavirtaan.

Sularännin jäähdytysvesivuoto voi johtua monesta eri syystä kuten esimerkiksi rännin ennenaikaisesta kulumisesta, jäähdytysvesivirtauksen katkeamisesta, jäähdytysveden liiallisesta höyrystymisestä/tulistumisesta, jäähdytysveden liiallisesta lämpötilavaihtelusta, liiallisista vesipuolen kerrostumista, katkonaisesta sulavirtauksesta, valmistusvirheestä tai virheellisestä asennuksesta/huollosta.

Jäähdytysvesivuodon sattuessa sularännissä jäähdytysvesi on katkaistava vuotavasta rännistä ja kattila on ajettava alas rännin vaihtoa varten.

Vuotava ränni voidaan tulpata hetkellisesti turvallisen alasajon takia jos riskiä veden joutumisesta kosketuksiin sulan kanssa ei ole ja rännin jäähdytyskierto toimii suunnitellusti. Tulppauksen tekemistä suositellaan harjoiteltavan etukäteen. Tulppausta voi harkita jos vesivuoto sijaitsee sularännin alapäässä (liuottajan puoleinen pää) eikä vuoto ole niin suuri, että se haittaisi sularännin yläpään (tulipesän puoleinen pää) jäähdytystä. Mikäli vesivuoto sijaitsee sularännin yläpäässä, riski veden joutumisesta tulipesään on olemassa ja tulppaus ei todennäköisesti pysy paikallaan jäähdytysveden ja sulan räjähtelyn takia.

~~Tulppauksen jälkeen ränniin palautetaan vesikierto rännin kattilan sisään työntyvän osuuden suojelemiseksi ns. pakkokierron avulla. Pakkokierron avulla voi myös havaita mikä ränneistä vuotaa, mutta sen käyttöön liittyy riskejä.~~ Alipaineeseen perustuvissa järjestelmissä jäähdytysvesijärjestelmään voi vuodon sattuessa päästä sulaa, joka näkyy kohonneena pH:na ja johtokykynä.



Kuva 2-2. Räjähdysvoiman irronnut ränni

2.4 Liuottajaräjähdykset

Liuottajassa tapahtuu jatkuvasti pieniä räjähdyksiä 800-1000 °C sulan virratessa 90-100 °C nesteeseen. Sulan hajottaminen pisaroiksi höyryllä vähentää "paukahtelua". Liuottajaräjähdys voi olla seurausta useammasta tapahtumaketjusta. Seuraavassa on esitetty syitä, jotka voivat johtaa liuottajaräjähdykseen:

- Sellutehtaan prosessihäiriöiden seurauksena polttoliipeän ja siten sulan laatu voi muuttua niin, ettei sulan liuotus toimi suunnitellusti. Ominaista näille häiriöille on mustaliipeän orgaanisen aineen alhainen osuus ja/tai alhainen valkoliipeän sulfiditeettitaso. Erityisen riskitekijän muodostaa soodakattilan pesuveden johtaminen haihduttamoon. Soodakattilan tulipesän pesuvedet tulisi käyttää mieluummin laiha-valkoliipeäksi ja johtaa matalapitoiset vedet jätevesijärjestelmään tehtaan ympäristöluvan salliessa.

- Sularänniaukon tukkeutuessa tulipesän pohjalle kerääntyy ylimääräistä sulaa. Sularänniä avattaessa on sulan virtaus jonkin aikaa erittäin voimakasta ja muodostaa liuottajan räjähdysmahdollisuuden. Mahdollisuus tähän on erityisen suuri kattilan vesipesun jälkeen pohjalle kertyneen suolan takia, joka voi aikaansaada sulan kertymää. Vesipesun jälkeen tulee primääri-ilma-aukkojen edusta tulipesän sisäpuolella puhaltaa vapaaksi irtosuolasta.
- Suolaa (kekosulaa alemmassa lämpötilassa) voi kertyä myös tulipesän pohjalle tulistimia nuohotessa. Jossain tapauksissa määrä voi olla niin suuri että suolaa kertyy seinien viereen primääri-ilma-aukkojen eteen. Tällöin lipeäpolttoa tulisi rajoittaa ja aukot saatava auki. Esimerkiksi lipeäruiskujen sijoituksilla sekä lipeän lämpötilalla voidaan vaikuttaa keon kasvamiseen.
- Voimakas sulavirtaus saattaa myös muodostaa liuottajaan pohjalle sulakasauman, koska kaikki sula ei ehdi liueta nesteeseen. Liuottajan sekoittimet on pidettävä toiminnassa tehokkaan sekoittumisen ja liukenemisen varmistamiseksi. Riittävällä sekoituksella estetään liukenemattoman aineen kerääntyminen liuottajan pohjalle ja sulamöykkyjen (kamien) kertyminen sulantuloaukkoon.
- Sularännien huuvien seinille sekä liuottimen seinille ja kattoon kerääntyy kuumia sulamöykkyjä, jotka riittävästi kasvaessaan putoavat tai niitä pudotetaan hehkuvina nesteeseen ja saattavat aiheuttaa liuottajaräjähdysten.
- Liuottajan nestepinnan ollessa liian korkea, sulan hajotus ei toimi halutulla tavalla. Tästä saattaa aiheutua liuottimen nesteen ja sulan räjähdysmäinen ryöpsähtäminen liuottimen hoitotasolle.
- Mikäli tulipesän pohjalla on keko, tulee ennen apupolttoaineen polttimen sytytystä varmistaa, että liuottajassa on riittävästi nestettä sekä sularännien jäähdytyskierto on päällä, sillä sulavirtaus saattaa alkaa nopeasti polttimen sytytyksen jälkeen. Liuottajan nestetäytön aloittaminen sen jälkeen, kun sulavirtaus on jo alkanut, johtaa todennäköisesti liuottajaräjähdykseen.
- Lipeän polton aloitus täytyy estää liuottimen pinnan ollessa alle lukitusrajan. Ennen lipeän polton aloitusta tulee varmistaa ilma-aukkojen olevan auki. Liuottajan pinnan mittauksen oikeellisuus on varmistettava säännöllisesti.



Kuva 2-3. Rassausta kaipaava ränni

3 SULARÄNNIEN PUHDISTUS JA TYÖVÄLINEET

Soodakattilaoperaattorin työtehtäviin kuuluu 1-2 tunnin välein tehtävä tarkastuskierros soodakattilarakennuksen eri kerroksissa, jolloin suoritetaan muun muassa lipeäsuuttimien/-ruiskujen, ilma-aukkojen/-suuttimien tarkastus ja sularännien mekaaninen puhdistus ja rassa.

Sularännin säännöllinen puhdistus/rassaus on erittäin tärkeää. Mikäli puhdistusväli on liian pitkä, ränni ehtii tukkeutua ja seurauksena voi olla voimakas sulavirtaus, sulasyöksy. Sularännin puhdistus/rassaus suoritetaan operaattorin toimesta useita metrejä pitkällä rautakangilla. Kangen pään tulisi olla pyöristetty ja rassaus suoritettava oikea-oppisesti ränniin kohdistuvan rasituksen minimoimiseksi.

Soodakattilan tulipesän vakaa ja häiriötön toiminta on perusedellytys sularännien toiminnalle. Esimerkiksi liian suuri palamattoman aineksen osuus sulassa vähentää sulan juoksevuutta, mikä edesauttaa sularännien tukkeutumista. Tasainen sulavirtaus ilman häiriöitä on paras toimintaympäristö ränneille.



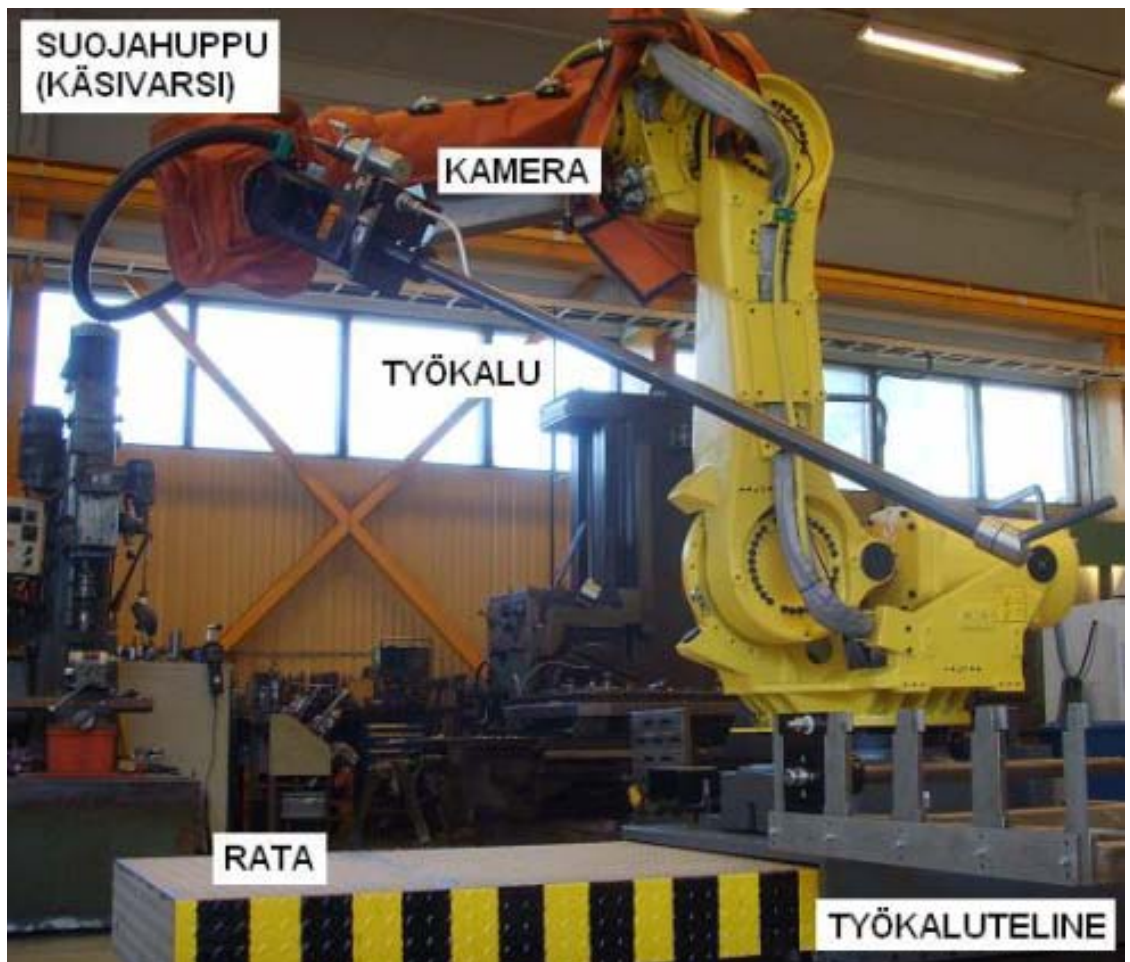
Kuva 3-1. Rännien rassausta soodakattilalla

Kuuman sulan (800-1000 °C) roiskumisvaarasta johtuen tehtävään liittyy työturvallisuusriski. Roiskeet ovat aiheuttaneet vaaratilanteita ja palovammoihin johtaneita tapaturmia. Työtapaturman riski on erityisen suuri häiriötilanteessa (tukkeutuneiden kourujen avaaminen, yllättävä sulasyöksy, kamin putoaminen liuottimeen, vesivuoto kourussa).

Normaali yksikerroksinen suojavaatetus ei suojaa työntekijää roiskeiden aiheuttamilta palovammoilta. Tehtailla onkin käytössä sularännialueella työskentelyä varten erityisiä suojavaatetuskokonaisuuksia.

Työturvallisuuden parantamiseksi joillakin tehtailla on otettu käyttöön automaattinen sulakourujen puhdistus ns. sularännirobotti. Robotin toimintoja ovat:

- mekaaninen rassa
- huuvan alapuolisten pintojen pesu
- hajoitushöyrysuuttimen pesu
- huuvan ulkopuolisten alueiden pesu
- sulakourualueen kameravalvonta
- sulakourun tulppaus



Kuva 3-2. Esimerkki sularännirobotista

4 SULARÄNNIEN MATERIAALIT JA TARKASTUKSET

4.1 Materiaalit

~~Paremmat Seostetummat~~ materiaalin käyttö voi pidentää rännin käyttöikää mutta ei välttämättä ratkaise kaikkia ongelmia. Rännejä voidaan valmistaa eri materiaaleista kuten esimerkiksi:

- runko ja kouru hiiliterästä (P265GH / S235JR)
- runko ja kouru hiiliterästä, kourun alapää (~~liuottajan puoleinen pää~~) ja/tai yläpää (~~tulipesän puoleinen pää~~) päällehitsattu ruostumattomalla teräksellä (304L) tai nikkelpohjaisella seoksella (625). Myös koko kouru voidaan päällehitsata.
- runko ja kouru hiiliterästä, kouru pinnoitettu (~~ns. compound-rännieläplate~~) ruostumattomalla teräksellä (304L).

4.2 Tarkastukset

Uudet rännit

Sularännit on valmistuksen jälkeen koeponnistettava konepajalla ja niille on suoritettava kattava visuaalinen tarkastus (VT) sekä pintatarkastus (PT). Lisäksi voidaan suorittaa röntgentarkastus (RTG) esimerkiksi rännin yläpään (tulipesän puoleinen pää) jossa todetaan että rakenneratkaisut ja hitsimitoitukset ovat sovitun mukaiset. ~~Kaikkia rännejä ei tarvitse kuvata.~~ Valmistajalta on saatava jokaisesta sularännistä yksilöllinen tarkastus-/testaustodistus, jossa esitetään muun muassa käytetyt materiaalit, hitsaajan tiedot ja tehdyt tarkastukset.

Käyttöönottotarkastuksen helpottamiseksi tehtaalla, ~~r~~Rännejä ei suositella maalattavaksi konepajalla. Suojaus voidaan tehdä esimerkiksi Tectylillä tai vastaavalla.

Rännit on tarkastettava visuaalisesti ennen käyttöönottoa ja asennettava keskenään samalle korkeudelle.

Sularännin suositeltu käyttöikä on 12 kuukautta, jonka jälkeen ne on korvattava uusilla.



Kuva 4-1. Vasemmalla: esimerkki röntgenkuvasta, jossa näkyy sisäpuolen vajaa juuri. Oikealla: esimerkki valmistusenaikaisista hitsausvirheistä, mm. jyrkät liittymät näkyvät selvästi

Käytetyt rännit

Sularännit suositellaan tarkastettavaksi vähintään visuaalisesti aina kun mahdollista. Jos ränni ei läpäise tarkastusta, se tulee vaihtaa.

Käytöstä poistetut sularännit on romutettava. Sularännejä ei saa korjata tarkoituksena, että ne voitaisiin ottaa uudelleen käyttöön.

Yksi käytöstä poistettu ränni suositellaan tarkastettavaksi tunkeumanesteellä. Lisäksi suositellaan yhden rännin leikkaamista palasiksi. Tarkista leikatusta rännistä jäähdytysvesivaipan sisällä olevat alueet korroosion/kerrostumien havaitsemiseksi. Lisäksi jäähdytysvesiputkisto ja säiliöt tulisi tarkastaa määräajoin kerrostumien varalta.



Kuva 4-2. Tunkeumanestetarkastuksessa havaittuja säröjä

5 SULARÄNNIEN JÄÄHDYTYSJÄRJESTELMÄ

5.1 Jäähdytysvesi

Jäähdytysveden tulee täyttää seuraavat kriteerit:

1. **Laatu:** Koska sularännit joutuvat kovalle rasitukselle (suuri lämpötilaero, suuret lämpötilavaihtelut, vesipuolen korroosio, sulapuolen korroosio ja eroosio), jäähdytysveden on oltava laadukasta. Jäähdytysveden tulee olla lauhdetta tai täyssuolanpoistettua lisävetä. Huonon vedenlaadun seurauksena voi esiintyä sisäpuolista kerrostumista, happikorroosiota tai sakan muodostumista, joka heikentää lämmönsiirtoa. Lämmönsiirron heikentyminen johtaa rännin ylikuumenemiseen ja säröilyyn ja mahdollisesti vuotoon.
2. **Lämpötila:** Sularännin jäähdytysvesi on pidettävä valmistajan suositusten mukaisena (alipainejärjestelmissä sisäänmenolämpötila on tyypillisesti 50-65 °C:n välillä ja ei-alipainejärjestelmissä 75-80 °C luokkaa). Erittäin tärkeää on pitää sekä sisään- että ulostulevan veden lämpötilat tasaisena, koska lämpötilapiikit aiheuttavat säröilyä kun kuormituskertoja on riittävästi.

Jos sularännin jäähdytysveden lämpötila on suositusta alhaisempi, rännin sivuille voi kondensoitua vesipisaroita, josta seuraa sulan roiskumista ja pieniä sulavesiräjähdyksiä jotka aiheuttavat eroosiota. Sulan roiskumisesta voi seurata sulan kerrostumista rännin koteloon, kourun huuvaan, rännitasolle ja kaikille ympäröiville pinnoille. Roiskumisesta voi aiheutua myös henkilövahinkoja. Kosteaa ympäristö voi lisäksi edesauttaa happojen muodostumista.

Suosituksista korkeampi jäähdytysveden lämpötila voi taas aiheuttaa jäähdytysveden höyrystymistä voimakkaan sulavirtauksen aikana. Höyrystymisen seurauksena rännin jäähdytysvesivirtaus voi hetkellisesti pysähtyä, mikä taas ylikuumentaa ja vaurioittaa ränniä.

Jokaiseen rännin jäähdytysveden ulostulolinjaan tulee asentaa lämpötilamittaus sekä hälytys valmistajan määrittämälle lämpötila-alueelle (esimerkiksi 65-70 °C). Alipaineperiaatteella toimivissa järjestelmissä on huomattava, että hälytyspiste on asetettava suhteessa veden todelliseen kiehumispisteeseen mitattuna vedenulostulopaineesta.

3. **Virtaus:** Rännin jäähdytysvesijärjestelmä on suunniteltava valmistajan määrittämän jäähdytysveden minimivirtauksen aikaansaamiseksi. Alhaisesta virtauksesta seuraa ajan myötä lämpötilavaihteluita, jotka johtavat vaurioon. Virtausmittaus tulee asentaa jokaisen sularännin ulostulolinjaan. Sen tulee hälyttää valmistajan määrittämästä minimivirtauksesta.
4. **Paine:** Jäähdytysvedenpaineen tulee olla mahdollisimman pieni virtaukseen nähden. Pieni vedenpaine kourun yläpäässä ja kiertojärjestelmän yläosassa vähentää vesimäärää, joka voisi päästä tulipesään mahdollisen vuodon yhteydessä. Lisäksi suuri painehäviön laskee veden kiehumislämpötilaa. Veden höyrystyminen heikentää jäähdytysvesivirtausta ja pahimmassa tapauksessa pysäyttää sen, mikä taas ylikuumentaa ja vaurioittaa ränniä. Pieni vedenpaine saavutetaan pitämällä virtausnopeus suositusten mukaisena ja minimoimalla painehäviö ulostulolinjan puolella.

5.2 Jäähdytysjärjestelmän suunnittelukriteerit

Jäähdytysjärjestelmää suunniteltaessa tulee noudattaa seuraavia suunnittelukriteerejä:

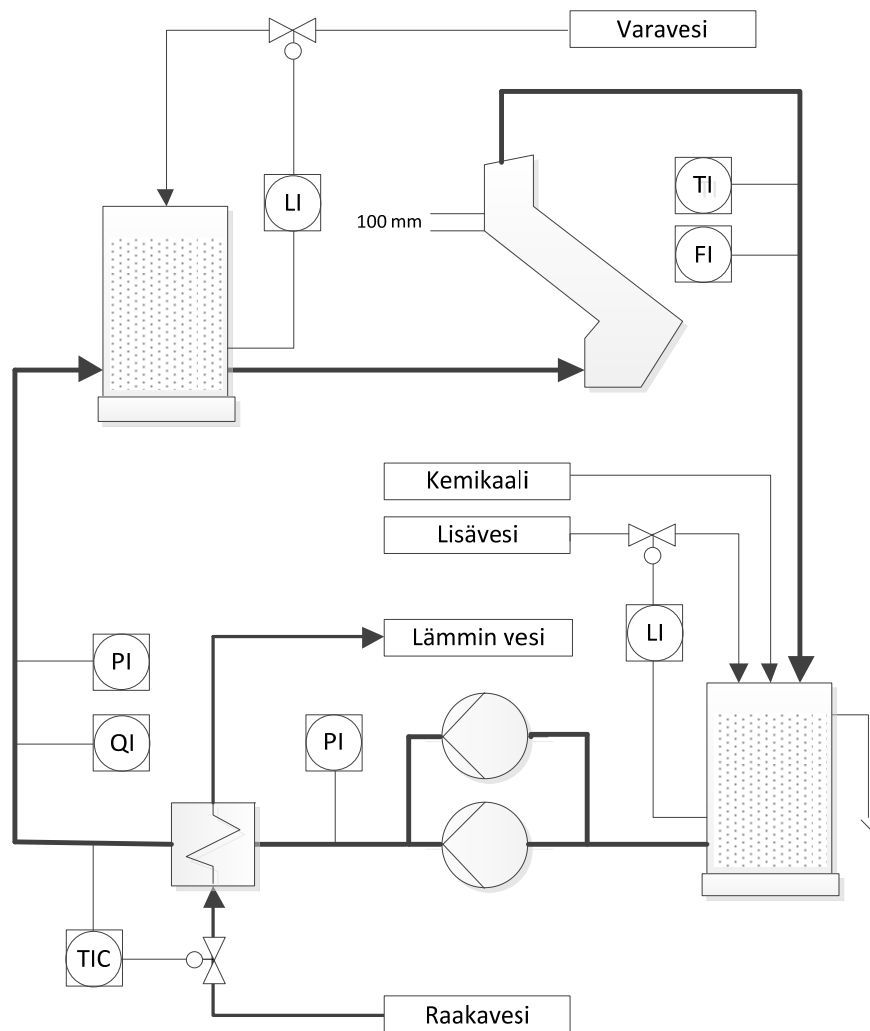
1. Sularännien jäähdytysjärjestelmän suljettu kierto on rakennettava lappo- tai alipaineperiaatteella toimivaksi.
2. Jäähdytysvesijärjestelmä on varustettava kahdella pumpulla, joista toinen on normaalisti toiminnassa ja toinen varalla. Varapumpun on käynnistytävä automaattisesti.
3. Jäähdytysvesijärjestelmän toiminta on varmistettava automaattisella varavesijärjestelmällä mikäli jäähdytysvesisäiliön pinta tai järjestelmän paine laskee alle minimin. Veden riittävyys varavesijärjestelmästä on varmistettava myös sähkö- ja ilmakatkon varalta.
4. Jäähdytysvesijärjestelmä suositellaan varustettavan virtaus-, lämpötila-, (pH-) ja johtokyky mittauksella. Jokaisen rännin jäähdytysvesiulostulo linjaan on asennettava sekä lämpötila että sekä virtausmittaus. ja sisääntulolinjaan lämpötilamittaus.
5. Järjestelmän korkeasta lämpötilasta, pienestä virtauksesta, pienestä paineesta, jäähdytysvesisäiliön matalasta pinnasta ja jäähdytysvesipumpun pysähtymisestä on annettava hälytys.
6. Jäähdytysvesisäiliön tasoa tulee säädellä täyssuolanpoistettua vettä tai lauhdetta lisäämällä ja alhaisesta tasosta on annettava hälytys.
7. Rännin valmistajan suosittelemien jäähdytysveden tulolämpötilojen ylläpitämiseksi tarvitaan jäähdytysveden lämmönvaihdin.
8. Jokaiselle rännille on oltava jäähdytysvesivirtauksen pysäyttävä sulkuventtiili. Sulkuventtiilit on merkittävä SELVÄSTI JOKAISEN rännin yhteydessä, jotta hätätilanteessa jäähdytysvettä ei vahingossa katkaistaisi väärästä rännistä.
9. Uusiin ränneihin tulee merkitä selvästi rännin sisäänmeno- ja ulostuloliitännät.
10. Sularännit täytyy varustaa tehokkailla sulanhajottajilla, ja rännien toimintaa on seurattava kameroiden välityksellä valvomosta.
11. Putkistot suositellaan valmistettavan ruostumattomasta teräksestä ja liitoskohdat tehtävän hitsaamalla. Kierteellisten putkien, kiinnikkeiden ja venttiilien käyttö tulee minimoida tyhjiötä mahdollisesti pienentävien vuotojen vähentämiseksi, jotka voisivat vaikuttaa myös jäähdytysvesivirtaukseen.
12. Jotta sularännin jäähdytysvesijärjestelmä saadaan varmasti pidettyä toiminnassa, mahdolliset muutokset tulee teettää jäähdytysvesijärjestelmän suunnittelijalla tai hänen neuvojensa mukaisesti.

5.2.1 Lappojärjestelmä

Lapposysteemissä jäähdytysveden jättopuolen vesipatsaskorkeus on suurempi kuin tulopuolen, kuva 5-1. Tampellan kehittämässä lapossa ylemmän säiliön vesipinta on 100 mm alempana kuin kourun yläpään alareuna/nurkka, jossa on vettä. Jos vesikiertoon syntyy reikä, josta vesikiertoon pääsee ilmaa, lappovirtaus katkeaa ja yhtyvissä astioissa pinnat tasaantuvat. Näin varmistetaan se, että pesään/kekoon ei mene vettä.

Maailmalla on kuitenkin sattunut vaaratilanteita rännin yläpäähän tulleen vuodon seurauksena. Järjestelmä toimii kuten suunniteltu eli vesipinta laskee mutta samalla vesitilaan pääsee sulaa, joka voi aiheuttaa räjähdysten kourulevyn ja ulomman vesivaipan sisällä. Räjähdysten voimasta ränni voi irrota aiheuttaen vaaraa rännitasolla oleville henkilöille.

Mikäli rännin yläpäässä havaitaan vuoto, kattila tulee ajaa alas ja estää rännitasolle meneminen ilman asiamukaisia suojavaarusteita.



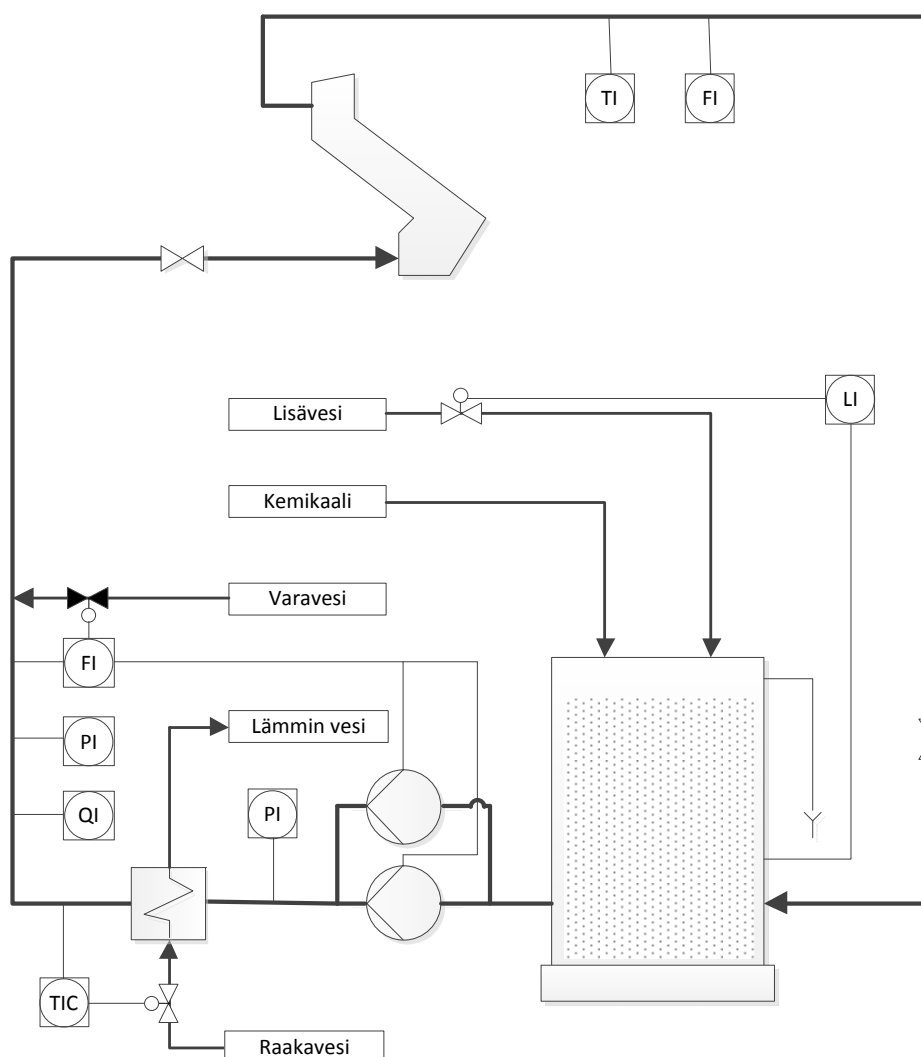
Kuva 5-1. Yksinkertaistettu esimerkki lappojärjestelmästä

5.2.2 Alipainejärjestelmä

Alipainejärjestelmässä muodostetaan pieni tyhjä rännin jäähdytysvesivaipan sisään esimerkiksi venttiileillä (kuva 5-2) tai ejektorilla (kuva 5-3). Tällöin vuodon sattuessa ilman/sulan pääsy ränniin katkaisee vesikierron estäen veden pääsyn tulipesään.

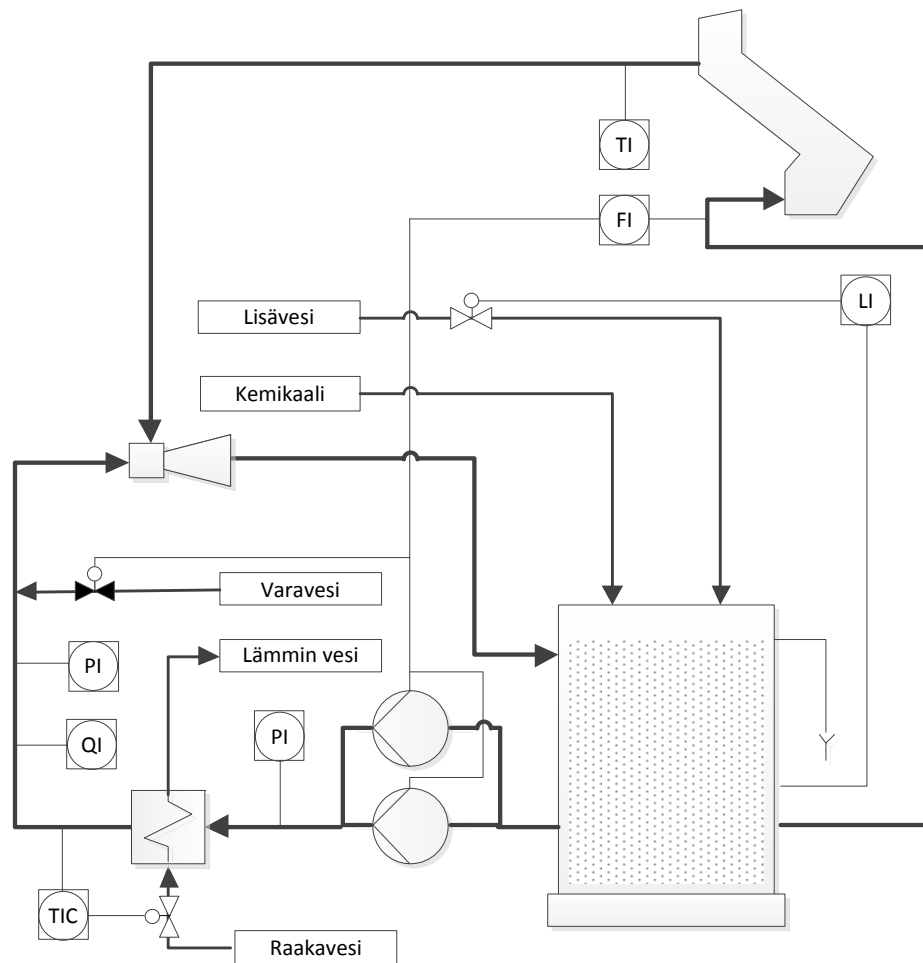
Jäähdytysveden lämpötilaa lämmönvaihtimen jälkeen säädetään kylmällä raakavedellä. Kiertovedestä mitataan johtokyky (mahdollisesti myös pH). Jäähdytysvesivirtausta valvotaan virtausmittauksella, joka avaa varavesilinjan varavesisäiliöstä, mikäli virtaus loppuu. Sulakourujen ennen/jälkeen mitataan lämpötilat ja virtaukset. Sulakouruilta vesi johdetaan takaisin jäähdytysvesisäiliöön. Jäähdytysvesisäiliön pinnanmittaus ohjaa säiliöön tarvittaessa ioninvaihdettua lisävetä.

Venttiileihin perustuvassa systeemissä vesi pumpataan jäähdytysvesisäiliöstä lämmönvaihtimen kauttalaipi sularänneille. Ennen rännejä olevilla venttiileillä säädetään rännien alipaine ja jättöpuolen venttiilillä virtaus rännin läpi.



Kuva 5-2. Yksinkertaistettu kuva venttiileihin perustuvasta alipainejärjestelmästä

Kuva 5-3. Yksinkertaistettu kuva ejektoriin perustuvasta alipainejärjestelmästä



6 SULARÄNNIEN VAURIOT

6.1 Tyypilliset vauriot

Tyypillisiä vaurioita ja niiden ehkäisykeinoja [on listattu alla olevaan taulukkoon.](#) Yleisesti voidaan sanoa että kouruosan säröily syntyy lämpötilamuutoksista (pintamateriaali tyssääntyy) yhdistettynä jännityskorroosioon.

Vauriokohta:

1. rännin alapään/jättöreunan syöpyminen/eroosio
2. rännin yläpään/sisääntuloreunan säröily/korroosio/syöpyminen
3. rännin termisestä väsymisestä johtuva säröily (sulavirtauksen pohjalla/rajalla)
4. Jäähdytysvesipuolen korroosio
5. Massauksen pettäminen
6. Kourun vaipan eroosio
7. NaOH-korroosio

Syy/seuraus:

- sulanhajotus suunnattu oikein nestepintaa kohti
- liuotinhölkien/huuhteluvesien kondensoituminen sularännin pinnalla
- [rännin pitäminen kuivana](#)
- liian korkea liuottajan pinta
- riittämätön ilmanpoisto liuottajasta esimerkiksi liuotinhölkäputken tukkeutumisen takia
- jättöreunan pinnoitus
- liian korkea jäähdytysveden lämpötila
- liian suuri alipaine lisää kavitaatoriskiä
- liian korkea liuottajan pinta
- etureunan pinnoitus
- lämpötilan vaihtelut (sula tai vesi)
- pH mittaus / hälytys
- kemikaalin syöttö
- veden laatu
- hapenpoiston toiminta
- massan riittävä kuivumisaika
- kourualueen huuhtelusuihkujen tarkkailu
- kourualueen huuhteluun käytettävän laihavalkolipeen roiskuminen kuumille pinnoille



Kuva 6-1. Esimerkki jättöreunan syöpmisestä

Kamparauta hitsattu liian heikosti kiinni. Konstruktiosta aiheutuva normaali häiriö.

6.2.2 Sulavuoto kattilahuoneeseen

Seisokkiaika: 21 tuntia

Vaurioitunut osa: Sularännin höyryhajoittaja ja liuottajan ympäristöä

Vaurion sattuessa ilmeni: Sulavuoto kattilan ulkopuolelle

Tapahtumat:

Kattila oli normaalissa ajossa lähes täydellä kuormalla kun 4-rännistä tuli sula yli liuottajan katolle. Siitä sula valui alas polttaen mennessään kolmen sekoittajan kaapelit ja hieman lattian kaakelointia irtosi. Syynä ylituloon oli rännin höyryhajoittajan kulumisen ylälaidasta puhki joten se roiski sulaa ylöspäin muodostaen ”kannen” rännin päälle ja rännin reikä muurautui umpeen.

Samaan aikaan sattuneen liuottajan toisenkin pintamittauksen tukkeutuminen sotki osaltaan tilannetta aiheuttaen aluksi epäilyn että liuottaja olisi tullut yli. Uimurimittausta ei liuottajassa ollut. Toinen liuottajan pinnanmittaus oli tukkeutunut jo aikaisemmin syksyllä ja toisella piti päästä joulun asti, mutta jäi hiukan auki. Siis liuottaja ei tullut yli, vaan ränni 4 vain oli tukossa. Toisenkin pinnanmittauksen vikaantuminen vain sattui samoihin aikoihin. Sulan valuminen lattialle sekoittajien kaapelit polttaen meni reittiä: kattila -> tukkeutunut ränni -> liuottajan katto -> kaapelihylly -> alakerran lattia.

Kestoisuustyöryhmän lausunto:

6.2.3 Sulavuoto kattilahuoneeseen

Seisokkiaika: - tuntia

Vaurioitunut osa: sularänni

Tapahtumat:

Kattila oli normaalissa ajossa 22.7 ja normaalilla polttokuormalla. Yövuoron alussa tuli hälytys valvomoon sularänni 4:n lämpötilasta ja virtauksesta. Kattilanhoitajan käydessä tarkastamassa tilanteen paikan päältä oli ränni paukkunut ja ampunut sulaa. Yövuoro tulppasi rännin ”narutulpalla”, samalla oli aloitettu kuorman pienennys. Seuraavana aamuna 23.7 yritettiin tutkia tulpattua rännin tarkemmin, mutta lipeätulien johdosta se oli vaikeaa. Tulppausta parannettiin ja lisättiin paineilma jäähdytystä tulpalle. Yövuorolla 24.7 sula alkoi vuotaa rännin alta ulos liuottajan kannelle ja siitä sitten alakerran lattialle. Kattila otettiin apupolttoaineelle ja laitettiin alasajo käyntiin.

Aamulla 24.7 päästiin korjaajien kanssa purkamaan vaurioitunutta ränniä. Kun ränni oli saatu irroitettua paikoiltaan, havaittiin sen menneen melkein poikki, siitä kohdasta ränniä mikä on kattilan sisällä. Samoin rännikotelo oli palanut alalaidastaan pahoin. Korjaustyöstä olisi tullut aika mittava, joten kun oli oltu yhteydessä laitetoimittajaan, päätettiin massata koko ränni aukko umpeen. Lokakuun alussa on kattilan suunniteltu seisokkiviikko, jolloin vaihdetaan kaikki rännit. Edellisen kerran kaikki rännit oli vaihdettu edellisen vuoden joulukuussa. Kattilalla on 4 sularänniä.



Kestoisuustyöryhmän lausunto

-

6.2.4 Sularännin jäähdytysvesivuoto

Seisokkiaika: 9 tuntia

Vaurioitunut osa: sularänni ja rännin ympäristön kaapelointia

Tapahtumat:

Kattila normaalisti lipeätulilla 21.8. Käyttömies kiinnitti kierroksellaan huomiota sularännin nro 3 räiskeisiin ja ääneen ja kutsui toisen käyttömiehen kaveriksi, jolloin alkoivat tutkimaan tilannetta kahdelleen. Kattilan lipeätulet sammutettiin ja hivenen myöhemmin myös öljytulet seis. Sulaa ja räiskeitä lensi ja paukkui, joten homma oli vaarallista. Kokeneempi käyttömies huomasi, että 3. rännin jäähdytysveden rotametrin yläpuolella oleva ilmaus oli auki. Venttiili suljettiin ja räiskäminen ja paukkaminen vähenivät niin paljon, että rännin lähelle päästiin.

Rännin kourun pohjassa n. 200 mm päässä (poistopäästä) oli halkeama ja reikä. 3. rännin aukko tukittiin betonisella tulpalla. Lipeäräiskeiden takia takaseinällä olevat 3 rännin läheisyydessä olevat primääri-ilma-aukon rassarien yms. kaapeloinnit paloivat ja kärsivät ylikuumenemisesta.

Kattila takaisin apupolttoaineelle klo 02.30 ja lipeä palamaan klo 09.00.

Sularänni oli vaihdettu toukokuun seisokissa.

Kestoisuustyöryhmän lausunto

-

6.2.5 Sularännin jäähdytysvesivuoto

Seisokkiaika: 8 tuntia

Vaurioitunut osa: sularänni

Tapahtumat:

Valvontakamerasta havaittiin Sulakouru-6:lla tavallisuudesta poikkeavaa räiskintää. Havainnon perusteella ryhdyttiin epäilemään vesivuotoa sulakourussa. Epäily sai vahvistusta siitä seikasta, että jäähdytysvesisäiliön täyttöautomaattiikka käynnistyi tiheämmin kuin normaalisti. Myös jäähdytysvesikierron sähkönsäilyky oli kohonnut. Asianmukaisesti varustautena tehdyt havainnot paikan päällä antoivat 100% varmuuden vuodosta.

Välittömät toimenpiteet

Kun vuoto oli varmistunut, ryhdyttiin välittömästi siirtymään lipeän poltosta apupolttoaineen polttoon. Kattilassa oli keskikokoinen keko. Sen poispolttaminen kesti noin 2 tuntia, jonka jälkeen sulan valuminen sulakouruissa loppui 10:30. Tällöin ryhdyttiin kuonanpoistotoimenpiteisiin.

Kouru oli kuonasta puhdas 12:00. Kun tulppaamistarve varmistui 9:30, tilattiin varastosta varakouru valumuotiksi. Rakennustekninen alihankkija valoi muotissa tulpan. Tulppa kovettui asennusvalmiiksi klo 15:00. Tulppa asetettiin paikoilleen.

Mahdollista ohivirtausta silmälläpitäen asetettiin kouruun lisäksi valkoista palovillaa. Tulppa piti siinä määrin hyvin ettei ohivirtausta ilmennyt. Jäähdytyskierto jätettiin päälle, jottei kourun kattilan sisään työntyvä osuus vaurioituisi.

Kourun lisätutkimuksissa selvisi että osa kourunlevyn kärjestä oli jäänyt päällehitsaamatta, joka on edesauttanut eroosion etenemistä kourun kärjessä. Sama asia ilmenee myös muista kouruista.

Kestoisuustyöryhmän lausunto:

Vuodot ovat rännin alapäässä, rännin ja päätylevyn yhtymäkohdassa joka oli syöpynyt. Kourun alapään olosuhteet ja riittämätön päällehitsaus ovat aiheuttaneet vuotoon asti edenneen vaurion.



6.2.6 Sulavuoto kattilahuoneeseen

Seisokkiaika: 56 tuntia

Vaurioitunut osa: sularänni

Tapahtumat:

Kattila oli normaalissa käytössä 5.7 kun huomattiin vuoto ränniveden johtokyvystä ja tulpattiin ränni, olettaen vuotokohdan rännissä sijaitsevan rännin alapäässä. Korroosiota esiintynyt aiemmin juuri tuossa kohtaa ränniä. Samanaikaisesti johtokyky sularännien jäähdytysvesikierrossa oli korkealla ja rännikohtaisessa virtausmittauksessa näkyi heiluntaa verrattuna muihin ränneihin.

Yöllä tulppa irtosi kun sula ja rännin kiertovesi poksahdelti, jonka seurauksena ajettiin kattila alas. Aamuvuorossa ke. 6.7. n. klo. 07.30 sulaa tuli vielä muutamasta rännistä, kun sularänni 2:sen kiinnityskehyksestä alkoi vuotaa sulaa liuottajan kannelle ja siitä edelleen lattialle alakertaan. Rännin päässä oli reikä, joka havaittiin kun ränni oli irroitettu. Lisätutkimuksissa selvisi että sularännikotelossa ollut liian suuri tyhjä joka edesauttanut vaurion syntymistä.



Kestoisuustyöryhmän lausunto

Rikkoutuneessa kourussa kavitaation merkkejä, jäähdytysveden lämpötila ollut 70 C, jolloin on mahdollista että vesi höyrystyy silloin tällöin.

Hapenpoistokemikaalin puuttuminen sekä sularännikotelon liian suuri tyhjä edistivät vaurion syntymistä.

6.2.7 Sularännin jättöreunassa vuoto

Seisokkiaika: 24 tuntia

Vaurioitunut osa: hajotushöyrysuuttimet ja sularänni

Tapahtumat:

Kattilan sularännien 3 ja 4 hajotushöyrysuuttimet olivat palaneet poikki. Kattilalla oli huoltoseisokki jolloin vaihdettiin uudet paksuseinämäiset putkisuuttimet, ja tarkastettiin muut että niillä päästään seisokkiin asti. Syksy seisokissa vaihdettiin sularännit ja todettiin että 2:sta rännistä jättöreuna oli puhki ja kahdesta lähes puhkeamassa.

Koskaan aikaisemmin rännit eivät ole olleet näin huonossa kunnossa vuoden käytön jälkeen. Poltto-olosuhteet ennallaan, rännimateriaalin laatu/tekotapa?



Kestoisuustyöryhmän lausunto

Hajotushöyryn puuttuminen edesauttanut sularännienpinnoitteen vaurioitumista.

Muissakin kattiloissa on vaurioraportoitu vastaavanlaisia vaurioita. Lisääntynyt sularännikoteloiden huuhtelu on mahdollisesti edesauttanut näitä vaurioita (rännin pinnassa enemmän kosteutta)

6.2.8 Sularänni jättöreuna syöpynyt

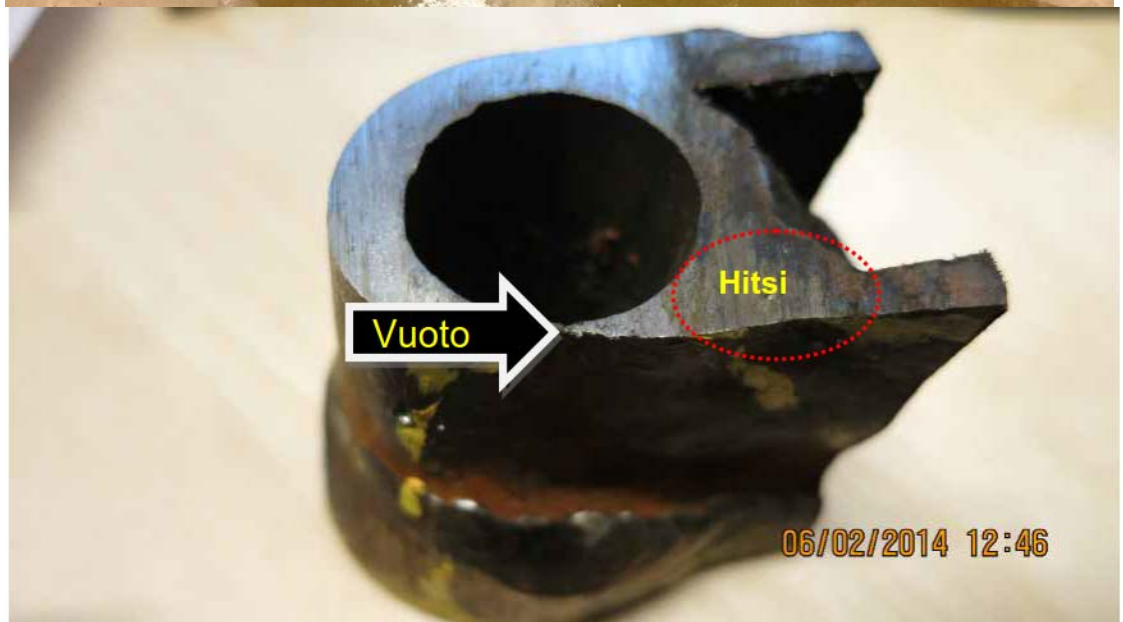
Seisokkiaika: 17 tuntia

Vaurioitunut osa: sularänni x 2

Tapahtumat:

25.01 yöllä todettiin sularännin vuotavan pesän puolella. Koeponnistuksessa todettiin kahden rännin vuotavan, 1 ja 7 ränni vaihdettiin. Ränneillä ajettu 16kk. Vuodon syy oli ulkopuolinen syöpymä mustassa materiaalissa, kuvat alla.

26.02 todettiin taas rännin vuotavan. 6 ränni vuoti ponnistuksessa. Vaihrettiin samalla kaikki loput 5 ränniä. Ajo-olosuhteissa tai rännimallissa ei muutoksia aikaisempaan. Sularännien jäähdytysveden lämpötila 52 C.



Toukokuussa liuottajan pinta laskettu 75% -> 60%, tarkoituksena varmistaa että pisaroita ei pääse imeytymään sularänneihin. Lisäksi puhdistettu hönkäputki.

Seisokissa havaittiin syöpymistä 3kk ajetuissa ränneissä, katso kuva alla -> vaihdettu sularännit joissa kokonaan pinnoitetut suuaukot.



Kestoisuustyöryhmän lausunto:

Mahdollisia syitä sularännin ulkopuolisen syöpymiseen:

1. Liuottajan höngän kondensoituminen joka voi aiheutua esim. korkeasta liuottimen pinnasta, liuottajan höngän poistokyvystä (hönkäputki tukossa), sularännin pinnan matalasta lämpötilasta tai tulipesästä lauhtuvasta höyrystä.
2. Materiaalin lämpötila noussut suunniteltua korkeammaksi esim. sisäpuolisen kerrostuman tai puutteellisen jäähdytyksen takia

6.3 Esimerkkikuvia vaurioista



Kuva 6-2. Vuoden kattilassa ollut pinnoittamaton ränni



Kuva 6-3. 1 ½ vuotta kattilassa ollut pinnoitettu ränni



Kuva 6-4. Esimerkki pintatarkastuksessa havaituista vioista.

LIITE 3

**KTR: LUT, Selvitys sularännien toiminnasta vaihtelevalla kuormalla –
esitys 28.9.2017**



Sularännien toimintaolosuhteet: lämpörasitukset, sulavirtaukset ja dynamiikka

Eetu Rantanen

28.9.2017

Kysymys



- Toiminta-aikaa pitäisi pystyä pidentämään
- Sularännejä hajoaa
- Tarkastus vaikeaa

”Voisiko yksi hajoamisen syy olla lämpötilan vaihtelut?”

Sisällys

- Datan keruu esimerkkitehtailta
- Sulakourun energiatase ja laskenta
- Tehdyt mittaukset
- Tehdasvertailu



Datan keruu



- Dataa käytössä seuraavilta tehtailta
 - Sunila
 - Joutseno
 - Äänekoski
 - Enocell
 - Pietarsaari
 - Kaukas
 - Kymi, vaihtelevalla mittausvälillä
 - Kotkamills, ei rännin sisäänmenolämpötilaa
 - Oulu, 1 vrk



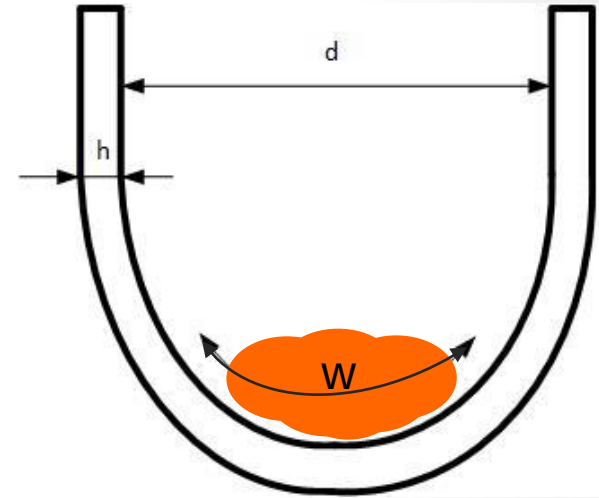
Sulamäärän arviointi/laskenta

- Polttoliipeästä
 - Keskimääräinen pidemmän aikavälin luku
- Liuotinsäiliötaseesta
 - Kokonaissulavirta, höngän määrä tiedettävä
- Erikoismittauksilla
 - Videointi (nopeus, poikkipinta-ala)

Sulakourun energiatase



- Sula
 - Johtuminen sulasta tuhkaosiin
- Sulasta kouruun
 - Konvektio, ripaefekti
 - Säteily
- Kourumetalli
 - Johtuminen, lämmönjohtavuus
- Kourusta veteen
 - Konvektio
- Lisäksi tulipesän säteily



Sulakourun lämpötilaprofiili



- Tyhjä vs. keskiarvo, sulasyöksy?
- Keskimääräinen vs. maksimi?
- Lisäpohdintaa vaaditaan



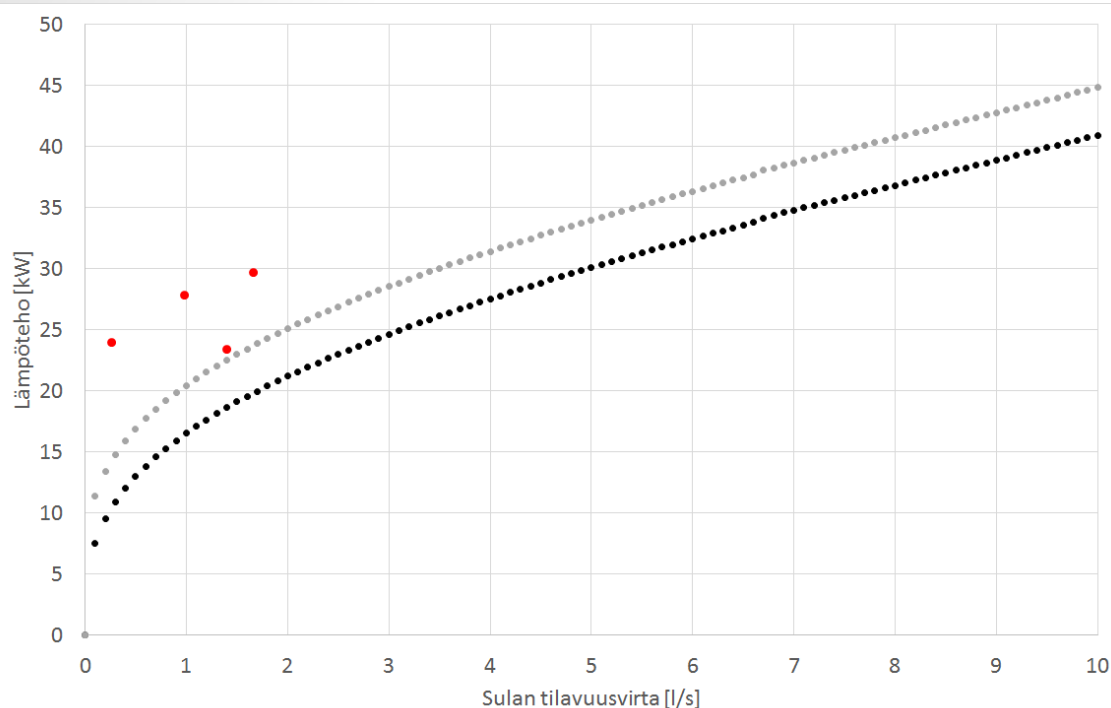
Lämpövuon suuruuden arviointi

- Lämpövuoto laskettavissa keskimäärin mitatusta lämpötiladatasta ja arvioidusta alasta
- Konvektiokerroin vesipuolelle noin $4400 \text{ W/m}^2\text{K}$, musta rauta 41 W/mK
- Teräksen lämpötila vesipuolella luokkaa 100°C , sulan puolella $30\text{--}40^\circ\text{C}$ korkeampi

		Lämpövuoto [kW/m²]					
		Kattila A		Kattila B			
Sulakouru		1	3	1	2	3	4
Kontaktileveys [m]	0,10	215	254	17	260	234	21
	0,15	143	169	11	174	156	14
	0,20	107	127	8	130	117	11

Tulipesässä $100\text{--}200 \text{ kW/m}^2$

Lämpöteho sulavirran funktiona



Rännin pituus	1	m
Rännin leveys	0,13	m
Rännin korkeus	0,14	m
Lämpövuo	200	kW/m ²
Sulan virtausnopeus	1,5	m/s

Tässä ripaefektiä
ei ole huomioitu

Sulakourun energiatase, muutostilanteet



- Sulasyöksy/rassaus aiheuttaa muutoksen
 - Sulamäärä kasvaa, nestemäistä sulaa jäähtyy ja jähmettyy rännin reunaan, lämpö pääasiassa jäähdytysveteen -> 1 kg jähmettyvää ja jäähtyvää sulaa nostaa lämpötehoa tietyn minuutin ajalta karkeasti 20 kW
 - Esimerkkirännillä (SK11) kyseinen tilanne kun sulavirta muuttuu 1 l/s -> 3 l/s, 4 mm jähmettyvä kerros
 - Riittääkö minuutin tarkkuus näissä tilanteissa?
 - Hetkellinen lämpövuoto?

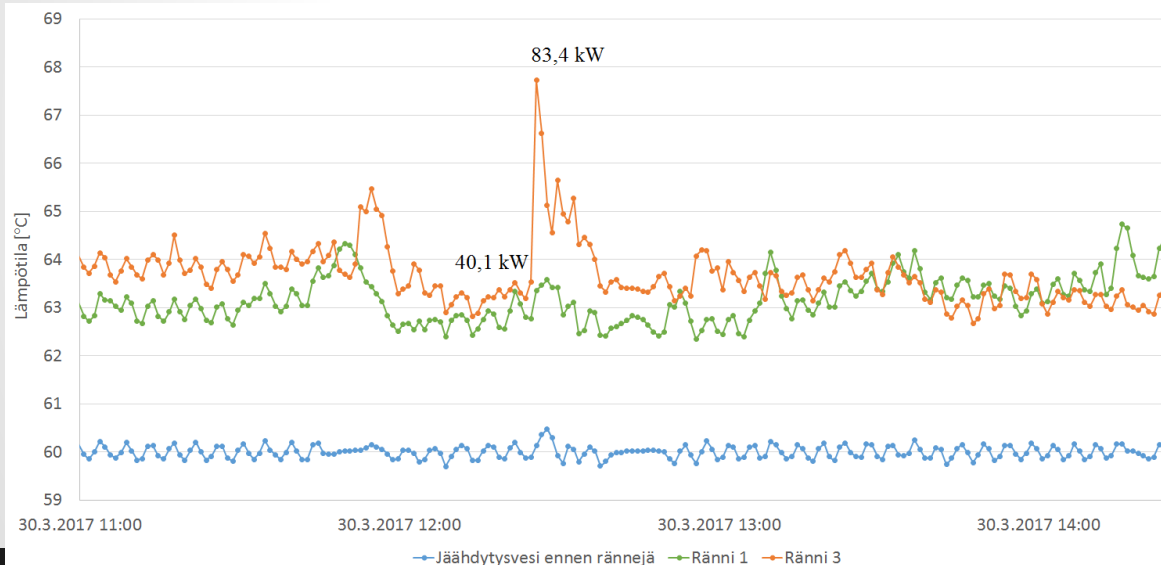


Mittausdatan analysointi

Lämpötehon määrittäminen



- $q = q_m \cdot c_p \cdot (T_{\text{ulos}} - T_{\text{sisään}})$
 - Jokaiselle ajanhetkelle rännikohtaisesti





Tehdasvertailu - lämpörasitukset

Lämpötehon muutos yli 30 kW/min

		Ränni 1	Ränni 2	Ränni 3	Ränni 4	Ränni 5	Ränni 6	Ränni 7
Joutseno	Mill B	32	30	27	44	35	19	
Äänekoski	Mill A	0	0	0	0	0		
Enocell	Mill E	1	1	3	7	4	1	
Sunila SK10	Mill H1	18		14				
Sunila SK11	Mill H2	7	11	7	1			
Kaukas	Mill K	0	0	0	3	0	0	
Kymi SK3	Mill L							
Pietarsaari	Mill M	0	0	0	0	0	0	0
Sunila SK11 2016		26	40	7	5			

Muokattu data

Sunila SK10	Mill H1	13		9				
Sunila SK11	Mill H2	0	3	4	0			



Tehdasvertailu - tukkeutumiset

		Tukkeutumiskerrat [kpl]						
		(Ränniveteen siirtynyt teho alle 5 kW)						
		Ränni 1	Ränni 2	Ränni 3	Ränni 4	Ränni 5	Ränni 6	Ränni 7
Joutseno	Mill B	0	0	0	0	0	0	
Äänekoski	Mill A	0	0	0	0	0		
Enocell	Mill E	78	28	20	159	130	107	
Sunila SK10	Mill H1	69		8				
Sunila SK11	Mill H2	251	57	48	211			
Kaukas	Mill K	0	0	0	0	0	0	
Kymi SK3	Mill L							
Pietarsaari	Mill M	0	3	0	0	0	0	0
Sunila SK11 2016		131	90	84	120			



Viimeaikaiset mittaukset

Sulan videokuvaus

Mittausjakso 30 min lukuun ottamatta
SK11 ränniä 3, jolla jakso oli 13 min

		SK10		SK11	
		1	3	2	3
Lämpötilan nousu	°C	3,9	3,2	2,6	2,1
Lämpöteho	kW	41,8	35,1	29,7	24,0
Sulan leveys	cm	7,7	8,5	9	5,1
Kosketuspinnan leveys	cm	8,2	9,3	9,9	5,2

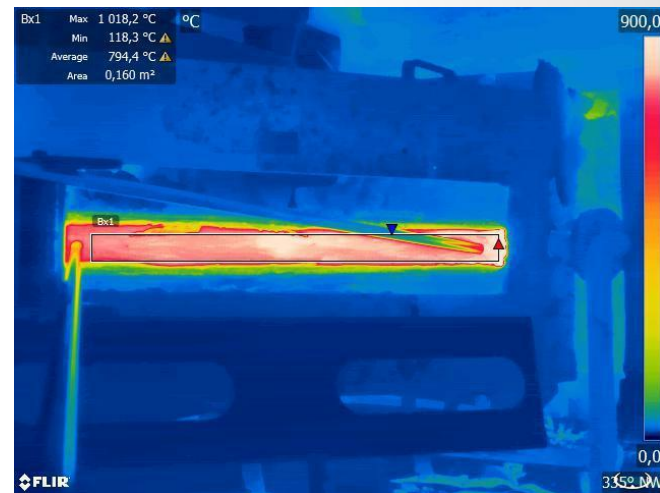
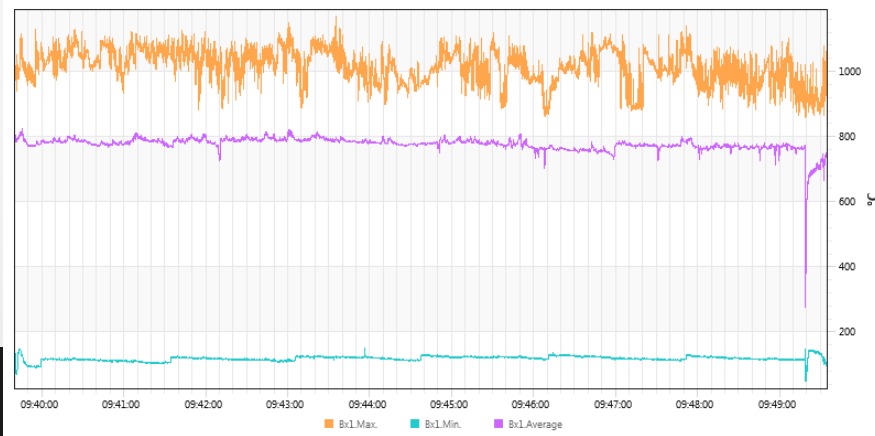
Sulan nopeus luokkaa 1,5 m/s,
epävarmuus merkittävä



Sulan lämpötilan mittaus ja lämpökamerakuvaus



- 19.9. mittauspäivä, kaksi termoelementtiä ja kaksi lämpökameraa
- Mittausjakso 10 min/ränni
 - Lämpökameralla kuvattiin videota
 - Termoelementit rännin ylä- ja alapäässä
- Lämpötilaprofiili, sulan nopeus ja emissiviteetti



Pohdintaa



- Lämpökamera- ja termoelementtikuvaukset toisella kattilalla?
- Lämpötehojen muutosten erittely (kasvava/vähenevä)?
- Kuukausi ajojaksona?
- Rännien kunnon dokumentointi vaihdon yhteydessä?

LIITE 4

**KTR: Varo Oy: Soodakattiloiden käynninaikaiset
tiivetydenvalvontamenetelmät – alustava raportti 19.9.2017**

Soodakattiloiden käynninaikaiset tiiveydenvalvontamenetelmät

Sisällys

1 Johdanto	2
2 Vuodot ja tulipesäräjähdykset soodakattiloissa.....	4
3 Pienet ja suuret vuodot.....	11
4 Pienten vuotojen valvonta	21
4.1 Massataseen seurantaan perustuvat järjestelmät.....	21
4.2 Kattilan höyrystinosan tiiveyden valvonta kattilaveden laadun seurannan avulla	24
4.3 Akustisen emission seurantaan perustuvat järjestelmät.....	32
5 Suurten vuotojen valvonta.....	39
6 Yhteenveto ja johtopäätökset.....	45
Lähteet	47

1 Johdanto

Tein vuonna 1999 Soodakattilayhdistykselle selvityksen otsikolla "Kaasuräjähdykset soodakattiloissa vesivuotojen aikana". Pontimena selvityksen tekoon oli tekemäni havainto, että BLRBAC:n raporteissa säännönmukaisesti räjähdyskset luokiteltiin sulavesiräjähdyksiksi, jos räjähdys tapahtui kattilavuodon aikana. Osassa tapauksia vaurioiden sijainti ja paikallaolleiden havainnot viittasivat pikemminkin siihen, että räjähdyskseen aiheuttajana oli voimakas kaasupalo.

Näin oli mm. Ruotsissa Vallvikin tehtaalla 1998 tapahtuneessa räjähdyskssä, jossa räjähdystä edelsi tulipesän seinäputken repeäminen. Kattilasuojan laukeamisen jälkeen operaattorit olettivat, että syynä häiriöön oli liian alhainen kuiva-ainepitoisuus, ja yksi operaattoreista meni kattilahuoneeseen ottamaan ruiskuja pois tulipesästä. Vauriosta laaditun raportin mukaan tapahtumat etenivät tämän jälkeen seuraavasti:

"Yksi operaattoreista oli alkanut ottaa pois lipeäruiskua länsipuolen seinällä, kun ensimmäinen räjähdys (kaasuräjähdyks) tapahtui. Räjähdys suihkautti lipeää visiiriin, siinä kaikki. Operaattori kääntyi ja alkoi mennä portaita alas vanhaan valvomoon, ja suuri räjähdys tapahtui heti sen jälkeen. Räjähdys heitti hänet alas portaita, kattilahuoneessa tuli erittäin kuuma ja haisi palaneelle."

Operaattorin tekemät havainnot viittaavat siihen, että kattilasuojan laukeamisen jälkeen tulipesään kertyi palavia kaasuja, joiden äkillinen palo sekoitti tulipesän pohjalla olleen sulan ja veden saaden aikaan voimakkaan sulavesiräjähdyksen.

Vuonna 1999 tehty selvitys osoittautui enteelliseksi, sillä vuonna 2001 Kotkassa tapahtui tulipesäräjähdyks, joka vaurioiden sijainnin perusteella oli mitä todennäköisimmin kaasuräjähdyks. Räjähdystä edelsi tulipesän seinäputken repeäminen kattilan ajaessa normaalia kuormaa ja kattilasuojan laukeaminen tulipesän ylipaineesta. Noin 20 min tämän jälkeen kuului "isompi tössäys", joka aukaisi heikon nurkan ja taivutti tulipesän seinät pulleiksi. Räjähdys ei vaurioittanut lainkaan kattilan pohjaa, mikäli olisi hyvin poikkeuksellista sulavesiräjähdykselle.

Vuonna 1999 laatimani selvityksen loppuun olen kirjannut suosituksenomaisesti, että

"Kokemukset tapahtuneista tulipesäräjähdyksistä osoittavat, että käyttöturvallisuuden varmistamiseen vesivuototilanteissa ei ole kaikilta osin kiinnitetty riittävää huomiota. Vastaavien läheltä piti-tilanteiden välttäminen jatkossa edellyttää, että operaattoreiden valmiuksia tunnistaa ja paikantaa kattilavuotoja kehitetään niin, että vuodot tulevat selvästi tunnistettua nykyistä aikaisemmin ja tarvittavista toimenpiteistä voidaan päättää ilman, että esim. vuodon paikkaa tarvitsee varmentaa kattilahuoneesta käsin. Mahdollisia keinoja ovat

- massa-, energia- tai kemikaalitaseiden, vuodon aiheuttaman äänen tai tuhkan kosteuden seurantaan perustuvien vuodonvalvontamenetelmien käyttöönotto
- syöttövesi- ja höyryvirtauksen erosta, höyryvirtauksen laskusta ja/tai kattilan paineen laskusta tulevien hälytysten käyttöönotto
- kattilakohtaisten häiriö- ja suojaohjeiden laadinta."

Soodakattilayhdistys tilasi minulta vuonna 2001 selvityksen tuolloin käytössä olleista kattilavuotojen valvontamenetelmistä (Kattilavuotojen valvonta ja ohjeistus, raportti 2/2001). Tuolloin Suomessa käytettyjä menetelmiä olivat syöttövesi-höyryeron seuranta ja akustisen emission seuranta. Syöttövesi-höyryerosta käytössä oli hälytys ainoastaan kahdeksassa kattilassa (22:sta). Akustisen emission seuranta oli käytössä yhdeksässä kattilassa. Ulkomailla oli käytössä myös kemikaalitaseen seurantaan perustuvia menetelmiä.

Vuonna 2001 tapahtuneen tulipesäräjähdyksen jälkeen päätettiin Kotkaan hankkia Suomen ensimmäinen erityisesti vuotojen valvontaan suunniteltu järjestelmä. Järjestelmän toimittajana oli allekirjoittanut ja se toimitettiin 2002. Kattilavahdiksi ristitty järjestelmä koostui erillisestä tietokoneesta, joka sai syöttövesi-höyryeron ja kattilaveden fosfaattitaseen seurantaan tarvittavien suureiden tiedot kattilan automaatiojärjestelmästä, ja valvomossa olleesta erillisestä näytöstä, jossa oli operaattoreiden nähtävissä syöttövesi-höyryeron ja kattilavesivuodon trendit ja hälytykset.

Kotkan Kattilavahdin käyttöönottoa seuranneina vuosina on useimmilla tehtailla tehostettu soodakattiloiden tiiveydenvalvontaa parantamalla syöttövesi-höyryeron ja kattilaveden laadun valvontaa. Osalla tehtaista on otettu käyttöön myös kattilaveden fosfaatti- tai silikaattitaseen perusteella toteutettu kattilavesivuodon valvonta.

Tehdyistä parannuksista huolimatta vaarallisia vuotoja, joita ei havaita niin aikaisessa vaiheessa kuin olisi mahdollista, esiintyy yhä. Viimeisin tällainen vuoto oli vuonna 2015 Heinolassa, kun vettä pääsi tulipesään tulipesän seinäputken vaurion seurauksena. Vuoto havaittiin vasta alasajon jälkeen, kun sularänneistä valui vettä. Tilanteesta selvittiin onnekkaisesti ilman räjähdystä.

Kattavan kuvan saamiseksi suomalaisten soodakattiloiden tiiveydenvalvonnan nykytilanteesta päätti Soodakattilayhdistys teettää aiheesta kyselyn. Samalla yhdistys päätti selvittää mitkä ovat tällä hetkellä parhaat käytössä olevat menetelmät Suomen ulkopuolella käytössä olevissa soodakattiloissa. Tähän raporttiin on dokumentoitu em. selvitysten tulokset.

Kiitän Soodakattilayhdistyksen yhdyshenkilöitä sekä Kari Auraa Andritz Oy:stä selvitystä tehdessäni saamastani avusta.

Helsingissä 19.9.2017

Timo Karjunen

2 Vuodot ja tulipesäräjähdykset soodakattiloissa

Mikäli kuuma suolasula ja vesi pääsevät kosketuksiin, voi tapahtua nk. sulavesiräjähdyks, jossa vesi höyrystyy nopeasti saaden aikaan voimakkaan paineaallon. Tulipesään tai savukaasukanavaan purkautuva vesi voi myös höyrystyessään estää palavien kaasujen poistumisen tulipesästä. Vuodon seurauksena voi tulipesässä tai savukaasukanavassa tapahtua siten myös kaasuräjähdyks tai voimakas palo.

Voimakkain Suomessa tapahtunut soodakattilaräjähdyks tapahtui Äänekoskella 1965. Räjähdyks tapahtui noin 15 min kattilan verhoputken repeämisen jälkeen. Räjähdyksessä kuolivat ylikonemestari Reino Rönneberg, lämmittäjät Erkki Kolu ja Edward Hyvärinen sekä pillimies Viljo Nieminen, jotka kaikki olivat räjähdyksen sattuessa kattilahuoneessa.

Äänekosken soodakattilaräjähdyksen jälkeen on soodakattiloiden turvallisuutta pyritty parantamaan mm. ottamalla käyttöön kestävämpiä materiaaleja ja tehostamalla kattiloiden kunnonvalvontaa. Pyrkimyksenä on ollut ensi sijassa estää veden pääsy tulipesään ehkäisemällä kattilavuodot, sillä yrityksistä huolimatta mitään varmaa keinoa estää räjähdykset tilanteessa, jossa vesi vuotaa tulipesään, ei ole keksitty. Kattilavuotojen taajuutta onkin saatu laskettua, mutta vuotoja – eikä myöskään tulipesäräjähdyksiä – ole pystytty täysin ehkäisemään.

Viimeisimmät vakavat muistutukset soodakattiloiden käyttöön liittyvistä riskeistä saatiin 21.1.2014 Stora Enso Skoghallin tehtaalla Ruotsissa, 23.3.2014 Zellstoff Pölsin tehtaalla Itävallassa ja 26.7.2016 Natron Hayatin Maglajin tehtaalla Bosnia-Hertsegovinassa.

Skoghallin tehtaan soodakattilassa, jonka kapasiteetti on 2200 tKA/vrk, tapahtui voimakas räjähdyks, kun kattilaa ajettiin noin 1500 tKA/vrk lipeäkuormassa. Räjähdyks tapahtui kaksi tuntia liuottajan hönkäjärjestelmän pesun aloituksen jälkeen. Räjähdyksen seurauksena heikennetty nurkka aukesi enimmillään noin 70 mm. Seinien taipumat olivat enimmillään 96 mm. Räjähdyksen seurauksena kattilahuoneeseen purkautui palavia kaasuja niin voimallisesti, että myös osa kattilahuoneen ulkoseinää irtosi niin että osa kaasuista purkautui suoraan ulos (kuva 1). Onneksi räjähdyksen sattuessa ketään ei ollut kattilahuoneessa, joten henkilövahingoilta vältyttiin. Vaurioiden korjaus aiheutti 18 vuorokauden pituisen katkoksen tehtaan tuotannossa. Räjähdyksen syyksi todettiin myöhemmin liuottajan hönkäjärjestelmän tyhjennyslinjojen osittainen tukkeutuminen, jonka seurauksena pesuveden pinta järjestelmässä nousi niin ylös, että vettä kulkeutui tertiääri-ilmakanavan kautta tulipesään.



Kuva 1. Stora Enson Skoghallin tehtaan soodakattila räjähdysen jälkeen

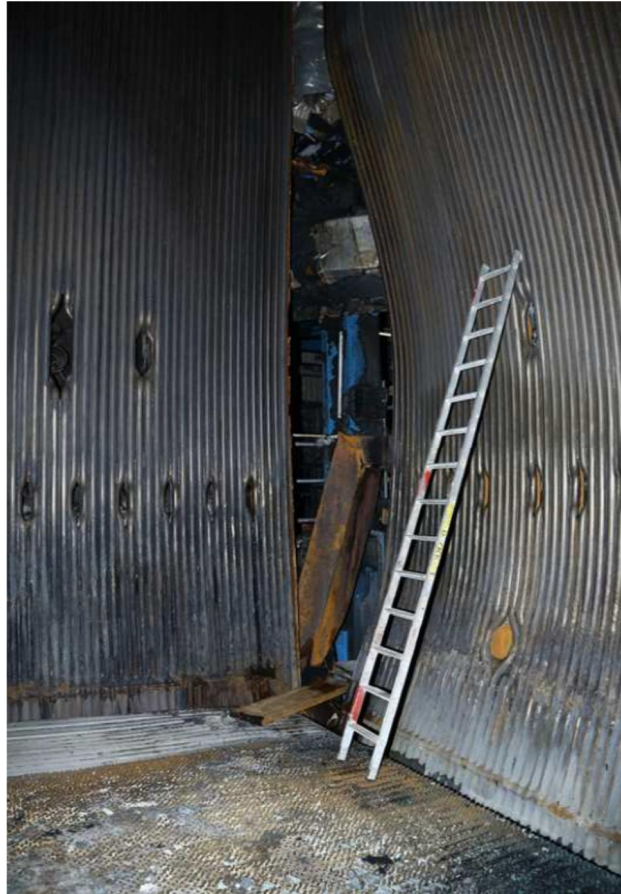
Zellstoff Pölsin tehtaalla käytössä olleessa soodakattilassa, jonka kapasiteetti oli 2200 tKA/vrk, repesi takaseinän seinäputki tertiääritason yläpuolelta (kuva 2).



Kuva 2. Zellstoff Pölsin tehtaan soodakattilan seinäputken repeämä

Putken repeämän seurauksena vettä pääsi suoraan tulipesään saaden aikaan voimakkaan räjähdysen. Räjähdysen aikana kattilahuoneessa oli kaksi työntekijää, jotka onneksi selvisivät räjähdyksestä vähäisin vammoin. Kattila kärsi pahoja vaurioita. Tulipesän kaikki kulmat aukesivat useiden metrien matkalta, seinät taipuivat voimakkaasti varsinkin tulipesän alaosassa (kuva 3).

Vauriot todettiin niin vakaviksi, että kattila päätettiin rakentaa kokonaan uudelleen. Uusi kattila otettiin käyttöön joulukuussa 2015, joten uudelleenrakennus aiheutti 21 kk pituisen osittaisen käyttökatkon tehtaan toiminnassa. Tänä aikana tehdasta ajettiin käyttäen varalla ollutta pienempikapasiteettista soodakattilaa, jota käyttäen tehtaan tuotanto pystyttiin pitämään hieman alle puolessa aiemmasta selluntuotantokapasiteetista (400 000 t/a).



Kuva 3. Zellstoff Pölsin soodakattila räjähdysen jälkeen

Natron-Hayatin Maglajin tehtaan soodakattilassa, jonka kapasiteetti oli 600 tKA/vrk, repesi seinäputki lähellä primääri-ilma-aukkoja saaden aikaan kattilasuojan laukeamisen. Pian tämän jälkeen tulipesässä tapahtui räjähdys, jonka seurauksena tulipesän kaksi kulmaa aukesivat. Räjähdyksessä kuoli lämmittäjä, joka räjähdys hetkellä oli katsomassa tulipesään tarkastusluukusta. Muut kattilahuoneessa olleet selvisivät palovammoilla ja ruhjeilla. Kattila vaurioitui räjähdyksessä niin, että kaikki seinät ja tulistimet vaihdettiin. Korjaustyöt aiheuttivat noin 5,5 kuukauden pituisen katkoksen tehtaan toiminnassa.

Yhteistä kaikille neljälle edellä kuvatulle tapaukselle on, että jokaisessa niissä vettä virtasi tulipesään huomattavan paljon.

Äänekoskella todettiin jälkeinpäin, että tulipesän oikeassa seinässä oli noin metrin levyinen kaista, jonka verhoputkesta purkautunut vesi oli pessyt puhtaaksi. Vettä on siten valunut pohjalle samaan tapaan kuin Skoghallissa, jossa vesi valui tertiääri-ilma-aukoista seinää pitkin.

Pölsin ja Maglajin räjähdyksissä vuodon koko on arvioitavissa karkeasti seinäputkiin tulleen aukon alan perusteella. Kuvasta 3 arvioiden Pölsissä repeämän ala oli noin $2,5 \text{ cm}^2$, ja Maglajissa repeämän kooksi arvioitiin $4,5 \text{ cm}^2$. Kokemukset muissa kattiloissa tapahtuneista vuodoista osoittavat, että tällaisissa tapauksissa vuoto tulipesään on huomattavasti yli 10 kg/s.

Nämä kokemukset viittaavat siihen, että voimakas tulipesäräjähdys edellyttää, että tulipesään vuotaa vettä vuolaasti, vähintään useita kiloja sekunnissa, joko putken repeämän tai muuta kautta.

Tätä olettamusta tukevat myös aiemmat kokemukset Pohjoismaissa tapahtuneista voimakkaista soodakattilaräjähdyksistä. Tällaisia räjähdyksiä on tapahtunut Vallvikissa Ruotsissa 1998 seinäputken repeytyessä puolen metrin matkalta, Stora Enson Oulun tehtaalla 1981 verhoputken

katkeamisen takia ja Stora 2, Enso Kotkan tehtaalla 2001 seinäputken repeytyessä samaan tapaan kuin Pölsissä.

Vallvikissa räjähdysten seurauksena kattila kärsi vakavia vaurioita, joiden korjaaminen aiheutti 4 kk pituisen seisokin. Myös Oulussa vauriot olivat huomattavat, etunurkat aukesivat 20 cm, sivuseinät ja sidepalkit taipuivat max 25 cm ja kattilan pohjaputket taipuivat yhdeltä nurkalta alaspäin 20 cm. Räjähdyks tapahtui 14 min putken katkeamisen jälkeen.

Eniten kokemuksia tulipesäräjähdyksistä on Pohjois-Amerikassa, ja niistä yhteenvedon esitti Tom Grace Soodakattilayhdistyksen 30-vuotisseminaarissa 1994. Esitys kattoi jaksolla 1970 – 1993 tapahtuneet räjähdykset. Esityksessä mm. listattiin räjähdysten aiheuttaneiden vuotojen koot, sijainnit ja niistä seuranneet vahingot, ks. taulukko 1.

Taulukko 1. Pohjois-Amerikassa 1970 – 1993 tapahtuneiden soodakattilaräjähdyksien, joiden syynä oli vuoto painerungossa, aiheuttaneiden vuotojen koot, sijainnit ja vahinkojen voimakkuus

Vuodon koko	Vuodon sijainti	Räjähdyksen voimakkuus		
		Suuri	Kohtalainen	Vähäinen
Suuri	Tulipesän pohja	1	2	0
	Tulipesän seinät	3	5	0
	Tulipesän katto	1	0	0
	Verhoputket	4	2	2
	Keittopinta	0	1	1
	Tulistin	1	0	0
	Yhteensä	10	10	3
Pieni	Tulipesän pohja	1	0	1
	Tulipesän seinät	0	0	4
	Tulipesän katto	0	0	0
	Verhoputket	0	0	0
	Keittopinta	0	0	0
	Tulistin	0	0	0
	Yhteensä	1	0	5

Suurten vuotojen aiheuttamia räjähdyksiä oli 23 ja pienten 6. Pienten vuotojen koot olivat seuraavat:

- pohjaputkivuodot: puolen tuuman särö ja pistemäinen reikä halkaisijaltaan alle 1 mm
- seinäputkivuodot: neulanpäävuoto, puolen tuuman särö, halkaisijaltaan 3 mm reikä ja 3 x 5 mm suuruinen reikä

Ainoa huomattavia vaurioita aiheuttanut pieni vuoto oli pohjaputken puolen tuuman särö. Poikkeuksellista ko. tapauksessa oli, että räjähdys tapahtui 3 h 15 min pikapysäytyksen jälkeen. Pohjalle on todennäköisesti kertynyt vuodon seurauksena vettä pikapysäytyksen jälkeen ja ”alkupanoksena” räjähdykselle on todennäköisesti ollut tulistimista pudonnut kami. Ko. tapauksessa ei kokonaan voida sulkea pois myöskään kaasuräjähdyksen mahdollisuutta.

Suurista vuodoista lähes kaikki olivat puolestaan putken katkoja tai repeämiä, joissa vuotovirtaus on ollut hyvin suuri, selvästi yli 10 kg/s. Tapauksia, joissa vuodon koko on saattanut rajoittaa veden virtaamista tulipesään, olivat ainoastaan seuraavat:

- verhoputkivuoto, ei vaurioita, vuodon koko 5 mm x 25 mm, aikaa kului hetkestä, kun vuoto tunnistettiin, pikapysäytyksen tekoon 25 min
- verhoputkivuoto, suuret vauriot, vuodon koko 10 mm x 37 mm, aikaa kului hetkestä, kun vuoto tunnistettiin, pikapysäytyksen tekoon 3 min

- pohjaputkivuoto, suuret vauriot, vuodon koko 6 mm x 25 mm, vuodon alusta ei tietoa (vuotoa ei tunnistettu eikä pikapysäytystä tehty ennen räjähdystä)

Vuotovirtaus em. tapauksissa on ollut arviolta 8 - 25 kg/s.

Suomessa on tapahtunut 2000-luvulla neljä kattilavuotoa, jotka aiheutuivat (suoraan tai välillisesti) tulipesäräjähdysten:

- seinäputken repeämä Stora Enso Laminating Paper Oy:n tehtaalla Kotkassa 2001
- tulistinputken katko Metsä Fibren Kemin tehtaalla 2008
- verhoputken vuoto Metsä Fibren tehtaalla Raumalla 2011
- kattoputken repeämä Stora Enson Veitsiluodon tehtaalla 2014

Huomattavia vahinkoja aiheutui ainoastaan Kotkan räjähdyksestä (seisokkiaika 302 h). Kemissä, Raumalla ja Veitsiluodossa vauriot rajoittuivat pääosin heikon nurkan avautumiseen max 100 mm ja seinien lievään taipumaan (seisokkiajat 117 h, 85 h ja 82 h).

Kemin tapaus oli poikkeuksellinen, koska räjähdys tapahtui tulistimien vesipesun aikaan noin 18 tuntia pikapysäytyksen jälkeen ja noin tunti tulistimien vesipesun aloituksen jälkeen. Muut tapaukset sitä vastoin vaikuttavat tyypillisiltä: yhteistä kaikille kolmelle vuodolle on, että vuodot olivat huomattavan suuria, luokkaa 20 kg/s tai enemmän.

Edellä esitetyt havainnot tukevat sitä luonnolliselta tuntuva oletusta, että vuodon koko ja sijainti vaikuttavat huomattavasti sekä todennäköisyyteen, että vuodosta seuraa räjähdys, että todennäköisyyteen, että räjähdys on tarpeeksi voimakas aiheuttaakseen huomattavia vahinkoja.

Vaarallisimpia ovat suuret vuodot tulipesän seinä-, verho- tai kattoputkissa sekä sellaiset suuret vuodot keittopinnassa, joissa vesi suihkuu tulipesään. Lähes kaikki vakavia vahinkoja aiheuttaneet tulipesäräjähdykset olivat tällaisten vuotojen aiheuttamia.

Vaarallisista vuodoista ei aina seuraa tulipesäräjähdystä: suomalaisillakin tehtailla on kokemusta esim. suurista seinäputkivuodoista, joista on selvitty ilman vahinkoja.

Suomessa on 2000-luvulla tapahtunut ainakin yhdeksän vuotoa, joissa vettä pääsi tulipesään (taulukko 2). Neljässä tapauksessa kattilan käyttö pysäytettiin pian vuodon alun jälkeen joko operaattorin toimesta tai kattilasuojan laukeamisen takia. Pikatyhjennys tehtiin ainoastaan yhdessä tapauksessa.

Taulukko 2. Vaaralliset vuodot suomalaisissa soodakattiloissa 2000 - 2016

	Tehdas	Vuodon paikka	Pikapysäytys/kattilasuoja	Pikatyhjennys
2000	MF Kaskinen	Verho	Ei kumpaakaan	Ei
2001	Kotkamills	Seinä	Molemmat	Ei
2006	UPM Kaukas	Verho	Pikapysäytys	Kyllä
2007	UPM Tervasaari	Seinä	Ei kumpaakaan	Ei
2011	Stora Enso Imatra	Seinä	Molemmat	Ei
2011	MF Rauma	Verho	Ei kumpaakaan	Ei
2012	MF Rauma	Verho	Ei kumpaakaan	Ei
2014	Stora Enso Veitsiluoto	Katto	Pikapysäytys	Ei
2015	Stora Enso Heinola	Seinä	Ei kumpaakaan	Ei

Ko. jaksolla käyttövuosia kertyi noin 300, joten keskimäärin vaarallisia vuotoja näyttäisi tapahtuvan noin kerran 30 vuodessa.

Tulipesäräjähdys sattui Kotkassa, Raumalla ja Veitsiluodossa, joten räjähdyksiä tapahtui yhdessä tapauksessa kolmesta. Saman suuruiseen arvioon (30 %) räjähdys todennäköisyydestä tilanteessa, jossa vettä pääsee tulipesään, päättyi myös Grace vuonna 1994 BLRBAC:n vaurio- ja räjähdystilastojen perusteella.

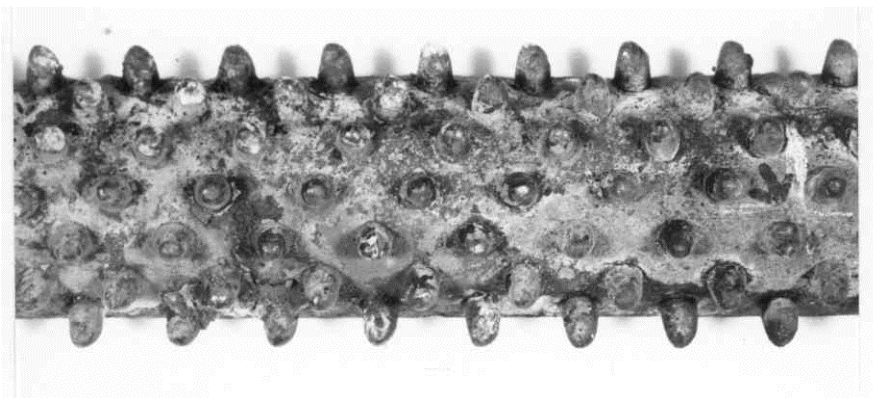
Pienet vuodot näyttäisivät aiheuttavan tulipesäräjähdyksiä sitä vastoin hyvin harvoin. Esim. Suomessa ei ole tapahtunut yhtään pienen vuodon aiheuttamaa tulipesäräjähdystä ainakaan viimeiseen 30 vuoteen.

Osaltaan tähän on myötävaikuttanut se, että Suomessa kattiloita on onnistuttu käyttämään niin, että pohjaputkivuotoja on ollut hyvin harvoin. Soodakattilayhdistyksen vauriotietokannasta löytyi jaksolta 1986 - 2016 ainoastaan kolme raporttia pohjaputkivuodoista, Oulun B&W:n soodakattilasta vuodelta 1986, Sunilan T-9-kattilasta vuodelta 1987 ja Kaskisten soodakattilasta vuodelta 1997. Kaskisten vuoto havaittiin vesipainekokeen aikana. Oulun ja Sunilan pohjaputkivuodot tapahtuivat käynnin aikana, joten molemmissa tapauksissa kyse oli vaaratilanteesta.

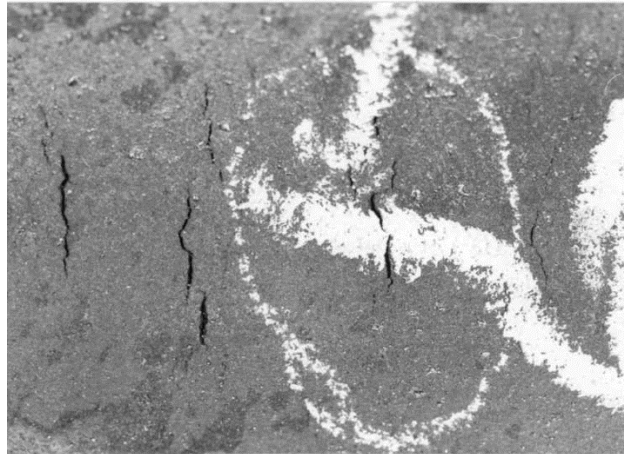
Oulun soodakattilan K-11681 vuodosta laaditussa raportissa on tilanteen kulku kuvattu seuraavasti:

"Kattilalta oli lipeänpoltto keskeytyksissä yövuoron alkupuolella 14.12.1986 tulistimien tukkeutumien poistamiseksi. Noin klo 3.50 kuului tulipesästä 2 – 3 jysähdystä ja pesä kävi hetkellisesti ylipaineen puolella. Ajoittain voitiin nähdä tarkastusluukun kohdalla sulan roiskuvan 20 - 30 cm korkealle. Ko. hetkellä oli päällä lipeänpolton lisäksi myös kaksi öljypoltinta. Vuorossa oleva käyttöhenkilökunta lopetti lipeän polton ja ilmoitti asiasta käytönvalvojalle. Äänihavaintojen jälkeen oli kattilalla kaikki olosuhteet normaalit, eikä tarkastuksen perusteella voitu mitään vuotoa siinä paikallistaa. Kattila päätettiin kuitenkin ajaa alas normaalisti perusteellista tarkastusta varten. Kattilan paine laskettiin nopeasti 60 bar => 32 bar, ja kun sulan muodostus oli enää vähäistä ja keko oli poltettu lähes pois, niin havaittiin kattilan pohjalta oikean sivuseinän läheltä tulevan pienen höyrystiikun. Tämän jälkeen lopetettiin öljyn poltto ja siirryttiin hoitamaan paineenlaskua yms. kauko-ohjauspaikalta. Tulipesää jäähdytettiin primääri-ilmalla. Tulistimien ja tulipesän vesipesuun päästiin samana päivänä noin klo 15.30. Noin klo 22 lopetettiin nuohoimilla pesu, jolloin nähtiin hyvin pieni, noin puolen metrin korkeuteen nouseva (staattinen paine) vesisuihku kattilan pohjaputkesta."

Vuodon syyksi paljastui pieni särö pohjaputkessa, ks. kuvat 4 ja 5.



Kuva 4. Oulun soodakattilan K-11681 pohjaputki vuonna 1986 (vuoto nuolen kohdalla)



Kuva 5. Oulun soodakattilan K-11681 pohjaputken sisäpinta vuonna 1986 (putken läpi edennyt särö kuvassa ympyröitynä)

Sunilan T-9-kattilan vuodosta laaditun raportin mukaan

"12.1.1997 klo 12.20 vuoromestari soitti, että tulisin katsomaan T-9-kattilan takaseinän primääri-ilma-aukkoja kun keskellä seinää on kummallinen kova möykky, joka ei sula. Kattilassa sillä hetkellä ollut yksi lipeäsuutin otettiin ulos ja avattiin vasemmalla sivuseinällä sekundäärikerroksessa oleva kulkuluukku. Heti näkyi selvästi, että keskellä tulipesää takaseinästä eteenpäin m. 0,5 m oli "tulivuoren" muotoinen n. 1000 - 1200 mm korkea jähmeästä sulasta ja lipeästä muodostunut katkaistu kartio, jonka aukon halkaisija oli noin 400 – 500 mm. Tämä muodostelma oli täynnä vettä, joka kiehui ja aaltoili erittäin voimakkaasti ja roiskui ympärilleen.

Toteamuksen jälkeen heti klo 12.40 suoritettiin keskusvalvomosta käsin pikapysäytys ja kattilahuoneen eteläinen osa, joka katsottiin vaara-alueeksi, tyhjennettiin väestä.

Syöttöveden pumppaus kattilaan keskeytettiin ja kattilan paine laskettiin suurinta sallittua nopeutta. Kattilan annettiin jäähtyä noin 10 tuntia. Tänä aikana vesipinta laski 22 metristä 17 metriin. "Tulivuori" oli sulanut ja palanut pois ja pohjalla oli vain aukko, joka oli täynnä vettä. Vuoto oli noin 7 mm pitkä poikittainen särö noin 300 mm takaseinästä etuseinään päin."

Molemmissa tapauksissa vuodon aiheuttaja oli pieni särö, joten voidaan olettaa, että myös vuotovirtaus on ollut pieni, alle 1 kg/s.

Mielenkiintoista edellä kuvatuissa tapauksissa on, että tilanteista selvittiin ilman räjähdystä, vaikka molemmat kattilat ajettiin alas normaaliin tapaan, kun taas ainoastaan Pohjois-Amerikassa tapahtuneesta räjähdyksessä, joka aiheutui pienestä pohjaputken säröstä ja jossa vahinkoja kuvattiin "laajoiksi", räjähdys tapahtui yli 3 tuntia pikapysäytyksen ja -tyhjennyksen aloituksen jälkeen. Toisesta Pohjois-Amerikassa tapahtuneesta pienen pohjaputkivuodon (reikä halkaisijaltaan alle 1 mm) aiheuttamasta räjähdyksestä ei aiheutunut lainkaan vaurioita, pikapysäytyksestä ja -tyhjennyksestä huolimatta.

Kokemukset pienistä pohjaputkivuodoista viittaavat kokemuksiin siihen, että pienet vuodot myös pohjaputkissa ovat suhteellisen vaarattomia varsinkin, kun kattila ajetaan alas normaalisti niin, että keko pysyy kuumana alasajon ajan aina niin kauan kun pohjalla on palavaa materiaalia, ja palamisen loputtua pohja jäähtyy nopeasti.

3 Pienet ja suuret vuodot

Edellä on käytetty termejä "pieni vuoto" ja "suuri vuoto" tarkentamatta mitä näillä termeillä tarkoitetaan. Tulipesäräjähdyksriskin kannalta relevantti määrittely voisi olla seuraava:

- vuoto on pieni, kun vettä purkautuu tulipesään niin vähän, että se haihtuu kaasutilassa eikä sulavesiräjähdyksen vaaraa ole
- vuoto on suuri, kun vettä purkautuu tulipesään niin paljon, että osa siitä putoaa tulipesän pohjalle ja voi siten saada aikaan tulipesäräjähdyksen.

Tällaisen määrittelyn hankaluutena on, että käytännössä vuodon "pienuus" ja "suuruus" riippuisi sekä vuodon paikasta että kattilan käyttötilasta. Alhaalla tulipesässä jo 1 kg/s suuruinen vuoto voisi olla "suuri" varsinkin sen jälkeen kun lipeänpoltto keskeytetään, koska tällöin vettä todennäköisesti pääsee pohjalle saakka. Toisaalta esim. 10 kg/s suuruinen vuoto kattilan yläosassa lipeänpolton aikana olisi "pieni", sillä vesi haihtuu matkalla eikä räjähdysvaaraa siten olisi niin kauan kun lipeän polttoa jatketaan.

On myös epäselvää, mitä käytännön hyötyä em. määrittelystä olisi, sillä operaattoreiden voi olla mahdotonta paikantaa vuotoa luotettavasti tulipesän alueella, jolloin edellä kuvatun kaltaista määrittelyä ei voitaisi useimmiten tehdä vuodon aikana.

Onkin selvempää määritellä "pieni" ja "suuri" vuoto yksinkertaisesti vuodon koon perusteella niin, että vuoto on "pieni" kun vuodon aiheuttaa läpiseinän oleva särö tai pieni reikä, kun taas suuressa vuodossa putkessa on virtausalaltaan tyypillisesti useita neliösenttejä oleva repeämä tai aukko.

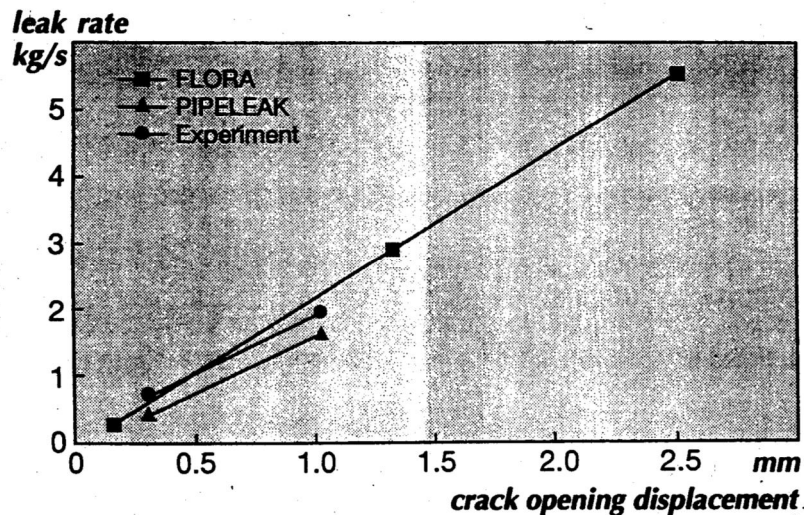
Säröjen aikaansaaman vuodon suuruuteen vaikuttavat monet seikat, kuten

- särön pituus
- särö aukeama
- särön muoto
- pinnan karheus

Luonnollisestikin vuoto on sitä suurempi, mitä suuremmasta säröstä on kysymys, mitä enemmän särö on auki ja mitä suurempia ja sileämpiä ovat särön synnyttämät metallipinnat, joiden välissä vesi virtaa.

Säröjen aikaansaamien vuotojen koon arviointiin on laadittu laskentaohjelmia, mutta tässä tapauksessa riittää, että "pienelle vuodolle" määritetään realistinen yläraja. Tämä yläraja on määritettävissä kokeellisten tulosten perusteella.

Tarkoitukseen sopiva koe tehtiin 1990-luvun alussa Saksassa. Kokeessa mitattiin vuoto putkesta, jonka halkaisija oli 88,9 mm, seinämänpaksuus oli 5,6 mm ja paine oli 105 bar. Putkeen oli tehty poikittainen särö, jonka pituus oli 100 mm. Putken materiaali oli 1.4571. Materiaalia lukuun ottamatta koeolosuhteet vastasivat siten kohtalaisen hyvin soodakattilan tulipesän putken olosuhteita tilanteessa, jossa putkessa on koko kuumen puolen poikki ulottuva särö. Materiaalilla on vaikutusta lähinnä särön pinnan karheuteen, joka hiiliteräksellä on tavallisesti suurempi kuin austeniittisilla teräksillä. Koetulosta voidaan siten pitää yläarvona vastaavalle vuodolle hiiliteräspanputkessa. Kokeessa putkea taivutettiin asteittain niin, että vuodon kokoa voitiin havainnoida sekä putken ollessa suorassa että taivutettuna. Tulokset (yhdessä laskentamallien tulosten kanssa) on esitetty kuvassa 4.



Kuva 6. Vuotovirtaus 88,9 x 5,6 mm putkesta, jossa oli 100 mm pitkä poikittainen särö ja jonka paine oli 105 bar, erilaisilla taivutuksilla [1].

Kuvan 6 tulosten mukaan särön aiheuttama vuoto on korkeintaan luokkaa 0,2 kg/s särön ollessa kiinni, mutta särön avautuessa vuoto kasvaa useisiin kiloihin sekunnissa.

Koetulokset vastaavat hyvin kokemuksia soodakattilavuodoista. Soodakattilayhdistyksen keräämissä vaurioraporteissa on kuvattu useita tilanteita, joissa vuotoa on alettu epäillä, kun syöttövesi-höyryero on 0,2 - 0,3 kg/s. Esimerkkinä tällaista vuodosta on Sunilan soodakattilassa SK10 2004 todettu vuoto, jota koskevan vaurioraportin teksti on seuraava:

”Ma 29.3.04 n. klo 07.00 havaittiin vesitasekäyrissä selkeää nousua alkaen su 28.3.04 n. klo 16.00 ollen luokkaa 0,2 - 0,3 kg/s. Kattila normaalilla kuormalla 8,5 l/s (KA 79,5%) höyrystys 33 kg/s. Kattilakierrokset eivät tuoneet esiin mitään vuotoon viittaavaa, toiminta normaalia. Tilannetta seurattiin puolille öin mm. tarkkailemalla suolan laatua kuljettimilla, ei poikkeavaa. Ti 30.3.04 aamulla tutkimuksia jatkettiin ja todettiin tasekäyrissä hienoista nousua ollen nyt luokkaa 0,4 kg/s. Polttoa pienennettiin, nuohous keskeytettiin ja pyrittiin kuuntelemaan miesluukuista mahdollista vuodon aiheuttamaa ääntä. Kohisevan äänen havaittiinkin tulevan jostakin lieriöiden väliltä keittopinnalta. Päätettiin ajaa kattila alas, suoritettiin tarvittavat viranomaisilmoitukset, pienennettiin polttoa edelleen ja suoritettiin pikapysäytys klo 10.54. Ylälieriöllä ja keittopintaputkissa havaittiin puhallusjälkiä mutta vuotokohtaa ei voitu paikantaa. N. klo 20.00 kattilan ollessa paineeton havaittiin alalieriön päällä valuvan vettä, vuotokohtaa ei voinut todeta. Ke 31.3.04 iltapäivällä telinetöiden jälkeen päästiin vuotokohteeseen. Kattilaa hetken täytettyä vettä tuli alalieriön vaipan/keittoputken välistä. Kattilan tyhjennyksen jälkeen alalieriöstä ei kuitenkaan voitu todeta vuotokohtaa. Alalieriön ulkopuolelle vuotoalueelle suihkutettiin purkillinen punaista tunkeumanesteväriä, jolloin hetken kuluttua väri tuli läpi putkesta 39H. Vuoto oli ilmeisesti mankelointilaitteen rissan jättämän poikittaisen, terävähkön lopetusjäljen suuntainen n. 12 mm pitkä halkeama n. 10 mm vaipan ulkopinnasta. (Em. terävähkötä jälkiä lienee lähes kaikissa reikäkentän 980:ssä putkissa).”

Kuvassa 7 on ko. putki tunkeumaväriin avulla tehdyn vuodon paikannuksen jälkeen.



Kuva 7. Pieni särö keittopinnan putkessa 29.3.2004 Sunilan soodakattilassa SK10

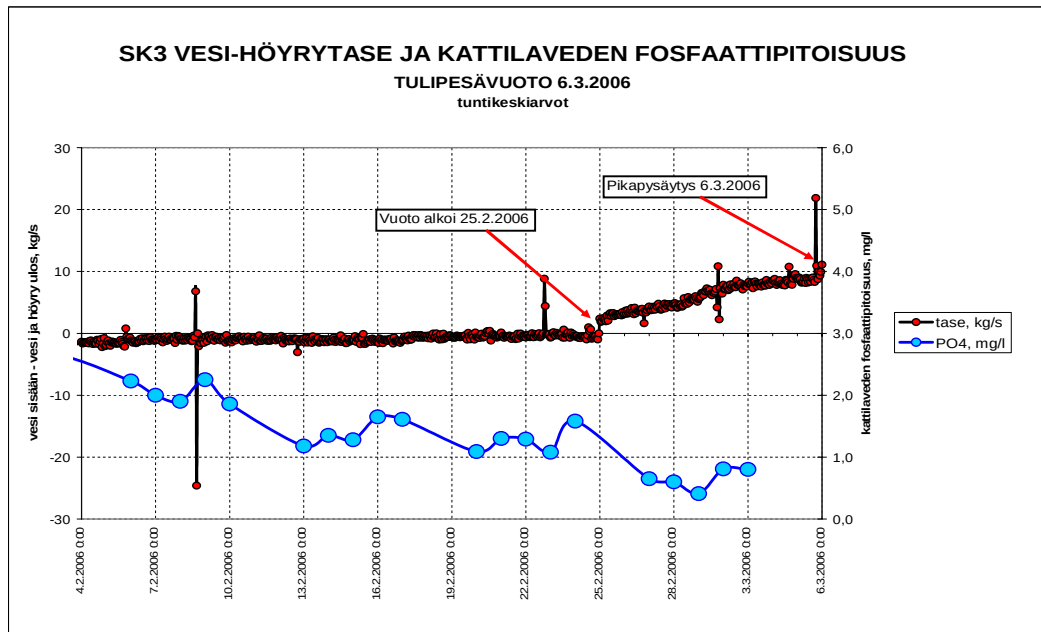
Edellä kuvattu Sunilan vaurio havainnollistaa hyvin miten pieniä vuotoja on mahdollista löytää yksinomaan syöttövesi-höyryeron seurannan perusteella, kun eron laskenta on toteutettu niin, että mittausten kohinan ja lieriön pinnan vaihtelun aiheuttama huojunta on suodatettu pois.

Mikäli Sunilan vuotoa ei olisi havaittu niin nopeasti kuin se ko. tapauksessa havaittiin, olisi vuoto vähitellen kasvanut ja saanut luultavasti aikaan myös vaurioita ympäröivissä putkissa.

Vastaava vaurio UPM Kymmenen Tervasaaren soodakattilassa 1992 johti viereisen putken ohentumiseen niin, että lopulta ko. putkeen repesi 10 x 25 mm suuruinen aukko. Putken repeämisen seurauksena syöttövesivirtaus kasvoi yli 17 kg/s (yli piirturin alueen), mutta lieriön pinta laski tästä huolimatta kattilasuojan laukaisurajan alle, joten kattilasuoja keskeytti lipeän syötön kattilaan. Myös polttoilmapuhaltimet pysähtyivät. Syöttövesipumppu pysäytettiin operaattoreiden toimesta. Tunti ja 15 min kattilasuojan laukeamisen jälkeen tulipesässä tapahtui kaasuräjähdyks. Kaikki tulipesän neljä kulmaa aukenivat useiden metrien matkalta. Syynä kaasuräjähdykseen oli, että kattilan kuivakeittosuoja oli laadittu niin, että se esti polttoilmapuhaltimien käytön tulipesän tuulettamiseksi. Räjähdyksestä selvittiin ilman henkilövahinkoja.

Soodakattilayhdistyksen keräämissä vaurioraporteissa ei yleensä ole kuvattu tarkasti, miten vuoto on kehittynyt, joten kovin selvää kuvaa siitä, miten nopeasti vuodot kasvavat ja miten nopeasti sekundäärisiä vaurioita syntyy, ei ole. Jonkinlainen käsitys on kuitenkin saatavissa tarkastelemalla muutamia yksittäistapauksia, joissa vuodon kehitys on suht tarkkaan tiedossa. Seuraavassa on kuvattu neljä tällaista tapausta.

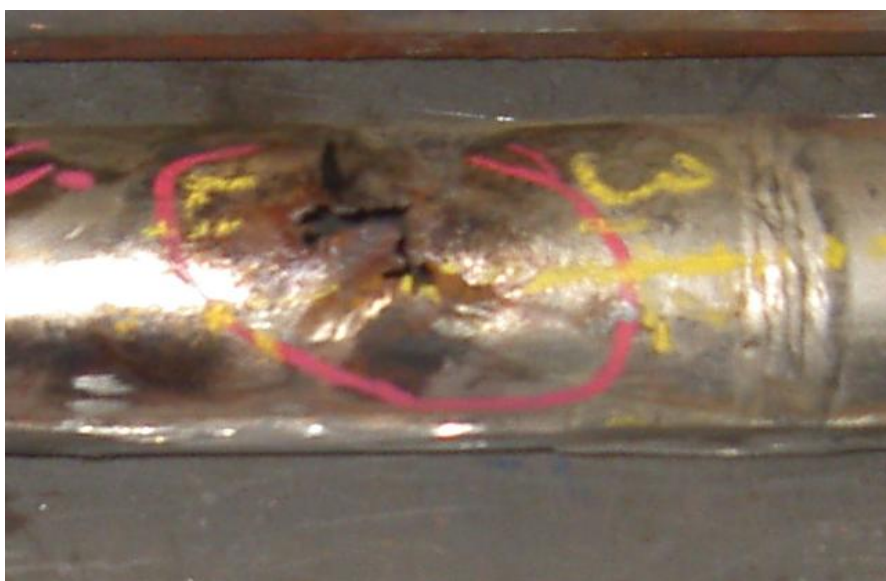
Ensimmäinen esimerkki on tulipesän seinäputken vuoto UPM Kaukaan soodakattilassa vuonna 2006. Kuvassa 8 on esitetty syöttövesi-höyryeron ja kattilaveden fosfaattipitoisuuden trendit. Kuva on Jukka Savolaisen esitelmästä vuoden 2007 Konemestaripäiviltä.



Kuva 8. Syöttövesi-höyryero ja kattilaveden fosfaattipitoisuus UPM Kaukaalla 4.2. – 6.3.2006

Kuvan 8 tekstin mukaan vuoto alkoi 25.2., jolloin ero kasvoi hyppäyksellisesti noin 3 kg/s. Kuvassa näkyy syöttövesi-höyryerossa pienempi muutos kuitenkin jo 6.2., jolloin syöttövesi-höyryero kasvoi noin 0,5 kg/s. Samaan aikaan myös kattilaveden fosfaattipitoisuus alkoi laskea, joten on todennäköistä, että muutos syöttövesi-höyryerossa on vuodon aikaansaama. Vuoto kasvoi hyvin hitaasti 25.2. saakka, jolloin syöttövesi-höyryeron trendissä näkyy selvä pumpsahdus. Tämän jälkeen vuoto kasvoi huomattavasti nopeammin, noin 0,7 kg/s vuorokaudessa, reilun viikon ajan kunnes se oli noin 10 kg/s. Tässä vaiheessa vuoto sai aikaan niin vakavan kiertohäiriön ko. seinäputkessa, että putki ylikuumeni ja repesi compound- ja hiiliteräspankin sauman yläpuolelta (mustalta osalta) 6.3.

Ensimmäisen vuodon aiheuttanut vaurio on esitetty kuvassa 9.



Kuva 9. UPM Kaukaan seinäputken alempi vaurio maaliskuussa 2006 (10 m pohjasta)

Ylikuumenemisen aiheuttama repeämä on puolestaan kuvassa 10.



Kuva 10. UPM Kaukaan tulipesän seinäputkivaurio 6.3.2006 (22 m pohjasta)

Seuraava teksti on lainaus Jukka Savolaisen esityksestä Konemestaripäivillä:

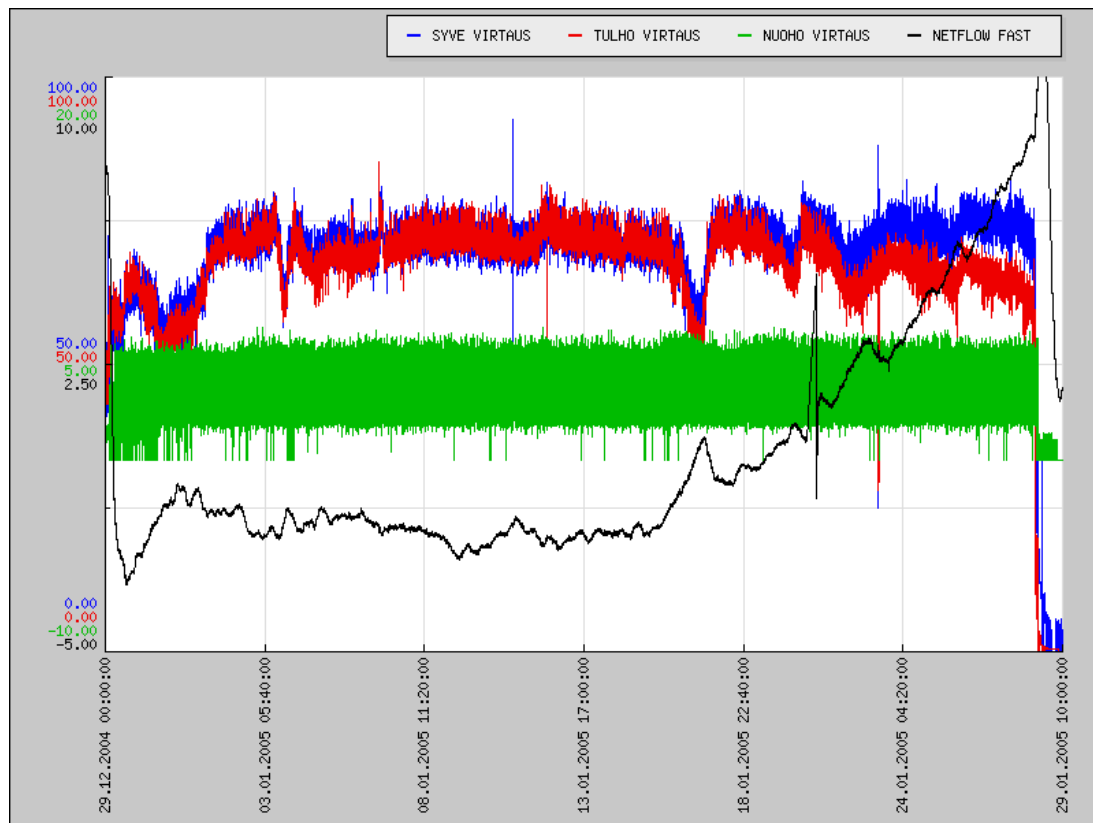
"Kattilassa oli havaittu kattilaveden fosfaattipitoisuuden laskua ja savukaasupuhaltimien likaantumista muutaman päivän ajan maaliskuun ensimmäisellä viikolla 2006.

Sunnuntaina 5.3.2006 kattilan vesi-höyrytaseen laskenta oli alkanut heitellä. Taselaskenta oli tuolloin reaaliaikainen. Nuohoushöyryn virtausmuutokset ja lieriön pinnansäättö-heilahtelut aiheuttavat taselaskentaan häiriötä niin, että hetkellinen tasearvo heiluu huomattavasti. Tämän vuoksi laskennan hälytysraja oli 10 kg/s. Tämä oli alkanut hälytellä sunnuntaina 5.3.2006 ja asiaa alettiin tutkia. Vuotoa ei oltu ehditty varmistaa, vaikka viimeiset tuntikeskiarvotkin osoittivat (jälkeenpäin tutkittuna) jo 10 kg/s:n eroa.

Yöllä n. 00:55 kattilan vesipinta hävisi lieriöstä ja kattila pysähtyi alapintalukituksesta. Vesipintaa yritettiin ensin saada takaisin syöttövedellä lisäämällä, mutta vesi-höyry-taseen eron kasvettua yli 100 kg/s:n ja kun kattilan tulipesästä alkoi kuulua jymähtelyä, tehtiin pikapysäytys ja pikatyhjennys. Kattila tyhjeni suunnitellusti noin 20 minuutissa päälaskuputkien pikatyhjennysputkien tasolle eli n. 2,5 metriin (pohjasta) asti. Kattilalta ei valvomoon asti kuulunut enää jymähtelyä. Kattilahuoneessa liikkumisesta pidätyttiin 10 tuntia pikapysäytyksestä."

Putken repeämisestä selvittiin Kaukaalla ilman tulipesäräjähdystä, joka olisi aiheuttanut merkittäviä vaurioita.

Toinen esimerkki vuodon kehittymisestä on Stora Enson Veitsiluodon tehtaalta tammikuusta 2005. Kuvassa 11 on esitetty syöttövesi-höyryeron, syöttöveden, höyryn ja nuohoushöyryn trendit 29.12.2004 – 29.1.2005.



Kuva 11. Syöttöveden, höyryn, nuohoushöyryn ja syöttövesi-höyryeron trendit Stora Enson Veitsiluodon tehta. soodakattilassa 29.12.2004 – 29.1.2005

Syöttövesi-höyryeron trendin perusteella arvioiden vuoto alkoi 15. - 16.1., jolloin ero kasvoi noin 1,0 kg/s verran. Vuoto kasvoi 18. – 24.1. noin 0,8 kg/s vuorokaudessa, jonka jälkeen kasvu nopeutui ollen loppujakson noin 1,1 kg/s vuorokaudessa. Ennen alasajo vuoto oli noin 10 kg/s.

Vuoto paikannettiin 27.1. ekonomaiseriin tuhkan kosteuden perusteella, ja tämän jälkeen tehtiin päätös kattilan ajamisesta alas. Vuoto sijaitsi aivan ekonomaiserin yläosassa, joten tarvittiin huomattavan suuri vuoto, jotta edes osa vedestä selvisi haihtumatta tuhkakuljettimille saakka.

Kolmas esimerkki on suuresta vuodosta tulipesän seinäputkessa aasialaisessa soodakattilassa vuonna 2014, kuva 12.



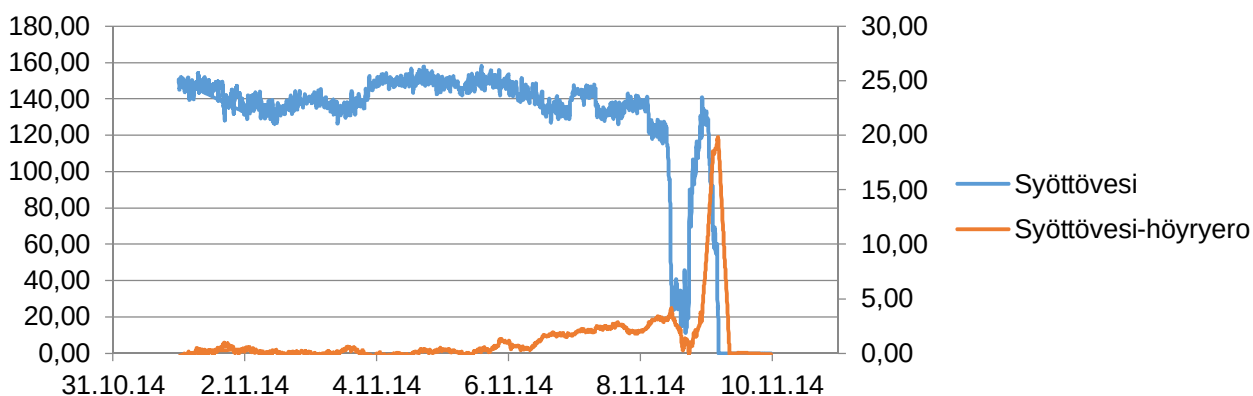
Kuva 12. Suuri vuoto kattilan seinäputkessa aasialaisessa soodakattilassa 2014

Seinäputkesta oli revennyt pala, kuten kuvasta 13 näkyy.



Kuva 13. Lähikuva vaurioituneesta seinäputkesta

Vaikka kyse on putken repeämästä, on todennäköistä, että tässäkin tapauksessa repeämistä edelsi hitaasti kasvanut pieni vuoto. Tähän viittaa syöttövesi-höyryeron trendi vuotoa edeltäneeltä jaksolta, kuva 14.



Kuva 14. Syöttövesivirtaus (kg/s) ja syöttövesi-höyryero (kg/s) 31.10. – 10.11.2014 aasialaisessa soodakattilassa

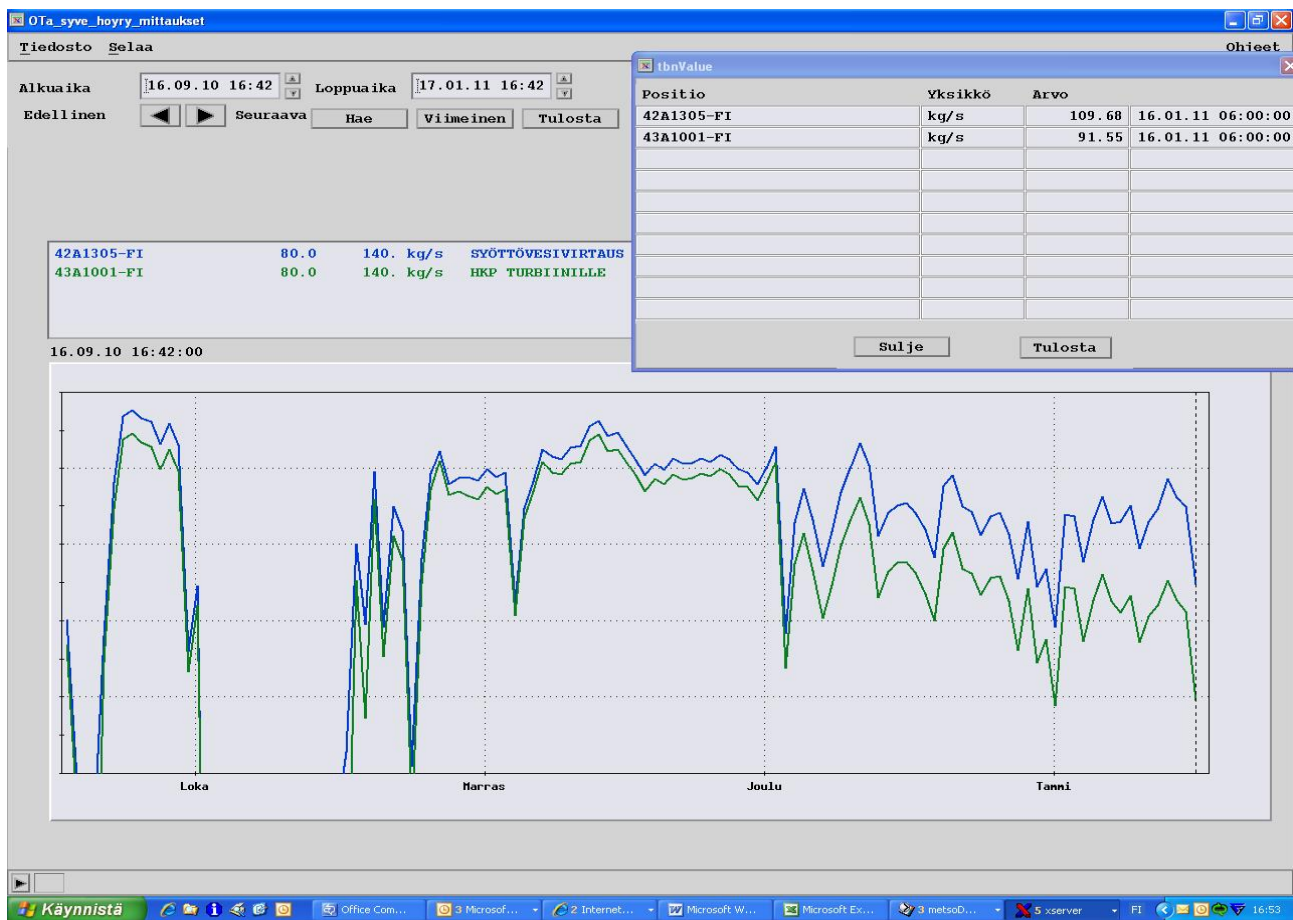
Syöttövesi-höyryeron mukaan kattilan seinäputkeen tuli pieni vuoto hieman ennen puoltapäivää 6.11., jolloin ero kasvoi noin 1,5 kg/s. Ero kasvoi kaksinkertaiseksi kahden seuraavan vuorokauden aikana. Kattilan kuorma laski 8.11. kun lipeän poltto katkaistiin noin kahdeksan tunnin ajaksi. Varsinainen repeämä tapahtui neljä tuntia sen jälkeen kun lipeän poltto oli aloitettu uudelleen ja kattila oli taas täydessä kuormassa. Repeämän seurauksena syöttövesi-höyryero kasvoi arvosta 3,3 kg/s arvoon 20 kg/s. Kattilassa oli siten pieni vuoto 2,5 vuorokauden ajan ennen repeämää.

Neljäs esimerkki on verhoputken vaurio MF Rauman soodakattilassa tammikuussa 2011, kuva 15. Vauriota koskeva raportti on päivätty 17.2.2011.



Kuva 15. Verhoputkivuoto MF Rauman soodakattilassa 2011

Syöttövesi- ja höyrytrendit jaksolta 16.9.2010 – 16.1.2011 esitetty kuvassa 16.



Kuva 16. Syöttöveden ja höyryn trendit MF Rauman soodakattilassa 16.9.2010 – 16.1.2011.

Trendien perusteella näyttäisi syöttövesi-höyryero olleen Raumalla ennen joulukuuta 2010 noin 2,5 kg/s, mutta joulukuun alussa tapahtuneen kuormanpudotuksen yhteydessä ero näyttää pomsahtavan arvoon 6,4 kg/s eli kasvua on noin 4 kg/s verran. Tämän jälkeen vuoto kasvoi tasaisesti lähes 1,5 kk ajan ollen 16.1. noin 15,6 kg/s. Vuoto kasvoi noin 0,35 kg/s vuorokaudessa.

Raumalla vuoto havaittiin, kun verhoputken vuoto suuntautui verhojen läpivientiin ja muurauksen syöpyessä vuoto näkyi kattilan ulkopuolella. Vaurion aiheuttaja oli kattoon ja tulistimiin muodostunut suolakami, joka pudotessaan rikkoi elementtien 15 ja 16 putkia. Elementin 15 ylimmässä putkessa alapuolinen evä oli painunut putken sisään ja aiheuttanut vuodon. Vuotosuihku oli osunut viereiseen elementtiin 14 kuluttaen reiän toiseksi ylimpään putkeen.

Kun kattila ajettiin alas, tapahtui noin 1,5 tuntia öljytulien sammuttamisen jälkeen tulipesäräjähdys, jonka seurauksena kattilan heikko nurkka aukesi. Valvomohenkilökunnan mukaan todennäköinen räjähdysten aiheuttaja oli tulistimista pudonnut kami, joka rikkoi jäähtyneen suolapedin kuoren niin, että vesi ja kuuma sula pääsivät kosketuksiin. Tätä tukee se, että tulipesäkameran kuvassa näkyi kirkkaampia "säkenöiviä palloja".

Vauriomekanismit, jotka saivat aikaan vuodot em. tapauksissa, olivat huomattavan erilaisia. Kaukaalla ensimmäisen vuodon syynä oli sisäpuolinen korroosio ja toisen ylikuumentumisen aiheuttama viruminen. Veitsiluodossa vuodon syynä oli todennäköisesti väsymisen ja korroosion aiheuttama säröytyminen. Aasialaisessa soodakattilassa puolestaan syynä luultavasti oli, Kaukaan tapaan, sisäpuolinen korroosio, mutta Kaukaan tapauksesta poiketen korroosion aiheuttama

vetyhaurastuminen oli niin voimakasta, että putkesta repesi pala. Raumalla puolestaan vaurion aiheutti mekaaninen isku putkeen ja putken painuminen kasaan. Erilaisista perussyistä huolimatta kaikki vuodot alkoivat säröinä, joiden aikaan saama vuoto oli 0,5 - 2,5 kg/s, eli juuri samaa luokkaa kuin vuotokokeessa.

Kuten olettaa sopii, nopeuteen, jolla särö kasvoi, vaikutti em. tapauksissa putken kunto. Särön eteneminen ja vuodon kasvu olivat nopeimpia aasialaisessa soodakattilassa, jossa putkimateriaali oli heikentynyt sisäpuolisen korroosion takia eniten. Tällöinkin vuodon kasvuun suureen vuotoon saakka aikaa kului muutamia päiviä.

Em. tapausten valossa näyttäisi siltä, että ainoat vauriomekanismit, jotka voi saada aikaiseksi äkillisen suuren vuodon, on putken puhkeaminen ylikuumenemisen aiheuttaman virumisen tai korroosion tai mekaanisen kulumisen aiheuttaman seinämän ohentumisen takia.

Muissa tapauksissa, joita voidaan olettaa olevan suurin osa kaikista vuodoista, vuoto alkaa pienenä särönä ja kestää useita päiviä tai jopa viikkoja tai kuukausia, ennen kuin vuoto kasvaa suureksi vuodoksi tai saa aikaiseksi suuren vuodon ko. putken tai naapuriputken repeämisen takia.

Jonkinlainen käsitys siitä, miten suureen osaan vuodoista ja räjähdyksistä on mahdollista vaikuttaa kattiloiden tiiveydenvalvontaa tehostamalla, on saatavissa tarkastelemalla Tom Gracen tekemää yhteenvetoa Pohjois-Amerikassa 1970 – 93 tapahtuneista tulipesäräjähdysten syistä, taulukko 3.

Taulukko 3. Pohjois-Amerikassa vuosina 1970 – 93 tapahtuneiden soodakattilaräjähdysten aiheuttaneiden painerungon vuotojen syyt [2, 3]

Syy	Tapaukset	Osuus
Ylikuumeneminen – syy tuntematon/tukkeutuminen/matala pinta lieriössä	13	43 %
Puutteellinen hitsaus	7	23 %
Korroosio (irronnut pinnoite, jännityskorroosio, väsymiskorroosio, yms.)	5	17 %
Mekaaninen vaurio (suolakamin putoaminen tms.)	2	7 %
Pienen vuodon aiheuttama eroosio	1	3 %
Kylmän puolen korroosion aiheuttama murtuma	1	3 %
Nuohojen aiheuttama eroosio/korroosio	1	3 %

Suurin osa, ellei kaikki, puutteellisen hitsauksen, korroosion ja pienen vuodon aiheuttamasta eroosiosta seurannaista vuodoista alkoivat todennäköisesti pienestä säröstä. Lisäksi osa ylikuumenemisen tai mekaanisen vaurion aiheuttamista vuodoista on saattanut olla samanlaisia kuin Kaukaan 2006 seinäputkivaurio tai Rauman verhoputkivaurio, joissa molemmissa vuoto oli aluksi pieni. Voidaankin arvioida, että huomattava osuus, karkeasti arvioiden noin 50 %, 1970 – 93 tapahtuneista tulipesäräjähdyksistä olisi voinut olla estettävissä tehokkaalla vuodonvalvonnalla.

Suomessa äkillisiä vuotoja ovat taulukossa 2 esitetyistä tapauksista Sunilassa, Kotkassa ja Imatralla tapahtuneet vuodot, kun taas muissa tapauksissa vauriot etenivät suhteellisen hitaasti. Tehokkaasta vuotojen valvonnasta olisi siten voinut olla apua noin 70 % vaarallisista vuodoista.

Edellä kuvatut arviot ovat suuntaa-antavia, mutta suunta on selvä: huomattava osa suurista vuodoista, joita soodakattiloissa on vuosien saatossa tapahtunut, olisi voitu estää, jos vuodot olisi havaittu jo siinä vaiheessa, kun ne olivat pieniä. Kaikkia suuria vuotoja ei kuitenkaan voida estää ennalta edes tehokkaalla tiiveydenvalvonnalla, joten myös niihin on syytä varautua. Tämän vuoksi on seuraavissa kappaleissa käsitelty sekä pieniin että suuriin vuotoihin varautumista.

4 Pienten vuotojen valvonta

Tulipesärajähdyksistä saadut kokemukset viittaavat siihen, että tulipesärajähdyksen riskiä voidaan pienentää merkittävästi havaitsemalla vuodot, jotka ovat säröjen aiheuttamia, niin että kattilan alasajo voidaan toteuttaa 1 – 2 vuorokauden kuluessa vuodon alusta. Tällöin kattila ehditään todennäköisesti ajaa alas tilanteessa, jossa tulipesään vuotaa vettä vielä suhteellisen vähän, ja tilanne on tällöin huomattavasti vähemmän vaarallinen kuin jos alasajoon jouduttaisiin tilanteessa, jossa vuoto on jo edennyt suureen vuotoon saakka.

Seuraava kysymys kuuluu: onko tämä mahdollista? Voidaanko soodakattilan tiiveyttä valvoa niin tarkasti, että säröjen aiheuttamat vesivuoto tulipesässä, verhoissa tai keittopinnassa ovat havaittavissa viimeistään vuorokauden kuluessa vuodon alusta?

Tähän kysymykseen haetaan vastausta tässä kappaleessa käymällä läpi kattiloiden tiiveydenvalvontaan kehitettyjä järjestelmiä ja niistä saatuja käyttökokemuksia.

4.1 Massataseen seurantaan perustuvat järjestelmät

Kattilan tiiveyden valvonta massataseen perusteella perustuu siihen yksinkertaiseen periaatteeseen, että tarpeeksi pitkällä aikajaksolla kattilaan syötetyn vesimäärän täytyy olla yhtä suuri kuin kattilasta poistuneen veden ja höyryn määrän, koska ainetta ei synny eikä häviä kattilassa. Sopivaa tarkastelujaksoa käytettäessä lieriön pinnan ja kattilan vesimäärän vaihtelut kumoavat toisensa, joten niitä ei tarvitse huomioida tasetarkastelussa. Mikäli tase osoittaa, että vettä kuitenkin häviää, on syytä epäillä vuotoa.

Vuotovirtaus saadaan massataseesta

$$\text{vuotovirtaus} = \text{syöttövesivirtaus} - \text{höyryvirtaus} - \text{nuohoushöyryvirtaus} - \text{ulospuhallus}$$

Taseeseen saattaa kuulua myös esim. ruiskutusvesivirtaus.

Määrittävät termit ovat yleensä syöttövesivirtaus ja höyryvirtaus, ja näin saatua vuotovirtausta kutsutaankin yleisesti syöttövesi-höyryeroksi.

Virtausmittaukset eivät yleensä ole absoluuttisen tarkkoja, joten em. yhtälön antama vuotovirtaus poikkeaa nolasta suodatuksen jälkeenkin usein silloinkin, kun kattila on tiivis. Ero voidaan sovittaa nolaksi käyttämällä sovitteena vuotovirtauksen pitkän ajan keskiarvoa.

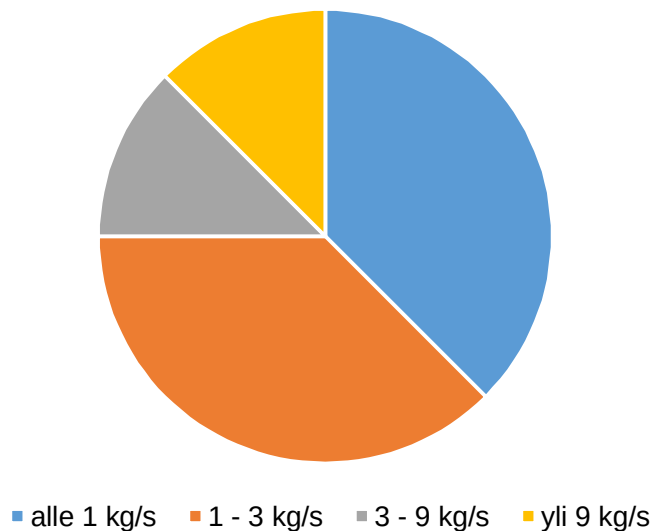
Koska vuotovirtaus lasketaan yhtälöstä, jossa ei yleensä ole mukana kattilan vesitilavuus, on vuotovirtauksella taipumus kasvaa kattilan kuorman pudotessa. Kuorman putoamisen seurauksena höyryntuotto kattilassa vähenee, jolloin höyryn määrä kattilassa kiertävässä virtauksessa pienenee. Tämän seurauksena lieriön pinta pyrkii laskemaan, ja pinnan säätö reagoi tähän lisäämällä syöttöveden virtausta. Syöttövesi-höyryero käy tässä tilanteessa normaalia suurempana, mutta palaa pian takaisin lähelle nollaa, kun kattilan kuorma tasaantuu, joten trendiä seuraamalla on helposti havaittavissa, että kyse ei ole vuodosta. Ajoittaiset hypähdykset ylöspäin ovat kuitenkin ei-toivottavia, sillä ne voivat aiheuttaa tarpeettomia hälytyksiä. Mikäli tällaisia hälytyksiä tapahtuu usein, kasvaa riski, että hälytys jää huomiotta myös silloin kun se aiheutuu todellisesta kattilavuodosta.

Kuorman muutosten aiheuttamaa syöttövesi-höyryeron huojuntaa voidaan hillitä huomioimalla laskennassa kuorman muutostilanteet ja/tai lisäämällä hälytyksiin viiveitä.

Syöttövesi-höyryeron laskentatapa vaihtelee tehtaittain. Yksinkertaisimmillaan laskenta on tehty käyttäen suoraan mittausdataa ja suodattamalla tulosta niin, että tulos vaihtelee esim. ± 5 kg/s verran. Lopputuloksena voi olla tällöin syöttövesi-höyryero, jonka suuruus normaalisti on keskimäärin $+ 8$ kg/s, mutta joka huojuu jatkuvasti välillä 3 kg/s – 12 kg/s. Suuren huojunnan takia hälytysraja joudutaan asettamaan korkealle, esim. arvoon $+18$ kg/s, joten hälytys aktivoituu vasta kun vuoto on yli 10 kg/s. Hälytys toimii tällöin käytännössä suuren kattilavuodon hälytyksenä. Syöttövesi-höyryero ei tällöin indikoi pientä vuotoa (trendimuutokset jäävät suurella todennäköisyydellä havaitsematta) eikä se siten auta suurten vuotojen ennaltaehkäisyssä.

Osassa tehtaita syöttövesi-höyryeron laskenta on toteutettu niin, että ero on saatu asettumaan normaalitilanteessa lähelle 0 kg/s ja huojunta on niin vähäistä, että eron seurannan avulla voidaan havaita huomattavasti pienemmätkin vuodot.

Tehtaille lähetettyyn kyselyyn saatujen vastausten perusteella näin on tehty tätä nykyä suurimmassa osassa tehtaita. Vastausten mukaan 75% tehtaista syöttövesi-höyryeron seurannan avulla voidaan havaita vuodot, jotka ovat alle 1 kg/s tai $1 - 3$ kg/s, kuva 17.



Kuva 17. Syöttövesi-höyryeron avulla havaittavat vuodot Suomen soodakattiloilla

Esimerkiksi Veitsiluodon tehtaalla syöttövesi-höyryeron seuranta on järjestetty niin, että erosta saadaan hälytys, kun ero ylittää $0,5$ kg/s. Hälytyksen toiminta on testattavissa jäädyttämällä ulospuhalluksen arvo automaatiojärjestelmässä ja avaamalla ulospuhalluksen säätöventtiili, jolloin ulospuhalluksen lisäyksen tulisi näkyä syöttövesi-höyryeron kasvuna. Kuvassa 18 on esitetty näin toteutetun testin tulokset.



Kuva 18. Syöttövesi-höyryeron testaus Veitsiluodon soodakattilassa (tilanne testin päätyttyä)

Verrattuna tilanteeseen vuonna 2001 on syöttövesi-höyryeron käytössä tapahtunut selvää edistystä.

Syöttövesi-höyryeron seurannan tarkkuus on parantunut huomattavasti. Vuonna 2001 ainoastaan muutamalla tehtaalla arvioitiin seurannan avulla voitavan tunnistaa 1 – 2 kg/s suuruiset vuodot. Osuus oli vain noin 10 % kaikista kattiloista. Nyt tähän tarkkuuteen arvioitiin päästävän yhdeksässä kattilassa eli yli puolessa kattiloista.

Vuonna 2001 jatkuva syöttövesi-höyryeron seuranta oli käytössä 16:ssa kattilassa 22:sta kattilasta, mutta hälytyksiä käytössä oli vain kahdeksassa kattilassa, kun nyt Soodakattilayhdistyksen yhteyshenkilöille tehdyn kyselyn perusteella seuranta ja hälytykset olivat käytössä yhtä vaille kaikissa.

Syöttövesi-höyryeron seuranta on tehtailla laadittu joko tehtaan automaatiosta vastaavien tai Valmet Automaation toimesta.

Valmetin laatimia seurantoja oli käytössä Veitsiluodon, Rauman ja Äänekosken tehtailla. Hälytysrajat ko. seurannoissa olivat 0,5 – 1 kg/s. Kaikissa järjestelmissä on järjestetty myös mahdollisuus eron testaukseen.

Erinomaiseen erotustarkkuuteen päästään myös Joutsenon, Sunilan ja Varkauden kattiloissa, joissa tehtaan henkilökunnan arvion mukaan havaittavissa ovat vuodot, joiden koko on selvästi alle 1 kg/s. Sunilassa seuranta perustuu trendien säännölliseen läpikäyntiin lähes päivittäin. Varkaudessa erotustarkkuutta ylläpidetään virtausmittausten säännöllisellä kalibroinnilla.

4.2 Kattilan höyrystinosan tiiveyden valvonta kattilaveden laadun seurannan avulla

Kattilavesivuodon valvonta kattilaveden fosfaattipitoisuuden tai johtokyvyn alarajahälytysten avulla

Kun syöttöveteen lisätä merkkiainetta, joka ei kulkeudu höyryn mukana, voidaan kattilan höyrystinosan (tulipesän, verhojen ja keittopinnan) tiiveyttä valvoa seuraamalla ko. merkkiaineen pitoisuutta kattilavedessä. Käytännössä merkkiaine voi olla esim. fosfaatti, jonka pitoisuutta kattilavedessä voidaan seurata jatkuvatoimisella analysaattorilla ja laboratoriomäärityksin.

Kattilavuotojen valvonta voidaan toteuttaa hyvin yksinkertaisin menetelmin, kun merkkiainetta annostellaan kattilaan aina suhteessa ulospuhallusvirtaukseen. Tällöin merkkiaineen pitoisuus kattilavedessä on likimain vakio, kun kattilan höyrystinosa on tiivis. Vuodolla esim. keittopinnassa on tällöin samanlainen vaikutus kuin ulospuhalluksen lisäykselle, eli se johtaa merkkiaineen pitoisuuden laskuun kattilavedessä. Jos esimerkiksi kattilan höyrystinosaan tulee yhtä suuri vuoto kuin kattilan ulospuhallus, kun fosfaatin annostelu ja ulospuhallus on sovitettu niin, että fosfaattipitoisuus on 3 mg/l ja kattilaveden johtokyky on noin 20 $\mu\text{S}/\text{cm}$, laskee fosfaattipitoisuus vuodon seurauksena arvoon 1,5 mg/l ja johtokyky arvoon 13 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (johtokyky ei laske puoleen, koska johtokykyyn vaikuttaa myös syöttövesikemikaalien pitoisuus, joka ei muutu ulospuhalluksen lisäyksen tai vuodon seurauksena yhtä paljon kuin esim. fosfaatin pitoisuus).

Kun merkkiaineena käytetään fosfaattia ja fosfaatin pitoisuutta kattilavedessä seurataan jatkuvatoimisella analysaattorilla tai päivittäin tehtävillä määrityksellä, voidaan kattilaveden fosfaattipitoisuudelle asettaa alarajahälytys. Kun fosfaattipitoisuus laskee alarajaan, on syytä epäillä vuotoa kattilan höyrystinosassa, jos annostelu toimii normaalisti eikä ulospuhallusta on lisätty normaalia suuremmaksi. Tällöin fosfaattipitoisuuden lasku kattilavedessä kielii vuodosta kattilan höyrystimestä, kuten esim. kuvassa 8.

Edellä kuvatun menetelmän etuna on yksinkertaisuus: mitään varsinaista laskentaa ei tarvita, vaan vuodon tunnistukseen riittää yksin kattilaveden johtokyvyn tai fosfaattipitoisuuden seuranta.

Haittapuolia on useita:

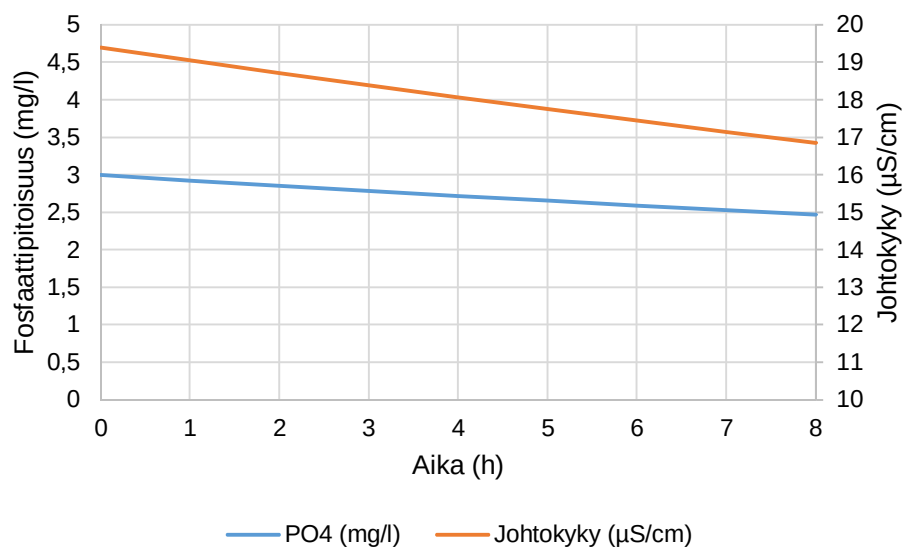
1. Kun vuoto on suuri, esim. luokkaa 5 – 10 kg/s, ja kattilaveden fosfaattipitoisuutta valvotaan pelkästään laboratoriomäärityksin, voi vuodon tunnistus viivästyä 1 – 3 vuorokautta. Viive voi pahimmillaan johtaa siihen, että vuotoa ei tunnisteta tai paikanneta vaaralliseen osaan kattilaa ennen kuin vuoto saa aikaan putken repeämän ja/tai tulipesäräjähdyksen.
2. Hälytys ei viittaa suoraan vuotoon. On siten mahdollista, että hälytystä ei tunnisteta merkiksi vuodosta, vaan tilanteeseen reagoidaan yksinomaan lisäämällä fosfaatin annostelua. Tällöin voi käydä niin, että vuotoa kattilassa aletaan epäillä vasta, kun kattilaveden fosfaattipitoisuutta ei saatu pidettyä hallinnassa edes maksimiannostelulla. Tähän voi kulua, tapauksesta riippuen, useita päiviä tai jopa viikkoja. Tänä aikana jo pienikin vuoto voi saada aikaan sekundäärisiä vaurioita läheisissä putkissa, ja johtaa siten putken repeämään ja siitä seuraavaan tulipesäräjähdykseen.
3. Hälytys alhaisesta kattilaveden fosfaattipitoisuudesta tai johtokyvystä ei anna viitteitä vuodon koosta, joten tuloksia on vaikea verrata esim. syöttövesi-höyryeron muutoksiin. Tämä vaikeuttaa tilannekuvan muodostamista ja lisää riskiä, että päätös kattilan alasajosta lykkääntyy niin, että vuoto etenee putken repeämään ja siitä seuraavaan räjähdykseen asti.

Kyselyyn saatujen vastausten perusteella kattilaveden fosfaattipitoisuuden alarajahälytystä hyödynnetään kattilan tiiveyden valvonnassa Oulun ja Wisan tehtailla.

Käynninaikainen tiiveyskoe

Kattilaveden laadun seurannan avulla voidaan varmistaa kattilan höyrystinosan tiiveys normaalin käytön aikana. Varmistus on tehtävissä katkaisemalla fosfaatin annostelu ja sulkemalla ulospuhallus. Jos kattilaveden fosfaattipitoisuus ja johtokyky pysyvät muuttumattomina (sen jälkeen kun em. toimenpiteiden aikaan ekonomaisereissa ollut, fosfaattipitoinen vesi on virrannut kattilaan), voidaan todeta kattilan höyrystinosan olevan tiivis. Jos taas fosfaattipitoisuus ja johtokyky laskevat tasaisesti fosfaatin annostelun lopetuksen ja ulospuhalluksen sulkemisen jälkeen, on kattilan höyrystinosassa vuoto.

Jos esimerkiksi kattilassa, jonka höyrystimen vesitilavuus on 300 m³ ja kattilaveden fosfaattipitoisuus tiiveyskokeen alussa on 3 mg/l ja johtokyky on 19,5 µS/cm, on 1 kg/s suuruinen vuoto tulipesässä, verhoissa tai keittopinnassa, laskevat kattilaveden fosfaattipitoisuus ja johtokyky tiiveyskokeen aikana kuten kuvassa 19 on esitetty. Jos taas kattilan höyrystinosa on tiivis, pysyvät kattilaveden fosfaattipitoisuus ja johtokyky tiiveyskokeen aikana likimain vakioina.



Kuva 19. Kattilaveden fosfaattipitoisuuden ja johtokyvyn muutokset 1 kg/s suuruisen vuodon aikana, kun vuoto on tulipesässä, verhossa tai keittopinnassa ja ulospuhallus ja fosfaatin annostelu on katkaistu (kattilan vesitilavuus on 300 m³)

Tiiveyskokeen aikana kattilaveden silikaattipitoisuus nousee, joten mikäli ulospuhallus pidettäisiin kiinni hyvin pitkään, nousisi kattilaveden silikaattipitoisuus niin korkeaksi, että silikaattia alkaisi karata höyryyn ohjearvoja ylittäviä määriä. Tavallisesti kuitenkin riittää, että tiiveyskoe tehdään suhteellisen lyhyenä niin, että ulospuhallus on keskeytetty esim. 4 – 8 tuntia. Tämä aikana kattilaveden silikaattipitoisuus ei yleensä vielä nouse merkittävästi ja vaikka nousisikin, jää höyryyn kulkeutuvan silikaatin kokonaismäärä niin vähäiseksi, että sillä ei ole käytännön merkitystä esim. turbiinin likaantumiseen.

Edellä kuvattuun tapaan toteutettavan käynninaikaisen tiiveyskokeen etuna on yksinkertaisuus ja nopeus: tarvittavat toimenpiteet ovat helppoja toteuttaa ja tulos on nähtävissä nopeimmillaan muutamassa tunnissa.

Menettelyn ainoa heikkous on, että koetta ei voida tehdä tehtailla, joiden soodakattilassa kattilavesinäyte tulee ulospuhalluslinjasta, sillä ulospuhalluslinjan sulkeminen estää tällöin myös edustavan näytteen saamisen kattilavedestä.

Käytönaikainen tiiveyskoe ei ole käytössä vielä yhdelläkään tehtaalla.

Kattilavesivuodon seurantajärjestelmät

Kun syöttöveteen annosteltavan merkkiaineen annostelua ja pitoisuutta kattilavedessä seurataan reaaliaikaisesti, voidaan ko. merkkiaineelle laatia massatase, jossa ainoa tuntematon on kattilavesivuoto. Taseesta voidaan siten laskea (lähes) reaaliaikainen arvo kattilavesivuodolle.

Fosfaattianalysointori antaa kattilaveden fosfaattipitoisuudelle uuden arvon tavallisesti noin joka 15. minuutti, joten taselaskelma voidaan päivittää samassa tahdissa. Perättäisten mittausten sijaan tase voidaan laatia esim. tunnin tai muutaman tunnin jaksolle, jolloin huojunta tuloksissa on vähäisempää. Näin toimien voidaan laskenta toteuttaa niin, että laskettu vuotovirtaus seuraa todellista vuotoa esimerkiksi neljän tunnin viiveellä.

Tällä tavoin toteutetun kattilan höyrystinosan tiiveydenvalvonnan etuja pelkästään kattilaveden fosfaattipitoisuuden tai johtokyvyn alarajahälytysten perusteella tapahtuvaan valvontaan on:

- kattilavesivuoto voidaan määrittellä huomattavasti tarkemmin kuin yksin alarajahälytysten perusteella, joten jo pienetkin vuodot tulevat havaituiksi
- laskenta huomioi muutokset merkkiaineen annostelussa ja kattilan ulospuhalluksessa, joten kattilavesivuotoa ei aleta epäillä esim. tilanteessa, jossa kattilaveden fosfaattipitoisuus laskee alarajaan annostelussa tapahtuvan häiriön tai ulospuhalluksen lisäyksen takia
- laskenta reagoi vuotoon huomattavasti alarajahälytyksiä nopeammin, joten riski, että vuoto ehtisi saada aikaan sekundäärisiä vaurioita ennen vuodon havaitsemista, pienenee
- kattilavesivuoto ilmoitetaan samoissa yksiköissä kuin syöttövesi-höyryero (kg/s, t/h), joten tulosten perusteella on helppo päätellä onko kyseessä vuoto ja jos on, onko vuoto kattilan höyrystinosassa vai muualla (ekoissa tai tulistimissa). Päätös kattilan alasajosta on siten helpommin tehtävissä. Samalla riski, että päätös alasajosta lykkääntyy niin, että pieni vuoto saa aikaan suuren, pienenee.

Kemikaalitaseen perusteella tapahtuvan kattilavesivuodon laskennan haasteita ovat suuret vuodot, joiden hallinta vaatii operaattorilta nopeita toimenpiteitä. Kemikaalitaseen perusteella tapahtuvaan laskentaan liittyy väistämättä viiveitä. Vuodon aiheuttama kattilaveden laimeneminen on havaittavissa vasta kun

- kun vuodon alun jälkeen kattilaveteen virrannut syöttövesi on sekoittunut koko kattilan vesitilavuuteen
- kun laimenneen veden näyte ehtii kattilavedestä analysointoriin
- kun merkkiaineen mittaava analysointori saa analysoitua uuden näytteen
- kun näytteitä on analysoitu riittävän monta peräkkäin, jotta on varmaa, että merkkiaineen pitoisuuden muutos on kattilaveden laimenemisen aiheuttamaa eikä johdu esim. analysointorin toimintahäiriöstä.

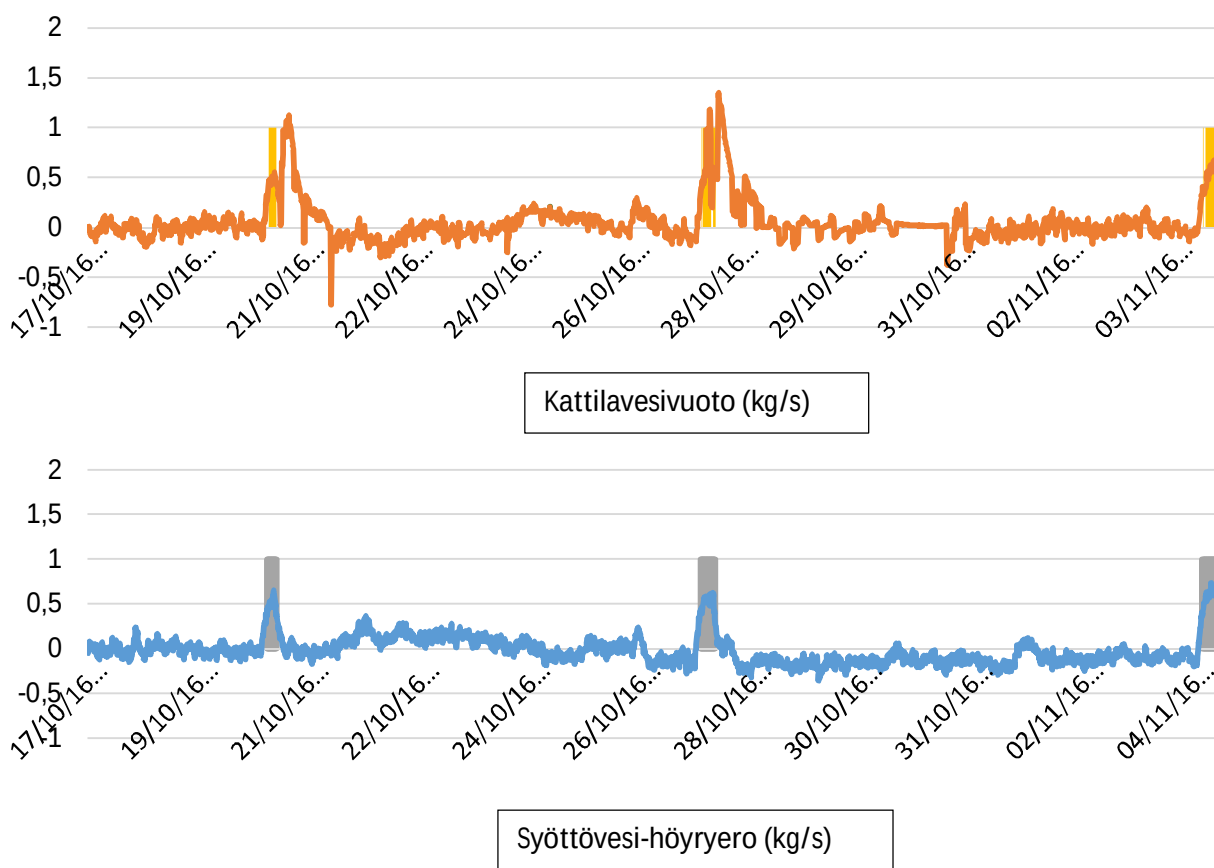
Käytännössä eniten viivettä aiheuttavat kattilaveden analysointi ja useamman kuin yhden näytteen analysointi. Esim. fosfaattianalysointori tekee uuden määrittelyn tavallisesti noin 15 minuutin välein. Kattilaveden laimeneminen kahden tai kolmen peräkkäisen näytteen perusteella vie siten vähintään 30 – 45 minuuttia. Viive on siten liian pitkä, jotta näin saadun kattilavesivuodon perustella voitaisiin tehdä päätöstä kattilan pikapysäytyksestä ja -tyhjennyksestä esim. tilanteessa, jossa keittopinnan putki katkeaa äkillisesti ja vuotovesi suihkuu suoraan tulipesään.

Kattilavesivuodon reaaliaikainen seuranta on tällä hetkellä käytössä neljällä suomalaisella tehtaalla: Joutsenossa, Veitsiluodossa, Raumalla ja Kaukaalla. Käytetyt hälytysrajat kattilavesivuodolle ovat Joutsenossa, Veitsiluodossa ja Raumalla 0,5 – 1 kg/s ja Kaukaalla 5 – 10 kg/s. Veitsiluodossa ja Raumalla kattilaveden vuodon laskenta on toteutettu Valmet Automaation toimesta. Joutsenossa ja Kaukaalla laskennat on toteutettu tehtaan toimesta. Kaikissa tapauksissa on merkkiaineena fosfaatti. Kaikki seurannat on otettu käyttöön vuoden 2001 jälkeen.

Vastaavia järjestelmiä on käytössä myös Suomen ulkopuolella. Tällaisia järjestelmiä toimittavat mm. Valmet Automaatio ja Pohjois-Amerikassa Nalco. Molemmissa järjestelmissä pyritään vuodot tunnistamaan sekä syöttövesi-höyryeroa että kattilaveden kemikaalitaseen perusteella.

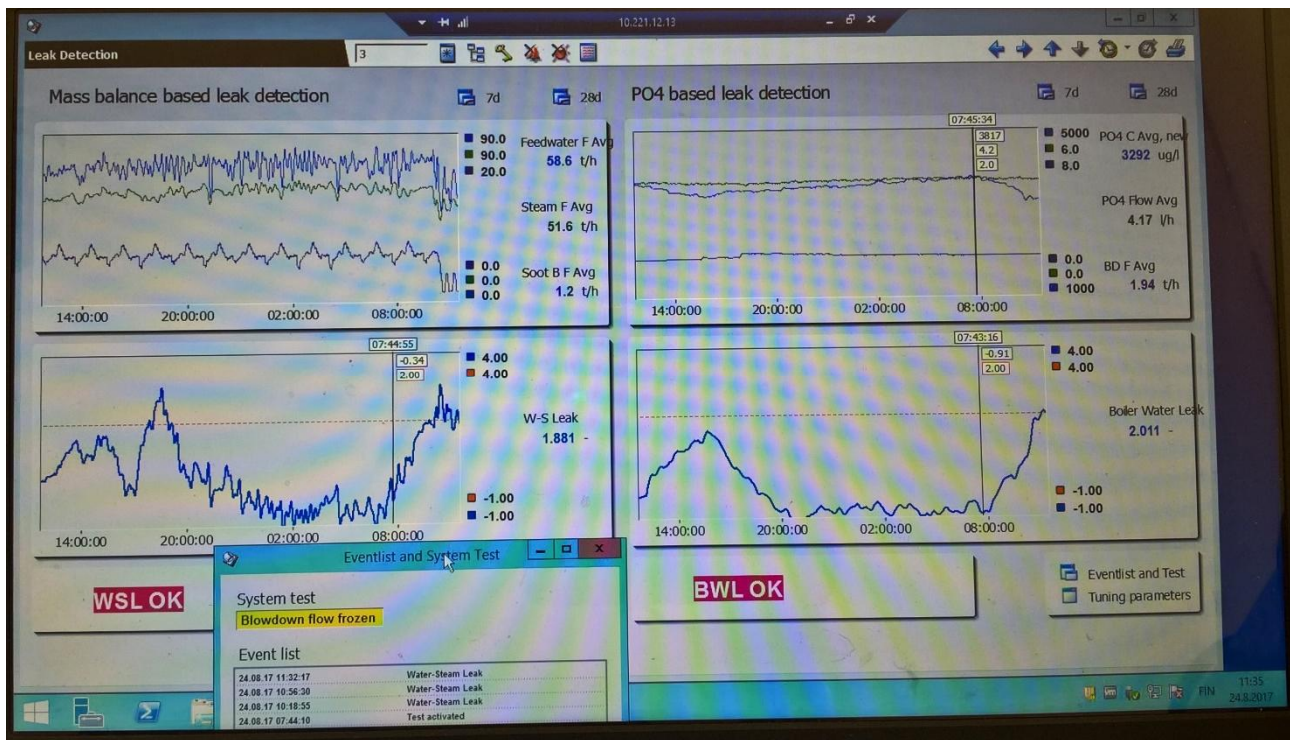
Valmet Automaation Valmet Leak Detector käyttää merkkiaineena fosfaattia. Laskennassa tarvittavat mittaussuureet ovat annosteluliuksen virtaus, kattilaveden fosfaattipitoisuus ja ulospuhallusvirtaus. Fosfaattitaseen ohella Valmetin järjestelmässä on myös syöttövesi-höyryeron laskenta, joka on toteutettu niin, että normaalitilanteessa syöttövesi-höyryero on lähellä 0 kg/s ja normaali heilahtelu on sen verran vähäistä, että hälytysraja voidaan asettaa alhaiseksi.

Valmetin tiiveydenvalvontajärjestelmä on rakennettu niin, että valvonta voidaan testata ja koestaa normaalin käynnin aikana. Testi tehdään jäädyttämällä ulospuhallusvirtauksen arvo Valmetin vuodonlaskennassa ja avaamalla tämän jälkeen ulospuhallusvirtausta säätävä venttiili täysin auki. Virtauksen lisäyksen tulisi tällöin näkyä sekä syöttövesi-höyryeron että kattilavesivuodon kasvuna. Esimerkki näin toteutettujen testien tuloksesta on ao. kuvassa.



Kuva 20. Valmetin tiiveydenvalvontajärjestelmän kattilavesivuoto ja syöttövesi-höyryero Stora Enson Veitsiluodon tehtaan soodakattilassa 17.10. – 4.11.2016 (jaksolla kolme testiä, hälytykset merkitty vahvennettuina)

Samanlainen Valmetin järjestelmä on otettu käyttöön myös Maglajin tehtaalla Bosniassa. Järjestelmän valvomonäyttö testin aikana on esitetty kuvassa 21.



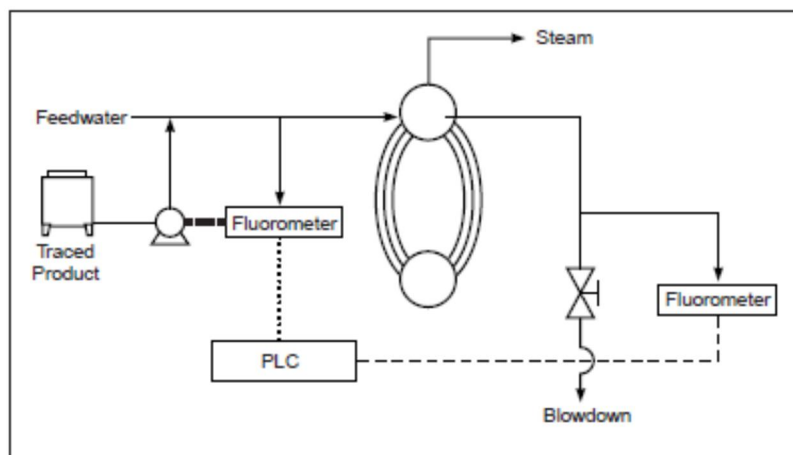
Kuva 21. Valmetin vuodonvalvontajärjestelmän näyttö Maglajin tehtaalla, vasemmalla puolella syöttövesi-höyryeron ja oikealla kattilavesivuodon trendit testin ajalta

Maglajin tehtaalle toimitetussa Valmetin vuodonvalvontajärjestelmässä on hälytysrajoiksi sekä vesi-höyryerolle että kattilavesivuodolle asetettu 2 t/h (= 0,56 kg/s).

Maglajin tehtaalla tiiveydenvalvonnan ja hälytysten toiminta testataan kuukausittain tehtävällä määräaikaistestillä, joka tehdään ulospuhallusta lisäämällä, kun ulospuhalluksen arvo on ensin jäädytetty Valmetin järjestelmässä.

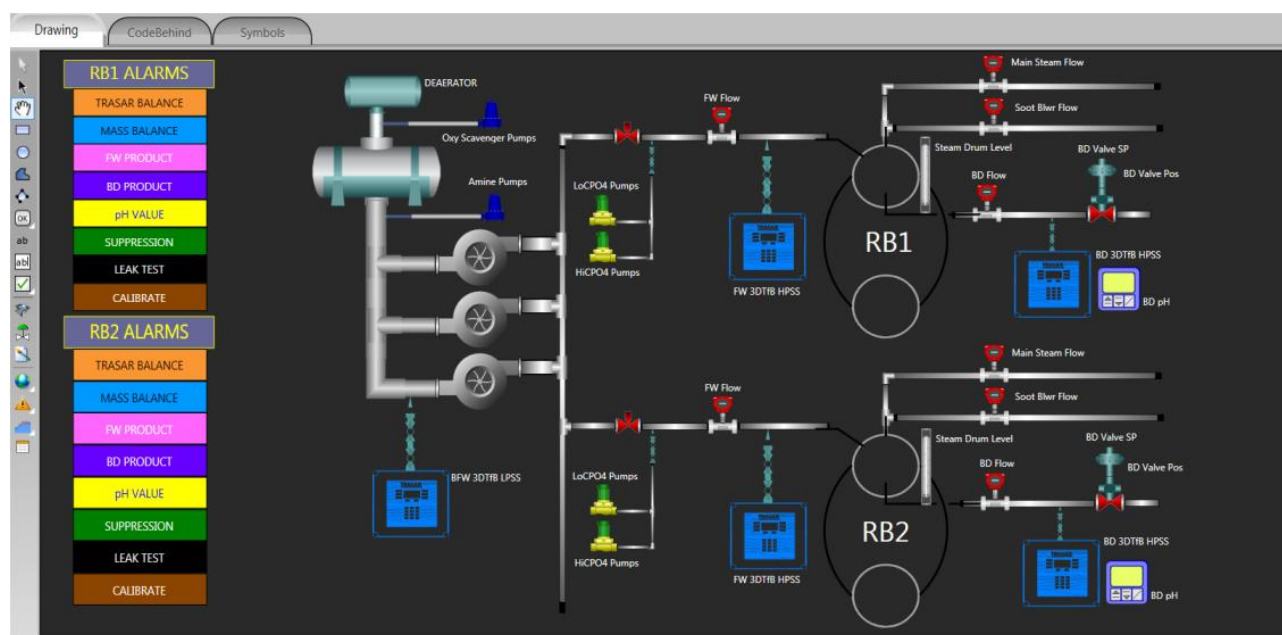
Nalcon toimittama "Recovery Boiler Leak Indicator"-järjestelmä esiteltiin jo vuonna 2001 laaditussa raportissa, ja järjestelmä on pysynyt sekä toimintaperiaatteiltaan että tekniikaltaan samanlaisena. Vuonna 2001 järjestelmä oli käytössä kuudella tehtaalla Pohjois-Amerikassa. Nyt käytössä olevia järjestelmiä on Nalcon ilmoituksen mukaan 34 kappaletta. Uusia asennuksia on siten ollut keskimäärin kaksi kappaletta vuodessa. Nalco toimittaa järjestelmiä ainoastaan USA:han ja Kanadaan.

Nalcon järjestelmä perustuu oman merkkiaineen käyttöön ja analysointiin. Kattiloissa, joissa fosfaatti annostellaan suoraan lieriöön, merkkiaine annostellaan tavallisesti erillisellä annostelupumpulla syöttöveteen, ja merkkiaineen pitoisuutta mitataan sekä syöttövedestä että kattilavedestä erillisillä analysaattoreilla (ks kuva 22).



Kuva 22. Nalcon vuodonvalvontajärjestelmän rakenne ja käyttämät mittaukset kemikaalitaseen avulla tapahtuvan vuodonvalvonnan osalta

Merkkiaine voidaan ainakin osassa tapauksia annostella myös syöttöveteen annosteltavien kemikaalien mukana (kuva 23). Nalcon edustajan mukaan merkkiaine annostellaan yleensä kuitenkin erikseen, jos fosfaatti annostellaan ekojen jälkeen.



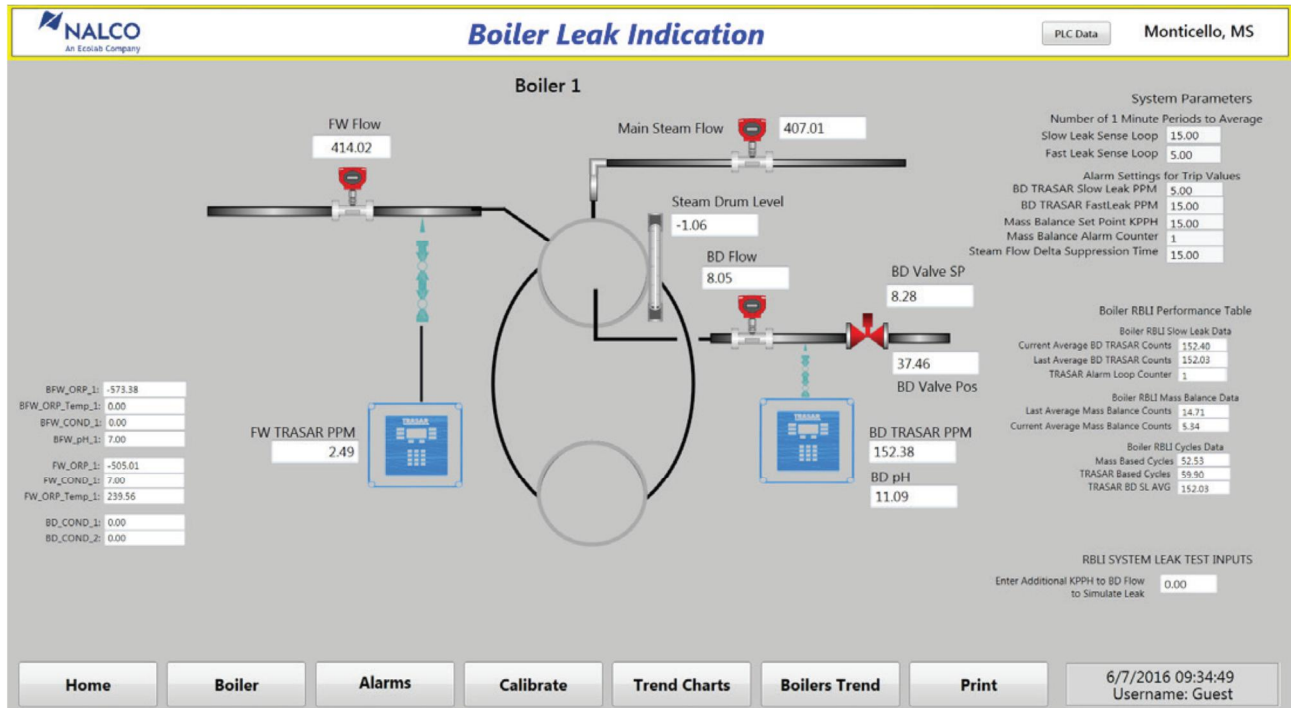
Kuva 23. Nalcon vuodonvalvontajärjestelmän toteutus kahdelle kattilalle, kun merkkiaine on lisätty syöttövesikemikaalien joukkoon (merkkiaineen pitoisuutta syöttövedessä ja kattilavedessä mitataan nyt yhteensä viidellä analysaattorilla)

Syöttöveteen annosteltavan kemikaalin perusteella tehtävän vuotojen valvonnan toteutusta on kuvattu Nalcon esitteessä seuraavasti:

”Ensimmäisellä fluorometrillä mitataan merkkiaineen pitoisuutta syöttövedessä, jolloin sen pitoisuutta syöttövedessä voidaan myös kontrolloida tarkasti. Toisella fluorometrillä mitataan merkkiaineen pitoisuutta ulospuhalluksessa. Virtausmittausten tulosten perusteella pidetään syöttöveden ja ulospuhalluksen suhdetta vakiona, ja merkkiaineen pitoisuutta ulospuhalluksessa valvotaan jatkuvasti. Merkkiaineen pitoisuuden lasku voidaan siten havaita. Laskunopeus analysoidaan statistisia menetelmiä käyttäen ja kun se todetaan merkittäväksi, järjestelmä hälyttää vuodosta kattilassa.”

Kuvauksen perusteella menetelmässä säädetään merkkiaineen annostelua ja ulospuhallusta niin, että merkkiaineetta menee koko ajan kattilaan sama määrä kuin sitä poistuu ulospuhalluksen mukana kattilasta ulos. Tilanne on tällöin sama, kun kattilaan annostellaan fosfaattia ja fosfaatin annostelupumpun tuotto ja ulospuhallusvirtaus pidetään muuttumattomina: kattilaveden fosfaattipitoisuus pysyttelee vakana, jolloin fosfaattipitoisuuden lasku indikoi vuodosta kattilan höyrystinosassa.

Nalcon järjestelmässä ei vuotovirtausta lasketa, vaan vuoto havaitaan kattilaveden pitoisuuden laskun perusteella. Hälytysrajatkin on aseteltu kattilaveden kemikaalipitoisuuden perusteella, kuten kuvassa 24.



Kuva 24. Esimerkki Nalcon vuotojen valvontajärjestelmän valvomonäytöistä

Kuvan 24 esimerkki on Georgia-Pacificin Monticellon tehtaalla, jossa on kaksi soodakattilaa, joiden molempien kapasiteetti on 1100 tKA/vrk (2,5 Mlb/vrk).

Hälytysrajat asetetaan Nalcon järjestelmässä seuraavasti:

1. Pienet vuodot (vuodon koko 0,3 – 1,0 l/s, 5 – 15 gpm)

Merkkiaineen pitoisuudelle määritetään uusi arvo 15 minuutin välein, ja hälytys aktivoituu ensimmäisen kerran, kun seitsemästä peräkkäisestä arvosta kuusi on vähintään 0,35 mg/l verran edellistä pienempi. Toisen kerran hälytys aktivoituu, kun kahdeksasta peräkkäisesti arvosta seitsemän on vähintään 0,35 mg/l edellistä pienempi. Hälytyksen saantiin kuluu siten vähintään 1,5 tuntia vuodon alusta.

2. Suuret vuoto (vuoto on suurempi kuin 1,0 kg/s = 15 gpm)

Merkkiaineen pitoisuudelle määritetään uusi arvo 5 minuutin välein, ja hälytys aktivoituu kahdesta peräkkäisestä arvosta jotka ovat vähintään 10 mg/l verran edellistä pienempiä. Hälytyksen saantiin kuluu siten vähintään 15 min vuodon alusta.

3. Syöttövesi-höyryero

Syöttövesi-höyryerolle hälytysraja asetetaan tavallisesti käyttäen yksikköä KHHP (1000 lb tunnissa). Esimerkiksi kuvan 24 tapauksessa syöttövesi-höyryeron hälytysraja on 15 KPPH = 1,9 kg/s.

Tiedossa ei ole, miten suurissa soodakattiloissa Nalcon järjestelmiä on käytössä ja miten järjestelmän tarkkuus vaihtelee kattilan koon ja virtausten mukaan. Yhdysvalloissa soodakattilan ovat kuitenkin keskimäärin pieniä, keskipäsiteetti on 1300 tKA/vrk, joten voidaan olettaa, että suurin osa käytössä olevista Nalcon järjestelmistä on käytössä kattiloissa, jotka ovat suurinta osaa suomalaisia kattiloita pienempiä.

BLRBAC:n syys- ja kevätkokousten pöytäkirjoissa 2007 – 2017 on 70 vaurioraporttia vuodoista kattiloissa, joissa oli vaurion aikaan käytössä Nalcon tiiveydenvalvontajärjestelmä. Näistä 31:ssä vuoto havaittiin tai sen olemassaolo voitiin varmentaa Nalcon järjestelmän avulla. Suurin osa ko. tapauksista oli vuotoja ekoissa (26), tulistimissa (12) tai muissa ei-vaarallisissa osissa kattilaa (2). Osa kattilan höyrystinosan vuodoista suuntautui kattilahuoneeseen tai oli tulipesän ulkopuolelle.

Kun em. 70 vuototapauksen joukosta poistetaan sekä ekoissa, tulistimissa ja muissa ei-vaarallisissa osissa kattilaa olleet vuodot että ne höyrystinosan vuodot, joissa vuoto suuntautui kattilahuoneeseen, jäi jäljelle 19 vuototapausta. Näistä Nalcon järjestelmä tunnisti 12 (63 %).

Seitsemässä vuototapauksessa, joissa Nalcon järjestelmä ei reagoinut vuotoon, vuoto oli joko niin pieni, että se jäi alla hälytysrajan (yhdessä tapauksessa vuodon kooksi arvioitiin jälkeinpäin 0,3 kg/s, muissa kahdessa tapauksessa vuodon aiheuttaja oli pieni särö tai kaksi pientä pistemäistä syöpymää) tai hyvin suuri ja äkillinen aiheuttaen välittömästi kattilasuojan laukeamisen (neljä tapausta).

Pienet vuodot, joita Nalcon järjestelmä ei havainnut, havaittiin vasta alasajon jälkeen joko vesipainekokeessa tai veden virratessa sulakouruun tunti alasajon jälkeen. Kahdessa tapauksessa alasajon syynä oli ylimääräinen kosteus tai höyry kattilahuoneessa, ja yhdessä alasajo tehtiin tehtaan tuotannon rajoittamiseksi.

Nalcon järjestelmä tunnisti siis 12 vuotoa, joissa vuoto oli tulipesässä, verhoissa tai keittopinnassa ja vesi vuosi tulipesään tai savukaasukanaavaan. Näistä 10 tapauksessa ensimmäinen indikaatio vuodosta tuli Nalcon järjestelmästä. Kahdessa tapauksessa vuodon havaitsi operaattori joko keittopinnan tuhkan kosteuden tai kattilahuoneeseen tulleen kosteuden perusteella (vuoto alkoi kattilan katon yläpuolella mutta myöhemmin vettä tippui myös katon läpi tulipesään).

Vuonna 2001 myös Hercules toimitti kattilan kemikaalitaseen seurantaan perustuvia vuodonvalvontajärjestelmiä, joita tuolloin oli käytössä kymmenessä soodakattilassa Pohjois-Amerikassa. Yritystestien myötä ko. järjestelmien toimittaja on vaihtunut ja on nykyisin Solenis, jolla on toimintaa myös Suomessa. Yrityksen Suomen edustajilla oli käytössä ainoastaan yksi järjestelmää kuvaava esite, jossa laitteisto esiteltiin lähinnä kemikaaliannostelulaitteistona. Kattilavuotojen valvontaan esitteessä ainoastaan viitataan kerran todeten, että sellaiseenkin laitteistoa voidaan käyttää. Toimittajalta ei ollut saatavissa yksityiskohtaisempaa aineistoa järjestelmästä.

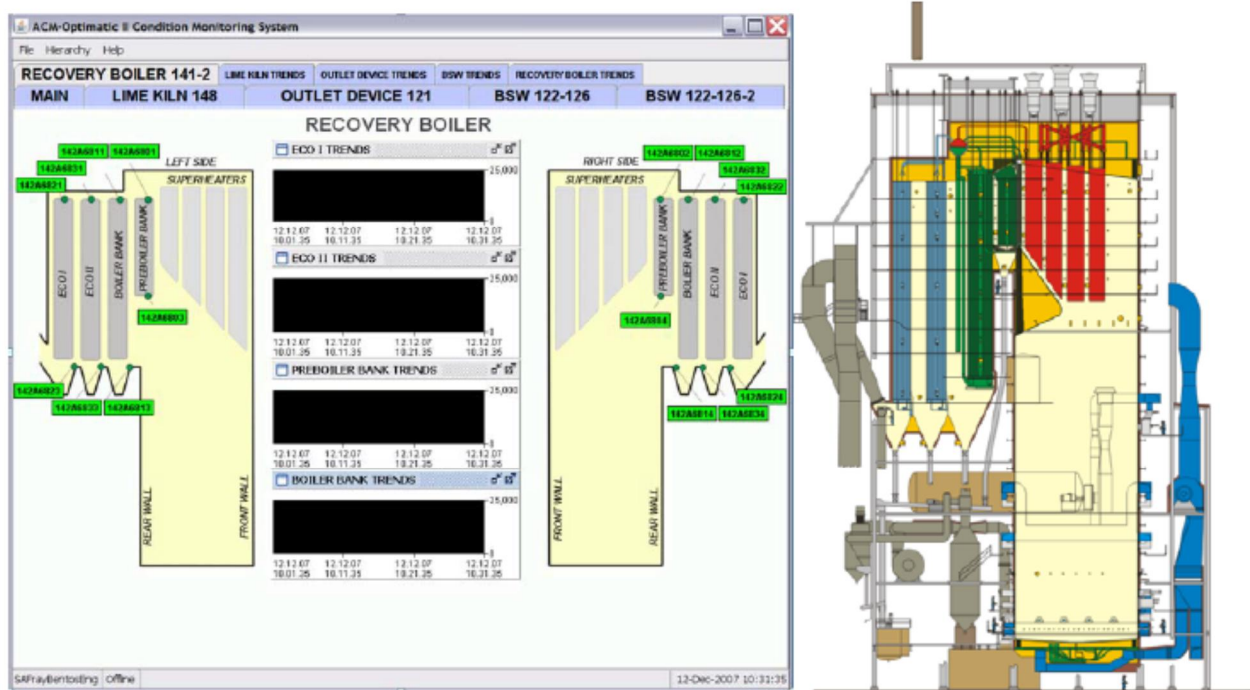
4.3 Akustisen emission seurantaan perustuvat järjestelmät

Vuonna 2001 akustisen emission seuranta oli käytössä Raumalla, Kotkassa, Veitsiluodossa, Varkaudessa, Kemissä, Uimaharjussa, Joutsenossa ja Kaskisissa. Akustisen emission seurantajärjestelmien toimittaja oli tuolloin Acutest, joka sittemmin siirtyi osaksi Andritzia.

Tällä hetkellä akustisen emission seurantaan perustuvia menetelmiä ei kyselyyn saatujen vastausten perusteella ole enää käytössä yhdelläkään tehtaalla Suomessa.

Andritzin mukaan akustisen emission seurantajärjestelmiä on asennettu 18 soodakattilaan 20 vuoden aikana [4].

Kuvassa 25 on esitetty esimerkki akustisen emission järjestelmästä Fray Bentosin tehtaalta Uruguaysta. Akustiset anturit on asennettu ekojen ja keittopinnan jakotukkien päihin.

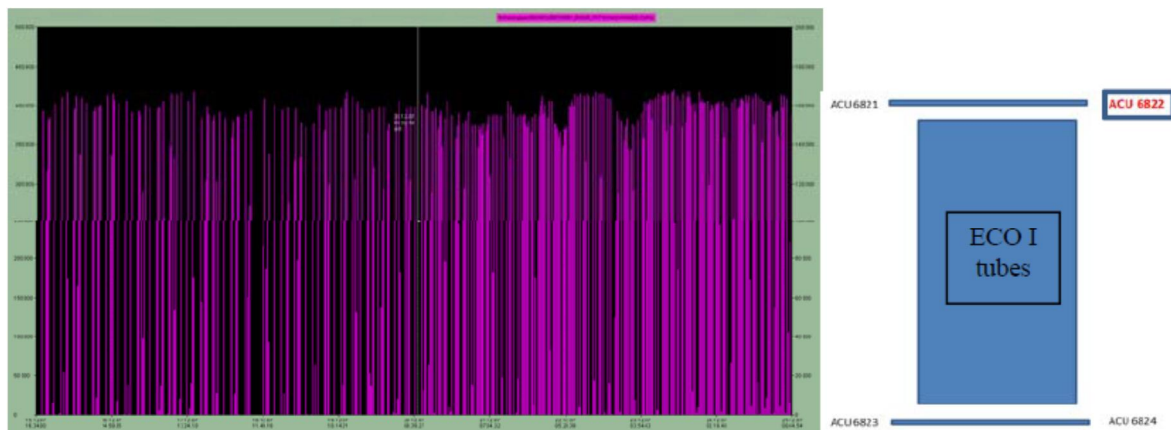


Kuva 25. Andritzin akustisen emission seurantajärjestelmän näyttökuva ja kattilakuva Fray Bentosin tehtaalta Uruguaysta [4]

Akustisen emission antureilla on voitu todeta ekonomaiserivuotoja. Seuraavassa on esitetty tarkemmin kaksi tällaista tapausta [4].

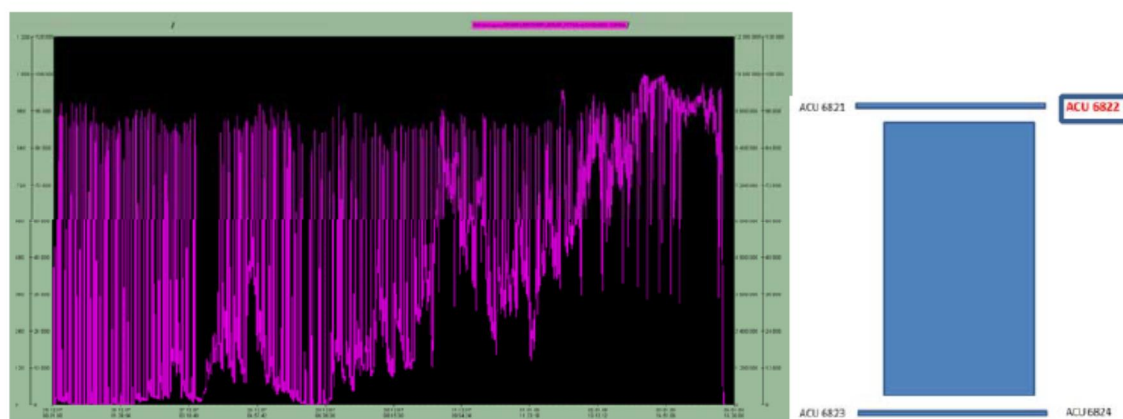
Tapaus 1. Vuoto 1-ekonomaiserissa 2007

Andritzin mukaan akustinen emissio indikoi ko. tapauksessa vauriosta viisi vuorokautta ennen varsinaisen vuodon alkua ja 15 vuorokautta ennen kuin vuoto oli havaittavissa tuhkan kosteutena. Ko. anturin signaalien amplitudi kasvoi jo joulukuun 20. päivästä lähtien, ks. kuva 26. Signaalitaso ei tuolloin kuitenkaan ollut jatkuvasti korkea, joten kyse ei ollut vuodosta.



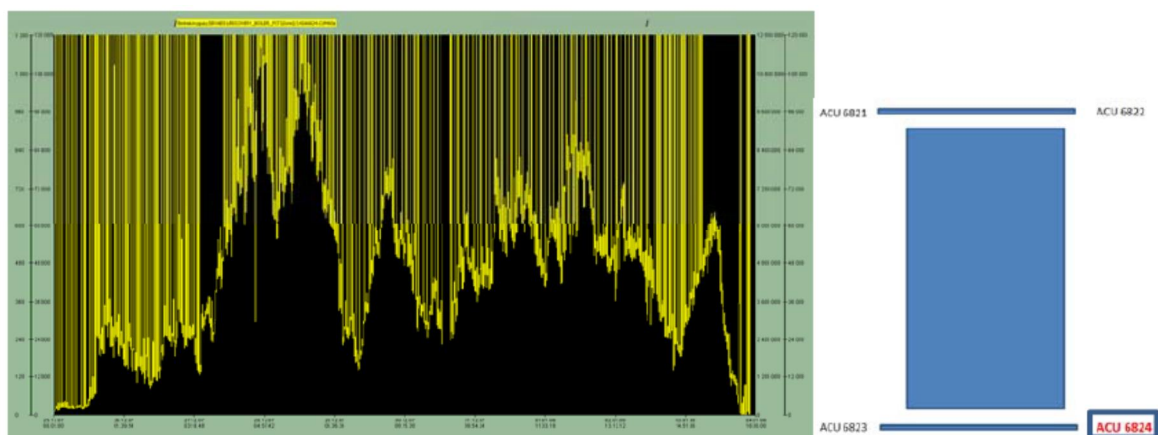
Kuva 26. Ekonomaiserin yläjakotukin oikeanpuoleisen päädyn akustisen emission anturin näyttämä 15.12. – 25.12.

Jatkuvasti koholle signaalitaso jäi 26.12. lähtien, kuva 27., indikoiden vuodon alkamisesta.

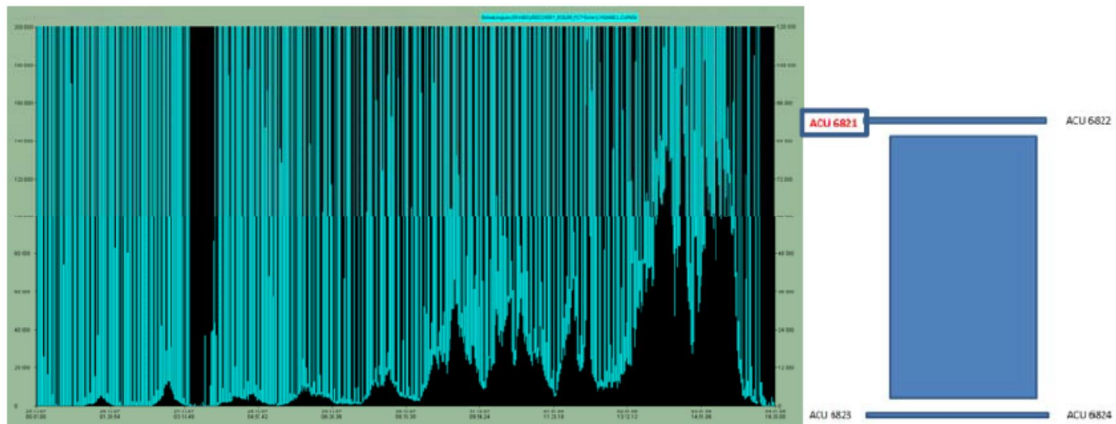


Kuva 27. Ekonomaiserin yläjakotukin oikeanpuoleisen päädyn akustisen emission anturin näyttämä 25.12. – 4.1. (alasajoon saakka)

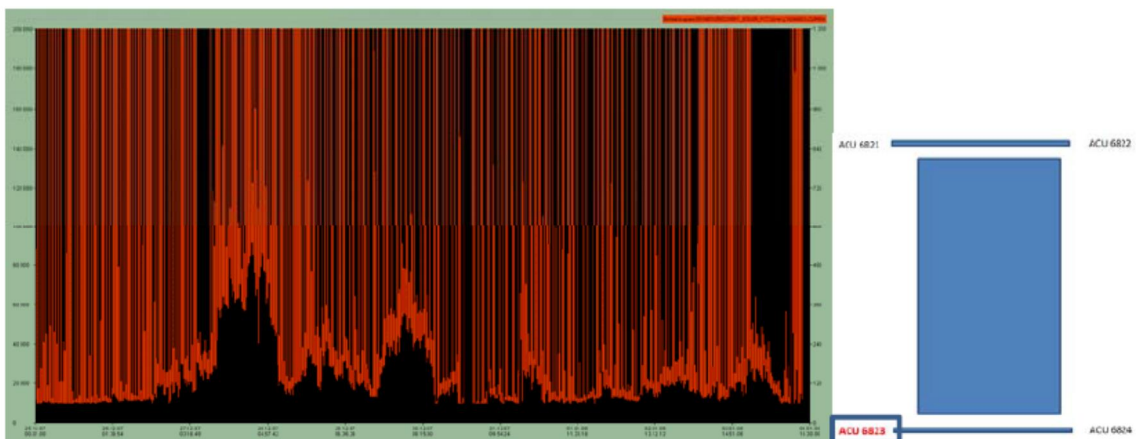
Vuodon aiheuttama akustinen emissio oli havaittavissa myös muilla antureilla, mutta niiden signaalitaso oli matalampi, joten tuloksista voitiin päätellä, että vuoto on lähinnä yläjakotukin oikeanpuoleista anturia.



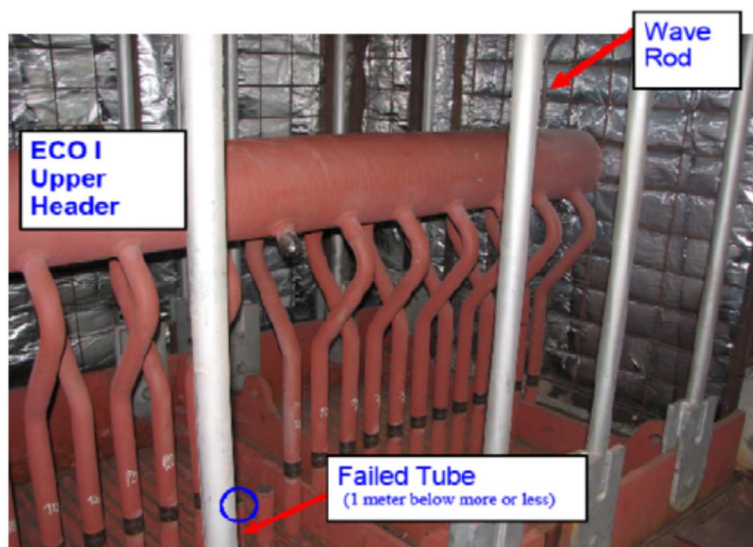
Kuva 28. Kuva B. Ekonomaiserin alajakotukin oikeanpuoleisen päädyn akustisen emission anturin näyttämä 25.12. – 4.1. (alasajoon saakka)



Kuva 29. Ekonomaiserin yläjakotukin vasemmanpuoleisen päädyn akustisen emission anturin näyttämä 25.12. – 4.1. (alasajoon saakka)



Kuva 30. Kuva B. Ekonomaiserin alajakotukin vasemmanpuoleisen päädyn akustisen emission anturin näyttämä 25.12. – 4.1. (alasajoon saakka)

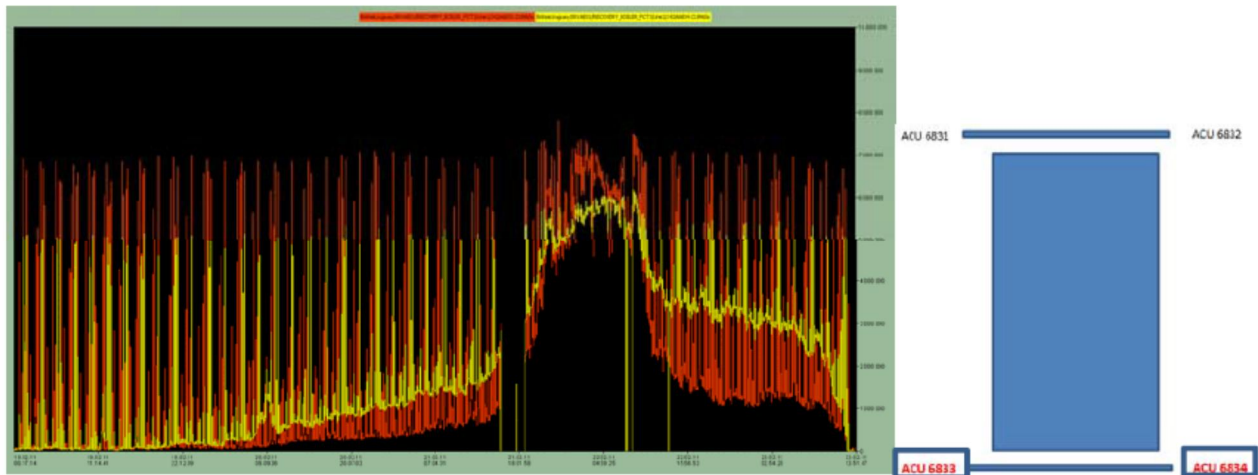


Kuva 31. Vuotanut putki 1-ekonomaiserissa

Vuotanut putki löytyi läheltä yläjakotukkia ja oikealta puolelta, kuten antureiden näyttämistä oli pääteltävissä. Koska vuoto oli suhteellisen ylhäällä, ei vuoto näkynyt alkuvaiheessa kosteutena tuhassa, koska vuotovesi haihtui savukaasuihin vuodolle ollessa pieni.

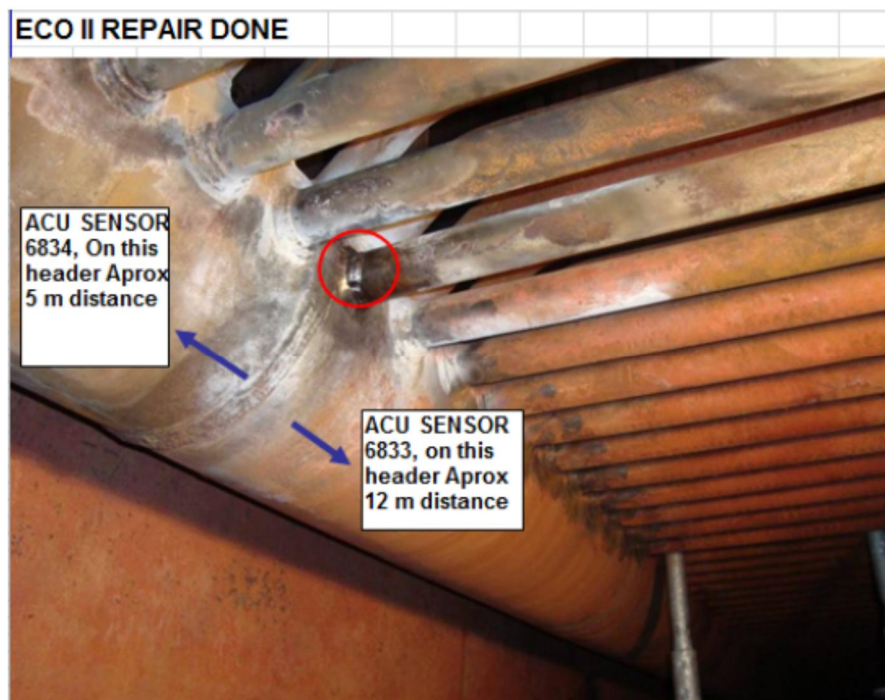
Tapaus 2. Vuoto 2-ekonomaisierissa helmikuussa 2011

Akustisen emission järjestelmän 2-ekon alajakotukin antureiden signaalitasoissa havaittiin 11.2. muutoksia, joiden perusteella tehdasta varoitettiin tulevasta vuodosta ekossa. Vuoto havaittiin yhdeksän päivää myöhemmin jatkuvasti koholla olleiden signaalien perusteella (ks kuva 32) ja päivä myöhemmin tuhkan kosteuden perusteella.



Kuva 32. Eko-2:n alajakotukin akustisen emission antureiden signaalit 19. – 23.2.2011

Yläjakotukin antureiden signaalitasoissa ei ollut havaittavissa yhtäjaksoista korkeaa signaalia, joten vuodon voitiin päätellä olevan lähellä alajakotukin antureita. Vuoto paikantui alajakotukkiin, ks. kuva alla.

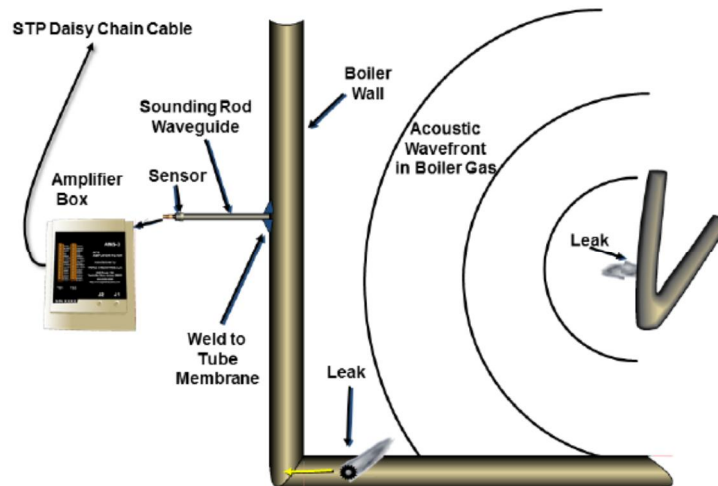


Kuva 33. Eko-2:n alajakotukki vuodon korjauksen jälkeen

Alajakotukin antureiden avulla on voitu havaita myös tyhjennyslinjan venttiilivuotoja. Ko. tapauksissa vuoto on ollut havaittavissa ainoastaan alajakotukin antureilla.

Vuonna 2001 Pohjois-Amerikassa on käytössä Triple 5:n toimittamia akustisen emission seurantajärjestelmiä. Järjestelmiä oli tuolloin käytössä 13 kattilassa. Nyt Triple 5:n järjestelmiä on käytössä Pohjois-Amerikassa 16 kattilassa. Antureita on käytössä 16 - 48 kpl per kattila. Yhteensä antureita on käytössä 481 kpl, eli keskimäärin 30 kpl per kattila.

Triple 5:n anturit ovat rakenteeltaan samanlaisia kuin Andritzin anturit, eli anturit on kiinnitetty metallitankoon, jonka toinen pää hitsataan kattilan painerunkoon. Antureiden mittaama taajuusalue on 2 – 11 kHz.



Kuva 34. Triple 5:n antureiden asennus

BLRBAC:n kevät- ja syyskokousten pöytäkirjoissa 2007 – 2017 oli 25 vaurioraporttia, joissa mainittiin vuodon tapahtuneen soodakattilassa, jossa oli käytössä Triple 5:n järjestelmä. Vuoto voitiin tunnistaa tai varmistaa akustisen emission perusteella 13 tapauksessa, eli noin puolessa kaikista tapauksista.

Kun tarkastellaan vuotojen tunnistusta vuodon paikan suhteen, olivat tulokset seuraavat:

- ekovuodot: 8 kpl, akustisen emission avulla tunnistettuja tai varmistettuja 4 kpl
- keittopintavuodot: 1 kpl, akustisen emission avulla tunnistettuja tai varmistettuja 0 kpl
- tulipesävuodot: 6 kpl, akustisen emission avulla tunnistettuja tai varmistettuja 2 kpl
- verhovuodot: 6 kpl, akustisen emission avulla tunnistettuja tai varmistettuja 4 kpl
- tulistinvuodot: 4 kpl, akustisen emission avulla tunnistettuja tai varmistettuja 3 kpl

Luotettavimmin akustisen emission seurannan avulla näyttäisi siis löytyvät vuodot, jotka ovat verhoissa, ekoissa tai tulistimissa. Tähän viittaa sekin, että toimittajalta saadussa materiaalissa on esitelty tapaus, jossa järjestelmä on tunnistanut vuodon ekoissa.

Suurin osa ko. vuodoista oli ei-kriittisiä, eli vuotoihin ei liittynyt tulipesäräjähdyksen vaaraa. Vaarallisia vuotoja, joissa vettä vuosi tulipesään tai keittopinnalta, oli kahdeksan. Näistä akustisen emission avulla tunnistettiin tai paikannettiin neljä, eli tasan puolet. Merkille pantavaa on, että kaikissa neljässä tapauksessa, joissa kriittinen vuoto tunnistettiin akustisen emission avulla, ensimmäinen merkki vuodosta saatiin juuri akustisen emission järjestelmästä. Kolmessa tapauksessa kyse oli verhoputkivuodosta ja yhdessä seinäputkivuodosta.

Neljässä tapauksessa akustisen emission järjestelmä ei reagoinut kriittiseen vuotoon. Kaksi vuodoista oli verhoputkessa, yksi keittopinnassa ja yksi tulipesän seinäputkessa.

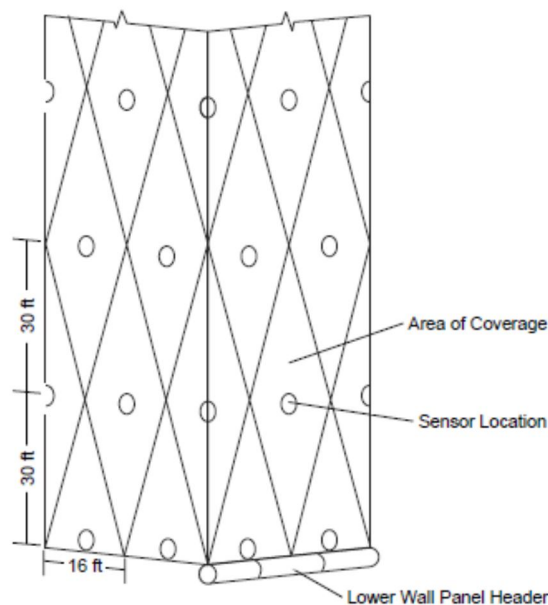
Keittopintavuodon löysi operaattori sattumalta tarkastaessaan savukaasukanavan tukkeutumia. Yksi verhoputkivuodoista oli suuri ja äkillinen aiheuttaen kattilasuojan laukeamisen, ja toisen löysi operaattori sattumalta tarkastaessaan kattilaa tulistimien puhdistamiseksi tehdyn lipeänpolttokatkon aikana.

Yhdessä tapauksessa vuodon syynä oli pohjaputken ylikuumenemisen aiheuttama vaurio, jonka seurauksena putkeen tuli kolme pistemäistä reikää. Vuoto sai aikaan paineiskuja tulipesässä, ja operaattori reagoi kolmanteen tössähdykseen tekemällä pikapysäytyksen. Kattilaveden johtokyky ja fosfaattipitoisuus olivat alkaneet laskea jo kuusi tuntia ennen pikapysäytystä, joten vuodot olisivat olleet todettavissa jo aiemmin syöttövesi-höyryeron ja kemikaalitaseen seurannan avulla, jos nämä menetelmät olisivat olleet ko. kattilassa käytössä.

BLRBAC:n vaurioraporteissa ei ole mainittu, oliko vuotojen lähellä Triple 5:n antureita eli oliko edes periaatteessa mahdollista, että järjestelmä olisi voinut havaita vuodot. Ko. tapausten perusteella ei siten voida arvioida akustisen emission soveltuvuutta vuotojen tunnistukseen puoleen eikä toiseen.

Tietävästi kattavimmin akustisen emission soveltuvuutta soodakattiloiden tiiveyden valvontaan on selvittänyt B&W, joka tutki ja kokeili sekä ilmaa kuuntelevien että painerunkoon liitettyjen antureiden soveltuvuutta soodakattiloihin 1980 ja 90-luvuilla [5]. Suurin osa kokeista tehtiin painerunkoon liitetyillä antureilla. Selvityksissä ja kokeissa päädyttiin seuraaviin johtopäätöksiin:

- vuotosignaalit olivat kuultavissa tulipesän seinien jakotukkeihin asennetuilla antureilla ainoastaan lyhyeltä etäisyydeltä
- tulipesän seinäputkien tiiveyttä voidaan valvoa akustisen emission antureilla, kun anturit on asennettu sivusuunnassa korkeintaan 4,8 m ja korkeussuunnassa korkeintaan 10 m välein ao. kuvan tapaan
- on mahdollista, että pohjaputkien vuodot tuottavat akustista emissiota jaksoittaisina purkauksina yhtäjaksoisen "sihinän" sijaan, joten tavanomainen vuotojen tunnistustekniikka ei luultavasti sovellu pohjaputkien vuotojen tunnistukseen



Kuva 35. B&W:n suositus akustisen emission antureiden sijoittamisesta tulipesän seiniin [5]

B&W:n raportissa mainitaan, että 1000 tKA/vrk soodakattilassa, jossa pohjan ala on 12 m x 10 m ja tulipesän korkeus on 36 m, tarvittaisiin antureita neljään tasoon, kahdeksan kappaletta kussakin tasossa, eli yhteensä 32 kpl. Suuressa soodakattilassa, jonka pohjan ala on esim. 14 m x 14 m ja korkeus 60 m, antureita tarvittaisiin vastaavasti 72 kpl.

5 Suurten vuotojen valvonta

Suuret, äkilliset vuodot tulipesän tai keittopinnan alueella ovat – onneksi – suhteellisen harvinaisia. Esimerkiksi pohjoisamerikkalaisissa soodakattiloissa, joissa oli käytössä Nalcon tiiveydenvalvontajärjestelmä, tapahtui vuosina 2007 – 2017 yhteensä 19 vuotoa, joissa vettä saattoi päästä tulipesään. Näistä 15:ssä kyse oli pienestä vuodosta ja ainoastaan neljässä tapauksessa kyse oli putken äkillisestä repeämisestä.

Suuria äkillisiä vuotojakin siis kuitenkin esiintyy, ja muuallakin kuin Pohjois-Amerikassa. Suomessa tapahtuneita suuria äkillisiä vuotoja on esitetty ao. taulukossa.

Taulukko 4. Äkillisiä suuria kattilavuotoja Suomessa 2000 - 2016

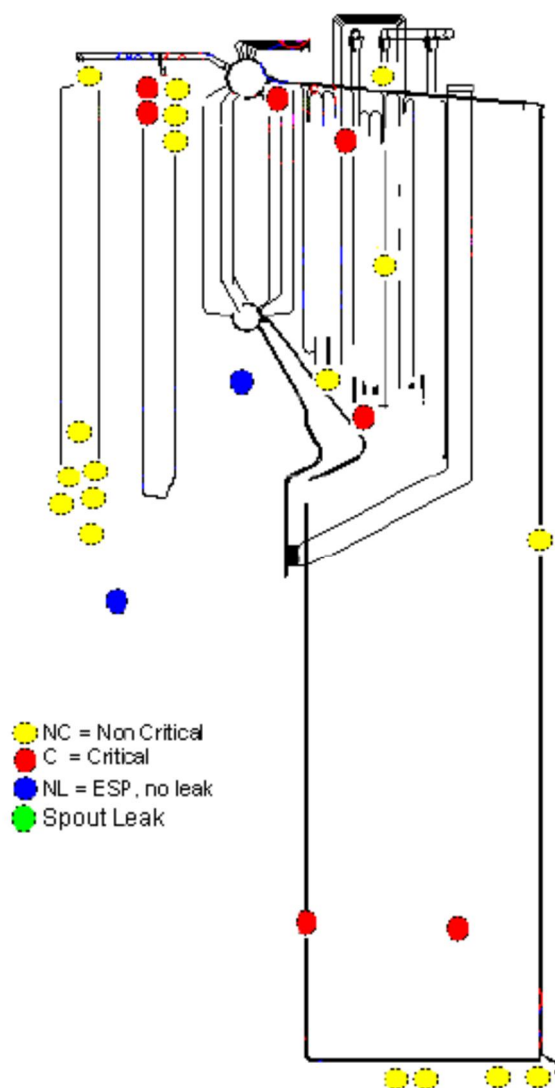
Tehdas	Ajankohta	Vuoto	Alasajo ja tehdyt suojaustoimet
MF Kaskinen	10/2000	Verhoputken vuoto	Normaali alasajo
Kotkamills	4/2001	Seinäputken repeämä	Kattilasuoja Pikapysäytys
UPM Kaukas	1/2005	Keittopinnan putken repeämä	Kattilasuoja
UPM Kaukas	3/2006	Seinäputken repeämä	Kattilasuoja Pikapysäytys Pikatyhjennys
MF Kemi	2/2008	Tulistinputken katko	Pikapysäytys
Stora Enso Imatra (SK5)	8/2011	Seinäputken repeämä	Kattilasuoja Pikapysäytys
Stora Enso Veitsiluoto	4/2014	Kattoputken repeämä	Pikapysäytys
Stora Enso Imatra (SK5)	4/2016	Tulistinputken katko	Normaali alasajo 10 päivää myöhemmin

Taulukossa 4 on kolme seinäputkivuotoa ja yksi verhoputkivuoto, joissa vettä pääsi varmuudella tulipesään, ja yksi keittopinnan putken repeämä, josta vettä olisi voinut päästä tulipesään (näin ei nyt onneksi käynyt, repeämä oli nokan takana). Viidestä tapauksesta ainoastaan yhdessä operaattorit tekivät sekä pikapysäytyksen että pikatyhjennyksen.

Suomessa kynnys pikatyhjennyksen tekemiseen on ollut perinteisesti korkea, kuten em. tapauksetkin osoittavat. Pikatyhjennyksiä on tehty niin harvoin, että Soodakattilayhdistyksen tietokonnasta on vaikea löytää tapauksia, joissa pikatyhjennys olisi tehty. Haku pikatyhjennyksellä antaa ainoastaan kolme tapausta, joista kaksi on mahdollisesti väärin luokiteltu. Kaukaan seinäputken repeämä 2006 ei ole yksikään ko. tapauksista. Ainoa luotettavalta vaikuttava pikatyhjennystapaus, jonka haku antaa, on sekin Kaukaalta, on verhoputkivaurio vuodelta 1991.

Pohjois-Amerikassa pikatyhjennyksiä tehdään huomattavasti useammin. BLRBAC:n pöytäkirjojen mukaan vuosina 2010 – 2017 Pohjois-Amerikassa tehtiin 135 pikatyhjennystä. Syksyllä 2017 Pohjois-Amerikassa on käytössä 188 soodakattilaa. Olettaen, että pikatyhjennyksiä tehdään kaikissa kattiloissa likimain samaa tahtia, tarkoittaisi se, että pikatyhjennyksiä tehdään keskimäärin yhdeksän vuoden välien jokaisessa kattilassa.

BLRBAC pitää myös kirjaa siitä, ovatko pikatyhjennykset tehty aiheesta ja tarvetilanteesta. Aiheellisenä pidetään pikatyhjennystä, joka tehdään kun kattilassa on vuoto, josta vettä pääsee tulipesään. Jokainen vuoto arvioidaan erikseen ja arvio vedenpääsystä tulipesään tehdään vuodon sijainnin ja suunnan perusteella. Näin ollen myös esim. ekonomaisierivuoto voi olla kriittinen, jos vuoto on tarpeeksi ylhäällä ja suuntautuu tulipesän (ks. kuva 36).



Kuva 36. Esimerkki BLRBAC:n tekemästä kattilavuotojen luokittelusta (syksyn 2017 kokouspöytäkirjasta)

Vuodon koolla ei sen sijaan ole merkitystä. Myös esim. vesipainekokeessa havaitut vuodot luokitellaan kriittisiksi, jos niiden sijainnin ja suunnan perusteella vettä on voinut päästä tulipesään ennen kattilan alasajoa tai vettä olisi voinut päästä tulipesään, jos vuotoa ei olisi huomattu vesipainekokeessa.

BLRBAC:n tilastojen mukaan pikatyhjennys tehdään keskimäärin 72 %:ssa kriittisistä vuodoista, jotka on havaittu kattilan käytön aikana (eikä esim. vesipainekokeessa).

Jos Soodakattilayhdistyksen vauriotietokannan haun tulokset pitävät paikkansa, on Suomessa tehty ainoastaan yksi pikatyhjennys 2000 – 2016. Kriittisiä vuotoja, joissa vettä pääsee tulipesään, tapahtuu kuitenkin huomattavasti useammin. Esim. Soodakattilayhdistyksen tietokannasta löytyy haulla "normaalikäyttö" ja "vesivuoto tulipesään" 15 tällaista vuotoa. Tällä perusteella pikatyhjennys on tehty Suomessa alle 10 % kriittisistä vuodoista.

Syitä siihen, että pikatyhjennyksiä tehdään Suomessa harvoin, voi olla useita. Yksi ainakin on huoli kattilan vaurioitumisesta pikatyhjennyksen seurauksena. Voisi olettaa, että jos pikatyhjennykset aiheuttaisivat kattilavaurioita, olisi aihe noussut keskustelun piiriin Pohjois-Amerikassa, onhan todennäköistä, että käytössä on kattiloita, joissa on tehtyä useitakin pikatyhjennyksiä. Näin ei ole

kuitenkaan käynyt, joten on luultavaa, että huoli kattilan vaurioitumisesta pikatyhjennyksen seurauksena on ylimitoitettu.

Toisaalta varsinkin tilanteessa, jossa kyse on suuresta vuodosta, josta vettä pääsee tulipesään, on vaurioriski konkreettinen ja käytännössä suureksi todettu. Suomalaisissa soodakattiloissa tapahtuneiden vahinkojen perusteella arvioiden tulipesäräjähdyksriski on noin 30 %, kun tulipesään pääsee vettä suuresta vuodosta eikä pikatyhjennystä tehdä. Samansuuruiseen arvioon oli aiemmin päätyntä myös Tom Grace BLRBAC:n vaurioraporttien perusteella.

Kokemukset Pohjois-Amerikasta tukevat olettamusta, että pikatyhjennyksellä voidaan estää tulipesäräjähdyksiä ja vähentää niiden voimakkuutta.

Gracen mukaan vuosina 1970 – 93 Pohjois-Amerikassa tapahtuneista tulipesäräjähdyksistä, joiden syynä oli vuoto kattilan painerungossa, 66 % tapauksista räjähdys tapahtui pikapysäytyksen ja -tyhjennyksen jälkeen, ja kolmasosassa räjähdys tapahtui ilman, että kattilassa tehtiin pikapysäytystä ja -tyhjennystä. Vaurioiden vakavuudessa on huomattava ero: vakavia vaurioita aiheutui ainoastaan noin joka viidennessä räjähdyksessä, joka tapahtui pikapysäytyksen ja -tyhjennyksen jälkeen, kun taas puolessa niistä räjähdyksistä, jotka tapahtuivat ilman pikapysäytystä ja -tyhjennystä, vauriot olivat vakavia.

Toinen syy pikatyhjennyksen tekemättä jättämiseen on todennäköisesti se, että Suomessa pikatyhjennyksen teko vaatii erillistä päätöstä, kun taas Pohjois-Amerikassa pikatyhjennys seuraa automaattisesti pikapysäytyksestä.

Soodakattilayhdistyksen vauriotietokannan mukaan pikapysäytys on tehty Suomessa 11 kertaa 2000 – 2016. Tasaisella vauhdilla pikapysäytyksiä tehtiin siten kerran noin 26:tta käyttövuotta kohden. Tahti on edelleen harvempi kuin Pohjois-Amerikassa, jossa pikapysäytyksiä tehtiin keskimäärin kerran yhdeksässä käyttövuodessa, mutta ero on huomattavasti pienempi kuin pikatyhjennysten suhteen.

Koska pikatyhjennyksen teko vaatii erillisen päätöksen, vaikuttaa yleinen käytäntö olevan, että päätös pikatyhjennyksestä tehdään vasta kun on havaittu, että vettä pääsee jatkuvasti tulipesään ja aina sulan joukkoon saakka. Tämä edellyttää, että veden pääsy on joko nähtävissä tai kuultavissa. Hyvä esimerkki tästä on ainoa tiedossa oleva tapaus tältä vuosituhanelta, jossa pikatyhjennys on tehty. Vaurioraportin mukaan tapahtumat etenivät seuraavasti:

”Kattilan lipeäkuorma oli 51 kg(ka)/s, höyrykuorma 125 kg/s. Kattilan tulipesän ja ekojen paine-erot alkoivat heittelehtiä sekä lieriön pinta hälyttämään alarajaa n. klo 00.58. Syöttövesivirtaus kasvoi yli 40 kg/s, joten operaattori painoi kattilasuoja-painiketta klo 01.04 ts. teki pikapysäytyksen. Voimakkaan suhina ja epänormaalin töminän seurauksena painoi operaattori myös pikatyhjennyksen klo 01.29.”

Luultavaa on, että ilman ”voimakasta suhinaa ja epänormaalia töminää” pikatyhjennys olisi tässäkin tapauksessa jäänyt tekemättä, koska näin on käynyt ilmeisesti kaikissa niissä tapauksissa, joissa vettä on päässyt tulipesään, mutta pikatyhjennystä ei ole tehty.

Käytäntöä ei voida pitää erityisesti turvallisuutta korostavana, sillä voimakas räjähdys voi tapahtua ilman, että sitä edeltäisi ”voimakas suhina ja epänormaali töminä”. Esimerkiksi Vallvikin räjähdyksessä vuonna 1998 Ruotsissa operaattori oli juuri ennen räjähdystä lipeäruiskuilla, ja Ruotsin soodakattilayhdistyksen kokouspöytäkirjan mukaan

”Operaattorin näkemyksen mukaan sen lyhyen aikaa, jonka hän oli lipeäruiskuilla, tulipesä oli täysin rauhallinen. Mikään ei viitannut siihen, että tulipesään on päässyt suuri määrä vettä, kuten on täytynyt tapahtua sen lyhyen ajan sisällä, mikä kului putken repeämisestä räjähdykseen. Mikään ei osoittanut, että tulipesässä oli putki revennyt”

Räjähdyks, joka tapahtui, oli kuitenkin hyvin voimakas. Operaattori pelastui, koska hän selvisi paineiskusta loukkaantumatta ja pääsi kattilahuoneesta ulos turvaan nopeasti.

Suomessa vastaavista tilanteista ollaan selvitty lähinnä hyvällä onnella. Useimmissa tapauksissa, joissa vettä on päässyt tulipesään, työskentelyä kattilahuoneessa on jatkettu senkin jälkeen, kun vuoto on tunnistettu, mahdollisesti juuri sen selvittämiseksi, kuuluuko tai näkykö merkkejä veden pääsystä sulan joukkoon ja onko siten tarpeen tehdä pikatyhjennys.

Käytännöstä on seurannut läheltä piti-tilanteita, joista onneksi ollaan selvitty ilman vakavia henkilövahinkoja.

Osaltaan em. toimintatapojen muodostumiseen on vaikuttanut luultavasti se, että operaattoreiden ei ole helppo havaita valvomosta käsin onko vuoto vaarallinen.

Erityisen vaikeaa tämä voi olla tilanteessa, jossa vuoto on niin suuri, että se aiheuttaa kattilasuojan laukeamisen, sillä kattilasuojan laukeamisen seurauksena aktivoituu niin suuri joukko hälytyksiä, että se vaikeuttaa varsinaisen alkusyy selvittämistä.

Esim. Vallvikissa ensimmäisen 15 minuutin aikana putken repeämisen jälkeen hälytyksiä tuli 432 kpl. Kotkassa puolestaan hälytyksiä tuli putken repeämisestä seuranneen 30 minuutin aikana lähes 200 kpl. Tämä on sama jakso, jolloin räjähdysriski on kaikkein suurin, ja välittömät toimenpiteet olisivat siten tarpeen.

Kun kattilasuoja on laadittu Soodakattilayhdistyksen Turva-automaatiosuosituksen mukaisesti, tapahtuu kattilasuojan lauetessa seuraavat seuraustoiminnot:

- lipeän syöttö kattilaan estetään
- apupolttoaineen syöttö pysähtyy
- hajukaasut käännetään pois kattilasta.

Kattilasuojan laukeaminen ei siten esim. katkaise syöttöveden pumppausta kattilaan tai käynnistä vaarahälytystä kattilahuoneessa, vaan niiden tekoon vaaditaan operaattorin toimenpiteitä. Operaattoreiden tulisi pystyä tekemään molemmat toimenpiteet vaaratilanteessa mahdollisimman pian kattilasuojan laukeamisen jälkeen.

Valitettavan usein tässä ei onnistuta, vaan operaattorit eivät tunnista tilannetta oikein ja esim. yrittävät pitää lieriössä pintaa nopeuttamalla syöttöveden säätöventtiilin avautumista. Samalla jää huomiotta, että olosuhteet kattilahuoneessa saattavat olla hyvin vaaralliset, ja työskentelyä kattilahuoneessa jatketaan normaaliin tapaan. Harvinaista ei ole myöskään se, että tilannekuvan selvittämiseksi osa operaattoreista lähtee tekemään kattilahuonekierrosta pian kattilasuojan laukeamisen jälkeen.

Tällaisessa tilanteessa on henkilövahinkojen vaara ilmeinen. Valitettavasti ainakaan kaikilla tehtailla tilanne ei ole tässä suhteessa parantunut merkittävästi sitten Äänekoskella vuonna 1965 tapahtuneen räjähdysten: esim. Bosnian Maglajissa 2016 operaattorit menivät kattilasuojan lauettua kattilahuoneeseen pian kattilasuojan laukeamisen jälkeen ja olivat tarkastamassa kattilaa juuri kun tulipesässä räjähti.

Tämän puutteen on tunnistanut myös BLRBAC, jonka ohjeessa "Recommended Good Practise Safe Firing of Black Liquor in Recovery Boilers" [6] todetaan:

“Vaikka kattilan käyttö keskeytyy todennäköisesti korkean tulipesän paineen tai matalan lieriön pinnan takia, jos operaattori ei puutu asiaan, syöttöveden säätöventtiili ohjautuu täysin auki lieriön pinnan säädön pyrkimässä jatkuvasti palauttamaan lieriön pinnan mahdollista siten vuodon jatkumisen. BLRBAC:n tekemä vaurioraporttien katsaus osoittaa, että operaattorit eivät aina tunnista suurta vuotoa matalan lieriön

pinnan ja korkean tulipesän paineen aiheuttajiksi eivätkä he siten aina tee pikapysäytystä ja -tyhjennystä¹.

Tästä johtuen BLRBAC suosittaa suojauslogiikkaan lisäystä, joka sulkee syöttöveden säätöventtiiliin ja kääntää säätöventtiilin ohjauksen tämän jälkeen käsiohjaukselle, kun kattilasuoja laukeaa sekä korkean tulipesän paineen että lieriön matalan pinnan takia ja

- korkean tulipesän paineen raja-arvo tulee arvioida. Harkitse yhteyden ottoa kattilatoimittajaan ja vakuutusyhtiöön mikäli mitään viiveitä otetaan käyttöön.
- lieriön matalan pinnan raja-arvo tulee arvioida. Harkitse yhteyden ottoa kattilatoimittajaan ja vakuutusyhtiöön mikäli mitään viiveitä otetaan käyttöön.

Kun molemmat em. lukitusehdot tulevat voimaan korkeintaan 45 sekunnin viiveellä, syöttöveden säätöventtiili tulee ohjautua kiinni ja ohjaus tulee sen jälkeen kääntyä manuaaliseksi. Lisäksi hälytysnäytölle tulee tulostua viesti, että molemmat em. lukitusehdot ovat aktivoituneet ja tämä voi olla merkki suuresta vuodosta kattilassa.”

Suomessa vastaavaa suositusta suojauslogiikan muuttamiseksi ei ole tehty.

BLRBAC:n suositukseen koskien hälytysviestin lisäämisestä ko. tilanteessa voi suhtautua skeptisesti, sillä ilmeinen vaara on, että sekin jää operaattoreilta huomaamatta todellisessa tilanteessa. Tämän vuoksi tulisi selvittää, millä tavoin hälytys on ilmaistava, että se varmasti tulee havaituksi. Samalla tulisi harkita, olisiko syytä varmistaa vaarahälytyksen teko mahdollisimman nopeasti ko. tilanteessa siten, että vaarahälytys käynnistyisi automaattisesti.

Suuren vuodon hallinnan haasteet havaittiin konkreettisella tavalla myös Zellstoffin Pölsin tehtaalla Itävallassa 2014, kun kattilan tulipesän seinäputkeen repesi noin 2,5 cm² suuruinen reikä kattilan ajaessa normaalia kuormaa [7].

Putken repeämisen jälkeen syöttöveden virtaus nousi 2,5 minuutissa 80 t/h (22 kg/s) (virtaus oli 320 t/h ennen repeämistä ja enimmillään 400 t/h repeämisen jälkeen). Samaan aikaan höyryvirtaus laski 50 t/h (14 kg/s). Putken repeäminen sai myös aikaan tulipesän paineen nousun 1000 Pa (10 mbar) verran. Operaattori reagoi häiriöön pysäyttämällä lipeän syötön tulipesään ja jatkamalla tulipesän tuuletusta (kaikki puhaltimet olivat päällä) ja syöttöveden pumppausta tulipesään, Kiertomies otti lipeäruiskut pois käytöstä ja huomasi samalla, että tulipesän pohja näytti tummalta. Kiertomiehen mukaan olosuhteet tulipesässä olivat rauhalliset, mitään ylimääristä ääntä ei kuulunut. Kun kiertomies palasi valvomoon noin 30 min seinäputken repeämisen jälkeen, tapahtui tulipesässä voimakas räjähdys. Mahdollista on, että räjähdysten sai tässä vaiheessa aikaiseksi tulistimista tippunut suolakami.

Operaattori ei siis Pölsissäkään tunnistanut tilannetta vaaralliseksi, koska tulipesässä kaikki vaikutti rauhalliselta eikä mitään selviä merkkejä ("suhinaa ja töminää") veden pääsystä tulipesään ollut kuultavissa tai nähtävissä.

Pölsissä operaattori pystyi havaitsemaan oleelliset oireet, korkean tulipesän paineen, syöttövesi-höyryeron kasvun ja lieriön pinnan laskun heti vuodon alun yhteydessä, joten tarpeelliset tiedot tilanteen analysointiin olivat käytettävissä.

Oikeiden johtopäätösten teko jäi silti tekemättä, ja esim. syöttövesipumppuja ei pysäytetty eikä vaarahälytystä tai pikatyhjennystä tehty.

¹ BLRBAC:n suosituksen mukaan pikapysäytys (ESP, Emergency Shutdown Procedure) käynnistää automaattisesti myös pikatyhjennyksen, ilman erillistä napin painallusta.

Pölsin tapauksessa tärkeimpiä syitä siihen, että operaattori ei kyennyt ko. tilanteessa toimimaan oikein, oli luultavasti kaksi:

1. harjoituksen puute
2. erityisesti kattilavuotoja koskevien hälytysten puute.

Vakavat kattilavuodot ovat – onneksi – niin harvinaisia, että kyse on todennäköisesti ainutkertaisesta tilanteesta vuorossa olevalle operaattorille. Useimmilla operaattoreilla ei ole kokemusta edes vaarattomista vuodoista, joten rutiinia erottaa vaaraton ja vaarallinen vuoto ei ole voinut kertyä käytännön myötä.

Pölsissä tätä puutetta on pyritty korjaamaan hankkimalla uuden kattilan hankinnan yhteydessä tehtaalla soodakattilasimulaattori ja edellyttämällä, että sekä uudet että jo työssä olevat operaattorit harjoittelevat erilaisten käyttö- ja häiriötilanteiden hallintaa vuosittain. Työssä olevien operaattoreiden vuosittaiseen koulutusohjelmaan kuuluu simulaattoriharjoittelua kahden vuoron verran vuosittain. Koulutusvaiheessa olevat operaattorikokelaat harjoittelevat jokaisen simulaattorille tehdystä 32 ajo- ja häiriötilanteesta vähintään kolme kertaa korkeintaan 14 kk kestäväen koulutuksen aikana (kenttähoitajan koulutus on kokonaisuudessaan 650 tuntia enimmillään 8 kk aikana ja operaattorin 420 tuntia enimmillään 6 kk aikana). Häiriötilanteiden joukossa on kolme vuototilannetta, jotka kuvaavat suurta vuotoa kattilan höyrystinosassa, tulistimissa ja ekoissa.

Pölsissä oli räjähdysen aikaan käytössä tavanomainen kattilan automaatio- ja suojausjärjestelmä, jossa on kyllä omat hälytyksensä useille oireille, jotka liittyvät suureen kattilavuotoon, kuten tulipesän paineelle, lieriön pinnalle ja korkealle syöttövesi-höyryerolle, mutta ko. hälytyksiä ei oltu järjestetty tai esitetty niin, että niiden liittyminen erityisesti kattilavuotoihin olisi ollut ilmeistä.

Tämän puutteen korjaamiseksi on Pölsissä valvomoon lisätty oma, pelkästään vuotojen tunnistamiseen tarkoitettu näyttö, johon on koottu 10 tärkeimmät parametrin arvot ja trendit sekä vuotoja koskevat hälytykset. Hälytyksiä on mm.

- suuresta syöttövesi-höyryerosta (hälytys, kun ero $> 20 \text{ t/h} = 5,5 \text{ kg/s}$)
- nopeasta lieriön paineen laskusta (hälytys, kun muutos $> 0,4 \text{ bar}$ minuutissa)
- savukaasupuhaltimien kierrosluvun nopeasta kasvusta (hälytys, kun kierrokset kasvavat $> 4 \%$ minuutissa)

Hälytysrajat on aseteltu 2014 tapahtuneen vuodon yhteydessä saatujen kokemusten pohjalta.

Hälytykset on esitetty ko. näytöllä niin, että operaattorin on helppo havaita niiden aktivoituminen. Koska ko. näyttö on varattu ainoastaan kattilavuotojen havaitsemiseen tarkoitetuille hälytyksille ja suureille, on operaattorin helppo tunnistaa häiriön syy hälytysten aktivoituessa.

6 Yhteenveto ja johtopäätökset

Soodakattilan tiiveydenvalvonnalle haasteita asettavat sekä pienet, vähitellen kasvavat vuodot että suuret, äkilliset repeämät. Pieniä vuotoja syntyy mm. väsymisen ja hitsausvirheiden seurauksena, kun taas repeämiä saa aikaan esim. putkien oheneminen korroosion vaikutuksesta ja ylikuumeneminen kiertohäiriön tai pinnan säädön häiriön takia. Erilaiset vauriomekanismit voivat vaikuttaa myös samanaikaisesti esim. niin, että väsymisen tai hitsausvirheen aiheuttama pieni vuoto saa aikaan korroosiota ja kulumista ympäröivissä putkissa. Lopputuloksena voi tällöin olla suuri vuoto putken repeämisen seurauksena.

Lähes kaikki tiedossa olevat voimakkaat tulipesäräjähdykset, joiden aiheuttajana on ollut vuoto kattilan painerungossa, ovat aiheutuneet suurista vuodoista, joissa vettä on virrannut tulipesään putken repeämisen seurauksena tyypillisesti kymmeniä kiloja sekunnissa. Osassa tällaisia räjähdyksiä putken repeämää on edeltänyt särön tai pistemäisen syöpymän aiheuttama pieni vuoto, joka on voinut olla kattilassa viikkoja tai jopa kuukausia ennen putken repeämistä.

Soodakattiloiden tiiveydenvalvonnassa käytetään edelleen järjestelmiä, jotka perustuvat syöttövesi-höyryeron, kemikaalitaseen ja/tai akustisen emission seurantaan.

Verrattuna vuoteen 2001 käytetään Suomessa aiempaa useammalla tehtaalla syöttövesi-höyryeron ja kemikaalitaseen seurantaan perustuvia järjestelmiä, kun taas akustisen emission seurantajärjestelmistä on luovuttu kokonaan. Akustisen emission seurantaan perustuvia järjestelmiä, joita toimittavat mm. Andritz and Triple-5, on käytössä edelleen Suomen ulkopuolella.

Sekä Suomesta että Pohjois-Amerikasta saatujen kokemusten mukaan jo suhteellisen pienetkin vuodot voidaan tunnistaa syöttövesi-höyryeron perusteella, kun eron laskenta on toteutettu niin, että mittausvirheiden ja mittausten aiheuttaman kohinan aiheuttamat virheet ovat eliminoitu.

Myös vuotojen paikannus vaaralliseen/vaarattomaan osaan kattilaa on mahdollista sekä kattilaveden kemikaalitaseen seurannan että akustisen emission perusteella, kun vuoto on tarpeeksi suuri (mutta ei niin suuri että se aiheuttaa nopeasti kattilasuojan laukeamisen) ja akustisen emission anturit ovat tarpeeksi lähellä vuotokohtaa. Akustisen emission seurannalla on joissakin tapauksissa voitu jopa ennakoida vuodon syntymistä.

Parhaimpaan tulokseen tiiveydenvalvonnassa päästäisiin käyttämällä sekä syöttövesi-höyryeron, kattilaveden kemikaalitaseen että akustisen emission seurantaa samanaikaisesti. Tällaisilla järjestelmillä olisi mahdollista järjestää soodakattiloiden tiiveydenvalvonta niin, että pienet vuodot tulevat luotettavasti havaittua ja paikannettua jo siinä vaiheessa, kun riski, että vuoto aiheuttaisi sulavesiräjähdyksen, on pieni. Näin olisi voitu estää todennäköisesti suuri osa, mahdollisesti jopa yli puolet, tulipesäräjähdyksistä, joiden aiheuttajana on ollut painerungon vuoto.

Osa soodakattiloissa tapahtuneista vuodoista on aiheutunut putken äkillisestä repeämisestä paikallisen korroosion ja/tai ylikuumenemisen takia. Mikäli vuoto on riittävän suuri (ja kattila on riittävän pieni), aiheuttaa vuoto kattilasuojan laukeamisen tulipesän korkean paineen tai lieriön matalan pinnan takia. Toisinaan myös operaattori laukaisee ko. tilanteessa pikapysäytyksen ennen kuin kattilan suojausjärjestelmä ehtii laukaista kattilasuojan.

Aina ei käyttöhenkilökunta ole kuitenkaan tunnistanut tällaista tilannetta vaaralliseksi edes silloin, kun vettä on vuotanut suoraan tulipesään. Tämän vuoksi käyttöhenkilökunta ei aina ole ryhtynyt tarpeellisiin suojaustoimenpiteisiin, vaan esim. työskentelyä kattilahuoneessa on saatettu jatkaa vielä kattilasuojan laukeamisen jälkeenkin. Tällaisen virheen seurauksena yksi operaattori kuoli bosnialaisella tehtaalla 2016. Kokemukset Suomessa tapahtuneista vaarallisista vuodoista

viittaavat siihen, että henkilövahinkojen riskiä ei tällaisissa tilanteissa ole luotettavasti eliminoitu myöskään tärähdyslaiteilla.

Vaaratilanne saattaa syntyä kattilavuodon seurauksena myös silloin, kun vuoto on suuri, mutta sen aiheuttama tulipesän paineen nousu tai lieriön pinnan lasku ei riitä laukaisemaan kattilasuojaa. Näin voi käydä varsinkin uusissa, suurissa soodakattiloissa, joissa äkillisen vuodon vaikutus tulipesän paineeseen ja lieriön pintaan on huomattavasti vähäisempi kuin samankokoisen vuodon vaikutus esim. kattilassa, jonka kapasiteetti on 1000 – 1500 tKA/vrk.

Kattilan käytön jatkaminen tilanteessa, jossa tulipesään vuotaa vettä, pidentää aikaa, jona voimakas tulipesäräjähdys on mahdollinen ja lisää siten vahinkoriskiä. Koska vuodosta ei tällöin seuraa ainakaan automaattisesti myöskään vaarahälytystä, kasvaa samalla henkilövahinkojen vaara.

Suurten, äkillisten kattilavuotojen, joissa vettä pääsee tulipesään, varalta tulisi soodakattilat varustaa hälytys- ja suojausjärjestelmillä, jotka

- varoittavat operaattoreita ja kattilahuoneessa olevia vaaratilanteesta jo ennen kattilasuojan laukeamista
- laukaisevat automaattisen suojauksen, kun kattilaan tulee suuri, äkillinen vesivuoto

Järjestelmät tulisi suunnitella niin, että ne toimivat vuototilanteessa luotettavasti ja niin, että operaattorit voivat niiden avulla tunnistaa vaaratilanteen ja huolehtia, että alasajo tapahtuu turvallisesti.

Lähteet

1. Experiences with leak rate calculation methods for LBB application, Grebner, H., Kastner, W., Höfler, A., Mausner, G., Leak Before Break In Reactor Pipinf And Vessels, Specialist Meeting, Lyons, Ranska, 9. – 11.1.1995, NEA/CSNI//R(95)18, Vol II, Session 2: Issues In LBB Technology, 127 – 139.
2. Changing Perspectives on Recovery Boiler Explosions, Grace T., 30 Year Recovery Boiler Co-operation in Finland, Proceedings, s. 107 – 119, Soodakattilayhdistys 1994.
3. Recommended Good Practice Guidelines for Post-ESP Procedure for Black Liquor Recovery Boilers, The Black Liquor Recovery Boiler Advisory Committee, October 2002.
4. Advanced Condition Diagnostic for Pulp and Paper Mills, Kari Aura, Steve Crotty, Andritz, esitelmä Tappi-seminaarissa
5. Recent Advances in the Application of Acoustic Leak Detection to Process Recovery Boilers, Koveceovich, J.J., Nuspl, S., Robertson, M., BR-1594, Tappi Engineering Conference, syyskuu 1995, Dallas, U.S.A.
6. Recommended Good Practice Safe Firing of Black Liquor in Black Liquor Recovery Boilers, The Black Liquor Recovery Boiler Advisory Committee, April 2016.
7. Recovery Boiler Incident and Learned Lessons, Duer, W. Recovery Boiler Safety Forum, Stendal, 24.5.2016.

LIITE 5

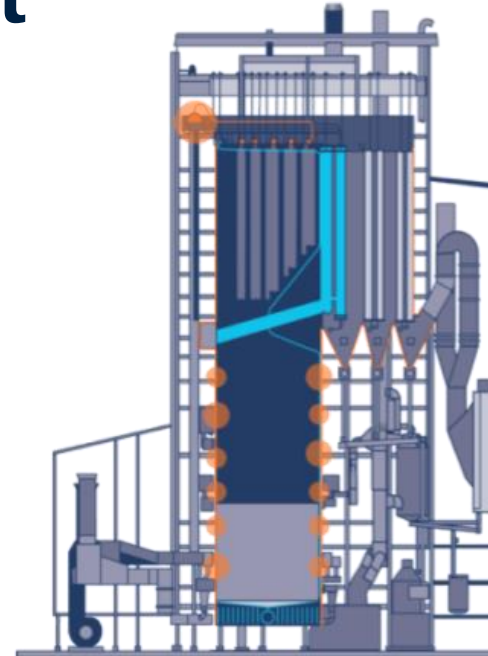
**KTR: Varo Oy: Soodakattiloiden käynninaikaiset
tiivetydenvalvontamenetelmät – esitys 28.9.2017**



Soodakattiloiden käynninaikaiset tiiveydenvalvontamenetelmät

Timo Karjunen

VARO
TEOLLISUUSPALVELUT



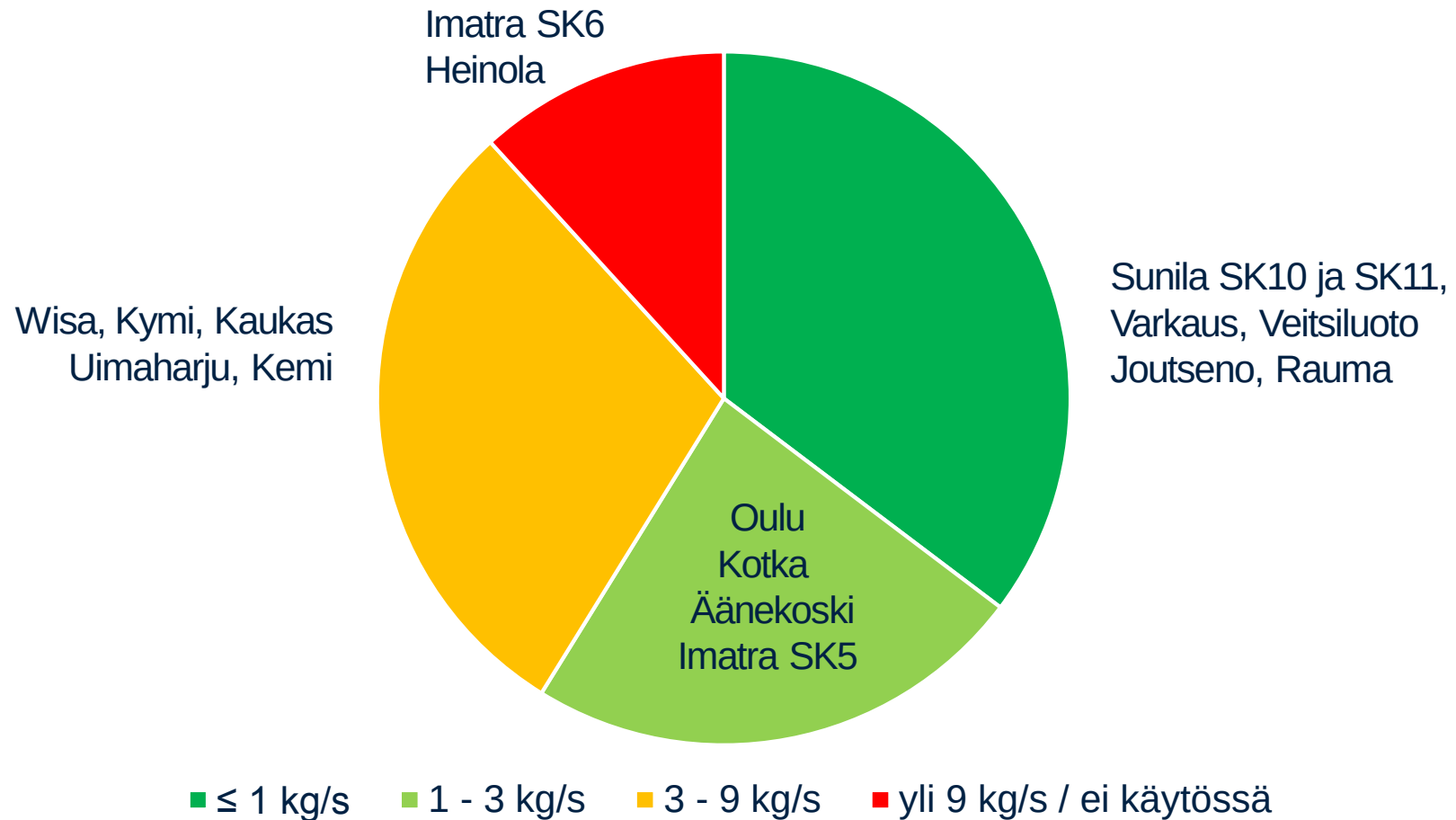


Vuodonvalvontamenetelmät

Menetelmä	Toimittajat	Tarkkuus	Käyttäjät Suomessa
Syöttövesi-höyryero	Automaatio-toimittajat	Vaihtelee toteutustavan ja toimittajan mukaan, parhaimmillaan erinomainen (hälytys kun vuoto on 0,5 – 1 kg/s alle 8 tunnissa)	Käytössä lähes kaikissa kattiloissa 6:ssa tarkkuus erinomainen
Kattilaveden laadun valvonta		Kohtalainen (vuoto voidaan havaita PO_4 :n laskun perusteella 24 – 48 tunnissa, kun vuoto on 1 – 2 kg/s)	Oulu, Wisa
Kemikaalitase	Valmet, Nalco, Solenis	Parhaimmillaan erinomainen (hälytys alle 8 tunnissa kun kattilaveden vuoto on 0,5 – 1 kg/s)	Veitsiluoto, Rauma, Joutseno, Kaukas
Akustinen emissio	Lukuisia, mm. Andritz	Vaihtelee antureiden sijoituspaikkojen ja lukumäärän mukaan, parhaimmillaan erinomainen niissä osissa kattilaa, joissa antureita on tarpeeksi	Ei käytössä



Syöttövesi-höyryeron avulla tunnistettavat vuodot



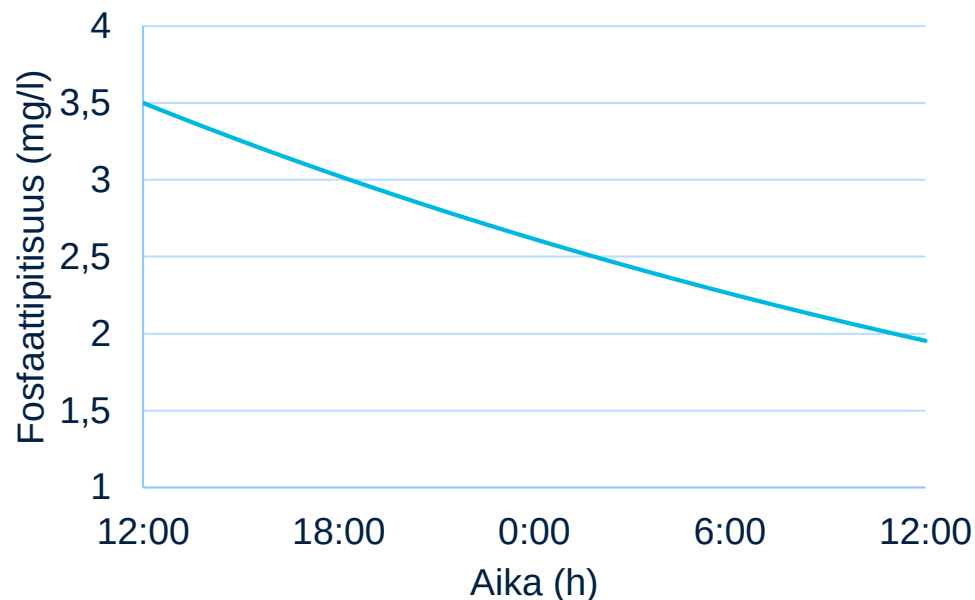
Hälytysraja – normaali taso



Kattilavesivuodon tunnistus kattilaveden laimenemisen perusteella

Fosfaatin annostelu ja ulospuhallus säädetään niin, että PO_4 pysyy normaalisti esim. alueella 3 - 4 mg/l

Jos PO_4 laskee alle 2 mg/l, automaatiojärjestelmä hälyttää valvomossa ja labra tekee ilmoituksen



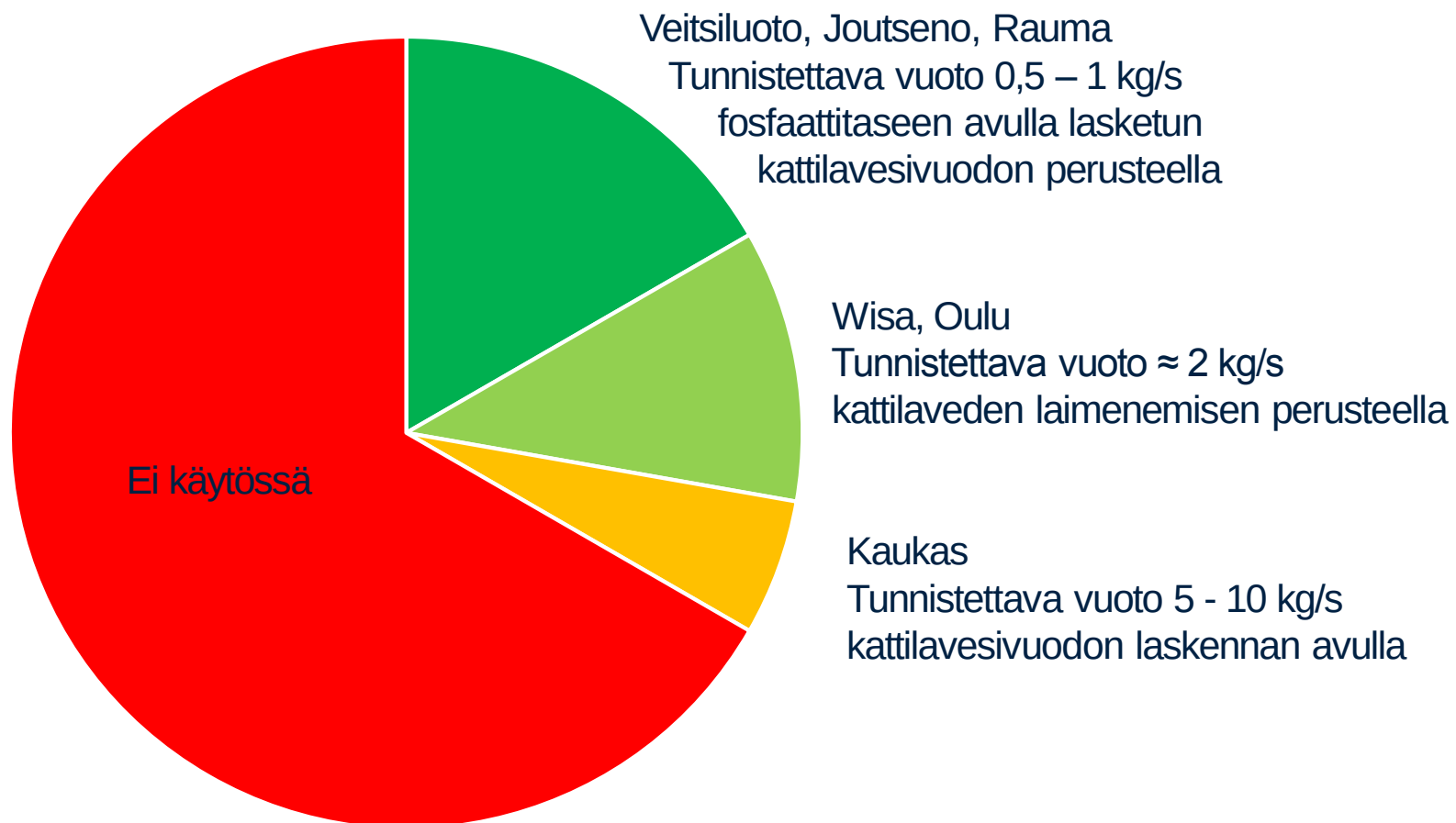
Esimerkki:

Kattilaan tulee perjantaina klo 12 vuoto, jonka suuruus on 1 kg/s, kun PO_4 on 3,5 mg/l.

Jatkuva seuranta tekee hälytyksen vuorokauden ja labra kolmen vuorokauden kuluttua

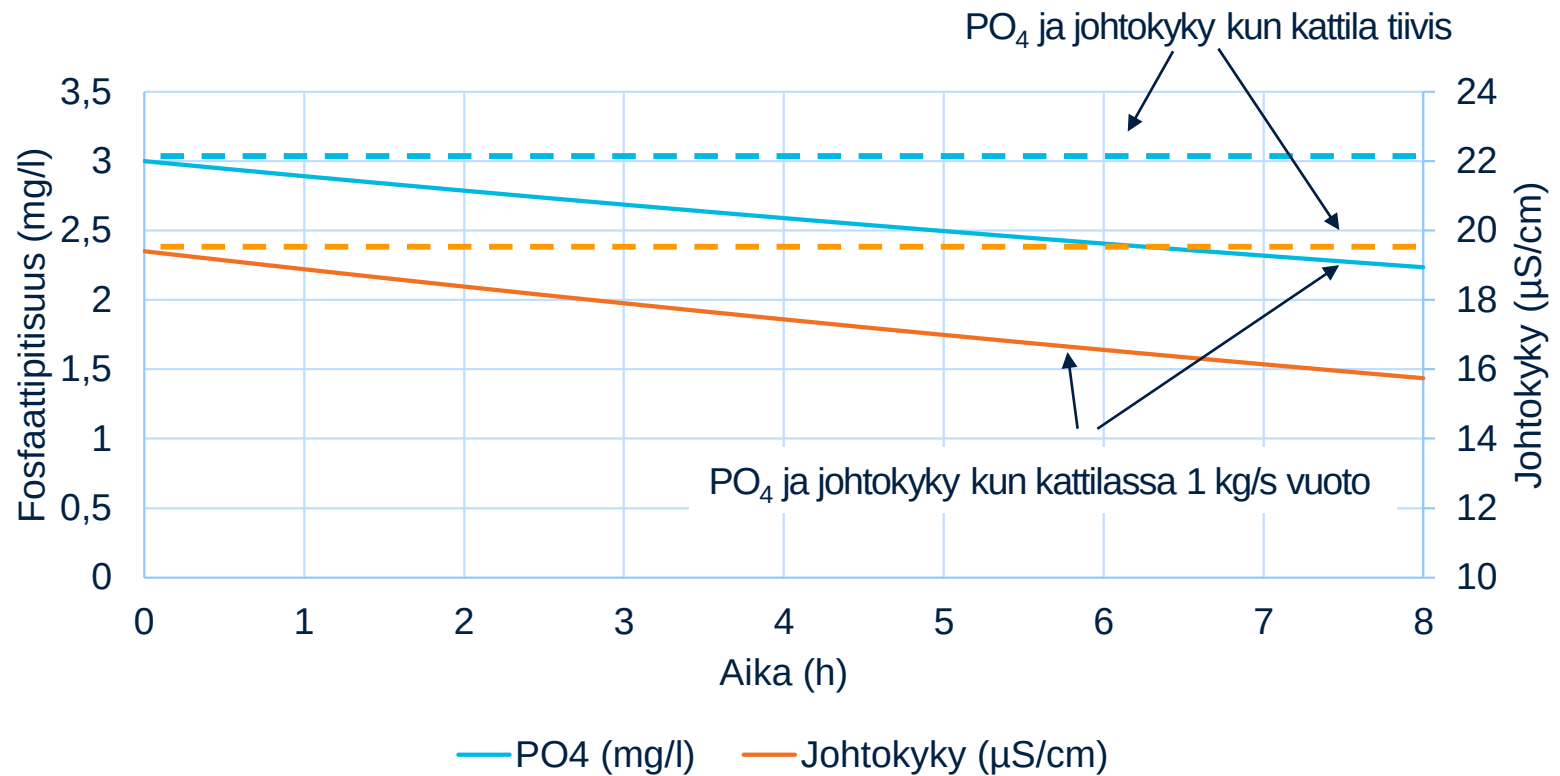


Kattilaveden kemikaalitaseen tai laimenemisen seurannan perusteella tunnistettavat vuodot





Käynninaikaisen tiiveyskokeen tulokset, kun kattilan höyrystinosan vuoto on 0 tai 1 kg/s



Höyrystimen koko 200 m³



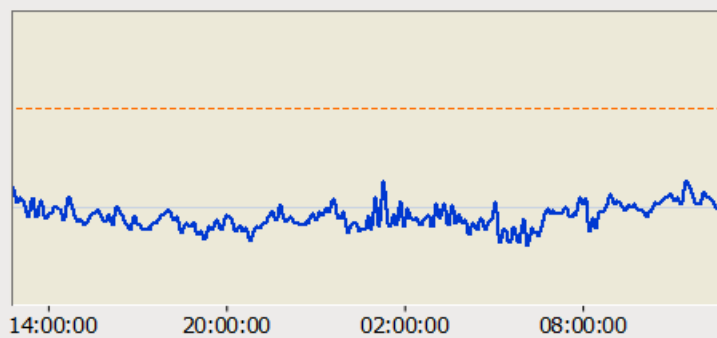
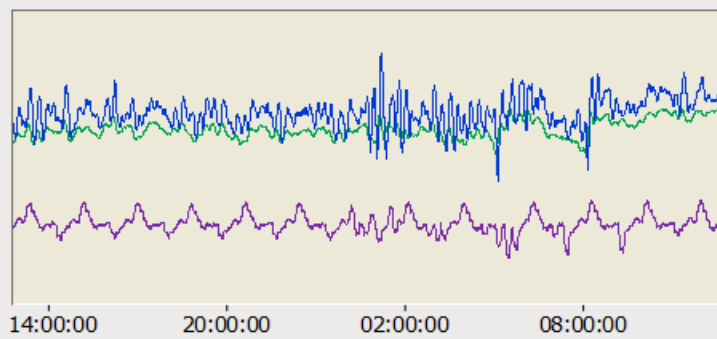
Valmet Recovery Boiler Leak Detection

- Tiiveyttä seurataan syöttövesi-höyryeron ja fosfaattitaseesta lasketun kattilavesivuodon perustella
- Vuoto on paikannettavissa valvomosta käsin höyrystinosaan / ekoihin & tulistimeen
- Toiminta ja hälytykset voidaan koestaa käynnin aikana
- "Betaversiot" Veitsiluodossa ja Raumalla
- Käytössä Natron Hayat'n Maglajin kattilassa Bosniassa

Mass balance based leak detection

7d

28d

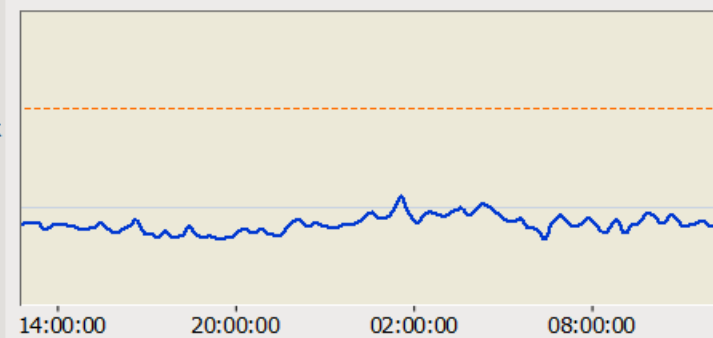
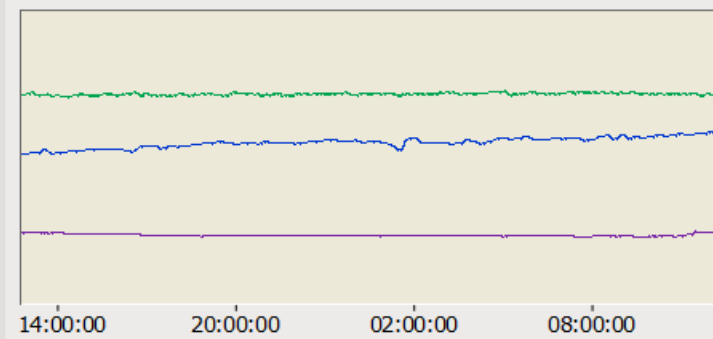


Water-Steam OK

PO4 based leak detection

7d

28d



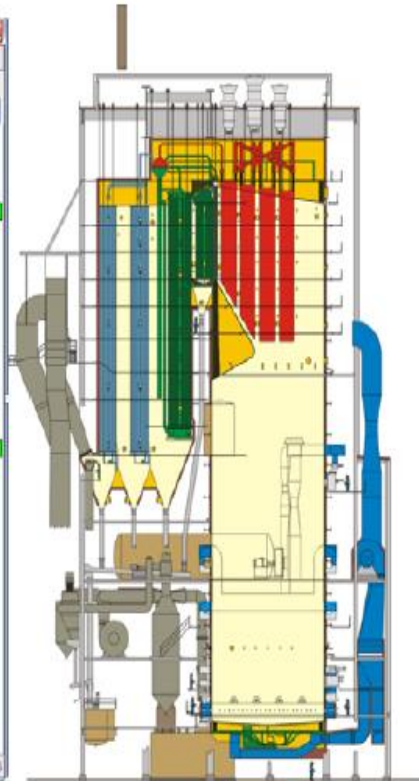
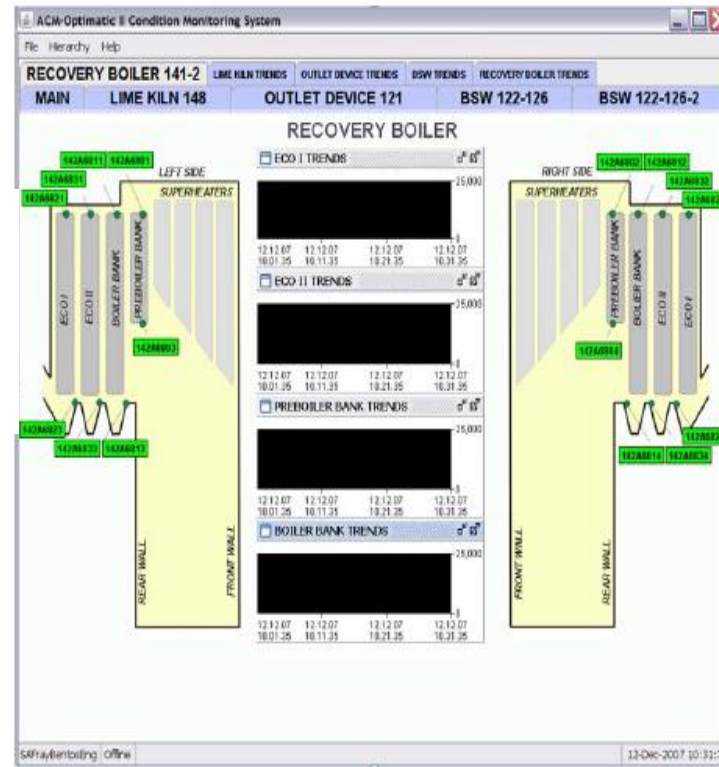
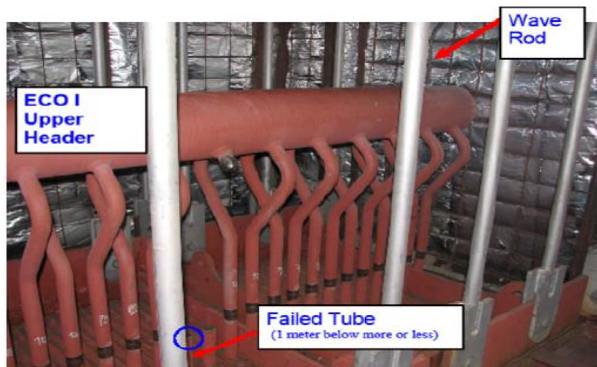
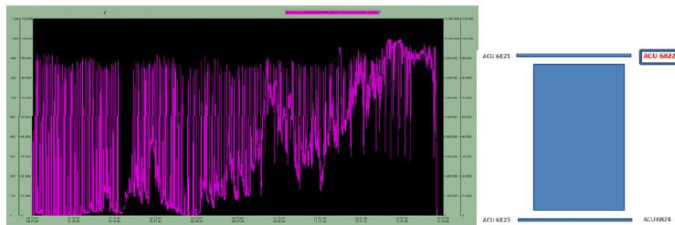
Boiler water OK

 Eventlist and Test
 Tuning parameters



Andritzin akustisen emission seurantajärjestelmä

- Asennettu 18 soodakattilaan
- Esimerkit Freu Bentosin ekovuodoista





Kokemukset Pohjois-Amerikasta 2007 - 2017

- Tehtaiden oman ilmoituksen mukaan noin puolessa kattiloista on käytössä jonkinlainen tiiveydenvalvontajärjestelmä (kattiloita tällä hetkellä USA:ssa ja Kanadassa yhteensä 188 kpl)
- Eniten käytetyt menetelmät
 - Syöttövesi-höyryero: noin 40 kattilassa
 - Syöttövesi-höyryero & kemikaalitaseen seuranta: noin 40 kattilassa
 - Akustinen emission: noin 20 kattilassa
- Lopuissa 90 – 100 kattilassa tiiveydenvalvonta ei käytössä



Kokemukset Pohjois-Amerikasta 2007 - 2017

Recovery Boiler Leak Indication, Nalco

- Tiiveyttä seurataan syöttövesi-höyryeron ja oman merkkiaineen kattilavesipitoisuuden perusteella
- Käytössä 34 kattilassa (2017)
- Mainittu vuodonvalvontamenetelmänä 70 vaurioraportissa
- 31 vuodoista tunnistettiin tai voitiin varmistaa ko. järjestelmän avulla
- Vuodoista kriittisiä 19, näistä
 - 12 tunnistettiin ko. järjestelmän avulla
 - 10 ko. järjestelmä antoi ensimmäisen indikaation
 - 4 tapauksessa vuoto oli suuri ja äkillinen ja johti nopeaan alasajoon
 - 3 tapauksessa vuoto oli pieni ja löydettiin alasajon jälkeen



Kokemukset Pohjois-Amerikasta 2007 - 2017

Triple 5

- Tiiveyttä seurataan akustisen emission perusteella
- Käytössä 16 kattilassa (2017)
- Mainittu vuodonvalvontamenetelmänä 25 vaurioraportissa
- 13 vuodoista tunnistettiin tai voitiin varmistaa ko. järjestelmän avulla
- Vuodoista kriittisiä 8, näistä 4 tunnistettiin ko. järjestelmän avulla
- Tiedossa ei ole miten anturit oli sijoitettu suhteessa vuotopaikkaan



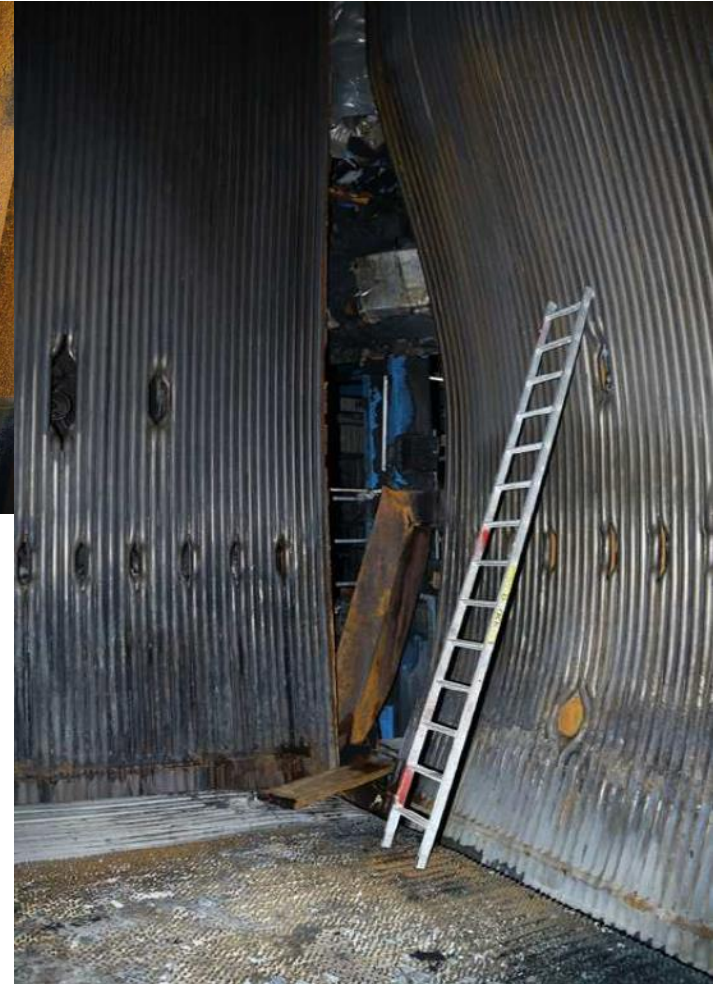
Johtopäätökset

- Parhaimpaan tulokseen tiiveydenvalvonnassa päästään käyttämällä sekä syöttövesi-höyryeron, kattilaveden kemikaalitaseen että akustisen emission seurantaa samanaikaisesti.
- Tällaisilla järjestelmillä on mahdollista järjestää soodakattiloiden tiiveydenvalvonta niin, että pienet vuodot tulevat luotettavasti havaittua ja paikannettua jo siinä vaiheessa, kun riski, että vuoto aiheuttaisi sulavesiräjähdyksen, on pieni.
- Näin olisi voitu estää todennäköisesti suuri osa, mahdollisesti jopa yli puolet, tulipesäräjähdyksistä, joiden aiheuttajana on ollut painerungon vuoto.



Tulipesäräjähdys Zellstoff Pölsin tehtaalla Itävallassa 2014

- Seinäputkeen 2,5 cm² reikä, syöttövesivirtaus kasvoi nopeasti 22 kg/s ja höyryvirtaus laski 14 kg (normaalisti molemmat ≈ 90 kg/s), tulipesän paine nousi 1000 Pa lyhyeksi aikaa
- Operaattori pysäytti lipeän polton
- Kenttämies kävi ottamassa ruiskut pois, tulipesä hiljainen, ei merkkejä vuodosta
- 30 min putken repeämisestä tapahtui tulipesässä räjähdys
- Kaksi henkilöä oli kattilahuoneessa räjähdysten aikaan, mutta selvisivät ilman vakavia fyysisiä vammoja





Vaarallisen vuotojen hallinta

- Tapahtuneissa vuodoissa operaattorit yleensä tunnistavat, että kyse on kattilavuodosta, mutta eivät pysty arvioimaan tilanteen vaarallisuutta, jos tulipesästä ei kuulu ”suhinaa ja töminää”
- Tämän seurauksena seuraavat toimenpiteet jäävät helposti tekemättä
 - Vaarahälytys ja kattilahuoneen evakuointi & sulkeminen
 - Syöttövesipumppujen pysäytys ja venttiilien sulku
 - Pikatyhjennys
- Toimenpiteiden puuttuminen/viivästyminen kasvattaa tulipesäräjähdyksen ja henkilövahinkojen riskiä
- Korjaavat toimenpiteet Pölsissä
 - Säännöllinen simulaattorikoulutus kaikille operaattoreille
 - Erillinen ”kattilavuotonäyttö” valvomossa



Kokemukset Suomesta 1982 - 2017

Painerungon vuodon aiheuttamat tulipesäräjähdykset, joissa vähintään heikennetty nurkka auki

- Oulu: 1986 keittoputki poikki
- Tervasaari 1992: keittopinnan putkessa 10 mm x 25 mm repeämä
- Kotka 2001: tulipesän seinäputkessa repeämä
- Rauma 2011: verhoputkessa suuri vuoto (> 15 kg/s)
- Veitsiluoto 2014: kattoputkessa repeämä

Suomessa kaksi pikatyhjennystä 1990 - 2017 (molemmat Kaukaalla)?

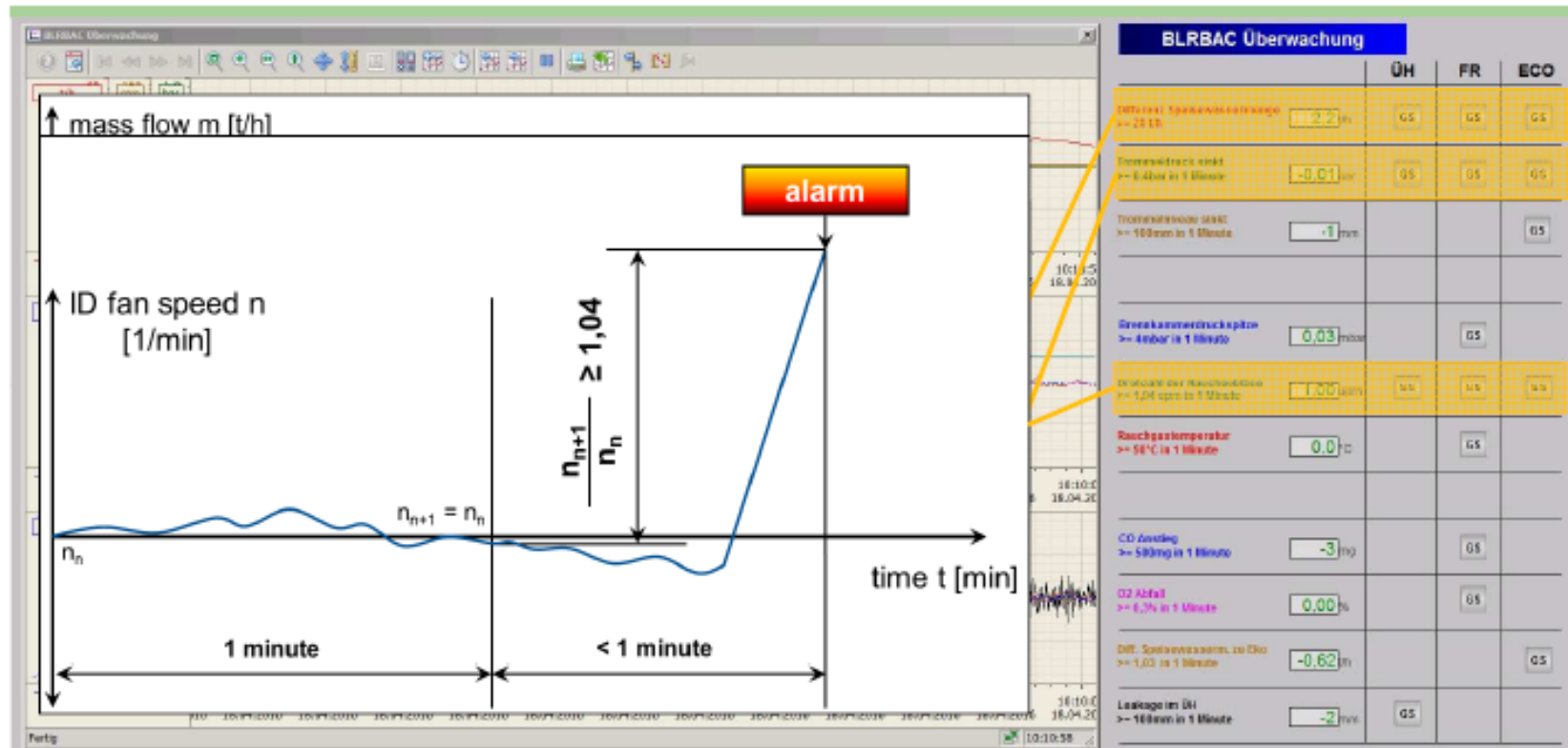
Pohjois-Amerikan tahdilla pikatyhjennyksiä olisi ko. jaksolla yli 30 (likimain kerran yhdeksässä käyttövuodessa)



Kattilavuotonäyttö valvomossa

Leakage detection system

heinzelpulp
ZELLULOSE PULP & AG

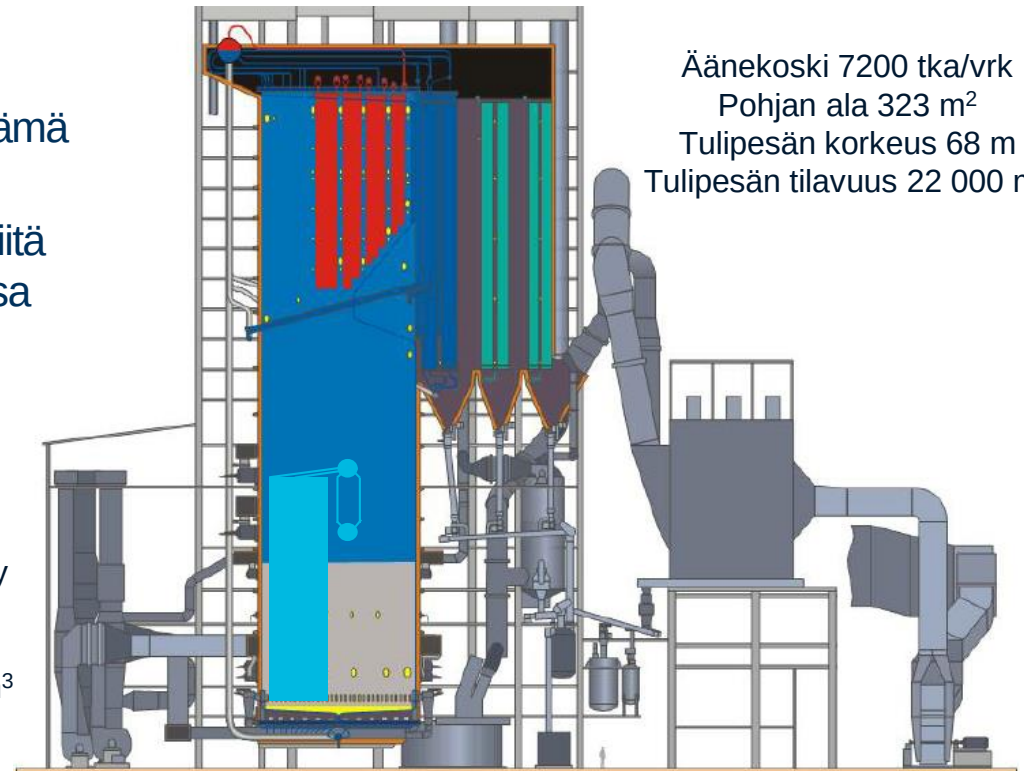




Kattilasuojan toiminta suurissa soodakattiloissa

- Kattilasuoja ajaa kattilan alas vain jos tulipesän paine nousee yli lukitusrajan tai lieriön pinta laskee alle lukitusrajan
- Kattilasuojan toiminta L- ja XL-kattiloissa epävarmaa, jos seinäputkeen tulee repeämä tai keittopinnan putki katkeaa
- Yksittäisen putken repeämä tai katko ei riitä laukaisemaan kattilasuojaa XXL-kattiloissa

Skutskär SP6 600 tDS/day
Pohjan ala 56 m²
Tulipesän korkeus 27 m
Tulipesän tilavuus 1 500 m³



Äänekoski 7200 tka/vrk
Pohjan ala 323 m²
Tulipesän korkeus 68 m
Tulipesän tilavuus 22 000 m³



Suosituksset

Suurten, äkillisten kattilavuotojen, joissa vettä pääsee tulipesään, varalta tulisi soodakattilat varustaa hälytys- ja suojausjärjestelmillä, jotka

- varoittavat operaattoreita ja kattilahuoneessa olevia vaaratilanteesta jo ennen kattilasuojan laukeamista
- laukaisevat automaattisen suojauksen, kun kattilaan tulee suuri, äkillinen vesivuoto

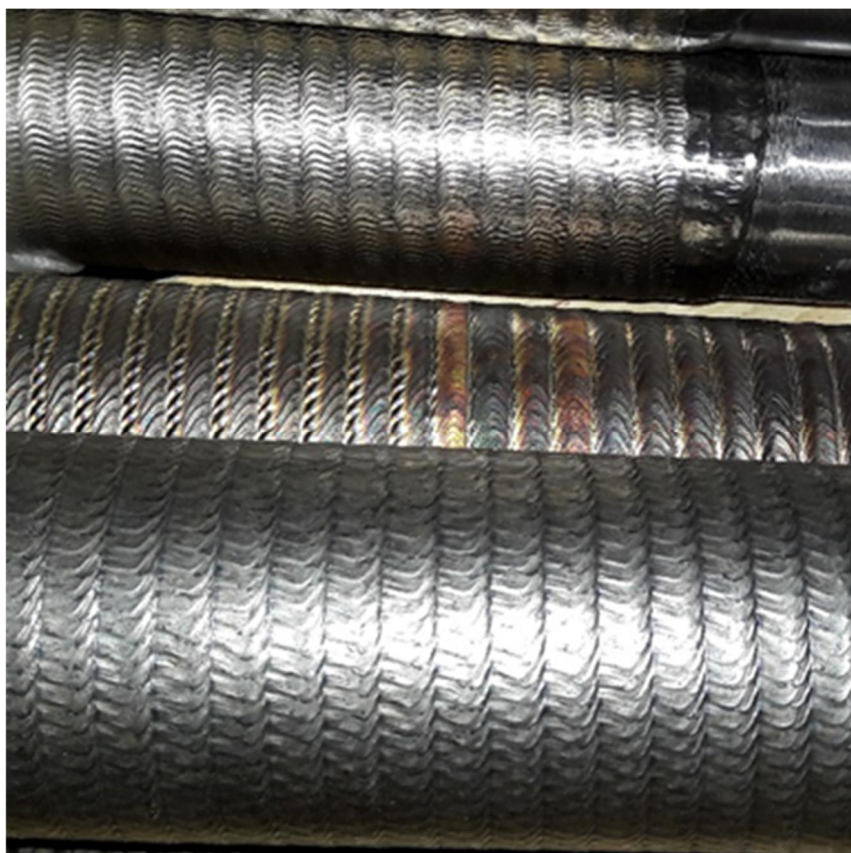
Järjestelmät tulisi suunnitella niin, että ne toimivat vuototilanteessa luotettavasti ja niin, että operaattorit voivat niiden avulla tunnistaa vaaratilanteen ja huolehtia, että alasajo tapahtuu turvallisesti.



The End

LIITE 6

**KTR: VTT: Hitsauspinnotettujen putkien käyttö soodakattiloissa – alustava
raportti 26.9.2017**



Hitsauspinnoitteet ja mikrorakennemuutokset vanhennushehkuksissa

Kirjoittajat: Satu Tuurna

Luottamuksellisuus: luottamuksellinen

Raportin nimi Hitsauspinnoitteet ja mikrorakennemuutokset vanhennushehikutuksissa	
Asiakkaan nimi, yhteyshenkilö ja yhteystiedot Suomen Soodakattilayhdistys ry c/o Pöyry Finland Oy Markus Nieminen PL 4 01621 Vantaa	Asiakkaan viite
Projektin nimi Hitsauspinnoitettujen putkien vanhennus	Projektin numero/lyhytnimi 151300
Raportin laatija(t) Satu Tuurna	Sivujen/liitesivujen lukumäärä 30 + liitteet
Avainsanat hitsauspinnoite, vanheneminen, mikrorakennemuutos, lämpökäsittely	Raportin numero VTT-CR-03414-17
Tiivistelmä Korkeassa lämpötilassa toimivien komponenttien elinikää rajoittaa voimakkaasti käyttölämpötila. Kuitenkin usein korkean lämpötilan komponenttien lämpötilan mittaus on vaikeasti järjestettävissä. Tällöin lämpötilan arviointiin voidaan käyttää mikrorakenteissa käytön aikana tapahtuneita muutoksia. Pinnoitushitsatuille putkille tehtyjen vanhennushehikutusten tuloksia voidaan hyödyntää arvioitaessa käytössä olleisiin tai ylikuumentuneisiin komponentteihin kohdistuneita lämpökuormituksia. Vanhennushehikutusten perusteella voidaan todeta, että hiiliteräksisten pohjamateriaalien mikrorakennemuutokset alkavat ferriittisperiittisen rakenteen periittirakeiden karbidilamellien katkeiluna ja vähittäisenä palloutumisena, jota seuraa pidemmällä ajanjaksolla ja/tai lämpötilan noustessa karbidien karmeneminen. Vastaava muutos oli nähtävissä periittisbainittisella pohjamateriaalilla 16Mo3. Arevan toimittamien putkien pohjamateriaalissa 7CrMoVTiB10-10 oli jo toimitustilassa havaittavissa voimakasta karbidin muodostumista raerajoille. Samoin 10CrMo9-10:n (San28 komppoundin pohjamateriaali) mikrorakenne oli jo lähtötilassa hajaantunutta. Havaitut muutokset 10CrMo ja 7CrMoVTiB materiaaleilla oli lähinnä raerajakarbidien kasvu. Hiilen kulkeutuminen perusaineesta pinnoitteen puolella oli nähtävissä hiilenkatona mikrorakenteissa pohjamateriaalin puolella ja samanaikaisesti pinnoitteen hiiletymisenä rajapinnan pinnoitteen puolella. Pinnoitteiden rakeissa ei havaittu hiiletymisen lisäksi muita muutoksia.	
Luottamuksellisuus	Luottamuksellinen
Tampere 25.9.2017 Laatija Satu Tuurna Tiimivetäjä	Hyväksyjä Pekka Pohjanne Tutkimuspäällikkö
VTT:n yhteystiedot Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy, PL 1000, 02044 VTT Puh. 020 722 111, etunimi.sukunimi@vtt.fi	
Jakelu (asiakkaat ja VTT) Tilaaaja 1 kpl VTT arkisto 1 kpl	
VTT:n nimen käyttäminen mainonnassa tai tämän raportin osittainen julkaiseminen on sallittu vain Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy:ltä saadun kirjallisen luvan perusteella.	

Sisällysluettelo

1. Johdanto.....	3
2. Koemateriaalit ja tutkimusmenetelmät.....	4
3. Vanhennushehkutusten tulokset	6
3.1 Mikrorakennemuutokset.....	6
3.2 Kovuusmittaukset	10
3.3 Hiilenkato rajapinnan yli ja pinnoitteen hiillettyminen rajapinnalla	25
4. Yhteenveto.....	29
Lähdeviitteet.....	30
Liite 1. Pohjamateriaalien mikrorakennemuutokset hehkutusten jälkeen	
Liite 2. Rajapintojen rakenne	
Liite 3. Pinnoitteiden mikrorakenne hehkutusten jälkeen	
Liite 4. EDX-analyysit pinnoite-perusainerajapinnan yli	

1. Johdanto

Korkeissa lämpötiloissa toimivien komponenttien kunnon ja jäljellä olevan eliniän määrittämiseksi on tärkeä tuntea komponenttiin kohdistuva lämpökuormitus, lämpötilan ja ajan yhteisvaikutus. Komponenttien lämpötilan suora mittaus käyttöolosuhteissa on usein haastavaa, mutta sen arviointi jälkikäteen on usein mahdollista käytön aikaisten materiaaliomuutosten perusteella.

Niukkaseosteisissa tai seostamattomissa teräksissä, joiden mikrorakenne on toimitustilassa ferriittisperliittinen, mikrorakennemuutokset ilmenevät aluksi perliitin lamellien katkeiluna ja vähitellen etenevänä palloutumisena, jota seuraa palloutuneiden karbidien karkeneminen [1-3]. Rakennemuutoksia voidaan seurata mikroskooppitarkasteluin (optinen, SEM) sekä kovuusmittausten avulla. Compound- ja hitsauspinnoitetuissa putkissa, joissa hiiliteräksen pintaan on tuotu korroosiota kestävämpi kerros, tapahtuu pohjamateriaalien rakennemuutosten lisäksi muutoksia pinnoite-pohjarajapinnalla. Pohjamateriaalista diffundoituu hiiltä pinnoitteen puolella aiheuttaen pohjamateriaalissa hiilenkatoa ja vastaavasti korkeammin seostetun pinnoitteen hiilettymistä ja sen seurauksena herkistymistä.

Ferriittisperliittisen teräksen karbidirakenteen palloutuminen ja karkeneminen noudattavat kinetiikaltaan Arrheniuksen yhtälöä

$$k = Ae^{-E/T}, \quad (1)$$

missä k on reaktionopeus, A vakio, E aktivaatioenergia ja T lämpötila (K).

Yhtälön ollessa voimassa reaktionopeuden tai vastaavan tiettyyn muutokseen kuluvan ajan ja valitsevan lämpötilan riippuvuus on lineaarinen $1/T - \log t$ -koordinaatistossa. Eri asteisissa muutoksia kuvaavalle käyräparvelle on pyritty etsimään yleisempää riippuvuutta, jolloin ajan ja lämpötilan yhteisvaikutus voitaisiin esittää parametrimuodossa numeroarvona. Tämän tyyppisistä parametreista yleisimmin käytetty on Larson-Miller -parametri

$$P_{LM} = T \times (\log t + C), \quad (2)$$

missä P_{LM} on Larson-Miller parametri, T lämpötila (K), t aika (h) ja C vakio.

Aiemmin tehtyjen tutkimusten [4] mukaan tiettyyn mikrorakenteen muutokseen kuluvan ajan ja metallin lämpötilan on DIN 17 175 -normin mukaisella teräksellä St 35.8, 10 CrMo 9 10 ja X 20 CrMoV 12 1 havaittu noudattavan hyvin Larson-Miller -parametrin mukaista riippuvuutta vakion C arvolla 14.

Hiili siirtyy compound- ja hitsauspinnoitetussa putkessa niukkaseosteisesta teräksestä rajapinnan yli seostetumpaan teräkseen diffundoitumalla. Diffuusion matka-aikariippuvuus noudattaa Fickin toista lakia [4], jonka mukaan tietylle pitoisuudelle

$$x^2 \approx D t, \quad (3)$$

missä x on diffuusiomatka, D diffuusiokerroin (vakio vakiolämpötilassa) sekä t aika [5].

Käytännössä compound- ja pinnoitehitsatuissa putkissa tapahtuu hiilen diffuusiota rajapinnan yli jo valmistusvaiheessa, jolloin hehkutuksen aikana tapahtuva diffuusio ei noudata Fickin lakia. Yhtälön (3) diffuusiokertoimen lämpötilariippuvuus on Arrheniuksen yhtälön kaltainen

$$D = D_0 e^{-Q/RT}, \quad (4)$$

missä D_0 on diffuusiovakio, Q aktivaatioenergia ja R yleinen kaasuvakio [5].

Diffuusionopeuden lämpötilariippuvuudesta johtuen diffuusion aiheuttamaan muutokseen kuluvan ajan ja metallin lämpötilan odotettu riippuvuus on $1/T - \log t$ -koordinaatistossa lineaarinen.

Raportti kokoaa hitsauspinnoitetuille putkille tehtyjen vanhennushehikutusten tulokset. Tuloksia voidaan hyödyntää selvitetessä mikrorakennemuutosten perusteella käytössä olleisiin tai ylikuumentuneisiin komponentteihin kohdistuneita lämpörasituksia.

2. Koemateriaalit ja tutkimusmenetelmät

Vanhennuskokeisiin tilattiin hitsauspinnoitteita 309L, IN625 ja IN825 P265GH pohjaputkella kolmelta toimittajalta, AZZ, Uhlig sekä Areva. Toimitettujen pinnoitteiden pohjamateriaalit vaihtelivat kuitenkin seuraavasti; AZZ:n toimittamien putkinäytteiden pohjamateriaali oli P235GH, Uhligin 16Mo3 ja Arevan 7CrMoVTiB10-10. Yhteenvedo toimitetuista pinnoitteista sekä pohjamateriaaleista on esitetty Taulukossa 1. Kuvissa 1 ja 2 on esitetty näyterenkaiden toimitetuista hitsauspinnoitteista sekä hitsauspinnoitteiden paksuus putken poikkileikkauksesta. Minimipaksuusvaatimus pinnoitteille oli 2 mm. Paksuusvaihtelut pinnoitteissa johtuvat pääosin spiraalituypisesta putken ympärikulkevasta pinnoitustavasta. Putkikohtaiset muutosvyöhykkeiden paksuudet on esitetty Taulukossa 2. Referenssimateriaaleina hitsauspinnoitetuille putkille hehikutuksissa toimivat komppound-putket 304L, Sanicro 28 sekä Sanicro 38.

Taulukko 1. Koemateriaalit ja aineodistuksen mukainen koostumus (jäännös Fe)

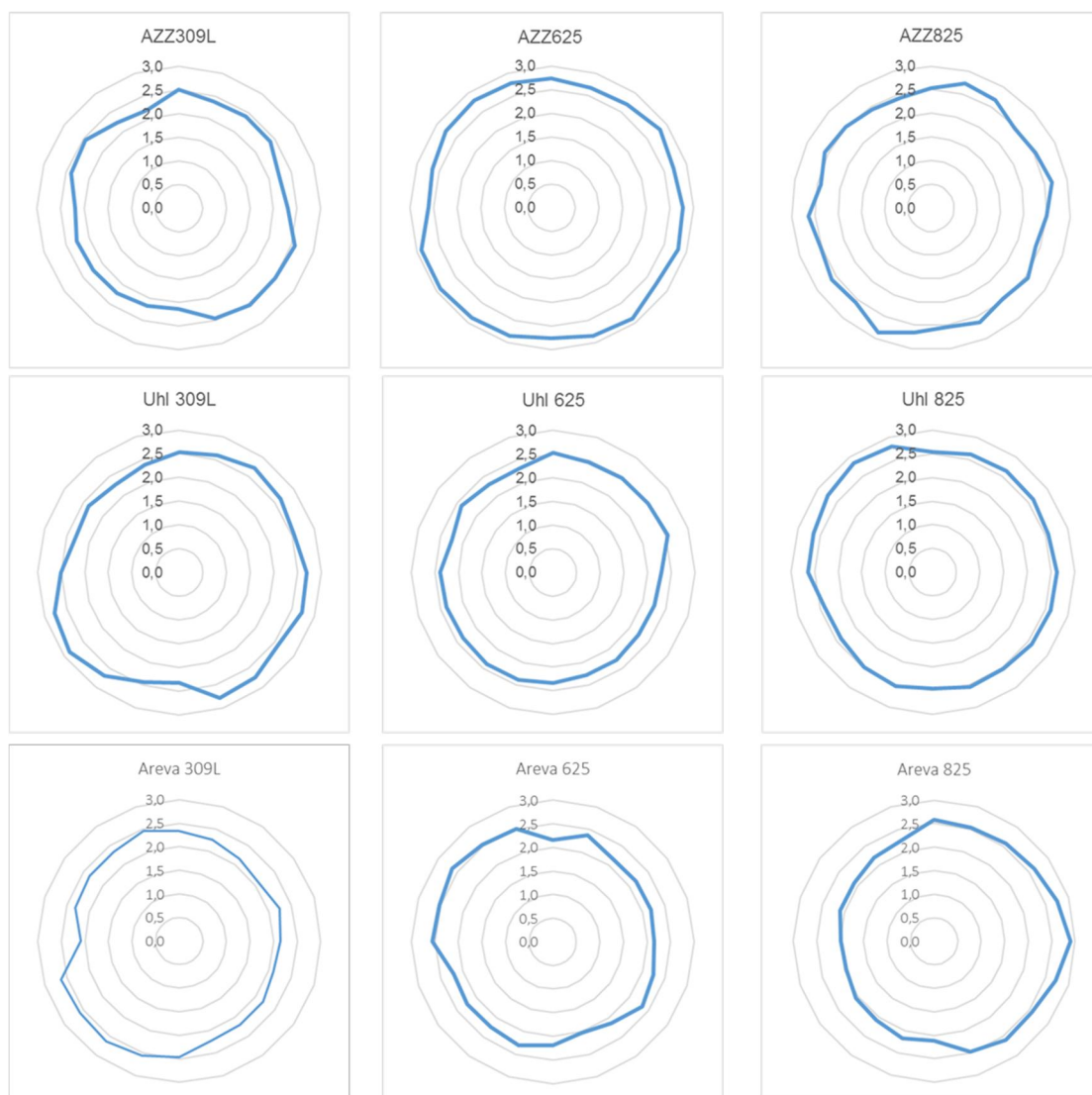
Materiaali	C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	Nb		Huom
309L*		0,45	1,96	23,1		13,1			AZZ, hitsaus- pinnoite
625*				23,7	8,3	65,2		0,2TiO, 15Al	
825*		0,2		21,6	2,8	36,1		1,8Cu, 0,7Ti	
P235GH**	0,16	0,35	0,6- 1,2	0,3	0,08	0,3	0,02		
309L, E309L	0,01	0,8	1,6	23,2	<0,1	13,5		0,1Cu	Uhlig, hitsaus- pinnoite, mat.tod mukainen koostumus
625, Thermanit	<0,1	<0,1	<0,1	22,1	8,8	64,5	3,5		
825, FM65	0,01	0,3	0,8	22,7	3,1	43,4		2,1Cu, 0,8Ti 0,22Co	
16Mo3	0,17	0,19	0,68	0,22	0,27	0,11			
309L, Ugitech	0,016	0,40	1,60	23,37	0,22	13,61		0,03Cu	Areva, hitsaus- pinnoite, mat.tod mukainen koostumus
625, Sanicro 60	0,013	0,07	0,03	22,34	9,11	64,3	3,53	0,2Ti	
825, Sanicro 41CU	0,009	0,15	0,77	23,0	2,99	42,9		1,07Ti 2,29Cu	
T24	0,07	0,26	0,55	2,44	0,96			0,24V 0,07Ti	
304L St45.8	0,009 0,19	0,44 0,29	1,17 0,69	18,4		10,36			komppound, mat.todistus
San28* T22	***	0,5 0,3	1,6 0,4	27,8 2,4	3,4 0,9	30,0		0,8Cu	komppound
San38* P265GH**	0,18	0,4 0,36	0,6 0,7	20,7	2,6	37,2		1,3Cu, 0,7Ti	komppound

*SEM analyysiin perustuva koostumus; **Normin mukainen koostumus

***Hiiltä EDX-kammiassa epäpuhtautena, pitoisuus jätetty huomioimatta



Kuva 1. Hitsauspinnoitetut näyteputket. Vasemmalta oikealle AZZ, Uhlig ja AREVA



Kuva 2. Toimitustilaisten hitsauspinnoitteiden paksuus putken poikkileikkauksen ympäri mitattuna [mm]

Taulukko 2. Toimitustilaisten hitsauspinnoitteiden muutosvyöhykkeiden paksuus pohjamateriaalissa [μm]

Materiaali	Hiilen kato	HAZ
309L AZZ	50-70	1400-1600
625 AZZ	<20	600-800
825 AZZ	10-40	700-900
309L Uhlig	~10	900-1200
625 Uhlig	~10	600-700
825 Uhlig	~10	700-900
309L Areva	<10	900-1300
304L	100-150	
San28	50-100	
San38	100	

Toimitetuista putkista irrotettiin näytepaloja (~25x25 mm), jotka hehkutettiin 600, 650 ja 700°C:ssa, Taulukko 3. Arevan toimittamista materiaaleista hehkutettiin vain 309L-pinnoitettu näytemateriaali. Vanhennettujen näytepalojen mikrorakenteet tutkittiin valomikroskoopin avulla, ja tulosten perusteella osaa näytteistä tarkasteltiin lisäksi pyyhkäisyelektronimikroskoopilla (SEM). Lisäksi näytteistä mitattiin mikrokovuudet (HV 0,1) pinnoite-pohjamateriaalirajapinnan ylitse. Tuloksia verrattiin ennen hehkutusta määritettyihin ominaisuuksiin.

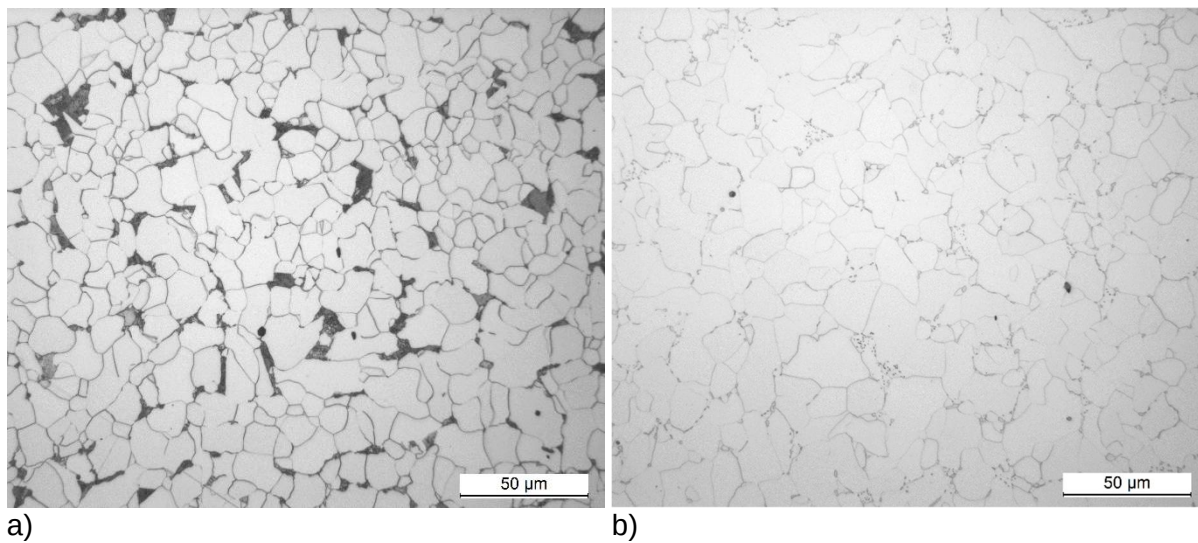
Taulukko 3. Koematriisi vanhennushehkutuksille

t/T	600°C	650°C	700°C
10 h		x	x
100 h	x	x	x
1000 h	x	x	

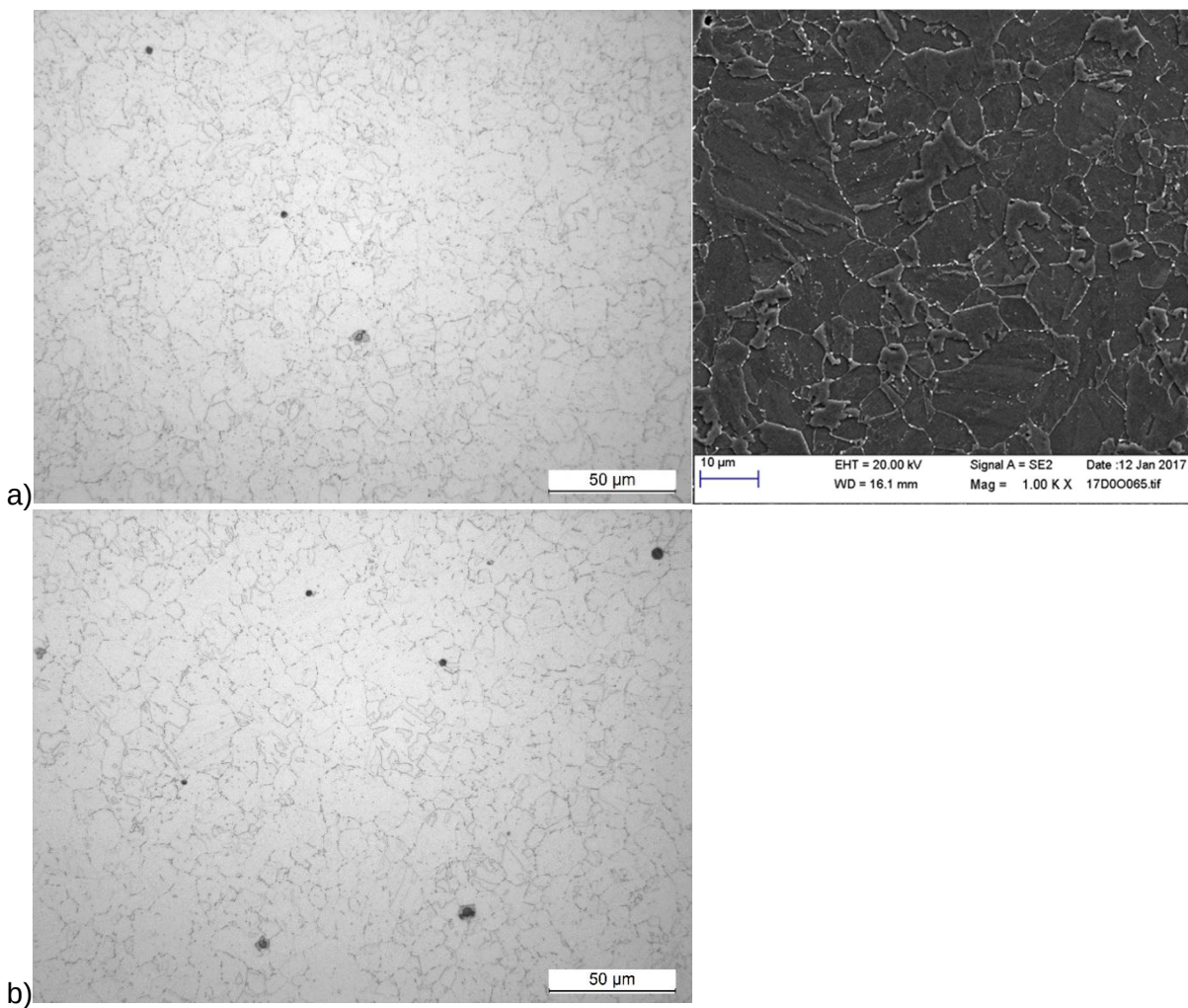
3. Vanhennushehkutusten tulokset

3.1 Mikrorakennemuutokset

Vanhennushehkutusten aikana teräksissä tapahtuneita mikrorakennemuutoksia kuvaavat optiset mikrorakennekuvat on esitetty Liitteessä 1. Hiiliteräksisten pohjamateriaalien mikrorakennemuutokset alkavat ferriittisperliittisen rakenteen perliittirakeiden karbidilamellien katkeiluna ja vähittäisenä palloutumisena, jota seuraa karbidien karkeneminen (Kuva 3). Perliittisbainittiselle pohjamateriaalille 16Mo3 soveltuu vastaava luokittelu. 10CrMo9-10 (San28 compoundin pohjamateriaali) mikrorakenne oli jo lähtötilassa hajaantunutta, ferriittisillä alueilla oli havaittavissa karbidien muodostusta (Liite 1, Kuva 33). Arevan toimittamien putkien pohjamateriaalissa 7CrMoVTiB10-10 oli myös toimitustilassa havaittavissa voimakasta karbidin muodostumista raerajoille (Kuva 4) ja suuria muutoksia mikrorakenteessa hehkutuksien aikana ei havaittu (Liite 1, Kuvat 17-24). Havaitut muutokset 10CrMo ja 7CrMoVTiB materiaaleilla oli lähinnä raerajakarbidien kasvu.



Kuva 3. Pohjamateriaalin P235GH mikrorakennemuutos; a) toimitustila ja b) 650°C/100 h

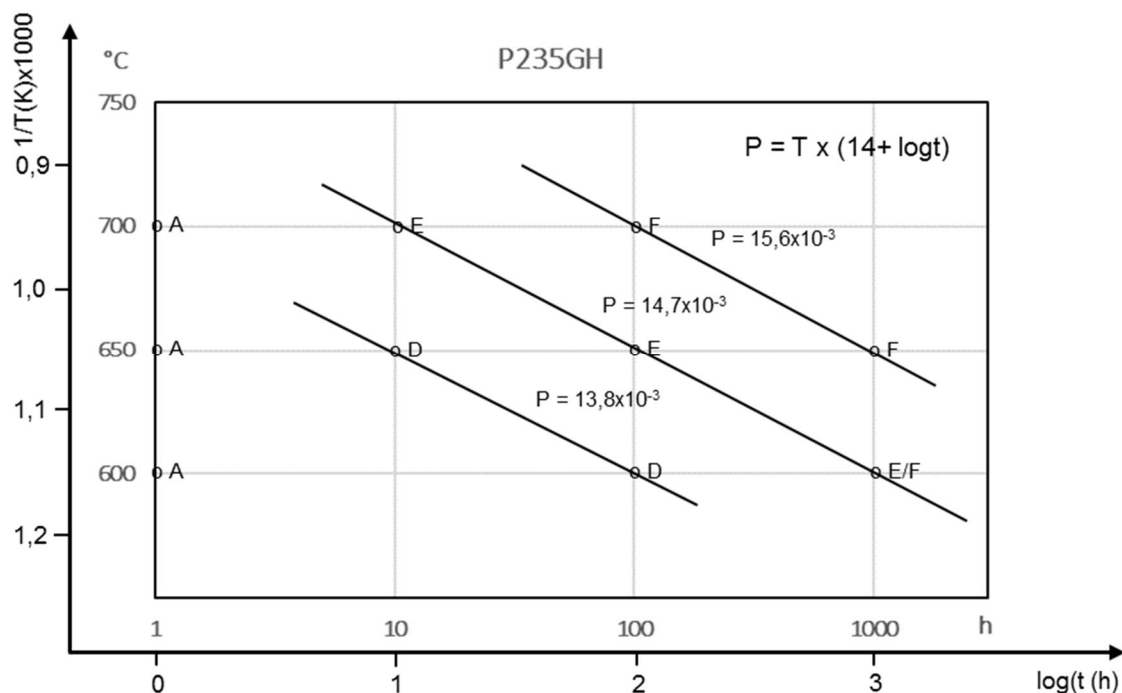


Kuva 4. Pohjamateriaalin 7CrMoVTiB10-10 mikrorakenne toimitustilassa sekä 650°C/1000 h vanhennuksen jälkeen

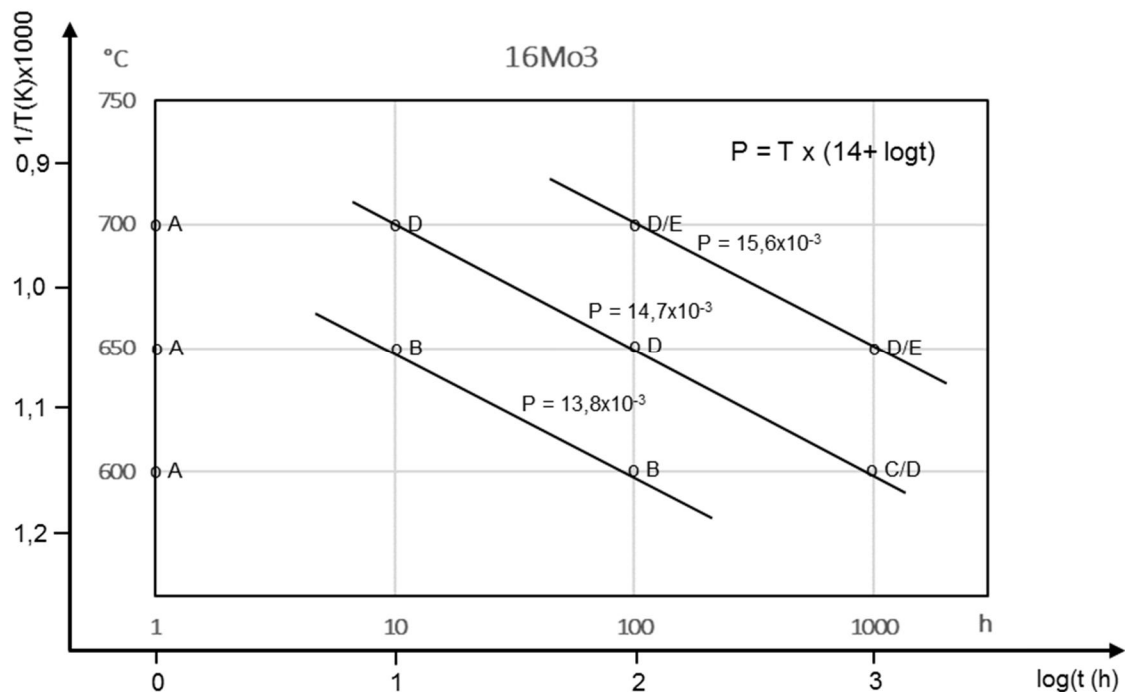
Hiiliterästen mikrorakenteessa tapahtuvien muutosten luokitteluun on käytetty seuraavaa ferriittisperiittisille teräksille soveltuvaa asteikkoa:

- A Käyttämättömän teräksen mikrorakenne, ferriittiä ja perliittiä
- B Ensimmäiset merkit palloutumisesta
- C Huomattavaa palloutumista, mutta edelleen joitakin lamellaaria karbideja
- D palloutuminen täydellistä, mutta karbidit yhä entisillä perliittialueilla
- E Karbidit hajaantuneet, mutta edelleen havaittavissa vähäisiä merkkejä perliittialueista
- F Alkuperäiset perliittialueet hävinneet, osa karbideista kasvanut huomattavasti

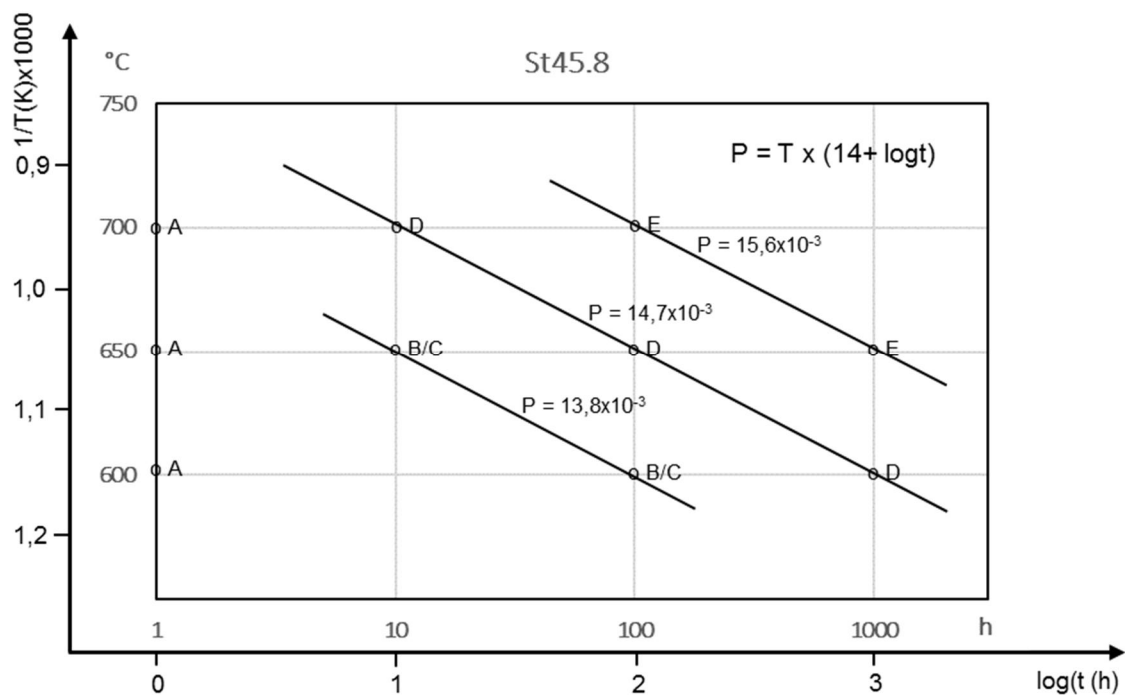
Mikrorakennetutkimusten tulokset materiaaleille P235GH, 16Mo3, St45.8 ja P265GH on esitetty Kuvissa 5-8 edellä esitetyn luokittelun mukaisesti aika-lämpötilariippuvuutena. Luokittelu perustuu valomikroskooppitutkimusten tuloksiin. Saman mikrorakennemuutoksen saavuttamiseksi tarvittavat T-t -yhdistelmät ovat kyseisessä koordinaatistossa suorilla, jotka toteuttavat LM-parametriyhtälön vakion C arvolla 14. Vertailtaessa tuloksia voidaan todeta, että teräksen P235GH mikrorakennemuutokset tapahtuvat hieman muita materiaaleja nopeammin vähäisemmästä hiilipitoisuudesta johtuen.



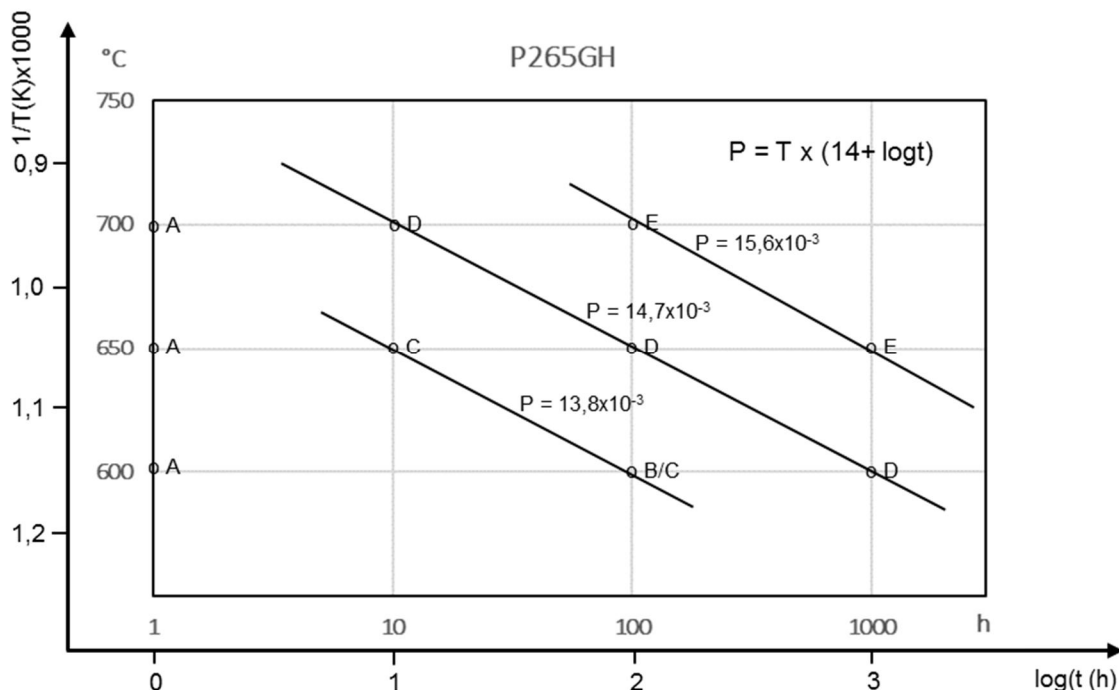
Kuva 5. Teräksen P235GH mikrorakennemuutosten t-T -riippuvuus



Kuva 6. Teräksen 16Mo3 mikrorakennemuutosten t-T -riippuvuus



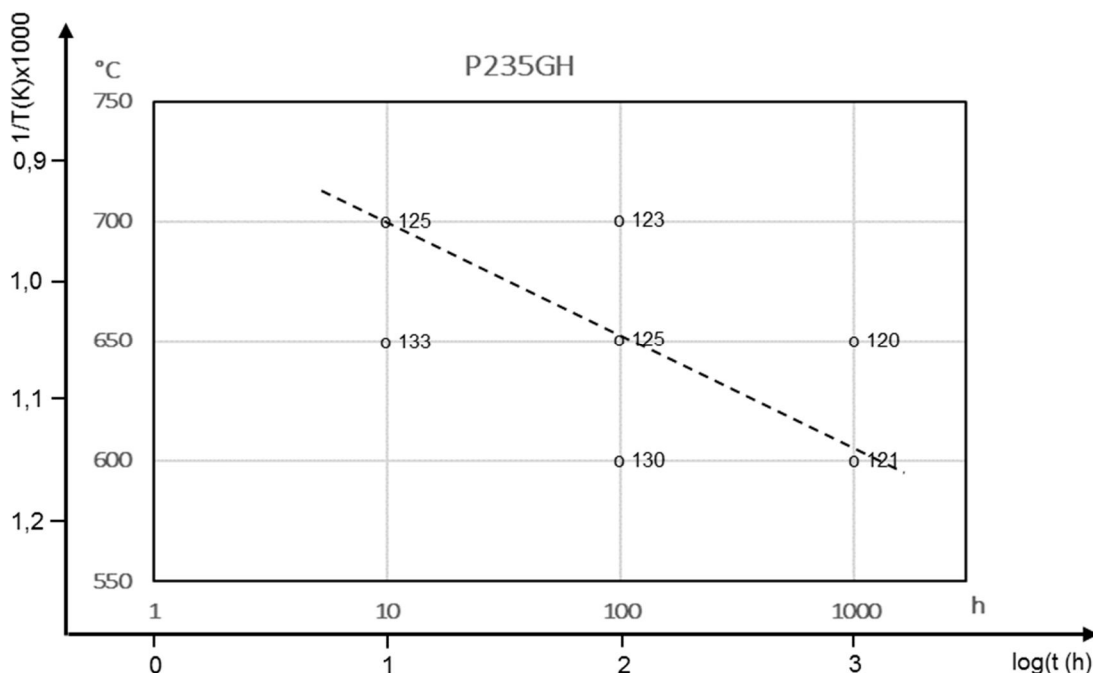
Kuva 7. Teräksen St45.8 (kompound 304L pohja) mikrorakennemuutosten t-T -riippuvuus



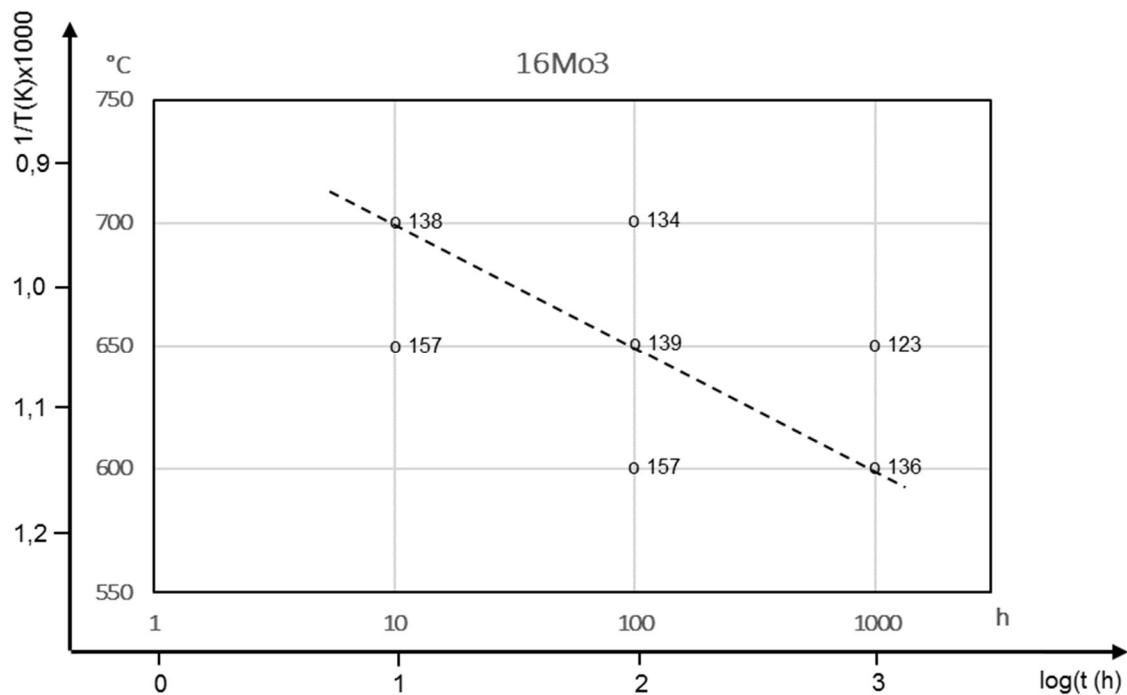
Kuva 8. Teräksen P265GH (komppound San 38 pohja) mikrorakennemuutosten t - T -riippuvuus

3.2 Kovuusmittaukset

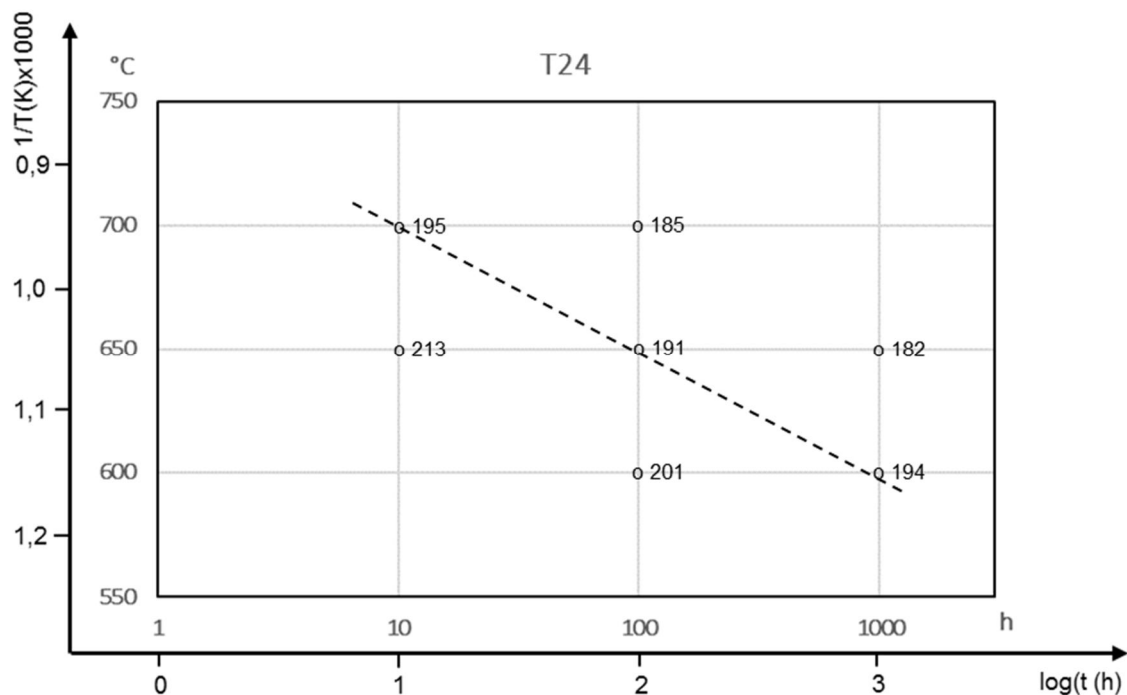
Mikrokovuusmittaustulokset (HV0,1) on esitetty $1/T - \log t$ -koordinaatistolla Kuvissa 9-14. Kuvista voidaan todeta lähes samaan kovuuteen johtavien aika-lämpötila -yhdistelmien olevan kyseisessä koordinaatistossa suorilla, joiden kulmakerroin on samaa luokkaa kuin samoihin mikrorakennemuutoksiin johtavia aika-lämpötila -yhdistelmiä kuvaavat suorat Kuvissa 5-8. Tuloksissa näkyvä kovuuksien hajonta johtuu pääsääntäisesti käytetystä pienestä voimasta mittauksien aikana (HV0,1). Kuvassa 15 on esitetty korrelaatio kovuustuloksille HV0,1 ja HV5 hehkutuksen 650°C/1000 h jälkeen.



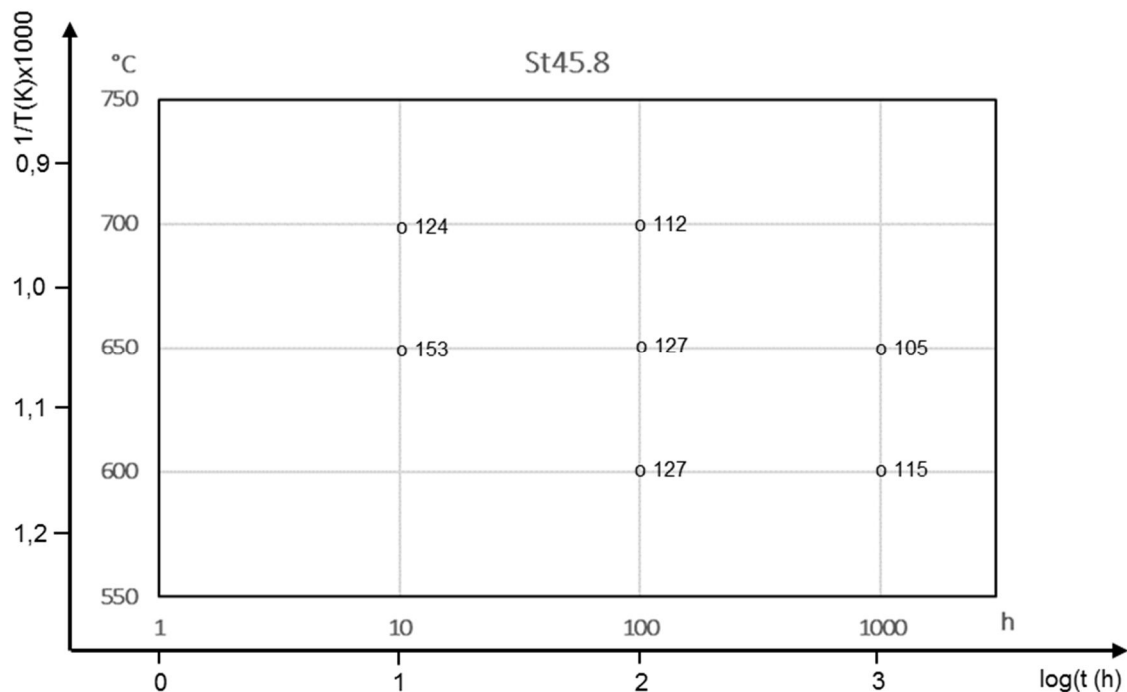
Kuva 9. Teräksen P235GH (AZZ:n toimittamien putkien pohjamateriaali) kovuusmuutosten t - T -riippuvuus



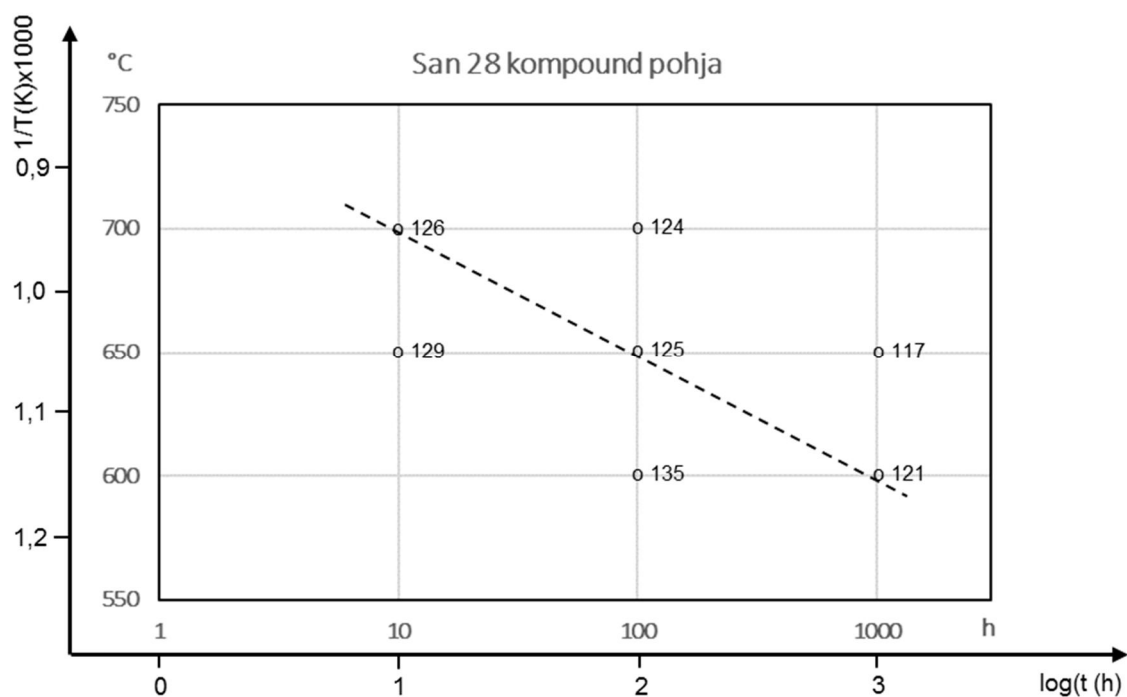
Kuva 10. Teräksen 16Mo3 (Uhligin toimittamien putkien pohjamateriaali) kovuusmuutosten t - T -riippuvuus



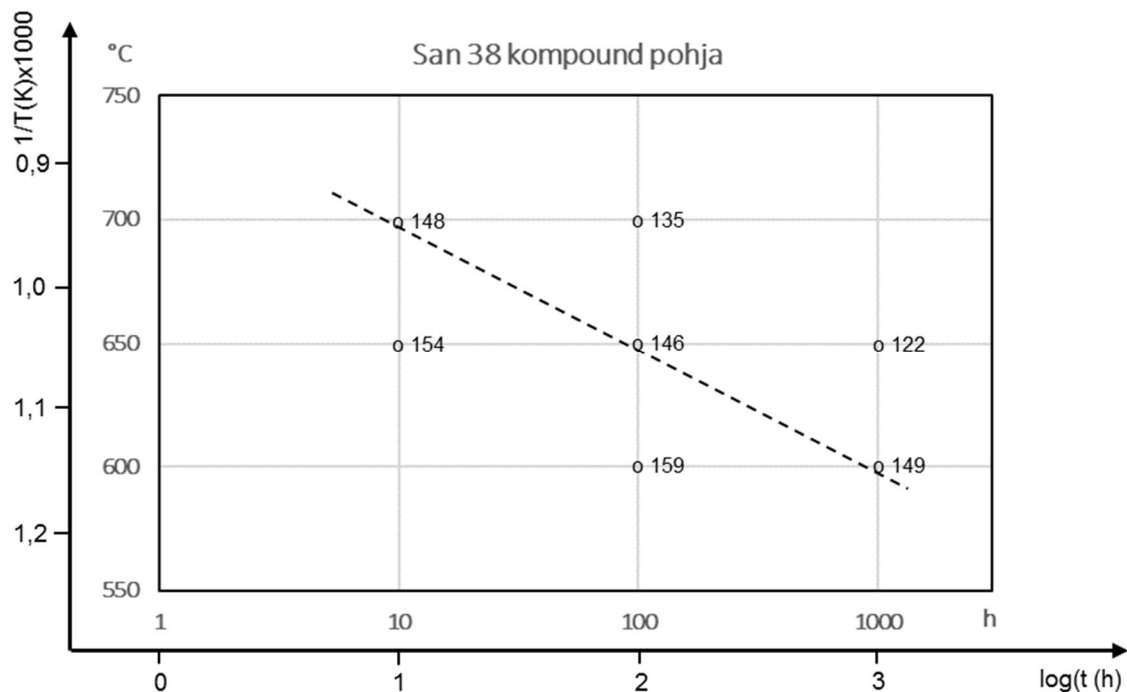
Kuva 11. Teräksen 7CrMoVTiB10-10 (Arevan toimittamien putkien pohjamateriaali) kovuusmuutosten t - T -riippuvuus



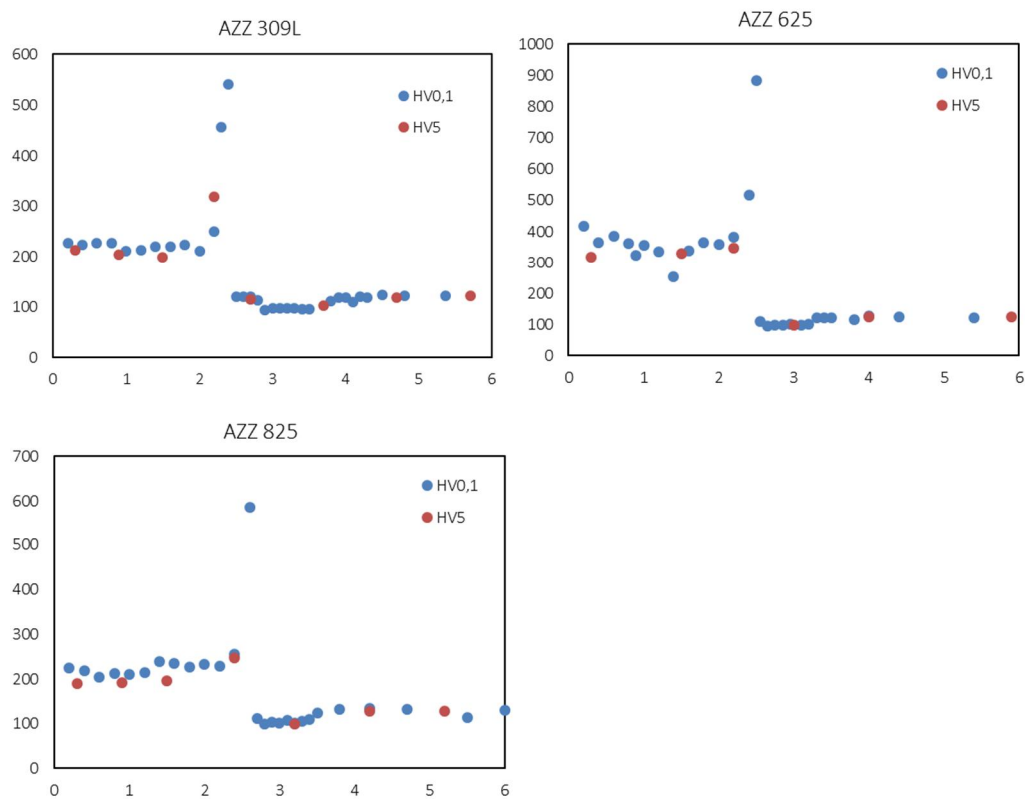
Kuva 12. Teräksen St45.8 (kompound 304L putken pohjamateriaali) kovuusmuutosten t-T -riippuvuus

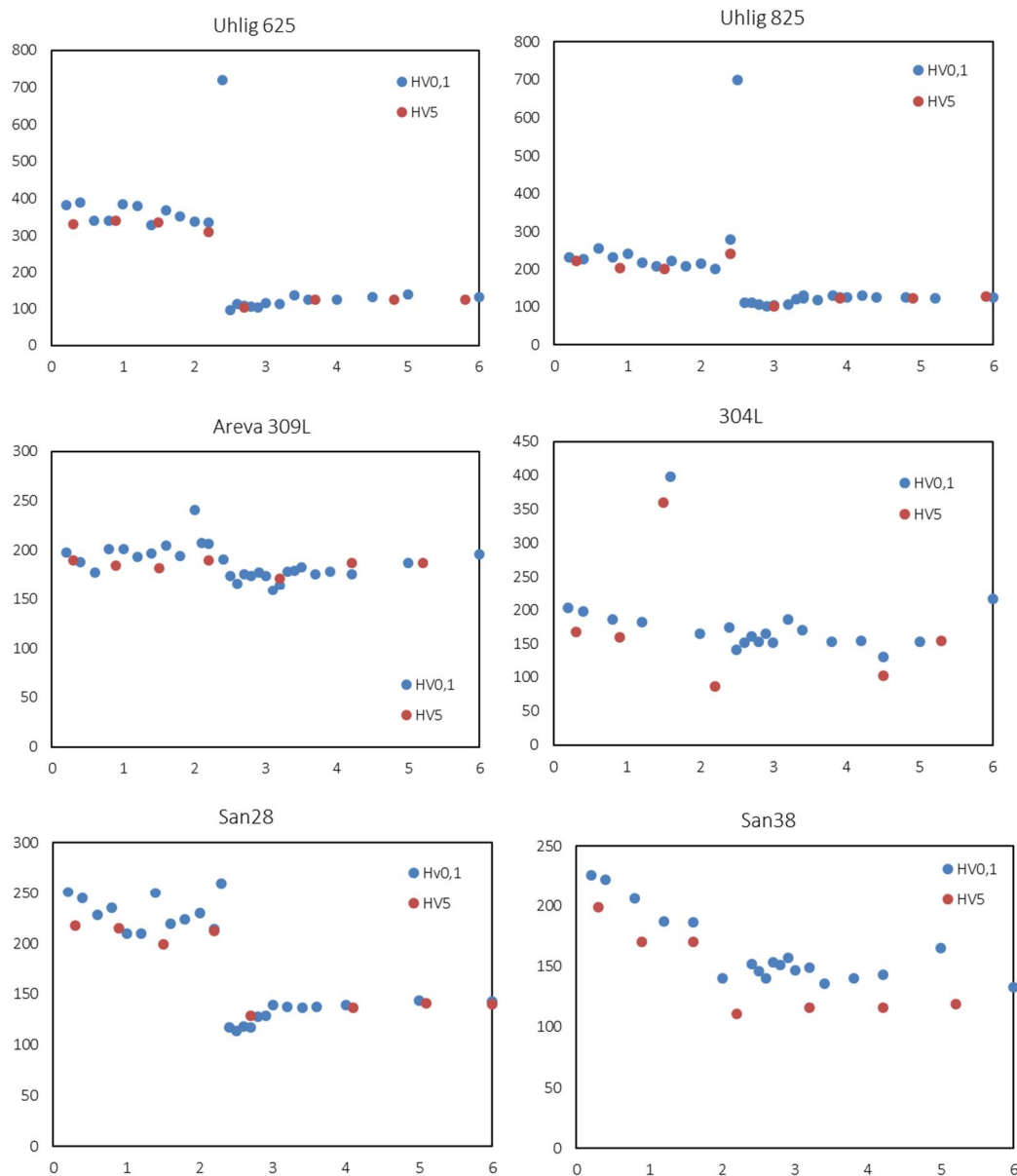


Kuva 13. Teräksen 10CrMo9-10 (San28 kompound putken pohjamateriaali) kovuusmuutosten t-T -riippuvuus



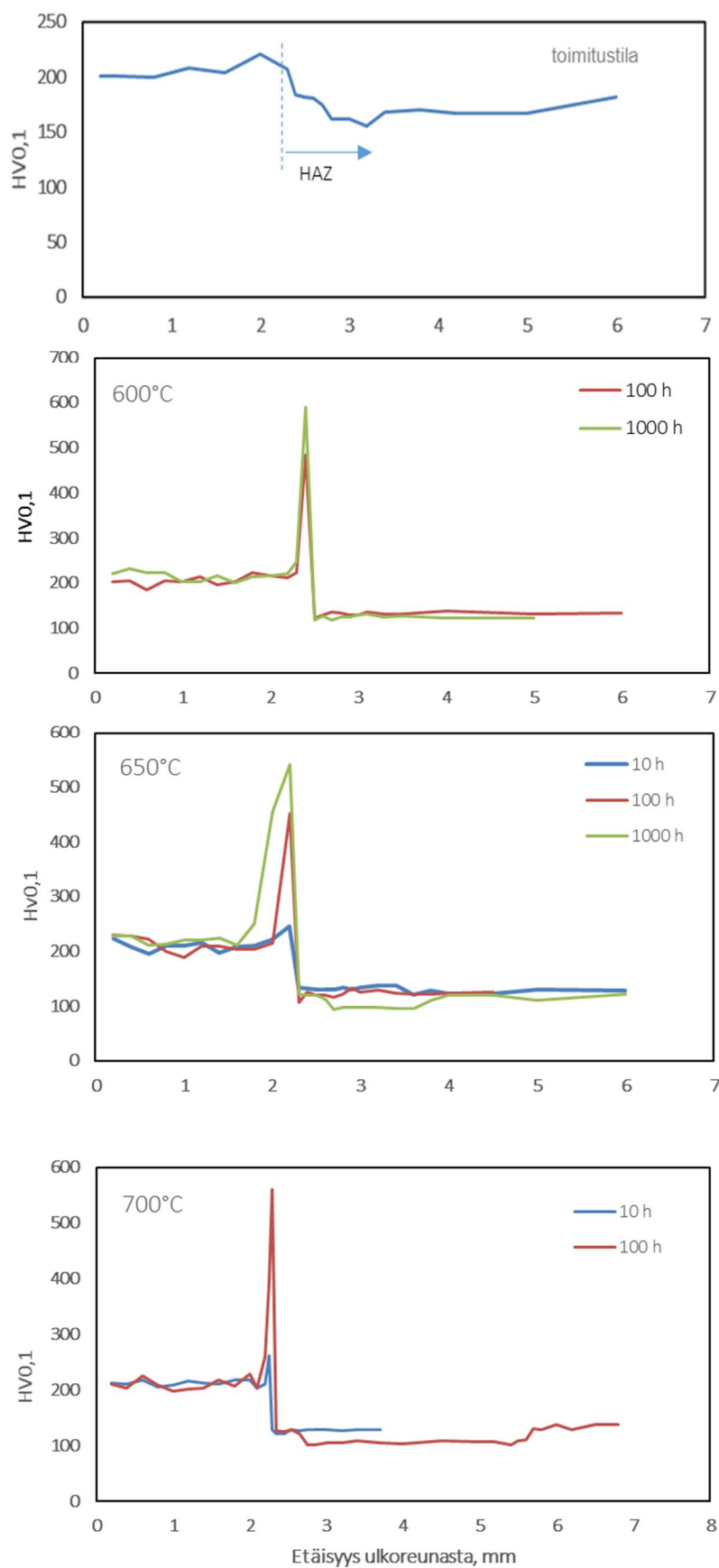
Kuva 14. Teräksen P265GH (San38 kompond putken pohjamateriaali) kovuusmuutosten t - T -riippuvuus



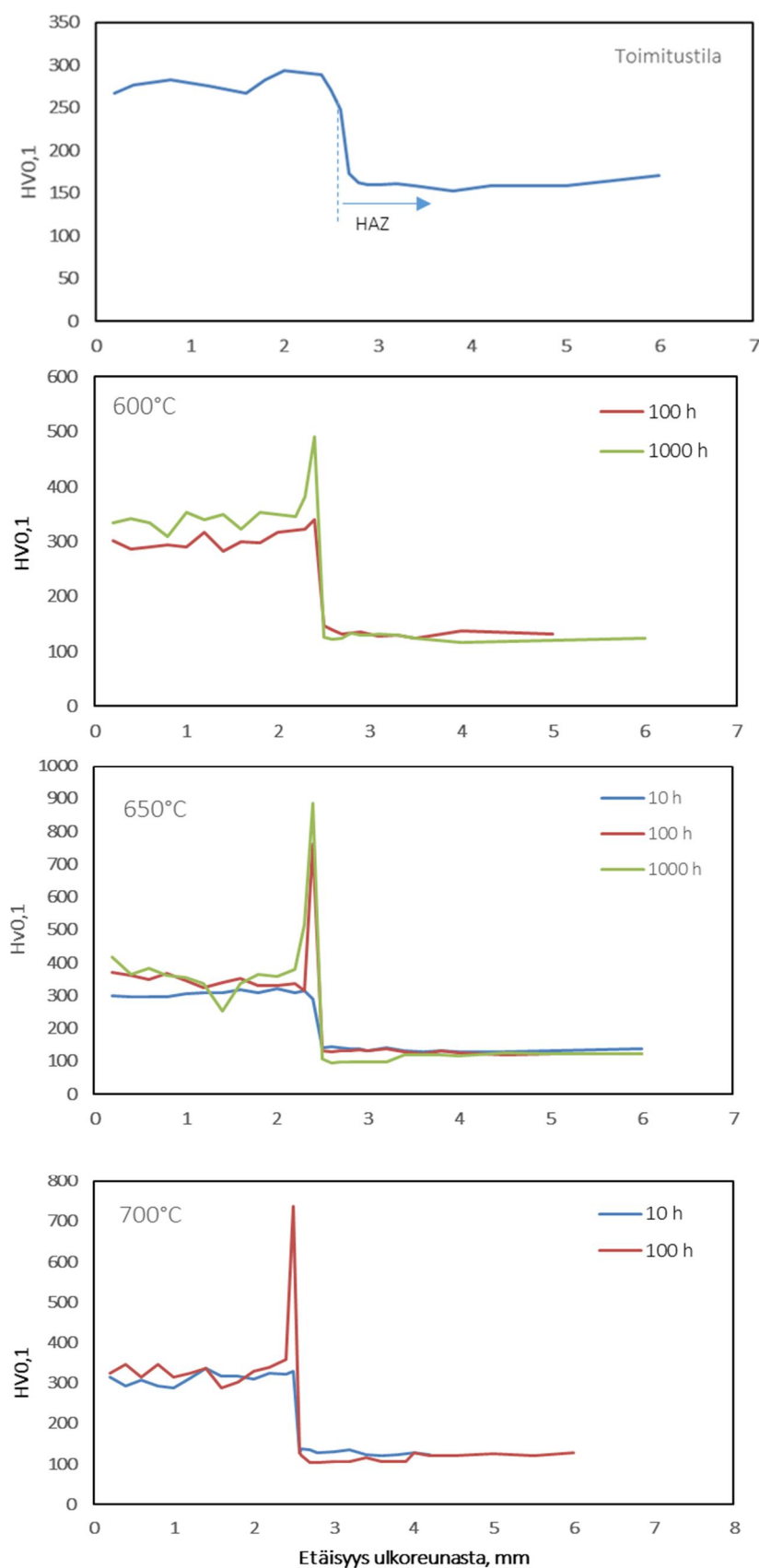


Kuva 15. Kovuustulokset pinnoite-pohjamateriaalirajapinnan yli HV0,1 ja HV5 650°C/1000 h hehkutuksen jälkeen

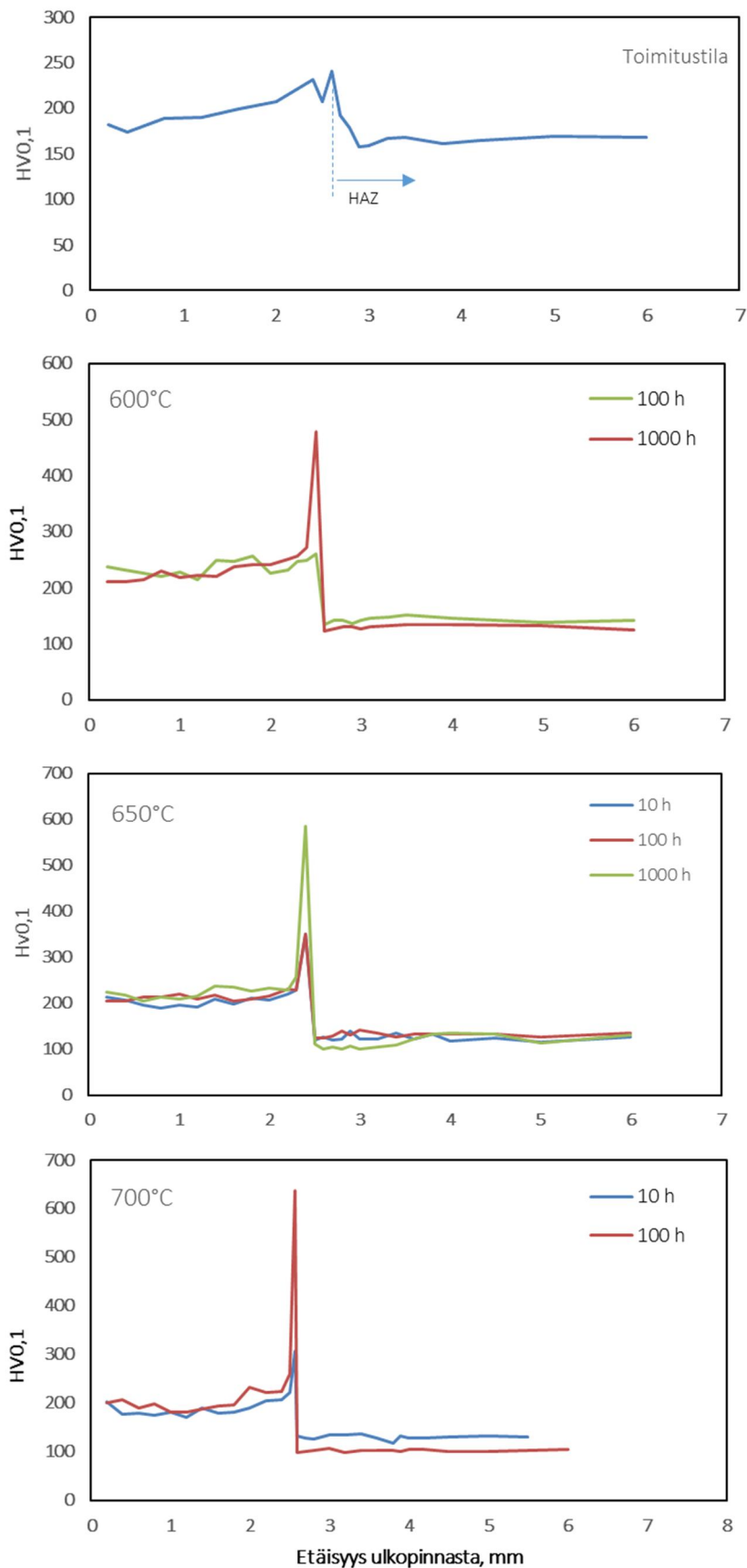
Mikrokovuustulokset pinnoite-pohjamateriaalirajapinnan yli on esitetty Kuvissa 16-25. AZZ:n toimittamissa pinnoitteissa HAZ-alueen kovuus pohjamateriaalin puolella ei suuresti eroa pohjamateriaalin keskiarvokovuudesta. Uhligin 625-pinnoite käyttäytyy toimitustilaisena samoin. Uhligin 309L sekä 825 -pinnoitettujen putkien kovuusarvot nousevat HAZ-alueella (Kuvat 19 ja 21). Saman tyyppinen kovuuden nousu on nähtävissä Arevan toimittamassa 309L putkessa (Kuva 22). Ko. alueen kovuus tasoittui hehkutuksen aikana ja korkein kovuusarvo hehkutetuissa näytteissä muodostui pinnoitteen puolella lähelle rajapintaa, mikä selittyy hiilen diffuusiolla pohjamateriaalista pinnoitteeseen. Arevan 309L pinnoitetussa putkessa HAZ-alueen kovuus lähestyi pinnoitteen ja pohjamateriaalin kovuuksia lämpökäsittelyjen aikana ja rajapinnalle kasvava kovuuspiikki havaitaan vasta pitkällä hehkutusajoilla (Kuva 22). Pääsääntöisesti kuitenkin kaikkiin näytteisiin, niin pinnoitushitsattuihin kuin myös referenssinä olleisiin compound-näytteisiin, muodostuu vanhennushehkutusten aikana pinnoitteen puolelle lähellä rajapintaa kovuuspiikki hiilen diffundoituessa pohjamateriaalista pinnoitteen puolelle. Pidemmällä hehkutusajoilla rajapinnan läheisyyteen pohjamateriaalin puolelle muodostuu hieman matalampien kovuusarvojen vyöhyke hiilen diffuusiosta johtuen (esim Kuvat 19, 20 ja 21). Tämä alue näkyy mikrorakennekuvissa rakeenkasvualueena, Kuva 25.



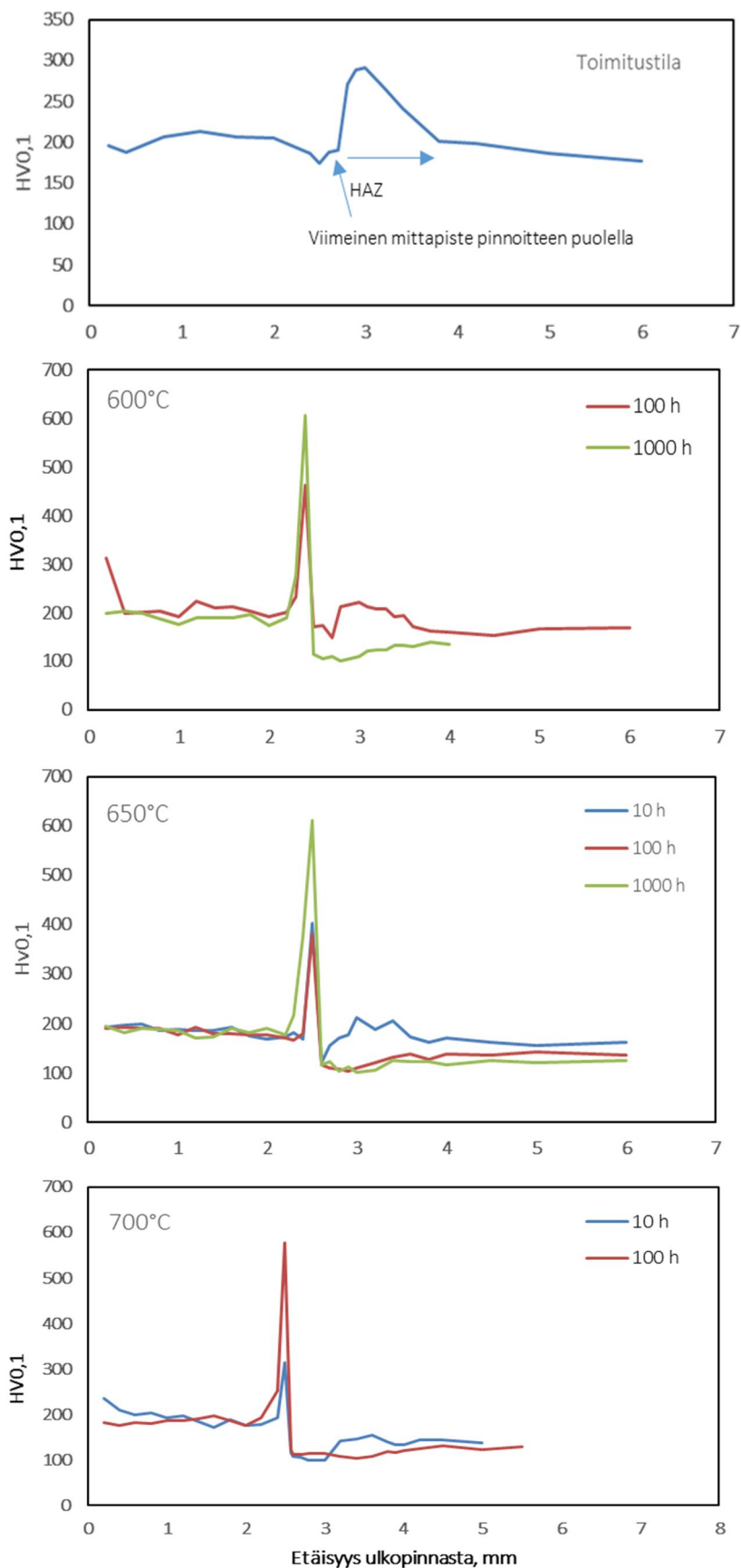
Kuva 16. Pinnoitteen 309L-P235GH (AZZ) kovuusmuutos rajapinnan yli. Korkein kovuusarvo viimeinen mittapiste pinnoitteen puolella.



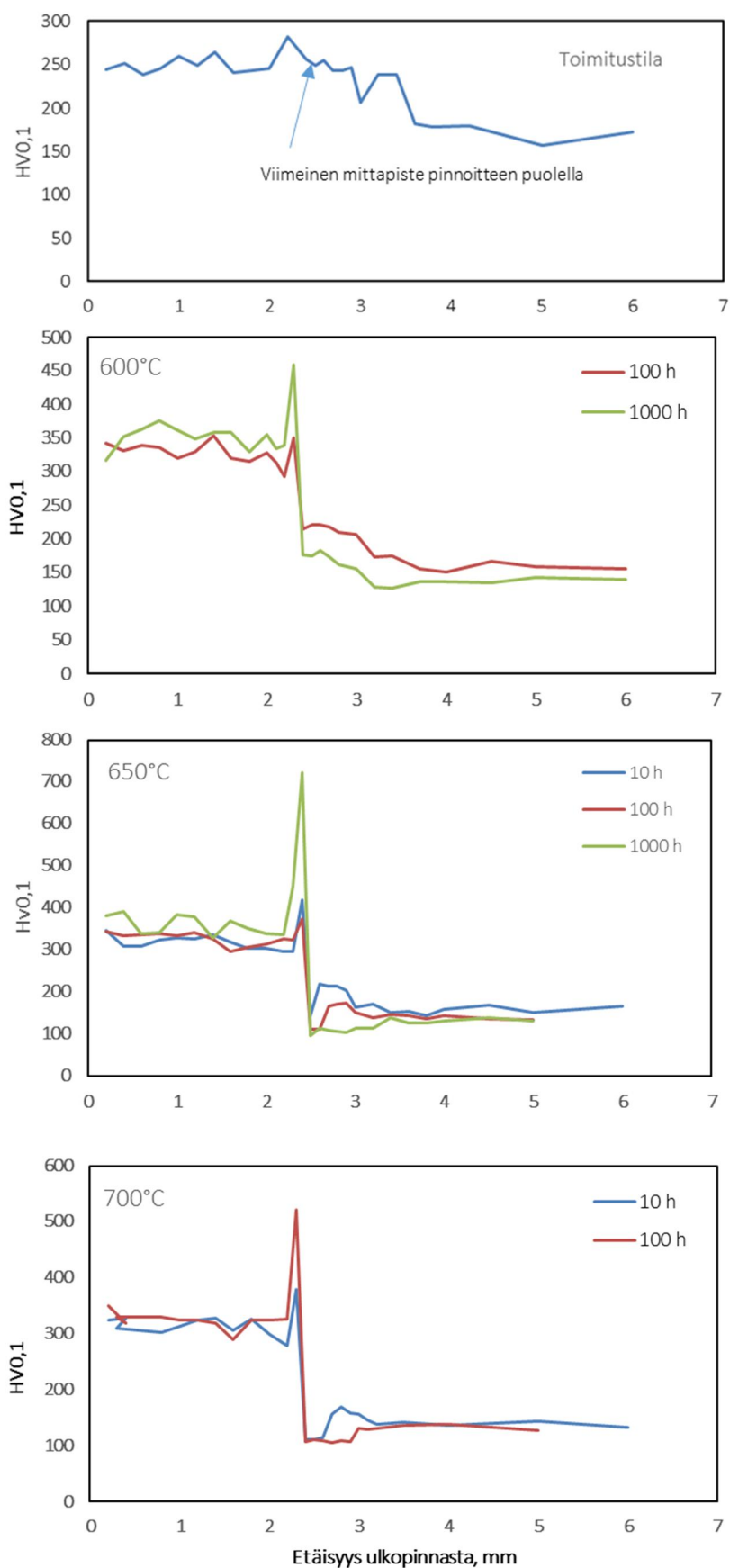
Kuva 17. Pinnoitteen 625-P235GH (AZZ) kovuusmuutos rajapinnan yli. Korkein kovuusarvo viimeinen mittapiste pinnoitteen puolella.



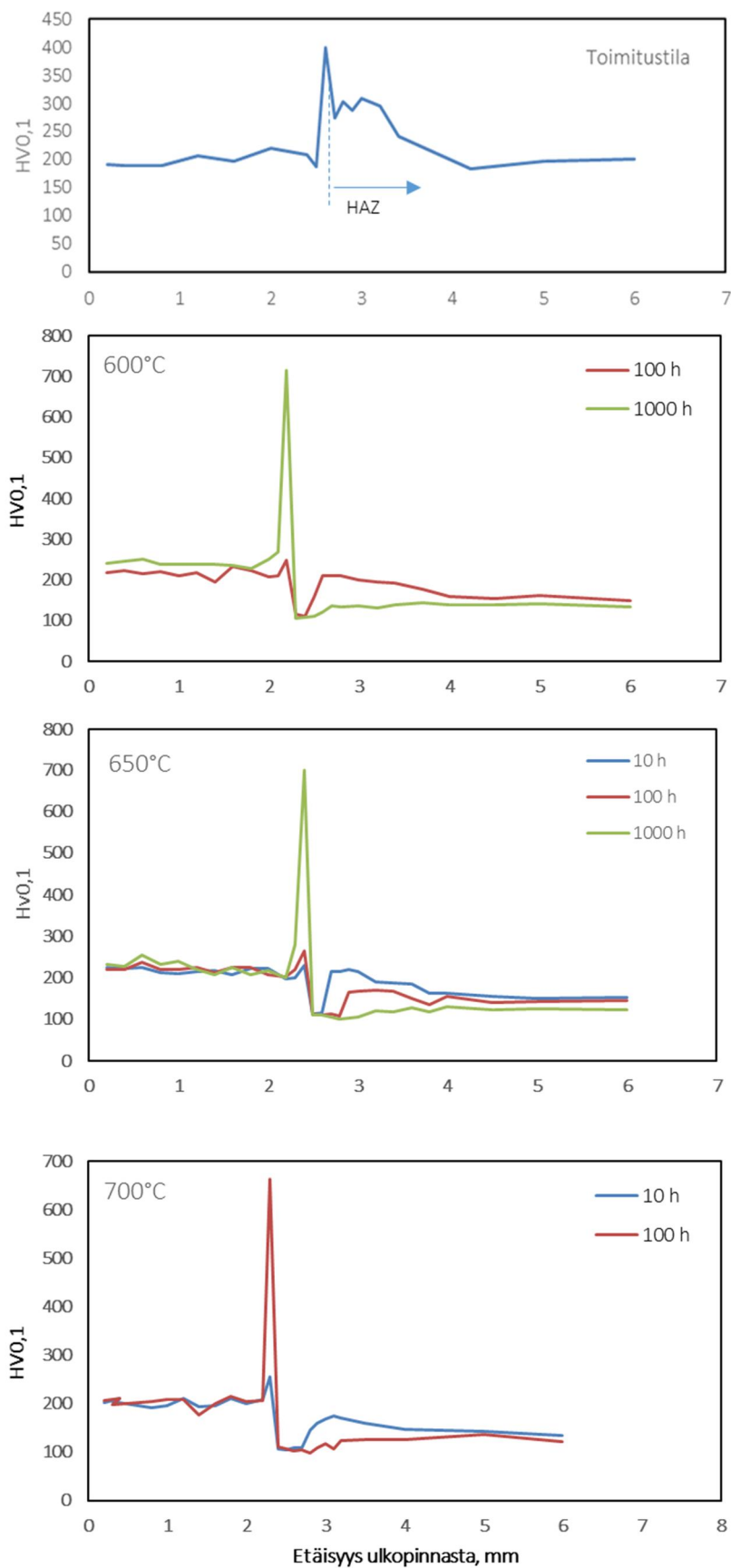
Kuva 18. Pinnoitteen 825-P235GH (AZZ) kovuusmuutos rajapinnan yli. Korkein kovuusarvo viimeinen mittapiste pinnoitteen puolella.



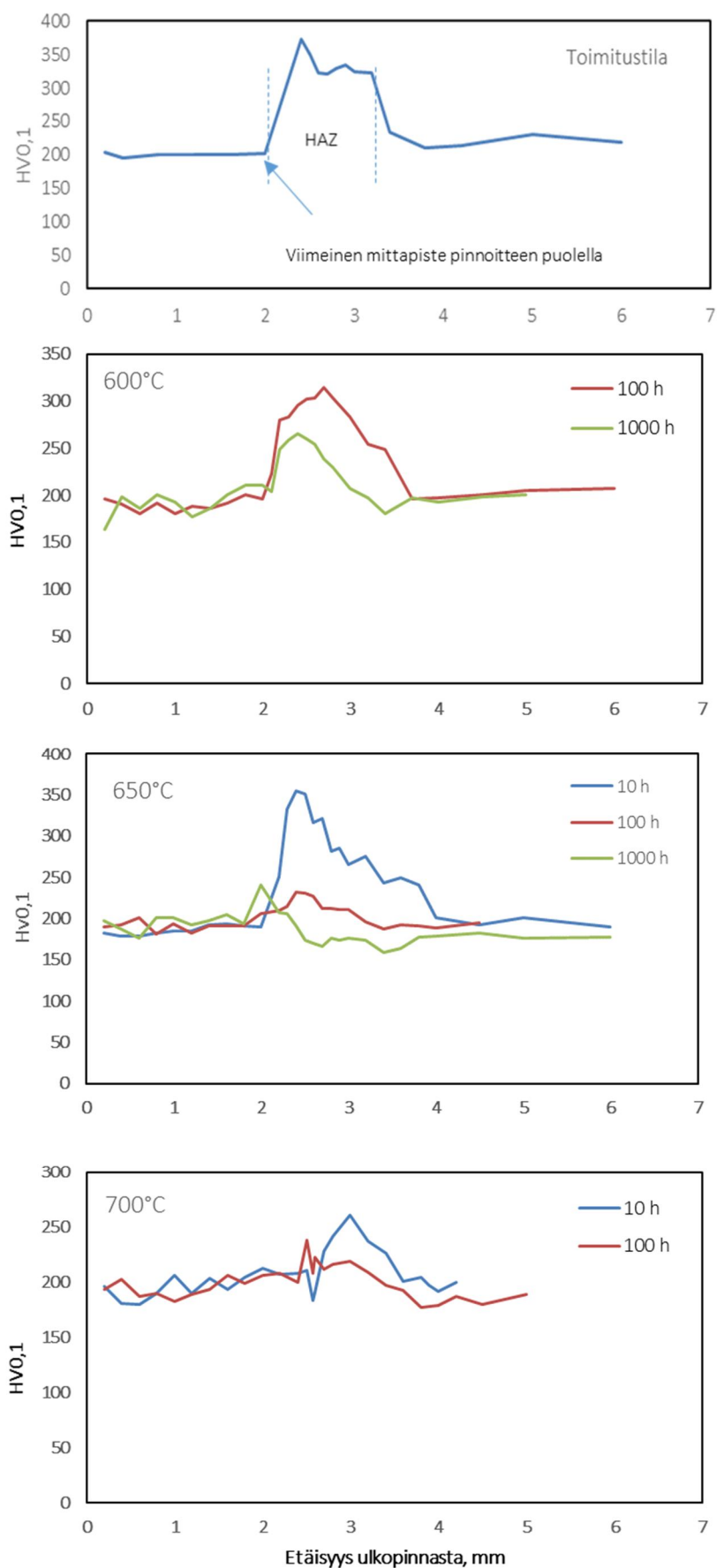
Kuva 19. Pinnoitteen 309L-16Mo3 (Uhlig) kovuusmuutos rajapinnan yli. Hehkutetuissa näytteissä korkein kovuusarvo viimeinen mittapiste pinnoitteen puolella.



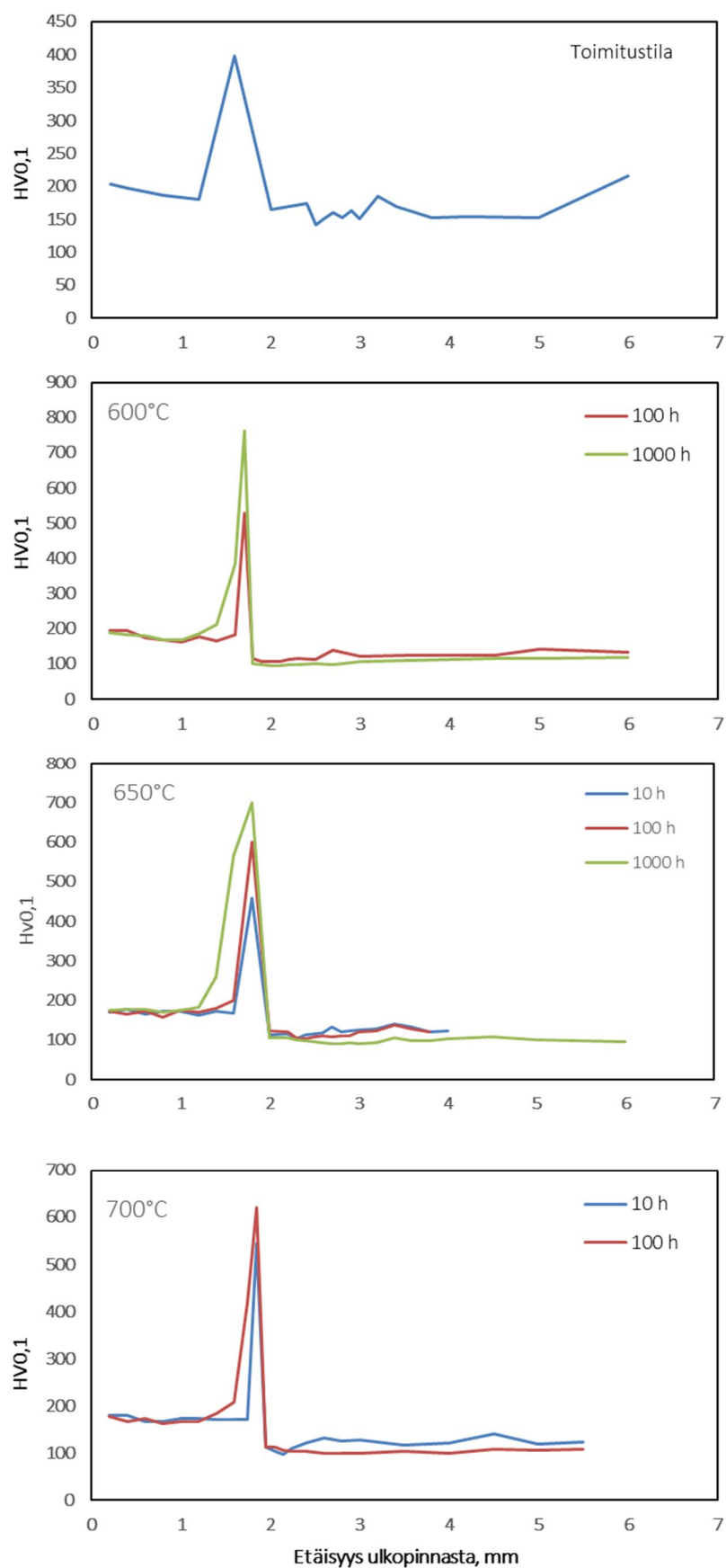
Kuva 20. Pinnoitteen 625-16Mo3 (Uhlig) kovuusmuutos rajapinnan yli. Hehkutetuissa näytteissä korkein kovuusarvo viimeinen mittapiste pinnoitteen puolella.



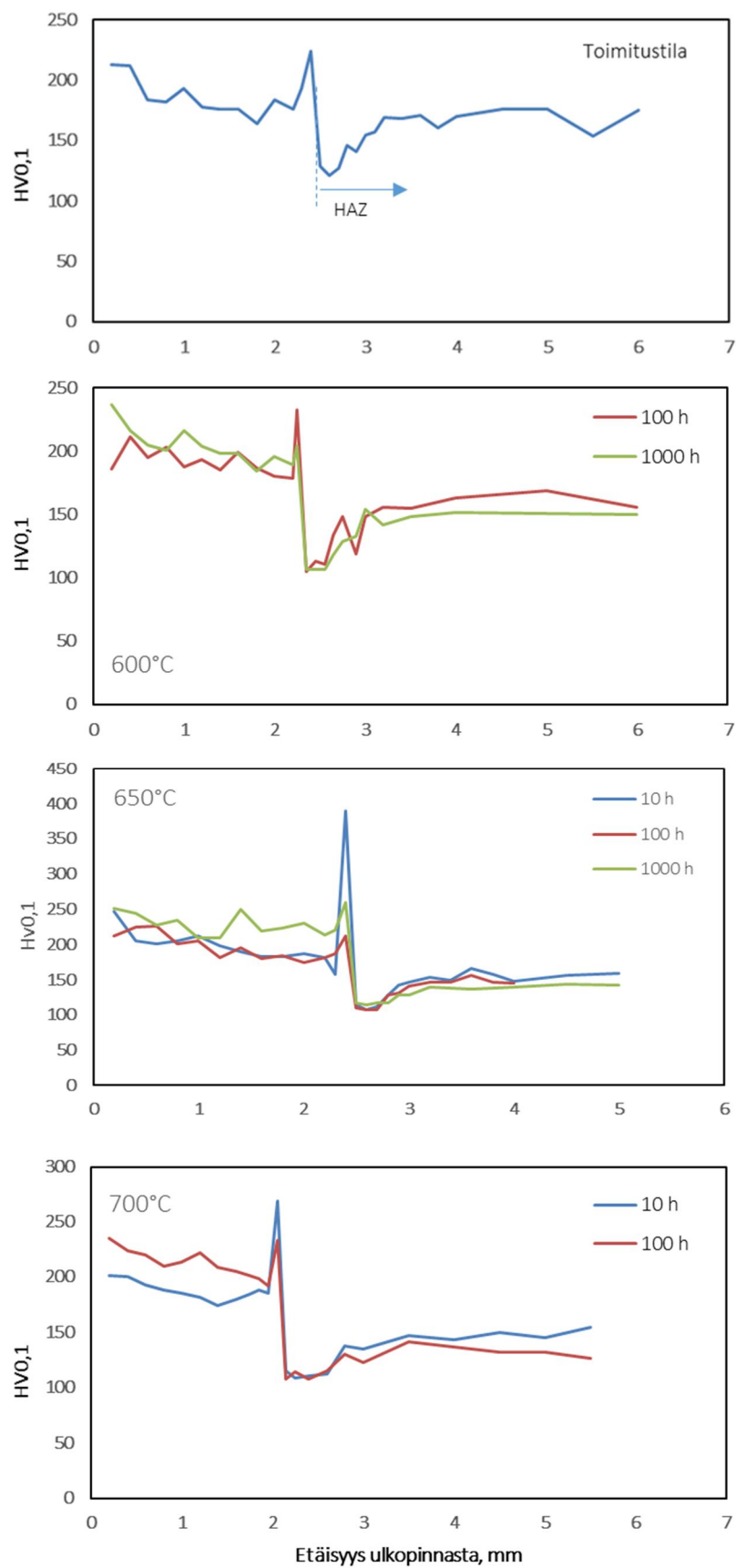
Kuva 21. Pinnoitteen 825-16Mo3 (Uhlig) kovuusmuutos rajapinnan yli. Korkein kovuusarvo viimeinen mittapiste pinnoitteen puolella.



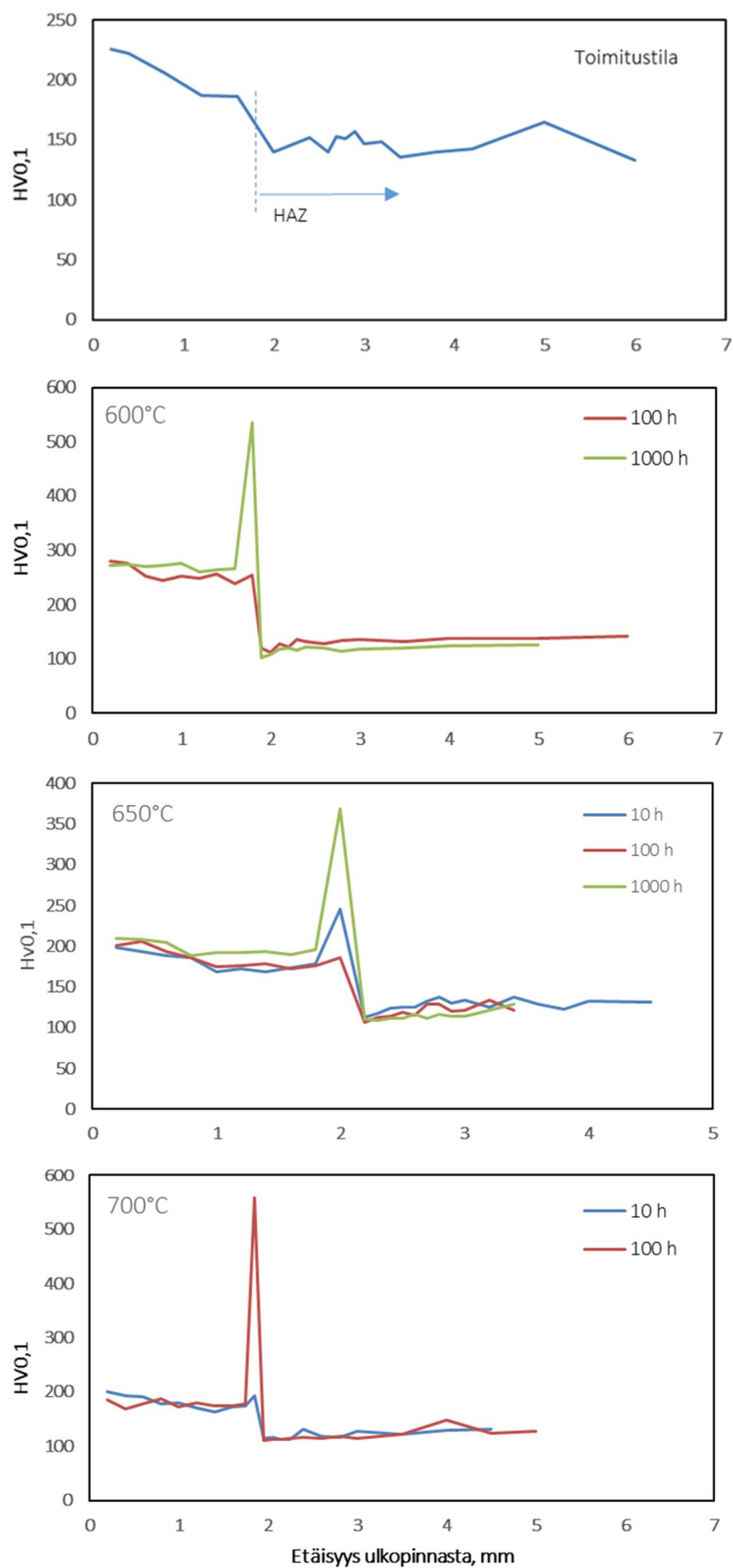
Kuva 22. Pinnoitteen 309L-T24 (Areva) kovuusmuutos rajapinnan yli



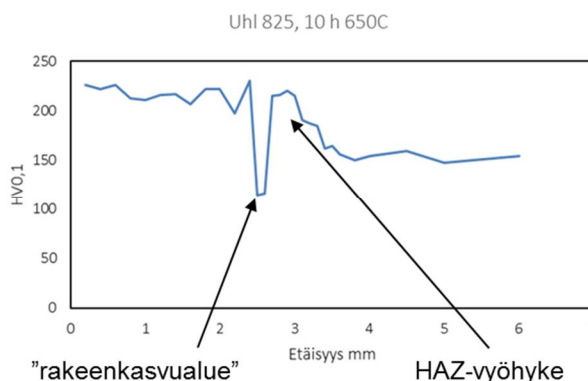
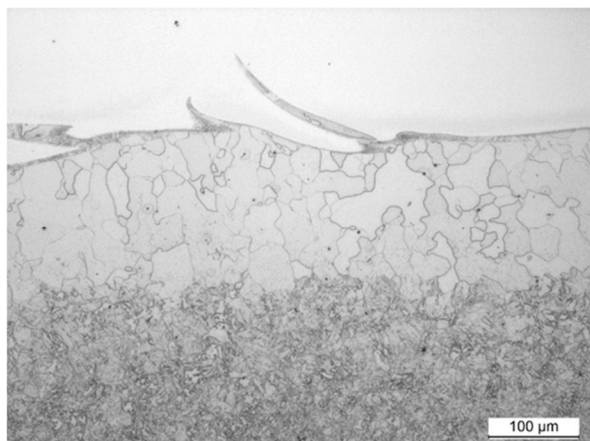
Kuva 23. 304L compound-putken kovuusmuutos rajapinnan yli. Korkein kovuusarvo viimeinen mittapiste pinnoitteen puolella.



Kuva 24. Sanicro 28 compound-putken kovuusmuutos rajapinnan yli. Korkein kovuusarvo viimeinen mittapiste pinnoitteen puolella.



Kuva 25. Sanicro 38 compound-46putken kovuusmuutos rajapinnan yli. Korkein kovuusarvo hehkutetuissa näytteissä viimeinen mittapiste pinnoitteen puolella.

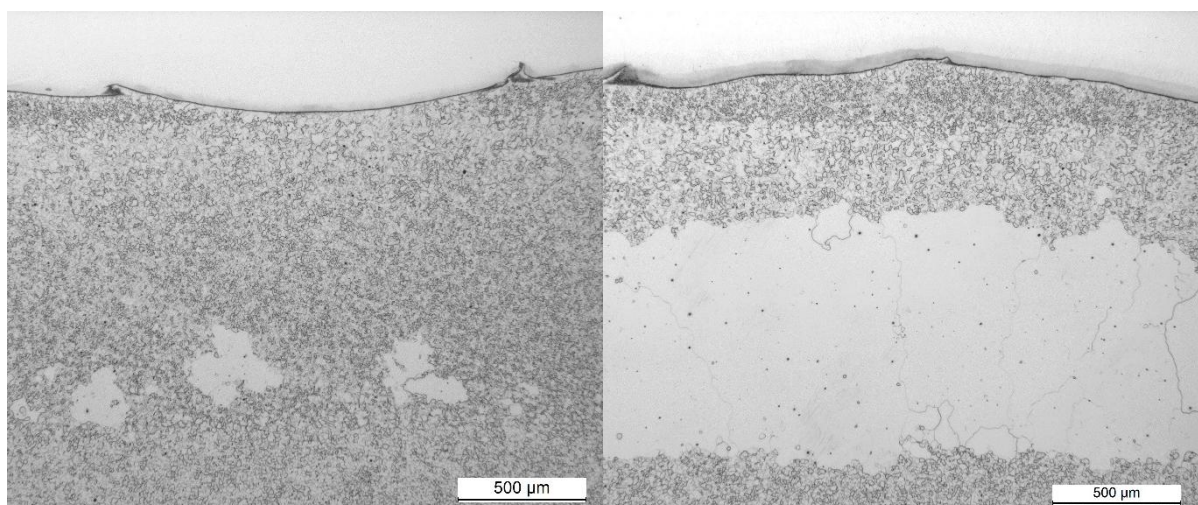


Kuva 26. 825-pinnoitteen mikrorakenne ja kovuuskäyrä rajapinnan läheisyydestä 10 h vanhennuksen jälkeen 650°C

3.3 Hiilenkato rajapinnan yli ja pinnoitteen hiillettyminen rajapinnalla

Vanhennushehkutettujen näytteiden poikkileikkauksista valomikroskoopilla mitatut hiilenkatosyvyyydet on esitetty Taulukossa 4 ja pinnoitteen hiilletymissyvyys Taulukossa 5. Liitteessä 4 on esitetty hehkutettujen näytteiden rajapintojen poikkileikkaukset. Hehkusajan pidentyessä ja/tai lämpötilan noustessa HAZ-alueen reuna-alueella alkaa tapahtua rakeenkasvua pohjamateriaalilla P235GH, Kuva 27. Rakeiden kasvuun on kohti rajapintaa. Vastaavanlaista havaittiin materiaalipareilla St45.8/304L ja 16Mo3/309L. Suurirakeisella alueella hiilenkatoa oli havaittavissa koko alueella. Näissä tapauksissa hiilenkato oli suurinta näytteissä lähellä rajapintaa tapauksissa, joissa rakeenkasvualue ulottui jo rajapinnalle. Uhligin 16Mo3 pohjamateriaalissa havaittiin kaikilla hitsauspinnoitteilla rajapinnan läheisyydessä rakeiden karkenemista hehkutusten aikana (esim. Kuva 42, Liite 2).

Pinnoitteiden hiillettyminen voidaan todeta rajapinnan läheisyydessä rakeiden sisäisiä karbideja sisältävän alueen paksuuden kasvuna. Lisäksi pinnoiterakenteissa on nähtävissä herkistymistä raerajoilla, joka johtuu osittain myös alkuperäisen rakenteen hiilipitoisuudesta. Tästä syystä rakenteen osittainen herkistyminen on jätetty pois mittauksista ja heikentää hiilletymissyvyyteen perustuvien johtopäätösten tekoa. Taulukon 5 tulokset perustuvat täysin herkistyneen vyöhykkeen, jossa kaikki raerajat voimakkaasti syöpyneet, syvyyteen.



a)

b)

Kuva 27. HAZ-alueen rakeenkasvua (AZ309L-P235GH) hehkutuksen aikana, a) 650°C, 100 h, b) 1000 h

Taulukko 4. Hiilenkatosyvyys pohjamateriaalin rajapinnalla. *HAZiin muodostuva voimakas rakeenkasvua, jossa hiilenkatoa

Lämpötila [°C]	Aika [t]	Hiilenkatosyvyys [μm]									
		AZZ			Areva	Uhlig			kompond		
		309L	625	825		309L	625	825	304L	San28	San38
toim.til.		20	<20	10	-	~10	~10	~10	100-150	50-100	100
600	100	20	10	10	10	50-200	10-40	200	250	100	20-50
	1000	20-50	^a	10-20	20	300	10	300	280	270	50-70
650	10	20-40	<10	10-20	10-20	120*	10	100-150	150	120	50-70
	100	20-50 ^b	20	20-100, ^b	20	400	200	440	200-250	200	60-80
	1000	20-50 ^b	700*	750*	40	500	400-500	750	1200*	260	100-130
700	10	120	50-200	^a	100	550-700	280	350	350	300	100
	100	2800*	1200*	2100*	150	1000*	100-450	100-400	800-1000*	350	300

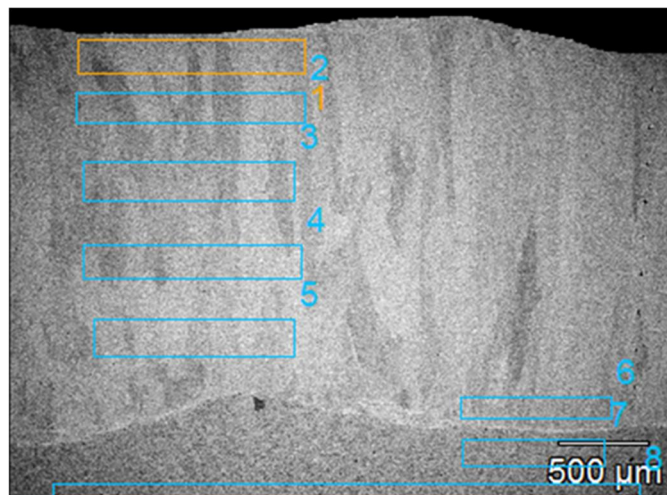
^ahiiliteräs hiillettynyt voimakkaasti rajapinnalta

^brakeen kasvu alkanut HAZ:n alarajalta

Taulukko 5. Pinnoitteen hiiletymissyvyys rajapinnalla hehkutuksen jälkeen

Lämpötila [°C]	Aika [t]	Pinnoitteen hiiletymissyvyys [μm]									
		AZZ			Areva	Uhlig			kompond		
		309L	625	825		309L	625	825	304L	San28	San38
toim.til.		10-25	10-20	10-20	10-30	15-20	20-30	10-20	100-150	50-70	60
600	100	70-100	20-25	50-70	20-40	110-130	20	50-70	120-140	50-80	70-100
	1000	180-200	30-50	90-120	25-40	150-170	25	70-100	140-170	60-90	120-150
650	10	30-50	10-20	40-70	20-30	100	15-30	20	200	100	100
	100	70-100	20-25	50-80	20-40	100-120	40-60	25	120-150	50-80	100-120
	1000	150-200	100-150	100-150	15-20	200-250	150-200	100-200	250	130	150
700	10	70-100	20-30	20-40	50-70	90-110	20-30	50-70	200-230	60-90	100-140
	100	180-200	70-90	150-160	50-80	150-170	60-90	70-100	180-250	60-90	120-150

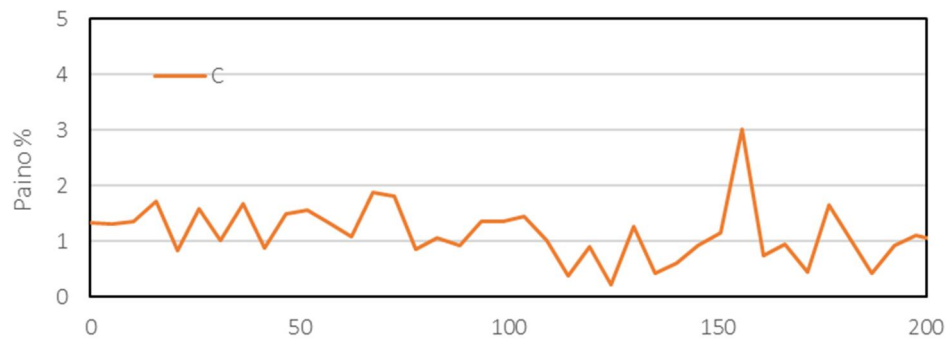
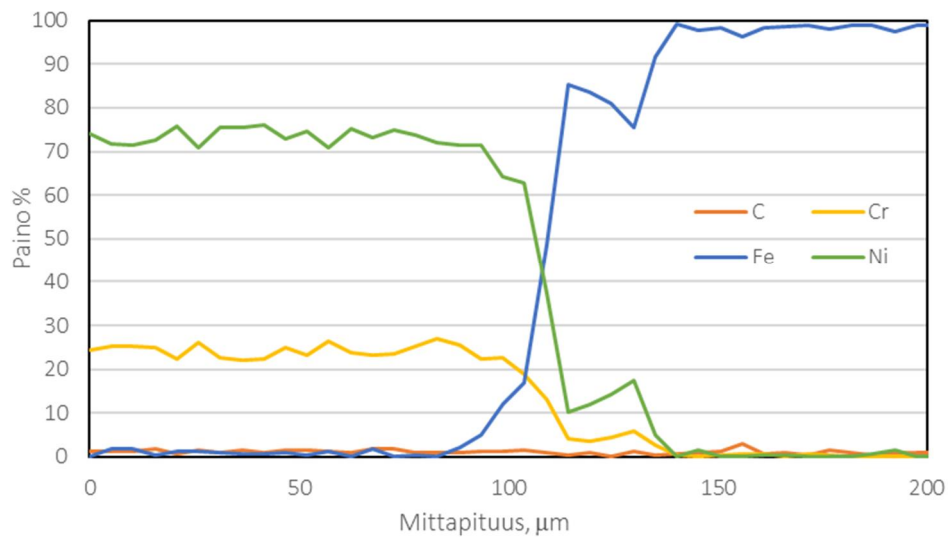
Hitsauspinnoitteiden rakenteissa ei vanhennusten aikana tapahtunut huomattavia muutoksia (Liite 3 ja 4) rajapintaa lukuun ottamatta. Kuvassa 28 on esitetty 309L pinnoitteen rakenne vanhennuksen jälkeen (1000 h/650°C). Suuria koostumusvaihteluita pinnoitteen paksuuden läpi ei ollut havaittavissa. Hiili on EDX-kammiossa epäpuhtautena, joten sen arvo analyyseissä on vain viitteellinen. Kompond-putkien pinnoitteiden, 304L, Sanicro 28 ja Sanicro 38, rakenteissa havaittiin hehkutusten aikana karbidien kasvua raerajoille (Liite 3, Kuvat 22-30).



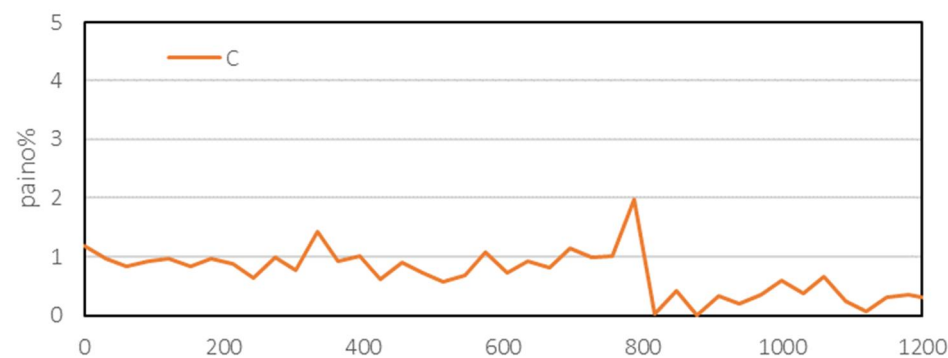
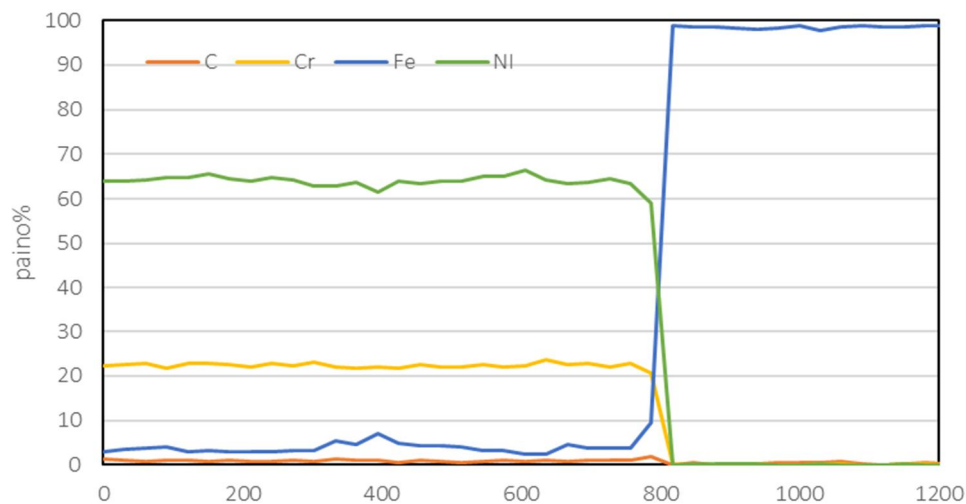
	C	Mg	Al	Si	V	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Mo
1	0.9		0.0	0.5	0.0	21.4	2.5	62.7	11.6	0.0	0.2
2	0.9		0.1	0.6	0.0	21.5	2.0	63.2	11.4	0.0	0.3
3	0.9		0.1	0.5	0.0	22.0	1.7	62.9	11.4	0.1	0.4
4	1.1	0.1	0.0	0.5	0.1	21.9	2.0	60.8	12.8	0.3	0.3
5	0.8		0.0	0.5	0.0	21.3	2.0	61.1	13.5	0.3	0.3
6	1.1		0.0	0.5	0.1	22.4	1.9	61.5	12.1	0.0	0.3
7	1.4		0.0	0.3	0.2	2.7	0.9	92.9	0.0	0.0	1.6
8	0.9		0.0	0.2	0.3	2.8	0.8	93.2	0.0	0.1	1.6

Kuva 28. 309L (Areva) hitsauspinnoitteen koostumus vanhennuksen (1000 h/650°C) jälkeen

Vaikka EDX-analyysit antavat viitteellisen arvon hiilen pitoisuudelle, EDX-kuvaajista nähdään, että vanhennusten aikana hiili diffundoituu pohjamateriaalin puolelta pinnoitteeseen. Useissa analyyseissa nähtiin hiilen pitoisuudessa piikki lähellä rajapintaa pinnoitteen puolella. Kuvassa 29 on esimerkkinä EDX-analyysit AZZ:n toimittamasta 625-pinnoitteesta toimitustilaisesta sekä 700°C:ssa vanhenneetusta näytteestä. Liitteessä 3 on esitetty EDX-analyysit rajapinnan ylitse toimitustilaisina sekä 650 ja 700°C hehkutusten jälkeen.



a)



b)

Kuva 29. AZZ625 hitsauspinnoitteen EDX-kuvaajat rajapinnan yli a) toimitustilainen sekä b) hehkutettu 100 h, 700°C

4. Yhteenveto

Korkeassa lämpötilassa toimivien komponenttien elinikää rajoittaa voimakkaasti käyttölämpötila. Kuitenkin usein korkean lämpötilan komponenttien lämpötilan mittausta on vaikeasti järjestettävissä. Tällöin lämpötilan arviointiin voidaan käyttää mikrorakenteissa käytön aikana tapahtuneita muutoksia.

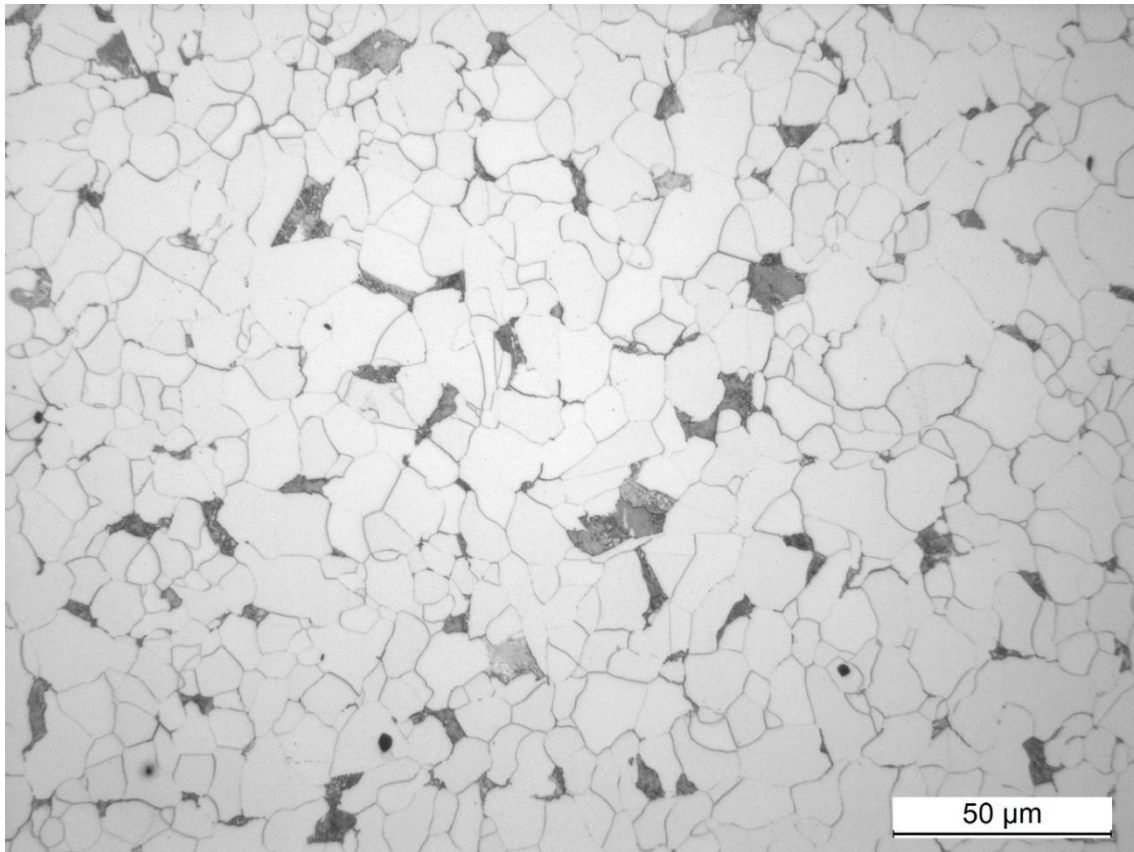
Vanhennuskokeissa tarkasteltiin hitsauspinnoitteita 309L, IN625 ja IN825 kolmelta toimittajalta, AZZ, Uhlig ja Areva. Referenssimateriaaleina hitsauspinnoitetuille putkille koehehkutuksissa toimivat compoundputket 304L, Sanicro 28 ja Sanicro 38. Vanhennushehkutuksia tehtiin lämpötiloissa 600, 650 ja 700°C kymmenestä tunnista tuhanteen tuntiin asti. Vanhennettujen näytepalojen mikrorakenteet tarkasteltiin valo- ja pyyhkäisyelektronimikroskopian avulla. Lisäksi näytteistä mitattiin mikrokovuudet (HV 0,1) pinnoite-pohjamateriaalirajapinnan yli. Pinnoitushitsatuille putkille tehtyjen vanhennushehkutusten tuloksia voidaan hyödyntää arvioitaessa käytössä olleisiin tai ylikuumentuneisiin komponentteihin kohdistuneita lämpökuormituksia.

Vanhennushehkutusten perusteella voidaan todeta, että hiiliteräksisten pohjamateriaalien mikrorakennemuutokset alkavat ferriittisperliittisen rakenteen perliittirakeiden karbidilamellien katkeiluna ja vähittäisenä palloutumisena, jota seuraa pidemmällä ajanjaksolla ja/tai lämpötilan noustessa karbidien karmeneminen. Vastaava muutos oli nähtävissä perliittisbainittisella pohjamateriaalilla 16Mo3. Arevan toimittamien putkien pohjamateriaalissa 7CrMoVTiB10-10 oli jo toimitustilassa havaittavissa voimakasta karbidin muodostumista raerajoille. Samoin 10CrMo9-10:n (San28 compoundin pohjamateriaali) mikrorakenne oli jo lähtötilassa hajaantunutta. Havaitut muutokset 10CrMo ja 7CrMoVTiB materiaaleilla oli lähinnä raerajakarbidien kasvu.

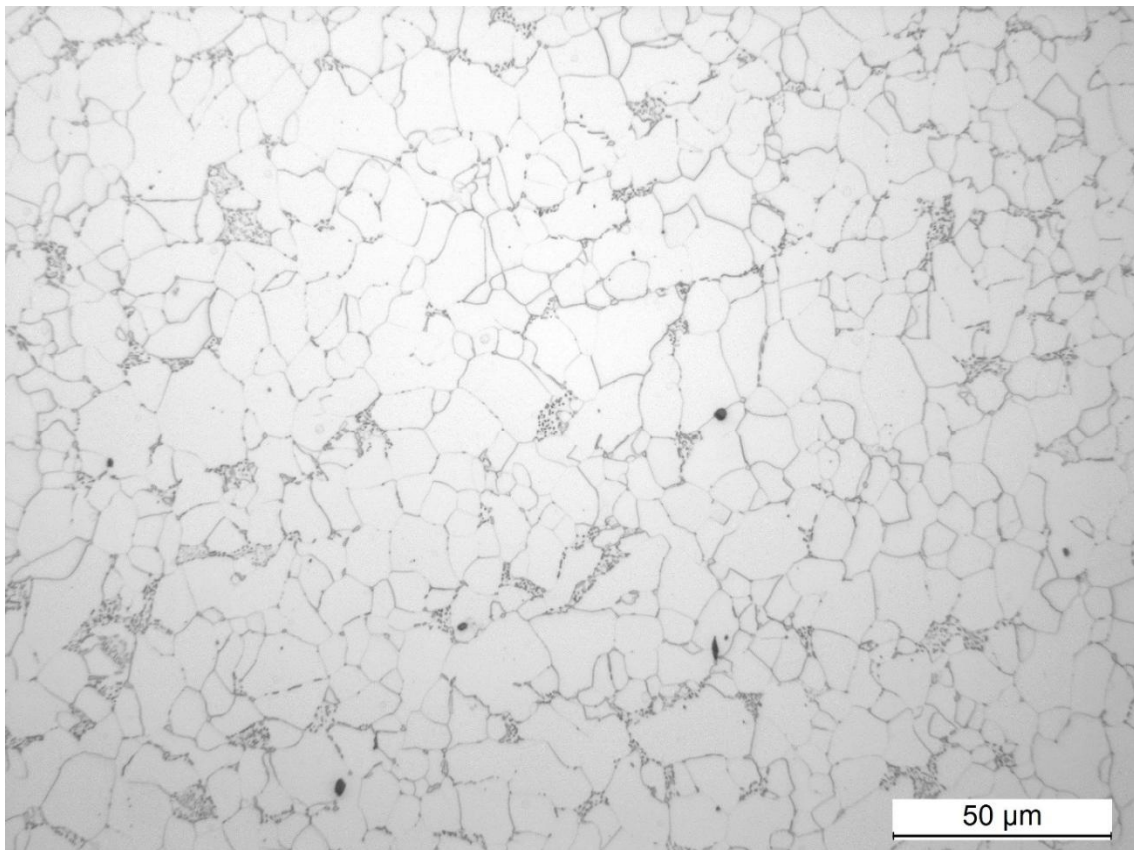
Toimitustilaisten näytteiden HAZ-vyöhykkeellä havaitut kovuusvaihtelut tasoittuivat hehkutuksen aikana ja korkein kovuusarvo hehkutetuissa näytteissä muodostui pinnoitteen puolella lähelle rajapintaa, mikä selittyy hiilen diffuusiolla pohjamateriaalista pinnoitteeseen. Pidemmällä hehkutusajoilla rajapinnan läheisyyteen pohjamateriaalin puolelle muodostuu hieman matalampien kovuusarvojen vyöhyke hiilen diffuusiosta johtuen. Rakeenkasvua oli nähtävissä rajapinnalla perusaineen puolella sekä HAZ-vyöhykkeellä. Rakeenkasvu heikentää pitkällä aikavälillä kuormaa kantavan pohjamateriaalin mekaanista kestävyyttä. Hiilen kulkeutuminen perusaineesta pinnoitteen puolella oli nähtävissä hiilenkatona mikrorakenteissa pohjamateriaalin puolella ja samanaikaisesti pinnoitteen hiilettymisenä rajapinnan pinnoitteen puolella.

Lähdeviitteet

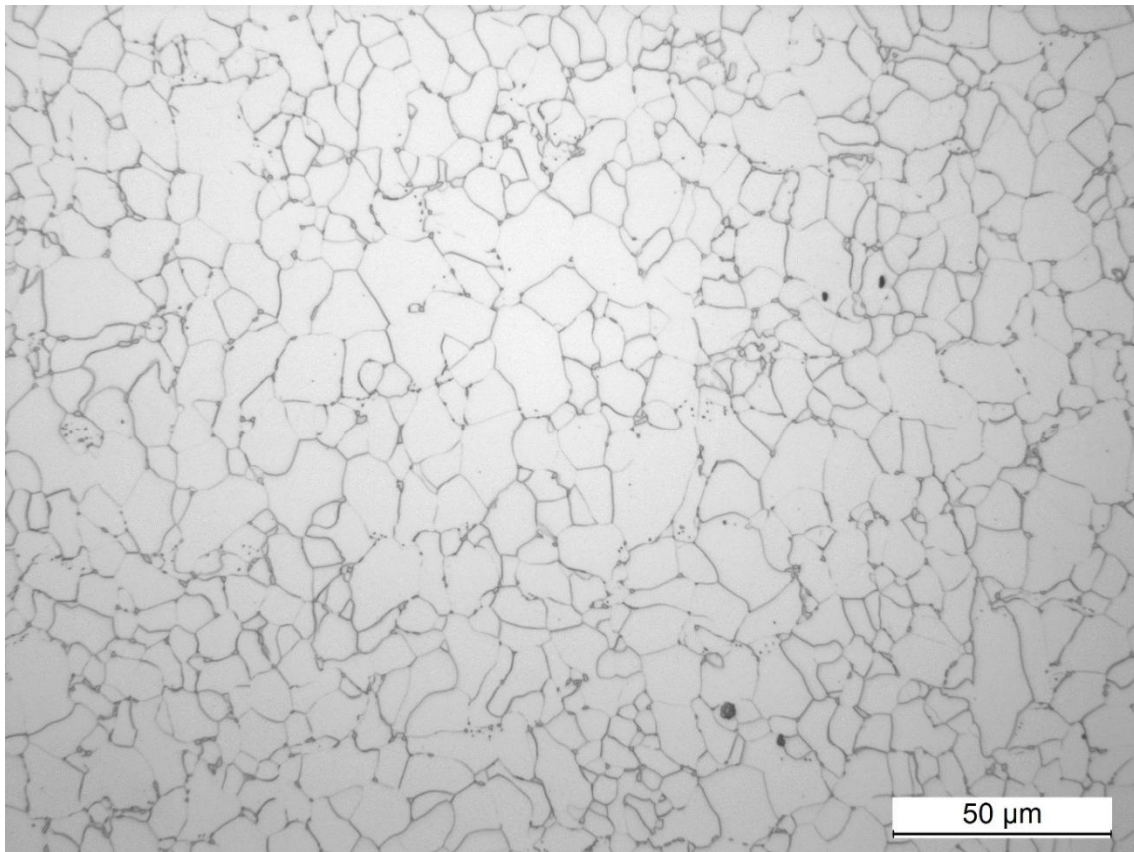
1. Toft, L.H. & Marsden, R.A. The structure and properties of 1% Cr-0.5% Mo steel after service in CEGB power stations. Structural processes in creep. ISI Spec. rep. No. 70, ISI London 1961, 276-294
2. Viswanathan, R. Damage mechanisms and the life assessment of high-temperature components. USA 1989, 183-263
3. Salonen, J. Compound-putken ja 15Mo3 -teräksen mikrorakennemuutokset pitkäaikaisessa hehkutuksessa. VTT Julkaisuja 810 (1995)
4. Salonen, J. Korkealämpötilaterästen mikrorakennemuutokset pitkäaikaisessa hehkutuksessa. VTT Julkaisuja 789 (1994)
5. Metals handbook. Desk Ed. American Society for Metals (1984) USA, s. 28.65-28.66



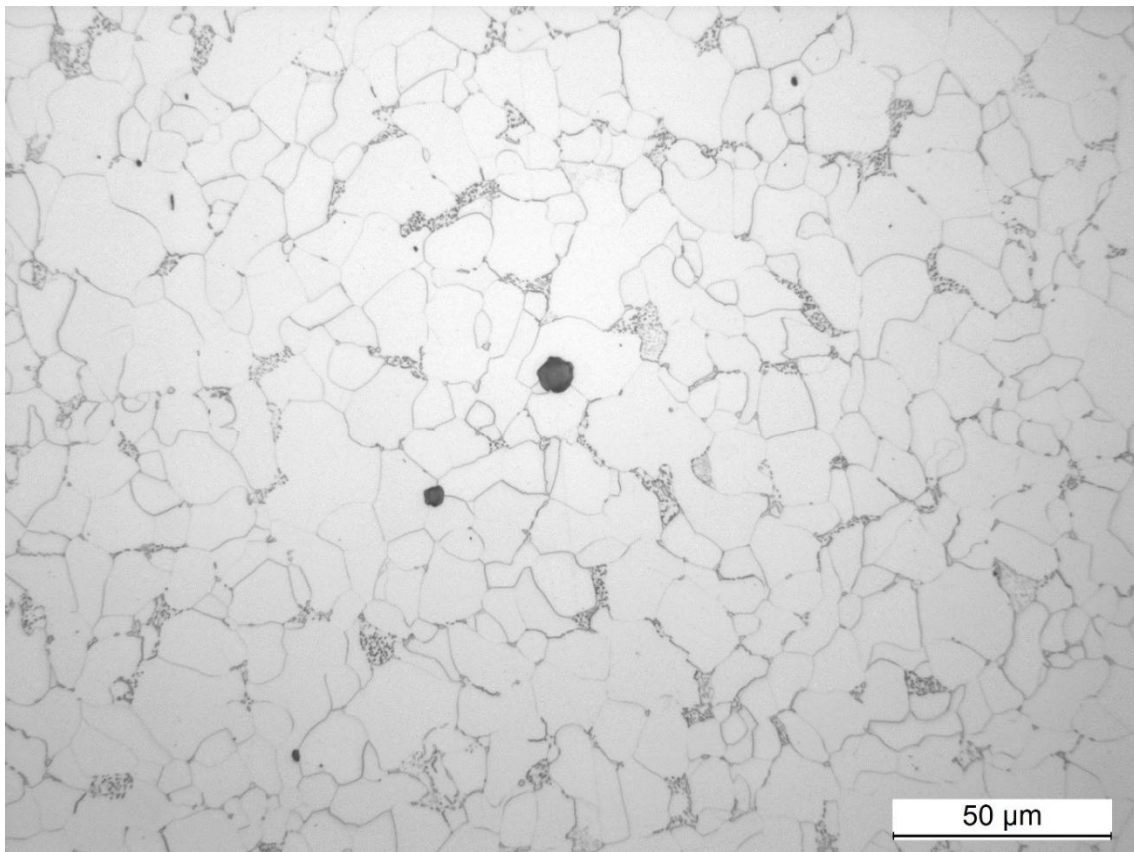
Kuva 1. Teräs P235GH, toimitustila, aste A



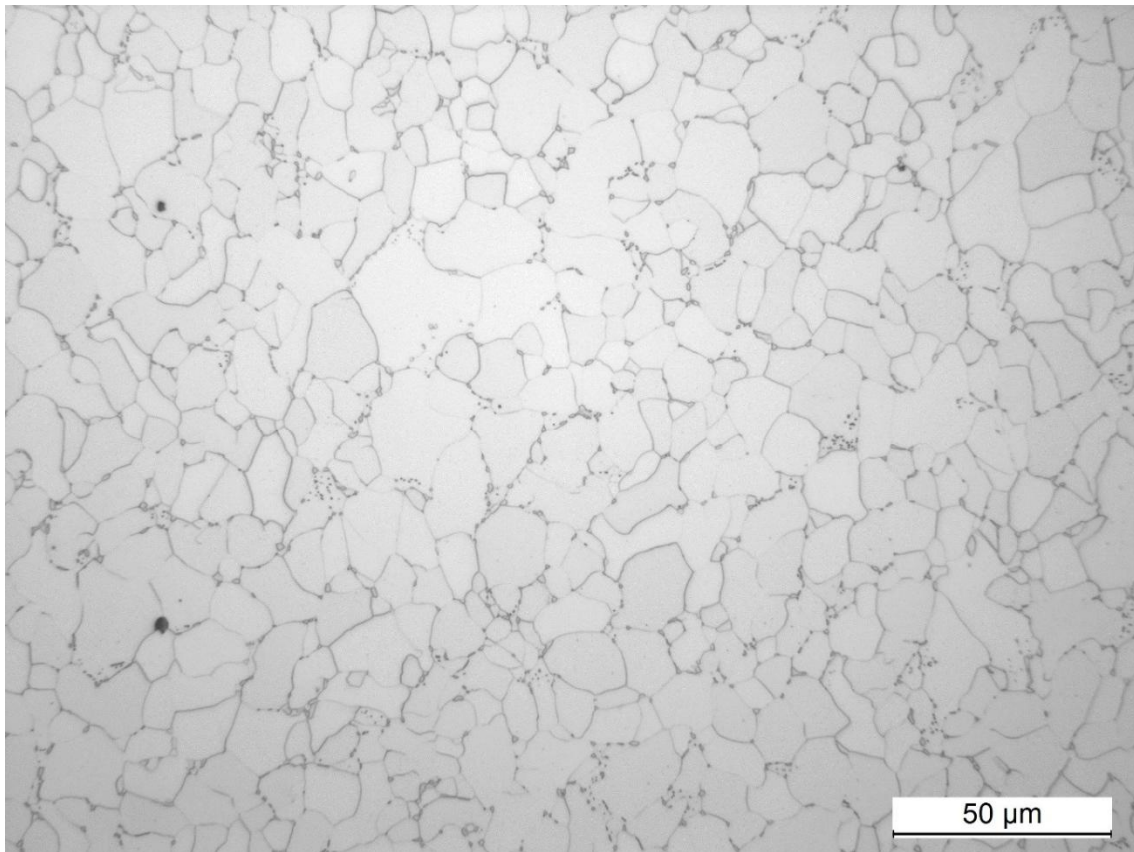
Kuva 2. Teräs P235GH, 600°C, 100 h, P_{LM} (C=14), aste D



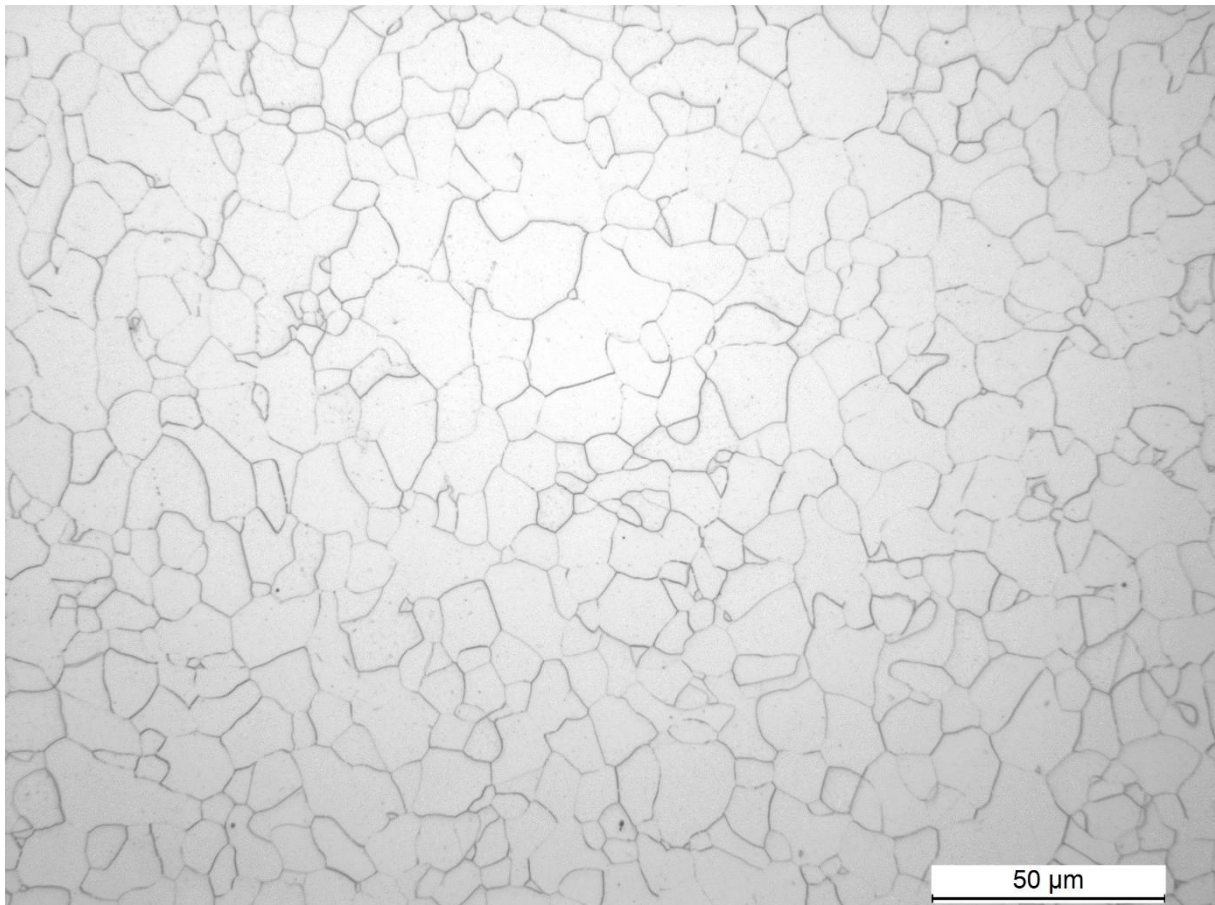
Kuva 3. Teräs P235GH, 600°C, 1000 h, P_{LM} (C=14), aste E/F



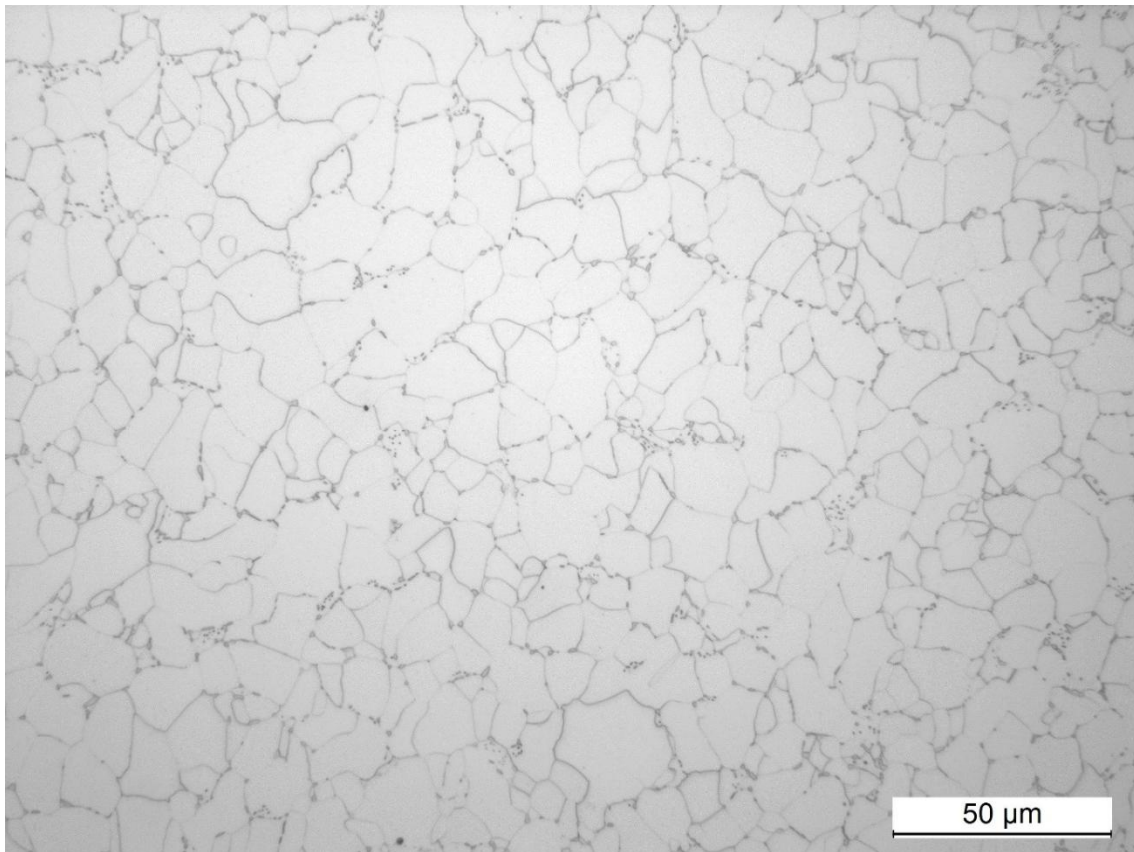
Kuva 4. Teräs P235GH, 650°C, 10 h, , P_{LM} (C=14), aste D



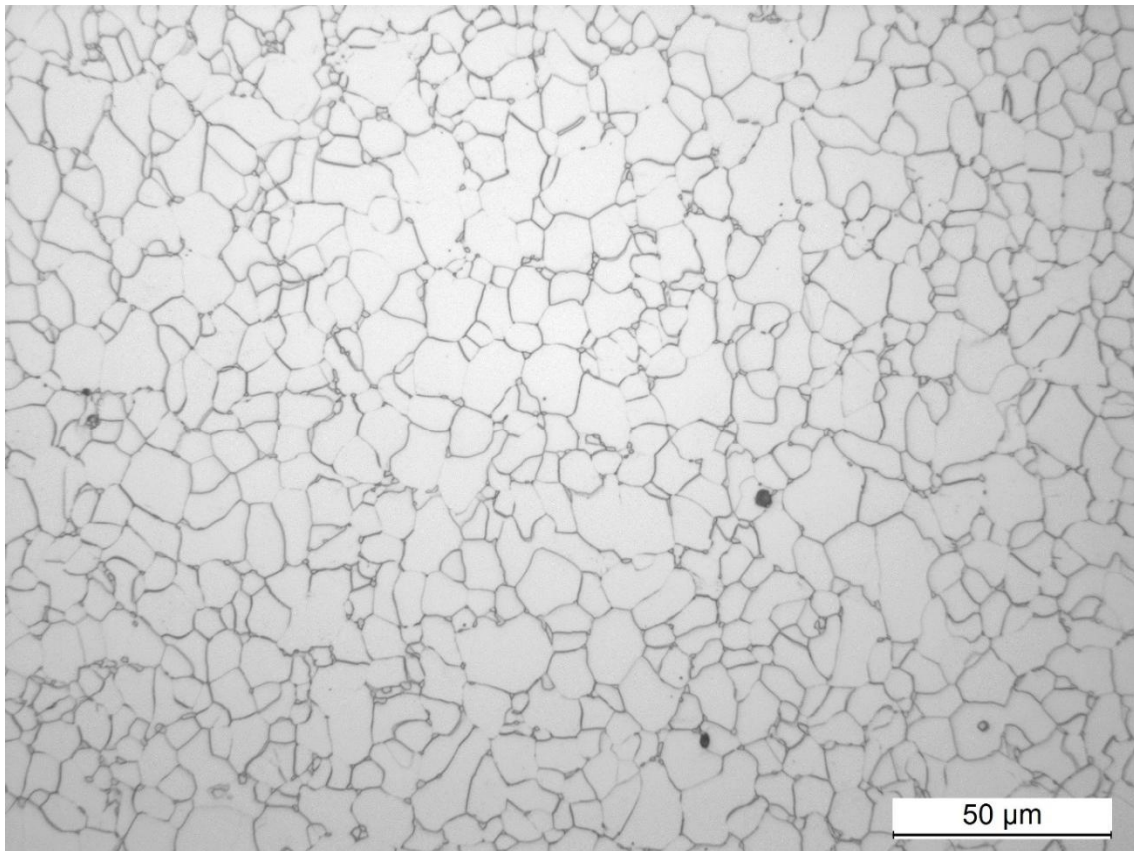
Kuva 5. Teräs P235GH, 650°C, 100 h, , P_{LM} (C=14), aste E



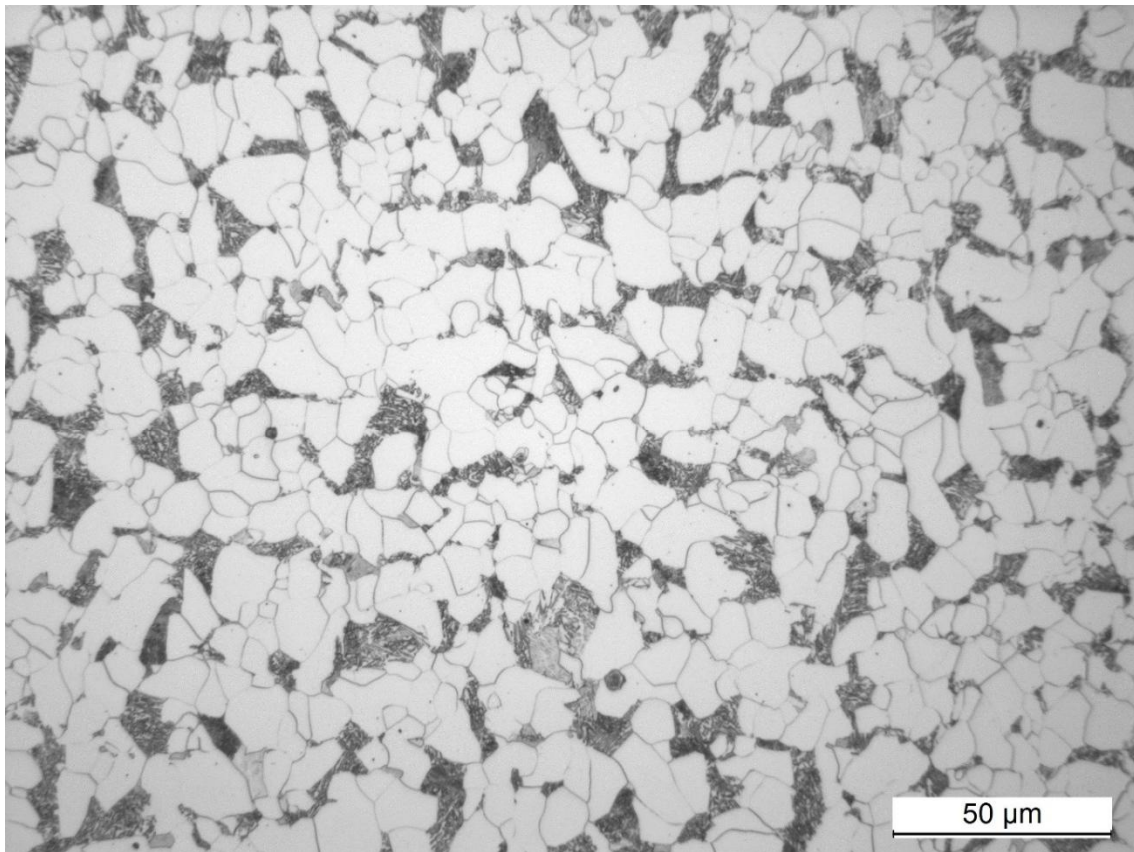
Kuva 6. Teräs P235GH, 650°C, 1000 h, P_{LM} (C=14), aste F



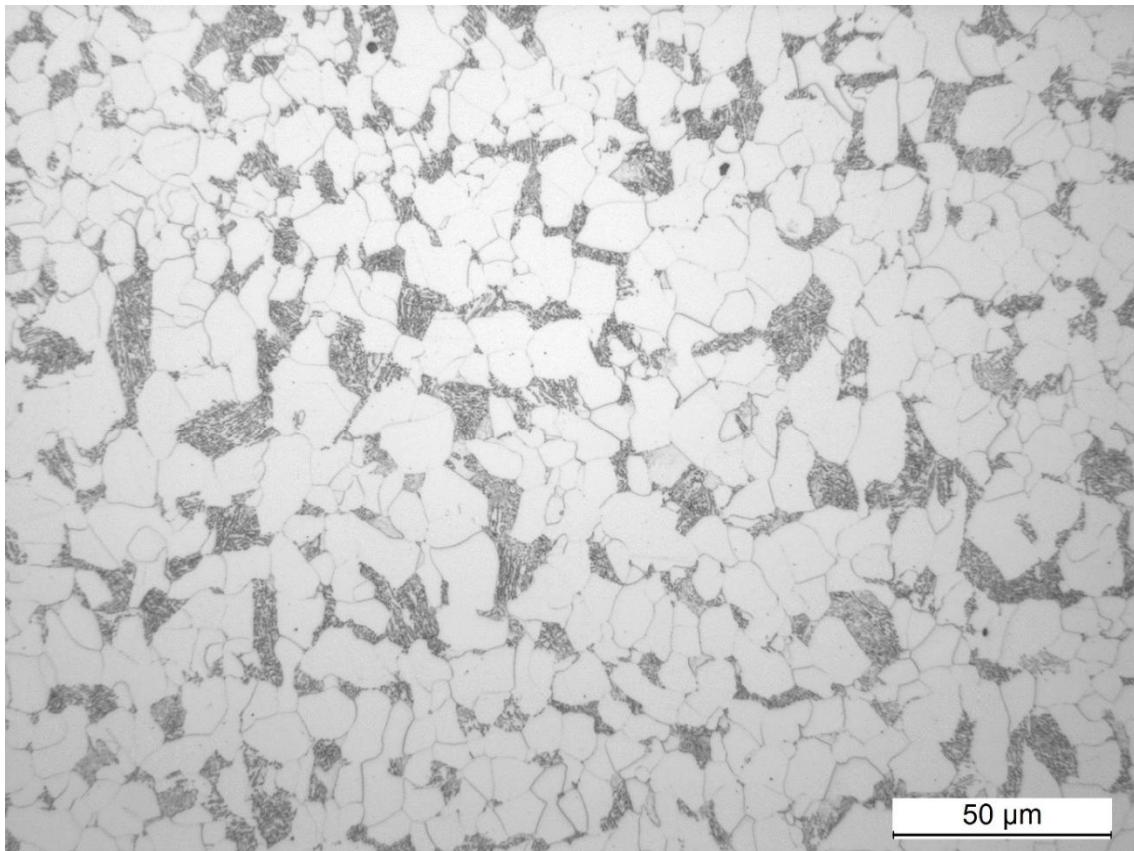
Kuva 7. Teräs P235GH, 700°C, 10 h, P_{LM} (C=14), aste E



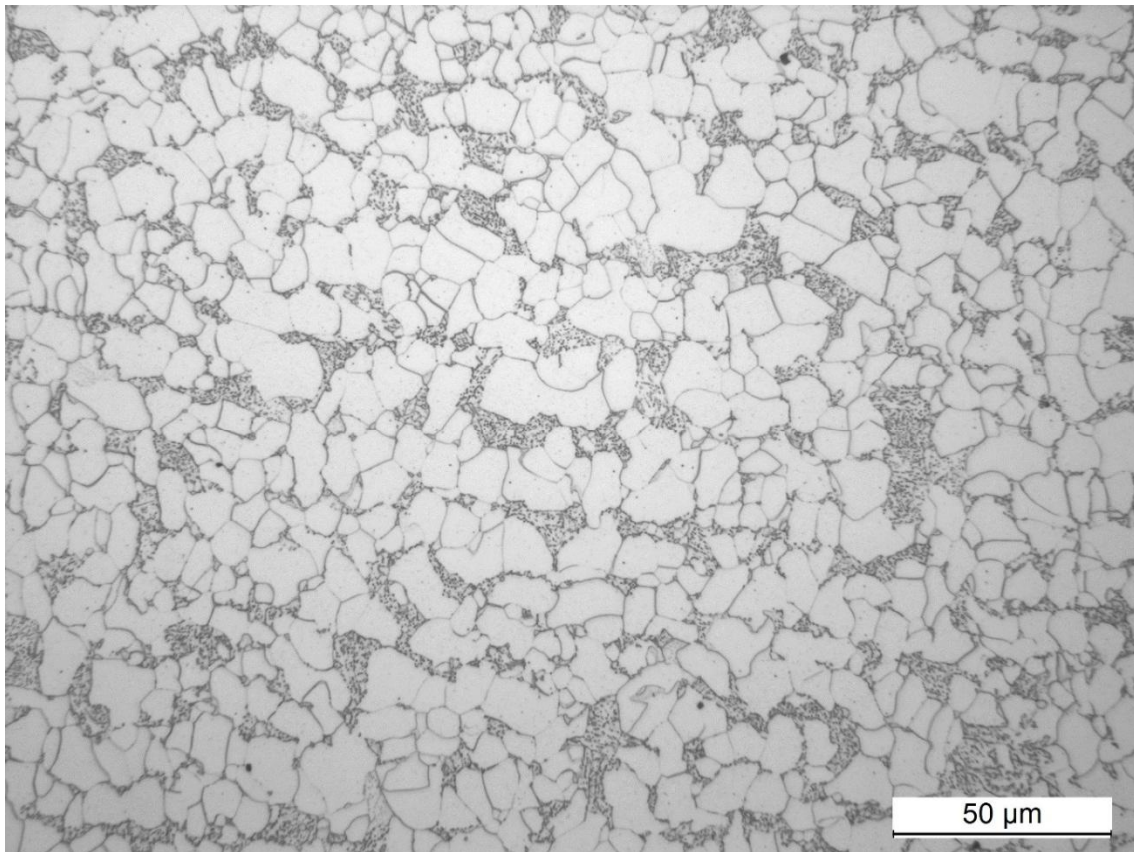
Kuva 8. Teräs P235GH, 700°C, 100 h, P_{LM} (C=14), aste F



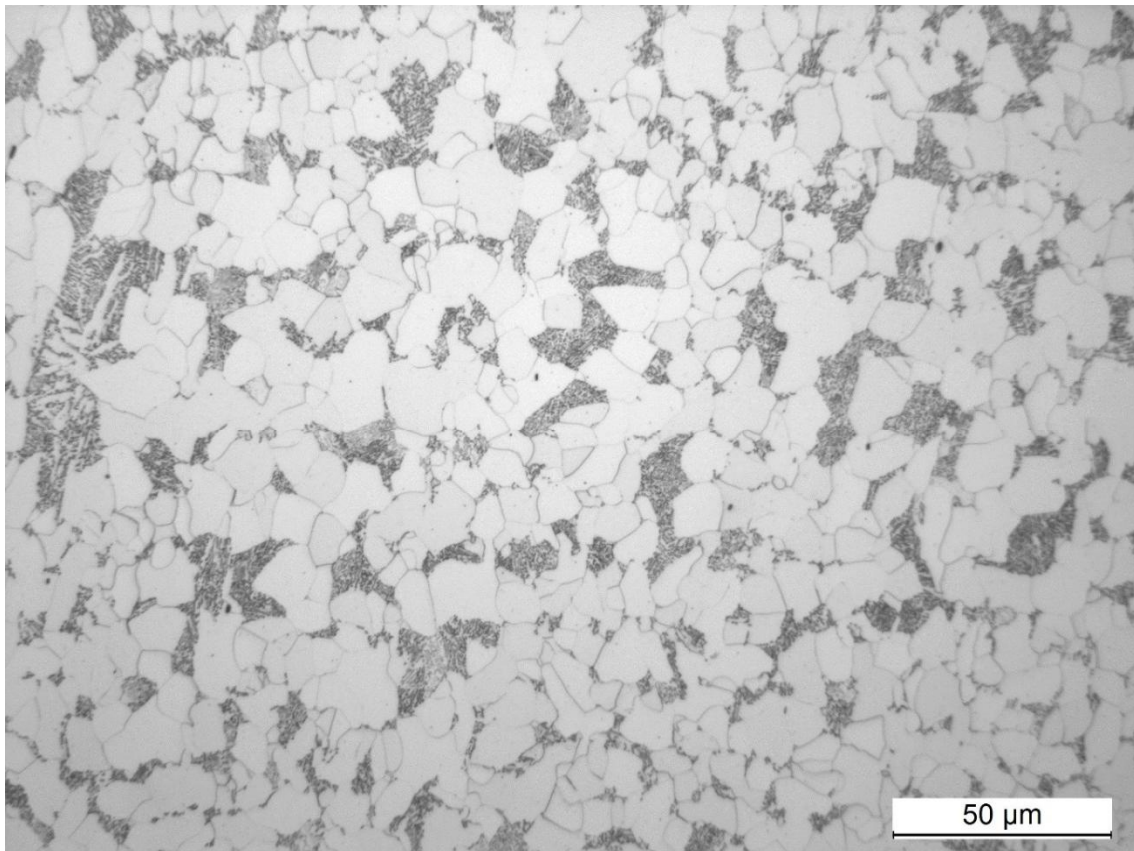
Kuva 9. Teräs 16Mo3, toimitustila, aste A



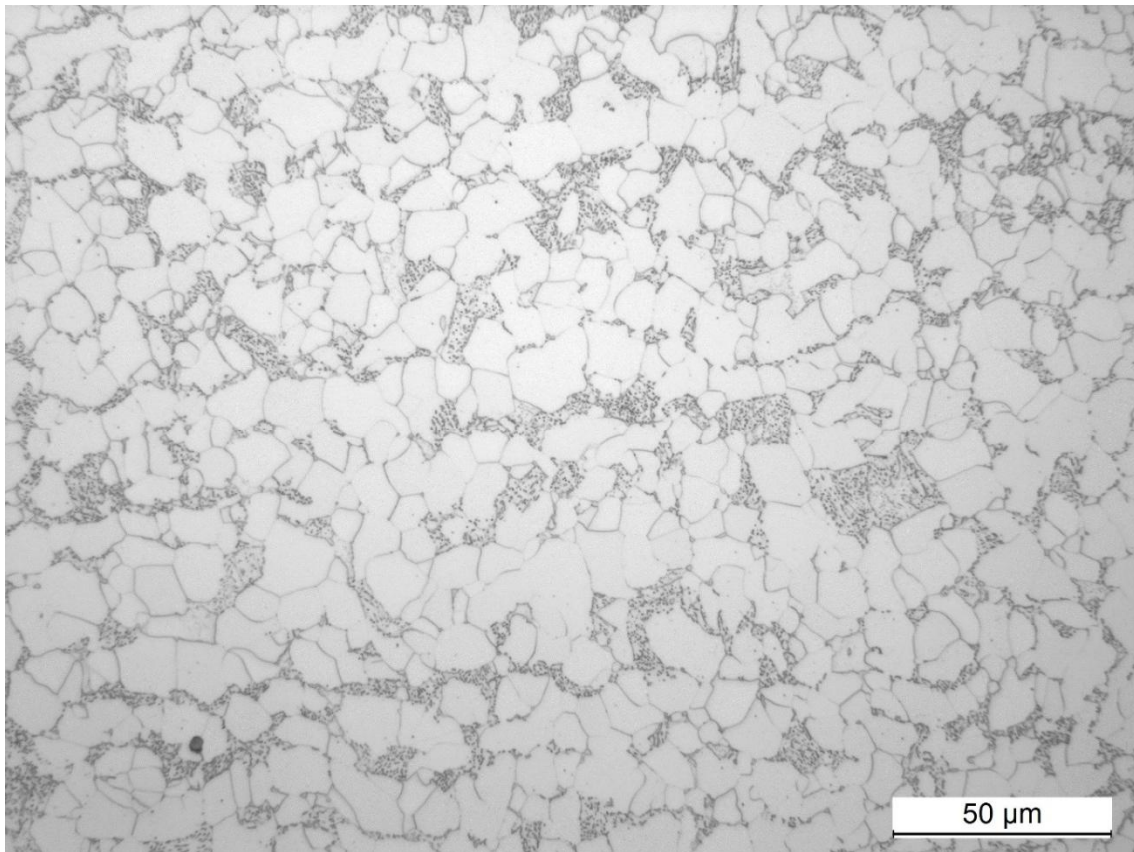
Kuva 10. Teräs 16Mo3, 600°C, 100 h, , P_{LM} (C=14), aste B



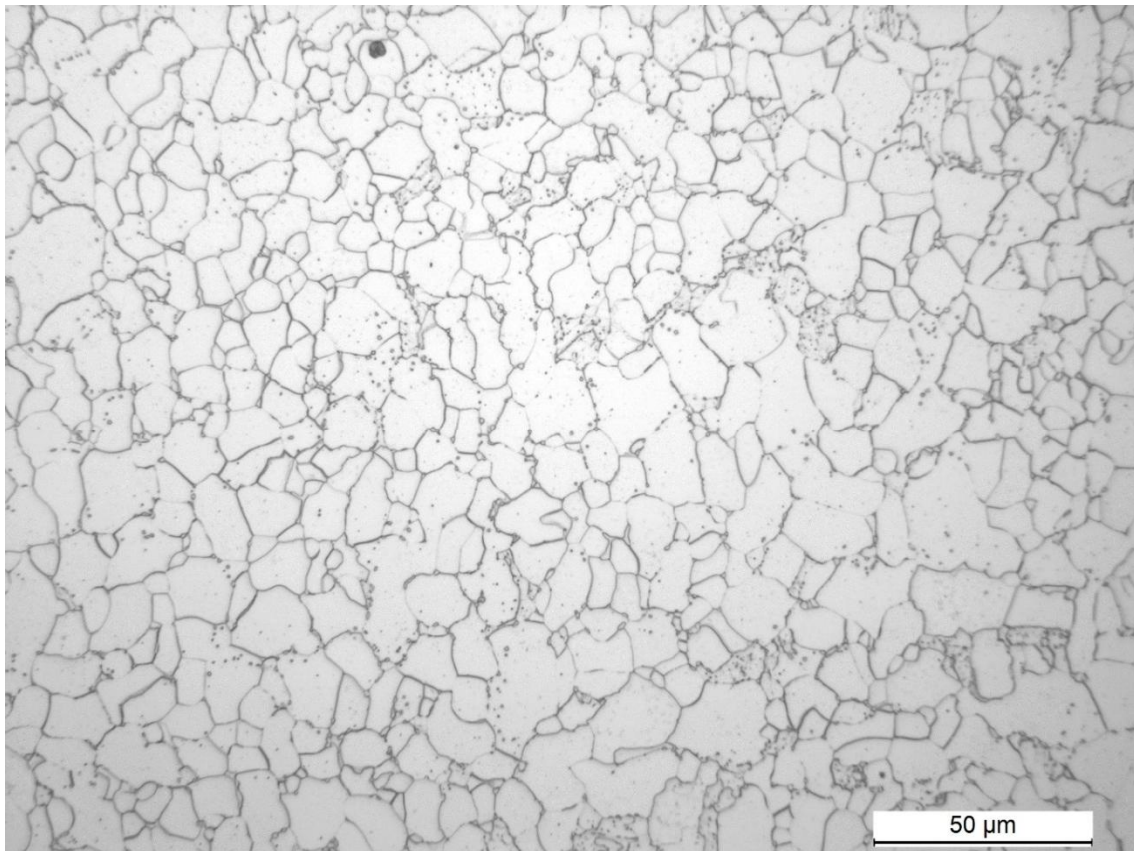
Kuva 11. Teräs 16Mo3, 600°C, 1000 h, , P_{LM} (C=14), aste C/D



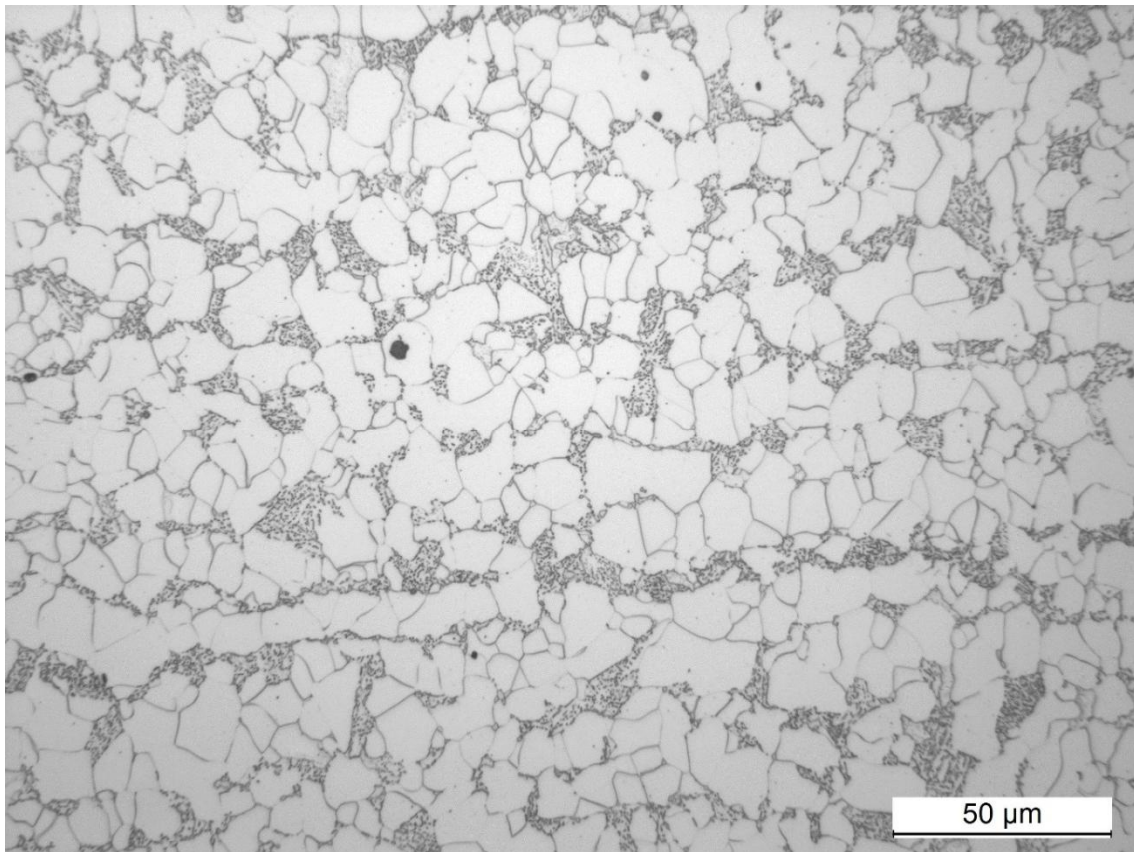
Kuva 12. Teräs 16Mo3, 650°C, 10 h, , P_{LM} (C=14), aste B



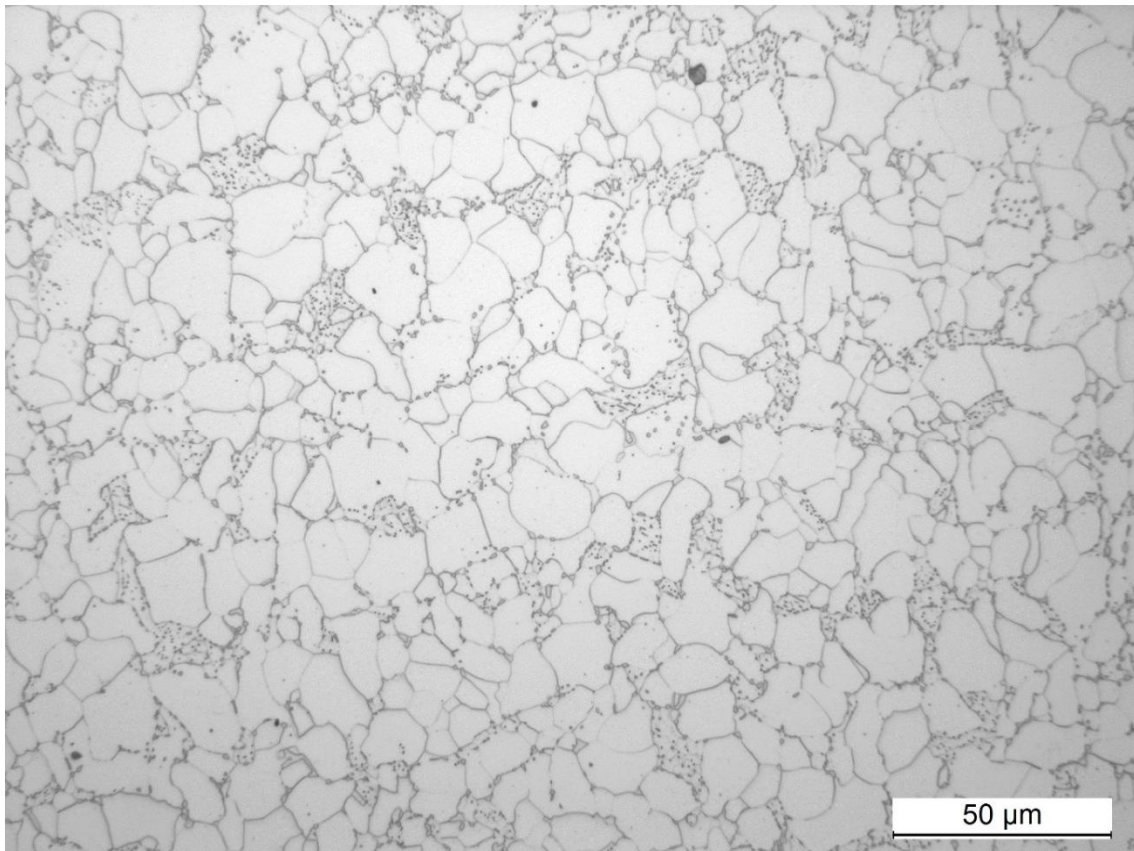
Kuva 13. Teräs 16Mo3, 650°C, 100 h, P_{LM} (C=14), aste D



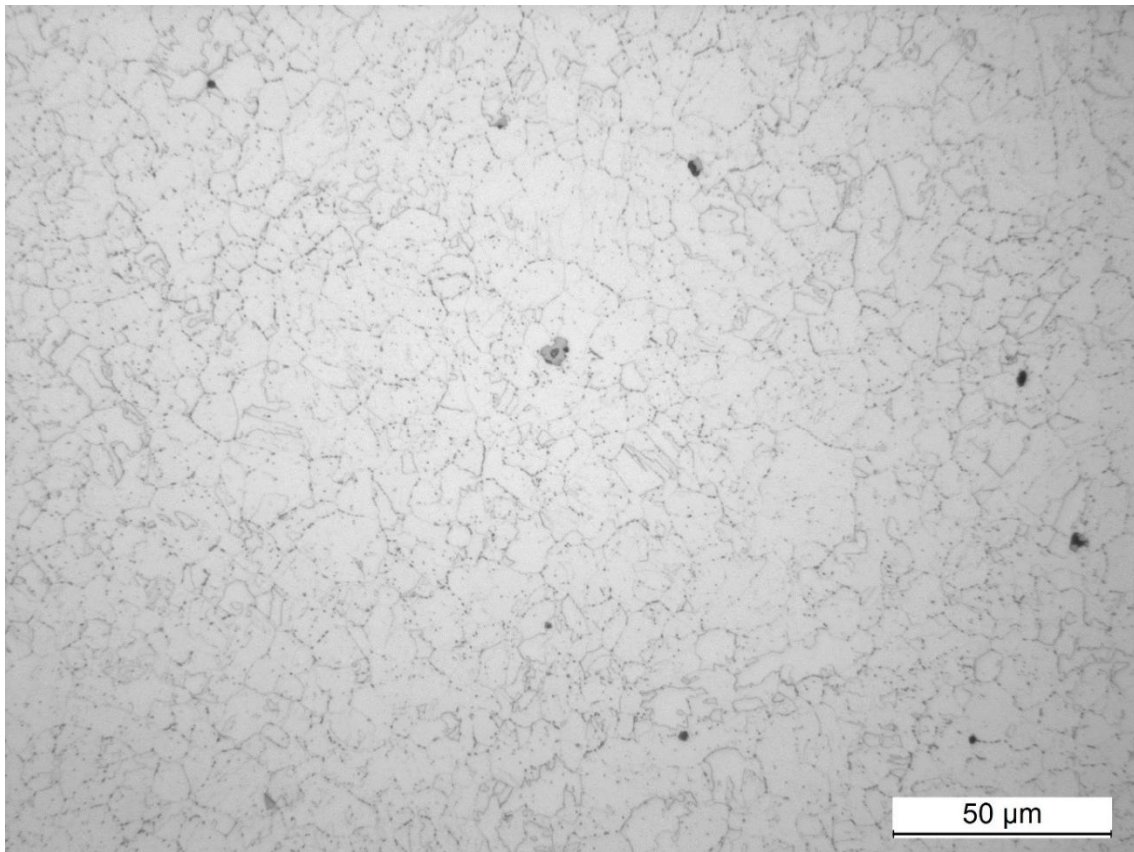
Kuva 14. Teräs 16Mo3, 650°C, 1000 h, P_{LM} (C=14), aste D/E



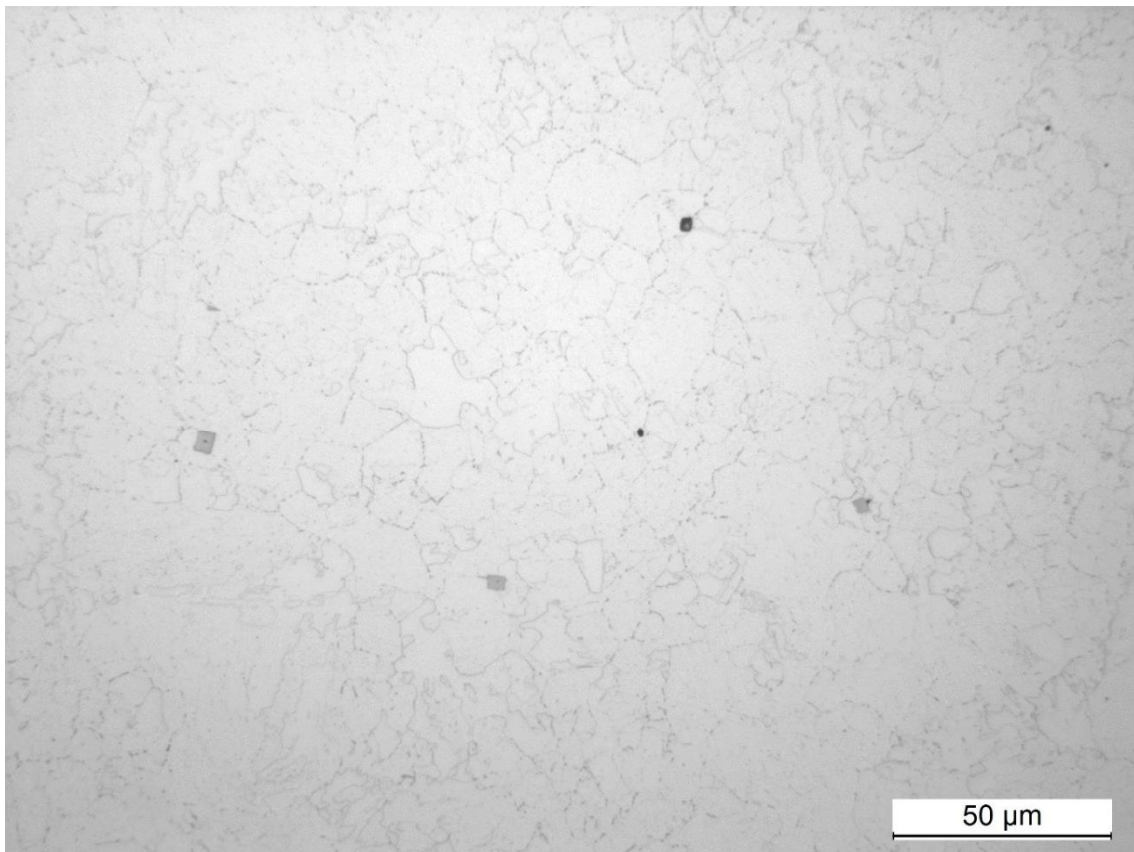
Kuva 15. Teräs 16Mo3, 700°C, 10 h, P_{LM} (C=14), aste D



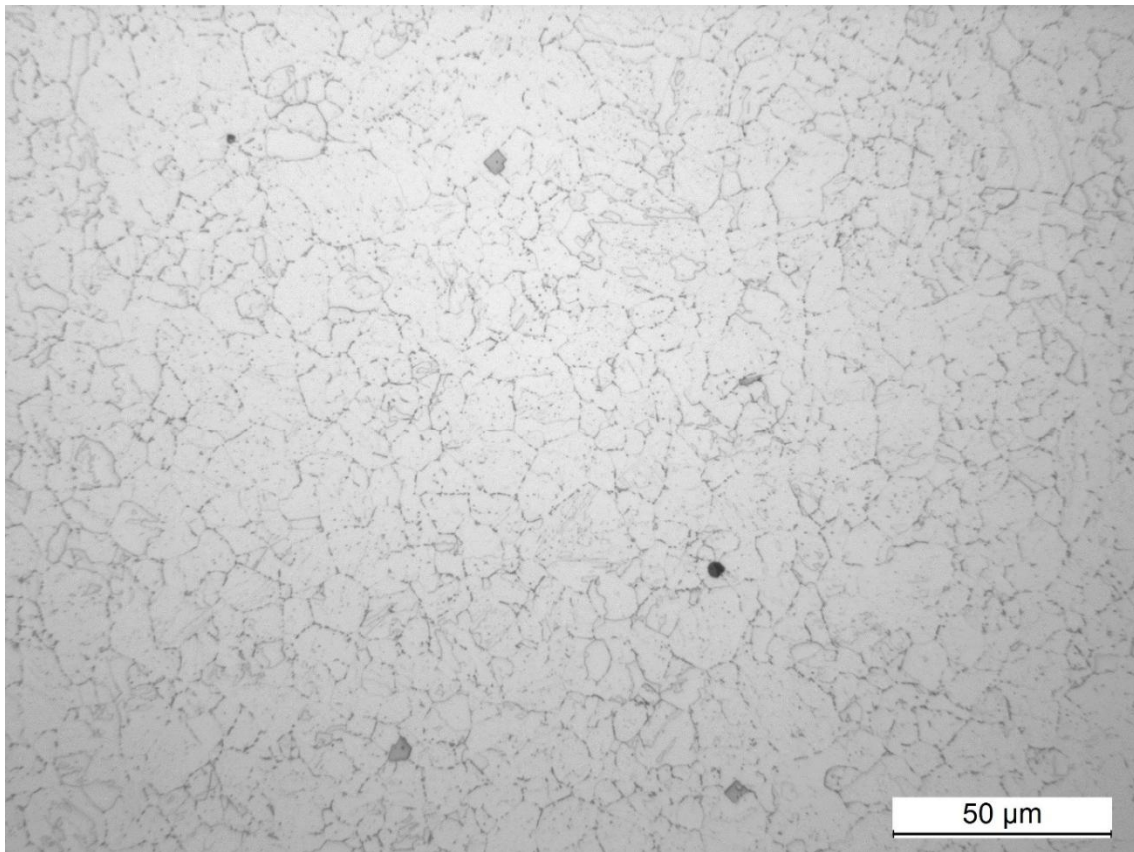
Kuva 16. Teräs 16Mo3, 700°C, 100 h, P_{LM} (C=14), aste D/E



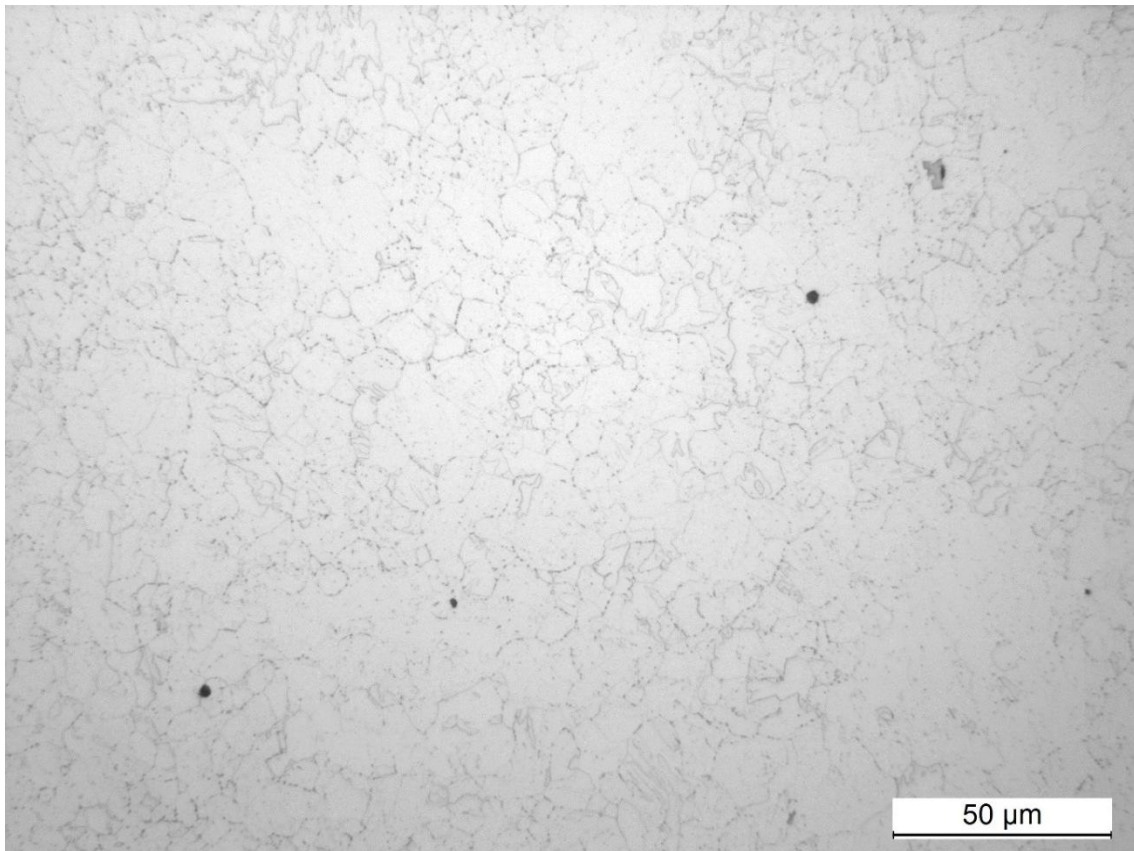
Kuva 17. Teräs 7CrMoVTiB10-10, toimitustila



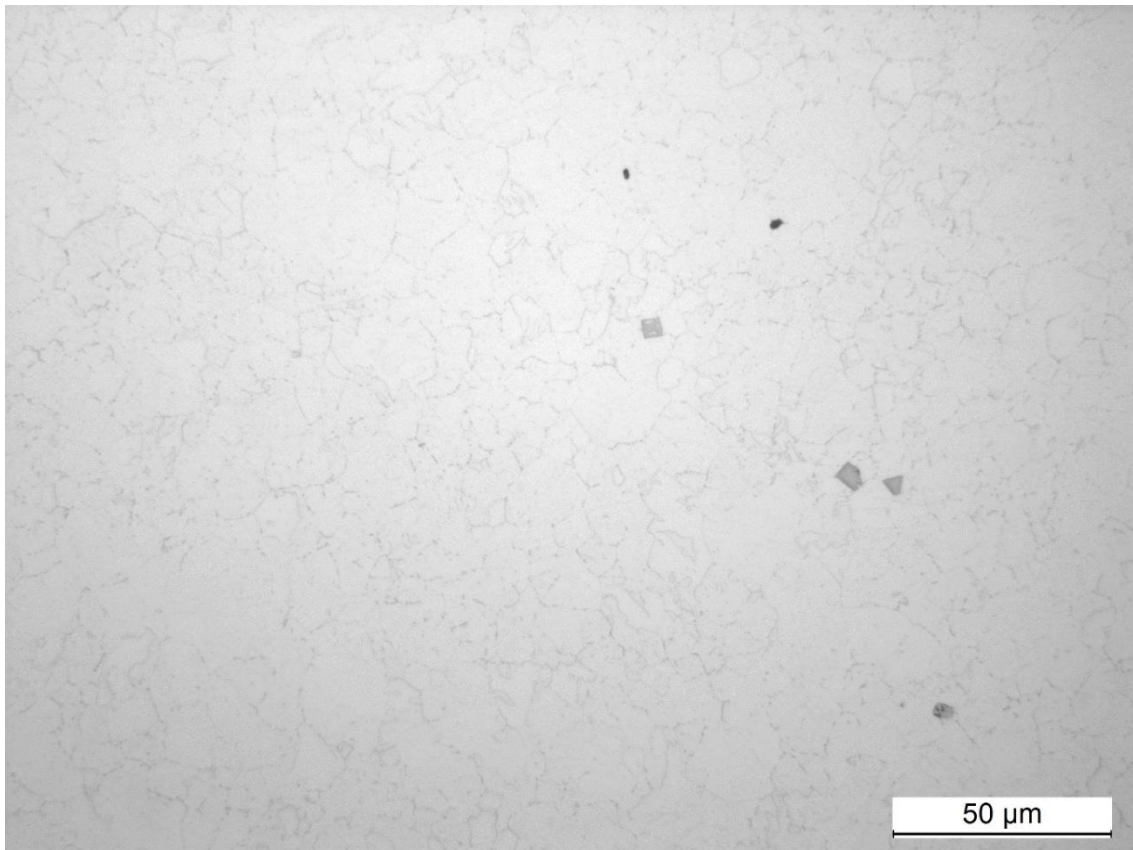
Kuva 18. Teräs 7CrMoVTiB10-10, 600°C, 100 h



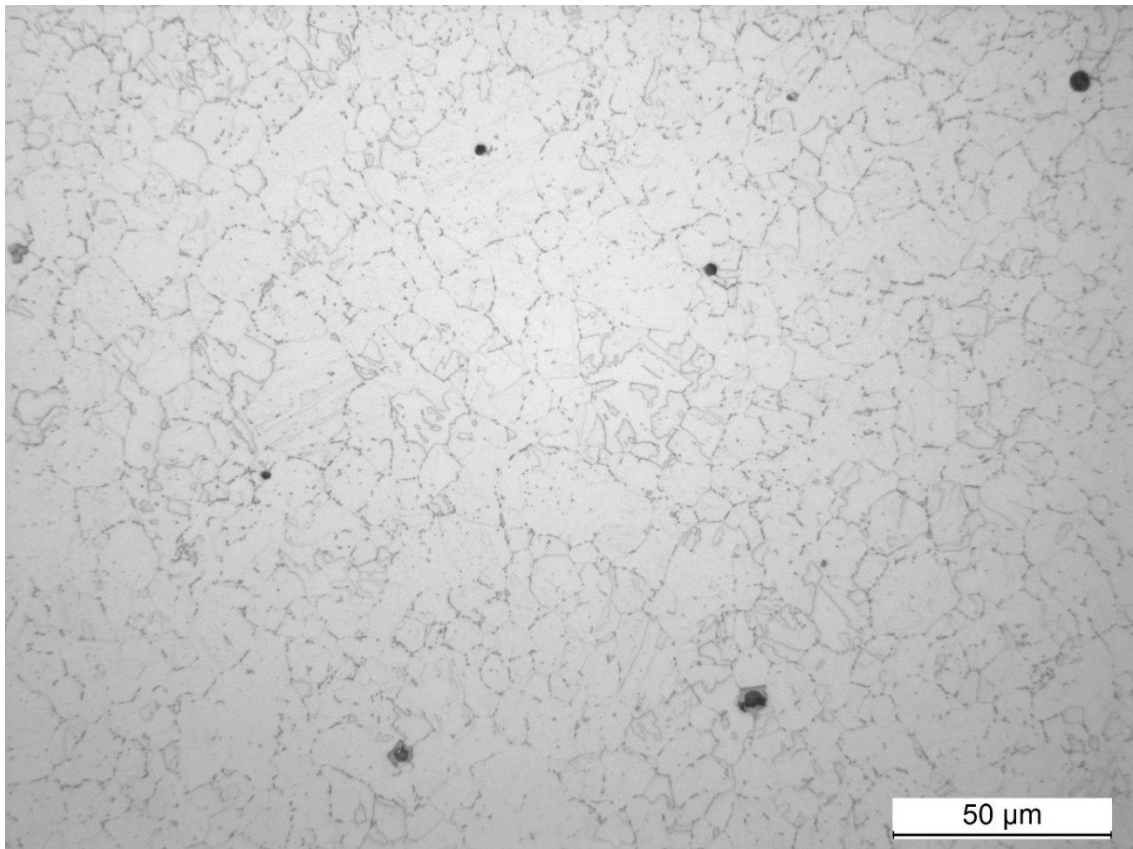
Kuva 19. Teräs 7CrMoVTiB10-10, 600°C, 1000 h



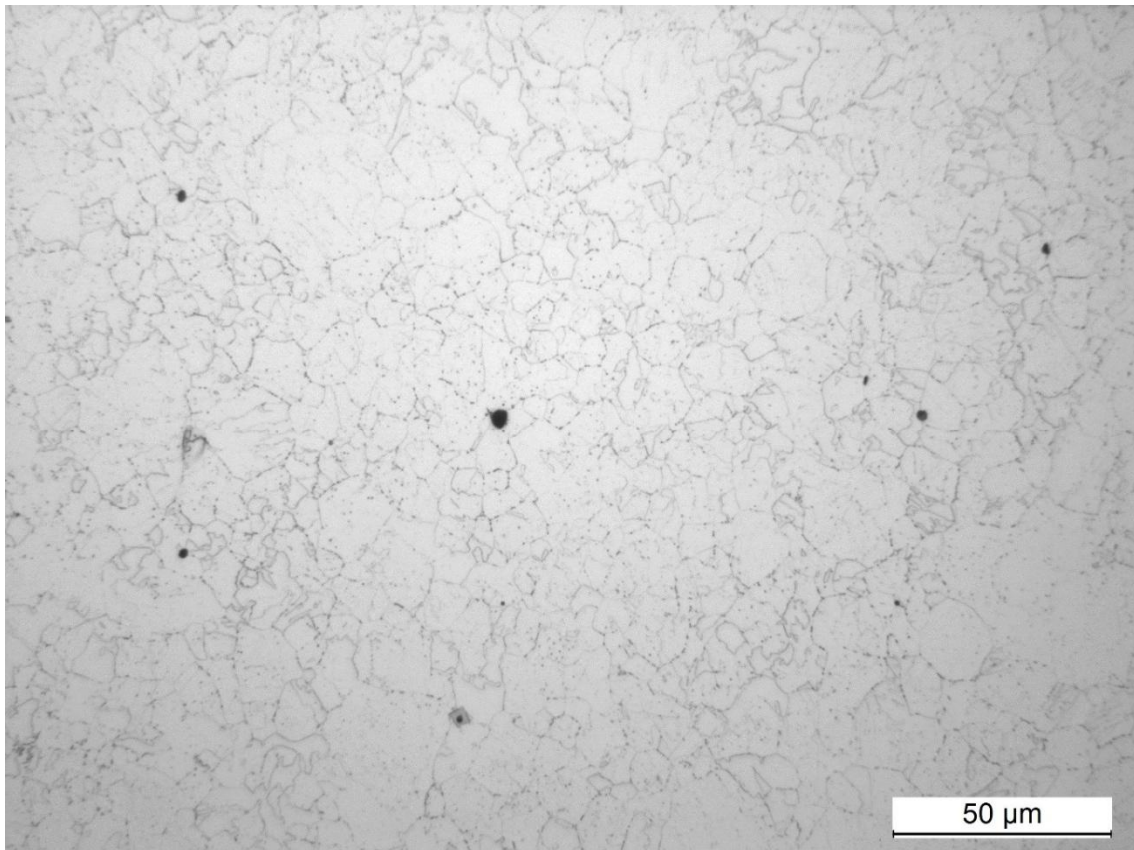
Kuva 20. Teräs 7CrMoVTiB10-10, 650°C, 10 h



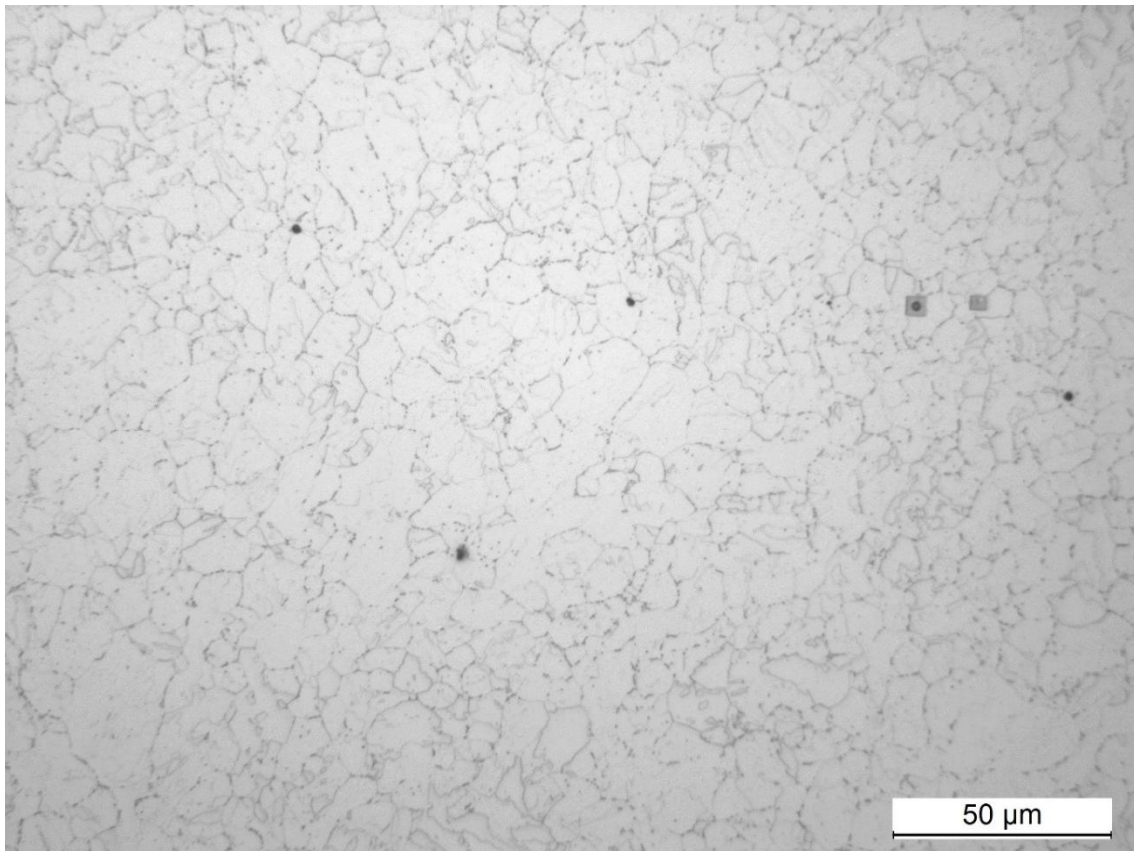
Kuva 21. Teräs 7CrMoVTiB10-10, 650°C, 100 h



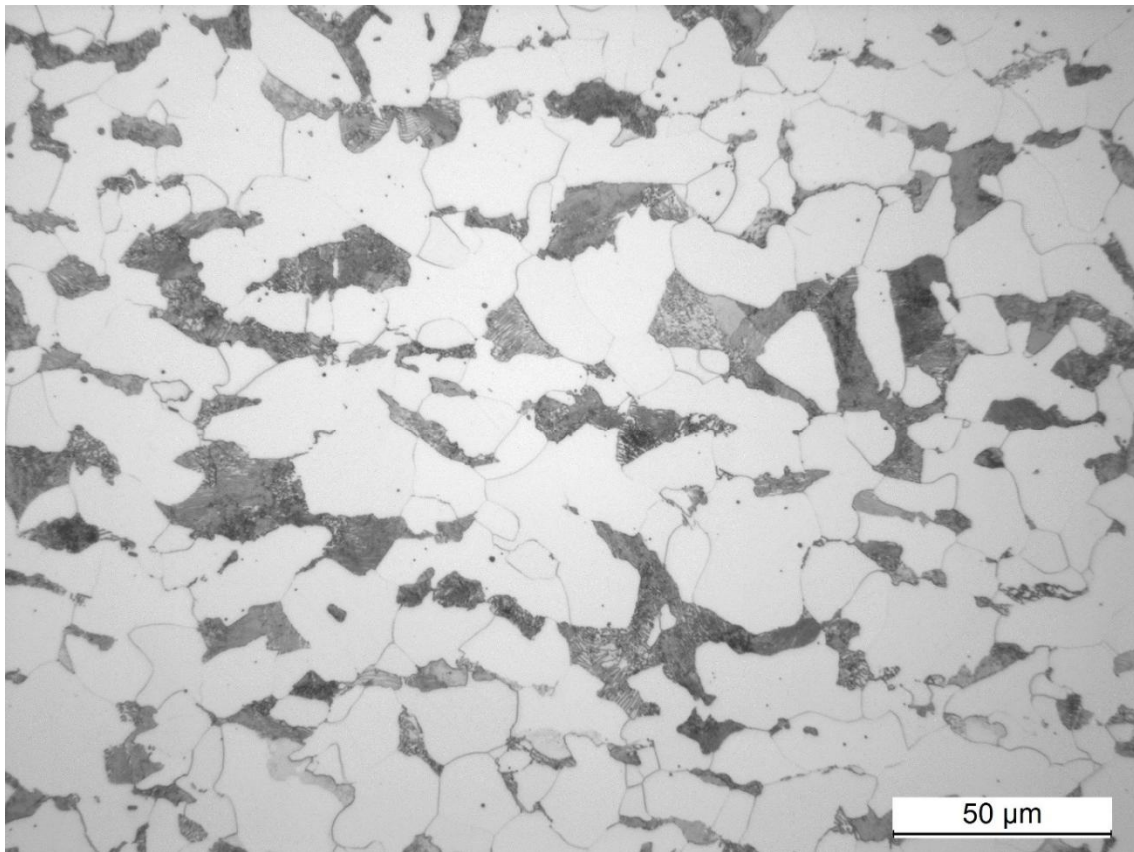
Kuva 22. Teräs 7CrMoVTiB10-10, 650°C, 1000 h



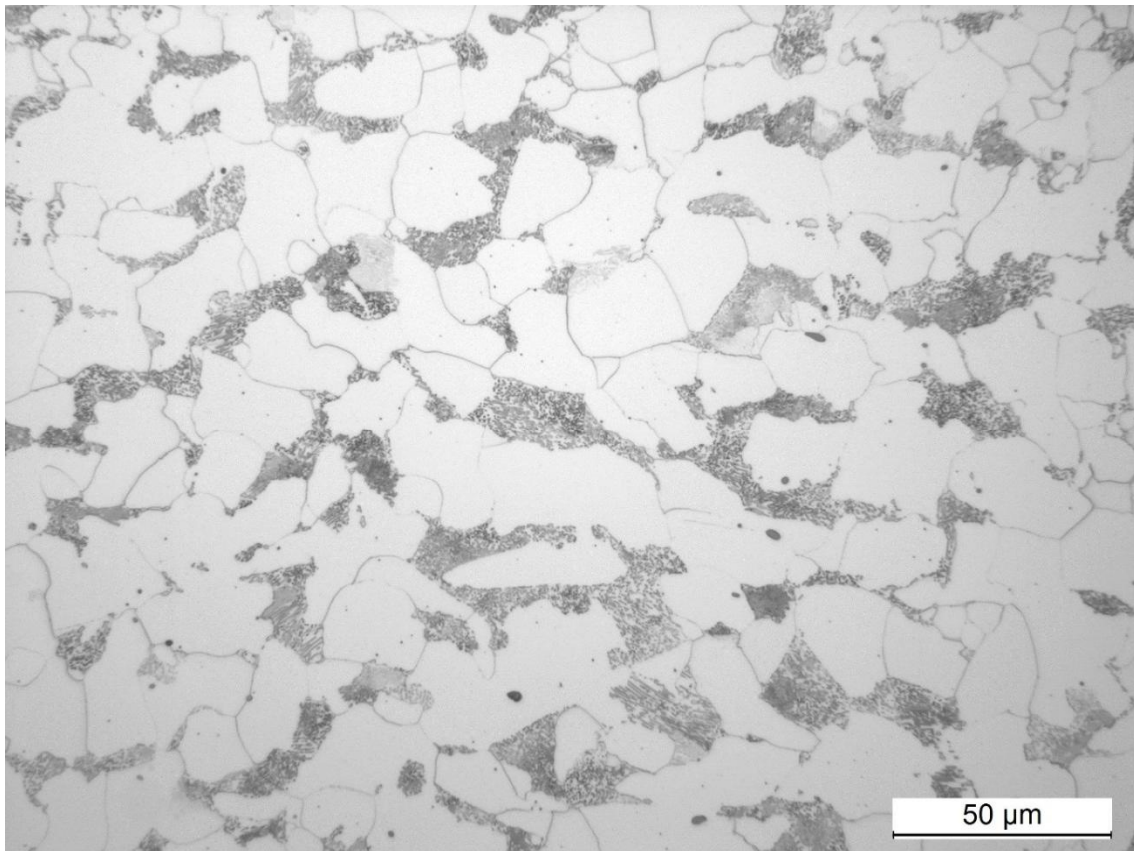
Kuva 23. Teräs 7CrMoVTiB10-10, 700°C, 10 h



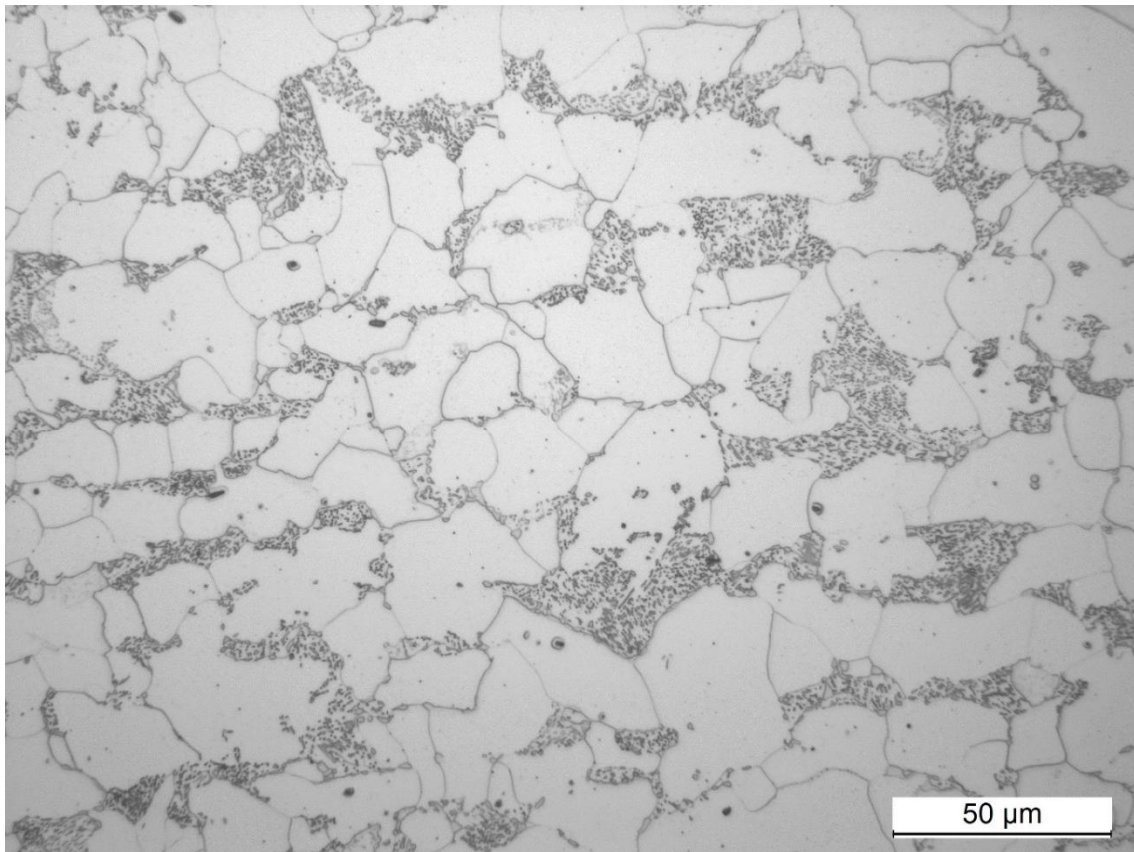
Kuva 24. Teräs 7CrMoVTiB10-10, 700°C, 100 h



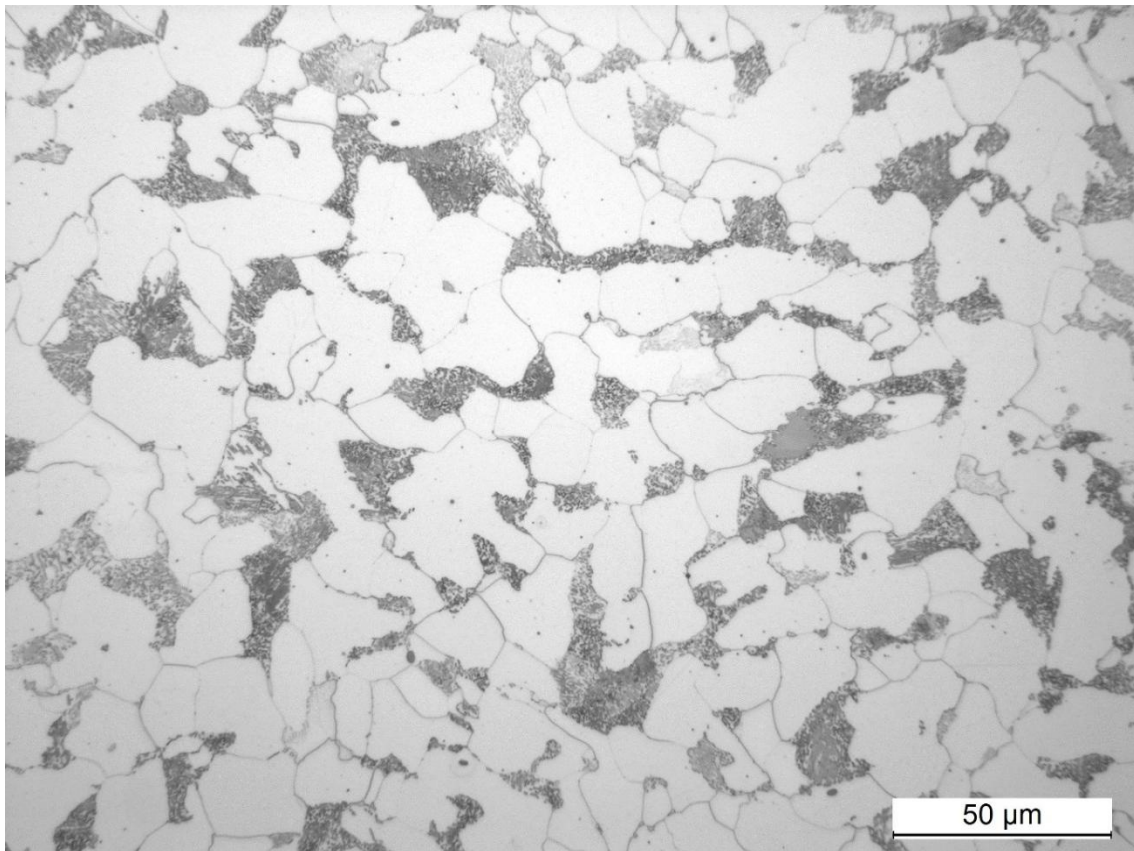
Kuva 25. St45.8, toimitustila, aste A



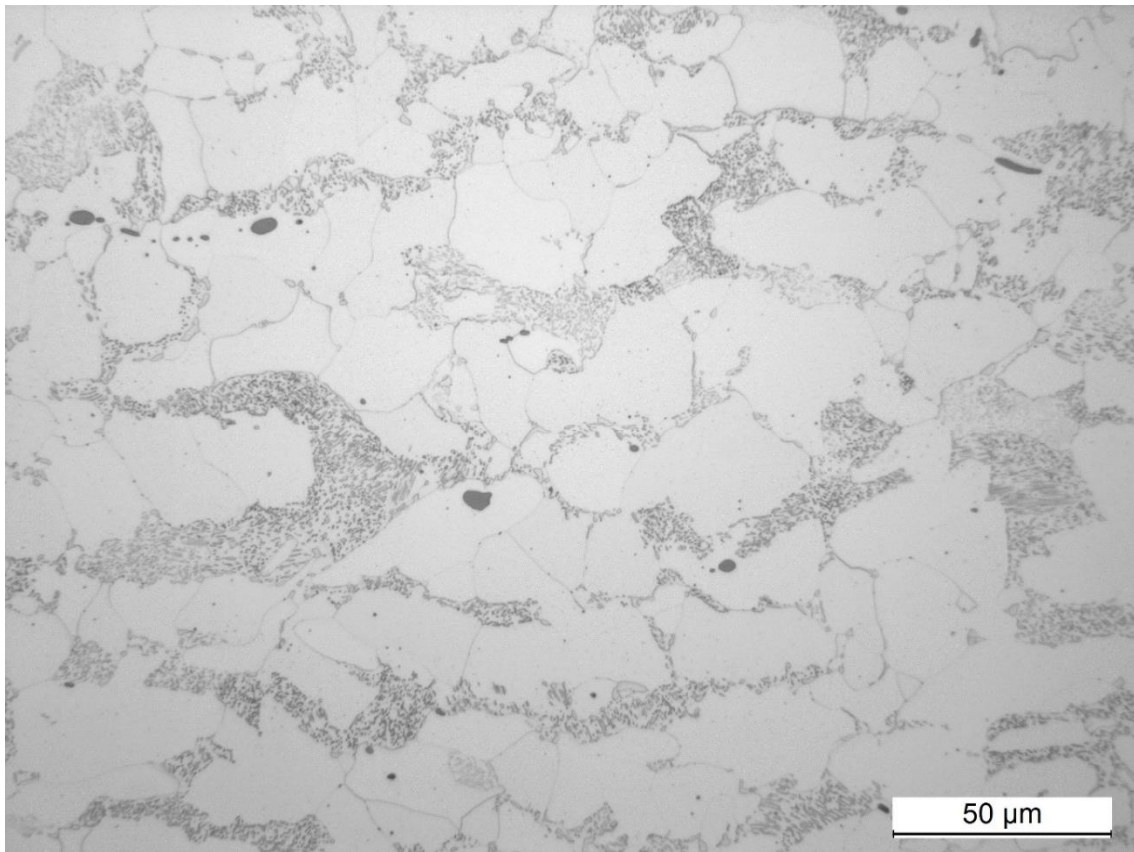
Kuva 26. St45.8, 600°C, 100 h, $P_{LM}(C=14)$, aste B/C



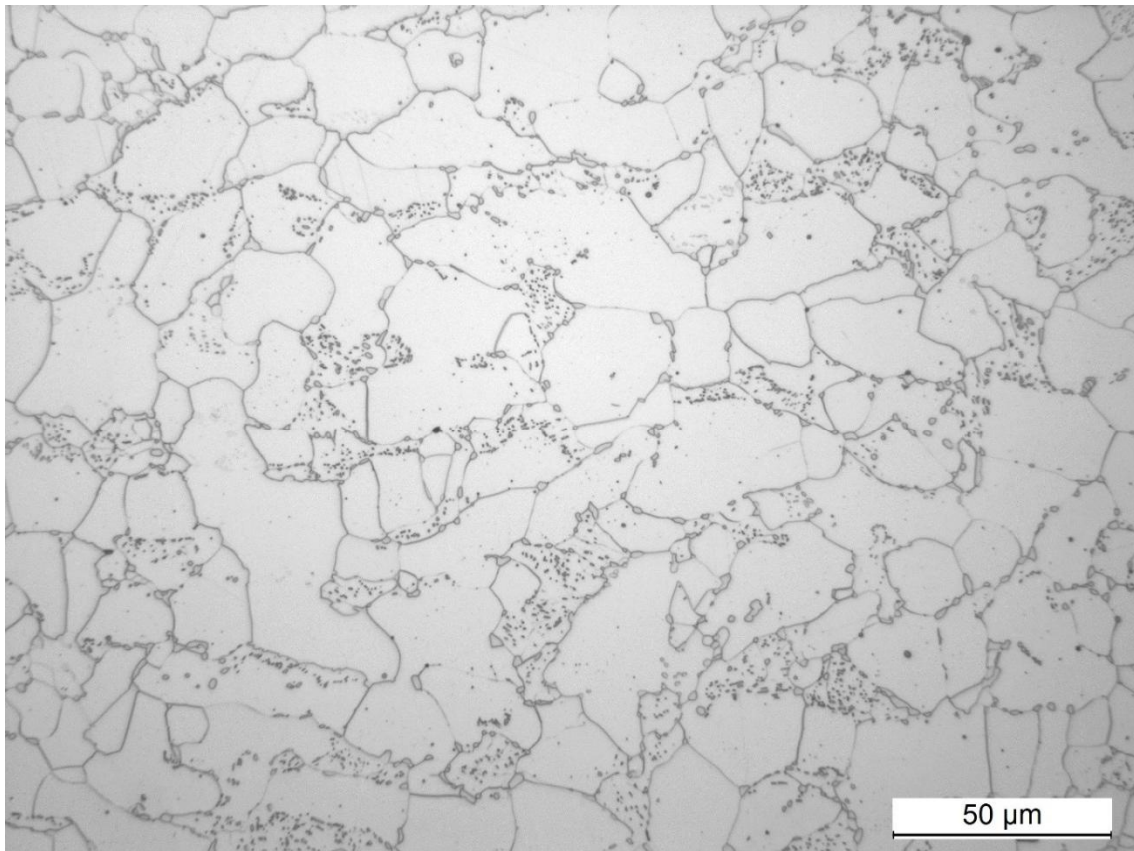
Kuva 27. St45.8, 600°C, 1000 h, P_{LM} (C=14), aste D



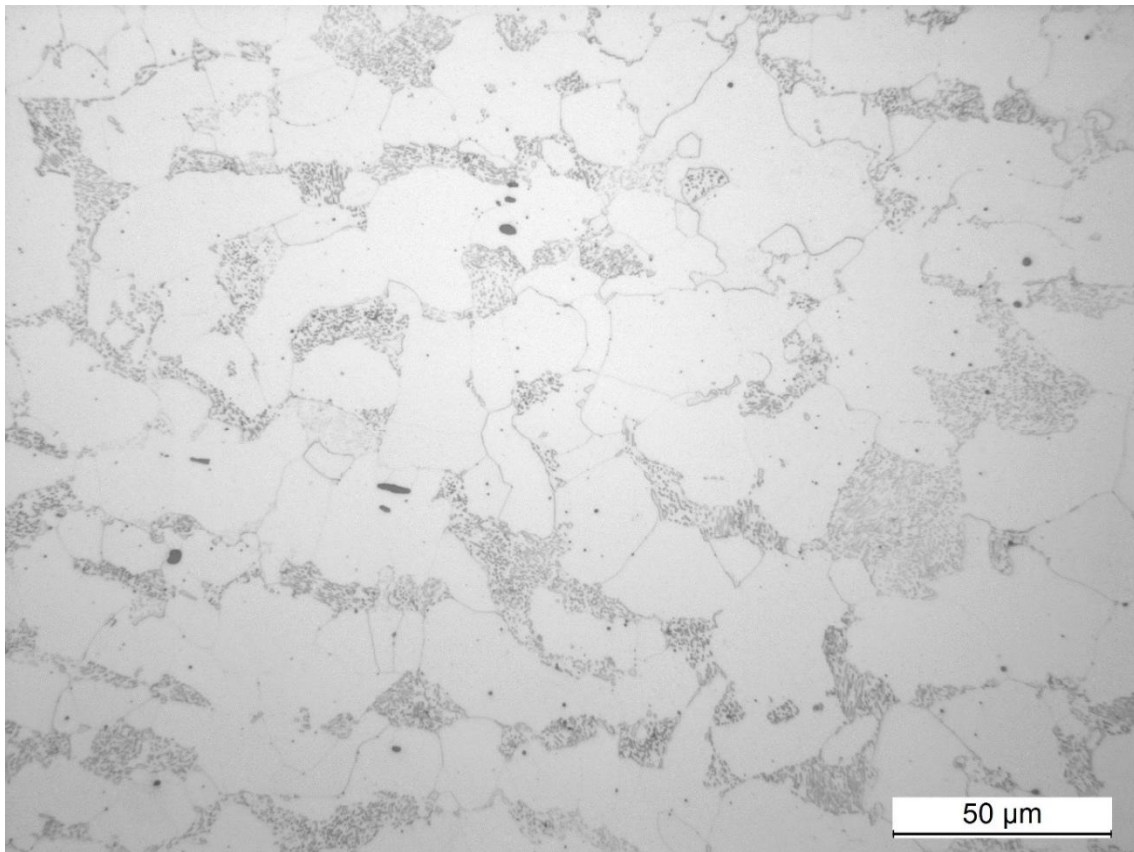
Kuva 28. St45.8, 650°C, 10 h, P_{LM} (C=14), aste B/C



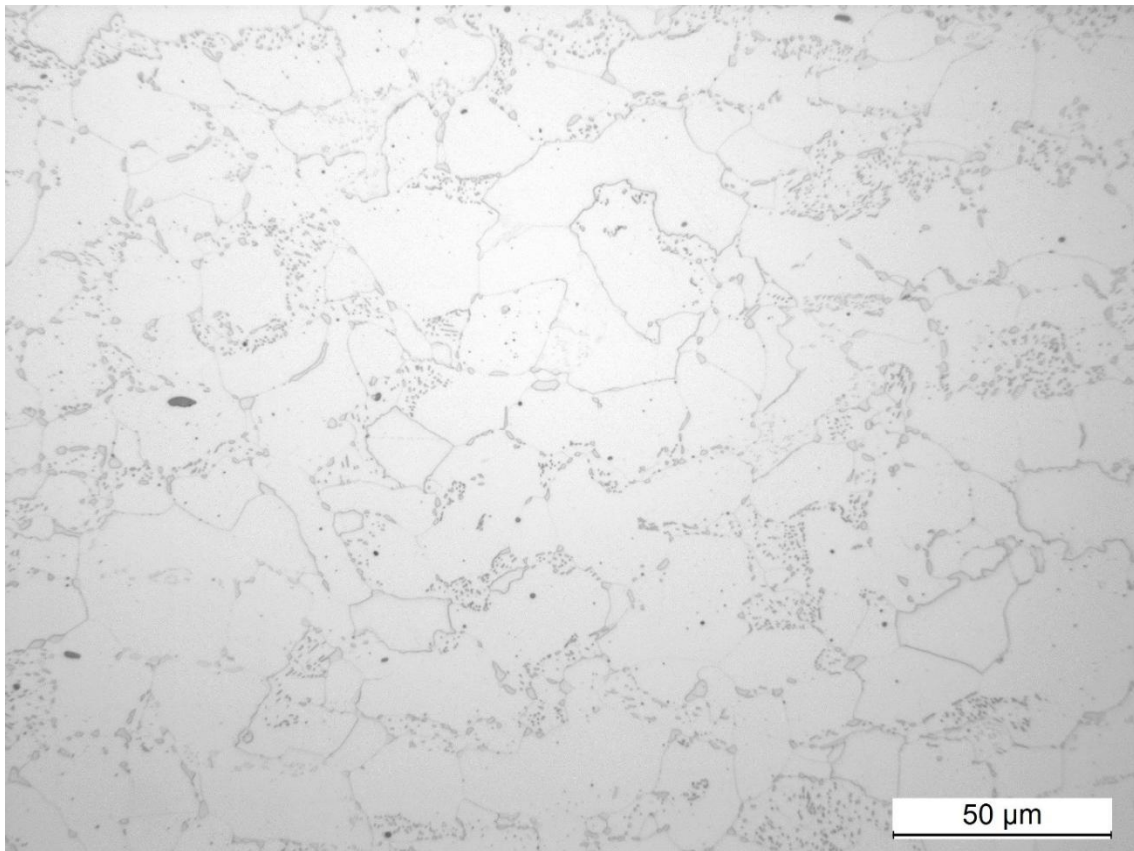
Kuva 29. St45.8, 650°C, 100 h, P_{LM} (C=14), aste D



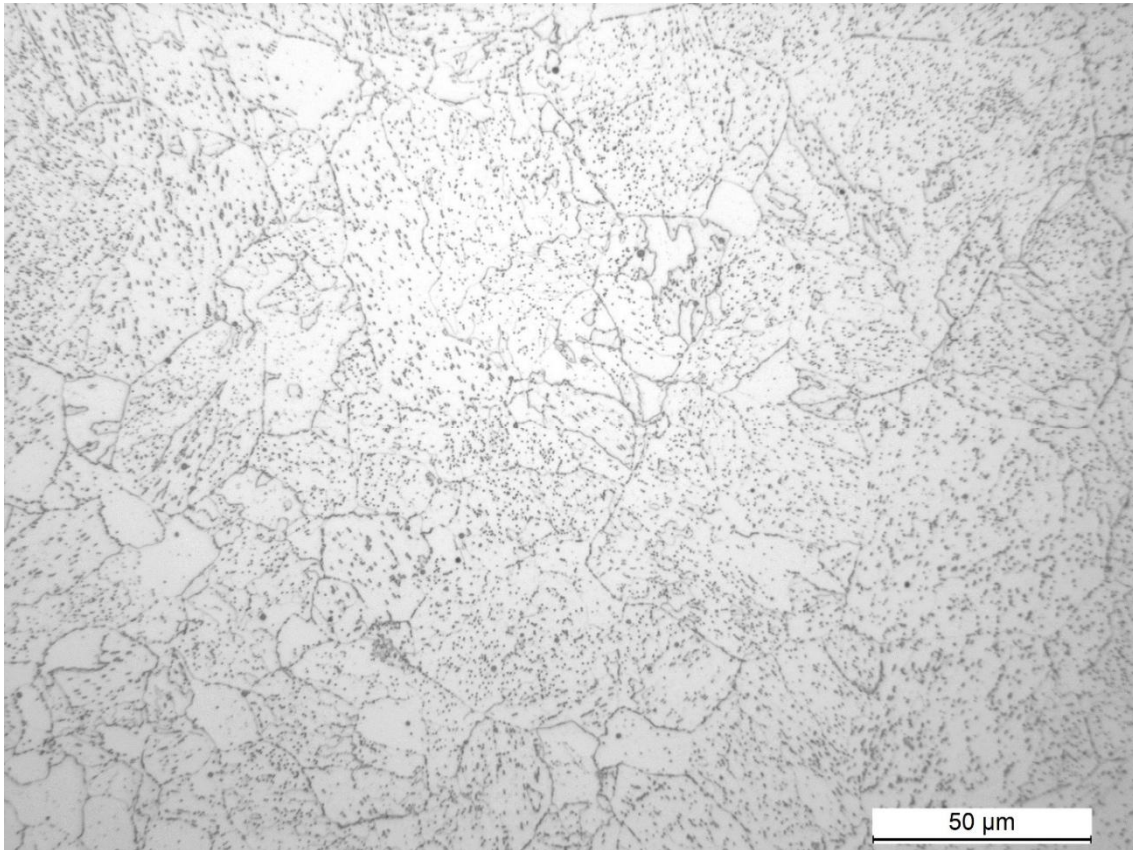
Kuva 30. St45.8, 650°C, 1000 h, P_{LM} (C=14), aste E



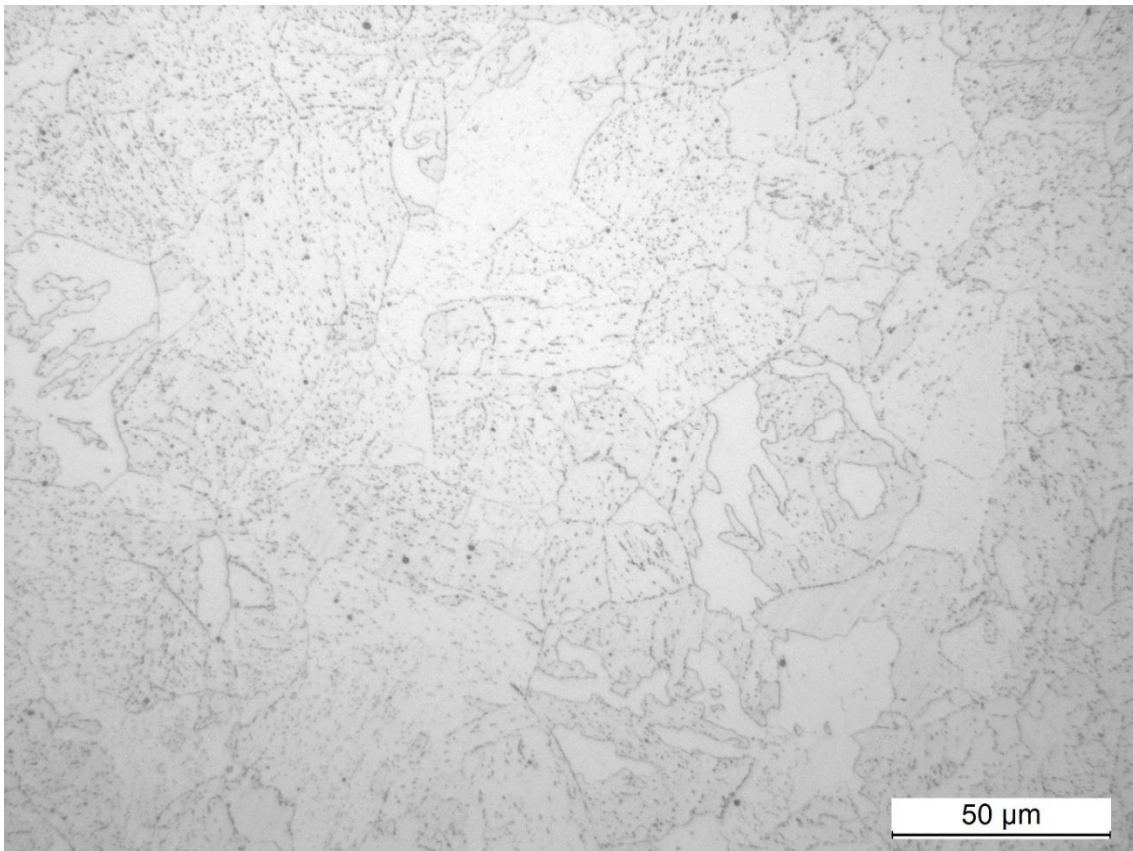
Kuva 31. St45.8, 700°C, 10 h, P_{LM} (C=14), aste D



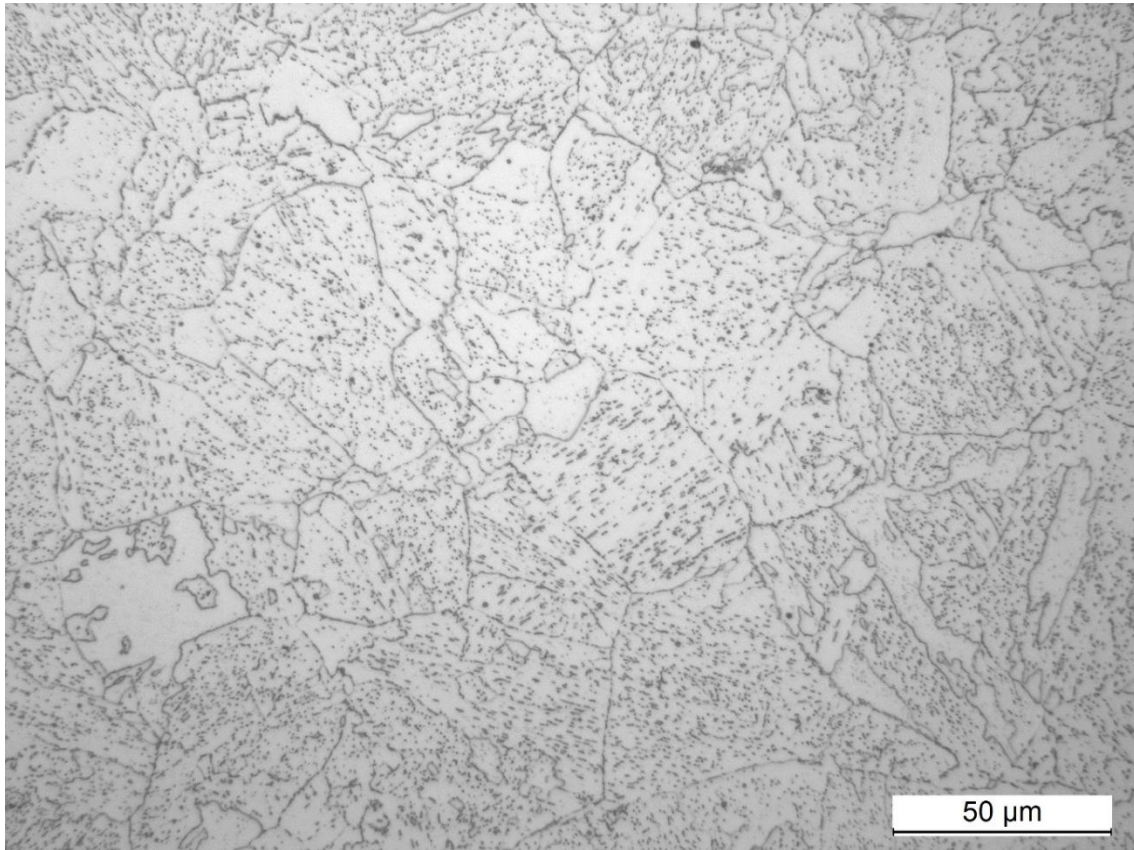
Kuva 32. St45.8, 700°C, 100 h, P_{LM} (C=14), aste E



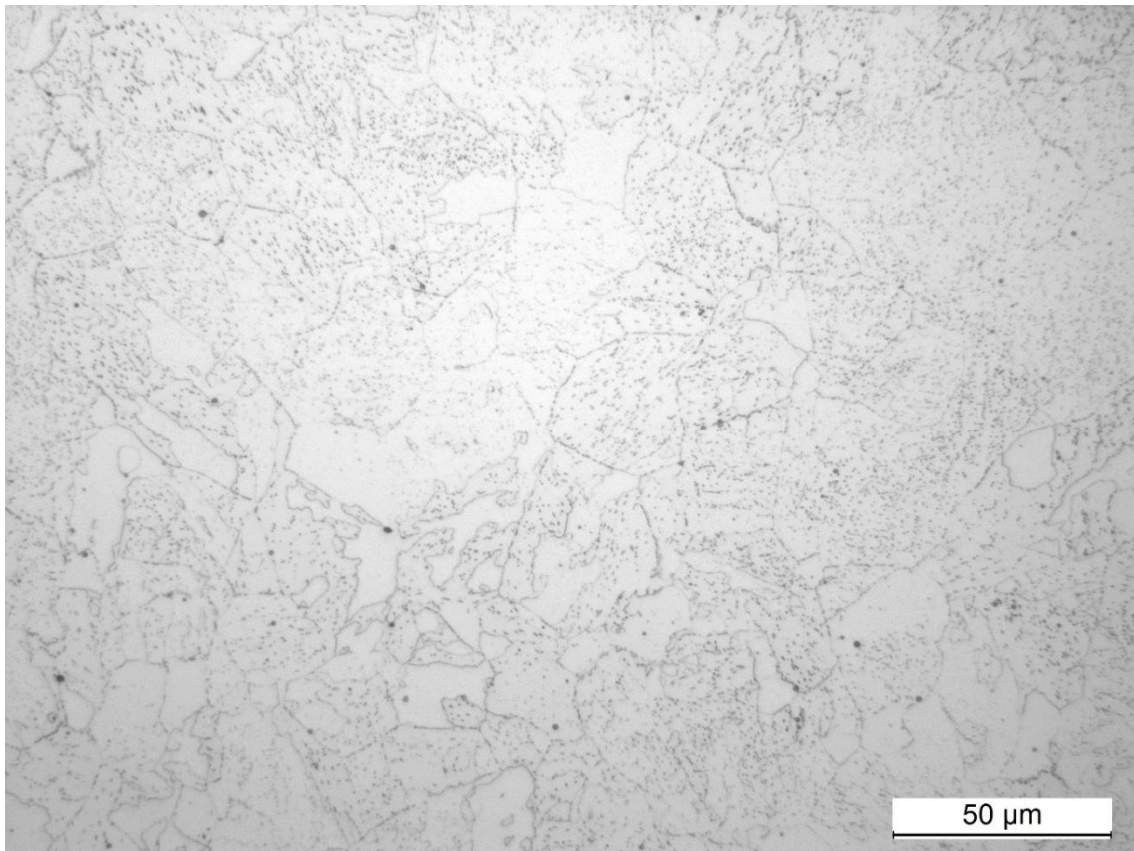
Kuva 33. T22, toimitustila



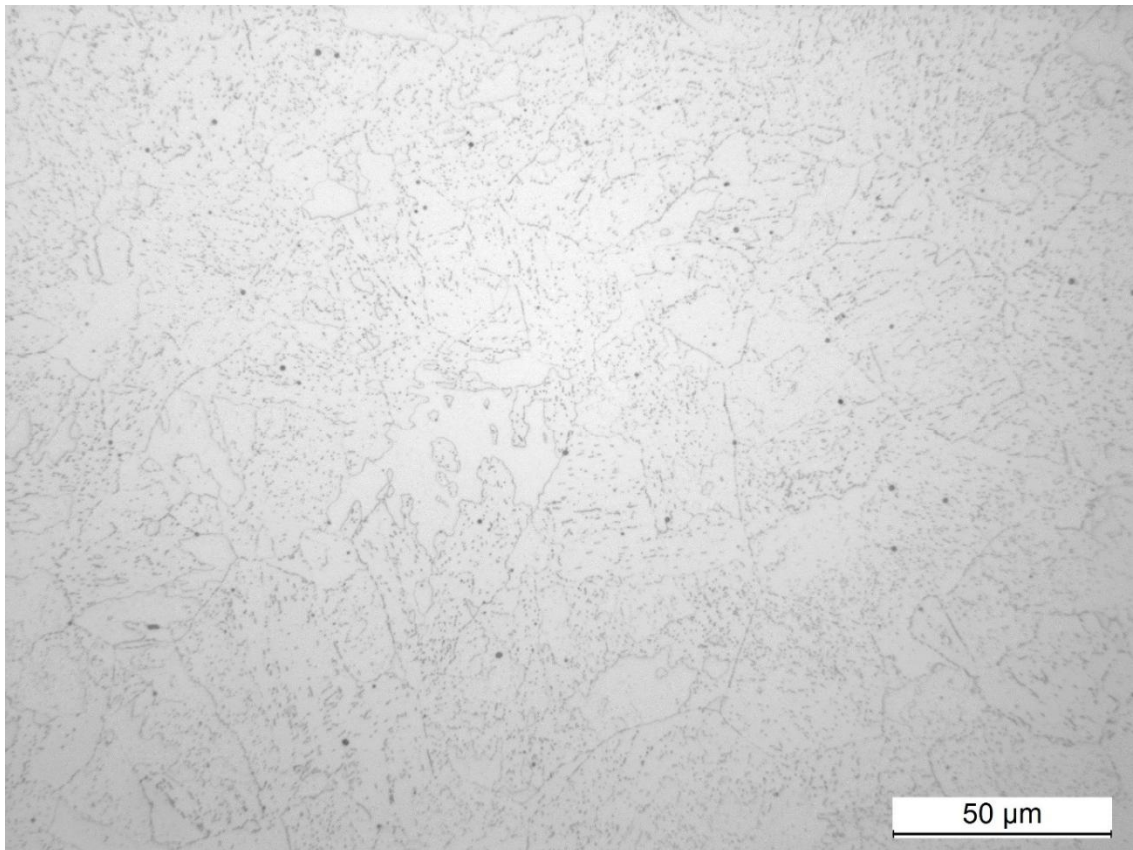
Kuva 34. T22, 600°C, 100 h



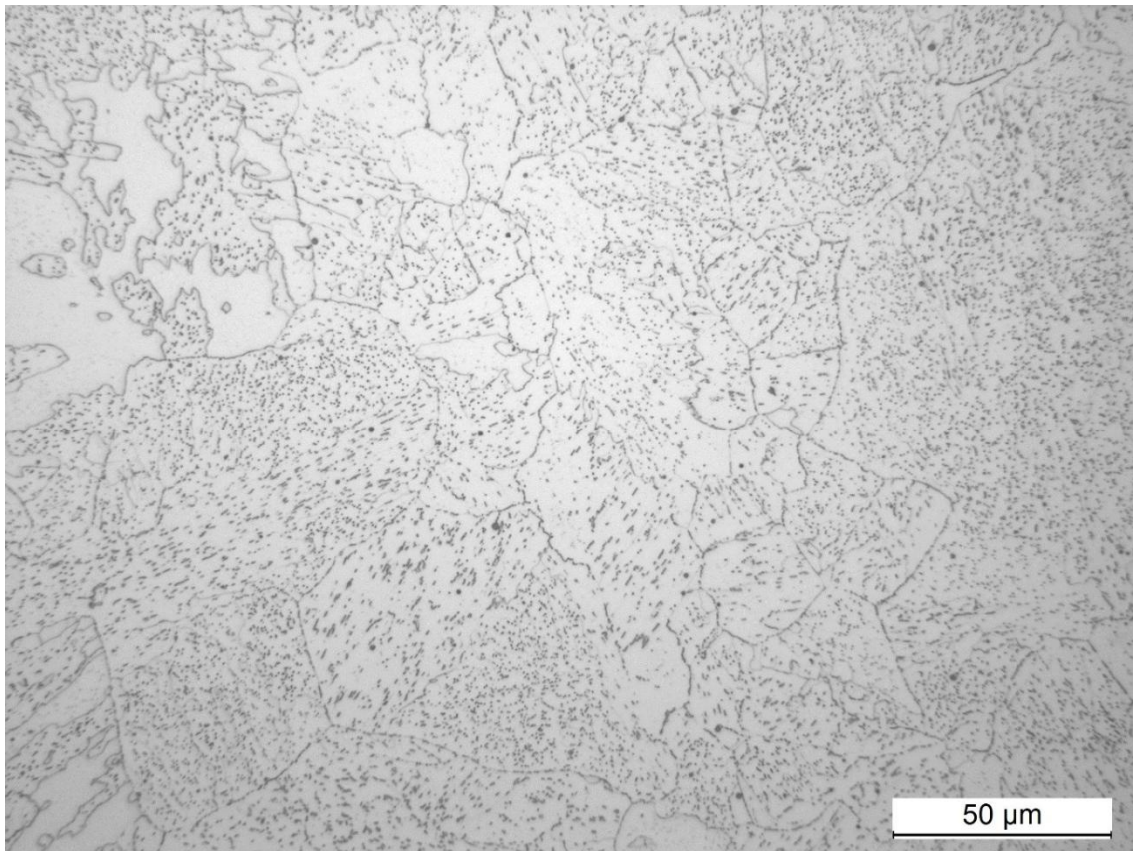
Kuva 35. T22, 600°C, 1000 h



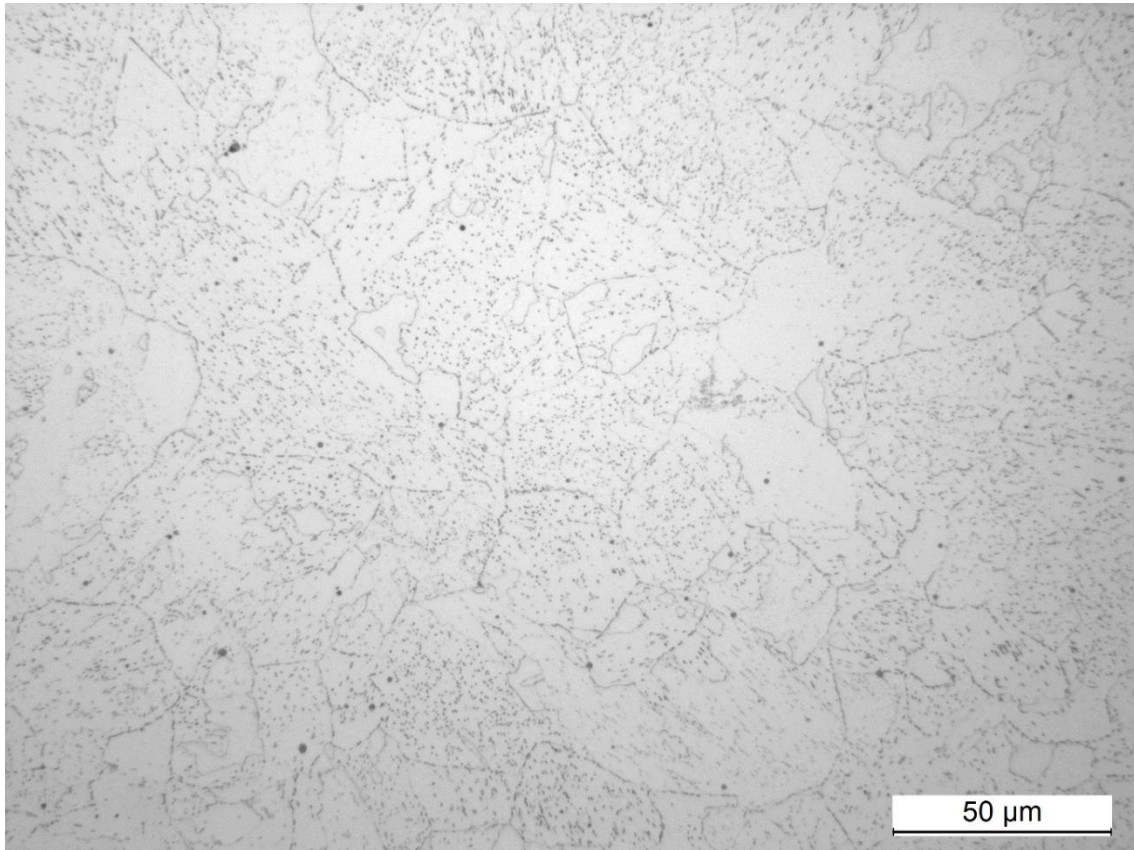
Kuva 36. T22, 650°C, 10 h



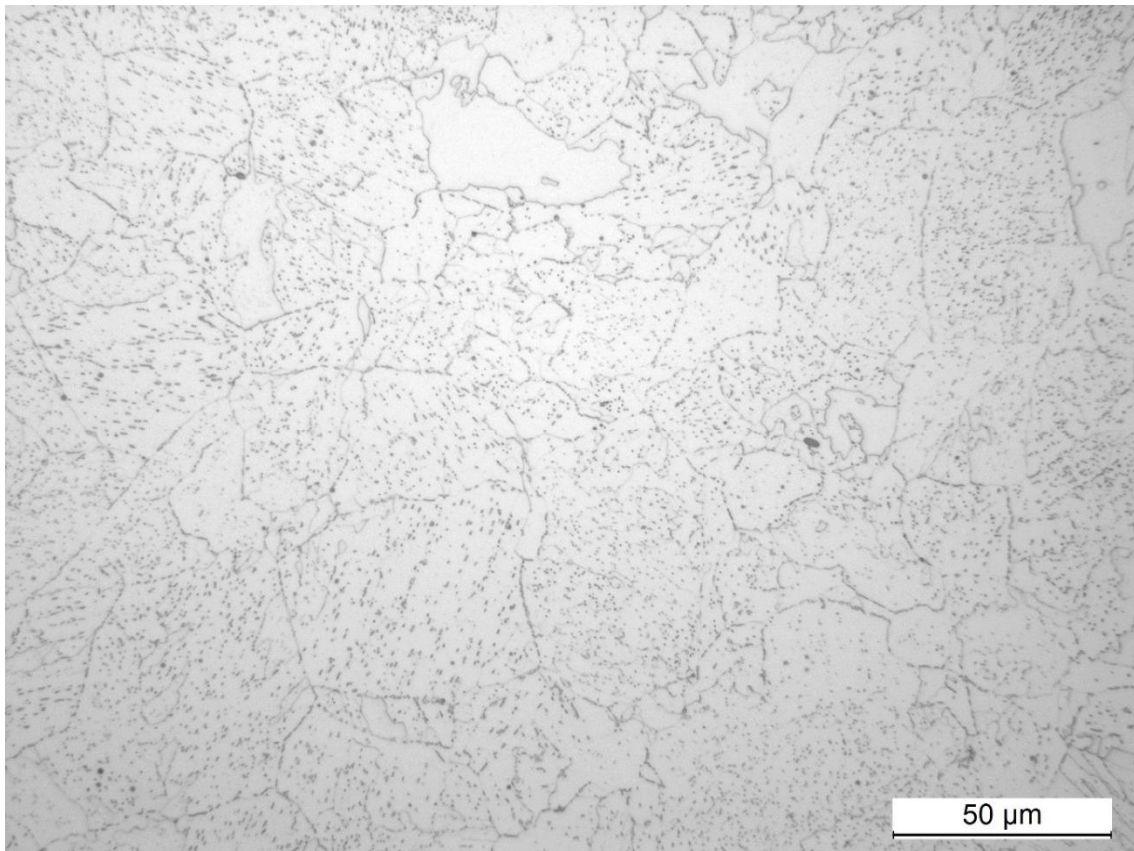
Kuva 37. T22, 650°C, 100 h



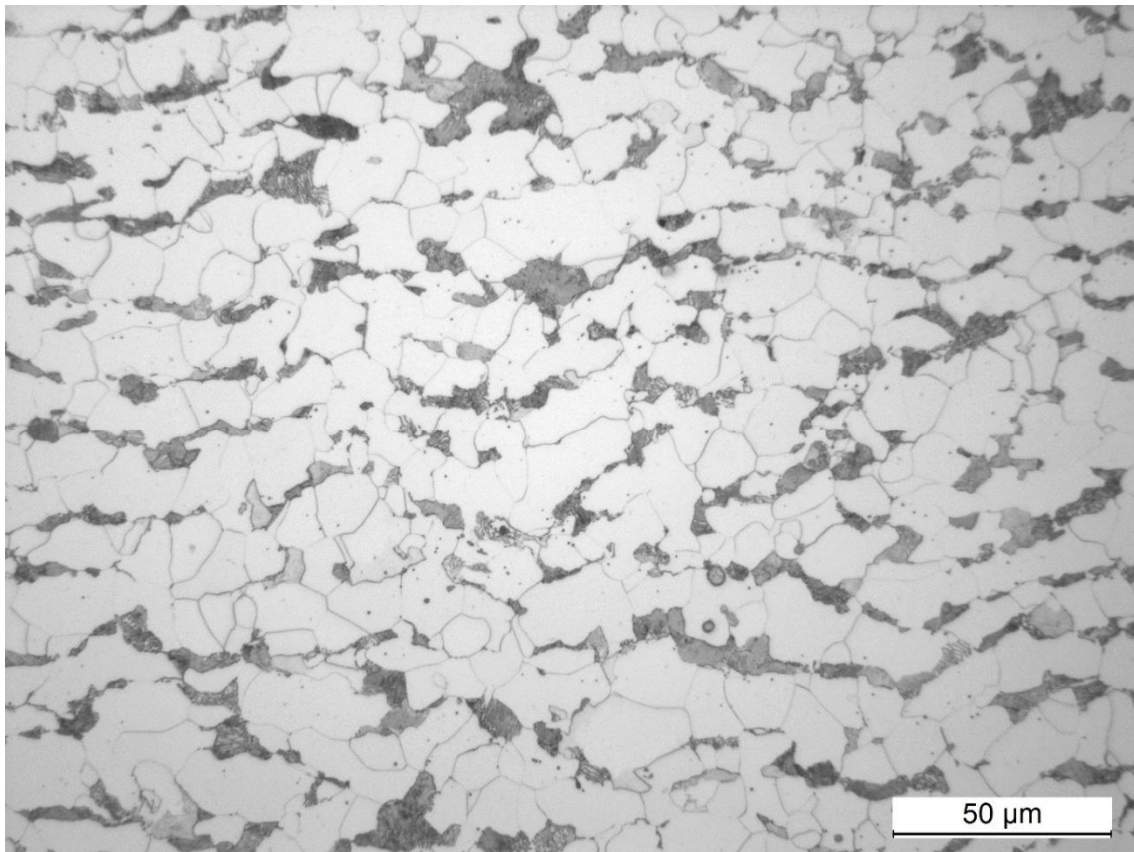
Kuva 38. T22, 650°C, 1000 h



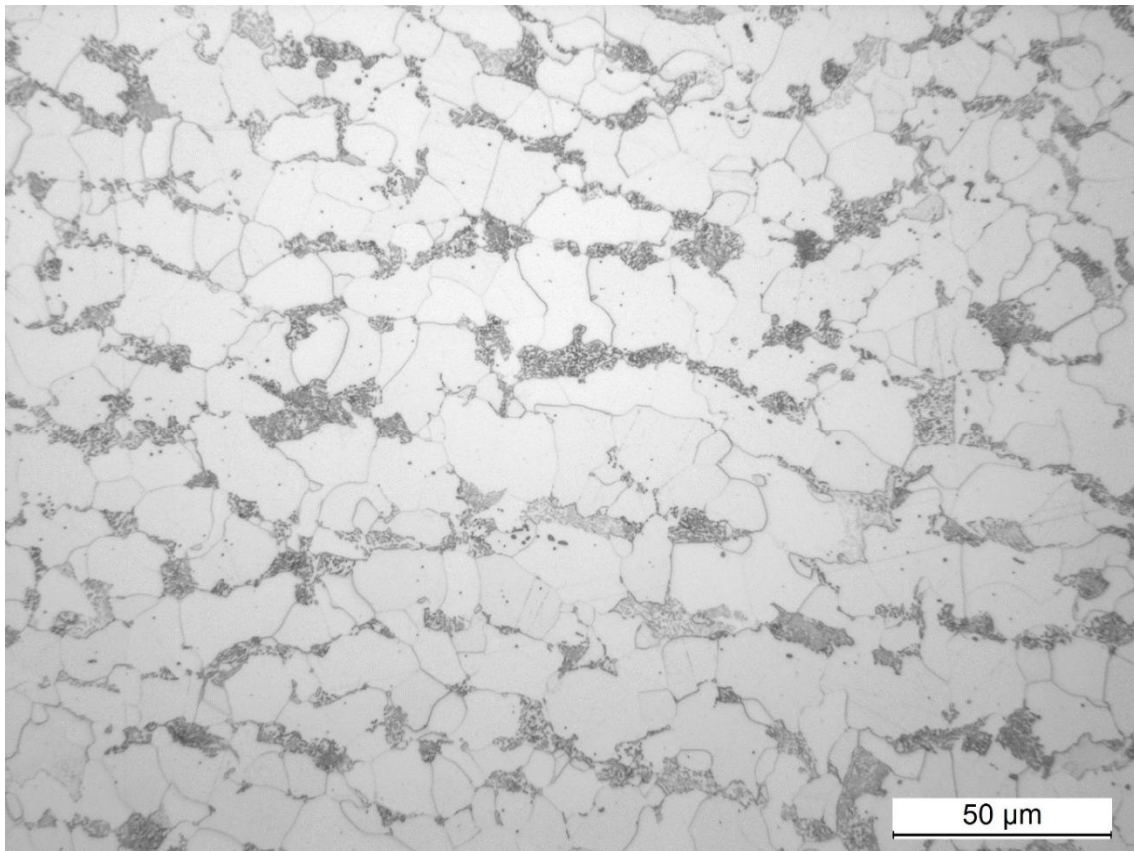
Kuva 39. T22, 700°C, 10 h



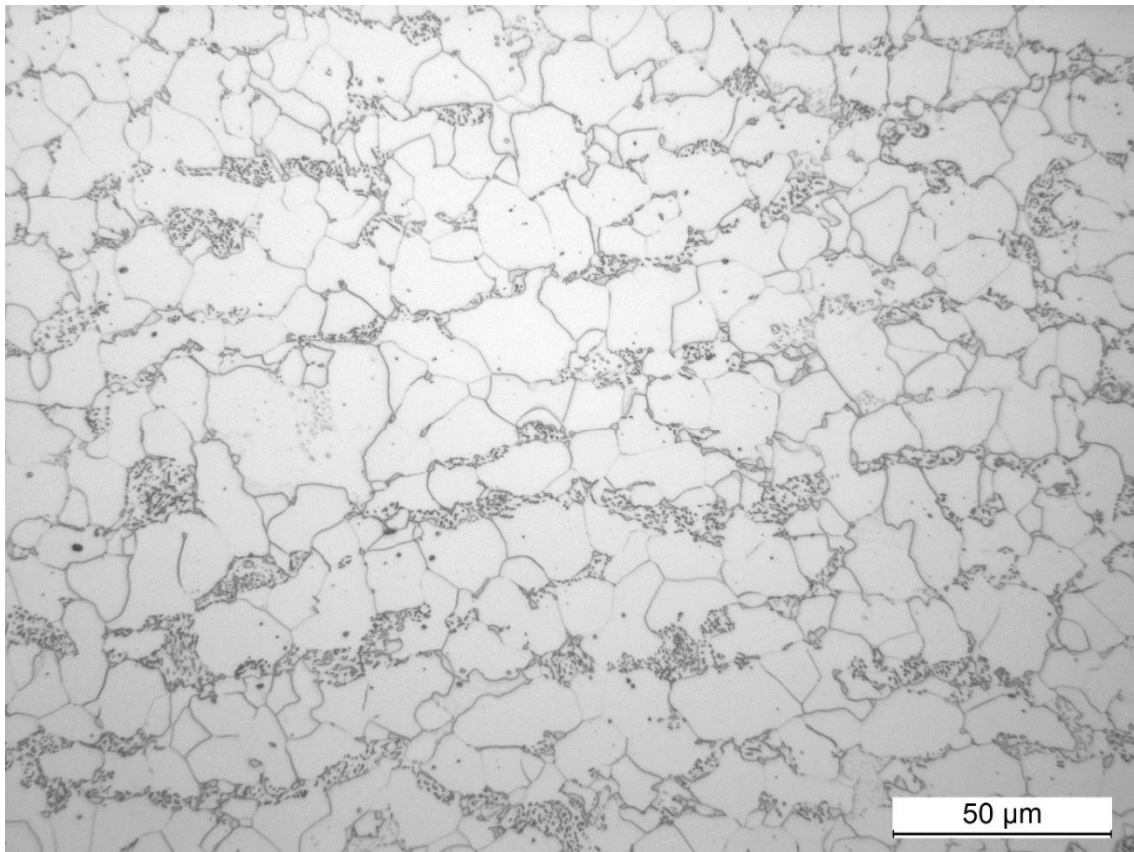
Kuva 40. T22, 700°C, 100 h



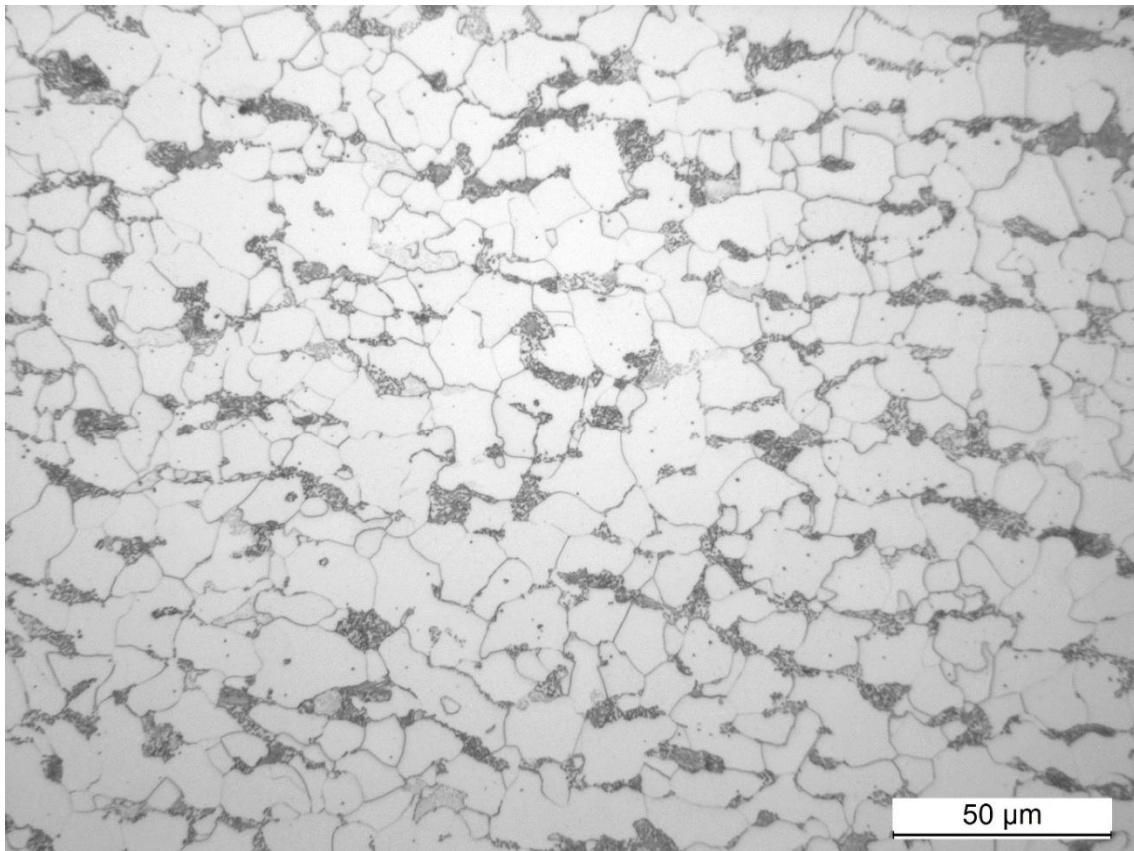
Kuva 41. P265GH, toimitustila, aste A



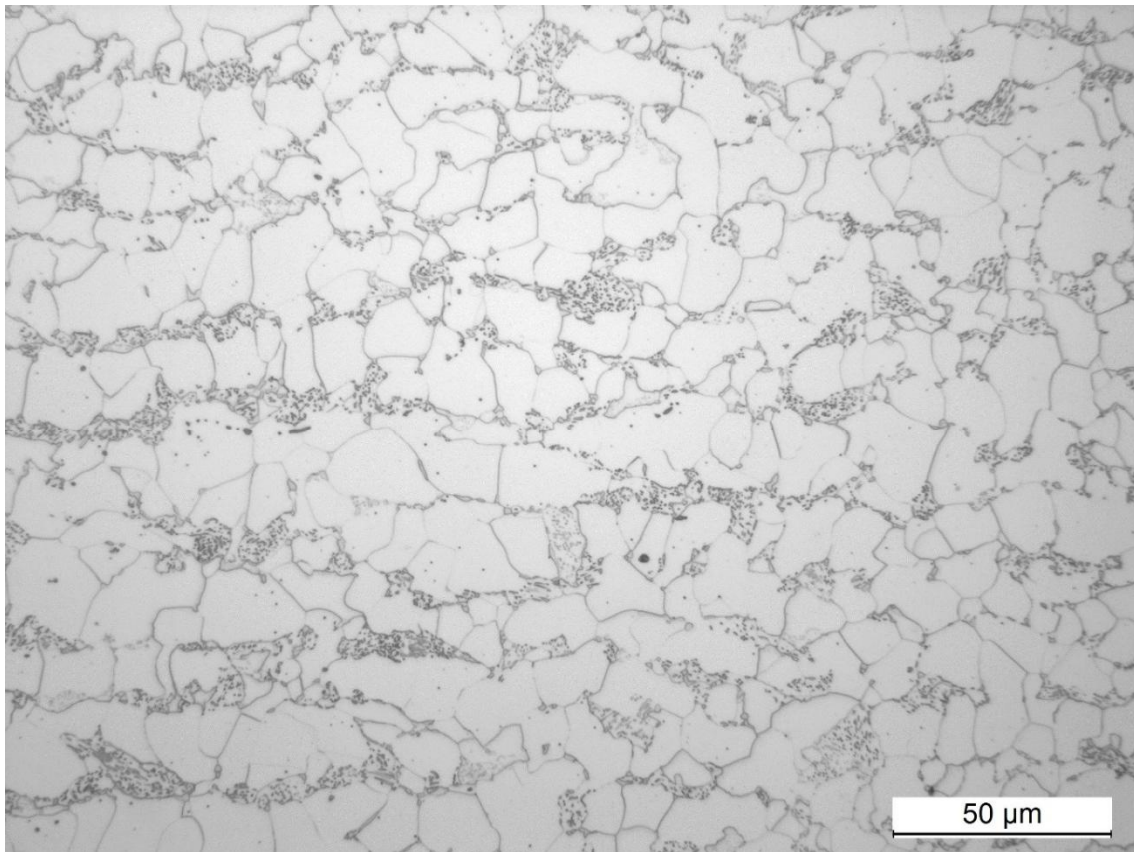
Kuva 42. P265GH, 600°C, 100 h, P_{LM} (C=14), aste B/C



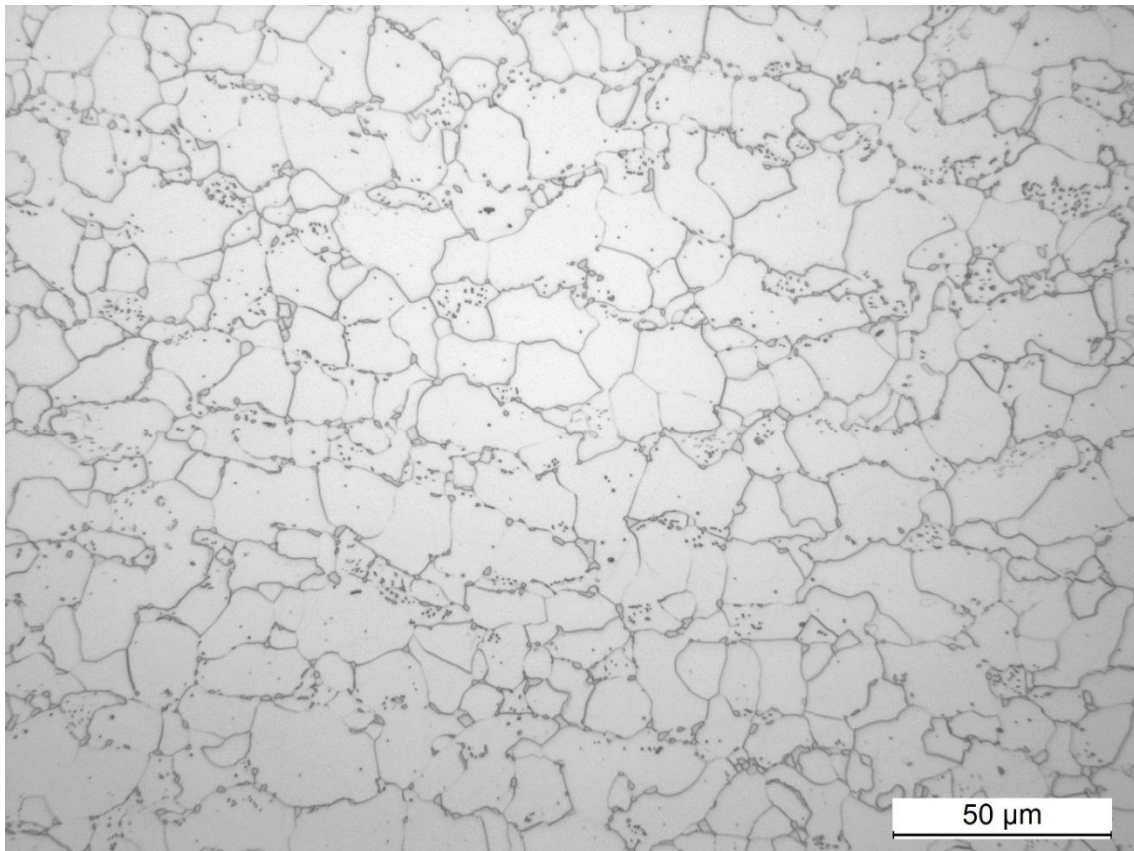
Kuva 43. P265GH, 600°C, 1000 h, PLM (C=14), aste D



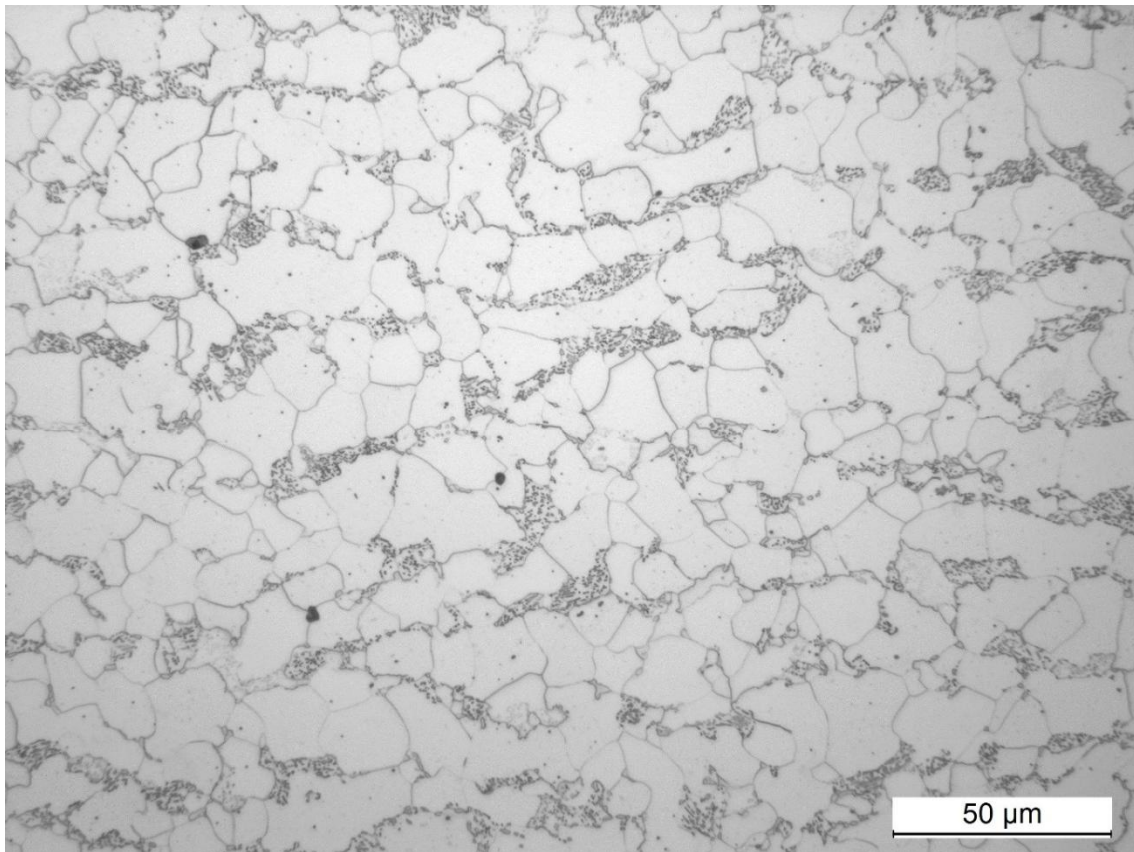
Kuva 44. P265GH, 650°C, 10 h, PLM (C=14), C



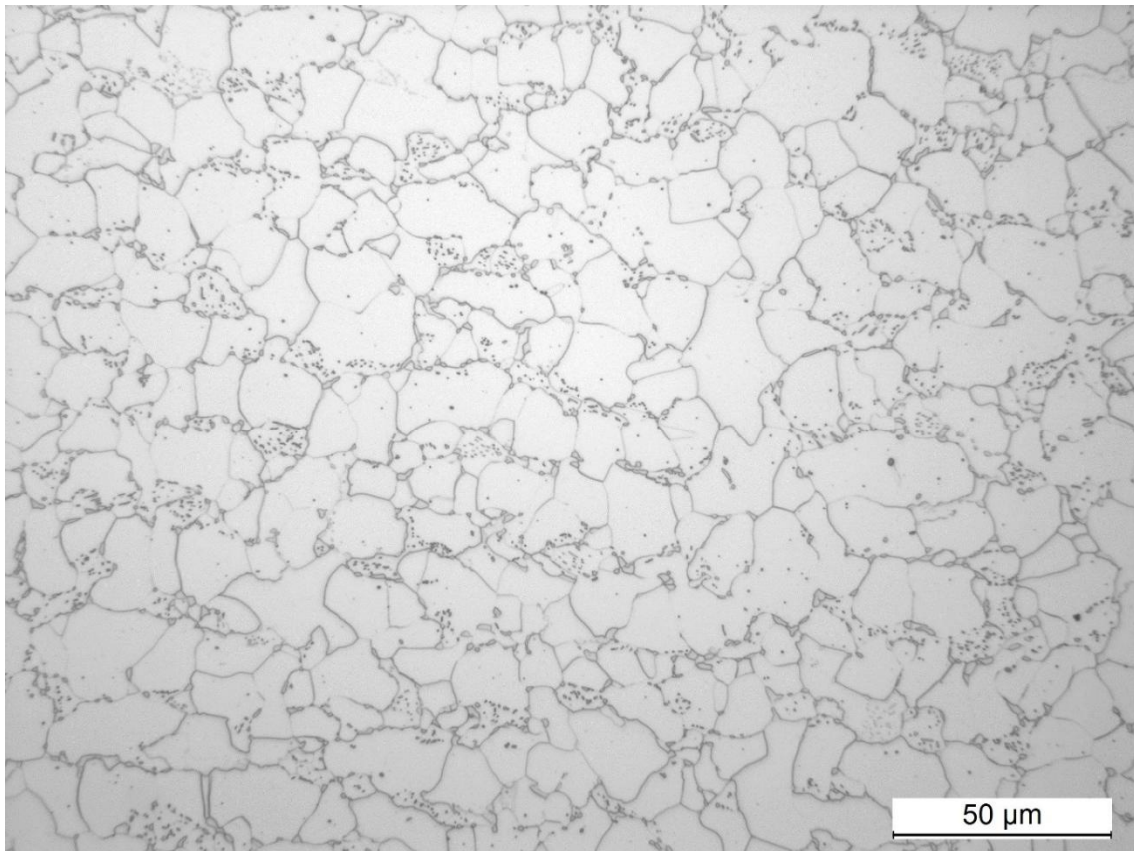
Kuva 45. P265GH, 650°C, 100 h, P_{LM} (C=14), D



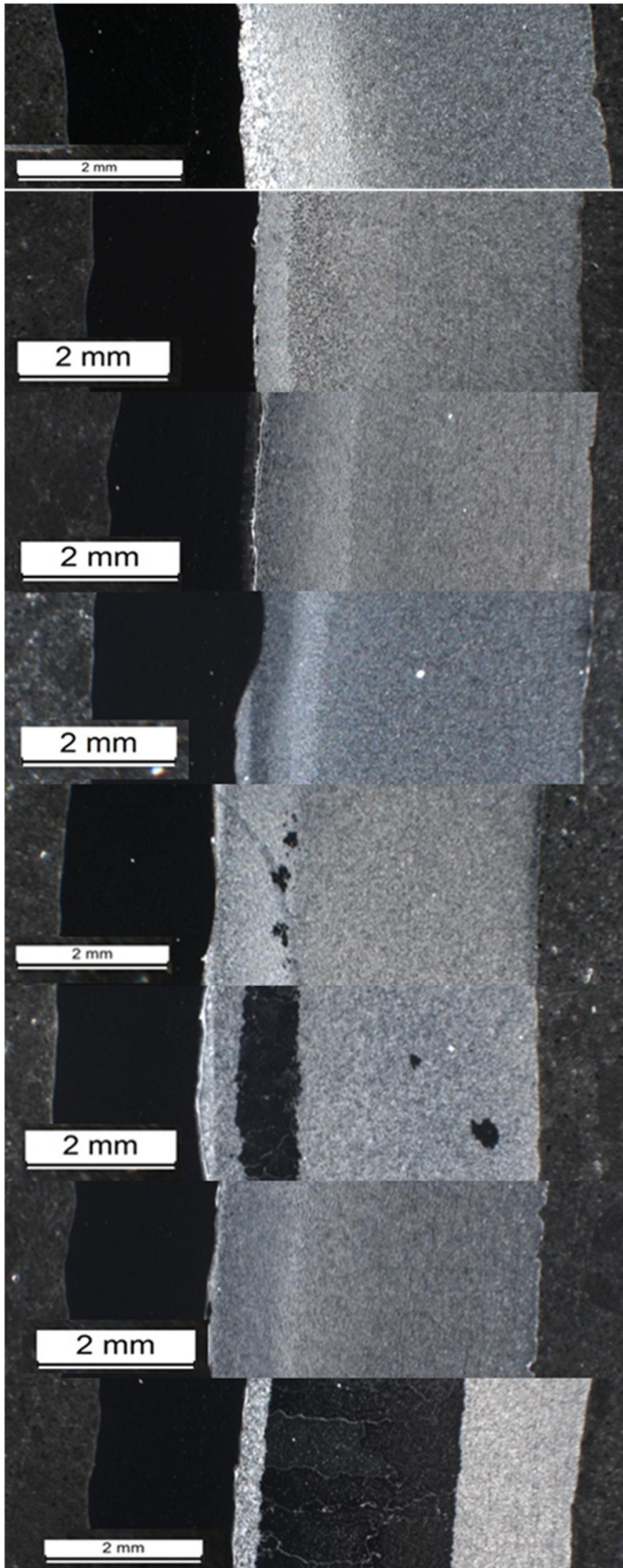
Kuva 46. P265GH, 650°C, 1000 h, P_{LM} (C=14), E



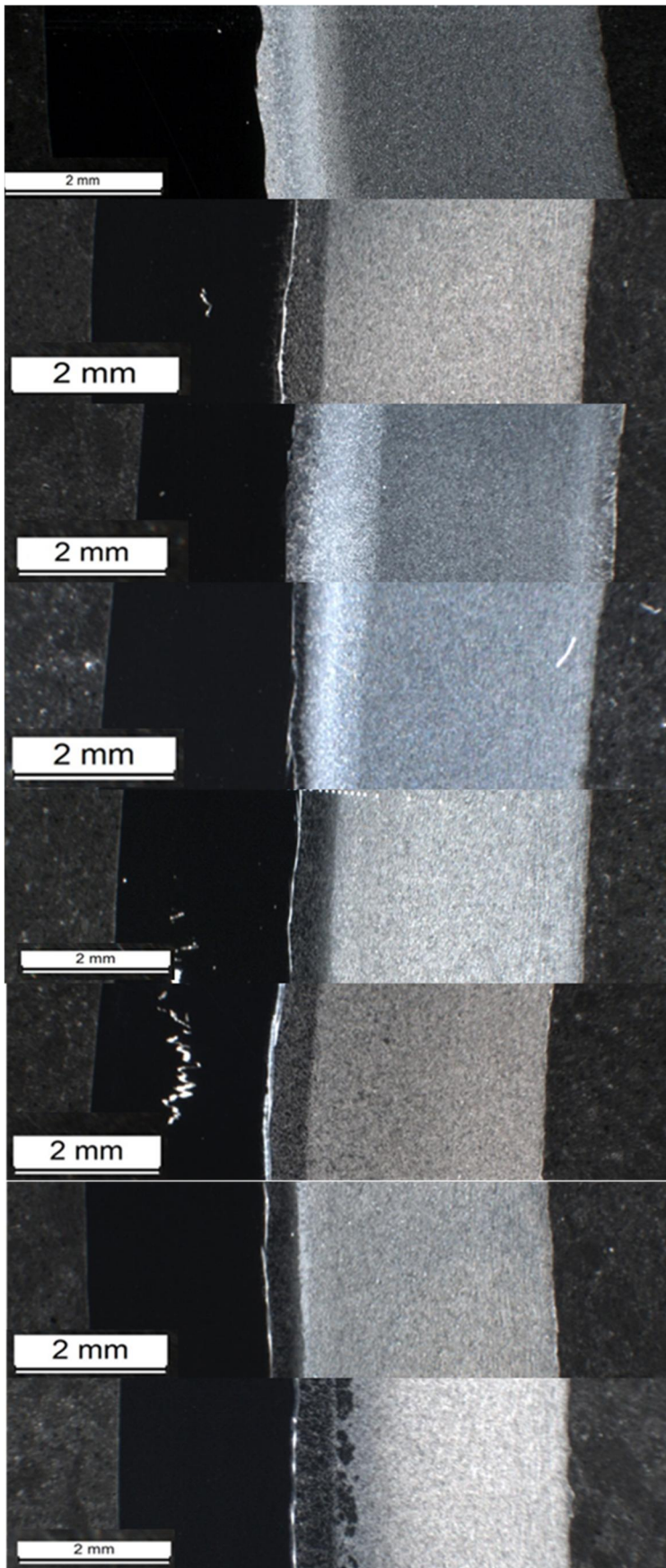
Kuva 47. P265GH, 700°C, 10 h, PLM (C=14), D



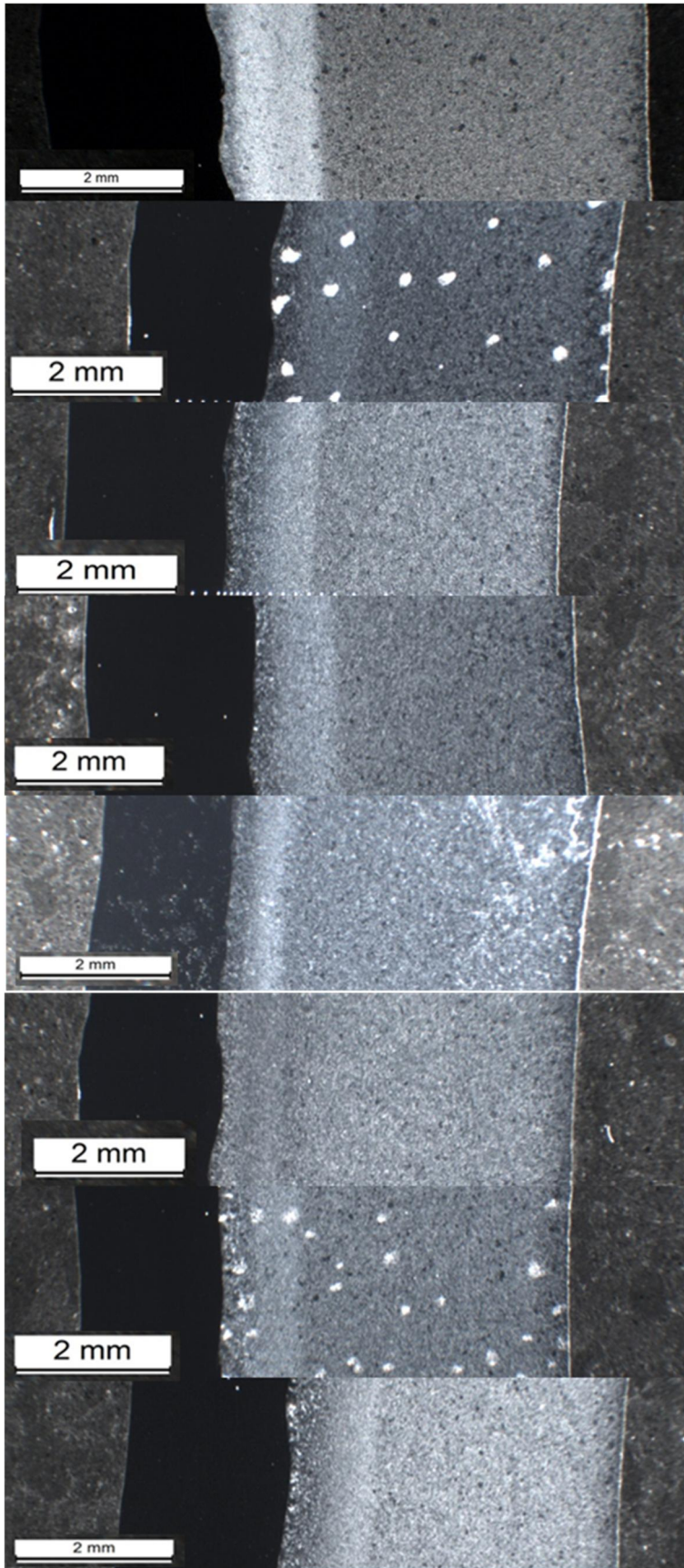
Kuva 48. P265GH, 700°C, 100 h, PLM (C=14), E



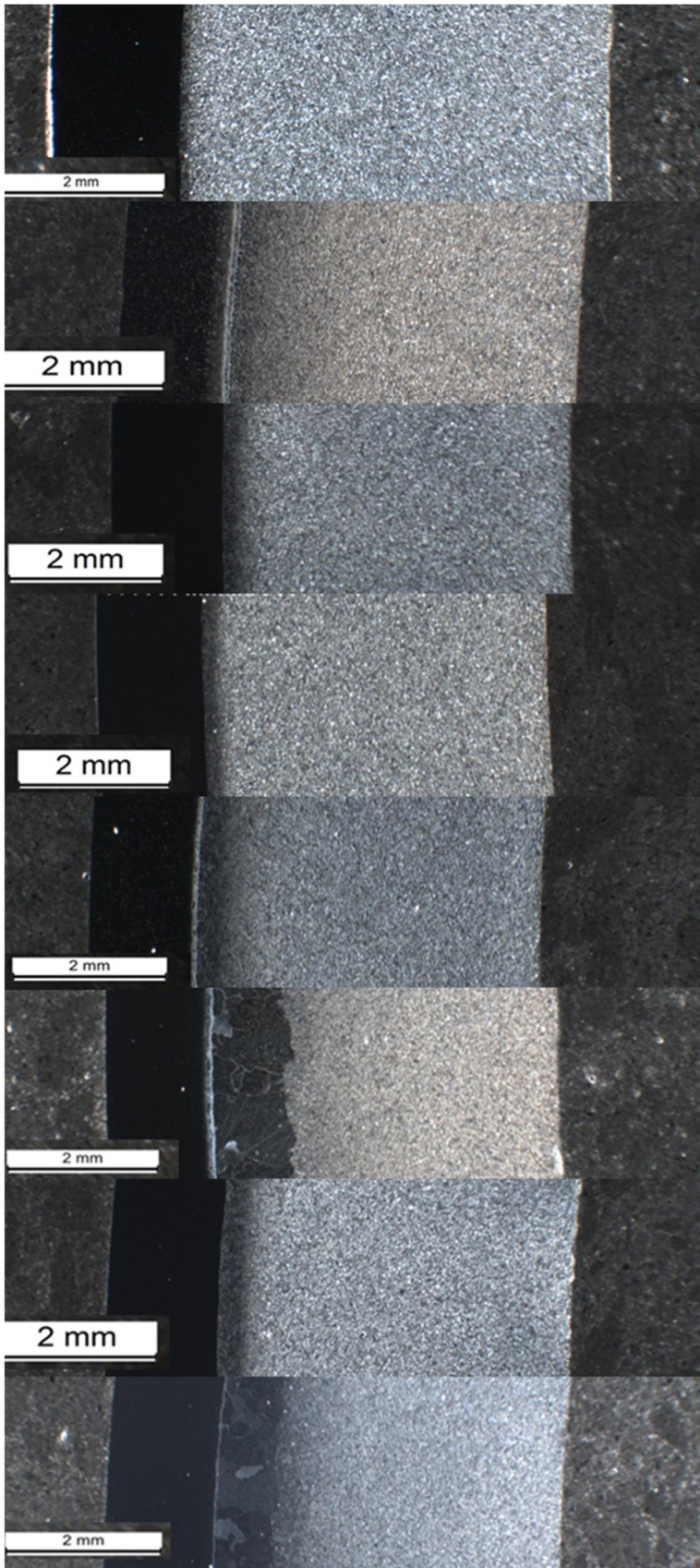
Kuva 1. Yleiskuva P235GH (309) rajapinnasta; a) toimitustila, b) 600°C, 100 h, c) 600°C, 1000 h, d) 650°C, 10 h, e) 650°C, 10h, f) 650°C, 1000 h, g) 700°C, 10 h, h) 700°C, 100h



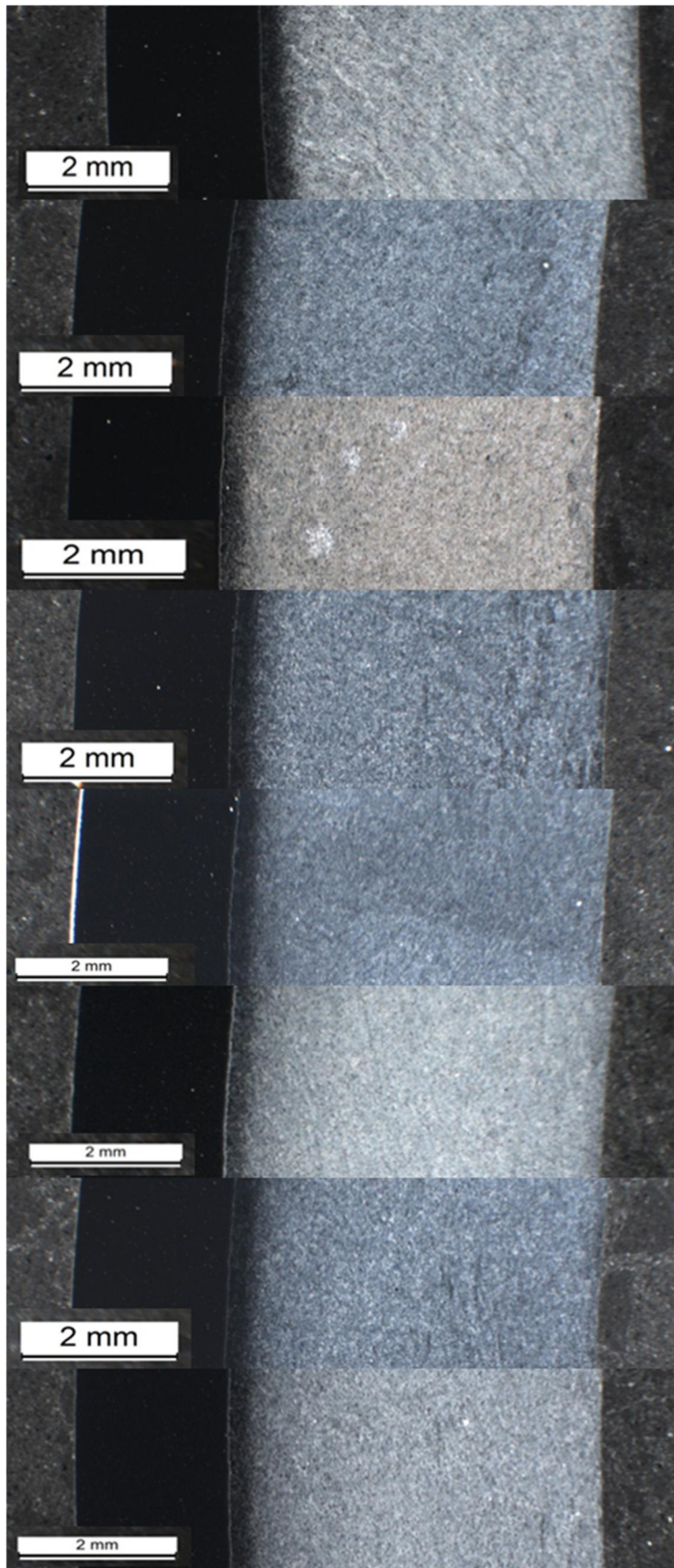
Kuva 2. 16Mo3 rajapinta; a) toimitustila, b) 600°C, 100 h, c) 600°C, 1000 h, d) 650°C, 10 h, e) 650°C, 10h, f) 650°C, 1000 h, g) 700°C, 10 h, h) 700°C, 100h



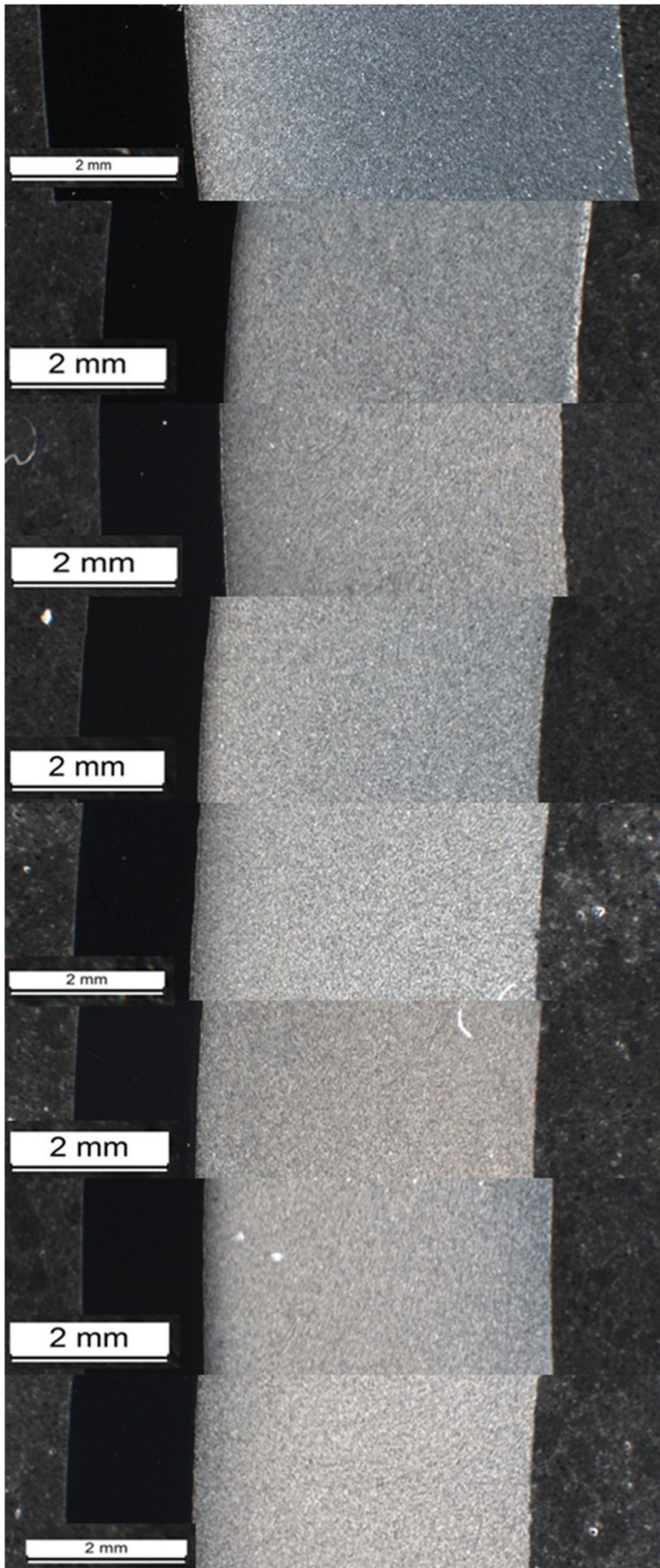
Kuva 3. 7CrMoVTiB10-10 rajapinta a) toimitustila, b) 600°C, 100 h, c) 600°C, 1000 h, d) 650°C, 10 h, e) 650°C, 10h, f) 650°C, 1000 h, g) 700°C, 10 h, h) 700°C, 100h



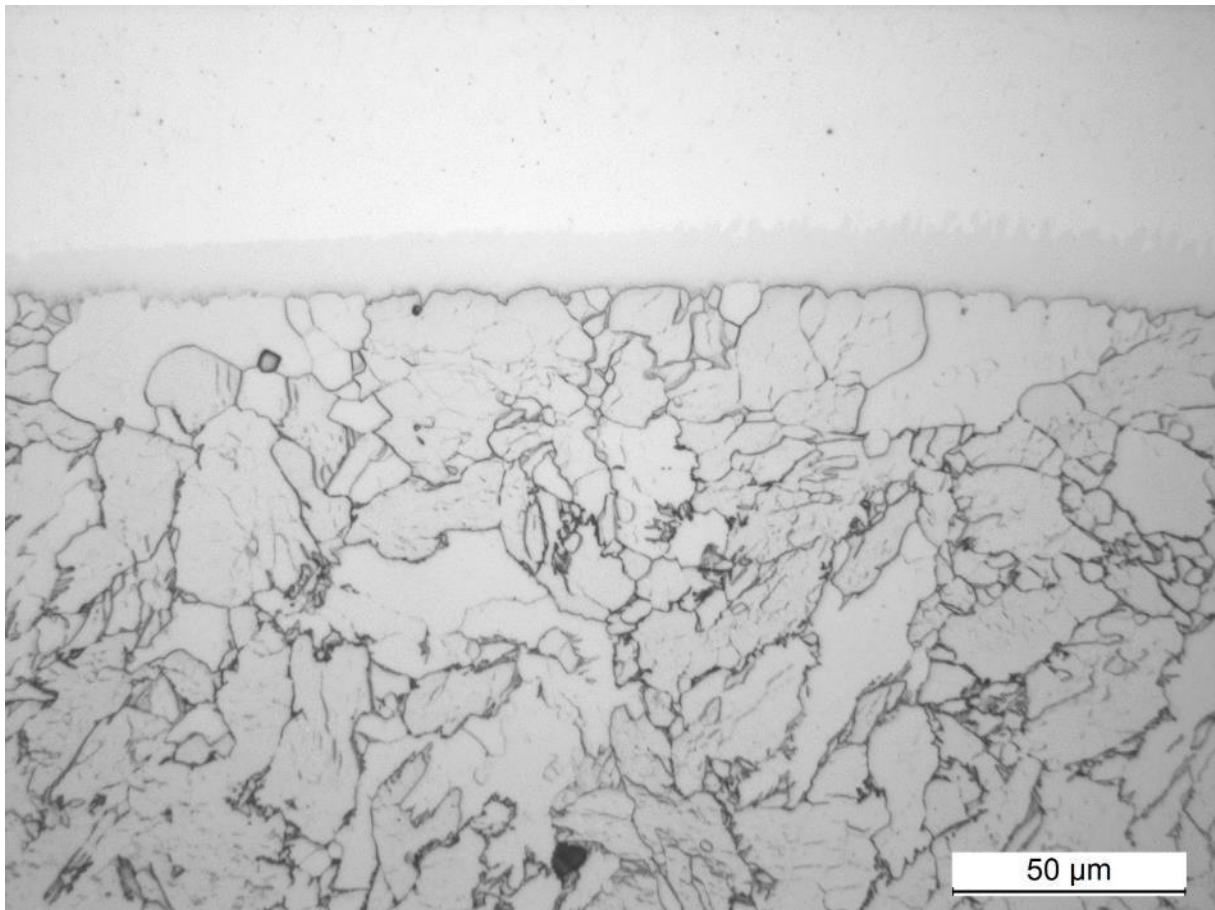
Kuva 4. 304L - St45.8 rajapinta; a) toimitustila, b) 600°C, 100 h, c) 600°C, 1000 h, d) 650°C, 10 h, e) 650°C, 10h, f) 650°C, 1000 h, g) 700°C, 10 h, h) 700°C, 100h



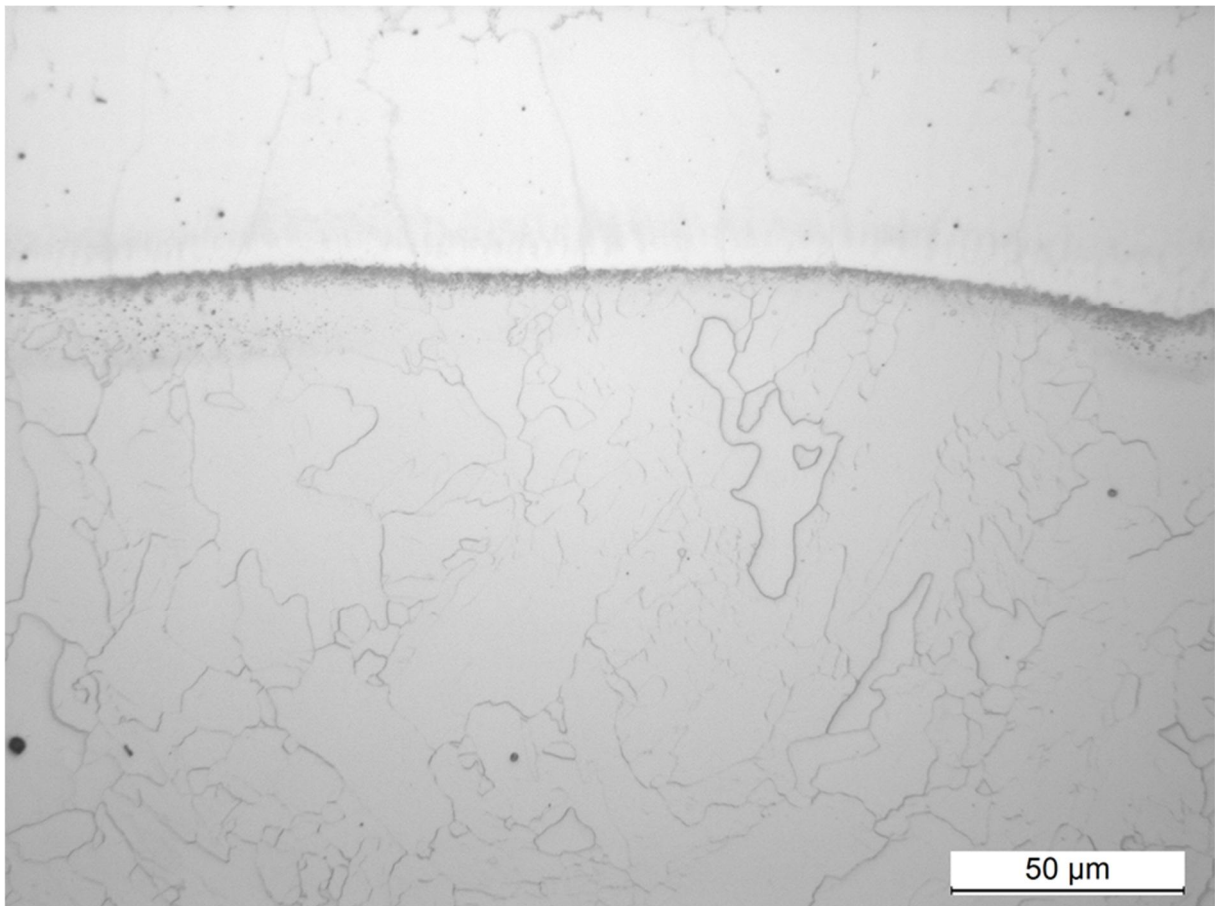
Kuva 5. San28 - T22 rajapinta; a) toimitustila, b) 600°C, 100 h, c) 600°C, 1000 h, d) 650°C, 10 h, e) 650°C, 10h, f) 650°C, 1000 h, g) 700°C, 10 h, h) 700°C, 100h



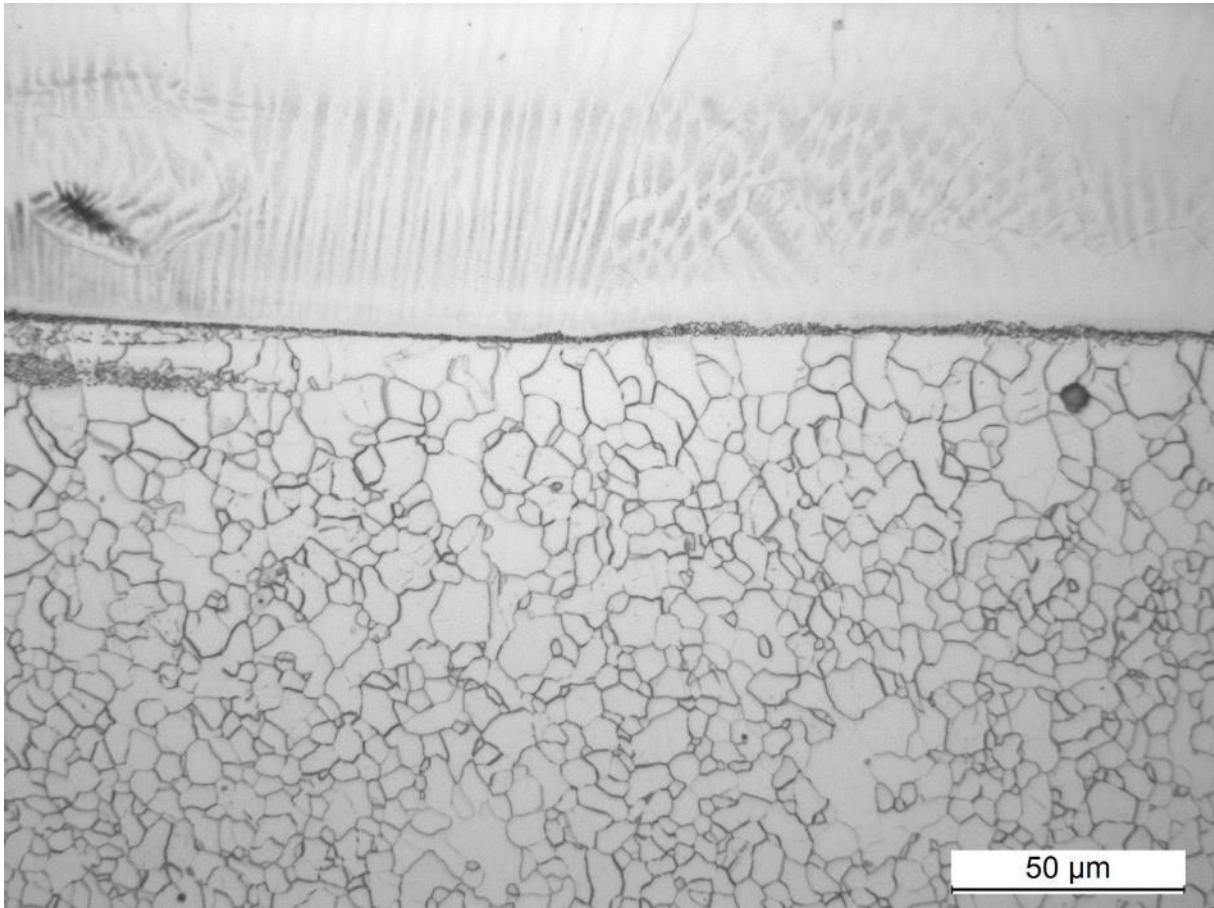
Kuva 6. San38 rajapinta; a) toimitustila, b) 600°C, 100 h, c) 600°C, 1000 h, d) 650°C, 10 h, e) 650°C, 10h, f) 650°C, 1000 h, g) 700°C, 10 h, h) 700°C, 100h



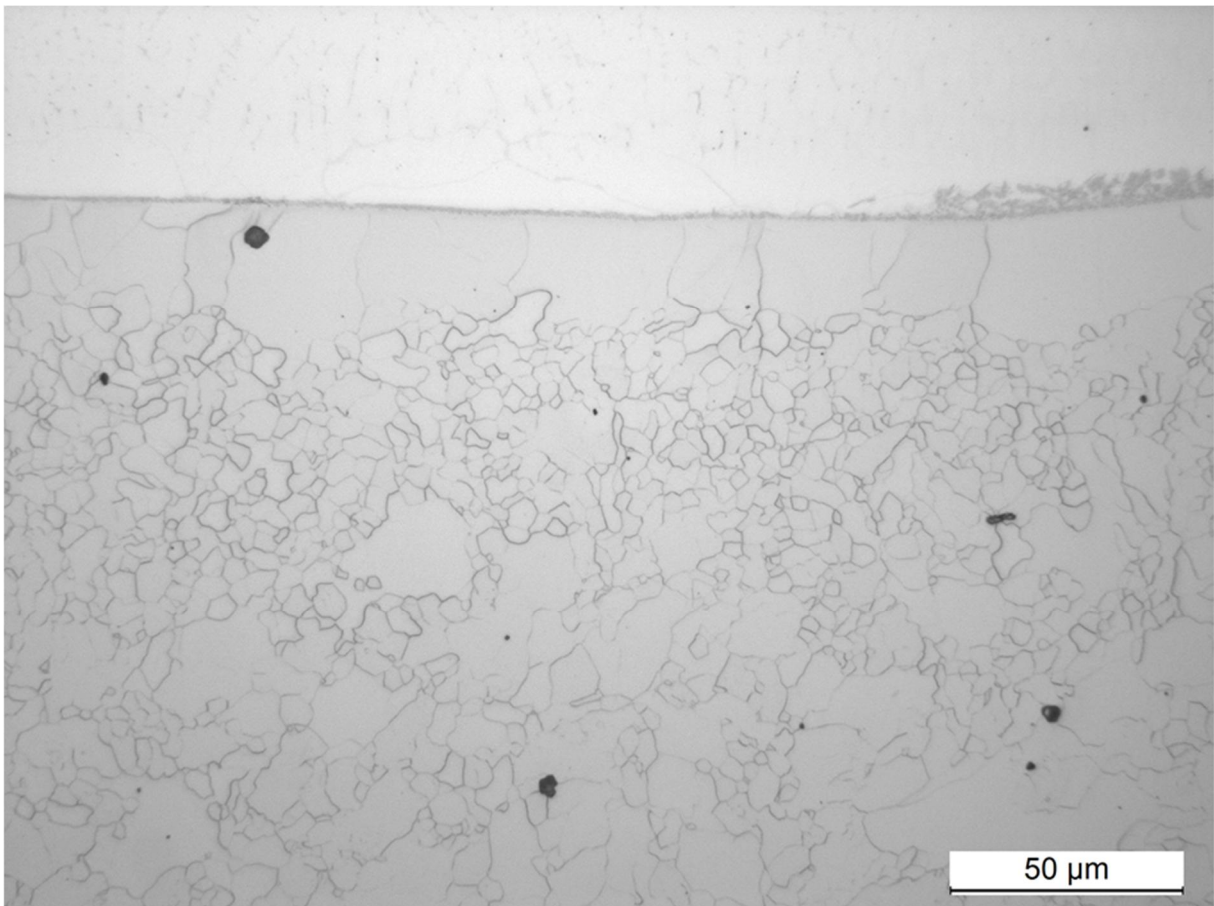
Kuva 7. 309 AZZ rajapinta, toimitustila



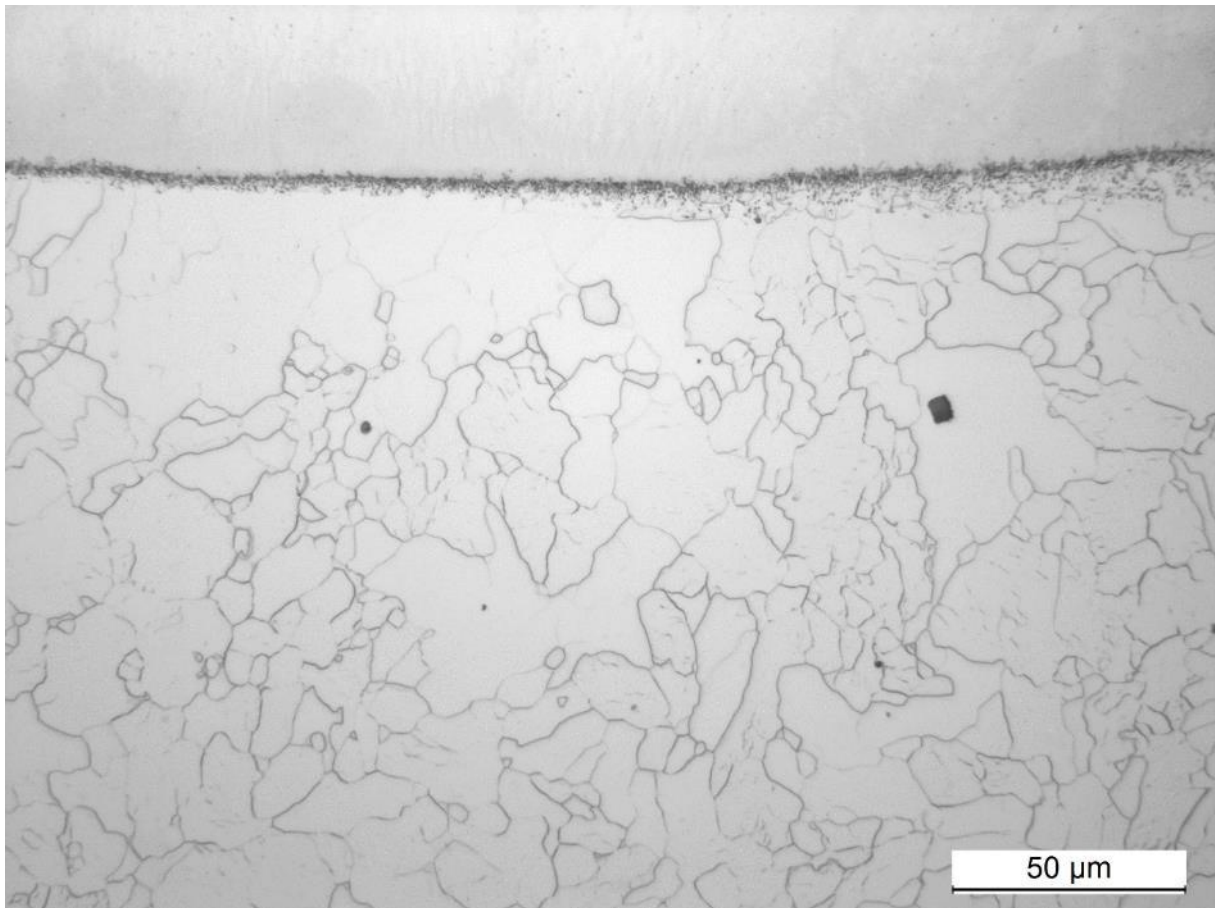
Kuva 8. 309 AZZ, 600°C, 100 h



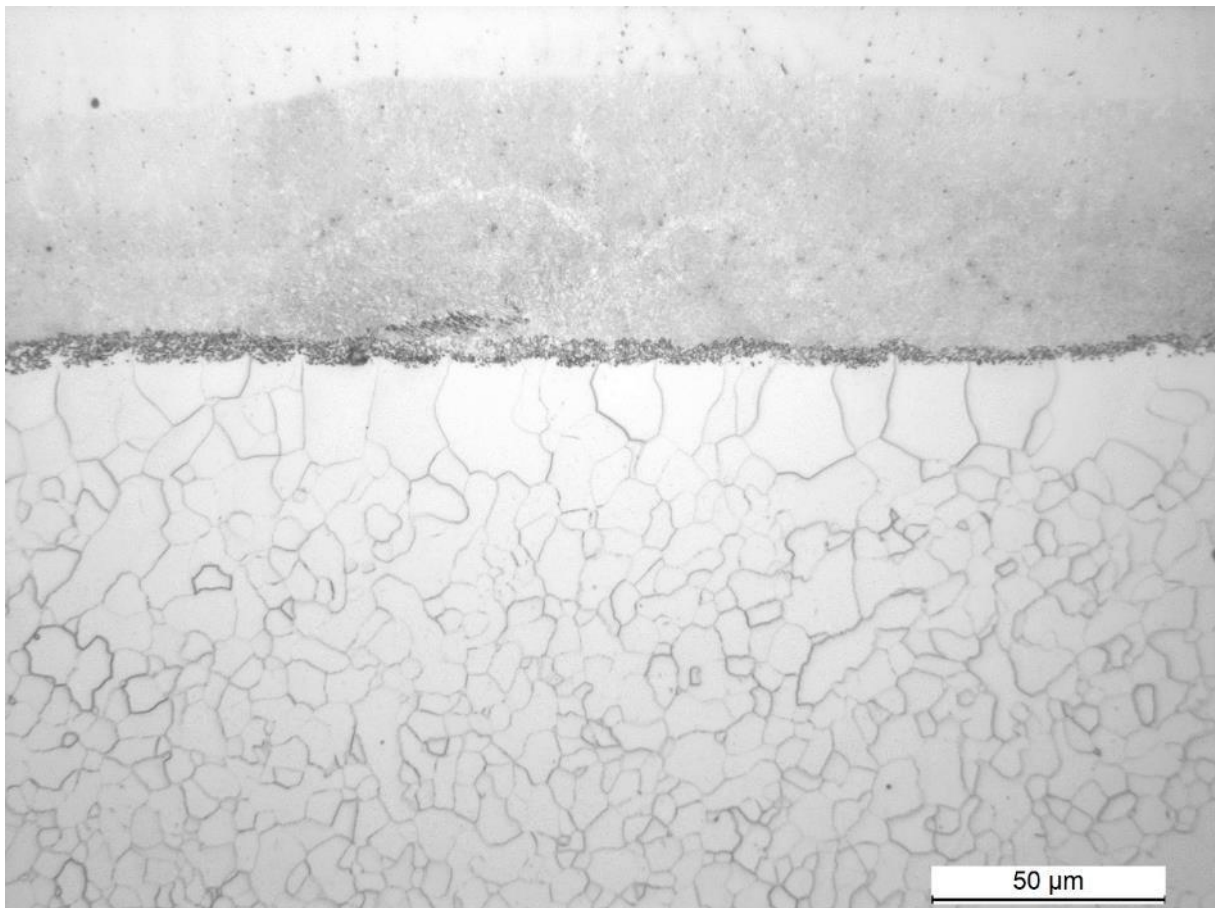
Kuva 9. 309 AZZ, 600°C, 1000 h



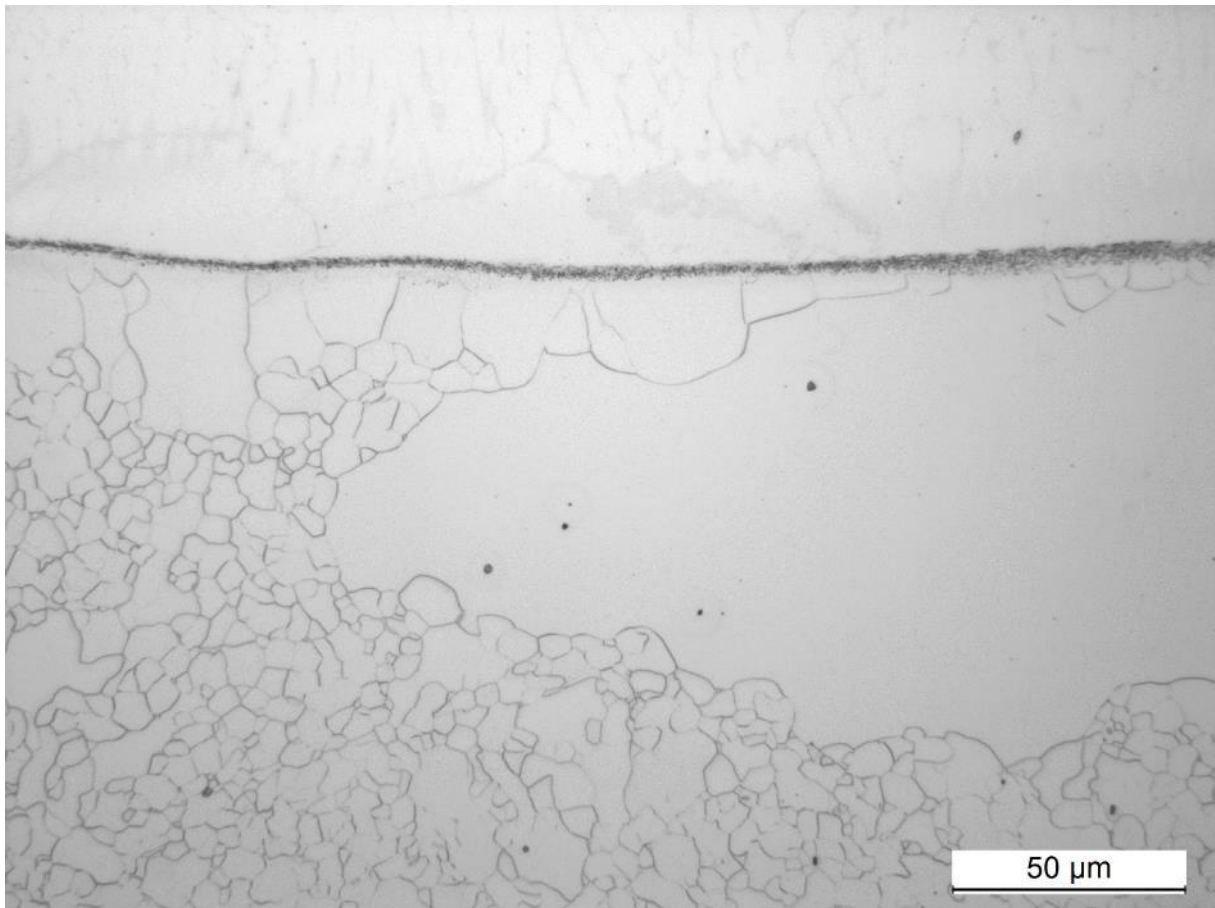
Kuva 10. 309 AZZ, 650°C, 10 h



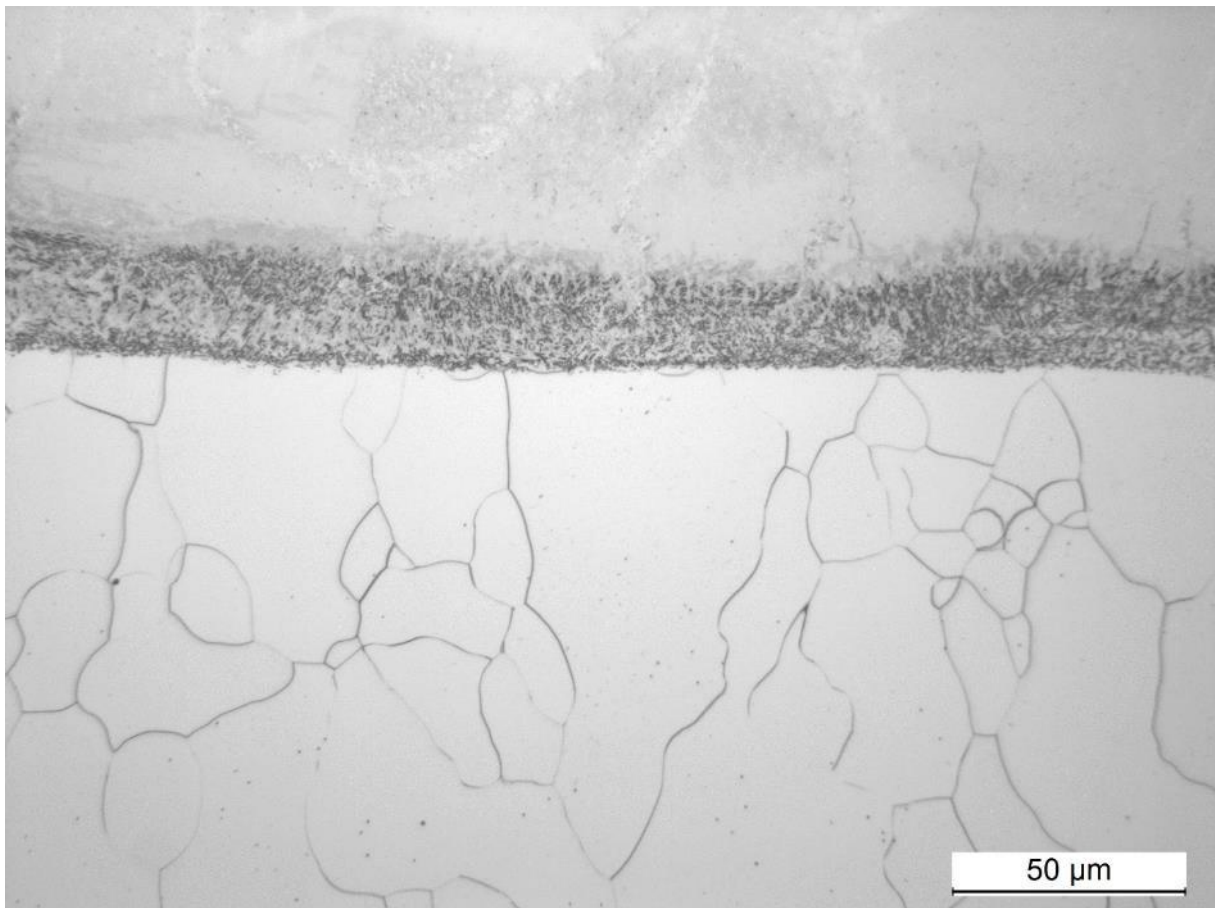
Kuva 11. 309 AZZ, 650°C, 100 h



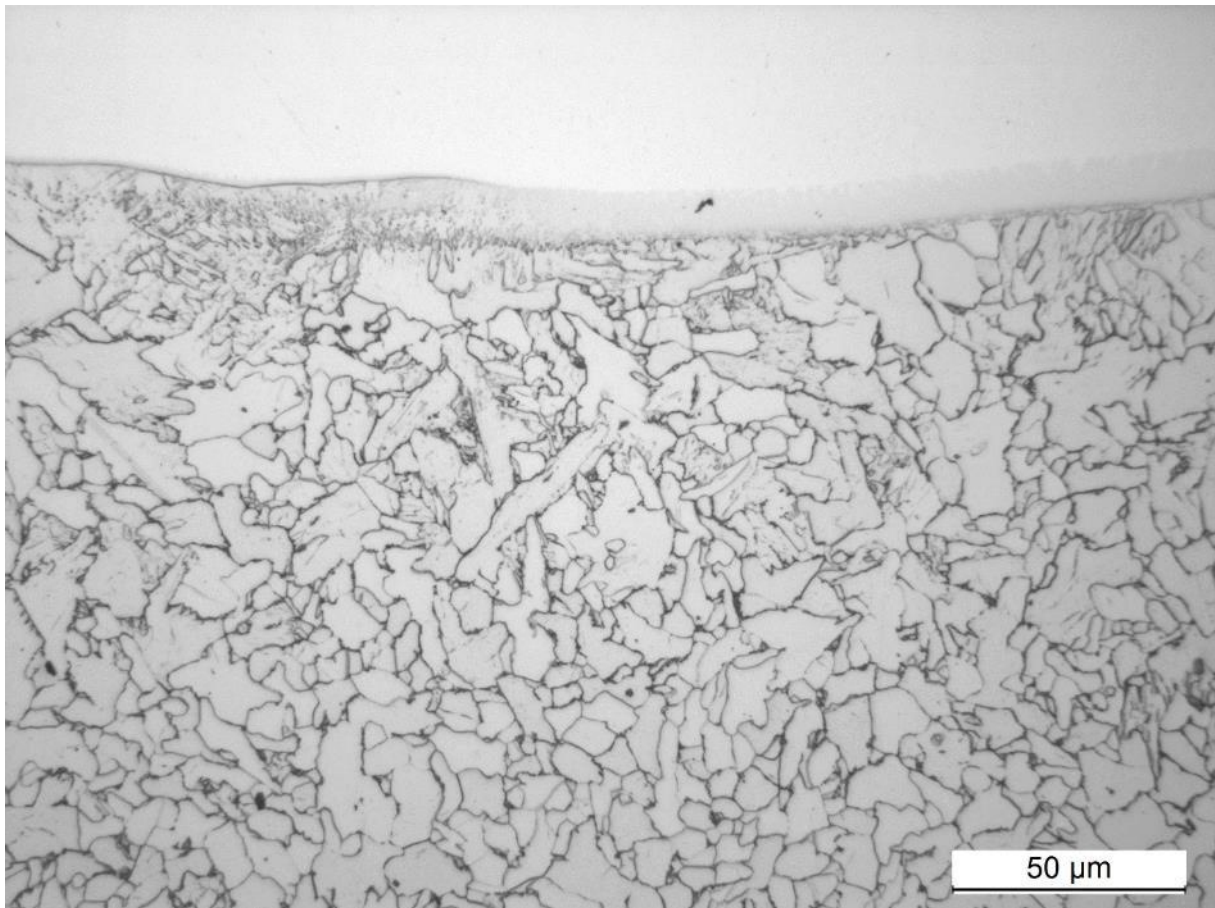
Kuva 12. 309 AZZ, 650°C, 1000 h



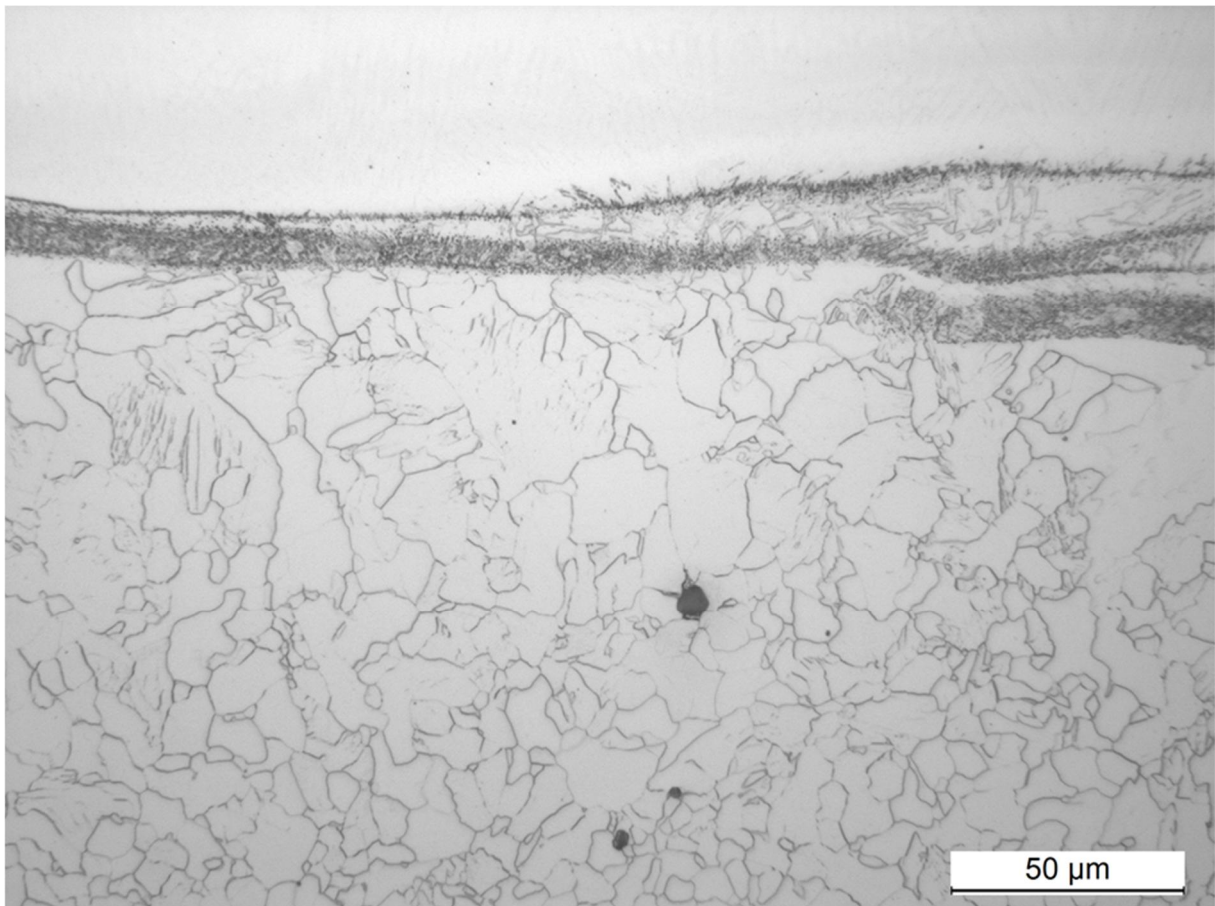
Kuva 13. 309 AZZ, 700°C, 10 h



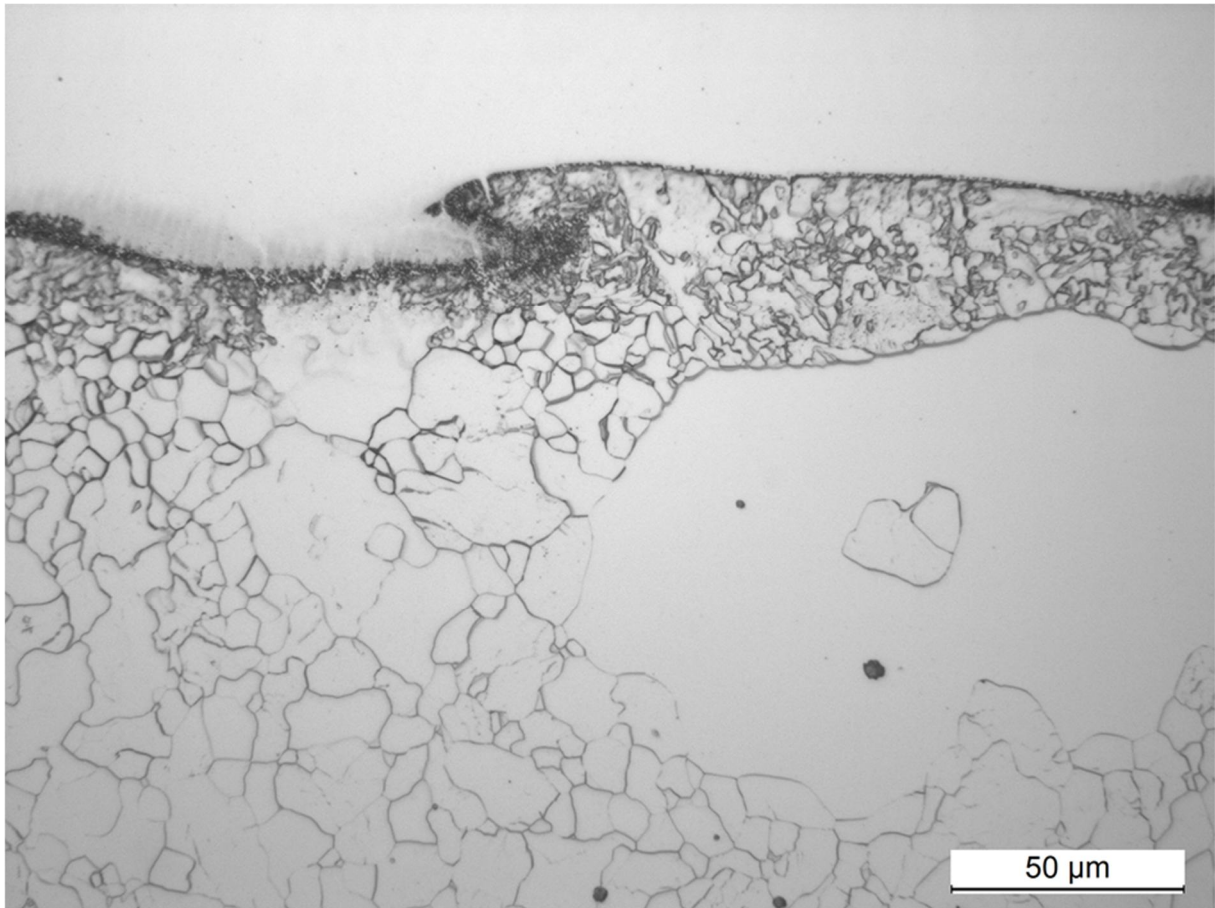
Kuva 14. 309 AZZ, 700°C, 100 h



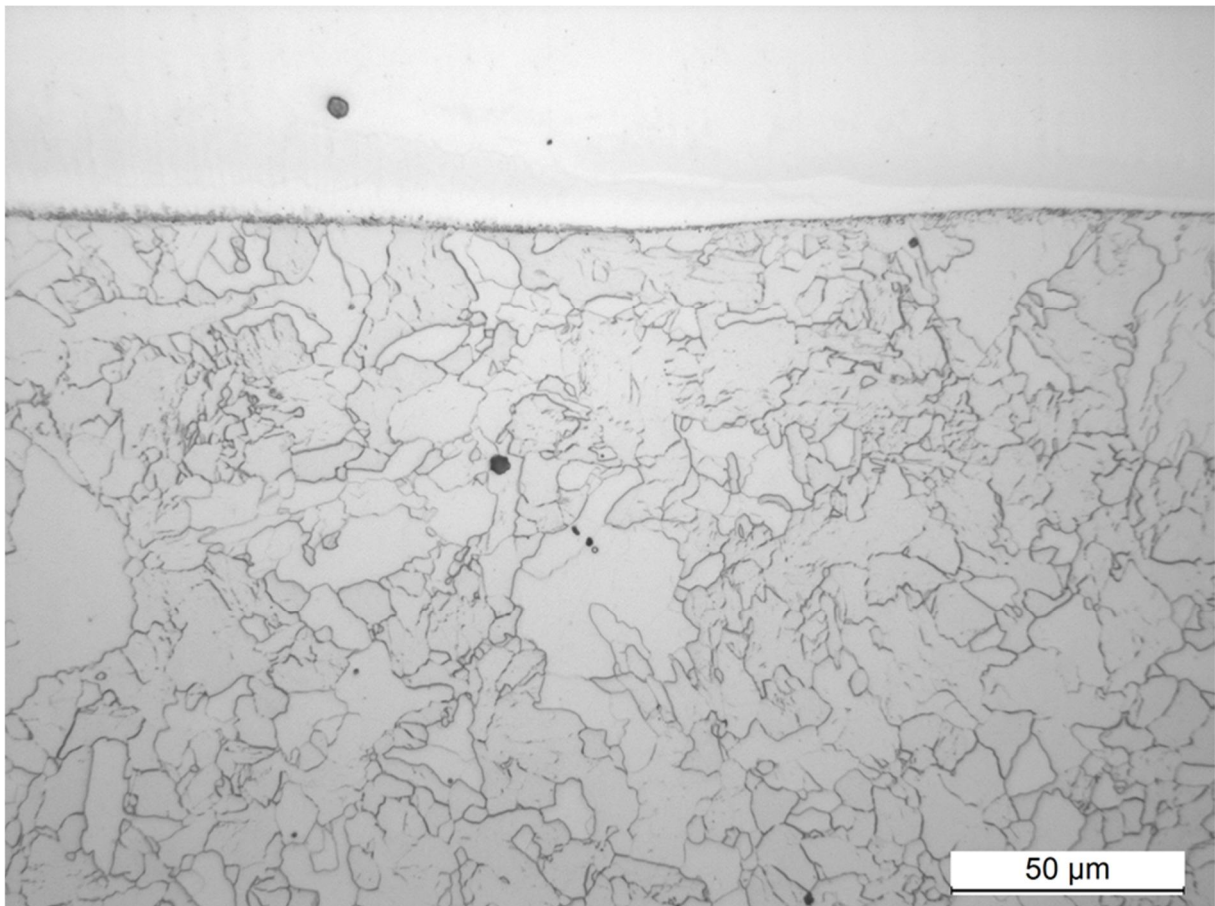
Kuva 15. IN625 AZZ rajapinta, toimitustila



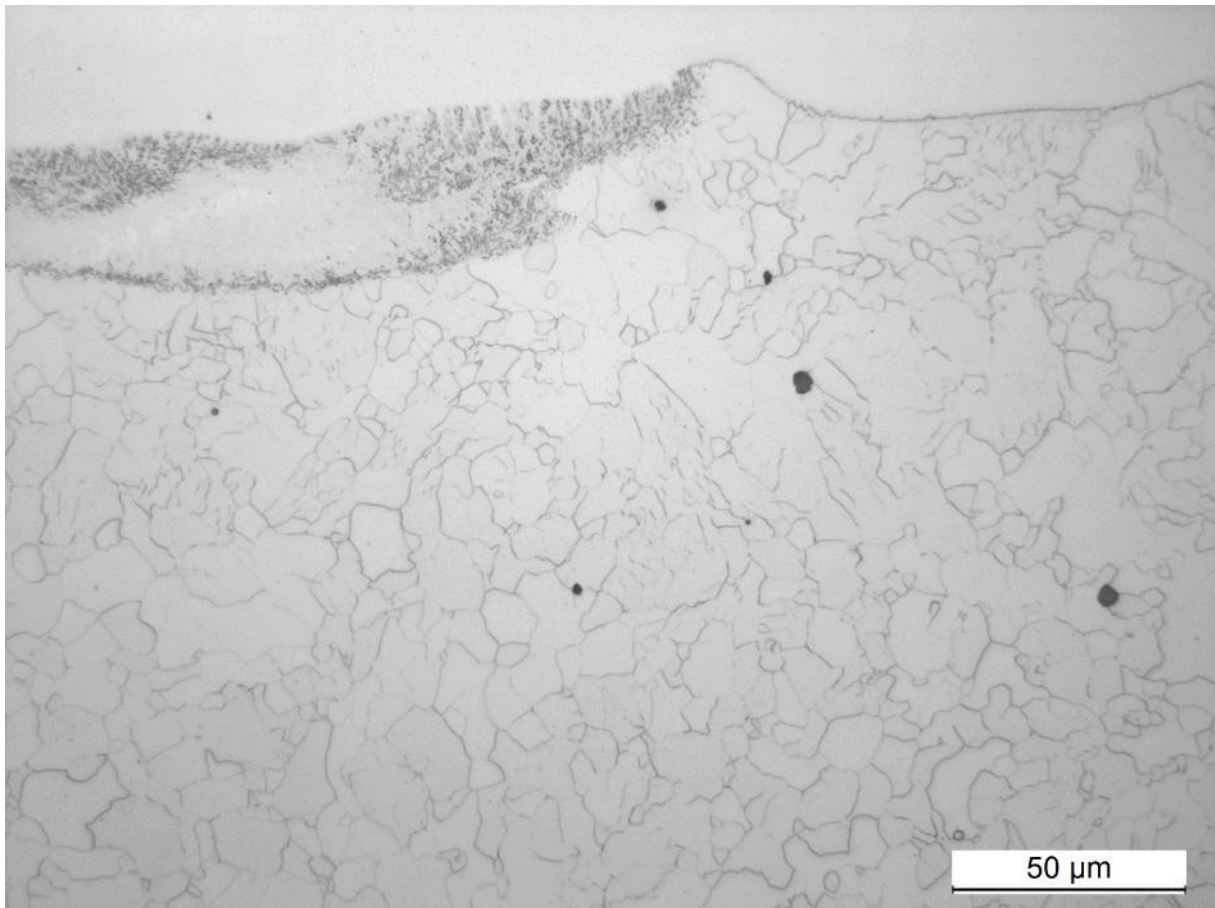
Kuva 16. IN625 AZZ rajapinta, 600°C, 100 h



Kuva 17. IN625 AZZ rajapinta, 600°C, 1000 h



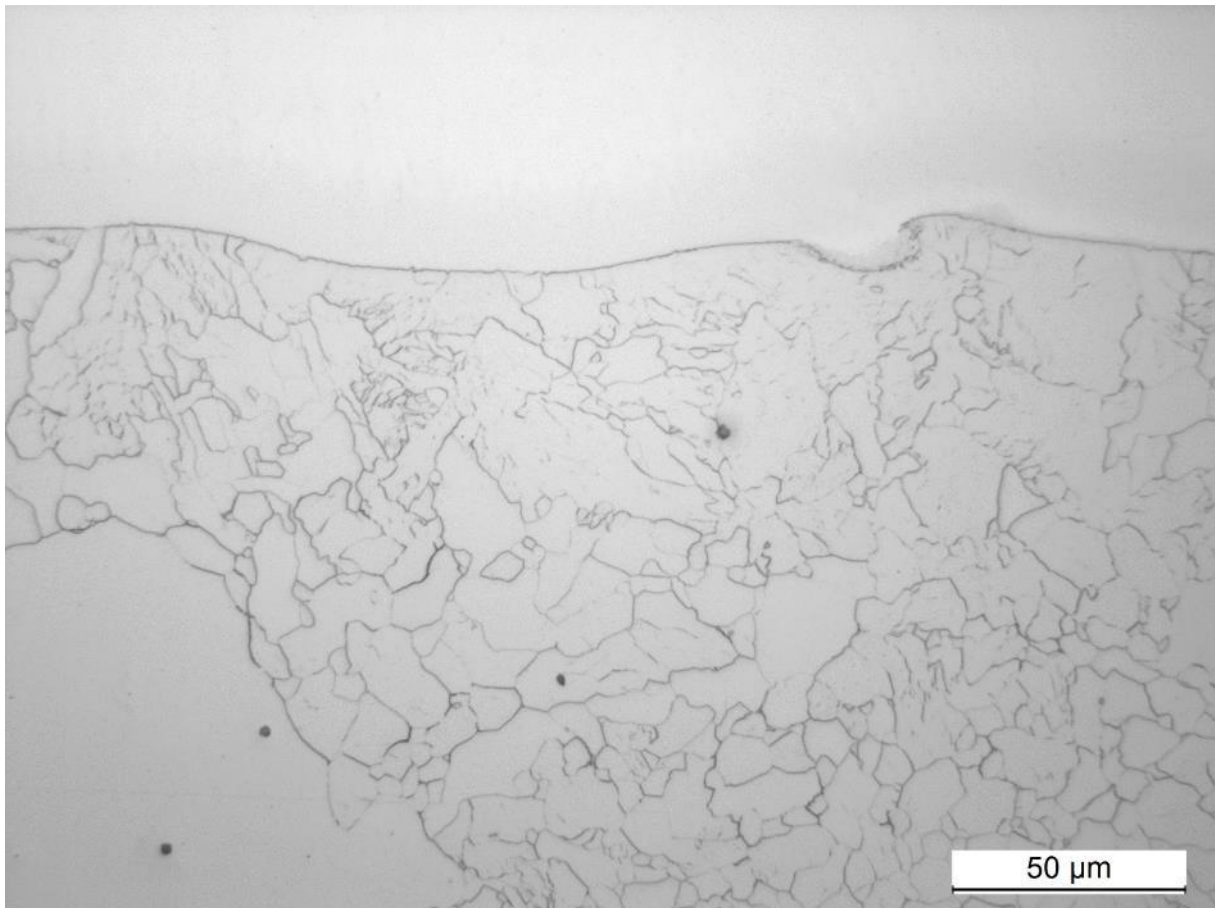
Kuva 18. IN625 AZZ, 650°C, 10 h



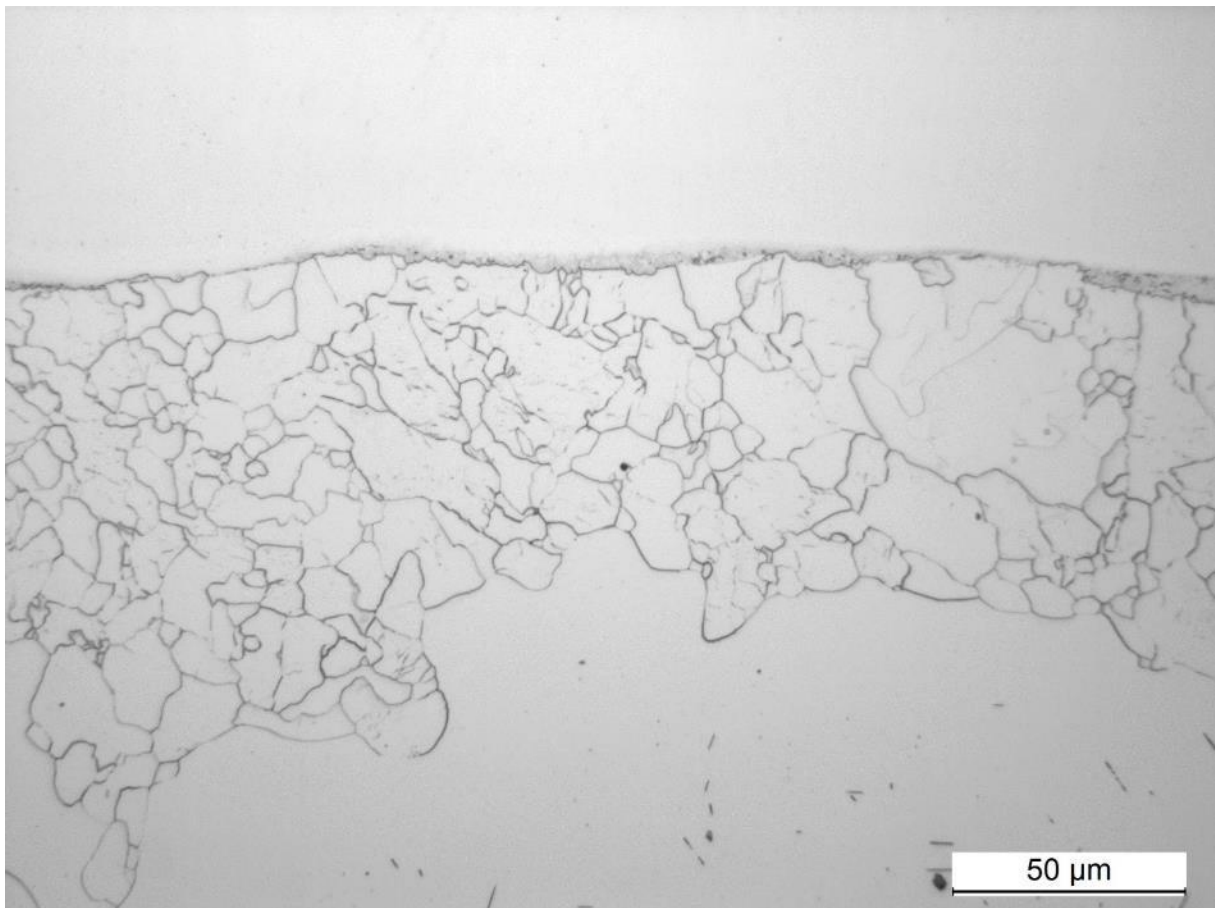
Kuva 19. IN625 AZZ, 650°C, 100 h



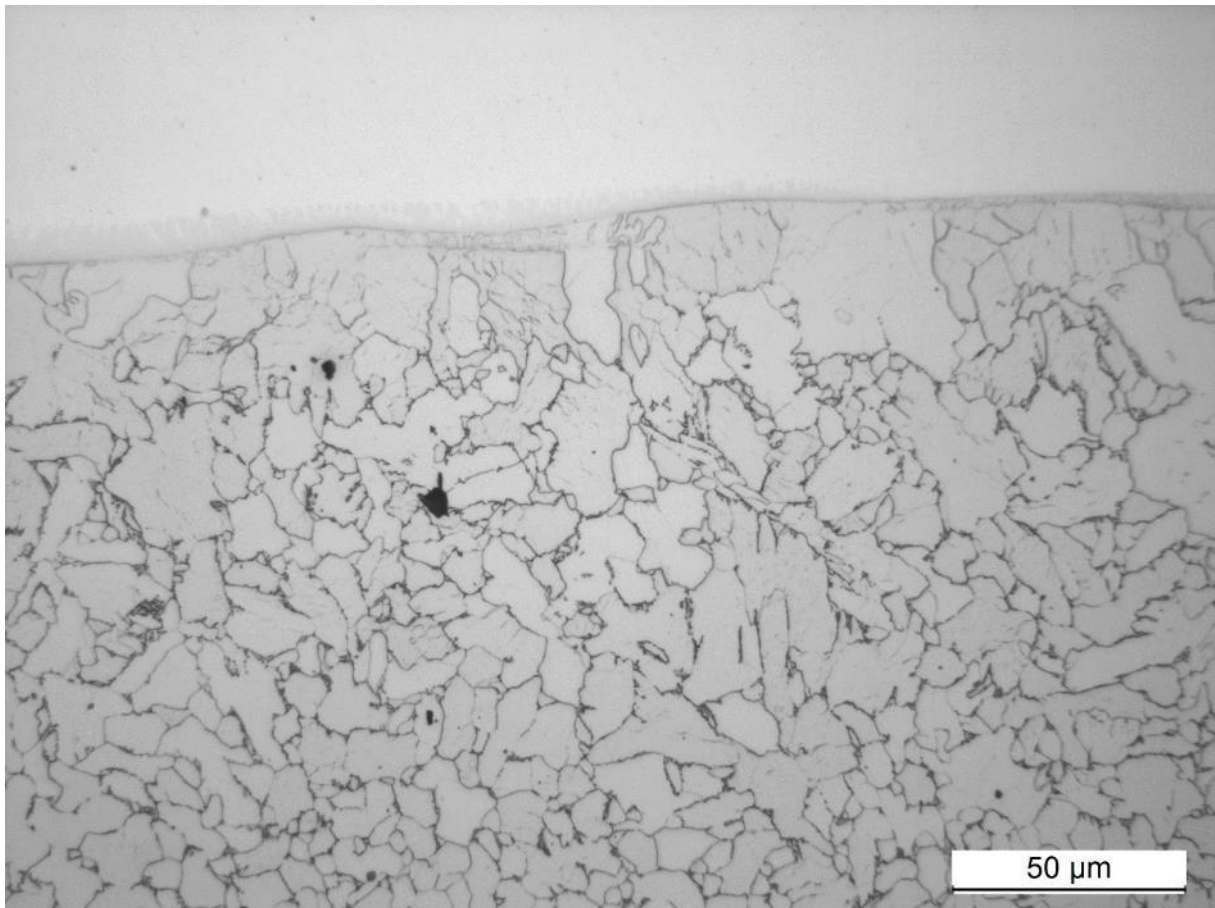
Kuva 20. IN625 AZZ, 650°C, 1000 h



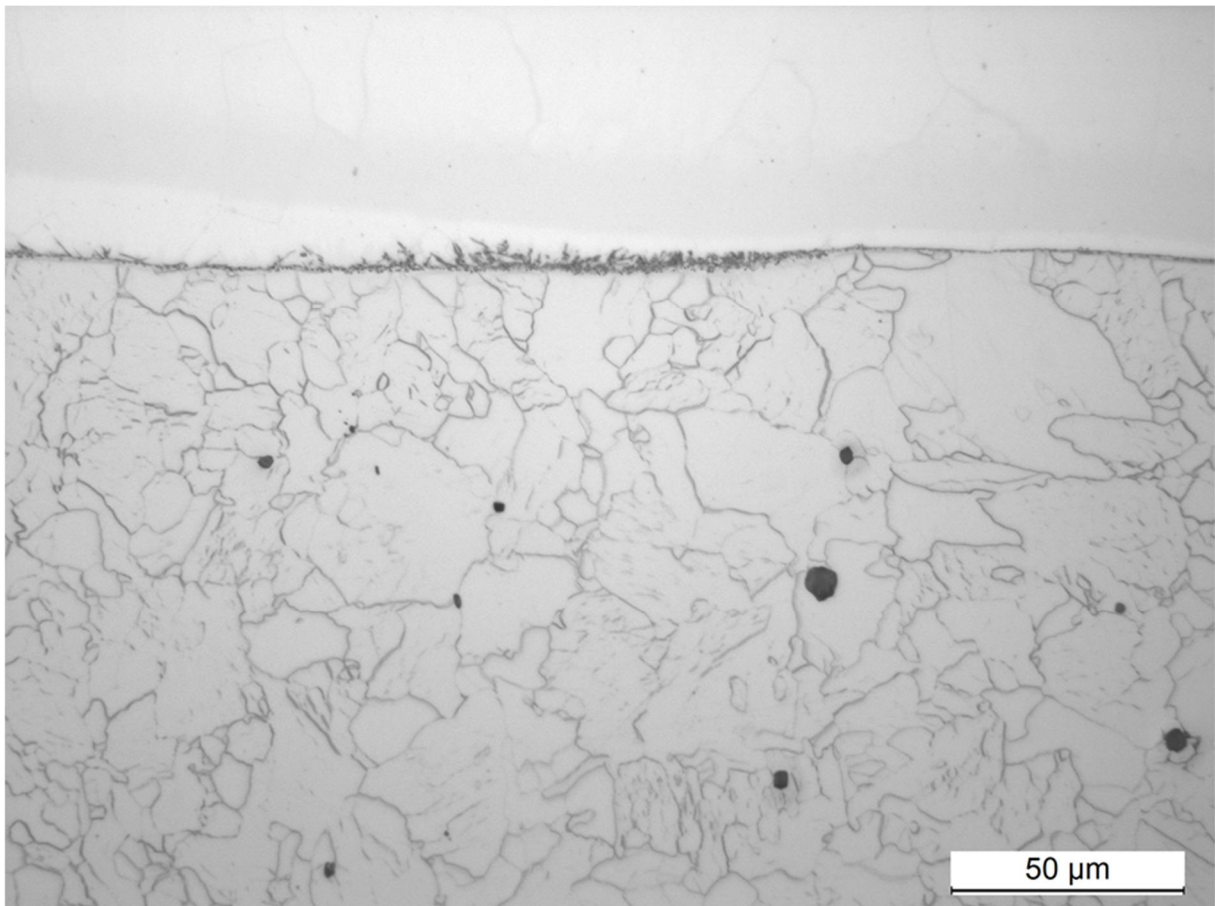
Kuva 21. IN625 AZZ, 700°C, 10 h



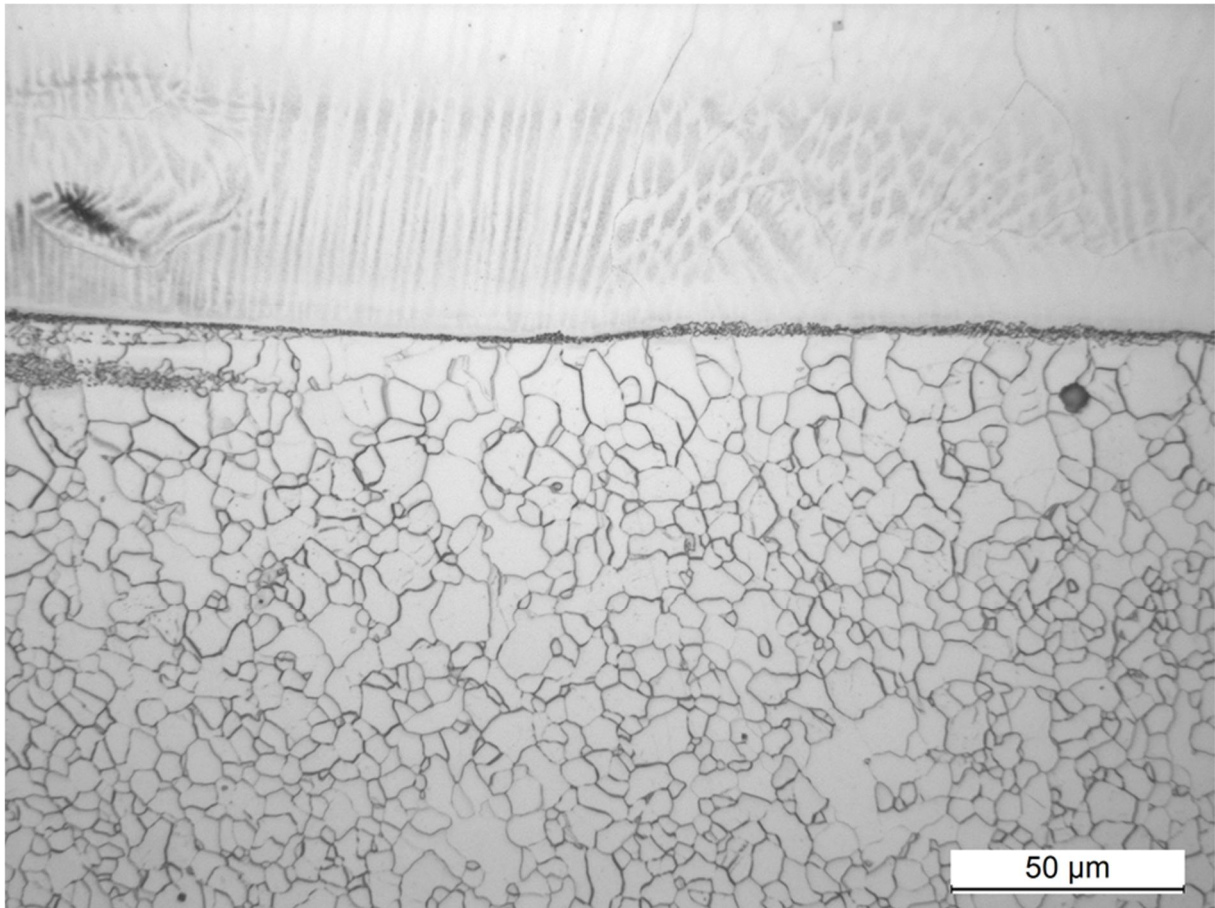
Kuva 22. IN625 AZZ, 700°C, 100 h



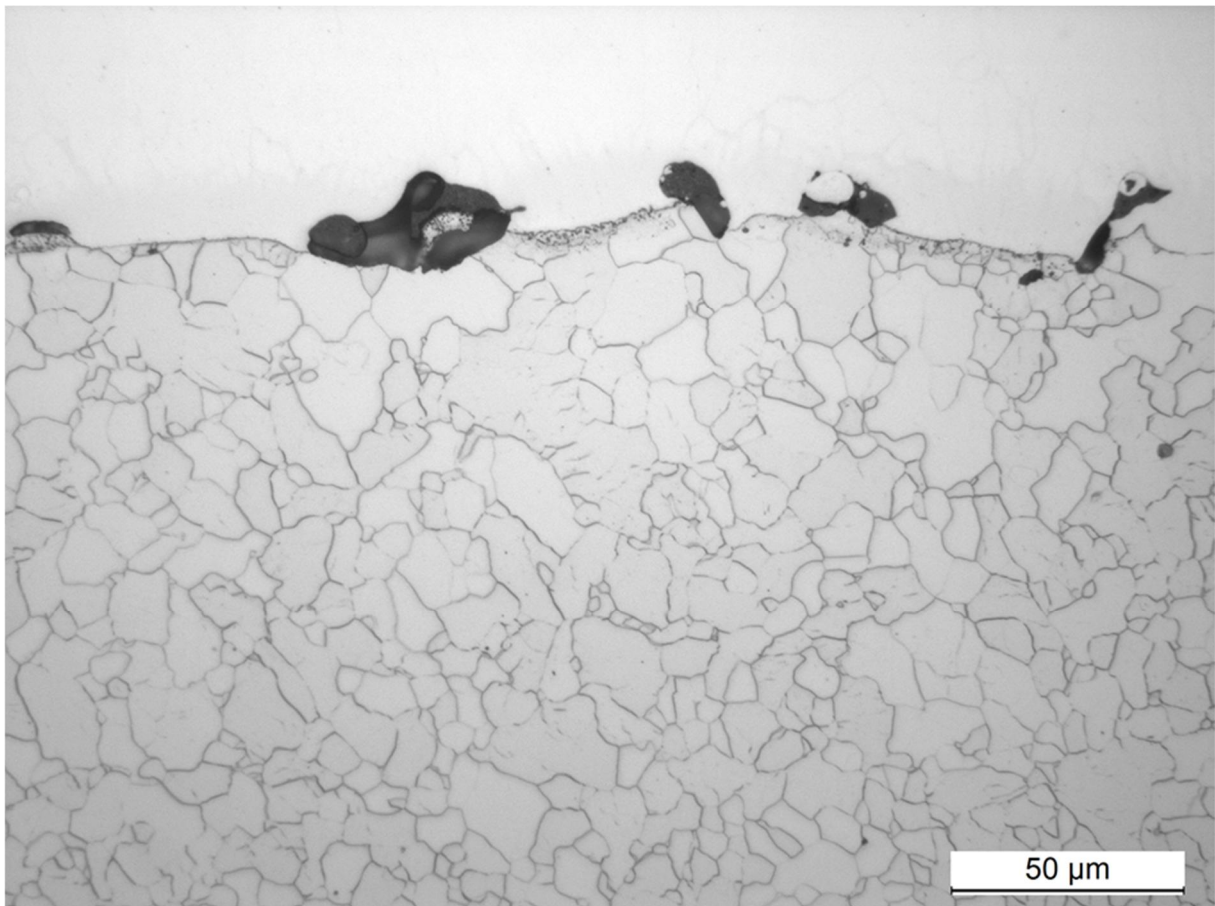
Kuva 23. IN825 AZZ rajapinta, toimitustila



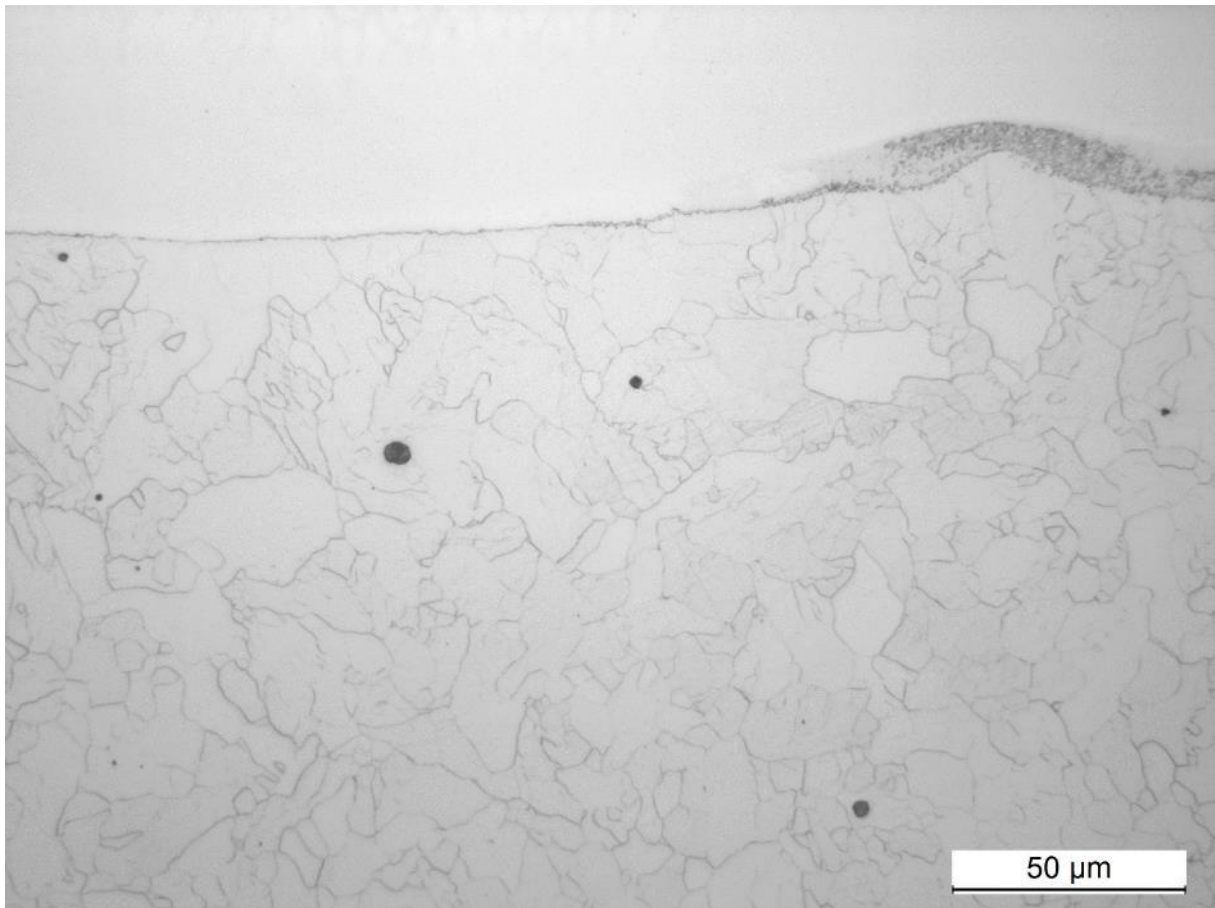
Kuva 24. IN825 AZZ rajapinta, 600°C, 100 h



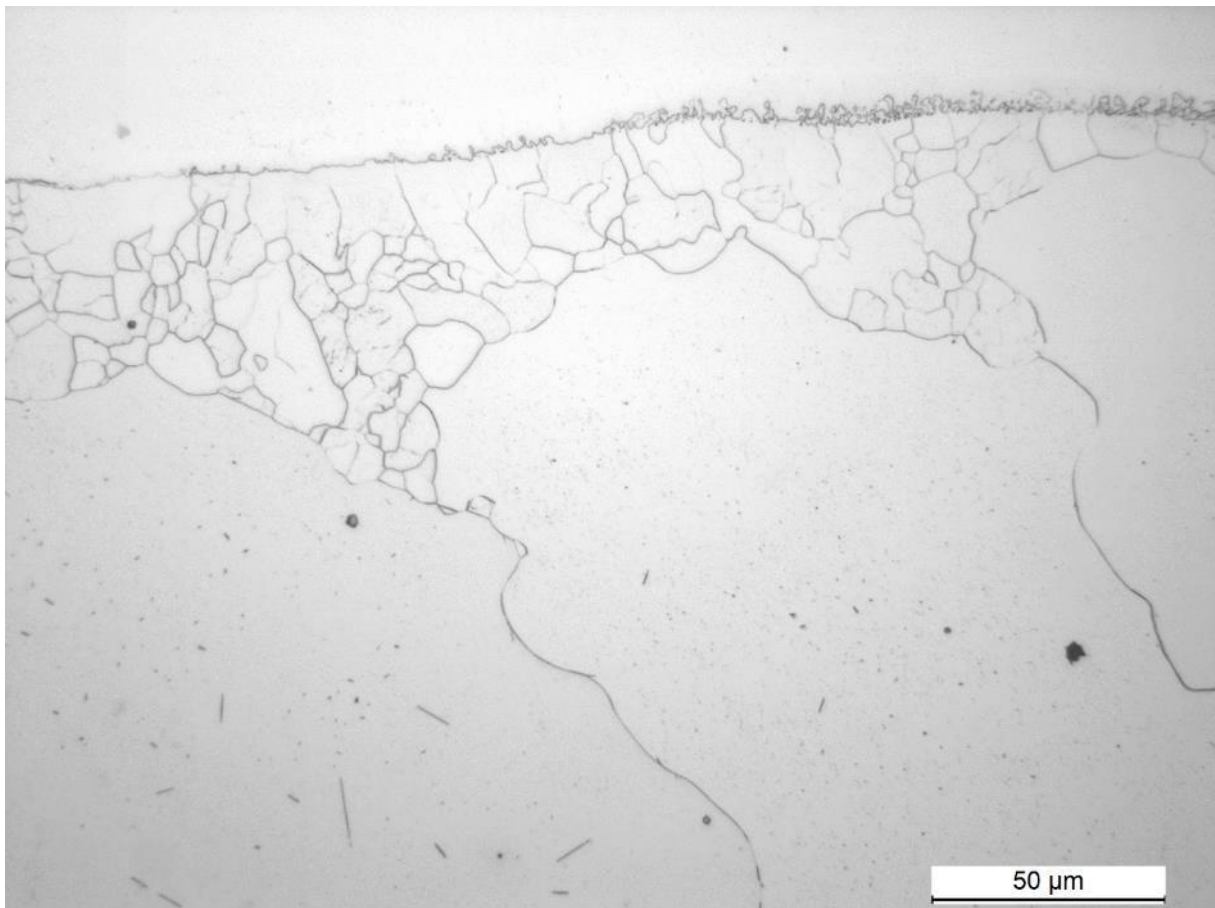
Kuva 25. IN825 AZZ rajapinta, 600°C, 1000 h



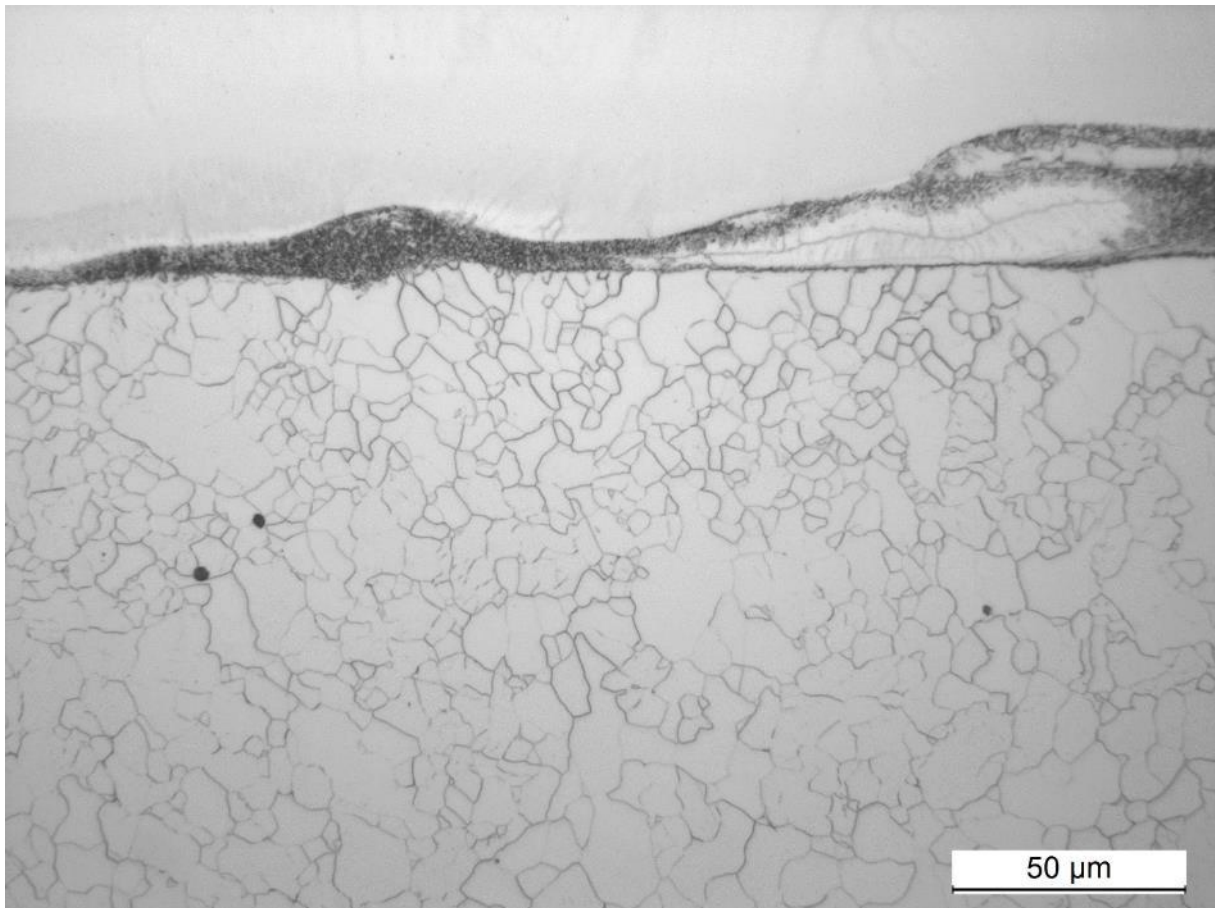
Kuva 26. IN825 AZZ, 650°C, 10 h



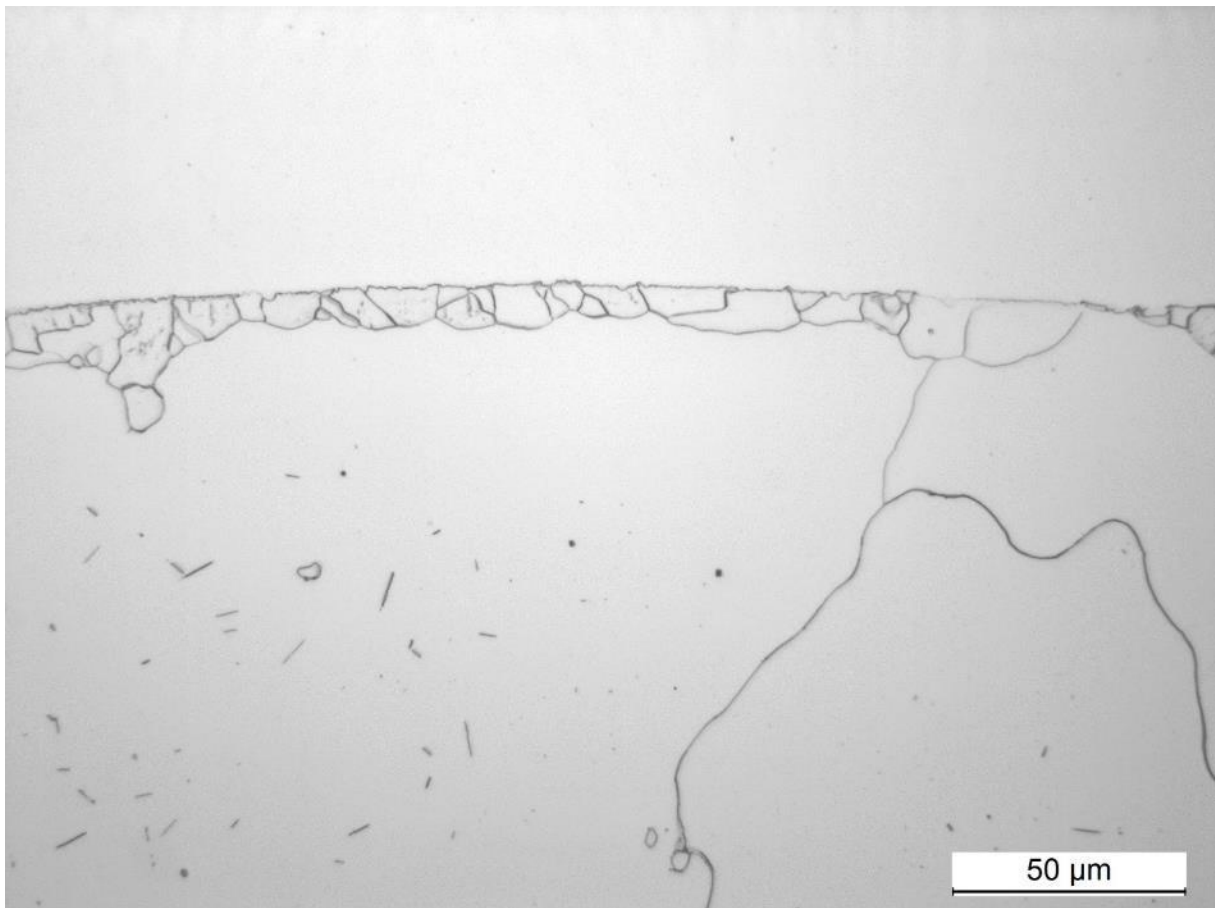
Kuva 27. IN825 AZZ, 650°C, 100 h



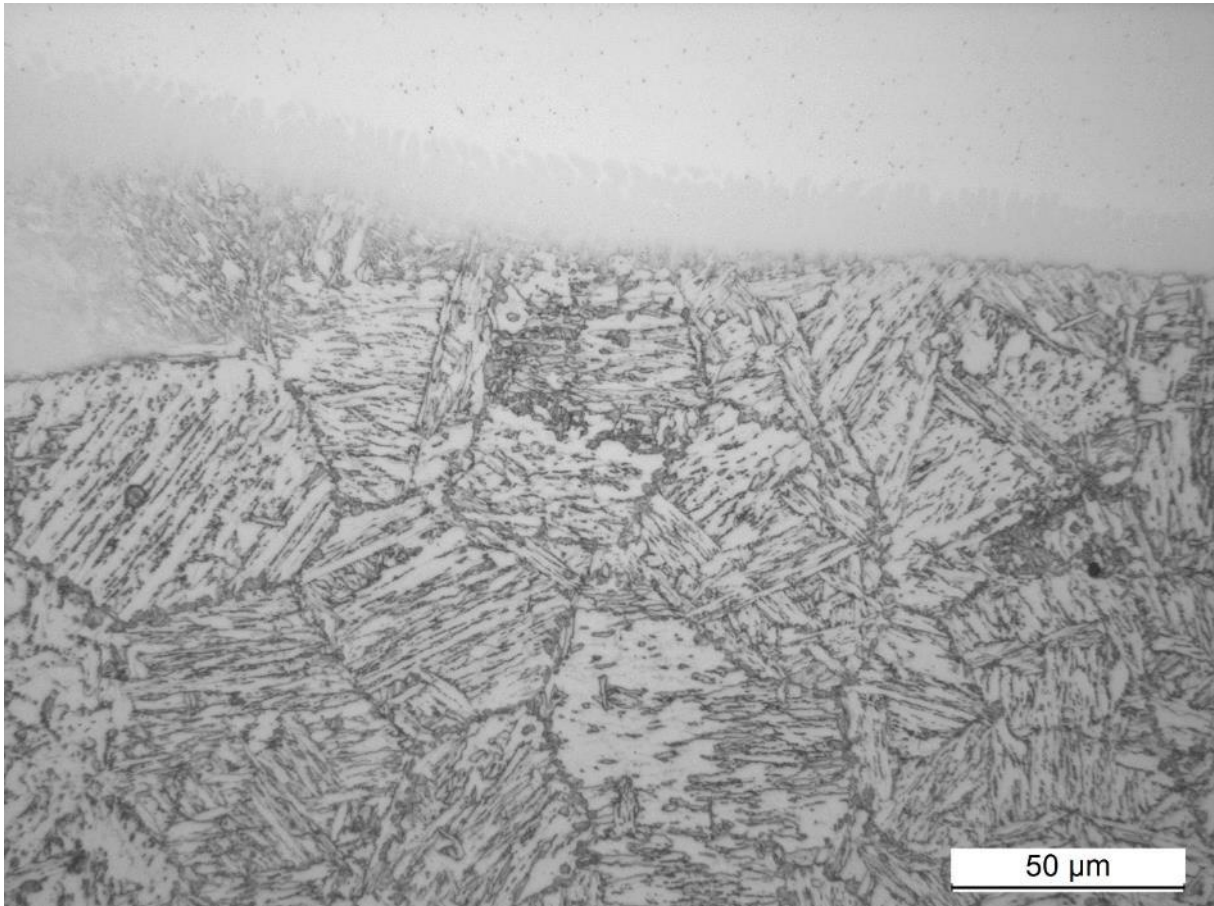
Kuva 28. IN825 AZZ, 650°C, 1000 h



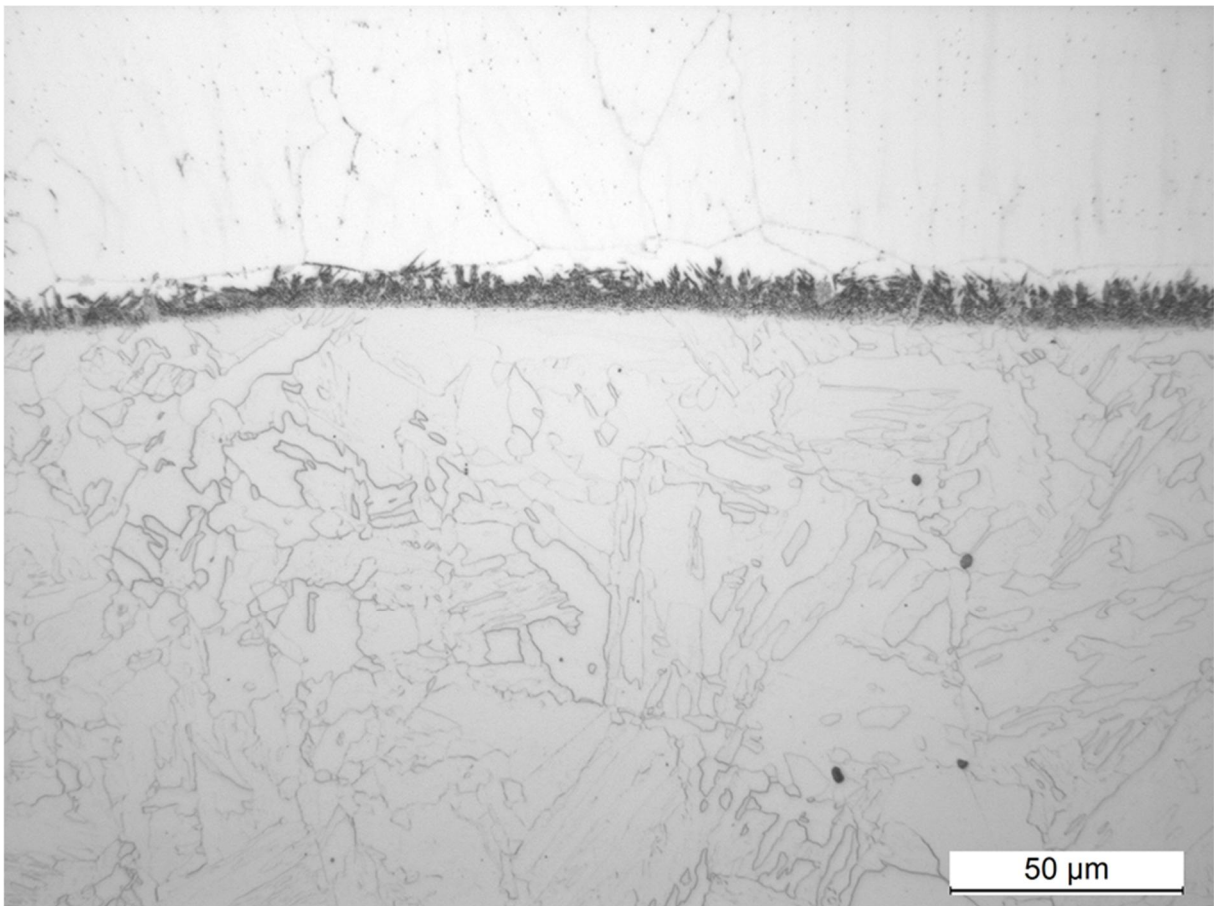
Kuva 29. IN825 AZZ, 700°C, 10 h



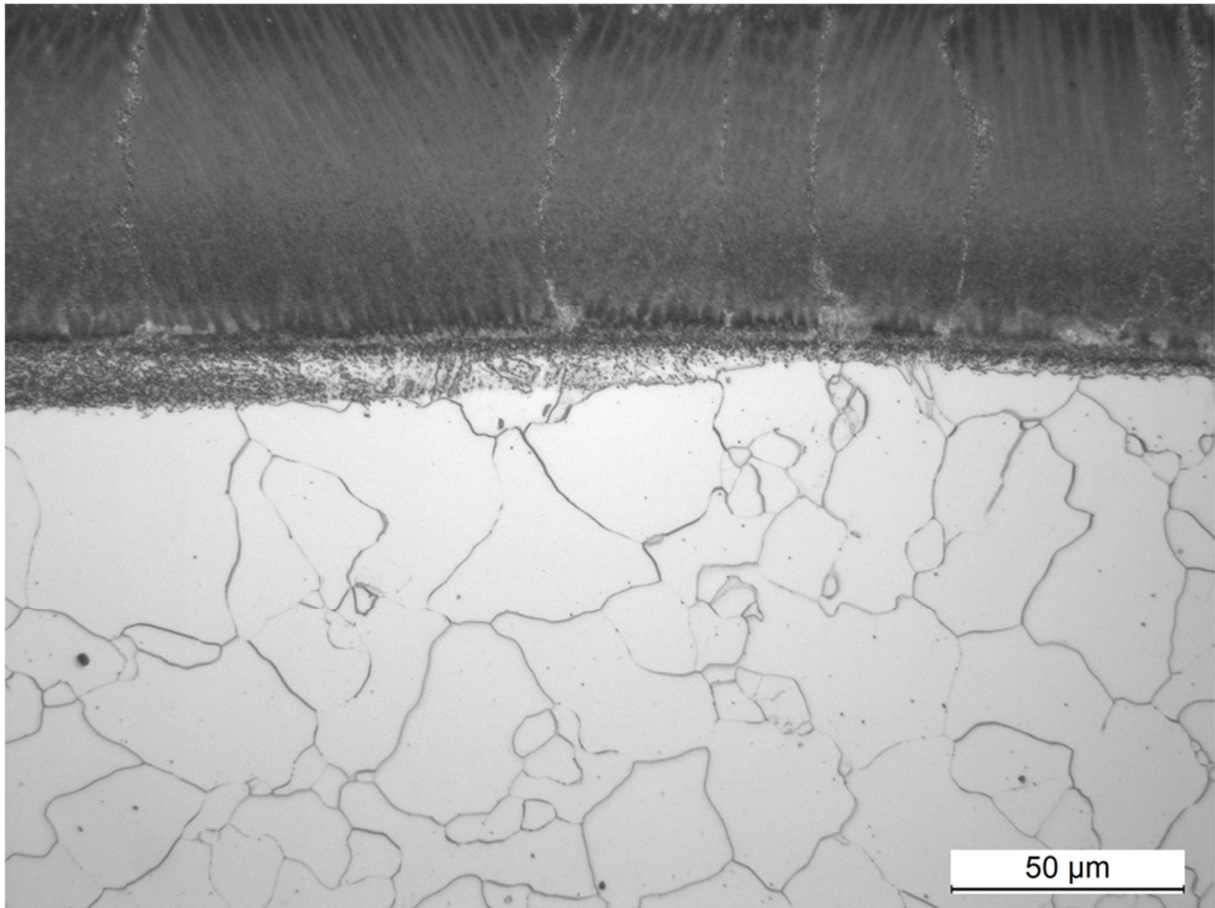
Kuva 30. IN825 AZZ, 700°C, 100 h



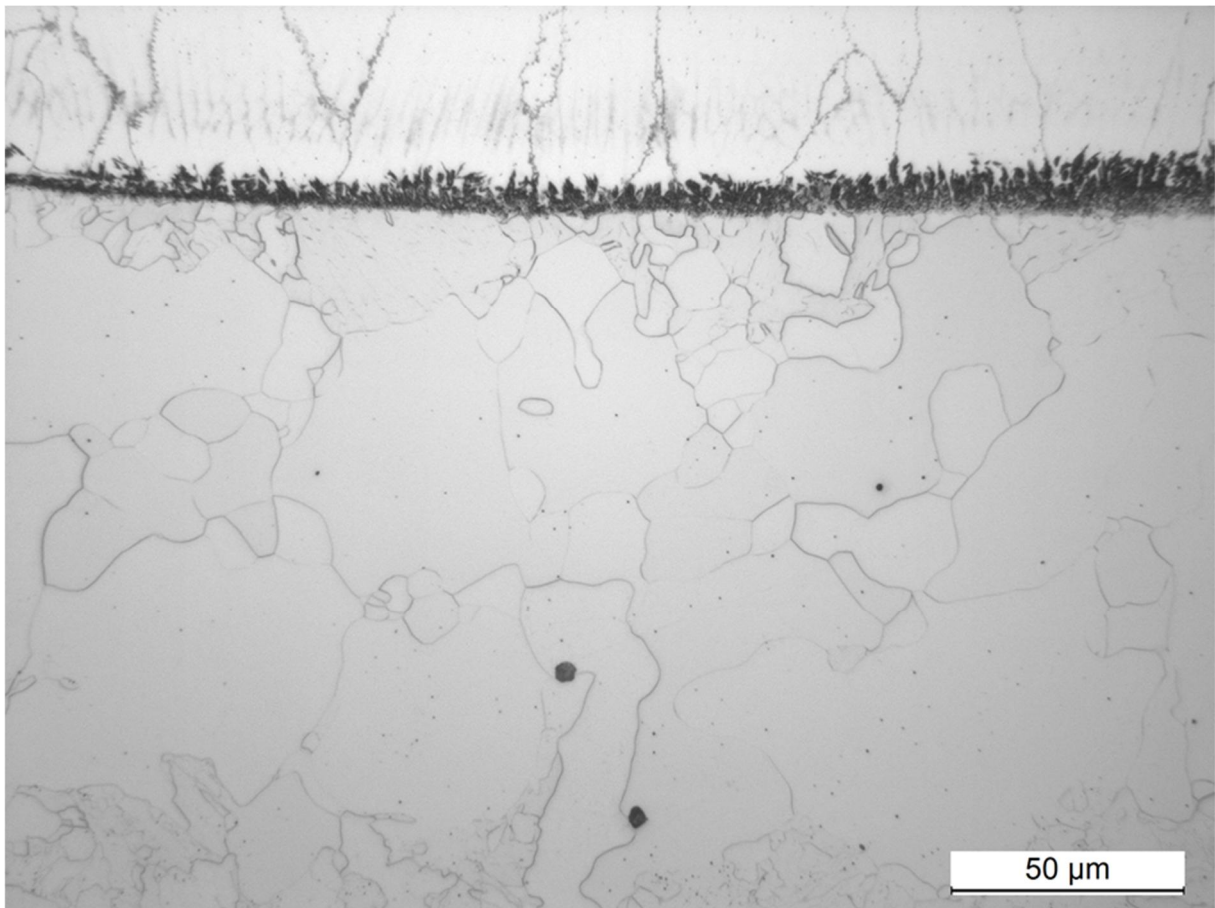
Kuva 31. 309 Uhlig, toimitustila



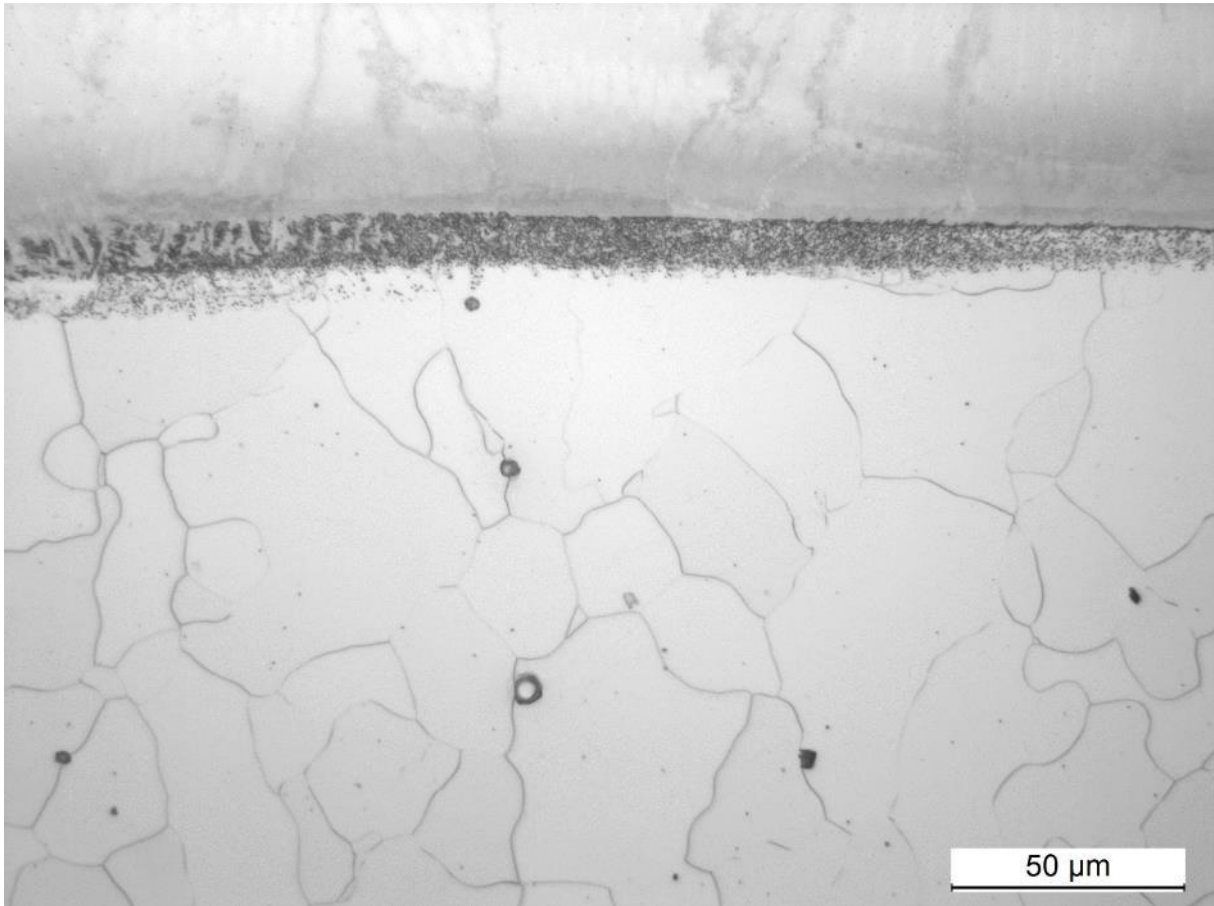
Kuva 32. 309 Uhlig, 600°C, 100 h



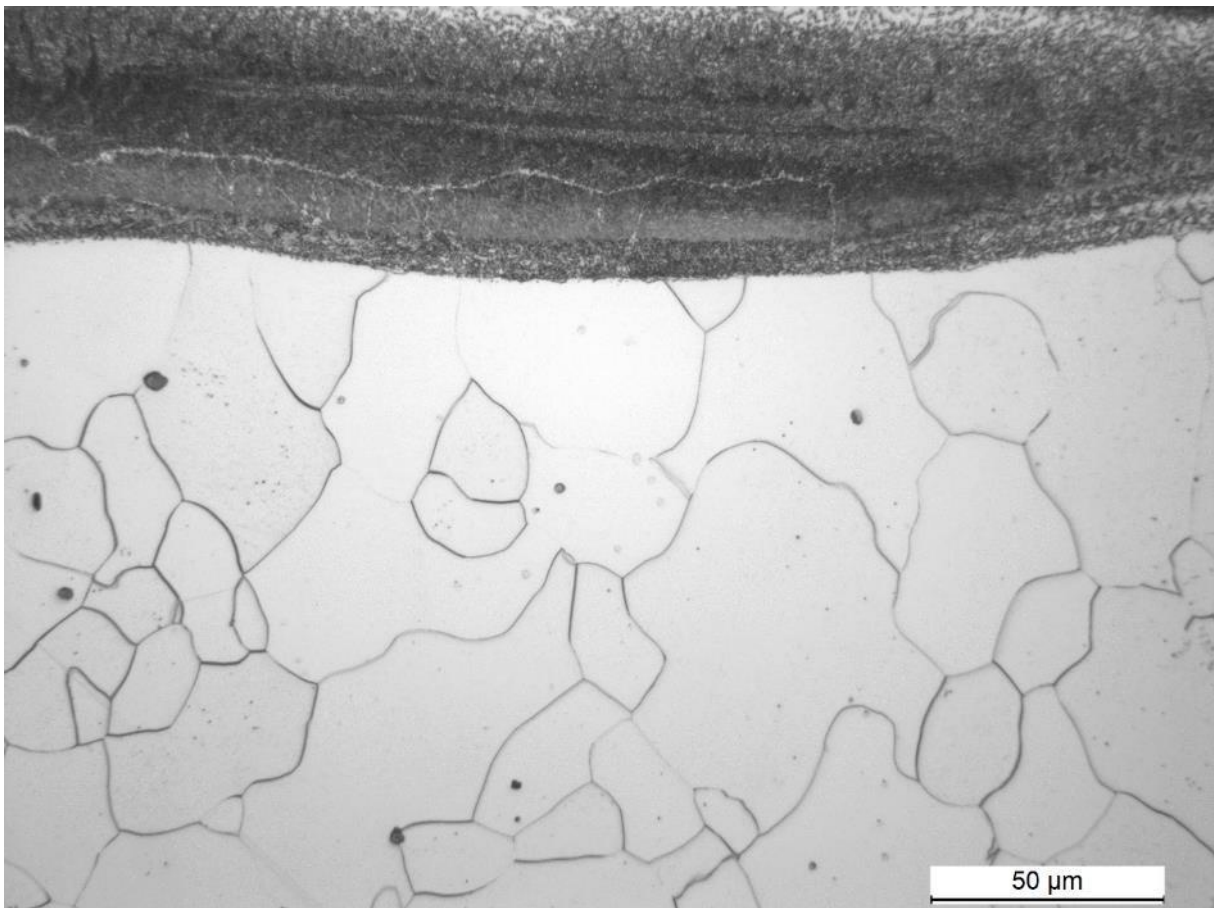
Kuva 33. 309 Uhlig, 600°C, 1000 h



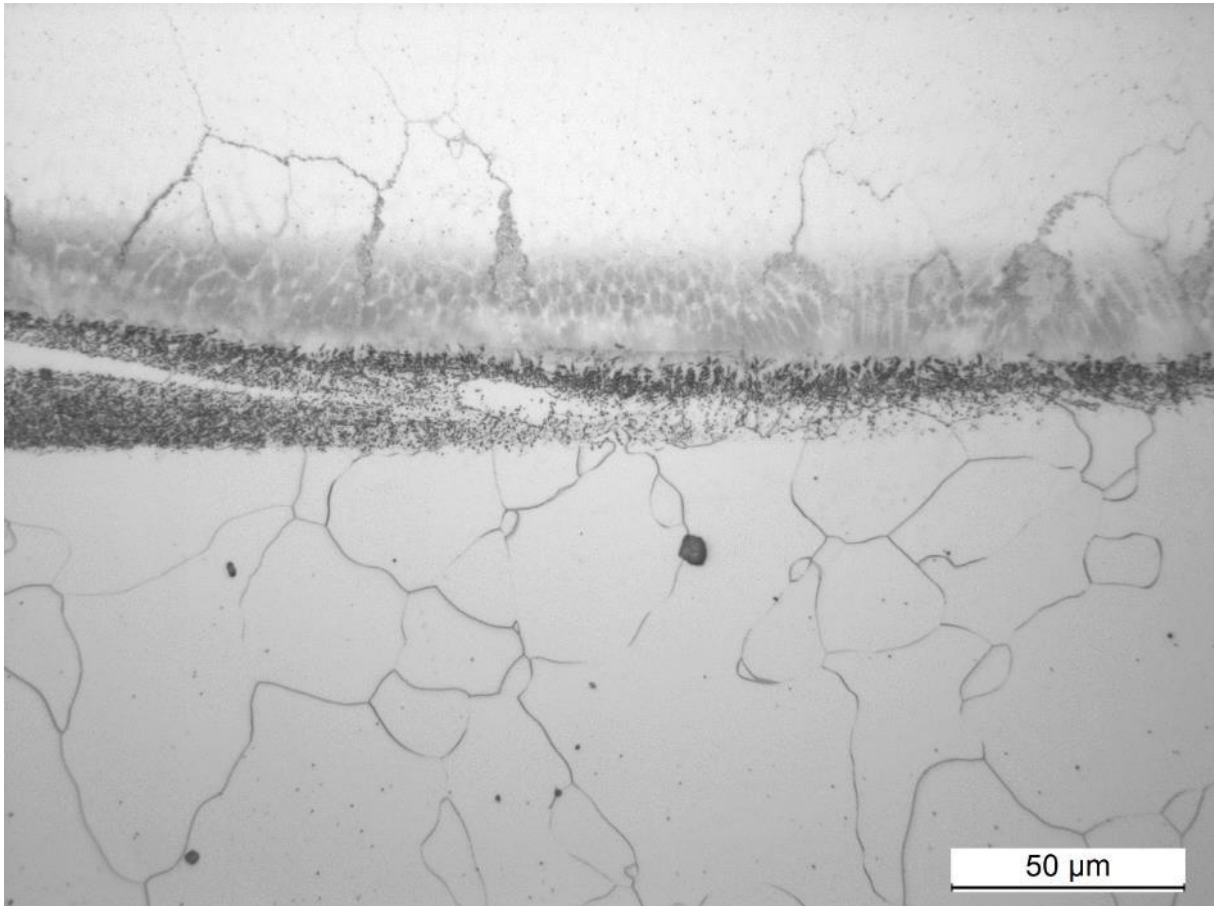
Kuva 34. 309 Uhlig, 650°C, 10 h



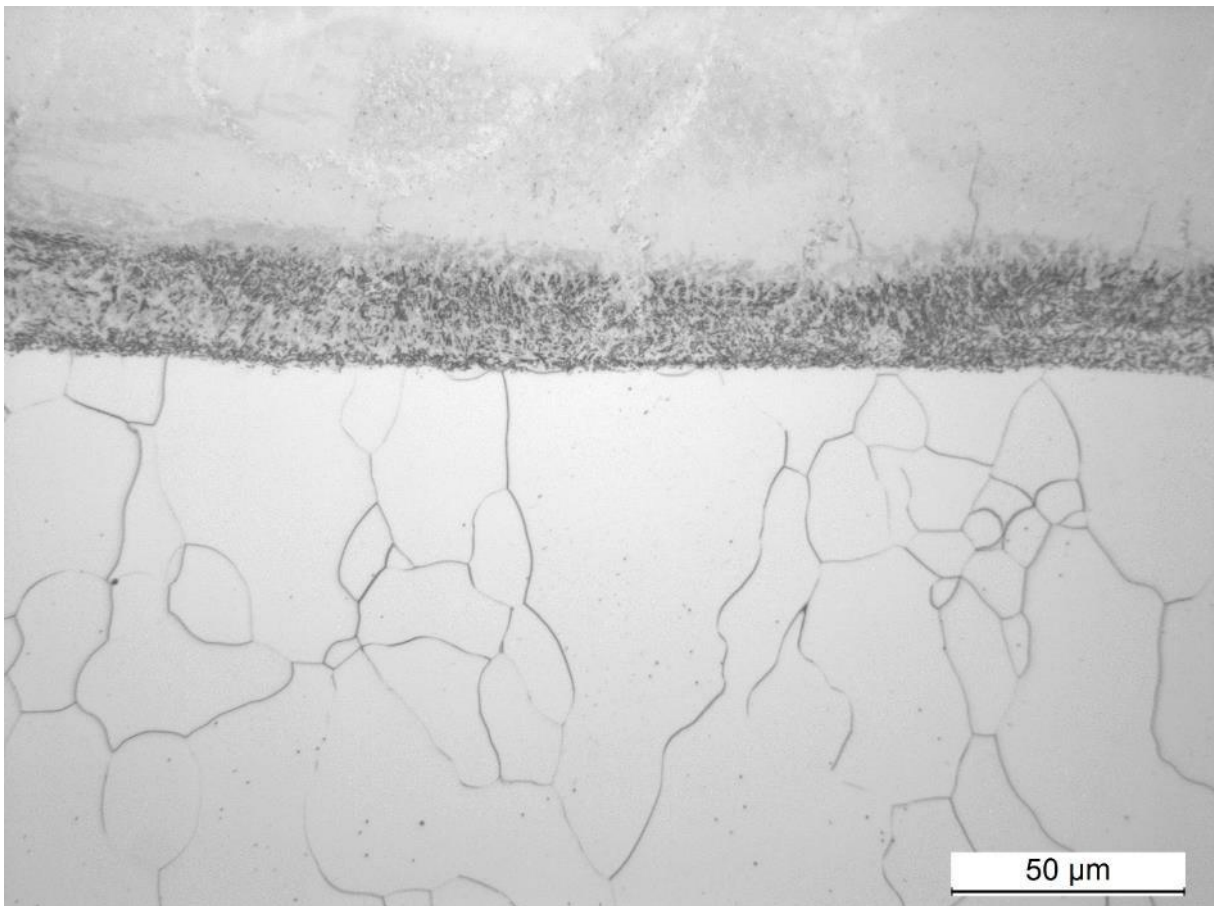
Kuva 35. 309 Uhlig, 650°C, 100 h



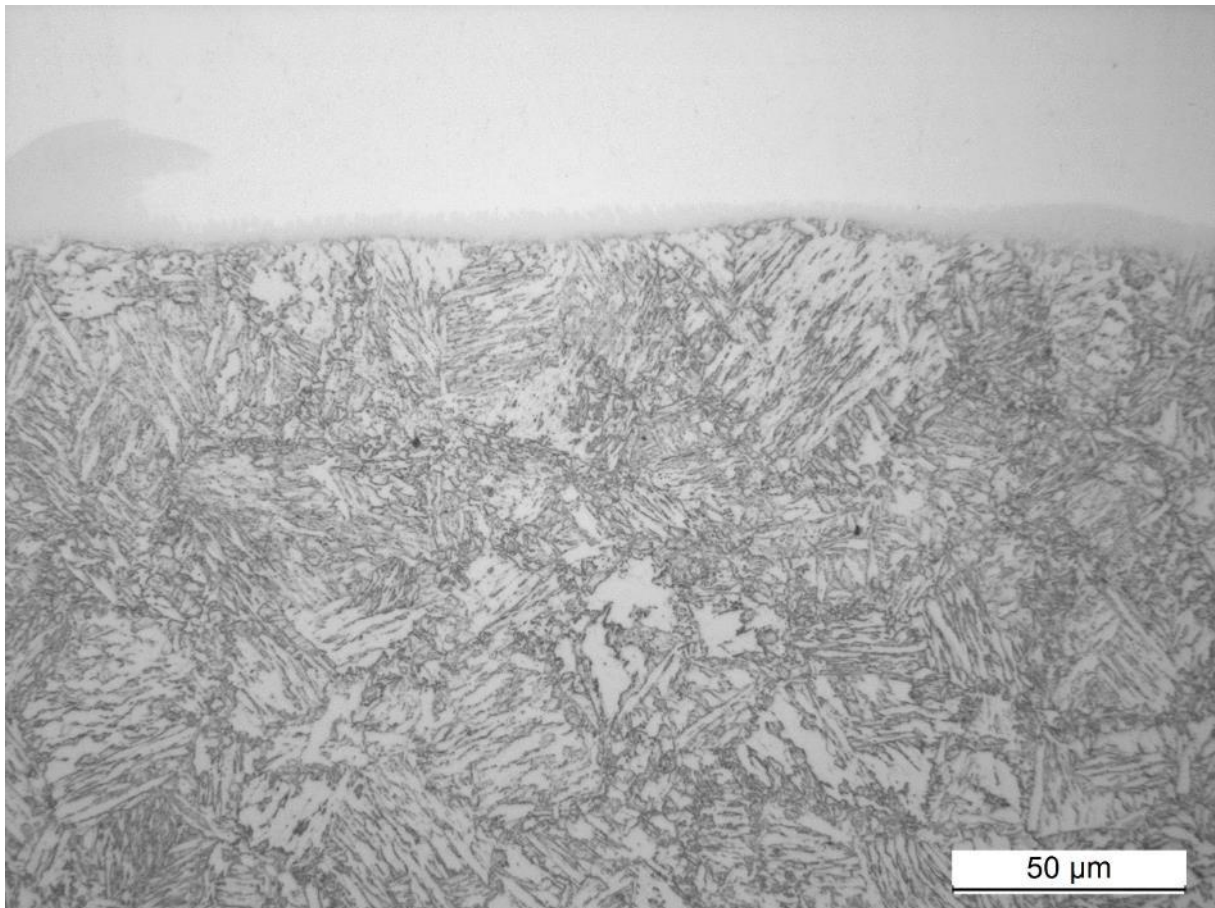
Kuva 36. 309 Uhlig, 650°C, 1000 h



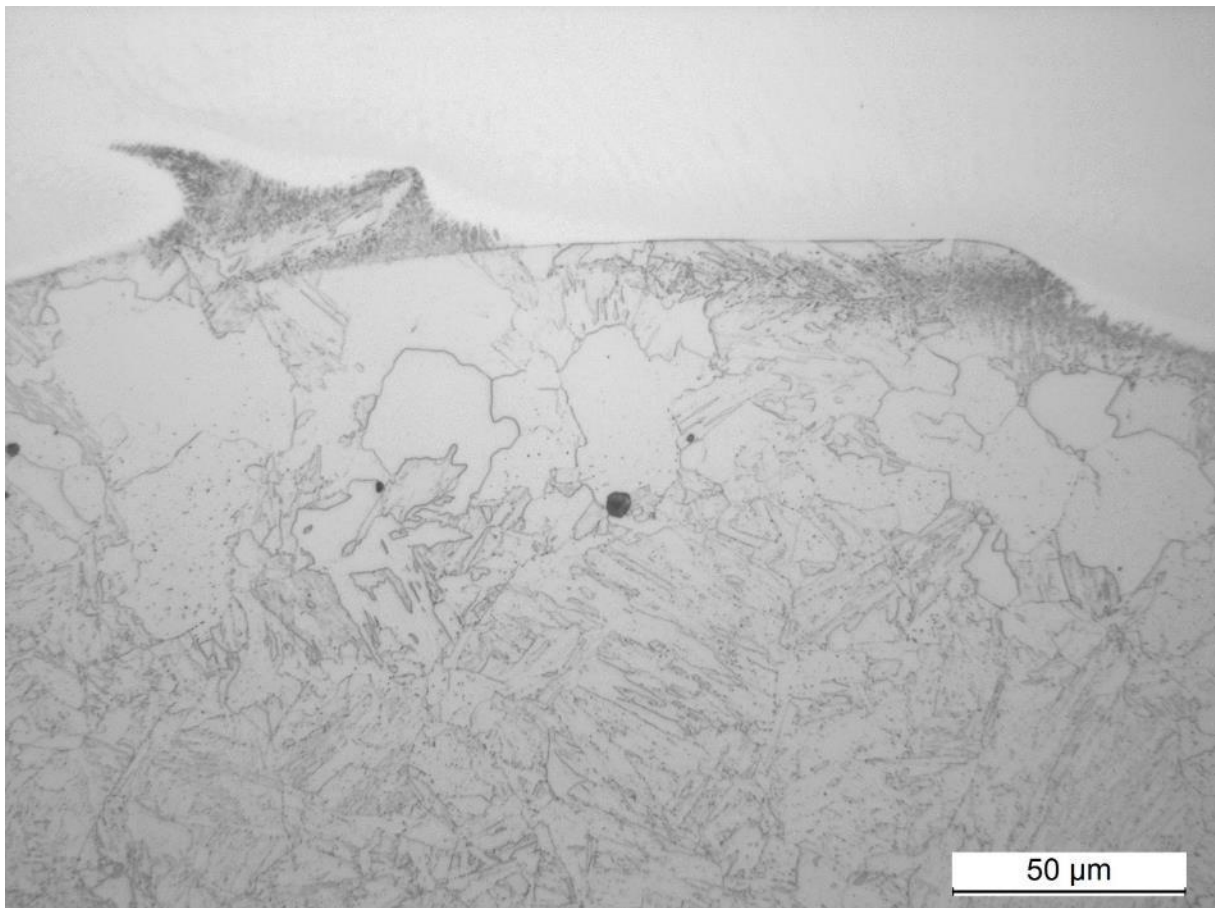
Kuva 37. 309 Uhlig, 700°C, 10 h



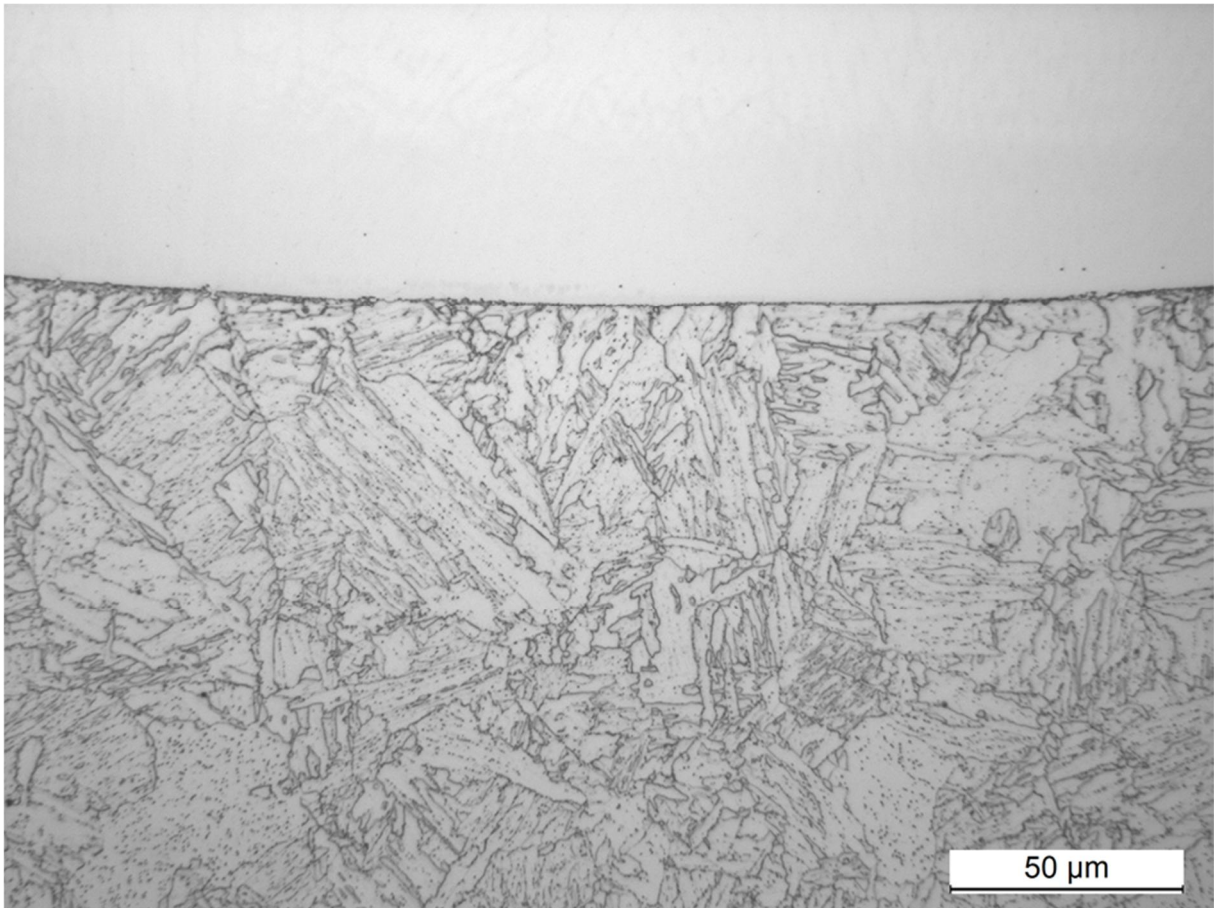
Kuva 38. 309 Uhlig, 700°C, 100 h



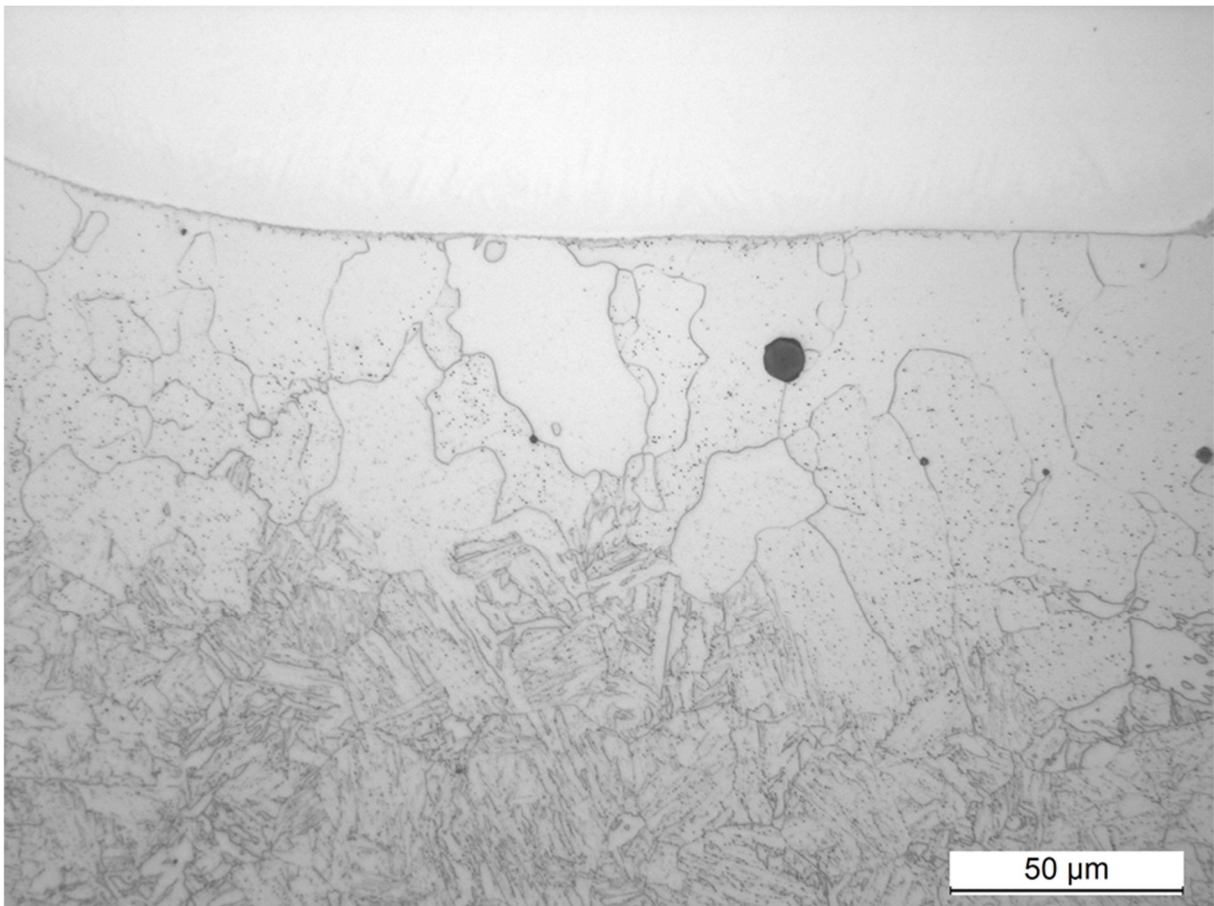
Kuva 39. IN625 Uhlig, toimitustila



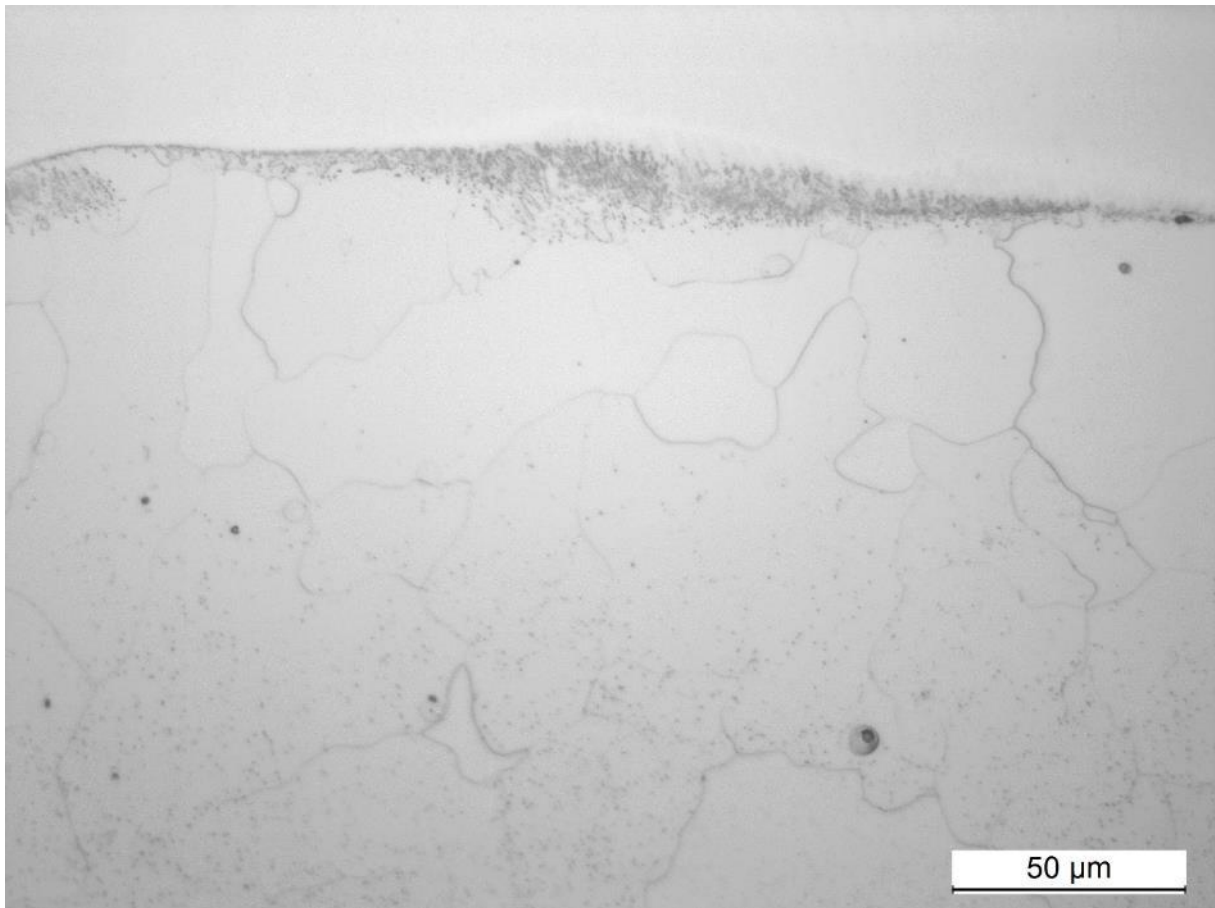
Kuva 40. IN625 Uhlig, 600°C, 100 h



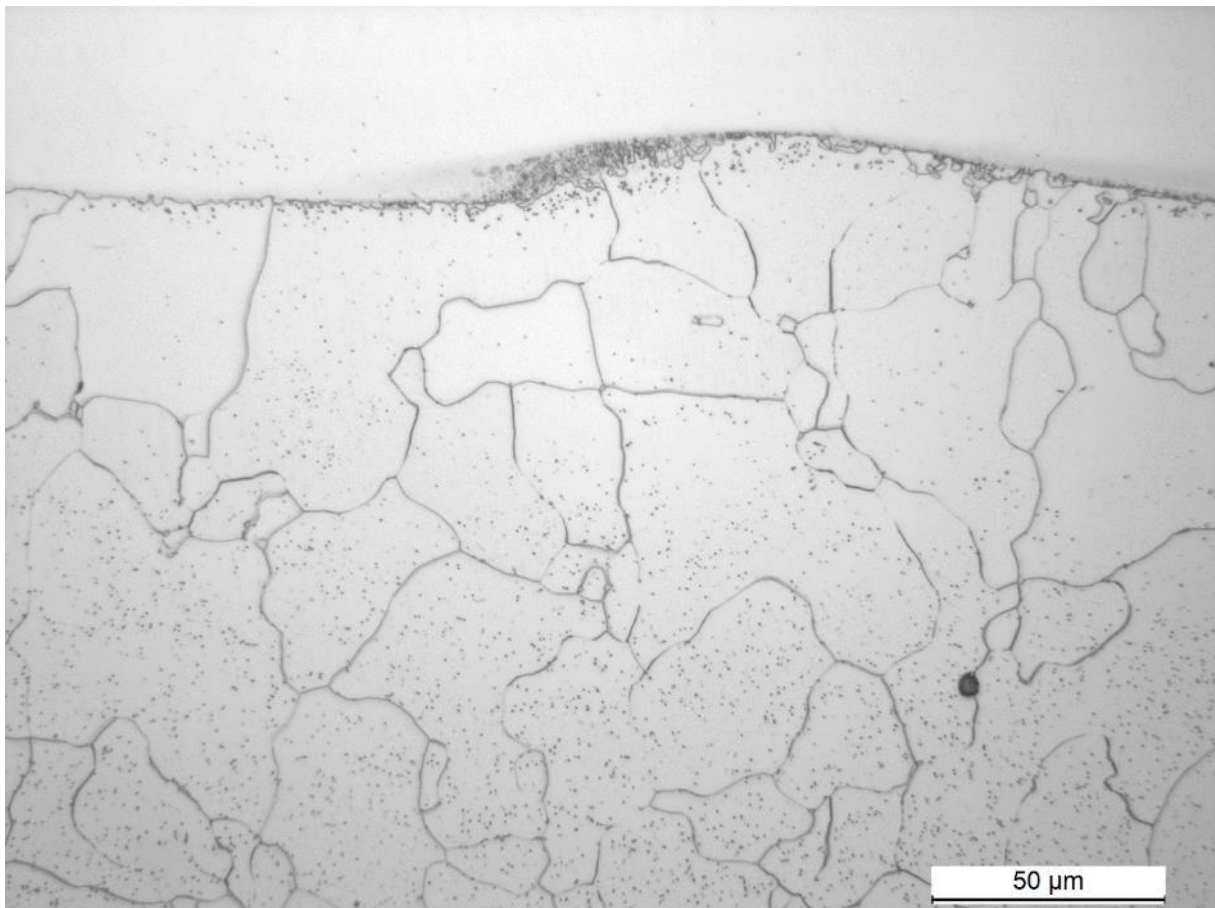
Kuva 41. IN625 Uhlig, 600°C, 1000 h



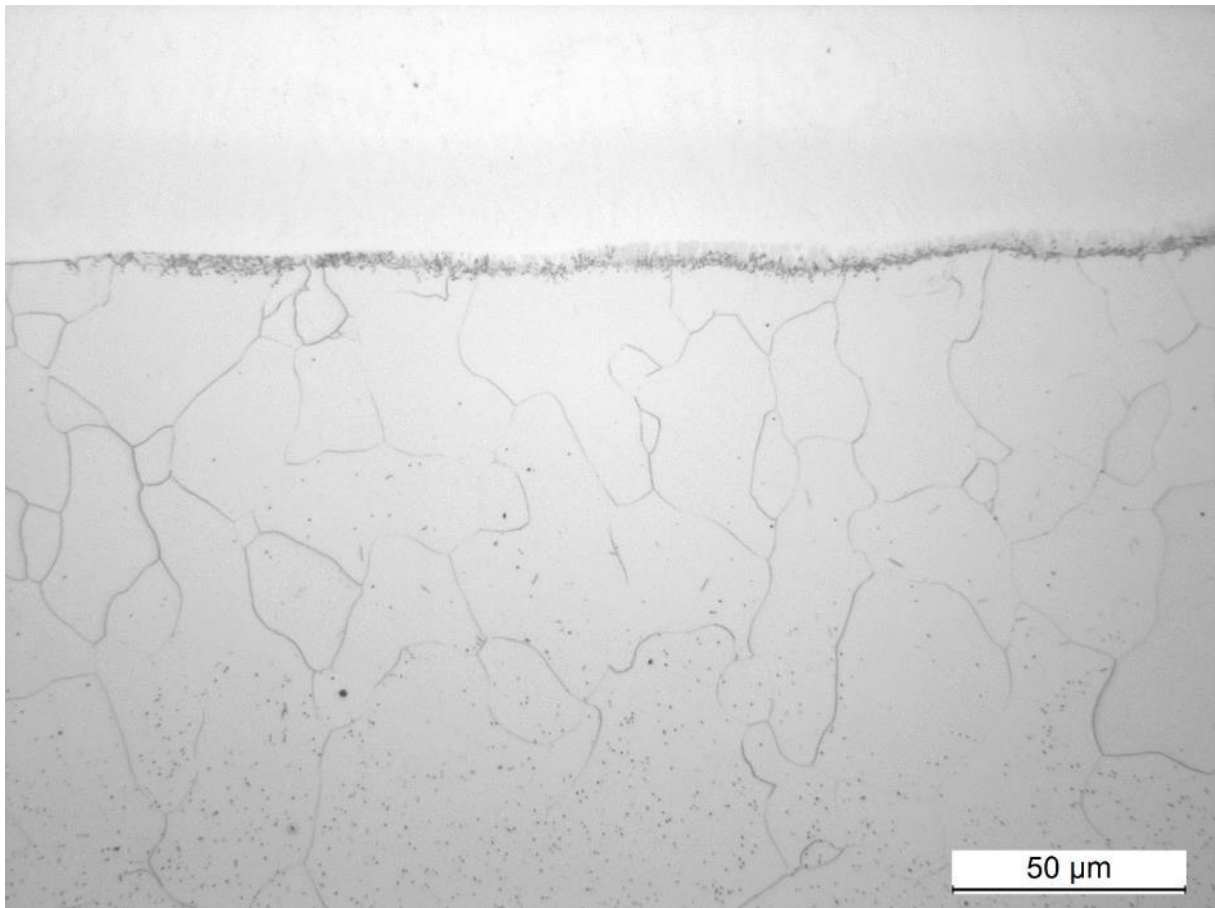
Kuva 42. IN625 Uhlig, 650°C, 10 h



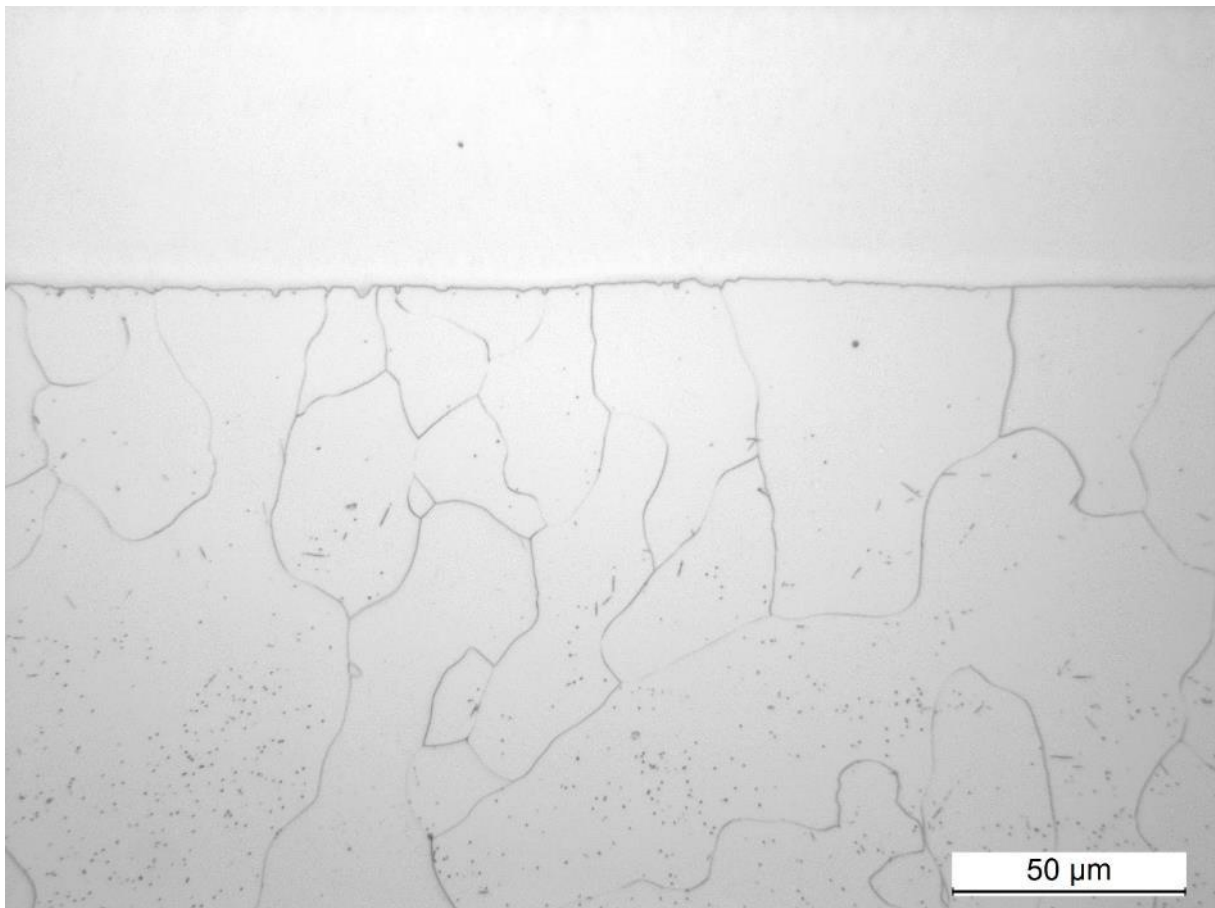
Kuva 43. IN625 Uhlig, 650°C, 100 h



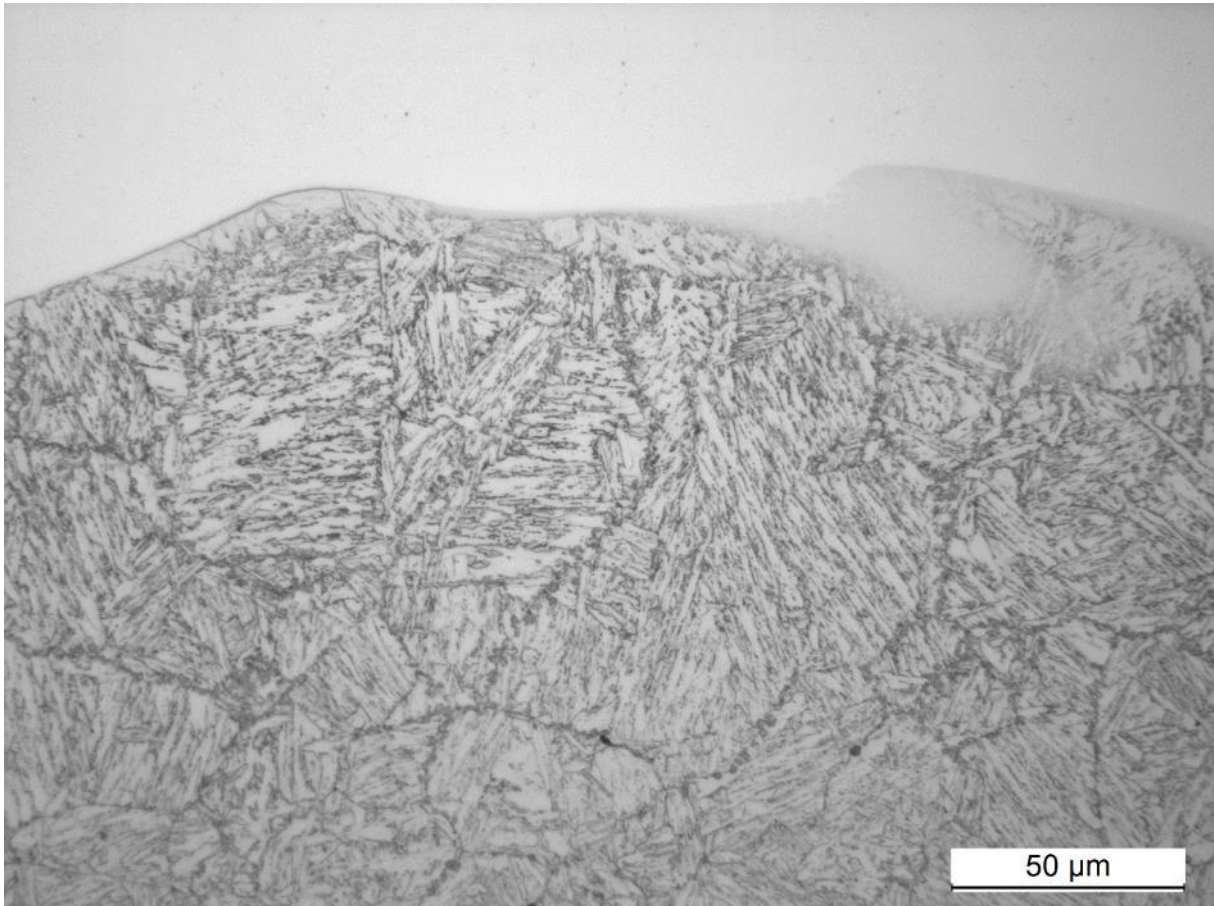
Kuva 44. IN625 Uhlig, 650°C, 1000 h



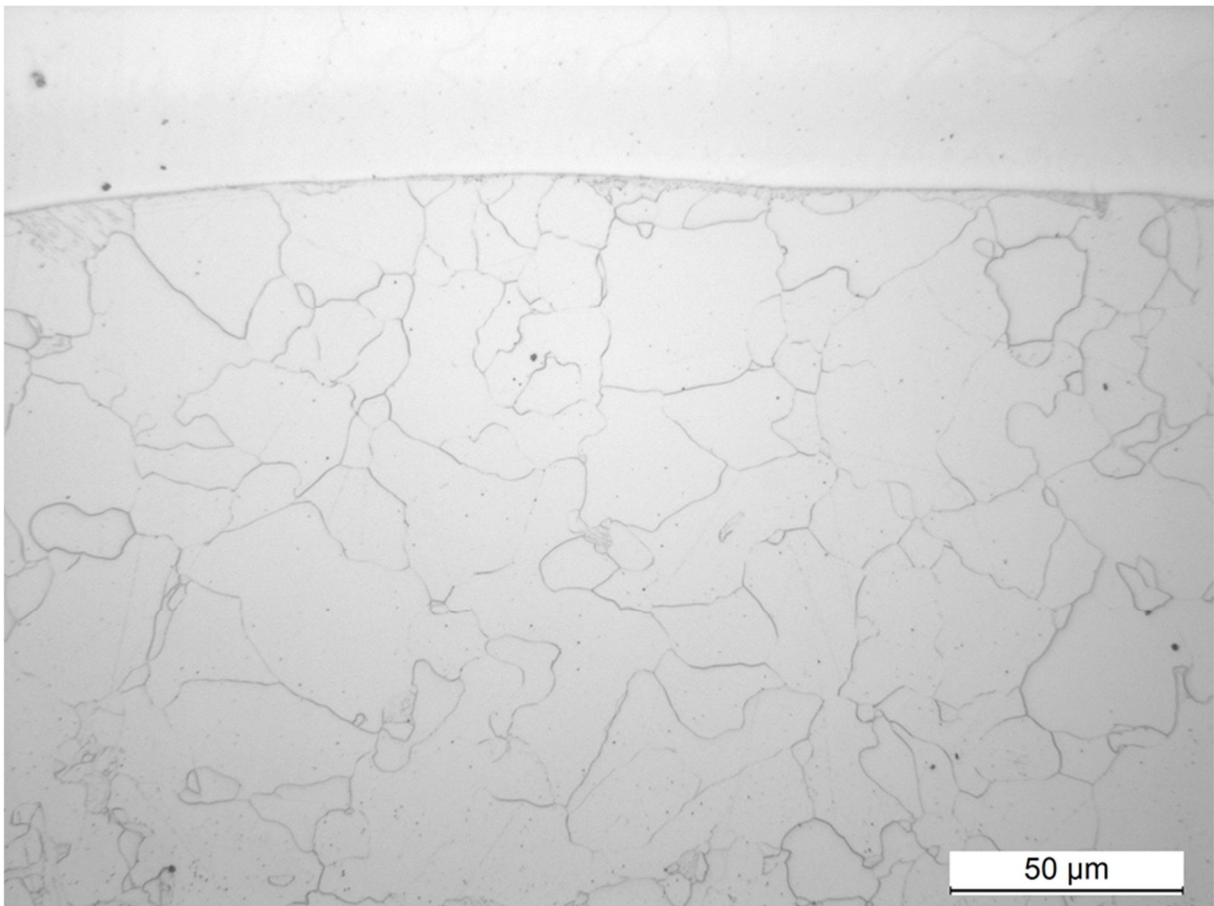
Kuva 45. IN625 Uhlig, 700°C, 10 h



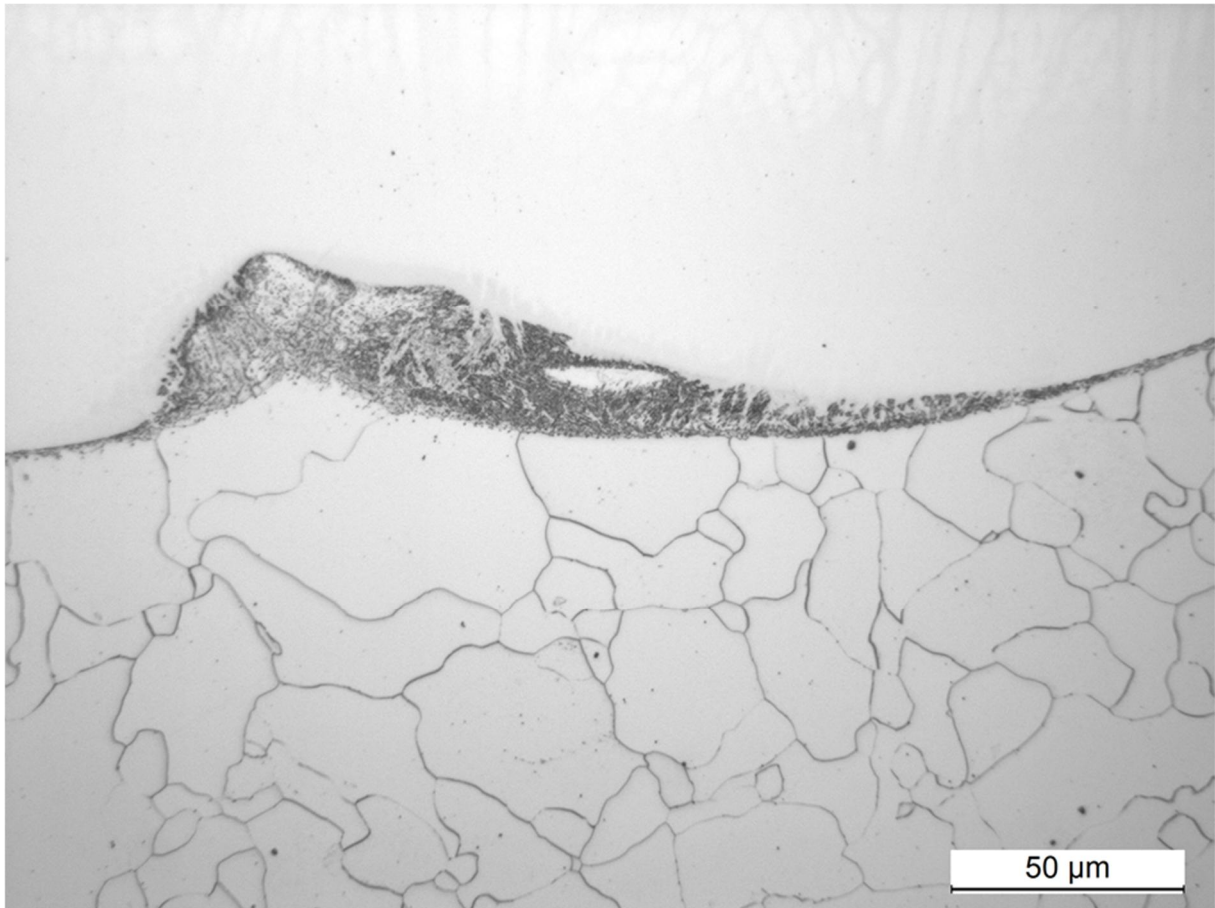
Kuva 46. IN625 Uhlig, 700°C, 100 h



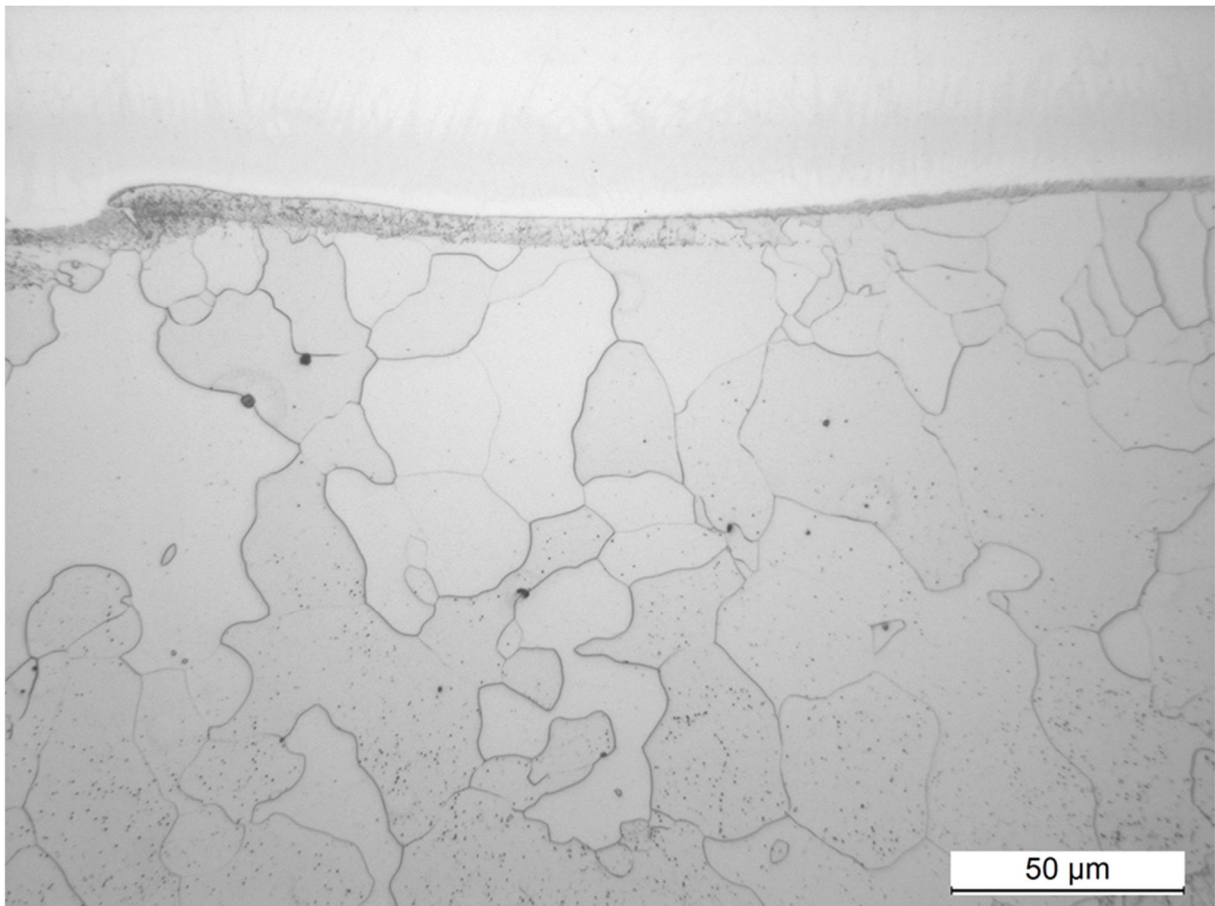
Kuva 47. IN825 Uhlig, toimitustila



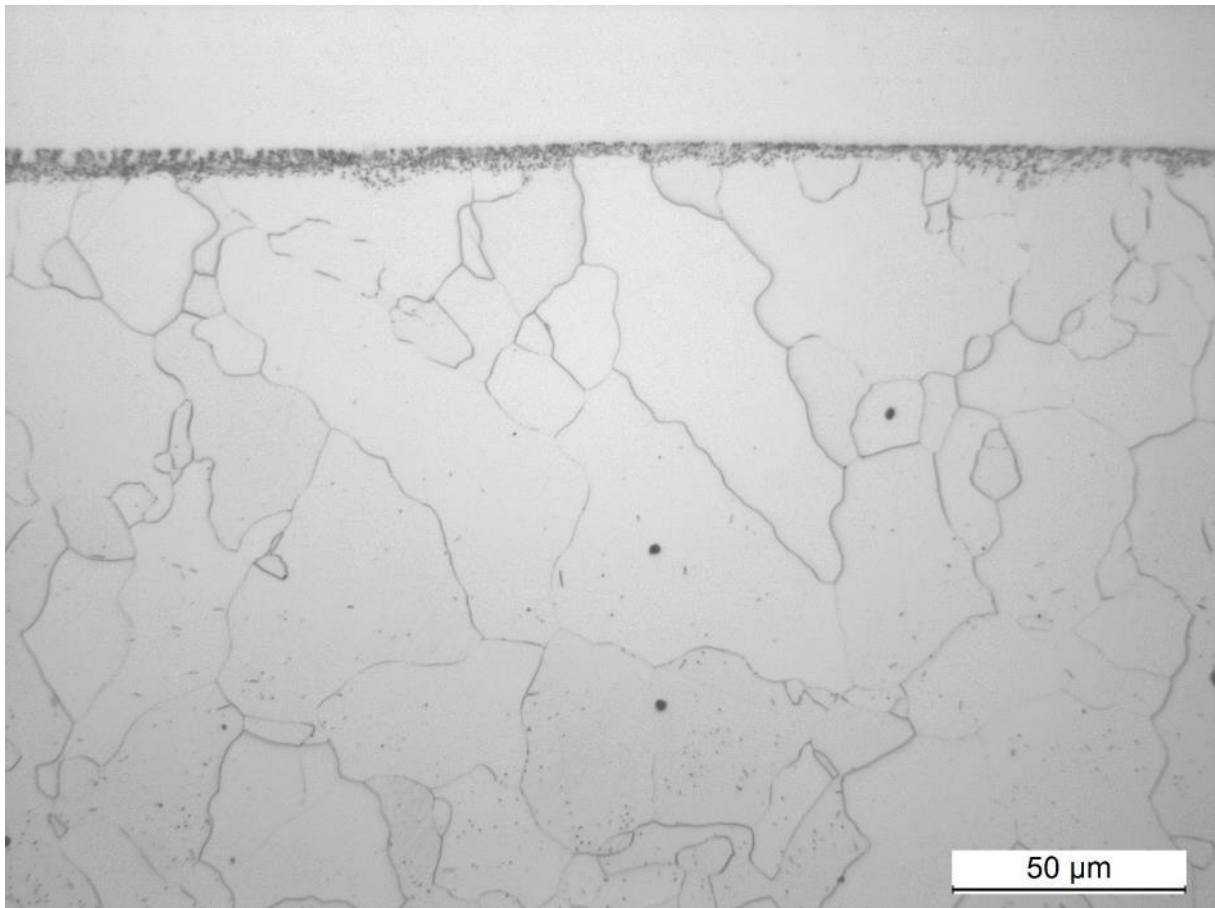
Kuva 48. IN825 Uhlig, 600°C, 100 h



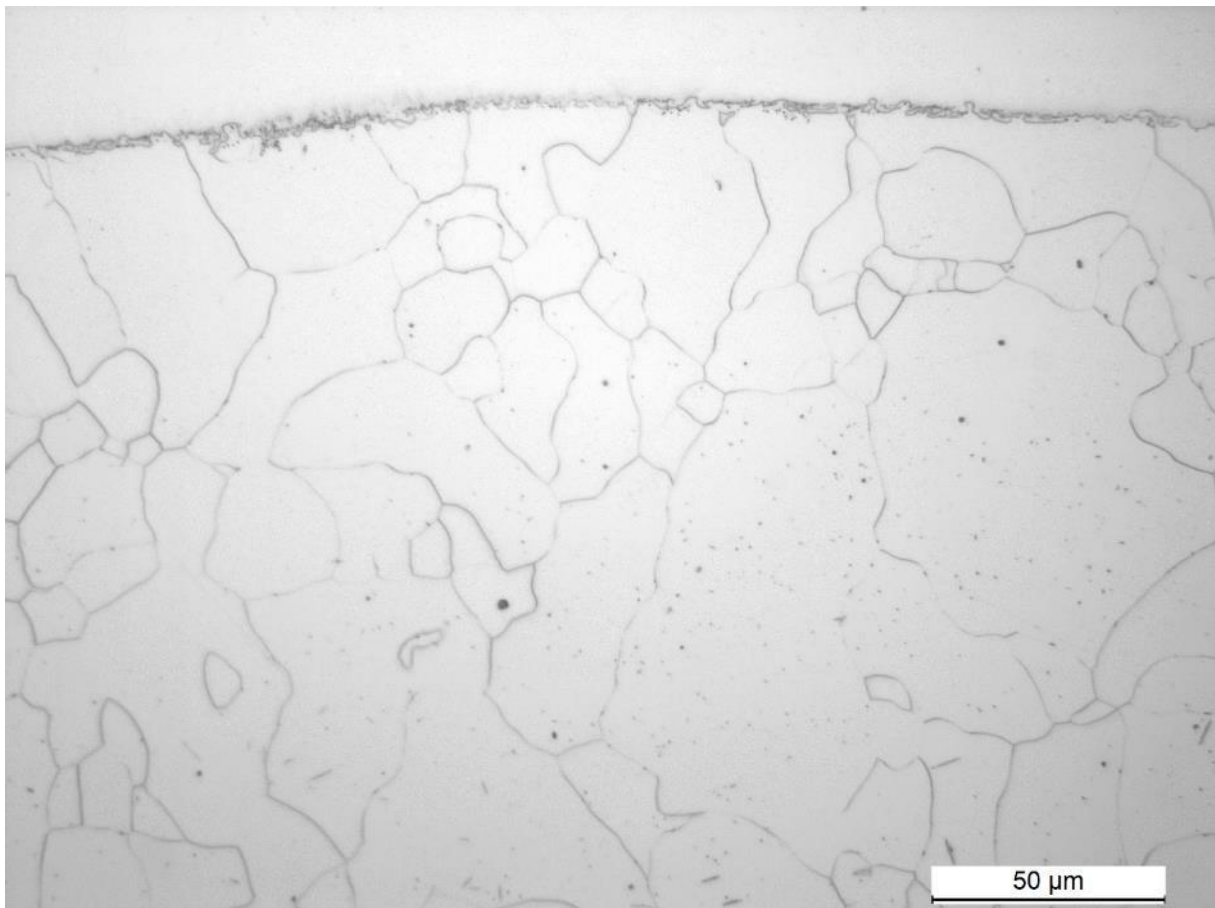
Kuva 49. IN825 Uhlig, 600°C, 1000 h



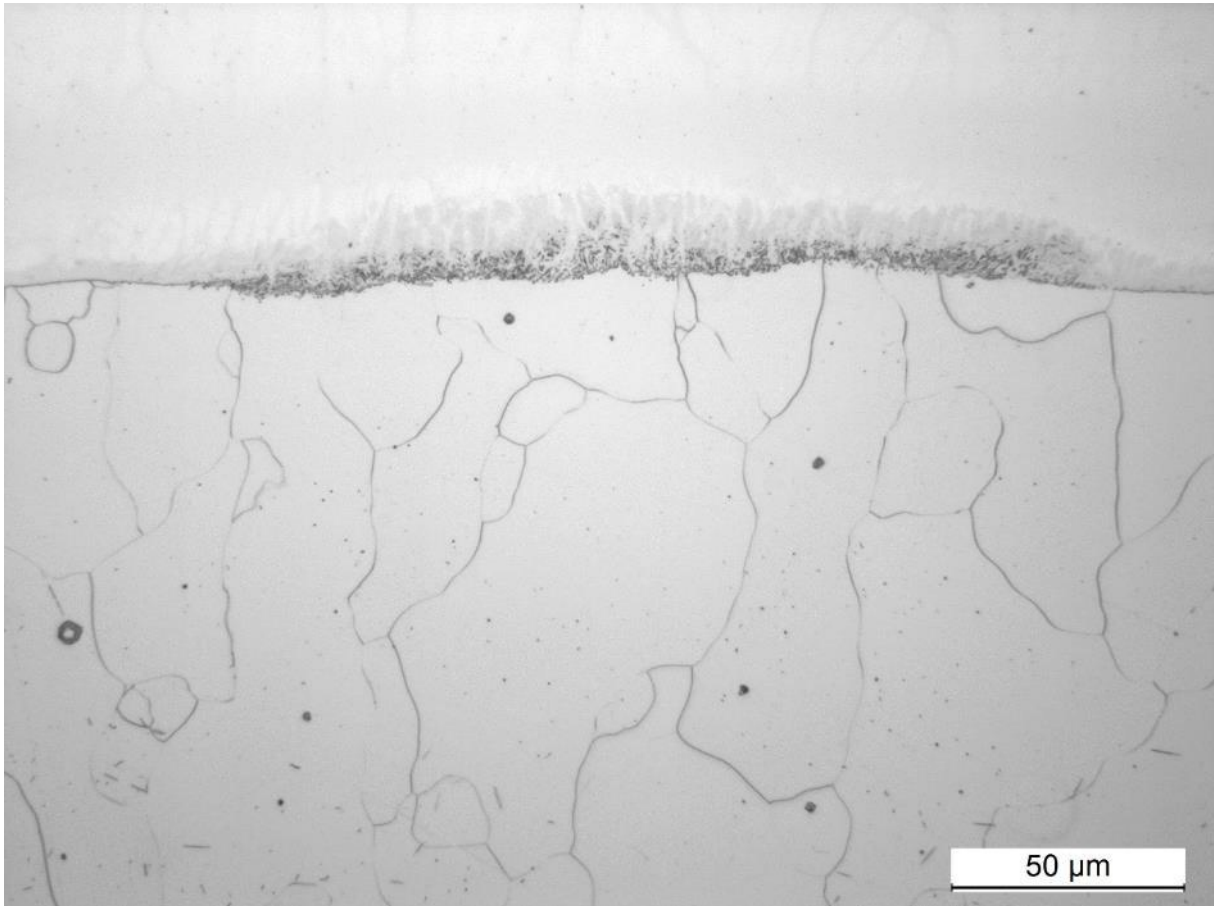
Kuva 50. IN825 Uhlig, 650°C, 10 h



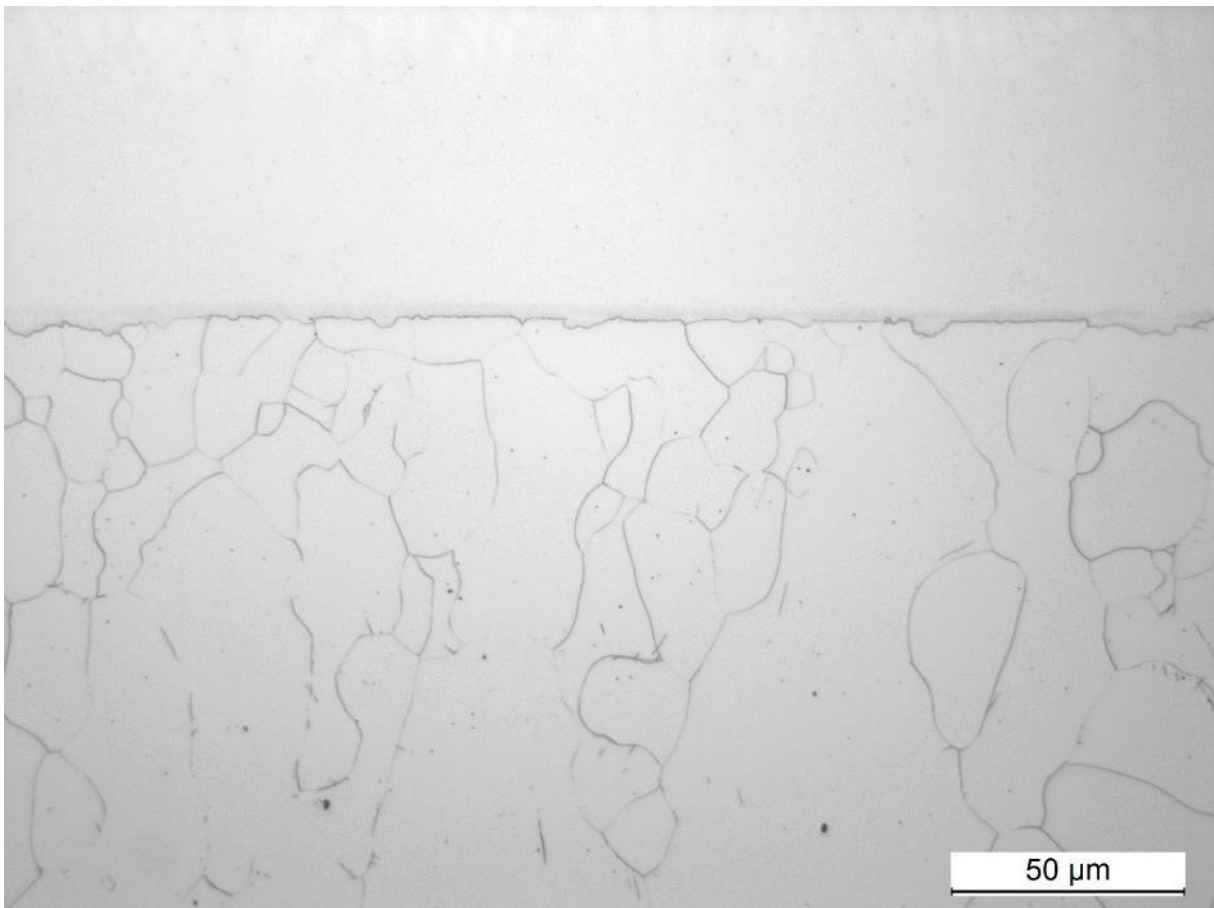
Kuva 51. IN825 Uhlig, 650°C, 100 h



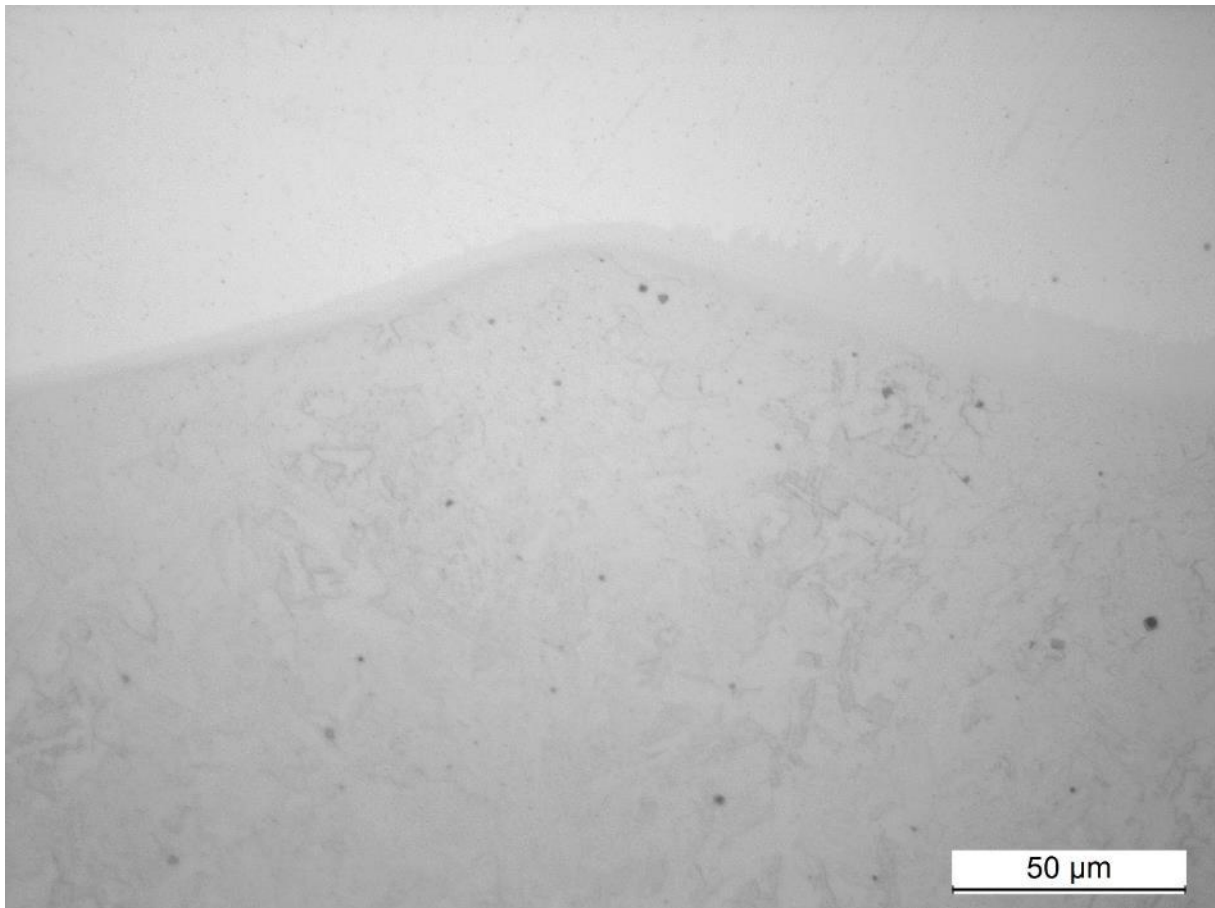
Kuva 52. IN825 Uhlig, 650°C, 1000 h



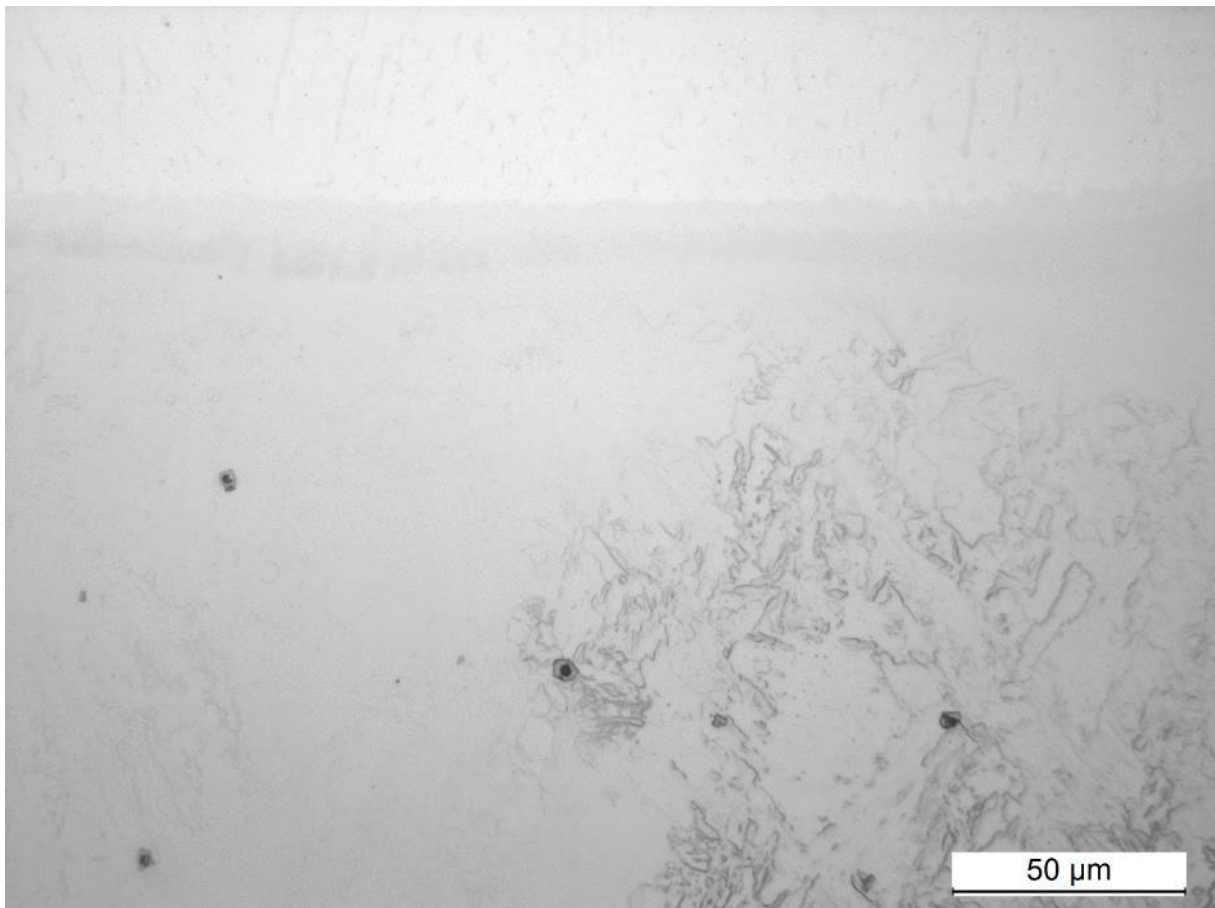
Kuva 53. IN825 Uhlig, 700°C, 10 h



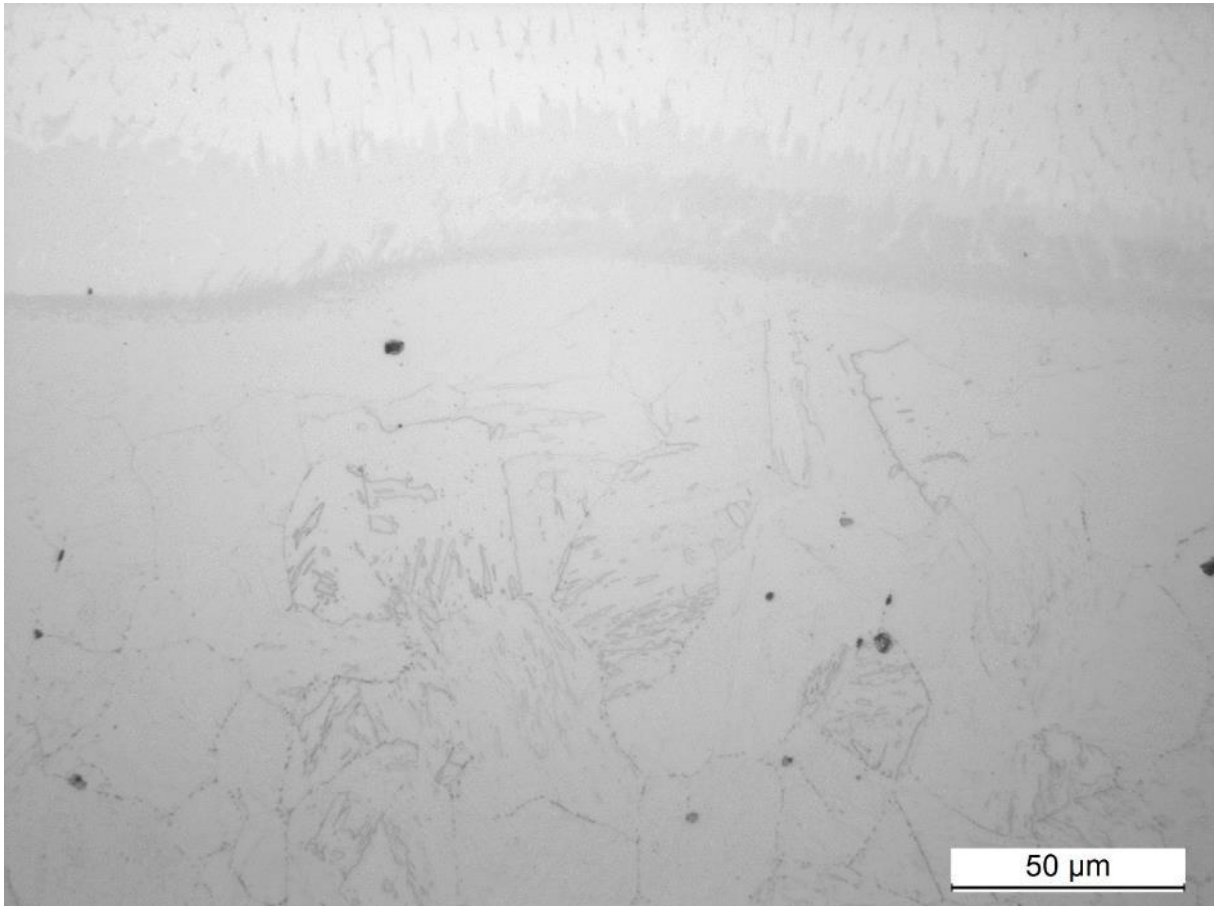
Kuva 54. IN825 Uhlig, 700°C, 100 h



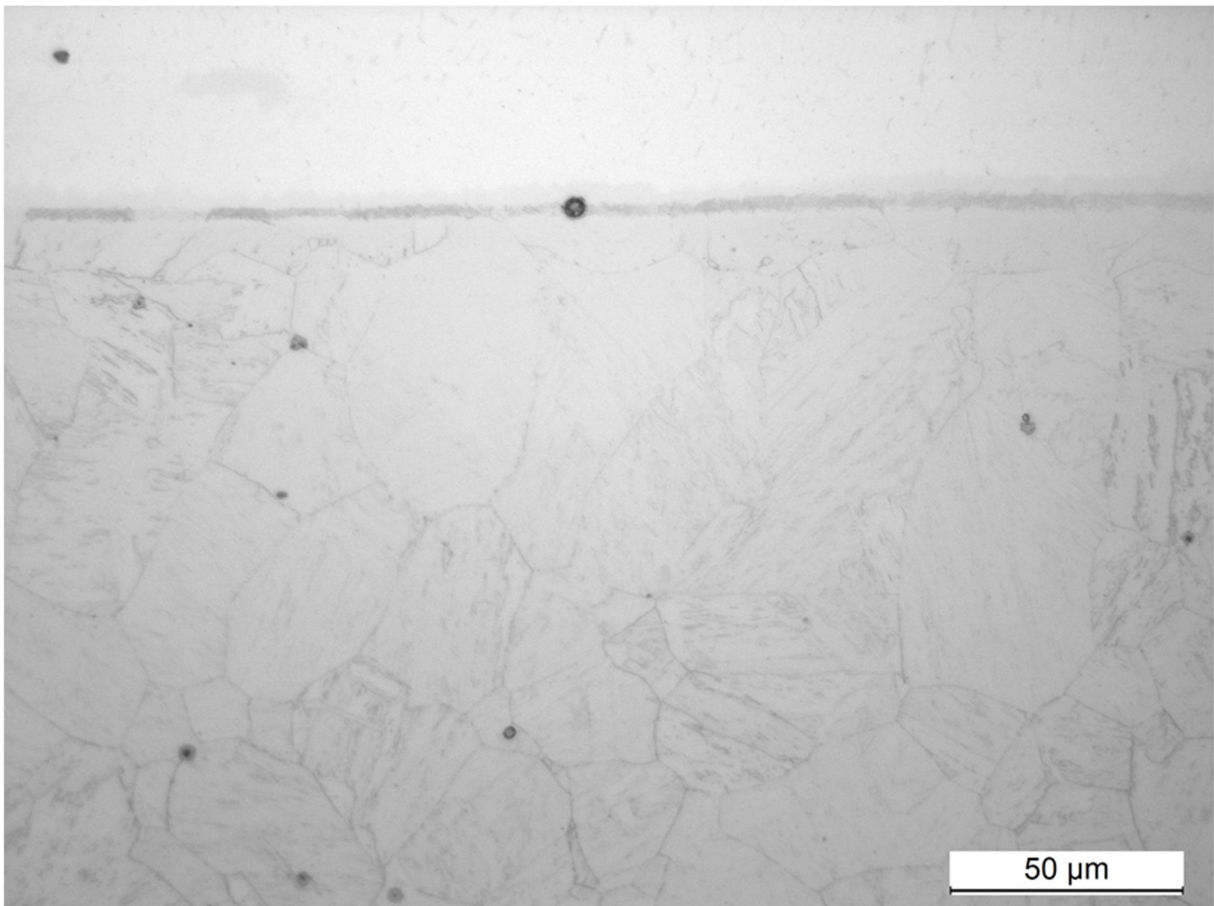
Kuva 55. 309 Areva, toimitustila



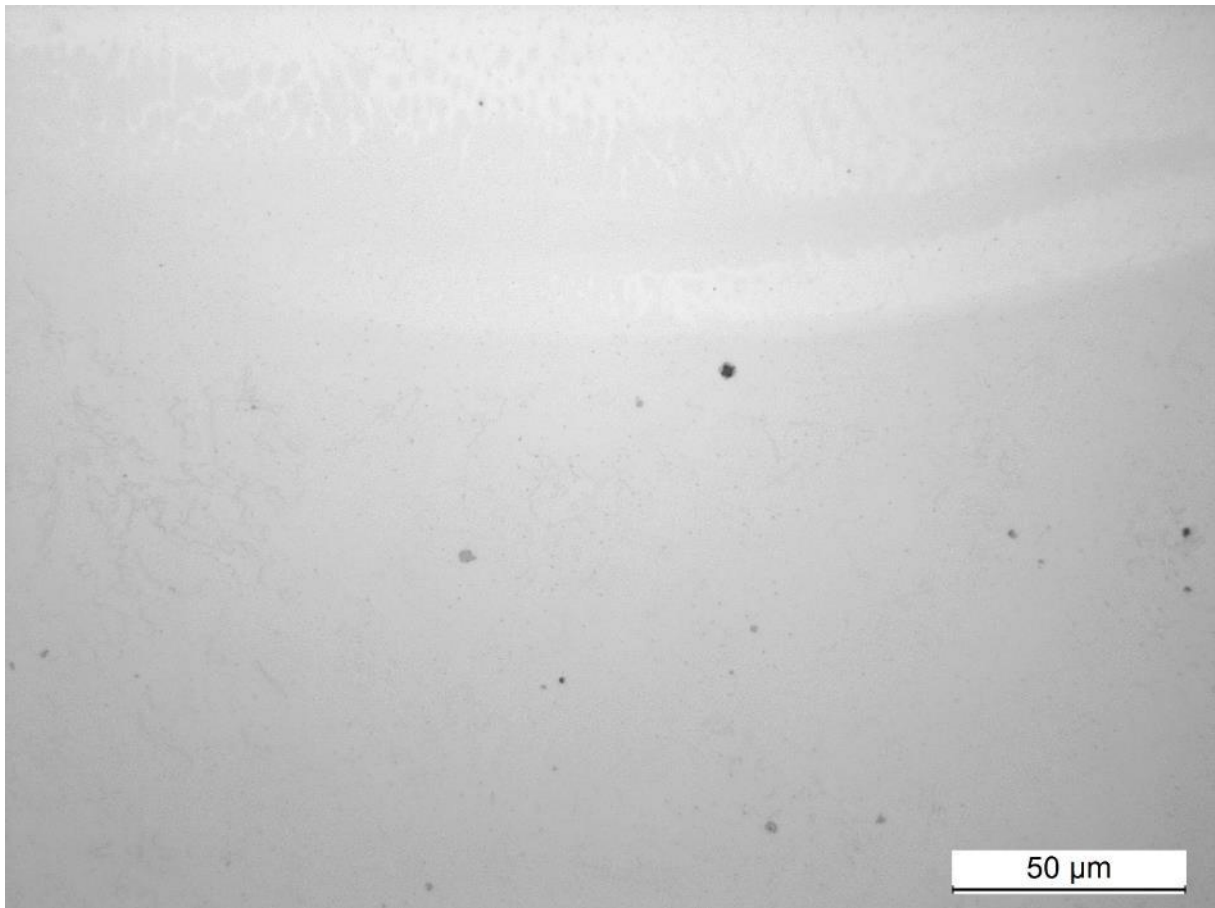
Kuva 56. 309 Areva, 600°C, 100 h



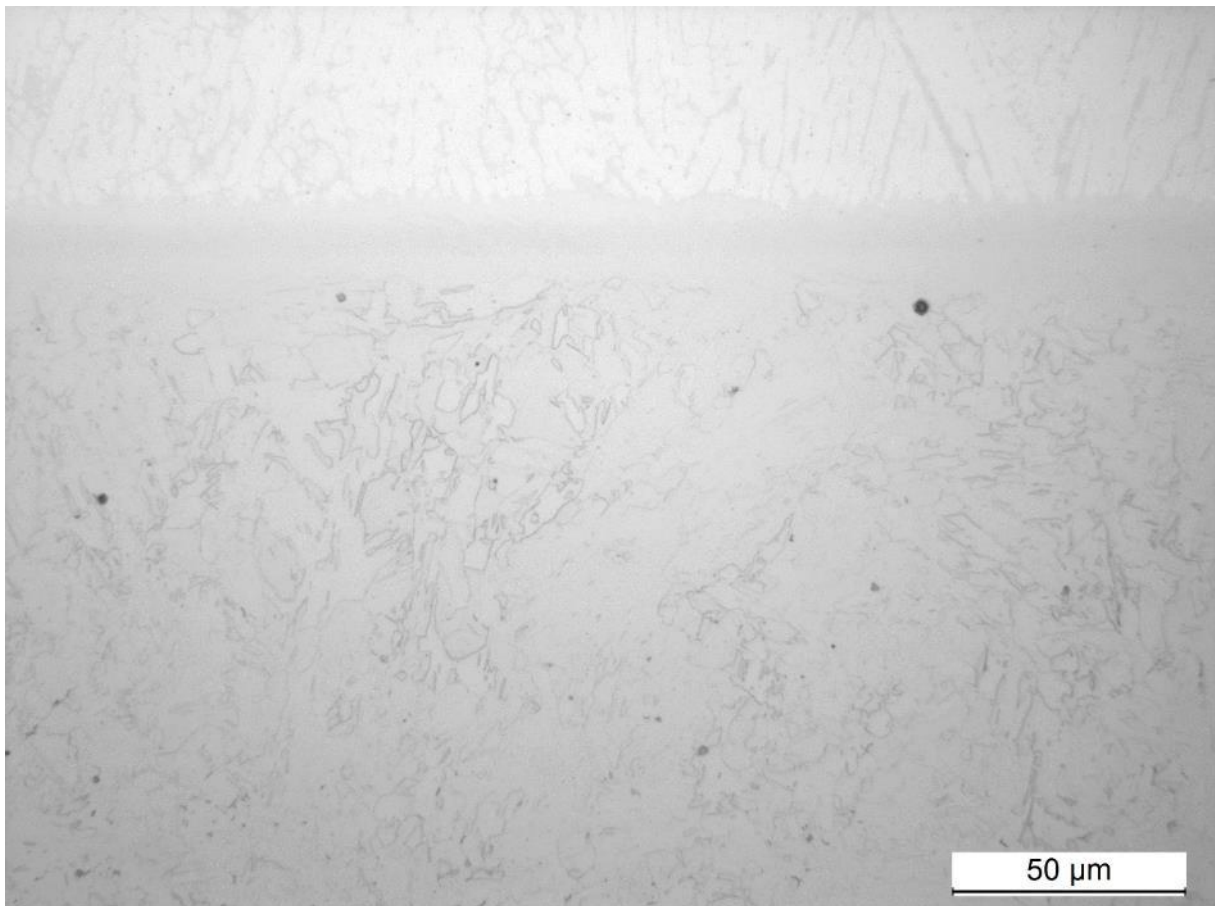
Kuva 57. 309 Areva, 600°C, 1000 h



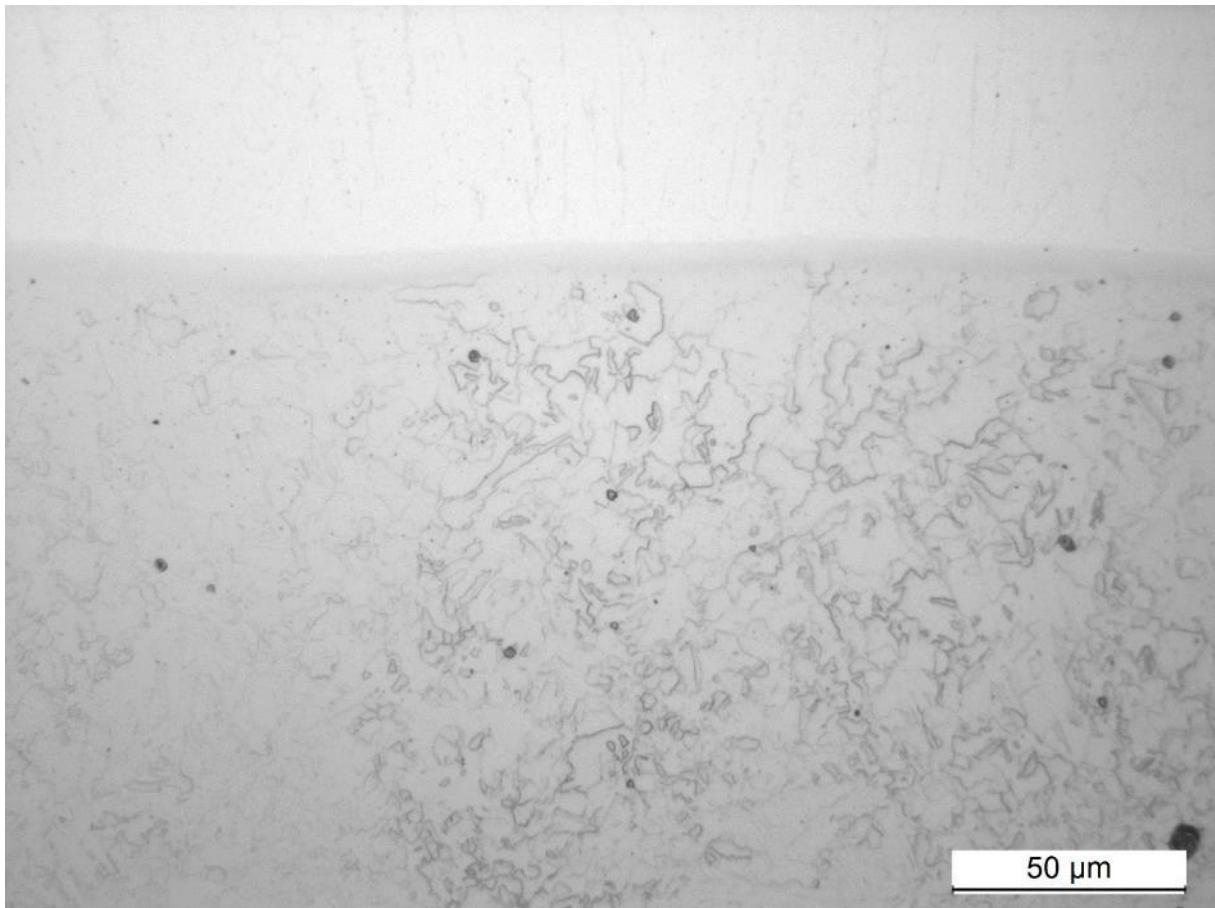
Kuva 58. 309 Areva, 650°C, 10 h



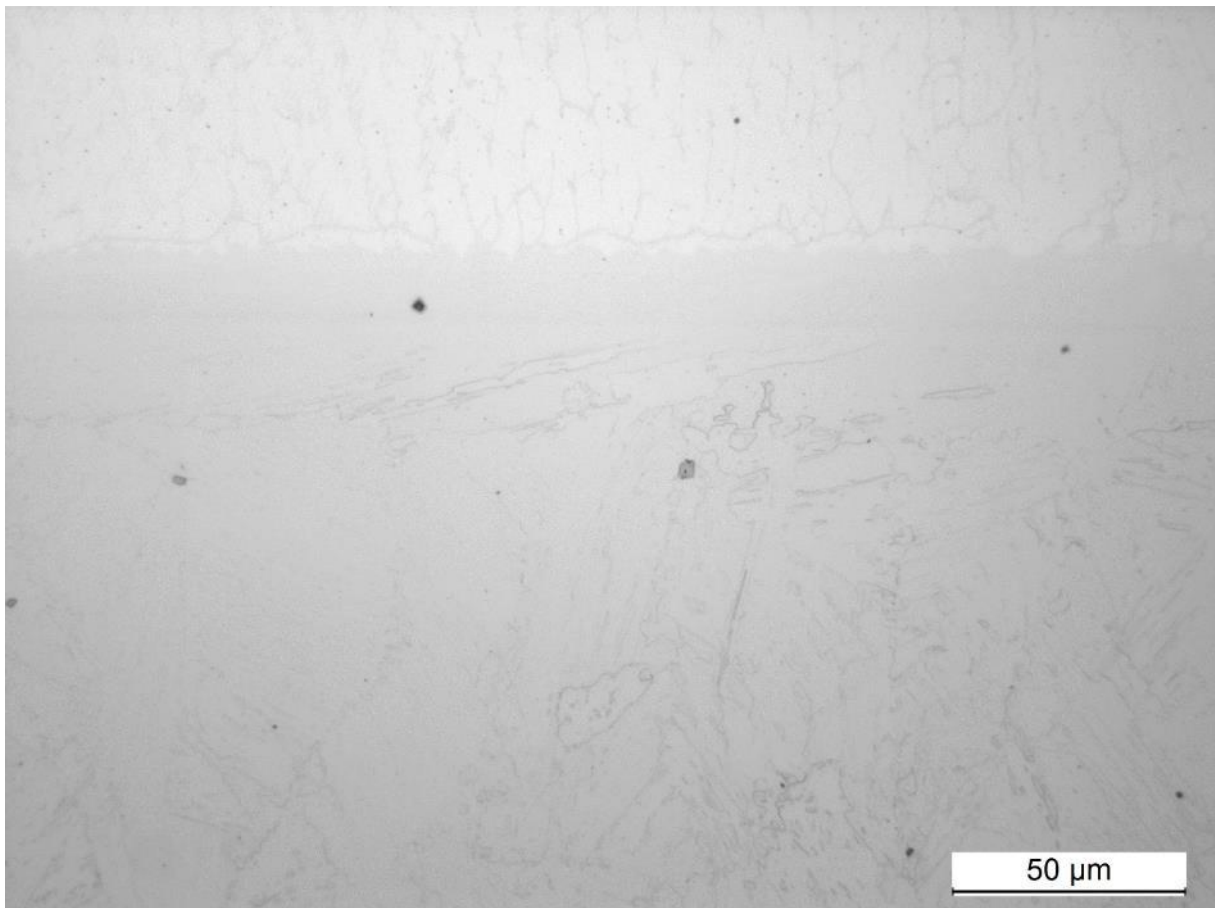
Kuva 59. 309 Areva, 650°C, 100 h



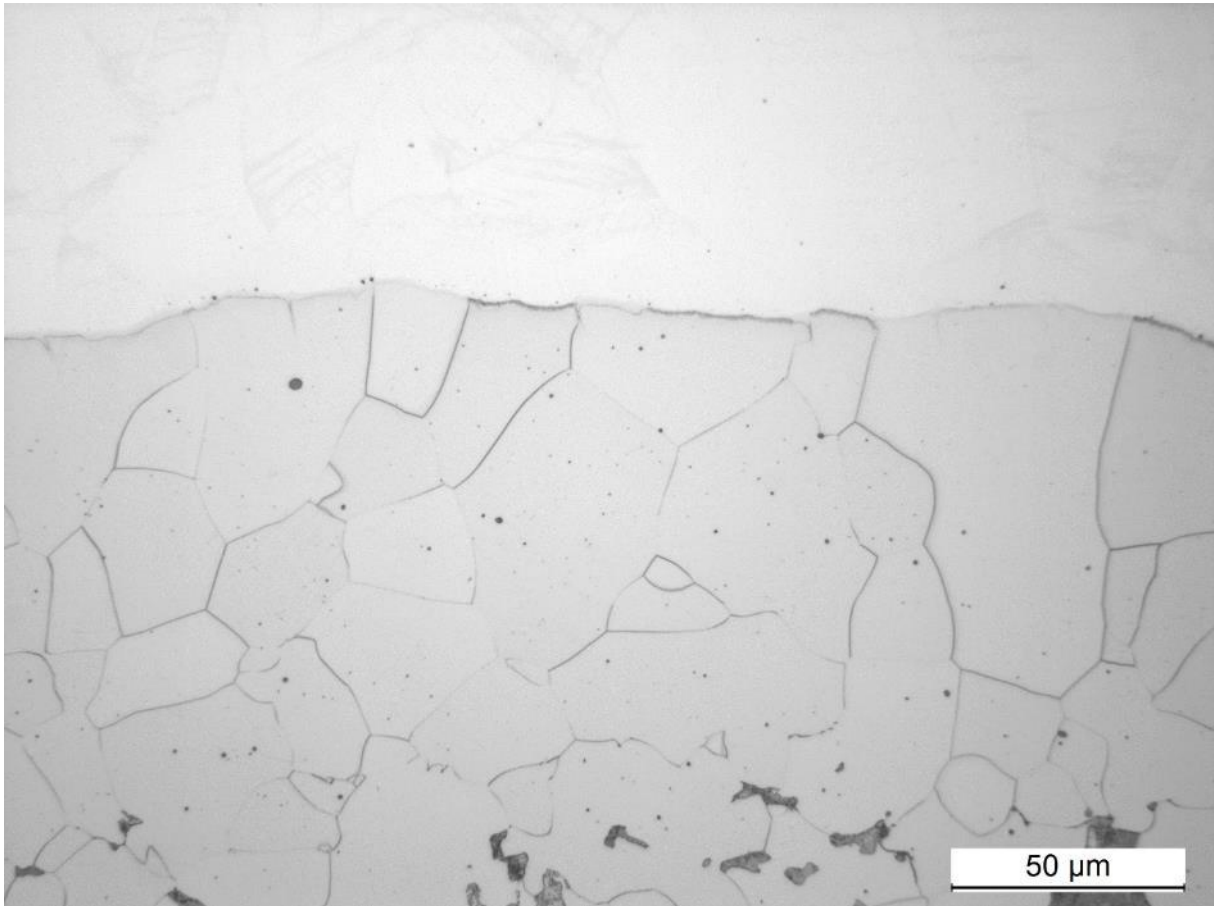
Kuva 60. 309 Areva, 650°C, 1000 h



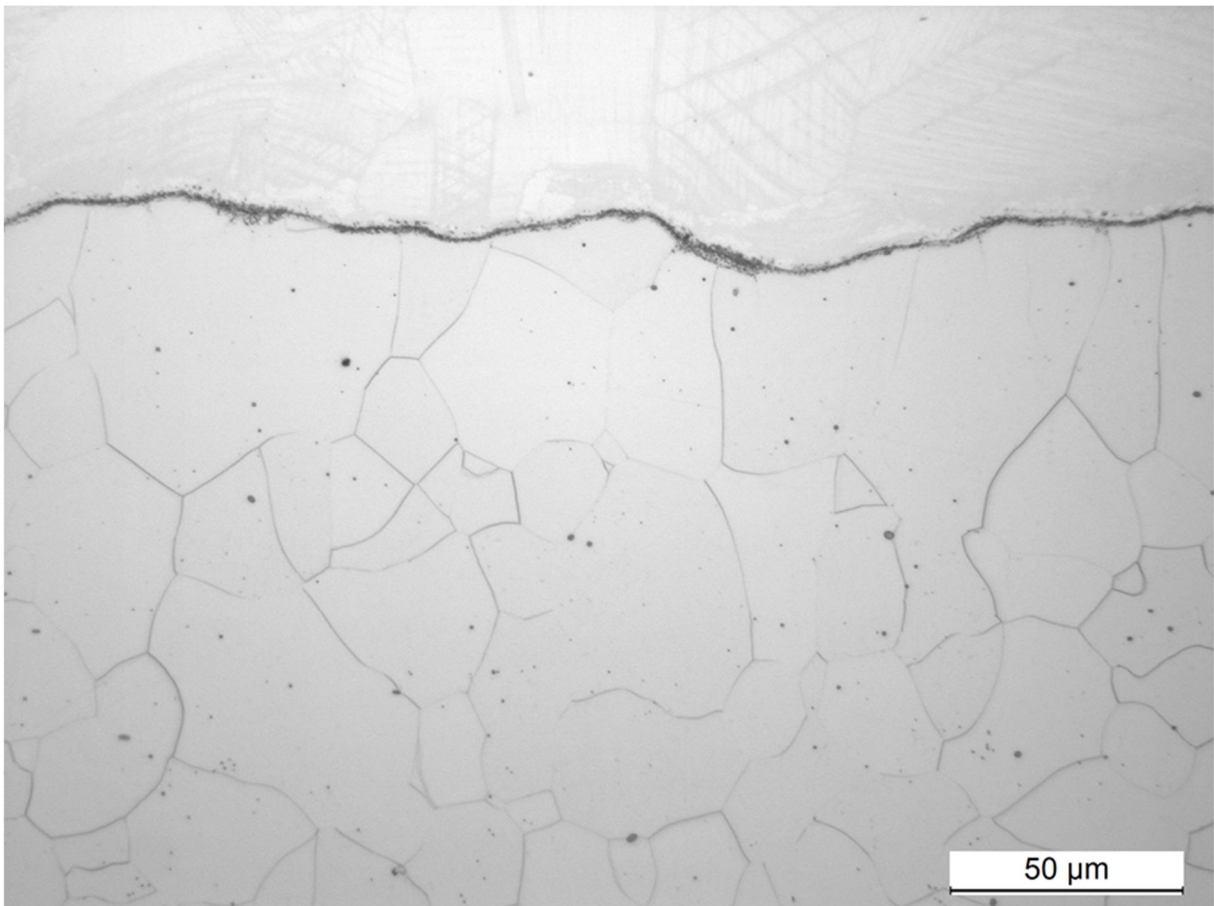
Kuva 61. 309 Areva, 700°C, 10 h



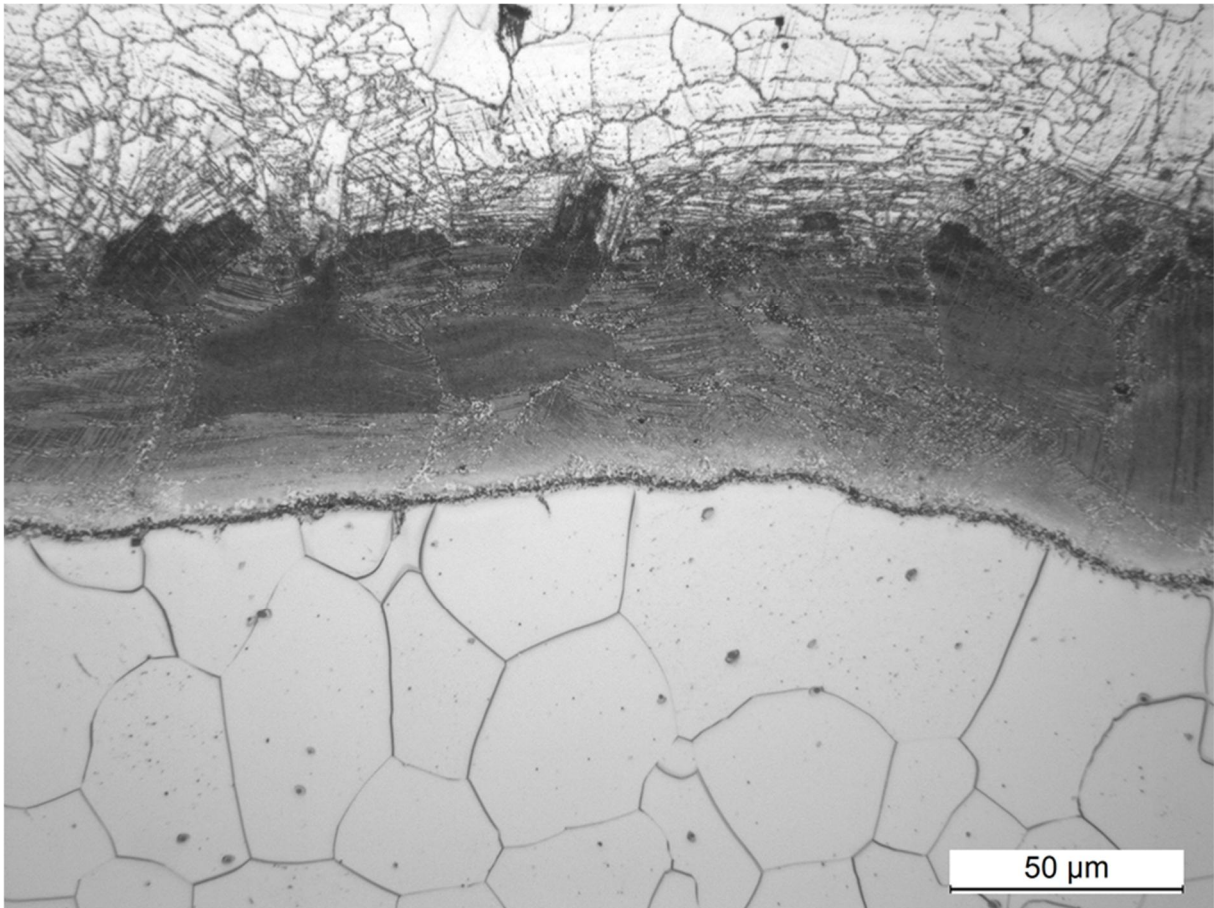
Kuva 62. 309 Areva, 700°C, 100 h



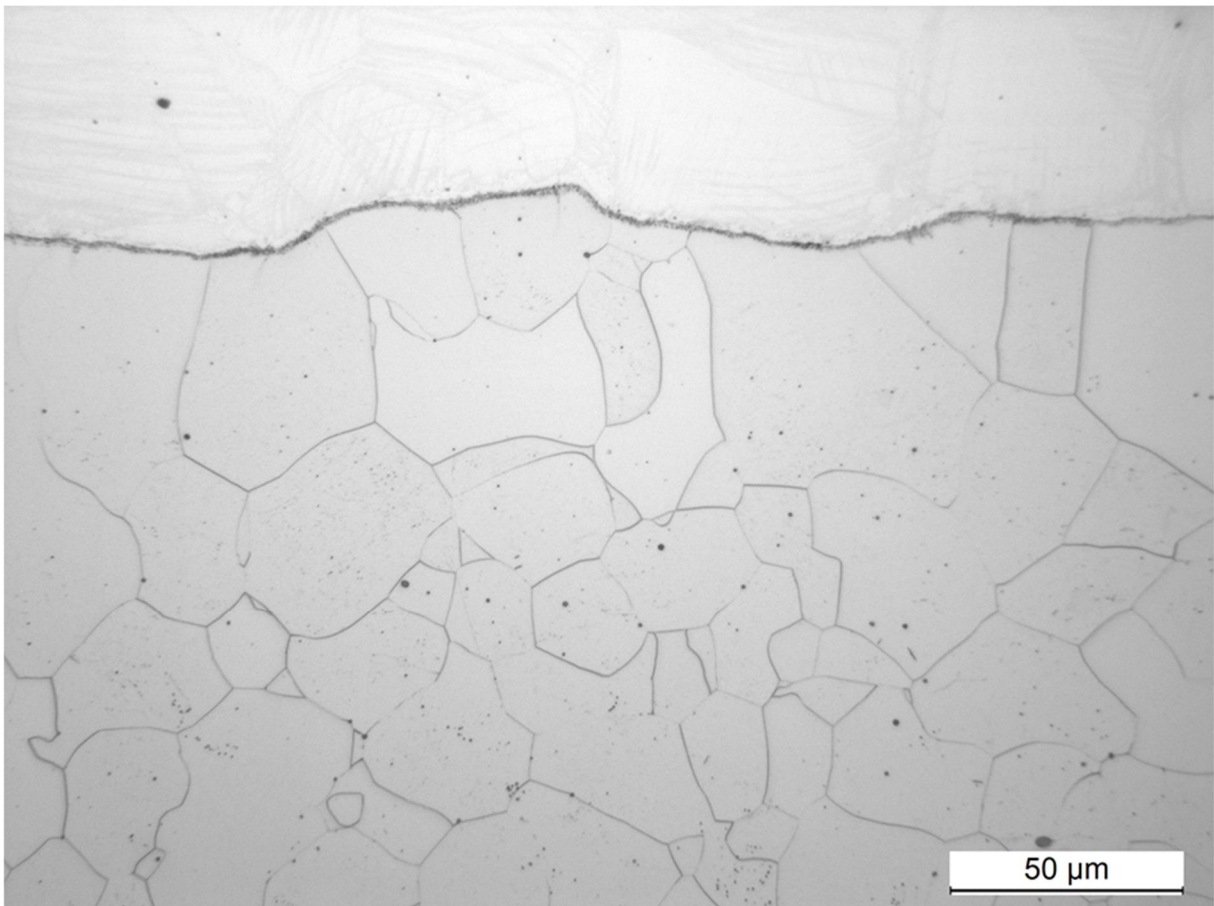
Kuva 63. 304L, toimitustila



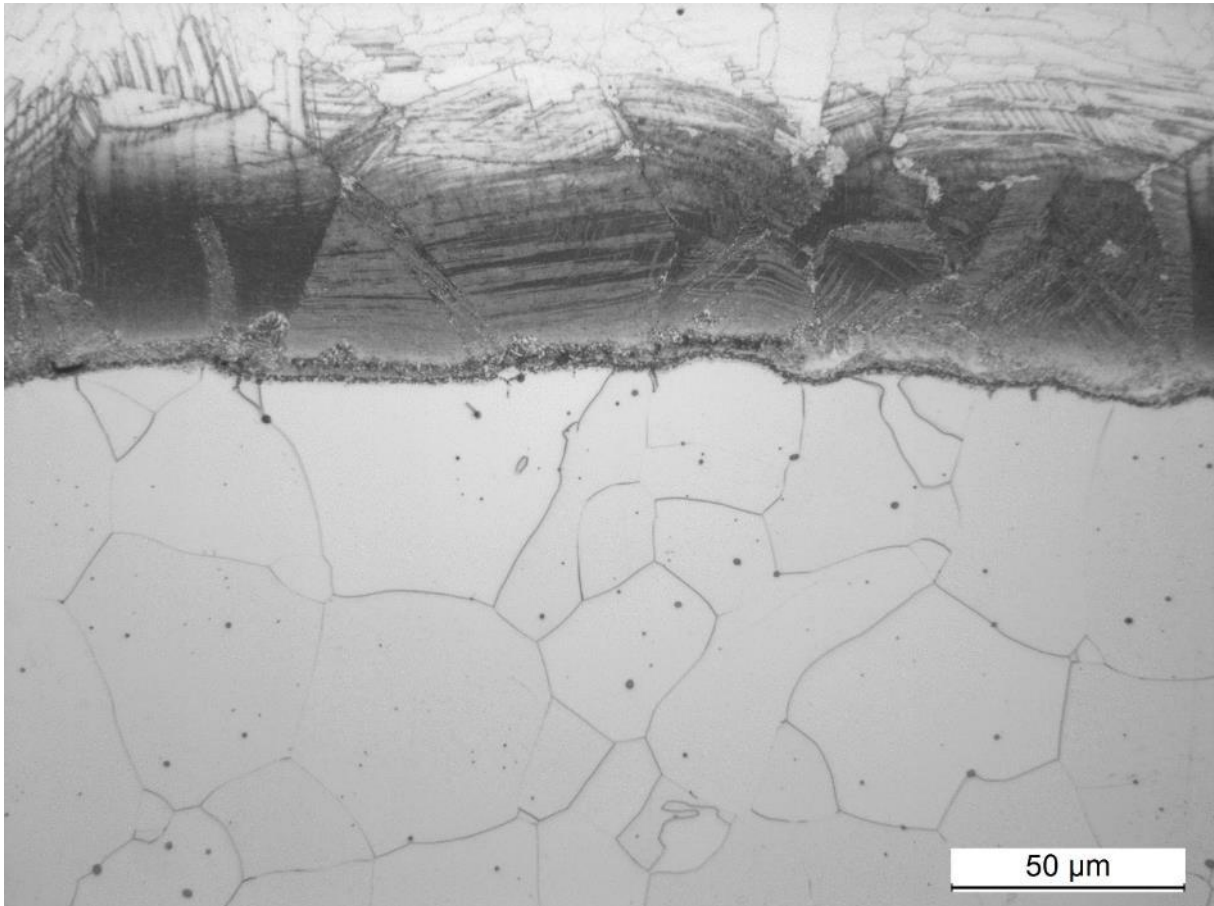
Kuva 64. 304L, 600°C, 100 h



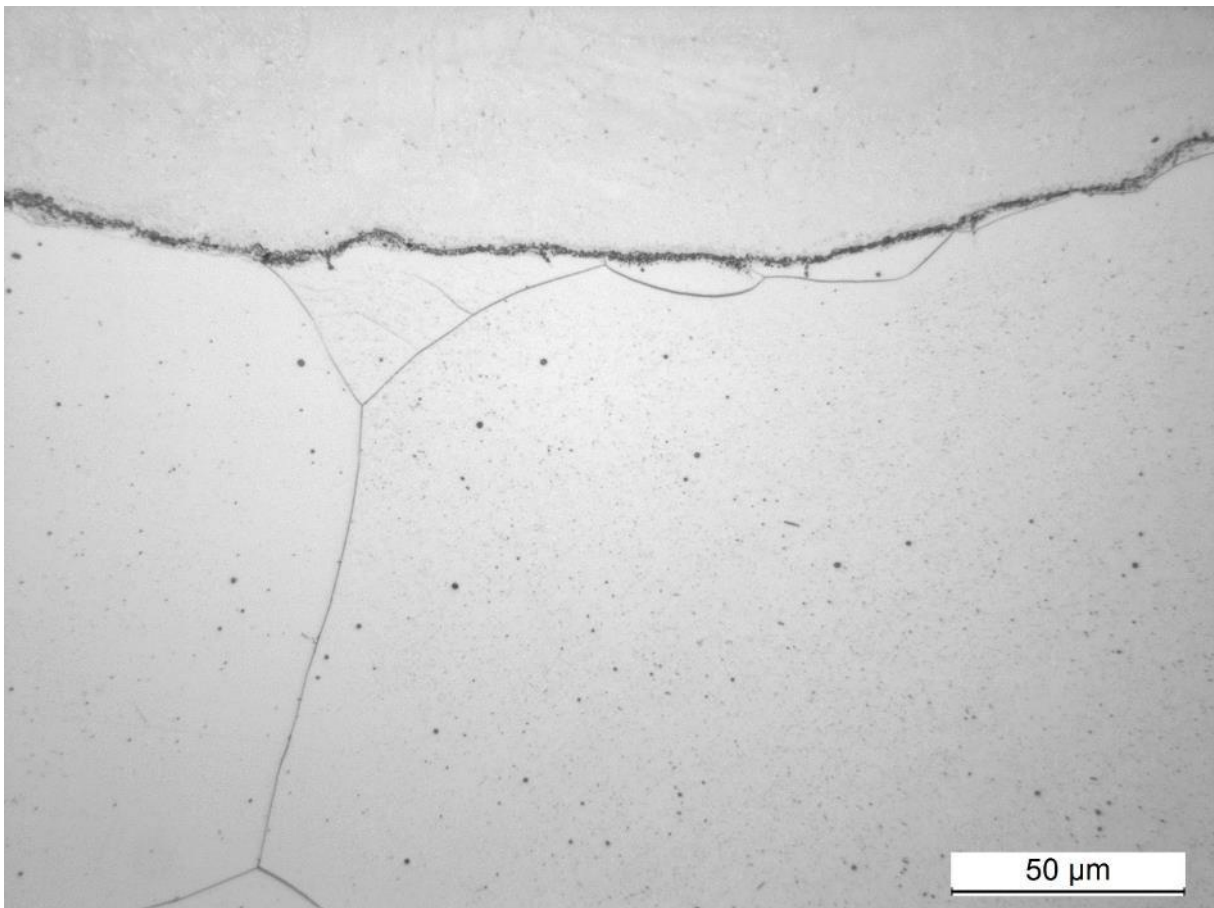
Kuva 65. 304L rajapinta, 600°C, 1000 h



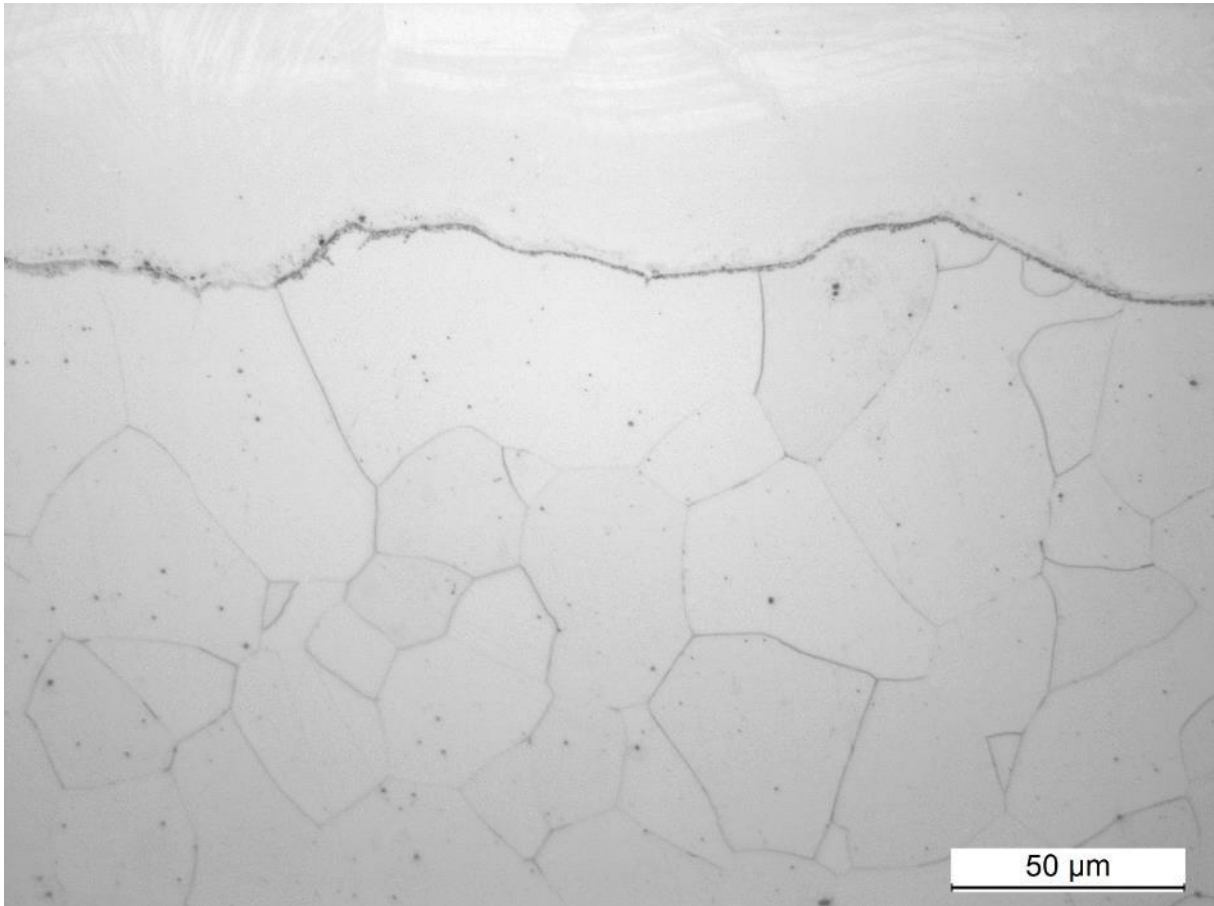
Kuva 66. 304L, 650°C, 10 h



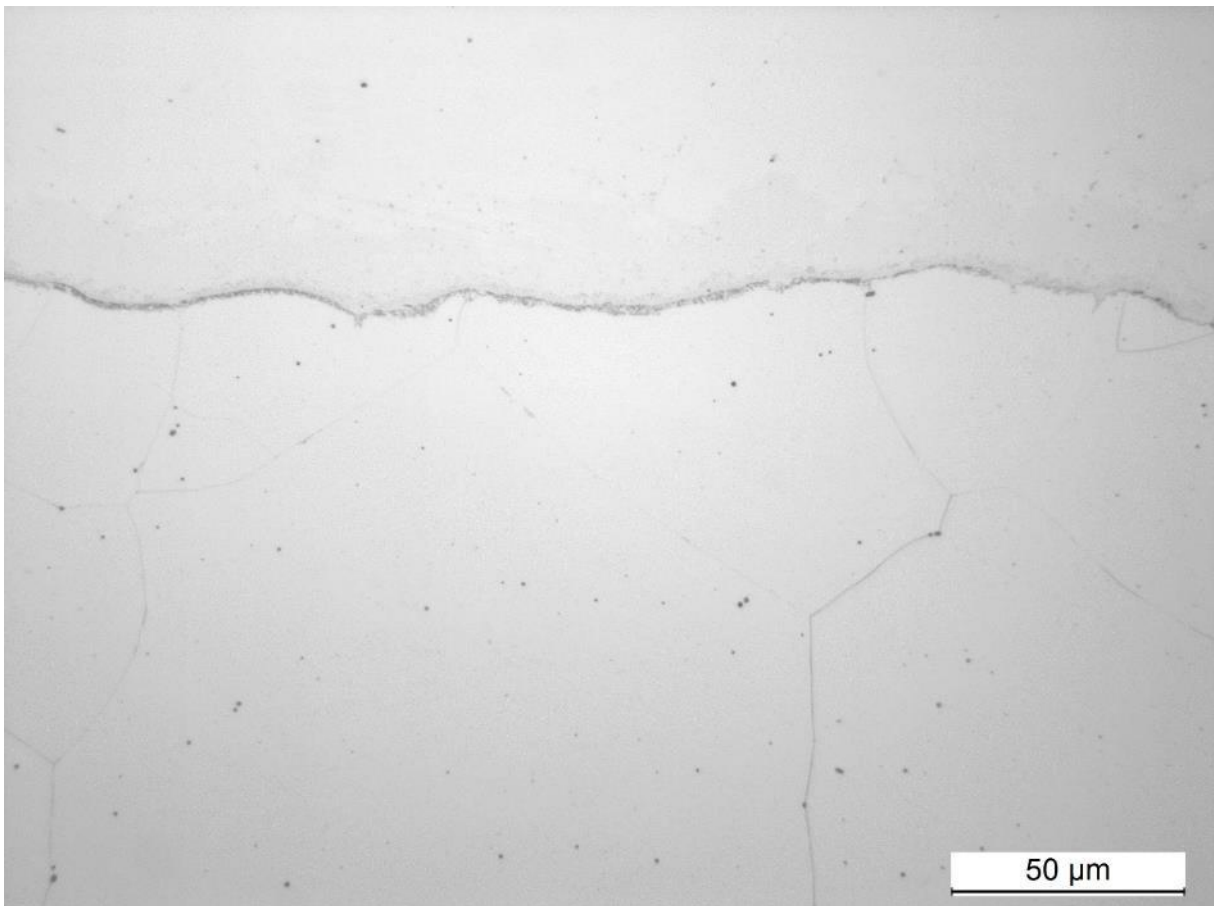
Kuva 67. 304L, 650°C, 100 h



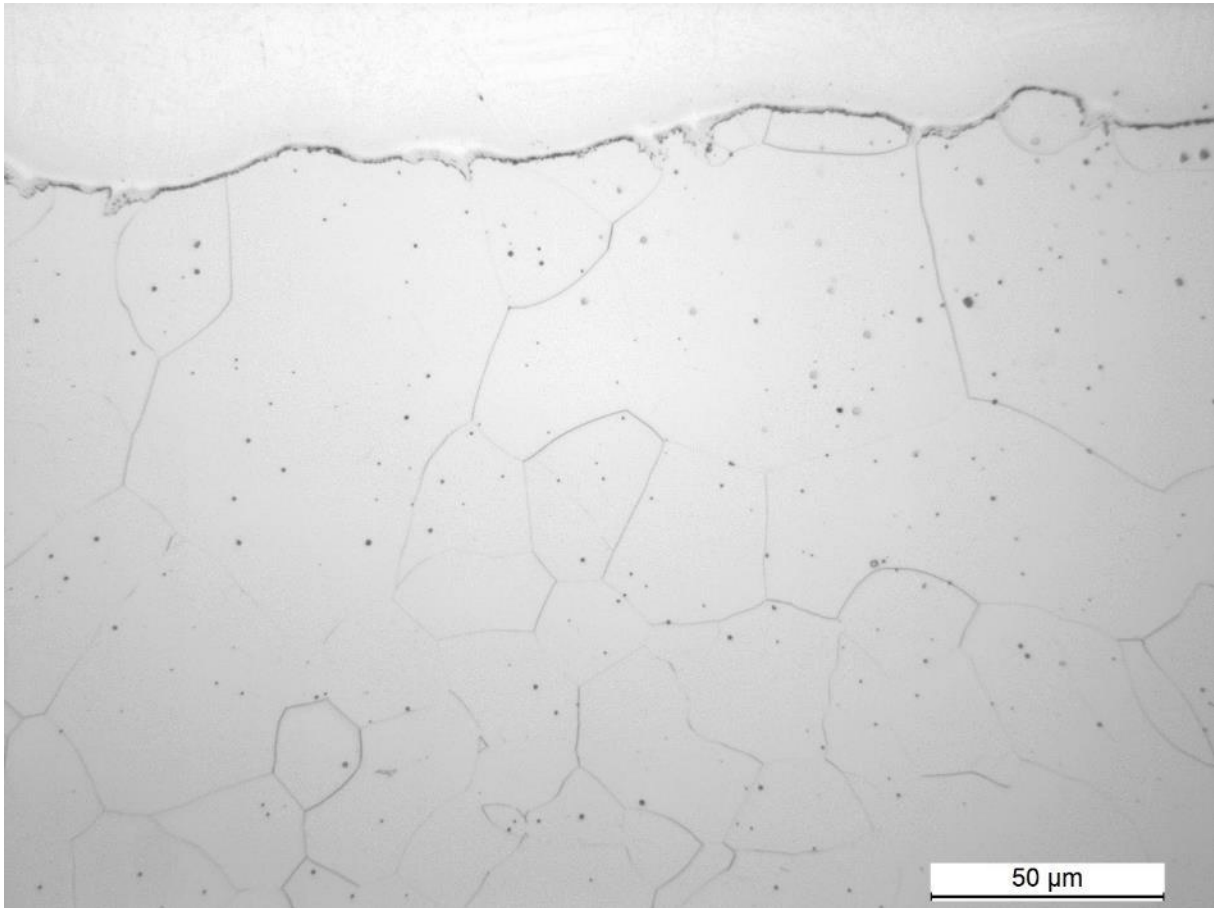
Kuva 68. 304L, 650°C, 1000 h



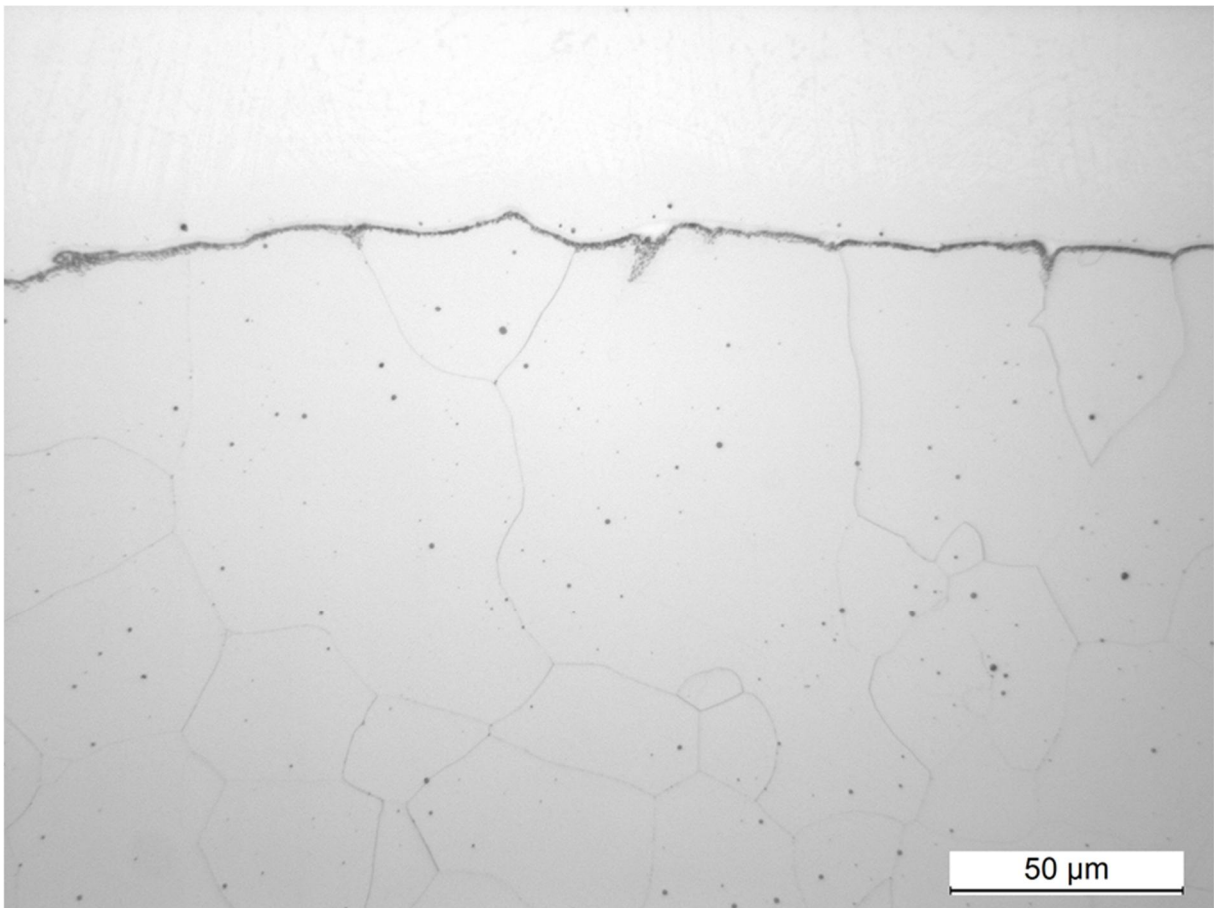
Kuva 69. 304L, 700°C, 10 h



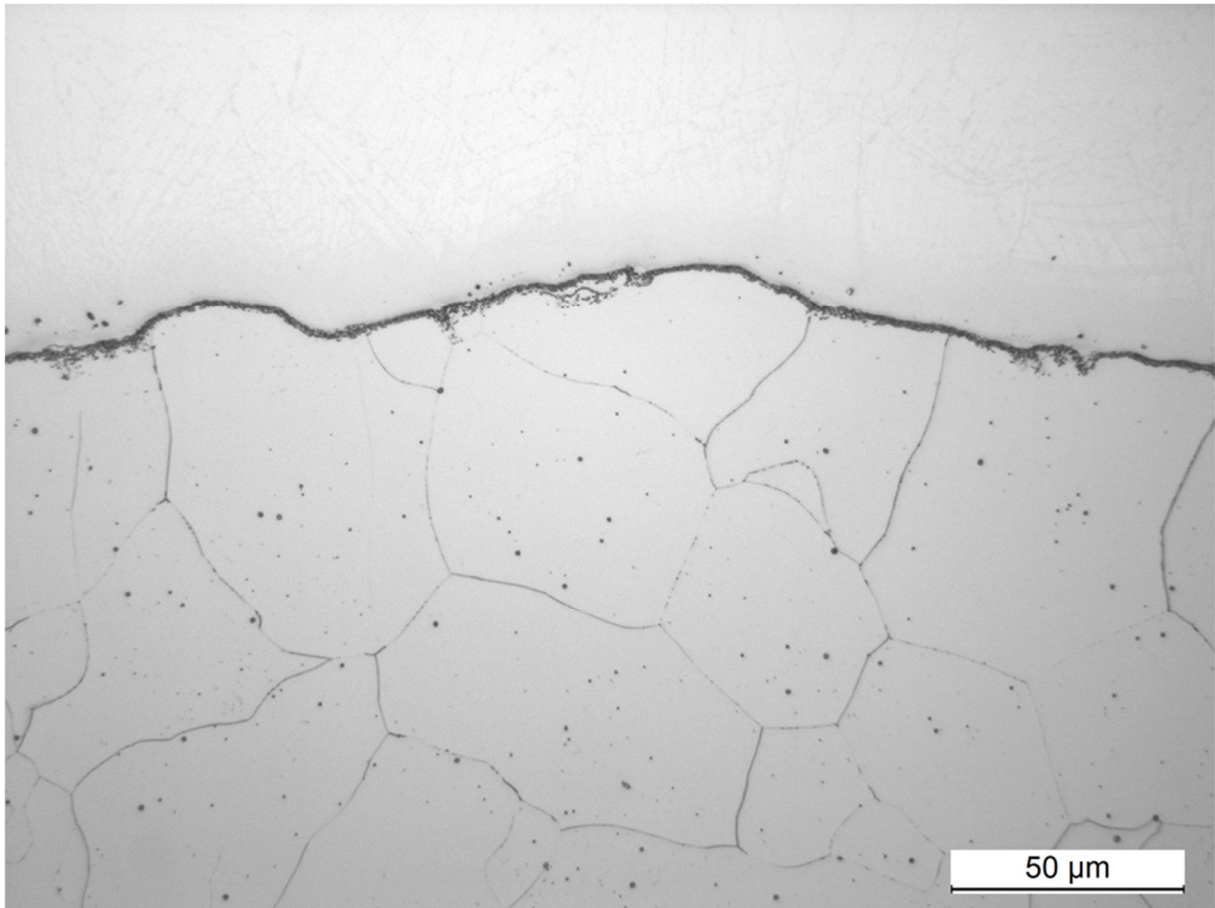
Kuva 70. 304L, 700°C, 100 h



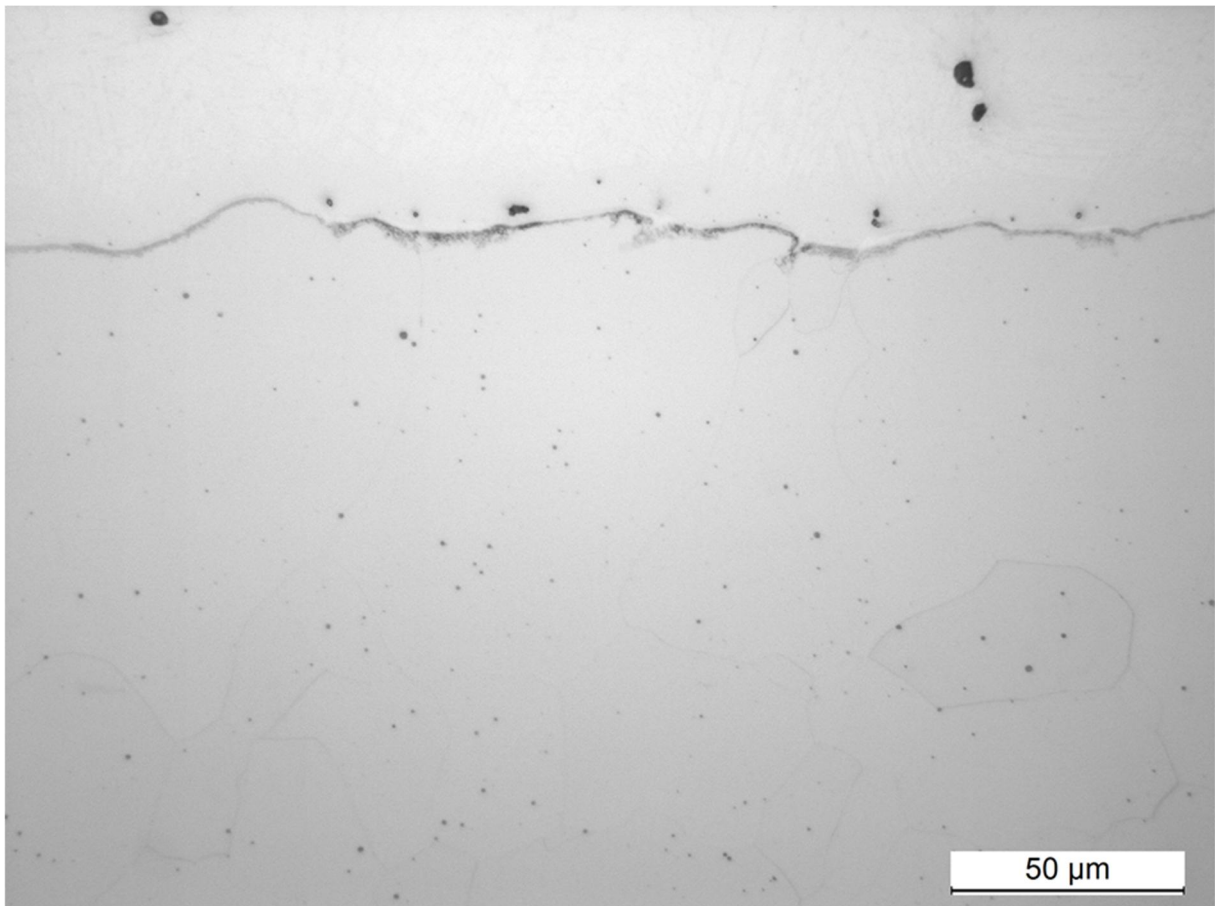
Kuva 71. San28 rajapinta, toimitustila



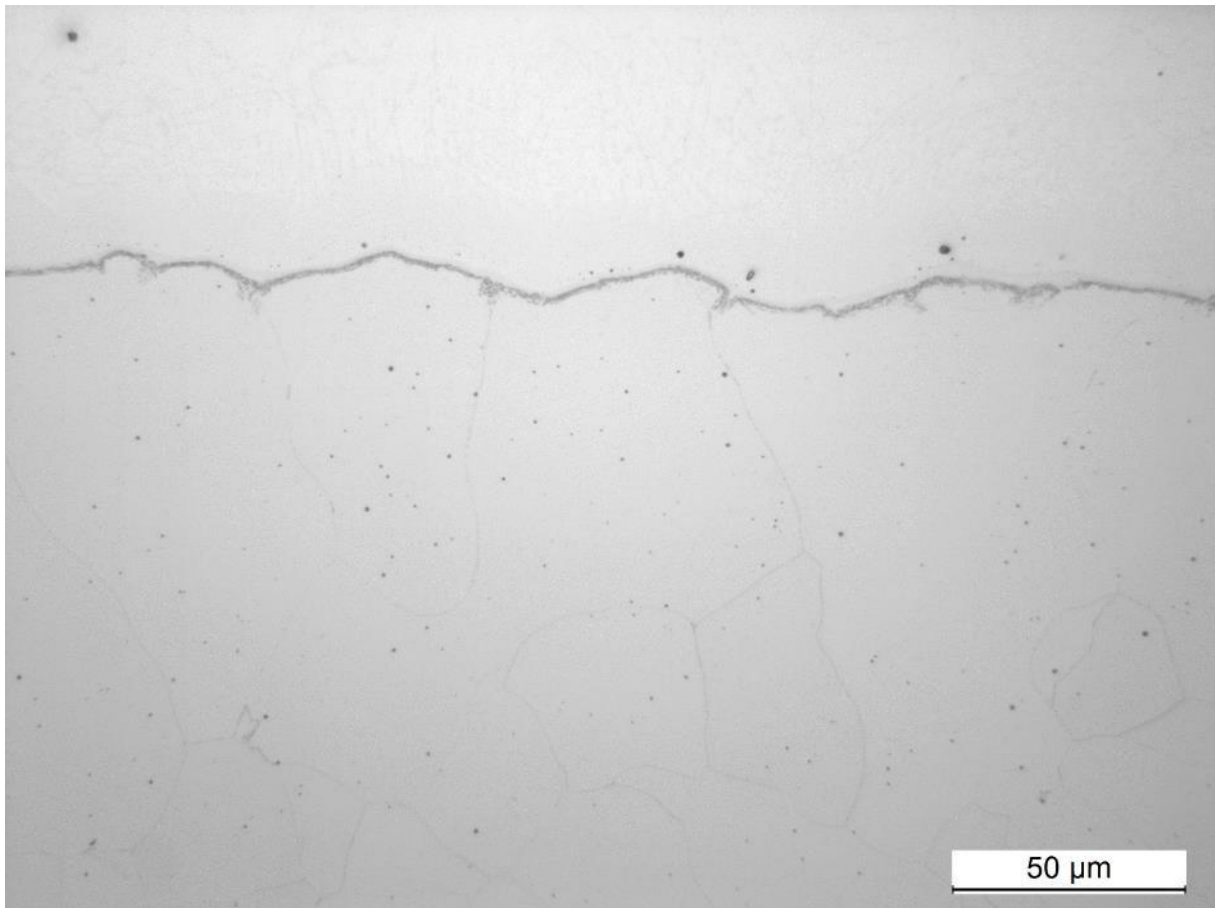
Kuva 72. San28 rajapinta, 600°C, 100 h



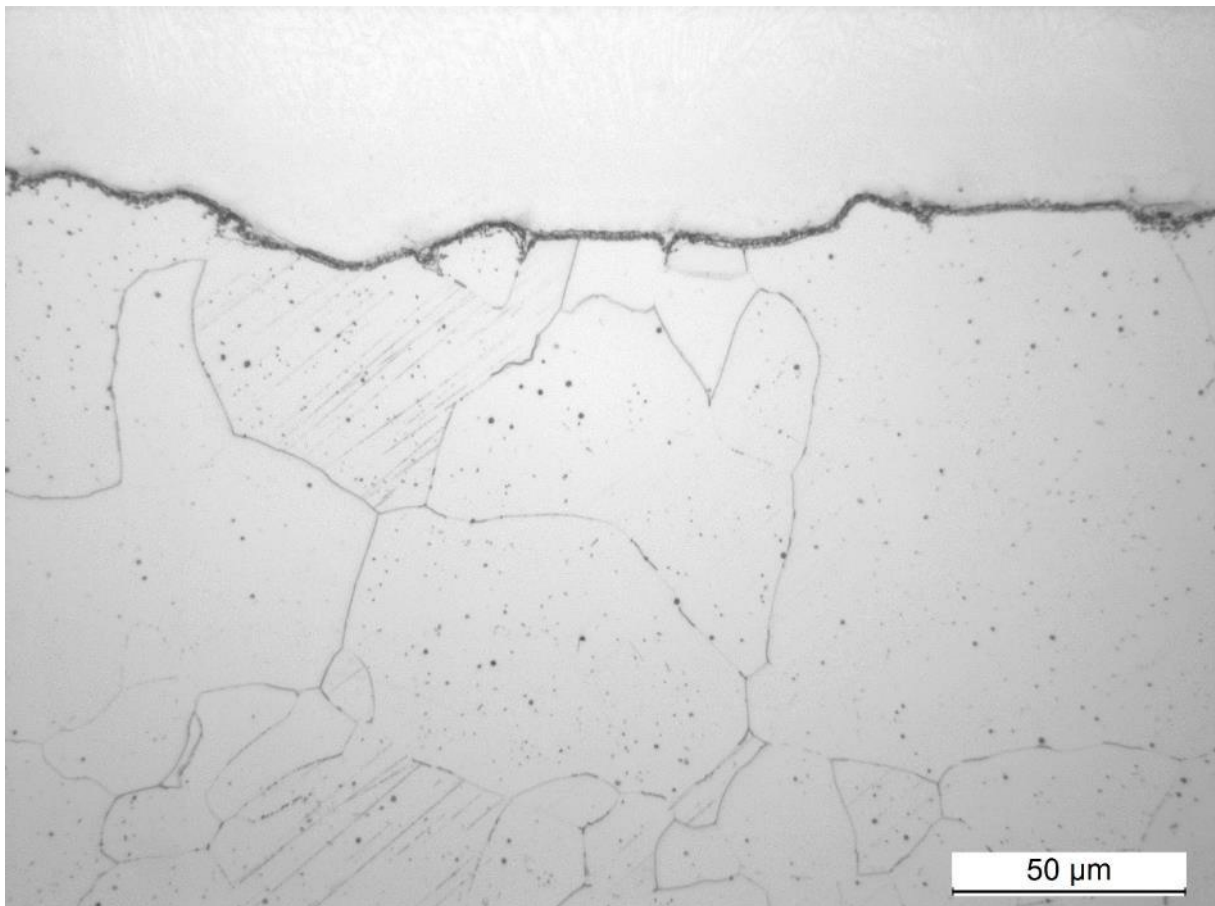
Kuva 73. San28, 600°C, 1000 h



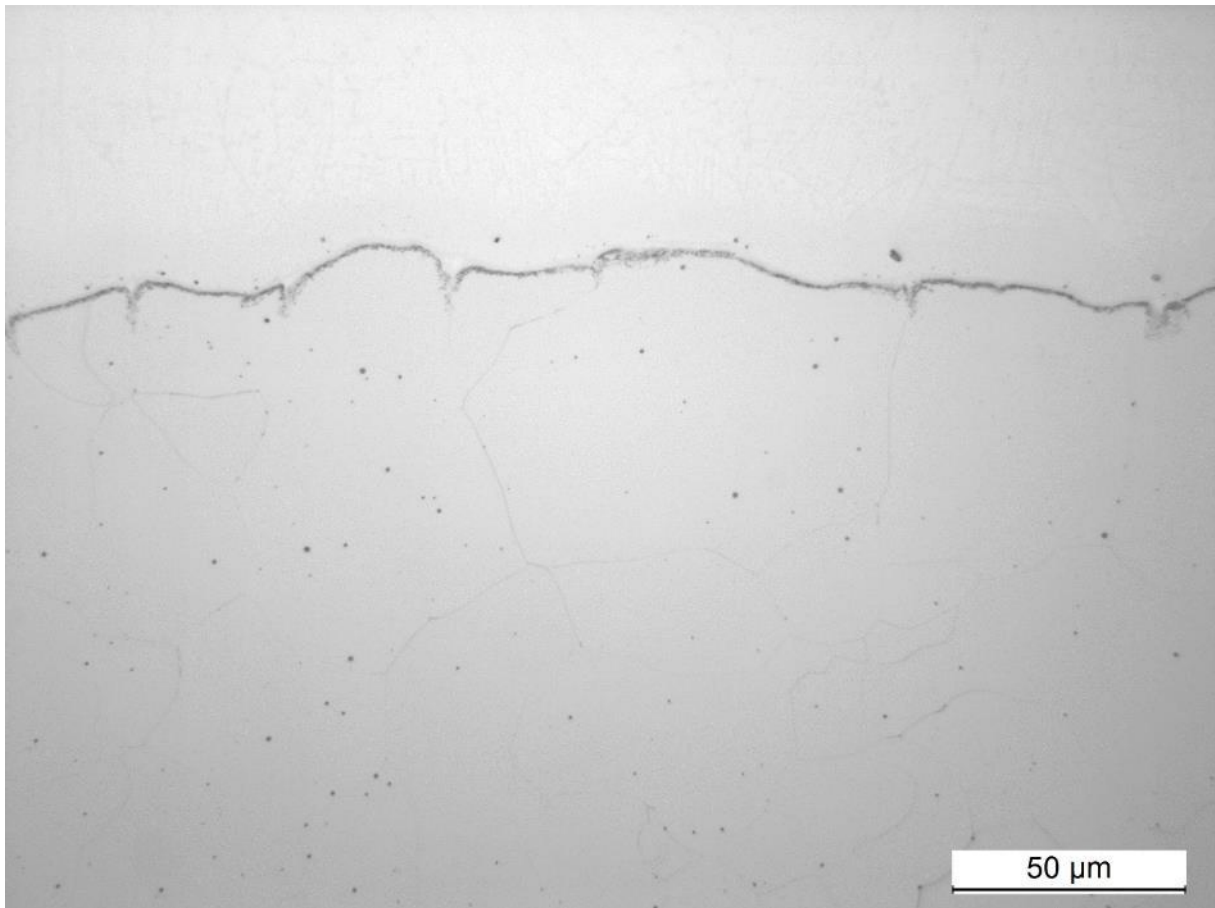
Kuva 74. San28, 650°C, 10 h



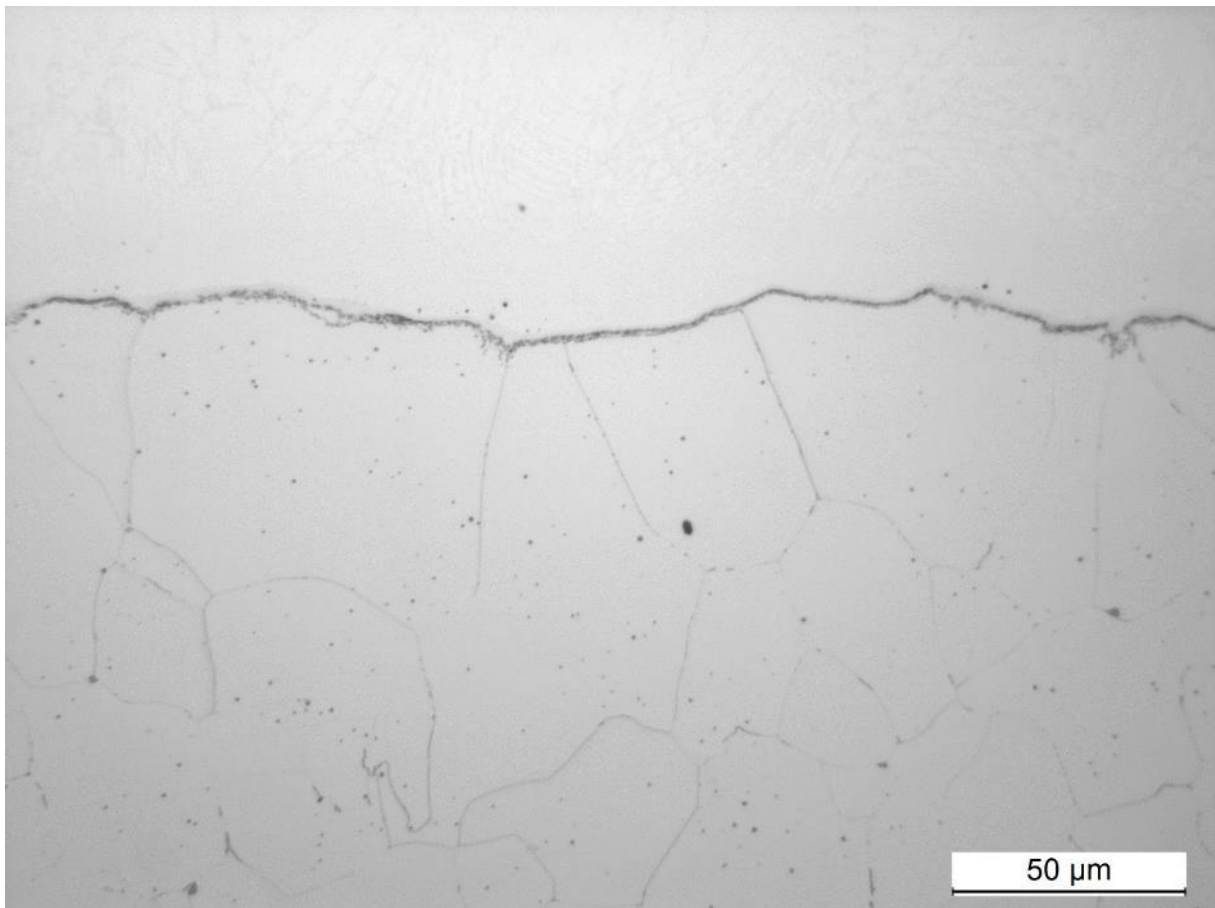
Kuva 75. San28, 650°C, 100 h



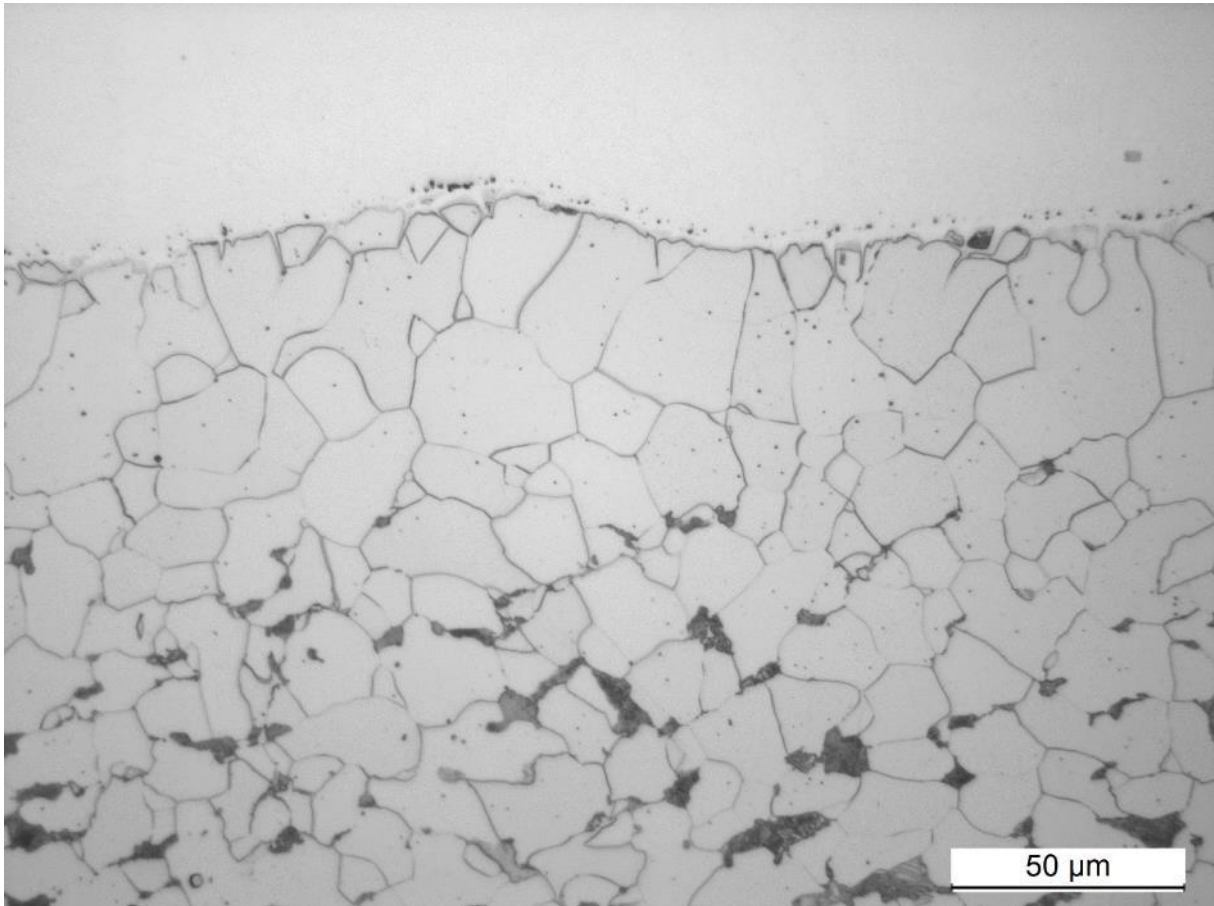
Kuva 76. San28, 650°C, 1000 h



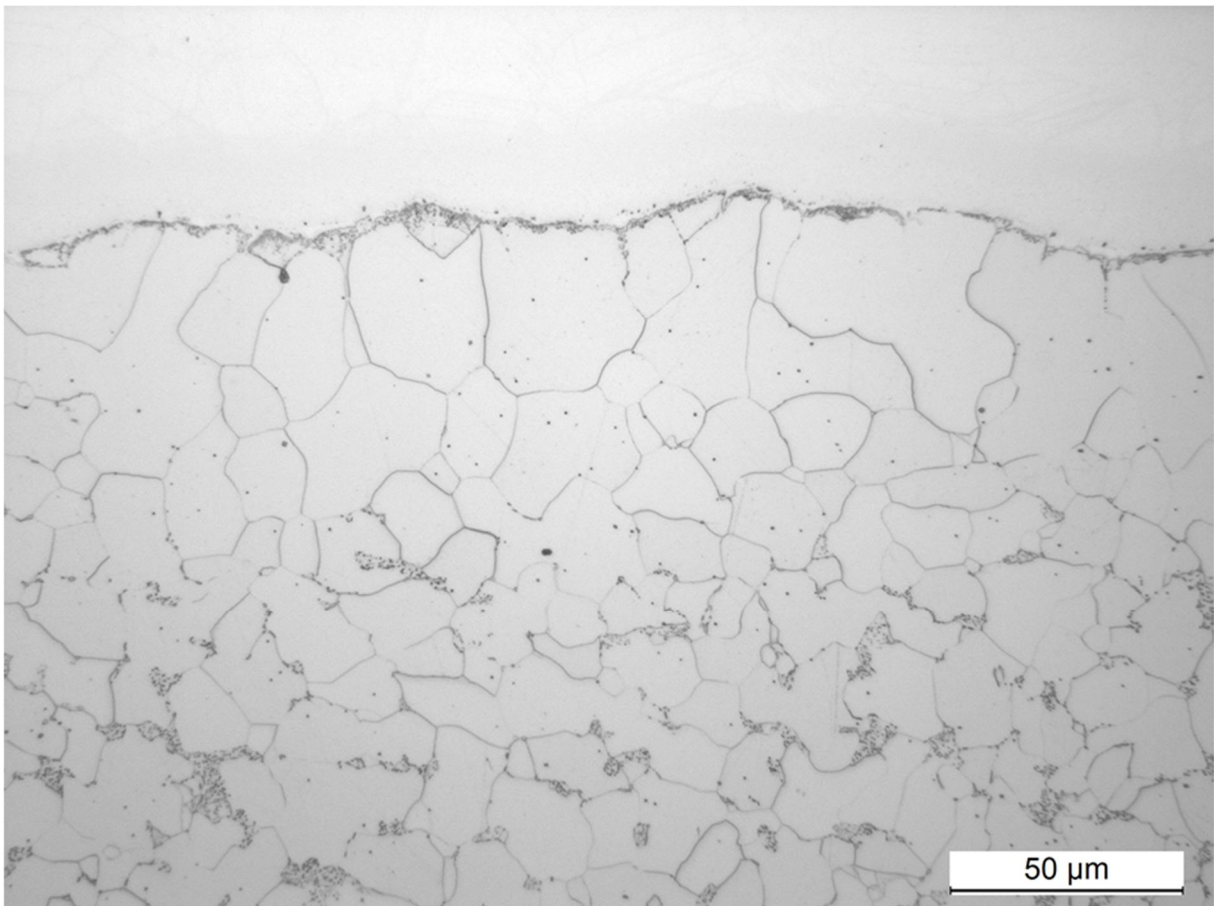
Kuva 77. San28, 700°C, 10 h



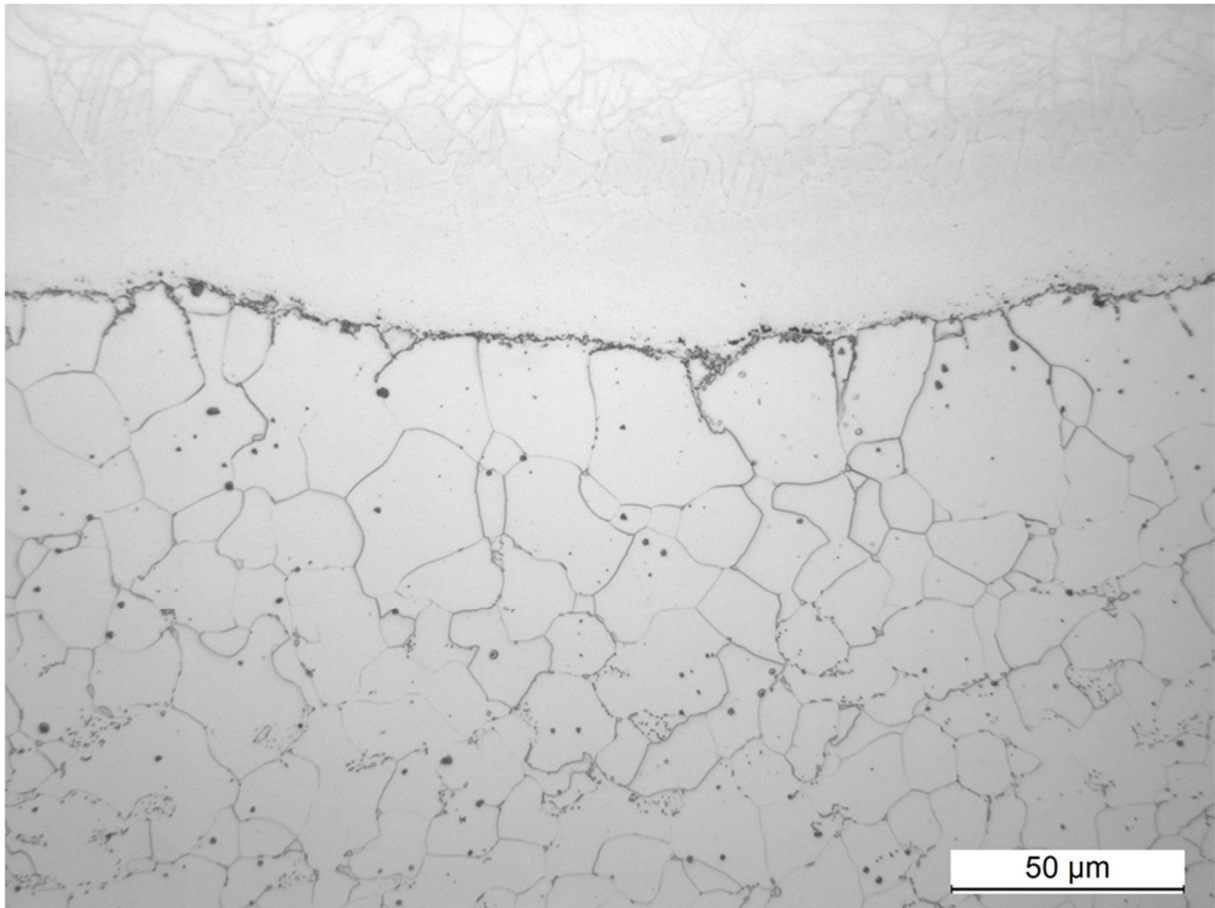
Kuva 78. San28, 700°C, 100 h



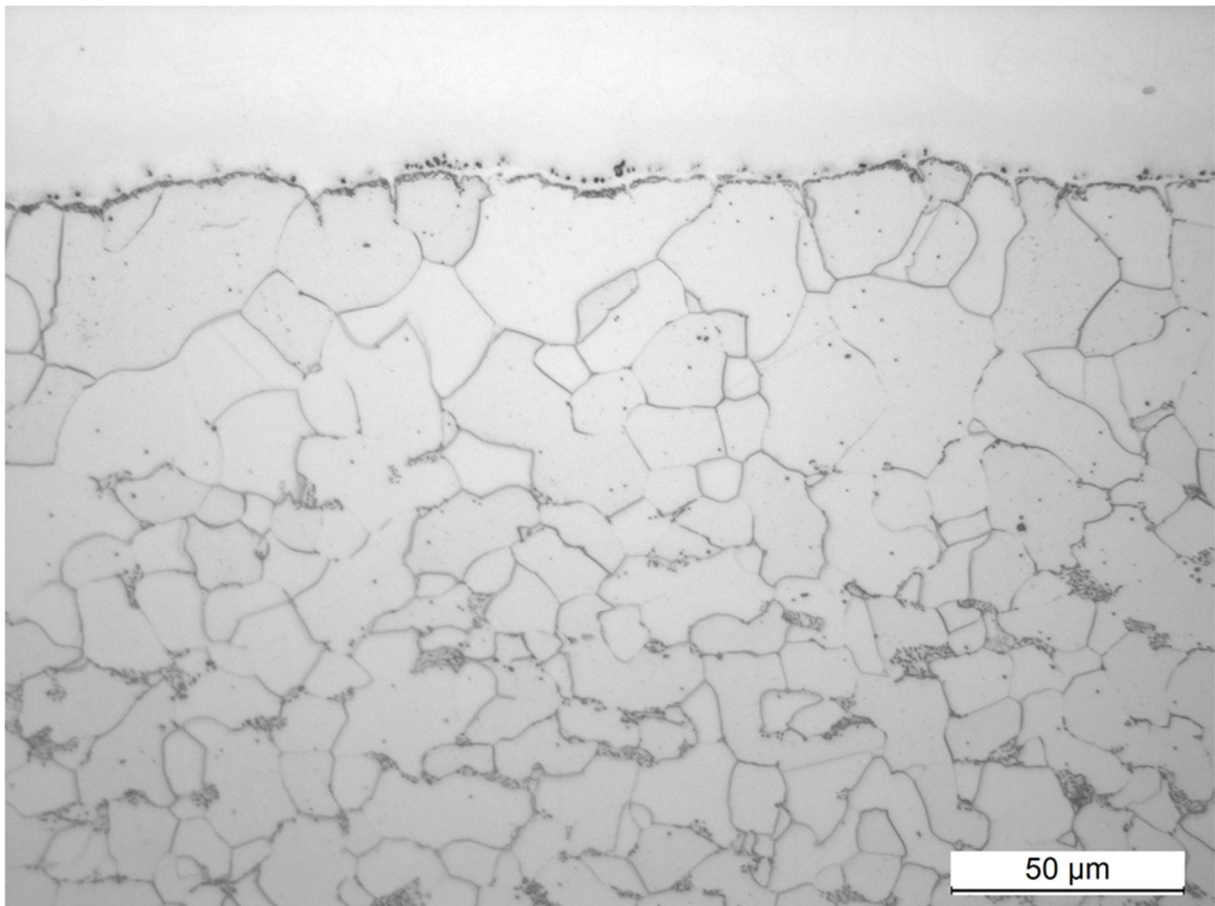
Kuva 79. San38 rajapinta, toimitustila



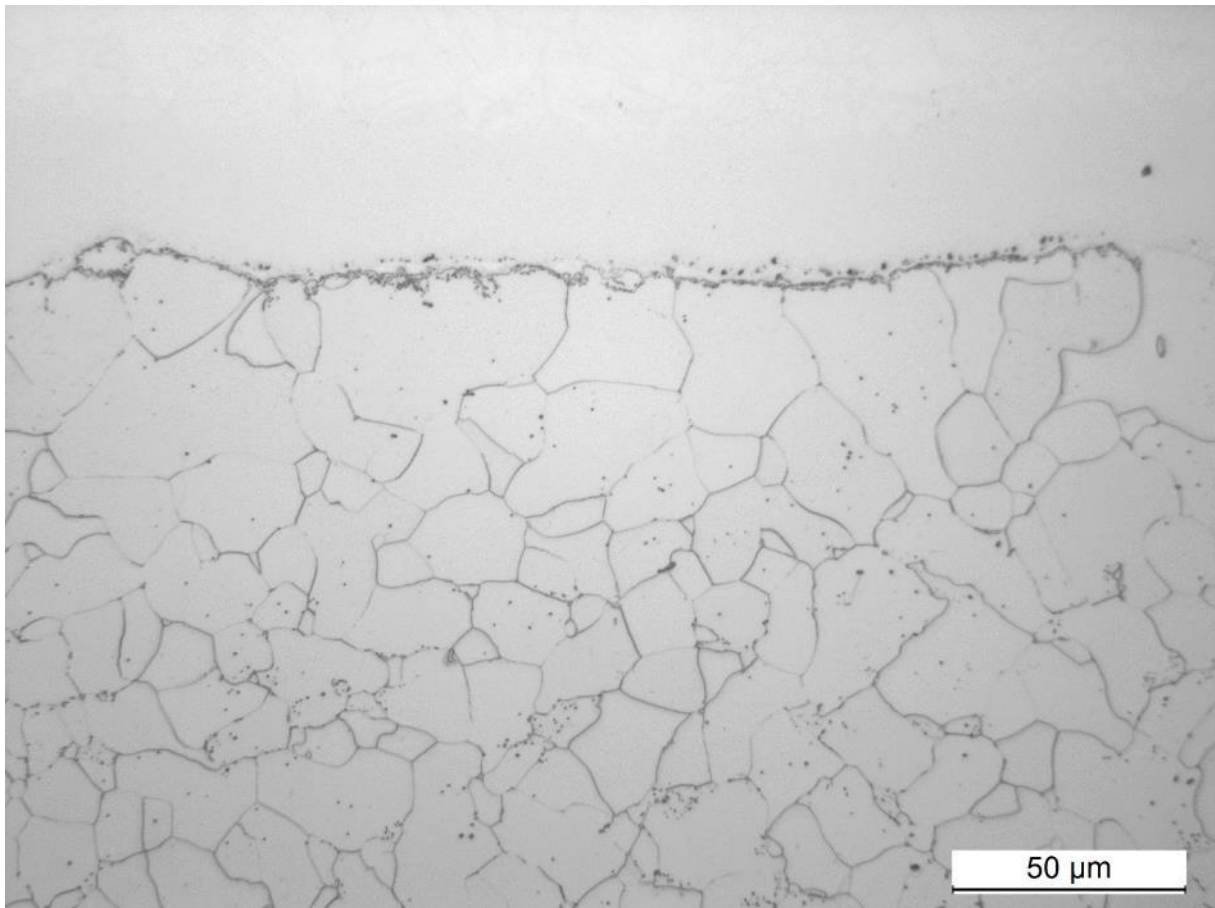
Kuva 80. San38, 600°C, 100 h



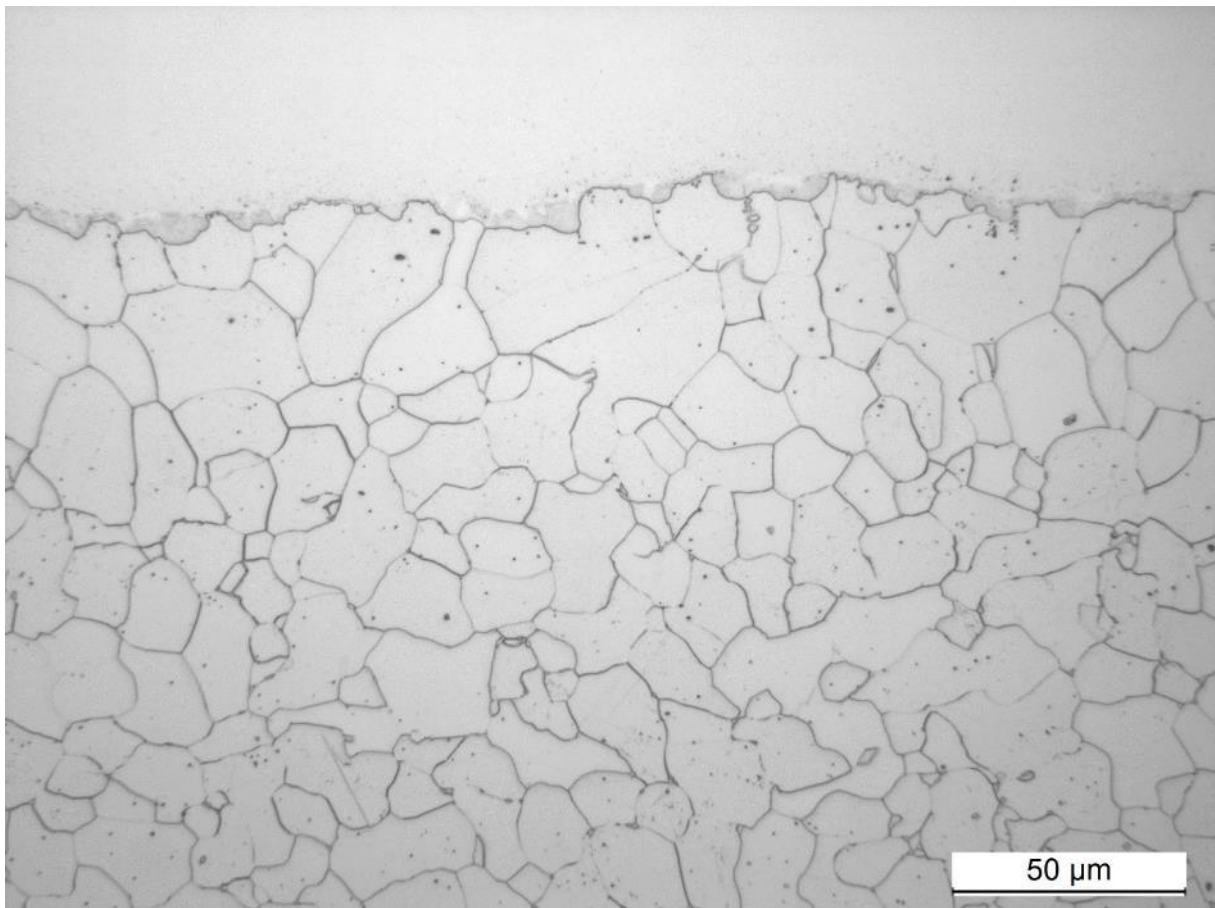
Kuva 81. San38 rajapinta, 600°C, 1000 h



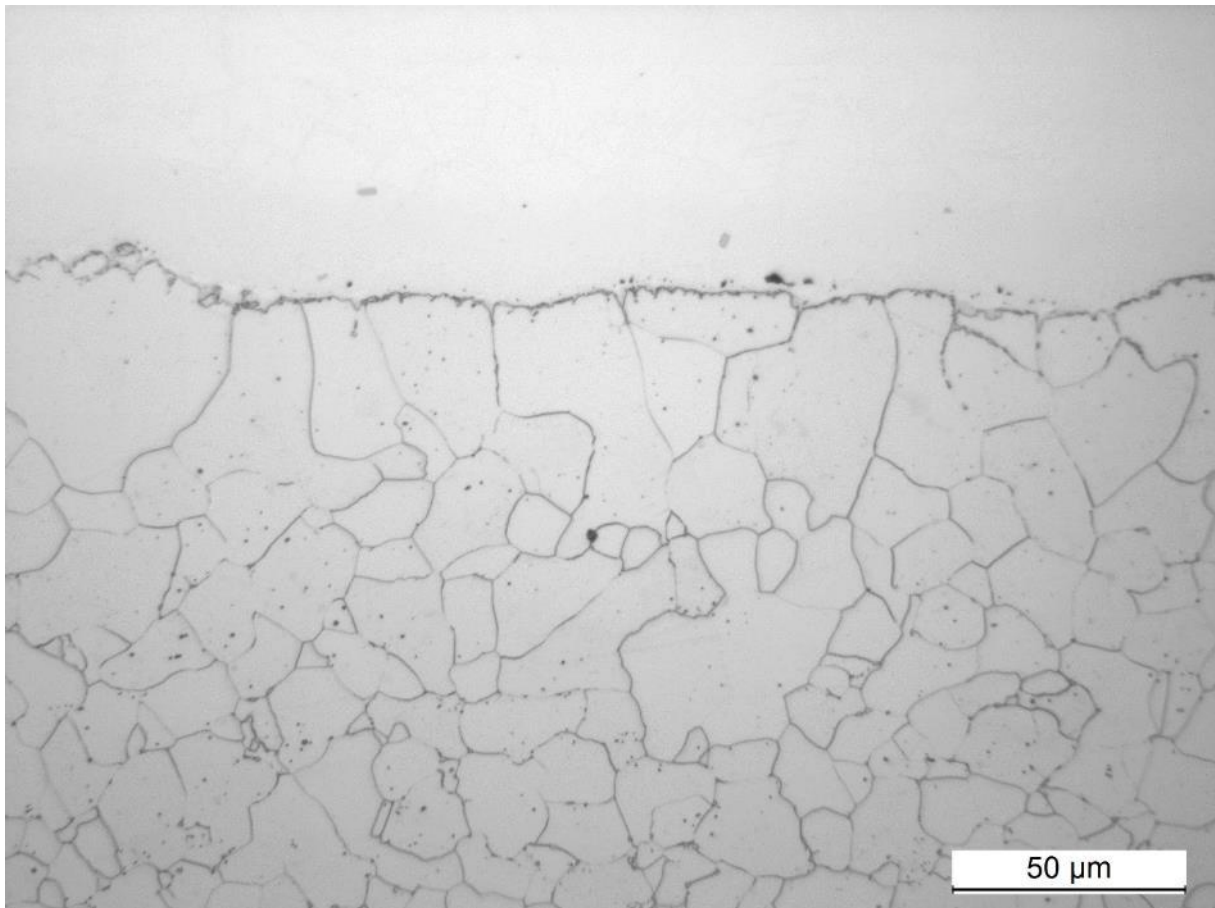
Kuva 82. San38, 650°C, 10 h



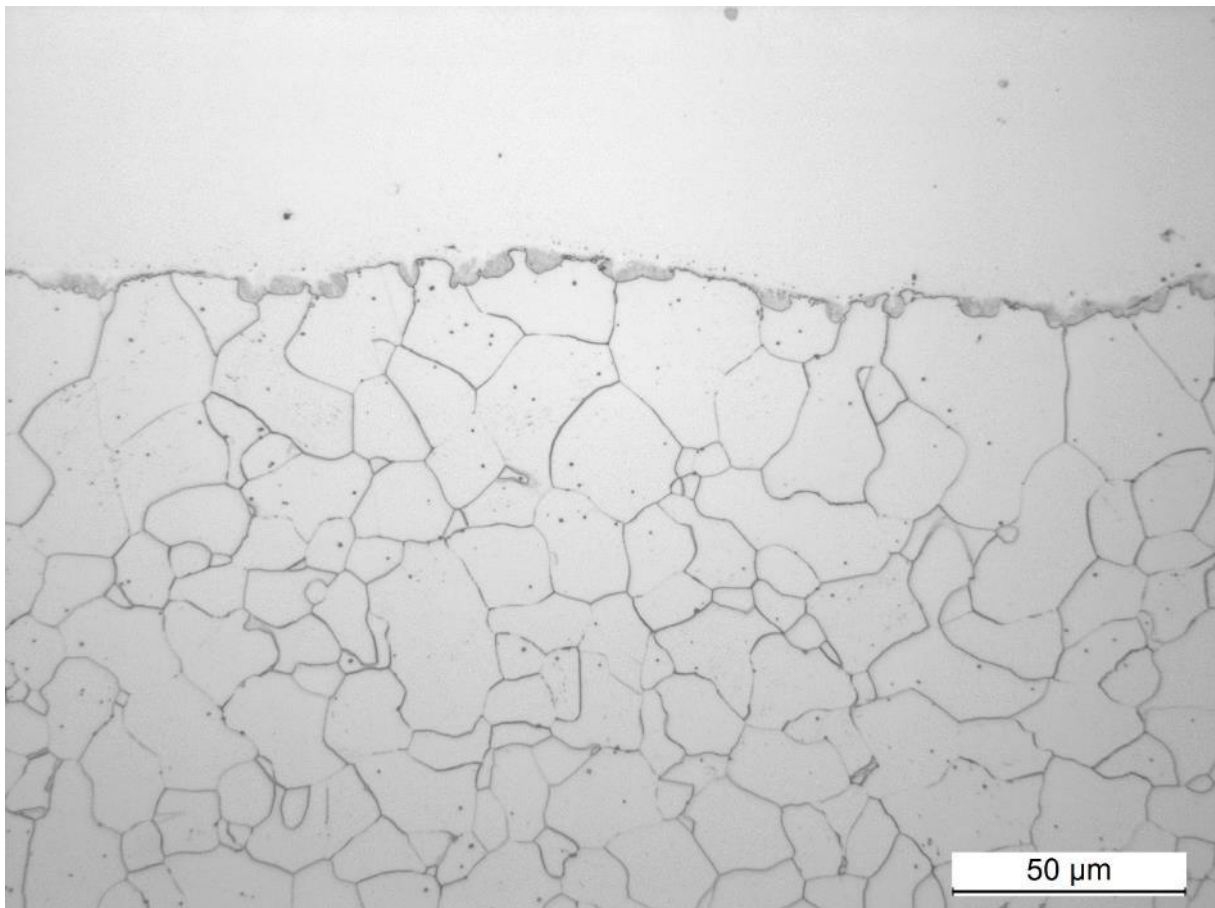
Kuva 83. San38, 650°C, 100 h



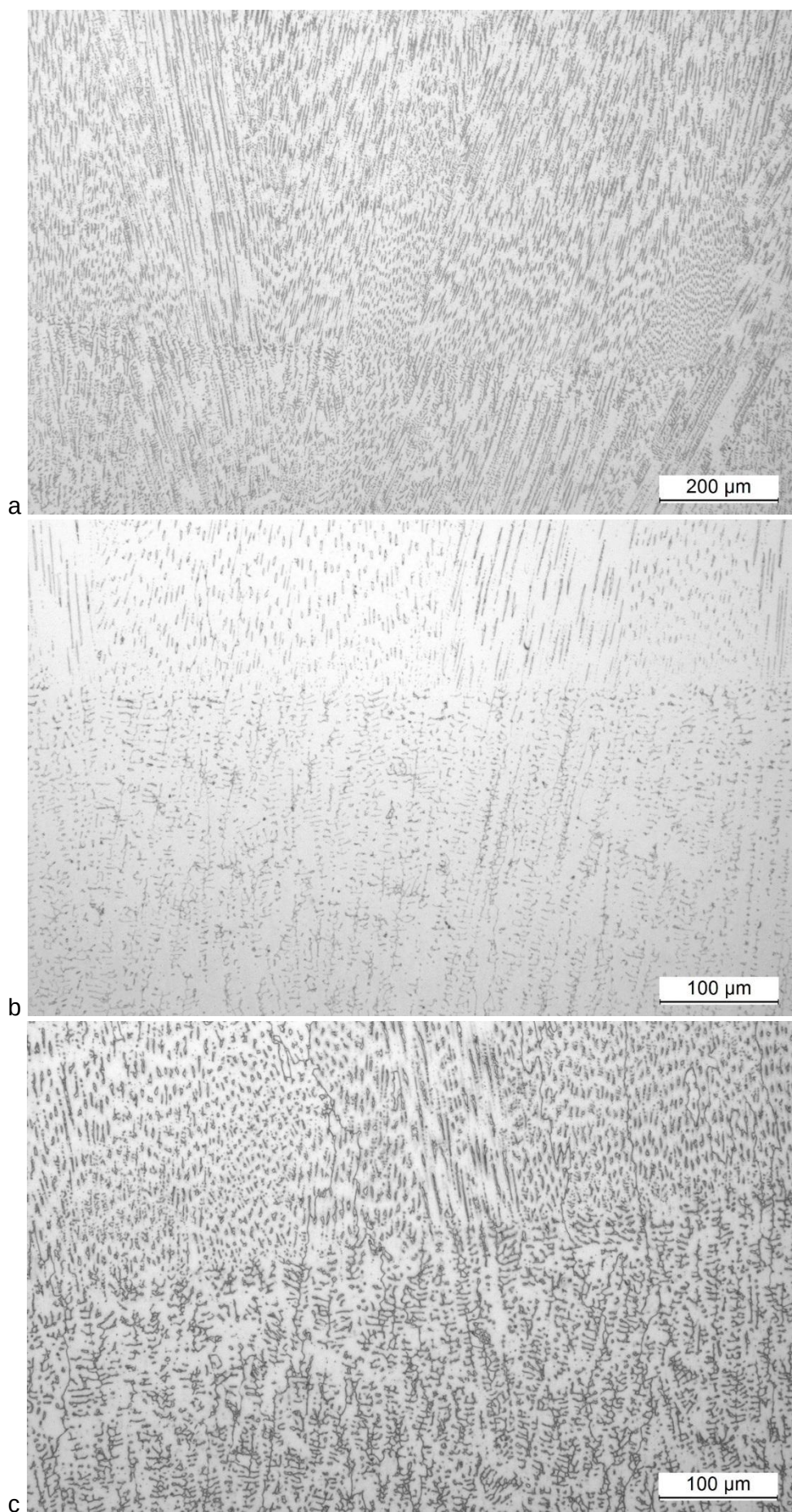
Kuva 84. San38, 650°C, 1000 h



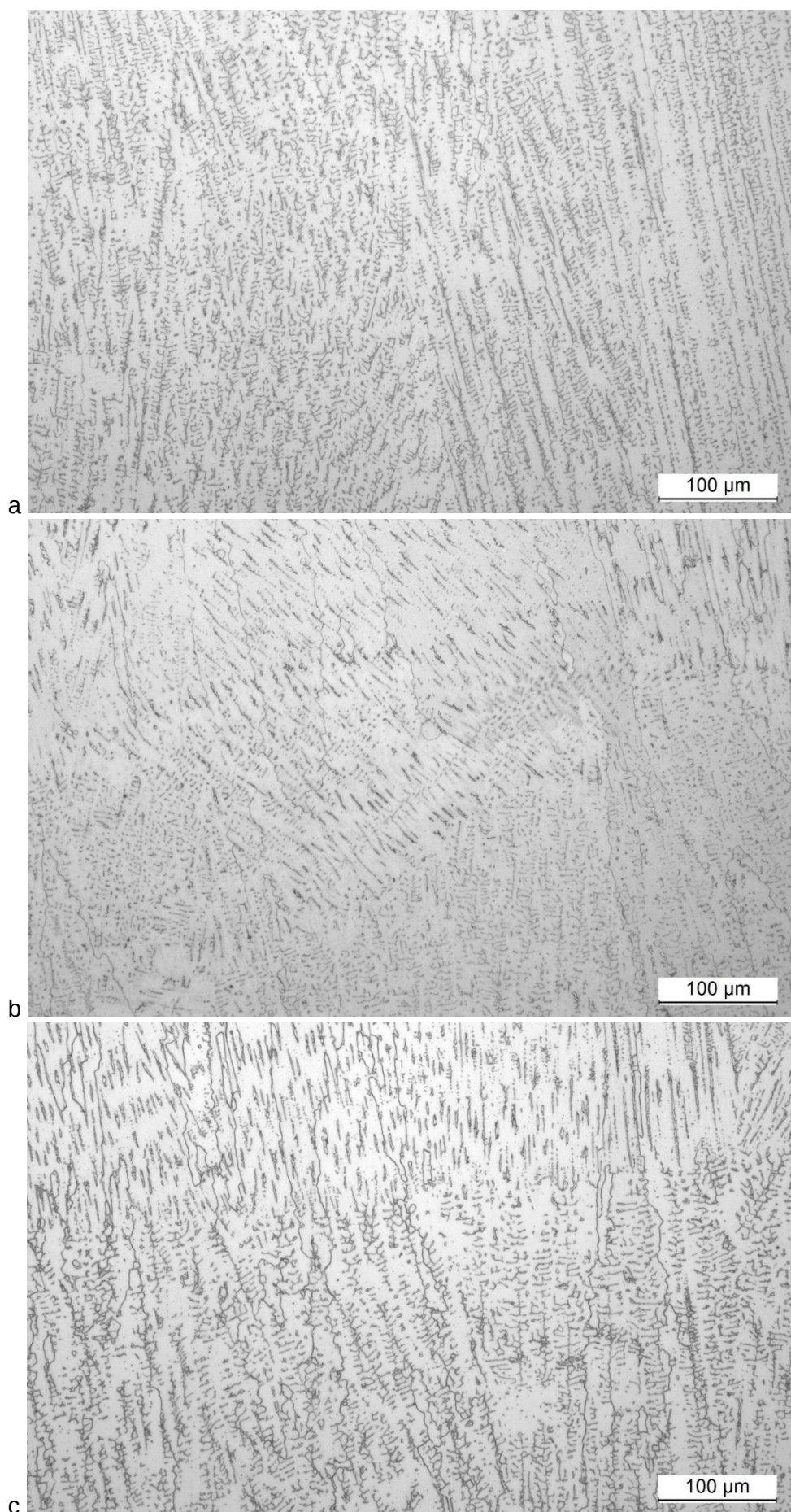
Kuva 85. San38, 700°C, 10 h



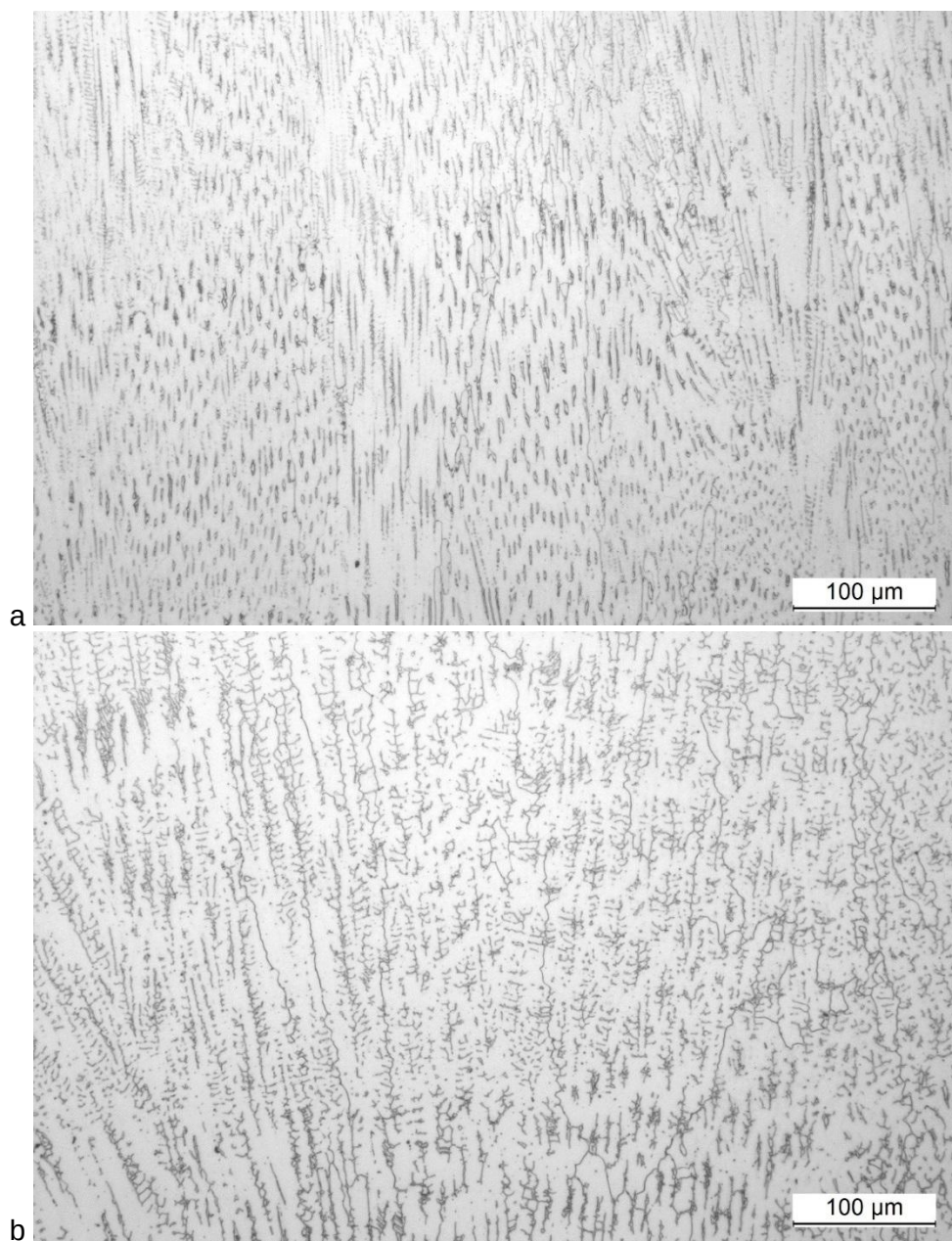
Kuva 86. San38, 700°C, 100 h



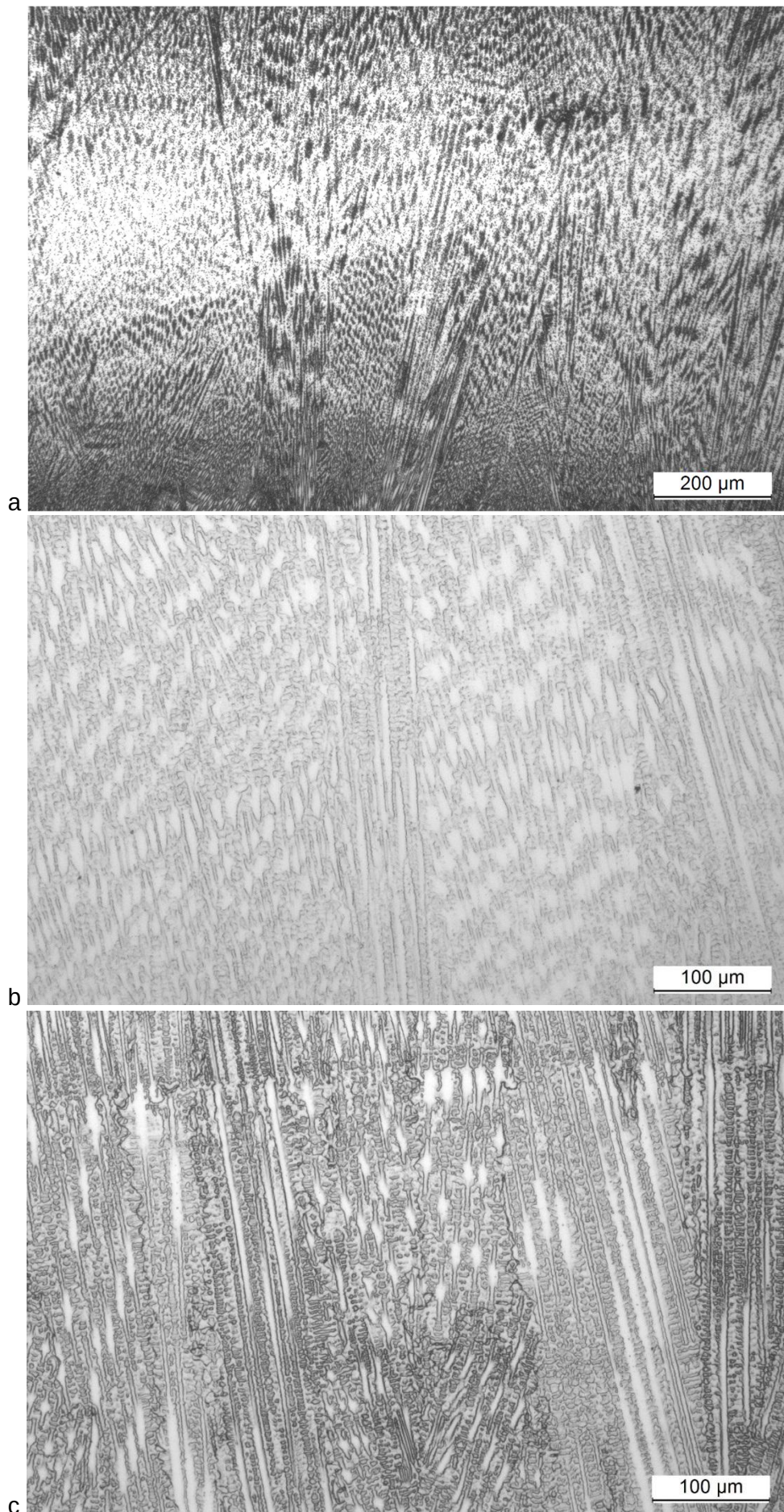
Kuva 1. 309 AZZ, a) toimitustila, b) 600°C, 100 h, c) 600°C, 1000 h, huom. suur.



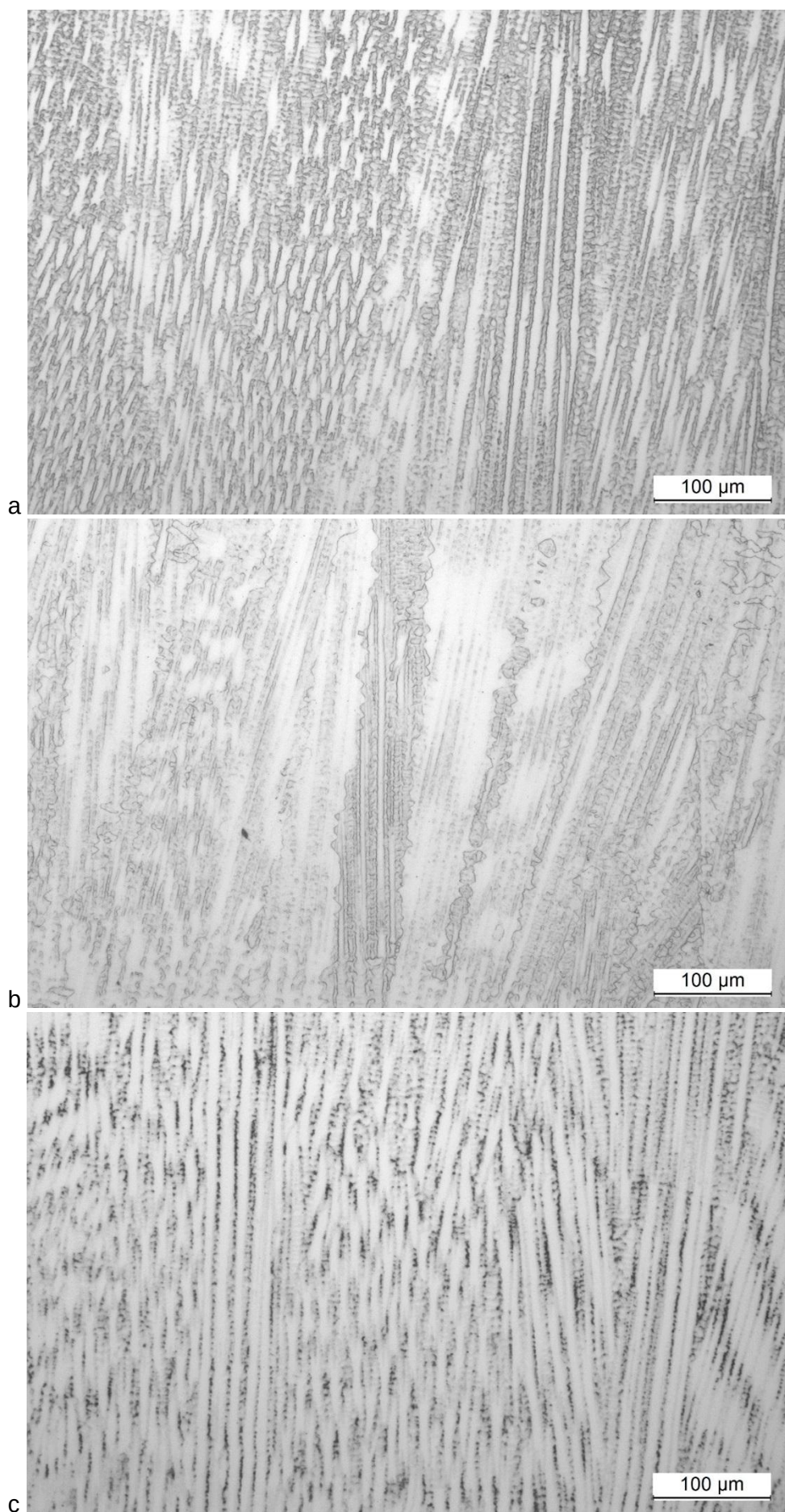
Kuva 2. 309 AZZ, a) 650°C, 10h, b) 650°C, 100 h, c) 650°C, 1000 h



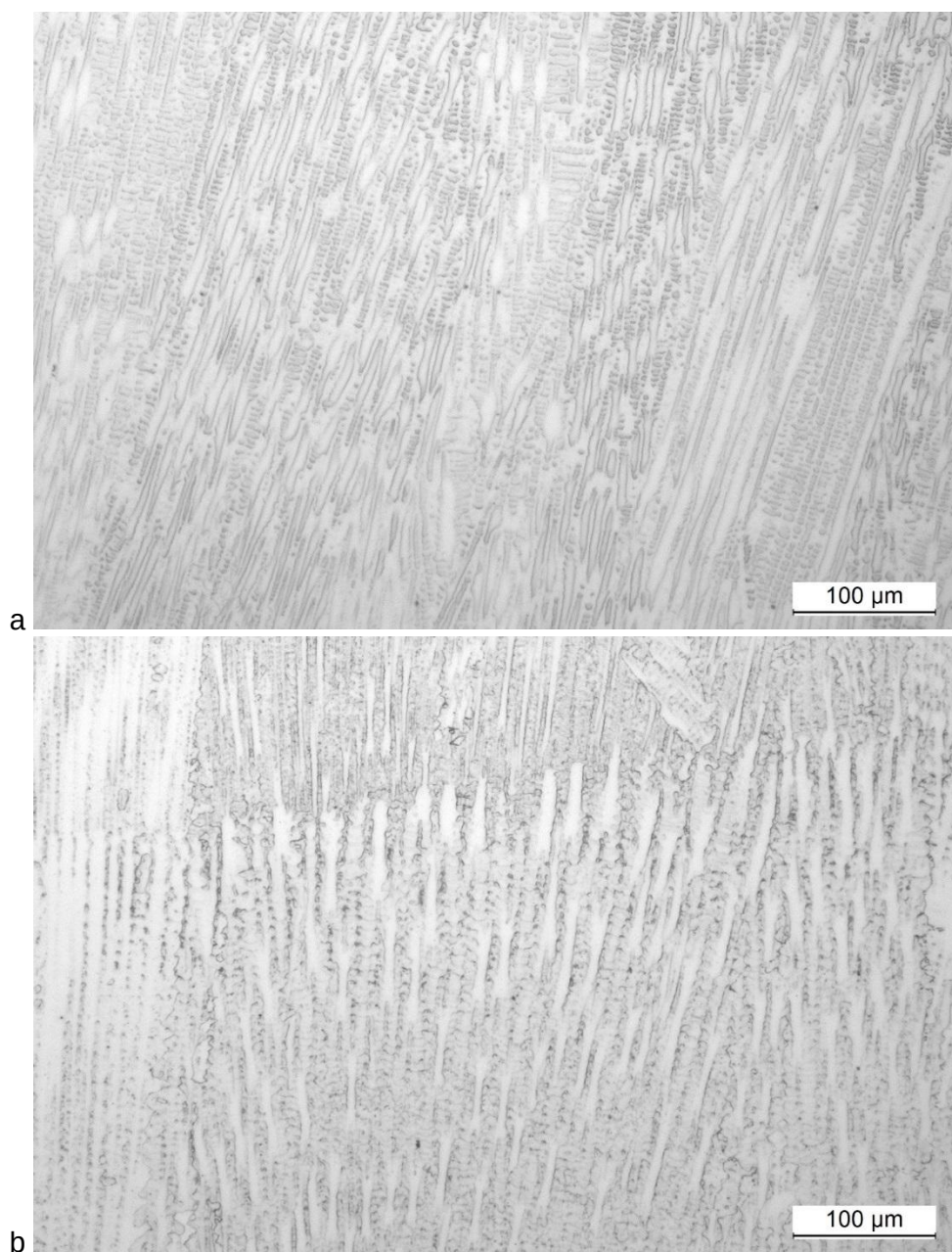
Kuva 3. 309 AZZ, a) 700°C, 10h, b) 700°C, 100 h



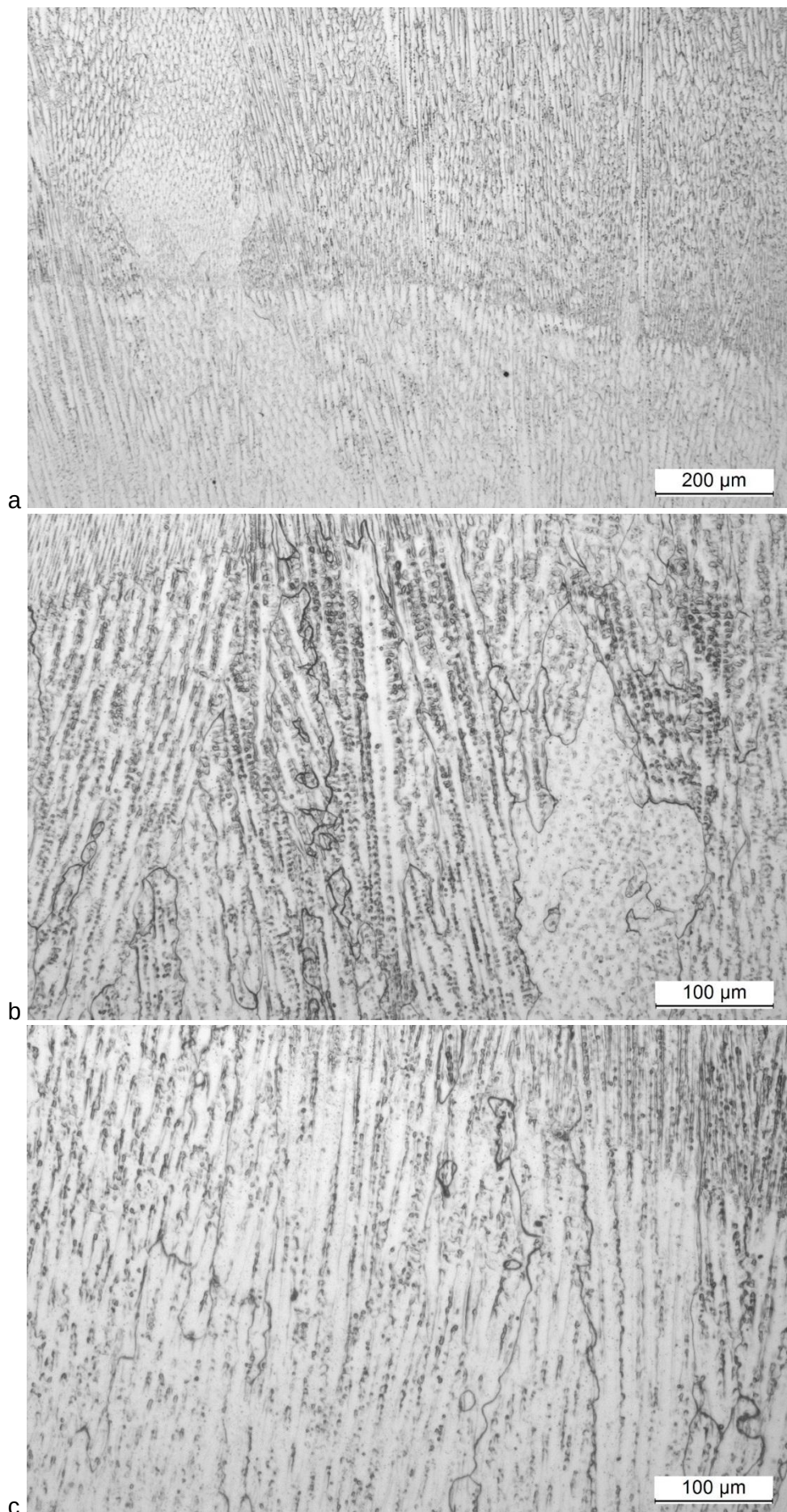
Kuva 4. IN625 AZZ, a) toimitustila, b) 600°C, 100 h, c) 600°C, 1000 h, huom suurennos



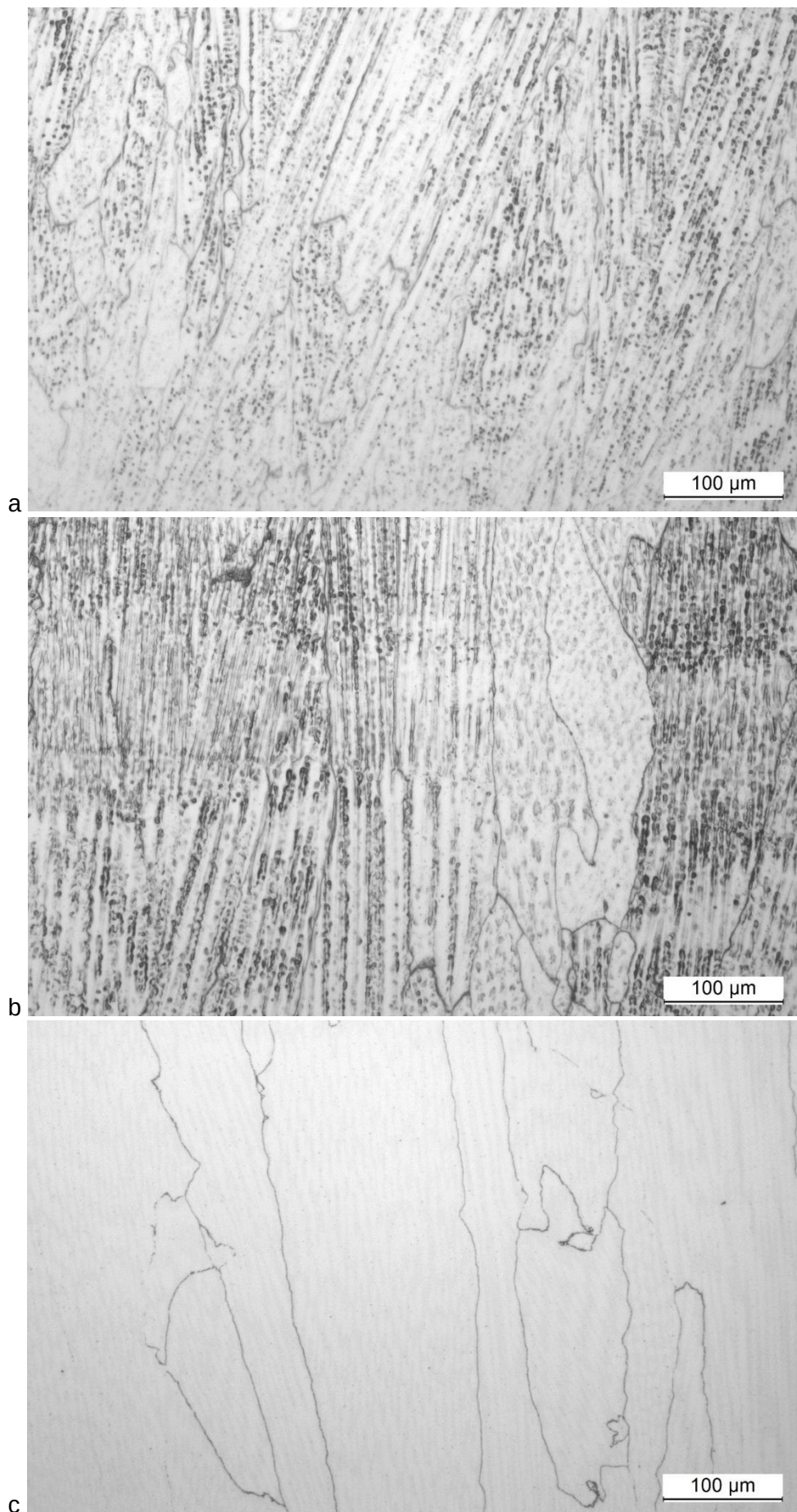
Kuva 5. IN625 AZZ, a) 650°C, 10h, b) 650°C, 100 h, c) 650°C, 1000 h



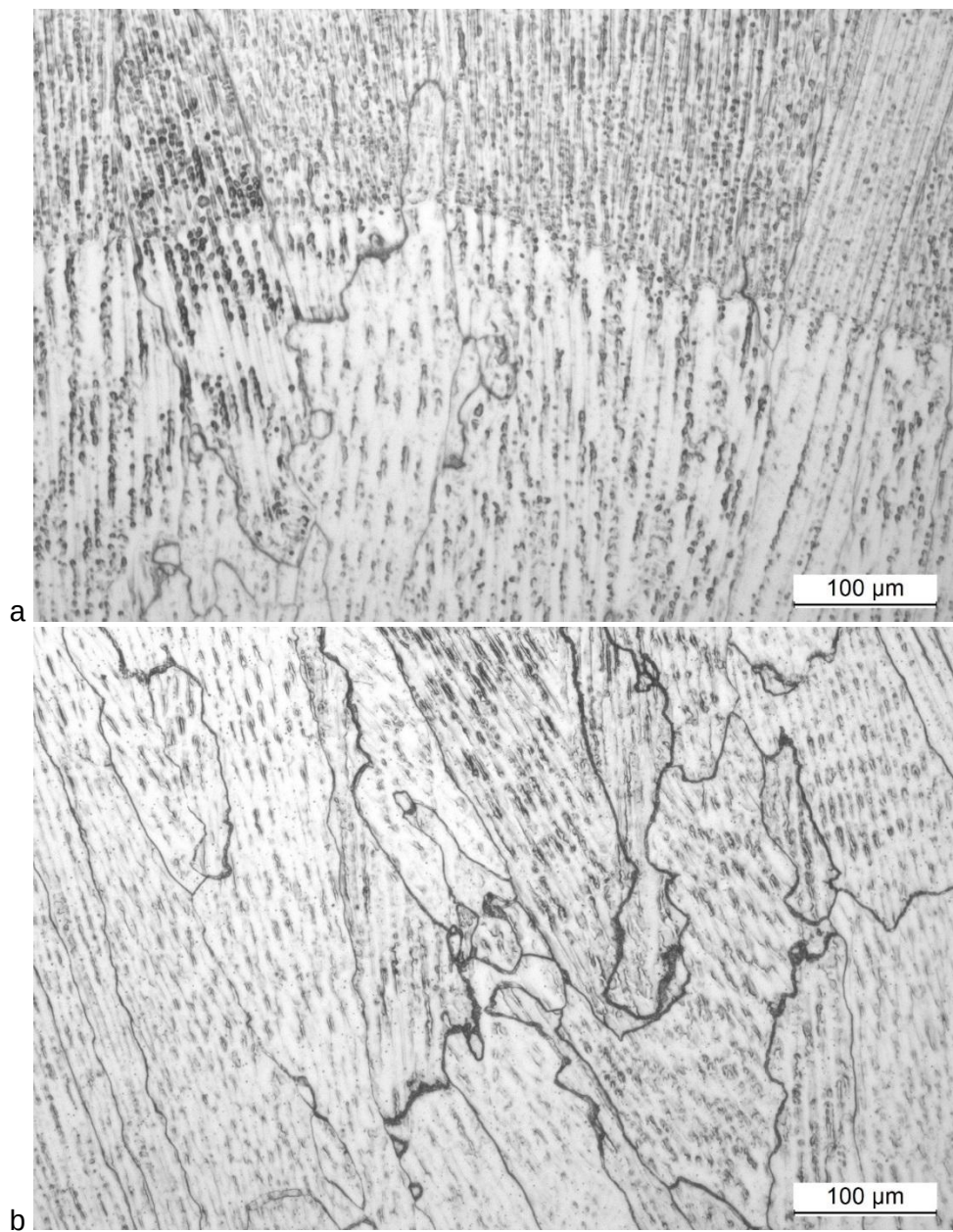
Kuva 6. IN625 AZZ, a) 700°C, 10h, b) 700°C, 100 h



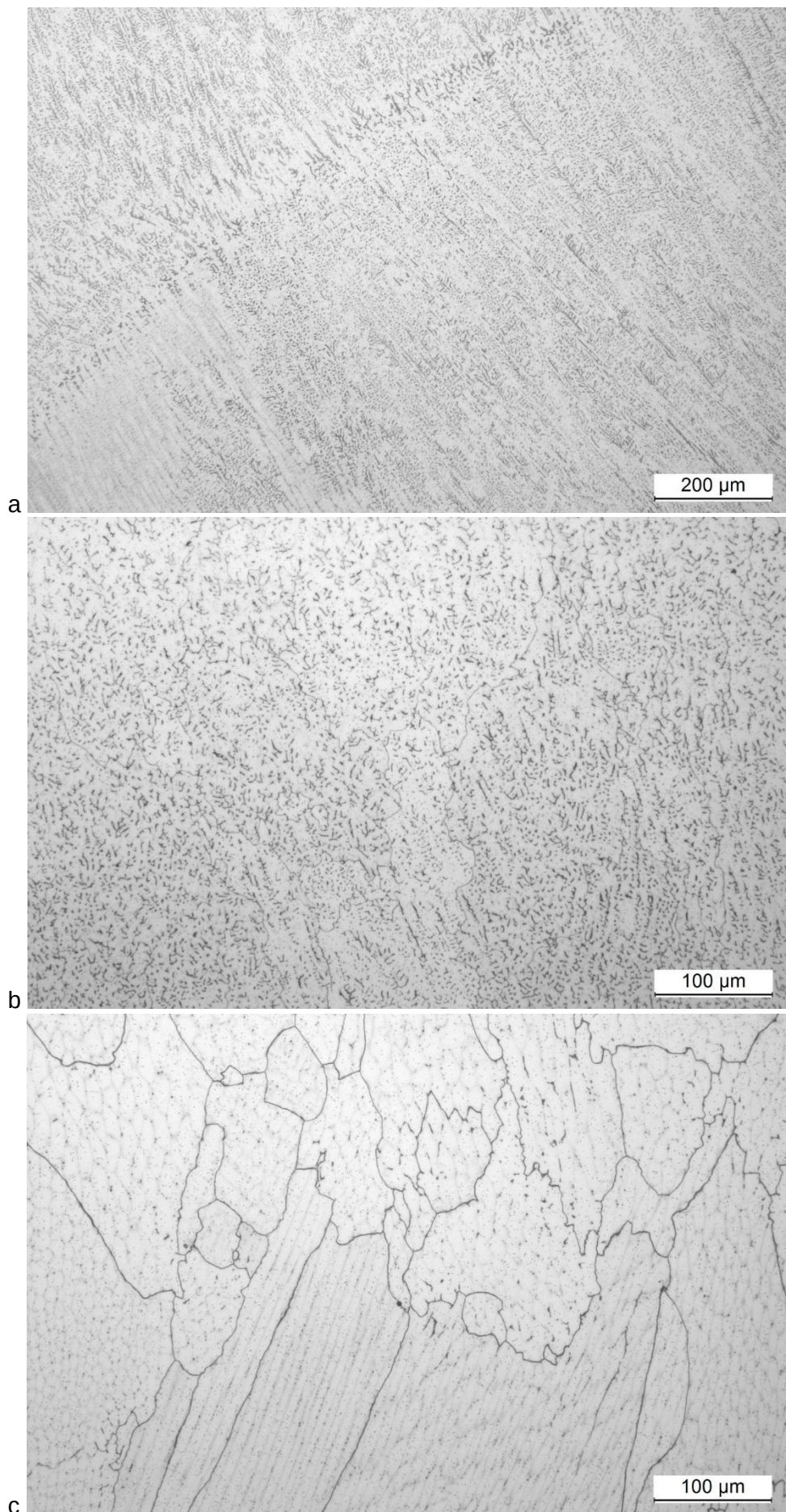
Kuva 7. IN825 AZZ, toimitustila, b) 600°C, 100 h, c) 600°C, 1000 h, huom. suur.



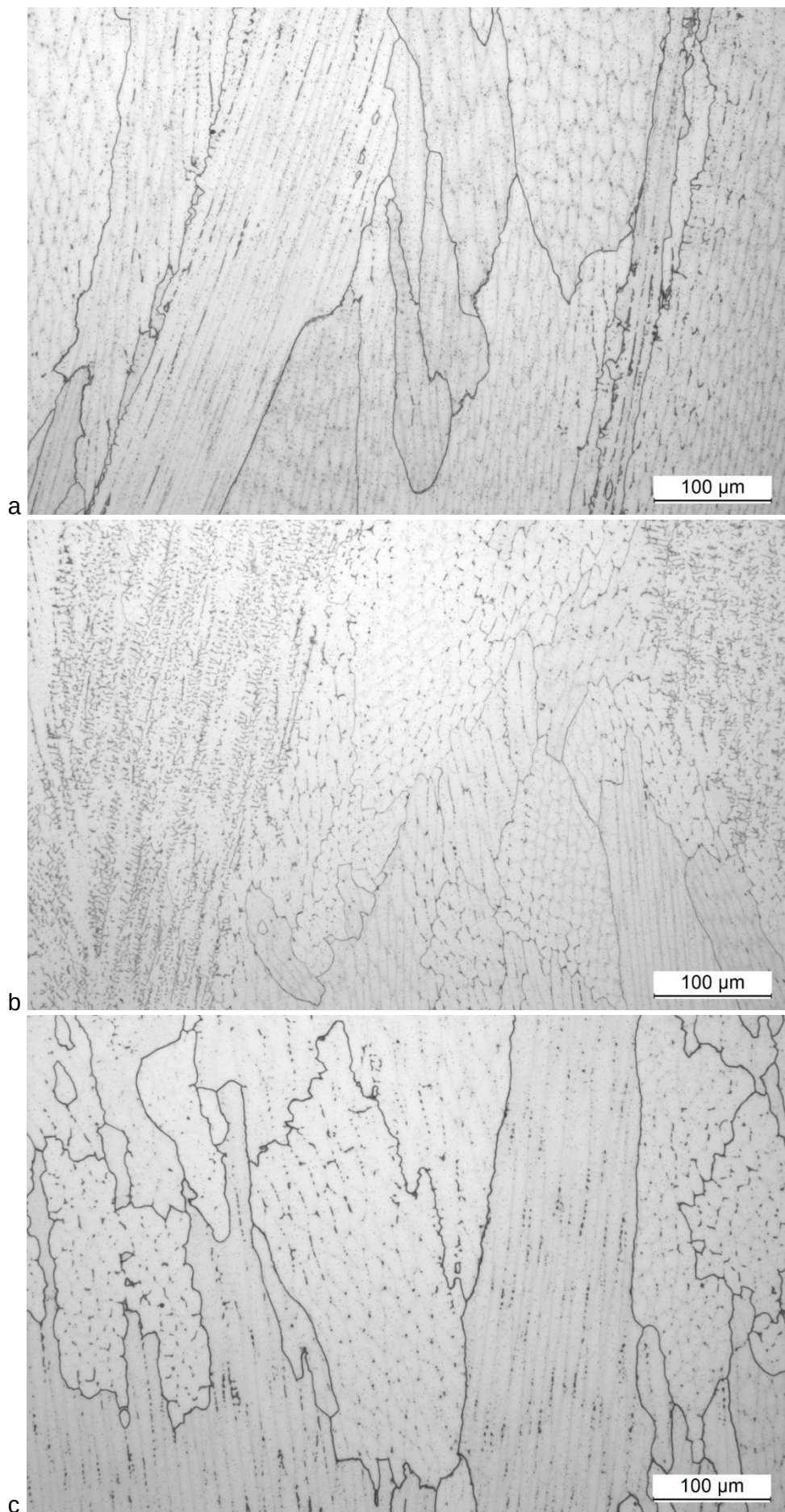
Kuva 8. IN825 AZZ, a) 650°C, 10h, b) 650°C, 100 h, c) 650°C, 1000 h



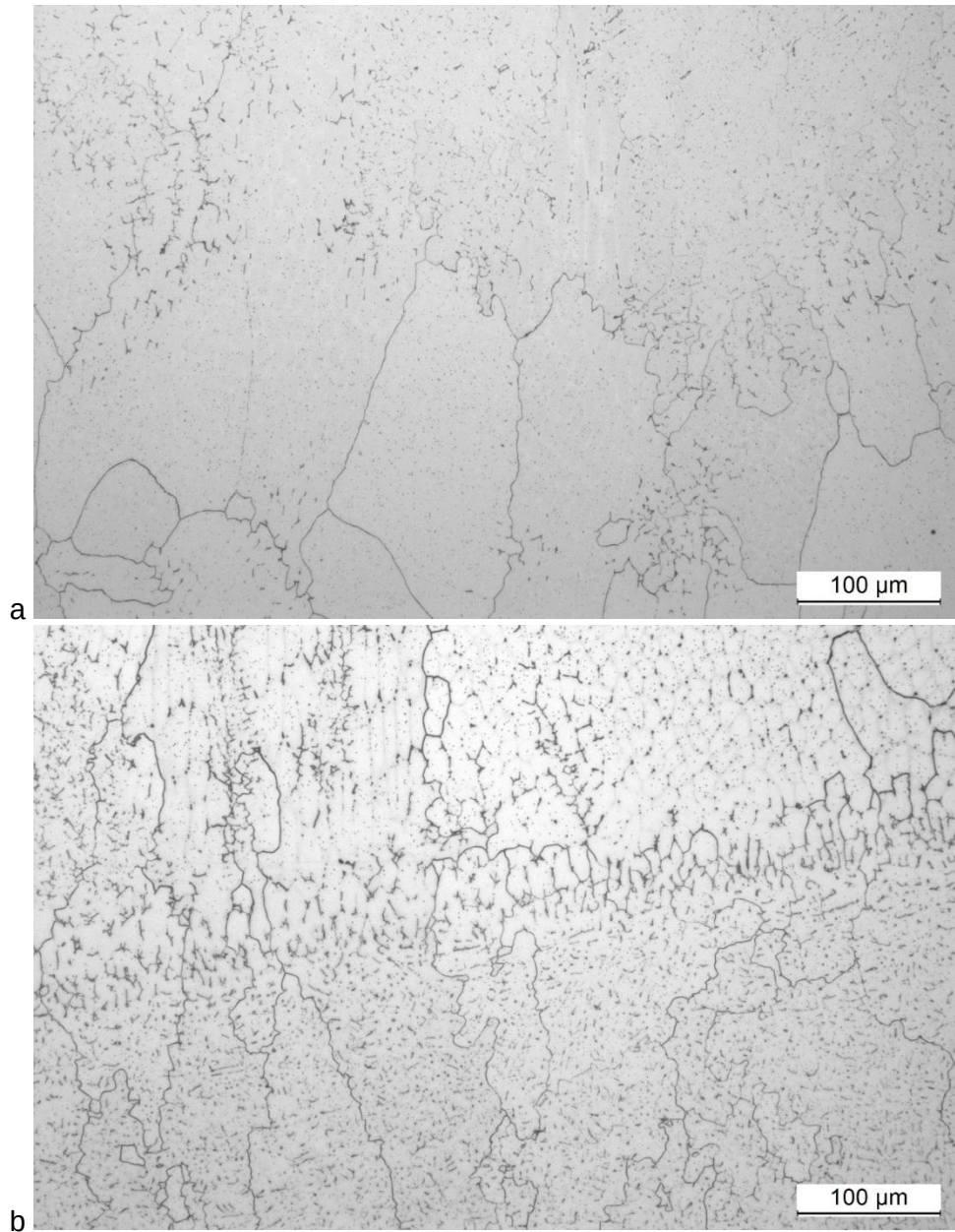
Kuva 9. IN825 AZZ, a) 700°C, 10h, b) 700°C, 100 h



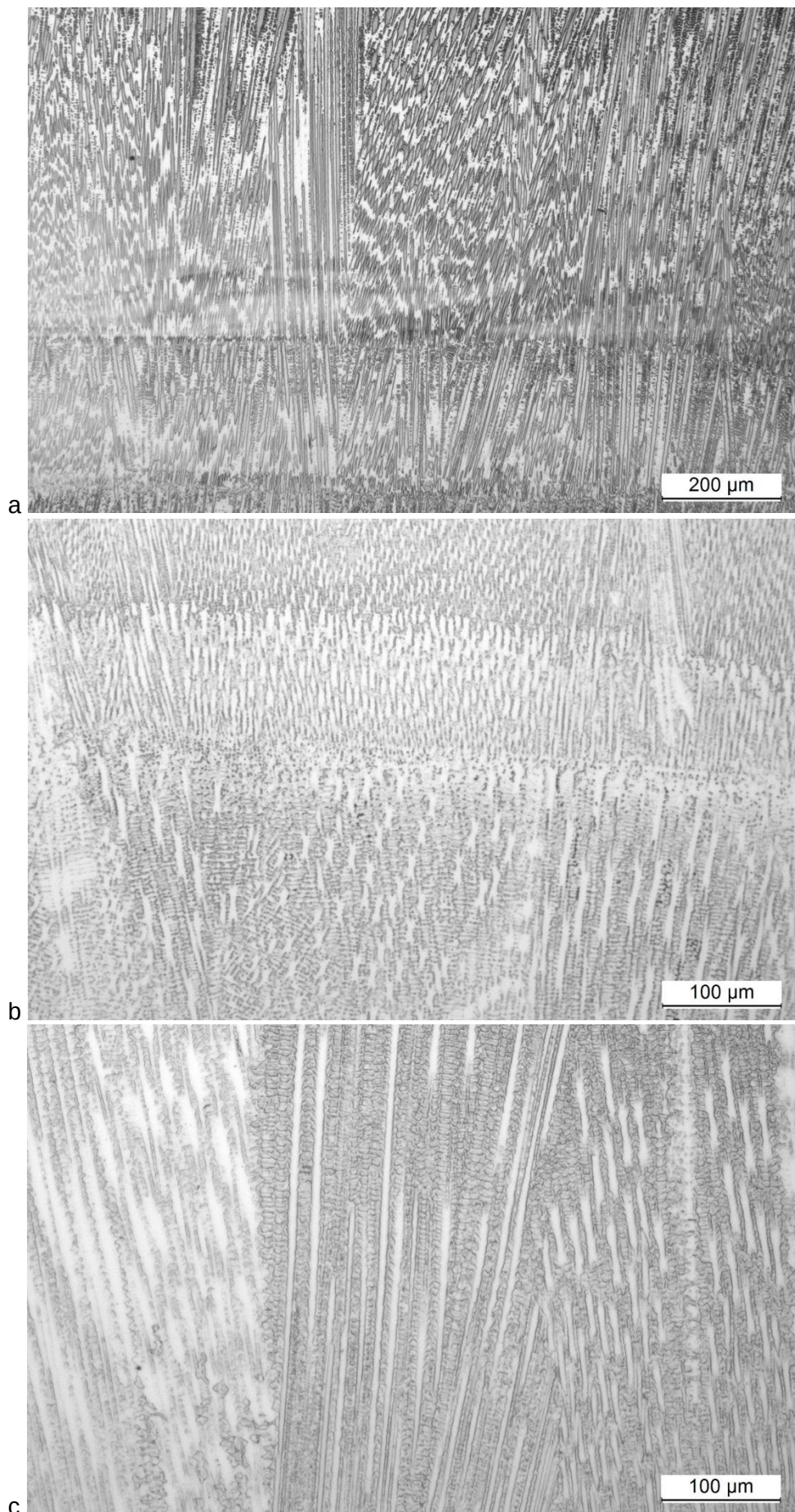
Kuva 10. 309 Uhlig, a) toimitustila b) 600°C, 100 h, c) 600°C, 1000 h, huom suur.



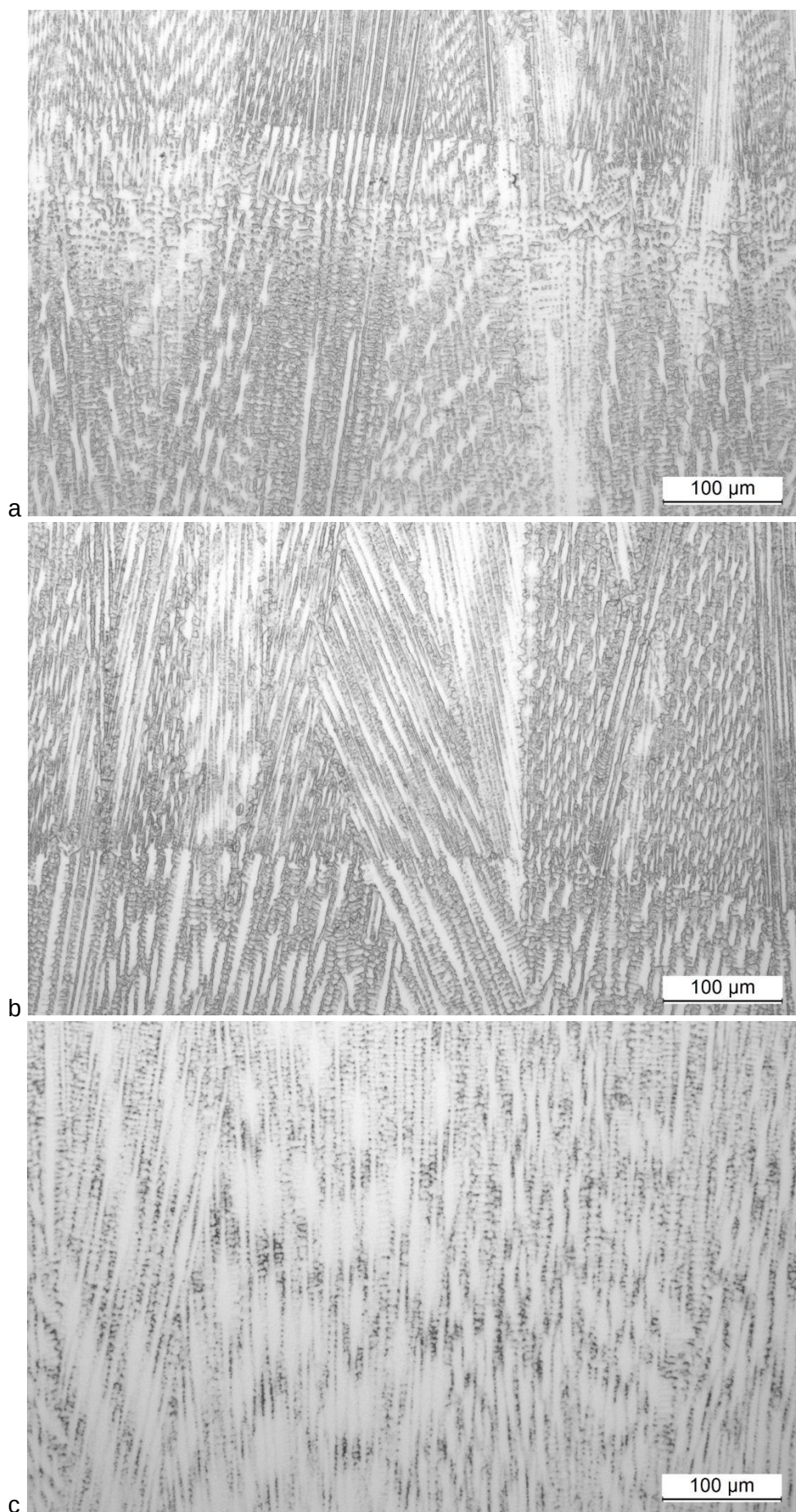
Kuva 11. 309 UHlig a) 650°C, 10h, b) 650°C, 100 h, c) 650°C, 1000 h



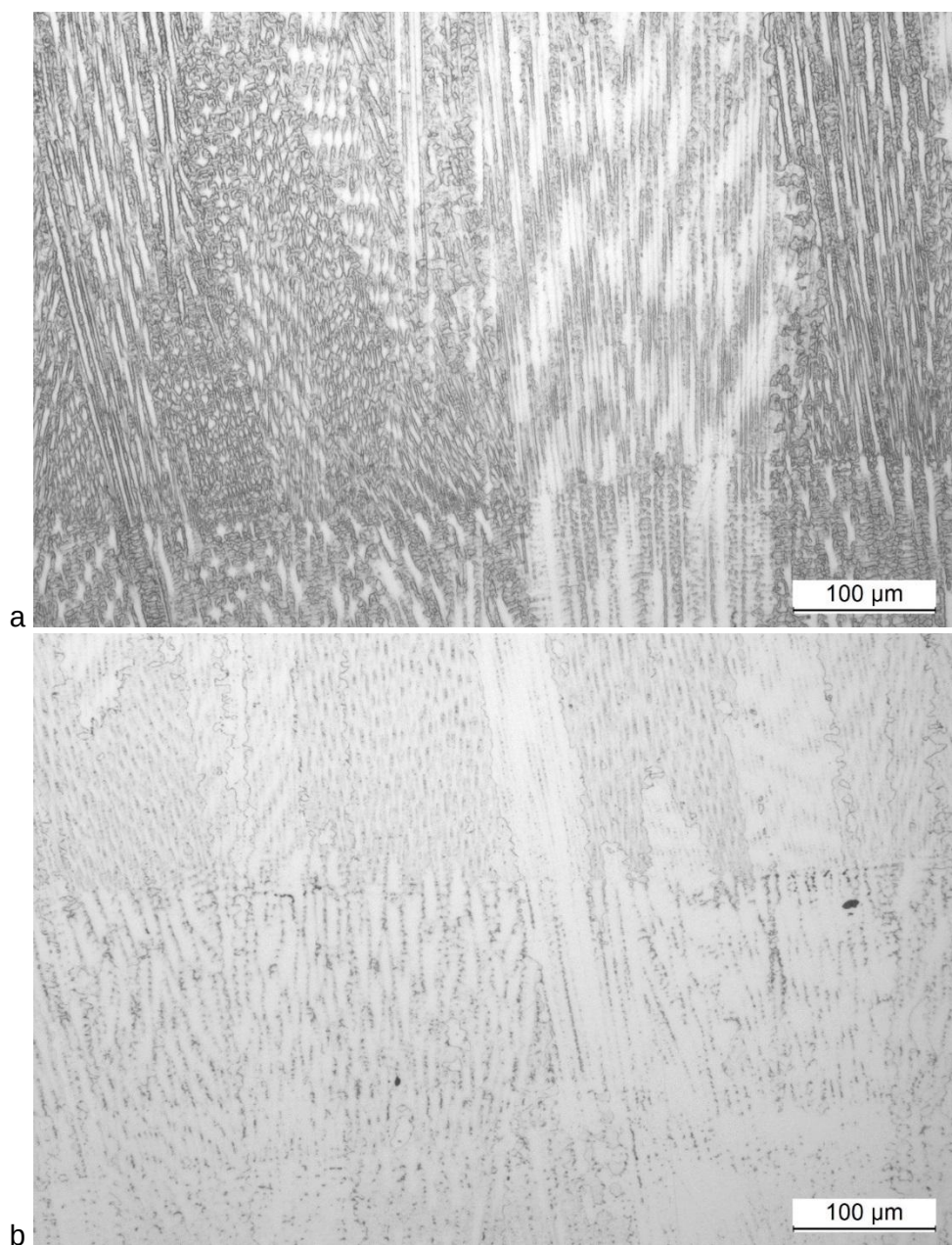
Kuva 12. 309 Uhlig, a) 700°C, 10h, b) 700°C, 100 h



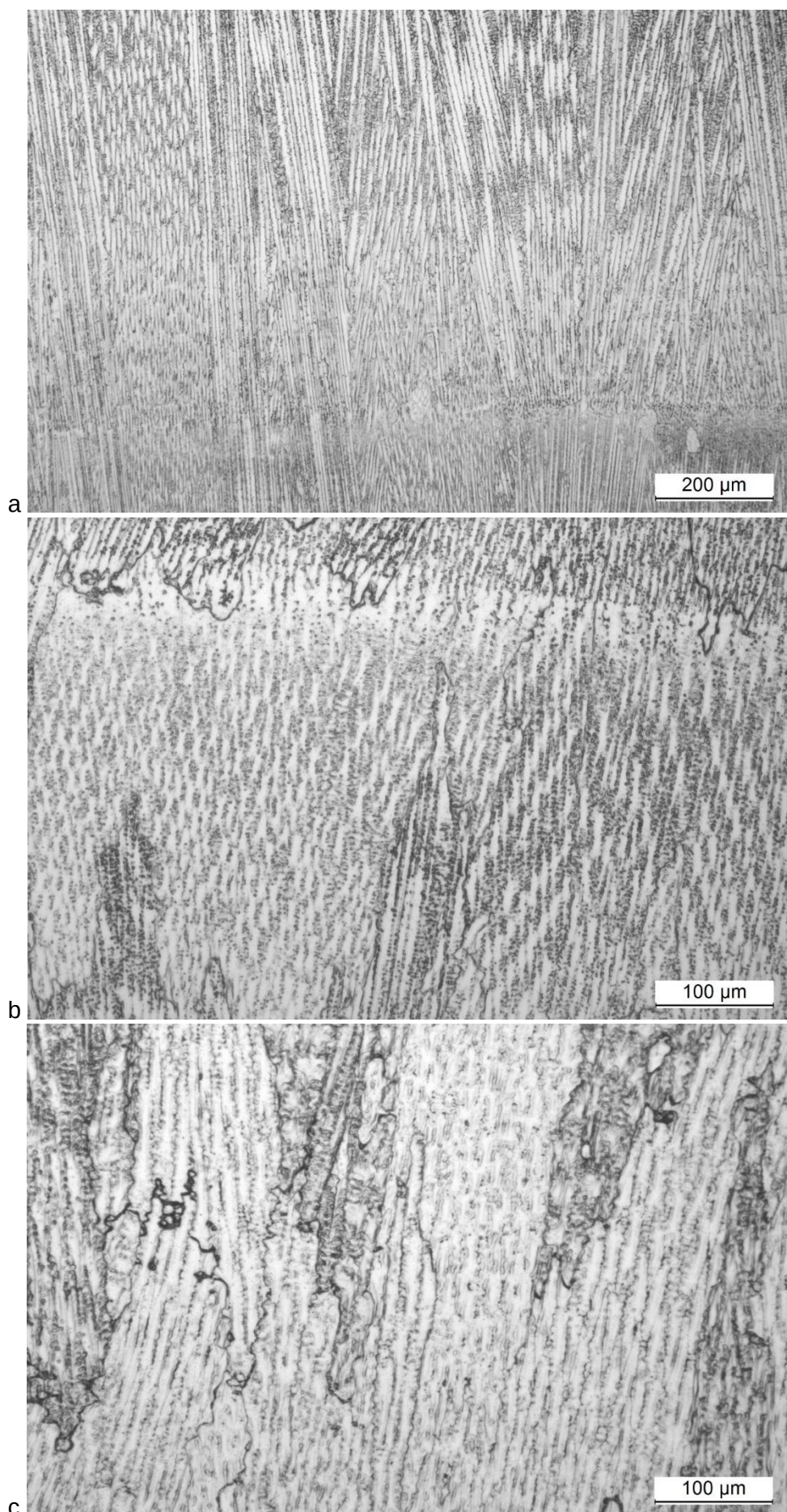
Kuva 13. IN625 Uhlig, a) toimitustila, b) 600°C, 100 h, c) 600°C, 1000 h, huom. suur.



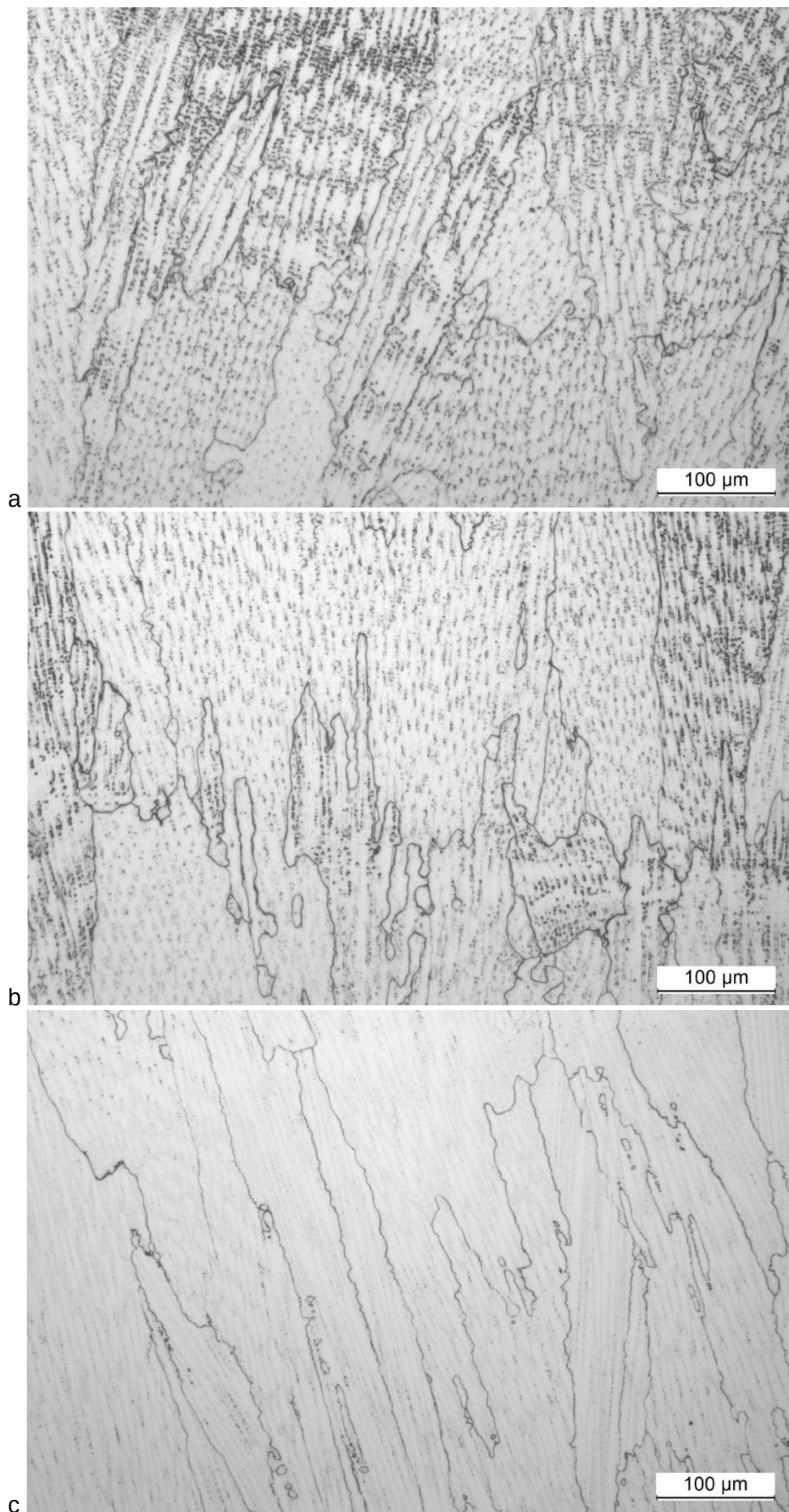
Kuva 14. IN625 Uhlug, a) 650°C, 10h, b) 650°C, 100 h, c) 650°C, 1000 h



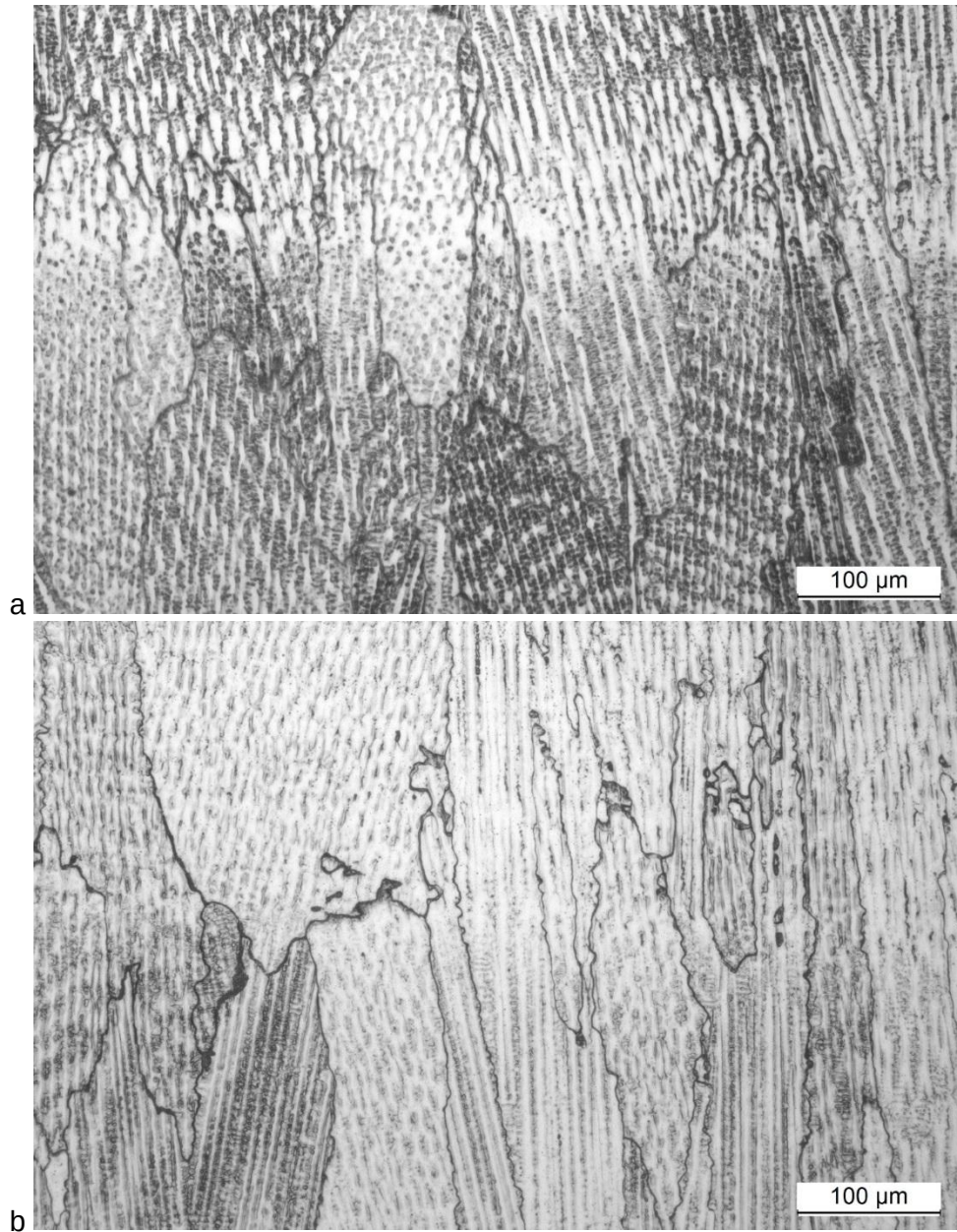
Kuva 15. IN625 Uhlig, a) 700°C, 10h, b) 700°C, 100 h



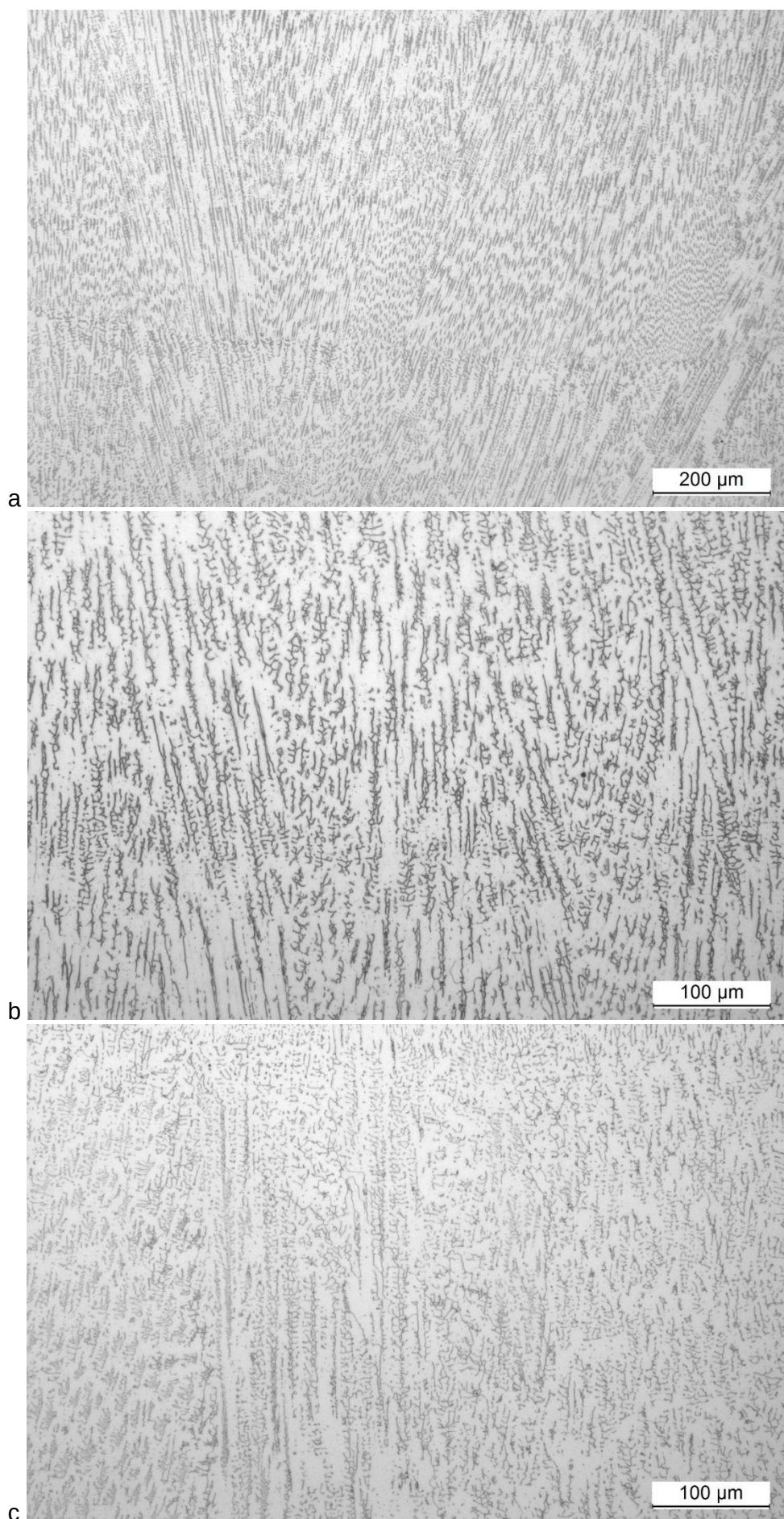
Kuva 16. IN825 Uhlig, a) toimitustila b) 600°C, 100 h, c) 600°C, 1000 h, huom suur.



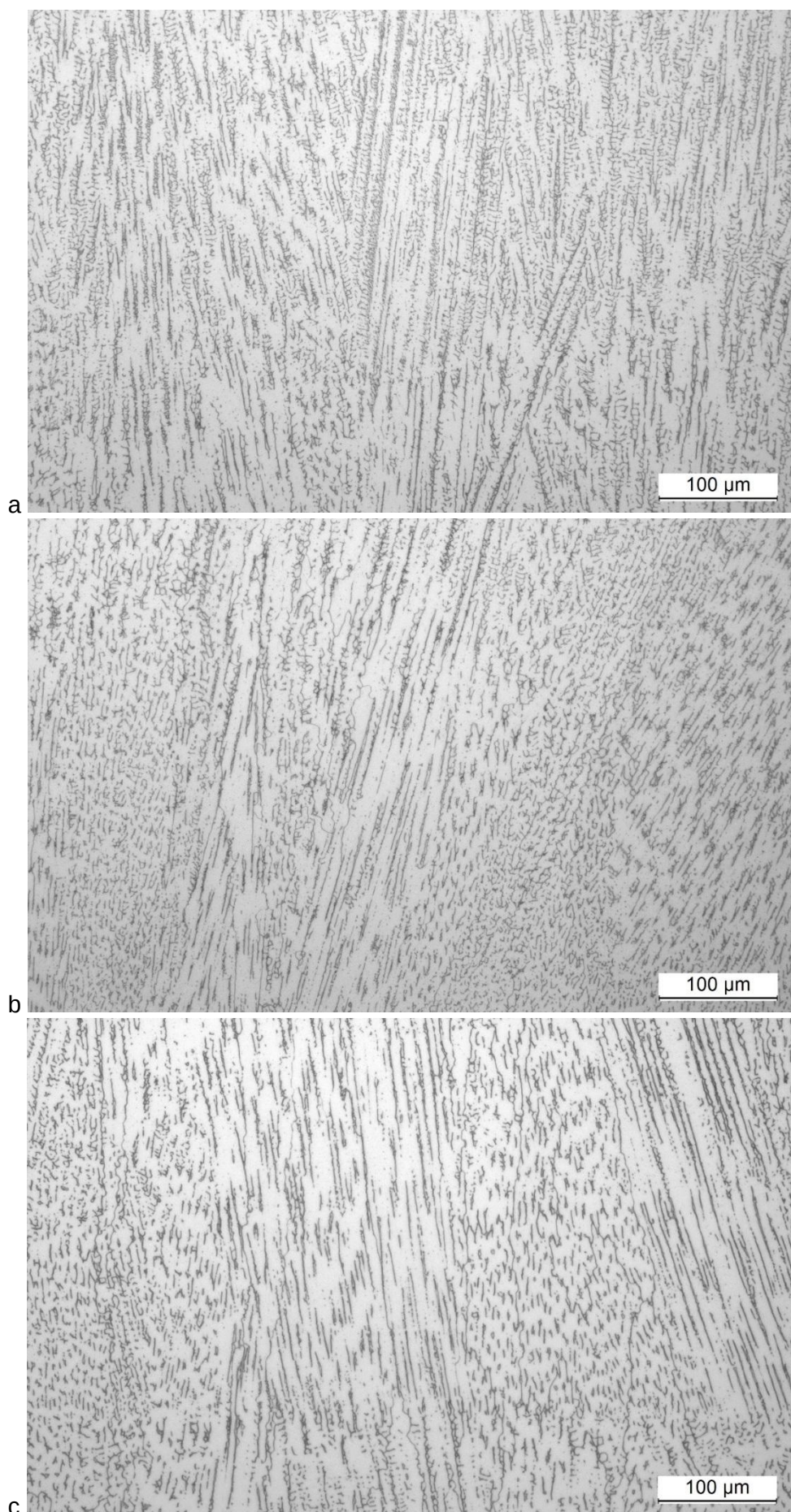
Kuva 17. IN825 Uhlig, a) 650°C, 10h, b) 650°C, 100 h, c) 650°C, 1000 h



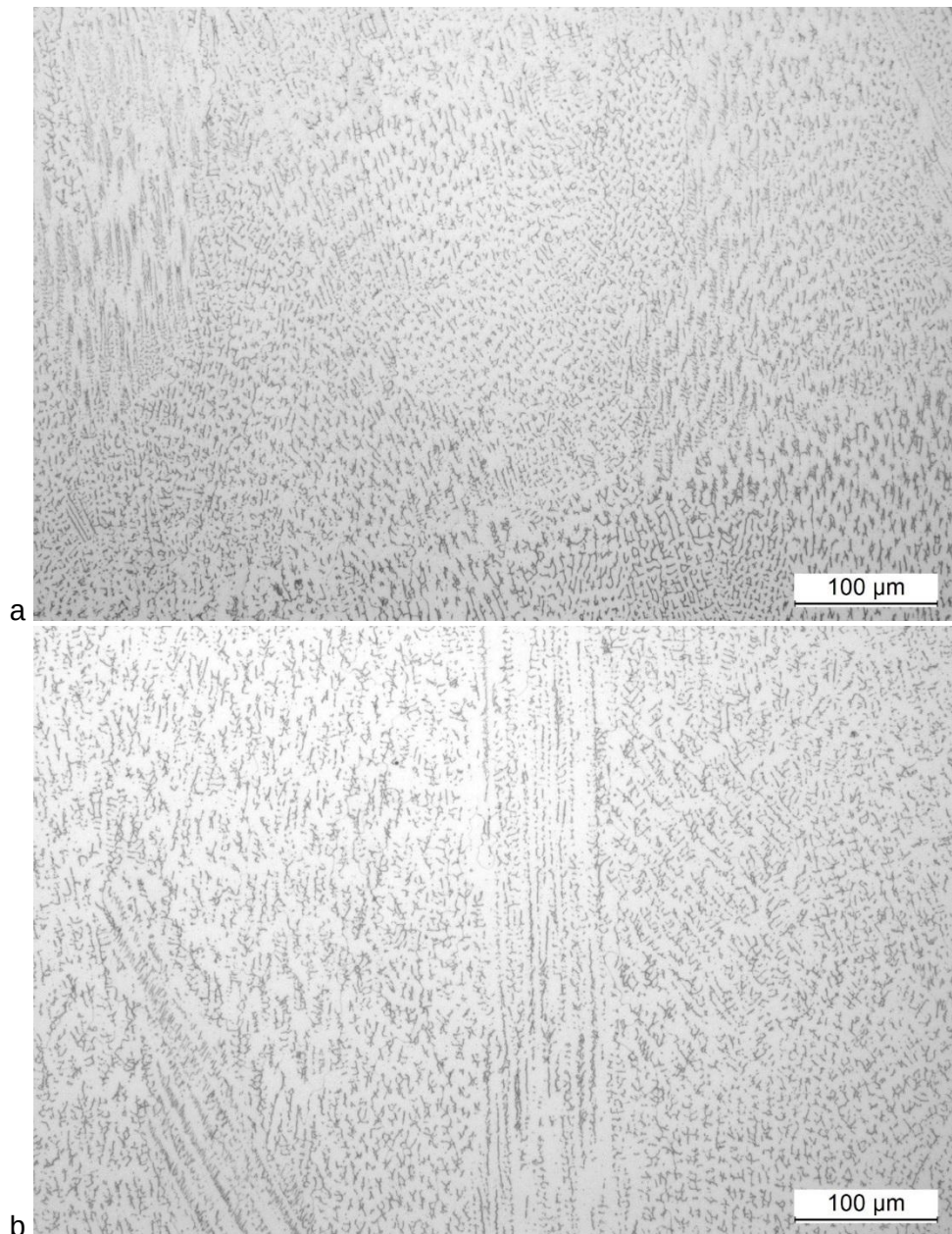
Kuva 18. IN825 Uhlig, a) 700°C, 10h, b) 700°C, 100 h



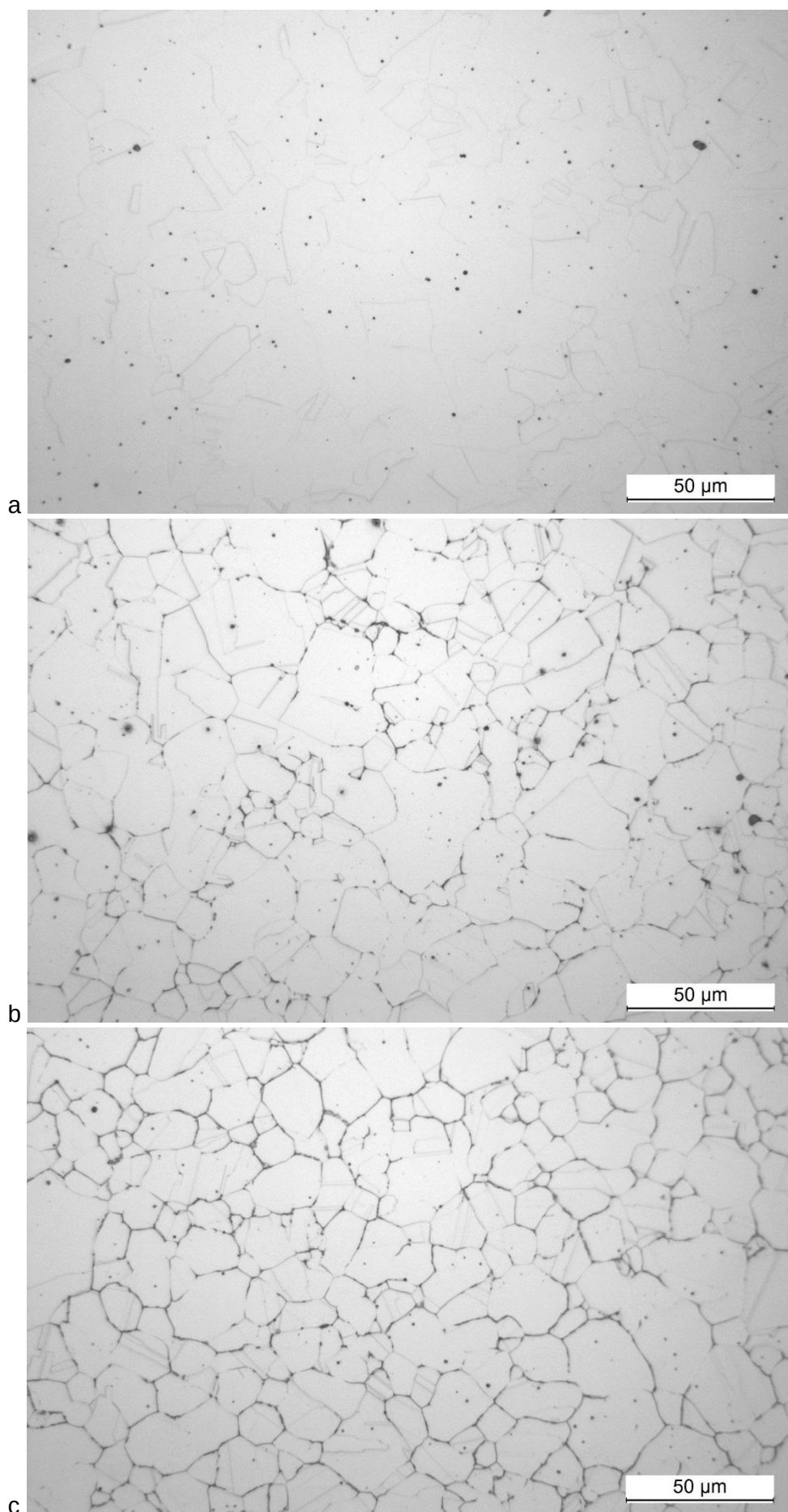
Kuva 19. 309 Areva, a) toimitustila b) 600°C, 100 h, c) 600°C, 1000 h, huom. suur.



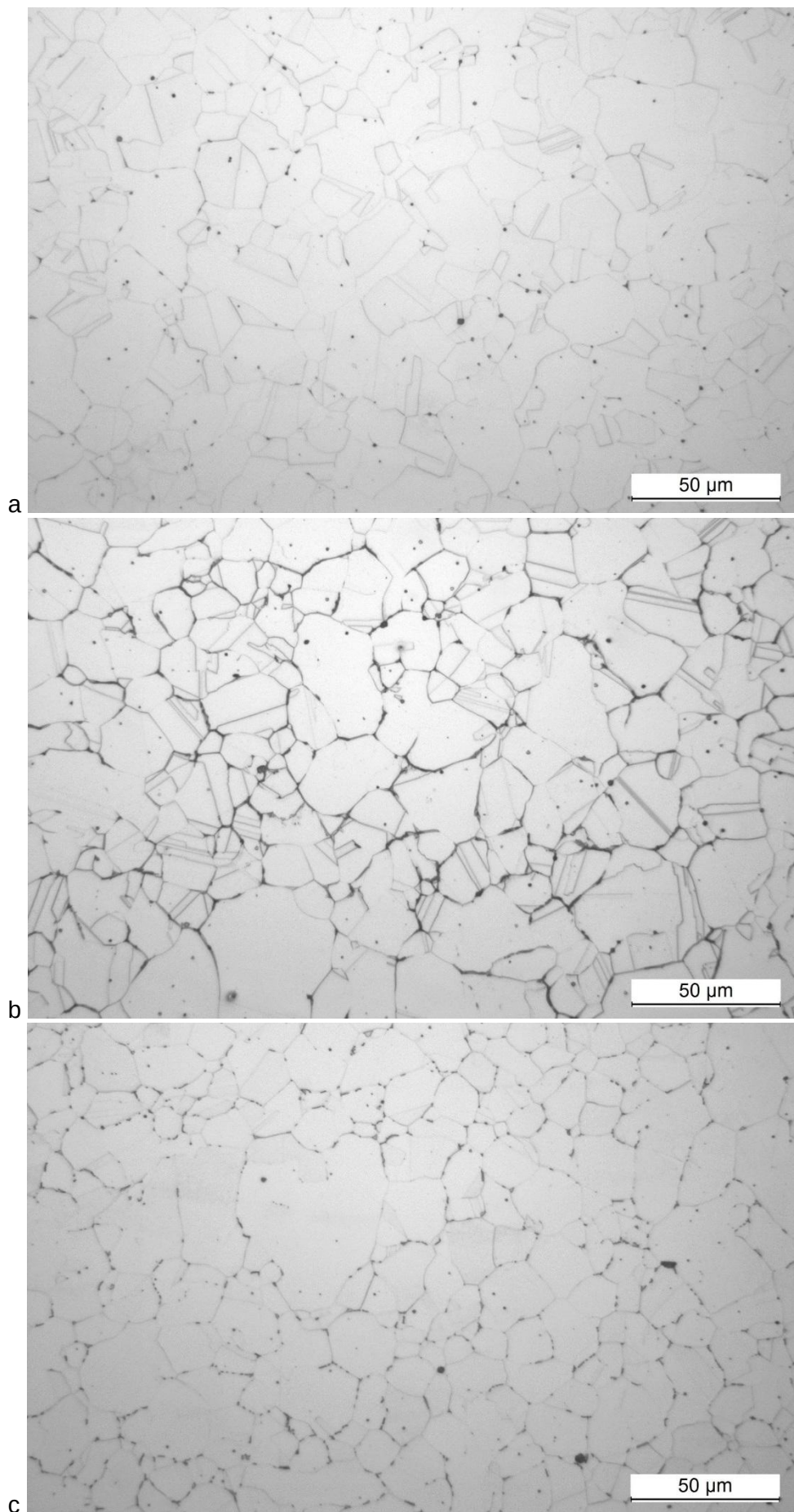
Kuva 20. 309 Areva, a) 650°C, 10h, b) 650°C, 100 h, c) 650°C, 1000 h



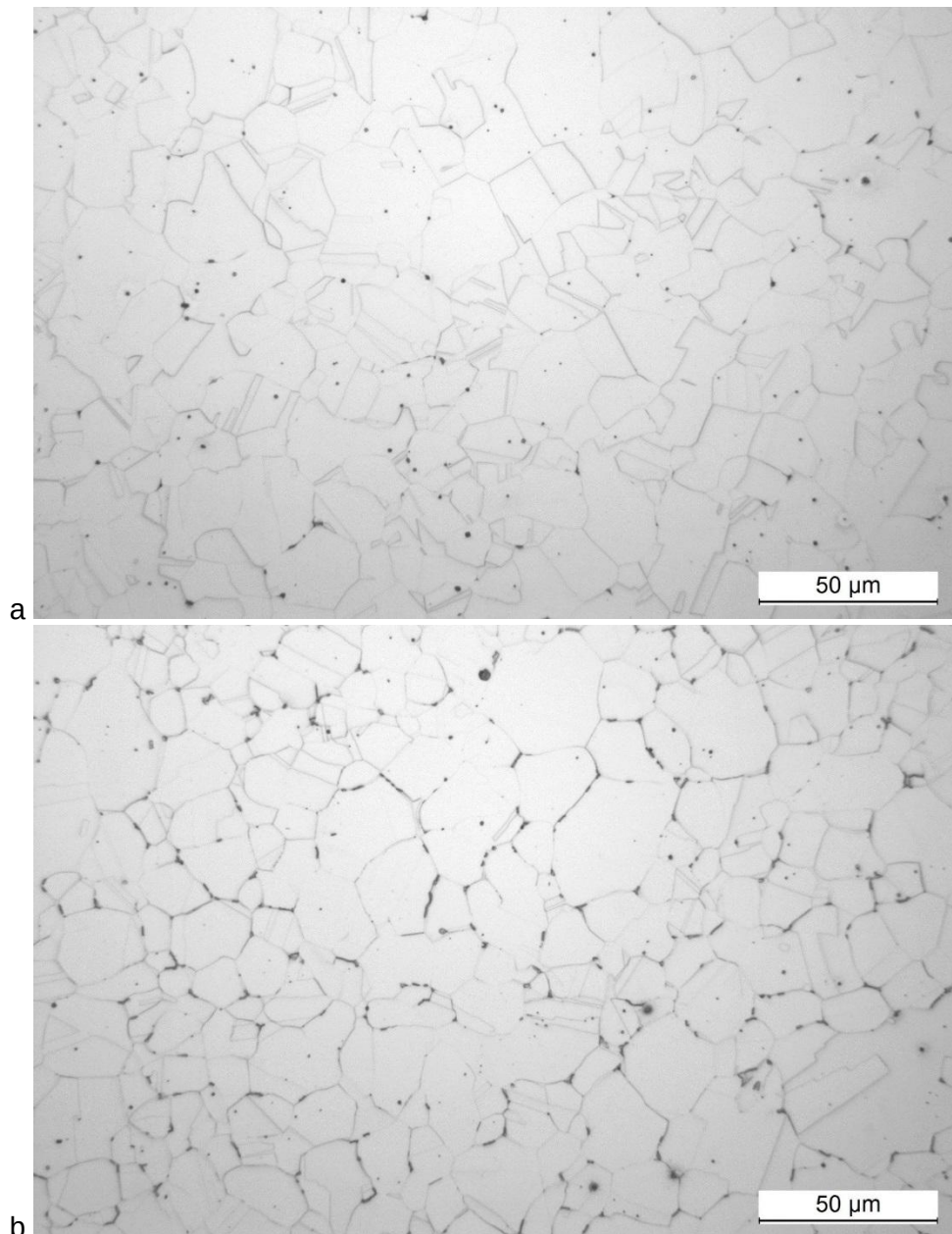
Kuva 21. 309 Areva, a) 700°C, 10h, b) 700°C, 100 h



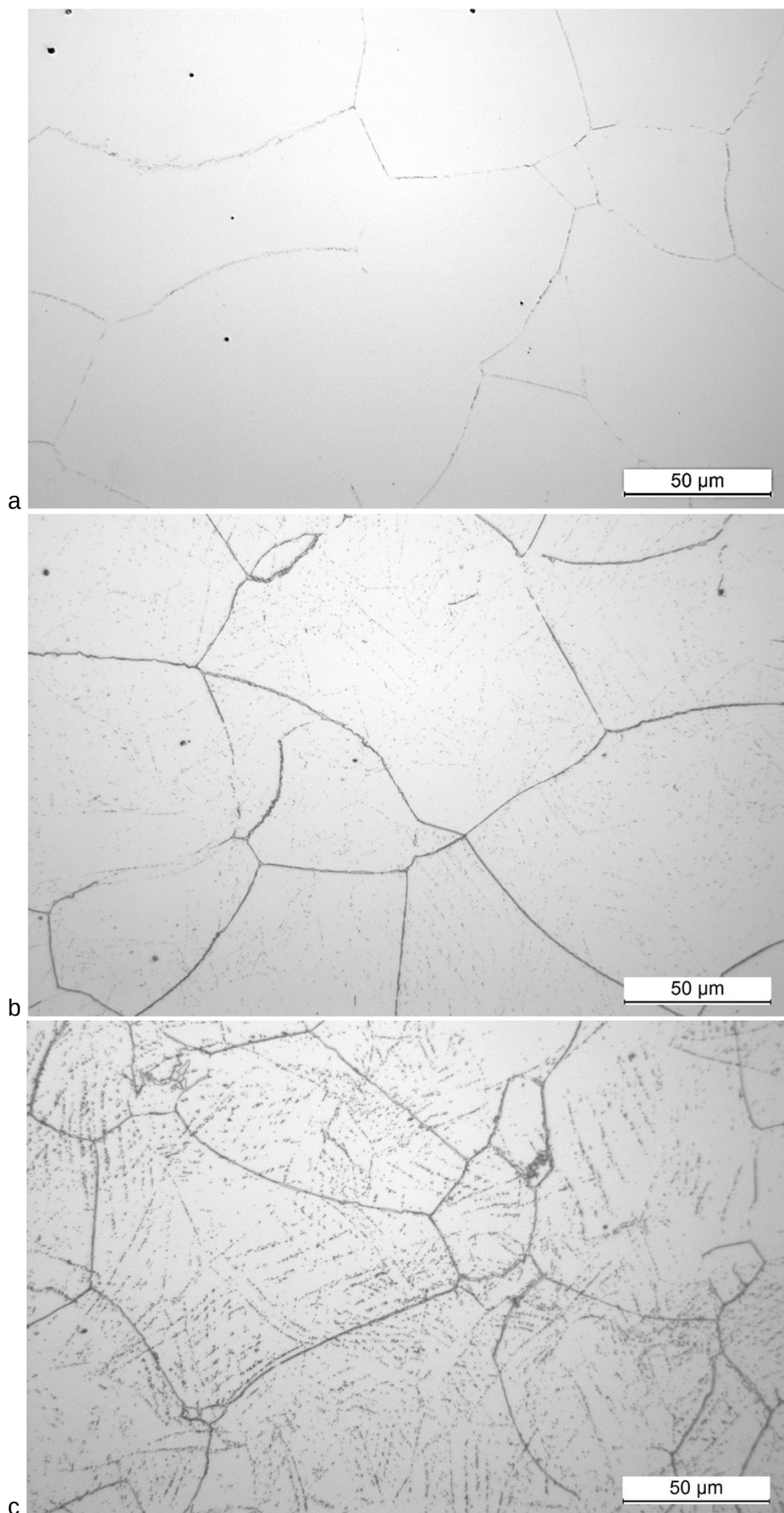
Kuva 22. 304L, a) toimitustila b) 600°C, 100 h, c) 600°C, 1000 h.



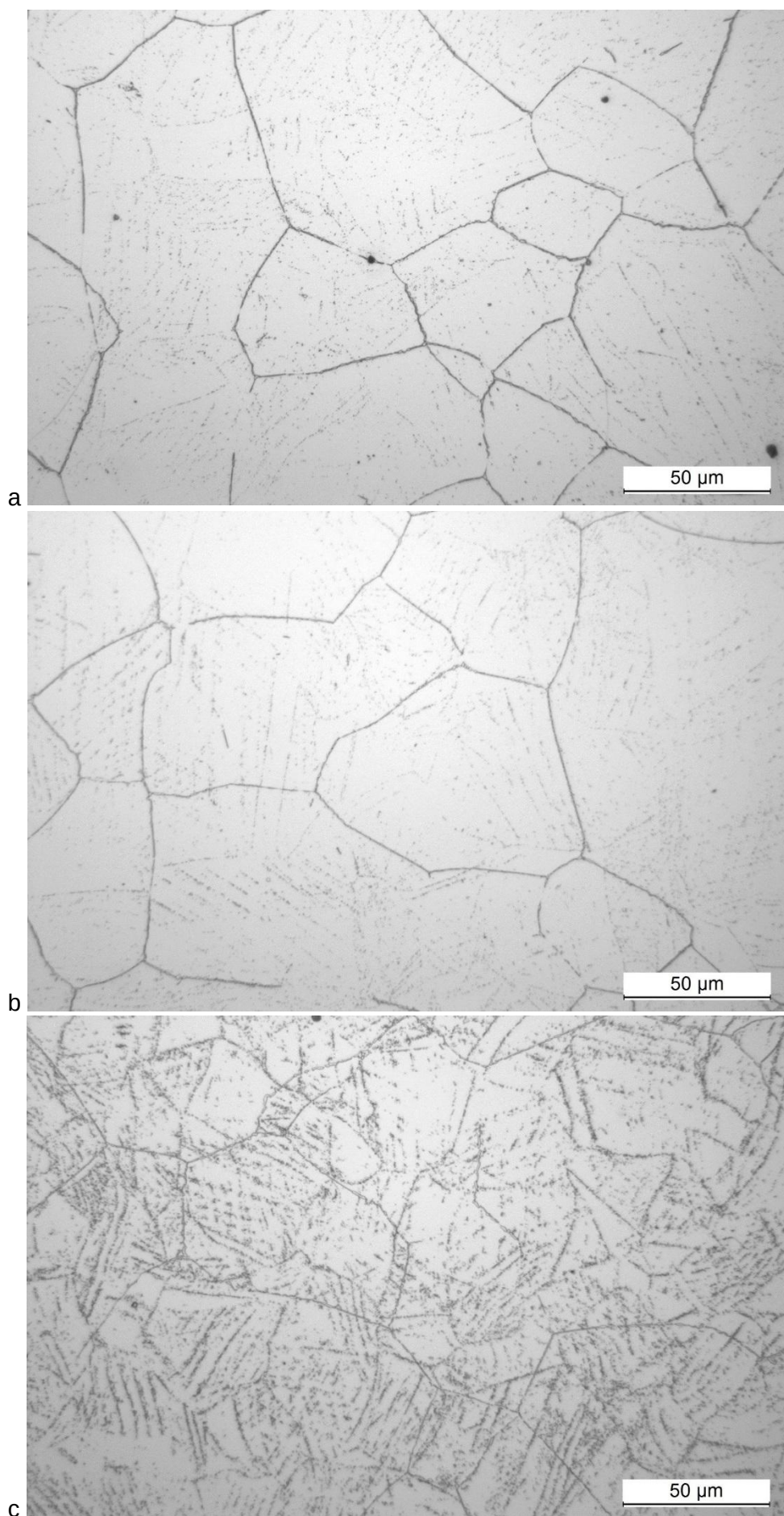
Kuva 23. 304L, a) 650°C, 10h, b) 650°C, 100 h, c) 650°C, 1000 h



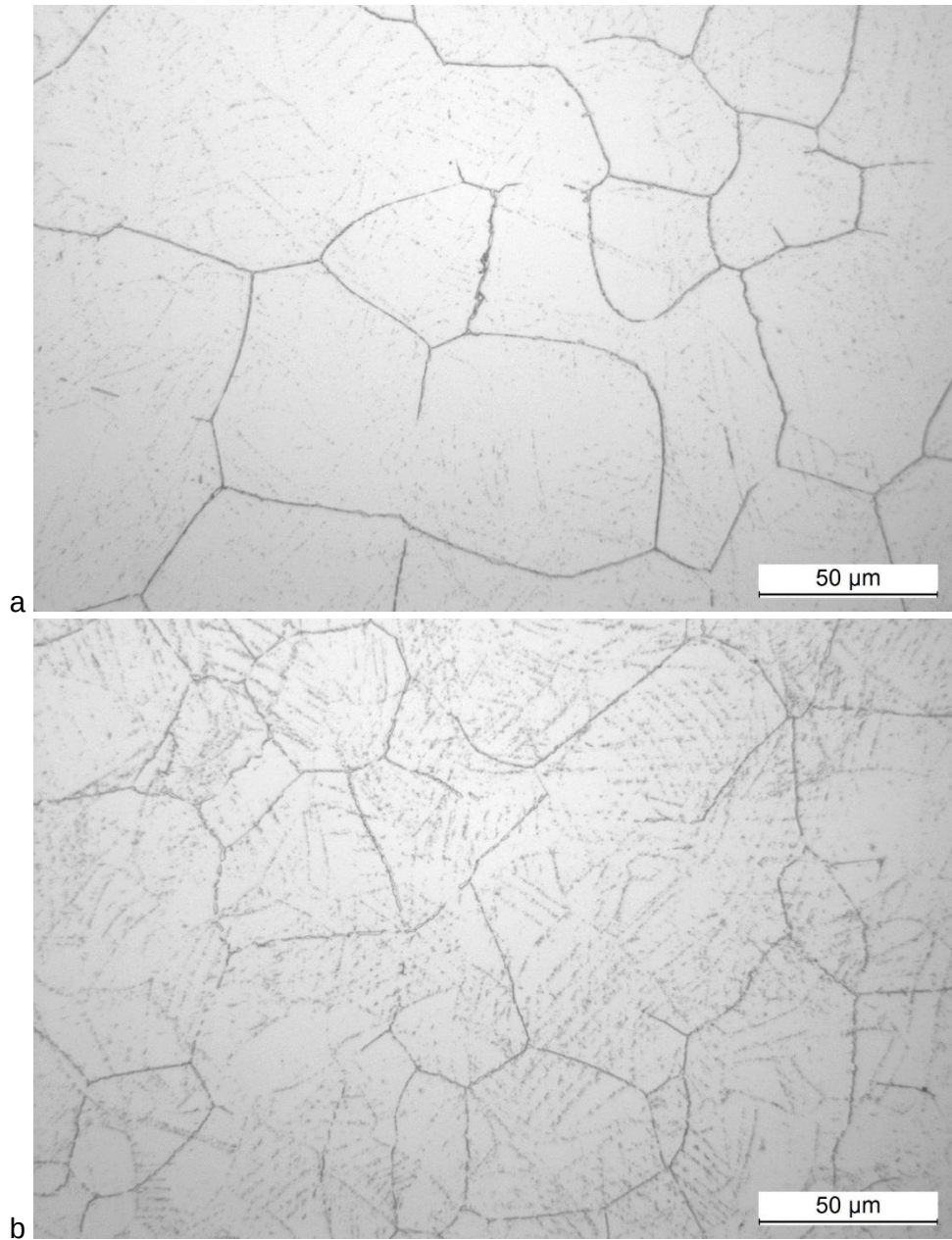
Kuva 24. 304L, a) 700°C, 10h, b) 700°C, 100 h



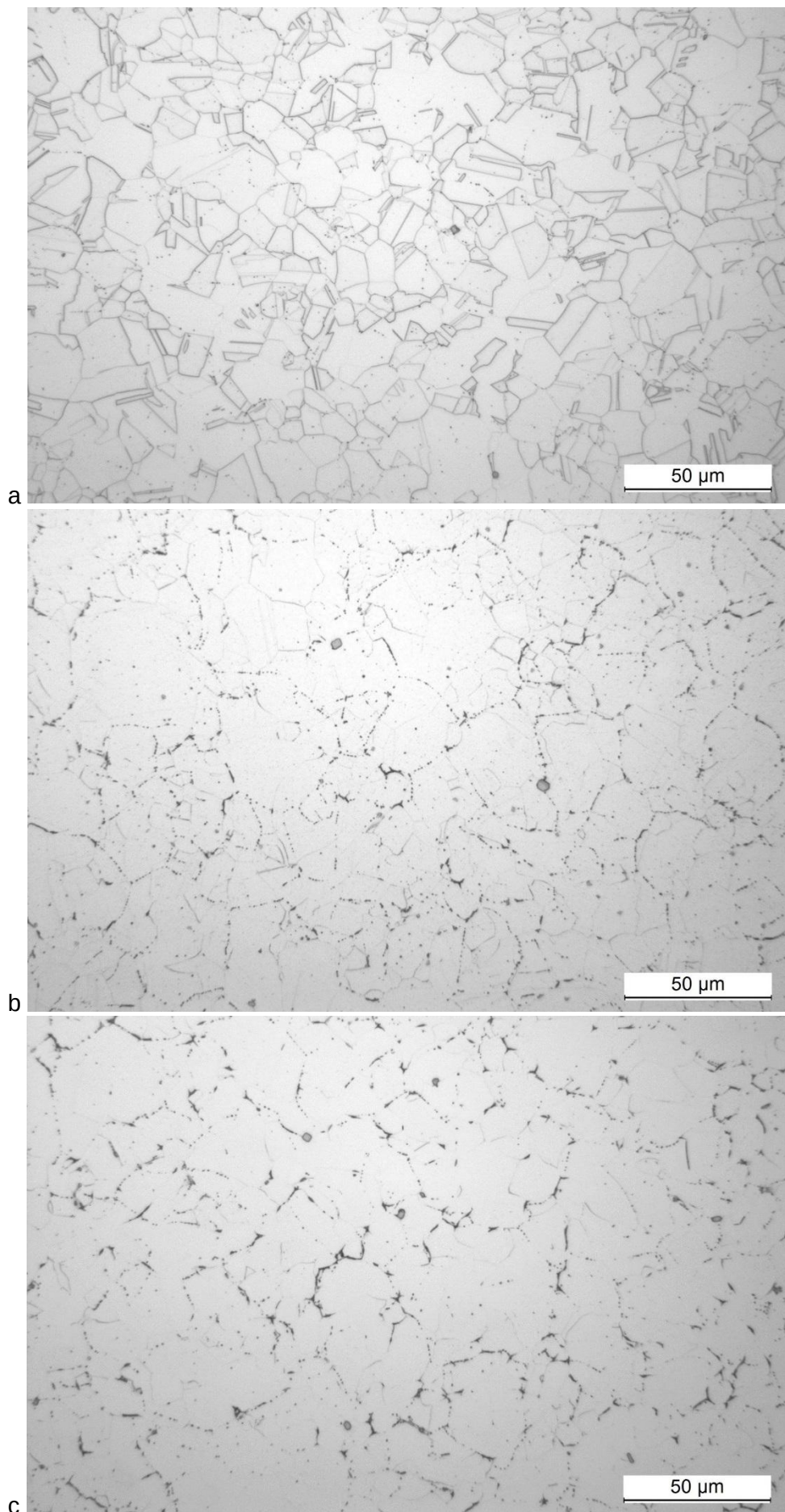
Kuva 25. San28, a) toimitustila b) 600°C, 100 h, c) 600°C, 1000 h.



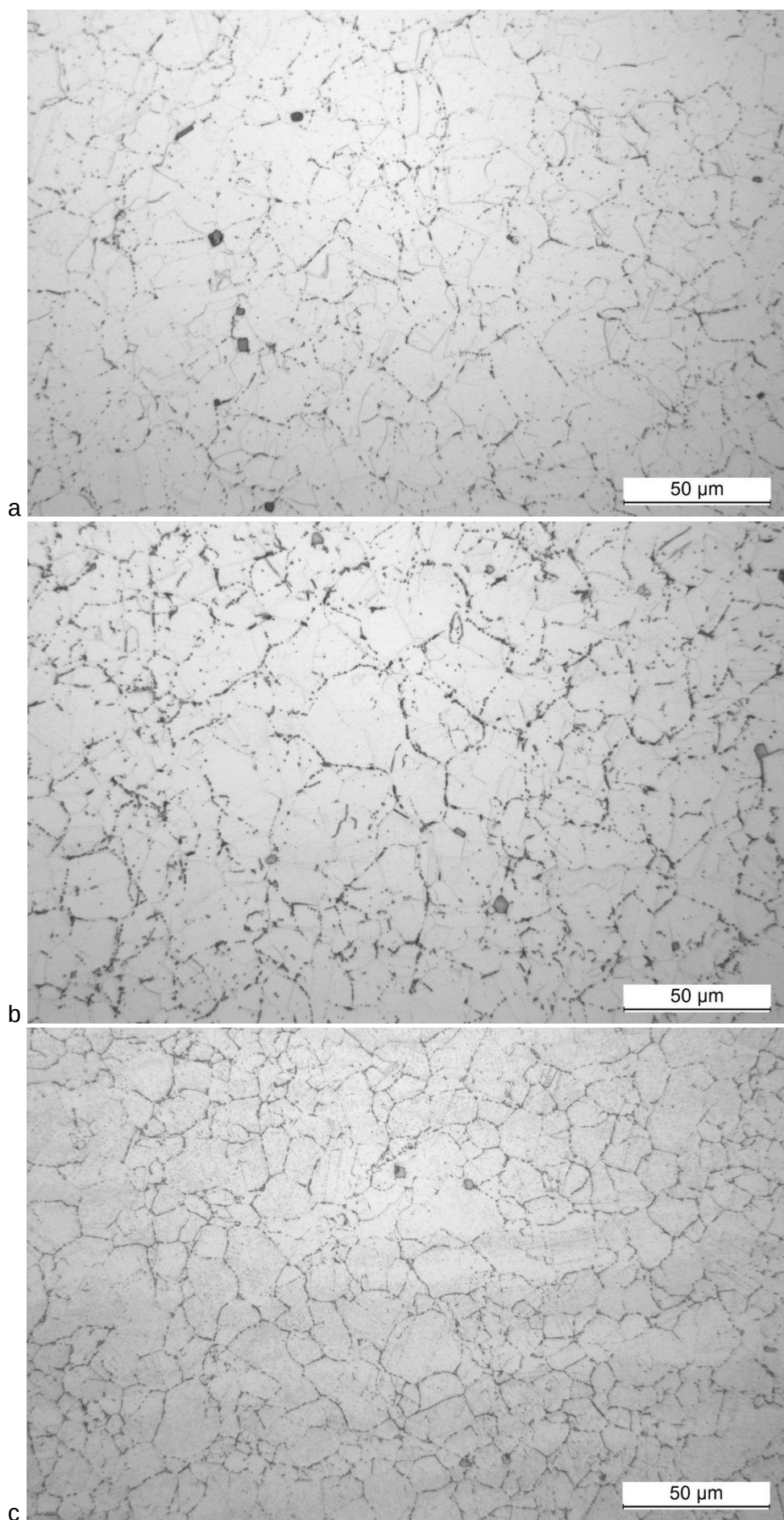
Kuva 26. San28, a) 650°C, 10h, b) 650°C, 100 h, c) 650°C, 1000 h



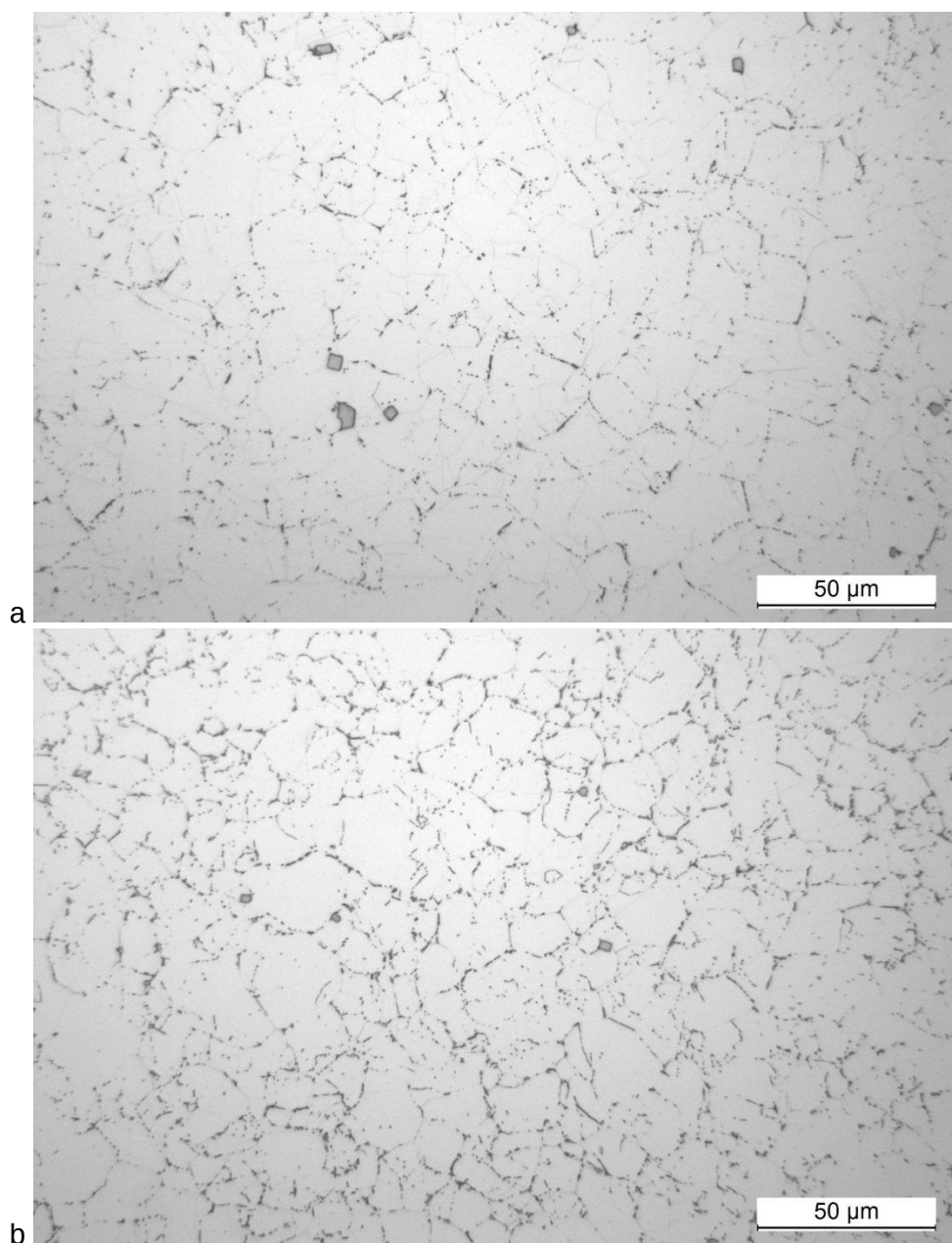
Kuva 27. San28, a) 700°C, 10h, b) 700°C, 100 h



Kuva 28. San38, a) toimitustila b) 600°C, 100 h, c) 600°C, 1000 h.

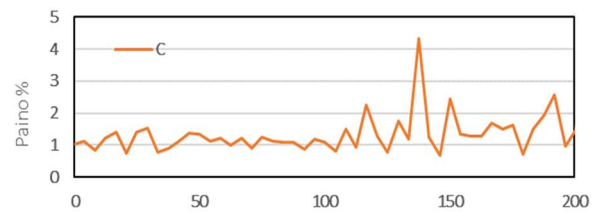
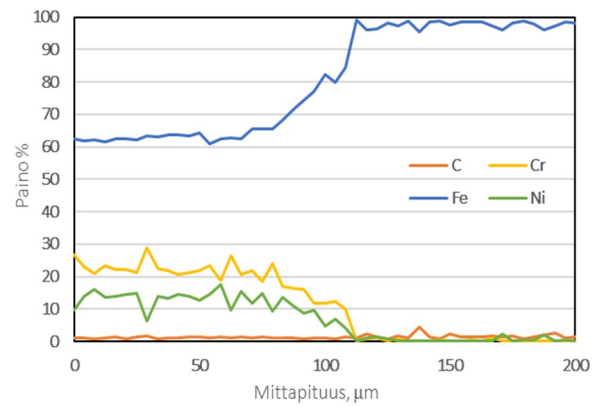


Kuva 29. San38, a) 650°C, 10h, b) 650°C, 100 h, c) 650°C, 1000 h

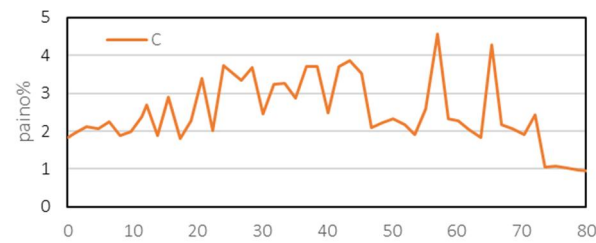
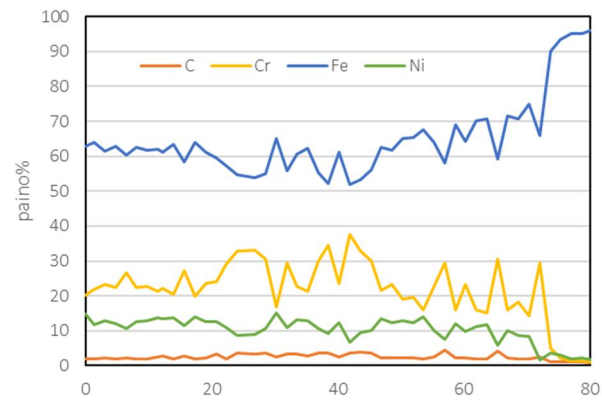


Kuva 30. San38, a) 700°C, 10h, b) 700°C, 100 h

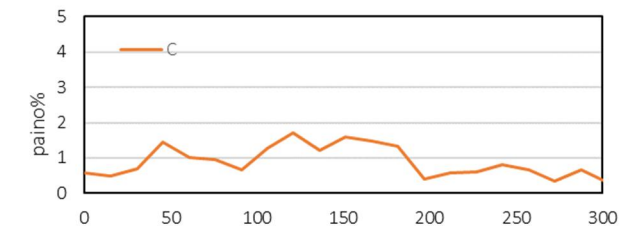
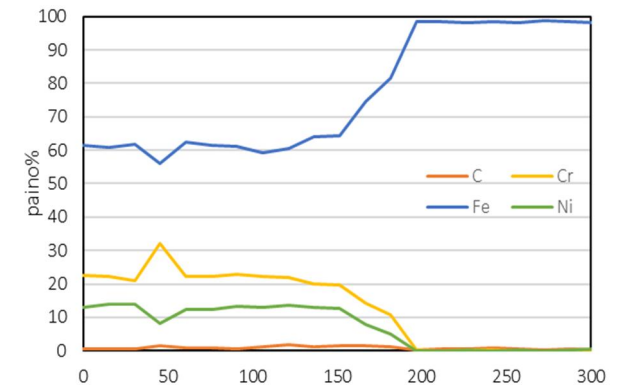
Toimitustila
AZZ309L



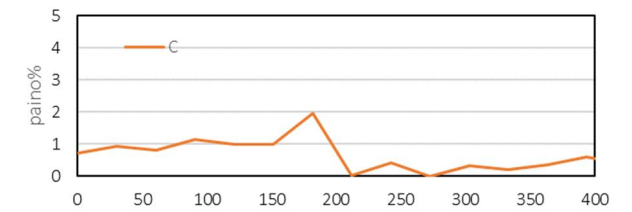
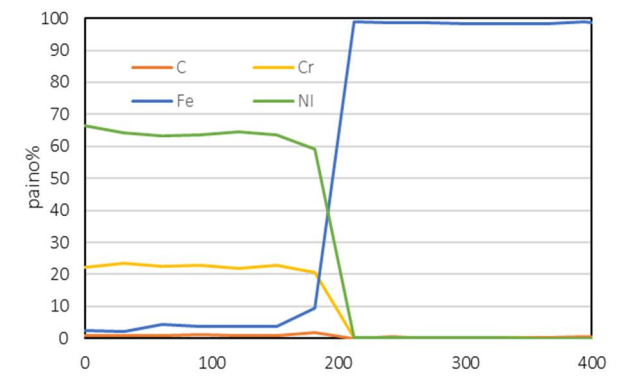
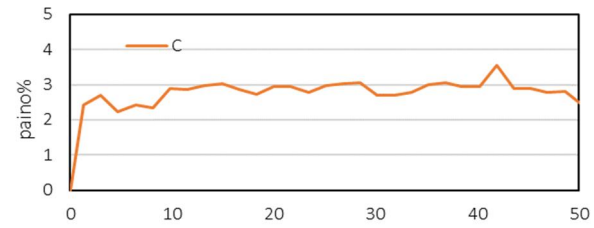
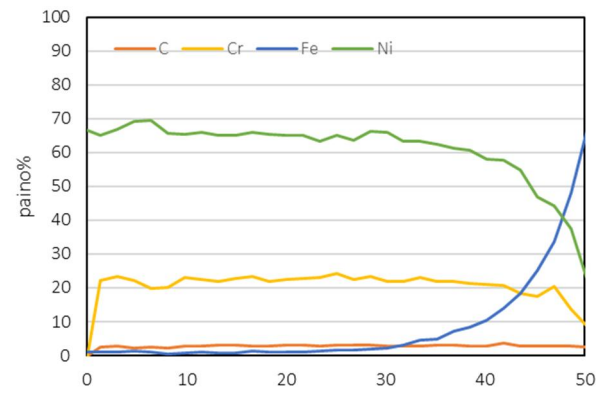
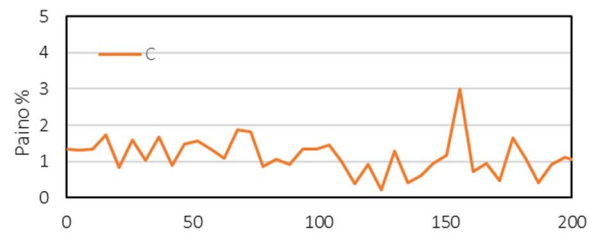
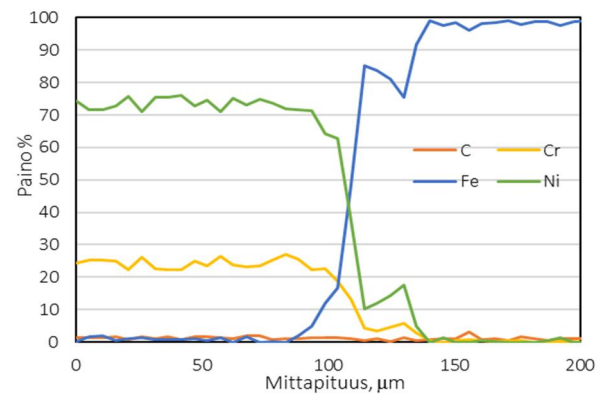
1000 h, 650°C



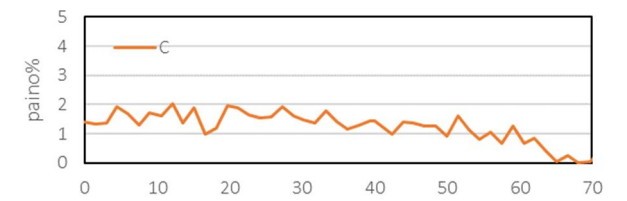
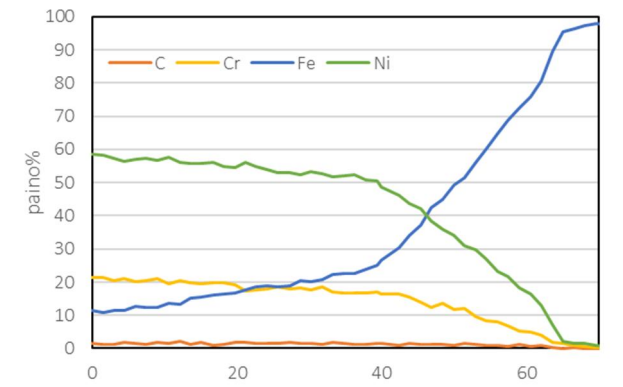
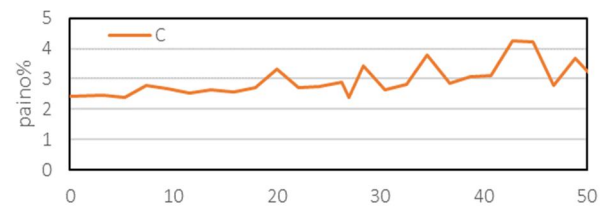
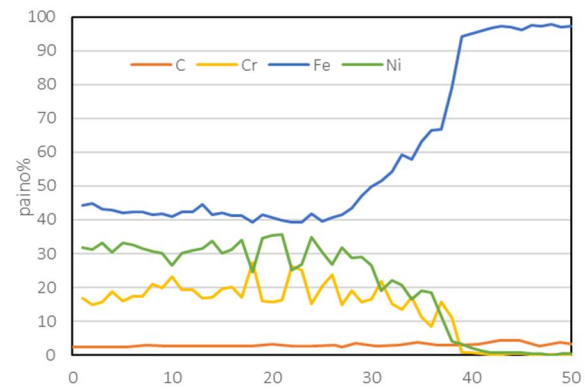
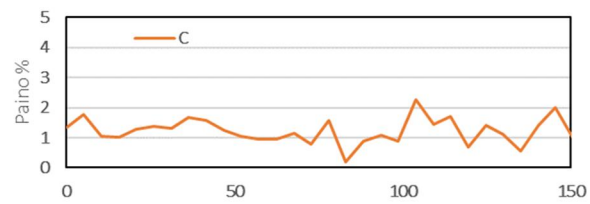
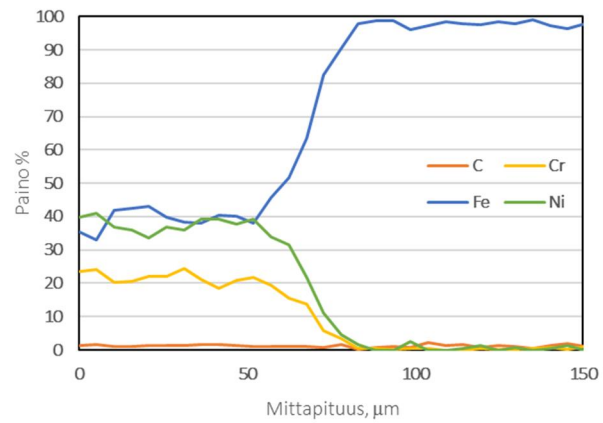
100 h, 700°C



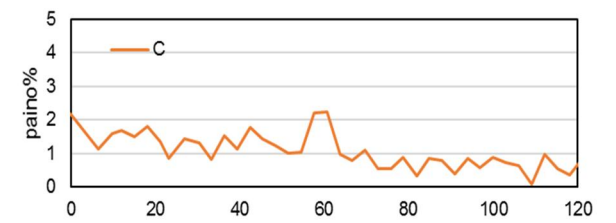
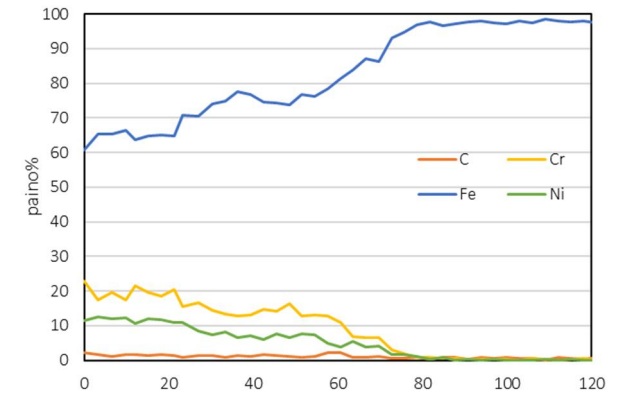
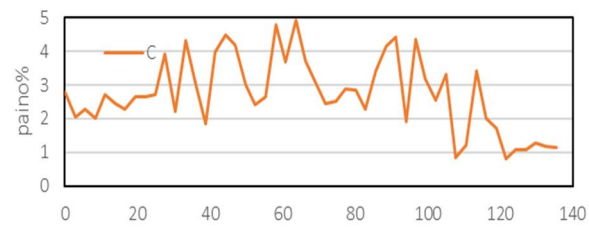
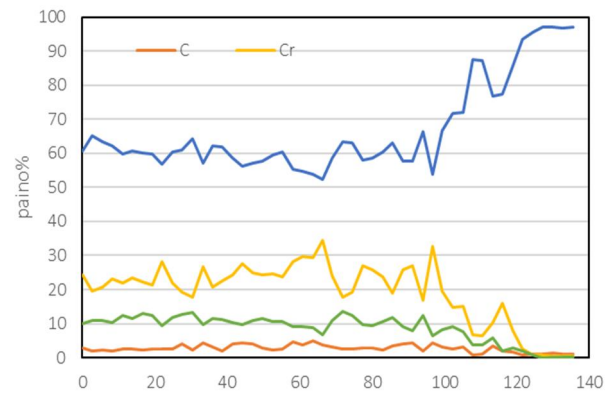
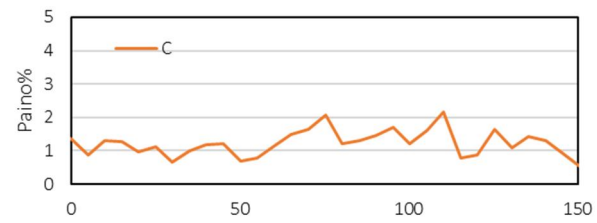
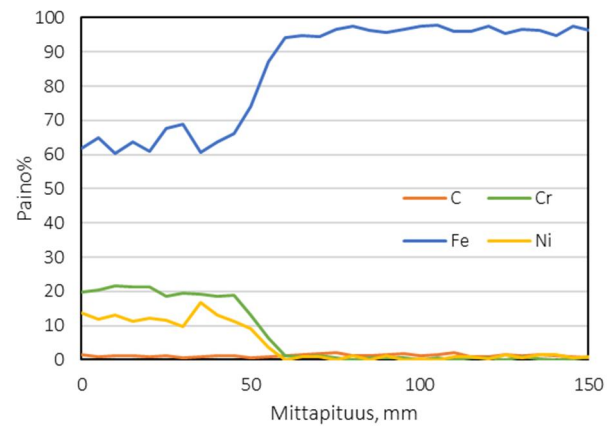
AZZ625



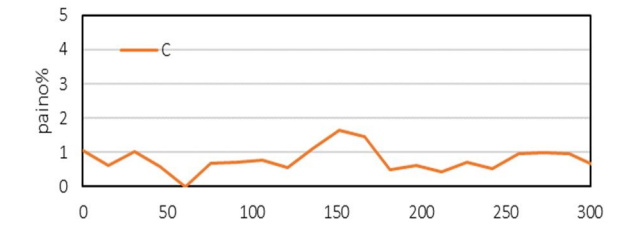
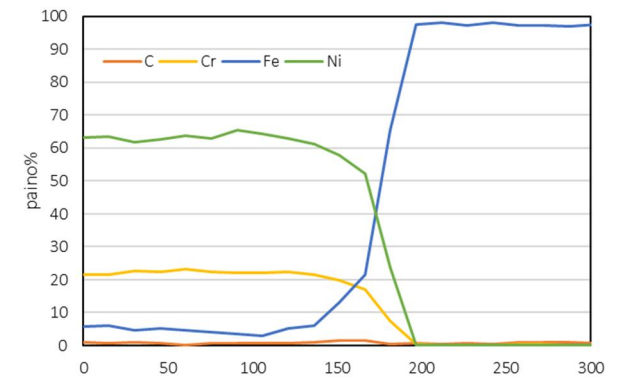
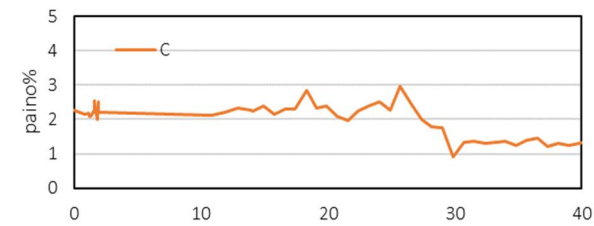
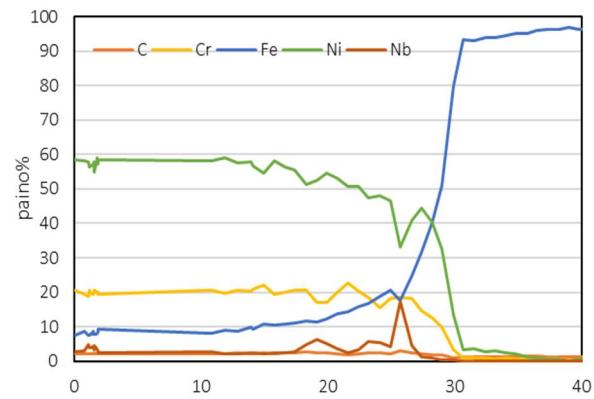
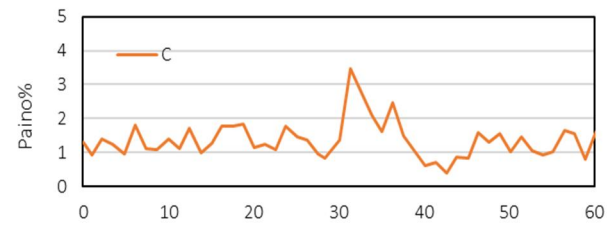
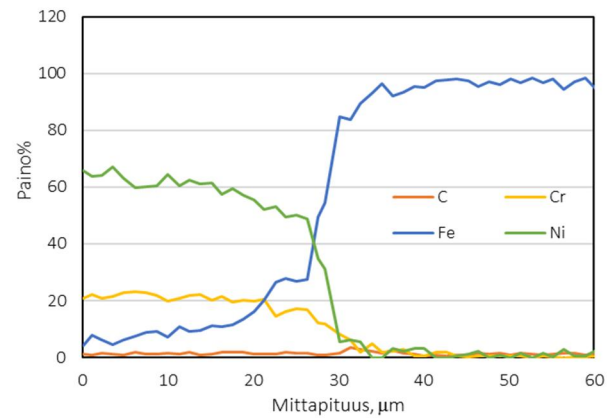
AZZ825



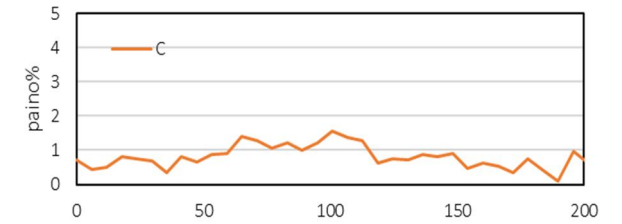
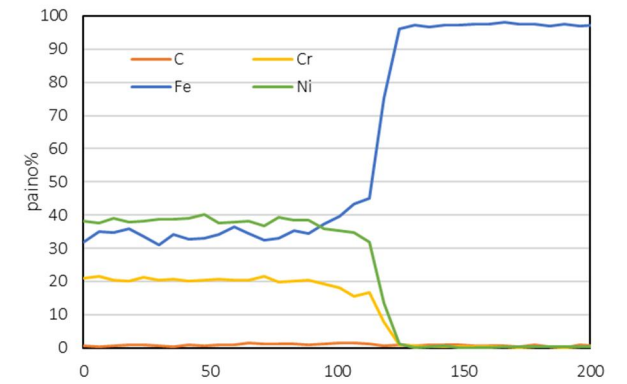
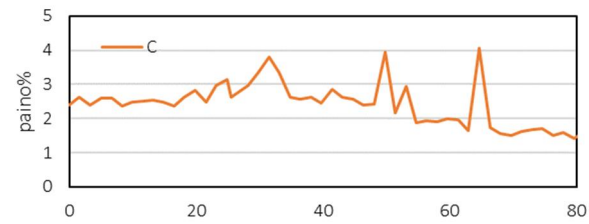
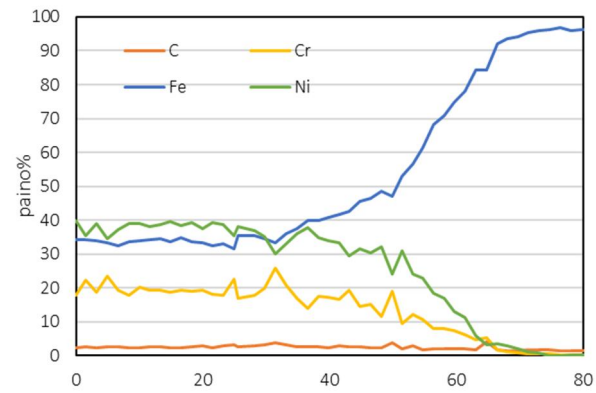
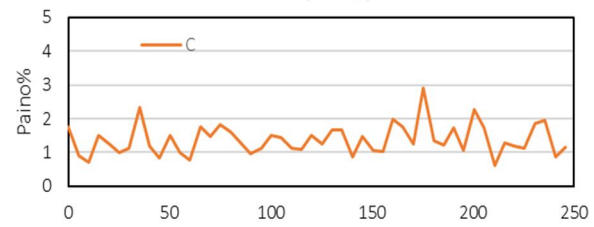
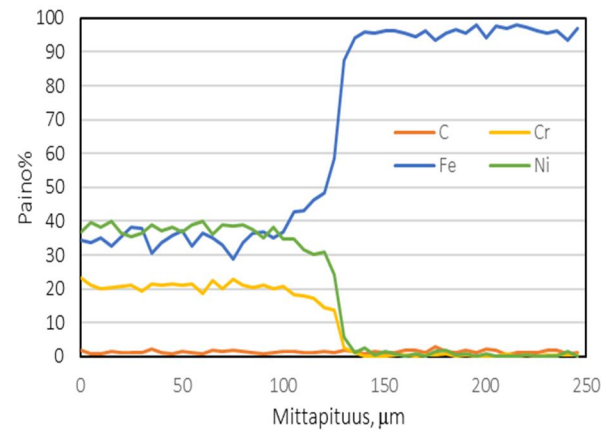
Uhlig309L



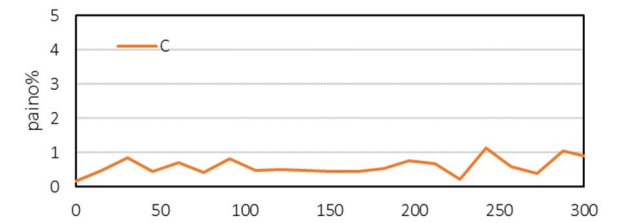
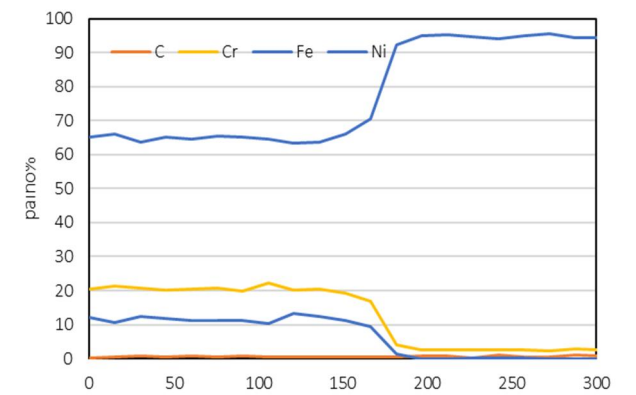
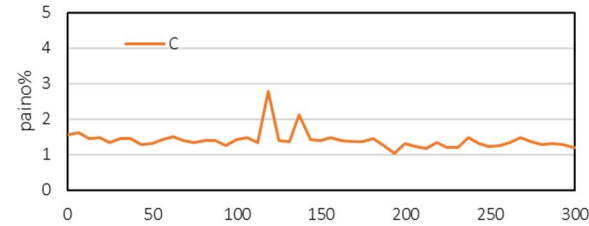
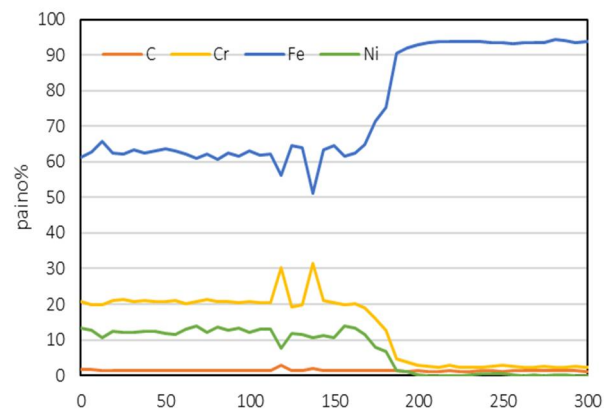
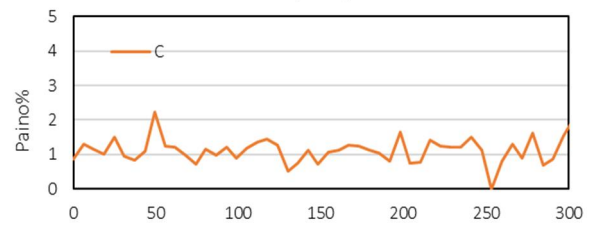
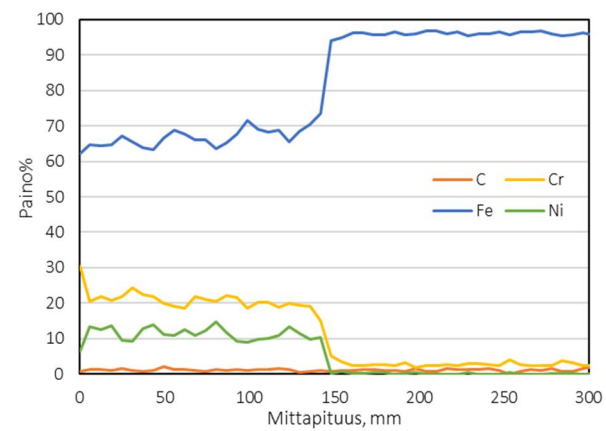
Uhlig625



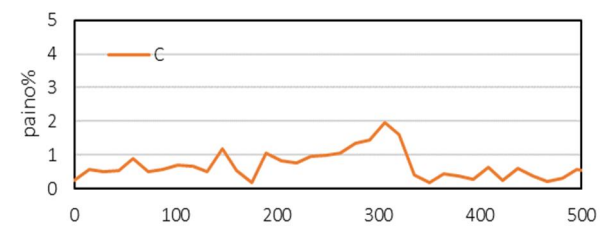
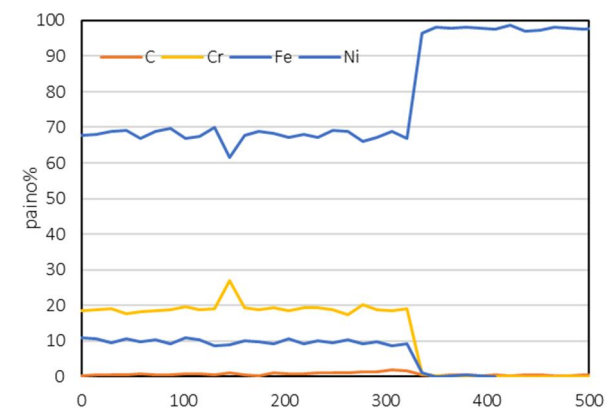
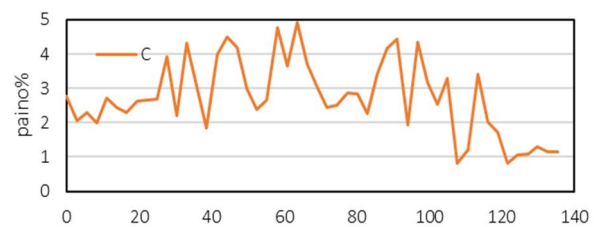
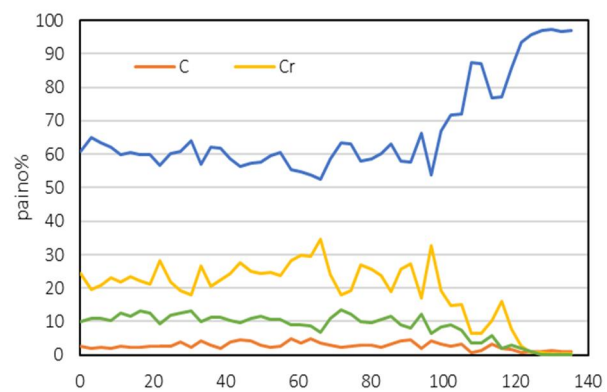
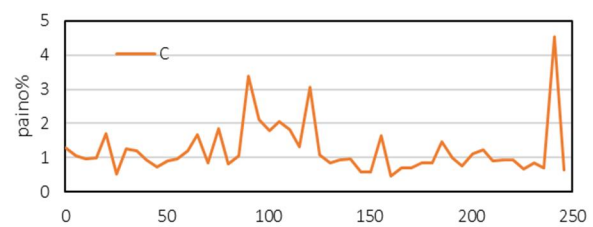
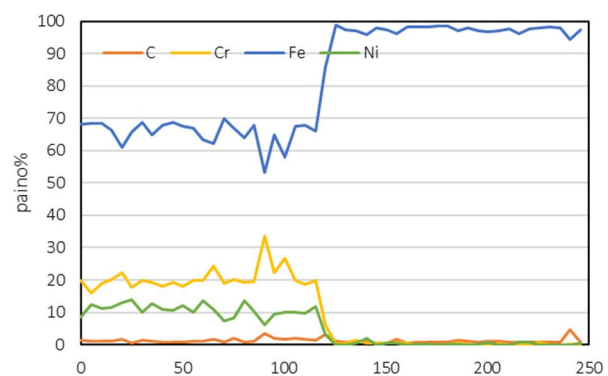
Uhlig825



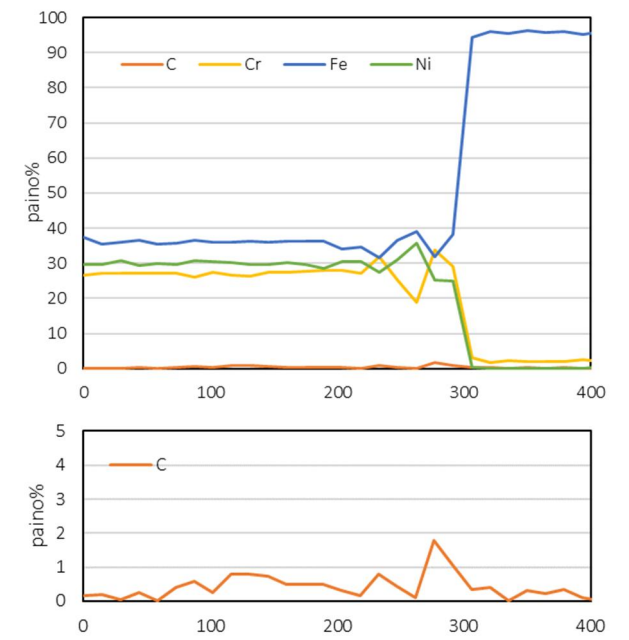
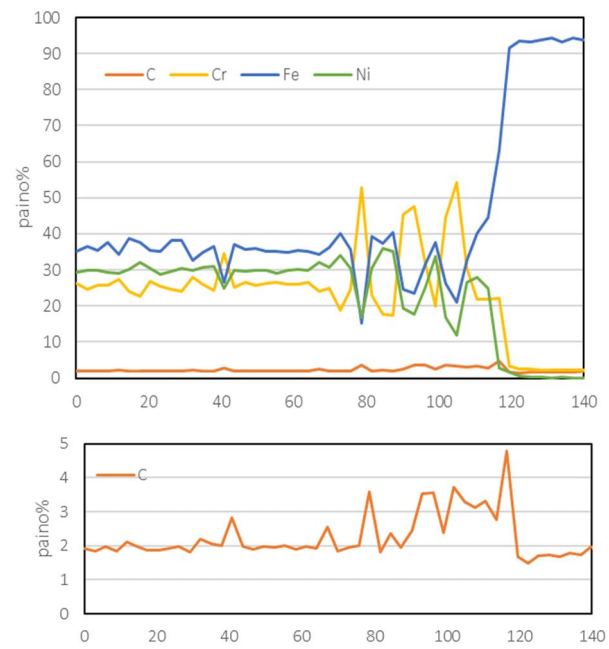
Areva 309L



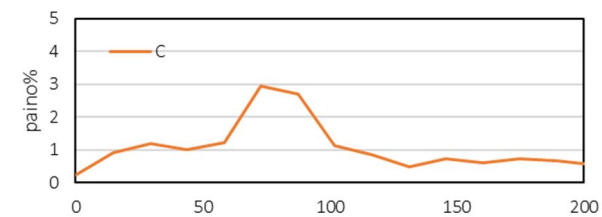
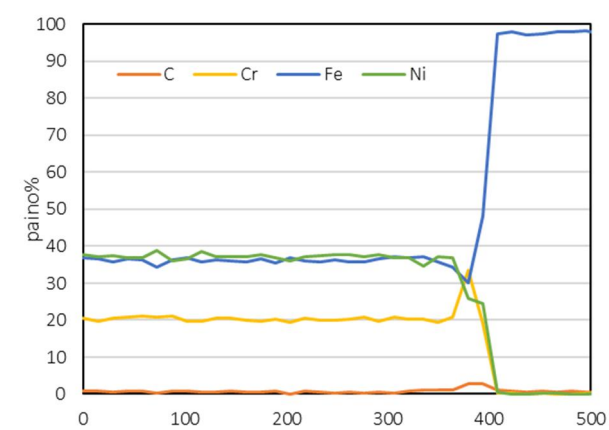
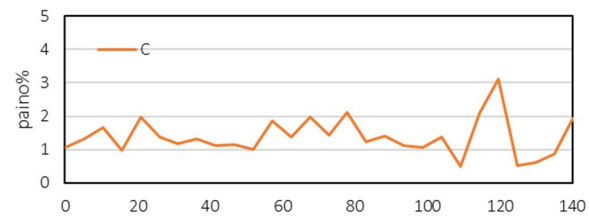
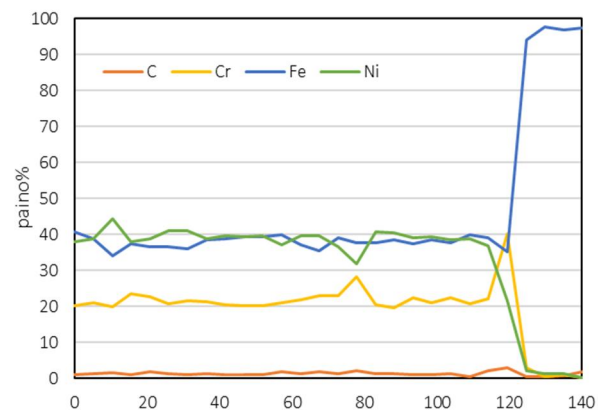
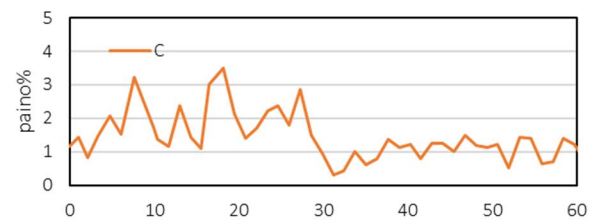
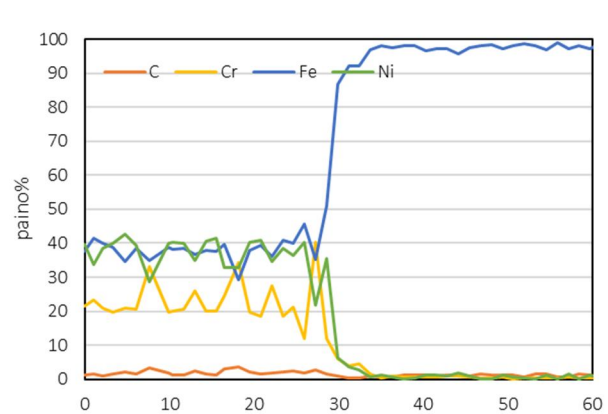
304L



San28

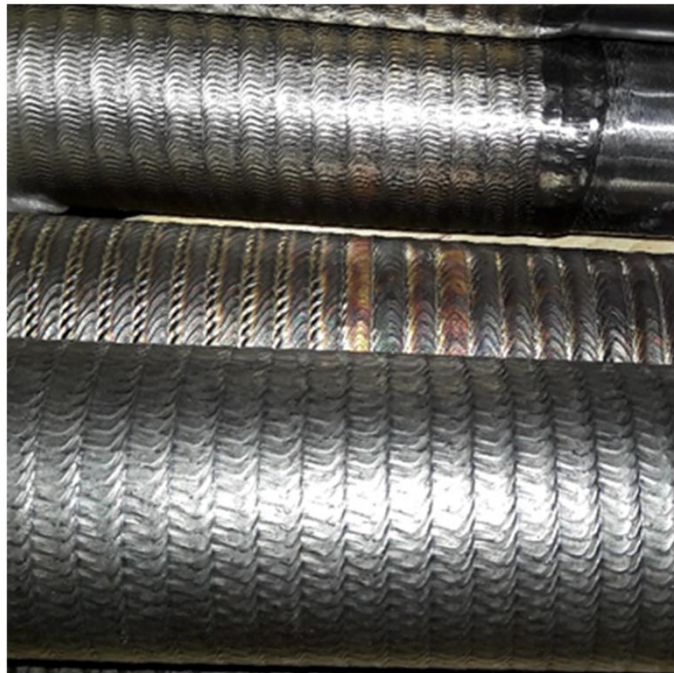


San38



LIITE 7

**KTR: VTT: Hitsauspinnotettujen putkien käyttö soodakattiloissa – esitys
28.9.2017**



Hitsauspinnoitteet ja mikrorakennemuutokset vanhennushehkuksissa

28.9.2017 KTR

Materiaalit & vanhennuskokeet

■ Hitsauspinnoitteet:

- AZZ: 625/825/309L, perusaine P235GH
- Uhlig: 625/825/309L, perusaine 16Mo3
- Areva: 309L, perusaine 7CrMoVTiB10-10

■ Referenssit:

- 304L kompond, perusaine St45.8
- Sanicro 28 kompond, perusaine 10CrMo9-10
- Sanicro 38 kompond, perusaine P265GH

■ Vanhennushehkutukset

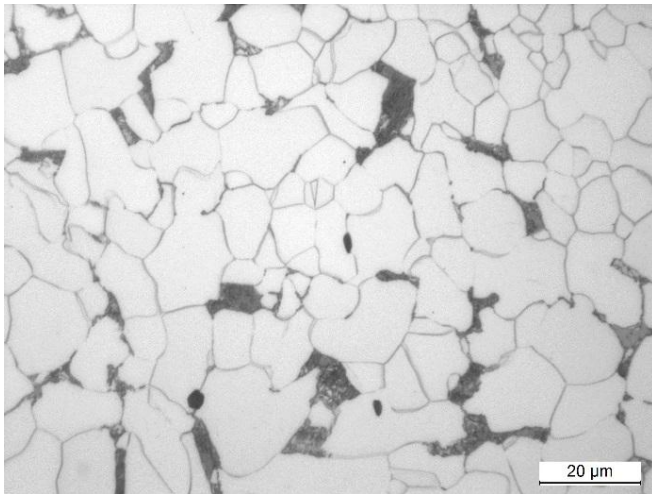
- 600°C, 100 & 1000 h
- 650°C, 10, 100 & 1000 h
- 700°C, 10 & 100 h



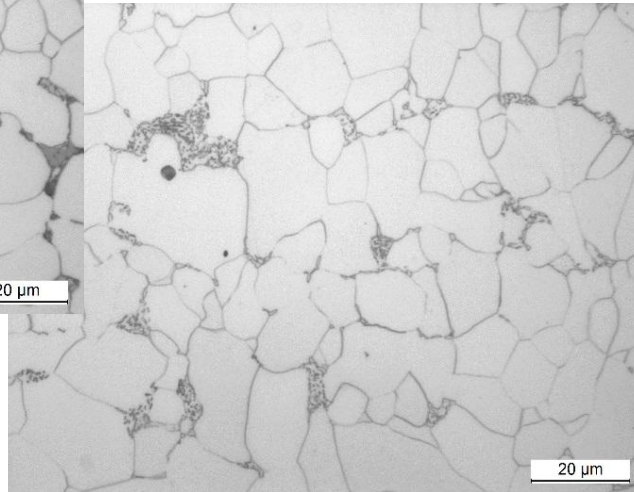
Mikrorakenteen luokittelu

- A Käyttämättömän teräksen mikrorakenne, ferriittiä ja perliittiä
- B Ensimmäiset merkit palloutumisesta
- C Huomattavaa palloutumista, mutta edelleen joitakin lamellaaria karbideja
- D palloutuminen täydellistä, mutta karbidit yhä entisillä perliittialueilla
- E Karbidit hajaantuneet, mutta edelleen havaittavissa vähäisiä merkkejä perliittialueista
- F Alkuperäiset perliittialueet hävinneet, osa karbideista kasvanut huomattavasti

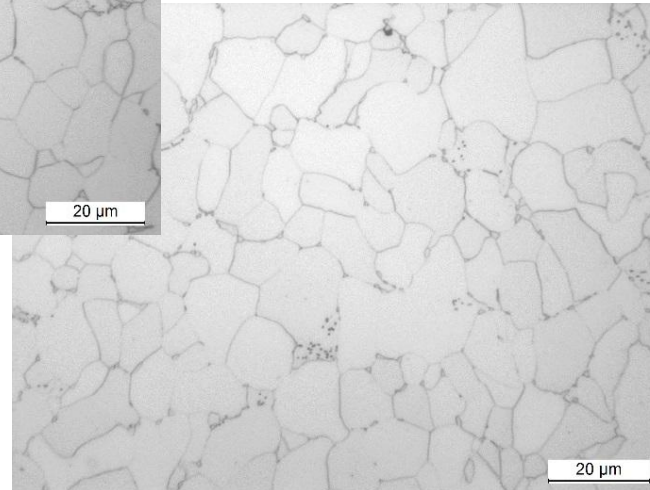
Pohjamateriaalien mikrorakennemuutokset



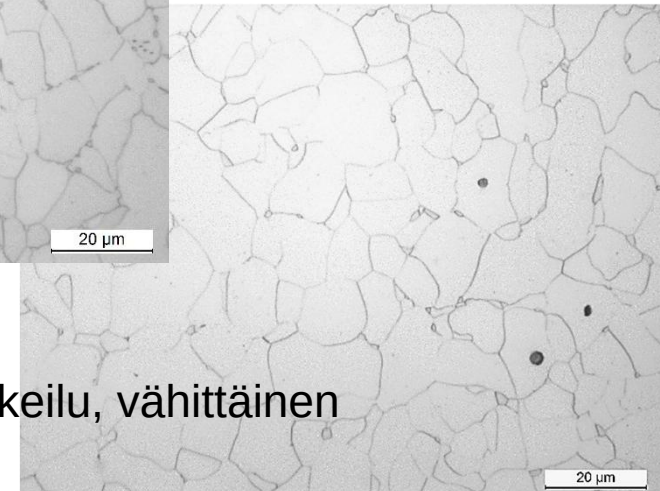
Toimitustila, aste A



650°C, 10 h, aste D

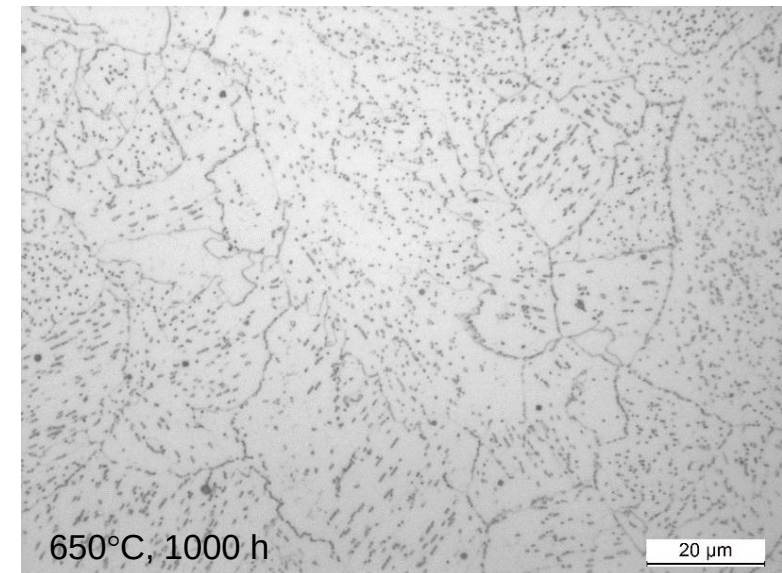
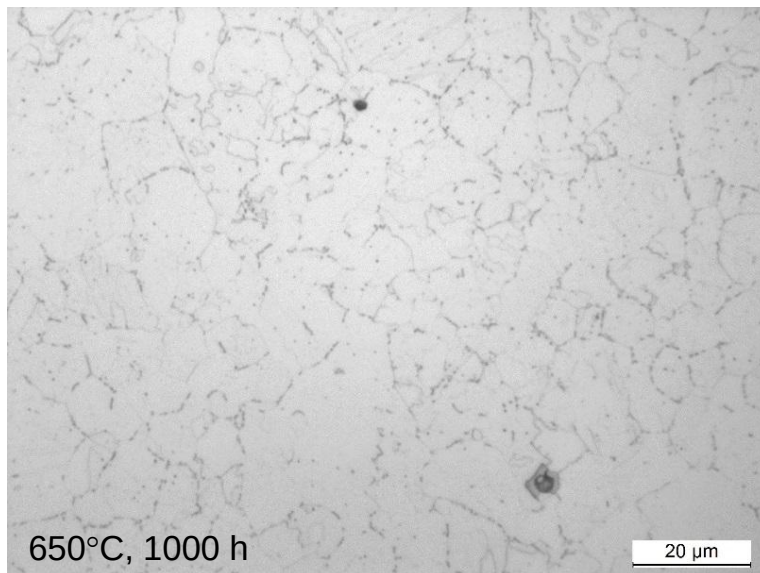
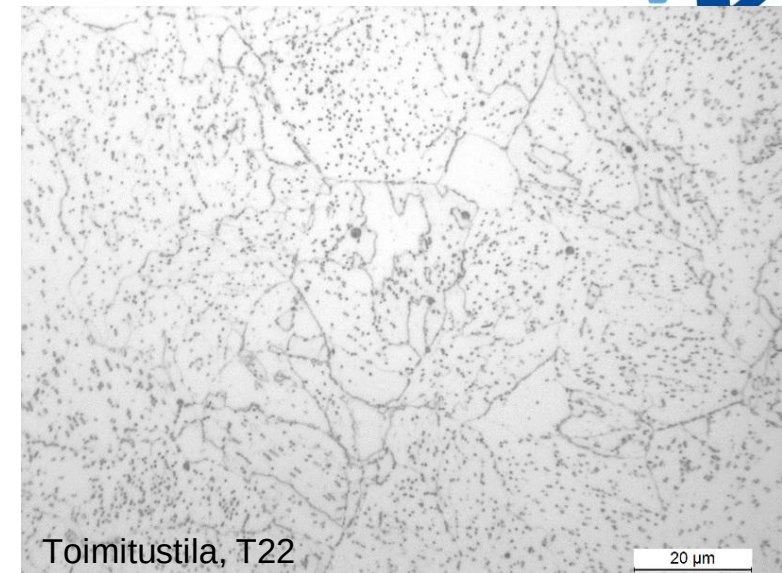
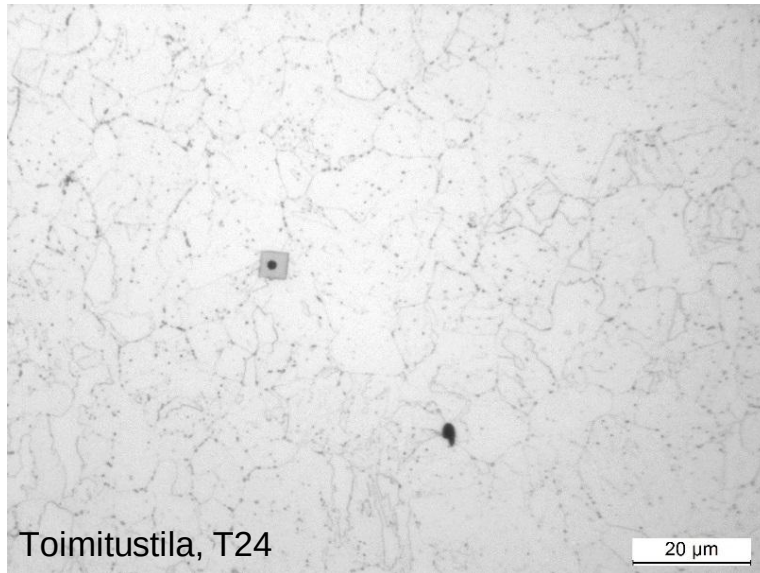


650°C, 100 h, E



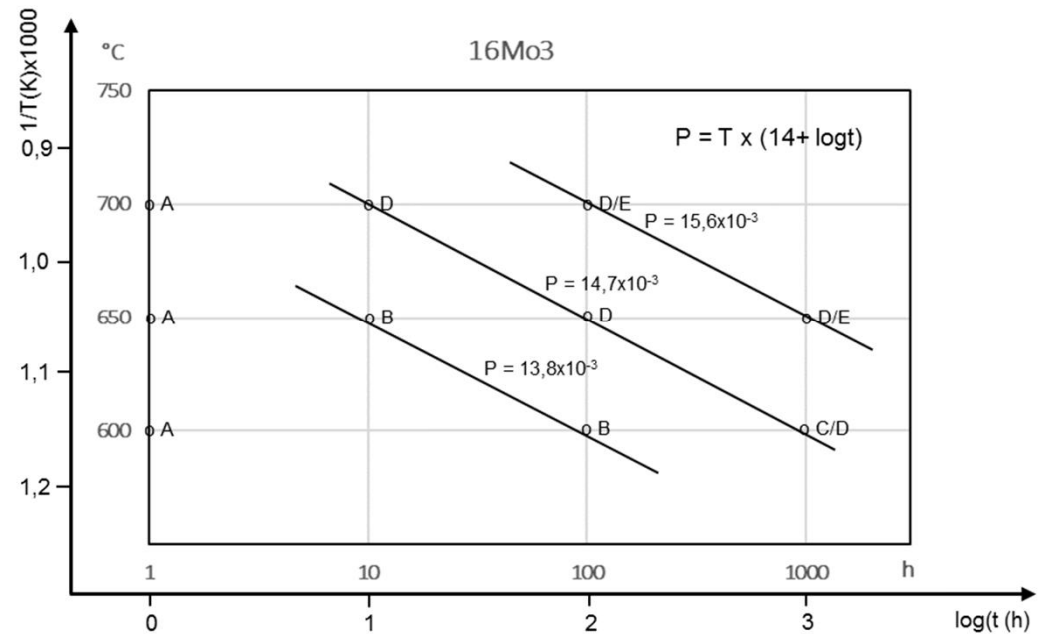
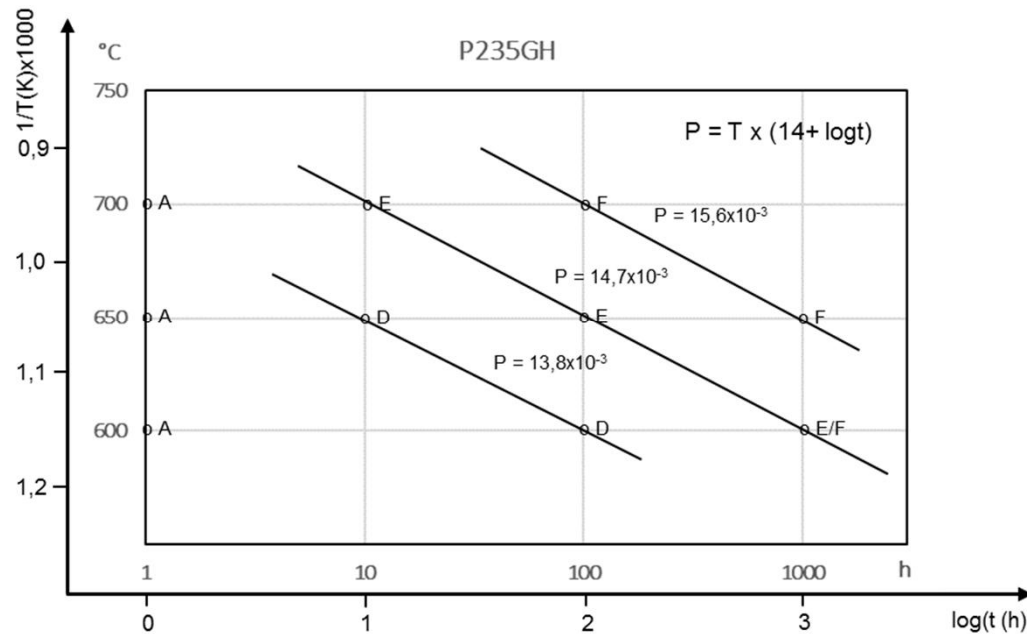
650°C, 1000 h, F

- Ferriittisperliittisen rakenteen perliittirakeiden karbidilamellien katkeilu, vähittäinen palloutuminen, karbidien karkeneminen raerajoille
 - P235GH, P265GH, St45.8
 - perliittisbainiittinen 16Mo3 vastaavalla tavalla



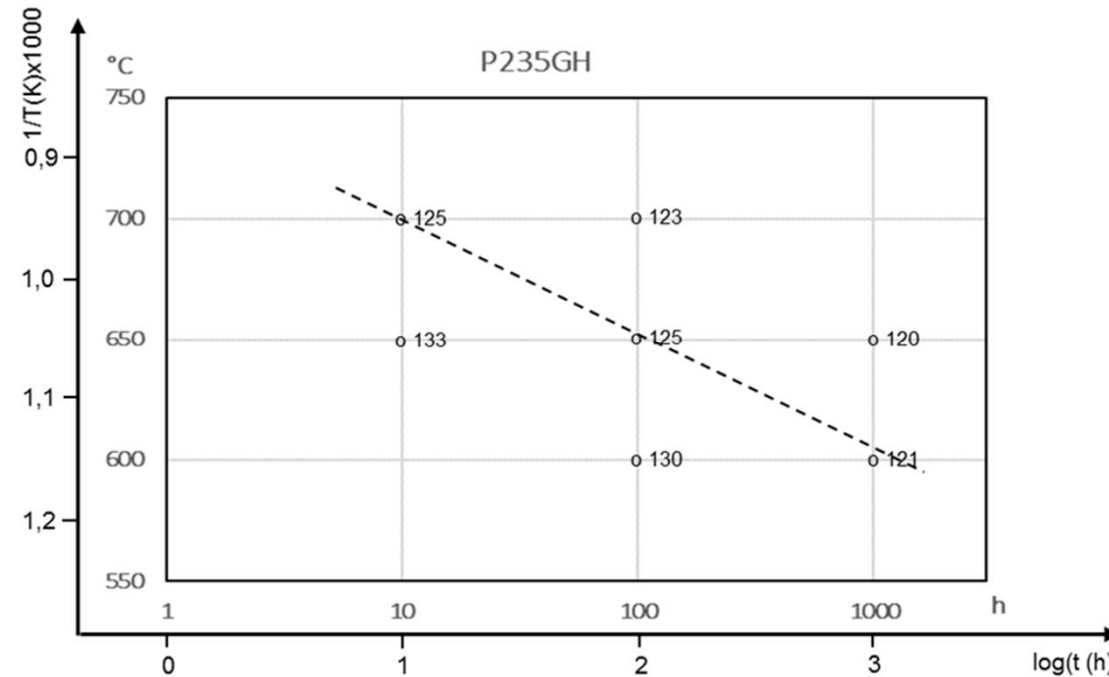
- 7CrMoVTiB10-10 & 10CrMo9-10 mikrorakenne oli jo lähtötilassa hajaantunutta, ferriittisillä alueilla oli havaittavissa karbidien muodostusta, hehkuksissa lähinnä karbidien kasvua

Mikrorakenteen t-T -riippuvuus



- P235GH hieman muita nopeammat muutokset, pienempi C-pitoisuus

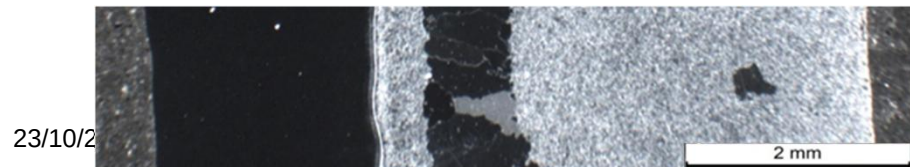
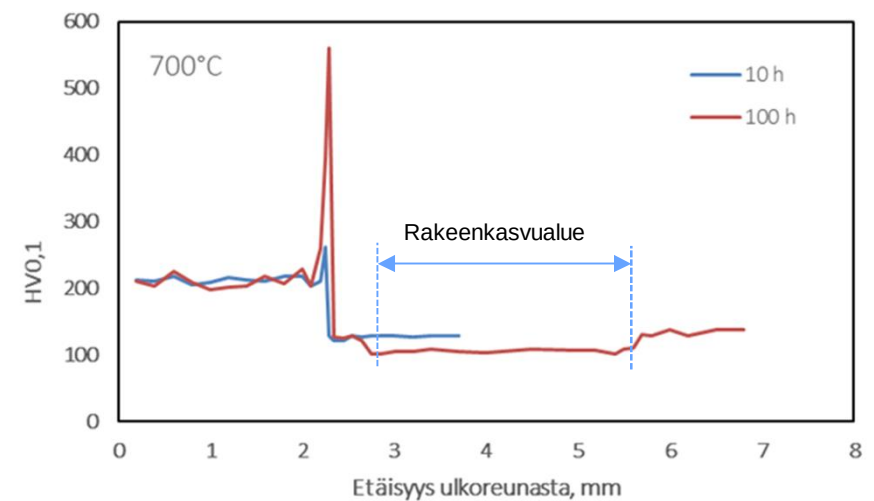
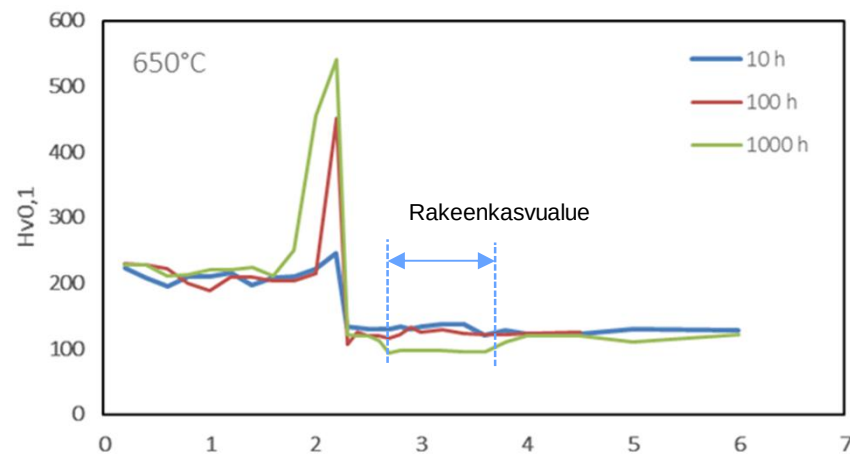
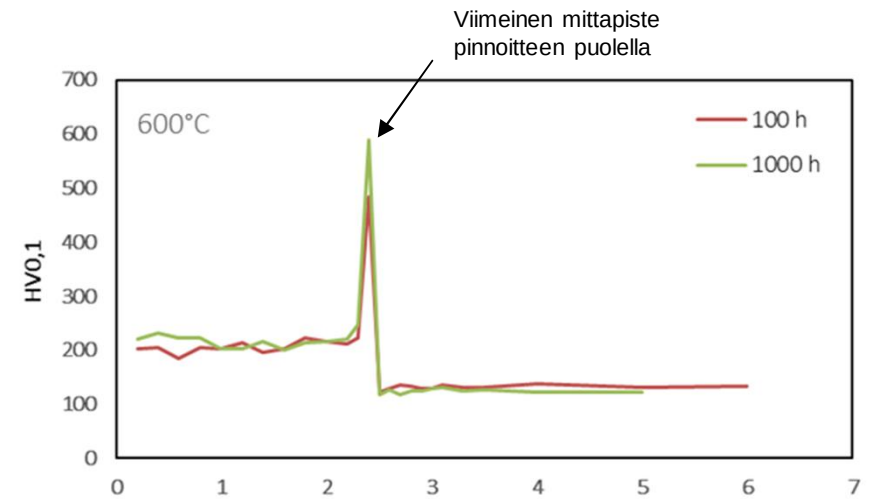
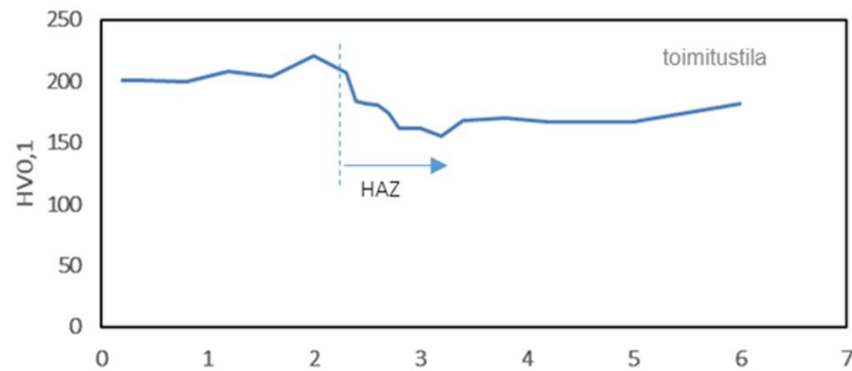
Kovuusmittaukset rajapinnan yli



- Mikrorakennemuutoksia vastaavasti t-T –riippuvuus löydettävissä

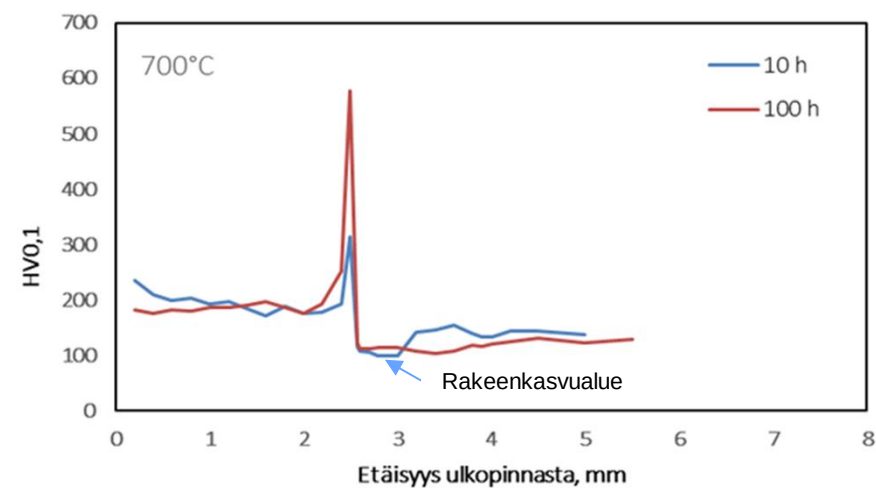
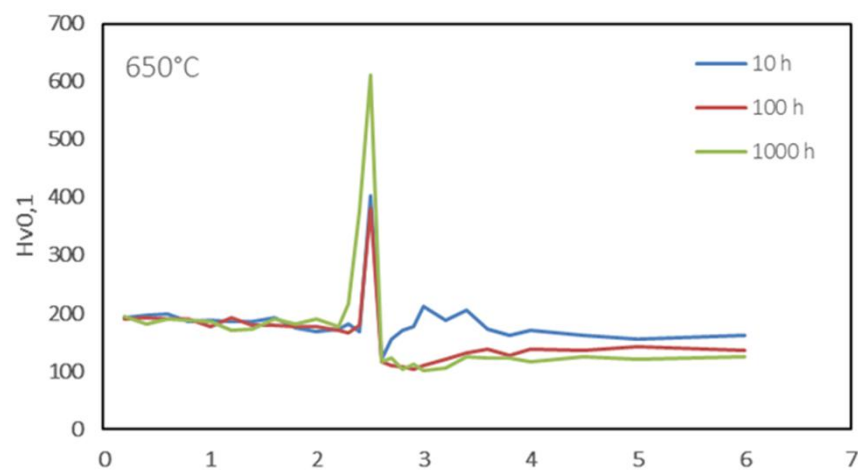
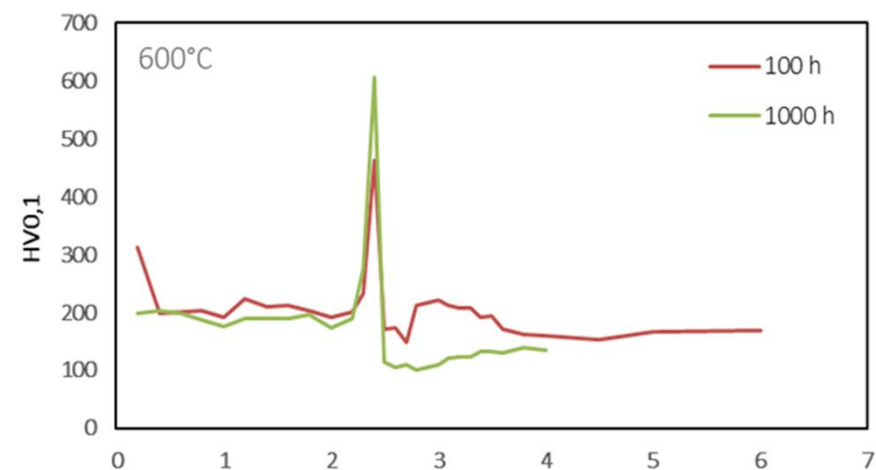
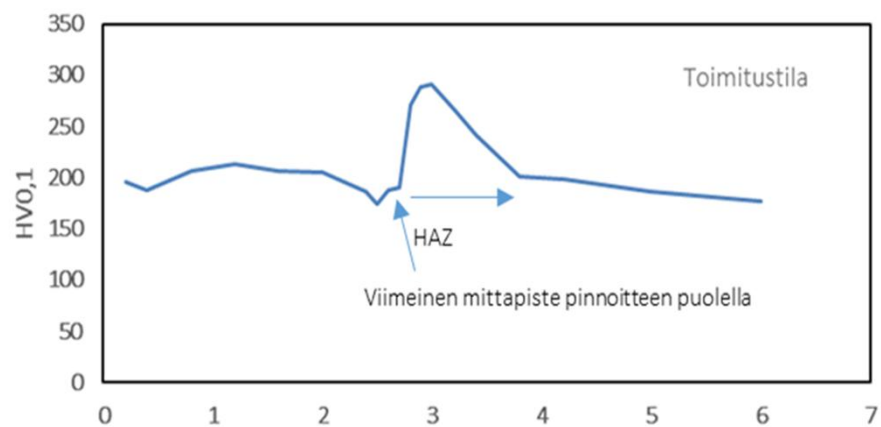
Mikrokovuus HV0,1

AZZ 309L-P235GH

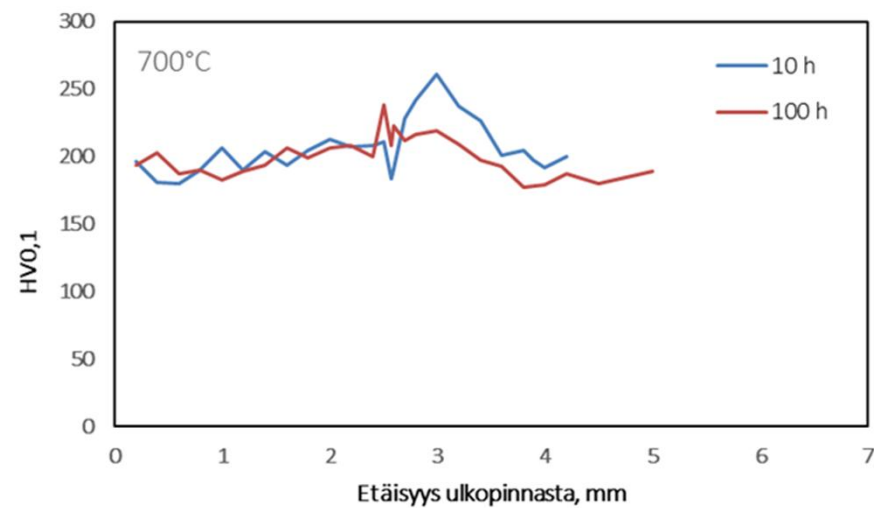
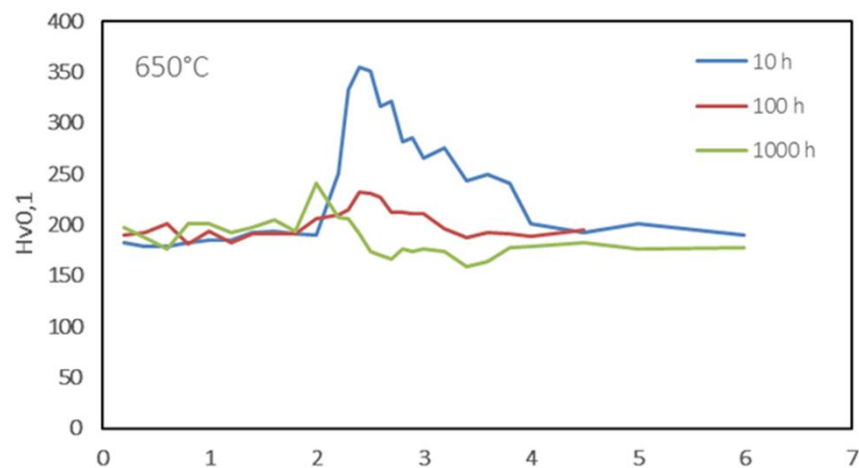
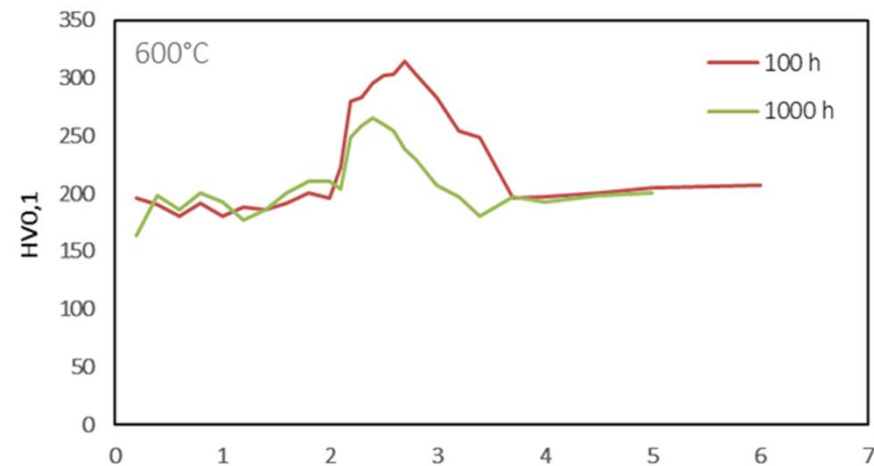
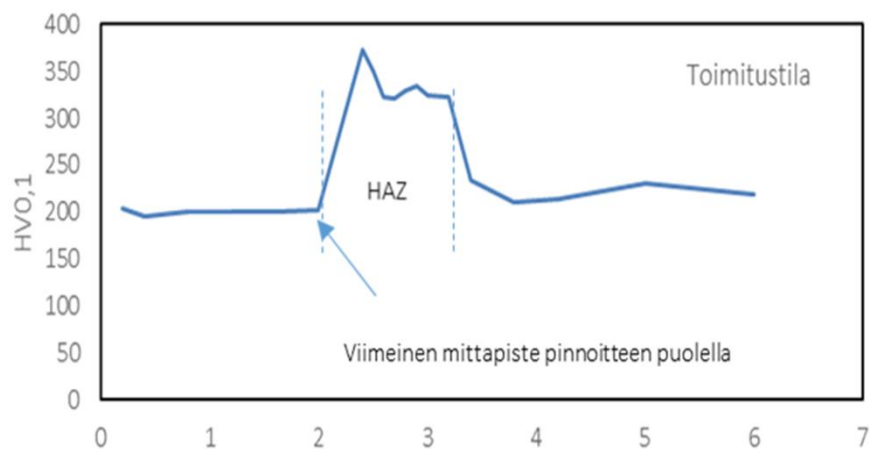


- Rakeenkasvu HAZissa, hiilenkato vyöhyke 8

Uhlig 309L-16Mo3

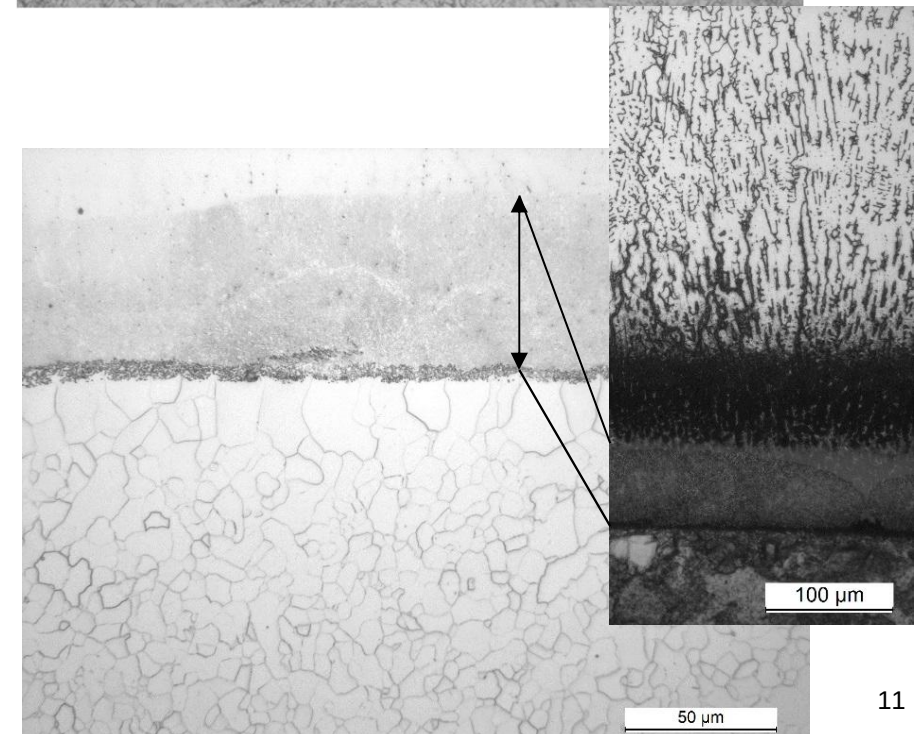
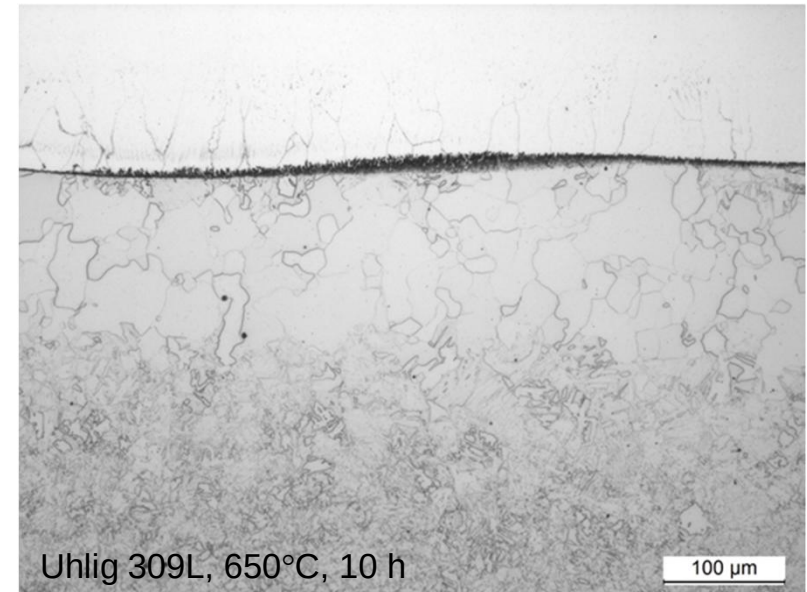


Areva 309L-T24

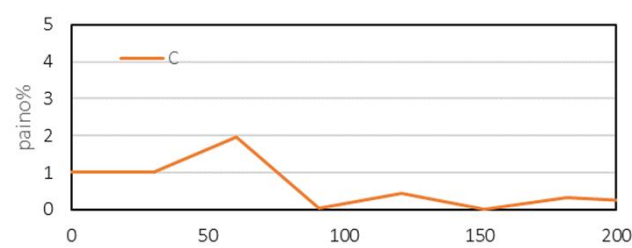
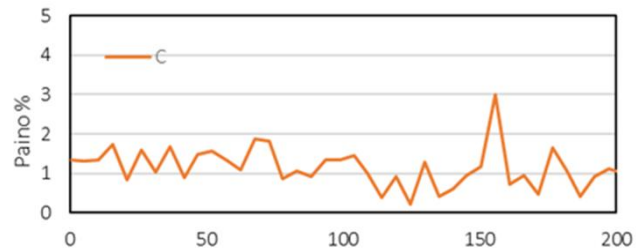
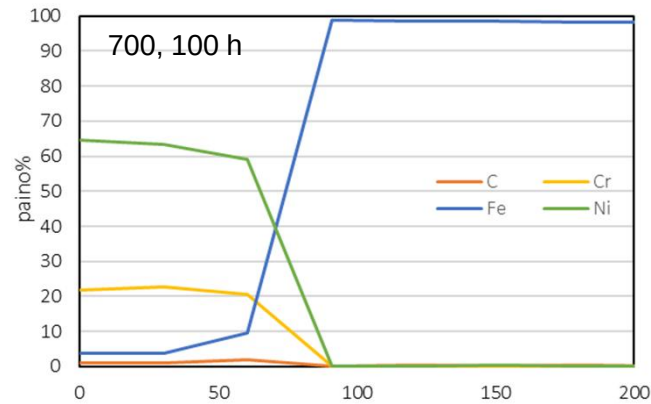
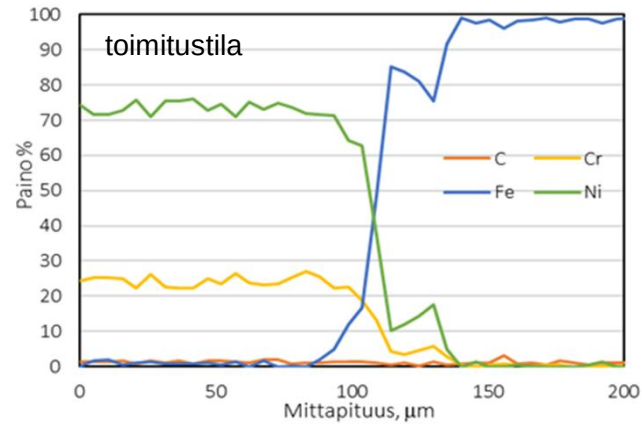


Hiilenkato, hiilettyminen

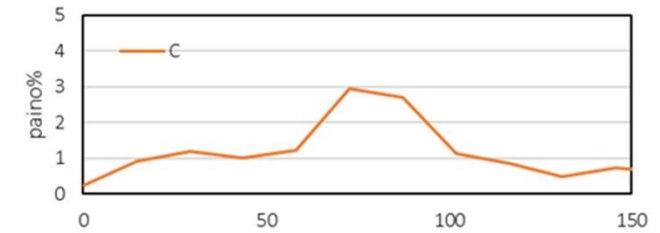
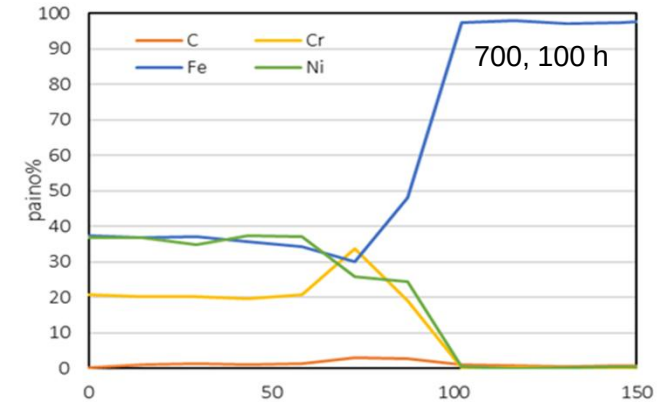
- Hiilen diffuusio pohjamateriaalista kohti rajapintaa
→ osassa näytteitä voimakkaasti hiilettynyt kerros rajapinnalla pohjamateriaalin puolella, erit. lyhyillä hehkutusajoilla
- Pinnoitteen voimakas hiilettyminen rajapinnan läheisyydessä



AZZ IN625

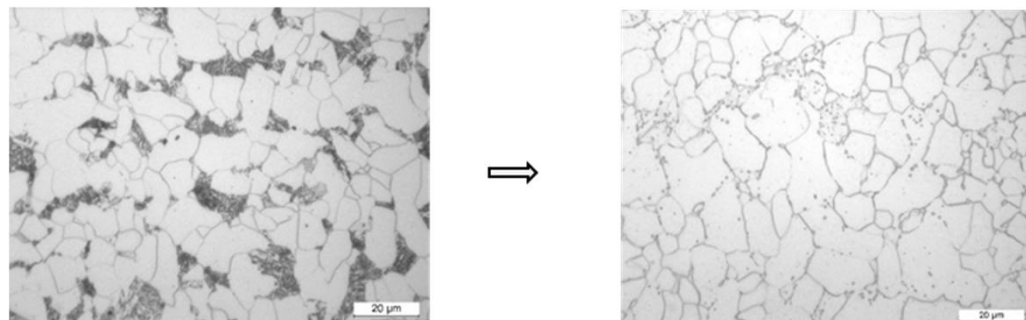


Sanicro 38

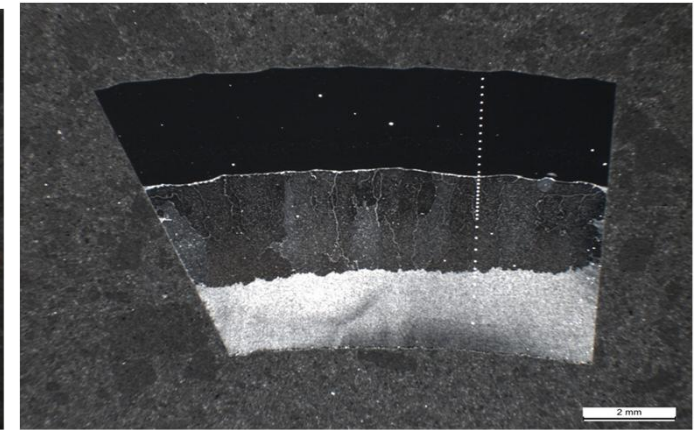
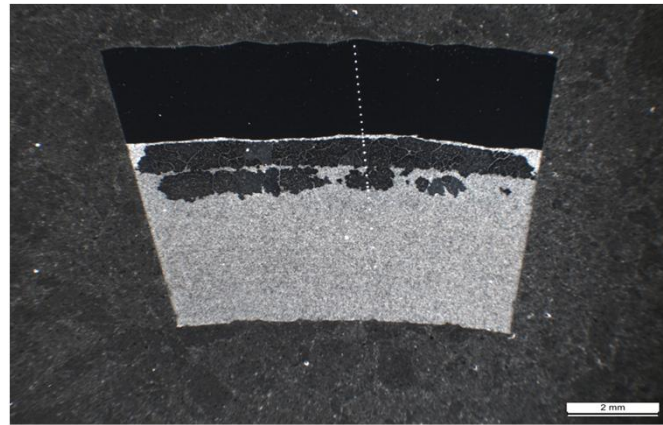
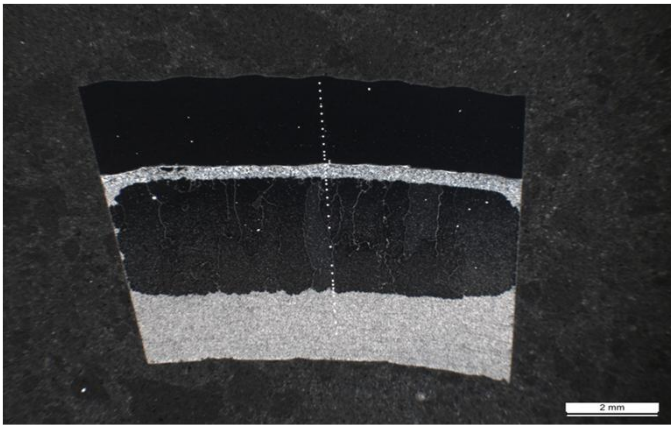


Yhteenveto

- Hiiliterästen mikrorakennemuutokset alkavat ferriittisperliittisen (P235GH, P265GH, St45.8) perliittirakeiden karbidilamellien katkeiluna ja vähittäisenä palloutumisena, pidemmällä ajanjaksolla ja/tai lämpötilan noustessa karbidien karmenemista
 - Vastaava muutos perliittisbainittisella pohjamateriaalilla 16Mo3
- 7CrMoVTiB10-10 mikrorakenne jo toimitustilassa hajaantunut, raerajakarbidit.
 - Vastaavan tyyppinen rakenne 10CrMo9-10
- Toimitustilaisten näytteiden HAZ-vyöhykkeellä havaitut kovuusvaihtelut tasoittuivat hehkutuksen aikana ja korkein kovuusarvo hehkutetuissa näytteissä muodostui pinnoitteen puolella lähelle rajapintaa → hiilen diffuusio pohjamateriaalista pinnoitteeseen



- Rajapinnan läheisyyteen pohjamateriaalin puolelle muodostuu matalampien kovuusarvojen vyöhyke
- Rakeenkasvua oli nähtävissä rajapinnalla perusaineen puolella sekä HAZ-vyöhykkeellä



AZZ 309L/IN625/IN825 - P235GH, 700°C 100h

- Mikrorakennemuutokset hitsauspinnoitteilla ja compound-putkilla saman tyyppisiä
- Jatko: Muokkauksen/taivutuksen vaikutusta pinnoitekerrokseen & rajapintaan, SCC

LIITE 8

**YTR: VTT, Soodakattilan NOx-päästön riippuvuus puuraaka-aineen
typpipitoisuudesta – tilanneraportti 30.8.2017**



Typpikatsauksen tilanne

SKY/YTR 30.8.2017

Klaus Niemelä

Nitrogen in wood and its fate in kraft pulping

- Kolme pääaihetta
 - Puun typpipitoisuus ja sen vaihteluun vaikuttavat tekijät
 - Puun typpiyhdisteet (proteiinit, vapaat aminohapot, muut)
 - Puun typpiyhdisteiden käyttäytyminen keitossa

- Aineisto
 - Aikaisemmissa projekteissa kerätty
 - Uudet haut VTT:n käytössä olevista lähteistä
 - Rempulp-projektin (2000-2002) julkaisemattomat tulokset keiton ja haihdutuksen osalta

Tavoitteet vs. materiaalin kattavuus

- Niukan puoleisesti julkaistu:
 - Kotimaisen männyn ja koivun typpipitoisuuksia v. 2000-.
 - Lannoituksen vaikutuksia yksikössä ”% typpeä puussa” (usein kg/ha).
 - Proteiinien ja aminohappojen käyttäytyminen alkalissa korkeassa lämpötilassa, esim. ammoniakin muodostuminen.
 - Typpi keitossa, mustalipeätyypen muodostuminen
- Runsaasti julkaistu:
 - Typpipitoisuuden vaihtelu puun eri osissa (esimerkkejä), ml. kuori. Aina ei taulukoituja lukuja vaan tulokset ”epätarkkoina” kuvina.
 - Typen yleinen merkitys puun kasvulle (aina ei typpipitoisuuksia analysoitu), typen kiertokulku metsissä.
 - Radiata-männyn ja muiden ulkomaisten puiden typpikysymyksiä (useita esimerkkejä otettu mukaan, kattava viiteluettelo).
 - Puun proteiinit yleensä, myös soluseinän rakennemateriaaleina (eritoten viim. 15-20 v. aikana), vastaavat analyysimenetelmät. Kuitenkin niukasti kotimaisista lajeista.

Raportin alkuperäinen rakenne

- Keskeiset luvut "Nitrogen in softwood" ja "Nitrogen in hardwood"
- Esim. "Nitrogen in softwood" –luvun alkup. rakenne & tavoite:
 - Mukaan lähes kaikki löydettyt kuvat ja taulukot joissa jonkin havupuun tyyppipitoisuuksia (ympäri maailmaa)
 - → Esitetyissä taulukoissa usein mukana myös runsaasti lehtipuita
 - → Erityisesti taulukoissa (ja kuvissa) runsaasti myös tarpeetonta materiaalia
 - → Kotimaiset puulajit eksyvät helposti kaiken materiaalin sekaan; niistä erilliset yhteenvetotaulukot hankala koota

Raportin alkuperäinen rakenne

- Keskeiset luvut "Nitrogen in softwood" ja "Nitrogen in hardwood"
- "Nitrogen in softwood" –luvun rakenne & tavoite:
 - Mukaan lähes kaikki löydettyt kuvat ja taulukot joissa jonkin havupuun tyyppipitoisuuksia (ympäri maailmaa)
 - → Esitetyissä taulukoissa usein mukana myös runsaasti lehtipuita
 - → Erityisesti taulukoissa runsaasti myös tarpeetonta materiaalia
 - → Kotimaiset puulajit eksyy kaiken materiaalin sekaan; niistä erilliset yhteenvetotaulukot hankala koota
- ⇒ Tuloksena vaikeaselkoinen ja sekava luku havupuun tyypestä
- ⇒ Erittäin vaikea jatkaa selkeästi lehtipuun tyyllä (ristikkäisviittaukset ym)

Raportin rakenne – uusittu versio

- ”Nitrogen in softwood” -luvun uusi rakenne
 - Alkuun yhteenvetotaulukko kotimaisen männyn ja kuusen typpi(pitoisuus)tutkimuksista
 - Tämän jälkeen mahdollisimman kattavasti julkaistut kotimaisten lajien typpitulokset (maittain, paikkakunnittain, lannoituksen vaikutus, jne)
 - Valikoituja kuvia typen jakautumisesta rungon eri osissa
 - Lopuksi vastaava kooste ulkomaisten havupuiden typpituloksista, kirjallisuusviitteet kuitenkin kattavasti
 - Erillinen lyhyt yhteenveto kuoren typpipitoisuuksista
 - Ei skannattuja alkuperäistaulukoita

Raportin rakenne – uusittu versio

- ”Nitrogen in softwood” -luvun uusi rakenne
 - Alkuun yhteenvetotaulukko kotimaisen männyn ja kuusen typpi(pitoisuus)tutkimuksista
 - Tämän jälkeen mahdollisimman kattavasti julkaistut kotimaisten lajien typpitulokset (maittain, paikkakunnittain, lannoituksen vaikutus, jne)
 - Valikoituja kuvia typen jakautumisesta rungon eri osissa
 - Lopuksi vastaava kooste ulkomaisten havupuiden typpituloksista, kirjallisuusviitteet kuitenkin kattavasti
 - Erillinen lyhyt yhteenveto kuoren typpipitoisuuksista
 - Ei skannattuja alkuperäistaulukoita
- ”Nitrogen in hardwood” -luku samalla periaatteella
 - Kotimaiset koivut, haapa ja leppä erikseen
 - Muut lehtipuut edustavasti vertailevaan yhteenvetotaulukkoon

Table 3.10. Seasonal variation in contents of nitrogen and other nutrients in different parts of two pine species (Wright and Will 1958).

Esimerkki 1.

	Age (years)	Sampling date	Corsican pine percent. dry weight			Scots pine percent. dry weight		
			N	P	K	N	P	K
Needles	18	June	0.95	0.105	0.47	0.91	0.100	0.45
		Dec.	0.86	0.130	0.63	1.06	0.120	0.61
	28	June	0.67	0.080	0.45	1.40	0.135	0.51
		Dec.	0.86	0.160	0.69	1.46	0.185	0.59
	48, 64*	June	0.95	0.105	0.45	1.20	0.125	0.38
		Dec.	0.89	0.120	0.81	1.42	0.150	0.61
Branches	18	June	0.34	0.055	0.32	0.32	0.045	0.33
		Dec.	0.38	0.035	0.19	0.21	0.025	0.16
	28	June	0.20	0.035	0.22	0.49	0.075	0.40
		Dec.	0.24	0.030	0.20	0.40	0.040	0.20
	48, 64*	June	0.28	0.050	0.29	0.30	0.040	0.20
		Dec.	0.30	0.040	0.26	0.26	0.030	0.18
Bark	18	June	0.32	0.065	0.25	0.37	0.060	0.38
		Dec.	0.61	0.035	0.20	0.77	0.050	0.26
	28	June	0.24	0.040	0.18	0.48	0.075	0.43
		Dec.	0.27	0.035	0.24	0.60	0.085	0.47
	48, 64*	June	0.26	0.045	0.25	0.38	0.070	0.27
		Dec.	0.28	0.040	0.23	0.52	0.075	0.32
Wood	18	June	0.102	0.0165	0.106	0.083	0.0110	0.084
		Dec.	0.076	0.0050	0.037	0.085	0.0065	0.083
	28	June	0.060	0.0055	0.048	0.090	0.0115	0.065
		Dec.	0.065	0.0055	0.043	0.096	0.0080	0.064
	48, 64*	June	0.071	0.0080	0.092	0.081	0.0085	0.070
		Dec.	0.092	0.0095	0.076	0.101	0.0110	0.066

Table 3.19. Percentage composition of different hardwoods and softwoods (Haas and Kremer 1964). Most of the analysed trees were 25–100 years old.

	<i>Pectic acid</i>	<i>Arabinan</i>	<i>Galactan</i>	<i>Glucan</i>	<i>Mannan</i>	<i>Xylan</i>	<i>Lignin</i>	<i>Ash</i>	<i>Protein</i> <i>N</i> × 6.25
Aspen, quaking, 1957									
Xylem scrapings	10.8	4.2	6.2	19.8	1.1	7.2	1.4	10.4	20.0
Soft xylem	10.3	3.3	4.3	34.8	1.3	12.3	2.8	7.0	16.2
Stringy xylem	3.3	1.4	1.6	42.8	1.7	18.0	8.2	3.3	6.2
'57 (new) xylem	2.6	0.7	1.2	45.8	2.1	16.0	16.0	1.1	1.9
'56 (1-yr) xylem	0.7	0.5	0.6	46.4	2.4	16.2	19.1	0.4	0.6
Aspen, bigtooth, 1959									
Xylem scrapings	...	4.8	6.8	7.7	0.9	2.5	0.2	13.9	37.5
Soft xylem	...	6.1	6.9	19.4	0.9	8.7	1.4	9.1	21.9
Stringy xylem	...	...	...	...	...	...	...	...	...
'59 (new) xylem	...	0.7	1.0	44.9	1.7	16.3	17.4	0.6	0.6
'58 (1-yr) xylem	...	0.7	1.2	45.0	2.4	18.9	16.9	0.5	0.6
Maple, sugar, 1959									
Xylem scrapings	7.9	5.3	9.5	13.3	0.6	5.2	0.7	10.1	41.2
Soft xylem	7.6	5.0	8.0	22.2	1.1	11.0	2.0	7.5	20.0
Stringy xylem	3.8	2.1	2.9	36.7	2.1	18.8	13.1	3.5	7.5
'59 (new) xylem	1.2	1.1	1.2	41.9	2.5	16.5	19.4	1.0	2.5
'58 (1-yr) xylem	0.8	0.9	0.8	42.8	2.3	15.3	22.9	0.3	0.6
Maple, sugar, 1960									
Xylem scrapings	...	5.1	8.4	6.9	0.3	1.7	0.2	11.7	50.0
Soft xylem	...	5.1	8.4	20.6	0.8	8.5	1.0	7.6	20.0
Stringy xylem	...	...	...	...	...	...	...	...	...
'60 (new) xylem	...	0.8	1.0	41.7	2.9	18.0	19.8	0.5	1.3
'59 (1-yr) xylem	...	0.9	0.9	41.0	2.8	16.9	21.1	0.5	0.8
Fir, balsam, 1959									
Xylem scrapings	3.9	4.6	5.5	9.8	2.3	0.9	0.6	12.1	33.7
Soft xylem	2.0	3.0	4.3	40.2	10.0	5.5	7.5	3.1	9.4
Stringy xylem	1.2	1.5	3.5	43.4	11.4	5.1	19.6	1.5	3.7
'59 (new) xylem	0.6	1.4	2.1	41.5	10.9	5.8	28.1	0.5	0.9
'58 (1-yr) xylem	0.8	1.4	1.9	42.3	10.9	5.6	28.7	0.3	0.4
Fir, balsam, 1960									
Xylem scrapings	...	4.4	4.5	12.0	3.0	1.8	1.3	9.4	42.5
Soft xylem	...	4.4	4.5	32.2	6.8	5.6	5.0	4.3	15.6
Stringy xylem	...	...	...	...	...	...	...	...	...
'60 (new) xylem	...	1.4	1.7	45.0	11.8	4.3	28.0	0.3	0.6
'59 (1-yr) xylem	...	1.6	2.0	44.1	11.3	5.4	28.5	0.3	0.5
Pine, jack, 1959									
Xylem scrapings	5.4	7.2	7.4	9.5	1.8	1.7	0.5	7.2	44.6
Soft xylem	4.7	5.7	6.7	33.2	6.7	6.9	8.1	2.8	13.2
Stringy xylem	1.6	2.6	4.5	41.8	10.0	7.5	18.4	1.3	4.4
'59 (new) xylem	1.0	1.8	2.8	41.6	9.0	7.3	26.6	0.5	1.3
'58 (1-yr) xylem	0.9	1.7	2.6	42.3	10.0	6.9	27.7	0.3	0.4
Pine, jack, 1960									
Xylem scrapings	...	7.2	7.5	11.1	2.1	1.5	1.0	6.5	40.6
Soft xylem	...	8.3	9.1	23.4	4.3	4.4	3.8	3.5	20.0
Stringy xylem	...	...	...	...	...	...	...	...	...
'60 (new) xylem	...	1.9	3.8	43.3	11.0	6.8	26.4	0.4	1.3
'59 (1-yr) xylem	...	2.0	3.5	42.2	9.9	7.0	27.9	0.3	0.3

Esim. 2.

Table 3.35. Mean carbon and nitrogen concentrations for 17 Canadian tree species across five woody issue types (Martin et al 2015). The nitrogen concentrations in some softwood materials are very low, i.e. 0.03% or below that.

Species	C concentration (% by mass)					N concentration (% by mass)				
	Sapwood	Heartwood	Bark	Small branches	Coarse roots	Sapwood	Heartwood	Bark	Small branches	Coarse roots
Conifers										
ABBA	49.7±0.4	50.1±0.2	48.8±0.2	49.6±0.2	50.2±0.6	0.009±0.004	0.026±0.008	0.346±0.004	0.087±0.018	0.03±0.006
Picea	49.3±0.1	49.7±0.4	52.6±0.8	49.9±0.3	49.6±0.4	0.003±0.002	0.007±0.006	0.168±0.058	Undetectable	0.036±0.036
PIST	51.0±0.2	50.2±0.3	51.9±1.8	50.3±0.3	51.1±0.7	0.019±0.014	Undetectable	0.356±0.11	0.067±0.0124	0.013±0.008
THOC	50.6±0.3	51.5±0.1	50.1±0.4	49.7±0.7	51.1±0.5	0.097±0.006	0.078±0.001	0.235±0.021	0.169±0.02	0.11±0.011
TSCA	49.8±0.3	49.9±0.1	55.8±0.03	49.8±0.3	49.7±0.3	Undetectable	Undetectable	0.153±0.034	0.025±0.019	Undetectable
All conifers	50.1±0.3	50.3±0.3	51.8±1.2	49.8±0.1	50.3±0.4	0.026±0.018	0.022±0.015	0.251±0.043	0.07±0.029	0.038±0.019
Hardwoods										
ACPE	47.9±0.2	47.7±0.2	48.1±0.2	47.7±0.02	47.7±0.1	0.058±0.004	0.028±0.001	0.672±0.054	0.083±0.007	0.191±0.049
ACRU	47.6±0.2	48.0±0.2	51.5±1.8	47.8±0.2	47.9±0.5	0.147±0.013	0.179±0.019	1.037±0.163	0.208±0.017	0.215±0.017
ACSA	47.9±0.1	47.7±0.1	51.6±1.4	47.6±0.4	47.8±0.1	0.15±0.004	0.169±0.009	0.785±0.118	0.266±0.026	0.166±0.004
BEAL	48.5±0.2	48.9±0.4	52.6±0.5	48.0±0.1	48.4±0.5	0.102±0.002	0.112±0.011	0.577±0.058	0.287±0.018	0.102±0.004
BEPA	47.9±0.03	48.3±0.6	65.0±3.6	47.2±0.4	48.1±0.2	0.078±0.036	0.078±0.016	0.338±0.01	0.235±0.047	0.107±0.052
FAGR	48.3±0.4	48.7±0.1	47.3±0.4	47.9±0.3	48.1±0.2	0.054±0.007	0.054±0.007	0.731±0.05	0.185±0.038	0.11±0.024
FRAN	47.1±0.2	47.3±0.1	50.5±0.9	47.6±0.2	47.7±0.2	0.004±0.004	0.002±0.001	0.554±0.039	0.204±0.06	0.042±0.011
OSVI	47.6±0.1	48.7±0.2	48.3±0.7	47.9±0.3	47.5±0.1	0.105±0.007	0.085±0.007	1.179±0.091	0.193±0.022	0.269±0.094
PRSE	47.4±0.3	47.4±0.5	52.8±4.1	47.3±0.2	47.6±0.3	0.176±0.009	0.173±0.01	0.684±0.063	0.234±0.009	0.212±0.031
QURU	47.1±0.2	47.1±0.8	52.8±0.3	47.2±0.1	47.1±0.2	0.206±0.009	0.179±0.017	0.597±0.0258	0.28±0.022	0.188±0.004
TIAM	48.0±0.2	48.3±0.3	50.6±2.1	47.9±0.04	48.0±0.5	0.138±0.008	0.197±0.058	0.824±0.124	0.338±0.008	0.249±0.107
ULAM	48.7±0.2	48.9±0.1	50.1±1.1	49.1±0.2	48.9±0.2	0.138±0.011	0.125±0.008	1.145±0.056	0.251±0.003	0.242±0.061
All hardwood	47.8±0.2	48.1±0.2	51.8±1.3	47.8±0.5	47.9±0.1	0.113±0.017	0.115±0.019	0.76±0.073	0.23±0.019	0.17±0.02
All species	48.5±0.29	48.7±0.29	51.8±1.0	48.4±0.26	48.6±0.3	0.087±0.016	0.089±0.017	0.611±0.078	0.183±0.024	0.134±0.022

Note: Error terms represent 1 standard error of the mean for n = 3 samples per species × tissue type group. Both wood C and N concentrations varied significantly as a function of species, tissue type, and a species × tissue interaction term (see Results). Values of N that were <0.001 were reported as "undetectable". Species codes are as follows: ABBA, *Abies balsamea*; Picea, *Picea mariana* × *P. rubens*; PIST, *Pinus strobus*; THOC, *Thuja occidentalis*; TSCA, *Tsuga canadensis*; ACPE, *Acer pensylvanicum*; ACRU, *Acer rubrum*; ACSA, *Acer saccharum*; BEAL, *Betula alleghaniensis*; BEPA, *Betula papyrifera*; FAGR, *Fagus grandifolia*; FRNI, *Fraxinus nigra*; OSVI, *Ostrya virginiana*; PRSE, *Prunus serotina*; QURU, *Quercus rubra*; TIAM, *Tilia americana*; ULAM, *Ulmus americana*.

Typpipitoisuuksista – mänty (*P. sylvestris*)

Yhteenvetotaulukkoa raportista (alkup.)

Country	N (%)	Table or Figure	Reference
Finland	0.07	Table 3.32	Nurmi et al. (1997)
Finland	0.048	Table 3.30	Telkkinen (1996, 1999)
Finland	0.045	Table 3.29	Varhimo (1988)
Finland	0.040	Table 3.29	Varhimo (1988)
Finland	0.043	Table 3.29	Varhimo (1988)
Finland	0.060	Table 3.29	Varhimo (1988)
Finland	0.050	Table 3.29	Varhimo (1988)
Finland	0.05-0.1	Figs. 3.31-3.36	Siltala (1988)
Finland	0.06		Häsänen and Huttunen (1989)
Sweden	0.19	Table 3.33, Fig. 3.45	Anon. (1999)
Sweden	0.078	Table 3.31	Hedenberg (1996)
Sweden	0.068	Table 3.31	Hedenberg (1996)
Sweden	0.048	Table 3.31	Hedenberg (1996)
Sweden	0.06	Fig. 3.39	Terziev (1995)
Germany	0.07	Table 3.22	Marutzky and Roffael (1977)
Germany	0.06-0.09	Table 3.21	Adelsberger and Petrowitz 1976
Germany	0.04-0.05	Figs. 3.6-3.11	Becker (1962)
England	0.07-0.097	Table 3.20	Bletchly (1969)
Switzerland	0.060	Table 3.36	Keller and Nussbaumer (1993)
Corsica	0.064	Fig. 3.3	Wright (1957)

Uudet taulukot

Esimerkki tutkimus- yhteenvedoista (mänty, kuusi)

Table. Studies on the of nitrogen contents in Scots pine (P, *Pinus sylvestris*) and Norway spruce (S, *Picea abies*).

Reference	Species	Topic addressed
Gottlieb 1883	S	Wood composition
Schwalbe & Becker 1919	P	Wood composition
König & Becker 1919	S	Wood composition
Allsopp & Misra 1940	P	Cambium and sapwood composition
Ovington 1957	P	N content in several hard- and softwood species
Stewart 1957	P	N content sapwood and cambial zone
Wright and Will 1958	P	N content and distribution, also for Corsican pine
Nickel 1960	P	N and protein content across the stem
Becker 1962	P	N content across the stems, also for other SWs
Bletchly 1969	P	N content in sapwood
King et al. 1974	P, S	N content along the radius of the stems
Mälkönen 1974	P	N content (annual cycles of nutrients)
Adelsberger & Petr. 1976	P	N content and distribution, protein composition
Marutzky & Roffael 1977	P, S	N content
Magnussion et al. 1979	P, S	Typical N content ranges, incl. other NPEs
Paavilainen 1980	P	N content, effect of fertilisation on peatland (FI)
Westermarck et al. 1986	S	N content in whole wood and some fractions
Varhimo et al. 1988	P, S	Wood composition of Finnish trees
Siltala 1988	P	N content, distribution and different factors
Helmisaari & Siltala 1898	P	English paper based on Siltala 1988
Finér 1989	P, S	N content, effect of fertilisation in Finland
Häsänen & Huttunen 1989	P	N content (and other elements)
Boutelje et al. 1990	P	N content in two planks, method comparisons
Keller & Nussbaumer 1993	P, S	N content analysed by chemiluminescence
Terziev et al. 1995	P	N in plank samples, fate in drying
Terziev et al. 1997	P	N content in sapwood
Telkkinen 1996, 1999	P, S	N content, fate in pulping
Hedenberg 1996	P, S	N content (also in bark) in Swedish trees
Anon. 1999	P, S	N contents, Swedish Ecocyclic pulp mill project
Nurmi et al. 1999	P, S	N content in different Finnish tree parts
Ingerslev 1999	S	N content, effect of fertilisation in Denmark
Anttonen et al. 2002	S	N content, effect of fertilisation in Sweden
Niemelä & Ulmgren 2002	P	N content, fate in pulping (E. globulus)
Kaakinen et al. 2007	S	N content, effect of fertilisation in Finland
Kaakinen et al. 2009	S	N content, effect of fertilisation in Sweden
Palviainen et al. 2010	P, S	N content in stump wood and bark

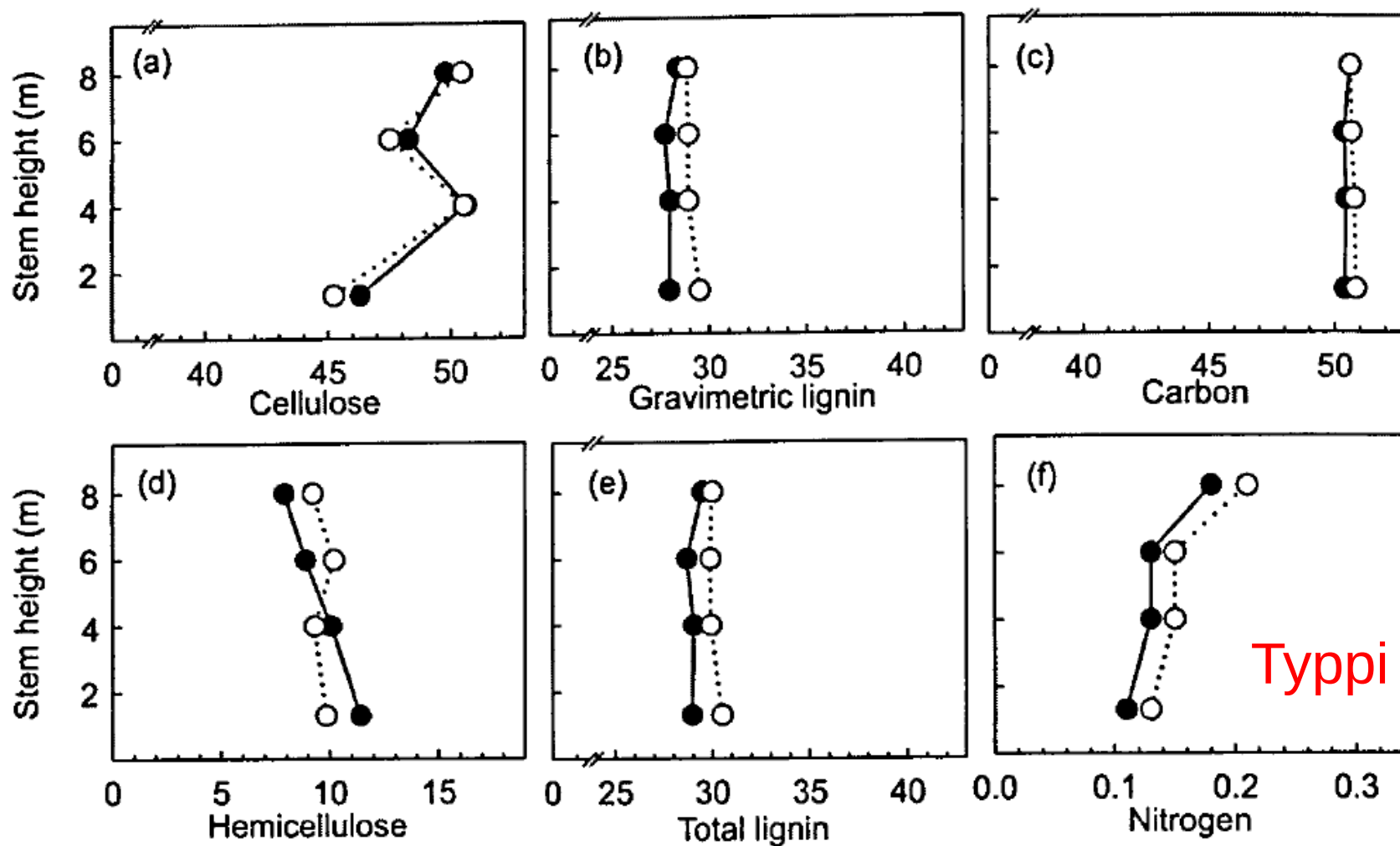


Uudet taulukot

- Typpipitoisuustutkimukset
 - Kotimaiset lajit (mänty ja kuusi)
 - Valikoidut ulkomaiset havupuut
 - Kotimaiset lajit (koivut, haapa, leppä)
 - Valikoidut ulkomaiset lajit (ml. eukalyptus)

- Julkaistut pitoisuustiedot
 - Kotimainen mänty
 - Kotimainen kuusi
 - Valikoidut muut havupuut
 - Havupuiden kuori
 - Kotimaiset lehtipuut
 - Valikoidut muut lehtipuut
 - Lehtpuiden kuori

Lannoituksen vaikutus – esimerkki kuusipuu



Esimerkki vuodenaikaisvaihtelusta (pintapuu)

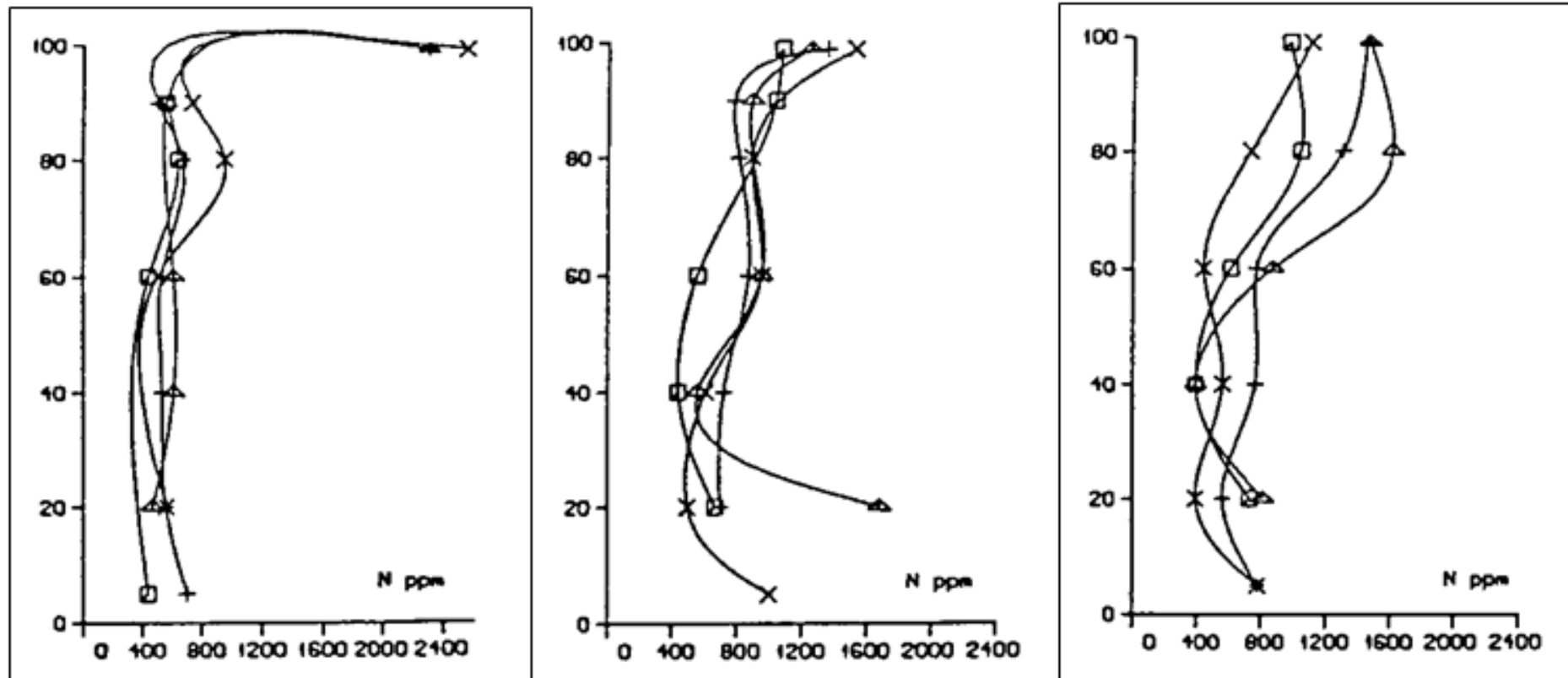


Fig. 3.36. Seasonal variation in vertical nitrogen content in outer sapwood of pine: mature trees (left), young trees (middle), and seedlings (right), according to Siltala (1988). Sampling in February (x), May (□), July (⊗), and September (+).

Esimerkki Pohjois-/Etelä-Suomi-vaihtelusta (Kuusipuu, Kaakinen et al. 2007)

Table 5 Wood component concentrations (% DM) and ratios from the pith to the bark in the northern site (Kemijärvi) and in the southern site (Heinola) in Finland

Annual ring sections	Carbon		Nitrogen		Carbon/nitrogen		Total lignin/nitrogen	
	U	F	U	F	U	F	U	F
The northern site								
1958–1962	49.92 ± 0.05	50.00 ± 0.24	0.112 ± 0.008	0.098 ± 0.013	455 ± 33	542 ± 73	277 ± 17	316 ± 44
1965–1969	49.66 ± 0.09	49.93 ± 0.07	0.110 ± 0.004	0.108 ± 0.009	455 ± 19	481 ± 42	263 ± 10	281 ± 24
1975–1979	49.76 ± 0.05	49.95 ± 0.10	0.120 ± 0.004	0.112 ± 0.007	417 ± 16	452 ± 25	242 ± 11	259 ± 13
1985–1989	49.52 ± 0.17	49.63 ± 0.20	0.102 ± 0.016	0.136 ± 0.007	553 ± 113	365 ± 17	317 ± 62	213 ± 8
1993–1997	49.66 ± 0.04	49.65 ± 0.13	0.130 ± 0.000	0.143 ± 0.008	382 ± 0	351 ± 18	222 ± 4	204 ± 13
1998–2002	49.83 ± 0.17	49.35 ± 0.22	0.133 ± 0.009	0.148 ± 0.003	381 ± 26	335 ± 7	221 ± 18	190 ± 7
The southern site								
1963–1967	50.70 ± 0.24	50.64 ± 0.08	0.088 ± 0.008	0.094 ± 0.005	596 ± 54	544 ± 29	345 ± 32	317 ± 17
1973–1977	50.76 ± 0.15	50.78 ± 0.10	0.076 ± 0.007	0.100 ± 0.007	693 ± 65	518 ± 38	403 ± 40	299 ± 20
1983–1987	50.60 ± 0.09	50.76 ± 0.06	0.106 ± 0.011	0.102 ± 0.008	503 ± 62	510 ± 41	291 ± 38	288 ± 26
1993–1997	50.42 ± 0.10	50.56 ± 0.08	0.108 ± 0.004	0.118 ± 0.012	469 ± 17	457 ± 67	265 ± 7	258 ± 39
1998–2002	50.28 ± 0.07	50.24 ± 0.08	0.150 ± 0.012	0.140 ± 0.004	343 ± 26	360 ± 12	193 ± 14	201 ± 6

Note. Trees were either unfertilised (U) or nitrogen-fertilised (F). Values are means of five trees ± SE. For statistics, see Table 4.

Puun typpiyhdisteet

- Proteiinit ja aminohapot tärkeimmät, hyvin vähän muita orgaanisia tai mitään epäorgaanisia yhdisteitä
- Vapaat aminohapot
 - Esiintyy jonkin verran, määritetty useista puulajeista
- Proteiinit
 - Puun proteiinit (rakenteet ja tehtävät) huomattavan mielenkiinnon kohteina viim. 20 v. aikana
 - Tunnetuimmat ryhmät extensins, glycine-rich proteins, proline-rich proteins ja arabinogalactan proteins.
 - Useita eri tehtäviä.
 - Osa ilmeisesti kovalenttisesti sitoutuneina ligniiniin (soluseinässä).

Esimerkki havupuiden soluseinäproteiineista (aminohappokoostumukset, Loopstra 2000)

Table 1. Amino acid compositions of six conifer cell wall proteins.

Amino acid	1p1	1p2	2PELP	3PtX3H6	3PtX14A 9	4LP5
Hyp	28.1	29.2	11.5	ND	ND	ND
Pro	21.3	14.2	24.0	28.3	9.8	0
Asx	0	0	8.1	0.7	5.3	6.3
Thr	1.5	4.5	4.8	20.0	5.7	0.5
Ser	2.5	6.8	6.3	13.1	11.7	20
Glx	0	2.9	3.2	1.4	7.3	2.0
Gly	0.6	2.0	7.9	1.4	7.3	42.0
Ala	0	4.1	6.4	18.6	14.2	10.7
Val	17.3	6.5	5.7	9.0	8.5	1.5
Ile	8.9	0.9	1.3	1.4	2.8	1.0
Leu	0	1.8	3.0	3.5	7.7	5.4
Tyr	4.9	4.6	4.1	0	2.0	5.4
Phe	0	0.7	1.5	1.4	4.9	1.0
Lys	11.0	14.9	8.5	1.4	2.8	1.0
His	1.2	6.0	0.8	0	0.8	0.0
Arg	1.9	0.6	2.2	0	2.0	2.0
Met	ND	ND	0.8	0	1.2	1.0
Cys	ND	ND	ND	0	1.2	0.5
Trp	ND	ND	ND	0	1.6	0.0

Sulfaattikeitossa...

- Puun tyypestä yli 95% vapautuu keittoliemeen, massassa jäävät mahdollisia
- Osa proteiineista pilkkoutuu, aminohappoja vapautuu, osa aminoryhmistä vapautuu ammoniakkinä
- Osa jää ligniiniin kiinni (kerasaostuu ligniinin kanssa pH:ta laskettaessa)
- Näitä kysymyksiä on tutkittu lähemmin ainoastaan Rempulp-projektissa (2000-2002); päätulokset raportissa
- Ammoniakki poistuu lipeästä haihdutuksessa (metanolin tärkein typpiyhdiste)
- Typen käyttäytymiseen itse keitossa ei juuri voida vaikuttaa; haihdutuksessa ammoniakin syntyä (ja siirtoa lauheteisiin) voidaan hieman lisätä erillisellä lipeän lämpökäsittelyvaiheella.

Ammoniakin muodostumisesta

The formation of ammonia from casein by digestion with 1 M NaOH solution at 170 °C.

Time (h)	Total-N, mg/l	Amm-N, mg/l	% Amm-N
0.5	1255	210	16.7
1	1234	224	18.2
2	1283	258	20.1
4	1210	278	23.0

The formation of ammonia (% of total nitrogen) after alkali treatment of selected model compounds at 160 or 170 °C for 30 min.

Material	160 °C, NaOH	170 °C, NaOH	170 °C, NaOH/Na ₂ S
4-Hydroxyproline	8.0	n.s.*	n.s.
Glycine	0.6	1.2	0.5
Serine	13.5	22.0	19.5
Valine	1.4	1.6	0.4
Aspartic acid	n.s.	7.4	n.s.
Glutamic acid	n.s.	1.4	n.s.
Proline	n.s.	2.3	n.s.
Phenylalanine	n.s.	3.6	n.s.
Lysine	n.s.	1.5	n.s.

*ns; not studied.

Laboratoriokeiton mahdollinen tyypitase

Rough black liquor nitrogen balance (laboratory cooks)

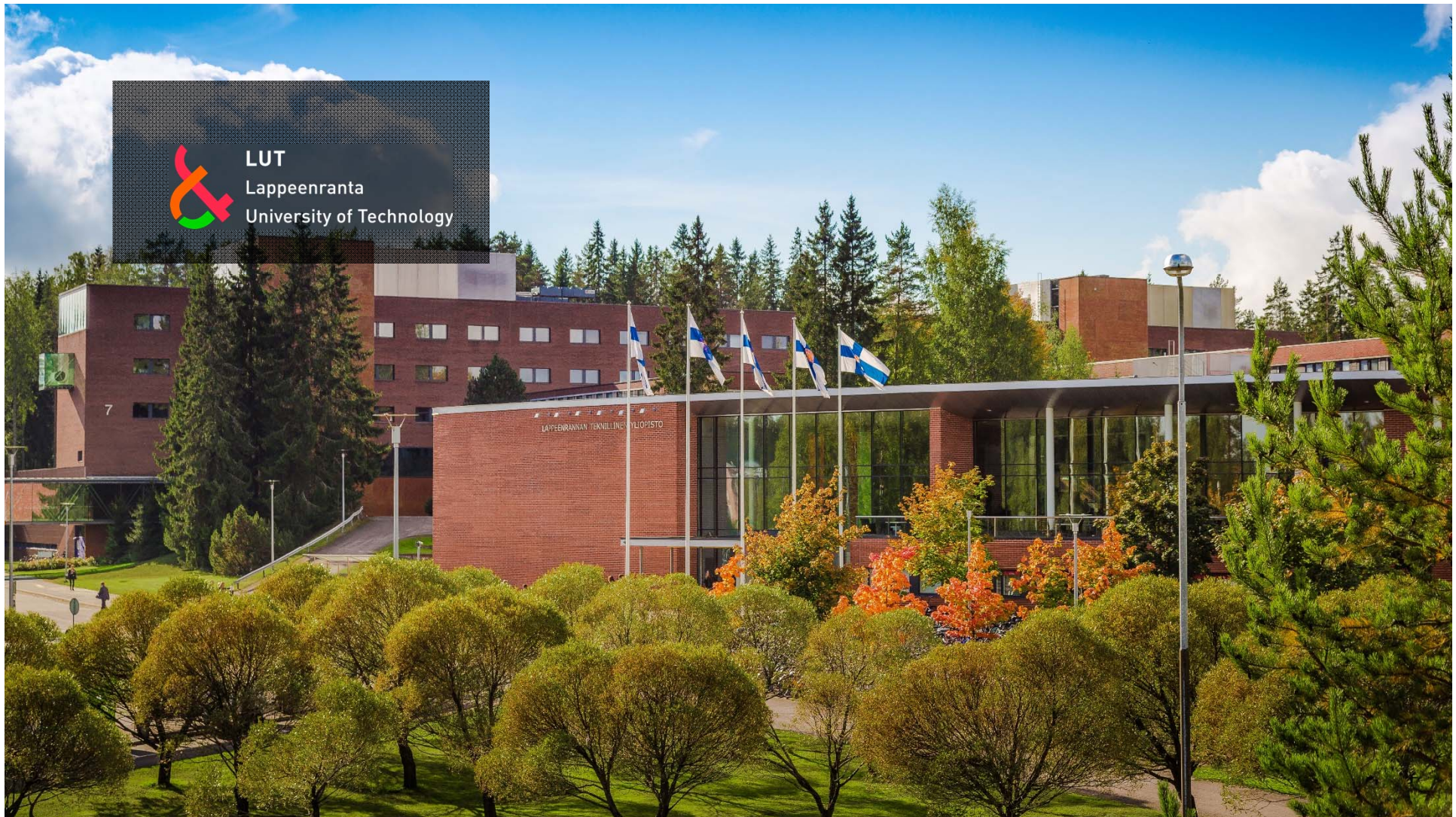
Ammonia	10-15%
Amino acids	10-15%
Cyclic compounds	2-5%
Lignin-bound	15%
Other (proteins?)	40-50%

LIITE 9

**YTR: LUT, Selvitys tyypillisistä savukaasuvirroista [m³/ADt] eri puulajeilla
– tilanneraportti 30.8.2017**



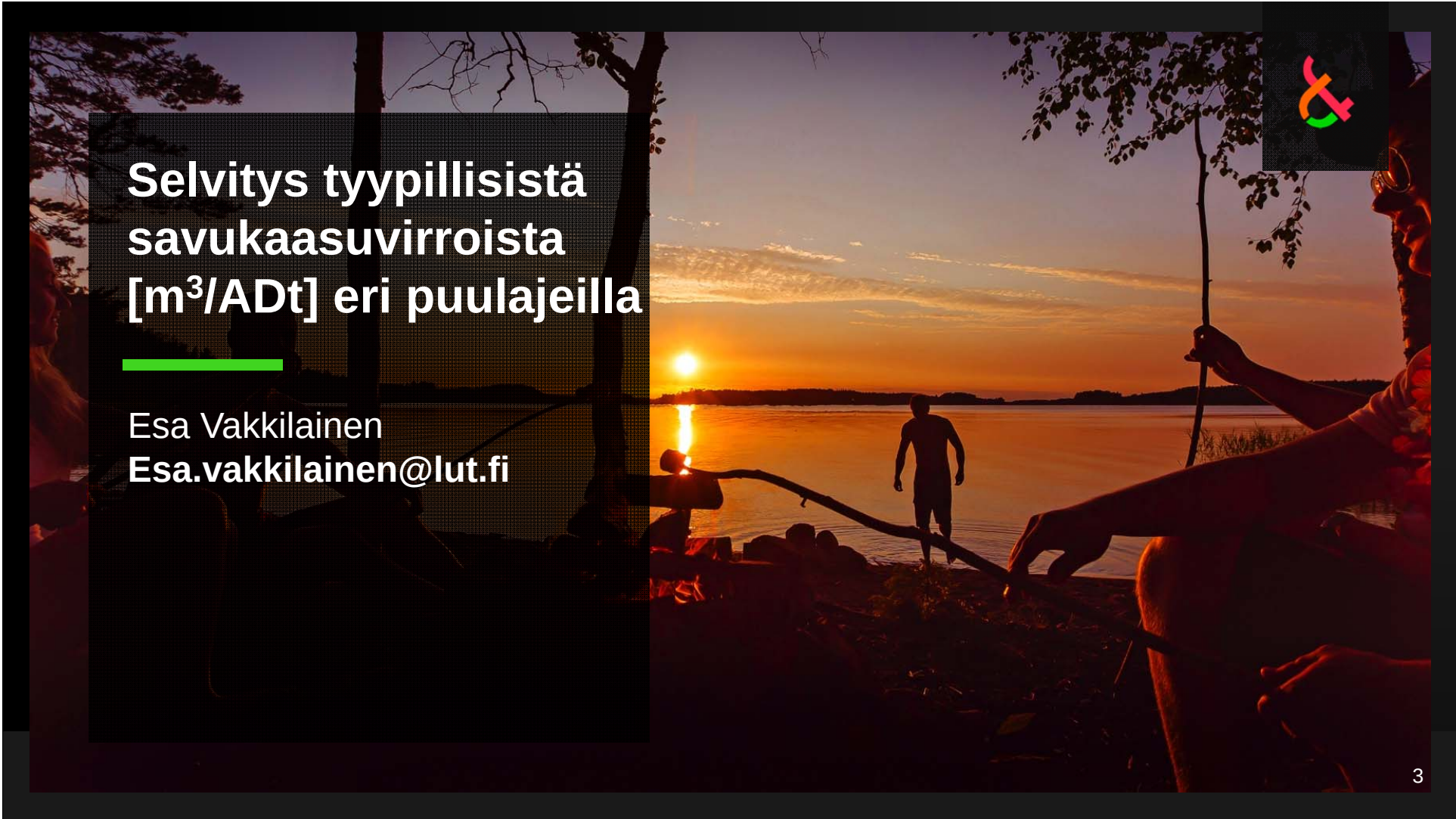
LUT
Lappeenranta
University of Technology



LAPPEENRANTA

International crossroads





Selvitys tyypillisistä savukaasuvirroista [m³/ADt] eri puulajeilla

Esa Vakkilainen
Esa.vakkilainen@lut.fi

ETSIMME VASTAUSTA SAVUKAASUMÄÄRÄN VAIHTELUUN



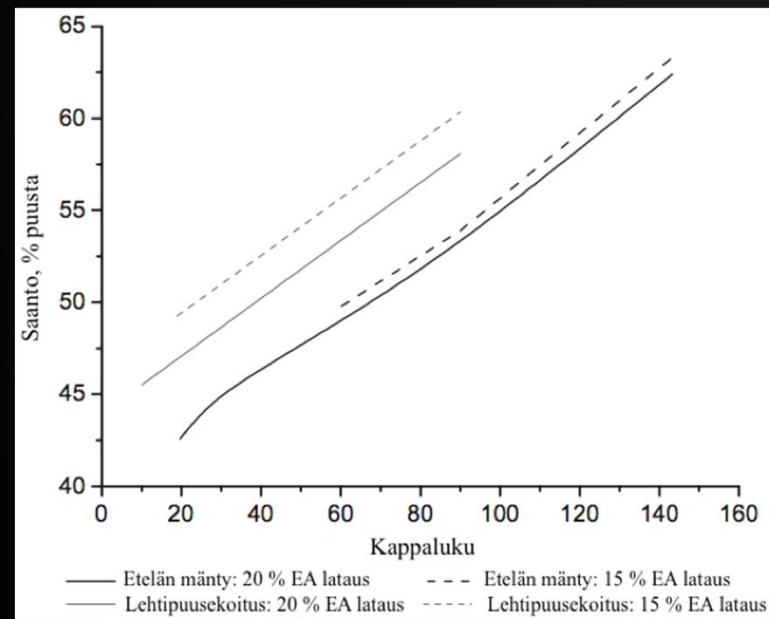
	Recovery boiler			
	Emission		Reported	Fit
	mg /Nm ³	kg NO ₂ /ADt	Nm ³ /Adt	Nm ³ /Adt
Mill A	171	1.22	7128	7135
Mill B	162	1.78	8250	10988
Mill C	252	1.85	7356	7341
Mill D	193	1.42	7630	7377
Mill E	149	1.13	7600	7567
Mill F1	220	1.26	3480	3436
Mill F2	220		2320	2291
Mill G	170	1.35	7250	7941
Mill H1	137	1.58	4235	4086
Mill H2	169		6256	6036
Mill I	202	1.63	8100	8069
Mill J	236	2.01	7600	8517
Mill K	175	1.358	7800	7782
Mill L	185	1.43	6642	7730
Mill M	124	1.05	8400	8468

Työssä selvitetään erityisesti seuraavia seikkoja



- Vaihe 1. Laaditaan excel laskentamalli savukaasuvirtauksen laskentaan.
- Vaihe 2. Kerätään Soodakattilayhdistyksen kanssa Suomen tehtaiden tyypilliset savukaasuvirrat. Käydään tehtailla vierailuilla läpi laskentaa ja mitattuja tuloksia
- Vaihe 3. Laaditaan uuden n. 1 200 000 ADt/a modernin sekä perinteisen Suomeen sopivan sellutehtaan vuosikeskiarvotaseet ja arvioidaan savukaasumäärää eri puulajeille sekä tehtaan ajomalleille. Toistetaan laskenta yhdistyksen määrittämissä tilanteissa.

Keiton saanto – orgaaninen savukaasuksi



Tyypilliset savukaasu- määrät

Männylle eri saantoprosenteilla		Koivulle eri saantoprosenteilla	
Saanto [%]	Savukaasumäärä [Nm ³ /ADt]	Saanto [%]	Savukaasumäärä [Nm ³ /ADt]
41	10040	48	7005
42	9698	49	6774
43	9371	50	6553
44	9059	51	6341
45	8761	52	6136
46	8476	53	5940
47	8203	54	5750
48	7942	55	5568

Tilanne 30.8.2017



- Sovittu että aloitetaan diplomityö, Sauli Repo
- Ensimmäinen versio excelistä tehty

Jatko

- DI-työntekijä töissä syyskuun alusta
- Käynnit tehtailla syksyllä 2017 / keväällä 2018?
 - muut tiedot paitsi ominaissavukaasumäärä luottamuksellisia (kerätään datana koivu ja havusellun tuotanto)
 - excel versio tehtaasta jää tehtaalle



LAPPEENRANTA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

LIITE 10

YTR: LUT, NCG-järjestelmien turvallisuusauditointi, syntyvät hajukaasumäärät ja koostumukset, tyypilliset onnettomuuteen johtavat syyt – prosessikonseptitarkastelut – tilanneraportti 30.8.2017



UNIVERSITY OF
TECHNOLOGY AND BUSINESS

”NCG-järjestelmien turvallisuusauditointi,
syntyvät hajukaasumäärät ja koostumukset,
tyypilliset onnettomuuteen johtavat syyt
- prosessikonsepti-tarkastelut”

Kirsi S. Hovikorpi, Esa Vakkilainen
30.08.2017

www.lut.fi

Yliopisto Saimaan-rannalla



LAPPEENRANTA
UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Tähän mennessä - yhteenveto

- Projektissa, *"NCG-järjestelmien turvallisuusauditointi, syntyvät hajukaasumäärät ja koostumukset, tyypilliset onnettomuuteen johtavat syyt - prosessikonsepti-tarkastelut"*, pyritään luomaan yleisesti käytettävä tapa, jolla suoritettaisiin sulfaattisellutehtaiden turvallisuusauditointi, samalla selvittäen tehtaan sen hetkisen hajukaasujen keräilyn, käsittelyn ja polttoon johtamisen nykytila.

Tähän mennessä - yhteenveto

- Tarkoituksena tehdä suositusluonnos Soodakattilayhdistyksen valitseman, tehtaista ja toimijoista koostuvan, ryhmän valvonnassa tavasta käydä läpi hajukaasujärjestelmien mahdolliset vaaraa aiheuttavat tilanteet, niin että hajukaasujärjestelmille tehtävissä turvallisuusauditoinneissa muistetaan ottaa huomioon erilaiset vaaratilanteet.

Tähän mennessä - yhteenveto

- Samalla selvitetään
 - mistä,
 - miten paljon ja
 - millä pitoisuuksillamoderneilla tehtailla hajukaasuja syntyy ja käsitellään ennen polttoon johtamista.
- Lisäksi mietitään onko erilaisilla keräilytavoilla keräilyprosessista syntyviä, niille tyypillisiä vaaratyyppejä.

Tähän mennessä - yhteenveto

- Auditointikäyntejä on tehty tammikuusta lähtien tähän mennessä eri laajuuksilla viidelle eri Suomen sellutehtaalle (2 pohjoisessa ja 3 etelässä), lisäksi on saatu sähköpostitse aineistoa katsottavaksi kahdelta muulta tehtaalta (1 etelästä, 1 lännestä), ja alustavasti suunniteltu 2-3 muulle tehtaalle vielä käyntejä.

Tähän mennessä - yhteenveto

- Lisäksi on haastateltu yksittäisiä eri yritysten ja siellä olevien eri osastojen (tehtaiden, laitetoimittajien) henkilöitä, joilla on substanssiosaamista niin käytänteenä kuin projekteissa hajukaasuista, saaden mahdollisimman laajan ja ajanmukaisen kuvan, josta jatkaa syvemmälle hajukaasujen pariin.
- ”Jos ei saa ajanmukaista ymmärrystä alkulähteiden prosesseista ja ajotavoista, on vaikea sisäistää ja ymmärtää mahdollisten syy-yhteyksien aiheuttamat seuraukset matkan varrella ja loppupoltossa.”

Tähän mennessä - yhteenveto

- Erityisesti pyritään selvittämään tarvittavin osin:
 1. Esitetään perusteita sellutehtaan eri prosessiosastojen hajukaasumäärien
 - a) syntyyn
 - b) rikkipitoisuuksiin
 - c) Analyyseihin

Tähän mennessä - yhteenveto

... jatkoa edelliseen sivuun

Vaatinee mittauksia tehtailla (milloin tehty viimeksi?), joillakin tehtailla toteutettukin jo osittain.

Kesän 2017 aikana on tehty yhdelle tehtaalle ehdotukset eri hajukaasukohteiden mittauspisteille ja yhdemallille. Listaa voitaisiin käyttää pohjana muilla tehtailla tehtäville, jotta saataisiin vertailukelpoisia aineistoja läpikäytäväksi.

Tähän mennessä - yhteenveto

2. Kartoitetaan tyypilliset hajukaasujen (väkevät ja laimeat)

- a) keräilyjärjestelmät
- b) käsittelyjärjestelmät

Tästä on jo tehty kansainväliseen ICRC Halifax, Canada seminaariin 24.-26.05.2017 artikkeli ja pidetty seminaarissa esitelmä 26.05.2017. Artikkelissa ei menty eri toimittajien detaljeihin ratkaisuihin.

Tähän mennessä - yhteenveto

3. Dokumentoidaan kirjallisuudesta erilaisia hajukaasuonnettomuuksia.

Tämä on työn alla.

Lisäksi toivoisimme tehtailta omia kokemuksia ja vähältä piti/lähetä piti -tilanteita eri osastoilta. Vaatii henkilöhaastatteluita.

Tähän mennessä - yhteenveto

4. Selvitetään hajukaasukattiloiden ja soihtujen toimintaa.

Tämä on alkutekijöissään. Haastateltu jo hieman poltintoimittajia.

5. Dokumentoidaan syitä miksi ja mistä hajuja on päässyt ”karkuun” tehtailta.

Tämä on jo aloitettu auditointikäyntien yhteydessä.

Tähän mennessä - yhteenveto

LOPUKSI

”Ja eihän se ole peräaukon syy jos se ripuloi, vaan täytyy selvittää, että mitä on tullut laitettua suun kautta sisään.”

- Kirsi S. Hovikorpi –

peräaukko = polttopää

suu = keräilylähteet

LIITE 11

**YTR: Pöyry Finland, Soodakattilan päästömittausten menetelmät –
tilanneraportti 30.8.2017**



SOODAKATTILAN PÄÄSTÖMITTAUSTEN MENETELMÄT

Elokuu / 2017



SISÄLTÖ

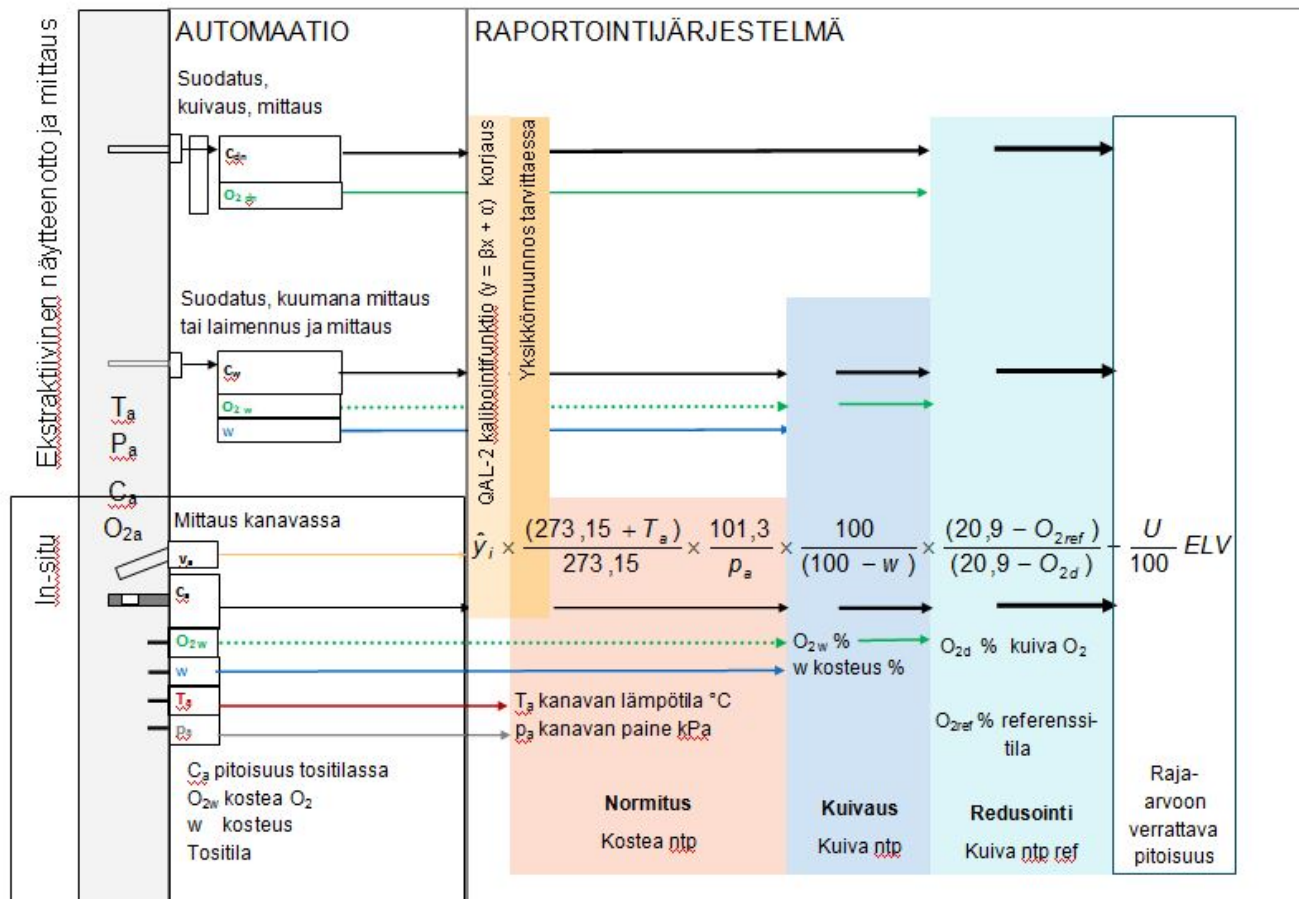
Alustava sisällysluettelo

1. Lainsäädäntö ja standardointi
Muutoksia tapahtunut sitten edellisen selvityksen
2. Laskentaperiaatteet
3. Mitattavat päästökomponentit: mitä, milloin
4. Mittausepävarmuus: perusteet, miten tehdään ja sovelletaan
5. Mittalaitteet ja niiden käyttökokemukset, ongelmakohdat
6. Raportointi (VAHTI, E-PRTR)

1. LAINSÄÄDÄNTÖ JA STANDARDOINTI

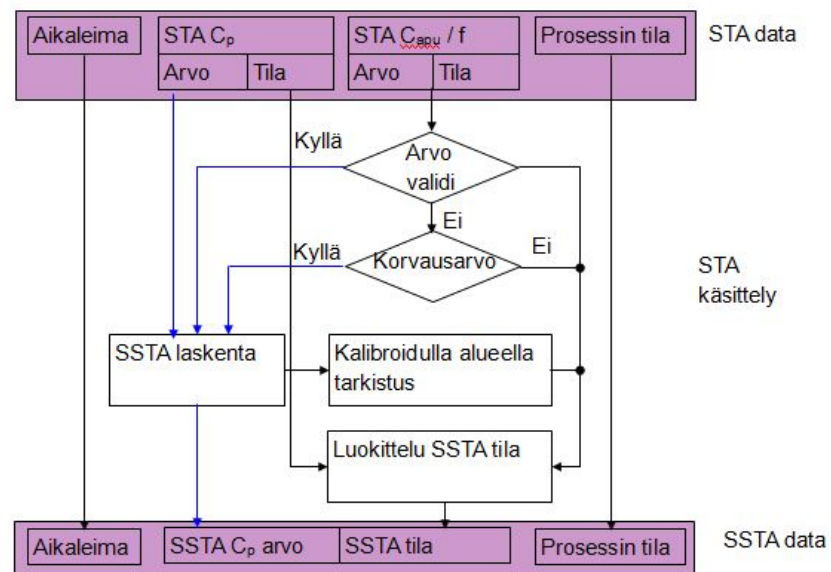
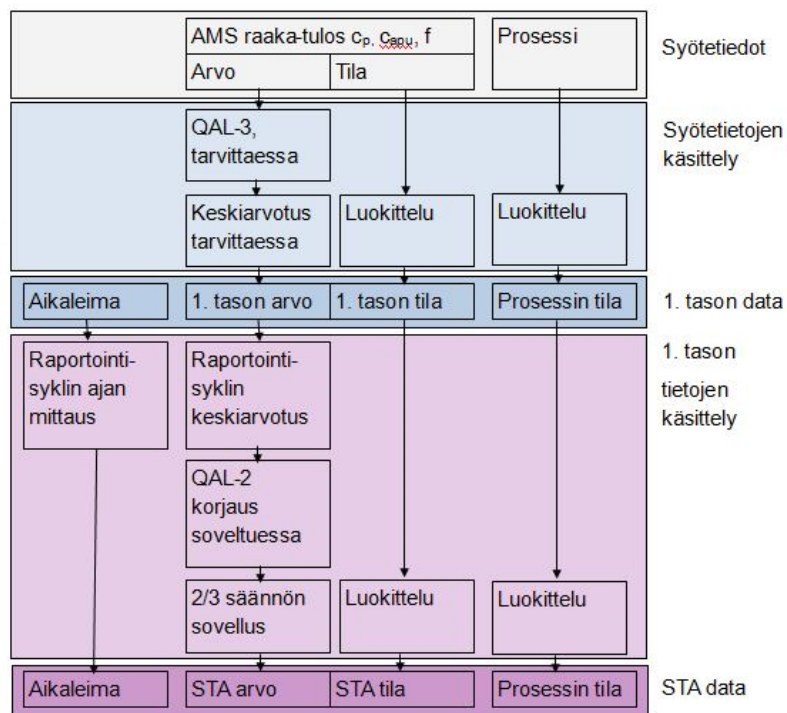
- BAT-päätelmät ja uudet ympäristöluvat
- PP revised BREF 2015
- Lupamääräykset em. dokumentin jälkeen myönnettyissä luvissa
- Tarkkailuvelvoitteet uusissa luvissa
- Tarkkailuvelvoitteiden toteutusta ohjaavat standardit
 - Laitteistovaatimukset (AMS) (EN 15267-1, -2, -3)
 - Laadunvarmennus (EN 14181 ja kansallinen tulkinta)
 - Mittausten toteutus ja mittauspaikat (EN 15259)
 - Tulosten käsittelyn (AMS) standardoinnin tila
 - Menetelmäkohtaiset (EN.....)
- Tarkkailun yhtenäistämistä EU:n taholta
 - JRC Reference Report on Monitoring of Emissions to Air and Water from IED installations (Revised final draft 2017-06-05) Joint Research Centre
<http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/mon.html>

2. LASKENTAPERIAATTEET



DATAN KÄSITTELYÄ

Periaatteita prEN 00264076-1:2017



STA lyhyen jakson keskiarvo
SSTA lyhyen jakson keskiarvo
referenssitilassa

3. MITATTAVAT KOMPONENTIT

- BREF ja ympäristöluvat
- Tarkkailusuunnitelmat
 - Ympäristöraportointi E-PRTR
- Jatkuvat mittaukset: NO_x, SO₂, TRS, hiukkaset, apusuureet O₂, virtaus, T, p
 - Mittausperiaatteita ja -järjestelmiä
- Jaksottaiset: hiukkaset erilaisista matriiseista, vertailut NO_x, SO₂, TRS, O₂,
- 'Satunnaiset' E-PRTR: metallit , PCDD/F, HCl, N₂O, NH₃

4. EPÄVARMUUSTARKASTELU

Menetelmäkohtaiset epävarmuuden osatekijät on-line mittaukset

- Epälineaarisuus
- Virityksen nollasiirtymä
- Virityksen aluesiirtymä
- Näytevirtauksen vaikutus
- Ilmanpaineen vaikutus
- Ympäristölämpötilan vaikutus
- Jännitteen vaihtelun vaikutus
- Interferenssit
- Toistettavuus laboratoriotasolla
- Kalibrointikaasun epävarmuus

- Osatekijöiden neliöiden summa
- Laajennettu epävarmuus = edellinen x 2
– $k = 2$

$$S_{\text{int},n} > S_{\text{int},p}$$

$$u(C_{\text{CO},\text{ppm}}) = \sqrt{u^2(C_{\text{corr,fit}}) + u^2(C_{\text{corr},\text{dr}}) + u^2(C_{\text{corr},\text{dr}}) + u^2(C_{\text{corr,rep}}) + u^2(C_{\text{corr,adj}}) + u^2(C_{\text{corr},\text{vf}}) + u^2(C_{\text{corr},\text{a,press}}) + u^2(C_{\text{corr,temp}}) + u^2(C_{\text{corr,volt}}) + S_{\text{int},n}^2}$$

- Vaatimukset laitosjärjestelmille ja referenssimenetelmille taulukkona

5. MITTALAITTEET

Laitetoimittajille esitetty kysely
heidän tämän hetkisestä
tarjonnastaan metsäteollisuuden
mittauskohteeseen SK

Kontram Oy

Suomi Analytics Oy

Sick Oy

- Päivitystä mittausjärjestelmien kokoonpanoon
- Vertailuissa havaittua
 - Hiukkaset
 - Kaasut
 - Apusuureet
- Käyttökokemuksia ?

6. RAPORTOINTI

- VAHTI ??
- E-PRTR ??
- Tuottamismenetelmät
- Ohjeistus raportoinnista



Consulting. Engineering. Projects. Operations.

www.poyry.com



LIITE 12

**LTR: ÅA, Understanding Low Temperature Corrosion in BL Combustion,
Phase 3 - Draft Report 24.8.2017**

Final Report - Understanding Low Temperature Corrosion in BL Combustion – Phase 3

Nikolai DeMartini, Emil Vainio

22 September 2017

Summary & Conclusions

Five precipitator ashes were obtained and analyzed by SEM-EDX. Of these five, three (Pietarsaari, Orange TX, Heinola) were used in 22h tests in which 100mg of ash was placed on a polished 2cmx2cm coupon of 16Mo3/5 and at temperatures of 60 °C to 110 °C. The gas used in this work was air containing 25 vol% H₂O. The three ashes tested were chosen to provide a high carbonate ash (Pietarsaari) an ash with some bisulfate (Heinola) and an ash from a low solids recovery boiler which has low to no Na₂CO₃ (Orange, TX). Based on these short-term tests, conditions were chosen for the 1000h test. One of the key conclusions of the 22h tests was the 16Mo3/5 is less susceptible to dew point corrosion under hygroscopic salts than ST45.8.



Figure 1. Sample holder used in the 1000h test. Note the thermocouples above the steel coupons. The samples at 120 °C are at the far left, the 100 °C samples are at the far right and the 105 °C samples are the samples in between.

For the 1000h test, the sample holder was modified to provide 3 temperatures and to hold 6 steel coupons (3 of 16Mo3/5 and 3 of ST45.8), Figure 1. The back element in the tube furnace was disconnected, which meant that there were different temperatures at different positions in the furnace. In this way, it was possible to get three different temperatures in one furnace run. The temperatures selected were 120 °C, 105 °C and 101 °C. The temperatures were measured by thermocouples positioned above the samples. The concentration of water was 25 vol-%. The 1000h test was run with the precipitator ash from Pietarsaari. The ash composition was (33.2% Na, 3.7% K, 44.6% SO₄, 0.7% Cl, 17.8% CO₃) based on SEM-EDX for Na, K, S, and Cl and CO₃ by balance.

The samples (unwashed and washed) after the 1000h test are shown in Figure 2. No corrosion was seen in any of the samples at any of the temperatures. We had seen in earlier tests with 1 precipitator ash [Holmblad, 2015; DeMartini, 2015] that no corrosion occurred after 24h in 27% H₂O at 100 °C. For the other ash tested in that study, there was very slight corrosion visible at 100 °C. These earlier results indicated that 100 °C is close to the borderline of corrosion, but none was seen in these tests. The other important observation is that these results are consistent with the 22h tests. This combined with the earlier study supports the idea that short tests 4-22h can be used to screen conditions. The results also indicate that steel temperatures of 100 to 110 °C should be possible without corrosion in 25 vol-% H₂O. The 22h tests results indicate that there is not a very big difference for boilers firing low solids black liquor (low carbonate, possibly some bisulfate) with those firing high solids black liquor (high carbonate). Thus significant additional thermal energy can be recovered from both modern and older recovery boilers.

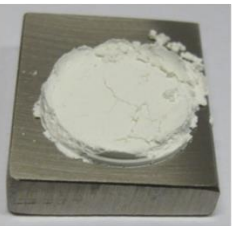
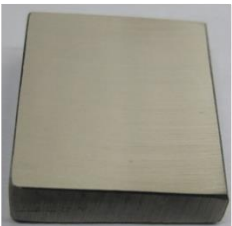
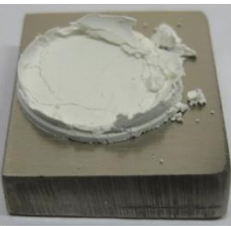
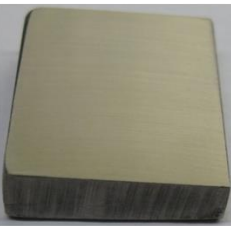
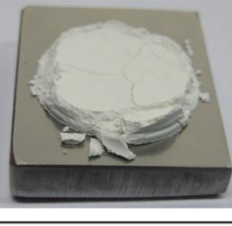
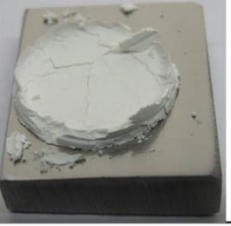
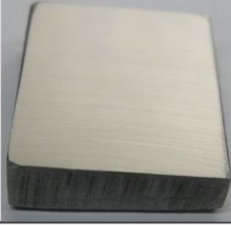
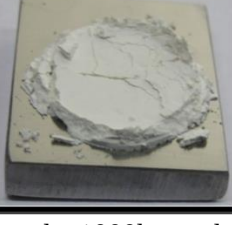
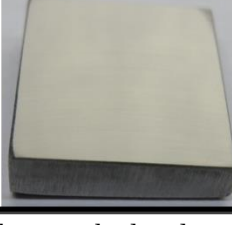
Temp (°C)	16Mo3/5		ST45.8	
	Unwashed	Washed	Unwashed	Washed
120				
105				
100				

Figure 2. Samples after the 1000h test, both unwashed and washed.

Experimental

Precipitator Ashes

Precipitator ash samples were obtained from 5 mills and analyzed by SEM-EDX and titration, Table 1. For the high carbonate ash, the carbonate numbers from both a charge balance and titration agree reasonably well. The Heinola and Oragne, TX samples probably contain some carbonate as well as some bisulfate. The charge balance based on the Na, K, S, Cl analysis by SEM-EDX would indicate there is some carbonate present. However, SEM-EDX does not analyze H. Thus, the cation concentration could be higher so there must be some carbonate present. The 9.5 pH of the Orange, TX sample is only slightly alkaline indicating the presence of bisulfate. The Heinola sample is slightly on the acidic side indicating the presence of bisulfate and carbonate. The ash from Pietarsaari had the highest carbonate content based on the mass balance using the SEM-EDX results for Na, K, S and Cl. Three of the ashes Pietarsaari, Heinola and Orange, TX) and pure sodium sulfate were used in corrosion tests using 16Mo3. Sodium sulfate was also tested on ST45.8 to repeat the results of Holmblad [2015].

Table 2. Composition of ashes tested using SEM-EDX and titration. ^aCO₃ determined by charge balance in the SEM-EDX results. ^bCO₃ determined by titration.

	Na wt-%	K wt-%	SO ₄ wt-%	Cl wt-%	CO ₃ ^a wt-%	CO ₃ ^b wt-%	pH	S/(Na ₂ +K ₂) mol frac
Pietarsaari	33.2 %	3.7 %	44.6 %	0.7 %	17.8 %	14.1 %	11.353	0.60
Heinola	31.5 %	2.9 %	59.3 %	0.0 %	6.3 %	0	6.2	0.85
Orange, TX	32.1 %	1.8 %	60.8 %	0.4 %	5.0 %	0	9.5	0.88
Kymi	30.9 %	5.2 %	52.0 %	0.3 %	11.6 %	10.2 %	11.4	0.73
Rauma	31.7 %	4.2 %	51.9 %	0.7 %	11.6 %	11.5 %	11.4	0.73

22h runs

The three ashes chosen for the 22h tests were Pietarsaari, Heinola and Orange, TX. Pietarsaari was chosen as a high carbonate ash representing a modern recovery boiler firing high solids black liquor. The Orange, TX mill precipitator ash was chosen as an ash from an older boiler firing low solids black liquor. The Heinola precipitator ash was chosen as an ash with some bisulfate in it. Both sodium carbonate and bisulfate were found to be more hygroscopic than sodium sulfate [Holmblad, 2015] and so it was of interest to see if these ashes, which represented both ends of the extreme in terms of alkalinity, behaved differently.

For the corrosion experiments, we used a similar experimental approach as used by Henri Holmblad [2015] in our earlier dew point corrosion work, Figures 3 & 4. The modification, is that the last heating element in the tube furnace was disconnected to create a temperature gradient from the front to the back of the furnace. For the 22h runs, steel samples were placed in the front and back of a ceramic sample holder, Figure 5. The sample holder was positioned to give a temperature that was 15 °C lower for the back sample when compared to the front sample. In each of these runs, the same steel (16Mo3/5 or ST45.8) was used in the front and back with the same salt, so the only variable was the temperature. The vol-% H₂O in all of the runs at 25 vol-%. The 16Mo3/5 was the recommended steel for these experiments. However, this steel showed less susceptibility to dew-point corrosion than the ST45.8 had in our earlier studies. For this reason, some runs were also carried out with ST45.8. The 22h experiments run are given in Table 3.

Table 3. Samples and temperatures run for the 22h tests.

Ash	Steel	Temperature (°C)	
Pietarsaari	16Mo3/5	110	95
Pietarsaari	16Mo3/5	105	90
Pietarsaari	16Mo3/5	90	75
Pietarsaari	16Mo3/5	75	60
Heinola	16Mo3/5	110	95
Heinola	16Mo3/5	105	90
Heinola	16Mo3/5	90	75
Orange, TX	16Mo3/5	110	95
Orange, TX	St45.8	110	95
Orange, TX	16Mo3/5	90	75
Na ₂ SO ₄	16Mo3/5	90	75
Na ₂ SO ₄	St45.8	90	75

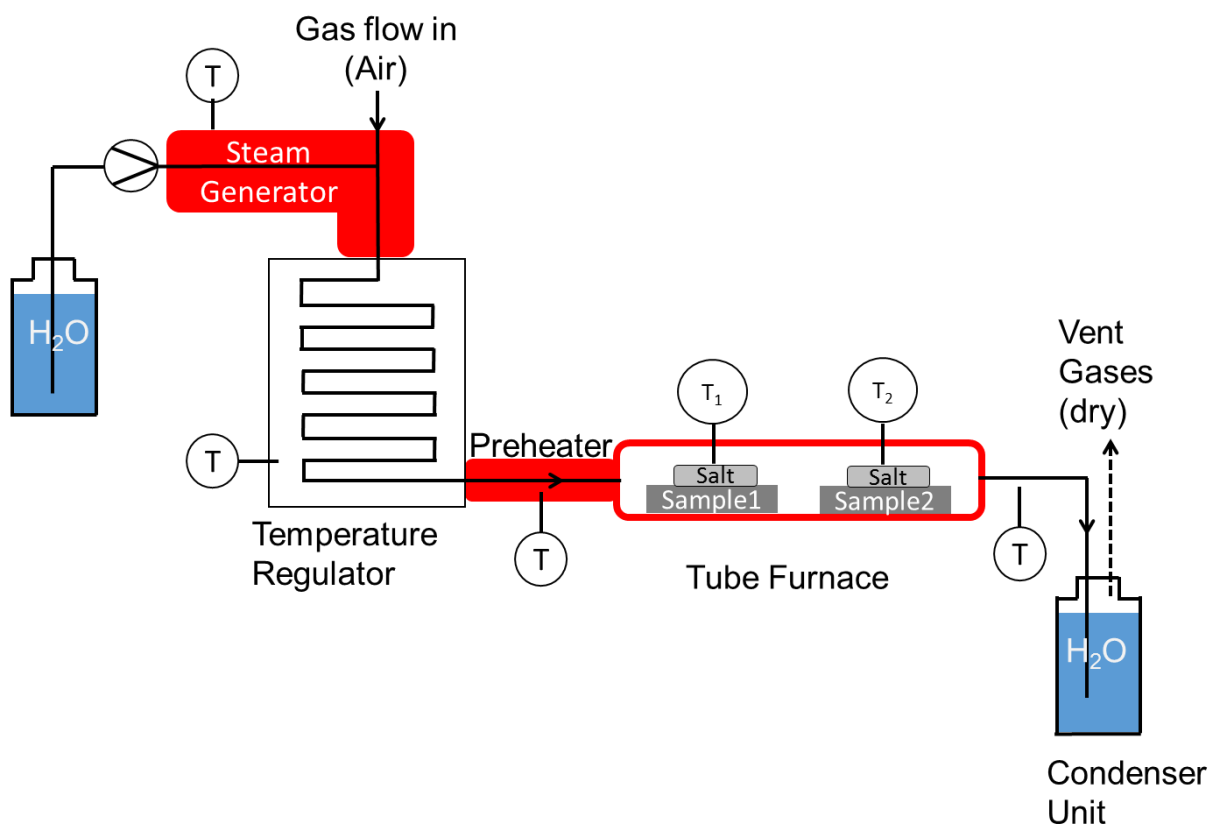


Figure 3. Diagram of the experimental set-up.

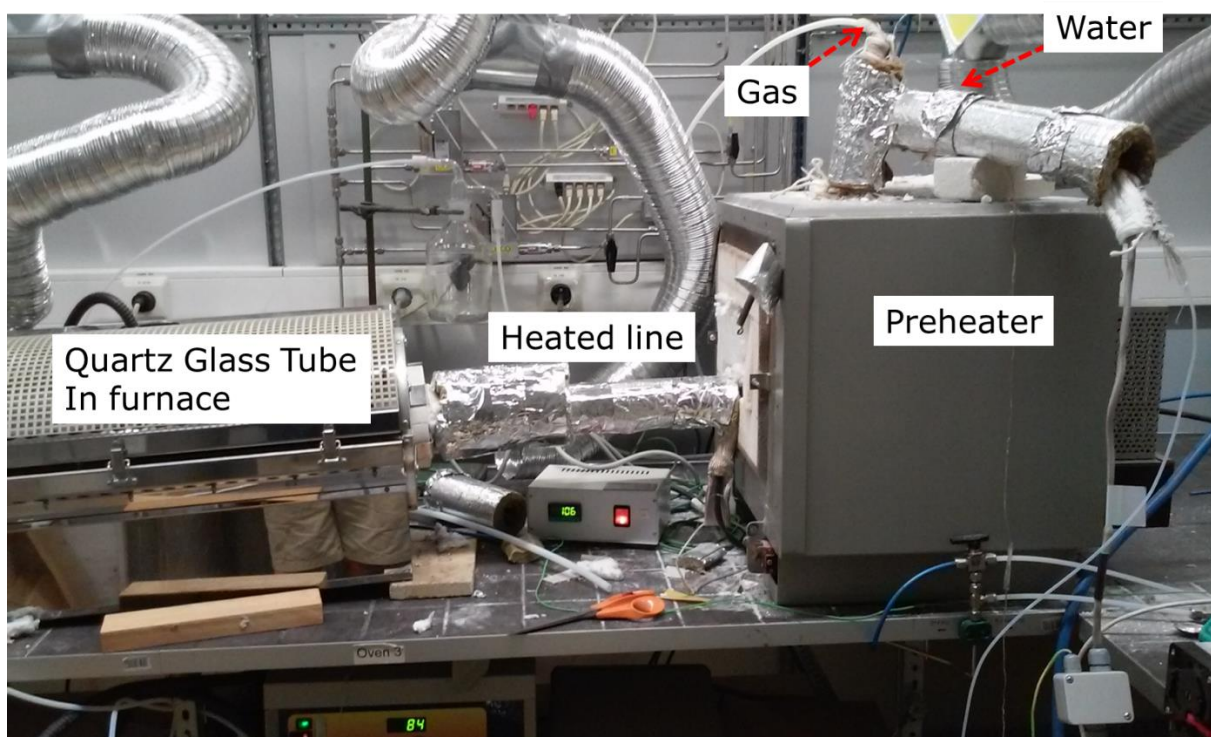


Figure 3. Tube furnace used in this work.



Figure 5. Sample holder used in the 22h tests.

1000h run

For the 1000h test, the sample holder was modified to provide 3 temperatures and to hold 6 steel coupons (3 of 16Mo3/5 and 3 of ST45.8), Figure 6. In this way, it was possible to get three different temperatures in one furnace run. The highest temperature selected were 120 °C and the gradient resulted in temperatures of 105 °C and 101 °C for the samples at the cooler end. The concentration of water was 25 vol-%. The 1000h test was run with the precipitator ash from Pietarsaari. This ash was chosen as it was reasonably representative of Finnish recovery boiler ashes. Also, the 22h tests indicated that there was not a significant difference in the behavior of the different ashes.



Figure 6. Sample holder used in the 1000h test. Note the thermocouples above the steel coupons. The samples at 120 °C are at the far left, the 100 °C samples are at the far right and the 105 °C samples are the samples in between.

Results & Discussion

22h runs

In our most recent project on this topic for SKY we found that 100-110 °C was the safe temperature for low temperature corrosion of ST45.8 steel [Holmblad, 2015]. The first experiments were carried out between 95 and 110 °C using 16Mo3/5 with the three ashes. Corrosion was expected at 95 °C based on the earlier results with ST 45.8. However, no corrosion was seen on the 16Mo3/5 for any of the three ashes. The temperature was lowered in subsequent runs. For the Pietarsaari and Heinola ashes, corrosion was first seen at 75 °C, Figure 7. For the Orange TX, ash corrosion was not seen at the lowest temperature tested (75 °C). Tests were run with Na₂SO₄ with both ST45.8 and 16Mo3/5 to see if the lack of corrosion was due to the steel. As can be seen in Figure 8, no corrosion was seen under Na₂SO₄ for the 16Mo3/5 sample, but corrosion was visible on the ST45.8 at 75 °C. We also ran some experiments with both steels under the precipitator ash from Orange, TX, Figure 9. Corrosion was seen on the ST45 at 95 °C, but not on the 16Mo3. No corrosion was seen on either steel at 110 °C. These results indicate that 16Mo3/5 is less susceptible to dew point corrosion than ST45.8.

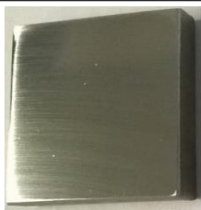
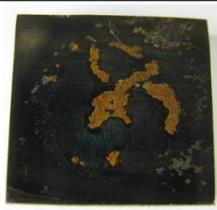
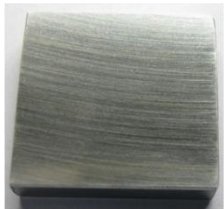
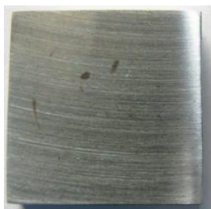
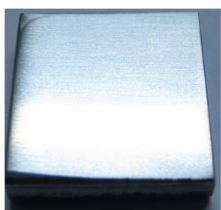
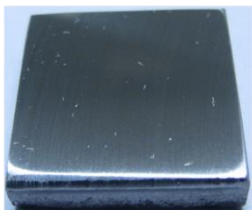
	90 °C	75 °C	60 °C
Pietasaari			
Heinola			
Orange, TX			

Figure 7. Corrosion results for 16Mo3/5 under Pietasaari, Heinola and Orange, TX ashes, Temperatures 60, 75 and 90 °C.

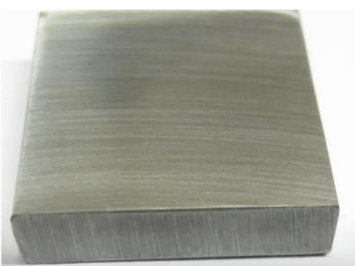
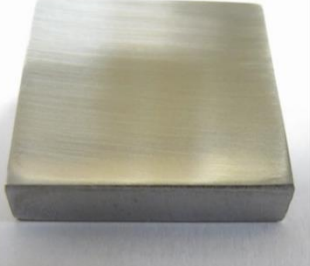
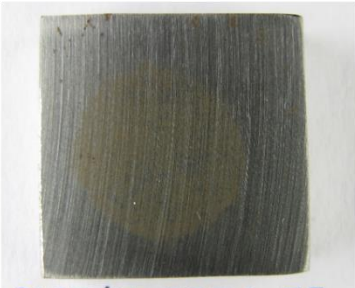
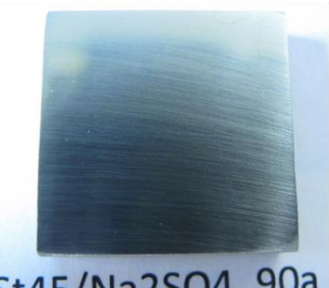
	75 °C	90 °C
16Mo3/5	 Na ₂ SO ₄ _75a	 Na ₂ SO ₄ _90a
ST45.8	 St45/Na ₂ SO ₄ _75a	 St45/Na ₂ SO ₄ _90a

Figure 8. Corrosion results for 16Mo3/5 and ST45.8 at 75 and 90 °C under Na₂SO₄ in 25 vol-% H₂O in air.

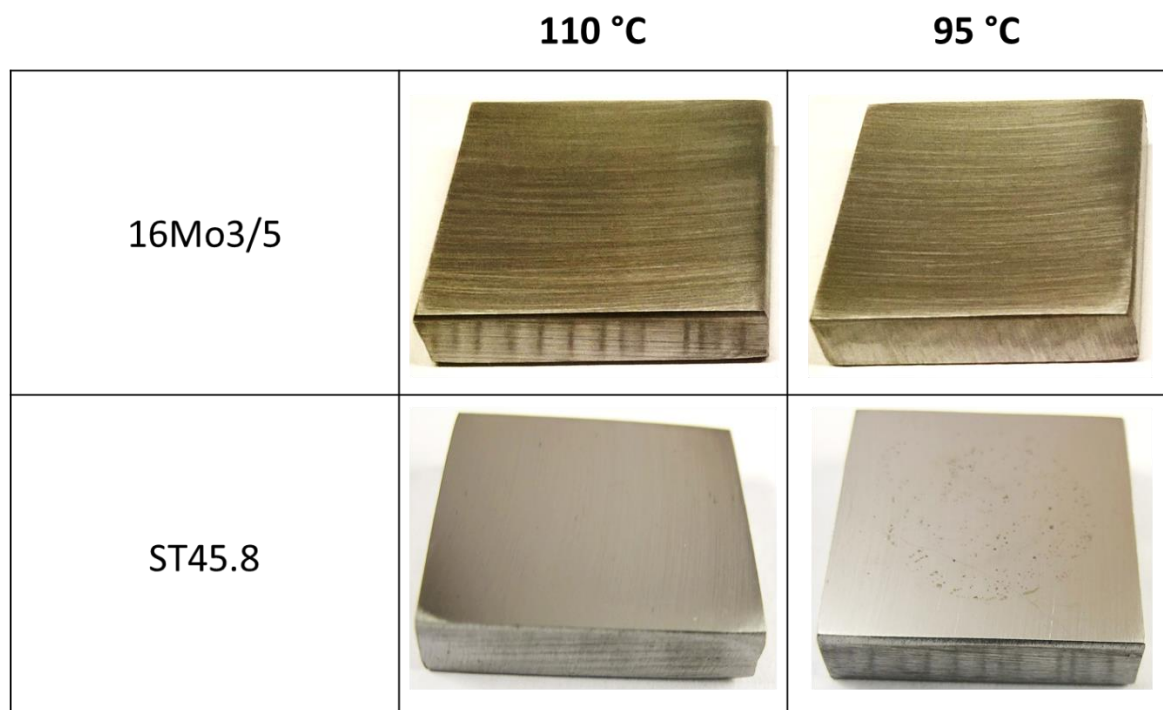


Figure 9. Corrosion results for 16Mo3/5 and ST45.8 at 95 and 110 °C under the Orange, TX precipitator ash in 25 vol-% H₂O in air.

1000h run

The thermocouple measurements for the 1000h run are shown in Figure 10. There was a very small change in temperature just after 650h. This occurred when an electrician momentarily cut the electricity. We had a remote alarm and it was caught and the electricity was put on within about 15 minutes. The small drop in temperature did not affect the results, since the water feed was also shut down for the short period.

The coupons with and without the precipitator ash after the 1000h test are shown in Figure 11. There was no clear sign of water absorption in any of the samples and no corrosion was observed. These results are consistent with an earlier 24h tests with another precipitator ash [Holmblad, 2015] in which no corrosion was seen after 24h at 100 °C in 27 vol-% H₂O. The 1000h test results indicate that shorter tests 4-22h are sufficient for screening steels/ashes. The results also indicate that steel temperatures of 100 to 110 °C should be possible without corrosion in 25 vol-% H₂O. Combined with the 22h tests, the results indicate that there is not a very big difference for boilers firing low solids black liquor (low carbonate, possibly some bisulfate) with those firing high solids black liquor (high carbonate). It should be possible to recover a significant amount of thermal energy from the flue gases of both modern and older recovery boilers.

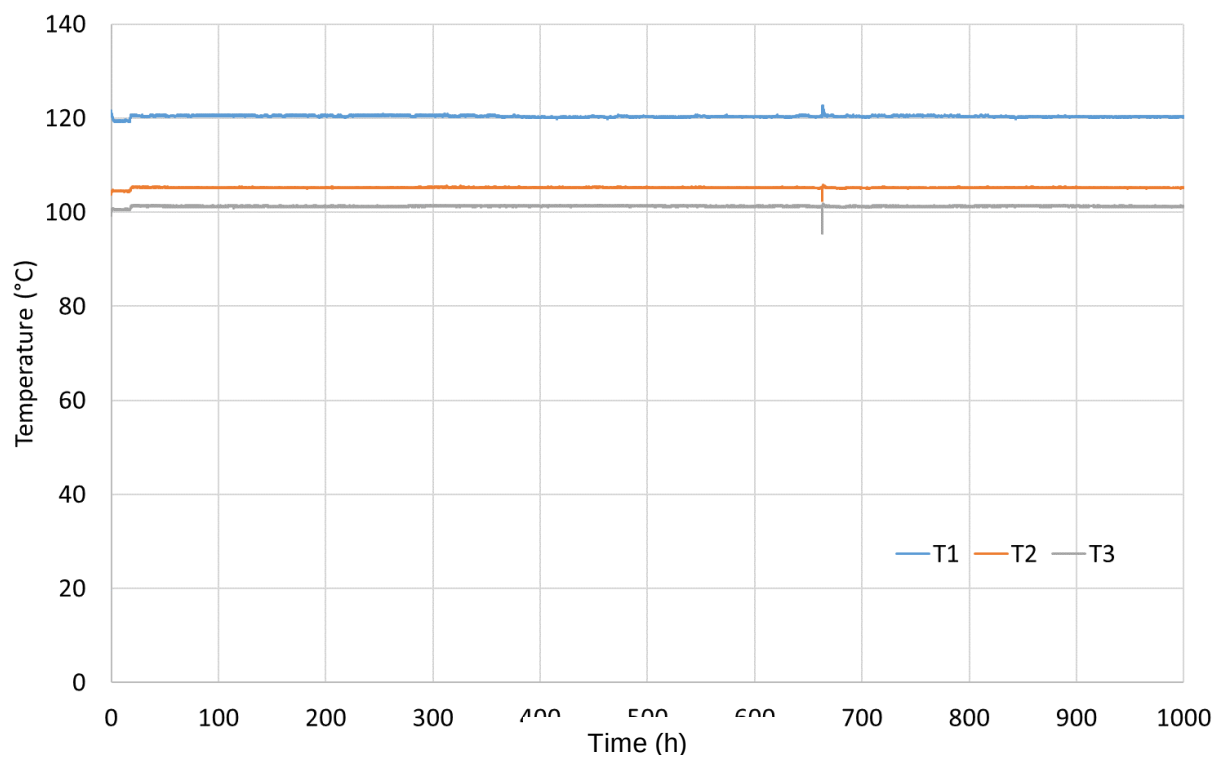


Figure 10. Thermocouple measurements at the 3 steel coupon positions.

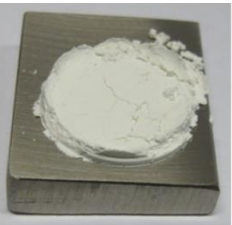
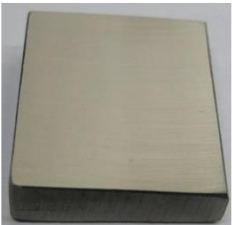
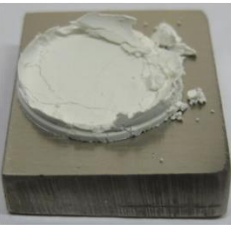
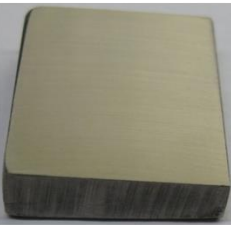
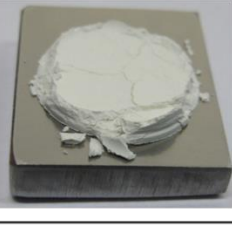
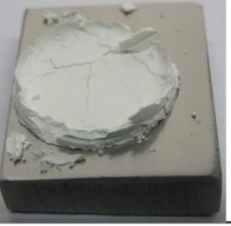
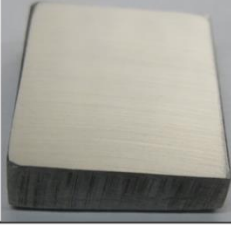
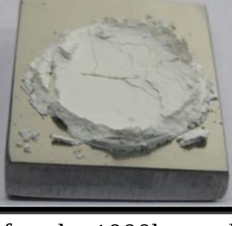
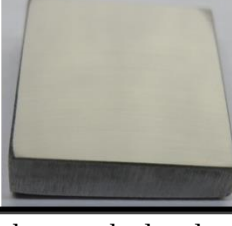
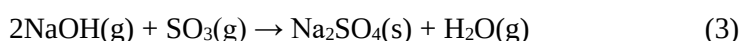
Temp (°C)	16Mo3/5		ST45.8	
	Unwashed	Washed	Unwashed	Washed
120				
105				
100				

Figure 11. Samples after the 1000h test, both unwashed and washed.

General Discussion

Corrosion probe studies and $\text{SO}_3/\text{H}_2\text{SO}_4$ measurements in part 1 of the low-temperature corrosion project showed that there is no acid dew point in kraft recovery boilers. Furthermore, the measurements at Heinola, where there was high SO_2 , indicate that even in a high SO_2 environment, no acid dew point exists in the flue gases. This is because SO_3 is very reactive towards alkaline ash. In kraft recovery boilers, SO_3 and H_2SO_4 reacts with Na_2CO_3 to form sulfates (Reactions 1 and 2). In the furnace, SO_3 may also react with gaseous NaOH to form Na_2SO_4 (Reaction 3).



Corrosive acidic sodium bisulfates may also form in sulfite boilers and in kraft boilers with a high ratio of S/Na in the black liquor and low solids firing. Sodium bisulfate is formed in the presence of H_2SO_4 reacting with Na_2SO_4 according to Reaction 4. Sodium bisulfate forms a sticky deposit with a low melting temperature, 185°C (DeMartini 2017), and it has shown to be very corrosive also at lower temperatures.



The water dew point is normally $50\text{--}60^\circ\text{C}$ and does not normally cause corrosion in recovery boilers, except if there are cold areas caused by e.g. air leakage. The dew point of hydrochloric acid (HCl) is about the same as for water vapour and does not cause corrosion in normal operation. However, hygroscopic salts absorb moisture from the flue gas to form a wet deposit at much higher temperatures than the pure water dew point. The phenomenon when a salt or salt mixture absorb enough water to totally dissolve is called deliquescence. Salts will start to absorb water at a temperature above the deliquescence temperature. Some salts are more hygroscopic than others, and usually a mixture of salts is more hygroscopic than individual salts. For example, Na_2CO_3 and Na_2SO_4 are mildly hygroscopic, whereas NaHSO_4 is very hygroscopic. Thus, the hygroscopicity of an ash deposit depends on ash composition. For example, for the low carbonate ash Orange, TX, corrosion was seen for ST45.8 at a temperature of 95°C and water vapour concentration of 25 vol%. It has to be noted that a higher water vapour concentration would lead to corrosion at higher material temperature. This may occur near sootblowers where the water vapour concentration may locally be high. Once a deposit absorbs moisture and becomes wet, it requires a higher temperature to dry than the deliquescence temperature.

Corrosion may also be initiated during down-time of a boiler. Deposits in the boiler might absorb humidity from the air and cause corrosion. It is thus important to completely wash away the salts during the shut down. Corrosion products, e.g. FeCl_2 , may accelerate the corrosion due to its very hygroscopic nature. This would require further research.

The effect of acidic gases with a low dew point temperature (HCl) may have an effect on the corrosion rate of a wet deposit, because some HCl may be absorbed in the deposit. This would require more research to understand the effect of gases absorbing in wet deposit.

References

DeMartini, N.; Vainio, E.; Holmblad, H.; Hupa, M. Understanding low temperature corrosion in Kraft Recovery Boilers – Implications for Increased Energy Recovery. 2016 TAPPI PEERS Conference. Sept 25-28, Jacksonville, FL (2016)

Holmblad, H., Low temperature corrosion in black liquor recovery boilers due to hygroscopic salts. MSc. Thesis, Åbo Akademi University, Turku, Finland (2015).

DeMartini N., Vainio E., Hupa L. Bisulfate Formation and Impact on Low Temperature Corrosion, International Chemical Recovery Conference (ICRC), Halifax, NS, Canada (2017).

Appendix

Table 4. Composition of ashes based on the SEM-EDX results and calculated first melting point of the ashes assuming all sulfur as sodium sulfate. T_0 for Heinola ash is not shown due to uncertainties in the amount of bisulfate. Note, the Orange, TX ash may also contain some bisulfate and the result should be interpreted with caution.

	Na wt%	K wt%	SO ₄ wt%	Cl wt%	CO ₃ wt%	T ₀
Pietarsaari	33.2	3.7	44.6	0.7	17.8	537
Orange, TX	32.1	1.8	60.8	0.4	5.0	590
Kymi	30.9	5.2	52.0	0.3	11.6	534
Rauma	31.7	4.2	51.9	0.7	11.6	545

LIITE 13

**KTR: VTT, Soodakattiloiden ääninuohous – tutkimussuunnitelma/tarjous
17.2.2017**

ÄÄNEN KÄYTTÄYTYMINEN SOODAKATTILOIDEN ÄÄNI- NUOHOUKSESSA, TUTKIMUSSUUNNITELMA

Tausta

Suomen Soodakattilayhdistys ry on teettänyt Tampereen teknillisessä yliopistossa tutkimuksen ”Soodakattilan ääninuohous”¹. Työn tavoitteena oli kartoittaa aiheesta jo tehtyä tutkimusta. Työhön on koottu ääninuohoinvalmistajien käyttökokemuksia ja tutkimustuloksia soodakattilan tuhkan koostumuksesta ja ominaisuuksista. Lisäksi työssä on käsitelty ääniaaltoa fysikaalisena ilmiönä ja pohdittu äänentaajuuden vaikutusta ääninuohouksen lopputulokseen. Tutkimuksen yhteenvedossa esitetään seuraavanlaisia jatkotutkimustarpeita:

”Jatkotutkimuksessa voitaisiin tutkia äänen käyttäytymistä kattilaympäristössä ja kattilarakenteiden akustiikkaa, jotta ääninuohouksen toimivuutta voitaisiin ennakoida ja nuohoustulokseen vaikuttavia tekijöitä, kuten äänentaajuutta ja nuohoimien sijoituspaikkaa, optimoida. Äänenpaine hajaantuu kattilassa laajalle taajuuskaistalle, minkä vaikutus nuohoustulokseen on tuntematon. Lisäksi äänentaajuuden vaikutus äänen etenemiseen savukanavassa ja heijastumiseen kerrostumasta on epävarma. Myös äänen eri absorptiomekanismien merkitys äänen vaimentumiseen kattilaympäristössä on tuntematon.”

”Eräs keskeinen ääninuohouksen kehittämistä hidastava tekijä vaikuttaa olevan epätietoisuus ääninuohouksen kattilarakenteille aiheuttamasta rasituksesta. Jatkossa myös tätä aihetta on syytä tutkia.”

”Jatkotutkimuksessa voitaisiin myös pyrkiä selvittämään, miten ääninuohous aiheuttaa tuhkakkerrostuman irtoamisen. Jos ääninuohouksen aiheuttamat tuhkakkerrostuman hajoamismekanismit olisivat tiedossa, olisi helpompaa arvioida, miten tuhkakkerrostuman fysikaaliset ominaisuudet ja äänen ominaisuudet vaikuttavat kerrostuman irtoamiseen. Myös tuhkan sintraantumisenopeutta on syytä tutkia tarkemmin, jotta nuohousvälin pituus voitaisiin optimoida ja tuhkan sintraantuminen nuohouskertojen välillä välttää. Kaikkiaan ääninuohouksen tulokseen vaikuttavia tekijöitä on runsaasti ja niiden vaikutuksia ei täysin tunneta, minkä vuoksi ääninuohouksen kehittäminen vaatii tutkimusta todellisessa soodakattilaympäristössä.”

Tämä tutkimussuunnitelma pyrkii antamaan vastauksia esitettyjen jatkotutkimustarpeiden akustisille kysymyksille. Ensin selvitetään äänen etenemiseen ja absorptioon liittyviä akustisia parametreja soodakattilaympäristössä laskennallisesti ja mittaamalla. Tulosten perusteella tarkastellaan nuohouksen fysikaalista toimintaa ja sen optimointia sekä simuloidaan ääninuohouksen aiheuttamaa värähtelyä kattilarakenteilla.

Tutkimussuunnitelma koostuu osista, jotka on tarkoitus toteuttaa peräkkäisinä erillisinä toimeksiantoina. Toteutettavaa toimeksiantoa seuraavien kokonaisuuksien suunnitelmia täsmennetään tarvittaessa. Osa niistä on tällä hetkellä vain otsikkotasolla.

¹ Peltola, Santeri, Soodakattilan ääninuohous. Kandidaatintyö. Tampereen teknillinen yliopisto 2015. 44 s. + liitteet 6 s.

10.11.2016

1 (2)

Suomen Soodakattilayhdistys ry
c/o Pöyry Finland Oy
Markus Nieminen
PL 4
01621 Vantaa

SOODAKATTILAYMPÄRISTÖN AKUSTISET PARAMETRIT

Kiitämme tarjouspyynnöstänne ja tarjoudumme tekemään toimeksiannon liitteenä 2 olevan tutkimussuunnitelman osasta 1 ”Soodakattilaympäristön akustiset parametrit”.

Hinta ja laskutus

Toimeksiannon hinta on 15 000 €. Hintaan lisätään kulloinkin voimassa oleva arvonlisävero sekä mahdolliset ulkomaiset verot ja viranomaismaksut.

VTT laskuttaa toimeksiannon kertalaskuna, kun toimeksianto on suoritettu ja kirjallinen raportti on toimitettu asiakkaalle.

Lisäksi veloitetaan matka- ja majoituskustannukset sekä päivärahat VTT:n voimassaolevan matkustusohjeen mukaisesti.

Maksuehdot

Maksuehto on 21 päivää laskun päiväyksestä. Viivästyskorko on korkolain mukainen.

Aikataulu

Työ voidaan aloittaa heti tilauksen saapumisen jälkeen ja se valmistuu viimeistään 2 kk:n jälkeen tilauksen saapumisesta.

Raportointi

Tulokset raportoidaan suomenkielisenä VTT:n tutkimusraporttina.

Muut ehdot

VTT:llä on oikeus mainita toimeksiannon ja asiakkaan nimet referenssinään.

Tätä tarjousta tai sen sisältämiä tietoja saa hyödyntää vain VTT:n ja tarjouksen saajan välisessä suhteessa. Tämän tarjouksen osittainenkin kopioiminen, muuttaminen, edelleenluovuttaminen tai käyttäminen muuhun tarkoitukseen ilman VTT:n lupaa on kielletty.

Toimeksiannon ulkopuoliset työt veloitetaan erikseen VTT:n laskutushintojen mukaan.

Muutoin noudatetaan VTT:n yleisiä sopimusehtoja (liite 1).

Yhteyshenkilö

VTT:ssä asiaa hoitaa:
Seppo Uosukainen
Puh. 020 722 6983
Sähköposti: Seppo.Uosukainen@vtt.fi

10.11.2016

2 (2)

Voimassaolo

Tarjouksemme on voimassa edellä mainituin ehdoin 30 päivää tarjouksen päiväyksestä. VTT laatii tilausvahvistuksen, jos tilaus poikkeaa tarjouksesta tai tilaus on suullinen. Näissä tapauksissa tilaus astuu voimaan, kun VTT on sen vahvistanut.

Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy



Juha Virtanen
Tutkimustiimin päällikkö

LIITTEET

- | | |
|---|---|
| 1 | VTT yleiset sopimusehdot |
| 2 | Äänen käyttäytyminen soodakattiloiden ääninuohouksessa, tutkimussuunnitelma |

Hyväksyminen

Hyväksymme yllä olevan tarjouksen ja teemme tarjouksen mukaisen tilauksen:

17.2.2017

1 (2)

Suomen Soodakattilayhdistys ry
c/o Pöyry Finland Oy
Markus Nieminen
PL 4
01621 Vantaa

ÄÄNEN ETENEMISABSORPTION LASKENTA KATTILAYMPÄRISTÖSSÄ

Kiitämme tarjouspyynnöstänne ja tarjoudumme tekemään toimeksiannon liitteenä 2 olevan tutkimussuunnitelman osasta 2 "Äänen etenemisabsorption laskenta kattilaympäristössä". Toimeksiannon tekeminen edellyttää myös aiemmin tarjotun toimeksiannon liitteenä 2 olevan tutkimussuunnitelman osasta 1 "Soodakattilaympäristön akustiset parametrit" (tarjous VTT-CRM-150587-17) tilaamista.

Hinta ja laskutus Toimeksiannon hinta on 10 000 €. Hintaan lisätään kulloinkin voimassa oleva arvonlisävero sekä mahdolliset ulkomaiset verot ja viranomaismaksut.

VTT laskuttaa toimeksiannon kertalaskuna, kun toimeksianto on suoritettu ja kirjallinen raportti on toimitettu asiakkaalle.

Lisäksi veloitetaan matka- ja majoituskustannukset sekä päivärahat VTT:n voimassaolevan matkustusohjeen mukaisesti.

Maksuehdot Maksuehto on 21 päivää laskun päiväyksestä. Viivästyskorko on korkolain mukainen.

Aikataulu Työ voidaan aloittaa heti tilauksen saapumisen jälkeen ja se sekä aiemmin tarjottu työ liitteenä 2 olevan tutkimussuunnitelman osasta 1 valmistuvat viimeistään 4 kk:n jälkeen kummankin työn tilausten saapumisesta.

Raportointi Tulokset raportoidaan suomenkielisenä VTT:n tutkimusraporttina.

Muut ehdot VTT:llä on oikeus mainita toimeksiannon ja asiakkaan nimet referenssinään.

Tätä tarjousta tai sen sisältämiä tietoja saa hyödyntää vain VTT:n ja tarjouksen saajan välisessä suhteessa. Tämän tarjouksen osittainenkin kopioiminen, muuttaminen, edelleenluovuttaminen tai käyttäminen muuhun tarkoitukseen ilman VTT:n lupaa on kielletty.

Toimeksiannon ulkopuoliset työt veloitetaan erikseen VTT:n laskutushintojen mukaan.

Muutoin noudatetaan VTT:n yleisiä sopimusehtoja (liite 1).

17.2.2017

2 (2)

Yhteyshenkilö

VTT:ssä asiaa hoitaa:
Seppo Uosukainen
Puh. 020 722 6983
Sähköposti: Seppo.Uosukainen@vtt.fi

Voimassaolo

Tarjouksemme on voimassa edellä mainituin ehdoin 30 päivää tarjouksen päiväyksestä. VTT laatii tilausvahvistuksen, jos tilaus poikkeaa tarjouksesta tai tilaus on suullinen. Näissä tapauksissa tilaus astuu voimaan, kun VTT on sen vahvistanut.

Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy

Juha Virtanen
Tutkimustiimin päällikkö

LIITTEET

- 1 VTT yleiset sopimusehdot
- 2 Äänen käyttäytyminen soodakattiloiden ääninuohouksessa, tutkimussuunnitelma

Hyväksyminen

Hyväksymme yllä olevan tarjouksen ja teemme tarjouksen mukaisen tilauksen:

VTT:N YLEISET SOPIMUSEHDOT 1.4.2016**1. SOVELTAMISALA**

- 1.1 Näitä VTT:n yleisiä sopimusehtoja (jäljempänä Sopimusehdot) sovelletaan osana Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy:n (jäljempänä VTT) ja VTT:n asiakkaan (jäljempänä Asiakas) välistä toimeksiantosopimusta (VTT ja Asiakas jäljempänä erikseen Sopijapuoli ja yhdessä Sopijapuolet), jolla Sopijapuolet sopivat VTT:n tekemästä työstä tai tuottamasta palvelusta (jäljempänä Toimeksianto).
- 1.2 VTT Groupiin katsotaan kuuluvaksi VTT sekä organisaatiot, joissa VTT käyttää välitöntä tai välillistä määräysvaltaa.
- 1.3 Tarjous, johon Sopimusehdot on liitetty, on voimassa yhden (1) kuukauden tarjouksen päiväyksestä.
- 1.4 Toimeksiannosta johtuvia oikeuksia tai velvollisuuksia ei voida siirtää kolmannelle osapuolelle ilman toisen Sopijapuolen suostumusta.
- 1.5 Sopijapuolet voivat sopia kirjallisesti näiden ehtojen yksittäisten määräysten muuttamisesta tai poissulkemisesta.
- 1.6 Mikäli Toimeksiantoon liittyvät sopimusasiakirjat (jäljempänä Sopimus) ovat sisällöltään ristiriitaisia, on niiden pätevyysjärjestys seuraava: 1) toimeksiantosopimus, 2) tilausvahvistus, 3) tarjous, 4) tilaus, 5) Sopimusehdot ja 6) tarjouspyyntö. Mikäli VTT saa Toimeksiannon suorittamista varten rahoitusta Asiakkaan lisäksi joltakin kolmannelta taholta (kuten Tekes, Suomen Akatemia, EU tms.), sovelletaan rahoitukselle annettuja rahoitusehtoja ensisijaisesti suhteessa Sopimukseen.

2. YHTEISTOIMINTAORGANISAATIO

- 2.1 Sopijapuolet nimittävät Toimeksiantoa varten omat vastuuhenkilönsä. Vastuuhenkilön muutoksesta on ilmoitettava toiselle Sopijapuolelle.
- 2.2 Mikäli Sopimuksen mukaan Toimeksiantoa ohjaa johtoryhmä (tai vastaava Sopijapuolten edustajista koostuva ohjaava elin), silloin kumpikin Sopijapuoli nimeää johtoryhmään saman verran edustajia.
- 2.3 Johtoryhmän tehtävänä on käsitellä Toimeksiantoa koskevia asioita sekä erityisesti valvoa ja ohjata Toimeksiannon toteuttamista Sopimuksen rajaamissa puitteissa. Tätä varten johtoryhmä:
- täsmentää Toimeksiannolle asetetut tavoitteet ja hyväksyy Toimeksiantoa koskevat suunnitelmat,
 - käsittelee projektisuunnitelman tarkistukset ja muutokset sekä tarvittaessa esittelee ne Sopijapuolten hyväksyttäväksi,
 - valvoo Toimeksiannon edistymistä ja tukee projektipäällikön toimintaa,
 - hyväksyy Tulokset ja toteaa Toimeksiannon loppuun suoritetuksi
- 2.4 Johtoryhmä ei voi tehdä muutoksia Sopimukseen, ellei Sopijapuolten kesken siitä erikseen kirjallisesti sovita.

3. VELOITUS

- 3.1 Sopimuksessa sovitaan Toimeksiannon veloituksista. Hinta ilmaistaan euroina.
- 3.2 Arvonlisävero sekä mahdolliset ulkomaiset verot ja viranomaismaksut lisätään sovituu hintaan.
- 3.3 Mikäli Toimeksiannon tavoitetta tai aikataulua muutetaan, taikka Sopimuksen voimassaoloaikana tapahtuu Asiakkaan ja VTT:n yhteisesti toteamia olennaisia kustannustason muutoksia, tarkistetaan veloitusta vastaavasti ko. muutoksen ajankohdasta lukien.
- 3.4 Ellei laskutusaikataulusta ole muuta kirjallisesti sovittu, VTT laskuttaa sovitun hinnan Toimeksiannon aikataulua vastaavissa kuukausierissä.
- 3.5 VTT:llä on oikeus pitää hallussaan Tulokset, kunnes Toimeksianto on kokonaan maksettu.
- 3.6 Maksu on suoritettava 21 päivän kuluessa laskun päiväyksestä. Viivästyskorko on voimassaolevan korkolain (20.8.1982/633) mukainen viivästyskorko. Laskuun lisätään mahdolliset perintäkulut. Laskun huomautusaika on 8 päivää laskun päiväyksestä.

4. LUOTTAMUKSELLISUUS

- 4.1 "Salassapidettävällä Tiedolla" tarkoitetaan kaikkea tietoa (mukaan lukien tietämys, tietotaito, liikesalaisuudet, teknologinen tai kaupallinen tieto, laitteet ja ohjelmistot (mukaan lukien lähdekoodi) riippumatta siitä ovatko ne suojattuja tai voitaisiinko niitä suojata tekijänoikeudella, patentilla, tavaramerkillä tai muulla immateriaalioikeudella), joka liittyy Toimeksiantoon ja jonka tietoa luovuttava Sopijapuoli (jäljempänä Luovuttava Sopijapuoli) on luovuttanut (tai jonka puolesta luovutus on tehty) tietoa vastaanottavalle Sopijapuolelle (jäljempänä Vastaanottava Sopijapuoli) riippumatta tiedon luovutuksen tavasta (mukaan lukien kirjallinen, suullinen, elektroninen tai havainnoimalla tapahtunut luovutus). Vastaanottava Sopijapuoli sitoutuu pitämään Salassapidettävän Tiedon salassa ja olemaan luovuttamatta sitä kolmansille ilman Luovuttavalta Sopijapuolelta saatua etukäteistä kirjallista suostumusta. Vastaanottavalla Sopijapuolella on oikeus käyttää Salassapidettävää Tietoa ainoastaan Toimeksiantoon liittyvien tehtävien, sekä Sopimuksesta johtuvien oikeuksiensa ja velvollisuuksiensa toteuttamiseen.

- 4.2 Luovutettua tietoa ei katsota Salassapidettäväksi Tiedoksi siltä osin, kun Vastaanottava Sopijapuoli pystyy näyttämään toteen, että:

- a) tieto on ollut tai tulee julkiseksi tai muutoin yleisesti saataville ilman tämän Sopimuksen rikkomista; tai
- b) tieto on jo Vastaanottavan Sopijapuolen tiedossa tiedon luovutuksen hetkellä; tai
- c) Vastaanottava Sopijapuoli on laillisesti saanut tiedon kolmannelta osapuolelta ilman salassapitovelvoitteita; tai
- d) Vastaanottava Sopijapuoli on kehittänyt tiedon ilman Salassapidettävän Tiedon käyttämistä.

Mikäli Vastaanottava Sopijapuoli velvoitetaan hallinnollisen tai juridisen määräyksen tai päätöksen perusteella luovuttamaan Salassapidettävää Tietoa, Vastaanottavalla Sopijapuolella on oikeus tehdä luovutus, edellyttäen että se ilmoittaa lainsäädännön sallimissa tilanteissa luovutuksesta etukäteen Luovuttavalle Sopijapuolelle ja antaa Luovuttavalle Sopijapuolelle mahdollisuuden turvautua tarpeellisiin vastakeinoin Salassapidettävän Tiedon suojaamiseksi.

- 4.3 Salassapitovelvoite on voimassa Sopimuksen keston ajan, sekä kymmenen (10) vuotta sen päättymisen jälkeen, ellei Sopimuksessa ole sovittu tästä poikkeavaa salassapitoaikaa.
- 4.4 Salassapitovelvoitteesta huolimatta VTT:llä on tarvittaessa oikeus antaa luottamuksellisia tietoja hyväksytyille ali-hankkijoilleen sekä VTT Groupiin kuuluville organisaatioille edellyttäen, että VTT huolehtii näiden sitoutumisesta vastaavan laajuisiin salassapitovelvoitteisiin kuin mitä Sopimuksessa on sovittu.
- 4.5 VTT:llä on oikeus mainita Toimeksiannon ja Asiakkaan nimet referenssinään.

5. OMISTUS- JA KÄYTTÖOIKEUDET

- 5.1 Sopijapuolen toiselle Sopijapuolelle luovuttama tieto, ideat, menetelmät, ratkaisumallit, laitteet, aineet ja muu aineisto, riippumatta siitä ovatko ne suojattuja tai suojattavissa immateriaalioikeudellisesti, jotka ovat syntyneet Toimeksiannon ulkopuolella (jäljempänä Tausta-aineisto), kuuluvat luovuttavalle Sopijapuolelle. Mikäli VTT:n Tausta-aineistoa tarvitaan Tulosten hyödyntämiseen, Tausta-aineiston käyttöoikeuden ehtoista sovitaan kirjallisesti erikseen.
- 5.2 Tieto, ideat, menetelmät, ratkaisumallit, laitteet, aineet ja muu aineisto, riippumatta siitä ovatko ne suojattuja tai suojattavissa immateriaalioikeudellisesti, jotka VTT esittää ja/tai luo Toimeksiannon toteuttamista ja/tai tulosten saavuttamista varten, mutta jotka eivät tule osaksi Tulosta (esimerkiksi tutkimustyökalut, jotka tehdään Toimeksiannossa tietyn tuloksen saavuttamiseksi), ovat VTT:n omaisuutta.
- 5.3 Tieto, ideat, menetelmät, ratkaisumallit, laitteet, aineet ja muu aineisto, mukaan lukien syntyneet raportit ja selvitykset, riippumatta siitä ovatko ne suojattuja tai suojattavissa immateriaalioikeudellisesti, jotka ovat syntyneet Toimeksiannossa ja tulevat osaksi Toimeksiannon tulosta (jäljempänä Tulokset) ovat Toimeksiantajan omaisuutta, ellei
- a) Sopimuksessa ole todettu Toimeksiannon kohteena olevan VTT:n ydinteknologia (core technology), ja/tai
 - b) Toimeksiannon kohteena on tietokoneohjelmisto, tietokanta, integroidun piirin piirimalli ja/tai biotekninen löydös (esimerkiksi geenisekvenssi, mikro-organismi, tai kohdemolekyylit).
- Edellä mainituissa tapauksissa omistusoikeus Tuloksiin jää VTT:lle ja Asiakas saa Tuloksiin erikseen määriteltävän käyttöoikeuden Asiakkaan johtuullisten tarpeiden, sekä Toimeksiannon sovellusalueen kannaltaärkevässä laajuudessa.
- 5.4 Sopijapuolet saavat käyttää toisen Sopijapuolen Tausta-aineistoa vain Toimeksiantoon kuuluvien tehtävien suorittamiseen.
- 5.4 Toimeksiantoa varten VTT:n itselleen hankkimat työvälineet ja laitteet ovat VTT:n omaisuutta, paitsi sikäli kun kyseiset työvälineet ja laitteet ovat Asiakkaan Tausta-aineistoa.
- 5.6 VTT:llä on oikeus käyttää hyväkseen Toimeksiannon yhteydessä saavutettua ammattitaitoa ja kokemusta myös muussa kuin Sopimuksen ja Toimeksiannon piiriin kuuluvassa toiminnassa.

6. OIKEUS KEKSINTÖÖN

- 6.1 Asiakkaalla on oikeus saada Sopimusehtojen tämän kohdan mukainen omistusoikeus sellaisiin keksintöihin, jotka kuuluvat Tuloksiin, jotka tulevat Asiakkaan omaisuudeksi Sopimuksen mukaisesti.
- 6.2 VTT:n palveluksessa oleva keksijä, joka on tehnyt Tuloksiin kuuluvan keksinnön, tekee työsuhtekeksintölain (29.12.1967/656) mukaisen kirjallisen ilmoituksen työsuhtekeksinnöstä VTT:lle. VTT sitoutuu ilmoittamaan Asiakkaalle tällaisista keksinnöistä ilman aiheetonta viivytystä saatuaan yllä mainitun ilmoituksen keksijältä.

- 6.3 Mikäli Asiakas haluaa omistusoikeuden VTT:n Toimeksiannossa tekemään keksintöön, Asiakkaan on ilmoitettava kirjallisesti VTT:lle vaatimuksensa keksintöön kahden (2) kuukauden kuluessa saatuaan VTT:ltä tiedon keksinnöstä uhalla, että VTT saa kaikki oikeudet keksintöön.
- 6.4 Sopijapuolet sitoutuvat toimimaan siten, että keksinnön ennakoinen julkiseksi tulo estyy.
- 6.5 Keksijä tunnustetaan keksinnön tekijäksi. Keksijä on oikeutettu saamaan kohtuullisen korvauksen tehdystä keksinnöstä. Kaikki keksinnön mahdollisista patentoinnista aiheutuvat kustannukset ja korvauksen keksijälle maksaa se Sopijapuoli, jolla on tai joka saa oikeuden keksintöön Sopimuksen mukaisesti. Kohtuullista korvausta määritettäessä noudatetaan työsuhtekeksintölakia, sekä sen Sopijapuolen työsuhtekeksinnosta maksettavaa korvausta koskevia käytäntöjä, jolla on tai, joka saa omistusoikeuden kyseiseen keksintöön Sopimuksen mukaisesti. Mikäli Asiakkaalla ei ole käytäntöjä koskien työsuhtekeksinnosta maksettavaa korvausta, noudatetaan VTT:n käytäntöjä.

7. ASIAKKAAN ASIAKIRJAT JA KOEMATERIAALI

- 7.1 Asiakkaan VTT:lle Toimeksiannon suorittamista varten toimittamaa koemateriaalia, näytettä tai koekappaleita säilytetään VTT:n toimesta enintään kolme (3) kuukautta Tulosten luovuttamisesta Asiakkaalle. Asiakkaalla ei ole oikeutta korvaukseen, jos Toimeksiannon asianmukainen suorittaminen on vaatinut toimenpiteitä, joiden seurauksena koemateriaali, näytteet ja/tai koekappaleet ovat tuhoutuneet, huonontuneet tai vähentyneet.

8. VTT:N ASEMA

- 8.1 VTT suorittaa Toimeksiannon sovittua aikataulua noudattaen. Mikäli aikataulua ei ole sovittu, Toimeksianto suoritetaan ilman aiheutonta viivästystä. VTT:llä on oikeus pidentää aikataulua sikäli kun viivästys johtuu Ylivoimaisesta Esteestä (Sopimusehdot, kohta 12), Asiakkaasta, tai Asiakkaan vastuulla olevasta syystä.
- 8.2 VTT suorittaa Sopimuksessa määritellyt tehtävät huolella ja ammattitaidolla. VTT huolehtii siitä, että Toimeksiannon suorittamiseen käytetään pätevyydeltään sopivia henkilöitä. Asiakkaan tulee vedota Toimeksiannon suorituksessa tapahtuneeseen virheeseen kahden (2) viikon kuluessa Tulosten luovuttamisesta. Virhetilanteessa VTT:llä on ensisijaisesti oikeus korjata tai uusia Toimeksiannon suoritukset/virheellisen Tuloksen.
- 8.3 VTT ei ole oikeutettu ilman Asiakkaan suostumusta käyttämään muuta kuin VTT Groupiin kuuluvaa organisaatiota alihankkijana Toimeksiannon tai sen merkittävän osan suorittamisessa.
- 8.4 Mikäli VTT:lle aiheutuu vahinkoa tai Toimeksiannon laajuus tai tavoite muuttuu, viivästyy tai työ keskeytyy Asiakkaasta johtuvasta tai tämän vastuulla olevasta syystä, VTT:llä on oikeus saada korvaus näin aiheutuneista kustannuksista ja vahingosta.
- 8.5 VTT ei anna toimittamalleen Tulokselle, Tausta-aineistolle, laitteelle, materiaalille tai tavaralle mitään takuuta.
- 8.6 VTT:n luovuttaman materiaalin tai tavaran toimitusehto on "Ex Works VTT (Incoterms 2010)".

9. ASIAKKAAN ASEMA

- 9.1 Asiakkaalla on oikeus seurata Toimeksiannon edistymistä.
- 9.2 Asiakas luovuttaa ajoissa VTT:n käyttöön Toimeksiannon suorittamista varten tarvittavat perustiedot sekä erikseen sovittaessa tarvittavat laitteistot ja muut resurssit.
- 9.3 Vaaranvastuu Tulosten tapaturmaisesta vahingoittumisesta siirtyy Asiakkaalle Tuloksen tai sen osan luovutushetkellä. Mikäli luovuttaminen viivästyy Asiakkaan syystä, vaaranvastuu siirtyy hetkellä, jolloin luovutuksen olisi pitänyt viimeistään tapahtua.
- 9.4 Mikäli Toimeksianto suoritetaan Asiakkaan tiloissa tai tiloissa, joista Asiakas on muuten vastuussa, Asiakas huolehtii työsuojelusta ja työturvallisuudesta VTT:n tai VTT:lle Toimeksiannossa töitä tekevän kolmannen osapuolen palveluksessa olevan henkilön osalta.

10. TULOSTEN JULKAISEMINEN

- 10.1 Tulosten omistajalla on oikeus oman harkintansa mukaan julkaista Tuloksiin kuuluva lopullinen tutkimusraportti kokonaisuudessaan. Tutkimusraportin osittainen julkaiseminen on kielletty ilman VTT:n kirjallista lupaa.
- 10.2 Tuloksia julkistettaessa VTT:n nimi on mainittava asianmukaisella tavalla.
- 10.3 VTT:n nimeä saa käyttää mainonnassa tai muussa myynninedistämässä vain VTT:n kirjallisella luvalla.
- 10.4 Julkisuudessa esitettyjen väitteiden tai Toimeksiantoa koskevien lausumien todentamiseksi ja/tai väärin väitteiden tai lausumien korjaamiseksi VTT:llä on oikeus antaa kolmannelle osapuolelle tai yleisölle tietoja Tuloksista siinä määrin, että julkisuudessa esitetyt väitteet tai lausumat tulevat todennetuiksi ja/tai väärät väitteet tai lausumat tulevat korjatuiksi.

11. VTT:N VASTUU

- 11.1 VTT vastaa Toimeksiannon suorittamisesta Sopimuksen mukaisesti. VTT vastaa alihankkijan työstä kuin omastaan.

- 11.2 VTT vastaa Asiakkaalle aiheutuneista välittömistä vahingoista, jotka johtuvat VTT:n tahallisesti tai tuottamuksellisesti tekemistä virheistä tai laiminlyönneistä.

- 11.3 VTT:n vastuu rajoittuu kaikissa tapauksissa Toimeksiannosta VTT:lle maksettavan palkkion määrään. VTT ei vastaa välillisestä tai epäsuorasta vahingosta.

- 11.4 Sopijapuolet vakuuttavat nimenomaisesti olevansa tietoisia niistä teknisistä ja muista riskeistä, joita tutkimus- ja kehitystyöhön liittyy ja tietoisesti hyväksyvät tällaiset epävarmuustekijät sekä sen, ettei tutkimus- ja kehitystyön tuloksia tai tavoitteita välttämättä saavuteta, tutkimus- ja kehitystyön luonteeseen kuuluvina.

- 11.5 Tausta-aineistoa ja/tai Tuloksia toisilleen luovuttaessaan Sopijapuolet pyrkivät siihen, että ne ovat mahdollisimman virheettömiä. Luovuttava Sopijapuoli ei kuitenkaan anna luovutuksen kohteelle mitään takuuta ja luovutetun aineiston käyttö tapahtuu yksin luovutuksensaajan vastuulla. Lisäksi erityisesti sovitaan, että Asiakas kantaa tuotevastuun kolmatta osapuolta kohtaan.

- 11.6 Ellei toisin ole sovittu, VTT:n vastuu päättyy yhden (1) vuoden kuluttua Tulosten luovuttamisesta Asiakkaalle. Mikäli luovuttaminen viivästyy Asiakkaan syystä, määräaika alkaa hetkestä, jolloin luovutuksen olisi pitänyt viimeistään tapahtua.

- 11.7 Vaatimukset VTT:tä kohtaan on esitettävä kuuden (6) kuukauden kuluessa VTT:n vastuuajan päättymisestä. Muussa tapauksessa Asiakas menettää oikeutensa vaatia korvausta.

12. YLIVOIMAINEN ESTE

- 12.1 Ylivoimaisena Esteenä pidetään tapahtumaa, joka estää tai tekee kohtuuttoman vaikeaksi Toimeksiannon suorittamisen määräajassa. Tällaisia ovat sota, kapina, luonnonmullistus, yleinen energianjakelun keskeytyminen, tulipalo, valtion talousarvion tai valtioneuvoston asettama oleellinen rajoitus VTT:n toiminnalle, lakko, saarto tai muu yhtä merkittävä ja epätavallinen Sopijapuolista riippumaton syy. Alihankkijan viivästys em. syistä katsotaan myös Ylivoimaiseksi Esteeksi.

13. SOPIMUKSEN PURKAMINEN

- 13.1 Mikäli Sopijapuoli rikkoo oleellisesti Sopimuksen ehtoja, toisella Sopijapuolella on oikeus purkaa Sopimus.
- 13.2 Mikäli Asiakas rikkoo Sopimuksen ehtoja, VTT:llä on purkamisen sijasta oikeus väliaikaisesti keskeyttää Toimeksiannon suorittaminen, kunnes nähdään johtaako sopimusrikkomus Sopimuksen purkamiseen.
- 13.3 Kummallakin Sopijapuolella on oikeus purkaa Sopimus, jos toinen Sopijapuoli on ilmeisen maksukyvytön, haetaan selvitystilaan, velkajärjestely- tai yrityssaneerausmenettelyyn taikka konkurssiin.
- 13.4 Kummallakin Sopijapuolella on oikeus purkaa Sopimus, jos Sopimuksen täyttäminen Ylivoimaiseen Esteen jatkumisen johdosta tulee mahdottomaksi tai viivästyy oleellisesti tai yli 12 kuukautta.
- 13.5 Mikäli Sopimus puretaan, Asiakas maksaa VTT:lle hyväksytysti suoritusta Toimeksiannon osasta korvauksen sovitun veloitusperusteen mukaisesti purkamispäivään tai töiden lopettamishetkeen saakka, mikäli töitä sovitaa tehtäväksi purkamispäivän jälkeen.
- 13.6 VTT:llä on oikeus saada korvaus Sopimuksen purkamisesta aiheutuneista kustannuksista ja vahingosta, jos Sopimuksen purkaminen johtuu Asiakkaasta tai tämän vastuulla olevasta syystä.

14. ERIKESITYKSET

- 14.1 Sopimuksesta aiheutuvat riidat, joista asianomaiset eivät pääse keskenään sopimukseen, jätetään Helsingin käräjäoikeuden ratkaistavaksi.
- 14.2 Sopimuksen tulkinnaissa ja riitojen ratkaisemisessa sovelletaan Sopimuksen tekohetkellä Suomessa voimassa olevaa oikeutta, lukuun ottamatta sen lainvalintasäännöksiä.

LIITE 14

KTR: VTT: Sularännien materiaalianalyysi – tarjous 6.6.2017

6.6.2017

1 (3)

Suomen Soodakattilayhdistys ry
c/o Pöyry Finland Oy
Markus Nieminen
PL 4
01621 Vantaa

SULARÄNNIEN MATERIAALIANALYYSI

Kiitämme tarjouspyynnöstänne ja tarjoudumme tekemään alla olevan tutkimussuunnitelman mukaisesti sularännien materiaalianalyysia.

Tutkimuksen sisältö

Tutkimuksen tavoitteena on selvittää sularännien vaurioitumismekanismeja metallurgisin keinoin.

Osio A, neljä (4) sularänniä; kaksi vaurioitunutta ja kaksi uutta/hyvin säilynyttä:

- Vauriomekanismin selvitys kahdesta eri materiaalista valmistetuista sularänneistä
- Vaurioituneiden kohtien vertailu samasta materiaalista valmistettuun uuteen tai mahdollisimman hyväkuntoiseen sularänniin
- Vauriokohdan/kohtien lisäksi jokaisesta sularännistä tutkitaan kriittiseksi koetut kohdat:
 - o sulakouru
 - o sularännin alapää
 - o sularännin yläpää
- Raportointi

Osio B, kaksi (2) sularänniä; yksi vaurioitunut ja yksi uusi/hyväkuntoinen:

- Vauriomekanismin selvitys sularännistä
- Vaurioituneiden kohtien vertailu samasta materiaalista valmistettuun uuteen tai mahdollisimman hyväkuntoiseen sularänniin
- Vauriokohdan/kohtien lisäksi jokaisesta sularännistä tutkitaan kriittiseksi koetut kohdat:
 - o sulakouru
 - o sularännin alapää
 - o sularännin yläpää
- Raportointi

Osio C:

- Osioiden (Osio A + x*Osio B) tulosten yhteenveto ja juurisyyn selvitys yhdessä soodakattilayhdistyksen ja kattilakäyttäjien kanssa

Hinta ja laskutus

Osion A (4 sularänniä, 2 vaurioitunutta sekä 2 uutta/hyvin säilynyttä) hinta 9 800 €

Osion B (2 sularänniä, 1 vaurioitunut sekä 1 uusi/hyvin säilynyt) hinta 4 600 €

Osion C hinta 4 000 €

6.6.2017

2 (3)

Hintaan lisätään kulloinkin voimassa oleva arvonlisävero sekä mahdolliset ulkomaiset verot ja viranomaismaksut.

Työ laskutetaan osioittain, kun ko. osion raportti on toimitettu asiakkaalle.

Lisäksi veloitetaan matka- ja majoituskustannukset sekä päivärahat valtion matkustussäännön mukaisesti.

- Maksuehdot** Maksuehto on 21 päivää laskun päiväyksestä. Viivästyskorko on korkolain mukainen.
- Aikataulu** Osio A; toteutetaan 6 viikon kuluessa näytteiden saapumisesta ja tilauksesta, ottaen huomioon Suomen lomakaudet
- Osio B; toteutetaan 5 viikon kuluessa näytteiden saapumisesta ja tilauksesta, ottaen huomioon Suomen lomakaudet
- Osio C raportoidaan 2 viikon kuluessa kaiken tarvittavan tiedon saapumisesta, mukaan lukien keskustelut osallistuvien kattilavalmistajien ja käyttäjien kanssa.
- Raportointi** Tulokset raportoidaan VTT:n asiakasraporttina.
- Muut ehdot** VTT:llä on oikeus mainita toimeksiannon ja toimeksiantajan nimet referenssinään.
- Tätä tarjousta tai sen sisältämiä tietoja saa hyödyntää vain VTT:n ja tarjouksen saajan välisessä suhteessa. Tämän tarjouksen osittainenkin kopioiminen, muuttaminen, edelleen luovuttaminen tai käyttäminen muuhun tarkoitukseen ilman VTT:n lupaa on kielletty.
- Toimeksiannon ulkopuoliset työt veloitetaan erikseen VTT:n laskutushintojen mukaan. Muutoin noudatetaan VTT:n yleisiä sopimusehtoja (liite 1).
- Yhteyshenkilö** VTT:ssä asiaa hoitaa:
Sanni Yli-Olli
Puh. 020 722 6842
Sähköposti: sanni.yli-olli@vtt.fi
- Voimassaolo** Tarjouksemme on voimassa edellä mainituin ehdoin 30 päivää tarjouksen päiväyksestä. VTT laatii tilausvahvistuksen, jos tilaus poikkeaa tarjouksesta tai tilaus on suullinen. Näissä tapauksissa tilaus astuu voimaan, kun VTT on sen vahvistanut.

Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy



Satu Tuurna
Tiiminvetäjä



TARJOUS
LUOTTAMUKSELLINEN

Nro VTT-CRM-153080-17

6.6.2017

3 (3)

LIITTEET

1

VTT yleiset sopimusehdot

Hyväksyminen

Hyväksymme yllä olevan tarjouksen ja teemme tarjouksen mukaisen tilauksen:

VTT:N YLEISET SOPIMUSEHDOT 1.4.2016**1. SOVELTAMISALA**

- 1.1 Näitä VTT:n yleisiä sopimusehtoja (jäljempänä Sopimusehdot) sovelletaan osana Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy:n (jäljempänä VTT) ja VTT:n asiakkaan (jäljempänä Asiakas) välistä toimeksiantosopimusta (VTT ja Asiakas jäljempänä erikseen Sopijapuoli ja yhdessä Sopijapuolet), jolla Sopijapuolet sopivat VTT:n tekemästä työstä tai tuottamasta palvelusta (jäljempänä Toimeksianto).
- 1.2 VTT Groupiin katsotaan kuuluvaksi VTT sekä organisaatiot, joissa VTT käyttää välitöntä tai välillistä määräysvaltaa.
- 1.3 Tarjous, johon Sopimusehdot on liitetty, on voimassa yhden (1) kuukauden tarjouksen päiväyksestä.
- 1.4 Toimeksiannosta johtuvia oikeuksia tai velvollisuuksia ei voida siirtää kolmannelle osapuolelle ilman toisen Sopijapuolen suostumusta.
- 1.5 Sopijapuolet voivat sopia kirjallisesti näiden ehtojen yksittäisten määräysten muuttamisesta tai poissulkemisesta.
- 1.6 Mikäli Toimeksiantoon liittyvät sopimusasiakirjat (jäljempänä Sopimus) ovat sisällöltään ristiriitaisia, on niiden pätevyysjärjestys seuraava: 1) toimeksiantosopimus, 2) tilausvahvistus, 3) tarjous, 4) tilaus, 5) Sopimusehdot ja 6) tarjouspyyntö. Mikäli VTT saa Toimeksiannon suorittamista varten rahoitusta Asiakkaan lisäksi joltakin kolmannelta taholta (kuten Tekes, Suomen Akatemia, EU tms.), sovelletaan rahoitukselle annettuja rahoitusehtoja ensisijaisesti suhteessa Sopimukseen.

2. YHTEISTOIMINTAORGANISAATIO

- 2.1 Sopijapuolet nimittävät Toimeksiantoa varten omat vastuuhenkilönsä. Vastuuhenkilön muutoksesta on ilmoitettava toiselle Sopijapuolelle.
- 2.2 Mikäli Sopimuksen mukaan Toimeksiantoa ohjaa johtoryhmä (tai vastaava Sopijapuolten edustajista koostuva ohjaava elin), silloin kumpikin Sopijapuoli nimeää johtoryhmään saman verran edustajia.
- 2.3 Johtoryhmän tehtävänä on käsitellä Toimeksiantoa koskevia asioita sekä erityisesti valvoa ja ohjata Toimeksiannon toteuttamista Sopimuksen rajaamissa puitteissa. Tätä varten johtoryhmä:
- täsmentää Toimeksiannolle asetetut tavoitteet ja hyväksyy Toimeksiantoa koskevat suunnitelmat,
 - käsittelee projektisuunnitelman tarkistukset ja muutokset sekä tarvittaessa esittelee ne Sopijapuolten hyväksyttäväksi,
 - valvoo Toimeksiannon edistymistä ja tukee projektipäällikön toimintaa,
 - hyväksyy Tulokset ja toteaa Toimeksiannon loppuun suoritetuksi
- 2.4 Johtoryhmä ei voi tehdä muutoksia Sopimukseen, ellei Sopijapuolten kesken siitä erikseen kirjallisesti sovita.

3. VELOITUS

- 3.1 Sopimuksessa sovitaan Toimeksiannon veloituksista. Hinta ilmaistaan euroina.
- 3.2 Arvonlisävero sekä mahdolliset ulkomaiset verot ja viranomaismaksut lisätään sovituu hintaan.
- 3.3 Mikäli Toimeksiannon tavoitetta tai aikataulua muutetaan, taikka Sopimuksen voimassaoloaikana tapahtuu Asiakkaan ja VTT:n yhteisesti toteamia olennaisia kustannustason muutoksia, tarkistetaan veloitusta vastaavasti ko. muutoksen ajankohdasta lukien.
- 3.4 Ellei laskutusaikataulusta ole muuta kirjallisesti sovittu, VTT laskuttaa sovitun hinnan Toimeksiannon aikataulua vastaavissa kuukausierissä.
- 3.5 VTT:llä on oikeus pitää hallussaan Tulokset, kunnes Toimeksianto on kokonaan maksettu.
- 3.6 Maksu on suoritettava 21 päivän kuluessa laskun päiväyksestä. Viivästyskorko on voimassaolevan korkolain (20.8.1982/633) mukainen viivästyskorko. Laskuun lisätään mahdolliset perintäkulut. Laskun huomautusaika on 8 päivää laskun päiväyksestä.

4. LUOTTAMUKSELLISUUS

- 4.1 "Salassapidettävällä Tiedolla" tarkoitetaan kaikkea tietoa (mukaan lukien tietämys, tietotaito, liikesalaisuudet, teknologinen tai kaupallinen tieto, laitteet ja ohjelmistot (mukaan lukien lähdekoodi) riippumatta siitä ovatko ne suojattuja tai voitaisiinko niitä suojata tekijänoikeudella, patentilla, tavaramerkillä tai muulla immateriaalioikeudella), joka liittyy Toimeksiantoon ja jonka tietoa luovuttava Sopijapuoli (jäljempänä Luovuttava Sopijapuoli) on luovuttanut (tai jonka puolesta luovutus on tehty) tietoa vastaanottavalle Sopijapuolelle (jäljempänä Vastaanottava Sopijapuoli) riippumatta tiedon luovutuksen tavasta (mukaan lukien kirjallinen, suullinen, elektroninen tai havainnoimalla tapahtunut luovutus). Vastaanottava Sopijapuoli sitoutuu pitämään Salassapidettävän Tiedon salassa ja olemaan luovuttamatta sitä kolmansille ilman Luovuttavalta Sopijapuolelta saatua etukäteistä kirjallista suostumusta. Vastaanottavalla Sopijapuolella on oikeus käyttää Salassapidettävää Tietoa ainoastaan Toimeksiantoon liittyvien tehtävien, sekä Sopimuksesta johtuvien oikeuksiensa ja velvollisuuksiensa toteuttamiseen.

- 4.2 Luovutettua tietoa ei katsota Salassapidettäväksi Tiedoksi siltä osin, kun Vastaanottava Sopijapuoli pystyy näyttämään toteen, että:

- a) tieto on ollut tai tulee julkiseksi tai muutoin yleisesti saataville ilman tämän Sopimuksen rikkomista; tai
- b) tieto on jo Vastaanottavan Sopijapuolen tiedossa tiedon luovutuksen hetkellä; tai
- c) Vastaanottava Sopijapuoli on laillisesti saanut tiedon kolmannelta osapuolelta ilman salassapitovelvoitteita; tai
- d) Vastaanottava Sopijapuoli on kehittänyt tiedon ilman Salassapidettävän Tiedon käyttämistä.

Mikäli Vastaanottava Sopijapuoli velvoitetaan hallinnollisen tai juridisen määräyksen tai päätöksen perusteella luovuttamaan Salassapidettävää Tietoa, Vastaanottavalla Sopijapuolella on oikeus tehdä luovutus, edellyttäen että se ilmoittaa lainsäädännön sallimissa tilanteissa luovutuksesta etukäteen Luovuttavalle Sopijapuolelle ja antaa Luovuttavalle Sopijapuolelle mahdollisuuden turvautua tarpeellisiin vastakeinoin Salassapidettävän Tiedon suojaamiseksi.

- 4.3 Salassapitovelvoite on voimassa Sopimuksen keston ajan, sekä kymmenen (10) vuotta sen päättymisen jälkeen, ellei Sopimuksessa ole sovittu tästä poikkeavaa salassapitoaikaa.
- 4.4 Salassapitovelvoitteesta huolimatta VTT:llä on tarvittaessa oikeus antaa luottamuksellisia tietoja hyväksytyille ali-hankkijoilleen sekä VTT Groupiin kuuluville organisaatioille edellyttäen, että VTT huolehtii näiden sitoutumisesta vastaavan laajuisiin salassapitovelvoitteisiin kuin mitä Sopimuksessa on sovittu.
- 4.5 VTT:llä on oikeus mainita Toimeksiannon ja Asiakkaan nimet referenssinään.

5. OMISTUS- JA KÄYTTÖOIKEUDET

- 5.1 Sopijapuolen toiselle Sopijapuolelle luovuttama tieto, ideat, menetelmät, ratkaisumallit, laitteet, aineet ja muu aineisto, riippumatta siitä ovatko ne suojattuja tai suojattavissa immateriaalioikeudellisesti, jotka ovat syntyneet Toimeksiannon ulkopuolella (jäljempänä Tausta-aineisto), kuuluvat luovuttavalle Sopijapuolelle. Mikäli VTT:n Tausta-aineistoa tarvitaan Tulosten hyödyntämiseen, Tausta-aineiston käyttöoikeuden ehtoista sovitaa kirjallisesti erikseen.
- 5.2 Tieto, ideat, menetelmät, ratkaisumallit, laitteet, aineet ja muu aineisto, riippumatta siitä ovatko ne suojattuja tai suojattavissa immateriaalioikeudellisesti, jotka VTT esittää ja/tai luo Toimeksiannon toteuttamista ja/tai tulosten saavuttamista varten, mutta jotka eivät tule osaksi Tulosta (esimerkiksi tutkimustyökalut, jotka tehdään Toimeksiannossa tietyn tuloksen saavuttamiseksi), ovat VTT:n omaisuutta.
- 5.3 Tieto, ideat, menetelmät, ratkaisumallit, laitteet, aineet ja muu aineisto, mukaan lukien syntyneet raportit ja selvitykset, riippumatta siitä ovatko ne suojattuja tai suojattavissa immateriaalioikeudellisesti, jotka ovat syntyneet Toimeksiannossa ja tulevat osaksi Toimeksiannon tulosta (jäljempänä Tulokset) ovat Toimeksiantajan omaisuutta, ellei
- a) Sopimuksessa ole todettu Toimeksiannon kohteena olevan VTT:n ydinteknologia (core technology), ja/tai
 - b) Toimeksiannon kohteena on tietokoneohjelmisto, tietokanta, integroidun piirin piirimalli ja/tai biotekninen löydös (esimerkiksi geenisekvenssi, mikro-organismi, tai kohdemolekyylit).
- Edellä mainituissa tapauksissa omistusoikeus Tuloksiin jää VTT:lle ja Asiakas saa Tuloksiin erikseen määriteltävän käyttöoikeuden Asiakkaan johtuullisten tarpeiden, sekä Toimeksiannon sovellusalueen kannaltaärkevässä laajuudessa.
- 5.4 Sopijapuolet saavat käyttää toisen Sopijapuolen Tausta-aineistoa vain Toimeksiantoon kuuluvien tehtävien suorittamiseen.
- 5.4 Toimeksiantoa varten VTT:n itselleen hankkimat työvälineet ja laitteet ovat VTT:n omaisuutta, paitsi sikäli kun kyseiset työvälineet ja laitteet ovat Asiakkaan Tausta-aineistoa.
- 5.6 VTT:llä on oikeus käyttää hyväkseen Toimeksiannon yhteydessä saavutettua ammattitaitoa ja kokemusta myös muussa kuin Sopimuksen ja Toimeksiannon piiriin kuuluvassa toiminnassa.

6. OIKEUS KEKSINTÖÖN

- 6.1 Asiakkaalla on oikeus saada Sopimusehtojen tämän kohdan mukainen omistusoikeus sellaisiin keksintöihin, jotka kuuluvat Tuloksiin, jotka tulevat Asiakkaan omaisuudeksi Sopimuksen mukaisesti.
- 6.2 VTT:n palveluksessa oleva keksijä, joka on tehnyt Tuloksiin kuuluvan keksinnön, tekee työsuhtekeksintölain (29.12.1967/656) mukaisen kirjallisen ilmoituksen työsuhtekeksinnöstä VTT:lle. VTT sitoutuu ilmoittamaan Asiakkaalle tällaisista keksinnöistä ilman aiheetonta viivytystä saatuaan yllä mainitun ilmoituksen keksijältä.

- 6.3 Mikäli Asiakas haluaa omistusoikeuden VTT:n Toimeksiannossa tekemään keksintöön, Asiakkaan on ilmoitettava kirjallisesti VTT:lle vaatimuksensa keksintöön kahden (2) kuukauden kuluessa saatuaan VTT:ltä tiedon keksinnöstä uhalla, että VTT saa kaikki oikeudet keksintöön.
- 6.4 Sopijapuolet sitoutuvat toimimaan siten, että keksinnön ennakoinninen julkiseksi tulo estyy.
- 6.5 Keksijä tunnustetaan keksinnön tekijäksi. Keksijä on oikeutettu saamaan kohtuullisen korvauksen tehdystä keksinnöstä. Kaikki keksinnön mahdollisista patentoinnista aiheutuvat kustannukset ja korvauksen keksijälle maksaa se Sopijapuoli, jolla on tai joka saa oikeuden keksintöön Sopimuksen mukaisesti. Kohtuullista korvausta määritettäessä noudatetaan työsuhtekeksintölakia, sekä sen Sopijapuolen työsuhtekeksinnosta maksettavaa korvausta koskevia käytäntöjä, jolla on tai, joka saa omistusoikeuden kyseiseen keksintöön Sopimuksen mukaisesti. Mikäli Asiakkaalla ei ole käytäntöjä koskien työsuhtekeksinnosta maksettavaa korvausta, noudatetaan VTT:n käytäntöjä.

7. ASIAKKAAN ASIAKIRJAT JA KOEMATERIAALI

- 7.1 Asiakkaan VTT:lle Toimeksiannon suorittamista varten toimittamaa koemateriaalia, näytettä tai koekappaleita säilytetään VTT:n toimesta enintään kolme (3) kuukautta Tulosten luovuttamisesta Asiakkaalle. Asiakkaalla ei ole oikeutta korvaukseen, jos Toimeksiannon asianmukainen suorittaminen on vaatinut toimenpiteitä, joiden seurauksena koemateriaali, näytteet ja/tai koekappaleet ovat tuhoutuneet, huonontuneet tai vähentyneet.

8. VTT:N ASEMA

- 8.1 VTT suorittaa Toimeksiannon sovittua aikataulua noudattaen. Mikäli aikataulua ei ole sovittu, Toimeksianto suoritetaan ilman aiheutonta viivästystä. VTT:llä on oikeus pidentää aikataulua sikäli kun viivästys johtuu Ylivoimaisesta Esteestä (Sopimusehdot, kohta 12), Asiakkaasta, tai Asiakkaan vastuulla olevasta syystä.
- 8.2 VTT suorittaa Sopimuksessa määritellyt tehtävät huolella ja ammattitaidolla. VTT huolehtii siitä, että Toimeksiannon suorittamiseen käytetään pätevyydeltään sopivia henkilöitä. Asiakkaan tulee vedota Toimeksiannon suorituksessa tapahtuneeseen virheeseen kahden (2) viikon kuluessa Tulosten luovuttamisesta. Virhetilanteessa VTT:llä on ensisijaisesti oikeus korjata tai uusia Toimeksiannon suoritukset/virheellisen Tuloksen.
- 8.3 VTT ei ole oikeutettu ilman Asiakkaan suostumusta käyttämään muuta kuin VTT Groupiin kuuluvaa organisaatiota alihankkijana Toimeksiannon tai sen merkittävän osan suorittamisessa.
- 8.4 Mikäli VTT:lle aiheutuu vahinkoa tai Toimeksiannon laajuus tai tavoite muuttuu, viivästyy tai työ keskeytyy Asiakkaasta johtuvasta tai tämän vastuulla olevasta syystä, VTT:llä on oikeus saada korvaus näin aiheutuneista kustannuksista ja vahingosta.
- 8.5 VTT ei anna toimittamalleen Tulokselle, Tausta-aineistolle, laitteelle, materiaalille tai tavaralle mitään takuuta.
- 8.6 VTT:n luovuttaman materiaalin tai tavaran toimitusehto on "Ex Works VTT (Incoterms 2010)".

9. ASIAKKAAN ASEMA

- 9.1 Asiakkaalla on oikeus seurata Toimeksiannon edistymistä.
- 9.2 Asiakas luovuttaa ajoissa VTT:n käyttöön Toimeksiannon suorittamista varten tarvittavat perustiedot sekä erikseen sovittaessa tarvittavat laitteistot ja muut resurssit.
- 9.3 Vaaranvastuu Tulosten tapaturmaisesta vahingoittumisesta siirtyy Asiakkaalle Tuloksen tai sen osan luovutushetkellä. Mikäli luovuttaminen viivästyy Asiakkaan syystä, vaaranvastuu siirtyy hetkellä, jolloin luovutuksen olisi pitänyt viimeistään tapahtua.
- 9.4 Mikäli Toimeksianto suoritetaan Asiakkaan tiloissa tai tiloissa, joista Asiakas on muuten vastuussa, Asiakas huolehtii työsuojelusta ja työturvallisuudesta VTT:n tai VTT:lle Toimeksiannossa töitä tekevän kolmannen osapuolen palveluksessa olevan henkilön osalta.

10. TULOSTEN JULKAISEMINEN

- 10.1 Tulosten omistajalla on oikeus oman harkintansa mukaan julkaista Tuloksiin kuuluva lopullinen tutkimusraportti kokonaisuudessaan. Tutkimusraportin osittainen julkaiseminen on kielletty ilman VTT:n kirjallista lupaa.
- 10.2 Tuloksia julkistettaessa VTT:n nimi on mainittava asianmukaisella tavalla.
- 10.3 VTT:n nimeä saa käyttää mainonnassa tai muussa myynninedistämässä vain VTT:n kirjallisella luvalla.
- 10.4 Julkisuudessa esitettyjen väitteiden tai Toimeksiantoa koskevien lausumien todentamiseksi ja/tai väärin väitteiden tai lausumien korjaamiseksi VTT:llä on oikeus antaa kolmannelle osapuolelle tai yleisölle tietoja Tuloksista siinä määrin, että julkisuudessa esitetyt väitteet tai lausumat tulevat todennetuiksi ja/tai väärät väitteet tai lausumat tulevat korjatuiksi.

11. VTT:N VASTUU

- 11.1 VTT vastaa Toimeksiannon suorittamisesta Sopimuksen mukaisesti. VTT vastaa alihankkijan työstä kuin omastaan.

- 11.2 VTT vastaa Asiakkaalle aiheutuneista välittömistä vahingoista, jotka johtuvat VTT:n tahallisesti tai tuottamuksellisesti tekemistä virheistä tai laiminlyönneistä.
- 11.3 VTT:n vastuu rajoittuu kaikissa tapauksissa Toimeksiannosta VTT:lle maksettavan palkkion määrään. VTT ei vastaa välillisestä tai epäsuorasta vahingosta.
- 11.4 Sopijapuolet vakuuttavat nimenomaisesti olevansa tietoisia niistä teknisistä ja muista riskeistä, joita tutkimus- ja kehitystyöhön liittyy ja tietoisesti hyväksyvät tällaiset epävarmuustekijät sekä sen, ettei tutkimus- ja kehitystyön tuloksia tai tavoitteita välttämättä saavuteta, tutkimus- ja kehitystyön luonteeseen kuuluvina.
- 11.5 Tausta-aineistoa ja/tai Tuloksia toisilleen luovuttaessaan Sopijapuolet pyrkivät siihen, että ne ovat mahdollisimman virheettömiä. Luovuttava Sopijapuoli ei kuitenkaan anna luovutuksen kohteelle mitään takuuta ja luovutetun aineiston käyttö tapahtuu yksin luovutuksensaajan vastuulla. Lisäksi erityisesti sovitaan, että Asiakas kantaa tuotevastuun kolmatta osapuolta kohtaan.
- 11.6 Ellei toisin ole sovittu, VTT:n vastuu päättyy yhden (1) vuoden kuluttua Tulosten luovuttamisesta Asiakkaalle. Mikäli luovuttaminen viivästyy Asiakkaan syystä, määräaika alkaa hetkestä, jolloin luovutuksen olisi pitänyt viimeistään tapahtua.
- 11.7 Vaatimukset VTT:tä kohtaan on esitettävä kuuden (6) kuukauden kuluessa VTT:n vastuuajan päättymisestä. Muussa tapauksessa Asiakas menettää oikeutensa vaatia korvausta.

12. YLIVOIMAINEN ESTE

- 12.1 Ylivoimaisena Esteenä pidetään tapahtumaa, joka estää tai tekee kohtuuttoman vaikeaksi Toimeksiannon suorittamisen määräajassa. Tällaisia ovat sota, kapina, luonnonmullistus, yleinen energianjakelun keskeytyminen, tulipalo, valtion talousarvion tai valtioneuvoston asettama oleellinen rajoitus VTT:n toiminnalle, lakko, saarto tai muu yhtä merkittävä ja epätavallinen Sopijapuolista riippumaton syy. Alihankkijan viivästys em. syistä katsotaan myös Ylivoimaiseksi Esteeksi.

13. SOPIMUKSEN PURKAMINEN

- 13.1 Mikäli Sopijapuoli rikkoo oleellisesti Sopimuksen ehtoja, toisella Sopijapuolella on oikeus purkaa Sopimus.
- 13.2 Mikäli Asiakas rikkoo Sopimuksen ehtoja, VTT:llä on purkamisen sijasta oikeus väliaikaisesti keskeyttää Toimeksiannon suorittamisen, kunnes nähdään johtaako sopimusrikkomus Sopimuksen purkamiseen.
- 13.3 Kummallakin Sopijapuolella on oikeus purkaa Sopimus, jos toinen Sopijapuoli on ilmeisen maksukyvytön, haetaan selvitystilaan, velkajärjestely- tai yrityssaneerausmenettelyyn taikka konkurssiin.
- 13.4 Kummallakin Sopijapuolella on oikeus purkaa Sopimus, jos Sopimuksen täyttäminen Ylivoimaiseen Esteen jatkumisen johdosta tulee mahdottomaksi tai viivästyy oleellisesti tai yli 12 kuukautta.
- 13.5 Mikäli Sopimus puretaan, Asiakas maksaa VTT:lle hyväksytysti suoritusta Toimeksiannon osasta korvauksen sovitun veloitusperusteen mukaisesti purkamispäivään tai töiden lopettamishetkeen saakka, mikäli töitä sovitaan tehtäväksi purkamispäivän jälkeen.
- 13.6 VTT:llä on oikeus saada korvaus Sopimuksen purkamisesta aiheutuneista kustannuksista ja vahingosta, jos Sopimuksen purkaminen johtuu Asiakkaasta tai tämän vastuulla olevasta syystä.

14. ERIKESITYKSET

- 14.1 Sopimuksesta aiheutuvat riidat, joista asianomaiset eivät pääse keskenään sopimukseen, jätetään Helsingin käräjäoikeuden ratkaistavaksi.
- 14.2 Sopimuksen tulkinnaissa ja riitojen ratkaisemisessa sovelletaan Sopimuksen tekohetkellä Suomessa voimassa olevaa oikeutta, lukuun ottamatta sen lainvalintasäännöksiä.

LIITE 15

**LTR: ÅA, Pulp mill deposit formation and aging – role of intra-deposit
alkali chloride transport – esitys 7.9.2017**



Johan Gadolin

PROCESS CHEMISTRY CENTRE



Intradeposit changes with time due to temperature gradient – Deposit Sampling Pre-Study

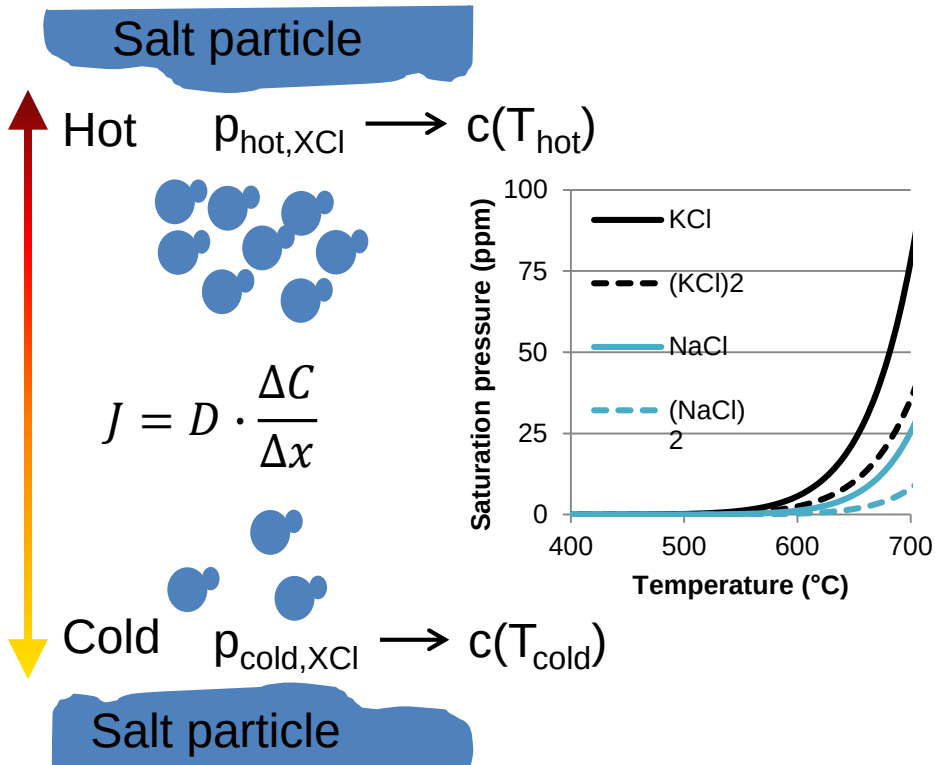
Markus Engblom

LTR meeting 7.9.2017

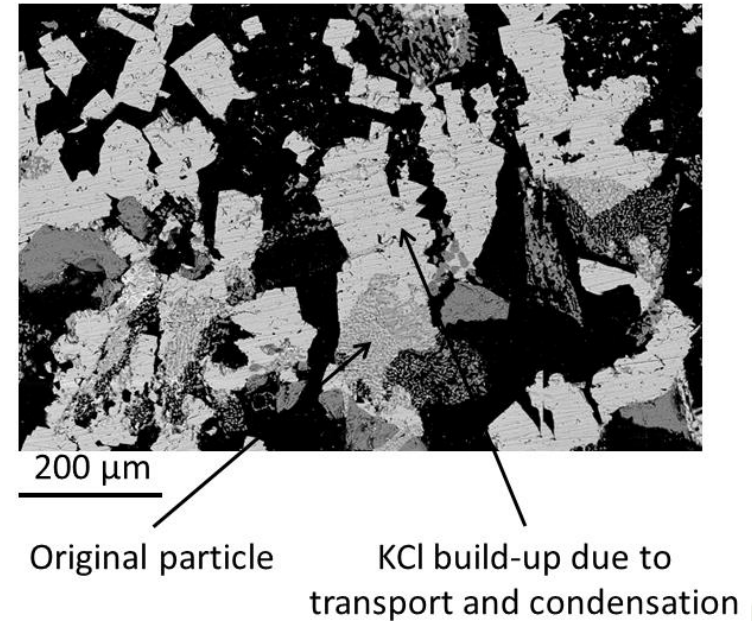


Background

- Intradeposit alkali chloride transport
 - Changes deposit chemistry and morphology with time



Laboratory experiment

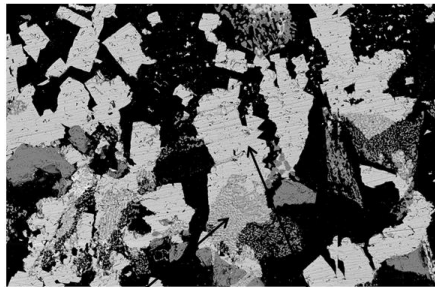


Background

- Intradeposit alkali chloride transport
- **Lab data exists – but limited data from mills**
- **Pre-study to see if possible to obtain mill-samples and how to analyse their cross sections for profiles**

Laboratory gradient furnace & boiler

Laboratory experiment



Original particle

KCl build-up due to transport and condensation

Superheater deposit (Straw)

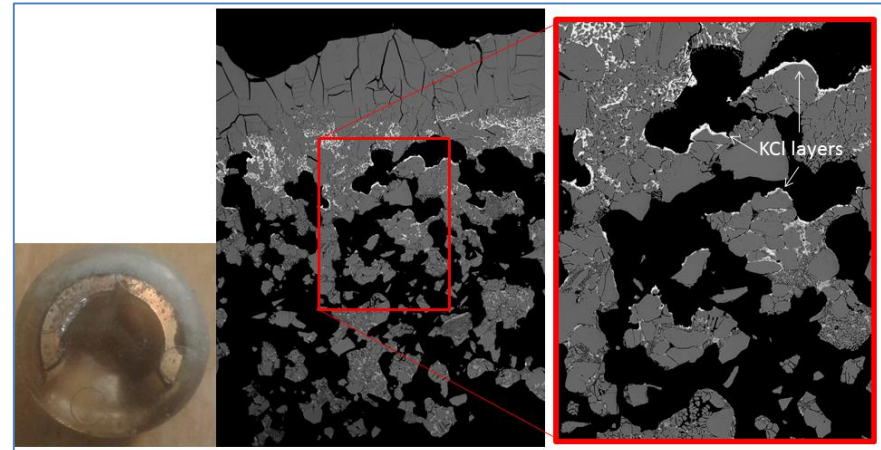


Angular KCl-particles

200 µm

Hansen et al. (2000), Fuel Processing Technology

Bench scale - Entrained flow reactor

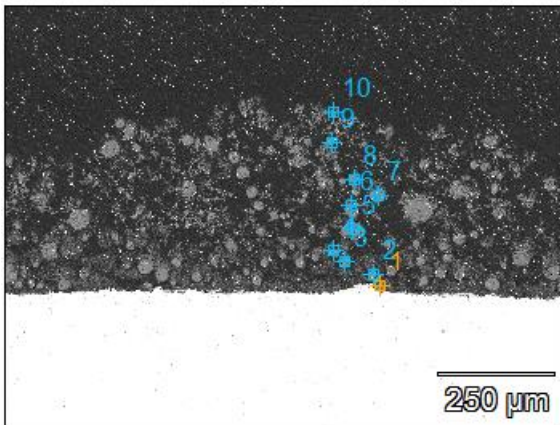


Mill samples

- Campaign at Rauma mill (15 min)
 - Probe 450°C with removable ring – deposit attached
 - After tertiary SH, close to roof, 660 °C
 - SEM: no Cl detected
 - Deposit from Finnish mill (~2 hours)
 - Probe 300 °C with removable ring – deposit attached
 - Before BB
 - SEM: no Cl detected
 - Deposit from Swedish mill (~2 hours)
 - Carryover probe 450 °C – deposit detached
 - Primary SH
 - SEM: Cl detected and cross section further analysed
- 

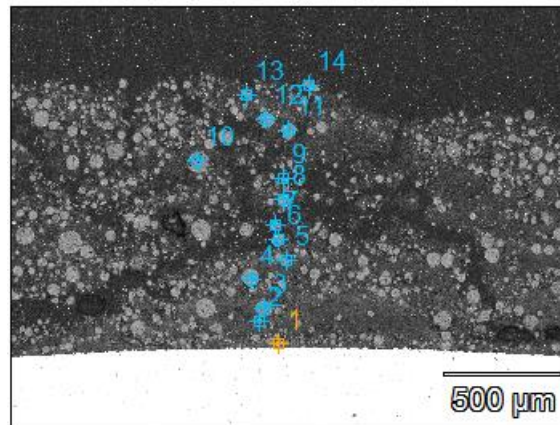
SEM analysis

Rauma



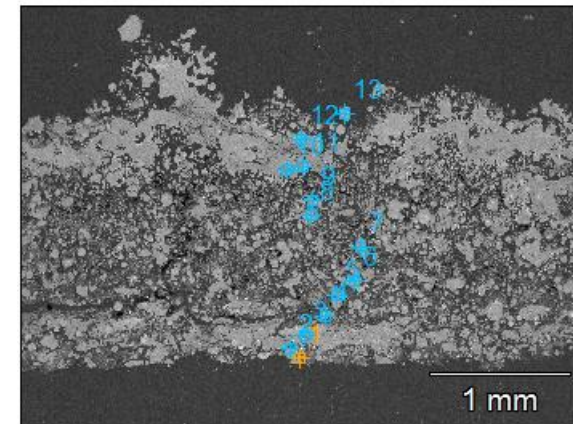
- No Cl detected

Finnish mill



- No Cl detected

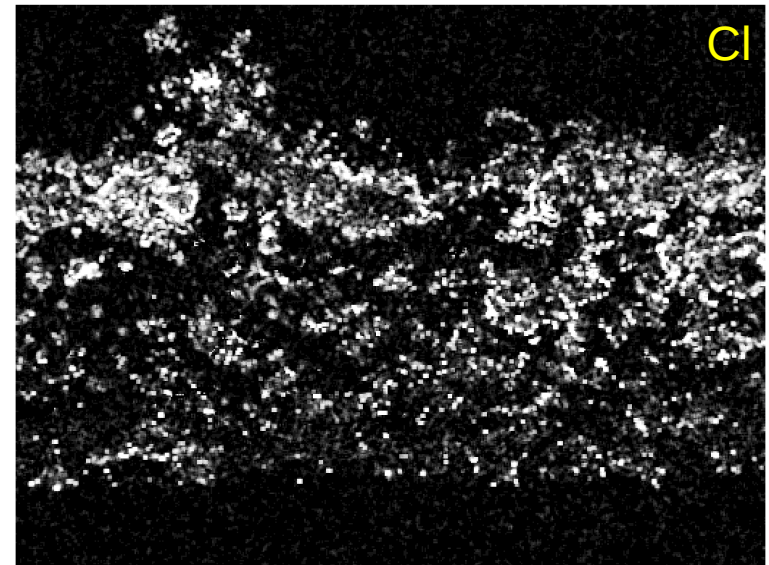
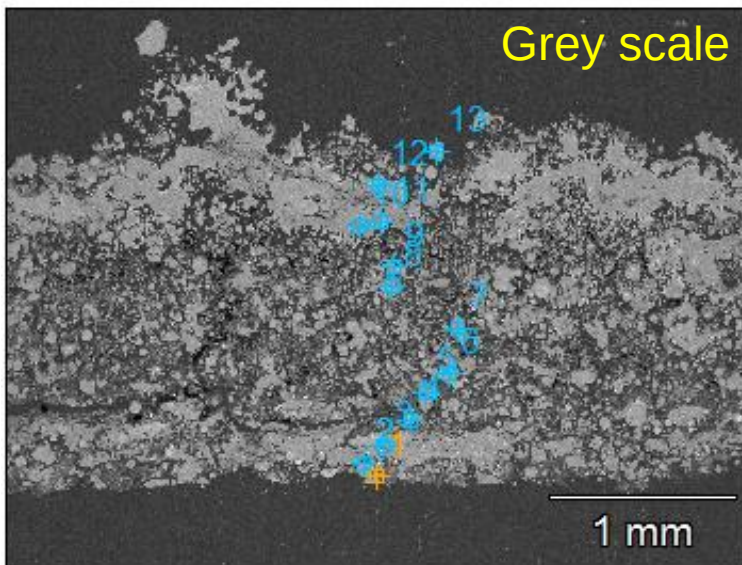
Swedish mill



- On average 0.5-0.8 wt-% Cl
- SEM images further analysed for profiles of Cl and other elements

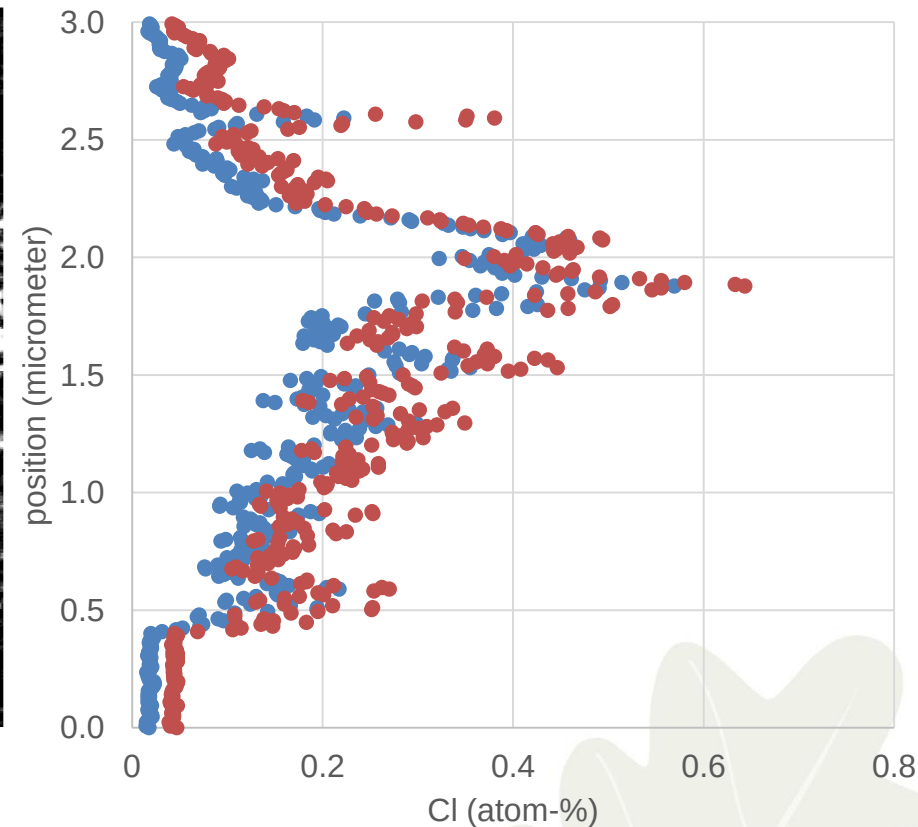
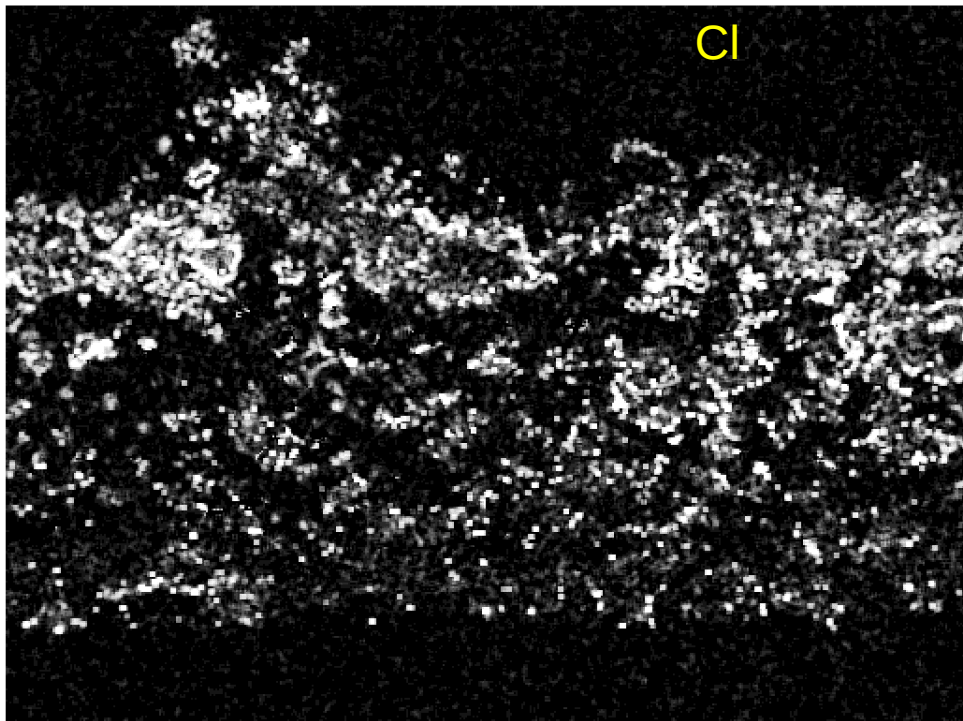
SEM analysis

- Traditional: Spot and line analysis
- Tested: Horizontal averages from elemental x-ray maps



SEM analysis

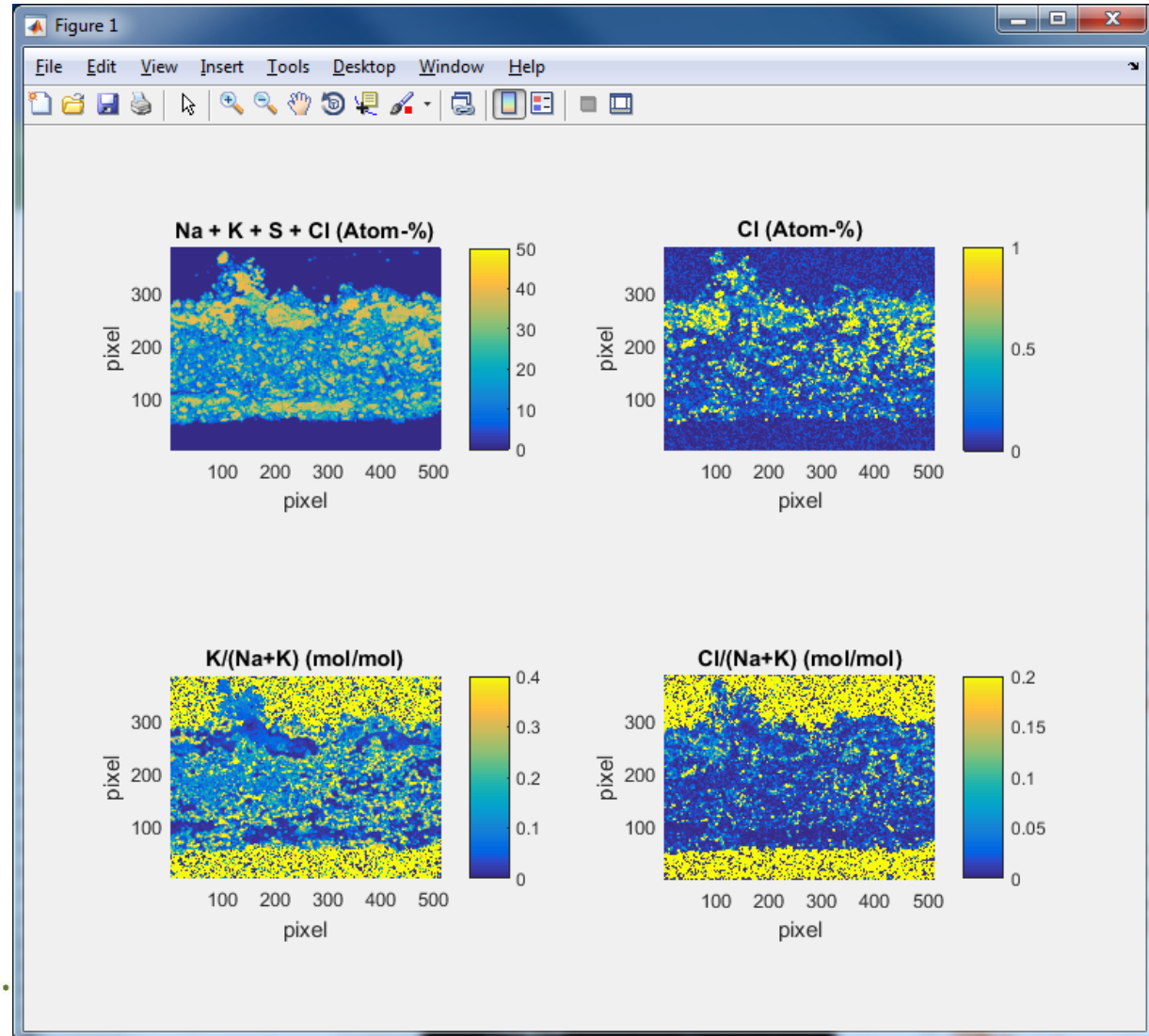
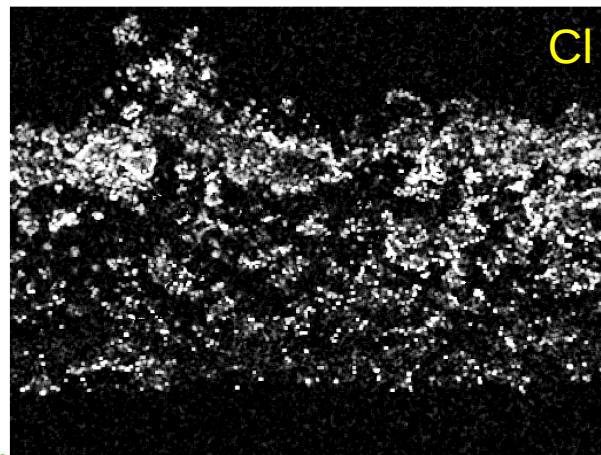
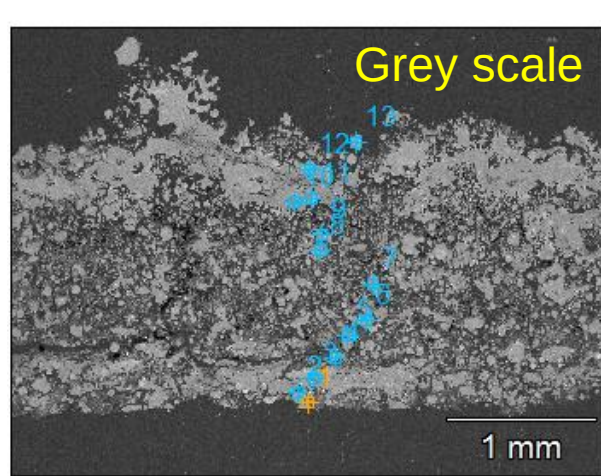
- Horizontal averages from elemental x-ray maps



- Cl-average_over_horizontal
- Cl-average_over_horizontal_from_non_zeros

SEM analysis

- Room for method refinement – which pixels contain relevant information?



Conclusions

- Short time (≤ 2 hours) deposit sampling and analysis for the purpose of better understanding deposit aging appears possible
- Corrosion probes have been used in 1 month / 1000 h experiments in RB
 - Corrosion rate determined from ring mass loss – deposit has been irrelevant
- Question remains if it is possible to obtain deposit samples on rings after longer exposure times than tested so far
 - Plugging of probe opening
 - ...



How to proceed?

- Continue method development/testing
 - Goal: to obtain deposit samples from longer runs than so far, say a few days or a one week
 - A "small" project with SKY
- Is there interest from SKY side to finance a MSc thesis
 - Sampling, analysis method refinement, analysis of results
 - Starting earliest 2018



LIITE 16

OTR: 55-vuotisjuhla paikkavertailu

55 –vuotisjuhla kesäkuun alku 2019, tarjoukset pyydetty 5.-7.6.2019

Paikkakunta	Seminaaripitopaikkoja	Huomioita
Turku	Radisson Blu Marina Palace (TARJOUS VOIMASSA 30.9.2017 ASTI) https://www.radissonblu.com/fi/hotelli-turku Get together 5.6.2019 - hotellin kesäterassi Aurajokirannassa (säävarausta varten katettua tilaa) - järjestelykulu = tilavuokra 500 eur Juhlaseminaari 6.6.2019 - kokouspaketti 52 eur/hlö - valoisa ikkunallinen kokoustila Aurajoki-näkymällä (ei vielä nimettyä kokoustilaa) - <i>Kustaa on suurin kokoustila. Tilassa on korotettu esiintymislava. Kustaassa on yksi seinä lattiasta kattoon ulottuvia ikkunoita, joista aukeaa kaunis näkymä suoraan Aurajoelle.</i> - <i>Kustaan maksimikapasiteetti luokamuodossa on 100 ja teatterimuodossa 180. Tilan saa yhdistettyä viereisen Juhana tilan kanssa, jolloin maksimi kapasiteetti nousee 350 teatterimuodossa. Tilasta löytyy kiinteä puheäänentoistojärjestelmä.</i> Juhlaillallinen 6.6.2019 - juhlasali (kustannus 750 eur sis. kuntoonlaiton, henkilökunnan, peruskoristelun) - hotelli edellyttää vahtimestarin palveluiden käyttämistä iltatilaisuuksissa (40 eur/h/vahtimestari, min 4 h) - menutarkennukset myöhemmin, hinta 2017 alkaen 42,50 eur/hlö - oheisohjelma / teemaillallinen myös mahdollinen Majoitus - huonehinnat 126 eur/1hh, 146 eur/2hh - huonevaraukset pitää tehdä 25.4.2019 mennessä	Hotelli Radisson Blu Marina Palace Hotel on ikoninen tapahtumatalo Turun sydämessä Aurajoen rannalla. Ylellinen juhlakerros on toiminut monen merkittävän tapahtuman näyttämönä. Upeat jokinäkymät kruunaavat tunnelman. Keskeinen sijainti hyvien kulkuyhteyksien varrella sekä hotellin omat pysäköintitilat hotellin edustalla ja lämpimässä parkkihallissa tekevät saapumisen helpoksi. Muita huomioita Åbo Akademi 100 v. 2018 Turun yliopisto 100 v. 2020 Åbo Akademi apuna ”local organization committee” – muodossa Mikko Hupalle yhdistyksen viiri Rauma lähellä -> tehdasvierailu Iltaristeilymahdollisuus esim M/S Rudolfina (voi varata yksityiskäyttöön). Matkareitillä on paljon ihailtavaa, mm. Aurajoen vanhat laivat, Turun linna, Pikaari, Ruissalon hurmaavat pitsihuvilat ja Airiston selkä. Iltaristeilyllä lisäksi näkymä Naantalín lahdelta Vanhaan Naantaliin ja sekä Presidentin kesäasuntoon, Kultarantaan.

Paikkakunta	Seminaaripitopaikkoja	Huomioita
Jyväskylä	Jyväskylän Paviljonki (TARJOUS VOIMASSA 29.9.2017 ASTI) http://www.jklpaviljonki.fi/fi Get together 5.6.2019 - Paviljongin yläaula - ei erillistä tilavuokraa Juhlaseminaari 6.6.2019 - auditorio Wivi (kustannus 2 542 eur, sis. tilavuokra ja palvelut) - kokoustarjoilut = kahvit + lounas onnistuu myös, hinta avoin Juhlaillallinen 6.6.2019 - ravintola Faneri - pöytiin tarjoiltu illallinen n. 63 eur/hlö (riippuu valitusta menusta, ei erillistä tilavuokraa) Majoitus - Solo Sokos Hotel Paviljonki, sijaitsee Jyväskylän Paviljongin yhteydessä - majoitustarjous voimassa 20.9.2017 asti - huonehinnat 155 eur/1hh, 165 eur/2hh - huonevaraukset pitää tehdä 8.5.2019 mennessä	Hotelli Auditorio juhlaseminaaria varten. Lisäksi Paviljongissa on useita erikokoisia kokoustiloja sekä näyttelytiloja auloissa, lämpiöissä ja halleissa. Talossa on oma ääni-, valo- ja esitystekniikka sekä teknikot. Muita huomioita Äänekosken tehdasvierailu Iltaristeilymahdollisuus esim. M/S Rhea (voi varata yksityiskäyttöön) Lutakon satamassa sijaitseva Päijänteen suurin risteilijä, alle 1 km Paviljongilta.

LIITE 17

Labtium Oy – eroanomus 4.7.2017

4.7.2017

Suomen Soodakattilayhdistys ry
Markus Nieminen
PL 4
01621 VANTAA

EROANOMUS

Anomme, että Suomen Soodakattilayhdistys myöntää eron Labtium Oy:lle yhdistyksenne jäsenyydestä 1.1.2018 alkaen.

Espoo 4.7.2017

Kunnioittavasti
LABTIUM OY



Tiina Hausalo
Toimitusjohtaja

Labtium Oy

Business ID
FI21283011
www.labtium.fi

PL/P.O. Box 57
FI-02150 Espoo

Koivurannantie 1
FI-40400 Jyväskylä
Finland

PL/P.O. Box 1500
FI-70211 Kuopio
Finland

PL/P.O.Box 97
FI-99601 Sodankylä
Finland