

Suomen Soodakattilayhdistys ry

SOTU-JOHTORYHMÄN KOKOUS 14

AIKA 5.9.2005 klo 12.00 – 15.00

PAIKKA Jaakko Pöyry Oy, Vantaa

OSALLISTUJAT

Keijo Salmenoja	Oy Metsä-Botnia Ab, Rauma, pj.
Sebastian Kankkonen	Jaakko Pöyry Oy, Vantaa, siht.
Jukka Mikkonen	Stora Enso Oyj, Imatra
Reijo Hukkanen	Stora Enso Oyj, Oulun tehdas
Tor Lönnqvist	Sandvik, Helsinki
Kalle Salmi	Kvaerner Power Oy, Tampere
Lasse Koivisto	Andritz Oy, Varkaus

Osan aikaa:

Timo Leino	VTT Prosessit, Jyväskylä
Bengt-Johan Skrifvars	Åbo Akademi, Turku
Liisa Heikinheimo	VTT Tuotteet ja Tuotanto, Espoo
Pekka Pohjanne	VTT Tuotteet ja Tuotanto, Espoo

LIITE

- I Budjetti
- II Åbo Akademin tuloksia
- III VTT:n tuloksia
- IV VTT:n sondilaskelmat

JAKELU

Tiedotetaan sähköpostilla:
(24)
(8) Johtoryhmä
(12) Hallitus

1 POISSAOILOILMOITUKSET

Matti Tikka, Esa Ruonala ja Esa Vakkilainen ilmoittivat ennen kokousta olevansa estyneitä. Esa Vakkilaisen sijaisena oli yhdistyksen sihteeri Sebastian Kankkonen.

2 ASIALISTA

Asialista hyväksyttiin muutoksitta.

3 EDELLISEN KOKOUKSEN MUISTIO

Muistio hyväksyttiin muutoksitta.

4 LASKUTUS 2005

VTT Jyväskylän osuus on vielä auki.

5 PROJEKTISUUNNITELMAT

Käynnissä tai käynnisteillä on tutkimushankkeet Åbo Akademin, VTT:n ja Oulun Yliopiston kanssa. Vesiosuus on aloittamatta.

6 PROJEKTIBUDJETTI

Budjettitilanne on esitetty liitteessä I.

Projekti on aikataulullisesti hieman jäljessä, mutta rahallisesti projekti on linjassa.

7 TILATUT/TILATTAVAT TYÖT

Oulun Yliopistolta on tilattu kirjallisuusselvitys soodakattilan massauksesta ja muista keraamisista rakenteista. Hallitus hyväksyi tämän työn tilaamista osana SoTu II – projektia hintaan 12 984 € + alv. Projekti valmistuu joulukuussa 2005.

Reijo Hukkanen on pitänyt Oulun Yliopiston tutkijoiden kanssa aloituspalaverin 1.9.2005. Työ raportoidaan suullisesti Soodakattilapäivillä.

Tilattavia töitä on VTT:n tarjoama vesiosuus.

8 ÅÅ LABORATORIOKOKKEET

Åbo Akademin laboratoriokokeet on tehty. Bengt-Johan Skrifvars esitteli tuloksia (liite II).

Kehitetty menetelmä havaittu hyvin toimivaksi. Eräs ongelma on kuitenkin se, että kokeessa ei voitu mitata, kuinka paljon oksidikerrosta on hilseillyt pois. Lisäksi Cl voi höyrystyä pois korkeissa lämpötiloissa (>550°C).

Loppuraporttiin odotetaan kommentteja syyskuun loppuun mennessä.

9 VTT:N SULFIDOINTIKOKEET

VTT:n Liisa Heikinheimo ja Pekka Pohjanne esittelivät VTT:n tuloksia (liitteessä III). Lisälaskua 38 000 € ei ole vielä lähetetty.

VTT ei ole vielä toimittanut loppuraporttia sulfidoitumiskokeista.

10 VTT:N SONDILASKELMAT/SUUNNITELMAT

VTT:n Timo Leino Jyväskylästä oli paikalla kertomassa mahdollisista sondikokeiden laskennallisista tarkasteluista (liite IV).

Sondin suunnittelusta ja tarvittavista sondikokeista tekee VTT:n Markku Orjala tarjouksen. Yhdistyksen tavoite ei ole osallistua sondin valmistuskustannuksiin, vaan ainoastaan mittauskustannuksiin.

Johtoryhmä keskusteli lämmönsiirtonesteen lämmönjohtavuudesta ja sessiratkaisusta.

Reijo Hukkanen jatkaa yhteistyössä VTT:n kanssa sondin suunnittelua.

11 MUUT ASIAT

Vesiosuutta käsitellään 8.9.2005 KTR:n kokouksessa.

LTY:n sondikoeosuus on päättynyt, tavoitteisiin ei päästy. Tehty työ kuitenkin maksetaan.

12 SEURAAVA KOKOUS

Seuraava kokous pidetään maanantaina 27.10.2005 kello 10.00 alkaen Sandvikin tiloissa (Robert Huberintie 1).

Vakuudeksi

Sebastian Kankkonen

LIITE I

Budjetti

SoTu2 - Budjetti	Tutkimuslaitokset		VTT	OY	LTY	Pienyritykset	Intressi	Muut	Electrowatt	Muut	
	Åbo Akademi	TKK				Boildec	JP	KCL			
Ennen 1.9.2004:			20300,00			13575,00	28570,00			14,00	62459,00
14.9.2004						547,58					
15.9.2004						3375,00					
15.9.2004					28850,00						
16.9.2004							3935,00				
27.9.2004						424,23					
30.9.2004								13714,00			
6.10.2004							5407,50				
15.10.2004						3375,00					
8.11.2004						140,00					
9.11.2004							4200,00				
9.11.2004						12000,00					
15.11.2004						3375,00					
23.11.2004										511,84	
30.11.2004	60000,00										
30.11.2004			10000,00								
7.12.2004							2115,00				
22.12.2004			18375,00								
30.12.2004							2872,80				
5.1.2005									8350,00		
7.1.2005							1357,50				
15.2. asti	60000,00	0,00	28375,00	0,00	28850,00	23236,81	19887,80	13714,00	8350,00	511,84	182925,45
24.2.2005							3127,50				
3.3.2005							1147,50				
8.3.2005					13812,93						
7.4.2005							1680,00				
14.4.2005								540,00			
14.4.2005								3500,00			
11.5.2005					11748,98						
2.6.2005			6000,00								
7.6.2005							2930,00				
7.6.2005							1185,00				
6.7.2005							2955,00				
10.8.2005							451,41				
30.8.2005	60000,00										
30.8.2005	60000,00										
30.8.2005			55125,00								
16.9.2005							600,00				
16.9. asti	120000,00	0,00	61125,00	0,00	25561,91	0,00	14076,41	4040,00	0,00	0,00	224803,32
											YHT:
											470187,77

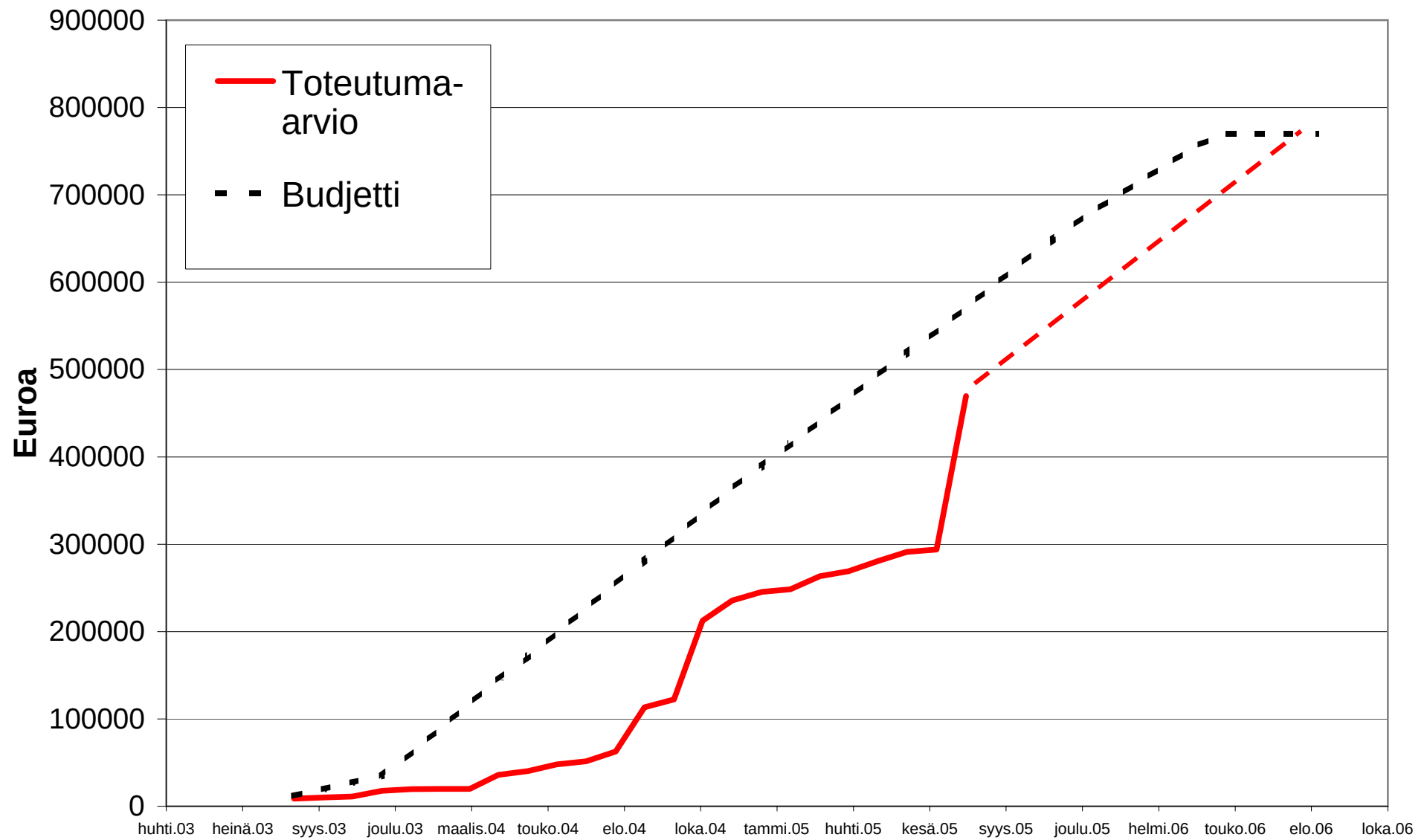
Tilattuja töitä

60000

12984

Positiokustannus

					Tilattu		Tilaamatta			
Nimi		Tekijä	Valvoja	Työkk	2003	2004	2005	2006 (1-4)		
Epäpuhtauskemial										
Tehtävä 1	Tausta-aineiston päivitys	KCL tilattu	LTR	1	4040					4040
Tehtävä 2	Vierasainepitoisuuserojen tarkastelu	KCL tilattu	LTR	4	13714					13714
Tehtävä 3	Suolanpoistomenetelmien tehokkuus	KCL/VTT/ÄA	LTR	5			5000	16000		21000
										38754
Tulistinkorroosio ja materiaalivalinta										
Tehtävä 4	Kloorin ja kaliumin käyttäytyminen tulistimissa	ÄA tilattu	LTR+KTR	30		40000	40000	16667		96667
Tehtävä 6+7+8	Laboratoriokokeet tulistinkorroosion tutkimiseksi	ÄA tilattu	KTR	30		40000	40000	16667		96667
Tehtävä 9+10+11+12	Tulistinkoroosion sondikokeet	ÄA tilattu	KTR	30		40000	40000	16667		96667
										290000
Tulipesäkorroosio ja materiaalitekniikka										
Tehtävä 13	Materiaalikokeiden suunnittelu	TKK/VTT tilattu	KTR	5		20000				20000
Tehtävä 14+15+16+17	Laboratoriokokeet tulipesäkorroosion tutkimiseksi	TKK/VTT	KTR	17						0
	Sulfidoitumiskokeet	VTT tilattu	KTR	8		54500				54500
	Sulfidoitumiskokeet lisäosa	VTT tilattu	KTR				38000			38000
Tehtävä 18	Soodakattilan tulipesän alaosan korrosion kenttätutkimus	LTY tilattu	KTR	14		28850				28850
Tehtävä 20+21	Materiaalien korroosionopeus tulipesässä	LTY tilattu	KTR	14			25562			25562
	Vesipesun ja mustalipeän vaikutus	VTT tilattu	KTR			19000				19000
Tehtävä 22	Lämpökuorman mittaus ja vaikutuksen arviointi	TKK/VTT	KTR	7			0			0
	Soodakattiloiden savukaasujen mittaukset tulipesistä	EE tilattu	KTR	2		8350				8350
										194262
Korroosiomateriaalit										
Tehtävä 24	Uudet materiaalit esilämmityspinnoilla	TKK/VTT	KTR	5			0			0
Tehtävä 25	Materiaalien käyttösuositus	TKK/VTT	KTR	10			25000			25000
Tehtävä 26	Prosessiteknisten ratkaisujen kehittäminen	TKK/VTT	KTR	7						0
	Soodakattilan massus ja muut keraamiset rakenteet	OY tilattu	KTR				12984			12984
										25000
Vesi-höyrykierto osuusasiat										
Tehtävät 27	Konventionaalisissa lieriökattiloissa käytetyt ajotavat	Boildec tilattu	RH	6		12000				12000
Tehtävät 28+30	Vesi-höyrykierrot voimalaitoksissa selvitykset	OY/VTT	RH	6			6000			6000
	Vesipuolen jännityskorroosio	VTT	RH	2		12000				12000
Tehtävät 29	Ioninvaihto lauhteenpoistossa	Di-työ	RH	6		24000				24000
Tehtävät 31+32+33	Lauhteenkäsittelyn puhdistustuloksen parantaminen	OY/VTT	RH	12			15000			15000
Tehtävät 35+36+37	Vesihöyrykierron kemikaalit	VTT	RH	15			27000	4000		31000
Tehtävä 38	Lauhteenkäsittelyn kytkentäsuositus	OY/VTT	RH	6			0			0
Tehtävä 39	Jalometallinen vesikemia esiselvitys	OY/VTT	RH	2						0
Tehtävä 40+41	DENÄ-Vedenlaatusuositukset	VTT/Jaakko Pöyry/Boildec	RH	14			25000			25000
										125000
Muut (varaus)		TKK/ÄA/OY/TTY		7			2900			2900
Koordinointi										
Tehtävä 42	Muu kansainvälinen yhteistyö	TKK/ÄA/OY/TTY					3000			3000
Tehtävä 43	Koordinointityö	Vakkilainen/Jaakko Pöyry		10	17249	29339	14000	8000		68588
Tehtävä 44	Muut menot; Kokoukset, painatus, yms.	Valopaino/Jaakko Pöyry			0	512	5000	4000		9512
Yhteensä				275	35003	328551	324446	82000		770000
Rahoitus										
					2003	2004	2005	2006 (1-4)		
	Andritz					25000	25000	5000		55000
	Kvaerner Power					25000	25000	5000		55000
	Metsä-Botnia					25000	25000	5000		55000
	Stora Enso					25000	25000	5000		55000
	UPM-Kymmene					25000	25000	5000		55000
	Sandvik Steel					25000	25000	5000		55000
	Soodakattilayhdistys ry				5000	25000	25000	0		55000
	Tekes 50 %					164276	162223	58502		385000
				0	5000	339276	337223	88502		770000



LIITE II

Åbo Akademin tuloksia

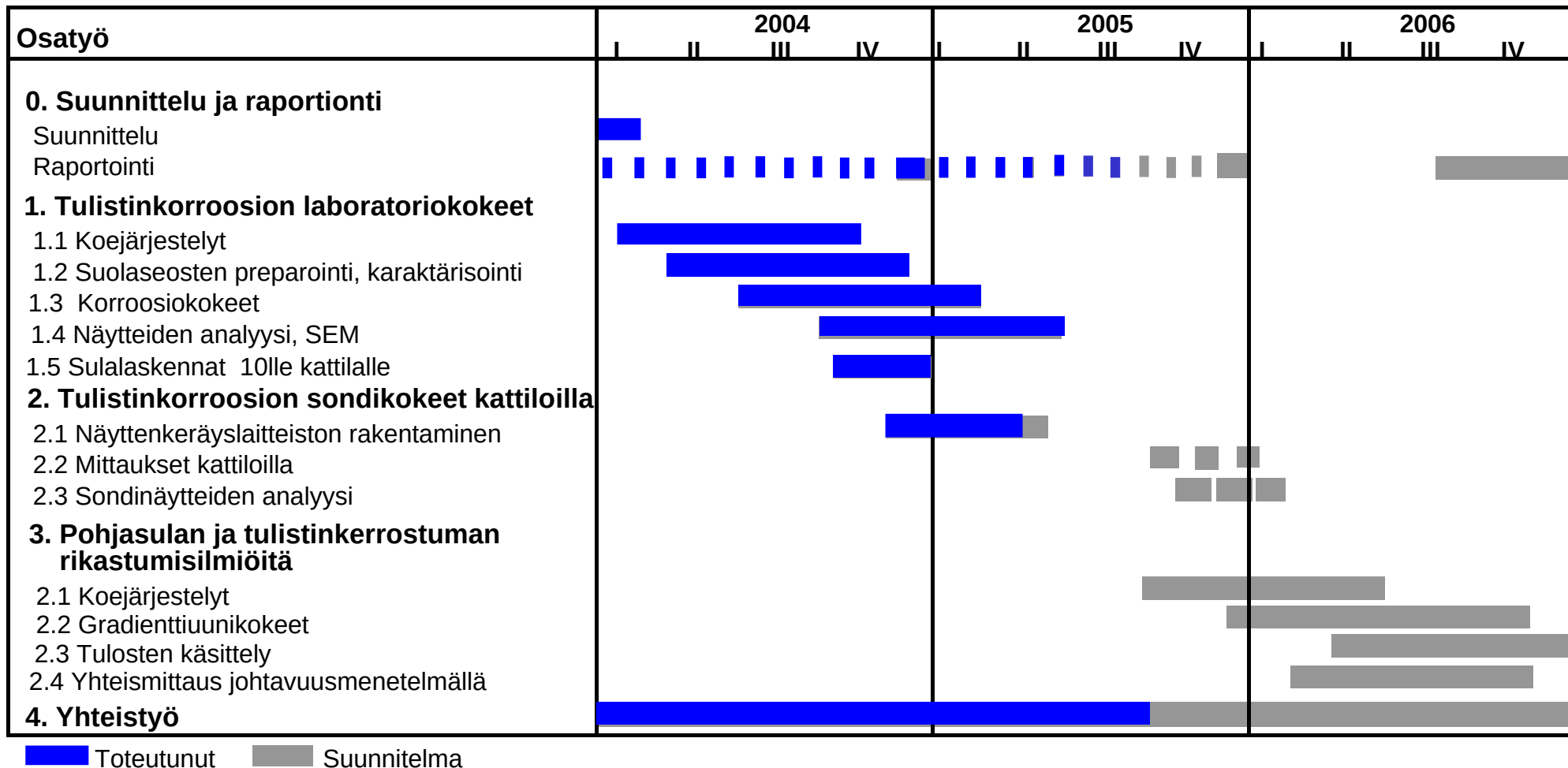


Soodakattilan savukaasupuolen korroosiokemia korkeilla höyryarvoilla (SOTU projekti)

Åbo Akademi
B-J Skrifvars, M. Hupa

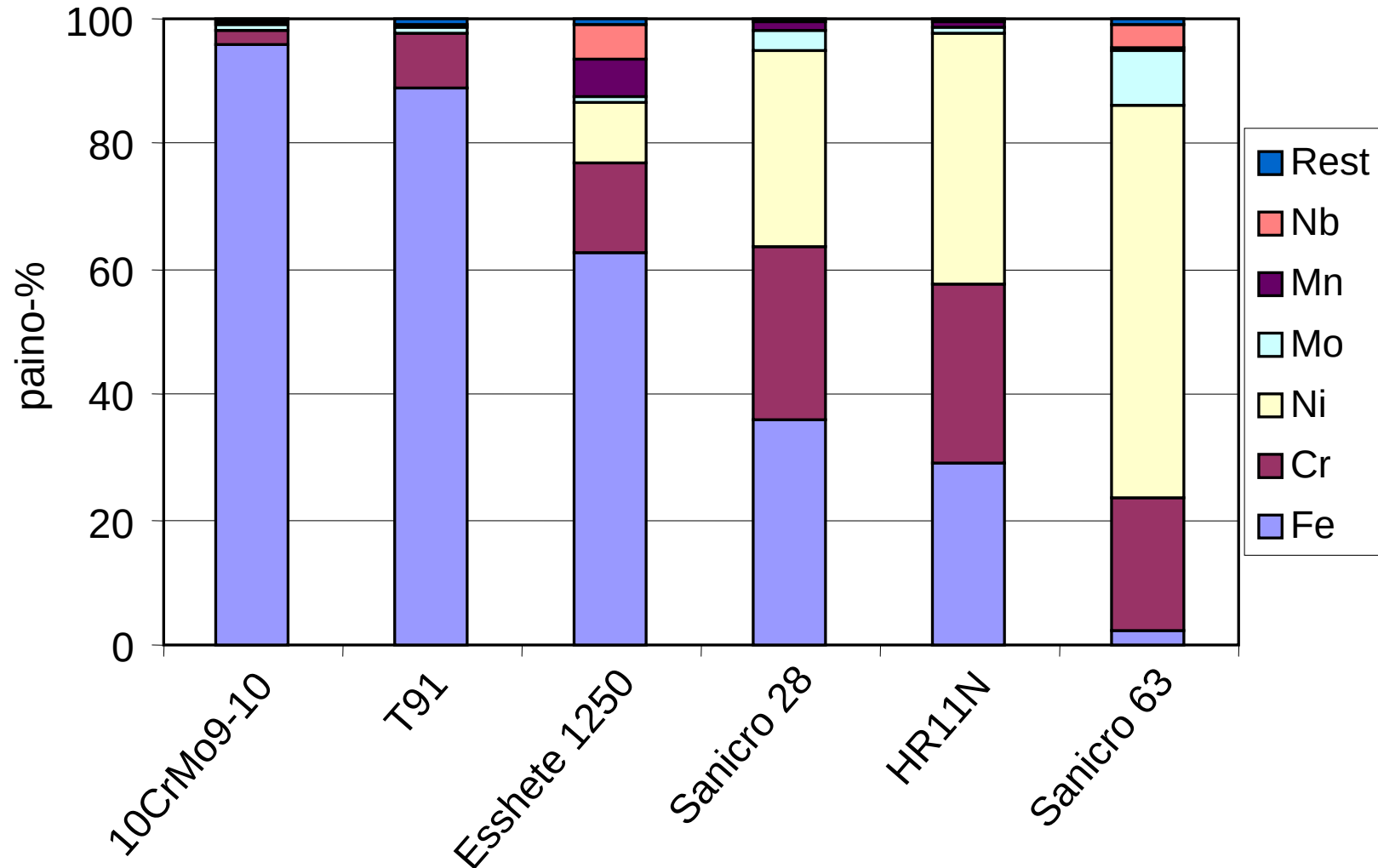
Johtoryhmäkokous 5.9.05, Vantaa

Tilanne 31.8.05





Teräslaadut



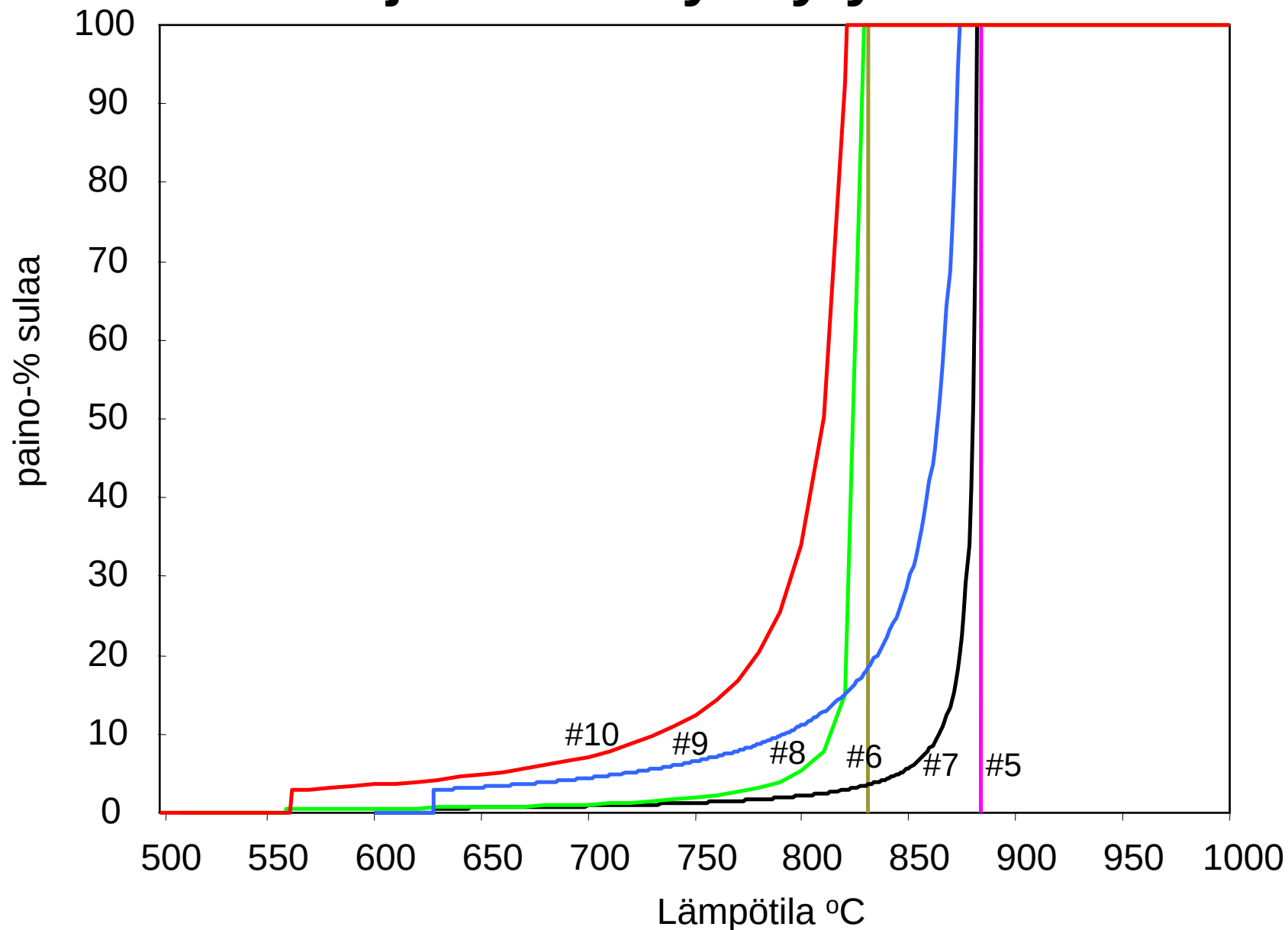


Suolat

Tuhka	5	6	7	8	9	10
	paino-%					
Na⁺	32.37	24.77	32.40	24.79	32.52	24.88
K⁺	0.00	10.53	0.00	10.54	0.00	10.58
SO₄²⁻	67.63	64.69	67.35	64.42	66.20	63.31
Cl⁻	0.00	0.00	0.29	0.25	1.29	1.25
T_{0, DTA}	884°C	834°C	625°C	526°C	621°C	522°C

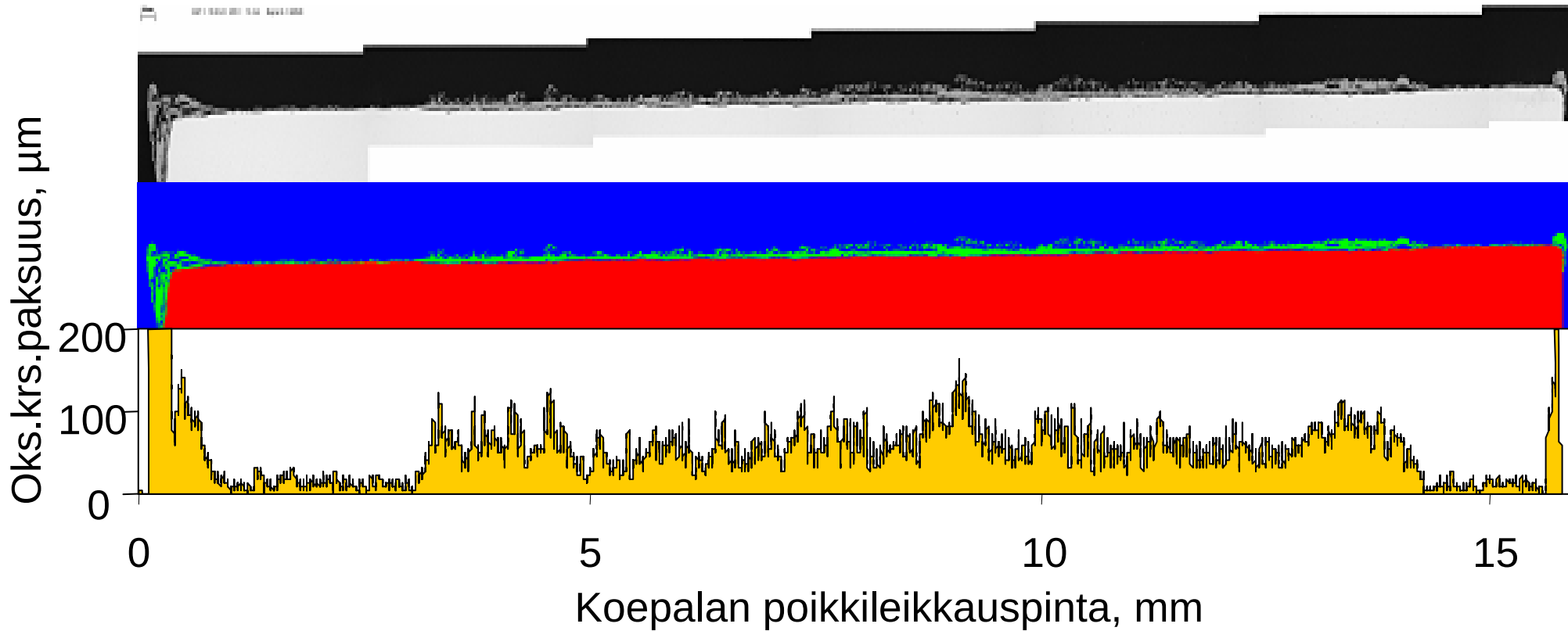


Suolojen sulakäyttäytyminen



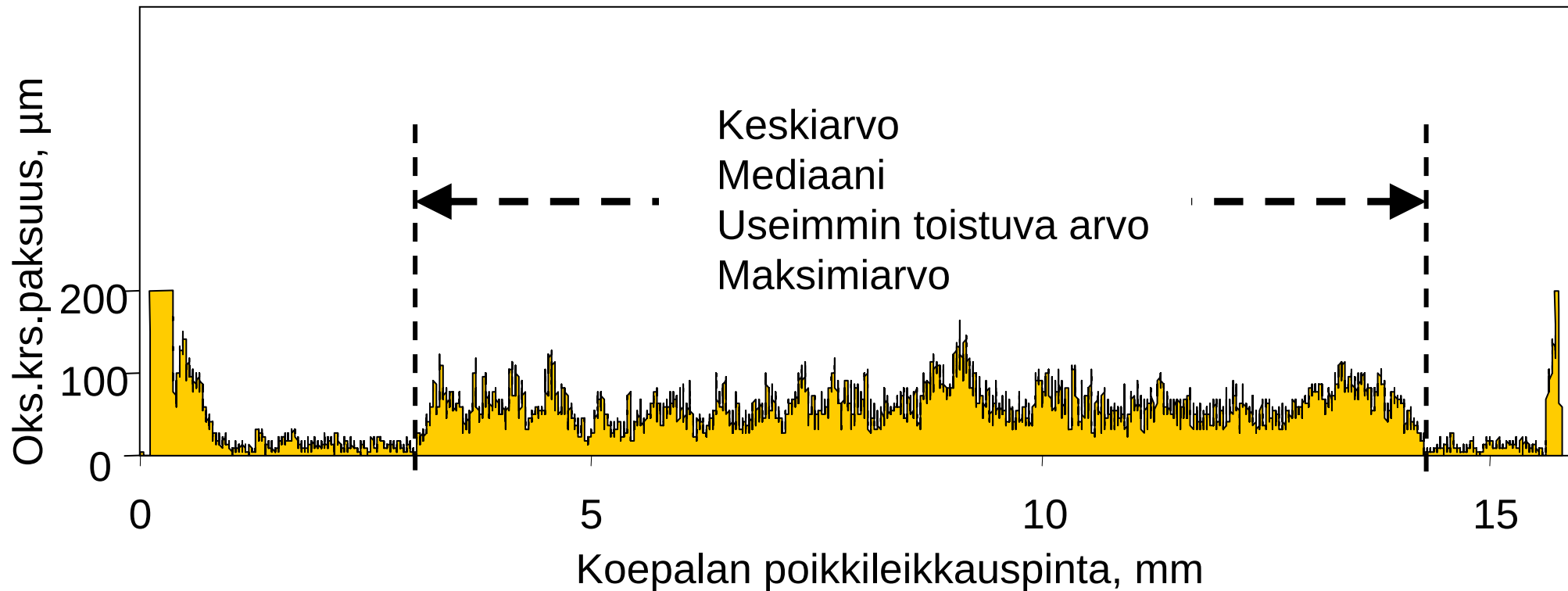


Oksidikerrospaksuuden määrittäminen





Oksidikerrospaksuuden määrittäminen

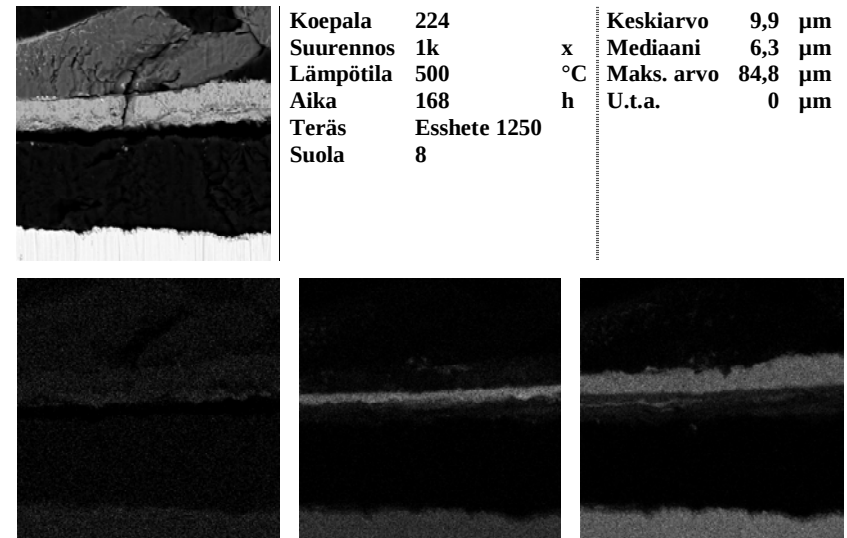


Tulokset

Liitteessä 1, numeroarvoina
juoksevassa koenumerojärjestyksessä

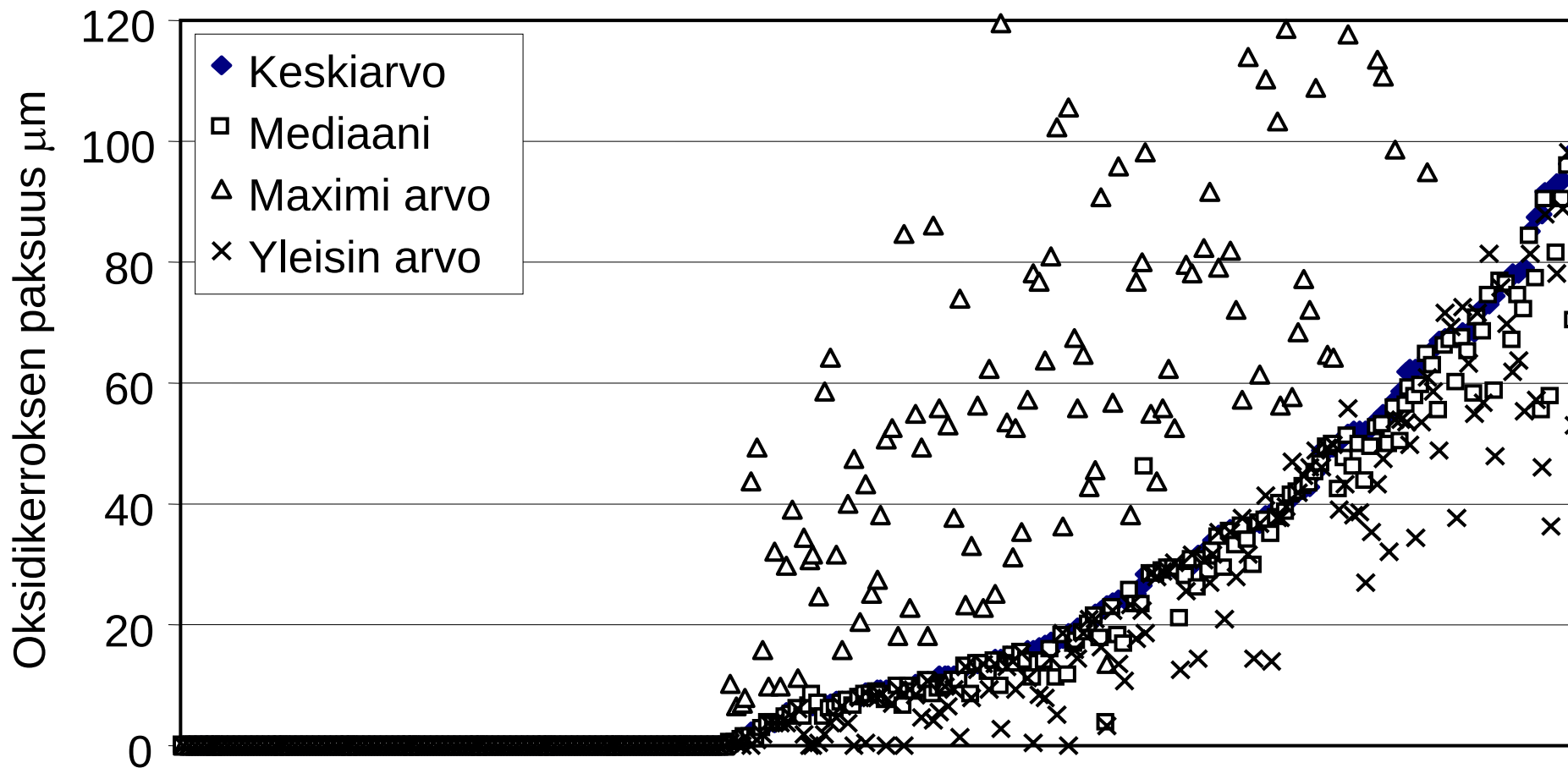
Koe nr	Lämpötila [°C]	Aika [h]	Teräs	Suola	Keskiarvo [µm]	Mediaani [µm]	Maksim iarvo [µm]	Useimmin toistuva arvo [µm]
...								
...								
11	600	72	T91	5	0.0	0.0	0.0	0.0
12	600	72	T91	5	0.0	0.0	0.0	0.0
13	600	72	T91	-	0.0	0.0	0.0	0.0

Liitteessä 2, SEM-kuvina ja EDS karttoina



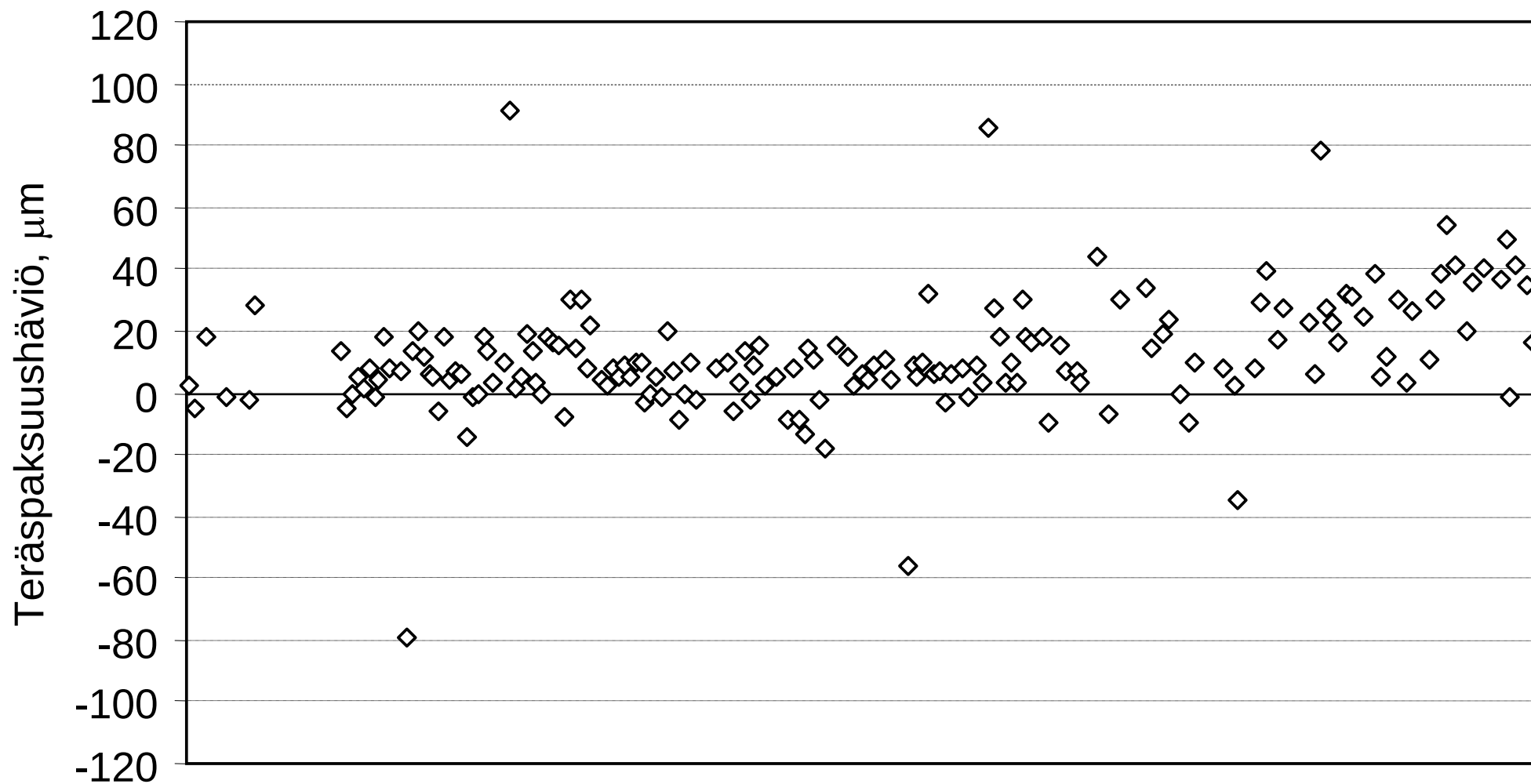


Oksidikerrospaksuusarvot



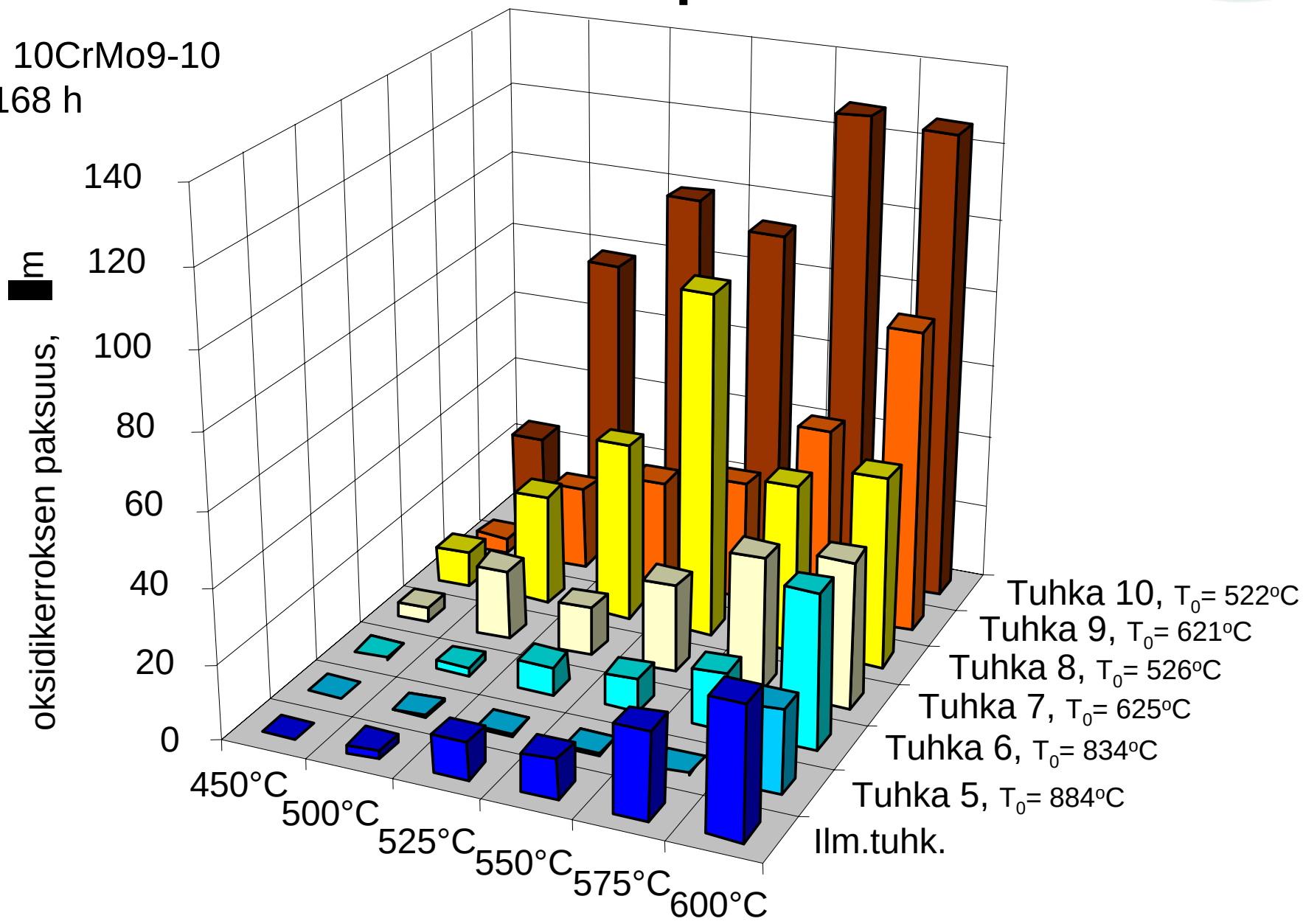


Mitatut materialihäviöt



Teräs: 10CrMo9-10

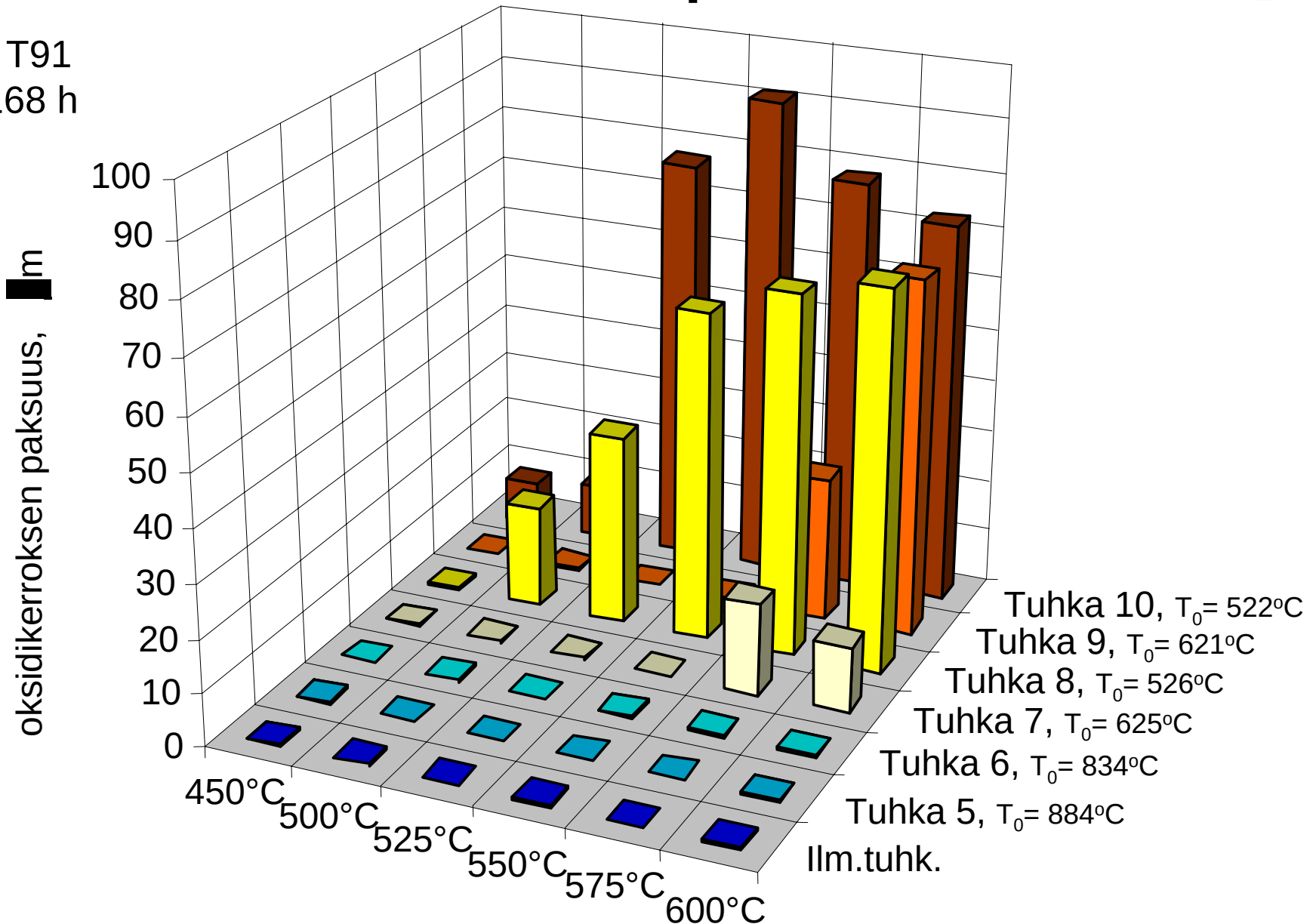
Aika: 168 h





Oksidikerrosten paksuudet

Teräs: T91
Aika: 168 h

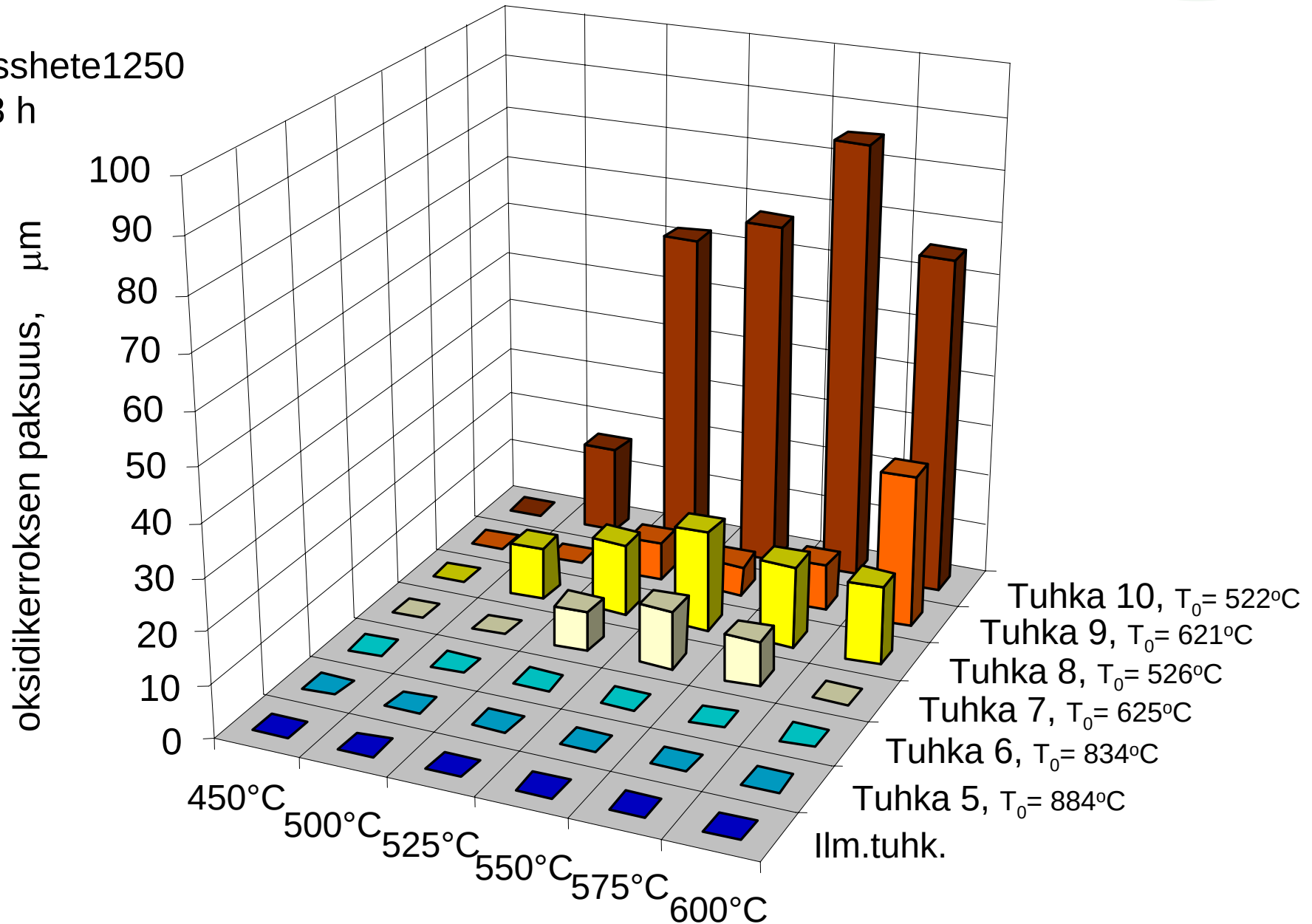




Oksidikerrosten paksuudet

Teräs: Esshete1250

Aika: 168 h

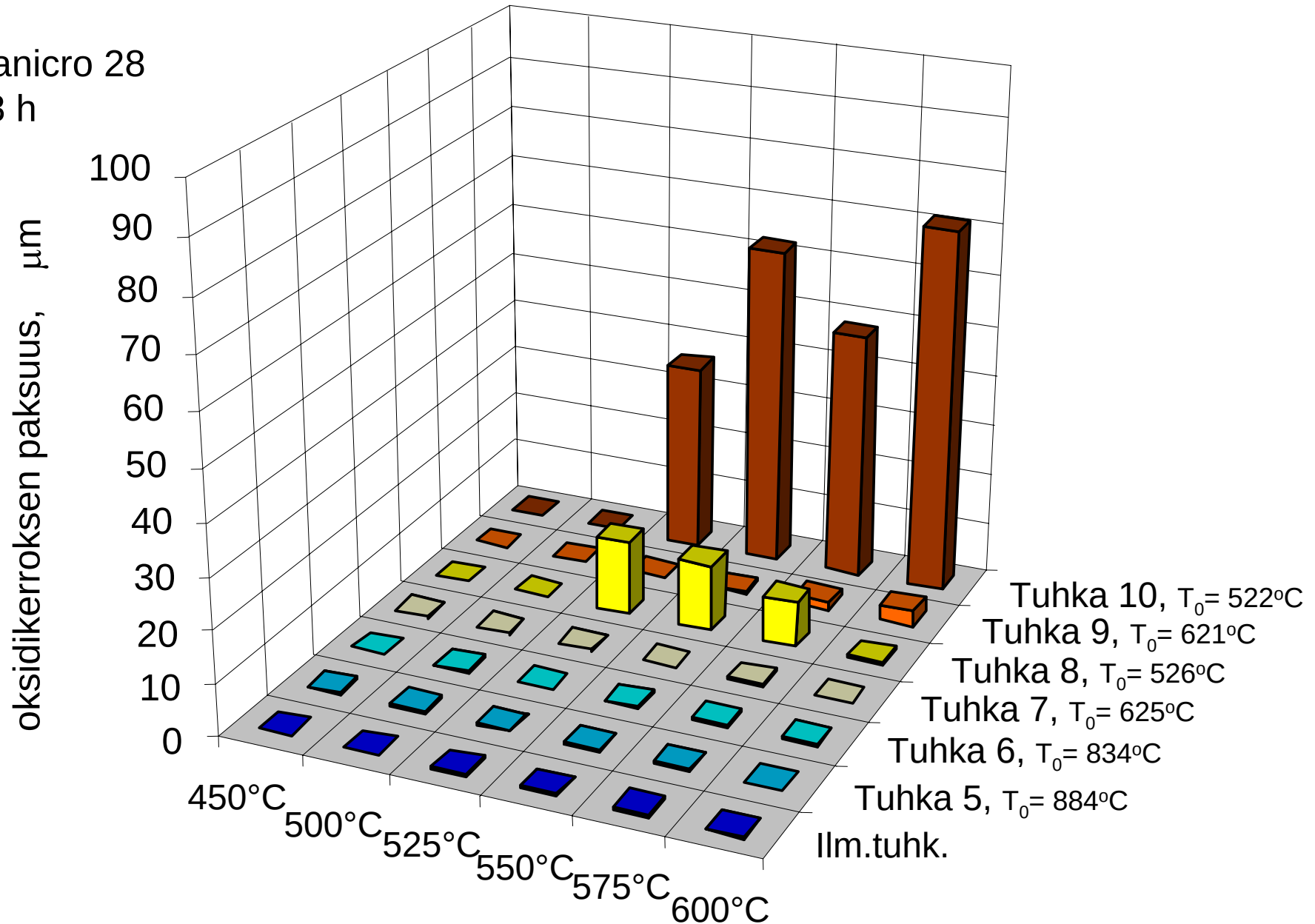




Oksidikerrosten paksuudet

Teräs: Sanicro 28

Aika: 168 h

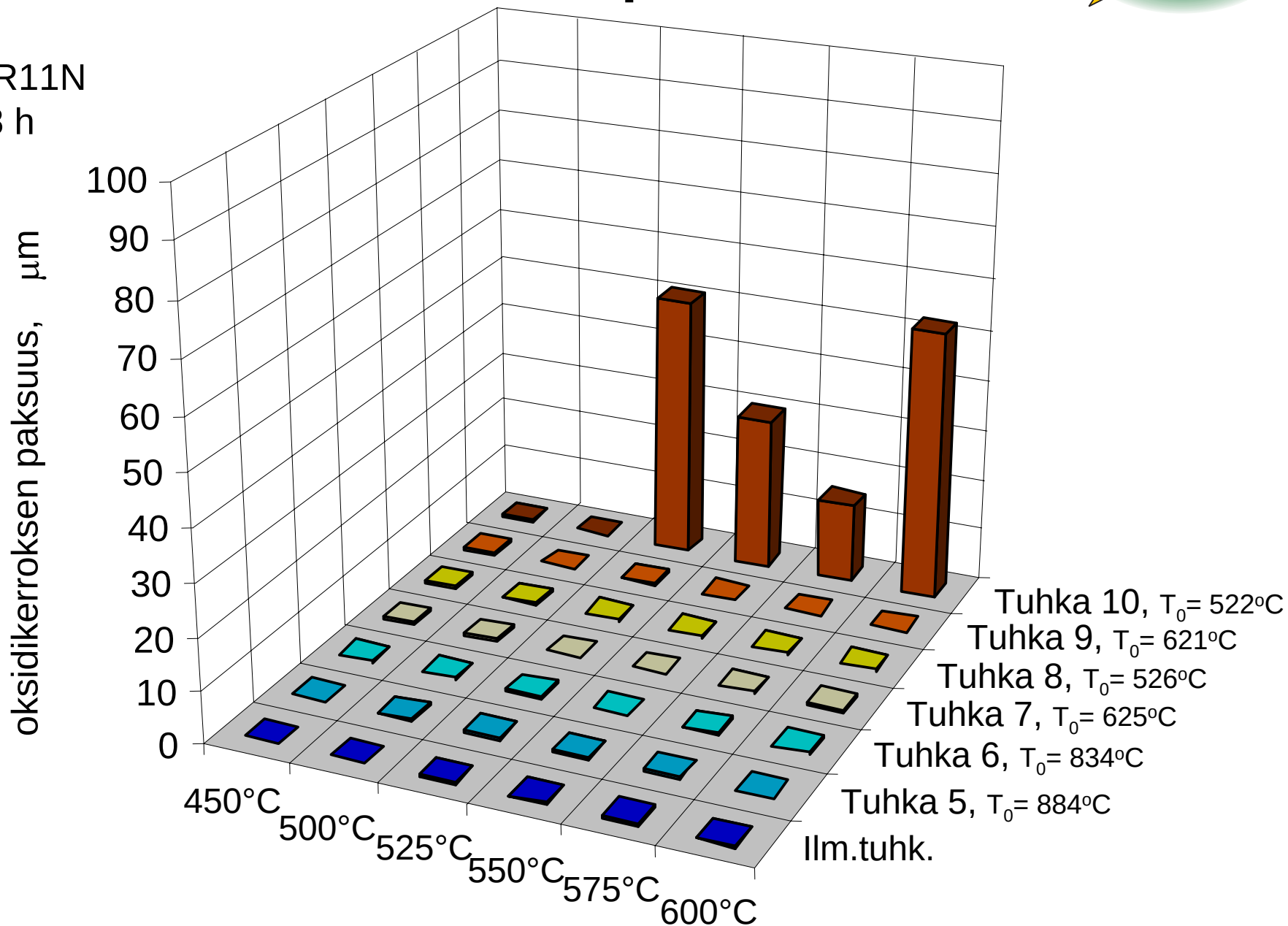




Oksidikerrosten paksuudet

Teräs: HR11N

Aika: 168 h

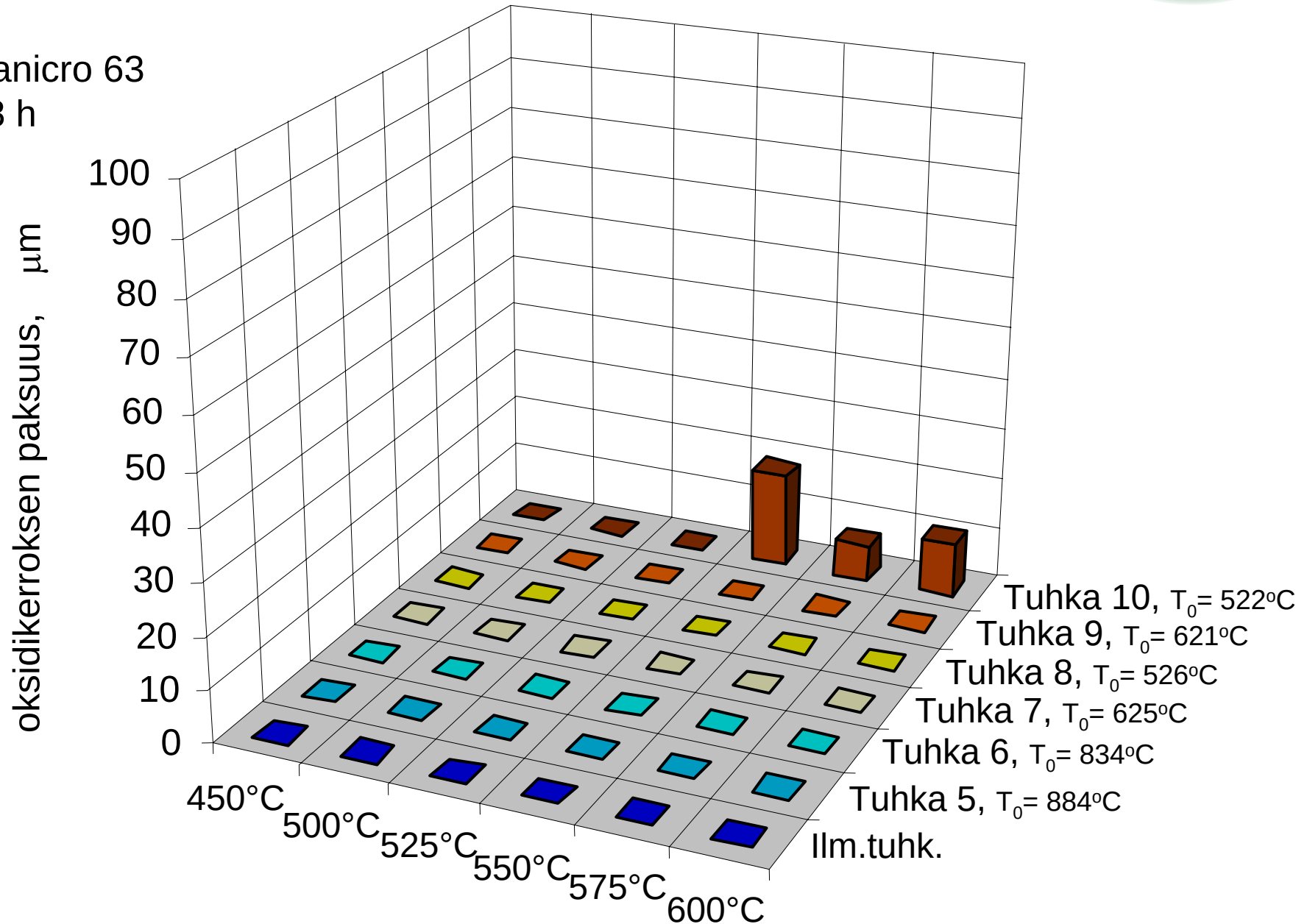




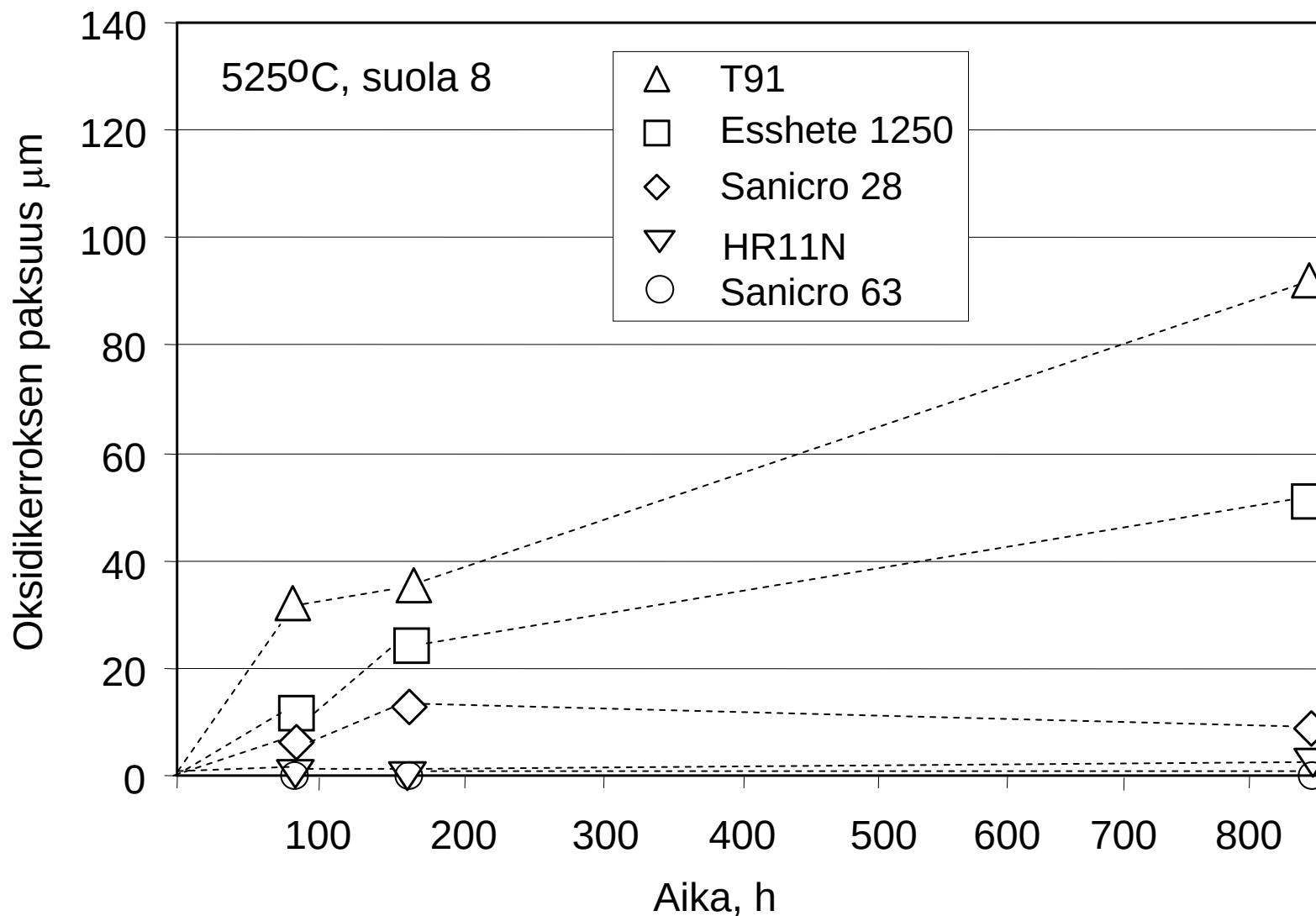
Oksidikerrosten paksuudet

Teräs: Sanicro 63

Aika: 168 h

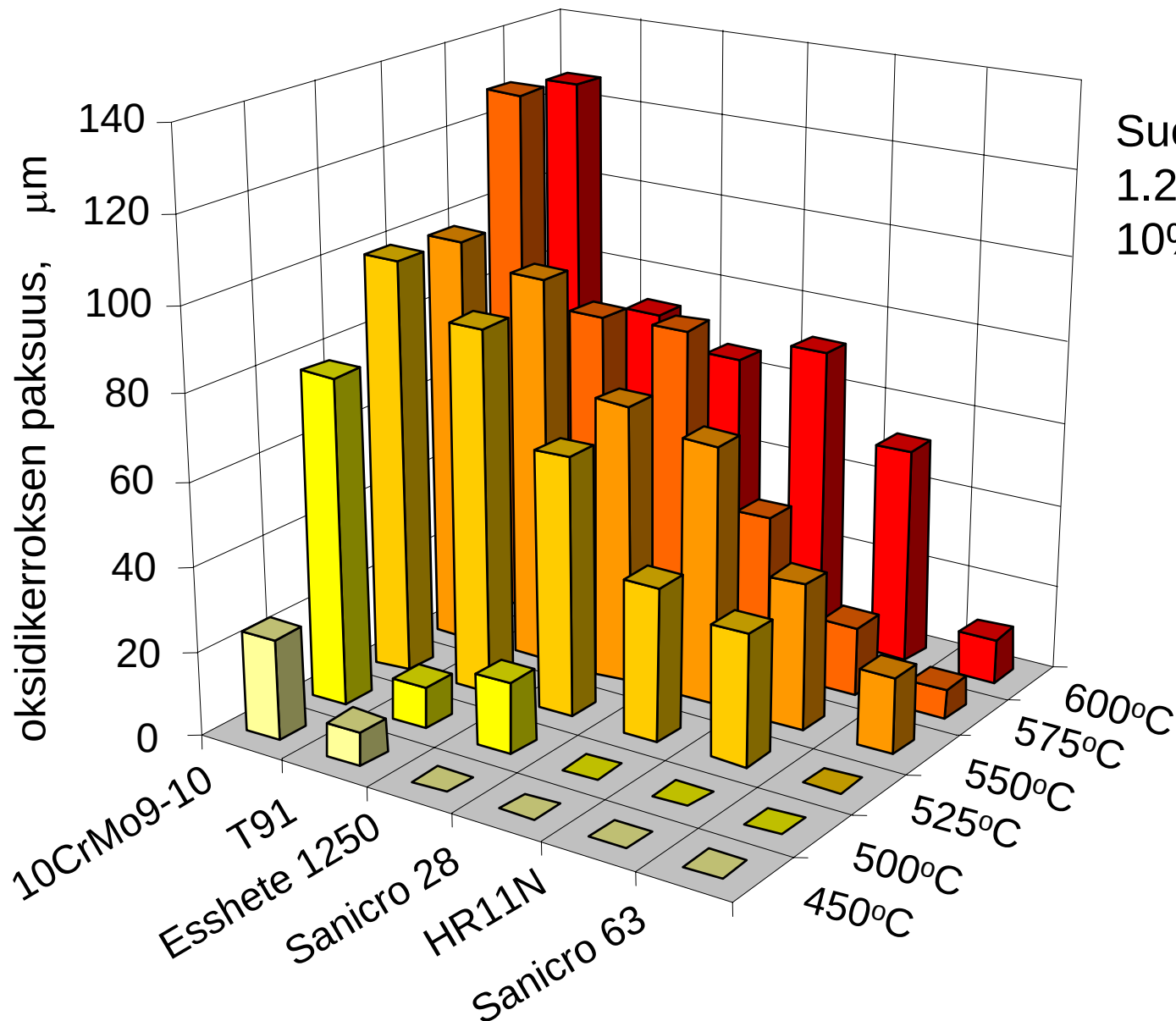


Oksidikerroksen paksuus vs aika



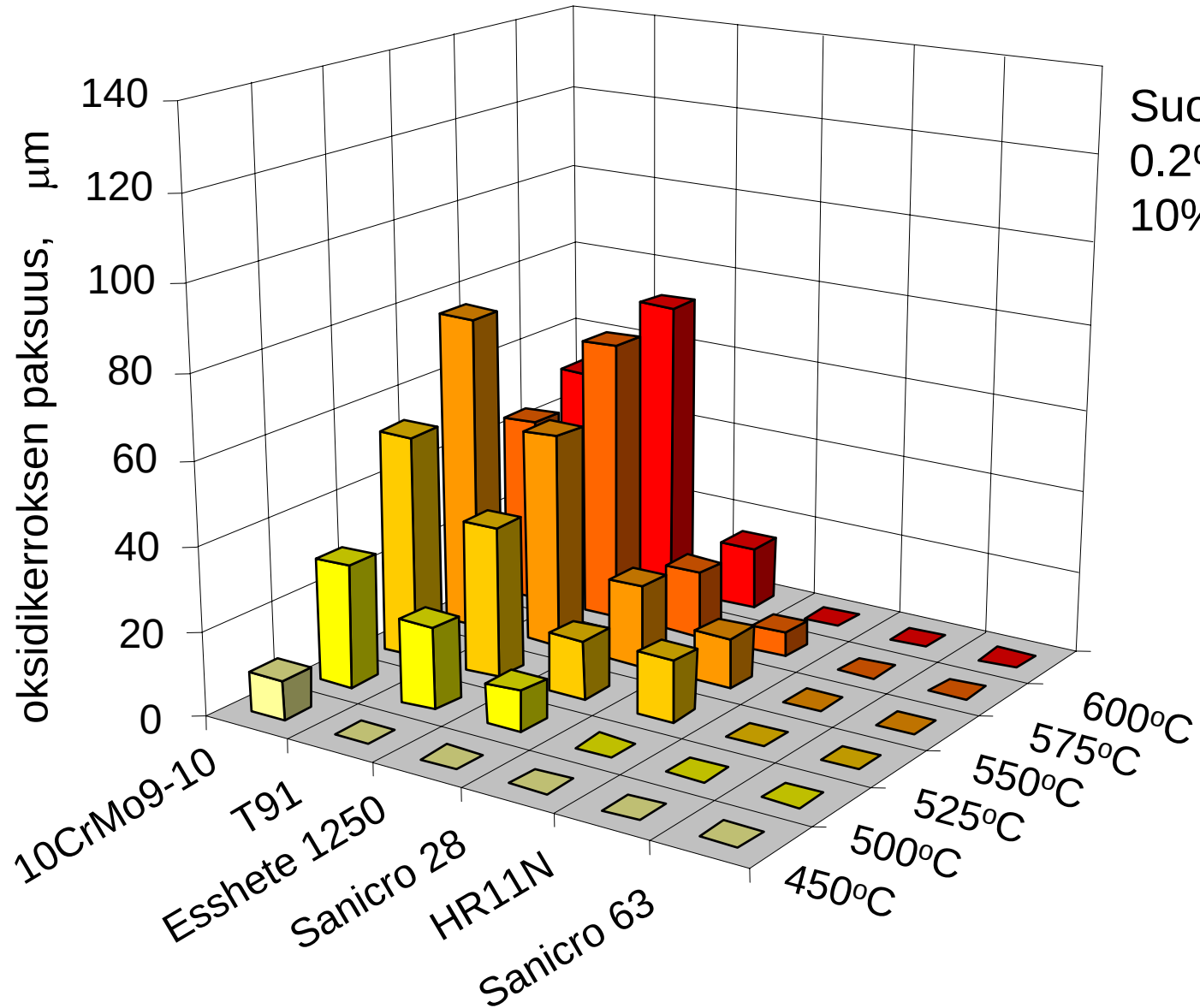


Oksidikerrosten paksuudet



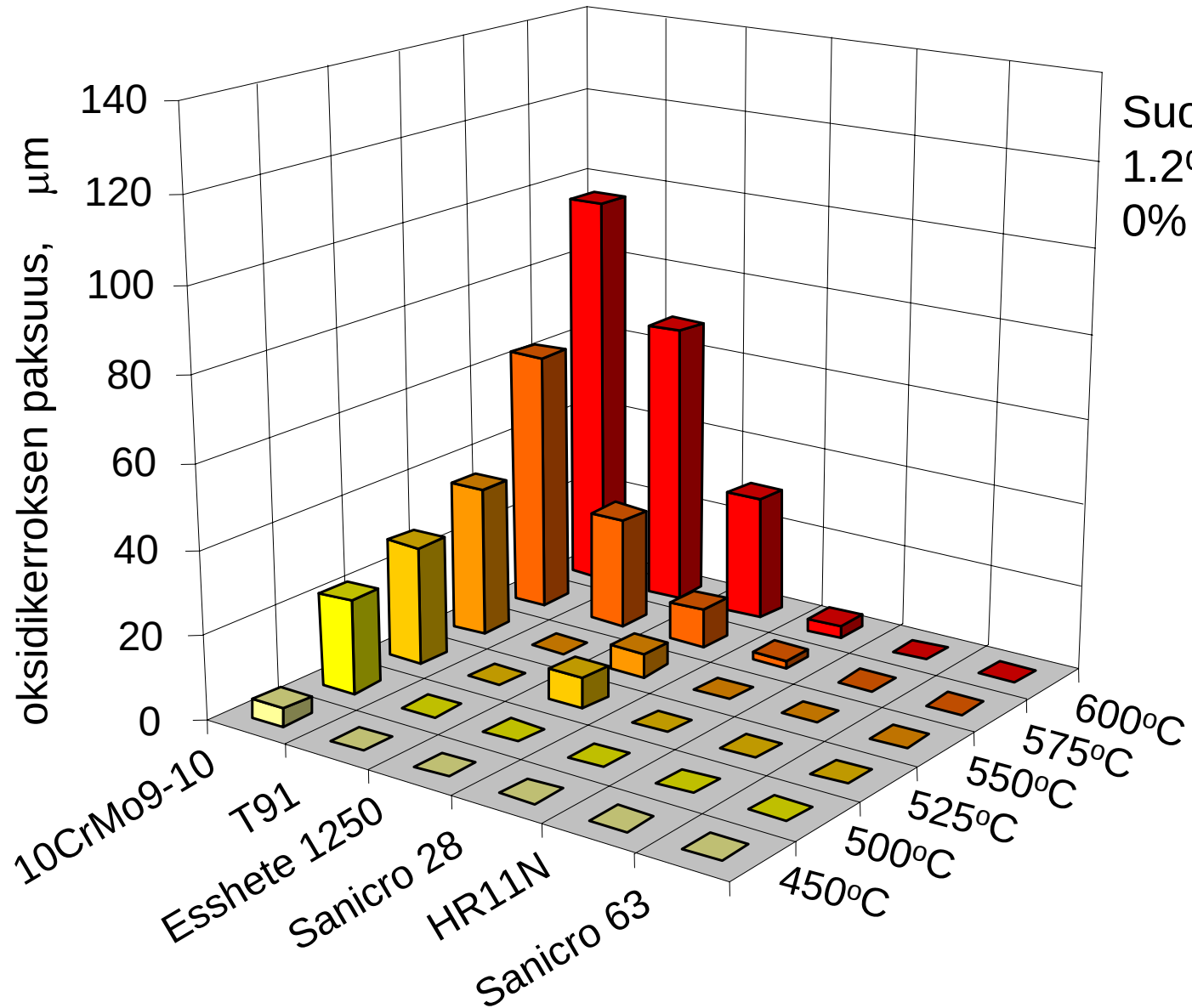


Oksidikerrosten paksuudet



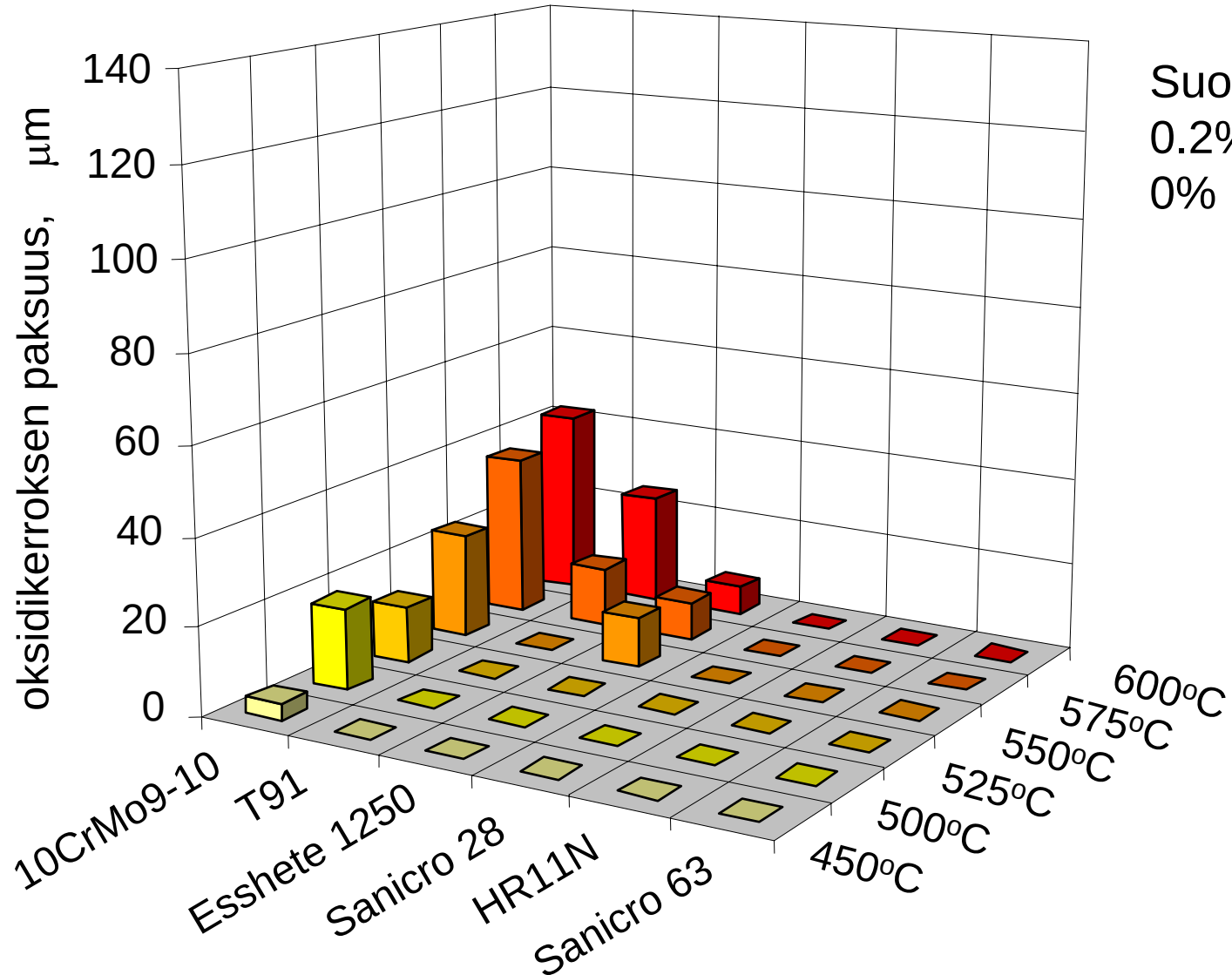


Oksidikerrosten paksuudet



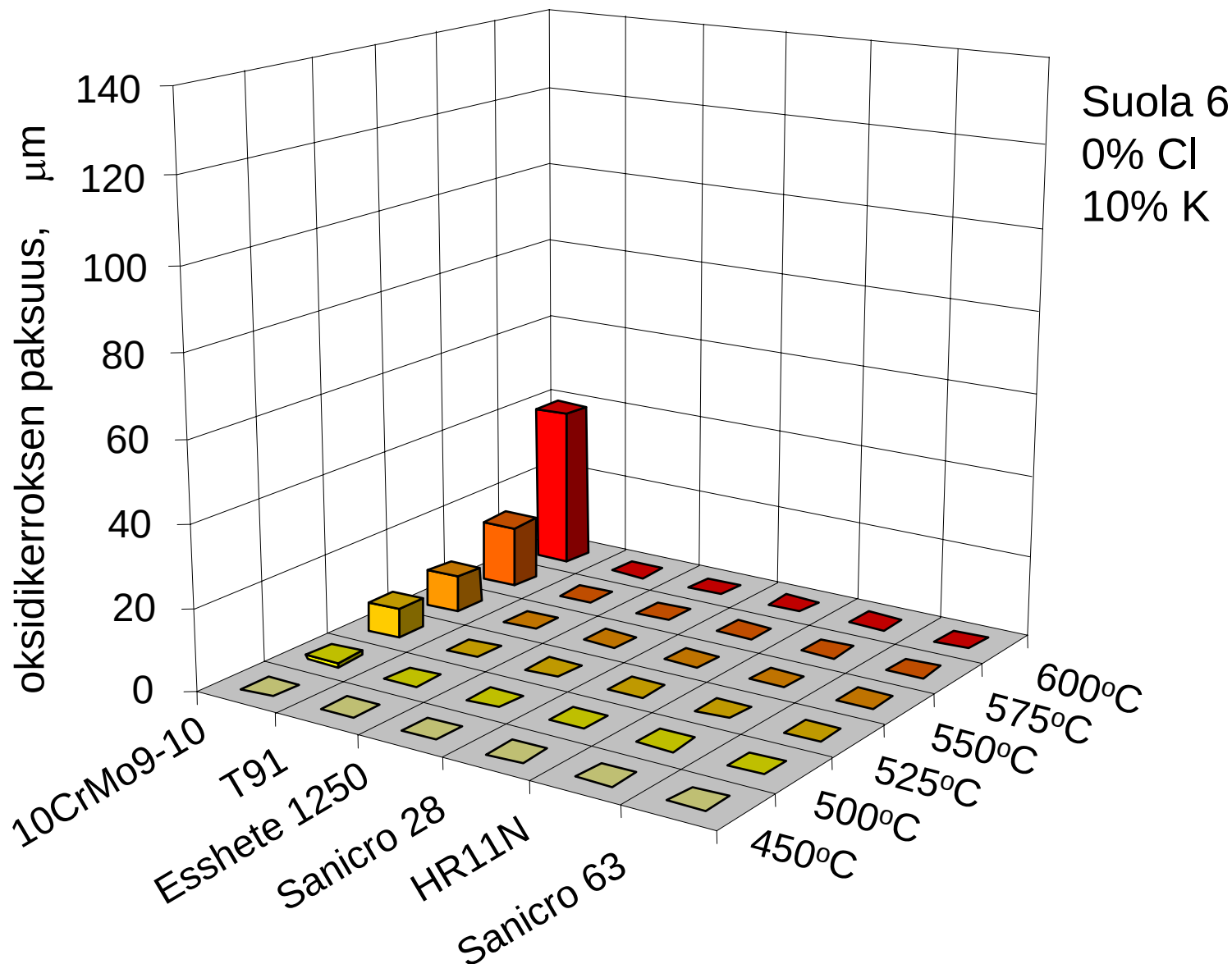


Oksidikerrosten paksuudet



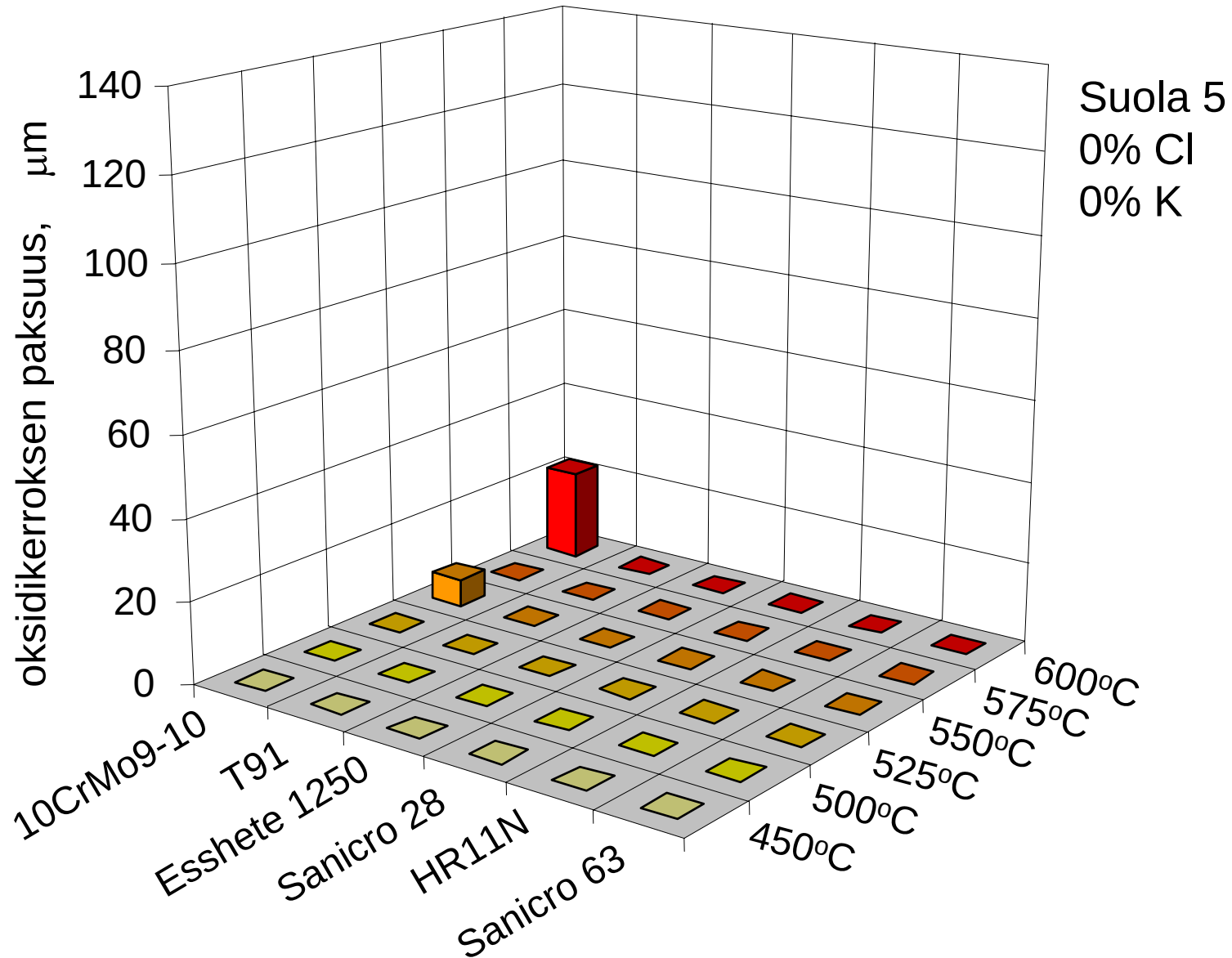


Oksidikerrosten paksuudet





Oksidikerrosten paksuudet





Johtopäätöksiä

- Menetelmä
antaa toistettavia tuloksia
raskaskäyttöinen, voidaan luultavasti keventää
- Puhdas Na_2SO_4 ei aiheuttanut korroosiota
ei myöskään kaliumin kanssa (10 % K)
- Kloorin lisäys antoi suuren eron
1.2 % Cl ja 10 % K johti kaikkien terästen korroosioon
viimeistään kun lämpötila nousi 550°C
- Tehdasmittaukset antavat lisää varmuutta tuloksiin
- SEM kuvat ja EDX analyysit (Liite 2) antavat mahdollisuuden
tutkia mekanismeja tarkemmin

LIITE III

VTT:n tuloksia



SOTU 2 – VTT:n tuloksia/tilanne

Liisa Heikinheimo, Pekka Pankakoski, Pekka Pohjanne, Tuomo Kinnunen, Sanni Mustala
31.08.2005



Sisältö

- Sulfidoitumiskokeet
 - tilanne
 - tulokset
- Mustalipeäkokeet



Koematriisi tammikuu 2005

LT H ₂ S pitoisuus	320°C	360°C	400°C	440°C	materiaalit	Yhteensä
1000 vppm	X		X		304L, Sanicro 38, Sanicro 36Mo, Sanicro 65 ja 4C54 (HR11N)	
0% H ₂ O						
15% H ₂ O	X	X	X	X		
500 vppm	X		X			
0% H ₂ O						
15% H ₂ O	X	X	X	X		
koeaika*	150 & 300 h	150 & 300 h	150 & 300 h	150 & 300 h		
Kokeet* yht.	8	4	8	4		24
Uunijojen määrä**	4	2	4	2		12
Näytteiden lkm.***	40	20	40	20		120

* yhdessä uunijossa 2 näytesarjaa 150 h ja 300 h eli koetta
 ** Uunijojen määrä = 2 koetta joissa samat olosuhteet mutta eri alitusaika
 *** Näytteiden määrä: 5 seosta (+ HR11N kahteen mittaukseen), mahdollisesti 2 rinnakkaisnäytettä analysointia varten = 240 (+ 10 kpl HR11N) näytettä maksimissaan.



Koeaikataulu tammikuu 2005

	Vko										
	4	5	6	7	8	9	10	→ 39	40	41	
Koe 1a & 1b (144 & 288 h)											
Koe 2a & 2b (144 & 288 h)											
Kokeet 3-12 (kesto~34 vko)											
Mustalipeäkokeet											
Metallografia (näytteiden valm. & SEM&EDS)											
Raportointi											

Sulfidoitumiskokeet tehdään uunissa 3
 Mustalipeä kokeet tehdään uunissa 2



Koemateriaalit - tammikuu 2005

	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	W	Co	V	Ti	Cu	Al	Nb	Ta	N	Fe
304L ¹	0,011	0,35	1,23	18,32	10,2	0,43	0,02	0,07	0,06	<0,005	0,22	<0,003	<0,01	<0,005	0,06	bal
San36Mo ²	0,01	0,27	4,9	26,96	33,84	5,35	<0,01	0,003	0,056	<0,005	0,075	0,022	0,01	0,009	0,407	bal
San38 ²	0,024	0,16	0,66	19,92	38,25	2,54	<0,01	0,04	0,05	0,63	1,58	0,07	0,02		0,02	bal
San65 ²	0,029	0,23	0,27	23,7	63,8	8,6				0,29		0,19			0,01	
San69 ²	0,022	0,25	0,38	29,71	59,5	<0,01		<0,01	0,27	<0,01	0,27			0,02	0,03	bal
4C54 ³	0,19	0,47	0,69	26,59	38,28	0,03	<0,01	0,04	0,06	<0,005	0,02	<0,003	<0,01		0,18	bal
HR11N ³		<0,6	<2	27-30	38-42	0,5-1,5									0,1-0,2	24-34

¹ Koostumus materiaalin toimittajalta (SANDVIK)
² San69 ei mukana koeohjelmassa, käytetäänko mustalipeäkokeissa? (Koostumus materiaalin toimittajalta, SANDVIK)
³ Koostumus SciFinderistä

Taulukosta on poistettu seuraavat pienet pitoisuudet:
 P, S, As, Sn, B, Ca, Pb, Bi, Mg

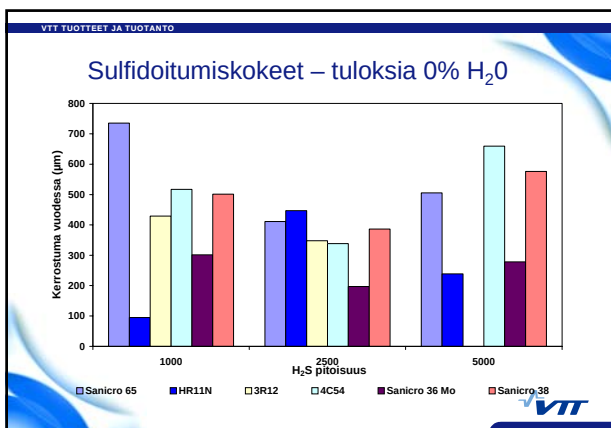
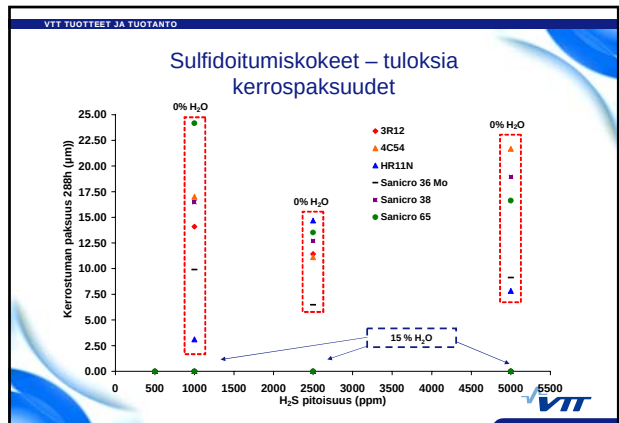
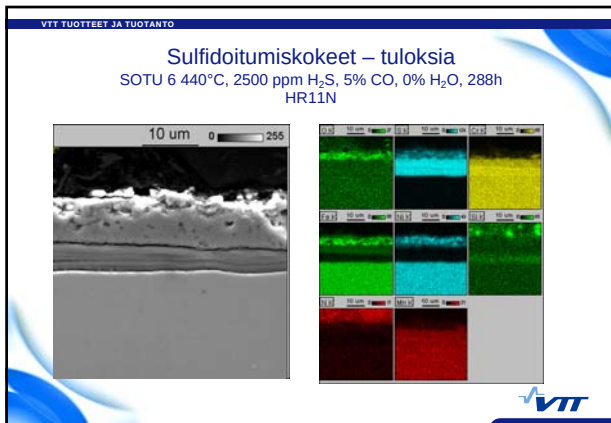
San65 määrä 140 mm dia 22 mm tankoa > ei riitä kuin 25 näytteeseen!
 HR11N rajoitettu määrä - kaksi LT



Sulfidoitumiskokeet – tilanne 31.8.2005

Koenimi	T (°C)	Aika (h)	H ₂ S (ppm)	CO (%)	H ₂ O (%)	Tilanne
SOTU 1a	440	144	500	5	15	Tehty
SOTU 1b	440	288	500	5	15	Tehty
SOTU 3a	400	144	500	5	15	Tehty
SOTU 3b	400	288	500	5	15	Tehty
SOTU 2a	440	144	1000	5	15	Tehty
SOTU 2b	440	288	1000	5	15	Tehty
SOTU 5a	400	288	1000	5	15	Tehty
SOTU 5b	400	432	1000	5	15	Tehty
SOTU 6	440	288	2500	5	0	Tehty
SOTU 7	440	288	2500	5	15	Tehty
SOTU 8	440	288	5000	5	15	Tehty
SOTU 9	440	288	5000	5	0	Tehty
SOTU 10	440	288	1000	5	0	Tehty
SOTU 11	440	288	500	5	0	Tehty





VTT TUOTTEET JA TUOTANTO

Jännityskorroosiokokeet mustalipeässä

Koeolosuhteet

- Kaasu ympäristö 10 v-% H₂O + 5 v-% CO + N₂
- 2 eri lipeää (Pietarsaari ja Rauma)
- Altistuslämpötila 400°C
- Altistusaika 4 h (kuiviin hehkutus)

Materiaalit

- AlSi 304L, Sanicro 38, Sanicro 36Mo, Sanicro 65, Sanicro 69 ja 4C54
- Näytteet yksi U-sauva/materiaali (60mm x 9mm x 1mm)
- Erilliset upokkaat

Tilanne

- Kokeet suoritettu raportointi menossa

$\sigma = 1/2R$

SOMA	l (mm)	w (mm)	t (mm)	2R (mm)	venymä, ε
102	102	15	3..5	25	0.12...0.2

SOTU	l (mm)	w (mm)	t (mm)	2R (mm)	venymä, ε
60	60	9	1	6	0.17

VTT



VTT TUOTTEET JA TUOTANTO

Jännityskorroosiokokeet mustalipeässä

Materiaali	Mustalipeä	Painonmuutos (mg)	Jännityskorroosio	Näytteiden ulkonäkö
3R12	Rauma 1	---	N	• Ohut tumma matta hapettumakerros
	Rauma 2	+0,03	N	• Ohut tumma matta hapettumakerros, paikoitellen kirkasta pintaa
	Pietarsaari	---	N	• Ohut tumma matta hapettumakerros
Sanicro 38	Rauma 1	---	N ³¹	• Ohut tumma matta hapettumakerros
	Rauma 2	+0,43	N	• Ohut tumma matta hapettumakerros, paikoitellen kirkasta pintaa
	Pietarsaari	---	N	• Ohut tumma matta hapettumakerros
Sanicro 36Mo	Rauma 1	---	N	• Ohut tumma matta hapettumakerros
	Rauma 2	+0,93	N	• Ohut tumma matta hapettumakerros, paikoitellen kirkasta pintaa
	Pietarsaari	---	N	• Ohut tumma matta hapettumakerros
Sanicro 65	Rauma 1	---	N ³¹	• Kirkas pinta vähän musta kevyttä
	Rauma 2	+0,79	N	• Ohut ruskehtavan musta hapettumakerros, paikoitellen kirkasta pintaa
	Pietarsaari	---	N	• Ohut tumma matta hapettumakerros
Sanicro 69	Rauma 1	---	N ³¹	• Ohut tumma matta hapettumakerros
	Rauma 2	+0,36	N	• Ohut tumma sinertävä hapettumakerros
	Pietarsaari	---	N	• Ohut tumma matta hapettumakerros
4C54	Rauma 1	---	N ³¹	• Ohut ruskehtavan musta hapettumakerros
	Rauma 2	+0,57	Säöjä	• Ohut tumma matta hapettumakerros
	Pietarsaari	---	Säöjä	• Ohut tumma matta hapettumakerros

³¹ Näyte putoanut laivan pohjalta

VTT



VTT TUOTTEET JA TUOTANTO

Tilanne on:

- Sulfidoitumiskokeet:
 - => kaasuun lisättyä vedellä valtava merkitys
 - tutkitulla kaasukoostumuksella kriittinen H_2O -pitoisuus?
- Mustalipeäkokeet:
 - => ainoastaan ferriittinen teräs säröili (hauraus)
- Osan A ja B koetulokset toimivat osan C referensseinä
 - => kaasu/metalli vuorovaikutuksen suhde kaasu/suolasula/metalli vuorovaikutukseen

VTT

VTT TUOTTEET JA TUOTANTO

Jatkokokeita:

- Polysulfidikokeet (tarjous osa C)?
- Muita mahdollisia:
 - Veden vaikutus sulfidoitumiseen
 - CO_2 :n vaikutus sulfidoitumiseen
 - Altistusajan pituus, 288h painonmuutoksen kannalta lyhyt aika

VTT

LIITE IV

VTT:n sondilaskelmat



Kiehumissondin laskennalliset tarkastelut

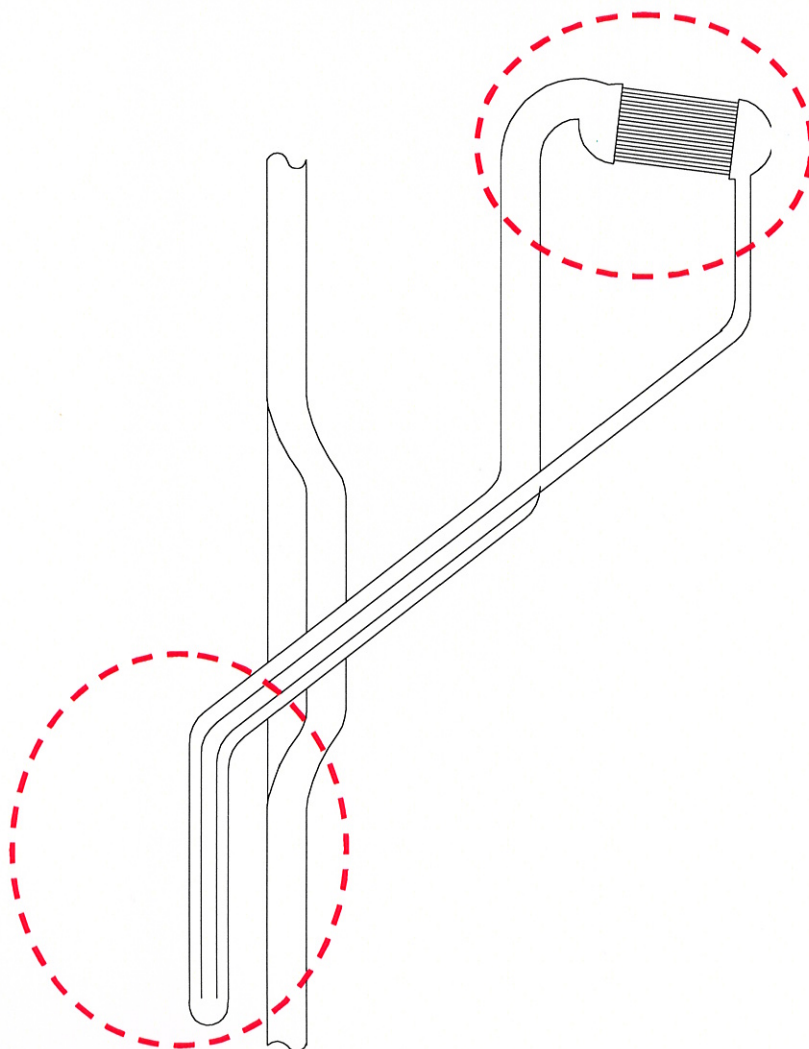
5.9.2005. - Timo Leino VTT Prosessit



Tarkasteltu kiehumissondi

höyrystin

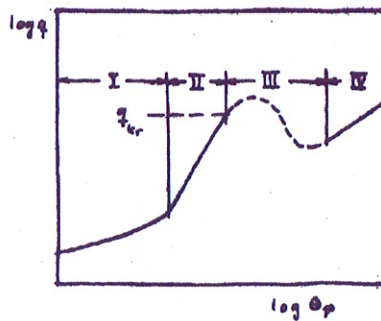
lauhdutin



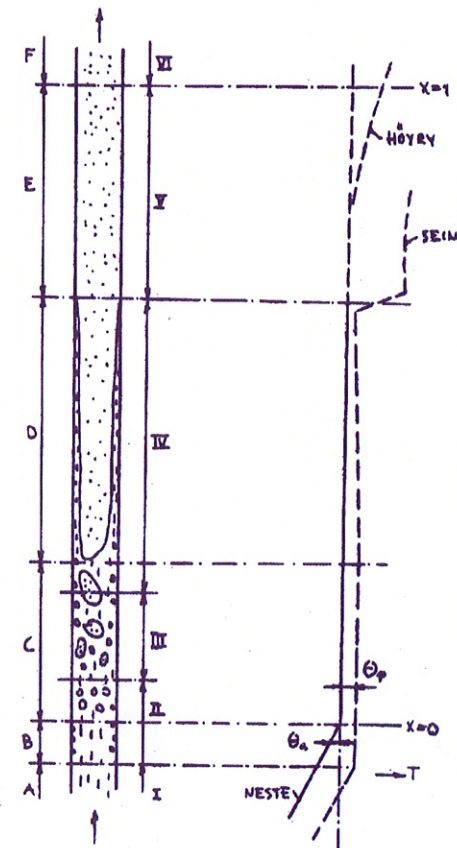
Tarkastelut kiehumissondille

- ♦ Laskennallinen tarkastelu aloitettiin höyrystimestä, joka on olennaisin osa laitteen toiminnassa
- ♦ Laskennan tavoitteena oli selvittää miten höyrystin voisi toimia
- ♦ Laskenta tehtiin kolmella eri painetasolla, joiden kylläiset lämpötilat olivat 305 °C, 355 ° C ja 405 °C
- ♦ Oletukset laskennassa
 - lämpövuoto on vakio 250 kW/m² (todellisuudessa vaihtelee kattilan kuorman ja sondin tilan mukaan)
 - lämpövuoto sama joka puolella höyrystintä (todellisuudessa keon puolella suurempi kuin seinän puolella)
 - sondin höyrystin on 1000 mm kattilan sisällä

Virtauskiehumisen alueet



Kuva 174. Kiehumisen alueet allaskiehumisessa. q_{gr} kriittillinen lämpövirta.



Kuva 175. Kiehumisen alueet virtauskiehumisessa.

- A konvektio nesteeseen
- B alijäähtynyt kuplakiehumisen
- C kylläinen kuplakiehumisen
- D pakotettu 2-faasi-konvektio (haihtuminen)
- E nestevajaus
- F konvektio höyryyn

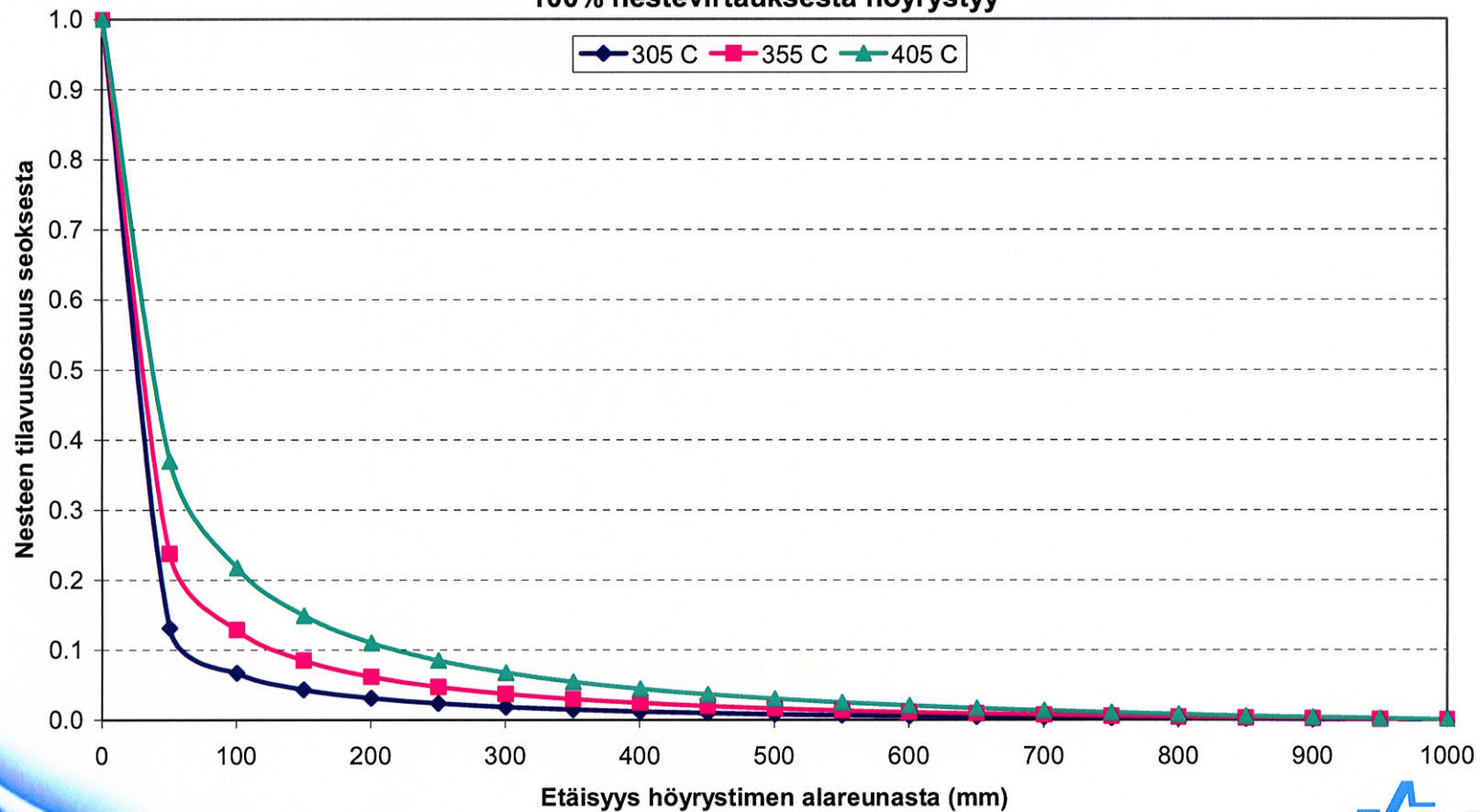
- I 1-faasivirtaus
- II kuplavirtaus
- III tulppavirtaus
- IV rengasvirtaus
- V sumuvirtaus
- VI 1-faasivirtaus

Lasketut tapaukset höyrystimelle

- ♦ Oletus 1: Neste on kylläistä sen tullessa höyrystimeen ja lähtevä höyry on kylläistä
- ♦ Oletus 2: Neste on alijäähtynyttä sen tullessa höyrystimeen ja lähtevä höyry on kylläistä
- ♦ Oletus 3: Neste on kylläistä/alijäähtynyttä sen tullessa höyrystimeen ja höyrystimestä lähtee höyry/nesteseos
- ♦ Oletus 4: Neste lämpiää höyrystimessä, mutta ei höyrysty

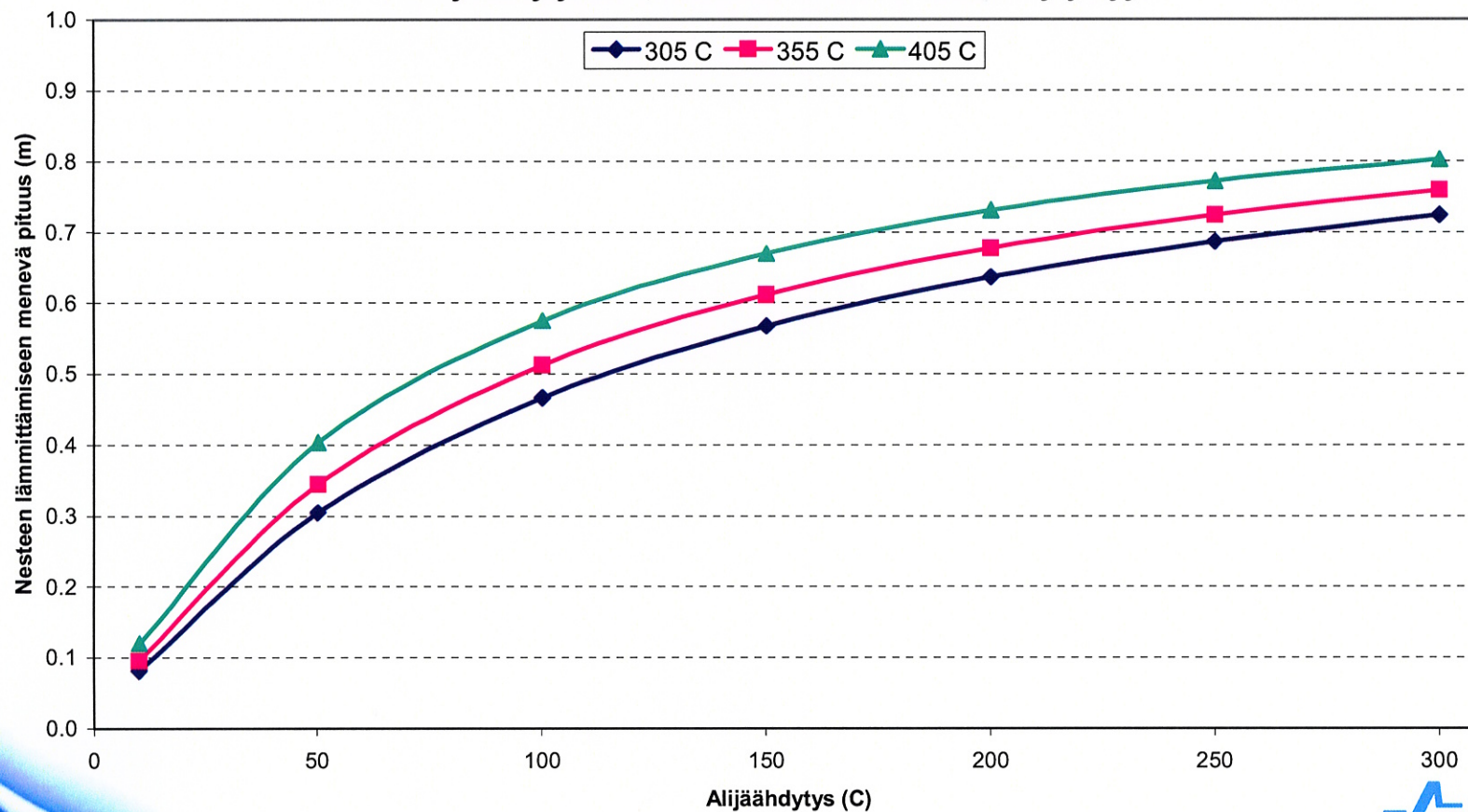
Oletus 1: Neste on kylläistä sen tullessa höyrystimeen ja lähtevä höyry on kylläistä

Nesteen tilavuusosuus kiehumisondissa ($q'' = 250 \text{ kW/m}^2$) eri kylläisillä lämpötiloilla, 100% nestevirtauksesta höyrystyy



Oletus 2: Neste on alijäähtynyttä sen tullessa höyrystimeen ja lähtevä höyry on kylläistä

Nesteen lämmittämiseen menevä pituus sondista ($q'' = 250 \text{ kW/m}^2$) eri alijäähdetyksillä, 100% nestevirtauksesta höyrystyy

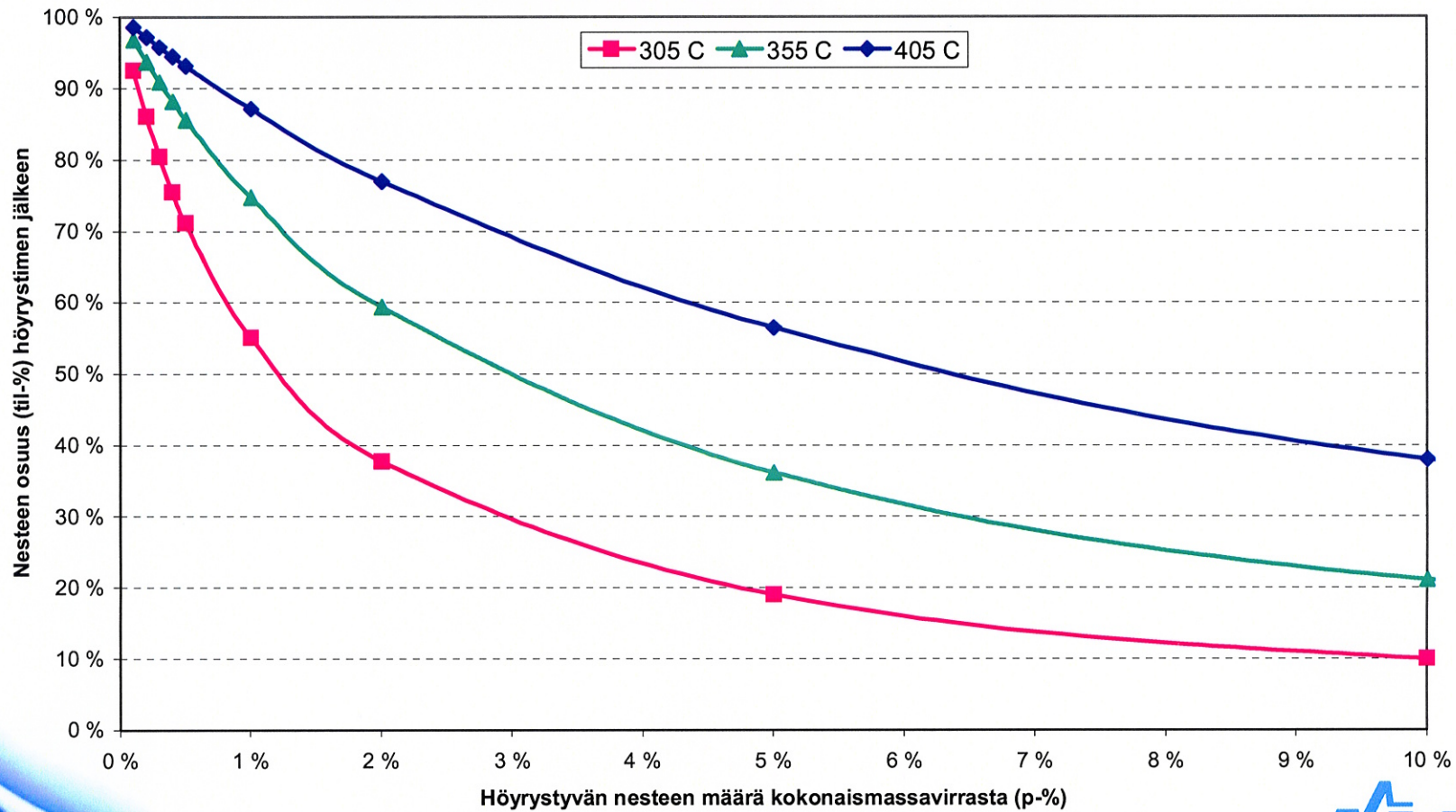


Oletus 3: Neste on kylläistä/alijäähtynyttä sen tullessa höyrystimeen ja höyrystimestä lähtee höyry/nesteseos

- ♦ Edellisissä laskuissa havaittiin, että lämpövuolla 250 kW/m^2 höyry nostaa nestettä mukanaan ylös nousuputkeen, vaikka neste olisi alijäähtynyttä. Laskennassa oletettiin että paine järjestelmässä on vakio.
 - Järjestelmään muodostuu tiheyserojen voimasta luonnonkierto. Tämä edellyttää, että lauhdutin kykenee lauhduttamaan joka tilanteessa höyryn nesteeksi (liian pieni lauhteen määrä voi johtaa höyrystimen kuivumiseen).
- ♦ Luonnonkierron määrän laskentaan tarvitaan laitteistossa syntyvä painehäviö. Tätä varten tarvitsee tietää virtaus, joka taas riippuu höyrystintehosta (kattilan tila), paineesta järjestelmässä ja nestepatsaan korkeudesta laskuputkessa.

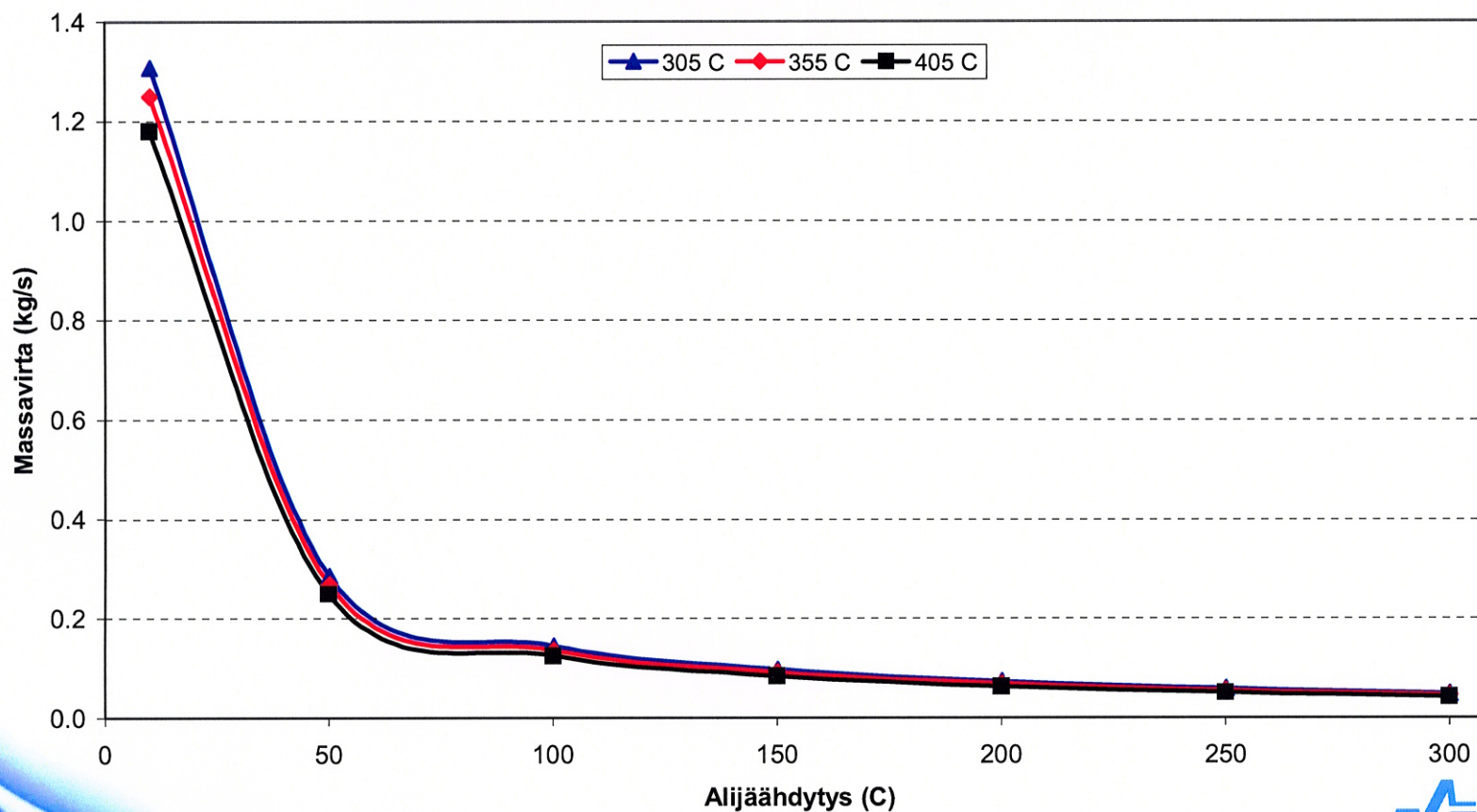
Oletus 3: Neste on kylläistä/alijäähtynyttä sen tullessa höyrystimeen ja höyrystimestä lähtee höyry/nesteseos

Nesteen osuus (til-%) höyrystimen jälkeen höyrystymisen (p-%) muuttuessa Dowtherm A:lla



Oletus 3: Neste on kylläistä/alijäähtynyttä sen tullessa höyrystimeen ja höyrystimestä lähtee höyry/nesteseos

Jäähdytysaineen massavirta eri alijäähdetyksillä ja kylläisen nesteen paineilla järjestelmässä kun 1% nesteestä höyrystyy höyrystimessä



Oletus 3: Neste on kylläistä/alijäähtynyttä sen tullessa höyrystimeen ja höyrystimestä lähtee höyry/nesteseos

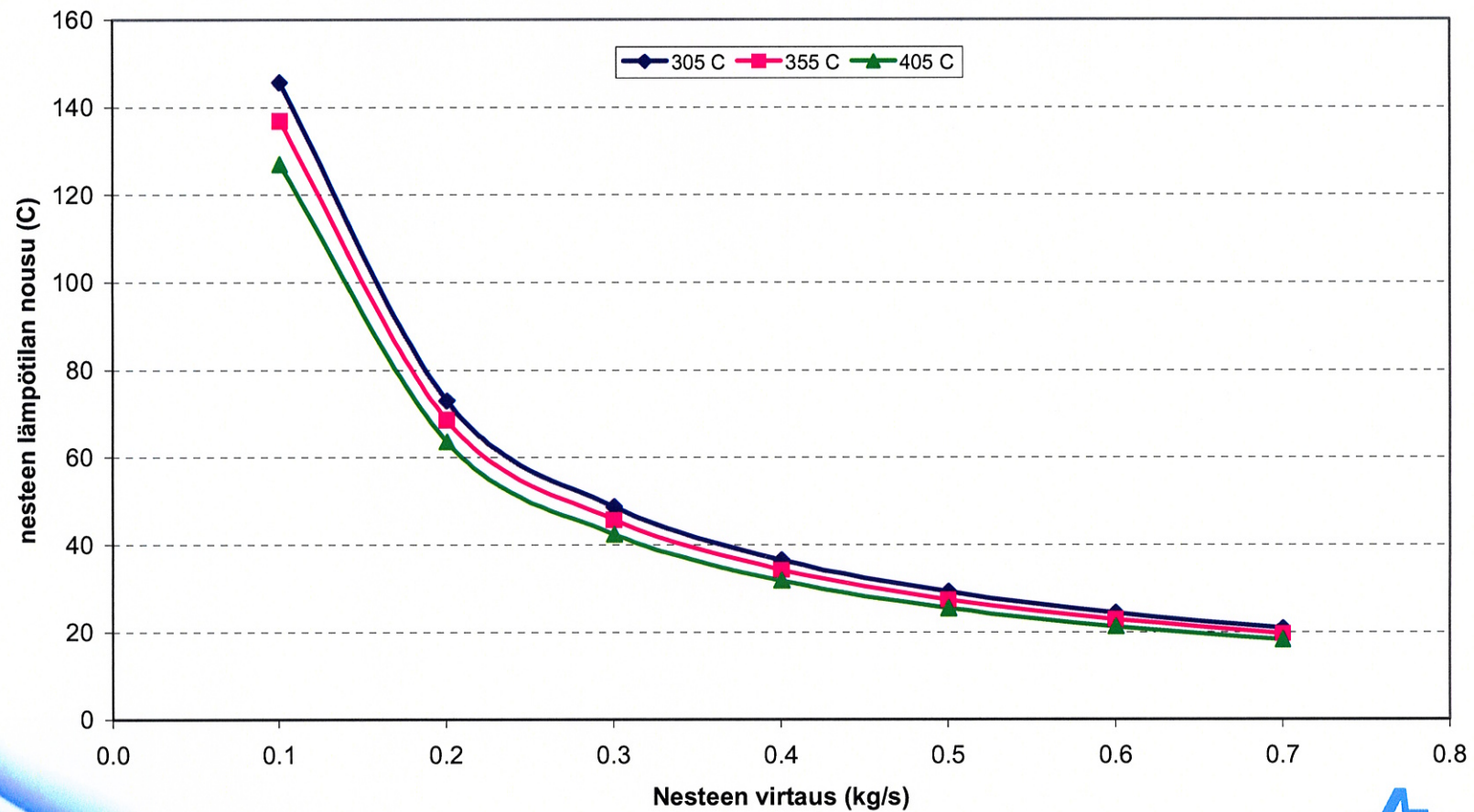
- ♦ Sondi asettuu tasapainotilaan jos lämpövuoto höyrystimessä on vakio
 - Höyrystyminen nostaa painetta lauhdutinosassa, jolloin
 - höyrystimessä nesteen kylläinen lämpötila nousee (lämpövuoto laskee)
 - kiehuminen vähenee
 - nestepintojen taso muuttuu laskuputkessa
 - Tasapainotilassa höyrystimen pintalämpötila voi olla halutusta poikkeava, joten paineensäätö järjestelmässä on välttämätön
- ♦ Miten sondi toimii halutussa paineessa jos se ei ole tasapainotila sondille?
 - syntyykö esimerkiksi pulssimaista käyttäytymistä?

Sondin säätö

- ♦ Kiehumissondin säätäminen on vaikeaa luonnonkierrolla toimivassa järjestelmässä. Prosessin tila eri kohdissa asettuu kokonaispainehäviön ja höyrystystehon mukaan tasapainoon.
→ voiko massavirtausta säätää esim. venttiilillä?
- ♦ Paineensäätö voisi toimia säiliöjärjestelmällä (paisuntasäiliö?), joka pidetään vakiopaineessa
 - paine järjestelmässä kasvaa → höyryä säiliöön
 - paine laskee → nestettä sondiin
- ♦ Ongelmana luonnonkiertoisissa systeemeissä on pieni nestetilavuus ja siten pieni aikavakio (massavirta/kiertoaineen kokonaismassavirta). Säädön pitää olla nopea, jotta nestettä on koko ajan höyrystimessä.

Oletus 4: Neste lämpiää "höyrystimessä", mutta ei höyrysty

Nesteen lämpeneminen nestekierrolla kattilassa



Luonnonkierrolla toimiva järjestelmä

- ♦ Laskentojen perusteella höyrystimen pituus kattilassa lasketussa tapauksessa voisi olla luokkaa 50-100 mm mikä riittäisi luonnonkiertoon samalla saataisiin mm. lauhduttimen kokoa pienennettyä
- ♦ Alijäähdytyksen suuruutta säätämällä saadaan kiehuminen alkamaan mittausantureiden kohdalla höyrystimen yläosassa. Näin mittauskohdassa sondin sisäpuolella neste kiehuu ja lämpötila on halutussa pisteessä. Sondin pituus kattilassa määräytyisi alijäähdytyksen mukaan.
- ♦ Luonnonkierrolla toimivaa sondia pitäisi voida säätää nopeasti, kun höyrystimeen tulee suuri lämpövuon muutos kuten esimerkiksi sondia kattilaan laitettaessa. Laitteen asettumisessa tasapainoon voi mennä kauankin, mikä voi johtaa ongelmiin

Luonnonkierrolla toimiva järjestelmä

- ♦ Voi olla mahdollista että höyrystimen toiminta on pulssimaista, mikä voi häiritä mittaustuloksien tulkintaa.
- ♦ Höyrystinosan ulkopinnan halkaisija pitäisi olla lähellä eväputken halkaisijaa ja toisaalta mitoituksessa on kiinnitettävä huomiota putkien halkaisijoihin luonnonkierron kannalta (tehtävä kompromissi?)
- ♦ Mikä on lauhduttimen paikka järjestelmässä? Liian suuri painehäviö luonnonkierrossa voi aiheuttaa ongelmia sondin toimintaan
 - ilmajäähdysteinen lauhdutin
 - lauhdutus ruiskuttamalla alijäähtynyttä nestettä höyryn sekaan
 - putkikierukka "lieriössä"?
- ♦ Laitteen toimintaa on vaikea arvioida laskennallisesti.

Pumpulla toimiva järjestelmä

- ♦ Pakkokiertoisessa laitteessa kokonaispainehäviöön ei tarvitse kiinnittää niin suurta huomiota kuin luonnonkierrolla toimivassa sondissa. → mitoitus helpompaa
- ♦ Järjestelmässä voidaan pumpun avulla säätää höyryn määrää höyrystimen jälkeen. Näin aikaansaadaan hallittu vakaa lämpötila koko höyrystimen alueella eri lämpökuormilla ja pysytään alle kriittisen lämpövuon. Pieni osa nesteestä voi höyrystyä, jolloin saadaan suurempi lämmönsiirtokerroin ja kierrätettävän nesteen massavirta pienenee.
- ♦ Dowthermin lämmittäminen hitaasti toimintapisteeseen on helpompaa kuin luonnonkierrolla
- ♦ Ongelmana tässä voivat olla mm. järjestelmän monimutkaisuus ja kavitaatio pumpussa

Laitteen mittaukset

- ♦ Mikä on laitteen käyttötarkoitus?
 - pelkkä materiaalien testaus?
 - mitata lämpövuota tulipesästä nesteeseen?
 - mitata lämpövastusta tulipesästä keittopintaan?
- ♦ Mikä on tulosten käyttökelpoisuus?
- ♦ Jos tavoite on vertailla eri käyttötilanteita
 - onko tulokset vertailukelpoisia?
 - Vaikka pintalämpötila on vakio, lämpövuomittausten tuloksiin vaikuttaa nesteen tila ja virtausnopeus (lämmönsiirtokerroin) sondin sisällä

Yhteenveto (1/3)

- ♦ Lämpövuolla 250 kW/m^2 höyrystyminen on niin voimakasta että neste nousee höyryn mukana lauhduttimeen, jolloin syntyy luonnonkierto sondiin
- ♦ Höyrystimen pituus kattilassa voisi olla luokkaa 50-100 mm, mikä voisi riittää luonnonkiertoon sekä pienentäisi laitteen kokoa
- ♦ Luonnonkierrolla toimivan termosifonin ajavan voiman synnyttää tiheysero lasku- ja nousuputkien välillä, jonka pitää voittaa painehäviö kierrossa. Laitteen suunnittelemisen vaatii tarkkoja laskelmia lasku- ja nousuputken painehäviöistä, mikä on kaksifaasivirtaukselle vaikeaa.
→ Laitteiston mitoittaminen vaikeaa

Yhteenveto (2/3)

- ◆ Sondi voisi toimia säätämällä alijäähdytyksen suuruutta kohtaan missä kiehuminen alkaa vasta mittausantureiden kohdalla höyrystimen yläosassa.
- ◆ Pakkokiertoisien järjestelmän mitoittaminen voi olla helpompaa. Jäähdytystehoa voidaan säätää kattilan toiminnan mukaan. Tämä varmistaa pintalämpötilan pysymisen lähes vakiona antureiden asennuskohdassa. Ongelmana tässä ovat mm. järjestelmän monimutkaisuus ja kavitaatio pumpussa.
- ◆ Pelkällä nestekierrolla tarvitaan yli 0.4 kg/s virtaus, jotta neste ei lämpene yli 40 °C sondissa. Maksimivirtausnopeus sondissa tässä tilanteessa on yli 1 m/s

Yhteenveto (3/3)

- ♦ Laitteessa pitää olla riittävä tilavuus nestettä, jonka avulla pystytään tasoittamaan prosessin nopeita muutoksia.
- ♦ Laitteen paineensäätö pitäisi olla tarpeeksi nopea, jottei laitteen toiminta näy mittaustuloksissa
- ♦ Dowthermiä pitäisi lämmittää hitaasti toimintapisteeseen.
 - Tämä onnistuu luonnonkierrossa työntämällä sondia hitaasti kattilaan
 - pakkokierrolla ja lämmittimellä neste voidaan lämmittää haluttuun lämpötilaan ennen kattilaan asentamista

Kiehumissondin jatko?

- ♦ Lisää laskentaa:
 - Höyrystimen toiminta eri pituuksilla
- ♦ Luonnonkiertoisen sondin laskeminen hyvin vaikeaa
- ♦ Sondi pitäisi valmistaa ja testata helpoissa hallittavissa olosuhteissa, jotta sen käyttäytymistä voisi ennakoida
 - riskit kokeissa selvitettävä
 - höyryn syttymis/räjähdysherkkyys
 - onko vuotava höyry myrkyllistä
 - jne