



Sularännien toimintaolosuhteet: lämpörasitukset ja sulavirtaukset

Eetu Rantanen
22.12.2017

Kysymys



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

”Voisiko yksi hajoamisen syy olla lämpötilan vaihtelut?”

Sisällys

- Datan keruu
- Sulakourun energiatase ja laskenta
- Suoritetut mittaukset
- Tehdasvertailu
- Kokonaislämpörasitus
- (Liuottaja)





Datan keruu

Datan keruu



- Ohessa lueteltuja tietoja kysytty suomalaisilta sellutehtailta

Minuuttidata, 1 kk

Sulakourun jäähdytysveden lämpötila ennen kouruja
Sulakourun jäähdytysveden lämpötila kourun jälkeen
Sulakourun jäähdytysveden tilavuusvirta

Minuutti-/tuntidata, 1 kk

Tuorehöyryvirtaus
Polttolipeävirtaus
Tulipesän lämpötila
Polttolipeän kuiva-ainepitoisuus

Lisäksi reduktioaste, sulfiditeettitaso ja liuotinsäiliön tilavuus

Minuuttidata, 1 vrk

Liuotinsäiliön tiheys

Liuotinsäiliön pinta

Laihavalkolipeän tilavuusvirta

Viherlipesän tilavuusvirta

Sularännin dimensiot

Kourun pituus

Sisäkourun halkaisija

Sisäkourun materiaalivahvuus

Materiaali

Vesikanavan poikkileikkauksen ala/mitat laskemiseen

Veden virtausreitti/kourutyyppi

Datan keruu



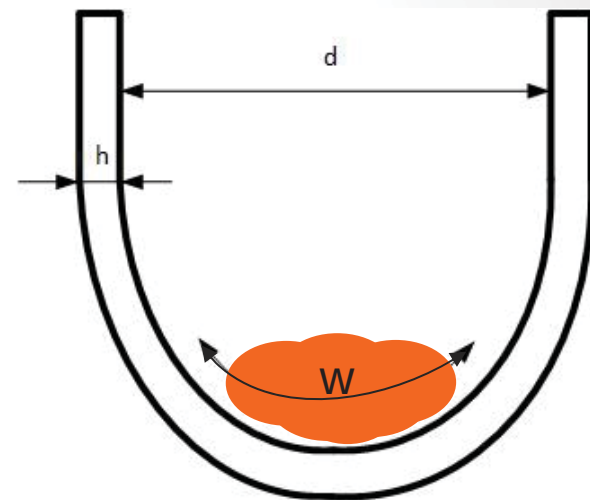
- Data tehtailta
 - Sunila
 - Joutseno
 - Äänekoski
 - Enocell
 - Oulu, 1 vrk
 - Kaukas
 - Kymi (vaihteleva mittausväli)
 - Pietarsaari
 - Kotkamills, ei rännin sisäänmenolämpötilaa



Sulakourun energiatase ja laskenta

Sulakourun energiatase

- Suurin osa siirtyvästä lämmöstä siirtyy juoksevasta sulasta kiinteään sulaan, siitä kourumetalliin ja kourumetallista jäähdytysveteen
- Sulan säteilyteho kourun reunoihin laskennan perusteella 4,3 kW
 - Todellisuudessa rännin reunoilla usein kuonaa, jolloin todellinen säteilyteho oletettavasti alempi
- Tulipesän rakenteista ja säteilystä kouruun siirtyvä teho 1,9 kW Sunilan SK11 –kattilan reunimmaisten rännien datan perusteella



Sulakourun energiatase, muutostilanteet



- Sulasyöksy/rassaus
 - Sulamäärä kasvaa, nestemäistä sulaa jähmettyy rännin reunaan, lämpö pääasiassa jäähdytysveteen -> 1 kg jähmettyvää ja jäähtyvää sulaa nostaa lämpötehoa tietyn minuutin ajalta karkeasti 14 kW
 - Esimerkkirännillä kyseinen tilanne kun sulavirta muuttuu 1 l/s -> 5,5 l/s, 3 mm jähmettyvä kerros

Lämpövuon suuruuden arviointi



- Lämpövuoto laskettavissa keskimäärin mitatusta lämpötiladatasta ja mittausten perusteella määritetystä kosketuspinnan leveydestä
- Suoritettujen mittausten perusteella lämpövuoto on noin 175 kW/min
 - Vertailun vuoksi tulipesän seinien lämpövuoto 100 – 200 kW/m²
 - Tukia (1976) arvioinut Sunilassa lämpövuoksi 140 kW/m², tuolloin vesipuolen pienemmän massavirran johdosta vesipuolen lämmönsiirtokerroin ollut luokkaa 1500 W/m²K
 - Lämmönsiirtokriisi vaatisi moninkertaisen lämpövuon

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

Sulakourun lämpötilat stationääritilassa



		Valmet Once-trough U-kouru	Andritz Multipass V-kouru
Veden lämpötila	°C	65	65
Kourumetallin lämpötila vesipuolella	°C	104	88
Metallin lämpötila mustan ja rosterin rajapinnassa	°C	-	113
Metallin lämpötila sulapuolella	°C	138	137
Lähtöarvot			
Lämpövuoto	kW/m ²	175	175
Konvektiokerroin vesipuolella	W/m ² K	4500	7700
Lämmönjohtavuus musta	W/mK	41	41
Lämmönjohtavuus ruostumaton	W/mK	-	15
Kourun paksuus	mm	8	6+2

Sulakourun lämpörasitukset



- Tukkeutuneen rännin materiaalin lämpötila laskee lähelle jäähdytysveden lämpötilaa, ränni avaamisen jälkeen lämpötila nousee keskimäärin noin 50 °C ulkokourun lämpötilaa korkeammaksi
- Jäykälle teräskappaleelle aiheutuva jännitys tästä muutoksesta olisi

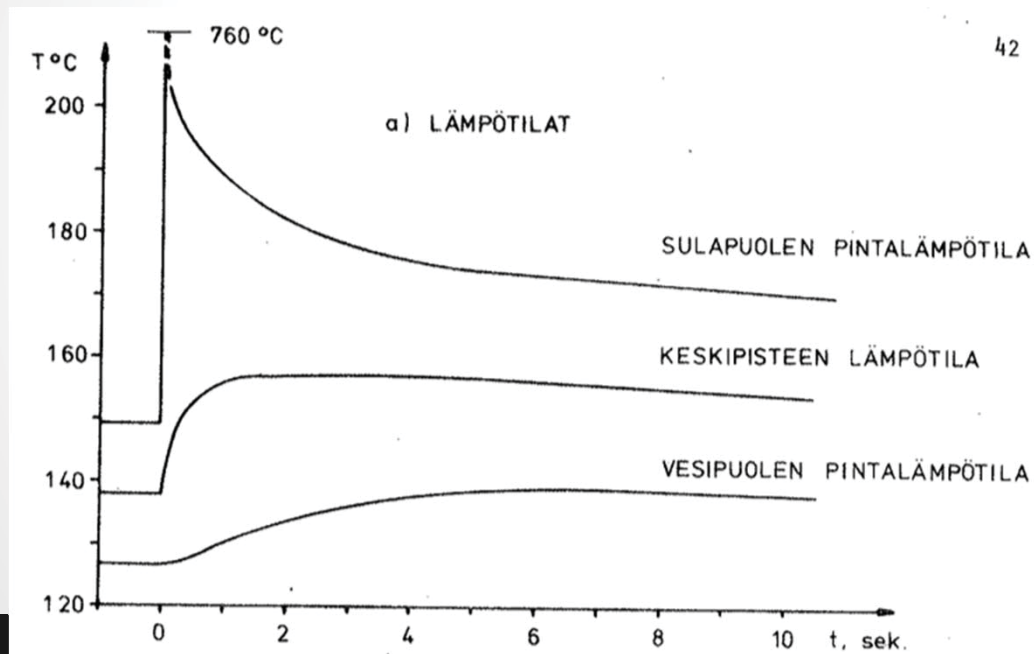
$$\sigma = -\alpha E \Delta T = 123 \text{ MPa}$$

- Ulkokuori säilyy vakio­lämpötilassa, ja täten rajoittaa kourun venymistä, mutta todellinen tilanne ei kuitenkaan vastaa myöskään täysin jäykkää kappaletta

Sulakourun lämpötilat muutostilanteessa



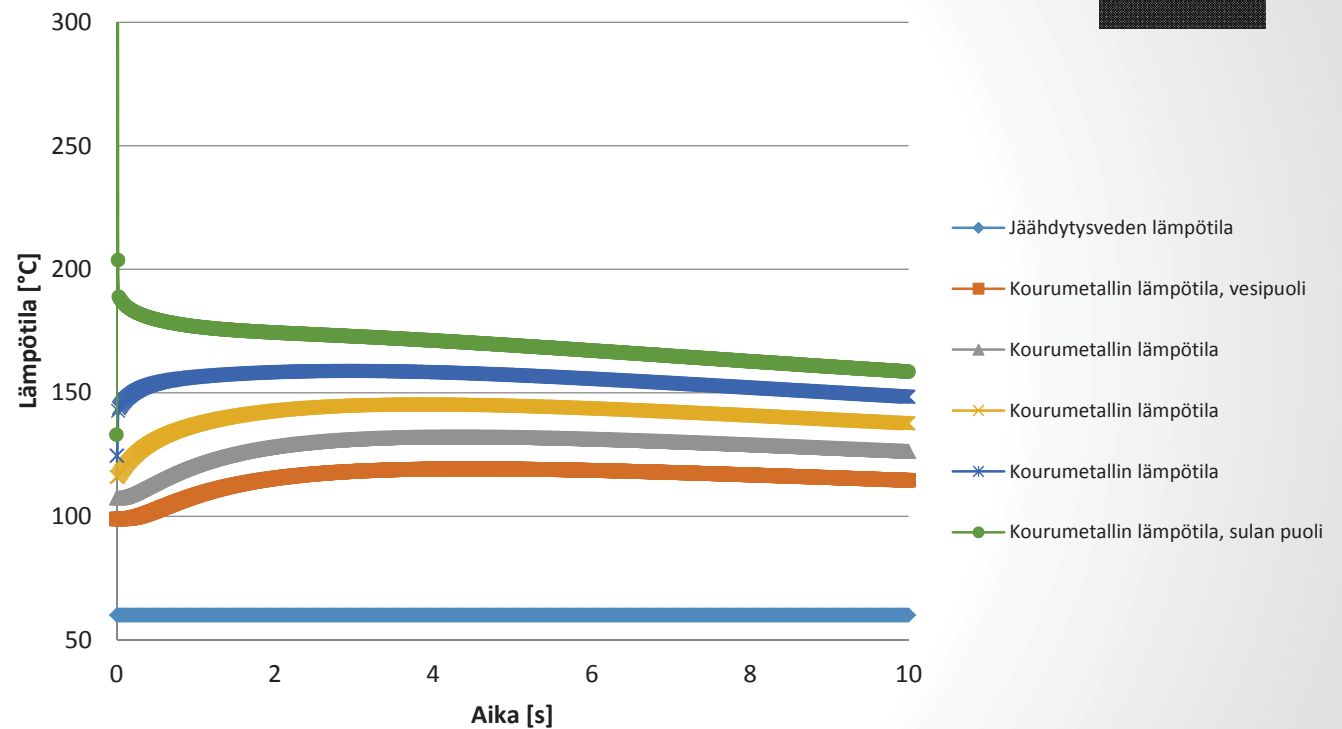
- Rännin rassausta (Tukia 1976, 42)



Sulakourun lämpötilat muutostilanteessa



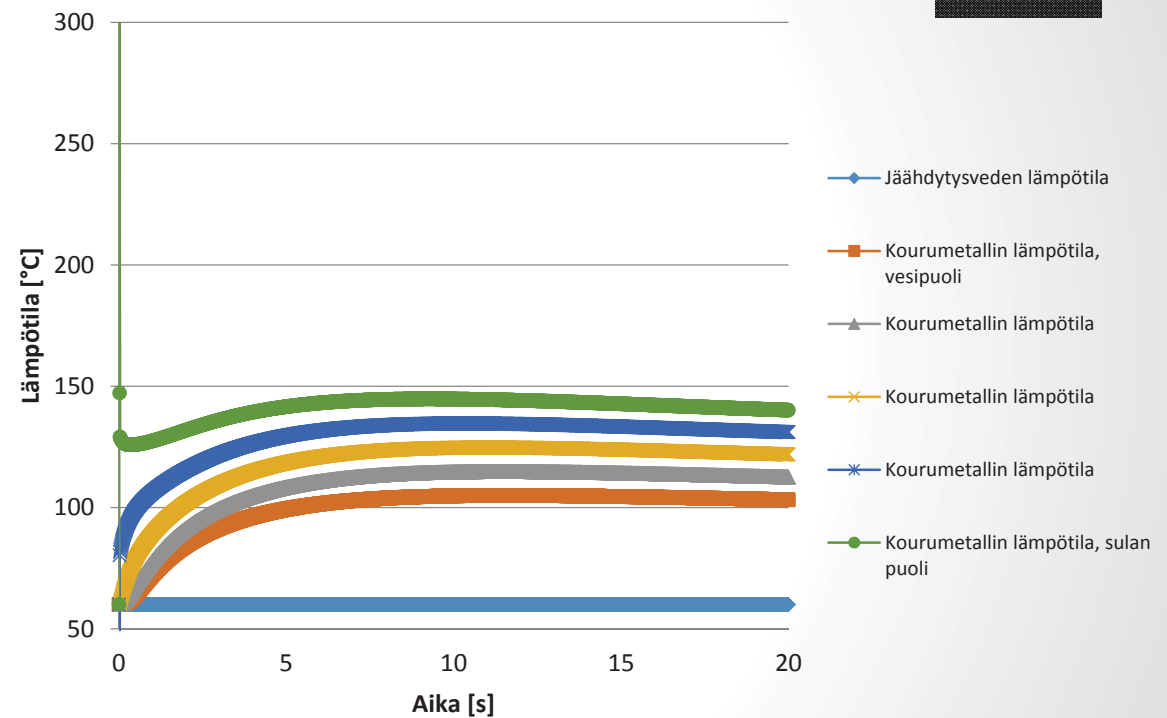
- Rännin rassausta lämpövuolla 175 kW/m^2 , jähmettyneen kerroksen muodostuminen mukailien Tukian laskentaa



Sulakourun lämpötilat muutostilanteessa



- Tukkeutuneen rännin aukeaminen lämpövuolla 175 kW/m^2 , jähmettyneen kerroksen muodostuminen mukailen Tukian laskentaa



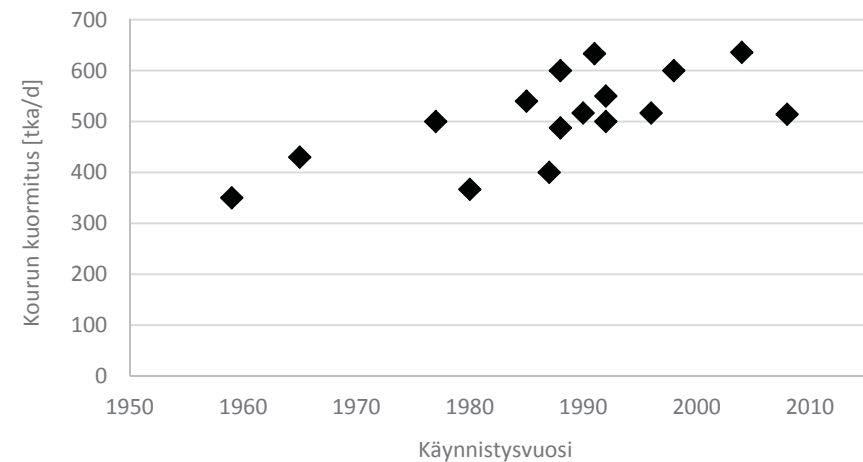
Sulakourun lämpötilat muutostilanteessa



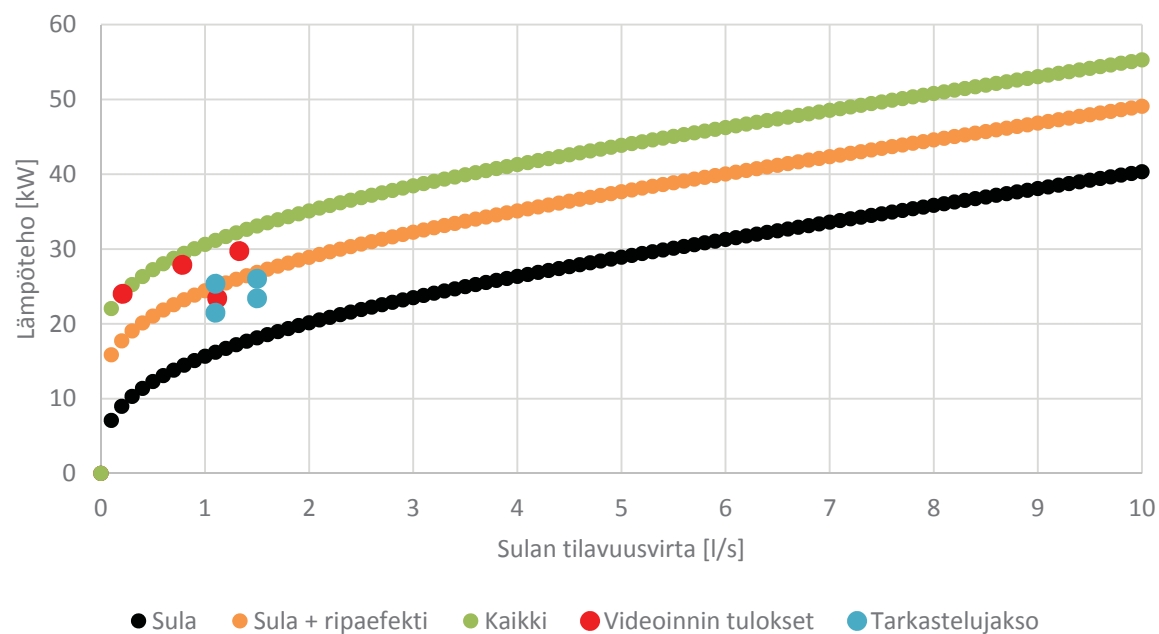
- Ensimmäisten höyrykuplien muodostuminen vaatii noin 6 °C kylläistä lämpötilaa korkeamman materiaalin lämpötilan
 - Rassauksessa vesipuolen maksimilämpötila 119 °C
 - Tukkeutuneen rännin avaamisessa vesipuolen maksimilämpötila 105 °C
- Höyrykuplien muodostuminen olisi näiden laskujen perusteella todennäköistä rassauksessa jäähdytysveden ollessa 1 barin paineessa. 1,9 barin paineessa höyrystymistä ei tapahtuisi
 - Höyrystyminen tehostaa lämmönsiirtoa, edellä esitetyissä kuvissa oletettu vakiolämmönsiirtokerroin

Sulamäärä

- Polttoliipeästä
 - Keskimääräinen pidemmän aikavälin luku
- Liutinsäiliötaseesta
 - Kokonaissulavirta
- Erikoismittauksilla
 - Videointi (nopeus, poikkipinta-ala)



Lämpöteho sulavirran funktiona

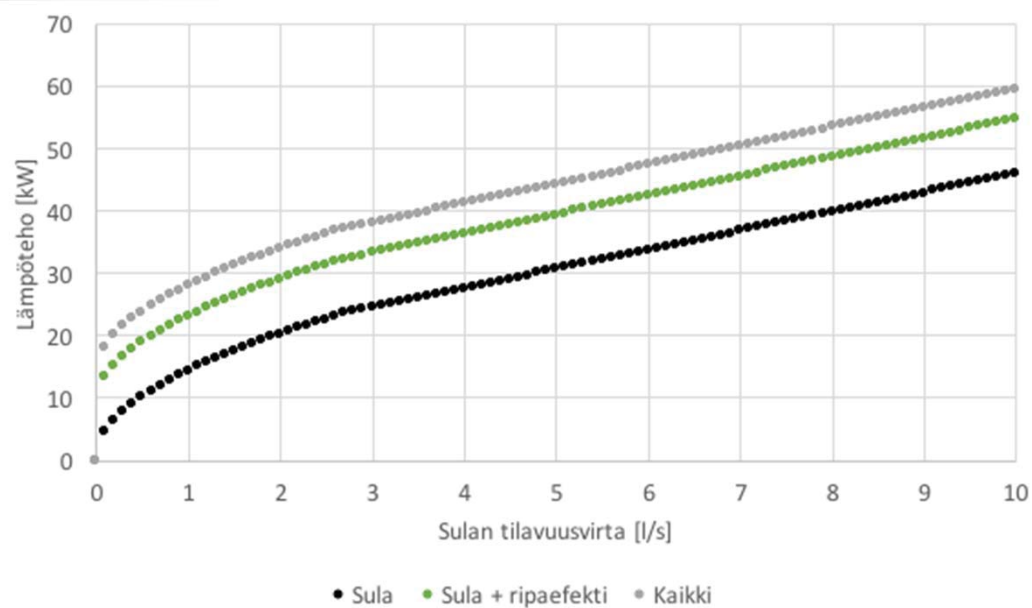


Rännin pituus	1	m
Rännin leveys	0,13	m
Rännin korkeus	0,14	m
Sulan virtausnopeus	1,2	m/s
Lämpövuoto	175	kW/m ²

Lämpöteho sulavirran funktiona



- Vertailuksi Andritz v-rännin laskennallinen lämpöteho



Rännin pituus	1	m
Rännin leveys	0,095	m
Rännin korkeus	0,145	m
Sulan virtausnopeus	1,2	m/s



Suoritetut 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

Taulukkoon kootut arvot videoinnin keskiarvoja



Sulan videokuvaus

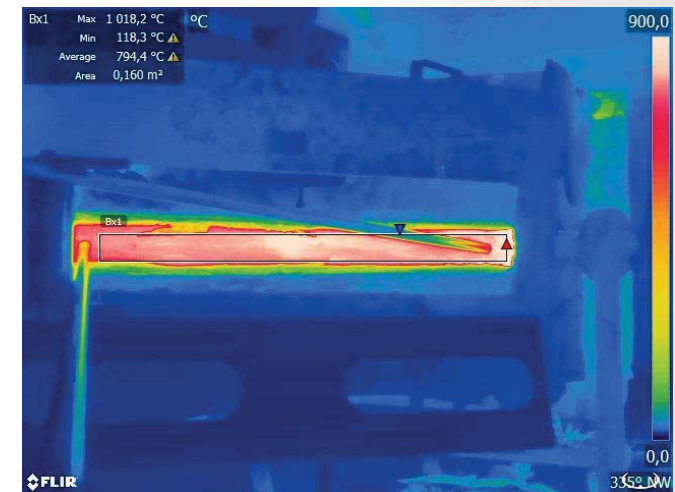
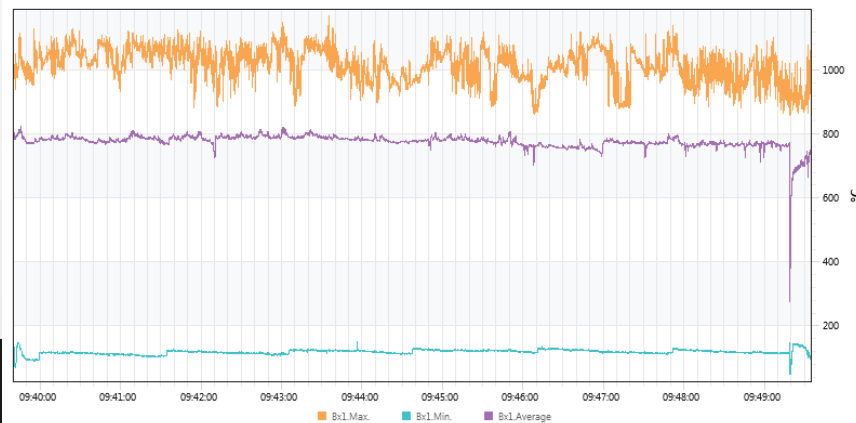


- Sulan nopeus luokkaa 1,5 m/s, epävarmuus merkittävä
- Sulan leveys määritettiin joka minuutilta erikseen
 - Pienien lämpötehon muutosten havainnointi haasteellista sulavirran leveyttä seuraamalla

Sulan lämpötilanmittaus ja lämpökamerakuvaus



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



Sulan lämpötilanmittaus ja lämpökamerakuvaus

Mittausjärjestelyt:



Sulan lämpötilanmittaus ja lämpökamerakuvaus

- Ylempi termoelementti osittain kekoa vasten, alempi rännin alapäädyssä
- Datan keruusyкли termoelementeillä 1 sekunti, lämpökameralla 30 kertaa sekunnissa



Sulan lämpötilanmittaus ja lämpökamerakuvaus

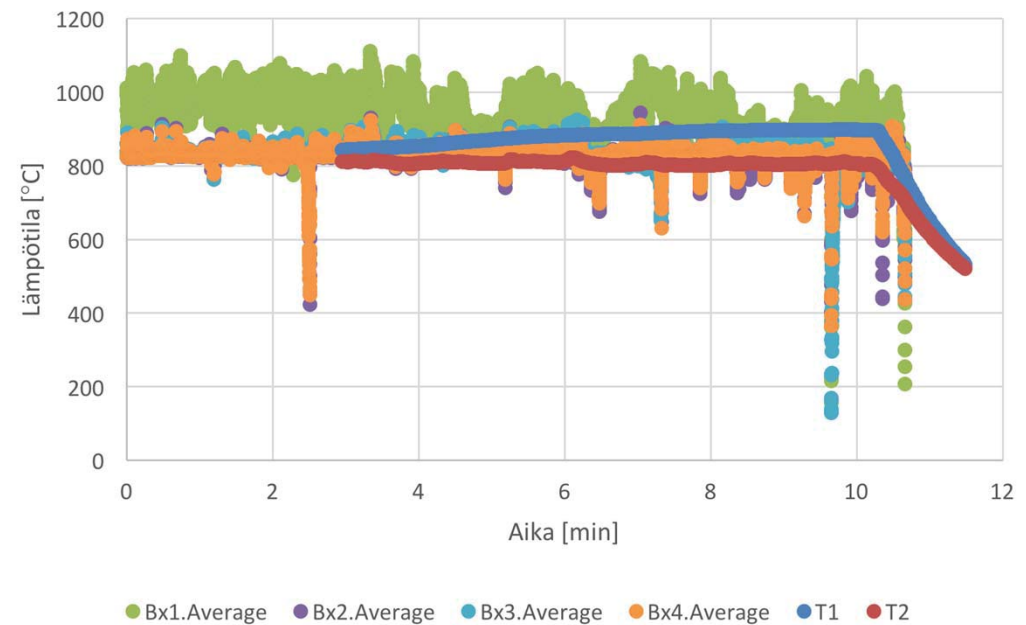


- Datan perusteella kourumetallin emissiviteetti 0,91 ja sulan emissiviteetti termoelementtien lämpötiloista määritettynä 0,88-0,93
- Sulan virtausnopeus keskimäärin 1,8 m/s
 - Avoimessa virtauskanavassa nesteen virtausnopeus yläosassa on noin 1,5-kertainen keskimääräiseen virtausnopeuteen verrattuna. Tällöin keskimääräinen sulan virtausnopeus on 1,2 m/s.

Sulan lämpötilanmittaus ja lämpökamerakuvaus



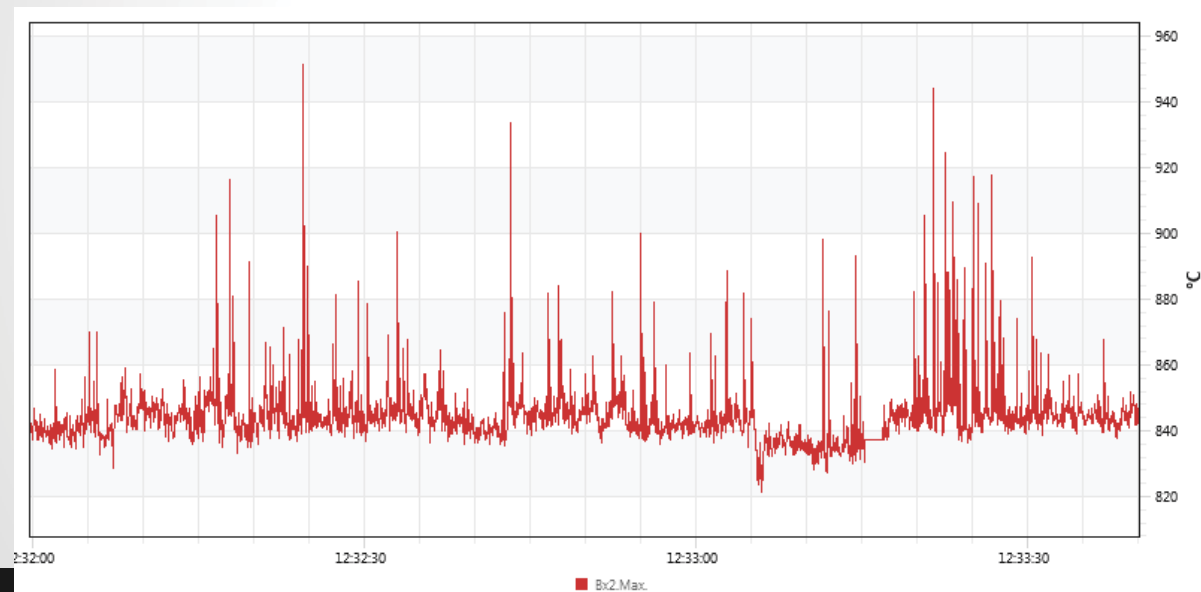
- Lämpötilaprofiili mittauksen ajalta, SK11 ränni 3
- Nestemäisen sulan keskimääräinen lämpötila alemman termoelementin mukaan eri ränneillä 807-821 °C
- Keon pintalämpötila ränniaukossa noin 1000 °C



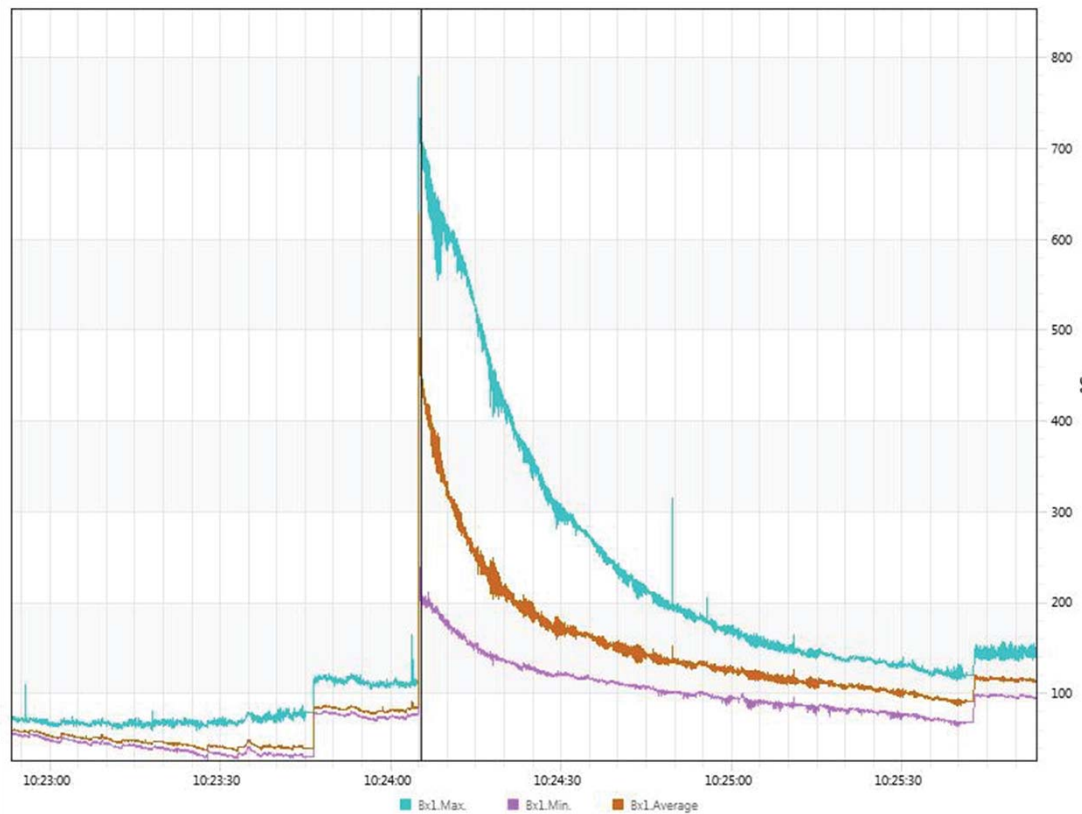
Sulan lämpötilanmittaus ja lämpökamerakuvaus



- Kuonapaakut huomattavasti sulaa kuumempia (kuva), tosin todellista eroa saattaa hieman pienentää kuonan vähän korkeampi emissiviteetti



Sulan lämpötilanmittaus ja lämpökamerakuvaus

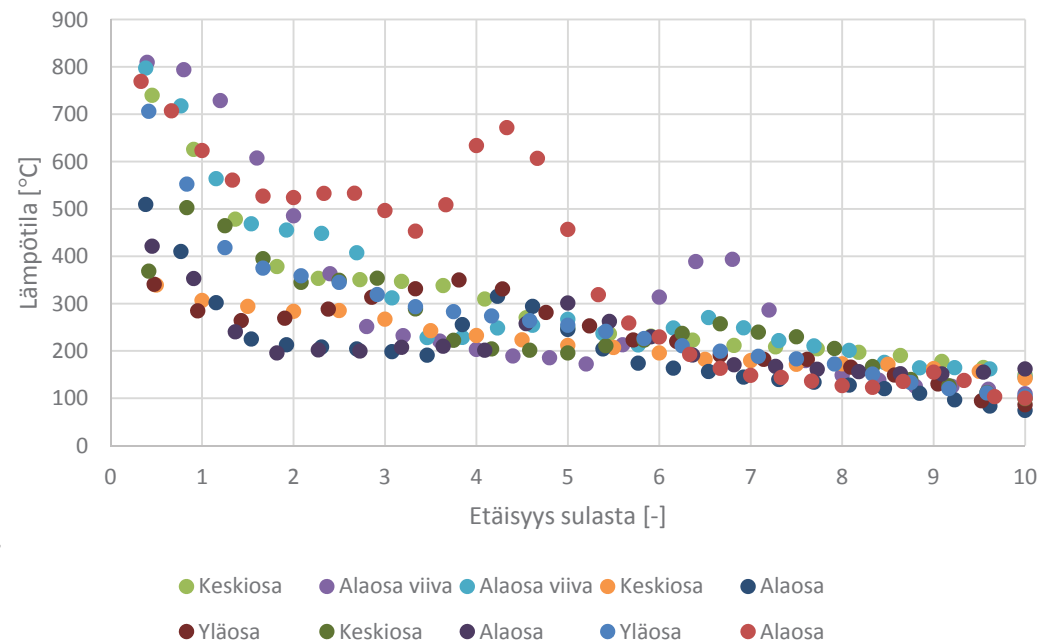


■ Sularoiskeen jäähtyminen
rännin yläpintaan

- Havaittavissa sulan
huono
lämmönjohtavuus,
sulan pinnan
jäähtyminen vie noin
minuutin

Sulan lämpötilanmittaus ja lämpökamerakuvaus

- SK11 rännin 2 reunan lämpötilaprofiilit
- Muutamassa kohdassa jäähtyvää sulaa reunoilla, nämä näkyvät korkeampina lämpötiloina
- Yleisesti lämpötilat huomattavasti korkeampia kuin laskennalliset lämpötilat jäähmettyneen sulakerroksen alla

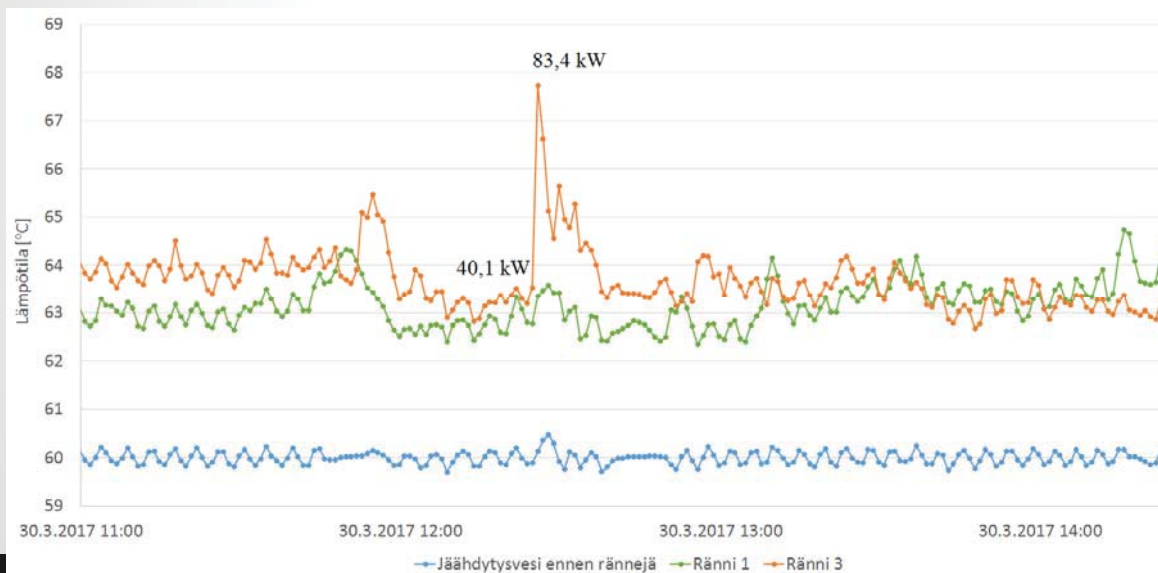




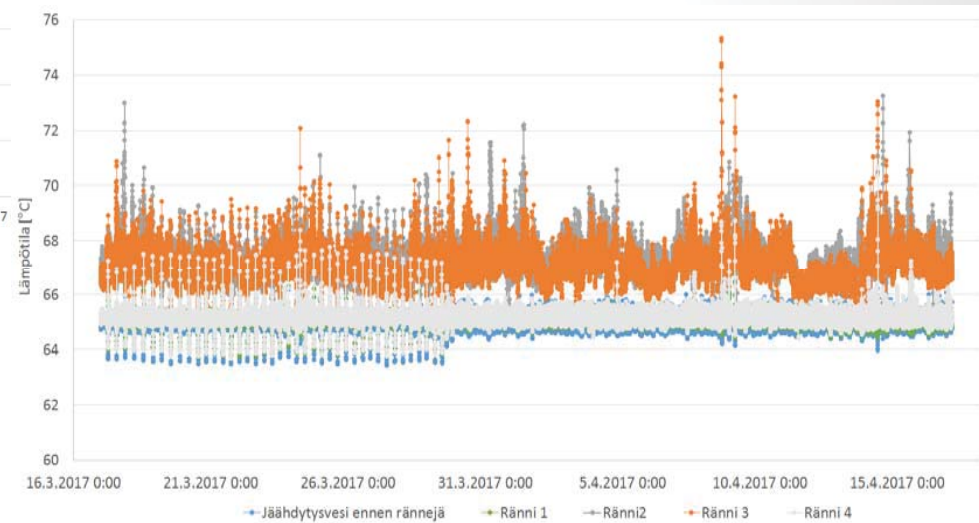
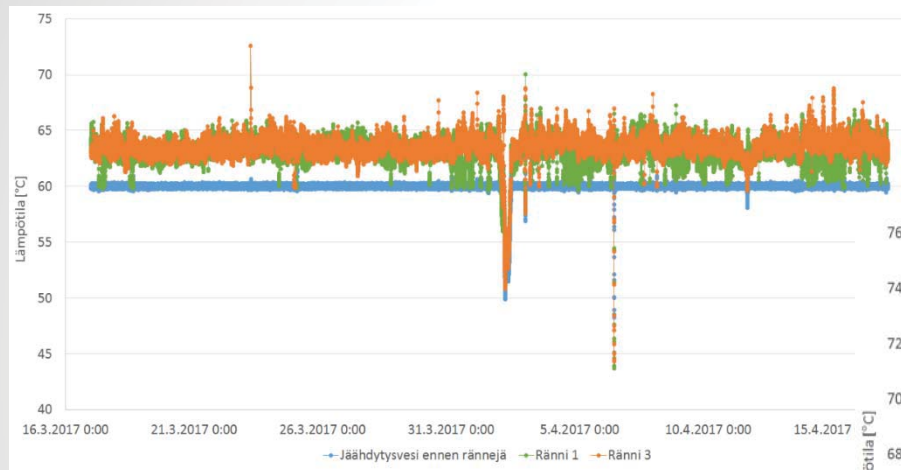
Tehdasvertailu

Lämpötehon määrittäminen

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



Sunila



Sunila

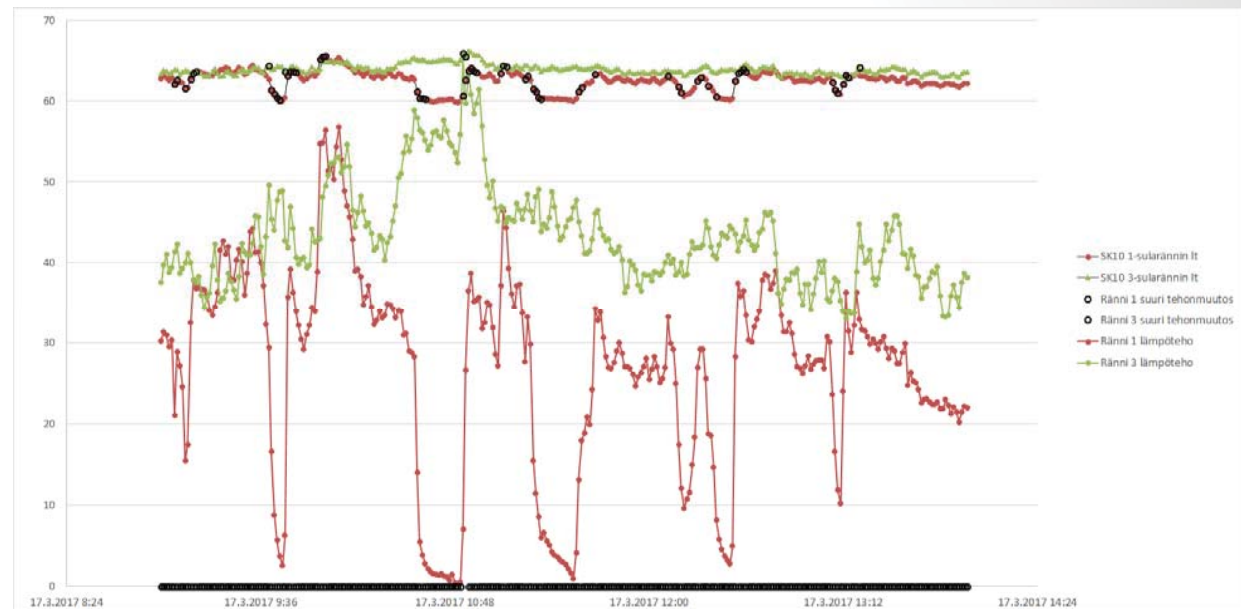


		SK10			SK11		
		Keskiarvo	Min	Max	Keskiarvo	Min	Max
°C	Jäähdytysvesi ennen rännejä	59,9	48,2	64,0	65,0	63,4	68,7
l/s	Polttoliipeä	8,1	0,0	8,9	10,8	5,6	12,1
%	Kuiva-aine	79,2	49,7	80,8	79,2	49,7	80,8

		SK10		SK11			
		1	3	1	2	3	4
Jäähdytysveden lämpötila [°C]	min	43,7	44,3	63,7	64,8	64,6	63,7
	k-a	62,9	63,4	65,1	67,3	67,1	65,2
	max	70,0	72,6	69,0	73,3	75,4	70,7
Lämpötilan nousu [°C]	min	-9,7	-7,7	-2,7	-1,2	-0,9	-2,0
	k-a	3,0	3,5	0,1	2,3	2,1	0,2
	max	10,4	12,4	2,6	7,6	9,3	4,1
Lämpöteho [kW]	min	-104,3	-84,3	-29,8	-13,6	-9,7	-22,4
	k-a	32,2	38,1	1,6	26,1	23,5	2,1
	max	111,3	136,1	29,3	87,4	106,0	45,4
Lämpötehon muutos [kW/min]	min	-67,7	-56,4	-42,2	-43,2	-38,6	-33,9
	k-a	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	max	55,7	75,0	31,7	32,3	52,6	25,9

Sunila

Ränneillä jonkin verran tukkeutumista, kuvassa esimerkki aikavälistä, jolloin SK10 ränni 1 tukkeutunut useasti

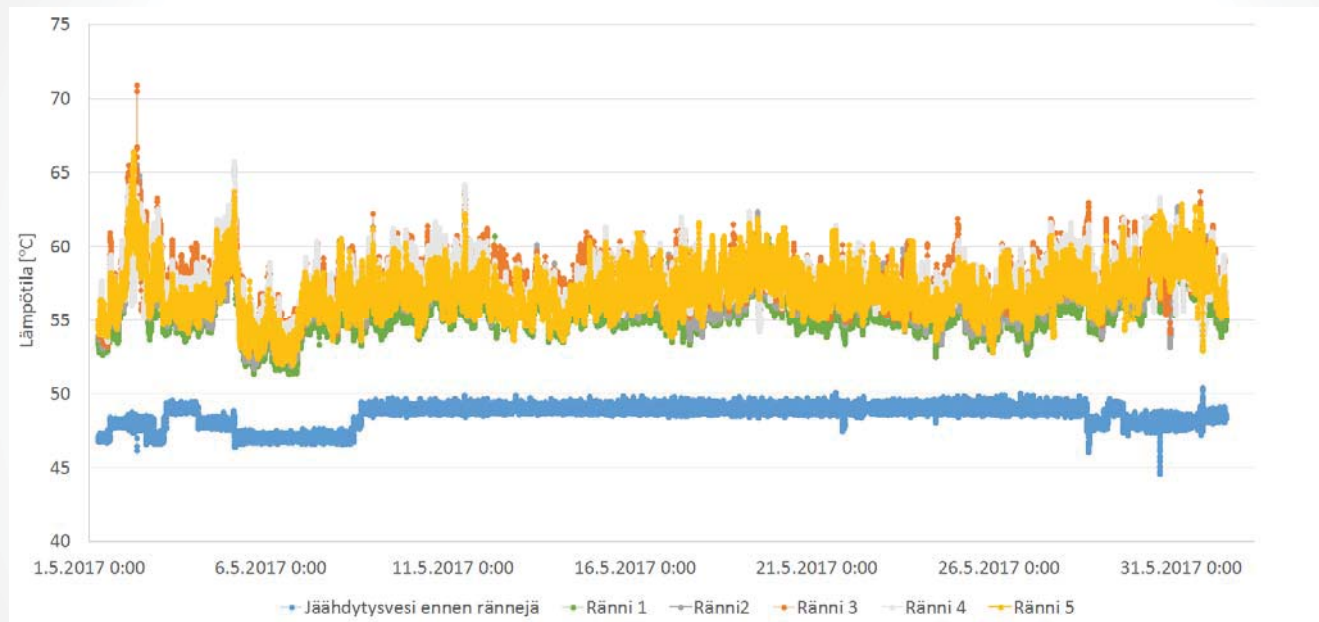




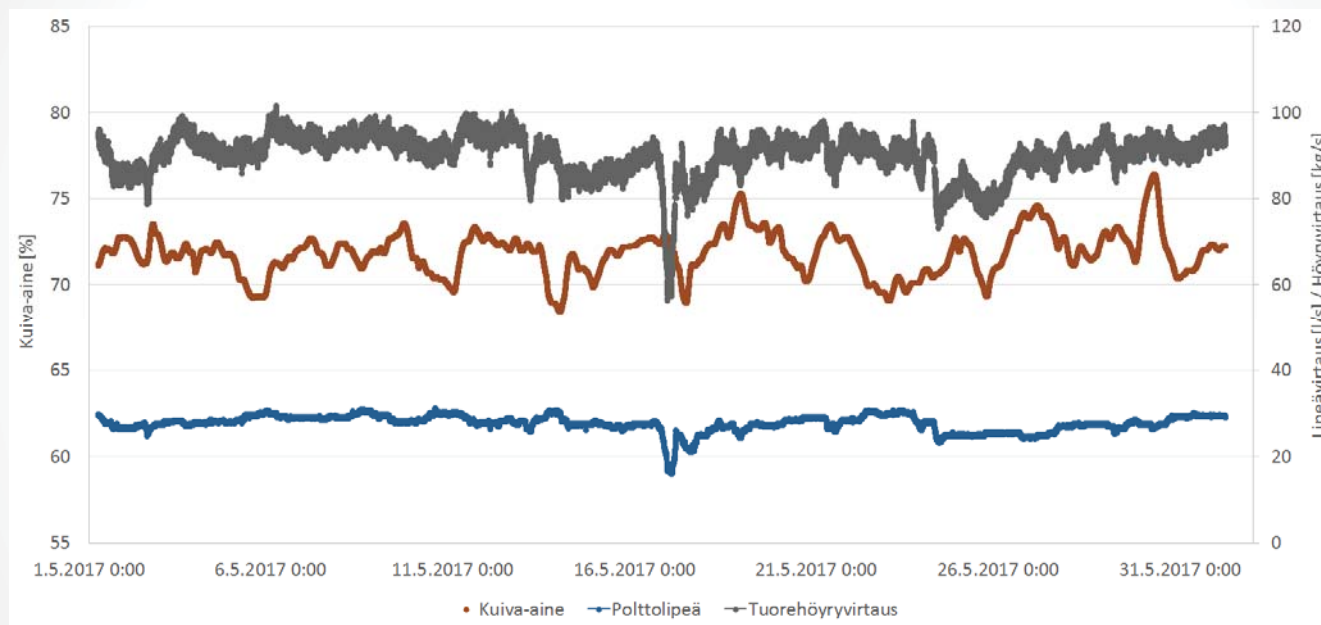
Muutos vähintään		SK10		SK11			
		1	3	1	2	3	4
10	kW/min	418	169	142	259	267	121
20	kW/min	57	25	63	79	70	25
30	kW/min	18	14	7	11	7	1
40	kW/min	4	7	1	1	2	0
50	kW/min	3	3	0	0	1	0
40	%	219	58	12962	231	302	5975
50	%	109	27	9217	161	201	3754
60	%	66	21	6521	121	154	2647
80	%	26	14	3460	75	85	1754
100	%	14	7	2270	25	36	1379

Muokatusta datasta
laskien vähemmän
merkittäviä muutoksia

Äänekoski



Äänekoski



Äänekoski

		Ränni				
		1	2	3	4	5
Jäähdytysveden lämpötila [°C]	min	51,3	51,7	52,5	52,4	51,9
	k-a	55,8	56,7	57,4	57,5	56,8
	max	63,8	65,7	70,9	65,7	66,4
Lämpötilan nousu [°C]	min	3,8	4,2	4,8	4,6	3,8
	k-a	7,2	8,1	8,8	8,9	8,2
	max	15,5	18,6	22,6	18,6	18,5
Lämpöteho [kW]	min	23,3	25,9	30,0	28,3	23,6
	k-a	44,8	50,3	54,8	55,3	51,1
	max	96,0	115,5	140,3	115,2	115,0
Lämpötehon muutos [kW/min]	min	-13,0	-14,1	-28,5	-13,0	-15,0
	k-a	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	max	19,1	16,9	26,6	15,5	27,5

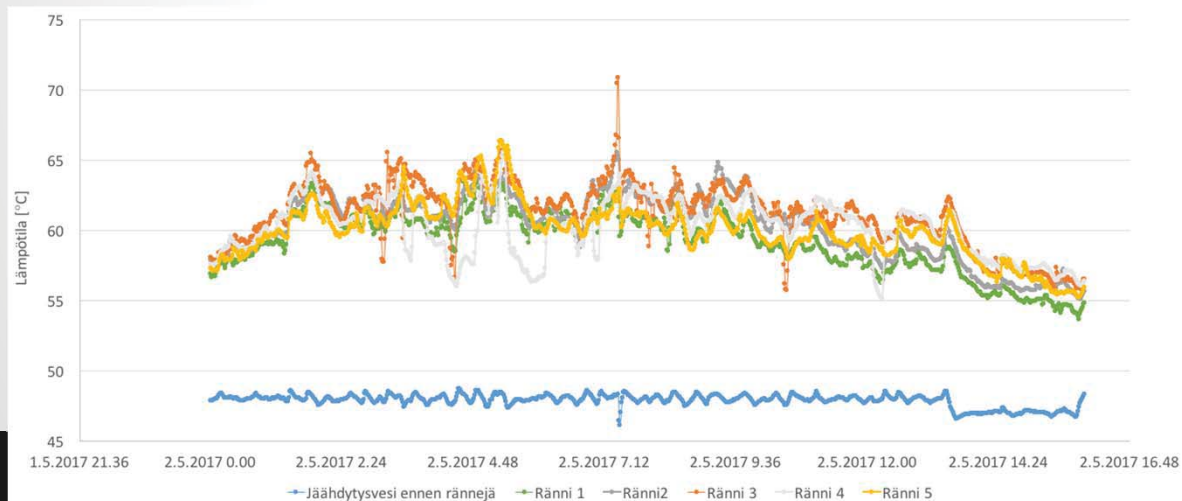
		Ränni				
Muutos vähintään		1	2	3	4	5
10	kW/min	50	15	89	13	58
20	kW/min	0	0	6	0	1
30	kW/min	0	0	0	0	0
40	kW/min	0	0	0	0	0
50	kW/min	0	0	0	0	0
40	%	1	0	6	0	1
50	%	0	0	1	0	1
60	%	0	0	0	0	0
80	%	0	0	0	0	0
100	%	0	0	0	0	0



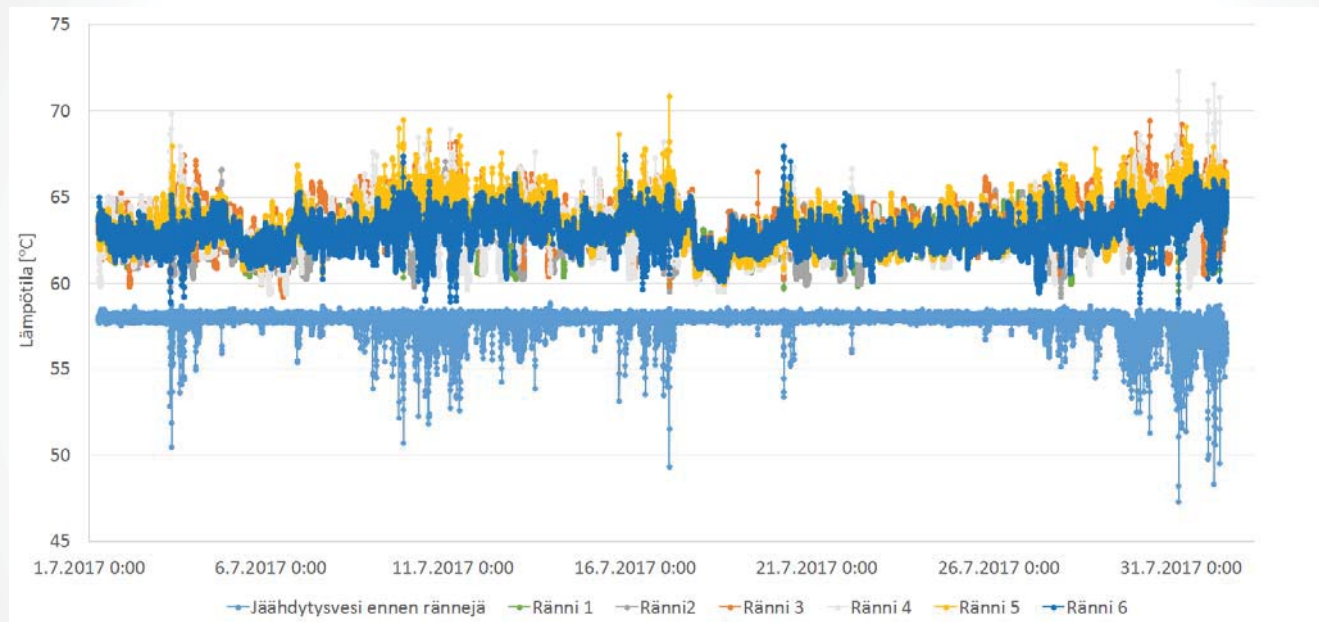
Äänekoski



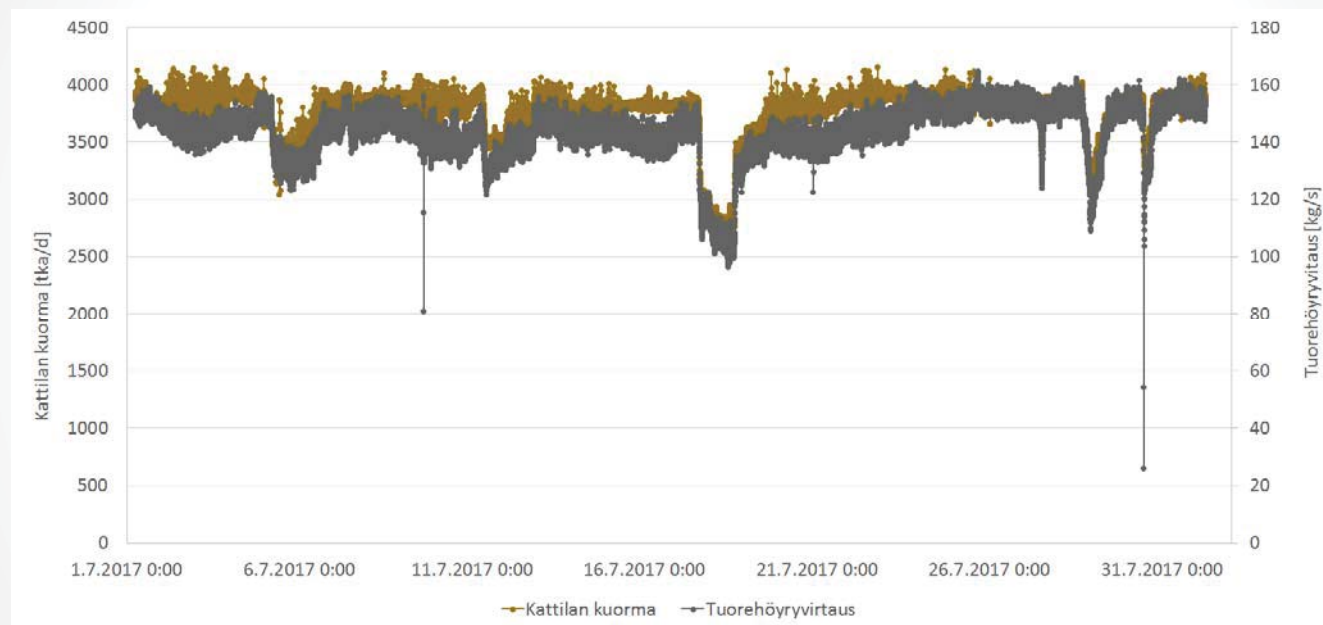
- Ei yhtään tukkeutumiskertaa yhdessäkään rännissä
- Keskimääräinen lämpötilannousu suuri, yli 8 °C
- Ei suuria nopeita kuormanmuutoksia tarkastelujaksolla
- Maksimiulostulolämpötila hieman yli 70 °C (ränni 3), alla kuva tilanteesta



Joutseno



Joutseno



Joutseno



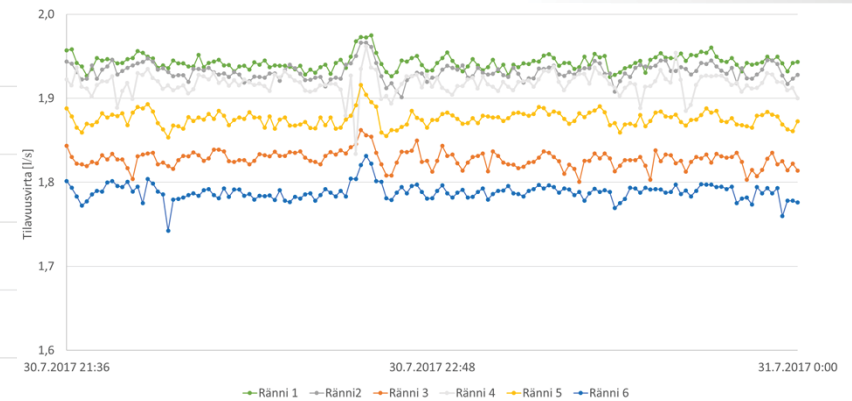
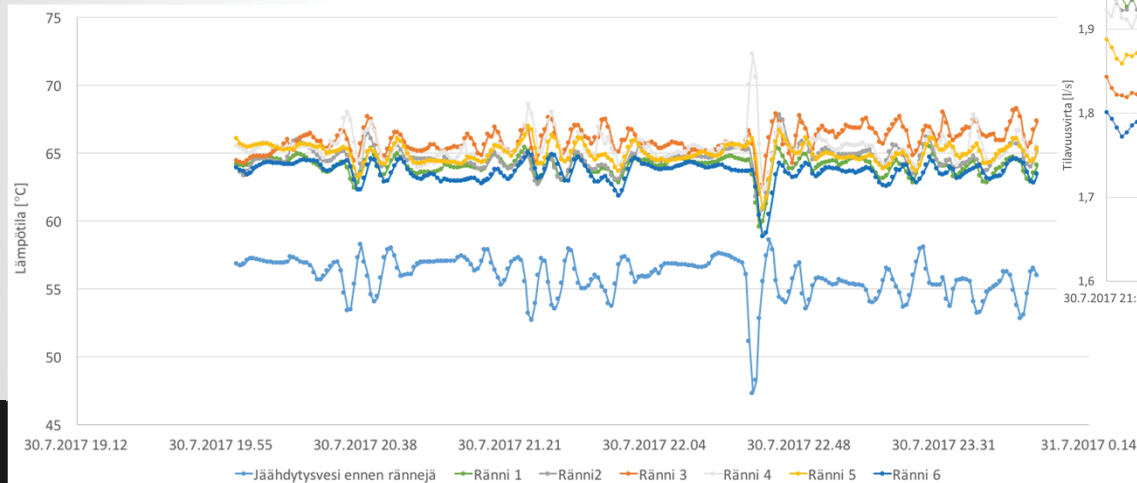
		Ränni					
		1	2	3	4	5	6
Jäähdytysveden virtaus [l/s]	min	1,90	1,90	1,79	1,78	1,80	1,70
	k-a	1,94	1,94	1,85	1,93	1,89	1,79
	max	1,99	1,97	1,90	1,98	1,93	1,85
Jäähdytysveden lämpötila [°C]	min	59,6	59,2	59,2	59,4	60,0	58,9
	k-a	63,1	62,9	63,3	63,1	63,3	62,9
	max	66,6	67,8	69,4	72,3	70,8	68,0
Lämpötilan nousu [°C]	min	1,8	1,5	1,1	1,2	1,9	1,4
	k-a	5,2	5,0	5,5	5,2	5,5	5,1
	max	16,1	16,7	18,4	23,3	18,9	16,9
Lämpöteho [kW]	min	14,9	12,2	8,7	10,0	14,8	10,4
	k-a	42,0	40,4	41,7	41,7	43,0	37,6
	max	131,4	136,0	141,8	187,0	148,7	125,5
Lämpötehon muutos [kW/min]	min	-51,2	-47,6	-46,0	-65,8	-47,4	-46,2
	k-a	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	max	52,1	53,3	54,7	61,7	61,7	51,0

		Ränni					
Muutos vähintään		1	2	3	4	5	6
10	kW/min	452	478	482	527	454	392
20	kW/min	95	97	98	126	102	78
30	kW/min	32	30	27	44	35	19
40	kW/min	8	7	8	20	11	3
50	kW/min	2	1	1	6	2	1
40	%	150	169	151	190	133	159
50	%	84	97	86	117	87	95
60	%	51	58	46	74	54	52
80	%	24	22	19	30	22	19
100	%	6	7	5	16	5	5

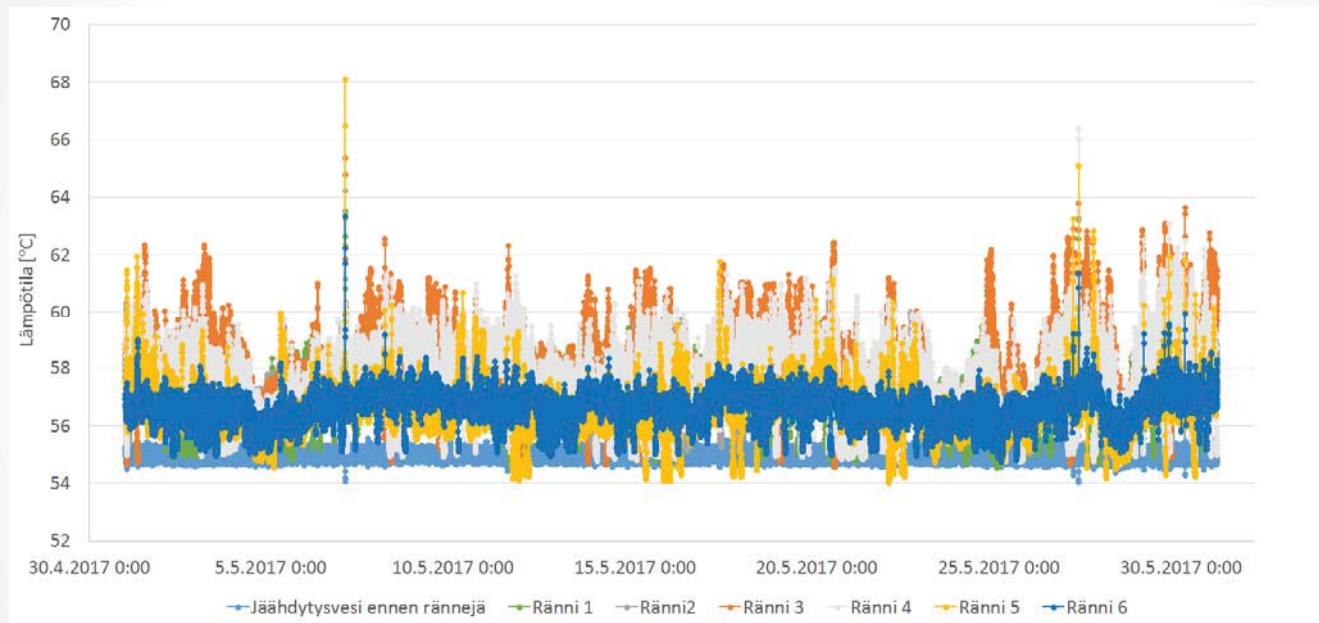
Joutseno



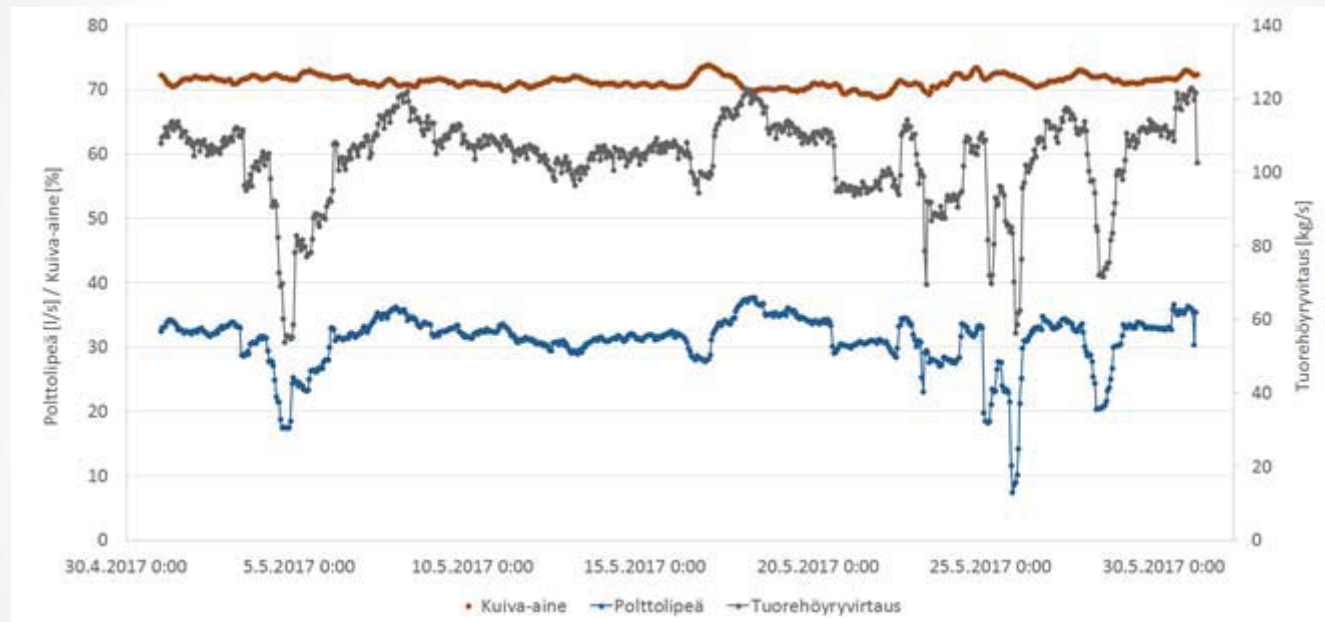
- Oletettavasti jäähdytysveden sisäänmenolämpötilan nopea heilahtelu vääristää laskennan tuloksia
- Virtaus säilynyt hyvin tasaisena läpi tarkastelujakson
 - Kuitenkin lämpötilapiikkien yhteydessä virtaus notkahtaa noin 5 % normaalia alhaisemmaksi



Enocell



Enocell



Enocell



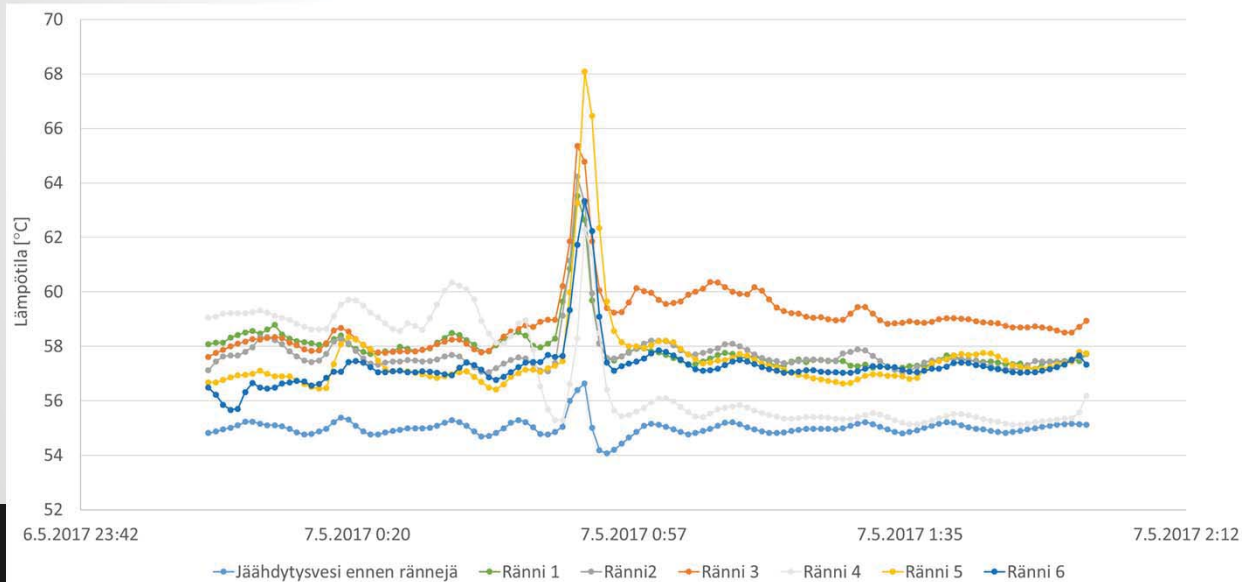
		Ränni					
		1	2	3	4	5	6
Jäähdytysveden virtaus [l/s]	min	2,64	2,64	2,64	2,64	2,64	2,64
	k-a	2,65	2,65	2,65	2,65	2,65	2,65
	max	2,66	2,66	2,66	2,66	2,66	2,66
Jäähdytysveden lämpötila [°C]	min	54,5	55,0	54,6	54,7	54,0	54,7
	k-a	57,4	57,3	58,1	57,7	56,5	56,6
	max	63,5	64,2	65,4	66,4	68,1	63,3
Lämpötilan nousu [°C]	min	-0,1	0,4	-0,2	-0,1	-0,7	0,1
	k-a	2,4	2,3	3,1	2,7	1,5	1,6
	max	7,1	7,8	9,0	10,8	11,7	6,9
Lämpöteho [kW]	min	-1,3	3,9	-2,7	-0,6	-7,5	0,9
	k-a	26,1	25,6	33,9	29,9	16,9	17,9
	max	78,1	85,9	98,3	118,5	128,3	76,2
Lämpötehon muutos [kW/min]	min	-18,5	-18,5	-26,7	-24,4	-27,4	-16,8
	k-a	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	max	33,9	41,9	42,6	44,7	73,5	33,3

		Ränni					
Muutos vähintään		1	2	3	4	5	6
10	kW/min	156	53	150	419	103	19
20	kW/min	3	4	19	46	23	1
30	kW/min	1	1	3	7	4	1
40	kW/min	0	1	1	1	2	0
50	kW/min	0	0	0	0	1	0
40	%	140	50	68	276	252	53
50	%	48	25	41	148	150	25
60	%	16	13	19	79	99	18
80	%	3	4	3	20	50	10
100	%	1	2	2	7	35	3

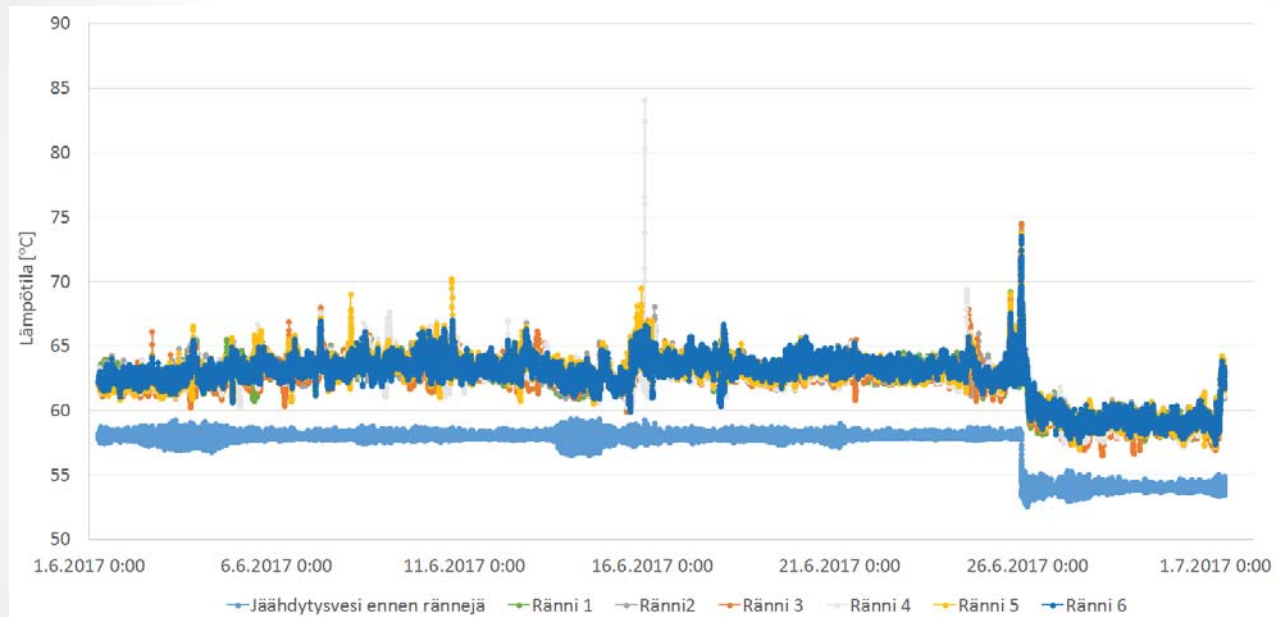
Enocell



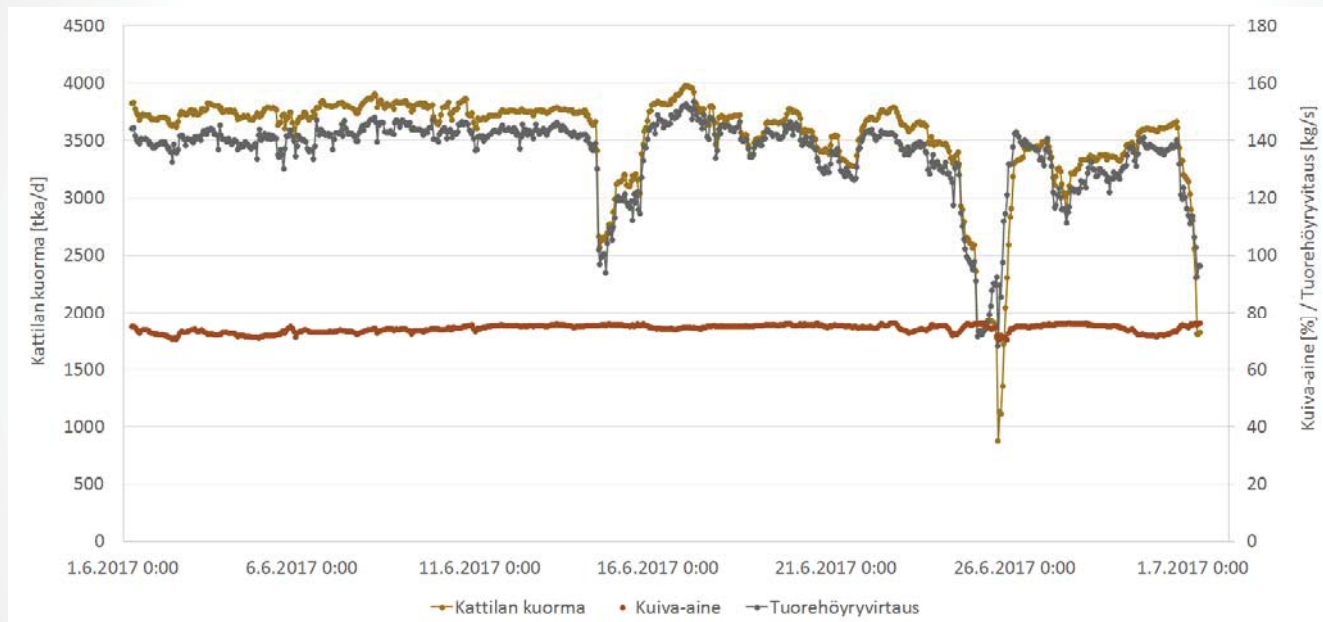
- Paljon tukkeutumisia
- Keskimääräinen lämpötilannousu pieni, maksimipiikissä lämpötilannousu jopa nelinkertainen keskimääräiseen verrattuna (kuva)



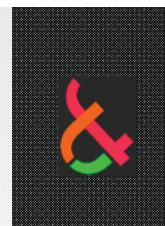
Kaukas



Kaukas



Kaukas



		Ränni					
		1	2	3	4	5	6
Jäähdytysveden virtaus [l/s]	min	1,48	1,48	1,35	0,43	1,35	1,45
	k-a	1,78	1,79	1,65	1,76	1,62	1,76
	max	1,82	1,84	1,72	1,82	1,68	1,85
Jäähdytysveden lämpötila [°C]	min	57,1	57,4	56,5	57,0	57,0	57,4
	k-a	62,3	62,3	62,2	62,3	62,4	62,5
	max	73,2	74,0	74,5	84,1	73,8	73,5
Lämpötilan nousu [°C]	min	2,5	2,6	1,7	1,8	2,4	1,9
	k-a	5,0	5,0	4,9	5,0	5,2	5,2
	max	15,4	16,2	16,6	26,6	16,1	16,2
Lämpöteho [kW]	min	18,8	19,4	11,7	13,5	16,1	13,9
	k-a	36,7	37,2	33,3	36,7	34,5	37,9
	max	100,7	108,1	101,1	122,7	98,4	105,1
Lämpötehon muutos [kW/min]	min	-7,3	-17,2	-12,8	-45,4	-8,7	-9,2
	k-a	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	max	14,2	16,8	20,6	55,4	14,3	14,7

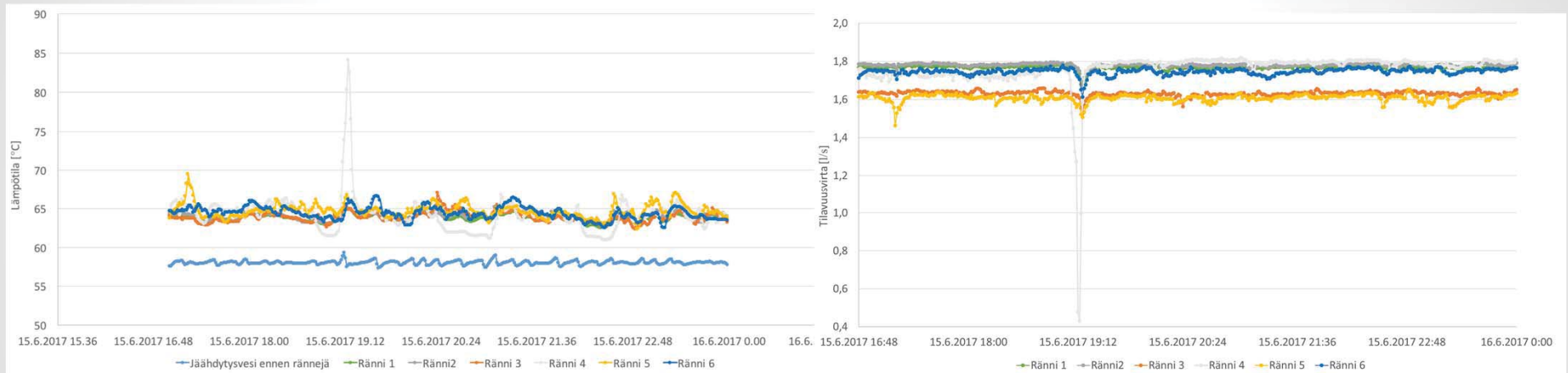
		Ränni					
Muutos vähintään		1	2	3	4	5	6
10	kW/min	62	74	56	86	55	79
20	kW/min	0	0	1	6	0	0
30	kW/min	0	0	0	3	0	0
40	kW/min	0	0	0	2	0	0
50	kW/min	0	0	0	1	0	0
40	%	0	3	6	11	4	0
50	%	0	0	3	6	0	0
60	%	0	0	1	4	0	0
80	%	0	0	0	3	0	0
100	%	0	0	0	2	0	0

Kaukas

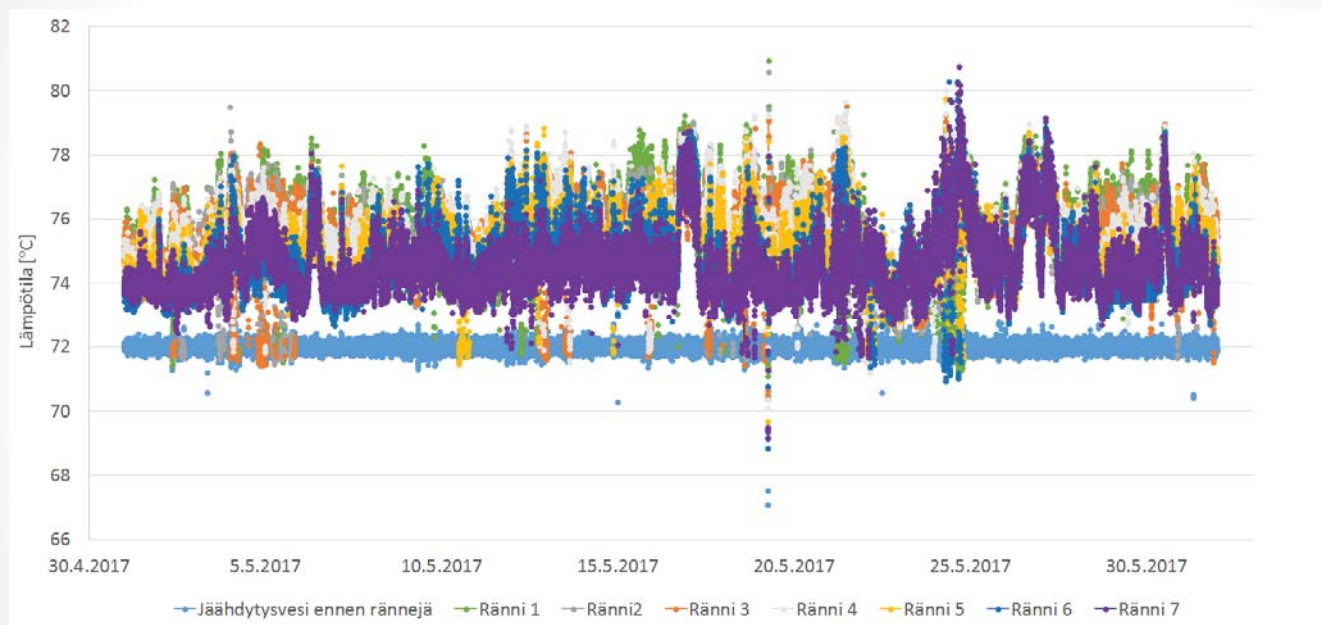


- Yhdessä lämpötilapiikissä kourun 4 lämpötila noussut lähelle kiehumispistettä, virtaushäiriö samaan aikaan (kuvat seuraavalla dialla)
 - Jäähdytysveden höyrystyminen virtaushäiriön aiheuttajana?
- Jäähdytysvesivirtauksessa muutenkin vaihtelu suurempaa kuin esimerkiksi Joutsenossa
 - Lämpötilapiikeissä vastaava ilmiö, eli virtaus notkahtaa, muutos hetkellisesti noin 10 % normaalivirtauksesta
- Loppukuun lämpötilapiikki tehonnoston yhteydessä

Kaukas



Kymi



Kymi

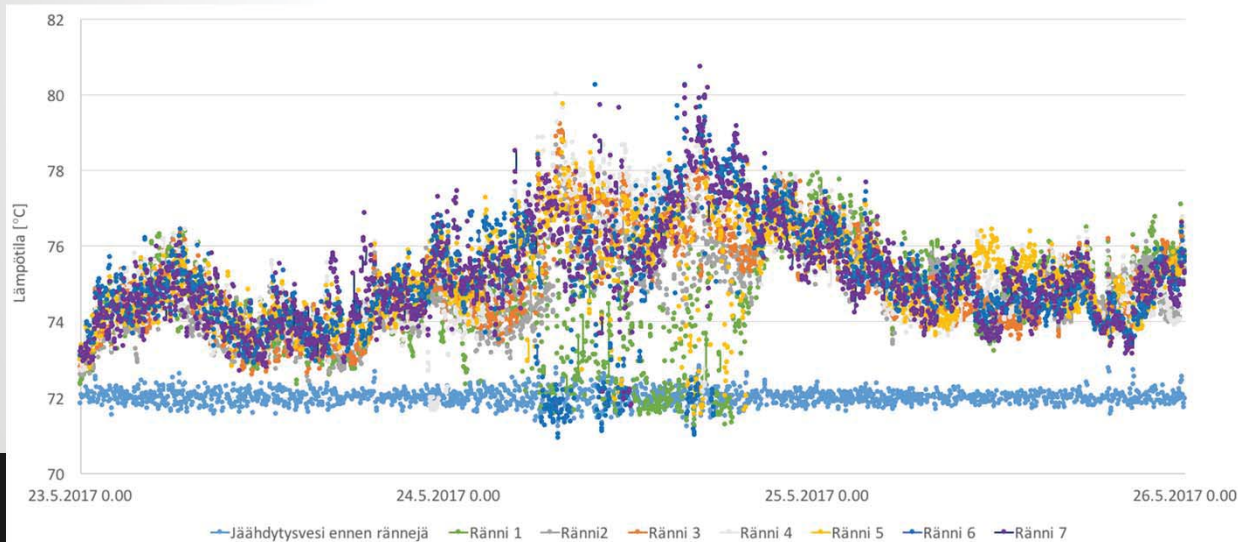


		Ränni						
		1	2	3	4	5	6	7
Jäähdytysveden virtaus [l/s]	min	2,85	2,76	2,79	2,68	2,83	2,74	2,75
	k-a	2,91	2,81	2,84	2,76	2,87	2,79	2,81
	max	2,94	2,85	2,89	2,79	2,91	2,82	2,85
Jäähdytysveden lämpötila [°C]	min	71,1	70,5	70,3	70,1	69,4	68,8	69,2
	k-a	75,6	75,5	75,4	75,5	75,2	74,8	74,6
	max	80,9	80,6	79,5	80,0	79,7	80,3	80,7
Lämpötilan nousu [°C]	min	-0,8	-0,7	-0,7	-0,8	-1,1	-1,7	-1,7
	k-a	3,6	3,5	3,4	3,5	3,2	2,8	2,6
	max	7,7	7,4	7,5	7,9	7,6	8,4	8,9
Lämpöteho [kW]	min	-9,2	-8,3	-8,4	-8,7	-12,8	-19,5	-20,0
	k-a	43,8	40,6	40,0	40,3	38,5	32,6	30,2
	max	92,9	86,1	88,2	90,7	90,6	96,4	103,3

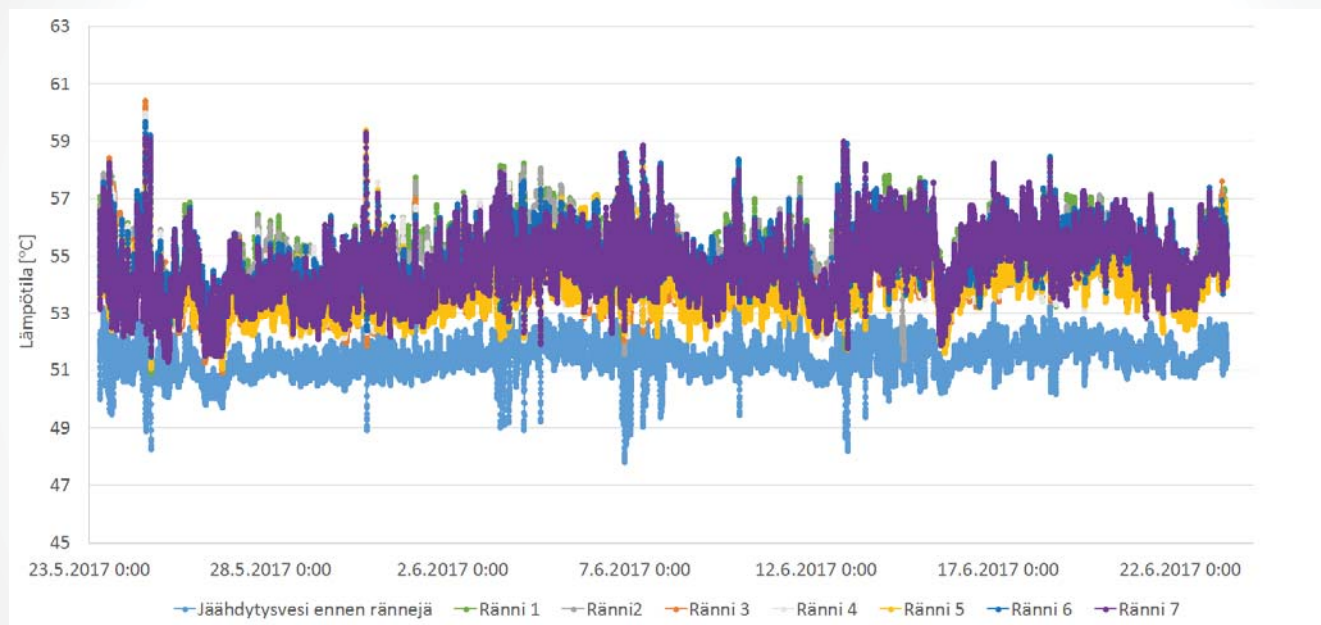
Kymi



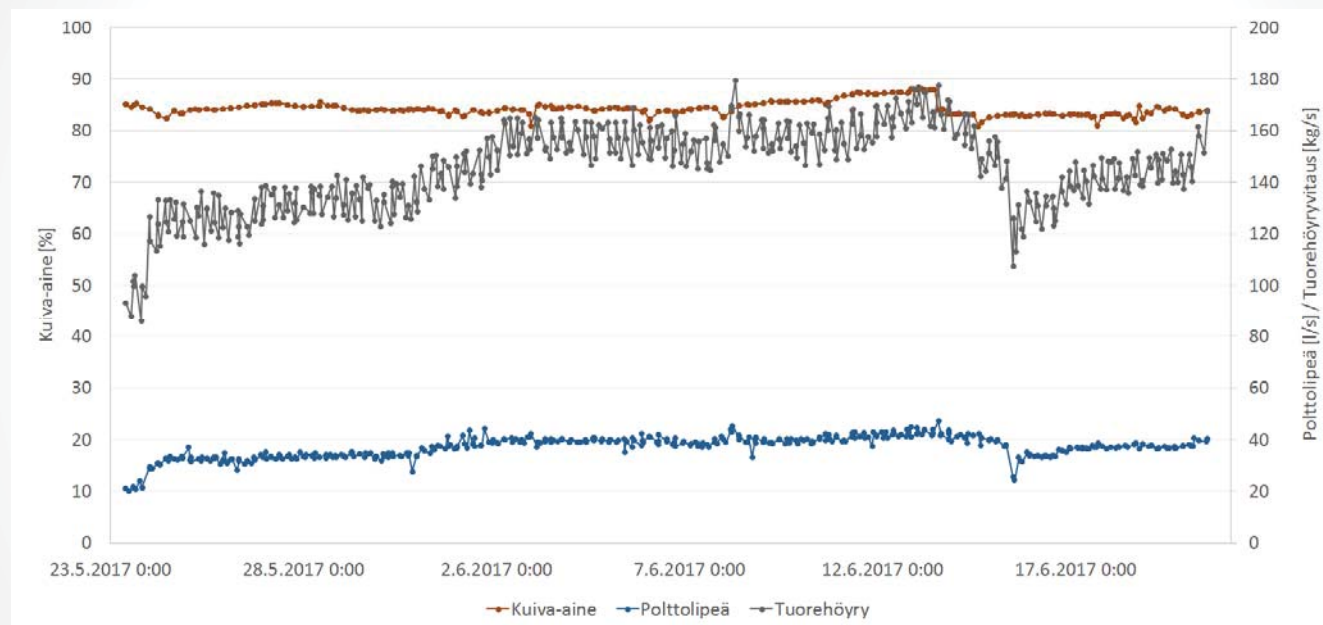
- Datassa vaihteleva mittausväli, lämpörasitusten muutoksia ei tästä syystä taulukoitu
- Joitakin tukkeutumiskertoja, kuvassa esimerkkitilanne, jossa useampi ränni ollut tukossa. Muissa ränneissä tällöin lämpötilan nousu suurempi



Pietarsaari



Pietarsaari



Pietarsaari



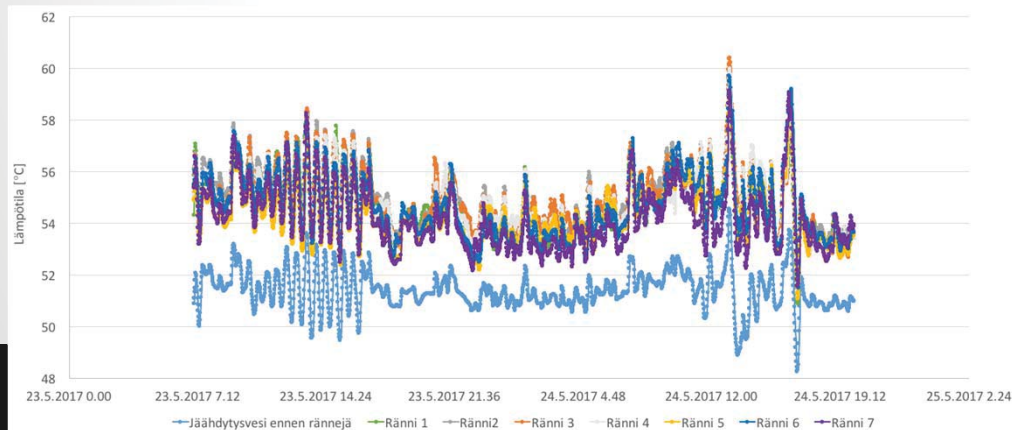
		Ränni						
		1	2	3	4	5	6	7
Jäähdytysveden virtaus [l/s]	min	1,97	2,05	2,37	2,36	2,43	2,37	2,36
	k-a	2,01	2,09	2,42	2,41	2,48	2,42	2,41
	max	2,03	2,12	2,45	2,44	3,00	2,47	2,45
Jäähdytysveden lämpötila [°C]	min	50,9	51,2	50,9	51,1	51,0	51,5	51,3
	k-a	54,7	54,6	54,1	54,2	54,0	54,8	54,6
	max	59,3	60,1	60,4	60,0	59,4	59,7	59,3
Lämpötilan nousu [°C]	min	1,5	0,3	1,1	1,4	1,3	1,5	1,2
	k-a	3,3	3,2	2,7	2,8	2,6	3,4	3,2
	max	5,7	6,6	6,6	6,0	6,3	7,3	7,4
Lämpöteho [kW]	min	12,5	2,9	10,8	13,7	13,0	15,5	11,8
	k-a	27,1	28,0	27,5	27,8	26,7	33,8	31,7
	max	47,4	57,2	64,8	59,4	64,5	72,6	74,0
Lämpötehon muutos [kW/min]	min	-5,4	-8,2	-7,6	-7,2	-8,3	-7,2	-11,0
	k-a	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	max	10,7	11,8	10,5	13,6	13,0	16,9	18,6

		Ränni						
Muutos vähintään		1	2	3	4	5	6	7
10	kW/min	1	5	4	11	15	16	22
20	kW/min	0	0	0	0	0	0	0
30	kW/min	0	0	0	0	0	0	0
40	kW/min	0	0	0	0	0	0	0
50	kW/min	0	0	0	0	0	0	0
40	%	0	1	0	4	9	4	4
50	%	0	0	0	0	0	0	1
60	%	0	0	0	0	0	0	0
80	%	0	0	0	0	0	0	0
100	%	0	0	0	0	0	0	0

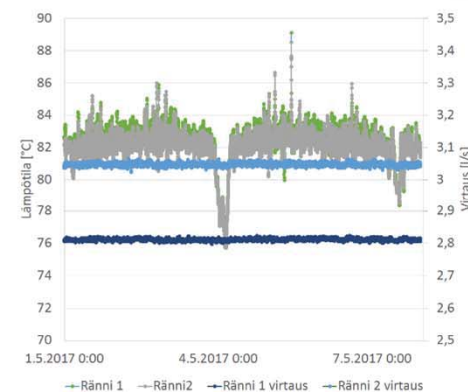
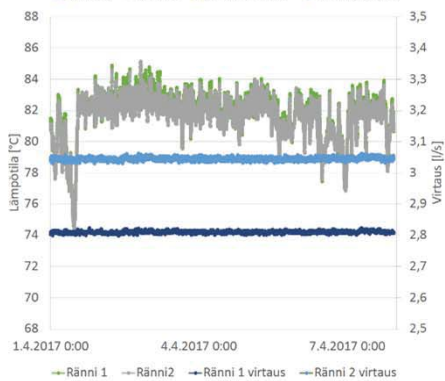
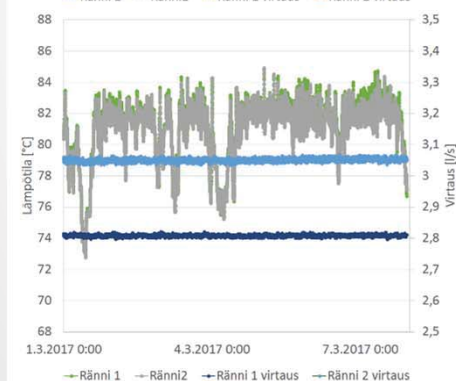
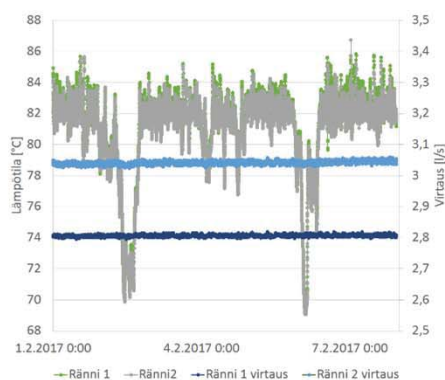
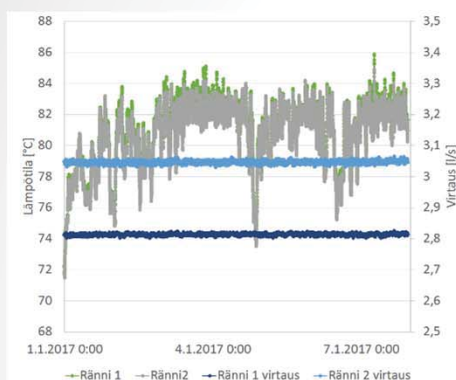
Pietarsaari



- Jäähdytysveden sisäänmenolämpötila vaihdellut melko paljon
- Virtaus ollut hyvin tasainen, rännin 5 maksimipiikki 3 l/s oletettavasti jokin häiriö mittauksessa, sillä kyseessä yksittäinen minuutti
 - Kuitenkin rännien välillä suurehkoja eroja virtauksissa
- Kuvan mukaisesti sulavirtaus vaikuttaa jakautuvan melko tasaisesti eri rännien välille

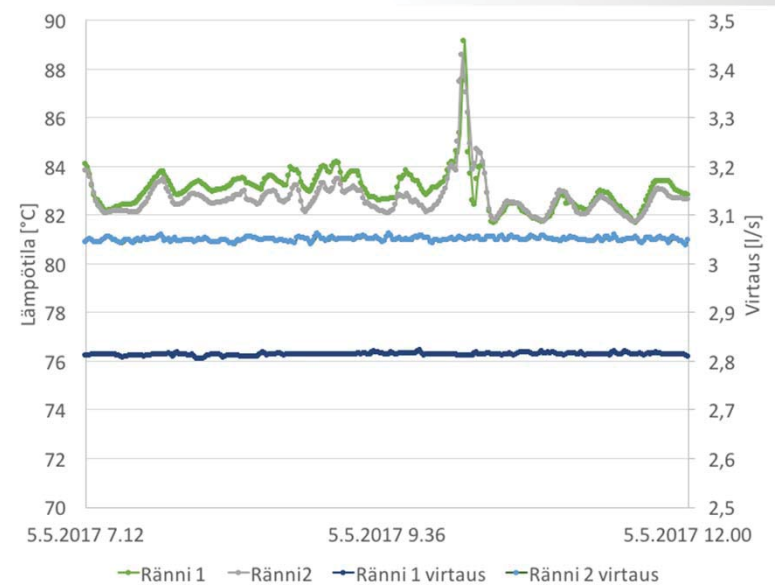


Kotkamills



Kotkamills

- Jäähdytysveden sisäänmenolämpötilan puute hankaloittaa tarkastelua
 - Ei voi laskea tukkeutumiskertoja, lämpötilan nousua rännissä yms.
- Monessa lämpötilapiikissä molemmat rännit piikanneet samaan aikaan (kuva)





Kokonaislämpörasitus

Lämpötehon muutokset (1/5)



		Lämpötehon muutos yli 10 kW/min						
		Ränni 1	Ränni 2	Ränni 3	Ränni 4	Ränni 5	Ränni 6	Ränni 7
Joutseno	Mill B	452	478	482	527	454	392	
Äänekoski	Mill A	50	15	89	13	58		
Enocell	Mill E	156	53	150	419	103	19	
Sunila SK10	Mill H1	418		169				
Sunila SK11	Mill H2	142	259	267	121			
Kaukas	Mill K	62	74	56	86	55	79	
Kymi SK3	Mill L							
Pietarsaari	Mill M	1	5	4	11	15	16	22
Sunila SK11 2016		226	299	278	188			

Lämpötehon muutokset (2/5)



		Lämpötehon muutos yli 20 kW/min						
		Ränni 1	Ränni 2	Ränni 3	Ränni 4	Ränni 5	Ränni 6	Ränni 7
Joutseno	Mill B	95	97	98	126	102	78	
Äänekoski	Mill A	0	0	6	0	1		
Enocell	Mill E	3	4	19	46	23	1	
Sunila SK10	Mill H1	57		25				
Sunila SK11	Mill H2	63	79	70	25			
Kaukas	Mill K	0	0	1	6	0	0	
Kymi SK3	Mill L							
Pietarsaari	Mill M	0	0	0	0	0	0	0
Sunila SK11 2016		136	144	104	55			

Lämpötehon muutokset (3/5)



		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			

Lämpötehon muutokset (4/5)



		Lämpötehon muutos yli 40 kW/min						
		Ränni 1	Ränni 2	Ränni 3	Ränni 4	Ränni 5	Ränni 6	Ränni 7
Joutseno	Mill B	8	7	8	20	11	3	
Äänekoski	Mill A	0	0	0	0	0		
Enocell	Mill E	0	1	1	1	2	0	
Sunila SK10	Mill H1	4		7				
Sunila SK11	Mill H2	1	1	2	0			
Kaukas	Mill K	0	0	0	2	0	0	
Kymi SK3	Mill L							
Pietarsaari	Mill M	0	0	0	0	0	0	0
Sunila SK11 2016		6	5	4	5			

Lämpötehon muutokset (5/5)



		Lämpötehon muutos yli 50 kW/min						
		Ränni 1	Ränni 2	Ränni 3	Ränni 4	Ränni 5	Ränni 6	Ränni 7
Joutseno	Mill B	2	1	1	6	2	1	
Äänekoski	Mill A	0	0	0	0	0		
Enocell	Mill E	0	0	0	0	1	0	
Sunila SK10	Mill H1	3		3				
Sunila SK11	Mill H2	0	0	1	0			
Kaukas	Mill K	0	0	0	1	0	0	
Kymi SK3	Mill L							
Pietarsaari	Mill M	0	0	0	0	0	0	0
Sunila SK11 2016		6	5	4	5			

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			

Kokonaisrasitus (1/2)



- $\dot{q}_{\text{tot}} = a \cdot \dot{q}_{10} + b \cdot \dot{q}_{20} + c \cdot \dot{q}_{30} + d \cdot \dot{q}_{40} + e \cdot \dot{q}_{50} + f \cdot x_{\text{tukk}}$
- Eri suuruiset muutokset skaalattu hypoteettisilla kertoimilla

a	1	10 kW muutokset
b	2	20 kW muutokset
c	3	30 kW muutokset
d	4	40 kW muutokset
e	5	50 kW muutokset
f	5	tukkeutuminen

Kokonaisrasitus (2/2)



		Kokonaisrasitus						
		Ränni 1	Ränni 2	Ränni 3	Ränni 4	Ränni 5	Ränni 6	Ränni 7
Joutseno	Mill B	780	795	796	1021	817	622	0
Äänekoski	Mill A	50	15	101	13	60	0	0
Enocell	Mill E	555	208	301	1331	824	559	0
Sunila SK10	Mill H1	962	0	344	0	0	0	0
Sunila SK11	Mill H2	1548	739	681	1229	0	0	0
Kaukas	Mill K	62	74	58	120	55	79	0
Kymi SK3	Mill L							
Pietarsaari	Mill M	1	20	4	11	15	16	22
Sunila SK11 2016		1285	1202	963	958	0	0	0

Johtopäätökset



- Sunilassa lämpötehon muutoksia paljon, SK10:llä pitkät rännit osittain selittävänä tekijänä, sillä lämmönsiirtopinta-alaa pitkässä rännissä enemmän
- Kattilan kuormanmuutokset eivät tarkastelun perusteella ole merkittävässä roolissa sulasyöksyjien aiheutumisessa
- Kourumateriaalin lämpötilojen mittaaminen kourun eri kohdissa termoelementeillä vaatisi erikoisvalmisteisen kourun, mutta se antaisi arvokasta lisäinformaatiota mahdolliseen jäähdytysveden höyrystymiseen liittyen

(Liuottaja)



- Massataseeseen liittyvät epävarmuudet (tilavussvirrat, pinta, tiheys, ei-mitattavat virrat esim. hönkä) muodostavat haasteita sulavirran luotettavalle määrittämiselle liuottajan taseesta. Lisäksi pitäisi määrittää sulan jakautuminen kourukohtaisesti
- Seuraavan dian kuvan mukaisesti liuottajan pinnan erittäin pieni muutos muuttaa laskennallista sulamäärää merkittävästi. Toisaalta pinnan muutoksen huomiotta jättäminen tasoittaa laskennallisen sulavirran määrän.

(Liuottaja)



- Ote Joutsenon liuotinsäiliötaseen kautta lasketusta sulamäärästä ja rännien jäähdytysvedeen siirtyneestä kokonaislämpötehosta

