



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



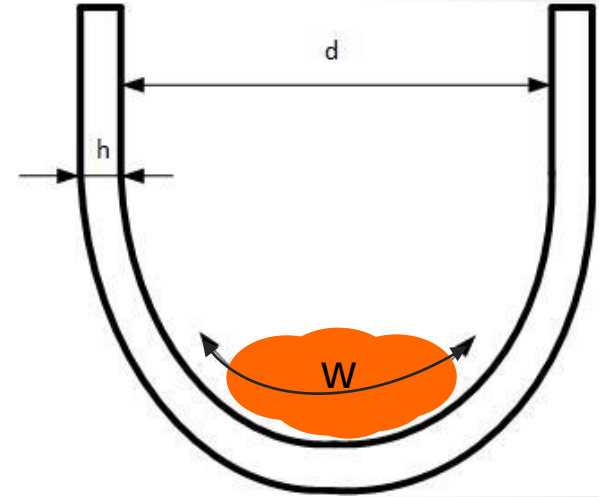
Sulamäärän arviointi/laskenta

- 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



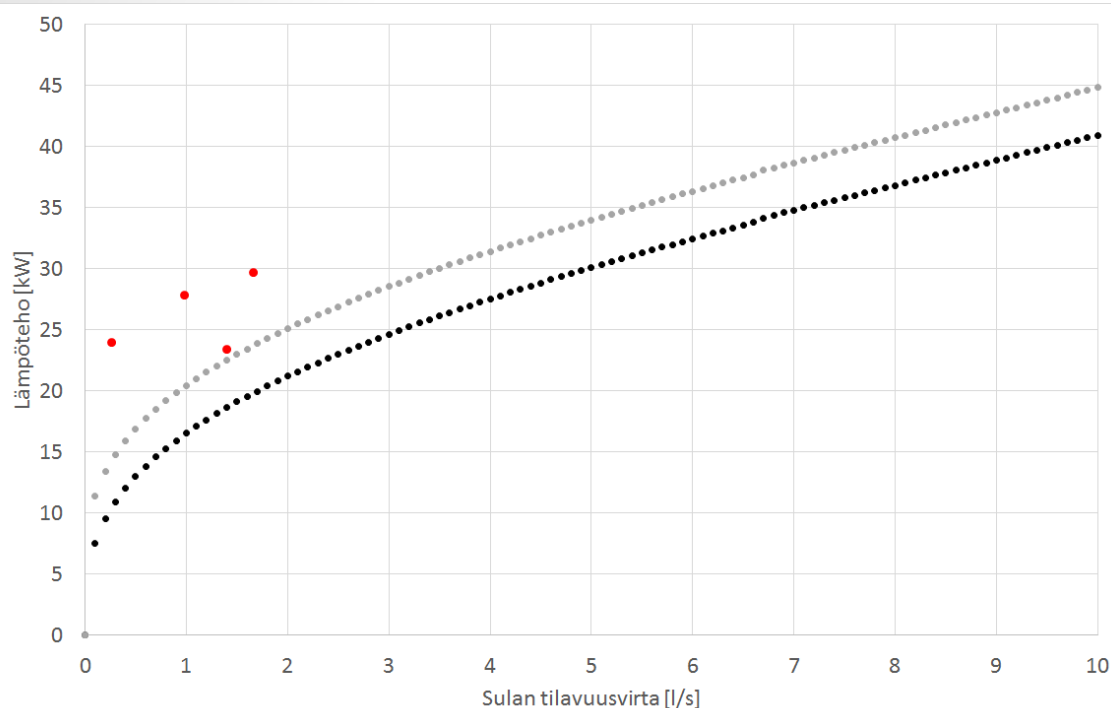
Lämpövuon suuruuden arviointi

- 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/m^2]					
		Kattila A		Kattila B			
Kontaktileveys [m]	Sulakouru	1	3	1	2	3	4
	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?

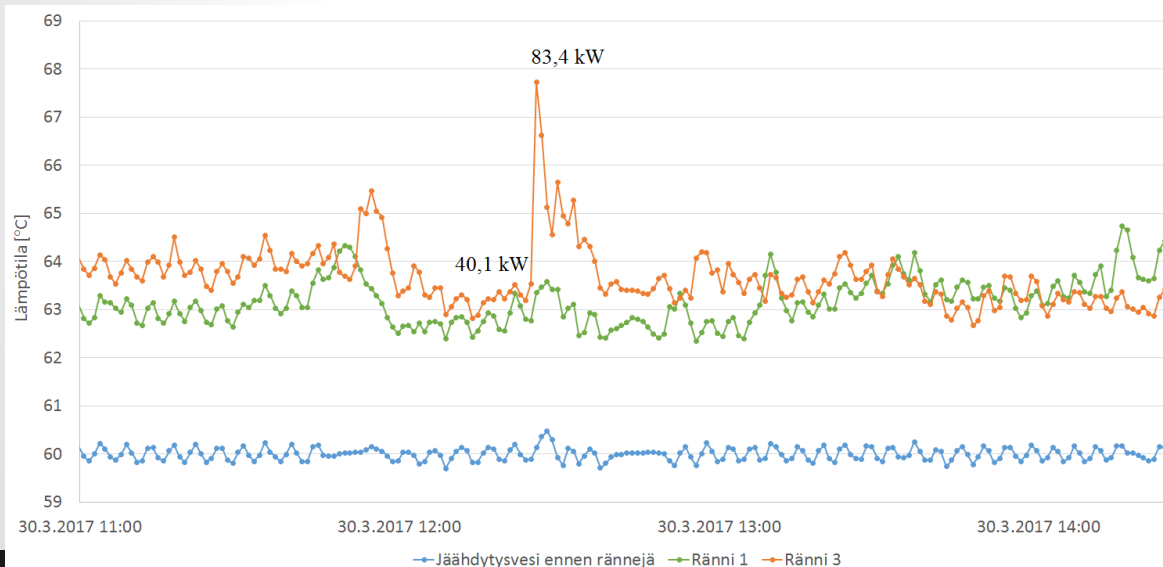


Mittausdatan analysointi



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

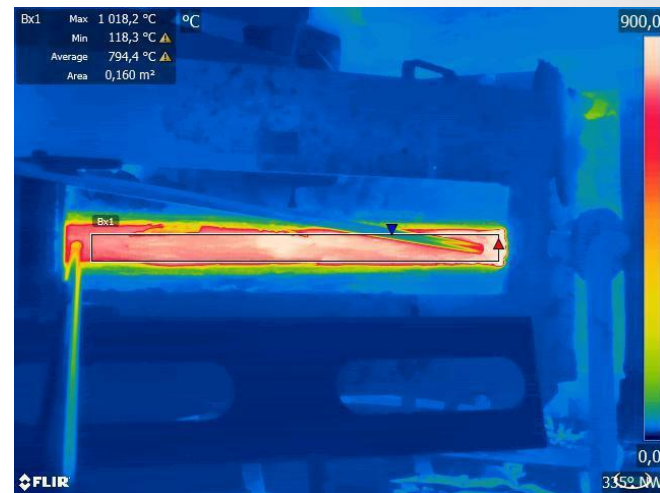
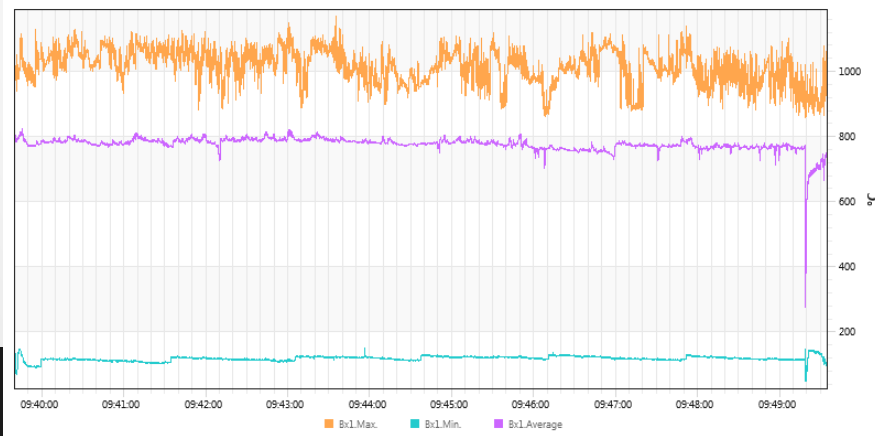
Sulan nopeus luokkaa 1,5 m/s,
epävarmuus merkittävä



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?