



Open your mind. LUT.
Lappeenranta University of Technology



Open your mind. LUT.
Lappeenranta University of Technology

SELLUTEHTAAN OPTIMAALISET HÖYRYJEN PAINEET

Aapo Hiltunen, Esa Vakkilainen ja Jussi Saari
LUT Energia

Soodakattilayhdistyksen kokous
12.12.2011
Kouvola



Sisältö

- Suoritetut tarkastelut:
 - tehdastapaukset
 - höyryn käyttökohteet
- Alustavat tulokset
- Suunnitelma jatkotarkasteluille

E. Vakkilainen



Tehdastapaukset

- Case A: Perinteinen sellutehdas
- Case B: Perinteinen sellutehdas + kuorikattila
- Case C: Perinteinen sellutehdas +hienopaperikone
- Case D: Perinteinen sellutehdas +hienopaperikone + kuorikattila
- Case E: Moderni sellutehdas
- Case F: Moderni sellutehdas + kuorikattila
- Case G: Moderni sellutehdas + hienopaperikone
- Case H: Moderni sellutehdas + hienopaperikone + kuorikattila

E. Vakkilainen



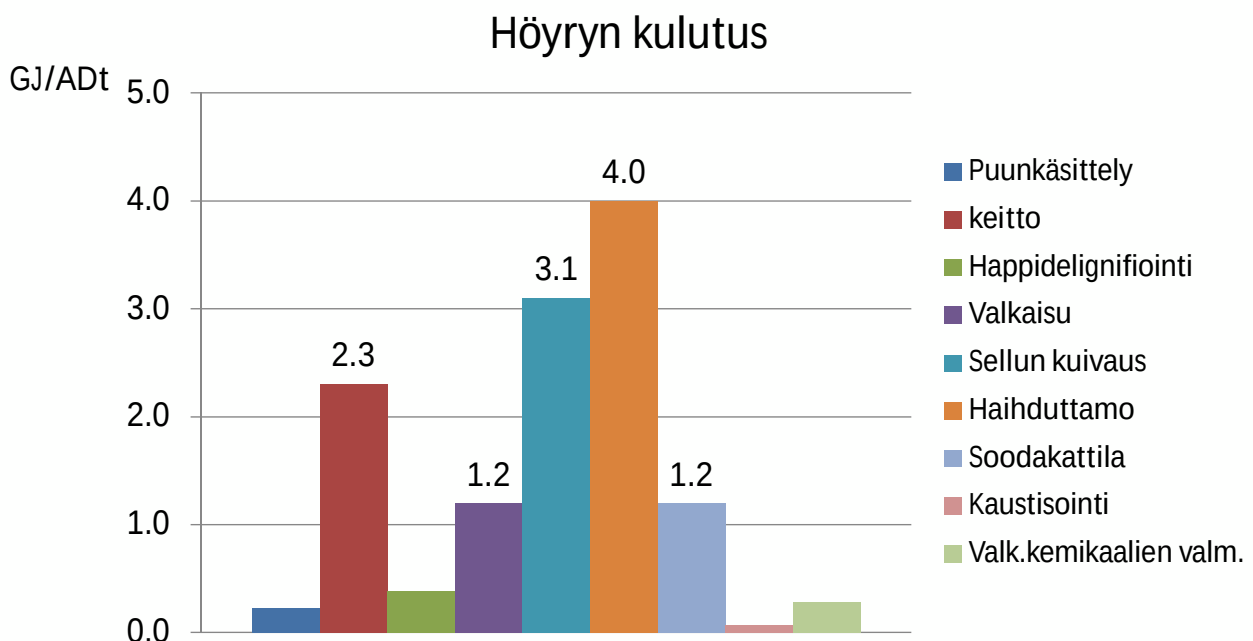
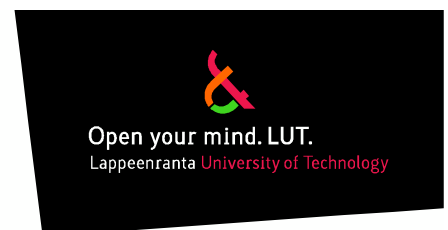
Kustakin tapauksesta tehdastase



- Tehdasintegraatin oletettiin tuottavan 650 000 tonnia paperia 600 000 tonnia sellua kohden.
- Modernin sellutehtaan lämmön kulutuksen arvioitiin olevan 1 GJ/ADt pienempi ja sähkön kulutuksen 60 kWh/ADt pienempi kuin perinteisellä sellutehtaalla.
- Hienopaperikoneen oletettiin aiheuttavan sellutehtaalla 5400 MJ/t_{pap} lisälämmön kulutuksen ja 650 kWh/t_{pap} lisäsähkön kulutuksen. Hienopaperikoneen aiheuttama lisälämmön- ja sähkönkulutus sisältää myös paperimassan kuivaukseen tarvittavan energian.
- Sähkön hinta 45.17 €/MWh (kesäkuu 2010)

E. Vakkilainen

Keskimääräiset höyrynkulutukset



Nieminen, 2007

Tarkasteluihin valitut muutoskohteet

- Matalapainetason valinta
 - MP = 3, 4, 5 tai 6 bar
- Nuohoushöyryn paineen alentaminen
 - VP3 = 40/32/22/20 bar
 - 0, 0.5 tai 1.0 kg/s korvattu 11bar VP2:lla
 - Oletettu MP=4bar, VP-verkko 11bar, muuttumaton nuohousteho
- Toisen matalapainetason rakentaminen
 - 5 bar rinnalle 3.5 bar lauhdeperän välitosta (jos mahdollista turbiinista)
- Toisen välipainetason rakentaminen
 - 9 bar välitosta (jos mahdollista turbiinista)

3/19/2011

© Esa K. Vakkilainen, 2011

7

Taseissa käytetyt höyryn arvot

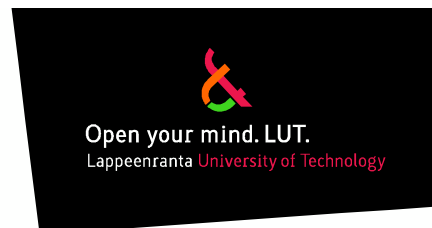
	LP		MP		MP2		MP3	
	p bar(a)	T °C	p bar(a)	T °C	p bar(a)	T °C	p bar(a)	T °C
1.	3	134	7	181	11	226	25	317
2.	4	144	7	181	11	226	25	317
3.	5	152	7	181	11	226	25	317
4.	6	165	7	181	11	226	25	317
5.	4	144	7	181	13	226	25	317
6.	4	144	7	181	15	258	25	317
7.	4	144	7	181	17	273	25	317

3/19/2010

© Esa K. Vakkilainen, 2010

8

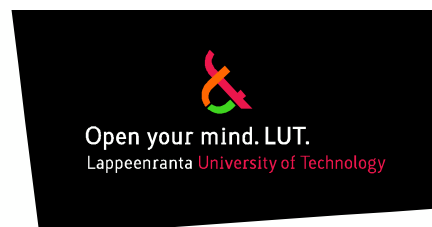
Suomessa käytetyt painetasot



Tehdas:	Tuore- höyry	Tuore- höyry2	Nuohous- höyry	Välipaine	Väli- paine2	Matala- paine	Matala- paine2	Muu höyry
	bar(g)							
1. Enocell	81		25	12		5		0,0059
2. Joutseno	93		24	10,5	6,8	3,5		
3. Kemi	84		28	12,5	9	3,5		-0,6
4. Kymi	100	114	24	13,7		4,6	3,9	-0,64
5. Oulu	84	100	24	10,8		2,8		
6. Pietarsaari	102		27	17	11,5	5,5	3,5	
			16					
7. Rauma	92		28	11		3,5		
8. Sunila	63		35	10		2,5		
9. Varkaus	64	110	30	17	8	2		4
10. Äänekoski	83,2		33	12,3	11,8	4,4	4,2	
11. Imatra	83	67		10,1		5,1		
12. Kotka	80			13		6	4	
13. Veitsiluoto								
14. Kaukas								

Footer

Prosessilämmön/-sähkön kulutus



Prosessilämmön kulutus:	LP (3bar)	MP (11 bar)		Ominaislämmön- kulutus	Ominaislähk- kulutus
	kg/s	kg/s	MW	GJ/Adt	kWh/Adt
Case A: Perinteinen sellutehdas	57.4	22.8	188	17.5	733
Case B: Perinteinen sellutehdas + kuorikattila	59.1	23.5	194	17.7	761
Case C: Perinteinen sellutehdas + hienopaperikone	78.4	22.8	240	20.1	1221
Case D: Perinteinen sellutehdas + hienopaperikone + kuorikattila	80.1	23.5	246	20.4	1249
Case E: Moderni sellutehdas	54.4	21.5	178	16.5	674
Case F: Moderni sellutehdas + kuorikattila	56.1	22.2	183	16.7	700
Case G: Moderni sellutehdas + hienopaperikone	76.5	21.5	232	19.2	1174
Case H: Moderni sellutehdas + hienopaperikone + kuorikattila	78.1	22.2	237	19.5	1200

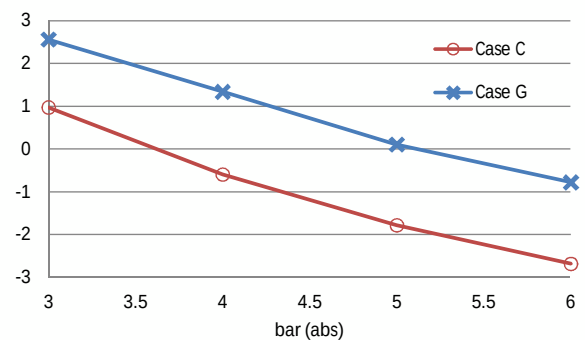
Höyryn painetaso ja sähkön myyntitulo vuodessa 1/2

Höyrynpainetasojen vaikutus sähkön myyntituloihin	LP: 1000 €/bar/a	MP: 1000 €/bar/a
Case A: Perinteinen sellutehdas	1030	69.7
Case B: Perinteinen sellutehdas + kuorikattila	1000	73.7
Case C: Perinteinen sellutehdas + hienopaperikone	1190	68.4
Case D: Perinteinen sellutehdas + hienopaperikone + kuorikattila	1250	70.2
Case E: Moderni sellutehdas	890	68.0
Case F: Moderni sellutehdas + kuorikattila	960	66.9
Case G: Moderni sellutehdas + hienopaperikone	1110	66.1
Case H: Moderni sellutehdas + hienopaperikone + kuorikattila	1230	66.1

Höyryn painetaso ja sähkön myyntitulo vuodessa 2/2

Sähkön myyntitulot vuodessa [Milj.€/a] LP- ja MP- tason mukaan								
	LP paine bar(a)				MP paine bar (a)			
	3	4	5	6	11	13	15	17
Case A	17.0	15.7	14.8	13.9	15.7	15.5	15.4	15.3
Case B	31.1	29.8	28.9	28.1	29.8	29.7	29.5	29.4
Case C	0.9	-0.6	-1.8	-2.7	-0.6	-0.7	-0.9	-1.0
Case D	15.1	13.5	12.3	11.3	13.5	13.4	13.2	13.1
Case E	19.4	18.0	17.2	16.5	18.0	17.9	17.8	17.6
Case F	33.4	32.3	31.3	30.6	32.3	32.1	32.0	31.9
Case G	2.6	1.3	0.1	-0.8	1.3	1.1	1.0	0.9
Case H	17.0	15.5	14.2	13.3	15.5	15.3	15.2	15.1

Matalapainetason vaikutus sähkön myyntituloihin, milj.€/a



Nuohoushöyryn paineen vaikutus sähkön tuotantoon

	MP3: 40 bar (abs)	MP3: 32 bar (abs)	MP3: 22 bar (abs)	MP3: 20 bar (abs)	Vaikutus myyntituloihin [1000€/bar/a]
MP3: 4.5 kg/s MP2: 0 kg/s	0	123	239	260	13
MP3: 4 kg/s MP2: 0.5 kg/s	52	155	271	289	12
MP3: 3.5 kg/s MP2: 1 kg/s	96	191	300	309	11

13

Putkiston investointikustannukset

	Paine (abs)	Pit uus	Halkaisija	Seinämän paksuus	Siirto- putkiston massa (25%)	Koko putkiston paino
	p [bar]	l [m]	DN [mm]	s [mm]	m [kg]	m [kg]
NH	28	100	150	20	7351	409591
MP	14	700	400	13	89196	
LP	3	700	1300	13	289887	387292
		700	150	9	23157	
	4	700	1200	13	267588	364993
		700	150	9	23157	
	5	700	1100	13	245289	338835
		700	150	9	23157	
	6	700	1000	13	222990	338835
		700	150	9	23157	

Paine (abs)	Kokonais- massa	Materiaali hinta	Kokonais hinta	Hintaero perustasoon (3 bar)
[bar]	m [t]	[€/kg]	[1000 €]	[1000€]
3	409	6	9830	-
4	387	6	9300	-540
5	365	6	8760	-1070
6	339	6	8130	-1700

14

Haihduttamon ja kuivauskoneen investointikustannukset

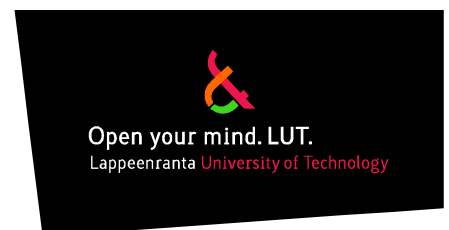


Paine	[bar](abs)	3	4	5	6
BPR	[°C]	21			
Poistuvan höyryn lämpötila	[°C]	55			
Tehollinen lämpötilaero	[°C]	35.0	45.0	53.3	60.3
Vaiheen tehollinen lämpötilaero	[°C]	5.0	6.4	7.6	8.6
Pinta-ala	[m²]	75 273	58 420	49 403	43 668
Neliöhinta	[€/m²]	419	500	562	613
Kokonaisinvestointi	[1000 €]	31 500	29 200	27 800	26 800
Investoinnin muutos	[1000 €]	-	-2 300	-3 700	-4 700

Paine	Pinta-alan muutos	Investoinnin muutos	Telaston investointi	Kuivurin Kokonaisinvestointi	Kokonaisinvestoinnin muutos
[bar] (abs)	[-%]	[-%]	[1000 €]	[1000 €]	[1000 €]
3	113	104	41 762	81 760	1 760
4	105	100	40 000	80 000	0
5	98	96	38 470	78 470	-1 530
6	92	93	37 110	77 110	-2 890

15

Kokonaisinvestointikustannukset



LP	[bar] (yp)	3	4	5	6
Putkisto	[1000 €]	9800	9300	8800	8100
Haihdutin	[1000 €]	31500	29200	27800	26800
Kuivauskone	[1000 €]	81800	80000	78500	77100
YHT.	[1000 €]	123100	118500	115000	112000
korko	12 %				
Maksuaika [a]	10				
Lyhennys	[1000 €/a]	-21790	-20970	-20350	-19820

16

Nettotulot nykyinen tehdas

			LP=3bar (abs)	4bar (abs)	5bar (abs)	6bar (abs)
Investointi	Vuosilyhennys	[k€/a]	-21 800	-21 000	-20 300	-20 000
			Nettotulot [1000 €/a]			
Perinteinen	Nettotulo	[k€/a]	-4 800	-5 300	-5 600	-5 900
Perinteinen + kk	sähkön myyntitulot	[k€/a]	9 300	8 900	8 500	8 300
Perinteinen + HPK	sähkön myyntitulot	[k€/a]	-20 900	-21 600	-22 100	-22 500
Perinteinen + kk+ HPK	sähkön myyntitulot	[k€/a]	-6 700	-7 500	-8 100	-8 500

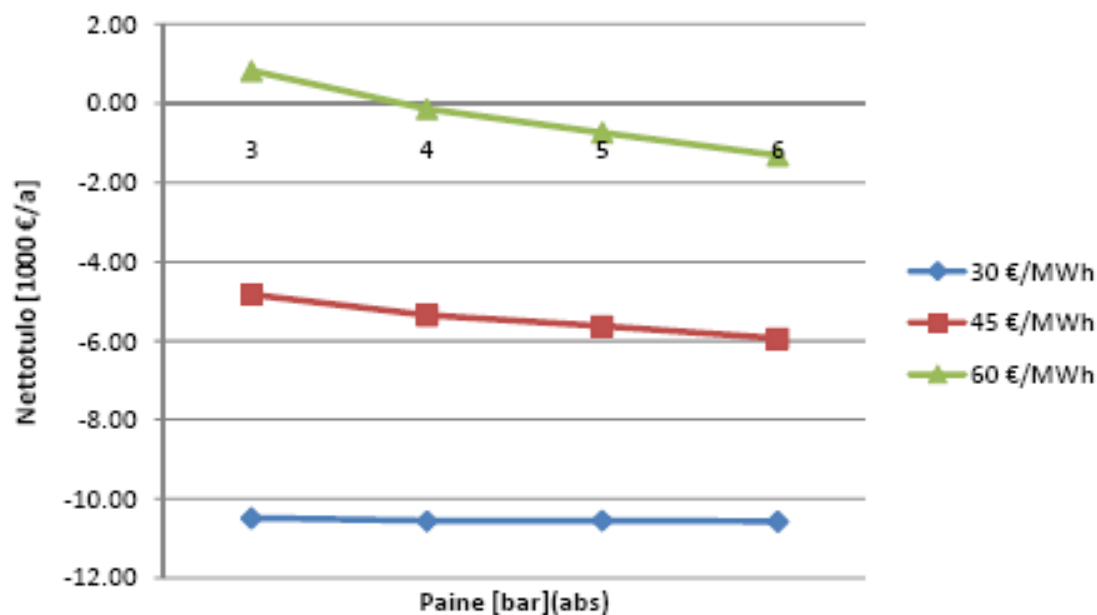
17

Nettotulot moderni tehdas

			LP=3bar (abs)	4bar (abs)	5bar (abs)	6bar (abs)
Investointi	Vuosilyhennys	[k€/a]	-21 800	-21 000	-20 300	-20 000
			Nettotulot [1000 €/a]			
Moderni	Nettotulo	[k€/a]	-2 700	-2 900	-3 200	-3 400
Moderni + kk	sähkön myyntitulot	[k€/a]	11 600	11 200	10 900	10 700
Moderni+ HPK	sähkön myyntitulot	[k€/a]	-19 200	-19 700	-20 200	-20 600
Moderni + kk+ HPK	sähkön myyntitulot	[k€/a]	-4 800	-5 500	-6 100	-6 500

18

Herkkyystarkastelu perinteintehdas



19

3.5 bar(a) matalapainelinjan rakentaminen

	Höyryn massavirta [kg/s]		Sähkön myyntitulo	Investointi-kustannus	Investoinnin vuosilyhennys [1000 €/a]	Nettotulo	Nettotulon muutos
	LP 3.5 bar	LP 5 bar					
Perinteinen ST + KK	0	50	28 860	0	-0	28 860	-
1.	10	41	28 940	420	-74	28 860	0
2.	20	34	29 050	535	-94	28 950	90
3.	27	24	29 330	2 637	-466	28 830	-30
4.	37	13	29 560	3 402	-602	28 960	100
5.	50	0	29 780	5 902	-1 044	28 730	-130

20

9 bar(a) välipainelinjan rakentaminen

Massavirta (9 bar)	Sähkön tuotanto	Sähkön kulutus	Sähköä myyntiin	Sähkön myyntivoitto	Sähkön myynnin muutos	Nettotulon muutos
[kg/s]	[MW]	[MW]	[MW]	[M€]	[€]	[€]
0	93.61	52.36	41.25	15.65	0	0
1	93.65	52.36	41.29	15.67	15 000	-24 000
2	93.69	52.37	41.32	15.68	27 000	-16 000
3	93.73	52.37	41.36	15.69	42 000	-4 000
4	93.77	52.37	41.40	15.71	57 000	8 000
6	93.85	52.38	41.47	15.73	83 000	27 000
8	93.91	52.40	41.51	15.75	99 000	35 000
10	93.99	52.40	41.59	15.78	129 000	59 000

Kiitos!