

LAPPEENRANNAN TEKNILLINEN YLIOPISTO

Energia- ja ympäristötekniikan osasto

## **TERÄSVALIMON ENERGIA-ANALYYSI**

Diplomityön aihe on hyväksytty Energia- ja ympäristötekniikan osastoneuvoston kokouksessa 4.10.2006.

Työn ohjaaja ja tarkastaja professori Esa Marttila

Työn tarkastaja tekniikan lisensiaatti Simo Hammo

Lappeenrannassa 13.10.2006

Matti Yliknuussi

Testamenttitie 14

02880 Veikkola

GSM: 050 - 596 9868

## **TIIVISTELMÄ**

Lappeenrannan teknillinen yliopisto  
Energia- ja ympäristötekniikan osasto

Matti Yliknuussi

### **Teräsvalimon energia-analyysi**

Diplomityö

Lappeenranta 2006

119 sivua, 77 kuvaa, 24 taulukkoa ja 12 liitettä.

Tarkastajat: Professori Esa Marttila

Tekniikan lisensiaatti Simo Hammo

Hakusanat: energia, energia-analyysi, energiansäästö, esilämmitys, lämmön talteenotto, lämpökäsittely, poistoilma, senkka, sulatto, suodatinlaitos, tuloilma.

Keywords: energy, energy analysis, energy saving, filtering plant, foundry, heat recovery, heat treatment, ladle, preheating.

Teräksen valuprosessi kuluttaa runsaasti energiaa ja tuottaa merkittävästi lämpöä. Ylimääräinen lämpö on poistettava tuotantotiloista, sillä se sisältää yleensä myös paljon hiukkasia ja muita epäpuhtauksia. Lämmön talteenottaminen vähentää teräsvalimon energiankulutusta, mutta sen toteuttaminen ei ole ongelmaton.

Energia-analyysi selvittää yrityksen energian käytön ja tuotannon kehityksen sekä nykytilan. Analyysi pyrkii selvittämään kohteet, joissa energiaa kuluu ja joissa sitä syntyy eniten.

Tämä opinnäytetyö on sovellettu teollisuuden energia-analyysi, joka sisältää ehdotuksia energian käytön tehostamismahdollisuuksista ja säästämahdollisuuksista. Ehdotuksissa esitellään viisi tärkeimmäksi katsottua ja kahdeksan muuta energiansäästökohdetta. Näiden lisäksi on annettu seitsemän ehdotusta muista tuotantoa ja energiansäästöä tukevista toimenpiteistä.

## **ABSTRACT**

Lappeenranta University of Technology  
Department of Energy and Environmental Technology

Matti Yliknuussi

### **Energy analysis of steel foundry**

Master's Thesis

Lappeenranta 2006

119 pages, 77 figures, 24 tables and 12 appendices.

Examiners: Professor Esa Marttila

Lic. Sc.: Simo Hammo

Keywords: energy, energy analysis, energy saving, filtering plant, foundry, heat recovery, heat treatment, ladle, preheating.

Steel founding consumes a great deal of energy and produce significant amount of heat. Excess heat must be removed from production area because it usually contains a lot of particles and other impurities. Heat recovery reduces energy consumption of steel foundry but it is not trouble-free how to put it into practice.

Energy analysis establishes corporate's progress and present state of energy usage and production. Analysis tends to find out targets where the energy is most depleted and heat is produced.

This Master's thesis is adapted industrial energy analysis that contains suggestions how to use energy more effectively and how much it could be saved. There are introduced five the most important and eight other energy saving positions. Furthermore there are also seven other proposals for action that support production and energy saving in steel foundry.

## SISÄLLYSLUETTELO

1.	JOHDANTO	7
	1.1 Metso-konserni	7
	1.2 Rajaukset	9
2.	KOHTEEN PERUSTIEDOT	12
	2.1 Kohde	12
	2.2 Toimiala, tuotantomäärät ja henkilöstö	12
	2.3 Analyysin kohteena olevat rakennukset	13
	2.4 Lokomo Steelsin valmistusprosessit	13
	2.4.1 Teräksen sulatus	13
	2.4.2 Keernojen valmistus	20
	2.4.3 Valumuottien kaavaus	21
	2.4.4 Teräsvalun puhdistus	24
	2.4.5 Lämpökäsittely	26
3.	ENERGIAN- JA VEDEN KULUTUS JA KUSTANNUKSET	26
	3.1 Energian ja veden hankinta	26
	3.2 Kokonaiskulutukset ja –kustannukset sekä ominaiskulutukset	27
	3.2.1 Lämpö	28
	3.2.2 Sähkö	32
	3.2.3 Vesi	36
	3.2.4 Maakaasu	37
	3.2.5 Nestekaasu	39
	3.3 Energiataseet	39
4.	TALOTEKNIIKAN PERUSKARTOITUS JA ENERGIANKULUTUS	40
	4.1 Kauko- ja aluelämmitysjärjestelmät	40
	4.1.1 Kaukolämpöjärjestelmän kuvaus	40
	4.1.2 Kaukolämpöjärjestelmän energiankulutus	40
	4.2 LVI-järjestelmät	40
	4.2.1 Järjestelmän kuvaus	40
	4.2.2 Energiankulutus	45
	4.3 Sähköjärjestelmät	46
	4.3.1 Sähköjärjestelmän kuvaus	46
	4.4 Valaistus	47
	4.5 Rakennusautomaatiojärjestelmä	48
	4.6 Kylmätekniset järjestelmät	49
	4.7 Suodatinlaitokset	50
	4.7.1 Sulaton suodatinlaitos	50
	4.7.2 Puhdistamoiden 1 ja 2 suodatinlaitokset	51
	4.7.3 Täryttimen suodatinlaitos	51
	4.7.4 Spencer-sinkopuhdistimen suodatinlaitos	51
	4.8 Rakennukset ja rakenteet	52
	4.8.1 Rakenteet	52
	4.8.2 Energiankulutus	54

5.	TEHDASPALVELUJÄRJESTELMIEN PERUSKARTOITUS JA ENERGIANKULUTUS	55
5.1	Vesilämmitysjärjestelmät	55
5.2	Höyryjärjestelmät	55
5.2.1	Höyryjärjestelmän kuvaus	55
5.2.2	Höyryjärjestelmän energiankulutus	55
5.3	Kuumaöljyjärjestelmät	56
5.4	Kaasunjakelujärjestelmät	56
5.4.1	Kaasunjakelujärjestelmien kuvaus	56
5.4.2	Kaasunjakelujärjestelmien energiankulutus	56
5.5	Paineilmajärjestelmät	56
5.5.1	Paineilmajärjestelmän kuvaus	56
5.6	Prosessi-ilmanvaihtojärjestelmät	59
5.7	Prosessijäähdytysjärjestelmät	59
5.8	Prosessisähköjärjestelmät	61
5.9	Prosessivesi- ja -viemärointijärjestelmät	61
5.10	Muut tehdaspalvelujärjestelmät	61
6.	PROSESSILAITTEIDEN PERUSKARTOITUS JA ENERGIANKULUTUS	62
6.1	Sulatusuunit	62
6.1.1	Valokaariuunit (A- ja D-uunit)	63
6.1.2	Hiilielektrodien energiantuonti	65
6.1.3	Induktiouuni (KJ-uuni)	67
6.2	VODC-konvertteri	68
6.2.1	Toiminta	68
6.2.2	Energiatase	68
6.3	Senkat	69
6.3.1	Energiatase	70
6.4	Lämpökäsittelyuunit	70
6.4.1	Toiminta	70
6.4.2	Energiatase	73
6.5	Karkaisualtaat	73
6.5.1	Toiminta	73
6.5.2	Energiatase	74
7.	EDELLISEN ANALYYSIN EHDOTETUT TOIMENPITEET JA NIIDEN TOTEUTUMINEN	75
7.1	Talotekniikka ja rakenteet	75
7.1.1	Puhdistamo 1 tuloilmalaitteiden ohjauksen uusiminen	75
7.1.2	Sulaton katon tuuletusaukkojen sulkeminen	75
7.1.3	Kaavaamon valaisimien uusiminen	75
7.1.4	Kaksiotesekoittajien vaihtaminen yksiotesekoittajiin	75
7.1.5	Kaupunkiveden käytön vähentäminen prosessivetenä	75
7.1.6	Sulaton yllilämmön hyödyntäminen valuhallissa	75
7.1.7	Muut toimenpiteet	76
7.2	Tehdaspalvelujärjestelmät	76
7.2.1	Paineilmajärjestelmän ohjauksen muuttaminen	76
7.2.2	Paineilmavuotojen korjaaminen	76
7.2.3	Paineilmaverkoston paineen alennus	76

7.2.4	Tamrotor-kompressorin säätöalueen muuttaminen	76
7.2.5	Kompressoriasema 2 ilmanvaihdon parantaminen	76
7.3	Prosessilaitteet	76
7.3.1	Tuloilman lämmitys uuni 4:n savukaasuilla	76
7.3.2	Uuni 4 savukaasujen jäähdytysilman johtaminen ulkoilmasta	76
7.3.3	Sinkopuhdistuskoneiden palautusilman käyttö	77
7.3.4	Sulaton suodatinlaitoksen LTO	77
7.3.5	Prosessijäähdytysvesien LTO	77
7.3.6	KJ-uunin jäähdytysvesien LTO	77
7.3.7	Karkaisualtaan LTO	77
7.3.8	Romun esikuumennus	77
7.3.9	Senkan esilämmitysajan lyhentäminen	77
7.3.10	Puhdistamo 1 polttoleikkauskoppien poistojen katkaisijat	78
7.3.11	Prosessijäähdytysveden käytön vähentäminen	78
7.3.12	Puhdistamo 2:n LTO	78
8.	EHDOTETTAVAT TOIMENPITEET SEKÄ NIIDEN ENERGIANSÄÄSTÖ JA KANNATTAVUUS	78
8.1	Suodatinlaitosten LTO	80
8.1.1	Sulaton suodatinlaitos	80
8.1.2	Puhdistamo 1:n suodatinlaitos	83
8.1.3	Spencer-sinkopuhdistimen suodatinlaitoksen LTO	84
8.2	Lämpökäsittelyuunien LTO	84
8.2.1	Maakaasu-uuni	84
8.2.2	Sähköuunit	85
8.3	Senkkojen esilämmitys	86
8.3.1	Esilämmityksen LTO	87
8.3.2	Esilämmitysajan lyhentäminen	88
8.4	Muut energiansäästökohteet ja toimenpiteet	89
8.4.1	Sulaton kattoikkunoiden sulkeminen	89
8.4.2	Karkaisualtaan poistovesien LTO	94
8.4.3	Karkaisualtaan kiertovesiputken T-liitoksen uusinta	103
8.4.4	Puhdistamo 1 suodatinlaitoksen ohjaus	105
8.4.5	Pullakaavaamon täryttimen poistoilmanvaihdon tehostaminen	106
8.5	Muut toimenpide-ehdotukset	108
8.5.1	Romun esilämmitys	108
8.5.2	Kylmäkoneiden putkistojen eristeiden uusinta	111
8.5.3	Tyhjöjärjestelmätutkimus	112
8.5.4	Kulktien suojaaminen sulattohallissa	112
8.5.5	Oviaukkojen ajoluiskien sulana pito	113
8.5.6	Tuloilmakoneiden lämmönvaihtimien pesu	113
8.5.7	Tuloilmakoneiden suodatinvaihtojen ja -luokituksen seuranta	113
9.	POHDINTA	115
10.	JOHTOPÄÄTÖKSET	116
	LÄHTEET	117
	LIITTEET	

## KÄYTETYT SYMBOLIT, LYHENTEET JA MERKINNÄT

### Symbolit

$\Delta$	ero (esim. paine-ero $\Delta p$ )
$\Sigma$	summa
$\Phi$	lämmitykseen kuluva teho
$\eta$	hyötysuhde
$\xi$	vastuskerroin
$\rho$	tiheys
$\emptyset$	halkaisija

### Lyhenteet

LTO	Lämmön talteenotto
MLS	Metso Lokomo Steels Oy

### Merkinnät

$a$	vuosi
$c_p$	ominaislämpökapasiteetti
$d$	päivä
$g$	putoamiskiihtyvyys
$h$	korkeus, tunti
$k_l$	korjauskerroin vertailupaikkakuntaan
$n_v$	vuotoilmanvaihtokerroin
$p$	paine-ero
$q$	virtausmäärä; tilavuus-, massa-
$s$	sekunti
$t$	aika
$v$	nopeus
$w$	viikko
$A$	pinta-ala
$A_m$	keskimääräinen punnituserotusaste
$C$	pölynsitomiskyky
$N$	pölypitoisuus

$S$	lämmitystarveluku
$T$	lämpötila
$Q$	lämpöenergian kulutus
$V$	tilavuus



## ALKUSANAT

Tämän diplomityön ohjaajan ja tarkastajan, professori Esa Marttilan alusta asti innostava ja kannustava asenne saivat tarttumaan aiheeseen ja uskomaan siihen.

Haluan kiittää YIT Kiinteistötekniikka Oy:tä työni taloudellisesta tukemisesta sekä työn valvojaa Juha Fromia kriittisistä ja tarkoista mutta positiivisista huomioista sekä neuvoista. Työn LVI- ja S-valvojat Antti T. Kokkonen ja Tuomas Pusa ansaitsevat ehdottomasti kiitoksen saamastani avusta ja ohjeista sekä kaipaamastani kannustuksesta työn aikana.

Kiitän Metso Lokomo Steels Oy:n Ari Marjamäkeä ja Jorma Halisevaa sekä Pirjo Virtasta, jotka ovat jaksaneet vastata kysymyksiini ja antaneet apua sekä olleet kiinnostuneita ehdotuksistani ja kommentoineet niitä.

Kiitos myös kaikille niille henkilöille, joiden nimeä en ole tässä maininnut, mutta jotka ovat minua suuresti auttaneet tämän työn aikana.

Erityiskiitokseni haluan sanoa rakkaalle kihlatulleni Ninnulle – ilman häntä olisi moni asia elämässäni tällä hetkellä toisin.

Joona ja Viivi – olette aina mielessäni.

Veikkolassa 12.10.2006

Matti Yliknuussi

## 1. JOHDANTO

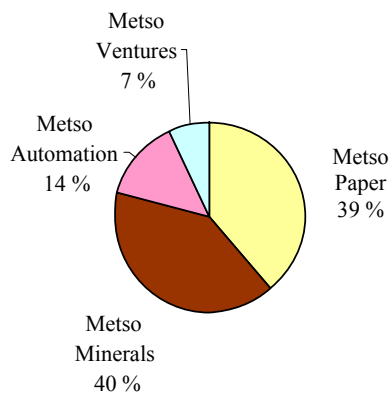
Tämän työn tarkoituksena oli tehdä Motiva Oy:n mallin mukainen teollisuuden energia-analyysi Metso Lokomo Steels Oy:n teräsvalimolle. Edellisen kerran laitokselle on tehty energia-analyysi vuonna 1999. Tämän jälkeen on toteutettu uusia investointeja sekä korjattu havaittuja puutteita. Näiden toimenpiteiden tehokkuuden toteutemiseksi ja muiden mahdollisten puutteiden havaitsemiseksi päätettiin toteuttaa uusintakatselmus.

Asiakkaan toivomuksesta analyysi toteutettiin Motivan mallia soveltaen, mikä tarkoittaa tarkempaa keskittymistä toivottuihin kohteisiin ja joidenkin kohteiden jättämistä pois tarkastelusta. Soveltamista vaati myös työn toteuttaminen diplomityönä, sillä ongelmakohtia on pyritty tarkastelemaan hieman normaalia energia-analyysikäytäntöä syvällisemmin.

Tämän analyysin tavoitteena oli siis tutkia laitoksen energiankuluttajat ja keskittyä erityisesti asiakkaan toivomusten mukaisiin kohteisiin sekä pohtia mahdollisuuksia ja ratkaisuja niiden energiankulutuksen pienentämiseen sekä hukkaenergian hyödyntämiseen.

### 1.1 Metso-konserni

Metso on paperi- ja selluteollisuuden, kiven- ja mineraalienkäsittelyn, energia- ja prosessiteollisuuden sekä levyteollisuuden koneiden ja järjestelmien sekä huolto- ja asiantuntijapalvelujen maailmanlaajuinen toimittaja. Metso syntyi 1.7.1999 kun Valmet ja Rauma yhdistyivät. Metson juuret ovat kuitenkin kaukana 1750-luvulla, kun Suomenlinnaan perustettiin Viaporin allastelakka, joka päättyi 1900-luvulla valtion omistukseen ja sitä kautta osaksi Valmetia. Metso-konserniin kuuluu neljä eri liiketoiminta-alueetta, jotka ovat Metso Paper, Metso Minerals, johon myös Lokomo Steels kuuluu, sekä Metso Automation ja Metso Ventures. Konsernin liiketoiminta-alueiden jakauma on havaittavissa kuvassa 1.



**Kuva 1: Metso-konsernin liikevaihtojakauma liiketoiminta-alueittain vuonna 2005**

### **Metso Lokomo Steels Oy**

Metso Lokomo Steels Oy on perustettu Tampereelle jo vuonna 1915, jolloin LOKOMO alkoi valmistaa paikalla vetureita. Nykyisin tehdasalue on noin 17 hehtaarin kokoinen, kuva 2.



**Kuva 2: Metso Minerals Oy Tampereen tehtaat (© Metso Minerals Oy)**

Veturitehdasta varten perustettiin vuonna 1916 teräsvalimo, joka on alusta alkaen paitsi tuottanut teräsvaluja omaan käyttöön, pyrkinyt myös palvelemaan ulkopuolisten asiakkaiden tarpeita. 1920-luvun alussa käynnistyi Lokomon valimolla Suomen ensimmäinen valokaariuuni, ja vuonna 1982 Lokomo Steels alkoi valmistaa tyhjöteräksiä maailman ensimmäisellä VODC (Vacuum Oxygen Decarburization Converter) –konvertterilla. Näitä teräksiä kutsutaan Vaculok<sup>®</sup>-tuotenimellä.

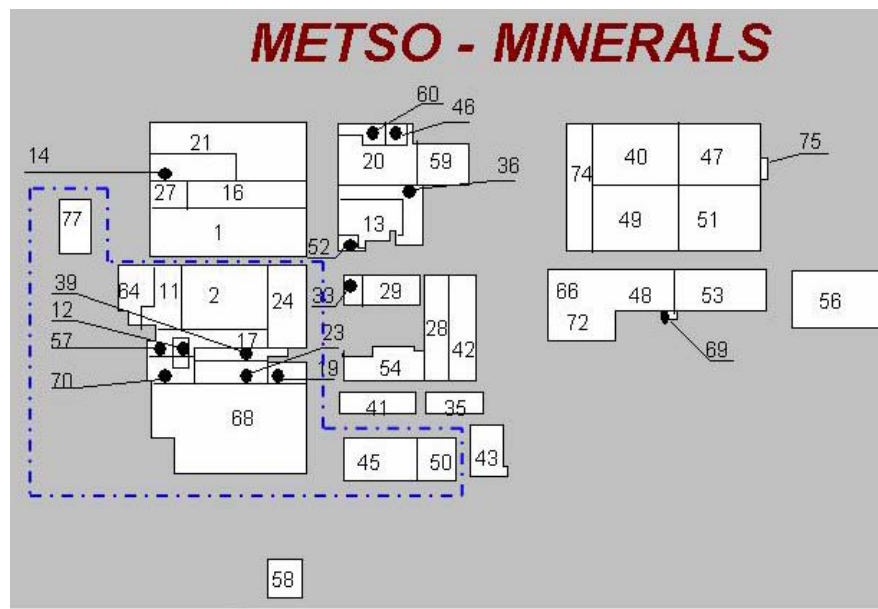
Tämä pohjoismaiden suurin teräsvalimo tuottaa hiiliterästä, matalaseosteista terästä mukaan luettuna korkealujuuksiset, ilman esikuumennusta hitsattavat teräkset, martensiittista ruostumatonta terästä, austeniittis-ferriittistä ruostumatonta duplex-terästä, kuumankestävää terästä sekä austeniittista mangaaniterästä. Tuote-esimerkkejä ovat kivenmurskaimien osat, vesiturpiinien juoksupyörät ja siivet sekä teräsvalssaamoiden kelausrummut, kuva 3.



Kuva 3: Kelausrumpuja puhdistamossa (© Metso Lokomo Steels Oy)

## 1.2 Rajaukset

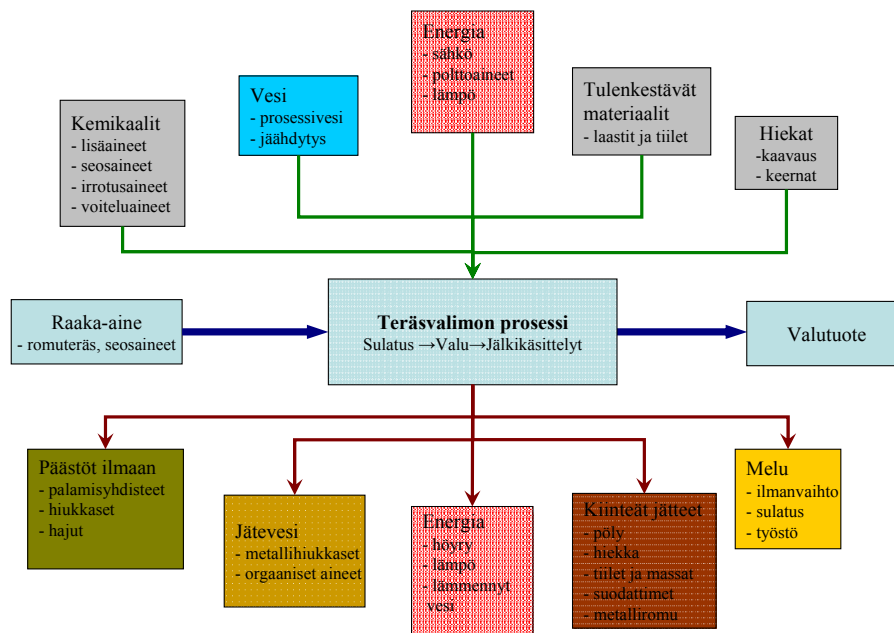
Lokomo Steelsin energia-analyysi on rajattu asiakkaan toivomuksesta teräsvalimon toimintoihin, jolloin siihen sisältyvät sulatto, kaavaamo, puhdistamo ja jälkikäsitteily, kuva 4. Rakennusten numeroinnit on selitetty taulukossa 1 sivulla 13.



Kuva 4: Metso Lokomo Steels rakennukset ja analyysin raja

Näiden yksiköiden energiankulutus on kaikkein suurinta, ja samalla myös vaikeimmin hallittavaa. Toimisto- ja sosiaalitiloja, autopistokkeita tai muita varsinaisen tuotannon ulkopuoleista toimintaa ei tähän analyysiin oteta mukaan. Paineilmajärjestelmään ei myöskään tässä analyysissä syvennytä normaalissa laajuudessaan, sillä asiakkaalla on itsellään vahva asiantuntemus paineilmajärjestelmistä, eikä järjestelmän nykytilaa tai siihen tuleviin parannuksiin haluta tässä yhteydessä keskittyä. Koneistamo on myös jätetty analyysin ulkopuolelle.

Teräsvalimon massavirtakaaviosta (kuva 5) nähdään karkeasti teräsvalimon tuotantoprosessin vaatimat syötteet ja tuotokset. Raskas metalliteollisuus kärsii edelleen tuotannon synnyttämistä päästöistä – suodatinlaitoksista ja tuotannon järjeistämistä huolimatta. Suodatinlaitosten toiminta ei aina ole halutun mukaista tai muuten riittävää, ja tuotannon häiriötilanteet sekoittavat päästöjen hallintaa huomattavasti. Lämpöenergiapäästöt ilmaan ovat suuria, ja vaikeasti hallittavia korkeiden lämpötilojen, suurten volyymien ja tapahtumien epäsäännöllisen jaksottaisuuden vuoksi. Kuuma ilma sisältää yleensä runsaasti hiukkasia, joka osaltaan vaikeuttaa sen sisältämän energian hyödyntämistä.



Kuva 5: Teräsvalimon massavirrat - syötteet ja tuotokset.

Teräksen sulattaminen ja valaminen kuluttaa paljon energiaa, ja tuottaa samalla runsaasti hyvin kuumia palokaasuja sekä hiukkasia. Sulatusprosessin vaihtelu on ongelmallinen lämmön hyödyntämiselle, kuten myös rakennusten etäisyydet: lämpöä ei tarvita siellä missä sitä tuotetaan, mutta sen taloudellinen siirto on ongelmallista sinne, missä sitä tarvittaisiin. Lisäksi arkisin tuotannon aikana yllämpöä on poistettava ja tiloja pyritään etenkin kesäaikana jäähdyttämään, kun taas viikonloppuisin tuotannon ollessa pysähdyksissä, on rakennuksia lämmitettävä.

Sama ongelma toistuu valusenkkojen esilämmityksen, lämpökäsittelyuunien ja hiilikaaritaltauksen yhteydessä. Energian kulutus ja sitä myötä lämmöntuotanto vaihtelee epäsäännöllisin periodein, ja syntyvät lämpömäärät ovat hetkittäin hyvin suuria, joten taloudellinen ja järkevä lämmön talteenotto on vaikeaa. Tässä työssä on esitetty ensisijaisesti ne ehdotukset, jotka ovat kohtuullisin kustannuksin toteutettavissa, eivätkä missään olosuhteissa aiheuta tuotannolle, tuotantolaitteille tai työntekijöille vaaraa.

Euroopan Unionin alueen terästeollisuuden energiatehokkuus tuotettua terästonnia kohti on kehittynyt merkittävästi kuluneiden 30 vuoden aikana. Samalla CO<sub>2</sub>-päästöt ovat vähentyneet. Vertailupohjana on vuoden 1975 energiankulutusindeksi joka on 100. Vuonna 1980 indeksi oli 85, vuonna 1990 indeksi oli 65 ja vuonna 2000 se oli 53,1 (ESTEP 2006, 39). Energiankulutus on pudonnut lähes puoleen vuodesta 1975 – silti paljon on vielä tehtävänä.

Tampereen tehdasalue on suuri ja sillä on paljon rakennuksia, joissa terästehtaan suurta hukkaenergiämäärää olisi mahdollista hyödyntää. Vaikka eri toiminnot kuuluvatkin samaan konserniin, ovat ne silti eri yhtiöitä, joten ensisijaisesti energia pyritään hyödyntämään oman yhtiön – Metso Lokomo Steelsin – sisällä. Kirjallisuudessa (Sarkomaa P., Teollisuuden energiankulutus ja tehokas energian käyttö 1994, 29) on mainittu hukkaentalpiavirran kannattavimmaksi hyödyntämisjärjestykseksi seuraava:

1. Saman prosessin osa
2. Saman tuotantolinjan toinen osa

3. Saman tehtaan toinen tuotantolinja
4. Saman tehdasalueen toinen tehdas
5. Kaukolämmitys alueen ulkopuolella

Tämä järjestys toimii hyvänä ohjeena kun energian talteenottoa ja sen hyödyntämistä eri kohteissa suunnitellaan tarkemmin.

## **2. KOHTEEN PERUSTIEDOT**

Energia-analyysissä on esitettävä kohteen perustiedot. Tässä osassa kerrotaan kohteen – tässä tapauksessa Metso Lokomo Steelsin – virallisen nimen, osoitteen, toimialan ja henkilöstömäärän lisäksi tuotannosta, valmistusprosessista ja rakennuksista. Tiedot pyritään esittämään mahdollisimman selkeästi ja yksiselitteisesti.

Tästä eteenpäin Metso Lokomo Steels Oy:stä käytetään lyhennettä **MLS**.

### **2.1 Kohde**

Kohteen nimi: Metso Lokomo Steels Oy  
Kohteen osoite: Lokomonkatu 3, PL 306, 33101 Tampere  
Kiinteistörekisteritunnus: Tontti XXII 122-509-35  
Rakennustyyppi: J691 (Tilastokeskuksen rakennusluokitus)

Analyysin kohteena olevat rakennukset on lueteltu kohdassa 2.3 taulukossa 1.

### **2.2 Toimiala, tuotantomäärät ja henkilöstö**

MLS:n toimiala on metalliteollisuus. Toimialaluokka (TOL 95) on 275. Teräksen tuotanto vuonna 2005 oli noin 12 000 tonnia. Henkilöstöä vuoden 2006 alussa oli 247. Vuonna 2005 töitä tehtiin 381 039 tuntia.

### 2.3 Analyysin kohteena olevat rakennukset

MLS:n rakennuskanta rakennusnumeroineen on lueteltu taulukossa 1. Kaikkia rakennuksia ei otettu analyysiin mukaan joten analyysin kohteena olevat rakennukset on merkitty harmaalla pohjavärillä.

**Taulukko 1: MLS:n rakennukset**

Rakennus numero	Valm. vuosi	Rakennuksen käyttö	Pinta-ala [m <sup>2</sup> ]	Rakennuksen tilavuus [m <sup>3</sup> ]	Käyttöaika [h/a]
2	1916	Sulatto	3323	26406	5500
11	1935	Teräsvalimon (sulaton)laajennus	572	4418	5500
12	1936	Hiekanvalmistus	115	1550	4000
17	1940	Kaavaamo 1	1160	9628	4000
19	1941	Mallipaja	486	3690	2000
23	1946		740	6508	4000
24	1947	Valimon eteläpäädyn laajennus	1665	19148	4000
29	1951	B-varasto (kylmä)	888	5770	
33	1952	Sähkötyöpaja ja varasto	258	1860	4000
35	1953	C-varasto (kylmä)	672	3230	
39	1954	Kaavaamo 3	510	3927	4000
41	1955	Mallivarasto (kylmä)	830	3984	
45	1958	Puhdistamo 2	2025	16980	4000
48	1959	Tiilivarasto (kylmä)	1200	7800	
56	1964	Myyntivarasto (kaarihalli)	2320	15486	
57	1964	Hiekanvalmistamo	125	1638	4000
64	1970	Sulaton laajennus	875	9257	5500
66	1971	Armatuurivarasto (kylmä)	720	4730	
68	1972	Puhdistamo 1, kaavaamo 2	6578	99500	4000
70	1972	Tyhjennyshalli	668	9500	4000
73	1981	Jäähdytysvesipumppaamo	76	305	5500
77	2002	Raaka-ainevarasto (kylmä)	1028	11640	

Vuonna 2005 lämmitetty rakennustilavuus on ollut 214 010 m<sup>3</sup> ja lämmitetty bruttoala 19 100 m<sup>2</sup>.

### 2.4 Lokomo Steelsin valmistusprosessit

#### 2.4.1 Teräksen sulatus

Sulatto käyttää teräsvalujen raaka-aineena laatulajiteltua teräsromua, eikä jalosta raaka-ainettaan itse. Raaka-aineena käytettävä romu voidaan luokitella kolmeen ryhmään:

1. MLS:n oma romu, joka on sellaista terästuotteiden valmistuksessa syntynyttä materiaalia, joka ei ole päätynyt lopputuotteeksi.



Tämä tuotannossa syntynyt romu kiertää valmistusprosessin alkuun. Steelsin oman koneistamon tuottama romu kuuluu myös tähän ryhmään. Kuljetuskustannukset ovat hyvin pienet. Epäpuhtaudet, jotka ovat pääasiassa kovettunutta kaavaushiekkaa, ovat parhaiten valvottavissa. Kaavaushiekka hidastaa sulatusta ja lisää energiankulutusta.

2. Tuotteen valmistusromu, jota syntyy konepajateollisuudessa kun tuotetta työstetään. Tällä tarkoitetaan esimerkiksi Lokomo Steelsin tuotteiden asiakkaiden tekemää valutuotteen työstöjätettä. Kuljetuskustannukset ovat etäisyyksistä ja määristä riippuvaisia. Erilaisia epäpuhtauksia, kuten lastuamisnestettä, puhdistusrättejä, puuainesta, öljyjäämiä sekä muoveja saattaa esiintyä. Nämä palavat sulatuksessa ja erityisesti öljyt ja muovit tuottavat lisäenergiaa, mutta aiheuttavat myös päästöjä.
3. Lopputuoteromu, joka syntyy kun terästuote hylätään vanhentuneena tai käyttökelvottomana. Kuljetuskustannukset terästehtaalte hyödynnettäväksi ovat kuten kohdassa 2. Epäpuhtaudet usein pintakäsittelyaineita, kuten maaleja ja muita pinnoitteita sekä muoveja, öljyjäämiä, pakkausjätteitä. Nämä palavat sulatuksessa ja tuottavat lisäenergiaa, mutta aiheuttavat myös päästöjä.

Teräsromun mukana sulatusuuneihin kulkeutuu erilaisia epäpuhtauksia, jotka vaikuttavat sulatusprosessiin eri tavoin. Ryhmä 1:n romu on parhaiten valvottavissa, joten se on periaatteessa kaikkein puhtainta. Erityisesti tämän romun mukana kulkeutuu kaavaushiekan jäämiä, jotka hidastavat sulatusta.

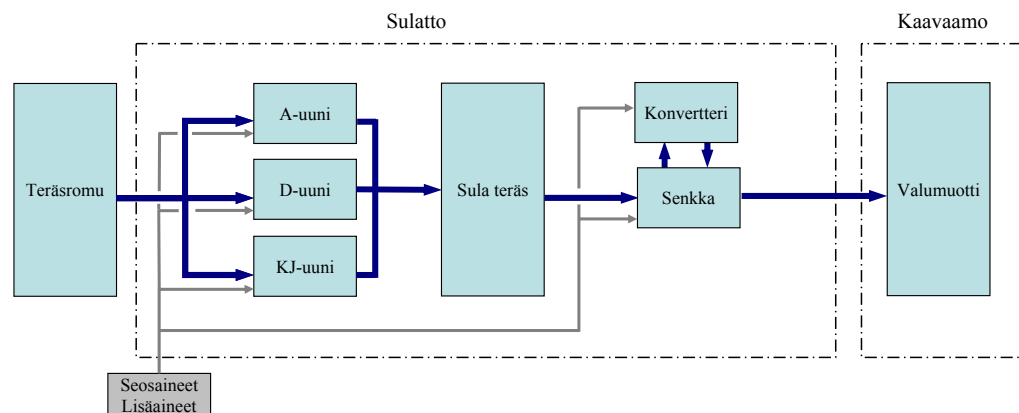
Korkealaatuisten teräslaatuojen valmistuksessa kuluu raaka-aineiden lisäksi seos- ja lisäaineita sekä erilaisia apuaineita.

Sulatus tapahtuu kolmella uunilla, joista kaksi on valokaariuunia ja yksi induktiouuni. A-valokaariuunin panoskoko on 16 tonnia ja D-uunin 20 tonnia. Keskijaksoinduktiouunin (KJ) panoskoko on 3 tonnia.

Sulan teräksen käsittelyä varten on lisäksi VODC-tyhjökonvertteri, jonka panoskoko on 7 - 25 tonnia. Tyhjö tehdään höyryejektoreiden sekä vesirengaspumpun avulla. Höyryejektoreita varten on käytössä höyrykattila, jossa on 3 MW:n tehoinen maakaasupoltin.

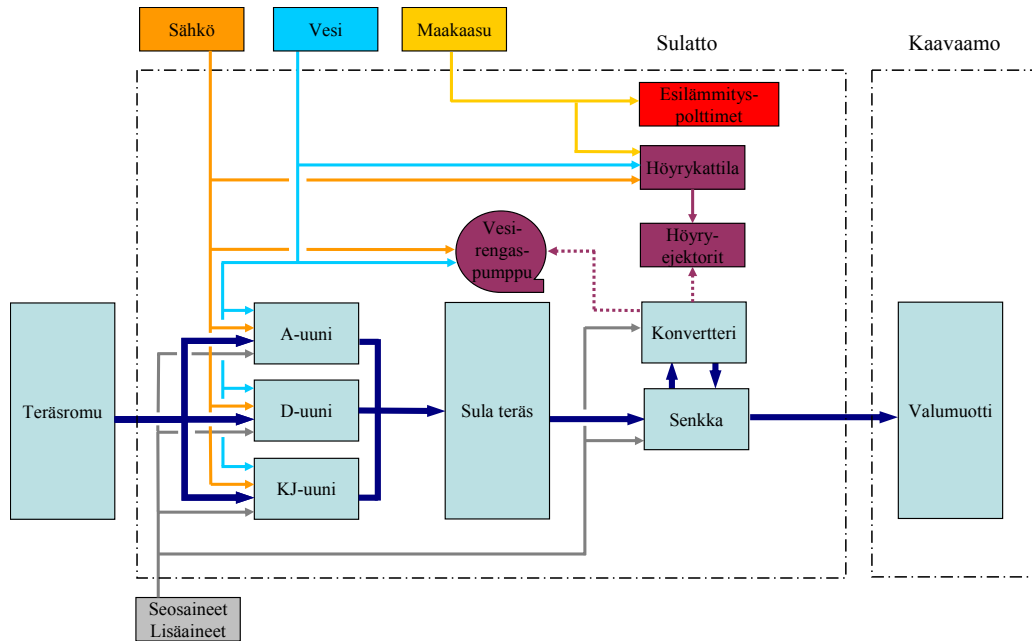
Sulatusuuneista teräs siirretään senkoilla valupaikoille kaavaamoon joko suoraan tai konvertterin kautta. Ennen senkkojen käyttöä ne lämmitetään esilämmitysasemilla sulatohallissa. Lämmitys tapahtuu maakaasupolttimilla, joiden teho on  $4 \times 1$  MW ja  $3 \times 750$  kW. Vuonna 2006 kesän-syksyn aikana korvataan vanhat esilämmityspolttimet uusilla. Samalla lämpökansista tulee tehokkaammin säteilyhäviöitä estäviä. Konvertterin 1 MW:n poltin vaihdetaan  $3 \times 500$  kW polttimiksi, joten lämpöteho sulatossa lisääntyy 500 kW.

Kuvassa 6 on esitetty sulaton osaprosessikaavio perusmuodossaan. Kaavioon on merkitty ainoastaan teräksen valmistukseen tarvittava raaka-aine-, seos- ja lisäainetuonti sekä sulan teräksen kuljetus senkassa valupaikoille kaavaamoon.



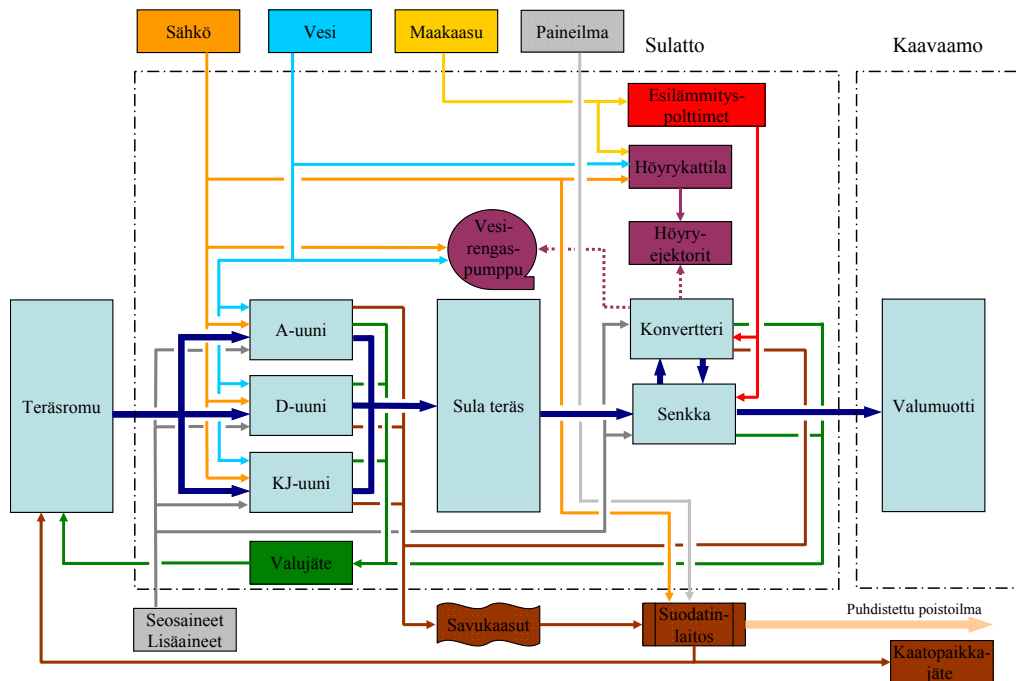
**Kuva 6: Sulaton osaprosessikaavio: päätoiminnot.**

Kun osaprosessiin lisätään ulkoisen energian tuonti, eli sähkö, vesi ja maakaasu, saadaan kuvan 7 mukainen kaavio. Uunit käyttävät raakavettä jäähdytykseen, vesirengaspumppu tiivistykseen sekä jäähdytykseen ja höyrykattila vesijohtovettä höyryntuotantoon.



Kuva 7: Sulaton osaprossikaavio: energiantuonti lisätty.

Edelliseen kaavioon voidaan lisätä vielä savukaasujen puhdistuksen ja valujätteiden kierto sekä teräsromun sisältämän jään sulatukseen tai veden haihduttamiseen tarvittavan lämpöenergian tuonti, jolloin prosessi on kuvan 8 mukainen.

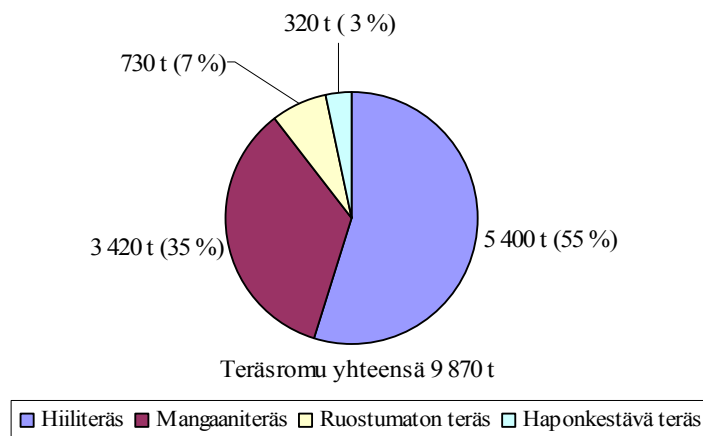


Kuva 8: Sulaton osaprossikaavio: energiat ja ympäristövaikutukset.

Sulaton suodatinlaitoksella puhdistettu ilma sisältää paljon energiaa, mutta tällä hetkellä sitä ei oteta talteen. Teräksen sulatuksessa, sulan kuljetuksessa, konvertterin esilämmityksessä ja käytössä sekä senkkojen esilämmityksessä vapautuu runsaasti energiaa lämpönä sulattorakennukseen. Ylilämpö poistetaan suodatinlaitoksen, poistopuhaltimien ja avoimien ovien sekä kattoluukkujen kautta ilmakehään. Sulatossa ei ole poistoilman lämmön talteenottoa.

#### 2.4.1.1 Raaka-aineet

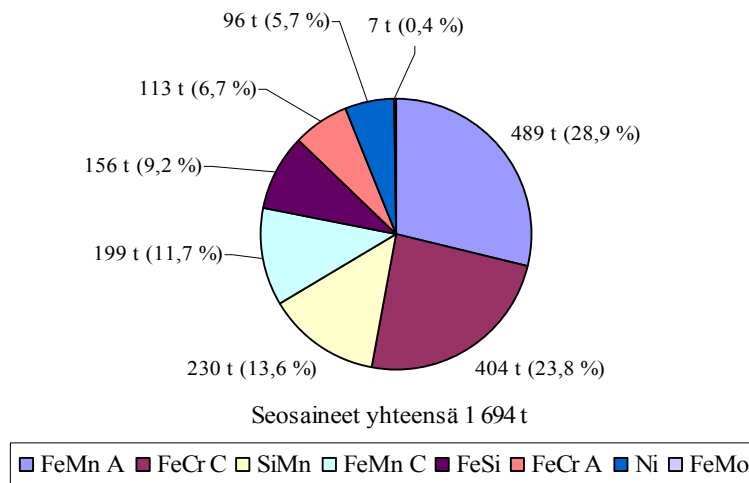
Yli puolet sulaton raaka-aineesta on hiiliteräsromua. Muut romulajit ovat mangaaniterästä, ruostumatonta ja haponkestävää terästä. Teräsromulajien jakauma ja määrät vuonna 2005 on esitetty kuvassa 9.



**Kuva 9: Teräsromulajien jakauma ja määrät vuonna 2005.**

#### 2.4.1.2 Seosaineet

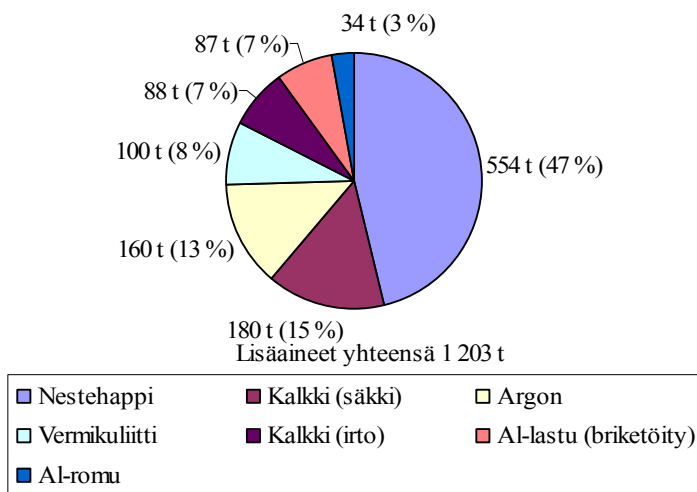
Teräksen valmistuksessa käytetään myös erilaisia seos- ja lisäaineita parantamaan teräksen ominaisuuksia. Käytettyjen seosaineiden määrät ja keskinäiset jakaumat on esitetty kuvassa 10.



Kuva 10: Seosainejakauma ja määrät vuonna 2005

#### 2.4.1.3 Lisäaineet

Teräksen valmistuksessa käytetään apuaineina seosaineiden lisäksi myös erilaisia lisäaineita, joiden jakauma ja määrät on esitetty kuvassa 11.

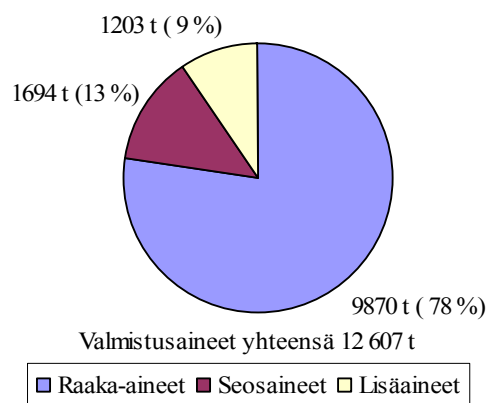


Kuva 11: Lisäainejakauma ja määrät vuonna 2005

Argonia käytetään paitsi valokaariuuneissa, konvertterissa ja senkassa lämpötila- ja koostumuserojen tasaamiseen, myös hitsauksessa ja joissain tapauksissa suojakaasuna lämpökäsittelyssä sekä emissiospektrometrianalyysissä. Argonin määrä on siten kaikissa näissä yhteensä kulutettu määrä.

Vermikuliittia lisätään senkkaan suojaamaan terässulaa hapettumiselta ja jäähtymiseltä. Lisäys tapahtuu käsin – sulaan heitetään kartonkikuorinen 100 litran vermikuliittisäkki. Kartonkisäkki palaa välittömästi jolloin rakeinen ja hiutaleinen vermikuliitti levittyy tasaisesti sulan pinnalle.

Kuva 12 esittää valmistusaineiden jakauman ja määrät. Seos- ja lisäaineiden osuus teräksen valmistusaineista on yli viidesosa. Raaka-, seos- ja lisäaineiden yhteiskulutus oli 12 607 tonnia vuonna 2005.



**Kuva 12: Teräksen valmistusainejakauma ja määrät vuonna 2005**

#### 2.4.1.4 Hiilielektrodit

Valokaariuunien hiilielektrodit kuluvat käytössä. Hiili reagoi liukenemalla sekä palamalla hapen kanssa ja tuottaa samalla lisäenergiaa sulatusprosessiin. Kuluminopeuteen vaikuttavat hiilielektrodien laadun lisäksi muun muassa sulatettavan romun kokojakauma ja panoksen suuruus sekä hapen määrä. Hiilielektrodien kulutus on MLS:n mukaan noin 6 kg / sulatettu terästonni. Kirjallisuuden mukaan elektrodien kulutus vaihtelee välillä 3...10 kg/tonni. (European Commission 2004, Best Available Techniques in the Smitheries and Foundries Industry, 103) Suomessa Ovako Steel Imatran terästehtaalla elektrodien kulutus on noin 3...4,5 kg/t (Helle L. et al.1990, 17) joten MLS:n hiilielektrodien kulutus on normaalia. Tutkimuksen aikana käytössä oli markkinahinnaltaan halpoja kiinalaista valmistetta olevia elektrodeja, joiden mekaaninen kestävyys on heikko. MLS:llä on tarkoituksena testata tulevana syksynä kalliimpia ja kestävämpiä ruotsalaisvalmisteisia elektrodeja.

Valokaariuunien hiilielektrodeja ei kuluteta loppuun, vaan ne vaihdetaan joko käyttäjäkokemusten perusteella tai mikäli ne rikkoutuvat enneaikaisesti. Laskennallisesti elektrodista kuluu noin puolet ennen sen vaihtoa. Taulukossa 2 vuotuinen kulutus on elektrodien uushankintapainon mukaan ja kulutus tuotettua terästönä kohti on laskettu annetun sulatustonnikohtaisen kulumisarvion mukaan.

#### 2.4.1.5 Vuoraukset

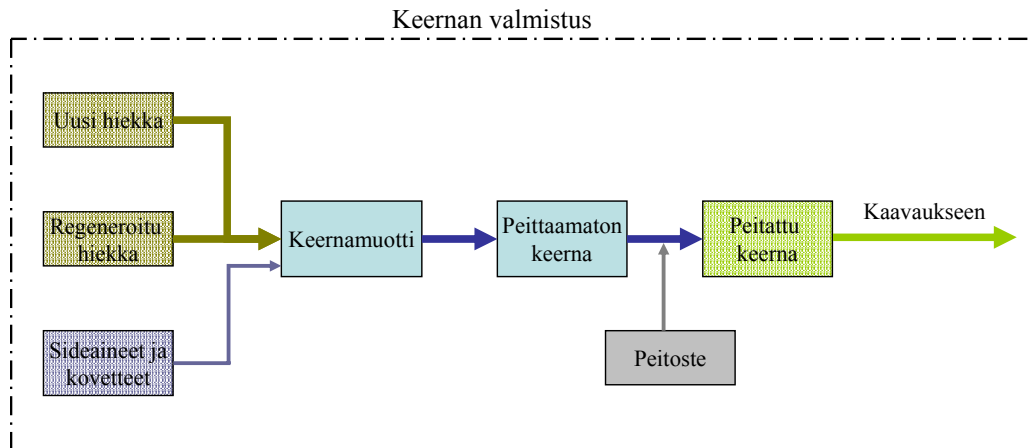
Uunien, konvertterin ja senkkojen vuorauksessa käytetään tulenkestävänä vuorausmateriaalina dolomiittia, jota kului 568 tonnia vuonna 2005. Kirjallisuuden mukaan hiiliteräksen valmistusprosessissa tulenkestävien materiaalien kulutus on Rautaruukilla noin 9 kg tuotettua terästönä kohti (Anon. 2000, Teräskirja, 67). Samassa yhteydessä mainitaan, että ruostumattoman teräksen valmistus kuluttaa huomattavasti enemmän vuorauksia, esimerkiksi Outokumpu Polaritilla noin 23 kg aihiotonnia kohti. Vuonna 2005 MLS:n teräsvalimolla dolomiittia kului 568 tonnia joka on 45 kg tuotettua terästönä kohti. On otettava huomioon, että Metso Lokomo valmistaa runsasseosteisia, vähähiilisiä teräksiä, jotka kuluttavat runsaasti tulenkestäviä vuorauksia. Dolomiitin kulutus vuonna 2005 nähdään taulukosta 2.

**Taulukko 2: Hiilielektrodien ja dolomiitin kulutus vuonna 2005**

	Määrä [t/vuosi]	Määrä [kg/terästönä]
Hiilielektrodi (grafiitti)	130	6
Dolomiitti	568	45
Yhteensä	698	51

#### 2.4.2 Keernojen valmistus

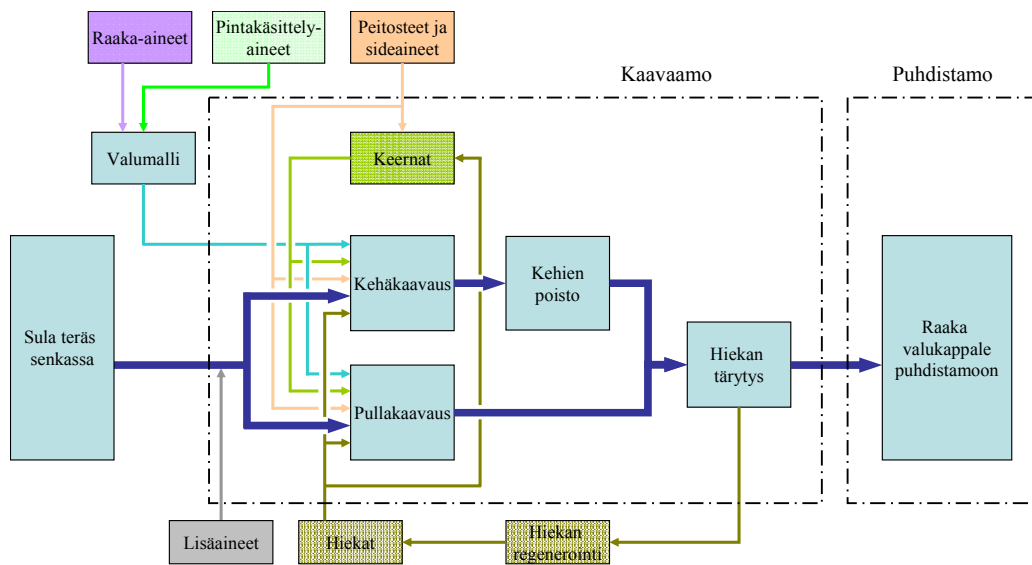
Keerna on hiekkaseoksesta valmistettu kovetettu kappale, jonka avulla valuosaan saadaan muodostettua haluttuja onkaloita tai reikiä. Keernojen valmistus tapahtuu kaavaamon yhteydessä kvartsi- ja kromihiekasta sekä regeneroidusta kiertohiekasta. Hiekkaan sekoitetaan sideaineeksi hartsia ja kovetinainetta. Keernan kovettaminen tapahtuu muotissa katalysaattorikaasulla ilman lämmitystä. Kuvassa 13 on keernan valmistuksen osaprosessikaavio.



**Kuva 13: Keernan valmistuksen osaprosessikaavio**

### 2.4.3 Valumuottien kaavaus

Teräsvalimon kaavaamossa valmistetaan valumuotit hartsihiekkakaavauksella. Valumuotit tehdään kahdella eri menetelmällä: kehäkaavauksella tai pullakaavauksella. Kaavaamon perustoiminnot selviävät osaprosessikaaviosta, kuva 14.



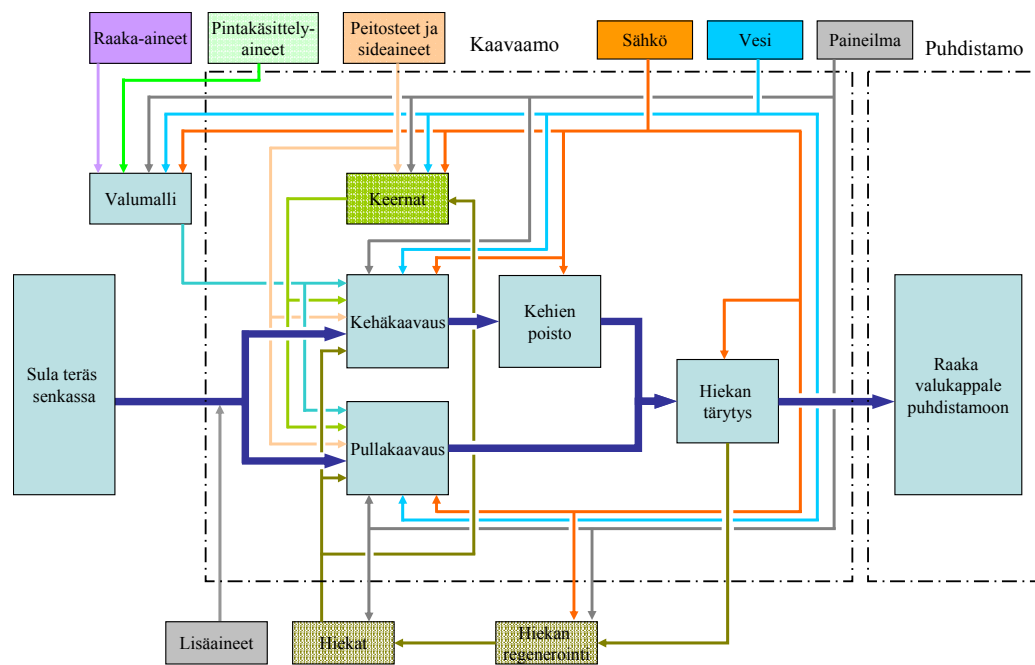
**Kuva 14: Kaavaamon osaprosessikaavio: perusprosessi**

Kehäkaavauksessa hartsihiikka sullotaan pääasiassa koneellisesti teräksisten kehien sisällä olevien muottien ja keernojen ympärille.



Kehät ovat paikoillaan koko valutapahtuman ajan, ja ne poistetaan tärytyhjentimessä, joka irrottaa hiekan valukappaleen ympäriltä uudelleen käyttöä varten. Kehäkaavaamo sijaitsee rakennuksessa 23.

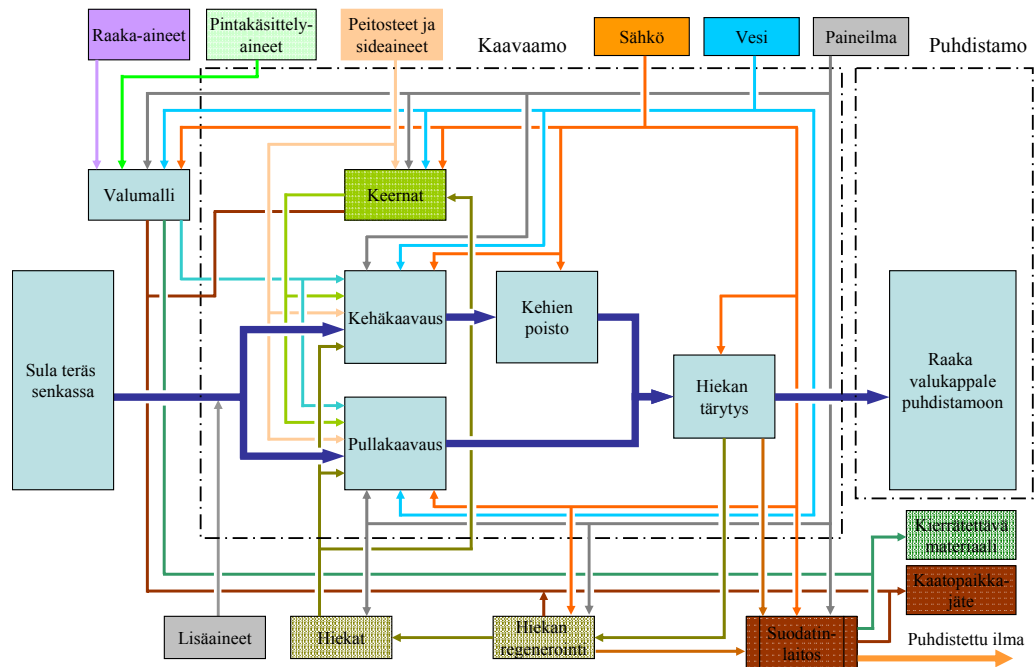
Pullakaavaamossa hartsihiekka sullotaan koneellisesti filmipintaisten vanerikehien sisään asetettujen valumuottien päälle. Hiekan kovettua kehät irroitetaan, hiekkamuotit asetetaan vastakkain valua varten, ja valu tapahtuu kehättömiin muotteihin. Valun jälkeen hiekka poistetaan täryttimellä (8.4.5). Rakennuksessa 17 sijaitseva pullakaavaamo on uusi tuotantolinja joka on pitkälle automatisoitu. Pullakaavaamon ilmanvaihto on uusittu kokonaisuudessaan vuonna 2005. Kaavaamoprosessin vaatimat energiavirrat näkyvät kuvassa 15.



**Kuva 15: Kaavaamon osaprosessikaavio: energiantuonti**

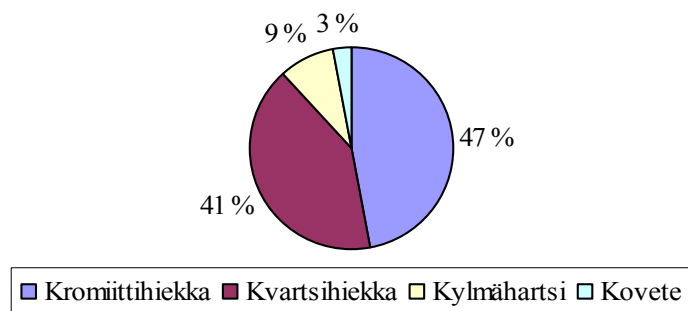
Kaavauksessa käytettävän kvartsihiekan kierrätysaste on noin 95 % ja kromiittihiekan noin 80 %. Valun jälkeen tehtävä tärytytys irrottaa hiekan valukappaleesta, jonka jälkeen hiekkakokkareet murskataan, seulotaan ja sille tehdään pölyn poisto. Kromiittihiekalle tehdään vielä kromiitin erotus, jonka jälkeen hiekka on valmista uudelleen käytettäväksi.

Kun kuvan 15 kaavioon lisätään prosessista syntyvät muut tuotokset joilla on ympäristövaikutuksia, nähdään kaavaamon koko osaprosessi kuvassa 16.



**Kuva 16: Kaavaamon osaprosessikaavio: ympäristötekijät**

Kaavauksessa käytetään kromiittihiiekkaa hieman enemmän kuin kvartsihiiekkaa. Kuva 17 esittää kaavaamon materiaalijakaumat.



**Kuva 17: Kaavaamon materiaalijakauma vuonna 2005**

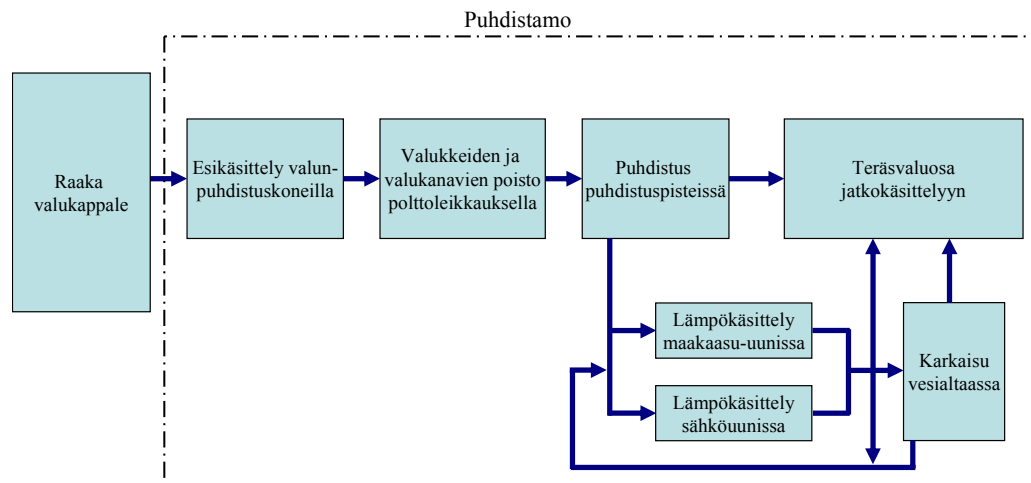
Taulukossa 3 on esitetty kaavaamon materiaalinkulutus ja jakauma sekä hiekkojen kierrätysaste vuonna 2005.

**Taulukko 3: Kaavaamon materiaalinkulutus ja jakauma vuonna 2005**

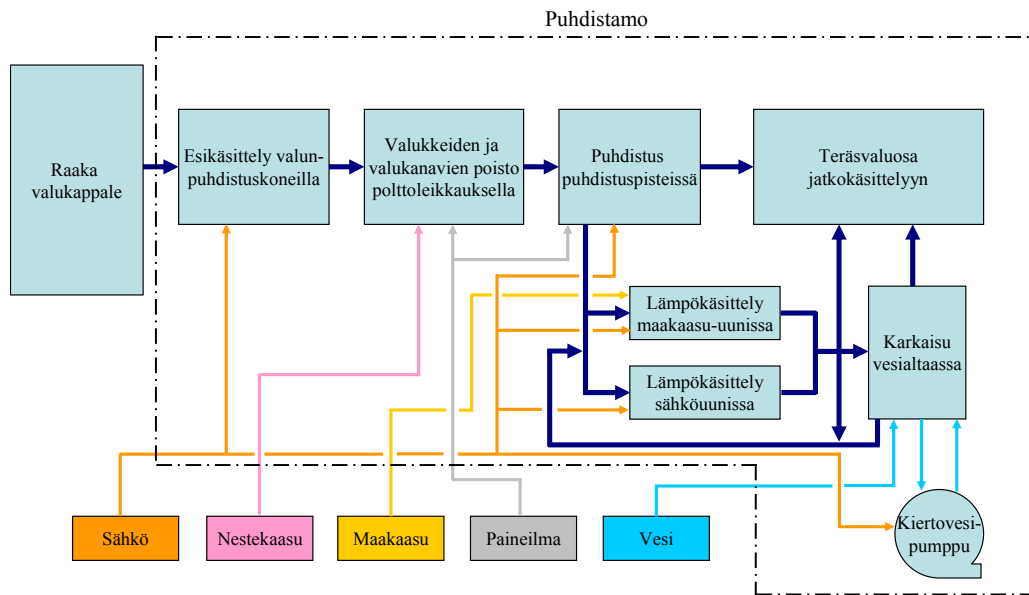
Materiaali	Määrä [t]	Jakauma [%]	Kierrätysaste [%]
Kromiittihiekka	1 470	46,8	80
Kvartsihiekka	1 300	41,4	95
Kylmähartsi	280	8,9	
Kovete	90	2,9	
Yhteensä	3 140	100,0	

#### 2.4.4 Teräsvalun puhdistus

Puhdistamon tehtävänä on esikäsitellä teräsvalukappaleet lämpökäsittelyä ja koneistusta varten. Puhdistamoissa irrotetaan teräsvalukappaleista valukkeet, valukanavistot ja muut ylimääräiset osat sekä korjataan hitsaamalla mahdolliset valuvirheet. Useille valuosille tehdään koneistuksen jälkeen ainetarkastus. Siinä todetaan mahdolliset halkeamat sekä muut virheet ja tarvittaessa kappale palautetaan puhdistamoon korjausta varten. Puhdistamon osaprosessi perusmuodossaan selviää kuvasta 18.

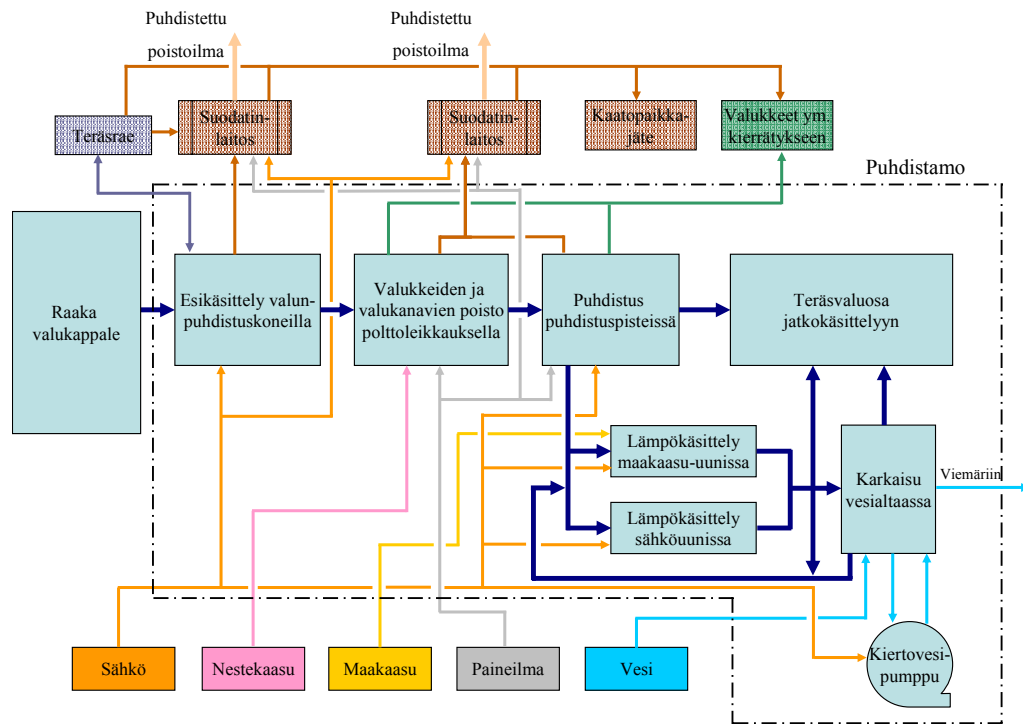
**Kuva 18: Puhdistamon osaprosessikaavio: perusprosessi**

Kun kaavioon lisätään energiantuonti, saadaan kuvan 19 mukainen prosessikaavio.



**Kuva 19: Puhdistamon osaprosessikaavio: energiat**

Edellisestä kaaviosta ei vielä selviä poistettujen valukkeiden, teräsvaluosien tai ilman kierto prosessissa. Irrotettavat valukkeet ja muut vastaavat osat kierrätetään takaisin sulattoon raaka-aineeksi. MLS:n mukaan takaisin sulatolle kierrätettävän teräksen määrä riippuu pitkälti teräksen laadusta ja kappaleen muodosta. Parhaimmillaan hukkamateriaalin osuus on noin 30 % mangaaniteräskappaleen bruttopainosta ja huonoimmillaan jopa noin 50 % korkeaseosteisen, kuumankestävän teräskappaleen bruttopainosta. Nämä kierrätys- ja ympäristötekijät havaitaan kuvasta 20.



**Kuva 20: Puhdistamon osaprosessikaavio: energia- ja ympäristötekijät**

#### 2.4.5 Lämpökäsittely

Puhdistuksen ja mahdollisten valuvirheiden korjaamisen jälkeen tehdään valukappaleille tarvittaessa lämpökäsittely. Lämpökäsittelyuuneja on seitsemän. Näistä kaksi on Puhdistamo 1:ssä (rakennus 68) ja viisi Puhdistamo 2:ssä (rakennus 45). Uunien toimintaa ja käyttöä on selostettu tarkemmin kappaleessa 6.4.

### 3. ENERGIAN- JA VEDEN KULUTUS JA KUSTANNUKSET

Kustannukset ilmoitetaan arvonlisäverottomina, ellei toisin mainita.

#### 3.1 Energian ja veden hankinta

Rakennusten lämmitykseen ja lämpimän käyttöveden tuotantoon käytetään kaukolämpöä. Prosessissa syntynyt lämpöenergia lämmittää eräitä tuotantorakennuksia siten, että tuotantotilat vaativat kaukolämmöllä tuotettua lisälämmitystä ainoastaan talvikuukausina viikonloppuisin tuotannon ollessa pysähdyksissä. Suuri osa prosessin tuottamasta lämpöenergiasta johdetaan hyödyntämättä pois rakennuksista.

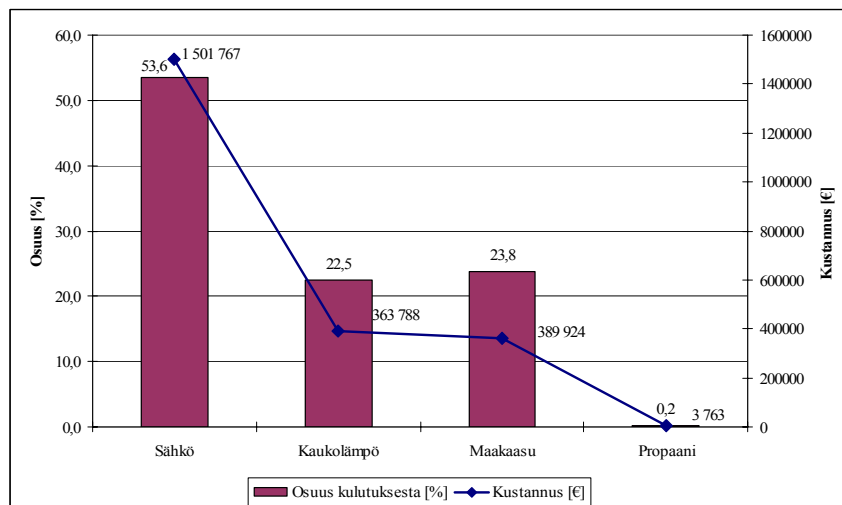
MLS:llä ei ole omaa sähköntuotantoa, vaan sähkö ostetaan ulkopuolelta valtakunnan verkosta.

Tehtaan prosessissa tarvitsema maakaasu tulee ulkopuolelta putkistoa pitkin. Nestekaasu toimitetaan säiliöautolla ja irtosäiliöissä.

Prosessivesi hankitaan omalla pumppaamalla Pyhäjärvestä. Vesijohtovettä käytetään vain talous- ja sosiaalityötiloissa. Ongelmatilanteissa uunien jäähdytykseen on mahdollisuus käyttää myös talousvettä.

### 3.2 Kokonaiskulutukset ja –kustannukset sekä ominaiskulutukset

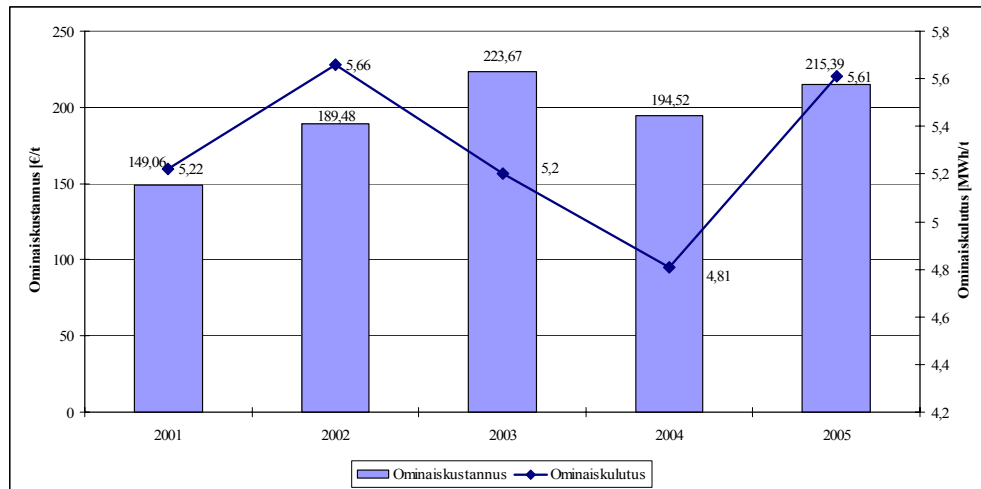
MLS:n kokonais- ja ominaisenergiankulutus on esitetty kokonaisuudessaan liitteessä 1. Kuvassa 21 on esitetty eri energiamuotojen osuus kokonaisenergiakustannuksesta sekä kulutuksesta ja kuvassa 22 on niiden muutokset vuosina 2001 – 2005.



Kuva 21: Energiamuotojen kustannukset ja osuus kulutuksesta v. 2005

Vuonna 2005 kokonaisenergiankulutus oli 58 815 MWh ja energiakustannus 2 259 242 €.

Ominaisenergiankulutus vuonna 2005 oli 5,61 MWh/tonni tuotettua terästä ja ominaisenergiakustannus 215,39 €/tonni tuotettua terästä



Kuva 22: Ominaisenergiakustannus ja -kulutus vuosina 2001 - 2005

Vuoden 2003 jälkeen Metso-konsernin sähkönhankintatapa on muuttunut, mikä omalta osaltaan on tuonut muutosta energiakustannuksiin.

### 3.2.1 Lämpö

Teräksen sulattaminen ja valaminen tuottaa runsaasti hukkalämpöä, jota pääosin ei nykyisessä tilanteessa oteta talteen. Prosessin ongelmana on paikallinen, hyvin voimakas lämmöntuotto, joka on vielä jakautunut epätasaisiin jaksoihin. Siitä syystä lämmön talteenotto ja etenkin sen hyödyntäminen taloudellisesti on hankalaa.

Kuvassa 23 on esitetty MLS:n kaukolämmön mitattu sekä normitettu kulutus. Normitus on laskettu siten, että MLS:n rakennusten kulutusta voidaan vertailla eri ajankohtina. Normituksen laskentaan on käytetty seuraavia kaavoja (Motiva Oy) ja lämmitystarvelukuja:

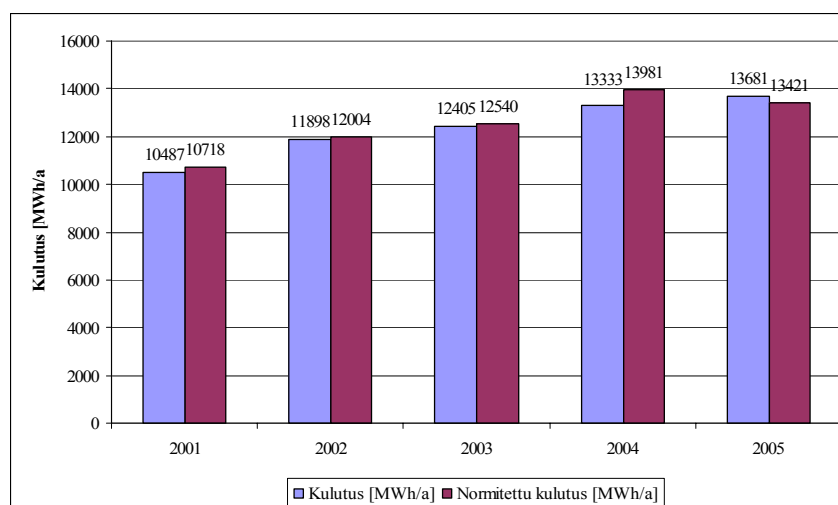
$$Q_{norm} = (S_{N, \text{vpkunta}} / S_{tot, \text{vpkunta}}) \cdot (Q_{kok} - Q_{\text{läm min käyttövesi}}) + Q_{\text{läm min käyttövesi}} \quad (1)$$

Taulukossa 4 on esitetty laskennassa käytetyt lämmitystarveluvut vuosina 2001-2005 (Anon. 2006, Toimintakertomus vuodelta 2005, 12, sekä Motiva Oy 2005, Rakennuksen energiankulutuksen seuranta, 1-2) Lämpimän käyttöveden kulutus on arvioitu, sillä sitä ei mitata. Arvio on 5 % kaukolämmön kulutuksesta.

**Taulukko 4: Lämpimän käyttöveden kulutus ja lämmitystarveluvut 2001 - 2005**

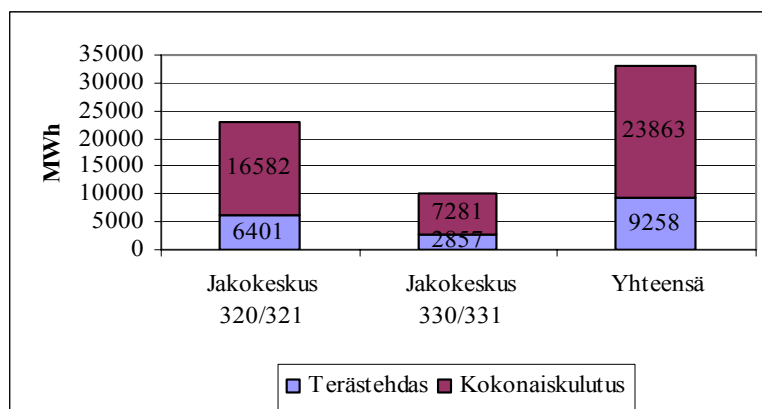
	2001	2002	2003	2004	2005
Lämmin käyttövesi [MWh/a]	524	595	620	667	684
$S_{\text{tot, Tampere}}$	4400	4460	4451	4283	4594
Normitettu ominaiskulutus [MWh/rm <sup>3</sup> /a]	0,050	0,056	0,059	0,065	0,063

Sähkön kulutus ja tuotantomäärä on vaihdellut, mutta lämmön kulutus on tasaisesti noussut vuosina 2001 – 2004, kunnes vuonna 2005 se on laskenut. Todennäköisesti suurin syy on järjestelmällisesti 2000-luvun alusta toteutettu ilmanvaihdon parantaminen. Nyt esimerkiksi sulaton ilma vaihtuu 6 kertaa tunnissa. Osasyitä voivat olla myös talotekniikan ikääntyminen ja ilmanvaihtokoneiden lämmönvaihtimien likaantuminen, joka huonontaa hyötysuhdetta.

**Kuva 23: MLS:n kaukolämmön kulutus vuosina 2001 - 2005**

MLS hyödyntää kaukolämpöä tarvitsemansa lämmön tuottamiseen. Alueella on kaksi päälämmönjakokeskusta ja niillä alakeskukset, joiden kulutus vuonna 2005 on nähtävissä kuvasta 24. Alueen lämmönjakoverkosta ollaan muuttamassa siten, että jokainen kiinteistö saa oman jakokeskuksensa. Muutoksen jälkeen koko lämmitysverkoston käyttö myös kesäaikaan lämpimän käyttöveden tuottamiseksi ei ole enää tarpeen. Kaukolämmön käyttö jakautuu eri yksiköiden välillä siten, että terästehtaan osuus on keskimäärin 38,9 %. Tilanne jakokeskusten välillä vuonna 2005 on nähtävissä parhaiten kuvasta 24 ja lukuarvot taulukosta 5.





**Kuva 24: Kaukolämmön kulutus vuonna 2005**

Talvikaudella 2005 - 2006 on kaukolämmön suurin yhteiskulutus MLS:n kiinteistöissä mitattu 19.1.2006 kello 12, jolloin mitattu ulkolämpötila oli  $-21,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Tällöin on saatu taulukon 5 mukaiset mittaustulokset.

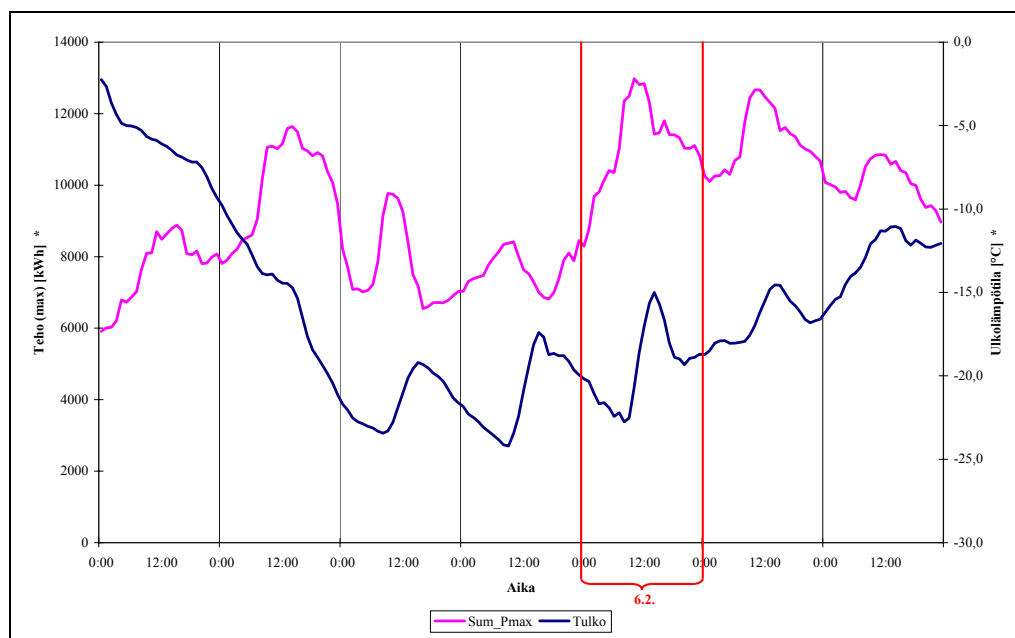
**Taulukko 5: Kaukolämmön maksimi päiväkulutus 2005-2006**

Käyttök keskus	Kl-veden tulot [ $^{\circ}\text{C}$ ]	Kl-veden paluult [ $^{\circ}\text{C}$ ]	Lt-ero [ $^{\circ}\text{C}$ ]	Tuntiteho [kW]	Tuntivirtaus [ $\text{m}^3/\text{h}$ ]
030320	112,8	82,0	30,8	2 272	64,0
030321	112,7	81,9	30,8	2 174	61,2
030330	111,6	77,8	33,8	3 902	107,4
030331	111,6	77,4	34,2	4 204	114,3
Yhteensä				12 552	346,9

#### Huippukulutusten syitä

Kaukolämmön kulutus oli suurimmillaan viime talvena 19.1., 6.2. ja 10.3., jolloin vuorokausilämpötila oli keskimäärin  $-22,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $-19,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  ja  $-15,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Kuvassa 25 on esitetty kaukolämpötehon kulutusta ulkolämpötilan suhteen eräällä viikolla helmikuussa 2006, jolloin myös mitattiin yksi talven kolmesta kulutushuipusta (6.2.2006). Pääpiirteissään ulkolämpötila on korkeimmillaan noin kello 14 ja matalimmillaan noin kello 7. Kaukolämpöteho käyttäytyy lähes vastaavasti mutta käänteisesti ja hieman viivästettynä. Tehonkulutuksen kasvu aamulla on ymmärrettävää suurimman osan ihmisistä saapuessa silloin töihin, mutta käytettävissä olevilla tiedoilla ei ole mahdollista selvittää normaalista poikkeavia muutoksia.

Säätiedoista kerätään nykyisin vain ulkolämpötila, mutta esimerkiksi tuulen, auringon tai ilmankosteuden vaikutus jätetään huomioimatta. Tällöin kaukolämmön kulutustietoja analysoitaessa ei voida ottaa huomioon esimerkiksi pakotetun konvektion lisääntymistä tuulennopeuden kasvaessa ja sen vaikutusta rakennusten jäähtymiseen ja siten tehonkulutuksen kasvuun. Ilman lämpötilan laskiessa vuotoilmamäärien vaikutus myös korostuu. Sulaton kattoluukut jäävät helposti auki, sillä niiden sulkeminen ja avaaminen on vaivalloista. Näiden vaikutuksesta on kerrottu tarkemmin kohdassa 8.4.1.



Kuva 25: Kaukolämmön tehonkulutus 2.-8.2.2006

Kaukolämmön kokonaiskulutus ja terästehtaan kulutus vuonna 2005 voidaan havaita taulukosta 6.

Taulukko 6: Kaukolämmön kulutus vuonna 2005

Kohde	Mittaus 320/321			Mittaus 330/331			Yhteensä	
	%	MWh	€	%	MWh	€	MWh	€
Terästehdas	39	6 401	176 918	39	2 857	85 975	9 258	262 893
Kokonaiskulutus	100	16 582	458 337	100	7 280	219101	23 863	677 438
Yhteensä		22 983	635 255		10 137	305076	33 121	940 331

Energiankäyttöyhteenvedon mukaan MLS on vuonna 2005 ostanut lämpöä 23 647 MWh, joka on maksanut 677 428 €, ja myynyt lämpöä 10 572 MWh, josta on saatu 287 504 €. Tämän perusteella nettolämmönkulutus on ollut 13 075 MWh. ja nettokustannukset 389 924 €. Lämmön myynti tarkoittaa sisäistä myyntiä, jolloin MLS on myynyt sitä Metso Minerals Oy:lle.

### 3.2.2 Sähkö

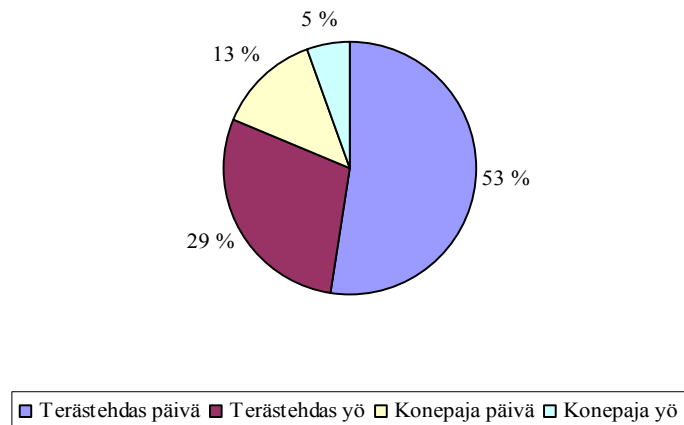
MLS:n sähköenergiamaksut olivat vuonna 2005 taulukon 7 mukaiset.

**Taulukko 7: Lokomo Steelsin sähköenergiamaksut vuonna 2005**

Verkkopalvelu	Yksikkökustannus	Kulutus	Kustannus [€]
Verkkopalvelumaksu	4,81c/kWh		
Vuosimaksu	1 681,88 €/a		1302
Tehomaksu	11,27 €/kW, a	122 370 kW	110 117
Loistehomaksu	12,45 €/kvar, a	0 kvar	0
Päiväenergiamaksu	1,31 c/kWh	23 497 000 kWh	274 618
Yöenergiamaksu	0,72 c/kWh	12 134 000 kWh	79 080
Mittauspulssimaksu			85
Sähkövero	0,45 c/kWh		161 408
Arvonlisävero	22 %		137 854
Yhteensä		35 631 MWh	764 464 €

On huomattava, että MLS:n sähköstä maksama hinta vaihtelee kuukausittain. Siten taulukossa mainittu hinta 4,81 c/kWh on vuoden keskihinta.

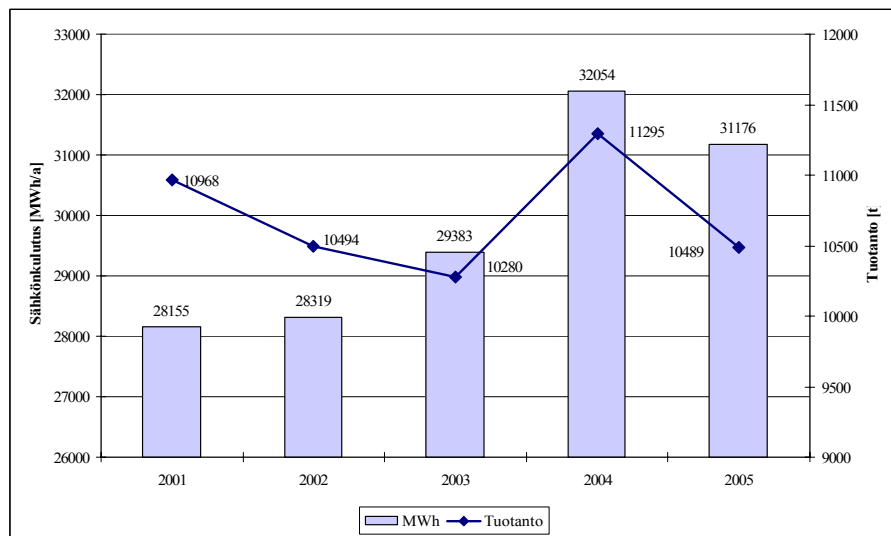
Yö- ja päivänenergiamaksujen välillä on eroa 0,0059 €. Suurin osa kulutuksesta on päivä sähköä. Kuvassa 26 on esitetty päivä- ja yö sähköön kulutuksen jakautuminen terästehtaan ja konepajan välillä.



**Kuva 26: Lokomo Steelsin sähkönkulutusjakauma päivä/yö**

Liitteessä 1 on esitetty sähkönkulutus päämittarista ja pumppaamosta vuosina 2001 – 2005. Kokonaissähkönkulutuksen kehitys ja sähkönkulutus tuotannon suhteen edellä mainittuina vuosina on havainnollistettu kuvassa 27.

Sähkönkulutus on kasvanut vuosina 2003 - 2004, ja on vielä vuonna 2005 korkeammalla tasolla kuin vuosina 2001 - 2003.



**Kuva 27: Sähkön kulutus ja tuotanto vuosina 2001-2005**

Mahdollisia syitä sähkönkulutuksen kasvuun ovat esimerkiksi tuotannon häiriöt, tai tuoteviat, jotka aiheuttavat valukappaleen kiertämisen takaisin sulatukseen.

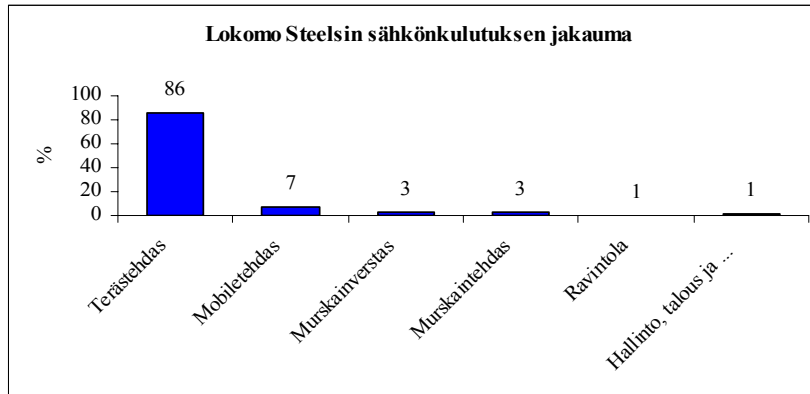
Sulatusuunit kuluttavat tarvitsemansa sähköenergian, vaikka teräsvalu epäonnistuisi. Toki hylkytavara palautuu takaisin raaka-aineeksi, mutta kulutettua energiaa ei saada takaisin. Valmistettaessa laadullisesti kriittisiä tuotteita – esimerkiksi vesiturbiinin siipiä – saattaa tuote palautua koneistuksesta korjattavaksi ja lämpökäsitteltäväksi useita kertoja. Samoin tuotepaletin muutokset vaikuttavat lämpökäsittelyjen määrään ja sitä kautta suuresti sähkön kulutukseen.

Muita syitä taas ovat esimerkiksi jatkuvasti parannettu ilmanvaihto ja suodatinlaitosten tukkeutuvat suodattimet, jotka nostavat puhallinten sähkönkulutusta paine-eron kasvaessa. Tästä edelleen imutehon heikentyessä joudutaan sulaton suuria kattopuhaltimia käyttämään käryjen poistamiseksi. Tämä taas aiheuttaa sulatuksessa syntyneiden hiukkasten pääsyn tuloilmakoneiden suodattimiin, jotka tukkeutuessaan nostavat puhallinten paine-eroa ja sitä myöten niiden sähkönkulutusta. Samalla näiden lämmönvaihtopatterit likaantuvat ja huonontavat niiden hyötysuhdetta, jolloin on käytettävä enemmän lämmitysvettä ja jälkilämmitysvastustehoa, jolloin jälleen energiankulutus kasvaa.

Laiteinvestoinnit osaltaan myös lisäävät tai vähentävät sähkönkulutusta. Tässä tapauksessa teollisuuden energiansäästösovimuksen vuosiraportti 2005 tietojen mukaan esimerkiksi polttoleikkauskaasujen suodatinlaitoshankinta vuonna 2003 lisäsi sähkönkulutusta 600 MWh vuodessa, mutta eräät muut hankinnat taas pienensivät sitä 540 MWh, joten vuoden 2003 sähkönkulutuksen lisäys investoinneista johtuen olisi 60 MWh.

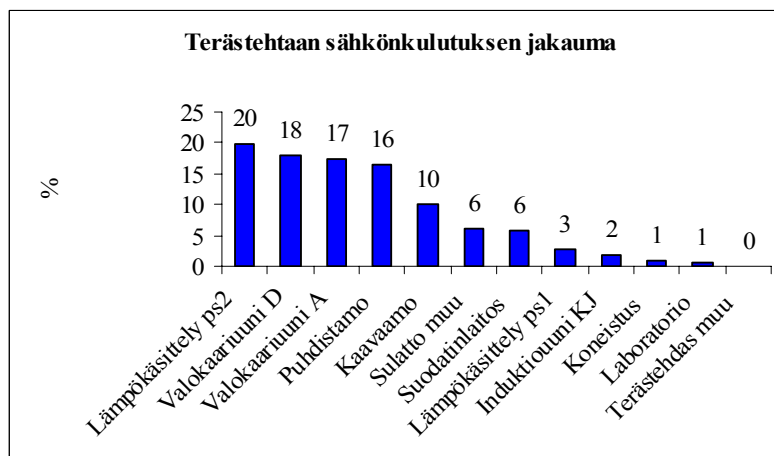
Jäähdytysvesipumppaamon uudistukset (muun muassa verkoston paineen korotus) ovat myös kasvattaneet omalta osaltaan sähkönkulutusta. Tässä tapauksessa on kuitenkin saavutettu paineilmakompressorien ja uunien parantunut jäähdytys ja sitä kautta talousveden hätäkäytön sekä toimintahäiriöiden väheneminen. Jokin yksittäinen syy on helppo osoittaa, mikäli se on riittävän suuri tekijä. Kulutuksen kasvu on yleensä useiden eri tekijöiden summa.

Eri yksiköistä terästehtaan on odotetusti suurin sähkön kuluttaja. MLS:n suurimmat kulutuskohteet ja niiden osuudet näkyvät kuvasta 28.



Kuva 28: MLS:n sähkönkulutuksen jakauma

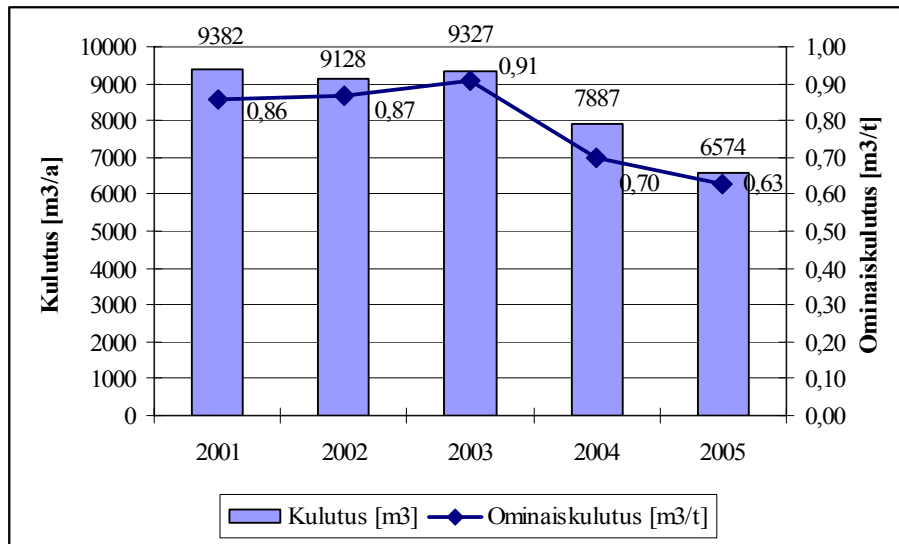
Terästehtaan sähkönkulutus jakautuu alamuuntamoille ja eri muuntajille. Suurimmilla kulutuskohteilla, kuten lämpökäsittelyuuneilla ja valokaariuuneilla, on omat muuntajansa. Terästehtaan suurimmat sähkönkuluttajat ovat puhdistamo 2:n lämpökäsittelyuunit, sulaton valokaariuunit ja puhdistamon muu kulutus, kuva 29. Puhdistamoon kuuluvat esimerkiksi paineilmakompressorit, jotka ovat melko suuri sähkön kuluttaja. Paineilmaa käyttää tehdasalueella moni yksikkö. Terästehtaan osuus paineilman kulutuksesta on arvioitu olevan 56 %.



Kuva 29: Terästehtaan sähkönkulutuksen jakauma

### 3.2.3 Vesi

MLS käyttää talousvetenä Tampereen Veden toimittamaa vesijohtovettä. Veden kulutuksen ja ominaiskulutuksen kehitys viimeisten viiden vuoden aikana havaitaan kuvasta 30. On mielenkiintoista, että kulutus on kahtena edellisenä vuonna vähentynyt huomattavasti. Vuoden 2005 kulutus on ollut 70 % viiden vuoden takaisesta kulutuksesta, mikä on jo merkittävä pudotus.



Kuva 30: Veden kulutus vuosina 2001 - 2005

Vesiliittymän ja veden kulutus kustannuksineen on havaittavissa taulukosta 8.

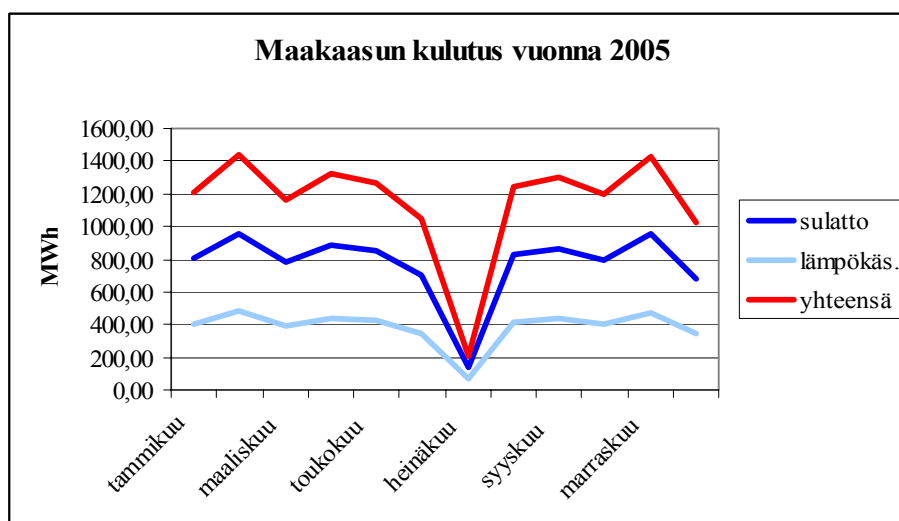
Taulukko 8: Talousveden laskutus v.2005

	Kulutus [m <sup>3</sup> ]	Maksu [€]
Perusmaksu		293,39
Mittarin vuokra		107,56
Sadevesi	25 091	4 370,48
Vesimaksu	18 158	16 118,91
Jätevesi	18 158	23 469,30
Vesimaksut yhteensä		44 359,64
2005		
Terästehtaan osuus	6 754	16 501,79
37,20 %		
Terästehdas sadevesi		1 628,82
Terästehdas yhteensä		18 130,61

### 3.2.4 Maakaasu

Maakaasua kuluttavat terästehtaalla senkkojen ja konvertterin esilämmityspolttimet sekä lämpökäsittelyuuni. Kulutuksen jakautumista senkkojen ja konvertterin esilämmityksen sekä höyrykattilan suhteen ei tiedetä. Kesällä ja syksyllä 2006 vanhat 1 MW senkkojen esilämmityspolttimet korvataan uusilla ja konvertterin 1 MW poltin korvataan 3×500 kW:n polttimilla. Näin ollen sulaton lämpöteho lisääntyy 500 kW:lla.

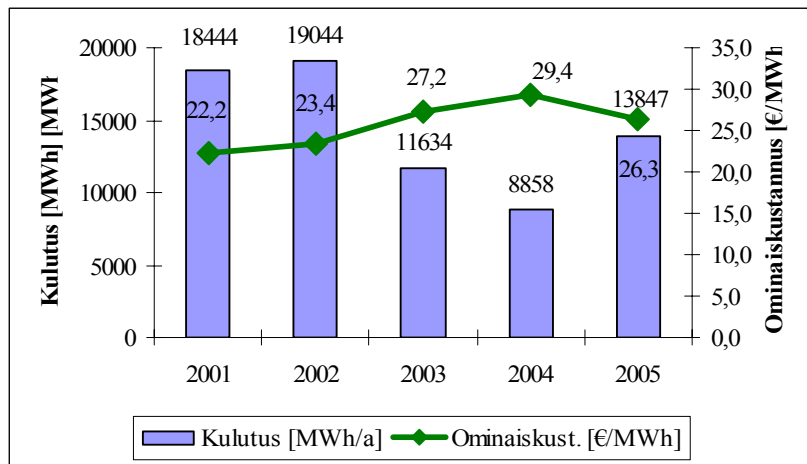
Konvertterin tarvitsema tyhjötaso tehdään vesirengaspumpulla sekä höyryejektoreilla, joiden höyry tehdään 3 MW tehoisella maakaasukäyttöisellä höyrykattilalla. Kuvassa 31 on esitetty maakaasun kokonaiskulutus sekä kulutuksen kuukausittainen jakautuminen sulaton ja lämpökäsittelyuunin välillä. Heinäkuussa on tehtaan huoltoseisokki jolloin kulutuskin on pienimmillään. Joulukuun kulutusta pienentävät joulun vapaat.



**Kuva 31: Maakaasun kulutus terästehtaalla vuonna 2005**

Vuosina 2001 – 2005 on maakaasun kulutus vaihdellut huomattavan paljon. Vuoden 2004 kulutus oli vain 46,5 % kahden vuoden takaisesta tasosta, mutta vuodesta 2004 vuoteen 2005 kulutus kasvoi 36 %. Tämä siitäkin huolimatta, että maakaasukäyttöisen lämpökäsittelyuunin uusinnasta johtuen ei lämpökäsittelyissä käytetty kolmen kuukauden aikana maakaasua lainkaan.





Kuva 32: Maakaasun kulutuksen ja ominaiskustannuksen kehitys vuosina 2001 – 2005

Vuonna 2001 uusittu lämpökäsittelyuunin säätöjärjestelmä ei näyttäisi sellaisenaan alentaneen maakaasun kulutusta, mutta asiaan vaikuttavat tietysti muutkin syyt. Tosin tuotantomäärä on vuonna 2002 ollut alhaisempi kuin vuonna 2001, joten kulutuksen kasvu ei johdu suoraan siitä. Syitä kasvuun voivat olla valutuotteisiin tehdyt useat erilliset hitsauskorjaukset, joiden jälkeen tuote on lämpökäsiteltävä uudelleen. Lisäksi prosessihöyrykattilan maakaasupoltin on ollut huonossa kunnossa.

Ylipitkät senkkojen lämmitykset lisäävät kaasun kulutusta. Senkkojen esilämmitysajan tarkkailu on mainittu myös vuoden 1999 analyysissä mutta vielä ei ole tehty mitään toimenpiteitä. Myös häiriöt sulan tuotannossa ja valuissa lisäävät romun kiertoa ja samalla eri energiamuotojen kulutusta.

Prosessihöyrykattilan maakaasupolttimen uusiminen vuonna 2003 on vaikuttanut vähentäneen kaasun kulutusta merkittävästi.

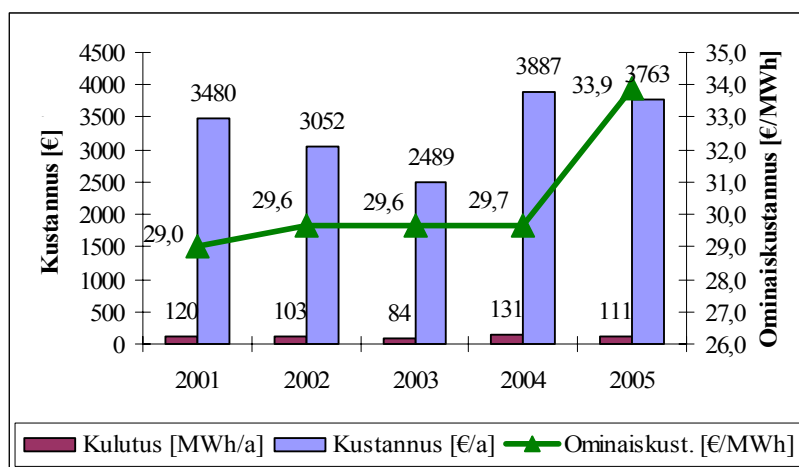
Vaikka energian hinta on yleisesti jatkuvassa kasvussa, on maakaasun hinta viime vuonna jopa pudonnut. Taulukossa 9 ovat maakaasun kulutukset ja kustannukset vuosilta 2001 – 2005.

**Taulukko 9: Maakaasun kulutus ja kustannukset vuosina 2001 - 2005**

	2001	2002	2003	2004	2005
Kulutus [MWh]	18 444	19 044	11 634	8 858	13 847
Kustannus [€]	409 823	445 861	316 302	260 165	363 788
Ominaiskustannus [€/MWh]	22,22	23,41	27,19	29,37	26,27

### 3.2.5 Nestekaasu

Lokomo Steels käyttää nestekaasua – propaania - puhdistamossa teräsvalujen valukkeiden ja valukanavien poistoon polttoleikkauksella. Nestekaasusäiliö ja kaasunjakeluasema sijaitsevat Puhdistamo 1:n (rakennus 68) vierellä. Nestekaasun kulutus ei ole kovin suurta maakaasun kulutukseen verrattuna, mutta nestekaasun kulutus on kahtena edellisellä vuonna kasvanut aiempiin vuosiin verrattuna, kuva 33. Nestekaasun ominaiskustannus on myös kasvanut merkittävästi viimeisen vuoden aikana.



**Kuva 33: Propaanin kulutus ja kustannukset vuosina 2001 – 2005**

### 3.3 Energiataseet

Energiatasekaavio on esitetty liitteessä 11.

## 4. TALOTEKNIIKAN PERUSKARTOITUS JA ENERGIANKULUTUS

### 4.1 Kauko- ja aluelämmitysjärjestelmät

#### 4.1.1 Kaukolämpöjärjestelmän kuvaus

MLS:llä on kaksi kaukolämpöliittymää, joiden mittauspisteiden tunnuksset ovat 030320/030321 ja 030330/030331. Ensimmäinen – alakeskus 2 – sijaitsee murskaintehtaalla ja jälkimmäinen – alakeskus 3 – Puhdistamo 1 rakennuksessa 68. Alakeskus 2 toimittaa lämpöä rakennuksille 68 ja 17, ja alakeskus 3 toimittaa lämpöä muille MLS:n rakennuksille sekä murskaintehtaalle. Alakeskus 2 on uusittu vuonna 2005. Tarkempi selvitys on esitetty kappaleessa 3.2.1.

#### 4.1.2 Kaukolämpöjärjestelmän energiankulutus

Järjestelmän kulutus on esitetty kappaleessa 3.2.1.

### 4.2 LVI-järjestelmät

#### 4.2.1 Järjestelmän kuvaus

Terästehtaan ilmanvaihto on jaettu neljään eri osaan rakennusten ja prosessien mukaan: sulatto, kaavaamo, puhdistamo 1 ja puhdistamo 2. Ilmanvaihtokoneiden ohjaus tapahtuu pääosin keskitetysti rakennusautomaatio-järjestelmällä kunnossapito-osastolta tai huoltoyhtiön toimistotilasta. Poistopuhaltimia voidaan ohjata myös tuotantotiloissa olevista käyttötauluista ja kytkimistä.

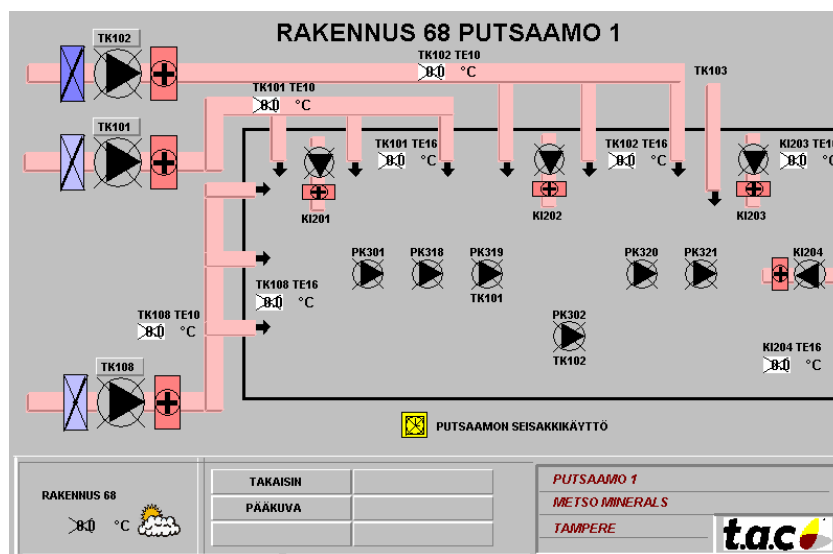
Rakennusten ilmanvaihtokoneet ovat pääosin vanhoja; rakennus 68:n eli puhdistamo 1:n ja kehäkaavaamon tuloilmakoneet ovat vuodelta 1972. Rakennusten energiatalous paranee merkittävästi kun koneet uusitaan nykyaikaisiksi, lämmön talteenotolla varustetuiksi ilmanvaihtokoneiksi. Kehäkaavaamon katolla on yksi LTO-kone, jonka toimivuus on välttävä.

Terästehtaan eri osien tulo- ja poistoilmasuhteita on esitetty kuvissa 35, 37, 38 ja 39. Rakennukset ovat pääosin voimakkaasti alipaineisia mikä heikentää suodatinlaitosten toimintaa. Savujen, huurujen ja hiukkasten poisto sisäilmasta ei onnistu tehokkaasti mikäli korvausilmaa ei saada riittävästi tilalle. Kesäaikaan tämä ei ole ongelma sillä rakennusten ulko-ovia pidetään auki. Talviaikana ovia ei voi työolojen eikä energiatalouden vuoksi pitää auki, jolloin ongelmat korostuvat.

#### 4.2.1.1 Puhdistamo 1

Kuvassa 34 on kuvattu puhdistamo 1:n ilmanjako rakennusautomaatiojärjestelmässä. Puhdistuskoppien erillisiä, käsiohjauksella toimivia poistopuhaltimia ei ole näkyvissä rakennusautomaatiojärjestelmässä, kuten ei myöskään suodatinlaitosta.

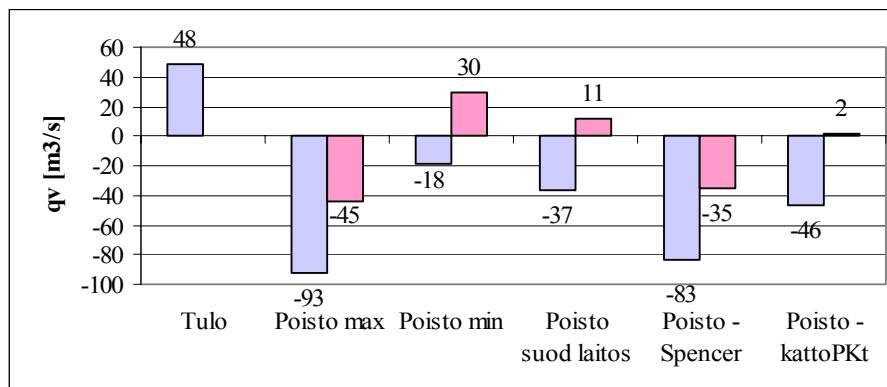
Spencer-sinkopuhdistuskoneen palautusilmajärjestelmä on pois käytöstä, sillä letkusuodattimien paineiskupuhdistus päästi suodatettua pölyä ajoittain runsaasti takaisin puhdistamon sisäilmaan.



Kuva 34: Puhdistamo 1:n ilmanjako

Puhdistamo 1:n teoreettinen tuloilmamäärä on  $48 \text{ m}^3/\text{s}$  ja laskennallinen  $32,7 \text{ m}^3/\text{s}$ , joka on tehtyjen mittausten perusteella todennäköisesti lähempänä todellista tilannetta.

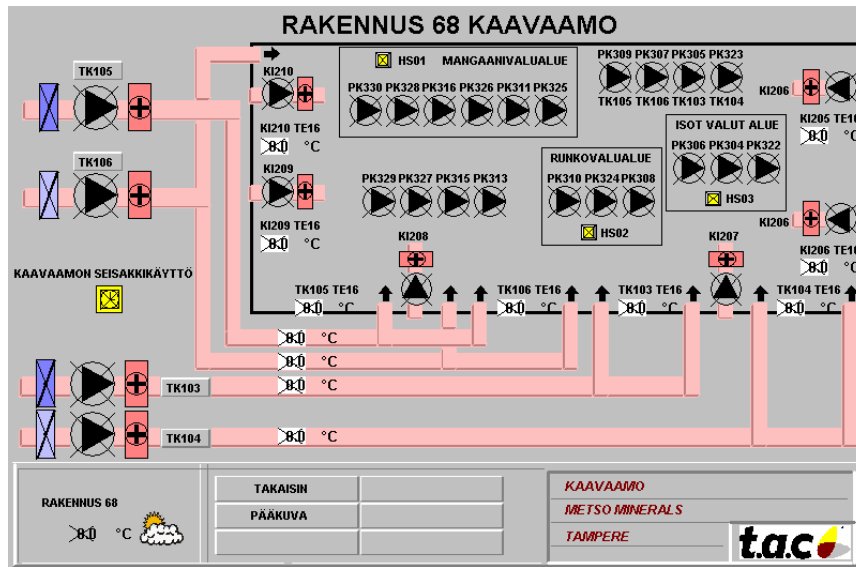
Jos rakennuksen poistokoneet ovat pysäytettyinä ja suodatinlaitos toimii puolella teholla, on rakennus ylipaineinen. Kuvassa 35 tämä on nähtävissä ”Poisto min”-kohdassa. Mikäli suodatinlaitos on ainoa poistoilmalaite, on teoreettisen ilmamäärän mukaan rakennus ylipaineinen. Käytännössä kaikissa normaaleissa toimintatilanteissa rakennus on alipaineinen, joka havaitaan vaaka-akselin alapuoleisina punaisina palkkeina kuvassa 35. Kuvassa tuloilmamäärä on nimellisilmamäärä. Tilanteessa jossa kaikki poistokoneet toimivat täydellä teholla yhtä aikaa, on teoreettinen tuloilmamäärä 48 % poistoilmamäärästä ja nimellistuotonkin mukaan tuloilmamäärä on 52 % poistoilmamäärästä. Mikäli poistoilma johdetaan pelkästään suodatinlaitoksen kautta, on ilmasapaino hyvä.



Kuva 35: Puhdistamo 1:n tulo- ja poistoilmasuhteita

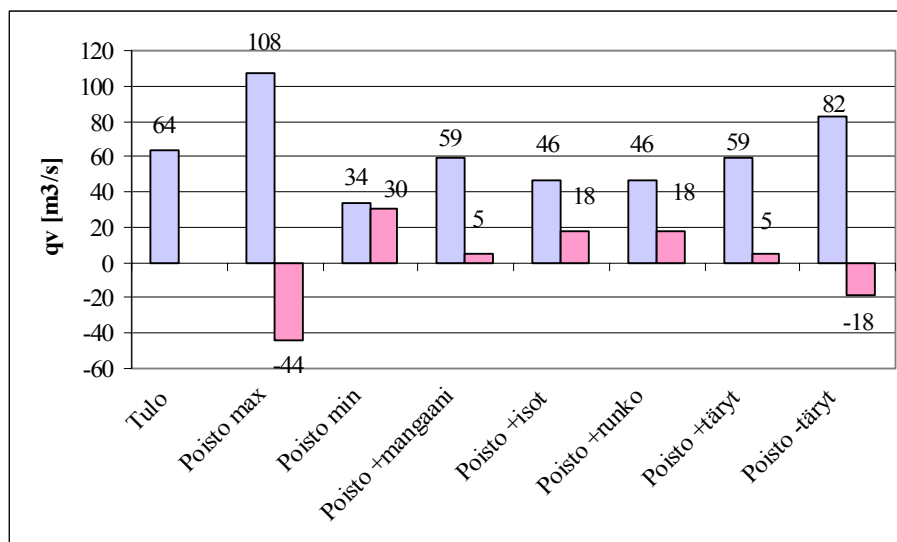
#### 4.2.1.2 Kehäkaavaamo

Rakennuksen 68 kehäkaavaamon puolella tilanne on vastaava. Laskennallinen, osin mittauksiin perustuva tuloilmamäärä on  $53 \text{ m}^3/\text{s}$ , kun maksimipoistoilmamäärä on  $107,6 \text{ m}^3/\text{s}$ . Ero on  $54,6 \text{ m}^3/\text{s}$  alipaineinen, eli rakennuksesta poistuu yli kaksi kertaa tuleva ilmamäärä. Nimellinen tuloilmamäärä on  $64 \text{ m}^3/\text{s}$  joka on 60 % poistoilmamäärästä. Kuvassa 36 on esitetty kehäkaavaamon ilmanjako rakennusautomaatiojärjestelmässä. Kaikki käytössä olevat poistopuhaltimet on kuvattuna järjestelmäkaavioon ja ohjattavissa rakennusautomaatiojärjestelmän avulla.



Kuva 36: Kehäkaavaamon ilmanjakojärjestelmä

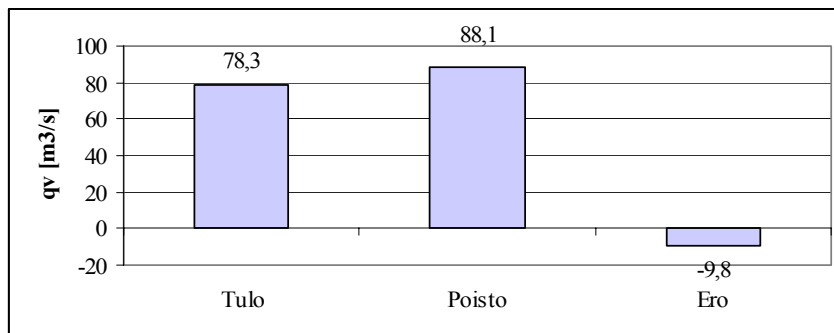
Kehäkaavaamon tulo- ja poistoilmasuhde vaihtelee suuresti sen mukaan mitkä poistokoneet ovat toiminnassa. Mikäli kaikki poistot ovat käynnissä, on rakennus voimakkaasti alipaineinen. Käytännössä rakennus on aina alipaineinen, sillä ilma liikkuu puhdistamo 1:een avoimesta oviaukosta ja väliseinän aukoista. Kuvassa 37 tuloilmamäärä on rakennuksen nimellisilmamäärä.



Kuva 37: Kehäkaavaamon tulo- ja poistoilmasuhteita

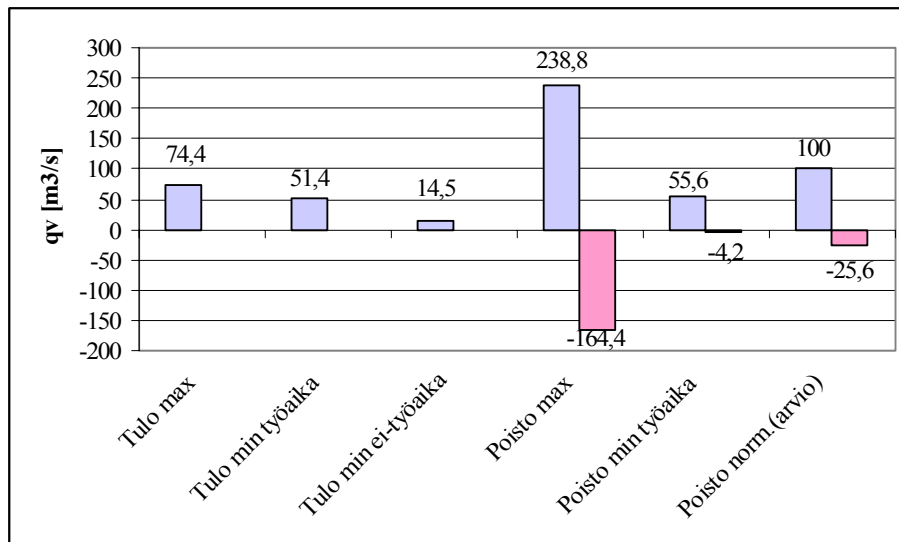
#### 4.2.1.3 Pullakaavaamo

Rakennusten 17, 19, 23, 57 ja 70 alueella ovat pulla- ja hartsikaavaamo, hiekanmyllytystoiminta, mallipaja sekä työnjohto-, tauko- ja sosiaalitalat. Tällä osalla tilanne on hyvä, sillä teoreettinen tuloilmamäärä on alle 10 m<sup>3</sup>/s pienempi kuin poistoilmamäärä, kuva 38.



**Kuva 38: Rakennusten 17, 19, 23, 57 ja 70 tulo- ja poistoilmasuhteita**

Sulaton ilmamäärien määrittäminen on vaikea tehdä kohtuullisella tarkkuudella. Sekä tulo- että poistoilmamäärät vaihtelevat tuotannon tilanteiden mukaan, kuva 39. Esimerkiksi TK131 ja 132 toimivat molempiin suuntiin tarpeen mukaan. Koneiden teoreettinen yhteiskapasiteetti on 23 m<sup>3</sup>/s joka on siis joko tulo- tai poistoilmaa. Käytännössä senkkojen esilämmityksen aikana ne ovat poistopuhaltimia. Uunien päällä olevia poistopuhaltimia ei normaalisti pitäisi käyttää, mutta tutkimusjakson aikana niitä käytettiin usein. Teoreettinen kapasiteetti on 18,5 m<sup>3</sup>/s. Sulaton pohjoispäädyssä olevassa ohjaustaulussa on käyttökytkimet poistopuhaltimille ja ohje niiden käytöstä. Puhaltimien pysäytys tarvittavan käytön jälkeen saattaa helposti unohtua.



**Kuva 39: Sulaton tulo- ja poistoilmasuhteita**

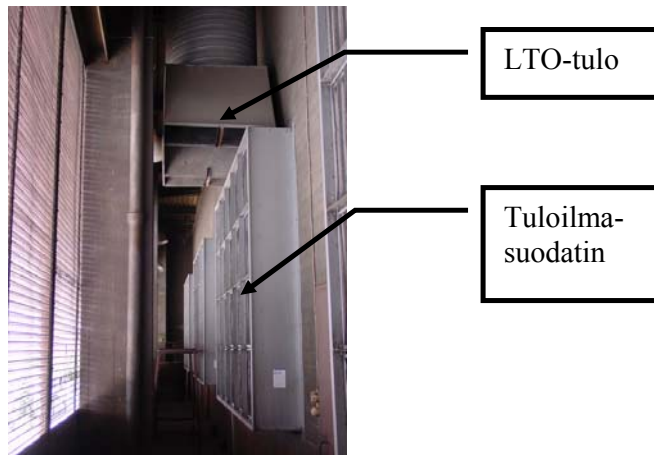
Poistopuhaltimien sijaan yllämmön – ja samalla savun – poistoon käytetään paljon sulaton kattoluukkuja, kuvat 46, 47 ja 48. Ovia pidetään kesäaikaan auki korvausilman saamiseksi.

#### 4.2.2 Energiankulutus

Ilmanvaihto on tavallisissa toimisto- ja asuintiloissa suuri energiankuluttaja, ja niin on tilanne myös tässä tapauksessa. Suurin osa laitoksen energiasta poistuu ilmanvaihdon kautta. Sisäilma on lisäksi voimakkaasti hiukkaspitoista, joten se on suodatettava ennen ulospuhallusta. Suodatinlaitokset ovat suuria eikä niissä ole lämmön talteenottoa. Tuloilma lämmitetään pääosin kaukolämpövedellä.

Rakennus 68 katolla on yksi LTO-kone jonka nimellisilmamäärä on  $12,5 \text{ m}^3/\text{h}$ . Kone kierrättää ilmaa puhdistamo 1 ja kaavaamon tuloilmakoneiden imusuodattimien eteen, kuva 40. Laitteen käytettävyys ja hyötysuhde on heikko muun muassa laitevikojen vuoksi. Analyysissa vuodelta 1999 LTO-hyötysuhteen on arvioitu olevan alle 4 %.





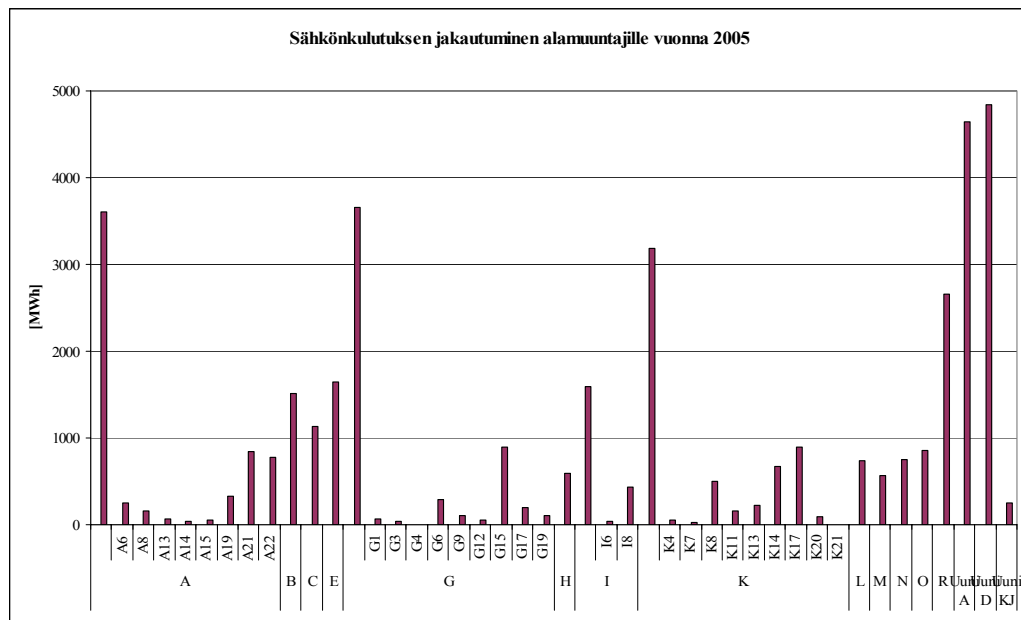
**Kuva 40: LTO-ilman kierrätys**

Energiataseen mukaan ilmanvaihto kuluttaa noin 42 % kokonaisenergiasta, eli 948 900 €/a. Vuotoilmaan on laskettu sisältyvän myös sulaton kattoluukkujen kautta poistuva ilma. Mikäli edes puolet vuotoilmasta lasketaan mukaan, on osuus jo 51 % eli 1 152 200 €/a. Lämmön talteenottoon ja vuotohäviöiden pienentämiseen kohdistuvat investoinnit ovat hyvin perusteltavissa. Energiatase on liitteessä 11 ja vedenkulutuksesta on kerrottu kohdassa 3.2.3.

### **4.3 Sähköjärjestelmät**

#### **4.3.1 Sähköjärjestelmän kuvaus**

Sähkö syötetään kytkinasemalle kahdella erillisellä syöttökaapelilla. Kytkinasemalta sähkö jaetaan 20 kV:n jakeluverkolla tehdasalueella oleville muuntajille, joita on yhteensä 44 kappaletta. Kytkinasema uudistettiin kesällä 2006. Sähkönkulutuksesta on kerrottu tarkemmin kohdassa 3.2.2. Kuva 41 esittää sähkönkulutuksen jakautumisesta eri alamuuntajille.



**Kuva 41: Sähkönkulutuksen jakautuminen alamuuntajille vuonna 2005**

Muuntajien kohteet ja kulutukset on taulukoitu liitteessä 2.

#### 4.4 Valaistus

Rakennuksissa on valaisimina pääosin 400 W suurpainenaatriumlamput heijastinkuvuilla. Joitakin 1 000 W elohopeapurkauslamppuja on vielä käytössä, mutta ne vaihdetaan natriumlampuiksi vuosihuoltoseisokin aikana. Taulukossa 10 on esitetty terästehtaan valaisintilanne kesäkuussa 2006.

**Taulukko 10: Terästehtaan valaisimet**

Kohde	Natrium 400 W [kpl]	Elohopea 1 000 W [kpl]
Sulatto	50	6
Pullakaavaamo	58	
Keernaosasto ja mallivarasto	21	8
Kehäkaavaamo	105	17
Puhdistamo 1	70	
Puhdistamo 2	38	
<b>Yhteensä</b>	<b>342 kpl (136,8 kW)</b>	<b>31 kpl (31 kW)</b>

Havaittujen 373 yleisvalaisimen lisäksi on tehtaalla loisteputki- ja muita pienitehoisia valaisimia puhdistuskoppeja, malliverstasta, toimistoja, työpisteitä, ovien edustoja, käytäviä ja joitain pimeitä paikkoja valaisemassa. Kun kaikki yleisvalaisimet ovat suurpainenatriumlamppuja, on niiden sähkön kulutus 149 kWh. Sähkösäästö elohopeapurkauslamppeihin verrattuna on  $(373 - 149) \text{kWh} = 224 \text{kWh}$ .

#### **4.5 Rakennusautomaatiojärjestelmä**

MLS:llä on TAC Finland Oy:n toimittama rakennusautomaatiojärjestelmä, jossa ohjaus tapahtuu internet-pohjaisen käyttöliittymän avulla. Järjestelmää käytetään pääasiassa kunnossapito-osastolta sekä kiinteistöhuoltoyhtiön toimistotiloista. Koska liittymä on internet-pohjainen, on järjestelmään mahdollista päästä myös MLS:n ulkopuolelta, mikäli käytössä on internet-selaimen lisäksi järjestelmän käyttäjätunnus ja salasana. Kuvissa 4, 34, 36, ja 42 on esimerkkejä rakennusautomaatiojärjestelmän kuvaruutunäytöstä. Kuvassa 42 nähdään Puhdistamo 1:n, eli rakennus 68 ilmanvaihtoryhmän säätö- ja tarkasteluikkuna.

Järjestelmä on selkeä ja helppokäyttöinen. Joitakin järjestelmän seurantaan helpottavia tekijöitä puuttuu, kuten esimerkiksi suodatinvahvien trendinäyttö. Sen avulla on muun muassa suodatinten huoltovälin suunnittelu helpompi toteuttaa.

Järjestelmässä havaittiin myös toimintahäiriöitä. Talvella 2006 asennetun kaavaamon uuden ilmanvaihtokoneen toiminta on ristiriitainen rakennusautomaatiojärjestelmän ilmoituksen kanssa. Järjestelmän mukaan esimerkiksi kaikki puhaltimet käyvät koko ajan 100 % teholla, vaikka taajuusmuuttajista katsottuna tehot vaihtelevat yleensä 25...45 % välillä. Suodatinvahdin paine-eromittauksessa on myös ollut vikaa.

Rakennusautomaatiojärjestelmän käytettävyys vaatii, että koko järjestelmä toimii luotettavasti ja odotetulla tavalla. Järjestelmän hyödyllisyydestä menetetään paljon, jos käyttäjät eivät luota siihen. Tällöin järjestelmän käyttö vähenee ja siten myös energiataloudelliset hyödyt pienenevät.

	TK101	TK102	TK108	TK103	TK104	TK105	TK106	TK001	TK107
Vaikutusalue	Putsaamo1	Putsaamo1	Putsaamo1	Kaavaamo	Kaavaamo	Kaavaamo	Kaavaamo	Putsaamo1	Kaavaamo
Aikaohjelmat									
TFx	101	102	108	103	104	105	106	01	107
PKx	319	302		305	323	309	307		338
Lisäaika	HS101	HS101	HS101	HS101	HS101	HS101	HS101		
Lämmityspatterin pumppu	P501	P502	P508	P503	P504	P505	P506	PU04	P507
Lämmityspatterin paluuvesi TE04	6.0 °C 19.9 °C	2.0 °C 20.1 °C	12.0 °C 18.1 °C	4.7 °C 14.8 °C	2.0 °C 15.9 °C	4.7 °C 14.6 °C	4.7 °C 16.2 °C		12.0 °C 17.4 °C
Lämmityspatterin venttiili TV04	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	2 %	0 %	0 %	25 %
Tuloilma TE10	12.0 °C 22.1 °C	10.0 °C 22.0 °C	10.0 °C 21.0 °C	16.0 °C 17.0 °C	16.0 °C 17.2 °C	16.0 °C 16.1 °C	16.0 °C 17.6 °C	20.0 °C 18.3 °C	18.0 °C 17.9 °C
SÄÄDÖT TE16 / TE17 HUONE- / POISTOILMA ASET MITT									

ALOITUSKUVA  
PÄÄKUVA

RAKENNUS 6812.6 °C

IV-RYHMÄ  
 RAKENNUS 68  
 Metso Minerals

Kuva 42: Rakennusautomaatiojärjestelmän kuvaruutunäyttömalli

#### 4.6 Kylmätekniset järjestelmät

Varsinaisia kattavia kylmätekniisiä järjestelmiä ei ole, vaan jäähdytyslaitteet ovat erillislaitteita, joita käytetään lähinnä toimistotilojen jäähdytykseen. Teräsvalimon rakennuksissa sijaitsevien jäähdytyskoneiden lauhdutinyksiköt on joissain tapauksissa sijoitettu joko liian lähellä seinää, liian kuumaan sisätilaan tai alttiiksi suoralle auringonpaisteelle. Hyvin monessa tapauksessa ulkotiloissa – etenkin katoilla - olevien kylmäaineputkien eristeet olivat rikki ja puuttuivat lähes kokonaan, kuva 43. Kylmäaineputkien pituus pahentaa tilannetta, sillä pituuden myötä lämpö, tai tässä tapauksessa kylmää, poistava pinta-ala kasvaa. Tämä lisää laitteiden energiankulutusta ja heikentää kylmäkoneiden hyötysuhdetta ja jäähdytystehoa.



**Kuva 43: Kylmäaineputkien eristeaurioita**

## 4.7 Suodatinlaitokset

### 4.7.1 Sulaton suodatinlaitos

Kapasiteetiltaan 200 000 m<sup>3</sup>/h oleva sulaton suodatinlaitos on valmistunut vuonna 2002. Puhaltimet ovat hihnakäyttöisiä, vakionopeuksisia ja johtosiipisäädöllä varustettuja. Puhallinten sähkömoottorien nimellisteho on 2×200 kW.

Suodatinlaitoksen toimintaan ei olla täysin tyytyväisiä. Joissakin tapauksissa imuteho ei käyttäjien mielestä ole riittävä eikä savukaasujen poisto sulatosta ole tarpeeksi tehokas. Tästä ongelmasta kärsii eniten A-uuni, joka on lähinnä suodatinlaitosta. Ongelma on esiintynyt alusta lähtien, eikä sitä ole selvitetty.

Laitteiston ohjaus- ja käyttötapojen selvittäminen ja riittävän tuloilmamäärän takaaminen ovat ensimmäisiä keinoja imutehon riittävyysongelmiin. Toimilaitteiden ja venttiilien toiminta kannattaa myös tutkia.

Suodatinlaitoksella on käytössä automaattinen paineilmaimpulssi, jonka tarkoitus on poistaa suodatinten pintaan kertyvä irtopöly. Tämä toiminto ei ilmeisesti ole riittävä tai sitä ei käytetä riittävästi, sillä suodattimet tukkeutuvat nopeasti. Toinen ongelma on pölyn holvaantuminen suodatinsiiloihin, mihin MLS suunnittelee ratkaisua kuluvan vuoden aikana.

Suodatinpöly kerätään metallisäiliöihin, jotka vaihdetaan käsin niiden täytyttyä. Pöly palautetaan kiertoon sulattamalla se muun romun joukossa. Pölyn lisäys sulatusuuniin saattaa kuitenkin heikentää uunin energiatehokkuutta ja lisätä energian kulutusta noin 20...30 kWh/tonni. Siten 16 tonnin uunin energiankulutus lisääntyisi 320...480 kWh. Toiminta lisää syntyvän kuonan määrää. (European Commission 2004, Best Available Techniques in the Smitheries and Foundries Industry, 302). Mainitussa lähteessä ei kuitenkaan ole mainintaa siitä, miten energiankulutuksen kasvu riippuu lisätyn pölyn määrästä. Tältä pohjalta ei kierrätettävän pölyn energiankulutusta lisäävästä vaikutuksesta voi vetää mitään varmoja johtopäätöksiä.

#### 4.7.2 Puhdistamoiden 1 ja 2 suodatinlaitokset

Puhdistamo 1 polttoleikkauskaasujen suodatinlaitos on rakennettu vuonna 2005 ja on kapasiteetiltaan  $2 \times 66\,000 \text{ m}^3/\text{h}$ . Moottorien nimellisteho on  $2 \times 110 \text{ kW}$ . Puhdistamo 2 suodatuslaitoksen nimellisteho on 74 kW ja mitattu 51 kW 100 % teholla. Pääasiassa hiontapölyjen poistoon tarkoitettu laitoksessa poistoilma on lähellä rakennuksen sisäilman lämpötilaa, sillä työskentelyssä ei synny merkittävästi lämpöä. Laitokset ovat toimineet hyvin alusta lähtien; lämmön talteenottoa ei ole.

#### 4.7.3 Täryttimen suodatinlaitos

Tärypöydän imuri (PK403) on nimelliskapasiteetiltaan  $55\,800 \text{ m}^3/\text{h}$  ja valmistettu vuonna 1972. Tehonotto 88 kW mitattiin 12.7.06 samoin kuin alakerran imurin (PK402) tehonotto, joka oli 25 kW tällä nimelliskapasiteetiltaan  $28\,000 \text{ m}^3/\text{h}$  puhaltimella, joka myös on vuodelta 1972.

#### 4.7.4 Spencer-sinkopuhdistimen suodatinlaitos

Puhaltimen (PK404) nimelliskapasiteetti on  $34\,900 \text{ m}^3/\text{h}$  ja 12.7.06 mitattu tehonotto 42 kW. Puhaltimen valmistusvuosi on 1972. Suodatinlaitoksen suodatettua poistoilmaa on käytetty lyhyen aikaa puhdistamo 1:ssä palautusilmana, mutta ajoittain toistuvat puhdistusimpulsseista johtuvat pöllähdykset johtivat laitteiston käytön hylkäämiseen.

## 4.8 Rakennukset ja rakenteet

Suuri osa rakennuksista on iäkkäitä; terästehtaan vanhin osa on sulatto, joka on valmistunut vuonna 1916. Varsinaisista tuotantorakennuksista nuorimpia ovat rakennukset 68 ja 70, jotka ovat valmistuneet vuonna 1972. Jäähdytysvesipumppaamo on valmistunut 1983 ja lämmittämätön raaka-ainevarasto vuonna 2002.

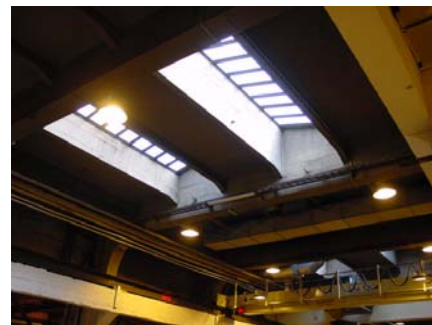
### 4.8.1 Rakenteet

Puhdistamo 1, eli rakennus 68 koostuu betoni-, teräs- ja lasielementeistä. Seinien sandwich-rakenteisen betonielementin paksuus on noin 250...270 mm, josta 100 mm on mineraalivillaeristettä. Seinissä on lisäksi lasipalkki-ikkunoita, jotka koostuvat kahdesta U-muotoisesta yhteen liitetystä lasipalkista. Neljä metriä korkean lasipalkkiseinän paksuus on 150 mm ja sitä on yhteensä noin 100 metriä. Lasipalkkiseinän pinta-ala on siten noin 400 m<sup>2</sup>. Kattorakenne koostuu kolminkertaisesta huopakatteesta, 150 mm mineraalivillasta ja teräsprofiililevystä.

Muut rakennukset ovat pääosin reikätiilestä 1½-tiilirakenteella muurattuja. Näiden seinien paksuus on noin 500 mm ja niiden kattorakenne koostuu huopakatteesta, 50 mm:n mineraalivillaeristeestä sekä 200 mm paksusta kevytbetonista. Ikkunoita on vähän. Mangaanikaavaamon katossa on 150 mm paksu betoni, 50 mm paksuinen olkisementtilevy ja 50 mm mineraalivilla joka on pinnoitettu huopakatteella. Kaavaamossa ja sulatossa on kattoikkunoita, jotka ovat yksinkertaista karkaistua teräsverkkolasia, kuvat 44 ja 45.



Kuva 44: Kaavaamon kattoikkunoita 1



Kuva 45: Kaavaamon kattoikkunoita 2

Sulaton kattoluukut ovat aukaistavia, ja niitä pidetään kevät-, kesä- ja syysaikana auki ilmanvaihdon lisäämiseksi. Tästä aiheutuu lämpöhäviöitä ja pölypäästöjä ympäristöön, kuvat 46 ja 47.



**Kuva 46: Sulaton kattoluukkuja 1**



**Kuva 47: Sulaton kattoluukkuja 2**

Sulaton kattoluukusta otettiin myös lämpökamerakuva, josta poistuva lämpösäteily näkyy selvästi, kuva 48. Kohdassa 8.4.1 on laskelma kattoluukun kautta poistuvasta lämpömäärästä. Suljetun kattoluukun päätyovesta mitattiin ilmavirta, jonka lämpötila oli 65 °C ja nopeus 3,5 m/s.



**Kuva 48: Sulaton kattoluukun lämpösäteilyä**

Rakennuksissa havaittiin myös rikkiäisiä ikkunoita ja vanerilevyllä peitetyjä aukkoja, joista vanerilevy oli irronnut, kuvat 49 ja 50. Näistä pääsee ympäristöön pölypäästöjä ja lämpöhäviöitä kuten kattoluukuista.





Kuva 49: Sulaton katon aukkoja



Kuva 50: Sulaton katon aukkoja

#### 4.8.2 Energiankulutus

Rakennusten johtumis- ja vuotohäviöitä arvioitiin Suomen rakentamismääräyskokoelma RakMK D5 laskukaavojen avulla. Lämmönläpäisykertoimina käytettiin pääasiassa samoja kuin edellisessä analyysissä on käytetty. Rakenteiden monimuotoisuudesta ja eri-ikäisyydestä johtuen rakenneosien todellisten lämmönläpäisykertoimen määrittäminen olisi hyvin työlästä, eikä siitä saavuteta merkittävää hyötyä. Näin ollen rakennusten energiankulutuslaskelmat ovat suuntaa antavia.

Vuonna 2005 rakenteiden läpi johtuva energiamäärä oli noin 2 900 MWh/a laskettuna kaavoilla

$$Q_{joht} = \frac{\Sigma(k \cdot A \cdot 24 \cdot S)}{1000} \quad (\text{RakMK D5, 3.2}) \quad (2)$$

$$Q_{joht,maa} = q_M \cdot A \quad (\text{RakMK D5, 3.3}) \quad (3)$$

ja vuotoilman energiamäärä noin 2 005 MWh/a laskettuna kaavalla

$$Q_{vuotoilma} = \frac{\rho_i \cdot c_{pi} \cdot n_v \cdot V \cdot 24 \cdot S}{3600} \quad (\text{RakMK D5, 3.5}) \quad (4)$$

Todellisuudessa vuotoilman mukana menetettävä energiamäärä on paljon suurempi, sillä laskennassa ei ole otettu huomioon ovien aukipitoa osan vuodesta. Samoin sulaton kattoluukkujen kautta menetetään paljon energiaa.

Kohdassa 8.4.1 on laskettu, että sulaton kattoluukkujen kautta poistuva energiamäärä on noin 948 MWh/a, jolloin laskennallinen vuotoilman energiamäärä on noin 2 953 MWh/a.

## **5. TEHDASPALVELUJÄRJESTELMIEN PERUSKARTOITUS JA ENERGIANKULUTUS**

### **5.1 Vesilämmitysjärjestelmät**

Vesilämmitysjärjestelmiä ei ole.

### **5.2 Höyryjärjestelmät**

#### 5.2.1 Höyryjärjestelmän kuvaus

MLS tuottaa ja käyttää höyryä ainoastaan konvertterin tyhjän tekemiseen. Käytössä on vanha, melko kevytrakenteinen laivakattila, jossa on vuonna 2003 uusittu 3 MW tehoinen maakaasupoltin. Maksimiteho on 4 500 kg/h. Konvertterin tyhjä muodostetaan höyryejektoreilla, jotka sijaitsevat sulattorakennuksen läntisen seinustan katolla olevassa erillISRakennuksessa. Tämä suojarakennus on eristämätön, eikä höyryejektoreiden tuottamaa säteilylämpöä hyödynnetä. Prosessin kannalta sijainti on optimaalinen, sillä konvertteri sijaitsee aivan läheisyydessä jolloin putkilinjat ja putkihäviöt on voitu minimoida.

#### 5.2.2 Höyryjärjestelmän energiankulutus

Höyryjärjestelmän energiankulutus maakaasun kulutuksesta ei ole tiedossa, sillä maakaasun kulutusta sulaton eri kohteissa ei mitata. Veden kulutusta ei ole otettu huomioon.

### **5.3 Kuumaöljyjärjestelmät**

Kuumaöljyjärjestelmiä ei ole.

### **5.4 Kaasunjakelujärjestelmät**

#### 5.4.1 Kaasunjakelujärjestelmien kuvaus

Maakaasun ja nestekaasun jakelujärjestelmät ovat hyvässä kunnossa. Kaasut on hajustettu, joten vuodot on helppo havaita. Putkikanaaleissa on lisäksi nestekaasuvuotojen varalta hälytysjärjestelmä. Maakaasu, jonka mitoitusteho on 7 MW, tulee MLS:n jakeluverkkoon suoralla syötöllä. Nestekaasu toimitetaan säiliöautolla nestemäisenä ulkona olevaan 49 m<sup>3</sup> säiliöön. Nestekaasuhöyrystimen teho on 2×150 kg/h, joka on energiana 3,84 MWh. Höyrystimet on uusittu 2000-luvulla.

#### 5.4.2 Kaasunjakelujärjestelmien energiankulutus

Maakaasun ja nestekaasun jakelujärjestelmien kautta ei tapahdu energiankulutusta.

### **5.5 Paineilmajärjestelmät**

Tässä analyysissä ei MLS:n toivomuksesta käsitellä paineilmajärjestelmiä muuten kuin yleiskuvauksena. MLS:llä on itsellään vahva asiantuntemus paineilmajärjestelmistä ja –laitteista, ja asiakkaan mukaan järjestelmä ja sen ohjaus ovat hyvässä kunnossa. Järjestelmää tarkkaillaan jatkuvasti ja sitä pyritään kehittämään. Ulkopuolinen yritys Sarlin Hydor vastaa kompressoreiden ylläpidosta ja raportoi vuosittain paineilmajärjestelmän kunnosta ja toiminnasta.

#### 5.5.1 Paineilmajärjestelmän kuvaus

Koko tehdasalueen paineilman tuotannosta vastaa neljä kompressoria, jotka on sijoitettu kahteen eri paineilma-asemaan. Laitteet on lueteltu taulukossa 11.

**Taulukko 11: Paineilmalaiteluettelo**

Asema	Tunniste	Valmistaja	Tuotto	Paine	Tehonotto	Tyyppi
1	1 (LOK 1)	Broom Wade V1000	31,85 m <sup>3</sup> /min	7 bar	200 kW	mäntä
1	2 (LOK 2)	Broom Wade VM1000	31,6 m <sup>3</sup> /min	7 bar	200 kW	mäntä
2	3 (LOK 4)	Broom Wade 6125N	15,8 m <sup>3</sup> /min	8 bar	90 kW	ruuvi
2	4	Tamrotor Mi155	3...25,7 m <sup>3</sup> /min	7,5 bar	90/155 kW	ruuvi
1		Sabroe SV610AB	67,2 m <sup>3</sup> /min	Jäähdytyskuivain		
1		Sabroe SV710AB		Jäähdytyskuivain		
2		Hiross MDH45A 000T001	>20 m <sup>3</sup> /min	Jäähdytyskuivain		
2		Donaldson Ultrafilter Buran SD1000AP	16,67 m <sup>3</sup> /min	Jäähdytyskuivain		

Taulukossa mainittujen lisäksi järjestelmässä on myös esi- ja öljynsuodattimet.

Suodatinlaitokset, hiekan valmistus ja sen käsittely, paineilma- ja puhdistamoiden paineilmatyökalut ovat suurimmat paineilman kuluttajat tehtaalla. Liitteenä 3 olevasta Sarlin Hydorin paineilmaraportin otteesta selviää laitteiston nykytila. Raportti on ajalta 04/2005 – 03/2006. Raportista voidaan lyhyesti todeta, että ajanjakson aikana

- 1) ilman keskikulutus on noussut 11 %: v. 2004 26,2 m<sup>3</sup>/min → v. 2005 29,0 m<sup>3</sup>/min
- 2) keskiteho on noussut 10 %: v. 2004 163 kW → v. 2005 179 kW
- 3) suhteellinen teho on vaihdellut 5,8...7,1 kW/ m<sup>3</sup>/min
- 4) käytettävyys 97,97 %.

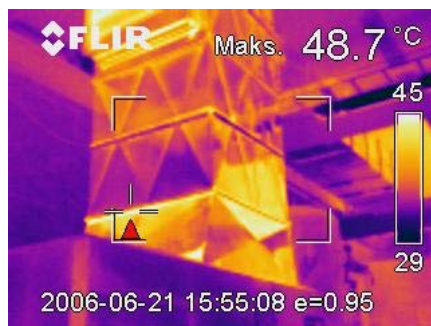
Raportissa on mainittu kehittämis- ja jatkotoimenpiteiksi seuraavat ehdotukset:

- 1) uusi peruskuormakompressorin painetason takaamiseksi
- 2) kuristushäviöt suodattimilla, kuivaimilla tai putkistolla jolloin mäntäaseman painehäviö saattaa molempien koneiden tuottaessa nousta jopa 2 bar:iin
- 3) painetason lasku nykyisestä 6,2 bar → 5,8 bar
- 4) kastepisteen parantaminen, kuivainten uusinta.

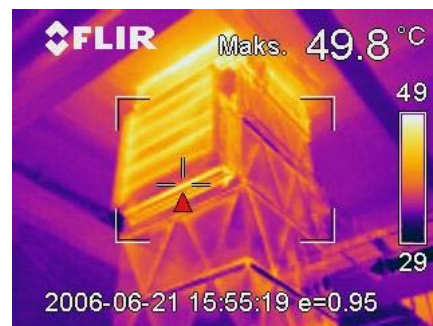
Yhden viikon kulutustiedot olivat seuraavat:

Teho:	170 kW (ka)	181 kW (hetk.)
Ilmankulutus:	28,9 m <sup>3</sup> /min (ka)	30,1 m <sup>3</sup> /min (hetk.)
Teho/kulutus:	5,88 kW/ m <sup>3</sup> /min (ka)	6,00 kW/ m <sup>3</sup> /min (hetk.)

Paineilmakompressorihuoneen ilmanvaihto ei ole riittävä, sillä huoneen lämpötila kohoaa kesäaikaan korkeaksi. Kompressorien täyttösuhde laskee lämpötilan kasvaessa, joten kompressorihuoneen tuloilman lämpötilaa olisi saatava alhaisemmaksi. Kuvat 51 ja 52 ovat lämpökamerakuvia Tamrotor-paineilmakompressorin poistoilmakanavasta. Eristämättömän peltikanavan pintalämpötila on lähes 50 °C. Poistoilma johdetaan kesäaikaan katolle ja talvikaudella sulattohalliin. Peltikanavien eristäminen laskisi huonetilan lämpötilaa eikä poistoilman johtaminen sellaisenaan sulattohalliin ole muutenkaan suositeltavaa, sillä sulatto kärsii muutenkin yllilämmöstä.



Kuva 51: Kompressorin poistoilmakanava



Kuva 52: Kompressorin poistoilmakanava

## 5.6 Prosessi-ilmanvaihtojärjestelmät

Prosessi-ilmanvaihdon erottaminen taloteknisestä ilmanvaihdosta on vaikeaa. Tässä tapauksessa päädytään koko ilmanvaihdon käsittelemiseen taloteknisenä ilmanvaihtona joka on käsitelty kappaleessa 4.2.

## 5.7 Prosessijäähdytysjärjestelmät

Jäähdytykseen käytetään Pyhäjärvestä omalla pumppaamolla pumpattavaa raakavettä. Jäähdytysvettä käytetään sulatossa uunien ja konvertterin kansien sekä uunien hiilien pitimien jäähdytykseen. Kaavaamo käyttää vettä hiekan sekä puhdistamot karkaisualtaissa lämpökäsiteltyjen kappaleiden jäähdytykseen. Kompressorien jäähdytys tapahtuu myös kyseisellä vedellä.

Pyhäjärven rannassa olevassa pumppaamossa on kolme taajuusmuuttajaohjattua keskipakopumppua joiden kapasiteetti on  $3 \times 270 \text{ m}^3/\text{h}$ . Jäähdytysvesi pumpataan tehtaalle  $\varnothing 400 \text{ mm}$  ja 290 metriä pitkällä putkella. Palautusvesi johdetaan  $\varnothing 600 \text{ mm}$  putkea pitkin takaisin järveen. Järjestelmän paine on  $>4 \text{ bar}$ .

**Taulukko 12: Jäähdytysvesipumppujen tiedot**

Pos.	Valmistaja	Tyyppi	Numero	Nosto- korkeus [m]	Kierros- luku [1/min]	Tuotto [m <sup>3</sup> /h]
P1	Ahlstrom	NVP33-100	96320493	45	1472	260
P2	Serlachius	DCP-125/400	24751	46	1450	270
P3	Serlachius	DCP-125/400	24743	46	1450	270
Suurin tuotto yhteensä $800 \text{ m}^3/\text{h}$						

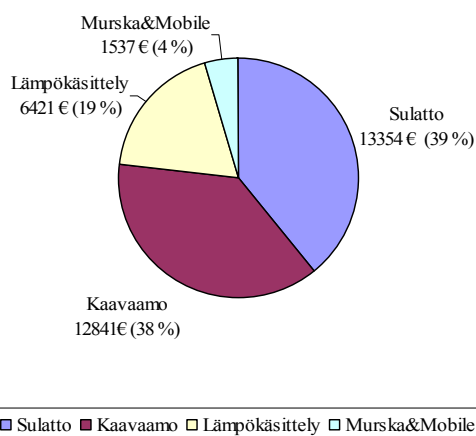
Aiemmin jäähdytysveden riittävyyden kanssa oli ongelmia, jolloin muun muassa hiilien pitimiä rikkoutui ja paineilmakompressori pysähtyi ajoittain. Tästä syystä pumppuaseman ohjausta muutettiin ja painetta korotettiin. Nykyisin yksi pumppu on pääasiassa varalla, kun yksi käy koko ajan täydellä teholla ja toista pumppua säädetään tarpeen mukaan. Toimenpiteen seurauksena pumppuaseman sähkönkulutus kasvoi, mutta tuotannon varmuus parani. Tämä on hyvä esimerkki toimenpiteestä, jolloin energiankulutuksen pienentäminen on katsottava toissijaiseksi asiaksi.

21.6.2006 pumppaamon kaikki kolme pumppua olivat käynnissä ja verkoston paine oli mittarin mukaan 4,3 bar. Taulukossa 13 on pumppaamon sähkölasku vuodelta 2005.

**Taulukko 13: Pumppaamon energiamaksut vuonna 2005**

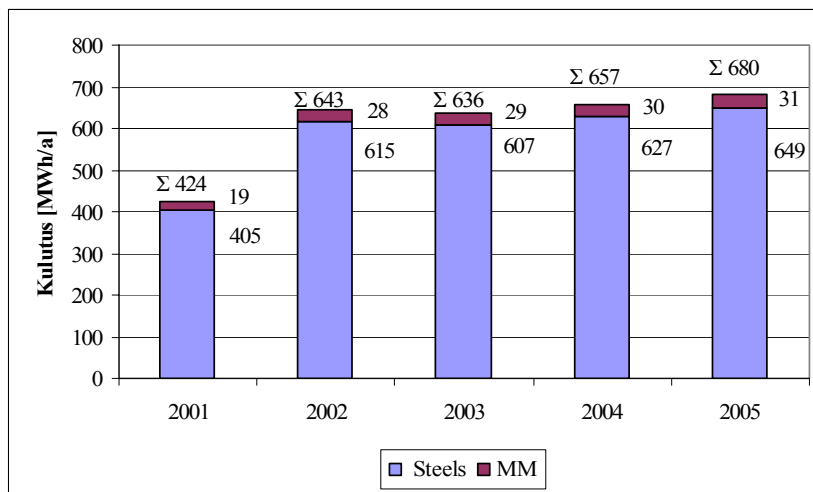
	Yksiköt	Yks. maksu	Kustannus/a
Sähköenergia			
Päiväenergia		2,429 c/kWh	21 805,55 €
Sähkön siirto			
Vuosimaksu		1 681,88 €/a	1 301,73 €
Päiväenergia		1,31 c/kWh	4 964,12 €
Yöenergia		0,72 c/kWh	1 644,47 €
Pätöteho	104 kW	11,27 €/kW/a	1 100,47 €
Loisteho	13 kVAr	12,45 €/kVAr/a	258,03 €
Sähköverot		0,4530 c/kWh	3 078,21 €
Yhteensä			34 152,58 €

Jäähdytysvesipumppaamon sähkölaskun jakautuminen MLS:lla havaitaan kuvasta 53. Jakoperusteena on kulutuksen suuruus.



**Kuva 53: Pumppaamon sähkölaskun jakautuminen MLS:llä**

Pumppaamon sähkönkulutus on hieman noussut kahtena viimeksi kuluneena vuonna, kuva 54. Kulutuksen kasvun syyt ovat aiemmin mainittu ohjaustavan muutos ja paineenkorotus, joilla pyrittiin parantamaan tuotannon varmuutta ja pienentämään sulatusuunien käyttökustannuksia.



Kuva 54: Pumppaamon sähkönkulutus vuosina 2001 - 2005

## 5.8 Prosessisähköjärjestelmät

Sähköjärjestelmistä ja kulutuksista on puhuttu tarkemmin kohdissa 3.2.2 ja 4.3. Tehdasalueen pääkytkinasema uudistetaan heinäkuussa 2006. Asema on vanha, eikä sen toimintavarmuus ja työturvallisuus enää vastaa nykyisiä vaatimuksia.

Tehtaalla syntyy runsaasti loistehoa – toisin kuin energia-analyysissä vuodelta 1999 väitetään. Muun muassa lämpökäsittelyuunien tyristoriohjaus synnyttää runsaasti loistehoa. Lämpökäsittelyuuni 6:lla on kompensointiparisto, mutta ei muilla uuneilla. Sulatusuuneilla syntyvä loisteho kompensoidaan 20 kV:n jännitteestä pääkeskuksessa olevilla 2×360 kVAr:n kondensaattoreilla.

## 5.9 Prosessivesi- ja -viemärintijärjestelmät

MLS käyttää raakavettä prosesseissaan vain jäähdytykseen, joka on käsitelty kohdassa 5.7.

## 5.10 Muut tehdaspalvelujärjestelmät

Sähkönsyötön varavoimala on 53 kVA:n dieselaggregaatti. Laite on tarkoitettu sähkökatkojen ajaksi kriittisimpien toimintojen ylläpitoon.



## 6. PROSESSILAITTEIDEN PERUSKARTOITUS JA ENERGIANKULUTUS

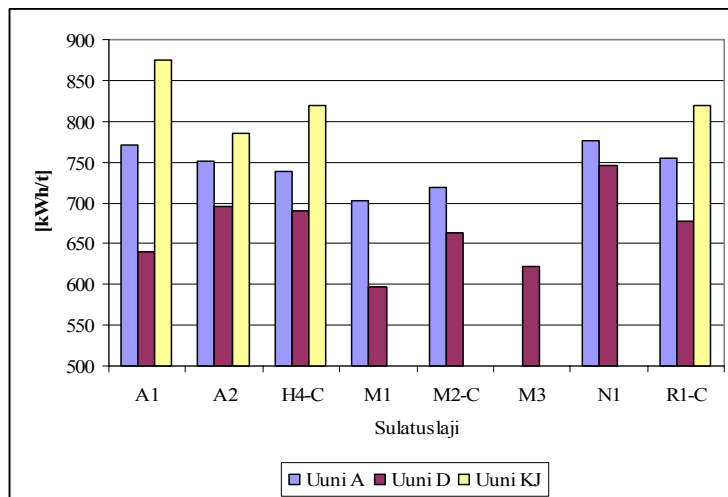
### 6.1 Sulatusuunit

Sulatusuunien sähkönkulutuksesta on olemassa melko kattavat tilastot. Näistä poimittiin viimeisen vuoden ajalta viiden eri sulalajin energiankulutustiedot eri uuneilta. Tietojen kattavuus vaihtelee uuneittain ja lajeittain, sillä joitakin laatuja tuotetaan huomattavasti enemmän kuin toisia.

Käytettävissä olevat kulutustiedot eivät aina ole täysin virheetömiä, joten tietojen keräyksessä oli toteutettava karsintaa. Oli huomattavaa, että virheet tietojen kirjauksessa sattuiivat lähes poikkeuksetta samoille kirjaajille, joka johtuu ilmeisesti käsitys- tai toimintatapaeroista, mutta tulosten vertailukelpoisuuden vuoksi on kaikkien kirjaajien toiminta saatava yhdenmukaiseksi. Käyttäjäkoulutus ja välitön palaute on tehokas tapa yhdenmukaiseen toimintaan.

Kuvasta 55 voidaan havaita eri sulatuslajien aiheuttamat vaihtelut uunien ominaisenergiankulutukseen ja myös uunikohtaiset erot. MLS:n päämetallurgi Pirjo Virtanen sanoo uunien kulutuksista seuraavaa: *”Mangaaniterästen (M1, M2-C, M3) sulamislämpötila, sulatusprosessi ja uunin käyttösykli on erilainen kuin muilla. Suuri kulutus johtuu lähinnä siitä, että toiminta sulatossamme on epäjatkuvaa konvertterikäsitteilyn ja toimintatapojen vuoksi: sulatuksen lopettamisen ja seuraavan aloittamisen välillä kuluu aikaa valamiseen, korjauksiin ja panostamiseen keskimäärin yli kaksi tuntia.”* (Virtanen P., 7.9.2006).

Ainakin vertailuun valituilla kahdeksalla sulatuslajilla valokaariuuni D on säännöllisesti kaikkein energiatehokkain, kun taas induktiouuni KJ on kulutukseltaan selkeästi suurin neljällä tarkasteltavalla sulatuslajilla. Uunien väliset panoskootkin ovat tosin suhteessa 12,9 (D) / 2,7 (KJ) tonnia. A- ja D-uunit ovat lähes samanlaiset ja keskimääräiset panoskoot lähes yhtä suuret 12,3 (A) / 12,9 (D). Pirjo Virtanen mainitsee uunien väliseen kulutuseroon vaikuttavia syitä: *”D-uunin paremmat luvut johtuvat uunin muodosta (syvempi, vähemmän lämpöhäviöitä), kenties ohjauksesta ja myös sulattajakohtaisista ajotavoista.”* (Virtanen P., 8.9.2006). KJ-uunia käytetään pääasiassa ruuhkahuippujen tasaamiseen ja apu-uunina suurissa valuissa.



Kuva 55: Sulatusuunien ominaiskulutus eräillä sulatuslajeilla

A- ja D-uuneilla energiankulutus vaihtelee noin 600 – 775 kWh/t. Eräissä tutkimuksissa Imatran Terästehtaan sähköenergian kulutus on ollut 512 kWh/t ja kokonaisenergian kulutus 613 kWh/t (Helle L. et al. 1990, 1). On otettava huomioon, että teoksessa ei ole mainittu sulatuksen teräslaatua, joka vaikuttaa merkittävästi energiankulutukseen. Toinen lähde mainitsee, että valokaariuunin normaali energiankulutus on 500 – 700 kWh/t, joten tämän mukaan MLS:n sulatusprosessin energiankulutus on normaali – etenkin D-uunilla, kuva 55 (European Commission 2004, Best Available Techniques in the Smitheries and Foundries, 98).

#### 6.1.1 Valokaariuunit (A- ja D-uunit)

Sulatossa on kaksi valokaariuunia, jotka ovat rakenteeltaan samankaltaisia. Suurin osa sulatuksista tapahtuu näillä uuneilla, joiden panoskapasiteetti on yhteensä enintään 36 tonnia. Teräsrakenteisten uunien tulenkestävä vuoraus on dolomiittia. Tekniset tiedot ovat taulukossa 14.

**Taulukko 14: Valokaariuunien tiedot**

	A-uuni	D-uuni
Valmistaja	Demag	Brown Boweri
Nimellispanos	16 t	8 t
Suurin panos	20 t	16 t
Sulatuskyky	2,7 t/h	2,5 t/h
Jatkuva teho	3700 kVA	4000 kVA

Uunien panostuksen eli romun latauksen aikana lämpöenergiaa säteilee ympäristöön avoimesta uunista, mikäli uuni on valmiiksi lämmin. Energiaa voidaan säästää käyttämällä esilämmitettyä romua, lyhentämällä panostusaikaa ja panostamalla uuni mahdollisimman pian edellisen sulatuksen jälkeen.

Sulatuksen aikana uunien kannet ovat kiinni jolloin energiaa säteilee sulattorakennukseen kaatonokan ja hiilielektrodien aukoista sekä lisäaineluukusta. Energiaa vapautuu sekä savun- ja kaasunpoistoaukosta, joka johtaa ilmanvaihtokanavaan, että uunin pinnasta. Lämpökamerakuvassa 56 D-uunin hiilielektrodeja on sulatuksen aikana nostettu hetkellisesti ylöspäin, jolloin hiilien säteily lisää lämpöhäviöitä sulattorakennukseen. Samalla hiilielektrodien aukoista pääsee rakennukseen enemmän savua ja lämpöä.

**Kuva 56: Lämpökamerakuva D-uunista**

#### 6.1.1.1 Energiatase

A-uunin sähkönkulutus vuonna 2005 oli 4819 MWh/a ja D-uunin 5002 MWh/a.

Savukaasujen mukana poistuva energiamäärä on vaikea selvittää, sillä osa savukaasuista poistuu suodatinlaitokselle ja osa kattopuhaltimista, kattoluukuista ja kesäaikaan avoimista ovista. Lisäksi selvittämättömästä syystä suodatinlaitoksen toiminta A- ja D-uunien välillä ei ole tasapainossa ja poistoilmakapasiteetti vaihtelee myös sulaton muun toiminnan mukaan, jolloin poistoilmavirtoja ohjataan eri kohteisiin.

Edellisen analyysin mukainen jäähdytysvesien tarkastelu jätettiin tekemättä. Huolimatta melko suuresta energiamäärästä jäähdytysvesien lämpötila on niin alhainen, että niiden hyödyntäminen on vaikeaa. Koska vesien lämpötilaa ei voida esimerkiksi virtausta kuristamalla nostaa ilman, että prosessilaitteet voisivat vaurioitua, päätettiin jäähdytysvesitarkastelu jättää pois yhteistuumin asiakkaan kanssa. Vesien energiasisällön tarkkailu on kuitenkin aiheellista myöhemmässä vaiheessa.

#### 6.1.2 Hiilielektrodien energiantuonti

A- ja D-uuneissa käytetään hiilielektrodeja, joista on kerrottu myös kohdassa 2.4.1.4. Ajoittain tapahtuu elektrodien katkeamisia, jolloin yleensä osa elektrodista putoaa sulaan ja osa jää pitimeen uunin päälle. Katkennut osa yritetään tällöin poimia mekaanisesti liian hiilen liukenemisen estämiseksi. Prosessi toimii käytännössä siten, että jos hiilipitoisuus nousee liian korkeaksi, poistetaan se melloituksella konvertterikäsittelyssä.

Energiataloudellisestikin ajatellen toimintatapa on näistä vaihtoehdoista ilmeisesti parempi, vaikka tapahtumaa ei ole ajateltu lainkaan energian käytön kannalta: mikäli sula viipyy uunissa pidempään, joudutaan konvertteria ja senkkää esilämmittämään pidempään, jolloin maakaasun kulutus on korkeampi. Tällöin myös uunin sähkönkulutus kasvaa pidemmän toiminta-ajan vuoksi ja seuraavan sulatuksen aloitusajankohta siirtyy. Mikäli hiili taas poistetaan konvertterissa, on sähköuunin käyttöaika lyhyempi ja se vapautuu nopeammin uutta panostusta varten. Konvertterin ja senkan lämmitysaika on lyhyempi, mutta toisaalta pidempään konvertterissa viipyvä sula kuluttaa vuorausta.

Elektrodeista vapautuu energiaa grafiitin palamista vastaava määrä. Elektrodien kulumisesta noin 45 % tapahtuu hiilen hapettumisena (Helle L. et al. 1990, 17).

Grafiitin nettolämpöarvoksi valitaan hiilen vähimmäislämpöarvo 24 MJ/kg jonka perusteella lasketaan hiilielektrodien kulumisesta saatava lisäenergia

$$6 \frac{kg}{t} \cdot 24 \frac{MJ}{kg} \cdot \frac{45}{100} = 64,8 \frac{MJ}{t} = 18 \frac{kWh}{t} \quad (5)$$

Siten A-uunin täyden panoksen sulatuksessa hiilielektrodien kulutus on keskimäärin

$$6 \frac{kg}{t} \cdot 16t = 96kg \quad (6)$$

Tästä saatu energia on noin

$$96kg \cdot \frac{45}{100} \cdot 24 \frac{MJ}{kg} = 1037MJ = 288kWh \quad (7)$$

Vastaavasti D-uunin täyden panoksen sulatus kuluttaa hiilielektrodeja

$$6 \frac{kg}{t} \cdot 20t = 120kg \quad (8)$$

Kyseinen määrä tuottaa vastaavasti energiaa

$$120kg \cdot \frac{45}{100} \cdot 24 \frac{MJ}{kg} = 1296MJ = 360kWh. \quad (9)$$

Terästehtaan suurimmissa 60 tonnin kertavaluissa hiilielektrodeista sulatuksessa palava massa on siten

$$6 \frac{kg}{t} \cdot 60t = 360kg \quad (10)$$

ja tästä saatu lisäenergia

$$360kg \cdot \frac{45}{100} \cdot 24 \frac{MJ}{kg} = 3888MJ = 1080kWh \quad (11)$$

Kun taulukoista 2 ja 3 lasketaan yhteen vuonna 2005 käytettyjen raaka-aineiden ja seosaineiden määrä, saadaan tulokseksi 11 564 tonnia.

Hiilielektrodien kuluminen vuoden 2005 tuotantomäärällä on siten

$$6 \text{ kg/t} \cdot 11564 \text{ t} = 69384 \text{ kg}. \quad (12)$$

Kun elektrodeja ostettiin 130 tonnia vuonna 2005, on niiden hyötysuhde laskennallisesti

$$\frac{69384 \text{ kg}_{\text{kulunut}}}{130000 \text{ kg}_{\text{ostettu}}} = 0,534 \quad (13)$$

ja elektrodien palamisesta saatu vuotuinen lisäenergia on siten

$$69384 \text{ kg/a} \cdot \frac{45}{100} \cdot 24 \text{ MJ/kg} = 749347 \text{ MJ/a} = 208152 \text{ kWh/a} \approx 208 \text{ MWh/a} \quad (14)$$

Koska uunien yhteenlaskettu sähkön kulutus vuonna 2005 oli 9 821 MWh, on hiilielektrodien palamisesta tuleva lisäenergia mukaan laskettuna uunien kokonaisenergiankulutus siten 10 029 MWh/a. Elektrodien osuus sulatuksen sähköenergiankulutuksesta vuonna 2005 oli noin 2 %.

### 6.1.3 Induktiouuni (KJ-uuni)

Analyysin tekovaiheessa KJ-uunin ohjauskeskus rikkoutui, eikä uuni ole ollut käytössä huhtikuusta 2006 lähtien. Ohjausautomaattikka uusitaan kesän huoltoseisokin aikana, jonka jälkeen uuni on tarkoitus ottaa käyttöön. Uunin käyttö on vähäistä; sitä käytetään lähinnä tuotantohuippujen tasaamiseen.

Uunin panoskapasiteetti on enintään 3,2 tonnia. Teräsrakenteisen uunin tulenkestävä vuoraus on dolomiittia. Tekniset tiedot ovat taulukossa 15.

**Taulukko 15: Induktiouunin tiedot**

	<b>KJ-uuni</b>
Valmistaja	Junker
Nimellispanos	3 t
Suurin panos	3,2 t
Sulatuskyky	2,0 t/h
Suurin teho	2200 kW
Suurin taajuus	500 Hz

KJ-uunin sähkönkulutus vuonna 2005 oli 249 MWh.

## 6.2 VODC-konvertteri

### 6.2.1 Toiminta

VODC-konvertteri (Vacuum Oxygen Decarburisation Converter) on kapasiteetiltaan 7 – 25 tonnia. Tyhjökäsitteltävä sula teräs siirretään sulatusuuneista konvertteriin senkoilla. Konvertterissa sulaan puhalletaan happea ja argonia haluttujen ominaisuuksien saavuttamiseksi. Konvertteriasian päälle lasketaan tyhökansi, josta tyhjä imetään vesirengaspumpun ja höyryjektorien avulla. Höyryjektorien höyry tehdään ainoastaan tätä tarkoitusta varten olevalla höyrykattilalla, jossa on 3 MW tehoinen maakaasupoltin. Vesirengaspumpun sähkömoottorin teho on 75 kW.

Kylmä konvertteri lämmitetään maakaasupolttimilla, jotka uusittiin kesällä 2006. Samoin konvertteria lämmitetään polttimilla, mikäli konvertteri on väliaikaisesti tyhjä. Lämmitystä ei kuitenkaan tarvita, mikäli konvertteri ei ole tyhjänä kahta tuntia kauempaa. Tulenkestävänä vuorauksena konvertterissa – kuten kaikissa muissakin vuorauksissa – käytetään dolomiittia.

### 6.2.2 Energiatase

Konvertterin esilämmityspolttimien maakaasun kulutusta ei mitata erikseen. Esilämmitys kestää kylmänä noin kolme tuntia ennen sulan kaatoa konvertteriin ja on käytössä aina käsittelyjen välillä, tai ohjeen mukaan mikäli panoksen kaadon ja uuden panostuksen väli on yli tunti. Uudet esilämmityspolttimet ovat teholtaan 3×500 kW. Hapen syöttöpaine on 7 bar jolloin hapen kulutus on 700 Nm<sup>3</sup>/h.

Koko terästehtaan hapen kulutus vuonna 2005 oli 554 t, josta konvertterin osuutta ei tiedetä. Kulutusmittausta ei ole ja hapen syötön määrä riippuu muun muassa teräksen vaadittavasta puhtausasteesta ja panoksen koosta. Argonin kulutus tässä tekniikassa on 1 Nm<sup>3</sup> tonnia terästä kohti (European Commission 2004, Best Available Techniques in the Smitheries and Foundries, 112). Energiatasekaavio on liitteessä 11.

### 6.3 Senkat

Senkat ovat teräksestä valmistettuja, tulenkestävillä tiilillä vuorattuja astioita, joita käytetään sulan teräksen siirtämiseen sulatusuuneista konvertteriin ja valupaikoille. Itse valutapahtuma tehdään valusenkoilla.

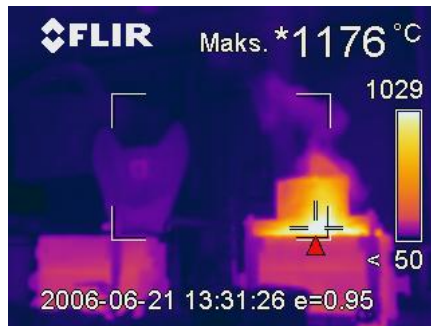
Senkkojen on oltava esilämmitettyjä ennen kuin niihin voidaan kaataa sulaa terästä, ettei sula jäähdy liikaa vuorauksen pinnassa ja tartu siihen kiinni. Senkka voi myös särkyä lämpölaajenemisen vuoksi, mikäli sitä ei esilämmitettäisi ennen sulan kaatamista senkkaan. Sulan ominaisuuksiin voidaan vaikuttaa lisäämällä senkassa olevaan sulaan esimerkiksi alumiinia tai vermikuliittia.

Senkat esilämmitetään esilämmitysasemilla, joissa on 4×1 MW:n tehoiset maakaasupolttimet. Poltin asetetaan senkan sisään kohti senkan pohjaa, jolloin se kuumentaa vuorausta. Senkan päällä on lämmityksen aikana kansi, jonka tarkoituksena on estää lämpöhäviöitä.

Käyttämättömät tai korjattavana olevat senkat on sijoitettu esilämmitysasemien läheisyyteen. Lämpöeristystä senkkojen päällä tai ympärillä ei säilytyksen aikana käytetä, vaan senkat jäähtyvät ympäröivään sulaton ilmaan.

Lämpökamerakuvassa 57 on kaksi senkkaa lämmitysasemissa. Oikeanpuoleinen on lämmityksessä ja vasemmanpuoleinen on odottamassa lämmitystä suojakansi avoinna. Lämmitettävän senkan yläpuolella kohoaa kuuma ilma suojakannen aukosta. Kuvassa 58 on esilämmitetty senkka, jonka poltinkansi on avoinna. Senkan pintalämpötila on kuvanottohetkellä 362 °C ja se säteilee suoraan sulattohalliin.



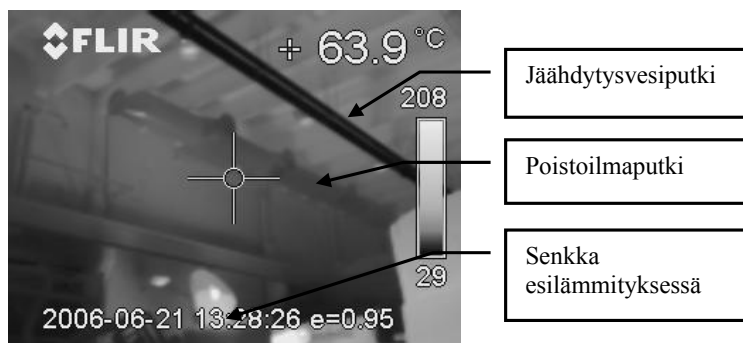


Kuva 57: Senkkojen esilämmitystä



Kuva 58: Esilämmitetty senkka

Senkkojen esilämmitysasemalla ei ole LTO-järjestelmää, vaan kuumat palokaasut pääsevät vapaasti sulattohalliin. Lämpökamerakuvasta 59 sulaton hallin katosta senkan esilämmitysaseman kohdalta ilmenee, että seinän pintalämpötila lähellä kattoa on lähes 64 °C. Sisäkatosta mitattiin yli 70 °C lämpötiloja.



Kuva 59: Seinälämpötila esilämmitysaseman kohdalla

### 6.3.1 Energiatase

Maakaasun kulutusta senkka-asemilla ei mitata erikseen. Energiatasekaavio on liitteessä 11.

## 6.4 Lämpökäsittelyuunit

### 6.4.1 Toiminta

Valuteräskappaleille tehdään lämpökäsittely haluttujen ominaisuuksien saamiseksi. Lämpökäsittelytavat on lueteltu taulukon 16 jälkeen.

Lämpökäsittelystä riippuen teräskappaleet voidaan jäähdyttää kolmella eri tavalla:

- 1) nopeasti veteen
- 2) vapaasti ilmaan
- 3) hallitusti ilmaan

Veteen jäähdytettäessä kappaleet otetaan uunista ja lasketaan vesialtaaseen, jossa ne jäähtyvät. Toiminta on käsitelty kohdassa 6.5.

Lämpökäsittelyuunit sijaitsevat rakennuksissa 51 (Puhdistamo 2) ja 68 (Puhdistamo 1). Uuneja on seitsemän, joista kuusi on sähkövastusuuneja ja yksi maakaasu-uuni (uuni 4). Uunien ominaisuudet on lueteltu taulukossa 16.

**Taulukko 16: Lämpökäsittelyuunit**

Nro	Teho [kW]	Max lt. [°C]	Kapasi-teetti	Käsittelyt	Ajomalli	Jäähdytys
1	800	1 150	20 t	e)	100 °C/h ↑, pito 4...5 h	ilmaan
2	1 350	1 100	40 t	a)	100 °C/h ↑, pito 8 h	veteen
3	810	1 200	30 t	c)	30 °C/h ↑, pito 3...5 h, 30 °C ↓	veteen
4	2 300	1 250	50 t	Kaikki		veteen
5	500	7500	20 t	d), f)	50...100 °C/h ↑, pito 3...6 h	ilmaan
6	810	1 200	25 t	Kaikki	100 °C/h ↑, pito 5...10 h	veteen
7	740	1 100	25 t	c)	30 °C/h ↑, pito 3...5 h, 30 °C ↓	ilmaan
Yht.	7 310		225 t			

Uuneilla tehtävät lämpökäsittelyt:

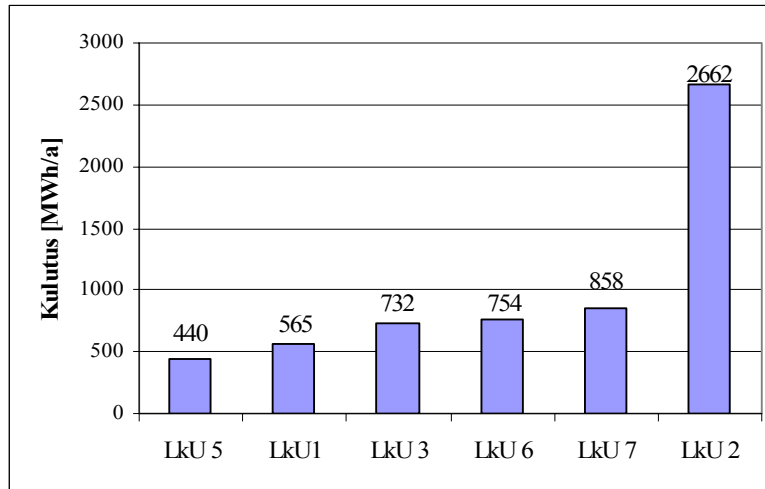
- a) Austenitointi
- b) Homogenisointi
- c) Karkaisu
- d) Myöstö
- e) Normalisointi
- f) Päästö

Mangaani- ja haponkestävälle teräkselle tehdään vain yksi lämpökäsittely, austenitointi, mutta muille teräslaaduille saatetaan tehdä 2...5 erilaista lämpökäsittelyä.

Uunien teoreettisesta kapasiteetista on normaalisti käytössä noin puolet, eli 25 tonnin uunin normaali ajo on noin 10 tonnia. Tämä johtuu muun muassa uuniarinoiden kantavuudesta ja kappaleiden muodosta. Suuret tai muodoltaan tilaa vievät kappaleet pienentävät uunin tehokasta kapasiteettia.

Veteen jäädytyksen osuutta uuneilla ei saatu selvitettyä. Osa ilmaan jäähtyvistä kappaleista jäädytetään hallitusti uunissa, osa vapaasti ilmaan. Uunissa jäähdytettävien osuutta ei saatu määritettyä, eikä tonnimääräjaottelua eri uunien kesken. Tästä syystä ei voitu tehdä uunikohtaista arviota energiankulutuksesta käsiteltäviä tonnimääriä kohti. Kokonaistuotantoon ei voi vertailua tehdä, sillä uunien käyttöaste ja ajotapa on erilainen, liite 12.

Kuvassa 60 on esitetty sähkökäyttöisten lämpökäsittelyuunien sähkönkulutus vuonna 2005. Uusin sähköuuni 2 on kulutukseltaan selvästi suurin, mutta myös sen käyttöaste on suuri ja kapasiteetti on sähköuuneista suurin. ABB on tehnyt uunista sähkönlaatumittauksen, joka on liitteessä 4. Sähköuunien tehonkulutus- ja ajokertakaaviot löytyvät liitteestä 12. Lämpötila- ja tehonkulutuskäyrät kertovat selvästi uunien eri ajotavat, eli niillä tehtävät erityyppiset lämpökäsittelyt.



Kuva 60: Lämpökäsittelyuunien 1, 2, 3, 5, 6 ja 7 sähkönkulutus vuonna 2005

Maakaasu-uuni 4 on rakennettu vuonna 2005. Uunin automatiikka säätelee 23 kappaletta 100 kW:n tehoisia eri puolilla uunia sijaitsevaa poltinta, jotka käynnistyvät ja pysähtyvät määrätyn ohjelman mukaan. Ohjelma tarkkailee uunin lämpötilaa sen eri osissa ja ohjaa sen perusteella polttimien toimintaa. Palamisilma esilämmitetään ennen palamistapahtumaa. Poistoilma ohjataan poistokanavaa pitkin katolle. Lämmön talteenottoa ei ole.

#### 6.4.2 Energiatase

Maakaasu-uunin (uuni 4) kulutus vuonna 2005 oli 4 616 MWh/a ja sähköuunien 6 011 MWh/a eli yhteensä 10 627 MWh/a. Nykyisen maakaasu-uunin todellinen vuosikulutus selviää vasta vuoden 2006 kulutuksesta sillä uuni on otettu käyttöön syksyllä 2005. Energiatasekaavio on liitteessä 11.

### 6.5 Karkaisualltaat

#### 6.5.1 Toiminta

Käytössä on kolme karkaisuallasta: yksi Puhdistamo 1:ssä ja kaksi Puhdistamo 2:ssa. Veteen jäädytettävät teräskappaleet upotetaan vesialtaaseen uunikäsittelyn jälkeen, jolloin teräs saavuttaa halutut ominaisuudet.

Allaskäsittelyssä on tärkeää, ettei altaan vesi lämpene liikaa. Nyrkkisääntönä pidetään, että maksimilämpötila on 65 °C jolloin varmistetaan karkaisun onnistuminen. Käytännössä veden lämpötila ei kohoa keskimäärin kolmeakymmentä astetta korkeammaksi, kohta 7.6.1, mutta huippulämpötilat ovat arviolta yli 50 °C.

Tehokkaan ja tasaisen jäähtymisen varmistamiseksi altaan vettä kierrätetään voimakkaasti. Lämmennyt vesi johdetaan ylikaatona viemäriin ja uutta vettä lasketaan altaaseen käsiventtiilin avulla. Kahdessa altaassa veden sekoitukseen käytettävät pumput on asennettu altaan kapealle sivulle ja vesi kiertää seinään tehdyistä aukoista.

Kolmannessa altaassa pitkille sivuille lähelle altaan pohjaa on asennettu putket, joissa on suuttimet. Putkissa kierrätetään vettä keskipakopumpun avulla. Tämän pumpun nimellisteho on 90 kW. Painepuolen putkilinjassa on pumppaushäviöitä aiheuttavia putkivastuksia, kohta 8.4.3.



**Kuva 61: Puhdistamo 2 karkaisualtaan kierrätysvesipumppu**

### 6.5.2 Energiatase

Karkaisualtaissa hukataan energiaa, kun teräskappaleet jäädytetään ja jäähdytyksessä veteen sitoutunut lämpöenergia johdetaan viemäriä pitkin takaisin Pyhäjärveen. Lämpökäsittelyuuni 2 viereisen altaan laskennallinen energiahäviö on 2 696 MWh/a. Aihetta on käsitelty tarkemmin kohdassa 8.4.2. Energiatasekaavio on liitteessä 11.

## **7. EDELLISEN ANALYYSIN EHDOTETUT TOIMENPITEET JA NIIDEN TOTEUTUMINEN**

### **7.1 Talotekniikka ja rakenteet**

#### 7.1.1 Puhdistamo 1 tuloilmalaitteiden ohjauksen uusiminen

On toteutettu.

#### 7.1.2 Sulaton katon tuuletusaukkojen sulkeminen

On toteutettu osittain. Kaikkia aukkoja ei ole suljettu tai niihin on asennettu avattavat tai irrotettavat vanerilevyt.

#### 7.1.3 Kaavaamon valaisimien uusiminen

Suurin osa valaisimista on uusittu. Puhdistamo 1:n valaisimet uusitaan kesällä 2006, jonka jälkeen kaikki valaisimet ovat 400 W natriumlamppuja 1000 W elohopeapurkauslamppujen sijaan. Asiaa on käsitelty kohdassa 4.4.

#### 7.1.4 Kaksiotesekoittajien vaihtaminen yksiotesekoittajiin

Ei tietoa.

#### 7.1.5 Kaupunkiveden käytön vähentäminen prosessivetenä

On vähentynyt muun muassa jäähdytysvesipumppaamon paineenkorotuksen ansiosta.

#### 7.1.6 Sulaton yllämmön hyödyntäminen valuhallissa

Ei ole toteutettu.

### 7.1.7 Muut toimenpiteet

Ei muita toimenpiteitä.

## 7.2 **Tehdaspalvelujärjestelmät**

### 7.2.1 Paineilmajärjestelmän ohjauksen muuttaminen

On muutettu.

### 7.2.2 Paineilmavuotojen korjaaminen

On korjattu. Korjataan jatkuvasti jos havaitaan.

### 7.2.3 Paineilmaverkoston paineen alennus

On tehty. Nykyinen asetusarvo 6,2 bar. Suunnitellaan alentamista edelleen.

### 7.2.4 Tamrotor-kompressorin säätöalueen muuttaminen

On tehty muun muassa tämä.

### 7.2.5 Kompressoriasema 2 ilmanvaihdon parantaminen

On parannettu. Ilmanvaihdossa on yhä parannettavaa.

## 7.3 **Prosessilaitteet**

### 7.3.1 Tuloilman lämmitys uuni 4:n savukaasuilla

Uunin säätöjärjestelmä uusittiin vuonna 2001; tuloilmaa ei lämmitetty.  
Koko uuni uusittiin 2005.

### 7.3.2 Uuni 4 savukaasujen jäähdytysilman johtaminen ulkoilmasta

Ei tehty.

### 7.3.3 Sinkopuhdistuskoneiden palautusilman käyttö

Palautusilmakytettä suodatinlaitokselta takaisin Puhdistamo 1:een on olemassa, mutta sitä ei käytetä pölyongelmien vuoksi. Suodatinlaitokselta pääsi venttiilin kautta halliin aika ajoin runsaasti hiukkasia. Ongelmaa ei saatu ratkaistua joten palautusilmasta luovuttiin. Pussisuodattimet vaativat paineilmaimpulssin 12 sekunnin välein, eikä palautusilmaventtiilin toimilaite ole riittävän nopea sulkeutuakseen täysin ennen impulssia ja venttiilin aukioloaika jää hyvin lyhyeksi.

### 7.3.4 Sulaton suodatinlaitoksen LTO

Ei ole toteutettu.

### 7.3.5 Prosessijäähdytysvesien LTO

Ei ole toteutettu.

### 7.3.6 KJ-uunin jäähdytysvesien LTO

Ei ole toteutettu

### 7.3.7 Karkaisualtaan LTO

Ei ole toteutettu

### 7.3.8 Romun esikuumennus

Ei ole toteutettu

### 7.3.9 Senkan esilämmitysajan lyhentäminen

Ei ole toteutettu. Uusien esilämmityspolttimien myötä asiaan pyritään kiinnittämään enemmän huomiota.



### 7.3.10 Puhdistamo 1 polttoleikkauskoppien poistojen katkaisijat

On toteutettu. Katkaisijat ovat kaksivaiheisia: 1-vaiheessa katkaisija kytkee puhaltimen 100 % teholle, ja 30 minuutin kuluttua puhallin kytkeytyy itsestään 50 % teholle.

### 7.3.11 Prosessijäähdytysveden käytön vähentäminen

Todellisuudessa käyttö on lisääntynyt. Uunien jäähdytysvesivirtausta ei haluta pienentää, eikä karkaisualtaan lämpötilan nousua hyväksytä. Lisäys johtuu tehokkaammasta valokaariuunien hiilien pitimien ja kompressoreiden jäähdytyksestä. Vastaavasti talousveden käyttö prosessivetenä on vähentynyt ja tuotannon varmuus parantunut.

### 7.3.12 Puhdistamo 2:n LTO

Ei ole toteutettu.

## **8. EHDOTETTAVAT TOIMENPITEET SEKÄ NIIDEN ENERGIANSÄÄSTÖ JA KANNATTAVUUS**

Parannusehdotukset on asetettu energiansäästömahdollisuuksien ja toteutettavuuden mukaan tärkeysjärjestykseen siten, että viisi tärkeimmiksi katsottua kohdetta on esitelty ensin ja loput kahdeksan ovat muita mahdollisia kohteita. Havaitut säästömahdollisuudet on koottu taulukkoon 17 ja esitetty sen jälkeen tarkemmin omien otsikoiden alla. Viidestä pääkohteesta hyödynnettävä teoreettinen kokonaisenergia on 25 900...30 500 MWh/a, josta LTO:lla todennäköisesti hyödynnettävä energia on 18 400...23 000 MWh/a. Kun LTO-hyötysuhde – näissä tapauksissa 35 tai 45 % otetaan huomioon, saadaan laskennalliseksi energiansäästömahdollisuudeksi 7 400...8 900 MWh/a.

Näiden lisäksi on esitelty vielä seitsemän muuta kohdetta, joiden energiansäästömahdollisuuksia ei ole laskettu, mutta jotka ovat kohteina huomionarvoisia.

**Taulukko 17: Laskennalliset säästöt ja investointimahdollisuudet**

<i><b>Ensisijaiset säästökohteet</b></i>	
<i><b>Sulaton suodatinlaitos (8.1.1)</b></i>	
<b>Säästö</b>	<b>59 000...98 000 €/a</b>
Investointi; 2 v. takaisinmaksuaika, korko 6 %	107 000...179 000 €
Investointi; 3 v. takaisinmaksuaika, korko 6 %	157 000...261 000 €
<i><b>Puhdistamo 1 suodatinlaitos (8.1.2)</b></i>	
<b>Säästö</b>	<b>10 300...17 300 €/a</b>
Investointi; 2 v. takaisinmaksuaika, korko 6 %	19 000...32 000 €
Investointi; 3 v. takaisinmaksuaika, korko 6 %	28 000...46 000 €
<i><b>Maakaasukäyttöinen lämpökäsittelyuuni (8.2.1)</b></i>	
<b>Säästö</b>	<b>51 300 €/a</b>
Investointi; 2 v. takaisinmaksuaika, korko 6 %	94 000 €
Investointi; 3 v. takaisinmaksuaika, korko 6 %	137 000 €
<i><b>Senkkojen esilämmitys; LTO ja lämmitysajan lyhennys (8.3)</b></i>	
<b>Säästö</b>	<b>78 600 €/a</b>
Investointi; 2 v. takaisinmaksuaika, korko 6 %	144 000 €
Investointi; 3 v. takaisinmaksuaika, korko 6 %	210 000 €
<i><b>Sähkötoimiset lämpökäsittelyuunit (8.2.2)</b></i>	
<b>Säästö</b>	<b>23 000 €/a</b>
Investointi; 2 v. takaisinmaksuaika, korko 6 %	42 000 €
Investointi; 3 v. takaisinmaksuaika, korko 6 %	61 500 €
<b>Ensisijaiset säästökohteet; säästöt yhteensä: 222 000...268 000 €/a</b>	
<i><b>Muut kohteet</b></i>	
<i><b>Sulaton kattoikkunoiden sulkeminen (8.4.1)</b></i>	
<b>Säästö</b>	<b>37 000 €/a</b>
Investointi; 2 v. takaisinmaksuaika, korko 6 %	68 000 €
Investointi; 3 v. takaisinmaksuaika, korko 6 %	99 000 €
<i><b>Karkaisualtaan poistoveden LTO (8.4.2)</b></i>	
<b>(Säästö)</b>	<b>31 000...40 000 €/a</b>
Investointi; 2 v. takaisinmaksuaika, korko 6 %	57 000...73 000 €
Investointi; 3 v. takaisinmaksuaika, korko 6 %	83 000...107 000 €
<i><b>Puhdistamo 1 suodatinlaitoksen ohjaus (8.4.4)</b></i>	

Säästö	7 000 €/a
<b>Karkaisualtaan kiertovesipumpun käyttöaika (8.4.3)</b>	
Säästö	500 €/a
<b>Spencer-sinkopuhdistimen suodatinlaitos (8.1.3)</b>	
Säästö	450...1 800 €/a
Investointi; 3 v. takaisinmaksuaika, korko 6 %	1 200...4 800 €
Investointi; 5 v. takaisinmaksuaika, korko 6 %	1 900...7 600 €
<b>Karkaisuvesialtaan kiertovesiputkiston uusinta (8.4.3)</b>	
(Säästö)	980 €/a
<b>Karkaisuvesialtaan kiertovesiputken T-liitoksen vaihto (8.4.3)</b>	
(Säästö)	126 €/a
<b>Pullakaavaamon täryttimen pölynpoiston suukappale (8.4.5)</b>	
(Säästö)	84 €/a
<b>Muut kohteet; säästö yhteensä</b>	<b>76 600...87 000 €/a</b>
<b>Säästömahdollisuudet yhteensä</b>	<b>299 000...355 000 €/a</b>

## 8.1 Suodatinlaitosten LTO

### 8.1.1 Sulaton suodatinlaitos

Sulaton suodatinlaitoksessa ei nykyisin ole lainkaan LTO:a. Laitoksessa on kaksi puhallinta joiden yhteen laskettu kapasiteetti on 200 000 m<sup>3</sup>/h. Laitoksen vuotuinen toiminta-aika on 5 500 h. Oletetaan, että poistoilman lämpötila laitoksen piipussa on 42 °C ja sulattohallin sisälämpötila keskimäärin 18 °C. Lasketaan laitoksen poistoilman energia mainituilla arvoilla:

$$Q_{suod} = \rho_i \cdot c_{pi} \cdot q_v \cdot t \cdot (T_{poisto} - T_{sisäilma}) \quad (15)$$

missä

$$\rho_i = 1,2 \text{ kg/m}^3$$

$$c_{pi} = 1,0 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$$

$$t = \text{vuotuinen käyttöaika} = 5500h \times 3600s = 19\,800\,000s$$

$$T_{poisto} = 42 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_{sisäilma} = 18 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Sijoitetaan arvot

$$Q_{suod} = 1,2 \text{ kg/m}^3 \cdot 1,0 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C} \cdot 55 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 19800000 \text{ s} \cdot (42 - 18)^\circ\text{C} \quad (16)$$

$$= 31363200 \text{ MJ} = 8712000 \text{ kWh} \approx 8700 \text{ MWh}$$

Suodatinlaitoksen hukkalämpö kannattaa kerätä savupiipusta, jolloin lämmin poistoilma on koottuna ja suodatettua. Lämpö siirretään ilma-/nestekeräimellä kaukolämpöverkostoon ilmanvaihtokoneiden hyödynnettäväksi.

Laitoksen piippuun asennettavan lämmön talteenottokennon on oltava mitoitukseltaan riittävän väljä, jotta puhaltimien painehäviö ei kasva liiaksi eikä niiden energiankulutus näin ollen lisääntyisi merkittävästi. Tämä heikentää lämmönvaihtimen hyötysuhdetta, mutta energiamäärä on niin suuri, että säästövaikutus on silti huomattava. Tästä syystä oletetaan lämmönvaihtimen hyötysuhteeksi 35 %, kun normaalisti ilmanvaihdon LTO-hyötysuhde on noin 55 – 75 %

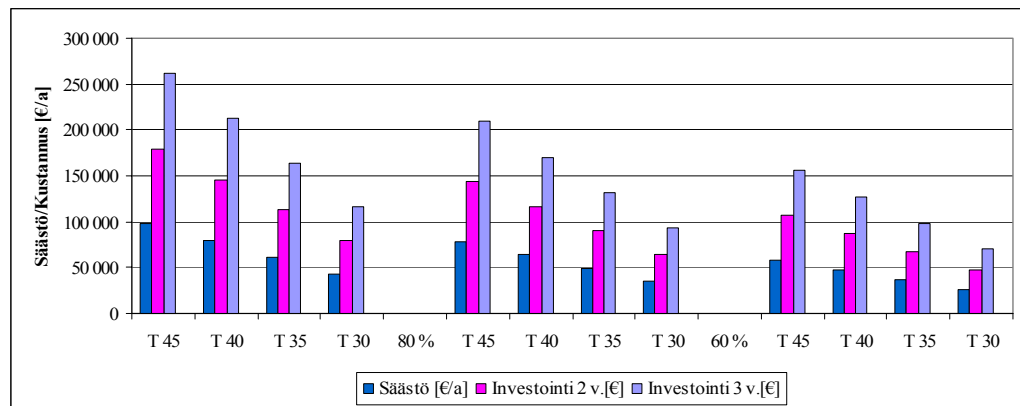
Taulukossa 18 on esitetty suodatinlaitoksen läpi kulkeva laskennallinen energiamäärä kun laitoksen käyttöaste sulaton vuotuisista käyttötunneista on 60, 80 ja 100 %. Taulukkoon on myös laskettu, kuinka suuri investointi voidaan tehdä kahden tai kolmen vuoden takaisinmaksuajoilla. Korke on 6 %, kaukolämmön hinta 28,50 €/MWh.

**Taulukko 18: Sulaton suodatinlaitoksen LTO:n energiansäästö**

Laitoksen käyttöaste [%]	Energian säästö [MWh/a]	LTO-energia (η = 35 %) [MWh/a]	Kaukolämmön säästö	Investointi, tak.maksu 2 vuotta	Investointi, tak.maksu 3 vuotta
100	9 800	3 430	<b>98 000 €/a</b>	179 000 €	261 000 €
80	7 840	2 740	<b>78 000 €/a</b>	143 000 €	209 000 €
60	5 880	2 060	<b>59 000 €/a</b>	107 000 €	157 000 €

Varmuuden vuoksi tarkastellaan myös tilanteita, joissa poistoilman lämpötila on 45, 40, 35 ja 30 °C. Kuvassa 62 on esitetty neljä lämpötilavaihtoehtoa kolmelle eri käyttöasteelle ja kahden sekä kolmen vuoden takaisinmaksuajalle.

100 % käyttöasteella säästö on noin 43 000 – 98 000 €/a jolloin se kestää 80 000 – 180 000 € investoinnin kahden vuoden takaisinmaksuajalla. 80 % käyttöasteella säästö on 35 000 – 78 000 €/a ja investointimahdollisuus (2 v.) vielä 64 000 – 143 000 €.



**Kuva 62: Sulaton suodatinlaitoksen LTO-investointi**

LTO:n asentaminen vaatii rakennemuutoksia suodatinlaitokseen. Piipun halkaisija on 2,5 metriä ja maksimi tilavuusvirta 55 m<sup>3</sup>/s, jolloin poistoilman virtausnopeudeksi tulee 11,2 m/s. LTO ei toimi riittävällä tehokkuudella ellei ilmavirran otsapintanopeutta saada pudotettua lähelle 3 m/s. Tämä vaatii piipun laajennuksen.

Paras hyöty suodatinlaitoksesta saadaan, kun poistopuhallinten hihnakäyttö vaihdetaan taajuusmuuttajaohjatuksi suoravedoksi. Säännöllistä huoltoa vaativassa hihnakäytössä osa tehosta muuttuu häviöinä lämmöksi eikä laitos ole kovin hyvin säädettävissä. Taajuusmuuttajakäytöllä laitoksen tehonkulutusta olisi mahdollisuus ohjata oikeaoppisesti ja energiataloudellisesti kierroslukua muuttamalla. Uusimalla koko sulaton ilmanvaihto on taajuusmuuttajaohjauksen avulla mahdollisuus kytkeä suodatinlaitoksen tehonsäätö ilmanvaihtokoneiden kanssa yhteen, jolloin päästään hallittuun – ja tarpeenmukaiseen – sekä energiataloudelliseen ilmanvaihtoon.

### 8.1.2 Puhdistamo 1:n suodatinlaitos

Puhdistamo 1 suodatinlaitos toimii myös ilman LTO:a. Koska poistoilma kerätään suodatinlaitokselle keskitetysti kahta linjaa pitkin jotka suodatinlaitoksella yhdistyvät piipussa yhdeksi, on LTO:n asentaminen vastaava toimenpide kuin sulaton suodatinlaitoksella. Laitoksen hyötysuhde ja käytettävyys sekä huoltovarmuus ovat parempia kuin sulaton suodatinlaitoksessa, sillä puhallinten moottoreita ohjataan taajuusmuuttajilla.

Kaavalla (17) saadaan laitoksen laskennallinen lämpöhäviö 4 000 tunnin vuotuisella käytöllä ja piipun päästä mitatulla 28 °C poistolämpötilalla. Rakennuksen sisälämpötila on sama kuin mittauksen aikainen ulkolämpötila 18 °C.

$$Q_{suod} = 1,2 \text{ kg/m}^3 \cdot 1,0 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C} \cdot 36 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 14400000 \text{ s} \cdot (28 - 18)^\circ\text{C} \quad (17)$$

$$= 6220800 \text{ MJ} = 1728000 \text{ kWh} \approx 1730 \text{ MWh}$$

Vastaavasti ja vastaavilla ehdoilla kuin kohdassa 8.1.1 on taulukossa 19 esitetty suodatinlaitoksen läpi kulkeva laskennallinen energiamäärä kun laitoksen käyttöaste on 60, 80 ja 100 %; takaisinmaksuajoiksi on valittu 3 ja 5 vuotta, korko 6 %.

**Taulukko 19: Puhdistamo 1 suodatinlaitoksen LTO:n energiansäästö**

Laitoksen käyttöaste [%]	Energian säästö [MWh/a]	LTO-energia ( $\eta = 35\%$ ) [MWh/a]	Kaukolämmön säästö	Investointi, tak.maksu 2 vuotta	Investointi, tak.maksu 3 vuotta
100	1 730	606	<b>17 300 €/a</b>	32 000 €	46 000 €
80	1380	483	<b>13 800 €/a</b>	25 000 €	37 000 €
60	1040	363	<b>10 300 €/a</b>	19 000 €	28 000 €

Talteen otettu lämpöenergia voidaan käyttää puhdistamon tuloilman lämmitykseen. Vahvasti alipaineinen rakennus tarvitsee lisää tuloilmaa, jonka lämmitys onnistuu suodatinlaitoksen LTO:lla.

### 8.1.3 Spencer-sinkopuhdistimen suodatinlaitoksen LTO

Suodatinlaitoksen nimelliskapasiteetin 34 900 m<sup>3</sup>/h ja mitatun poistoputken lämpötilan 26 °C mukaan laskettuna energiansäästö on 1 000 h/a käyttötuntien mukaan

$$Q_{suod} = 1,2 \text{ kg/m}^3 \cdot 1,0 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C} \cdot 9,6 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 3600000 \text{ s} \cdot (26 - 18)^\circ\text{C} \quad (18)$$

$$= 331776 \text{ MJ} = 92160 \text{ kWh} \approx 92 \text{ MWh}$$

LTO-laitteet toimivat samoilla ehdoilla kuin kohdissa 8.1.1 ja 8.1.2, eli hyötysuhteeksi oletetaan edelleen 35 %. Silloin energiansäästö muodostuu taulukon 20 mukaan.

**Taulukko 20: Spencer-sinkopuhdistimen suodatinlaitoksen LTO**

Laitoksen käyttötunnit [h/a]	Energian säästö [MWh/a]	LTO-energia ( $\eta = 35\%$ ) [MWh/a]	Kaukolämmön säästö	Investointi, tak.maksu 3 vuotta	Investointi, tak.maksu 5 vuotta
2 000	184	64	<b>1 800 €/a</b>	4 800 €	7 600 €
1 000	92	32	<b>900 €/a</b>	2 400 €	3 800 €
500	46	16	<b>450 €/a</b>	1 200 €	1 900 €

Voidaan todeta, että edellä mainituilla ehdoilla LTO:n rakentaminen sinkopuhdistimen suodatinlaitokselle ei sellaisenaan ole kannattava investointi. Hanke tulee kysymykseen siinä vaiheessa, kun suodatinlaitos uusitaan.

## 8.2 **Lämpökäsittelyuunien LTO**

### 8.2.1 Maakaasu-uuni

Maakaasu-uunin energiankulutus vuonna 2005 oli 4 616 MWh. Osa tästä oli vanhan uunin aikaan. Energiämäärä menee kuitenkin nyt lämpönä taivaalle joko suoraan tai suoraan tuotteista sekä karkaisuvesien mukana Pyhäjärveen. Suurin osa – laskennallisesti noin 4000 MWh - johdetaan poistoilmakanavaa myöten katolle. Tähän poistoilmakanavaan on mahdollista asentaa lämmön talteenotto. Ilma-/nestekiertoinen lämmönvaihdin ottaa talteen lämpöenergiaa, joka voidaan hyödyntää tuloilman lämmittämiseen.

Jos LTO-laitteena käytetään pyörivää kiekkovaraajaa, siirtyy lämmön lisäksi palokaasujen kosteus tuloilmaan. Laitteen tyypistä riippuen on hyötysuhde normaalisti 50 – 70 %.

Puhdistamo 1, jossa kyseinen uuni sijaitsee, kärsii voimakkaasta alipaineesta. Talviaikaan tuloilman saatavuus on ongelma, sillä lämmitettyä ilmaa ei saada riittävästi eikä kylmää ilmaa voida johtaa rakennukseen ilman haittavaikutuksia. Lämpökäsittelyuunin ja suodatinlaitoksen LTO yhdessä toteutettuina myös limittävät toistensa lämmöntuotantoa ja lisäävät näin hyödynnettävän energian määrää.

Maakaasu-uunin LTO:n hyötysuhde oletetaan paremmaksi kuin suodatinlaitosten johtuen pienemmästä ilmavirrasta ja tiiviimmästä rakenteesta.

Varmuuden vuoksi se kuitenkin oletetaan melko alhaiseksi. Lasketaan vuotuinen energiansäästömahdollisuus kun LTO:n hyötysuhde on 45 %.

$$Q_{\text{säästö}} = Q_{\text{uuni, ilma}} \cdot \eta = 4000 \text{ MWh} / a \cdot \frac{45}{100} = 1800 \text{ MWh} / a \quad (19)$$

Säästetty energiamäärä vähentää kaukolämpöveden kulutusta, jolla lämmitetään tuloilmaa. Siten vuotuinen kustannussäästö on 51 300 €. Tätä säästöä vastaan voidaan kahden vuoden takaisinmaksuajalla tehdä 94 000 € ja kolmen vuoden takaisinmaksuajalla 137 000 € investointi, kun korko on 6 %.

### 8.2.2 Sähköuunit

Sähkökäyttöiset lämpökäsittelyuunit kuluttivat yhteensä 6 011 MWh sähköenergiaa vuonna 2005 (kuva 60, s.73). Tästä suurin osa poistuu kappaleiden mukana jäähdytysveteen (kohta 8.4.2) ja ilmaan; osa säteilynä ja johtumalla uunin ulkopinnasta. Suurin yksittäinen kulutus oli uunilla numero 2, joka kulutti 44 % eli 2 662 MWh kaikkien lämpökäsittelyuunien kuluttamasta energiasta. Liitteessä 4 on tämän uunin sähkönlaatuanalyysi.

Lämpökamerakuva 63 paljastaa uunin katon eristyksessä puutteita, sillä paikalliset maksimilämpötilat saattavat olla hyvinkin korkeita, kuten kuvan hetkellä 294 °C.



Uunien päällä kulkee kaapelihyllyjä ja rakennuksen sisällä oleville tasopinnoille saattaa kertyä palavaa materiaalia, joten paitsi energiahäviöitä, aiheutuu puutteellisesta eristyksestä myös paloturvallisuusriski. Uunien eristeet on tarkastettava ja korjattava mahdollisimman pian.



Kuva 63: Huippulämpötila lk-uunin katolla



Kuva 64: Lk-uunin poistoilmakanava

Uunien poistoilmakanaviin on mahdollista asentaa LTO-kenno, jolloin poistoilman lämpöenergia saadaan hyödynnettyä esimerkiksi tuloilmakoneiden lämmityspiirissä.

Oletetaan, että sähköuunien energiasta 30 % poistuu ilmanavien kautta, ja asennettavan LTO:n hyötysuhde on sama 45 % kuin maakaasu-uunilla, saadaan sähköuunien poistoilman säästettäväksi energiamääräksi

$$Q_{\text{säästö}} = Q_{\text{uunit, ilma}} \cdot \eta_{\text{poistoilma}} \cdot \eta_{\text{LTO}} = 6011 \text{ MWh} / a \cdot \frac{30}{100} \cdot \frac{45}{100} \approx 810 \text{ MWh} / a \quad (20)$$

Kun säästetty energiamäärä käytetään tuloilman lämmittämiseen, on kaukolämmön säästö noin 23 000 € vuodessa. Tätä säästöä vastaan voidaan kahden vuoden takaisinmaksuajalla tehdä 42 000 € ja kolmen vuoden takaisinmaksuajalla 61 500 € investointi, kun korko on 6 %.

### 8.3 Senkkojen esilämmitys

Senkkojen esilämmityksessä voidaan erottaa kaksi säätökohdetta: LTO-laitteiston asentaminen ja esilämmitysajan lyhentäminen.

Lämmitysajan lyhentäminen säästää energiaa, mutta se myös pienentää LTO:lla talteen otettavan energian määrää. Toimenpiteet kuitenkin käsitellään erillisinä, jolloin ne voidaan myös suunnitella ja toteuttaa omina, erillisinä toimenpiteinään.

Esilämmitysenergian hyödyntäminen on mahdollista joko rakennusten lämmitykseen kaukolämpöpiirin rinnalla, tai sitten romun esilämmityksessä, kohta 8.5.1.

### 8.3.1 Esilämmityksen LTO

Senkkojen esilämmitysasemat sulattohallin eteläpäässä ovat täysin avoimia ja niiden energiahäviöt ovat suuret. Senkkojen kuumentaminen avoliekillä tapahtuu  $4 \times 1$  MW maakaasupolttimilla, joiden palamiskaasut pääsevät vapaasti sulattohalliin. Palokaasuja poistetaan ulos puhaltimilla TK/PK131 ja TK/PK132 – talvella palokaasuja taas sekoitetaan samojen puhaltimien kautta tuloilmaan tarkoituksena lämmittää kylmää sisäänpuhallusilmaa. Palokaasujen energia on mahdollista kerätä talteen erilaisilla ratkaisuilla.

Tehokkain olisi senkan yläpuolelle sijoitettava keräyshuuva, joka johtaa lämmön lähellä olevalle lämmönvaihtimelle. Ongelmana on, että huuvan on oltava liikuteltava, sillä senkkoja siirretään kattonosturin avulla. Suoraan huuvan avulla kerättävä ilma on erittäin kuumaa (kuva 57 s. 70), joten se asettaa rakenteille ja lämmönvaihtimelle erityisvaatimuksia.

Toinen mahdollisuus on asentaa sulattohallin kattoon senkanlämmitysasemien yläpuolelle nestekiertoinen lämmöntalteenottoputkisto, joka voidaan käytännössä asentaa lähes koko sulaton katon alueelle.

Esilämmitysenergiasta poistuu lämpönä sulattohalliin suurin osa. Edellisen analyysin mukaan liekkilämmityksen hyötysuhde on mittauksen perusteella noin 20 % (Lumme & Tapola 1999, 33), joten tämän perusteella 1 MW:n polttimen tehosta 800 kW siirtyy ilmaan. On kuitenkin otettava huomioon, että täyttä tehoa ei käytetä koko ajan.

Oletetaan, että polttimet ovat toiminta-ajastaan 70 % täydellä teholla ja 30 % ajasta puolella teholla. Senkkoja käytetään sulatusten edellyttämä määrä joka on keskimäärin 7 kpl vuorokaudessa. Tämän lisäksi siirtosenkkaa käytetään noin 3 kertaa vuorokaudessa. Senkkojen perus- ja loppukuumennus kestää yhteensä 4-5 tuntia, mutta on riippuvainen senkan koosta ja käytöstä. Kylmän 28 tonnin senkan lämmitys voi kestää noin 6 tuntia kun taas juuri käytetty 3-14 tonnin senkka lämpenee muutamassa tunnissa. Näiden tietojen perusteella oletetaan, että senkan lämmitys kestää keskimäärin neljä tuntia, josta 2,8 h 1 MW teholla ja 1,2 h 500 kW teholla. Kymmenen senkan lämmitystä vuorokaudessa kuluttaa siten energiaa laskennallisesti

$$Q_{senkat, vrk} = 10 \cdot (2,8h \cdot 1MW) + (1,2h \cdot 0,5MW) = 34MWh / vrk \quad (21)$$

Vuodessa tämä on 7 786 MWh/a kun sulaton vuotuinen käyttöaika on 5 500 h, eli 84 % sulaton koko maakaasun kulutuksesta. Maakaasun vuoden 2005 hinnan mukaan lämmityksen laskennallinen kustannus on 204 770 €/a. Tästä energiasta 80 % poistuu ilmaan. Mikäli lämpö hyödynnetään LTO:lla jonka hyötysuhde  $\eta = 45\%$ , saadaan

$$Q_{hyöty} = 7786MWh/a \cdot \frac{80}{100} \cdot \frac{45}{100} \approx 2800MWh/a \quad (22)$$

joka on säästetyn kaukolämpöenergian mukaan laskettuna 79 800 €/a.

Tätä säästöä vastaan voidaan kahden vuoden takaisinmaksuajalla tehdä 146 000 € ja kolmen vuoden takaisinmaksuajalla 213 000 € investointi, kun korko on 6 %.

On kuitenkin huomioitava, että talteen otettava lämpömäärä pienentää sekoitusilman lämpömäärää vastaavasti, joten todellinen säästö on ilmeisesti pienempi.

### 8.3.2 Esilämmitysaajan lyhentäminen

Senkan riittävä esilämmitysaika on asia, joka tulisi tutkia. Esilämmitys kestää usein liian kauan ja energiaa kuluu hukkaan. Asiaa on käsitelty edellisessä analyysissä (Lumme & Tapola, 54) mutta toimenpiteitä ei ole tehty.

Mikäli esilämmitysaikaa voidaan lyhentää puoli tuntia jokaisella lämmityksellä ja senkkoja lämmitetään 10 kpl/vrk, saavutetaan vuorokaudessa 5 h säästö.  $5 \cdot 500 \text{ h} = 229 \text{ vrk}$  vuotuisella käyttöajalla tämä tekee 1 145 h/a. Oletuksella, että mainittu puoli tuntia lämmitetään 50 % teholla, saadaan säästyvän maakaasun energiamäärä

$$Q_{\text{maakaasu}} = 1145 \text{ h/a} \cdot \frac{50}{100} \cdot 1 \text{ MW} = 572,5 \text{ MWh/a} \quad (23)$$

joka on vuoden 2005 maakaasun hinnalla laskettuna 15 057 €/a.

Tämä energiamäärä vähentää kaukolämmön kulutusta ilmanvaihdon lämmityksessä. On kuitenkin huomioitava, että kylmänä vuodenaikana senkkojen esilämmitysaseman ilmaa sekoitetaan puhaltimien TK131 ja TK132 avulla tuloilmaan. On myös huomioitava, että esilämmityksajan optimointi ei vaadi investointeja.

Jos molemmat energiansäästötoimenpiteet senkkojen esilämmityksessä toteutetaan, on LTO:n energiamäärä silloin

$$Q_{\text{molemmat}} = (2800 - 572,5) \text{ MWh/a} \approx 2228 \text{ MWh/a} \quad (24)$$

jolloin laskennallinen energiansäästö vuoden 2005 hinnoilla on

$$2228 \text{ MWh/a} \cdot 28,50 \text{ €/MWh} + 572,5 \text{ MWh/a} \cdot 26,30 \text{ €/MWh} \approx 78600 \text{ €/a} \quad (25)$$

Tätä säästöä vastaan voidaan kahden vuoden takaisinmaksuajalla tehdä 144 000 € ja kolmen vuoden takaisinmaksuajalla 210 000 € investointi, kun korko on 6 %.

## 8.4 Muut energiansäästökohteet ja toimenpiteet

### 8.4.1 Sulaton kattoikkunoiden sulkeminen

Sulaton kattoikkunoiden käyttö savun ja lämmön poistoon johtuu ilmanvaihdon ja suodatinlaitoksen puutteista. Savukaasujen ja yllilämmön poisto ei toimi riittävän tehokkaasti, jolloin kattopuhaltimia käytetään, kattoikkunoita avataan ja ovia pidetään auki.

Kesäaikaan luukkujen sulkeminen on ongelma, sillä sulattohallin lämpökuorma on korkea. Tuloilmapuhaltimissa ei ole jäähdytystä, joten hallin ilma ei jäähy jollei oviaukkoja ja kattoluukkuja pidetä auki. Tämä lisää ympäristön hiukkas-, melu- ja hajukuormitusta. Kesäaikaan lämpöenergian talteenotto on muutenkin ongelmallista, sillä lämmön kulutus on huomattavasti pienempää kuin sen tuotanto.

Sulaton katolla on kahdeksan avattavaa kattoluukkua joissa on lisäksi päädyssä ovi. Avoimesta ovesta tuleva ilmavirtaus mitattiin tutkimuksen aikana. Ilman nopeus oli 3,5 m/s ja lämpötila 65 °C luukkujen ollessa suljettuina, kuvat 46, 47 ja 48, sivu 53.

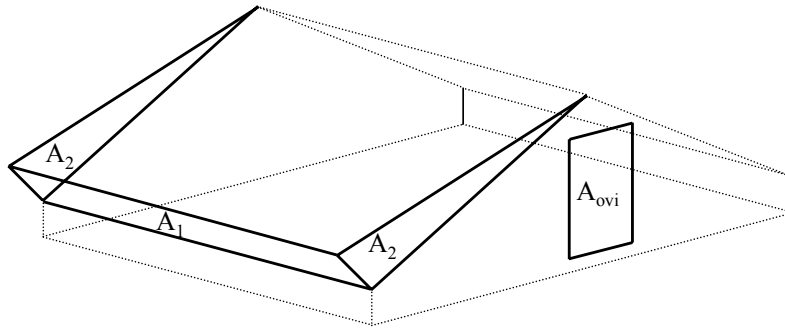
Luukkujen liitoskohdassa niiden harjalla on suojakumi, jonka tarkoitus on estää veden ja lumen pääsy sulatushalliin. Suojakumit ovat suurelta osin rikki ja aukoista pääsee lämpöä ja savukaasuja ilmaan sekä sade- ja sulamisvesiä sulattohalliin. Jo rakennusteknisistä syistä on kattoluukkujen harjatiivisteet korjattava jotta estetään veden pääsy rakenteisiin ja tuotantotiloihin.

Tutkimuksen aikana kattoluukuista vähintään kaksi oli keväällä auki ja kesäaikaan kaikki luukut olivat auki. Luukuissa on pitimet, joilla niitä saadaan avattua noin 30 cm.

Lasketaan yhden kattoluukkuyksikön (kuva 65) lämpöhäviö molempien avattavien luukkujen ollessa asetuksen verran (30 cm) auki ja yksikön oven ollessa kokonaan auki.

Yhden kattoluukkuyksikön aukkojen pinta-ala

$$A_{luukku} = 2 \times A_1 + 4 \times A_2 + A_{ovi} \quad (26)$$



**Kuva 65: Sulaton kattoluukkuyksikkö**

$A_1$  on sivuaukon pinta-ala

$$A_1 = 0,3m \times 6,0m = 1,8m^2 \quad (27)$$

$A_2$  on päätyaukon pinta-ala

$$A_2 = \frac{(0,3 \times 2,2)m^2}{2} = 0,33m^2 \quad (28)$$

$A_{ovi}$  on päätykolmion oven pinta-ala

$$A_{ovi} = 0,8m \times 0,6m = 0,48m^2 \quad (29)$$

Saadaan

$$A_{luukku} = 2 \times A_1 + 4 \times A_2 + A_{ovi} = 2 \times 1,8m^2 + 4 \times 0,33m^2 + 0,48m^2 = 5,4m^2 \quad (30)$$

### Oviaukko

Oviaukosta poistuvalla ilmalla mitattiin 3,5 m/s nopeus kun kattoluukkuyksikön luukut olivat kiinni. Ilman nopeus on pienempi jos myös luukut ovat auki. Ilman nopeudella  $v_i = 3,5$  m/s oviaukon kautta poistuva ilmamäärä on

$$q_{v,ovi} = A_{ovi} \times v_{ovi} = 0,48m^2 \times 3,5m/s = 1,68m^3/s = 6048m^3/h \quad (31)$$

ja paine-ero sulattohallissa

$$\Delta p = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 = \frac{1}{2} \cdot 0,96kg/m^3 \cdot (3,5m/s)^2 = 5,9Pa \quad (32)$$

Sulaton koko tilavuus  $V_{\text{sulatto}} = 59\,229\text{ m}^3$ .

Kattoluukun oviaukon vuotoilman lämmitykseen kuluva teho on

$$\Phi_{\text{vuoto,ovi}} = c_{pi} \times \rho_i \times q_{v,ovi} \times (T_s - T_u) \quad (\text{RakMK D5, 2.5}) \quad (33)$$

missä

$c_{pi}$  = ilman ominaislämpökapasiteetti (1,0093 kJ/kgK, T = 65 °C)

$\rho_i$  = ilman tiheys (1,0441 kg/m<sup>3</sup>, T = 65 °C)

Vuotoilmavirta  $q_{v, \text{vuoto}}$  lasketaan seuraavasti:

$$q_{v, \text{vuoto}} = n_v \times V / 3600 \quad (\text{RakMK D5, 2.5}) \quad (34)$$

missä

$n_v$  on vuotoilmanvaihtokerroin [1/h]

Vuotoilmanvaihtokerroin oviaukolle

$$n_v = \frac{6048\text{ m}^3/\text{h}}{59229\text{ m}^3} = 0,11/\text{h} \quad (35)$$

3600 on muunnoskerroin jotta vuoto olisi laadultaan [m<sup>3</sup>/s].

Siten

$$q_{v, \text{vuoto,ovi}} = \frac{0,11/\text{h} \times 59229\text{ m}^3}{3600} = 1,6\text{ m}^3/\text{s} \quad (36)$$

Lasketaan oviaukosta poistuvan ilman lämmitykseen kuluva teho kun ulkoilman lämpötila on +20 °C:

$$\Phi_{\text{vuoto,ovi}} = 1,0093\text{ kJ/kgK} \times 1,0441\text{ kg/m}^3 \times 1,68\text{ m}^3/\text{s} \times (338 - 293)\text{K} \approx 79,7\text{ kW} \quad (37)$$

Lasketaan oviaukosta poistuvan ilman lämmitykseen kuluva teho kun ulkoilman lämpötila on -20 °C:

$$\Phi_{\text{vuoto,ovi}} = 1,0093\text{ kJ/kgK} \times 1,0441\text{ kg/m}^3 \times 1,68\text{ m}^3/\text{s} \times (338 - 253)\text{K} \approx 150,5\text{ kW} \quad (38)$$

### Kattoluukkuyksikkö

Lasketaan poistuvan ilman lämmitykseen kuluva teho kun kattoluukkuyksikön molemmat luukut ovat 30 cm auki ja ovi on täysin auki. Tällöin käytetään ilman nopeudelle arvoa 1 m/s.

$$q_{v,luukku} = A_{luukku} \times v = 5,4m^2 \times 1m/s = 5,4m^3/s = 19440m^3/h \quad (39)$$

Ulkoilman lämpötila on +20 °C:

$$\Phi_{vuoto,luukku} = 1,0093kJ/kgK \times 1,0441kg/m^3 \times 5,4m^3/s \times (338 - 293)K = 256,1kW \quad (40)$$

$$\begin{aligned} \Phi_{vuoto,ovi} &= 1,0093kJ/kgK \times 1,0441kg/m^3 \times (0,48m^2 \times 1,0m/s) \times (338 - 293)K \\ &= 22,8kW \end{aligned} \quad (41)$$

Ulkoilman lämpötila on -20 °C:

$$\Phi_{vuoto,luukku} = 1,0093kJ/kgK \times 1,0441kg/m^3 \times 5,4m^3/s \times (338 - 253)K = 483,7kW \quad (42)$$

$$\begin{aligned} \Phi_{vuoto,ovi} &= 1,0093kJ/kgK \times 1,0441kg/m^3 \times (0,48m^2 \times 1,0m/s) \times (338 - 253)K \\ &= 43,0kW \end{aligned} \quad (43)$$

Laskennallinen teho, kun ulkoilman lämpötila on +20 °C, on

$$\Phi_{vuoto,ovi} + \Phi_{vuoto,luukku} = (22,8 + 256,1)kW = 279kW \quad (44)$$

Laskennallinen teho, kun ulkoilman lämpötila on -20 °C, on

$$\Phi_{vuoto,ovi} + \Phi_{vuoto,luukku} = (43,0 + 483,7)kW = 527kW \quad (45)$$

Vuotuinen laskennallinen häviö on

$$\begin{aligned} Q &= 1,0093kJ/kgK \times 1,0441kg/m^3 \times (5,4 + 1,0)m^3/s \times 24 \times 5855 \\ &\approx 947721kWh \approx 948MWh \end{aligned} \quad (46)$$

Koska luukkuja on yhteensä kahdeksan ja käyntien aikana havaittiin että noin puolet niistä on yleensä auki, voidaan todeta että kattoluukkujen kautta poistuva laskennallinen lämpöenergia on vuodessa noin  $4 \times 948$  MWh eli 3 792 MWh.



Ilma on lämmitetty pääasiassa sähköllä (uunit) ja maakaasulla (esilämmityspolttimet), joten lämpömäärälle voidaan laskea vuotuinen kustannus 98 000 – 182 000 €/a.

Talteen otettava energia voidaan hyödyntää sulattohallin sisäkattoon asennettavalla, nestekiertoisella LTO-laitteistolla, jonka hyötysuhteeksi oletetaan 35 %. Tällöin talteen otettava laskennallinen energiamäärä on noin 1 300 MWh/a, joka on vuoden 2005 kaukolämmön hinnalla laskettuna noin 37 000 €/a.

Tätä säästöä vastaan voidaan kahden vuoden takaisinmaksuajalla tehdä 68 000 € ja kolmen vuoden takaisinmaksuajalla 99 000 € investointi, kun korko on 6 %.

Kattoluukuista ja katon aukoista poistuvan lämpömäärän talteenotto on mahdollista asentamalla LTO-laitteet ilmanvaihtokoneisiin ja sulaton suodatinlaitokseen. Käytännössä nykyiset tuloilmakoneet olisi vaihdettava uusiin ilmanvaihtokoneisiin, jolloin sulaton ilmanvaihto olisi paremmin hallittavissa.

#### 8.4.2 Karkaisuallan poistovesien LTO

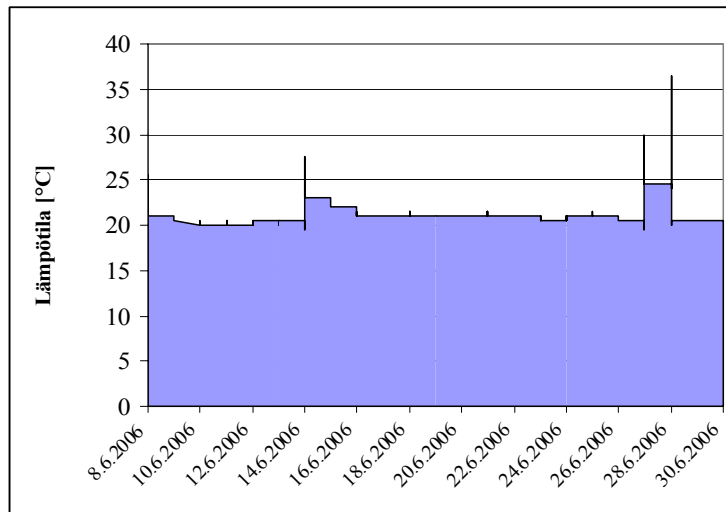
Puhdistamo 1:ssä on yksi karkaisuallas joka on tässä nimetty karkaisuallas 1:ksi ja puhdistamo 2:ssa on kaksi – karkaisuallas 2 ja 3. Lämmön talteenottoratkaisun kehittämisestä varten altaiden lämpötilaa seurattiin dataloggereiden avulla 22 päivän ajan kesäkuussa 2006. Mittausten tulokset ja johtopäätökset on seuraavana esitetty allaskohtaisesti.

##### Karkaisuallas 1:

Puhdistamo 1:ssä sijaitseva karkaisuallas 1 on kooltaan 7×4 metriä ja siinä on neljä vedenkierrätyspumppua, joiden nimellisteho on 2×11 kW ja 2×2,2 kW.

Jäähdytysvesi johdetaan altaaseen Ø110 mm vesiputkella noin 4 barin paineella avaamalla käsiventtiiliä. Lämmennyt vesi poistuu ylikaatona viemäriin ja tulevan veden virtausta säädellään poistuvan veden mukaan siten, ettei altaan ylivuotoa tapahdu. Vesi virtaa viemäriin vapaasti 200 mm:n putkeen.

Allasta käytettiin mittausjakson aikana kolme kertaa. Veden lämpötilamuutokset havaitaan kuvasta 66 ja karkaisujen aiheuttamat lämpötilamuutokset taulukosta 21.



**Kuva 66: Karkaisuallas 1:n (Puhdistamo 1) lämpötilatarkkailu 06/2006**

Puhdistamo 1:ssä olevan karkaisuallan käyttö on ollut vähäistä. 22 päivän pituisen mittausjakson aikana allasta on käytetty kolme kertaa.

**Taulukko 21: Karkaisuallas 1:n käyttö 06/2006**

Pvm	Alkulämpö [°C]	Maksimilämpö [°C]	Jälkilämpö [°C]	Pitoaika
14.6.	20	27,5	21	1 h 15 min
27.6.	20	30	25,5	1 h 30 min
28.6.	24	36,5	20	2 h
k.a.	21	31	22	1 h 35 min

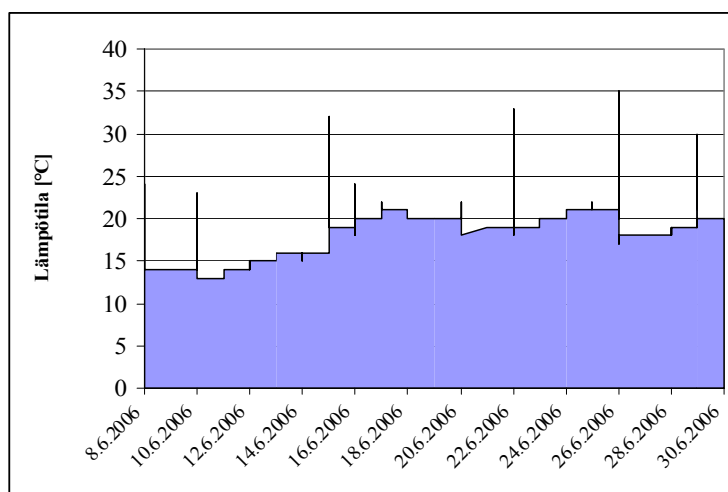
Lämmön talteenotto Puhdistamo 1:n karkaisuallas 1:n jäähdytysvedestä ei ole kannattavaa sillä karkaisuja on liian harvoin. LTO-laitteiston rakentaminen ei tällä hetkellä ole kannattava investointi.

#### Karkaisuallas 2:

Puhdistamo 2:ssa sijaitseva karkaisuallas 2 on mitoiltaan ja teknisesti kuten karkaisuallas 1. Tässä altaassa on kaksi kappaletta kierrätysvesipumppuja joiden nimellisteho on 2×11 kW. Altaan vesimäärää säädetään kuten ykkösaltaassa, eli käsiventtiilillä.

Mittausjakso oli samaan aikaan kuin ykkösaltaalla, ja sen aikana oli viisi karkaisutapahtumaa. Havaittavaa on, että altaan veden alkulämpötila oli jakson alussa 6...7 °C matalampi kuin ykkösaltaan.

Vesi oli hieman ykkösaltaan vettä viileämpää myös karkaisujen välillä. Lämpötilan mittausta ei altaissa ole. Kuva 67 ja taulukko 22



Kuva 67: Karkaisuallas 2:n (Puhdistamo 2) lämpötilatarkkailu 06/2006

Taulukko 22: Karkaisuallas 2:n käyttö 06/2006

Pvm	Alkulämpö [°C]	Maksimilämpö [°C]	Jälkilämpö [°C]	Pitoaika
15.6.	17	32	19	2 h 30 min
16.6.	18	24	18	1 h
22.6.	18	33	19	2 h 45 min
26.6.	20	<b>35</b>	19	1 h 30 min
29.6.	19	30	19	1 h
k.a.	18	31	19	1 h 45 min

Karkaisuallas 2 on myös lämmön talteenoton kannalta liian vähäisessä käytössä. Noin kolmen viikon mittausjakson aikana yhteenlaskettu karkaisuaika, jolloin lämpöenergiaa tuodaan altaaseen, oli 8 tuntia 45 minuuttia.

Lämmön talteenottolaitteiston rakentaminen ei tällä hetkellä ole kannattava investointi.

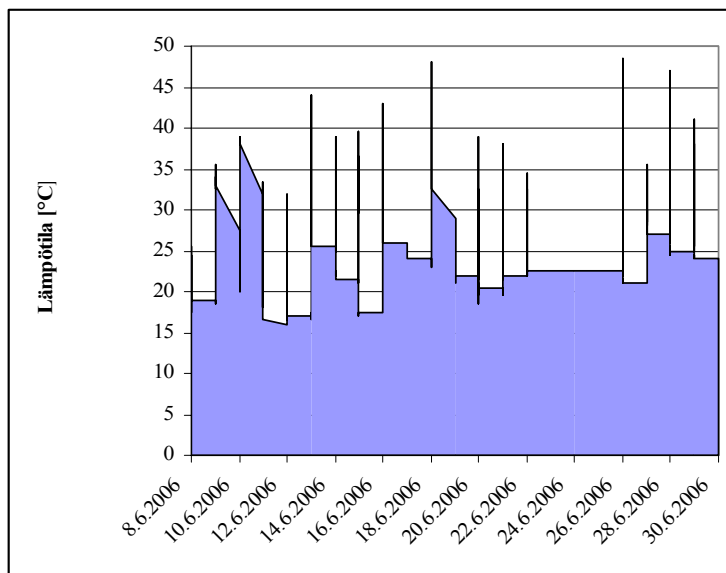
### Karkaisuallas 3:

Kolmas karkaisuallas sijaitsee Puhdistamo 2:n eteläpäässä lämpökäsittelyuuni 2:n vieressä. Allas on mitoiltaan 7×6 metriä ja syvyydeltään noin 3 metriä. Käytön aikana altaan pohjalle kertyy teräskappaleista irronnutta kuonaa jolloin altaan tilavuus muuttuu. Lämmennyt vesi poistuu ylikaatona vapaasti halkaisijaltaan 200 mm putkeen.

Kierrätysvesipumppu on nimellisteholtaan 90 kW ja sen maksimituotto on 720 m<sup>3</sup>/h. Mittauksessa saatiin pumpun sähkömoottorin tehonotoksi 91 kW joten moottori pyörii maksimiteholla. Tehonkulutus on suuri muihin altaisiin verrattuna:

- Allas 1 – moottorien nimellisteho 26,4 kW
- Allas 2 – moottorien nimellisteho 22 kW
- Allas 3 – moottorin nimellisteho 90 kW ja mitattu teho 91 kW.

Kierrätysvesipumpun paineputki ei ole virtausteknisesti optimaalinen. Ideaalitulanteeseen verrattuna painehäviö on moninkertainen. Aihetta käsitellään tarkemmin kohdassa 8.4.3. Puhdistamo 2:ssa sijaitsevan karkaisuallas numero kolmea käytettiin mittausjakson aikana 16 kertaa, kuva 68. Pidempi käyttämätön jakso johtuu juhannuksen ajan lomista.



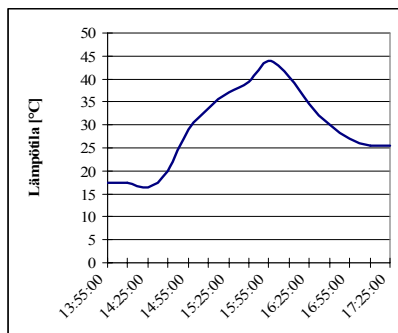
**Kuva 68: Karkaisuallas 3:n (Puhdistamo 2) lämpötilatarkkailu 06/2006**

Jäähdytysveden syöttö tapahtuu käsiventtiilillä, jonka avaamis- ja sulkemisajankohta ennen karkaisua ja sen jälkeen on käyttäjän tottumuksesta riippuvainen. Kuvasta 68 voidaan havaita seitsemän karkaisukertaa jolloin jäähdytysvesiventtiili on suljettu pian karkaisun jälkeen. Näillä kerroilla altaan veden lämpötila on jäänyt lämpimämmäksi kuin yleisesti. Karkaisutapahtumien lämpötilatiedot ja karkaisuajat ovat taulukossa 23.

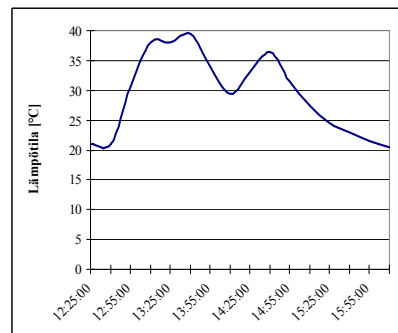
**Taulukko 23: Karkaisuallas 3:n lämpötilamittauksia**

Pvm	Alkulämpö [°C]	Maksimilämpö [°C]	Jälkilämpö [°C]	Keskilämpö [°C]	Pitoaika
9.6.	18	35	21	31	2 h 15 min
10.6.	20	39	18	26	2 h 15 min
12.6.	16	32	18	27	1 h 45 min
13.6.	17	44	25	34	2 h 30 min
14.6.	25	39	22	32	2 h 15 min
15.6.	21	39	17	33	2 h 45 min
16.6.	17	43	27	35	1 h 45 min
18.6.	23	<b>48</b>	21	36	2 h 30 min
20.6.	22	39	18	30	3 h
20.6.	19	29	21	27	1 h 30 min
21.6.	19	38	21	31	2 h 45 min
22.6.	22	34	22	28	2 h 45 min
26.6.	22	<b>48</b>	21	34	3 h 15 min
27.6.	21	35	28	31	2 h 45 min
28.6.	27	47	25	36	2 h
29.6.	25	41	24	32,5	3 h 30 min
k.a.	21	39	22	31	2 h 28 min

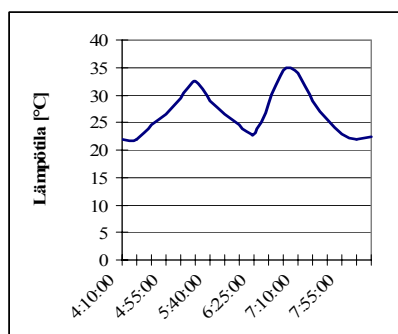
Kuvat 69 – 72 kuvaavat neljän erilaisen karkaisutapahtuman lämpötilakehityskäyriä. Mittausjakso on ollut 20 minuuttia, joten huippulämpötiloja ei mahdollisesti ole tallennettu. Tapahtuman kulku on kuitenkin havaittavissa. Karkaisutapahtuman alussa altaan jäähdytysvesiventtiili avataan ja kierrätysvesipumppu käynnistetään ennen kappaleiden upottamista altaaseen. Veden lämpötila nousee kun karkaistavia teräskappaleita lisätään altaaseen. Lisäysnopeuden säätelee käyttäjä; kappaleiden koko, paino ja muoto ovat määrääviä tekijöitä.



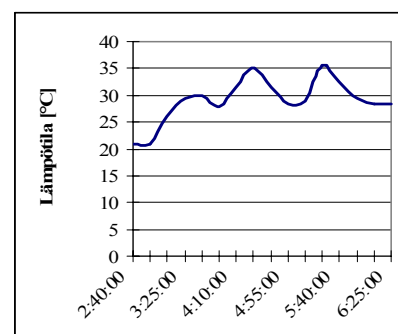
**Kuva 69: Karkaisun lämpötilakehitys 1**



**Kuva 70: Karkaisun lämpötilakehitys 2**



**Kuva 71: Karkaisun lämpötilakehitys 3**



**Kuva 72: Karkaisun lämpötilakehitys 4**

Karkaisualtaiden lämpötila ja lämpömäärä vaihtelee jatkuvasti. Kuvan 69 karkaisussa altaaseen on lisätty tasakokoisia kappaleita tasaisesti. Altaan veden lämpötila on jäänyt korkeammaksi kuin alkulämpötila. Kuvan 70 tapauksessa on karkaistu kaksi tai kolme suurta teräskappaletta peräkkäin. Altaan loppulämpötila on sama kuin alkulämpötila. Kuvan 71 tapauksessa on tehty kaksi karkaisua peräkkäin. Koska karkaisujen väli on pidempi eikä jäähdytysvesiventtiiliä ole välillä suljettu, laskee veden lämpötila karkaisujen välillä lähelle altaan alkulämpötilaa. Karkaisun huippulämpötila on myös alhaisempi kuin aiemmissa tapauksissa. Tämä saattaa johtua myös mittaustiedon tallennusvälistä. Kuvan 72 tapauksessa kolmen peräkkäisen karkaisun jälkeen altaan loppulämpötila on huomattavasti korkeampi kuin alkulämpötila.

Altaan jäähdyttävä vaikutus teräskappaleeseen on tapahtuman alussa erilainen jos veden lämpötila on +16 °C tai +27 °C. On myös huomattava, että altaan jäähdyttävä vesimäärä pienenee kappaleiden tilavuuden suhteessa.

Oletetaan että tietyn teräskappaleen ominaispaino on noin  $8\,000\text{ kg/m}^3$  (Incropera & DeWitt 2002, 906 - 907) ja altaaseen upotetaan kerralla 20 tonnia kyseistä terästä. Kyseinen teräsmäärä syrjäyttää altaasta noin  $2,5\text{ m}^3$  vettä.

Altaan mitat ovat  $6 \times 7 \times 3$  metriä joten sen vesitilavuus on ilman teräskappaleita  $126\text{ m}^3$ . Ulosvirtausta altaasta ei saatu mitattua joten se arvioidaan laskennallisesti. Lähtöputken halkaisija on 200 mm ja sen ala  $A = 0,0314\text{ m}^2$ . Vastuskerroin putken suulla oletetaan olevan  $\xi = 0,9$  (Anon., Puhallintekninen käsikirja, 25), veden lämpötila keskiarvon mukainen  $31\text{ }^\circ\text{C}$  ja tiheys tällöin  $\rho = 995\text{ kg/m}^3$ .

Lasketaan ensin virtausnopeus putkessa

$$\Delta p = \xi \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 = \rho \cdot g \cdot h \quad (47)$$

missä  $h = 0,1\text{ m}$  on suurin mahdollinen korkeusero altaan pinnan ja putken välillä.

$$\Rightarrow v = \sqrt{\frac{2 \cdot g \cdot h}{\xi}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 9,81\text{ m/s}^2 \cdot 0,1\text{ m}}{0,9}} = 1,48\text{ m/s} \quad (48)$$

Laskennallinen ulosvirtaus altaasta on siten

$$q_v = A \cdot v = 0,0314\text{ m}^2 \cdot 1,48\text{ m/s} = 0,0465\text{ m}^3/\text{s} \approx 167\text{ m}^3/\text{h} \quad (49)$$

Altaaseen tuleva jäähdytysvesi saadaan suoraan pumppaamolta ja sen lämpötilaksi oletetaan  $6\text{ }^\circ\text{C}$  mutta altaan alku- ja loppulämpötila oli usein lähes sama – noin  $21\text{ }^\circ\text{C}$ .

Lämpökäsittelyjen aikana altaan veden keskimääräinen mitattu lämpötila oli  $31\text{ }^\circ\text{C}$  (taulukko 20), jolloin  $\Delta T = (31-21)^\circ\text{C} = 10\text{ }^\circ\text{C}$ . Tällöin veden tiheys  $\rho = 1\,000\text{ kg/m}^3$  (Incropera & DeWitt 2002, 924, taulukko A6). Käsittelyn kesto on keskimäärin 2 h 28 min jolloin käsittelyn aikana poistuva laskennallinen vesimäärä

$$V_{\text{käsittely}} = q_v \cdot t_{\text{käsittely}} = 167\text{ m}^3/\text{h} \cdot 2,467\text{ h} = 412\text{ m}^3 \quad (50)$$

Poistuvan veden sisältämä laskennallinen keskimääräinen lämpömäärä on tällöin

$$Q = c_p \cdot m \cdot \Delta T \quad (51)$$

$$Q = 4,2 \frac{kJ}{kg^{\circ}C} \cdot (1000 \frac{kg}{m^3} \cdot 412m^3) \cdot 10^{\circ}C = 17304MJ = 4807kWh \quad (52)$$

Karkaisuja tehdään suunnilleen kerran päivässä, joten käyttökertoja kertyy vuodessa likimain  $45 \text{ w} \times 5 \text{ d} \times 1/\text{d} = 225 \text{ 1/a}$

Vuodessa menetettävä lämpömäärä on laskennallisesti

$$Q_a = 4807kWh \times 2251/a \approx 1082MWh/a \quad (53)$$

Tutkitaan yhden karkaisutapahtuman poistoveden energiasisältöä, kuva 73. Karkaisutapahtuma kesti 2 tuntia 45 minuuttia. Karkaisutapahtuma päättyi kun altaan loppulämpötila oli sama kuin alkulämpötila, eli 23 °C. Altaan syöttöveden lämpötila on oletettu olevan 6 °C. Viemäriin menevä poistovesivirtaus oletettiin edellä lasketun mukaiseksi, (50), ja energia laskettiin vastaavasti kuin (52).

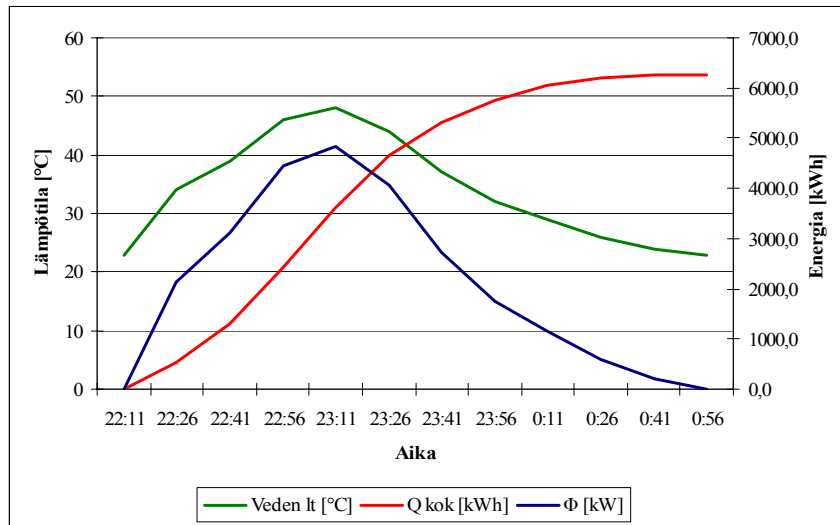
Tulokseksi saatiin kuvan 77 mukainen käyrä. Karkaisun aikana poistoveden mukana menetetty energiamäärä oli noin 6 250 kWh. Tämän perusteella laskettaessa kaavan (53) mukaisesti saadaan vuodessa menetettävä energiamäärä

$$Q_a = 6250kWh \times 2251/a \approx 1406MWh/a \quad (54)$$

Ero keskiarvolämpötilaan verrattuna on huomattava. Todellinen energiamäärä on todennäköisesti näiden kahden laskennallisen arvon välillä.

Kaukolämmön vuoden 2005 hintojen mukaan säästö olisi 31 000...40 000 €/a. Tätä säästöä vastaan voidaan kahden vuoden takaisinmaksuajalla tehdä 57 000...73 000 € ja kolmen vuoden takaisinmaksuajalla 83 000...107 000 € investointi, kun korko on 6 %.





**Kuva 73: Karkaisualtaan poistoveden energia**

Viemäriin hukattava lämpömäärä on suuri, mutta sen hyödyntämistä vaikeuttavat merkittävästi seuraavat seikat:

- viemäriin johdettavan veden matala keskilämpötila – etenkin lämmityskaudella
- huippulämpötilat ovat matalia – aina alle 65 °C
- lämpötilan nosto ei ole mahdollista tuotannollisista ja laadullisista syistä (teräskappaleen lämpökäsittely epäonnistuu)
- lämpövirta ei ole jatkuvaa. Lämmintä vettä saadaan noin kerran vuorokaudessa keskimäärin 2 h 28 min ajan. Tällöinkin veden lämpötila ylittää 30 °C vain noin 1-2 tunnin ajan
- Altaan seinien sisäpuolelle ei voi asentaa lämmönvaihdinlaitteita koska ulkonevat osat rikkoutuvat teräskappaleiden upottamisen aikana.

Mikäli laitteita rakennetaan, joudutaan käytettävää altaan kokoa pienentämään suojarakenteiden vuoksi. On myös muistettava, että todellisen energiansäästön määrittäminen vaatii pitempiaikaisia ja tarkempia mittauksia.

Lämmön talteenottolaitteiston asentaminen ei tällä hetkellä ole kannattava toimenpide.

### 8.4.3 Karkaisualtaan kiertovesiputken T-liitoksen uusinta

Puhdistamo 2:ssa sijaitsevan suuremman karkaisualtaan kiertovesipumpun paineputkessa havaittiin energiaa tuhlaava T-liitos. Paineputki jakautuu kahteen linjaan ja jakokohta on toteutettu suoralla T-liitoksella, jolla on suuri painehäviö. Tämä johtuu liitostyyppin suuresta vastuskertoimesta  $\xi$ , jolle on esimerkkilaskussa käytetty arvoa 1,4 (Anon., Puhallintekninen käsikirja, 28). Eri kirjallisuuslähteissä vastuskertoimien arvot vaihtelevat runsaasti. Willi Bohl kirjassaan Teknillinen virtausoppi (s. 114) esittää liitostyypille vastuskertoimen arvoksi 1,3 ja Olli Seppänen (Rakennusten lämmitys, 141) ilmoittaa tyypilliseksi vastuskertoimeksi 3,0. Ero on 2,3-kertainen. Painehäviön laskemiseksi käytettiin kaavaa (47).

Laskennan yksinkertaistamiseksi oletettiin, että pumpun tuottama tilavuusvirta on ilmoitettu maksimivirta ( $0,2 \text{ m}^3/\text{s}$ ) ja että virtaus jakautuu haarakohdassa tasan molemmille linjoille. Päälinjan ulkohalkaisija on 273 mm jolloin laskennallinen virtausnopeus  $v$  on  $3,55 \text{ m/s}$ . Veden lämpötilaksi  $T$  valittiin  $31 \text{ }^\circ\text{C}$ , joka vastaa hyvin altaan veden pumppaustapahtuman keskimääräistä lämpötilaa (Kohta 8.4.2, taulukko 23). Tällöin veden tiheydeksi tulee  $995 \text{ kg/m}^3$  (Incropera & DeWitt 2002, 924).

T-liitoksen painehäviö on tällöin

$$\Delta p = 1,4 \cdot \frac{1}{2} \cdot 995 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot (3,55 \text{ m/s})^2 = 8778 \text{ Pa} \quad (55)$$

Laskennallinen teho

$$P_h = \Delta p \cdot q_v = 8778 \text{ Pa} \cdot 0,2 \text{ m}^3/\text{s} = 1756 \text{ W} \quad (56)$$

Oletetaan, että pumppauksen hyötysuhde  $\eta = 0,4$ . Tällöin vaadittava laskennallinen sähköteho on

$$P_s = \frac{P_h}{\eta} = \frac{1756 \text{ W}}{0,4} = 4390 \text{ W} \quad (57)$$

Mikäli liitos olisi ideaalinen – tässä tarkoitetaan myös käytännössä mahdollinen – eli Y-haara suorilla lähtöputkilla tai putkikäyrälähdöillä, saadaan vastuskertoimeksi  $\xi = 0,25$  (Bohl W. 1983, 115), joka on 5,6 kertaa pienempi kuin laskennassa käytetty arvo.

Tässä tapauksessa Y-liitoksen painehäviö samoilla oletuksilla olisi

$$\Delta p = 0,25 \cdot \frac{1}{2} \cdot 995 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot (3,55 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2 = 1567 \text{ Pa} \quad (58)$$

laskennallinen teho

$$P_h = 1567 \text{ Pa} \cdot 0,2 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 313 \text{ W} \quad (59)$$

ja laskennallinen vaadittava sähköteho

$$P_s = \frac{313 \text{ W}}{0,4} = 783 \text{ W} \quad (60)$$

Mikäli painelinjan T-liitos vaihdetaan Y-liitokseksi, on laskennallinen tehon kulutus 3,6 kW pienempi kuin nykytilanteessa. Laskennassa käytetyllä sähkön hinnalla 0,05 €/kWh ja vuotuisella käyttötuntimäärällä 700 h/a laskettuna vuotuinen säästö liitoksen vaihdolla on 2 520 kWh/a ja 126 €/a.

Liitteissä 5 ja 6 on laskettu kaksi tapausta kiertovesilinjasta. Liitteessä 5 on nykyinen tilanne ja liitteessä 6 on oletettu tilanne, jossa linjat on uusittu T-liitoksesta alkaen kokonaan. Laskennallisiin painehäviöihin ja tehonkulutuksiin on otettu huomioon vain paineputkilinjan ja ulosvirtaussuuttimien tuottamat häviöt.

Laskennallinen hydraulinen teho koko painelinjalle on nykytapauksessa 36 kW ja laskennallinen vaadittu sähköteho 89 kW. Muutettavassa putkilinjassa laskennallinen hydraulinen teho on 25 kW ja laskennallinen sähköteho 61 kW.

Laskennallinen sähkön säästö putkimuutoksella on

- nykyinen laskennallinen sähköteho	89 kW
- uuden linjan laskennallinen sähköteho	61 kW
- sähkön hinta keskimäärin	0,05 €/kWh
- vuotuinen käyttötuntimäärä	700 h/a
- nykyinen kulutus vuodessa	62 300 kWh/a
- nykyinen sähkökustannus vuodessa	3 117 €/a

- uuden linjan kulutus vuodessa	42 700 kWh/a
- uuden linjan sähkökustannus vuodessa	2 135 €/a
Säästö	19 600 kWh/a; 980 €/a

Tässä tapauksessa putkilinjan muutuskustannukset ovat niin suuret, että takaisinmaksuaika on hyvin pitkä. Pelkkä putkistomuutos ei ole kannattava.

Pumpun tehokkaaseen käyttöaikaan tulisi kiinnittää myös huomiota. Nykyisin käyttäjä ohjaa pumppua aikakytkimellä, joka käynnistää pumpun valituksi ajaksi. Aika valitaan siten, että se on karkaisun ajaksi riittävä. Käytännössä pumppu pyörii turhaan ennen karkaisutapahtumaa sekä sen jälkeen, jolloin sähköä kuluu turhaan.

Mikäli pumppuun tai putkilinjaan ei tehdä muutoksia ja oletetaan, että pumppu pyörii turhaan 30 minuuttia vuorokaudessa, saadaan vuotuisesti sähkönkulutukseksi ja energiakustannukseksi:

$$45w \times 5d \times 0,5h \times 90kW = 10125kWh / a \times 0,05€ / kWh \approx 500€ / a \quad (61)$$

#### 8.4.4 Puhdistamo 1 suodatinlaitoksen ohjaus

Puhdistamo 1:ssä on puhdistuskoppien poistoilma johdettu pääosin suodatinlaitokselle mutta osassa puhdistuskopeista on tehostuksena poistopuhaltimet katolle. Suodatinlaitoksen puhallinohjaus toimii siten, että täyden tehon saa päälle kopin seinässä olevasta kytkimestä 50 minuutiksi kerrallaan, jonka jälkeen laite pudottaa tehon puoleen. Käyttäjäkommenttien mukaan puoliteho ei riitä käryn poistoon vaan täysi teho on käytännössä aina käytössä.

Havaittiin myös se, että taukojen ajaksi puhaltimia ei useinkaan pysäytetä, vaan ne käyvät turhaan. Paras ja helpoin ratkaisu tähän on jatkuva käyttäjäkoulutus ja seuranta.

Suodatinlaitoksessa on kaksi erikseen ohjattavaa puhallinta, joiden sähkömoottorien nimellisteho on 110 kW.

Moottorien ottoteho mitattiin täydellä ja puolella teholla, jolloin saatiin seuraavat tulokset:

Ohjaus 100 % → tehonotto 95 kW/moottori

Ohjaus 50 % → tehonotto 15 kW/ moottori

Tehonkulutus on siten 6,3-kertainen ohjauksen ollessa täydellä teholla puolitehoon verrattuna. Mikäli käytettäisiin 85 % -ohjausta, olisi tehonkulutus oletettavasti noin 70 kW. Puhaltimen tuotto putoaisi myös jonkin verran, mutta tehonkulutus olisi 15 kW/moottori alhaisempi 100 % -ohjaukseen verrattuna. Puhdistamo 1:n vuotuinen käyttöaika on 4 000 tuntia. Oletetaan, että suodatinlaitos käy tästä ajasta 70 % täydellä teholla ja 30 % puolella teholla, saadaan vuotuinen sähkönkulutus ja laskennallinen säästö suodatinlaitokselle taulukon 24 mukaan.

**Taulukko 24: Puhdistamo 1 suodatinlaitoksen ohjaus**

	Ohjaus 100 %	Ohjaus 85 %	Ohjaus 50 %
Tehonotto koko laitos	190 kW	140 kW (oletus)	30 kW
Käyttösuhde	70 %	70 %	30 %
Sähkön kulutus (4000 h/a)	532 MWh/a	392 MWh/a	36 MWh/a
Nykytilanne	568 MWh/a		
Ohjaus 85 % / 50 %	428 MWh/a		
Laskennallinen säästö	Sähkö 50 €/MWh → 140 MWh/a = 7 000 €/a		

Puhdistamo 2:ssa on kahdessa puhdistuskopissa ohjaus joka estää poistopuhaltimen toiminnan, mikäli kopin katto on avoinna. Muissa on asennettu valmius kytkennälle mutta ohjausta ei vielä ole toteutettu. Käyttäjä saa kytkimestä täyden tehon puoleksi tunniksi kerrallaan, jonka jälkeen laite ohjautuu itse puoliteholle. Puhdistamo 2 suodatinlaitoksen tehonotto mitattiin kun ohjaus oli 100 %. Laitoksen tehonotto oli tällöin 51 kW.

#### 8.4.5 Pullakaavaamon täryttimen poistoilmanvaihdon tehostaminen

Rakennus 17:ssä olevan pullakaavauslinjan lopussa on täryasema, jossa kaavaushiekka tärytetään irti valusta. Tässä työpisteessä on ajoittain käytettävä myös kauko-ohjattua konevasaraa kovettuneen hiekan irrottamiseksi.

Koko toimenpide synnyttää runsaasti pölyä. Huoltoseisokin yhteydessä kohteeseen rakennettiin kiinteä huuva, jolla pyritään estämään pölyn leviäminen. Mikäli ratkaisua on vielä tarpeen tehostaa, voidaan kohteeseen asentaa puhallusilmasuuttimet kuten kehäkaavaamon täryttimellä. Samalla kannattaa kiinnittää huomiota myös imuputken imuaukon muotoon.

Imuaukon ilman virtausnopeus pienenee noin kymmenesosaan jo putkihalkaisijan etäisyydellä aukosta, eli tässä tapauksessa imuvaikutus on noin 0,5 metriä, kun taas tuloilmasuihkun vaikutus on jopa 30...60 kertaa suurempi kuin poistoilman imun (Seppänen & Seppänen 1997, 194). Putken suukappaleen muodosta johtuen suukappaleen vastuskerroin  $\zeta = 0,5$ , kun putkessa jonka suuosan reunat on pyöristetty putkihalkaisijan säteellä, vastuskerroin  $\zeta$  on vain 0,05 (Anon., Puhallintekninen käsikirja, 25). Laskennallinen ilman virtausvastus on suukappaleessa siten jopa kymmenkertainen ideaalitalanteeseen nähden.

Suukappaleen vaikutus energiankulutukseen voidaan laskea seuraavasti: Arvioidaan halkaisijaltaan 500 mm poistoputken tilavuusvirraksi  $q_v = 5 \text{ m}^3/\text{s}$ , suukappaleen vastuskertoimeksi  $\zeta=0,5$ , ilman tiheydeksi  $\rho = 1,2 \text{ kg/m}^3$  ja puhaltimen hyötysuhteeksi  $\eta = 40 \%$ ; (kaavat 47, 48, 49, 53, 56 ja 57). Arvioitu vuotuinen käyttöaika on 700 h.

Saadaan, että suukappaleen painehäviö on 195 Pa, tehohäviö on 975 W, vaadittava sähköteho on 2,4 kW ja vuotuinen energiankulutus on 1 680 kWh/a sekä energiakustannus 84 €/a.

Kustannus on erittäin pieni verrattuna moniin muihin kohteisiin, mutta tämän esimerkin tarkoituksena on myös kiinnittää huomiota yksityiskohtiin. Kun vastaavia kohteita löytyy tehdasalueelta helposti 50 kappaletta, on energiakustannus tuolloin sulaton käyttötunneilla jo yli 30 000 €/a.

## 8.5 Muut toimenpide-ehdotukset

### 8.5.1 Romun esilämmitys

Romun esilämmitystä on tutkittu eri puolilla maailmaa. On toteutettu erilaisia ratkaisuja, joista yksi mainittiin edellisen analyysin raportissa. MLS:n nykyisiin tiloihin ei ole mahdollista rakentaa mitään rumpu-uunia, eikä juuri mitään muitakaan kookkaita rakenteita. Kyseinen investointi on myös hyvin kallis.

Kylmä, profiilipeltirakenteinen raaka-ainevarasto on helpoimmin sovellettavissa toteutukseen. Raaka-aineeksi tuleva lajiteltu romu varastoidaan romulaareihin, kuva 74, lastataan panoskoreihin ja kuljetetaan sulattoon, kuva 75.



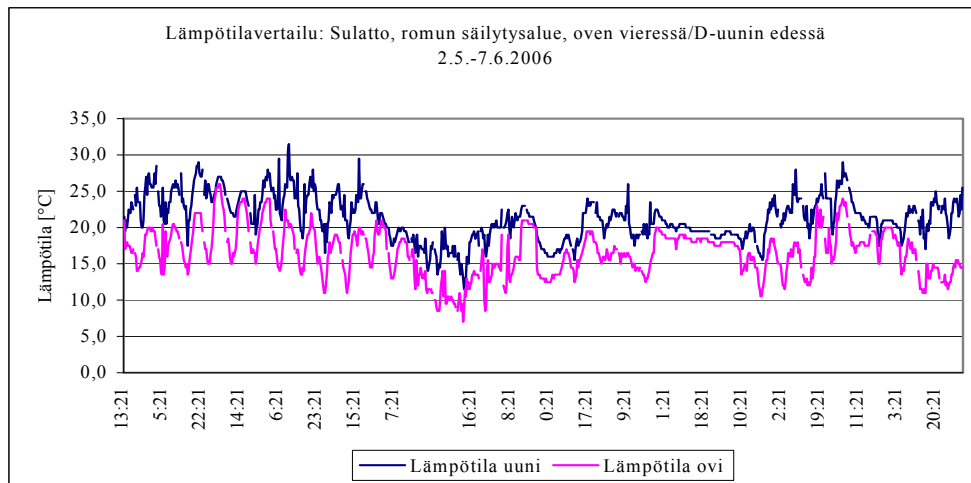
**Kuva 74: Varaston romulaareja**



**Kuva 75: Panoskorit sulatossa**

Sulatushalliin tuodun romun annetaan kuivua hallin käytävällä uunien edessä, kuva 75. Romun lämmitys tapahtuu hallin sisälämmön sekä uunien säteilylämmön avulla. Mitään erillistä lämmitystä ei käytetä.

Touko-kesäkuussa 2006 mitattiin ilman lämpötiloja kuvan 75 mukaisessa panoskorien säilytyspaikassa. Mittauspisteet olivat seinän vieressä noin 150 cm lattiatason yläpuolella. Ensimmäinen piste oli ulko-oven läheisyydessä noin 6 metriä ovesta ja toinen D-uunia vastapäätä. Mittaustulokset on esitetty kuvassa 76. Lämpötilaero kohteiden välillä on ollut noin 1...10 °C. Lämpötila panoskorien säilytysalueella on ollut noin 7...30 °C.



**Kuva 76: Sulaton panoskorien säilytysalueen lämpöiloja**

Mittausten perusteella voidaan todeta, että panoskorien säilytysalueen lämpötila ei talvikaudella riitä romun seassa olevan jään sulatukseen, kondensaatioveden poistumiseen eikä veden haihtumiseen täydellisesti.

Teräsromu on rakenteeltaan hyvin epähomogeenista, joten talviaikaan romun joukkoon päässyt vesi tai lumi jäätyy helposti koloihin ja jää sinne uunin panostusvaiheeseen saakka. Terässulaan joutuva vesi aiheuttaa räjähdysmäisen reaktion ja on selvä turvallisuusriski. Kun romua lämmitetään riittävästi, pienentää se uunien energiankulutusta. Kirjallisuudessa on mainittu, että laskelmien mukaan 100 °C panostuslämpötilan nosto säästäisi sähköä noin 2,5 % (Tiilikka P. 1982, 10). Kokonaisenergiankulutuksen kannalta on tietysti tärkeää, miten romua esilämmitetään. Sulatossa tarkoitukseen sopivaa hukkalämpöä syntyy runsaasti.

Romun siirto uuniin tulisi tapahtua mahdollisimman nopeasti lämmityksen jälkeen jotta lämmityksestä saataisiin paras hyöty. Koska romun siirto uuneihin tapahtuu pääosin panoskorien avulla, kannattaa romu lämmittää koreissa. Toki korien lämmitykseen hukataan tällöin energiaa, mutta silloin myös selvittää mahdollisimman vähillä rakenteellisilla muutoksilla. Panoskoritelineet, kuva 77, siirretään eristettyyn lämmitystilaan, josta ne voidaan esilämmitysjakson jälkeen siirtää sulattoon. Lämmitettävä ja eristettävä tila voidaan varata romuhallin sisältä, jolloin romun siirtely tehdasalueella ei lisääny.



Lämmityksessä hyödynnetään viereisen suodatinlaitoksen hukkaenergiaa, jonka avulla lämpötilaa ei saada nostettua kovin korkeaksi, mutta kuivatukseen se soveltuu hyvin.



**Kuva 77: Panoskoritelineitä**

Eräs mahdollisuus romun esilämmityksen järjestämiseksi on toteuttaa ”lämmityskeskus” sulattohalliin. Laajennusosa 24 sulattohallin eteläpäädyssä toimii nykyisin lähinnä varastona. Tilaan sijoitetaan romun esilämmityspiste, joka saa tarvittavan lämpöenergian senkan esilämmityspolttimien palokaasuista. Lämmitetty ja kuivatettu romu siirretään mieluiten sulaton sisällä kattonosturin avulla uuneille, jolloin pienikokoisen romun putoaminen on estettävä, tai se kuljetetaan ulkokautta, jolloin etenkin talvikaudella osa lämmityksen hyödystä menetetään.

Senkkojen esilämmitysasemien hukkalämmön talteenotosta on kerrottu kohdassa 8.3., jossa on laskennallisesti todettu että hyödynnettävä energiamäärä on nykyisin noin 7 700 MWh/a ja tästä LTO:lla hyödynnettävä osuus noin 2 200 MWh/a.

Esilämmityspolttimien palokaasut voidaan kerätä ja siirtää suoraan puhaltimilla romun lämmitykseen, tai lämpö voidaan siirtää lämmönvaihtimien avulla. Edellisessä vaihtoehdossa on parempi hyötysuhde suoran lämmönsiirron ansiosta, mutta palokaasujen kosteus kondensoituu romuun. Jälkimmäisessä taas etuna on kosteuden puuttuminen, mutta hyötysuhde on heikompi.

Myös lämpökäsittelyuunien hukkalämpöä olisi periaatteessa mahdollista käyttää romun esilämmitykseen lataamalla panoskorit uuniin lämpökäsittelyjen välillä.

Käytännön toteutus ei ilmeisesti ole kannattava: romun siirtelyä tehdasalueella on vältettävä turhan liikenteen ja alueen likaantumisen vuoksi, lämpökäsittelyuunin pohja kärsii irtoromusta ja yleensäkin ylimääräistä työtä vaativa siirtely lisääntyisi.

Ilman lisälämmittämiä – mikä on romun esilämmityksen edellytys tässä tapauksessa – lämmitykseen on olemassa neljä mahdollisuutta:

1. sulaton suodatinlaitoksen savukaasut
  - + uunien lämmön hyödyntäminen
  - + lyhyt lämmönsiirtomatka
  - suuret rakenteelliset muutokset suodatinlaitokseen
  - suodatinlaitoksen energiankulutuksen kasvu
  - poistoilman matala lämpötila
2. senkkojen ja konvertterin esilämmityskaasut
  - + hukkaenergian hyödyntäminen
  - + palokaasujen korkea lämpötila
  - + lyhyt siirtomatka jos lähivarasto muutetaan lämmityspisteeksi
  - lämmön talteen ottaminen ja siirto joissakin ratkaisuissa
  - palokaasujen sisältämä kosteus suorassa siirrossa
3. höyrykattilan ja –ejektorien hukkalämpö
  - + hukkaenergian hyödyntäminen
  - + melko korkea lämpötila
  - lämmön talteen ottaminen ja siirto
4. sulattohallin sisäkatto-osan yلیلämpö
  - yلیلämmön talteenotto on mahdollista eri kohdista sulattohallia jolloin hyvät ja huonot puolet vaihtuvat kohdan mukaan. Tasaisin lämmön talteenotto saadaan koko sisäkaton alueelta.

#### 8.5.2 Kylmäkoneiden putkistojen eristeiden uusinta

Katoille sijoitettujen kylmäkoneiden jäähdytysaineputkistojen eristeet ovat huonossa kunnossa, kuva 43 sivulla 50. Eristeiden puuttuminen huonontaa kylmäkoneiden hyötysuhdetta ja lisää niiden energiankulutusta. Rikkonaiset tai puuttuvat eristeet on korjattava.

Lintujen on havaittu nokkineen nykyisiä pehmeitä ja auringonvalon haurastuttamia eristeitä, joten eristeet on suojattava mekaanista kulutusta ja UV-säteilyä kestäväällä suojalla.

#### 8.5.3 Tyhjöjärjestelmätutkimus

Konvertterin tyhjöjärjestelmälle on suositeltavaa tehdä tutkimus jossa kartoitetaan järjestelmä ja sen toimivuus, tehokkuus sekä vesirengaspumpun kunto. Vesirengaspumpun kunto olisi hyvä tutkia mittaamalla pumpun kunto ennen huoltoa sekä sen jälkeen. Tutkimuksen ja mittauksen voi tehdä esimerkiksi Ecopump Oy, joka on erikoistunut prosessiteollisuuden tyhjöjärjestelmiin ja vedenpoistomittauksiin. Tarkempia tietoja on lupautunut antamaan CEO, ins. Juha Karvinen (puhelin 0400 559 908, sähköposti: [juha.karvinen@ecopump.fi](mailto:juha.karvinen@ecopump.fi)).

#### 8.5.4 Kulkutien suojaaminen sulattohallissa

Sulattohallin eteläpäästä johtaa hallin muihin osiin suojaamaton kulkutie senkkojen säilytysalueen vieritse. Koska henkilöstö ja vierailijat pääsevät liikkumaan aivan kuumien senkkojen vierellä, on siinä selvä työturvallisuusriski.

Lämpökamerakuvassa 58 sivulla 70 näkyy mainitussa kohteessa senkka, jonka pintalämpötila on 362 °C. Vaaratilanne seuraa jos henkilön kulkiessa tällä alueella hänen huomionsa kiinnittyy hetkeksi muualle ja tämän seurauksena horjahtaa tai kompastuu kuumien senkkojen vierellä ja ottaa tukea senkkojen pinnasta, jolloin kuuma teräspinta aiheuttaa välittömän palovamman. Tapahtuma olisi hyvin ikävä paitsi omalle henkilöstölle, erityisesti vierailijoille joilla ei ole suojavarusteita.

Senkan säilytysalue on eristettävä kulkutiestä avattavalla suojakaiteella, joka estää henkilöiden tahattoman kosketuksen kuumiin senkkoihin.

Toimenpide ei tuo energiansäästöä, mutta estäessään työtaturman MLS voi välttyä tapaturman aiheuttamilta poissaoloilta ja korvauksilta.

#### 8.5.5 Oviaukkojen ajoluiskien sulana pito

Teräsvalimon rakennuksissa on useita suuria oviaukkoja, joita käytetään ympäri vuoden.

Hukkalämpöä on mahdollista käyttää myös ajoluiskien sulana pitoon talvisin, jolloin liukkauden aiheuttamat työturvallisuusriskit pienenevät, vähennetään hiekoituksen ja suolauksen sekä rakennusten sisään kulkeutuvan lumen ja jään aiheuttamia haittoja. Samalla sijoituksen kannalta ongelmallinen ja kustannuksia tuottava lumen siirto ja kuljetus vähenee.

Ajoluiskien lämmittäminen ei sinänsä vähennä energiankulutusta millään tavalla, sillä lämpö pääsee säteilemään maahan ja ilmaan. Tällöin kuitenkin osa hukkalämmöstä saataisiin hyödynnettyä tehtaan alueella, eikä sitä tarvitsisi johtaa suoraan Pyhäjärveen tai ilmakehään. Toimintatapa kannattaa ottaa harkintaan kuitenkin vasta sen jälkeen, kun hukkaenergia on hyödynnetty rakennusten lämmityksessä ja ilmanvaihdossa.

#### 8.5.6 Tuloilmakoneiden lämmönvaihtimien pesu

Lämmönvaihdinten likaantuminen heikentää niiden hyötysuhdetta. Tämä kasvattaa kaukolämpöveden kulutusta, sillä likaantuneen lämmönvaihtimen läpi on virrattava jatkuvasti enemmän ja kuumempaa vettä riittävän lämmitysvaikutuksen saavuttamiseksi. Likaantuneet lämmönvaihtimet on pestävä. Pesun toteutus on useassa kohteessa vaikeaa, ja pahoin likaantuneet lämmönvaihtimet eivät puhdistu pelkällä vedellä. Pesumahdollisuuksia on parannettava tuomalla paineilman syöttö, vesipiste, viemäriiliityntä ja sähkönsyöttö tuloilmakoneiden läheisyyteen.

#### 8.5.7 Tuloilmakoneiden suodatinvaihtojen ja -luokituksen seuranta

Tuloilmakoneissa käytettävien suodatinten suodatusluokka on nykyisin suurelta osin valittu huoltohenkilöstön ammattitaidon mukaan. Koneiden suodatinvaatimuksia ei ole tiedossa, paitsi uusilla koneilla.

Väärien suodattimien käyttö aiheuttaa lisääntyntä energiankulutusta kahdella tavalla:

- 1) liian harva suodatin päästää liikaa hiukkasia lävitseen, jolloin lämmönvaihtimet likaantuvat. Suodatinten vaihtoväli on pitkä, jolloin suodatinkustannukset putoavat.
- 2) liian tiheä suodatin tukkeutuu nopeasti, jolloin puhallinten tehonkulutus kasvaa ja ilmanvaihto heikkenee. Suodatinten vaihtoväli on huomattavan lyhyt, jolloin suodatinkustannukset kasvavat.

Suodatinten laskennallinen vaihtoväli voidaan selvittää seuraavalla kaavalla:

$$t = \frac{C \cdot A}{q_v \cdot N \cdot A_m} \quad (\text{Seppänen O. 1994, 272}) \quad (62)$$

missä

$t$  = suodattimien käyttöikä [h]

$C$  = suodatinmateriaalin pölynsitomiskyky [ $\text{g}/\text{m}^2$ ]

$q_v$  = suodatettava ilmavirta [ $\text{m}^3/\text{h}$ ]

$N$  = pölypitoisuus [ $\text{g}/\text{m}^3$ ]

$A_m$  = keskimääräinen punnituserotusaste

$A$  = suodatinmateriaalin tehollinen pinta-ala [ $\text{m}^2$ ].

Mikäli kaavaa halutaan käyttää, on ilman pölypitoisuus selvitettävä. Ongelmana on, että pölypitoisuus vaihtelee voimakkaasti. Tähän vaikuttavat prosessin toiminta, ovien ja luukkujen auki pito, suodatinlaitosten toiminta sekä ilman virtaukset tehdasalueella. Sopivien suodatinten puhallinkohtainen valinta olisi tehtävä suunnitellusti suodatintoimittajan, ilmanvaihtosuunnittelijan, huolto- ja kunnossapitohenkilöiden kesken. Hyötynä ovat alhaisemmat huolto- käyttö- ja energiakustannukset ilmanvaihtokoneiden osalta.

## 9. POHDINTA

Valimotekniikka on perusteiltaan vanhaa, mikä Tampereella ilmenee jo vuodelta 1916 olevasta sulaton päärakennuksesta. Pitkä toiminta-aika on synnyttänyt periytyviä käytäntöjä ja tapoja joita ei ole kovin helppo muuttaa. Tämä hidastaa energiateknistä kehitystä, sillä vuosikymmenien kuluessa siihen ei ole tarvinnut juurikaan kiinnittää huomiota ja uudet toimintatavat sekä käytännöt aiheuttavat epävarmuutta.

Energiansäästömahdollisuudet ja -ratkaisut tulee nähdä myös pyrkimyksenä työolosuhteiden kehittämiseen, sillä ne liittyvät läheisesti toisiinsa. Työolosuhteiden kehittyminen parantaa henkilöstön motivaatiota ja työtyytyväisyyttä, jolla puolestaan on myönteinen vaikutus tuotantoon ja poissaoloihin.

Tässä työssä energiansäästötoimenpiteiden kannattavuus on pyritty osoittamaan suoranaisena hyötynä – mitattavina lukuina – sillä mainittu sidosvaikutus on todettavissa pitkän ajan kuluessa, eikä ole yhtä helposti osoitettavissa toteutettuihin toimenpiteisiin.

Mittaustulokset aiempiin tutkimuksiin ovat harvoin yhteneviä, kun ne tehdään eri aikaan, eri laitteistolla, eri kohdista ja vieläpä eri mittajaan tekeminä. Näistä aiheutuu yleensä huomattavia eroavuuksia. Joitakin energijakoja on myös tehty toisin kuin edellisessä analyysissä. Esimerkiksi energiatasekaaviossa ilmanvaihdon, sulaton suodatinlaitoksen, johtumisen ja vuotoilman keskinäisiä painotuksia on tehty toisin. Tällä kertaa on pyritty kiinnittämään enemmän huomiota vuotoilmaan ja suodatinlaitokseen. Näin on haluttu eritellä selkeämmin häviökohteita sen sijaan että yleistettäisiin mahdollisimman suuri osa vain ilmanvaihdon häviöiksi.

On myös todettava, että MLS on tutkimusten välisenä aikana tehnyt toimenpiteitä, jotka ovat pienentäneet laitoksen energiankulutusta, joten siltäkin osin on eroavuuksia edelliseen analyysiin verrattuna tullut.

## 10. JOHTOPÄÄTÖKSET

Tutkimuksessa selvitettiin viisi selkeintä energiansäästökohdetta jotka ovat todennäköisesti parhaiten hyödynnettävissä ja toteutettavissa. Niiden lisäksi otettiin tarkasteluun kahdeksan muuta energiansäästökohdetta ja seitsemän muuta toimenpide-ehdotusta. Esille tuotujen säästökohteiden laskelmat on tehty maltillisesti eikä kaikkiin mahdollisiin kohteisiin ollut mahdollisuutta keskittyä, joten todellista säästöpotentiaalia on varmasti enemmänkin.

Laskennalliset energiansäästömahdollisuudet näistä kohteista ovat yhteensä 299 000...355 000 €/a, josta 220 000...268 000 €/a eli noin 75 % saadaan viidestä tärkeimmästä säästökohteesta. Tärkeimmäksi kohteeksi valitun sulaton suodatinlaitoksen osuus on 46 %. Viiden tärkeimmän kohteen todellinen hyödynnettävä energia on laskennallisesti 18 400...23 000 MWh/a ja LTO-hyötysuhteet huomioon ottaen noin 7 400...8 900 MWh/a.

Laskennallinen energiansäästöpotentiaali on tutkimuksessa noin 15 % koko energiankulutuksesta, kun edellisen analyysin säästöpotentiaali oli 20 %. Energiankulutus on pienentynyt kuluneiden kuuden vuoden aikana siten, että tässä tutkimuksessa saadut laskennalliset säästöt ovat noin 3 375 MWh/a pienemmät kuin edellisessä.

Todelliset energiansäästöt ovat kuitenkin riippuvaisia toteutuksesta ja sen käytännön toimivuudesta. Kannattaa muistaa, että jokainen toteutettu energiansäästötoimenpide on sekä ympäristöteko että vaikuttaa suoraan yhtiön tulokseen.

## LÄHTEET

Anon. Puhallintekninen käsikirja. ABB Fläkt Oy. 94 s.

Anon., 2000. Teräskirja. Metallinjalostajat ry, Helsinki. ISBN 951-817-732-5. 76 s.

Anon., 2006. Toimintakertomus vuodelta 2005, Tampereen Sähkölaitos [verkkolehti]  
Saatavissa: [http://www.tampere.fi/ekstrat/sahkolaitos/sl\\_toimkertomus2005/12.html](http://www.tampere.fi/ekstrat/sahkolaitos/sl_toimkertomus2005/12.html).  
[Viitattu 25.9.2006].

Bohl, W. Alkuperäisteoksesta Willi Bohl/Strömungslehre (5.painos 1982)  
suomentanut Matti Krannila 1983. Teknillinen virtausoppi. Oy Sonator Ab, Tampere.  
Gummerus Oy kirjapaino, Jyväskylä 1984. ISBN 951-9405-28-3. 269 s.

EKONO Oy Helsinki. Selvitys J3-23010-09 KTM, energiaosasto 3.5.1984.  
Kiinteiden kuumien massamaisten materiaalien jäähdytyksessä vapautuvan  
lämpöenergian talteenotto ja hyväksikäyttö. Raportti. 62 s.

Elert, G. The Physics Factbook. [educational website, dated 11.6.2006].  
Saatavissa: <http://hypertextbook.com/facts/2003/JuliyaFisher.shtml>.  
[Viitattu 17.6.2006]

ESTEP, European Steel Technology Platform. March 2006. From a Strategic  
Research Agenda to Implementation – A vision for the future of the steel sector.  
ISBN 92-79-01283-5. 116 s.

European Commission, Directorate General JRC, Institute for Prospective  
Technological Studies, Sevilla. Technologies for Sustainable Development.  
European IPPC Bureau: Integrated Pollution Prevention and Control. Draft  
Reference Document on Best Available Techniques in the Smitheries and Foundries  
Industry. Draft January 2004 [e-document]. Saatavissa: [http://eippcb.jrc.es/cgi-bin/locatemr?isp\\_bref\\_1201.pdf](http://eippcb.jrc.es/cgi-bin/locatemr?isp_bref_1201.pdf). [Viitattu 17.5.2006]



Helle, L.; Antola, O.; Jurvelin, A. 1990. Ovako Steel Oy Ab Imatran Terästehdas. Energian käyttö valokaariuuniprosessissa. Loppuraportti 7562/90/OVAKO, 158/881/86/KTM. 48 s.

Incropera, Frank P.; DeWitt, David P. 2002. Fundamentals of Heat and Mass Transfer – 5<sup>th</sup> ed. ISBN 0-471-38650-2. 981 s.

KTM Energiaosasto. Kauppa- ja Teollisuusministeriö 75/881/82 Loppuraportti 19.10.1984. Teräsvalimon tuotantohallien lämmittäminen uunien savukaasuilla. 33 s.

Lumme, A; Tapola, M. 1999. Insinööritoimisto AX-LVI Oy. Motiva-energiakatselmusraportti, teollisuuden energia-analyysi Nordberg-Lokomo Oy Lokomo Steels.

Motiva Oy, 31.7.2003. Teollisuussektorin energiakatselmusten ohjeistus

[verkkajulkaisu]. Saatavissa:

[http://www.motiva.fi/attachment/f16d4d543f99d7a59f54560a69063a0e/2f1d2ef239b7f426c687f5d1f88d9534/Teol\\_+KATohjeet+ja+mallisis%C3%A4llysluet\\_310703.pdf](http://www.motiva.fi/attachment/f16d4d543f99d7a59f54560a69063a0e/2f1d2ef239b7f426c687f5d1f88d9534/Teol_+KATohjeet+ja+mallisis%C3%A4llysluet_310703.pdf). [Viitattu 1.3.2006], 10 s.

Motiva Oy, 2005. Rakennuksen energiankulutuksen seuranta [verkkajulkaisu].

[http://www.motiva.fi/attachment/f16d4d543f99d7a59f54560a69063a0e/72f15f659ceb23de238a49f0ce9e2484/Lammitystarve\\_2005\\_0607\\_high.pdf](http://www.motiva.fi/attachment/f16d4d543f99d7a59f54560a69063a0e/72f15f659ceb23de238a49f0ce9e2484/Lammitystarve_2005_0607_high.pdf). [Viitattu 26.9.2006], 2 s.

Pöntinen, H. et al. 1990. Senkkametallurgia. INSKO Julkaisu 97-90. Copy-Set Oy.

Sarkomaa, P. 1994. Teollisuuden energiankulutus ja tehokas energian käyttö. Tutkimusraportti B-93. Lappeenrannan teknillinen korkeakoulu, Energiatekniikan osasto. ISBN 951-763-917-1. ISSN 0787-0043. 35 s.

Sarkomaa, P. 1994. Teollisuuden energian säästöprosessien kustannusarviot ja investoinnin kannattavuus. Tutkimusraportti B-92. Lappeenrannan teknillinen korkeakoulu, Energiatekniikan osasto. ISBN 951-763-907-4. ISSN 0787-0043. 24 s.

Seppänen, O. 2001. Rakennusten lämmitys. Suomen LVI-liitto ry, Helsinki. Gummerus kirjapaino Oy Jyväskylä. ISBN 951-98811-0-7. 443 s.

Seppänen, O. 1994. Ilmastointitekniikka ja sisäilmasto. Suomen LVI-yhdistysten liitto ry. Kirjapaino Kiitorata Oy, Vantaa. ISBN 951-96098-0-6. 347 s.

Seppänen, O.; Seppänen M. 1997. Rakennusten sisäilmasto ja LVI-tekniikka. Sisäilmayhdistys ry. Gummerus Kirjapaino Oy, Jyväskylä. ISBN 951-97186-5-6. 279 s.

Sirén, K. 1995. Ilmastointitekniikan mittaukset. Tietonova Oy. Cosmoprint Oy Helsinki. ISBN 951-22-2421-6. 269 s.

Suomi, U.; Väisänen, H.; Salonen, S. 2001. Energiakatselmustoiminnan tilannekatsaus 2000. Motiva Oy, Helsinki. ISBN 952-5304-12-4. ISSN 1456-4483. 70 s.

Tiilikka, P. 1982. Romun esilämmitys valokaariuunin savukaasuilla. Ovako Oy Dalsbruk, Taalintehdas. 14 s.

Virtanen, P. 7. ja 8.9.2006. Sähköpostikeskustelu. Päämetallurgi, TkT, Metso Lokomo Steels Oy.

Ympäristöministeriö 20.1.1984. Suomen rakentamismääräyskokoelma D5: Rakennusten lämmityksen tehon- ja energiantarpeen laskenta. Ohjeet 1985. 14 s.

<b>Energiankulutustilasto Metso Lokomo Steels 2001...2005</b>															
	<b>2001</b>			<b>2002</b>			<b>2003</b>			<b>2004</b>			<b>2005</b>		
	MWh	€/a	€/MWh	MWh	€/a	€/MWh	MWh	€/a	€/MWh	MWh	€/a	€/MWh	MWh	€/a	€/MWh
Sähkö päämittari	27750	926208	33,38	27704	1199145	43,28	28776	1618797	56,26	31427	1551482	49,37	30527	1469151	48,13
Sähkö pumppaamo	405	24677	60,93	615	27576	44,84	607	36499	60,13	627	31581	50,37	649	32616	50,26
Sähkö yhteensä	28155	950885	33,77	28319	1226721	43,32	29383	1655296	56,34	32054	1583063	49,39	31176	1501767	48,17
Kaukolämpö	10487	270658	25,81	11898	312788	26,29	12405	325242	26,22	13333	349956	26,25	13681	389924	28,50
Maakaasu	18444	409823	22,22	19044	445861	23,41	11634	316302	27,19	8858	260165	29,37	13847	363788	26,27
Propani	120	3480	29,00	103	3052	29,63	84	2489	29,63	131	3887	29,67	111	3763	33,90
<b>Energiat yht.[MWh]</b>	57206			59364			53506			54376			58815		
<b>Tuotanto [t]</b>	10968			10494			10280			11295			10489		
<b>Energiakust [€]</b>	1634846			1988422			2299329			2197071			2259242		
<b>Ominaiskulutus [MWh/t]</b>	5,22			5,66			5,20			4,81			5,61		
<b>Ominaiskustannus [€/t]</b>	149,06			189,48			223,67			194,52			215,39		

## Muuntajien ja alamuuntajien tunnuksset, kohteet ja kulutus vuonna 2005

Tunnus	Alatunnus	Kohde	Kulutus [MWh]
A		Terästehdas, sulatto alamuuntaja	3 609,0
	A6	KJ-induktiouuni E	249,4
	A8	Kaavaamo A8	163,7
	A13	Valokaariuuni A	59,7
	A14	Valokaariuuni D	43,9
	A15	Lämmitystolpat (40% terästehdas)	58,5
	A19	Kaavaamo A19	332,1
	A21	Suodatinlaitos sulatto A21	837,1
	A22	Suodatinlaitos sulatto A22	772,1
B		Murskainverstas	1 511,6
C		Mobile	1 128,0
E		Mobile	1 648,8
G		Terästehdas puhdistamo alamuuntaja	3 660,5
	G1	Kaavaamo G1	59,5
	G3	Kaavaamo G3	41,5
	G4	Kaavaamo G4	0,2
	G6	Kaavaamo G6	284,4
	G9	Kaavaamo G9	98,9
	G12	Kaavaamo G12	48,6
	G15	Kaavaamo 50%, puhdistamo 50%	892,6
	G17	Kaavaamo G17	197,3
	G19	Kaavaamo 50%, puhdistamo 50%	106,8
H		Paineilma-asema, terästehdas 56%	593,5
I		Puhdistamo-maalaamo-l-käs.uuni	1 585,8
	I6	Komponenttimaalaamo	34,1
	I8	Lämpökäsittelyuuni 8	439,9
K		Puhdistamo alamuuntaja	3 179,0
	K4	Laboratorio	52,3
	K7	Sulatto K7	31,2
	K8	Paineilmakompressori	505,7
	K11	Kaavaamo K11	154,6
	K13	Sulatto K13	220,3
	K14	Kaavaamo K14	671,8
	K17	Paineilmakompressori	894,2
	K20	Laboratorio	98,3
	K21	Kaavaamo K21	2,4

<b>Tunnus</b>	<b>Alatunnus</b>	<b>Kohde</b>	<b>Kulutus [MWh]</b>
L		Lämpökäsittelyuuni 3	732,3
M		Lämpökäsittelyuuni 1	564,6
N		Lämpökäsittelyuuni 6	754,0
O		Lämpökäsittelyuuni 7	858,4
R		Lämpökäsittelyuuni 2	2 661,5
Uuni A		Valokaariuuni A	4 647,3
Uuni D		Valokaariuuni D	4 846,8
Uuni KJ		Keskijaksoinduktiouuni E	248,7
<b>Yhteensä</b>			<b>32 229,5</b>

1. Paineilmajärjestelmä – havainnot
2. Ilmankulutus ja teho sekä suhteellinen teho.
3. Painetasot
4. Käytettävyys
5. Kehittäminen ja jatkotoimenpiteet

LIITE 1.PAINEASETUS

LIITE 2. VK10/06 KULUTUS JA TEHO

LIITE 3. TARKASTUKSET

LIITE 4. HUOLLOT

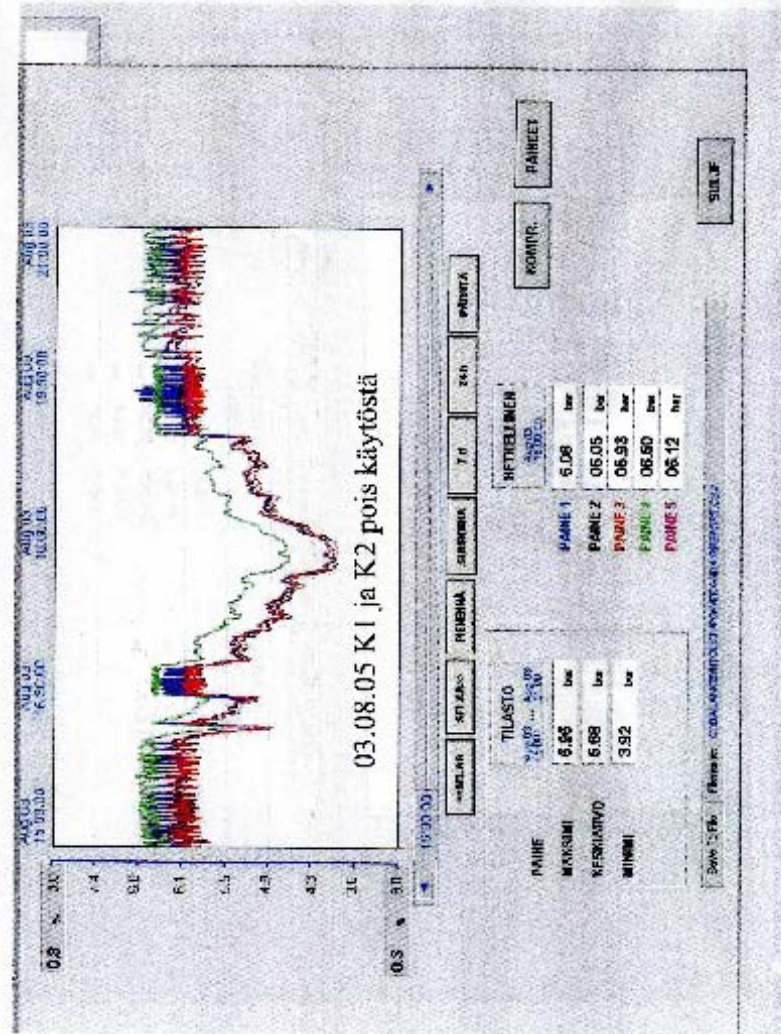
## 1. HAVAINTOJA

- K2 ”ei käynnisty” hälytellyt paljon. Takaiskuventtiilit vaihdettu toukokuussa 05. Imuventtiilihuolto lokakuussa 05. Venttiileitä uusittu huollossa helmikuussa 06.
- Ruuviaseman kuivari rikki toukokuussa 05. Uusi hankittu lokakuussa 05.
- Alle 5 bar painetason alituksia kolmesti, ks. sivut 3-5.
- Kastepisteet ovat heikot > +5C. Kastepisteanturi ruuviasemalla rikki tammikuusta 06. ks. sivu 6.
- Balance PC pois päältä kaksi kertaa seurantajakson aikana. Käytettävyys 97.97% on alle takuuarvon , vuokran alennus 9.66%.
- Historiatiedot puuttuvat 18.4.-14.6.05, koska PC kovalevy hajosi.



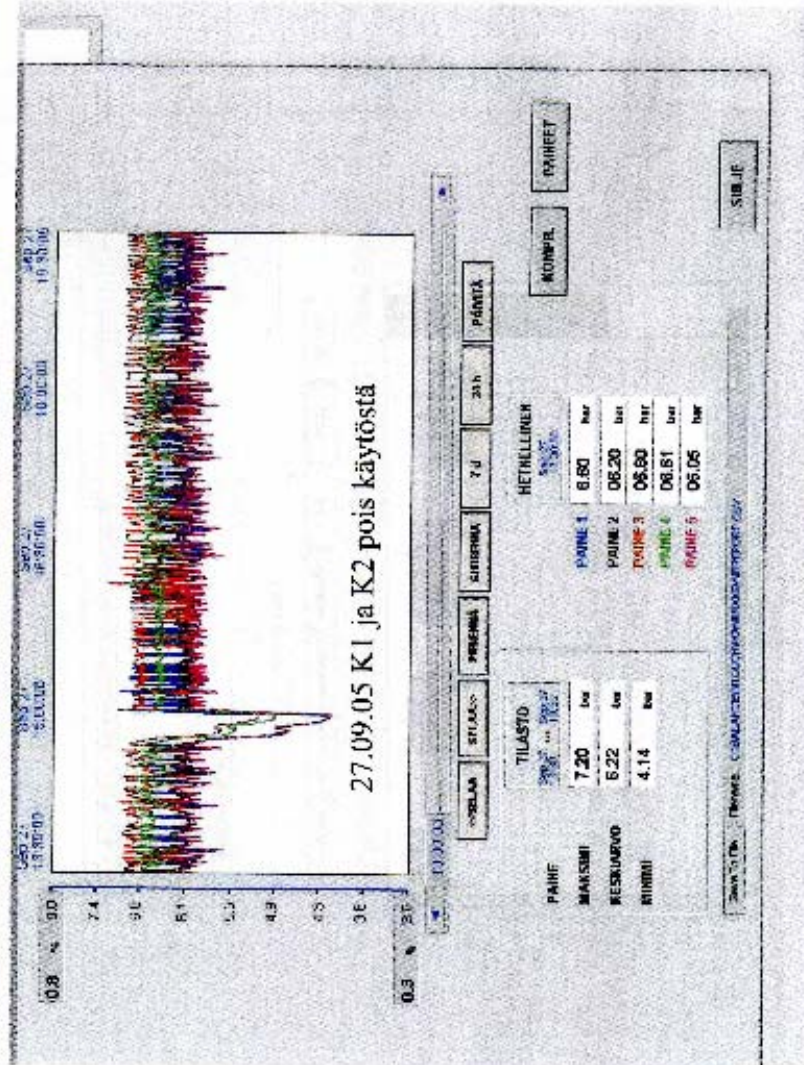
**PAINELMARAPORTTI**  
04/2005 – 03/2006

METSO LOKOMO





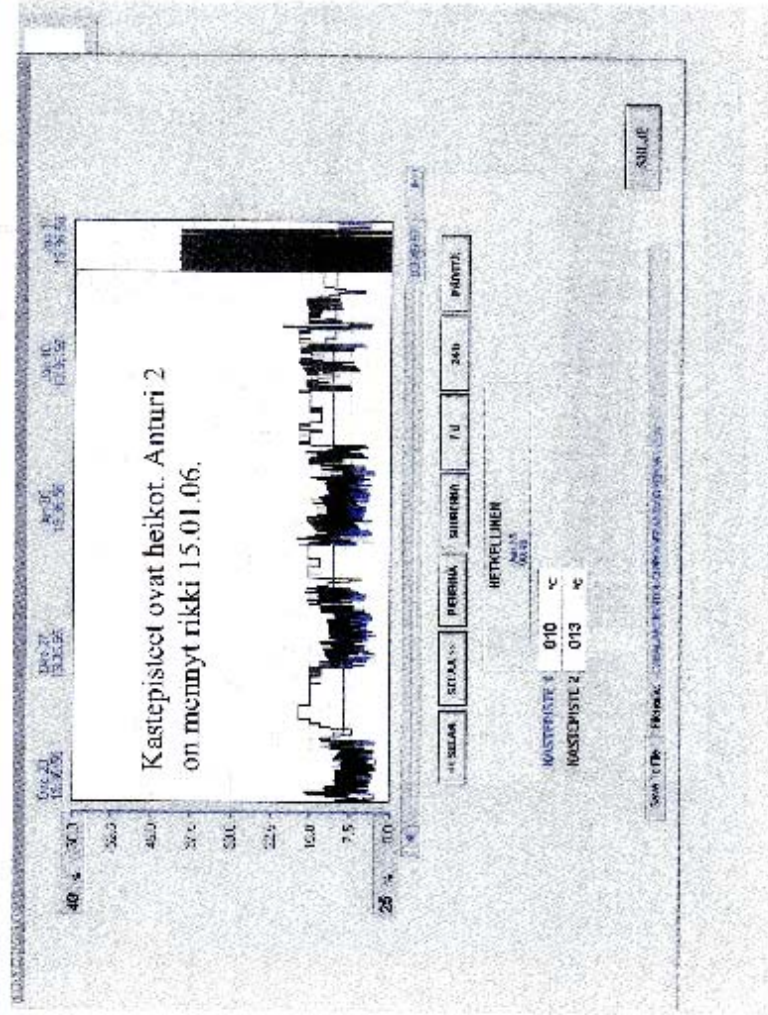






# PAINELMARAPORTTI 04/2005 – 03/2006

METSO TOKOMO





01-80 34811 00-18001

## PAINEILMARAPORTTI

04/2005 – 03/2006

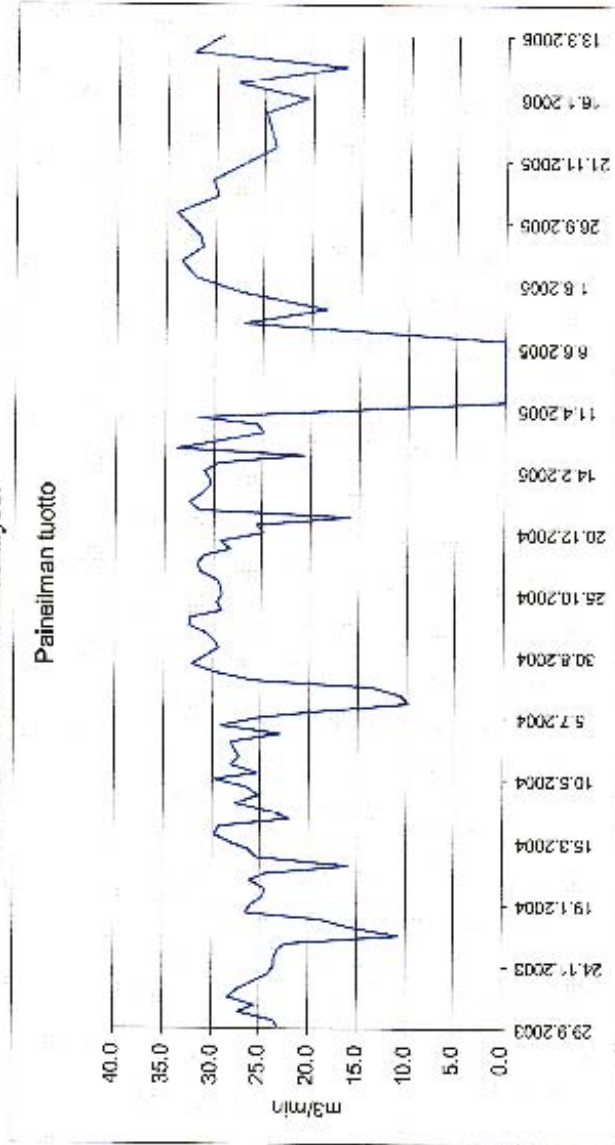
METSO LOKOMO

7

### 2. ILMAN KULUTUS

keskikulutus noussut 11%:lla. (v.2005 29.0 m<sup>3</sup>/min, v.2004 26.2 m<sup>3</sup>/min).

LIITE 2. Viikon kulutuskäyrä.





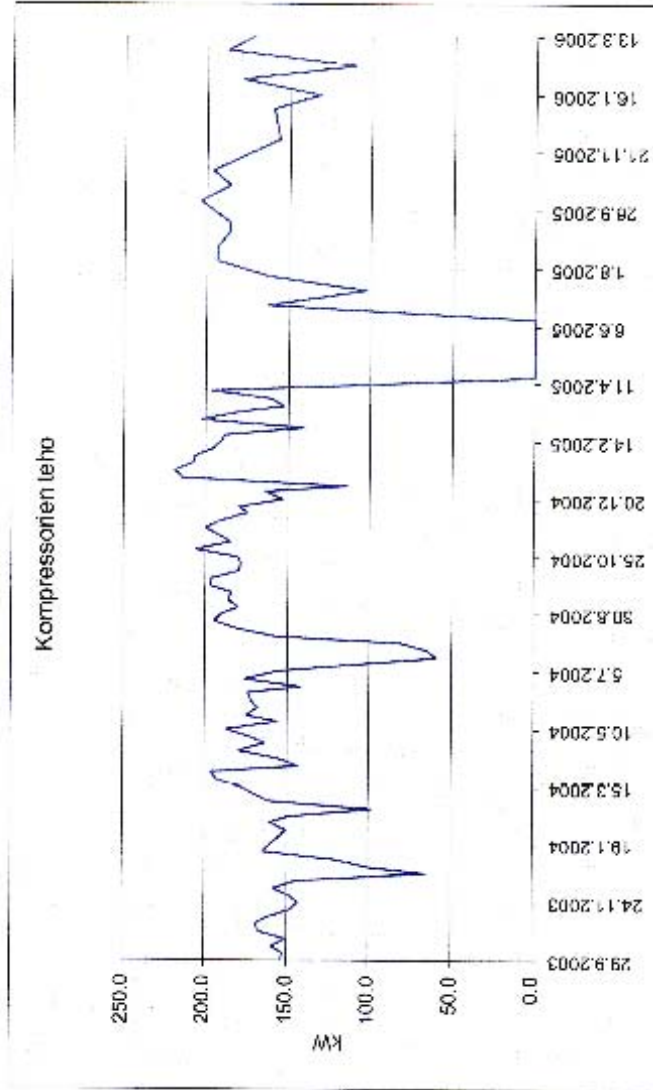
# PAINELMARAPORTTI

04/2005 – 03/2006

MEIISO LOKOMO

## 2. TEIHO

keskiteho noussut 10%:lla. (v.2005 179 kW, v.2004 163 kW)



Sarlin Hydor Oy

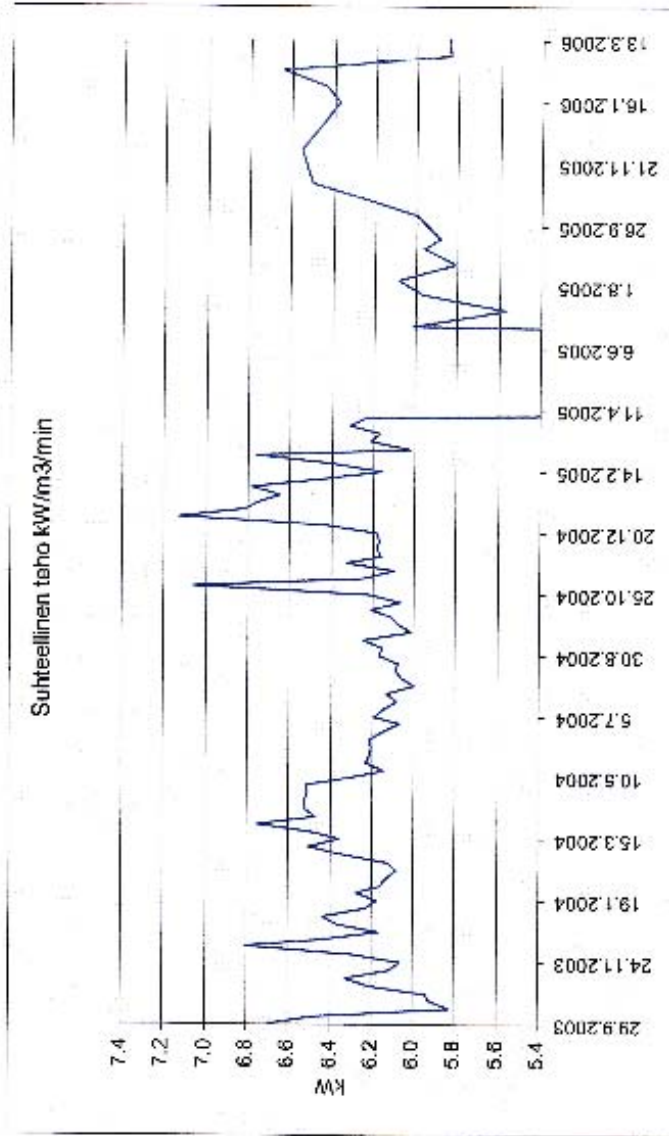


# PAINAILMARAPORTTI

04/2005 – 03/2006

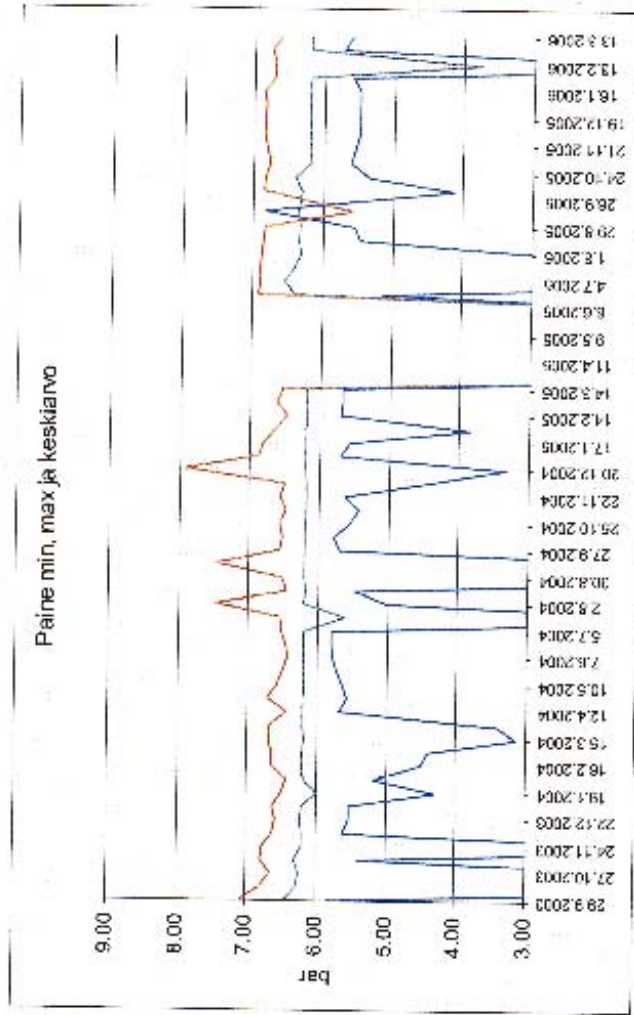
METSO LOKOMO

## 2. SUHTEELLINEN TEHO



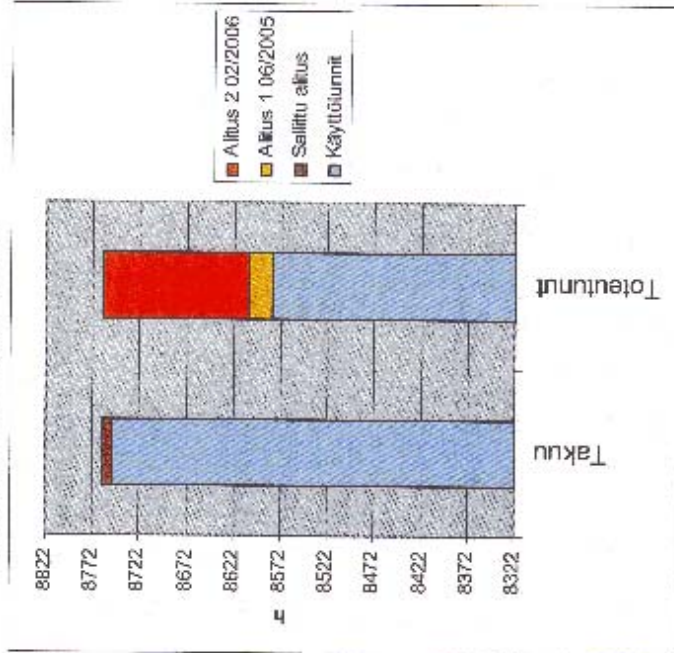
**3. PAINETASOT**

Balancen asetuspaine 6.2 bar.



#### 4. KÄYTETTÄVYYS

Käytettävyys on ollut 97.97%.





## 5. KEHITTÄMINEN JA JATKOTOIMENPITEET

1. Uusi peruskuormakompressor. Jos toinenkin mäntäkompressor on pois käytöstä painetaso romahtaa alle 5 bar:n.
2. Mäntäasemalla painehäviö saattaa nousta jopa 2 bar:iin kun molemmat koneet tuottavat. Suodattimet, kuivaimet tai putkisto kuristavat.
3. Painetason lasku esim. 5.8 bar tasolle.
4. Kastepisteen parantaminen, kuivainten uusinta.

**ABB:n sähkönlaatumittaus lämpökäsittelyuuni 2:n muuntajalta.  
Ote mittausraportista:**

*Dokumentti: Häiriömittausraportti*

*Tilaaja: Ari Marjamäki*

*Asiakas: Lokomo Steels Oy*

*Mittausympäristö: Metallinkäsittely*

*Mitatut laitteistot: Lämpökäsittelyuuni 2*

*Mitatut laitekijät: Yliaallot, loisteho, säröt, yms.*

*Mittaja: Kari Laine*

*Mittauspäivä: 4. - 9.4.2005*

*Mittalaite: Dranetz PPI*

*Työnumero: 5-2-1063575*

**Mittausraportti**

***Lähtötiedot:** Lokomo Steelsin Tampereen Hatanpäällä sijaitsevassa metallialan tehtaassa olevassa lämpökäsittelyuunissa on ilmennyt runsaasti häiriöitä, jotka ovat aiheuttaneet useita vikaantumisia, kuten esim. arvokkaiden vastusten hajoamisia.*

*Uuni on verraten uusi, sillä valmistajan (Sarlin) takuu-aika on vielä voimassa.*

***Toimenpide:** Mitattiin Dranetz PowerPlatform-1 verkkoanalysaattorilla keskusta R11 noin viikon ajan mahdollisten sähköisten häiriöiden todentamiseksi. Tosin runsaista havahtumisrajat ylittävistä tapahtumista johtuen analysaattorin muisti täyttyi reilussa kolmessa vuorokaudessa.*

***Yhteenvedo:** Jännitetaso vaihtelee kuormasta riippuen 231 ja 255 voltin välillä ollen keskimäärin 241 voltia. Kuormitus on suurimmillaan 1880 ampeeria per vaihe ja symmetristä, ei vinokuormaa. Transienteja ei mittausjakson aikana esiintynyt. (kuvat 1,2)*

*Loistehontarvetta verkossa oli varsin runsaasti, suurimmillaan jopa yli 800 kVaria. Pätötehoa oli noin 1350 kW. Verkon tehokerroin oli niinkään huono, keskimäärin 0.48 ind. (kuvat 3,4)*

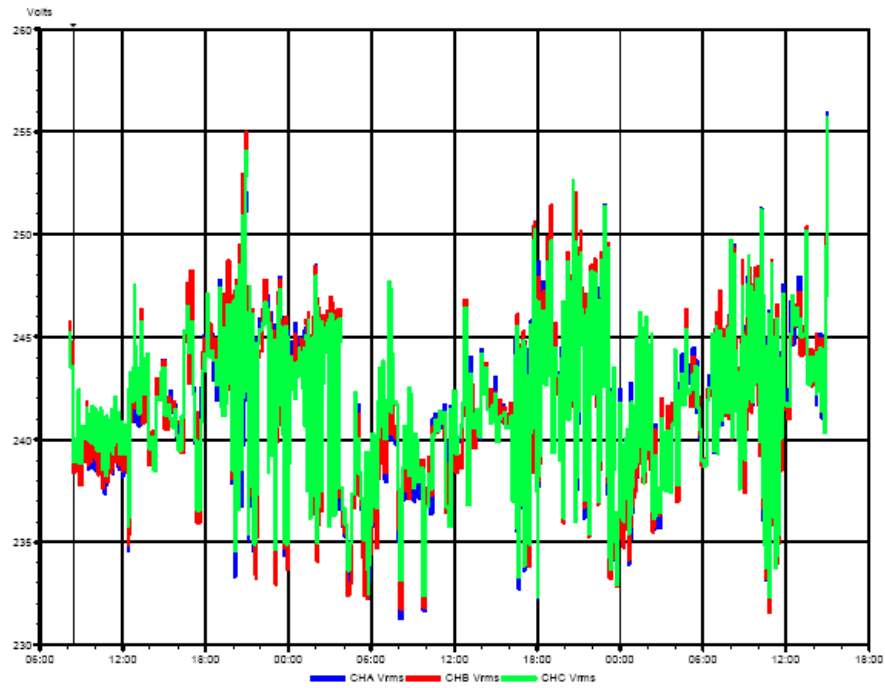
*Sähkönlaatu on huonoa. Jännitesäröä on yli 11 prosenttia ja virtasäröä lähes 150 prosenttia. Säröytyminen näkyy jännitteen epäpuhtaana siniaaltomuotona.*

*Viidettä virtayliaaltoa löytyy yli 475 ampeeria, seitsemättä noin 250 ampeeria ja yhdettätoistakin vielä 120 ampeeria. Yliaaltoja ilmenee siis runsaasti, mikä saattaa olla syynä vastusten hajoamisiin.*

*(kuvat 7-10)*

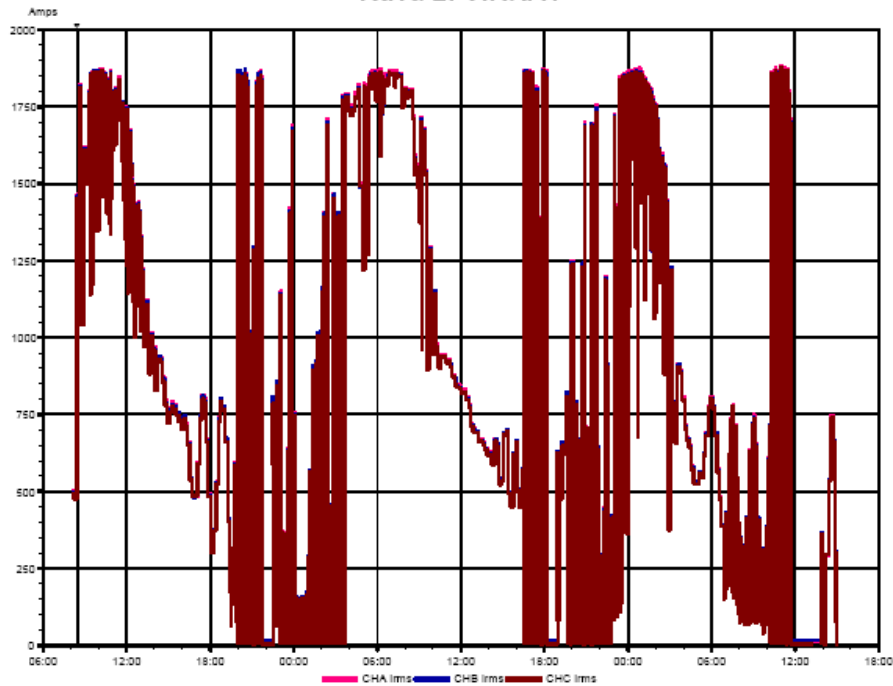
***Parannusehdotus** Jos uunin valmistaja ei ota kantaa asiaan, suosittelen loistehon kompensointia ja yliaaltojen suodattamista verkosta.*

**Kuva 1: VAIHEJÄNNITEET**



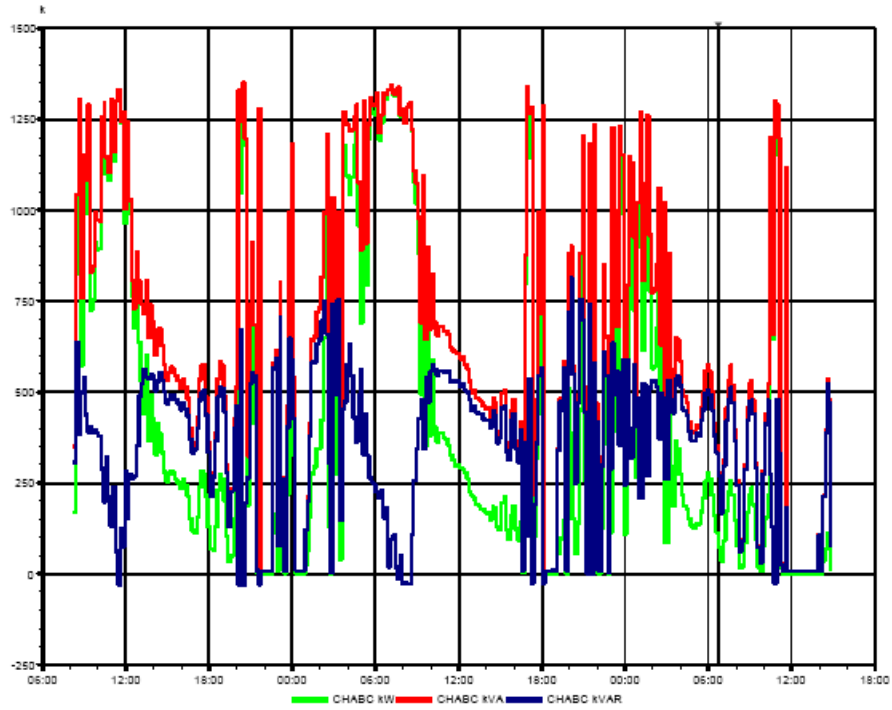
Keskuksen R11 jännitteet vaiheittain L1-L3.

**Kuva 2: VIRRAT**



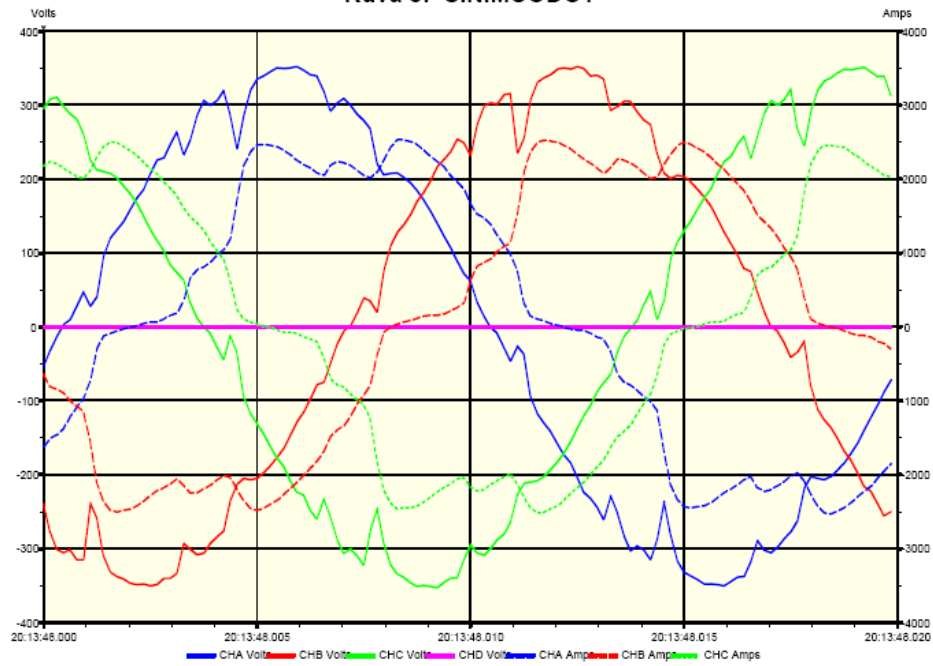
Keskuksen R11 virta vaiheittain L1-L3.

Kuva 3: TEHOT



Keskuksen R11 näennäisteho (pu), pätöteho (vih) ja loisteho (si).

Kuva 8: SINIMUODOT



Jännitteen ja virran aaltomuodot.

Alkuarvot:  $q_v = 720 \text{ m}^3/\text{h}$ ,  $T = 31 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $\rho = 995 \text{ kg/m}^3$ ,  $\nu = 1,003 \cdot 10^{-6} \text{ Ns/m}^2$ ,  $\eta = 40 \%$ , käyttöaika 690 h/a, sähkön hinta 0,05 €/kWh.

**Nykyinen putkisto:** Tarvittava sähköteho 89,4 kW, pumppauskustannus 1,79 €/h

Nykyinen putkisto											
Putki-/putkiosatiedot			Putki			Putkiosa			Yhteensä		
Nro	Nimi	du [mm]	qv [m <sup>3</sup> /s]	v [m/s]	l [m]	$\Delta p_{\text{putki}}$ [Pa]	$\xi$	$\Delta p_{\text{putkiosa}}$ [Pa]	Teho Ph [kW]	Kok.teho $\Sigma Ph$ [kW]	Osuuden teho Po [kW]
1	Käyrä 90°	273	0,2	3,55		0,0	0,5	3126,8	0,63	0,63	0,63
2	Putki	273	0,2	3,55	0,74	228,9		0,0	0,05	0,67	0,67
3	Käyrä 90°	273	0,2	3,55		0,0	0,5	3126,8	0,63	1,30	1,30
4	Putki	273	0,2	3,55	2,7	835,0		0,0	0,17	1,46	1,46
5	T-liitos	273	0,2	3,55		0,0	1,4	8755,1	1,75	3,21	3,21
6	Käyrä 90°	273	0,1	1,77		0,0	0,5	781,7	0,08	3,29	3,29
7	Käyrä 90°	273	0,1	1,77		0,0	0,5	781,7	0,08	3,37	3,37
8	Kartio 273/129	129	0,1	8,28		0,0	0,02	682,3	0,07	3,44	3,44
9	Kartio 273/129	129	0,1	8,28		0,0	0,02	682,3	0,07	3,51	3,51
10	Putki	129	0,1	8,28	3,3	14126,0		0,0	1,41	4,92	1,41
11	Käyrä 90°	129	0,1	8,28		0,0	0,5	17056,8	1,71	6,63	3,12
12	Käyrä 90°	129	0,1	8,28		0,0	0,5	17056,8	1,71	8,33	4,82
13	Putki	129	0,1	8,28	4,5	19262,7		0,0	1,93	10,26	6,75
14	Käyrä 90°	129	0,1	8,28		0,0	0,5	17056,8	1,71	11,96	8,46
15	Putki	129	0,1	8,28	1,4	5992,8		0,0	0,60	12,56	9,06
16	Putki	129	0,075	6,21	1,4	3371,0		0,0	0,25	12,82	9,31
17	Putki	129	0,05	4,14	1,4	1498,2		0,0	0,07	12,89	9,38
18	Putki	129	0,025	2,07	1,4	374,6		0,0	0,01	12,90	9,39
19	Suutin	60	0,025	10,15		0,0	1,5	76883,4	1,92	14,82	11,31
20	Suutin	60	0,025	10,15		0,0	1,5	76883,4	1,92	16,74	13,24
21	Suutin	60	0,025	10,15		0,0	1,5	76883,4	1,92	18,67	15,16
22	Suutin	60	0,025	10,15		0,0	1,5	76883,4	1,92	20,59	17,08
23	Putki	129	0,1	8,28	3,3	14126,0		0,0	1,41	22,00	1,41
24	Käyrä 90°	129	0,1	8,28		0,0	0,5	17056,8	1,71	23,71	3,12
25	Käyrä 90°	129	0,1	8,28		0,0	0,5	17056,8	1,71	25,41	4,82
26	Käyrä 90°	129	0,1	8,28		0,0	0,5	17056,8	1,71	27,12	6,53
27	Putki	129	0,1	8,28	1,4	5992,8		0,0	0,60	27,72	7,13
28	Putki	129	0,075	6,21	1,4	3371,0		0,0	0,25	27,97	7,38
29	Putki	129	0,05	4,14	1,4	1498,2		0,0	0,07	28,04	7,46
30	Putki	129	0,025	2,07	1,4	374,6		0,0	0,01	28,05	7,47
31	Suutin	60	0,025	10,15		0,0	1,5	76883,4	1,92	29,98	9,39
32	Suutin	60	0,025	10,15		0,0	1,5	76883,4	1,92	31,90	11,31
33	Suutin	60	0,025	10,15		0,0	1,5	76883,4	1,92	33,82	13,23
34	Suutin	60	0,025	10,15		0,0	1,5	76883,4	1,92	35,74	15,15
YHTEENSÄ										35,74 kW	

## Uusi putkisto: Tarvittava sähköteho 61,5 kW, pumppauskustannus 1,23 €/h

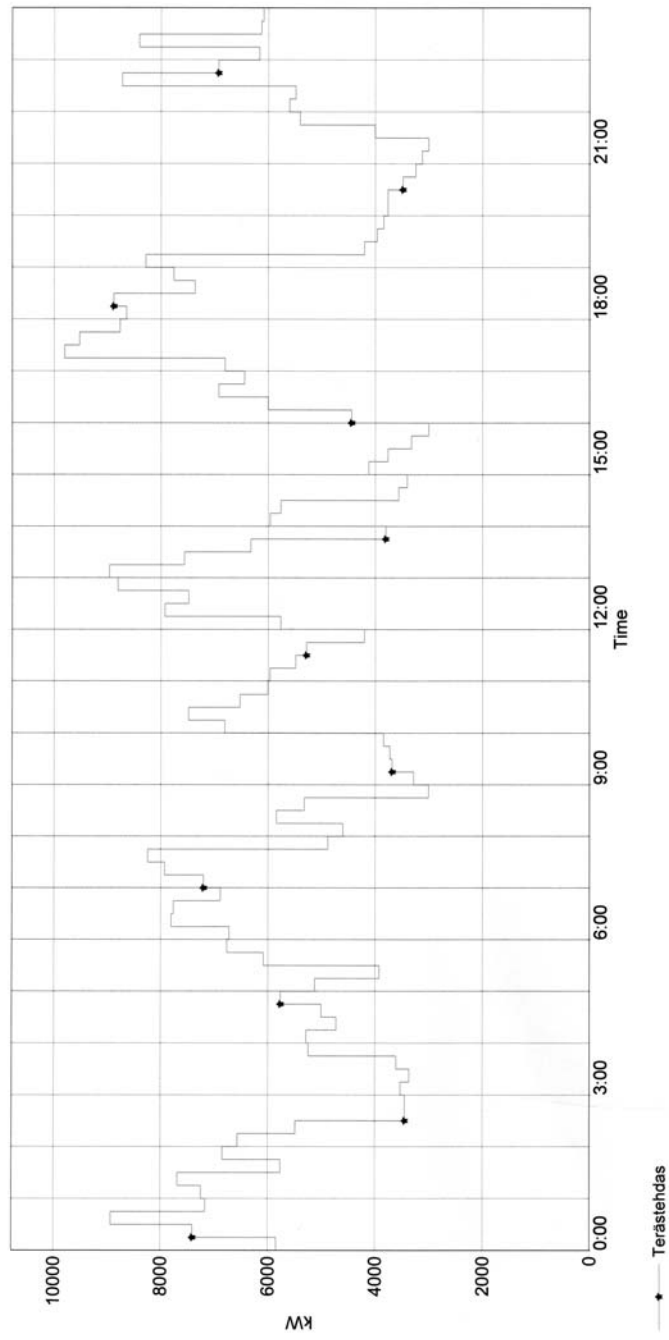
Uusi putkisto												
Putki-/putkiosatiedot					Putki			Putkiosa		Yhteensä		
Nro	Nimi	du [mm]	qv [m <sup>3</sup> /s]	v [m/s]	l [m]	Δph,putki [Pa]	ξ	Δph,putkiosa [Pa]	Teho Ph [kW]	Kok.teho ΣPh [kW]	Osuuden teho Po [kW]	
1	Käyrä 90°	273	0,2	3,55		0,0	0,5	3126,8	0,63	0,63	0,63	
2	Putki	273	0,2	3,55	0,74	228,9		0,0	0,05	0,67	0,67	
3	Käyrä 90°	273	0,2	3,55		0,0	0,5	3126,8	0,63	1,30	1,30	
4	Putki	273	0,2	3,55	2,7	835,0		0,0	0,17	1,46	1,46	
5	Y-liitos	273	0,2	3,55		0,0	0,25	1563,4	0,31	1,78	1,78	
6	Käyrä 90°	273	0,1	1,77		0,0	0,5	781,7	0,08	1,85	1,85	
7	Käyrä 90°	273	0,1	1,77		0,0	0,5	781,7	0,08	1,93	1,93	
8	Kartio 273/168	168	0,1	4,73		0,0	0,02	223,0	0,02	1,95	1,95	
9	Kartio 273/168	168	0,1	4,73		0,0	0,02	223,0	0,02	1,98	1,98	
10	Putki	168	0,1	4,73	3,3	3288,4		0,0	0,33	2,31	0,33	
11	Käyrä 90°	168	0,1	4,73		0,0	0,5	5574,5	0,56	2,86	0,89	
12	Käyrä 90°	168	0,1	4,73		0,0	0,5	5574,5	0,56	3,42	1,44	
13	Putki	168	0,1	4,73	4,2	4185,3		0,0	0,42	3,84	1,86	
14	Kartio 168/139	139	0,1	6,99		0,0	0,02	485,6	0,05	3,89	1,91	
15	Käyrä 90°	139	0,1	6,99		0,0	0,5	12140,8	1,21	5,10	3,12	
16	Putki	139	0,1	6,99	1,5	4121,7		0,0	0,41	5,51	3,54	
17	Putki	139	0,075	5,24	1,5	2318,5		0,0	0,17	5,69	3,71	
18	Kartio 139/114	114	0,05	5,26		0,0	0,02	275,4	0,01	5,70	3,72	
19	Putki	139	0,05	3,49	1,5	1030,4		0,0	0,05	5,75	3,78	
20	Putki	114	0,025	2,63	1,5	749,9		0,0	0,02	5,77	3,80	
21	Kartio 114/60	60	0,025	10,15		0,0	0,02	1025,1	0,03	5,80	3,82	
22	Kartiosuutin 89/60	60	0,025	10,15		0,0	1,5	76883,4	1,92	7,72	5,74	
23	Kartiosuutin 89/60	60	0,025	10,15		0,0	1,5	76883,4	1,92	9,64	7,66	
24	Kartiosuutin 89/60	60	0,025	10,15		0,0	1,5	76883,4	1,92	11,56	9,59	
25	Käyräsuutin 90°	60	0,025	10,15		0,0	1,5	76883,4	1,92	13,49	11,51	
26	Putki	168	0,1	4,73	3,3	3288,4		0,0	0,33	13,81	0,33	
27	Käyrä 90°	168	0,1	4,73		0,0	0,5	5574,5	0,56	14,37	0,89	
28	Käyrä 90°	168	0,1	4,73		0,0	0,5	5574,5	0,56	14,93	1,44	
29	Kartio 168/139	139	0,1	6,99		0,0	0,02	485,6	0,05	14,98	1,49	
30	Käyrä 90°	139	0,1	6,99		0,0	0,5	12140,8	1,21	16,19	2,71	
31	Putki	139	0,1	6,99	1,5	4121,7		0,0	0,41	16,60	3,12	
32	Putki	139	0,075	5,24	1,5	2318,5		0,0	0,17	16,78	3,29	
33	Kartio 139/114	114	0,05	5,26		0,0	0,02	275,4	0,01	16,79	3,31	
34	Putki	139	0,05	3,49	1,5	1030,4		0,0	0,05	16,84	3,36	
35	Putki	114	0,025	2,63	1,5	749,9		0,0	0,02	16,86	3,38	
36	Kartio 114/60	60	0,025	10,15		0,0	0,02	1025,1	0,03	16,89	3,40	
37	Kartiosuutin 89/60	60	0,025	10,15		0,0	1,5	76883,4	1,92	18,81	5,32	
38	Kartiosuutin 89/60	60	0,025	10,15		0,0	1,5	76883,4	1,92	20,73	7,25	
39	Kartiosuutin 60/50	60	0,025	10,15		0,0	1,5	76883,4	1,92	22,65	9,17	
40	Käyräsuutin 90°	60	0,025	10,15		0,0	1,5	76883,4	1,92	24,58	11,09	
YHTEENSÄ									24,6 kW			



Valokaariuunien päiväkulutusmittaus: 8.6.2006

FRAKO EMVIS - Historical data ( EMS )

Tageskurve Leistung 08. kes,kuuta 2006

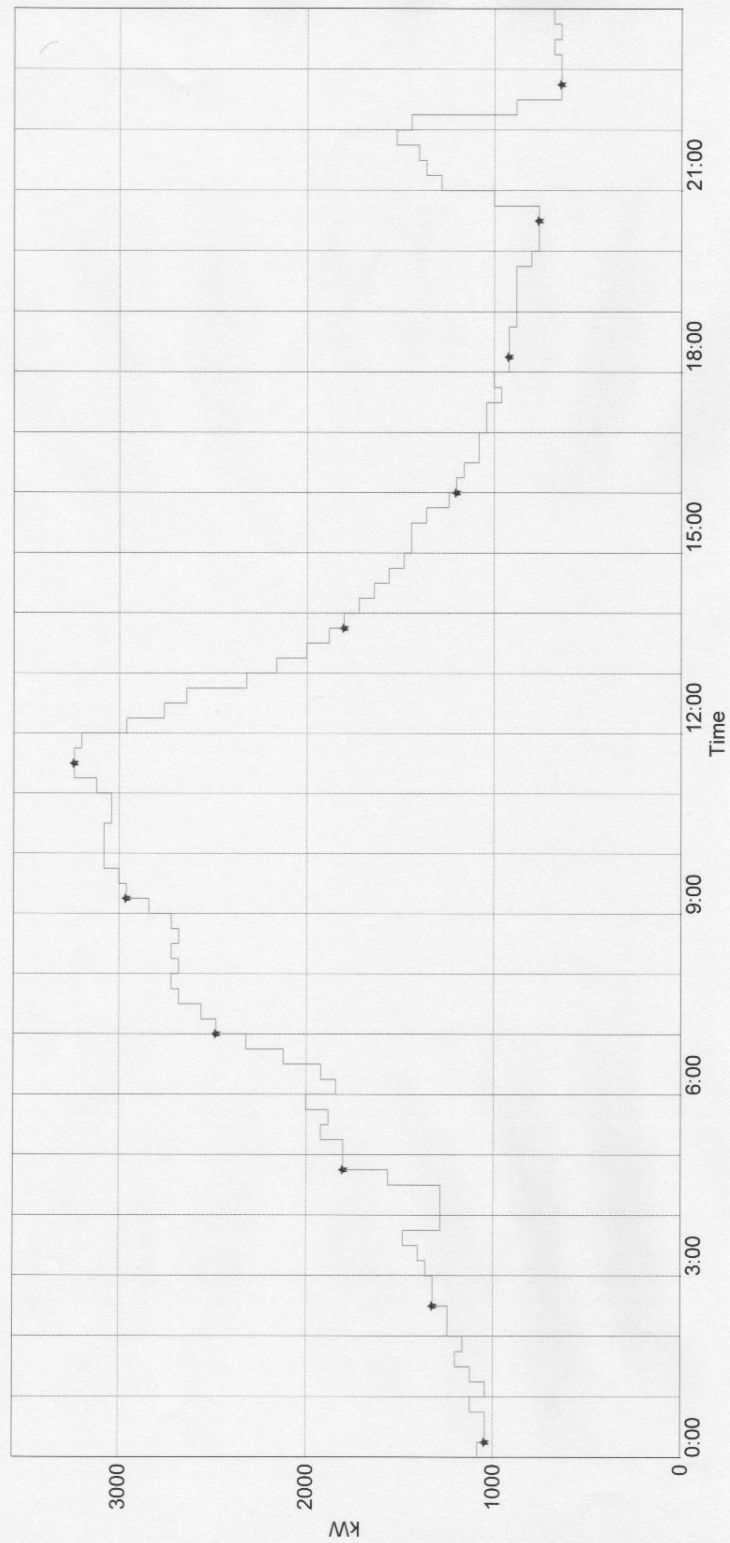




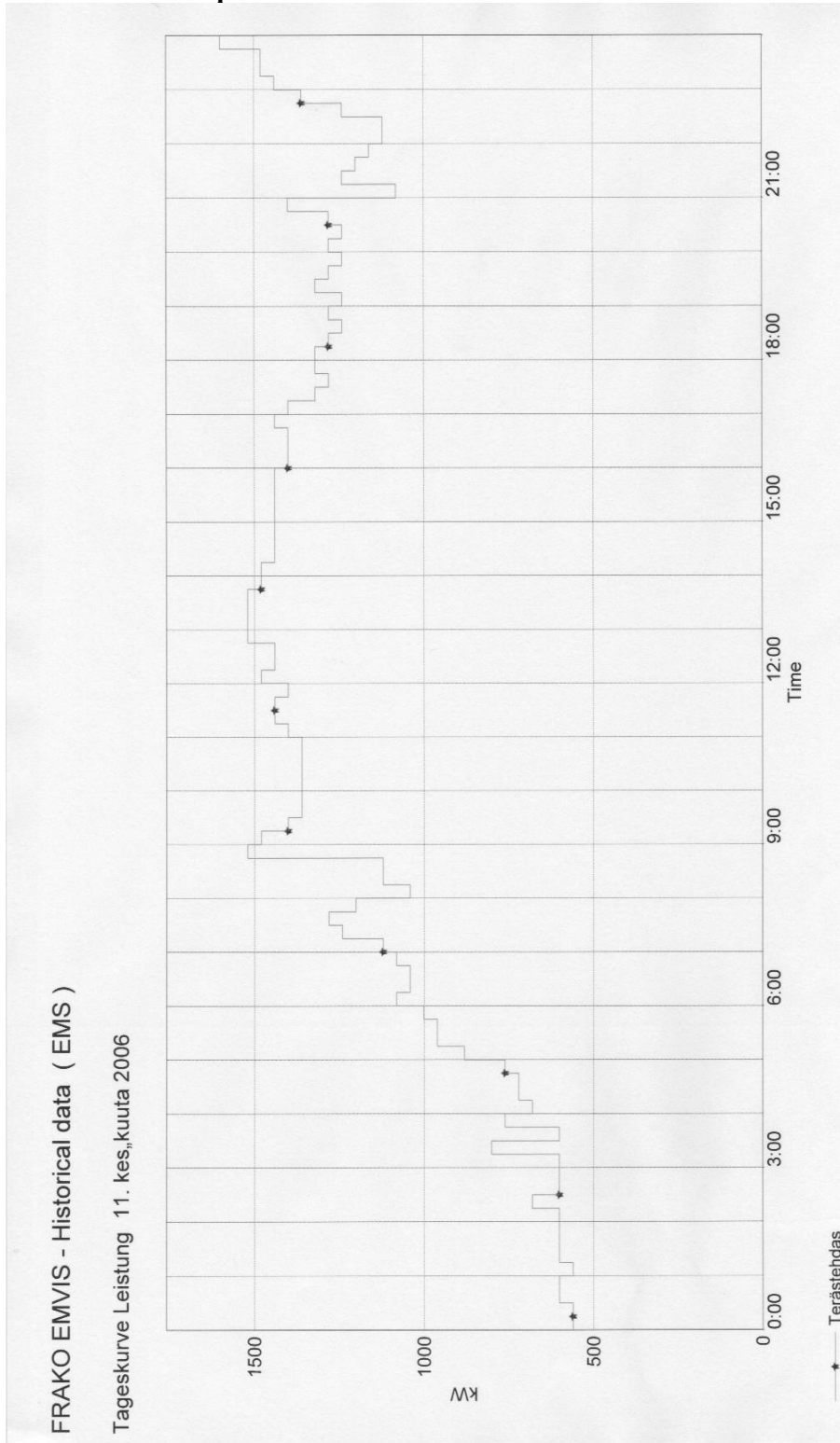
**Valokaariuunien päiväkulutusmittaus: Lauantai 10.6.2006**

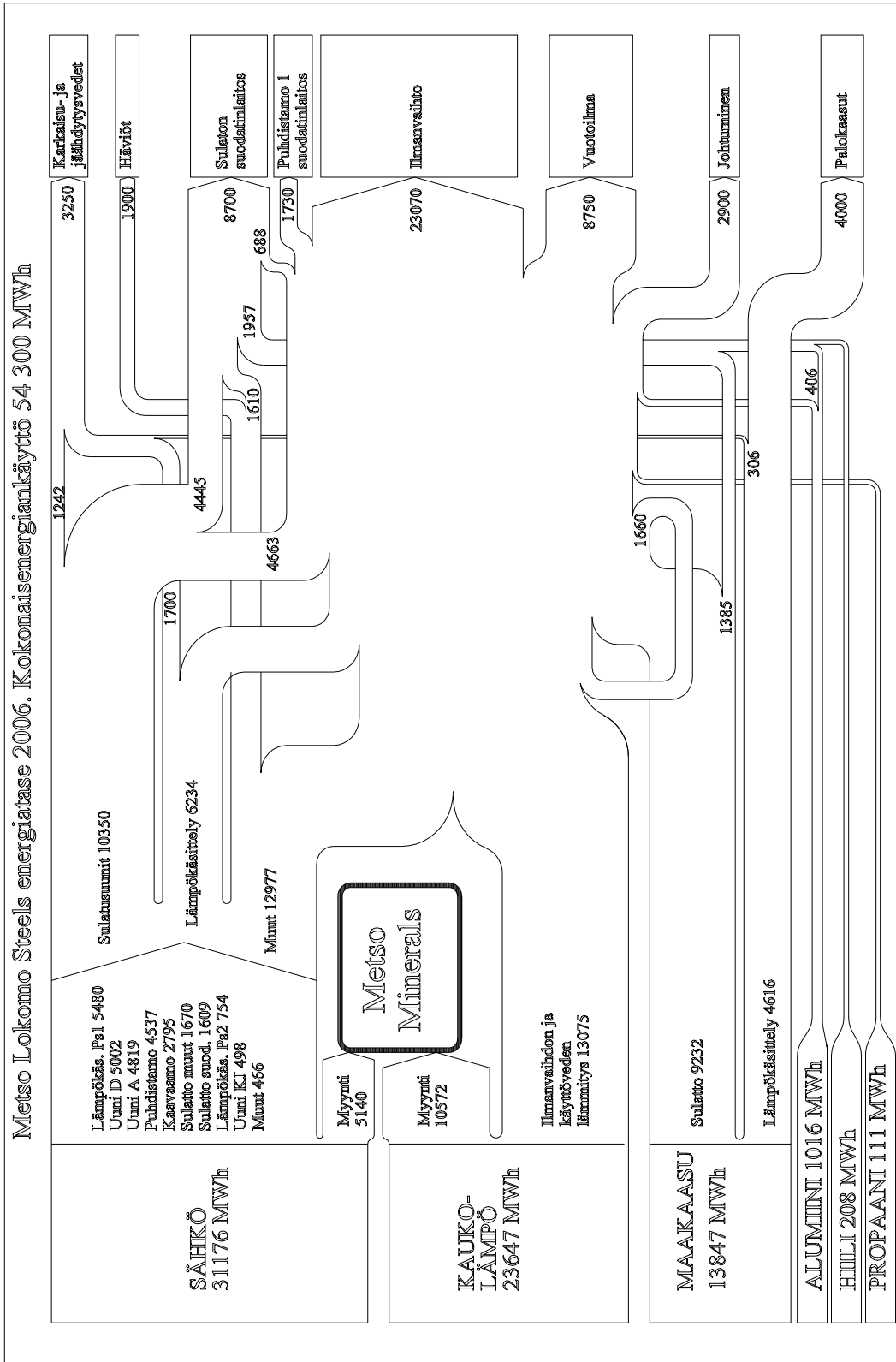
FRAKO EMVIS - Historical data ( EMS )

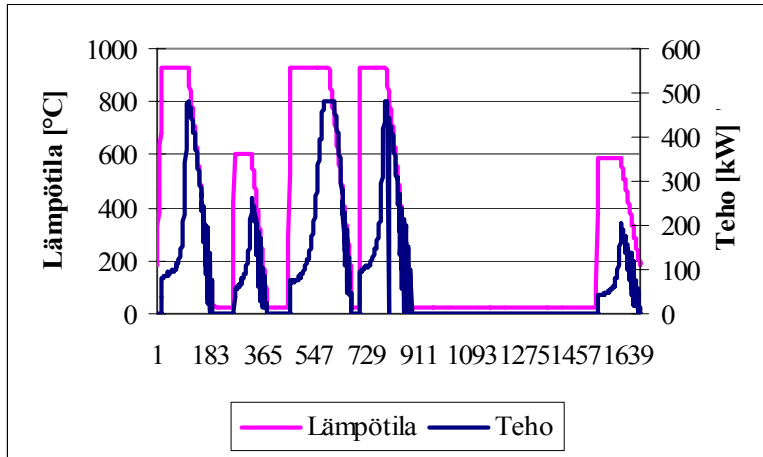
Tageskurve Leistung 10. kes.,kuuta 2006



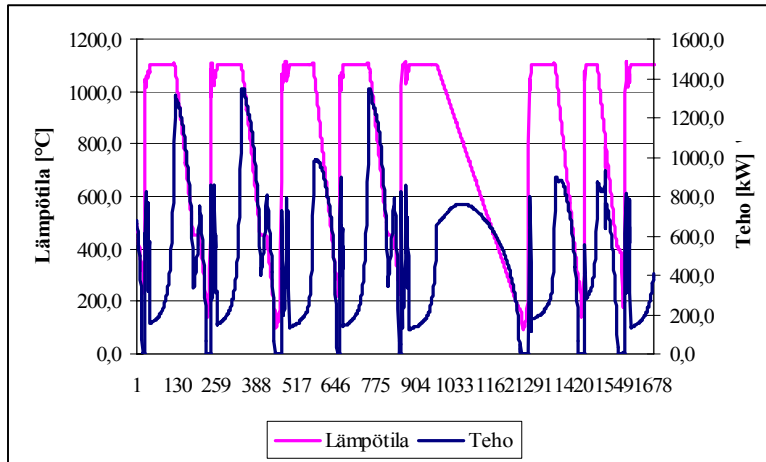
**Valokaariuunien päiväkulutusmittaus: Sunnuntai 11.6.2006**



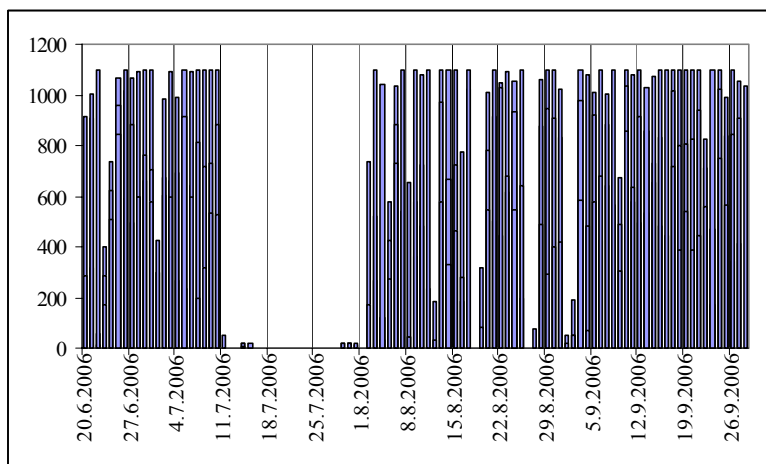




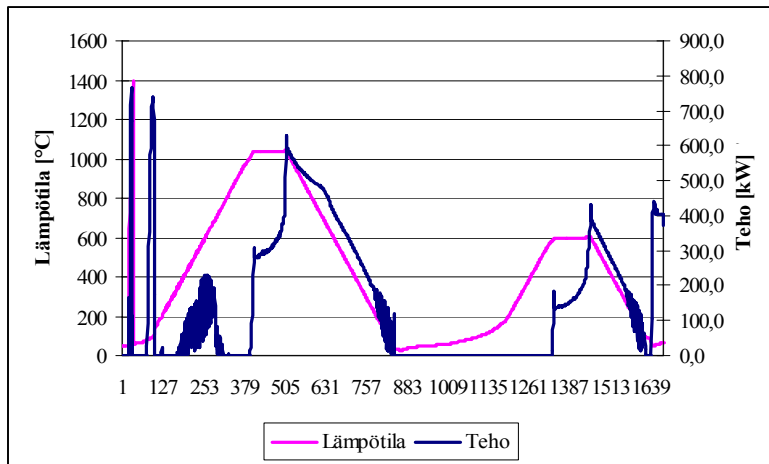
Kuva 78: Lk-uuni 1 – 8 vrk tehokäyrä



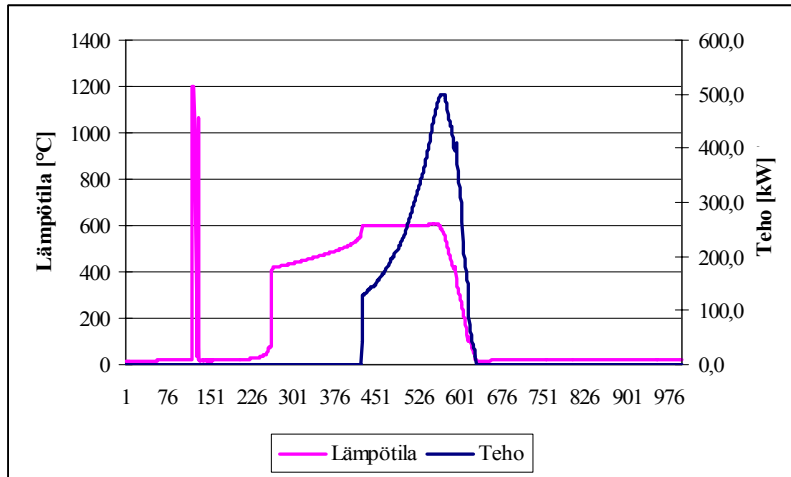
Kuva 79: Lk-uuni 2 – 8 vrk tehokäyrä



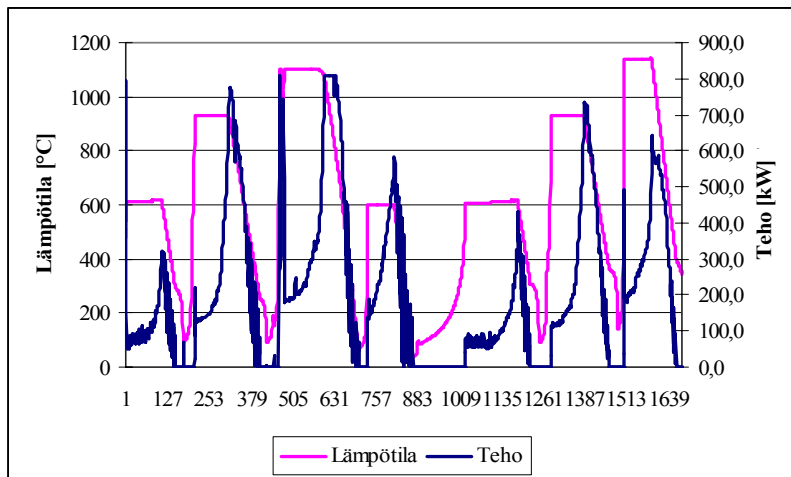
Kuva 80: Lk-uuni 2 – 3 kk:n ajotapahtumat



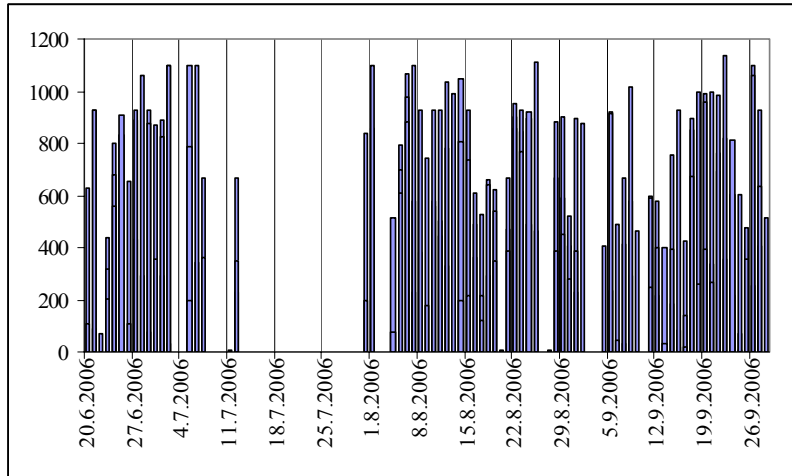
Kuva 81: Lk-uuni 3 – 8 vrk tehokäyrä



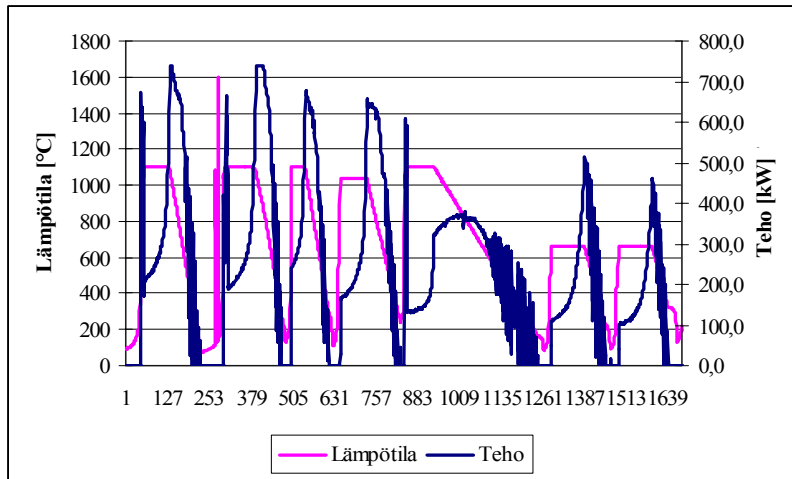
Kuva 82: Lk-uuni 5 – 8 vrk tehokäyrä



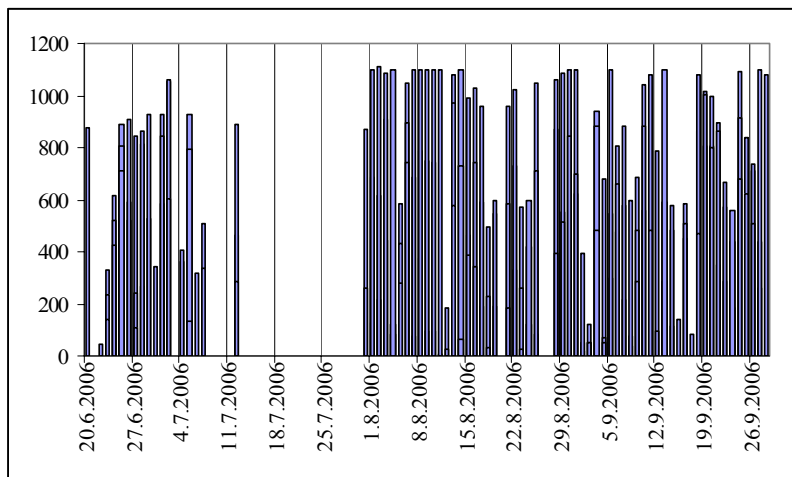
Kuva 83: Lk-uuni 6 – 8 vrk tehokäyrä



Kuva 84: Lk-uuni 6 – 3 kk:n ajotapahtumat



Kuva 85: Lk-uuni 7 – 8 vrk tehokäyrä



Kuva 86: Lk-uuni 7 – 3 kk:n ajotapahtumat