

**OUTOKUMPU CHROMEN FERROKROMISULATTOJEN  
VESIJÄÄHDYTYSTEN KEHITYSMAHDOLLISUUDET**

Arto Miettunen

Opinnäytetyö  
Tekniikan ja liikenteen ala  
Kaivosmuuntokoulutus 2014  
Insinööri (AMK)

2015

Tekniikan ja liikenteen ala

---

<b>Tekijä</b>	Arto Miettunen	<b>Vuosi</b>	2015
<b>Ohjaaja</b>	Yliopettaja Lauri Kantola		
<b>Toimeksiantaja</b>	Outokumpu Chrome Oy		
<b>Työn nimi</b>	Outokumpu Chromen ferrokromisulattojen vesijäähdytysten kehitysmahdollisuudet		
<b>Sivu- ja liitemäärä</b>	78		

---

Opinnäytetyössä selvitettävänä asioina olivat Outokumpu Chromen ferrokromiunun suljettujen kiertojen jäähdytykset. Opinnäytetyön rajaukset ja päätavoitteet selkiytyivät kirjaamalla ylös jäähdytyksissä havaittuja ongelmia sekä keräämällä ja analysoimalla prosessin käyttötietoja mm. automaatiojärjestelmästä. Työn toimeksiantajan esityksestä tutkittiin mahdollisuutta pienentää vanhoilla uuneilla olevaa tehdaspäästön kiertokuormaa korvaamalla uunien jäähdytys ilma/vesijäähdytykseksi. Uuden FeCr-uunin glykolivesivuoto-ongelmien poistamiseksi selvitettiin mahdollisuutta rajoittaa välivaihtimilla jäätymisenestoaineen käyttö vain ulkona olevaan jäähdytinkiertoon. Kolmantena asiana työssä pohjustettiin opinnäytetyön mahdollinen jatkohanke. Edellä mainittuja erillisiä selvityksiä yhdistävät samat tavoitteet; turvallisempi työympäristö, yksinkertaisempi päästömittaus ja kustannussäästöt. Jatkohanke sitoisi projektit ja laitokset yhteen poistamalla glykolin käytön kokonaan. Jatkohankkeessa tarkasteltaisiin mahdollisuutta hyödyntää pakkaskaudella käyvien uunien lämpöenergiaa seisovien uunien jäähdytyskiertojen lämpimänä pitämiseksi.

Työn lähtötietoina olivat jäähdytysprosessien käyttötiedot, joista laskennallisesti määriteltiin toteutuneet jäähdytystehot. Analyysissä havaitut vanhojen sulattojen puutteet mittauksissa huomioitiin jäähdytystehojen arvioinnissa. Määriteltäessä uuden jäähdytysjärjestelmän huippukapasiteettia ja sen perusteella kehitettävää lämpöteknistä ratkaisua oli kysyttävä, pitääkö sen olla rakennettu muutaman keran vuosikymmenessä toistuvia ääritilanteita varten? Olisiko tärkeämpää pyrkiä yksinkertaiseen, varmistettuun normaalitoimintaan ja varautua ennustettaviin ääriolosuhteisiin kevyemmällä ratkaisulla? Opinnäytetyössä ei porauduttu syvälle teoreettisiin perusteisiin eikä haettu innovaatioita. Työssä etsittiin ainutlaatuisiin teollisuusjärjestelmiin soveltuvia turvallisia käytännön ratkaisuja.

Keskeisiä tuloksia olivat mm. ilmajäähdytys välivaihtimiseen, termodynaamisen tilan kasvattaminen kosteutuksella, häiriötilanteisiin varautuminen käyttämällä kaukolämpöä sulanapitoon sekä mahdollisuus irtaantua yhteisestä jäähdytysjärjestelmästä jaloterästehtaan kanssa. Havaintotuloksena oli myös kokonaisvaltaisen prosessisuunnittelun merkitys jäähdytysjärjestelmien suunnittelussa unohtamatta mittalaitteiden tärkeyttä, oikeaa asentamista ja kalibrointia.

Asiasanat                                      prosessiteollisuus, terästeollisuus, jäähdytys, kalibrointi

Mechanical and Production  
Engineering

---

<b>Author</b>	Arto Miettunen	Year	2015
<b>Supervisor</b>	Lauri Kantola Lic.Sc.(Tech)		
<b>Commissioned by</b>	Outokumpu Chrome Oy		
<b>Subject of thesis</b>	Improvement of Water Cooling Methods at Outokumpu Chromes Smelting Plants		
<b>Number of pages</b>	78		

---

The basic problem of thesis was how closed water cooling methods at Outokumpu Chromes smelting plants might be improved. The definition and main aims sharpened after discussions of process problems and during the cooling process data collection and analysis. There were three main cases. At first in older smelters it has studied how to reduce or remove the volume of metal emission circuit. That is the problem in Outokumpu plant's sea water cooling system. One solution could be air cooling instead of sea water cooling. The other was that in the modern smelter, there have been problems with glycol leaking. The answer could be a two-step cooling system. The third case was to collect process data for to joint three cooling systems together. This led to a further study on how to reach thermodynamic balance between the running and idle smelter in the thread of freezing. All cases have same goals: work safety, simple emission measurement and the saving of costs. The third potential case should be the total use of removed glycol. The thesis does not define any solutions ready.

The starting point was the recorded cooling process data, which can be calculated into maximum cooling performance. At the beginning of the analysis the data was under many suspicions. Negative ratings in cooling systems aren't normal, thus thermometer transmitter might be without exact calibration or ordinary installing. The wrong data of the older smelting plans were observed in the estimation. When the high-performance of the cooling definition was analyzed, a question was how critical the specifications are. If extreme conditions happen one time in a decade, should the solutions work normally and manage extreme conditions with simpler solutions? In the improvement cases there exists no theoretical study and so it does not include new innovations.

Because the site was very unique in an industrial scale, there normal solutions industrial were used. The results of thesis are effective air cooling units, heat exchangers and air humidity to raise the thermodynamic performance on solutions the hottest season. For winter time shutdown using district heat to warm air cooling system might be useful. One result is a possibility to withdraw from the common pumping station. The discovered results are the importance of comprehensive process design as well as the quantity, installation and calibration of the measuring instruments.

Key words                      process industry, metal industry, cooling, calibration

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	8
2	FERROKROMISULATTOPROSESSIT JA JÄÄHDYTYS.....	10
2.1	Selvityksen ulkopuoliset muut jäähdytystavat.....	11
2.2	Selvityksen kohteet - holvin, elektrodien ja laskureikien jäähdytys.....	11
2.3	Vesienkäsittelyn VKL3 ilma/vesi-jäähdytynyksiköt.....	13
2.4	Kalkinpoisto sisäisissä kierroissa .....	14
2.5	VKU1:n ja VKU2:n jäähdytys merivedellä .....	14
3	VESIKIERTOJÄÄHDYTYSPROSESSIEN NYKYTILA JA ONGELMAT.....	16
3.1	Jaloteräs- ja ferrokromitehtaan yhteinen merivesijäähdytys.....	16
3.2	VKU1:n ja VKU2:n jäähdytyskiertojen nykytila.....	17
3.3	VKU1:n ja VKU2:n merivesijäähdytyksen nykytila .....	18
3.4	VKU1:n ja VKU2:n merivesijäähdytysjärjestelmän ongelmat .....	20
3.4.1	Puoliavoin merivesijäähdytys .....	20
3.4.2	Sisäisen kierron ongelma päästömittauksessa .....	21
3.4.3	Leväkasvu ja sen torjunta .....	22
3.4.4	Kunnossapidettävyys .....	23
3.4.5	Elinkaaren arviointi .....	23
3.4.6	Maanalaiset putkistot .....	24
3.4.7	Päälaitteiden sijoitus tehdasalueella ja varaukset.....	25
3.5	VKU3:n ilmajäähdytyksen nykytila .....	25
3.5.1	VKU3:n ilmajäähdytysjärjestelmä helteellä .....	27
3.6	VKU3:n ongelmat .....	29
3.6.1	Etyleeniglykolin ominaisuudet .....	30
3.6.2	Etyleeniglykolin käyttöön liittyviä ongelmia .....	30
3.6.3	Glykolittoman jäähdytyksen riskit .....	30
4	JÄÄHDYTYSPROSESSARVOJEN MÄÄRITYS JA ANALYSOINTI.....	32
4.1	Lämpöenergia .....	32
4.2	Jäähdytysteho .....	32
4.2.1	Uunikierron ominaisuuksien vaikutus hyötysuhteeseen .....	33
4.3	DNA-mittaustietojen oikeellisuus ja tarkkuus .....	34
4.4	Mittausarvojen otantamäärittelyä tehtiin useassa vaiheessa.....	35
4.5	Lämpötilamittausten kalibrointi.....	36
4.6	VKU1:n ja VKU2:n merivesijäähdytys .....	36
4.6.1	VKU1:n jäähdytystehon ongelmallinen mittaus.....	37
4.6.2	VKU2:n jäähdytysteho.....	39
4.6.3	VKU1:n ja VKU2:n summa oleellinen.....	41
4.6.4	Väliyhteenveto VKU1:n ja VKU2:n yhteisestä jäähdytystarpeesta .....	42
4.7	VKU3:n jäähdytys ilmalla .....	42
4.7.1	VKU3:n holvikierto.....	43

4.7.2	VKU3:n elektrodikierto .....	45
4.8	Negatiiviset jäähdytystehot? .....	46
4.8.1	Lämpöanturien kalibrointi- ja sijoitustarkastelua .....	46
4.9	Mittaushistorian arvoja pakkaskaudelta 2014 .....	48
5	SELVITYKSEN KRITTEERIT, RATKAISUT JA PERUSTELUT .....	49
5.1	Kehityskriteerit.....	49
5.2	Vesijäähdytysprosessien arvio ilman muutoksia.....	49
5.2.1	VKU1:n ja VKU2:n päästömittaongelmat jatkuvat.....	49
5.2.2	VKU3:lla glykoliongelmat jatkuvat .....	50
5.3	Ratkaisu VKU1 ja VKU2 – merivesi- ilma/vesijäähdytteiseksi .....	50
5.3.1	VKU1:n ja VKU2:n asetettujen kriteerien uudelleen tarkastelua.....	52
5.3.2	Monimutkainen prosessi yksinkertaisesta asiasta .....	53
5.3.3	Huomioitavat riskit.....	53
5.4	VKU3:n glykoli pois uunin vesikiertoista .....	54
5.4.1	VKU3:n kiertoihin välivaihdin.....	55
5.4.2	Elektrodikierto on periaatteeltaan holvikiertoa vastaava.....	58
5.4.3	Hyötysuhteen parantamiskeinona höyrystymislämpö.....	59
5.4.4	Välivaihtimien asennustila ja kunnossapidettävyyys .....	61
5.4.5	Hyötysuhteen ja lämpötilaerojen kaventuminen .....	63
5.5	VKU3:n asetettujen kriteerien uudelleen tarkastelua .....	64
5.6	Varautuminen harvoihin helteisiin ja pakkasiin .....	64
5.6.1	Varavälivaihdin käyttöön .....	64
5.6.2	Vaativien jäähdytyskohteiden virtauksen lisäys .....	65
5.6.3	Merivesipumppaamo varajärjestelmäksi .....	65
5.6.4	Palveluputkiston käyttö .....	65
5.6.5	Uunikiertojen paluuveden korkeampi lämpötila .....	66
5.6.6	Riskinä pitkä seisokki ja pakkasen.....	66
5.6.7	Kaukolämpö lämmön ylläpitäjänä .....	66
5.6.8	Välivaihtimen vaarat .....	68
5.6.9	Glykoliton – parempi ominaislämpökapasiteetti .....	68
6	JOHTOPÄÄTÖKSET .....	70
7	JATKOSELVITYS JA SUUNNITELMAT LISTATTUNA.....	73
7.1	Yleisselvitykset.....	73
7.2	Kenttäselvitykset .....	73
7.3	Taselaskelmat .....	73
7.4	Prosessi- ja tehdassuunnitelmat .....	74
8	OPINNÄYTETYÖ OPPIMISKOKEMUKSENA.....	76
	LÄHTEET .....	77
	LIITTEET .....	78

## ALKUSANAT

Suuri kiitos kaikille outokumpulaisille, jotka auttoivat minua selvityksessä. Erityisesti kiitän Aalea työn rajaamisesta ja ohjauksesta. Kiitos Jannelle, kun muistutit pysymisestä fokuksessa. Kiitos myös ohjaajalle Laurille, kun vaadit ajoissa jäsentämään työni.

Kiitos uskolliselle Lilli-koiralle, joka vuorotta on vartioinut kaikki hetket työtäni ja on huomauttanut lopettamaan, kun asiat niin vaativat. Kiitokset myös kesän ja syksyn aamupäivien sateille, jotka antoivat hyvän syyn istua ja pohtia. Kehittyneet ajatukset motivoivat sormien näpäykset ja hiiren liikkeet yksi kerrallaan muuttumaan ajatukset tähän muotoon.

Perjantaina 13.11.2015

Arto

## KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET

FeCr1	ferrokromisulatto 1
F3-projekti	ferrokromin tuotannon nosto -projekti valmistui 2012
VKU1	valokaariuuni 1
VKL3	vesienkäsittelylaitos 3
MVP	merivesipumppaamo
JTSU	jaloterässlatto
KYVA	kylmävalssaamo
Px	purkupiste x
vrk ka	vuorokautinen keskiarvo
h ka	tuntikeskiarvo

## 1 JOHDANTO

Outokumpu Chromen tilaaman opinnäytetyön tehtävänä oli tarkastella kolmen ferrokromiuunin suljettujen kiertojen jäähdytyksiä. Keskustelemalla havaituista ongelmista ja keräämällä tarvittavia prosessin käyttötietoja selkeytyivät opinnäytteen kehityskohteiden rajaukset ja päätavoite. Ensiksi vanhoilla uuneilla pidettiin mahdollisuutena vähentää merivesijäähdytyksissä ilmenevää päästöjen kierto-kuormaa muuttamalla jäähdytys vastaamaan uusimman FeCr<sub>3</sub>-uunin ilma/vesijäähdytystä. Toiseksi FeCr<sub>3</sub>-uunilla esiintyneiden glykolivesivuotojen vuoksi jäähdytystä piti kehittää optimoimalla jäätymisenestoaineen eli glykolin käyttöä. Kolmanneksi päätettiin pitää tiedonkeruussa ja kontekstissa mahdollisen jatkohankkeen pohjatyö. Jatkohankkeessa tutkittaisiin, voitaisiinko glykolin käytöstä luopua kokonaan hyödyntämällä pakkaskaudella käyvien uunien lämpöenergiaa ”lämmönylläpitoenergiana” seisokissa oleville. Edellä mainitut kaksi pääselvitystä voivat olla erillisiä projekteja, vaikka niitä yhdistää haetut ratkaisut. Kolmas vaihtoehto on sitoa projektit yhteen, jolloin niillä on yhteinen käsittely. Selvityksen määrittelyssä ei rajattu pois opinnäytetyön aikana syntyviä muita vaihtoehtoja.

Lähtötietojen keruun jälkeen tehtävänä oli määritellä jäähdytystehotarpeet prosessinohjausjärjestelmän tietokannan mukaan. Pian heräsi epäily, olivatko niiden määreet eli prosessiarvot luotettavia tehtävän kannalta. Lisää selvitettävää tuli kohteista, joihin ei ollut olemassa nykytason mittauksia tai niiden tallennushistoriaa. Nämä seikat oli pohdittava arvioina ja omina kappaleinaan.

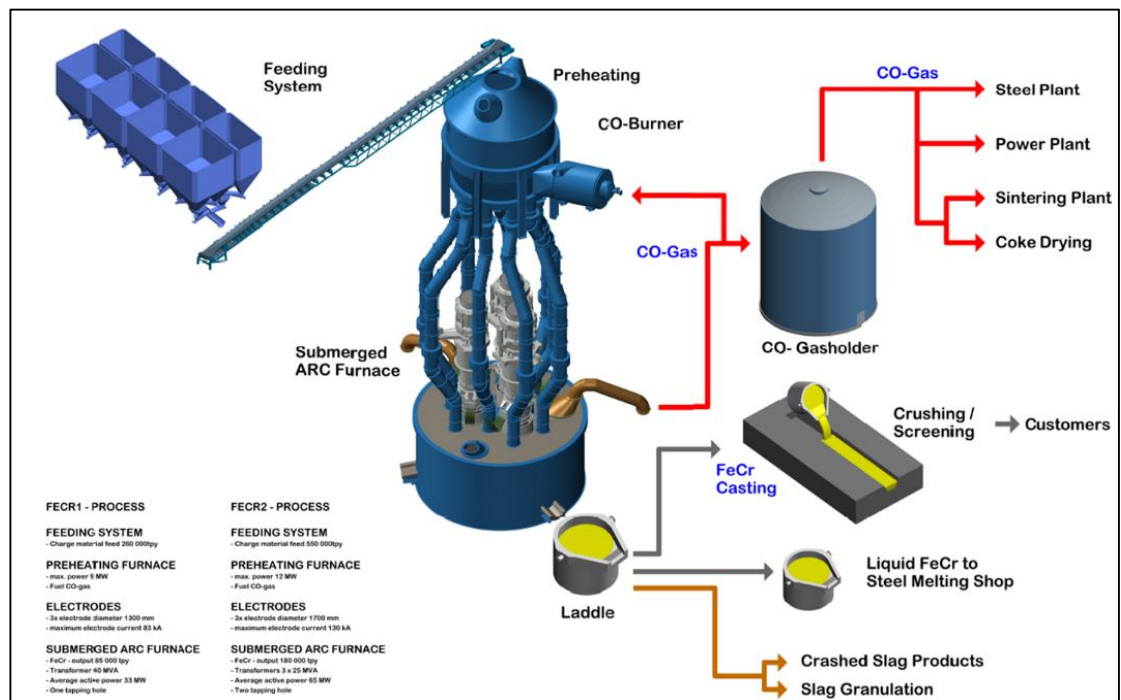
Tutkimuksen edetessä ja määriteltäessä jäähdytyksen huippukapasiteettia oli kyseistä, pitääkö valitun jäähdytysprosessin olla rakennettu toimimaan myös ääritilanteissa muutamana tuntina vuodessa? Olisiko tärkeämpää pyrkiä ongelmattomaan normaalitoimintaan ja varautua ennustettaviin ääriolosuhteisiin muilla erikseen käyttöön otettavilla kevyemmällä ratkaisulla? Kehitystyön tavoitteen, eli ilma/vesijäähdytyksen ääriolosuhteita ovat yli + 30 °C helle ja talven - 35 °C pakkaneen.



Selvityksessä ei haettu tarkkoja teoreettisia perusteita eikä ratkaisuksi uusia teoreettisia keksintöjä. Työssä etsittiin vuosikymmenien aikana kehittyneisiin ainutlaatuisiin järjestelmiin soveltuvia tuttuja teollisuudessa käytettyjä ratkaisuja.

## 2 FERROKROMISULATTOPROSESSIT JA JÄÄHDYTYS

Kemin kromikaivoksen rikastetta käyttävä Tornion ferrokromitehdas jalostaa rikasteet ferrokromiksi. Ferrokromia käytetään jaloterässulattojen raaka-aineena. Ferrokromiprosessi sisältää sintraamon ja sulaton sekä huomattavan määrän materiaalin kuljetusta, varastointia ja käsittelyä. Torniossa toimii kaksi sintraamaa ja kolme sulattoa. Viimeisin annostelu-sintraamo-sulattokokonaisuus on valmistunut F3-projektissa vuonna 2012. Sulaton keskeisin osa on sähköuuni eli valo-kaariuuni. Synonyymi uppokaariuuni selittää asian paremmin: uunin elektrodien välinen potentiaaliero purkautuu sulan ferrokromin sisällä kuumentaen sen sulaan olomuotoon. Sulatuksessa syntyy luonnollisesti lämpöenergiaa eri muodoissa. Energia pyrkii luonnostaan tasaantumaan ympäristöön. Siksi mm. vesijäähdytyksellä on välttämätön tehtävä uunin, sen rakenteiden ja liitettyjen laitteiden toimintakuntoisena pitämisessä. Sulatusuuneista käytetään lyhennettä VKU. Sulatto 3:n uuni VKU3 on Suomen suurin yksittäinen sähkön kuluttaja (Kuva 1, Outokumpu Chrome Oy:n esitysmateriaalia).



Kuva 1. Ferrokromiprosessi Tornion tehtaalla (Outokumpu Chrome Oy. Esitysmateriaalia)

## 2.1 Selvityksen ulkopuoliset muut jäähdytystavat

Käytetään esimerkkinä VKU3:n eli Ferrochromisolatto 3 uunin jäähdytystä. Sulan ferrokromin (1650 °C) pitämiseksi tiilivuoratussa uunissa ja rakenteiden keston varmistamiseksi on käytössä monta erilaista jäähdytystapaa. Uunin pohjaa ja sen rakenteita jäähdytetään turvallisuussyistä ilmavirralla, koska sulan sisässä vesi aiheuttaa räjähdysten höyrystymispaineen purkautuessa. Uunin vaippaa eli ”kattilan kylkeä” jäähdytetään avoimella vesivirtauksella eli vaipan pintaa pitkin juoksevalla vedellä, joka valuu rännin kautta pumpattavaksi takaisin kierto. Uunimuuntajia jäähdytetään omalla jäähdytyspiirillä. Nämä jäähdytystavat eivät sisälly tähän opinnäytetyöhön.

## 2.2 Selvityksen kohteet - holvin, elektrodien ja laskureikien jäähdytys

Uunin kantta eli holvia (holvikierro) sekä laskureikiä jäähdytetään suljetuilla vesikiertoilla. Siinä painetta pitävä yläsäiliö (paisuntasäiliö) tekee kierrosta suljetun. Ilma/vesi lämmönvaihtimien läpi kulkenut jäähdytetty vesi pumpataan ja jaetaan useaan jakotukkiin, joissa on paine- ja paluupuoli erillään. Tukeilla mitataan yksi kiertoveden yhteinen menolämpötila ja virtausmäärä sekä kaikkien kiertojen paluulämpötilat. Jakotukkien ja uunin välistä kiertoa kutsutaan uunikierroksi eli laiteputkistoksi. Uunikierroissa vesi virtaa läpi satojen kuparisten jäähdytyslementtien, joita on vieri vieressä. Uunissa olevaa sulaa ferrokromia ja kuonaa lähin rakenne on hiilitiilivuoraus, sen jälkeen on uunin vahvistettu teräslieriö ja sitä jäähdyttävät kuparieleментit. Erityiskohteissa jäähdyttävä vesi virtaa monimutkaisempien vaipallisten muotokappaleiden läpi. Toisissa jäähdytyksissä sama uunikiertovesi käy useammassa jäähdytyslementissä, holvikierrossa vain yhdessä elementissä.

Uppokaariuunin kansi eli holvi on suurin jäähdytystehoa vaativa kiertovedellä jäähdytettävä kohde. Glykolivesijäähdytyksen varavetenä on palovesijärjestelmä, jonka varmuus perustuu useaan pumppuun ja varavoimaan.

VKU3:n glykolivesikiertojen jäähdytyskohteet jokaista kolmea lohkoa kohti ovat:

- holvi

- syöttöputket
- housuputket
- elektrodien läpivienti
- hydraulikkayksiköt
- savitykkien kiskot
- raakakaasuputket ja niiden venttiilit
- lisätty vuonna 2015 laskureikien jäähdytyskierto vaihtimiseen.

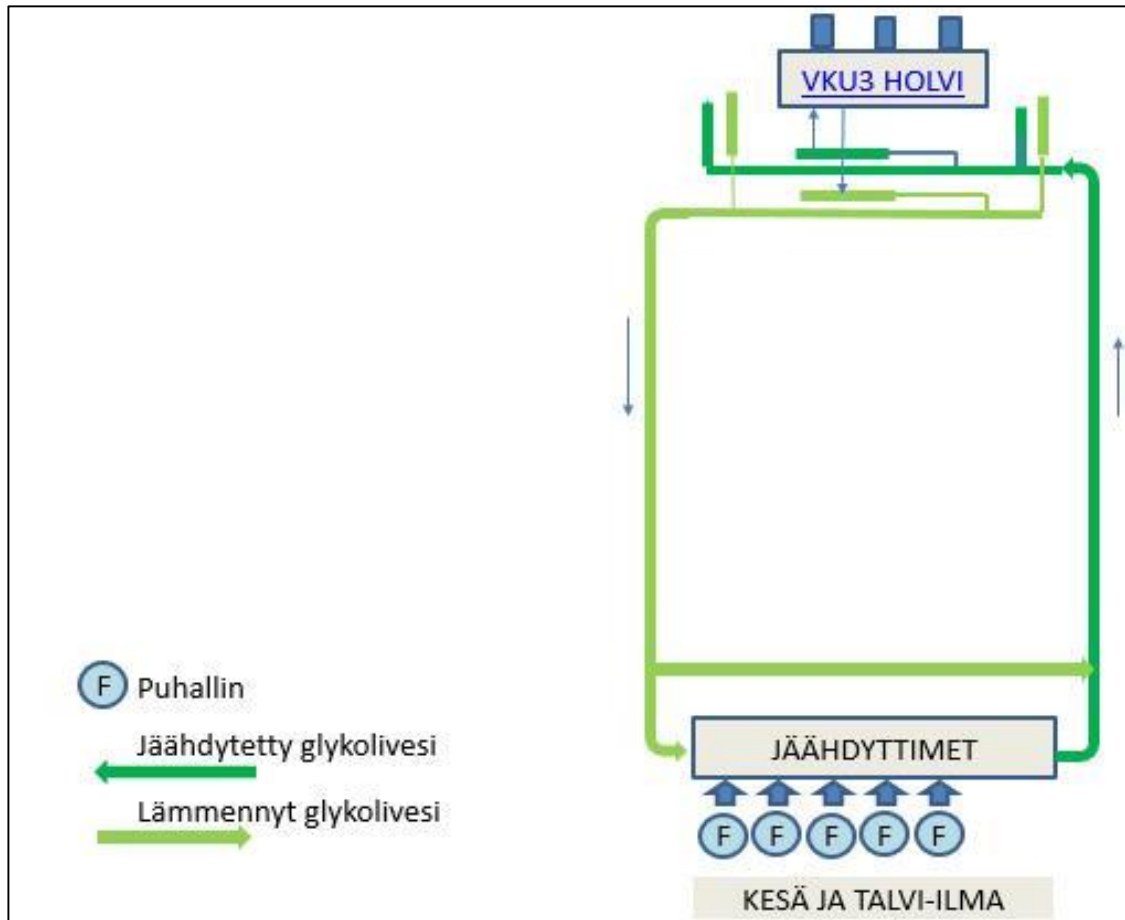
Uusin kohde holvikiertoon eli laskureikäelementit ja niiden jäähdytys on rakennettu vuonna 2015. Niistä ei ole lämpötilan mittaushistoriaa, mutta niiden pakkaus on määritetty turvallisesti kestäväksi ohentumisen, jossa jäähdytysteho on yhteensä 600 kW.

VKU3:lla kolme holvin läpi ja sulan sisään laskettavaa elektrodia ja niiden rakenteita jäähdytetään glykolivedellä (elektrodikierto). Elektrodikierron jäähdytyskohteet ovat:

- kontaktikengät
- painerenkaat
- suojakilpi
- paineyksiköt.

Holvi- ja elektrodikierto ovat periaatteeltaan samanlaisia (Kuva 2).

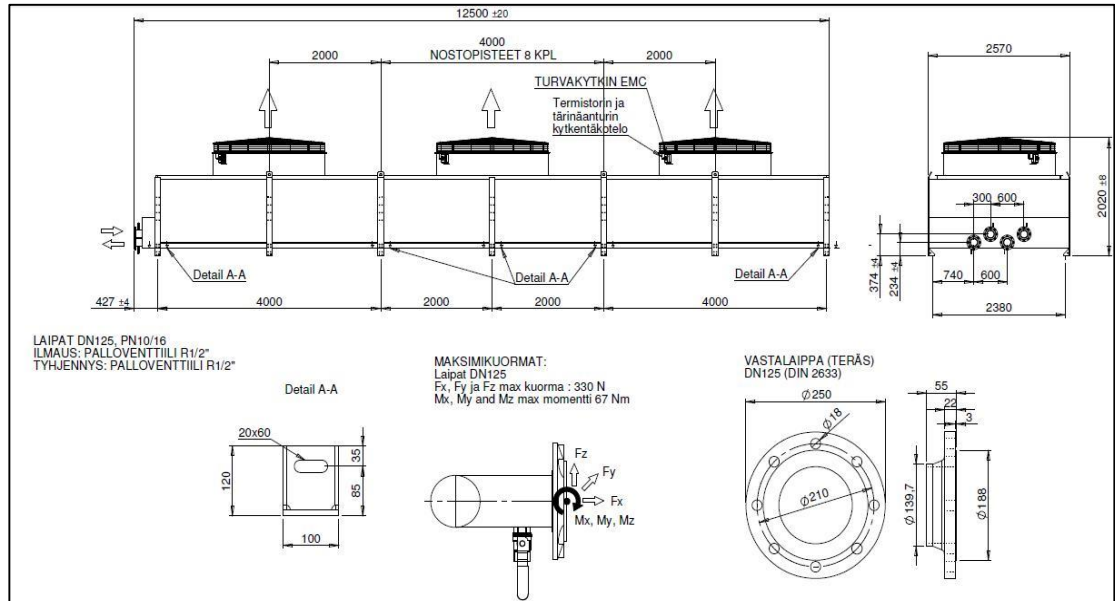
F3-projektissa rakennettiin keskitetty vesienkäsittelylaitos (VKL3) tuottamaan ja käsittelemään prosessi- ja jäähdytysvesiä lähinnä uusia laitoksia varten. Sen kattoon asennettiin ilma/glykolivesi lämmönvaihtimet eli ilmajäähdytysyksiköt holvi ja elektrodikiertoja varten. Veteen lisätyllä glykolilla varmistetaan, että ulkona olevilla ilma/vesi lämmönvaihtimilla vesi ei jäädy tai muodosta jo sakkautuessaan virtauksen estoa ja mahdollista vauriota. Jäähdytysten vesitilavuus on satoja kuutiometrejä ja glykolin osuus on alun perin optimoitu  $-25\text{ °C}$ :een. Vesi jaetaan kolmen jäähdytystukin kautta elementeille laiteputkiston kautta ja palaa lämminneenä takaisin (Kuva 2).



Kuva 2. Yksinkertaistettu kaavio holvijäähdytyksen suljetusta glykolivesijäähdytyskierrosta

### 2.3 Vesienkäsittelyn VKL3 ilma/vesi-jäähdytinsyköt

VKL3:n ohjaus tapahtuu uudesta VKU3:n valvomosta. Yksi osa on jäähdytysvesikierron ilma/vesi-lämmönvaihtimien (käytetään yleisesti lyhempää sanaa "jäähdyttimet") sijoitus laitoksen katolle ja kiertopumppujen sijoitus pumppaamoon. VKU3:n laskureikien jäähdytyksen mukana on ilma/vesi-jäähdytinkapasiteettia lisätty yhdellä kolmen puhaltimen jäähdytinsyköllä (Kuva 3). Tässä yhteydessä tuli käyttöön holvikierron fyysinen jäähdyttimen varapaikka. Nykyaikaa on rakentaa suljettuja ja sisäisiä kiertoja mm. lämpöpäästöjen vähentämiseksi ja mahdollisten lämmön talteenottojen vuoksi.



Kuva 3. Ilma/vesilämmönvaihdinyksikkö eli jäähdytin. (Alfa Laval (Fincoil) Oy. Esitysmateriaalia 2012)

## 2.4 Kalkinpoisto sisäisissä kierroissa

Vesienkäsittelylaitoksen pumppujen yhteydessä on ns. elysaattorit eli ioninvaihtajat ts. suolanpoistajat. Putkistoja ei ole tarkasteltu suljettuja lämminvesikiertoja yleensä vaivaavan kalkinmuodostuksen kannalta. Keskusteluissa toimeksiantajan kanssa ilmeni, että käyttökokemukset ovat vähäiset, eikä käyttäjien tiedossa ole ongelmia.

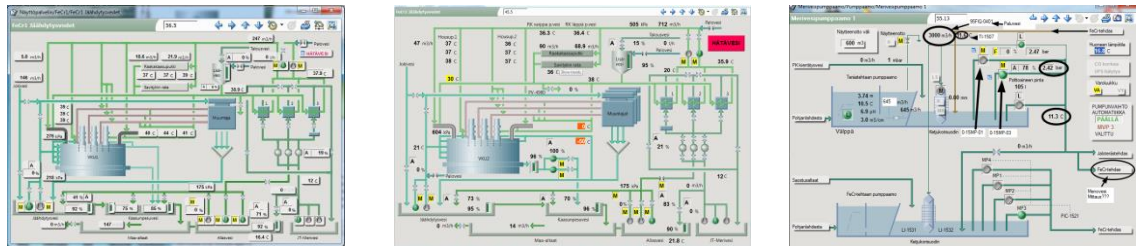
## 2.5 VKU1:n ja VKU2:n jäähdytys merivedellä

Vanhojen VKU1:n ja VKU2:n vesijäähdytys hoidetaan merivedellä. Merivesipumppaamo on rakennettu pääosin kahdessa osassa 1960- ja 1970-luvuilla. Alkuperäisin osa on ensimmäistä ferrokromisulattoa varten ja laajennus jaloterässulattoa ja kylmävalssaamo varten. Myöhemmin kylmävalssaamo on luopunut meriveden käytöstä. VKU1:n ja VKU2:n sisäisen uunikierron jäähdytys tapahtuu hyödyntämällä osa JTSU:lle menevästä jäähdytysvedestä.

Vanhat laitokset ja niiden valokaariunit (VKU1 ja 2) olivat tuotannoltaan ja jäähdytystehotarpeeltaan aikanaan suuria, mutta nykyään niitä voi pitää keskikokoisina. Niiden holvi- ja elektrodikiertojen ensiökierrot jäähdytetään lämmönvaihtimilla, joissa toisiokierrossa on merivesi. Laitteisto sijaitsee merivesipumppaamon ja vanhojen sulattojen välimaastossa. Laitteputkisto on kellarissa ja siirtoputkisto maan alla maavaraisena.

### 3 VESIKIERTOJÄÄHDYTYSPROSESSIEN NYKYTILA JA ONGELMAT

Ferrokromisulatoilla on kaksi vanhempaa uunia VKU1 ja VKU2, jotka ovat merivesijäähdytteisiä. Uusin VKU3:n jäähdytysvesi on ilmajäähdytteinen. Selvityksessä prosessin lähtötietoina PI-kaavioiden rinnalla käytettiin Metso Oyj:n prosessiohjausjärjestelmä DNA:n valvomonäyttöjen kuvankaappausta kesäkuulta 2015. Niiden prosessisisältö on selvityksen laajuutta paljon suurempi, joten selvitystä varten on laadittu omat yksinkertaistetut selventävät kuvat vastaamaan työn tarpeita. Kuvankaappaukset ottohetki ei edusta prosessin normaalia tai vaativaa jäähdytystehon hetkeä kovinkaan hyvin. Esimerkiksi VKU1 oli vajaateholla ja VKU3:a käynnisteltiin uusien laskureikäjäähdytysprojektin asennusten jäljiltä. Selvityksen aikana todettiin, että kuvien sisältö pidetään vain viitteellisinä (Kuvat 4 - 6).



Kuvat 4 - 6. VKU1, VKU2 sekä merivesijäähdytys viitteellisinä DNA-näyttöinä (Outokumpu Chrome Oy 2015. Prosessiohjausjärjestelmän kuvakaappauksia 2015)

#### 3.1 Jaloteräs- ja ferrokromitehtaan yhteinen merivesijäähdytys

Yhteinen ja tärkeä jäähdytysjärjestelmä on koettu usein ongelmalla- ja seisokkitilanteissa vaihtoehtoja rajoittavaksi. Ferrokromin merivesiputkisto on haaroitettu jaloterässulatoille menevästä linjasta läheltä merivesipumppaamo. Molemmat tehtaat ovat riippuvaisia toistensa suunnitelmista ja saneerauksista järjestelmään.



### 3.2 VKU1:n ja VKU2:n jäähdytyskiertojen nykytila

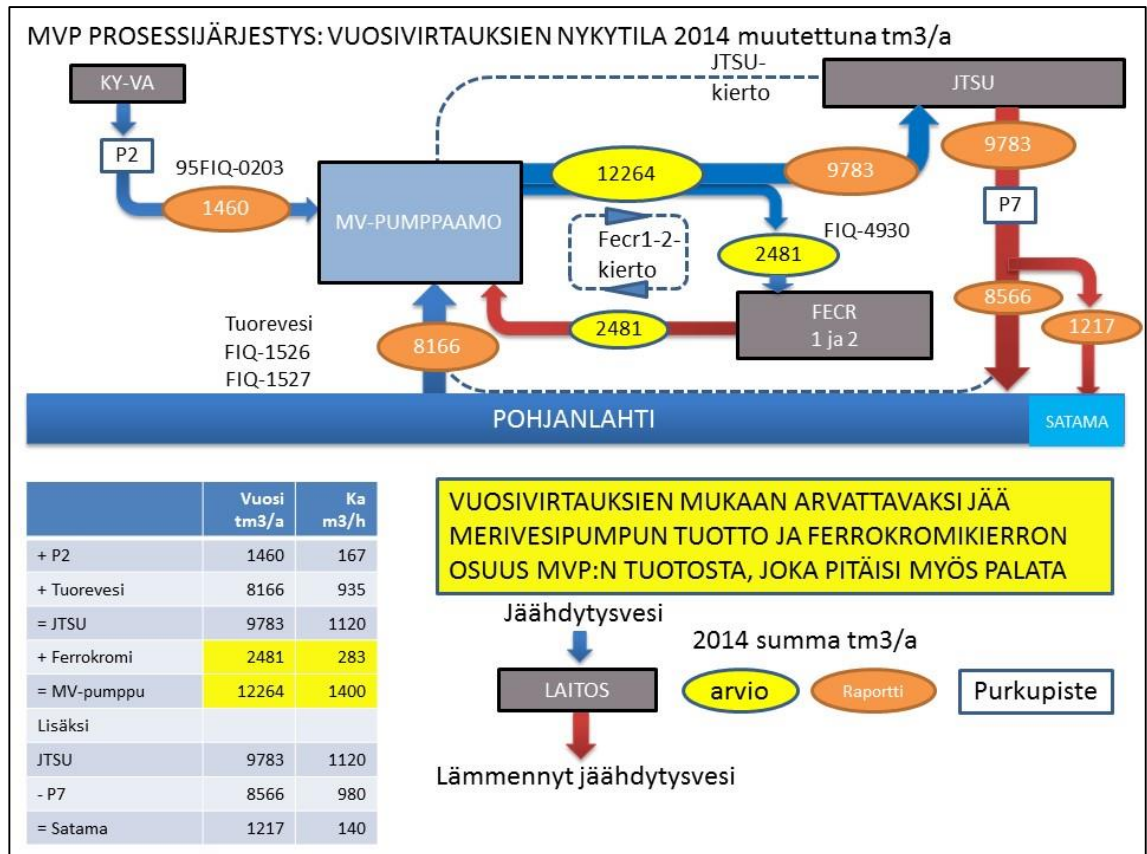
VKU1:n ja VKU2:n valokaariuunien jäähdytysprosessin uunikierrat sisältävät jakotukit ja uuninpuoleisen laiteputkiston. Ne ovat suljettuja järjestelmiä. Se tarkoittaa että putkisto on paineellinen ja sitä pidetään paineellisena avoimella paisuntasäiliöllä, joka on sijoitettu korkeimpaan osaan järjestelmää (+ 26.7 m tasolla). Tarkasti ottaen järjestelmä on avoin, koska paisuntasäiliössä on ilmayhteys. Suuridimensioinen putkisto ei kestäisi (tai olisi hirvittävän kallis) liian suureksi nousevan lämpötilan kasvun aiheuttamaa painetta, joten paine ja ilmakuplat purkautuu avoimen paisuntasäiliön kautta. Käytännössä vesi ei siis virtaa paisuntasäiliön ja kierron välillä. VKU1:n ja VKU2:n valokaariuunien jäähdytysprosesseissa vakioksi on asetettu uunikierron veden tilavuusvirta eli vakiokierrospumppujen kierros-luku. VKU1:n ja VKU2:n jäähdytysveden virtaus on niin suuri, että vesi ei lämpene jäähdytyskohteissa käydessään kuin alle 2 °C. Taustalla on erityinen tarve maksimoida vajaa jäähdytysteho mm. housuputkilla, joiden vesimäärä kokonaisuudesta on pieni, mutta kiehumisvaaran takia virtauksen (eli jäähdytystehon) pitää olla suuri. Uunissa syntyvä kuuma häkäkaasu johdetaan housuputkien kautta kaasunpesureille. Jäähdytysprosessit toimivat normaalitilanteessa ilman suurempia huomioita. Molemmilla uuneilla on sama valvomohuone, mutta oma valvomohenkilökuntansa.

Jäähdytyksen lämmönvaihtimet sijaitsevat sulatosta erillään olevassa rakennuksessa. Vaihtimet (pos- 9.15.01–03) on sijoitettu niin, että kolme lämmönvaihdinta on rinnakkain ja järjestelmällä on yhteinen keskimmäinen varavaihdin. Yleensä varavaihdin on otettu väliaikaisesti ja manuaalisesti käyttöön käyttäjien sopiessa VKU1:n ja VKU2:n huolloista. VKU2:n uunikiertopumput 9.23.1 ja 9.23.2 sijaitsevat samassa tilassa. VKU1:n 9.23.1 ja 9.23.2 sijaitsevat sulatto 1:n eteläosassa. Järjestelmät ovat kokonaisuudessaan sisätiloissa ja uunikiertovesi ei tarvitse pitkän talviseisokin takia jäätymistä estävää glykolia. Siirtoputkisto on sijoitettu maanalaiseen huoltokäytävällä varustettuun putkikanaalin lähelle kuonankäsittelyä. VKU1:n jäähdytyksen päälaitteet on vanhimmilta osiltaan rakennettu 1970-luvulla ja saneerattu VKU2:n rakentamisen yhteydessä vuonna 1984. VKU2:n

vaihtimen levyt ovat vaihdettu vuonna 2012 vaihtimeen kirjoitetun tekstin mukaan. VKU2:n uunimuuntajat ovat saaneet vesijäähdytyksen tilalle vesi/ilmajäähdytyksen vuonna 2014.

### 3.3 VKU1:n ja VKU2:n merivesijäähdytyksen nykytila

Levyvaihtimien uunikierron toisella puolella on merivesikierto, jossa kiertää lämpötilaltaan hitaasti muuttuvaa Pohjanlahden vähäsuolaista vettä. Järjestelmä on avoin, sillä sen paluupuoli johdetaan viemäriä pitkin lähtöpisteeseen eli pumppausaltaaseen. Pumppausaltaaseen tulee mukaan tuorevedeksi kutsuttua kylmempää merivettä, koska pumppaus on yhteinen terässulaton kanssa ja määrällisesti suurempi osuus ei pala pumppausaltaaseen (Kuva 7). Ferrokromin merivesiputkisto on haaroitettu jaloterässulaton menevästä linjasta läheltä merivesipumppaamo. Sitä säädetään automaattiventtiilillä kuristamalla. Sen sulkuna on venttiili Vm02. Tämä linja on myös maanalainen ja maavarainen. Merivesipumppaamon avoimen kierron jäähdytuspumput ovat siis yhteiset terässulaton kanssa. Merivesilinjoissa on automaattiset mutasihdit ja keskimmaisessä varavaihtimen linjassa ei-automaattipuhdistuksella oleva.



Kuva 7. Terässulaton (JTSU), FeCr-1 ja 2 (VKU1 ja VKU2) yhteinen merivesijäähdytyskierto. Kierrossa virtaa osaksi sama vesi ja sen mukana kulkevat aineet

Merivesikierron pumppuna toimii vertikaalipumppu pos. 0-15MP-03. 1970-luvulla automatiikka, tai paremminkin mittaus- ja säätötekniikka oli vasta aluillaan. Varsinkin virtausmittauksia ja muuta prosessitietoutta ei ole saatavilla kaikilta osin ja kahden tehtaan tarvetta varten olevaan putkistoon jälkiasennukset ovat vaativia. Vaativuutta lisää se, että putket ovat maan alla ja maavaraisia. Säätö tapahtuu kuristamalla automaattiventtiilillä. Meriveden paluuvirtauksen mittaus 95FIQ-0401 on antanut arvoja välillä 0 - 3000 m<sup>3</sup>/h. Mittaus on epäluotettava. Kysymyksessä on viemärimittaus, jossa tapahtuu joskus mittauksen kohdalla virtausta molempiin suuntiin. Viemäriin ei voi rakentaa vakauttavaa hanhenkaulaa. Tällä virtausarvolla ei ole suoraa merkitystä selvityksen kannalta, mutta virtausmäärätiedolla voisi arvioida vastapuolen eli uunikiertojen jäähdytystehon oikeellisuutta. VKU1:n ja VKU2:n vaihtimilla lämmennyt merivesi palautuu altaaseen, johon tulee myös tuorevettä Pohjanlahdesta. Tämä vesi sisältää jaloterässulaton (JTSU) kierrosta palautunutta ja purkupisteen P7 kautta kulkenutta vettä Pohjanlahdesta.

Purkupiste P7 on yksi tehtaan virallinen päästöjen mittauspiste (Kuva 7). Tuorevettä tulee vuosiraportin mukaan vuoden kertymänä 8166  $\text{tm}^3/\text{a}$  (tuhatta kuutiometriä/vuosi) ja sen lämpötila oli kesäkuussa 2015 vain 10,5 °C. Mm. pumpujen kitkat ja maalämpö nostavat lähtevän lämmön 11,3 °C:een (olettaen että mittaukset ovat kalibroitu oikein). Ferrokromin paluuvesi voi olla vain 11,6 °C, kuten DNA-näyttö osoitti kesäkuussa 2015, jolloin VKU1 oli seisokissa. Tämä 0,3 °C lämpeneminen on projektikollegan sanoin todellakin vain ”mittarivirheen luokkaa”.

Yleisenä käsityksenä on, että lämpötilan nousu korkeammaksi aiheuttaa levänkasvua. Virran mukana kulkevat uppopuut ja muut isot roskat poistetaan väljän avulla. Merellä kasvanutta ja virtaukseen tulleen kiinteän ”lian” poistaa ketjukorisuodin. Levä ei tartu suotimiin ja sitä syntyy suosiollisissa oloissa vielä suotimien jälkeenkin.

### 3.4 VKU1:n ja VKU2:n merivesijäähdytysjärjestelmän ongelmat

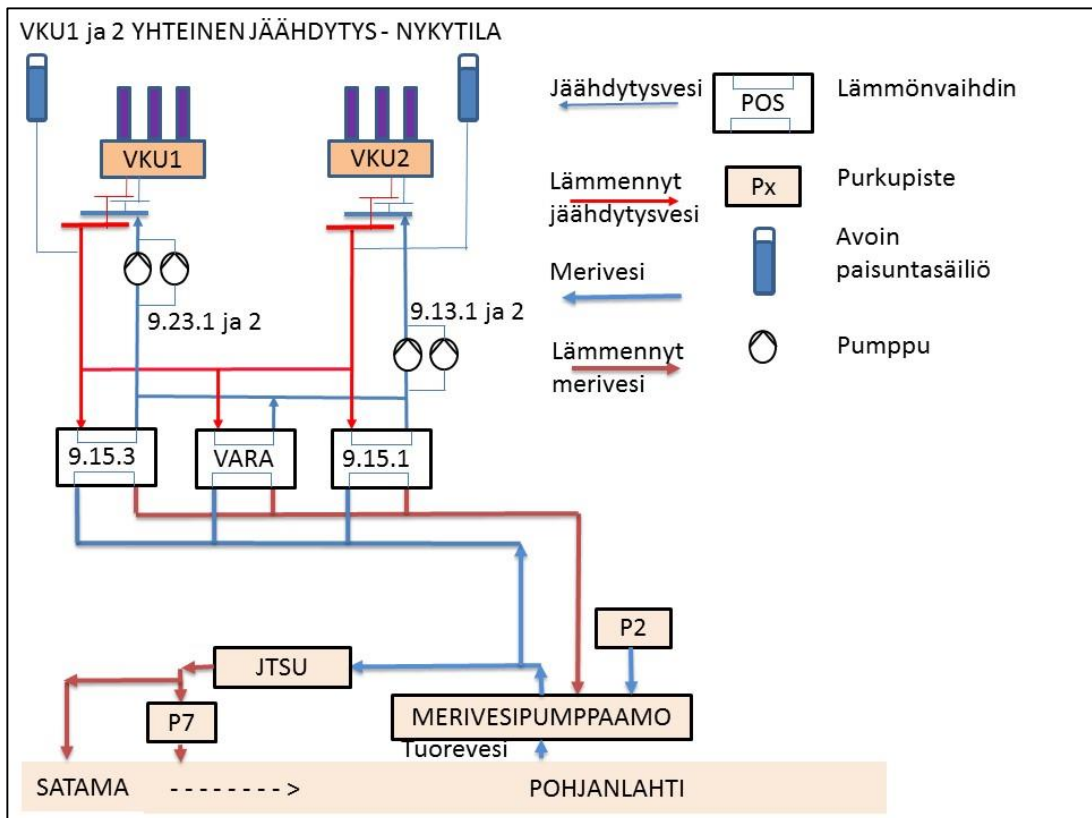
Yleisesti merivesijäähdytyksestä halutaan eroon, koska se on usein avoin kierto. Mereen palautuvat kierrot ovat myös seurattavia ja mitattavia kohteita mahdollisten päästöjen vuoksi (Sorsa 2015).

#### 3.4.1 Puoliavoin merivesijäähdytys

Merivesikierrossa vaihtimella lämmennyt vesi palautuu pumppausaltaaseen ja sekoittuu kylmempään Pohjanlahdesta tulevaan veteen. Kuten tiedetään, merivettä on rajattomasti jäähdytystarkoitukseen ja sen pohjalämpötilan vaihtelu on verrattain vähäistä ja vakaasti muuttuvaa. Merivesijäähdytys on perustoimintavarma. Yksi riski on tehtaan yhteisen merivesipumppaamojärjestelmän ikä. Eri-tyisesti maanalaisen siirtoputkiston käyttöikä ja sen sijoitus ovat riskitekijöitä.

### 3.4.2 Sisäisen kierron ongelma päästömittauksessa

VKU1:n ja VKU2:n jäähdytysprosessien uunikierrat sisältävät lämmönvaihtajien uunin puoleiset pumput 9.13 ja 9.23 varapumppuineen, jakotukit ja niiden jälkeisen laiteputkiston (Kuva 8). Ne ovat suljettuja järjestelmiä. Putkistoa pidetään paineellisena avoimella paisuntasäiliöllä, joka on sijoitettu ylimpään osaan järjestelmää. Uunikiertoa jäähdytetään merivedellä, joka on haaroitettu jaloterässulaton (JTSU) putkesta. Ferrokromitehtaan osuus palautuu takaisin pumppaamon altaaseen. Samaiseen altaaseen pumpataan kylmävalssaamon hulevedet (sade- ja sulamisvedet) purkupisteestä P2 (Grekula 2015).



Kuva 8. VKU1:n ja VKU2:n nykytila, uunikierto ja sen merivesijäähdytys

JTSU:n lämmennyt jäähdytysvesi jatkaa P7:lle. Virtauksesta osa käytetään sataman sulana pitoon talvella, mutta pääosa lasketaan niemen tehtaan puolelle Pohjanlahteen. Lähelle merivesipumppaamo on mahdollisesti sedimentoitunut vuosien kuluessa vanhan P1 purkupisteen päästöjä, vaikka kovilla etelätuulilla tuo-

reveden päästöt eivät ole olleet systemaattisesti korkeampia. Pohjanlahteen palautetusta jäähdytysvedestä osa saattaa kulkeutua viiveellä, ns. tuorevetenä, MV-pumppaamon pumppausaltaaseen. Ferrokromitehdas kierrättää siis osaksi samaista merivettä ja päästöt tulevat näin uudelleen mitatuiksi. Tämä kiertokuorma edustaa pahimmillaan n. 50 % ja keskimäärin n. 25 % koko tehtaan päästöistä. Nykyisen vesiluvan puitteissa viranomainen katsoo pelkän lämmentyneen jäähdytysvedenkin päästökseksi, koska putkesta ulos tulevan veden koostumus ei ole täysin sama kuin sisään menevän. Kylmävalssaamon (KYVA) hulevedet P2:sta ovat ferrokromin ulkopuolista päästöä. Hulevesien tasainen virtaus ei ole suhteellisesti merkittävä määrältään, mutta se sisältää epäpuhtauksia, jotka muuttavat MV-jäähdytyksenkin päästökseksi.

Purkupisteen P2 poisto jäähdytysvesikierrosta vähentäisi FeCr-tehtaan volyymin päästökuutioista. Ilman P2-muutosta on mietittävä FeCr:n osuutta kiertokuormassa: FeCr1 ja 2 nostavat veden lämpötilaa 1- 2 °C, jolloin JTSU pärjäisi vähemmällä virtauksella. Kuitenkin jäähdytyksen tehoon on usein vastattu jäähdytysveden määrällä. Oletettavissa on, että JTSU ottaisi vapautuvan volyymin omaan jäähdytykseen ainakin hellekaudella. Kuitenkin ferrokromin pyrkimys poistaa meriveden käyttö jäähdytyksestä ja kiertokuormasta olisi sen oma osuus uudistuksessa. Samalla laitokset eivät olisi enää jäähdytyksen suhteen toisista riippuvaisia.

#### 3.4.3 Levänkasvu ja sen torjunta

Usein meriveden käytön ongelmana on levänkasvu ja vaihtimien tukkeutuminen. Puoliavoimen happea saavan kierron arvellaan tehtaalla mahdollistavan levänkasvulle sopivan lämpötilan ja merivesi antaa ravinteet. Jaloterässulatolla levästä limaantunut putkisto on suuri ongelma erityisesti lämpiminä kesinä, jolloin levää kasvaa laajalti myös Pohjanlahden rannoilla. Koska levänkasvu vaihtimien pinnalle heikentää, jo lämmentyneen veden lisäksi, lämmönsiirtokykyä ja tukkii vaihtimet, on se ollut todellinen haitta erityisesti terässulatolla. Pienemmällä virtauksella (kun virtausnopeuskin on pieni) ja levän kasvun kannalta edullisella lämpö-

tilalla levän tarttumisen levyvaihtimen pintoihin pahenee. Tämä pakottaa ajamaan jäähdytysvettä suurella virtausmäärällä. Ferrokromitehtaalla ei vastaavia ongelmia ole. Leväongelmista on selvitty suurella virtauksella. Virtausmäärän ylläpito korkeana on pois terässulaton vesikapasiteetista ja aiheuttaa joskus kärkevää keskustelua tuotanto-osastojen välillä.

Kun kohonneet uunikierron lämpötilat (vrt. toisiopuolella kohonneet meriveden lämpötilat) laskevat jäähdytystehoa, ensimmäisenä suurta jäähdytystehoa vaativat kohteet (housuputket) kärsivät huonosta jäähdytyksestä. Virtauksen pitäminen suurena kasvattaa pumppauskustannuksia kohonneiden virtausvastusten nousuna ja mahdollisesti pumpun hyötysuhteen laskun muodossa. Limaantumista poistavaa lisäainetta ei voi käyttää avoimessa kierrossa sen suuren tarpeen tai mereen sekoittumisen vuoksi (Grekula 2015).

#### 3.4.4 Kunnossapidettävyys

VKU1:n ja VKU2:n yhteinen vaihdintila ei voi tarjota rinnakkaiselle järjestelmälle kovin hyvää kunnossapidettävyyttä. Ahdas kellaritila on jo kokenut usean modernisoinnin. Siitä on ollut aina seurauksena vaikeutunut kunnossapidettävyys, koska ahdas paikka on ongelmallinen huoltaa. Vanhojen laitteiden kohdalla vasta asennustyössä havaitaan tosiasiat, seisokki kestää ja maksaa paljon tuotannon menetyksenä.

#### 3.4.5 Elinkaaren arviointi

Rakennusvuoden ja visuaalisen tarkastelun perusteella järjestelmä on loppupäässä elinkaartaan. Päälaitteiden ikä vaihtelee 35 ja 45 vuoden välillä. F3-projektin alkuperäisissä esisuunnitelmissa oli tarkoitus korvata vanha pumppaamo uuteen vesienkäsittelylaitos 3:een rakennettavilla laitteilla. Toteutus suunnittelussa päädyttiin kuitenkin rajaamaan muutokset vain välttämättömimmän rakentamiseen. Vanhojen osastojen järjestelmistä ei korvattu kuin pakolliset osuudet ja luotiin varajärjestelmiä.

Putkikanaali pumppaamon ja VKU1:n välillä on yli 40 vuotta vanha kohde. Se on aikansa normeilla rakennettu, pimeä, ahdas ja kaikin puolin ruosteessa. Putkikanaali sijaitsee osittain FeCr-valanteiden käsittelykentän alla, jolla ei sinänsä ole mainittavaa merkitystä. Lämmönvaihtimien toisella puolen oleva maavarainen haponkestävä merivesiputkisto varusteineen ovat kunnossapito-osaston arvioissa käyttökänsä loppupuolella. Yleisenä tavoitteena Outokummussa on, erityisesti tehdasalueen huolloista vastaavilla, saada vanhat ja venttiileiltään epävarmat putket putkisiltoihin. Näin voidaan varmistaa venttiilien tarkastus ja testaaminen sekä lisätä automaatiota prosessin vaatimusten mukaan. Samalla vapautuu rakennusala putkien reiteiltä. FeCr3-projektissa varauduttiin putkisiltoihin mitoittamalla ne mm. näille putkille.

On pidettävä mielessä varautumistapa, eli suunnitella korvaavat laitokset paikkaan, josta ne olisivat järkevästi kytkettävissä siltoihin asennettaviin siirtoputkistoihin ja mahdollisesti käyttöönotettavissa myös varajärjestelmän kanssa. Toki varajärjestelmänä pidettävän merivesipumppaamon kunnossapitoa pitää pohtia sen taloudellisen elinkaaren ja toimintavarmuuden kannalta.

#### 3.4.6 Maanalaiset putkistot

Röyttän tehtaiden ja varsinkin ferrokromisulaton rakentaminen alkoi 1960-luvun lopulla eli vanhimmat runkoputkijärjestelmät tehtiin sen aikaisilla tavoilla maan alle. Käsitystä siitä, kuinka täyteen tehdastontti joskus tulee, ei tuolloin ollut varmaan kellään. Etuna routarajan alle asennuksessa oli mahdollisuus rakentaa ilman teräsrakenteita, eristystä tai sähkösaattoja eli mahdollisuus selviytyä alhaisemmilla rakennuskustannuksilla. Osa putkista ja kaapeleista rakennettiin betonikanaaleihin. Vanhimmat putket ovat kohta 50 vuotta vanhoja. Eräs esimerkki on kaasunpesun maavarainen valurautainen merivesiputki (Wm02-600Gr). Tästä (ei tekemisessä tämän aiheen kanssa) putkesta halutaan eroon, koska se on riskitekijä ja se sijaitsee potentiaalisella rakennettavalla alueella. Paineellinen prosessiputki vaikeuttaa alueen vapaata hyötykäyttöä, koska alue on keskeisellä



paikalla sulattojen välimaastossa. Uusittavat siirtoputket halutaan sijoittaa nykyisin yhdistettyihin putki- ja kaapelisiltoihin. Putkikaapelisilloissa on varauksia ja liityntämahdollisuuksia maavaraisten korvaamiseksi siltoihin.

#### 3.4.7 Päälaitteiden sijoitus tehdasalueella ja varaukset

Edellä esitetyt esimerkit maavaraisista prosessiputkista ovat aikanaan olleet oikea ratkaisu, koska tehdasalueen täyteen rakentaminen oli tuolloin utopiaa. Tässäkin selvityksessä on otettava kantaa siihen, mihin sulattojen välillä kannattaa sijoittaa uusia laitteistoja ja siirtoputkistoja. Myös varausten ja laajennusten käyttöönotto pitää huomioida.

#### 3.5 VKU3:n ilmajäähdytyksen nykytila

VKU3:n holvi- ja elektrodikiertoja ajetaan vakiovirtauksella eli pumpun kierrosluku on vakio. Sääto, kun ulkoilman lämpötila tai uunin tehot vaihtelevat, tapahtuu kytkemällä jäähdytinpuhaltimia päälle tai pois. Valvomohenkilökunta tekee tämän prosessiseurannan mukaan. Sääto on siis lähes portaaton, 30-portainen, koska kymmenessä jäähdytynyksikössä on jokaisessa kolme puhallinta. Puhaltimien vakio kierrokset on asetettu moottorin teho-ominaisuuteen verraten 75 % tehoon. Tämä on ollut laitesuunnittelun ratkaisu. Tehoa (ts. maksimikierroslukua) voidaan muuttaa vaihtamalla moottorin ohjausta (taajuus). Tehon kasvattaminen ei siis onnistu valvomosta. Puhaltimia pyritään käyttämään samat tuntimäärät niiden käyttöiän tasaamiseksi. Jatkuvana säätonä on myös vaihtimien ohitus, joka on automaattiventtiilillä varustettu (holvikierrossa 30GV-1587Wk). Tätä säätoä käytetään vain käsiajona.

Uunin tehoa nostaessa, mutta puhaltimien käynnistämisen myöhästymisestä johtuen vesi on kuumentunut normaalia enemmän ja siitä on seurannut jäähdytystehton nosto eli ”kiinniottovaihe”. Näitä inhimillisiä tekijöitä on pidettävä tehontarpeen kriteereinä.

Holvikiertoon rakennettiin oma lämmönvaihdinpiiri jäähdytettäviä laskureikiä varten kesällä 2015. Laskureikien kulumisen, eli ohentumisen seurauksena, kasvava jäähdytysteho voidaan huomioida tulevaisuudessa niistä annetuista arvioista.

Holvi- ja elektrodikierrat ovat suljettuja kiertoja ja sama glykolivesi kiertää uunilla ja n. 150 metrin päässä olevassa erillisessä vesienkäsittelylaitos 3:ssa ja sen katolla olevilla ilma/glykolivesi-lämmönvaihtimilla. VKL3:n sisällä on pumput.

Veteen sekoitettu glykoli (virallinen nimi *etyleeniglykoli*) estää veden hyytymistä ja jäätymistä. Ilma/vesi- vaihtimet ovat Tornion Röytän ilmastossa mahdollisesti jopa -35 °C pakkasessa. Talven 2014 pakkasennätys oli tosin vain noin - 22 °C.

Tuuli ja vapaan ilmapirran aiheuttama tehon lisäys on merkittävä pakkasilla, vaikka puhaltimet olisivat kytketty pois. VKL3:lla liiallisen jäähtymisen vuoksi puhaltimista suuri osa oli peitetty pressulla talven 2014 aikana. Puhaltimien moottorien ja laakerointien kunnossa pysymisen ja toimintavarmuuden kannalta toimittajan ohjeen mukaan niiden pitäisi mieluummin pyöriä minimikiirroksilla kuin olla pois päältä. Käytössä ei ole todettu uudelleenkäynnistymisongelmia.

Suljetun järjestelmän vuotoja varten oleva korvaavan veden automaattitäyttö sijaitsee yläsäiliön eli paisuntasäiliön kannessa. Vuotoja ja haihtumista varten lisävetenä on talousvesi ja sille varavetenä varmatoiminen palovesi. Talvella 2014 glykolin osuus oli päässyt seoksessa vähentymään. Sen on mitattu vastaavan jäätympistettä - 15 °C. Jäätyminen alkaa synnyttäen hileitä, eli kansanomaisesti sohjoa. Kun lämmöntuotto loppuu, glykolivesi jäähtyy ja ensiksi syntyy sohjoa. Vapaa virtaus estyy kun sohjo tukkii ensin virtauksen viimeistään pieniputkisilla vaihtimilla. Vaihtimilla on dimensioltaan suuri (holvikierrossa DN400) ohituslinja ja siinä säätöventtiili.

### 3.5.1 VKU3:n ilmajäähdytysjärjestelmä helteellä

Vesienkäsittely 3:n katolla olevan ilma/vesijäädyttimet ovat tehokkaita ja jäähdytyskapasiteetti on riittänyt. Ilma/vesivaihtimien mitoituksessa oleellisinta on taata jäähdysteho helteellä. Kuitenkin se on toiminnan rajoilla helteellä. Ilman lämpökapasiteetti on vain n. 1,0 (NTP) veden erityisen hyvään arvoon 4,2 verrattuna. Yksinkertaistettuna se tarkoittaa massaltaan 4,2-kertaisen ilmamäärän käyttöä jäähdytykseen eli ilmavirta on merkittävä. Lisäksi on huomattava, että veden tiheys on n. 1000 kg/m<sup>3</sup> ja ilman n. 1 kg/m<sup>3</sup>. Tästä seuraa, että johtamispinnojen jäähdytettävän veden ja jäädyttävän ilman välillä täytyy olla pinta-aloiltaan suuria ja puhaltimien ilmavirtaus optimoitu suureksi. Ilman jäähdysteho on riippuvainen sen lämpötilasta. Helteissä Kemi-Tornion lentoasema on noteerattu Ilmatieteenlaitoksen tilastossa korkealle vuosina 1961 ja 1970 (Taulukko 1). Outokummun hankinta-asiakirjoissa liite ”TTS20601-paikalliset olosuhteet” on melko vaativa. Se kertoo ympäristön lämpötilan vaihtelevan välillä – 40 - +40 °C. Suomen korkein lämpötila vuodesta 1961 vuoteen 1973 on esitetty ote, josta Kemi-Tornion seutu löytyy kahdesti. Taulukossa on järjestys paikkakunta, lämpötila ja päivämäärä. Kemin lentoasema pääsi kesän lämpimimpänä paikkana listakärkeen vuosina 1961 ja 1970.

Taulukko 1. Suomen korkein lämpötila vuodesta 1961 vuoteen 1973. (<http://ilmatieteenlaitos.fi/helleteilastot>)

Suomen korkein lämpötila vuodesta 1961 lähtien		
Kemi-Tornion la	30,8	14.7.1961
Kruunupyyn	26,0	20.6.1962
Utti	32,8	2.8.1963
Kruunupyyn	31,0	15.6.1964
Utti	29,0	21.7.1965
Varkaus Käpykangas	32,0	20.6.1966
Utti	31,2	3.8.1967
Lahti Laune	30,4	19.6.1968
Naantali	31,5	1.8.1969
Kemi-Tornion la	32,9	20.7.1970
Hattula Leteensuo	29,3	6.7.1971
Outokumpu	33,6	8.7.1972
Anjalankoski Anjala	32,5	6.7.1973

Ilmatieteenlaitoksen mukaan pitkän hellejakson (5-10 vrk) lämpöennätykset Kemi-Tornion lentoasemalla voivat olla +30,1 - 30,9 °C. Viimeksi 5 vuorokauden keskilämpötila 25 °C oli kesällä 2.7. – 6.7.1972 (Taulukko 2).

Taulukko 2. Pisimmät vuorokautiset keskiarvot yli + 25 °C. (<http://ilmatieteenlaitos.fi/helletilastot>)

Huippuhellejaksot, kun päivän ylin lämpötila oli vähintään 30 °C			
Havaintoasema	Yhtäjaksoisesti yli 30 astetta -hellejaksot	Pituus vrk	Ylimmän lämpötilan vaihteluväli
Inari Nellim	30.6. - 9.7.1972	10	30,3...32,2
Utsjoki Kevo	27.6. -3. 7.1972	7	30,3...32,4
Oulu	30.6. - 6.7.1972	7	30,4...31,6
Inari Toivoniemi	1.7. - 7.7.1972	7	30,1...32,3
Inari Ivalo la	2.7. - 7.7.1972	6	30,4...31,4
Lahti Laune	11.7. - 16.7.2010	6	30,3...33,4
Kouvola Utti la	11.7. - 16.7.2010	6	30,4...32,5
Kouvola Utti	11.7. - 16.7.2010	6	31,3...33,1
Puumala	11.7. - 16.7.2010	6	31,2...33,9
Espoo Nuuksio	<b>23.7. - 28.7.2014</b>	6	30,2...31,7
Vaasa la	28.6. - 2.7.1972	5	30,5...31,8
Kruunupyy la	30.6. - 4.7.1972	5	30,3...31,7
Kemi-Tornio la	2.7. - 6.7.1972	5	30,1...30,9
Ylitornio	2.7. - 6.7.1972	5	30,8...31,8
Inari Sevettijärvi	5.7. - 9.7.1972	5	30,5...31,5
Turku Kupittaa	14.7. - 18.7.2003	5	30,3...32,2
Turku la	14.7. - 18.7.2003	5	30,1...31,6
Mietoinen Saari	14.7. - 18.7.2003	5	30,2...33,3
Tampere Hatanpää	15.7. - 19.7.2003	5	30,7...31,9
Tampere Härmälä	15.7. - 19.7.2003	5	30,4...31,8
Kankaanpää Niinisalo	15.7. - 19.7.2003	5	30,2...31,5
Kouvola Anjala	11.7. - 15.7.2010	5	31,6...32,3
Salo Kiikala la	11.7. - 15.7.2010	5	30,2...32,1
Helsinki-Vantaan la	11.7. - 15.7.2010	5	31,0...31,9
Hyvinkää Hyvinkäänkylä	11.7. - 15.7.2010	5	30,5...32,0
Turku Artukainen	<b>23.7. - 27.7.2014</b>	5	30,5...31,1
Salo Kärkkä	<b>23.7. - 27.7.2014</b>	5	30,3...31,6
Nurmijärvi geof.obs.	<b>24.7. - 28.7.2014</b>	5	30,2...31,3
Hämeenlinna Lammi Evo	<b>24.7. - 28.7.2014</b>	5	30,1...31,7
Heinola Asemantaus	<b>24.7. - 28.7.2014</b>	5	30,4...32,3
Mikkeli lentoasema	<b>24.7. - 28.7.2014</b>	5	30,2...31,1

Vertailun vuoksi meriveden lämpötilavaihtelu on verrattain vähäinen, n. + 2 - + 27 °C. Outokummun omissa mittauksissa maksimilämpötila + 31,5 °C on mitattu Röyttässä 22.7.2014 klo 19. Tuolloin ilmajäähdyttimien uunilta palaava vesi  $T_{in}$  oli +39.0 °C ja sen lämpötila laski jäähdyttimissä  $T_{out}$  37,2 °C:een. Lämpötilan muutos  $\Delta T$  oli myös ”pahimmassa helteessä” pitkäaikaisessa keskiarvossa 1,8

°C. Mittausotantana kesän 2014 helteen (vuorokautinen keskilämpötila + 25 °C) osuus oli aika merkittävä ja se sattui heinäkuun loppupuolella. Helteiden kestoa ajatellen vuoden 1961 jälkeen on Kemi-Tornio-lentoasemalla ollut yksi viiden päivän hellejakso 2. – 6.7.1972 (Taulukko 2).

Poikkeuksellisen harvoin esiintyvät pitkät hellejaksot on syytä muistaa määriteltäessä jäähdytyksen huippukapasiteettia. Pitääkö ”tarveharkinnassa” pyrkiä ongelmattomaan helletoitintaan kasvattamalla jäähdytynyksikköjen kapasiteettia, eli määrää, ”loputtomiin” ilman muita ääritilanteissa käytettävissä olevia ratkaisuja? Rakennetaanko koko kapasiteetti mahdollisesti pahinta muutaman tunnin kestäväää + 32 °C säätä ja myöhästynyttä jäähdytystehon nostoa varten? Asiaa käsitellään lisää kehitysvaihtoehtojen pohdinnoissa.

Ilma vesienkäsittely 3:n katolla sisältää normaalia sulattoympäristön pölyä, mutta ei esimerkiksi puunlehtiä. Jäähdyttimillä ei ole aiheutunut ongelmaa pesuhuoltojen välillä. Koska uunikierrossa on lähes vakioämpötilat, pitää vuodenaikaista eroa säätää ohituksella ja puhaltimien kierrosluvulla. Pakkaskautta varten toisiokierto on lisättävä glykolia estämään jäähileiden synty ja jäätyminen. Kesähelteen aikainen jäähdytyksen tehontarve on suuri ja kapasiteetti on määriteltä sen mukaan. Uunilta tulevassa linjassa ja jäähdyttimeltä tulevassa linjassa on paine ja lämpötilamittauksissa ylä- ja alarajahäilytykset.

### 3.6 VKU3:n ongelmat

VKU3:n ongelmat johtuvat esimerkiksi letkuvuodoista ja kunnossapitotöissä irrottavista letkuista vuotavan glykolin tuomista ongelmista. Keskusteluissa toimeksiantajan kanssa ei nähty mahdollisuutta poistaa ongelmaa. Laiteputkiston uunin päässä eli letkuissa ei ole venttiilejä. Näin letkunirroksessa vuotoa uunin holvin päälle ei voi estää muualta kuin jakotukilta ja tulppaamalla letku. Yhtenä ongelmana on järjestelmän tyhjennys huoltoja varten sekä lisäveden aiheuttama laimentuminen vuotojen seurauksena. Glykolipitoisuuden nostamiseksi joudutaan vaihtamaan suuri määrä nestettä (Ollila 2015).

### 3.6.1 Etyleeniglykolin ominaisuudet

Etyleeniglykoliseostuksella veden sulamispiste saadaan alhaisemmaksi kuin 0 °C. Seos siis kestää kovaa pakkasta jäätymättä. Tästä syystä etyleeniglykolia käytetään mm. autojen jäähdytysnesteissä parantamaan pakkaskestävyyttä. Jäähdytysnesteissä korvaava aine nykyään on propyleeniglykoli, joka etyleeniglykolista poiketen ei ole kovin myrkyllistä.

### 3.6.2 Etyleeniglykolin käyttöön liittyviä ongelmia

VKU3:n uunitasolla on tapahtunut rikkoontumisesta tai letkujen irrottamisesta johtuvia vuotoja holvin kannelle, joiden seurauksena glykolivesi on haihtunut varsinkin kuumilla pinnoilla. Höyrystyessään glykoli synnyttää hajua ja kaasuja. Glykolin lisäys haluttuun pakkaskestävyyteen laskee ominaislämpökerrointa (vesi 4,19 – alkoholi 2,5) sekoitussuhteesta riippuen arvoon 3,8 J/(K·kg), eli glykoliveteen sitoutuu vähemmän lämpöä. Jäätymistä estävän glykolin (etyleeniglykoli) on havaittu kuumalla pinnalla syttyvän ”lammikkovuodoissa” palamaan. Niissä seoksen vesi höyrystyy ja rikastunut glykoli ”itse syttyy” palamaan liekkeihin (Ollila 2015).

### 3.6.3 Glykolittoman jäähdytyksen riskit

Ilma/vesi vaihtimet ovat suunniteltu tehokkaiksi lämmönsiirtäjiksi, joten kovassa pakkasessa niillä on huomattava riski jäätymä. Etsittäessä toimittajien ja internet-artikkeleiden joukosta termejä ”ylläpitolämpöteho” tai ”sulanaipitoenergia”, ei vastauksia löytynyt. Kysyttäessä asiaa jäähdytinjärjestelmien ammattilaiselta oli vastaus sama. Mikä olisi vaadittava lämpökapasiteetti eli ”lämpövirta” vaihtimille, ettei glykoliton vesi jäätymä huputetuilla tai vain puhaltimien off-tilassa. Tähän ei löytynyt selkeää päätelmää eikä ratkaisua kysyty toimittajalta. Pakkaskaudella

vaihtimet toimivat ilman puhaltimia ja lähes kaikki oli huputettu. Glykolitonta järjestelmää pohdittaessa on selvitettävä vaadittava ”ylläpitolämpöteho” sekä ”sulapitolämpöteho”.

## 4 JÄÄHDYTYSPROSESSIVARVOJEN MÄÄRITYS JA ANALYSOINTI

### 4.1 Lämpöenergia

Kaava 1 pätee tilanteeseen, jossa vallitsee tasapaino molemmin puolin kiertoja (Wagner, W. 1988. Lämmönsiirto. Helsinki: Opetushallitus).

$$cm\Delta T_{\text{ensiökierto}} = cm\Delta T_{\text{toisiokierto}} \quad (1)$$

, jossa  $m$  = massa [kg].

$c$  = ominaislämpötilakerroin [kJ/kg·K], (vedellä 4,19 kJ/kg·K).

$\Delta T$  = lämpötilan muutos [°C], (Kelvinin K tilalla yksikkönä voidaan käyttää °C).

### 4.2 Jäähdytysteho

Jäähdytysteho on energia ajan suhteen. Tässä selvityksessä lämmön johtuminen jäähdytysväteeseen oletetaan ilman häviöitä ja lämmön siirtymisen muita muotoja. Pidetään riittävänä, että tulot vaihtimien molemmin puolin ovat samat kaavan 2 mukaisesti:

$$cm'\Delta T_{\text{ensiökierto}} = cm'\Delta T_{\text{toisiokierto}} \quad (2)$$

, jossa  $m'$  = massavirta [kg/s]

*Esimerkki 1: Vaihtimen läpi pumpataan 1 l vettä 1 sekunnissa ja se lämpenee 1 °C.*

$$1 \text{ l/s} \cdot 4,19 \text{ [kJ/kg} \cdot \text{°C]} \cdot 1 \text{ °C} = 4,19 \text{ [J/s]} = 4,19 \text{ W (teho)}$$



Käytännössä käsitellään teollisuusluokan virtauksia m<sup>3</sup>/h. Tällöin riittää tarkkuudeksi, ja on tulos ymmärrettävämpi, kun se jaetaan 3,6:lla (3600 sekuntia jaetuna 1000) jolloin saadaan kW-arvoja. Tulokset muutetaan usein MW:ksi.

*Esimerkki 2A: Pumpataan 1 000 m<sup>3</sup> vettä yhdessä tunnissa läpi vaihtimen ja vesi lämpenee 5 °C. Mikä on lämmitysteho?:*

$$4,19 \text{ kJ/kg} \cdot \text{°C} \cdot 1000 \text{ m}^3 \cdot 5 \text{ °C} \rightarrow 20950 / 3,6 = 5820 \text{ kW} = 5,9 \text{ MW}$$

*Esimerkki 2B: Kuinka paljon edellisen tehtävän veden lämmittämiseen tarvitaan 105 °C kaukolämpöä samassa ajassa. Halutaan, että kaukolämpö jäähtyy 55 °C-asteeseen:*

$$5,9 \text{ MW} / (\text{kaukolämpömäärä } \text{m}^3 \cdot 105 - 55 \text{ °C} \cdot 4,19) / 3,6 \\ \Rightarrow (\text{kaukolämpömäärä } (\text{m}^3)) = 5,9 \text{ MW} \cdot 3,6 / 50 \cdot 4,19 = 100 \text{ m}^3$$

Eli vertailluna  $5 \text{ °C} \cdot 1000 \text{ m}^3 = 50 \text{ °C} \cdot 100 \text{ m}^3$ .

Jäähdytystehon yksinkertaistetaan olevan lämmönvaihtajan molemmin puolin yhtä suuri ilman tehohäviötä. Lämmönsiirron hyötysuhde levylämmönvaihtajilla on riippuvainen levyjen puhtaudesta sekä ensiö- ja toisiokiertojen riittävästä lämpötilaeroista. Parhaimmillaan se voi olla jopa 0,9 – 0,95.

#### 4.2.1 Uunikierron ominaisuuksien vaikutus hyötysuhteeseen

Kaavan 2 massavirtaa m' pienentäessä lämpötilaero  $\Delta T$  kasvaa eli käytännössä paluuv veden lämpötila nousee. Jäähdytettäessä huomattavasti kuumempaa uunikiertovettä (lämpötilaero vaihtimien eri puolilla suuri) on jäähdytys tehokkaampaa eli tarvitaan vähemmän levylämmönvaihtimen levyjä (pinta-alaa) ja virtausta eli pumppausta. Uunin jäähdytyksessä sulan lämpötilan ollessa 1650 °C ei ole merkitystä onko sen lämpöä sitova neste eli jäähdyttävä vesi esimerkiksi 20 vai

60 °C. Termodynaamisesti merkitystä on vain sillä nouseeko avoimen kierron veden lämpötila höyrystymispisteeseen. Kuitenkin käytännössä kuuma vesi on työturvallisuusriski vuodoissa ja sitä seuraavissa korjaustöissä.

Toinen vaikuttaja on ominaislämpötilakerroin  $c$ , joka vedellä on 4,19 kJ/kg-K ja joka pienenee esimerkiksi glykolin vaikutuksesta.

### 4.3 DNA-mittaustietojen oikeellisuus ja tarkkuus

Selvityksissä lämpötilaerolla on merkittävä sija. Jos jäähdytysvesi lämpenee 1,00 °C sijasta 2,00 °C, on kysymys kaksinkertaisesta tehosta. Tästä seuraa että oleellista on lämpötilamuutoksen  $\Delta T$  tarkkuus, eli sisään menevän ja ulos tulevan veden lämpötila-antureiden kalibrointi keskenään. Anturien keskinäinen kalibrointi ja tarkkuus jätettiin tässä tutkimuksessa vielä selvittämättä. Jatkon kannalta on kuitenkin parempi mitata lämpötilat siirrettävillä mittalaitteilla ja/tai asentaa uudet mittarit ja kalibroida ne.

Kun lasketaan lämpötilamuutoksien ja virtausmäärien kautta jäähdytystehoja on antureiden keskinäinen kalibrointi erittäin oleellista. Vaikka DNA-järjestelmän antamat arvot eivät ole suhteutettu, ne eivät käytännössä vääristä prosessin toimintaa – prosessiohjaus toimii halutun tilan löytämiseksi eikä sen toimintaan kuulu ”filosofoida” mihin tekijöihin, eli tarkempiin arvoihin tai lukuihin, tila perustuu. Lämpötilat, joihin tehot ovat suoraan verrannollisia, ovat ilmoitettu DNA-näytöllä muodossa 23,4 °C. Selvityksen kannalta on kuitenkin käytettävä neljää merkitsevää numeroa, jotka ovat mahdollisesti ”oikeita”. Järjestelmästä saatua lämpötilaeroa käsiteltiin 4 merkitsevän numeron tarkkuudella. Lukujen 30,38 ja 30,74 °C ero on siis 0,36. Tarkkuus vaikuttaa suoraan lopputulokseen ja on 1,2-kertainen pyöristettyihin 0,4 ja 0,7 = 0,3 verrattuna. Kaavaa  $P=m'c\Delta T$  käytetään pääasiassa jäähdytystehotarpeen karkeaan määrittämiseen. Itse laitteiden tehon (lämmönvaihdin) määrittelee laitetoimittaja. Eri vaihtimien hyötysuhde riippuu mm. lämmön siirtymisen eri muodoista, lämpötilaeroista, laitteiden materiaaleista, seinämänpaksuuksista ja lämmönjohtumispinta-aloista. Lopullisesti on harkittava tarvittava jäähdytysteho. Onko se 10 MW, 12 MW vai jotain muuta? On siis määritettävä

erikseen, mikä varmuus tilaajan on otettava käyttöön. Laitetoimittaja käyttää myös omaa varmuusmarginaaliaan, joista yleensä keskustellaan yhdessä.

#### 4.4 Mittausarvojen otantamäärittelyä tehtiin useassa vaiheessa

Yleensä uudella laitoksella on runsaasti mittauksia ja niihin on määritetty tallennus tietokantaan. Metson prosessiohjausjärjestelmä DNA:n tietokannasta voi tarkistaa ääriolojen tilanteet jäähdytyksessä halutulta ajankohdalta, jos niiden tallennus on määritetty ohjelmaan. Käyttöinsinööreillä oli lupa ja taito lukea Excel-ohjelman makroa käyttäen tietokannasta määritettyjä tietoja.

Koska esimerkiksi vuorokautinen keskiarvovirtaus voi olla Excelin taulukossa  $123,4567891234 \text{ m}^3/\text{h}$ , tuntui sinänsä kevyt tiedosto totuttua raskaammalta editoida ja jäi monesti ”jumiin”. ”Kokovuositunninvälein”-tiedosto vaati yli 8000 riveineen kannettavalta tietokoneelta runsaasti vapaata RAM-muistia, eli käytännössä muiden selvityksen teossa käytettyjen ohjelmien sulkemista.

Aluksi otannaksi valittiin haastavimmat olosuhteet eli kerättiin hellekautisia arvoja. Mitattaviksi ulkolämpötila  $T_{\text{ulko}}$ , kiertojen  $T_{\text{in}}$  ja  $T_{\text{out}}$  sekä virtausmäärä  $Q$  valittiin rajoittaen otanta poikkeuksellisen lämpimään kesän 2014 helleaikaan 1.7. – 30.8. Otanta valittiin kerättäväksi tuntikeskiarvona ”h ka”. Tuolta väliltä oletettiin löytyvän todella vaativa jäähdytystarve äärioloissa. Exceliä hidastavan suuren tietomäärän (käytännössä rivien määrä) vuoksi rajoitteeksi valittiin seuraavaksi vain klo 16 aikaiset arvot. Myöhemmin löydettiin lämpötilahuiput jotka sijoittuivat klo 19 aikoihin. Kuvaajien saamiseksi sahalaitaisesta luettavaan (huiput ja rotkot tasoittavaan) muotoon tehtiin myös oma sarake 24 h keskiarvona eli ”vrk ka”.

Mittauksen ajan määrittely tai rajaus muuksi kuin koko vuodeksi teki kokonaisuuden käsittelyn hankalaksi. Koko vuoden vrk keskiarvoa tukee myös kokonaisuuden käyttö mahdollisessa jatkoselvittelyssä ja merivesilämpötilan kannalta viikkokeskiarvokin sopisi.

Lopullinen mittausarvojen hankinta pystyttiin tekemään selvityksen loppuvaiheessa koko vuodesta 2014 vuorokausikeskiarvoilla. Se tarkkuus riitti jäähdytystehon maksimitarpeen määrittelemiseksi. Samalla se laajennettiin käsittämään koko selvityksen vaatima alue eli kolmen uunin ja merivesipumppaamon tietokannat. Merivesipumppaamon kaikkia selvitystä tukevia arvoja ei saatu, koska tallennushistoria oli puutteellinen.

#### 4.5 Lämpötilamittausten kalibrointi

Pääongelmaksi jäi VKU1:n lämpötila-antureiden epäilty puutteellinen kalibrointi tai niiden ryömintä. Uunitehojen mukaanotto tarkasteluun nähtiin vastaavan malliin jäähdytystehoihin. Kokonaisuuden ja uunin jäähdytystehon rinnalla oli hyväksi tarkastella uunitehoja. DNA-tietokannan mukaan vuorokautiset keskiuunitehot ovat normaalituotantoajossa VKU1:llä (T4.P1) 33 MW, VKU2:lla (T6.P1) 65 MW ja VKU3:lla (PT300.P) 100 MW. Kysymyksessä ovat pätötehot. Uunien kokonaistehot ovat 40, 75 ja 135 MVA. Näiden perusteella oli oletettavaa, että yhtäläisten uunien ollessa kysymyksessä VKU1:n jäähdytystarve on n. 50 % VKU2:n arvosta.

#### 4.6 VKU1:n ja VKU2:n merivesijäähdytys

Vanhoilla uuneilla ja niitä palvelevilla osastoilla on vajaa mittaustietous. Samalla mittauksia on yhteisissä linjoissa ja viemäreissä. Näiden erotteleminen ja tarkkuus on kyseenalainen. Lämpimänä kautena 21.7. merivesipumppaamon lämpötilamittaus näytti jopa 26 °C merivedelle. JTSU:n ja ferrokromin yhteisen järjestelmän merivesi tietenkin lämpenee helteillä. Sen aiheuttamaan jäähdytysteho-häviöön näytetään vastattavan suuremmalla virtausmäärällä avaamalla säätöventtiili täysin auki. Pumpun kierrossäätöä ei ole. Ainakin tuoreveden, eli meriveden, virtaus merivesipumppaamoon lisääntyy. Luonnollinen seuraus on, että JTSU:n purku P7:lle kasvaa heinä-elokuussa.

#### 4.6.1 VKU1:n jäähdytystehon ongelmallinen mittaus

VKU1:n uunikierron vuorokautisten keskiarvojen lämpötilamuutos vrk ka  $\Delta T$  vaihteli välillä reilusti negatiivisesta  $-9,33\text{ °C}$  maksimiin  $1,40\text{ °C}$  (Taulukko 3). Mediaani lämpötilaero oli vain  $0,64\text{ °C}$ , joka on yhtä pieni, kuin mittarivirhe voi olla. Mediaani on suuruusjärjestykseen asetettujen lukujen keskimäinen luku. Päätelmänä negatiivisille lämpötiloille on ulkona lämmentyneen jäähdytysveden ajo kylmentyneeseen uuniin. Tällöin uuni toimi jäähdyttimen tavoin. VKU1:n jäähdytys näyttäisi olevan hoidettu suurella jäähdytysveden virtauksella. Pumpausmuutoksissa olleen VKU1:n (vrk ka Q) virtausmäärä vaihteli  $0 - 408\text{ m}^3/\text{h}$  keskiarvon ollessa  $188\text{ m}^3/\text{h}$  ja mediaanin  $156\text{ m}^3/\text{h}$ .

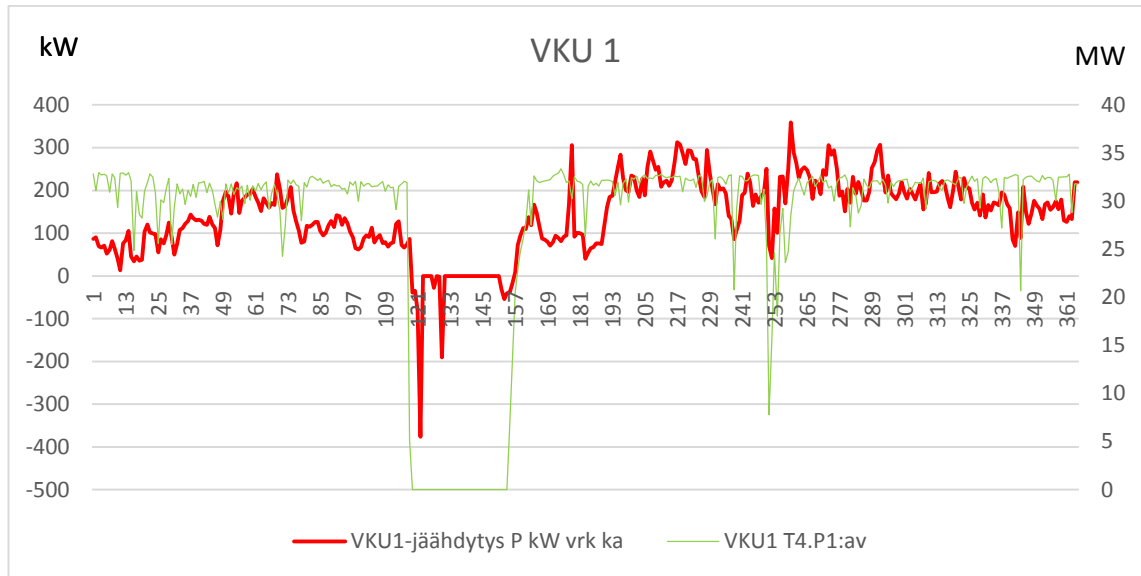
Tutkimuksen kanssa oleellisin eli maksimi jäähdytysteho ei tullut esille tietokannan kokovuoden vuorokautisessa keskiarvossa vaan se löytyi tuntikeskiarvoista 17.7. klo 17:00. Jäähdytysteho maksimi oli  $505\text{ kW}$  ( $0,5\text{ MW}$ ). Tuntikeskiarvoa katsottaessa uunin vaatimaa jäähdytystehoa otettiin käyttöön hiukan viiveellä, jolloin  $\Delta T$  nousi VKU1:n osalta ”poikkeuksellisen suureksi” eli  $1,46\text{ °C}$ :een. Tämä maksimin pieni arvo on tutkittava jäähdytysprosessin järkevyyden kannalta. Toisaalta käydyissä keskusteluissa käyttöinsinöörien kanssa VKU1:n normaaliajon jäähdytysteho on aivan liian pieni verrattessa sitä suurempaan VKU2:een. Se vaikuttaa olevan vain puolet vallinneesta käsityksestä.

Pyydettyjen uudelleen laskujen jälkeenkin luvut olivat samat. Tässä heräsi epäily, että lämpötilan nousu, eli  $\Delta T$ , ei välttämättä ole oikein. Tässäkin on kysymyksessä mahdollisesti vaillinaisesti keskenään kalibroidut mittarit. Herää kysymys miten tämän voi todentaa ja miksi esimerkiksi uuden VKU3:n  $\Delta T$ -arvot olisivat tarkkoja ja kalibroituja? Tämä asia on tärkeä, koska kaikki valitut ja käytettävissä olevat tehoarvot perustuvat jäähdytysveden lämpötilan muutokseen  $\Delta T$ . Niin kuin vanhoissa laitoksissa yleensä, epäilyistä herättävät asiat täytyy sisällyttää kokonaistehotarpeen harkintaan.

Taulukko 3. VKU1:n virheelliset tai ainakin liian matalaan tehoon johtavat jäähdytysarvot 1.1. - 31.12.2014

Outokumpu Chrome		VKU1					
Uunien suljetut kierrot		Holvi + elektroditukkien lämpötilat ja virtausmäärät				Jäähdytysteho	Uuni teho
$C_{p_{vesi}}$	4,19	$T_{in}$	$T_{out}$	$\Delta T$	Q	P	P
$C_{p_{glykoliv.}}$	3,85	Tukit IN	Tukit Out	Erotus	Qsum	Teho	Uuni
		°C	°C	°C	m <sup>3</sup> /h	kW	MW
min		16,68	13,12	-9,33	0	-376	0
max		38,09	39,39	1,40	408	359	33
ka		36,46	36,49	0,03	188	140	28
md							
me		38,00	38,64	0,64	156	148	32
Päivä	vko/2014	56TIC-1522R:av	56TI-5920:av	Lasku	56FI-5921:av	VKU1-jäähdytys P kW vrk ka	T4.P1:av

Selvemmin kokonaisuutta kuvaa graafinen kuvio otantaväliltä 1.1. – 31.12.2014 (Kuvio 1). Kuvion luettavuuden kannalta merkittäviä arvoja sisältävät tuntikeskiarvot tasoittuvat vuorokausikeskiarvoon, joka on vakaampi. Kuviosta on nähtävissä, että VKU1 oli pitkään 0-teholla, jolloin uunin jäähtyessä putkistossa seissyt jäähdytysvesi tuli uunia lämpimämmäksi ja jäähdytystehokin ylös ajossa oli negatiivinen. Kuviosta näkee normaalitoiminnan aikana olevan jäähdytystehon mataluuden eli n. 250 kW. Tähän laskennallisesti alhaiseen jäähdytystehoon palataan pohdinnoissa.



Kuvio 1: VKU1:n kuvio jäähdytystehot [kW] ja uunitehot [MW] 1.1. - 31.12.2014

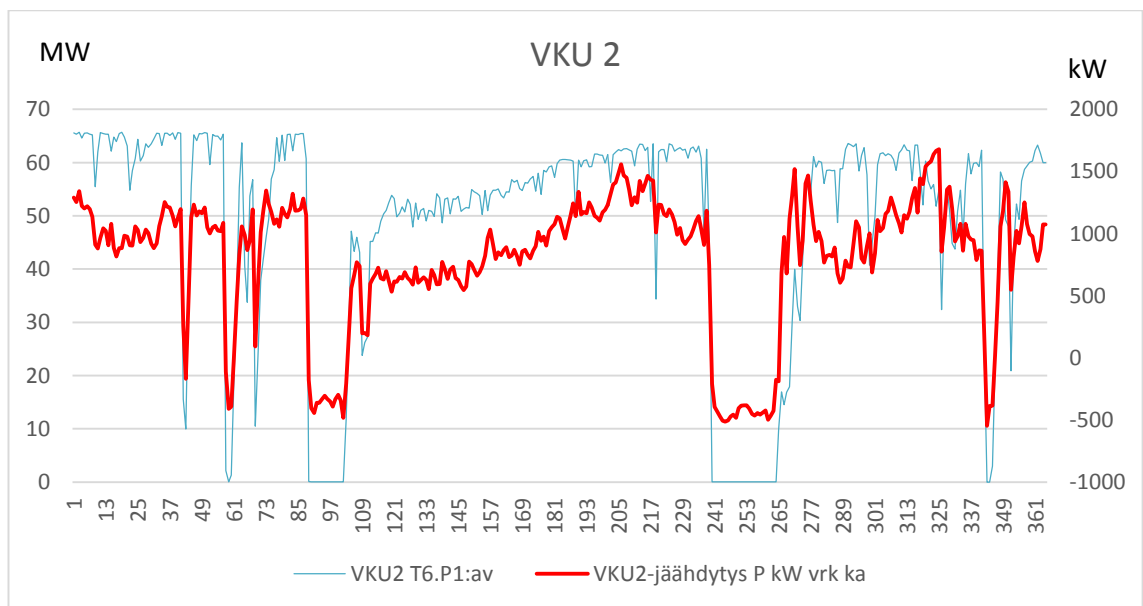
#### 4.6.2 VKU2:n jäähdytysteho

VKU2:lla lämpötilan muutos  $\Delta T$  uunikierrossa vaihteli  $-0,67 - 2,05$  °C, mediaanin ollessa  $1,15$  °C (Taulukko 4). VKU2:n tuotantoprosessi kävi melko normaalisti. Virtausmäärä pysyi lähes vakiona  $674 - 714$  m<sup>3</sup>/h mediaanin ollessa  $707$  m<sup>3</sup>/h. Mielenkiintoista vertailutietoa eli meriveden (toisiopuolen) virtausmäärästä ei todistettavasti ole tarkkaa arvoa, joten toisiopuolen tehoa ei voi laskea tarkistuspöytäessä VKU1:n ja VKU2:n summana. Maksimi tuntikeskiarvoinen (h ka) jäähdytysteho oli VKU2:lla 5.8. n.  $2,3$  MW. Selvityksen kannalta oleellinen on VKU1:n ja VKU2:n eriaikainen tuntikeskiarvojen maksimien summa  $2\ 807$  kW eli  $2,8$  MW.

Taulukko 4. VKU2:n jäähdytysarvot 1.1. - 31.12.2014

Outokumpu Chrome		VKU2					
Uunien suljetut kierrot		Holvi + elektroditukkien lämpötilat ja virtausmäärät				Jäähdytysteho	Uuniteho
$C_{p_{vesi}}$	4,19	$T_{in}$	$T_{out}$	$\Delta T$	Q	P	P
$C_{p_{glykoliv.}}$	3,85	Tukit IN	Tukit Out	Erotus	Qsum	Teho	Uuni
		°C	°C	°C	m <sup>3</sup> /h	kW	MW
min		31,54	31,13	-0,67	672	-547	0
max		45,00	44,79	2,05	719	1679	66
ka		36,47	37,44	0,97	706	800	48
me		36,00	37,29	1,15	707	946	57
Päivä	vko/2014	45TIC-4921R:av	45TI-4927:av	Lasku	45FI-4921:av	VKU2-jäähdytys P kW vrk ka	T6.P1:av

Paremmiin ja selvemmin kokonaisuutta kuvaava graafinen kuvio otantaväliltä 1.1. – 31.12.2014 (Kuvio 2). Kuvion luettavuuden kannalta tarkastellaan vuorokausikeskiarvoa, joka on vakaampi. VKU2:n jäähdytysteho käy myös negatiivisena uunin 0-tehon aikana.



Kuvio 2. VKU2:n kuvio, jäähdytystehot [kW] ja uunitehot [MW] 1.1. - 31.12.2014



## 4.6.3 VKU1:n ja VKU2:n summa oleellinen

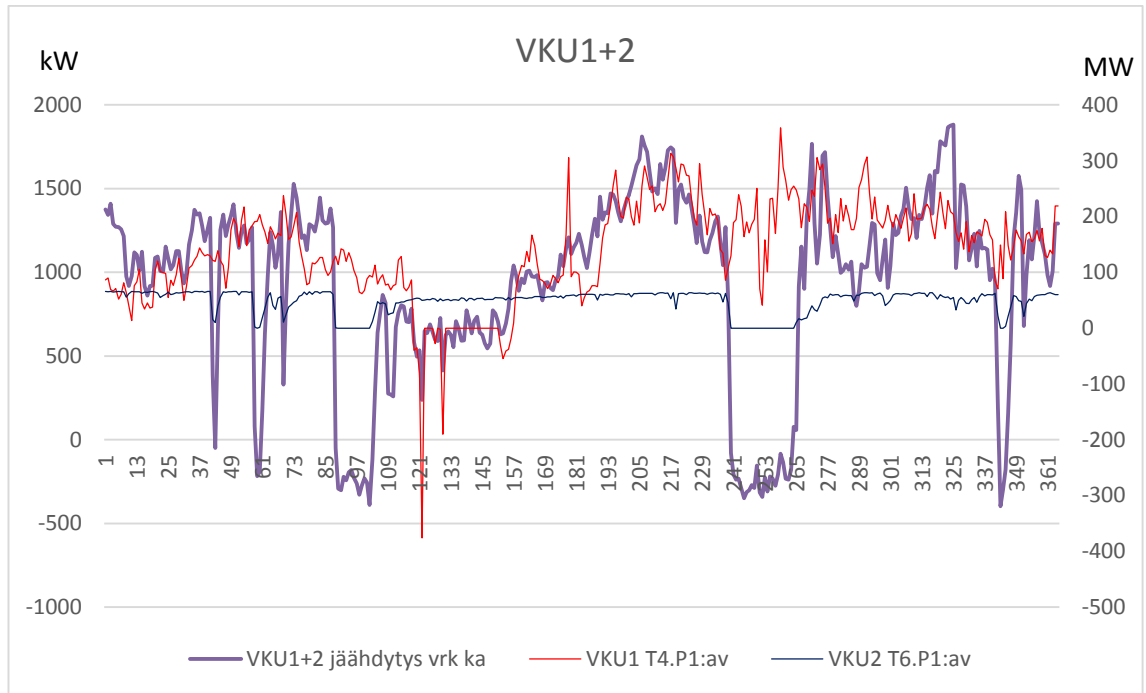
Summakriteerin mukaan on muistettava, että VKU1 ja VKU2 ovat samassa yhteisessä jäähdytyksessä. Täytyy siis löytää molempien maksimijäähdytysteho ja summata ne yhteen, olivatpa ne olleet milloin tahansa. Taulukosta 5 voi huomata, ettei vuorokautisten keskiarvojen summa nouse kuin hiukan yli 2 MW. Määritteeksi otetaan kuitenkin VKU1:n 0,5 MW tuntikeskiarvo ja VKU2:n tuntikeskiarvo 2,3 MW. Tuolloin maksimien summa on 2,8 MW, jota ei päivämäärään kohdenetulla summakuviolla voi esittää. Ominaislämpökapasiteetiksi annettiin veden arvo 4,19.

Selvästi alakanttiin pudonnut laskennallinen VKU1:n jäähdytystehotarve käsiteltiin pohdinnoissa.

Taulukko 5. VKU1:n ja VKU2:n jäähdytyksien vuorokausikeskiarvo 1.1. - 31.12.2014. Tuntikohtaiset keskiarvot löytyivät toisella otannalla ja eri aikaan tapahtuvat maksimit eivät kerro maksimisummaa

Outokumpu Chrome		VKU1						VKU2						VKU1+2
Uunien suljetut kierrot		Holvi + elektroditukkien lämpötilat ja virtausmäärät				Jäähdytysteho	Uuni-teho	Holvi + elektroditukkien lämpötilat ja virtausmäärät				Jäähdytysteho	Uuni-teho	Jäähdytys VKU1 + 2
Cp <sub>vesi</sub>	4,19	Tin	Tout	ΔT	Q	P	P	Tin	Tout	ΔT	Q	P	P	P
Cp <sub>glykoliv.</sub>	3,85	Tukit IN	Tukit Out	Erotus	Qsum	Teho	Uuni	Tukit IN	Tukit Out	Erotus	Qsum	Teho	Uuni	Teho
		°C	°C	°C	m <sup>3</sup> /h	kW	MW	°C	°C	°C	m <sup>3</sup> /h	kW	MW	kW
min		16,68	13,12	-9,33	0	-376	0	31,54	31,13	-0,67	672	-547	0	-922
max		38,09	39,39	1,40	408	359	33	45,00	44,79	2,05	719	1679	66	2038
ka		36,46	36,49	0,03	188	140	28	36,47	37,44	0,97	706	800	48	940
me		38,00	38,64	0,64	156	148	32	36,00	37,29	1,15	707	946	57	1094
														0
Päivä	vko/2014	56TIC-1522R:av	56TI-5920:av	Lasku	56FI-5921:av	VKU1-jäähdytys P kW vrk ka	T4.P1:av	45TIC-4921R:av	45TI-4927:av	Lasku	45FI-4921:av	VKU2-jäähdytys P kW vrk ka	T6.P1:av	VKU1+2 jäähdytys vrk ka

Summan kokonaisuutta kuvaa graafinen kuvio otantaväliltä 1.1. – 31.12.2014 (Kuvio 3). VKU2:n uunitehon ollessa 0 (T6.P1), koko jäähdytystehon summa puutoa negatiiviseksi.



Kuvio 3. Kun VKU2:n negatiivinen jäähdysteho laskee, VKU1:n ja VKU2:n summa jää negatiiviseksi. Kuviossa molempien uunitehot ovat MW

#### 4.6.4 Väliyhteenveto VKU1:n ja VKU2:n yhteisestä jäähdystarpeesta

VKU1:n mittaus ei edellä pohdituista anturien kalibroinnin puutteesta, sijoituksesta ja laminaarisesta virtauksesta johtuen anna oikeaa arvoa jäähdystehon tarpeesta. Oletettavaa on VKU1:n  $\Delta T$ -arvon pienuus, joka johtaa pieneen kW-arvoon. VKU2:n jäähdystehotarve ei keskusteluttanut, vaikka pienten  $\Delta T$ -arvojen vuoksi sekin jäähdyttää veden määrällä – ei veden erinomaisella kyvyllä varastoida itseensä lämpöä.

#### 4.7 VKU3:n jäähditys ilmalla

Ilman lämpötilan merkitys on ilmajäähdytyksessä merkittävä jäähdystehon kannalta. Vuonna 2014 oli käytettävissä edustava prosessiarvoaineisto heinä-elokuun vaihteen ajalta. Välillä 11.7. – 8.8.2014 oli kuukauden pituinen poikkeuksellisen lämmin kausi. Aluksi tarvittavista jäähdystehoista määritettiin otantana

vain yksi arvo vuorokaudessa eli klo 16 tuntikeskiarvo (h ka). Maksimi vuorokautiseksi keskilämpötilaksi 21.7.2014 saatiin 25,4 °C. Kuitenkin 22.7. tuntikeskiarvoissa oli Röytän mittaus jopa 31,5 °C klo 15 ja 20 välillä. Käytetään kokonaisuuden vuoksi kuitenkin otantavälinä 1.1. - 31.12.2014. VKU3:n jäähdytys toimi moitteettomasti kesällä 2014 ja siihen perustuen ei ole nähty tarvetta miettiä oliko VKL3:n katolla (eli jäähdyttimien alla) korkeammat lämpötilat.

#### 4.7.1 VKU3:n holvikierto

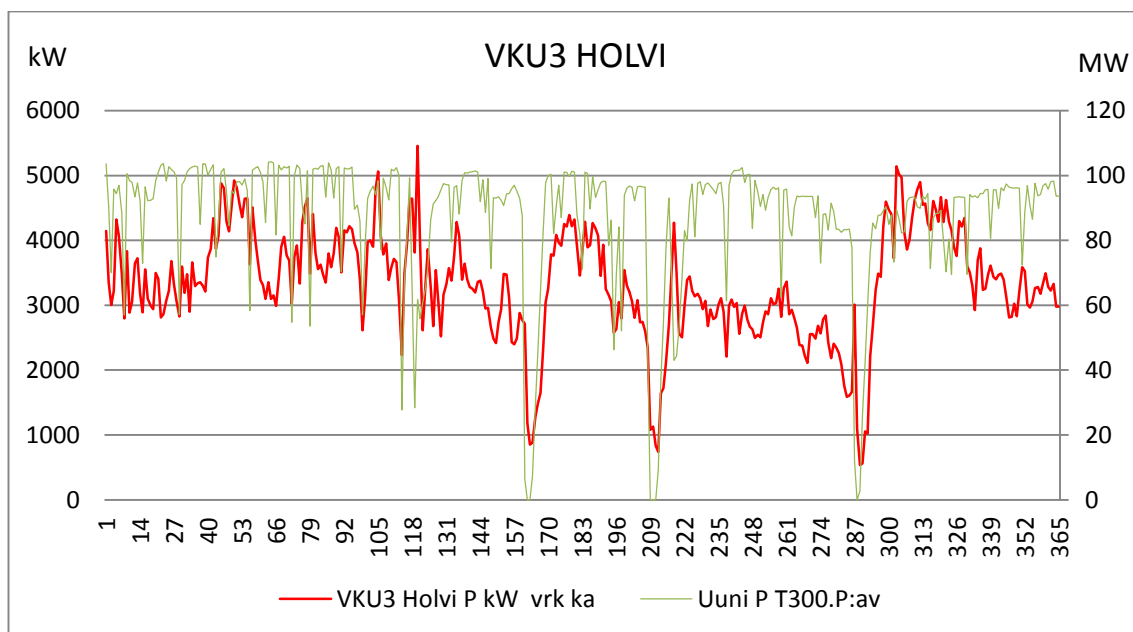
VKU3:lla holvikierrossa lämpötilan muutos  $\Delta T$  vaihteli 0,6 – 2,1 °C. Virtaus vaihteli, mutta suurimmaksi osaksi vakioitui 1550 m<sup>3</sup>/h:iin. Taajuusmuuttajien vesimäärä on laskettava mukaan, koska ne eivät saaneet vettä mittausalueelta. Kesällä 2015 käyttöön otetun VKU3:n laskureikien jäähdytyksen vaikutus sisällytetään annetulla arviolla eli 600 kW jäähdytystarpeella. Mukana siinä on arviona ns. kulumisvaikutus. Glykoliveden ominaislämpökapasiteetti oli mittausaikana n. 3,9 kJ/kg·K. Oleellisin tapahtuma, eli maksimi jäähdytysteho oli VKU3:n holvikierrolla 3.7. Taajuusmuuttaja- ja laskukierto korjatusti se merkitsee n. 6,2 MW maksimia.

Puhaltimilla on oleellinen merkitys jäähdytystehon säädössä. Määrältään eniten puhaltimia oli käytössä 8 - 9. 7. Tuolloin 27 puhaltimesta oli käynnissä 20 eli off-tilassa niitä oli 7. Tämä tarkoittaa, että jäähdytystehoa oli käytössä eli 74 %. Jos puhallinkapasiteetin käyttö muutetaan lämpötilaeroksi, voisi kuvitella, että  $\Delta T_{\max}$  3,23 °C on varaa 0,8 °C, eli mahdollisuus kasvaa 4,0 °C:een. Lämpötilan vaikutus ei kuitenkaan toimi lineaarisesti pienillä lämpötilaeroilla. Tämä pohdinta on lähinnä varoittava esimerkki pienten erojen ja mittaustarkkuuksien käsittelystä ”to- tuutena” (Taulukko 6).

Taulukko 6. VKU3:n holvikierron (taajuusmuuttajat mukana mutta ei huomioida puuttuvia laskureikiä) jäähdytysarvot 1.1. - 31.12.2014

Outokumpu Chrome		VKU3 holvi										
Uunien suljetut kierrot		Holvitukkien lämpötilat ja virtausmäärät							Tamut	Laskureiät	Jäähdytys HOLVI	Uuniteho
Cp <sub>vesi</sub>	4,19	T	T	ΔT	Q	Q	Q	Qsum	Q	P	P	P
Cp <sub>glykoliv.</sub>	3,85	Tukit IN	Jäähdyt timet IN	Erotus	Jakotukki 6	Jakotukki 5	Jakotukki 4	Qsum	ΔT	Arvio	Ilman LASKUREIKIÄ	P
		°C	°C	°C	m <sup>3</sup> /h	m <sup>3</sup> /h	m <sup>3</sup> /h	m <sup>3</sup> /h	m <sup>3</sup> /h	kw	kw	MW
min		15,08	15,41	0,33	489	377	476	1343	46	600	535	0
max		37,83	40,49	3,24	612	482	587	1680	46	600	5458	104
ka		33,54	35,51	1,97	556	438	536	1530	46	600	3317	87
me		34,85	36,88	1,98	561	442	539	1545	46	600	3318	94
Päivä	vko/2014	33ti-1586wk :av	30ti-1587wk :av	Lasku	33fi-0916:av	33fi-0915:av	33fi-0914:av	Lasku			VKU3 Holvi P kW vrk ka	Uuni P T300.P:av

Kokonaisuutta kuvaa graafinen kuvio otantaväliltä 1.1. - 31.12.2014 (Kuvio 4). Vuorokausikeskiarvokuvaajasta huomaa, että vrk ka jäähdytysteho nousee (tietokannan mukaan 30.4.) hiukan yli 5,5 MW:iin (tietokannan mukaan 5458 kW).



Kuvio 4. VKU3:n holvikierron jäähdytystehot [kW] ja uunitehot [MW] väliltä 1.1. – 31.12.2014

VKU3:n holvikierro ei käy vuonna 2014 negatiivisella puolella jäähdytystehoissa. Kuitenkin uuni kävi kolme kertaa vuorokautisessa keskiarvomittauksessa lyhyen aikaa 0-tehoilla.

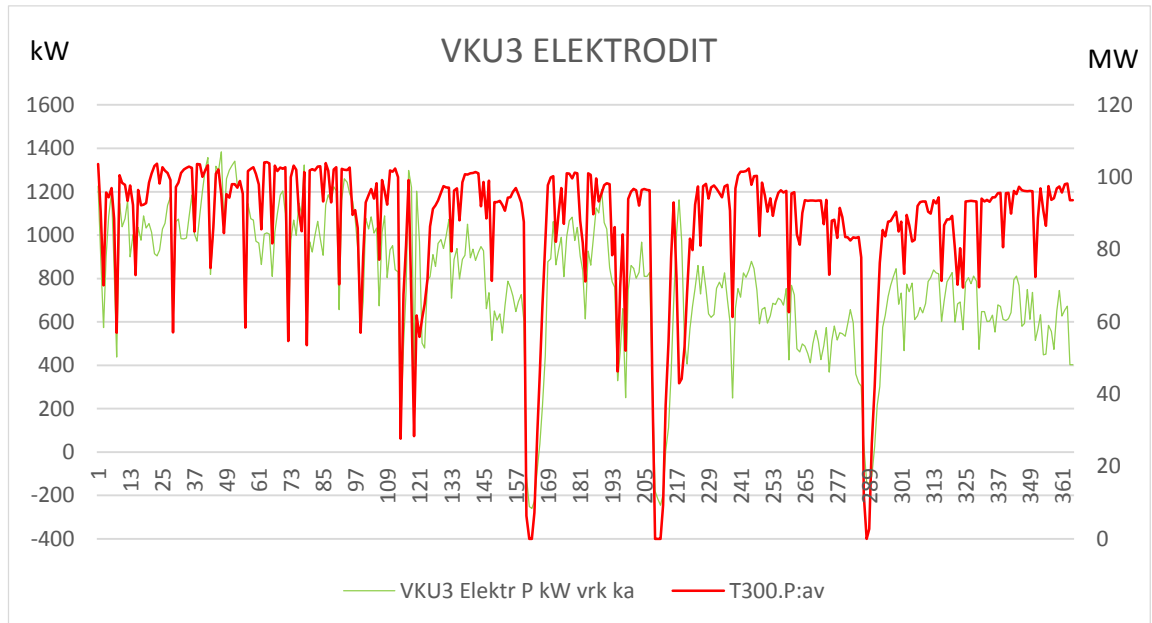
#### 4.7.2 VKU3:n elektrodikierto

VKU3:lla elektrodikierrossa lämpötilan muutos  $\Delta T$  vaihteli negatiivisesta -0,71 – 2,97 °C:een (Taulukko 7). Virtausmäärä pysyi lähes vakiona alle 445 m<sup>3</sup>/h:ssa. Arvioitu glykoliveden ominaislämpökapasiteetti oli mittausaikana 3,85 kJ/kg·K. Oleellisin, eli maksimilämmön siirtyminen eli jäähdytysteho, oli VKU3:n holvikierrolla tuntikeskiarvona h ka 20.7. n. 1,6 MW. Vrk ka oli vain 1384 kW. Uunitehon kuuluu vaihdella 0 – 100 (104) MW.

Taulukko 7. VKU3:n elektrodikierron vuorokausikeskiarvojäähdytysarvot (vrk ka) 1.1. – 31.12.2014

Outokumpu Chrome		VKU3 elektrodit								
Uunien suljetut kierrot		Elektroditukkien lämpötilat ja virtausmäärät							Jäähdytys <b>ELEKTR.</b>	Uuniteho
Cp <sub>vesi</sub>	4,19	T	T	$\Delta T$	Q	Q	Q	Qsum	P	P
Cp <sub>glykoliv.</sub>	3,85	Tukit IN	Jäähdyt timet IN	Erotus	Jakotukki 3	Jakotukki 2	Jakotukki 1	Qsum		P
		°C	°C	°C	m <sup>3</sup> /h	m <sup>3</sup> /h	m <sup>3</sup> /h	m <sup>3</sup> /h	kW	MW
min		10,96	10,60	-0,71	130	101	111	342	-260	0
max		37,81	39,18	2,97	198	164	169	532	1384	104
ka		32,30	33,92	1,62	162	134	143	440	769	87
me		33,05	35,02	1,68	164	137	142	446	788	94
Päivä	vko/2014	33ti- 1588wk .av	30ti- 1589wk .av	Lasku	33fi- 0913:av	33fi- 0912:av	33fi- 0911:av	Lasku	VKU3 Elektr P kW vrk ka	Uuni P T300.P:av

Graafinen kuvio otantaväliltä 1.1. – 31.12.2014 (Kuvio 5). VKU3:n laskennallinen elektrodijäähdytysteho käy negatiivisena kolmen lyhyen seisokin eli 0-tehon aikana.



Kuvio 5. VKU3:n elektrodikierron jäähdytystehot [kW] ja uunitehot [MW] väliltä 1.1. – 31.12.2014

#### 4.8 Negatiiviset jäähdytystehot?

Selvityksen kannalta ei ole merkitystä negatiivisilla jäähdytystehoilla. Kuitenkin niiden esille tulo johtuu negatiivisesta  $\Delta T$ -arvosta. Jäähdytystehotarpeiden kannalta merkittävä  $\Delta T$  on arvioitava. Otetaan arvioinnin kohteeksi elektrodikierrossa ajanjakso 10. – 17.6.2014. Silloin  $\Delta T$  oli negatiivinen ja se tietenkin johti negatiiviseen jäähdytystehoon. Syitä voi olla useita. Merivesipuolella yhteisistä virtausmittauksista johtuen, ei jäähdytystehon tarvetta voi tarkistaa toisiokierrosta.

##### 4.8.1 Lämpöanturien kalibrointi- ja sijoitustarkastelua

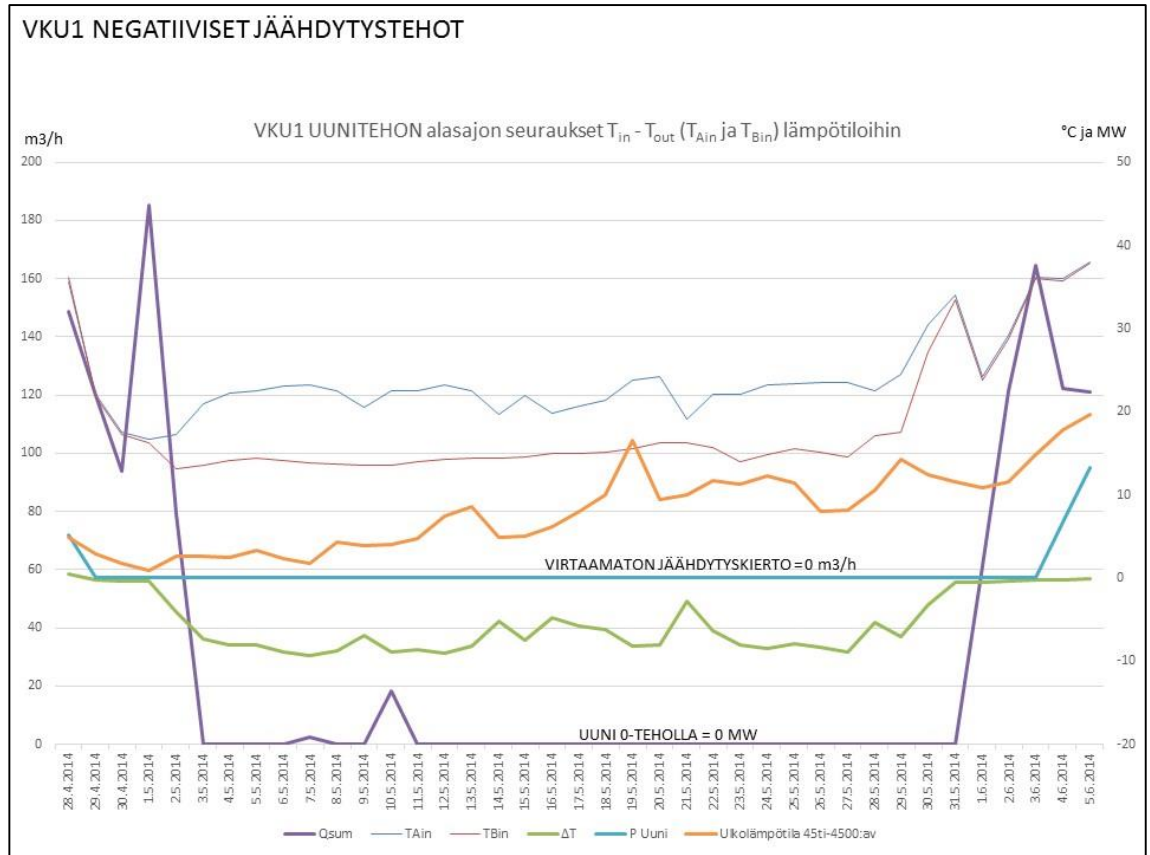
Yksi arvio on, että lämpöanturit  $T_{in}$  ja  $T_{out}$  ovat näin pienillä lämpötilaeroilla jääneet kalibroimatta keskenään riittävän tarkasti. Isoilla lämpötilaeroilla ( $T_{out} - T_{in} = \Delta T$ ) ei suhteellinen ero vaikuta suurelta vaikka absoluuttinen on yhtä suuri pienten lämpötilaerojen kanssa. Kun on kysymys pienistä eroista,  $\Delta T$  voi olla negatiivinen vain tarkan kalibroinnin puutteesta. Pelkästään negatiivisten arvojen takia mitaustuloksia ei pidä "arvostella". Vaikka kaikki näyttäisi hyvältä, lämpötilojen suhteellinen ja keskinäinen oikeellisuus on oleellinen asia.

Toinen yleinen arvio on, että anturin sijainti voi olla sekoittumattoman virtauksen alueella. Jäähdytysveden laminaarinen virtaus voi pitää veden sekoittumattomana pitkään suuressa putkessa. Sen pintaan asennettu anturi mittaa mahdollisesti pintaan viimeksi liittyneen putkihaaran kautta tulleen sekoittumattoman (laminaarisen) virtaavan veden lämmön.

Kolmas arvio on, että anturin (anturien) sijainti voi olla lämpölähteen vieressä tai toisaalta ilman lämpölähdettä. Sulatossa on huomattavia lämpölähteitä ja niistä johtuvia virtauksia, joko kuumia tai kylmiä. Tämä voi riittää vääristämään  $\Delta T$ :n negatiiviseksi ja jossakin samoin perustein liian suureksi.

VKU1:llä oli pidempiaikainen jäähdytysveden 0-virtaus huhtikuun lopusta kesäkuun alkuun 2014. Kun tarkastelee VKU1:n teho- ja muita jäähdytysarvoja toukokuulta 2014 (Kuvio 6), voi tehdä muutamia havaintoja. Mittauksista voi nähdä, että uunilta tuleva (yleensä lämpimämpi vesi) jäähtyy virtauksen loputtua huomattavasti alemmaksi kuin sisään virtaava. Lämpötila vakioituu  $T_{in}$  n. 22 °C ja  $T_{out}$  n. +14 °C. Tästä seuraa  $\Delta T$ :n negatiiviset arvot (n. - 8 °C). Päätelmä on, että mittarit ovat eri tavalla vaikuttavassa ympäristössä.

Yksi syy  $\Delta T$ -arvojen omituisuuksiin on se, että uunin jäähdytyksen paluun eli lämmenneen veden  $T_{out}$ -anturi sijaitsee lähellä jäähdyttimiä. Eli lämmennyt jäähdytysvesi jäähtyy siirtoputkessa erityisesti pakkasella jo ennen lämmönvaihdinta. Tämä pienentää  $\Delta T$ -arvoa ja antaa oletuksen pienemmästä jäähdytystarpeesta. Kesällähän putkisto ei juuri toimi jäähdyttimenä. Lämpötilan muutos putkistossa jää arvattavaksi. Siirtoputkistossa virtauksen aikana tapahtuva lämpötilan muutos on vaikeasti todistettavissa. Kuvaajan (Kuvio 6) mukaan seisokissa virtaamattoman veden aikana sisään ja ulosvirtaavan lämpötila-arvot putoavat eri tavalla. Uunin paluulinjan vesi jäähtyy ja vakiintuu tilaan ( $T_{Bin}$  n. +14 °C).  $\Delta T$ :n toinen tekijä, uuniin menolinjan veden  $T_{Ain}$  pysyy korkeampana (n. 22 °C). Lisäksi  $T_{in}$  tunnetaan olevan ulkolämpötilasta (anturi 45ti-4500) riippuvainen.  $T_{in}$  seuraa hieman perässä ulkolämpötilan muutoksia. Kun virtaus käynnistetään ja uuni ajetaan ylös, lämpötilat lähes saavuttavat taas toisensa. Virtauksen aikana lämpömittareiden ympäristövaikutus on pieni. Silti tehonlaskentaan se voi olla merkittävä.



Kuvio 6. Kuvaajan mukaan seisokissa virtaamattoman veden aikana sisään ja ulosvirtaavan lämpötila-arvot putoavat eri tavalla

#### 4.9 Mittaushistorian arvoja pakkaskaudelta 2014

DNA:n tiedot F3-projektin jälkeen eivät ole keränneet kuin lämpimän talven normaaleja pakkasarvoja. Vuoden 2014 viiden päivän pakkasjakso osoitti tammi-kuun 18. vuorokautisen keskilämpötilan vrk ka olleen vain - 21,2 °C. Todellisia pakkaslukuja tai pikemminkin jäähdystestejoja tarvitaan nimenomaan kiertojen sulanapitämistarkastelussa, joka voi olla tämän selvityksen jatkona.



## 5 SELVITYKSEN KRITEERIT, RATKAISUT JA PERUSTELUT

### 5.1 Kehityskriteerit

Tehtävän määrittämisessä ja tilaajan aloitteessa haettiin ensisijaisesti ongelmien poistoa tai rajoittamista ilman toimintavarmuuden menettämistä. Samalla pyrittiin mahdollisuuksien rajoissa sisäisiin kiertoihin, mutta haluttiin säilyttää varajärjestelmät. Yhteisissä järjestelmissä voidaan saada säästöjä synergian muodossa, mutta ratkaisujen on mahdollistettava erillään toimiminen. On arvioitava myös nykytilanteen jatkuminen reflektoiden sitä yhdessä muutosvaihtoehtoihin.

Ratkaisu, jossa pyritään kokonaan eroon glykolista, perustuu kiertojen lämmön hyödyntämiseen seisokissa olevan hyväksi yhdistämällä kierrot. Tämä asia nähdään mahdollisena jatkoselvityskohteena.

### 5.2 Vesijäähdytysprosessien arvio ilman muutoksia

Nykytilan arviointi kuuluu ottaa perustaksi syntyneelle muutostarpeelle ja sen tuomille käyttöturvallisuudelle, -varmuudelle ja kustannuksille. Ainahan voi olla, että nykytila on vaihtoehtoista paras.

#### 5.2.1 VKU1:n ja VKU2:n päästömittausedongelmat jatkuvat

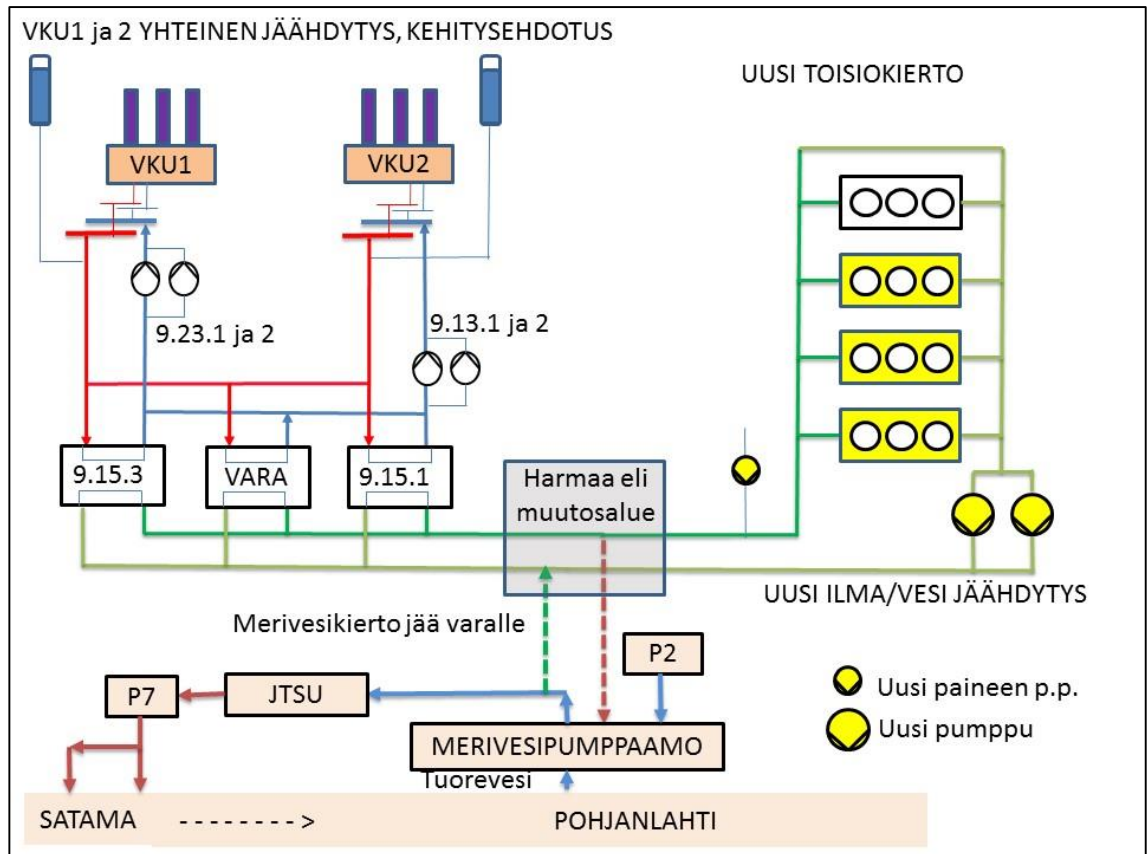
VKU1:lle ja VKU2:lle jatkuu meriveden pumppaaminen jäähdytystä varten. Purkupisteen P7 päästöt vaikeuttavat päästörajoissa pysymistä edelleen. Ferrochromin jäähdytystä varten oleva avoin merivesikierto lasketaan jätevedeksi. Tällöin kierrätetystä Pohjanlahden vedestä tulee päästö. Ilmiötä sanotaan kiertokuormaksi.

### 5.2.2 VKU3:lla glykoliuongelmat jatkuvat

VKU3:lla kokemuksesta ja kehittämisestä huolimatta arvioidaan glykoliuongelmien jatkuvan. Vuotojen vuoksi tilalle otettava täyttövesi laimentaa seosta ja mahdollistaa jäätyksen vähemmällä pakkasella. Täyttöveden ja glykolin sekoitussäiliötä ei rakennettu koska järjestelmät ovat niin suuret tilavuuksiltaan, että sekoitussäiliön ja glykolin varastosäiliön pitäisi myös olla suuria. Käyttövarmuuden ylläpidon vuoksi seoksen toistuva jokavuotinen normalisoiminen on kuitenkin tehtävä käyttöturvallisuuden ja -varmuuden vuoksi ja se on kustannus.

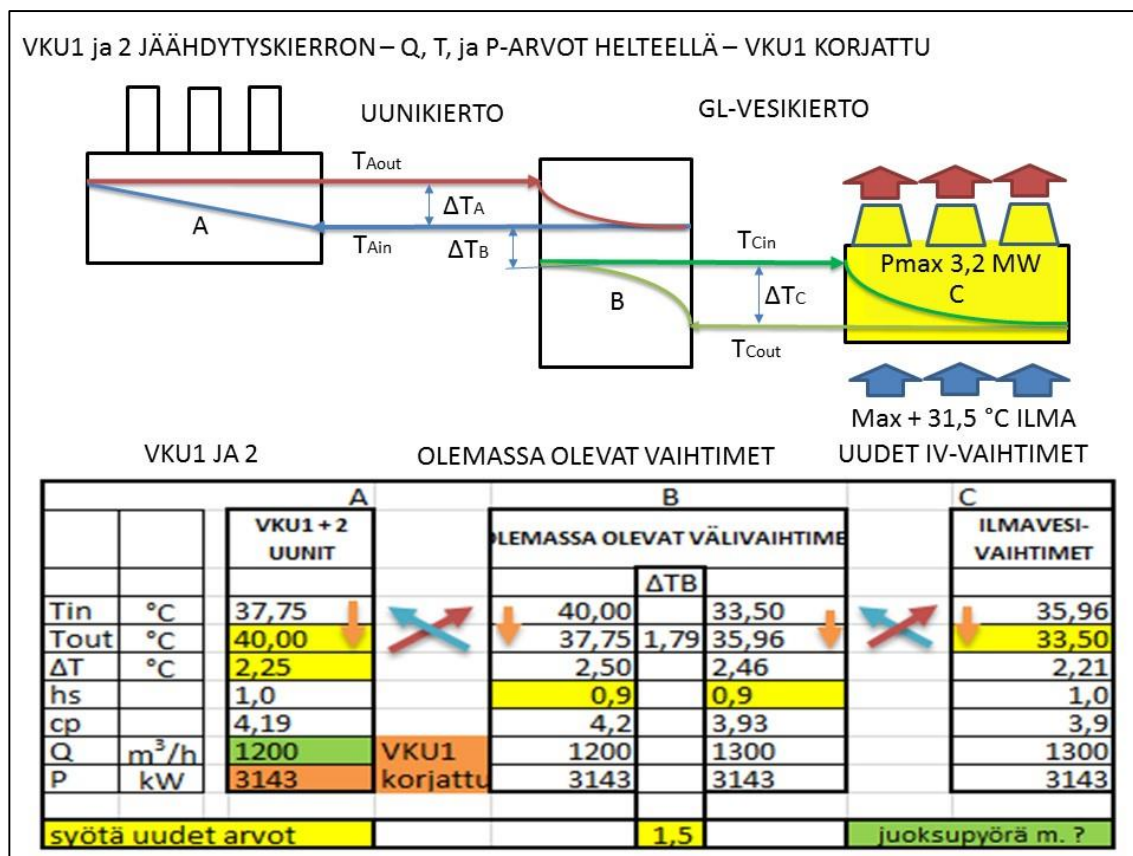
### 5.3 Ratkaisu VKU1 ja VKU2 – merivesi- ilma/vesijäähdytteiseksi

Rakennetaan tilaajan aloitteen mukainen merivesijäähdytyksen rinnalle pääkäyttöiseksi ilma/glykolivesi-jäähdytys korvaamaan merivesijäähdytys. Rajapintana toimivat olemassa olevat uunikierto/merivesi-lämmönvaihtimet. Uudet ilma/vesilämmönvaihtimet (jäähdyttimet) sijoitettaisiin läheisen vanhan korjaamon ("Pärnänen") katolle. Jäähdytinkierto tarvitsee jäähdyttimien lisäksi kiertovesipumput ja yläsäiliön. Yläsäiliön voi tai oikeastaan täytyy korvata paineenpitopumppuyksiköllä (vrt. sintraamo 3), koska rakennus on aika matala, ja siksi riittävän korkean (+25 m) paineen pito ei onnistu painovoimaisesti. Merivesijäähdytyskierto, joka on osa terässulaton järjestelmää, jäisi varalle ja mahdollisesti pienelle virtaukselle ja huolto-ohjelmaan mm. putken pohjaan laskeutuvan hiesun vuoksi, joka on syytä poistaa suunnitellusti. Järjestelmän suunnittelussa on huomioitava, että järjestelmästä toiseen siirryttäessä ei sekoiteta merivettä glykolivesikiertoon tai toisinpäin. Ratkaisuehdotus on esitetty Kuvassa 9.



Kuva 9. VKU1:n ja VKU2:n nykyinen uunikierto. Merivesi korvataan ilma/vesijäähdytyksellä

Kuinka välivaihtimet termodynaamisesti asettuvat uunikierron ja jäähdytinkierron väliin esitetään kuvassa 10. Kuvaa voi kutsua termodynaamiseksi taseeksi. Jäähdytystehona ei voi luottaa VKU1:n kohdalla mitattuihin teoreettisiin arvoihin. Keskusteluissa kävi ilmi, että jäähdytystehon on oletettu olevan n. 50 % VKU2:n arvoista. Katsottiin, että selvityksen aikana ei ole oikeastaan muuta mahdollisuutta, kuin arviointi. Lisättiin VKU1:n jäähdytystehotarpeeseen laskennallisen 325 kW, jotta saatiin VKU1:n keskiarvon ja mediaanin arvot 59 %:iin VKU2:n vastaavista. Yhteistehotarpeena olisi tällöin 3,2 MW.



Kuva 10. VKU1:n ja VKU2:n ilma/vesi-jäähdytyksen termodynaaminen tase. VKU1:n osuutta on kasvatettu olemaan keskiarvoltaan 50 % VKU2:n arvosta

### 5.3.1 VKU1:n ja VKU2:n asetettujen kriteerien uudelleen tarkastelua

Jäähdytystehon määrittelyssä päädyttiin tuntikeskiarvojen maksimien summaan + varayksikköön:

Jäähdytystehon määrittely = ARVIOITU VKU1  $P_{h\text{ ka maksimi}}$  + VKU2  $P_{h\text{ ka maksimi}}$  + yksi jatkuvatoiminen varayksikkö.

Jäähdytyslaittevalintana voisi ratkaisumuoto olla 3 + 1 kappaletta jäähdytysteholtaan 1 MW jäähdytintä, eli kapasiteetin 30 % varmuutta. Samaa varmuutta käytettiin neuvotteluissa F3-projektissa. Ongelmallisempaa on toteuttaa helteellä matalien lämpötilaerojen vuoksi kyseinen jäähdytysteho kahdessa portaassa. Tähän voivat vastauksen antaa vain laitetoimittajat.

Hellekauden jäähdystehon lisäkapasiteettina ei voi käyttää nykyisin varalla olevaa levylämmönvaihdinta, koska putkisto on yhteinen ja virtaukset kulkisivat pienimmän vastuksen reittiä. Silloin vaarana on, että järjestelmä alkaisi kiehua kuumimmissa putkiston osissa uunilla. Toisaalta levyypakat ovat nyt n. 50 % käytössä ja uusilla levyillä on yleensä mahdollisuus löytää eri tehoja ja virtaushäviöitä. Isompana riskinä pidän juuri vanhan järjestelmän päälle rakennettavaa uutta järjestelmää. Erityisesti harmaalla alueella (Kuva 9) joudutaan erikoisiin ja vaikeisiin suunnittelu- ja toteutusratkaisuihin, koska pumppaamo-vaihdintila on ahdas. Kaikki ratkaisut ovat yleensä tehtävissä, mutta ne ovat kalliita ja lopputulos ei ole käytännöllinen. Kun kellari asettaa omat rajansa, ei hyvää uutta voi helposti toteuttaa. Ei pidä unohtaa suunnittelussa putkikanaalin putkistojen korvaavaa putkistusta siltoihin. Samoin nykyisten vaihtimien ohitus voi olla myöhemmin hyvin todennäköinen uusille vaihtimille. Tämä sillä olettamuksella, että uudet vaihtimet tullaan määrittelemään mahdollisesti toisenlaiseksi ja ne rakennetaan eri paikkaan kuin nykyiset. Riskinä voi pitää, että varalla olevan merivesi pääsee ruostumattoman glykolivesi kiertoputkistoon. Merivesi vaatii Pohjanlahdenkin alueella putkistomateriaaliksi haponkestävää terästä.

### 5.3.2 Monimutkainen prosessi yksinkertaisesta asiasta

VKU1:n ja VKU2:n kehitysehdotus hyödyntää paljon olemassa olevaa. Vanhaa hyödyntävä muutos loisi mahdollisesti jäähdytysprosessin, jonka kaavio olisi monimutkainen. Siitä seuraisi ajovirheiden mahdollisuus, niin inhimillisiä arviointivirheitä kuin ohjauksellisia ongelmia erityisesti poikkeustilassa.

### 5.3.3 Huomioitavat riskit

Käyttövarmuuden vuoksi pitäisi välttää taloudellisen toimintaiän päässä olevan korttitalon päälle rakentamista. Vaihdin- ja pumppaamo-osaston putkistoa on ajansaatossa usein paranneltu. Tila ja sen käyttö on kaventunut alkuperäisestä. Mahdollisesti alkuperäisessä ei ole ollut varauksia esimerkiksi meriveden suoti-

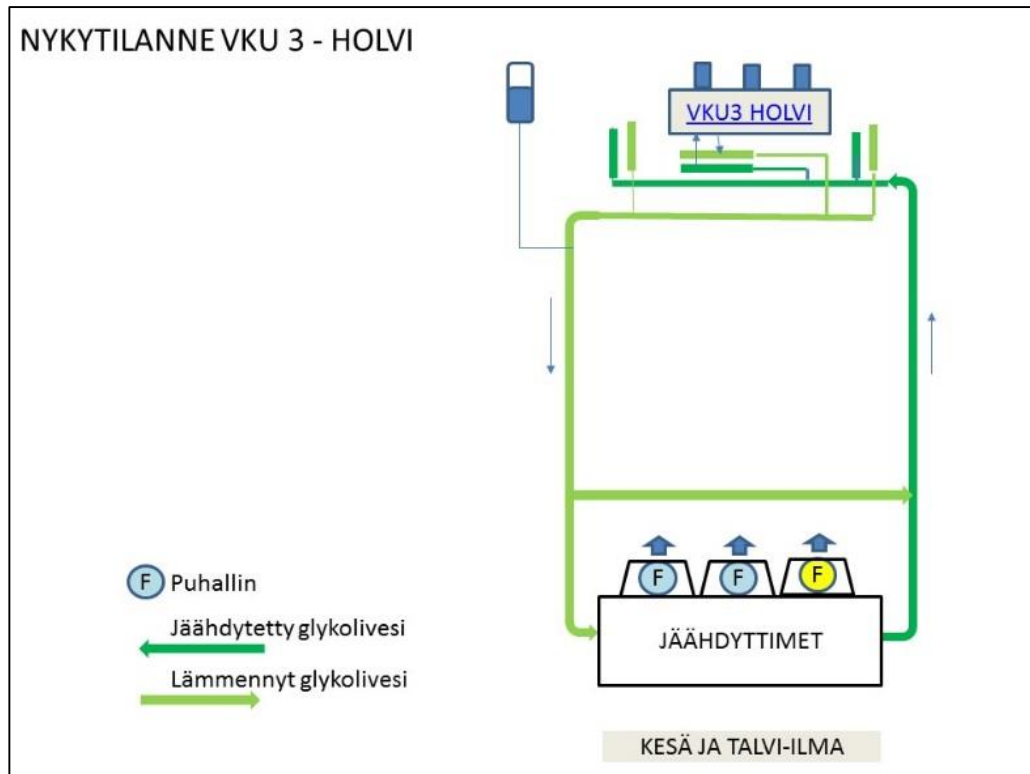
mille. Ne on jälkeempäin lisätty ennen lämmönvaihtajia ahtaaseen paikkaan. Ratkaisu on syönyt luonnollisen liitäntäpaikan ja yksinkertaisimman toteutuksen. Onko nykyisille laitteistoille enää korvaavia tuotteita esimerkiksi laippamitoituksen suhteen voi vain epäillä? Putkikanaali ja sen putket vanhojen uunien ja pumpaamon välillä ovat ohittaneet elinkaarensa puolivälin. Putkikanaali sijaitsee raskaiden koneiden ja kuumien valulohkareiden käsittelykentän alla.

Yksi varautumistapa voisi olla suunnitella uusi jäähdytysputkisto niin, että nykyiset vaihtimet korvattaisiin uusilla vaihtimilla järkevästi käyttöönotettavaan uuteen tilaan. Myös järjestelmän tyhjentämiseen hätätilassa on syytä paneutua.

Toisaalta onko ilma puhdasta ”Pärnäsen” katolla ja voiko se aiheuttaa huolta, selvinnee, kun katolla tutkii sinne ajan kanssa kertynyttä sulattopölyä.

#### 5.4 VKU3:n glykoli pois uunin vesikiertoista

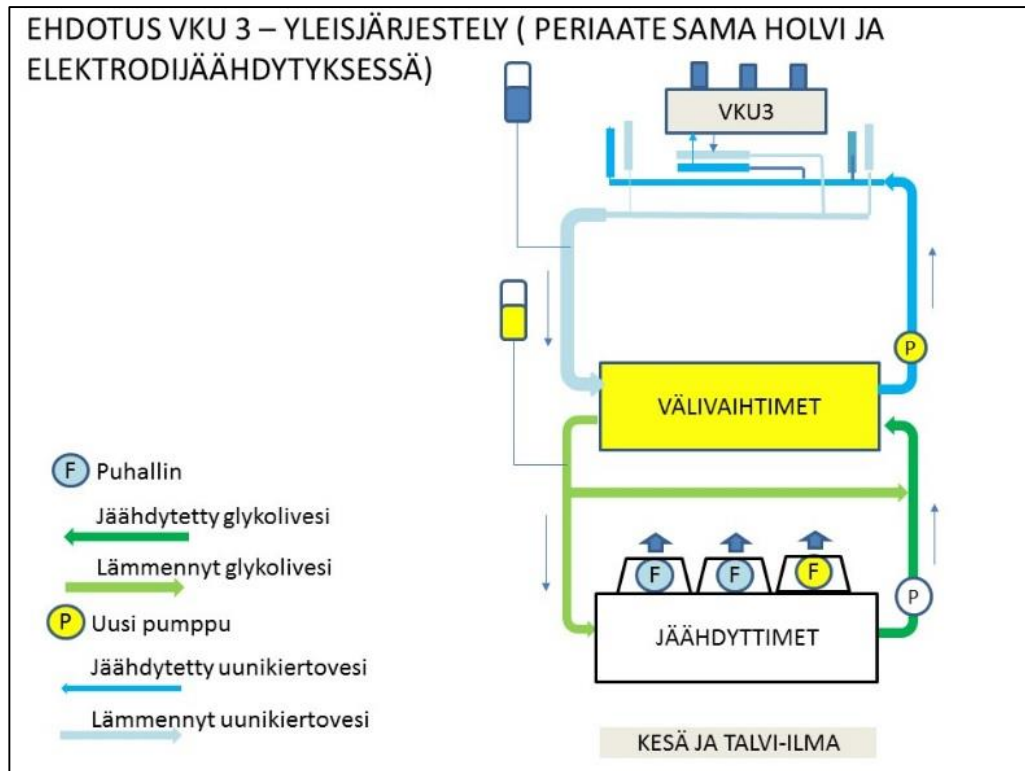
VKU3:n glykoliongelmalle on tilaajan ajatuksena ollut erottaa glykolivesikierto uunilta välivaihtimella. Kokemuksesta arvioitiin, että nykyjärjestelmästä glykolivuotoja ei voi poistaa kokonaan esimerkiksi putki- ja letkutekniikalla, koska letkuja on joskus irrotettava ja silloin vuotoja tapahtuu. Myös rikkoontumisia tapahtuu. Glykolivesi kiertää kaikissa kierroissa laskureikäjäähdytystä lukuun ottamatta (Kuva 11).



Kuva 11. VKU3:n nykytila – glykolivesi on uunikierrossa

#### 5.4.1 VKU3:n kiertoihin välivaihdin

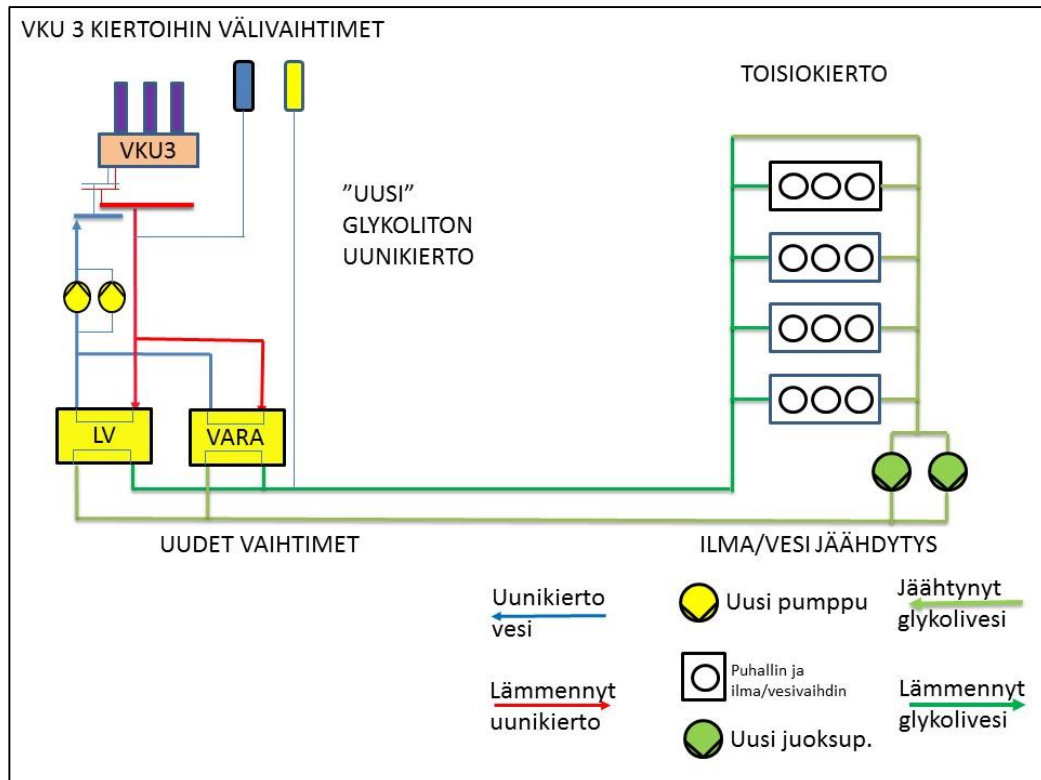
VKU3:n holvilla haitallisena ja kustannuksena pidetty glykolivesi korvataan välivaihtimella. Tällöin järjestelmässä on kaksi kiertoa eli glykoliton holvikierto ja ulkona vaihtimilla käyvä glykolikierto. Holvikierron puolelle tarvitaan kiertovesipumput (säättö+, stand by). Holvi ja elektrodikierron periaate on sama. Ratkaisuehdotus on esitetty Kuvassa 12.



Kuva 12. VKU3:n välivaihtimilla estetään glykolin pääsy uunille

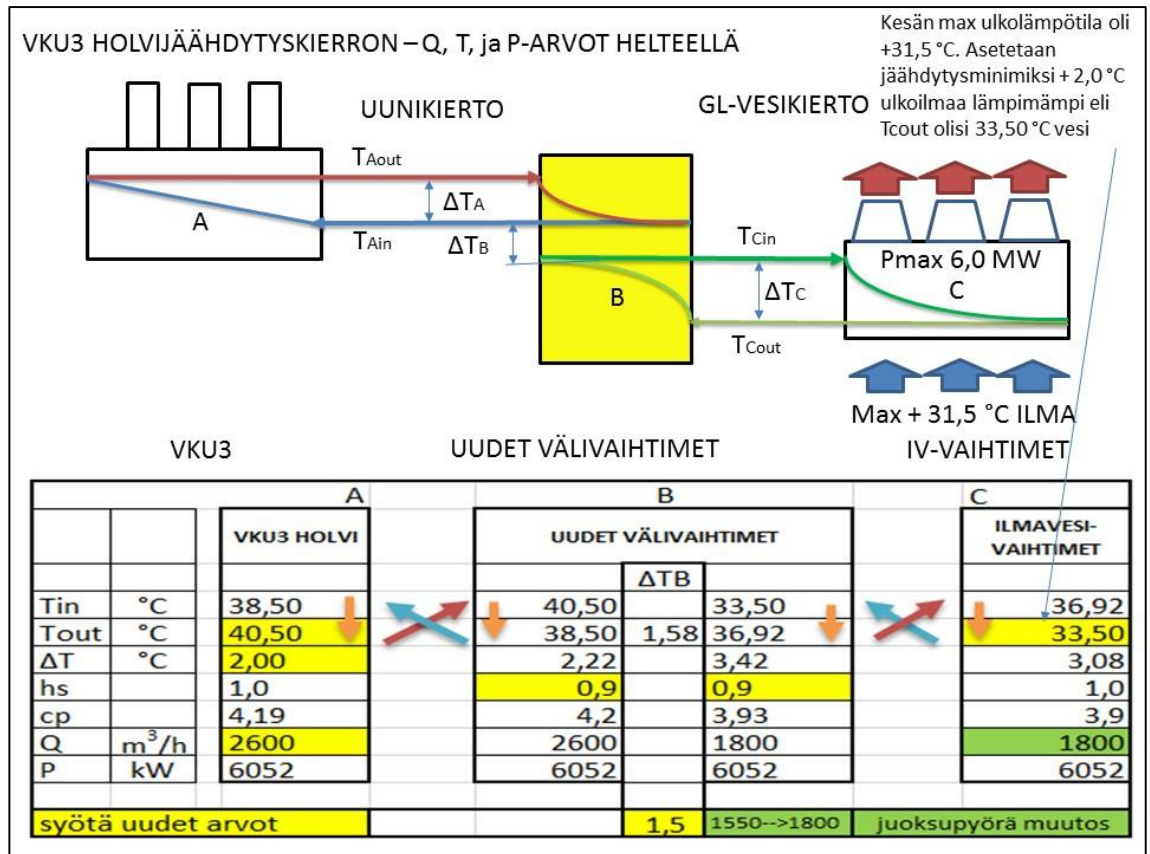
Välivaihtimien sijoitusta ja toisiokierron jäähdytysyksiköjä esittää paremmin kuva 13. Välivaihtimien on syytä pitkien seisokkitilanteiden jäätymisvaaran vuoksi olla lähellä uunia tai ainakin sisätilassa.





Kuva 13. VKU3:n välivaihtimet sijoitetaan sulaton yhteyteen

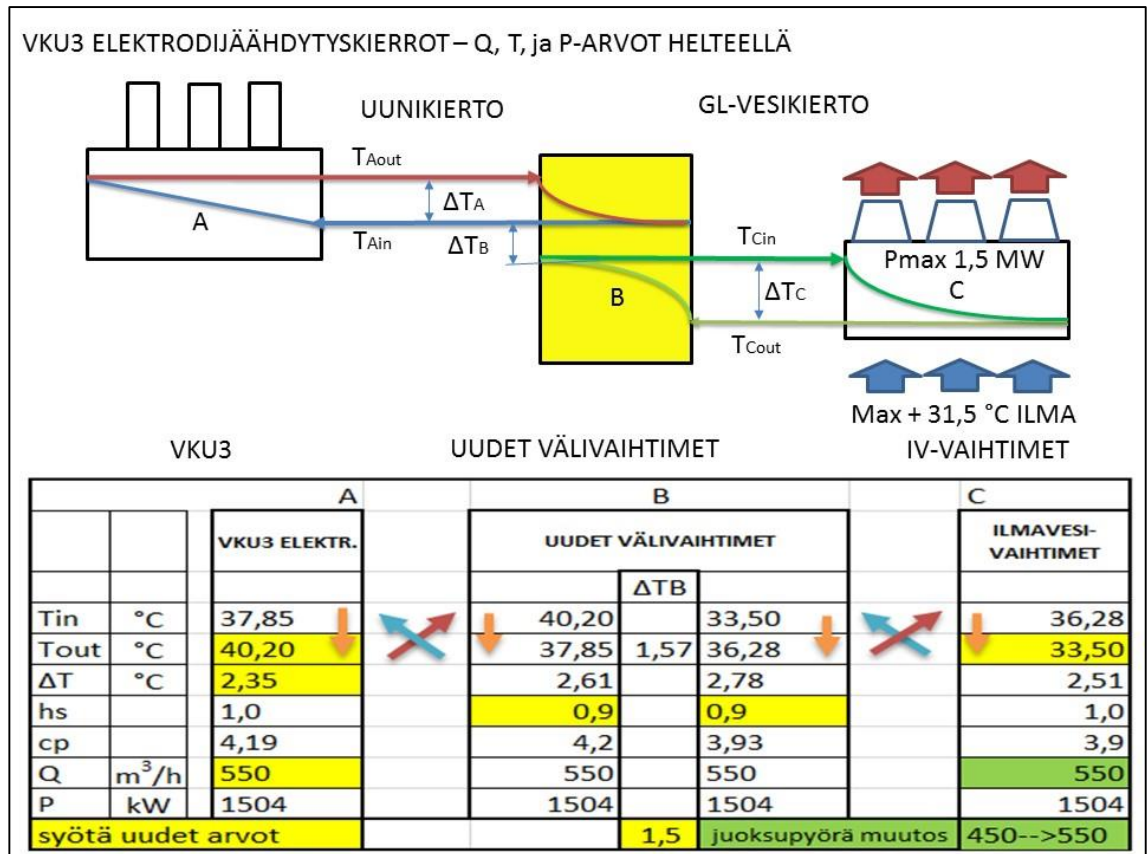
Pakkaspelosta huolimatta helleaika on välivaihtimien ääriolosuhde. Ratkaisussa välivaihdin sijoitetaan jäähdytintehon kannalta haasteellisesti pienten lämpötilaerojen väliin (Kuva 14). Laskelmissa perusteena ollut kesän 2014 maksimi ulkolämpötila oli  $+31,5\text{ °C}$ . Asetetaan vaadittava jäähdytysminimi  $TC_{out} + 2,0\text{ °C}$  ulkoilmaa lämpimämmäksi. Tuolloin  $TC_{out}$  olisi  $33,50\text{ °C}$ .



Kuva 14. VKU3:n holvikierron välivaihtimet ovat termodynaamisesti "ahtaassa" välissä –  $\Delta T_B$  on pieni. Taulukkolaskennassa pidetään  $\Delta T_B$  suurempana kuin 1,5 °C. Välivaihtimet ahdetaan kahden olemassa olevan ja määritettyjen prosessien väliin

#### 5.4.2 Elektrodikierto on periaatteeltaan holvikiertoa vastaava

VKU3:n elektrodikierron periaatteet ovat samat kuin holvikierrossa. Termodynaamisesti tilannetta esitetään Kuvassa 15.

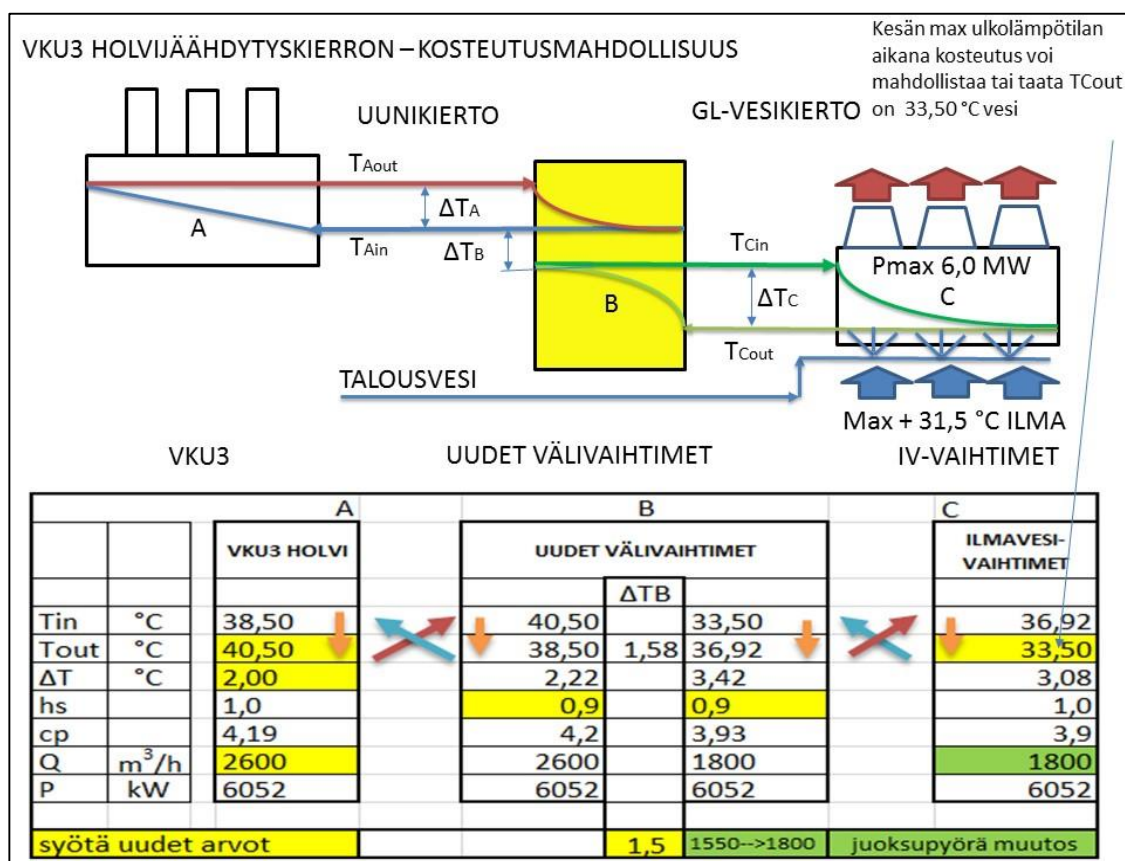


Kuva 15. VKU3:n elektrodikierron termodynaaminen tase. Pienten ääriämpötilaerojen väli on haaste holvikierron tapaan

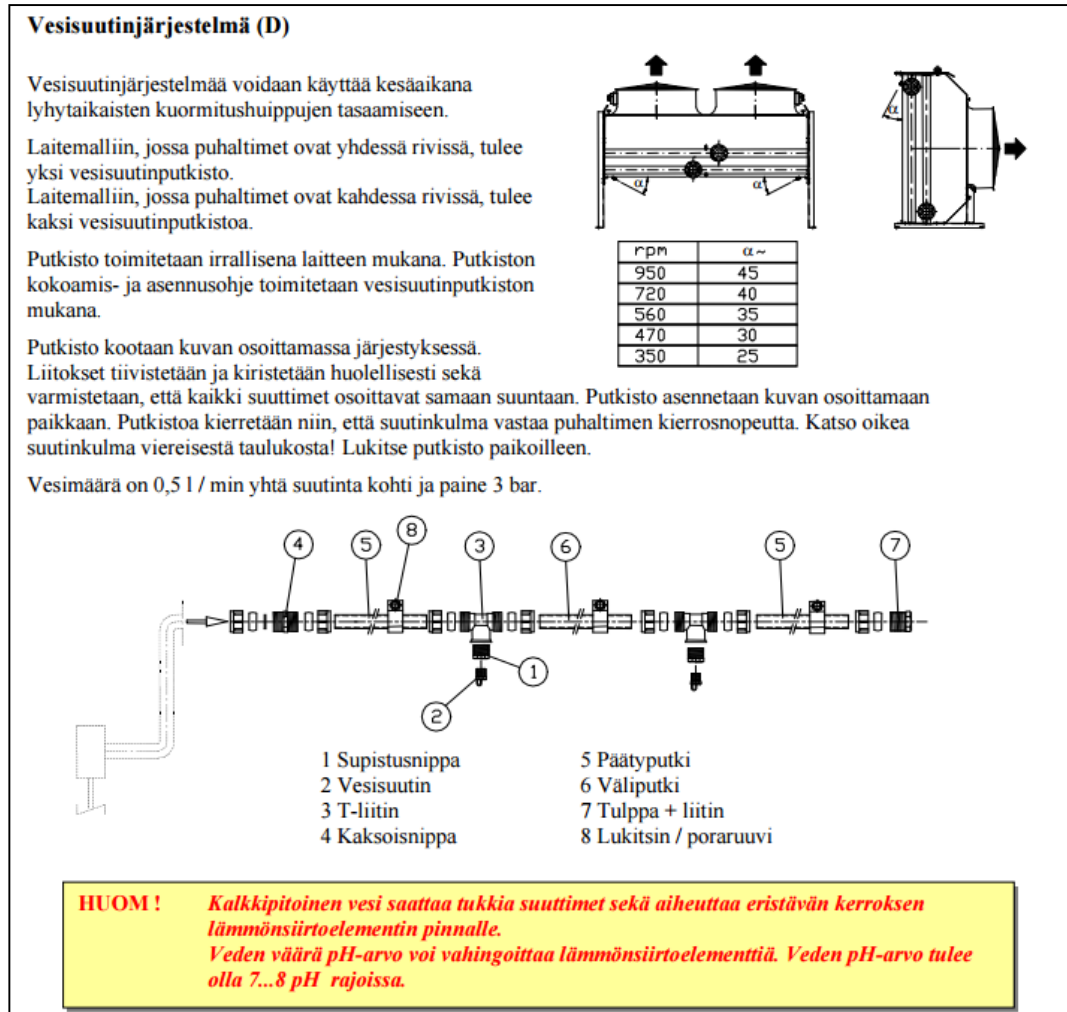
#### 5.4.3 Hyötysuhteen parantamiskeinona höyrystyslämpö

Kirjallisuudessa on melko vähän mainintoja kostean ilman höyrystyslämmön hyödyntämistä suljetuissa kierroissa. Suomen oloissa periaatetta käytetään avoimessa tornijäähdytyksessä, mutta suljetussa se ei vaikuta olevan yleinen. Siinä suihkutetaan pieniä vesipisaroita jäähdyttimen alle, jolloin jäähdytys tehostuu. Helteisen ilmavirtauksen ja jäähdyttimen putkien jäähdytysripojen pintalämpö kuuluu vesipisaroiden höyrystymiseen (Kuva 16). Höyrystyslämmön hyödyntäminen "hikoiluna" voi olla ratkaiseva tekemään välivaihtimelle termodynaaminen tila. Se on aika yksinkertaisesti toteutettava varmistus tai takaportti jäähdytystehon parantamisessa juuri harvoja hellepäiviä varten. VKL3:n katolla on valmiina itsestään tyhjenevä pesuvesiputkisto, jota voi harkita hyödynnettävän tähän käyttöön. Laitetoimittaja tietää teho vaikutuksen ja heillä on tarjota oma tuotteistettu

järjestelmänsä (Kuva 17). F3-projektissa toimittaja tarjosi heidän kostutusputkistoan, mutta sen tarve poistettiin varmuuskertoimella. Teollisuudessa on opittu, että ”pienet asiat unohtuvat”. Yleinen mielipide on, että tällaiset putket jäävät tyhjentämättä ja niiden jäätyminen syksyllä on sääntö eikä poikkeus. Koska tämä on työpaikkakulttuurillinen ja opittu asia, voisi kunnossapito-ohjelmassa oleva muistutus auttaa asiassa. VKL3:n katto on suunniteltu Suomen oloihin ja se kestää niin sateet kuin kostutusmenetelmänkin. Putkisto toimitetaan irrallisena ja oletettavasti on jälkiasennettavissa VKL3:n tapauksessa. Toimittaja muistuttaa veden kalkkeutumisvaarasta suuttimiin ja kennostoon. Toimittajan mukaan sitä ei tarvitse pelätä, jos pH on 7-8 välillä. Tehdasstandardin mukaan talousveden pH on 7,5 -8,1.



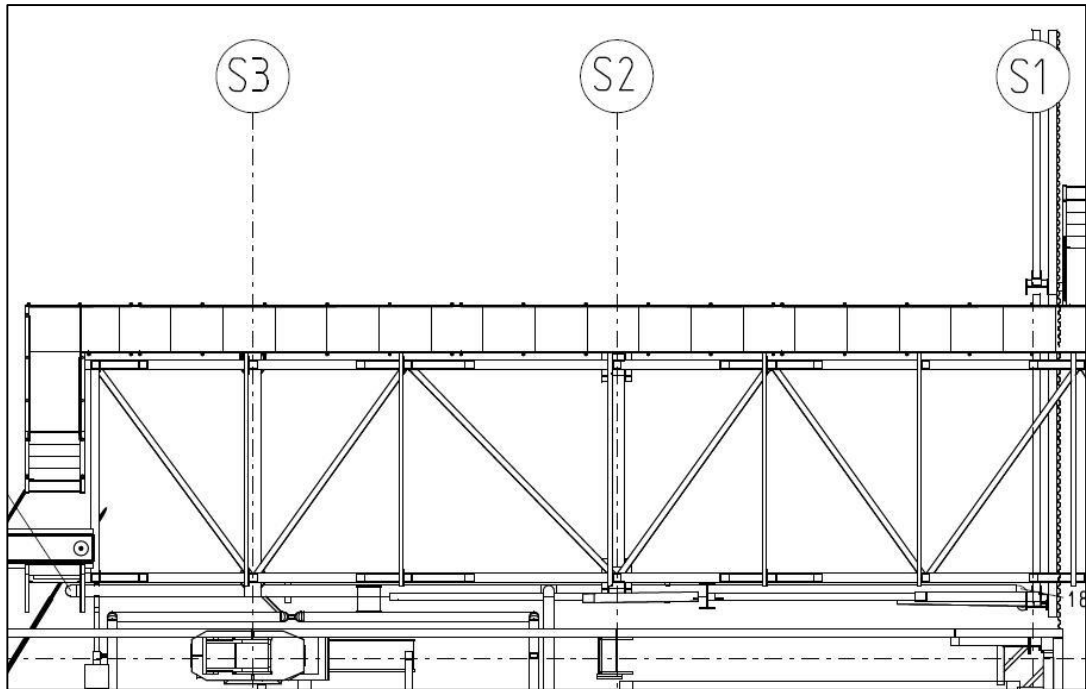
Kuva 16. Talousvesisumutuksella kosteutetun ilman höyrystyslämmön hyödyntäminen voi olla merkittävänä lisänä helleaikaisessa jäähdytystehon tarpeessa



Kuva 17. Jäähdytintoimittajan vesisuutinjärjestelmän asennusohje. (Alfa Laval (Fincoil) Oy. Esitysmateriaalia 2012)

#### 5.4.4 Välivaihtimien asennustila ja kunnossapidettävyys

Molempien järjestelmien vaihtimien (mahdollisesti 2 + 2) ja pumppujen (mahdollisesti 2 + 2) sijoitus olisi luonnosta tehdä ns. holvitasolle + 18.000. Laitesijoitusta ja tehdassalia tarkastaessa havaittiin, että tasolla ei ole tilaa. Vasta ns. käppäys-tasolla +30.200 on tilaa kahdessa paikkaa. Täysikokoisen putkiston johtaminen vaihtimille ja takaisin olisi erittäin työlästä ja kallista eikä lopputulos saisi kehuja. Sulattorakennuksen ulkopuolelta eli pohjoisesta valuhallista, löytyy perustasolla + 6.000 tilaa. Vapaa tila (n. 7 x 7 ja 7 m) sijaitsee kiertovesiputkien alapuolella. Tila on lämmittämätön, joten pakkasta ja sulan laskutapahtuman säteilyä varten suojarakennus olisi rakennettava (Kuva 18). Tässäkin on ongelma, koska elektrolyttikierron paluuputki on asennettu vasta itäseinän putkisiltaan.



Kuva 18. Lämmittämättömässä tilassa oleva pohjoisen valuhallin koillisnurkka tasolla + 6.000. Kiertovesiputket on sijoitettu putkisiltaan. Elektrolyyttikierron nykyinen paluu on kuitenkin fyysisesti itäpuolen putkisillassa (Outokumpu Chrome Oy. F3-projekti. Putkiston tasopiirustus, +0.000 – 12.000. Piirustusnumero 125044. Ote 2015)

Jäätymisvaaraa mietittäessä täytyy muistaa kuitenkin yksi seikka. Seisokissa ja käynnistäessä ajotapavirheestä johtuen vaihtimen toisen puolen kierrossa voi virtata vaikka  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$  asteinen glykolivesi. Virtaamaton tai hitaasti virtaava uunipiiri voi jäätymä ja jopa vaurioitua. Uunin yksittäisen osan, kuten holvien jäähdytys-elementtien liiallista jäähdytystä ei voi sallia lämpötilaeroista johtuvien erojen vuoksi. Lämmennyt jäähdytysvesi jäähtyy erityisesti pakkasella jo siirtoputkistossa. Tämä pienentää laskennallista  $\Delta T$ -arvoa ja antaa oletuksen pienemmästä jäähdytystarpeesta. Pakkasaikainen lämpötilan muutos putkistossa jää arvattavaksi.

Samoin pitää miettiä, mikä on uunin holvikierron sallittu  $T_{\text{Ain}}$  minimilämpötila, joka ei riko putki- ja letkuliitoksia. Ulkona olevan uunikierron lyhyet osuudet voidaan lämpöeristää 50 -100 mm ja harkita sähkösaattoa. Elektrodikierron nykyinen paluu on fyysisesti itäpuolen putkisillassa.

Hyvin tarpeellisen trukki liikenteen vaatiman kulkutilan vuoksi laitteistojen ja yhdistävien putkien sijoittaminen on ongelma. Ahdas paikka voi tulla ongelmalliseksi huoltaa. Tarkasteltavana on ollut myös toisia tasoja kuin holvitaso. Varaukset ns. jakotukkitasolla on syöty laskureikäjäähdytyksen lämmönvaihtajilla vuonna 2015.

Lämmönvaihtimilla käyvää putkikokoa voi tarkastella esisuunnittelussa. Liitospaikan valinnan mukaan voi olla mahdollista että holvijäähdytykseen riittää DN500-putkisto. Siirto-putkistoon DN 600 jätettyä varaa käytettiin jo laskureikäjäähdytykseen, joten suunniteltu varaus tulee yleensä hyödynnetyksi.

VKL3:n puolella muutos aiheuttaa mm. pumppujen kannalta painehäviöiden uudelleen arvioinnin. On myös mietittävä, onko säätötappaa muutettava ja erityisesti mikä on uuden järjestelmän glykolikierron suunnitteluvirtaus. Ratkaisuksi voi tulla pumpun juoksupyörämuutokset. Pumpputoimittaja auttaa tässä.

Ratkaistavaksi voi myös tulla, kierrätetäänkö vakiomäärä vakio lämpöistä vettä ja säätö tehdään vaihtimia ohittamalla? Uutta rakennettaessa on mietittävä mahdollisuus myös säätö- ja ajotapamuutoksiin. Jäähdytyskiertopumppuja käytetään läpi vuoden, jolloin käyttökustannuksilla on merkittävä osuus.

#### 5.4.5 Hyötysuhteen ja lämpötilaerojen kaventuminen

Välvaihtimella toteutettu jäähdytys tarkoittaa yhden alle yhden (0,9) hyötysuhteen olevan laitteen lisäämistä järjestelmään. Se tarkoittaa samalla lämpötilaerojen kaventumista vaihtimien molemmin puolin. Se merkitsee tehottomuutta eli laajempia pinta-aloja (enemmän levyjä vaihtimiin) ja enemmän virtausvastusta. Toimittaja vastaa viime tilassa laitteiden toimintarajoista.

## 5.5 VKU3:n asetettujen kriteerien uudelleen tarkastelua

VKU3:n holvikierron jäähdytystehomaksimiin on lisätty taajuusmuuttajien osuus. Laskureikäjäähdytyksen käyttöönotto vasta kesällä 2015 on käsiteltävä arviona. Elementtisuunnittelijat ovat antaneet niille rajaksi 600 kW jäähdytystehotarpeen, koska kulumisen kautta (seinämien ohentuessa) syntyy lisää lämmönkarkausta.

Koska uunin  $T_{Aout}$  maksimi halutaan pitää totutun alhaisena (Kuva 12), astuu tärkeäksi IV-vaihtimien eli jäähdyttimien  $T_{Cout}$  maksimi. Ääriolosuhde on helle. Otantakauden lämpimin ulkolämpötila oli 22.7.2014 klo 15 -20 välillä n. +31,5 °C. Siitä seuraa, että asetetaan alustavissa laskuissa jäähdytysminimiksi + 2,0 °C ulkoilmaa lämpimämpi eli  $T_{Cout}$  maksimi olisi 33,50 °C.

Henkilöturvallisuuden kannalta ääriämpötila 40 °C on oikein. Uunin alhainen  $T_{Aout}$  maksimi = 40 °C helteelläkin on haaste. Se merkitsee paljon levy-pinta-alana ja investointi- ja käyttökustannuksina. Tämän vuoksi on syytä miettiä mitä yksinkertaisia keinoja on varautua huippuhelteisiin

## 5.6 Varautuminen harvoin helteisiin ja pakkasiin

Välivaihtimien eli kolmannen portaan lisäys kaksiportaisena laskettuun lämpötaaseeseen on vaativa suunnittelutehtävä. Jäähdytystehoa on aina nostettu lisäämällä käynnissä olevia puhaltimia. Koska hellepäiviä on harvoin ja ne ovat enustettavissa, pitäisi pohtia onko huippuja varten olemassa yksinkertainen erikoisjäähdytys.

### 5.6.1 Varavälivaihdin käyttöön

Käyttöön voi ottaa varavälivaihtimen (stand by) ennen helteitä vakiovaihtimen rinnalle. Varavaihtimen käyttömahdollisuutta jäähdytystehonlisäykseen ei yleensä lasketa reservikapasiteetiksi. Suunnitelmallisesti se on otettavissa järkevästi



käyttöön avaamalla virtausta varavaihtimelle helteiden tullessa. Toki nykyaikaa on tehdä se prosessiohjauksessa säätöventtiilillä.

Lämmönvaihtimilla käyvää putkikokoa voi tarkastella esisuunnittelussa. Liitospaikan valinnan mukaan voi olla mahdollista että holvijäähdytykseen riittää DN500-putkisto. Siirtoputkistoon DN600 jätettyä varaa käytettiin jo laskureikäjäähdytykseen.

#### 5.6.2 Vaativien jäähdytyskohteiden virtauksen lisäys

Jos on oletettavissa liiaksi lämpeneviä kohteita, voidaan niihin veden virtausta lisätä ns. booster-pumpuilla. Booster-pumpuilla parannettavia kohteita on jo käytössä. Tällöin koko järjestelmää ei muuteta, vaan laiteputkiston puolelle lisätään kiertokohtaista virtausta. Vesi valitsee sen reitin, jossa virtausvastus on pienin. Tästä johtuen yleinen tapa on kuristaa niitä kiertoja, joilla on vara toisten kiertojen avuksi.

#### 5.6.3 Merivesipumppaamo varajärjestelmäksi

Merivesipumppaamon VKU1:n ja VKU2:n käytöstä vapautuva kapasiteetti voi jäädä vastaavanlaiseksi varaksi VKU3:lle. Samoin kuin se on tarkoitus jättää muutettuun VKU1 ja VKU2-kokonaisuuteen. Tässä tapauksessa erillisen putkiston ja lämmönvaihtimien täytyy olla merivedelle sopivia.

#### 5.6.4 Palveluputkiston käyttö

Raakavesi ja palovesi, ovat helteelläkin n.+25 °C alapuolella. Näiden varmuustekijöiden hetkellistä käyttöä jäähdytystehon ääriarajoilla on usein mietitty, vaikka niiden käyttö ei ole virallisesti sallittua muussa kuin hätätapauksessa. Niiden käyttöönotto, jos enää ei käytetä uunikerrossa glykolia, olisi aika harmitonta.

### 5.6.5 Uunikiertojen paluuveden korkeampi lämpötila

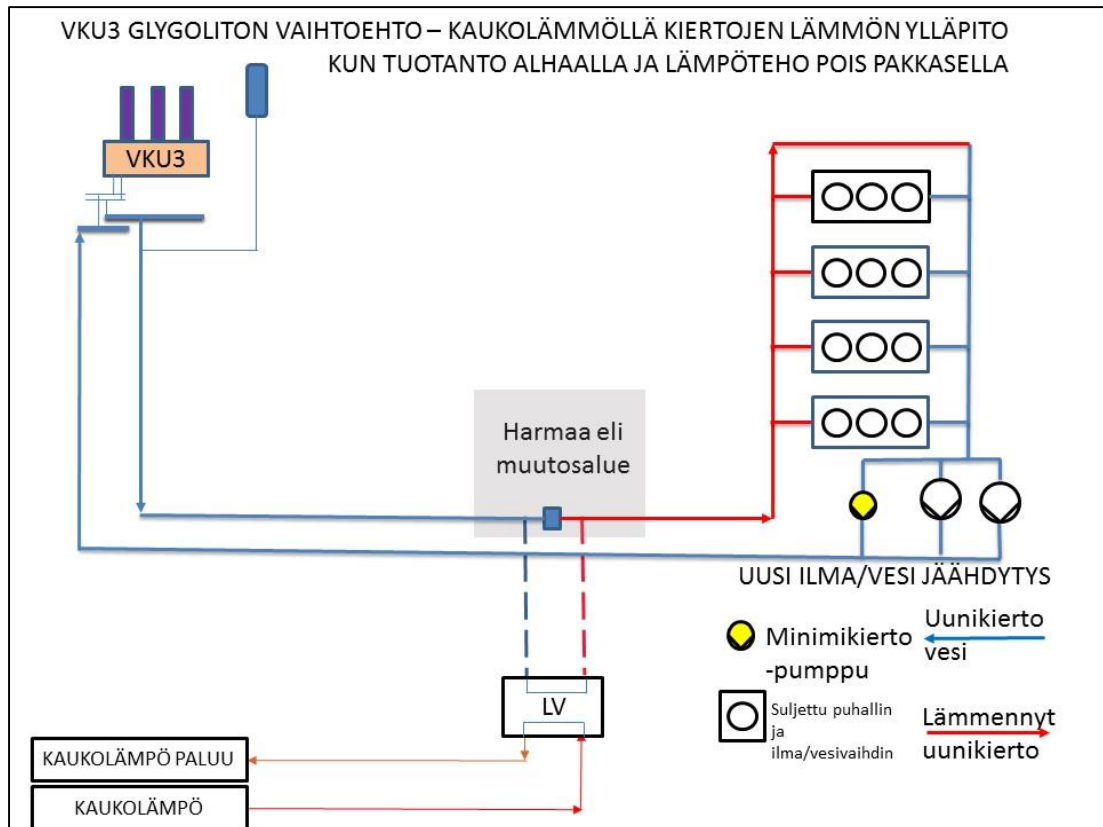
Jos hellepäivinä olisi sallittua, että uunikierron paluulämpötila olisi yli vakiintuneen (esimerkiksi 42 -44 °C), ratkaisisi se koko termodynaamisen pulman. Tällä on suuri merkitys, mutta siihen tarvitaan välivaihtimien ja jo asennettujen toimitajakandidaattien asiantuntemusta. Tämä on työturvallisuusasia.

### 5.6.6 Riskinä pitkä seisokki ja pakkanen

Lämmön kanssa voi selvitä oikein laskettujen jäähdytyskapasiteettien ja toimivien pumppujen ansiosta. Mutta kuinka jäähdytys on turvassa yllättävällä pitkällä seisokilla pakkaskaudella? VKU3:lla on otettu pakkaskaudella käyttöön puhaltimien huputus. Oleellinen turvamekanismi suuressa seisokissa on jäähdytysputkiston tyhjennys jäätyminen aiheuttamaa rikkoutumista vastaan. Glykolin kanssa käytettyä järjestelmää ei ole loppuun asti tarkastettu, kuinka hätätyhjennys onnistuu.

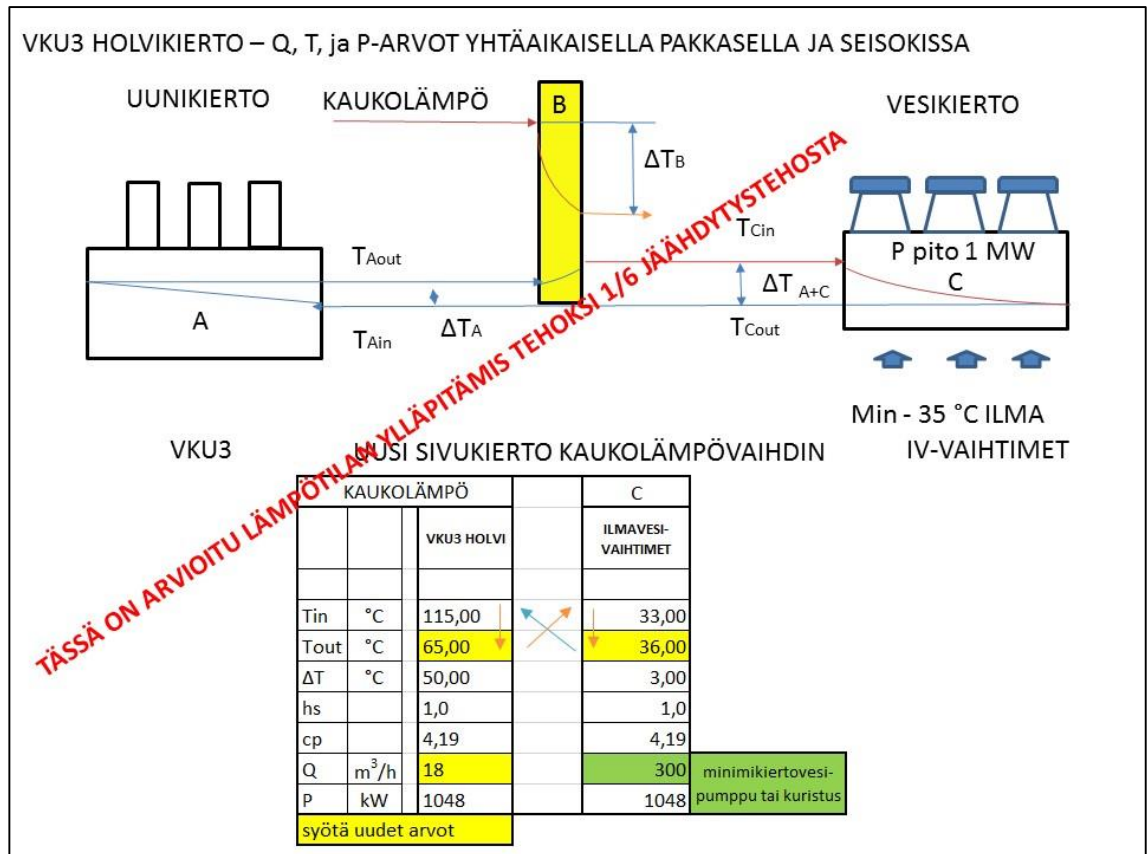
### 5.6.7 Kaukolämpö lämmön ylläpitäjänä

Vaihtoehtona järjestelmän suojeluksi hätätilanteessa voisi olla hieman nurinkurisesti kaukolämpö. Lisätään kaukolämmön avulla ”sulanaapitoenergiaa” kiertoveteen (Kuva 19). Käytännössä se olisi ohituskierto palautuslinjaan ja välillä kaukolämpö/glykolivesilevylämmönvaihdin. Järjestely ei tarvitse pumppuja. Kaukolämmön tehokkuus tekee ohivirtauksesta pienen ja pienikokoisesta laitteistosta edullisen verrattuna välivaihtimeen. Prosessin ajossa on hyväksytty puhaltimien peitto pressulla. Samoin voidaan vaihdinkierron virtaukset pudottaa optimaaliseksi.



Kuva 19. Pakkaskauden seisokin hätälämmitys ja lämpimänä pito (äärimmäisenä terminä sulana pito)

Ratkaisun varmistaminen vaatii ammatti-ihmisen ja laitetoimittajan yhteistyötä. Kuvassa lämpimänä pitoon molemmissa kierroissa on laskettu riittävän 1/6 teho (Kuva 20). Mitään tarkempaa laskelmaa ei tehty, mutta tämä katsottiin suuntaa-antavaksi.



Kuva 20. Ns. lämpimänäpitokehöt on arvioitu n. kuudesosaan jäähdytstarpeesta. Puhaltimet eivät käy ja ne huputetaan. Todellisen tarpeen määrittelee jäähdytinlaitetoimittaja

### 5.6.8 Välivaihtimen vaarat

Nykyisen jäähdytinjärjestelmän kapasiteetti on tarkistettava uuden välivaihdinjärjestelmän osana. Jos järjestelmään asennetaan välivaihdin, siirtyy riski vesi/vesi levylämmönvaihtimelle – jos automatiikalla ja kesä/talviasetuksilla ei huolehdi lämpötilarajoista. Toisiokierron ei saa aiheuttaa ensiökierrolle jäätymisvaaraa.

### 5.6.9 Glykoliton – parempi ominaislämpökapasiteetti

Yksi ilman jäätymisenestoainetta olevan järjestelmän etu on veden  $c$  4,19 [J/(K·kg)] verrattuna seokseen n. 3,8. Tämä tarkoittaa lineaarisesti kykyä sitoa lämpöä. Lämmönvaihtimella veden lämpötilan alentamiseksi tarvitaan enemmän

ilmaa, mutta toisaalta lämpötilan laskua kohti ilmaan myös siirtyy enemmän lämpöä. Kun veden ja ilman lämpötilaero pysyy suurempana siirtyvää lämpö määrää kohti, lämmönvaihdin toimii tehokkaammin.

## 6 JOHTOPÄÄTÖKSET

Ferrokromiuunien VKU1, -2 ja -3 suljetut vesijäähdytysjärjestelmät ovat periaatteiltaan osaksi yhteneviä ja osaksi erilaisia. Niiden kehitystarpeisiin on yhdistetty ympäristökuormitusten kiertokuormaongelmat ja jäätyminenestoaineen aiheuttamat haitat. Lähtöoletuksena oli, että merivesijäähdytyksissä ilmenevä päästöjen kiertokuorma vähenisi ferrokromin meriveden käytön osalta muuttamalla jäähdytys vastaamaan uusimman FeCr3-uunin (VKU3) ilma/vesijäähdytystä.

Opinnäytetyön tavoitteiden täyttymistä ja työssä saatuja tuloksia on pohdittava kokonaisuutena. Kylmävalssaamon purkupisteen P2 hulevesien (sade- ja sulamisvedet) poistaminen merivesijäähdytyskierrosta olisi ensimmäinen toimenpide kiertokuorman vähentämiseksi. Seuraava askel olisi ferrokromiuunien VKU1:n ja VKU2:n merivesijäähdytyksen muuttaminen ilma/vesi-jäähdytteiseksi. Tällöin jaloterästehdas voisi parantaa jäähdytystään kasvattamalla virtausta ferrokromitehtaalta vapautuvalla määrällä merivettä. Tämä ei poistaisi kiertokuormaa, mutta viranomaistulkinnasta riippuen merivesijäähdytyksen purkuvettä ei laskettaisi enää jätevedeksi. Lopullinen ratkaisu tulevaisuudessa voisi olla myös terässulaton siirtyminen merivesijäähdytyksestä ilmajäähdytykseen. Ferrokromitehtaan kannalta on oleellista irtaantua toimintaa rajoittavasta yhteisestä jäähdytysjärjestelmästä jaloterästehtaan kanssa.

VKU3:n jäähdytyksessä pidettiin välivaihtimen lisäämistä ratkaisuna päästä eroon glykoliongelmista. Ajatusta kokonaan glykolista eroon pääsemisestä pidettiin työn kontekstissa mukana tiedonkeruun ja selvitystyön ajan. Toisin sanoen tämä opinnäyte toimii glykolista luopumisen pohjatyönä. Ajatuksena oli pohjustaa selvitystä, jossa normaalitilassa toimivien uunien lämpöenergiaa jaettaisiin tarvittaessa "lämmönylläpitoenergiana" seisokissa olevan uunin jäähdytysjärjestelmän lämmittämiseksi. Oleellinen osa asiassa on saada tietoon jäähdytysjärjestelmän "lämmönylläpito-teho". Jatkoselvityksen tekeminen riittävällä varmuudella vaatii toimittajan ja lämpöalan ammattilaisen paneutumista asiaa.

Jäähdytystehotarpeiden määrittely tehtiin prosessiohjausjärjestelmän historiatietokannan perusteella. Prosessin käyttöarvoja analysoitaessa huomattiin, että

kaikki mittaustulokset eivät olleet tarkkoja. Syynä voi olla kalibroimattomat mittauksset, laminaarisen virtauksen kannalta väärin valitut mittauspaikat tai mittaukseen vaikuttavat lämpölähteet. Prosessin ajolle mittaustarkkuudet ovat riittävät, mutta jäähdytysteholaskelmiin tarvitaan tarkemmat lämpötilamittaukset, koska virtaukset ovat suuria.

Toisin kuin nykyisin, vanhoihin prosesseihin ei ole asennettu tutkimuksen kannalta oleellisia mittauksia ja niiden tallennusmahdollisuutta. Tästä seuraa, että ensiöpuolen lämpötasapainoa ei voida laskea puutteellisesti mitatun toisiokierron perusteella. Antureiden lisäys, vaihto, korvaaminen tai uusi asennus olisi harkittava jäähdytystehotarpeiden varmistamiseksi.

Edellä kuvatuista syistä johtuen vaadittavat lämpökapasiteetit eli jäähdytystehot määritettiin käyttämällä turvallista harkintaa.

Ratkaisuksi esitetään, että VKU1:lla ja VKU2:lla uunikiertoja jäähdytettäisiin meriveden sijaan ilmajäähdyttimillä. Tarvittavat lämmönvaihtimet määrittelee laite-toimittaja yhdessä tilaajan suunnitteluhenkilöstön kanssa. Ilmajäähdytyksen ääriolosuhteita ovat yli + 30 °C helle ja talven - 35 °C pakkanen.

Ratkaisuksi VKU3:n glykoliongelmiin esitetään välilämmönvaihtimia. Tällöin holvi- ja elektrodikierrat olisivat glykolittomat, mutta rajapintaan asennettaisiin välivaihtimet ja toisiokierrossa jäähdyttimillä virtaisi edelleen glykolivesi.

On kysyttävä, pitääkö jäähdytysjärjestelmän toimia sellaisenaan myös lyhytaikaisissa ilmastollisissa ääriolosuhteissa? Olisiko tärkeämpää pyrkiä yksinkertaiseen ongelmattomaan normaalitoimintaan? Varautuminen säätiedoista ennustettaviin ääriolosuhteisiin on helposti käyttöönotettavissa muilla kevyemmällä ratkaisuilla.

Kuumimmilla kesähelteillä jäähdytysilman kostutus on yksi mahdollinen keino parantaa ilmajäähdytystä ja siten leventää välivaihtimien termodynaamisesti kaapea tilaa. Periaate perustuu höyrystymislämpöön. Toimittajilla on omat laskentaperusteet ja ratkaisut kostutukseen.

Pakkasaikana tuotantokatkoksen vaarana on glykolittoman veden jäätyminen muutamassa vuorokaudessa. Lämpimänä pito on myös oleellinen seikka uunin letkujen ja liitännöiden tiiveyden kannalta. Seisokkiin joutuneen uunin jäähdytyskierron sulanapitoon voi kaukolämpö antaa apua. Kaukolämmöllä lämmitettävä jäähdytysjärjestelmä kuulostaa oudolta. Se on edullisin vaihtoehto jäätymisongelmia vastaan. Kaukolämpöjärjestelmä voisi mahdollistaa glykolista luopumisen kokonaan. Glykolittomaan vaihtoehtoon ei tarvita päävaihtoehtojen kallista välivaihdinjärjestelmää. Pakkaskaudella on kuitenkin varauduttava myös vesiputkiston ja jäähdytyslaitteiston nopeaan tyhjentämiseen.

Yhteenvetona jatkokehitystyössä on muistettava, että VKU1 ja -2:n osalta ei ole merkittäviä teoreettisia rajoitteita rakentaa uutta jäähdytystapaa. VKU3-ehdotuksessa joudutaan punnitsemaan niin teoreettinen kuin toteutuksellinen näkökanta, koska joudutaan suunnittelemaan kiertojen väliin. Glykoliton järjestelmä on hyvä tavoite, mutta se ei ole välijäähdytyksen seuraava kehitysaskel, sillä täysin glykolittomassa järjestelmässä ei ole välivaihtimia. Jatkoselvitysten kannalta oleellista on punnita toimivuus ja riskit, investointi- ja käyttökustannukset.



## 7 JATKOSELVITYS JA SUUNNITELMAT LISTATTUNA

Opinnäytetyön kontekstissa pidetty glykoliton vaihtoehto jää myöhempään tarkempaan jatkoselvitykseen. Erityisesti riskikartoitus pitää tehdä. Toimivuus- ja kannattavuusselvitys on kuitenkin saatava valmiiksi ennen kuin tämän selvityksen päävaihtoehdot etenevät investointipäätökseen. Välivaihdinjärjestelmän prosessillinen ja fyysinen tila vaativat merkittäviä prosessitekniisiä ja putkistollisia ratkaisuja. Näitä kalliita järjestelmiä ei mahdollisessa seuraavassa kehitysvaiheessa, eli glykolittomassa järjestelmässä, enää tarvittaisi. Alla olevissa luvuissa käydään läpi keskeiset asiat tarvittavista suljettujen kiertojen jäähdytysjärjestelmien yleisselvityksistä ja esisuunnittelusta:

### 7.1 Yleisselvitykset

Yleisselvitys käsittää selvityksen täysin glykolittoman jäähdytyksen riskeistä suhteutettuna saavutettaviin hyötyihin VKU1:lla ja VKU2:lla tai jopa yhdistettynä VKU3:n järjestelmiin.

### 7.2 Kenttäselvitykset

Ensiöpuolen lämpötila-antureiden kalibrointiongelmat täytyy korjata tai todentaa poikkeamat, jotta voidaan varmistua jäähdytysvesiin siirtyvistä lämpömääristä. Lisäksi varmistustoimena VKU1 ja -2:n toisiopuolen, eli meriveden, virtausmäärä on syytä tutkia ulkoisella mittausvälineellä.

### 7.3 Taselaskelmat

Jäähdytysprosessien taseiden tarkistus tulee teettää asiantuntija- tai lopputyönä. Työ sisältäisi kaukolämpölaskelmat lämmön ylläpitoon ja jäätyksen estoon

#### 7.4 Prosessi- ja tehdassuunnitelmat

Huomioitavat asiat yleisesti:

- a. muissa jatkosuunnitelmissa on tavoiteltavana ratkaisuna, investoinniltaan edullisin muttei riskitön, glykoliton vaihtoehto
- b. mielessä on myös pidettävä ilmajäähdytyksen ääriolosuhteet. Näitä ovat niin jatkuva pakkanen kuin harvat iltapäivän kuumimmat helteet
- c. järjestelmien pitää toimia harvoin esiintyvällä pakkasella uunien alasajosta huolimatta
- d. eriytyvän putkiston sähkösaatto- ja eristysmahdollisuus
- e. hätätyhjennysperiaatteet

Huomioitavat asiat VKU1-3:lla:

- a. tarkistettuihin jäähdytys- ja lämpimänä pitotehotarpeisin perustuvat eri vaihtoehtojen päälaitemäärittelyt ja – kustannukset
- b. rakentamiskustannukset
- c. kyseisten toteutettavissa olevien glykolittomien järjestelmien riskikartoitus

Huomioitavat asiat VKU1-2:lla:

- a. oleellisin toteutettava on VKU1 ja 2 – välinen ylläpitolämmön periaate ilman glykolia ja kaukolämpö
- b. yhteinen prosessi- ja virtauskaavio ilmajäähdytys 1) glykolittomana ja 2) ilman glykolia
- c. putkistojen ja siirtolinjojen kuntotarkistus
- d. välivaihtimien saneerausmahdollisuudet ja muutostyön rajaus sekä eri putkistokiertojen sijoitustarkastelu
- e. prosessi ja virtauskaavio 1) vain toisen uunin lämmöllä ylläpidettävänä ja 2) toisiokierron glykolilla turvattuna
- f. jäähdyttimien, pumppujen ja pääputkilinjojen tilatarkastelu

Huomioitavat asiat VKU3 holvi ja elektrodikiirroissa:

- a. nykyisen holvi- ja elektrodijärjestelmien tehokapasiteettien määrittely tarkemmin (laskureikien lisäys)
- b. prosessi- ja virtauskaavio 1) kaukolämmöllä ylläpidettävänä ja 2) välivaihdinjärjestelmällä ja toisiokierron glykolilla turvattuna
- c. välivaihtimien, pumppujen ja pääputkilinjojen sijoitustarkastelu

## 8 OPINNÄYTETYÖ OPPIMISKOKEMUKSENA

Opinnäytetyö oppimiskokemuksena oli huomattavan suuri. Kokeneen suunnitteleluinsinöörin oli hyvä nähdä omin silmin oikeiden prosessiarvojen merkitys ja luotettavuus tutkimuksen kannalta. Eikä pidä uskoa, että uusi laitos olisi mittauksiltaan vanhaa totuudenmukaisempi. Merkittävin opetus oli kirjallisen raportin tuottaminen. Opinnäytetyön tekstin ja kuvien tuottamiseen pitää panostaa huomattavasti enemmän, kuin normaalityössä on selvittämiseen varattua säädyllystä aikaa. Viestintä on usein insinööriltä insinöörille, mutta toimiakseen sen pitää olla maallikonkin ymmärrettävissä.

## LÄHTEET

Alfa Laval (Fincoil) Oy 2012. Yrityksen esitysmateriaalia 2012.

Grekula, A., Ollila, J. & Sorsa, J. 2015. Outokumpu Chrome Oy. Insinöörien kanssa käydyt palaverit ja keskustelut 2015.

Ilmatieteenlaitos 2015. Helletilastot.  
<http://ilmatieteenlaitos.fi/helletilastot>

Outokumpu Chrome Oy 2012. Intran esitysmateriaalia 2015.

Outokumpu Chrome Oy 2012. F3-projekti. Putkiston tasopiirustus, +0.000 – 12.000. Piirustusnumero 125044. Ote kuvakaapattu 2015.

Outokumpu Chrome Oy 2015. Prosessiohjausjärjestelmän kuvakaappauksia 2015.

Työterveyslaitos 2015. OVA-ohje: ETYLEENIGLYKOLI.  
<https://www.ttl.fi/ova/etyleeniglykoli.html>

Wagner, W. 1988. Lämmönsiirto. Helsinki: Opetushallitus.

## LIITTEET

Ferrokromisulattojen vesijäähdytysten kehittämismahdollisuudet, 2015. Power pointdiaesitys.pdf (vain toimeksiantajalle)

TTS 20601 Tekninen liite 6.1 (vain toimeksiantajalle)