

Arto Marjala

**VAPAAJÄÄHDYTYKSEN TUTKIMINEN NOSTOKONEEN
SÄHKÖMOOTTORIN JÄÄHDYTYKSESSÄ**

VAPAAJÄÄHDYTYKSEN TUTKIMINEN NOSTOKONEEN SÄHKÖMOOTTORIN JÄÄHDYTYKSESSÄ

Arto Marjala
Opinnäytetyö
Syksy 2015
Talotekniikan koulutusohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Talotekniikan koulutusohjelma

Tekijä: Arto Marjala

Opinnäytetyön nimi: Vapaaäähdytyksen tutkiminen nostokoneen sähkömoottorin jäähdytyksessä
Työn ohjaaja: Veli-Matti Mäkelä
Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Syksy 2015
Sivumäärä: 28 + 2 liitettä

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on tutkia kaivoksen nostokoneen moottorin nykyistä jäähdytystä sekä selvittää lämmöntalteenoton kannattavuutta ja jäähdytyksen korvaamista vapaaäähdytyksellä. Opinnäytetyö tehdään Pyhäsalmi Mine Oy:n toimeksiannosta.

Työ aloitettiin arvioimalla nykyinen jäähdytysjärjestelmä paikan päällä. Se todettiin hyväkuntoiseksi ja toimivaksi mutta energiaa tuhlaavaksi. Sitten selvitettiin muutamia energiansäästö- ja lämmöntalteenottovaihtoehtoja, joista ei kuitenkaan löytynyt muita toteutuskelpoisia ratkaisuja kuin vapaaäähdytys.

Nykyisen jäähdytysjärjestelmän energiankulutusta ja energiakustannuksia vertailtiin vapaaäähdytyksellä toteutettavaan jäähdytykseen. Laskelmat osoittivat, että vapaaäähdytyksellä saavutettaisiin merkittäviä säästöjä. Niiden pohjalta laadittiin investointiesitys, jossa esitetään investoimaan uuteen vapaaäähdytyslaitteistoon.

Asiasanat: vapaaäähdytys, ilmastointi, kestävä kehitys, kaivosteollisuus

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
SISÄLLYS	4
1 JOHDANTO	5
2 NOSTOKONE	8
2.1 Nostokoneen moottori	9
2.2 Nykyinen jäähdytysjärjestelmä	11
2.3 Vaihtoehtotarkasteluja	13
3 VAPAAJÄÄHDYTYS – SÄÄSTÖÄ JA YMPÄRISTÖYSTÄVÄLLISYYTTÄ	14
4 ESIMERKKEJÄ LAITTEISTOJEN KOKOONPANOSTA	20
4.1 Sisäasenteinen vapaajäähdytyslaitteisto	20
4.2 Ulkoasenteinen vapaajäähdytysyksikkö	22
5 ENERGIANSÄÄSTÖLASKELMAT	24
6 INVESTOINTIKUSTANNUKSET	25
7 YHTEENVETO	27
LÄHTEET	28
LIITTEET	
Liite 1 Jäähdytysilmakone, tekniset tiedot	
Liite 2 Vedenjäähdytysyksikkö, tekniset tiedot	

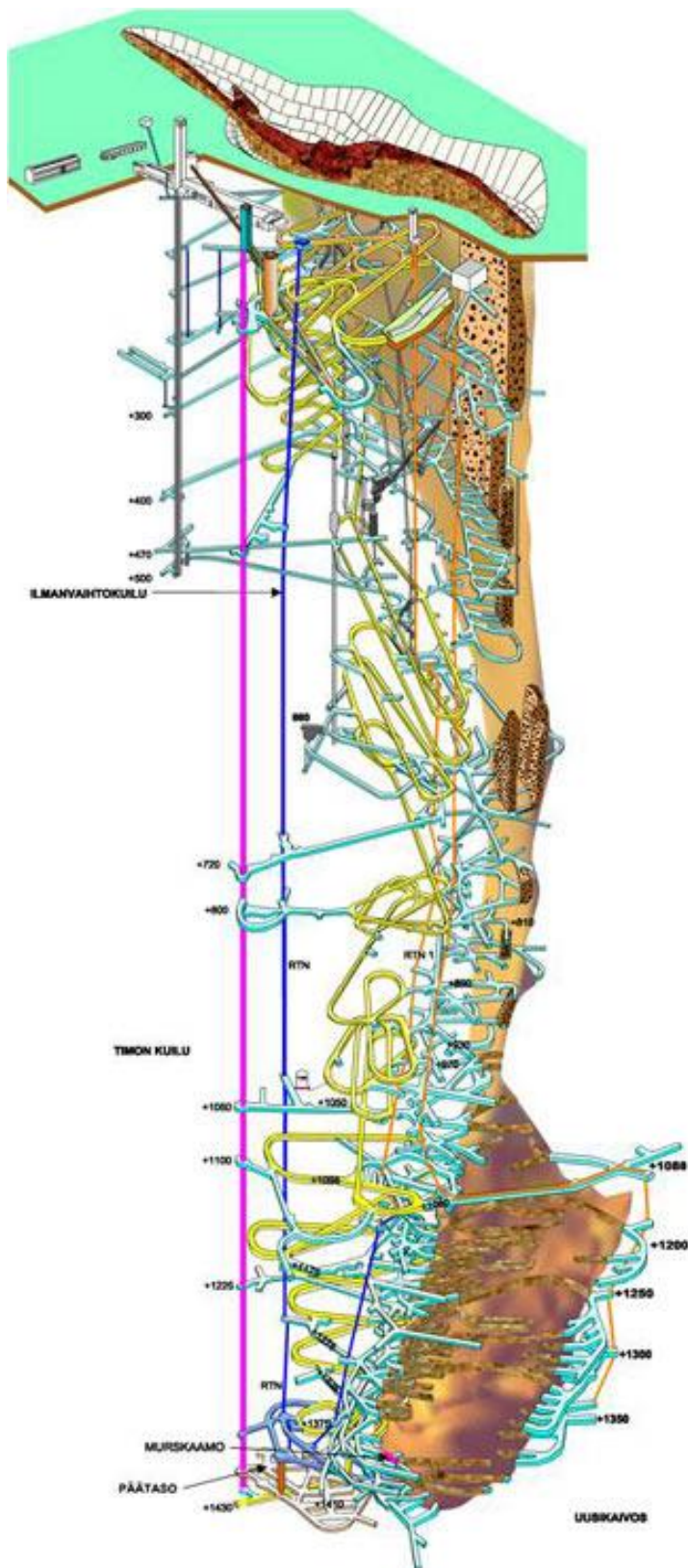
1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia kaivoksen nostokoneen moottorin jäähdytystä, selvittää lämmöntalteenoton kannattavuutta ja jäähdytyksen korvaamista vapaajäähdytyksellä. Työ tehtiin Pyhäsalmi Mine Oy:n toimeksiantosta.

Pyhäsalmen kaivos, Pyhäsalmi Mine Oy sijaitsee Pohjois-Pohjanmaalla Pyhäjärven kaupungissa. Kaivoksen omistaa nykyään First Quantum Minerals Limited ja siellä työskentelee noin 250 työntekijää.

Pyhäsalmen kupari- ja sinkkimalmiesiintymät löydettiin vuonna 1958. Kaivoksen rakentaminen aloitettiin vuonna 1959 ja se avattiin käyttöön 1962. Kaivoksesta louhitaan muun muassa pyriittiä, kupari- ja sinkkimalmia. Tunnettujen malmivarojen on arvioitu riittävän aina vuoteen 2019 saakka.

Kaivos on yksi Euroopan vanhimmista, nykyaikaisemmista ja syvimmistä maanalaista metallikaivoksista. Kaivos on noin 1 440 metriä syvä. Päätasolla 1 440 metrin syvyydessä sijaitsevat huolto-, korjaamo- ja sosiaalityöt kuten sauna ja ruokala. Kuvassa 1 on esitetty havainnepiirros kaivoksesta.



KUVA 1. Pyhäsalmen kaivos, havainnepiirros (1)

Syvyyden takia kaivos on ollut useiden yliopistojen ja kansainvälisten fysiikan tutkimuskeskusten mielenkiinnon ja hankkeiden kohteena. Oulun yliopisto hallinnoi tutkimuskeskusta CUPP (Centre for Underground Physics in Pyhäsalmi).

Kansainvälisistä hankkeista mainittakoon tutkimukset LAGUNA ja EMMA. LAGUNA (Large Apparatus for Grand Unification and Neutrino Astrophysics) suunnittelee syvälle maan alle rakennettavaa tutkimuslaboratoriota hiukkasfysiikan mittauksien suorittamiseen. EMMA (Experiment with MultiMuon Array) -kokeessa tutkitaan epäsuorasti avaruudesta tulevia korkeaenergisää atomin ytimiä, niin kutsuttuja kosmisiä säteitä (1). Tutkimuskeskus CERN (Conseil Européen pour la Recherche Nucleaire) suunnittelee, että Sveitsistä ammuttaisiin neutriinoja, jotka vastaanotettaisiin Pyhäsalmen kaivoksella.

2 NOSTOKONE

Kaivoksen yksi keskeisimmistä laitteista on automatisoitu nostokone, jolla louhittu malmi nostetaan maan päälle rikastettavaksi. Nostokone toimii myös kaivoshenkilöstön hissinä. Nostokone koostuu sähkömoottorista, teräsvaijereista ja pyörästöistä. Nostokoneen moottori sijaitsee nostonkuilun päälle rakennetun tornin konehuoneessa noin 50 metrin korkeudessa (kuva 2).



KUVA 2. Pyhäsalmen kaivos, nostokoneen tornirakennus

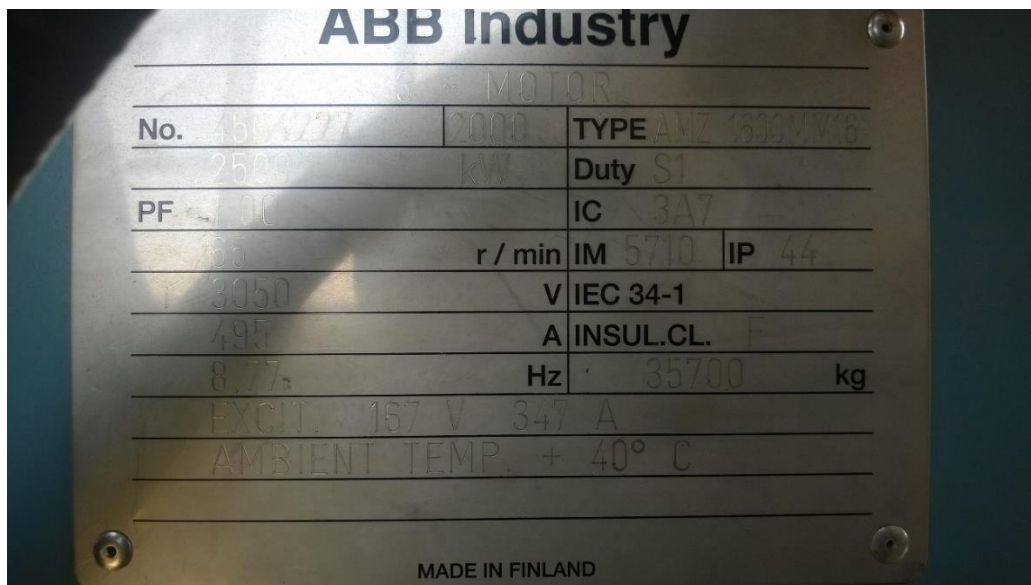
2.1 Nostokoneen moottori

Nostokoneen moottori käy käytännössä koko ajan. Moottori on suljettu ja kote-loitu ja sitä jäähdytetään kiertoilmalla. Rikastamo tarvitsee malmia noin 160 ton-nia tunnissa, mikä tarkoittaa kahdeksan 22 tonnin nostoa tunnissa. Moottori on täten pysähdyksissä vain hyvin pieniä hetkiä kuupien lastauksen ja tyhjennyk-sen ajan sekä henkilökuljetuksessa ovien avautumisen ja sulkeutumisen ajan.

Nostokoneen kuljetusnopeudet vaihtelevat, malmin kuljetuksessa 15–16 m/s ja henkilöstön kuljetuksessa 12 m/s. Yhdensuuntainen matka 1 440 metrin syvyy-teen kestää noin 3 minuuttia. Kaivoksella on huoltoseisokkeja vain neljä kertaa vuodessa kolme vuorokautta kerrallaan, mikä tarkoittaa 97 %:n käyttöastetta. Moottori ja sen jäähdyttäminen ovat kaivoksen toiminnan kannalta erittäin mer-kittäviä, kriittisiä, sillä ylimääräiset tuotantoseisokit maksavat 15 000 € tunnissa.

Nostokoneen sähkömoottori on valmistettu vuonna 2000, ja sen elinikä on val-mistajan arvion mukaan noin 30 vuotta. Moottorin kilpiarvot ovat seuraavat (kuva 3):

- valmistaja ABB Industry Oy
- malli AMZ 1600 MM16
- teho 2 500 kW, 3 050 V / 495 A
- paino 35 700 kg.



KUVA 3. Sähkömoottorin kilpi

Sähkömoottorin hyötysuhde on valmistajan antamien tietojen mukaan noin 94–95 %. Se tarkoittaa 125 - 150 kW:n lämpökuormaa. Nostokoneen moottori on koteloitu ja suljettu (kuva 4).



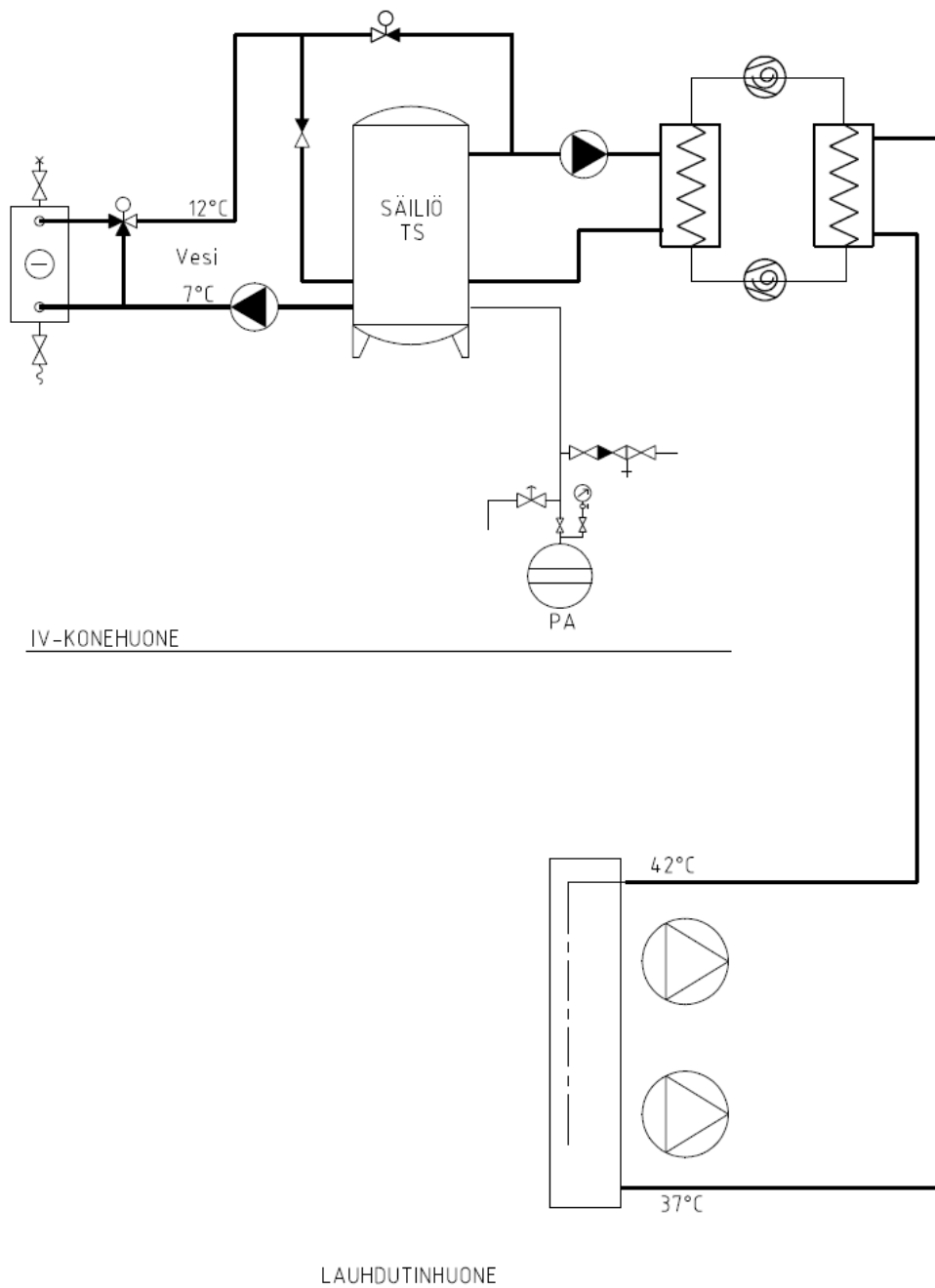
KUVA 4. Nostokoneen koteloitu sähkömoottori

Myöhemmin esitetyt laskelmat on tehty 150 kW:n mukaan. Tiedot sähkömoottorin hyötysuhteesta ja sen lämmönkestävyydestä vaihtelivat melkoisesti käydyissä keskusteluissa. Suosituslämpötilaksi ilmoitettiin 40 °C ja maksimi lämpötilaksi 80 °C. Toisaalta valmistajan mukaan moottori on F-luokan moottori, joka kestää jopa 155 °C lämpötilan. Lämpötiloista voitaisiin kerätä dataa, analysoida tulokset ja tehdä johtopäätökset, jäähdytetäänkö moottoria tarpeettomasti ja onko muutoksille tarvetta.

2.2 Nykyinen jäähdytysjärjestelmä

Nostokoneen moottoria jäähdytetään kiertoilmalla. Kiertoilmaa jäähdytetään vesipatterilla ja vettä vedenjäähdytysyksiköllä, jonka lauhdelämpö ohjataan lauhdutinpattereille ja -puhaltimien avulla kesällä ulos ja talvella tornin nostokuiluun. Nostokuilussa kaivoksen pohjalta läpi vuoden tuleva kostea ja lämmin ilma (20–25 °C) saa aikaan kuitenkin jatkuvan nosteen ylöspäin, joten lämmöntalteenotto on näennäinen, käytännössä olematon.

Vedenjäähdytysyksikön lauhdutinpatterit sijaitsevat lauhdutinhuoneessa, joka on noin 10 metriä ilmanvaihtokonehuoneen alapuolella. Korkeusero vaikeuttaa öljynpalautumista lauhduttimilta kompressorille, mikä haittaa kompressoria. Nykyisen vedenjäähdytyslaitteistolla on varajärjestelmänä vesijohtovesi, joka on toimiva, mutta vain lyhytaikaiseen jäähdytysjärjestelmän käyttökatkoksiin. Nostokoneen moottorin jäähdytysjärjestelmän tekniset tiedot on esitetty liitteissä 1 ja 2. Nykyinen laitteisto on yksinkertainen ja toimiva, mutta sen tuottamaa lämpöenergiaa ei käytetä riittävästi hyväksi. Kuvassa 5 on esitetty yksinkertaistettu kaavio nykyisen jäähdytysjärjestelmän toimintaperiaatteesta.



KUVA 5. Nykyinen vapaajähdytyslaitteisto

2.3 Vaihtoehtotarkasteluja

Seuraavaksi tarkastellaan muutamia vaihtoehtoja, miten nostokoneen sähkömoottorin tuottamaa lämpöenergiaa voitaisiin ottaa talteen.

Kaivoksen tuloilman esilämmitys

Kaivoksen ilma-asemalta puhalletaan syvälle kaivokseen lämmitettyä ulkoilmaa noin 140 m³/s halkaisijaltaan noin kolme metriä olevaa kanavaa pitkin. Ilma-asema sijaitsee kuitenkin noin 100 metrin päässä nostotornista, joten lämmönsiirto vaatisi myös merkittäviä rakennustöitä.

Ulkoilman käyttö

Ulkoilmaa voitaisiin käyttää suoraan moottorin jäähdyttämiseen suuren osan vuotta. Moottorin optimaalisen käytön kannalta lämpötilan tulisi olla mahdollisimman tasainen, ei suuria lämpötilan vaihteluita. Tuloilmaa pitäisi esilämmittää talvella ja vastaavasti jäähdyttää kesällä.

Epäsuora lämmöntalteenotto noin 50 %:n hyötysuhteella lämmittäisi tuloilman suuren osan vuodesta, mutta ei riittävästi talven pakkaskaudella. Kesällä tarvittaisiin lisäenergiaa ilman jäähdyttämiseen, mutta se voitaisiin jäähdyttää nykyisellä vedenjäähdytysyksiköllä. Huoneeseen, jossa moottori sijaitsee, voitaisiin asentaa ilmastointikanavisto, lämmöntalteenottopatterit pumppu- ja sekoitusryhmineen.

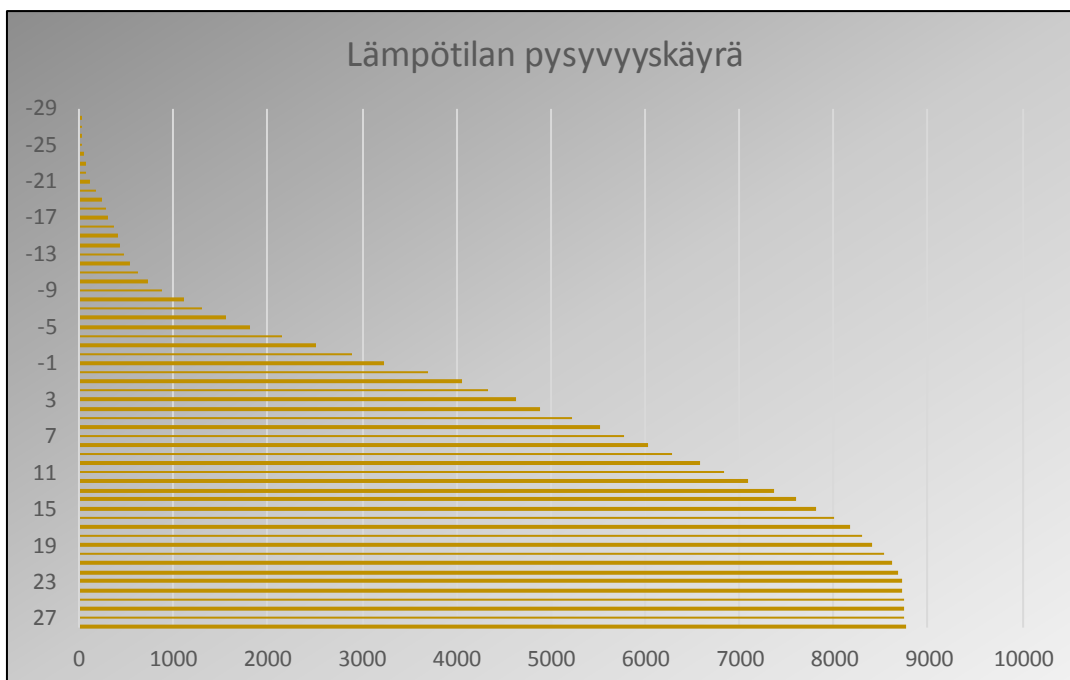
Vapaajäähdytys

Vapaajäähdytyksessä jäähdytysvesi viilennetään ensisijaisesti ilmaisella ja vapaasti käytettävissä olevalla kylmällä ulkoilmalla. Jäähdytystä täydennetään tarpeen mukaan kompressorilla. Vapaajäähdytysyksikkö voitaisiin asentaa nostotornin vesikatolle, nostokoneen moottorin yläpuolelle aivan välittömään läheisyyteen tai sisälle nostokonehuoneeseen.

3 VAPAAJÄÄHDYTYS – SÄÄSTÖÄ JA YMPÄRISTÖYSTÄVÄLLISYYTTÄ

Vapaajäähdytys on energiatehokas tapa hoitaa jäähdytys, kun jäähdytystarve ei oleellisesti vaihtele vuoden ajan lämpötilojen mukaan vaan pysyy lähes vakiona. Tällainen järjestelmä soveltuu erinomaisesti Suomen oloihin. Ratkaisu saattaa tuoda jopa kymmenien prosenttien säästöt perinteiseen järjestelmään verrattuna. Suurimpia, ehkä kuuluisimpia esimerkkejä vapaajäähdytteisistä kohteista on Ideapark Lempäälä.

Perinteisiin ratkaisuihin verrattuna vapaajäähdytys toimii säästeliäästi ja joustavasti. Vapaajäähdytyksessä jäähdytettävä vesi tai vesi-glykoliseos viilennetään ensisijaisesti vapaasti käytettävissä olevalla kylmällä ulkoilmalla. Ulkoilman ollessa alle tietyn rajan laitteisto voi toimia lähes täysin vapaajäähdytyksellä. Kuvan 6 lämpötilan pysyvyyskäyrä on laadittu Jyväskylän säätiöjen perusteella (2, s. 31). Jyväskylässä vuoden tunneista yli 5000 h alittaa +5 °C lämpötilan.

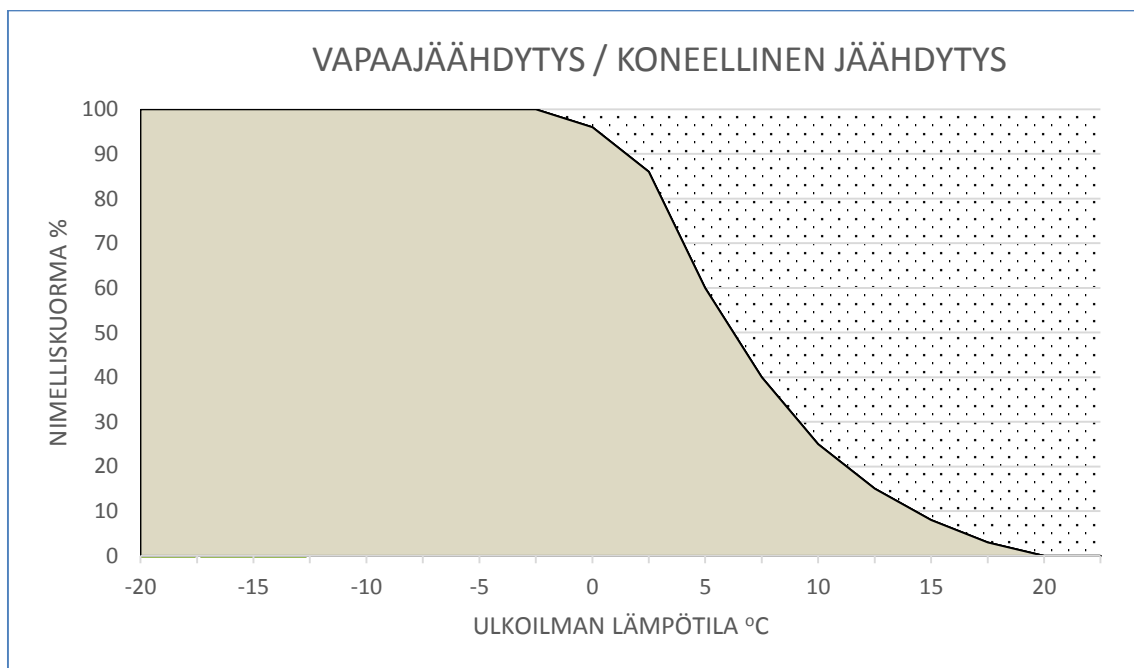


KUVA 6. Lämpötilan pysyvyyskäyrä tunteina ulkolämpötilan mukaan (2, s 31)

Jäähdytystä täydennetään tarpeen mukaan kompressorilla verkostosta palaavan veden lämpötilan mukaan. Tehonsäätö tapahtuu siis verkostosta palaavan veden lämpötilan mukaan.

Vapaajäähdytyslaitteisto voidaan rakentaa erikokoisiin ja -tyyppisiin kohteisiin. Se voidaan asentaa ulkoasenteisesta esimerkiksi vesikatolle tai niin, että vesiasema asennetaan lämpimään sisätilaan ja nestejäähdytys ulos.

Vapaajäähdytys on myös perinteistä jäähdytystä ympäristöystävällisempi valinta. Otsoniympäristöystävällistä kylmäainetta tarvitaan vain vähän ja päästöriskit on minimoitu. Niukan sähkönkulutuksen välillinen vaikutus on luonnonvarojen säästö ja päästöjen väheneminen energian tuotannossa. Energian kulutuskäyrä laskee ulkoilman lämpötilan viiletessä, koska kompressorilla tuotettua täydentävää jäähdytystä tarvitaan vähemmän (kuva 7).



KUVA 7. Vapaajäähdyksen ja koneellisen jäähdytyksen osuus ulkolämpötilan mukaan (3, s. 4)

Edellä esitettyjen kaavioiden pohjalta on taulukkoon 1 laskettu alustava, yksinkertaistettu, kokemukseräinen arvio, kuinka paljon energiaa voitaisiin säästää kuukausittain (2, s. 31; 3, s. 4).

TAULUKKO 1 Kuukausittainen energiansäästömahdollisuus

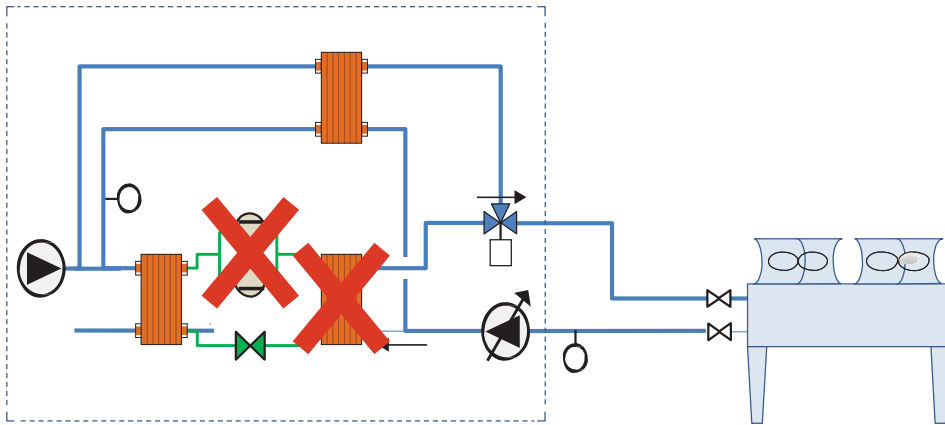
Kuukausi	Teho kW	Lämpötila °C	Kesto h	Teho %	Energiansäästö kWh
Tammikuu	80	-3,97	744	100	59 000
Helmikuu	80	-4,50	672	100	53 100
Maaliskuu	80	-2,58	744	100	59 000
Huhtikuu	80	4,50	720	50	28 400
Toukokuu	80	10,76	744	25	14 700
Kesäkuu	80	14,23	720	0	0
Heinäkuu	80	17,30	744	0	0
Elokuu	80	16,05	744	0	0
Syyskuu	80	10,53	720	25	14 200
Lokakuu	80	6,20	744	50	29 400
Marraskuu	80	0,50	720	100	56 900
Joulukuu	80	-2,19	744	100	59 000
Yhteensä	80	5,50	8760	54	373 700

Arvioitu energiansäästö olisi $373\,700 \text{ kWh/a} \times 0,070 \text{ €/kWh} = 26\,159 \text{ €/a}$.

Tarkemmat, yksityiskohtaisemmat laskelmat ja lähtötiedot on esitetty myöhemmin luvussa 5.

Vapaajäähdytys

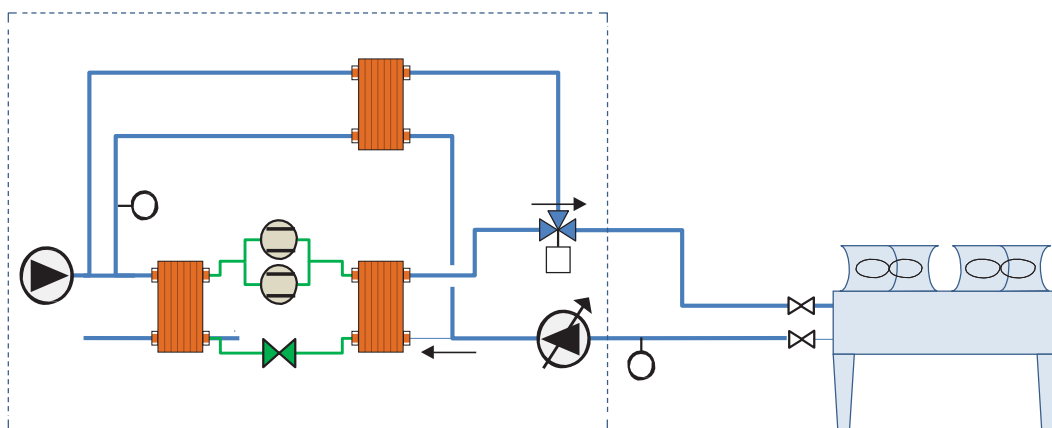
Kun ulkolämpötila on riittävän alhainen tarvittavan jäähdytystehon saamiseksi, kompressorit kytketään pois ja venttiili ohjaa liuoksen vapaajäähdytyslämmönsiirtimen läpi (kuva 8).



KUVA 8. Vapaajäähdytys

Osittainen vapaajäähdytys

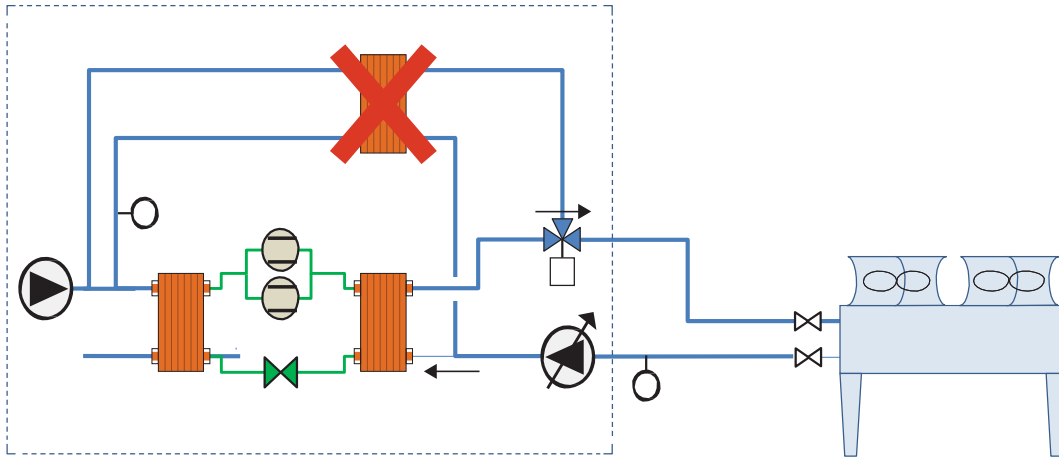
Kun ulkolämpötila ei riitä koko jäähdytystehon tuottamiseen ja osa siitä tuotetaan vapaajäähdytyksellä, venttiili ohjaa virtauksen kulkemaan sekä vapaajäähdytyslämmönsiirtimen että jäähdytyspiirin lauhduttimen läpi (kuva 9).



KUVA 9. Osittainen vapaajäähdytys

Vedenjäähdytys

Vapaajäähdytyslämmönsiirrin ohitetaan venttiilillä ja jäähdytys hoidetaan kokonaan kompressoreilla (kuva 10).



KUVA 10. Vedenjäähdytys (kompressorilla)

Kylmäaineet ja niiden vaikutus ympäristöön

Useimmat sisä- ja ulkoasenteiset vedenjäähdytyslaitteistot ovat tehdasvalmisteisia ja kylmäainetäyttöjä ei enää paikan päällä tarvita. Näin ollen myös kylmäainemäärät ovat pieniä. Vedenjäähdytyskoneissa käytetään kylmäaineita fluorihiilivetyjä, kuten R407A ja R410A. HFC-aineet ovat täysin haitattomia otsonikerrokselle sellaisenaan.

Otsonikerroksen tuhoamisen vaikutusta kuvataan ODP-kertoimella (Ozone Depleting Potential). GWP (Global Warning Potential) -luku on indeksi, joka kuvaa aineen vaikutusta kasvihuoneilmiöön, ilmaston lämpenemiseen. Aineita verrataan hiilidioksidiin CO₂, jonka vertailuarvo on 1,0.

R407A Ympäristövaikutus (Environmental Impact) (4)

Ozone Depletion Potential (ODP) 0

Ozone Depletion Potential (Rating) 

Global Warming Potential (GWP) 1774

Global Warming Potential (Rating) 

R410A Ympäristövaikutus (Environmental Impact) (4)

Ozone Depletion Potential (ODP) 0

Ozone Depletion Potential (Rating) 

Global Warming Potential (GWP) 2088

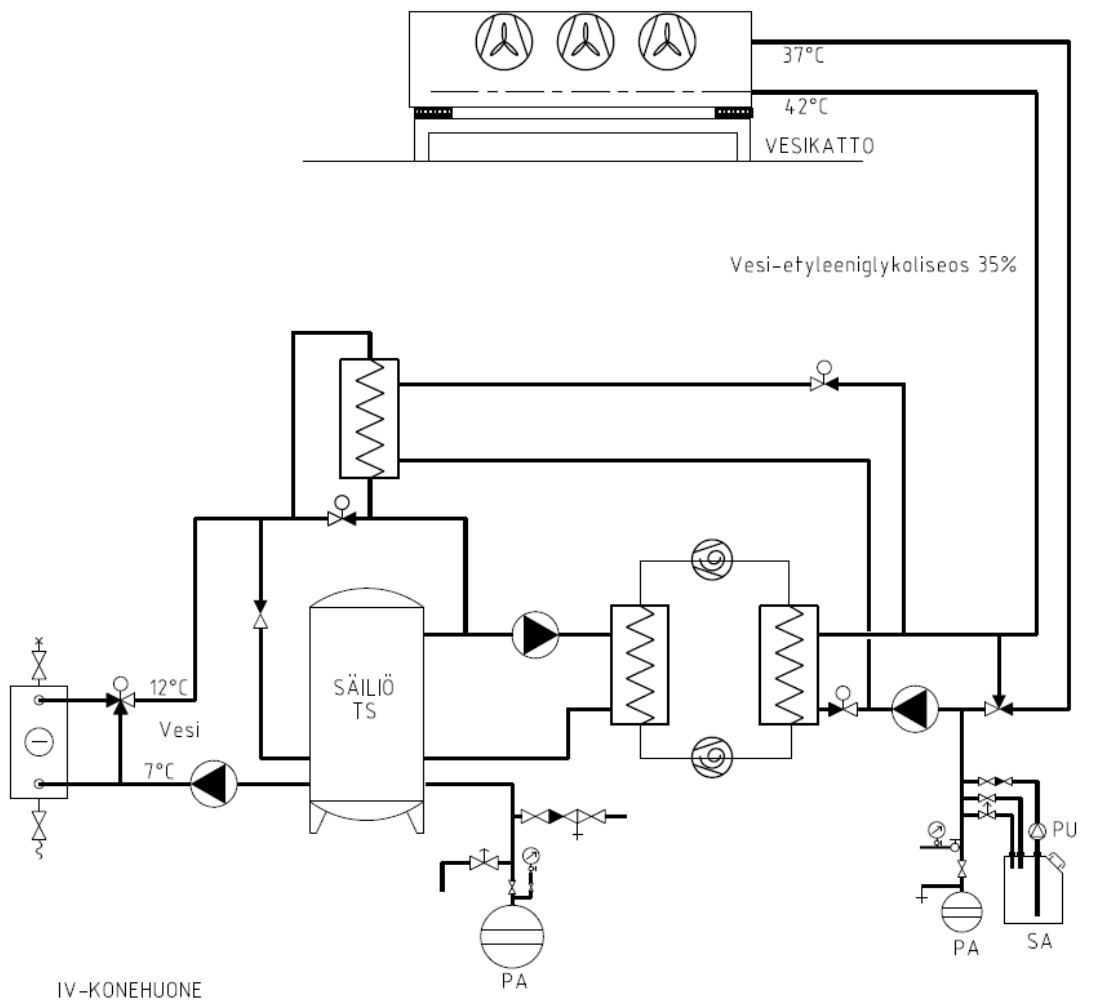
Global Warming Potential (Rating) 

4 ESIMERKKEJÄ LAITTEISTOJEN KOKOONPANOSTA

Sekä sisä- että ulkoasenteiset vapaajäähdytyslaitteistot ovat koteloituja, tehtaalla valmiiksi testattuja ja koeajettua. Laitteisto koostuu valmiista vesi- ja jäähdykepuolesta, sähkö-, säätö- ja varolaitteista. Suuri tehdastyön osuus varmistaa rakennuttajalle toimivan laitteiston ja mahdollisimman nopean asennuksen.

4.1 Sisäasenteinen vapaajäähdytyslaitteisto

Esimerkkilaitteena on sisäasenteinen vesivaraajalla varustettu kylmävesiasema Chiller CGIW-44 ja nestejäähdytin Chiller CDMA-413. Laitteiston toimintaperiaatteesta on esitetty yksinkertaistettu kaavio kuvassa 11 ja tekniset tiedot taulukossa 2 (5).



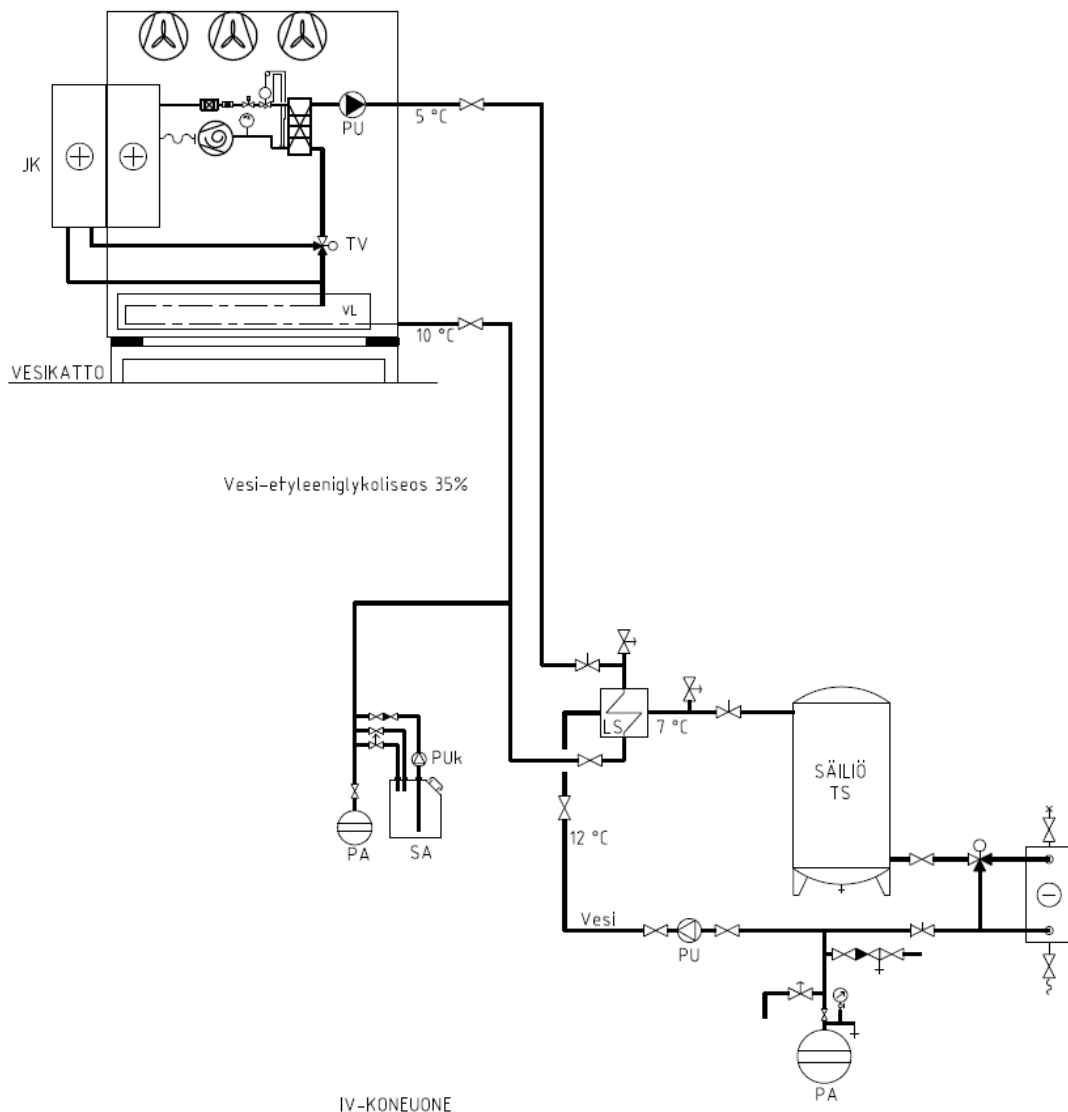
KUVA 11. Sisäasenteinen vapaajäähdytyslaitteisto

TAULUKKO 2. Sisäasenteisen vapaajäähdytyslaitteiston suoritusarvot

Chiller CGIW-44 ja CDMA-413 suoritusarvot		
Jäähdytysteho		147 kW
Vapaajäähdytysteho		126 kW
Virtaama		7,0 dm ³ /s
Nesteen painehäviö		44 kPa
Nesteen (vesi) lämpötilat		12 / 7 °C
Lauhdutusteho		180 kW
Virtaama		9,35 dm ³ /s
Nesteen painehäviö		62 kPa
Nesteen lämpötilat		37 / 42 °C
Neste	etyleeniglykoli	35 %
Kylmäaine, täyttö	R410A	18 kg
Vesivaraaja		800 dm ³
Tehonsäätö	0/25/50/75/100	%
Paino		2800 kg

4.2 Ulkoasenteinen vapaajähdytysyksikkö

Ulkoasenteinen koteloitu, säänkestävä vapaajähdytysyksikkö voidaan asentaa ulos. Tämä yksikkö sisältää myös lämmönsiirtimen ja verkoston täyttölaitteet. Esimerkkilaitteena on ulkoasenteinen RC Group Maximo. Laitteiston toimintaperiaatteesta on esitetty yksinkertaistettu kaavio kuvassa 12 ja tekniset tiedot taulukossa 3 (6).



KUVA 12. Ulkoasenteinen vapaajähdytysyksikkö

TAULUKKO 3. Ulkoasenteisen vapaajäähdytyslaitteiston suoritusarvot

RC Group Maximo			
Jäähdytysteho			147 kW
Vapaajäähdytysteho			106 kW
Virtaama			7,94 dm ³ /s
Painehäviö			122 kPa
Nesteen lämpötilat			12 / 7 °C
Lauhdutusteho			180 kW
Virtaama			9,0 dm ³ /s
Nesteen lämpötilat			37 / 42 °C
Nesteen painehäviö			60 kPa
Neste	etyleeniglykoli		35 %
Kylmäaine	R410A		43 kg
Vesivaraaja			520 dm ³
Tehonsäätö	0/25/50/75/100		%
Paino			2800 kg

5 ENERGIANSÄÄSTÖLASKELMAT

Tässä luvussa tarkastellaan energiansäästöä ja investoinnin kannattavuutta. Laskelmissa ei ole otettu huomioon neljä kertaa vuodessa tapahtuvia kolmen vuorokauden seisokkeja. Nykyinen energiankulutus vuodessa on esitetty taulukossa 4.

TAULUKKO 4. Nykyisen jäähdytyslaitteiston energiankulutus

Laite	Teho kW	Kesto h	Teho %	Energiankulutus kWh
Kiertoilmapuhallin	15	8760	100	131400
Pumput	3	8760	100	26280
Kompressori	42	8760	100	367920
Poistoilmapuhaltimet	20	8760	100	175200
Yhteensä	80	8760	100	700800

Energiankulutus vuodessa on $\sum Q = 80,0 \text{ kW} \times 8760 \text{ h/a} = 700\,800 \text{ kWh/a}$.

Energiankustannus vuodessa on $700\,800 \text{ kWh/a} \times 0,07 \text{ €/kWh} = 49\,000 \text{ €/a}$.

Vapaajäähdytyksellä voidaan säästää osa jäähdytyskompressorin ja poistoilmapuhaltimien kuluttamasta sähköenergiasta. Vapaajäähdytyksen energiankulutus on esitetty taulukossa 5.

TAULUKKO 5. Vapaajäähdytyksen energiankulutus

Laite	Teho kW	Kesto h	Teho %	Energiankulutus kWh
Kiertoilmapuhallin	15	8760	100	131400
Kompressori	38	8760	46	153184
Pumput	3	8760	100	26280
Lauhduttimet	9	8760	100	78840
Yhteensä	65	8760	100	388704

Energiankulutus vuodessa: $\sum Q = 388\,700 \text{ kWh/a}$.

Energiankustannus vuodessa $388\,700 \text{ kWh/a} \times 0,070 \text{ €/kWh} = 27\,000 \text{ €/a}$

6 INVESTOINTIKUSTANNUKSET

Tässä luvussa tarkastellaan investoinnin kannattavuutta. Laitteistojen hankintahinnat poikkeavat toisistaan jonkin verran. Ulkoasenteinen yksikkö on hieman kalliimpi ja vaatii lisäksi lämmönsiirtimen, koska vesi-glykolineste ei sovellu suoraan nykyisen patterin jäähdytysvedeksi. Tästä aiheutuu lisäkustannuksia.

Sisäasenteisen vapaajäähdytyslaitteiston investointikustannukset on esitetty taulukossa 6 ja ulkoasenteisen vapaajäähdytyslaitteiston taulukossa 7.

TAULUKKO 6. Sisäasenteisen vapaajäähdytyslaitteiston investointikustannukset

Laite	Hinta € (alv 0 %)
Vedenjäähdytysyksikkö	50 000
Putkistot	10 000
Sähkötekniset työt	3 000
Rakennustekniset työt	5 000
Muut, purku- ja muutostyöt	2 000
Yhteensä	70 000

Investoinnin (koroton) takaisinmaksuaika lasketaan kaavalla 1.

$$T = P / S$$

KAAVA 1

T = takaisinmaksuaika vuosina (a)

P = investoinnin hinta (€)

S = säästö vuodessa (€/a)

$$S = (49\,000 \text{ €/a} - 27\,000 \text{ €/a}) = 22\,000 \text{ €/a}$$

$$T = 70\,000 \text{ €} / 22\,000 \text{ €/a} = 3,2 \text{ a}$$

TAULUKKO 7. Ulkoasenteisen vapaajäähdytyslaitteiston investointikustannukset

Laite	Hinta € (alv 0 %)
Vedenjäähdytysyksikkö	60 000
Lämmönsiirrin varusteineen	5 000
Putkistot	10 000
Sähkötekniset työt	3 000
Rakennustekniset työt	5 000
Muut, purku- ja muutostyöt	2 000
Yhteensä	85 000

Investoinnin (koroton) takaisinmaksuaika lasketaan kaavalla 1.

$$T = P / S$$

KAAVA 1

T = takaisinmaksuaika vuosina (a)

P = investoinnin hinta (€)

S = säästö vuodessa (€/a)

$$S = (49\,000 \text{ €/a} - 27\,000 \text{ €/a}) = 22\,000 \text{ €/a}$$

$$T = 85\,000 \text{ €} / 22\,000 \text{ €/a} = 4,0 \text{ a}$$

7 YHTEENVETO

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli tutkia kaivoksen nostokoneen moottorin jäähdytystä, selvittää lämmöntalteenoton kannattavuutta ja jäähdytyksen korvaamista vapaajäähdytyksellä.

Nykyinen nostokoneen moottorin jäähdytysjärjestelmä on toimiva. Laitteet ovat hyväkuntoisia ja hyvin huollettuja. Jäähdytysjärjestelmän tuottamaa lämpöenergiaa ei hyödynnetä riittävästi, vaan lämmöntalteenotto on käytännössä olematonta. Lämmöntalteenotolle ei kuitenkaan löytynyt muuta toteutettavaa vaihtoehtoa kuin vapaajäähdytys.

Edellä esitetyt laskelmat osoittavat, että 70 000–85 000 euron investoinnilla vapaajäähdytysjärjestelmään takaisinmaksuaika on noin kolme neljä vuotta. Se on kohtalaisen lyhyt aika, mutta ei yksistään riitä perusteluksi teollisuuden investoinneissa. Edellä esitetyistä vaihtoehdoista sisäasenteisen vapaajäähdytysyksikön takaisinmaksuaika on noin vuoden lyhempi. Sen vaatimat rakennustekniset työt on helpompi tehdä sisätiloihin kuin ulos vesikatolle 50 metrin korkeuteen.

Nykyisen jäähdytysjärjestelmän korvaaminen vapaajäähdytyksellä on kuitenkin perusteltua ottaen huomioon, että nykyinen jäähdytysjärjestelmä on jo noin 15 vuotta vanha ja sillä ei ole testattua ja toimivaa varajärjestelmää pitempiäaikaisiin käyttökatkoksiin. Nykyinen jäähdytyslaitteisto voitaisiin jättää uuden vapaajäähdytysyksikön rinnalle varakäyttöön. Tällöin molempien jäähdytyslaitteistojen huollot voitaisiin tehdä suunnitelmallisesti ilman sidottuja aikatauluja.

LÄHTEET

1. CUPP (Centre for Underground Physics in Pyhäsalmi). 2010.
Saataavissa: http://www.cupp.fi/index.php?option=com_content&view=article&id=3&Itemid=41&lang=fi. Hakupäivä 25.9.2015.
2. D3 (2012). 2011. Rakennusten energiatehokkuus. Määräykset ja ohjeet. Suomen rakentamismääräyskokoelma. Helsinki. Ympäristöministeriö. Rakennetun ympäristön osasto.
Saataavissa: http://www.finlex.fi/data/normit/37188-D3-2012_Suomi.pdf. Hakupäivä 26.4.2015.
3. Vapaajäähdytys. Suunnittelijan käsikirja. Onninen Oy.
Saataavissa: <http://www.vapaajäähdytys.fi>. Hakupäivä 26.4.2015.
4. Industrial Gases. Linde Group. 2015
Saataavissa: http://www.linde-gas.com/en/products_and_supply/refrigerants/HFC_refrigerants/R407A/index.html.
Saataavissa: http://www.linde-gas.com/en/products_and_supply/refrigerants/HFC_refrigerants/R410A/index.html.
Hakupäivä 26.9.2015.
5. Option-valintaohjelma. 2015. Chiller Oy.
Saataavissa: <http://www.chiller.fi/option>
Hakupäivä 26.4.2015.
6. Air Cooled Free-Cooling Liquid Chillers. 2015. RC Group.
Saataavissa: <http://www.rcgroup.it/EN/download/download.asp?F=90342&L=EN>.
Hakupäivä 26.4.2015.

JÄÄHDYTYKSILMAPUHALLIN, TEKNISET TIEDOT

LIITE 1

Puhallin

- Ilmamäärä 7,6 m³/s
- Painehäviö 1000 Pa
- Sähköteho 15 kW

Suodatin

Jäähdytyspatteri

- Jäähdytysteho 146 kW
- Ilmamäärä 7,6 m³/s
- Ilma sisään 32 °C / 52 kJ/kg
- Ilma ulos 22 °C / 36 kJ/kg
- Vesivirta 6,7 dm³/s
- Veden lämpötilat 7 / 12 °C

Pumppu

- Vesivirta 6,7 dm³/s
- Nostokorkeus 80 kPa
- Sähköteho 1,1 kW

VEDENJÄÄHDYTYKSIKKÖ, TEKNISET TIEDOT

LIITE 2

Vedenjäähdytin

- Chiller CGIA-V-P-44
- Höyrystysteho 140 kW
- Kylmäaine R407C
- Veden lämpötilat 7 °C / 12 °C
- Vesivirta 6,7 dm³/s
- Sähköteho 42 kW

Pumppu

- Vesivirta 6,7 dm³/s
- Nostokorkeus 50 kPa
- Sähköteho 1,1 kW

Lauhdutin patterit

- Lauhdutusteho 182 kW
- Lauhdutuslämpötila 40 °C
- Ulkolämpötila 27 °C

Poistoilmapuhallin

- Ilmamäärä 8,5 m³/s
- Sähköteho 6,3 kW

Poistoilmapuhallin

- Ilmamäärä 15,0 m³/s
- Sähköteho 13,1 kW