



Hanne Rikkinen

# Viikinmäen jätevedenpuhdistamon vesiaseman tuloilmakoneiden lämmityspattereiden energiatehokkuustoimenpiteet

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Talotekniikka

Insinööriyö

24.5.2023

# Tiivistelmä

Tekijä:	Hanne Rikkinen
Otsikko:	Viikinmäen jätevedenpuhdistamon vesiaseman tuloilmakoneiden lämmityspattereiden energiatehokkuustoimenpiteet
Sivumäärä:	32 sivua + 2 liitettä
Aika:	24.5.2023
Tutkinto:	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma:	talotekniikka
Ammatillinen pääaine:	LVI-suunnittelu
Ohjaajat:	suunnittelupäällikkö Samuli Korpi yliopettaja Aki Valkeapää

---

Viikinmäen jätevedenpuhdistamon vesiaseman tuloilmakoneet on tarkoitus uusia pitkän käyttöiän sekä huonon hyötysuhteen takia. Insinööryössä selvitettiin, onko tuloilmakoneet kannattavampaa vaihtaa koneisiin, joissa on kolmen patterin järjestelmä vai uusia koneet, joissa on nykyinen kahden patterin järjestelmä.

Nykyisessä järjestelmässä on nollalämpöverkoston ja korkealämpöverkoston patteri. Kolmen patterin järjestelmässä nollalämpöverkoston ja korkealämpöverkoston väliin on lisätty matalalämpöverkoston patteri. Nolla- ja matalalämpöverkoston patterit saavat lämpönsä laitoksen prosessien hukkalämmönlähteistä sekä teknisestä vedestä, joilla esilämmitetään tuloilmaa. Tarvittava loppulämmitys haluttuun tuloilman lämpötilaan tapahtuu molemmissa vaihtoehtoissa korkealämpöverkoston patterilla.

Työssä tarkasteltiin laskennallisesti LTO-pattereiden jälkeisiä tuloilman lämpötiloja pattereiden meno- ja paluuveden lämpötilojen sekä tehojen avulla. Laskelmien tavoitteena oli selvittää, kuinka paljon vertailtavien järjestelmien korkealämpöverkoston patterit tarvitsevat lämmitysenergiaa vuodessa siihen, että tuloilma saadaan esilämmityksen jälkeen lämmitettyä tavoiteltuun lämpötilaan. Lämmitysenergian lisäksi työssä tarkasteltiin matalalämpöverkoston lisääntyvää sähkönkulutusta. Laskelmissa käytettiin apuna Valmetin automaatiojärjestelmästä saatuja LTO-verkoston lämpötilan arvoja. Sen lisäksi käytettiin Coils-mitoitusohjelmaa sekä Exceliä. Mitoitusohjelmalla mitoitettiin patterit ja Excelillä luotiin kaavioiden lisäksi laskentapohja ulkoilman lämpötilan pysyvyydelle.

Tuloksia vertailtiin ja lopputuloksena voitiin todeta, että vesiaseman tuloilmakoneet on kannattavampaa vaihtaa koneisiin, joissa on kolmen patterin järjestelmä kuin nykyinen kahden patterin järjestelmä. Kolmen patterin järjestelmä säästää korkealämpöistä lämmitysenergiaa jopa 1,9 GWh vuodessa. Matalalämpöverkoston patterin myötä sähköenergian kulutus nousee n. 27 MWh vuodessa, mutta se on vähäistä verrattuna lämmitysenergian säästöön.

Avainsanat: lämmöntalteenotto, energiatehokkuus, tuloilman esilämmitys, lämmityspatteri

## Abstract

Author: Hanne Rikkinen  
Title: Energy Efficiency Measures for Supply Air Units of Water Station in Viikinmäki Wastewater Treatment Plant  
Number of Pages: 32 pages + 2 appendices  
Date: 24 May 2023

Degree: Bachelor of Engineering  
Degree Programme: Building Services Engineering  
Professional Major: HVAC Designer  
Supervisors: Aki Valkeapää, Principal Lecturer  
Samuli Korpi, Design Manager

---

As the supply air units of the water station in the Viikinmäki wastewater treatment were in need of renewal. The final year project set out to computationally compare the current two-radiator system to an alternative three-radiator system. The goal was to establish the more profitable to replacement for the current machines with machines with a three-radiator system or renovate the current two-radiator system.

In addition to computationally studying the heating energy needs of the current two-radiator system and the alternative three-radiator system. The impact of the low-temperature heating network on the consumption of electrical energy was examined. The calculations were done in Excel using values obtained from Valmet automation system- and Coils dimensioning software.

As a result, it was established that it is worth replacing the current supply air machines with a three-radiator system at the water station. Replacing the machines saves up to 1.9 GWh of high-temperature heating energy per year. With the replacement, 27 MWh more electrical energy is consumed per year, but this is negligible compared to the savings. The thesis can be used as a basis for the renovation project plan.

Keywords: heat recovery, energy efficiency, supply air preheating, heating radiator

# Sisällys

Lyhenteet ja käsitteet

1	Johdanto	1
2	Viikinmäen jätevedenpuhdistamo	2
2.1	Yleistä	2
2.2	Kahden patterin järjestelmä	2
3	Blominmäen jätevedenpuhdistamo	5
3.1	Yleistä	5
3.2	Kolmen patterin järjestelmä	5
4	Laskelmat	7
4.1	Lähtötiedot	7
4.2	Vesiaseman kahden patterin järjestelmä	8
4.2.1	Nollalämpöverkoston patteri	8
4.2.2	Korkealämpöverkoston patteri	15
4.3	Vesiaseman kolmen patterin järjestelmä	16
4.3.1	Nollalämpöverkoston patteri	18
4.3.2	Matalalämpöverkoston patteri	21
4.3.3	Korkealämpöverkoston patteri	23
4.4	Sähköenergian kulutus	24
5	Tulokset	25
6	Yhteenveto	31
	Lähteet	32

Liitteet

Liite 1: Kahden patterin järjestelmä

Liite 2: Kolmen patterin järjestelmä

## Lyhenteet ja käsitteet

- L0: Nollalämpöverkosto. Esilämmittää tuloilmaa teknisen veden (ja ilmastusilman) lämmöntalteenotosta saatavalla lämmitysenergialla.
- LK: Korkealämpöverkosto. Lämmittää tuloilman esilämmityksen jälkeen haluttuun lämpötilaan.
- LM: Matalalämpöverkosto. Esilämmittää tuloilmaa ilmastusilman lämmöntalteenotosta saatavalla lämmitysenergialla.
- LTO: Lämmöntalteenotto. Prosessien hukkalämmönlähteistä sekä teknisestä vedestä talteen otettu lämpöenergia, jota voidaan hyödyntää tuloilman esilämmityksessä.

## 1 Johdanto

Työ on tehty Helsingin seudun ympäristöpalvelut HSY:lle. HSY on asettanut tavoitteeksi olla hiilineutraali vesi- ja jätehuolto vuoteen 2030 mennessä (1). Suurin osa energiasta kuluu jäteveden puhdistamiseen, mutta puhdistettua jätevettä voidaan käyttää myös hiilineutraaliin energiantuotantoon. Jätelietteen mädätyksessä syntyvä biokaasu hyödynnetään puhdistamon lämpö- ja sähköenergiana. (2) Mädätetyn lietteen lisäksi lämpöä voidaan ottaa talteen myös teknisestä vedestä eli puhdistetusta jätevedestä, ilmastusilman jäähdytysvedestä sekä ilmastuskompressoreiden öljyn jäähdytyksestä. Niistä saadaan lämpöä, jota voidaan hyödyntää tuloilman esilämmityksessä. (3, s. 12.)

Insinööriyössä selvitetään, mitä toimenpiteitä Viikinmäen jätevedenpuhdistamon vesiaseman tuloilmakoneiden lämmityspattereille täytyy tehdä, jotta saavutetaan mahdollisimman energiatehokas järjestelmä. Koneet on tarkoitus uusia pitkän käyttöiän sekä huonon hyötysuhteen takia. Vaihtoehtona on joko uusia koneet, joissa on nykyinen kahden erillisen lämmityspatterin järjestelmä, tai vaihtaa koneisiin, joissa on kolmen erillisen lämmityspatterin järjestelmä. Kolmen patterin järjestelmä on osoittautunut energiatehokkaaksi Blominmäen jätevedenpuhdistamon luolan tuloilmakoneissa (4).

Työssä tarkastellaan ja vertaillaan laskennallisesti vesiaseman nykyisen kahden patterin järjestelmän ja vaihtoehtoisen kolmen patterin järjestelmän lämmitysenergian tarvetta. Lisäksi työssä tarkastellaan kolmen patterin järjestelmän matalalämpöverkoston patterin sähköenergian kulutusta. Laskelmat perustuvat ulkoilman lämpötilan pysyvyydelle ja niissä käytetään apuna Coils-imitoitusohjelmaa sekä Exceliä. Työn tavoitteena on selvittää, onko kolmen patterin järjestelmään vaihtaminen kannattavampaa kuin uusia nykyinen kahden patterin järjestelmä. Työ tulee olemaan pohjana hankesuunnitelmalle ja koneiden uusimiselle.

## 2 Viikinmäen jätevedenpuhdistamo

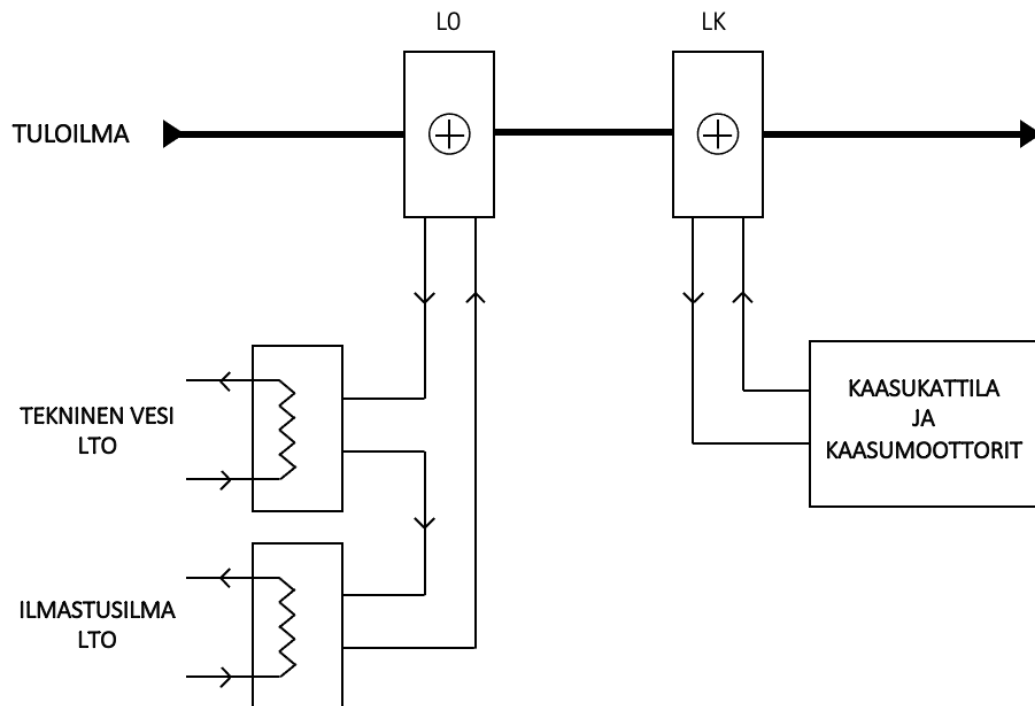
### 2.1 Yleistä

Vuonna 1994 valmistunut Helsingin Viikinmäen jätevedenpuhdistamo on Suomen ja Pohjoismaiden suurin aktiivilietelaitos. Puhdistamo puhdistaa noin 850 000 asukkaan sekä teollisuuden jätevedet Helsingin ja seitsemän muun naapurikunnan alueilta. (5.) Vuonna 2020 sen läpi virtasi päivittäin keskimäärin noin 300 000 kuutiometriä jätevettä (6). Käyttöönottovuoden jälkeen Viikinmäen puhdistamoa on laajennettu kahdesti. Kahdeksas aktiivilietelinja otettiin käyttöön vuonna 2004 ja yhdeksäs vuonna 2014. Laajennusten myötä puhdistamo toimii nyt maksimikapasiteetillaan. Puhdistamo on pääosin rakennettu kallion sisään louhittuun luolastoon, jossa jätevettä puhdistetaan mekaanisesti, kemiallisesti sekä biologisesti. Puhdistusprosessin jälkeen puhdistetut jätevedet johdetaan avomerelle, 16 kilometriä pitkää kalliotunnelia pitkin. (7.)

Puhdistamon mädätysprosessissa syntyvä biokaasu hyödynnetään puhdistamon lämpö- ja sähköenergian tuotannossa (7, s. 4). Lisäksi vuonna 2016 puhdistamon katolle asennettu aurinkovoimala tuottaa puhdistamon käyttöön sähköenergiaa. Aurinkovoimalan asentamisen myötä puhdistamon energiaomavaraisuus parani. (8.) Nykypäivänä puhdistamo on lähes täysin omavarainen lämpö- ja sähköenergiatuotannossaan. Sähkönkulutus on noin 40 GWh ja lämmöntarve noin 34 GWh vuodessa. (5.)

### 2.2 Kahden patterin järjestelmä

Viikinmäen jätevedenpuhdistamon vesiasemalla on 5 tuloilmakonetta, jotka huolehtivat vesiaseman ja N-hallin ilmanvaihdosta. Yhden koneen ilmamäärä on  $12,5 \text{ m}^3/\text{s}$ . Ne on varustettu kahdella erillisellä lämmityspatterilla: L0 eli nollalämpöverkoston ja LK eli korkealämpöverkoston pattereilla. (4.) Kuvassa 1 on esitetty yksinkertainen kytkentäkaavio vesiaseman nykyisestä järjestelmästä.



Kuva 1. Kahden patterin järjestelmän kytkentäkaavio.

Kuvassa 1 nähdään, että nollalämpöverkoston saadaan lämpöä sekä teknisen veden että ilmastusilman lämmöntalteenotosta. Ilmastusilmasta saatava lämpö on peräisin ilmastusilman jäähdytysveden sekä ilmastuskompressoreiden öljyjäähdytyksen lämmöntalteenotosta. Teknisen veden ja ilmastusilman lämmöntalteenotto on kytketty samaan LTO-piiriin eli lämmöntalteenottopiiriin, mikä tarkoittaa sitä, että ilmastusilmasta saatavaa lämmintä vettä ja kylmää teknistä vettä sekoitetaan keskenään. Korkealämpöverkoston lämpö saadaan kaasukattiloilta ja kaasumoottoreilta.

LTO-verkoston tarkoituksena on ensisijaisesti jäähdyttää ilmastusilmaa ennen ilmastuksen runkoputkea ja siirtää jäähdytyksessä saatu lämpö tuloilman esilämmittämiseen. Tuloilman lämmitystarpeen kasvaessa lämpöä voidaan ottaa talteen myös teknisestä vedestä. Vastaavasti lämmitystarpeen vähentyessä lämpöä voidaan hukata tekniseen veteen. Tuloilma esilämmitetään lämmöntalteenotosta saatavalla lämmöllä, minkä jälkeen korkealämpöverkoston



patteri jatkaa tuloilman lämmittämistä tavoiteltuun lämpötilaan asti. Esilämmityksen tarkoituksena on vähentää kaasukattiloiden käyttöä tuloilman lämmityksessä. LTO-verkostossa kierrätetään glykolivesiseosta. (4.)

### 3 Blominmäen jätevedenpuhdistamo

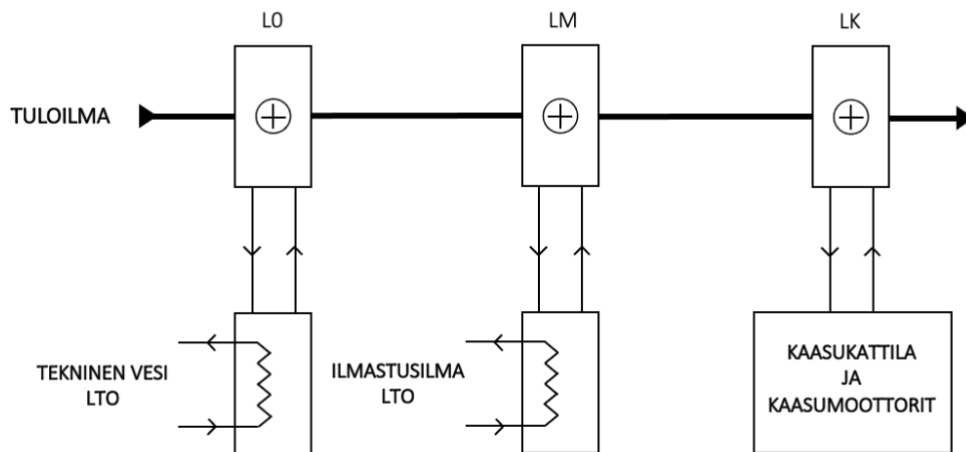
#### 3.1 Yleistä

Viime vuonna valmistunut Espoon Blominmäen uusi jätevedenpuhdistamo korvaa Suomenojan jätevedenpuhdistamon. Se käsittelee noin 400 000 asukkaan jätevedet Espoon, Kauniaisten, Kirkkonummen, Siuntion ja Länsi-Vantaan alueilta. Puhdistamo toimii Viikinmäen jätevedenpuhdistamon tapaan maan alle louhitussa luolastossa. Maan pinnalle sijoittuvat ainoastaan hallinto- ja korjaamorakenteet, polttoaine- ja metanolisäiliöt sekä lietteen ja kaasun käsittelytilat. Puhdistamon maanalaisia tiloja on mahdollista laajentaa jopa yli miljoonan asukkaan tarpeisiin. On arvioitu, että vuoteen 2040 mennessä puhdistamon läpi virtaisi jätevettä noin 150 000 kuutiometriä päivässä. (9, s. 3–4.)

Puhdistamon mädättämöissä syntyvää biokaasua poltetaan kaasumoottoreissa, joilla pystytään tuottamaan merkittävä osa puhdistamon omasta sähkö- ja lämpöenergian tarpeesta. Hiilineutraalin energiantuotannon ansiosta puhdistamo on täysin omavarainen lämpöenergian tuotannossaan ja pystyy tuottamaan noin 70 prosenttia sähkönenergian tarpeestaan. (2.) Biokaasun tuotannon lisäksi lämpöä saadaan talteen käsitellystä jätevedestä, sähkön tuotannosta sekä suurten koneiden toiminnasta syntyvästä lämmöstä (9, s. 8).

#### 3.2 Kolmen patterin järjestelmä

Blominmäen jätevedenpuhdistamon luolan tuloilmakoneet palvelevat puhtaita tiloja (mm. sähkötilat), käytäviä sekä tiloja, joissa työskennellään. Ne on varustettu kolmella erillisellä lämmityspatterilla: L0 eli nollalämpöverkoston, LM eli matalalämpöverkoston ja LK eli korkealämpöverkoston pattereilla. (4.) Kuvassa 2 on esitetty kytkentäkaavio puhdistamon järjestelmästä.



Kuva 2. Kolmen patterin järjestelmän kytkentäkaavio.

Kuvasta 2 nähdään, että nollalämpöverkoston lämpö saadaan pelkästään teknisen veden lämmöntalteenotosta. Matalalämpöverkoston saadaan lämpöä pääosin ilmastusilman jäädytyksen lämmöntalteenotosta, mutta lämpöä saadaan talteen myös ilmastusilman kompressoreiden öljyjäädytyksestä sekä muista prosessin hukkalämmönlähteistä. Korkealämpöverkoston lämpö saadaan samaan tapaan kaasukattiloilla ja kaasumootoreilla kuten Viikinmäessä.

Tuloilma pyritään ensisijaisesti esilämmittämään nolla- ja matalalämpöverkoston pattereilla mahdollisimman lähelle tuloilman asetuservoa. Tarvittava loppulämmitys tehdään korkealämpöverkoston patterilla. Esilämmityksellä pyritään siihen, että korkealämpöverkoston patterin käyttö olisi mahdollisimman vähäistä kaikissa ulkoilman olosuhteissa. Silloin mädätysprosessissa syntyvä biokaasu voidaan hyödyntää kaasumootoreissa sähköntuotantoon kaasukattiloiden lämmityksen sijaan. (4.)

## 4 Laskelmat

Laskelmissa tarkastellaan Viikinmäen jätevedenpuhdistamon vesiaseman tuloilmakoneiden lämmityspattereita. Ensin tarkastellaan vesiaseman nykyistä, kahden erillisen lämmityspatterin järjestelmää. Sen lisäksi tarkastellaan vaihtoehtoa, jossa nykyiseen järjestelmään lisätään ilmastusilman lämmöntalteenotolle oma lämmityspatteri, matalalämpöverkoston patteri. Näin järjestelmässä on kolme erillistä lämmityspatteria kuten Blominmäen jätevedenpuhdistamon luolan tuloilmakoneissa.

Jotta saadaan selvitettyä, onko kolmen patterin järjestelmään vaihtaminen kannattavampaa kuin uusia nykyinen kahden patterin järjestelmä, tehdään laskelmia. Laskelmat ja simuloinnit perustuvat yhdelle tuloilmakoneelle. Suurin osa tarvittavista arvoista saadaan Valmetin automaatiojärjestelmästä. Loput arvot perustuvat olettamuksiin. Laskelmissa tarkastellaan nollalämpöverkoston pattereiden jälkeisiä tuloilman lämpötiloja meno- ja paluueden lämpötilojen sekä patterin tehon avulla. Lisäksi tarkastellaan matalalämpöverkoston patterin jälkeistä tuloilman lämpötilaa olettamuksien perusteella. Tavoitteena on selvittää, kuinka paljon järjestelmien korkealämpöverkoston patterit tarvitsevat lämmitysenergiaa vuodessa siihen, että tuloilma saadaan esilämmityksen jälkeen lämmitettyä tavoiteltuun lämpötilaan. Laskelmissa selvitetään myös, kuinka paljon matalalämpöverkoston patteri lisää sähköenergian kulutusta kolmen patterin järjestelmässä.

### 4.1 Lähtötiedot

Coils-mitoitusohjelmaa varten tarvitaan seuraavat lähtötiedot:

- ilmavirta
- ulkoilman lämpötila
- tuloilman kosteus
- menoveden lämpötila
- nesteen virtaama

- glykolin pitoisuus.

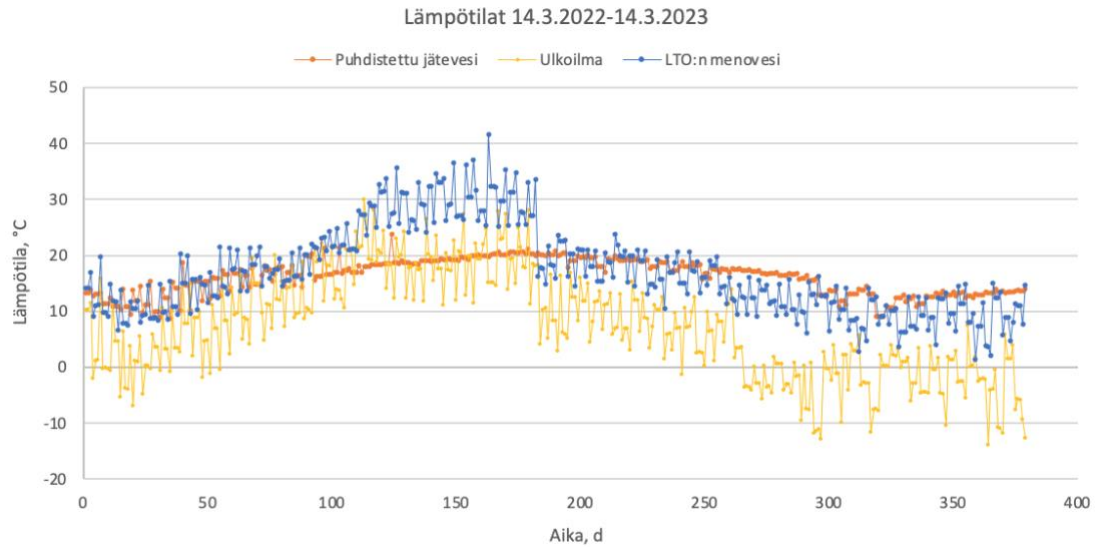
Ilmavirtana käytetään arvoa  $12,5 \text{ m}^3/\text{s}$ , joka saadaan tuloilmakoneen teknisistä tiedoista. Ilman kosteutena käytetään arvoa 80 % ja ulkoilman lämpötilana säävyöhykkeen 1 mitoituslämpötilaa  $-26 \text{ }^\circ\text{C}$ . Mitoituslämpötilan lisäksi valitaan viisi muuta ulkoilman lämpötilapistettä  $5 \text{ }^\circ\text{C}$ :n välein. Lämpötilapisteiksi valitaan  $-20 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $-15 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $-10 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $-5 \text{ }^\circ\text{C}$  ja  $0 \text{ }^\circ\text{C}$ . LTO-verkoston menoveden lämpötilat saadaan laskettua Valmetin automaatiojärjestelmästä saatujen arvojen avulla. Molempien järjestelmien nollalämpöverkoston pattereille menevän veden virtaamaksi oletetaan  $10 \text{ l/s}$ . Verkostossa kiertää 30 %:n glykoliseos. (4.)

Lähtöarvojen lisäksi mitoitusohjelman asetuksista käydään vaihtamassa ilman otsapintanopeudeksi arvo  $2 \text{ m/s}$ . Laskelmia varten tarvitaan myös tuloilman lämpötila, jonka asetusarvo on  $18 \text{ }^\circ\text{C}$ . (4.)

## 4.2 Vesiaseman kahden patterin järjestelmä

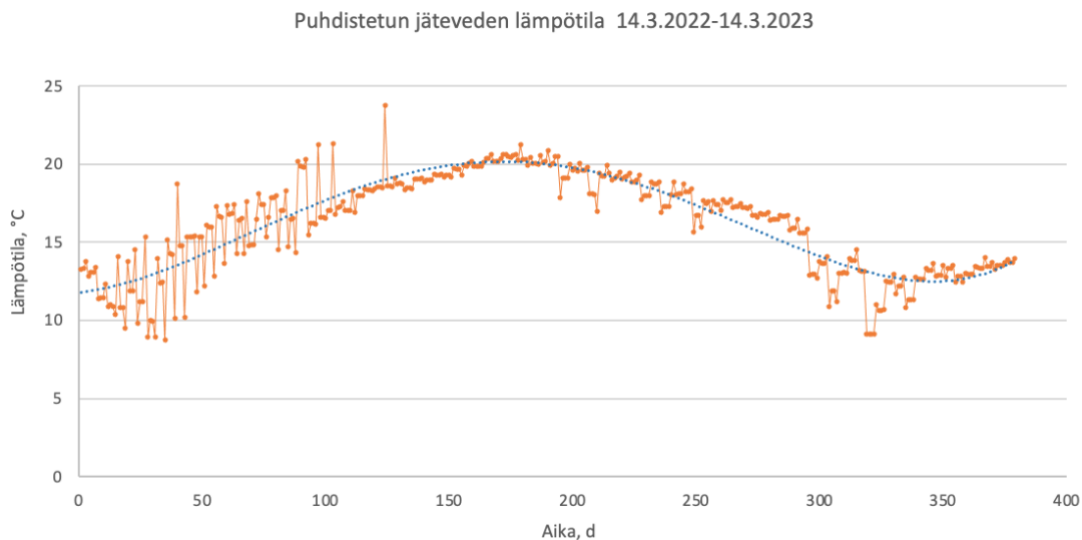
### 4.2.1 Nollalämpöverkoston patteri

Ensin tarkastellaan vesiaseman nykyisen järjestelmän nollalämpöverkoston patterille menevän veden sekä teknisen veden eli puhdistetun jäteveden veden lämpötiloja. Valmetin automaatiojärjestelmästä saadaan arvot LTO-verkoston menoveden sekä puhdistetun jäteveden lämpötiloille ulkoilman lämpötilan mukaan. Arvot ovat ajalta 14.3.2022-14.3.2023, ja ne on havainnollistettu kuvassa 3.



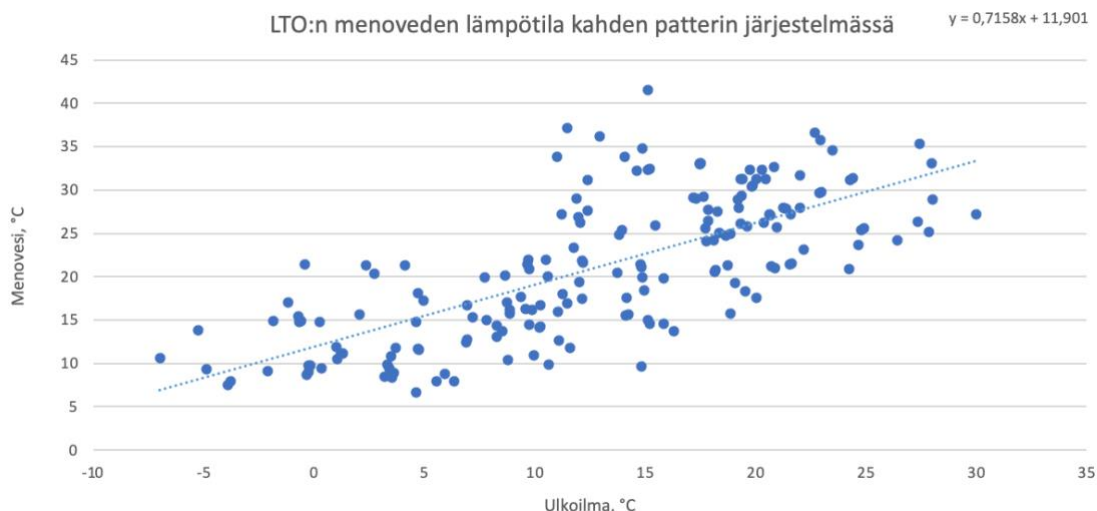
Kuva 3. Puhdistetun jäteveden, LTO:n menoveden sekä ulkoilman lämpötilat ajan funktiona.

Kuvan 3 perusteella voidaan valita LTO-verkoston menoveden lämpötilan tarkasteluväliksi ensimmäinen puolikas vuodesta, koska puolen vuoden jälkeen arvoissa tapahtuu notkahdus, jolloin arvojen luotettavuus heikkenee. Notkahdus voi johtua esimerkiksi siitä, että järjestelmän ajotavassa on tapahtunut muutoksia tai joitakin virheellisiä asetuksia on jäänyt päälle. Kuvassa 4 on esitetty samalla aikavälillä puhdistetun jäteveden lämpötila ajan funktiona.



Kuva 4. Puhdistetun jäteveden (tekninen vesi) lämpötila ajan funktiona.

Kuvaajaan piirretyn polynomisen viivan avulla huomataan, että jäteveden lämpötila vaihtelee noin 12,5 °C:n ja 20 °C:n välillä. Tämän perusteella voidaan olettaa patterille menevän veden minimilämpötilaksi 12,5 °C. Kuvaajan hetkelliset lämpötilapiikit johtuvat oletettavasti sulamisvesistä tai vesisateista. Kuvassa 5 on esitetty LTO:n menoveden lämpötila ulkoilman lämpötilan funktiona valitulla tarkastusvälillä.



Kuva 5. Kahden patterin järjestelmän LTO:n menoveden lämpötila ulkoilman lämpötilan funktiona.

Kuvasta 5 nähdään, että menoveden lämpötila jakautuu hajanaisesti välille +5...+40 °C. Menoveden oletettu minimilämpötila 12,5 °C otetaan huomioon laskelmissa. Kuvaajaan piirretyn suoran avulla saadaan ratkaistua yhtälö, jonka avulla lasketaan menoveden lämpötilojen arvot ulkoilman lämpötilan pysyvyydelle. Laskelmat on esitetty liitteessä 1.

Sen jälkeen tarkastellaan patterilta palaavan veden lämpötiloja, jotka saadaan ratkaistua Coils-mitoitusohjelman avulla. Mitoitusta varten täytetään kaikki tarvittavat lähtöarvot. Ulkoilman lämpötilaa vastaava menoveden lämpötila saadaan edellisessä kohdassa lasketuista arvoista, liitteestä 1. Paluuv veden lämpötilalle on myös ensimmäisellä kerralla annettava jokin arvo, että mitoitus menee läpi. Annetaan arvoksi 0 °C. Kun lähtöarvot on täytetty, mitoitetään patteri ensin ulkoilman mitoituslämpötilalle –26 °C. Tämän jälkeen voidaan paluuv veden lämpötilan arvo poistaa ja jättää tyhjäksi seuraavissa mitoituksissa. Mitoituksesta saadut patterin tiedot kirjataan manuaalisesti ”Patteri” kohtaan kuvan 6 mukaisesti, jotta patterin malli pysyy lukittuna seuraavissa mitoituksissa. Jos patterin tietoja ei kirjata manuaalisesti, patterin malli vaihtuu ulkoilman ja menoveden lämpötiloja muuttaessa.



Coils Lämmitys-/jäähdytyspatterit - [Viikki]

Arkisto Näytä Vaihtoehto Ohje

Vesi Höyrystän Höyry Lauhdutin Combi

Id  
Tunniste: [ ( Nimetön ) ]

Patterisovellus  
Patterisovellus: Patteri

Ilma

Virta, m³/s:	12,5	12,5
Lämpötila sisään, °C:	-26	-26,0
Tuloilman kosteus, %:	80	
Lämpötila ulos, °C:		0,2
Poistoilman kosteus, %:		7
Nopeus, m/s:		1,9
Painehäviö, Pa:		67

Vesi

Lämpötila sisään, °C:	12,5	12,5
Lämpötila ulos, °C:		2,1
Virta, l/s:	10	10,00
Etyleeniglykolia , paino %:	30	
Nopeus, m/s:		1,0
Painehäviö, kPa:		20

Teho

Teho, kW:		397
-----------	--	-----

Patteri

Tyyppi:	QDCN	QDCN
Kokonaisleveys, mm:		2730
Kokonaiskorkeus, mm:		2364
Lamellipakan leveys, mm:	2500	2500
Lamellipakan korkeus, mm:	2360	2360
Putkirivien lukumäärä:	4	4
Lamellijako:	2	2
Vesiteiden määrä:	4	4
Liitäntäpuoli:		
Liitäntäkoko DN:		DN1x80

Tuotetunnus ja hinta

QDCN-250-236-04-20-004-\_\_-1-A X ...

QDCN-250-236-04-20-004- 00-80-1-A

Hinta: Hintaa pyydettyäessä Pattereitten lkm.: 1

Kuva 6. Mitoitusnäkökulma.

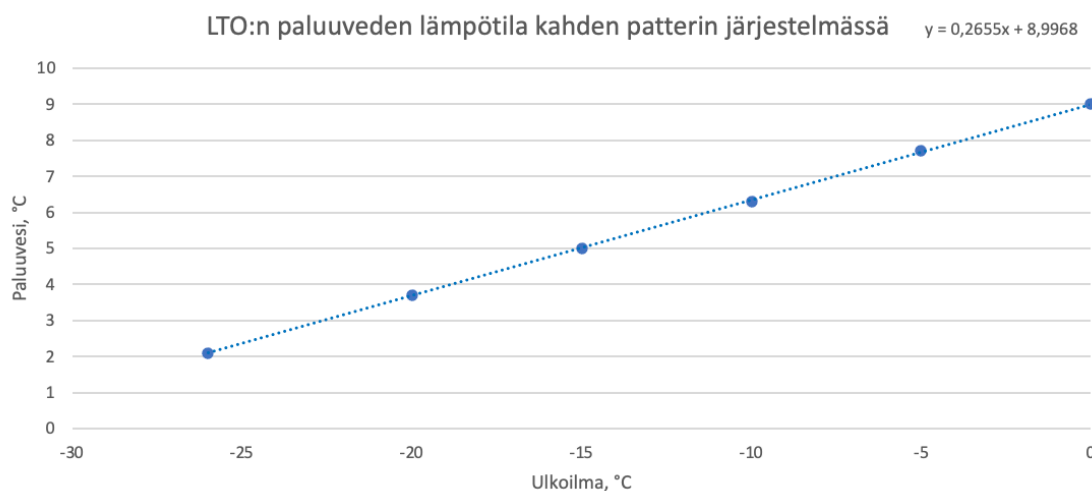
Patterin malli näkyy kuvan 6 kohdassa "Tuotetunnus". Kun patterin tiedot ovat lukittuna, patteri mitoitetaan vielä viidelle eri ulkoilman lämpötilapisteelle. Mitoituksissa muutetaan ulkoilman lämpötilan lisäksi myös menoveden lämpötilan arvoa ulkoilman lämpötilan mukaan. Muut lähtöarvot pysyvät samoina. Mitoituksessa saadut paluuv veden lämpötilat on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1. Paluuv veden lämpötilat.

Ulkoilman lämpötila (°C)	Paluuv veden lämpötila (°C)
-26	2,1
-20	3,7
-15	5

Ulkoilman lämpötila (°C)	Paluveden lämpötila (°C)
-10	6,3
-5	7,7
0	9

Taulukosta 1 nähdään, että paluveden lämpötila nousee tasaisesti 1–2 °C ulkoilman lämpötilan noustessa 5 °C. Mitoituksissa saaduista arvoista piirretään pisteiden avulla kuvaaja, joka on esitetty kuvassa 7.



Kuva 7. Kahden patterin järjestelmän LTO:n paluveden lämpötila ulkoilman lämpötilan funktiona.

Kaaviosta nähdään, että paluvesi lämpenee lineaarisesti ulkoilman lämmitessä. Kaavioon piirretyn suoran avulla saadaan ratkaistua yhtälö, jonka avulla saadaan laskettua paluveden lämpötilojen arvot ulkoilman lämpötilan pysyvyydelle. Laskelmat on esitetty liitteessä 1.

Kun meno- ja paluveden lämpötila on tiedossa, tiedetään lämpötilaero ja saadaan laskettua lämmityspatterin teho. Patterin teho saadaan laskettua kaavalla 1 (10, s. 119).

$$\phi = q_v \rho c_p \Delta T \quad (1)$$

$\phi$  on teho, kW

$q_v$  on nestevirta, dm<sup>3</sup>/s

$\rho$  on glykolin tiheys, 1 kg/dm<sup>3</sup>

$c_p$  on glykolin ominaislämpökapasiteetti 3,7 kJ/ (kg K)

$\Delta T$  on glykolin lämpötilaero, °C.

Patterin tehot ulkoilman lämpötilan pysyvyydelle on esitetty liitteessä 1. Laskelmista huomataan, vaikka ulkoilman lämpötila saavuttaa tuloilman tavoitellun lämpötilan, patterilta saadaan edelleen tehoa. Tämä teho menee hukkaan, koska tuloilman tavoiteltu lämpötila on jo saavutettu. Energiaa menee hukkaan yhteensä 397 MWh vuodessa.

Kun teho on laskettu, saadaan laskettua lämmityspatterin jälkeinen tuloilman lämpötila. Lämpötila lasketaan kaavan 2 avulla (11, s. 23).

$$T_x = \frac{\phi}{q_v \rho c_p} + T_u \quad (2)$$

$T_x$  on ilman lämpötila LO-patterin jälkeen, °C

$\phi$  on teho, kW

$q_v$  on tuloilmavirta, m<sup>3</sup>/s

$\rho$  on ilman tiheys, 1,2 kg/m<sup>3</sup>

$c_p$  on ilman ominaislämpökapasiteetti 1 kJ/ (kg K)

$T_u$  on ulkoilman lämpötila, °C.

Laskelmat tuloilman lämpötiloista ulkoilman lämpötilan pysyvyydelle on esitetty liitteessä 1. Laskelmista nähdään, kun ulkoilman lämpötila on 6 °C tai enemmän, niin nollalämpöverkoston patterilla saadaan lämmitettyä tuloilma tavoiteltuun lämpötilaan. Jos ulkoilman lämpötila laskee alle 6 °C:n, nollalämpöverkoston patteri esilämmittää tuloilman mahdollisimman lähelle asetuservoa, minkä jälkeen korkealämpöverkoston patteri jatkaa tuloilman lämmittämistä tavoiteltuun lämpötilaan.

Kun tiedetään lämmityspatterin jälkeinen tuloilman lämpötila, saadaan laskettua lämmitysenergian tarve. Energian tarve saadaan laskettua kaavalla 3 (11, s. 23).

$$Q_{iv} = \rho c_p q_v (T_x - T_u) t \quad (3)$$

$Q_{iv}$  on lämmitysenergian nettotarve, kWh

$\rho$  on ilman tiheys, 1,2 kg/m<sup>3</sup>

$c_p$  on ilman ominaislämpökapasiteetti, 1 kJ/(kg K)

$q_v$  on ilmavirta, m<sup>3</sup>/s

$T_x$  on ilman lämpötila L0-patterin jälkeen, °C

$T_u$  on ulkoilman lämpötila, °C

$t$  on kesto, h.

Laskelmat lämmitysenergioiden tarpeesta ulkoilman lämpötilan pysyvyydelle on esitetty liitteessä 1. Laskelmista huomataan, vaikka patterin jälkeinen tuloilman lämpötila saavuttaa tavoitellun lämpötilan, patteri tarvitsee lämmitysenergiaa siihen asti, kunnes ulkoilman lämpötila saavuttaa saman lämpötilan. Kun energian tarpeet ulkoilman lämpötilan pysyvyydelle summataan, saadaan patterin vuotuinen kokonaisenergian tuotto. Nollalämpöverkoston patteri tuottaa tuloilman lämmittämiseen energiaa 1 148 MWh vuodessa.

#### 4.2.2 Korkealämpöverkoston patteri

Tarkastellaan nykyisen järjestelmän korkealämpöverkoston patterin lämmitysenergian tarvetta. Lämmittämiseen tarvittava energia saadaan laskettua kaavalla 4 (11, s. 23). Lämpötilaero lasketaan sisään puhaltavan tuloilman sekä nollalämpöverkoston patterin jälkeisestä tuloilman lämpötilasta.

$$Q_{iv} = \rho c_p q_v (T_s - T_x) t \quad (4)$$

$Q_{iv}$  on lämmitysenergian nettotarve, kWh

$\rho$  on ilman tiheys, 1,2 kg/m<sup>3</sup>

$c_p$  on ilman ominaislämpökapasiteetti, 1 kJ/(kg K)

$q_v$  on ilmavirta, m<sup>3</sup>/s

$T_s$  on tuloilman lämpötila, °C

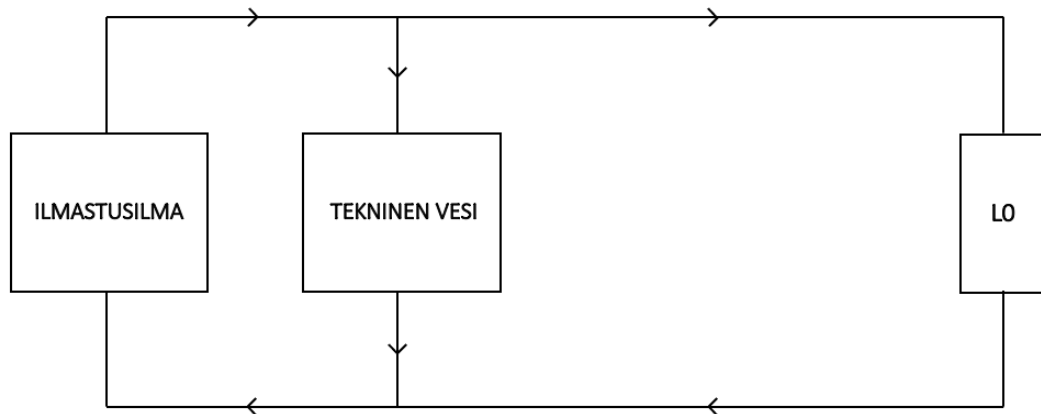
$T_x$  on ilman lämpötila L0-patterin jälkeen, °C

$t$  on kesto, h.

Laskelmat lämmitysenergioiden tarpeesta ulkoilman lämpötilan pysyvyydelle on esitetty liitteessä 1. Laskelmista nähdään, että korkealämpöverkoston patteri alkaa tarvitsemaan lämmitysenergiaa tuloilman lämmittämiseen, kun ulkoilman lämpötila laskee alle 6 °C:n. Patteri tarvitsee lämmittämiseen energiaa 655 MWh vuodessa.

#### 4.3 Vesiaseman kolmen patterin järjestelmä

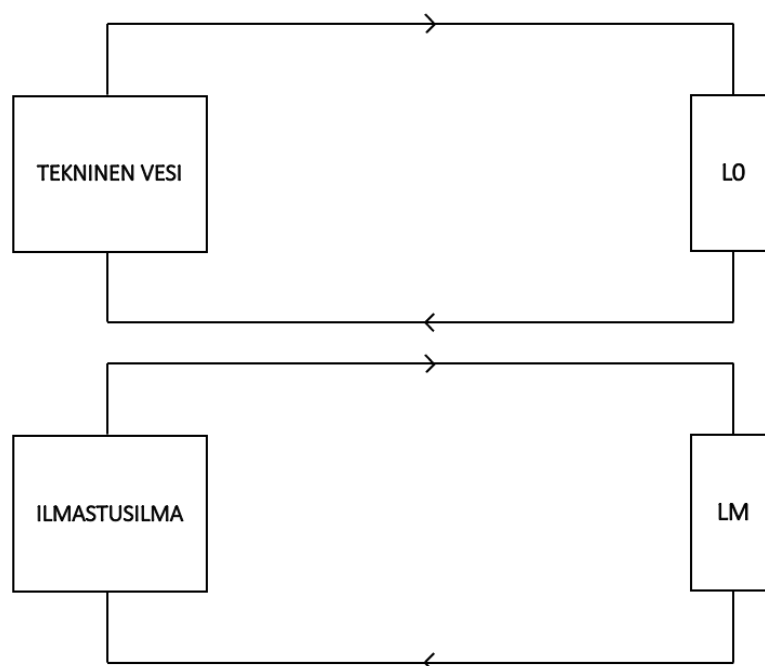
Vesiaseman nykyisessä järjestelmässä nollalämpöverkostoon saadaan lämpöä teknisen veden lisäksi myös ilmastusilman lämmöntalteenotosta. Kuvassa 8 on esitetty nykyisen järjestelmän LTO-järjestelmä.



Kuva 8. Nykyinen LTO-järjestelmä.

Kuvasta 8 nähdään, että teknisestä vedestä ja ilmastusilmasta saadaan lämpöä vesiaseman nollalämpöverkoston. Jotta LTO-järjestelmään saadaan lisättyä

matalalämpöverkosto, täytyy nykyisestä LTO-järjestelmästä jakaa omat verkostot sekä teknisen veden että ilmastusilman lämmöntalteenotolle. Näin ilmastusilman LTO-verkostolle tulee myös oma lämmityspatteri, matalalämpöverkoston patteri. Kuvassa 9 on esitetty uusi LTO-järjestelmä, jossa järjestelmään on lisätty matalalämpöverkosto. (4.)



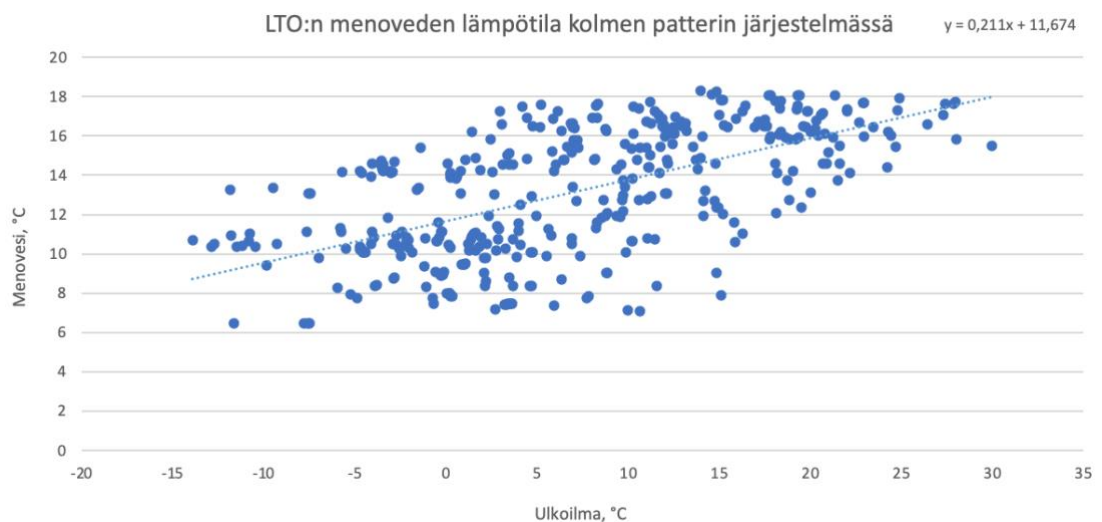
Kuva 9. Uusi LTO-järjestelmä.

Kuvasta 9 nähdään, että nyt matalalämpöverkoston saadaan lämpöä pelkästään teknisestä vedestä ja matalalämpöverkoston saadaan lämpöä pelkästään ilmastusilmasta. Verkostoilla on nyt omat LTO-piirit ja patterit. Tällöin teknisestä vedestä saatava kylmä vesi ei enää sekoitu ilmastusilmasta saatavaan lämpimään veteen. Näin ollen myös patterilta palaava vesi on kylmempää, ja siten teknisestä vedestä saadaan enemmän energiaa. (4.)

Matalalämpöverkoston patteri mitoitetetaan samaan tapaan kuin nykyisen järjestelmän kohdalla. Matalalämpöverkoston patterin mitoittaminen perustuu vain olettamuksiin, koska patteria ei ole olemassa nykyisessä järjestelmässä.

### 4.3.1 Nollalämpöverkoston patteri

Ensin tarkastellaan nollalämpöverkoston patterin LTO:n menoveden lämpötiloja samaan tapaan kuin nykyisen järjestelmän kohdalla. Valmetin automaatiojärjestelmästä saadaan menoveden lämpötiloille arvot ulkoilman lämpötilan mukaan. Arvot ovat ajalta 14.3.2022–14.3.2023. Oletetaan, että LTO:n menoveden lämpötila on aina 2,5 °C kylmempää kuin puhdistetun jäteveden lämpötila, koska lämmönsiirrin aiheuttaa lämpötilaeron (4). Näin ollen menoveden minimilämpötilaksi oletetaan 10 °C. Arvoista piirretään pisteiden avulla kuvaaja, joka on esitetty kuvassa 10.



Kuva 10. Kolmen patterin järjestelmän LTO:n menoveden lämpötila ulkoilman lämpötilan funktiona.

Kaaviosta nähdään, että menoveden lämpötila on 6–18 °C. Lämpötilat ovat kylmempiä kuin nykyisessä järjestelmässä, koska nyt nollalämpöverkoston saadaan lämpöä vain teknisestä vedestä. Menovesi on kylmempää, koska veteen ei enää sekoitu ilmastusilmasta saatavaa lämmintä vettä. Menoveden oletettu minimilämpötila 10 °C otetaan huomioon laskelmissa. Kaavioon piirretyn suoran avulla saadaan ratkaisua yhtälö, jonka avulla lasketaan menoveden lämpötilojen arvot ulkoilman lämpötilan pysyvyydelle. Menoveden lämpötilat on esitetty liitteessä 2.

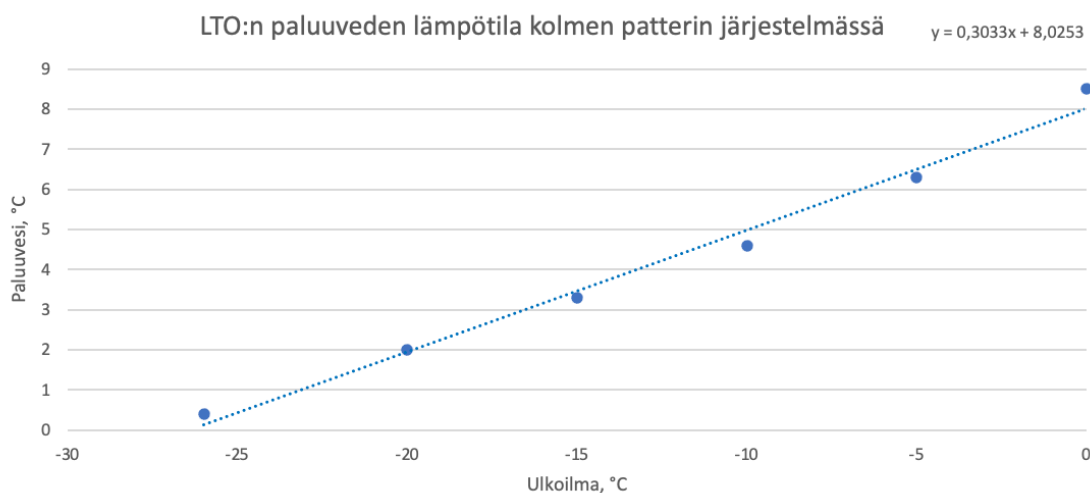
Kun menoveden lämpötilat on laskettu, tarkastellaan patterilta palaavan veden lämpötiloja. Ne saadaan ratkaistua Coils-mitoitusohjelman avulla kuten nykyisen järjestelmän kohdalla. Patterin tiedot täytetään samoilla arvoilla kuin nykyisessä järjestelmässä, koska patterin täytyy olla kooltaan ja ominaisuuksiltaan täysin samanlainen. Kun lähtöarvot ovat täytetty, mitoitetaan patteri ensin ulkoilman mitoituslämpötilalle  $-26\text{ °C}$ , minkä jälkeen se mitoitetaan vielä viidelle ulkoilman eri lämpötilapisteelle. Menoveden lämpötilan arvoa muutetaan ulkoilman lämpötilan mukaan, mitkä löytyvät liitteestä 2. Muuten lähtöarvot ovat samat. Mitoituksessa saadut paluuv veden lämpötilat on esitetty taulukossa 2.

Taulukko 2. Paluuv veden lämpötilat.

<b>Ulkoilman lämpötila (°C)</b>	<b>Paluuv veden lämpötila (°C)</b>
-26	0,4
-20	2
-15	3,3
-10	4,6
-5	6,3
0	8,5

Taulukosta 2 huomataan, että paluuv esi on kylmempää kuin nykyisen järjestelmän paluuv esi (taulukko 1). Tämä johtuu siitä, että myös menovesi on kylmempää. Lämpötilaero nykyiseen järjestelmään kuitenkin tasoittuu ulkoilman lämpötilan noustessa. Kun ulkona on  $-26\text{ °C}$  pakkasta, lämpötilaero on  $1,7\text{ °C}$ , mutta kun ulkoilman lämpötila nousee  $0\text{ °C}$ :seen, lämpötilaero on enää  $0,5\text{ °C}$ . Kuvassa 11 on havainnollistettu paluuv veden lämpötila ulkoilman lämpötilan funktiona.





Kuva 11. Kolmen patterin järjestelmän LTO:n paluuveden lämpötila ulkoilman lämpötilan funktiona.

Kaaviosta havaitaan, että paluuveden lämpötila nousee tasaisesti  $-10\text{ °C}$ :seen. Tämän jälkeen lämpötila lähtee nousemaan jyrkemmin, koska lämpötilaero nykyisen järjestelmän paluuveteen pienenenee. Kaaviosta saadaan ratkaistua suoralle yhtälö, jonka avulla saadaan laskettua paluuveden lämpötilojen arvot ulkoilman lämpötilan pysyvyydelle. Paluuveden lämpötilat on esitetty liitteessä 2.

Kun meno- ja paluuveden lämpötilat ovat tiedossa, lasketaan lämmityspatterin teho. Patterin teho saadaan laskettua kaavalla 1 (10, s. 119). Tehot ulkoilman lämpötilan pysyvyydelle on esitetty liitteessä 2. Laskelmista nähdään, että mitä lähemmäksi paluuveden lämpötila lämpenee menoveden lämpötilaa, sitä vähemmän patterilta saadaan tehoa. Lisäksi huomataan sama kuin nykyisen järjestelmän nollalämpöverkoston patterin kohdalla. Vaikka ulkoilman lämpötila saavuttaa tuloilman tavoitellun lämpötilan, patterilta saadaan edelleen tehoa, joka menee hukkaan. Energiaa menee hukkaan yhteensä 54 MWh vuodessa, mikä on huomattavasti vähemmän kuin nykyisessä järjestelmässä.

Kun tiedetään teho, saadaan laskettua patterin jälkeinen tuloilman lämpötila kaavalla 2 (11, s. 23). Tuloilman lämpötilat ulkoilman lämpötilan pysyvyydelle on esitetty liitteessä 2. Laskelmista nähdään, että kun ulkoilman lämpötila on  $12\text{ °C}$

tai enemmän, patterilla saadaan lämmitettyä tuloilma tavoiteltuun lämpötilaan. Jos ulkoilman lämpötila laskee alle 12 °C:n, nollalämpöverkoston patteri esilämmittää tuloilman tiettyyn lämpötilaan asti, minkä jälkeen matalalämpöverkoston patteri jatkaa tuloilman lämmittämistä. Nykyisessä järjestelmässä tuloilma saadaan lämmitettyä tavoiteltuun lämpötilaan jo ulkoilman lämpötilan ollessa 6 °C. Tämä johtuu siitä, että patterille menevä vesi on kuumempaa, jolloin tuloilma lämpenee korkeammalle, mutta samalla patterilta saatavaa tehoa menee myös enemmän hukkaan.

Kun patterin jälkeinen tuloilman lämpötila on tiedossa, lasketaan patterin lämmitysenergian tarve. Se saadaan laskettua kaavan 3 avulla (11, s. 23). Laskelmat energioiden tarpeesta ulkoilman lämpötilan pysyvyydelle on esitetty liitteessä 2. Laskelmista huomataan sama kuin nykyisen järjestelmän kohdalla. Vaikka patterin jälkeinen tuloilman lämpötila saavuttaa tavoitellun lämpötilan, lämmitysenergiaa tarvitaan, kunnes ulkoilman lämpötila saavuttaa saman lämpötilan. Nollalämpöverkoston patterin tarvitsema kokonaislämmitysenergian tuotto on 982 MWh vuodessa.

#### 4.3.2 Matalalämpöverkoston patteri

Tarkastellaan järjestelmän matalalämpöverkoston patteria. Valmetin automaatiojärjestelmästä saadaan arvot ilmastusilman meno- ja paluueden lämpötiloille sekä virtaamalle. Arvot ovat vuoden 2022 lokakuun alusta vuoden 2023 helmikuun loppuun. Lämpötiloista ja virtaamasta lasketaan keskiarvot. Menoveden lämpötilaksi saadaan arvo 12,7 °C ja paluueden lämpötilaksi arvo 20,6 °C. Kokonaisvirtaamaksi saadaan arvo 27,3 l/s. Arvot oletetaan vakioiksi. Kun lämpötilaero ja virtaama tiedetään, saadaan laskettua ilmastusilman teho kaavan 5 avulla (10, s. 119).

$$\phi = q_v \rho c_p \Delta T \quad (5)$$

$\phi$  on teho, kW

$q_v$  on nestevirta, m<sup>3</sup>/s

$\rho$  on veden tiheys, 1000 kg/m<sup>3</sup>

$c_p$  on veden ominaislämpökapasiteetti 4,2 kJ/ (kg K)

$\Delta T$  on veden lämpötilaero, °C

Tehoksi saadaan 909 kW. Tämä jaetaan viidelle koneelle, jolloin yhden koneen tehoksi saadaan 182 kW. Kun teho sekä virtaama tiedetään ja oletetaan vakioiksi, saadaan kaavan 6 avulla laskettua matalalämpöverkoston patterin jälkeinen tuloilman lämpötila (11, s. 23). Nyt ulkoilman lämpötilan sijaan käytetään nollalämpöverkoston patterin jälkeistä tuloilman lämpötilaa.

$$T_y = \frac{\phi}{q_v \rho c_p} + T_x \quad (6)$$

$T_y$  on ilman lämpötila LM-patterin jälkeen, °C

$\phi$  on teho, kW

$q_v$  on tuloilmavirta, m<sup>3</sup>/s

$\rho$  on ilman tiheys, 1,2 kg/m<sup>3</sup>

$c_p$  on ilman ominaislämpökapasiteetti 1 kJ/ (kg K)

$T_x$  on ilman lämpötila L0-patterin jälkeen, °C.

Matalalämpöverkoston patterin jälkeiset tuloilman lämpötilat ulkoilman lämpötilan pysyvyydelle on esitetty liitteessä 2. Laskelmista huomataan, kun ulkoilman lämpötila on -4 °C tai lämpimämpää, tuloilma saadaan matalalämpöverkoston patterilla lämmitettyä tavoiteltuun lämpötilaan nollalämpöverkoston patterin esilämmityksen jälkeen. Jos ulkoilman lämpötila laskee alle -4 °C:n, korkealämpöverkoston patteri jatkaa ilman lämmittämistä.

Kun tiedetään patterin jälkeinen tuloilman lämpötila, saadaan laskettua lämmityspatterin todellinen teho kaavaan 7 avulla (10, s. 113). Lämpötilaero lasketaan nolla- ja matalalämpöverkoston pattereiden jälkeisistä tuloilman lämpötiloista.

$$\phi = q_v \rho c_p \Delta T \quad (7)$$

$\phi$  on teho, kW

$q_v$  on ilmavirta, m<sup>3</sup>/s

$\rho$  on ilman tiheys, 1,2 kg/m<sup>3</sup>

$c_p$  on ilman ominaislämpökapasiteetti 1 kJ/(kg K)

$\Delta T$  on ilman lämpötilaero, °C.

Laskelmat lämmityspatterin todellisista tehoista ulkoilman lämpötilan pysyvyydelle on esitetty liitteessä 2. Huomataan, että kun nollalämpöverkoston patterin jälkeinen tuloilma saavuttaa tavoitellun lämpötilan, patterilta ei enää saada tehoa. Näin tehoa ei mene hukkaan.

Patterin tarvitsema lämmitysenergia saadaan laskettua, kun patterin teho kerrotaan ulkoilman lämpötilan pysyvyyden kestolla. Laskelmat lämmitysenergioiden tarpeesta on esitetty liitteessä 2. Laskelmista nähdään, että matalalämpöverkoston patteri alkaa lämmittämään nollalämpöverkoston esilämmittämää tuloilmaa, kun ulkoilman lämpötila laskee alle 12 °C:n. Matalalämpöverkoston patteri tuottaa tuloilman lämmittämiseen energiaa 750 MWh vuodessa.

#### 4.3.3 Korkealämpöverkoston patteri

Viimeisenä tarkastellaan korkealämpöverkoston patterin lämmitysenergian tarvetta. Energian tarve saadaan laskettua kaavalla 8 (11, s. 23). Lämpötilaero lasketaan sisään puhaltavan tuloilman sekä matalalämpöverkoston patterin jälkeisestä tuloilman lämpötilasta.

$$Q_{iv} = \rho c_p q_v (T_s - T_y) t \quad (8)$$

$Q_{iv}$  on lämmitysenergian nettotarve, kWh

$\rho$  on ilman tiheys, 1,2 kg/m<sup>3</sup>

$c_p$  on ilman ominaislämpökapasiteetti, 1 kJ/(kg K)

$q_v$  on ilmavirta, m<sup>3</sup>/s

$T_s$  on tuloilman lämpötila, °C

$T_y$  on ilman lämpötila LM-patterin jälkeen, °C

$t$  on kesto, h.

Laskelmat lämmitysenergioiden tarpeesta ulkoilman lämpötilan pysyvyydelle on esitetty liitteessä 2. Laskelmista huomataan, että korkealämpöverkoston patteria tarvitaan tuloilman lämmittämiseen, kun ulkona on pakkasta  $-4$  °C tai enemmän. Jos ulkoilma on lämpimämpää, saadaan tuloilma lämmitettyä pelkän esilämmityksen avulla tavoiteltuun lämpötilaan. Korkealämpöverkoston patterin lämmitysenergian tarve on 70 MWh vuodessa.

#### 4.4 Sähköenergian kulutus

Tarkastellaan puhaltimien sähköenergian kulutusta. Kun järjestelmään lisätään matalalämpöverkoston patteri, puhaltimet kuluttavat enemmän sähköä kuin nykyisessä järjestelmässä. Puhaltimen sähköenergian kulutus saadaan laskettua kaavalla 9 (11, s. 57.) Puhaltimen kokonaishyötysuhteeksi oletetaan 80 %. Paineen korotus saadaan Coils-mitoitusohjelmalla, kun matalalämpöverkoston patteri mitoitetaan yhdessä pisteessä liitteen 2 arvoilla. Patterin painehäviöksi saadaan 70 Pa, kun kone käy täydellä teholla. Koneen käydessä osateholla  $\frac{3}{4}$  painehäviö muuttuu tilavuusvirran muuttuessa. Painehäviö on tällöin  $70 \text{ Pa} \times (3/4)^2 = 39 \text{ Pa}$ .

$$Q_w = \frac{\Delta p q_v}{\eta} \Delta t \quad (9)$$

$Q_w$  on puhaltimen sähköenergian kulutus, Wh

$\Delta p$  on patterin painehäviö, Pa

$q_v$  on ilmavirta,  $\text{m}^3/\text{s}$

$\eta$  on puhaltimen kokonaishyötysuhde, -

$\Delta t$  on ajanjakson pituus, h.

Laskelmat sähköenergian kulutuksesta ulkoilman lämpötilan pysyvyydelle on esitetty liitteessä 2. Sähköenergiaa kuluu noin 10 MWh vuodessa.

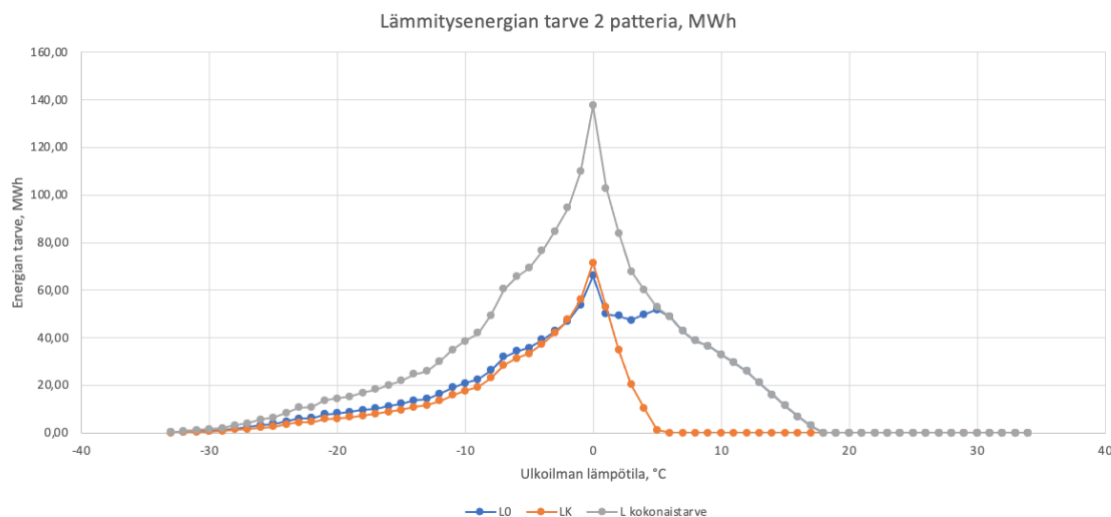
## 5 Tulokset

Vertaillaan nykyisen ja kolmen patterin järjestelmän lämmitysenergioiden tarvetta. Taulukkoon 3 on koottu järjestelmien verkostojen vuotuinen lämmitysenergian tarve. Arvot ovat yhdelle tuloilmakoneelle.

Taulukko 3. Järjestelmien lämmitysenergioiden tarve.

Järjestelmä	2-patterinen 1 kone (MWh/a)	3-patterinen 1 kone (MWh/a)
L0	1 148	982
LM		750
LK	655	70
<b>yht.</b>	<b>1 802</b>	<b>1 802</b>

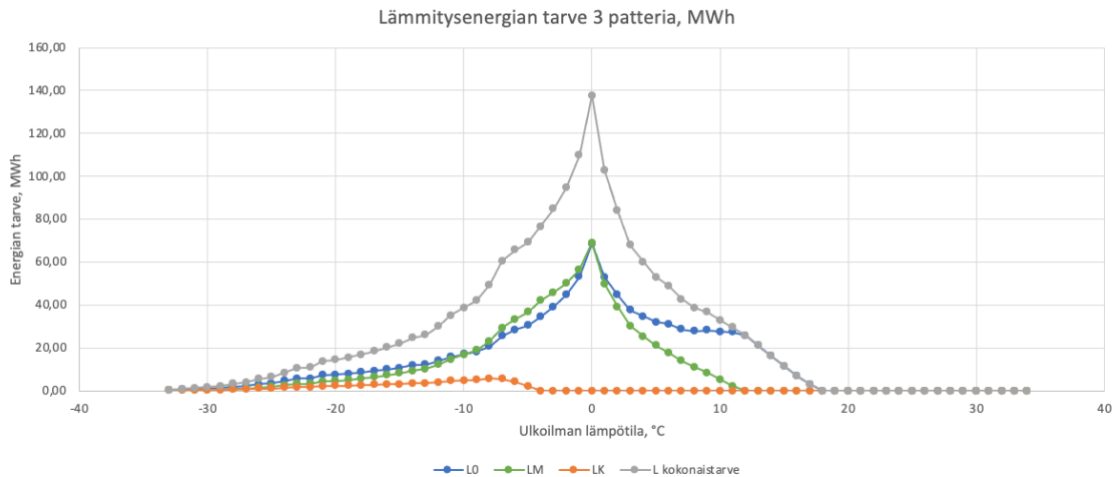
Taulukosta 3 nähdään, että järjestelmien kokonaislämmitysenergian tarve on sama, 1 802 MWh vuodessa. Matalalämpöverkoston lisääminen kolmen patterin järjestelmään vähensi merkittävästi korkealämpöverkoston lämmitysenergian tarvetta. Kuvissa 12 ja 13 on havainnollistettu tarkemmin järjestelmien verkostojen lämmitysenergioiden tarve ulkoilman lämpötilan pysyvyydelle. Kuvassa 12 on esitetty nykyisen järjestelmän lämmitysenergioiden tarve. Harmaa viiva kuvaa tuloilmakoneen kokonaislämmitysenergian tarvetta. Sininen viiva kuvaa nollalämpöverkoston ja oranssi viiva korkealämpöverkoston lämmitysenergian tarpeita.



Kuva 12. Kahden patterin järjestelmän lämmitysenergian tarve.

Kaaviosta nähdään, että kun ulkoilman lämpötila laskee alle tuloilman tavoitellun lämpötilan, alkaa nollalämpöverkosto tarvitsemaan lämmitysenergiaa tuloilman lämmittämiseen. Verkosto pystyy lämmittämään tuloilman, kunnes ulkoilman lämpötila laskee 6 °C:seen. Tämän jälkeen korkealämpöverkosto jatkaa esilämmitetyn tuloilman lämmittämistä tavoiteltuun lämpötilaan. Lämmitysenergian tarve on suurimmillaan ulkoilman lämpötilan ollessa 0 °C.

Kuvassa 13 on esitetty kolmen patterin järjestelmän lämmitysenergioiden tarve. Vihreä viiva kuvaa matalalämpöverkoston lämmitysenergian tarvetta. Muut viivojen värit ovat samat kuin nykyisessä järjestelmässä.

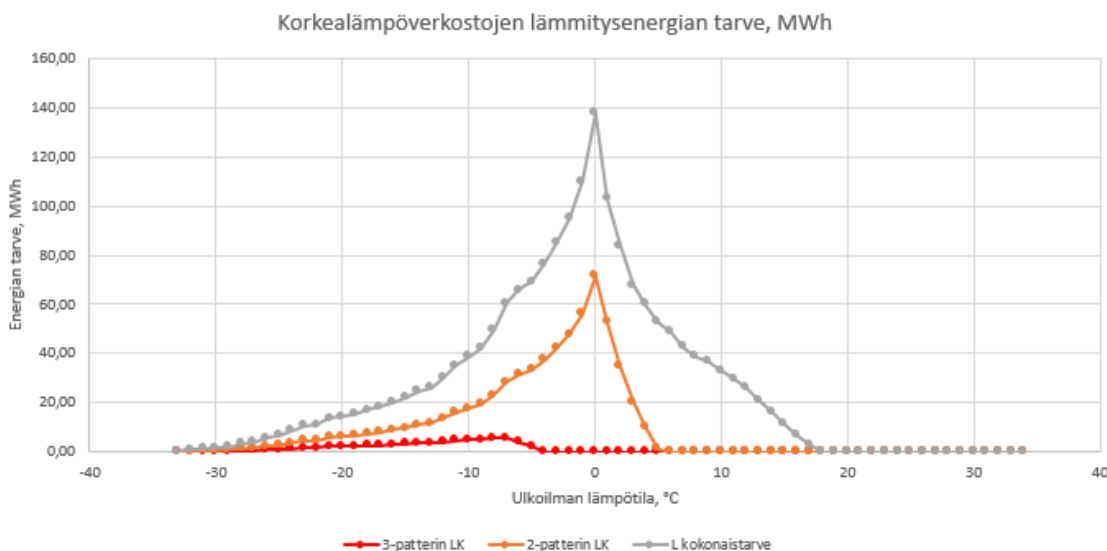


Kuva 13. Kolmen patterin järjestelmän lämmitysenergian tarve.

Kaaviosta nähdään, että kun ulkoilman lämpötila laskee alle tavoitellun tuloilman lämpötilan, alkaa nollalämpöverkosto lämmittämään tuloilmaa. Verkosto pystyy lämmittämään tuloilmaa, kunnes ulkoilman lämpötila laskee 12 °C:seen. Tämän jälkeen matalalämpöverkosto jatkaa nollalämpöverkoston esilämmittämisen tuloilman lämmittämistä. Nolla- ja matalalämpöverkoston lämmitysenergioiden tarve on suurimmillaan, kun ulkoilman lämpötila on 0 °C. Kun ulkoilman lämpötila laskee alle -4 °C:n, alkaa korkealämpöverkosto lämmittämään nolla- ja matalalämpöverkoston esilämmittämää tuloilmaa tavoiteltuun lämpötilaan. Korkealämpöverkoston lämmitysenergian tarve on hyvin vähäistä, koska esilämmityksen avulla tuloilma saadaan lämmitettyä hyvin lähelle sen asetusarvoa. Korkealämpöverkoston energian tarve on suurimmillaan, kun ulkoilman lämpötila on -8 °C

Kuvassa 14 on havainnollistettu nykyisen sekä kolmen patterin järjestelmän korkealämpöverkoston lämmitysenergian tarve. Kaaviosta nähdään sama kuin taulukosta 3. Kolmen patterin järjestelmän korkealämpöverkoston lämmitysenergian tarve on huomattavasti pienempi kuin nykyisen järjestelmän.





Kuva 14. Korkealämpöverkostojen lämmitysenergian tarve.

Taulukosta 3 huomataan myös, että nykyisen järjestelmän nollalämpöverkosto tarvitsee lämmitysenergiaa 165 MWh enemmän kuin kolmen patterin järjestelmän verkosto. Tämä ero on nykyisen järjestelmän ilmastusilmasta saatavan energian määrä, josta osa menee vesiaseman ja osa esikäsitteilyn LTO-verkostoon. Tämä energian määrä menetetään, koska kolmen patterin järjestelmässä nollalämpöverkostoon saadaan lämmitysenergiaa vain teknisestä vedestä. Vaikka ilmastusilman energia menetetään, saadaan matalalämpöverkostoon huomattavasti enenemmän energiaa ilmastusilmasta. Energiaa saadaan 584 MWh vuodessa menetyksestä huolimatta.

Taulukon 3 mukaan kolmen patterin järjestelmän korkealämpöverkosto säästää lämmitysenergiaa 584 MWh vuodessa. Jotta saadaan selville kolmen patterin järjestelmän todellinen lämmitysenergian säästö, huomioidaan esikäsitteilyyn menevän lämmitysenergian osuus. Tämä osuus menetetään tulopumppaamon puolella. Valmetin automaatiojärjestelmästä saadaan vesiaseman virtaamaksi arvo 45 l/s ja esikäsitteilyn virtaamaksi arvo 37 l/s. Kun tiedetään virtaamien suhde, saadaan laskettua vesiasemalle menevän lämmitysenergian osuudeksi 91 MWh ja esikäsitteilyyn menevän lämmitysenergian osuudeksi 75 MWh. Kun esikäsitteilyyn menevä lämmitysenergia 75 MWh vähennetään

korkealämpöverkoston säästämästä lämmitysenergiasta 584 MWh, saadaan lämmitysenergiaa säästettyä 510 MWh vuodessa.

Taulukkoon 4 on koottu yhteenvetona vesiaseman kolmen patterin järjestelmän energian vuotuiset vaikutukset. Ensimmäisessä sarakkeessa on kuvattu yhden koneen vaikutus täydellä teholla, toisessa sarakkeessa viiden koneen vaikutus osateholla  $\frac{3}{4}$  ja viimeisessä sarakkeessa viiden koneen vaikutus täydellä teholla. Vesiaseman koneet käyvät pääsääntöisesti osateholla, joten vertailuarvona käytetään osatehoa  $\frac{3}{4}$  (4.)

Taulukko 4. Yhteenveto.

	<b>1 kone (MWh/a)</b>	<b>5 konetta 3/4 (MWh/a)</b>	<b>5 konetta (MWh/a)</b>
Kahden patterin ilmastusilman energia	165	621	827
LM:n energia menetetyn ilmastusilman energian jälkeen	584	2 191	2 922
LK:n energian säästö	584	2 191	2 922
Esikäsitteilyn menettämä energia	-75	-280	-373
Kolmen patterin vaikutus lämmitysenergiaan	510	<b>1 911</b>	2 548
Kolmen patterin vaikutus sähköenergiaan	10	<b>27</b>	48

Vaikka esikäsitteily menettää energiaa, korkealämpöverkoston lämmitysenergian säästö on melkein 7-kertainen menetykseen nähden. Vesiaseman kaikkien koneiden käydessä osateholla  $\frac{3}{4}$ , saadaan lämmitysenergiaa säästettyä 1 911 MWh vuodessa. Säästö on enemmän kuin yhden tuloilmakoneen lämmitysenergian tarve nykyisessä järjestelmässä. Sähköenergiaa kuluu 27 MWh enemmän vuodessa kuin nykyisessä

järjestelmässä. Vaikutus on pieni verrattuna kolmen patterin järjestelmästä saatavaan lämmitysenergian säästöön.

## 6 Yhteenveto

Viikinmäen jätevedenpuhdistamo on pian jo 30 vuotta vanha, joten vesiaseman tuloilmakoneiden uusiminen on ajankohtaista lähivuosina. Tämän insinööriyön tavoitteena oli selvittää, onko kolmen lämmityspatterin järjestelmään vaihtaminen kannattavampaa kuin uusia nykyinen kahden lämmityspatterin järjestelmä. Työssä nykyisen järjestelmän LTO-verkostosta jaettiin oma verkosto ilmastusilman lämmöntalteenotolle, mihin lisättiin matalalämpöverkoston patteri. Valmetin automaatiojärjestelmästä saatujen arvojen sekä oletamuksien avulla tehtiin mitoituksia, kaavioita sekä laskelmia, joiden avulla saatiin ratkaistua lämmitysenergioiden tarve nykyiselle kahden patterin järjestelmälle sekä ehdotetulle kolmen patterin järjestelmälle.

Tuloksien perusteella voidaan todeta, että vesiasemalle on kannattavampaa vaihtaa tuloilmakoneet, joissa on kolmen lämmityspatterin järjestelmä kuin uusia koneet, joissa on nykyinen järjestelmä. Koneiden vaihdolla ja koneiden käydessä osateholla  $\frac{3}{4}$  säästetään lämmitysenergiaa 1,9 GWh vuodessa, mikä on noin 5,5 % koko puhdistamon tarvitsemasta lämmöntarpeesta. Sähköenergiaa kuluu 27 MWh enemmän, mutta se on vähäistä verrattuna lämmitysenergian säästöön. Matalalämpöverkoston ansiosta lämmöntalteenotosta saadaan tuloilman lämmittämiseen enemmän lämmitysenergiaa kuin nykyisessä järjestelmässä. Näin ollen kaasukattiloilla tuotetun korkealämpöisen energian tarve vähenee oleellisesti ja kaasu voidaan käyttää kaasumoottoreilla sähkön ja lämmöntuotantoon.

Työn tuloksena syntyi kirjallisuusraportti sekä Excel-pohja järjestelmien lämmitysenergian tarpeen laskemiselle. Työtä voidaan käyttää pohjana koneiden uusimiselle ja hankesuunnitelmalle.

## Lähteet

- 1 Strategia ja vastuullisuus. Verkkoaineisto. HSY. <[www.hsy.fi/hsy/strategia-ja-vastuullisuus/](http://www.hsy.fi/hsy/strategia-ja-vastuullisuus/)>. Luettu 14.1.2023.
- 2 Uusi HSY:n jätevedenpuhdistamo Blominmäessä otettu käyttöön. 2022. Verkkoaineisto. HSY. <[www.hsy.fi/ymparistotieto/tiedotteet/uusi-hsyn-jatevedenpuhdistamo](http://www.hsy.fi/ymparistotieto/tiedotteet/uusi-hsyn-jatevedenpuhdistamo)>. Päivitetty 22.11.2022. Luettu 14.1.2023.
- 3 Pelenen, Albina. 2019. Kakolanmäen jätevedenpuhdistamon ylijäämlämmön hyödyntäminen. Insinööryö. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.
- 4 Korpi, Samuli. 2023. Suunnittelupäällikkö, A-Insinöörit Oy, Espoo. Keskusteltu 2023.
- 5 Vento, Markku. 2021. Viikinmäen jätevedenpuhdistuksen energiatehokkuus paranee ja ilmastovaikutukset pienenevät. Kuntatekniikka, 2.2.2021.
- 6 Jätevedenpuhdistus pääkaupunkiseudulla 2020. 2020. Verkkoaineisto. HSY. <[julkaisu.hsy.fi/jatevedenpuhdistus-paakaupunkiseudulla-2020.pdf](http://julkaisu.hsy.fi/jatevedenpuhdistus-paakaupunkiseudulla-2020.pdf)>. Luettu 20.1.2023.
- 7 Viikinmäen jätevedenpuhdistamo. 2018. Verkkoaineisto. HSY. <[https://niini.fi/wp-content/uploads/2021/01/HSY0012\\_Viikinmaen\\_jatevedenpuhdistamo.pdf](https://niini.fi/wp-content/uploads/2021/01/HSY0012_Viikinmaen_jatevedenpuhdistamo.pdf)>. Luettu 16.1.2023.
- 8 HSY Viikinmäki. 2018. Verkkoaineisto. Motiva Oy. <[www.motiva.fi/files/13603/HSY\\_VIIKINMAKI\\_AURINKOSAHKO.pdf](http://www.motiva.fi/files/13603/HSY_VIIKINMAKI_AURINKOSAHKO.pdf)>. Luettu 20.1.2023.
- 9 Uusi jätevedenpuhdistamo Blominmäkeen. 2018. Verkkoaineisto. HSY. <[https://niini.fi/wp-content/uploads/2021/02/HSY152\\_Uusi\\_jatevedenpuhdistamo\\_Blominmakeen.pdf](https://niini.fi/wp-content/uploads/2021/02/HSY152_Uusi_jatevedenpuhdistamo_Blominmakeen.pdf)>. Luettu 25.1.2023.
- 10 Seppänen, Olli. 2001. Rakennusten lämmitys. Helsinki: Suomen LVI-liitto ry.
- 11 Energiatehokkuus. 2018. Rakennuksen energiakulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. Suomen rakentamismääräyskokoelma. Helsinki: ympäristöministeriö.



## Liite 1: Kahden patterin järjestelmä

## Lähtötiedot

Ilmavirta	12,5	m <sup>3</sup> /s
Tuloilma	18	°C
LTO meno min.	12,5	°C
$\rho$ ilma	1,2	kg/m <sup>3</sup>
$\rho$ glykoli	1000	kg/m <sup>3</sup>
$c_p$ ilma	1	kJ/(kg°C)
$c_p$ glykoli	3,7	kJ/(kg°C)

## Lämmitysenergia

LO energia	1148	MWh/a
LK energia	655	MWh/a

Lämpötila °C	Kesto h	Virtaama l/s	T_meno °C	T_paluu °C	LO-patteri		LK-patteri	
					LO teho kW	Tx °C	LO energia kWh	LK energia kWh
-33	0,4	10	12,5	0,2	454	-2,7	175	120
-32	1,1	10	12,5	0,5	444	-2,4	492	339
-31	1,8	10	12,5	0,8	434	-2,1	773	536
-30	2,2	10	12,5	1,0	424	-1,7	940	655
-29	3,0	10	12,5	1,3	414	-1,4	1237	867
-28	4,8	10	12,5	1,6	405	-1,0	1929	1360
-27	6,0	10	12,5	1,8	395	-0,7	2357	1672
-26	8,4	10	12,5	2,1	385	-0,3	3244	2317
-25	10,0	10	12,5	2,4	375	0,0	3757	2701
-24	13,4	10	12,5	2,6	365	0,4	4908	3554
-23	17,3	10	12,5	2,9	356	0,7	6145	4484
-22	18,1	10	12,5	3,2	346	1,0	6241	4590
-21	23,5	10	12,5	3,4	336	1,4	7908	5864
-20	25,3	10	12,5	3,7	326	1,7	8241	6165
-19	27,7	10	12,5	4,0	316	2,1	8770	6620
-18	31,3	10	12,5	4,2	306	2,4	9589	7308
-17	34,9	10	12,5	4,5	297	2,8	10352	7971
-16	39,5	10	12,5	4,7	287	3,1	11321	8811
-15	44,2	10	12,5	5,0	277	3,5	12253	9646
-14	51,4	10	12,5	5,3	267	3,8	13735	10944
-13	55,9	10	12,5	5,5	257	4,2	14382	11607
-12	66,8	10	12,5	5,8	248	4,5	16538	13531
-11	80,4	10	12,5	6,1	238	4,8	19119	15873
-10	91,9	10	12,5	6,3	228	5,2	20951	17668
-9	103,8	10	12,5	6,6	218	5,5	22629	19406
-8	126,8	10	12,5	6,9	208	5,9	26391	23043
-7	161,4	10	12,5	7,1	198	6,2	32012	28500
-6	182,5	10	12,5	7,4	189	6,6	34403	31280
-5	200,7	10	12,5	7,7	179	6,9	35880	33377
-4	231,9	10	12,5	7,9	169	7,3	39178	37363
-3	269,1	10	12,5	8,2	159	7,6	42804	41949
-2	315,7	10	12,5	8,5	149	8,0	47124	47588
-1	385,5	10	12,5	8,7	139	8,3	53756	56114
0	509,7	10	12,5	9,0	130	8,6	66062	71547
1	403,3	10	12,6	9,3	124	9,3	50053	52782
2	349,7	10	13,3	9,5	141	11,4	49229	34697
3	301,8	10	14,0	9,8	157	13,5	47514	20389
4	285,8	10	14,8	10,1	174	15,6	49759	10261
5	271,3	10	15,5	10,3	191	17,7	51757	1150
6	271,2	10	16,2	10,6	207	18,0	48811	0
7	259,0	10	16,9	10,9	224	18,0	42742	0
8	258,5	10	17,6	11,1	241	18,0	38770	0
9	271,6	10	18,3	11,4	257	18,0	36667	0
10	274,6	10	19,1	11,7	274	18,0	32951	0
11	281,7	10	19,8	11,9	291	18,0	29575	0
12	287,2	10	20,5	12,2	307	18,0	25848	0
13	281,2	10	21,2	12,4	324	18,0	21089	0
14	269,6	10	21,9	12,7	341	18,0	16175	0
15	254,2	10	22,6	13,0	357	18,0	11438	0
16	226,1	10	23,4	13,2	374	18,0	6782	0
17	202,8	10	24,1	13,5	391	18,0	3042	0
18	173,2	10	24,8	13,8	407	18,0	0	0
19	146,4	10	25,5	14,0	424	18,0	0	0
20	128,2	10	26,2	14,3	441	18,0	0	0
21	100,6	10	26,9	14,6	457	18,0	0	0
22	81,2	10	27,6	14,8	474	18,0	0	0
23	65,9	10	28,4	15,1	491	18,0	0	0
24	50,1	10	29,1	15,4	507	18,0	0	0
25	39,6	10	29,8	15,6	524	18,0	0	0
26	31,2	10	30,5	15,9	541	18,0	0	0
27	20,3	10	31,2	16,2	557	18,0	0	0
28	13,4	10	31,9	16,4	574	18,0	0	0
29	8,1	10	32,7	16,7	591	18,0	0	0
30	3,6	10	33,4	17,0	607	18,0	0	0
31	1,3	10	34,1	17,2	624	18,0	0	0
32	0,7	10	34,8	17,5	641	18,0	0	0
33	0,3	10	35,5	17,8	657	18,0	0	0
34	0,1	10	36,2	18,0	674	18,0	0	0
ytteensä	8760,0				Hukkaan: 397	MWh	1147798	654645

