



Joonas Brinck

Vantaan Energia Oy:n kaukolämmön lisäveden tuotannon kustannusten arviointi

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Energia- ja ympäristötekniikka

Insinöörityö

9.12.2025

Tiivistelmä

Tekijä:	Joonas Brinck
Otsikko:	Vantaan Energia Oy:n kaukolämmön lisäveden tuotannon kustannusten arviointi
Sivumäärä:	42 sivua + 4 liitettä
Aika:	9.12.2025
Tutkinto:	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma:	Energia- ja ympäristötekniikka
Ammatillinen pääaine:	Energiatuotantomenetelmät
Ohjaajat:	Koneinsinööri Tuomo Manninen Lehtori Hannu Turunen

Insinöörityön tavoitteena oli selvittää Vantaan Energialle Martinlaakson voimalaitoksen, jätevoimalan ja Järvenpään voimalaitosten kaukolämmön lisäveden tuotantokustannusten muuttujia sekä arvioida tuotannosta syntyviä kustannuksia. Työn tavoitteena oli tuottaa arvio laitosten kuukausikohtaisesta tuotantohinnasta (€/m³).

Insinöörityön aikana käytetyt tiedot perustuvat vuonna 2024 aikana kerättyihin tuotantotietoihin sekä julkisista lähteistä saatavilla oleviin hinta-arvioihin. Työn tuloksena Vantaan Energialle luotiin Excel-pohjainen työkalu, jonka avulla pystyy tulevaisuudessa laskemaan arvion eri laitosten tuotantokustannuksista vuosittain. Laskentatyökaluun syötetään hinta-arvio polttoaineista ja kemikaaleista, sekä arvio tulevan vuoden KL-lisäveden tuotantomääristä. Tietojen avulla työkalu laskee arvion laitosten kustannusajureista sekä laskee niiden summan muodostaen kuukausikohtaisen tuotantohinta-arvion (€/m³).

Kaukolämmön lisäveden valmistukseen vaikuttaa neljä kustannusajuria: veden lämmitys, raakaveden hankinta, kemikaalit sekä käyttö- ja kunnossapito. Suurin vaikutus huomattiin olevan raakaveden hankinnasta ja veden lämmityksestä muodostuvilla kustannuksilla. Laitosten välillä havaittiin olevan merkittäviä eroja kaukolämmön lisäveden valmistuskustannuksissa (€/m³). KL-lisäveden valmistuskustannukset vaihtelevat 0,39–5,39 (€/m³). Halvimmaksi laitokseksi muodostui jätevoimala ja kalleimmaksi Martinlaakson voimalaitos.

Insinöörityön seurauksena yrityksellä on mahdollisuus optimoida kaukolämmön lisäveden tuotantoa kustannustehokkaammaksi. Laskentatyökalun avulla yritys pystyy vertailemaan laitosten välisiä tuotantokustannuksia, sekä arvioimaan mahdollisten prosessi muutosten vaikutusta KL-lisäveden tuotantohintaan.

Avainsanat: kaukolämmön lisävesi, kaukolämpö, tuotantokustannus

Tämän opinnäytetyön alkuperä on tarkastettu Turnitin Originality Check -ohjelmalla.

Abstract

Author: Joonas Brinck
Title: Cost Evaluation of District Heating Makeup Water Production at Vantaan Energia Oy
Number of Pages: 42 pages + 4 appendices
Date: 9 December 2025

Degree: Bachelor of Engineering
Degree Programme: Energy and Environmental Technology
Professional Major: Energy Production Technologies
Supervisors: Tuomo Manninen, Mechanical Engineer
Hannu Turunen, Senior Lecturer

The purpose of this thesis was to identify the variables affecting the production costs of district heating makeup water to Vantaan Energia regarding Martinlaakso Power Plant, jätevoimala and Järvenpää power plant, as well as estimate the production costs. The goal was to provide an estimate of monthly production price (€/m³) for each plant.

The analysis was based on production data collected during 2024 and publicly available price estimates. As an outcome, an Excel-based calculating tool which enables to estimate the production costs from different powerplants was developed for Vantaan Energia. The tool allows users to input projected fuel and chemical prices as well as estimated makeup water production volumes, and calculates cost drivers and their aggregated impact, resulting in monthly unit cost estimates (€/m³).

Four primary cost drivers affect makeup water production costs: water heating, water procurement, chemicals, and operation and maintenance. The most significant cost drivers were water heating and water procurement. The analysis revealed substantial differences in production costs between powerplants, ranging from 0.39–5.39 (€/m³). The jätevoimala was the most cost-efficient, while Martinlaakso plant had the highest costs.

The developed tool provides Vantaan Energia with the knowledge to optimize makeup water production for improved cost efficiency. It enables comparison of production costs across plants and assessment of potential impact of process changes on unit costs.

Keywords: district heating makeup water, district heating, production costs.

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Vantaan Energia Oy:n yleiskuvaus ja laitokset	2
2.1	Yleiskuvaus	2
2.2	Martinlaakson voimalaitos	5
2.3	Jätevoimala	6
2.4	Järvenpään voimalaitos	8
3	Kaukolämpö	9
3.1	Kaukolämmön tuotanto	9
3.2	Kaukolämpöverkko	11
4	Kaukolämpövesi	15
4.1	Pehmentimet	16
4.2	Kaasunpoisto	17
4.3	Kemikaalit	18
4.3.1	Hydratsiini	19
4.3.2	Karbohydratsidi	19
4.3.3	Pyraniini	20
5	Kaukolämmön lisäveden valmistuksen kustannusajurit	21
5.1	Aineisto ja laskentamenetelmät	21
5.2	Kemikaali- ja materiaalikustannukset	23
5.3	Lämmitysenergia kustannukset	24
5.4	Veden hinta ja viemärintikustannukset	26
5.5	Käyttö- ja kunnossapitokustannukset	28
6	Tulokset	30
6.1	Kustannusajureiden tulokset	30
6.2	Laitosten väliset tulokset	31
7	Jatkokehitys ja skenaariot	32
7.1	Hapenpoistokemikaalin vaihdos	33

7.2	Martinlaakson sähköinen kaasunpoisto	34
7.3	Polttoainehinnan nousu	35
7.4	Lumensulatus	35
8	Yhteenveto ja pohdinta	36
	Lähteet	39
	Liitteet	
	Liite 1: Tammikuun tuotantokustannusarvio	
	Liite 2: Kemikaalien hinta-arvio	
	Liite 3: Sekajäte- ja SRF-polttoaineiden hinta-arvio	
	Liite 4: KL-lisäveden laitoskohtainen tuotantoarvio	

Lyhenteet

CHP: *Combined heat and power*. Yhteistuontantolaitos, jossa tuotetaan kaukolämpöä ja sähköä.

JV: Jätevoimala.

KL: Kaukolämpö.

SRF: *Solid Recovered Fuel*. Kiinteä kierrätyspolttoaineseos.

SK: Savukaasu

1 Johdanto

Kaukolämpöverkko on merkittävässä osassa suomalaisessa energiajärjestelmässä. Verkon toiminta perustuu veden suotuisiin ominaisuuksiin lämmönsiirtovälineenä. Kaukolämpöverkon vuodot, huollot ja putkiston laajeneminen aiheuttavat tarpeen täydentää verkostoa uudella kaukolämpövedellä. Verkon täydentämiseen käytettävää vettä kutsutaan kaukolämmön lisävedeksi.

Työn tavoitteena on selvittää, mitkä tekijät vaikuttavat eniten Martinlaakson voimalaitoksella, jätevoimalalla sekä Järvenpään voimalaitoksella tuotetun kaukolämmön lisäveden hintaan ja mikä muodostuu lisäveden (€/m³) kuukausittaiseksi tuotantohinnaksi laitoksilla. Lisäveden tuotantokustannusten optimointi on tärkeää, sillä kustannukset vaikuttavat suoraan asiakkaille myytävän kaukolämmön hintaan. Arvion avulla lisäveden tuotanto pystytään toteuttamaan kustannustehokkaasti, sekä tunnistamaan lisäveden tuotantokustannuksiin vaikuttavat avaintekijät, niiden laitoskohtaiset erot sekä miettimään mahdollisia keinoja tuotannon parantamiseen.

Työn tarkoituksena on kehittää Vantaan Energialle laskentatyökalu, jonka avulla voidaan arvioida eri voimalaitosten kaukolämmön lisäveden tuotantokustannuksia. Työssä tarkastellaan seuraavia tutkimuskysymyksiä:

- Mitkä tekijät vaikuttavat eniten Martinlaakson-, jätevoimalan sekä Järvenpään voimalaitoksilla tuotetun kaukolämmön lisäveden hintaan?
- Miten kustannusajurit vaikuttavat valmistuksen kustannuksiin (€/m³) eri laitoksilla vuoden 2024 tietojen perusteella?
- Mikä muodostuu kuukausittaiseksi KI-lisäveden hinnaksi (€/m³) laitoksilla?
- Millä tavoilla laskentatyökalua voidaan hyödyntää yrityksen KL-lisäveden tuotannossa?

Työ on toteutettu Vantaan Energialle, joka tavoittelee kaukolämmön lisäveden tuotannon tehostamista. Työn tavoitteena on helpottaa tuotannonsuunnittelua ja luoda laskentatyökalu, joka auttaa ymmärtämään, mistä tuotantokustannukset

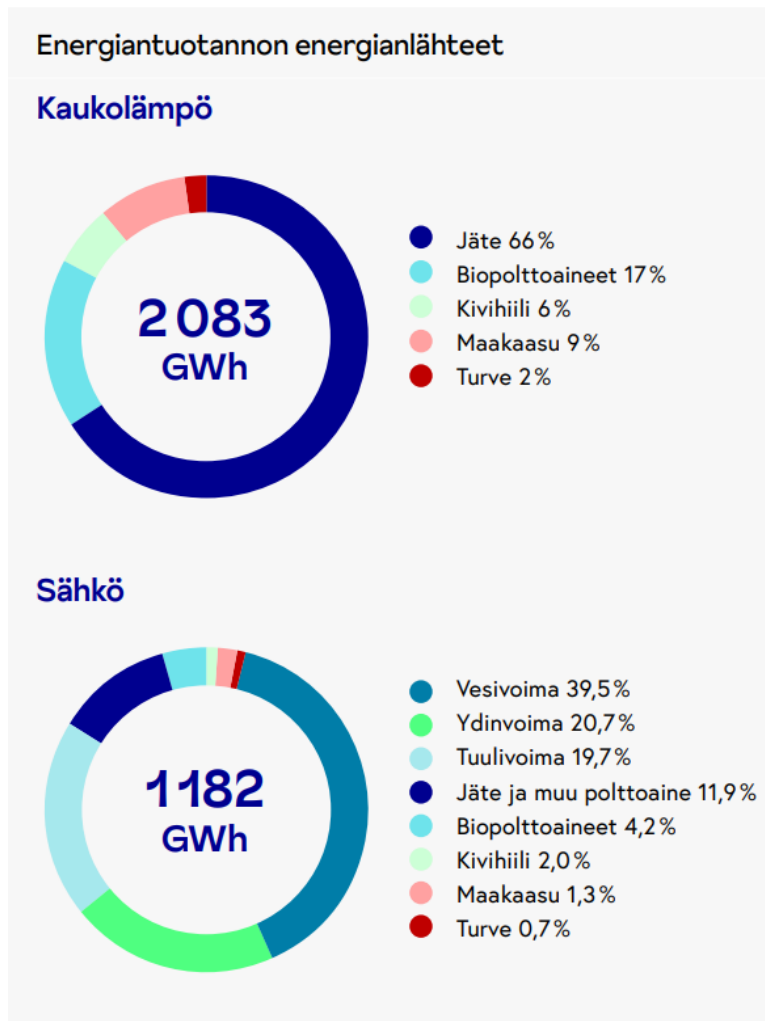
koostuvat riippuen käytössä olevasta laitoksesta. Työ perustuu vuoden 2024 aikana kerättyihin tuotanto- ja kustannustietoihin.

Opinnäytetyöraportin kieliasun muotoilussa ja tarkastamisessa on käytetty Microsoftin M365 Copilotin versiota GPT-4. Opinnäytetyön tekijä on vastuussa kaikesta opinnäytteen sisällöstä.

2 Vantaan Energia Oy:n yleiskuvaus ja laitokset

2.1 Yleiskuvaus

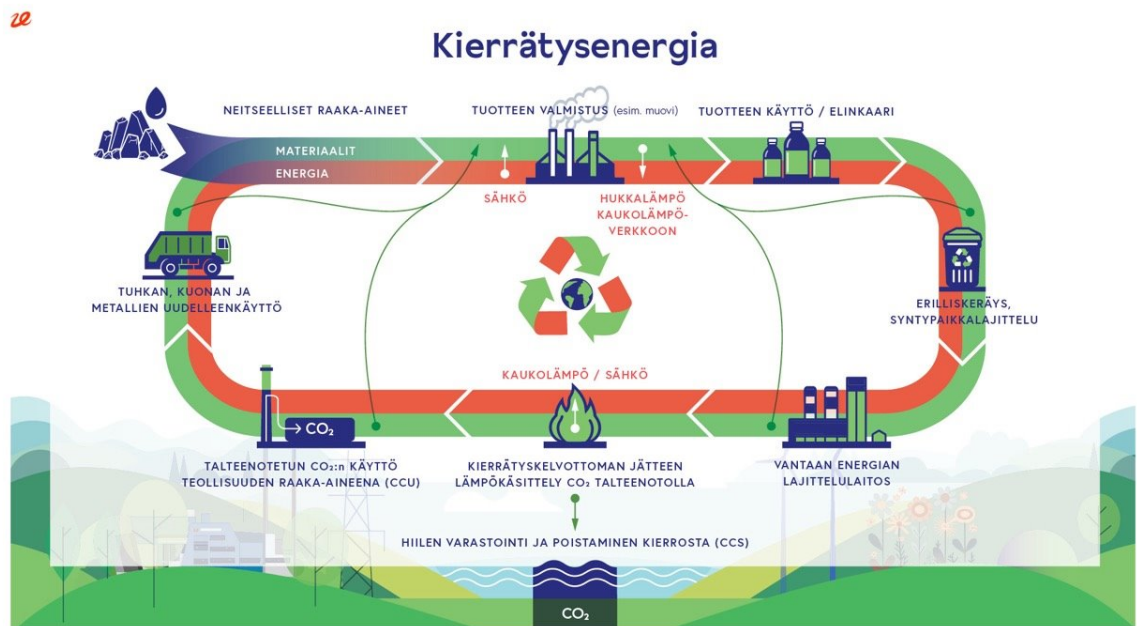
Vantaan Energia on Vantaalla toimiva kierrätysenergiayhtiö. Yhtiö perustettiin vuonna 1910. Yhtiön omistavat yhdessä Vantaan kaupunki 60 % ja Helsingin kaupunki 40 %. Vuonna 2024 yrityksen liikevaihto oli 291 M€, työntekijöitä oli 381 ja kaukolämmön tuotanto 1 695 GWh (kuva 1). Sähkön ja lämmön tuotanto on keskittynyt Martinlaaksossa ja Långmossenbergetissä sijaitseville voimalaitosalueille. Pienempää toimintaa, kuten lämpökeskuksia ja pumppaamoita, sijaitsee eri puolilla Vantaata. [1.]



Kuva 1. Vantaan Energian energiantuotannon energianlähteet vuonna 2024 [2].

Vantaan Energialla on myös osakkuuksia tuuli-, vesi- ja ydinvoimaa sekä sähkön ja lämmön yhteistuotantoa tekevästä yhtiöstä [1] (kuva 1). Vantaan Energia saa niiltä osuuksien mukaisen määrän tuotetusta energiasta jälleenmyyntiin.

Yhtiön tavoitteena on olla Pohjoismaiden johtava kiertotalousyhtiö vuonna 2035. Tavoitteena on käyttää saatavilla olevat raaka-aineet ja energia mahdollisimman tehokkaasti (kuva 2). Tähän tavoitteeseen sisältyy hukkalämpöjen hyötykäyttö sekä materiaalien tehokas kierrättäminen ja uusiokäyttö. [3.]



Kuva 2. Vantaan Energian suunnitelma kierrätysenergiasta [3].

Kierrätyskelvottomalla jätteellä pystytään tuottamaan lämpöä ja sähköä asiakkaiden tarpeisiin ympäristöystävällisesti ja kustannustehokkaasti. [3.]

Vantaan Energia investoi seuraavan 10 vuoden aikana noin 1,4 miljardia euroa [3]. Investointien tarkoituksena on tukea Vantaan Energian siirtymää kohti

kestävämpää energian tuotantoa. Suurimpana hankkeena on Varanto (kuva 3), joka on valmistuessaan maailman suurin lämmön kausivarasto [3].



Kuva 3. Varannon havainnekuva [4].

Varannon (kuva 3) avulla pystytään varastoimaan 1 100 000 m³ vettä maan alle, jossa kuumaan veteen saadaan varastoitua jopa 90 GWh lämpöenergiaa. Varanto mahdollistaa kesäaikana syntyneen energian tehokkaan hyötykäytön, kun talvella energian kulutuksen määrä kasvaa. [4.]

2.2 Martinlaakson voimalaitos

Vantaan Energia omistaa kaksi voimalaitosta sekä operoi yhtä ulkoisessa omistuksessa olevaa laitosta. Toinen sijaitsee Martinlaaksossa ja toinen Långmosenbergetissä, jossa sijaitsee kolme tuotantoyksikköä. Kolmas laitos on Tuusulanjärven Lämpö Oy:n omistama Järvenpään voimalaitos.

Martinlaaksossa sijaitsee vuonna 1975 valmistunut voimalaitos (kuva 4). Laitoksen 50 vuotta pitkän historian aikana se on kokenut monia muutoksia. Esimerkiksi kun öljykäyttöön suunniteltu kattila muutettiin biokattilaksi, jonka polttoaineena toimii pääasiassa puuhake. Laitoksen alueella sijainnut hiilikattilalaitos

lopetti toimintansa lopullisesti vuonna 2025. Samana vuonna toimintansa lopetti myös voimalan alueella sijainnut turbiinilaitos, jonka polttoaineena toimi maakaasu. Tämän seurauksena Martinlaaksossa on luovuttu kokonaan fossiilisista polttoaineista normaalikäytössä. [5.]



Kuva 4. Martinlaakson voimalaitos [5].

Nykyään laitoksella sijaitsee biokattilalaitos, joka tuottaa lämpötehoa 100 MW ja sähkötehoa 35 MW [5]. Voimalaitoksen alueella sijaitsee myös kaukolämpöakku, joka on kapasiteetiltaan 750 MWh. Purku- ja latausteholtaan akku on 60 MW, sen sisälle mahtuu 19 000 m³ vettä. Laitoksen alueelle valmistui uusi 60 MW:n sähkökattila sekä 700 MWh:n kaukolämpöakku. [5.]

2.3 Jätevoimala

Voimalan alueella sijaitsee kolme tuotantoyksikköä. Ensimmäinen on vuonna 2014 valmistunut Jätevoimala (kuva 5), jossa poltetaan vuodessa noin 420 000 tonnia sekajätettä ja teollisuuden jätettä. Laitoksella pystytään tuottamaan 128 MW lämpötehoa ja 84,5 MW sähköä. Jätevoimalassa tuotetaan yli puolet

Vantaalla käytettävästä kaukolämmöstä ja noin 30 % Vantaalla käytettävästä sähköstä. [6.]

Vuonna 2022 alueelle valmistui laajennus, joka tunnetaan nimellä JV2. Sen polttoaineena toimii kaupan ja teollisuuden sekajäte sekä teollisuuden rejekti ja kotitalouksien sekajäte. Laitoksella pystytään käsittelemään vuodessa noin 180 000 tonnia jätettä, jota polttamalla pystytään tuottamaan 80 MW:n lämpöteho. [6.]



Kuva 5. Jätevoimala [6].

Alueelle valmistuu vuonna 2025 korkealämpölaitos, joka mahdollistaa vaarallisen jätteen käsittelyn alueella. Laitoksella pystytään tuottamaan 32 MW lämpötehoa ja käsittelemään vuodessa noin 45 000 tonnia vaarallista jätettä. [8.]

2.4 Järvenpään voimalaitos

Järvenpäässä sijaitsee vuonna 2013 valmistunut Tuusulanjärven Lämpö Oy:n omistama voimalaitos (kuva 6), jonka operatiivisesta toiminnasta Vantaan Energia vastaa.



Kuva 6. Järvenpään voimalaitos [9].

Laitoksen polttoaineena toimii pääsääntöisesti puuperäinen bioenergia sekä kiinteä kierrätyspolttoaine eli solid recovered fuel (SRF). Laitoksella tuotetaan vuosittain noin 350 GWh lämpöä ja 110 GWh sähköä. [10.]

Järvenpään voimalaitoksen alueelle aloitetaan vuonna 2026 rakentamaan uutta 40 MW:n sähkökattilaa sekä 750 MWh:n kaukolämpöakkuja. Sähkökattilalla pystytään kattamaan noin 25 % Tuusulan ja Järvenpään alueiden kaukolämmön kulutuksesta. [11.]

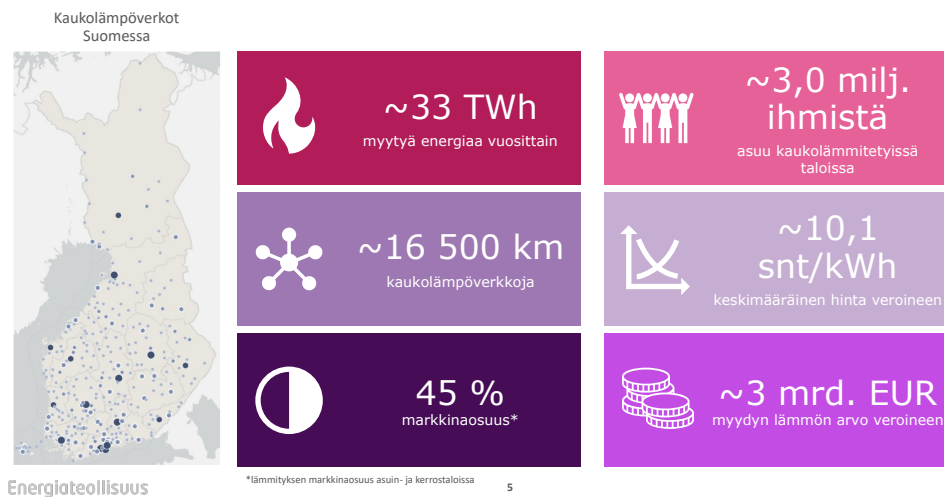
3 Kaukolämpö

3.1 Kaukolämmön tuotanto

Kaukolämpö on merkittävässä osassa suomalaista energiajärjestelmää. Asuin- ja palvelurakennuksista jopa 45 % lämpenee kaukolämmön avulla (kuva 7) [12]. Varsinkin tiheästi asutetuilla alueilla kaukolämmöllä on merkittävä rooli.

Aikaisemmassa tutkimuksessa todetaan, että kaukolämmöntuotannosta muodostuvat kustannukset voidaan jakaa kiinteisiin ja muuttuviin. Kiinteisiin kustannuksiin sisältyvät palkat sekä käyttö- ja kunnossapitokustannukset. Muuttuviin kustannuksiin lasketaan polttoainekustannukset, polttoaine- ja tuotantoverot [13]. KL-lisäveden valmistus lukeutuu käyttökustannuksiin. Syntyvien kustannusten hallinta on keskeistä, sillä ne vaikuttavat suoraan kaukolämmön hinnoitteluun ja kilpailukykyyn.

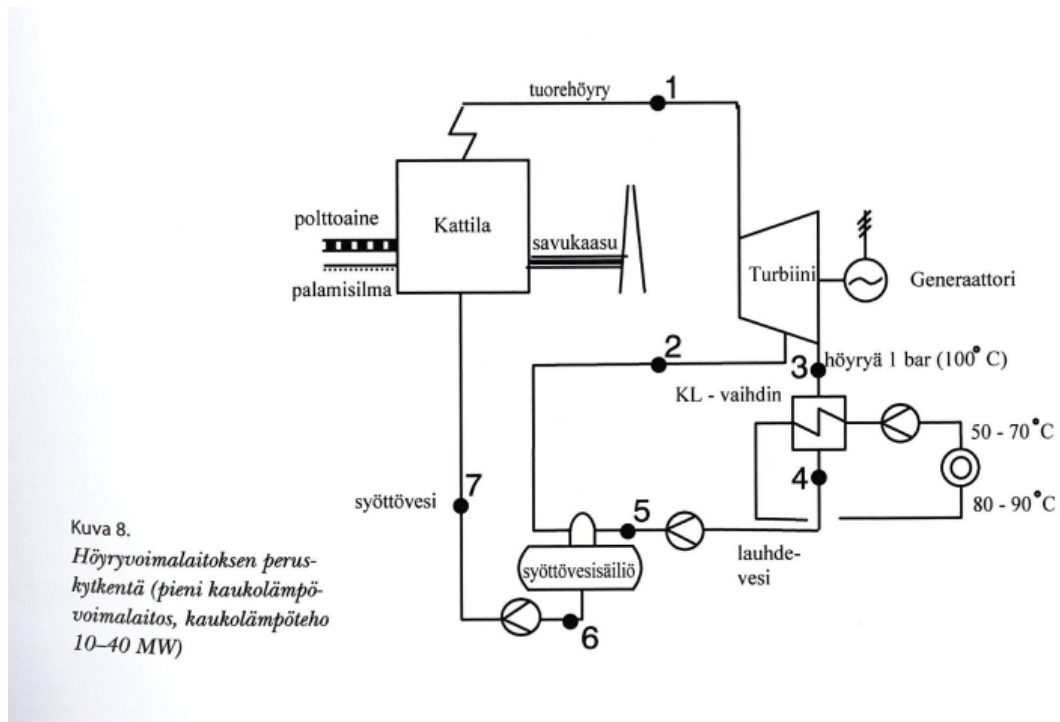
Tilastotietoja 2023



Kuva 7. Kaukolämpötilastoja [12].

Kaukolämpöä pystytään tuottamaan monilla eri tavoilla. Vantaan Energia tuottaa suurimman osan kaukolämmöstä yhteistuotanto eli CHP-laitoksilla. Laitosten toiminta perustuu sähköntuotannosta ylijääneen energian hyötykäyttöön,

kun turbiinilta ulostulevasta höyrystä siirretään lämmönvaihtimien avulla energiaa, joka käytetään lämmittämään kaukolämpövedä (kuva 8).



Kuva 8. CHP-laitoksen peruskytkentä [14, s. 21].

Muita kaukolämmön tuotantotapoja ovat esimerkiksi lämpökeskukset ja sähkökattila. Lämpökeskuksissa KL-vesi lämmitetään polttokattilassa, jonka polttoaineena käytetään yleensä maakaasua tai kevyttä polttoöljyä (taulukko 1).

Taulukko 1. Vantaan Energian lämpökeskusten teho- ja polttoainelistaus [15].

Lämpökeskus	Polttoaine	Kuumavesikattilat
Lentokenttä	Kevyt polttoöljy	2*49,5 MW
Koivukylä	Kevyt polttoöljy Raskas polttoöljy Maakaasu	2*40 MW

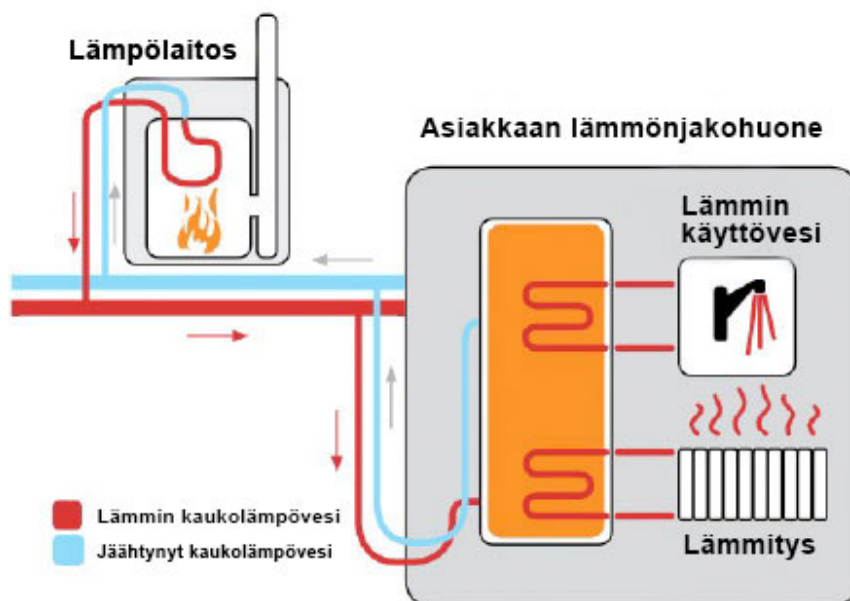
Varisto	Kevyt polttoöljy Maakaasu	2*50 MW
Maarinkunnas	Kevyt polttoöljy Maakaasu	5*43 MW
Hakunila	Maakaasu	2*44 MW

Lämpökeskukset varmistavat lämmöntuotannon riittävyyden ympärivuotisesti. Niiden pääasiallinen tehtävä on toimia vara- ja huippukuormalaitoksina. Kylminä kuukausina, kun lämmönkulutus kasvaa merkittävästi, lämpökeskuksia käytetään lisäkapasiteetin tuottamiseen. Lisäksi ne palvelevat varalaitoksina tilanteissa, joissa varsinaiset voimalaitokset eivät ole käytettävissä esimerkiksi huoltojen aikana. [15.]

Sähkökattilalla voidaan tuottaa kaukolämpöä sähkön avulla. Se mahdollistaa kaukolämmön edullisen tuotannon, kun sähkönhinta on matala. Kaukolämpövesi voidaan varastoida kaukolämpöakussa, mikä mahdollistaa aikaisempaa suuremman joustavuuden kaukolämmön tuotannossa. [16.]

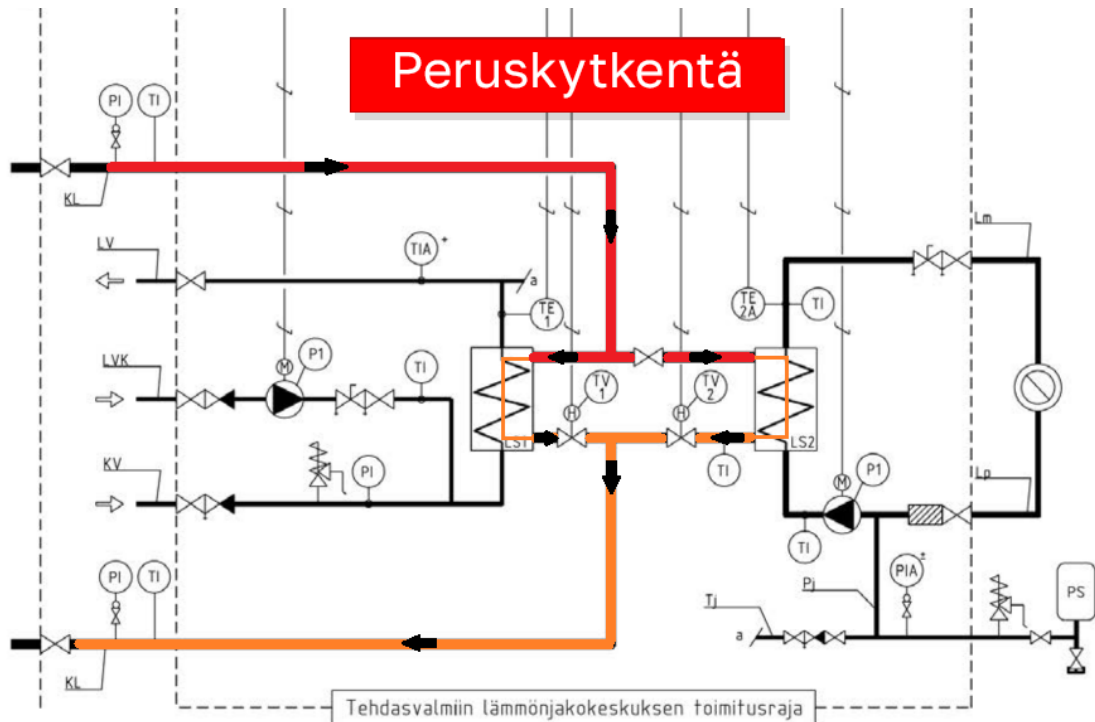
3.2 Kaukolämpöverkko

Kaukolämpö on luotettava tapa lämmittää talouksia. Vuonna 2023 lämmityksen toimitusvarmuus Vantaalla oli 99,99 % [17]. Kaukolämpöverkko toimii suljetulla kierrolla. Verkossa virtaava vesi toimii ainoastaan energiansiirron väliaineena (kuva 9).



Kuva 9. Kaukolämpöverkon toimintaperiaate [18].

Tuotantolaitoksilla tuotetaan lämpöä, joka siirretään lämmönsiirtimien avulla verkossa virtaavaan kaukolämpövedeen. Kaukolämpöverkko sisältää meno- ja paluuputken. Menoputkessa virtaa lämmin vesi asiakkaille. Verkossa vesi kulkee pumppaamoiden läpi, ja niiden tehtävänä on korvata putkistoissa syntyvä painehäviö. Vesi saapuu asiakaslaitteille, joissa lämmönsiirtimien avulla kaukolämpöverkosta siirretään lämpö kotitalouksien lämpimään käyttövesiverkkoon ja lämmitysverkostoon (kuva 10).



Kuva 10. Kaukolämpölaitteiston peruskytkentä [19].

Kytkenän ansiosta kaukolämpövesi ja talousvesi eivät sekoitu. Paluuputkessa viileä kaukolämpövesi virtaa takaisin laitoksille, joissa se voidaan lämmittää uudelleen.

Vantaan Energian kaukolämmöllä lämmitetään noin 90 % vantaalaisista kohteista [19]. Vantaalla on yhteensä 580 km kaukolämpöverkkoa [2]. Järvenpäässä kaukolämpöverkon pituus on noin 200 km [21]. Kaukolämpöverkkojen tilavuudet ovat salaisia, mutta arvion verkon tilavuudesta saa laskemalla lieriön tilavuuden yhtälön 1 avulla.

$$V = \pi r^2 h \quad (1)$$

V on lieriön tilavuus

r on lieriön pohjan säde

h on lieriön korkeus

Verkon putken halkaisija vaihtelee verkon eri kohdissa. Kaukolämpöputket ovat yleensä kooltaan DN 20-DN 400 [22]. Verkon tilavuuksien arvioinnissa on käytetty Vantaan osalta DN 400 -putki ja Järvenpäässä DN 200 -putki (taulukko 2). Arvioinnissa käytettiin toisistaan eroavaa DN-lukua koska Vantaan verkko on pidempi, minkä seurauksena runkolinjaa on arviolta enemmän.

Taulukko 2. Arvio Vantaan ja Järvenpään KL-verkkojen tilavuudesta.

Vantaa	Arvio putken tilavuudesta	
DN	400	<i>mm</i>
h	580	<i>km</i>
h (meno+paluu)	1 160 000	<i>m</i>
r	0,2	<i>m</i>
A	0,1256	<i>m²</i>
V	45 772	<i>m³</i>
Järvenpää	Arvio putken tilavuudesta	
DN	200	<i>mm</i>
h	200	<i>km</i>
h (meno+paluu)	400 000	<i>m</i>
r	0,1	<i>m</i>
A	0,0314	<i>m²</i>
V	3 946	<i>m³</i>

Vantaan kaukolämpöverkko on yhdistettynä lämmönsiirtoasemien välityksellä Helsingin, Espoon sekä Järvenpään verkkoihin. Tämä mahdollistaa kaukolämmön lisäveden myymisen toisille kaukolämpötoimittajille.

4 Kaukolämpövesi

Kaukolämpöverkossa kiertävä vesi on käsiteltävä ennen verkkoon lisäämistä. Käsittelyn avulla voidaan suojata verkkoa ja kaukolämpöön liittyviä oheislaitteita korroosiolta sekä saostuman syntymiseltä. Vantaan Energia tuottaa KL-lisävettä Martinlaakson-, jäte- ja Järvenpään voimalaitoksilla [23]. Vedestä pitää poistaa pehmentimien avulla ylimääräinen kovuus ja kaasunpoistimilla veteen liuennut happi, jotta laitoksille tuleva talousvesi soveltuu käytettäväksi kaukolämpötenä. Ennen verkkoon pumppaamista lisätään kemikaaleja, joiden avulla kontrolloidaan veteen liuennutta happea ja helpotetaan mahdollisten vuotojen havaitsemista [24]. KL-lisävettä voidaan valmistaa myös laitosten energian tuotannosta syntyvistä savukaasulauhteista [23], mikä alentaa KL-lisäveden valmistamiseen tarvittavan talousveden määrää. Laitoksilla prosessissa käytettävästä talousvedestä käytetään nimitystä raakavesi. Aiemmat tutkimukset osoittavat, että raakavedestä ja vesien käsittelystä muodostuu energiayrityksille merkittäviä kustannuksia [25]. Tässä insinööriyössä tarkastellaan, kuinka KL-lisävettä käsitellään, sekä siitä muodostuvia kustannuksia.

KL-lisävettä tarvitaan, koska verkossa esiintyy pieniä vuotoja, joiden seurauksena verkkoon pitää syöttää uutta kaukolämpövedettä. Lisäveden tarve kasvaa tilanteissa, joissa verkkoa joudutaan tyhjentämään huoltotöitä varten tai verkon laajentumisen seurauksena rakennettuja uusia putkiosuuksia täytetään käyttövalmiiksi. Kaukolämpöverkon lisäveden tarve vuodessa on noin 1,5–2 kertaa verkon tilavuus [26]. Vantaalla lisäveden tarve on vuosittain noin 91 543 m³ ja Järvenpäässä vuosi tarve on noin 7 892 m³.

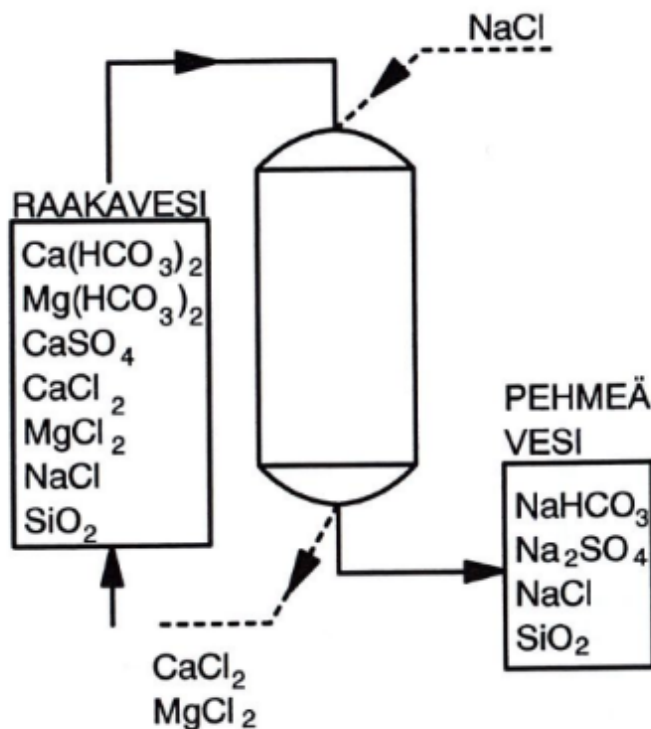
Aiemmat tutkimukset kaukolämmön tuotantokustannuksista sekä voimalaitosten vesienkäsittelystä toteavat, että tehokkaalla vesien käsittelyllä ja lauhdevesien käsittelyllä on merkittävä vaikutus voimalaitosten taloudelliseen kannattavuuteen [13; 25].

4.1 Pehmentimet

Pehmentimien tehtävä on poistaa vesijohtovedestä kalsium- ja magnesiumsuolat (kuva 11). Pehmennin korvaa vedestä poistetut kalsium- ja magnesiumionit lisäämällä veteen natriumioneja, jotta kemiallinen varaus pysyy samana [23]. Säilyttääkseen ioninvaihtokykynsä pehmentimet tulee elvyttää. Elvytyksessä pehennintä huuhdotaan vahvalla suolaliuoksella (NaCl), joka irrottaa kertyneet kalsium- ja magnesiumionit. Irronneet ionit korvataan uusilla natriumioneilla. Vantaan Energian Martinlaaksossa ja jätevoimalalla käytettyjen pehmentimien elvytysväli on noin 1 800 m³ pehennettyä vettä [23]. Pehmentimet toimivat vuorotellen pareissa: kun toisen pehmentimen läpi virtaa pehennettävä vesi, toinen pehennin on elvytettävänä [23].

Pehennyssuodattimen toimintaperiaate.

Katkoviiva esittää elvytystä.

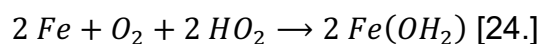


Kuva 11. Pehennyssuodattimen toimintaperiaate [14, s. 29].

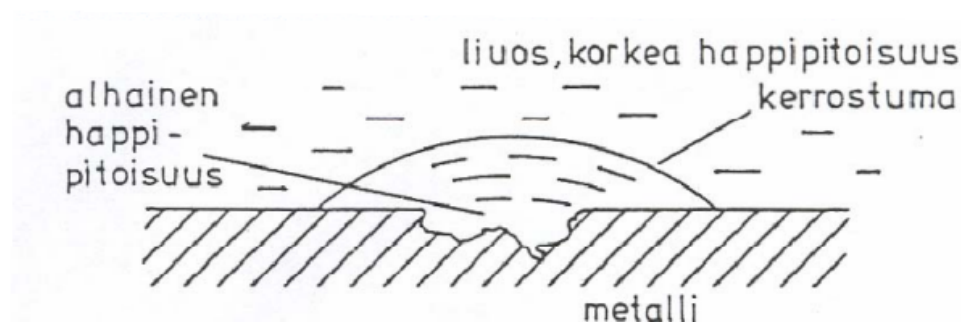
Pehmentimien avulla pyritään estämään haitallinen kalkkeuma ja kattilakivien muodostuminen. Näin voidaan suojella kaukolämmityksessä käytettäviä oheislaitteita, kuten lämmönvaihtimia, joiden lämmönsiirtoteho heikkenee kalkkeuman seurauksena.

4.2 Kaasunpoisto

Kaasunpoiston tarkoituksena on poistaa veteen liuenneet kaasut, ennen uuden kaukolämpöveden syöttämistä verkkoon. Tärkein poistettava kaasu on happi (O_2). Ylimääräisen hapen poistaminen kaukolämpövedestä on tärkeää, sillä liiallinen happi vedessä aiheuttaa korroosiota teräksestä valmistetuissa putkissa. [24.]



Rauta ja happea sisältävä vesi reagoivat muodostaen rautahydroksidia. Happi voi aiheuttaa tasaista korroosiota, joka kuluttaa putkistoa tasaisesti. Usein happi aiheuttaa kuitenkin kuoppakorroosiota tai piilokorroosiota, joka kuluttaa metallin nopeasti (kuva 12). [24.]

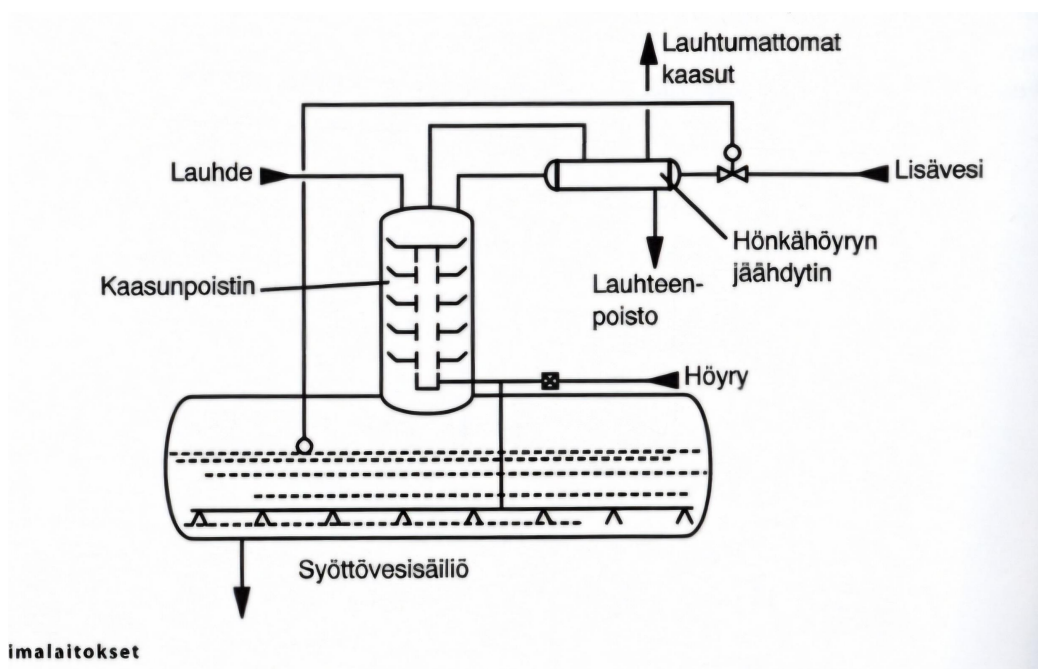


Kuva 12. Havainnekuva hapen aiheuttamasta korroosiosta metallipinnalla [24].

Happikorroosion määrä ja korroosion nopeus kasvavat veden lämpötilan kasvaessa [24]. Kaukolämpöveden lämpötila Suomessa on yleensä noin 65–100 °C

[27]. Kaukolämpöverkko luo hyvät olosuhteet happikorroosiolle. Liiallisesta kulumasta johtuva putkien ennenaikainen hajoaminen ja siitä seuraavat ylimääräiset kustannukset pystytään välttämään veteen liuenneen hapen poistamisella.

Hapen liukoisuus laskee, kun veden lämpötila lähestyy kiehumispistettä [24]. Kaasunpoiston jälkeen veteen liuenneen hapen määrä on noin $< 0,02$ mg/l [24]. Termisessä kaasunpoistimessa pehmennetty vesi muutetaan suuttimilla mahdollisimman pieniksi pisaroiksi, joita lämmitetään energian tuotannosta syntyvällä prosessihöyryllä. Pisaroista irtoavat kaasut ohjataan höyryn mukana ulos kaasunpoistimesta [14, s. 33].



Kuva 13. Terminen kaasunpoistin liitettynä syöttövesisäiliöön [14, s. 32].

Terminen kaasunpoistin (kuva 13) on liitetty suoraan syöttövesisäiliöön, jonne käsitelty vesi kerätään odottamaan käyttöä [14, s. 33].

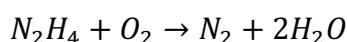
4.3 Kemikaalit

Kaukolämpövedessä kemikaaleja voidaan käyttää useisiin eri tarkoituksiin. Kemikaaleilla voidaan säädellä kaukolämpöveden ominaisuuksia halutunlaisiksi.

Esimerkiksi pH-arvoa voidaan alentaa tai nostaa ja sähkönjohtavuutta voidaan parantaa [24]. Vantaan Energia käyttää Vantaan kaukolämpöveden kemikaalisointiin hydratsiinia ja pyraniinia. Kemikaalit annostellaan pienissä määrin laitoksilta käsin ja niillä pystytään kattamaan koko verkon tarve [23].

4.3.1 Hydratsiini

Hydratsiiniä käytetään sitomaan kaukolämpövedessä olevaa ylimääräistä liuenutta happea. Hydratsiini reagoi vedessä liunneena olevan hapen kanssa muodostaen typpeä ja vettä [24].

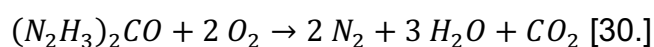


Hydratsiinia käytetään laimennettuna vesiliuksena. Vantaan Energia käyttää laitoksillaan 15-prosenttista hydratsiiniliuosta. Liuosta lisätään verkosta otettujen vesinäytteiden perusteella noin kolmen kuukauden välein. Hydratsiiniliuokseen sekoitetaan 0,5–1,0 m³ vettä ja seos pumpataan verkkoon. [23.]

Hydratsiini on yli 10-prosenttisena liuksena ihoa syövyttävää sekä syöpävaarallista [28]. Siksi sen käsittelyn laitoksilla tulee olla huolellista. Kun hydratsiini on pumpattu verkkoon, sen pitoisuudet ovat niin pienet, ettei se aiheuta enää vaaraa [28].

4.3.2 Karbohydratsidi

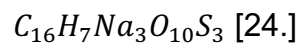
Karbohydratsidia voidaan käyttää korvaamaan hydratsiini kaukolämpöverkon happensidontakemikaalina. Karbohydratsidin etuna on sen käyttöturvallisuus verrattuna hydratsiinin. Karbohydratsidi tuottaa hiilidioksidia reagoidessaan veteen liunneen hapen kanssa [29]. Karbohydratsidi on käytössä Järvenpään KL-verkossa [26].



Hiilidioksidilla on pH:ta alentava vaikutus vedessä, mikä saattaa lisätä kaukolämpölaitteiden kulumista. Kaukolämpöverkossa hiilidioksidin pitoisuudet ovat todellisuudessa niin pienet, ettei hiilidioksidista ole haittaa verkon toiminnalle. [29.]

4.3.3 Pyraniini

Pyraniini on yleisesti käytetty väriaine kaukolämpövedessä [24]. Väriaineen tehtävänä on helpottaa mahdollisten kaukolämpövuotojen havaitsemisessa.



Pyraniini soveltuu ominaisuuksiltaan hyvin väriaineeksi. Kaukolämpövedeen sekoitettuna pyraniini on myrkytön, eikä se myöskään aiheuta kemiallista korroosiota kaukolämpölaitteistolle. [24.] Pyraniini on väriltään kirkkaan vihreää (kuva 14).



Kuva 14. Pyraniini vihreäksi värjäämää vettä [31].

Ultraviolettivalon alla pyraniini on fluoresoiva [23]. Pyraniini helpottaa suuresti mahdollisten kaukolämpövuotojen etsinnässä ja vuotokohdan löytämisessä. Pyraniini lisätään Vantaan kaukolämpöverkkoon samassa yhteydessä hydratsiinin kanssa [23].

5 Kaukolämmön lisäveden valmistuksen kustannusajurit

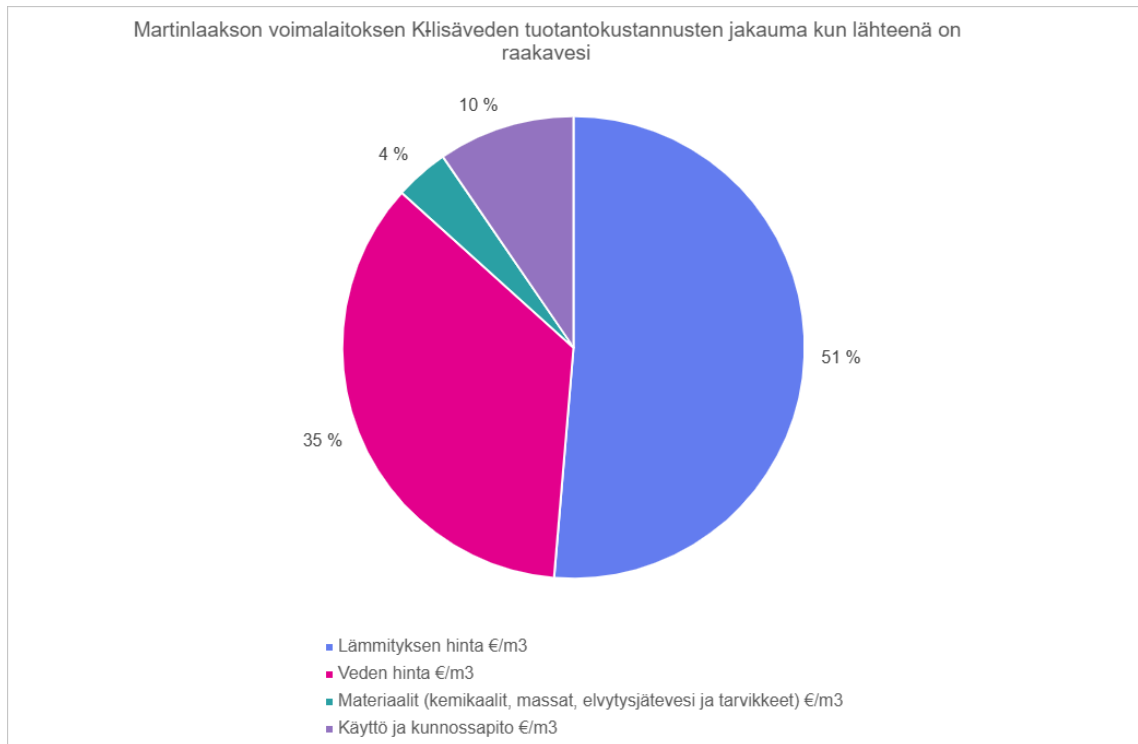
5.1 Aineisto ja laskentamenetelmät

Opinnäytetyö toteutettiin syksyllä 2025. Laitoskohtaiset KL-lisäveden tuotantotiedot perustuvat vuoden 2024 aikana kerättyihin kuukausikohtaisiin tietoihin. Tuotantomäärien salaamiseksi putkiston tilavuus arvioitiin taulukon 1 mukaisesti ja arvo kerrottiin varmuuskertoimella kaksi. Tämä perustuu arvioon, jonka mukaan KL-verkon lisäveden tarve on 1,5–2 kertaa verkon tilavuus vuosittain. Saatu KL-lisäveden tarve suhteutettiin vuonna 2024 kerättyihin kuukausikohtaisiin tuotantotietoihin Martinlaakson-, jäte- ja Järvenpään voimalaitoksilta.

Hintojen tarkkailujaksona käytettiin kuukautta, mikä tarjoaa tarpeeksi tarkan arvion tuotantokustannusten vaihtelusta vuoden aikana. KL-lisäveden valmistukseen vaikuttaa useita tekijöitä. Tässä työssä kustannukset on yksinkertaistettu neljäksi kustannusajuriksi, joiden avulla voidaan arvioida CHP-laitoksilla tuotetun lisäveden kustannuksia.

Energiantuotanto on huoltovarmuuskriittinen ala. Työn tuloksia on muutettu, jotta laitosten tarkat tuotanto- ja taloustiedot säilyvät salattuina. Voimalaitosten tarkkoja tietoja, kuten polttoaineiden hinnat, raakaveden hankinta ja viemäröintikustannukset sekä käyttö- ja kunnossapitokustannukset, on korvattu julkisista lähteistä saatavilla tiedoilla. Vuotuisiin kemikaalikustannuksiin arvioitiin hintahaarukka, jonka keskiarvoa käytettiin kustannusten laskennassa. Muutosten seurauksena tarkat tuotantokustannukset pysyvät salassa. Insinööriyön tarkoituksena oli selvittää ja vertailla keskenään Vantaan Energian operoimien Martinlaakson-, jäte- ja Järvenpään voimalaitoksien kustannuksia. Tarkkailtavien laitosten kustannuksia anonymisoitiin myöhemmin mainituilla lähteillä ja menetelmillä, mikä mahdollistaa laitosten tuotantokustannusten vertailun keskenään. Anonymisoinnin seurauksena tämän työn tuloksia ei voida käyttää vertaamaan jätevoimalan, Martinlaakson - ja Järvenpään voimalaitoksia muiden yritysten voimalaitoksiin. Työ tarjoaa silti yleisen suuntaa antavan kuvauksen lisäveden tuotannosta ja kustannuksista CHP-laitoksilta.

Kaukolämmön lisäveden tuotantokustannuksiin vaikuttaa useita tekijöitä. Suurimmat kustannuksiin vaikuttavat tekijät ovat veden lämmitys, raakaveden hankinta, kemikaalit sekä käyttö- ja kunnossapito, joiden summasta muodostuu tuotetun lisäveden hinta (kuva 15). Seuraavissa alaluvuissa tarkastellaan yksityiskohtaisemmin aiemmin mainittua neljää KL-lisäveden kustannusajuria, joihin kustannuslaskenta ja -arvio perustuvat.



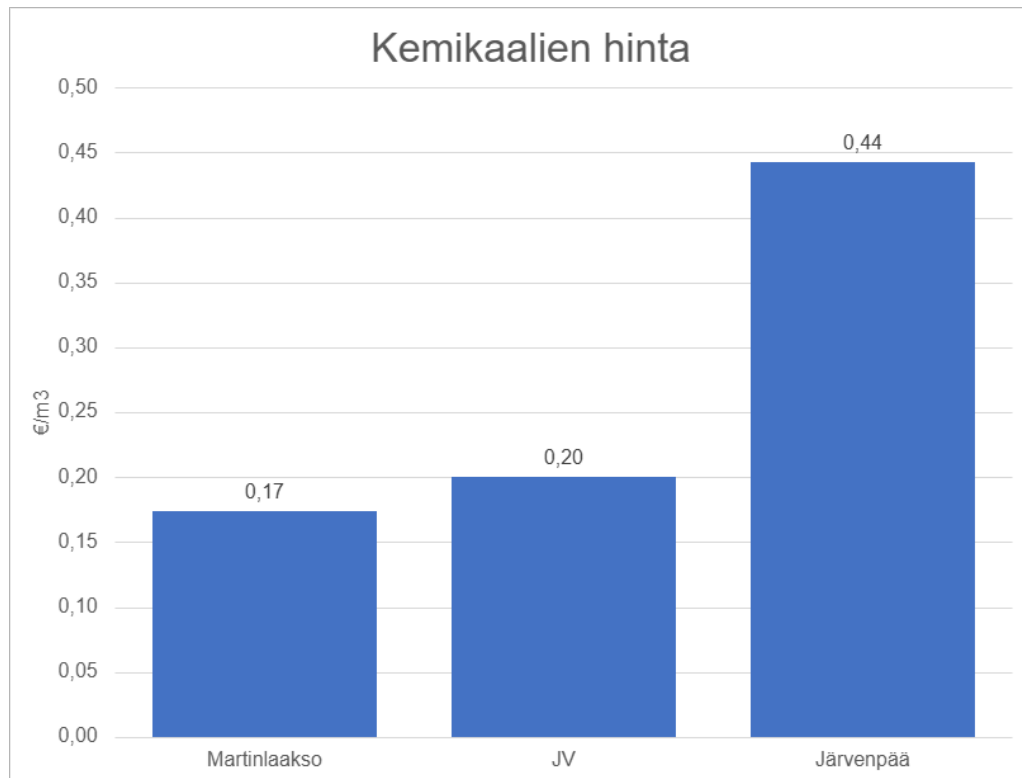
Kuva 15. Tammikuussa Martinlaakson raakavedestä valmistetun lisäveden hintajakauma arvio (liite 1, taulukko 1).

Insinööriyön tuloksena muodostui laskentatyökalu, jonka avulla on mahdollista arvioida eri laitosten kuukausikohtainen KL-lisäveden tuotantohinta (€/m³). Työkaluun syötetään vuoden alussa polttoaineiden hinnat, laitoskohtainen KL-lisäveden tuotantomäärä ja arvio kemikaalien kokonaiskustannuksista. Työkalu laskee veden lämmittämiseen kuluvaan energian ja kertoo sen polttoaineen hinnalla, sekä käyttö- ja kunnossapitokustannuksilla. Kustannukset jaetaan kuukausi kohtaisella tuotantoarviolla (m³). Kustannuksiin lisätään kemikaalien hinta, mikä saadaan jakamalla kemikaalien kustannusarvio koko vuoden tuotannolla, minkä seurauksena saadaan yksikkö hinta (€/m³). Raakaveden hinta toimittajan

hinnoittelussa on valmiiksi yksikössä (€/m³), joten se voidaan summata aikaisemmin laskettuihin hintoihin.

5.2 Kemikaali- ja materiaalikustannukset

Kemikaalikustannusten arvio perustuu viime vuosien hintatietoihin ja niiden pohjalta laadittuun hintahaarukkaan. Kemikaalien vuosikustannukset on jaettu arvioidulla vuosituotannolla, jolloin saadaan yksikköhinta (€/m³). Tarkemmat laskelmat on esitetty liitteessä 2. Koko verkon kattavien kemikaalien hintaan ei vaikuta merkittävästi, miltä laitokselta kemikaalit lisätään verkkoon. Kemikaalikustannukset koostuvat hapenpoistokemikaalista, merkkiaineesta ja pehmenninsuolasta. Kemikaaleja lisätään verkkoon mittaustulosten perusteella. Suurin kustannuksiin vaikuttava tekijä on kemikaalien hankintahinta. Suurimmat erot tarkkailtavien laitosten välillä muodostuvat Järvenpään suhteessa pienemmistä hankintamääristä, mikä nostaa yksikköhintaa tuotettua KL-lisävesikuutiota kohden (kuva 16).



Kuva 16. Laitoskohtaiset kemikaalikustannukset KL-lisäveden tuotannossa (liite 2).

Jätevoimalan ja Martinlaakson välillä hintaero muodostuu pehmentimien elvytykseen kuluva suolan määrästä. Martinlaaksossa elvytys vaatii 400 kg suolaa ja Jätevoimalassa 500 kg [23].

5.3 Lämmitysenergia kustannukset

Suurin yksittäinen tuotantokustannuksiin vaikuttava tekijä on veden lämmittämiseen käytetyn energian hinta. Veden lämmittämiseen tarvittava energia voidaan laskea yhtälön 2 avulla.

$$Q = \frac{\rho c_p V (t_2 - t_1)}{3600} \quad [32.] \quad (2)$$

Q on veden lämmittämiseen kuluva energia (kWh)

ρ on veden tiheys $\left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)$

c_p on veden ominaislämpökapasiteetti $\left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \cdot ^\circ\text{C}\right)$

V on veden tilavuus (m^3)

t_2 on lämpimän veden lämpötila ($^\circ\text{C}$)

t_1 on kylmän veden lämpötila ($^\circ\text{C}$)

Jokainen vesikuutio (1 m^3) vettä mikä lämmitetään 1°C , vaatii energiaa.

$$Q = \frac{1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 4,2 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \cdot ^\circ\text{C} \cdot 1 \text{ m}^3 \cdot (1^\circ\text{C} - 0^\circ\text{C})}{3600} = 1,17 \text{ kWh}$$

Lämmitysenergian hintaan vaikuttavat monet tekijät, kuten lämmityksessä käytetty polttoaine, laitoksen hyötysuhde sekä laitostyyppi. Suurin vaikuttava tekijä on lisäveden lämmittämiseen käytetyn polttoaineen hinta (kuva 17).

Järvenpäässä polttoaineena käytetään metsähaketta ja SRF:n sekoitusta sekä ajoittain maakaasua (taulukko 3) [33]. SRF:n hinta on arvioitu liitteessä 3.

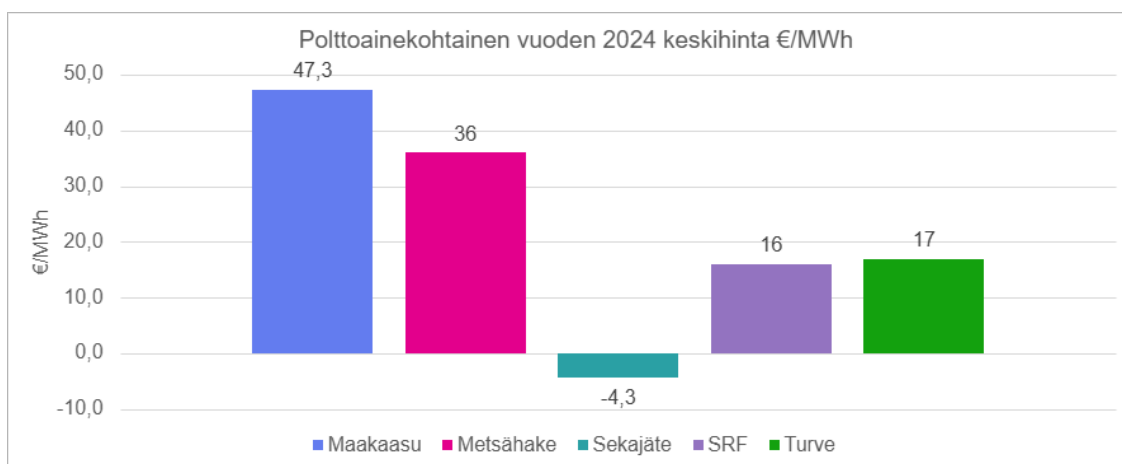
Taulukko 3. Järvenpään polttoainejakauma vuonna 2024 [33].

Järvenpään lämmöntuotannon polttoaine jakauma 2024	osuus %	Hinta €/MWh
Metsähake	61,4	35
SRF	23	16
Maakaasu	9,5	54
Turve	6,2	17

Martinlaaksossa polttoaineena toimii metsähake ja maakaasu. Käytettävä polttoaine riippuu vuodenajasta. Martinlaaksossa polttoaineena on metsähake marraskuun ja helmikuun välisenä aikana. Metsähakkeen käyttöaikataulu vaihtelee vuosittain ajosuunnitelman mukaan.

Jätevoimalaitoksella polttoaineena käytetään yhteiskunnan sekajätettä. Jätevoimalan etuna on, että toisin kuin perinteisissä voimalaitoksissa, joissa

polttoaineen hankinta aiheuttaa merkittäviä kustannuksia, Vantaan Energia saa vastaanottamastaan polttoaineena toimivasta jätteestä porttituloja. Porttitulojen ansioista tuotantokustannuksia saadaan alennettua, mikä heijastuu kuluttajahinnoissa. Sekajätteen ja SRF-hinnat on arvioitu liitteessä 3.



Kuva 17. Polttoaineiden keskihinta 2024 [34] ja (liite 3).

Maakaasu ja metsähake kokevat kuukauden mukaan hintaheilahtelua [34]. SRF, sekajäte ja turve pitivät hintansa arvion mukaan tasaisena vuonna 2024 [34].

5.4 Veden hinta ja viemärintikustannukset

Voimalaitoksille vesi saapuu kunnallisen vesiverkon kautta jatkokäsittelyyn. Voimalaitoksilta poistuva jätevesi johdetaan kunnalliseen viemäriverkkoon. Prosessissa tarvittavasta raakavedestä sekä viemäroinnistä syntyy kustannuksia, jotka vaikuttavat lisäveden tuotantokustannusten määrään merkittävästi. Lämmityksen jälkeen raakaveden hankinta sekä viemäroinnistä syntyvät kustannukset ovat selkeästi suurin lisäveden tuotantokustannuksiin vaikuttava tekijä. Vantaalla talousvesi ja viemärointi ostetaan HSY:ltä ja Järvenpään voimalaitoksella vuorostaan Järvenpään Vedeltä (taulukko 4).

Taulukko 4. Voimalaitosten vesi ja jätevesimaksut [35; 36].

Kaupunki	Vesimaksu €/m ³ (alv 0 %)	Jätevesimaksu €/m ³ (alv 0 %)
Vantaa	1,63	1,91
Järvenpää	1,48	2,36

Vedenkäytön optimointi on tärkeää, Mikäli laitoksen energian tuotantoprosessista syntyvää lauhdetta ei saada hyötykäytettyä, lauhde joudutaan viemäroimään, mistä syntyy yritykselle jätevesimaksuja.

Lauhteen hyötykäytössä kustannuksia ei synny raakaveden hankinnasta. Myös lauhteen lämmitykseen kuluva energia on huomattavasti pienempi verrattuna raakaveteen, mikä heijastuu merkittävästi KL-lisäveden kuutiohintaan. Hintaero lauhteesta ja raakavedestä valmistetun lisäveden välillä saattaa olla jopa viisinkertainen.

Martinlaaksossa raakaveden osuus KL-lisäveden valmistuksessa vaihtelee ajotavan mukaan. Biokattilan käynnissä ollessa raakaveden osuus on noin 40 % [37, s. 27.]. Kaasukattilan ollessa ajossa kaikki KL-lisävesi valmistetaan raakavedestä.

Jätevoimalalla tuotetun lauhteen määrään vaikuttaa polttoaineen kosteus, joka vaihtelee vuodenajan mukaan. Polttoaine on kosteinta talvikuukausina ja kuivempaa kesällä [36]. Puuttuva lauhde joudutaan korvaamaan raakavedellä. KL-lisäveden tuotantohinta nousee nelinkertaiseksi, kun valmistuksessa käytetyn lauhteen osuus putoaa 100 %:sta 19 %:iin (taulukko 5).

Taulukko 5. Raakaveden osuus valmistetusta KL-lisävedestä.

Voimalaitos	Min %	Max %
Jätevoimala	0	81
Martinlaakso	30	100

Järvenpää	34	34
-----------	----	----

Järvenpäässä raakaveden osuus pysyy vuoden aikana arvioiden mukaan suurin piirtein samana ollen 34 % tuotetusta KL-lisävedestä [26].

5.5 Käyttö- ja kunnossapitokustannukset

Pystyäkseen toimimaan tehokkaasti voimalaitokset ovat riippuvaisia käyttö- ja kunnossapidosta. Tässä työssä käyttö- ja kunnossapitokustannukset pitävät sisällään kaikki laitoksien käynnissä pysymiseen vaadittavat kustannukset poislukien polttoainekustannukset, jotka on arvioitu lämmityskustannuksissa. Kustannuksiin lukeutuu esimerkiksi henkilöstö, omakulutus ja kunnossapito [39]. Taulukossa 6 on kirjattuna laitostyyppien käyttö ja kunnossapitokustannukset.

Taulukko 6. Perusvoimalaitosten Käyttö- ja kunnossapitokustannukset. Hintataso 3/2017[39].

Laitos	Käyttö- ja kunnossapitokustannukset (€/MWh)
Ydin	10,41
Kaasu	7,03
Hiili	16,62
Turve	10,49
Puu	6,89
Aurinko	14,85
Tuuli	7,7

Järvenpään voimalaitoksen kustannukset on arvioitu sen pääpolttoaineen eli metsähakkeen perusteella. Martinlaakson kustannukset on arvioitu kuukauden mukaan käytössä olevan polttoaineen perusteella. Taulukosta ei löydy valmiiksi

jätevoimalaitosten kustannuksia. Tässä työssä jätevoimalan kustannukset on arvioitu yhtälön 3 mukaan.

$$\frac{(\text{hankinta hinta} \cdot 3\%)}{\text{vuotuinen lämmöntuotanto}} \quad [14, \text{s. 319}]. \quad (3)$$

Yhtälön avulla pystytään laskemaan arvio jätevoimalaitoksen käyttö- ja kunnossapitokustannuksista. Jätevoimalan hankinta hinta oli 300 miljoonaa euroa [40]. Laitoksen lämmöntuotanto on 920 GWh vuodessa [26].

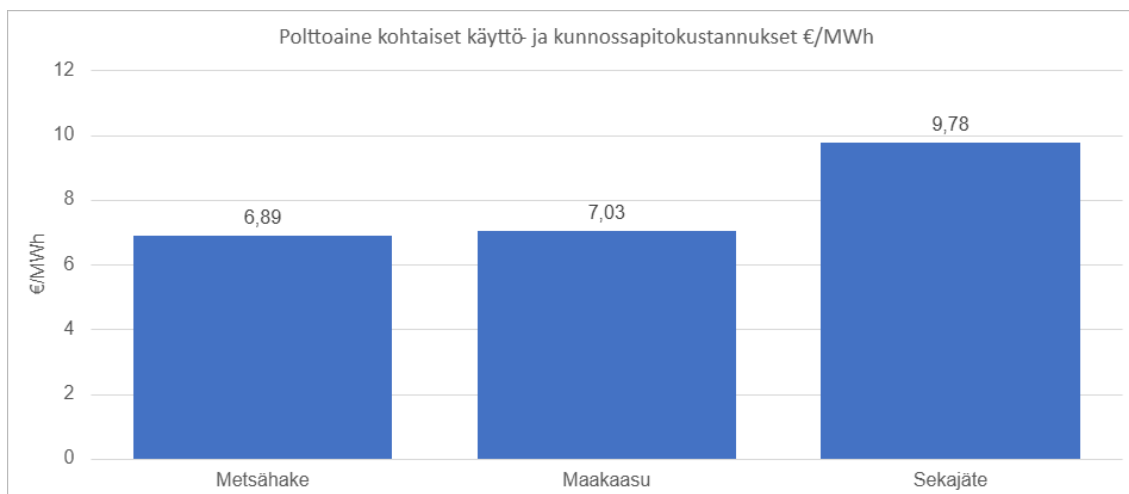
$$\frac{(300 \text{ m€} \cdot 3\%)}{920\,000 \text{ MWh}} = 9,783 \text{ €/MWh}$$

Jotta saadaan hinta-arvio (€/m³), lasketaan kuukauden tuotantoarviosta (m³) lämmitykseen tarvittava energiamäärä ja kerrotaan se käyttö- ja kunnossapitokustannuksilla (€/MWh). Näin saadaan koko kuukauden kustannukset (€). Kun nämä kustannukset jaetaan KL-lisäveden tuotantomäärällä (m³), saadaan käyttö- ja kunnossapidosta muodostuvat yksikkökustannukset (€/m³) (taulukko 7).

Taulukko 7. Jätevoimalan käyttö- ja kunnossapitokustannusarvio tammikuulta.

Selite	SK-lauhde		Raakavesi	
Lämmitykseen tarvittava energia	109,3	MWh	0,4	MWh
Käyttö ja kunnossapito kustannukset	9,78	€/MWh	9,78	€/MWh
Kokonaiskustannus	1069,5	€	4,3	€
Tuotanto arvio	3124	m ³	7	m ³
Yksikkökustannus	0,34	€/m ³	0,57	€/m ³

Jätteen polttamisen käyttö- ja kunnossapitokustannukset ovat noin 40 % suuremmat kuin metsähakkeella (kuva 18). Tämä on seurausta sekajätteen haasteellisuudesta polttoaineena.



Kuva 18. Polttoaine kohtaiset käyttö- ja kunnossapitokustannukset €/MWh.

Polttoaineena sekajäte on epätasalaatuisempaa kuin perinteiset polttoaineet. Tämä näkyy laitoksen laitteiston tavallista nopeampana kulumana, mikä lisää kunnossapitokustannuksia.

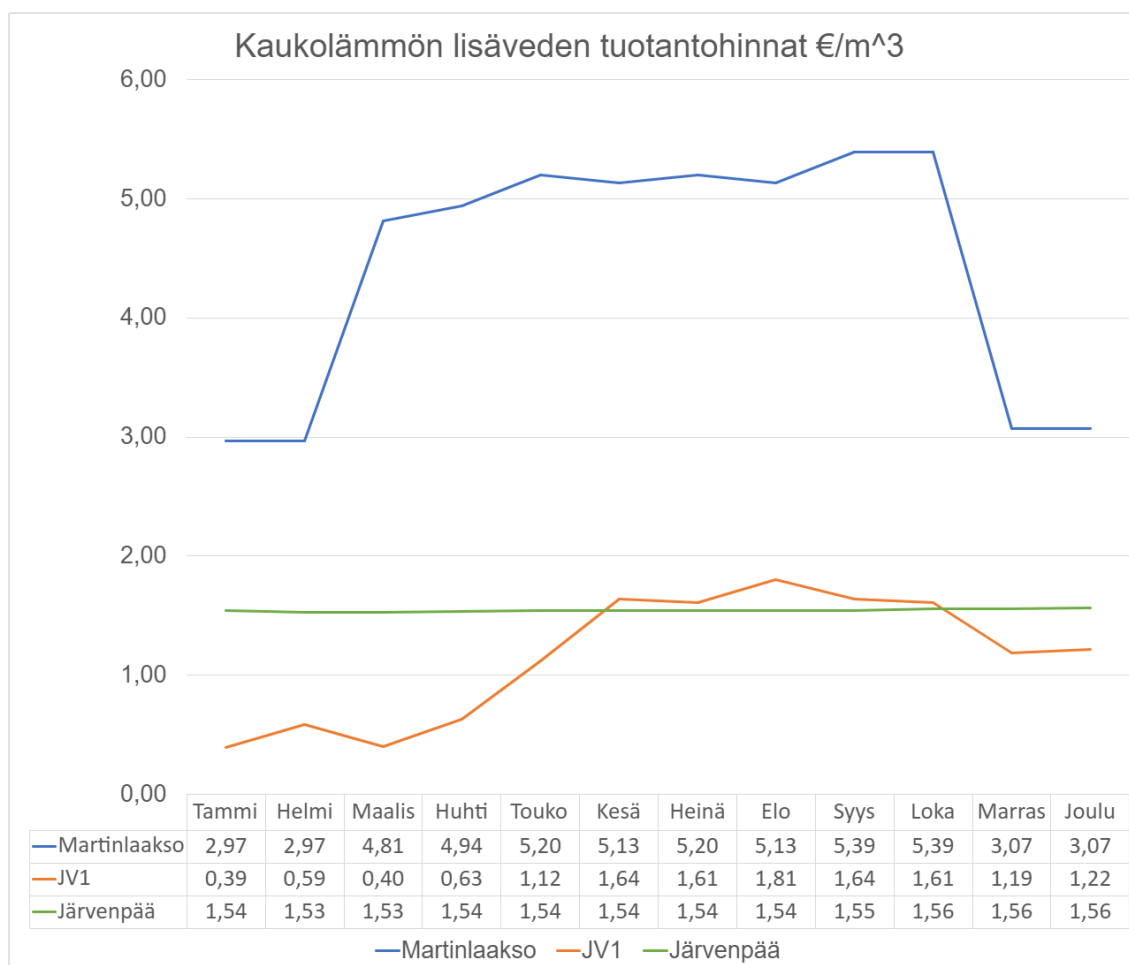
6 Tulokset

6.1 Kustannusajureiden tulokset

Suurimmat KL-lisäveden valmistukseen vaikuttavat tekijät ovat lämmitykseen tarvittavan polttoaineen hinta, sekä KL-lisäveden valmistukseen tarvittavan raakaveden ostaminen. Martinlaaksossa ja Järvenpäässä lämmityksestä muodostuvat kustannukset ovat vesilähteen mukaan jopa 40–80 % KL-lisäveden valmistuskustannuksista. Kemikaali-, käyttö- ja kunnossapitokustannukset vaihtelevat laitoksen ja vesilähteen mukaan noin 0,4–0,8 (€/m³).

6.2 Laitosten väliset tulokset

KL-lisäveden tuotantohinnoissa on merkittäviä eroja laitosten välillä (kuva 21). Vuoden aikana valmistus kustannukset vaihtelevat 0,39–5,39 (€/m³). Laitosten sisälläkin kustannukset saattavat vaihdella jopa yli 300 % vuoden sisällä (kuva 19). Suurimmat hintaan vaikuttavat tekijät ovat lämmitykseen käytetty energia ja KL-lisäveden tuotannossa hyödynnetyn lauhteen osuus.



Kuva 19. Laitosten kuukausikohtainen lisäveden tuotannon hinta-arvio.

Halvin tapa tuottaa lisävettä KL-verkon tarpeisiin on jätevoimala. Halpaan hintaan vaikuttaa eniten sekajätteen vastaanotosta syntyvät tulot, mikä alentaa KL-lisäveden valmistukseen tarvittavan lämmityksen hintaa. Jätevoimalan tuotantohinta nousee kesää kohden, kun KL-veden valmistukseen käytettävän lauhteen

määrä alenee. Puuttuva lauhde joudutaan korvaamaan ostamalla raakavettä, minkä seurauksena KL-lisäveden valmistamisen hinta muuttuu nelinkertaiseksi. Martinlaaksossa korkea polttoaineen hinta ja ostetun raakaveden määrä nostaa tuotantokustannuksia, minkä seurauksena lisäveden tuotanto on 3–7 kertaa kalliimpaa verrattuna jätevoimalaan. Esimerkiksi tammikuussa jätevoimalan tuotantokustannusarvioiksi muodostui 0,39 €/m³ (liite 1, taulukot 2,4). Samana ajankohtana Martinlaakson tuotantohinta on 2,97 €/m³ (liite 1, taulukot 1,4).

Järvenpään laitokselta pystytään tuottamaan edullisesti lisävettä. Kapasiteetiltaan Järvenpään laitos on pienempi, joten sillä ei pystytä kattamaan molempien verkkojen tarvetta (liite 4). Mikäli jätevoimalan tuotantokapasiteetti ei riitä kattamaan Vantaan KL-verkon lisäveden tarvetta, puuttuva lisävesi on edullisempaa tuottaa Järvenpään voimalaitoksella kuin Martinlaaksossa. Tammikuussa Järvenpään tuotantohinta on noin 1,54 €/m³. Verrattuna Martinlaaksoon Järvenpää oli noin 48 % halvempi (liite 1, taulukot 3,4).

Insinööriyön aikana lämmityksestä sekä veden hankinnasta syntyvien kustannusten huomattiin vaikuttavan eniten muodostuneeseen KL-lisäveden tuotantohintaan. Tuotantokustannuksia tarkastellessa selvisi, että jätevoimalalla pystytään tuottamaan KL-lisävesi edullisimmin ympäri vuoden. Syynä jätevoimalan edullisuuteen on polttoaineesta muodostuvat tulot, sekä tehokas lauhteen käyttö.

7 Jatkokehitys ja skenaariot

Tässä luvussa käsitellään työn toteuttamisen aikana havaittuja kehityskohteita, sekä käydään läpi KL-lisäveden valmistuksen hintaan vaikuttavia skenaarioita. Laskentatyökalun lähtöarvoja muuttamalla voidaan arvioida prosessimuutosten vaikutusta KL-lisäveden tuotantohintoihin. Tässä luvussa tarkastellaan skenaarioita, joissa hapenpoistokemikaalia muutetaan kustannustehokkaammaksi tai käyttöturvallisemmaksi. Toinen skenaario on mahdollisuus, jossa Martinlaaksossa terminen kaasunpoisto muutettaisiin sähköiseksi. Laskentatyökalun avulla voidaan arvioida polttoaineen hinnan noususta syntyviä lisäkustannuksia,

josta esimerkkinä toimii metsähake. Viimeisessä skenaariossa arvioidaan Vantaan Energian lumensulatus hankkeen mahdollisia hyötyjä KL-lisäveden valmistuskustannusten alentamiseen jätevoimalalla.

Luvun tarkoituksena on tuoda esiin työn aikana havaitut kehityskohteet ja esimerkit siitä, miten laskentatyökalua voidaan hyödyntää arvioimaan prosessimuutosten vaikutuksia tuotantokustannuksiin. Jatkokehityskohteet edellyttävät syvällisempää tarkastelua kuin tämä työ tarjoaa, mutta niiden esiin nostaminen luo pohjan mahdollisille tuleville selvityksille.

7.1 Hapenpoistokemikaalin vaihdos

Järvenpään laitoksen kustannuksia merkittävästi nostava tekijä on suhteessa suuremmat kemikaalikustannukset verrattuna Vantaan verkkoon. Suurimpana erona verkossa käytetyissä kemikaaleissa on eri hapenpoistokemikaali. Vantaalla käytössä on hydratsiini ja Järvenpäässä karbohydratsidi. Karbohydratsidi, jota käytetään Järvenpään verkon hapenpoistokemikaalina, on käyttöturvallisempi kuin syöpävaarallinen hydratsiini. Mikäli Vantaan verkossa siirryttäisiin käyttämään karbohydratsidia ja luovuttaisiin hydratsiinista, muutos vaatisi verkon testausohjelman, millä varmistettaisiin, ettei kemikaali vaihdos vaikuta negatiivisesti verkon toimintaan [26]. Kemikaali vaihdoksen seurauksena KL-lisäveden tuotannon turvallisuus paranisi Vantaalla. Mahdollisiin muutoksiin KL-lisäveden €/m³ hintaan ei tässä työssä oteta kantaa, sillä muutoksen suurin tarkoitus olisi parantaa työturvallisuutta.

Toisena vaihtoehtona on muuttaa Järvenpään laitos käyttämään hydratsiinia, mutta se edellyttäisi muutoksia tuotantoprosessiin. Mikäli Järvenpään kemikaalien kuutiohinta olisi vaihdoksen jälkeen sama kuin jätevoimalassa, Järvenpään KL-lisäveden alenisivat 0,20 €/m³. Muutos tarkoittaisi noin 50 %:n alennusta nykyisiin kemikaalikustannuksiin Järvenpäässä.

Mikäli verkoissa olisi käytössä sama hapenpoistokemikaali ja hankinta toteutettaisiin keskitetysti, suurempi hankintamäärä voisi johtaa KL-lisäveden valmistuksen yksikköhintojen alenemiseen.

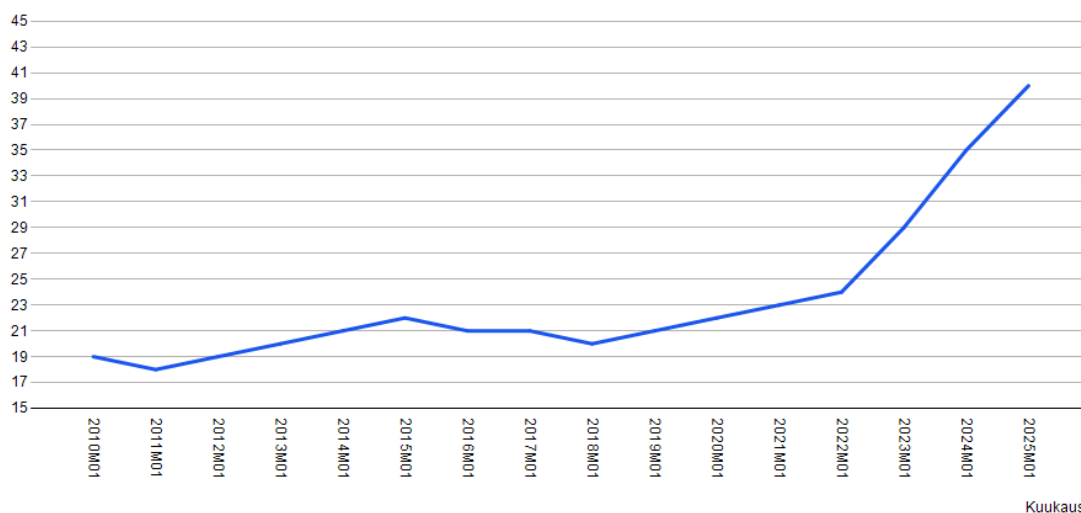
7.2 Martinlaakson sähköinen kaasunpoisto

Martinlaakson laitoksen hiilikattila poistui käytöstä 1.5.2025 [5]. Voimalaitoksen pihalle valmistunut sähkökattila korvaa hiilikattilan kaukolämmön tuotannossa. Kaukolämmön lisäveden tuotannossa laitos on riippuvainen prosessihöyrystä, jota käytetään termiseen kaasunpoistoon. Vuoden kylminä kuukausina, jolloin energian kulutus on suurta tai kun verkon tila poikkeaa normaalista, esimerkiksi jätevoimalaitoksen huoltojen aikana, Martinlaakson voimalaitoksella ajetaan biokattilaa. Kattilan ollessa käynnissä saadaan tarvittava prosessihöyry energian tuotannon sivutuotteena. Mikäli biokattila ei ole käytössä, kaasunpoistoon tarvittava prosessihöyry joudutaan tuottamaan maakaasulla. Maakaasun käyttäminen lisää merkittävästi tuotannon kustannuksia. Kaasunpoisto on mahdollista toteuttaa myös muilla tavoilla kuin termisesti. Muita kaasunpoistotapoja ovat esimerkiksi kalvotekniikka ja vakuumi. Kaasunpoiston muutoksella lisävesi olisi mahdollista tuottaa puhtaasti sähköllä, kun prosessihöyryä ei tarvitsisi valmistaa polttamalla maakaasua. Vuonna 2024 heinäkuussa maakaasu maksoi 46 €/MWh [32]. Samaan aikaan sähköpörssin keskihinta oli 20 €/MWh [41]. Jos oletetaan, että kaikki Martinlaaksossa KL-lisäveden valmistukseen tarvittu energia muutetaan maakaasusta sähköksi, KL-lisäveden tuotantohinta alenisi 5,20 €/sta/m³ 3,53 €/oon/m³. Tämä tarkoittaisi 32 % alennusta tuotantohinnassa. Sähköllä tuotettava lisävesi tarjoaisi joustoa tuotannossa, varsinkin kesällä, jolloin sähkö on yleisesti edullista. Kesän aikana laitoksilla toteutetaan vuosihuoltoja, jotka saattavat vaikuttavaa lisäveden tuotantomahdollisuuksiin. Muutos vaatisi investointeja ja muutoksia prosessiin, sekä tarkemman suunnittelun ja selvityksen asiaan, kuin tämä työ tarjoaa.

7.3 Polttoainehinnan nousu

Martinlaakson ja Järvenpään laitosten pääpolttoaineena toimii metsähake. Tammikuussa 2024 metsähakkeen hinta oli 35 €/MWh. Samaan aikaan vuonna 2025 hinta oli noussut 40 €/oon/MWh (kuva 20).

Voimalaitospolttoaineiden hinta sähköntuotannossa muuttujina Kuukausi. Metsähake, polttoaineen hinta eur/MWh.



Kuva 20. Metsähakkeen €/MWh hinta tammikuussa 2010–2025 [42].

Polttoaineen hinnalla on merkittävä vaikutus KL-lisäveden tuotantohintaan. Martinlaaksossa tammikuun 2024 tuotannolla 5 €/MWh korotus polttoainekustannuksiin lisäisi noin 0,26 €/m³ KL-lisäveden tuotantokustannuksiin. Polttoaineen hinnan korotukset kasvattavat jätevoimalaitoksen kannattavuutta verrattuna perinteisiin polttoaineisiin.

7.4 Lumensulatus

Vuonna 2024 Suomen hallitus hyväksyi lain, joka kieltää lumien kaatamisen mereen alkaen vuonna 2028 [43, § 18]. Vantaan Energia suunnittelee mahdollisuutta, jossa meren kaatamiseen sijaan jätevoimalalla tuotetulla kaukolämmöllä voitaisiin sulattaa pääkaupunkiseudulta kerättyä lunta. Syntyneestä vedestä eroteltaisiin roskat ja hiekat [44]. Mikäli sulatuksesta muodostuva vesi voidaan

hyödyntää KL-lisäveden tuotannossa kuukausina, jolloin lauhteen määrä ei riitä kattamaan tarvittavaa vesimäärää, raakaveden hankinnasta aiheutuvia kustannuksia voidaan alentaa. Tämä heijastuu valmistetun KL-lisäveden hintaan. Toukokuussa lauhteen osuus jätevoimalan KL-lisäveden tuotannossa on 58 % ja tuotantohinta 1,12 €/m³. Kun laskurissa muutetaan lauhteen osuutta, saadaan arvio hinnan muutoksesta. Mikäli lauhteen osuus pystyttäisiin nostamaan 99 %:iin, tuotantokustannukset alenisivat noin 0,41 €/m³.

8 Yhteenveto ja pohdinta

Insinööriyössä selvitettiin Martinlaakson-, jäte- sekä Järvenpään voimalaitoksilla tuotetun kaukolämmön lisäveden hintaan vaikuttavia tekijöitä. Lisäksi tavoitteena oli arvioida julkisiin tietoihin perustuen laitosten kuukausikohtainen KL-lisäveden (€/m³) hinta.

Työn aikana KL-lisäveden hinnan arvioitiin muodostuvan neljästä päätekijästä, jotka ovat veden lämmitys, raakaveden hankinta, kemikaalit sekä käyttö- ja kunnossapito. Kustannusajureita tarkastellessa huomattiin, että veden lämmitys ja raakaveden hankinta muodostuivat selkeästi merkittävimiksi kustannuslähteiksi. Ne muodostavat yhdessä jopa 80 % KL-lisäveden valmistuskustannuksista. Lauhteen hyötykäytön huomattiin olevan suurin yksittäinen kustannuksia alentava toimenpide. Hintaero lauhteesta ja raakavedestä valmistetun KL-lisäveden välillä on jopa yli viisinkertainen.

Insinööriyön tuloksena kehitetty laskentatyökalu auttaa Vantaan Energiaa vertailemaan laitoksia, sekä suunnittelemaan kaukolämmön lisäveden tuotantoa ja kustannusennusteita tuleville vuosille. Työkalun avulla voidaan arvioida mahdollisten prosessimuutosten vaikutusta tuotantokustannuksiin. Työkaluun voidaan päivittää viimeisimmät tiedot polttoainekustannuksista ja tuotantomääristä, joiden avulla työkalulla voidaan vertailla laitoksia keskenään tuotantokustannusten perusteella. Työkalu mahdollistaa myös vuoden aikana tarvittavan KL-lisäveden valmistuksesta syntyvien kokonaiskustannuksien arvioinnin.

Jätevoimala nousee vertailussa edullisuutensa ansiosta kannattavimmaksi KL-lisävedentuotantolaitokseksi (kuva 19). Laitosten välisessä vertailussa suurimmiksi vaikuttaviksi tekijöiksi nousi polttoaineen hinta ja veden käytön tehokkuus. Mikäli tuotantolaitoksilla pystytään maksimoimaan lauhteen käyttö, jonka seurauksena raakaveden ja viemäroittävän lauhteen määrä saadaan minimoitua, KL-lisäveden tuotantokustannuksia pystytään alentamaan merkittävästi. Jätevoimala säilyy todennäköisesti tulevaisuudessakin halvimpana laitoksena, koska siihen ei vaikuta polttoaineiden hinnan nousu. Mikäli jätteen polttoa ei tulevaisuudessa merkittävästi rajoiteta lakimuutoksilla, se säilyttää etunsa verrattuna perinteisiin polttoaineisiin.

Insinööriyön pääasialliseksi aikarajaukseksi valikoitui vuosi 2024, koska se tarjosi uusimman tiedon täydeltä vuodelta. Laskennan yksinkertaistamiseksi polttoaineista käytettiin kansallisia tilastoarvoja, sekä käyttö- ja kunnossapitokustannukset arvioitiin yleisen laskukaavan ja taulukkoarvojen mukaan. Tulokset mahdollistavat tarkkailussa mukana olleiden laitosten vertailun keskenään, sekä tarjoavat yleiskuvan KL-lisäveden valmistuksen kustannuksista. KL-lisäveden valmistus on vain pieni osa voimalaitoksen toimintaa, eikä tuloksia voi käyttää eri laitosten kannattavuuden tai todellisten energian valmistuskustannusten arvioinnissa.

Tämän insinööriyön haasteet muodostuivat lähdemateriaalin vähäisyydestä, sekä sen salassapitovaatimuksista. Tämän takia laskennassa käytettyjä arvoja, kuten putkien tilavuus ja todelliset valmistuskustannukset, jouduttiin johtamaan julkisista lähteistä. KL-lisäveden valmistus on kriittisessä osassa kaukolämpöverkon toiminnassa, mutta aiheena se saa vähemmän huomiota verrattuna energiantuotantoon.

Ilman tämän insinööriyön tuottamaa tietoa KL-lisäveden valmistuksen kustannusrakenne, kustannusten suuruus ja laitosten väliset eroavaisuudet olisivat jääneet epäselviksi tuotannon suunnittelussa. Työ tarjoaa kokonaiskuvan siitä, mistä kustannukset muodostuvat ja kuinka merkittävästi ne vaihtelevat laitosten

välillä. Työn avulla tuotannon suunnittelu voidaan perustaa laskettuihin arvioihin oletusten sijaan.

Lähteet

- 1 Tietoa meistä. Verkkoaineisto. Vantaan Energia. <<https://www.vantaanenergia.fi/tietoa-meista/>>. Luettu 2.9.2025.
- 2 Vuosikertomus 2024. Verkkoaineisto. Vantaan Energia. <https://www.vantaanenergia.fi/app/uploads/2025/04/Vantaan_Energia_vuosikertomus-2024_FI-2.pdf>. Luettu 7.11.2025
- 3 Yritysesittely. 2025. Yrityksen sisäinen aineisto. Vantaan Energia Oy.
- 4 Varanto on puhtaan siirtymän mahdollistaja. verkkoaineisto. Vantaan Energia. <<https://www.vantaanenergia.fi/tietoa-meista/hankkeet/varanto/>>. Luettu 29.9.2025.
- 5 Martinlaakson voimalaitos. Verkkoaineisto. Vantaan Energia. <<https://www.vantaanenergia.fi/tietoa-meista/energiantuotanto/martinlaakson-voimalaitos/>>. Luettu 2.9.2025.
- 6 Jätevoimala. Verkkoaineisto. Vantaan Energia. <<https://www.vantaanenergia.fi/tietoa-meista/energiantuotanto/jatevoimala/>>. Luettu 2.9.2025.
- 7 Jätevoimalan laajennus. Verkkoaineisto. Vantaan Energia. <<https://www.vantaanenergia.fi/tietoa-meista/energiantuotanto/jatevoimalan-laajennus/>>. Luettu 2.9.2025.
- 8 Korkealämpölaitos. Verkkoaineisto. Vantaan Energia. <<https://www.vantaanenergia.fi/tietoa-meista/hankkeet/korkealampotilalaitos/>>. Luettu 2.9.2025.
- 9 About us. Verkkoaineisto. Tuusulanjärven Lämpö. <<https://www.tuusulanjarvenlampo.fi/yhteystiedot/>>. Luettu 2.9.2025.
- 10 Yritysesittely. 2024. Yrityksen sisäinen aineisto. Tuusulanjärvenlämpö Oy
- 11 Tuusulanjärven Lämpö investoi sähkökattilaan ja lämpöakkuun – noin kahdenkymmenen miljoonan investoinnilla lämmöntuotannon kustannuksia alas. Tuusulanjärven Lämpö. <<https://www.tuusulanjarvenlampo.fi/tuusulanjarven-lampo-investoi-sahkokattilaan-ja-lampoakkuun/>>. Luettu 7.11.2025.
- 12 Kaukolämpö 2023. Verkkoaineisto. Energiateollisuus. <https://energia.fi/wp-content/uploads/2024/05/Kaukolampo_2023.pptx>. Luettu 5.9.2025.

- 13 Aarnio, Olli-Pekka. 2014. Uusien kaukolämmön hinnoittelumallien kehittäminen. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto. Trepo-tietokanta.
- 14 Huhtinen, Markku; Korhonen, Risto; Pimiä, Tuomo & Urpalainen, Samu. 2013. Voimalaitos tekniikka. 8., uudistettu painos. Kotka: Opetushallitus.
- 15 Lämpökeskusten turvallisuustiedote. Verkkoaineisto. Vantaan Energia. <<https://www.vantaanenergia.fi/tietoa-meista/energiantuotanto/lampokeskusten-turvallisuustiedote/>>. Luettu 5.9.2025.
- 16 Sähköllä joustoa lämmitysjärjestelmään. Verkkoaineisto. Vantaan Energia. <<https://www.vantaanenergia.fi/tietoa-meista/hankkeet/sahkokattila/>>. Luettu 5.9.2025.
- 17 Vantaalla kaukolämpö kannattaa. Verkkoaineisto. Vantaan Energia. <<https://www.vantaanenergia.fi/kaukolampo/>>. Luettu 18.9.2025.
- 18 Kaukolämpö. Verkkoaineisto. Kangasalan Lämpö Oy. <<https://kangasalanlampo.fi/kaukolampo/>>. Luettu 7.11.2025.
- 19 Kaukolämmön kytkennät tutuiksi - Peruskytkentä, välisyöttö ja väliotto. Verkkoaineisto. HögforsGST. <<https://hogforsgst.com/fi/blogi/kaukolammon-kytkennat-tutuiksi-peruskytkenta-valisyotto-ja-valiotto/>>. 9.10.2020. Luettu 25.9.2025.
- 20 Kaukolämpö on Vantaalla edullista. Verkkoaineisto. Vantaan Energia. <<https://www.vantaanenergia.fi/kaukolampo-on-vantaalla-edullista/>>. Luettu 18.9.2025.
- 21 Yritysesittely. Yrityksen sisäinen aineisto. Vantaan Energia Keskiuusimaa.
- 22 Kaukolämpöjohtojen rakentamiskustannukset. 2024. Verkkoaineisto. Energiateollisuus ry. <https://energia.fi/wp-content/uploads/2024/12/Kaukolampojohtojen-rakentamiskustannukset_2024.pdf>. Luettu 10.11.2025.
- 23 Pesonen, Niko. 2025. Prosessivastaava, Vantaan Energia, Vantaa. Sähköposti 5.9.2025.
- 24 Kaukolämmön kiertoveden käsittely. Verkkoaineisto. Energiateollisuus ry. <https://energia.fi/wp-content/uploads/2023/08/SuositusKK3_2007_Kaukolammon_kiertoveden_kasittely.pdf>. Luettu 15.9.2025.
- 25 Haavikko, Olli. 2015. Suosiolan Voimalaitosalueen vesitaseen optimointisuunnitelma. Diplomityö. Vaasan yliopisto, Teknillinen tiedekunta. Osuvatietokanta.

- 26 Espo, Jere. 2025. Käyttöinsinööri. Vantaan Energia, Vantaa. Haastattelu 4.11.2025.
- 27 Kaukolämpöverkko. Verkkoaineisto. Energia Maailma. <<https://energia-maailma.fi/energiasta/energian-tie-kotiin/kaukolampoverkko/>>. Luettu 17.9.2025.
- 28 Hydratsiini. Verkkoaineisto. Työterveyslaitos. <<https://ova.ttl.fi/hydratsiini>>. Päivitetty 14.5.2025. Luettu 25.9.2025.
- 29 Oxygen Scavengers - which type to use? Verkkoaineisto. Marine Care. <<https://www.marinecare.nl/app/uploads/2022/03/AskMarine-Care-Oxygen-Scavengers.pdf>>. Luettu 1.10.2025.
- 30 Carbohydrazide. Verkkoaineisto. Ataman Chemicals. <https://www.atamanchemicals.com/carbohydrazide_u24754/>. Luettu 10.11.2025.
- 31 Kaukolämpöverkossa käytetään vihreää vettä. Verkkoaineisto. Savon Voima. <<https://savonvoima.fi/kaukolampoverkostossa-kaytetaan-vihreaa-vetta/>>. Luettu 25.9.2025.
- 32 Laskukaavat: Lämminkäyttövesi. Verkkoaineisto. Motiva. <https://www.motiva.fi/julkinen_sektori/kiinteiston_energiankaytto/kulutuksen_normitus/laskukaavat_lammin_kayttovesi>. Luettu 1.10.2025.
- 33 Luotettavaa lähilämpöä. Verkkoaineisto. Tuusulanjärven Lämpö Oy. <https://www.tuusulanjarvenlampo.fi/lampo/luotettavaa_lahilampo/>. Luettu 10.11.2025.
- 34 Voimalaitospolttoaineiden hinta sähköntuotannossa. Muuttujina polttoaineen hinta eur/MWh, 2024, maakaasu, jyrshinturve, Metsähake. 2025. Verkkoaineisto. Tilastokeskus. <https://pxdata.stat.fi/PXWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin__ehi/statfin_ehi_pxt_13p7.px>. Päivitetty 11.9.2025. Luettu 1.10.2025.
- 35 Vesihuollon hinnasto ja palvelumaksuhinnasto 2025. Verkkoaineisto. HSY. <<https://julkaisu.hsy.fi/vesihuollon-hinnasto-ja-palvelumaksuhinnasto-2025.html>>. Luettu 10.11.2025.
- 36 KÄYTTÖ-, PERUS- JA LIITTYMISMAKSUT. Verkkoaineisto. Järvenpään Vesi. <<https://www.jarvenpaanvesi.fi/files/eb3ee63d9965e04c527cf54213d4e894280d4f28/kayttomaksut-1-4-2025.pdf>>. Luettu 10.11.2025.

- 37 Hurme, Jani. 2022. Vantaan Energian voimalaitosten vesitaseiden kartointus. Insinööriyö. Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.
- 38 JV savukaasulauhde hyötykäyttö. 2022. Yrityksen sisäinen aineisto. Vantaan Energia Oy.
- 39 Vakkilainen, Esa & Kivistö, Aija. 2017. SÄHKÖN TUOTANTOKUSTANNUKSEN VERTAILU. Tutkimusraportti. Lappeenrannan Teknillinen Yliopisto. Lutpub.
- 40 Helppinen, Varppu. 2017. 1,5 miljoonan suomalaisen sekajätepussit kipataan valtavaan bunkkeriin – voiton käärivät vantaalaiset. <<https://yle.fi/a/3-9573508>>. 21.4.2017. Luettu 27.11.2025.
- 41 Pörssisähkön hinta nyt. Verkkoaineisto. Oomi. <<https://oomi.fi/sahko/sahkosopimukset/aktiivinen/sahkon-spot-hinta/>>. Luettu 20.11.2025.
- 42 Voimalaitospolttoaineiden hinta sähköntuotannossa. Muuttujina polttoaineen hinta eur/MWh, 2010–2025, Metsähake. 2025. Verkkoaineisto. Tilastokeskus. <https://pxdata.stat.fi/PXWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin__ehi/statfin_ehi_pxt_13p7.px>. Päivitetty 11.9.2025. Luettu 1.10.2025.
- 43 Ympäristönsuojelulaki. 2014. 527/2014.
- 44 Massinen, Tuomas. 2024. Lunta ei pian saa enää kaataa mereen: Tämä yhtiö suunnittelee innovaatiota, joka poistaisi koko ongelman. Artikkel. Helsingin Uutiset. <<https://www.helsinginuutiset.fi/paikalliset/8119079>>. 8.12.2024. Luettu 10.11.2025.
- 45 Jätehuollon hinnasto 2024/09-. Verkkoaineisto. HSY <<https://julkaisu.hsy.fi/jatehuollon-hinnasto-2024/1.html>>. Luettu 20.11.2025.
- 46 Jättemäärien laskenta yrityksessä ja yhteisössä. <https://www.hsy.fi/globalassets/jatteet-ja-kierratys/tiedostot/jatemaarien_laskentaohje_yrityksille.pdf>. Luettu 20.11.2025
- 47 Polttoaineluokitus/ Bränsleklassificering / Fuel classification. Verkkoaineisto. Tilastokeskus. <https://stat.fi/media/uploads/tup/khkinv/khkaasut_polttoaineluokitus_2025.xlsx>. 3.3.2025. Luettu 20.11.2025.
- 48 SFR: SOLID RECOVERED FUEL FROM WASTE TO ENERGY RESOURCE. Verkkoaineisto. MACPRESSE EUROPA. <<https://www.macpresse.com/en/solid-recovered-fuel-srf-production-benefits/>>. Luettu 20.11.2025.

Tammikuun tuotantokustannusarvio

Taulukko 1. Martinlaakson voimalaitoksen tammikuun KL-lisäveden tuotannon kustannusarvio.

Muuttuja	Yksikkö	SK-lauhde	Raaka-vesi	Lauhteet	Prosessilauhteet
Keskimääräinen virtaus	kg/s	0,290	0,580	0,290	0,290
Ajettuja tunteja	h	720	720	720	720
Kuutiot yhteensä	m ³	752	1504	752	752
Vesilähteen osuus kokonaismäärästä	%	20	40	20	20
Lämpötilamuutos	C	55	55	55	0
Koko vesimäärän lämmityksen vaatima lämpöenergia	kWh	48124	96248	48124	0
Polttoaine kustannukset [34]	€/kWh	0,035	0,035	0,035	0,035
Lämmityksen hinta	€/m ³	2,24	2,24	2,24	0,00
Veden hinta	€/m ³	0,00	1,63	0,00	0,00
Materiaalit (kemikaalit, massat, elvytysjätevesi ja tarvikkeet)	€/m ³	0,17	0,17	0,17	0,17
Käyttö ja kunnossapito	€/m ³	0,44	0,44	0,44	0,00
YHTEENSÄ	€/m³	2,86	4,49	2,86	0,17

Taulukko 2. Jätevoimalan tammikuun KL-lisäveden tuotannon kustannusarvio.

Muuttuja	Yksikkö	SK-lauhde	Raaka- vesi
Keskimääräinen virtaus	<i>kg/s</i>	1,205	0,003
Ajettuja tunteja	<i>h</i>	720	720
Kuutiot yhteensä	<i>m³</i>	3124	7
Vesilähteen osuus kokonaismäärästä (m ³)	%	100	0
Lämpötilamuutos	<i>C</i>	30	50
Koko vesimäärän lämmityksen vaatima lämpöenergia	<i>kWh</i>	109328	435
Polttoaine kustannukset	<i>€/kWh</i>	-0,0043	-0,0043
Lämmityksen hinta	<i>€/m³</i>	-0,15	-0,25
Veden hinta	<i>€/m³</i>	0,00	1,63
Materiaalit (kemikaalit, massat, elvytysjätevesi ja tarvikkeet)	<i>€/m³</i>	0,20	0,20
Käyttö ja kunnossapito	<i>€/m³</i>	0,34	0,57
YHTEENSÄ	<i>€/m³</i>	0,39	2,15

Taulukko 3. Järvenpään voimalaitoksen tammikuun KL-lisäveden tuotannon kustannusarvio.

Muuttuja	Yk-sikkö	Pelkkä raakavesi		Pelkkä JUP-lauhde
		Lauhde	raaka- vesi	JUP-lauhde
Keskimääräinen virtaus	kg/s	0,4	0,375	0,375
Ajettuja tunteja	h	720	720	720
Kuutiot yhteensä	m ³	972	972	972
Vesilähteen osuus kokonaismäärästä	%	0	100	100
Viemäroity lauhde	m ³	972	0	0
Lämpötilamuutos	C	0	35	0
Koko vesimäärän lämmityksen vaatima lämpöenergia	kWh	0	39695	0
Polttoaine kustannukset [34]	€/kWh	0,031	0,031	0,031
Lämmityksen hinta	€/m ³	0,00	1,28	0,00
Veden hinta	€/m ³	0,00	1,48	0,00
Jäteveden hinta	€/m ³	0,00	0,00	0,00
Materiaalit (kemikaalit, massat, elvytysjätevesi ja tarvikkeet)	€/m ³	0,00	0,44	0,44
Käyttö ja kunnossapito	€/m ³	0,20	0,28	0,00
YHTEENSÄ	€/m ³	0,20	3,48	0,44

Taulukko 4. Laitosten tuotantokustannukset käytettyjen vesilähteiden osuuksien mukaan.

Laitos	€/m³
Martinlaakso	2,97
JV1	0,39
Järvenpää	1,54

Kemikaalien hinta-arvio

Taulukko 1. Kemikaalien laitoskohtainen hinta-arvio

Kemikaalit	Hinta €/v (Min)	Hinta €/v (Max)	Keski-hinta €/v	Hinta €/m ³		
Hydratsiini	4500	6000	5250	0,06		
Pyraniini	700	1300	1000	0,01		
Karbohydraatti	1500	2100	1800	0,23		
Pyraniini Järvenpää	500	800	650	0,08		
Pehmennin suola	Kulutus t/m ³ li-sävettä	Suolan hinta €/t (Min)	Suolan hinta €/t (Max)	Keski-hinta	Tarve t/kk	Hinta €/m ³
Martinlaakso	0,000222222	400	550	475	0,84	0,11
JV	0,000277778	400	550	475	0,87	0,13
Järvenpää	0,000277778	400	550	475	0,27	0,13
Laitos	Kemikaalit+ Pehmennin-suola kokonaishinta €/m ³					
Martinlaakso	0,17					
Jätevoimala	0,20					
Järvenpää	0,44					

Sekajäte- ja SRF-polttoaineiden hinta-arvio

Taulukko 1. Sekajätteen ja SRF:n hinta-arvio

Jätevoimalan polttoaine hinta-arvio		Yksikkö	Lähde
Sekajäteastian tyhjennys 220–290 L	10,04	€/v	[45]
Keskimääräisen jäteastian 220–290 L jätteen paino	16	kg/vk	[46]
Yhden jäteastian sekajäte määrä vuodessa	832	kg/v	
Arvio jätteen hinnasta	0,0121	€/kg	
Sekajätteen lämpöarvo	10	MJ/kg	[47]
MWH tuottoon tarvittava jätemäärä	360	kg/MWh	
Jätteen polttoaine hinta	-4,3	€/MWh	
SRF:n hinta-arvio			
SRF lämpöarvo	18	MJ/kg	[47]
MWH tuottoon tarvittava jätemäärä	200	kg/MWh	
Kilohinta	0,08	€/kg	[48]
Jätteen polttoaine hinta	16	€/MWh	

KL-lisäveden laitoskohtainen tuotantoarvio

KUUKAUSI	KL-lisävesi MAR	KL-lisä- vesi JV	KL-lisävesi yhteensä JV+MAR	KL-lisävesi Järvenpää
	arvio	arvio	arvio	arvio
	m³	m³	m³	m³
Tammi	3759	3131	6890	972
Helmi	2838	3048	5885	734
Maalis	2492	4115	6607	644
Huhti	2555	3686	6241	661
Touko	2431	6255	8686	629
Kesä	85	8653	8738	22
Heinä	1324	10359	11683	342
Elo	4332	4121	8453	1120
Syys	3089	6903	9993	799
Loka	2674	4314	6988	692
Marras	2530	3428	5958	654
Joulu	2406	3016	5423	622
YHT.	30514	61029	91543	7892