

Arttu Holappa

JÄTEVEDENPUHDISTAMON LÄMMITYSMUODON MUUTTAMINEN

JÄTEVEDENPUHDISTAMON LÄMMITYSMUODON MUUTTAMINEN

Arttu Holappa
Opinnäytetyö
Kevät 2021
Talotekniikan tutkinto-ohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Tutkinto-ohjelma, suuntautumisvaihtoehto

Tekijä(t): Arttu Holappa

Opinnäytetyön nimi suomeksi: Jätevedenpuhdistamon lämmitysmuodon muuttaminen

Opinnäytetyön nimi englanniksi: Renovation of Wastewater Treatment Plant Heating System

Työn ohjaaja(t): Mikko Niskala

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2021

Sivumäärä: 37 + 7 liitettä

Työn tavoitteena oli tutkia Pudasjärven Kurenalan jätevedenpuhdistamon nykyistä lämmitysjärjestelmää ja kannattavuutta. Nykyistä lämmitysjärjestelmää vertailtiin maalämpöön. Työn tavoitteena oli selvittää edullisin maalämmön toteutustapa sekä laskea sen takaisinmaksuaika. Työssä selvitettiin perinteisen energiakentän lisäksi myös jätevedenpuhdistamon teknisen veden purkulammikoiden toimivuutta maalämmön energiankeruulähteenä.

Työn tilaajana toimi Pudasjärven vesiosuuskunta Oy ja Afry Finland Oy.

Maalämpöjärjestelmän investointipäätöstä ei ole vielä tehty, koska takaisinmaksuaika on hyvin pitkä. Teknisen veden purkulammikoiden lämpöenergiapotentiaalın hyödyntäminen todettiin lähes mahdottomaksi, joten kustannuslaskelmia sedimenttilämmön ja veteen sijoitetun energiakeruupiirin osalta ei tehty.

Parhaimmaksi maalämmön lämmönkeruutavaksi osoittautui useammasta energiakaivosta koostuva energiakenttä. Lämmitystavaksi valikoitui ilmalämmitys, jossa tilaa palvelevaan ilmanvaihtokoneeseen lisättäisiin nestekiertoinen lämmityspatteri. Maalämpöpumppuinvestoinnin korollinen maksuaika tulisi olemaan kohteessa melko pitkä, noin 23 vuotta.

Asiasanat: maalämpö, LVI-tekniikka, energiatehokkuus, sedimenttilämpö, jätevedenpuhdistamo

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
SISÄLLYS	4
1 JOHDANTO	5
2 MAALÄMPÖPUMPPU	6
2.1 Maalämpöpumpun toimintaperiaate	6
2.2 Maalämpöpumpun energiankeruutavat ja soveltuvuus kohteeseen	7
2.2.1 Energiakaivo	8
2.2.2 Energiankerupiirin sijoitus vesistöön	10
2.2.3 Energiakerupiirin sijoittaminen sedimenttiin	11
3 MAALÄMPÖPUMPUN MITOITUS	14
3.1 Kohde	14
3.2 Mitoittavat tekijät	15
3.2.1 Lämmöntarve	15
3.2.2 Lämpökonduktanssi	17
3.2.3 Nestekiertoinen lämmitysjärjestelmä	19
3.2.4 Tekninen tila	22
3.2.5 Maalämpöpumpun mitoitus	22
3.2.6 Maalämpöpumpun puskurivaraajan mitoitus	23
3.2.7 Energiakaivojen mitoitus	24
4 INVESTOINTILASKELMAT	28
4.1 Maalämpöjärjestelmän kokonaiskustannusarvio	28
4.2 Korollinen takaisinmaksuaika	29
4.3 Nettonykyarvo (NPV)	30
5 YHTEENVETO	33
LÄHTEET	34
LIITTEET	37

1 JOHDANTO

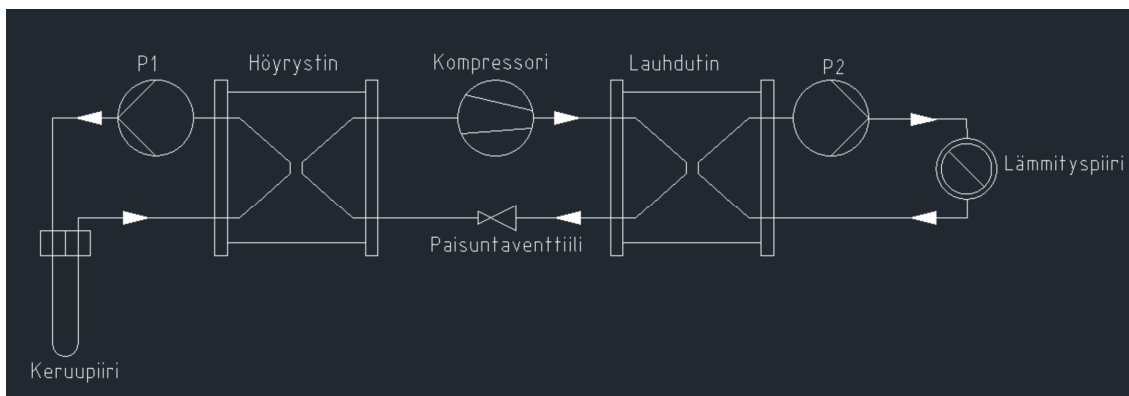
Opinnäytetyön tarkoitus oli tehdä teknis-taloudellinenselvitys Pudasjärven Kurenalassa sijaitsevan jätevedenpuhdistamon lämmitysmuodon muuttamisesta. Tällä hetkellä jätevedenpuhdistamo lämmitetään suorasähköllä. Opinnäytetyössä selvitetään, voitaisiinko lämmityskustannuksissa säästää, mikäli kiinteistön lämmitysmuoto vaihdettaisiin maalämpöön. Sähkölämmityksen korvaaminen maalämpöpumppulämmitysjärjestelmällä on kallis ja suuritöinen projekti, ja takaisinmaksuaika on pitkä. Tästä syystä kattava selvitystyö ja eri vaihtoehtojen selvittäminen on kannattavaa. Opinnäytetyössä selvitettiin etenkin maalämpöpumpun eri energiakeruutapoja ja maalämpöpumppuinvestoinnin taloudellista kannattavuutta.

2 MAALÄMPÖPUMPPU

2.1 Maalämpöpumpun toimintaperiaate

Lämpöpumppu on sähköllä toimiva laite, joka siirtää lämpöenergiaa kylmemmästä aineesta lämpimämpään. Sitä pystytään käyttämään kohteen jäähdyttämiseen tai lämmittämiseen. Lämpöpumppua kutsutaan kylmäkoneeksi, kun se toimii jäähdytyskäytössä. Lämpöpumppu voi esimerkiksi jäähdyttää kiinteistöä kesällä ja lämmittää talvella. Lämpöpumppu toimii Carnot-prosessin tavoin. (1, s. 95.)

Lämpöpumpun toiminta perustuu kylmäaineeksi kutsutun aineen höyryprosessiin (kuva 1). Höyrystysprosessin keskeisimmät vaiheet ovat höyrystyminen, lauhtuminen, puristus ja kuristus. Prosessissa hyödynnetään kylmäaineen matalaa höyrystyslämpötilaa ja höyrystymislämpöä, esimerkiksi -28 °C . Kylmäaineen höyrystimeen tarvittava lämpöenergia siirretään pois jäähtyvistä kohteesta ja kuljetetaan lämpiävään kohteeseen.



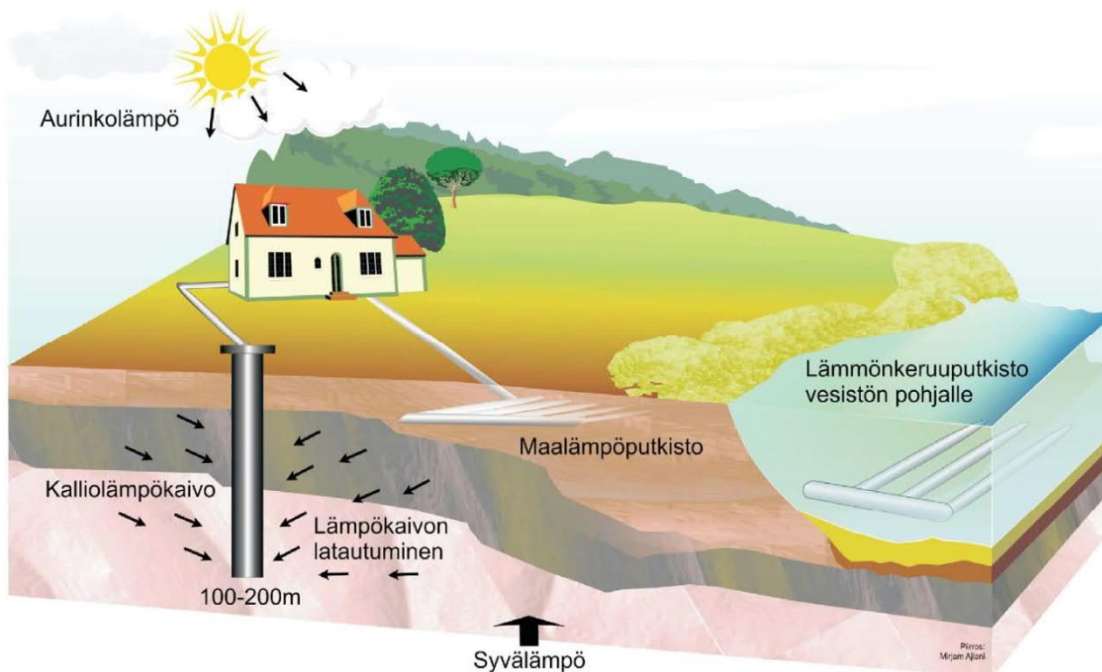
KUVA 1 Lämpöpumpun pääosat ja kiertoprosessi

2.2 Maalämpöpumpun energiankeruutavat ja soveltuvuus kohteeseen

Lämpöpumppujen lämmönkeruutavoissa on eroja. Lämpöpumpulla voidaan siirtää lämpöä rakennuksen lämmittämiseen esimerkiksi maa- tai kallioperästä, vesistöstä tai ilmasta. Tässä osassa opinnäytetyötä selvitetään eri maalämpöpumpun energiakeruutapojen peruseriaatteet ja soveltuvuus kohteeseen (kuva 2).

Lämmönkeräämisen mitoituksessa on kaksi raja-arvoa. Toinen raja-arvo on maksimiteho, jonka rajoittavana tekijänä on lämmönsiirtoaineen alin lämpötila. Toinen on otettu lämpöenergia, jonka rajoittavana tekijänä on lämmönlähteen lämpötilan lasku. Keskimääräinen sallittu teho (W/m) on maksimitehoa pienempi, ja se määräytyy sallitusta energiasta (kWh/m,a). (2, s. 34.)

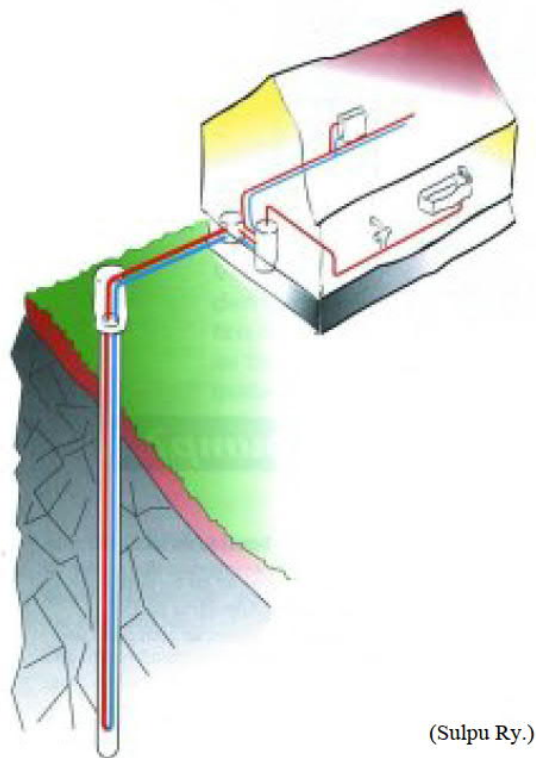
Sopivan energiakeruutavan valinnassa täytyy tutkia maalämpöpumpun eri energiakeruutapojen soveltuvuutta kohteeseen. Energiakeruutapa täytyy valita jokaiseen kohteeseen yksilöllisesti ja käytössä olevia lähtötietoja käyttäen. Perinteinen energiakeruutava vaikuttaisi parhaimmalta ratkaisulta kohteeseen.



KUVA 2 Lämpöpumpun erilaisia lämmönkeruutapoja (3, s. 8)

2.2.1 Energiakaivo

Energiakaivo on pystysuoraan tai vinoporauksella porattu porakaivo, joka hyödyntää lähinnä kallioperään sitoutunutta lämpöenergiaa. Useimmiten energiakaivon syvyys on 120–300 metriä. Energiakaivojen määrä riippuu rakennuksen lämmöntarpeesta. Suurissa kiinteistöissä, kuten teollisuuskiinteistöissä, voidaan porata useita energiakaivoja. Näitä useamman energiakaivon järjestelmiä kutsutaan energiakentiksi. Energiakaivojen määrään ja syvyyteen vaikuttavat lämmitystarpeen lisäksi asennuskohteen maa- ja kallioperän ominaisuudet ja lämpötilat. Energiakaivossa voi olla suljettu tai avoin keruupiiri. Suomessa käytetään yleisesti suljettua energiakeruupiiriä, yleensä U-putkea (kuva 3). (4, s. 359.)

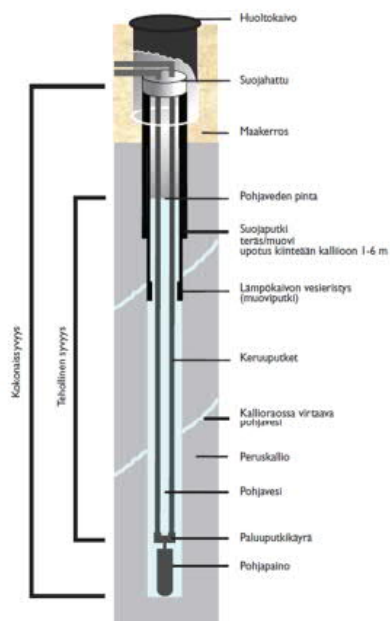


KUVA 3 Kallioperään asennettava lämmönkeruuputkisto (3, s. 9)

Energiakaivon tärkeimmät osat ovat lämmönsiirtoaine, lämmönsiirtoputki sekä porakaivo. Energiakaivosta saadaan energiaa vain siltä osuudelta, missä lämmönsiirtoputkisto on täyteaineen ympäröimänä. Tätä kutsutaan aktiivisyvyudeksi. Suomessa täyteaineena energiakaivossa on useimmiten ollut pohjavesi (kuva 4).

Energiakaivo voidaan myös täyttää tarvittaessa kiinteällä aineella. Tällöin pohjaveden saastumisriski vähenee. Mikäli energiakaivo ei täyty itsestään vedellä, se voidaan täyttää vedellä poraamisen jälkeen. Täyttämisen lisäksi vaihtoehtona on energiakaivon painehalkaisu, jonka johdosta kallioon tulee halkeamia ja rakoja. Negatiivisena puolena painehalkaisussa on, että se lisää kaivon sortumisriskiä. (5, s. 16.)

Energiakaivon lämmönkeruuputkina on yleensä käytetty normaaleja, polyeteenistä keskisuurella tai pienellä tiheydellä valmistettuja vesijohtoputkia, joiden paineluokka on ollut PN6/10. Pääasiassa lämmönkeruuputkien halkaisijat ovat vaihdelleet 32–60 mm. Useimpien maalämpöjärjestelmien asentamisohjelmissa on suositeltu käytettävän 40 mm:n, keskitiheyksistä polyeteeniputkea (PEM), jonka seinämävahvuus on 2,4–3,7 mm. (6.)



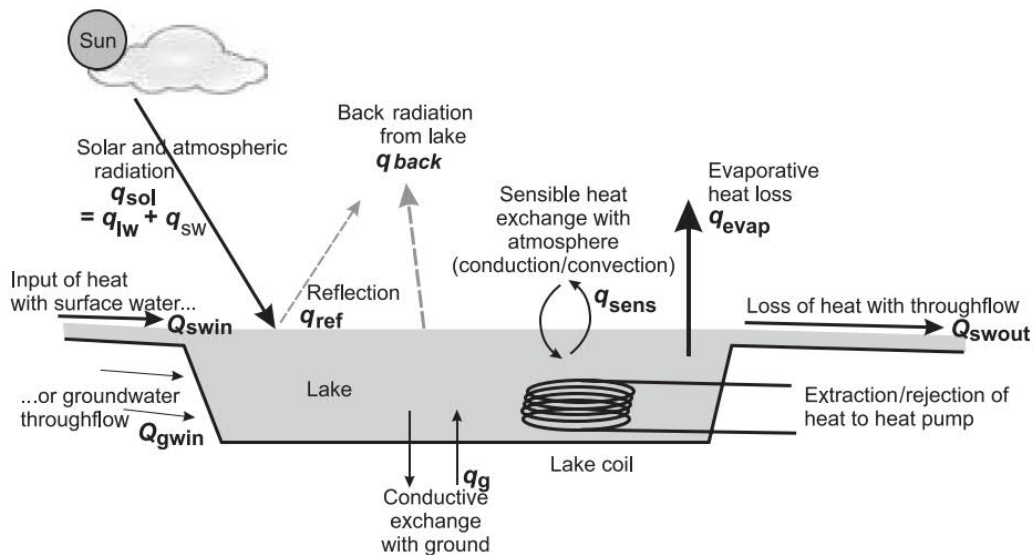
KUVA 4 Energiakaivon rakenne (7, s. 26)

Jätevedenpuhdistamolle energiakaivot soveltuvat maalämpöpumpun energiankeruutavaksi hyvin. Rakennus ei sijaitse pohjavesialueella (8) ja kallionpinta on noin 5 metrin päästä maanpinnasta (liite 1). Ainoa haastava tekijä on kiinteistön

sijoittuminen Pohjois-Suomeen, jossa geoenergiapotentiaali on yleisesti huomattavasti huonompi kuin Etelä-Suomessa.

2.2.2 Energiankeruupiirin sijoitus vesistöön

Vesistöön sijoitettava lämmönkeruupiiri erottuu maalämmöstä vain siten, että lämpö kerätään maa- tai kallioperän sijaan vedestä (1, s. 353). Keruupiiriä ei suositella asennettavan virtaaviin tai mataliin vesistöihin, koska virtaavasta vesistöstä ei saada veden alhaisen lämpötilan vuoksi vastaavaa energiaa kuin lämpimästä ja syvästä vesistöstä. Vesistöön sijoitetun energiakeruupiirin periaate on esitetty kuvassa 5.



KUVA 5 Vesistön lämpötase (8, s. 357)

Vesistön pohjaan voidaan sijoittaa erilaisia suljettuja keruupiirejä. Keruupiirinä voi olla yksi tai useampi piiri vesistön pohjassa. Suljetussa keruupiirissä kiertää lämmönsiirtoaine, jonka jäätymislämpötilaa on laskettu, jotta aine ei pääse jäätymään. Suljetun keruupiirin hyötynä on, että se voidaan sijoittaa kylmempään vesistöön kuin avoin keruupiiri. Tästä johtuen Suomessa käytetään useimmiten suljettuja lämmönkeruupiirejä. (1, s. 359.)

Jätevedenpuhdistamon puhdistusprosessin läpi tullut tekninen vesi johdetaan kolmeen lammikkoon, jotka sijaitsevat noin 40 metrin päässä rakennuksesta.

Näihin lammikoihin varastoituu auringon säteilyenergian lisäksi myös jätevedenpuhdistamon teknisen veden lämpöenergiaa.

Lammikoiden keskisyvyys on kesäaikaan noin 2,5 metriä. Lammikoiden jäteveden keskivirtaaman on päiväaikaan noin 50 m³/h ja yöaikaan noin 20m³/h. Virtaamien vaihtelusta johtuen vedenpinta vaihtelee lammikoissa suuresti. Talviaikaan, jolloin lämmitysenergiaa tarvitaan eniten, voi tulevan teknisen veden lämpötila laskea +4 °C:seen. Vedenpinta, lämpötila ja virtaama voivat vaihdella kohteessa suuresti, mikä lisää riskiä veden jäätämiseksi lämmönkeruuputkien pintaan, etenkin yöaikaan. Tällöin lämmityskeruupiirin lämmönkeruu huononee merkittävästi. Tästä johtuen energiakeruupiirin sijoitus jätevesilammikoihin ei ole kohteessa suositeltavaa.

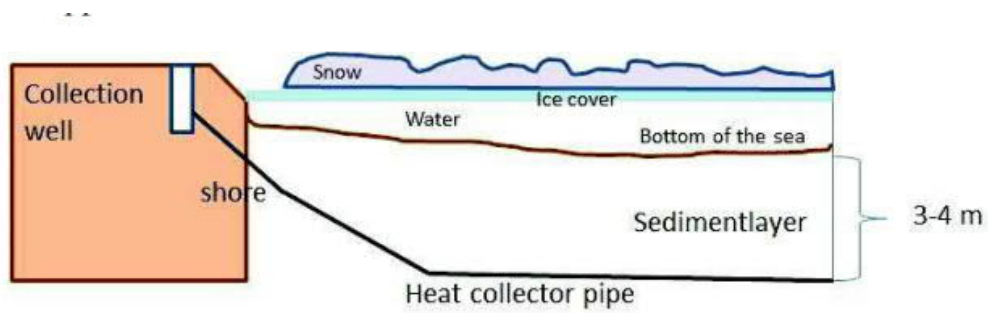
Keruuputkiston voisi mahdollisesti porata vaakaporauksena lammikoiden pohjan sedimenttiin, jolloin keruuputkisto toimisi tehokkaammin kuin maahan sijoitettu vaakaputkisto.

2.2.3 Energiakeruupiirin sijoittaminen sedimenttiin

Sedimentti on vesistön alla sijaitseva maa-ainekerros. Sedimentin termodynaamiset ominaisuudet, kuten lämmönjohtavuus ovat huonommat kuin kalliolla. Sedimenttilämpö on aurinkoenergiaa.

Sedimenttilämpöä on tutkittu Suomessa toistaiseksi melko vähän. Suurimpia pilotteja Suomessa on vuonna 2008 Vaasan Suvilahden rakennettu sedimenttilämmön keruupiiristö, joka tuottaa lämpöenergiaa n. 560 MWh/vuodessa 42 asuinrakennukselle. (9, s. 2.)

Suvilahden järjestelmästä on viime vuosina valmistunut useita tutkimuksia, joissa käsitellään järjestelmän toimivuutta. Tulokset ovat olleet pääasiassa positiivisia, ja Suvilahden sedimentin lämpötila on palautunut täydellisesti joka vuosi. Järjestelmän lämmönkeruuputkisto on toteutettu koaksiaaliputkilla, joiden kokonaispituus on 7800 metriä (9, s. 2). Energiakaivot on toteutettu ohjattavalla työntöporausmenetelmällä (kuva 6). Pisimmät energiakaivot ovat 300 metriä pitkiä. (10, s. 2.)



KUVA 6 Vaasan Suvilahden lämmönkeruupiiristön periaatekuva (ei mittakaavassa) (9)

Lämmönkeruuputkisto on sijoitettu Vaasan pilottikohteessa noin 3–4 metriin syvyyteen sedimentissä. On todettu, että tässä syvydessä sedimentin lämpötila pysyy +8 celsiusasteessa ympärivuoden. Pilottikohteen sedimentistä mitatut lämpötilat ovat melko korkeita verrattuna esimerkiksi maaperään samalla syvyydellä. Ongelmia on pilottikohteessa tuonut lämmönkeruupiirien liian läheinen etäisyys merenpohjaan, mikä on aiheuttanut putkistojen hajoamista ruoppauksen aikana. (9, s. 7.)

Jätevedenpuhdistamon puhdistusprosessin läpi tullut tekninen vesi johdetaan kolmeen lammikkoon, jotka sijaitsevat noin 40 metrin päässä rakennuksesta. Näihin lammikoihin varastoituu auringon säteilyenergian lisäksi myös jätevedenpuhdistamon teknisen veden lämpöenergiaa, joka johtuu sedimenttiin.

Lammikoiden vedenpinta on vuonna 2002 tehdyn pohjatutkimusten mukaan +114,00 metriä merenpinnasta (liite 2), kun taas Kallionpinnan korkeustaso on noin +110,57 metriä. (liite 1). Lammikoiden keskisyvyyden ollessa kesäaikaan noin 2,5 metriä saadaan sedimentin paksuudeksi 0,93 metriä seuraavalla yhtälöllä:

$$\begin{aligned}
 H, \text{ lammikon vedenpinnan korkeustaso (m)} - H, \text{ kallionpinnan korkeustaso} \\
 - \text{Lammikoiden keskisyvyys (m)} &= \text{Sedimentin paksuus (m)} \\
 &= 114,00\text{m} - 110,57\text{m} - 2,5\text{m} = 0,93\text{m}
 \end{aligned}$$

Lämmönkeruuputkisto tulisi sijoittaa ainakin kolmen metrin syvyyteen sedimenttiin vesistöpohjasta, jotta vältetään esimerkiksi ruopatessa aiheutuvista ongelmista. Teknisen veden purkulammikot voivat ajansaatossa rehevöityä, jolloin lammikoiden pohjaa voidaan joutua ruoppaamaan. Lisäksi energiakaivot tulisi olla pienellä kaadolla, jotta järjestelmät saataisiin ilmatettavasti. (10.)

Ongelmia voi syntyä kohteessa myös vesistön mataluuden kanssa talvisaikaan, kun jää- ja lumipeite peittää lammikot. On havaittu, että jää- ja lumipeite voi eristää vesistöjä siten, että sedimentti alkaa lämmittämään vesistöä. Tästä ilmiöstä on toistaiseksi hyvin vähän tutkimustietoa saatavilla. Esimerkiksi Vaasan Suvi-
lahdessa ei ole saatu mitattua luotettavasti jääpeitteen ja veden syvyyden vaikutusta sedimentin lämpötilaan kovinkaan tarkasti. (10.)

3 MAALÄMPÖPUMPUN MITOITUS

3.1 Kohde

Jätevedenpuhdistamo sijaitsee Pudasjärvellä. Jätevedenpuhdistamo jaetaan tässä työssä kahteen eri osa-alueeseen, jotka ovat toimisto- sekä prosessitila.

Toimistotiloissa sijaitsevat sähkötila sekä henkilökunnan sosiaalitilat. Toimistotilaa lämmitetään sähköpattereilla, ja sitä palvelee kaksi sähköpatterilla lämmitettävää ilmanvaihtokonetta TK-2 ja TK-3.

Prosessitilaa lämmittää yhdeksän kiertoilmakojeita. Kaikki kiertoilmakojeet ovat samantyyppisiä, lämmitysteholtaan 6 kW:n (kuva 7). Prosessitilaa palvelee ilmanvaihtokone TK-1, joka on varusteltu Energventin EGP-lämmöntalteenotolla sekä 30 kW:n sähköpatterilla.



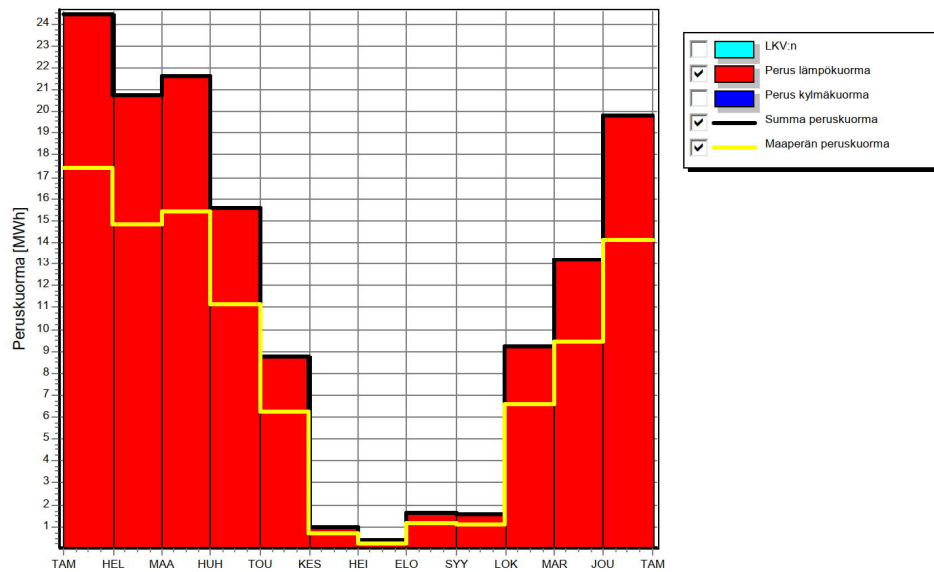
KUVA 7 6 kW:n kiertoilmakoje prosessitilassa

Kohteen käyttöveden energiantarve on hyvin pieni, minkä vuoksi käyttöveden lämmittäminen maalämpöpumpulla ei ole tarpeellista. Lisäksi toimistotilan lämmitysenergiatarve on hyvin pieni koko rakennuksen lämmitysenergian kulutukseen nähden, minkä vuoksi myöskään toimistotilojen lämmittäminen maalämpöpumpulla ei ole tarpeellista.

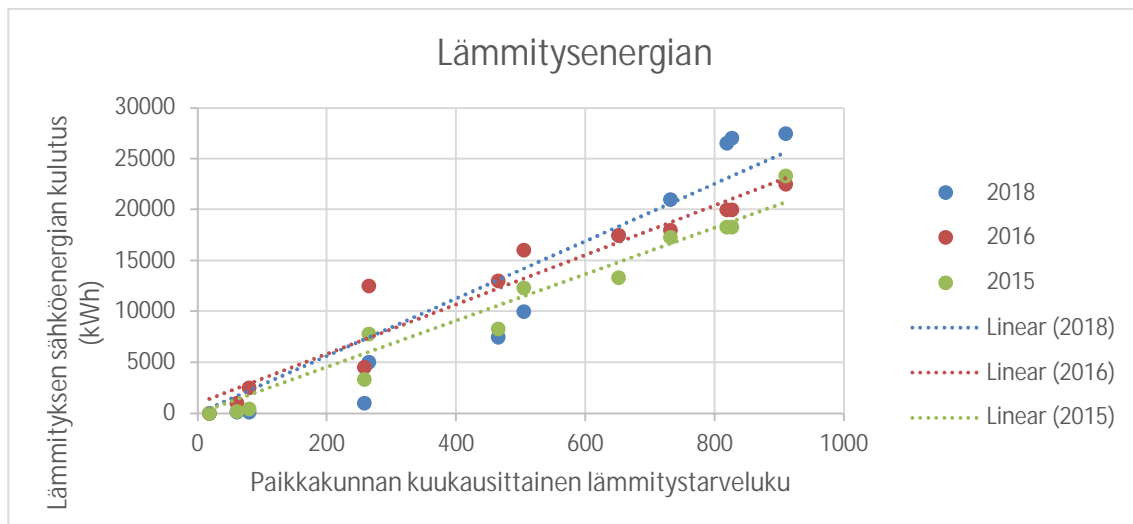
3.2 Mitoittavat tekijät

3.2.1 Lämmöntarve

Lämmöntarve on arvioitu jätevedenpuhdistamon sähkönkulutustiedoista vuosilta 2015, 2016 ja 2018. Lämmitykseen kulutettu vuosittainen sähköenergia on arvioitu sähkönkulutuksen huippukuukauden ja sähkönkulutuksen minimikuukauden erotuksesta. Huippukuukausi on yleisesti ajoittunut tammikuun ja helmikuun tienoille (kuva 8). Pienimmillään sähkönkulutus on ollut kesäkuun ja heinäkuun tienoilla, jolloin myös lämmitystarve on ollut vähäisin. Tällä menetelmällä tehty lämmitysenergian kulutusarvio voi olla hiukan epätarkka, koska esimerkiksi kevätkuukausina prosessin käyttämä sähköenergia voi olla suurempi kuin normaalisti suurista prosessin käsittelemistä sulamisvesivirtaamista johtuen. Keskimääräinen arvioitu lämmitysenergian kulutus jätevedenpuhdistamolla vuosina 2015, 2016 ja 2018 on noin 138 MWh/a . Prosessitilan mitoituslämpötilana on käytetty +10 °C. Kuvassa 9 on verrattu lämmityksen sähköenergian kulutusta paikkakuntaiseen kuukausittaiseen lämmitystarvelukuun.



KUVA 8 Keskimääräiset lämmitysenergian kulutukset tarkkailuajanjaksolla kuukausittain eriteltynä. Keltainen viiva esittää maaperästä otettua lämmitystehoa. Jäljelle jäänyt tarvittava lämmitysenergia tuotetaan maalämpöpumpun kompressoreilla ja sähkövastuksilla.



KUVA 9 Jätevedenpuhdistamon arvioitu lämmitysenergian tarve (kWh) verrattuna kuukausittaiseen lämmitystarvelukuun (Kd)

3.2.2 Lämpökonduktanssi

Lämpökonduktanssi on sisä- ja ulkolämpötilan erotuksen ja lämmitystehontarpeen suhde. Lämpökonduktanssi voidaan laskea kaavalla 1.

$$G = \frac{\emptyset (kW)}{\Delta T} = \frac{84 kW}{(10^{\circ}C - (-38^{\circ}C))} = 1,75 kW/^{\circ}C \quad \text{KAAVA 1}$$

missä

$$G = \text{Lämpökonduktanssi} \quad \left[\frac{W}{^{\circ}C}\right]$$

$$\emptyset = \text{Lämmitysjärjestelmän huipputeho} \quad [kW]$$

$$\Delta T = \text{ulkoilman ja sisäilman lämpötilaero} \quad [^{\circ}C]$$

Lämpökonduktanssi voidaan laskea myös kuukausitason kulutetun energian ja lämmitystarveluvun avulla kaavalla 2.

$$G = \frac{Q (kWh)}{Kd (vrk^{\circ}C)} = \frac{28\,000 kWh}{820 * 24^{\circ}Ch} = 1,4 kW/^{\circ}C \quad \text{KAAVA 2}$$

missä

$$G = \text{Lämpökonduktanssi} \quad \left[\frac{W}{^{\circ}C}\right]$$

$$Q = \text{Energia} \quad (kWh)$$

$$Kd = \text{lämmitystarveluku} \quad [vrk^{\circ}C]$$

Lämmitysteho voidaan laskea kaavalla 3.

$$\emptyset = G * \Delta T = 1,4 \frac{kW}{^{\circ}C} * (10^{\circ}C - (-38^{\circ}C)) = 67kW \quad \text{KAAVA 3}$$

missä

$$\emptyset = \text{Lämmitysteho} \quad [kW]$$

$$G = \text{Lämpökonduktanssi} \quad \left[\frac{W}{^{\circ}C}\right]$$

$$\Delta T = \text{ulkoilman ja sisäilman lämpötilaero} \quad [^{\circ}C]$$

Lämpökonduktanssia käyttäen saadaan laskettua vuoden 2018 tehonpysyvyyskäyrä, kun tiedossa on vaadittu sisäilman lämpötila +10 °C sekä ulkoilman keskimääräinen lämpötila tunneittain (kuva 10). Lämpöenergia tuntia kohti voidaan laskea kaavalla 4.

$$Q \text{ (kWh)} = \Delta T * G$$

KAAVA 4

missä

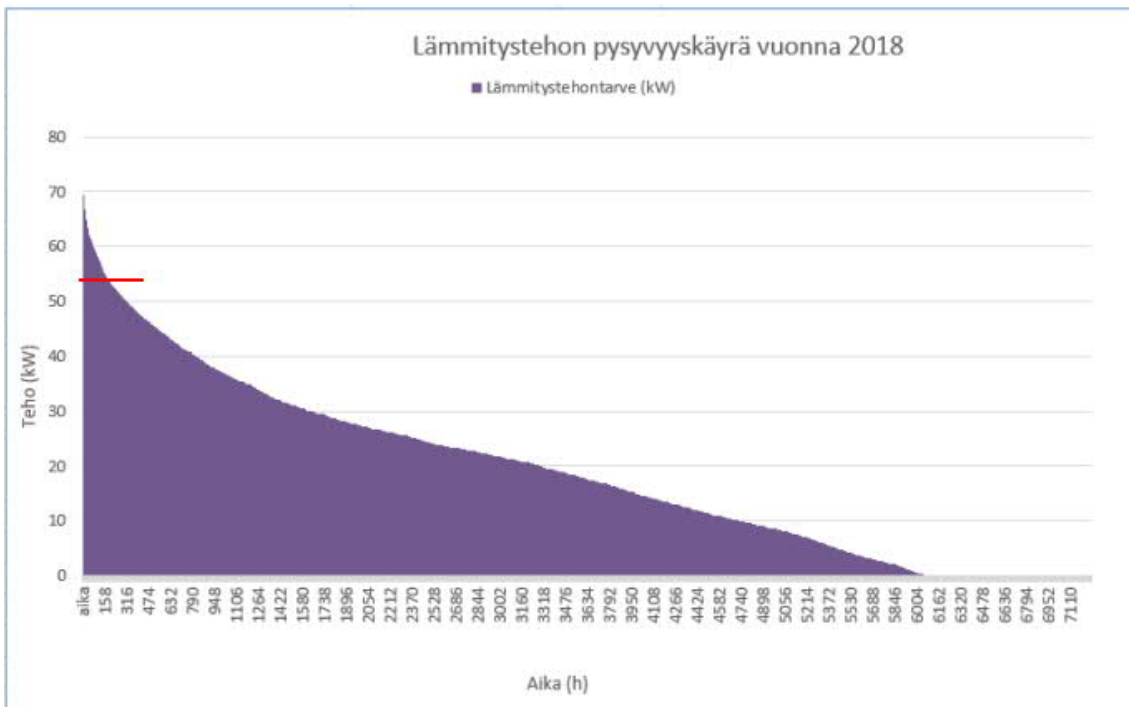
$G = \text{Lämpökonduktanssi}$

$[\frac{W}{C}]$

$Q = \text{Energia}$

[kW]

$\Delta T = \text{ulkoilman ja sisäilman keskimääräinen lämpötilaero}$ [h°C]



KUVA 5 Lämmitystehon pysyvyyskäyrä. Punainen viiva esittää maalämpöpumpulla tuotettua maksimi lämmitystehoa. Laskentataulukko esitetty liitteessä 5.

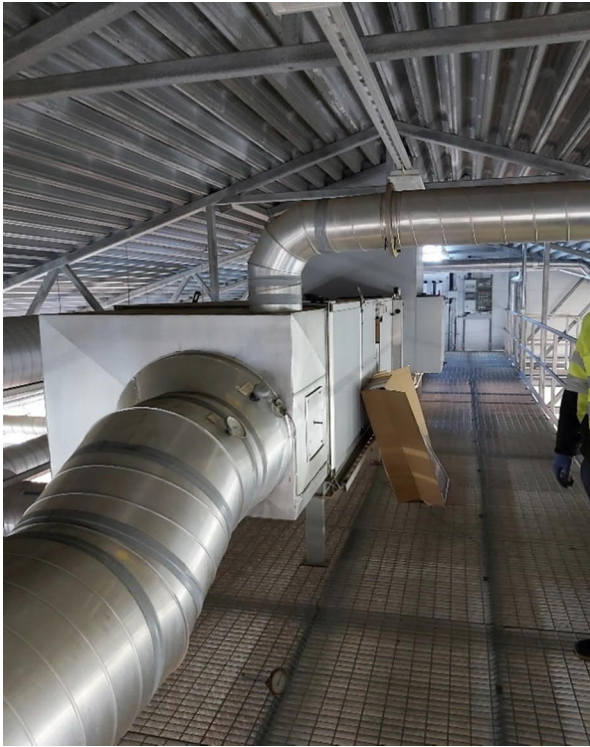
Lämpökonduktanssilla laskettuna lämmityksen kokonaiskulutus vuonna 2018 oli 138,1MWh. Puhdistamon sähkönkulutustiedoista arvioitu kulutus oli vuonna 2018

noin 143,2MWh. Sähkönkulutustiedoissa ei ole eritelty jäteveden puhdistusprosessin tai toimistotilan sähkönkulutusta. Etenkin kevätkuukausien mitattuja kuluksia voidaan pitää melko epävarmoina, koska puhdistamo käsittelee silloin myös sulamisvesiä. Toisaalta sulamisvedet jäädyttävät prosessitilaa keväällä. Vuoden 2018 tuntisen lämmitysenergiankulutuksen laskentataulukko on esitetty liitteessä 6.

3.2.3 Nestekiertoinen lämmitysjärjestelmä

Maalämmön asentaminen Kurenalan jätevedenpuhdistamolle vaatii nestekiertoisen lämmitysjärjestelmän rakentamista, koska nykyinen lämmitysjärjestelmä toimii suorasähköllä. Kiinteistön lämmitysjärjestelmän parhaaksi vaihtoehdoksi nestekiertoisista lämmitysjärjestelmistä valikoitui ilmalämmitys. Ilmalämmitys sopii kohteeseen parhaiten, koska sen asennus-, suunnittelu- ja tarvikekustannukset ovat pienimmät.

Prosessitilaa palvelee tällä hetkellä ilmanvaihtokone TK-1, joka sopisi parhaiten lämmityspatterin sijoituspaikaksi suuren ilmavirran ja sijaintinsa takia. Nykyinen sähköpatteri voitaisiin jättää pois käytöstä ja lisätä nestekiertoisen lämmityspatterin IV-koneen puhaltimen ja äänenvaimentimen jälkeen. Purettava tuloilmakammio on esitetty kuvassa 11. Toisiopuolen lämmönsiirtonesteenä tulisi käyttää 30-prosenttista propyleeniglykolia, jotta välttyttäisiin mahdolliselta jäätymisriskiltä häiriötilanteissa. Tuloilmaelimien heittopituus ylälämpöisellä ilmalla tulisi olla niin suuri, että lämmin ilma saadaan laskeutumaan alas tai muuten tuloilmaelimet pitäisi pudottaa lähelle lattiaa.



KUVA 11 Purettava tuloilmakammio

Nykyisen lämmitysjärjestelmän huipputeho saadaan laskemalla kiertoilmakojeiden huipputehot yhteen kaavalla 5.

$$\varnothing_{ht} = \varnothing_{kik} * n = 9 * 6kW = 54kW$$

KAAVA 5

missä

\varnothing_{ht} = Huipputeho [kW]

\varnothing_{iv} = Ilmanvaihtokoneen sähköpatterin teho [kW]

\varnothing_{kik} = kiertoilmakojeiden sähköteho [kW]

n = Kiertoilmakojeiden määrä [-]

Prosessitilojen tavoitehuonelämpötila on +10°C. Tuloilman vaadittava lämpötila voidaan laskea kaavalla 6.

$$T, t = \frac{\emptyset, huoneet}{\rho, i * c_{p, i} * q, i} + T, p = \frac{54 kW}{1 \frac{kg}{m^3} * 1,2 \frac{kJ}{kg} * k * 3,1 \frac{m^3}{s}} + 10^{\circ}C = 24,5^{\circ}C \quad \text{KAAVA 6}$$

missä

\emptyset = huoneiden lämmitystehontarve [kW]

ρ = ilman tiheys [kg/m³]

$c_{p, i}$ = Lämpökapasiteetti [kJ/kg, K]

q, i = virtaama [m³/s]

T, p = Poistoilman lämpötila [°C]

T, t = tuloilman lämpötila [°C]

Nestekiertoisen lämmityspatterin teho voidaan laskea kaavalla 7.

$$\emptyset, p = \rho, i * c_{p, i} * q, i * (T, t - T, LTO) \quad \text{KAAVA 7}$$

$$= 1 \frac{kg}{m^3} * 1,2 \frac{kJ}{kg} * k * 3,1 \frac{m^3}{s} * (24,5^{\circ}C - 3,3^{\circ}C) = 79 kW$$

missä

\emptyset = patterin teho [kW]

ρ = ilman tiheys [kg/m³]

$c_{p, i}$ = Lämpökapasiteetti [kJ/kg, K]

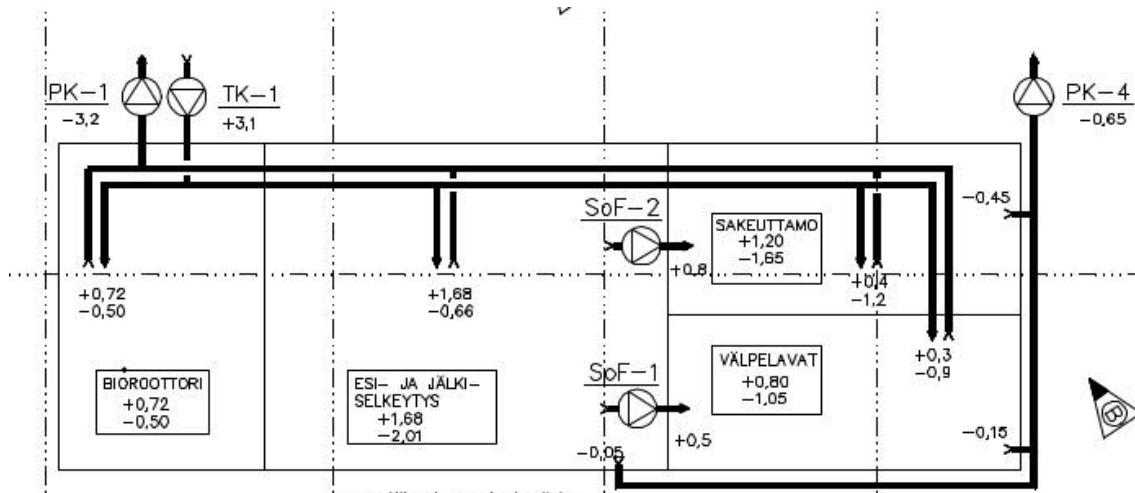
q, i = virtaama [m³/s]

T, LTO = Lämpötila LTO:n jälkeen [°C]

T, t = tuloilman lämpötila [°C]

Noin 77 % TK-1:n ilmavirrasta ohjataan bioroottori-, esi- ja jälkiselkeytystiloihin, jotka sijaitsevat samassa tilassa (kuva 12). TK-1 palvelee myös sakeuttamo- ja

välpelavatiloja, jotka sijaitsevat väliseinän takana. Ilmavirrat tulisi tasapainottaa uuden lämmityspatterin jälkeen vastaamaan kunkin tilan lämmitystehontarvetta.



KUVA 12 Prosessitilojen nykyinen ilmanvaihdon virtauskaavio

3.2.4 Tekninen tila

Maalämpöjärjestelmä tarvitsee soveltuvan tilan, jonne se pystyttäisiin sijoittamaan jätevedenpuhdistamolla. Maalämpöjärjestelmän osat tarvitsevat riittävästi tilaa, jotta ne voidaan huoltaa sekä vaihtaa tarvittaessa. Nykyisestä kiinteistöstä ei löytynyt sopivaa tilaa, johon maalämpöpumppu voitaisiin sijoittaa komponentteineen.

Yksi maalämpöpumpun tilantarpeen täyttävä laajennusratkaisu voisi olla eristetty merikontti, johon sijoitettaisiin kaikki maalämpöjärjestelmään tarvittavat komponentit.

3.2.5 Maalämpöpumpun mitoitus

55 kW maalämpöpumpulla päästään 70 prosentin koko rakennuksen osatehomiitoitukseen. 55 kW:n maalämpöpumpulla katetaan 99,3% rakennuksen lämpöenergiankulutuksesta (liite 6). Osatehomiitoituksella maalämpöpumppu ei tuota koko mitoitusilanteen lämmitystehontarvetta, joten puskurivaraajaan tulisi sijoittaa sähkövastuksia mitoitusilanteen lämmitystehontarpeen kattamiseksi.

Sähkövastuksilla tuotettu lämpöenergia voidaan laskea, kun tiedetään maalämpöpumpun tuottama huipputeho ja rakennuksen lämmitystehontarve. Kaavassa 8 on laskettu, kuinka paljon tarvittavasta lämpöenergiasta olisi tuotettu sähkövastuksilla 28.2.2018 klo 01.00–02.00 välisenä aikana, kun maalämpöpumpun tuottama lämpöenergia olisi ollut 55 kWh. Liitteessä 6 on esitetty laskentataulukko vuoden 2018 maalämpöpumpulla tuotetulle lämpöenergialle.

$$Q_{,s} = Q_{,r} - Q_{,mlp} = 72kWh - 55kWh = 17 kWh \quad \text{KAAVA 8}$$

missä

$$Q_{,s} = \text{sähkövastuksilla tuotettu lämpöenergia} \quad [\text{kWh}]$$

$$Q_{,r} = \text{huoneiden vaatima lämpöenergia} \quad [\text{kWh}]$$

$$Q_{,mlp} = \text{maalämpöpumpulla tuotettu lämpöenergia} \quad [\text{kWh}]$$

55kW maalämpöpumpun alustava hinta-arvio on noin 15 000 euroa.

Mitoitustilanteen maalämpöpumpun osuus lämmitystehosta voidaan laskea kaavalla 9.

$$MLP = \frac{\varnothing_{,MLP}}{\varnothing_{,p}} * 100 = \frac{55 kW}{79 kW} * 100 = 70\% \quad \text{KAAVA 9}$$

missä

$$MLP = \text{maalämpöpumpun tuottama lämmitysteho} \quad [\%]$$

$$\varnothing_{,MLP} = \text{maalämpöpumpun tuottama teho} \quad [\text{kW}]$$

$$\varnothing_{,p} = IV - \text{koneen lämmityspatterin teho} \quad [\text{kW}]$$

3.2.6 Maalämpöpumpun puskurivaraajan mitoitus

Maalämpöpumpun aktiivisen verkoston tilavuus on oltava riittävä. Riittävällä verkoston koolla lämpöpumpun käynti- ja lepojaksot ovat sopivan pituisia. Aktiivisella verkoston tilavuudella tarkoitetaan kiertävää verkostotilavuutta. Puskurivaraajan tulee olla niin suuri, että läpi lämmenneen varaajan purku kestää vähintään läm-

pömpun lepoajan verran. Lepoaika tulee mitoittaa tarpeeksi pitkäksi kompressorin eliniän pidentämiseksi. Valitun valmistajan suosittelema lepoaika maalämpöpumpulle on noin 20 min. Varaajan tilavuus saadaan laskettua kaavalla 10.

$$V = \frac{Q \cdot \left(\frac{3600 \text{ kJ}}{\text{kWh}} \right)}{\rho_{ve} \cdot c_{p_{ve}} \cdot \Delta T} = \frac{55 \text{ kW} \cdot \frac{1}{3} \text{ h} \cdot 3600 \text{ kJ/kWh}}{1050 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 3,8 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot (50^\circ\text{C} - 30^\circ\text{C})} = 0,82 \text{ m}^3 \quad \text{KAAVA 10}$$

missä

V = Varaajan tilavuus [m³]

Q = MLP:n lepoajan huippuvirtaaman lämmitysenergian tarve [kWh]

ρ_{ve} = nesteen tiheys [kg/m³]

$c_{p_{ve}}$ = nesteen lämpökapasiteetti [kJ/kg·K]

ΔT = Lämpötilaero [°C]

3.2.7 Energiakaivojen mitoitus

Energiakaivon mitoitus voi olla joko energiaperusteinen, tehoperusteinen tai molempia. Lähtötietoina tulisi ainakin olla maaperään kohdistuva lämmityskuorma, kallioperän ominaisuudet (kivi- ja maalajit sekä pohjavesi) sekä porareikien sijainnista varten varattu alueen koko ja sijainti. (7.)

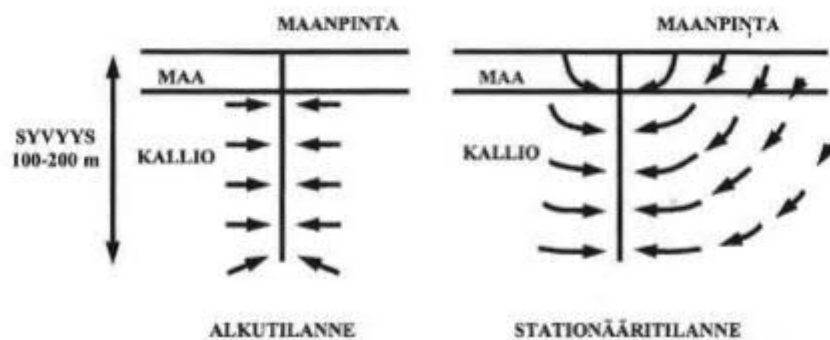
Useamman energiakaivon energiakentän mitoituksessa tulee ottaa huomioon energiakaivojen etäisyys toisistaan, lämpöteho stationääritilassa ja vuotuinen energiankulutus. Kaikki energiakentän energiakaivot tulisi suunnitella siten, että niiden käyttöikä on vähintään 25 vuotta, kuitenkin mielellään 50 vuotta tai yli. Yksi riskitekijöistä, joka voi estää energiakaivon tai energiakentän pitkäikäisyyden, on energiakaivojen alimitoituksesta johtuva kaivon jäätyminen. Jäätyminen on seurausta pitkäaikaisesta energiakaivon ylikuormituksesta, jolloin energiakaivo ja sitä ympäröivä maaperä ei ole ehtinyt palautumaan lämmönoton aiheuttamasta rasituksesta.

Energiakaivon jäätymisellä tarkoitetaan energiakaivossa olevan veden tai jonkun muun täyteaineen jäätymistä. Veden ominaistilavuus on jään ominaistilavuutta

10 % pienempi, jolloin jää puristaa keruuputkia kasaan. Mikäli virtaus estyy keruuputkistossa kokonaan jään synnyttämästä puristuksesta johtuen, voidaan keruuputki joutua uusimaan kokonaan. Keruuputkiston uusiminen ei aina ole mahdollista, esimerkiksi jos vanhaa keruuputkistoa ei saada pois kaivosta. Tällöin ainoaksi vaihtoehdoksi jää uuden kaivon poraaminen. (7, s. 4.)

Mikäli energiakaivo on alimitoitettu lievästi, jäätyminen etenee vuosi vuodelta jäätyneen osuuden kasvaessa. Kaivon lopullinen jäätyminen voi tapahtua vasta 5–10 vuoden päästä maalämpöjärjestelmän käyttöönotosta. Tehokasta lämpöpumppua voidaan käyttää matalillakin liuoslämpötiloilla tehon ja lämpökertoimen kustannuksella. Mikäli lämmityskauden keskimääräiset liuoslämpötilat ovat kuitenkin alle $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$, tulisi kaivon kuormitusta rajoittaa.

Mikäli energiakaivo tai energiakenttä on mitoitettu oikein, maaperän keskilämpötila tasaantuu käytön aikana sopivalle tasolle. Mikäli maanpinta on lähellä kalliota ja energiakaivo on mitoitettu oikein, päästään kuvan 13 mukaiseen tilaan 25 vuoden jälkeen. (11, s. 26.)



KUVA 13 Energiakaivon latautuminen alku- ja stationääritilanteessa (3. s. 14.)

Yli kymmenen energiakaivon energiakenttien mitoitukseen suositellaan tehtävän TRT-mittaus (thermal response test). Siinä porataan koerekä, josta mitataan kallioperän terminen vaste. TRT-mittaus ei pienemmissä kohteissa ole useimmiten taloudellisesti kannattavaa, koska se vaatii koareiän tekoa ja erillistä porakoneiston ja mittauskaluston käyntiä kohteessa.

Energiakaivon mitoitusperusteena voidaan käyttää tarvittavaa energiamäärää, mikäli sitä käytetään ainoastaan lämmityskäyttöön. Nyrkkisääntönä porakaivon energiamäärälle voidaan pitää Etelä-Suomessa 100 kWh/porareikämetri vuodessa. Vaihteluväli voi kuitenkin olla +/-40 % riippuen kallioperästä sekä kaivon aktiivisyvyydestä. Pohjois-Suomessa energiamäärät porakaivometrille ovat yleisesti paljon pienempiä kuin Etelä-Suomessa. Kallioperän energiapotentiaalien muutoksista johtuen energiakentän tarkkaan ja luotettavaan mitoitukseen on erilaisia suunnitteluohjelmia. Tässä opinnäytetyössä kentän mitoitus tehdään Earth energy designerilla (EED), joka on hyvin yleisesti käytössä maalämpösuunnittelijoiden työkaluna. EED soveltuu hyvin pienempien energiakenttien mitoitukseen. (7, s. 40.)

EED-sovellus optimoi energiakentän aktiivisyvyydeksi 1325 m, joka koostuu viidestä 265 m pitkästä energiakaivosta, jotka ovat halkaisijaltaan kukin 160 mm (liite 3).

On hyvä laskea myös stationääritilan lämpöteho, jotta varmistutaan energiakentän riittävästä suuruudesta maalämpöpumpun huipputeholle.

Kaivon stationääritilan lämpöteho voidaan laskea karkeasti kaavalla 11 (11, s. 13).

$$Q = \frac{2 \cdot \pi \cdot \lambda \cdot H \cdot (T_o - T_b)}{\ln\left(\frac{H}{d}\right)} \cdot E, nQ = \frac{2 \cdot \pi \cdot 3,2 \frac{W}{mK} \cdot 265m \cdot (7,5 - (-5))^{\circ C}}{\ln\left(\frac{265m}{0,16m}\right)} \cdot 5 = 45kW \quad \text{KAAVA 11}$$

Q= lämpöteho stationääritilassa [W]

λ= kallioperän lämmönjohtavuus (15. s,15) [W/mK]

H= Energiakaivon aktiivisyvyys [m]

To= kallioperän lämpötila puolella välissä kaivoa (16.) [°C]

Tb= Kaivon seinämän alin sallittu lämpötila [°C]

d= kaivon halkaisija [m]

E,n= Energiakaivojen määrä [-]

Maalämpöpumpun maasta ottaman huipputehon ollessa 37 kW, energiakentän lämpöteho stationääritilassa on riittävä.

Maalämpöpumpun maasta ottama huipputeho voidaan laskea kaavalla 12.

$$Q_c = Q_h - \frac{Q_h}{COP} = 55kW - \frac{55kW}{3} = 37kW \quad \text{KAAVA 12}$$

Q_c = Maaperästä otettu lämpömäärä [kW]

Q_h = Maalämpöpumpun tuottama lämpömäärä [kW]

COP= Lämpökerroin [kW]

4 INVESTOINTILASKELMAT

Maalämpöpumppujärjestelmän investointilaskelmien tavoitteena on selvittää investoinnin kannattavuus ja takaisinmaksuaika. Laskelmien keskeinen laskentateknillinen kysymys on eriaikaisten kuluerien saattaminen keskenään vertailukelpoisiksi. Tähän pyritään määrittämällä laskentakorko halutulle ajalle. Nyrkkisääntönä voidaan pitää sitä, että euro tänään on arvokkaampi kuin euro huomenna, koska se voidaan tänä aikana laittaa esimerkiksi pörssiin korkoa kasvamaan. (17.)

Kohteen investointilaskelmat on tehty siten, että maalämpöjärjestelmän jäännösarvo 25 vuoden jälkeen on 0 euroa. Todellisuudessa tämä arvo voi olla huomattavasti suurempi, sillä esimerkiksi energiakenttää voidaan hyödyntää vielä tämänkin jälkeen. Laskelmissa ei ole otettu myöskään huomioon mahdollisia valtion myöntämiä energia-avustuksia. Sähkön hintakehitystä ei laskelmissa ole enustettu.

Nykyinen lämmitysjärjestelmä on 18 vuotta vanha, ja se altistuu prosessitilan aggressiivisille olosuhteille, joten sen tekninen käyttöikä lähenee loppuaan. Mikäli kaikki puhaltimet ja IV-koneen sähköpatteri uusitaan, on näiden töiden ja tarvikkeiden kustannusarvio 9 000 euroa. Investointilaskelmissa on otettu huomioon myös mahdolliset maalämpöpumpun ja sähkölämmittimien huoltotyöt. Esimerkiksi kompressorit on arvioitu uusittavan 10 vuoden välein ja lämmitinpuhaltimia uusittavan 5 vuoden välein. Maalämpöpumpun huoltokustannuksiksi on arvioitu noin 500 euroa vuodessa ja lämmitinpuhaltimien huoltokustannuksiksi noin 300 euroa vuodessa.

4.1 Maalämpöjärjestelmän kokonaiskustannusarvio

Maalämpöjärjestelmän kustannusarviossa on pyritty ottamaan mahdollisimman kattavasti kaikki järjestelmään liittyvät tarvittavat investoinnit huomioon. Esimerkiksi rakennuttamiskustannuksiin on pyritty ottamaan huomioon kaikki projektin

hallinnointiin sekä lupakirjoihin liittyvät kustannukset. Kustannusarviot on esitetty taulukossa 1.

TAULUKKO 1 Urakoinnin kustannusarvio

Urakoinnin kustannusarvio	
Tehtävä	Kustannusarvio
Sähköurakka	45 200 €
LV-urakka	84 960 €
IV-urakka	7 700 €
Rakennusurakka	12 000 €
Rakennuttamiskustannukset	17 000 €
Kokonaiskustannusarvio	166 860 €

4.2 Korollinen takaisinmaksuaika

Korollisessa takaisinmaksuajassa otetaan huomioon pääoman korkokustannukset. Uusien yrityslainojen keskiporko vuonna 2020 oli 1,93 % (19). Laskelmissa käytetään varmuuden lisäämiseksi korkoprosenttina 2,5 %.

Korollinen takaisinmaksuaika lasketaan kaavalla 13.

$$ln = \frac{\ln\left(\frac{T}{T-H*i}\right)}{\ln(1+i)} = \frac{\ln\left(\frac{9197,14\text{€}}{9197,4\text{€} - (165\,958\text{€} - 9\,000\text{€}) * 2,5\%}\right)}{\ln(1+2,5\%)} = 23 \text{ Vuotta} \quad \text{KAAVA 13}$$

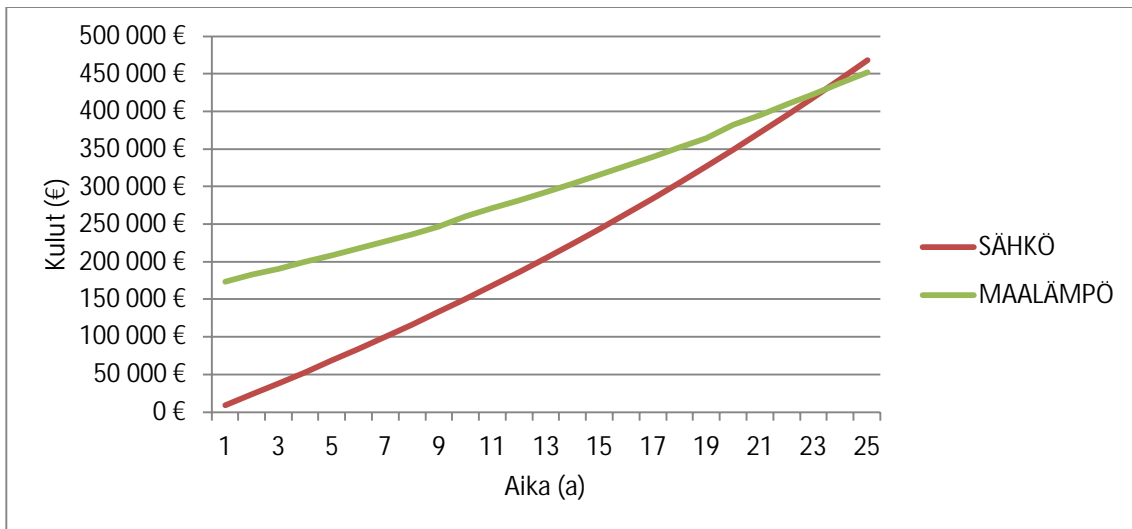
n= korollinen takaisinmaksuaika [a]

T= Vuotuisien energiakustannuksien erotus [€]

H= Järjestelmien hankintahintojen erotus [€]

i= korkoprosentti [%]

Lämmitysjärjestelmien juoksevat kulut on esitetty ajan funktiona kuvassa 14.



KUVA 14 Lämmitysjärjestelmien juoksevat kulut ajan funktiona

4.3 Nettonykyarvo (NPV)

Nykyarvomenetelmässä kulut ja tuotot diskontataan nykyhetkeen. Nettonykyarvomenetelmä kertoo, onko investointi kannattava. Investointia voidaan pitää kannattavana, mikäli tulevat nettotuotot ovat suuremmat kuin alkuinvestointi. Nykyarvomenetelmä ottaa huomioon rahan aika-arvon. Koska investoinnista saatavat tuotot tapahtuvat vasta tulevaisuudessa, määritetään nykyarvolaskennassa tuotoille arvo nykyhetken näkökulmasta.

Diskonttauskorko voidaan määrittää esimerkiksi pääoman keskimääräisellä kustannuksella. Investoija ottaa suuremman riskin kuin luotonantaja, joten investoijan tuotto-odotus on luonnollisesti suurempi.

Pääoman keskimääräinen kustannus on vieraan ja oman pääoman markkina-arvoilla painotettu keskiarvo vieraan ja oman pääoman tuotto-odotuksista. Pääoman keskimääräinen kustannus voidaan laskea kaavalla 14. (20.)

$$WACC = Y_v * V_k * (1 - v) + Y_{opp} * O_{pt}$$

KAAVA 14

$$= 66,7\% * 2,5\% * (1 - 0,2) + 33,3 * 5\% = 3\%$$

missä

Y_v = Yrityksen velkapaino [%]

V_k = Velkojen keskikorko [%]

V = Vero [%]

Y_{opp} = Yrityksen oman pääoman paino [%]

O_{pt} = Oman pääoman tuottovaade [%]

Koska kyseessä on yritys, voidaan korkokulut vähentää verotuksessa. Tällöin vieraan pääoman kustannus on pienempi kuin maksettava korko.

Koska nykyarvossa ei oteta mukaan investointikustannuksia, nykyarvo ei kuvasta itse investoinnin kannattavuutta. Tämän takia lasketaan myös nettonykyarvo, jossa kassavirtojen nykyarvosta vähennetään investointikustannukset. Mikäli nettonykyarvo on positiivinen, voidaan investointia pitää kannattavana. Nettonykyarvo lasketaan kaavalla 13. Nettonykyarvolaskelmataulukko on esitetty liitteessä 4.

$$NPV = \sum_t^n = 1 * \frac{St}{(1+r)^t} + \frac{JA*n}{(1+r)^n} = I_0$$

KAAVA 15

NPV=nettonykyarvo [€]

St =Investoinnin tuottama kassavirta vuonna t [€]

r =käytettävä diskonttaus korkokanta [%]

JA =Investoinnin jäännösarvo aikajakson n lopussa (laskettu nolaksi) [€]

n = aikajakso [a]

I_0 =investointikustannus [€]

Nettonykyarvo vertailtaessa maalämpöinvestoinnin kannattavuutta sähkölämmitykseen on -5487 euroa. Koska nettonykyarvo on negatiivinen, voidaan investointia pitää kannattamattomana.

5 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tavoitteena oli tehdä teknis-taloudellinen selvitys Kurenalan jätevedenpuhdistamon sähkölämmityksen muutostyöstä maalämpöön. Tavoitteina oli selvittää maalämpöpumpuinvestoinnin kannattavuus sekä jätevedenpuhdistamon teknisen veden hyötykäyttöä lämmönlähteenä. Jätevedenpuhdistamon virtaaman vaihdellessa suuresti ja sen palvellessa sekavesijärjestelmää teknisen veden lämpöpotentiaali ei ole talvisaikaan kovinkaan suuri. Teknisen veden hyödyntäminen energianlähteenä osoittautui erittäin vaikeaksi ja kalliiksi kohteessa nykyisillä menetelmillä. Kohteessa kallion läheisyys estää jätevesilammikoiden sedimenttilämmön hyödyntämisen.

Mikäli jätevedenpuhdistamo sijaitisi esimerkiksi kaukolämpövoimalaitoksen vieressä, voitaisiin teknisen veden lämpöenergiaa ottaa talteen paljon paremmalla hyötysuhteella energiantarpeen ollessa ympärivuotista. Kaukolämpövoimalaitoksella lämpöenergian tarve olisi ympärivuotinen, jolloin teknisen veden lämmöntalteenottojärjestelmä voisi olla kannattava.

Maalämpöpumpun asennus kohteeseen on hiukan haastavaa tilanpuutteen sekä sähköjärjestelmään ja IV-kanavistoon tehtävien muutosten takia. Toisaalta kiinteistön maaperä energiakentälle vaikuttaisi olevan hyvä kallion läheisyyden vuoksi, joten porauskustannukset tulisivat todennäköisesti pysymään maltillisina.

Investointilaskelmia voidaan pitää melko epäedullisina maalämpöpumpulle, koska energiakentän jäännösarvoa ei ole otettu huomioon. Jäännösarvon jättäminen maalämpöjärjestelmälle 23 vuoden jälkeen on riskialtista, koska useiden vuosikymmenten päähän ennustaminen on hyvin epävarmaa. Opinnäytetyössä ei selvitetty valtiolta saatavia mahdollisia avustuksia, jotka myös voisivat vaikuttaa suuresti investoinnin kannattavuuteen. Vaikka maalämpöinvestointi ei ole kovin kannattavaa, sillä saavutettaisiin kuitenkin merkittävä hiilidioksidipäästöjen vähennys suoraan sähkölämmitykseen verrattuna.

LÄHTEET

- 1 Banks, D. 2012. An Introduction to Thermogeology: Ground Source Heating and Cooling. UK: John Wiley & Sons.
- 2 Lappi, J. 2013. Maalämpöpumpun lämmönkeräysjärjestelmän kehittäminen pientalokohteessa ja maalämpöjärjestelmien teknistaloudellinen vertailu. Lahden ammattikorkeakoulu. Ympäristöteknologia. Opinnäytetyö. Hakupäivä 3.12.2020, https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/63021/Lappi_Joni.pdf?sequence=1.
- 3 Kallio, J. 2009. Geologian tutkimuslaitos. Luento 20.08.2009. Geoenergian hyötykäyttö suurkohteissa ja yhdyskuntasuunnittelussa.
- 4 Mustafa Omer, A. 2008. Ground-source heat pumps systems and applications. Renewable and Sustainable Energy Reviews. UK: Elsevier.
- 5 Huusko, A., Lahtinen, H., Martinkauppi, A., Putkinen, N., Putkinen, S. & Wik, H. 2015. Keski- Suomen geoenergiapotentiaali. Geologian tutkimuskeskus. Hakupäivä 18.1.2020, http://www.keskisuomi.fi/filebank/24387-KeskiSuomen_geoenergiapotentiaali_4162018_loppuraportti.pdf.
- 6 Suomen lämpöpumppuyhdistys 2021. Maaperä lämmön lähteenä. Hakupäivä 2.3.2021, <https://www.sulpu.fi/maapera-lammon-lahteena>.
- 7 Juvonen, J. & Lapinlampi, T. 2013. Energiakaivo – Maalämmön hyödyntäminen pientalossa. Ympäristöopas. Helsinki: Ympäristöministeriö.
- 8 Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus, 2019. Pudasjärvi yleiskartta Pohjoisosa. Hakupäivä 14.2.2021, <https://www.ymparisto.fi/download/no-name/%7BCBF1226F-B3EA-4171-AFD7-FEF844474E1A%7D/144195>.
- 9 Mäkiranta, A., Martinkauppi, J.B. & Hiltunen, E. 2017. Seabed sediment – a natural seasonal heat storage feasibility study. Vaasan yliopisto. Hakupäivä 14.2.2021, https://agronomy.emu.ee/wp-content/uploads/2017/04/Vol15SP1_Makiranta.pdf#abstract-5172

- 10 Mäkiranta, A., Martinkauppi, B., Hiltunen, E. & Lieskoski, M . 2018. Sea-bed Sediment as an Annually Renewable Heat Source. Hakupäivä 14.2.2021, <https://www.mdpi.com/2076-3417/8/2/290/htm>.
- 11 Leppäharju, N. 2008. Kalliolämmön hyödyntämiseen vaikuttavat geofysikaaliset ja geologiset tekijät. Pro gradu -tutkielma. Oulun yliopisto, Fysikaalisten tieteiden laitos.
- 12 Kauppila, K. 2015. Energiakenttien mitoitus ja elinkaari. Suomen kylmäyhdistys ry koulutuspäivät. PDF-dokumentti.
- 13 Oksanen, H. 2015. Asuinkerrostalon maalämpöjärjestelmän optimointi uudis- ja korjausrakentamiskohteissa. Aalto-yliopisto. Insinööritieteiden korkeakoulu. Energia- ja LVI- tekniikan koulutusohjelma. Diplomityö. Viitattu 3.11.2020, https://aaltodoc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/15096/master_Oksanen_Henri_2015.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
- 14 Kallio, J. 2009. Geoenergian hyötykäyttö suurkohteissa ja yhdyskuntasuunnittelussa. PDF-dokumentti.
- 15 Tvrdy, J. 2017. Pohjois-Savon kohdennettu geoenergiapotentiaaliselvitys. Pohjois-Savon liitto.
- 16 Geologian tutkimuskeskus, maankamara, 2021. Hakupäivä 14.2.2021, <https://gtkdata.gtk.fi/maankamara/>.
- 17 Beattie, A. 2021. A guide to calculating return on investment. Viitattu 21.2.2021, <https://www.investopedia.com/articles/basics/10/guide-to-calculating-roi.asp>.
- 18 Vierros, T. 2009. TU-22.1101 Tuotantotalouden peruskurssi. Hakupäivä 27.2.2021, <https://wiki.aalto.fi/display/TU22/8.+Investointilaskelmat>.
- 19 Suomen pankki, 2020. Viitattu 27.2.2021, <https://www.sttinfo.fi/tiedote/suuri-yrityslainoja-nostettiin-runsaasti-maaliskuussa-2020?publisherId=1865&releaseId=69880174>.

20 Hargrave, M. 2020. Weighed Average Cost of Capital – WACC. Hakupäivä 20.2.2021. <https://www.investopedia.com/terms/w/wacc.asp>.

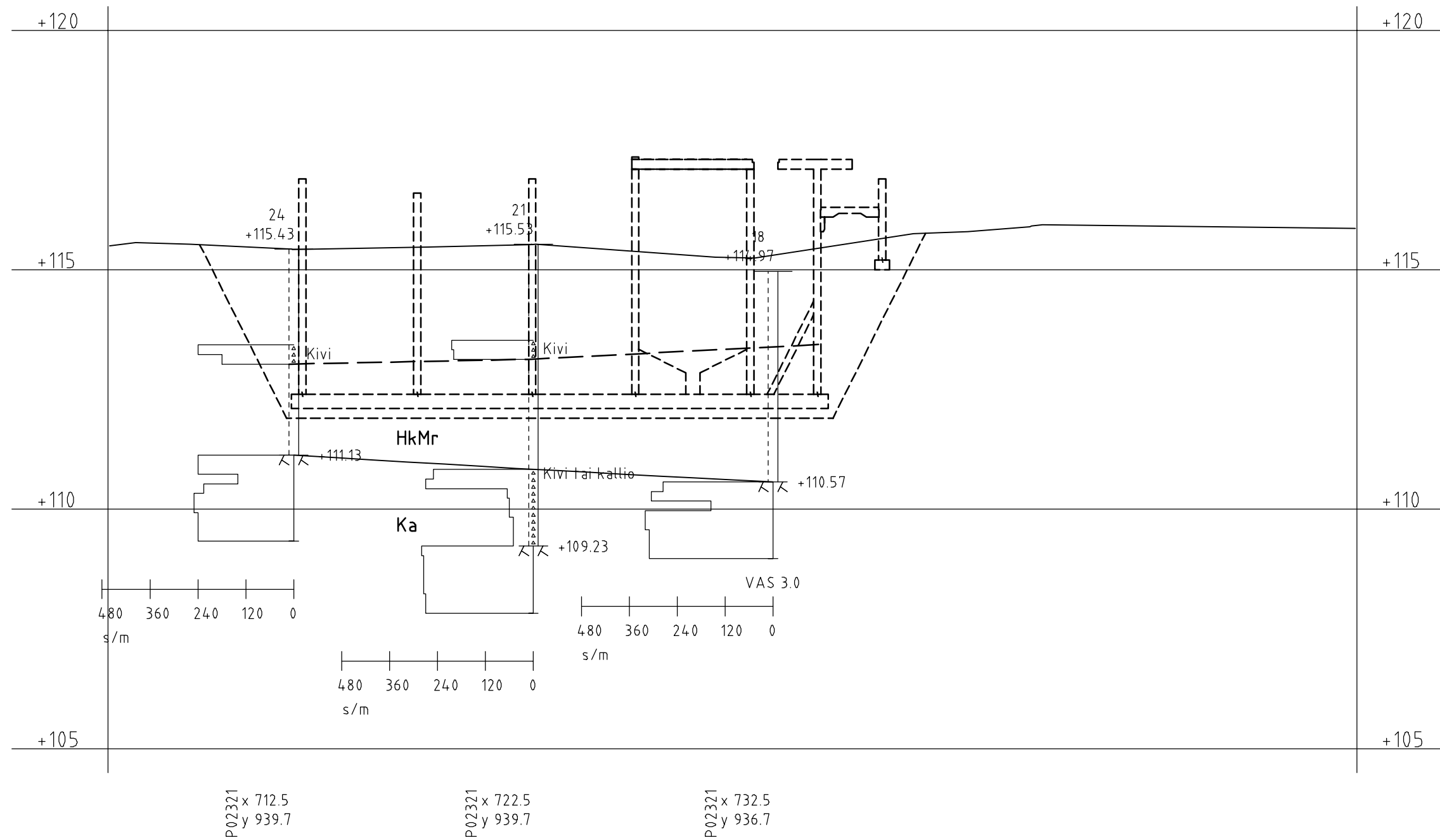
21 Ilmatieteenlaitos, Säättiedot. Hakupäivä 4.3.2021, <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/mennyt-saa-ja-ilmastotilastot>.

LIITTEET

Liite 1	Pohjatutkimus
Liite 2	Energiakenttä
Liite 3	EED-simulaatio
Liite 4	Investointilaskelmat
Liite 5	Lämmitysenergiankulutus vuonna 2018
Liite 6	IV-lämmityspatterin mitoitus
Liite 7	IV-koneen mitoitus
Liite 8	Sähkönkulutustiedot

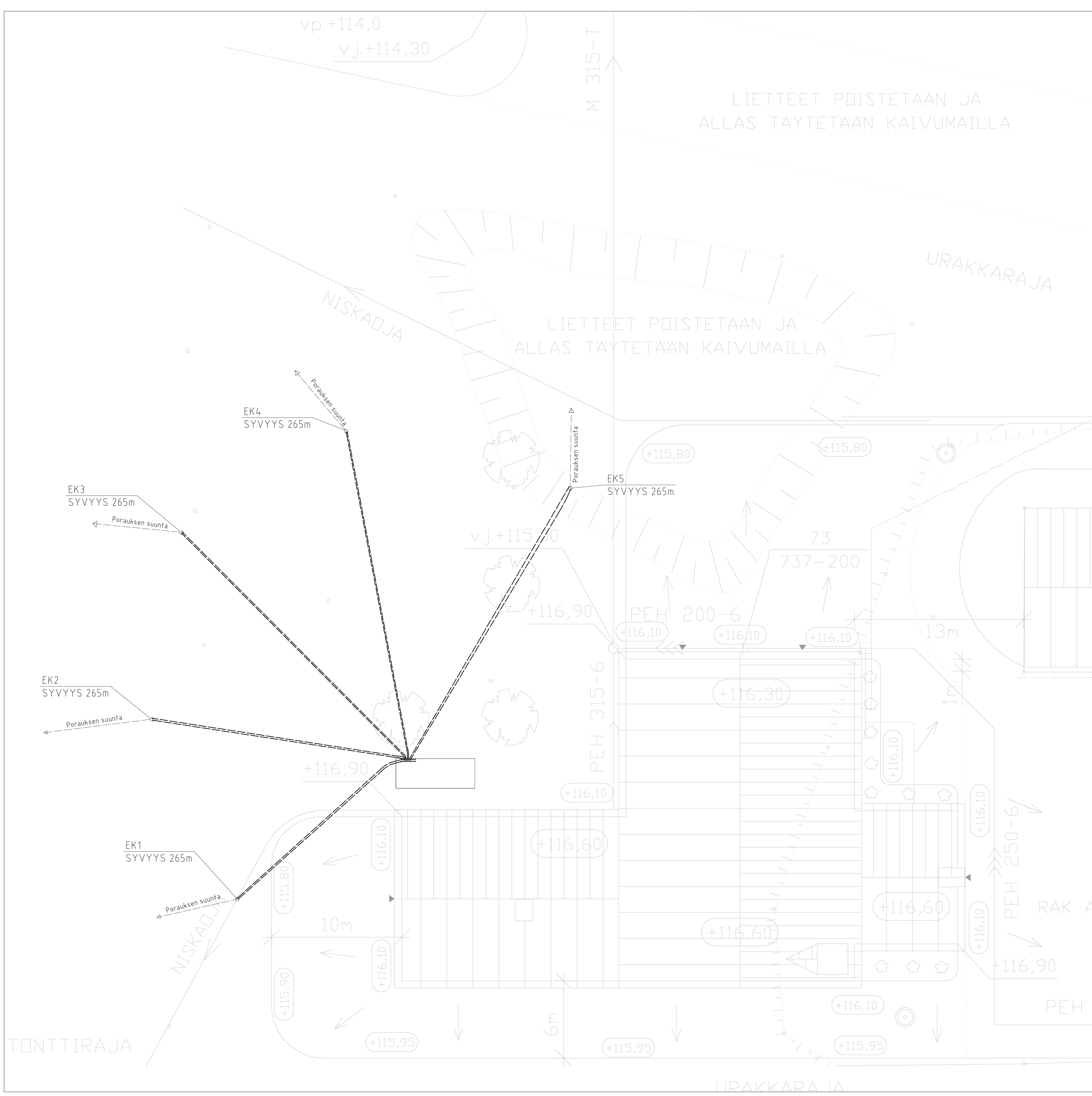
LEIKKAUS 5 - 5

1:200/1:100



Kaup.osa	Kortteli	Tontti	Alue	Viranomaisen arkistointimerkintä
Rak.toimenpide UUDISRAKENNUS				Piirustusaji POHJATUTKIMUS
Tilaaaja PUDASJÄRVEN VESIOSUUSKUNTA				Työn nimi KURENALAN JÄTEVEDENPUHDISTAMO
JAAKKO PÖYRY INFRA PSV-Maa ja Vesi			Piirustuksen sisältö LEIKKAUS 5-5	Mittakaava 1:200/1:100
Sammonkatu 16, PL20, 90571 OULU puh. 08-8869 222 fax 08-8869 250 email: etunimi.sukunimi@poyry.fi				
Pvm 8.11.2002	Tiedosto POHTUT	Piirt.	Työnumero P02321	Piir.n:o MAA-6
Suunn.	Tark.			

- Energiakenttä
- 5 KPL ENERGIKAIVOJA (EK1-EK5)
 - YHDEN KAIVON TEHOLLINEN SYVYYS 265m (KALLIO OSUUS)
 - TEHDÄÄN PYSTYPORAUKSENA
 - PYSTYKAIVON PÄÄSSÄ PAINESUOJAHATTU JA SUOJAKAIVO RUMPUPUTKELLA 315mm JA MUOVIKANSSI
 - KERUUPUTKET KAIVOSSA PEM40x2,4mm pn10 POHJAPAINOLLA
 - VAAKAPUTKET JAKOTUKIN JA ENERGIKAIVON VÄLILLÄ PEM 40x2,4/63 pn10 (ERISTETTY)
 - MAAPUTKI TIIVISTETÄÄN EIJÄÄN KALLIOON VÄH. 2 METRIN SYVYYTEEN JA BETONOIDAAN



Maalämpöselvitystä varten 20.11.2020								
Rev.	Muutos	KORTTELITILA	TONTTINUMERO	VIKKOALUEEN ARVIOIDUNTA SUURTA	Suun.	Tark.	Hjv.	Pvm
01								
OY KURUNALAN JÄTEVEDENPUHDISTAMO PUDASJÄRVI Kurenalan JÄTEVEDENPUHDISTAMO PUDASJÄRVI				PROJEKTI Lämmitys PROJEKTI Asemapiirustus		JOUKKOVA MITTAKAAVA 1:50		
SUUNNITTELIJA Arttu Holappa				PVM 20.11.2020				
AFRY Finland OY Elektroninkatu 13 FIN-00500 OULU, Finland Tel: +358 10 53 280 Fax: +358 10 53 2872				SUUNNITTELIJA LVI		TYÖNUMERO 0002		MUUTOS SW

Temp

EED 3.22 - www.buildingphysics.com - license for Jouni.Kivirinta@oamk.fi

Syöttö tiedosto:UNTITLED.DAT

Tämä tulos tiedosto: UNTITLED.OUT Päivä: 27.2.2021 Aika: 16.12.24

Projektin muistiinpanot

[]

Yhteenveto

Hinta	40172 EUR
Porareikien lukumäärä	5
Porakaivon syvyys	262,8 m
Porakaivon yhteispituus	1314 m

SUUNNITELU TIEDOT

=====

MAA

Maaperän lämmönjohtavuus	3,2 W/(m·K)
Maaperän lämpökapasiteetti	2,16 MJ/(m ³ ·K)
Maanpinnan lämpötila	2 °C
Maaperän lämpövuoto	0,06 W/m ²

Porausreikä

Kokoonpano:	23 ("5 : 2 x 4 L-configuration")
Porakaivon syvyys	262,8 m
Porakaivojen väli	11 m
Porakaivon asennus	Normi-U
Porakaivon halkaisija	139,7 mm
U-putken halkaisija	40 mm
U-putken paksuus	2,3 mm
U-putken lämmönjohtokyky	0,42 W/(m·K)
U-putken käyrän halkaisija	70 mm
Kaivonesteen lämmönjohtavuus	0,6 W/(m·K)
Kontak.Lämpövast. putki/kaivoneste	0 (m·K)/W

LÄMPÖVASTUKSET

Porakaivon lämpövastukset lasketaan
Laskennan monikerrat 10
Sisäinen lämmönsiirto meno ja paluuputken välillä vakio

LÄMMÖNSIIRTONESTE

Lämmönjohtokyky	0,45 W/(m·K)
Ominaislämpökapasiteetti	3725 J/(Kg·K)
Tiheys	1042 Kg/m ³
Viskositeetti	0,011 Kg/(m·s)
Jäätymispiste	-17 °C
Virtaus per porakaivo	1 l/s

Temp

PERUSKUORMA

LKV:n COP	3
vuosi COP(lämmitys)	3,5
vuosi COP(jäähdytys)	3

Kuukausittainen energiankulutus [MWh]

Kuukausi	Lämpökuorma	Kylmäkuorma	Maaperänkuorma
TAM	24,43	0	17,45
HEL	20,76	0	14,83
MAA	21,6	0	15,43
HUH	15,6	0	11,14
TOU	8,76	0	6,26
KES	1	0	0,71
HEI	0,36	0	0,26
ELO	1,66	0	1,19
SYY	1,6	0	1,14
LOK	9,22	0	6,58
MAR	13,2	0	9,43
JOU	19,8	0	14,14
	-----	-----	-----
Summa	138	0	98,56

HUIPPUKUORMA

Kuukausittaiset huipputehot [kW]

Kuukausi	Huippulämpö	Kesto	Huippukylmä	Kesto [h]	
TAM	55	0	0	0	0
HEL	0	0	0	0	0
MAA	0	0	0	0	0
HUH	0	0	0	0	0
TOU	0	0	0	0	0
KES	0	0	0	0	0
HEI	0	0	0	0	0
ELO	0	0	0	0	0
SYY	0	0	0	0	0
LOK	0	0	0	0	0
MAR	0	0	0	0	0
JOU	0	0	0	0	0

Simulointi vuodet	25
Ensimmäinen toiminta kuukausi	SYY

LASKETUT ARVOT

=====

Porakaivon yhteispituus	1314 m
-------------------------	--------

LÄMPÖVASTUKSET

Temp

Porakaivon lämp.vast sisäinen	0,59 (m·K)/W
Reynoldsin luku	3346
Lämpöresistanssi neste / putki	0,01029 (m·K)/W
Lämpöresistanssi putken materiaali	0,04629 (m·K)/W
Kosketusvastus putki / kaivoneste	0 (m·K)/W
Porakaivon lämp.vast. neste / maa	0,1782 (m·K)/W
Tehollinen porakaivon lämpövastus	0,1808 (m·K)/W

OMINAISLÄMMÖN OTTOKYKY [W/m]

Kuukausi	Peruskuorma	Huippulämpö		
TAM	18,19	29,9		0
HEL	15,46	0		0
MAA	16,08	0		0
HUH	11,62	0		0
TOU	6,52	0		0
KES	0,74	0		0
HEI	0,27	0		0
ELO	1,24	0		0
SYY	1,19	0		0
LOK	6,86	0		0
MAR	9,83	0		0
JOU	14,74	0		0

PERUSKUORMA: NESTEEN KESKILÄMPÖTILAT (kuun lopussa) [°C]

Vuosi	1	2	5	10	25
TAM	4,46	-2,68	-3,59	-4,22	-5
HEL	4,46	-1,87	-2,76	-3,38	-4,15
MAA	4,46	-2,2	-3,07	-3,68	-4,45
HUH	4,46	-0,67	-1,5	-2,11	-2,88
TOU	4,46	1,19	0,39	-0,21	-0,98
KES	4,46	3,37	2,59	2	1,24
HEI	4,46	3,66	2,92	2,34	1,58
ELO	4,46	3,39	2,67	2,1	1,34
SYY	4,03	3,44	2,75	2,18	1,43
LOK	1,92	1,39	0,71	0,15	-0,59
MAR	0,71	0,22	-0,45	-1	-1,74
JOU	-1,23	-1,69	-2,34	-2,89	-3,62

PERUSKUORMA: VUOSI 25

Pienin keskimääräinen nesteen lämpötila -5 °C lopussa TAM
 Suurin keskimääräinen nesteen lämpötila 1,58 °C lopussa HEI

HUIPPU LÄMPÖKUORMA: NESTEEN KESKILÄMPÖTILAT (kuun lopussa) [°C]

Vuosi	1	2	5	10	25
-------	---	---	---	----	----

	Temp				
TAM	4,46	-2,68	-3,59	-4,22	-5
HEL	4,46	-1,87	-2,76	-3,38	-4,15
MAA	4,46	-2,2	-3,07	-3,68	-4,45
HUH	4,46	-0,67	-1,5	-2,11	-2,88
TOU	4,46	1,19	0,39	-0,21	-0,98
KES	4,46	3,37	2,59	2	1,24
HEI	4,46	3,66	2,92	2,34	1,58
ELO	4,46	3,39	2,67	2,1	1,34
SYY	4,03	3,44	2,75	2,18	1,43
LOK	1,92	1,39	0,71	0,15	-0,59
MAR	0,71	0,22	-0,45	-1	-1,74
JOU	-1,23	-1,69	-2,34	-2,89	-3,62

HUIPPU LÄMPÖKUORMA: VUOSI 25

Pienin keskimääräinen nesteen lämpötila-5 °C lopussa TAM

Suurin keskimääräinen nesteen lämpötila1,58 °C lopussa HEI

HUIPPU JÄÄHDYTYSKUORMA: NESTEEN KESKILÄMPÖTILAT (kuun lopussa) [°C]

Vuosi	1	2	5	10	25
TAM	4,46	-2,68	-3,59	-4,22	-5
HEL	4,46	-1,87	-2,76	-3,38	-4,15
MAA	4,46	-2,2	-3,07	-3,68	-4,45
HUH	4,46	-0,67	-1,5	-2,11	-2,88
TOU	4,46	1,19	0,39	-0,21	-0,98
KES	4,46	3,37	2,59	2	1,24
HEI	4,46	3,66	2,92	2,34	1,58
ELO	4,46	3,39	2,67	2,1	1,34
SYY	4,03	3,44	2,75	2,18	1,43
LOK	1,92	1,39	0,71	0,15	-0,59
MAR	0,71	0,22	-0,45	-1	-1,74
JOU	-1,23	-1,69	-2,34	-2,89	-3,62

HUIPPU JÄÄHDYTYSKUORMA:VUOSI 25

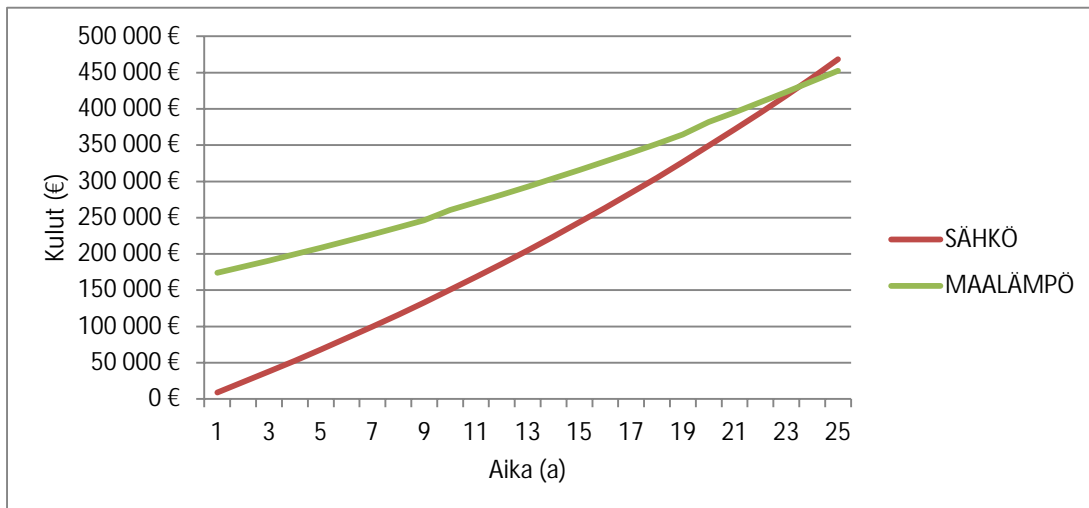
Pienin keskimääräinen nesteen lämpötila-5 °C lopussa TAM

Suurin keskimääräinen nesteen lämpötila1,58 °C lopussa HEI

Vaihtoehto 1

Vaihtoehto 2

	SÄHKÖ	MAALÄMPÖ
Lämpöenergian kulutus (MWh/a)	138	138
SCOP		3,5
Energian hinta (Eur/MWh)	100,00 €	28,57 €
energiakustannukset (eur/a)	13 800,00 €	3 942,86 €
hoito- ja huoltokustannukset (eur/a)	100,00 €	500,00 €
Investointikustannukset yhteensä	9 000,00 €	165 958,90 €
- Lämmöntuotantolaitteet (Lämpöpumppu 40kw+6 kpl porakaivoja)		-
- Lämpö säätöryhmä		-
- Sähköpatterit, IV-kone sähköpatteri	2 000,00 €	
- Lämmöntuotantolaitteet sähkö	7 000,00 €	
Diskontattu nykyarvo korko:		
tarkastelujakso 5 Vuotta	68 202,64 €	208 492,21 €
tarkastelujakso 6 Vuotta	83 807,71 €	217 647,37 €
tarkastelujakso 7 Vuotta	99 802,90 €	227 031,41 €
tarkastelujakso 8 Vuotta	116 197,97 €	236 650,06 €
tarkastelujakso 9 Vuotta	133 002,92 €	246 509,17 €
tarkastelujakso 10 Vuotta	150 527,99 €	260 614,75 €
tarkastelujakso 15 V	243 671,58 €	315 586,62 €
tarkastelujakso 20V	349 054,99 €	381 782,25 €
tarkastelujakso 25V	468 286,65 €	452 676,52 €



LÄHTÖTIEDOT:			
- Energian hinta		arvio	arvio
- Investointikustannus		laskelma	Gebwell
- Kunnossapitokustannukset		arvio aikaisemmista	arvioitu, kts alhaalta
- Lämpöenergian kulutus arvioitu jätevedenpuhdistamon sähkönkulutuksesta			

- SCOP-luku 3,5 , kun menoveden lämpötila max 50°C.
- SCOP luku laskelmassa 3,5 koska huiput sähövastuiksi
- Hoito ja huoltokustannukset ovat vuosittain tapahtuvia huoltotoimia
- Kunnossapitokustannukset ovat tietyn aikajaksoin tapahtuvia korjauskuluja kun laitteiston komponentteja tulee uusia.

Laskelman laati: Arttu Holappa
projekti: Kurenalan maalämpöselvitys

Huolto Kustannukset
Maalämpö: kylmäainetarkastus ja vuosihuolto
Sähkö: puhdistus

Kunnossapitokustannukset: Jos kompressorista hajoaa kompara, höyrystin ja kaikki suurimmat komponentit, uusinta maksaa 20 kW kompuralle noin 3000€ ja asennusta noin 1000,- eli yhteensä 4 000,- (arvioidaan että 10 vuoden kohdalla uusittaisiin ensimmäisen kerran)

Sähkössä sähkövastuksen vaihto noin 5 vuoden välein 300€/kpl

WACC	3,00 %	
Säästöt yhteensä		160 471,50 €
Investointikustannukset		165 958,90 €
NPV	-	5 487,40 €

Korollinen takaisinmaksuaika lasketaan seuraavalla kaavalla

$$n = \frac{\ln\left(\frac{T}{T - I \cdot i}\right)}{\ln(1+i)}$$

jossa n on korollinen takaisinmaksuaika
 T on vuotuisien energiakustannuksien erotus
 I on järjestelmien hankintahintojen erotus
 i on korkoprosentti/100

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{S_t}{(1+i)^t} + \frac{JA_n}{(1+i)^n} = I_0 \quad (3)$$

jossa NPV = nettopykäry
 S_t = investoinnin tuottama kassavirta vuonna t
 r = käytettävä diskonttauskerroin
 JA = investoinnin jäännösarvo pitoajan n lopussa (laskettu nolaksi = ei jäännösarvoa)
 I_0 = investointikustannus

T=	9 197,14 €	
i=	2,5 %	
n=	22,5 vuotta	

Koroton maksuaika	18,04	V
-------------------	-------	---

Vuosi		sähkö		
1	0,97	9 225 €		
2	0,94	23 356 €		
3	0,92	37 840 €		
4	0,89	52 686 €		
5	0,86	68 203 €		300
6	0,84	83 808 €		
7	0,81	99 803 €		
8	0,79	116 198 €		
9	0,77	133 003 €		
10	0,74	150 528 €		300
11	0,72	168 191 €		
12	0,70	186 296 €		
13	0,68	204 853 €		
14	0,66	223 875 €		
15	0,64	243 672 €		300
16	0,62	263 663 €		
17	0,61	284 155 €		
18	0,59	305 159 €		
19	0,57	326 688 €		
20	0,55	349 055 €		300
21	0,54	371 681 €		
22	0,52	394 873 €		
23	0,51	418 645 €		
24	0,49	443 011 €		
25	0,48	468 287 €		300

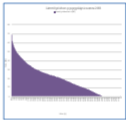
Vuosi	maalämpö	Vuosittaiset säästöt	Nykyarvo €	
1	174 051 €	9 457,14 €	9 181,69 €	
2	182 345 €	9 457,14 €	8 914,26 €	
3	190 846 €	9 457,14 €	8 654,63 €	
4	199 560 €	9 457,14 €	8 402,55 €	
5	208 492 €	9 757,14 €	8 416,60 €	
6	217 647 €	9 457,14 €	7 920,21 €	
7	227 031 €	9 457,14 €	7 689,52 €	
8	236 650 €	9 457,14 €	7 465,56 €	
9	246 509 €	9 457,14 €	7 248,11 €	
10	260 615 €	5 757,14 €	4 283,85 €	4 000,00 €
11	271 073 €	9 457,14 €	6 832,04 €	
12	281 793 €	9 457,14 €	6 633,05 €	
13	292 780 €	9 457,14 €	6 439,85 €	
14	304 043 €	9 457,14 €	6 252,29 €	
15	315 587 €	9 757,14 €	6 262,74 €	
16	327 419 €	9 457,14 €	5 893,38 €	
17	339 547 €	9 457,14 €	5 721,73 €	
18	351 979 €	9 457,14 €	5 555,07 €	
19	364 721 €	9 457,14 €	5 393,28 €	
20	381 782 €	5 757,14 €	3 187,59 €	4 000,00 €
21	395 270 €	9 457,14 €	5 083,68 €	
22	409 094 €	9 457,14 €	4 935,61 €	
23	423 264 €	9 457,14 €	4 791,86 €	
24	437 789 €	9 457,14 €	4 652,29 €	
25	452 677 €	9 757,14 €	4 660,07 €	

Year	Age	Sex	AgeGroup	Age	AgeGroup	AgeGroup	AgeGroup	AgeGroup
2000	2	M	1-5	1	0-1	00	00	100
2000	2	M	1-5	2	0-1	00	00	100
2000	2	M	1-5	3	0-1	00	00	100
2000	2	M	1-5	4	0-1	00	00	100
2000	2	M	1-5	5	0-1	00	00	100
2000	2	M	1-5	6	0-1	00	00	100
2000	2	M	1-5	7	0-1	00	00	100
2000	2	M	1-5	8	0-1	00	00	100
2000	2	M	1-5	9	0-1	00	00	100
2000	2	M	1-5	10	0-1	00	00	100
2000	2	M	1-5	11	0-1	00	00	100
2000	2	M	1-5	12	0-1	00	00	100
2000	2	M	1-5	13	0-1	00	00	100
2000	2	M	1-5	14	0-1	00	00	100
2000	2	M	1-5	15	0-1	00	00	100
2000	2	M	1-5	16	0-1	00	00	100
2000	2	M	1-5	17	0-1	00	00	100
2000	2	M	1-5	18	0-1	00	00	100
2000	2	M	1-5	19	0-1	00	00	100
2000	2	M	1-5	20	0-1	00	00	100
2000	2	M	1-5	21	0-1	00	00	100
2000	2	M	1-5	22	0-1	00	00	100
2000	2	M	1-5	23	0-1	00	00	100
2000	2	M	1-5	24	0-1	00	00	100
2000	2	M	1-5	25	0-1	00	00	100
2000	2	M	1-5	26	0-1	00	00	100
2000	2	M	1-5	27	0-1	00	00	100
2000	2	M	1-5	28	0-1	00	00	100
2000	2	M	1-5	29	0-1	00	00	100
2000	2	M	1-5	30	0-1	00	00	100
2000	2	M	1-5	31	0-1	00	00	100
2000	2	M	1-5	32	0-1	00	00	100
2000	2	M	1-5	33	0-1	00	00	100
2000	2	M	1-5	34	0-1	00	00	100
2000	2	M	1-5	35	0-1	00	00	100
2000	2	M	1-5	36	0-1	00	00	100
2000	2	M	1-5	37	0-1	00	00	100
2000	2	M	1-5	38	0-1	00	00	100
2000	2	M	1-5	39	0-1	00	00	100
2000	2	M	1-5	40	0-1	00	00	100
2000	2	M	1-5	41	0-1	00	00	100
2000	2	M	1-5	42	0-1	00	00	100
2000	2	M	1-5	43	0-1	00	00	100
2000	2	M	1-5	44	0-1	00	00	100
2000	2	M	1-5	45	0-1	00	00	100
2000	2	M	1-5	46	0-1	00	00	100
2000	2	M	1-5	47	0-1	00	00	100
2000	2	M	1-5	48	0-1	00	00	100
2000	2	M	1-5	49	0-1	00	00	100
2000	2	M	1-5	50	0-1	00	00	100
2000	2	M	1-5	51	0-1	00	00	100
2000	2	M	1-5	52	0-1	00	00	100
2000	2	M	1-5	53	0-1	00	00	100
2000	2	M	1-5	54	0-1	00	00	100
2000	2	M	1-5	55	0-1	00	00	100
2000	2	M	1-5	56	0-1	00	00	100
2000	2	M	1-5	57	0-1	00	00	100
2000	2	M	1-5	58	0-1	00	00	100
2000	2	M	1-5	59	0-1	00	00	100
2000	2	M	1-5	60	0-1	00	00	100
2000	2	M	1-5	61	0-1	00	00	100
2000	2	M	1-5	62	0-1	00	00	100
2000	2	M	1-5	63	0-1	00	00	100
2000	2	M	1-5	64	0-1	00	00	100
2000	2	M	1-5	65	0-1	00	00	100
2000	2	M	1-5	66	0-1	00	00	100
2000	2	M	1-5	67	0-1	00	00	100
2000	2	M	1-5	68	0-1	00	00	100
2000	2	M	1-5	69	0-1	00	00	100
2000	2	M	1-5	70	0-1	00	00	100
2000	2	M	1-5	71	0-1	00	00	100
2000	2	M	1-5	72	0-1	00	00	100
2000	2	M	1-5	73	0-1	00	00	100
2000	2	M	1-5	74	0-1	00	00	100
2000	2	M	1-5	75	0-1	00	00	100
2000	2	M	1-5	76	0-1	00	00	100
2000	2	M	1-5	77	0-1	00	00	100
2000	2	M	1-5	78	0-1	00	00	100
2000	2	M	1-5	79	0-1	00	00	100
2000	2	M	1-5	80	0-1	00	00	100
2000	2	M	1-5	81	0-1	00	00	100
2000	2	M	1-5	82	0-1	00	00	100
2000	2	M	1-5	83	0-1	00	00	100
2000	2	M	1-5	84	0-1	00	00	100
2000	2	M	1-5	85	0-1	00	00	100
2000	2	M	1-5	86	0-1	00	00	100
2000	2	M	1-5	87	0-1	00	00	100
2000	2	M	1-5	88	0-1	00	00	100
2000	2	M	1-5	89	0-1	00	00	100
2000	2	M	1-5	90	0-1	00	00	100
2000	2	M	1-5	91	0-1	00	00	100
2000	2	M	1-5	92	0-1	00	00	100
2000	2	M	1-5	93	0-1	00	00	100
2000	2	M	1-5	94	0-1	00	00	100
2000	2	M	1-5	95	0-1	00	00	100
2000	2	M	1-5	96	0-1	00	00	100
2000	2	M	1-5	97	0-1	00	00	100
2000	2	M	1-5	98	0-1	00	00	100
2000	2	M	1-5	99	0-1	00	00	100
2000	2	M	1-5	100	0-1	00	00	100

AgeGroup	AgeGroup	AgeGroup
0-1	0-1	0-1
2-4	2-4	2-4
5-9	5-9	5-9
10-14	10-14	10-14
15-19	15-19	15-19
20-24	20-24	20-24
25-29	25-29	25-29
30-34	30-34	30-34
35-39	35-39	35-39
40-44	40-44	40-44
45-49	45-49	45-49
50-54	50-54	50-54
55-59	55-59	55-59
60-64	60-64	60-64
65-69	65-69	65-69
70-74	70-74	70-74
75-79	75-79	75-79
80-84	80-84	80-84
85-89	85-89	85-89
90-94	90-94	90-94
95-99	95-99	95-99
100	100	100

AgeGroup	AgeGroup	AgeGroup
0-1	0-1	0-1
2-4	2-4	2-4
5-9	5-9	5-9
10-14	10-14	10-14
15-19	15-19	15-19
20-24	20-24	20-24
25-29	25-29	25-29
30-34	30-34	30-34
35-39	35-39	35-39
40-44	40-44	40-44
45-49	45-49	45-49
50-54	50-54	50-54
55-59	55-59	55-59
60-64	60-64	60-64
65-69	65-69	65-69
70-74	70-74	70-74
75-79	75-79	75-79
80-84	80-84	80-84
85-89	85-89	85-89
90-94	90-94	90-94
95-99	95-99	95-99
100	100	100

Population pyramid showing the distribution of the population by age group and sex.



Your ref

Project/Ref.nr

Our contact

Heat exchanger from Modine Söderköping

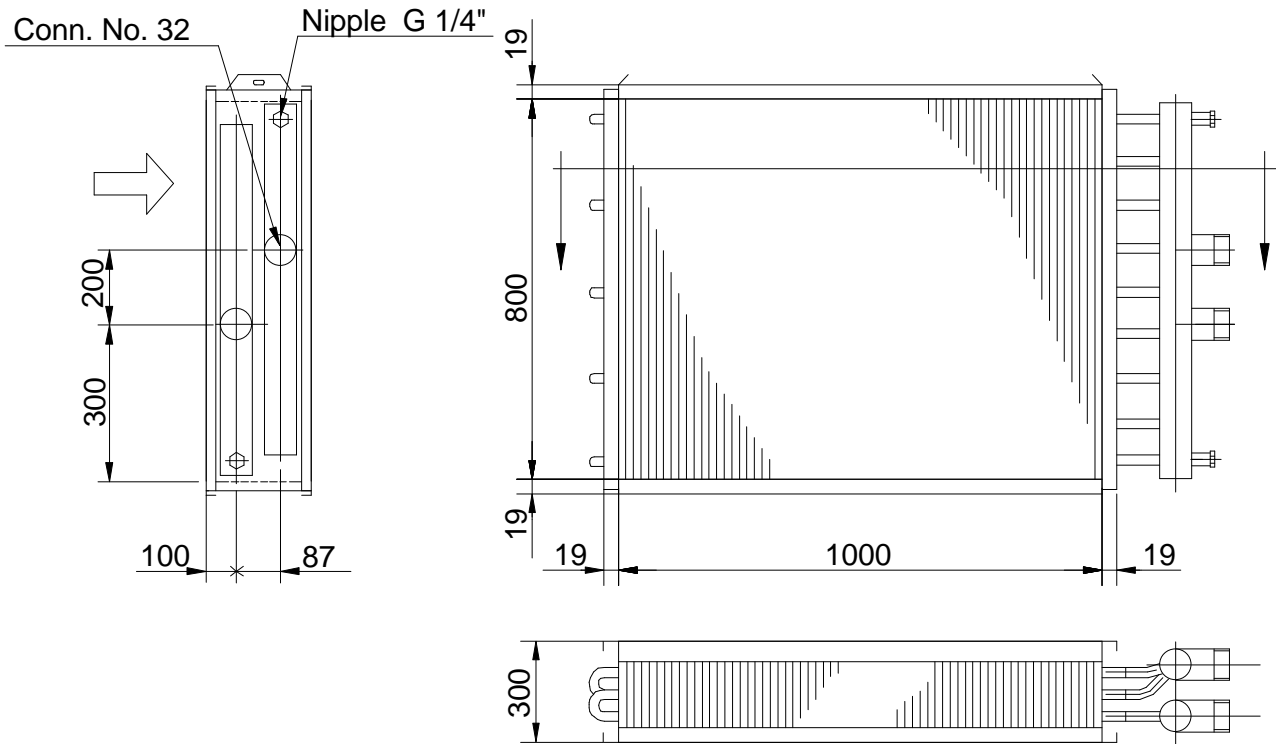
		Id		
Air	Capacity	84.4	kW	
	Flow rate	3.1	m ³ /s	
	Temperature in	3.3	deg C	
	Humidity in	3	%	
	Temperature out	25.8	deg C	
	Humidity out	1	%	
	Pressure drop	183	Pa	
	Velocity	3.8	m/s	
Liquid	Water with 30 % Ethylene Glycol			
	Flow rate	1.07	l/s	
	Temperature in	50.0	deg C	
	Temperature out	30.0	deg C	
	Pressure drop	19	kPa	
	Velocity	1.0	m/s	
	Max working pressure	1.6	MPa	
	Max working temperature	110	°C	
	PED (2014/68/EU)	Art 4.3		
Dimensions	Width	1000	mm	
	Height	800	mm	
	No. of tube rows	4		
	Fin pitch	2.5	mm	
	No. of liquid passes	10		
	Connection number	DN 1x32		
	Face area / Heat surface	0.80 / 67	m ²	
	Weight / Volume	52 / 15	kg / l	
Material	Tube material	Copper		
	Fin material	Aluminium		
	Header material	Steel		
	Casing material	Galvanized steel		
Ordering code	QLHG-100-080-04-25-10-0-A			

Your ref

Project/Ref.nr
Our contact

Heat exchanger from Modine Söderköping

Id



Weight: 52 kg
Volume: 15 l
Max op. press.: 1,6 MPa
Max op. temp.: 110 °C

Right Connection side is shown

Ordering code

QLHG-100-080-04-25-10-0-A

Lisenssinhaltija: CD-Version 2010.10

Koneen kuvaus: TK 1/PK 1

Projekti Pudasjärven Jäteveden puhdistamo
 Kohde Pudasjärven JVP
 Käsittelijä Sami Ollikainen

Koneen kuvaus TK 1/PK 1

Ilman tiheys	1.2 kg/m ³
SFPv	2.13 kW/(m ³ /s)
Tulokone	
Konekoko	1209
Ilmavirta	3.10 m ³ /s
Otsapintanopeus	2.8 m/s
Raitisilmavirta	3.10 m ³ /s
Kanaviston painehäviö, pst	250 Pa
Poistokone	
Konekoko	1209
Ilmavirta	3.20 m ³ /s
Otsapintanopeus	2.9 m/s
Kanaviston painehäviö, pst	250 Pa
Ulkoilma	
Lämpötila / suhteellinen kosteus kesällä	25.0 °C / 50 %
Lämpötila / suhteellinen kosteus talvella	-38.0 °C / 80 %
Tuloilma	
Lämpötila / suhteellinen kosteus kesällä	15.3 °C / 93 %
Lämpötila / suhteellinen kosteus talvella	18.0 °C / 1 %
Poistoilma	
Lämpötila / suhteellinen kosteus kesällä	13.0 °C / 45 %
Lämpötila / suhteellinen kosteus talvella	13.0 °C / 45 %

Äänen tehotaso	Oktaavikaista								Kok.	
	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k		
Raitisilmakanavaan	77	80	83	81	74	67	57	47	dB	81 dB(A)
Tulokanavaan	82	86	90	90	87	83	78	74	dB	92 dB(A)
Poistokanavaan	80	84	88	89	85	81	76	72	dB	90 dB(A)
Jäteilmakanavaan	82	86	90	91	87	83	78	74	dB	92 dB(A)
Konehuoneeseen, tulopuhallin	74	76	64	58	56	51	46	37	dB	64 dB(A)
Konehuoneeseen, poistopuhallin	74	76	64	59	56	51	46	37	dB	64 dB(A)
Konehuoneeseen, yhteisvaikutus	77	79	67	62	59	54	49	40	dB	67 dB(A)

Koneen toiminnot

Tulokone

Koneen tyyppi

Future Clean

Energent-LTO

LTO-kennojen materiaali	Alumiini
LTO:n koko	30
Kiertoilmaosa mukana	Ei
LTO:n lämmitysteho	153.5 kW
Viemäriiliitäntä	HF 32
Tulo- / poistopuolen painehäviö	171 Pa / 182 Pa

Lisenssinhaltija: CD-Version 2010.10

Koneen kuvaus: TK 1/PK 1

Tuloilman lämpötila / suhteellinen kosteus LTO:n jälkeen talvella	3.3 °C / 2 %
Tuloilman lämpötila / suhteellinen kosteus LTO:n jälkeen kesällä	15.3 °C / 93 %
Poistoilman lämpötila / suhteellinen kosteus LTO:n jälkeen kesällä	13.0 °C / 45 %
Tuloilman lämpötilahyötysuhde	81 %

2. Vaippamoduuli

Koneen tyyppi	Future Clean
Vaipan materiaali	Kuumasinkitty
Suodatustoiminto, pitkä XL	
Suodatinluokka	F6XL
Pituus	Suodatustoiminto, pitkä XL
Suodatinmateriaali	Synteettinen
Suodattimen nimelliskoko	600 * 300 600 * 600 mm
Suodattimien lukumäärä	2 2 kpl
Mitoituspainehäviö	81 Pa
Alkupainehäviö	73 Pa
Loppupainehäviö (ODA3, 4000h/a)	93 Pa
Nopeus suodatinmateriaalin läpi	0.13 m/s
Vesiyhde	

Lämmitystoiminto, neste

Teholuokka	4
Putkien ja lamellien materiaali	Cu/Al
Lamellijako	2.8 mm
Lamellin paksuus	0.15 mm
Putkiyhteet	Ksisä50 / 54.0
Ilmapuolen painehäviö	42 Pa
Lämpötila ennen patteria	3.3 °C
Lämpötila / suhteellinen kosteus patterin jälkeen	18.0 °C / 1 %
Lämmitysteho	55.2 kW
Nestetyyppi	Vesi
Nesteen painehäviö	2.0 kPa
Nesteen painehäviö mitoituslämpötilalla (50/30 °C)	3.1 kPa
Meno- / paluunesteen lämpötila	50.0 °C / 25.0 °C
Nestevirta	0.53 l/s
Nestevirta mitoituslämpötilalla (50/30 °C)	0.66 l/s
Nesteen nopeus	0.26 m/s
Nestetilavuus	10.4 l

Puhallintoiminto, sekavirtauspuhallin

ENERGENT	
Puhallinkoko	2
Puhallintoiminto	SB
Puhaltimen pintakäsittely	Alkylimaali
Tärinänvaimennin	Kumi
Dynaaminen paine	89 Pa
Kokonaispaineenkorotus	697 Pa
Hyötysuhde	73 %
Kierrosluku	1905 1/min
Kierrosluku, max.	2260 1/min
Akseliteho	2.96 kW
Äänen tehotaso, A-painotettu	92 dB(A)

ENERGENT OY

 Kivistöntie 1
60800 ILMAJOKI

 Puhelinnumero
+35840-5548 403

$$qv \left(\frac{m^3}{s} \right) = k * \sqrt{dp} (Pa)$$
 Telefax
+35817-2612 027

 Mitoitusajo EGP30 PUDASJÄRVEN JVP.FUT
E-mail osoite
sami.ollikainen@energient.fi

Lisenssinhaltija: CD-Version 2010.10

Koneen kuvaus: TK 1/PK 1

k-kerroin / referenssipaine-ero 0.0700 / 1961 Pa
 Sarana, huoltoluukkuun
 Ilmavirtamittari
 Koneen kokoinen liitoslaippa työntölistalle

Moottori

Teho 5.50 kW
 Pyörimisnopeus (nimellinen) 1455 1/min
 Virta 11.40 A
 Hyötysuhde (nimellinen) 86 %
 Jännite 3 ~ 400 V
 Taajuus (nimellinen) 50 Hz
 Taajuus mitoitusasteissa / max. 65 / 77 Hz

Poistokone

Koneen tyyppi Future Clean

3. Vaippamoduuli

Koneen tyyppi Future Clean
 Vaipan materiaali Kuumasinkitty

Tarkastustoiminto

TILAVARAUS AKTIIVIHILISUODATTIMELLE.

Pituus 400 mm
 Koneen kokoinen liitoslaippa työntölistalle

Puhallintoiminto, sekavirtauspuhallin

ENERGENT

Poistopuolen puhallinmoottori mitoituksessa huomioitu
 60 Pa

poistosuodattimelle

Puhallinkoko 2

Puhallintoiminto SB

Puhaltimen pintakäsittely Alkylimaali

Tärinänvaimennin Kumi

Dynaaminen paine 95 Pa

Kokonaispaineenkorotus 596 Pa

Hyötysuhde 69 %

Kierrosluku 1886 1/min

Kierrosluku, max. 2260 1/min

Akseliteho 2.76 kW

Äänen tehotaso, A-painotettu 90 dB(A)

k-kerroin / referenssipaine-ero $qv \left(\frac{m^3}{s} \right) = k * \sqrt{dp (Pa)}$ 0.0700 / 2090 Pa

Sarana, huoltoluukkuun

Ilmavirtamittari

Koneen kokoinen liitoslaippa työntölistalle

Moottori

Teho 5.50 kW
 Pyörimisnopeus (nimellinen) 1455 1/min
 Virta 11.40 A
 Hyötysuhde (nimellinen) 86 %
 Jännite 3 ~ 400 V

Lisenssinhaltija: CD-Version 2010.10

Koneen kuvaus: TK 1/PK 1

Taajuus (nimellinen)

50 Hz

Taajuus mitoitusasteessa / max.

64 / 77 Hz

Energent-LTO

Laskentatulokset tulokoneen yhteydessä

Konealusta, tulokone

Korkeus

160 mm

Säätöjalka

Konealusta, tulokone

Korkeus

160 mm

Säätöjalka

Konealusta, poistokone

Korkeus

160 mm

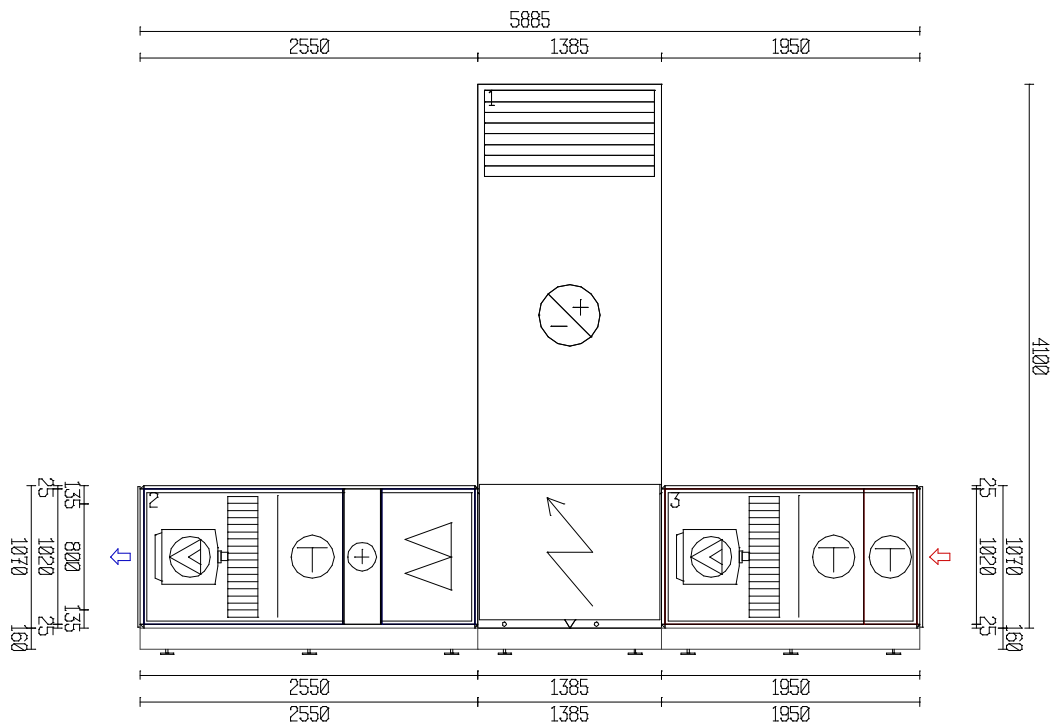
Lisensinhaltija: CD-Version 2010.10

Koneen kuvaus: TK 1/PK 1

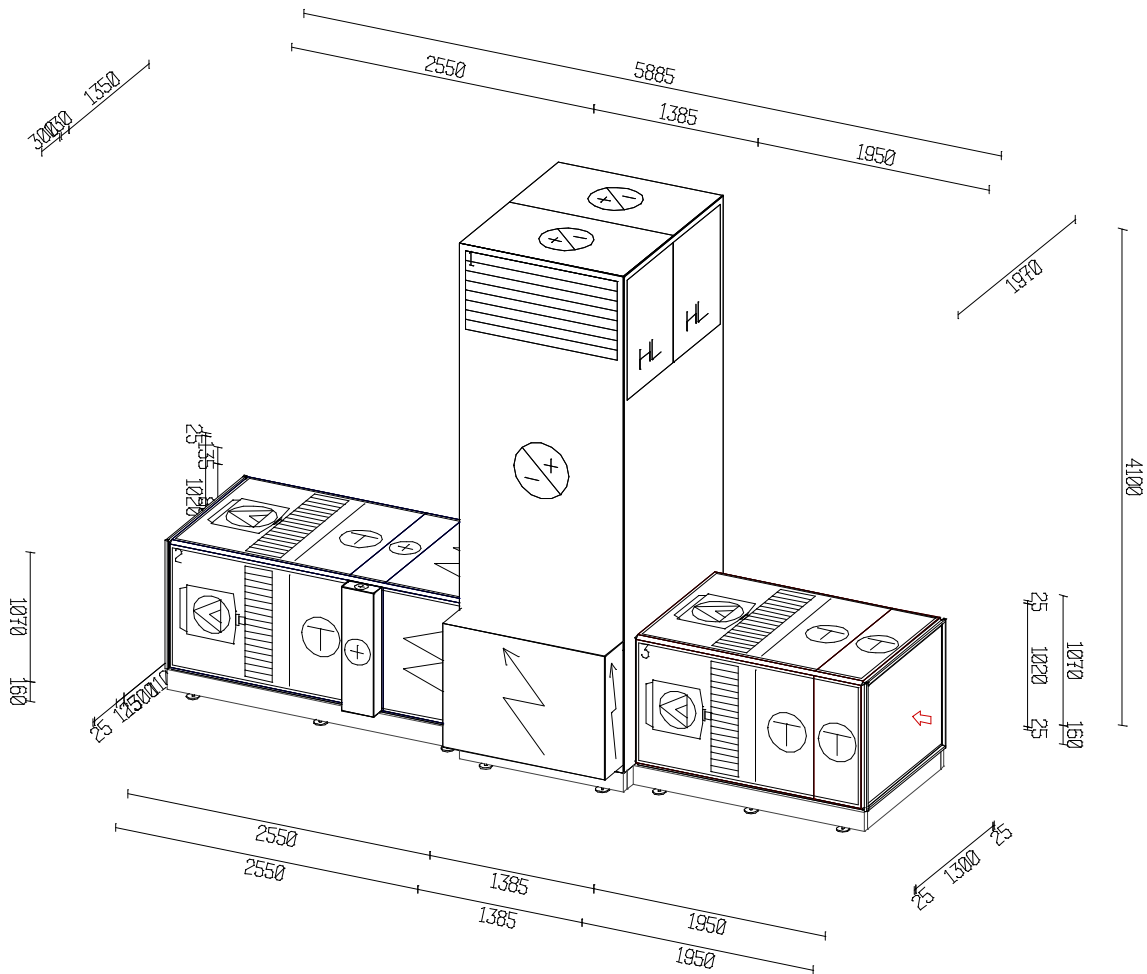
Koneen kuva

Mittakaava: Ei mittakaavaa

Huoltopuoli



Oikea yläkulma



KANAVALIITOSMITAT:

Raitisilmasäleikön aukon koko	1285 x 650 mm
Jäteilmasäleikön aukon koko	1285 x 650 mm
Tulokone	
Paineaukko, kanavaliitos, liitettävän kanavan koko	1300 x 1020 mm
Poistokone	
Imuaukko, kanavaliitos, liitettävän kanavan koko	1300 x 1020 mm

Tiiviysluokka CEN B, lämpöeristys 50 mm.

Painot, mitat ja tilavuudet

Koneen paino (sis. moottorin)	2097 kg
Koneen tilavuus	16.0 m ³
Koneen vaippapinta-ala	49.6 m ²



Lisenssinhaltija: CD-Version 2010.10

Koneen kuvaus: TK 1/PK 1

1. Energent-LTO	EGP-30-1-V-AL-HO-LK-U1-E 1385 * 1970 * 4100 mm Vaippamoduulin pinta-ala	1405 kg 9.9 m ³ 27.3 m ²
2. Vaippamoduuli	FMOD-1209-L-1-2550-1-CS 2550 * 1350 * 1070 mm Vaippamoduulin pinta-ala	403 kg 3.7 m ³ 12.9 m ²
3. Vaippamoduuli	FMOD-1209-L-1-1950-1-CS 1950 * 1350 * 1070 mm Vaippamoduulin pinta-ala	290 kg 2.8 m ³ 9.4 m ²

Tarkastelujakso 1.1.2018-31.12.2018		
	kulutus (kwh)	Arvioitu lämmitys
Tammi	42500	27500
helmi	42000	27000
maalis	41500	26500
huhti	32500	17500
touko	20000	5000
kesä	16000	1000
heinä	15000	0
Elo	15100	100
Syys	15100	100
Loka	22500	7500
Marras	25000	10000
Joulu	36000	21000
yht.	323200	143200

Korkein	42500 kwh/month
Pienin	15000 kwh/month
Erotus	27500 kwh/month

Tarkastelujakso 1.1.2017-31.12.2017		
	kulutus (kwh)	Arvioitu lämmitys
Tammi	34000	8000
helmi	30000	4000
maalis	29000	3000
huhti	34000	8000
touko	34500	8500
kesä	28000	2000
heinä	28500	2500
Elo	26000	0
Syys	30000	4000
Loka	35000	9000
Marras	38000	12000
Joulu	41000	15000
yht.	388000	76000

Korkein	41000 kwh/month
Pienin	26000 kwh/month
Erotus	15000 kwh/month

Tarkastelujakso 1.1.2016-31.12.2016		
	kulutus (kwh)	Arvioitu lämmitys
Tammi	37500	22500
helmi	33000	18000
maalis	35000	20000
huhti	31000	16000
touko	28000	13000
kesä	17500	2500
heinä	15000	0
Elo	16000	1000
Syys	19500	4500
Loka	27500	12500
Marras	32500	17500
Joulu	35000	20000
yht.	327500	147500

Korkein	37500 kwh/month
Pienin	15000 kwh/month
Erotus	22500 kwh/month

Ulkolämpötila tiedot haettu ilmatieteenlaitoksen sivuilta

Vuosi	Kk	Pv	Klo	Aikavyöhy	Keskilämpötila (°C)
2018	1	1	00:00	UTC	-8,1
2018	2	1	00:00	UTC	-13,7
2018	3	1	00:00	UTC	-9,5
2018	4	1	00:00	UTC	1,1
2018	5	1	00:00	UTC	11,7
2018	6	1	00:00	UTC	12
2018	7	1	00:00	UTC	20,4
2018	8	1	00:00	UTC	14,9
2018	9	1	00:00	UTC	9,5
2018	10	1	00:00	UTC	2,6
2018	11	1	00:00	UTC	0,3
2018	12	1	00:00	UTC	-6

Vuosi	Kk	Pv	Klo	Aikavyöhy	Keskilämpötila (°C)
2017	1	1	00:00	UTC	-7,9
2017	2	1	00:00	UTC	-8,7
2017	3	1	00:00	UTC	-4,1
2017	4	1	00:00	UTC	-1,7
2017	5	1	00:00	UTC	3,4
2017	6	1	00:00	UTC	11,9
2017	7	1	00:00	UTC	15,6
2017	8	1	00:00	UTC	13,4
2017	9	1	00:00	UTC	8,4
2017	10	1	00:00	UTC	1,8
2017	11	1	00:00	UTC	-1,8
2017	12	1	00:00	UTC	-4,7

Vuosi	Kk	Pv	Klo	Aikavyöhy	Keskilämpötila (°C)
2016	1	1	00:00	UTC	-15,2
2016	2	1	00:00	UTC	-5,1
2016	3	1	00:00	UTC	-2,9
2016	4	1	00:00	UTC	2,5
2016	5	1	00:00	UTC	11
2016	6	1	00:00	UTC	13,2
2016	7	1	00:00	UTC	17,5
2016	8	1	00:00	UTC	13,4
2016	9	1	00:00	UTC	9
2016	10	1	00:00	UTC	2,4
2016	11	1	00:00	UTC	-4,8
2016	12	1	00:00	UTC	-6,5

Tarkastelujakso 1.1.2015-31.12.2015		
	kulutus (kwh)	Arvioitu lämmitys
Tammi	38000	23300
helmi	32000	17300
maalis	33000	18300
huhti	28000	13300
touko	23000	8300
kesä	18000	3300
heinä	14900	200
Elo	14700	0
Syys	15100	400
Loka	22500	7800
Marras	27000	12300
Joulu	33000	18300
yht.	299200	122800

Korkein	38000 kwh/month
Pienin	14700 kwh/month
Erotus	23300 kwh/month

Vuosi	Kk	Pv	Klo	Aikavyöhyk	Keskilämpötila (°C)
2015	1	1	00:00	UTC	-9,6
2015	2	1	00:00	UTC	-4,1
2015	3	1	00:00	UTC	-1,3
2015	4	1	00:00	UTC	1,8
2015	5	1	00:00	UTC	7,8
2015	6	1	00:00	UTC	11,3
2015	7	1	00:00	UTC	13,7
2015	8	1	00:00	UTC	14,2
2015	9	1	00:00	UTC	10,4
2015	10	1	00:00	UTC	2,6
2015	11	1	00:00	UTC	0,6
2015	12	1	00:00	UTC	-4,6