

Mikko Karjalainen

**ULEAN SAHAN ALUELÄMPÖVERKKO:
LÄMMÖNSIIRTOKYVYN JA TOIMIVUUDEN PARANTAMINEN**

**ULEAN SAHAN ALUELÄMPÖVERKKO:
LÄMMÖNSIIRTOKYVYN JA TOIMIVUUDEN PARANTAMINEN**

Mikko Karjalainen
Opinnäytetyö
Kevät 2016
Energiatekniikan koulutusohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Energiatekniikan koulutusohjelma

Tekijä: Mikko Karjalainen

Opinnäytetyön nimi: Ulean sahan aluelämpöverkko: Lämmönsiirtokyvyn ja toimivuuden parantaminen

Työn ohjaaja: Jukka Ylikunnari

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2016 Sivumäärä: 50 + 3 liitettä

Työn tarkoituksena on selvittää Pölkky Oy:n toimeksiantona Ulean sahalle investoitavan kanavakuivaamon vaikutukset aluelämpöverkkoon, mitoittaa kiertopumpun uudelleen sekä tarkastella lämpölaitoksen energian riittävyttä.

Työssä tutustutaan Ulean sahan välittömässä läheisyydessä sijaitsevaan Taivalkosken kunnan ja Ulea Oy:n yhdessä omistamaan lämpölaitokseen ja sahan aluelämpöverkon toimintaan. Lämpölaitoksen kapasiteetti selvitetään vuoden 2015 kuukausiraporteista päivittäisten keskitehojen mukaan ja laaditaan pysyvyysskäyrät. Pumpun mitoitusta varten selvitetään kuivaamoiden lämmityspattereiden mitoitustehöt ja virtaamat. Verkostonpainehäviöiden tarkastelulla saadaan laskettua virtaamien jakautuminen aluelämpöverkossa ja selvitetään muutosten tarve verkon toimivuuden parantamiseksi. Verkoston painehäviö laskeaan asemapiirustuksesta saatujen tietojen mukaan Microsoft Excel-taulukkolaskentaohjelman avulla. Uuden kanavakuivaamon aiheuttaman tehotarpeen lisääntymisen johdosta mitoitetaan uusi kiertopumppu.

Nykyisen kiertopumpun maksimituotto on noin 95 l/s nostokorkeuden jäädessä 65 metriin. Tämän hetkiselällä verkoston jäähtymällä mitoitustehön mukainen virtaama tulisi olla noin 107 l/s ja mitoitusta vastaavan nostokorkeuden 75 metriä. Uuden kanavakuivaamon rakentamisen jälkeen tarvittava mitoitusvirtaama on 122 l/s ja pumpulta vaadittava nostokorkeus 90,42 metriä. Verkoston virtaaman rajoittaminen 80–85 l/s parantaa nykyisen pumpun hyötysuhdetta ja nostokorkeutta. Aluelämpöverkon suurimmat painehäviöt syntyvät verkoston kriittisimmässä linjassa. Linjan suurentaminen DN 125:sta DN150:ksi parantaa verkon toimintakykyä, mutta linjan saneerauksesta syntyvät kustannukset saavutettuun etuun nähden ovat liian suuret. Myös välipumppaamon lisäämisellä voidaan kompensoida painehäviötä, parantaa verkon toimintakykyä sekä saavuttaa mitoitusvirtaama taloudellisesti ja järkevästi. Verkoston jäähtymällä on suurin vaikutus aluelämpöverkon toimivuuteen, johon voidaan vaikuttaa sahatavaran kuivausprosesseja säätämällä.

Asiasanat: aluelämpöverkko, kiertopumppu, kanavakuivaamo, välipumppaamo

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
SISÄLLYS	4
1 JOHDANTO	6
2 KAUKOLÄMPÖ	7
2.1 Kaukolämpölaitos	7
2.2 Pumppaus	8
2.2.1 Suunnittelu ja mitoitus	9
2.2.2 Affiniteetti säännöt	10
2.2.3 Pumppausteho	11
2.2.4 Imukyky	12
2.2.5 KytKentätavat	13
2.3 Kaukolämpöverkko	14
2.3.1 Verkoston suunnittelu	15
2.3.2 Verkoston mitoitus	15
2.3.3 Verkoston painehäviönlaskenta	17
2.3.4 Verkoston optimoiminen	19
2.3.5 Kaukolämpöjohdot ja eristeet	19
2.3.6 Verkostovarusteet	20
2.3.7 Asennus	24
3 SAHATAVARAKUIVAAMOT	26
3.1 Kanavakuivaamot	26
3.2 Kamarikuivaamot	28
4 KAUKOLÄMPÖVERKON NYKYTILANNE	30
4.1 Aluelämpöverkko	30
4.1.1 Aluelämpöverkon siirtokyky	30
4.1.2 Pumppaus aluelämpöverkossa	32
4.2 Taivalkosken kunnan kaukolämpöverkko	35
5 LÄMPÖLAITOS	36
5.1 Lämmöntuotantolaitoksen kattiloiden lämpöteho	36
5.2 Kulutuksen vaihtelu ja pysyvyyskäyrä	37
5.3 Lämmöntarpeen vaihtelut	39

6 PUMPUN MITOITUS JA VALINTA	40
6.1 Pumpun valintaan tarvittavat mitoitus tiedot	40
6.1.1 Aluelämpöverkossa olevien kulutus pisteiden mitoitus tehot ja painehäviöt	40
6.1.2 Tarvittava virtaama	41
6.1.3 Verkoston painehäviö	42
6.2 Pumpun valinta	44
7 VAIHTOEHDOT ALUELÄMPÖVERKON TOIMINNAN PARANTAMISEKSI	45
7.1 Uusi pääpumppu lämpölaitokselle	45
7.2 Välipumppaamon lisääminen	46
7.3 Aluelämpöverkon jäähtymän kasvattaminen	46
7.4 Muutokset aluelämpöverkon putkilinjoihin	47
8 YHTEENVETO	48
LÄHTEET	49
Liite 1: Lähtötietomuistio	
Liite 2: Asemapiirustus/Ulean saha	
Liite 3: KSB:n pumppumalli ja tekniset tiedot	

1 JOHDANTO

Ulea Oy:n saha Taivalkoskella on yksi Pölkky-konserniin kuuluvista sahoista, joka on erikoistunut pieniläpimittaisten tukkien tehokkaaseen sahaukseen. Sahatavaran kuivausprosessi on suurin yksittäinen lämpöenergiaa kuluttava prosessivaihe, jossa kului vuonna 2014 noin 95 % lämpölaitokselta sahalle siirrettystä lämpöenergiasta, yhteensä 46 842 MWh/a. Ulean sahan kuivaamot käyttävät siis yli puolet lämpölaitoksen tuottamasta vuotuisesta lämpöenergiasta, joka oli 80078 MWh. (1.)

Lämpölaitoksen omistaa Taivalkosken kunta yhdessä Ulea Oy:n kanssa. Taivalkosken voima toimittaa kaukolämpöä Ulean sahan omaan aluelämpöverkkoon ja kunnan kaukolämpöverkkoon. Lämpölaitos tuottaa kaukolämpöä vuonna 2010 valmistuneella biolämpölaitoksella ja kahdella lämminvesikattilalla, joissa polttoaineena käytetään pääosin sahalta tulevaa puunkuorta ja purua. Lisäksi lämpölaitoksella on käytettävissä kaksi raskasta polttoöljyä polttoaineenaan käyttävää öljykattilaa. (2.)

Sahalle on suunniteltu uutta kanavakuivaamoja kuivauskapasiteetin kasvattamiseksi. Lisäksi lämpölaitoksella on havaittu nykyisen kiertopumpun tuoton olevan liian pieni, jotta kuivaamot toimisivat moitteettomasti huippukuormien aikana. Kunnossapitohenkilöstö ja pumppujen toimittaja on todennut lämpöverkon varapumpun liian pieneksi turvaamaan nykyisen verkoston vaatimaa tehoa.

Työssä kartoitetaan lämpölaitoksen energian riittävyys nykytilanne huomioon ottaen kaukolämpöverkon ja sahan aluelämpöverkon energian tarve. Sahan aluelämpöverkon optimoinnissa selvitetään lämpöverkon ominaiskäyrät eritilanteissa sekä tarkastellaan verkon lämmönsiirtotehoa verkon eri osiin. Ongelmakohtaisesti on muodostunut kanavakuivaamoiden lämpölinja, joka pyritään saamaan tasapainoon vaihtojen aikana syntyvistä verkon lämpötilan ja painerojen heilaheluista. Työssä mitoitetaan sahan lämpöverkon kiertopumppu uudelleen sekä tarkastellaan kanavakuivaininvestoinnin vaatimia muutostöitä verrattaessa saavutettaviin etuihin nähden. (Liite 1.)

2 KAUKOLÄMPÖ

Kaukolämmitys on rakennusten ja käyttöveden lämmittämiseen tarvittavan lämpöenergian keskitettyä tuotantoa. Lämpöenergia tuotetaan lämmitysvoimalaitoksissa tai suurissa lämpökeskuksissa, joista lämpö jaetaan edelleen kaukolämpöverkoston välityksellä asiakkaille. Kaukolämmön asiakkaita ovat mm. asuintalot, teollisuus, liikerakennukset ja julkiset rakennukset. Kaukolämmön tuottaminen on tehokkainta ja ympäristöystävällisintä sähkön yhteistuotannon kanssa. (3, s. 9.)

2.1 Kaukolämpölaitos

Kaukolämpölaitokset voivat erota toisistaan rakenteellisesti hyvinkin paljon, mutta toimintaperiaate on kaikissa jokseenkin sama. Perustana kaikissa laitoksissa on veden kuumentaminen polttoprosessissa saadulla lämpöenergialla. Kattiloissa vesi on mahdollista kuumentaa 120-asteiseksi ilman kiehumisvaaraa korkean paineen ansiosta. Laitokset voivat olla kytkettynä suoraan tai lämmönvaihtimen välityksellä kaukolämpöverkkoon. (4, s. 36.)

Polttoaineena voidaan käyttää esimerkiksi jätettä, maakaasua, haketta tai hiiltä. Öljyn käyttö on harvinaisempaa sen korkean hintansa vuoksi. Öljykattiloita käytetäänkin yleensä ns. huippukattiloina kulutushuippujen aikana. (4, s. 36.)

Kaukolämpöjärjestelmän osaprosesseja ohjataan säätöteknisillä laitteilla parhaan mahdollisen käyttötuloksen saavuttamiseksi. Tällaisia ovat esimerkiksi polttoaineen syöttö kattilaan ja savukaasujen puhdistus. (4, s. 36.)

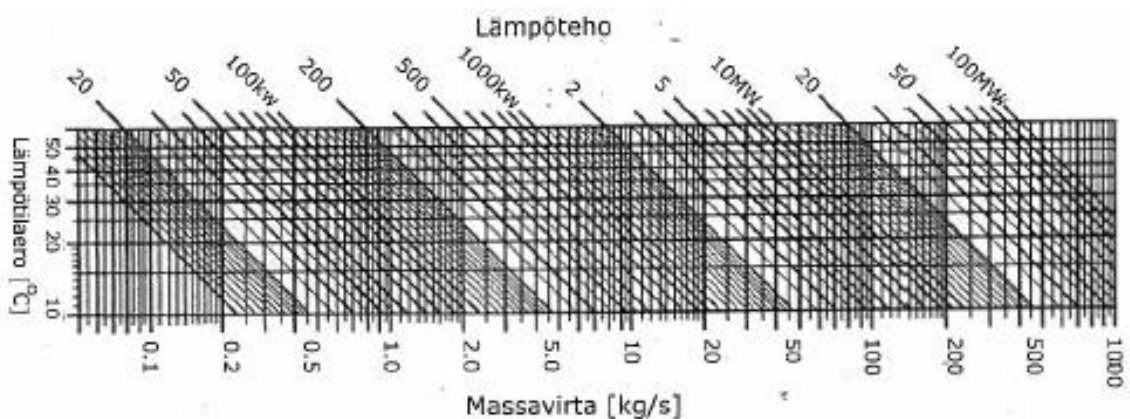
Verrattaessa pieniin rakennuskohtaisiin lämmitysjärjestelmiin kaukolämpöjärjestelmissä saavutetaan korkeampi hyötysuhde ja pienemmät ympäristöpäästöt, vaikka niihin ei ole liitetty erillistuotantoa eli sähkön ja lämmön yhteistuotantoa (CHP). Suuremmat kattilat on mahdollista varustaa taloudellisesti järkevämmiin monipuolisemmilla säätö- ja valvonta-automaatiikalla sekä savukaasujen puhdistuslaitteistolla. (3, s. 13.)

2.2 Pumppaus

Pumppaus toteutetaan yleensä keskipakopumpuilla, jotka valitaan tarvittavan virtaaman ja nostokorkeuden mukaan. Pumput on varustettu yleensä taajuusmuuttajilla ja niitä ohjataan kaukolämpöverkoston paine-eron sekä tarvittavan virtaaman avulla. Pumppujen kierroslukua säädetään portaattomasti taajuusmuuttajan avulla, jolloin käytännössä säädetään pumppauksen nostokorkeutta. Pumppua säädetään asiakkaiden tarpeiden mukaan siten, että riittävä paine-ero ja virtaama saadaan kaukolämpöverkossa aikaiseksi. (3, s. 36.)

Pumppausta säätämällä pyritään toimittamaan mahdollisimman pienillä kustannuksilla kaikille asiakkaille riittävästi energiaa. Tapauskohtaisesti kannattaa harkita, onko pumppaus järkevintä toteuttaa kokonaan lämmöntuotantolaitoksilta käsin vai lisätäänkö välipumppaamoita kaukolämpöverkon oikeisiin kohtiin. (3, s. 36.)

Kaukolämpöverkoston painehäviökäyrä kuvaa putkiston painehäviötä verkossa. Tärkeimmät painehäviötä aiheuttavat tekijät ovat putkikoko ja virtaavan veden määrä. Kaukolämpöveden jäähtymä on merkittävässä osassa painehäviön muodostumiselle, koska se vaikuttaa suoraan tarvittavan vesivirran määrään kuvan 1 mukaisesti. (3, s. 36.)



KUVA 1. Lämpötehon ja massavirran suhde eri lämpötilaeroilla (6, s. 198)

2.2.1 Suunnittelu ja mitoitus

Kiertovesipumpun suunnittelussa ja mitoituksessa on otettava huomioon monenlaisia pumppaukseen vaikuttavia asioita. Kaukolämmön kiertovesipumpulla on voitettava tuotantolaitoksen sisäiset painehäviöt sekä kaukolämpöverkon ja mittauskeskuksen aiheuttamat painehäviöt. Lisäksi asiakkaalle on varattava riittävä paine-ero kaukolämpölaitteille ja säätöventtiileille. Verkoston todellinen jäähtymä on oltava tiedossa pumppua valittaessa. (5, s. 172.)

Järjestelmän suunnittelupaine asettaa ylärajan kiertovesipumpun nostokorkeuden mitoittamiselle. Suunnittelupaineen alarajan asettaa putkiston ja pumpun imupuolen alipainevaara (5, s. 172). Uudet verkostot suunnitellaan suositusten mukaan PN 16 -paineluokkaan. Tapauskohtaisesti voidaan pienissä ja erillisissä sekä maastollisesti tasaisissa verkoissa käyttää PN 10 -paineluokkaa. Vanhoissa verkoissa on voitu käyttää paineluokan PN 16, PN10 tai jopa PN 6 osia, joten tämä on myös huomioitava pumppua mitoittaessa. (6, s. 1.)

Virtaaman suuret vaihtelut vuorokausi- ja vuositasolla asettavat omat haasteensa pumpun mitoitukselle. Nostokorkeus on pidettävä aina riittävän suurena, jotta kriittiselle asiakkaalle taataan riittävä paine-ero, joka on vähintään 0,6 bar. Verkostossa kriittinen kuluttaja voi vaihdella eri ajotilanteiden mukaan. (6, s. 1.)

Normaaliputkistovarustuksella asiakkaalle sallitaan maksimissaan 5 bar paine-eroa meno- ja paluuputken välille. Suuremmilla paine-eroilla syntyy meluongelmia säätöventtiileissä, jolloin verkostoon on lisättävä paineenalennusventtiileitä. Tämän vuoksi on suositeltavaa mitoittaa kaukolämpöpumput korkeintaan 6 bar:n nostokorkeuteen. (6, s. 1.)

Suunnittelussa on tarkasteltava verkoston kaikki käyttötilanteet, jotta paineluokan ylittäviä paineita ei pääse missään olosuhteissa syntymään, eikä myöskään liian alhaisia paineita, jottei pumppu ala kavitoimaan. Suositusten mukaan tarkastelu kannattaa tehdä laskentaohjelmistolla. (6, s. 1.)

Yleensä korkeimmat paineet esiintyvät menoputkessa lähellä tuotantolaitosta, kaukolämpöpumppaamoja ja maastollisesti alhaalla sijaitsevissa kohteissa. Kaukolämpöjärjestelmässä painetaso on pidettävä alhaisena kuitenkin ali-

painevaaran riskiä ottamatta. Painetason tarkastelu ei kuitenkaan vaikuta kiertopumpun mitoitukseen vaan pelkästään paineenpitopumpun ja ylivirtausventtiilin mitoitukseen. Kiertopumppu mitoitetaan kaukolämpöverkoston painehäviöiden mukaan. (6, s. 2.)

2.2.2 Affiniteetti säännöt

Keskipakopumppujen kierrosluvun muutoksen vaikutuksista tilavuusvirtaan, nostokorkeuteen ja tehontarpeeseen on johdettu erilaisia pumppausteknisistä perusteista kaavojen 1, 2 ja 3 mukaisia yhtälöitä. (5, s. 171.)

Yhtälöistä voidaan huomata, että tilavuusvirta on suoraan verrannollinen pyörimisnopeuteen (kaava 1), nostokorkeus pyörimisnopeuden neliöön (kaava 2) ja tarvittava teho pyörimisnopeuden kuutioon (kaava 3). Esitettyjen kaavojen paikkaansa pitävyyteen edellytetään, että pyörimisnopeuden muutos on niin pieni, että hyötysuhde pumpussa ei muutu. Kohtuullinen pyörimisnopeuden muutos ei muuta hyötysuhdetta. (5, s. 171–172.)

$$\frac{\dot{V}_1}{\dot{V}_2} = \frac{\dot{m}_1}{\dot{m}_2} = \frac{n_1}{n_2} \quad \text{KAAVA 1}$$

$$\frac{H_1}{H_2} = \frac{\Delta p_1}{\Delta p_2} = \left(\frac{\dot{V}_1}{\dot{V}_2}\right)^2 = \left(\frac{\dot{m}_1}{\dot{m}_2}\right)^2 = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2 \quad \text{KAAVA 2}$$

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{\Delta p_1 \dot{V}_1}{\Delta p_2 \dot{V}_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^3 \quad \text{KAAVA 3}$$

V = tilavuusvirta

m = massavirta

n = pyörimisnopeus

H = nostokorkeus

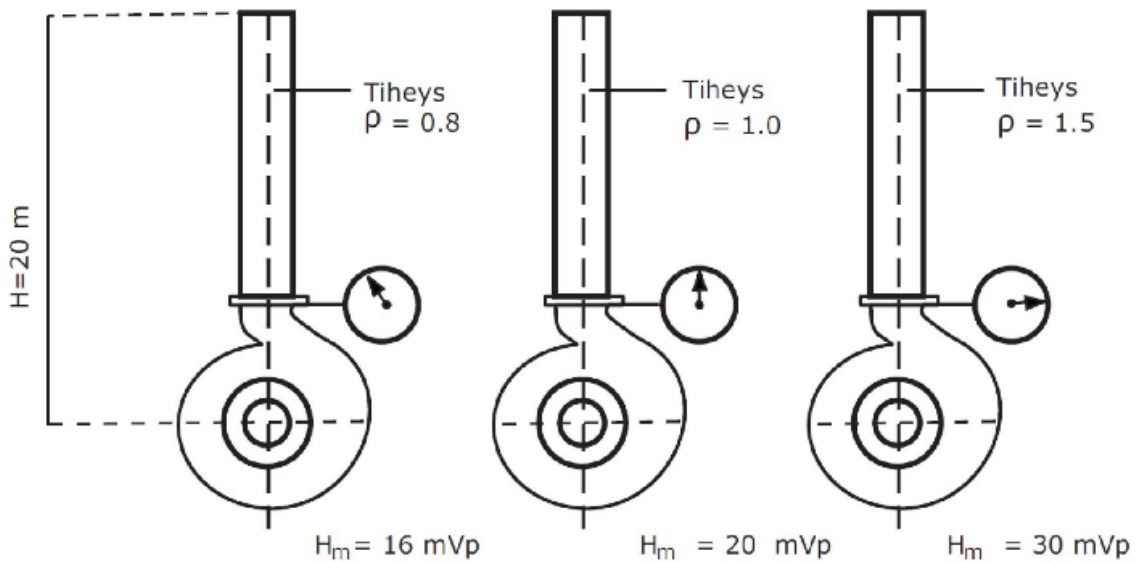
Δp = paine-ero

P = teho

2.2.3 Pumppausteho

Pumpattaessa keskipakopumpulla mitä tahansa nestettä, on sen nostokorkeus aina miltei sama. Pumppu nostaa aina nestepinnan yhtä korkealle, jos nesteen viskositeetti ei paljon poikkea veden viskositeetista. Tällöin myös virtausvastukset ovat suunnilleen yhtä suuret. Pumpun tehontarve muuttuu ja painemittarin lukema osoittaa nestepatsaan aiheuttamaa painetta mittauskohdassa. Tämä on otettava huomioon vertailtaessa käyrästä ominaiskäyriä ja painemittarilukemaa. (5, s. 170.)

Kuvassa 2 on esimerkki nesteen tiheyden riippuvuudesta mittarilukemaan nostokorkeuden ollessa sama.



KUVA 2. Mittarilukeman riippuvuus nesteen tiheydestä (5, s. 170)

Pumppausteho saadaan laskettua kaavan 4 mukaisesti (5, s. 170).

$$P = \frac{\dot{V}\Delta p}{\eta} = \frac{\dot{V}\rho gH}{\eta} = \frac{\dot{m}gH}{\eta}$$

KAAVA 4.

P = pumpun akselilta tarvittava teho (W)

V = tilavuusvirta (m^3/s)

m = massavirta (kg/s)

Δp = paine-ero (Pa)

H = nostokorkeus (m)

ρ = nesteen tiheys (kg/m^3)

g = maanvetovoiman kiihtyvyyys ($9,81 \text{ m/s}^2$)

η = hyötysuhde

2.2.4 Imukyky

Pumpun imukyvyistä käytetään yleensä käsitettä NPSH (Net positive suction head). NPSH:lla ilmoitetaan paineen suuruutta höyrystymispaineen lisäksi, jonka tulee olla vähintään pumpun imuaukossa pumpun moitteettoman toiminnan takaamiseksi. Valmistajat esittävät NPSH -käyrän pumppukohtaisissa esitteissä. (5, s. 170.)

Pumpun imupuolen imukorkeuden laskemiseksi on johdettu kaavaa 5 (5, s. 171).

$$H_i > \frac{(p_0 - p_h)}{\rho g - NPSH - H_v} \quad \text{KAAVA 5.}$$

H_i = imukorkeus (m)

p_0 = imusäiliössä nestepintaan kohdistuva paine (Pa)

p_h = nesteen höyrystymispaine pumppauslämpötilassa (Pa)

H_v = imujohdon vastus painekorkeutena (m nestepatsasta)

Imupuolen vastusten noustessa liian suuriksi neste höyrystyy ja syntyy kavitaatioilmiö. Ilmiö aiheuttaa paineen laskua ja häiritsevää ääntä. Höyrystymisestä johtuen syntyy ilmakuplia, jotka aiheuttavat vesi-iskuja. Höyrykuplat aiheuttavat pumpussa tilavuusvirran kasvua ja todellisen massavirran pienenemistä. Pumpun myöhemmissä osissa paineen noustessa höyry tiivistyy ja vesi syöksyy kuplien tilalle sekä pumpun siipiin ja seinämiin aiheuttaen suurta korroosiota. Kuristamalla painepuolen venttiileitä saadaan kavitaatio poistettua. Kierto-

vesipumppujen imupuolella tulisi olla 0,5–0,8 bar painetta käytettävissä kavitaatioilmiön estämiseksi. (5, s. 171.)

2.2.5 KytKentätavat

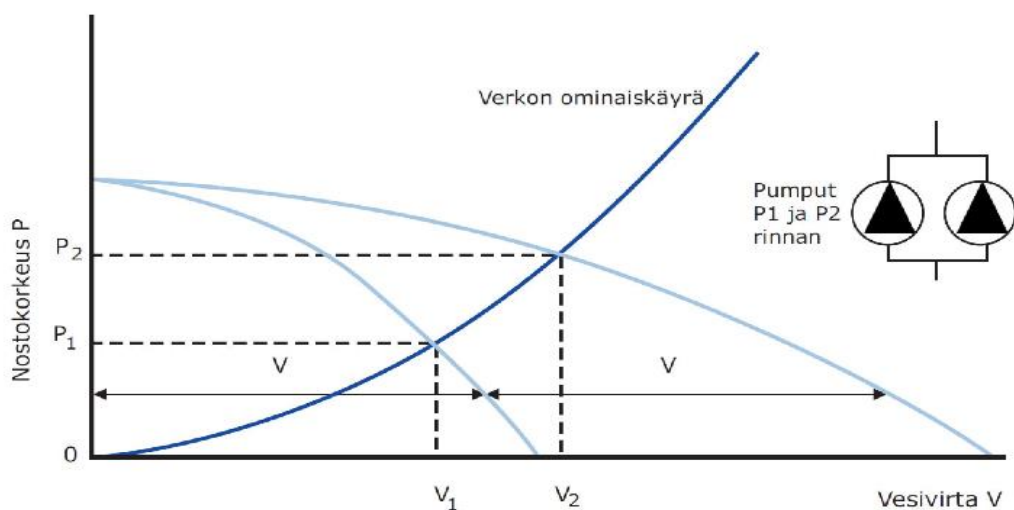
KytKentätävän valintaan vaikuttaa erityisesti vuorokausitasolla vaihtelevat kiertovesimäärät. Vesimäärän vaihtelut voi olla hyvinkin nopeita kulutustilanteesta riippuvaisia, jolloin vaaditaan suurta vesimäärää ja nostokorkeuden säätömahdollisuutta. Tällöin tulee useasti vastaan tilanne, jossa yhden pumpun säätömahdollisuudet eivät riitä. (5, s. 173.)

Kun pumppaus pyritään toteuttamaan taloudellisesti ja hyvällä hyötysuhteella toimien koko kuormitusalueella, täytyy kiinnittää huomiota kytKentätävän valintaan pyörimisnopeussäädön lisäksi. Tarkastelu on tehtävä jokaisen laitoksen ominaispiirteet huomioiden. (5, s. 173.)

Rinnankytkentä

Rinnankytkentä mahdollistaa suuren vesivirran säätömahdollisuuden. Yleensä pumput ovat samankokoiset keskenään ja ne on asennettu lämpölinjan menopuolella. (5, s. 173.)

Kuvasta 3 huomataan, että kaksi samanlaista pumppu rinnankytkettynä ei tuota kaksinkertaista virtaamaa. Tarkastelussa on otettava huomioon verkoston ominaiskäyrä.

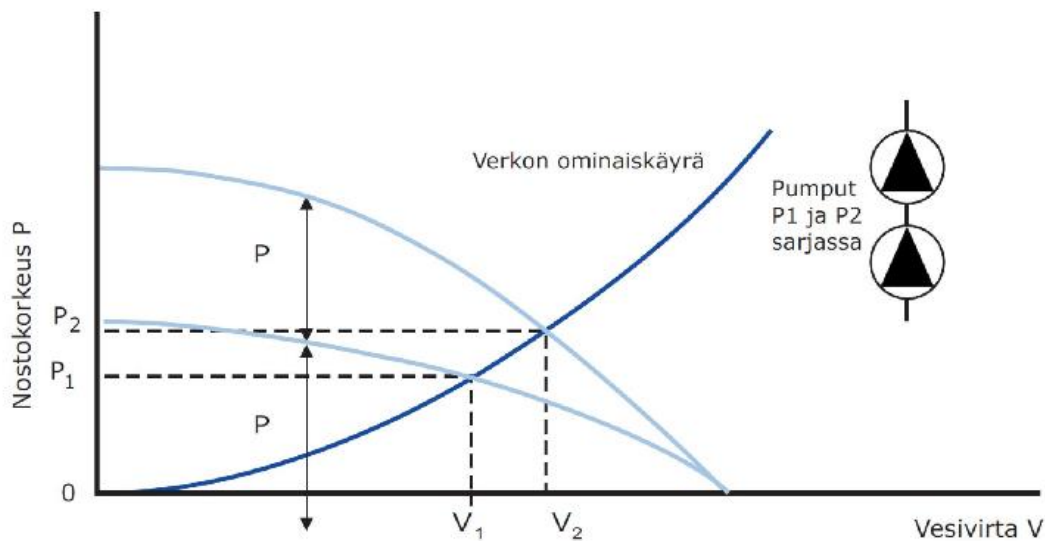


KUVA 3. Kaksi samanlaista pumppua rinnankytkettynä (5, s. 173)

Sarjaan kytkentä

Sarjaan kytkentä mahdollistaa paremman nostokorkeuden säädön. Sarjaan kytkentä sopii parhaiten suuriin ja keskikokoisiin lämpöverkkoihin. Yleensä pumput on sijoitettu välipumppaamoon, jossa toinen pumppu on menoputkessa ja toinen paluuputkessa. Tätä kytkentätapaa tulee harkita silloin kun kaukolämmön siirtomatka on pitkä ja tiukaksi mitoitettu. Tällöin pumppaamolta vaadittava nostokorkeus on suuri.(5, s. 173.)

Kuvassa 4 on esitetty kahden samankokoisen pumpun sarjaan kytkentä, josta voidaan huomata, että kytkennällä ei kuitenkaan saavuteta kaksinkertaista nostokorkeutta, kun huomioidaan verkoston ja pumppujen ominaiskäyrät. Virtaaman kasvaessa myös pumppujen nostokyky vähenee.



KUVA 4. Kaksi samanlaista pumppua sarjaan kytkettynä (5, s. 174)

2.3 Kaukolämpöverkko

Kaukolämpöverkosto koostuu meno- ja paluuputkesta. Kaukolämmön jakelujärjestelmään kuuluvat siirto-, runko- ja talojohdot. Siirtojohdoilla lämmöntuotantolaitokset yhdistetään runkojohtoihin. Runkojohdot jakavat kaukolämmön siirtojohdoista edelleen pienempiin jakelujohtoihin tai talojohdoin, jotka yhdistävät kuluttajat verkostoon. Verkoston osia ovat putkien lisäksi mm. välipumppaamot,

kaivot, venttiilit, mittalaitteet sekä kiintopiste- ohjaus- ja liikuntaelementit. (3, s.41–42.)

Kaukolämpöverkostossa tavallisimmin käytettyjä rakennemateriaaleja ovat hiili-teräs (putkistot, venttiilit, lämmönsiirtimet), haponkestävä teräs (pumpun osat, lämmönsiirtimet), ruostumaton teräs (paljetasaimet), valurauta (pumpun osat, venttiilien osat), kupari (putket, lämmönsiirtimet), messinki (venttiilit, vesimittarit), muovit (säiliöt, putkistot), betoni (putket, kaivot) ja erilaiset eristemateriaalit kuten villa ja polyuretaani. (7, s. 1.)

2.3.1 Verkoston suunnittelu

Yleissuunnittelussa ja mitoituksessa on otettava huomioon verkon laajeneminen, tehontarve ja ajallinen kehittyminen. Suunnittelussa on huomioitava myös tuotantolaitosten sijainti, teho ja rakentamisen ajoitus. Käytännössä verkon osat on mitoittava niin, että ne toimivat lopullisessa verkossa. (7, s. 5.)

Suunnitteluvaiheessa on huomioitava verkon laajeneminen ja näin ollen tehontarpeen lisääntyminen esim.10–15 vuoden tähtämellä. Tämä ei välttämättä tarkoita sitä, että jokaisessa kohteessa pitää jättää verkkoon laajentumisvaraa, koska siirtokapasiteettia voidaan lisätä rakentamalla välipumppaamo tai uusi lisäyhteys. Varsinkin laajojen verkkojen suunnittelussa, mitoituksessa ja laskennassa tulisi käyttää tähän tarkoitukseen kehitettyjä laskenta- ja simulointiohjelmiä. (7, s. 5.)

2.3.2 Verkoston mitoitus

Kaikki johdot mitoitetaan 1,6 MPa:n suunnittelupaineeseen ja ≤ 120 °C:n käyttölämpötilaan käyttöaineen ollessa käsiteltyä kaukolämpövettä. Käyttöikään vaikuttaa suuresti käyttölämpötila. Käytettäessä yli 115–120 °C:n lämpötiloja käyttöikä on noin 30 vuotta, mutta jos lämpötila on alle 115 °C, käyttöikä kasvaa yli 50 vuoteen. (5, s. 137.)

Mitoitus tehdään aina kunkin verkoston osan osalta erikseen tarpeiden mukaan. Merkittävimmät muuttuvat tekijät siirrettävän tehon lisäksi ovat kaukolämpöveden jäähtymä ja lämpimän käyttöveden tehon tarpeen vaihtelu. Nämä muuttu-

vat tekijät vaikuttavat tarvittavan vesivirran siirtämiseen, jotka on otettava huomioon laskelmissa.

Runkojohdon tarvitsema vesivirta määrää verkoston mitoituksen, joka saadaan lasketun ja/tai ennakoitun alueen huipputehon mukaan kaavalla 6, jossa Φ_{kok} on alueen yhteenlasketut liittymistehot. (8, s. 6.)

$$\Phi_{mit} = (0,7 \dots 1,0) * \Phi_{kok} \quad \text{KAAVA 6.}$$

Alla olevalla kaavalla 7 saadaan laskettua kaukolämpöteho, josta huomataan jäähtymän suuri merkitys siirrettävään vesivirtaan. (3, s. 42.)

$$\Phi = \rho * q_v * c_p * \Delta t \quad \text{KAAVA 7.}$$

Φ = kaukolämpöteho, kW

ρ = kaukolämpöveden tiheys, kg/dm³

q_v = kaukolämpöveden virtaama, dm³/s

Vesivirran ja mitoituksessa käytettävän veden virtausnopeuden perusteella saadaan laskennallinen putkihalkaisija kaavalla 8. Laskennallisen putken halkaisijan perusteella saadaan valittua oikea putkikoko taulukosta. (3, s. 43.)

$$d_{lask} = \sqrt{\frac{4q_v}{\pi v_{mit}}} \quad \text{KAAVA 8.}$$

d_{lask} = laskennallinen putkihalkaisija

q_v = kaukolämpöveden virtaama, m³/s

v_{mit} = mitoituksessa käytettävä kaukolämpöveden virtausnopeus, m/s

Mitoitusvirtaus valitaan aina käytettävän putkimateriaalin mukaan. Käytettävän putken halkaisija valitaan sisähalkaisijaltaan seuraavaksi suurempi koko putki-
taulukosta. Putken valinnassa on otettava huomioon laskennan lähtötietojen tarkkuus ja mahdolliset muutokset tulevaisuudessa. (3, s. 43.)

Lämpimän käyttöveden vaikutus tehontarpeeseen on satunnaista ja sidonnaista vuorokausi- ja viikkorytmeihin. Yksittäinen kuluttaja vaikuttaa eri tavoin verkon

eri osissa tarvittavaan kokonaistehon määrään. Laskennassa huomioidaan käyttövesiteho samanaikaisuuskertoimin arvioitaessa risteilyn vaikutus verkkoon. Risteilyn vaikutus voidaan arvioida myös käyttämällä kokemusperäisiä kertoimia. Kuluttajien käyttöveden hyvin erilaiset kulutusprofiilien vaikutukset verkkoon on otettava huomioon mitoituksessa. Asuinrakennusten vaikutus on helpompi arvioida kuin liike- ja teollisuusrakennusten, koska profiilit ovat yksilöllisiä ja nämä on huomioitava erikseen. (3, s. 43.)

Putkikokojen väliset erot ovat niin suuret siirrettävään tehoon nähden, että tarkempaan tarkasteluun on harvemmin tarvetta. Kulutuskohteet, jotka poikkeavat suuresti muista on huomioitava, kuten sahatavarakuivaamot. Tehontarve kuivaamoissa on suuri ja tasainen läpi vuoden. (3, s. 43.)

Mitoituksessa sallitaan taulukon 1 mukaisia painehäviöitä verkoston eri osissa. Talojohdot ovat aina verkoston viimeisimmät putket ja niinpä voidaan sallia suurempia painehäviöitä kuin siirto- ja jakeluputkille kuitenkin huomioiden verkoston latvaosan talojohdot, joissa vallitsee heikompi paine-ero meno ja paluuputken välillä. Tällöin talojohdot mitoitetään väljemmin toiminnan parantamiseksi. (3, s. 43.)

TAULUKKO 1. Verkoston eri osissa sallitut painehäviöt (5, s. 156)

Talojohdot	Runkojohdot	Siirtojohdot
yleisesti 2 bar/km	yleensä 1 bar/km	yleensä 0,5–1 bar/km
latvaosa 1 bar/km	poikkeus 2 bar/km	

2.3.3 Verkoston painehäviönlaskenta

Verkoston putkissa virtaava vesi aiheuttaa kitkan vaikutuksesta painehäviöitä. Painehäviöt määritetään kaavan 9 mukaan. (5, s. 199.)

$$\Delta p_v = \xi \frac{L \rho w^2}{d_s} = \xi \frac{8L \rho \dot{V}^2}{d_s^5 \pi^2} = \xi \frac{8L \dot{m}^2}{d_s^5 \pi^2 \rho} \quad \text{KAAVA 9.}$$

Δp_v = painehäviö (Pa)

ξ = kitkakerroin

ρ = veden tiheys (kg/m^3)

w = virtausnopeus (m/s)

L = putkipituus (m)

d_s = putken sisähalkaisija

V = tilavuusvirta (m^3/s)

m = massavirta (kg/s)

Kaavassa 9 oleva kitkakerroin ξ lasketaan Reynoldsin luvun ja karheuden k mukaan. Reynoldsin luku lasketaan kaavan 10 mukaan. (5, s. 200.)

$$Re = \frac{wd_s}{\nu} = \frac{4\dot{V}}{\pi d_s \nu} = \frac{4\dot{V}\rho}{\pi \eta d_s} = \frac{4\dot{m}}{\pi \eta d_s} \quad \text{KAAVA 10.}$$

ν = kinemaattinen viskositeetti (m^2/s)

η = dynaaminen viskositeetti (kg/ms)

Aina kun suoraan putkeen liitetään erilaisia osia tai varusteita, aiheuttavat ne virtaukseen kertaluonteisesti häiriöitä, jolloin syntyy kertavastuksia. Kertavastuksia aiheuttavat mm. käyrät, haarat ja venttiilit. Kertavastuksista aiheutuva painehäviö lasketaan kaavan 11 mukaan. (5, s. 202.)

$$\Delta p_K = \zeta \frac{\rho w^2}{2} = \zeta \frac{8\rho \dot{V}^2}{\pi^2 d_s^4} \quad \text{KAAVA 11.}$$

ζ = kertavastusluku

Virtausvastukset syntyvät kitka- ja kertavastuksista. Putken kokonaispainehäviö saadaan laskettua kun virtausvastukset lasketaan yhteen. Tässä tarkastelussa ei kuitenkaan oteta huomioon korkeusasematermiä. Kokonaispainehäviö lasketaan kaavan 12 mukaan. (5, s. 202.)

$$\Delta p = \Delta p_v + \Delta p_K = \left(\xi \frac{L}{d_s} + \sum \zeta \right) \frac{\rho w^2}{2} \quad \text{KAAVA 12.}$$

Tiedettäessä painehäviö tietyllä tilavuusvirralla voidaan painehäviö laskea toisellekin tilavuusvirralle, koska painehäviö on likimain verrannollinen toiseen potenssiin. Toiselle tilavuusvirralle painehäviö voidaan laskea kaavan 13 mukaisesti. (5, s. 202.)

$$\frac{\Delta p_1}{\Delta p_2} = \left(\frac{\dot{V}_1}{\dot{V}_2}\right)^2$$

KAAVA 13.

2.3.4 Verkoston optimoiminen

Erilaisten käyttötilanteiden ja verkoston hallinnan optimoimiseen on omat työkalunsa, joilla voidaan laskea ja simuloida eri tilanteita. Laskennassa huomioidaan verkoston paineen ja lämpötilan muutokset sekä niiden riippuvuudet. Pumppauksen ja käytön suunnittelulla voidaan vaikuttaa mm. lämpöhäviöiden minimoimiseen. Laskenta on tärkeää etenkin silloin, kun suunnitellaan välipumppaamoiden sijoittamista verkkoon, jotta pumppaamo sijoitettaisiin oikeaan kohtaan. (3, s. 44.)

2.3.5 Kaukolämpöjohdot ja eristeet

Kaukolämpöverkoston tärkeimmän osan muodostavat putket, joiden tulisi olla mahdollisimman kestäviä ja kustannustehokkaita. Nykyisin kaukolämpöverkostot rakennetaan valtaosin tehdasvalmisteisillä elementtiosilla, joissa virtausputki on terästä, lämmöneristeenä käytetään polyuretaania ja suojakuori on valmistettu polyeteenistä. (3, s. 45.) Valmiiksi eristetyille putkielementeillä lämmönjohtavuus on oltava $\leq 0,033$ W/mK, mikä tarkoittaa käytännössä sitä, että eristeenä voidaan käyttää ainoastaan polyuretaania. (5, s. 140.)

Yksiputkijärjestelmä (2Mpuk)

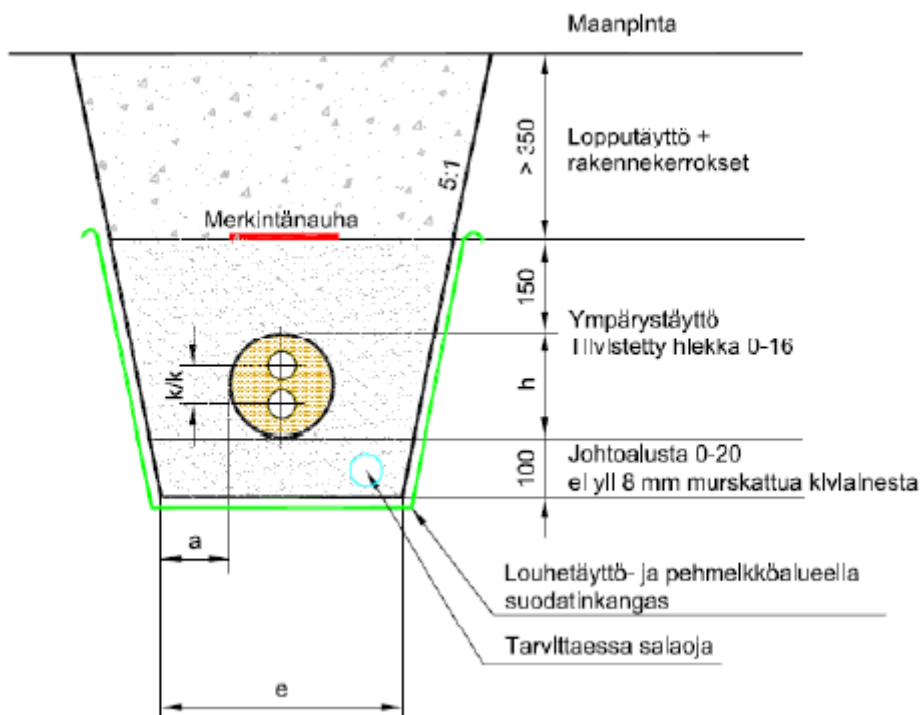
Yksiputkijärjestelmää käytetään yleisimmin kaukolämpöverkoston runkolinjoissa. Putken rakenne koostuu teräksisestä virtausputkesta ja polyeteenistä valmistetusta suojakuoresta, jotka liitetään yhteen polyuretaanieristeellä. Tätä kutsutaan myös yksiputkielementiksi. (8, s. 9.)

2-putkijärjestelmä (Mpuk)

2-putkijärjestelmää käytetään kaukolämpöverkon kiinteistöjohdossa ja pienempien alueiden liittymisjohdossa. Putken rakenne koostuu kahdesta virtausput-

kesta ja polyeteenisuojakuoresta, jotka ovat liitetty yhteen polyuretaanieristeellä. Tätä kutsutaan kaksiputkielementiksi. (8, s. 9.)

Paluuputki on asennettu lähemmäksi maanpintaa lämpöhäviöiden vähentämiseksi. Verrattaessa kaksiputkijärjestelmää yksiputkijärjestelmään on sen materiaaltarve pienempi ja jatkoksia tarvitaan puolet vähemmän. Myös lämpöhäviöt ovat pienemmät kaksiputkijärjestelmässä. Kuvassa 5 on kaksiputkielementin rakenteesta poikkileikkaus. (5, s. 139.)



KUVA 5. Kaksiputkielementin ja kaivannon poikkileikkaus (8, s. 46)

2.3.6 Verkstovarusteet

Kaukolämpöverkosto koostuu monenlaisista osista ja materiaaleista. On kuitenkin tärkeää ottaa huomioon erityisesti lämpölaajenemisen vaikutus verkostossa. Erityyppiset eristeet vaikuttavat suuresti osien valintaan, koska osien on oltava yhteensopivat kaukolämpöputkien kanssa. Esimerkiksi vertailtaessa Mpuk- ja 2Mpuk-kaukolämpöputkia huomataan, että asennustapa kaivannossakin on erilainen. (3, s. 42.)

Välipumppaamot

Välipumppaamot kuuluvat olennaisena osana kaukolämpöverkoston. Pump-
paamoiden avulla saadaan pidettyä verkostossa sopiva paine. Välipumppaa-
mon toteutustapa valitaan tapauskohtaisesti. Tähän vaikuttavat kaukolämpö-
johdon koko, maastollinen sijainti, kaavoitustilanne, yms. (6, s. 11.)

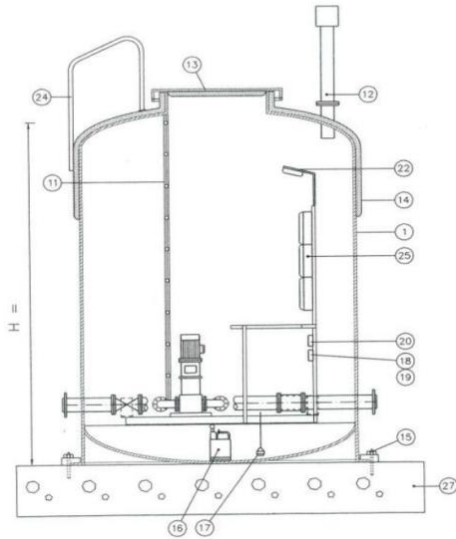
Välipumppaamot voidaan toteuttaa seuraavin ratkaisuin:

- maan päällisinä uudisrakennuksina
- sijoitettuna olemassa olevan kiinteistöön
- sijoitettuna maanalaiseen betonikaivoon tai
- sijoitettuna maanalaiseen lujitemuoviseen kaivoon.

Pumppaamoissa on huolehdittava riittävästä kulku- ja työskentelytiloista, ilman
vaihdosta /ilmastoinnista ja viemäröinnistä. Myös äänihaitat tulee ottaa huomi-
oon pumppaamoiden suunnittelussa ja sijoittelussa. (6, s. 11)

Pumppaamoiden pumpuissa käytettävistä materiaaleista on annettu suositus
(Kaukolämpöverkon pumppausjärjestelyt Suositus L10/2011). Pienen kokoluo-
kan pumpuissa käytetään pallografiittivalurautaa, kun isoissa kokoluokan pum-
puissa käytettävä materiaali on valuterästä. Valuterästä käytetään sen sitkey-
den vuoksi, koska se kestää paremmin paineiskuja. Valuteräs nostaa kustan-
nuksia, mutta vaihtoehtoisesti on mahdollista käyttää myös valurautapesällä
varustettua pumppua, jonka paineluokkana on PN25. Juoksupyörissä ja akse-
leissa käytetään ruostumatonta terästä tai haponkestävää terästä. (6, s. 12)

Alla olevassa kuvassa 5 on esimerkki maan alle sijoitettavasta tehdasvalmistei-
sestä lujitemuovisesta välipumppaamosta.



KUVA 6. Maan alle sijoitettava välipumppaamo (6)

Kaivot

Kaukolämpöverkoston kaivot tehdään Energiateollisuuden suosituksen L3 tai ohjeistettujen piirustusten mukaan. Kaivot varustetaan valurautakansilla. Maa-venttiilikaivot ovat tehdasvalmisteisia valmiita asennuskaivoja. Rengaskaivot rakennetaan teräsvahvistetuista betonirenkaista ja paikalla valetut kaivot valetaan tyyppi- ja raudituspiirustusten perusteella. Kaivot rakennetaan helpottamaan käyttöä ja huoltotöitä sekä mahdollisten vauriokohtien löytymistä. (6, s. 23.)

Venttiilit

Kaukolämpöverkossa käytetään seuraavia venttiilejä, jotka ovat sulku-, ohitus-, säätö-, tyhjennys-, ilmanpoisto ja kertosulkuventtiilit. Sulkuventtiilien tehtävänä on verkon jako osiin tai erottaa tietty johto-osuus. Sulkuventtiilit tulee olla Energiateollisuuden L4-suosituksen mukaisia ja venttiilielementit L1-mukaisia ja venttiilien tulee kestää hyvin kaukolämpöjärjestelmän epäpuhtauksia. Kaukolämpöverkossa käytetään seuraavanlaisia sulkuventtiilityyppejä: palloventtiileitä ja läppäventtiileitä. Läppäventtiilit ovat palloventtiilejä edullisimpia, ja ne voidaan asentaa pienempään tilaan, mutta palloventtiilien käyttö on suositeltavaa. (6, s. 15.)

Ohitus-, tyhjennys-, ja ilmanpoistoverteillejä tarvitaan silloin, kun putkistoa tyhjenetään tai täytetään. Esimerkiksi putkistoon jäänyt ilma purkautuu ilmanpoistoverteilleiden kautta verkoston täyttövaiheessa. Kertasulkuverteillejä käytetään pienissä kaukolämpöjohdoissa, jotta verkon jatkaminen on tulevaisuudessa mahdollista. Suunnittelussa on otettava huomioon vertteilleiden käytettävyys ja suosituksissa annetut suojaetäisyydet rakenteista. Suoraan maahan asennettavat vertteilit on varustettava maaverteilleikaivoilla. (6, s. 15–16.)

Haaroitukset ja muut elementit

Kaukolämpöverkko pyritään rakentamaan selkeästi ja suoraviivaisesti, mutta johtorakenteisiin kuuluu aina haaroituksia. Haaroituksia tehtäessä on otettava huomioon lämpöliikkeiden asettamat vaatimukset. Kompensointikohtien lähelle ei saa tehdä haaroituksia ilman erityistoimenpiteitä. Haaroituksia ei suositella tehtävän alta ottona pääjohdossa kulkeutuvien epäpuhtauksien vuoksi, koska tässä tapauksessa epäpuhtaudet jäävät haaroitukseen. Kaukolämpöputkien ja osien valmistajilta löytyy kattava valikoima erilaisia osia eritilanteisiin. Pääsääntöisesti kaukolämpöverkko rakennetaan valmisosista. (5, s. 165.)

Kiintopiste-elementtejä käytetään putkilinjojen kiinni pitämiseksi ja laajenemisliikkeitten ohjaamiseksi. Kaukolämpöverkossa tapahtuu paljon lämpölaajenemisen aiheuttamaa lämpöliikettä. Kontrolloidusta liikkeestä ei ole haittaa verkolle. Tähän on suunniteltu erilaisia paljetasaimia, jotka ottavat vastaan lämpölaajenemisen aiheuttamaa pituuden muutosta. (5, s. 163;165.)

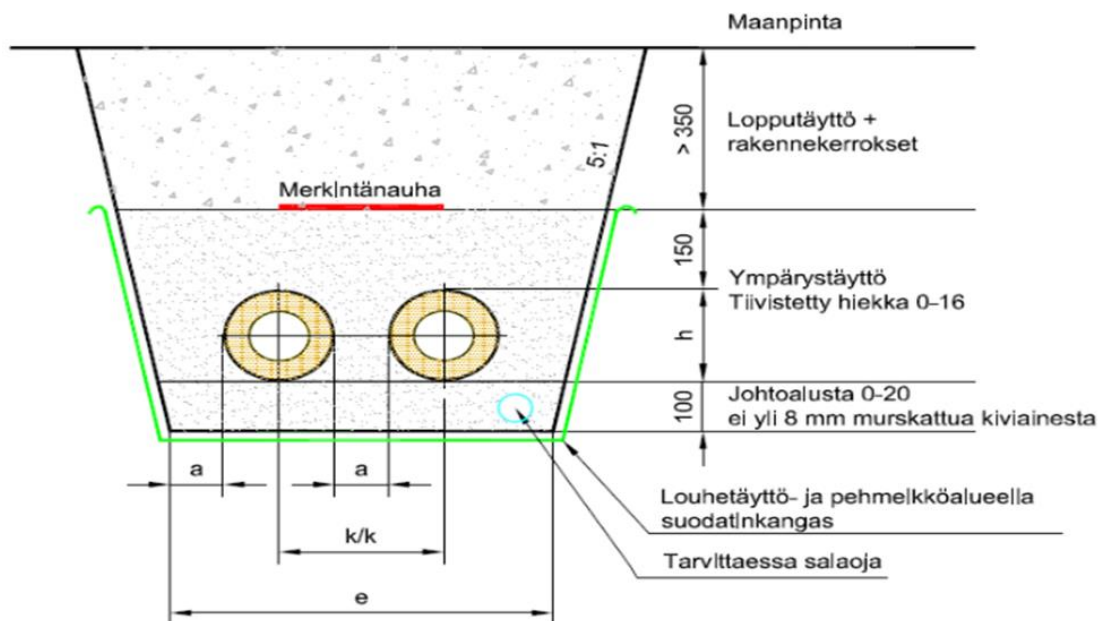
Mittalaitteet

Mittalaitteet kuuluvat oleellisena osana kaukolämpöverkkoon. Ne ovat perusta toimivalle liiketoiminnalle. Kaukolämpöverkossa toimitetaan asiakkaalle lämpöenergiaa, joka laskutetaan asiakkaalta. Energiamittari koostuu virtausanturista, meno- ja paluuveden lämpötila-antureista sekä lämpömäärälaskimesta. Mittaus-tuloksista saadaan laskettua laskutusmäärät, energian kulutus, tuotantomäärät, lämpöhäviöt yms. (3, s. 93.)

2.3.7 Asennus

Kaukolämpöverkosta rakennettaessa on otettava huomioon asennettavan verkostorakenteen erityisratkaisut ja vaatimukset. Ennen työn aloitusta tarvittavat suunnitelmat ja luvat on oltava kunnossa. Energiateollisuus ry on laatinut kaukolämpöverkoston asennuksesta suositukset ja ohjeet. Putki- ja laitevalmistajilla on lisäksi omat kuljetus- ja asennusohjeensa, joita myös tulee noudattaa. Kaukolämpöverkoston asentajilta vaaditaan tiettyjä pätevyyyksiä, joista on olemassa määräykset. (3, s. 50.)

Mpuk- ja 2Mpuk-elementtijohdot asennetaan kaivantoon, jonka periaatepiirros näkyy alla olevassa kuvassa 7. Kaivannon pohjan tulee olla suora ja tasainen. Kaivannon syvyys ja maa-aineskerrosten paksuus määräytyy käytettävän järjestelmän ja putkien koon mukaan.



KUVA 7. Yksiputkielementin (2 MPUK) ja kaivannon poikkileikkaus (6, s. 45)

Vesi täytyy johtaa pois kaivannosta ja ulkopuolisen veden pääsy kaivantoon on estettävä korroosion ja lämpöhäviöiden vähentämiseksi. Siispä salaojitusta on harkittava tapauskohtaisesti, etenkin mikäli pohjaveden pinta yltää johtotasolle asti. (6, s. 22.)

Nykyisin yleisintä on rakentaa kaukolämpöverkot kiinnivaahdotetuilla kaukolämpöjohtoilla käyttäen 1- tai 2-putkijärjestelmää (Mpuk, 2Mpuk). Putket asennetaan käyttäen kitkakiinnitysmenetelmää, jossa ne kiinnitetään paikoilleen maan kitkan avulla. (5, s. 159.)

Kitkakiinnitysmenetelmässä putki ottaa jännityksinä ja kulmaukohtiin rajoitettuina lämpöliikkeinä vastaan lämpötilamuutosten aiheuttamat kuormitukset. Kaukolämpöjohto on kitkakiinnitetyllä osuudella liikkumattomana, ja pienet aksiaaliset lämpöliikkeet on huomioitu laajennuskohdissa. Kiintopisteitä, lämpöliikkeen vastaanottavia materiaaleja ja tilajärjestelyjä ei tarvitse huomioida kuin esimerkiksi pitkillä sekä suorilla putkisto-osuuksilla. (5, s. 159–160.)

Kiinnivaahdotetut johdot suositellaan asennettaviksi esilämmitettyinä aina kun se on mahdollista. Esilämmityksessä putkea lämmitetään määritettyyn kiinnityslämpötilaan noin 50 °C matalampaan kuin maksimi käyttölämpötila. Esilämmityslämpötilan ilmoittaa aina putkiston suunnittelija. Lämpötilan muutoksesta aiheutuvat voimat siirtyvät teräspannukseen jännityksinä, jotka rajoitetaan sallittuihin arvoihin. Esilämmitys tehdään ennen liitosten saumausta, jotta putki olisi oikeassa lämpötilassa saumattaessa. (5, s. 161.)

Kitkakiinnitysmenetelmässä kylmäasennus voi tulla kyseeseen vain erikoistapauksissa tai jos johto on lyhyt. Kylmäasennuksen mahdollisuutta täytyy puntaroida väsymiseen perustuvan lujusteknisen mitoituksen avulla. (5, s. 161.)

Kompensoidussa asennusmenetelmässä lämpötilamuutoksen aiheuttama kuormitus puretaan kompensointielimillä. Kiintopisteet ohjaavat kuormitukset kompensointielimiin, kuten paljetasaimiin. Kompensoitu asennus voidaan tehdä ilman esilämmitystä. Kompensoitu asennus on ollut käytössä vapaasti liikkuvissa putkijärjestelmissä, ja sitä käytetään nykyään vain erikoistapauksissa. (5, s. 161.)

Samassa verkostossa tai linjassa voi esiintyä useampia erilaisia asennustapoja. Kun verkostoa laajennetaan tai korjataan asennustavat ja kompensointijärjestelyt on oltava tiedossa. (5, s. 162.)

3 SAHATAVARAKUIVAAMOT

Puun kuivaaminen kuuluu olennaisena osana puun jalostusketjua metsästä kulluttajalle. Käyttökohde määrittää mihin kosteuteen puu kuivataan. Sahatavaran kuivaukseen on kehitetty erilaisia menetelmiä esimerkiksi lautatarhat, kamari-, kuuma-, alipaine-, lauhde-, kanava-, ja OTC-kuivaamot, joilla kaikilla on omat ominaispiirteensä. (9.)

On hyvin tärkeää tuntea eri menetelmät, jotta voidaan valita oikea kuivaustapa kuivattavan puutavaran mukaan, koska yksi tapa ei ole paras mahdollinen kaikkeen kuivaukseen. Oikein valittu kuivausmenetelmä on tehokas ja taloudellinen sekä takaa laadukkaan lopputuloksen. Puun kuivumisnopeuteen vaikuttaa puutavaran tiheys ja paksuus sekä eri puulajien ominaisuudet. Paksu ja tiheä puu vaatii pitemmän kuivumisajan. (9; 10.)

Kosteuden hidas siirtyminen sisäosista puun pinnalle muodostuu ongelmaksi puun kuivauksessa. Vesi haihtuu helposti puun pinnalta, mutta pintaosat eivät saa kuivua merkittävästi kuivemmaksi kuin sisäosat, koska tällöin puuhun syntyy jännitteitä, jotka aiheuttavat halkeamia. Nopea kuivaus on edullisempi kuin hidas pitkäaikainen kuivaus, mutta johtaa tavallisesti heikompaan kuivauslaatuun. Siispä kuivaus on pitkälti laadun ja kustannusten optimointia. (9; 10.)

3.1 Kanavakuivaamot

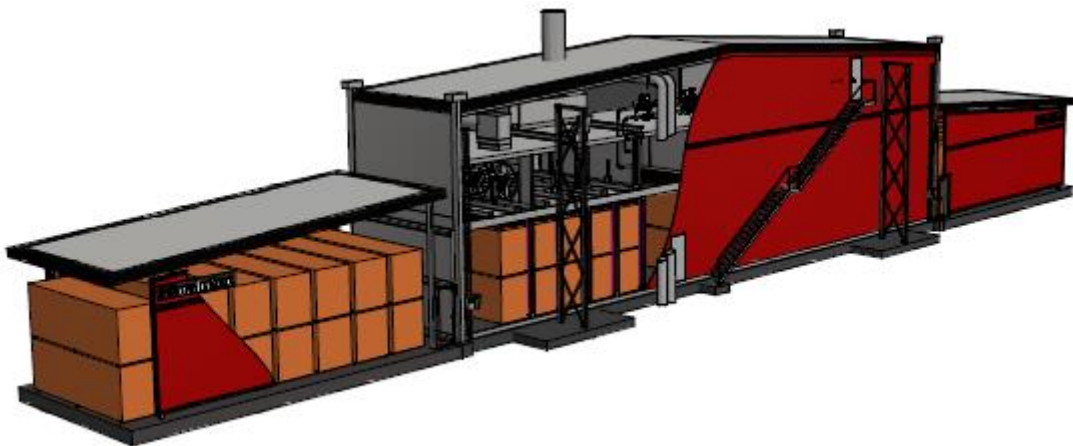
Kanavakuivaamot ovat jatkuvatoimisia, joissa kuivattava puutavara syötetään kuivaamoon toisesta päästä ja kuivatavara otetaan ulos toisesta päästä. Sahatavaraniput lastataan poikittain kanaalin pituuteen nähden ja ilma kiertää kanaalin pituussuunnassa sahatavaranippujen läpi. Kuivausta säädellään yleensä kuivanpään lämpötilaa, kosteutta ja ilmavirtaa muuttamalla. Uusissa kanavakuivaamoissa kanaali voi olla jaettu kahteen tai jopa kolmeen osaan. Tämä mahdollistaa ilman kierron vaihtamisen kulkusuuntaan nähden. Kanavakuivaamoja käytetään yleisesti suurilla sahalaitoksilla. (10.)

Kanavakuivaamo soveltuu parhaiten ohuempien sahatavara laatujen kuivaukseen. Yleensä sahoilla on omat kuivauslinjat lautavaralle ja keskitavaralle. Ka-

navakuivaamoja käytetään yleisesti vientikuivan sahatavaran kuivaukseen, eli 18–20 % kosteuteen. Kuivattaessa vientikuivaksi yhdellä kanavakuivaamolla saadaan kuivattu noin 25 000-50 000 m³ havusahatavaraa vuodessa. (10.)

Kanavakuivaamoissa on pieni energiankulutus hyvän lämmön talteenoton ansiosta, vain noin 0,8–1,0 kWh/kg vettä. Kuivausajan ollessa kuitenkin melko lyhyt 2–6 vuorokautta. Kanavakuivaamot toimivat yksinkertaisella ohjauksella ja ovat tämän ansiosta toimintavarmoja. Kuivauksessa syntyy vähän värimuutoksia ja laatuvirheitä käytettäessä oikeanlaista kuivauskaavaa. Kuivaaminen alle 15 %:n loppukosteuksiin voi olla vaikeaa. Kanavakuivaamo sopii hyvin suurtuotantoon, koska samanlaista kuivattavaa sahatavaraa on oltava paljon ja tasaisesti. (10.)

Kuvassa 8 on esitetty 3D-kuva Ulean sahalle investoitavasta FB-tyyppisestä kaksivaiheisesta kanavakuivaamosta.



KUVA 8. Valutec:n kaksivaiheinen kanavakuivaamo (11)

Yksivaiheiset kanavakuivaamot

Kuivausprosessissa ilma puhalletaan vastakkain sahatavaran kulkusuuntaan nähden eli kuivasta päästä märkään päähän. Prosessia säädetään kuivanpään olosuhteita muuttamalla. Muihin vaiheisiin voidaan vaikuttaa kanavan pituudella, kuormien siirtonopeudella ja sahatavaran koolla. Ilman kulkiessa sahatavaranippujen lävitse kohti märkää päätä ilmankosteus lisääntyy ja ilman kuivalämpötila laskee mutta märkälämpötilan pysyy samana. (10.)

Jatkuvatoiminen kanavakuivaamo

Jatkuvatoimisessa kanavakuivaamossa kuivauslämpötila nousee ja ilman suhteellinen kosteus laskee mentäessä märästä päästä kuivaan päähän. Tällöin kuivaus on aika rajua aiheuttaen kosteushajontaa ja riskin ylikuivumiselle. Kuivausvoiman kasvaessa etenkin paksulla sahatavaralla perusongelmaksi muodostuu halkeilu. 1-vaihekanavakuivaamoissa ei yleensä pyritä alle 15 %:n loppukosteuksiin. (10.)

Kaksivaiheiset kanavakuivaamot

Sahatavaran kulku on sama kuin yksivaiheisessakin kuivaamossa poiketen kuitenkin siten, että kuivauskuormaletkaan muodostetaan välikkö, josta ilman puhallus suunta vaihtuu vastakkaiseksi alkuosaan nähden. Ensimmäisessä vaiheessa sahatavara lämmitetään ja soluonteloissa oleva vapaa vesi pyritään kuivaamaan pois. Toinen vaihe on hitaampi ja tässä vaiheessa soluseiniin sitoutunut vesi siirtyy puun pinnalle, joka aiheuttaa kutistumista ja näin ollen muotovikoja voi syntyä. (10.)

Perinteinen 2-vaiheinen kanavakuivaamo

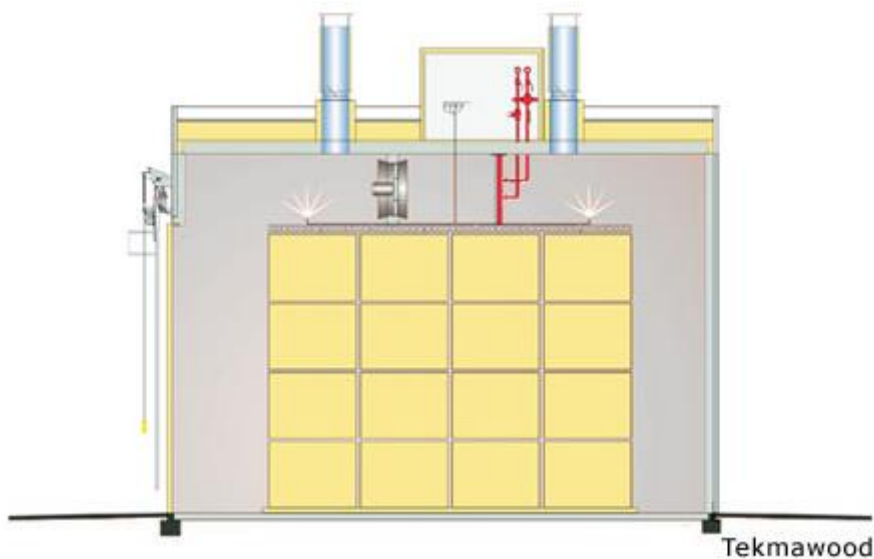
Perinteisessä kaksivaiheisessa kanavakuivaamossa ensimmäisen vaiheen kuivausilman suunta vastaa normaalia 1-vaihekanavaa, jossa ilma kulkee vasten sahatavaran siirtosuuntaa. Toisessa vaiheessa ilmavirta käännetään siirtosuunnan myötäiseksi. (10.)

Kanavaosan pituus ja ilmavirran nopeus, jota säädetään puhaltimilla, vaikuttaa vaiheen kuivausolosuhteisiin. Ensimmäisessä vaiheessa kuivattava sahatavara joutuu asteittain kovenevaan kuivaukseen, kun taas toisessa vaiheessa lämpötila laskee ja ilman kosteus lisääntyy, joka luo kuivaukseen tasaava vaikutusta. Tällä tavalla saavutetaan alempi ja tasaisempi loppukosteus eikä ylikuvauksen vaaraa synny. (10.)

3.2 Kamarikuivaamot

Kamarikuivaamoita käytetään Suomessa yleisimmin koivun ja puusepäntuotteiden kuivaukseen, jossa kuivausilman lämpötila on noin 40–80 °C. Kamarikuivaamoissa kuivataan erä kerrallaan alhaisen ilmankosteuden ja puhaltimilla

luodulla ilmavirran vaikutuksella. Kuvassa 9 on esitetty poikkileikkaus kamarikuivaamosta. (10.)



KUVA 9. Poikkileikkaus kamarikuivaamosta (10)

Kamarikuivaamossa on automaattisella puhallussuunnan vaihdolla varustetut puhaltimet, lämpöpatterit, ilmanvaihto ja kuivausilman kostutuslaitteet. Ilman lämpötilaa ja suhteellista kosteutta mitataan antureilla. Myös puunkosteuden mittaamiseen on oma järjestelmänsä. Koko kuivausprosessia ohjataan automaattisesti kullekin puulajille ja dimensiolle laadituilla kuivauskaavoilla. Kuivauskaavan mukaan säädetään kuivausilman lämpötilaa ja ilman suhteellista kosteutta. (10.)

Kamarikuivaamolla päästään hyvään lopputulokseen yksilöllisen kuivauskaavan ansiosta. Kuivausajat vaihtelevat muutamasta päivästä kuukauteen kuivattavan sahatavaran ominaisuuksista, sekä alku- ja loppukosteudesta riippuen. (10.)

4 KAUKOLÄMPÖVERKON NYKYTILANNE

4.1 Aluelämpöverkko

Saha-alueella on oma aluelämpöverkosto, jonka runkolinja on rakennettu DN 250 -yksiputkielementeillä (MPUK), toisin kuin 25.8.2006 tehdyssä alkuperäisessä suunnitelmassa on esitetty. Alun perin runkolinja on rakennettu DN 250 -menoputkella ja kahdella DN 150 nimellishalkaisijaltaan olevalla paluuputkella. Runkolinjaa on muutettu vuonna 2010 viidennen kanavakuivaamon rakentamisen yhteydessä. Tuolloin DN 150 -paluuputket on myyty Taivalkosken kunnalle ja aluelämpöverkon paluuputkeksi on lisätty DN 250 -nimellishalkaisijaltaan oleva putki. Nykyisestä aluealuelämpöverkosta ei ole laadittu ajantasaisia suunnitelmia ja piirustuksia. (Liite 2.)

Lämpölaitokselta päin tarkasteltuna runkolinjasta haarautuu kaksi erillistä linjaa kamarikuivaamoille ja höyläämön lämmönjakokeskukselle. Ensiksi haarautuu WSAP:n toimittamille kamarikuivaamoille DN 150 -yksiputkielementeillä sekä höyläämölle DN 40. Tämän jälkeen haarautuu runkolinjasta Valmetin toimittamille kamarikuivaamoille DN 150 -lämpölinja. (Liite 2.)

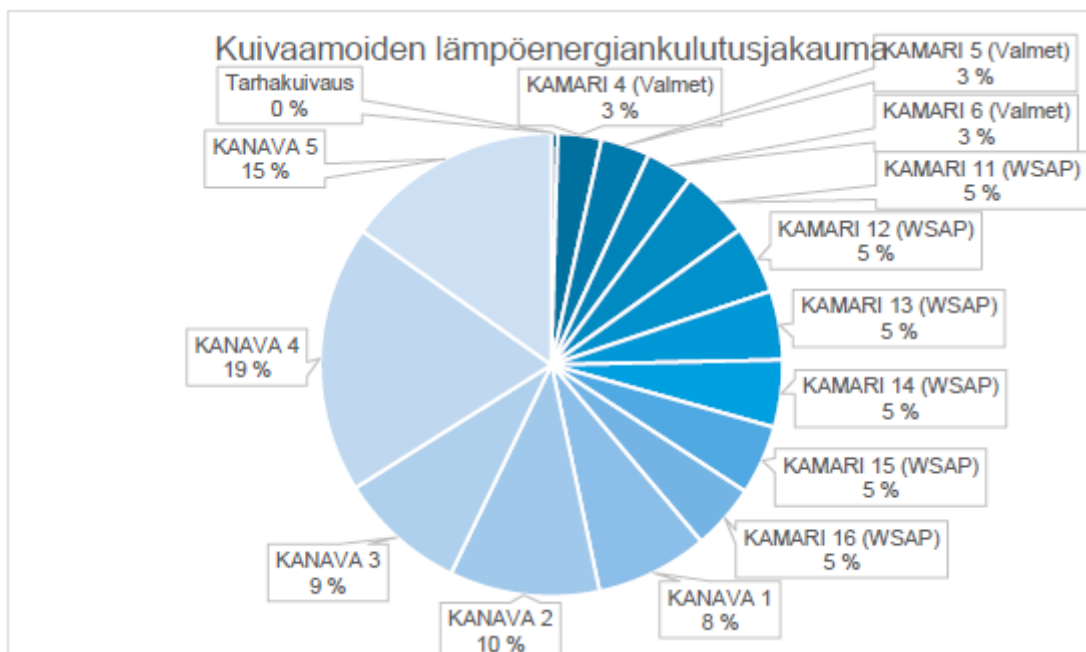
Kanavakuivaamot sijaitsevat aluelämpöverkon hännillä, josta kanava 4:n ”märränpään” patterille ja 5 kanavalle haarautuu DN 150 -lämpölinja sekä valmiit liitännät uudelle 6 kanavakuivaamolle. Tämän haaran jälkeen runkolinja supistuu DN 250:sta DN125:ksi, johon on liitetty sahan lämmönjakokeskus DN 65:lla putkella ennen kanavakuivaamoita. Runkolinja nousee kanavakuivaamoiden katolle, josta se kulkee 1-, 2- ja 3 -kanavakuivaamon läpi neljännelle kanavakuivaamolle asti, jossa kuivaamon kuivanpään patteri on liitetty DN 65 -putkella. Tämä on aluelämpöverkon kriittisin piiri, jossa sijaitsee myös paine-eromittaus. Lämpölaitoksella sijaitsevaa kiertopumppua ohjataan tämän linjan paine-erolla. (Liite 2.)

4.1.1 Aluelämpöverkon siirtokyky

Aluelämpöverkon suunnittelulämpötiloina ovat alun pitäen olleet 115 °C menovesi ja 65 °C paluuvesi. Kanavakuivaamoiden vastaavat arvot ovat olleet 115

°C menovesi ja 75 °C paluuvesi. Suunnittelussa paluueden eriasteiset lämpötilat ovat mahdollistaneet kamari- ja kanavakuivaamoiden omat paluuputket. Aluelämpöverkon suunnittelussa on käytetty liian suuria jäähtymiä, koska kuivaamoita ajetaan nykyisin siten, että verkon jäähtymä jää 20–30 °C. Vuonna 2015 keskimääräinen jäähtymä oli 24,9 °C. Tämä tarkoittaa sitä, että vastaavat toimintalämpötilat ovat menoveden osalta 115 °C ja 90 °C paluueden osalta.

Enegian Pölkky Oy:lle laatimasta energia-analyysistä ilmenee lämpöenergian kulutukset kuivaamoittain vuonna 2014. Ympyrädiagrammi on laadittu katselmoitsijoiden arvion mukaan lämpöenergia kulutuksesta puun kuivauksessa kWh/m³ (1). Lämpöenergian kulutusjakauma kuivaamoittain ilmenee kuvasta 10.



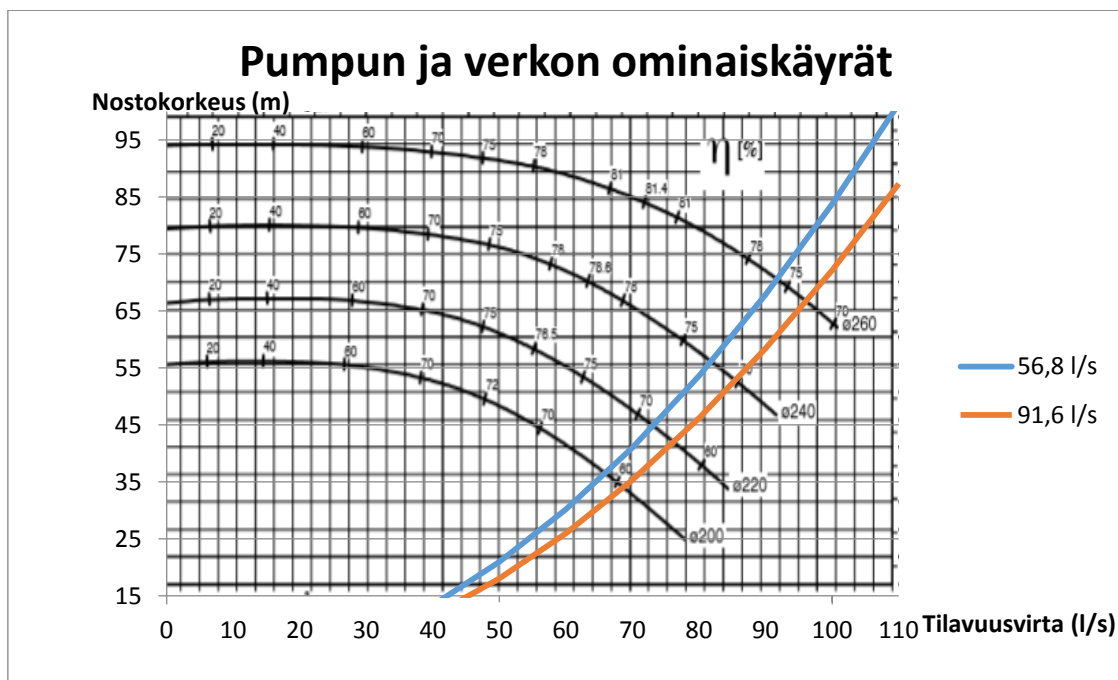
KUVA 10. Lämpöenergian kulutusjakauma kuivaamoittain (1, s. 40)

Kanavakuivaamot sijaitsevat lämpöverkon päässä, jossa putkistossa syntyy suurimmat virtaamat ja painehäviöt. Lämpöenergian kulutusjakaumasta voidaan huomata, että kanavakuivaamot kuluttavat suurimman osan lämpöenergiasta. Näin ollen siirrettävän lämpötehon määrä on myös suurin tässä verkoston osassa. Reilu 60 % siirrettävästä energiasta kulkee kanavakuivaamoiden lämpölinjojen kautta. (1, s. 40) Kanavakuivaamo 6 nostaa energian kulutusta entisestään.

Kanavakuivaamoiden yksittäiset lämpöpatterit ovat kooltaan suurempia kuin kamareiden, jolloin tarvittavan lämmön tuottamiseen tarvittava virtaama nousu on suurempi, joka muodostaa haasteen pumppaukselle. Kanava- ja kamari-kuivaamoiden lämmityspattereiden sekoituspumput ovat PN 10 -paineluokkaa. Tästä johtuen paine on pidettävä kaikissa olosuhteissa alle 10 bar.

4.1.2 Pumppaus aluelämpöverkossa

Aluelämpöverkossa pumppaus on tällä hetkellä toteutettu yhdellä pumpulla. Pumppu on KSB ETANORM G 100-250 90 kW:n moottorilla, joka on kierroslukusäätöinen ja sitä ohjataan taajuusmuuttajalla. Pumppuun on vaihdettu aikaisemmin ollut juoksupyörä Ø220, isompaan juoksupyörään Ø260 pumpun tuotokyvyn parantamiseksi. Pumpun maksimi käyntikiertoja on jouduttu rajoittamaan 2900 kierroksesta, 2850 kierrokseen minuutissa riittävän virran saannin takaamiseksi. Varapumpuna toimii Kolmeks LH-125s/4H, jossa 22 kW:n moottori ja juoksupyörä Ø 295. Alla olevassa kuvassa 11 on esitetty aluelämpöverkon pääpumpun ominaiskäyrä ja aluelämpöverkon ominaiskäyrät keskimääräisellä kuormalla ja maksimiteholla.



KUVA 11. Pumpun ja aluelämpöverkon ominaiskäyrät

Pumpun tuottokykyä tutkittiin koeajoilla ja laskemalla vuoden päivittäisten keskiarvojen mukaan maksimi-, minimi- ja keskimääräinen virtaus. Maksimi- ja keskimääräiset virtaukset määritettiin koeajossa kaikkien kuivaamoiden ollessa toiminnassa. Kuivaamot toimivat normaalisti kuivauskaavojen ohjaamina. Maksimivirtaus syntyi varsinkin silloin kun kanava 1 teki vaihdon ja säätöventtiili oli automaattiohjauksella vaihdon alussa täysin auki. Siitä seurasi paine-eron lasku runkoputkessa, jolloin pääpumppu pyrki palauttamaan riittävän paine-eron, joka oli säädetty arvoon 0,8 bar. Pumpun saavutettua täyden tehonsa oli virtaama miltei kaksinkertaistunut ja nostokorkeus yli kaksinkertaistunut. Myös menolämpötila putosi ja paluulämpötila nousi eli jäähtymä pieneni. Silti riittävää paine-eroa ei saavutettu, ennen kuin muissa kanavakuivaamoissa lämpötilat nousivat ja säätöventtiilit alkoivat säätää virtausta tai kanava 1 säätöventtiiliä säädettiin käsin. Esimerkiksi rauhallisesti käsiohjauksella venttiiliä säätäen kanavan vaihto saatiin tapahtumaan rauhallisesti ilman pääpumpun turhaa ryntäilyä.

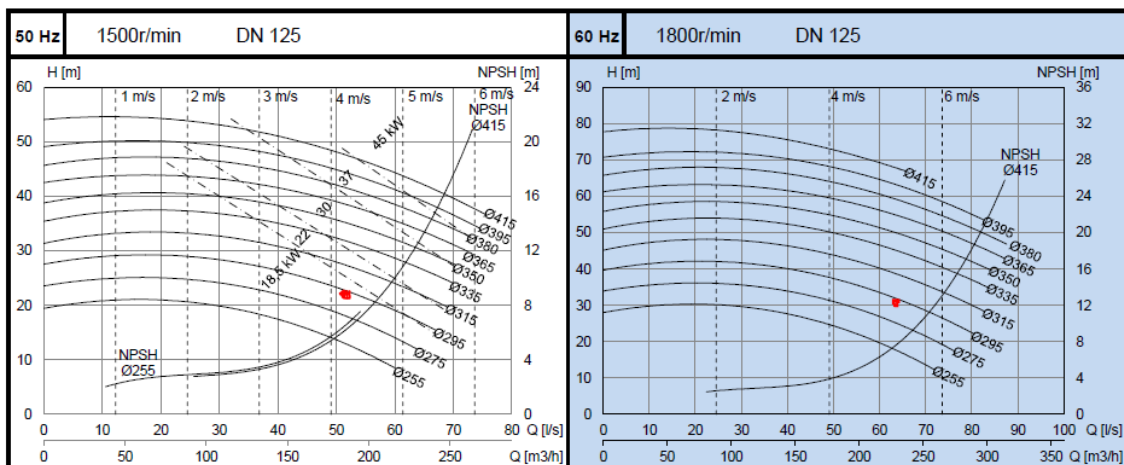
Tällä hetkellä pääpumppu ei toimi parhaalla hyötysuhteella. Hyötysuhde jää maksimituotolla 75 %:iin, kun optimaalisessa verkossa toimiessaan olisi mahdollista saavuttaa 81 %:n hyötysuhde. Myös nostokorkeus eli paine-ero saataisiin nousemaan nopeammin haluttuun arvoon. Verkossa olevat aktiiviset elementit, kuten säätöventtiilit jokaisessa patterissa muuttavat putkiston ominaiskäyrää hieman jokaisen ajotilanteen mukaan. Virtausta rajoitettaessa säätöventtiileillä muuttuu putkiston ominaiskäyrä jyrkemmäksi ja siirtyy pumpun ominaiskäyrää pitkin vasemmalle. Säätöventtiileitä aukaistaessa vaikutus on vastakkainen.

Aluelämpöverkkoon lisätyt linjasäätöventtiilit pitäisi säätää uudelleen kylläkin pumpun tuottokyvyn kustannuksella. Maksimivirtaaman rajoittaminen 80 litraan sekunnissa eli noin 10 litraa sekunnissa vähemmän tämän hetkisestä maksimita antaisi noin 10 metriä nostokorkeutta lisää eli 65 metristä 75 metriin. Tällä hetkellä pumppu ei pysty saavuttamaan riittävää paine-eroa kriittisessä piirissä. Pumpun pyrkiessä saavuttamaan riittävää paine-eroa katoaa paine-eron kasvu virtaaman aiheuttamiin painehäviöihin. Taulukossa 2 nähdään pääpumpun koeajot ja virtaamien vastaavat tehot.

TAULUKKO 2. Pääpumpun maksimi-, keskimääräinen- ja minimivirtaus sekä virtaamia vastaavat tehot

	Maksimi		Keskimääräinen		Minimi	
	Koeajo	91,6 l/s	7699kW	56,8 l/s	5849kW	—
Laskennallinen	78,5 l/s	7742kW	56,5 l/s	5572kW	35,5 l/s	3501kW

Varapumpulla Kolmeks LH-125s/4H pystytään tuottamaan noin puolet tämän hetkisestä mitoitusvirtaamasta eli noin 50 l/s. Taajuusmuuttajalla ylikellottamalla pumpun tuottokyky voidaan nostaa lähelle 65 l/s, joka vastaa taas puolta vaaditavasta uudesta mitoitusvirtaamasta. Tästä voidaan päätellä, että nykyisellä varapumpulla voidaan siirtää puolet vaaditusta vesimäärästä. Alla olevassa kuvassa 12 varapumpun toimintapiste on merkitty punaisella pisteellä.



KUVA 12. Kolmeks LH-125s/4H pumpun ominaiskäyrä, jossa toimintapiste merkitty punaisella pisteellä (12)

Varapumpun kapasiteetillä ei pystytä takaamaan aluelämpöverkon toimintaa ongelmatilanteissa, jossa pääpumppu ei ole toiminnassa pumpun kapasiteetin jäädessä 50 %:iin mitoitusvirtaamasta.

4.2 Taivalkosken kunnan kaukolämpöverkko

Taivalkosken kunnan kaukolämpöverkossa on noin 320 kiinteistöä, joista pienet talot käyttävät noin 10 % lämpölaitoksen tuottamasta lämpöenergiasta ja loput energiasta jakautuu isojen kiinteistöjen ja sahan aluelämpöverkon kesken. Kaukolämpöverkon kriittisimpiä asiakkaita ovat Metsäkonekoulu ja Hotelli Herkko. Näissä kulutuskohteissa sijaitsee kaukolämpöverkon paine-ero mittauspisteet. Tällä hetkellä kaukolämpöverkon pumppausta ohjataan Metsäkonekoulun paine-erolla 0,8 bar. (13.)

Kaukolämpöverkon mitoitusteho on tällä hetkellä noin 15 MW lämmitettävien rakennuskuutioiden mukaan, ja suurempia laajennuksia tai saneerauksia kaukolämpöverkkoon ei ole suunnitteilla. Kaukolämpöverkosta mitattu huipputeho on ollut n.12 MW. Kevään 2016 aikana Planora Oy:n tekemän tutkimuksen mukaan laitoksen painetasoksi suositellaan 4 bar kaukolämpöverkon toiminnan takaamiseksi. Lämpölaitoksella painetaso on pidetty 3,6 bar:ssa ja tämän on todettu olevan riittävä eikä ongelmia ole syntynyt. (13.)

5 LÄMPÖLAITOS

5.1 Lämmöntuotantolaitoksen kattiloiden lämpöteho

Kaukolämpölaitosten mitoituksessa pyritään optimaaliseen energian kokonaistuotantoon. Kaukolämmössä tuotanto perustuu eri lämpötehoisten lämmityslaitosten ja lämpökeskusten yhdistelmään. Laitosten käyttöön vaikuttavat asiakkaiden tehontarve ja verkoston siirtokapasiteetti sekä polttoaineiden hintasuhteet.

Taivalkosken voiman lämpölaitoksella pääkattilana toimii biolämpölaitos URBAS, jota pyritään ajamaan mahdollisimman paljon ja hyvällä hyötysuhteella. Kaukolämpöä tuotetaan biolämpölaitoksella noin 10 MW asti, jonka jälkeen otetaan varakattilat käyttöön tilanteen mukaan tehontarpeen kasvaessa. Pääsääntöisesti kuitenkin toisena kattilana toimii K4.

Lämpölaitoksessa on käytössä viisi eri kattilaa ja savukaasupesuri lämmöntuotantoa varten. Kolmessa kattilassa käytetään polttoaineena sahalta tulevaa kuorta ja purua. Lisäksi on kaksi raskasta polttoainetta käyttävää putkikattilaa. Yhteen laskettu nimellisteho on 28 MW:a sekä lisäksi vielä savukaasupesurilta 1–2 MW saatava lämpöteho. Taivalkosken kunnalla on kaukolämpöverkossa myös oma lämpökeskuksensa. Alla olevasta taulukosta 3 ilmenee kattiloiden nimellistehot ja käytettävä polttoaine.

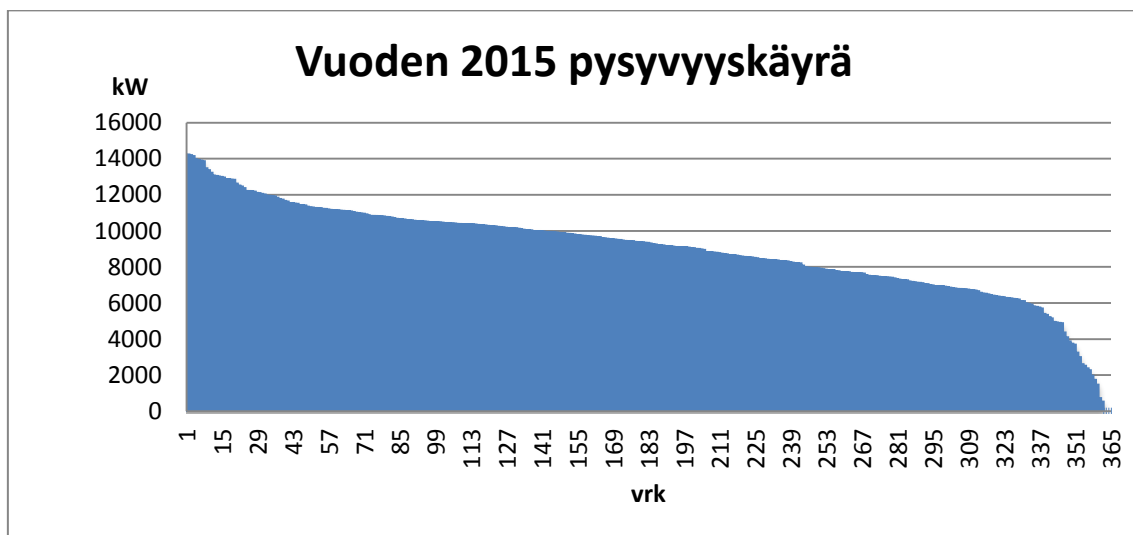
TAULUKKO 3. Kattiloiden nimellistehot ja käytettävät polttoaineet

Kattila	Nimellisteho MW	Polttoaine
K1	2	Raskas polttoöljy
K2	4	Raskas polttoöljy
K3	5	Biopolttoaineet
K4	5	Biopolttoaineet
Urbas	12	Biopolttoaineet

5.2 Kulutuksen vaihtelu ja pysyvyyskäyrä

Lämpölaitoksen kulutuksen vaihtelut ja pysyvyyskäyrät on laadittu vuoden 2015 kuukausiraporteista vuorokautisten keskitehojen mukaan. Tarkempaan lopputulokseen olisi päästy, jos mittaustulokset olisivat olleet saatavilla tuntitehoina. Kuukausiraporteista oli saatavina vain vuorokautiset keskiarvot lämpötilasta, ja kulutuksesta kaukolämpö- ja aluelämpöverkossa. Tästä johtuen vuorokauden aikana tapahtuvista tehon vaihteluista ei ole saatavissa tuntisia huipputehoja. Laitoksen koko huomioiden voidaan vuorokautisten keskiarvojen mukaan tarkastella riittävällä tarkkuudella lämpölaitokselta vaadittavaa lämpöenergian tuotokkyä.

Kuvassa 13 on esitetty vuoden 2015 mittaustuloksista pysyvyyskäyrä, joka on järjestetty suuruusjärjestykseen vuorokautisten keskitehojen mukaan.



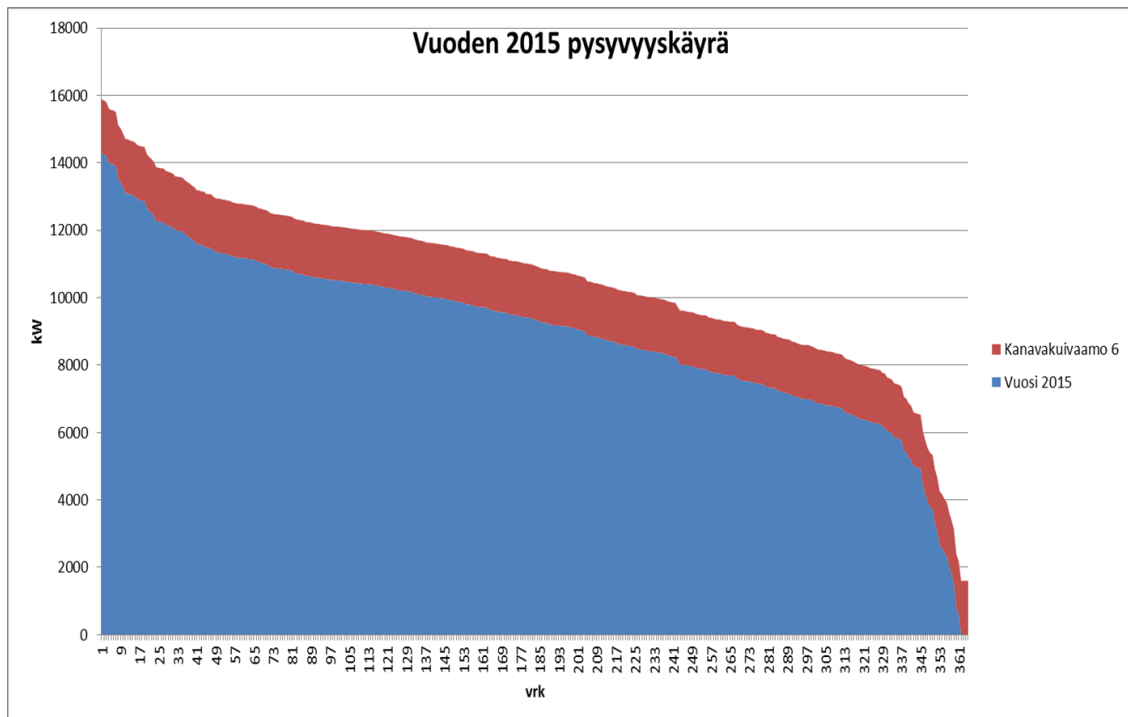
KUVA 13. Vuoden 2015 pysyvyyskäyrä

Kuvasta 13 voidaan todeta, että laitos on ollut käynnissä 361 vuorokautta. Pääkattilan nimellisteho on 12 MW. Kattilalla pystyttiin tuottamaan noin 2/3 vuoden energian tarpeesta kun ajotapa ja tehopiikit huomioidaan. Kesäisin pienempien kuormien aikana käytetään K4 ja K3 kattiloita tilanteen mukaan. Vuonna 2015 korkein vuorokautinen keskiteho on ollut noin 14,5 MW ja minimiteho 3,5 MW, joka vaatii laitokselta suurta säädettävyyttä. Pääsääntöisesti lämpölaitos on toiminut 8–12 MW tehoalueella, jolloin on käytössä URBAS ja varakattila K3 tai

K4. Kattiloilta vaadittava huipputeho on noin 10–15 % suurempi, eli noin 18,5 MW.

Kunnan kaukolämpöverkon lämmitettävien rakennuskuutioiden mukainen mitoitusteho on noin 15 MW ja aluelämpöverkon yhteenlasketut liittymistehot ovat 18,3 MW eli yhteensä 33,3 MW. Tästä päätellen kattiloiden nimellistehot ja mitoitustehot ovat miltei yhtä suuret. Todellisten kulutusten mukaan kanavakuivaamoinvestoinnille ei ole esteitä lämpölaitoksen osalta.

Kuvassa 14 on havainnollistettu vuoden 2015 pysyvyyskäyrään uuden kanavakuivaamon energian tarpeen lisääntyminen.



KUVA 14. Kanavakuivaamo investoinnista aiheutuvan energian tarpeen lisääntyminen havainnollistettuna vuoden 2015 pysyvyyskäyrään

Kuivaamon toimittajan mukaan lämpölaitokselta vaaditaan 1,6 MW:n lämpöteho kattamaan kuivaamon energiantarve (14.) Tämä on lisätty kuvaan 14, josta saadaan kokonaiskuva energian tarpeen lisääntymisestä. Tarvittava keskiteho nousee näin ollen 16 MW:iin. Uusi kanavakuivaamo lisää merkittävästi varakat-

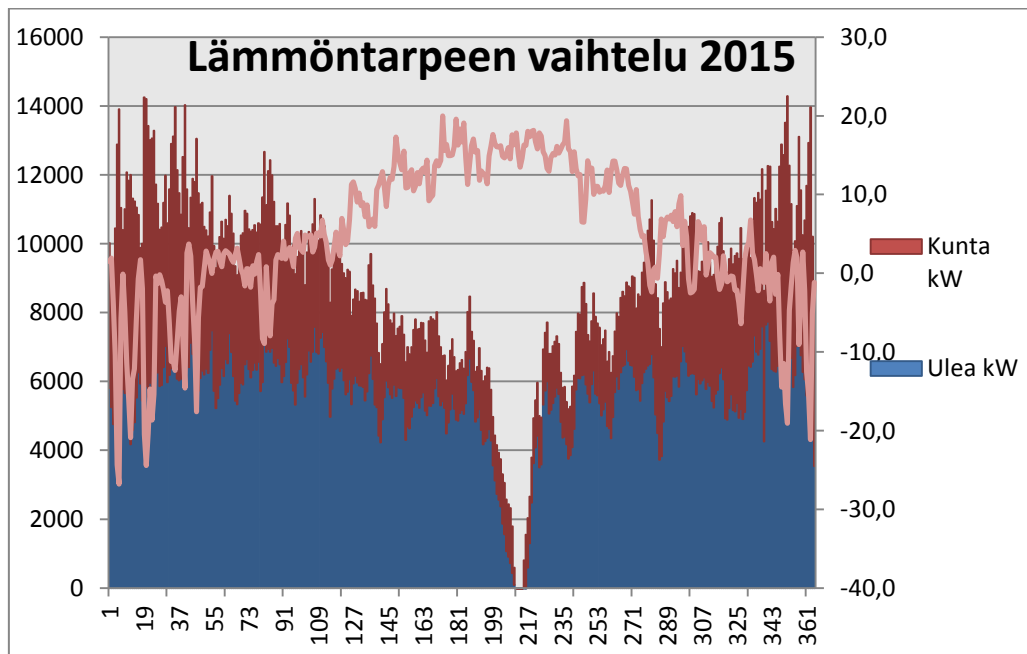
tiloiden käyntiaikoja, jolloin pääkattilan teho ei riitä kattamaan kuin 1/3 vuoden lämmön tarpeesta.

5.3 Lämmöntarpeen vaihtelut

Kaukolämmössä lämmöntarpeen vaihtelut ovat sidoksissa ulkoilman lämpötilaan lämmitystarpeen lisääntymisen ja lämpimän käyttöveden kulutuksen johdosta. Ulean aluelämpöverkossa suurin kulutus tapahtuu sahatavarakuivaamoissa, jotka toimivat tasaisemmin aiheuttaen vähäisempää lämmöntarpeen vaihtelua.

Kaukolämpöverkkoon syötettyä menoveden lämpötilaa säädetään ulkolämpötilan mukaan. Kuivaamot taas pyritään ajamaan tasaisella jäähtymällä pelkäämään virtausta lisäämällä lämmön tarpeen lisääntyessä. Kuivaamoissa tapahtuvat lämpöhäviöt ovat kokonaisuudessa merkityksettömän pieniä, jolloin myös ulkolämpötilan vaikutus jää vähäiseksi. Voidaan olettaa, että kuivaamoiden puhaltimissa syntyvä hukkalämpö kattaa kuivaamoiden lämpöhäviöt. Lämpöenergiaa kuluu kuivausilman lämmittämiseen, mutta suurimmaksi osaksi lämpöenergiaa kuluu veden höyrystämiseen kuivausprosessissa.

Alla olevassa kuvassa 15 on esitetty lämmöntarpeen vaihtelu vuonna 2015.



KUVA 15. Lämmöntarpeen vaihtelu vuonna 2015

6 PUMPUN MITOITUS JA VALINTA

6.1 Pumpun valintaan tarvittavat mitoitus tiedot

Kiertopumppu mitoitetaan kaukolämpöverkoston painehäviöiden mukaan. Ensiksi on selvitettävä mitoitus teho ja verkoston todellisen jäähtymän kautta mitoitusvirtaama. Mitoitusvirtaaman avulla saadaan laskettua verkostossa syntyvät painehäviöt, josta saadaan laskettua pumpulta vaadittava nostokorkeus mitoitusvirtaamalla.

6.1.1 Aluelämpöverkossa olevien kulutus pisteiden mitoitus tehot ja painehäviöt

Ulean aluelämpöverkossa on viisi kanavakuivaamaa ja syksyllä liitetään kuudes kanavakuivaamo. Kamarikuivaamoita on yhdeksän ja kaksi lämpökeskusta, joiden mitoitus tehot sekä painehäviöt on kerätty taulukkoon 4.

TAULUKKO 4. Pattereiden tehot, mitoitus virtaama ja painehäviöt

Pattereiden tehot, mitoitus virtaamat ja painehäviöt							
		vaihe 1	vaihe 2	vaihe 1	vaihe 2	vaihe 1	vaihe 2
	Kuivaamot	kW	kW	l/min	l/min	kPa	kPa
Kanavat	1	1000		630		20	
	2	1290	1533	960	400	20	20
	3	1000		750		20	
	4	1980	1320	1525	980	20	20
	5	1206	513	898	448	60	60
	(Uusi) 6	1511	705	900	420	22	20
Kamarit	7	800		600		20	
	8	800		600		20	
	9	800		600		20	
	10	600		450		20	
	11	600		450		20	
	12	600		450		20	
	13	600		450		20	
	14	600		450		20	
	15	600		450		20	
	Lämmitys	Saha	250		71		20
Höyläämö						20	
	Yhteensä	14237	4071	10234	2248	382	120

Mitoitusvirtaamat ja lämmityspattereiden tehot on kerätty asemapiirustuksesta, jossa pattereiden mitoitusvirtaamat on laskettu 20 asteen jäähtymälle. Lämmityspattereiden painehäviöt on arvioitu 20 kPa:n suuruisiksi jokaista lämmityspatteria kohden, joista saatavilla ei ollut tarkempia suunnittelutietoja. Höyläämön lämmönjakokeskusta ei otettu tarkastelussa huomioon muutoin kuin painehäviöiden osalta kokonaisuuden kannalta merkityksettömän pienen vaikutuksen vuoksi.

Yhteenlasketuiksi suunnitteluarvoiksi saatiin 18309 kW ja 12482 l/min. Painehäviöiden laskennassa pattereiden painehäviöt jouduttiin suuremmaksi osaksi arvioimaan puutteellisten suunnittelutietojen vuoksi. Arvion ja saatavilla olevien suunnittelutietojen perusteella painehäviöksi saatiin 502 kPa.

6.1.2 Tarvittava virtaama

Runkojohdon mitoitusvirtaaman laskennassa huomioitiin kuivaamoiden tarvitsemää tehoa yhdenaikaisuuskertoimen avulla. Yhdenaikaisuuskerrointa määrittäessä huomioitiin kuivaamoissa käytettävää keskimääräistä tehoa. Tarkastelussa todettiin käyttöasteen olevan 0,6–0,7:n luokkaa, joten laskuissa käytettiin 0,7 käyttöastetta. Vuonna 2015 keskimääräinen jäähtymä oli 24,9 °C eli pyöristettynä 25 °C. Tarvittava virtaama laskettiin keskimääräisen jäähtymän mukaan yhdenaikaisuuskertoimella kerrotuista mitoitus-tehoista.

Taulukosta 5 ilmenee tehon jakautuminen, virtausnopeudet ja painehäviöt putkiosuukien mukaan.

TAULUKKO 5. Runkolinjan mitoitus-teho ja virtaama kanavakuivaamo 6 mukaan

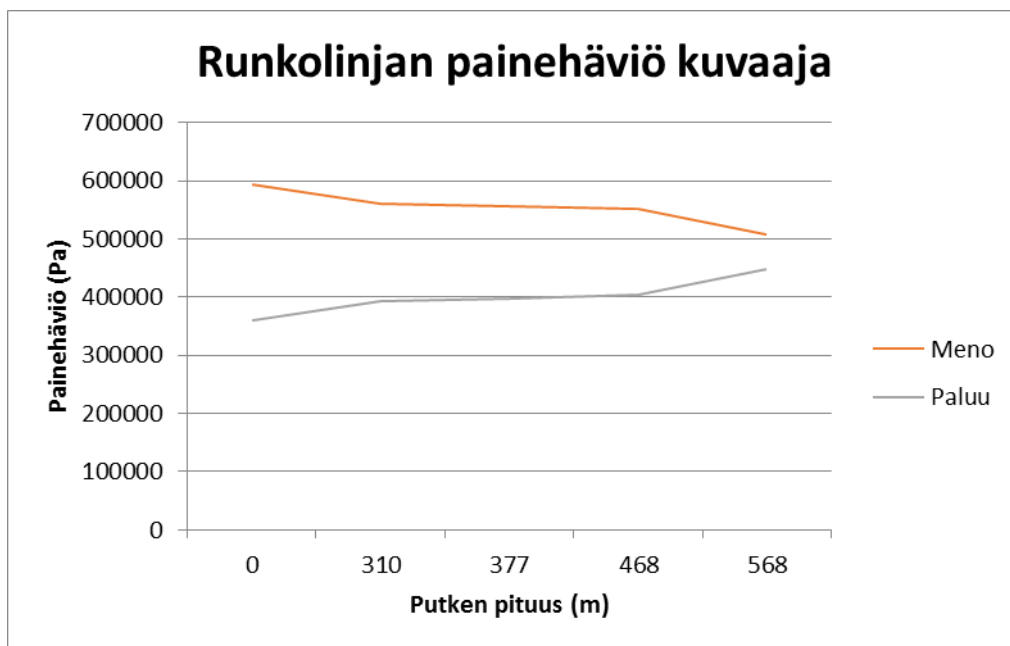
putki	L (m) ekv.	teho kw	e=k/d	λ	Re	A m ²	v (m/s)	ds mm	qv (m ³ /s)	ΔP (Pa)
1	341	12816,3	1,71E-05	0,010802	2273917	0,054298	2,247979	263	0,12206	33370,47
2	73,7	10296,3	1,71E-05	0,011084	1826809	0,054298	1,805971	263	0,09806	4776,646
3	100,1	8616,3	1,71E-05	0,011334	1528737	0,054298	1,511299	263	0,08206	4645,608
4	110	4475,1	3,4E-05	0,011735	1579570	0,013719	3,106568	132,2	0,04262	44433,03

Putkiosuudet ovat lämpölaitokselta päin jaettu 1–4 runkolinjassa olevien haarojen mukaan. Laskelma poikkeaa tämän hetkisestä tilanteesta siten, että putkiosaan 4 liitetty kanavakuivaamo 4 ”kuivanpään” patteri on liitetty putkiosaan 3.

Mitoitusvirtaamaksi laskelman mukaan mitoitustehosta 12816 kW saatiin 122 l/s, joka vastaa 7320 l/min.

6.1.3 Verkoston painehäviö

Verkoston painehäviöitä tarkasteltiin lähinnä putkiosuudella 4 eli viimeisen osuuden runkolinjasta, koska käytössä ilmenneiden ongelmien vuoksi oli hyvä tarkistaa, kuinka paljon hieman ahtaaksi mitoitettu putkilinja oikeasti painehäviöitä aiheuttaa. Runkolinjan painehäviöistä laadittiin kuvaaja (kuva 16), josta ilmenee eri osuuksilla mitoitusvirtaamalla syntyvät painehäviöt. Verkostosta ei ollut saatavilla ajan mukaisia suunnitelmia ja kuvia. Putkiosuudet mitattiin saatavilla olevista kuvista, ja lisäksi huomioitiin kuvasta poikkeavat putkikoot ja muutokset, joita linjaan on suunnitelman laatimisen jälkeen tehty. Kertavastukset huomioitiin +10 % ekvivalenttipituutena. Laskelmat ovat suuntaa antavia ja tarkempien painehäviöiden määrittämiseen pitäisi aluelämpöverkko mallintaa suunnitteluohjelmalla.

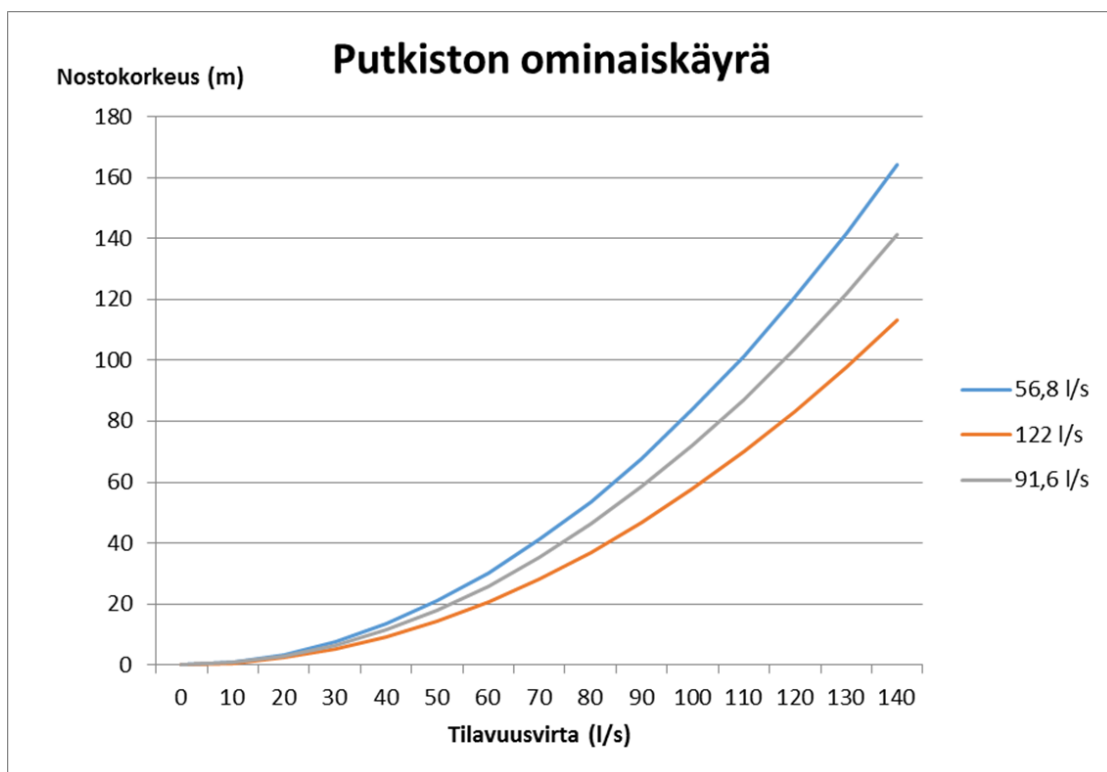


KUVA 16. Aluelämpöverkon runkolinjan painehäviö mitoitusvirtaamalla

Laskennassa otettiin huomioon 0,8 bar:n paine-ero kriittisimmälle asiakkaalle eli tässä tapauksessa kanavakuivaamo 4:n kuivanpäänpatterille. Painehäviötä syn-

tyy verrattain vähän kokonaiskuvaa ajatellen, yhteensä 234 kPa, jossa on mukana kriittiselle asiakkaalle varattu paine-ero.

Tuloksien havainnollistamiseksi on hyvä laatia kuvaaja putkiston ominaiskäyrästä. Laskelmista saatujen tulosten perusteella laadittiin kuvaaja, jossa vertailun vuoksi on myös lisätty putkiston ominaiskäyrä koeajojen tuloksista 56,8 l/s ja 91,6 l/s. Putkiston ominaiskäyrä vaihtelee ajotilanteen mukaan, kulloisenkin verkoston kuristuksen mukaan. Kun verkostossa olevat säätöventtiilit kuristavat eli rajoittavat virtausta muuttuu ominaiskäyrä jyrkemmäksi. Myös virtausta säättävät toimilaitteet, kuten linjasäätöventtiilit on huomioitava tarkastelussa. Uuden pumpun ja kuivaamon vuoksi verkosto täytyy säätää uudelleen, joten linjasäätöventtiilien aiheuttamaa painehäviötä ei otettu huomioon putkiston painehäviötä laskettaessa. Kuvassa 17 on esitetty putkiston ominaiskäyrät eri ajotilanteissa sekä mitoitusvirtaamalla.



KUVA 17. Putkiston ominaiskäyrä

6.2 Pumpun valinta

Pumpun valinnassa on otettava aluelämpöverkon erityispiirteet huomioon. Verkostossa on käytetty paineluokan PN 10 -pumppuja, joten verkoston painetaso on pidettävä alle 10 bar tai ainakin varmistuttava, ettei missään tapauksessa ylitetä paineluokkia näiltä osin. Verkostoon on mahdollista lisätä paineenalennusventtiilejä. Kamarikuivaamoiden ja höyläämön painetasojen sekä paine-eron tarkastelu on tarpeellista, koska suurin sallittu paine-ero on 5 bar. Lämpölaitoksen painetaso on tällä hetkellä 3,6 bar ja Planora Oy on suositellut painetasoksi 4 bar kaukolämpöverkon toimivuuden takaamiseksi.

7 VAIHTOEHDOT ALUELÄMPÖVERKON TOIMINNAN PARANTAMISEKSI

7.1 Uusi pääpumppu lämpölaitokselle

Pumppaus uudella kiertopumpulla nykyisen pääpumpun jäädessä varapumpuksi on tässä tapauksessa halvin ja järkevin ratkaisu. Uusiin mitoitusarvoihin sopivaa pumpppua toimittajalla ei ollut suoraan tarjota, koska pumpun koko kasvaa kohtuuttoman suureksi ja hyötysuhde jää pieneksi. Pumpun toimittaja tarjosi vastaavaa pumpppua, jonka tuotto jää 111 litraan sekunnissa vaaditusta 122 litrasta sekunnissa. Parantamalla jäähtymää 2,5 °C päästään vastaavaan mitoitusvirtaamaan. Tarkemmat tiedot löytyvät liitteestä 3.

Kohteeseen parhaiten sopivaksi pumpuksi valittiin KSB CPKN-S1 200-500, jonka maksimituotto on 400 m³/h nostokorkeudella 93 metriä. Tulevaisuutta ajatellen pumpussa on varaa siirtokapasiteetin kasvattamiseen tarpeen vaatiessa, joskin se vaatii verkostoon välipumppaamon asentamista.

Pumpun asennuksessa lämpölaitoksen pumppaamoon on otettava huomioon jo ahtaaksi käyneet tilat. Mahdollisia pumppujen uudelleen järjestelyjä ja putkilinjojen muutoksia joudutaan tekemään uuden pumpun asennuksen yhteydessä. Asennus vaatii myös sähkötöitä ja uuden pumpun kasvaneesta ottotehosta johtuvia virran syöttökapasiteetin lisäämistä.

Kustannuksia syntyy putkilinjojen muutoksista, sähkötöistä, pumpun hankinnasta ja asentamisesta. Pumpun toimittajan arvion mukaan pumpun hinnaksi tulee noin 20 000–25 000 €. Kokonaiskustannukset tulevat arvioni mukaan olemaan 35 000–40 000 €.

Säästöjä syntyy nykyisen pääpumpun jäädessä varapumpuksi, koska joka tapauksessa jouduttaisiin uusi varapumppu hankkimaan. Käytössä olevalla pääpumpulla voitaisiin varapumppaus järjestää siten, että pystytään takaamaan aluelämpöverkon toimivuus ongelmatilanteissa.

7.2 Välipumppaamon lisääminen

Välipumppaamon lisäämisellä aluelämpöverkkoon saavutettaisiin seuraavia etuja: pienemmät pumppauskustannukset, alempi painetaso, tasaisempi pumppujen käynti vaihtojen aikana ja mahdollisuus virtaaman kasvattamiseksi tulevaisuudessa.

Tarkastelussa lähdettiin siitä, että pääpumpulla toteutettaisiin kamarikuivaamoiden pumppaus huomioiden kamareissa syntyvät painehäviöt ja siirrettäisiin riittävä tilavuusvirta kanavakuivaamoiden yhteyteen rakennettavaan välipumppaamoon, johon sijoitettaisiin kaksi välipumppua kumpaankin haaraan.

Pääpumppuksi valittiin KSB MCPK200-150-400 GG, jonka tuottokyky 122 l/s ja nostokorkeus 50,05 metriä. Pumpun ottoteho on 66,86 kW ja hyötysuhde 84,5 %. Lisäksi välipumppaamoon pumpput KSB MCPK125-100-315 GG joiden tuottokyky on 40 l/s ja nostokorkeus noin 35 metriä. Pumpujen ottoteho 16,55 kW ja hyötysuhde 77 %. Lisäksi pitäisi rakentaa välipumppaamolle erillinen kaivo tai rakennus.

Kokonaiskustannukset nousevat arviolta noin 60 000 €, josta pumppujen osuus on noin puolet.

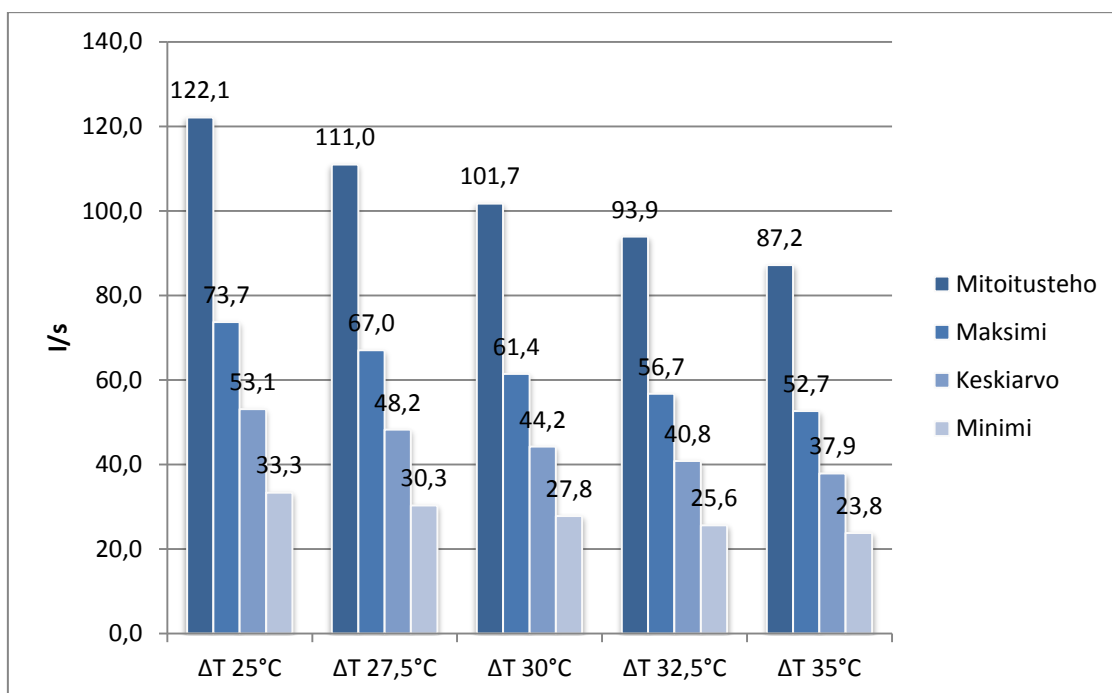
7.3 Aluelämpöverkon jäähtymän kasvattaminen

Keskimääräisen jäähtymän kasvattaminen viidellä asteella pudottaa tarvittavaa virtausta noin 20 l/s. Affiniteettisäännön mukaan tilavuusvirta on suoraan verrannollinen pyörimisnopeuteen, nostokorkeus pyörimisnopeuden neliöön ja tarvittava teho pyörimisnopeuden kuutioon.

Verkoston jäähtymä johtuu verkossa olevien toimilaitteiden kyvystä luovuttaa lämpöenergiaa, tässä tapauksessa ne ovat kuivaamoiden lämmityspatterit. Kuivaamoiden lämpötiloja säätämällä pattereista saadaan lämpöenergiaa siirrettyä kuivausprosessiin.

Kuvassa 18 on esitetty tarvittavat virtaamat eri jäähtymillä, joilla saavutetaan mitoitusteho. Vertailuksi kuvaan on lisätty vuoden 2015 vuorokauden keskite-

hoa vastaavat maksimi-, keskiarvo- ja minimivirtaamat. Huomioitavaa on, että tuntiset huipputehot ovat noin 10–15 % vuorokautista keskitehoa suuremmat.



KUVA 18. Jäähtymän vaikutus pumpattavaan tilavuusvirtaan (maksimi-, keskiarvo- ja minimi virtaama vuorokautisen keskitehon mukaan)

7.4 Muutokset aluelämpöverkon putkilinjoihin

Yhtenä vaihtoehtona siirtokyvyn parantamiseksi tutkittiin lähinnä viimeisen putkiosuuden painehäviöitä ja putkikoon suurentamisen vaikutuksia. Kyseinen osuus on verkoston kriittisin osuus, jossa syntyy suurimmat painehäviöt. Virtauksen aiheuttamia painehäviöitä voidaan vähentää putkiston kokoa suurentamalla DN 125:sta DN 150:ksi eli kokoa isommaksi, jolloin painehäviöt vähenevät mitoitusvirtaamalla noin 65 kPa.

Kanavakuivaamo 4:n kuivanpäänpatteri kannattaa kytkeä toiseen putkiosuuteen virtauksen vähentämiseksi ahtaassa linjassa, jolloin painehäviöitä saadaan pienennettyä. Putkilinjasta on jo valmiit varaukset liitännälle, joten kyseinen työ ei sinällään ole suuri.

Runkolinjan muuttaminen DN125:sta DN150:ksi on kokonaisuudessa suuritöinen saavutettaviin hyötyihin nähden ja investointina liian kallis.

8 YHTEENVETO

Tässä opinnäytetyössä tarkasteltiin aluelämpöverkon toimintaa ja lämpölaitoksen energian riittävyyttä sekä mahdollisia parannusvaihtoehtoja. Aluelämpöverkon mitoitustehoksi saatiin 12816 kW käyttäen laskelmissa 0,7 yhdenaikaisuuskerrointa. Käyttäen vuoden 2015 ajalta laskettua keskimääräistä jäähtymää saatiin mitoitusvirtaamaksi 122 litraa sekunnissa. Kyseisellä mitoitusvirtaamalla verkoston painehäviöksi saatiin 836 kPa, joka vastaa 90,42 metrin nostokorkeutta.

Järkevimmäksi ja taloudellisimmaksi vaihtoehdoksi nousi uuteen kiertopumpun investoiminen, sillä se vaatii vain vähän muutostöitä ja lisäksi vanhalla pumpulla voidaan korvata aikaisempi varapumppu. Verkoston painerajojen ja painehäviöiden osalta verkostoon ei pystytä tämän enempää virtausta lisäämään, joten tulevaisuudessa virtaaman lisääminen vaatii välipumppaamon rakentamisen. Välipumppaamon lisäämisellä verkkoon saadaan aikaan riittävä virtaama painerajoja ylittämättä. Toinen vaihtoehto on jäähtymän kasvattaminen nykyisestä 25 °C:sta. Energian riittävyyden tarkastelussa todettiin lämpölaitoksen tehon riittävän uuden kanavakuivaamon tarpeisiin, mutta liikutaan kuitenkin jo lämpölaitoksen lämmöntuotantokyvyn ylärajoilla.

Mielestäni jatkotutkimusta kuivausnopeuden vaikutuksesta vuoden kokonaistuotantomääriin olisi syytä tehdä. Tällöin voitaisiin tarkastella uuden kuivaamon vaikutuksia kasvaneeseen kuivauskapasiteettiin, jolloin kaikkia sahan kuivaamoita voitaisiin ajaa järkevämmiin ja paremmalla hyötysuhteella. Tällöin lämpölaitoksen ja aluelämpöverkon toiminta parantuisi, ja myös pumppauskustannuksista tulisi suoraa säästöä suuremman hyötysuhteen ansiosta.

Työ oli mielenkiintoinen ja haastava. Yhteistyö sahan henkilökunnan, pumpun toimittajan (KSB) ja kuivaamotoimittajan (Valutec) kanssa sujui joustavasti ja mallikkaasti. Mielestäni esitettyihin ongelmiin löydettiin ratkaisut ja työn ohella selvisi puutteita, joita korjattiin. Työn aikana saatiin aikaan parannuksia aluelämpöverkon toimintaa, ja toivon, että tästä työstä on apua tulevaisuudessa kehitettäessä sahan toimintaa.

LÄHTEET

1. Manninen, Olli – Pulkkinen, Mikko 2015. Energia-analyysi Pölkky Oy, Tai-
valkoski. Jyväskylä: Enegia Group.
2. Sanomalehti Koillissanomat. Saatavissa:
<http://www.koillissanomat.fi/?app=NeoDirect&com=6/226/17646/8dd847921>
3. Hakupäivä 20.5.2016.
3. Mäkelä, Veli-Matti – Tuunanen, Jarmo 2015. Suomalainen kaukolämmitys.
T621206 Kaukolämmitys 6 op. Opintomateriaali. Oulu: Oulun ammattikor-
keakoulu, tekniikan yksikkö.
4. Johansson, Erik 2000. Sääätötekniikka 2000. (säätö- ja mittaustekniikka).
Iisalmi: Is-print.
5. Koskelainen, Lasse – Saarela, Rauli – Sipilä, Kari 2006. Kaukolämmön kä-
sikirja. Helsinki: Energiateollisuus.
6. Suositus L10/2011. Kaukolämpöverkon pumppausjärjestelyt. Energiateolli-
suus Ry. Saatavissa: http://energia.fi/sites/default/files/suositusl10_2011.pdf.
Hakupäivä 11.4.2016.
7. Suositus KK3/2007. Kaukolämmön kiertoveden käsittely. Energiateollisuus
Ry. Saatavissa: http://energia.fi/sites/default/files/suosituskk3_2007.pdf.
Hakupäivä 11.4.2016.
8. Suositus L11/2013. Kaukolämpöjohtojen suunnittelu- ja rakentamishjeet.
Energiateollisuus Ry. Saatavissa:
[http://energia.fi/sites/default/files/images/suositusl11_2013_kl-
johtojen_suunnittelu_ja_rakentamishjeet.pdf](http://energia.fi/sites/default/files/images/suositusl11_2013_kl-johtojen_suunnittelu_ja_rakentamishjeet.pdf). Hakupäivä 11.4.2016.
9. Puuteollisuus. Edu.fi – opettajan verkkopalvelu. Opintomateriaali. Saatavis-
sa:
[http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/puutuoteteollisuus/ensijalostus/puutavara
n_kuivaus/kuivausmenetelmat.html](http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/puutuoteteollisuus/ensijalostus/puutavara_n_kuivaus/kuivausmenetelmat.html). Hakupäivä 20.5.2015.

10. Kuivaus. 2014–2015. PuuProffa. Saatavissa:
http://www.puuproffa.fi/PuuProffa_2012/7/kuivaus/kuivaus. Hakupäivä
11.4.2016.
11. Pitkänen, Mikko 2016. Kanavakuivaamo-kuva. Sähköposti. Vastaanottaja:
Mikko Karjalainen. 2.5.2016.
12. Kolmeks. Materiaalipankki. Saatavissa:
<http://www.kolmeks.fi/materiaalipankki/datalehdet/keskipakopumput>. Haku-
päivä 11.4.2016.
13. Jaakkola, Asko 2016. Tarkennuksia kaukolämpöverkosta opinnäytetyötä
varten. Sähköposti. Vastaanottaja: Mikko Karjalainen. 13.5.2016.
14. Pitkänen, Mikko 2016. Ulea Oy-kanavan tietoja lämpövoimalan kuormitusta
ja mitoitusta varten. sähköposti. Vastaanottaja: Mikko Karjalainen. 1.3.2016.

LÄHTÖTIETOMUISTIO

Työn tiedot	Tekijä ¹	Tilaja ²
	Mikko Karjalainen	Ulea Oy
	Tilajan yhdyshenkilö ja yhteystiedot ³	
	Petri Hietala p.040 670 0018 petri.hietala@polkky.fi	
	Työn nimi ⁴	
	Lämpöverkon optimoiminen ja uuden kanavakuivaamon rakentamisen aiheuttamat muutostyöt sekä kustannukset	
	Työn kuvaus ⁵	
	Työssä selvitetään lämpölaitoksen nykytilanne huomioiden kaukolämpöverkon ja sahan lämpöverkon energian mittävyys. Sahan lämpöverkon optimoimisessa selvitetään lämmönjakautuminen verkon eri osiin erityisesti kuivaamot huomioon ottaen. Työssä mitoitetaan kaukolämpöpumppu ja sahan lämmönsiirtopumppu uudelleen sekä selvitetään mahdollisen kanavakuivain investoinnin aiheuttamat kustannukset ja vaatimukset lämpöverkon osalta.	
	Työn tavoitteet ⁶	
	Tilaja saa kattavan selvityksen lämpölaitoksen nykytilanteesta ja mitä mahdollisia uudistuksia /muutoksia lämpöverkko on tulisi tehdä toimivuuden ja toiminta varmuuden parantamiseksi. Uuden kana vakuivaamon vaikutukset lämpöverkkoon ja investoinnista aiheutuvat kustannuslaskelmat yhteistyössä KSB:n kanssa.	
	Tavoiteaikataulut ⁷	
	Työn on tarkoitus valmistua 14.5.2016	
	Päiväys ja allekirjoitukset ⁸	
	8/2/2016 Tekijän allekirjoitus	8/2/2016 Tilajan allekirjoitus
<ol style="list-style-type: none"> 1. Tekijän nimi, puhelinnumero ja sähköpostiosoite. 2. Työn teettävän yrityksen virallinen nimi. 3. Sen henkilön nimi ja yhteystiedot, joka yrityksessä valvoo työn suoritusta. 4. Työn nimi voi olla tässä vaiheessa työnimi, jota myöhemmin tarkennetaan. 5. Työ kuvataan lyhyesti. Siinä esitetään muun muassa työn tausta, lähtötilanne ja työssä ratkaistavat ongelmat. 6. Esitetään lyhyesti ja selvästi työn tavoitteet. 7. Esitetään projektin tavoiteaikataulu. Silloin, kun työllä on välitavoitteita, myös ne merkitään aikatauluun. Tavoiteaikataulun ja oppilaitoksen yleisaikataulun perusteella tekijä laatii oman aikataulunsa. 8. Lähtötietomuuisto päivätään ja sen allekirjoittavat tekijä ja tilaajan yhdyshenkilö 		

CPKN-S1 200-500

Versionro: 1

Kemiannormipumppu DIN EN ISO 2858 / ISO 5199

Käyttötiedot

Vaadittu tilavuusvirta	400,00 m ³ /h	Tilavuus- virta	400,00 m ³ /h
Vaadittu nostokorkeus	93,00 m	Nostokorkeus	93,00 m
Pumpattava aine	Vesi, kuuma vesi	Hyötysuhde	76,6 %
	Kuumavesi käsitelty standardin VdTÜV 1466 mukaan	Ottoteho	124,74 kW
	Kemiallisesti ja mekaanisesti kuluttamatonta	Pumpun pyörintänopeus	1493 rpm
Ympäristön lämpötila	20,0 °C	NPSH vaaditaan	2,81 m
Lämpötila	120,0 °C	Sallittu käyttöpaine	16,00 bar.r
Fluid density	943 kg/m ³	Painepuolen paine	10,58 bar.r
Viskositeetti	0,26 mm ² /s	Min. allow. mass flow for continuous stable operation	14,70 kg/s
Suction pressure max.	1,98 bar.r	Nollakohtan nostokorkeus	95,97 m
Massavirta	104,78 kg/s	Suurin sallittu massavirta	182,94 kg/s
Maksimiteho käyrällä	182,40 kW		Tolerances to ISO 9906 Class 3B; below 10 kW acc. to paragraph 4.4.2
Min. allow. flow for continuous stable operation	56,13 m ³ /h		

Tyyppi

Pumppustandardi	ISO 5199	Type	H75N
Tyyppi	Asennettavaksi pohjalaatalle	Materiaalikoodi	AQ1EGG
Asennustapa	Vaakasuora	Tiivistyssuunnitelma	E 1-toiminen mekaaninen tiiviste (ulkopuolinen kierto)
Akselirakenne	Kuiva		
Imupuolen nimellishalkaisija	DN 250	Vähimmäisvaatimus kuuman veden laadulle: käsittely VdTÜV-säännöksen TCH 1466 mukaan, jossa SiO ₂ -pitoisuus maks. 10 mg/l. Sähkönjohtavuus maks. 50 µS/cm vedelle, jossa alhainen suolapitoisuus 160°C asti. Sähkönjohtavuus maks. 250 µS/cm vedelle, jossa korkeampi suolapitoisuus 140°C asti. Kiintoainepitoisuus maks. 5 mg/l ja ei sisällä lisäaineita, jotka muodostavat rasvaisen kalvon mekaanisen tiivisteiden tiivistepinnoille.	
Imupuolen nimellispaine	PN 16	Tiivisteiden asennustila	Tiivistetilan standardi
Imuyhteen sijainti	axial	Kulutusrengas	Kulutusrengas
Suction flange drilled according to standard	EN 1092-2	Juoksupyörän halkaisija	502,0 mm
Discharge nominal dia.	DN 200	Pyörimissuunta A-S	Clockwise
Discharge nominal pressure	PN 16	myötäpäivään	
Painelaippojen asento	ylhäällä (0°/360°)	Laakerinkannattimen rakenne	Vahvistettu (raskas)
Discharge flange drilled according to standard	EN 1092-2	Laakerinkannattimen koko	UP05
Pintamuoto	Raised face (B / RF)	Laakerin tiiviste	Lip seal
Standard-EN-flange PN25 drilled acc. to EN-flange PN16		Laakerityyppi	Rullalaakerit
Akselitiiviste	Yksitoiminen mekaaninen tiiviste	Lubrication type	Öljy
Valmistaja	Burgmann	Voiteluaineen valvonta	Vakiopinnansäädin
		Väri	Ultramariininsininen (RAL 5002) KSB:n sininen