



Suomalainen kaukolämmitys

Veli-Matti Mäkelä ja Jarmo Tuunanen

SUOMALAINEN KAUKOLÄMMITYS

Veli-Matti Mäkelä
Oulun ammattikorkeakoulu

Jarmo Tuunanen
Mikkelin ammattikorkeakoulu

© Tekijä(t) ja Mikkelin ammattikorkeakoulu

Kannen kuva: Toppilan voimalaitos, Oulu, Veli-Matti Mäkelä

Kannen ulkoasu: Maria Miettinen

Taitto: Tammerprint Oy

ISBN: 978-951-588-506-7 (nid.)

ISBN: 978-951-588-507-4 (PDF)

ISSN: 1455-3686 (nid.)

julkaisut@xamk.fi

SISÄLTÖ

I	JOHDANTO	8
1.1	Lyhenteet ja käytetyt termit	8
1.1.1	Lyhenteet	8
1.1.2	Käytetyt termit	9
2	KAUKOLÄMPÖJÄRJESTELMÄN PERUSTEET	11
2.1.1	Kaukolämpöhistoriaa lyhyesti	12
2.1.2	Kaukolämmityksen edut	12
2.1.3	Kaukolämmityksen energiatehokkuus	12
2.1.4	Ympäristövaikutukset	15
2.1.5	Taloudellisuus	15
2.1.6	Tehokkuus ja luotettavuus	16
2.2	Kaukolämmityksen pääosat	17
2.2.1	Lämmöntuotanto	17
2.2.2	Kaukolämpöverkosto	18
2.2.3	Kaukolämmön asiakaslaitteet	18
2.3	Kaukolämpötoiminnan aloittaminen	19
2.3.1	Kaukolämmön myynnin ennustaminen	20
3	KAUKOLÄMMÖN TUOTANTO	22
3.1	Lämmön tuotannon periaatteita	22
3.2	Lämmöntuotantolaitokset	24
3.2.1	Yhdistetty lämmön ja sähkön tuotanto	24
3.2.2	Lämpökeskukset	25
3.3	Lämmöntuotantolaitosten mitoitus	28
3.3.1	Kulutuksen vaihtelu ja pysyvyysskäyrä	28
3.4	Lämmöntuotantolaitosten yhtäaikainen käyttö	30
3.4.1	Huippu- ja varalaitosten polttoaineista	32
3.4.2	Lämmöntuotantolaitosten yhteiskäytön periaatteet	32
3.4.3	Huippulämpökeskusten käyttö	33
3.4.4	Varalämpökeskukset	35
3.5	Polttoaineet	35
3.5.1	Fossiiliset polttoaineet	37
3.5.2	Uusiutuvat polttoaineet	39
3.5.3	Yhdyskuntajäte	41
3.5.4	Polttoaineiden käyttö Suomessa	42
3.6	Hajautettu lämmön ja sähkön yhteistuotanto	44
3.7	Pumppaus	44
3.7.1	Välipumppaamot kaukolämmössä	47

4	KAUKOLÄMMÖN JAKELU	50
4.1	Yleistä jakelujärjestelmästä	50
4.2	Kaukolämpöverkosto	50
4.3	Kaukolämpöverkoston suunnittelu	52
4.3.1	Kaukolämpöverkoston mitoitus	52
4.3.2	Verkoston painehäviölaskenta	54
4.4	Kaukolämpöjohdot	56
4.4.1	Kaukolämpöjohtotyypit	56
4.4.2	Kaukolämpöputkien lämpöeristys	60
4.4.3	Kaukolämpöjohtojen asennukset	61
5	LÄMMÖNJAKOKESKUS	64
5.1	Yleistä	64
5.2	Lämmönjakokeskuksen rakenne	65
5.2.1	Tehdasvalmisteinen lämmönjakokeskus	66
5.2.2	Kytkentäkaaviot	67
5.3	Lämmönjakokeskuksen varusteet	68
5.3.1	Lämmönsiirtimet	68
5.3.2	Juotetut levylämmönsiirtimet	70
5.3.3	Tiivisteelliset levylämmönsiirtimet	71
5.3.4	Kierukkalämmönsiirtimet	72
5.3.5	Suoraputkisiirtimet	72
5.3.6	Logaritminen keskilämpötilaero	73
5.3.7	Lämmönsiirrinten vuototestit	76
5.3.8	Pumput	77
5.3.9	Säätöjärjestelmä	78
5.3.10	Muut varusteet	81
5.4	Toisiopuolen järjestelmät	83
5.4.1	Patteriverkosto (radiaattoriverkosto)	84
5.4.2	Lattialämmitys	87
5.4.3	Ilmanvaihto ja ilmastointi	89
5.4.4	Lämmin käyttövesi	89
5.5	Hybridikytkennät kaukolämpöjärjestelmässä	90
6	LÄMMÖNJAKOKESKUKSEN MITOITTAMINEN	92
6.1	Lämmönjakokeskuksen suunnittelun lähtökohdat	92
6.1.1	Patteriverkoston lämmönsiirtimen mitoitus	94
6.1.2	Lattialämmityksen lämmönsiirtimen mitoittaminen	96
6.1.3	Ilmanvaihtosiirtimen mitoitus	98
6.1.4	Lämpimän käyttöveden lämmönsiirtimen mitoitus	100
6.2	Lämmönjakokeskuksen varusteiden mitoitus	101
6.2.1	Pumput	101
6.2.2	Ensiöpuolen säätöventtiilit	102
6.2.3	Paine-erosäädin	105
6.3	Laiteuusinnat	105

7	LÄMPÖENERGIAN MITTAAMINEN	107
7.1	Yleistä kaukolämpöenergian mittauksesta	107
7.1.1	Kaukolämpöenergia	107
7.1.2	Mittauksen tarve	108
7.2	Mittauskeskus	109
7.2.1	Kaukolämpöenergian mittauslaitteet	110
7.2.2	Kaukoluenta ja tiedon siirto asiakkaille	114
8	KAUKOLÄMMITYSTOIMINNAN SOPIMUKSET	116
8.1	Lämpösopimus ja kaukolämmön sopimusehdot	116
8.1.1	Lämpösopimus	116
8.1.2	Kaukolämmön sopimusehdot	117
8.2	Hinnoittelujärjestelmät	117
8.2.1	Hinnoittelujärjestelmän ominaisuuksia	118
8.2.2	Kaukolämmön hinnoittelu Suomessa	120
8.2.3	Tariffiesimerkkejä	123
8.3	Kaukolämmön laskutus	124
9	KÄYTTÖ JA KUNNOSSAPITO	125
9.1	Käyttö	125
9.1.1	Kaukolämmön tuotantolaitosten käyttö	126
9.1.2	Kaukolämpöverkoston käyttö	127
9.1.3	Kaukolämpöverkoston vuodon etsintä	128
9.1.4	Mittarointi ja instrumentointi	132
9.2	Kunnossapito	133
10	KANSAINVÄLISISTÄ KAUKOLÄMPÖJÄRJESTELMISTÄ	139
10.1	Näkökulmia kaukolämpöjärjestelmien eroavaisuuksista	139
10.1.1	Lämmönsiirtoväliaine	140
10.1.2	Kansainvälisten kaukolämpöjärjestelmien säättöfilosofioista	141
10.2	Kaukolämmöntuotannon eroavaisuuksia	142
10.2.1	Itä- ja Keski-Euroopan sekä Kiinan kaukolämpöjärjestelmät	143
10.3	Kaukolämpöverkostojen eroavaisuuksia	146
10.4	Asiakkaan ja kaukolämpöverkoston välinen kytkentä	148
10.4.1	Epäsuora ja suora kytkentä	148
10.4.2	Suljettu ja avoin kytkentä	149
10.4.3	Korttelilämmönjakokeskukset	151
10.4.4	Venäläinen 4-putkijärjestelmä	154
10.4.5	Omistus ja sopimuskäsitteitä	155

ESIPUHE

Tämä kaukolämmityksen oppikirja on tarkoitettu suomalaisen kaukolämpöopetuksen tueksi ja kaukolämpöalalla työskenteleville alan perusteokseksi. Kirjassa pyritään antamaan riittävä pohjatietous suomalaisen kaukolämmityksen toiminta-ajatuksista, järjestelmien rakentamisesta ja niiden mitoittamisesta.

Kirjan kirjoittamisessa on hyödynnetty Energiateollisuus ry:n julkaisemia määräyksiä, suosituksia ja julkaisuja, kaukolämmön käsikirjaa sekä muita erilaisia lähteitä kuten kaukolämpötuotteiden esitteitä ja teknisiä tietoja.

Tässä kirjassa on käsitelty myös jonkin verran kansainvälisiä kaukolämpöjärjestelmiä, sillä kaukolämmitys on alue, jossa suomalaisella teollisuudella ja osaamisella on merkittäviä liiketoimintamahdollisuuksia.

Kirjoittajilla on useiden vuosien kokemus työskentelystä suomalaisissa kaukolämpöyhtiöissä. Lisäksi he ovat toimineet useita vuosia nykyisen Energiateollisuus ry:n (aiemmin Suomen Kaukolämpö ry ja Lämpölaitosyhdistys ry) toimikunnissa ja työryhmissä. Kansainvälisestä kaukolämpötoiminnasta on kokemusta useista Venäjän kaukolämmityksen kehittämisprojekteista, Kiinan kaukolämmön kehittämisestä sekä erilaisista tutkimushankkeista. Lisäksi kirjoittajilla on pitkä kokemus opetustehtävistä. Kirjassa on käytetty kirjoittajien vuosien varrella ottamia valokuvia, ellei lähdeviittauksissa toisin mainita.

Veli-Matti Mäkelä Oulun ammattikorkeakoulu

Jarmo Tuunanen Mikkelin ammattikorkeakoulu

I JOHDANTO

Tässä kaukolämmityksen oppikirjassa annetaan perustiedot kaukolämmityksen (KL) tekniikasta, periaatteista ja eduista. Oppikirja perustuu rakentamisen osalta Suomen rakentamismääräyskokoelmaan (RakMk) sekä kaukolämmityksen osalta Energia-
teollisuus ry:n määräyksiin ja ohjeisiin, kuten esimerkiksi julkaisuun ”Rakennusten kaukolämmitys, Määräykset ja ohjeet, K1. Kaukolämmitysjärjestelmässä pääosat ovat lämmön tuotanto, jakelu ja asiakastoiminnot, jotka kuvaillaan ensin lyhyesti kokonaisvaltaisen järjestelmäkuvan luomiseksi, ja myöhemmissä luvuissa eri osa-alueisiin keskitytään niiden sisältöä syventäen.

I.1 Lyhenteet ja käytetyt termit

Kaukolämpöalalla yleisesti käytössä olevat termit ja lyhenteet sekä laskuesimerkeissä käytetyt symbolit ovat seuraavissa taulukoissa.

I.1.1 Lyhenteet

Tässä kaukolämmityksen oppikirjassa on käytetty seuraavia lyhenteitä ja symboleja:

CHP	Lämmön ja sähkön yhteistuotanto (Combined Heat and Power production tai Co-generation of Heat and Power)
DN	Nimellishalkaisija (Dimension Normal)
EN	European Standard
LK	Lämpökeskus (Heat Only Boiler, HOB)
k_{vs}	Kapasiteettiarvo, m^3/h Käytetään venttiilien mitoituksessa. Kapasiteettiarvo k_{vs} määritellään virtauksena (m^3/h) venttiilin läpi silloin kun painehäviö on 1 bar täysin auki olevan venttiilin yli.
KL	Kaukolämpö
PN	Nimellispaine, bar, (Pressure Nominal)
η	Hyötysuhde
η_{tot}	Kokonaishyötysuhde
η_e	Sähköntuotannon hyötysuhde
η_{th}	Lämmöntuotannon hyötysuhde
ρ	Tiheys, kg/m^3

c_p	Ominaislämpökapasiteetti (vakiopainneessa), J/kg K
q_v	Tilavuusvirta, m ³ /s (myös dm ³ /s)
q_m	Massavirta, kg/s
Φ	Teho tai kapasiteetti, W (myös kW, MW)
Φ_e	Sähköteho, W _e
Φ_{th}	Lämpöteho, W _{th}
Q	Energia, J (myös kWh, MWh, GWh, GJ, TJ)
Q_e	Sähköenergia
Q_{th}	Lämpöenergia
Q_F	Polttoaine-energia
ΔT	Lämpötilaero tai lämpötilan muutos K, (myös °C)
Δp	Paine-ero, Pa (myös kPa, bar)

1.1.2 Käytetyt termit

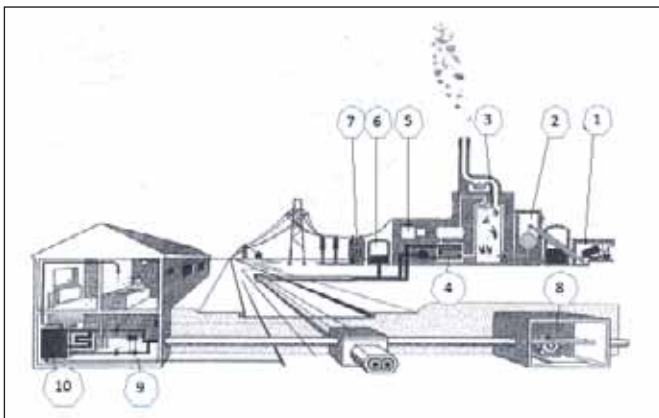
Suljettu kauko- lämpöjärjestelmä	Suljetulla järjestelmällä tarkoitetaan kaukolämmitysjärjestelmää, jossa lämmin käyttövesi tuotetaan lämmönsiirtimen avulla (vastakohta avoin järjestelmä).
Avoin kaukolämpö- järjestelmä	Avoimella kaukolämmitysjärjestelmällä tarkoitetaan kaukolämmitysjärjestelmää, jossa lämpimänä käyttövetenä käytetään kaukolämpövetä (ei Suomessa).
Lämmönmyyjä	Lämmön toimittaja. Kaukolämpöyhtiö tai kunnallinen liikelaitos tms. osapuoli, joka tekee asiakkaan kanssa lämpösopimuksen ja vastaa kaukolämmön toimittamisesta asiakkaalle.
Epäsuora kauko- lämpöjärjestelmä	Epäsuoralla kaukolämpöjärjestelmällä tarkoitetaan rakennuksen lämmityslaitteita, jossa patteriverkosto tai muu lämmitysverkosto ja kaukolämpöverkosto on hydraulisesti erotettu toisistaan lämmönsiirtimellä.
Suora kaukolämpö- järjestelmä	Suoralla kaukolämpöjärjestelmällä tarkoitetaan rakennuksessa sellaista lämmitysjärjestelmää, jossa patteriverkostoa tai muuta lämmitysverkostoa ja kaukolämpöverkosta ei ole hydraulisesti erotettu toisistaan, vaan kaukolämpövesi kiertää esimerkiksi lämmityspattereissa.
Huipputeho	Kaukolämmössä huipputeholla tarkoitetaan yhden tunnin suurinta tehontarvetta. Lämmöntuotannossa huipputehon tarve on oleellisesti pienempi kuin asiakkaiden huipputehosen tai tilaustehojen summa.
Ensiö	Ensiöpuolen laitteilla ja järjestelmillä tarkoitetaan niitä laitteita ja järjestelmiä, jotka sijaitsevat kaukolämmön ensiöpuolella eli sillä puolella lämmönsiirrintä, jossa kaukolämpövesi virtaa.
Toisio	Toisiopuolen laitteilla tarkoitetaan niitä laitteita, jotka sijaitsevat toisioverkossa eli kiinteistön puolella lämmönsiirrintä.

Lämmönluovutuspaikka	Kohta, jossa lämmönmyyjä luovuttaa lämpöenergian asiakkaalle ja jossa yleensä on myös laitteiden omistusraja. Lämmönluovutuspaikka on usein lämmönjakohuoneessa ja sen fyysinen merkki on energiamittauksen jälkeinen sulkuventtiili.
Huipunkäyttöaika	Huipunkäyttöaika ilmaisee, kuinka pitkän käyntiajan lämmöntuotantolaitos olisi tarvinnut vuotuisen tuotannon tuottamiseen laitoksen huipputeholla.
Toisioverkko	Lämmitys- ilmanvaihto ja käyttövesiverkostot eli lämmönsiirtimen toisiopuolella sijaitsevat verkostot.
Lämmönjakokeskus	Lämmönjakokeskus on lämmönmyyjän mittauskeskukseen, käyttövesi- ja lämmitysverkostoihin sekä paisuntalaitteisiin liitettävä laitekokonaisuus, joka sisältää lämmönsiirtimet, ensiöpuolen ja mahdollisesti toisiopuolen säätölaitteet, pumppauslaitteet, venttiilit ja varusteet sekä tarvittavan putkiston. Pientalon lämmönjakokeskus sisältää edellä mainittujen lisäksi lämmitysverkon paisuntasäiliön ja/tai käyttöveden tasaajasäiliön. K1:ssä on esitetty perus- ja pientalokytken lämmönjakokeskuksen toimitusrajat.
Kaukolämmityslaitteet	Rakennuksen kaukolämmityslaitteet ovat lämmityslaittekonaisuus, joka koostuu asiakkaan kaukolämpö- ja lämmityslaitteista.
Rakennuksen kaukolämpölaitteet	Rakennuksen kaukolämpölaitteet ovat laitteita, joissa kaukolämpövesi virtaa tai jotka säätävät asiakkaan lämmitysjärjestelmän kautta kiertävää kaukolämpöveden virtausta.
Rakennuksen lämmityslaitteet	Rakennuksen lämmityslaitteet ovat laitteita, jotka jakavat lämpöenergian lämmönsiirtimiltä käyttökohteisiin.
Mittauskeskus	Mittauskeskus on lämmönmyyjän omistama lämmönmittauslaitteisto, joka mittauslaitteiden lisäksi sisältää liittymisjohdon sulkuventtiilit ja lianerottimet sekä mahdolliset laitteet virtauksen rajoittamiseksi. Asiakkaan putkisto alkaa mittauskeskuksesta.

2 KAUKOLÄMPÖJÄRJESTELMÄN PERUSTEET

Kaukolämmitys on keskitetty laajojen alueiden, kuten kokonaisten kaupunkien, niiden osien tai useiden rakennusten muodostaman ryhmän lämmöntuotanto ja -jakelujärjestelmä. Lämpöenergia kaukolämmitykseen tuotetaan keskitetysti lämmitysvoimalaitoksissa tai lämpökeskuksissa ja jaetaan kaukolämpöverkoston välityksellä asiakkaille.

Kaukolämmityksen alkuaikoina lämpöenergiaa jaettiin höyryn muodossa, mutta nykyiset eurooppalaiset järjestelmät perustuvat pääasiassa kuuman veden käyttöön lämmön siirron väliaineena. Kaukolämmön kiertovesi kuumennetaan lämpökeskusten kattiloissa tai lämmitysvoimalaitosten lämmönsiirtimissä. Energiataloudellisesti tehokkainta ja samalla ympäristöystävällisintä on tuottaa kuuma kaukolämpövesi yhdessä sähköntuotannon kanssa siten, että kuumalla höyryllä tuotetaan ensin sähköä, ja höyryn lopulla energialla lämmitetään kaukolämpöverkoston kiertovesi tarvittavaan lämpötilaan. Kuuma kaukolämmön kiertovesi pumpataan kaukolämpöverkostoa pitkin asiakkaille. Asiakkaan lämmönjakokeskuksessa lämpöenergia siirtyy kiinteistön lämmitysjärjestelmän kiertoveteen tai lämpimän käyttöveden valmistukseen, ja jäähtynyt kaukolämpövesi palaa uudelleen lämmitettäväksi lämmöntuotantolaitokseen.



Kuva 1: Yhdistetty lämmön- ja sähköntuotanto kiinteällä polttoaineella (CHP)

- | | |
|--|-----------------------------------|
| 1. Polttoaineen vastaanotto (turve / hake) | 6. Kaukolämpöveden paisuntasäiliö |
| 2. Polttoainevarasto (turve / hake) | 7. Sähköverkoston muuntoasema |
| 3. Höyrykattila | 8. Kaukolämmön välipumppaamo |
| 4. Kaukolämmön lämmönsiirrin | 9. Kaukolämmön mittauskeskus |
| 5. Turbiini ja generaattori | 10. Lämmönjakokeskus |

Kuvassa 1 on esitetty kaukolämpöjärjestelmän periaate. Tavallisesti kaukolämpöjärjestelmässä on myös huippu- ja varalämpökeskuksia, jotka sijaitsevat eri puolilla kaukolämpöverkostoa. Pienemmissä kaukolämpöjärjestelmissä lämmitysvoimalaitoksen tilalla on lämpökeskus tai -keskuksia.

2.1.1 Kaukolämpöhistoriaa lyhyesti

Ensimmäinen kaukolämpöjärjestelmä rakennettiin New Yorkiin 1877 (Holy Lockport). Lämmönsiirtoon käytettiin höyryä. Ensimmäinen vesikiertoinen kaukolämpöjärjestelmä toteutettiin Dresdenissä Saksassa. Tanskassa aloitettiin vuonna 1900, Puolassa 1903, Ruotsissa 1909 ja Venäjällä 1924.

Suomen ensimmäinen kaukolämpöjärjestelmä rakennettiin Helsingin Olympiakylään vuonna 1940. Helsingin kaupunkialueen kaukolämmittäminen aloitettiin syksyllä 1952 ja se jatkui 1953 Espoon Tapiolasta. Mikkelissä kaukolämmitystoiminta aloitettiin vuonna 1958 ja Oulussa 1969.

Suomessa oli vuonna 2013 kaukolämmön tuotantokapasiteettia 22 GW ja asiakkaiden liittymisteho oli 18 GW. Kaukolämpöverkostojen kokonaispituus on noin 14000 km. Suomalaisista yli 2,7 miljoonaa eli 46 % väestöstä asuu kaukolämmitetyissä kiinteistöissä. Kolme neljänestä (75 %) lämpöenergiasta tuotetaan lämmön ja sähkön yhteistuotantona (CHP)¹. Vuonna 2014 Suomessa tuotettiin kaukolämpöä 34.5 TWh josta CHP:llä tuotettua lämpöä oli 25.6 TWh.

2.1.2 Kaukolämmityksen edut

Kaukolämmityksen suurimmat edut voidaan ilmaista lyhyesti neljällä määritelmällä

- Energiatehokkuus
- Ympäristöystävällisyys
- Kokonaistaloudellisuus
- Toimintavarmuus

Kaukolämmitys ja varsinkin sähkön ja lämmön yhteistuotanto ovat merkittävimpiä parempaan energiatehokkuuteen ja puhtaampaan ympäristöön liittyviä tekniikan ratkaisuja.

2.1.3 Kaukolämmityksen energiatehokkuus

Kaukolämmityksen energiatehokkuus perustuu lämmön ja sähkön yhteistuotantoon (CHP). Sähkön tuotannossa tarvittavaa höyryä tuotetaan höyrykattiloissa. Turbiini pyörii höyryn voimalla ja pyörittää sähköä tuottavaa generaattoria. Turbiinissa osittain

¹ Energiateollisuus ry, Kaukolämpötilasto 2013 (www.energia.fi)

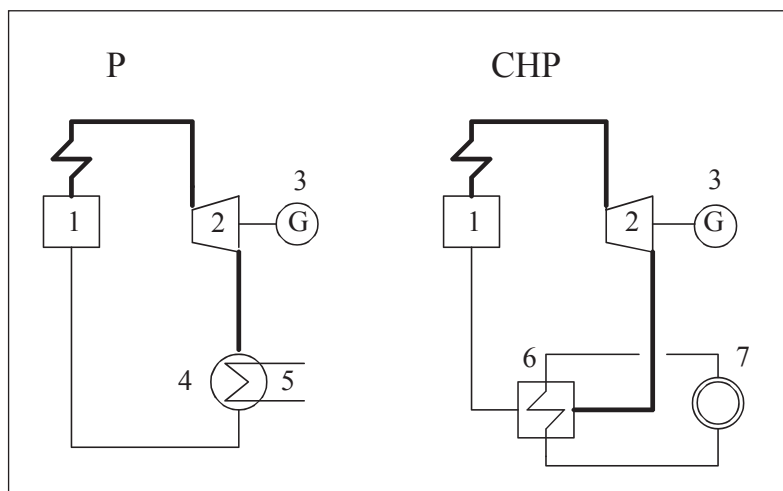
jäähtynyt höyry pitää lauhduttaa takaisin vedeksi, jotta se voidaan pumpata takaisin kattilaan höyrystettäväksi. Perinteisessä lauhdutusvoimalaitoksessa jäähditys on toteutettu käyttämällä meri-, järvi- tai jokivettä. Myöskin jäähdystorneja on käytetty veden lauhduttamiseksi.

Edellä mainituilla tavoilla menetetään jäähtymisessä suuret määrät lämpöenergiaa “kaloille tai linnuille”. Hyödyntämällä lauhtumislämpö lämmönsiirrinten avulla kaukolämpöverkoston tyydyttämään asiakkaiden lämmöntarvetta, saadaan polttoaineesta hyödyksi huomattavasti suurempi osa kuin käyttämällä edellä mainittuja jäähditysmuotoja. Samalla joudutaan höyryn paisumista turbiinissa hieman rajoittamaan, jolloin menetetään pieni osa sähkön tuotannosta.

Kuvassa 2 on esitetty perinteisen lauhdutusvoimalaitoksen (P) ja yhdistetyn lämmön- ja sähköntuotannon (CHP) yksinkertaistetut kytkentäkaaviot.

1. Höyrykattila
2. Turbiini
3. Generaattori
4. Lauhdutin
5. Lauhduttimen jäähdytysvesi
6. Kaukolämmönsiirrin
7. Kaukolämpöverkosto

Yhteistuotannossa optimoidaan sähkön- ja lämmöntuotantoa, jolloin sähkö on usein päätuote, jonka tuotannon maksimointiin pyritään. Sähkön tuotantoa optimoidessa voidaan osa sähköstä hankkia markkinahintaan muilta toimittajilta. Lämmöntuotannon optimoitaessa käytetään lämpökeskuksia täydentämään hetkittäiset lämmitystehouiput. Optimointi on jatkuvaa lämpö- ja sähkötehon mittausta ja säätöä sekä tuotantolaitosten energiatehokkuuden suunnittelua ja käyttöä.



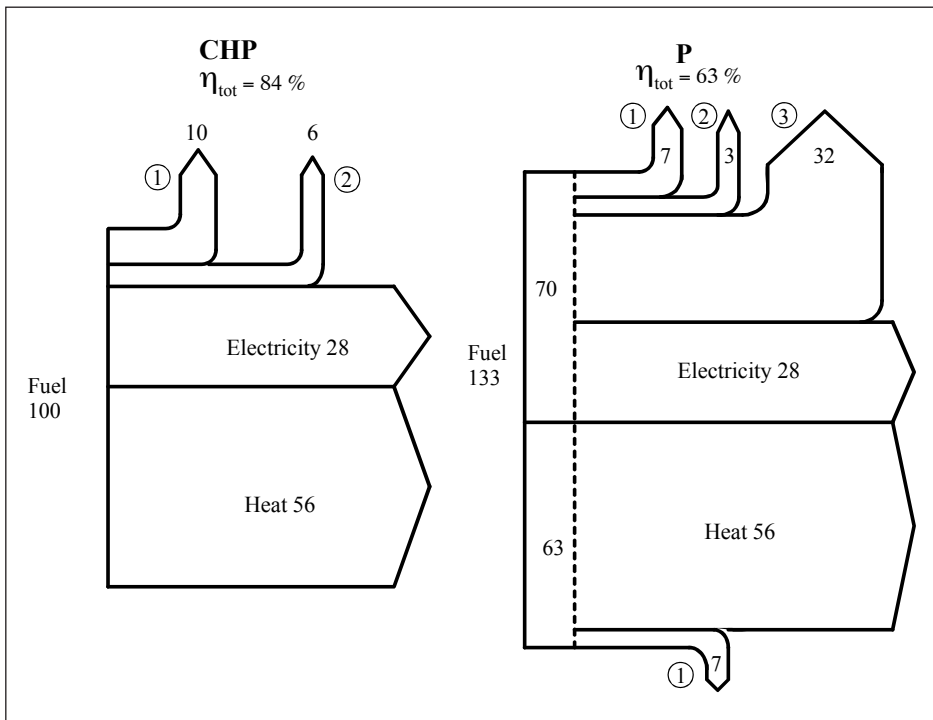
Kuva 2: Lauhdutusvoimalaitos (P) ja lämmitysvoimalaitos (CHP)

Kuvassa 3 on kaaviomuodossa kuvattu tuotannon häviöt. Kuvassa ovat sekä yhdistetty lämmön- ja sähköntuotanto (CHP) että erillistuotanto (P), jossa on lauhdutusvoimalaitos ja erillinen lämmöntuotanto.

- 1 Kattilahäviöt
- 2 Sähkön tuotantohäviöt
- 3 Sähköntuotannon lauhdutushäviöt

Kuvasta 3 nähdään, kuinka hyödyntämällä erillistuotannossa hukkaan menevät sähköntuotannon lauhdutushäviöt (32 energiayksikköä) osana yhteistuotannon lämmöntarpeen kattamisessa (56 energiayksikköä), saadaan merkittävää säästöä kokonaispolttoainemäärässä.

Pienissä kaukolämpöjärjestelmissä, joissa yhteistuotantoa ei ole, saavutetaan myös korkeampi hyötysuhde ja pienemmät ympäristöpäästöt kuin erillisissä rakennuskohtaisissa kattilalaitoksissa. Syitä edellä mainittuun ovat muun muassa suurempien kattiloiden parempi hyötysuhde useisiin pieniin rakennuskohtaisiin kattilalaitoksiin verrattuna ja se, että suuremmat laitokset on helpompi ja kannattavampi varustaa monipuolisella säätö- ja automaatiojärjestelmillä sekä savukaasujen lämmön talteenotto- ja puhdistuslaitteistoilla.



Kuva 3: Tuotantohäviöt ja hyödyksi saadut energiamäärät yhteistuotannossa (CHP) ja erillistuotannossa (P)

2.1.4 Ympäristövaikutukset

CO₂

Ympäristön kannalta huomattavin etu kaukolämmöstä tulee yhteistuotannon (CHP) kautta. Nykyaikainen yhteiskunta tarvitsee sekä lämpöä että sähköä. Yhteistuotannossa saadaan samasta polttoainemäärästä hyödyksi enemmän, jolloin savukaasujen ja haitallisten kasvihuonekaasujen, kuten CO₂:n päästömäärät vähenevät verrattuna perinteiseen erillistuotantoon lauhdutusvoimalaitoksineen ja rakennuskohtaisine lämpökeskuksineen. Yhteistuotantoa lisäämällä voidaan tulevaisuudessa merkittävästi vähentää yhdyskuntien CO₂-päästöjä.

Kaukolämmityslaitoksissa, niin yhteis- kuin erillistuotannossakin, voidaan huomattavasti helpommin ja tehokkaammin käyttää ympäristöystävällisiä ja uudistuvia polttoaineita verrattuna rakennuskohtaisiin kattilalaitoksiin. Käyttämällä biopolttoaineita, kuten puuta tai biokaasua, voidaan edelleen vähentää lämmöntuotannon CO₂-päästöjä merkittävästi.

Ilmanlaatu

Keskitettyssä lämmöntuotannossa yksi korkea savupiippu korvaa satoja yksittäisten rakennusten savupiippuja. Tällainen yksittäinen savupiippu on helppo ja taloudellisesti kannattava varustaa tehokkaalla savukaasujen puhdistuslaitteistolla. Kaukolämmityksen avulla voidaan parantaa ulkoilman laatua yhteiskunnassa. Esimerkiksi Helsingin ilmanlaatu on parantunut huomattavasti kaukolämmityksen myötä, josta Helsingin kaupunki on palkittu useaan otteeseen. Esimerkiksi vuonna 1990 Helsinki sai YK:n ympäristöpalkinnolla yhteistuotannon edistämisestä Suomessa.

Liikenne

Polttoainekuljetukset kaukolämmityksessä keskittyvät yhteen polttoaineen purkupaikkaan, jolloin liikennepäästöt vähenevät pienemmän kokonaispolttoainemäärän, ajokilometrien ja tyhjäkäynnin vähentymisen myötä.

2.1.5 Taloudellisuus

Kaukolämmityksen tuotantolaitoksissa (lämmitysvoimalaitokset tai lämpökeskukset) on mahdollista parantaa energiatehokkuutta verrattuna rakennuskohtaisiin lämmitysjärjestelmiin, koska suurten kattilalaitosten hyötysuhde on parempi kuin useiden pienten yhteinen hyötysuhde. Suuremmissa yksiköissä voidaan käyttää halvempia polttoaineita ja niissä on ammattitaitoinen käyttöhenkilökunta sekä jatkuva tuotannon ja jakelun valvonta.

Kaukolämmityksen taloudellisia kysymyksiä tulee tarkastella niin yhteiskunnan, kaukolämpöyhtiön kuin asiakkaan talouden näkökulmista. Menestyäkseen on kaukolämmityksestä oltava taloudellista etua niin yhteiskunnalle, asiakkaalle kuin lämmönmyyjälle. Kaukolämmityksen hinnoittelussa on otettava huomioon kaukolämmityksen kilpailukyky muihin lämmöntuotantotapoihin verrattuna.

Kaukolämmityksen investointikustannuksista ylivoimaisesti suurin osa kohdistuu lämmöntuotantolaitoksiin ja jakeluverkkoon, joka usein onkin kaukolämpöjärjestelmän kallein osa. Käyttökustannuksista valtaosan muodostavat polttoainekustannukset.

2.1.6 Tehokkuus ja luotettavuus

Kaukolämmityksellä on etuja myös käyttö- ja kunnossapitotoiminnoissa verrattaessa niitä rakennuskohtaisiin lämmöntuotantojärjestelmiin.

- Tehokkaampi organisointi toiminnan kaikilla tasoilla
- Ammattitaitoisemman henkilökunnan valintamahdollisuus

Kaukolämpötoiminnan luotettavuus on erittäin korkealla tasolla. Suomalaisen kaukolämmityksen tilastollisia keskiarvoja:

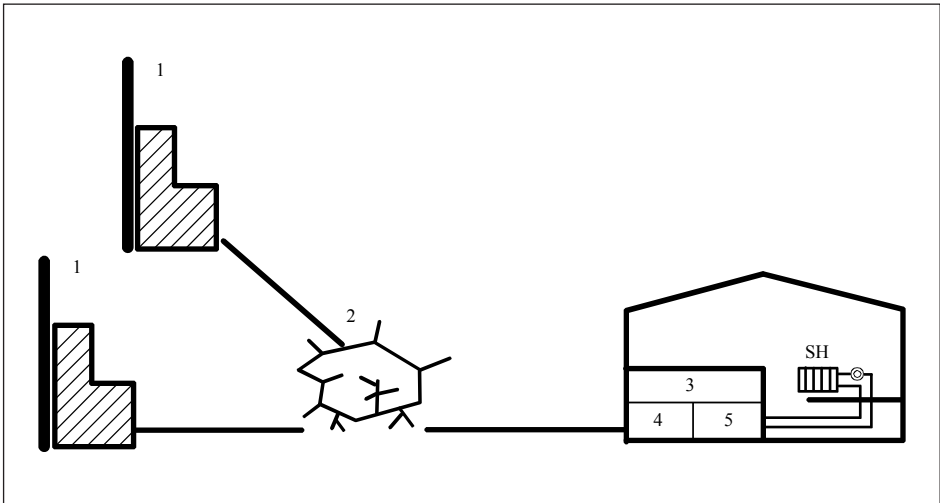
- verkostovaurioita 0,07 – 0,08 vahinkoa verkostokilometriä kohden
- lämmöntoimituksen keskeytymisen kesto aika 1,5 – 2 tuntia vuodessa asiakasta kohden, josta noin puolet on verkostovaurioiden ja tuotantolaitosten aiheuttamia

Edellä mainittujen tilastotietojen perusteella voidaan hyvinkin todeta suomalaisen kaukolämmityksen saavuttavan 99,98 %:n luotettavuustason.

2.2 Kaukolämmityksen pääosat

Nykyaikainen kaukolämpöjärjestelmä koostuu kolmesta pääosasta:

- Lämmöntuotantolaitokset (lämmitysvoimalaitokset ja lämpökeskukset)
- Kaukolämmön jakeluverkosto
- Kaukolämmön asiakaslaitteet (mittauskeskus ja lämmönjakokeskus)



Kuva 4: Kaukolämpöjärjestelmän pääosat

1. Kaukolämmön tuotantolaitos
2. Kaukolämmön jakeluverkosto
3. Kaukolämmön asiakaslaitteet (yhteisnimitys osille 4 ja 5)
4. Kaukolämmön mittauskeskus
5. Lämmönjakokeskus

2.2.1 Lämmöntuotanto

Kaukolämpöä tuotetaan lämmitysvoimalaitoksissa, lämpökeskuksissa tai esimerkiksi teollisten prosessien yhteydessä. Tulevaisuudessa myös muiden uusiutuvien lämpöenergian tuotantomuotojen käyttö voi lisääntyä. Kaukolämmön kiertoveden tulolämpötila vaihtelee vuodenajasta ja tarvittavasta tehosta riippuen välillä 120 °C - 70 °C. Kaukolämmön tuottamiseen voidaan käyttää eri polttoaineita niiden saatavuudesta ja hintatasosta riippuen. Suomessa polttoainevalikoimaan kuuluvat yleisesti biopolttoaineet, kuten puu ja turve, sekä fossiilisista polttoaineista maakaasu, öljy ja hiili.

2.2.2 Kaukolämpöverkosto

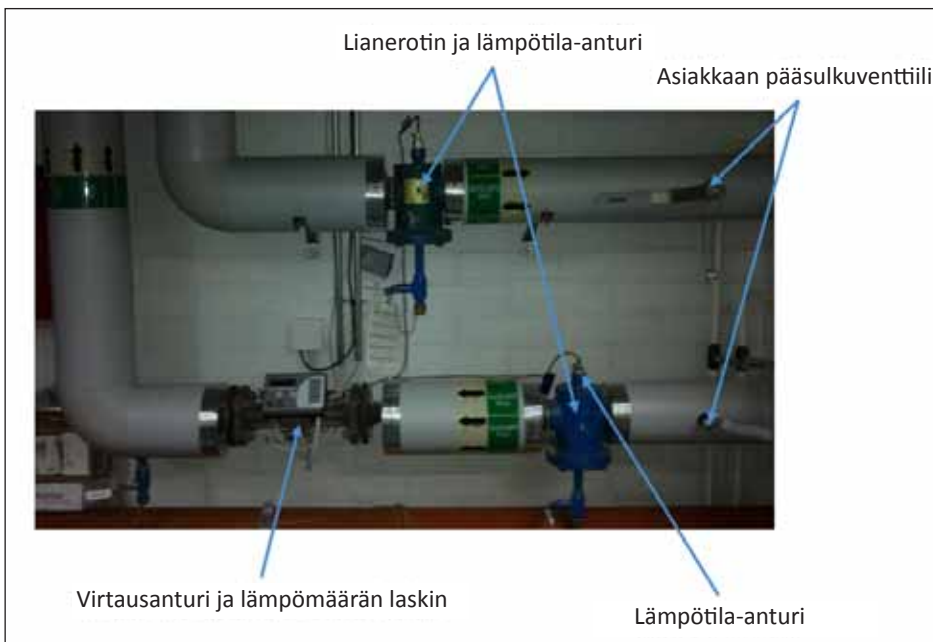
Kuuma kaukolämpövesi pumpataan kaukolämmön menoputkea pitkin asiakkaalle, jossa se jäähtyy lämmönjakokeskuksen lämmönsiirtimissä luovuttaen lämpöenergian asiakkaan lämmitysjärjestelmiin, kuten patteriverkosto ja ilmastointiverkosto, tai lämpimän käyttöveden valmistukseen. Asiakkaalta jäähtynyt kaukolämmön paluuvesi on lämpötilaltaan noin $45\text{ °C} - 25\text{ °C}$, ja se johdetaan kaukolämmön paluuputkessa takaisin tuotantolaitokselle uudelleen lämmitettäväksi.

2.2.3 Kaukolämmön asiakaslaitteet

Kaukolämmityksen liittymis- eli talojohto päättyy asiakaslaitteisiin lämmönjakohuoneessa. Asiakaslaitteisiin luetaan kuuluvaksi mittauskeskus ja lämmönjakokeskus.

Mittauskeskus

Lämmön mittauskeskuksen hankkii, omistaa ja huoltaa lämmönmyyjä. Mittauskeskus sisältää lämpömäärän laskijalaitteen, johon on kytketty meno- ja paluuv veden lämpötila-anturit sekä virtausanturi.



Kuva 5: Kaukolämmön mittauskeskus

Lämmönjakokeskus

Lämmönjakokeskuksen, joka käsittää lämmönsiirtimet, säätöautomaatiikan, pumput jne. omistaa ja huoltaa kaukolämpöasiakas. Lämmönsiirtimiä on yleensä vähintään kaksi, lämmityksen lämmönsiirrin huonetilojen lämmitykseen ja käyttöveden lämmönsiirrin lämpimän käyttöveden valmistamista varten. Myös muita lämmityskohteita, kuten ilmanvaihtoa tai ilmastointia varten asennetaan oma lämmönsiirrin säätölaitteineen.



Kuva 6: Lämmönjakokeskus²

2.3 Kaukolämpötoiminnan aloittaminen

Uuden alueen kaukolämpötoiminnan aloittamispäätöksen perustaksi tehdään kannattavuuslaskelmat. Kannattavuuslaskelmien perustaksi tarvitaan tieto tai arvio kaukolämpöön liitettävien asiakkaiden lukumäärästä alueittain. Asiakkaista tarvitaan sekä määrälliset että tyyppitiedot. Asiakkaista sekä alueista tarvitaan sekä tehontarpeen että energiantarpeen ennusteet. Lisäksi ennustetaan tehontarpeen ja energianmyynnin ajallinen kehittyminen, sillä kaukolämpötoiminnan laajeneminen tapahtuu aina useiden vuosien aikana.

² Gebwell Oy, G-Power lämmönjakokeskuksen esite

Kun kaukolämmön tarve saadaan selvitettyä, suunnitellaan kaukolämmön tuotantolaitokset ja kaukolämpöverkostot. Tuotantolaitoksista lasketaan tarvittavat tehontarpeet sekä selvitetään optimaaliset sijoituspaikat. Laitosten rakennusaikataulu suunnitellaan samoin kuin CHP-tuotannon mahdollisuudet. CHP-laitos kannattaa ottaa suunnitteluun heti alkuvaiheessa, jolloin sen valmistamisaikataulu saadaan suunniteltua mahdollisimman hyvin. Verkoston tarpeista tärkeimmät ovat siirtokapasiteetti ja tarvittava sijainti. Lisäksi siirto-, jakelu- ja talojohtojen rakentamisaikataulu tulee määrittellä.

Kannattavuuslaskelmien jälkeen laaditaan kaukolämpötoiminnan yleissuunnitelmat tyypillisesti noin 15 vuoden jaksolle. Toteutussuunnitelmat tehdään muutaman vuoden ajalle. Jokaisesta investoinnista tehdään vielä tarkemmat suunnitelmat.

2.3.1 Kaukolämmön myynnin ennustaminen

Tulevan kaukolämmön myynnin ennustamiseksi tulee selvittää sekä olemassa oleva rakennuskanta että tulevaisuudessa rakennettavat rakennukset ja alueet. Olemassa olevista alueista selvitetään alueittain rakennustyyppit ja niille energian ja tehontarpeet. Nykyisistä rakennuksista voi saada tietoa esimerkiksi kaupungin rakennusvalvonnasta. Asiakkaiden liittymishalukkuus arvioidaan tai selvitetään asiakaskyselyillä. Olemassa oleville rakennuksille voidaan tehontarpeet ja energiatarpeet arvioida esimerkiksi seuraavan taulukon ominaislämpötehon ja lämpöindeksin avulla.

Taulukko 1: Olemassa olevien rakennusten ominaislämpöteho ja lämpöindeksi Oulussa³

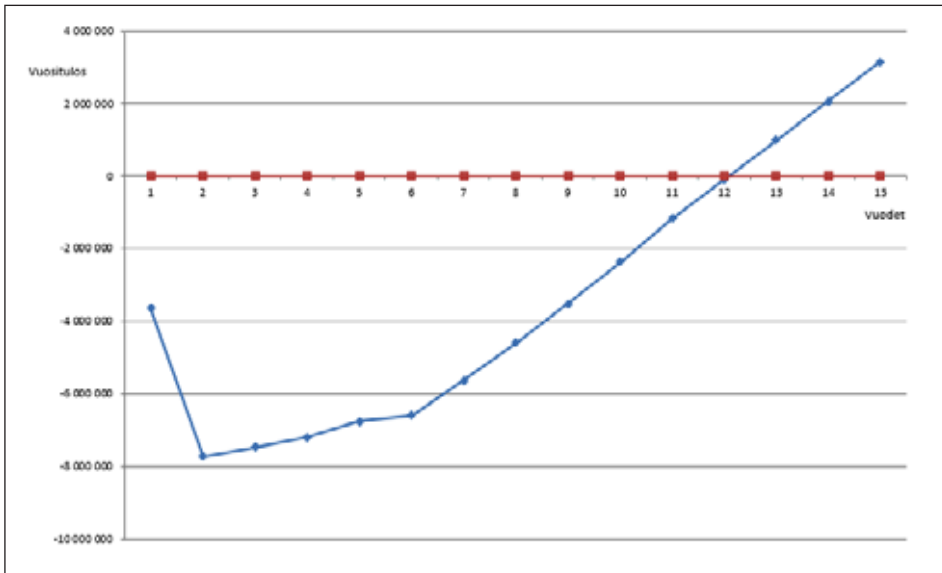
Rakennustyyppi	Ominaislämpöteho (W/m ³)		Lämpöindeksi (kWh/m ³ ,v)		HUOM!
	Vanhat	Uudet	Vanhat	Uudet	
Pientalo	25 – 34	20 – 22	62 – 78	45 – 56	Uudet kiinteistöt vastaavat 1980 – 1990 lukujen rakennuksia
Kerrostalo	25 – 31	17 – 22	62 – 84	50 – 62	
Liikerakennus	22 – 38	22 – 34	50 – 90	38 – 50	2000 -luvun rakennukset on laskettava uusien määräysten mukaan
Julkinen rakennus	31 – 43	28 – 36	56 – 90	39 – 50	
Teollisuusrakennus	28 – 39	17 – 28	56 – 78	34 – 62	

Taulukossa uudet kiinteistöt vastaavat 1980–1990 lukujen rakennuksia. Kaikkein uusimmille rakennuksille tehontarpeet tulee arvioida uusimpien rakentamismääräysten perusteella.

³ Energiateollisuus ry, Kaukolämmön käsikirja

Uusien rakennusten määrät selvitetään kaavoituksen ja kaupungin pitkän tähtäimen suunnitelmien perusteella. Uusien rakennusten liittymistehot ja energiankulutuslaskelmat saadaan rakennusten LVI-suunnitelmista. Kaukolämpötoiminnan kannattavuuden arviointia ja yleissuunnittelua varten arviot joudutaan laskemaan asemakaavoissa olevien rakennusoikeustietojen ja laskennallisten tehontarpeiden ja energian kulutustietojen perusteella.

Seuraavassa kuvassa on esitetty erään alueen kaukolämpötoiminnan aloittamista varten tehdyn laskelman tulos.



Kuva 7: Esimerkki aloittavan kaukolämpöyhtiön kumulatiivisesta kassavirta-analyysistä

Kuvasta nähdään, että esimerkin mukaisessa tapauksessa kumulatiivinen tulos muuttuu positiiviseksi vasta noin 12 vuoden kuluttua. Tämä johtuu toiminnan alkuvaiheessa tarvittavista lämpökeskus- ja verkostoinvestoinneista.

3 KAUKOLÄMMÖN TUOTANTO

3.1 Lämmön tuotannon periaatteita

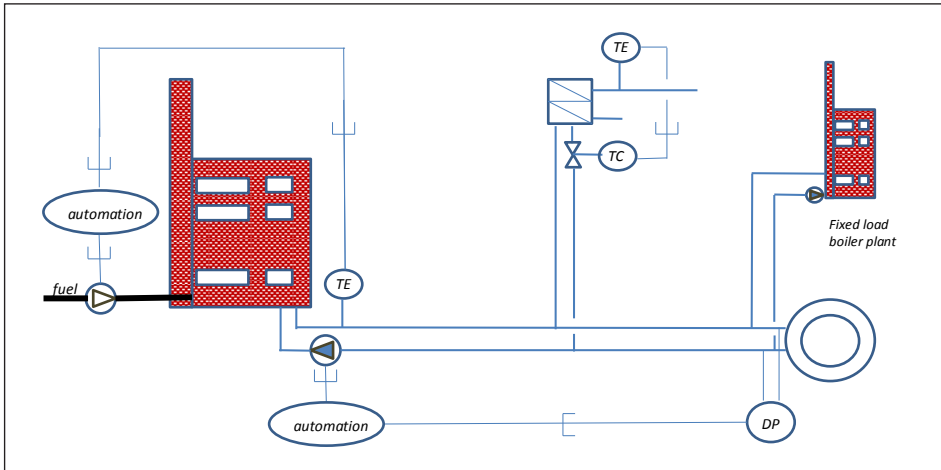
Kaukolämmitys on lämmönlähteiden osalta hyvin joustava lämmitysjärjestelmä. Lämmönlähteitä ovat esimerkiksi sähkön ja lämmön yhteistuotantoon tarkoitettut lämmitysvoimalaitokset (CHP-laitokset), erilliset lämpökeskukset, teollisuuden oheislämpö (jätelämpö prosesseista) sekä maa- ja geoterminen lämpö jne.

Suurissa ja tehokkaissa tuotantoyksiköissä, kuten lämmitysvoimalaitokset ja lämpökeskukset, voidaan käyttää monia eri polttoaineita. Varsinkin kivihiili, polttoturve ja puuhake ovat vaihtoehtoisia polttoaineita keskenään. Samoin erityyppiset öljyt ja kaasumaiset polttoaineet soveltuvat usein samoissa kattila- tai voimalaitoksissa käytettäviksi. Kun lämpöä voidaan tuottaa useilla erilaisilla polttoaineilla, voidaan niitä myös kilpailuttaa edullisimman vaihtoehdon löytämiseksi. Lämmitysvoimalaitoksissa ja suurissa lämpökeskuksissa niin kattilat kuin savukaasujen puhdistuslaitteet omaavat korkeat hyötysuhteet.

Kaukolämmön tuotanto perustuu teholtaan erikokoisten lämmöntuotantolaitosten optimaaliseen yhdistelmään. Laitosten käyttöön vaikuttavat asiakkaiden tehontarve ja verkoston siirtokapasiteetti sekä polttoaineiden hintasuhteet. Tavoitteena on optimoida tuotantokustannukset ja tuotannon luotettavuus.

Optimointiin vaikuttavia tekijöitä ovat sähkön hinta ja ennustettu markkinatilanne sekä lämmön ja sähkön tarve ja niiden ennustettu kehitys. Lisäksi polttoainevaihtoehdot ja niiden hintakehitys sekä eri tuotantolaitoksissa käytettävät polttoaineet vaikuttavat eri tuotantolaitosten käyttöön ja käynnistysjärjestykseen. Tuotannon tehokkuus vaikuttaa lämmöntuotannon optimointiin. Eri tuotantoyksiköissä polttoaineen kulutus ja pumppauksen tarve sekä sähkönkulutus vaihtelevat merkittävästi. Näiden lisäksi lämmönjakelun luotettavuus ja toimitusvarmuus saattavat vaikuttaa laitosten käyttöön ja käynnistysjärjestykseen.

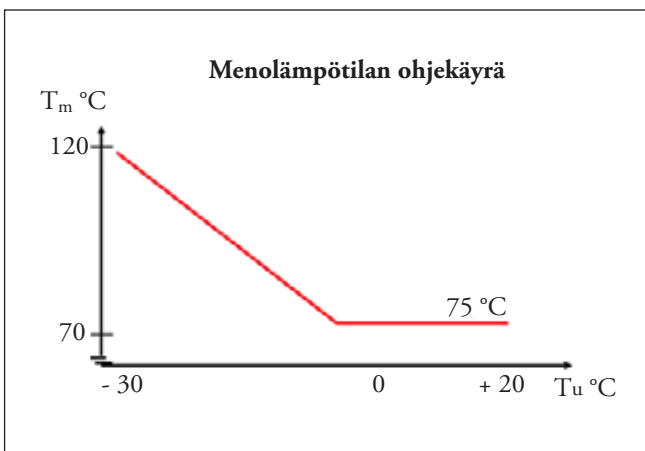
Kaukolämpöjärjestelmää säädettäessä tärkeimmät ohjattavat tekijät ovat paine-ero kaukolämpöverkoston meno- ja paluuputkien välillä ja verkoston menolämpötila. Paine-eroa säädetään pumppauksella niin, että verkoston alhaisimman paine-eron vaikutusalueella asiakkaalla on käytettävissään minimipaine-ero 60 kPa. Verkoston menolämpötilaa säädetään kattilalaitoksen polttoaineen tehon säädöllä aina kulloisenkin ulkolämpötilan edellyttämään lämpötilaan. Tehon säätö tapahtuu kattilaan syötettävän polttoaineen määrää säätämällä.



Kuva 8: Kaukolämmön tuotannon tehonsäätö ja verkoston pumppauksen säätö

Kaukolämpöveden menolämpötilan ylärajan määrittävät verkoston suunnittelulämpötila, CHP- tuotannon vaatimukset ja lämpöhäviöiden minimointi. Seuraavassa kuvassa on esitetty esimerkin omainen kaukolämmön menoveden (T_m) ohjekäyrä ulkolämpötilan (T_u) funktiona.

Kaukolämpöveden ylin menolämpötila tuotantolaitoksilta on normaaleissa käyttötilanteissa 115 °C . Kesäaikaisen kaukolämpöveden menolämpötilan määrää lämpimän käyttöveden valmistus. Käyttöveden lämmönsiirtimen ensiöpuolen mitoituslämpötila on 70 °C . Voi olla tapauksia, joissa esimerkiksi joku teollisuuslaitos tarvitsee lämpimämpää kaukolämpövedettä prosessissaan, jolloin kesäaikainen menoveden lämpötila voi olla korkeampikin kuin tavanomainen 70 °C .



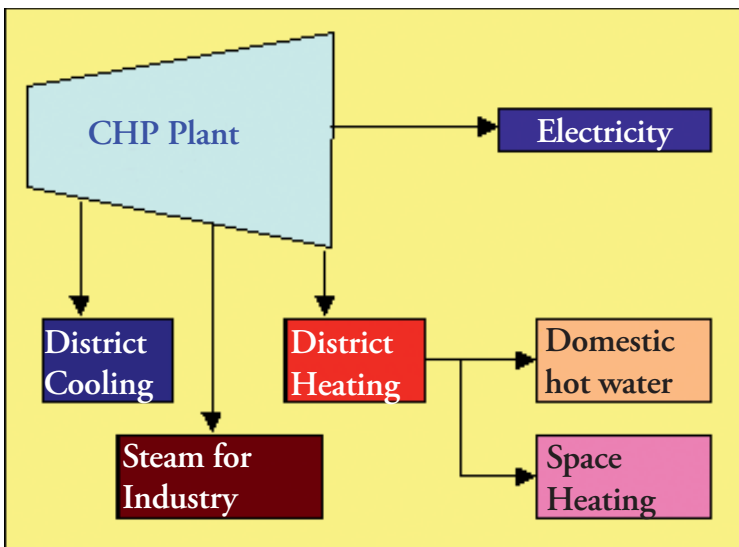
Kuva 9: Kaukolämmön menoveden lämpötilan (T_m) ohjearvo tuotantolaitoksella

3.2 Lämmöntuotantolaitokset

Lämmöntuotantolaitos, lämmitysvoimalaitos tai lämpökeskus sisältää käsitteenä muitakin laitteita kuin kattilan ja polttimen. Laitokseen kuuluvat polttoaineiden käsittely- ja varastointijärjestelmä, tuhkan käsittely, automaatiojärjestelmät sekä kattila- ja kaukolämpöveden pumppausjärjestelmät. Lisäksi tuotantolaitoksilta huolehditaan koko kaukolämpöverkoston paineenpito- ja paisuntajärjestelmästä.

3.2.1 Yhdistetty lämmön ja sähkön tuotanto

CHP-laitoksessa tuotetaan sähköä ja lämpöä samassa prosessissa, jolloin polttoaineen käyttö on mahdollisimman tehokasta. CHP-tuotanto voi perustua höyryprosessiin, kaasuturbiiniprosessiin tai moottorivoimalaitokseen. Höyryprosessissa on höyrykattila, jonka tuottama höyry ohjataan höyryturbiinin läpi tuottamaan sähköä ja sen jälkeen kaukolämmön tuotantoon lämmönsiirtimissä. Kaasuturbiiniprosessissa voi olla joko lämmönsiirrin savukaasujen lämmön talteen ottamiseksi kaukolämmöksi tai erillinen jätelämpökattila. Jätelämpökattila voi olla myös höyrykattila, jossa voi olla lisäpoltto, ja näin kaasuturbiinilaitos voidaan yhdistää höyryturbiiniprosessiin. Moottorivoimalaitoksessa tuotetaan sähköä generaattorilla, ja moottorin jäähdytysvedestä ja savukaasuista tehdään lämmönsiirtimien avulla kaukolämpöä.



Kuva 10: Höyryprosessiin perustuvan yhdistetyn sähkön ja lämmöntuotannon periaate⁴

⁴ Institutional Handbook for Combined Heat and Power Production with District Heating, Prepared by Arto Nuorkivi, Lic. Tech., Researcher, Helsinki University of Technology Energy Economy and Power Plant Engineering for Baltic Sea Region Energy Co-operation (BASREC 2002), December 2002

Kuvassa on esitetty höyryturbiini ja sen liittyminen eri prosesseihin. Samasta voimalaitosprosessista saadaan turbiinin pyörittämän generaattorin avulla sähköä sekä höyryä ja lämpöä erilaisiin prosesseihin. Turbiinista saadaan eri lämpötiloissa ja paineissa olevaa höyryä aina kulloisenkin tarpeen mukaisesti.

Seuraavassa kuvassa on esitetty Oulun ammattikorkeakoulun sähköä ja lämpöä tuottava moottorivoimalaitos, joka käyttää polttoaineenaan puu- tai biokaasua.



Kuva 11: Moottorivoimalaitos⁵

Kuvan voimalaitoksen sähköteho on 55 kW ja polttoaineteho noin 200 kW. Kaukolämpöä saadaan laitoksen savukaasuista ja moottorin jäähdytysvedestä. Laitos on asennettu konttiin, jolloin sitä voidaan siirtää tarvittaessa eri käyttöpaikkoihin.

3.2.2 Lämpökeskukset

Lämpökeskusten tehtävänä on tuottaa kuumaa vettä kaukolämpöverkkoon kaukolämpöasiakkaiden tarpeisiin. Lämpökeskukset voivat toimia joko peruskuormalaitoksina, huippulämpökeskuksina tai varalaitoksina. Lisäksi on olemassa siirrettäviä lämpökeskuksia. Lämpökeskuksessa voi olla yksi tai useampia kuumavesikattiloita.

⁵ Oulun ammattikorkeakoulu, www.sivut

Siirrettävä lämpökeskus (SLK) on yleensä teholtaan muita lämpökeskuksia pienempi, jopa alle 1 MW:n tehoinen. Siirrettävä lämpökeskus on nimensä mukaisesti väliaikainen lämmön tuotantolaitos, jota käytetään yleensä uudella kaukolämpöalueella toiminnan alkuvaiheessa, ennen kuin kaukolämpöverkosto on saatu alueelle rakennettua. Seuraavassa kuvassa on esitetty tyypillinen öljy- tai kaasukäyttöisen lämpökeskuksen kuumavesikattila.



Kuva 12: Kiinteän lämpökeskuksen kattila ja yhdistetty öljy- kaasupoltin (5 MW)

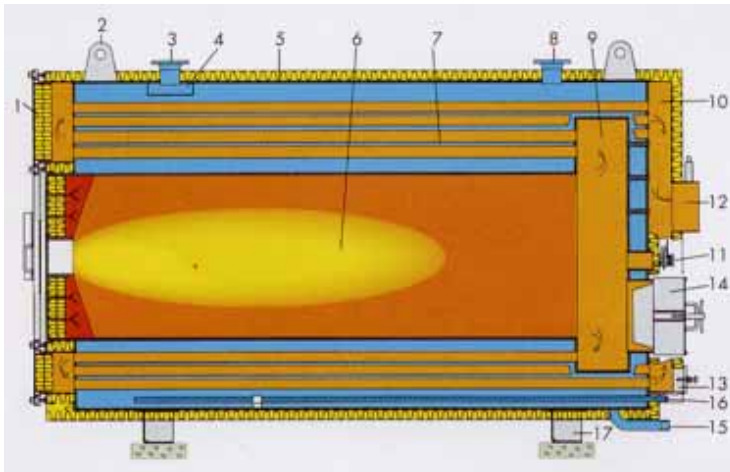
Kuvassa on esitetty tulitorvi-tuliputkikattilaan asennettu yhdistelmäpoltin, jonka polttoaineena voi olla joko maakaasu tai öljy. Poltinta ei ole vielä liitetty maakaasuverkkoon.

Lämpökeskus voi toimia kaukolämpöverkostossa joko yhdessä muiden tuotantolaitosten kanssa tai yksin verkon ainoana tuotantolaitoksena. Lämpökeskuksessa tarvitaan kuumavesikattilan lisäksi joukko muita laitteita ja komponentteja.

Lämpökeskuksen pääosat ovat:

- Kuumavesikattila tai -kattilat
- Polttoaineen käsittelylaitteet
- Kaukolämpöveden pumppauslaitteet
- Paisunta- ja paineen ylläpitolaitteet
- Vedenkäsittelylaitteet
- Kattilan ja lämpökeskuksen automaatio- ja instrumentointilaitteet
- Energian mittauslaitteet jne.

Seuraavassa kuvassa on esitetty tyypillisen öljy- tai kaasupolttoaineille tarkoitetun kuumavesikattilan rakenne.



1. Etuluukku
2. Nostokorva
3. Kattilaan tuleva vesi
4. Veden ohjauslevy
5. Eristys
6. Tulitorvi
7. Tuliputki
8. Kattilasta lähtevä vesi
9. Lieskakammio
10. Nokikaappi
11. Tirkistysaukko
12. Savusola
13. Puhdistusluukku
14. Räjähdyks-/kulkuluukku
15. Tyhjennysputki
16. Pohjalämmitysytde
17. Jalusta

Kuva 13: Tulitorvi-tuliputkikattila⁶

Tulitorvi-tuliputkikattila on rakenteeltaan kompakti verrattuna kiinteän polttoaineen kattiloihin. Kattilassa polttoaine palaa tulipesänä olevassa tulitorvessa ja savukaasut johdetaan putkien ja kääntökammioiden kautta savupiippuun. Vesi ja savukaasuvirrat kulkevat vastavirtaan. Vesi on putkien vaippapuolella. Seuraavassa kuvassa on esitetty kivihiltä polttoaineenaan käyttävä kattila, joka on osa suurempaa peruskuormalämpökeskusta.



Kuva 14: Kiinteän polttoaineen 20 MW:n kattila kiinalaisessa lämpökeskuksessa (kivihili)

⁶ FR16 Lämmityskattilan esite

Kuvan mukainen vesiputkikattila arina-tyyppisellä polttolaitteistolla varustettuna soveltuu hyvin kiinteiden polttoaineiden käyttöön. Lisätietoja lämpökeskuksista ja niiden varusteista löytyy mm. Energiateollisuus ry:n kaukolämmön lämpökeskuksia käsittelevistä suosituksista.⁷

3.3 Lämmöntuotantolaitosten mitoitus

Kaukolämmön tuotantolaitteiden mitoituksessa pyritään energian optimaaliseen kokonaistuotantoon. Kokonaistuotannossa huomioidaan kaukolämmön lisäksi sähköntuotanto ja mahdollinen kaukojäähdytyksen tuotanto. Kaukolämmön tuotanto perustuu lämpöteholtaan erikokoisten lämmitysvoimalaitosten ja lämpökeskusten yhdistelmään. Näiden laitosten käyttöön ja käyttöaikoihin (laitosten ajoon) vaikuttavat asiakkaiden tehontarve ja verkoston siirtokapasiteetti sekä polttoaineiden hintasuhteet.

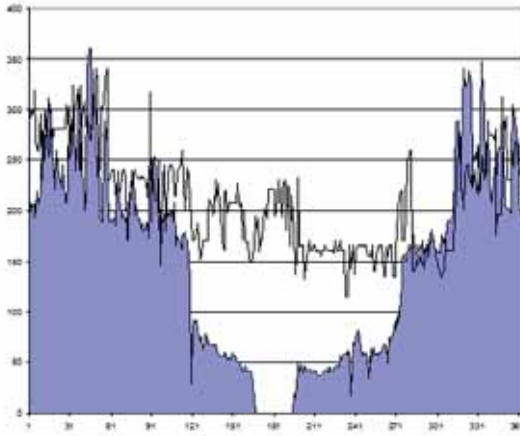
Optimointiin vaikuttavat käytettävät polttoaineet eri tuotantolaitoksissa ja polttoaineiden hinnat. Lisäksi tuotannon tehokkuus on merkittävä tekijä laitosten suunnittelussa ja käytössä. Laitosten mitoitukseen vaikuttavia tekijöitä ovat asiakkaiden tehontarve ja tehontarpeen vaihtelu. Lisäksi lämpöhäviöt ja lämmön omatarveteho vaikuttavat mitoitukseen. Laitosten mitoituksessa tulee aina ottaa huomioon yhdistetyn sähkön ja lämmöntuotannon mahdollisuus ja siihen varautuminen. Lisäksi erilaiset tulevaisuuden suunnitelmat kaukolämpötoiminnan laajentumisen osalta tulee huomioida pitkän tähtäyksen suunnittelussa.

Lämmöntuotantolaitosten mitoituksessa on huomioitava, miten peruskuorman tuotanto tullaan järjestämään ja tuleeko yhdistetty sähkön ja lämmön tuotanto jossakin vaiheessa ajankohtaiseksi. Entistä pienemmän kokoluokan CHP-laitokset ovat tulleet kannattaviksi ja niitä on enemmän tarjolla kuin aiemmin. Kattilalaitokset, niiden tyyppi ja koko tulee suunnitella osana kokonaisuutta. Lisäksi mahdollinen teollisuuden jätelämpö ynnä muut lämmöntuotantomahdollisuudet tulee ottaa suunnittelussa huomioon. Huippukuorman tuotanto ja sijoittelu sekä varalaitosten mitoitus ja sijainti tulee suunnitella osana kokonaisuutta.

3.3.1 Kulutuksen vaihtelu ja pysyvyyskäyrä

Kaukolämmön tarve vaihtelee huomattavasti vuodenaikojen mukaan. Tavanomaisessa suomalaisessa kaupungissa kesäajan tehontarve on noin 10 % tammikuun huipputehosta. Tuotettu teho mitataan tyyppillisesti tuntitehona. Seuraavassa kuvassa on erään venäläisen voimalaitoksen mittaustulokset vuorokauden keskittehoina.

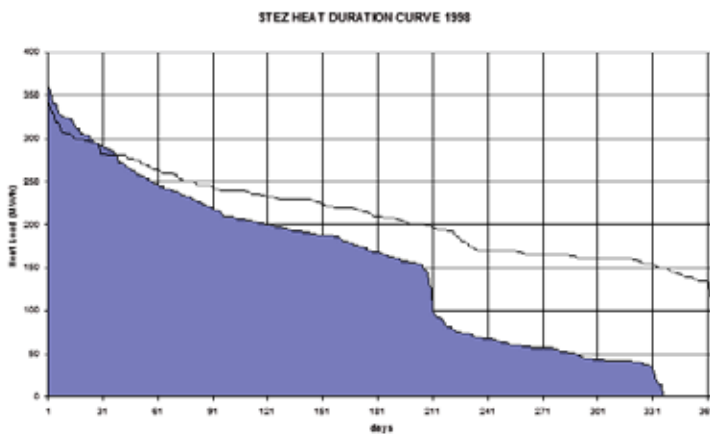
⁷ Suositus H17/2010 Öljy- ja maakaasulämpökeskukset, Suositus: Kotimaista polttoainetta käyttävien 0,5...30 MW kattilalaitosten tekniset ratkaisut sekä palamisen hallinta, 2012



Kuva 15: Vuoden lämmön ja sähkön tuotanto (1998)⁸

Kuvassa kaukolämpöteho on värjätty siniseksi. Kuvasta nähdään, että tuotanto ja samalla kaukolämmön jakelu on ollut pysäytettyä noin kuukauden ajan keskikesällä. Nykyisin myös asiakkaiden käyttämää kaukolämmön kulutusta mitataan usein tuntitasolla.

Tällaisesta seurantakuvasta voidaan tutkia tehontarpeen vaihteluja eri ajanjaksoilla. Tätäkin paremman kuvan asiasta saa, kun yllä olevat mittaustiedot järjestetään suuruusjärjestykseen ja muodostetaan pysyvyyskäyrä (seuraava kuva). Pysyvyyskäyrästä nähdään, kuinka monta tuntia vuodessa kulutus tai tehontarve on ylittä tarkasteltavan tehon. Tällöin voidaan erilaisten tuotantolaitosten suuruus ja käyttötarve mitoitaa ja suunnitella. Seuraavassa kuvassa on päivittäiset mittaustiedot, mutta yleisemmin ja tarkemmassa mitoituksessa käytetään tuntitason mittaustietoja.



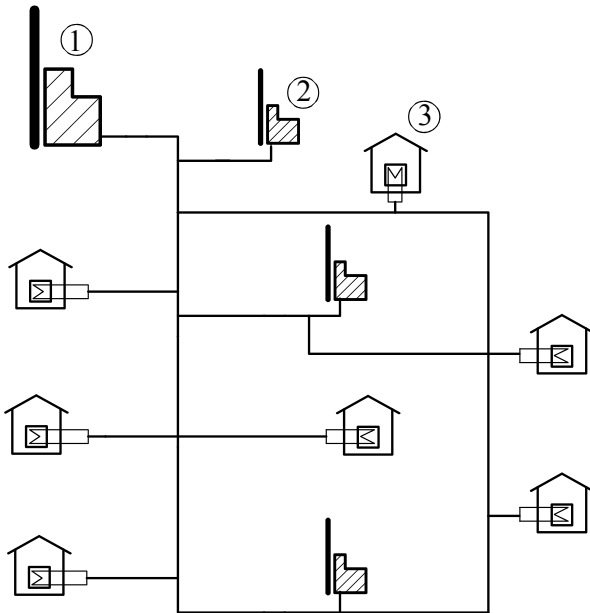
Kuva 16: Kaukolämmön ja sähkön pysyvyyskäyrä (1998)⁸

⁸ Tacis Erus 9703

Kuvasta nähdään koko kaukolämmön jakelun keskeytyminen kesäajalle. Tästä johtuen teho on nolla käyrän loppupäässä. Toinen porras venäläisessä pysyvyyssäyrässä johdetaan paikallisten määräysten mukaisesta lämmityskauden määrittelystä. Rakennusten lämmitys aloitetaan syksyllä vasta paljon myöhemmin kuin esimerkiksi Suomessa, jolloin asiakkailla jo olisi lämmitystarvetta. Lämmitys lopetetaan keväällä aikaisemmin, vaikka rakennuksissa todellisuudessa on vielä lämmitystarvetta.

3.4 Lämmöntuotantolaitosten yhtäaikainen käyttö

Seuraavassa käsitellään samassa verkostossa olevien useampien lämmöntuotantolaitoksen yhtäaikaisen ajon vaatimuksia ja perusteita. Alla oleva periaatekuva ilmentää tyypillistä kaukolämpöjärjestelmää Suomessa. Verkoston eri puolille on kytketty useita lämmöntuotantolaitoksia tuotannon optimoimiseksi ja varmistamiseksi.



Kuva 17: Periaatepiirros kaukolämpöverkostosta

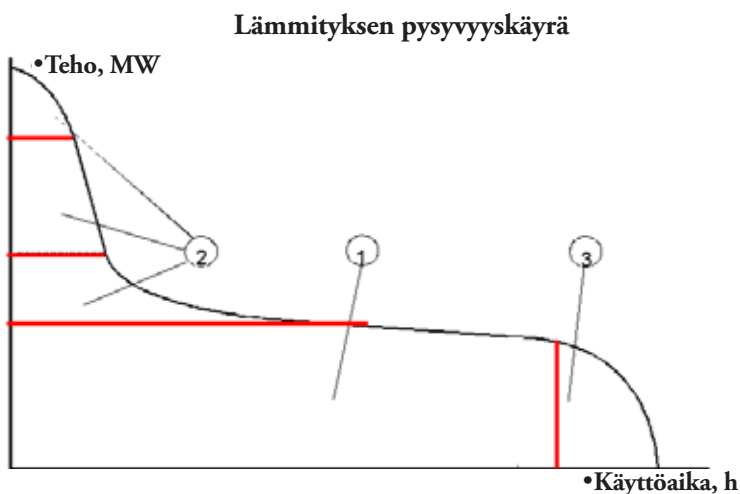
- 1 Lämmitysvoimalaitos
- 2 Huippu- ja varalämpökeskukset
- 3 Asiakas

Peruskuormalaitokset tuottavat pääosan vuotuisesta energiatarpeesta ja niiden käyttöaika suunnitellaan mahdollisimman pitkäksi. Peruskuormalaitokset voivat olla joko lämmitysvoimalaitoksia tai lämpökeskuksia. Suurimmissa kaukolämpöjärjestelmissä on useampia lämmitysvoimalaitoksia samassa verkostossa. Pienimmissä järjestelmissä peruskuormalaitos voi olla yksittäinen kiinteän polttoaineen lämpökeskus. Kummasakin tapauksessa tarvitaan myös huippu- ja varatehoa.

Huippu- ja varalämpökeskukset voivat periaatteessa sijaita missä kohtaa verkostoa tahansa. Tuotanto- ja käyttökustannusten optimoinnin kannalta niiden sijoitusta ohjaavat tehon- ja energiantarve, pumppauskustannukset sekä verkoston rakenne. Varatehon tarve tulee tarkastella erikseen.

Huippu- ja varatehosta osa saattaa sijaita lämmitysvoimalaitoksen tai päälämpökeskuksen yhteydessä, jolloin ne ovat jatkuvasti miehitettyinä. Lämpökeskuksia sijaitsee yleensä eri puolilla lämmitettävää aluetta, jolloin niiden sijainnin tulisi määrätä lämmön tuotannon ja jakelun optimointi. Kuitenkin historialliset seikat, kuten kaupungin laajeneminen vaikuttavat olemassa olevaan sijoitukseen. Lisäksi uusien lämpökeskusten osalta kaavoitus ja kaupunkikuvalliset näkökohdat vaikuttavat lämpökeskusten sijoituspaikkoihin yhdessä muiden ympäristövaatimusten kanssa. Lopputulos ei aina ole optimaalinen energian tuotannon kannalta.

Huippu- ja varakeskusten tuotantokapasiteetti riippuu asiakkaiden lämmöntarpeesta ja päätuotantolaitoksen mitoituksesta. Tuotantolaitosten optimoinnin tärkeys tulee esille varsinkin lämmitysvoimalaitosten kyseessä ollessa, jolloin sähkön tuotanto ja markkinatilanne vaikuttavat merkittävästi laitosten tuotantoon. Aiemmin optimointi oli yksinkertaisempaa, kun voitiin ajatella, että sähkö on laitoksen päätuote, jonka tuotanto piti varmistaa. Seuraavassa on kuvattu energiantuotannon jakautumista eri tuotantoyksiköiden kesken käyttäen pohjana kaukolämmön tarpeen pysyvyyskäyrää.



Kuva 18: Periaate lämmöntuotannon pysyvyyskäyrästä sekä tuotantolaitosten käytöstä

- 1 Lämmitysvoimalaitos (peruskuormalaitos)
- 2 Lämpökeskukset (huippukuorma)
- 3 Lämpökeskukset (kesäaika)

Pysyvyyskäyrällä esitetään, kuinka kauan vuodesta tehontarve on tarkasteltavaa tasoa suurempi. Pysyvyyskäyrä on itse asiassa uudelleen järjestettynä vuoden jokaisen tunnin tehontarve, silloin kun tarkastelu tehdään tunnin tehoina kuten kaukolämmössä ja sähköntuotannossa. Huipunkäyttöaika taas kuvaa aikaa, joka tarvittaisiin vuotuisen energiamäärän tuottamiseen todellisella huipputeholla. Kaukolämmössä huipunkäyttöaika on tyypillisesti noin 2500–3000 tuntia.

Optimoitaessa lämmitysvoimalaitoksen tehoa lämmöntuotannon näkökulmasta, on selvitettävä todelliset kokonaiskustannukset eri tuotantolaitosten käyttämien polttoaineen ja tuottaman energiamäärän kautta. Optimaalinen tuotanto saavutetaan, kun tuotetun energiamäärän kokonaishinta on alhaisin. Laskennassa on huomioitava sähkön ja lämmön huipputehot, pysyvyydet ja tuotantomäärät.

Optimaalisesti mitoitettu lämmitysvoimalaitos kattaa yleensä 40 - 60 % kaukolämmön huipputehosta. Tällaisella tehomitoituksella saavutetaan yleensä yli 90 %:n osuus kaukolämpöenergian vuosituotannosta sekä noin 70 %:n osuus kaupungissa tarvittavan sähkön tuotannosta. Optimointi on suoritettava tapauskohtaisesti kaikissa tapauksissa sähkön ja lämmön tarpeen sekä tuotantokustannusten perusteella. Erikoiskohteiden, kuten teollisuuden energian ja tehon tarpeet poikkeavat usein merkittävästi keskimääräisestä yhdyskunnan kulutusprofiilista.

3.4.1 Huippu- ja varalaitosten polttoaineista

Monissa tapauksissa huippu- ja varalaitokset käyttävät polttoaineenaan öljyä tai maakaasua, johtuen lähinnä toimintavarmuudesta ja kaukokäynnistyksen helppoudesta. Kyseessä olevat laitokset toimivat yleensä miehittämättöminä. Usein huippulaitosten polttoaineena käytetään myös samoja kiinteitä polttoaineita kuin peruskuormalaitoksessa. Lämpökeskuksen käytön laajuus vaikuttaa huomattavasti valittavaan polttoaineeseen. Tyypillistä varalämpökeskuksille on lyhyt vuotuinen käyttöaika, jolloin niiden polttoainekustannuksilla on hyvin pieni merkitys energian tuotannon kokonaiskustannuksiin.

3.4.2 Lämmöntuotantolaitosten yhteiskäytön periaatteet

Huippu- ja varalaitokset täydentävät peruskuormalaitosten tuotantoa. Nykyisistä vara- ja huippukuormalaitoksista osa on toiminut kaukolämmityksen aloitusvaiheessa alueellisina peruskuormalaitoksina. Ne ovat tuottaneet asiakkaiden tarvitseman lämpöenergian siihen saakka, kunnes yhteistuotannon edellytykset ovat täyttyneet tai runkoverkosto alueelle on rakennettu.

Käytettäessä useampia lämmöntuotantolaitoksia yhtä aikaa samassa verkostossa on huomioitava, että lämmönjakokeskuksessa kaukolämpöveden virtausmäärä vaihtelee, riippuen hetkellisestä tehontarpeesta lämmitykseen, ilmastointiin tai lämpimän käyt-

töveden tuottamiseen. Laitosten yhteiskäyttö:

- Kaikkien lämmöntuotantolaitosten lähtevän kaukolämpöveden lämpötila tulee olla säädettyinä samalle tasolle
- Ainoastaan yhden lämpökeskuksen tehoa säädetään tehontarpeen muutoksia vastaavasti, muilla ajetaan kiinteällä kuormalla. Suurin lämpökeskus vastaa usein tehonsäädöstä, koska se pystyy yleensä vastaamaan laajimmalla tehoalueella asiakkaiden tehontarpeen vaihteluihin. Yhteistuotannossa, mikäli sähköntuotannon maksimointi on tavoitteena, CHP-laitos ei voi olla säätövastuussa lämmitystehontarpeelle, vaikka onkin yleensä suurin tuotantoyksikkö verkostossa. Lämmitysvoimalaitosta ajetaan tällöin vakioteholla sähköntarpeen mukaan. Tällöin säädöstä huolehtii joku lämpökeskus.

Lämpökeskusten käynnistämisyjärjestys on etukäteen suunniteltava huomioiden tarvittava tehollisuus ja kustannustehokkuus kussakin tapauksessa. Säättävänä yksikkönä toimivan lämpökeskuksen on omattava riittävä tehoalue kyetäkseen toimivaan tehon säätöön kaikissa ennakoitavissa käyttöolosuhteissa. Kun tehontarve kasvaa yli säätövaran, käynnistetään uusi tuotantolaitos, ja säättävä yksikkö vastaavasti pienentää tehoa. Lopputilanteessa säättävä keskus huolehtii tehontarpeen vaihteluista verkostossa, ja uusi tuotantolaitos on siirtynyt vakioteholle.

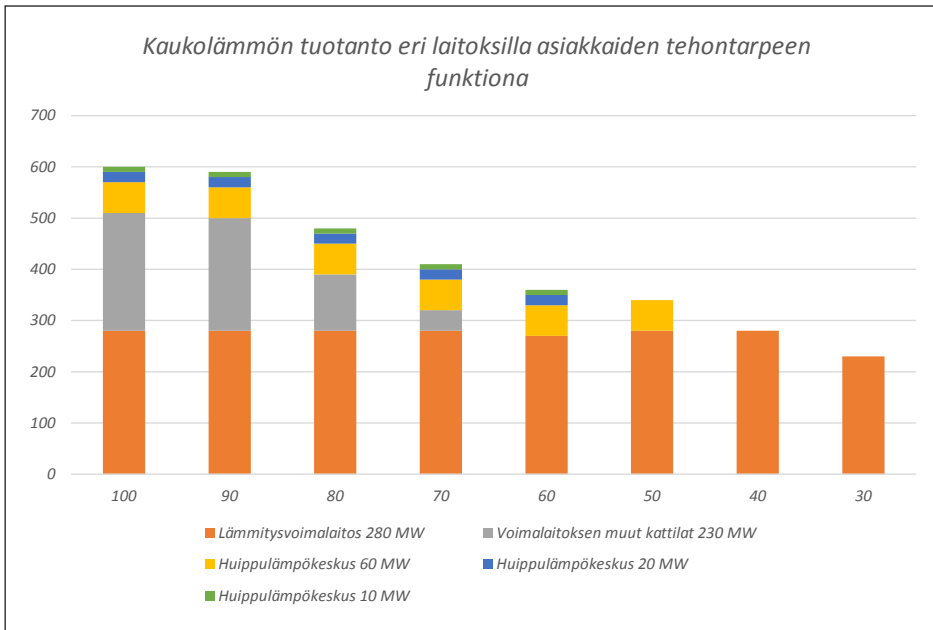
Lämmöntuotantoa säädetään myös paine-eron avulla, jota mitataan virtausteknisesti verkoston vaikeimmista paikoista, jotta kaikille asiakkaille saadaan varmistettua riittävä, vähintään 60 kPa:n paine-ero.

3.4.3 Huippulämpökeskusten käyttö

Asiakkaiden tarvitsema kaukolämpöenergia tuotetaan peruskuormalaitoksilla ja huippulämpökeskuksilla. Kun jollakin alueella kaukolämpötoiminta alkaa erillisverkostona, huippulämpökeskus voi toimia alkuvaiheessa tämän alueen päälämpökeskuksena. Tällöin huippukeskuksen tehon on vastattava asiakkaiden tehontarvetta kaikissa ulkoilman olosuhteissa. Joskus tällaisissa tilanteissa aivan alkuvaiheessa käytössä olleet siirrettävät lämpökeskukset jäävät joksikin aikaa alueen huippu- ja varalämpökeskukseksi.

Huippukeskusten käytön minimoimiseksi voidaan kaukolämpöverkoston lämpötilaa hieman nostaa esimerkiksi yön aikana, jolloin verkostoa käytetään lämpövarastona vähentämään muiden laitosten käynnistystarvetta. Kaukolämpöjärjestelmässä esiintyy joitakin tällaisia säännönmukaisia tehohuippuja kuten aamuiset ilmastointijärjestelmien käynnistyksistä ja yölämpötilojen pudotusten kompensoinnista johtuvat tehohiiput. Merkittävin aamuhuippu ajoittuu maanantaiaamuihin, jolloin lähinnä toimistorakennusten viikonloppujen alennetut lämpötilat ajetaan lyhyessä ajassa taas ylös. Myös erillisiä lämpöakkuja käytetään kaukolämpöverkostossa vähentämään lämpötehon tarpeen vaihtelusta aiheutuvia lämpökeskusten käynnistyskustannuksia.

Seuraavassa kuvassa on esitetty erään kaukolämpöjärjestelmän eri tuotantolaitosten käyttösuunnitelma lämmityskaudelle. Kesäaikana, jolloin kaukolämmön tehontarve on noin 10 % talven maksimista, tuotanto hoidetaan erillisillä huippulämpökeskuksilla.



Kuva 19: Kaukolämmön tuotanto lämmityskaudella eri lämpökeskuksilta yhteistuotannon kaukolämpötehon tehon ollessa 280 MW_{th}.

Kuvan mukaisessa tapauksessa lämmitysvoimalaitoksen kapasiteetti on noin 30 % asiakkaiden huipputehon tarpeesta. Tilanne ei välttämättä ole optimaalinen, vaan lämmöntarve kaupungissa on kasvanut vuosien varrella uusien asiakkaiden liittymisen ansiosta. Nykyisessä tilanteessa voimalaitos voi olla lähes koko lämmityskauden käynnissä ja tuottaa liki maksimiteholla sähköä. Huippulämpökeskuksia ajetaan niiden tehoalueiden ja hyötysuhteiden mukaisessa järjestyksessä. Huippulämpökeskus (60 MW) pidetään suurimman osan vuodesta täydellä teholla, sillä se on uusin ja tehokkain lämpökeskus.

3.4.4 Varalämpökeskukset

Skandinaviassa varakeskusten yhteisteho mitoitetaan olemassa olevan tehontarpeen mukaisesti. Käytettävissä olevien varalämpökeskusten tuotantokapasiteetin on oltava vähintään yhtä suuri kuin suurimman käynnissä olevan tuotantoyksikön eli yleensä peruskuormalaitoksen kapasiteetti.

Varalämpökeskuksia käytetään usein huipputehon tuottajina lämpötehon suurissa vaihteluissa, kuten aamuisin. Lämmön jakelulle tämä on pieni riski, sillä kyseisessä ajotilanteessa varateho on suunniteltua pienempi.

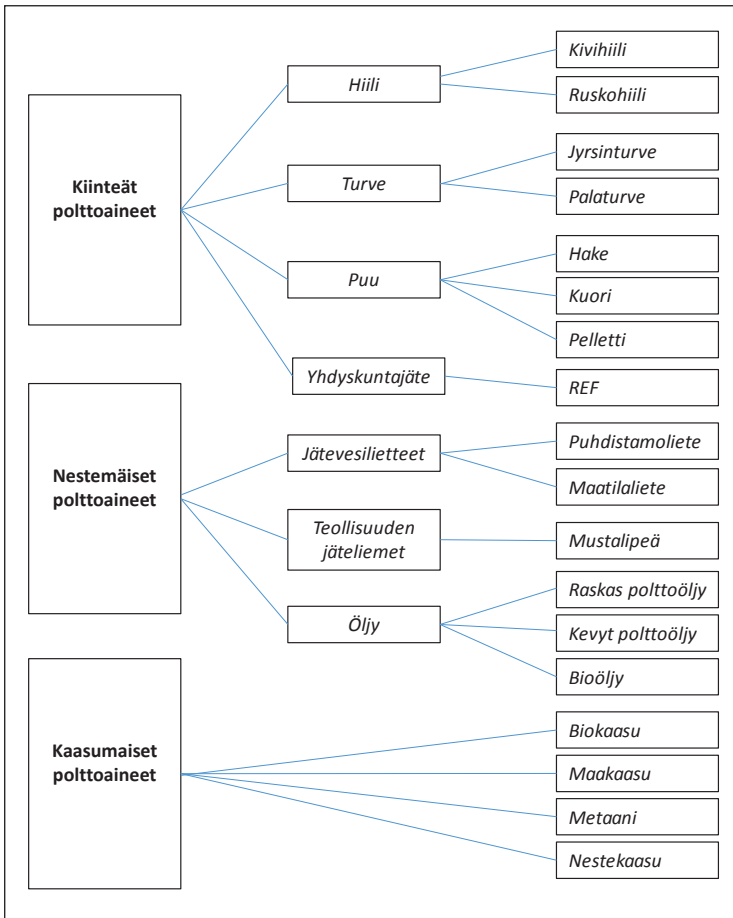
Varalämpökeskukset kytketään verkostoon yleensä siten, että seisontajaksolla koko kaukolämpöverkoston vesivirta ei kulje kattilalaitoksen läpi, vaan lämpökeskus on verkoston rinnalla valmiustilassa. Tällöin pieni lämmittävä vesivirta ohjataan lämmityskattilan läpi käynnistyksen nopeuttamiseksi ja korroosio-ongelmien välttämiseksi. Valmiustila tarkoittaa sitä, että lämpökeskus on käynnistysvalmiina joko kauko-ohjauksella automaattisesti tai manuaalisesti avaamalla verkostovenitit ja käynnistämällä lämpökeskus automaatiojärjestelmästä.

3.5 Polttoaineet

Yleistä

Kaukolämmön tuottamiseen voidaan käyttää useita eri polttoaineita joko yhdessä tai erikseen. Kaukolämmityksessä pääpolttoaineita ovat Suomessa puu, maakaasu, turve ja kivihili. Teollisuuden prosessilämpöä hyödynnetään myös kaukolämmön lähteenä.

Kaukolämmitys mahdollistaa lähes kaikkien ajateltavissa olevien polttoaineiden käytämisen. Eräs kaukolämmityksen merkittävistä eduista on juuri erilaisten polttoaineiden käytön mahdollisuus, jonka avulla polttoainekustannuksia voidaan optimoida. Erilaisten polttoaineiden käytön avulla voidaan myös vaikuttaa kaukolämmön päästöihin ja muihin ympäristövaikutuksiin.



Kuva 20: Polttoainevaihtoehto

Polttoainevalinta riippuu paljolti tuotantolaitoksen sijainnista ja sen lämpötehosta. Aikaisemmin valinnan pääkriteeri oli polttoaineen hinta, mutta nykyisin ympäristön tarpeet ja -suojaus ovat nousseet voimakkaasti esiin polttoainevalintaa päätettäessä. Viimeaikainen kehitys on johtanut yhä useammin uusiutuvien polttoaineiden ja biopolttoaineiden käyttöön fossiilisten polttoaineiden asemesta. Syynä tähän kehitykseen on ollut pyrkimys vähentää haitallisten kasvihuonekaasujen ja päästöjen määrää lämmöntuotannossa.

Suomessa on puupolttoaineiden käyttö lisääntynyt huomattavasti. Puuteollisuuden jätetä puu haketetaan ja metsien hakkujätteet kerätään haketusta varten talteen. Puuaines, joka aikaisemmin jätettiin metsään maatumaan, on nykyisin rahanarvoista polttoainetta. Ympäristövaikutuksiltaan puun polttaminen ja maatuminen ovat samanarvoisia tapahtumia, sillä maatuessaan ja palaessaan puusta vapautuva kaasumäärä on sama, joka taas puun kasvaessa sitoutuu uusiin kasvaviin puihin. Puun tuhkaa voidaan käyttää eli kierrättää metsä- ja maataloudessa osana luonnollista ja kestävästä kehityksestä ja kasvusta.

Perustettaessa uutta kaukolämpöaluetta lämmöntuotanto aloitetaan yleensä siirrettävällä lämpökeskuksella, jonka polttoaineena pääsääntöisesti on kevyt polttoöljy tai maakaasun jakelualueella maakaasu. Toiminnan laajentuessa tulevat kuvaan mukaan muutkin polttoaineet, ja suurempien kaukolämpölaitosten lämmöntuotanto tapahtuu yhdessä sähköntuotannon kanssa mahdollisimman edullista ja ympäristöä vähän kuormittavalla polttoaineella tuotettuna.

3.5.1 Fossiiliset polttoaineet

Fossiiliset polttoaineet ovat muodostuneet maatumalla kasvien ja eläinten jäänteistä.

Maakaasu

Maakaasu sisältää pääasiassa metaania (CH_4), jota Suomeen toimitetaan Venäjän kaasukentiltä. Fossiilisista polttoaineista maakaasu on vähiten ympäristöä kuormittava. Maakaasu ei sisällä rikkiä, hiukkasia eikä raskasmetalleja, joten sen käytöstä ei synny lainkaan rikkidioksidi-, hiukkas- tai raskasmetallipäästöjä. Maakaasun käytöstä aiheutuvat hiilidioksidipäästöt (CO_2) ovat nekin muita fossiilisia polttoaineita pienemmät. Energialähteenä maakaasu on tehokas, ja sitä hyödynnetään korkealla palamishyötysuhteella. Maakaasun siirtohäviöt ovat olemattoman pienet.

Maakaasua käytetään niin lämmitysvoimalaitoksen kuin lämpökeskustenkin polttoaineena. Käyttöä rajoittaa lähinnä vain kaasun jakeluputken sijainti tuotantolaitokseen nähden. Jakeluputken rakentamiskustannus ja kaasun kulutusmäärä ovat päätekijät kaasun hyödyntämisen arvioinnissa. Maakaasun energiasisältö on keskimäärin noin 35 MJ/m^3 .

Raakaöljy

Raakaöljy on vanhoista eloperäisistä jäännöksistä syntynyt, satojen hiilivetyjen ja erilaisten epäpuhtauksien seos. Raakaöljystä saadaan tislaamalla eroteltua eri tarpeisiin sopivia polttoaineita. Tislauskolonneissa kaasut nousevat ylös, keskitisleet kuten bensiini, petroli ja kaasuöljy saadaan kolonnin keskivaiheilta ja raskaimmat pohjaöljyt jäävät alaosaan kolonnin. Raakaöljy ei sellaisenaan sovellu polttoaineena käytettäväksi.

Kevyt polttoöljy

Kevyttä polttoöljyä käytetään lähinnä siirrettävien sekä huippu- ja varalämpökeskusten polttoaineena. Kaukolämpötoimintaa aloitettaessa tai uusia kaukolämpöalueita rakennettaessa kevyt polttoöljy on lähes ainoa kyseeseen tuleva polttoaine helpon varastoitavuutensa ja kuljetettavuutensa ansiosta. Siirrettävän lämpökeskuksen yhteydessä voi olla samalla kuljetusalustalla myös pieni öljysäiliö, jolloin käyttöönotto on helppoa. Polttoprosessi on luotettava ja korkean hyötysuhteen omaava oikein säädetty. Kevyen polttoöljyn käyttöä kuitenkin rajoittaa suhteellisen korkea ja paljonkin vaihteleva hintataso. Kevyt polttoöljy on fossiilinen polttoaine ja sen käyttö lisää kasvihuonepäästöjä. Kevyen polttoöljyn energiasisältö on noin $42,5 \text{ kJ/kg}$, toisin sanoen noin 10 kWh/litra .

Raskas polttoöljy

Raskas polttoöljy oli aikaisemmin suurehkojen lämpökeskusten, jopa voimalaitosten polttoaine. Sittemmin sen asema pääpolttoaineena on pudonnut huomattavasti sitä mukaa kun yleinen huolenpito ympäristön tilasta on kasvanut. Nykyisin raskasta polttoöljyä käytetään edelleen pieniä määriä esimerkiksi lämmitysvoimalaitosten varapolttoaineena helpon varastoitavuutensa takia. Polttotekniikan automatisointi on jonkin verran vaativampaa kuin kevyen polttoöljyn kohdalla, mutta prosessin hyötysuhde on samalla, hyvin korkealla tasolla. Raskaan polttoöljyn energiasisältö on yli 40 kJ/kg. Raskas polttoöljy lisää kasvihuonekaasujen määrää, vaikka sen suurin rikkipitoisuus on saatu laskettua alle 1 %:iin. Raskaan polttoöljyn palamispäästöistä pahimmat ilman, veden ja maaperän happamointia lisäävät tekijät ovat rikkidioksidi ja typen oksidit. Useissa valtioissa viranomaiset ovat asettaneet veroja palamisen erilaisille päästöille ohjatakseen käyttämään ympäristöystävällisempiä polttoaineita.

Hiili

Hiili on käyttökelpoinen lämmönlähde, mutta sen käsittely on hankalaa, ja nykyiset päästövaatimukset rajaavat sen käytön ainoastaan suurin voimalayksiköihin. Hiiltä on edullisuutensa takia käytetty pitkään sähköntuotannossa sekä yhteistuotannossa lämmön kanssa. Hiilen käyttö vaatii suuret varastointialueet ja hyvät kuljetusyhteydet. Hiilen käyttö lisää myöskin ympäristön kuormitusta kasvihuonekaasujen muodossa. Nykyisin hiilivoimalat on varustettu tehokkailla savukaasujen puhdistimilla päästöjen minimoimiseksi. Edellä mainitusta haitoista huolimatta hiilen edullinen hinta ja hyvä energiasisältö, yli 25 kJ/kg, pitävät sen vielä jatkossakin yhtenä tärkeimmistä energian tuotannon polttoaineista.

Liuskeöljy ja -kaasu

Liuskeöljyllä tarkoitetaan öljy- ja kaasuliuskeesta tuotettavia keveitä nestemäisiä hiilivetyjä, eli ne ovat fossiilisia polttoaineita. Liuskekaasu on varastoitunut liuskekiven sisälle yli 2 km:n syvyyteen. Liuskeöljyn ja -kaasun tuotannon ovat mahdollistaneet uudet tuotantomenetelmät, vaakasuora poraus ja niin sanottu vesimurto. Nykytekniikka on ollut käytössä Yhdysvalloissa vuodesta 1998 lähtien.⁹

Liuskekaasu on tavallista maakaasua, joka on varastoitunut kivien rakoihin ja huokosiin, toisin kuin ”normaalimaakaasu” (konventionaalinen maakaasu), joka on varastoitunut yleensä suurempina esiintyminä, ”taskuina”. Itse asiassa liuskekaasu on maakaasun alkuperäinen lähde, josta kaasu on virrannut muun tyyppisiin esiintymiin. Kaasu voi olla varastoituneena alueelliseen makrohuokoismatriisiin liuskeen sisälle tai liuskeen mikrohuokosiin.¹⁰

⁹ Timo Tunturi, Juuso Seilonen, Antti Karjalainen, Liuskeöljy ja -kaasu, seminaariraportti, Energiatekniikka, 16.1.2014

¹⁰ Sakari Kela, Pekka Peltari, Liuskekaasu, seminaariraportti, Energiatekniikka, 09.09.2013

3.5.2 Uusiutuvat polttoaineet

Uusiutuviin polttoaineisiin luetaan metsien harvennustähteet, teollisuuden jättepuu, maatalouden oheistuotteet kuten olki, yhteiskunnan kiinteät jätteet ja jätteet erilaisista teollisuuden prosesseista. Erittäin hitaasti uusiutuva kotimainen polttoaine on turve. Uusiutuvat polttoaineet eivät lisää ilmastomuutoksen aiheuttavia kasvihuonekaasuja kuten hiilidioksidia ja typen oksideja. Toisin sanoen niiden päästöt ovat yhtä suuret maatuessaan luonnonmukaisesti kuin poltettaessa energiantuotannon yhteydessä.

Puu

Pääosa biopolttoaineista on joko puuta tai teollisuuden tai metsänparannuksen jättepuuta hakkeena. Metsänparannuksen jättepuusta tehdyn hakkeen lämpöarvo kuiva-aineessa on noin 18,5 - 20 MJ/kg. Saapumiskosteana lämpöarvo on noin 6 - 9 MJ/kg. Kuiva-aineen lämpöarvo on sama myös kokopuuhakkeessa tai runkopuusta tehdystä hakkeesta. Saapumistilan kosteus vaihtelee, jolloin myös lämpöarvo vaihtelee.

Suurimman erän puupohjaisesta energiatuotannosta muodostaa soodakattiloissa poltettava selluntuotannon jäte-energia. Metsähake on lähinnä puiden oksista ja latvustoista haketettua polttoainetta. Sahateollisuuden synnyttämä sahanpuru sekä puun kuoriaines hyödynnetään joko sahan kuivaamojen lämmitykseen tai lähikaupunkien kiinteän polttoaineen kattiloissa. Puu, kuten muutkaan biopolttoaineet eivät lisää ympäristökuormitusta.

Puupelletit

Pelletit ovat lieriönmuotoisia, läpimitaltaan 6 - 12 mm ja pituudeltaan yleensä muutama kertaa pellettien halkaisijan verran eli noin 10 - 30 mm. Pellettien kosteusprosentti on noin 10 % ja tuhkapitoisuus ainoastaan alle 0,7 %. Alhaisesta kosteudesta johtuen niiden lämpöarvo on n. 4,75 MWh/t eli 3,1 MWh/i-m³. Pellettien energiatiheys on biopolttoaineiden joukossa omaa luokkaansa, ja siksi niiden hieman pidemmällekin kuljettaminen kannattaa. Puuhakkeeseen verrattuna niissä on 3 - 4 kertaa enemmän energiaa tilavuusyksikköä kohti. Öljyyn verrattaessa yhden kevytpolttoöljykuutiometrin sisältämää energiamäärää varten tarvitaan kolme kuutiometriä pellettejä.



Kuva 21: Puupellettejä

Biokaasu

Biokaasun koostumus on pääosin metaania ja hiilidioksidia. Biokaasun koostumus on tyypillisesti metaania (CH₄) noin 60 %, hiilidioksidia (CO₂) 38 %, hieman rikkivetyä (H₂S) sekä yhteensä noin 2 % happea (O₂), typpeä (N₂), vetyä (H₂) ja häkää (CO). Biokaasu on kaasuseos, jota syntyy eloperäisen aineksen hajotessa hapettomissa olosuhteissa. Hapen puuttuessa hajoaminen tapahtuu mädäntymällä anaerobisten bakteerien vaikutuksesta. Hajoamisprosessin viimeisessä vaiheessa syntyy metaania metaanibakteerien hajotustoiminnan tuloksena.

Tärkeimpiä biokaasulähteitä ovat jätevedenpuhdistamojen lietteet, kaatopaikkojen hallittu kaasunkeräys, maatalouden lannat ja helposti hajoavat biomassat sekä elintarviketuotannon sivutuotteet. Peltokasveja voidaan myös viljellä biokaasun raaka-aineeksi. Uutta peltokasvien hyödyntämisessä on nurmesta saatavan biokaasun tuottaminen, josta on käynnissä useampia pilottiprojekteja.

Bioöljy

Pyrolyysiöljy, joka useimmiten tunnetaan bioöljynä, on orgaanisesta bioperäisestä raaka-aineesta valmistettua polttoainetta. Se on tummanruskeaa, juoksevaa nestettä, joka valmistetaan kaasuttamalla biomassaa hapettomissa olosuhteissa ja tämän jälkeen lauhduttamalla kaasuuntuneet komponentit nesteeksi. Lopputuotteena saatavalla bioöljyllä on monia etuja verrattuna kiinteisiin puupolttoaineisiin tai biomassoihin. Sen teholliseen lämpöarvoon perustuva energiatiheys on huomattavasti suurempi ja sen kuljetus ja käsittely on helpompaa ja kustannustehokkaampaa. Bioöljyllä voidaan myös suoraan korvata fossiilisten polttoöljyjen käyttöä energiantuotannossa.¹¹

Turve

Polttoturve on syntynyt muutaman vuosituuhannen aikana. Suomessa turve luokitellaan hitaasti uusiutuvaksi. Polttoaineena turvetta käytetään joko jyrshinturpeena tai palaturpeena. Polttoturpeen energiasisältö riippuu hyvin paljon sen sisältämästä kosteudesta. Turvetta käytetään paljon energiantuotannossa, jolloin käyttäjinä ovat pääasiassa voimalaitokset ja suuret lämpölaitokset.

Jyrshinturve tuotetaan jyrsimällä turvetta suon pinnasta ja kuivaamalla se tuotantokentällä varastoinnin avulla. Jyrshinturpeen raekoko on vaihteleva; se sisältää pölymäistä turvetta ja sen lisäksi erikokoisia turverakeita. Jyrshinturpeen kosteus on keskimäärin 46 - 47 %, ja se sisältää energiaa keskimäärin 2,8 MWh/t eli noin 9,9 MJ/kg.

Palaturve tuotetaan irrottamalla turvetta suosta 30 - 60 senttimetrin syvyydeltä ja muokkaamalla se koneilla käytetystä nostomenetelmästä riippuen paloiksi tai lainneeksi ja kuivaamalla sitä aumoissa tuotantokentällä.

¹¹ <http://www.greenfuelnordic.fi/biooljy> (hakupäivä 21.8.2014)

Palaturve on tasalaatuista, halkaisijaltaan se on 40 - 70 millimetriä ja pituudeltaan 50 - 200 millimetriä. Palaturpeen kosteus on keskimäärin 37 - 39 %, ja se sisältää energiaa keskimäärin 3,4 MWh/t eli noin 12,2 MJ/kg.

Muut biopolttoaineet

Muita biopolttoaineita ovat ruukohelpi ja olki. Peltobiomassasta voidaan kaasutuksen ja öljyn tuotannon lisäksi valmistaa myös pellettejä. Peltobiomassasta valmistettavat pelletit tarvitsevat lisäksi muuta polttoainetta, esimerkiksi puuta, jotta pelleteistä tulee koostumukseltaan toimivia.

Ruukohelpi sopii hyvin käytettäväksi turpeen, puun ja kivihiilen kanssa seospolttoaineeksi sekä leijupetikattiloihin että arinakattiloihin. Seospolton avulla vältetään ruukohelven tuhkasta aiheutuva kattilan liiallinen likaantuminen ja häiriöt tuhka-järjestelmissä ja leijutuksessa. Sopivina suurimpina seosmäärinä pidetään nykyisin seuraavan taulukon mukaisia osuuksia.

Taulukko 2: Ruukohelven seosmäärät

Seos	Ruukohelven energiaosuus
Ruukohelpi – puu	max. 10 %
Ruukohelpi – turve	max. 20 %
Ruukohelpi – turve – puu	max. 10 %, kun turpeen osuus on alle 50 %
Ruukohelpi – turve – puu	max. 15 %, kun turpeen osuus on yli 50 %

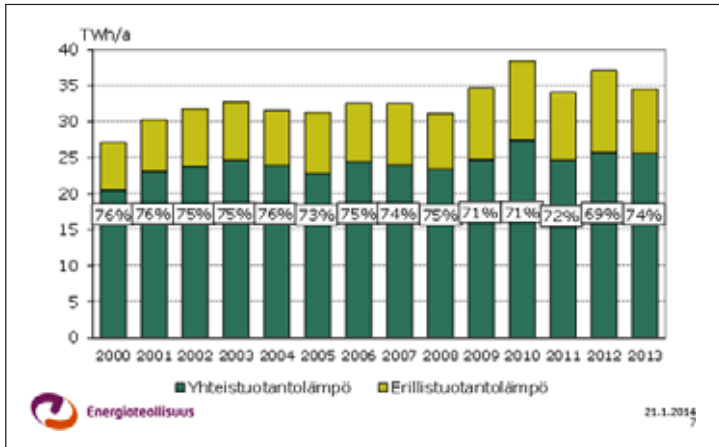
Oljen käyttökohteita ovat taajamien lämpökeskukset, maatilat ja pientalot. Oljen suuri tuhkapitoisuus ja pieni energiatiheys tekevät siitä kuitenkin puuta ja muita kiinteitä polttoaineita ongelmallisemmän polttaa. Suurin ongelma oljen hyväksikäytössä on tilavuus (30 - 40kg/i-m³) mikä vaikeuttaa varastointia ja tekee kuljetuksesta kallista. Olkea ja ruukohelpeä voidaan käyttää pellettien raaka-aineena yhdessä puun kanssa. Tällöinkin suuri tuhkamäärä voi aiheuttaa ongelmia polttolaitteissa.

3.5.3 Yhdyskuntajäte

Erilliskerätystä polttokelpoisesta jätteestä valmistettua polttoainetta kutsutaan nimellä REF (Recovered Fuel). Tällaisen polttoaineen etuna on jätteen sisältämän energian hyödyntäminen, ja samalla kaatopaikkasijoituksen tarve vähenee. Polttoaineessa saattaa olla haitallisia tai vaarallisia aineita kuten supermyrkyjä, PCDD/F-dioksiineja ja furaaneja, jolloin polttolaitteisiin ja -prosesseihin tulee kiinnittää erityistä huomiota.

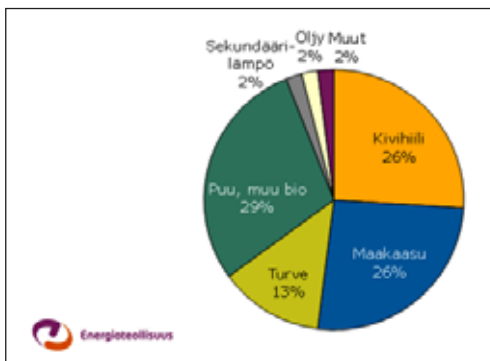
3.5.4 Polttoaineiden käyttö Suomessa

Seuraavissa kuvissa on esitetty kaukolämmön tuotantoon ja käytettyihin polttoaineisiin liittyvää tietoa Suomessa vuonna 2013¹². Ensin on tarkasteltu yhteistuotannon ja erillislämmön tuotantojen jakautumista 2000-luvulla.



Kuva 22: Kaukolämmön tuotanto ja yhteistuotannon osuus vuonna 2013

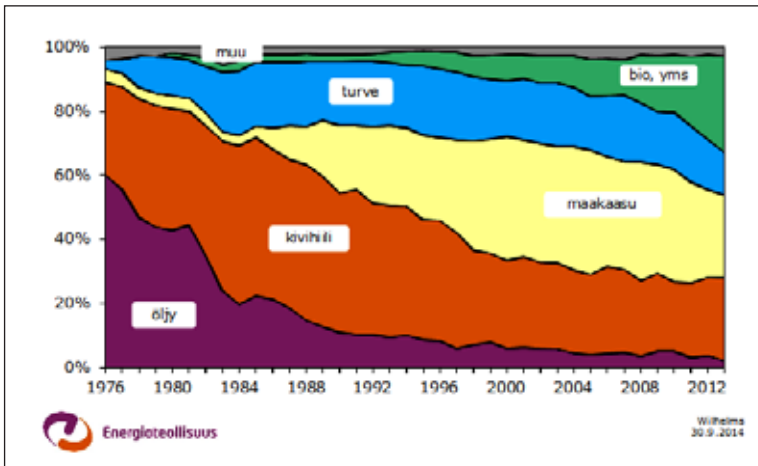
Kuvasta nähdään, että yhteistuotannon osuus Suomessa on jo vuosia ollut kansainvälisesti katsottuna huippuluokkaa, eli noin 75 %:n tasolla. Seuraavassa kuvassa ovat kaukolämmön ja siihen liittyvän sähkön tuotantoon käytettyjen polttoaineiden osuudet vuonna 2013.



Kuva 23: Kaukolämmön ja siihen liittyvän sähkön tuotantoon käytetyt polttoaineet v. 2013

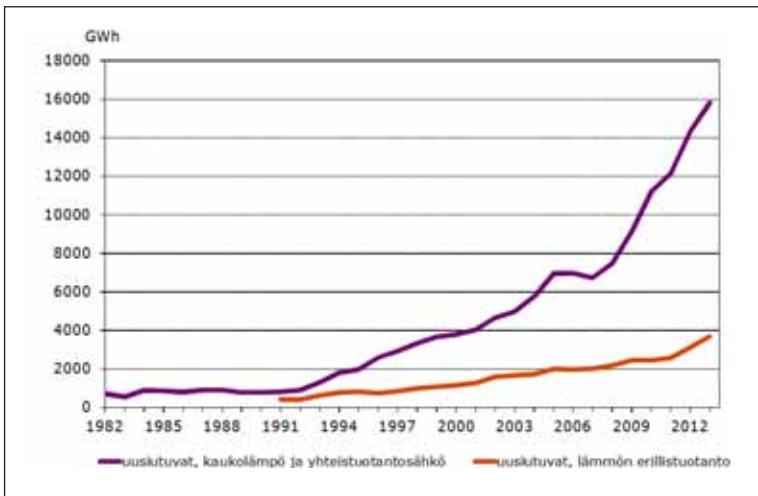
Kuvan mukaan vuonna 2013 kaukolämmön ja siihen liittyvän sähkön tuotannossa käytettiin eniten puu- ja biopolttoaineita. Seuraavassa kuvassa on esitetty eri polttoaineiden käytön kehittyminen Suomessa 1970-luvun puolivälistä alkaen.

¹² Energiateollisuus ry, Energiavuosi 2013, <http://energia.fi/kalvosarjat/energiavuosi-2013-kaukol-mp>



Kuva 24: Kaukolämmön ja siihen liittyvä sähkön tuotantoon käytetyt polttoaineet vuoteen 2013

Kuvasta nähdään selvästi, että öljyn osuus on laskenut voimakkaasti ja maakaasun sekä viime vuosina ennen kaikkea bioenergian käyttö on vastaavasti kasvanut. Aivan viime vuosina maakaasun käyttö on kääntynyt laskuun. Seuraavassa kuvassa on esitetty tarkemmin uusiutuvien polttoaineiden käytön kehitys Suomessa.



Kuva 25: Uusiutuvien polttoaineiden käyttö kaukolämmön ja siihen liittyvän sähkön tuotantoon sekä lämmön erillistuotantoon Suomessa¹³

Uusiutuvan polttoaineen käyttö kaukolämmön ja siihen liittyvän sähkön tuotannossa on kasvanut merkittävästi 2000-luvulla. Vuoden 2007 jälkeen kasvu on ollut erityisen voimakasta.

¹³ Energiateollisuus ry, Kaukolämpö 2013 graafeina (www.energia.fi)

3.6 Hajautettu lämmön ja sähkön yhteistuotanto

Tulevaisuudessa pienet ja keskiuuret CHP-laitokset tuottavat lämpöä paikallisiin verkostoihin tai osana suurempia kaukolämpöjärjestelmiä. Näissä pienen kokoluokan yhteistuotantovoimaloissa voidaan käyttää monia erilaisia tuotantotapoja ja polttoaineita. CHP-tuotantoon soveltuvat mikroturbiinit (höyry- ja kaasuprosessit), polttokennot ja orgaaniseen väliaineeseen perustuvat höyryprosessit (ORC-laitokset). Pelkkään lämmöntuotantoon voidaan käyttää erilaisia kattilalaitoksia kuten kaasukattiloita, hakekattiloita ja pellettilaitoksia. Polttoaineet voivat olla joko kiinteitä, nestemäisiä tai kaasumaisia polttoaineita. Useimmiten tavoitteena on energiantuotanto uusiutuvilla polttoaineilla. Hajautettuun energiantuotantoon liitetään usein myös lämpöpumppu-, aurinko- tai tuulienergiaan perustuvia osia.

Erityisesti pientuotannon osalta yhdistetyn sähkön- ja lämmöntuotannon etuna on korkea kokonaishyötysuhde verrattuna erillisiin pieniin yksiköihin. Sähköntuotannon osuus näissä laitoksissa vaihtelee 30 % molemmin puolin käytetystä tekniikasta riippuen. Pienen kokoluokan sähkön- ja lämmöntuotannolla (pien-CHP) tarkoitetaan yleensä pienvoimalaa, jonka sähköntuotantoteho on 1 - 2 MW. Lämpöteho on tällöin noin 3 - 5 MW. Joskus pien-CHP-laitoksen ylimmäksi nimellistehoksi katsotaan 10 MW.¹⁴

Mikro-CHP-laitoksen kokorajana sähköntuotannossa voidaan pitää yksivaiheisen tuotannon liittymisrajaa 16 A, joka vastaa tuotantolaitoksen maksimitehoa 3,68 kW. Kolmivaiheisena liitetylle tuotannolle tämä tarkoittaa maksimitehoa 11 kW jännitetasolla 400 V.

Mikrotuotantona voitaneen ajatella tuotantona, joka on tarkoitettu tuottamaan sähkö- ja lämpöenergiaa ensisijaisesti kulutuskohteen omaan käyttöön ja toissijaisesti verkkoon¹⁵. Tulevaisuudessa voidaan sähkön ja lämmöntuotantoa osittain hajauttaa pieniin laitosyksiköihin. Pienet laitokset eivät kokonaan korvaa suuria laitosyksiköitä, vaan ovat tukemassa kaukolämmöntuotantoa ja tasaamassa kulutushuippuja.

3.7 Pumppaus

Kaukolämpöpumppuina käytetään yleisesti keskipakopumppuja. Pumput valitaan tarvittavan virtaaman ja nostokorkeuden avulla. Pumppuja ohjataan taajuusmuuttajilla ja ohjaukseen käytetään mittaustietoja kaukolämpöverkoston paine-eroista ja virtaamista. Pumppujen kierrosnopeutta säädettyä säädetään pumppauksen nostokorkeutta eli kaukolämpöverkoston paine-eroa ja vesivirtaa asiakkaiden tarpeen mukaisesti ja sähköenergian kulutuksen minimoimiseksi.

¹⁴ http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/lampo_ ja_ voimalaitokset/yhdistetty_sahkon_ ja_ lammon tuotanto (8.2.2014).

¹⁵ Sakari Kela, Matti Tölli, Arsi Häggman, Seminaariraportti: Hajautettu energiantuotanto, 19.2.2014

Kaukolämmön pumppaus hoidetaan lämmöntuotantolaitoksilta ja välipumppaamoista. Pumppaus säädetään siten, että kaikille asiakkaille saadaan toimitettua riittävästi energiaa pienimmillä mahdollisilla kustannuksilla. Tämä tarkoittaa sitä, että kaikkea pumppausta ei kannata tehdä voimalaitokselta käsin, vaan osa pumppauksesta kannattaa hoitaa välipumppaamoilla, jotka sijaitsevat verkostossa mahdollisimman hyvin soveltuviissa kohdissa.

Kaukolämpöverkoston painehäviökäyrä kuvaa verkoston painehäviöitä putkistossa. Tärkeimmät tekijät painehäviön muodostumisessa ovat putkikoko ja virtaavan veden määrä. Kaukolämpöverkossa painehäviö riippuu huomattavasti kaukolämpöveden jäähtymisestä, joka vaikuttaa suoraan vesivirran määrään alla olevan yhtälön mukaisesti. Verkossa virtaavan veden määrään ja siten tarvittavaan pumppaustehoon vaikuttavat siis eniten tehontarve ja kaukolämpöveden jäähtytys.

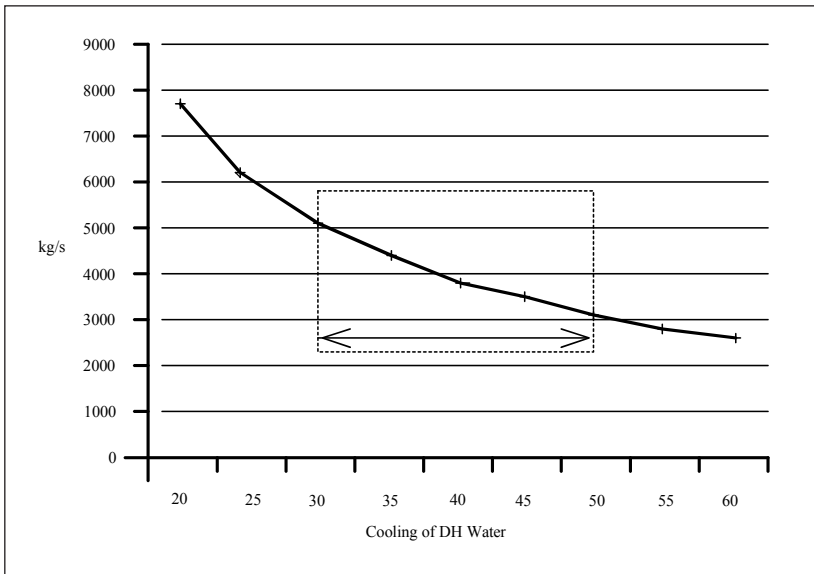
$$\Phi = \rho \cdot q_v \cdot c_p \cdot \Delta t \quad (1)$$

Φ	kaukolämpöteho, kW
ρ	kaukolämpöveden tiheys, kg/dm ³
q_v	kaukolämpöveden virtaama, dm ³ /s
c_p	kaukolämpöveden ominaislämpökapasiteetti, kJ/kg K
Δt	kaukolämpöveden meno- ja paluuveden lämpötilaero, K

Pumppauksen optimoinnissa on seuraavia reunaehtoja:

- Paine-ero asiakkaalla on oltava vähintään 60 kPa
- Paluuputkessa on oltava joka kohdassa verkostoa ylipaine
- Paluupaineen on oltava riittävä ennen jokaista pumppua, jotta pumppu ei kavitoi.
- Menolämpötilan maksimilämpötila on yleensä 120 °C. Huomioitava mahdolliset matalalämpötilaverkostot.
- Menopaineen maksimi on yleensä 16 bar. Huomioitava mahdolliset kevenneillä rakenteella olevat esimerkiksi 10 bar:n tai alhaisemman paineen verkostot.

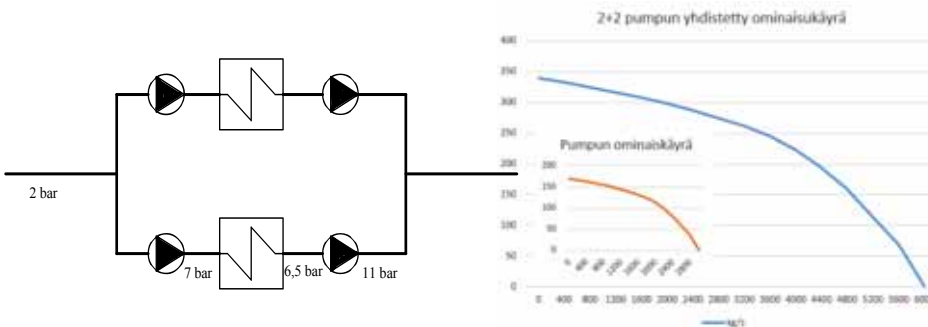
Seuraavassa kuvassa on esitetty esimerkki kaukolämmön verkoston virtaamasta jäähtymisen funktiona laskettuna erilaisilla meno- ja paluuveden lämpötiloilla eräällä voimalaitoksella. Kuvasta nähdään, että virtaama voi vaihdella noin 2500 kg/s:n arvosta aina lähes 7000 kg/s:iin asti, kun kyseessä on niin sanotut normaalit käyttöolosuhteet. Näistä pienempi arvo vastaa hyvin toimivaa suomalaista järjestelmää ja suurempi taas erittäin heikolla jäähtymyksellä toimivaa järjestelmää. Pääosa kaukolämpöjärjestelmistä toimii jossakin näiden välillä.



Kuva 26: Kaukolämmön virtaama jäähtymisen funktiona

Kuvassa on esitetty kaukolämpöveden jäähtymän vaikutus tarvittavaan kaukolämpövesivirtaan. Pumpppauksen suunnittelussa on tärkeää tietää todellinen kaukolämpöveden jäähtyminen, koska se vaikuttaa merkittävästi tarvittavaan pumpppauskapasiteettiin. Esimerkiksi yllä olevassa esimerkissä jäähtymisen pienentyessä 50 °C:sta 30 °C:een lisääntyy tarvittava virtaama 70 prosentilla noin arvosta 3000 kg/s arvoon 5000 kg/s. Pumpun valinnassa on erittäin tärkeää varmistua kaukolämpöverkoston todellisesta jäähtymästä.

Pumput voidaan asentaa tuotantolaitoksella monella eri tavalla. Yleisesti käytetty ja hyvin suositeltava tapa on asentaa ne sekä meno- että paluuputkiin. Lisäksi pumppujen asentaminen rinnan parantaa käytettävyyttä ja säädettävyyttä. Seuraavassa kuvassa on esitetty neljän pumpun kytkentä rinnan ja sarjaan.

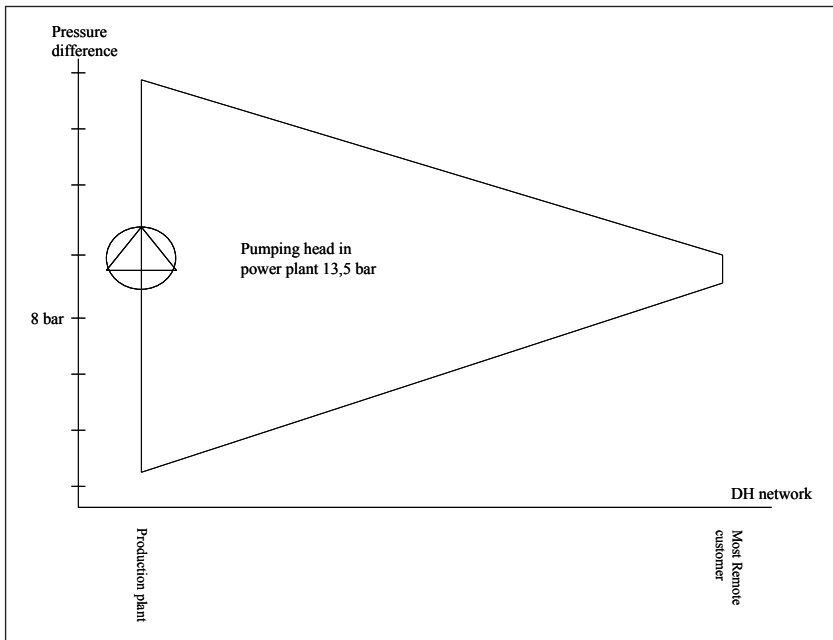


Kuva 27: Pumppujen rinnan ja sarjaan kytkentäesimerkki (2+2 pumppua)

Oikeanpuoleisessa kuvassa on esitetty yhden pumpun ja neljän samanlaisen pumpun ominaiskäyrät esimerkinomaisesti. Kuvien mittakaavat eivät ole täysin identtiset. Edellä olevalla järjestelyllä voidaan pumppuja käyttää joustavasti vastaamaan asiakkaiden tarvitsemaa, lämpötehosta riippuvaa vesivirtaa. Järjestelmällä voidaan ylläpitää tarpeen mukaista painetasoa asiakkaiden lämmönjakokeskuksissa kaikissa toimintaolosuhteissa. Vasemmanpuoleisen kuvan painearvot ovat esimerkkejä, ne vaihtelevat eri käyttötilanteissa.

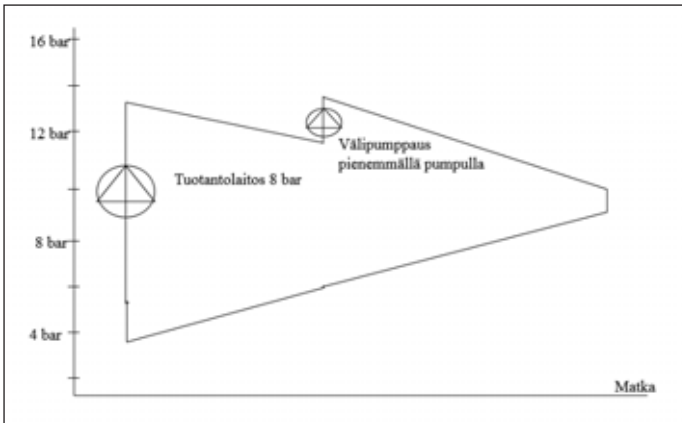
3.7.1 Välipumppaamot kaukolämmössä

Suurissa kaukolämpöverkostoissa on mielekästä käyttää välipumppaamoita yhden pumppausaseman asemesta. Välipumppaamoilla saadaan pumppauskustannuksia alennettua merkittävästi verrattuna yhdestä paikasta suoritettuun pumppaamiseen. Seuraavassa kuvassa on esitetty verkoston painehäviökuvaaja, kun käytetään vain voimalaitoksen pumppuja.



Kuva 28: Pumppaus ilman välipumppaamoita

Pumppauksen sähkönkulutus on pienempi käytettäessä pieniä välipumppaamoita verrattuna yhteen suureen pumppaamoon. Sähkötehon tarve on suoraan verrannollinen vesivirran kolmanteen potenssiin, $P \sim q_v^3$. Seuraavassa kuvassa on esitetty verkoston painehäviökuvaaja välipumppaamoita käyttäen.



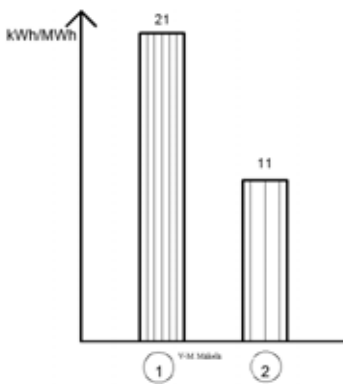
Kuva 29: Pumppaus välipumppaamon avulla

Kooltaan pienemmän välipumpun sähkötarve on selvästi pienempi kuin suurten voimalaitospumppujen.

Yksi mahdollisuus on käyttää huippu- ja varalaitoksia välipumppaamoina, silloin kun ne sijaitsevat pumppauksen kannalta oikeissa paikoissa. Molemmat pumppausjärjestelmät mahdollistavat pumppausenergian optimoinnin.

Esimerkki pumppauskustannuksista

Alla olevassa esimerkissä on kuvattu pumppauksen sähköenergian tarvetta tuotettua kaukolämpöenergiaa kohti eräässä venäläisessä kaukolämpöjärjestelmässä (kWh/MWh).



Kuva 30: Esimerkki kahdesta erilaisesta pumppausjärjestelystä

- 1 = Pumppaus ainoastaan lämmitysvoimalaitokselta (nykyinen järjestelmä, pumppaussähkön tarve 21 kWh/MWh)
- 2 = Saman vesimäärän pumppaaminen lämmitysvoimalaitoksen ja kolmen välipumppaamon avulla (tilanteeseen suositeltu uudistus, pumppaussähkön tarve 11 kWh/MWh).

Suomessa tyypillinen pumppaussähkön tarve on noin 6–7 kWh/MWh, johtuen välipumppaamojen ja lämpökeskusten pumppujen optimaalisesta käytöstä.

Tarkasteltaessa suomalaista noin 50 000 asukkaan esimerkkikaupunkia, jonka lämmön tarve on 500 GWh/vuodessa, ovat vastaavat sähköenergian tarpeet 10.500 kWh ja 5.500 kWh. Sähköenergian hinnalla 5 snt/MWh ovat vuotuiset pumppausenergian kustannukset 525.000 €/v ja 275.000 €/v eli säästö välipumppamoiden käytöllä olisi noin 222.500 €/v.

4 KAUKOLÄMMÖN JAKELU

4.1 Yleistä jakelujärjestelmästä

Jakeluverkostoon kuuluvat siirtojohdot, runkojohdot ja talojohdot. Kaukolämpöverkosto on tärkeä osa koko kaukolämpöjärjestelmää, sillä verkosto on se osa, joka mahdollistaa lopulta lämmöntuotannon keskittämisen yhteen tai useampaan lämmöntuotantolaitokseen. Verkoston sijoituksen suunnittelu ja putkiston mitoitus vaativat perehtymistä olemassa olevaan yhdyskuntatekniikkaan sekä tulevaisuuden visiointiin kaavoituksen ja kaupunkisuunnittelun antamien tietojen perusteella.

Kaukolämpöverkosto on kaukolämpöjärjestelmän kallein osa johtuen suuresta putkimäärästä ja sen takia huomattavista rakentamiskustannuksista. Suurista investoinneista johtuen on verkoston kestävyys ratkaisevassa asemassa kaukolämmityksen kannattavuudelle. Lisäksi, koska verkosto sijaitsee pääasiassa kaupunkien katualueilla, aiheutuu korjaus- ja kunnossapitotöistä kustannusten lisäksi haittaa liikenteelle ja muulle yhdyskunnan toiminnalle. Näistä syistä johtuen kaukolämpöverkoston tulee kestää käyttökuntoisena vähintään 30 - 50 vuotta. Parhaimmillaan kaukolämpöverkostot Suomessa kestävät jopa 70 - 100 vuotta.

4.2 Kaukolämpöverkosto

Suomalainen kaukolämpöverkosto koostuu meno- ja paluuputkesta. Nämä putket asennetaan yleensä maan alle yhdensuuntaisina. Jossain tapauksissa kaukolämpöverkostoa on rakennettu myös rakennusten sisälle ja erikoistapauksissa myös maan päälle sekä yhdistetty muihin rakenteisiin, kuten siltoihin. Seuraavassa kuvassa on esitetty rakenteilla oleva kaukolämpöjohto, joka koostuu kahdesta erillisestä polyuretaanilla eristetystä virtausputkesta suojakuorineen.



Kuva 31: Rakenteilla oleva kaukolämmön yhdysjohto

Pääosat kaukolämpöverkostossa ovat eristetyt putket ja erilaiset varusteet. Verkosto muodostuu siirtojohdoista, runkojohdoista ja talojohdoista. Siirtojohdot yhdistävät yleensä lämmöntuotantolaitokset, kuten lämmitysvoimalaitokset tai lämpökeskukset runkojohtoihin. Siirtojohtoina voidaan käsittää paitsi lämmöntuotantolaitosten siirtojohdot, myös eri alueiden väliset siirtojohdot.

Runkojohdot ja jakelujohdot jakavat kaukolämpöveden siirtojohdoista talojohdoin tai pienempiin jakelujohtoihin asiakkaille toimitettavaksi. Joissakin tapauksissa runko- ja jakelujohdot ovat yksi ja sama asia. Toisinaan jakelujohdoista käytetään nimitystä korttelijohdot. Talojohdot eli liittymisjohdot yhdistävät asiakkaan muuhun verkostoon.

Verkostovarusteita ovat aikaisemmin käsitellyt välipumppaamot. Muita varusteita ovat esimerkiksi venttiilit ja mittauslaitteet sekä erilaiset kiintopiste-, ohjaus- ja liikuntaelementit. Venttiilit voivat sijaita kaukolämpökaivoissa, verkostossa ja asiakkailla. Mittauslaitteilla hoidetaan virtaus- ja energiamittauksia, lämpötilamittauksia sekä paine- ja paine-eromittauksia.

4.3 Kaukolämpöverkoston suunnittelu

Kaukolämpöverkoston suunnittelun kokonaisuuden muodostavat yleissuunnittelu, putkiston mitoitus sekä tarkempi reitti- ja asennussuunnittelu.¹⁶ Teräsputkien seinämävahvuus riippuu verkoston mitoituspaineesta ja kaukolämpöveden mitoituslämpötilasta. Verkoston rakennevaatimukset on määritelty paineastialainsäädännössä ja Energiateollisuus ry:n suosituksissa.

Yleissuunnitelma tehdään yleensä useamman vuoden ajalle ja se sisältää yleiskuvan tarvittavasta uudesta verkostosta. Yleissuunnitelmassa tarkastellaan ennusteita uusien asiakkaiden liittymismääristä sekä kaavoituksen ja muun rakentamiseen liittyvän ohjauksen vaikutuksia lämmönjakelun tarpeisiin.

Uusien kaukolämpöjohtojen reitti- ja asennussuunnitelmissa tehdään yksityiskohtaiset suunnitelmat uusien verkostonosien rakentamiseksi. Näissä huomioidaan muun kunnallistekniikan vaikutukset kaukolämpöjohtojen sijoitteluun ja asentamiseen. Katu- ja kevyenliikenteen väylien rakentaminen ja sijoittelu vaikuttaa valittaviin johdoreitteihin ja verkoston osien mitoitukseen. Kaukolämpöjohtojen asennussuunnitelmiin kuuluvat sijoitussuunnitelman lisäksi johtojen poikkileikkauskuvat ja erityskohneiden detaljisuunnitelmat.

4.3.1 Kaukolämpöverkoston mitoitus

Kaukolämpöputkien mitoitus tehdään aina kulloisenkin verkoston osan tarpeiden mukaisesti. Siirrettävän tehon lisäksi merkittävimmät muuttuvat tekijät mitoituksessa ovat kaukolämpöveden jäähtymä eli meno- ja paluuputken välinen lämpötilaero ja lämpimän käyttöveden tehontarpeen vaihtelu ja sen huomiointi laskelmissa. Kaukolämpöveden jäähtymä vaikuttaa tarvittavan tehon siirtämiseksi vaadittavan vesivirran määrään. Kaukolämpötehon ja kaukolämpöveden jäähtymän välinen yhteys on kuvattu yhtälössä 1.

$$\Phi = \rho \cdot q_v \cdot c_p \cdot \Delta t$$

missä

Φ	kaukolämpöteho, kW
ρ	kaukolämpöveden tiheys, kg/dm ³
q_v	kaukolämpöveden virtaama, dm ³ /s
c_p	kaukolämpöveden ominaislämpökapasiteetti, kJ/kg K
Δt	kaukolämpöveden jäähtymä eli meno- ja paluuvien välinen lämpötilaero, K

¹⁶ Kaukolämmön käsikirja, Energiateollisuus ry

Tarvittava putkikoko saadaan laskettua vesivirran ja mitoituksessa käytettävän veden virtausnopeuden perusteella. Laskennallinen putkihalkaisija saadaan seuraavasta yhtälöstä:

$$d_{lask} = \sqrt{\frac{4q_v}{\pi v_{mit}}} \quad (2)$$

missä

d_{lask} laskennallinen putkihalkaisija, m

q_v kaukolämpöveden virtaama, m³/s

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

Mitoituksessa käytettävä virtausnopeus riippuu putkimateriaalista ja johdolle sallitusta painehäviöstä. Putkeksi valitaan sisähalkaisijaltaan seuraavaksi suurempi putkikoko putkitaulukosta. Putken valinnassa tulee huomioida myös laskennassa käytettävien lähtötietojen tarkkuus sekä mahdollinen tieto putken tulevasta käytöstä ja käytön muutoksista. Putkikoon mitoituksessa tulee huomioida yleissuunnitelmassa mahdollisesti olevat tehon lisäykset ja niiden aikataulut.

Lämpimän käyttöveden tehontarve ei ole jatkuvaa, vaan se vaihtelee satunnaisesti ja erilaisten vuorokausi- ja viikkorytmien mukaisesti. Yksittäisen kuluttajan tarvitsema käyttövesiteho vaikuttaa eri tavoin verkon eri osissa siirrettävän kokonaistehon määrään. Käyttövesiteho huomioidaan samanaikaisuuskertoimen avulla, eli huomioidaan tehojen risteilyn vaikutus siirrettävään kokonaistehoon. Samanaikaisuuskertoimen lisäksi käyttöveden vaikutus voidaan huomioida eri verkoston osien tarpeen mukaisesti, käyttäen esimerkiksi kokemusperäisiä kertoimia. Erilaisten asiakkaiden käyttöveden kulutusprofiilit poikkeavat toisistaan huomattavasti ja niiden vaikutus verkoston mitoitukseen on huomioitava. Asuinrakennusten käyttövesitehojen vaikutus tehontarpeeseen ja putkiston mitoitukseen on helpoimmin arvioitavissa. Asuinrakennusten käyttövesitehojen vaikutus voidaan arvioida luotettavasti samanaikaisuuskertoimien avulla. Erilaiset teollisuus- ja liikerakennusten käyttövesitehot ovat hyvinkin yksilöllisiä ja niiden vaikutus tulee huomioida erikseen.

Toisaalta putkikoon valintaa tehtäessä eri putkikokojen väliset erot siirrettävän tehon suhteen ovat niin suuret, että käyttövesitehojen tarkkaan analysointiin ei yleensä ole tarvetta. Tärkeimmät poikkeamat keskimääräisestä asiakaskunnasta kannattaa kuitenkin huomioida. Esimerkiksi suuret puutavaran kuivaamot käyttävät tehoa ja energiaa huomattavan tasaisesti ympäri vuoden verrattuna esimerkiksi asuinrakennuksiin.

Lisäksi putken sallittu painehäviö vaikuttaa putken mitoitukseen. Eri osissa kaukolämpöverkostoa voidaan kaukolämpöputkille sallia erilaisia mitoituspainehäviöitä. Talojohdot ovat kulloisenkin verkosto-osan viimeisimmät putket, jolloin niille voidaan sallia suurempi painehäviö kuin siirto- ja jakeluputkille. Verkoston latvaosissa, joissa on heikoimmat paine-ero-olosuhteet, tulee talojohdot mitoittaa väljemmin. Verkoston eri osien mitoituksessa voidaan käyttää seuraavia lähtöarvoja:

Talojohdot:

Talojohdot mitoitetaan aina kiinteistön todellisten tehontarpeiden ja toimintalämpötilojen mukaisesti. Uudisrakennuksissa käytetään LVI-suunnitelmissa annettuja teho- ja kaukolämpöveden lämpötilatietoja. Painehäviöksi talojohdoissa sallitaan pääsääntöisesti 1 - 2 bar/km eli 100 - 200 Pa/m.

Talojohdon mitoituksessa tulee huomioida erikseen kesä- ja talvitilanne. Kesällä kaukolämpöveden lämpötilaero on paljon pienempi kuin talvella, ja joissakin tapauksissa käyttöveden kesäaikainen virtaama on suurempi kuin lämmityksen mitoitustilanteessa vallitseva kokonaisvesivirta. Tällöin talojohto on mitoitettava vastaamaan kesän kaukolämpöveden virtausta.

Runko- ja jakelujohdot

Runko- ja jakelujohtojen putkien mitoituksessa huomioidaan lämpimän käyttöveden tehontarpeen risteily. Asuinkortteleiden ja muiden tyyppillisten kaukolämpöalueiden osalta risteily voidaan huomioida käyttämällä runko- ja jakelujohtojen mitoituksessa tuntista käyttövesitehoa. Jakelujohtojen loppupäässä mitoitus lähenee talojohtojen mitoitusta ja suurimmissa runkojohdoissa siirtojohtojen mitoitusta.

Kaukolämpöveden jäähtymänä runko- ja jakelujohdoissa käytetään 45 - 55 °C. Sallittu painehäviö on noin 1 bar/km. Sellaisissa verkoston osissa, jossa paine-eroa on kaikissa normaaleissa käyttötilanteissa runsaasti käytettävissä, mitoituspainehäviönä voi olla jopa 2 bar/km.

Siirtojohdot

Lämmöntuotantolaitosten siirtojohtojen mitoituksessa lämpimän käyttöveden risteily on niin voimakasta, että käyttövesiteho voidaan jättää käytännössä kokonaan huomiotta. Sen sijaan verkoston suunniteltua huonommasta jäähtymästä johtuen laskennassa käytetään verkoston lämpötilaerona 30 - 40 °C. Mitoituksessa käytettävä painehäviö on pääsääntöisesti 0,5 - 1 bar/km.

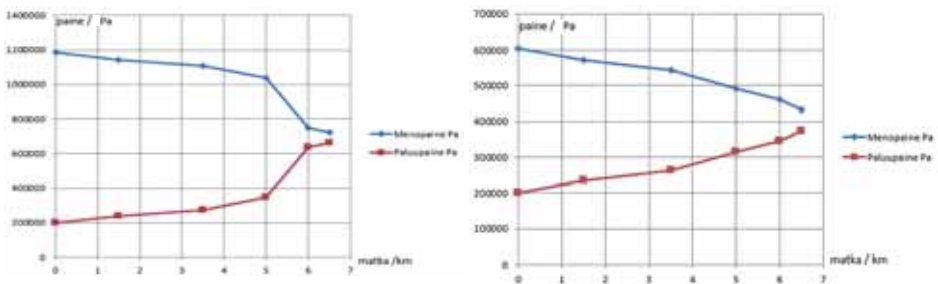
4.3.2 Verkoston painehäviölaskenta

Kaukolämpöverkoston hallinnan ja erilaisten käyttötilanteiden optimoimiseksi tarvitaan työkalu, jolla erilaisia tilanteita voidaan laskea ja simuloida. Laskennassa on tärkeää huomioida sekä verkoston paineen että lämpötilan muutokset ja niiden riippuvuudet. Painehäviöt eri tilanteissa vaikuttavat pumppauksen suunnitteluun ja käytön suunnittelulla voidaan vaikuttaa myös lämpöhäviöihin. Laskentaa tarvitaan esimerkiksi kaukolämpöjärjestelmän erilaisissa käyttötilanteissa, kuten kesä- ja talviajan laskennassa. Samoin eri tuotantolaitosten käyttö eri tilanteissa vaatii verkoston toiminnan tarkempaa analysointia.

Verkostolaskentaa tarvitaan välipumppaamoiden sijoituksen suunnittelussa ja käyttötilanteiden optimoinnissa. Samoin verkoston eri silmukoiden käyttö ja käyttäytyminen vaatii laskentaohjelmien käyttöä. Uusien verkoston osien suunnittelussa tarvitaan tehontarve- ja putkiston mitoituslaskentaa, joka auttaa investointien ajoituksessa.

Verkoston saneeraukset ja uusinnat ovat oma kokonaisuutensa, jossa verkoston tuntemus on erityisen tärkeää. Tähän kuuluvat esimerkiksi verkoston siirtokyvyn analysointi ja mahdollisesti tarvittavien uusien putkien mitoitus, niiden sijainnin suunnittelu sekä uusien silmukkajohtojen analysointi. Joskus verkoston sijoittaminen uuteen paikkaan tulee kyseeseen, jolloin tarvitaan myös koko verkoston analysointia.

Verkoston suunnittelussa ja olemassa olevan verkoston toimivuuden varmistamiseksi tarvitaan verkoston painehäviölaskentaa. Laskenta on paljon laskentakapasiteettia vaativaa, joten asianmukaisten tulosten saamiseksi tarvitaan tähän tarkoitukseen erityisesti suunniteltuja tietokoneohjelmia. Laskennan tuloksista saadaan selville eri verkostonosien mitoituksen toimivuus. Seuraavassa kuvassa on esitetty yksi verkoston painehäviölaskennan tulos.



Kuva 32: Esimerkki verkoston painehäviölaskennasta ennen ja jälkeen putkistousintaa

Kuvassa on esitetty kahdessa eri tapauksessa kaukolämmön meno- ja paluuputkien paineet voimalaitokselta viimeiselle asiakkaalle. Kuvista nähdään, että painekuvaajat molemmissa putkissa ovat symmetriset, eli meno- ja paluuputkessa on likimain yhtä suuri painehäviö.

Vasemmanpuoleisesta kuvasta havaitaan, että painehäviö noin kuuden ja seitsemän kilometrin kohdilla olevien pisteiden välillä on erityisen suuri. Se tarkoittaa, että kyseisellä välillä putket ovat liian pienet, ja ne tulisi ensi sijassa vaihtaa. Oikeanpuoleisessa kuvassa on laskennan tulos oikein mitoitetuilla putkilla. Tuloksista nähdään, että tarvittava pumppauksen nostokorkeus voimalaitoksella laskee noin 10 bar:sta likimain 4 bar:iin.

4.4 Kaukolämpöjohdot

Kaukolämpöjohdoissa käytettävät virtausputket on pääsääntöisesti valmistettu teräksestä. Tarvittava tehonsiirtokyky on mitoitusperusteena putkistolle. Meno- ja paluuputki ovat samankokoiset ja sijaitsevat vierekkäin. Joissain kaukolämpöyhtiöissä on käytetty myös kupariputkia varsinkin pientaloalueilla ja muoviputkia matalalämpöverkostoissa. Verkostorakenteen valintaan vaikuttavat myös rakennuspaikka, maaperäolosuhteet ja asiakkaiden tehontarve.

Kaukolämmityksen verkosto-olosuhteet:

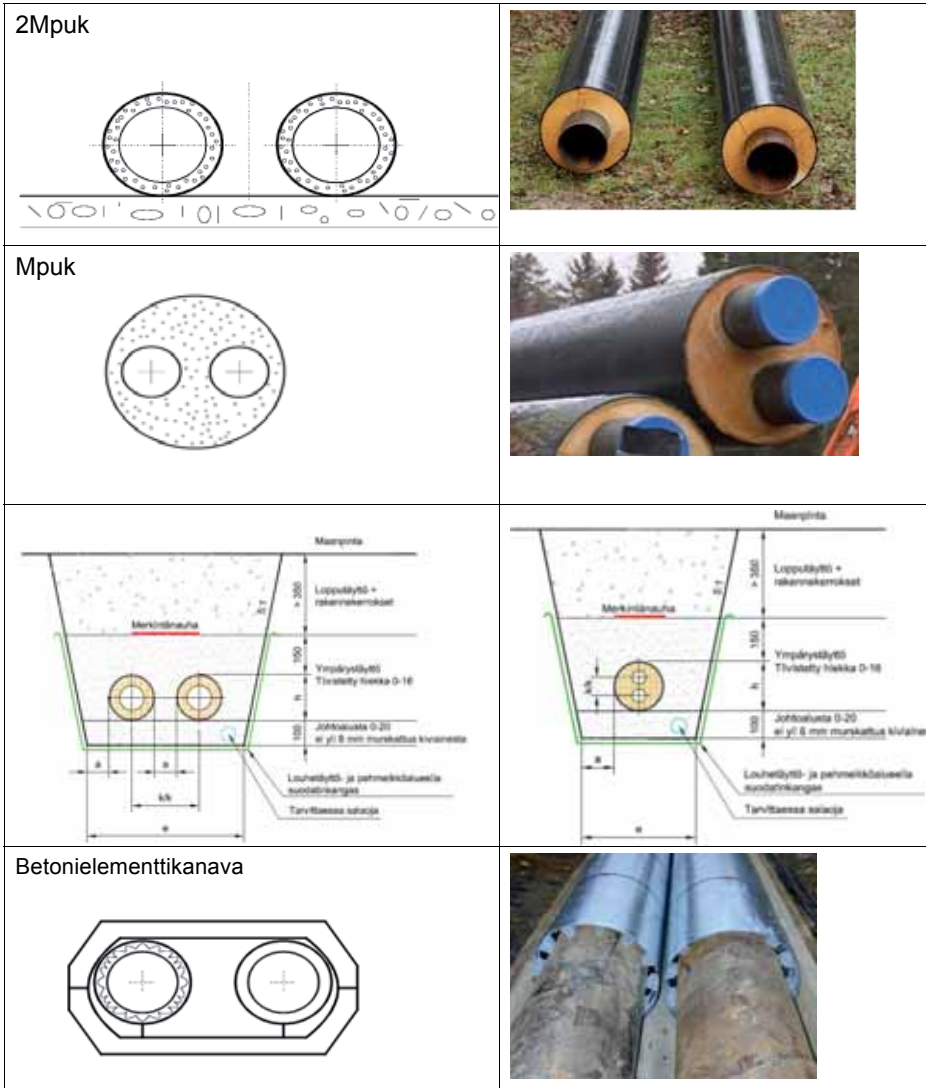
- Kaukolämpöputkiston suunnittelulämpötila suomalaisessa kaukolämmössä on 120 °C
- Kaukolämpöveden lämpötila ns. matalalämpöverkostossa on enintään 80 °C, mikäli putkimateriaalina on muovi. Eräin poikkeuksin lämpötila voi olla 90 °C tai 100 °C
- Suurin sallittu verkoston käyttöpaine on 1,6 MPa (16 bar). Joissain kevennyksissä kaukolämpöverkostoissa käytetään 10 bar:n mitoituspainetta myös 120 °C:een kaukolämpöjärjestelmissä
- Matalalämpöverkostoissa maksimipaine vaihtelee välillä 0,4–1 MPa (4–10 bar).

Suomessa käytetystä kaukolämpöputkista yli 90 % on teräsputkia. Teräksen etuina ovat hankintahinta ja perinteiset työmenetelmät. Suurimman uhan teräkselle aiheuttaa kanavarakenteisiin päässyt ulkopuolinen vesi, joka aiheuttaa putkien korroosiota ja kanavarakenteen vaurioitumisen.

4.4.1 Kaukolämpöjohtotyypit

Valtaosin kaukolämpöverkostot rakennetaan nykyisin tehdasvalmisteisista putkistöjärjestelmistä. Tehdasvalmis kaukolämpöelementti käsittää teräksisen virtausputken, lämpöeristeen (yleensä polyuretaani) ja suojakuoren (yleensä polyeteeniä).

Seuraavassa kuvassa kaksi ylintä tyyppiä ovat tehdasvalmisteisia putkistorakenteita. Ainoastaan alimpana olevan betonielementtikananan eristyksen ja pinnoituksen asennus tapahtuu työmaalla. Siinäkin voidaan käyttää valmiita esieristettyjä putkielementejä.



Kuva 33: Kaukolämmityksen kanavatyyppiä

- 2Mpuk (virtausputki eristetty polyuretaanilla ja pinnoitettu muovilla)
- Mpuk (kuten edellä, mutta virtausputket saman pinnoituksen sisällä)
- Tyypipiirustukset, kanavan poikkileikkaus (2Mpuk ja Mpuk)¹⁷
- Betonielementtikanava (virtausputki terästä, yleensä kourueristys) (kuvassa saaneeraus)

¹⁷ Energiategollisuus ry, Kaukolämpöverkoston suunnittelu- ja rakentamishjeet Suositus L11/2013

Polyuretaanieristeiset kaukolämpöjohdot

Kiinnivaahdotettuja rakenteita on kaksi; Mpuk ja 2Mpuk. Nimitykset johtuvat niiden rakenteesta. M tarkoittaa muovisuojakuorta (polyeteeniä), pu polyuretaanieristettä ja k kiinnivaahdotettua. Mpuk-rakenteessa on yhden (M) muovikuoren sisällä kaksi virtausputkea. 2Mpuk-rakenteessa on yhden muovikuoren sisällä yksi virtausputki, joten kaukolämpöjohdon rakentamiseksi tarvitaan kaksi (2M) muovikuorellista virtausputkea. Nykyisin rakennettavat polyuretaanieristeiset kanavat ovat kitkakiinnitetyjä rakenteita, joissa sallitaan lämpölaajenemisesta johtuvat jännitykset. Lämpöjännitykset saadaan hoidettua virtausputken, polyuretaanin, muovisuojakuoren ja maaperän välisen kitkavoimien avulla. Putkisto esilämmitetään ennen peittämistä noin 80-asteiseksi, joka vastaa keskimääräistä käyttölämpötilaa. Kitkavoimat riippuvat peittosyvyydestä, maan laadusta ja elementin ulkohalkaisijasta.



Kuva 34: 2Mpuk-elementtien jatkokset valmiina eristettäväksi

Polyuretaanieristeisille putkille on myös teräksinen kanavapäällyste. Se, valitaanko kanavapäällysteeksi muovia tai ohutta terästä, riippuu verkosto-olosuhteista ja rakenteelle asetetuista vaatimuksista. Teräspäällysteistä rakennetta käytetään usein betoni-elementtikanaavassa estämään ulkopuolisen kosteuden pääsy rakenteisiin.

Kaukolämpöputkia (Mpuk ja 2Mpuk) on saatavana suorina elementteinä sekä taipuisina putkikielpeinä. Näitä käytetään jossain määrin tavanomaisessa kaukolämpöjärjestelmässä ja varsinkin matalalämpöjärjestelmissä. Suorien elementtien materiaalina on pääosin teräs, mutta myös muovia ja kuparia käytetään. Taipuvien virtausputkien materiaaleja ovat Steel-Flex, PEX ja kupari.

Sekä Mpuk- että 2Mpuk-putkistöihin valmistetaan erilaisia verkoston osia tehdasvalmiina esieristettyinä elementteinä. Tällaisia ovat paljetasain- ja venttiilielementit, putkiston haaroitukset, supistukset sekä laajennukset. Asennuksissa tulee käyttää tehdasvalmisteisia osia. Seuraavassa kuvassa on esitetty joitain 2Mpuk-elementin tehdasvalmisteisia osia.



Kuva 35: Tehdasvalmiita kanavaelementtejä (kiintopiste ja venttiielementti)

Aikaisemmin oli käytössä myös polyuretaanieristeisiä kanavarakenteita, joissa teräsputket asennettiin niin, että niiden sallittiin lämpöliikkeiden johdosta liikkua eristyksen sisällä (Mpul). Tämä mahdollistettiin esimerkiksi lasikuituputkillä, jotka oli asennettu polyuretaanin vaahdotusvaiheessa. Vapaasti liikkuvilla putkilla rakennetut kanavarakenteet ovat olleet vaurioherkkiä, ja niiden asentaminen on loppunut, joten jatkossa käsitellään ainoastaan kiinnivaahdotettuja kanavarakenteita.

Betonielementtikanava

Nykyisin ei juuri asenneta uusia betonielementtikanavia. Aikaisemmin kaikki suurimmat johdot olivat tätä tyyppiä, joten niitä on edelleen runsaasti käytössä siirto- ja jakelujohtoina. Rakenteeseen kuuluvat ala- ja yläelementti, virtausputket ja lämpöeriste. Virtausputket on asennettu betonikuoren sisään kannakkeille putkien keskittämiseksi ja lämpöeristämiseksi. Putkiston lämpölaajenemisesta johtuva liike ohjataan tätä varten suunnitelluilla ohjausosilla kanavarakenteen suuntaiseksi, ja lämpölaajenemisen kompensointi tapahtuu paljetasaimien ja verkoston suunnan muutosten avulla. Kiintopisteiden avulla verkosto kiinnitetään sopivista pisteistä kompensoinnin ohjaamiseksi. Virtausputkien lämpöeristeinä käytetään mineraalivillaa tai polyuretaanikourua. Eristeen ja betonikanavan väliin jää ilmatila mahdollistamaan kanavarakenteen tuuletuksen ja kanavaan päässeen veden poistumisen. Betonielementtikanava rakennetaan aina laskevaksi siten, että rakenteeseen päässyt vesi poistuu kaukolämpökaivoon ja että lämmin (mahdollisesti kostea) ilma poistuu tuuletusputkista.

Seuraavissa kuvissa on esimerkki betonielementtikanavan saneerauksesta mineraalivillieristeisestä polyuretaanieristeiseksi, jolloin samalla asennetaan uusi peltinen suoja-kuori eristeen ulkopinnalle.



Kuva 36: Esimerkkejä betonielementtikanan saneerauksesta

Vasemmassa kuvassa näkyvät lämpöliikkeiden kompensointiin käytettävät paljetasaimet sekä putkien ohjauspiste, joka ohjaa liikkeen betonielementtien suuntaiseksi. Ohjauspisteet on asennettava riittävän lähelle paljetasainta.

Suomessa on myös käytetty jonkin verran kupari- ja muoviputkia kaukolämpöverkostoissa. Kupariputkia voidaan myös käyttää normaaleissa käyttöolosuhteissa. Kupariputkien hinta on korkeampi kuin teräsputkien varsinkin suuremmissa kokoluokissa, mutta asennuskustannuksissa saatavat säästöt tekevät siitä kilpailukykyisen rakennusmateriaalin. Kupariputkien helpompi asennustekniikka, varsinkin hankalissa talojohtoasennuksissa on lisännyt kupariputkien käyttöä, mikäli vain kaukolämpöveden ominaisuudet sen sallivat. Kupariputkilla lämpimässä vedessä ilmenevä pistekorrosio johtuu lähes kokonaan käytettävän veden ominaisuuksista. Eroosikorrosio taas johtuu virtaavan veden aiheuttamasta mekaanisesta kulumisesta, joka lisääntyy voimakkaasti virtausnopeuden kasvaessa tai vedessä olevista kaasukuplista sekä verkostorakenteen aiheuttamasta veden pyörteilystä.

Muoviputkia on käytetty ainoastaan matalalämpötilaverkostoissa. Muoviputkien korkein käyttölämpötila on yleensä 90 °C. Suurimpana haittana muoviputkilla on seinämän läpäisevä happi, joka aiheuttaa verkoston teräsosissa korroosiota.

4.4.2 Kaukolämpöputkien lämpöeristys

Yleisimmät eristemateriaalit kaukolämpöverkostossa putkien eristeenä ovat polyuretaani, mineraalivilla ja lasivilla. Eristeitä käytetään sekä putkien että erilaisten verkoston osien ja laitteiden eristämiseen. Putkistoissa käytetään nykyään pääsääntöisesti polyuretaania eristeenä. Sen sijaan laitteiden ja komponenttien eristämiseen käytetään usein kivi- ja lasivillaeristeitä.

Taulukko 3. Putkimateriaalien ja -eristeiden käyttöalueet

Virtausputken materiaali	Lämpöeriste	Käyttölämpötila
Teräs	Mineraalivilla	> 150 °C
	Lasivilla	> 150 °C
	Polyuretaani	< 130 °C
Kupari	Mineraalivilla	> 150 °C
	Lasivilla	> 150 °C
	Polyuretaani	< 130 °C
Muovi	Mineraalivilla	< 90 °C
	Lasivilla	< 90 °C
	Polyuretaani	< 90 °C

Kaukolämpöputkiston ja rakenteiden eristepaksuudet riippuvat lämmön tuotantohinnoista, lämpöhäviöiden määrästä, verkoston käyttöajasta ja rakenteesta, kokonainvestoinnista ja korkokannasta. Lämpöeristyksen paksuus optimoidaan edellä mainitut seikat huomioiden. Eri eristysaineet poikkeavat toisistaan ainakin mekaanisen kestävyuden, kosteuden keston ja vanhenemisen osalta.

4.4.3 Kaukolämpöjohtojen asennukset

Kaukolämpöjohtojen asentaminen on tehtävä erittäin huolellisesti valitun verkostorakenteen vaatimukset ja erityisratkaisut huomioiden. Virtausputket tulee suojata asennustyön ajan ulkopuoliselta liialta ja kosteudelta. Näin estetään epäpuhtauksien pääsy verkostoon ja helpotetaan niin verkoston käyttöönottovaihetta kuin myöhempää käyttöäkin. Epäpuhtaudet kerääntyvät aina johonkin verkoston kohtaan, jossa ne aiheuttavat ongelmia. Tällaisia kohtia voivat olla esimerkiksi lämmönjakokeskusten lianerottimet tai pahemmassa tapauksessa lämmönsiirtimet.

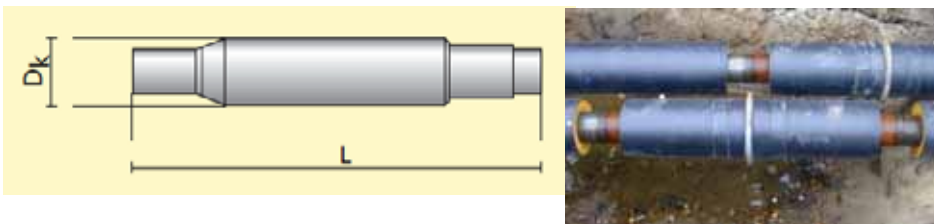
Ulkopuoleisen veden pääsy putkiston rakenteisiin tulee kaikin keinoin estää. Verkoston asennukset tulee tehdä mahdollisimman hyvissä olosuhteissa, jotta kaikki suojakuorten liitokset saadaan varmasti vesitiiviiksi. Kaukolämpöverkostossa asennustyöt tulee suorittaa putki- ja laitetoimittajien asennusohjeiden sekä Energiategollisuus ry:n suositusten mukaisesti. Hitsaus- ja jatkostöiden asentajien pätevyyksistä on erilliset määräykset.

Myös kaivutyön sekä tieteenkin lopputäytön tulee olla hyvälaatuista, jotta putket saadaan asennettua mahdollisimman tasaisesti eikä kiviä tai muita teräviä esineitä jää muovisuojakuorta painamaan.



Kuva 37: Kaukolämpöverkosta rakenteilla

Kuvassa oikealla etualalla sulatetaan routaista maata kaivutyön mahdollistamiseksi. Vasemmalla on kaivantoon asennettuna 2Mpuk johto. Kaukolämpöputkistoissa käytetään tarpeen mukaan kiintopisteitä ja niiden välissä käytetään tarvittaessa lämpöliikkeen tasaamiseen paljetasaimia. Kuvassa on esitetty tehdasvalmisteinen tasainelementti ja kiintopiste.



Kuva 38: Kertaliukutasain¹⁸ ja kiintopiste-elementti 2Mpuk

Nykyisin käytetyin menetelmä on kitkakiinnitys, jossa asennettavat putket esilämmitetään noin 80°C:n lämpötilaan, joka vastaa keskimääräistä käyttölämpötilaa ja vasta sen jälkeen peitetään. Tasaimia ei käytetä, vaan putkistoon sallitaan kohtuullisia jännitemuutoksia lämpötilan vaihdellessa. Seuraavassa kuvassa on esitetty kitkakiinnitteisen kiinnivaahdotetun polyuretaanieristeisen putken esilämmitys, jotta putkisto voidaan piittää niin, että kitkakiinnitys onnistuu luotettavasti. Putkien päissä on laipat, joihin on hitsattu sulkuventtiilit ja kiertolenkki.

¹⁸ KWH-pipe, Wehotharm-kaukolämpöputkijärjestelmä tuote-esite



Kuva 39: 2Mpuk-kanavan valmistuneen osan loppupäähän asennettu lämmityskierto (venttiilit)

Kuvassa on myös nähtävissä pystyasennossa pätkä vanhempaa Mpul-elementtiä, joka on poistettu uuden johdon tieltä. Kyseisessä johtorakenteessa teräsputket liikkuvat eristyksen sisälle erillisissä lasikuituputkissa. Elementtirakenteessa on myös pieni sala-
ojaputki ulkopuolista vettä varten.

Mikäli rakennettava putkisto-osuus on huomattavan pitkä ja suora, joudutaan kiintopisteitä ja tasainelementtejä käyttämään lämpö- tai painevaihteluiden kompensoimiseksi. Putkistovalmistajilla on laskenta- ja rakentamisohjeet omille elementtityypeilleen.

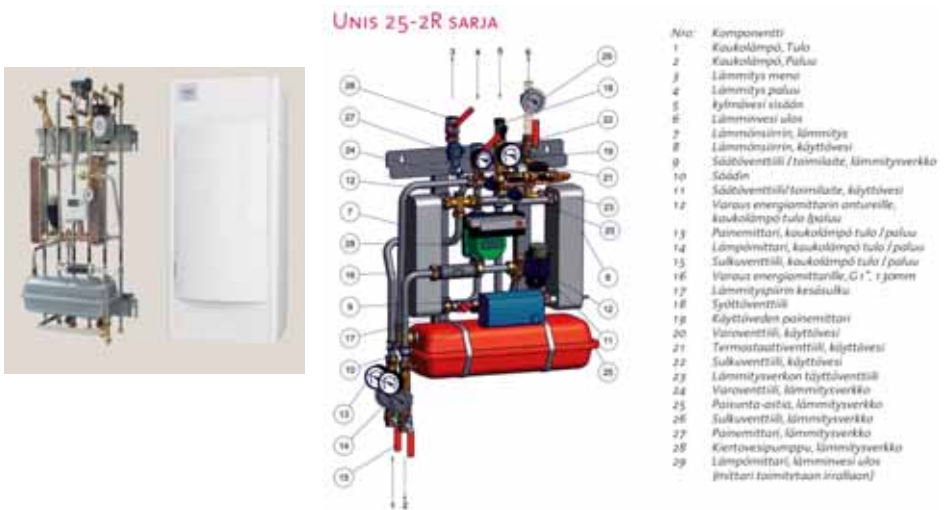
5 LÄMMÖNJAKOKESKUS

Suomalaisessa kaukolämmityksessä lämmönjakokeskus yhdistää asiakkaan kaukolämpöverkoston. Lämmönjakokeskuksen laitteita ja kytkentöjä on yhdenmukaistettu suunnittelun ja valmistamisen näkökulmasta.

5.1 Yleistä

Kaukolämmityksessä lämmöntuotantolaitos säätää menoveden lämpötilaa, verkoston paine- ja paine-erotasoa kulloisenkin tarpeen mukaisesti. Kaukolämpölaitteiden kytkennät ja säätöjärjestelmät vaikuttavat voimakkaasti kaukolämmön paluueden lämpötilaan eli kaukolämpöveden jäähtyvyyteen. Kaukolämpölaitteiden mitoituksella ja suunnittelulla pyritään saavuttamaan taloudellisesti hyvä ja teknisesti kaikissa olosuhteissa toimiva kaukolämpöjärjestelmä. Kaukolämmityksen historia tuntee monia erilaisia lämmönjakokeskusten kytkentöjä, joista ovat muodostuneet nykyiset, suomalaiset standardoidut kytkentäkaaviot.

Pitkän kokemuksen perusteella on Suomessa päädytty taloudellisesti parhaaseen ratkaisuun, jossa asiakkaan kaukolämpötehtävän säädöstä huolehtivat lämmönjakokeskusten säätölaitteet, joilla säädetään kaukolämmön vesivirtaa. Jokainen asiakas on kytketty verkostoon omalla lämmönjakokeskuksella, jolloin kaukolämpövesi ja rakennuksen lämmitysjärjestelmien vedet on erotettu toisistaan lämmönsiirtimillä. Asiakaskohtainen lämmönsäätö sekä rakennusautomaatio mahdollistavat yksilöllisen lämmöntoimituksen. Lämmönsiirtimien käyttö kaukolämmityksessä on nykyisin lähes välttämätöntä kaukolämpöverkostojen korkeista painetasoista ja lämpötiloista johtuen. Ne poikkeavat huomattavasti rakennusten lämmitysjärjestelmien lämpötila- ja painetasoista. Lisäksi lämmönsiirtimien yksi tärkeä tehtävä on suojella rakennusta kaukolämpöveden aiheuttamalta mittavalta vesivahingolta, mikäli rakennuksen lämmitysjärjestelmässä tapahtuu vesivuoto.



Kuva 40: Tehdasvalmisteisia lämmönjakokeskuksia¹⁹

5.2 Lämmönjakokeskuksen rakenne

Lämmönjakokeskuksen pääosia ovat lämmönsiirtimet, säätölaitteet, pumput ja muut varusteet, jotka tarvitaan jakamaan lämpöä rakennuksessa oleviin lämmityskohteisiin, kuten huonetilojen lämmitykseen, ilmanvaihtoon ja käyttöveteen. Nykyisin kaukolämmössä käytetään pääasiassa tehdasvalmisteisia lämmönjakokeskuksia, jotka on suunniteltu jokaiselle rakennukselle sen nimenomaista lämmitystarvetta varten. Energiatieteiden tutkimuskeskuksen julkaisussa K1 on esitelty tehdasvalmisteisen lämmönjakokeskuksen peruskyltöntöjen toimitusrajat laitesisältöineen. Näistä koostuu lämmönjakokeskuksen minimivarustus. Julkaisussa on myös esitetty ratkaisumalleja erilaisiin lämmitystarkoituksiin. Lämmönsiirtimet kytketään putkikytkentöjen kannalta katsoen vastavirtasiirtimiksi.

Lämmönjakokeskuksen laitemitoitus on tehtävä rakennuskohtaisesti. Ensimmäiseksi on otettava yhteys lämmönmyyjään suunnittelussa tarvittavien tietojen, kuten mitoitustilapötilöjen ja normaalin paine-erovaihtelun selvittämiseksi kaukolämpöverkossa. Toisaalta jokainen rakennus on yksilö, jonka jokaisen lämmönluovutusjärjestelmän lämmöntarve on laskettava lämmityspiiriköhtaisesti määräysten ja ohjeiden mukaisesti. Parhaiten toimiva lämmönjakokeskus ja lämmitysjärjestelmä saadaan käyttämällä jokaiselle eri toiminta-ajat tai -lämpötilat omaavalle lämmityspiirille omaa lämmönsiirrintä säätöjärjestelmään.

¹⁹ Alfa-Laval ja Högfors-GST tuote-esitteet

Lämmöntarve yhdessä mitoituslämpötilojen kanssa johtaa tarvittavaan ensiö- ja toisiovesivirtaan. Lämmönsiirrinten ja muiden laitteiden valinta riippuu tarvittavasta lämpötehosta, vesivirrasta sekä sallitusta korkeimmasta kokonaispainehäviöstä lämmönjakokeskuksessa.

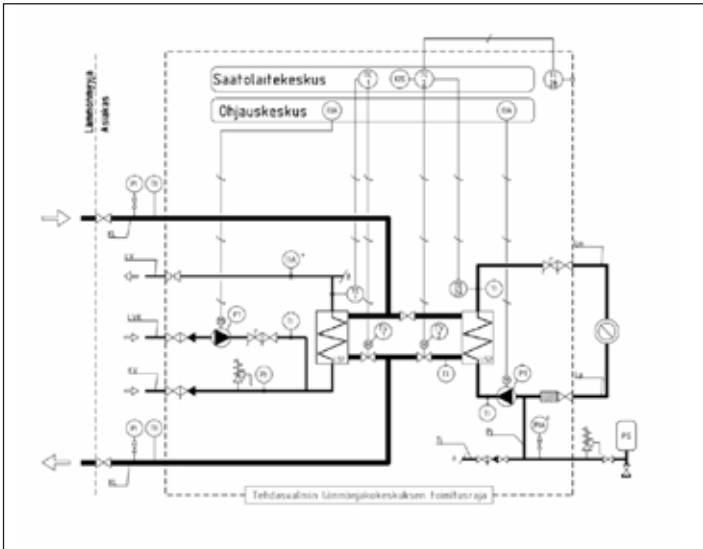
5.2.1 Tehdasvalmisteinen lämmönjakokeskus

Tehdasvalmisteinen lämmönjakokeskus koostuu viimeistellyistä mekaanisten ja elektronisten laitteiden asennuksista, jotka on kuvattu rakennuskohtaisessa kytkentäkaaviossa, esimerkkinä kuva 41. Tehdasvalmis tarkoittaa siis laitekokonaisuutta, joka sisältää

- lämpöeristetyt lämmönsiirtimet
- toimintavalmiin lämmönsäätöjärjestelmän
- hälytyksiä lämpötiloista, painetasoista ja muista toiminnoista
- kiertovesipumppuja asennettuina
- antureita
- muita laitteita, kuten lianerottimet, lämpö- ja painemittarit sekä paine-eronsäädin.

Nämä kytketään mekaanisesti ja sähköisesti yhdeksi kokonaisuudeksi. Putkistot venttiileineen ja muut komponentit lämpöeristetään. Kaikki laitteet ja yhteydet sekä veden virtaussuunnat merkitään tekstein ja virtaussuuntanuolin kytkentäpiirustuksen mukaisesti.

Mikäli lämmönjakokeskus tulee kytkettäväksi keskitettyyn rakennusautomaatiojärjestelmään, tulee sen noudattaa tarkoin suunniteltua varusteluetteloa kaikilta osiltaan. Mikäli säätöjärjestelmä ja säätölaitteet eivät sisälly lämmönjakokeskuksen toimitukseen, tulisi kuitenkin toimilaitteiden, kuten säätöventtiilien antureineen, lämpömittareiden ja painemittareiden kuulua lämmönjakokeskuksen toimitukseen. Rakennusautomaation vaatimat kentälaitteiden kaapeloinnit alakeskuksiin täydentävät lämmönjakokeskuksen toimituksen.



Kuva 41: Esimerkkikytkentä kaukolämpölaitteille^{K1}

5.2.2 Kytkentäkaaviot

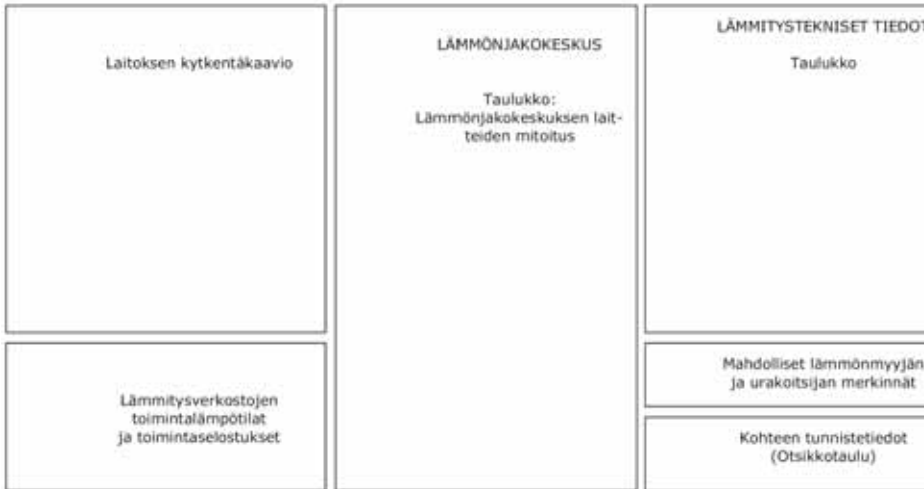
Lämmönjakokeskuksen kytkentä- ja laitetiedot esitetään samassa kytkentäpiirustuksessa kaikkien lämmityspiirien mitoitusosalta.

- mitoituslämpötehot lämmityspiireittäin
- mitoituslämpötilat lämmityspiireittäin
- mitoitusvirtaamat lämmityspiireittäin
- mitoituspainehäviöt lämmityspiireittäin
- DN ja k_{vs} - arvot säätöventtiileistä

Kytkentäkaavion avulla voidaan lämmönjakokeskusten valmistajat kilpailuttaa lämmönjakokeskuksen osalta ja verrata tarjouksia toisiinsa. Kilpailutuksesta huolimatta tilaaja voi halutessaan määrittellä säätölaitteiden ja pumppujen valmistajan. Kaikkien lämmitykseen liittyvien lämmönsiirrinten toisiopuolen toimintalämpötilat esitetään ulkolämpötilan funktiona ja kaikkien toimilaitteiden toimintaselostukset esitetään kytkentäkaaviossa.

Lämmönjakokeskusten kytkennät kaukolämpöverkoston riippuvat lämpötehoista ja sallituista painehäviöistä. Erilaisten kytkentävaihtoehtojen tarkoituksena on varmistaa paras mahdollinen lämmönlaatu asiakkaan kannalta sekä hyvä kaukolämpöveden jäähtymä kaikissa olosuhteissa. Lisääntynyt jäähtyminen vähentää kaukolämpöverkoston pumppauskustannuksia ja lämpöhäviöitä sekä lisää tehonsiirtokykyä. Yhteistuotannonossa parempi jäähtyminen lisää myös sähköntuotantoa.

^{K1} Rakennusten kaukolämmitys, määräykset ja ohjeet. Energiatieteellisyys ry



Kuva 42. Kytkenäpiirustusohje Energiategollisuus ry:n mukaisesti^{K1}.

Kuvassa on kaukolämpölaiteiden kytkentäpiirustusohje, jossa on esitetty miten eri tiedot esitetään yhdenmukaisesti. Piirustus on oltava lämmönjakohuoneessa.

5.3 Lämmönjakokeskuksen varusteet

Tehdasvalmisteisen lämmönjakokeskuksen kytkentäpiirustuksessa esitettyjen toimitusrajojen sisällä olevia laitteita ja varusteita kutsutaan yleisesti nimellä “lämmönjakokeskuksen varusteet”.

5.3.1 Lämmönsiirtimet

Kaukolämmityksessä on aikojen kuluessa käytetty useita eri lämmönsiirintyyppisiä. Lämmönsiirtimet ovat pääasiassa hyvin kestäviä, ja siten erityyppisiä lämmönsiirtimiä on edelleen kytketty kaukolämpöverkostoihin. Lämmönsiirtimet eroavat toisistaan paitsi ulkonäöllisesti, myös lämpöteknisesti. Eroavaisuuksien johdosta on eri lämmönsiirrinten ominaisuudet tunnettava.

Lämmönsiirtimet mitoitetaan jokaiselle lämmityspiirille erikseen. Patteriverkoston tai lattialämmityksen lämmityssiirtimen teho saadaan uudisrakennuksissa lämmitystehontarvelaskennasta, johon vaikuttavat rakennusmateriaalit ja niiden lämmöneristyskyky. Ilmanvaihdon lämmönsiirtimen tehontarve saadaan ilmavirran lämmittämisen vaatimasta lämmitystehosta, joka riippuu ilmavirran suuruudesta ja lämmitettävän ilman lämpötiloista sekä lämmön talteenoton tehokkuudesta. Käyttövesisiirtimen mitoitusteho lasketaan toisiopuolen mitoitusvirtaaman ja käyttöveden siirtimelle tulevan kylmän veden ja sieltä käyttökohteisiin lähtevän lämpimän veden lämpötilaeroista.

^{K1} Rakennusten kaukolämmitys, määräykset ja ohjeet. Energiategollisuus ry

Lämmönsiirtimen teho lasketaan yhtälöllä:

$$\Phi = q_v \cdot \rho \cdot c_p \cdot \Delta T = q_m \cdot c_p \cdot (T_m - T_p) \quad (3)$$

missä

Φ	lämmönsiirtimen teho, kW
ρ	tiheys, kg/dm ³
q_v	virtaama, dm ³ /s
ΔT	lämpötilaero, K
q_m	massavirta, kg/s
c_p	ominaislämpökapasiteetti, kJ/kgK
T_m	tuloveden lämpötila, °C
T_p	paluuv veden lämpötila, °C

Laskennassa käytetään sen piirin ominaislämpökapasiteettia ja lämpötilatasoja, jonka massa- tai tilavuusvirtaa käytetään. Siirtimen teho on sama ensiö- tai toisipuolen kautta laskettaessa.

Lämmönsiirtimen ominaisuuksiin vaikuttavia tekijöitä ovat lämmönsiirtopinta-ala ja siirtimen pituus (vesivirran kulkema matka siirtimessä). Mitä pienempi lämpötilaero nesteiden välillä on, sitä suuremman lämmönsiirtopinta-alan ja pitemmän matkan lämmönsiirtyminen tarvitsee. Tämän takia lämmönsiirtimissä ei kannata pyrkiä paluuvirtaamien liian pieneen asteisuuteen (paluulämpötilojen erotukseen), ellei se ole aivan välttämätöntä. Asteisuus on nykyisin 3 °C lämmityksen lämmönsiirtimissä K1:n mukaan.

Lämmönsiirtimen tyypistä tai materiaalista riippumatta on perusajatus lämmönsiirtimen mitoituksessa ja asennuksessa se, että kaikissa käyttöolosuhteissa vesivirrat kulkevat lämmönsiirtimen lämpöpintojen kautta vastavirtaperiaatteella, ja että kaukolämpöveden jäähtymä on suurin mahdollinen. Lämmönsiirtimeltä lähtevää menovettä ei saa palauttaa jäähtymättä lämmönsiirtimelle, eli menovettä ei saa sekoittaa paluuveteen. Lämmönsiirtimet ja kaikki putkistot on lämpöeristettävä ja merkittävä selkein sekä pysyvin merkinnöin.

Tapauksissa, joissa toisioverkostoissa on ollut pieni lämpötilaero, kuten lattialämmityksessä, on aikaisemmin ollut käytössä niin sanottu ohituskytkentä, jossa osa toisio-paluuvesivirrasta on ohjattu lämmönsiirtimen ohi. Kyseistä ohitusta on käytetty lähinnä pientalokytkenässä ja ehtona on ollut tehdasvalmisteisen lämmönjakokeskuksen lämmityssiirtimen suurimman sallitun painehäviön ylittyminen. Nykyisin ohituskytkentää ei käytetä.

5.3.2 Juotetut levylämmönsiirtimet

Nykyaikainen lämmönjakokeskus rakennusten kaukolämmitystä varten valmistetaan yleisimmin juotetuista levylämmönsiirtimistä. Lämmönsiirtopinnat on valmistettu joko ruostumattomasta tai haponkestävästä teräksestä. Lämmönsiirrintyyppin etuina ovat kestävyys, keveys ja suuri tehoalue kokoonsa nähden. Haittapuolena voidaan pitää siirtimen pientä vesitilavuutta, joka saattaa aiheuttaa säätöongelmia varsinkin nopeasti vaihtelevissa lämmitysprosesseissa, kuten käyttöveden lämmityksessä, jossa ongelma esiintyy lämpötilan huojumisena.



Kuva 43: Juotetun levylämmönsiirtimen periaate^{20, 21}

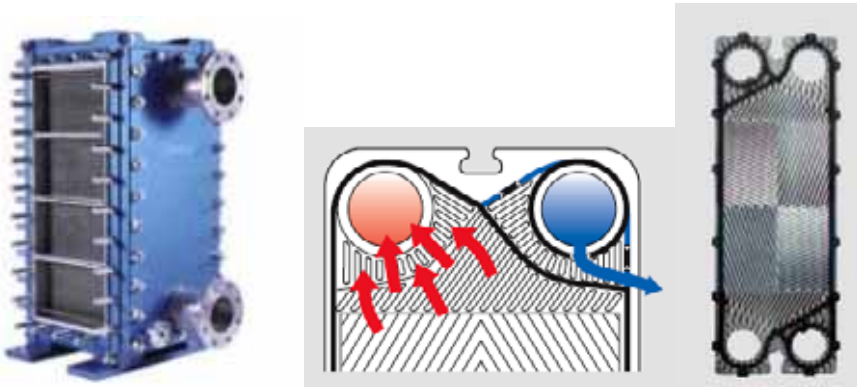
Lämpöhäviöiden pienentämiseksi lämmönsiirtimen päätyosissa virtaa lämmitettävä, eli viileämpi neste. Lämmönsiirrinlevyjen kuviointi vaihtelee lämmönsiirrintyyppittäin ja levymäärä tarvittavan lämpötehon ja mitoituslämpötilojen mukaan. Lämmönsiirrin valmistetaan puristamalla levymateriaalista lämmönsiirtopinta ja jokaisen lämmönsiirtopinnan väliin samalla kuviolla puhtaasta kuparista juotoslevy. Levypakka kuumennetaan alipaineuunissa, jolloin kupari sulaa ja hakeutuu lämmönsiirtopintojen yhteyскоhtiin lukemattomaksi määräksi juotospisteitä, joiden avulla muodostuvat virtauskanavat ja jotka pitävät sisäisin juotoksin siirtimen kasassa.

²⁰ <http://mirtepla.in.ua>

²¹ <http://www.separationequipment.com/>

5.3.3 Tiivisteelliset levylämmönsiirtimet

Poikkeustapauksissa kaukolämmityksessä voidaan käyttää tiivisteellistä levylämmönsiirrintä. Se vaatii säännöllistä tiivisteiden vaihtoa, koska tiivisteiden elastisuus heikkenee melko nopeasti. Tällöin ulospäin suuntautuvat vuodot ovat mahdollisia, joten tiivisteellisiä levylämmönsiirtimiä ei käytetä kaukolämmityksessä. On mahdollista asentaa tiivisteellinen lämmönsiirrin teollisuuslaitokseen, mikäli lämmönsiirtopintaa joudutaan puhdistamaan toisiopuolen lämmönsiirtonesteen ominaisuuksien takia. Tällöin lämmönsiirtimen toimittajan on pystyttävä takaamaan tiivisteiden kestävyys ja elastisuuden säilyminen kaukolämpökäytössä. Normaalissa suomalaisessa kaukolämpövedessä ei ole sellaisia epäpuhtauksia, että lämmönsiirtimen tulisi olla avattavissa ensiöpuolen puhdistusta varten.



Kuva 44: Tiivisteellinen levylämmönsiirrin²² ja lämmönsiirtolevyjä²³

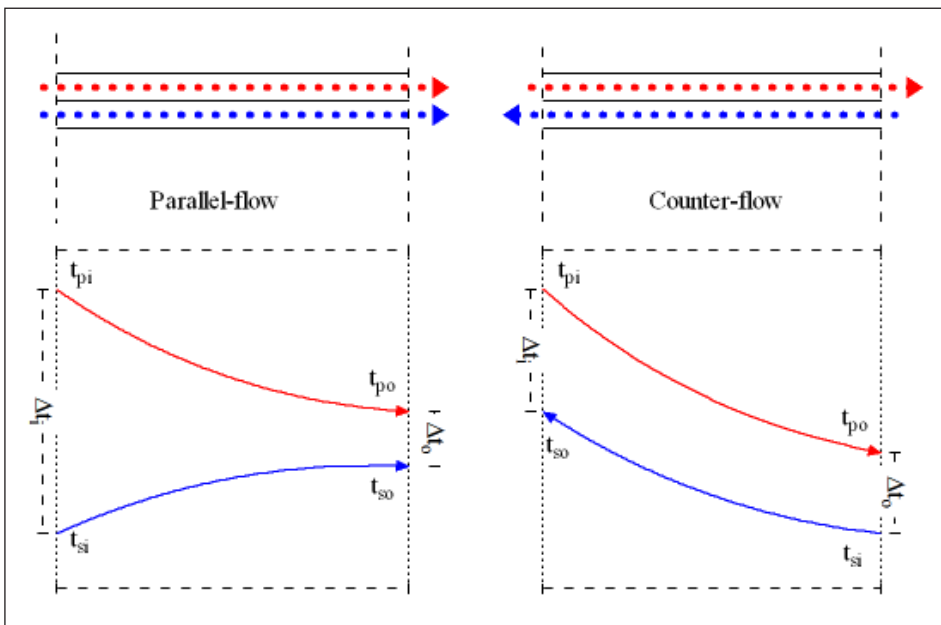
Tiivisteellisen levylämmönsiirtimen levyt muistuttavat juotetun levysiirtimen levyjä. Ne ovat lämmönsiirtotehoon nähden suurempia kooltaan johtuen suuremmista virtauskanavista. Eroavaisuutena ovat levyihin muotoillut tiivisteurat, joihin asennetaan kumitiivisteet levyjen väliin ja samalla niiden avulla ohjataan siirtimen vesivirtoja. Tiivisteellisen levylämmönsiirtimen levypakka puristetaan paksujen ja painavien päätylevyjen väliin lukuisien kiristystankojen avulla.

²² www.alfalaval.com

²³ www.tranter.com

5.3.6 Logaritminen keskilämpötilaero

Lämmönsiirtimen teho-ominaisuuksia voidaan käsitellä logaritmisen keskilämpötilaeron avulla. Logaritminen keskilämpötilaero (LMTD tai ΔT_{ln}) kertoo lämmönsiirtimen tehokkuudesta. Lämmön siirtyminen lämmönsiirtimessä ei tapahdu lineaarisesti, vaan seuraavan kuvan mukaisesti. Lämmönsiirto riippuu lämpötilaerosta lämmittävän ja lämmitettävän nesteen välillä. Lämpötilapiirroksessa niin myötavirtalämmönsiirtimeltä (parallel-flow) kuin vastavirtalämmönsiirtimeltä (counter-flow) voidaan kuvan mukaisesti merkittynä muistisääntönä pitää vasemmalta oikealle sijoitettaessa lämpötilaeroja yhtälöön.



Kuva 47: LMTD-kuvaajat myötä- ja vastavirtasiirtimille²⁵

Vasemmanpuoleisesta myötavirtasiirtimen kuvasta on helppo nähdä lämpötilaeron vaikutus tarvittavaan lämmönsiirtopinta-alaan. LMTD:n käyttäminen on lämmönsiirrinlaskennassa varsin monipuolista. Siirtimen tehokas laskenta on kätevää LMTD:n avulla useissa tapauksissa. Yllä olevan kuvan merkinnöin laskenta tapahtuu seuraavan yhtälön avulla. Alaindeksi i =in eli sisään menevä virtaus ja o = out, siirtimestä ulos tuleva virtaus ja p =primary eli ensiö sekä s =secondary eli toisio.

²⁵ http://www.engineeringtoolbox.com/arithmetic-logarithmic-mean-temperature-d_436.html

$$LMTD = \frac{\Delta t_i - \Delta t_o}{\ln \frac{\Delta t_i}{\Delta t_o}} \quad (4)$$

missä:

LMTD logaritminen keskilämpötilaero K

myötavirtasiirrimen laskennassa:

Δt_i lämpötilaero, kaukolämpötulo (t_{pi}) - lämmitettävä tulo (t_{si}),

Δt_o lämpötilaero, kaukolämpöpaluu (t_{po}) - lämmitettävä meno (t_{so})

vastavirtasiirrimen laskennassa:

Δt_i lämpötilaero, kaukolämpötulo (t_{pi}) - lämmitettävä meno (t_{so})

Δt_o lämpötilaero, kaukolämpöpaluu (t_{po})-lämmitettävä tulo (t_{si})

Lämmönsiirrimen teho lasketaan LMTD:n avulla yhtälöstä:

$$\Phi = U \cdot A \cdot LMTD \quad (5)$$

missä:

Φ lämmönsiirrimen teho, kW

U lämmönläpäisykerroin, W/m²

A lämmönsiirtopinta-ala, m²

Logaritmista keskilämpötilaeroa voidaan hyödyntää myös siirrimen hetkellisen tehon arvioinnissa mitoitus- ja mittaustietojen avulla.

Esimerkki

Vastavirtalämmönsiirrimen, jonka mitoitusteho on 200 kW ja lämpötilaohjelmalla 115-45/40-70 °C, tuottaa logaritmiseksi lämpötilaeroksi 18,2 K. Mikäli kyseinen lämmönsiirrimen asennetaan järjestelmään, jonka mitoituslämpötilat ovat 115-65/60-80 °C, saadaan uusi LMTD= 15,4 K.

Uusi, tai mitattu hetkellinen teho saadaan laskettua yhtälöllä

$$\Phi_2 = \Phi_1 \frac{LMTD_2}{LMTD_1} \quad (6)$$

missä

Φ_2 uusi teho, kW

Φ_1 lämmönsiirrimen mitoitusteho, kW

LMTD₂ uusilla tai mitatuilla siirrimen toimintalämpötiloilla laskettu LMTD

LMTD₁ lämmönsiirrimen mitoituslämpötiloilla laskettu LMTD

Esimerkin lämmönsiirrin antaa uusilla mitoituslämpötiloilla:

$$\Phi_2 = 200 \text{ kW} \frac{15,4^\circ\text{C}}{18,2^\circ\text{C}}$$

$$\Phi_2 = \underline{169,2 \text{ kW}}$$

Kuten esimerkistä nähdään, on lämmönsiirtimen mitoitus- ja toimintalämpötiloilla suuri merkitys lämmönsiirtimen tehosiirtokykyyn, kun lämmönsiirtopinta-ala pysyy ennallaan.

Yhtälössä 1 on muuttujana lämpötilaeroeron lisäksi lämmönsiirtimen läpi kulkeva tilavuusvesivirta, q_v , eli lämmönsiirtotehoa voidaan kasvattaa lisäämällä tilavuusvesivirtaa, mutta olemassa olevassa lämmönsiirtimessä tällöin myös lämmönsiirtimen painehäviö kasvaa.

$$\Delta p = k \cdot q_v^2 \quad (7)$$

missä

k = verkoston tai putken ominaiskäyrän kerroin

Lämmönsiirtimen painehäviömuutosta voidaan tarkastella alkuperäisen ja uuden tilavuusvirtauksen suhteella sekä alkuperäisen, tunnetun painehäviön kautta seuraavasti:

$$\Delta p_2 = \Delta p_1 \frac{q_{v2}^2}{q_{v1}^2} \quad (8)$$

missä

Δp_2 lämmönsiirtimen uusi painehäviö, kPa

Δp_1 lämmönsiirtimen alkuperäinen painehäviö, kPa

q_{v2} lämmönsiirtimen uusi tilavuusvirtaus, dm^3/s

q_{v1} lämmönsiirtimen alkuperäinen tilavuusvirtaus, dm^3/s

Esimerkki

Lämmönsiirtimen alkuperäinen ensiöpuolen painehäviö on 12 kPa mitoitusvirtaamalla 0,87 dm³/s ja uusi virtaama pienentyneestä lämpötilaerosta johtuen on 1,22 dm³/s. Lasketaan lämmönsiirtimelle uusi painehäviö.

$$\Delta p_2 = 12 \text{ kPa} \frac{1,22^2}{0,87^2}$$

$$\Delta p_2 = 23,6 \text{ kPa}$$

Uudella virtaamalla ylittyy lämmönsiirtimen sallittu ensiöpuolen maksimipainehäviö 20 kPa, jolloin lämmönsiirrin ei ole hyväksyttävissä!

5.3.7 Lämmönsiirrinten vuototestit

Lämmönsiirtimien ulkoinen vuoto on yleensä helppo havaita lämmönjakohuoneen lattialle tippuvana tai valuvana vetenä. Sisäisen vuodon selvittäminen on myös kohdullisen helppoa seuraavilla periaatteilla.

Yleisesti muistettavaa

Ennen vuototestauksiin ryhtymistä on varmistettava, että testi ei aiheuta asiakkaalle haittaa. Asuinrakennuksissa hetkellinen haitta voidaan hyväksyä, mikäli se tarkoittaa lyhyttä katkosta lämmityksen ja lämpimän käyttöveden saannissa. Mikäli kyseessä on tuotantolaitos, ja varsinkin mikäli kaukolämpöä käytetään tuotantoprosesseihin, on testaamisen ajankohdasta sovittava tuotantolaitoksen henkilökunnan kanssa.

Lämmitys- ja ilmanvaihtosiirtimen testaus

Näiden lämmönsiirtimien sisäinen vuoto ilmenee yleensä toisiopuolen varoventtiilin jatkuvana vuotona, mikä johtuu kaukolämpöverkoston korkeammasta painetasosta toisioverkoston painetasoon verrattuna. Kaukolämpöverkoston painetaso ylittää pääsääntöisesti toisiopuolen varoventtiilin avautumispainetason.

Käyttöveden lämmönsiirtimen testaus

Mikäli testattavassa lämmönjakokeskuksessa on ilmanvaihdon lämmönsiirrin, on käyttövesisiirtimen testauksen ajaksi ilmanvaihtokoneet pakkaskelillä pysäytettävä ilmanvaihdon lämmityspatterien jäätyminen välttämiseksi.

- Ensimmäiseksi varmistetaan ensiöpuolen painemittarien sulkuventtiilien oleminen auki-asennossa.
- Pakkaskaudella tapahtuvassa testauksessa huolehdittava ilmanvaihdon pysäyttämisestä
- Tarkistetaan käyttöveden toisiopuolen painetaso lämmönsiirtimelle tulevasta kylmävesiputken painemittarista

- Suljetaan kaukolämmityksen ensiöpuolen sulkuventtiilit sekä tarkistetaan kaukolämpöpuolen painemittarien mittaustulos (näyttävät lähes samaa lukemaa) ja mikäli mahdollista, juoksetetaan lämmintä käyttövedtä testin nopeuttamiseksi. Muussa tapauksessa odotetaan lämpimän käyttöveden jäähtymistä
- Lämpimän käyttöveden juoksutus jäädyttää kaukolämmön ensiöpuolen veden, jolloin ensiöpuolen sulkuventtiilien väliin jäänyt kaukolämpövesi jäähtyy ja samalla sen tilavuus pienenee
- Lämmönsiirtimen ollessa ehjä, kaukolämpöveden ensiöpuolen painemittarit näyttävät jonkin ajan kuluttua nolaa, johon asentoon ne myös jäävät
- Mikäli lämmönsiirrin vuotaa, painemittarien viisarit lähestyvät ensin nolaa, mutta hetken kuluttua niiden osoittama painetaso alkaa nousta, päättyen lopulta osoittamaan samaa lukemaa kuin kylmän käyttöveden painemittari

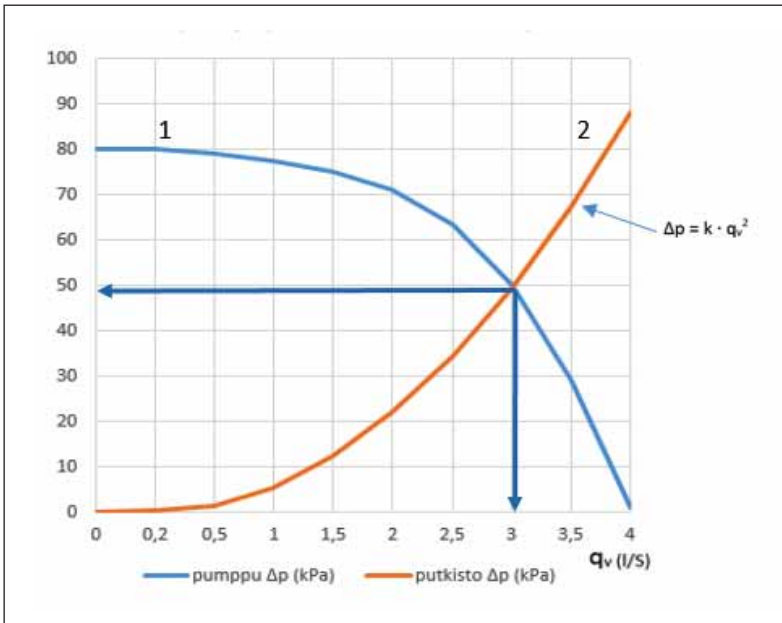
5.3.8 Pumput

Pumppuja tarvitaan lämmityspiireissä ja käyttöveden kiertojohdossa tuottamaan toiminta-arvojen mukainen virtaama. Lämmönjakokeskuksissa käytetään keskipakopumppuja. Pumppua mitoitettaessa tarvitaan valintaa varten kyseisen lämmityspiirin mitoitusvirtaama ja vaikeimman lämmityksen kiertoosiirin kokonaispainehäviö. Kaukolämpökäyttöön suositellaan pumppuja, joiden pyörimisnopeus ei ylitä 1500 r/min. Suuremmat pyörimisnopeudet saattavat aiheuttaa sallitun melutason ylittymisen rakennuksessa. Sallitut enimmäisäänitasot löytyvät RakMk:n osasta C1.

Pumpun valinta

Pumpun oikea valinta ratkaisee lämmitysjärjestelmän toimivuuden ja asiakkaan kokeman lämmön laadun. Valittavalla pumpulla on saavutettava mitoituslaskelmissa saatu mitoitusvirtaama ja tarvittava nostokorkeus kyseisellä virtaamalla. Käyttötalouden kannalta tulee varmistua, että pumppu valitaan käyrästöistä tai mitoitusohjelmista siten, että pumpun toimintapiste sijaitsee pumpun hyötysuhteen osalta käyrästön korkeimmalla kohdalla. Edellä mainitun oikean valinnan varmistamiseksi kytkentäpiirustuksen mitoitusaulukossa 2 on erotettu toisistaan lämmitysverkoston ja lämmönsiirtimen mitoituspainehäviöt, jotka yhdessä kuitenkin muodostavat pumpun nostokorkeuden tarpeen. Painehäviöiden erottelu helpottaa lämmönjakokeskuksen valmistajaa valitsemaan parhaan mahdollisen pumpun lämmönjakokeskukseen niin investoinnin kuin käyttötalouden kannalta.

Pumpun tyyppikilvessä tulee ilmetä pumpun valmistaja ja tyyppimerkintä pysyvästi pumpun rungossa. Joissain tapauksissa on suositeltavaa varustaa lämmönjakokeskus varapumpulla, mikäli on kyseessä niin sanottu kriittinen toisioverkosto, jotta pumpun rikkoutuessa se saadaan nopeasti vaihdettua ja prosessi toimimaan uudelleen.



Kuva 48: Pumpun ja putkiston ominaiskäyrät

- 1 pumpun ominaiskäyrä
- 2 putkiston ominaiskäyrä

Käyrästä nähdään pystyakselilta saavutettava pumpun nostokorkeus (kPa, m tai bar) ja vaaka-akselilla on lämmitysjärjestelmän vesivirta, dm^3/s . Putkiston ominaiskäyrä kuvaa verkoston vaikeimman piirin virtausvastuksia vesivirran funktiona.

5.3.9 Säätojärjestelmä

Suomalaisen kaukolämmitysjärjestelmän taloudellisuus perustuu asiakkaan lämmönjakokeskuksen säätölaitteisiin, joilla asiakas säätää käyttämänsä tehoa. Lämmönmyyjällä ei ole suoraa vaikutusmahdollisuutta asiakkaan säätölaitteisiin. Lämmönmyyjä keskittyy kaukolämpöjärjestelmän kautta toimitettavan kaukolämpöenergian laatuun, lähinnä kaukolämpöveden lämpötilaan ja paine-eroon sekä painetasoon. Kaukolämmityksessä lämmönmyyjä vastaa kaukolämpöveden menolämpötilasta, mutta asiakkaiden kaukolämpölaitteiden toiminta määrittää paluulämpötilatason.

Asiakkaan näkökulmasta säätojärjestelmiin investoiminen johtaa taloudellisiin etuihin jo lyhyellä aikajaksolla. Säätojärjestelmien avulla asiakas voi suoraan vaikuttaa asumisviihtyvyyteensä, kuten rakennuksen sisälämpötilaan ja käyttöveden tasaiseen lämpötilaan. Vieläkin tärkeämpää on vaikutusmahdollisuus lämmityskustannuksiin, ja säätojärjestelmä onkin työkalu niiden tavoitteiden saavuttamiseksi. Edellytyksenä on, että säätojärjestelmä on suunniteltu ja rakennettu kaukolämmitystä varten lämmönmyyjän antamien mitoituslähtökohtien mukaisesti asiakkaan tarpeet ja lämmönjakojärjestelmät huomioiden.

Säätölaitteet

Säätöjärjestelmät ovat kuuluneet osaksi kehittynyttä kaukolämmitystä jo kaukolämpötoiminnan alkuaajoista lähtien. Perinteinen säätöjärjestelmä on koostunut ainakin lämmityksen ja käyttöveden säätölaitteista, sisältäen säätimet, toimilaitteet ja anturit. Edellä kuvailtu säätöjärjestelmä on myös osa tämän päivän lämmönjakokeskusta. Yksikkösäätimillä varustettu kaukolämpöjärjestelmä takaa hyvät säätömahdollisuudet rakennusten toimintojen ohjaamiseksi.

Rakennusautomaatio

Tekninen kehitys on mahdollistanut lämmönjakokeskuksen liittämisen osaksi rakennusautomaatiota. Rakennusautomaation avulla on mahdollista tarkkailla ja säätää eri toimintoja rakennuksissa. Säädön osalta kaikki vaatimukset ovat vähintään samalla tasolla kuin edellä selostetussa yksikkösäätimillä toteutetussa säätöjärjestelmässä. Rakennusautomaatiolla ei saavuteta säätötuloksessa etua yksikkösäätimiin verrattuna.

Toimintavaatimukset

Perusvaatimukset yksikkösäätimille ja rakennusautomaatiolle ovat yhteneväiset. Taivoitteena on hyvälaatuinen sisäilmasto kaikissa tiloissa ja olosuhteissa sekä mahdollisimman tehokas ja tarpeenmukainen kaukolämpöenergian käyttö. Kaukolämmityksen kannalta säätölaitteiden pätehtävät ovat säätää ja ylläpitää

- lämmitysjärjestelmien menoveden lämpötilaa
- ilmanvaihdon lämmityksen menoveden lämpötilaa
- käyttöveden lämpötilaa kyseessä olevassa rakennuksessa.

Lisäksi toiminnalle asetettuja vaatimuksia ovat:

- Rakennuksen lämmityksen ja ilmanvaihdon säätöjärjestelmät ottavat huomioon rakennuksen lämpödynamiikan, hyödynnettävät lämpökuormat ja muut oheisenergiat mahdollisimman tarkasti siten, että rakennuksen kaikissa tiloissa on hyvä, terveellinen ja viihtyisä sisäilmasto sekä mahdollisimman pieni tehontarve ja energiankulutus.
- Käyttöveden säätölaitteiden toiminta takaa tasalämpöisen lämpimän käyttöveden lämpötilan kaikissa suunnitelluissa käyttötilanteissa.
- Lämmönjakokeskuksen säätöventtiilit, -moottorit ja lämpötilan tuntoelimet kuuluvat lämmönjakokeskuksen valmistajan toimitukseen ja ne sijoitetaan lämmönjakokeskuksen kanssa samaan tilaan. Mikäli tämä ei ole mahdollista, lämmönjakokeskus on varustettava sen toimintaa riittävästi kuvaavilla paikallisilla näytöillä.
- Säätölaitteet ovat viritettävissä kulloisenkin tilanteen ja vaatimusten mukaisesti siten, että hyvä säätötulos saavutetaan.
- Asiakas voi optimoida tarvitsemaansa kaukolämpötehoa käytössään olevan tariffin tarjoamien mahdollisuuksien mukaisesti^{K1}.

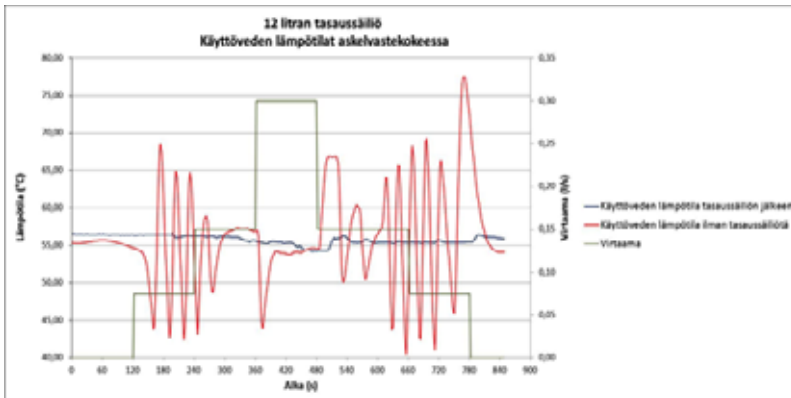
^{K1} Rakennusten kaukolämmitys, määräykset ja ohjeet. Energiateollisuus ry

Lähtökohtana on, että kaukolämmitykseen liitetyn rakennuksen säätöjärjestelmät suunnitellaan, valitaan, mitoitetaan, asennetaan ja viritetään siten, että haluttu lopputulos saavutetaan. Asiakkaalle asennettu säätöjärjestelmä täyttää seuraavat vaatimukset lämmönmyyjän ilmoittamissa käyttöolosuhteissa^{K1}.

- | | | |
|----|--|-----------------------------------|
| 1. | Suurin pysyvä poikkeama asetusarvosta
Sallittu palautumisaika muutoksen alkuhetkestä siihen hetkeen, kun em. vaatimus täyttyy | +/- 2 °C

2 minuuttia |
| 2. | Suurin hetkellinen poikkeama asetusarvosta
lämmityksen säätöjärjestelmät
käyttöveden säätöjärjestelmät
muut säätöjärjestelmät | +/- 5 °C
+7/-10 °C
+/-10 °C |
| 3. | Sallittu jatkuva huojunta
käyttöveden säätöjärjestelmät
muut säätöjärjestelmät | +/-2 °C
+/- 0,5 °C |

Lämpimän käyttöveden lämpötila käyttöpisteessä ei kuitenkaan saa olla korkeampi kuin 65 °C (RakMk D1), mikä on myös niin sanottu hälytysraja lämpimän käyttöveden lämpötilalle. Tarkemmat määräykset säätölaitteiden toimintavaatimuksista löytyvät Energiategollisuus ry:n suosituksesta K1 Rakennusten kaukolämmitys, määräykset ja ohjeet.



Kuva 49: Esimerkki liian suuresta säätöventtiilistä johtuvasta huojunnasta²⁶

Tasaajasäiliön käytöllä voidaan parantaa lämpimän käyttöveden säätötulosta. Kuvassa 49 on esitetty sekä lämmönsiirtimestä tuleva käyttöveden lämpötila että tasaajasäiliön jälkeinen lämpötila. Punaisella on kuvattu huonosta säädöstä johtuva lämpötilan huojunta ja sinisellä tasaajasäiliön jälkeinen käyttöveden lämpötila.

²⁶ Leino Kari, Opinnäytetyö, Oulu

5.3.10 Muut varusteet

Lämmönjakokeskuksen ensiö- ja toisiopuolen varusteiden tarkemmat vaatimukset on esitetty Energiategollisuus ry:n julkaisussa K1, josta löytyvät myös sallitut liitostavat ja varusteisiin liittyvät standardit. Putkistovarusteiden vaatimukset löytyvät myös K1:n sivuilta jaoteltuna ensiö- ja toisiopuolen varusteisiin. Yleisimmät varusteet ovat sulkuventtiilit, lianerottimet, paine- ja lämpömittarit sekä ilmanpoisto- ja tyhjennysventtiilit. K1:n peruskytkenöissä on esitetty tehdasvalmisteisen lämmönjakokeskuksen minimivarustetaso.

Putkistot ja liitokset

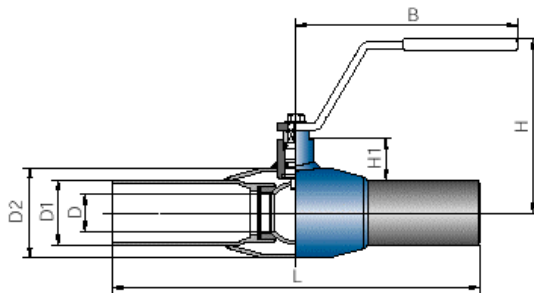
Lämmönjakokeskuksen rakentamisessa ensiöpuolella käytettävien putkien ja liitostapojen on kestettävä kaukolämpökäytössä suunnittelulämpötilaa 120 °C ja suunnittelupainetta 1,6 MPa muuttumattomina. Yleisimmät putkimateriaalit ensiöpuolella ovat erilaiset teräkset ja kupari. Julkaisussa K1 on lueteltu ensiöpuolen putkistostandardit ja materiaalit sekä liitostavat.

Toisiopuolella putkistomateriaalivaihtoehtoja on useampia, johtuen matalammista lämpötila- ja paineolosuhteista ensiöpuoleen verrattuna. Materiaaleista yleisimmät ovat teräs, kupari ja erilaiset muovi- ja monikerrospotket. Terästä ja kuparia käytetään patterilämmityksissä, ja muoviputkia sekä patteri- että lattialämmityksessä, jossa lämpötilat ovat matalammat. Myös toisiopuolen putkistostandardit löytyvät K1:stä.

Sulkuventtiilit

Lämmönjakokeskuksen sulkuventtiileinä käytetään palloventtiileitä tai vastaavat ominaisuudet omaavia venttiileitä. Venttiilit asennetaan käyttäen liitostapoina hitsausta, laippoja tai laippojen väliin kiinnittämistä. Ensiöpuolella DN20 ja pienemmät venttiilit voivat olla kierteellisiä palloventtiileitä. Toisiopuolella kierrelitoksille ei ole rajoitusta. Palloventtiilin virtausaukon tulee olla vähintään edellinen DN-koko millimetreinä. Venttiilien tulee olla nimelliskooltaan putken kokoa vastaavia.

Toisiopuolen sulkuventtiiliksi hyväksytään myös kertasäätöventtiili, jos se rakenteeltaan on siihen soveltuva ja säädön asetteluvarvo ei venttiiliä sulkuna käytettäessä muutu.



Kuva 50: Hitsattava palloventtiili (NAVAL)²⁷

²⁷ Naval-palloventtiilit, tuote-esite

Varoventtiilit

Lämmönjakokeskus varustetaan varoventtiilillä, jonka minimikoko on DN15, toisipuolen veden liiallisen painetasen nousun varalta, joka voi aiheutua esimerkiksi säätöventtiilin rikkoutumisen takia. Varoventtiili sijoitetaan yleensä paisuntajohtoon tai sen liitoksen läheisyyteen. Kahden varoventtiilin käyttö on suositeltua. K1:ssä on taulukko varoventtiilien mitoituksista.

Lianerottimet

Lianerottimia suositellaan käyttäväksi lämmönsiirtimen kaukolämmityksen tulo- ja lämmityspaluujohtossa estämään epäpuhtauksien pääsy lämmönsiirtimeen. Lianerotin suodatinverkon silmäkoon tulee olla enintään 1,0 mm. Lianerotin DN-koon tulee olla vähintään putken kokoa. Lianerotin on oltava puhdistettavissa.

Anturien suojataskut

Tarvittavien antureiden suojataskut valmistetaan ruostumattomasta tai haponkestävästä teräksestä tai kuparista. Kuparia käytettäessä on varmistettava, että kuparia voidaan käyttää kyseisessä kaukolämpöverkostossa ilman korroosio-ongelmia.

Materiaalit

Kaikkien lämmönjakokeskuksen valmistuksessa käytettävien materiaalien on kestävä kaukolämpöolosuhteissa (maksimit; 120 °C ja 1,6 MPa) koko lämmönjakokeskuksen käyttöä. Valuraudan käyttö on kielletty ensiöpuolella.

Paine-erosäädin

Mikäli kaukolämmityksen paine-ero vaihtelee enemmän kuin 400 kPa (4 bar), suositellaan paine-erosäätimen käyttöä. Mikäli paine-erosäätimen tarve on ollut tiedossa ennen lämmönjakokeskuksen hankintaa, kuuluu paine-erosäädin tehdasvalmiin lämmönjakokeskuksen toimitukseen.

Paine-erosäätimenä voidaan käyttää myös niin sanottua yhdistelmäventtiiliä, jossa on sekä virtauksen että paine-eron säätömahdollisuus.



Kuva 51: Yhdistelmäventtiili (paine-eron- ja virtauksensäätö)²⁸

²⁸ Landis & Gyr

5.4 Toisiopuolen järjestelmät

Toisiopuolen järjestelmien suunnittelussa, mitoittamisessa ja toteuttamisessa noudetaan Energiateollisuus ry:n määräyksiä ja ohjeita.

Yleistä lämmitysjärjestelmistä

Kaukolämmitykseen on periaatteessa kytkettävissä minkälainen nestekiertoinen lämmitysjärjestelmä tahansa, kun vain muistetaan kaukolämmityksen lämpötilatasojen ja painehäviöiden reunaehdot suunnittelulle ja toteutukselle. Kaikessa kaukolämpötoiminnoissa pyritään mahdollisemman suureen energiatehokkuuteen. Rakennuksen lämmitysjärjestelmät suunnitellaan ja asennetaan julkaisun K1 mukaan siten, että:

- energian kulutus ja tehontarve on mahdollisimman pieni
- säätöjärjestelmät kykenevät sopeuttamaan energianhankinnan niin, että aurion säteilystä, ihmisistä, valaistuksesta yms. syntyvät lämpökuormat tulevat tilakohtaisesti hyödynnetyiksi rakennuksen lämmityksessä
- virtauspiirien toimintalämpötilat ovat säädettävissä ja ne pidetään lämmityskaudella mahdollisimman alhaisella tasolla
- laitteistot toimivat moitteettomasti muuttuvissa paine-ero-olosuhteissa
- energian- ja tehontarpeen optimointi on mahdollista
 - esim. käyttöveden tehontarpeen ollessa maksimissaan pienennetään lämmityssiirtimelle menevää tehoa lyhytaikaisesti.
- lämmönjakolaitteiston vaatima perussäädön tarve on vähäinen ^{K1}

Verkostojen tasapainotus

Kaikki lämmönjakoverkostot tulee perussäätää eli tasapainottaa. Tasapainotus tehdään kertosäätö- ja patteriventtiilien avulla niin, että jokainen verkosto-osa ja patteri on tasapainotettu. Kertosäätö- ja patteriventtiilille lasketaan ja asetetaan etukäteen suunniteltu, oikea virtaama.

Paisunta- ja varolaitteet

Lämpötilavaihteluista johtuvat veden tilavuuden muutokset kompensoidaan lämpöjohtoverkostoissa nykyisin suljettua paisuntajärjestelmää käyttäen. Paisuntalaitteena käytetään kalvopaisunta-astiaa, jonka liitosaara on pumpun imupuolella. Paisuntajärjestelmä mitoitetaan lämmitysjärjestelmässä käytettävän nesteen fysikaalisten ominaisuuksien mukaan. Tavanomaiselle vesikiertoiselle lämmitysjärjestelmälle voidaan kaukolämpöjärjestelmässä arvioida tilavuuden muutokseksi 2,5 ... 3,5 % lämmitysjärjestelmän kokonaistilavuudesta. Erityisen korkeiden rakennusten paisuntajärjestelmänä käytetään kompressori- tai pumppuhjattua suljettua järjestelmää.

^{K1} Rakennusten kaukolämmitys, määräykset ja ohjeet. Energiateollisuus ry

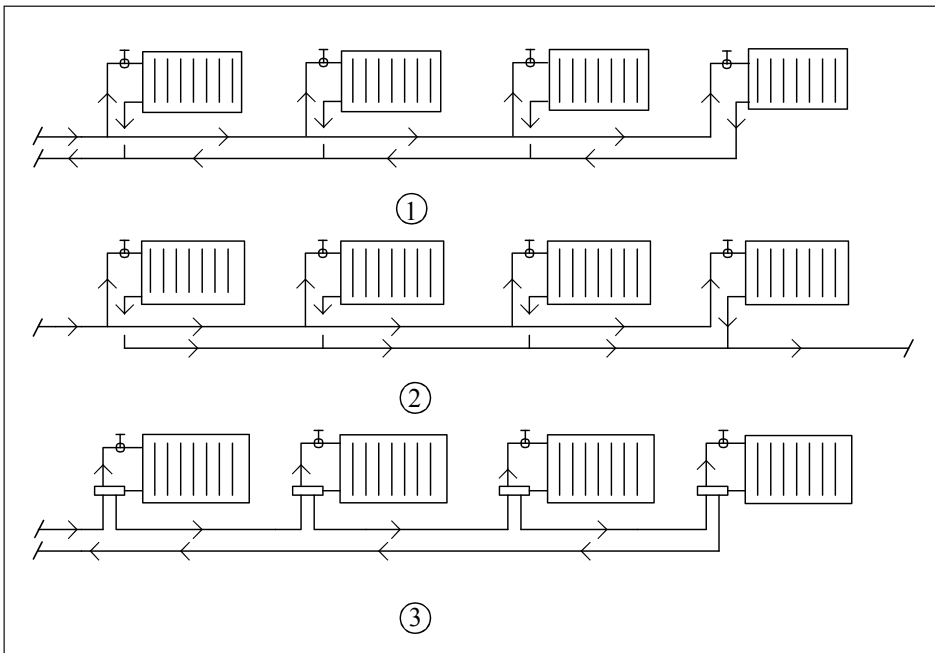
Olemassa olevien vanhojen rakennusten käytössä olleet avoimet paisuntajärjestelmät korvataan viimeistään kaukolämpöön liityttäessä suljetulla paisuntajärjestelmällä. Avoimen järjestelmän haittapuolena on hapen mahdollisuus kertyä lämmitysjärjestelmään ja aiheuttaa järjestelmässä korroosiota. Korroosiosta aiheutuvan vesivahingon vaara on tällöin suuri.

Mikäli ongelmat johtuvat auki juuttuneesta lämmityksen säätöventtiilistä, tulee muistaa, että toisipuolen lämpötila voi tällöin nousta samalle tasolle tulevan kaukolämpöveden lämpötilan kanssa, aina jopa 110 ... 115 °C:een asti.

Lämmönjakokeskuksen uusinnassa varolaitteiden avautumispaineen valinnassa otetaan huomioon vanhan lämmitysjärjestelmän rakennepaine ja kunto. Kaukolämmityksessä suositellaan kahden varoventtiilin käyttöä. Ne mitoitetaan ohjeiden mukaisesti. K1:ssä on esitetty yksinkertaistettu taulukko mitoitusta varten.

5.4.1 Patteriverkosto (radiaattoriverkosto)

Patteriverkoston suunnittelussa ja toteutuksessa voidaan käyttää alla olevan kuvan mukaisia järjestelmiä.



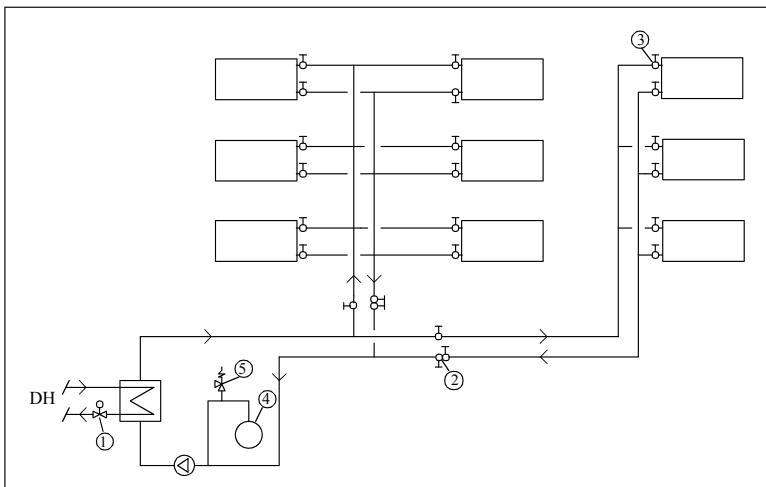
Kuva 52: Patteriverkoston kytkentämalleja

- 1 2-putkijärjestelmä (perinteinen)
- 2 2-putkijärjestelmä käännetyllä paluulla (Tichelman-kytkentä)
- 3 1-putkijärjestelmä

Perinteisessä 2-putkijärjestelmässä (kuva 52) patterit kytketään rinnan putkistoon. Järjestelmän etuna on pattereiden helppo mitoittaminen johtuen siitä, että kun huonelämpötilat ja patterin mitoituslämpötilat ovat samat, on logaritminen keskilämpötila patterin pintalämpötilan ja huonelämpötilan välillä myös vakio. Haittapuolena on hydraulinen epätasapaino järjestelmän eri osien välillä. Jokaisella patterilla on eri paine-erotaso, joten 2-putkijärjestelmä vaatii paljon perussäätö- eli tasapainotustyötä.

Toinen järjestelmävaihtoehto on käännetty paluu (Tichelman-kytkentä, kuva 52), jossa kyseinen tasapainottomuus on saatu poistettua verkoston rakenteella, jossa lämmityksen lämmönsiirtimeltä lähtee yksi iso putki, jonka DN-koko pienenee virtaussuunnassa siirrettävän tehon ja vesivirran pienentyessä. Vastaavasti piiriin ensimmäiseltä patterilta lähtee pienikokoinen putki, jonka DN-koko kasvaa paluuvirtaussuunnassa vesivirran kasvaessa. Järjestelmän jokaisella patterilla on lähes samat paineolosuhteet ja tasapainotus on helpompi ratkaista. Myös tässä tapauksessa pattereiden mitoituslämpötilat ovat samat.

1-putkijärjestelmässä (kuva 52) patterit on putkistossa sarjaan kytkettyinä. Tämän järjestelmän haittapuolena on hankala mitoittaminen, koska jokaisella patterilla on erilaiset mitoituslämpötilat, johtuen muuttuvasta tuloveden lämpötilasta patterille. Tämä johtaa erikokoisiin pattereihin jopa samassa huonetilassa. Yhteen lämmityspiiriin voidaan kytkeä noin 5 patteria, koska tuloveden lämpötila laskee muutoin liian matalaksi ja patterikoko kasvaa liian suureksi. Alla olevassa kuvassa on esitetty yleisin Suomessa käytössä oleva 2-putkijärjestelmä kerrostalossa.



Kuva 53: Yleisin 2-putkijärjestelmä kerrostalossa

- 1 kaukolämmityksen säätöventtiili
 - 2 linjasäätöventtiili (kertasäätö) verkoston tasapainotukseen
 - 3 termostaattinen patteriventtiili
 - 4 kalvopaisunta-astia
 - 5 varoventtiili
- DH kaukolämpöverkosto (District Heating)

Lämpötilat

Julkaisussa K1 on esitetty voimassa olevat mitoituslämpötilat eri lämmitysjärjestelmille. Suosituksen mukaiset mitoituslämpötilat uudelle kaukolämmitettävälle patteriverkostolle ovat seuraavat:

- lämpöjohto meno: $t_m = 45 \text{ °C}$
- lämpöjohto paluu: $t_p = 30 \text{ °C}$

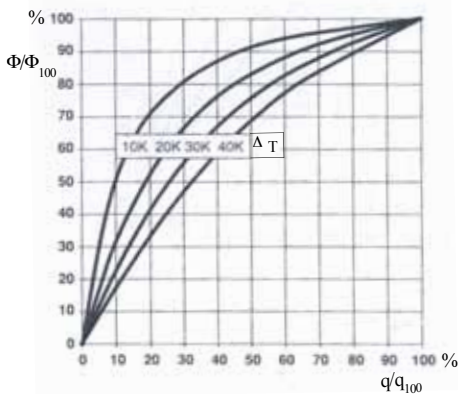
Lämpötilat voivat olla matalampia kuin edellä oleva suositus. Perustelluissa poikkeustapauksissa voidaan käyttää hieman korkeampaa toisiopuolen menoveden mitoituslämpötilaa, mikäli siihen on perustellut syyt. Korkein sallittu toisiopuolen menoveden mitoituslämpötila on 60 °C ja paluueden korkein sallittu lämpötila edelleen 30 °C . Lämpötilaeron vaikutus lämmitysjärjestelmässä, $\Delta T = t_m - t_p$ on havaittavissa patterin ja termostaattiventtiilin ominaiskäyrästä (Kuva 54).

Patteriverkoston säätö

Lämmönjakokeskuksesta lähtevän patteriverkoston menoveden lämpötilaa säädetään ulkoilman lämpötilan mukaan. Koska kyseessä on keskitetty menoveden lämpötilan säätö, on menoveden oltava riittävän korkea kaikkien kyseessä olevien tilojen lämmittämiseksi. Lopullinen huoneilman ylälämpötila voidaan ”hienosäätää” termostaattisella patteriventtiilillä, koska kaikista lämmitettävistä tiloista on mahdotonta saada takaisinkytkentää (mittaustietoa) huonelämpötilatasosta lämmönjakokeskuksen lämpötilasäätimelle.

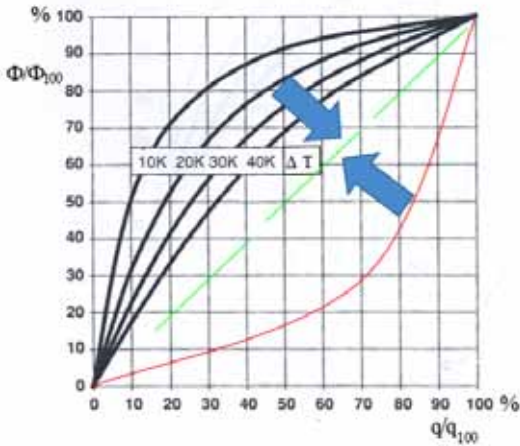
Termostaattinen patteriventtiili

Suomessa huonelämpötilaa on ”säädetty” patteritermostaatin avulla siten, että jokaisella patterilla on oma termostaatti, joka rajoittaa patterin lämmönluovutusta kun tilassa on ylimääräistä lämpökuormaa ihmisistä, auringon säteilystä tai laitteista. Toisin sanoen termostaatin tehtävä on säästää ostoenergiaa silloin, kun energiaa tulee kyseeseen jostain muusta lämmönlähteestä. Kuvassa 54 on esitetty tyypillisen radiaattorin lämmönluovutusteho virtaaman funktiona. Parametrina on lämpöjohtoveden lämpötilaero $\Delta T = t_m - t_p$



Kuva 54: Patterin lämmönluovutusteho vesivirran funktiona eri lämpötilaeroilla $\Delta T = t_m - t_p$

Kuvasta 54 nähdään patterin lämmönluovutustehon muuttuvan lineaarisemmaksi, kun lämpötilaero (ΔT) kasvaa. Lämpötilaeron ollessa $\Delta T = 30$ K tulee patteritermostaatile vähemmän vaatimuksia toimintansa kannalta lineaarisen vasteen saavuttamiseksi patterin lämmönluovutustehoon. Lämpötilaeron ollessa vain $\Delta T = 10$ K käyrä on epälineaarinen vahvasti ylöspäin. Tällaisessa tapauksessa vaaditaan patteriventtiilin säätökäyräksi vahvasti alaspäin oleva käyrä, jotta patterin ja termostaattisen patteriventtiilin yhteinen lineaarinen toimintavaste saavutettaisiin (kuva 55).



Kuva 55: Patterin ja patteriventtiilin yhdistäminen

Huomioitava on myös, että patterin lämmönluovutusteho on vaikea säätää, mikäli lämpötilaero on pieni, sillä lämmönluovutusteho on hyvin riippuvainen virtaamasta. Todellisessa huonetilassa patteritermostaatti toimii yleensä suurimman aikaa kohtuullisen pienellä virtaamalla. Samaa huonetilaa palvelevat kaksi rinnakkaista patteria on mahdollista varustaa yhdellä yhteisellä termostaattisella patteriventtiilillä, jolloin molemmat patteri lämpenevät saman verran.

5.4.2 Lattialämmitys

Lattialämmityksellä tarkoitetaan järjestelmää, jossa perinteiset seinälle asennetut patterit on korvattu lattiaan asennetuilla lämmönluovutusputkistoilla. Edellisestä on syytä erottaa niin sanottu kosteiden tilojen mukavuuslattialämmitys, jolla pyritään saamaan lattian pintalämpötila miellyttäväksi, eikä sillä pyritä lämmittämään itse rakennusta.

Lattian pintalämpötilat

Lattian pintalämpötila aiheuttaa rajoituksia termiseen viihtyisyyteen, jonka takia lattialämmityksen menoveden lämpötilaa on rajoitettu. Taulukossa 4 esitetään lattian pintalämpötilat EU:n sisätilojen viihtyvyyssuosituksessa.

Taulukko 4. Lattialämmityksen pintalämpötilat eri sisäilmastoluokituksissa²⁹

Luokitus	Lattialämpötilaan tytymättömien määrä prosentteina PPD	Lattian pintalämpötila
	%	°C
A	< 10	19 – 29
B	< 10	19 – 29
C	< 15	17 – 31

Taulukon luokituksessa on myös muita huonelämpötilan ominaisuuksiin liittyviä kriteereitä. Taulukosta voidaan havaita, että korkein lattian pintalämpötila on alueella 29 °C – 31 °C. Tämä merkitsee, että korkein lattialämmitysputkistoon johdettavan veden lämpötila on tasolla 35 °C – 45 °C, mikä on oleellisesti matalampi kuin aikaisemmin käytössä olleet patteriverkoston mitoitusslämpötilat. Lattialämmitysverkoston menolämpötilaan vaikuttavat lattiamateriaalit ja verkoston asennussyvyys.

Kaukolämpöön kytketyn rakennuksen lattialämmityspiirin mitoitusslämpötilat ovat K1:n mukaan

- meno: $t_m = 35 \text{ °C}$
- paluu: $t_p = 30 \text{ °C}$

Erilaisista mitoitusslämpötiloista johtuen lattialämmitystä ja patteriverkostoa ei kytketä samaan kiertopiiriin, vaan ne tarvitsevat omat kiertopiirinsä. Kytkentä saman lämmönsiirtimen yhteyteen sen sijaan on mahdollista, mutta lattialämmityspiirille on oltava oma säätöpiiri, joka usein toteutetaan 3-tieventtiilillä. Nykyisin suositellaan asennettavaksi molemmille lämmitysryhmille oma lämmönsiirrin toimivuuden, käytömukavuuden ja taloudellisuuden takia.

Eräiltä valmistajilta löytyy myös patteriverkoston asennettavia pumppu- ja säätölaitteyhdistelmiä, joilla saadaan patteriverkoston korkeampi menoveden lämpötila 3-tieventtiilin avulla matalammaksi. Tällaista laitetta käytetään pääasiassa saneeraustapauksissa mukavuuslattialämmityksen toteuttamiseksi.

Lattialämmityksen säätöjärjestelmä

Kuten patterilämmityksessäkin, myös lattialämmityksessä paras lopputulos saavutetaan säätämällä menoveden lämpötilaa ulkoilman lämpötilan mukaan. Huonetilojen lämpötilaa voidaan säätää erikseen huonetermostaateilla kuten patterilämmityksessäkin. Säätö voi olla huone- tai huoneryhmäkohtainen. Huonetermostaatien sijoittamiseen tulee kiinnittää erityistä huomiota, sillä eri tiloja ohjaavat termostaatit tulee sijoittaa niin, ettei toisen tilan lämpimämpi huoneilma häiritse toisen tilan lämmitystä. Samaa tilakokonaisuutta palvelevien lattialämmitysputkistojen ohjaus kannattaa toteuttaa yhdellä termostaatilla

²⁹ CR1752:1998. Design criteria for indoor environment

5.4.3 Ilmanvaihto ja ilmastointi

Ilmanvaihto- tai ilmastointijärjestelmiin pätevät samat suunnitteluperusteet kuin lämmitysjärjestelmien kohdalla. Mitoituslämpötilat ilmanvaihto- tai ilmastointikoneiden lämmityspattereille johtavilla putkistoilla on 60°C menovedelle ja 30°C paluuedelle. Ilmanvaihtokoneiden lämmityspatterit mitoitetaan uudisrakennuksissa 50°C tulo­lämpötilalle ja 30°C paluuedelle. Ilmanvaihtokoneiden lämmityspattereiden lämpötilasäätö voidaan toteuttaa niin 2- kuin 3-tieventtiilein. Olemassa olevien rakennusten järjestelmäsaneerauksissa on tarkistettava ilmanvaihtopattereiden tehon riittävyys läm­pötilaohjelmaa muutettaessa.

Mikäli suurin ilmanvaihdon lämmitysteho esiintyy muussa kuin paikkakunnan mitoi­tusulkolämpötilassa, on se huomioitava ilmanvaihdon lämmönsiirtimen mitoitukses­sa kaukolämpöveden matalampana mitoitukslämpötilana. K1:stä löytyy yhtälö kauko­lämmityksen tuloveden mitoitukslämpötilan selvittämiseksi. Lämmönmyyjäkohtaiset tiedot tulee kuitenkin hankkia poikkeavien käyttöolosuhteiden selvittämiseksi.

5.4.4 Lämmin käyttövesi

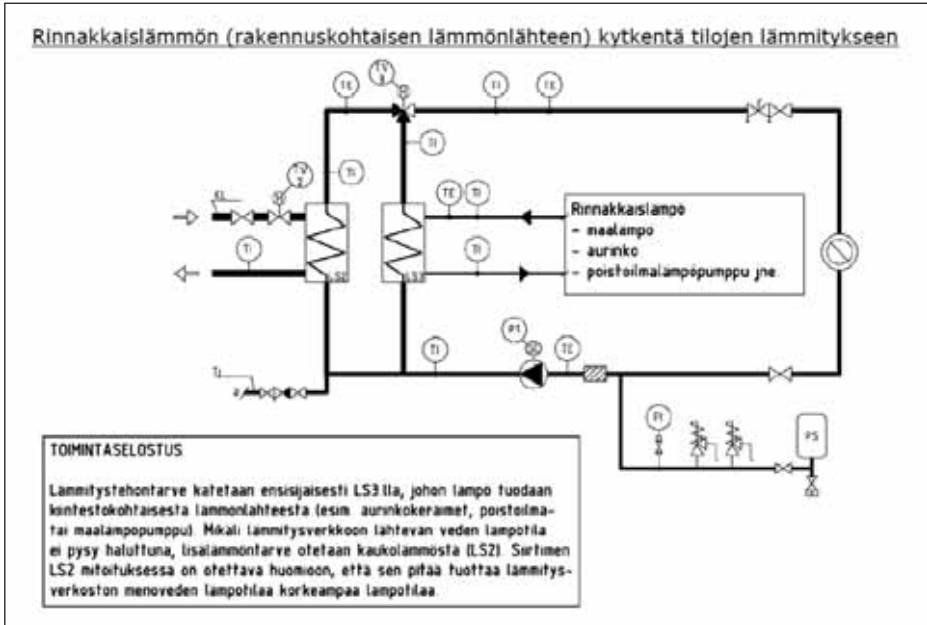
Lämpimän käyttöveden lämmönsiirtimen mitoittaminen poikkeaa huomattavasti muiden lämmönsiirtimien mitoittamisesta. Lämpimän käyttöveden huipputeho voi esiintyä niin kesällä kuin talvellakin. Kesäolosuhteissa kaukolämpöverkoston tulo­veden lämpötila on matalampi kuin paikkakunnan mitoituksulkolämpötilassa, joten mitoittavaksi tuloveden lämpötilaksi muodostuu käyttöveden lämmityksen osalta kaukolämpöverkoston lämpötila kesäolosuhteissa. Lämpimän käyttöveden mitoituks­lämpötilat ovat ensiöpuolella tulolämpötila 70°C ja paluulämpötila 20°C sekä toi­siöpuolella lämminkäyttövesi 58°C ja tulevalle kylmälle vedelle 10°C. Kesäaikainen lämpimän käyttöveden tehontarpeen aiheuttama kaukolämpövirtaama voi määrittää talojohdon uusissa rakennuksissa.

Lämpimän käyttöveden teho- ja virtaamavaihtelut ovat suuria ja nopeita, johtuen nykyisten yhtiötehanojen nopeasta avattavuudesta ja sulkeutuvuudesta. Nämä suuret teho- ja virtaamavaihtelut asettavat huomattavat vaatimukset käyttövesisiirtimen en­siöpuolen säätöventtiilin mitoittamiselle ja valinnalle sekä virittämiseksi, jotta läm­pimän käyttöveden laatu (=tasainen lämpötila) saadaan varmistettua.

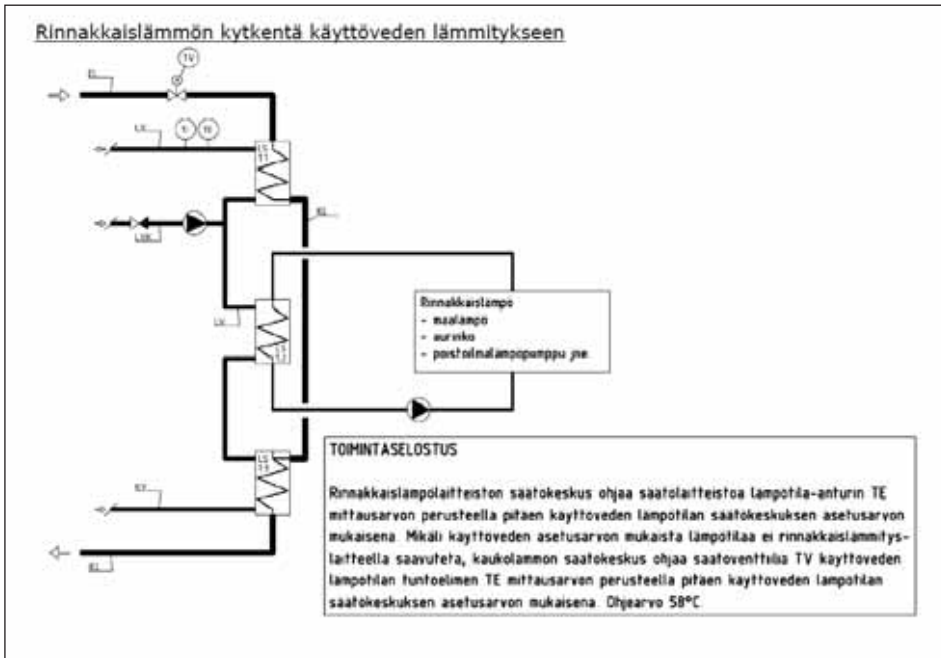
Lämmönsiirtimien pienestä vesitilavuudesta johtuen lämpimän käyttöveden lämpö­tila voi vaihdella paljon. Tämän ongelman helpottamiseksi lämmönjakokeskuksiin voidaan asentaa niin kutsuttu tasaajasäiliö auttamaan tasalämpöisen käyttöveden val­mistusta.

5.5 Hybridikytkennät kaukolämpöjärjestelmässä

Hybridi- eli rinnakkaislämmitysjärjestelmät suunnitellaan ja toteutetaan niin, että niitä käytettäessä kaukolämpöveden jäähtymä pysyy hyvänä. Seuraavissa kuvissa on esitetty K1:n mukaiset periaatteelliset kytkentämallit kiinteistön oman lämmönlähteen kytkemiseksi lämmitysverkkoon ja käyttöveden lämmittämiseen.



Kuva: 56: Hybridijärjestelmä tilojen lämmityksessä^{K1}



Kuva 57: Hybridijärjestelmä käyttöveden lämmityksessä^{K1}

Hybridijärjestelmän kytkennässä on huomioitava käytettävät kaukolämmön tuotantotavat sekä mahdollinen sähkön ja lämmön yhteistuotanto. Kaukolämmön paluueden lämpötilan nousu heikentää sähkön tuotantoa CHP-laitoksella. Sen sijaan erillisen kaukolämmön tuotannon yhteydessä voidaan sallia hieman huonompi kaukolämpöveden jäähtymä. K1:n kytkentämallit on laadittu siten, että kaukolämpöveden jäähtymä ei huonone tarpeettomasti. Rinnakkaislämmönlähteen hyödyntäminen esim. mukavuuslattialämmitykseen on useimmille lämmönlähteille lämpötilatasoltaan sopiva käyttökohde. Varaajan tarve tulee tarkastella erityisesti silloin, kun rinnakkaislämmönlähteenä on aurinko, mutta myös muissa tapauksissa varaaja voi lisätä toimintavarmuutta ja tehostaa rinnakkaisen lämmönlähteen hyödyntämistä.

6 LÄMMÖNJAKOKESKUKSEN MITOITTAMINEN

Kaukolämmityksen lämmönjakokeskuksen mitoittamisperiaatteet esitetään Energia-teollisuus ry:n määräyksissä ja ohjeissa. Rakennusten kaukolämmitys – Määräykset ja ohjeet, julkaisu K1/2013 (K1) koskee lämmönjakokeskuksen suunnittelua, valmistusta, mitoittamista ja asentamista. Lämmönjakokeskuksen valmistaja vastaa suunnittelusta ja valmistuksesta. LVI-suunnittelija mitoittaa ja valitsee lämmönjakokeskuksen osana rakennuksen LVI-suunnitelmia. Asennusliike toimittaa ja asentaa valitun lämmönjakokeskuksen. Tavoitteena on lämmönjakokeskuksen mahdollisimman tehokas toiminta niin asiakkaan kuin lämmönmyyjän kannalta.

Pääperiaatteet

Rakennuksen kaukolämmityslaitteet suunnitellaan, mitoitetaan, valitaan ja asennetaan kokonaisvaltaisesti siten, että saavutetaan hyvälaatuinen sisäilmasto kaikissa tiloissa ja olosuhteissa, ja energian käyttö on mahdollisimman tehokasta sekä tehontarve on mahdollisimman alhainen.

Mitoituksessa ja laitevalinnoissa otetaan K1:n mukaan huomioon seuraavat vaatimukset:

- Säätojärjestelmät kykenevät sopeuttamaan energianhankinnan niin, että auringon säteilystä, ihmisistä, valaistuksesta yms. lämpökuormat hyödynnetään tilakohtaisesti.
- Lämpötilat eri virtauspiireissä (lämmitysverkostoissa) ovat säädettävissä tarpeen mukaisiksi ja ne pidetään mahdollisimman alhaisella tasolla.
- Laitteistot toimivat moitteettomasti muuttuvissa paine-ero-olosuhteissa.
- Energian- ja tehontarpeen optimointi on mahdollista.

6.1 Lämmönjakokeskuksen suunnittelun lähtökohdat

Lämmönjakokeskukset suunnitellaan siten, että jokainen lämmityspiiri, varsinkin jos lämpötilatasot tai käyttöajat poikkeavat toisistaan, varustetaan omalla lämmönsiirtimellä ja säätölaitteilla, jolloin tehontarve voidaan säätää vastaamaan toisiopuolen lämmitystehontarvetta vastaavaksi. Lämmitysryhmäkohtaiset lämmönsiirtimet ja säätöpiirit ovat parantaneet kaukolämmityslaitteiden toimintaa ja asiakkaiden saaman lämmön laatua. Samalla ne ovat lisänneet kaukolämpöveden jäähdytystä sekä siten osaltaan pienentäneet kaukolämpöverkoston lämpöhäviöitä. Yhdistetyssä sähkön ja lämmön tuotannossa kasvanut jäähdytys lisää sähköntuotantoa ja energiatehokkuutta.

Suunnittelussa tulee tarkastella lämmönjakokeskusta aina kokonaisvaltaisesti myös laiteusinnoissa. Laitteiden mitoituksen tulee perustua uudisrakennuksissa laskennallisiin ja laiteusinnoissa todellisiin mitattuihin toiminta-arvoihin. Lämmönjakokeskuksen suunnittelun lähtötiedoiksi selvitetään lämmönmyyjältä käytettävissä oleva kaukolämpöverkoston paine-ero ja lämpötilatasot.

Mitoituksen lähtökohdat

Uudisrakennuksen lämmityksen- ja ilmanvaihdon tehontarpeet sekä käyttöveden mitoitusvirtaama lasketaan voimassa olevien Suomen rakentamismääräyskokoelman määräysten ja ohjeiden mukaisesti. Lämmönjakokeskuksen mitoituksessa noudatetaan Energiateollisuus ry:n julkaisua K1.

Muissa kuin uudisrakennuksissa lämmitystehot lasketaan käytettävissä olevien kulu-
tustietojen ja mittausten perusteella. Mitoituksessa tulee huomioida, onko rakennusta ja lämmityslaitteita käytetty oikein. Tärkeää on esimerkiksi selvittää mitkä ovat olleet rakennuksen sisälämpötilat, ilmanvaihdon käyttöajat ja ilmamäärät.

Taulukko 5. Uudisrakennusten mitoituslämpötilat Suomessa (K1)

	LÄMMÖNSIIRTIMIEN MITOITUSLÄMPÖTILAT °C			
	ENSIÖ		TOISIO	
	TULO	PALUU	PALUU	MENO
Lämmityksen lämmönsiirtimet, radiaattorilämmitys – suositus	115	33 (max)	30 (max)	45 (max)
Lämmityksen lämmönsiirtimet, radiaattorilämmitys – poikkeustapaukset	115	33 (max)	30 (max)	60 (max)
Lämmityksen lämmönsiirtimet, lattialämmitys	115	33 (max)	30 (max)	35 (max)
Kosteiden tilojen mukavuuslattialämmitys	70	28 (max)	25 (max)	30 (max)
Ilmanvaihdon lämmönsiirtimet	115	33 (max)	30 (max)	60 (max)
Huomautus		Ensiöpuolen paluulämpötila saa olla enintään 3 °C korkeampi kuin toisiopuolen paluulämpötila		

Jokainen lämmitysverkosto mitoitetaan erikseen. Mitoitus aloitetaan laskemalla rakennuksen lämpöhäviöt ja ilmanvaihdon tehontarpeet, jotka yhdistettynä muodostavat lämpimän käyttöveden lämmitystarpeen kanssa tarvittavan lämmitystehon kaukolämpöverkостosta. Tämän jälkeen valitaan lämmönsiirtimet ja muut ensiöpuolen laitteet sallitun kokonaispainehäviön rajoissa. Toisioverkoston painehäviö riippuu putkiston kitkapainehäviöistä ja kertavastusten aiheuttamista painehäviöistä. Kertavastuksia ovat erilaiset putkistovarusteet, kuten venttiilit, lianerottimet, sekä putkiston osat kuten putkikäyrät. Toisiopuolen painehäviön ja vesivirran perusteella valitaan toisiopuolen pumput.

Maksimi painehäviö lämmönsiirtimelle on 20 kPa ensiö- ja toisiopuolella, lukuun ottamatta käyttöveden lämmönsiirrintä, jonka toisiopuolella sallitaan 50 kPa:n painehäviö.

Lämmönsiirtonesteen ominaisuudet on huomioitava lämmönsiirtimen mitoituksessa.

Lämmönsiirrinten valmistajat käyttävät ATK-avusteisessa mitoituksessa tarkempia arvoja veden ominaisuuksille, jotka saadaan keskiarvoisista meno- ja paluueden lämpötiloista niin ensiö- kuin toisiopuolellakin. Lämmönsiirrinten mitoitusohjelmistoilla tulee pystyä tarkastelemaan lämmönsiirrinten toimintaa kaikilla lämpötilaohjelmilla eri toimintaolosuhteissa.

Lämmönmyyjälle toimitetaan kaukolämpötehon ja -vesivirran määrittämistä sekä energiankulutuksen arviointia varten lämmitystekniset tiedot ja lämmönjakokeskukseen mitoitustaulukoiden mukaiset tiedot.

6.1.1 Patteriverkoston lämmönsiirtimen mitoitus

Rakennuksen lämmitystehontarve eli lämpöhäviöt riippuvat sen ulkovaipan (seinät, ovet, ikkunat, ylä- ja alapohja) rakenteesta ja käytetyistä rakennusmateriaaleista. Näiden rakenteiden ja materiaalien lämmönläpäisykertoimien maksimiarvot määritetään RakMk:n osassa C3. Lisäksi mitoituksen lähtökohtina ovat paikkakunnan mitoitusulkolämpötila, rakennuksen haluttu sisälämpötila sekä ensiö- ja toisiopuolen mitoituslämpötilat. Patteriverkoston lämmönsiirrin mitoitetaan lämmitysjärjestelmän tehontarpeen mukaisesti, joka saadaan laskettua RakMk:n osan D5 mukaisesti. Lämmitysjärjestelmän pattereiden lämmönluvutusteho mitoitetaan huonekohtaisesti ja niiden yhteenlaskettu teho on lämmityksen lämmönsiirtimen mitoitusteho.

Korkein mahdollinen kaukolämpöveden lämpötila on Suomessa 120°C. Patteriverkoston lämmityssiirtimen tehohuippu osuu talvelle, jolloin ensiöpuolen tuloveden mitoituslämpötila on 115°C. Tällä viiden asteen lämpötilan laskumahdollisuudella 120 asteesta 115 asteeseen varmistetaan, että mitoituslämpötila on saavutettavissa kaukolämpöverkoston kaikissa osissa.

Toisiopuolella käytetään uudisrakennuksissa patteriverkoston mitoituslämpötiloina menovedelle 45°C ja paluuedelle 30°C. Perustelluissa poikkeustapauksissa (arkkitehtoniset ratkaisut, jotka rajoittavat patterikokoa) voidaan käyttää menoveden lämpötilana 45°C ja 60°C välille valittua mahdollisimman matalaa menoveden lämpötilaa. Ensiöpuolen mitoituspaluulämpötila on enintään kolme (3) astetta toisioveden lämpötilaa korkeampi. Paluulämpötilojen erotusta kutsutaan siirtimen asteisuudeksi.

Patterien tarvitsema vesivirta on summattuna siirtimen toisiopuolen virtaama. Samaan tulokseen virtaaman osalta päästään jakamalla siirtimen mitoitusteho pattereiden mitoituksessa käytetyllä lämpötilaerolla ja veden ominaisuuksilla. Samasta mitoitustehosta saadaan laskettua ensiöpuolen virtaamat käyttämällä ensiöpuolen mitoituslämpötiloja uudisrakennuksessa 115 °C – 33 °C, toisin sanoen lämpötilaeroa 82 K.

Laiteusinnat eli saneerauskohteet voivat tehdä poikkeuksen kyseisiin lämpötiloihin, sillä aikaisemmin oli käytössä patteriverkostolle mitoituslämpötilat 90°C–70°C, jotka voidaan korvata mitoituslämpötiloilla 80°C–60°C saneerauskohteissa. Muissa saneerauskohteissa noudatetaan taulukon 5. mukaisia mitoituslämpötiloja. Yleisin käytössä olevien rakennusten toisiopuolen lämpötilaohjelma on 70 °C – 40 °C.

Taulukko 6. Muiden kuin uudisrakennusten mitoituslämpötilat Suomessa (K1)

	LÄMMÖNSIIRTIMIEN MITOITUSLÄMPÖTILAT °C			
	ENSIÖ		TOISIO	
	TULO	PALUU	PALUU	MENO
Lämmityksen lämmönsiirtimet, radiaattorilämmitys	115	43 (max)	40 (max)	70 (max)
Lämmityksen lämmönsiirtimet, radiaattorilämmitys – vanhat rakennukset	115	63 (max)	60 (max)	80 (max)
Lämmityksen lämmönsiirtimet, lattialämmitys	115	33 (max)	30 (max)	40 (max)
Kosteiden tilojen mukavuuslattialämmitys	70	28 (max)	25 (max)	35 (max)
Ilmanvaihdon lämmönsiirtimet	115	43	40	70
Huomautus		Ensiöpuolen paluulämpötila saa olla enintään 3 °C korkeampi kuin toisiopuolen paluulämpötila		

Esimerkki, patteriverkoston lämmönsiirrin, toisio

LVI-suunnittelija on saanut laskelmissaan rakennuksen lämpöhäviöiksi 255,0 kW ja päätenyt lämmönjakojärjestelmän valinnassa perinteiseen patterilämmitykseen (radiaattorit). Koska kyseessä on uudisrakennus, on mitoituslämpötilat valittava ohjeiden mukaisesti taulukosta 4. Suunnittelija on valinnut lämpötilaohjelmaksi 115–33/30–45 °C, mikä merkitsee toisiopuolen lämpötilaeroa 15 K. Patteriverkoston eli toisiopuolen mitoitusvesivirraksi saadaan lämmönsiirintehosta yhtälöllä 1:

$$q_{v,t} = \frac{\Phi}{\rho \cdot cp \cdot \Delta t}$$

johon sijoittamalla esimerkin lukuarvot, saadaan

$$q_{v,t} = \frac{255 \text{ kW}}{1,0 \text{ kg/dm}^3 \cdot 4,2 \text{ kJ/kg K} \cdot 15 \text{ K}}$$

toisiovirtaamaksi $q_{v,t} = 4,05 \text{ dm}^3/\text{s}$

Nyt on selvitetty lämmönsiirtimen teho ja toisiopuolen virtaus pumppumitoitusta varten. Pumpun valintaan vaikuttavat lämmönsiirtimen toisiovirtauksen lisäksi lämmönsiirtimen toisiopuolen painehäviö mitoitusvirtaamalla sekä toisiopuolen putkiston vaikeimman kiertopiirin painehäviö. Patteriverkoston kokonaispainehäviöön vastavasti vaikuttavat myös putkistomateriaali ja sallitut mitoituspainehäviöt. Esimerkiksi kupariputkessa virtausnopeuden tulee jäädä alle 1,0 m/s, jotta eroosio-korroosiolta vältytään. Muissa putkistomateriaaleissa rajoittavana tekijänä on yleensä painehäviö putkimetriä kohden. Putkistoja ei kannata suunnitella liian tiukoiksi, sillä liian pienillä putkidimensioilla pumppauskustannukset kasvavat, ja putkistossa saattaa esiintyä ääniongelmia. Liian suuret putket lisäävät materiaalikustannuksia rakennusvaiheessa.

Uusittaessa olemassa olevaa teräsputkilla rakennettua patteriverkostoa komposiittiputkilla, on huomioitava komposiittiputkien liitososien kertavastuksista johtuva, mahdollisesti huomattavakin painehäviön kasvu putkiston osalta, mikä saattaa aiheuttaa ongelmia lämmönjaossa lisääntyneinä painehäviöinä patteriverkostossa.

Esimerkki, patteriverkoston lämmönsiirrin, ensiö

Ensiöpuolen mitoituslämpötilat uudisrakennukselle ovat $115 \text{ }^\circ\text{C} - 33 \text{ }^\circ\text{C}$, jolloin lämpötilaeroksi saadaan 82 K. Lämmönsiirtimen teho on 255 kW. Ensiövirtaus saadaan:

$$q_{v,e} = \frac{255 \text{ kW}}{1,0 \text{ kg/dm}^3 \cdot 4,2 \text{ kJ/kg K} \cdot 82 \text{ K}}$$

ensiöpuolen mitoitusvirtaamaksi tulee $q_{v,e} = 0,74 \text{ dm}^3/\text{s}$

Kuten laskentatuloksista huomataan, poikkeaa ensiöpuolen vesivirta huomattavasti toisiovirtaamasta, johtuen erilaisesta mitoituslämpötilaerosta. Saatuja mitoitusvesivirtoja käytetään suunnittelussa ensiöpuolella säätölaitteiden ja toisiopuolella pumppujen mitoitukseen. Virheellisen virtaaman käyttäminen mitoituksessa johtaa suuriin toimintaongelmiin.

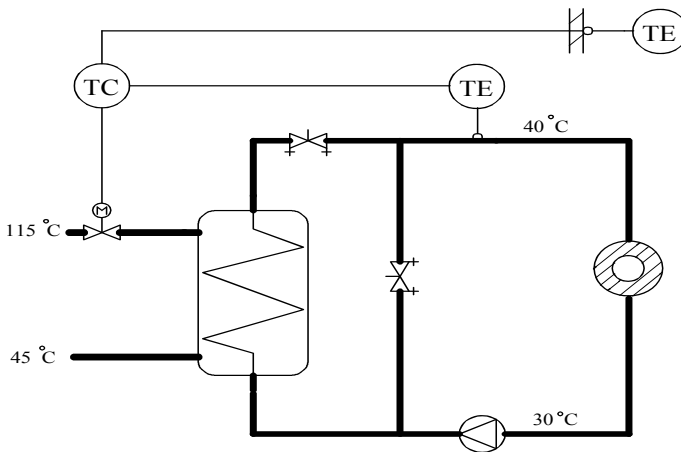
6.1.2 Lattialämmityksen lämmönsiirtimen mitoittaminen

Lattialämmityksen suosio on kasvanut huomattavasti asuinrakennusten lämmönjakumuotona. Suurimmat syyt suosion kasvuun ovat miellyttävämpi vertikaalinen lämpötilajakauma ja huonekalujen vapaampi sijoittelu kuin patterilämmitteisissä asunnoissa. Lattialämmitys on lisääntynyt myös erilaisissa teollisuusrakennuksissa.

Tehontarpeen osalta lattialämmityksen lämmönsiirrin mitoitetaan samoin kuin patterilämmityksessäkin. Patterit korvataan lattiavaluun tai lattiakoolaukseen asennettavilla lämmitysputkistoilla. Suurin ero järjestelmien suunnittelussa on mitoituslämpötiloissa, jotka lattialämmityksellä ovat olleet huomattavasti matalammat kuin patterilämmityksessä. Lattialämmityksen menoveden lämpötila on yleensä alle $+40^{\circ}\text{C}$ ja jäähtyminen toisipuolella on noin $5 - 10^{\circ}\text{C}$. Toisiovirtaus on lattialämmitteisessä rakennuksessa suurempi kuin vastaavan tehontarpeen rakennuksessa patterilämmitteisenä.

Lattialämmitykseen liittyvä poikkeus

Tehdasvalmiille pientalokeskuksille hyväksyttiin seuraava poikkeus pientalokytkentään lattialämmityksen äkillisen suosion myötä. Kasvanut toisiovirtaus saattoi aiheuttaa mitoitusongelmia lämmönsiirtimen toisipuolen painehäviöiden osalta. Eräs lattialämmityksen alkuaikojen ratkaisu oli tehdä lattialämmitysvedelle ohitus lämmönsiirtimen paluupuolelta menopuolelle, jolloin siirtimen läpi virtaavan veden määrä pieneni ja siirtimen toisipuolen painehäviö pysyy sallituissa rajoissa. Ratkaisussa oli siirrin- ja ohituspiiri tehtävä painehäviöiltään "yhtä vaikeiksi" asentamalla kertasäätöventtiili ohitusputkeen. Tällä ratkaisulla voitiin myös helpottaa säädön mahdollisuuksia pitää toisioveden matala lämpötila asetetussa arvossaan lattialämmitystä varten. Kuvassa 58 ovat lämpötilat vanhan K1:n mukaiset.



Kuva 58: Lattialämmityssiirtimen aikaisemmin käytössä ollut ohituskytkentä

Lattialämmitysputkistot rakennetaan pääosin muoviputkista, jolloin on otettava huomioon yllämpötilasuojaus säätölaitteiden vioittumisen takia. Valtaosa muoviputkista kestää $+70^{\circ}\text{C}$:een jatkuvaa lämpötilaa. Hetkellisesti voi lämpötila olla jopa $+90^{\circ}\text{C}$. Suomessa lämpötilasuojaus on toteutettu joko pysäyttämällä toisiovirtaus tai sulkeamalla ensiöpuolen virtaus esim. magneettiventtiilillä. Lattialämmitysputkistojen on oltava happi- eli O_2 -diffuusiosuojattuja, jolloin hapen imeytyminen ympäröivästä tilasta lattialämmityksen kiertoveteen pyritään estämään.

Esimerkki, lattialämmitys

Suurehkon omakotitalon lämmitystehontarve on 10 kW, rakennus on lattialämmiteinen. Mitoituslämpötilat ovat 115°C–33°C ($\Delta T = 82$ K) ensiöpuolella ja toisiopuolella mitoituslämpötilat ovat 35°C – 30°C ($\Delta T = 5$ K). Selvitetään ensiö- ja toisiovirtaukset:

Ensiöpuoli:

$$q_{v,e} = \frac{10 \text{ kW}}{1,0 \text{ kg/dm}^3 \cdot 4,2 \text{ kJ/kg K} \cdot 82 \text{ K}}$$

joten kaukolämmityksen ensiövirtaama on $q_{v,e} = 0,03 \text{ dm}^3/\text{s}$

Toisiopuoli:

$$q_{v,t} = \frac{10 \text{ kW}}{1,0 \text{ kg/dm}^3 \cdot 4,2 \text{ kJ/kg K} \cdot 5 \text{ K}}$$

ja toisiovirtaama, eli lattialämmityksen virtaama on huomattavasti suurempi, $q_{v,t} = 0,48 \text{ dm}^3/\text{s}$.

Kuten huomataan, ensiövirtaus on todella pieni, ja jos kaukolämmityksen paine-ero on suuri, on säätölaitteistolla vaikea tehtävä pitää toisiopuolen lämpötilaa tasalämpöisenä (säätöarvossaan). Toisiopuolen menoveden lämpötilan huojumista voidaan estää asentamalla paine-erosäädin lämmönjakokeskukseen.

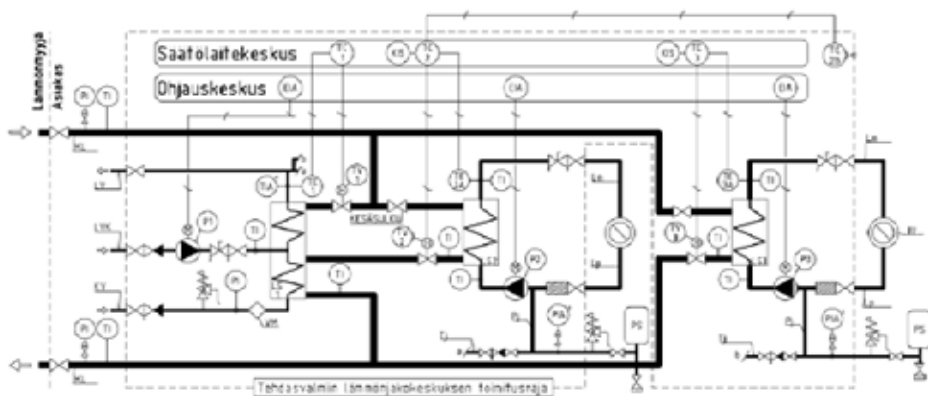
6.1.3 Ilmanvaihtosiirtimen mitoitus

Lämmönsiirtimen mitoitus ilmanvaihtoa tai ilmastointia varten vastaa ensiöpuolen mitoituslämpötiloiltaan lämmityksen lämmönsiirrintä. Toisiopuolen menoveden mitoituslämpötila on lähtökohtaisesti korkeampi kuin patteriverkoston, eli 60 °C. Paluuvesi on mitoitukseltaan 30 °C kuten patteriverkostossakin. Lisäksi on huomattava, että ilmanvaihtokoneen lämmityspatterin mitoituslämpötilat ovat menolämpötila 50 °C ja paluulämpötila 30 °C, toisin sanoen lämmityspatteri mitoitetaan matalampaan tuloämpötilaan kuin sitä syöttävä putkisto. Suunnittelussa on huomioitava myös ilmanvaihtokoneiden lämmityspattereiden aikaisemmat mitoituslämpötilat 60 °C – 40 °C.

Ilmanvaihtopatterin tehoa säätämään asennetaan joko 2- tai 3-tieventtiilillä varustettu säätöjärjestelmä. Ilmanvaihdon huipputehontarve lasketaan mitoitusulkolämpötilan ja sisäänpuhalluslämpötilan avulla. Lämmöntalteenottolaitteella varustetussa ilmanvaihtokoneessa lämmöntalteenoton teho vähennetään tarvittavasta kaukolämpötehosta. Mikäli ilmanvaihtolaitoksessa on ilmamäärän tehostamismahdollisuus, on se huomioitava niin iv-koneen lämmityspatterin mitoituksessa kuin lämmönsiirtimenkin mitoitustehossa. Nykyisin ilmanvaihdolle asennetaan aina oma lämmönsiirrin ja säätölaitteet.

Ilmanvaihtosiirtimen mitoitukseen liittyvä poikkeus

Suomessa on ollut käytössä aikaisemmin mahdollisuus puolittaa ilmavirrat energiansäästön nimissä. Ilmavirran puolittaminen on ollut sallittua 15 astetta mitoitusulkolämpötilaa korkeammassa lämpötilassa, esimerkiksi Mikkelissä -14°C :ssa. Puolittaminen on aiheuttanut paljon ongelmia lämmönsiirrimitoituksessa, sillä suunnittelijat eivät ole osanneet ottaa huomioon tulevan kaukolämpöveden matalampaa tulolämpötilaa kyseisessä ulkolämpötilassa ja lämmönsiirtopinta-ala on jäänyt usein riittämättömäksi, mikä on heikentänyt kaukolämpöveden jäädytystä ja pahimmillaan heikentänyt sisäilmaston laatua puutteellisen lämmitystehon takia. Ilmavirtojen puolitusmahdollisuus on huomioitava aina ilmanvaihtolaitoksia uusittaessa, ja mitoitus on tehtävä vastaamaan nykyisiä määräyksiä. Ilmanvaihdon lämmönsiirtimen väärä mitoitus on varmaankin Suomessa yleisin kaukolämmitykseen liittyvä virhe, ja se aiheuttaa ongelmia sekä lämmönmyyjälle että asiakkaalle.



Kuva 59: Lämmönjakokeskus (käyttövesi, lämmitys ja ilmanvaihto)^{K1}

Kuvassa on lämmönjakokeskus, jossa on erilliset lämmityspiirit käyttövedelle, lämmitykselle ja ilmanvaihdolle. Erillisiä lämmityspiirejä voi olla niin monta kuin on erillisiä lämmitysjärjestelmiä. Kaikkien lämmityspiirien säätöventtiilit ovat lämmönsiirtimien paluupuolella.

6.1.4 Lämpimän käyttöveden lämmönsiirtimen mitoitus

Lämpimän käyttöveden lämmönsiirtimen mitoitus poikkeaa muiden siirrinten mitoituksesta kaukolämpöveden tulolämpötilan johdosta. Tämä poikkeavuus johtuu käyttöveden huipputehon esiintymismahdollisuudesta niin kesällä kuin talvellakin. Kesällä kaukolämmityksen tuloveden lämpötila on huomattavasti matalampi kuin talvella. Kesäolosuhteisiin tarvitaan lämmönsiirtimelle siten myös huomattavasti enemmän siirripinta-alaa, johtuen ainoastaan matalammasta kaukolämpötuloveden lämpötilasta. Edellä mainitusta johtuen lämpimän käyttöveden lämmönsiirrin mitoitetaan aina kesällä oleviin kaukolämpöverkosto-olosuhteisiin.

Käyttöveden osalta ensin selvitetään toisiopuolen normivirtaamien summa, josta saadaan mitoitusvirtaama RakMk:n osan D1 taulukoista suurimman normivirtaaman avulla. Mitoitusvirtaamaa käytetään lämmönjakokeskuksen putkistojen ja lämmönsiirrinteiden laskentaan. Tehontarve lasketaan yhtälöllä 1:

$$\Phi = q_v \cdot \rho \cdot c_p \cdot \Delta T$$

missä

Φ	käyttövesiteho, kW
ρ	tiheys, kg/dm ³
q_v	käyttöveden mitoitusvirtaama, dm ³ /s
c_p	ominaislämpökapasiteetti, kJ/kg K
ΔT	lämpötilaero, K

Esimerkki, käyttövesi

Esimerkissä lämpimän käyttöveden toisiopuolen normivirtaamien summa on 20,0 dm³/s ja suurin toisiopuolen yksittäinen normivirtaama on 0,2 dm³/s, joten mitoitusvirtaamana käytetään 1,25 dm³/s ja mitoituslämpötilat ovat 58 °C - 10 °C eli K1:n mukaiset, jolloin tarvittava lämpimän käyttöveden lämmönsiirtimen teho saadaan laskettua seuraavasti:

$$\Phi = 1,0 \text{ kg/dm}^3 \cdot 1,25 \text{ dm}^3/\text{s} \cdot 4,2 \text{ kJ/kg K} \cdot (58-10)\text{K}$$

$$\Phi = 252 \text{ kW}$$

Käyttöveden lämmönsiirtimen mitoituslämpötilojen lämpötilaero poikkeaa toisistaan ensiö- ja toisiopuolella, joten vesivirta on myös erilainen ensiö- ja toisiopuolella. Toisiopuolen mitoitusvirtaaman ja mitoituslämpötilojen kautta laskettu lämmönsiirrinteho on mitoitus-teho myös ensiöpuolelle. Mitoitusvirtaama saadaan laskettua ensiöpuolelle mitoituslämpötilojen 70 °C - 20 °C avulla:

$$q_{v,e} = \frac{252 \text{ kW}}{1,0 \text{ kg/dm}^3 \cdot 4,2 \text{ kJ/kg K} \cdot 50 \text{ K}}$$

$$q_{v,e} = 1,2 \text{ dm}^3/\text{s}$$

Kuten lopputuloksesta huomataan, eivät käyttövesisiirtimen ensiö- ja toisiopuolen mitoitusvirtaamat poikkeaa toisistaan kovinkaan paljoa. Muiden lämmitysjärjestelmien osalta ero mitoitusvirtaamissa on enemmän kuin merkittävä.

6.2 Lämmönjakokeskuksen varusteiden mitoitus

Varusteiden oikea valinta ja niiden oikea mitoittaminen on hyvin tärkeää asiakkaan kokeman lämmityksen laadun kannalta. Lämmönjakokeskus on kokonaisuus, jossa yksikin väärin mitoitettu osa voi pilata toimivan kokonaisuuden. Tarkoitus on täyttää molempien, niin asiakkaan kuin lämmönmyyjänkin vaatimukset. Täyttämällä asiakkaan tarpeet, kuten tasaisen käyttöveden lämpötilan vaatimus, saadaan parasta mahdollista markkinointiapua kaikille kaukolämpöalalla toimiville yrityksille.

Päämääränä on mitoittaa kaikki varusteet juuri kyseessä olevaa rakennusta varten. Ylitai alimitoitus johtaa helposti asiakasreklamaatioon ja aiheuttaa ylimääräisiä kustannuksia kaukolämpöasiakkaalle, lämmönmyyjälle ja lämmönjakokeskuksen valmistajalle sekä toimittajalle.

6.2.1 Pumput

Pumppuja tarvitaan kierrättämään toisiopuolen lämmönsiirtoainetta, joka yleisimmin on vettä lämmönsiirtimeltä patteriverkoston, lattialämmityksen ja ilmastoinnin putkistoissa sekä käyttöveden kiertojohdossa. Pumpun valintaan tarvitaan kaksi mitoitusarvoa: kierrätettävän lämmönsiirtoaineen virtaama ja kiertopiirin painehäviöiden voittamiseksi pumpun nostokorkeus. Virtaama riippuu lämmitystehon tarpeesta ja mitoituslämpötilaerosta lämmityspiirissä sekä lämmönsiirtoaineen ominaisuuksista. Nostokorkeus saadaan putkiston vaikeimman kiertopiirin, sen varusteiden ja lämmönsiirtimen painehäviöstä.

Esimerkki, pumpun nostokorkeus ja virtaama

Toisiovirtaama on esimerkissä 1,72 dm³/s, joka on laskettu lämmityksen tehontarpeesta mitoituslämpötilojen kautta. Kaukolämmitetyn rakennuksen lämmönsiirtimen painehäviö on kyseisellä toisiovirtaamalla 3 kPa, lämmönjakokeskuksen putkiston 5 kPa, lämmitysverkoston vaikeimman lämmityspiirin painehäviö on 30 kPa ja patteriventtiilin painehäviö on 2 kPa. Yhteensä ne tekevät painehäviötä 40 kPa.

Pumppu voidaan nyt valita eri valmistajien mitoituskäyrästä 1,72 dm³/s virtaamalla ja 40 kPa:n nostokorkeudella. Tärkeää on eritellä suunnitelmassa (K1 mitoitusaukko 2) pumpun mitoituksessa lämmönsiirtimen toisiopuolen ja lämmitysverkoston

vaikkeimman kiertopiirin painehäviöt, sillä eri lämmönsiirrinvalmistajilla saman tehoisten lämmönsiirrinten painehäviöt vaihtelevat. Mikäli suunnittelun pohjana ollutta lämmönsiirrintä ei valitakaan toimitettavaksi, saattaa toimitetun lämmönsiirtimeen painehäviö lisätä tai vähentää pumpun nostokorkeuden tarvetta.

6.2.2 Ensiöpuolen säätöventtiilit

Säätöventtiilien mitoituksessa ja valinnassa käytetään käsitteitä k_v -arvo ja k_{vs} -arvo, jotka ovat venttiilin kapasiteettiarvoja. Näistä k_v -arvo on laskennallinen arvo, joka on laskettu jollakin virtaamalla (m^3/h) ja jollakin venttiilin yli vaikuttavalla paine-erolla (bar), kun taas k_{vs} -arvo kertoo täysin auki olevan säätöventtiilin läpi kulkevan virtauksen (m^3/h) paine-eron ollessa venttiilin yli 1 bar.

Säätöventtiilit mitoitetaan lämmönsiirtimeen lämmönsiirtotehon ja todellisten toimintalämpötilojen mukaisesti saadulla virtaamalla. Säätöventtiilin k_{vs} -arvoon vaikuttaa säätöventtiilin mitoitukseen käytettävissä oleva paine-ero, jonka suuruus saadaan lämmönmyyjän ilmoittaman käytettävissä olevan paine-eron ja muiden laitteiden ja putkiston painehäviöiden avulla.

Pienin mitoitukselle käytettävissä oleva kaukolämpöverkoston paine-ero on 60 kPa, jota tulee käyttää ainoastaan lämmönmyyjän niin ilmoittaessa. Kahden tai useamman rinnakkain asennettua, sarjassa toimivaa säätöventtiiliä suositellaan käytettävän kun säädettävä teho vaihtelee laajalla alueella ja tarveharkintaisesti, kun säätöventtiilin k_{vs} -arvoksi tulee suurempi kuin 6,3. Mikäli kaukolämpöverkoston paine-ero vaihtelee enemmän kuin 400 kPa (4 bar), on suositeltavaa käyttää paine-erosäädintä, jonka avulla säädetään lämmönjakokeskuksen yli oleva paine-ero säätöventtiilille sopivaksi. Väärin mitoitettu säätöventtiili saattaa aiheuttaa ääniongelmia ja kavitaatiota sekä toispuolen lämpötilojen huojumista tai jopa lämpötehon vajuusta.

Säätöventtiilin vaikutusasteella eli auktoriteetilla tarkoitetaan säätöventtiilin mahdollisuutta säätää kyseessä oleva säätöpiiriä ja sen symboli on β . Kaukolämmityksessä säädettävä piiri on ensiöpuoli ja sen lämmönsiirrinkohtaisella virtaamalla venttiili mitoitetaan. Vaikutusaste β lasketaan valitun säätöventtiilin todellisen painehäviön ja lämmönmyyjän ilmoittaman käytettävissä olevan paine-eron suhteena. Saadun suhdelun tulee olla 0,5 tai enemmän, jotta mitoitus voidaan hyväksyä.

Esimerkki, käyttöveden säätöventtiili

LVI-suunnittelija on saanut käyttöveden ensiöpuolen mitoitusvirtaamaksi $1,2 dm^3/s$. Paikallinen lämmönmyyjä on ilmoittanut käytettävissä olevaksi paine-eroksi 150 kPa. Lämmönsiirtimeen painehäviö on 20 kPa ja lämmönjakokeskuksen putkiston painehäviö on 5 kPa. Kun vähennetään käytettävissä olevasta paine-erosta lämmönsiirtimeen ensiöpuolen ja putkiston painehäviöt, tällöin säätöventtiilin mitoitukseen jää käytettäväksi 125 kPa, joka pyritään käyttämään mahdollisimman tarkoin hyödyksi.

Ensimmäiseksi selvitetään laskennallisesti tarvittava säätöventtiilin k_v -arvo eli venttiilin kapasiteetti.

$$k_v = \frac{q_v}{\sqrt{\Delta p}} \quad (9)$$

missä

k_v tarvittava kapasiteetti- eli k_v -arvo

q_v säädettävä kaukolämpövirtaama, m^3/h

Δp venttiilin valintaan käytettävissä oleva mitoituspaine-ero, bar

Yhtälössä käytetään säädettävän virtaaman yksikkönä m^3/h sekä paine-eron yksikkönä bar, joten virtaama $1,2 \text{ dm}^3/s$ on yhtälössä $4,32 \text{ m}^3/h$ ja paine-ero 125 kPa eli $1,25 \text{ bar}$.

$$k_v = \frac{4,32}{\sqrt{1,25}}$$

$$k_v = 3,9$$

Venttiilivalintaan tarvittavia k_{vs} -arvoja on rajallisesti, joten säätöventtiiliksi joudutaan yleensä valitsemaan muu kuin laskennassa saatu k_v -arvo. Tässä tapauksessa valmistajien venttiilikäyrästä löytyy säätöventtiili, jonka $k_{vs} = 4,0$. Seuraavaksi lasketaan valitun venttiilin todellinen painehäviö mitoitusvirtaamalla ja venttiilin vaikutusaste eli auktoriteetti.

Valitun säätöventtiilin todellinen painehäviö lasketaan k_v -arvon yhtälöstä muokkaamalla se muotoon, jossa k_v -arvon tilalle sijoitetaan valitun venttiilin k_{vs} -arvo:

Säätöventtiilin todellinen painehäviö lasketaan yhtälöllä:

$$\Delta p_v = \left(\frac{q_v}{k_{vs}} \right)^2 \quad (10)$$

missä

Δp_v valitun venttiilin todellinen painehäviö, bar

q_v säädettävä kaukolämpövirtaama, m^3/h

k_{vs} valitun venttiilin k_{vs} -arvo

$$\Delta p_v = \left(\frac{4,32}{4,0} \right)^2$$

$$\Delta p_v = 1,17 \text{ bar (117 kPa)}$$

Venttiilin auktoriteetti (vaikutusaste) on venttiilin todellisen painehäviön suhde säädettävälle piirille lämmönmyyjän ilmoittamaan käytettävissä olevaan paine-eroon. Auktoriteetin on oltava riittävän suuri, jotta säätöventtiili pystyy säätämään kyseistä muuttuvan virtauksen piiriä. Vähimmäisvaatimus auktoriteetille on 0,5 eli 50 % käytettävissä olevasta paine-erosta.

Auktoriteetti (β) valitulle venttiilille on:

$$\beta = \frac{\Delta p_v}{\Delta p_{mit}} \quad (11)$$

missä

Δp_v valitun venttiilin todellinen painehäviö, bar

Δp_{mit} lämmönmyyjän ilmoittama käytettävissä olevaan paine-ero, bar

Joten esimerkin tapauksessa auktoriteetti on:

$$\beta = \frac{1,17}{1,5}$$

$$\beta = 0,78$$

Lopuksi tarkistetaan, että venttiilin auktoriteetti $\beta = 0,78$ on enemmän kuin vähimmäisvaatimus 0,5 ja valitaan venttiilityyppi valmistajan taulukoista.

Esimerkki, lämmitys

Aikaisemmin lasketussa esimerkissä oli tarvittava kaukolämmityksen ensiövirtaama 0,74 l/s, joka on 2,66 m³/h. Lämmönmyyjän ilmoittama paine-ero 150 kPa annettiin edellisessä esimerkissä. Varataan 5 kPa lämmönjakokeskuksen putkistolle ja lämmityksen lämmönsiirtimen painehäviö on 5 kPa, joten 140 kPa eli 1,4 bar jää käytettäväksi lämmityksen ensiöpuolen säätöventtiilin mitoitukseen.

$$k_v = \frac{2,66}{\sqrt{1,4}}$$

$$k_v = 2,25$$

Usealta eri valmistajalta löytyy esimerkin laskentatulokselle säätöventtiiliksi $k_{vs} = 2,5$. Lasketaan säätöventtiilin todellinen painehäviö:

$$\Delta p_v = \left(\frac{2,66}{2,5} \right)^2$$

Säätöventtiilin todelliseksi painehäviöksi saadaan $\Delta p_v = 1,13$ bar (113 kPa)

Venttiilin vaikutusasteen eli auktoriteetin tarkistus suoritetaan jakamalla valitun säätöventtiilin todellinen painehäviö lämmönmyyjän ilmoittamalla käytettävissä olevalla paine-erolla:

$$\beta = \frac{1,13}{1,5}$$

$$\beta = 0,75$$

Auktoriteetti on 0,75 ja se on enemmän kuin 0,5, joten valinta voidaan hyväksyä ja venttiilin tyyppi valita halutulta valmistajalta.

6.2.3 Paine-erosäädin

Mikäli lämmönmyyjän ilmoittama kaukolämpöverkossa vallitseva paine-ero vaihtelee normaaleissa käyttöolosuhteissa enemmän kuin 400 kPa, suositellaan suosituksen K1 mukaan käytettäväksi paine-erosäätöä. Paine-eron säätölaitteet mitoitetaan siten, että paine-ero voidaan säätää noin 150 kPa:iin riippuen säätöventtiilin mitoituksesta. Paine-erosäätö kohdistetaan koko lämmönjakokeskukselle.

Suosituksen K1 mukaan paine-erosäädin mitoitetaan siten, että lasketaan lämmönjakokeskuksen virtaamat paine-eron ollessa pienimmillään ja suurimmillaan (kesä- ja talvitilanne). Paine-erosäätimen DN-koko ja jousi valitaan siten, että paine-ero saadaan rajoitettua suurimman paine-eron aikana noin 150 kPa:iin. Valitun paine-erosäätimen aiheuttama painehäviö ja auktoriteetti tarkistetaan pienimmän paine-eron aikaisella virtaamalla, jolloin paine-erosäädin on täysin auki. Paine-erosäätimen koko valitaan niin, että käytettävissä olevalla pienimmällä paine-erolla paine-erosäädin ei rajoita käytettävissä olevaa paine-eroa niin paljon, että säätöventtiilien auktoriteetti jää liian pieneksi.

6.3 Laitteusinnat

Lämmönjakokeskuksen ikääntymisen myötä uusimistarve luonnollisesti kasvaa. Lämmönjakokeskuksen ollessa yli 15 vuotta vanha, taloudellisin tapa on uusien koko lämmönjakokeskus yhdellä kertaa. Samalla voidaan tarkistaa laitemitoitukset olemassa olevia tehontarpeita ja kaukolämpöverkosto-olosuhteita vastaaviksi. Yli 15 vuotta vanhat lämmönjakokeskukset tulee pääsääntöisesti uusien kokonaan ja tarkastaa lämmönjakokeskuksen mitoitus.

Osittainen lämmönjakokeskuksen uusiminen tulee yleensä kalliiksi siihen kuluviin työtuntien takia. Mikäli osittaiseen uusimiseen päädytään, jäljelle jäävät laitteet tarkastetaan ja tarvittaessa myös nykyaikaistetaan. K1:ssä on ohjeet laiteusinnan suunnitteluun ja toteutukseen. Ainoastaan tarkastelemalla lämmönjakokeskusta kokonaisuutena, voidaan varmistua kaukolämpöasiakkaan kannalta katsottuna korkealaatuisesta lämmityksestä ja tasalämpöisestä lämpimästä käyttövedestä.

Yhteydenotto lämmönmyyjään on yhtä tärkeää kuin uudisrakentamisessakin, sillä paine-erot kaukolämpöverkostossa ovat todennäköisesti vuosien saatossa kasvaneet. Lämmönmyyjältä saa yleensä myös tietoa aikaisempien vuosien energiankulutuksesta, ja sitä voidaan hyödyntää laitemitoituksessa.

Laiteusinoissa eli saneerauksissa mitoitus perustuu mitattuihin virtaamiin ja lämpötiloihin ja/tai rakennuksen kulutushistoriaan. Asiallisesti uusittu lämmönjakokeskus vastaa uudisrakennuksen lämmönjakokeskusta kytkennältään ja varustukseltaan.

Mikäli putkistoeristeenä on käytetty asbestia sisältävää eristettä, on parempi poistaa kaikki asbesti kerralla koko lämmönjakohuoneesta määräyksiä ja ohjeita tarkoin noudattamalla.

7 LÄMPÖENERGIAN MITTAAMINEN

7.1 Yleistä kaukolämpöenergian mittauksesta

Kaukolämpöenergian mittauksen järjestämistä ohjaa mittauslainsäädäntö. Suomessa kaukolämpöenergian mittauslaitteet omistaa lämmönmyyjä. Se myös vastaa mittauslaitteiden asennuksesta ja huollosta. Nykyään kaukolämmön kulutuslukemat siirretään kaukoluenta käyttäen asiakkaalta lämmönmyyjälle. Mittaustietoa kerätään usein jopa tunnin välein, jolloin saadaan erittäin tarkkaa tietoa muuhunkin kuin laskutuksen käyttöön kuten erilaisiin palveluihin. Pelkkää laskutusdataa kerätessä luenta- ja tiedon tallennusväli voi olla myös kuukausi. Lämmönmyyjän on huomioitava, että kerran kuukaudessa tehtävä mittareiden luenta pelkästään laskutusta varten ei mahdollista samaa määrää palveluja asiakkaille kuin kerran tunnissa luettavat tiedot.

Lämpöenergian mittaaminen on tärkeä osa nykyaikaista ja tehokasta kaukolämpötoimintaa. Toimivalla mittausjärjestelmällä lämmönmyyjä voi varmistua, että kaikki toimitettu energia saadaan mitattua ja että asiakas maksaa vain käyttämästään energiasta. Kaukolämmityksen toimitusehdoissa on asiakkaan kanssa sovittu mittalaitteille tarkkuusvaatimukset.

Eri mittauslaitteiden ominaisuudet on tunnettava, sillä virtausantureissa, laskijalaitteissa ja lämpötila-antureissa on suuriakin eroja tiedon tallennuksen, mittauksen tarkkuuden ja käytettävyyden kannalta.

Lämmönmyyjän tulee tietää myydyn energian määrän lisäksi myös lämpöhäviöiden suuruus sekä verkostosta häviävän veden määrät, jota selvitetään mittaamalla. Tästä syystä on tärkeää asentaa luotettavat mittaukset myös tuotantolaitoksiin ja jakeluverkkoihin, jotta voidaan pienentää kulutuksen seurannan avulla kaukolämpöjärjestelmän lämpö- ja vesihäviöitä sekä kasvattaa tehokkuutta.

7.1.1 Kaukolämpöenergia

Kaukolämpöenergian määrän mittaamisessa tarvitaan kolme erillistä mittausta sekä niiden tulosten laskennallinen yhdistäminen. Käytettyä tai tuotettua energiamäärää mitattaessa tarvitaan kaukolämpöveden määrän sekä meno- ja paluulämpötilojen mittaukset. Näiden perusteella energian määrä saadaan laskettua seuraavalla yhtälöllä. Laskenta suoritetaan lämpömääränlaskimella.

$$Q = \int_{t_0}^{t_1} q_m \Delta h dt \quad (12)$$

missä

Q	kaukolämpöenergian määrä, J
q_m	kaukolämpöveden massavirta, kg/s
Δh	kaukolämpöveden ominaisentalpiaero, J/kg ($\Delta h = c_p \times \Delta T$)
t	aika, s
ΔT	kaukolämmön meno- ja paluuveden lämpötilojen välinen lämpötilaero, K
c_p	kaukolämpöveden ominaislämpökapasiteetti vakio paineessa, J/kgK

Lämpömäärän mittauksen tarkkuuden haasteena on sekä kaukolämpöveden virtaaman että lämpötilojen, ennen kaikkea paluulämpötilan jatkuva vaihtelu, johtuen asiakkaiden tehontarpeen vaihtelusta. Merkittävin vaihtelua aiheuttava tekijä on lämpimän käyttöveden tarpeen satunnainen vaihtelu, joka aiheuttaa sekä virtausmäärän että paluulämpötilan nopeita ja suuria muutoksia.

Kaukolämpöenergian määrän mittaustarkkuuteen vaikuttavat kaikkien kolmen mittauksen tarkkuudet sekä laskennan tarkkuus. Virtausmäärän vaihtelu ja ennen kaikkea pienet virtaamat ovat ongelma virtausanturien kannalta. Nopeat lämpötilavaihtelut taas ovat haasteellisia lämpötilamittaukselle, sillä kaukolämmön mittauksessa käytettävät lämpötila-anturit eivät ole erityisen nopeita reagoimaan lämpötilan muutoksiin. Myös pienten lämpötilaerojen mittaaminen tarkasti on vaikeaa.

7.1.2 Mittauksen tarve

Kaukolämpöenergia on myytävä tuote, joten sen myyntimäärät on mitattava mittauslainsäädännön määräysten mukaisesti. Lämpömäärän mittaus asennetaan jokaiselle kaukolämpöasiakkaalle. Lisäksi kaukolämpöyhtiön toiminnan analysoinnin takia tarvitaan tuotetun energianmäärän mittaukset sekä tieto kaukolämpöjärjestelmän häviöistä. Edellä mainitusta syistä johtuen mittaukset asennetaan kaikille asiakkaille, kaikkiin tuotantolaitoksiin ja erillisiin välipumppaamoihin sekä tarvittaessa verkostoon.

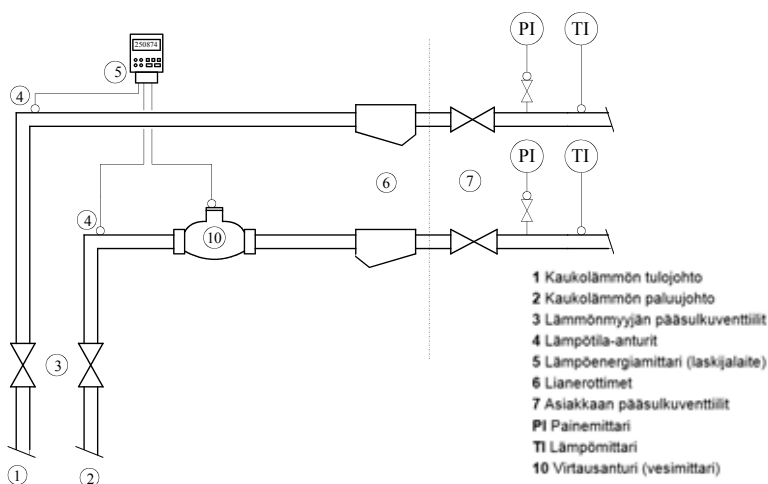
Tuotantolaitoksiin asennettavilla mittareilla selvitetään tuotantomäärät ja tuotannon tehokkuus eli laitoksen hyötysuhde. Lisäksi näitä tietoja käytetään verkoston lämpöhäviöiden ja mittaushäviöiden selvittämiseen. Lisäksi mittauksia asennetaan käyttötoimintojen tarpeisiin sekä verkoston lämpöhäviöiden selvittämiseksi tai kaukolämpöverkon vuodon etsintään. Nämä mittaukset asennetaan sopiviin kohtiin verkostoa ja välipumppaamoihin.

Lämpömäärän mittaus tarvitaan jokaiselle asiakkaalle laskutusta varten, lisäksi mitaustietoja voidaan käyttää asiakaspalveluun ja energiansäästöneuvontaan. Kaukolämpölaskutus ja siihen liittyvät toiminnot, kuten laitteiden toiminnan seuranta ja asiakasneuvonta vaativat paljon ammattitaitoa ja työtä.

Lämmönmyyjän on huomioitava mittalaitteita valitessaan erityyppisten mittauslaitteiden ominaisuudet. Virtausmittareiden vaatimukset veden laadulle kuten esimerkiksi sähkönjohtavuudelle ovat erilaiset. Eri mittarityyppien vaatimukset verkoston sallituille epäpuhtauksille vaihtelevat. Lisäksi mittauslaitteiden kestävyys erilaisissa olosuhteissa vaikuttaa mittarityypin valintaan. Energian hinnoittelujärjestelmä ja palvelut sekä niiden hinnoittelu voivat vaikuttaa mittareilta edellytettäviin ominaisuuksiin.

7.2 Mittauskeskus

Lämmönmyyjä asentaa mittauskeskuksen ja mittauslaitteet jokaiselle asiakkaalle. Mittauslaitteet omistaa ja huoltaa lämmönmyyjä. Suomessa mittalaitteiden on oltava tyyppihyväksytyjä. Seuraavassa kuvassa on esitetty mittauskeskuksen pääkomponentit. Kuvassa on myös esitetty katkoviivalla lämmönmyyjän ja asiakkaan välinen toimitus- ja vastuuraja.



Kuva 60: Kaukolämmityksen mittauskeskus, periaatepiirros³⁰

Virtausanturi voidaan asentaa myös pystyputkeen. Asennustapa on varmistettava valmistajan ohjeista.

Edellä oleva kaavio mittauskeskuksesta on periaatteellinen ja lämmönmyyjästä riippuen sitä sovelletaan jonkin verran asennettavien komponenttien suhteen. Joissain tapauksissa lämmönmyyjä voi esimerkiksi jättää paluuputkessa olevan lianerottimen asentamatta. Seuraavan kuvan mittauskeskuksen asennukset vastaavat periaatepiirroksessa esitettyä mittauskeskusta.

³⁰ Energiategollisuus ry, Mittausuusitus K13/2008



Kuva 61: Suomalaisia kaukolämmön mittauskeskuksia asennettuna

Kuvassa vasemmalla on useamman rakennuksen muodostaman kokonaisuuden mittauskeskus, mistä johtuen putkistoa on tavanomaista enemmän. Huomattavaa on lämpöenergiamittauksen lämpötila-antureiden asento virtausta vastaan, sillä lämpötilan mittausosa on anturin päässä. Näin saadaan mahdollisimman tehokkaasti tarkka näyte virtaavan veden lämpötilasta. Lianerottimiin on asennettu tyhjennysventtiilit helpottamaan huoltotöiden sujumista. Kuvassa oikealla on rivitalon mittauskeskus.

7.2.1 Kaukolämpöenergian mittauslaitteet

Yleistä

Mittaamalla selvitetään laskutusmäärät, energian kulutustiedot, tuotantomäärät, lämpöhäviöt, energian säästöön liittyviä tietoja sekä erilaisten palvelujen tarvitsemia tietoja.

Järjestelmän suunnitteluvaiheessa päätetään, minkälaisia mittalaitteita eri asiakasryhmille asennetaan ja mitä tietoja eri asiakasryhmiltä halutaan mittaamalla kerätä. Laskutus on ensisijainen mittaustietojen hyödyntäjä, mutta myös tiedot suurempien asiakkaiden huipputehoista ja virtaamista ovat tärkeitä kaukolämpöjärjestelmän käyttötoimintojen ja energian tuotannon kannalta.

Lämpöenergian mittareita on useita erityyppisiä. Merkittävimmin poikkeaa virtausanturin tyyppi. Virtausantureina käytetään yleisimmin ultraäänimittareita ja magneettisia virtausantureita mittatarkkuutensa ja vähäisen huollontarpeensa takia.

Mittauslaitteet on mitoitettava asiakkaan tehontarpeen ja vesivirran mukaan. Mittauslaitteiden hinta vaihtelee niiden tyyppin ja koon sekä mittaus- ja tiedonsiirtotarpeiden mukaan. Seuraavassa kuvassa on esimerkki lämpöenergian mittauslaitteistosta.

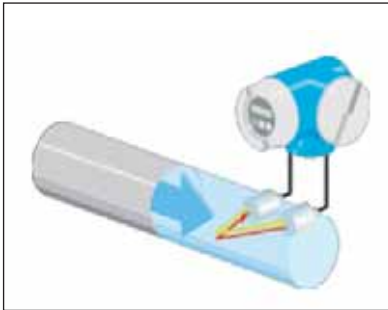


Kuva 62: Lämpöenergiamittari eli ns. yhdistelmämittari⁴¹

Kuvassa on vasemmalla virtausanturi, takana lämpömäärän laskin ja oikealla edessä lämpötila-anturit.

Virtausanturit

Kaukolämpöveden ominaisuudet vaikuttavat virtausanturin valintaan. Edellisen kuvan lämpöenergiamittarin virtausanturi perustuu ultraääniperiaatteeseen. Nykyisin lämpöenergiamittauslaitteisto on yleensä kuvan mukaisesti tehtaalla toiminnallisesti yhteen sovitetuista komponenteista kasattu kokonaisuus. Tällöin saadaan edullisemmin varmistettua laitteiden yhteensopivuus ja samalla mahdollisimman suuri mittaus-tarkkuus. Seuraavassa kuvassa on esitetty ultraäänimittarin toimintaperiaate.



Kuva 63: Ultraäänimittarin toimintaperiaate³¹

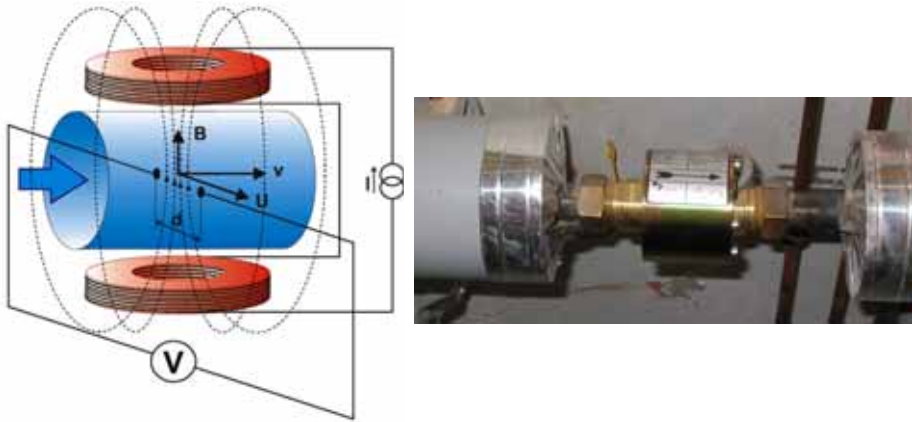
Ultraäänimittarissa virtausmäärän mittaaminen perustuu virtauksen suuntaan tai sitä vastaan kulkevan äänen kulkuajkojen eroon. Tämän aikaeron ja virtausputken tarkasti tunnetun virtauspoikkipinta-alan perusteella saadaan laskettua mittarin läpi kulkeva vesimäärä. Seuraavassa kuvassa on esitetty magneettisen virtausmittarin toimintaperiaate.

³¹ Endre+Hauser, Measurement principle of ultrasonic flow meter,

$$q_v = vA \quad (13)$$

missä

- q_v kaukolämpöveden virtaama, m^3/s
 v kaukolämpöveden keskimääräinen virtausnopeus, m/s
 A poikkipinta-ala, m^2



Kuva 64: Magneettisen virtausmittarin toimintaperiaate³² ja virtausanturi asennettuna

Magneettinen virtausmittaus perustuu siihen, että virtaava sähköä johtava neste indusoi magneetikentässä jännitteen. Jännitteen suuruus riippuu nesteen virtausnopeudesta. Jännitteen suuruuden ja virtausaukon tarkasti tunnetun poikkipinta-alan avulla saadaan virtaava nesteen määrä laskettua. Seuraavassa taulukossa on esitetty erilaisten virtausantureiden perustietoja.

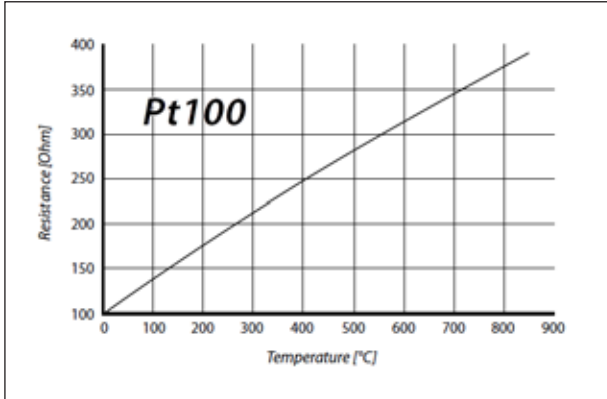
Taulukko 7. Virtausanturit

VIRTAUSANTURIT	
Tyyppi	Ominaisuudet
Magneettinen (Induktiivinen)	Mittarityyppiä on käytetty paljon kaukolämmityksessä. Tarkka ja luotettava. Veden ominaisuudet sähkönjohtavuutta lukuun ottamatta eivät juuri vaikuta tarkkuuteen
Ultraääni	Käytetään runsaasti. Tarkka ja luotettava. Sopii hyvin kaukolämpövedelle. Vedessä oleva ilma tai partikkelit heikentävät mittaustarkkuutta.
Coriolis	On ollut laajalti käytössä ennen kaikkea pienemmissä kaukolämpökohteissa.
Massavirtamittaus	Erittäin tarkka. Korkea hinta. Ei kaukolämpökäytössä
Mekaaninen virtausmittaus	Aikaisemmin lähes ainoa virtausmittari kaukolämpökäytössä. Nykyään ei juuri käytetä.

³² Flomag 3000 manual, Installation and operation, http://www.flomag.com/data/files/Manual%20Flomag3000%20EN_27_en.pdf, (8.9.2013)

Lämpötila-anturit

Lämpötila-antureilla mitataan kaukolämpöveden meno- ja paluulämpötilat. Lämpötila-antureina käytetään useimmiten platina-antureita (Pt100, Pt500 tai Pt1000). Platina-anturin vastusarvo ilmaisee vastusarvon lämpötilassa 0 °C. Vastuksen lämpötilariippuvuus ei ole lineaarinen, kuten seuraavasta kuvasta ilmenee.



Kuva 65: Pt100 anturin vastusarvo lämpötilan funktiona³³

Kuvasta nähdään, että vastusanturin resistanssin riippuvuus lämpötilasta ei ole täysin lineaarinen. Kun valitaan kaksi samalla tavoin epälineaarista lämpötila-anturia, saadaan hyvin tarkka mittaus lämpötilaerosta. Tällä tavoin voidaan lämpötila-antureiksi valita hieman epätarkemmat ja edullisemmat anturit ilman, että kaukolämpöenergian mittaustarkkuus kärsii.

Lämpömääränlaskin

Lämpömääränlaskin laskee virtausmäärän ja kaukolämpöveden meno- ja paluulämpötilojen perusteella käytetyn energiamäärän. Lämpömäärän laskennassa käytetään virtaavan nesteen aineominaisuuksia, joten on tiedettävä, onko virtausanturi asennettu meno- vai paluuputkeen. Lämpömäärälaskimia on olemassa sekä meno- että paluuputkeen asennettuja virtausantureita varten.

Taulukko 8. Lämpömääränlaskimet³⁴

LÄMPÖMÄÄRÄN LASKIMET	
Tyyppi	Ominaisuudet
Elektroninen	Mittarityyppeä on käytetty paljon kaukolämmityksessä. Tarkka ja luotettava mutta ominaisuudet rajoittuneita.
Digitaalinen	Käytetään runsaasti. Sopii hyvin kaukolämpöön. Monipuolinen mm. kaukoluentakäytössä.
Mekaaninen	Käytännössä poistunut käytöstä jo vuosia sitten.

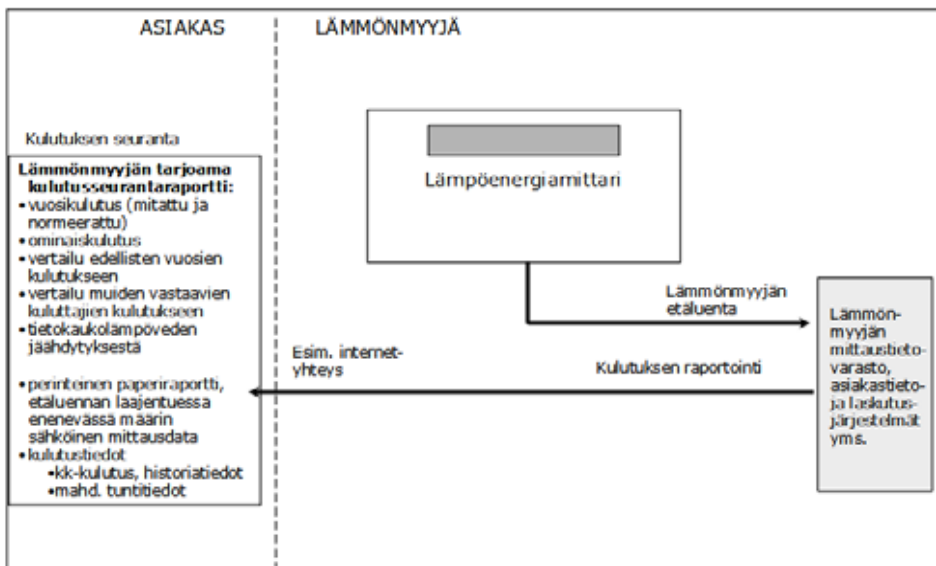
³³ Pt100/Pt1000 platinum resistance thermometer, Sawi Mess- und Regeltechnik AG

³⁴ Mäkelä ja Tuunanen. Kaukolämmön opintomateriaali

Kaukolämpöenergian mittauksessa käytetään pääsääntöisesti digitaalisia lämpömääränlaskimia niiden monipuolisten ominaisuuksien sekä tarkkuuden ja luotettavuuden johdosta. Digitaalisten laskimien ominaisuudet ovat päässee oikeuksiinsa erityisesti kaukoluentasovellutusten yleistyttyä.

7.2.2 Kaukoluenta ja tiedon siirto asiakkaille

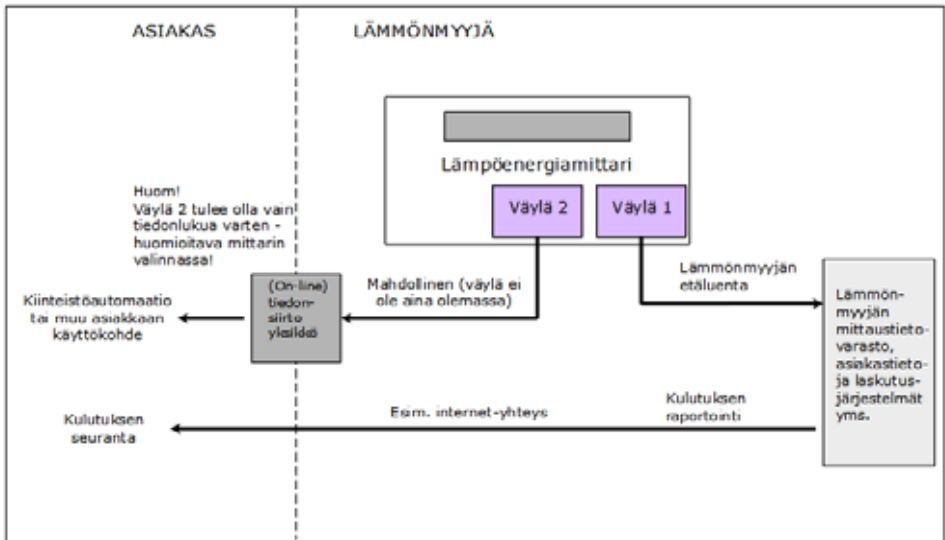
Mittauslaitteet ovat lämmönmyyjän omaisuutta ja niiden tieto on tarkoitettu ensisijaisesti lämmönmyyjän laskutuskäyttöön. Asiakkaalla on myös mahdollisuus saada kulutustiedot käyttöönsä. Helpoin tapa on seuraavan kuvan mukainen tiedonsiirto lämmönmyyjältä jälkikäteen esimerkiksi internetin välityksellä. Eri lämmönmyyjillä on tähän tarkoitukseen omia palvelujaan, joista laskutetaan lämmönmyyjän hinnaston mukaan. Tällä tavoin asiakas saa valmiiksi käsiteltyä ja mahdollisesti analysoitua tietoa käyttöönsä.



Kuva 66: Kaukoluenta avulla saadun tiedon hyödyntäminen ³⁰

Mikäli asiakas tarvitsee esimerkiksi kulutuksen ohjaukseen reaaliaikaista tietoa, niin silloin on asennettava esimerkiksi seuraavan kuvan mukainen laitteisto.

³⁰ Energiateollisuus ry, Kaukolämmön mittaus, suositus K13/2008



Kuva 67: Tiedonsiirto väylätietona sekä internetin kautta asiakkaalle³⁰

Kuvassa on esitetty järjestely, joissa saadaan yhtäaikaaisesti kaksi viestiä lämpömääränlaskimelta ulos, toinen asiakkaalle ja toinen lämmönmyyjälle. Tällöin lämpömääränlaskin on kalliimpi kuin yleensä kaukolämmön mittauksessa käytettävät lämpömääränlaskimet. Tällainen palvelu on lämmönmyyjiltä yleisesti saatavissa ja palvelun hinta löytyy lämmönmyyjän hinnastosta.

8 KAUKOLÄMMITYSTOIMINNAN SOPIMUKSET

Kaukolämmitys on pääomaintensiivistä liiketoimintaa. Siinä tarvitaan suuria investointeja energian tuotantoon ja jakeluverkostoon. Tästä huolimatta kaukolämmitys on taloudellisesti erittäin kannattavaa ja kilpailukykyistä toimintaa etenkin Pohjoismaissa. Pääasiallisena syynä tähän on alusta asti tehty hyvä kokonaisvaltainen suunnittelu, joka on perustunut sähkön ja lämmön yhteistuotannon hyötyihin.

Suomessa kaupankäyntiä ohjaa lainsäädäntö. Kaukolämmön kauppa asiakkaan ja lämmönmyyjän välillä perustuu aina lämpösopimukseen.

8.1 Lämpösopimus ja kaukolämmön sopimusehdot

8.1.1 Lämpösopimus

Lämpösopimus on yksityisoikeudellinen sopimus, johon perustuu koko kaukolämpöliiketoiminta asiakkaan ja lämmönmyyjän välillä.

Lämpösopimuksessa sovitaan ainakin seuraavista asioista:

- Sopimusosapuolet
- Liittymisjohto ja mittauskeskus
- Sopimusvesivirta ja/tai sopimusteho
- Laskutusteho ja/tai laskutusvesivirta
- Lämmön toimituksen aloittaminen
- Liittymismaksu
- Voimassaolo
- Lämmön laskutus

Lämpösopimuksen oleellisia liitteitä ovat:

- Kaukolämmön liittymis- ja myyntiehdot
- Lämpöhinnasto
- Palveluhinnasto

Sopimusteho tarkoittaa asiakkaan käyttöön liittymisvaiheessa varattua tuntista lämpötehoa. Sopimusvesivirta tarkoittaa asiakkaan käyttöön liittymisvaiheessa varattua sopimustehoa vastaavaa kaukolämpöveden virtausta ja sitä laskettaessa kaukolämpöveden jäähtymänä käytetään kaukolämpösuunnitelman mukaista jäähtymää. Sopimusteho (kW) ja sopimusvesivirta (m³/h) kirjataan asiakkaan kanssa tehtävään lämpösopimukseen.

Laskutusteho tarkoittaa asiakkaan käyttämää suurinta todettua tai mitoitussulkolämpötilaan redusoitua lämpötehoa. Laskutusvesivirta tarkoittaa asiakkaan laskutustehoa vastaavaa vesivirtaa. Kaukolämpöveden jäähtymänä käytetään todellista tai mitoitussulkolämpötilaan redusoitua toteutunutta jäähtymää. Laskutustehon ja -vesivirran määrittämisen perusteena oleva aikajakso määritetään hinnastossa tai lämmönmyyjän ohjeistuksessa. Laskutusteho ja laskutusvesivirta voivat olla määrittelyltään ja suuruudeltaan eri kuin sopimusteho.³⁵

8.1.2 Kaukolämmön sopimusehdot

Energiateollisuus ry:llä on suositus kaukolämmön sopimusehdoista, joista löytyy ajan-
tasainen tieto kaukolämmössä yleisesti sovellettavista ehdoista. Lämmönmyyjillä on
yleensä omat sopimus- ja toimitusehtonsa, jotka suurelta osin pohjautuvat suositukseen.
Kaukolämmön sopimusehtojen pääkohdat ovat seuraavat:

- Lämpösopimuksen tekeminen
- Lämmön siirtäminen asiakkaalle ja lämmön laatu
- Sopimusvesivirta ja/tai sopimusteho
- Laskutusteho ja/tai laskutusvesivirta
- Lämmönmyyjän johdot ja laitteet
- Asiakkaan kaukolämpö- ja lämmityslaitteet
- Lämmön mittaus ja laskutus
- Vakuudet
- Sopimuksen siirto
- Lämmöntoimituksen keskeytykset asiakkaasta johtuvista syistä
- Kaukolämpöverkkoon liittämisen ja lämmöntoimituksen aloittamisen viivästy-
- Lämmöntoimituksen virhe, siitä ilmoittaminen ja hinnanalennus
- Vahinkojen korvaaminen
- Lämpösopimuksen päättyminen
- Sopimusehtojen ja hintojen muuttaminen
- Riitojen ratkaiseminen

8.2 Hinnoittelujärjestelmät

Hinnoittelujärjestelmä koostuu kaikista kaukolämpötoiminnan hinnastoista ja tarif-
feista. Tariffilla määritetään eri maksujen muodostuminen. Laki kilpailurajoituksista
edellyttää, että myös kaukolämpötoiminnassa toimitaan kilpailuperiaatteella. Lain pe-
rusteluissa katsotaan kaukolämmön olevan jo liitettyjen asiakkaiden osalta määräävä-
sä markkina-asemassa. Määräävän markkina-aseman väärinkäyttö on kielletty. Tämä
edellyttää, että³⁶:

³⁵ Energiateollisuus ry, Teho ja vesivirta kaukolämmön hinnoitteluperusteina, Suositus K15/2014

³⁶ Kaukolämmön hinnoittelun kehityspiirteitä Suomessa, Suomen kaukolämpö ry. Raportti T23/1998

- Hintataso on kohtuullinen
- Hinnoittelu on riittävän kustannusvastaava
- Samantyyppisiä asiakkaita kohdellaan tasapuolisesti
- Energian kokonaistoimituksessa ei sidota eri tuotteita keinotekoisesti toisiinsa
- Kilpailun piirissä olevat lisäpalvelut hinnoitellaan kustannusvastaavasti

8.2.1 Hinnoittelujärjestelmän ominaisuuksia

Perinteisesti hyvälle hinnoittelujärjestelmälle on annettu seuraavat vaatimukset ja lähtökohdat:

- Kustannusvastaavuus sisältäen kaikki toiminnan kustannukset
- Tariffirakenteen tulee heijastaa kustannusrakennetta
- Kilpailukykyisyys
- Käytännöllisyys
- Yksinkertaisuus ja läpinäkyvyys
- Energian säästöön motivoiva
- Ei syji erilaisia asiakkaita tai asiakasryhmiä
- Pitkäjänteisyys ja ennustettavuus

Hyvän hinnoittelujärjestelmän ominaisuuksia selvittäneessä tutkimuksessa tuli ilmi seuraavaa³⁷.

- Viranomaiset, asiakkaat ja lämmönmyyjät olivat kaikki yhtä mieltä siitä, että kaukolämmön hinnoittelujärjestelmän
 - o pitää olla mahdollisimman yksinkertainen ja helppo laskutuksen ja mittauksen suhteen
 - o pitää olla kansantaloudellisesti järkevä
 - o on sisällettävä maksujen muutosmahdollisuus kustannustason muuttuessa
 - o pitää muuttua, kun polttoaineen hinta muuttuu pysyvästi
 - o pitää ohjata energiansäästöön
 - o pitäisi ohjata hankinta- ja jakelukapasiteetin säästöön.
- Viranomaiset, asiakkaat ja lämmönmyyjät olivat kaikki yhtä mieltä siitä, että kaukolämmön hinnoittelujärjestelmä ei saisi
 - o riippua siitä, miten kaukana tuotantolaitoksesta kuluttaja sijaitsee
 - o tukea kunnan/omistajan muuta toimintaa
 - o kärsiä satunnaisista ja tilapäisistä hinnanmuutoksista.
- Lisäksi kaikki ryhmät olivat sitä mieltä, että
 - o energiansäästön vaikutus on ulotettava kaikkiin niihin maksukomponentteihin joihin säästö vaikuttaa
 - o kaukolämmityksen omakustannusten laskemiseksi on ensin jaettava energian tuotannon ja hallinnon kustannukset sähkölle ja kaukolämmölle.

³⁷ Kaukolämmön hinnoittelujärjestelmien vaikutus energiankäyttöön ja säästöön, Otaniemi Consulting Group Oy 1998

- d) Lämmönmyyjät ja asiakkaat olivat sitä mieltä (viranomaisten empiessä), että
- o hinnoittelujärjestelmän on turvattava yrityksen taloudellinen jatkuvuus
 - o kaukolämmön on oltava hinnaltaan kilpailukykyinen edullisimman vaihtoeh-
toisen lämmitysmuodon kanssa
 - o kaukolämmön on säilytettävä hintakilpailukykyensä, kun polttoaineiden hin-
nat muuttuvat
 - o kiinteistön tulisi saada energiansäästöstään samansuuruinen hyöty kuin mitä
lämpölaitokset hyötyvät kustannusten pienemisestä
 - o mitä suuremmasta kaukolämpöasiakkaasta on kyse, sitä parempi hinnoittelu-
järjestelmän kustannustarkkuuden on oltava.
- e) Lämmönmyyjät olivat sitä mieltä, että hinnoittelujärjestelmän
- o on sisällettävä myös ympäristönsuojelusta aiheutuvat tuotanto- ja jakelujärjes-
telmän kustannukset
 - o on turvattava riittävä omarahoitus laajennusinvestointeihin
 - o tulee mahdollistaa tarkoituksenmukaisia teknistaloudellisia ratkaisuja energi-
an käytössä
 - o on vastattava lämmönmyyjän kustannusrakennetta kohtuullisessa määrin,
jotta tulojen ja kustannusten suhde pysyisi samana kylminä ja lämpiminä
vuosina
 - o kaukolämpötoiminnan kustannukset on kyettävä kattamaan erilaisissa olo-
suhteissa
 - o merkittävät polttoaineiden hinnanmuutokset on vietävä välittömästi energia-
maksuihin.
- f) Asiakkaat olivat sitä mieltä, että
- o kaukolämmön on oltava mahdollisimman halpaa, kuitenkin siten, että ener-
gian laatu säilyy hyväksyttävällä tasolla
 - o hinnoittelujärjestelmän tulisi ohjata energiankäyttöä kalliimmasta halvem-
paan energiaan (esim. yö/päivä, viikonloppu/arki). Tässä yhteydessä asiakkaat
kannattivat jopa suurta hintaporrastusta.
- g) Yhteistä mielipidettä ei muodostunut millään ryhmällä siitä,
- o olisiko hinnoittelujärjestelmän oltava mahdollisimman yhtenäinen koko
maassa
 - o tulisiko asiakkaalle olla tarjolla erilaisia hinnoittelujärjestelmiä
 - o tulisiko kaukolämpö hinnoitella aiheuttamisperiaatteen mukaisesti eri vuo-
denaikoina energiaa tarvitseville kiinteistöille
 - o tulisiko energiamaksun pohjautua lyhyen ajanjakson rajakustannuksiin.
- Lisäksi vuonna 1997 tehdyn kyselyn perusteella tariffeja koskien kävi ilmi³⁷ seuraavaa:
- o Kustannusten aiheuttamisperiaatteen mukaisesti lämmön pitäisi olla sitä
edullisempaa, mitä tasaisempi asiakkaan kulutusprofiili on ja toiseksi, mitä
enemmän lämpöä asiakas ostaa. Asiakkaan tilausteholla ei sen sijaan ole mer-
kitystä energiamaksulle.

³⁷ Kaukolämmön hinnoittelujärjestelmien vaikutus energiankäyttöön ja säästöön, Otaniemi Consulting Group Oy 1998

- o Hinnoittelujärjestelmän on huomioitava asiakkaan kulutuskäyttäytymisestä aiheutuvat kustannukset, kuten esimerkiksi suuret huipputehot, mutta ei niinkään asiakkaasta riippumattomia kustannuksia. Kaukolämmön hinnan ei pidä muuttua vuoden- tai vuorokaudenajan mukaan, vaan hinnan halutaan olevan mahdollisimman tasainen.
- o Kiinteiden maksujen taso on usein liian alhainen kustannuksiin verrattuna.
- o Kaukolämmön hinnoittelujärjestelmän halutaan olevan mahdollisimman yksinkertainen ja sellainen, että asiakas pystyy helposti tarkastamaan laskun oikeellisuuden.

8.2.2 Kaukolämmön hinnoittelu Suomessa

Suomalaisessa kaukolämmön hinnoittelujärjestelmässä on pyritty noudattamaan edellä mainittuja tavoitteita ja periaatteita. Nykyiset hinnoittelujärjestelmät koostuvat kertaluonteisesta liittymismaksusta, vuosittaisesta kiinteästä maksusta (jatkossa perusmaksu) ja mitatun kulutuksen mukaisesta energiamaksusta. Vuosittaisesta kiinteästä maksusta käytetään myös muita nimityksiä kuten perusmaksu, tehomaksu, vesivirtamaksu. Eri maksukomponenteilla saattaa olla eri lämmönmyyjillä erilaisia nimityksiä, mutta periaate on suurelta osin sama kaikilla. Eri hintakomponenttien muodostumisessa huomioidaan eri lämmönmyyjien kustannusrakenteet ja kustannustasot, jolloin hinnat saattavat poiketa huomattavastikin toisistaan.

Liittymismaksu

Liittymismaksun perustana on asiakkaan sopimusvesivirta tai -teho. Liittymismaksulla katetaan asiakkaan liittämistä aiheutuvat investointikustannukset. Näitä kustannuksia syntyy liittymän takia kaukolämpöverkostossa ja talojohdon sekä mittauskeskuksen asennuksissa. Liittymismaksu perustuu joko asiakkaan tarvitsemaan kaukolämmön sopimustehoon tai -vesivirtaan. Sopimusvesivirtaan perustuva liittymismaksu huomioi myös asiakkaan kaukolämpöveden jäähtymisen, jolloin se on paremmin kustannusvastaava hinnoittelun peruste kuin sopimustehoon perustuva hinnoittelu.

Liittymismaksun taso määritetään kaukolämpöjohtojen, mittauslaitteiden ja muiden liittymään kohdistuvien kustannusten perusteella. Kustannusten muutosta laskettaessa hyödynnetään soveltuvin osin esimerkiksi tilastokeskuksen indeksejä ja Energiategollisuus ry:n sekä kaukolämpöyhtiön omia kustannustilastoja.

Energiamaksu

Energiamaksun tarkoituksena on kattaa kaukolämmön tuotannon muuttuvat kustannukset rajakustannusperiaatteella. Näitä kustannuksia ovat:

- Polttoainekustannukset
- Polttoaineen muuttuvat varastointi- ja käsittelykustannukset
- Polttoaineen käsittelykustannukset
- Kaukolämmön tuotantolaitosten omakäyttöenergiakustannukset
- Muuttuvat käyttö- ja kunnossapitokustannukset
- Pumppauskustannukset

Nämä kustannukset ovat joko täysin tai osittain polttoaineen kulutukseen ja polttoainekustannuksiin verrannollisia. Energimaksun suuruus määritetään kaukolämmön kaikkien muuttuvien tuotantokustannusten mukaisesti. Näiden kustannusten muuttuessa muutetaan energimaksua vastaavasti.

Energimaksu on Suomessa asetettu normaalisti tasolle, joka on korkeampi kuin muuttuvat rajakustannukset. Tällöin energimaksu peittää myös kaukolämpötoiminnan kiinteitä kustannuksia. Tähän on johtanut päättäjien haluttomuus hyväksyä kustannusvastaavuudeltaan riittävän korkea perusmaksutaso. Aiheuttamisperiaatteen mukaan polttoainekustannuksiin pitäisi sitoa vain polttoainekustannuksia vastaava osa kustannuksista. Tämän ylittävä osa tulisi olla kiinteiden kustannusten muutoksista riippuvainen.

Energiaverojen taso ja mahdolliset tulevat korotukset aiheuttavat sen, että hinnoittelun riippuvuutta eri polttoaineista on tarkennettava.

Energimaksun polttoaineriippuvuus ja määräytyminen voidaan tehdä kahdella tavalla:

Vaihtoehto A: Polttoaineiden hinnanmuutoksista aiheutuva energimaksun muutos tehdään vaikutuksensa mukaisesti.

Vaihtoehto B: Jos käytetään energimaksun määräytymiskaavaa, polttoaineista riippuva osa energimaksua pitää olla aiheuttamisperiaatteen suuruinen. Muu osa energimaksua, joka peittää yrityksen muita muuttuvia kustannuksia ja mahdollisia kiinteitä kustannuksia, voi osittain tai kokonaan riippua sellaisesta indeksistä, joka parhaiten kuvaa yrityksen kiinteiden kustannusten kehitystä.

Energimaksun määräytymisyhtälö olisi siten rakenteeltaan seuraava:

$$E = E_0(A + B \cdot I / I_0 + C \cdot PA / PA_0) \quad (14)$$

missä

E energimaksun sovellustaso

E₀ energimaksun lähtötaso

I_{0,I} sopivan indeksin, esim. tukkuhintaindeksin T₄₉ lähtötaso ja sovellustaso.

P_{A0}, P_A kaukolämmön keskimääräisten polttoainekustannusten lähtötaso ja sovellustaso.

Kertoimella C asetetaan polttoainekustannuksia vastaava energimaksun osa tarvittavalle tasolle. Kertoimilla A ja B painotetaan kiinteiden kustannusten osuutta energimaksun osalta. Kiinteiden kustannusten katetarve riippuu tulevien investointien rahoitustarpeesta.³⁸

³⁸ Kaukolämmön hinnoittelu. Suomen kaukolämpö ry. Espoo: 1995. Suositus T21/1995. ISSN 0784-0179.

Perusmaksu

Perusmaksuilla katetaan kaukolämpötoiminnan kiinteät kustannukset. Näiden kustannusten taso ei riipu kaukolämmön muuttuvista tuotantokustannuksista. Kiinteitä kustannuksia ovat esimerkiksi:

- Kiinteät palkkakustannukset
- Kiinteistökustannukset
- Kaukolämpöverkoston ja lämmöntuotantolaitosten kiinteät kustannukset

Perusmaksun suuruus määräytyy asiakkaan laskutusvesivirran tai -tehon perusteella. Laskutusvesivirta määritetään asiakkaan tehontarpeen ja kaukolämpöveden jäähtymän perusteella. Kaukolämpöveden jäähtymä on energiankulutuksen ohella merkittävin tekijä, jonka käyttäytymistä hinnoittelun avulla pyritään ohjaamaan. Laskutus-teho määritetään uusilla asiakkailla kaukolämpösuunnitelmien mukaisesti, ja olemassa olevien asiakkaiden laskutusvesivirta ja -teho tarkistetaan mittaamalla.

Sopimus- ja laskutustehon ja -vesivirran tulee vastata todellista tarvetta. Asiakkaan liittyessä tavoitteena on oikean sopimustehon tai vesivirran määrittely. Laskutustehoa tai -vesivirtaa muutetaan rakennuksen tarpeen muuttuessa. Laskutusteho ja -vesivirta määritetään yleensä tunnin jaksolle. Käyttöveden lyhytaikaisilla alle tunnin mittaisilla tehohuipuille ei ole merkitystä kaukolämmön tuotannon ja jakeluverkoston kannalta, koska tehohuiput tasoittuvat verkostossa tehojen eriaikaisuudesta johtuvan risteilyn takia.

Muut tariffit

Varsinkin teollisuusyrityksille ja muille suurille asiakkaille voidaan tehdä räätälöity hinnoittelu. Edellytyksenä on, että räätälöinti on välttämätön asiakkaan erityisominaisuuksien takia. Samantyyppisiä asiakkaita on kohdeltava tasapuolisesti. Vastaavasti voidaan selvittää pakkaskauden ulkopuolella käytettävän kaukolämmön potentiaaliset myyntimahdollisuudet. Tällöin teho- ja siirtoverkkokustannukset jäävät pois.

Kaukolämmön paluuputkesta on mahdollista joissakin tapauksessa ostaa energiaa. Tällainen asiakkuus edellyttää omaa hinnoittelua. Se voi olla käytössä joko pelkästään osan vuotta tai koko vuoden. Paluuputkiasiakkaan liittämismahdollisuuksia rajoittavat vaihtelevat virtausmäärät paluuputkessa tai liian alhainen nykyinen tai odotettavissa oleva paluulämpötilataso.

Kesä-talvihinnoittelua tai muuta kausivaihteluhinnoittelua olisi syytä laajentaa siellä, missä edellytykset ovat olemassa. Energiatietojen kaukoluenta, jopa tuntitasolla, antaa erilaisille uusille tariffi- ja palvelumuodoille suuria mahdollisuuksia.

Mikäli palveluja ei tarjota kaikille ja ne kuuluvat kilpailtujen tuotteiden piiriin, hinnoittelun on oltava aiheuttamisperiaatteen mukainen. Ristisubventiota ei saa esiintyä määräävän markkina-alueen tuotteiden ja kilpailun piirissä olevien tuotteiden välillä.

8.2.3 Tariffiesimerkkejä

Seuraavassa taulukossa on esitelty kolme erityyppistä tariffia esimerkkeinä Suomessa käytössä olevista hinnoittelujärjestelmistä 1990-luvun loppupuolelta.

Taulukko 9. Esimerkkejä tariffeista

TARIFFI TILAUSVESIVIRTA/ RAKENNUSTILAVUUS	PERUSMAKSU	ENERGIAMAKSU
TARIFFI 1 V < 0,8 m ³ /h V = 0,8-2 m ³ /h V = 2-8 m ³ /h V > 8,0 m ³ /h	Maksuihin lisätään alv. k*4410*V k*(280+4060*V) k*(4200+2100*V) k*(12600+1050*V) k = 1,5	Energiamaksun suuruuden määrää energiyhtiön hallitus yhtiön lämmönhankintakustannusten perusteella ottaen huomioon kaukolämmön kilpailukyvyyn.
TARIFFI 2 Φ = 0 - 30 kW Φ = 31 - 100 kW Φ = 101 - 250 kW Φ = 251 - 700 kW Φ > 701 kW	Maksuihin lisätään alv. k*(600+130*Φ k*(1200+110*Φ k*(2200+100*Φ k*(17200+40*Φ k*(20000+36*Φ k = 1,00	$k_0 * (c * \frac{H_1}{H_{10}} + (1 - c) * \frac{H_2}{H_{20}})$ K ₀ = energiamaksun perusarvo, jonka suuruuden päättää energialaitoksen johdotonta. c = kerroin, joka ilmaisee jysinturpeen osuuden lämmöntuotannossa ja jonka suuruuden päättää energialaitoksen johdotonta polttoaineiden käyttösuhteen perusteella. H ₁₀ = Jysinturpeen lämpösisällön hinta heinäkuussa 1992, alkutuotevähennys huomioituna H ₁ = Jysinturpeen lämpösisällön hinta laskutuskauten alussa H ₂₀ = Vähärikkisen raskaan polttoöljyn viitehinnasta laskettu lämpösisällön hinta heinäkuussa 1992 H ₂ = Laskutuskautta kahta kuukautta aikaisempi vähärikkisen raskaan polttoöljyn viitehinnasta laskettu lämpösisällön hinta.
TARIFFI 3 V < 0,2 m ³ /h V = 0,2-1,0 m ³ /h V = 1,0-3,0 m ³ /h V = 3,0-8,0 m ³ /h V > 8,0 m ³ /h	Perusmaksu sis.alv k*1,22*900 k*1,22*(-1294+10970*V) k*1,22*(2701+6975*V) k*1,22*(9451+4725*V) k*1,22*(28331+2365*V) k=1,16	$E = k_0 * (k_1 * \frac{E_1}{E_0})$ E = 24,55 €/MWh

8.3 Kaukolämmön laskutus

Tuotteen tai palvelujen laskutus perustuu lainsäädäntöön, jossa määritellään myydyn tavaran määrän mittaamiseen liittyvät asiat. Ominaista kaukolämpötoiminnalle on, että

- lämpö on aineeton tuote
- tuotanto ja kulutus tapahtuvat lähes samanaikaisesti
- palvelu koostuu useasta eri osapalvelusta, joista tärkeimmät ovat käyttöönotto-vaihe ja rakentaminen, tuotanto, jakelu, laskutus, mittaus, kunnossapito ym.
- käytön ja kunnossapidon asema on korostunut.

Kaukolämmön toimitus ja laskutus perustuvat kaukolämmön lämpösopimukseen ja sopimusehtoihin. Suomessa pääsääntönä on, että kaikki toimitettu tavaramäärä mitataan ja mittauslaitteiden tarkkuutta valvotaan viranomaisten toimesta.

Kaukolämpöenergian mittaamiselle oli annettu erivapaus vuoteen 1994 asti, mutta nykyään myös kaukolämmön määrä on mitattava määräysten mukaisilla mittauslaitteilla ja laskutuksen on perustuttava tähän mittarin näyttämään.

Laskulla tulee esittää mitatun energiamäärän ja laskutettavan euromäärän lisäksi riittävästi tietoa, jotta asiakas pystyy tarkastamaan laskun oikeellisuuden. Lisäksi hyvällä laskulla on asiakkaan palvelemiseksi myös energiansäästön kannalta oleellista tietoa.

Suomessa käytettäessä huoneistokohtaista lämmönmyyjä laskuttaa sopimuksensa perusteella lämpösopimuksen tehnyttä käyttöpaikan omistajaa, joka sitten omilla menettimillään jakaa laskun huoneistoille tai rakennuksen käyttäjille

9 KÄYTTÖ JA KUNNOSSAPITO

Kaukolämmityksen käyttö- ja kunnossapitotoiminnan erityispiirteenä Suomessa on ollut varmistaa erityisen korkea kaukolämmön toimituksen luotettavuus ja varmuus sekä näistä johtuen hyvin vähäiset lämmön toimituksen katkokset. Käyttö- ja kunnossapitokustannukset muodostuvat pääosin kaukolämmön tuotannon ja jakelun muuttuvista kustannuksista. Näitä ovat mm.

- Polttoainekustannukset
- Polttoaineen kuljetuksen ja käsittelyn muuttuvat kustannukset
- Lämmön ja sähkön omakäyttö
- Muuttuvat käyttö- ja kunnossapitokustannukset
- Pumpppauskustannukset

Näistä pääosan muodostavat polttoainekustannukset, jotka voivat olla jopa 80 % kaikista kaukolämpötoiminnan muuttuvista kustannuksista. Suomessa pumpppauksen energiankulutus on noin 6 - 7 kWh sähköenergiaa yhtä toimitettua megawattituntia lämpöenergiaa kohti. Suomessa pumpppausta optimoidaan käyttämällä välipumpppaamoja sekä taajuusmuuttajia pumpppauksen ohjauksessa. Vesivuotohäviöt kaukolämpöverkostossa ovat noin 5 - 10 % verkoston vesitilavuudesta kuukaudessa, eli lisävertä tarvitaan noin verkostotilavuuden verran vuodessa. Tässä luvussa ovat mukana sekä vuodot, korjaukset että uusien verkosto-osien täytöt.

9.1 Käyttö

Kaukolämmön tuotanto ja jakelu sekä niihin liittyvät käyttötoiminnot perustuvat asiakkaan tehon ja energian tarpeisiin. Asiakas säätää tarvitsemansa kaukolämpötehon tarpeen mukaisesti omilla säätölaitteillaan. Säätölaitteet säätävät lämmönsiirtimien läpi virtaavan kaukolämpöveden määrän aina tarvetta vastaavaksi. Lämmönmyyjän kaukolämmön käyttötoimintojen ja automaation tehtävänä on turvata asiakkaille riittävä energian saanti säätämällä tuotantolaitosten teho ja kaukolämpöveden pumpppaus aina oikealle tasolle.



Kuva 68: Erään kaupungin kaukolämpöverkoston

Kaukolämpöjärjestelmän käyttöön ja käytön suunnitteluun vaikuttavat monet eri tekijät. Näistä tärkeimpiä ovat kaukolämpöveden lämpötila- ja paine-erotasot.

Käyttöhenkilöstön on tunnettava menolämpötilan ohjekäyrä ja sen noudattamiseen vaikuttavat tekijät. Kaukolämpöverkoston käyttöä lyhytaikaiseen lämmönvarastointiin. Käytettäessä verkoston lämpövarastona nostetaan kaukolämmön menoveden lämpötilaa muutamalla asteella. Lämmön varastointi erillisten lämpöakkujen avulla voidaan hoitaa myös ohjekäyrän mukaisilla lämpötiloilla.

Verkoston pumppaus ja paine-ero sekä niiden säätö tulee hallita eri olosuhteissa. Lisäksi verkoston staattisen painetasen säätö on tärkeää mm. höyrystymisen ja vesiskujen estämiseksi. Verkoston kaikki osat pidetään ylipaineisina, jotta estetään ilman pääseminen verkostoon.

9.1.1 Kaukolämmön tuotantolaitosten käyttö

Lämmön tuotanto säädetään vastaamaan aina kulloistakin kaukolämpötehon tarvetta. Sääto tapahtuu pääsääntöisesti kaukolämmön menolämpötilaa ja kaukolämpöverkoston paine-eroa säätämällä. Menolämpötilaa säädetään tuotantotehoa säätämällä ja paine-eroa pumppausta säätämällä.

Kaukolämmön menoveden lämpötilan ylärajan määrittää verkoston suunnittelulämpötila. CHP-laitoksen sähkön tuotannon lämpöhäviöiden kannalta tavoitteena on mahdollisimman alhainen lämpötila.

Asiakkaan kaukolämpölaitteiden mitoitus niin talven mitoitulosuhteissa kuin eri ulkolämpötila- ja sääolosuhteissa vaikuttavat siihen, miten alhaisella menoveden lämpötilalla tullaan toimeen. Käyttöveden mitoitustilanne kesällä on yksi tuotannon eri-

koistilanne, jossa käyttöveden tehontarve ja tehontarpeen risteily on huomioitava. Eri-
laiset teollisuusasiakkaiden tuotantoprosessit voivat vaatia kaukolämmön tuotannolta
tavanomaisesta poikkeavaa menolämpötilaa.

Lämpöhäviöt verkostossa tulee huomioida tuotannon määrässä, ja ne vaikuttavat asi-
akkaille toimitettavan kaukolämpöveden lämpötilaan.

Verkoston siirtokyky saattaa vaikuttaa kaukolämmön eri tuotantolaitosten käyttöön
ja käytettävyyteen. Kaukolämmön tuotantolaitoksia voidaan joutua käyttämään eri
tavoin eri aikoina, kun kaukolämpöverkoston jäähtymä on pieni, niin koko tuotanto-
laitoksen tehoa ei välttämättä saada siirrettyä asiakkaille. Syksyllä tai keväällä jäähtymä
on usein alhaisempi kuin mitoitustilanteessa.

Tuotantolaitosten automaation suunnittelussa tulee huomioida samanaikaisesti toi-
minnassa olevien tuotantolaitosten käyttö sekä tuotannon optimointi. Sähkön tuotan-
to on tarvittaessa voitava maksimoida. Joskus taas kaukolämmön tuotanto on ohjaava
tekijä.

Verkostossa kaukolämpötehon säätämisestä huolehtii ainoastaan yksi tuotantolaitos,
muut toimivat vakioteholla. Tällöin säätävällä laitoksella on oltava riittävästi kapasi-
teettia säätöä varten. Kaikki laitokset tuottavat saman lämpöistä kaukolämpövedettä.
Tuotantokustannukset määrittävät laitosten käyttöjärjestyksen. Verkoston paisunta ja
paineen ylläpito hoidetaan yhdeltä tuotantolaitokselta.

Kaukolämpöveden pumppaus hoidetaan joko voimalaitokselta ja lämpökeskuksilta tai
erillisistä välipumppaamoista. Käyttötoimintojen joustavan toiminnan ja miehityksen
kannalta pumppaus on usein osa lämmöntuotannon organisaatiota ja vastuualuetta.

9.1.2 Kaukolämpöverkoston käyttö

Teknicaloudellisesti onnistuakseen verkoston rakentaminen, käyttö ja valvonta vaa-
tivat ohjelmistoja verkosto-olosuhteiden, lämmöntarpeen ja vesivirtojen laskentaan
muuttuvissa toimintatilanteissa. Kaukolämpötoimintojen johtaminen, tulevan enna-
kointi sekä kustannusten optimointi vaativat kaukolämpölaitoksissa ohjelmistot eri
käyttötoimintojen simulointiin ja verkoston suunnitteluun.

Verkoston käyttöön vaikuttavat kaukolämpöjärjestelmän erilaiset käyttöolosuhteet,
kuten talvi- ja kesäajan erilaiset tehontarpeet ja mitoitustilanteet. Eri tuotantolaitok-
set ja yksiköt vaikuttavat välipumppaamoiden käyttöön eri ajankohtina ja verkoston
silmutointiin ja sen tarpeeseen. Uusien verkosto-osien suunnittelu vaikuttaa merkit-
tävästi tulevien käyttötoimenpiteiden suunnitteluun. Lämmöntarvelaskenta ja verkos-
ton mitoitus on tärkeä osa uusien kaukolämpöalueiden verkosto-osien suunnittelua.
Verkosto-osien uusimisen yhteydessä putkistomitoitus ja putkiston sijoitus tulee tar-
kistaa.

Kaukolämpöveden pumppauksen säätö ja valvonta tehdään pääasiallisesti kaukolämpövalvomosta tai lämmöntuotantolaitoksilta ja pumpput sijaitsevat joko tuotantolaitoksilla tai erillisissä pumppaamoissa.

Vuotojen havaitsemiseksi kaukolämpövesi on värjätty usein vihreäksi. Kaukolämpökaivojen tarkastukset ja mahdolliset tyhjennuspumppaukset ovat tavanomaisia verkoston käyttötoimenpiteitä. Pumppauskohteita ovat esimerkiksi kaivoihin tuleva pohjavesi tai sadevedet. Mahdollisissa vauriotilanteissa sekä uusien verkosto-osien käyttöönottojen yhteydessä voidaan joutua tyhjentämään ja täyttämään verkostoa.

Verkoston erikoiskohteet tulee myös huomioida käyttö- ja tarkastustoimenpiteissä. Seuraavassa kuvassa on esitetty kaukolämpöputkien kannakointi siltaan. Tällaiset näkyissä olevat kohteet on hyvä määrääjain silmämääräisesti tarkastaa. Tarkastukset ja niiden tulokset tulee kirjata ylös käyttö- ja kunnossapitojärjestelmään. Nykyaikaiset järjestelmät hyödyntävät moderneja karttapohjaisia ja mobiileja järjestelmiä.



Kuva 69: Kaukolämpöputkien kannakointi sillan rakenteisiin

Kuvassa on kiinnivaahdotettu 2Mpuk-kaukolämpöjohto asennettuna sillan rakenteisiin. Lämpölaajeneminen on hoidettu sillan kummassakin päässä olevalla luonnollisella kompensoinnilla.

9.1.3 Kaukolämpöverkoston vuodon etsintä

Kaukolämpöverkostossa esiintyy aina jonkin verran vuotoja, siten verkostosta häviää koko ajan hieman vettä. Kaikki hävikki ei kuitenkaan johdu verkoston vuodoista, vaan esimerkiksi verkoston liitostöistä, mittauslaitteiden vaihdoista tai pumppujen akselitiivisteistä. Vuodon etsintä maanalaisista putkista on eräs kaukolämpötoiminnan vaikeimmista tehtävistä. Erilaisia vuodon etsinnän menetelmiä on kehitetty ja kehitetään jatkuvasti. Ei ole olemassa kaiken kattavaa työkalua erilaisten vuototapausten selvittämiseksi, vaan eri menetelmiä on käytettävä yhdessä ja suunnitelmallisesti.

Ensisijaisesti verkoston hyvä kunto varmistetaan huolellisella suunnittelulla ja laadukkaalla rakentamisella. Kaukolämmityksen verkostousinnat ovat erittäin kalliita ja aiheuttavat paljon kustannuksia niin työnä kuin veden hävikkinä ja lämmön myynnin menetyksinä. Hyvin toimiva verkosto lisää asiakastyytyvyyttä.

Vuotoja tulee kuitenkin aina esiintymään ja niiden löytämiseksi on useita menetelmiä. Vuodonetsinnän eräitä mahdollisuuksia ovat esimerkiksi hälytyskaapelointi, kaukolämpökaivojen tarkastukset, lämpökameran käyttö, verkoston visuaalinen tarkastelu ja energia- sekä painemittausten vertaileminen. Seuraavassa kuvassa on esimerkki kaukolämpövuodosta.



Kuva 70: Kaukolämpöverkoston vuoto

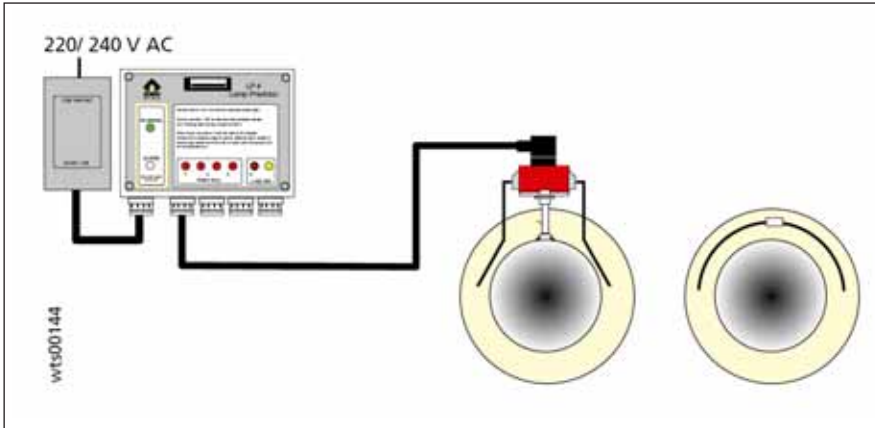
Kuvassa oleva kaukolämpöjohdon rakenne on aiemmin laajasti käytössä ollut Mpul-tyyppinen elementti, jossa teräsputket liikkuvat lämpöliikkeiden voimasta eristyksen sisällä lasikuituputkissa. Kuvan tapauksessa vuoto voidaan visuaalisesti havaita, koska kaukolämpövesi on värjätty vihreäksi. Vuodon visuaalinen havaitseminen edellyttää kuitenkin, että vesi tulee jossakin kohdassa näkyville esimerkiksi maan pinnalle tai kaukolämpökaivoon.



Kuva 71: Vesihöyry paljastaa vuodon (Nishni Novgorod, Venäjä)

Vuodonilmaisinkaapelit

Vuodonilmaisinkaapelit on asennettu kaukolämpöputkielementeihin, ja niiden avulla mitataan eristeen johtokyvyn muuttumista kosteuden vaikutuksesta. Asennusvaiheessa johtokyky mitataan ja käytön aikana sen muutoksia seurataan.



Kuva 72: Vuodonilmaisinkaapelit kaukolämpöputkielementissä³⁹

Vuodonilmaisinkaapeleiden ja -järjestelmien kaapeloinnissa ja liitosten tekemisessä on oltava erityisen huolellinen. Asennusviat ja kaapeleiden katkokset ovat aiheuttaneet aiemmin vikahälytyksiä vaikeissa käyttöolosuhteissa.

Verkon silmämääräinen valvonta

Verkon silmämääräinen valvonta on tehtävissä vaikka kaukolämpöyhtiön koko henkilöstön toimesta. Silmämääräinen valvonta vaatii onnistuakseen sopivat sääolosuhteet. Lisäksi se vaatii aikaa ja henkilökuntaa, mikäli tarkastus tehdään kattavasti. Seuraavassa kuvassa on esitetty tarkkailuun sopiva olosuhde, jossa lumen sulaminen paljastaa mahdollisia verkoston vuotopaikkoja.

³⁹ Wehothem-kaukolämpöputkijärjestelmän esite



Yläpuolella runkojohto (DN 100) ja talojohto asennettuna puistoalueelle. Kuvassa olevat verkoston osat ovat vuodon takia kastuneet ja eristyskyky heikentynyt huomattavasti.



Oikealla runkojohto (DN 250) asennettuna pyörätien alle. Lämpöhäviöt johtuvat huonosta eristyksestä sekä normaalia korkeammasta paluulämpötilasta.

Kuva 73: Olosuhteet, joissa silmämääräinen havainnointi onnistuu hyvin

Aina lumen sulaminen ei tarkoita vuotoa, sillä mikäli pitkään aikaan ei sada lunta, niin lumi voi pikkuhiljaa sulaa pelkästään normaalin lämpöhäviötehon vaikutuksesta.

Lämpökamerakuvaus

Verkoston lämpökamerakuvaus helikopterista tai autosta vaatii sopivat olosuhteet ja runsaasti aikaa ja suunnittelua. Menetelmänä se on kallis. Tarkkuudeltaan se ei sovellu kaukolämpöverkoston kunnan selvittämiseen. Vuoto ja vauriotapauksissa se on erittäin tehokas vuoto- tai vauriokohdan paikallistamismenetelmä. Kunnan selvittämiseksi tarkoitetaan menetelmää, jossa esimerkiksi eristeaineen eristyskyvyn heikkeneminen voitaisiin mittauksilla todentaa.

Kaivojen tarkastukset

Kaivojen tarkastukset on tehtävä suunnitelmallisesti niille verkoston osille, joissa on kaivoja. Mahdollinen kaukolämpöputken vuoto paljastuu kaivoihin kertyvästä vedestä. Tyypillisesti 2Mpuk- ja Mpuk- verkstorakenteissa ei ole kaivoja.

Joidenkin kaivojen tarkastaminen on tehtävä säännöllisesti myös ulkopuolisen veden takia, ja joissakin tapauksissa tarkastuksiin liittyy tarvittaessa kaivon pumppaus tyhjäksi. Näin on yleensä kaivoissa, joissa pohjavesi tai sadevesi aiheuttavat ongelmia.

Lämpöhäviöiden ja mitatun vesimäärän vertailu

Lämpöhäviöiden ja mitatun vesimäärän vertailun luotettavuuteen vaikuttavat käytettävien mittauslaitteiden tarkkuudet ja mittareiden lukema-ajankohdat. Parhaimmat tulokset olisi saatavissa kaikkien mittauslaitteiden kaukoluennan avulla. Mittauksina voidaan käyttää tuotantolaitosten mittareita, verkoston ja välipumppaamoiden mittareita ja asiakkaiden mittauksia vertailukohteena.

Seuraavassa kuvassa on esitetty potentiaalinen riskikohde uudessa kaukolämpöjohdossa. Kuvan liitoskohdassa on havaittavissa mahdollisesti huonosti tehty suojakuoren jatkos.



Kuva 74: Uuden kaukolämpöjohdon jatkos

Verkoston vuodoista suurin osa johtuu ulkopuolisen veden pääsemisestä kaukolämpöputkielementin suojakuoren sisään ja sitä kautta teräsputkiin aiheuttaen korroosiota putkissa.

9.1.4 Mittarointi ja instrumentointi

Lämmönmyyjän on tunnettava verkosto-olosuhteet riittävän hyvin niin asiakaspalvelun kuin tuotannon optimoinninkin kannalta. Tärkeimmät tiedot lämmönjakelun toimivuuden kannalta ovat lämpötila-, paine- ja paine-erotiedot, joita seurataan päätuotantolaitoksella tai erillisessä kaukolämpövalvomossa.

Nykyaikaisen kaukolämpöjärjestelmän käyttö vaatii paljon erilaista mittaustietoa verkosto-olosuhteista. Verkoston paine-erot, kauko-ohjattavien pumppujen, venttiilien ja lämpökeskusten tiedot välittyvät kaukolämpövalvomoon.

Lämpöenergian mittaus

Jokaisella asiakkaalla tulee olla kaukoluettava lämpöenergian mittaus laskutusta ja mahdollisia kaukolämpöpalveluja varten. Palveluja varten luontavälin tulisi olla yksi tunti. Lämmön tuotantolaitosten ja pumppaamoiden mittauksia voidaan käyttää verkoston häviöiden määrittämiseksi sekä asiakkaiden mittauslaitteiden kunnon arviointiin. Nämä mittaustiedot kuuluvat jokaisen lämpöyhtiön laatujärjestelmään. Seuraavassa kuvassa on esitetty kaukolämmön mittauskeskus, johon on asennettu virtauksen rajoitin asiakkaan laskutusvesivirran rajoittamiseksi sovittuun arvoon. Virtauksen rajoitin on laite, joka tarvitsee myös käyttö- ja huoltotoimenpiteitä. Aina kun

asiakkaan laskutusvesivirta muuttuu, on myös virtauksen rajoitin säädettävä muuttunut tilannetta vastaavaksi.



Kuva 75: Kaukolämmön mittauskeskus varustettuna virtauksen rajoittimella

Kaukolämpöveden lämpötilamittaukset tehdään jokaisella voimalaitoksella ja lämpökeskuksella sekä välipumppaamolla. Kaukoluennan avulla saadaan lämpötilatiedot kaikilta asiakkailta.

Paineen ja paine-eron mittaus

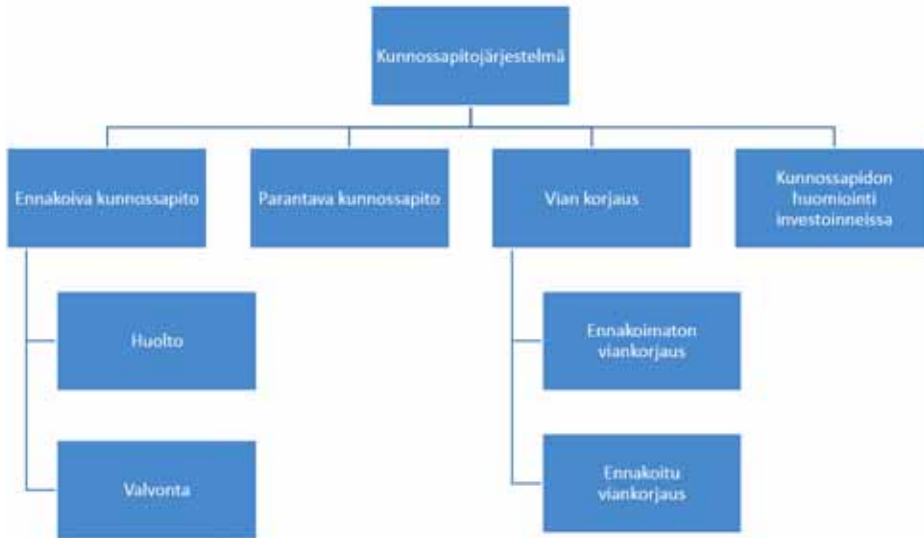
Kaukolämpöverkoston paineen ja paine-eron mittaukset asennetaan jokaiselle voimalaitokselle, lämpökeskukselle ja jokaiseen välipumppaamoon. Lisäksi tarvitaan paine-eron mittaus käytön kannalta kriittisissä verkoston pisteissä, joissa paine-ero on pienimmillään. Muita tarkasteltavia kohtia ovat korkeat maastonkohdat, erityisen vaikeat käyttökohteet sekä sellaiset asiakkaat, joilla on erityisiä vaatimuksia kaukolämmön toimitukselle.

9.2 Kunnossapito

Kunnossapito on yhdistelmä erilaisia suunniteltuja toimintoja, joilla pyritään kaukolämmön tuotantolaitosten, verkoston, asiakaslaitteiden ja muiden komponenttien optimaaliseen käyttöön ja toimintaan siten, että asetetut toiminnalliset vaatimukset sekä laadulliset, määrälliset että taloudelliset tavoitteet saavutetaan. Optimointi tulee aina tehdä laitoksen tai järjestelmän koko käyttöikä koskien. Lisäksi kunnossapidon

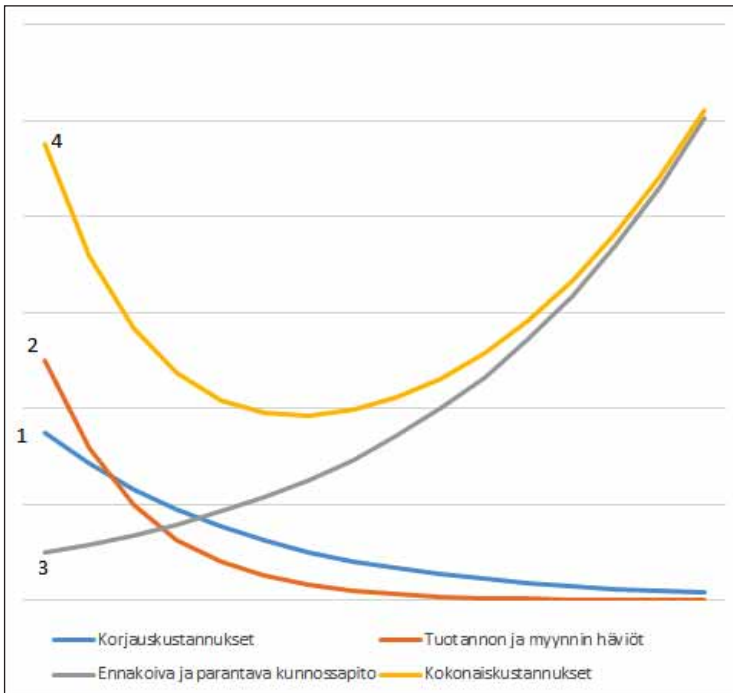
toimet tulee optimoida ja suunnitella koko kaukolämpöjärjestelmän, tarkasteltavan laitoksen sekä yksittäisen laitteen osalta. Kunnossapitojärjestelmän sisältö ja laajuus riippuu yrityksen koosta ja sen strategisista päätöksistä.

Kaukolämmön käyttö ja kunnossapitotoiminta koostuvat seuraavista osista, jotka soveltuvat kaikkien toimintojen kunnossapitojärjestelmien kuvaamiseen. Näistä toimista koostuvat niin koko laitoksen kuin yksittäisen laitteen kunnossapitotoiminnot.



Kuva 76: Kunnossapidon osat

Kunnossapidon optimointiin vaikuttavat useat eri suuntaan vaikuttavat tekijät. Näitä ovat esimerkiksi ennakoivan kunnossapidon ja parantavan kunnossapidon kustannukset, korjauskustannukset sekä tuotannon häviöt ja myymättä jäävän energian arvo. Mitä enemmän panostetaan ennakoivaan ja parantavaan kunnossapitoon, sitä pienemmät ovat esimerkiksi korjauskustannukset. Optimaalisessa tilanteessa kokonaiskustannukset ovat minimissään.



Kuva 77: Kunnossapitokustannukset

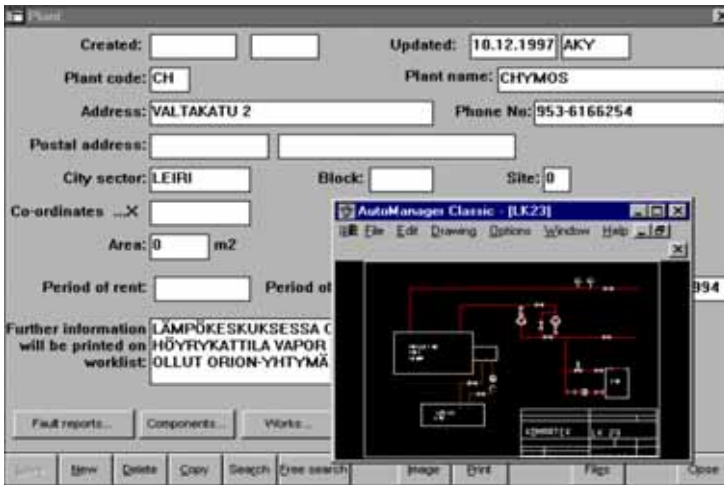
- 1 Korjauskustannukset
- 2 Tuotannon ja myynnin häviöt
- 3 Ennakoiva ja parantava kunnossapito
- 4 Kokonaiskustannukset

Kunnossapito on osa yrityksen strategisista toiminnoista. Menetelmät tavoitteiden saavuttamiseksi perustuvat valittuun strategiaan. Kunnossapidon osia ovat ennakoiva kunnossapito, parantava kunnossapito ja korjaava kunnossapito. Kunnossapidon järjestämiseksi tarvitaan riittävä organisaatio, jolla on tarvittava tekninen tieto ja osaaminen.

Kunnossapitojärjestelmään laaditaan laitoksen kunnossapito-ohjelma, jossa määritellään erilaiset seurantatoimenpiteet, käytettävät tunnusluvut ja arviointimenetelmät. Seurattavia asioita ovat esimerkiksi kustannusseuranta, erilaisten laitteiden ja komponenttien kunnan seuranta, vikaantumisen seuranta, käytettävyyseuranta ja huolto-seuranta. Tunnusluvut ja niiden seuranta ja arviointi antavat tietoa toiminnan onnistumisesta ja tehokkuudesta.

Huolto ja kunnossapito-ohjeet ovat tärkeä osa kunnossapitojärjestelmää. Kunnossapito-, huolto- ja korjaustoimet tulee huolellisesti dokumentoida ja arkistoida. Nykyaikaisissa kunnossapitojärjestelmissä kaikki tarvittava tieto on saatavissa kannettavissa päätelaitteissa, jolloin ajantasainen tieto on aina käytettävissä. Tämä helpottaa myös toimintojen kirjaamista ja dokumentointia.

Tärkeitä osia kunnossapitojärjestelmässä ovat myös laitetietokanta, kuvat ja piirustukset, kartat ja ohjedokumentit sekä valmistaja-, toimittaja- ja urakoitsijatiedostot. Lisäksi tarvitaan dokumentointia vioista, töistä, työtilauksista ja hankinnoista. Työturvallisuusohjeet ovat tärkeä osa toimivaa järjestelmää. Seuraavassa kuvassa on esitetty kunnossapitojärjestelmän laitekortti ja laitoksen yksinkertaistettu kaavio.



Kuva 78: Kunnossapitojärjestelmän laitekortti

Kunnossapidon huomiointi investoinneissa

Investointivaiheessa on huomioitava myös käytön ja kunnossapidon tarpeet. Tämä koskee niin prosessi- ja teknistä suunnittelua kuin asennusvaiheitaakin.



Kuva 79: Kaukolämpöverkosta asennustyömaalla

Virtauspukket tulee suojata asennustyön ajan ulkopuoliselta liialta ja kosteudelta esimerkiksi edellisen kuvan mukaisesti. Näin estetään epäpuhtauksien pääsy verkostoon ja helpotetaan niin verkoston käyttöönottovaihetta kuin myöhempää käyttöäkin. Epäpuhtaudet kerääntyvät aina johonkin verkoston kohtaan, jossa ne aiheuttavat ongelmia. Tällaisia kohtia voivat olla esimerkiksi lämmönjakokeskusten lianerottimet tai pahemmassa tapauksessa lämmönsiirtimet.

Verkoston asennukset tulee tehdä mahdollisimman hyvissä olosuhteissa, jotta kaikki suoja-kuorten liitokset saadaan varmasti vesitiiviiksi. Myös kaivutyön sekä tietenkin lopputäytön tulee olla hyvälaatuista, jotta putket saadaan asennettua mahdollisimman tasaisesti eikä kiviä tai muita teräviä esineitä jää muovisuoja-kuorta painamaan.



Kuva 80: Roudan sulatusta kaukolämpöverkon kaivantoa varten

Onnistunut kaivutyö edellyttää joissakin tilanteissa roudan sulattamista kaivamisen helpottamiseksi ja siksi, että kaivannosta saadaan hyvälaatuinen.



Kuva 81: Venttiilielementti asennettuna

Kuvassa on venttiilielementti asennettuna ja peitettynä valmiina käytettäväksi. Tämän jälkeen asennetaan vielä maanpäällinen rakenne, joka voi olla esimerkiksi betoninen kaivon kansi ja teräskannet käyttötoimintoja varten. Näin venttiiliä voidaan käyttää maan pinnalta verkoston käyttötoimenpiteiden aikana. Tällaisesta kaivosta ei voi tehdä verkoston vuoto- tai kuntotarkastuksia vaan ainoastaan käyttää sulk-, tyhjennys- ja ilmausventtilejä.

Kunnossapidon huomiointi investoinneissa on tärkeä osa investointien suunnittelua. Seuraavassa kuvassa on esitetty tilanne kaukolämpöjohdon päältä, kohdassa johon talvella aurataan läheisen pysäköintialueen lumet. Syy tähän on aikoinaan täysin väärän tyyppinen kaukolämpöjohtorakenne, jossa ei ole minkäänlaista suojaa ulkopuolista kosteutta vastaan. Lisäksi eristys ei ole yhtenäinen, vaan siinä on suuria rakoja.



Kuva 82: Lumi sulaa kaukolämpöjohdon päältä

Kuvassa vasemmalla on kuva jalkakäytävältä kaukolämpöjohdon kohdalta runsaslumisena kevättalvena, josta kaukolämmön lämpöhäviö on sulattanut lumet. Oikealla kyseinen kohta on kaivettuna esille, josta selkeästi näkee heikkolaatuisella eristysmateriaalilla huonosti toteutetun eristyksen.

10 KANSAINVÄLISISTÄ KAUKOLÄMPÖJÄRJESTELMISTÄ

Kansainvälisistä kaukolämpöjärjestelmissä on joitakin erityispiirteitä verrattuna suomalaiseseen kaukolämmitykseen. Venäjän, Kiinan, USA:n sekä Keski-Euroopan ja Itä-Euroopan kaukolämpöjärjestelmiä käsitellään niiltä osin, kuin ne poikkeavat suomalaisista ratkaisuista. Tavoite on tuoda esille niitä piirteitä, jotka vaikuttavat järjestelmien saneeraus- ja korjausvaiheessa siihen, miten suomalaisia ratkaisuja voidaan näissä maissa hyödyntää.

10.1 Näkökulmia kaukolämpöjärjestelmien eroavaisuuksista

Muita kuin suomalaisia kaukolämpöjärjestelmiä käsitellään muun muassa seuraavista näkökulmista:

- Kaukolämpöjärjestelmien peruseriaatteet ja järjestelmän tekninen rakenne
- Asiakkaan kytkentätavat kaukolämpöverkoston
 - o Käyttöveden osalta joko avoin tai suljettu kytkentä
 - o Lämmityksen osalta suora ja epäsuora kytkentä
- Lämmönsiirtoaine voi olla joko vesi tai vesihöyry.

Lisäksi laitteiden ja järjestelmän omistus- ja sopimusasiat poikkeavat usein huomattavastikin suomalaisista käytännteistä. Näitä ovat esimerkiksi liittymäjohto, mittauslaitteet, laskutus ja kaukolämmön kilpailutilanne.

Edellä mainittuja asioita selvittämällä pyritään luomaan yleiskuva siitä, mitkä asiat on otettava huomioon verrattaessa suomalaisen ja kansainvälisen kaukolämpöjärjestelmän eroja ja ominaisuuksia. Esimerkkejä käsitellään tuotannon, jakeluverkoston sekä asiakas- ja mittauslaitteiden näkökulmasta.

Järjestelmäteknisesti jotkut kaukolämpöjärjestelmät poikkeavat suomalaisesta kaukolämmitysjärjestelmästä lämmönsiirtoväliaineen osalta. Toisaalta järjestelmän säätöfilosofia on usein erilainen kuin Suomessa. Tuotannon ja jakelun osalta sekä tekniikka että suunnitteluperiaatteet voivat olla täysin erityyppiset. Lämmöntarpeen säätäminen ei useinkaan ole asiakkaalle mahdollista. Asiakkaan asema osana järjestelmää poikkeaa muutoinkin suomalaisesta asiakaskäsityksestä. Tuotannon mitoitus, optimointi ja varajärjestelmät tehdään usein eri tavoin. Lämmöntoimituksen varmuus sekä lämmöntoimituksen katkot ja asiakkaan tarpeet huomioidaan usein tuotantolähtöisesti eikä asiakaslähtöisesti.

10.1.1 Lämmönsiirtoväliaine

Kaukolämmityksessä käytettävät yleisimmät lämmönsiirtoväliaineet ovat vesi ja vesihöyry. Vesihöyryä käyttävää kaukolämmitystä kutsutaan höyrykaukolämmitykseksi.

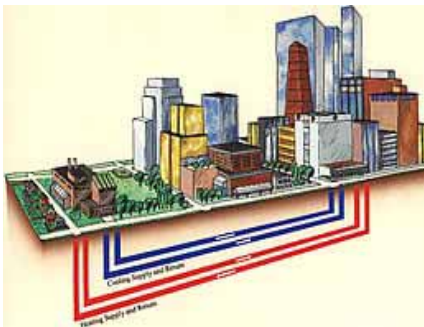
Höyrykaukolämmitys

Kaukolämmitystoiminnan alkuna pidetään New Yorkissa Lockportissa vuonna 1877 alkanutta höyrykaukolämmitystoimintaa. Seuraavien viiden vuoden aikana otettiin käyttöön lähes 50 järjestelmää eri puolilla USA:ta.

Höyryä käytetään myös kesäaikaiseen jäähdytykseen. New Yorkissa (Con Edison) höyryn käytöllä ilmastoinnissa korvataan huipputilanteessa noin 500 MW:n sähkötehoa.

Höyryjärjestelmän kuluttajalaitteiden suunnittelussa on huomioitava seuraavia asioita:

- Korkeapaineisen höyryverkon suunnittelu mukaan lukien paineenalennuslaitteiden mitoitus
- Lauhteen poisto
- Tuennat ja kiintopisteet
- Asiakkaan ohjeet laitteiden käytöstä, huollosta jne.



NEW YORK
Consolidated Edison Company of New York
(Con Edison)

- Höyrykaukolämmitys alkoi vuonna 1882
- Sähkönjakelu alkoi vuonna 1888
- Yli 160 km höyrynjakeluputkistoa
- Noin 2000 asiakasta

Con Edison höyrykaukolämpöjärjestelmä on USA:n suurin höyrykaukolämmitysjärjestelmä suurempi kuin neljä seuraavaa järjestelmää yhteensä. Se on myös maailman suurin höyrykaukolämpöjärjestelmä.

Kuva 83: Lämmitys ja jäähdytys höyryllä⁴⁰

Islannissa ja muutamissa muissa maissa käytetään myös suoraan maaperän geotermistä lämpöä kaukolämmitykseen. Näissäkin tapauksissa energia jaetaan usein höyrymuodossa.

Vesikaukolämmitys

Kaukolämpöveden lämpötila poikkeaa joissakin kaukolämmitysjärjestelmissä Suomessa käytössä olevasta 120 °C:n kaukolämmön suunnittelulämpötilasta. Suomessa on käytössä ns. matalalämpötilajärjestelmiä, joissa menoveden lämpötila on alle

⁴⁰ International District Energy Association (IDEA), kotisivut 2002

100 °C. Muualla, lähinnä Skandinaviassa ja Länsi-Euroopassa viimeaikaisena pyrki- myksenä on ollut siirtyä entistä matalampiin lämpötilatasoihin lämpöhäviöiden mi- nimoimiseksi. Alhaisimmillaan matalalämpötilajärjestelmissä menolämpötilat ovat 60 °C:n luokkaa.

Suomen 120 °C:n lämpötilataso perustuu painelaitelainsäädäntöön, joka mahdollis- taa alle 120 °C:n putkiston käytön kaukolämmitykseen ilman säännöllisiä määräai- kaistarkastuksia, jotka olisivat kaukolämpöverkoston osalta kohtuuttoman kalliita ja hankalia toteuttaa.

Muualla maailmassa lähinnä Keski- ja Itä-Euroopassa sekä Kiinassa on käytössä myös korkeampia kaukolämpöveden menolämpötiloja kuin 120 °C. Näissä maissa tyypil- lisiä suunnittelulämpötiloja ovat 130 °C tai 150 °C. Toisaalta useissa tapauksissa to- dellinen kaukolämpöveden menolämpötila näissäkin järjestelmissä jää huomattavasti alle suunnitellun myös mitoitusulkolämpötilalla. Tavanomaista on, että myös asun- tojen sisälämpötilat laskevat alle suunnittelulämpötilan samalla kun kaukolämmön toimituskyky jää vajaaksi. Näin ollen saneeraustapauksissa ei lämmön tuotantopään mitoitusta voida tehdä pelkästään toteutuneiden lämpötilojen ja tehojen perusteella, vaan samalla on varmistettava lämmön riittävyys asiakkaille sekä järjestelmän toiminta yleensä. Mitoitusvaiheessa tulee tarkastella toteutuneet lämpötilat, kaukolämpöveden tehot ja virtaamat sekä rakennusten sisälämpötilat.

10.1.2 Kansainvälisten kaukolämpöjärjestelmien säätöfilosofioista

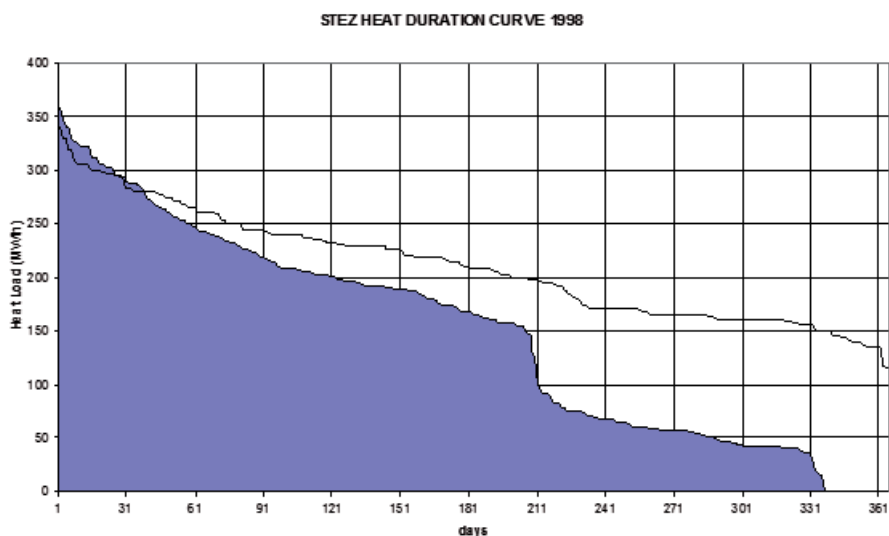
Suomalaisen kaukolämpöjärjestelmän automaatio ja säätö perustuvat asiakkaan tehon tarpeeseen. Asiakas ottaa verkostosta tehoa ja energiaa aina kulloistakin tarvettaan vas- taavasti ja lämmön tuotanto ja jakelu sopeutuvat tähän vaihteluun.

Venäjällä, Kiinassa sekä kaikissa entisen Neuvostoliiton standardoinnin piirissä olleis- sa maissa kaukolämmön automaatio perustuu tuotanto-orientoituneeseen ajatteluun, jossa ylhäältä alaspäin pyritään ohjaamaan koko järjestelmän toimintaa. Tällaisella jär- jestelmällä on monia heikkouksia verrattuna tyypilliseen suomalaiseen järjestelmään. Säätäminen on monimutkaisempaa ja hankalampaa kuin suomalaisessa järjestelmäs- sä. Asiakkaan lämmöntarpeen tyydyttäminen on vaikeaa, rakennuksissa on joko liian kuuma tai liian kylmä, mutta harvoin sopiva lämpötilataso. Pääsääntöisesti tällaisissa kaukolämpöjärjestelmissä energian kulutus kasvaa ja hyötysuhde heikkenee. Lisäksi tarvitaan enemmän henkilökuntaa, eikä silti saavuteta samaa toiminnan laatutasoa kuin Suomessa käytössä olevissa järjestelmissä

10.2 Kaukolämmöntuotannon eroavaisuuksia

Suomalaisessa kaukolämmityksessä tuotantolaitosten ja jakeluverkoston mitoitus on perustunut koko yhdyskunnan energiantarpeen optimaaliseen tyydyttämiseen. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että pääsääntöisesti on pyritty maksimaaliseen sähkön ja lämmön yhteistuotannon hyödyntämiseen mahdollisimman hyvällä hyötysuhteella. Näin saavutetaan mahdollisimman alhainen polttoaineen käyttö. Joissakin tapauksissa tämä on vaatinut jopa useiden vuosien ajan kestävästä pitkäjänteisestä koko energijärjestelmän kehittämisen. Kaukolämmön tuotannon suunnittelussa on pyritty myös riittävän hyvään toimitusvarmuuteen.

Kylmiä ajanjaksoja varten on varattu riittävän suuria ja tehokkaita huippulämpökeskuksia. Varalaitoskapasiteetti on mitoitettu häiriö- ja poikkeustilanteita varten. Mitoitus perustuu lämmön ja sähkön tarpeille, joita kuvataan pysyvyysskäyrillä. Pysyvyysskäyrällä esitetään, kuinka kauan vuodesta tehontarve on tarkasteltavaa arvoa suurempi. Pysyvyysskäyrä on itse asiassa vuoden jokaisen tunnin tehontarve järjestettynä suuruusjärjestykseen, silloin kun tarkastelu tehdään tunnin tehoina, kuten kaukolämmössä ja sähköntuotannossa yleensä on tapana. Pysyvyysskäyrän avulla voidaan suunnitella lämmitysvoimalaitokset siten, että saavutetaan maksimaalinen hyötysuhde sähkön ja lämmön tuotannossa. Huipunkäyttöaika taas kuvaa aikaa, jona koko vuoden energiamäärä voitaisiin tuottaa käyttäen todellista huipputehoa. Suomalaisessa kaukolämmityksessä huipunkäyttöaika on tyypillisesti noin 2500 – 3000 tuntia.



Kuva 84: Esimerkki lämmön ja sähköntuotannon pysyvyysskäyristä

Yllä olevassa kuvassa on esitetty erään itäeurooppalaisen kaukolämpö- ja sähköjärjestelmän vuorokausitasoiset pysyvyysskäyrät. Kaukolämmön pysyvyysskäyrä on esitetty tummennettuna. Kuvasta nähdään, että kaukolämmön tuotantoa ei ole ollut lain-

kaan kesäaikaan sijoittuvan huoltojakson aikana. Kaukolämmön jakelun keskeytys on kestänyt lähes kuukauden. Keväällä rakennusten lämmitys on lopetettu ennen kuin lämmöntarve on päättynyt, samoin syksyllä lämmitys aloitetaan vasta kun lämmitystarvetta on jo jonkin aikaa ollut.

10.2.1 Itä- ja Keski-Euroopan sekä Kiinan kaukolämpöjärjestelmät

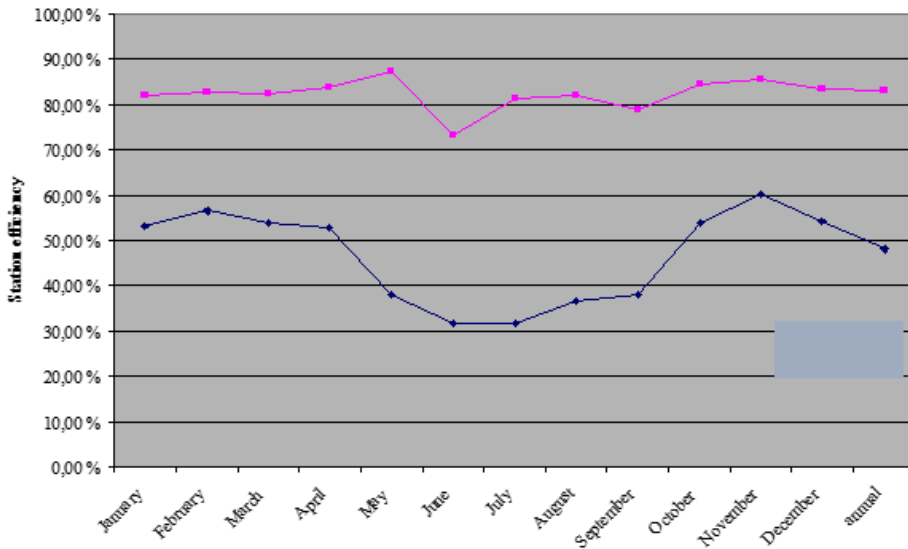
Tyypillisissä Itä- ja Keski-Euroopan sekä Kiinan järjestelmissä on pääsääntöisesti vain yksi tuotantolaitos yhtä kaukolämpöverkosta varten. Tuotantolaitos voi olla joko CHP-laitos tai tyypillisemmin pelkkä lämpökeskus. Näissä molemmissa tapauksissa tuotannon optimointi eri lämmöntuotantolaitoksia käyttäen puuttuu käytännössä kokonaan. CHP-laitos suunnitellaan kattamaan koko kaukolämmön lämmöntarve, jolloin se toimii pääosan vuotta ainoastaan pienellä osateholla ja siten huonolla hyötysuhteella. Kattilalaitosten mitoitus tehdään yleensä niin, että laitoksen kolmesta kattilasta kaksi vastaa täyttä tehoa ja yksi kattila on siis varalla. Tällöin laitos toimii hieman paremmalla hyötysuhdealueella ja varatehoakin on saatavilla riittävästi.

Optimoinnin puutteen lisäksi ongelmana on usein, että järjestelmiä ei voida laajentaa, koska tuotantokapasiteettia ei ole varalla, eikä järjestelmiin kyetä lisäämään uutta tuotantokapasiteettia muualle kuin olemassa olevalle tuotantolaitokselle, josta lähtevien tehonsiirtokapasiteetti on usein jo täysin käytössä. Tämä johtuu esimerkiksi siitä, että asiakkaiden kaukolämpöveden jäähtytys on äärimmäisen huono, jopa alle 10 °C. Usein syynä on myös verkoston huono kunto, kuten esimerkiksi sisäpuolinen korrosio, materiaalin laatuvirheet, likaantuminen jne. Suuret lämpöhäviöt vaativat lisäksi ylimääräistä kaukolämmön tuotantokapasiteettia.

Merkittävimmät puutteet näissä järjestelmissä koskevat lämmön tuotantoa ja CHP:n hyödyntämistä. Kaukolämmön tuotanto on yleensä vain yhdessä paikassa, josta pyritään ohjaamaan koko kaukolämpöjärjestelmää. Järjestelmän ohjaus ei salli useita tuotantolaitoksia eri puolille verkosta. Verkosto on rakennettu yhdestä syöttöpisteestä toimivaksi, jolloin laajennusvara on usein rajallinen.

Seuraavassa kuvassa on esitetty kahden todellisen sähköä ja lämpöä tuottavan lämmitysvoimalaitoksen kuukausihyötysuhteet vuonna 1998.

Station efficiency 1998



Kuva 85: Esimerkki kahdesta CHP-laitoksesta⁸

Kuvassa on esitetty suomalaisen (ylempi) ja venäläisen lämmitysvoimalaitoksen hyötysuhteet. Pääasiallisia eroja aiheuttavat suunnittelun lähtökohdat ja laitoksen mitoitus sekä koko kaukolämpöjärjestelmän suunnitteluperiaatteet. Venäläisessä verkostossa ei ole käytetty huippulämpökeskuksia tai välipumppaamoja tuotannon optimoinnissa. Lisäksi eroja aiheuttavat laitoksen erilaiset laitteet ja komponentit sekä automaation taso.

Lisäksi on huomioitava, että suomalaisessa voimalaitoksessa käytetään kiinteää polttoainetta, jonka hyötysuhde on perinteisesti ollut huonompi kuin maakaasun tai polttoöljyn, joita poltetaan kuvan venäläisessä laitoksessa. Tällä perusteella suomalaisen laitoksen hyötysuhteiden tulisi olla jonkin verran huonompi kuin venäläisen.

Suomalaisen laitoksen optimaalista käyttöä rajoittaa lisäksi myös energian markkinatilanne, jolloin optimoinnin yhtenä osana on myös markkinasähkön hinta.

⁸ Tacis ERUS 9703

Taulukko 10. Esimerkki eri järjestelmien vuosihyötysuhteista

Laitostyyppi	Vuosi- hyötysuhde %	Huom.
CHP laitos	80 – 90	Kustannusten ja hyötyjen jako kaukolämmön ja sähkön välillä on vaikeaa tehdä teoreettisesti oikein
Lämpökeskus (kuumavesikattila)	85 – 95	Riippuu polttoaineesta ja laitoksen koosta
Lauhdevoimalaitos	35 – 40	Pelkästään sähköntuotanto, ydinvoima n. 37 %
Talokohtaiset kattilat	50 – 80	Riippuu polttoaineesta ja laitoksen koosta
Asuntokohtaiset lämmityslaitteet	15 – 60	Asuntokohtaiset lämmittimet, liedet, uunit

Venäjällä ja Kiinassa on usein käytäntönä, että kaukolämpöverkosto ja lämpökeskuksen kattilat erotetaan toisistaan hydraulisesti lämmönsiirtimillä. Suomessa ei tällaista kytkentää käytetä kuumavesikattiloiden yhteydessä vaan ainoastaan voimalaitoksilla. Seuraavassa kuvassa on esitetty venäläisessä lämpökeskuksessa oleva kaukolämmön lämmönsiirrin.



Kuva 86: Kaukolämmön lämmönsiirrin Venäläisellä lämpökeskuksella (Präsa, Venäjä)

Biopolttoaineiden käyttöä on viime vuosina pyritty lisäämään myös Luoteis-Venäjällä. Useat pilottikohteet on toteutettu suomalaista tai pohjoismaista tekniikkaa hyödyntäen.



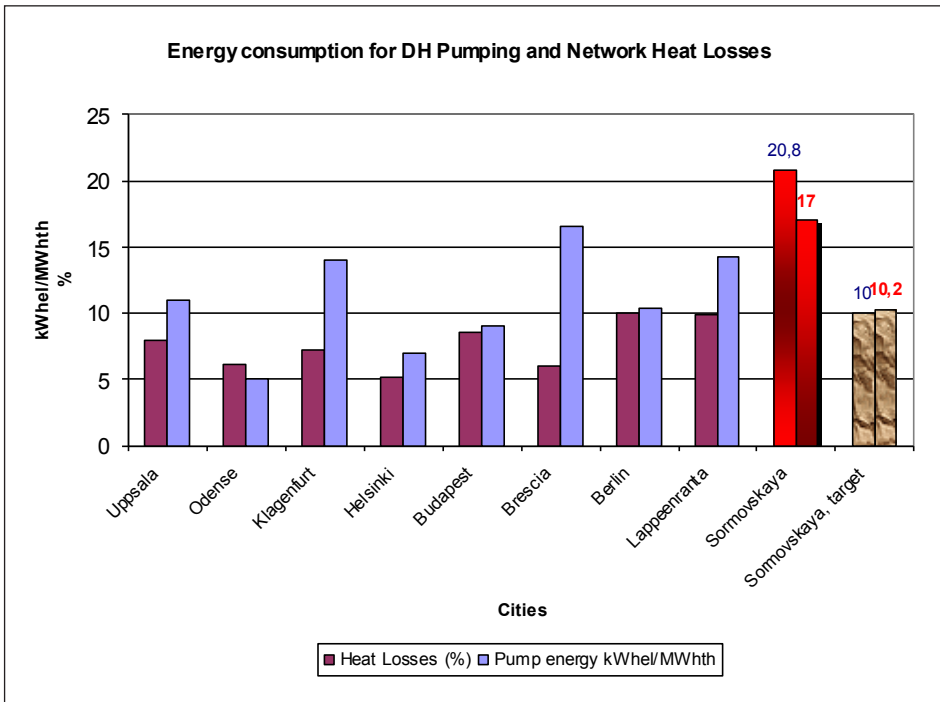
Kuva 87: Venäläisen biolämpökeskuksen hankkeen syöttölaitteita (Präasä, Venäjä)

Kuvan kattilalaitoksen biokattilalaitos ja automaatiojärjestelmä on toteutettu suomalaisen teknologian pilottina Karjalan tasavallassa.

10.3 Kaukolämpöverkostojen eroavaisuuksia

Kaukolämpöverkoston perusrakenteet ovat samantyyppiset eri kaukolämpöjärjestelmissä. Yleisimmin käytössä ovat kiinnivaahdotetut verkstorakenteet. Verkoston keskeisyys ja käyttöikä poikkeavat silti huomattavasti eri järjestelmissä. Laatueroja syntyy sekä käytettävien materiaalien laadun että ennen kaikkea työn laadun takia. Investointikustannukset ovat sitä suuremmat mitä parempia komponentteja käytetään ja mitä paremmin kaukolämpöverkoston rakentaminen tehdään.

Lämpöhäviökustannukset ja korjauskustannukset ovat suoraan verrannollisia käytettyihin verkoston materiaaleihin ja rakentamisen laatuun. Pumppauskustannuksiin vaikuttavat järjestelmän toimivuus sekä verkoston kunto. Lisävesikustannukset riippuvat ennen kaikkea Venäjällä ja Itä-Euroopassa paitsi verkoston vuodoista, myös avoimesta järjestelmästä, jossa osa vedestä käytetään lämpimänä käyttövetenä. Seuraavassa kuvassa on vertailtu eri kaupunkien kaukolämpöverkostojen lämpöhäviöitä ja pumppausenergian tarvetta.



Kuva 88: Lämpöhäviöt ja pumppausenergiatarve⁸

Venäjällä pumppausenergian kulutus voi olla 20–30 kWh/MWh, kun taas Suomessa se on 6–7 kWh/MWh. Pääasialliset syyt eroon ovat Suomessa tehtävä pumppauksen optimointi välipumppaamoja ja huippulämpökeskusten pumppuja käyttäen sekä taa-juusmuuttajien käyttö pumppauksen ohjauksen. Vesihäviöt kaukolämpöverkostossa Suomessa ovat noin 5 - 10 % kuukaudessa eli lisävettä tarvitaan noin verkostotilavuuden verran vuodessa. Tässä luvussa ovat mukana sekä vuodot, korjaukset että uusien verkosto-osien täytöt. Itä-Euroopassa lisävettä saatetaan tarvita jopa 100 kertaa verkostotilavuuden verran vuodessa, koska kaukolämpöä käytetään usein lämpimänä käyttövetenä, johon kuluu kaukolämpöä vuotojen lisäksi. Lämpökatkojen pituuksissa on merkittäviä eroja eri järjestelmissä.

Kaukolämpöverkoston käyttö- ja kunnossapitotoiminnassa eroja on mm. kesän huoltotoimissa. Venäläisessä järjestelmässä verkostot tyhjenetään kesällä, jolloin korrosio on huomattavasti nopeampaa kuin Suomessa. Lisäksi verkoston ja laitosten korrosiosuojaus ei aina ole yhtä hyvällä tasolla kuin Suomessa. Verkostossa tärkeimmät vaurioiden syyt ovat putkien huono suojakuori ja heikkotasoiset jatkokset sekä niiden kautta putkia ruostuttamaan pääsevä ulkopuolinen vesi.

⁸ Tacis ERUS 9703

10.4 Asiakkaan ja kaukolämpöverkoston välinen kytkentä

Asiakkaan ja kaukolämpöverkon välinen kytkentä voi olla lämmityksen osalta suora tai epäsuora ja käyttöveden osalta avoin tai suljettu. Suomalainen kaukolämpöjärjestelmä on aina epäsuora ja suljettu.

10.4.1 Epäsuora ja suora kytkentä

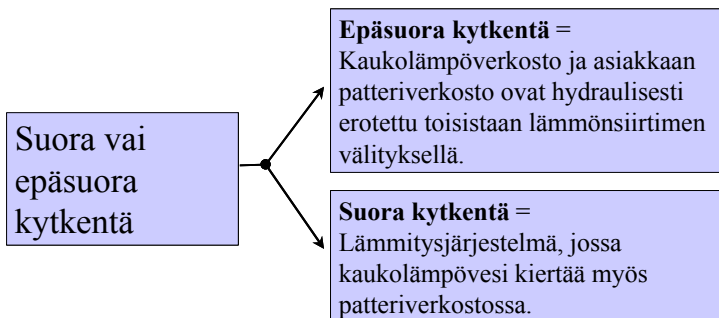
Epäsuora ja suora kytkentä liittyvät rakennuksen lämmitykseen ja lämmönjakeluun rakennuksessa.

Epäsuora kytkentä:

Epäsuoralla kytkennällä tarkoitetaan tyypillistä suomalaista lämmitysverkoston kytkentää, jossa kaukolämpöverkosto on hydraulisesti erotettu rakennuksen lämmitysverkostosta lämmönsiirtimellä. Riippumatta lämmönjakotavasta kiinteistössä, oleellista on, että kaukolämpövedettä ei kierrätetä rakennuksen lämmityslaitteissa. Kaukolämpövedettä käytetään ainoastaan siirtämään kaukolämpöenergiaa kaukolämpöverkosta rakennukseen. Hydraulinen erottaminen tehdään lämmönsiirtimillä, ja ainoastaan siirtimen mekaanisessa vauriotilanteessa kaukolämpövedettä voi päästä patteriverkoston.

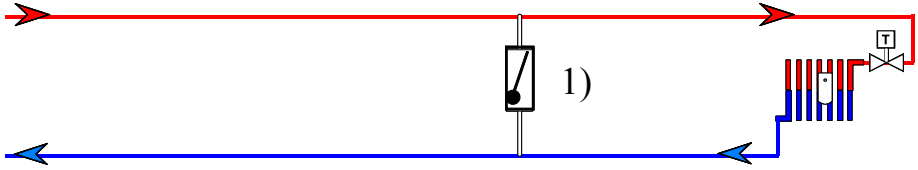
Suora kytkentä:

Suorassa kytkennässä kaukolämpöverkoston vesi kiertää lämmitysverkostoissa, kuten esimerkiksi patteriverkoston. Pattereihin menevän veden lämpötilaa saatetaan pyrkiä säätämään sekoittamalla paluuvettä menoveteen esimerkiksi ejektorin avulla.



Kuva 89: Suora vai epäsuora kytkentä

Seuraavassa kuvassa on esitetty kaukolämpöasiakkaan suoran kytkennän mukainen kytkentäkaavio, jossa siis kaukolämpövesi virtaa patteriverkostossa lämmittämässä pattereita.



1) Ejector for mixing return water into supply water

Kuva 90: Kaukolämpöasiakkaan suora kytkentä⁴¹

Kuvan kytkennässä käytetään ejektoria, jolla säädetään patteriverkostoon menevän veden lämpötilaa sekoittamalla siihen patteriverkoston paluuvettä. Ejektori toimii oikein ainoastaan hyvin tasapainotetussa kaukolämpöjärjestelmässä, eikä se huomioi asiakkaan lämmöntarpeen muutoksia tai järjestelmässä tapahtuvia poikkeamia.

10.4.2 Suljettu ja avoin kytkentä

Suljettu ja avoin kytkentä liittyvät lämpimän käyttöveden tuotantoon ja jakeluun kaukolämpöjärjestelmissä.

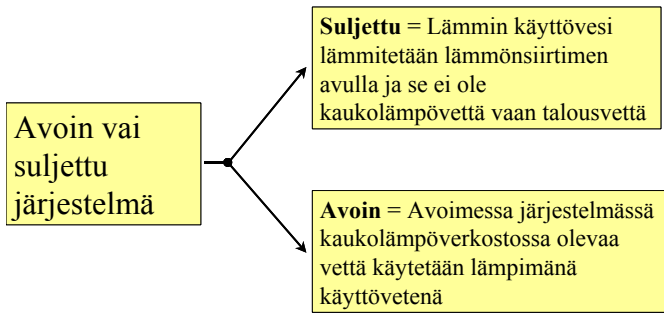
Suljettu järjestelmä:

Suljetussa kaukolämpöjärjestelmässä lämmin käyttövesi lämmitetään lämmönsiirtimissä eikä kaukolämpövedettä käytetä kiinteistössä lämpimänä käyttövetenä. Kaukolämpöverkosto on tältä osin siis suljettu. Lämmin käyttövesi voidaan tehdä suljetussa järjestelmässä myös ns. korttelilämmönjakokeskuksessa useammalle kiinteistölle yhdellä kertaa, mutta kuitenkin erillisenä varsinaisesta kaukolämpövedestä. Suomessa ei ole käytössä korttelilämmönjakokeskuksia.

Avoin järjestelmä:

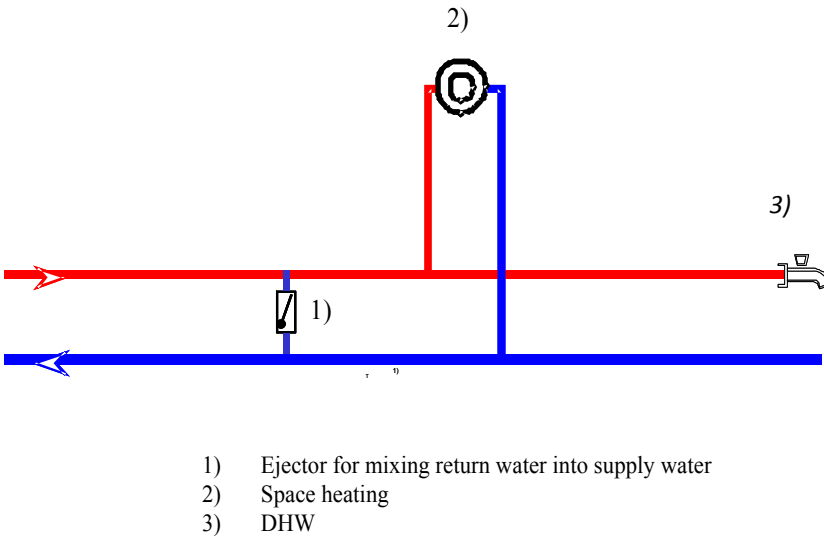
Avoimessa järjestelmässä kaukolämpöverkostossa olevaa vettä käytetään sellaisenaan lämpimänä käyttövetenä. Toisin sanoen kaukolämpöverkostosta otetaan jatkuvasti lämmintä käyttövedettä ja kaukolämpöverkostoon on jatkuvasti lisättävä uutta lisävedettä tuotantolaitoksilla.

⁴¹ Siemens Ltd



Kuva 91: Avoim vai suljettu järjestelmä

Seuraavassa kuvassa on esitetty kaukolämpöjärjestelmän kytkentäkaavio, jossa asiakas on liitetty sekä avoimen että suoran järjestelmän mukaisesti. Kuvan kytkennässä on käytössä lämpötilan säätö ejektorilla.



Kuva 92: Kaukolämpöasiakkaan avoin ja suora kytkentä kaukolämpöverkkoon⁴¹

Tällainen hyvin edullinen, mutta riskialtis järjestelmä on käytössä monin paikoin Venäjällä ja muualla Itä- ja Keski-Euroopassa. Hyvin yleistä on myös suoran ja suljetun järjestelmän käyttö. Tällöin lämmin käyttövesi valmistetaan usein korttelilämmönjakokeskuksissa ja lämmitys hoidetaan suoralla kytkennällä.

Avoimen järjestelmän yhtenä ongelmana on, että lämpimän käyttöveden huippukulutustilanteita varten verkostossa pitää olla riittävä tuotantokapasiteetti myös lämpimän talousveden lämmittämistä, käsittelyä ja verkostoon lisäämistä varten, tai sitten tarvitaan suuria kuumaa vettä varastoja, kuten seuraavassa kuvassa.

⁴¹ Siemens Ltd

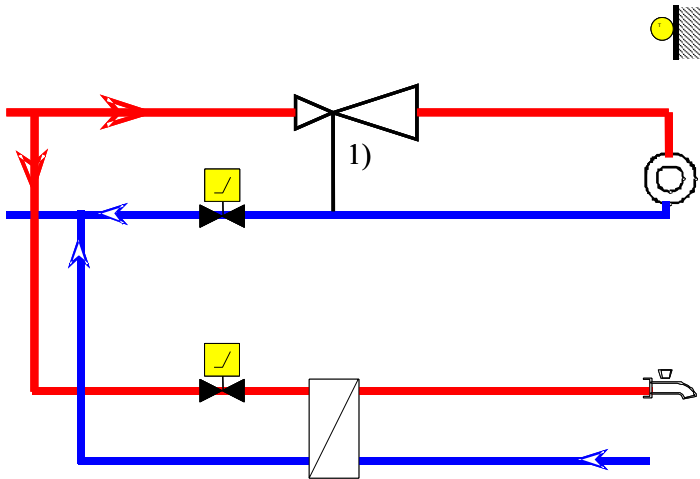


Kuva 93: Kaukolämpöveden varastosäiliöt (3x50 m³) lämpimän käyttöveden huippukulutusta varten (Kronstadt, Venäjä)

Jatkuva veden lisääminen kaukolämpöjärjestelmään aiheuttaa ongelmia kaukolämpöjärjestelmälle. Lisäveden mukana tulee happea kaukolämpöverkoston aiheuttaen korroosiota. Usein käyttövesi on käsiteltyä pintavettä, jolloin kaukolämpöputket tukkeutuvat jopa muutamassa vuodessa.

10.4.3 Korttelilämmönjakokeskukset

Suomalaisessa kaukolämmityksessä käytetään pääsääntöisesti kiinteistökohtaisia lämmönjakokeskuksia. Itä- ja Keski-Euroopassa lämmin käyttövesi tuotetaan usein suurissa kortteli- tai asuntoaluekohtaisissa lämmönjakokeskuksissa. Lämmitys voidaan näissä kohteissa hoitaa suoralla kytkennällä tai lämmönsiirtimiä käyttäen.



Kuva 94: Suora lämmitysjärjestelmä ja suljettu käyttövesijärjestelmä⁴¹

Seuraavassa kuvassa on esitetty venäläisen korttelilämmönjakokeskuksen lämmityspiirin säätölaitteet. Siinä suoraan kytketyn kaukolämpöveden lämpötilaa patteriverkostoon säädetään ejektorin avulla.



Kuva 95: Korttelilämmönjakokeskuksen lämmityspiiri suorassa kytkennässä (Pskov, Venäjä)

Seuraavassa kuvassa on esitetty korttelilämmönjakokeskuksessa oleva lämpimän käyttöveden lämmönsiirrin. Samassa lämmönjakokeskuksessa on lämmitys toteutettu suoralla kytkennällä.



Kuva 96: Korttelilämmönjakokeskuksen käyttöveden lämmönsiirrin (Pskov, Venäjä)

Kiinassa on korttelikohtaisia kattilalaitoksia korvattu korttelikohtaisilla lämmönjakokeskuksilla, joissa on lämmönsiirtimet sekä lämmitystä että lämmintä käyttövettä varten. Säädon kannalta ja tehokkuudeltaan rakennuskohtaiset lämmönjakokeskukset ovat parempia kuin suuret korttelikohtaiset järjestelmät. Seuraavassa kuvassa on esitetty kiinalainen kivihiiltä polttoaineenaan käyttävä korttelikohtainen lämpökeskus, joka on purkuvaiheessa, ja se korvataan korttelilämmönjakokeskuksella, johon tuleva kaukolämpö tuotetaan lämmitysvoimalaitoksella.



Kuva 97: Purettava korttelilämpökeskus (Qinghuandao, Kiina)

Erään 240 000 asukkaan kaupungin kaukolämpöjärjestelmän saneerauksessa saavutettiin merkittäviä tuloksia energiatehokkuuden lisääntymisen ja päästöjen vähenemisen osalta. Lähtötilanteessa kaupungissa oli 880 korttelikohtaista kattilalaitosta ja 1040 kiinteistökohtaista kattilaa. Kaikkien näiden polttoaineena oli kivihiili. Toimenpiteinä saneerattiin kivihiilikäyttöinen voimalaitos yhteistuotantoon sopivaksi. Se on alun perin rakennettu CHP-laitokseksi, mutta sitä käytettiin lauhdevoimalaitoksena pelkäättään sähkön tuotantoon. Lisäksi kaupunkiin rakennettiin kaukolämpöverkosto sekä tarvittavat korttelilämmönjakokeskukset vanhojen kattiloiden tilalle. Korttelikohtaiset lämmitysverkostot olivat olemassa vanhojen kattilalaitosten ajoilta. Tällaisella investoinnilla saavutettiin suunnitelmien mukaan seuraavat hyödyt:

- Hiilen käyttö vähenee 117.000 tonnia vuodessa
- SO₂-päästöt vähenevät 7400 tonnia vuodessa
- NO_x-päästöt vähenevät 400 tonnia vuodessa
- CO₂-päästöt vähenevät 475.000 tonnia vuodessa
- Jäteveden määrä vähenee 200.000 tonnia vuodessa

Lisäksi saavutetaan muita hyötyjä. Korttelikohtaisten kattilalaitosten varaamaa pinta-alaa ovat esimerkiksi kattilarakennusten vaatimat alueet sekä polttoaineen ja tuhkan käsittely ja varastointialueet. Näistä vapautuu maata muuhun käyttöön seuraavasti (kaupungin laatiman suunnitelman mukaan):

- noin 100.000 m² puistoihin ja viheralueisiin
- noin 100.000 m² kouluja ja lastentarhoja varten
- noin 80.000 m² julkisia rakennuksia varten
- noin 80.000 m² asuinrakennuksiin

Seuraavassa kuvassa on esitetty korttelilämpökeskuksen polttoainevarastoa ja polttoaineen kuljetusta kattilalaitokselle.



Kuva 98: Polttoaineen syöttö kattilalaitoksella Kiinassa (Beijing)

Kuvasta nähdään, että polttoaineen käsittely ja varastointi aiheuttavat myös ympäristöongelmia. Samanlaisia ongelmia syntyy myös tuhkan käsittelyssä ja varastoinnissa silloin, kun se varastoidaan lämpökeskusten pihoille läjitettynä.

10.4.4 Venäläinen 4-putkijärjestelmä

4-putkijärjestelmällä tarkoitetaan järjestelmää, jossa lämmin käyttövesi tuotetaan tyyppillisesti korttelilämmönjakokeskuksessa tai joskus myös kattilalaitoksella, ja käyttövesiputkisto on samassa kokonaisuudessa kuin lämmitysverkosto. Tällöin putkistoon kuuluvat lämmitysverkoston meno- ja paluuputki sekä lämpimän käyttöveden jakeluputki ja kiertojohto. Itäeurooppalaisista ja kiinalaisista järjestelmistä puuttuu yleensä lämpimän käyttöveden kiertojohto. Seuraavassa kuvassa on esitetty venäläinen 4-putkijärjestelmä.



Kuva 99: Lämmitys- ja käyttövesiverkostot lämpökeskukselta asiakkaille (Nikolskaya, Venäjä)

10.4.5 Omistus ja sopimusnäkökulmia

Eri maiden kaukolämpöjärjestelmissä on merkittäviä eroja myös sopimusten, asiakaskäsityksen ja eri laitteiden omistuksen ja omistajuuteen liittyvien velvoitteiden osalta. Toimijoita voi olla jopa useampia kuin vain lämmönmyyjä ja asiakas. Venäjällä voi olla tilanne, jossa voimalaitos myy lämmön kaukolämpöyhtiölle, joka myy sen edelleen yhtiölle, joka hoitaa jakelun korttelilämmönjakokeskuksista eteenpäin. Sen jälkeen lopullinen asiakas voi olla jopa huoneistokohtainen.

Suomessa lämmönjakokeskuksen omistaa aina asiakas, muualla myös joku muu voi olla omistaja. Kaukolämmön mittauslaitteet omistaa Suomessa aina lämmönmyyjä, Venäjällä sen sijaan usein se on asiakkaan tehtävä. Aina mittauslaitteita ei määräysten mukaan välttämättä tarvita, mutta niitä voidaan käyttää laskutukseen, mikäli asiakas on sellaiset hankkinut. Joissakin tapauksissa talojohdon omistus ja siten myös rakentamisvelvollisuus on asiakkaalla eikä lämmönmyyjällä.

LÄHTEET

1. Energiateollisuus ry, Kaukolämpötilasto 2013 (www.energia.fi)
2. Gebwell Oy, G-Power lämmönjakokeskuksen esite
3. Energiateollisuus ry, Kaukolämmön käsikirja
4. Institutional Handbook for Combined Heat and Power Production with District Heating, Prepared by Arto Nuorkivi, Lic. Tech., Researcher, Helsinki University of Technology Energy Economy and Power Plant Engineering for Baltic Sea Region Energy Co-operation (BASREC 2002), December 2002
5. Oulun ammattikorkeakoulu, [www-sivut](http://www.sivut) (www.oamk.fi)
6. FR16 Lämmityskattilan esite
7. Suositus H17/2010 Öljy- ja maakaasulämpökeskukset, Suositus: Kotimaista polttoainetta käyttävien 0,5...30 MW kattilalaitosten tekniset ratkaisut sekä palamisen hallinta, 2012
8. Tacis Erus 9703
9. Timo Tunturi, Juuso Seilonen, Antti Karjalainen, Liuskeöljy ja -kaasu, seminaariraportti, Energiatekniikka, 16.1.2014
10. Sakari Kela, Pekka Pelttari, Liuskekaasu, seminaariraportti, Energiatekniikka, 9.9.2013
11. <http://www.greenfuelnordic.fi/biooljy> (hakupäivä 21.8.2014)
12. Energiateollisuus ry, Energiavuosi 2013, <http://energia.fi/kalvosarjat/energiavuosi-2013-kaukol-mp>
13. Energiateollisuus ry, Kaukolämpö 2013 graafeina (www.energia.fi)
14. http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/lampo-_ja_voimalaitokset/yhdistetty_sahkon-_ja_lammontuotanto (8.2.2014).
15. Sakari Kela, Matti Tölli, Arsi Häggman, Seminaariraportti: Hajautettu energiantuotanto, 19.2.2014
16. Kaukolämmön käsikirja, Energiateollisuus ry
17. Energiateollisuus ry, Kaukolämpöverkoston suunnittelu- ja rakentamisohjeet Suositus L11/2013
18. KWH-pipe, Wehothrm-kaukolämpöputkijärjestelmä tuote-esite
19. Alfa-Laval ja Högfors-GST tuote-esitteet
20. <http://mirtepla.in.ua>
21. <http://www.separationequipment.com/>
22. www.alfalaval.com
23. www.tranter.com
24. www.Tapiro.fi

25. http://www.engineeringtoolbox.com/arithmetic-logarithmic-mean-temperature-d_436.html
26. Leino Kari, Opinnäytetyö, Oulu (Ei julk.)
27. Naval-palloventtiilit, tuote-esite
28. Landis&Gyr
29. CR1752:1998. Design criteria for indoor environment
30. Energiateollisuus ry, Kaukolämmön mittaus, suositus K13/2008
31. Endre+Hauser, Measurement principle of ultrasonic flow meter,
32. Flomag 3000 manual, Installation and operation, http://www.flomag.com/data/files/Manual%20Flomag3000%20EN_27_en.pdf, (8.9.2013)
33. Pt100/Pt1000 platinum resistance thermometer, Sawi Mess- und Regeltechnik AG
34. Mäkelä ja Tuunanen. Kaukolämmön opintomateriaali
35. Energiateollisuus ry, Teho ja vesivirta kaukolämmön hinnoitteluperusteina, Suositus K15/2014
36. Kaukolämmön hinnoittelun kehityspiirteitä Suomessa, Suomen kaukolämpö ry. Raportti T23/1998
37. Kaukolämmön hinnoittelujärjestelmien vaikutus energiankäyttöön ja säästöön, Otaniemi Consulting Group Oy 1998
38. Kaukolämmön hinnoittelu. Suomen kaukolämpö ry. Espoo: 1995. Suositus T21/1995. ISSN 0784-0179.
39. Wehotherm-kaukolämpöputkijärjestelmän esite
40. International District Energy Association (IDEA), kotisivut 2002
41. Siemens Ltd
- K1 Energiateollisuus ry, Rakennusten kaukolämmitys. Määräykset ja ohjeet. Julkaisu K1/2013

MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU
MIKKELI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES. MIKKELI. FINLAND

PL 181, SF-50101 Mikkeli, Finland. Puh.vaihde (tel.vx.) 0153 5561

Julkaisujen myynti: Tähtijulkaisut verkkokirjakauppa, www.tahtijulkaisut.net.
Julkaisutoiminta: Kirjasto- ja oppimisteknologiapalvelut, Kampuskirjasto, Patteris-
tonkatu 2, 50100 Mikkeli, puh. 040 868 6450 tai email: [julkaisut\(a\)xamk.fi](mailto:julkaisut(a)xamk.fi)

MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULUN JULKAISUSARJA

C: Oppimateriaalia ISSN 1455-3686
Mikkeli University of Applied Sciences, Publication series

C: Oppimateriaalia - Study material

- C:1 Sari Heikkinen - Heikki Malinen: Suomen kompostointilaitosten tek-
niikka. 1998. 54 s. (nid.)
- C:2 Sari Heikkinen - Heikki Malinen: Jätteenmurskauslaitokset Suomessa. 2000.
40 s. + liitt.3 s. (nid.)
- C:3 Krista Parkkonen - Marjo Pernu: Lattajalan hoitomuotojen vertailu 7 - 13
-vuotiailla lapsilla. 2001. 56 s. + liitt. 18 s. (nid.)
- C:4 Timo Laukkanen: Ympäristötietous 2002. Oppikirjan koeversio. 2002. 255 s.
(nid.)
- C:5 Timo Laukkanen – Tarja Hartikainen – Silja Kostia – Mikko Rautio: Ympä-
ristönsuojelun biotekniikka. Virtuaaliammatti-korkeakoulun tuotantorengas
2003. Oppikirjan koeversio. 2003. 176 s. (nid.)
- C:6 Timo Laukkanen: Ympäristötietous 2003. Oppikirjan koeversio. 2003. 258 s.
(nid.)
- C:7 Tiina Hakkarainen – Pia Röntynen: Mortonin neurooman manuaaliset tutki-
mukset ja konservatiiviset hoitokeinot. 2005. 46 s. + liitt. 10 s. (nid.)
- C:8 Timo Laukkanen: Ympäristötietous. 2005. 258 s. (nid.)
- C:9 Ilkka Pitkälä: Pientalorakentajan LVI-tekninen opas. 2007. 39 s. + liitt. 13 s.
(nid.)

- C:10 Kaisu Hänninen – Päivi Natri – Outi Sissonen: Metatarsalgia- jalkaterapiassa. Opas ammattilaisille. 2008. 37 s. + liitt. 7 s. (nid.) (+ 35 s. CD-ROM)
- C:11 Titta Pelkonen – Elina Pulkkinen – Pirjo Rompasaari: Alaraajan nivelten manuaalinen mobilisointi. Opas. 2008. 51 s. + liitt. 4 s. (nid.)
- C:12 Maija-Liisa Eskelinen: Älykkään elämyssysteemin johtaminen. Elämysten orkestrointi. 2011. 212 s. (nid.)
- C:13 Maija-Liisa Eskelinen: Elämysteemaisen liiketoiminnan luominen. Elämyksessä lisäarvoa yritykselle. 2011. 143 s. (nid.)
- C:14 Eero Liinakoski – Kati Kontinen. Leimikonkorjuu-opas. 2014. 123 s. (pdf)
- C:15 Juhani Salonen – Kati Kontinen. Tieyksiköinnin perusteet – opas. 2014. 42 s. (pdf)
- C:16 Veli-Matti Mäkelä – Jarmo Tuunanen. Suomalainen kaukolämmitys. 2015. 160 s. (nid.) 162 s. (pdf)



MAMK

University of Applied Sciences

Julkaisija: Mikkelin Ammattikorkeakoulu
Julkaisusarja C: Oppimateriaalia – Study Material | 16