

Kaukolämpöverkon pumppausjärjestelyt

Suositus L10/2011

Kaukolämpöverkon pumppausjärjestelyt

Tässä suosituksessa on esitetty kaukolämmityksen pumppauksen suunnitteluun vaikuttavia tekijöitä, joita ovat esim. painetasot ja olosuhteet, pumppauksen toiminta-alueet ja kytkentätavat, pumppauksen säätötavat ja liittynät muuhun automaatioon, pumpputyypit, käytettävät materiaalit ja elinkaariaikaiset kustannukset.

Välipumppaamoja tarkastellaan mm. sijoituspaikan, kytkennän ja automaation osalta.

Kaukolämmön pumppauksen suunnittelussa ja käytössä tärkeimpiä huomioonotettavia seikkoja ovat mm.:

- kuluttajalle on taattava tarvittava, muttei liian suuri paine-ero
- verkossa tulee olla kaikissa olosuhteissa riittävä, muttei liian suuri painetaso
- pumppauksen suunnittelussa tulee tarkastella kaikki tarvittavat ajotapamallit
- mitoituksessa ja käytössä on varmistettava pumpun hyvä toimintapiste

Tekstissä käytetyillä termeillä pumppaus ja pumppu tarkoitetaan kaukolämpöveden pumppaus- ta kaukolämpöverkkoon lämmöntuotantolaitoksilta ja välipumppaamoilta ja pumppuja, joilla kyseinen pumppaus toteutetaan.

Suosituksessa ei käsitellä paineenpitopumppausta.

Suosituksen liitteissä on esitetty joitakin esimerkkejä pumppauksen kytkentä- ja toteutustavoista.

Suositus pohjautuu pääosin Pöyry Finland Oy:n ET:lle tekemiin taustaselvityksiin pumppausjärjestelyistä ja pumppauksen energiatehokkuudesta, ja se on tarkoitettu kaukolämpöyrityksille yleisohjeeksi sekä pumppauksen suunnittelua ja pumppujen hankintaa että pumppujen käyttöä koskien.

Suosituksen valmistellut työryhmä:

Tero Mäntylä	Fortum Power & Heat Oy
Matti Kuorttinen	Vierumäen Infra Oy
Harri Muukkonen	Pöyry Finland Oy

Lämmönjakelutoimikunta:

Reima Lassila	Kuopion Energia, puheenjohtaja
Jouni Kivirinne	Helsingin Energia
Matti Kuorttinen	Vierumäen Infra Oy
Jouko Miettinen	Savon Voima Oyj
Tero Mäntylä	Fortum Power & Heat Oy
Heikki Ojansuu	Vantaan Energia Oy
Jyrki Parpola	Tampereen Kaukolämpö Oy
Harri Muukkonen	Pöyry Finland Oy
Olli Uotila	Turun Asennus ja Luokkahitsarit Oy
Veli-Pekka Sirola	Energiateollisuus ry, sihteeri

Kaukolämpöverkon pumppausjärjestelyt

Sisältö

sivu

1	PUMPPAUKSEN SUUNNITTELUSSA HUOMIOITAVAT TEKIJÄT	1
1.1	Pumppaukseen vaikuttavat yleiset tekijät.....	1
1.2	Paikalliset olosuhteet ja rajoittavat tekijät.....	1
1.3	Pumppaukselta edellytettävä toiminta-alue	4
1.4	Tulevaisuuden tarpeet	4
1.5	Toiminta poikkeusolosuhteissa.....	5
2	PUMPPAUKSEN KYTKENTÄTAVAT JA MITOITUS	5
2.1	Kytkentätapa ja sen valinta.....	5
2.1.1	<i>Rinnan kytketyt pumput</i>	<i>5</i>
2.1.2	<i>Sarjaan kytketyt pumput</i>	<i>6</i>
2.2	Pumppujen lukumäärä ja niiden mitoitus	6
2.3	Pumppauksen säätötavat ja liityntä laitosautomaatioon	7
3	VÄLIPUMPPAAMO KAUKOLÄMPÖJÄRJESTELMÄSSÄ.....	8
3.1	Milloin tarvitaan välipumppaamo	8
3.2	Välipumppaamon sijoituspaikka	8
3.3	Mitoitus	10
3.4	Lämmöntuotantolaitoksen hyödyntäminen välipumppaamona.....	10
3.5	Säätötavat ja liityntä laitosautomaatioon	10
3.6	Välipumppaamon toteutustavat	11
4	PUMPUT JA NIIDEN SÄÄTÖLAITTEET	11
4.1	Pumpputyypit ja pumppuissa käytettävät materiaalit ja moottorit	11
4.1.1	<i>Putki- ja in-linepumppu</i>	<i>11</i>
4.1.2	<i>Päästäimevä pumppu.....</i>	<i>11</i>
4.1.3	<i>Z-pumppu (kaksipuolisesti imevä)</i>	<i>12</i>
4.1.4	<i>Käytettävät materiaalit.....</i>	<i>12</i>
4.1.5	<i>Sähkömoottorit ja taajuusmuuttajat.....</i>	<i>12</i>
4.2	Nestekytkimet kierroslukusäädössä	12
4.3	Taajuusmuuttajat kierroslukusäädössä	12
4.4	Kokonaishyötysuhde	13
4.5	Pumpun elinkaari.....	13
5	PUMPPAUKSEN KYTKENTÄ- JA TOTEUTUSTAPOJA	14

Liite 1 Kolmen erikokoisen pumpun elinikäiset kustannukset esimerkinomaisesti

Liite 2 Lämmöntuotantolaitoksella tapahtuvan pumppauksen periaate, 2 kaaviota

Liite 3 Välipumppaamon kytkentä- ja toteutustapoja, 1 kaavio ja 3 toteutus-esimerkkiä

Liite 4 Rinnan käyvien lämmöntuotantolaitosten pumppauksen toteutustapa, 1 kaavio

Kaukolämpöjärjestelmän paineluokka:

Painetaso kaukolämpöputkissa ei saa missään kohdassa kaukolämpöverkkoa eikä missään käyttöolosuhteissa ylittää kaukolämpöverkon paineluokkaa.

Korkeimmat paineet esiintyvät yleensä menoputkissa lähellä lämmön tuotantolaitoksia, kaukolämpöpumppaamoja ja maastollisesti alhaalla olevissa osissa kaukolämpöverkkoa.

Yleisesti ottaen painetaso kaukolämpöjärjestelmässä kannattaa pitää mahdollisimman alhaisena.

Huomioitavaa on, että painetasotarkastelu ei vaikuta kiertopumpun mitoitukseen, vaan ainoastaan paineenpitopumpun ja paineenpidon ylivirtausventtiilin mitoitukseen. Kiertopumppu mitoitetaan painehäviöiden mukaan.

Minimipaine kaukolämpöputkissa:

Painetason tulee kaukolämpöpumppujen imupuolella olla kaikissa käyttöolosuhteissa niin korkea, että pumput eivät kavitoi. Tällainen tilanne on vaarana etenkin lämmön tuotantolaitoksissa, jotka sijaitsevat maastollisesti korkealla kaukolämpöverkkoon nähden.

Alhaisimmat paineet esiintyvät yleensä paluuputkissa maastollisesti korkealla olevissa osissa kaukolämpöverkkoa sekä maastollisesti korkealla sijaitsevien lämmöntuotantolaitosten paluuputkissa olevien kaukolämpöpumppujen imupuolella.

Lämmönmyyjän takaama, kaukolämpöasiakkaan käytettävissä oleva paine-ero:

Lämmönmyyjä yleensä sitoutuu takaamaan kaikkien kaukolämpöasiakkaidensa käyttöön kaikissa olosuhteissa meno- ja paluuputkien välisen paine-eron, joka on vähintään 0,6 bar.

Yleensä paine-eron suhteen kriittiset asiakkaat sijaitsevat kaukolämpöverkon ääripäissä kaukana kaukolämmön pumppauspisteistä, mutta tällaisia asiakkaita voi olla myös muualla esimerkiksi erityisen ahtaiden kaukolämpöjohtojen päässä.

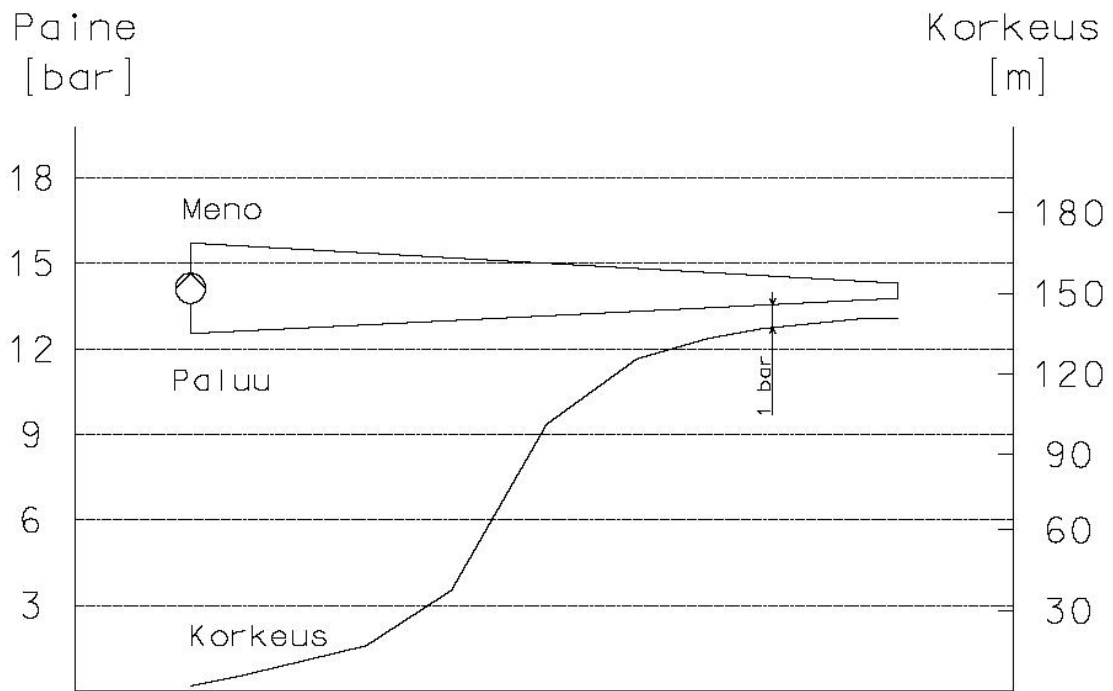
Huomioitavaa myös on, että meno- ja paluupaineiden paine-ero virtaussuunnassa ennen välipumppaamoja saattaa olla hyvinkin pieni.

Paikalliset maaston muodot ja kaukolämpöjärjestelmän sijainti siinä:

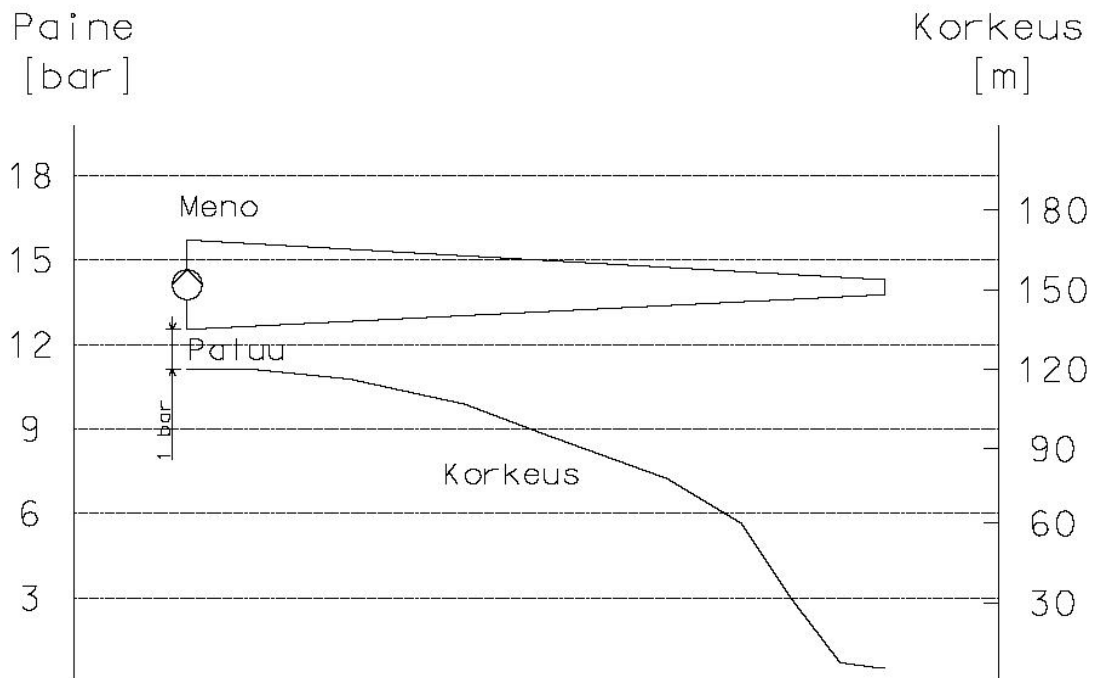
Kaukolämpöjärjestelmissä, joissa on suuret korkeuserot, saattaa olla painetasojen hallinnan kannalta välttämätöntä rakentaa välipumppaamoja mäkien juurelle tai rinteeseen. Tyypillisesti tällöin menoputkeen sijoitettavalla pumpulla varmistetaan riittävä painetaso ja paine-ero mäen päällä oleville kaukolämpöasiakkaille. Paluuputkeen asennettavalla kuristusventtiilillä varmistetaan riittävä painetaso mäen päällä olevissa kaukolämpöputkissa.

Kuvassa 1 on esitetty tilanne, jossa kaukolämpöasiakas sijaitsee mäen päällä, jolloin maksimimenopaineen PN16 raja voi tulla vastaan lämpölaitoksella.

Kuvassa 2 on esitetty tilanne, jossa kaukolämpölaitos sijaitsee mäen päällä, jolloin PN16 raja voi tulla vastaan kuluttajalla.



Kuva 1. Kaukolämpöasiakas mäen päällä



Kuva 2. Kaukolämmön tuotantolaitos mäen päällä

Siirtojohdot ja ahtaat johto-osuudet:

Usein pitkät lämmönsiirtojohdot ja ahtaat johto-osuudet saattavat edellyttää välipumppaamon rakentamista. Pumppaamo varustetaan meno- ja/tai paluuputkeen sijoitettavalla kaukolämpöpumpulla tapauskohtaisten tarkastelujen perusteella.

Lämmöntuotantolaitosten rinnankäyttö:

Lämmöntuotantolaitosten rinnankäyttötilanteissa tuotantoyksiköt pumppaavat tyypillisesti toisiaan vastaan. Tällöin tuotantolaitosten kaukolämpöpumppujen toisiaan vastaavat nostokorkeudet ja riittävä automaatio ovat avainasemassa, jotta lämpö saadaan siirrettyä halutulla tavalla kaukolämpöverkkoon. Eri käyttötilanteiden tarkastelu pumppumitoitusta tehtäessä on erityisen tärkeää silloin kun tuotantoyksiköt sijaitsevat lähellä toisiaan.

1.3 Pumppaukselta edellytettävä toiminta-alue

Lähtökohta pumppauksen mitoitukselle on, että tuotantoyksikön lämpöteho koko toiminta-alueellaan saadaan siirrettyä kaukolämpöasiakkaille kaikissa toimintatilanteissa. Toisessa ääripäässä on tuotantolaitoksella tuotettu maksimilämpöteho ja toisessa tuotantolaitoksen minimilämpöteho.

Pumppausta mitoitettaessa on otettava huomioon, että useamman tuotantoyksikön kaukolämpöjärjestelmässä tuotantoyksikkökohtainen maksimiteho voidaan saavuttaa myös lämpimämmillä ilmoilla kuin talven huippupakkasilla. Vastaavasti laitoskohtainen minimiteho ei automaattisesti merkitse kesäolosuhteita, vaan minimilämpötehon siirto saattaa tulla kyseeseen myös talven huippupakkasilla esimerkiksi rinnankäyttötilanteissa. Pumppumitoituksessa tulee edellä mainitusta syystä ottaa siirrettävän lämpötehon lisäksi huomioon kaukolämpöverkon jäähdytys kulloisessakin kuviteltavissa olevassa käyttötilanteessa.

Pumppaussuunnittelun tavoitteena on pumppauksen toimiminen hyvällä hyötysuhteella koko toiminta-alueellaan. Tähän päästään mm. nykyisin yleisellä pumppukohtaisella kierroslukusäädöllä. Usein käytetty keino pienen lämpökuorman pumppaukseen on hankkia ns. "kesäpumppu", jolla hoidetaan pienten lämpökuormien pumppaus. Tällöin pumppu voidaan mitoittamaan hyvän hyötysuhteen alueelle. Kun lisäksi ko. pumppu on varustettu kierroslukusäädöllä, säilyy hyötysuhde hyvänä koko pumppauksen vaatimalla alueella.

Välipumppaamoiden pumppumitoitukset tulee määritellä vastaavalla kuviteltuun toiminta-alueen tarkasteluun perustuvalla periaatteella kuin tuotantolaitosten pumppaus.

1.4 Tulevaisuuden tarpeet

Kaukolämpöpumppauksen ja pumppaamon yksittäisten pumppujen mitoituksessa tulee ottaa huomioon myös arvioidut tulevaisuuden lämpökuorman muutokset. Kovin suurta lämpökuorman kasvua varten pumppuja ei kannata mitoittaa, sillä silloin joudutaan alkuvuosina helposti käyttämään pumppuja säätöalueen alkupäässä huonommalla hyötysuhteen alueella. Mikäli pumppaus on mitoitettu tuotantolaitoksen lämmöntuotantotehon mukaan, kaukolämpöverkon suurempi tehontarve usein merkitsee lähinnä tarvetta suurempiin pumpun nostokorkeuksiin, koska vesivirrat ja sitä kautta painehäviöt kaukolämpöputkissa kasvavat.

Kaukolämpöverkon laajeneminen saattaa merkitä myös lisäkapasiteetin hankintaa tulevaisuudessa yksittäiselle lämmön tuotantolaitokselle. Varautuminen lisääntyvään tuotantotehoon tulee ottaa huomioon laitoksen kaukolämpöpumppausta suunniteltaessa ja putkikokoja mitoitettaessa. Ratkaisu saattaa olla esimerkiksi tilavarauksena tulevaisuudessa hankittavalle, uutta tuotantokapasiteettia vastaavalle ns. täyden tehon pumpulle.

Yleisesti ottaen kaukolämpöpumppu kannattaa usein hankkia siten, että samalle alustalle voidaan asentaa myöhemmin tarvittaessa yhtä kokoa suurempi sähkömoottori. Kun moottorin vaihto suunnitellaan, täytyy suorittaa myös pumpun toimintapisteen tarkistus.

Tulevaisuuden tarpeet tulee ottaa huomioon myös pumppaukseen liittyvän sähköistykseen ja automaation suunnittelussa ja hankinnoissa.

1.5 Toiminta poikkeusolosuhteissa

Poikkeusolosuhteita voivat olla esimerkiksi häiriöt peruskuormalaitosten toiminnassa ja putkistovauriot siirtojohdoissa.

Edellä mainitut poikkeusolosuhteet voivat johtaa esimerkiksi siihen, että häiriötilanteissa joudutaan käyttämään huippu- ja varalaitoksia nimellistehoillaan ja joudutaan rinnankäyttötilanteisiin, joissa on käytössä useita lämmöntuotantoyksiköitä suurella tuotantoteholla. Kaukolämpöverkon pumppausten tulee soveltua tällaisiin tilanteisiin, jotta lämpöä saadaan toimitettua myös paine-eron suhteen ns. kriittisille asiakkaille, jotka saattavat tällaisessa tilanteessa olla eri asiakkaita kuin ns. normaalissa käyttötilanteessa. Toki myös itse kaukolämpöverkon tulee olla rakennettu tällaisten tilanteiden varalle.

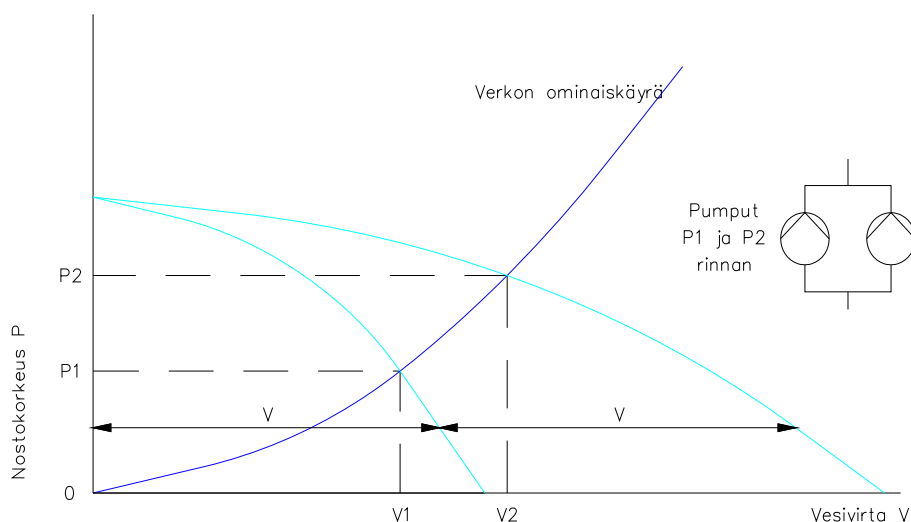
2 Pumppauksen kytkentätavat ja mitoitus

2.1 Kytkentätapa ja sen valinta

2.1.1 Rinnan kytketyt pumput

Rinnankytkentä on suositeltava ja useimmin käytetty kytkentämuoto. Tässä kytkennässä on pumppujen nostokorkeuksien oltava samansuuruiset, jotta rinnalle kytkettävästä pumpusta saadaan tuottoa verkkoon. Pumput kytketään normaalisti paluupuolelle. Tällöin pumput toimivat matalammassa ja yleensä lähes vakioämpötilassa. Usein myös tuotantolaitoksen omakäyttölämmitysten ja seisokkiaikaisen lämpimänäpidon toteuttaminen on yksinkertaisempaa kuin silloin kun pumput ovat menoputkessa.

On huomattava, että kaksi samanlaista pumppua kytkettynä rinnanajoon ei välttämättä tuota kaksinkertaista vesimäärää kaukolämpöverkkoon. Tarkastelussa täytyy ottaa huomioon kaukolämpöverkon vastuskäyrä.

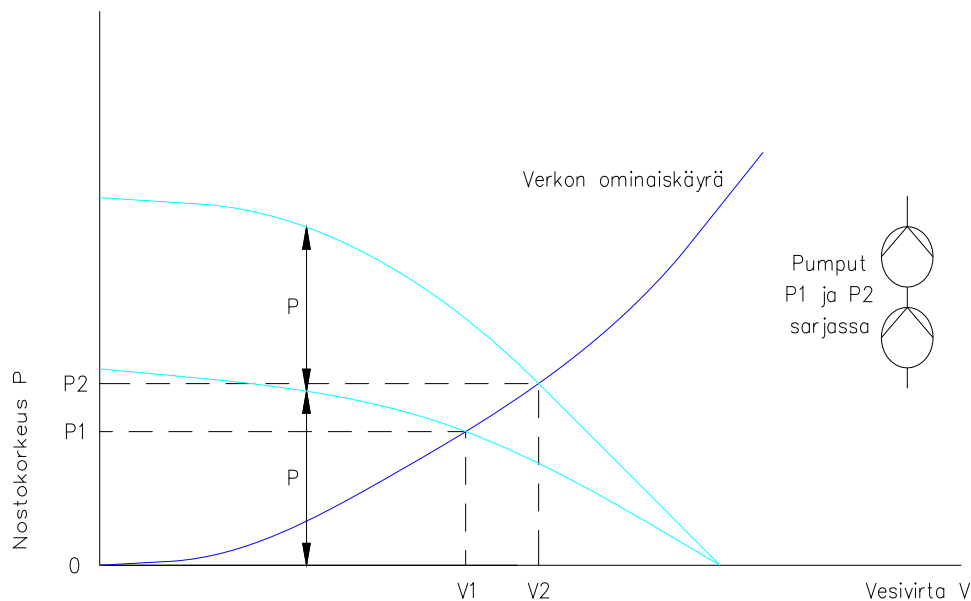


Kuva 3. Rinnan kytketyt pumput

2.1.2 Sarjaan kytketyt pumput

Sarjapumppausta käytetään esim. silloin, kun halutaan jakaa suuren nostokorkeusvaatimuksen vuoksi pumppaus kahdelle pumpulle. Tällöin voidaan kesäaikana pumpata vain toisella pumpulla. Toinen syy pumppauksen jakamiseen kahteen on, että lämmönlähteen (esim. kattilan) painetasoa halutaan pitää alempana kuin kaukolämpöverkkoon lähtevän veden menopaine.

On huomattava, että kaksi samanlaista pumppua kytkettynä sarjana johon ei välttämättä tuota kaksinkertaista nostokorkeutta kaukolämpöverkkoon. Tarkastelussa täytyy ottaa huomioon kaukolämpöverkon vastuskäyrä.



Kuva 4. Sarjaan kytketyt pumput

2.2 Pumppujen lukumäärä ja niiden mitoitus

Päätuotantolaitoksella pumppaus kannattaa usein jakaa useammalle pumpulle. Pumpauksesta on saatavissa varsin merkittäviä energiansäästöjä, kun koko pumppausta ei toteuteta yhdellä pumpulla, vaikka se olisi kierroslukusäätöinen. Tarvittaessa yksi pumppu toimii ns. kesäpumppuna.

Luonteva jako pumppaukselle vesivirtamitoituksen suhteen on esim. $2 \cdot 60\%$ tai $2 \cdot 70\%$ maksimivesivirrasta pumput rinnan kytkettyinä ja molemmat pumput varustettuina kierroslukusäädöllä. Tällöin huippukuorma saadaan hoidettua käyttämällä pumppuja samanaikaisesti samalla kierrosnopeudella ja pumppauksessa on pientä laajennusvaraa. Muina aikoina käytetään yhtä pumppua, jolloin hyötysuhde pysyy hyvänä pienimmissäkin kulutustilanteissa.

Laskennallista maksimivesivirtaa määritettäessä tulee ottaa huomioon kyseisen kaukolämpöjärjestelmän todellinen jäähdytys pumppauksen käyttöolosuhteissa. Vesivirta kantaa määrittää hieman todellista huonomman jäähdytyksen mukaan, jotta jää mitoituslaskennallisesti hieman pelivaraa esimerkiksi poikkeusolosuhteiden varalle. Määritettäessä talven huippupakkasolosuhteissa toimivan pumppauksen mitoitus vesivirran osalta, on perusteltua käyttää jäähdytyksenä esimerkiksi 40 °C vaikka todellinen jäähdytys normaaliolosuhteissa olisikin luokkaa 50 °C . Vastaavasti kesäkäyttöön mitoitettavien pumppujen mitoituksessa vesivirran suhteen tulee ottaa huomioon kesäaikainen jäähdytys käyttämällä laskelmassa jäähdytyksenä esimerkiksi arvoa $25\text{...}30\text{ °C}$. Käytettävät jääh-

dytykset voivat olla edellä mainittuja alhaisemmat kauko- ja aluelämpöjärjestelmissä, jotka toimivat esimerkiksi paikallisista teollisuusasiakkaista johtuen poikkeuksellisen huonolla jäädytyksellä.

Yksittäisen pumpun nostokorkeus kannattaa rajoittaa kohtuulliseksi (esim. 50...70 m tuotantoyksikön sisäisistä painehäviöistä riippuen) paitsi sen takia, ettei suuri paine-ero aiheuta ongelmia asiakaspäässä, myös sen takia, että pumpun äkillisesti pysähtyessä, aiheuttaa se paineiskun kaukolämpöverkkoon. Paineitaso paineiskussa on verrannollinen pysähdyshetkellä olevaan pumpun nostokorkeuteen. Paineisku voi vaurioittaa verkkoon liitettyjä laitteita. Koska kaukolämpöverkossa on verrattain paljon haaroja ja silmukoita, laskee paineiskun aiheuttama paineen nousu suhteellisen nopeasti.

Ns. huippulaitosten osalta pumppausta mitoitettaessa on pidettävä mielessä, että ne tulevat talven huipputilanteissa käyttöön tyypillisesti hyvin pienellä suhteellisella teholla, mutta toisaalta niiden tulee pystyä toimimaan myös täydellä teholla varalämpökeskus-käytössä. Pelkät varalämpökeskukset sitä vastoin otetaan käyttöön poikkeusolosuhteissa, jolloin ne tyypillisesti toimivat pääsääntöisesti suurella suhteellisella teholla. Näissä tapauksissa pumppauksen suunnittelussa kannattaa keskittyä suurten suhteellisten lämpötehojen siirtoon.

2.3 Pumppauksen säätötavat ja liityntä laitosautomaatioon

Kaukolämpöverkon säätöjen tehtävänä on pitää yllä riittävä veden paine kaikissa kaukolämpöputkissa, riittävä paine-ero kaikilla kaukolämpöasiakkailla sekä pitää menoveden lämpötila vallitsevan ulkolämpötilan mukaisessa arvossa.

Kaukolämpölaitoksen säätötapoja voivat olla esimerkiksi:

- laitoksen oman paine-eron säätö
- kaukolämpöverkon paine-erosäätö, jolloin paine-eromittaus voidaan valita eri osista kaukolämpöverkkoa (minimipaine-eron säätö)
- kaukolämpöveden virtaussäätö (MW tehosaätö)
- kaukolämmön menoveden lämpötilasäätö
- kaukolämpöverkossa rinnan olevien lämmöntuotantolaitosten pumppauksen säätö.

Kaukolämpöveden lähtölämpötila säädetään esim. vastapainevoimalaitoksella höyryturbiinin väliottohöyryn tai turbiinin ollessa pois päältä reduktioiden avulla kaukolämmön vaihtimilla. Vastaavasti lämpökeskuksilla lähtevä lämpötila säädetään tyypillisesti sekotussäädöllä. Lähtölämpötilan asetusarvo määräytyy normaaleissa kaukolämpöjärjestelmissä ulkolämpötilan mukaan.

Kaukolämpöverkossa voi olla useita eri paine-eron mittauspisteitä. Kuormituksen muuttuessa verkon alin paine-ero voi siirtyä eri puolille verkkoa. Samoin käy, kun verkossa rinnan olevia lämmön tuotantolaitoksia otetaan tuotantoon verkon kuormituksen mukaan. Päälaitoksen automaatio voi ajotilanteen mukaan ottaa säätöön aina kulloinkin alimman paine-eron. Turvallinen tapa ajaa päälaitoksen paine-eroa verkon paine-erolla on muuttaa päälaitokselta lähtevän paine-eron säädön asetusarvoa verkon minimipaine-eron mukaan. Jos verkon paine-eron tiedonsiirto vikaantuu, jää päälaitoksen paine-eron ohje vikaantumishetken mukaiseen tilaan ja siten äkillisiä muutoksia verkon pumppauksessa ei pääse tapahtumaan.

Keskisuurissa ja pienehköissä kaukolämpölaitoksissa, joissa ei ole sähkön tuotantoa, lämpökeskuksien rinnankäyttöä voidaan ohjata verkon minimipaine-eron avulla. Verkon alin paine-ero kuvaa kuormituksen tilannetta suhteessa käytössä olevaan lämmön tuotantokapasiteettiin. Kun paine-ero laskee rinnankäytön käynnistysrajalle, käynnistetään huippujen ajamiseen valittu lämmöntuotantolaitos lämmöntuotantoon. Peruskuormalaitoksen pumppauksen verkon paine-eron asetusarvoa nostetaan siten, että pumppauksen asetusarvo on hieman suurempi kuin säätävän lämmöntuotantolaitoksen verkon paine-eroasetus. Näin peruskuormalaitos saadaan pidettyä maksimituotannossa, kun sen pumppauksen säädön rajoitteet (teho, lämpötila, jne) ovat mukana pumppauksen säädössä. Säätävä, huippua ajava lämmöntuotantolaitos jää kuormituksen vähetessä

lopuksi omalle minimiteholleen. Kun verkon teho on alle peruskuormalaitoksen tehon, pysäytetään huippua ajanut lämmöntuotantolaitos.

Paine-erosäädössä säädetään laitoksen kierroslukuohjattuja kaukolämpöpumppuja pitämään yllä haluttu paine-ero. Operaattori tai automaattikka voi vaihtaa käytettävää paine-eron mittausta riippuen olosuhteista, esim. laitoksen oman mittauksen tai kaukokäyttömittauksien välillä.

Vastapainevoimalaitoksissa kaukolämmön menolämpötila kannattaa pitää mahdollisimman matalana, jotta sähkönsaanti maksimoidaan. Tällöin virtaus on vakio ja tehon säätö toteutetaan lämpötilan säädöllä.

Virtaussäätö huolehtii vakiovirtauksesta, jolloin on mahdollista ajaa vakio-kaukolämpötehoa, mikäli muilla komponenteilla hoidetaan verkon paine-eron säätö. Kaukolämmön menoveden lämpötilan säätö on tarpeen esim. lämmöntarpeen aamu-huippujen aikana.

Lämpöverkoissa joissa ei ole voimalaitoksia, tapahtuu kaukolämpötehon säätö pääasias-
sa lämpötilan avulla ulkoilman mukaan.

Laitoksien kaukolämpösäädöt rajoittavat pumppaustehoa imupaineen laskiessa liian al-
haiseksi tai kaukolämpöverkon paineen noustessa liian korkeaksi. Lähtevän veden läm-
pötila on myös rajoitettu liian kuumilta tai kylmiltä menolämpötiloilta.

3 Välipumppaamo kaukolämpöjärjestelmässä

3.1 Milloin tarvitaan välipumppaamoa

Välipumppaamon rakentamista kannattaa harkita, kun lämmöntuotantolaitosten pää-
pumput eivät enää riitä varmistamaan tarvittavaa paine-eroa viimeisillä kuluttajilla.
Tyypillisiä välipumppaamon rakentamisen syitä ovat mm.:

- siirtojohto on pitkä, jo rakennusvaiheessa rakennetaan välipumppaamo
- verkko laajenee ja verkon viimeisillä kuluttajilla ei ole riittävästi paine-eroa
- halutaan optimoida pumppausenergian kulutusta, tällöin tulee suorittaa myös kan-
nattavuus investointiin nähden
- painetaso hallinta.

3.2 Välipumppaamon sijoituspaikka

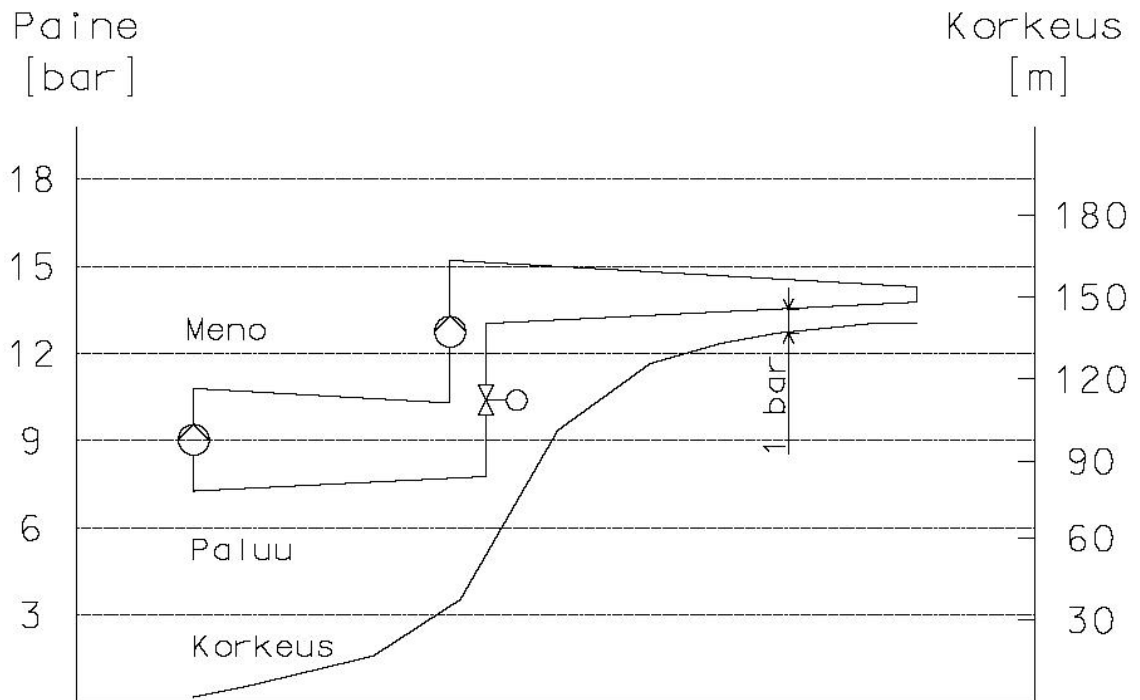
Välipumppaamon sijoituspaikaksi valitaan mahdollisuuksien mukaan ensisijaisesti verkon
paine-eron suhteen kriittinen haara, jolloin tarvitsee pumpata vain haaran tarvitsema
massavirta sen sijaan, että päälaitoksella pumpataan koko massavirta kriittisen haaran
vaatimaan painetasoon.

Pitkässä siirtojohdossa välipumppaamo sijoitetaan siten, että pumppujen koot voidaan
optimoida käytettävän energiahinnan ja pumpun hyötysuhteen sekä investoinnin suh-
teen. On huomattava, että vastapainevoimalaitoksissa omakäytösähkön hinta on vero-
tuksen vuoksi alempi kuin sähköverkosta ostetun sähkönhinta (hinnat täytyy tarkistaa
tapauskohtaisesti).

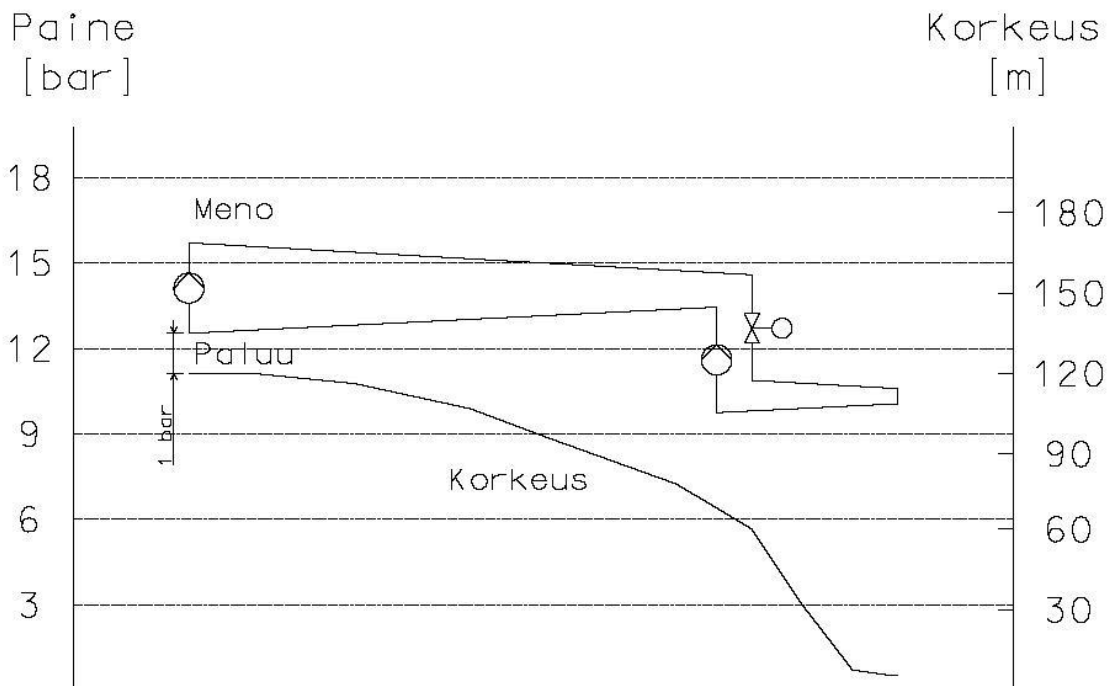
Välipumppaamoa suunniteltaessa tulee investoinnin kannattavuus tarkastella saavutet-
tavaan energiasäästöön nähden.

Kuvassa 5 on esitetty tilanne, jossa kaukolämpöasiakas sijaitsee mäen päällä, jolloin
maksimimenopaineen PN16 raja voi tulla vastaan lämpölaitoksella. Ratkaisuna on laittaa
paluupuolelle kuristus ja menupuolelle pumppu.

Kuvassa 6 on esitetty tilanne, jossa kaukolämpölaitos sijaitsee mäen päällä, jolloin PN16 raja voi tulla vastaan kuluttajalla. Ratkaisuna on laittaa menopuolelle kuristus ja paluupuolelle pumppu.



Kuva 5. Kaukolämpöasiakas mäen päällä, ratkaisuna kuristus paluupuolella ja pumppu menopuolella



Kuva 6. Kaukolämmön tuotantolaitos mäen päällä, ratkaisuna kuristus menopuolella ja pumppu paluupuolella

3.3 Mitoitus

Välipumppaamon pumpun tai pumppujen mitoitus tulee suorittaa pumppaamon "takana" olevan kaukolämpöverkon mukaan maastomuodot huomioon ottaen. Välipumppaamossa voi olla vain menopumppu tai sekä meno- ja paluupumppu. Pumppujen lukumäärä tarkastellaan tapauskohtaisesti.

Välipumppaamon putkistoon tulee tehdä ohitukset tilanteita varten, jolloin pumppaamoa ei käytetä, jotta virtaus ei turhaan kulje pumppujen kautta.

3.4 Lämmöntuotantolaitoksen hyödyntäminen välipumppaamona

Kun vara/huippukäytössä oleva lämmöntuotantolaitos sijaitsee sopivasti kaukolämpöverkon varrella, voidaan sen kiertovesipumppuja käyttää välipumppaamona, mikäli putkikytkennät, pumppumitoitus ja automaatio ovat suunniteltu tähän käyttöön.

3.5 Sääötavat ja liityntä laitosautomaatioon

Ns. suuret kaukolämpöjärjestelmät:

Kaukolämpöpumppaamot varustetaan logiikka- tai automaatiojärjestelmällä, joka on yhteydessä päälaitoksen pääautomaatiojärjestelmään. Kaukolämpöpumppaamot ovat miehittämättömiä laitoksia, joiden operointi tapahtuu päälaitoksen keskitetystä valvomosta.

Pumppaamojen, joita saattaa olla yksi tai useampia, perussäätötapa on säätää lähtevää paine-eroa. Automaatiikka rajoittaa pumppua liian alhaisen imupaineen tai liian korkean nostopaineen varalta.

Joissain tapauksissa on edullisinta ajaa voimalaitoksen kaukolämpöpumppuja maksimiteholla (omakäytösähkön edullisempi hinta), jolloin otetaan välipumppaamojen pumppuja käyttöön automaattisesti sitä mukaa, kun voimalaitokselta loppuu pumppauskapasiteetti. Välipumppaamon pumput käynnistetään ja pysäytetään hallitusti automaattisilla ryhmäohjauksilla. Jos välipumppaamo on sijoitettu putkiston ahtaaseen haaraan, määrää haaran paine-ero pumppauksen toimintapisteeseen.

Välipumppaamojen automaatiojärjestelmään on suositeltavaa liittää myös pumppaamon lvi-laitteet lämpötilan valvontoiineen. Kaukolämpöputkien vuodonvalvonta, rakennusten kulun valvonta ja paloilmoinjärjestelmät voidaan liittää valokuituyhteyksillä päälaitoksen valvomoon.

Ns. keskikokoiset ja pienet kaukolämpöjärjestelmät:

Välipumppaamot voivat toimia itsenäisesti omalla paikallisautomaatiollaan, jolloin välipumppaamon paine- ja paine-eroviestien avulla seurataan verkon tilannetta kuluttajien kannalta. Kun välipumppaamo ei ole toiminnassa, ohjataan pumppaamon ohitusventtiili auki. Ohitus voidaan toteuttaa myös takaiskuventtiilin avulla, ellei välipumppaamon kautta johdeta kaukolämpöä molempiin suuntiin. Kun välipumppaamo käynnistyy, ohjataan ohitusventtiili kiinni.

Välipumppaamon käydessä säädetään paine-eroa lähtevän paine-eron mukaan ja lisäksi säädössä voi olla mukaan myös välipumppaamon jälkeinen verkosta saatu paine-ero. Välipumppaamalla seurataan pumpun imupuolen paine-eroa ja imupainetta.

Välipumppaamon automaatio liitetään nykyään useimmiten valokaapeliyhteydellä tai radioyhteydellä päälaitoksen automaatiojärjestelmään, jolloin päälaitoksen automaatiojärjestelmä voi antaa käyntiluvat ja asetusravot. Välipumppaamon ollessa käytössä seurataan päälaitoksella välipumppaamon imupuolen paine-eroa ja sen perusteella voidaan säätää päälaitoksen pumppausta.

Välipumppaamalla voi olla myös paluupaineen säätö, jos kaukolämpöverkon haara välipumppaamon jälkeen nousee korkealle ja päälaitoksen paineenpitojärjestelmällä ei kyettä hoitamaan korkealla olevien kohteiden verkon painetta.

Paluupaineen säätö toteutetaan usein omavoimaisilla paineensäätöventtiileillä käyttöturvallisuuden takia.

3.6 Välipumppaamon toteutustavat

Välipumppaamon toteutustapa valitaan tapauskohtaisesti. Toteutustapaan vaikuttavia seikkoja ovat mm. kaukolämpöjohdon koko ja siitä johtuva pumppaamon tilantarve, maastollinen sijainti, kaavoitustilanne, paikalliset vaatimukset pumppaamon ulkonäölle, pumppaamolle käytettävissä olevat tilat olemassa olevissa rakennuksissa, maaperä, pohjaveden taso pumppaamoalueella ja rakennuttajan tarpeet aputiloille pumppaamon yhteydessä.

Tyypillisesti välipumppaamo toteutetaan:

- maanpäällisenä uudisrakennuksena
- sijoitettuna olemassa olevan kiinteistön maanalaisiin tai katutason tiloihin
- sijoitettuna maanalaiseen betonikaivoon
- sijoitettuna maanalaiseen lujitemuoviseen kaivoon.

Suurissa kaupungeissa välipumppaamoja sijoitetaan myös maanalaisiin tunneli- ym. tiloihin.

Maanpäällisten välipumppaamoiden etuina voidaan pitää mm. usein vaivatonta käyntiä pumppaamotiloihin, työskentelyväljyyttä ja mahdollisuutta sijoittaa kaikki laitteet, mukaan lukien sähkö- ja automaatiolaitteet, kuiviin ja lämpimiin tiloihin. Haittoina saattavat olla esteet sijoitus- ja rakennuslupien saamiselle, suhteellisen pitkä rakentamisaika sekä mahdollisesti varsin korkeat rakentamiskustannukset.

Maanalaisten kaivoratkaisujen etuina ovat mahdollisuus toteuttaa välipumppaamo suurelta osin tehdasvalmisteisena, jolloin asennusaika työmaalla saadaan minimoitua, maanalainen välipumppaamo ei tyypillisesti edellytä rakennuslupaa ja rakennuskustannukset jäävät usein maanpäällistä välipumppaamoa pienemmiksi.

Pumppaamoissa tulee huolehtia riittävästä kulku- ja työskentelytiloista, ilmanvaihdosta/ilmastoinnista ja viemäroinnistä. Pumppujen ja apulaitteiden aiheuttamat äänihaitat tulee suunnittelussa huomioida.

Liitteessä 3 on esitetty esimerkinomaisesti joitakin välipumppaamon toteutustapoja.

4 Pumput ja niiden säätölaitteet

4.1 Pumpputyypit ja pumpuissa käytettävät materiaalit ja moottorit

4.1.1 Putki- ja in-linepumppu

Pienemmissä järjestelmissä voidaan käyttää suoraan putkistoon asennettavia putkipumppuja tai ns. in-linepumppuja eli pystyasentoisia pumppuja, jossa moottori on pumpun päällä.

4.1.2 Päästäimevä pumppu

Keskisuurissa ja suurissa kaukolämpöjärjestelmissä käytetään normaalisti ns. päästäimeviä pumppuja, jolloin imuaukko on pumpun akselin suuntainen ja painelaippa ylöspäin. Pumppu ja moottori on sijoitettu yhteiselle alustalle.

4.1.3 Z-pumppu (kaksipuolisesti imevä)

Kun massavirta ja nostokorkeus kasvavat, niin päästäimevässä pumpussa akseliin ja laakereihin kohdistuvat voimat kasvavat liian suuriksi. Tällöin kannattaa käyttää kaksipuolisesti imevää pumppua, jolloin esim. laakerointi on helpompaa rakentaa.

4.1.4 Käytettävät materiaalit

Pesä:

Pumppujen pienemmissä kokoluokissa voidaan käyttää pallografiittivalurautaa. Suuremmissa kokoluokissa käytetään valuterästä. Valuteräksen etuna on sen parempi sitkeys esim. paineiskuja vastaan. Varjopuolena on korkeampi hinta. Yhtenä vaihtoehtona on käyttää valurautapesällä varustetun pumpun pesän paineluokkana PN 25, jolloin pesä saadaan kestävämmäksi.

Juoksupyörä ja akseli:

Juoksupyörän ja akselin materiaalina käytetään ruostumatonta tai haponkestävää terästä.

4.1.5 Sähkömoottorit ja taajuusmuuttajat

Sähkömoottoreina käytetään vakio-moottoreita, jotka soveltuvat taajuusmuuttajakäyttöön. Jännite valitaan laitoksen jännitetasoon mukaan tapauskohtaisesti. Sähkömoottoreina suositellaan käytettävän parhaan mahdollisen hyötysuhdeluokan moottoreita.

Sähkömoottoria valittaessa kannattaa huomioida taajuusmuuttajakäyttö, sillä ns. ylikierroksien eli yli 50 Hz taajuuksien käyttö antaa joustavuutta kun tarvitaan huippulämmön tarvetilanteessa korkeita tuottoarvoja. Moottoreita voidaan suuntaa-antavasti ylikuorittaa 60 Hz asti.

4.2 Nestekytkimet kierroslukusäädössä

Nestekytkimiä on käytetty kaukolämmön pumppauksessa ainakin ns. suuremmissa teholuokissa. Nestekytkimet ovat käytössä vieläkin monissa laitoksissa, mutta uusia nestekytkimiä ei ole viime vuosina juurikaan asennettu.

Syitä nestekytkimien pois jääntiin ovat mm.:

- pumppuyksiköstä tulee taajuusmuuttajakäytössä nestekytkinkäyttöä yksinkertaisempi, värinät pienenevät, öljynkulutus ja kunnossapitokustannukset pienenevät
- nestekytkimellä ei voi ajaa ns. ylikierroksia.

Toisaalta nestekytkin ei ole yhtä herkkä muusta ohjaustekniikasta tuleville häiriöille kuin taajuusmuuttaja, jossa häiriöt esim. piirikorttitekniikassa voivat pysäyttää koko pumppauksen pitemmäksi aikaa.

Esim. prosessiteollisuudessa, jossa pumpun toimintavarmuusvaatimukset ovat korkealla prosessin luonteen vuoksi, käytetään edelleen nestekytkimiä.

4.3 Taajuusmuuttajat kierroslukusäädössä

Taajuusmuuttajat ovat yleisen elektroniikkatekniikan kehityksen myötä vallanneet kierrosluku-säätötavan lähes kokonaan mm. seuraavista syistä:

- taajuusmuuttajien hinta on laskenut ja on halvempi tai ainakin yhtä edullinen kuin nestekytkin kaukolämmössä käytettävillä teholuokilla
- taajuusmuuttajien hyötysuhde on parantunut tehohäviöiden pienentyessä
- taajuusmuuttajien koko on pienentynyt
- pumpun peti voidaan rakentaa pienemmäksi kuin nestekytkimellä, tilatarve on pienempi
- taajuusmuuttajien luotettavuus on parantunut.

Taajuusmuuttajasäädössä pumpun hyötysuhde pysyy yleensä korkealla suurella säätöalueella. Pienillä kierroksilla hyötysuhde voi kuitenkin alentua merkittävästi, mutta toisaalta tällöin tehon tarve on pieni (affiniteettisäännöt). Samoin pumpun käynnistykset ja pysäytykset ovat helpompia suorittaa sekä prosessin että laitteiston kannalta.

Kun moottorin sähköteho on >55 kW, suositellaan moottorissa käytettäväksi eristettyä laakeria ainakin toisen laakerin osalta. Laakerien kautta kulkevat sähkövirrat voivat aiheuttaa laakerivaurion ja siten moottorin vikaantumisen.

Taajuusmuuttajakäyttöiset moottorit voidaan varustaa termistoriantureilla tai Pt100 antureilla moottorin lämpenemisen valvomiseksi. Anturit voidaan liittää taajuusmuuttajaan, jolloin moottorin suojaus yllämmöltä saadaan tehtyä luotettavasti.

4.4 Kokonaishyötysuhde

Kierroslukusäätöisen pumpun hyötysuhde pysyy samana, kun kierrosluvut ovat lähellä mitoituspistettä. Kun toimintapiste siirtyy kierrosluvun muuttuessa kauemmaksi mitoituspisteestä, häviöt kasvavat ja hyötysuhde huononee. Hyötysuhteen huonontuminen koskee sekä pumppua että taajuusmuuttajaa.

4.5 Pumpun elinkaari

Pumppujen hyötysuhteella on kokonaiskustannusten kannalta suuri merkitys, koska käyttökustannukset ovat 85...95 % kokonaiskustannuksista. Investointipäätöstä tehtäessä tulisi pumpun hyötysuhteeseen kiinnittää suurta huomiota. Huonon hyötysuhteen pumppu voi syödä investoinnissa säästyvät kustannukset vuosien varrella moninkertaisesti.

Kaukolämpöverkot kasvavat ja muuttuvat jatkuvasti ja täten myös pumppauksen olosuhteet muuttuvat. Siksi kannattaa aika-ajoin tarkistaa käytettävien pumppujen todellinen toimintapiste, onko se vielä suunnitellussa kohdassa ja mikä on nykyisen toimintapisteen hyötysuhde. Pumppaus voi toimia teknisesti hyvin, mutta pumppu toimii huonolla hyötysuhdealueella.

Tuotekehityksen myötä ovat pumppujen hyötysuhteet vuosien varrella parantuneet. Vanhoissa pumpuissa hydrauliset ominaisuudet sen aikaisen suunnittelun ja esim. kulumisen vuoksi voivat olla huomattavasti huonommat kuin uusissa pumpuissa.

Jos pumppaamossa on useampi pumppu, kannattaa tarkastella onko taloudellisia edellytyksiä vaihtaa esim. yksi pumppu uuteen, jolloin uusi pumppu toimisi ns. pääpumppuna.

Kaukolämpökuluttajien jäähtymää parantamalla voidaan kompensoida kaukolämpöverkon laajentumisesta johtuvaa toimintapisteen siirtymistä jopa merkittävästi, sillä lämpötilaeron kasvaminen pienentää suorassa suhteessa pumpattavan massavirran tarvetta ja siten myös pienentää putkiston painehäviöitä.

Liitteessä 1 on esitetty esimerkinomaisesti kolmen erikokoisen pumpun elinikäiset kustannukset pumpun ja moottorin investoinnille.

5 Pumppauksen kytkentä- ja toteutustapoja

Liitteiksi on koottu kaukolämpöpumppauksen kytkentä- ja toteutustapoja esimerkinomaisesti. KytKentä- ja toteutustapa tulee suunnitella tapauskohtaisesti kulloiseenkin kaukolämpöjärjestelmään soveltuviksi.

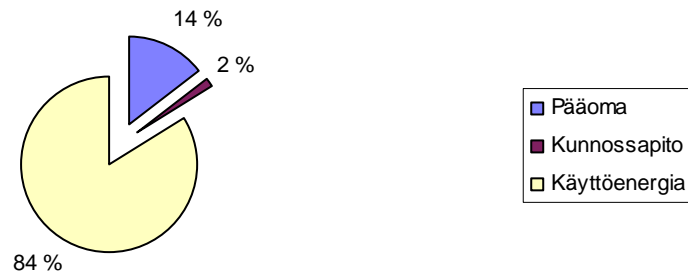
Liite 2: Lämmöntuotantolaitoksella tapahtuvan pumppauksen periaate, 2 kaaviota

Liite 3: Välipumppaamon kytkentä- ja toteutustapoja, 1 kaavio ja 3 toteutusesimerkkiä

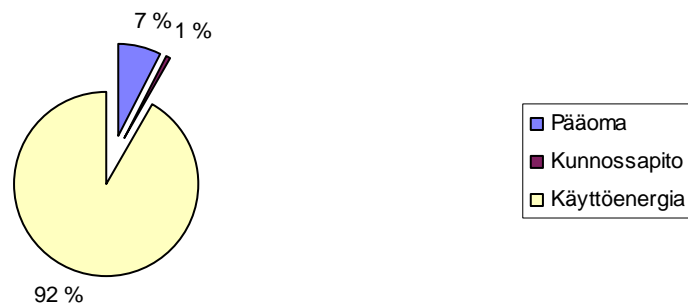
Liite 4: Rinnan käyvien lämmöntuotantolaitosten pumppauksen toteutustapa, 1 kaavio.

Kolmen erikokoisen pumpun elinikäiset kustannukset esimerkinomaisesti

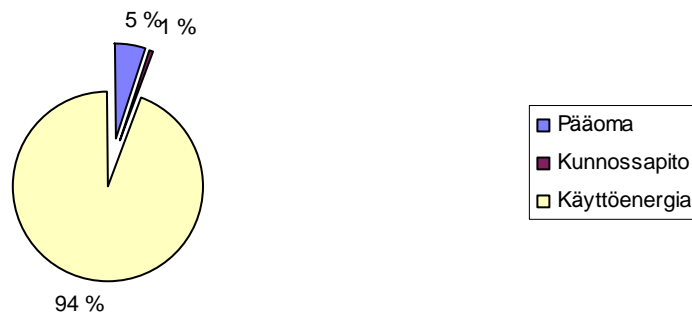
Pumppu I, teho: 16 kW



Pumppu II, teho: 131 kW

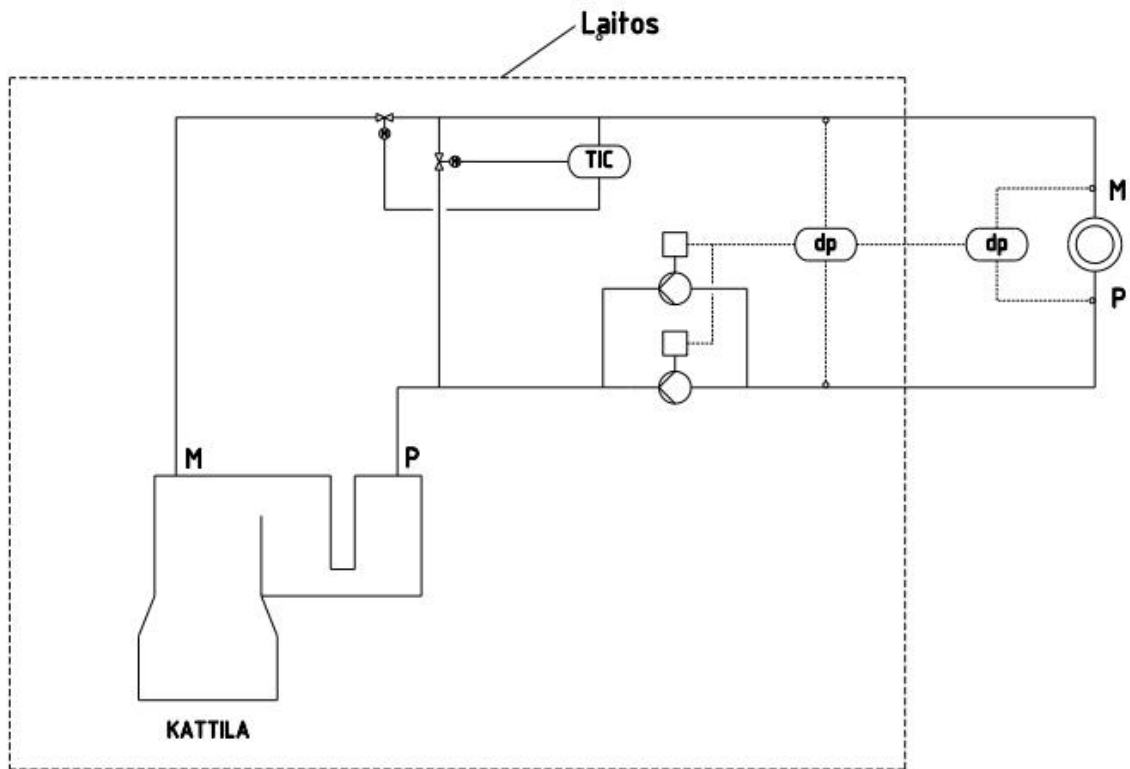


Pumppu III, teho: 283 kW

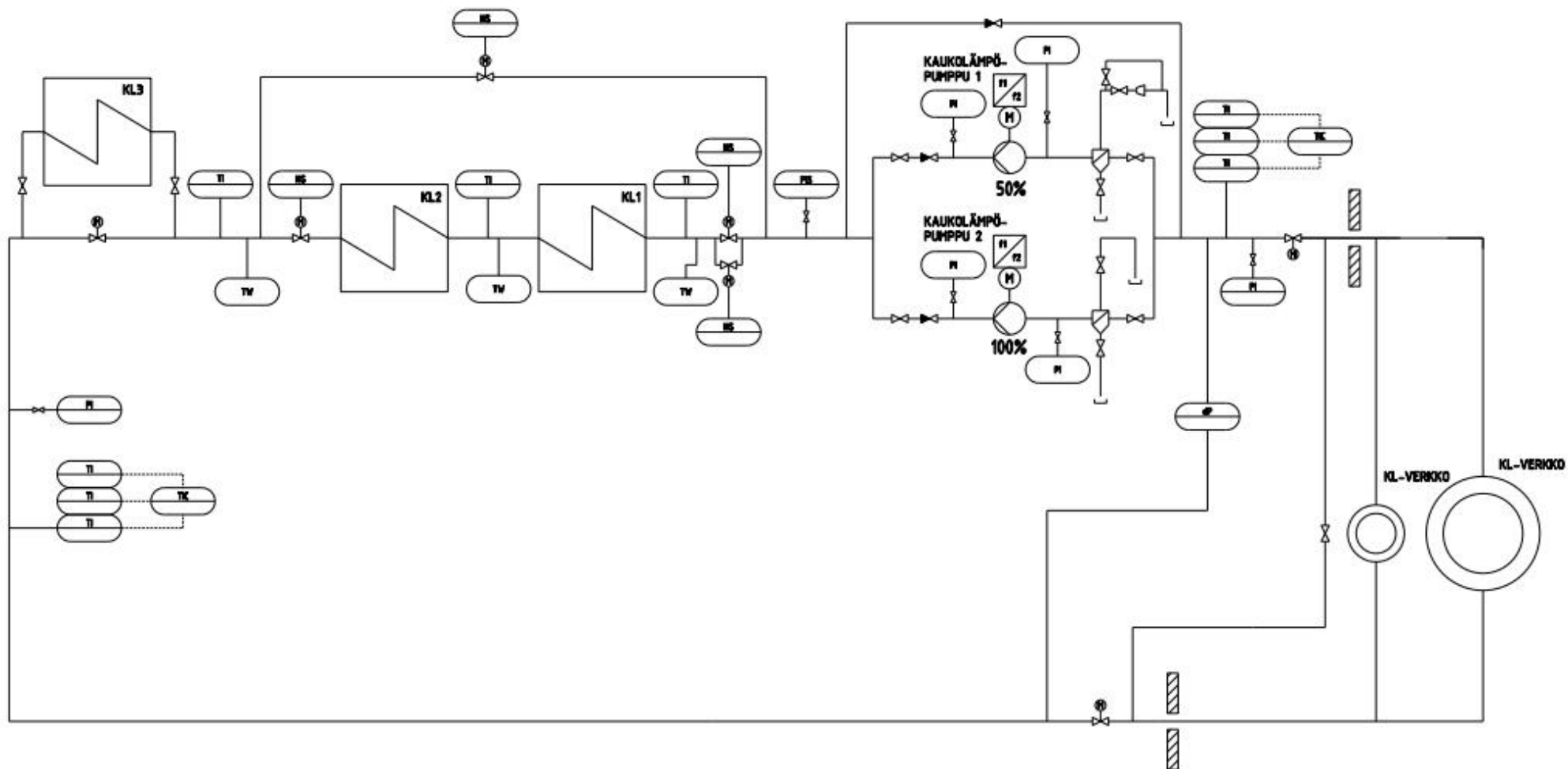


Esimerkeissä käyttöenergian osuus keskipakopumpun elinikäisistä kustannuksista on laskettu seuraavilla oletuksilla: Energian hinta 40 Eur/MWh, käyttöaika 15 v, huipunkäyttöaika 5000 h/a vuodessa, korko 5 %, kunnossapitokäyttökustannuksena on käytetty 1,2 % investoinnista. Kustannukset on diskontattu nykyarvoon.

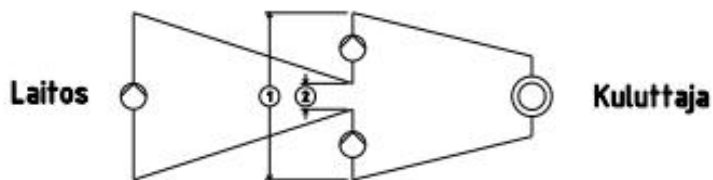
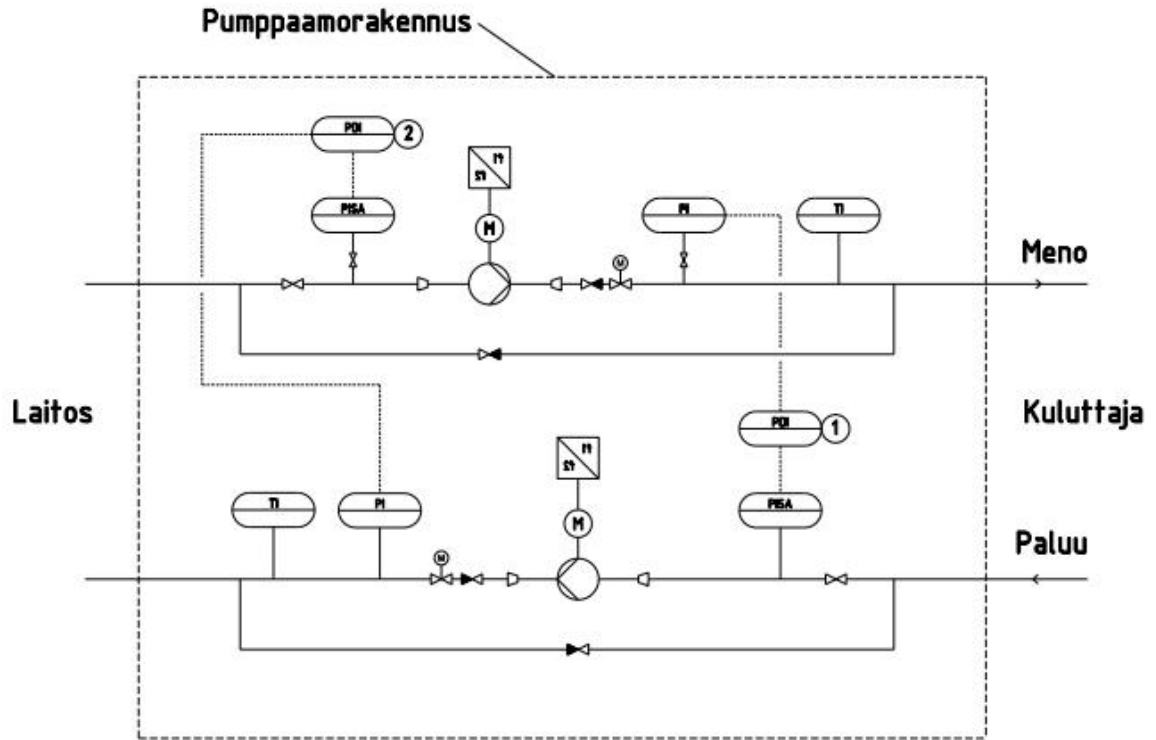
Lämmöntuotantolaitoksen pumppauksen periaatekaavio



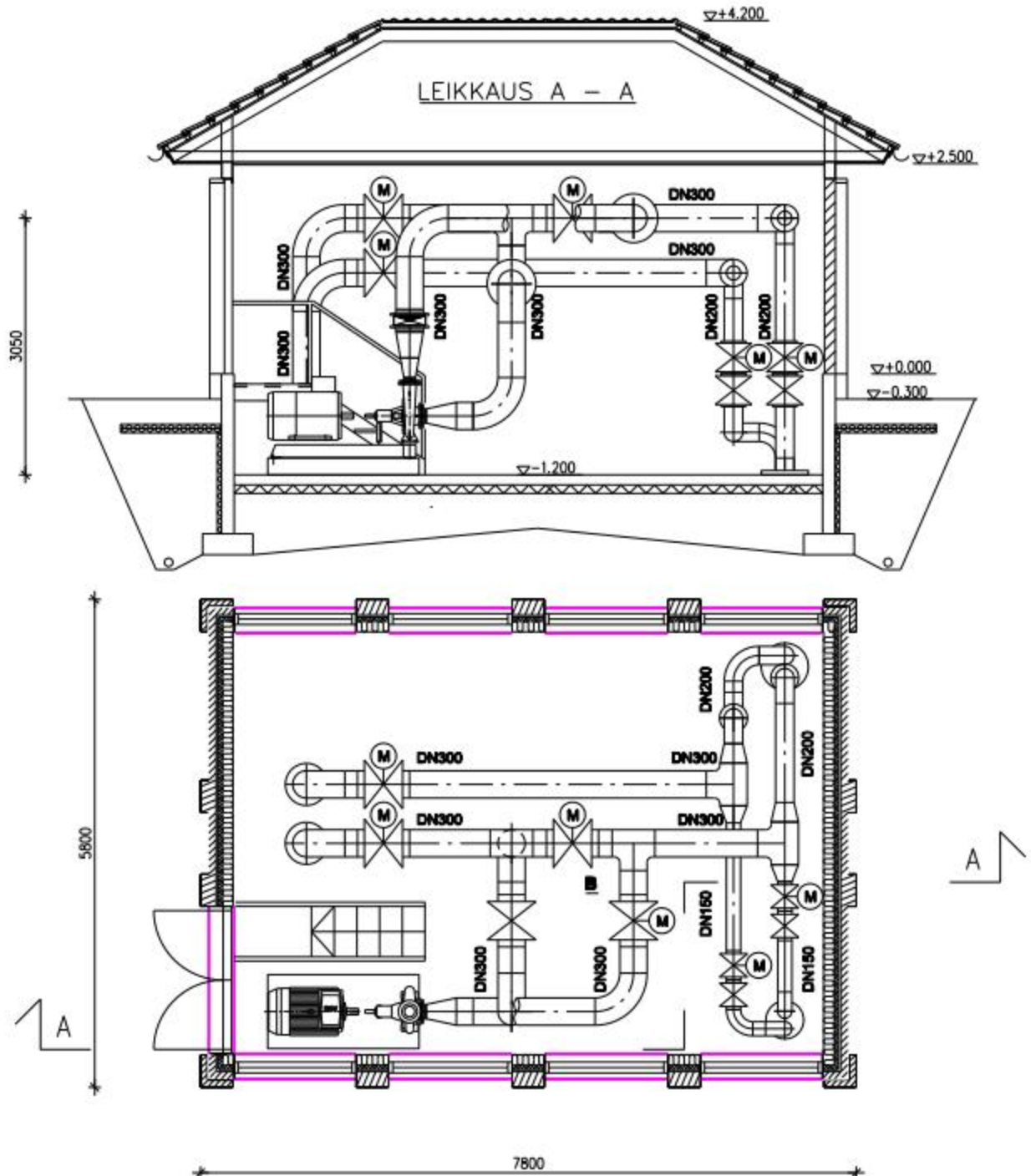
Voimalaitoksen kaukolämpöpumpppauksen periaatekaavio



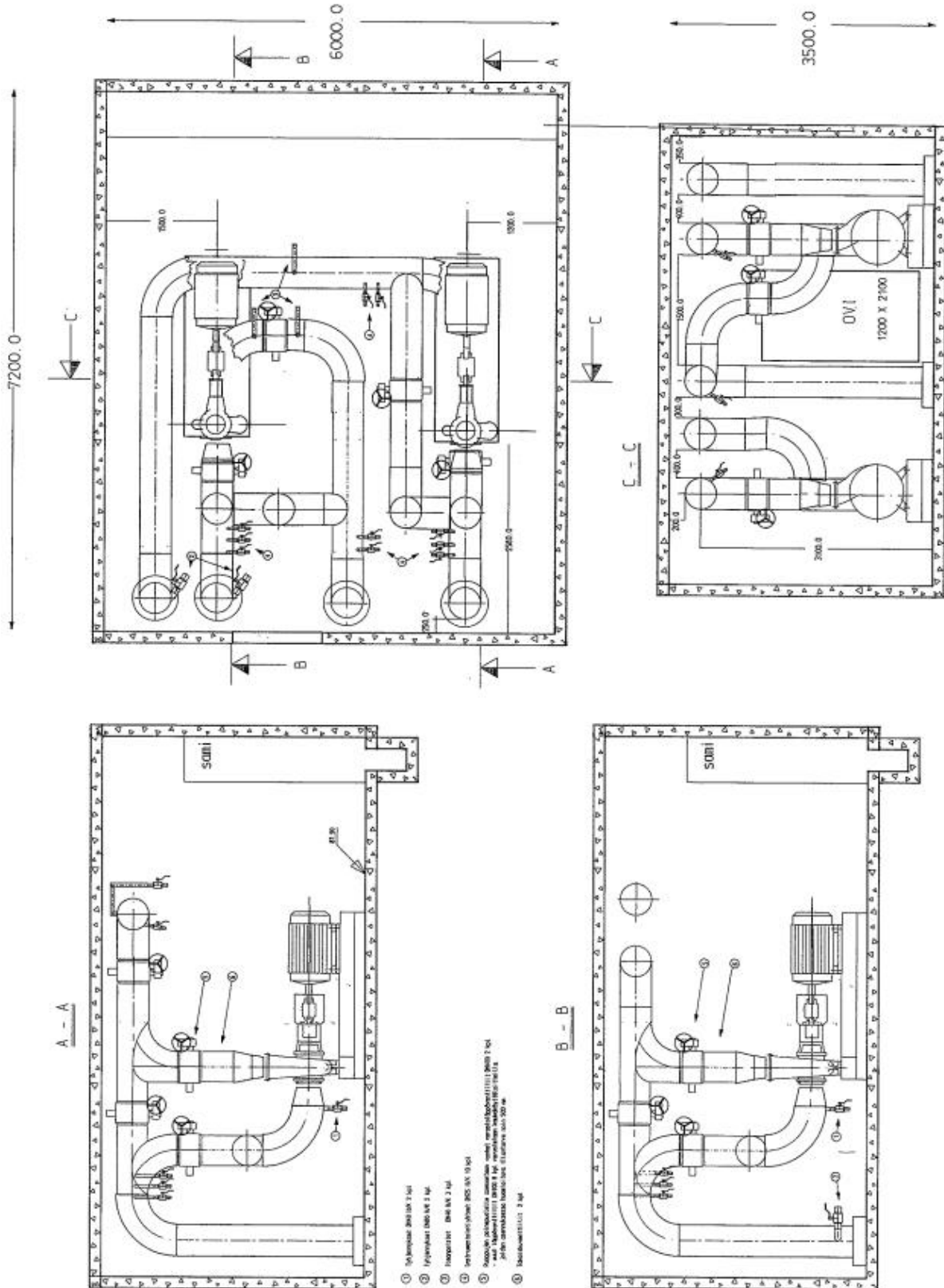
Välipumppaamon pumpppauksen periaatekaavio



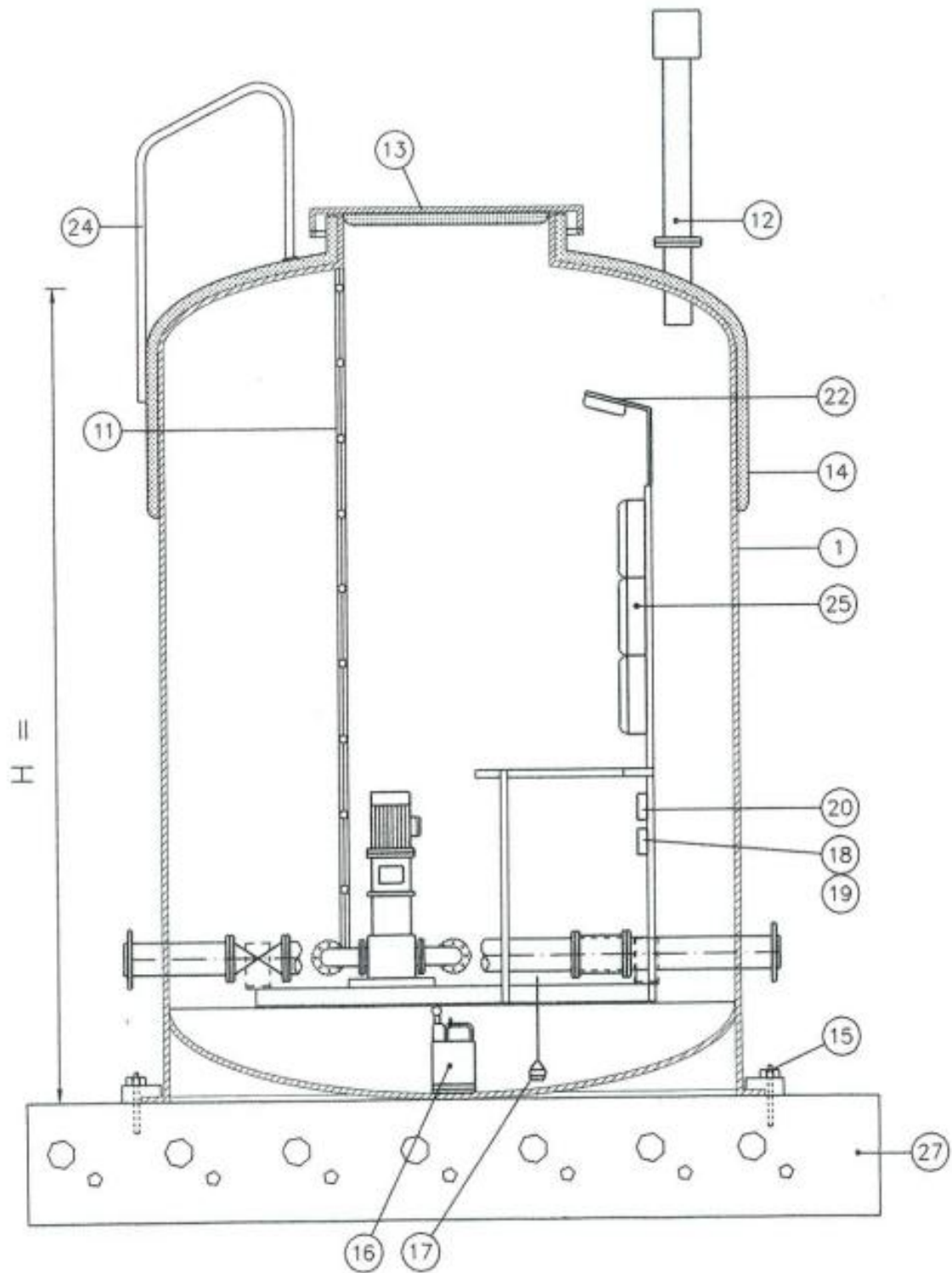
Välipumppaamon esimerkinomainen toteutustapa 1



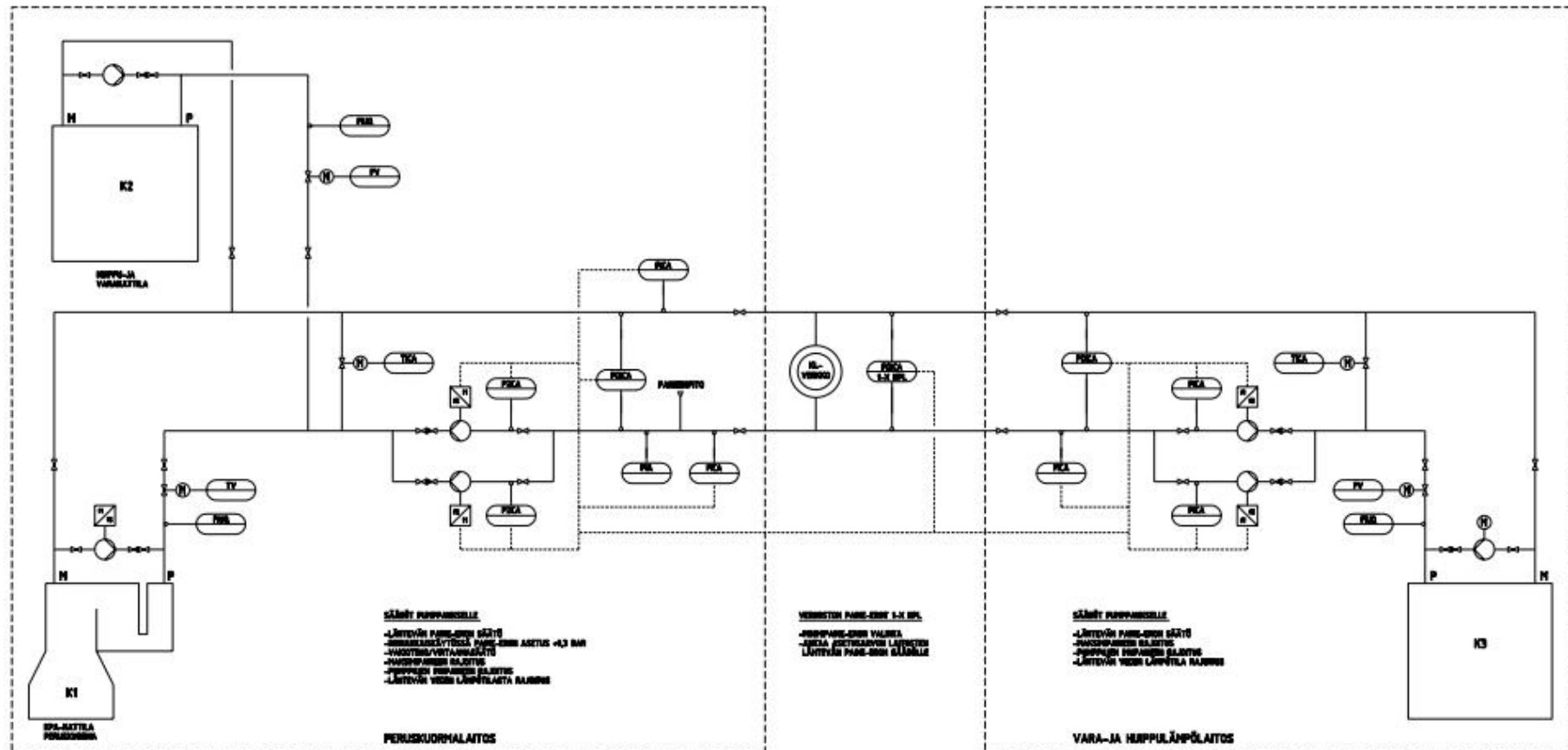
Välipumppaamon esimerkinomainen toteutustapa 2



Välipumppaamon esimerkinomainen toteutustapa 3



Rinnan käyvien lämmöntuotantolaitosten pumppauksen periaatekaavio



Suosituks

- L13/1992 Kiinnivaahdotettujen muovisuojakuoristen kaukolämpöjohtojen läpiviennit
- L3/1995 Kiinnivaahdotettujen kaukolämpöjohtojen kaivot
- L8/1998 Kaukolämpöverkoissa käytettävien tuotteiden ja materiaalien varastokoodit
- L6/1998 Käytössä olevan kaukolämpöjohdon haaroitus porausmenetelmällä
- L4/2003 Kaukolämpöjohdoissa käytettävät sulkulaitteet
- L7/2003 Kaukolämpöjohdoissa käytettävät teräspuikot ja teräskäyrät
- L14/2005 Kaukolämpöjohdon rakentaminen radan alitse
- L15/2005 Kaukolämpöjohdot ja maantiet
- L9/2006 Kaukolämpö- ja kaukojäähdytysverkon dokumentointi
- L1/2010 Kiinnivaahdotetut kaukolämpöjohdot
- L2/2010 Kiinnivaahdotettujen kaukolämpöjohtojen liitokset
- L5/2010 Kaukolämpöjohtojen rakentamisen urakka-asiakirjat
- L22/2011 Ympäristö- ja jäteasiat kaukolämpöverkon rakentamisessa ja kunnossapidossa
- L10/2011 Kaukolämpöverkon pumppausjärjestelyt
-
- KK3/2007 Kaukolämmön kiertoveden käsittely
- KK4/2008 Kaukolämpöverkon perusparannustoiminnan yhtenäistäminen
- KK11/2010 Kaukolämpöverkon sulkulaitteiden käyttötekniikka

Raportit

- L18/1995 Suojaukset ja merkinnät sekä työturvallisuus kaukolämpöjohtotöissä
- L21/1997 Kaukolämpöjohtojen toteutettuja ratkaisuja tunneleissa, silloissa ja vesistöalituksissa
- L11/2003 Kaukolämpöjohtojen suunnittelu- ja rakentamisohjeet
- L16/2005 Työturvallisuus kaukolämpöjohtojen rakennusurakoissa

KK1/1987	Varautuminen ja toiminta kaukolämmön suurhäiriö- ja kapasiteettivajaustilanteessa
KK7/1990	Kaukolämpöjohtojen korjaustoissa ja tilapäiskorjauksissa käytettävät erikoistyykalut, apuvälineet ja erikoismenetelmät
KK19/1998	Kaukolämpöjohdon vuodonpaikannusmenetelmät
KK2/1999	Kaukolämpöverkon kunnossapito
KK5/2000	Kaukolämmön tekninen laatu
KK6A/2011	Kaukolämpöalan työsuojeluopas I Kaukolämpöverkkojen käyttö ja kunnossapito

Tilastojulkaisut

Kaukolämpöverkon vauriotilasto (vuosittainen)

Kaukolämmön käyttötaloudelliset tunnusluvut (vuosittainen)

Maanalaisten kiinnivaahdotettujen kaukolämpöjohtojen rakentamiskustannukset (vuosittainen)

Kaukolämmön keskeytystilasto (vuosittainen)

Vanhoja, uudisrakentamisessa käytöstä poistuneita johtorakenteita käsittelevät suositukset

L4/1978	Kaukolämpöjohdoissa käytettävät betoniset kiintopiste-elementit ja niiden raudoitukset
L4/1981	Kaukolämpöjohdoissa käytettäviä betonisia elementtikaivoja
L1/1982	Kaukolämpöjohdoissa käytettävät betoniset laajennuselementit ja niiden raudoitukset
L1/1983	Kaukolämpöjohdoissa käytettävät työpaikalla valetut kanavat ja yläelementtikanaavat sekä erityyppisten betonikanavien liittäminen toisiinsa
L6/1983	Kaukolämpöjohdoissa käytettävien 2- ja 3-tukisten betonisten kokoelementtien tekniset vaatimukset ja raudoitukset
L3/1984	Kaukolämpöjohdoissa käytettävien paljetasaimien tekniset vaatimukset
L3/1986	Betonisissa kokoelementtikanaavissa käytettävät putkien tukirakenteet



Energiateollisuus ry
Fredrikinkatu 51-53 B, 00100 Helsinki
Puhelin: (09) 530 520, faksi: (09) 5305 2900
www.energia.fi