

Laura Lammert

Kaukolämmön ja lämpöpumpun yhdistämisen kytkentävaihtoehtoja

Metropolia Ammattikorkeakoulu
Insinööri (AMK)
Talotekniikan koulutusohjelma
Insinöörityö
9.5.2011

Tekijä Otsikko	Laura Lammert Kaukolämmön ja lämpöpumpun yhdistämisen vaihtoehtoja
Sivumäärä Aika	43 sivua + 5 liitettä 9.5.2011
Tutkinto	insinööri AMK
Koulutusohjelma	talotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	LVI-suunnittelu
Ohjaaja	yliopettaja Jukka Yrjölä
<p>Insinöörityön tarkoitus oli selvittää, kuinka voidaan kytkeä kaukolämpö ja lämpöpumppu toimivaksi kokonaisuudeksi lämmitettävässä rakennuksessa. Työssä kerrotaan kaukolämpöjärjestelmästä ja sen käyttämistä laitteistosta. Lisäksi selvitetään erilaisia lämpöpumppuja ja niiden toimintaa. Työn tavoitteena on selittää, kuinka näitä järjestelmiä voidaan yhdistää eri tavoilla.</p> <p>Työssä selviää, kuinka kaukolämpöä ja lämpöpumppuja voisi yhdistää yhtenäiseksi järjestelmäksi. Tietoa näistä saatiin lähinnä Ruotsin kaukolämpöyhdistyksen julkaisemasta dokumentissa, jossa kerrottiin näistä menetelmistä. Lämpöpumppua käytetään ensisijaisesti lämmittämään käyttövetä ja patteriverkostoa tai pelkästään patteriverkostoa. Kaukolämpö toimii lisälämpönä molemmille tai vain toiselle lämmitettävälle järjestelmälle. Riippuen kohteesta ja sen sijainnista voidaan päätellä, minkälainen kytkentäperiaatteen tulisi olla, jotta saavutetaan hyviä lämmitystuloksia.</p> <p>Suomessa ei havaittu montaa käytössä olevaa kaukolämmön ja lämpöpumpun yhdistettyä järjestelmää. Niitä on kuitenkin tekeillä enenevässä määrin energian säästämisen vuoksi. Yhdistelmäjärjestelmiä on pääasiassa suurissa rakennuksissa kuten kouluissa ja terveyskeskuksissa. Tässä työssä on esimerkkikohteena tarkasteltu ala-asteen laajennuksen kalliolämpöpumppujen ja kaukolämmön yhdistelmää lämmitystä ja jäähdytystä varten.</p> <p>Teoreettisella tasolla lähdettiin vertaamaan yhdistelmäjärjestelmää pelkän kaukolämmön tai lämpöpumpun toimintaan ja yritettiin päätellä, kuinka kannattava järjestelmä olisi. Spekulatiiviseksi tulokseksi saatiin, että suurissa kohteissa, kuten taloyhtiöissä, yhdistelmäjärjestelmä olisi hyödyllinen käytettäväksi erillistuotannon piirissä, mutta pienempiin omakotitalokohteisiin olisi epäedullista hankkia molemmat järjestelmät. Tämän aiheen tutkiminen on tällä hetkellä ajankohtaista Suomessa, sillä yhdistelmäjärjestelmien standardien kehittäminen on tärkeää kaikille osapuolille.</p>	
Avainsanat	kaukolämpö, lämpöpumppu, rakennuksen lämmitys

Author Title	Laura Lammert Heat pump and district heating network combination alternatives
Number of Pages Date	43 pages + 5 appendices 9 May 2011
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Building Services Engineering
Specialisation option	HVAC Engineering, Design Orientation
Instructor	Jukka Yrjölä, Principal Lecturer
<p>The purpose of this Bachelor's thesis was to show how district heating and a heat pump could be joined to create a working and efficient system. To understand district heating and heat pumps more fully, these systems, as well as their components and structures, are explained at the beginning of the thesis. The overall goal of this paper is simply to explain different variations on how to connect these two systems.</p> <p>As the report progresses, different methods of joining the two systems are explained. This information was mainly obtained by translating a document published by the Swedish District Heating Association. The heat pump is usually used as the main source of heating for the service water as well as the radiator network. The district heating circuit works as a heating supplement for either separately for either system or for both networks that need heating. The type of compound system used is deduced by the nature of the heating destination and the area surrounding the building. A well designed system yields better heating results.</p> <p>Some examples of this sort of joint system can currently be found in Finland. These systems tend to be used for heating larger buildings such as schools or health centers. For example, an elementary school uses this type of method for heating and cooling. This is illustrated and explained in this paper.</p> <p>On a theoretical level, a joint system was compared to the workings of only district heating or a heat pump to try and surmise how worthwhile the system would be. As a tentative result, it was found that it would be more profitable to use a joint system to heat a larger building complex and it would be considered an inefficient method to heat a detached house since it would cost more to acquire both systems. All in all, a joint system would use more renewable energy and in the long run is an ingenious way to heat buildings. Researching this matter is topical in Finland at the moment and developing different joint systems into working standards is an important issue for all.</p>	
Keywords	district heating, heat pump, heating a house

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Kaukolämpö	3
2.1	Laitteisto kiinteistössä	3
2.2	Säätölaitteet	4
3	Lämpöpumppu	8
3.1	Lämpöpumpun lämpökerroin	9
3.2	Toimintaperiaate	10
3.3	Laitteisto	11
3.4	Lämpöpumpputyyppejä	13
3.4.1	Maalämpöpumppu	13
3.4.2	Ilma-vesilämpöpumppu	15
3.4.3	Poistoilmalämpöpumppu	16
3.4.4	Ilma-ilmalämpöpumppu	16
4	Kytkenämenetelmiä kaukolämmölle ja lämpöpumpulle rakennuksissa	18
4.1	Lämpöpumppu varaajalla kytkettynä käyttöveteen ja lämmitykseen	19
4.2	Lämpöpumppu ilman varaajaa kytkettynä käyttöveteen ja lämmitykseen	22
4.3	Lämpöpumppu ilman varaajaa kytkettynä patteriverkoston	26
4.4	Lämpöpumppu pientalossa	28
5	Suomalaisia lämpöpumppukytkenäesimerkkejä	33
5.1	IVT:n lämpöpumppujen kytkenäesimerkkejä	34
5.2	Hansakallion koulu	38
6	Vertailu	40
7	Yhteenveto	41
	Lähteet	42

Liitteet

Liite 1. Esimerkki ruotsalaisesta kytkennästä

Liite 2. Kytkennät 1–10

Liite 3. Kytkennöissä käytetyt merkinnät ja lyhenteet

Liite 4. IVT:n lämpöpumppujen kytkentäesimerkkejä

Liite 5. Hansakallion koulun kytkentäkaavio

1 Johdanto

Lämpöä voidaan tuottaa eri menetelmillä, kuitenkin tähtäimenä on sama päämäärä, eli lämmittää jokin tila tai lämmin käyttövesi. Kaukolämpö ja lämpöpumppu ovat ympäristöystävällisiä tapoja pitää talo lämpimänä. Tiukentuneiden energiamääräysten takia tutkitaan mahdollisuuksia hyödyntää jonkinlaista yhdistelmäjärjestelmää, jonka avulla pystytään hyödyntämään molempia lämmitystapoja mahdollisimman tehokkaasti. Näin ollen pystyttäisiin lämmittämään taloja ja pitämään energiankulutus ja käyttökustannukset vähäisinä.

Kaukolämpö tuotetaan lämpökeskuksissa ja voimalaitoksilla ja siirretään putkistoja pitkin koteihin, joten se käyttää vähemmän energiaa kuin jos jokainen lämmittäisi itse omat vedet. Yhdessä isossa lämpökeskuksessa lämpö voidaan tuottaa paremmalla hyötysuhteella ja savukaasut puhdistaa tehokkaammin kuin talokohtaisissa lämmityskattiloissa. Sähkön ja lämmön yhteistuotantolaitoksissa puolestaan hyödynnetään muuten hukkaan menevää lämpöä. Lämpöpumput taas hyödyntävät maahan varastoitunutta lämpöenergiaa tai ilmasta saatavaa energiaa.

Lämmityksen tarkoitus on saavuttaa hyvälaatuinen sisäilmasto rakennuksen kaikissa tiloissa ja olosuhteissa. Pääsääntöisesti kaukolämpöjärjestelmä suunnitellaan siten, että energian käyttö optimoidaan. [1, s. 6.] Maalämpöpumppu voidaan mitoittaa kattamaan kohteen koko lämmöntarve, kun taas ulkoilmaa lämmönlähteenä käyttävät lämpöpumput tuottavat vain osan lämmöntarpeesta.

Tämän työn lähtökohtana oli Ruotsin kaukolämpöyhdistyksen julkaisema ruotsinkielinen suositus, jossa kerrotaan kaukolämmön ja lämpöpumpun erilaisista kytkentätavoista. Suomessa vastaavia suosituskytkentöjä ei vielä ole julkaistu. Tavoitteena oli muokata dokumentissa näytetyt kytkennät suomalaista esitystapaa soveltamalla Energiateollisuus lämmönkäyttötoimikunnan julkaisemaa K1:tä, ja tutkia ovatko ratkaisut käyttökelpoisia.

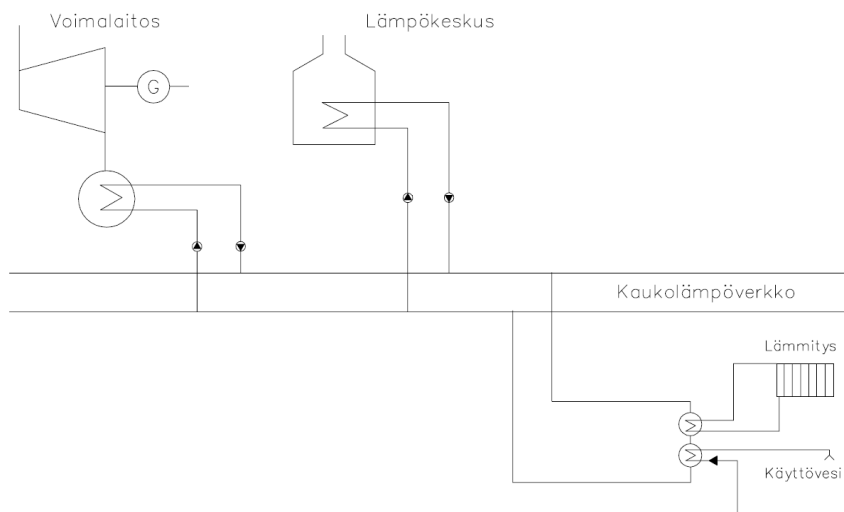
Ennen kuin mietitään yhdistelmäjärjestelmän rakentamista on hyvä ymmärtää jotakin kaukolämmön ja lämpöpumpun toiminnoista. Esiitettyjen kytkentöjen tulisi toimia teoreettisella tasolla, mutta Suomessa toteutettua järjestelmää on myös hyvä tarkastella. Työssä on esitetty tällainen kohde, joka on rakennettu koulun laajennusosaan.

Lopulta pohditaan vielä yhdistelmäjärjestelmän hyviä ja huonoja puolia, jotta saadaan käsitys siitä, miten menetellä, jos ja kun harkitsee kaukolämpöä ja lämpöpumppua lämmönlähteinä joko saneeraus- tai uudiskohteeseen.

2 Kaukolämpö

Kaukolämpö on ollut käytössä suurimmissa kaupungeissa 1950-luvulta lähtien, mutta se laajeni suosioon vasta 1970-luvulla öljykriisin myötä. Se on Suomen yleisin lämmitysmuoto [1, s. 5]. Lämpö tuotetaan keskitetysti voimalaitoksissa tai lämpökeskuksissa ja jaetaan putkiverkostojen kautta kiinteistöille kiertävän kuuman veden avulla (kuva 1). Kokonaisenergiatalouden kannalta kaukolämpö on lämmitysmuotona edullisin vaihtoehto, kun se on saatavilla taajama-alueilla. Kaukolämmöntoimittajia on kuitenkin yleensä vain yksi asuinalueen kohden, joten kuluttaja/asiakas ei pääse kilpailuttamaan eri lämmöntuotantotapoja. [2, s. 29.]

Kytkeä kaukolämpökuluttajan ja kaukolämpöverkon välillä tehdään lämmönsiirtimen kautta ns. epäsuoralla kytkennällä. Tällä kytkentätavalla saadaan aikaan seuraavia hyötyjä: tehokas kaukolämpöveden jäähdytys, patteriverkon vuodot ja syöpymät eivät haittaa kaukolämpöverkon toimintaa, painetasoja on helpompi hallita ja sen käyttö on turvallista. [3, s. 263.]



Kuva 1. Kaukolämmön kaksiputkijärjestelmän periaatekaavio [2, s. 43].

2.1 Laitteisto kiinteistössä

Lämmönjakokeskukseen kuuluu lämmönsiirtimet, ensi- ja toisiopuolen säätölaitteet, pumppauslaitteet, venttiilit ja varusteet sekä tarvittava putkisto. Tämä laitekokonaisuus

on liitetty mittauskeskukseen, käyttövesi- ja lämmitysverkostoihin sekä paisuntalaitteisiin. Pientalon lämmönjakokeskus on samanlainen kuin edellä mainittu, mutta lisäksi siinä on lämmitysverkoston paisuntasäiliö. [1, s. 34.]

Kovajuotettuja levylämmönsiirtimiä käytetään lämmönsiirtiminä kaukolämmityksen yhteydessä. Lämmönsiirtimet mitoitetaan vastaamaan tarvittavaa hetkellistä lämmitystehoa [1, s. 11]. Lämmönsiirtimen tehokkuutta kuvaava ominaisuus on sen kyky jäähdyttää kaukolämpövedettä kaikissa tilanteissa. Veden jäähdytys on yleensä noin 40–70 °C mitoituksilämpötiloista [3, s. 275].

2.2 Säätolaitteet

Rakennuksen huonetilojen lämpötiloja ylläpidetään säädön avulla. Säädön kohteita ovat esimerkiksi rakennuksen sisälämpötila tai laitteiden käyntiajat [4, s. 185]. Käyttöveden säädön toiminta takaa mahdollisimman tasaisen käyttöveden lämpötilan kaikissa suunnitelluissa kuormitustilanteissa. Jotta haluttu lämpötila saavutetaan lämmönsiirtimen toisiopuolen menovedessä, säätöventtiili ohjaa säätökeskuksen kautta lämmönsiirtimen läpi menevän virtauksen kuristamalla paine-eron sopivaksi. Vaikka kaukolämmitys järjestelmänä kaipaa vain vähän huoltoa, laitteiden kunnon ja toiminnan seuranta varmistaa kokonaisuuden hyvän ja taloudellisen toiminnan. [3, s. 280.]

Säädön tarkoitus on saavuttaa haluttu lopputulos kaikissa käyttötilanteissa suunnittelun, valintojen, mitoituksien, asennuksien ja viritysten avulla. Asiakkaan laitteistolle asetetaan tietyt määräarvot, joiden sisällä täytyy toimia. Ne löytyvät esimerkiksi Rakennusten kaukolämmitys määräykset ja ohje julkaisusta K1:stä. Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa D1 [5, s. 9] todetaan, että lämpimän käyttöveden lämpötila käyttöpisteessä ei saa olla korkeampi kuin 65 °C. [1, s. 13.] Säätolaitteiden valinnassa täytyy ottaa huomioon, miten niiden tulisi kestää tietyissä olosuhteissa. Ensiöpuolen säätöventtiilien tulee olla kaksitieventtiileitä. Ne sijoitetaan pääosin paluupuolelle kestävyys, huollon helpottamisen ja epäpuhtauksien estämisen vuoksi. Venttiilien tulee olla laipallisia tai laippojen väliin asennettavia. Pientalojen säätöventtiilit voidaan asentaa kierrelähtöisesti kokoon DN 20 asti. Merkinnöillä varustettujen venttiilien merkintöjen tulee olla helposti luettavissa. [1, s. 14.]

Menoveden lämpötilan tuntoelin tulee sijoittaa välittömästi lämmönsiirtimen jälkeen sellaiseen kohtaan, jossa lämpötilat ovat riittävästi tasoittuneet ja mittaustulos vastaa todellista arvoa. Lämpötila-arvojen tulee olla helposti luettavissa näyttölaitteesta. Ulkolämpötilan tuntoelin sijoitetaan ensisijaisesti rakennuksen pohjoispuolelle. Säätokeukseen liitettyjen lämpötila-antureiden mittaustietoa tulee voida hyödyntää myös muissa järjestelmissä, kuten valvonta- ja hälytysjärjestelmissä. [1, s. 15.]

Ohjaus- ja säätölaitteiden toimilaitteet toimivat sähköisesti, pneumaattisesti tai omavoimaisesti [4, s. 185]. Energian ja tehontarpeen optimointia varten on hyvä varustaa mittaustulokset ja säätölaitteet tiedonsiirtomahdollisuuksilla. Näin asiakas voi hyödyntää automatisointia ja tehostaa kaukolämmön laitteistojen toimintaa, koska säätokeuksesta saatu mittaus- ja hälytystieto auttaa valvonnassa ja kunnossapidossa. [1, s. 18.] Tietoa saadaan mitta-antureista, jotka mittaavat tiettyä suuretta. Saatu tieto siirretään säätimelle, joka ohjaa laitteita asetettujen arvojen ja mittaustulosten perusteella. [4, s. 185.]

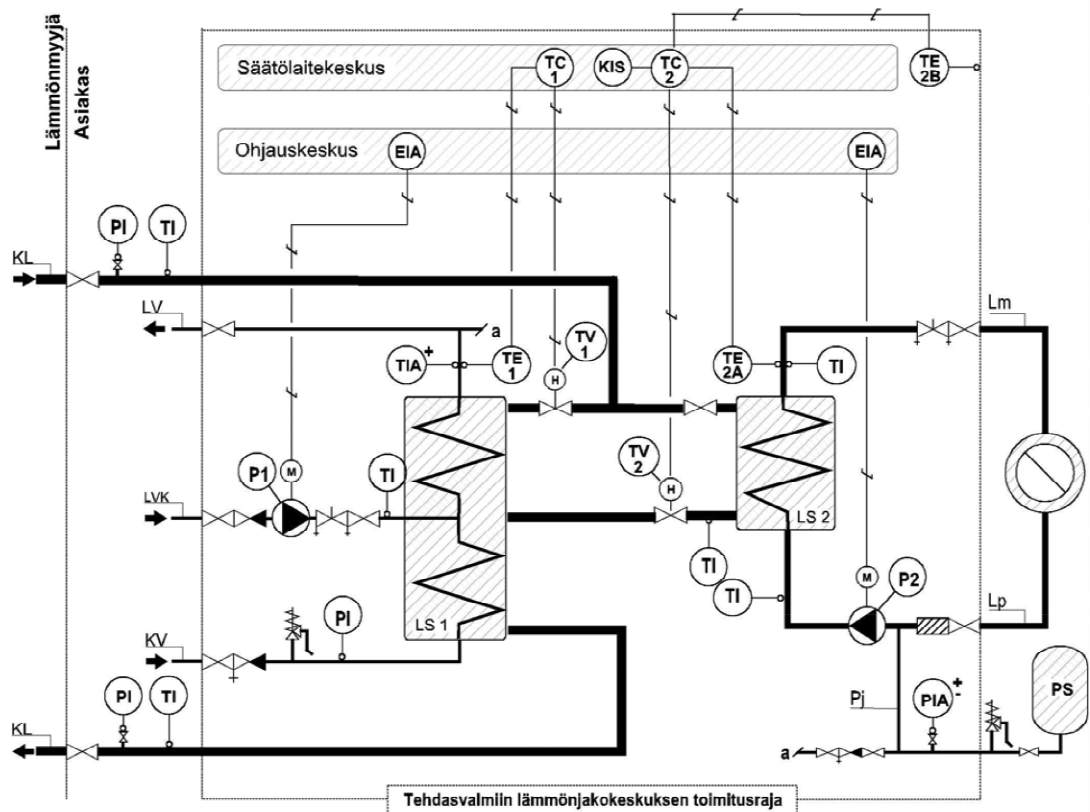
Tavallisesti laitteisto vaatii erilaisia venttiilejä toimiakseen kunnolla. Yleisesti käytössä on sulkku-, yksisuunta-/takaisku-, linjasäätö-, kolmitie-, sekoitus- ja varoventtiili sekä erilaisia venttiiliryhmiä. [4, s. 84.] Näiden venttiilien lisäksi kaukolämpöverkosto tarvitsee erikoisventtiileitä kuten tyhjennysventtiileitä, joka asennetaan sellaiseen kohtaan, että on mahdollista tyhjentää verkosto kokonaisuudessaan [1, s. 33]. Venttiiliryhmiä ovat esimerkiksi patteriverkoston täyttöventtiilit. Sen avulla lisätään vettä patteriverkoston. Venttiiliryhmässä on kaksi sulkkuventtiiliä ja yksisuunta-venttiili. Venttiili on auki vain lisäyksen aikana. Venttiili asennetaan virtaussuuntanuolen mukaan ja voidaan kytkeä myös lämminvesijohtoon. [4, s. 85.]

Verkoston hyvään toimintaan tarvitaan myös lianerotin suodattamaan vedessä olevat roskat pois, jotta muita laitteita voidaan suojella. Automaattinen ilmanpoistin päästää verkostoon kerääntyneen ilman pois. Lämpö- ja painemittarit paljastavat, mitä verkoston sisällä tapahtuu. Niiden avulla säätö saadaan toimivaksi. [4, s. 88–89.]

Kiertovesipumpun tulee käydä jatkuvasti. Pumpun tarkoitus on pumpata sopiva vesimäärä verkostoon. Jos vettä virtaa liikaa, sähkönkulutus kasvaa tai tulee meluhaittaa. Liian pieni virtaus taas johtaa riittämättömiin lämpötiloihin. Pumpua säädetään kuris-

tamalla pumpunsäätöventtiilillä virtaus sopivaksi tai muuttamalla pyörimisnopeutta. [4, s. 82.]

Peruskytkennöissä laitteistovarusteita on sijoitettu suositeltaviin kohtiin, mutta sijaintia voidaan muuttaa rakenteellisista syistä [1, s. 26]. Kytkennoissä pyritään myös siihen, että ne ovat mahdollisimman yksinkertaiset lämmönjakokeskuksessa. Esimerkiksi Energiateollisuuden julkaisemassa ohjeessa K1:ssä näytetty peruskytkentä 1 (kuva 2) on yleisin kytkentätapa. [3, s. 272.]



Kuva 2. Kaukolämmön peruskytkentä 1 [1, s. 29].

Kun käyttövettä lämmitetään lämmönsiirtimellä ilman varaajaa, säästetään energiaa ja tilaa, lämpötila pysyy jatkuvasti korkealla ja investointikustannukset ovat pienemmät, sillä lämmönsiirtimet ovat halvempia kuin varaajat [3, s. 275].

Rakennuksen lämmitysjärjestelmän suunnittelussa on tärkeää, että energiankulutus ja kiinteistön tehontarve ovat mahdollisimman pieniä. Sääto asetetaan kohteeseen sopi-

vaksi. Sitä on helppoa suorittaa ja sen avulla pystyy saavuttamaan alhaiset toimintalämpötilat virtauspiireissä. [3, s. 272.] Kertasäätöventtiiliin tulee näyttää luotettavasti lämmitysverkoston virtaama [1, s. 23].

Lämmönjakokeskus (kuva 3) tehdään ja toimitetaan lämmönmyyjän hyväksymien suunnitelmien mukaan, myös jos suunnitelmissa on poikettu peruskytkennöistä. Jotta laitteisto olisi mahdollisimman yhtenäinen, toisiopuolen säätöpiirit laitteineen ja kytkentöineen suositellaan tehdasvalmiin lämmönjakokeskuksen toimitukseen. [1, s. 33–34.]



Kuva 3. Kaukolämmönjakokeskus rakennuksessa [6].

Mittausanturit tulee sijoittaa sellaiseen kohtaan, jossa mittaustulos kertoo luotettavasti kuvatun toiminta-arvon. Ohjauskeskus tulisi voida liittää sähköverkkoon kätevästi ja niin, että se on helppokäyttöinen. Lämmönjakokeskus tulee varustaa vähintään peruskytkentöjen esittämällä hälytyskytkimillä. [1, s. 25.]

3 Lämpöpumppu

Lämpöpumput tarjoavat hyvän lämmitysratkaisun asuinrakennukseen. Ne käyttävät pääosin uusiutuvaa energiaa ja ovat käyttökustannuksiltaan edullisia. [7.]

Lämpöpumpun toiminta perustuu siihen, että lämpöenergiaa kerätään rakennuksen ulkopuolelta ja siirretään se rakennuksen sisälle [8, s. 29]. Vaikka lämpöpumppu käyttääkin sähköä toimintaan, se pystyy tuottamaan energiataloudellisia ja kustannuksia säästäviä etuja [3, s. 379]. Maalämpöpumppujen suosio on kasvanut viime vuosina halutuksi lämmitysjärjestelmäksi uusissa pientaloissa [7].

Lämpöpumppu pystyy tuottamaan lämpöä keräämällä energiaa maasta, vedestä tai ilmasta. Maan ja veden lämpötilat pysyvät suurin piirtein vakiona ympäri vuoden ja näin ovat luotettava lämpölähde. [8, s. 30.] Ilmalämpöpumppu taas ottaa lämpöä talteen vaihtelevammasta ympäristöstä. Kylmälaitteet, kuten jääkaapit ja ilmastointilaitteet, toimivat samalla periaatteella kuin lämpöpumppu [9].

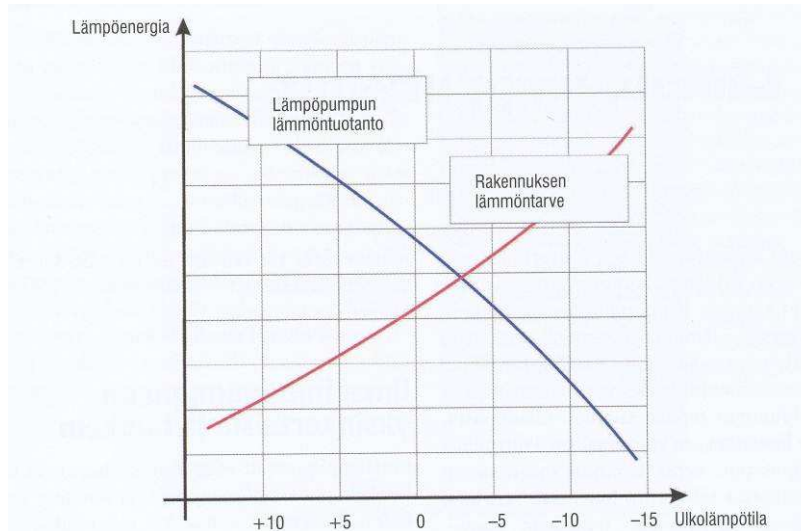
Parhaimmillaan lämpöpumppu voi kolminkertaistaa käytetyn energian määrän. Maalämpöpumppulaitteisto on jääkaapin kokoinen ja näköinen (kuva 4), joten se soveltuu käyttöön kohteesta riippumatta (uudistaloasennuksena tai vanhaan taloon). Ilmalämpöpumppu sijoitetaan ulkoseinään ja siinä on sisä- ja ulko-osa. Lämpöpumput toimivat luotettavasti, kun ne on suunniteltu ja asennettu asiantuntevasti sekä asianmukaisesti huollettu. [3, s. 380.]



Kuva 4. Maalämpöpumppujärjestelmä [12].

3.1 Lämpöpumpun lämpökerroin

Lämpöpumppu toimii parhaiten, kun lämpökerrointa pidetään mahdollisimman korkealla (kuva 5). Jotta tuotettua lämpöä voitaisiin hyödyntää mahdollisimman hyvin, tarvitaan riittävän korkea lämpötilataso. Toisaalta, mitä alempi lämpötilataso on, sitä edullisempaa on lämpöpumpun käyttö. [3, s. 379.] Vesikiertoinen lattialämmitys soveltuu matalalle lämpötilatasolle [7].



Kuva 5. Iimalämpöpumpun toimintakäyrä [8, s. 54].

Lämpöpumpun toiminta vaatii sähköenergiaa ja lämpökerroin kuvaa lämpöpumpun hyötysuhdetta [10]. Kaava, joka ilmoittaa, kuinka paljon lämpöä saadaan koneistoon syötetystä sähköstä, on:

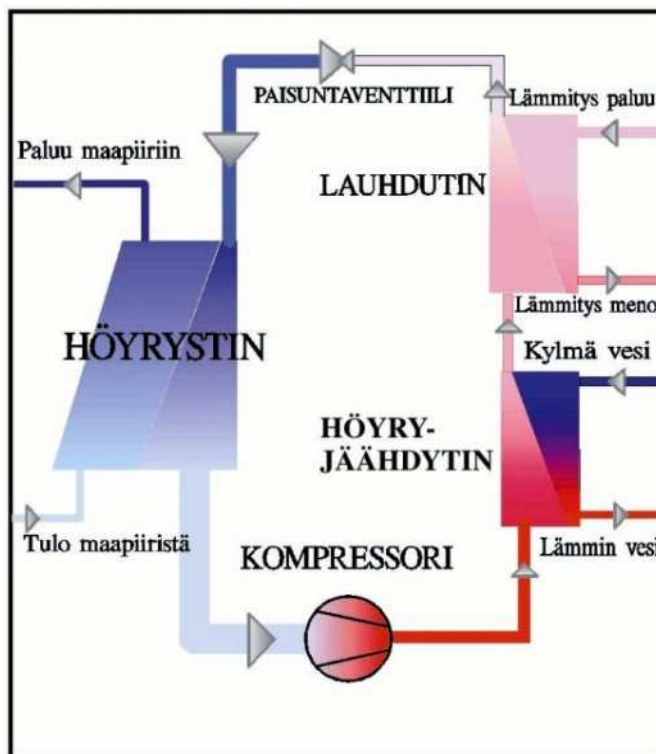
$$\text{Lämpökerroin} = \frac{\text{tuotettu lämpö (kWh)}}{\text{käytetty sähkö (kWh)}} \quad [11, \text{s. 224}]$$

Hyvä lämpökerroin saadaan, kun lämmön keruu- ja luovutuslämpötilojen välillä on pieni ero. Lattialämmitykseen riittää haalea kiertoveden lämpötila, jolloin lämpökertoimesta tulee erittäin hyvä. Normaali patterikierto taas vaatii lämpimämmän kiertoveden, joka alentaa pumpun lämpökerrointa. [8, s. 31.]

3.2 Toimintaperiaate

Lämpöpumppu kerää lämpöä maasta, kalliosta, vesistöistä, ulko- tai poistoilmasta. Sen toiminta perustuu kylmäaineen kiertoon höyrystimen ja lauhduttimen välissä olevaan suljettuun piiriin.

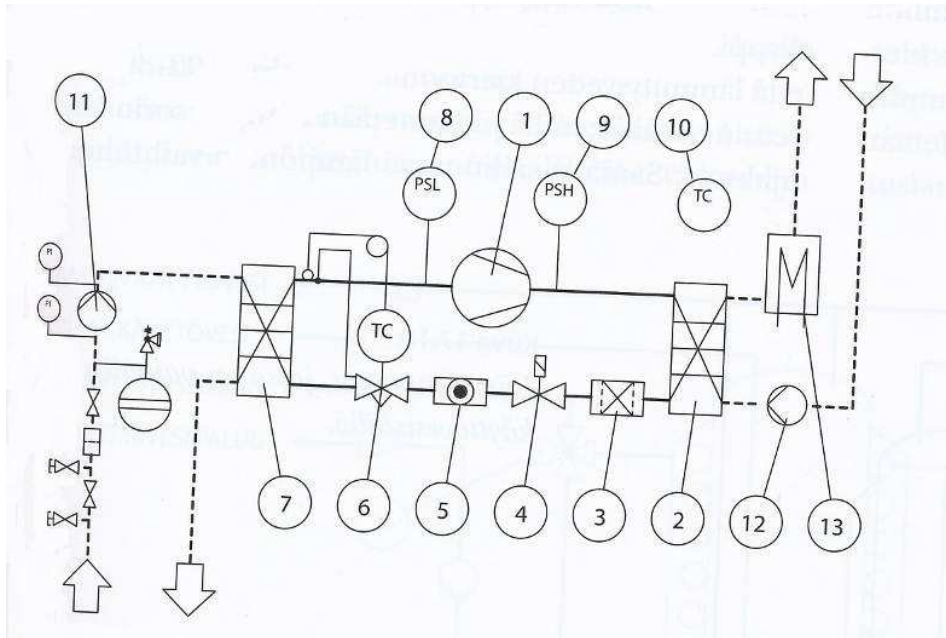
Lämmönkeruuputkisto on sijoitettu kiinteistön ulkopuolelle ja siellä kiertää vesiglykoli, joka lämpenee matkan aikana muutaman asteen [11, s. 224]. On hyvä muistaa, että lämpö ei lopu, vaikka lämpötila olisi alle 0 °C. Se luovuttaa kerätyn lämmön höyrystimeen, jossa kylmäaine höyrystyy matalassa lämpötilassa ja paineessa. Kompressorin imee kylmäaineen höyryn ja puristaa sen korkeaan paineeseen, jolloin se kuumenee noin 70 °C:seen. Nyt kylmäaine ohjataan lauhduttimelle. Siellä höyry lauhtuu ja nesteytyessään vapauttaa lämpöä kiertävälle vedelle. Neste johdetaan paisuntaventtiilille, jossa paine alennetaan ja osa kylmäaineesta on nestemäistä ja osa on höyryä. Sitten kiertoprosessi alkaa alusta, jolloin neste ja höyry yhdistelmä ajetaan höyrystimen läpi, jotta kylmäaine höyrystyy täysin. Kompressorin vaatima työ on merkittävästi pienempi kuin kylmäainevirtaan sitoutunut lämpö höyrystimessä. Prosessikaavio on esitetty kuvassa 6.



Kuva 6. Lämpöpumpun prosessikaavio [12].

3.3 Laitteisto

Kaikkiin pumppuihin on vakio-osina kompressori, lämmönsiirrin, putkisto kierto-vesipumppuineen ja säätölaitteineen.



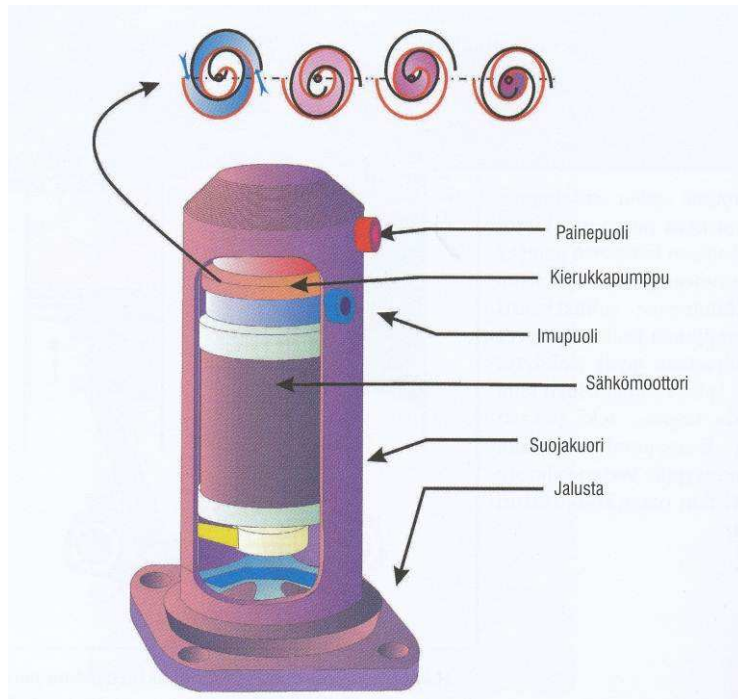
Kuva 7. Yksinkertaisen lämpöpumpun perusosat [11, s. 229].

Yksinkertaiseen maalämpöpumppuun kuuluvat seuraavat laitteet (kuva 7):

1. Kompressori
2. Lauhdutin
3. Suodatinkuivain
4. Mahdollinen magneettiventtiili
5. Nestelasi
6. Paisuntaventtiili
7. Höyrystin
8. Matalapainekeytkin
9. Korkeapainekeytkimet
10. Säädin

Kuten kuvasta 7 voi nähdä, laitteistoon voi kuulua myös lämmönkeruuputkiston (11) ja lämmityspiirin pumppu (12) sekä sähkövastus (13) lisälämmitystä varten ja kompressorivaurion varalle. [11, s. 229.]

Kompressor on tärkeä komponentti lämpöpumpussa. Useimmiten lämpöpumpuissa on luotettava, hiljainen ja pitkäikäinen kierukkakompressor (kuva 8). Koska se käy tasaisesti, kylmäaineputkien liitosten vuodot vähenevät. Myös mäntäkompressoreja käytetään. [8, s. 46.]



Kuva 8. Kierukkakompressor [8, s. 46].

Levylämmönsiirtimen tyyppisiä lauhduttimia käytetään usein hyvän hinta-laatusuhteen ja pienen tilantarpeen vuoksi lämpöpumpuissa. Joskus on käytössä lauhdutinputki-kierukka, joka asennetaan joko lämmitys- tai käyttövesisäiliön sisä- tai ulkopuolelle. [11, s. 225.]

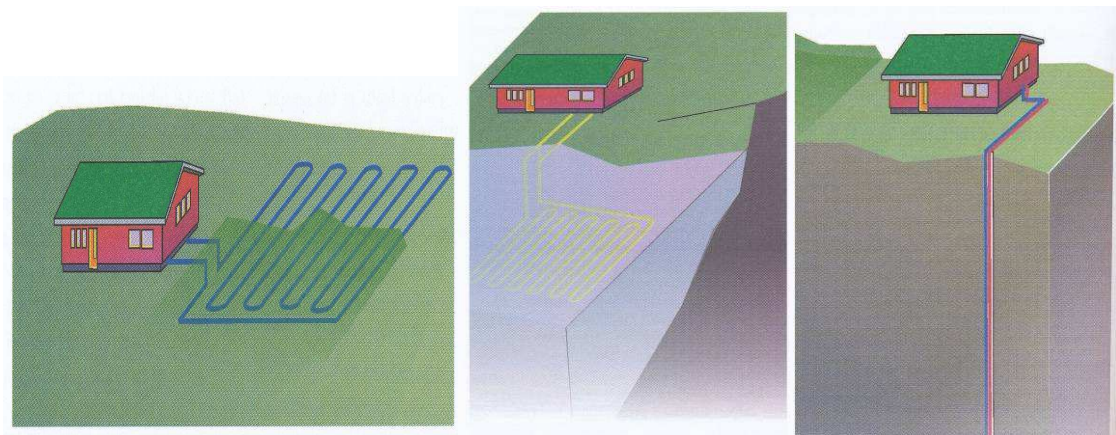
Kylmäaineen valinta on tärkeä, sillä se vaikuttaa koneiston lämpökertoimeen, käyntipaineeseen, puristuslämpötilaan ja tulistuslämmön osuuteen. Uusimmissa maalämpöpumpuissa yleisin kylmäaine on R407C. [10, s. 226.] Hiilidioksidia voidaan käyttää luonnollisena kylmäaineena. Se pystyy siirtämään lämpöä tehokkaasti, mutta vaatii korkeamman käyttöpaineen, joka vuorollaan vaikuttaa huoltotoimenpiteisiin. [8, s. 50.]

3.4 Lämpöpumpputyyppejä

3.4.1 Maalämpöpumppu

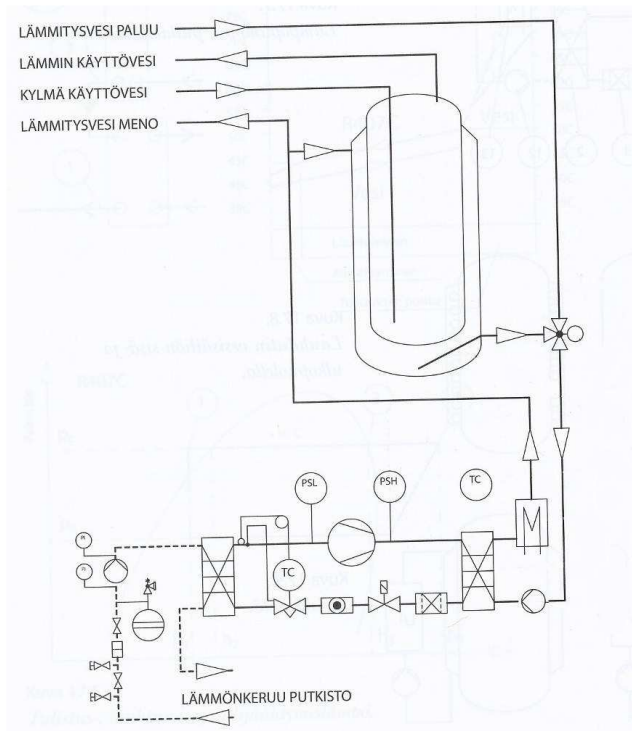
Maalämpöpumppu on verrattain tehokas lämpöpumppu [8, s. 61]. Sen lämpöteho riittää usein kattamaan koko rakennuksen lämmöntarpeen ja laite on investointina sitä kannattavampi, mitä suurempi rakennus ja sen energian kulutus ovat. Kuten nimi viittaa, maalämpö kerää maaperään tai veteen sitoutunutta auringon lämpöenergiaa [9].

Maaperään sijoitettu keruuputkisto asennetaan n. 1 metrin syvyyteen (maalämpö ulottuu Suomessa noin 10 metrin syvyyteen) [9]. Vesistössä oleva putkisto ankkuroidaan pohjasedimenttiin. Porakaivon syvyys riippuu lämmöntarpeesta, mutta nyrkkisääntönä vältetään yli 200 m syviä kaivoja. [12.] Kaikki tilanteet ovat esitetty kuvassa 9.



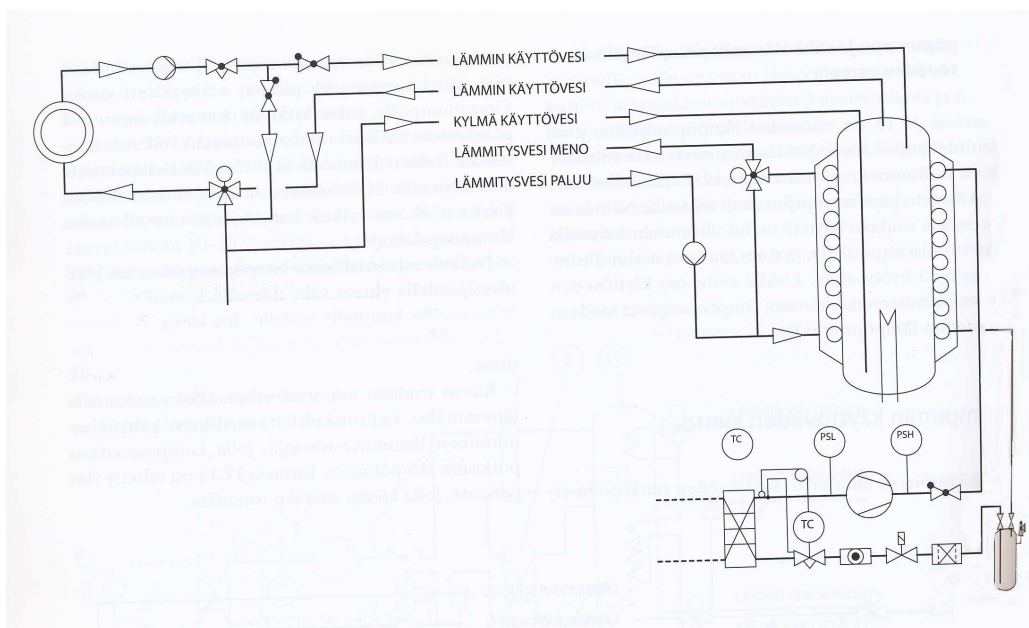
Kuva 9. Maalämpöpumpun keruuputkisto maassa, vesistössä tai porakaivossa [8, s. 62–63].

Ruotsalaismallinen lämpöpumppu (kuva 10) on Suomessa yleisin maalämpöpumppu-tyyppi [11, s. 230]. Toisista tyypeistä se eroaa siinä, että sillä on vaipallinen käyttö-vesisäiliö. Lauhtumislämpötilaa pidetään matalalla priorisoimalla käyttöveden lämmitystä ja muulloin lämmittämällä vesikiertoista lämmitysjärjestelmää. [10.]



Kuva 10. Ruotsalaismallinen lämpöpumppu [11, s. 230].

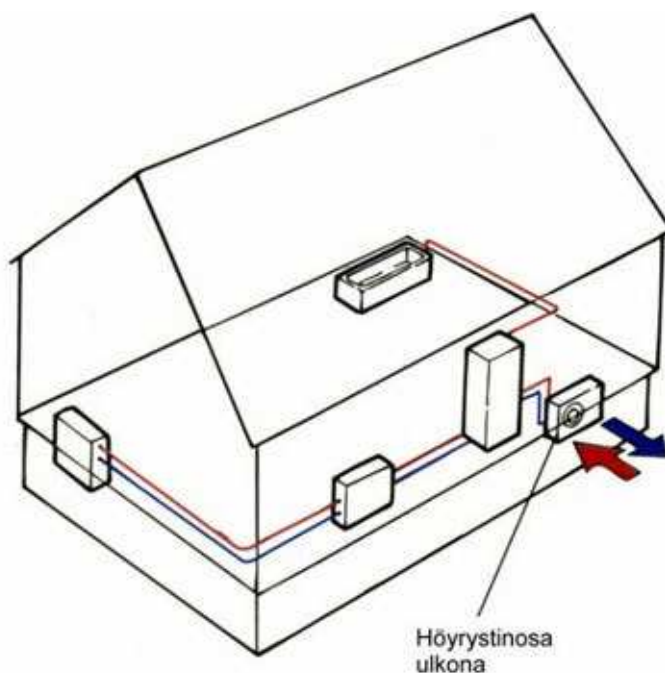
Varaajamallista (kuva 11) periaatetta on käytetty Suomessa pitkään. Siinä lauhdutin-putkisto on käyttövesisäiliön ulkopuolella vaipassa. Tulistuslämpöä hyödynnetään lämmittämällä käyttövesisäiliön yläosassa olevaa vettä. Omavoimainen 3-tieventtiili huolehtii turvallisesta käyttöveden lämpötilasta. [11, s. 231.]



Kuva 11. Varaajamallinen lämpöpumppu ja lämpimän käyttöveden kierto [11, s. 234].

3.4.2 Ilma-vesilämpöpumppu

Vaihtoehtona maalämpöpumpulle on ilma-vesilämpöpumppu, joka on uusin lämpöpumpputekniikkaa hyödyntävä lämmitysratkaisu [13]. Tässä tapauksessa lämpöä kerätään ulkoilmasta puhallin/höyrystinyksikön avulla [12] ja luovutetaan vesivaraajaan, kuten kuvassa 12 on esitetty. Näin ollen se soveltuu lämmitysverkoston ja lämpimän käyttöveden lämmittämiseen. Sillä on pienempi hankintahinta kuin maalämpölaitteistolla, ja se voidaan asentaa sellaisiin kohteisiin, jossa maalämpöpumpun asennus ei ole mahdollista. Se soveltuu käyttöön uusiin kohteisiin sekä vanhoihin taloihin vanhan järjestelmän tilalle tai rinnalle. [13.]



Kuva 12. Ilma-vesilämpöpumpun toimintaperiaate [12].

Ilma-vesilämpöpumpulla voidaan hoitaa lähes koko talon lämmitysenergian tarve, mutta sen kyky tuottaa lämpöä kovilla pakkasilla on heikko, ja siksi siihen täytyy suunnitella lisäksi jokin varalämmönlähde. [8, s. 73.] Kesällä sen käyttö ei sovellu jäähdyttämiseen, mutta sillä voi lämmittää käyttövettä. Kuitenkin bakteerikasvuston riski on suurempi, sillä ilma-vesilämpöpumppu ei pysty lämmittämään vettä paljon yli lämpötilan 50 °C. [13.]

Järjestelmän haittana (yhdistelmäjärjestelmässä kuitenkin ehkä hyötynä) on, että se vaatii suurimman mahdollisen energiankulutuksen mukaan mitoitettua rinnakkaisen

lämmitysjärjestelmän, koska juuri kylmimmällä säällä lämpöpumppu ei ole käytettävissä. Samalla ilma-vesilämpöpumppu kuitenkin alentaa lämmityskustannuksia keväisin ja syksyisin tai silloin, kun ulkolämpötila ei ole matalampi kuin -10 °C . [12.]

3.4.3 Poistoilmalämpöpumppu

Poistoilmalämpöpumppu on lämmöntalteenotin, joka kerää lämmitysenergiansa rakennuksen poistoilmasta ja luovuttaa sen joko tuloilmaan, lämpimään käyttöveeseen tai vesikiertoiseen lämmitysjärjestelmään [13]. Talon sisäilman lämpötila on yleisesti aina sama, noin 21 °C , joten riippumatta vuodenajasta se pystyy tuottamaan vakiotehoa.

Järjestelmään kuuluu kompressori, poistoilmavirtaan sijoitettu höyrystin, ja lämmön käyttökohteeseen sijoitettu lauhdutin. Kun poistoilmalämpöpumppu siirtää lämpöä käyttöveeseen, täytyy käyttää kaksoisvaiheista lämmönsiirintä, sillä lämpöpumpun kiertoaineet voivat olla myrkyllisiä. [3, s. 381.] Poistoilmalämpöpumppu toimii parhaiten, kun rakennuksen poistoilma ei pysty karkaamaan talosta muuta kuin poistokanavien kautta.

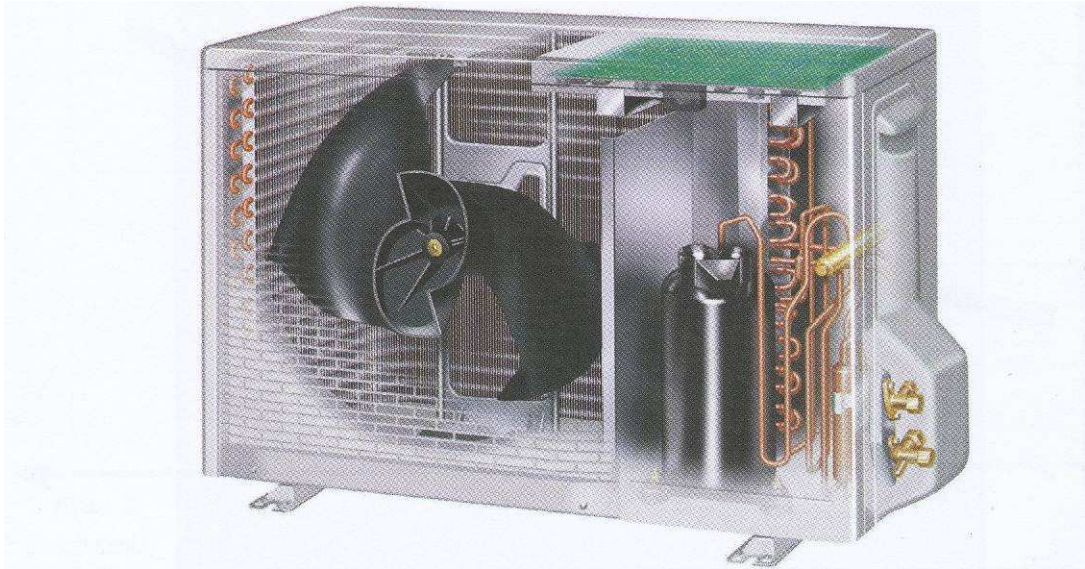
Poistoilmalämpöpumppu ei pysty kattamaan koko rakennuksen lämmitystehontarpeita. Sen hankintahinta on kuitenkin alempi kuin maalämpöpumpun tai ilma-vesilämpöpumpun. Se soveltuu käyttöön pieniin omakotitaloihin, sillä se on helppohoitoinen. [13.]

3.4.4 Ilma-ilmalämpöpumppu

Ilma-ilmalämpöpumppu (kuva 13) on yleisin lämpöpumppu, sillä sen hankintakustannus on matalampi kuin maalämpöpumpun, sitä on helppo huoltaa, sen voi asentaa helposti vanhaankin rakennukseen ja sen toiminta on miellyttävä kodeissa. Se pystyy parantamaan sisäilman laatua, sillä ilma liikkuu sisäyksikön suodattimen läpi ja poistaa pölyn. Ilmalämpöpumpulla on myös jäähdytysmahdollisuus kesäisin. [8, s. 55.]

Ilmalämpöpumppu toimii melko samanlaisesti kuin maalämpöpumppu. Ulkoyksikkö kerää höyrystimeen lämpöä ulkoa. Sitten ulkoilma puhalletaan höyrystimen lamellien

välistä ja johdetaan kompressorille. Se luovuttaa lämmön suoraan sisäilmaan, joten sitä ei voida käyttää lämmittämään käyttövettä.



Kuva 13. Ilma-ilmalämpöpumppu [8, s. 54].

4 Kytöntämenetelmiä kaukolämmölle ja lämpöpumpulle rakennuksissa

Kaukolämpölaitteisto ja lämpöpumppu voidaan kytkeä yhtenäiseksi järjestelmäksi eri tavoilla riippuen siitä, mitä halutaan lopputulokseksi. Tässä kappaleessa on esitetty eri kytkentäperiaatteita, jotka perustuvat Ruotsin kaukolämpöyhdistyksen (Svensk Fjärrvärme) julkaisuun ”Fjärrvärmecentralen Kopplingsprinciper rapport” [14]. Esimerkkikuva kytkentätavasta on liitteessä 1.

Yleensä tällainen järjestelmä tulisi rakentaa lämpöpumpun ehdoilla, jotta saadaan paremmat ja tehokkaammat lämmitysolosuhteet. Lämpöpumppuun on hyvä liittää lämmönvaraaja, jolloin sen käyntijaksot pitenevät. Varaaja ei kuitenkaan ole aina tarpeellinen yhdistelmäjärjestelmässä, kuten nähdään tämän luvun kytkentätavoissa 5 ja 6.

Osatehoisella lämpöpumppulaitteistolla on useita etuja. Se on edullisempi rakentaa ja pumppu toimii myös suuremman osan ajasta tehokkaimmalla toiminta-alueellaan. Paremman hyötysuhteensa ansiosta osatehoinen lämpöpumppu voi jopa alentaa sähkönkulutusta verrattuna kokonaistehoiseen lämpöpumppuun. [8, s. 42.] Näillä tavoilla voidaan täyttää uudisrakentamismääräyksien energiatehokkuusvaatimuksia, jotka voivat olla muuten hankalasti toteutettavia.

Nämä järjestelyt ovat ongelmallisia kaukolämpötoimittajille, koska myydyn energian määrä suhteutettuna liitettyyn tehoon jää matalaksi samanaikaisesti, kun kaukolämpötoimitus osuu ajankohtiin, jolloin verkko on jo erittäin kuormitettu. Harvalämpöalueilla matala energiankulutus todennäköisesti myös pahentaa kaukolämpötoimittajien ongelmia, joita esiintyy usein kesäaikana.

Tässä luvussa annetaan ehdotuksia, kuinka lämpöpumppu ja kaukolämpökeskus voidaan kytkeä toisiinsa, mutta ei anneta tietoa siitä, miten laitos tulisi mitoittaa. Yhdistettyjen laitosten suunnittelussa tulee erityisesti huomioida seuraavaa:

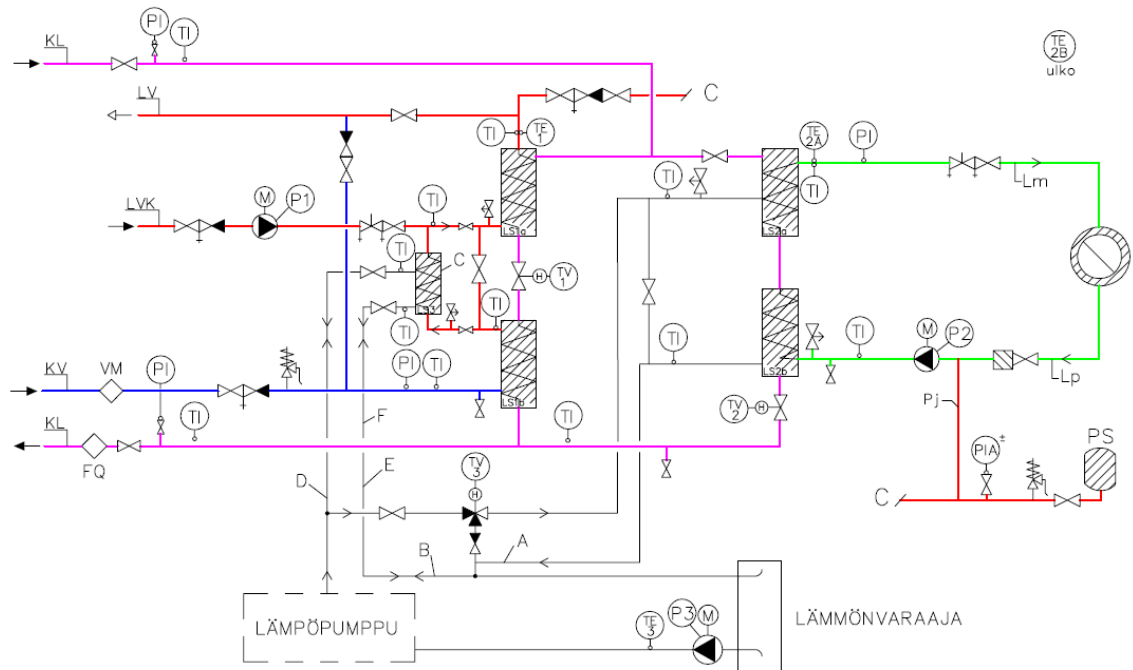
- Yksinkertainen laitos, jota on helppo valvoa ja ylläpitää, voi pitkällä aikavälillä olla parempi kuin yhdistelmälaitos, vaikka yhdistelmälaitos voi näyttää energiataloudellisemmalta.

- Lämpöpumpun toiminta edellyttää hyvää lämmitysjärjestelmän säätöä ja mahdollisimman matalaa lämpötilatasoa.
- KytKentäperiaatteen valinnan tulee soveltua paikallisiin olosuhteisiin. Tällöin on hyvä keskittyä valinnassa lämpöpumpun lämpötehoon, käyntiaikaan, tehon- ja energiatarpeeseen ja tietysti energian hintoihin.
- Usein kaukolämpöyhtiöt edellyttävät veden jäähtyvän tietyn määrän ennen kuin ne ottavat sen takaisin paluujohdolla. Voi olla ongelmallista saavuttaa tarvittava jäähdytys, jos lämpöpumppu on ensisijainen lämmittäjä.

On hyvä huomata, että lämpöpumppulaitokset, jotka tuottavat vain lämpöä talon lämmitysjärjestelmälle, ovat taloudellisesti kannattavampia verrattuna laitteistoihin, joissa lämpöpumppua käytetään sekä lämpimän käyttöveden lämmittämiseen että lämmitykseen. Suomessa lämpimän käyttöveden lämpötilan ohjearvo on 58 °C, joka on merkittävästi korkeampi kuin lattialämmitysverkoston menoveden lämpötila. Mitä korkeampi on lämpötilakerroin, sitä lyhyempi on lämpöpumpun käyttöikä. [14.] Kytkennoissä käytetyt merkinnät ja lyhenteet on esitetty liitteessä 3.

4.1 Lämpöpumppu varaajalla kytkettynä käyttöveteen ja lämmitykseen

KytKentätapa 1 (kytKentä 1; liite 2 (1)) on lämpöpumpulle, jolla on lämmönvaraaja ja joka on kytketty lämmittämään sekä käyttövettä että lämmitysverkoston vettä. Lämmityslaitos kytketään siten, että lämpöpumppu pumppaa lämmintä vettä varaajaan, joka sitten kytketään rinnan patteriverkostoon sekä lämmönsiirtimen kautta käyttöveteen, jolloin lämmintä käyttövettä lämmitetään hetkellisesti. Kaukolämpökeskuksen ja lämpöpumpun ohjaukset voidaan toteuttaa kokonaan erillisillä tai vakio-osilla.



Kytentä 1. Lämpöpumppu lämpövaraajalla kytkettynä lämpimään käyttöveteen sekä lämmitykseen tapa 1.

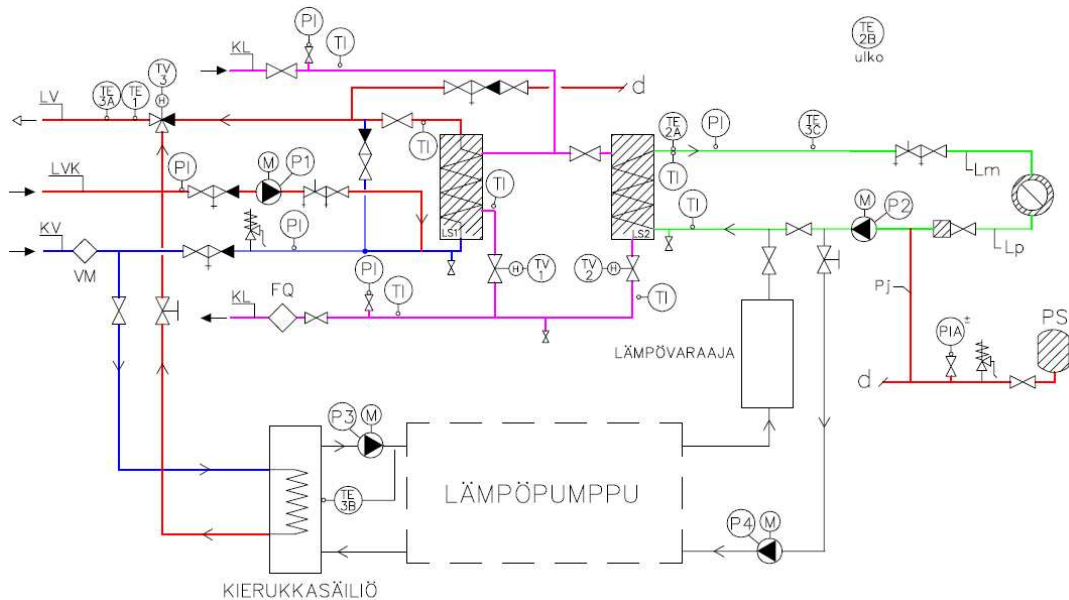
Kytentä 1:n toiminta ja ohjaus:

- 1) Lämpöpumppu käynnistyy, kun sisään tuleva lämpötila alittaa asetetun minimiarvon ja pysähtyy, kun se ylittää asetetun maksimiarvon.
- 2) Lämpöpumppupiirin kiertopumppu, P3, käy jatkuvasti.
- 3) TV2 ja TV3 toimivat sarjassa ja säätelevät patteriverkoston menoveden lämpötilaa.
- 4) Lämpöpumppuun yhdistetty käyttöveden lämmönsiirtimen virtaus on kaksisuuntainen. Selitys tälle voisi olla, että patteriverkoston paluuv veden ollessaan lämmintä se tulee kohtaan A ja osa siitä jatkaa B:hen jäähtyäkseen lämmönsiirtimessä C ja tullakseen reittiä DE 3-tieventtiilille. Silloin kun lämpöpumppu käy ja on kesä, vesi kiertää lämmönsiirtimen C:n kautta reittiä DF eli vastakkaiseen suuntaan.

Tällä kytkentätavalla kaukolämpövedelle saadaan aikaan kunnollinen jäähditys samalla, kun lämpöpumpulle saadaan edellytykset pitkäkestoisille käyntijaksoille. Tässä kytkennässä lämpöpumppua voidaan käyttää lämmittämään käyttövettä ilman, että on riskiä Legionella-bakteerin kasvulle. Riippuen varaajasäiliön mitoituksesta lämpöpumppua voidaan käyttää ylläpitämään korkeaa tehotasoa, joka saadaan aikaan maalämmöstä (maasta, kalliosta tai vesistöistä saatu lämpö).

Kyseisen kytkentä 1:n kytkentäjärjestely soveltuu peruskorjauskohteisiin tai olemassa olevaan laitokseen liittämiseen, jolloin mahdollisesti olemassa olevia varaajasäiliöitä käytetään lämpövaraajana. Uudisrakennuksissa investointikustannukset voivat olla verrattain korkeita, mutta kytkentätapa on Ruotsissa osoittautunut kustannustehokkaaksi ajan myötä.

Seuraavassa esimerkissä lämpöpumppu on edelleen kytketty lämmitykseen ja käyttöveteen varaajalla (kytkentä 2; liite 2 (2)) kuten kytkennässä 1. Tämä kytkentätapa soveltuu käyttöön sellaiseen rakennukseen, jossa on olemassa oleva lämpöpumppu, jolla on tulistuksenpoiston lämmönsiirrin. Lämpöpumpun toimintoja voidaan ohjata olemassa olevalla säätökeskuksella.



Kytkentä 2. Lämpöpumppu lämpövaraajalla kytkettynä lämpimään käyttöveteen sekä lämmitykseen tapa 2.

Lämpöpumppu toimii asetusarvojen sisällä pumpaten vettä patteriverkostoon. Kun lämpöpumpun teho ei riitä ylläpitämään tarvittavaa korkeaa lämpötilaa, kaukolämpölaitteiston säätöventtiilit avautuvat. TV1 ja TV3 ylläpitävät käyttöveden lämpötilaa asetusarvojen mukaisesti.

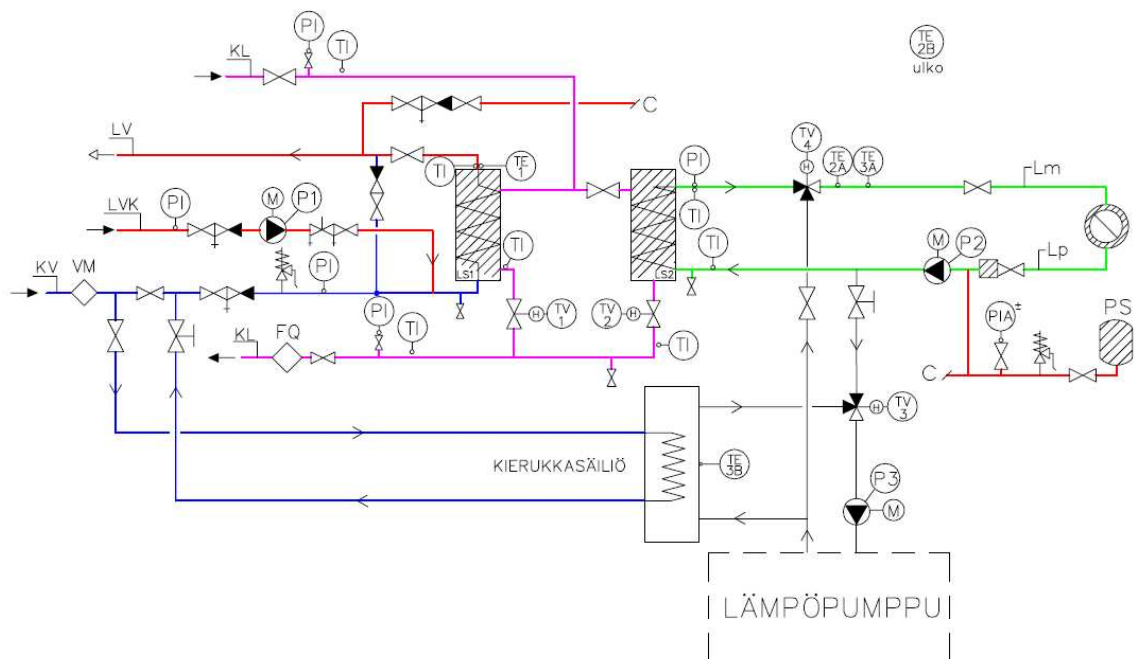
Kytkentätavalla saadaan aikaan lämpöpumpun hyvä toiminta, koska lämpökerrointa voidaan pitää korkealla. Tällöin lämpimän käyttöveden lämmitys tapahtuu hetkellisesti kierukkasäiliössä. Kierukkasäiliön lämpötilaa pidetään sopivan korkealla, jotta Legionella-bakteerin kasvun riski pysyy olemattomana.

Koska lämpöpumpulla nostetaan kaukolämpöveden lämmitysverkon paluulämpötilaa, ei jäädytys ole optimaalinen varsinkaan silloin, kun kaukolämmön tehontarve on pieni. Mutta niin kauan kun lämpöpumpun teho on pieni suhteessa koko tehontarpeeseen, paluuveden lämpötilan korotus suhteessa haluttuihin arvoihin tulee kuitenkin olemaan pieni.

Tämä kytkentäperiaate on täten epäsojiva lämpöpumpulle, jolla on suhteellisen korkea teho (esimerkiksi kallio- tai maalämpö), jolloin ilma-ilma-, ilma-vesi- tai poistoilmalämpöpumppu soveltuu paremmin tähän kytkentätapaan. Yleisesti pidetään nyrkkisääntönä, että lämpöpumpun teho ei saa olla korkeampi kuin 25 % kokonaistehontarpeesta.

4.2 Lämpöpumppu ilman varaajaa kytkettynä käyttöveteen ja lämmitykseen

Kaikki tämän luvun kytkennät on toteutettu niin, että lämpöpumpulla ei ole varaajaa, mutta lämmitetään sekä käyttövettä että lämmityspiiriä. Kytkentä 3 (liite 2 (3)) soveltuu kaukolämpöverkoston liittymiseen, kun rakennuksessa on jo olemassa lämpöpumppu, jonka lämmitysteho on suurempi kuin noin 25 % rakennuksen maksimi lämmöntarpeesta.



Kytkentä 3. Lämpöpumppu ilman lämpövaraajaa kytkettynä lämpimään käyttöveteen sekä lämmitykseen tapa 1.

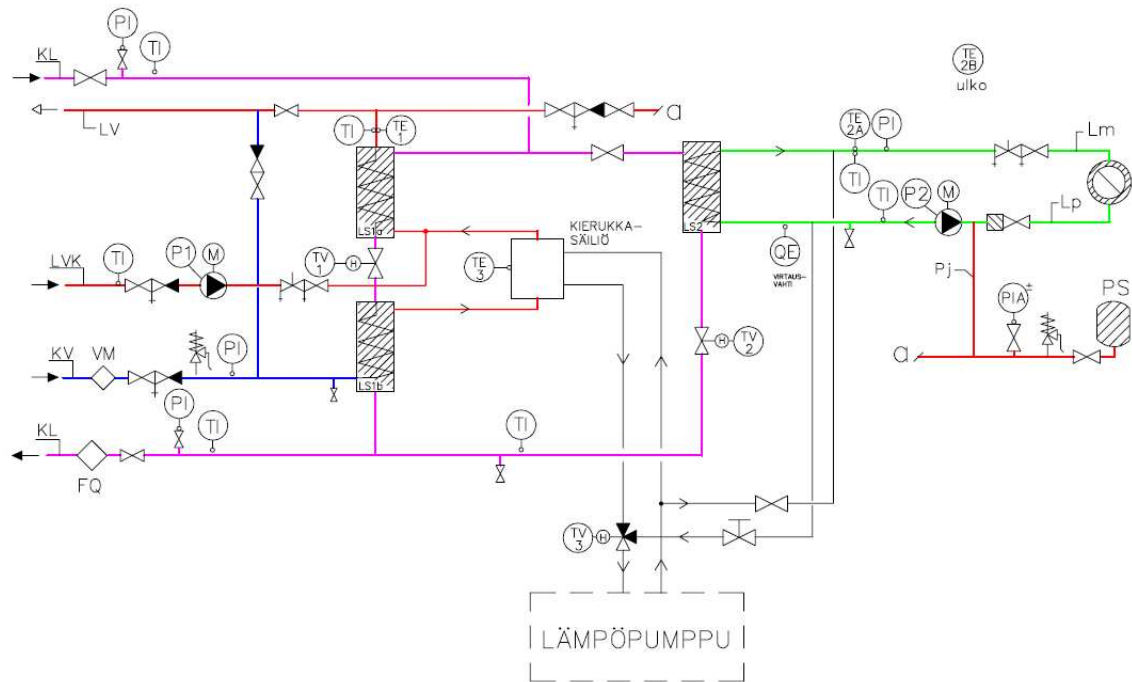
KytKentä 3:n toiminta ja ohjaus:

- 1) Lämpöpumppua voidaan ohjata olemassa olevalla säätökeskuksella.
- 2) Lämpöpumppu on kytketty patteri- ja lämminvesijärjestelmään. Käyttöveden lämmitys tapahtuu hetkellisesti kierukkasäiliössä.
- 3) Lämpöpumppu toimii siten, että se pumppaa vettä patteriverkoston menoveden asetusarvoon asti. Kun lämpöpumpun teho ei riitä, lämpötilaa nostetaan kaukolämmöllä. TV2 ja TV4 ylläpitävät patteriverkoston asetusarvon lämpötilatasoa.
- 4) Kun lämpötila alittaa asetetun lämpöarvon kierukkasäiliössä, TV3:n virtaus vaihdetaan lämpimän käyttöveden lämmitykseen. Oikean lämpötilan saavutettuaan kierukkasäiliössä TV3 ohjaa virtaavaa vettä takaisin patteriverkostolle.

Koska käyttövettä esilämmitetään kierukkasäiliössä jaksoittain ja koska putkierukan vesitilavuus on vähäinen, pienenee Legionella-bakteerin kasvun riski olemattomaksi.

Lämpimän käyttöveden esilämmityksestä aiheutuu se, että kaukolämmön paluulämpötila on hieman korkeampi kuin tavallisen kaukolämpökeskuksen jäähtyneen paluueden lämpötila olisi. Koska lämpöpumpulla tuotettu tehonlisäys on vähäinen, on kaukolämmön paluulämpötilan korotus kuitenkin pieni.

KytKentä 4 (liite 2 (4)) on muuten samanlainen kuin kytKentä 3, mutta kierukkasäiliö on eri paikassa. Lämpöpumppu on kytketty sekä käyttövedeen että patteriverkoston ilman lämpövaraajaa. Käyttövettä lämmitetään hetkellisesti kierukkasäiliössä.



KytKentä 4. Lämpöpumppu ilman lämpövaraajaa kytkettynä lämpimään käyttöveteen sekä lämmitykseen tapa 2.

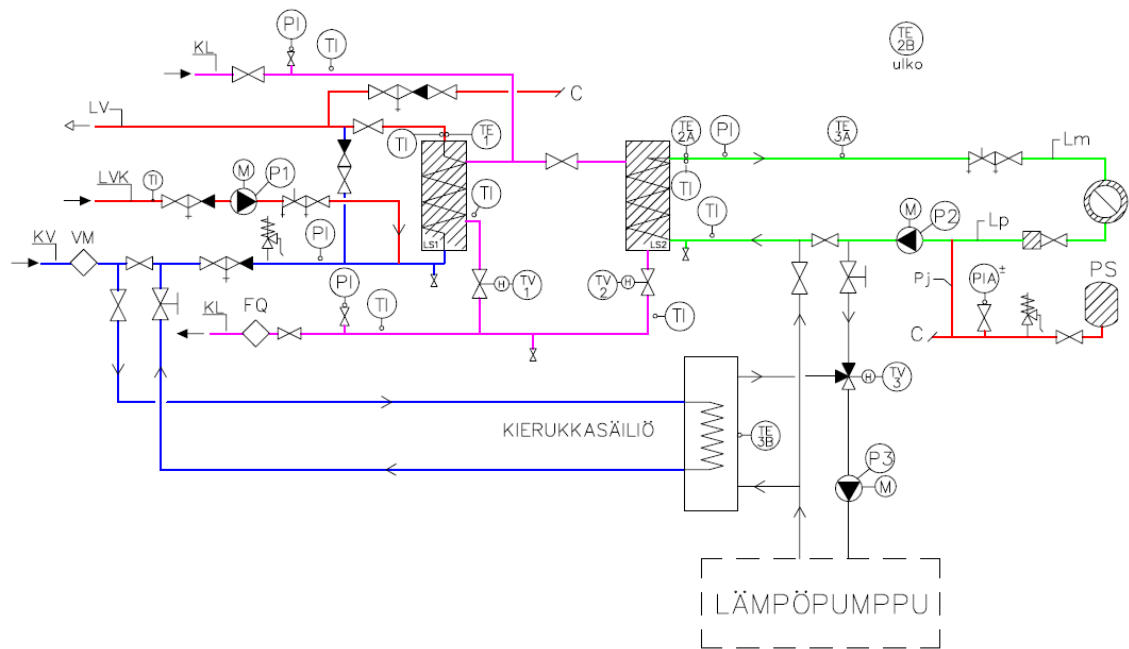
KytKentä 4:n toiminta ja ohjaus:

- 1) Lämpöpumppu käynnistyy, kun patteriverkoston menoveden lämpötila alittaa asetusrvon ja pysähtyy, kun veden lämpötila ylittää eroalueen verran asetusrvon. Eroalue lämpöpumpun ohjausjärjestelmässä on normaalisti 2–8 °C.
- 2) Jos menoveden lämpötila alittaa asetusrvon yli 5 °C:lla 120 minuutin ajan ja virtausvahti osoittaa virtausta lämmönsiirtimen kautta, TV2 avautuu, kunnes oikea menoveden lämpötila saavutetaan.
- 3) Kun lämpötila kierukkasäiliössä alittaa 45 °C, venttiili TV3 vaihtaa virtauksen lämpimän veden lämmitykselle. Kun lämpötila kierukkasäiliössä ylittää 47 °C, sama venttiili TV3 ohjaa paluuvirtauksen patteriverkostolle.

Tässä kytkennässä (kytkentä 4) lämpöpumppu on kytketty rinnan kaukolämpösiirtimen kanssa, jolloin kytkentätapa mahdollistaa edellytykset yhtä hyvälle kaukolämpöveden jäähtytykselle kuin tavanomainen kaukolämpökeskus. Koska veden varaajatilavuus on pieni, kytkentäperiaatetta ei tulisi käyttää, jos lämpöpumpun antoteho on korkea (esimerkiksi kallio- ja maalämpö).

Tällä kytkentätavalla on edellytykset lämpöpumpun korkeaan lämpökertoimeen. Lämpöeroin pysyy korkealla, kun käyttöveden lämmitys on lämpöpumpun ensimmäinen prioriteetti. Koska käyttövettä esilämmitetään kierukkasäiliössä jaksoittain ja koska putkikerukan vesitilavuus on vähäinen, pienenee Legionella-bakteerin kasvun riski olemattomaksi.

Lopuksi on vielä yksi esimerkki yhdistelmästä, jossa lämpöpumppu on kytketty patteri- ja lämminvesijärjestelmään ilman varaajaa (kytkentä 5; liite 2 (5)). Tässäkin tapauksessa käyttövettä lämmitetään jaksottaisesti kierukkasäiliössä. Tämä kytkentätapa soveltuu sellaiseen kohteeseen, jossa on jo entisestään lämpöpumppu.



KytKentä 5. Lämpöpumppu ilman lämpövaraajaa kytkettynä lämpimään käyttövedeen sekä lämmitykseen tapa 3.

KytKentä 5:n toiminta ja ohjaus:

- 1) Lämpöpumpun toimintaa voidaan ohjata olemassa olevalla säätökeskuksella.
- 2) Lämpöpumppu pyrkii nostamaan menoveden lämpötilan asetusarvoonsa. Kun lämpöpumpun teho ei riitä, kaukolämmön säätöventtiili TV2 avautuu.
- 3) Kun lämpötila alittaa asetetun arvon kierukkasäiliössä, venttiili TV3 siirtää lämminvesivirtauksen käyttöveden lämmitykseen. Lämpötilan saavutettua oikean arvon kierukkasäiliössä venttiili TV3 ohjaa veden virtauksen takaisin patteriverkostolle.

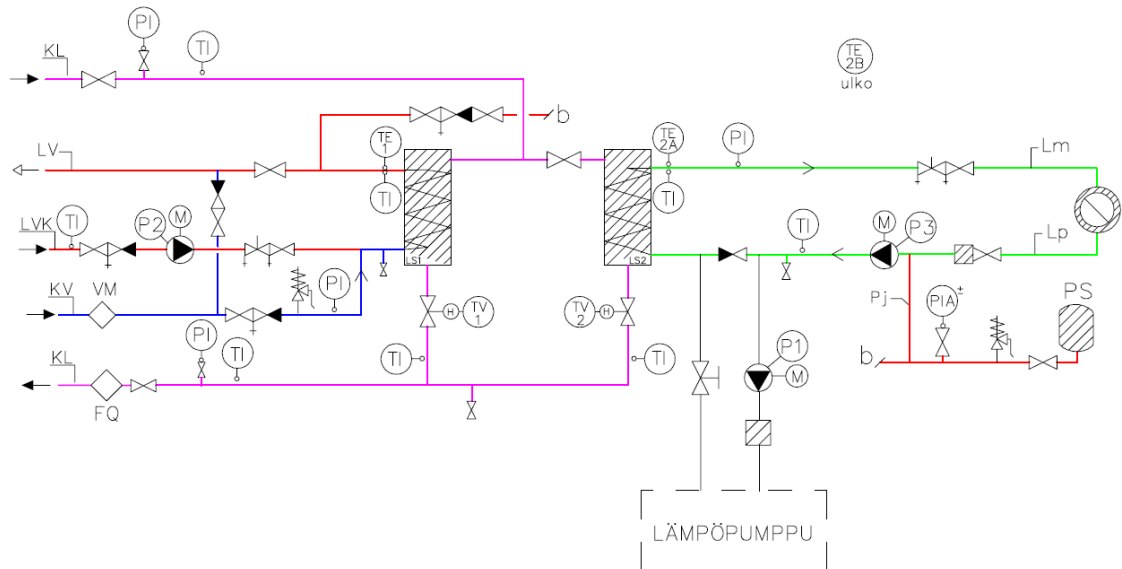
Tälläkin kytkentätavalla on edellytykset lämpöpumpun korkeaan lämpökertoimeen. Lämpökerroin pysyy korkealla, kun käyttöveden lämmitys on lämpöpumpun ensimmäinen prioriteetti. Koska käyttövettä esilämmitetään kierukkasäiliössä jaksottain ja koska putkikierukan vesitulavuus on vähäinen, pienenee Legionella-bakteerin kasvun riski olemattomaksi.

Tässä kytkentätavassa kaukolämmön paluulämpötila nousee jonkin verran, varsinkin kun kaukolämmön lisäteho on pieni. Niin kauan kuin lämpöpumpun teho on pieni suhteessa koko tehon tarpeeseen, paluulämpötilan nousu tulee kuitenkin olemaan pieni.

Tämä kytkentäperiaate on epäsopiva lämpöpumpulle, jolla on suhteellisen korkea teho (kalliolämpö tai maalämpö), jolloin ilmalämpöpumppu tai poistoilmalämpöpumppu soveltuu paremmin tähän kytkentätapaan. Nyrkkisääntönä lämpöpumpun teho ei saa olla korkeampi kuin 25 % kokonaistehontarpeesta.

4.3 Lämpöpumppu ilman varaajaa kytkettynä patteriverkoston

Tässä luvussa kaikki kytkennät on toteutettu niin, että lämpöpumppu on kytketty vain patteriverkostolle ja ilman lämpövaraajaa, joten käyttövesi lämmitetään kokonaan kaukolämmöllä. Kytkennässä 6 (liite 2 (6)) lämpöpumppu ottaa osan virtauksesta patteriverkoston paluujohdosta, ja vesi, joka tulee lämpöpumpusta, jälkilämmitetään kaukolämmöllä tarpeen mukaan.



KytKentä 6. Lämpöpumppu kytketty ainoastaan lämmitykseen ilman lämpövaraajaa tapa 1.

KytKentä 6:n toiminta ja ohjaus:

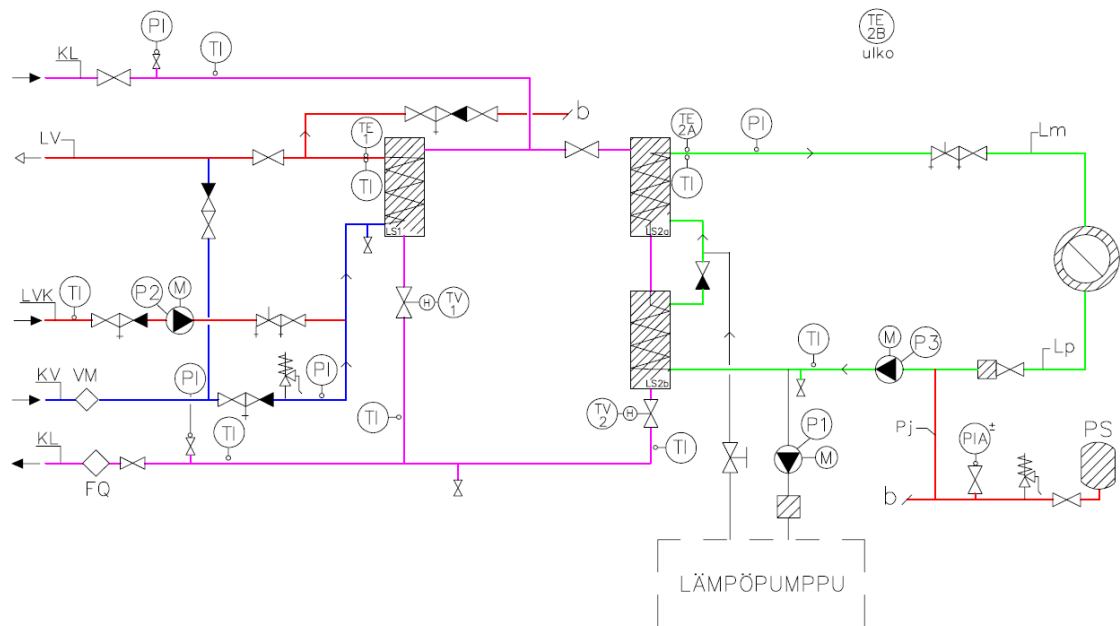
- 1) Lämpöpumppu käynnistyy, kun patteriverkoston menoveden lämpötila alittaa asetusarvon 5 °C:lla, ja pysähtyy silloin, kun lämpötila ylittää asetusarvon 5 °C:lla.
- 2) Jos patteriverkoston menoveden lämpötila alittaa asetusarvon yli 5 °C:lla 120 minuutin ajan, TV2 aukeaa, kunnes oikea menovesilämpötila saavutetaan.
- 3) Lämpöpumppupiirin kiertopumppu P1 on käynnissä, kun lämpöpumppu käy.

KytKennässä kaukolämmön paluulämpötila nousee jonkin verran, varsinkin kun kaukolämmön lisäteho on pieni. Niin kauan kuin lämpöpumpun teho on pieni suhteessa koko tehon tarpeeseen, paluulämpötilan nousu ei kuitenkaan tule olemaan niin iso.

Jos lämpöpumpulla on suhteellisen korkea teho (kallio- tai maalämpö), tätä kytkentätapaa ei ole suositeltavaa käyttää. Nyrkkisääntönä pidetään, että lämpöpumpun teho ei saa olla korkeampi kuin 25 % kokonaistehontarpeesta. Tätä kytkentämenetelmää käytetään tavallisesti, kun poistoilmalämpöpumppu on kytkettynä lämmitysjärjestelmään.

KytKentä 7 (liite 2 (7)) on hieman erilainen kuin kytkentä 6. Tässäkin lämpöpumppu on kytketty vain patteriverkostolle ilman lämpövaraajaa, mutta tässä esimerkissä on patteripuolella kaksi sarjaan kytkettyä lämmönsiirintä. Lämpöpumppu ottaa P1:n avulla patteriverkoston paluujohdosta osan virtauksesta, joka sitten lämmitetään oikeaan lämpötilaan jälkilämmityslämmönsiirtimellä.

Koska lämpöpumppu on kytketty vain lämmitysjärjestelmään, on kytkentä yksinkertainen ja selkeä. Lisäksi lämpöpumppu toimii matalalla lauhtumislämpötilalla, jolloin lämpöeroin on korkea. Koska varaajatilavuus on pieni, järjestelmä tulisi kytkeä vain pienitehoisilla laitteilla (esimerkiksi ilma-vesilämpöpumppu). Kaukolämpöveden jäähdytys on yhtä hyvä kuin pelkällä kaukolämpölaitteistolla.



Kytkentä 7. Lämpöpumppu kytkettynä ainoastaan lämmitykseen ilman lämpövaraajaa 2.

Lämpöpumppu käynnistyy, kun patteriverkoston menoveden lämpötila alittaa asetustarvon 5 °C:lla, ja pysähtyy silloin, kun lämpötila ylittää asetustarvon 5 °C:lla. Jos patteriverkoston menoveden lämpötila alittaa asetustarvon yli 5 °C:lla 120 minuutin ajan, TV2 aukeaa, kunnes oikea menovesilämpötila saavutetaan.

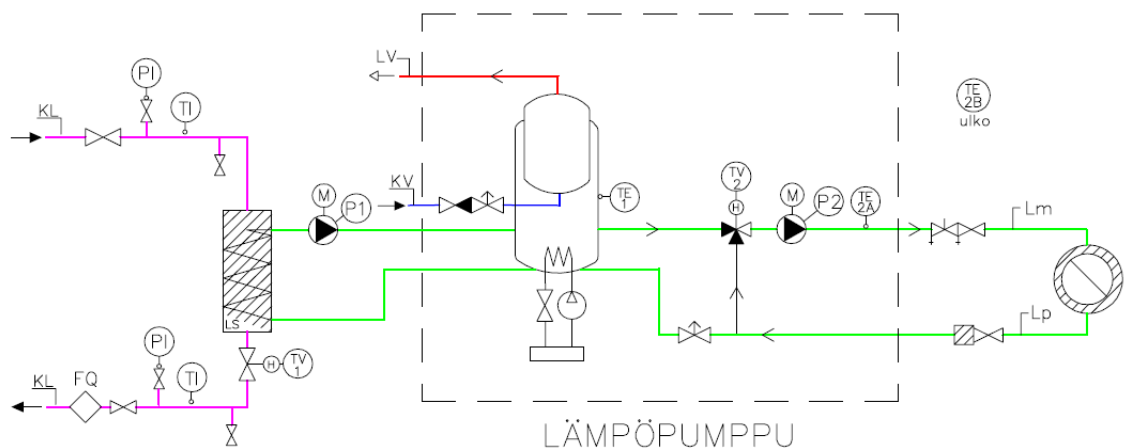
4.4 Lämpöpumppu pientalossa

Ruotsin kaukolämpöyhdistyksen [14] antamassa ohjeessa on seuraavanlaiset kytkentätavat pientaloille (kytkennät 8, 9 ja 10). Kaukolämpöä ja lämpöpumppuja pidetään tavallisesti peruslämmitysjärjestelminä pientaloissa, sillä niillä on suhteellisen korkeat hankintakustannukset mutta pienet käyttökustannukset. Monessa tapauksessa kaukolämmön ja lämpöpumppujen yhdistelmien käyttö pientaloissa ei ole kannattavaa. Pien-

taloilla on kaiken lisäksi pienemmät taloudelliset resurssit kuin asunto-osakeyhtiöillä. Tämän takia on tärkeää, että taloudelliset ja teknilliset edellytykset selvitetään huolellisesti ennen kaukolämmön ja lämpöpumpun asennusta pientaloon.

Lämpöpumppu pientalossa koostuu normaalisti kaksiseinäisestä lämminvesisäiliöstä (kytkentä 8; liite 2 (8)). Lämpöpumpun lauhdutin lämmittää vaipan veden, joka sitten vuorostaan lämmittää käyttö- ja lämmitysveden. Vaipan vesi säädetään talon lämmitysjärjestelmälle sopivaan lämpötilaan sekoitusventtiilillä TV2.

Kun lauhduttimesta saatava lämpö ei riitä ylläpitämään oikeaa lämpötilaa vaipassa, lisälämpöä tuotetaan jossakin muodossa, yleensä sähkövastuksella, mutta myös toisia lämmönlähteitä voi käyttää. Tässä kytkennässä käytetään kaukolämpöä lisälämmönlähteenä.



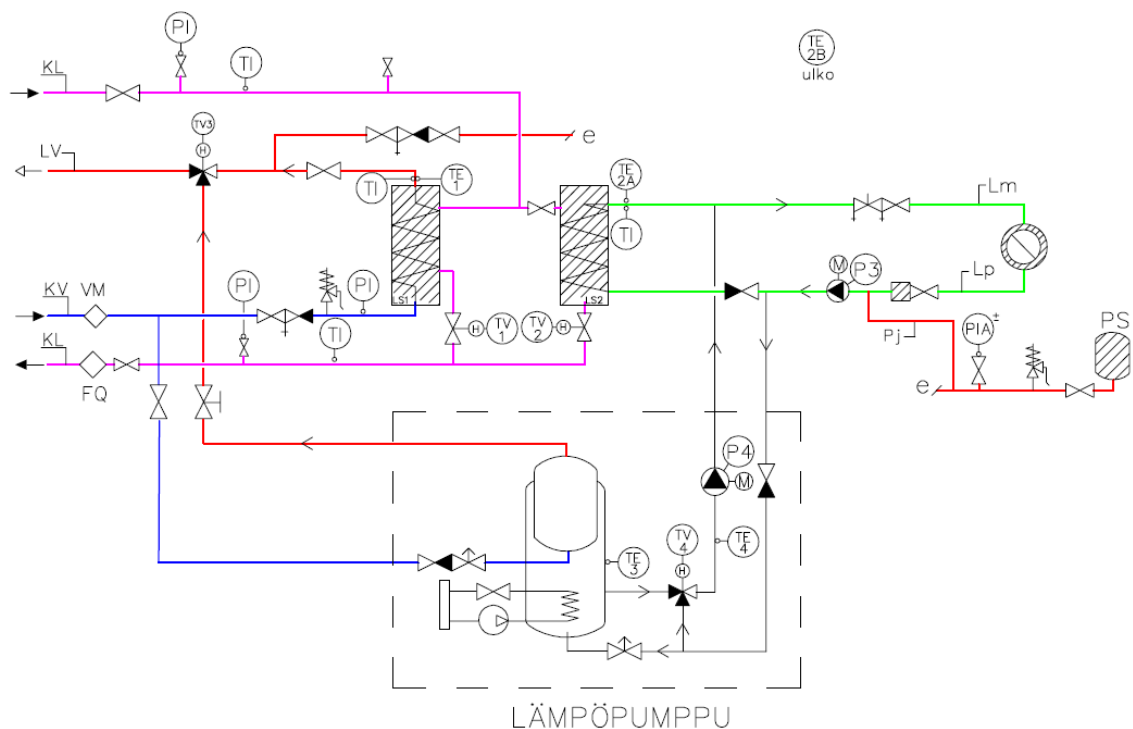
KytKentä 8. Lämpöpumppu pientalossa tapa 1.

Lämpöpumppu käynnistyy, kun vaipan lämpötila TE1 alittaa käynnistyksen asetusarvon ja pysähtyy silloin, kun veden lämpötila ylittää pysäytyksen asetusarvon. Jos vaipan lämpötila alittaa käynnistyksen asetusarvon riittävän pitkän ajan, kaukolämmön siirtimen kiertopumppu P1 käynnistyy. Silloin kaukolämpölaitteiston säätöventtiili TV1 ohjaa vaipan lämpötilaa. Säätöventtiili ja pumppu pysähtyvät, kun vaipan vesi saavuttaa oikean lämpötilan.

Tällainen kaukolämmön käyttö lisälämmönlähteenä korvaamaan sähköverkosta otetut teho, on yksinkertainen ja selkeä järjestelmä. KytKentä kuitenkin aiheuttaa korkean

paluovesilämpötilan, mutta samalla sillä on pieni energianotto. Tästä aiheutuu lisäongelmia vähäisten virtausten ja menovesilämpötilojen takia, jotka usein esiintyvät pienen tehottiheyden alueilla jo valmiiksi.

Seuraavassa kytkentäkaaviossa (kytkentä 9, liite 2 (9)) lämpöpumppu on kytketty rinnan tavallisen kaukolämpökeskuksen kanssa. Kun lämpöpumppu on kykenemätön ylläpitämään vaipan lämpötilaa tarpeeksi korkealla, se kytketään pois lämpö- ja käyttövesipiiristä ja kaukolämpökeskus kytketään lämmitysjärjestelmiin. Näin ollen lämpöpumppu ja kaukolämpökeskus eivät ole kytkettynä lämmitysjärjestelmään samanaikaisesti.



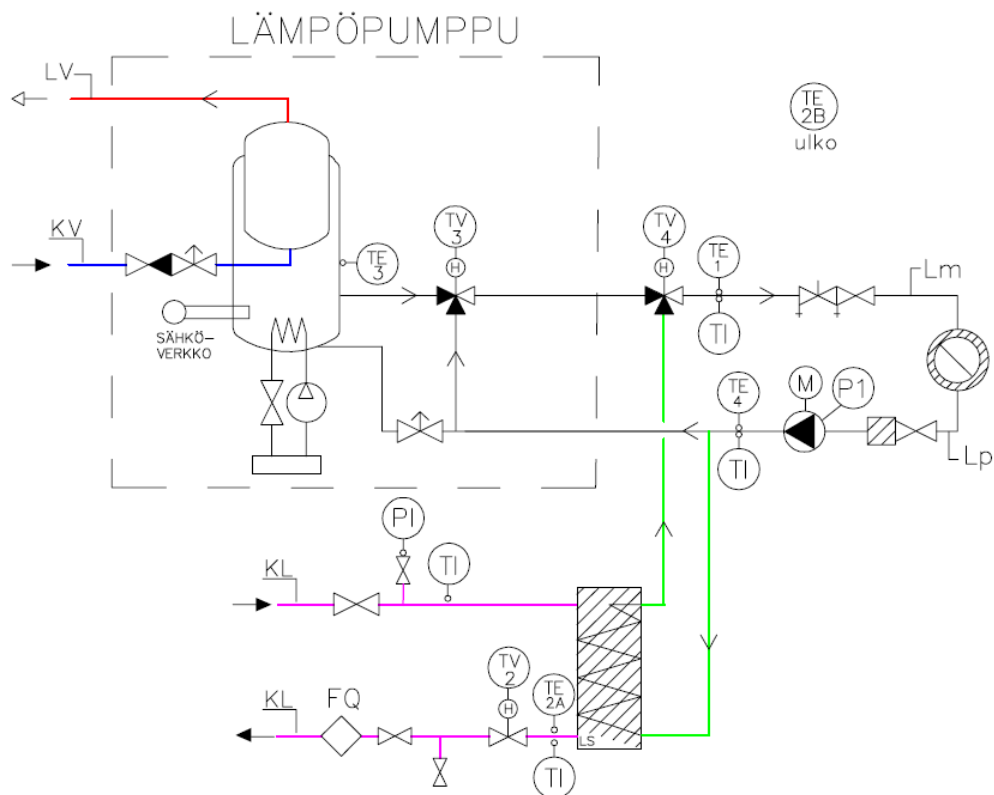
KytKentä 9. Lämpöpumppu pientalossa tapa 2.

Lämpöpumppua ohjataan samalla tavalla kuin kytKentä 8:ssa. Kun vaipan lämpötila alittaa asetetun minimiarvon riittävän kauan, venttiili TV3 sulkeutuu samalla, kun pumppu P4 pysähtyy ja P3 käynnistyy. Kaukolämmön lämmönsiirrin alkaa lämmittää verkostovettä venttiilin TV2 säätämänä. Kun vaipan lämpötila saavuttaa oikean lämpötilan, lämpöpumppu kytketään takaisin käyttöön.

Tämän järjestelmän kytkentäperiaate on monimutkaisempi kuin kytKentä 8, mutta tämä kytkentätapa tuottaa paremmat edellytykset matalaan kaukolämmön paluovesiläm-

pötilaan. Tästäkin kytkennästä aiheutuu samankaltaisia vähäisen tehotiheyden alueella korostuvia ongelmia kuten kytkennässä 8.

Lopuksi on kytkentä 10 (liite 2 (10)), jossa kaukolämmönsiirrin on kytketty rinnan lämpöpumppuverkoston kanssa. Kaukolämpöä käytetään lisälämmityksenä vain patteriverkostossa samalla, kun sähkövastus tuottaa lisätehoa lämpimän veden lämmitystä varten.



KytKentä 10. Lämpöpumppu pientalossa tapa 3.

Lämpöpumppua ohjataan samalla tavalla kuin kytkentäperiaatteessa 8, mutta tässä käytetään sähköä käyttöveden lisälämmitystapana, joten tämä kytkentä ei ole taloudellinen tai järkevä tapa talon lämmitykseen. Kun lämpöpumppu ei riitä pitämään menoveden lämpötilaa TE1:ssä asetusarvojen sisällä, venttiili TV4 avautuu kaukolämpösiirtimelle säädelläkseen menovesilämpötilaa. Kun venttiili TV4 avautuu, kaukolämmön venttiili TV2 aloittaa säätämisen ja ylläpitää asetettua lämpötilaeroa (oletusarvona 3 °C) TE2A ja TE4:n välissä.

Lisälämmön tuottaminen kaukolämmöllä vain patteripiiriin johtaa yksinkertaiseen ja helposti ymmärrettävään järjestelmään. Kytkentävalla saadaan hyvät edellytykset pitää matalaa kaukolämmön paluovesilämpötilaa yllä. Koska tässä kytkennässä ei kaukolämmöllä lämmitetä käyttövettä, kaukolämpöä ei myöskään käytetä kesäisin. Siksi ei myöskään törmätä pienten kaukolämpövesivirtojen ja matalan kaukolämmön menoveden aiheuttamiin ongelmiin. Tämä kytkentä soveltuukin paremmin vähäisen tehotiheyden alueelle kuin edellä kuvatut kytkennät 8 ja 9.

Kaukolämpöä tullaan tässä kytkennässä käyttämään ainoastaan matalilla ulkolämpötiloilla ja silloin vain patteripiirissä, mikä johtaa siihen, että kaukolämpöenergian käytöstä tulee pienempi samalla, kun sähkökulutuksesta tulee suurempi verrattuna kytkentöihin 8 ja 9.

5 Suomalaisia lämpöpumppukytkentäesimerkkejä

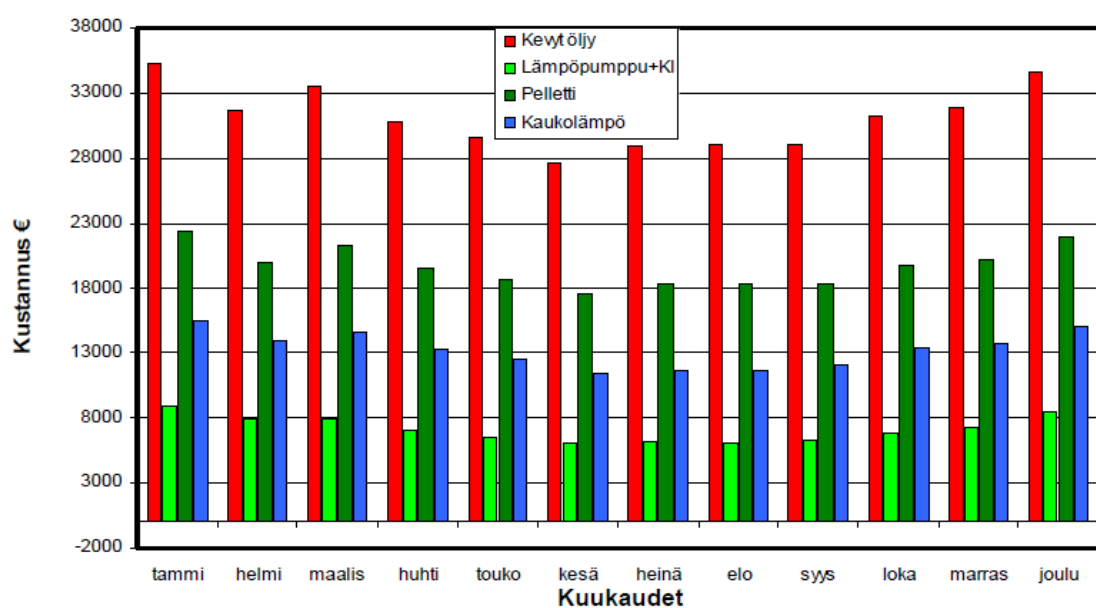
Jotta saataisiin parempi kuva nykyisestä tilanteesta, yritettiin selvittää, minkälaisia järjestelmiä Suomessa on tällä hetkellä. Ensinnä otettiin yhteyttä Suomen lämpöpumppuyhdistykseen [12], jonka kautta löytyi IVT:n edustaja, Mika Manner, sekä energialaitoksiin (Vantaan Energia ja Fortum). Heiltä tiedusteltiin, onko Suomessa tällaisia yhdistelmäkohteita toteutettuna. Energialaitokset vastasivat kielteisesti, mutta IVT:n lämpöpumppuyhdistelmästä saatiin enemmän tietoa. Yhdistelmälaitosesimerkkinä on Hansakallion koulu, joka yhdistää kaukolämpöä ja kalliomaalämpöä lämmittämään koulun laajenusosaa.

IVT:ltä selvisi, että Suomessa on vain noin 43 000 kohdetta, jossa lämpöpumppu on lämmönlähteenä. Sen sijaan Ruotsissa on jo noin 600 000 olemassa olevaa lämpöpumppua lämmitettävää kohdetta ja lämpöpumppuja on muutenkin käytetty siellä kauemmin kuin täällä. [15.] Tästä johtuneeksi se, että yhdistelmäjärjestelmien kytkennöissä oli useita, joissa kaukolämpö lisätään olemassa olevaan lämpöpumppujärjestelmään. Tämän kaltainen asetelma on Suomessa harvinainen, koska muita lämpöpumppukohteita kuin pientaloja on niin vähän. IVT:n edustajan mukaan Ruotsin kaukolämpöyhdistyksen esittämät kytkentätavat eivät välttämättä ole parhaita lämpöpumppujen toiminnan kannalta. Hänen mielestään useimmissa tapauksissa lämpövaraajatonta järjestelmää ei suositella käytettäväksi lämpöpumpun kanssa. Varaajalla saadaan aikaan pidemmät käyttöjaksot, jolloin tuotetaan tasaista vesilämpötilaa ja pumppu voi käydä jatkuvasti. Näin ollen hän ehdotti, että näihin kytkentöihin tulisi suhtautua kriittisesti. [15.]

Osallistuin myös Länsi-Turunmaan kaupungin järjestämään lämpöpumppujen teemailtaan, jonka tarkoitus oli selvittää lämpöpumppuvaihtoehtoja ja niiden integroimista muiden järjestelmien kanssa. Koska lämpöpumput ovat kalliita laitteita ja niiden hankintakustannus nousee jyrkästi tehon kasvaessa, mitoitus tehdään aina tapauskohtaisesti optimoidun lämmitystehon löytämiseksi ja pyritään välttämään ylimitoitusta. [16.]

Tilaisuudessa käytiin läpi pari esimerkkikohtetta, jossa verrattiin lämpöjärjestelmäyhdistelmiä sekä niiden kustannuksia. Kuvassa 14 on esitetty eri lämmitysvaihtoehtojen käyttökulut normivuodelle elintarviketeollisuuskohteessa. Kuten kuvasta näkee, arvio

on, että lämpöpumpun ja kaukolämmön yhdistäminen olisi kaikista halvin ratkaisu käyttökustannuksiltaan. Investointikustannuksia ei esitetty.



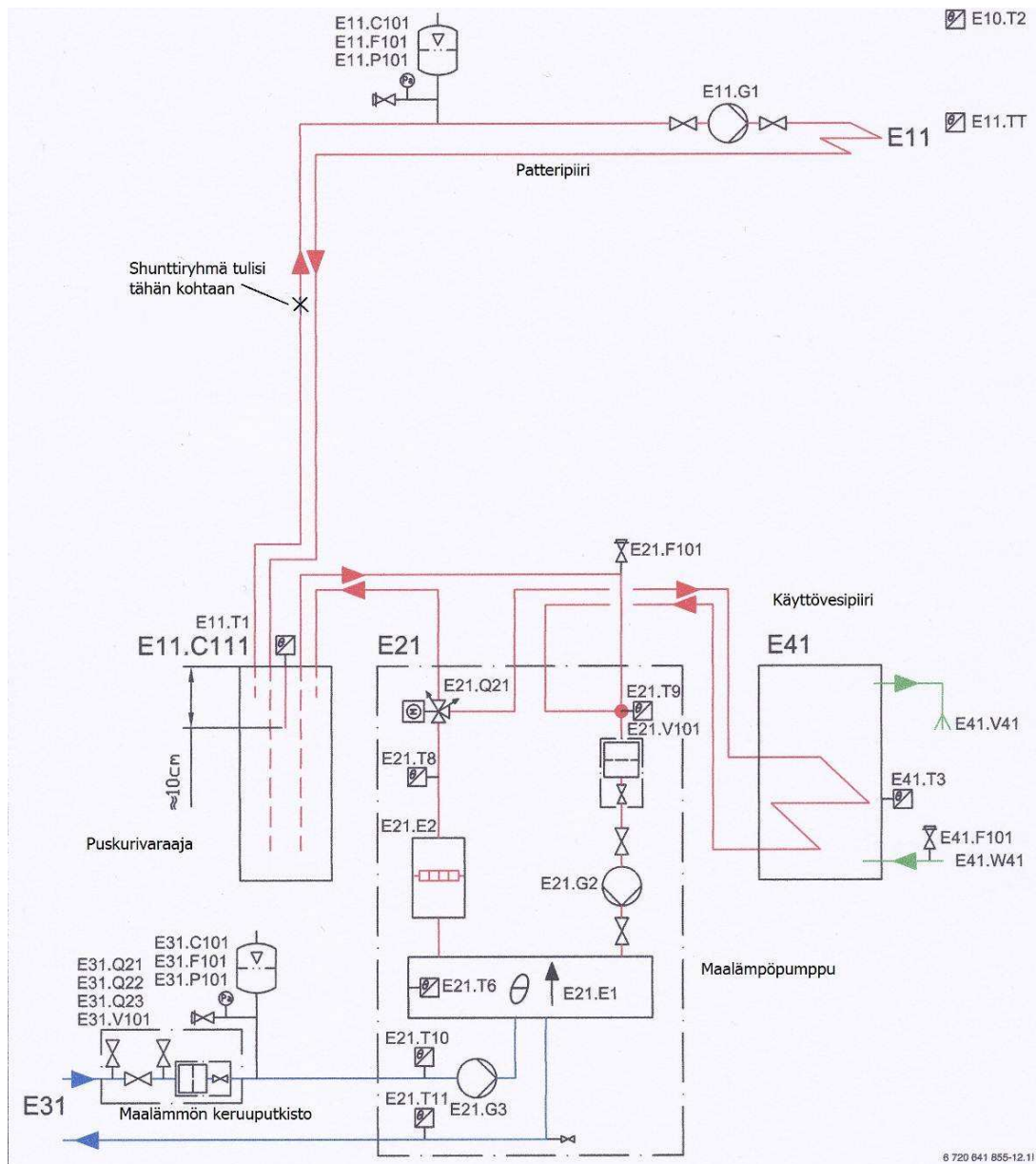
Kuva 14. Vaihtoehtoiset käyttökulut normivuodelle [16].

5.1 IVT:n lämpöpumppujen kytkentäesimerkkejä

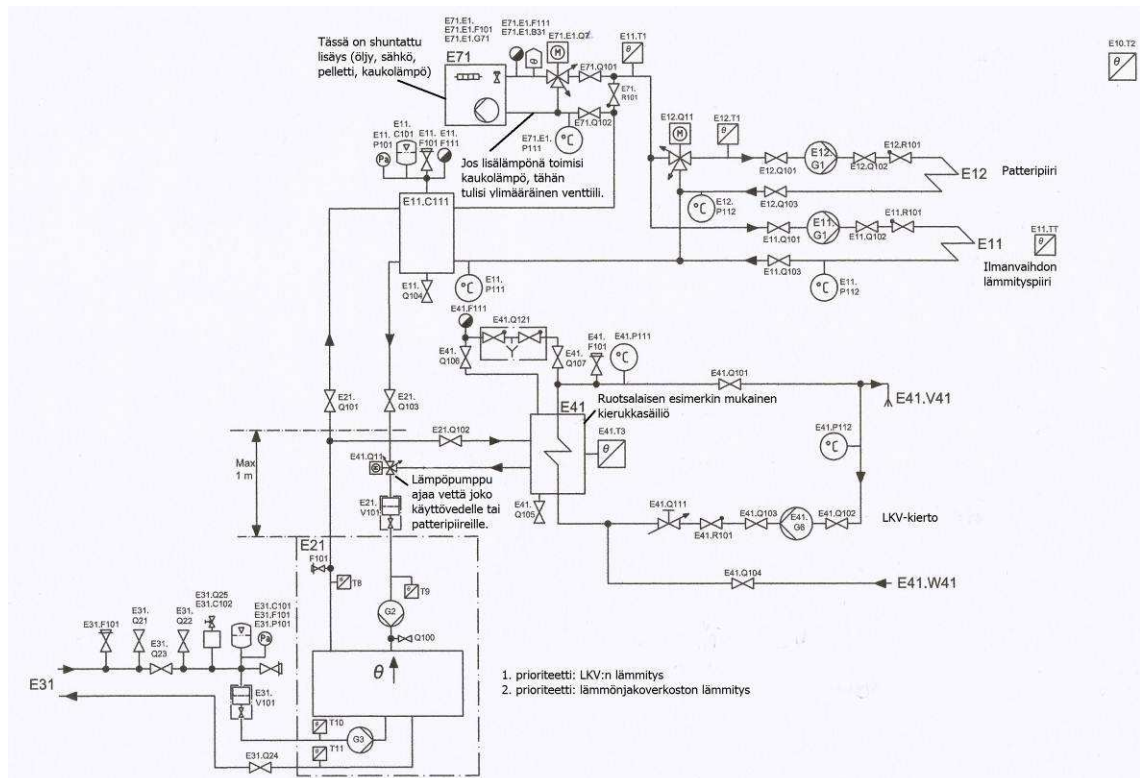
Tähän työhön saatiin IVT:n edustajalta käyttöön tyypillisiä lämpöpumppukytkentäesimerkkejä. Näistä kävi ilmi, että lisälämmönlähteenä olisi mahdollista käyttää kaukolämpöä. Seuraavaksi esitetään omakotitalolle tarkoitettuja maalämpöpumpun kytkentäkaavioita sekä pienelle kerrostalolle sopivia kytkentäkaavioita, jotka on esitetty liitteessä 4.

Nämä kytkennät ovat täysin erilaisia verrattuna ruotsalaisen kaukolämpöyhtiön tarjoamiin kytkentätapoihin. Suomalainen mielipide on, että yhdistelmäjärjestelmä tulisi toteuttaa ensisijaisesti lämpöpumpun ehdoilla. Muutenkin kytkennät tulisi rakentaa hieman eri lailla kuin luvussa 4 on esitetty, jotta lämpöpumpun lämpökerroin saataisiin mahdollisimman kannattavaksi.

Kuvassa 15 on omakotitalon maalämpöpumpun, malli IVT Greenline HE E6-E17, kytkentäkaavio. Tässä näkyy maalämpöpumppu, jolla on shunttaamaton lämmityspiiri puskurivaraajalla ja ulkoisella käyttöveden lämmityksellä. Kuvaan on merkitty, mihin lisälämmityksen shunttiryhmä tulisi, jos sellainen kytkettäisiin kyseiseen maalämpöpumppuun. IVT:n lämpöpumput on mitoitettu pienemmiksi kuin talon huippukulutus, jolloin tarvitaan lisäenergiaa käytettäväksi yhdessä lämpöpumpun kanssa kattamaan tarve, kun lämpöpumppu ei selviä yksin. Lisäenergiaa käytetään myös käyttövesihuipun yhteydessä tai jos esimerkiksi ulkoilmalämpöpumppu on pysäytetty liian matalan ulkoilämpötilan johdosta. [17.]

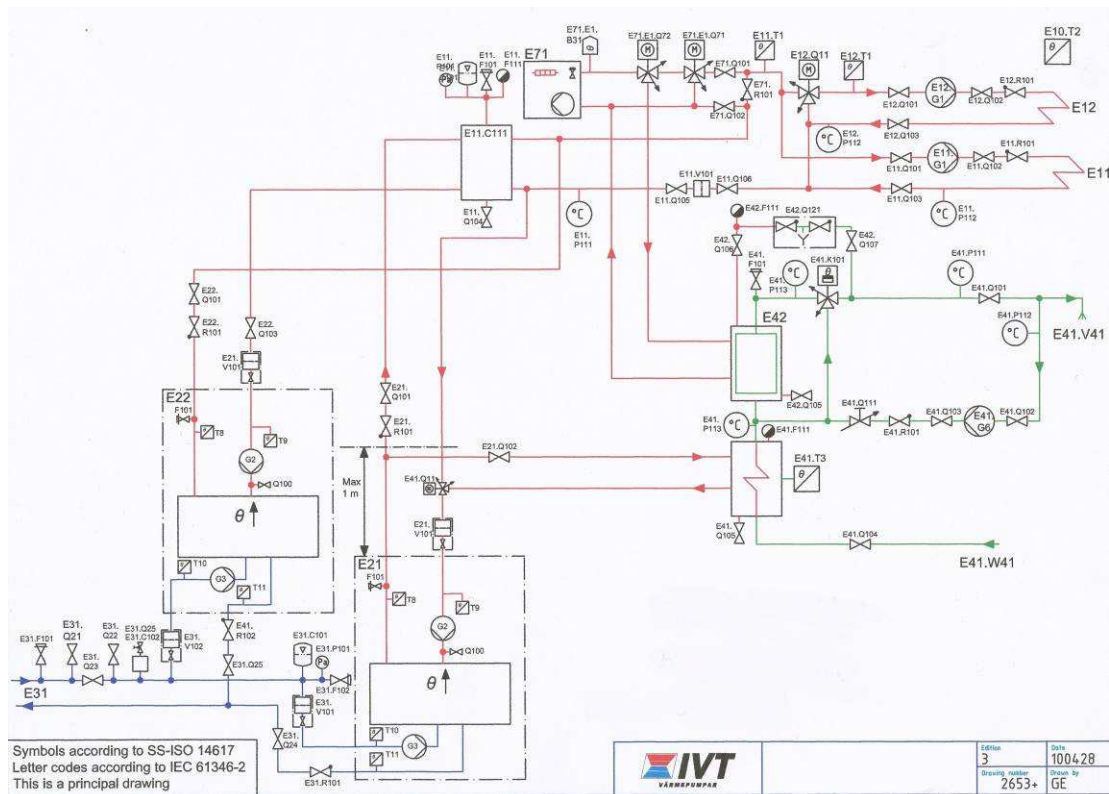


Kuva 15. Omakotitalon maalämpöpumpun kytkentäkaavio [17].
Seuraavassa esimerkissä (kuva 16) lämpöpumppu mitoitetaan ensisijaisesti lämmittämään käyttövettä ja muulloin lämmityspiiriä. Lämpöpumppu pystyy tuottamaan 34–36 kW energiaa. Kuvan 16 maalämpöpumpun kytkentäkaavion lisälämmönlähteeksi on oletettu öljy-, sähkö- tai pellettilämmitys. Näin ollen, jos haluttaisiin käyttää kaukolämpöä lisälämmitystapana, täytyisi lisätä ylimääräinen shunttiryhmä siirtimelle ja lisämoottoriventtiili ohjaamaan sitä.



Kuva 16. Pientalon maalämpöpumpun kytkentäkaavio [18].

Kuvan 17 maalämpöpumpun kytkentäkaavio soveltuu rakennukselle, jonka lämpötarve on 72–86 kW eli pienelle kerrostalolle. Tässäkin tarvittaisiin shunttiryhmä ja ylimääräinen venttiili, jos kaukolämpöä käytettäisiin lisälämmönlähteenä. Tässä kytkennässä on kaksi maalämpöpumppua. Maksimissaan suositellaan kolmen lämpöpumpun yhdistämistä. Yhden maalämpöpumpun maksimitehontuotto on 36–43 kW. [15.]



Kuva 17. Maalämpöpumpun kytkentäkaavio [18].

Lisää IVT-lämpöpumppuesimerkkejä on liitteessä 4.

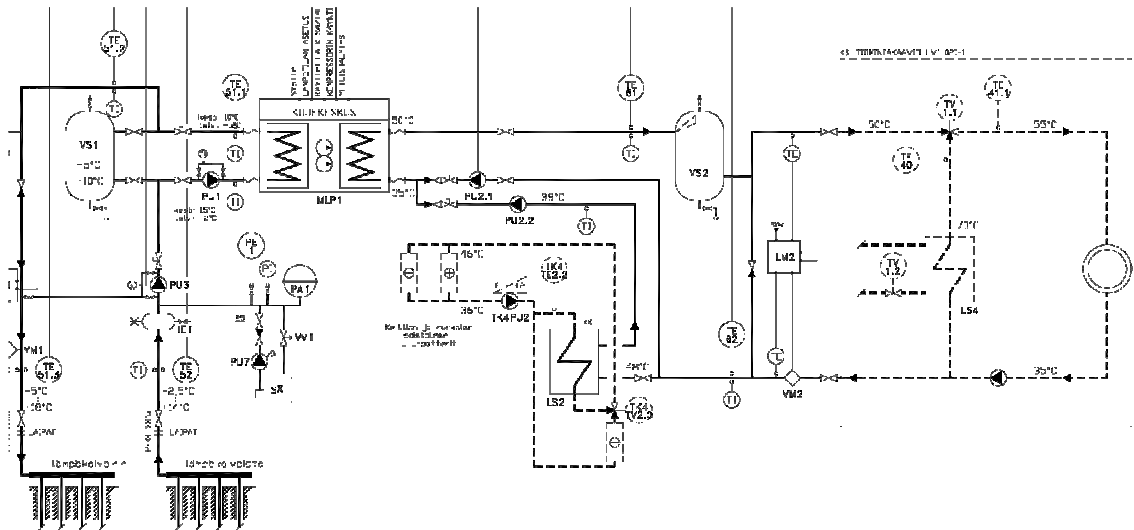
5.2 Hansakallion koulu

Espoon kaupunki käytti Hansakallion koulun (kuva 18) laajennusta kokeilukohteena eri lämpölähteiden hyödyntämisessä. Siellä oli aiemmin pelkkä kaukolämpö lämmitysjärjestelmänä. Koulu sijaitsee mäen päällä ja kalliolla, joten päätettiin käyttää maalämmön porakaivoja ja aurinkopaneeleita laajennuspuolen ensisijaisena lämmityslähteenä. Laitteisto pystyy myös tuottamaan jäähdytystä kesäaikana.



Kuva 18. Hansakallion koulu.

Kuvassa 19 on esitetty, miten kalliolämpö on liitetty koulun lämmitykseen. Koko kytkentäkaavio on esitetty liitteessä 5. Porakaivoja on neljä, ja ne ovat 160 metriä syviä [19]. Sieltä saatu lämpöenergia hyödynnetään patteripiiriin ja lämpimään käyttöveteen. Kuvan oikealla puolella on katkoviivoilla esitetty kaukolämmön lämmönsiirrin, jota käytetään silloin, kun anturi TE41.1 ilmoittaa veden lämpötilan liian alhaiseksi.



Kuva 19. Hansakallion koulun kytkentäkaavio [19].

Järjestelmä on vielä uusi, sillä se on otettu käyttöön helmikuussa 2011, joten lämpöpumpun hyötysuhde ja sen tehokkuus on vielä tuntematon. Tähän mennessä ei kuitenkaan ole ollut mitään ongelmia järjestelmän toiminnassa. [19.]

6 Vertailu

Tutkimalla kaukolämpöä ja lämpöpumppujen toimintaa erikseen ja yhdessä voidaan tehdä alustavia johtopäätelmiä.

Kun mietitään yhdistelmäkytkentöjä puoltavia seikkoja, voidaan heti aluksi todeta, että se hyödyntäisi uusiutuvaa energiaa paremmin sellaisilla alueilla, joilla kaukolämpö tuotetaan lämpökeskuksilla ja uusiutumattomilla polttoaineilla. Yhteistuotantoalueilla, joilla kaukolämpöä tuotetaan CHP-laitoksilla, vertailu on mutkikkaampi, eikä sitä ole tämän työn puitteissa mahdollista selvittää. Kummankintyyppisillä kaukolämpöalueilla lämpöpumppu saattaa säästää rahaa pitkällä tähtäimellä. Yksityistaloudellinen kannattavuus riippuu erityisesti sähkön ja lämmön hintasuhteesta ja sen kehitymisestä. Tällä hetkellä näyttää siltä, että kaukolämpö-lämpöpumppuyhdistelmää tullaan tarvitsemaan enemmän jatkossa. Siksi olisi hyvä standardisoida kytkentätapoja tukemaan kasvavaa markkina-aluetta eri tilanteissa. Yhdistelmän voi helposti muodostaa olemassa olevista laitteistoista ja tarjoaa kuluttajille uutta lämmitysmuotoa. Lopuksi yhdistelmäkytkentä säästää sähköenergiaa verrattuna pelkän lämpöpumpun käyttöön.

Toisaalta yhdistelmäkytkennät ovat monimutkaisia järjestelmiä, jotka kaipaavat enemmän huoltoa ja ylläpitoa. Yhdistelmän säätö on monimutkaisempaa. Ääriolosuhteissa joudutaan kuitenkin käyttämään kaukolämpöä, sillä lämpöpumppu ei kykene tuottamaan tarpeeksi lämpöä kylmimpinä vuodenaikoina, joten näinä huippukulutushetkinä kaukolämmöntoimittajat joutuvat tuottamaan enemmän lämpöä. Erityisesti ulkoilma-lämpöpumput ovat epäedullisia. Vuotuinen energianmyynti tippuu merkittävästi, mutta huippukulutusaikana koko huipputeho on tuotettava kaukolämmöllä. Kaukolämpötoimittajat perivät kiinteän liittymismaksun, joka riippuu juuri tuosta suurimmasta tehontarpeesta. Jos halutaan yhdistelmäjärjestelmä uudiskohteeseen, investointikustannukset ovat huomattavasti suuremmat kuin kummallakaan järjestelmällä erikseen. Ruotsalaisessa kytkentäoppaassa todetaankin, että pientaloissa yhdistelmäjärjestelmä ei useinkaan ole kannattava.

7 Yhteenveto

Insinöörityön tarkoitus oli selvittää, kuinka voidaan kytkeä kaukolämpö ja lämpöpumppu toimivaksi kokonaisuudeksi Ruotsin kaukolämpöyhdistyksen tarjoamien ratkaisujen perusteella. Nämä kytkennät muutettiin suomalaiseen peruskytkenämuotoon. Selvittämällä niiden ohjausta ja toimintaa pääteltiin, että nämä esimerkit eivät ole aina parhaita ratkaisuja Suomen olosuhteisiin ja niihin pitäisi suhtautua varauksella.

Työssä todetaan, että käyttökelpoisten ratkaisujen saamiseksi, pitäisi ottaa ensisijaisesti lämpöpumpun toiminta huomioon ja sitten vasta lisätä kaukolämpö lisälämmittäjäksi. Ruotsalaisista kytkennöistä puuttui monesti lämpövaraaja, joka suomalaisten lämpöpumppumyyjien mielestä on tärkeä komponentti lämpöpumppujärjestelmässä.

Yhdistelmälaitoksien toteutuksessa tulee erityisesti ottaa huomioon seuraavat asiat:

- Yksinkertainen kytkentä voi olla käytön, huollon ja kunnossapidon kannalta parempi kuin mutkikas, vaikka energiatehokkuudessa hieman menetettäisiinkin.
- Toimiakseen hyvin on lämmitysjärjestelmän oltava hyvin säädetty ja matalalämpötilainen.
- Pelkästään lämmitysverkkoa palveleva lämpöpumppulaitos saattaa yhdistelmäkäytössä olla taloudellisempi kuin lämmitystä ja lämpimän talousveden valmistusta palveleva ratkaisu. Parantunutta lämpökerrointa ja toisaalta lyhentyneen käyttöajan vaikutuksia on punnittava.

Rakennusten lämmitysmenetelmä tulevaisuudessa on tärkeää Suomessa. Näillä yhdistelmäkytkennöillä tarjotaan vaihtoehtoista lämmitysmuotoa, joka edistää jatkuvaa ja kestävästä kehitystä. Jatkotyönä voitaisiin selvittää kytkentätapoja vielä syvemmin, jolloin esitetyt ratkaisut olisivat oikeasti käyttökelpoisia ja toteutettavia standardeja.

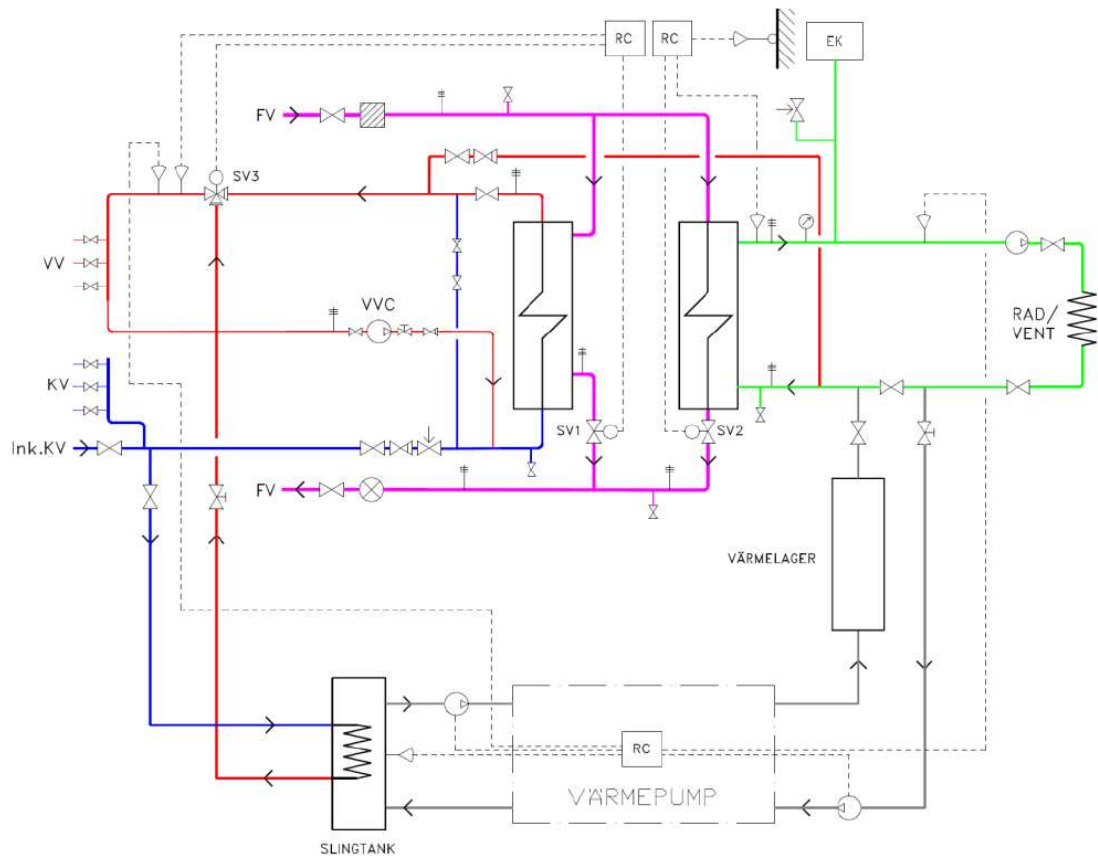
Lähteet

- 1 Energiateollisuus ry. 2007. Rakennusten kaukolämmitys. Määräykset ja ohjeet. Julkaisu K1/2003. Helsinki.
- 2 Energiateollisuus ry. 2006. Kaukolämmön käsikirja. Helsinki: Energiateollisuus ry.
- 3 Seppänen, Olli. 2001. Rakennusten lämmitys. Helsinki: Suomen LVI-liitto ry.
- 4 Harju, Pentti. 2006. Lämmitystekniikan oppikirja. Helsinki: Penan tieto-opus Ky.
- 5 Kiinteistöjen vesi- ja viemärlaitteistot. 2007. Suomen Rakentamismääräyskokoelma, osa D1. Helsinki: ympäristöministeriö.
- 6 Lammert, Laura. 2011. Opiskelija, Metropolia-ammattikorkeakoulu, Espoo. Valokuva otettu Vanhan kirkon lämpöjakohuoneesta 16.2.2011.
- 7 Lämpöpumput. 2011. Verkkodokumentti. Motiva Oy. <http://motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/lampopumput>. Päivitetty 1.2.2010. Luettu 19.3.2011.
- 8 Perälä, Rae. 2009. Lämpöpumput. Helsinki. Alfamer Oy.
- 9 Kaikki lämpöpumpuista. 2011. Verkkodokumentti. Lämpöpumppu.org.: <<http://www.lampopumppu.org/>>. Päivitetty 2011. Luettu 19.3.2011.
- 10 Maalämpö. 2011. Verkkodokumentti. Motiva Oy. <http://www.motiva.fi/rakentaminen/lammitysjarjestelman_valinta/eri_lammitysmuodot/maalampo>. Päivitetty 22.2.2011. Luettu 19.3.2011
- 11 Hakala, Pentti; Kaappola Esko. 2005. Kylmälaitoksen suunnittelu. Jyväskylä: Opetushallitus.
- 12 Lämpöpumput. 2011. Verkkodokumentti. Suomen lämpöpumppuyhdistys ry. <<http://www.sulpu.fi/>>. Päivitetty 25.1.2011. Luettu 19.3.2011

- 13 Kaukolämpö, ilma-vesilämpöpumppu, poistoilmalämpöpumppu. 2011. Verkkodokumentti. Motiva Oy. <http://motiva.fi/rakentaminen/lammitusjarjestelman_valinta/eri_lammitysmuodot>. Päivitetty 11.1.2011. Luettu 19.3.2011.
- 14 Svensk Fjärrvärme AB. 2009:3 Fjärrvärmecentralen Kopplingsprinciper rapport. Ruotsi.
- 15 Manner, Mika. 2011. Diplomi-insinööri, Myyntihenkilö rivi- ja kerrostalokohteet, Senera Oy, Vantaa. Haastattelu Senera Oy 17.3.2011
- 16 Haapalainen, Heimo. 2011. Lämpöpumppu- ja kylmätekniikka-asiantuntija, Konsultti, Enersys Oy, Parainen. Luento/teemailta "Tietoa lämpöpumpuista" 7.4.2011.
- 17 IVT. 2010. IVT Greenline HE C6-C11 E6-E17: Asennusohje. Suomi: IVT.
- 18 IVT. 2010. IVT Planning Guide en. Ruotsi: IVT.
- 19 Jeskanen, Pekka. 2011. Rakennusmestari, Tekninen manageri, NCC Oy, Helsinki. Haastattelu ja työmaakäynti 8.4.2011.

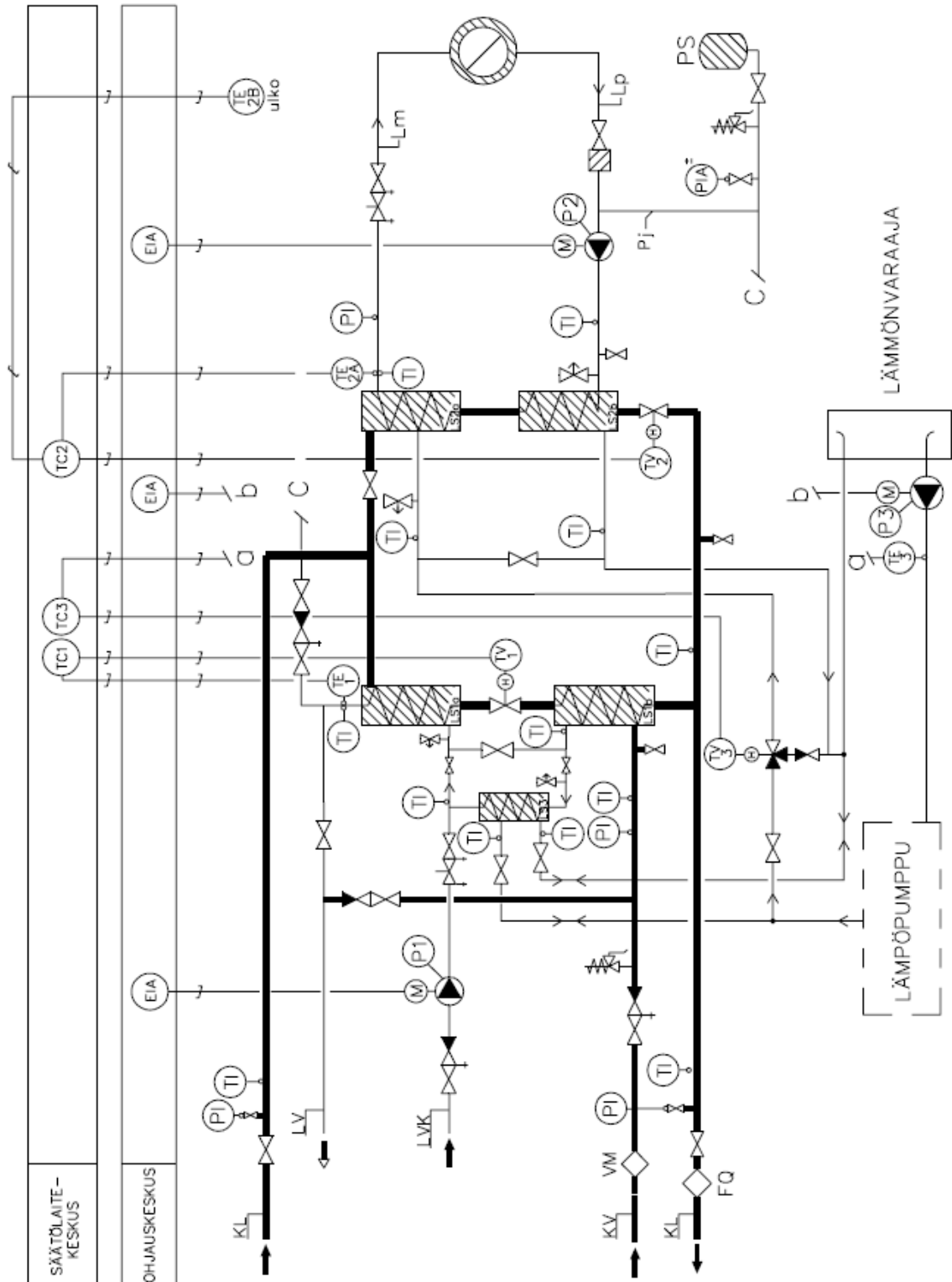
Liite 1. Esimerkki ruotsalaisesta kytkennästä

Tämän kytkennän perusteella on piirretty kytkentä 2 [14].

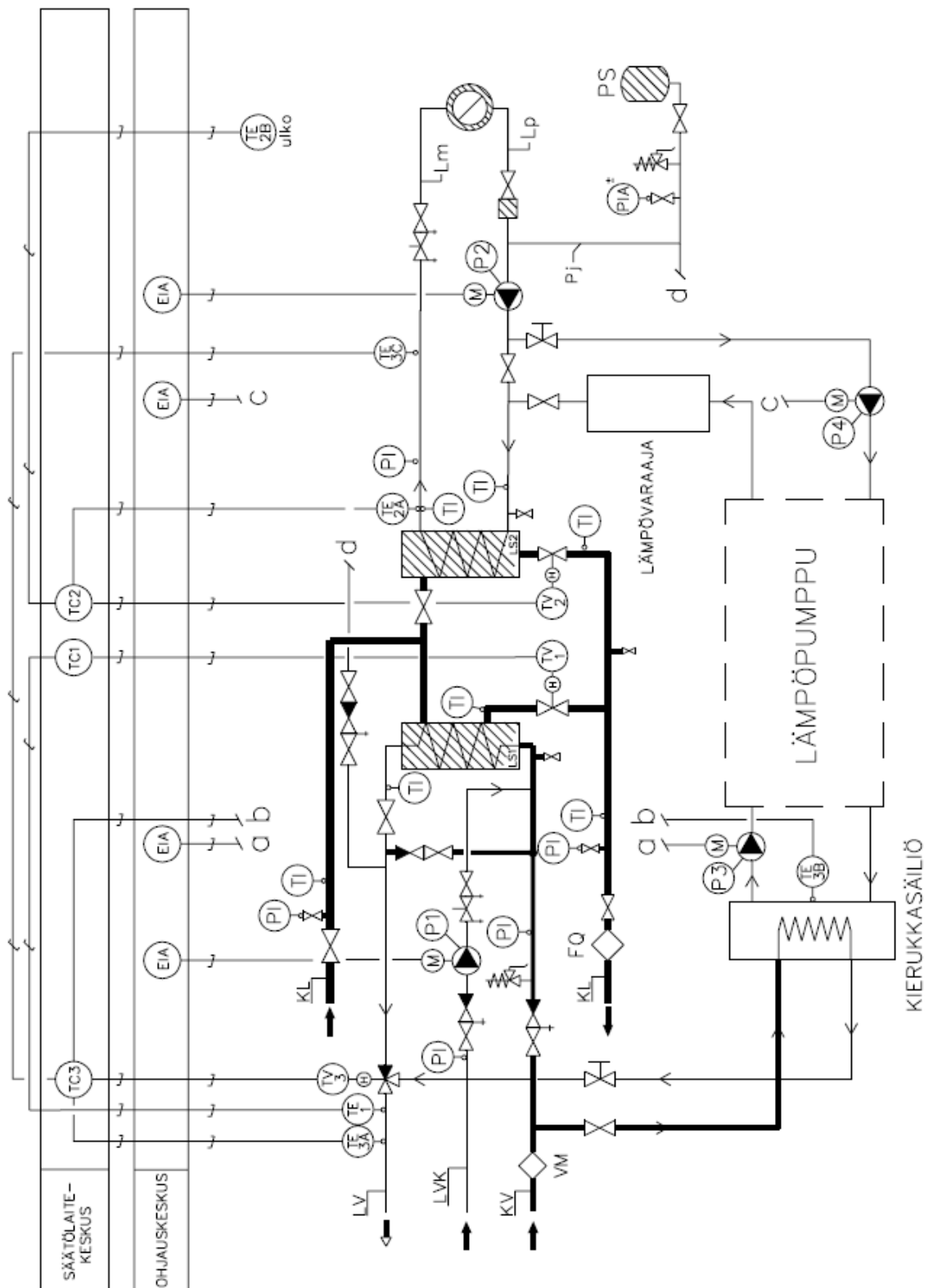


Liite 2. Kytkenät 1–10

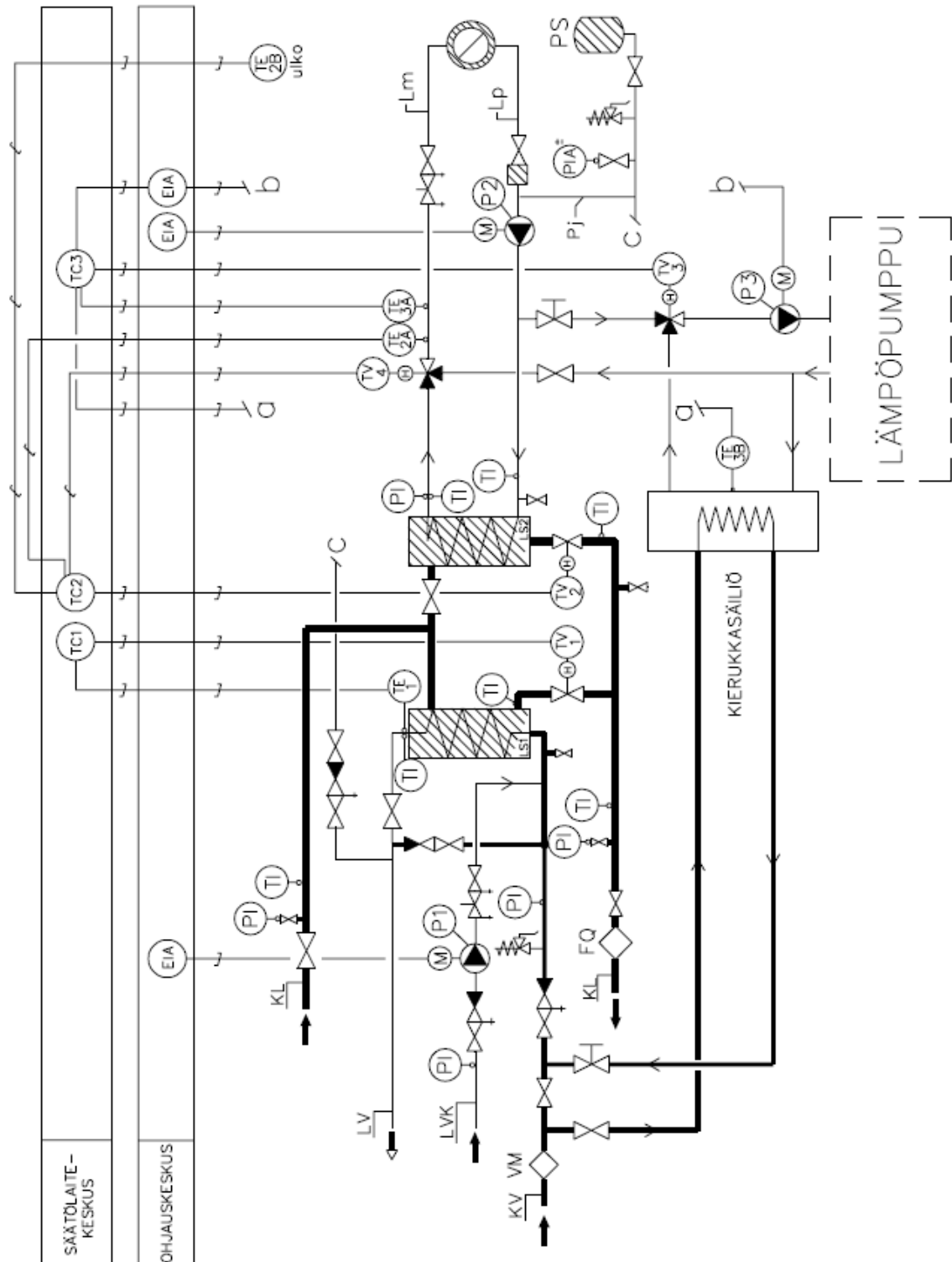
Lämpöpumppu lämpövaraajalla kytkettynä lämpimään käyttöveteen sekä lämmitykseen tapa 1.



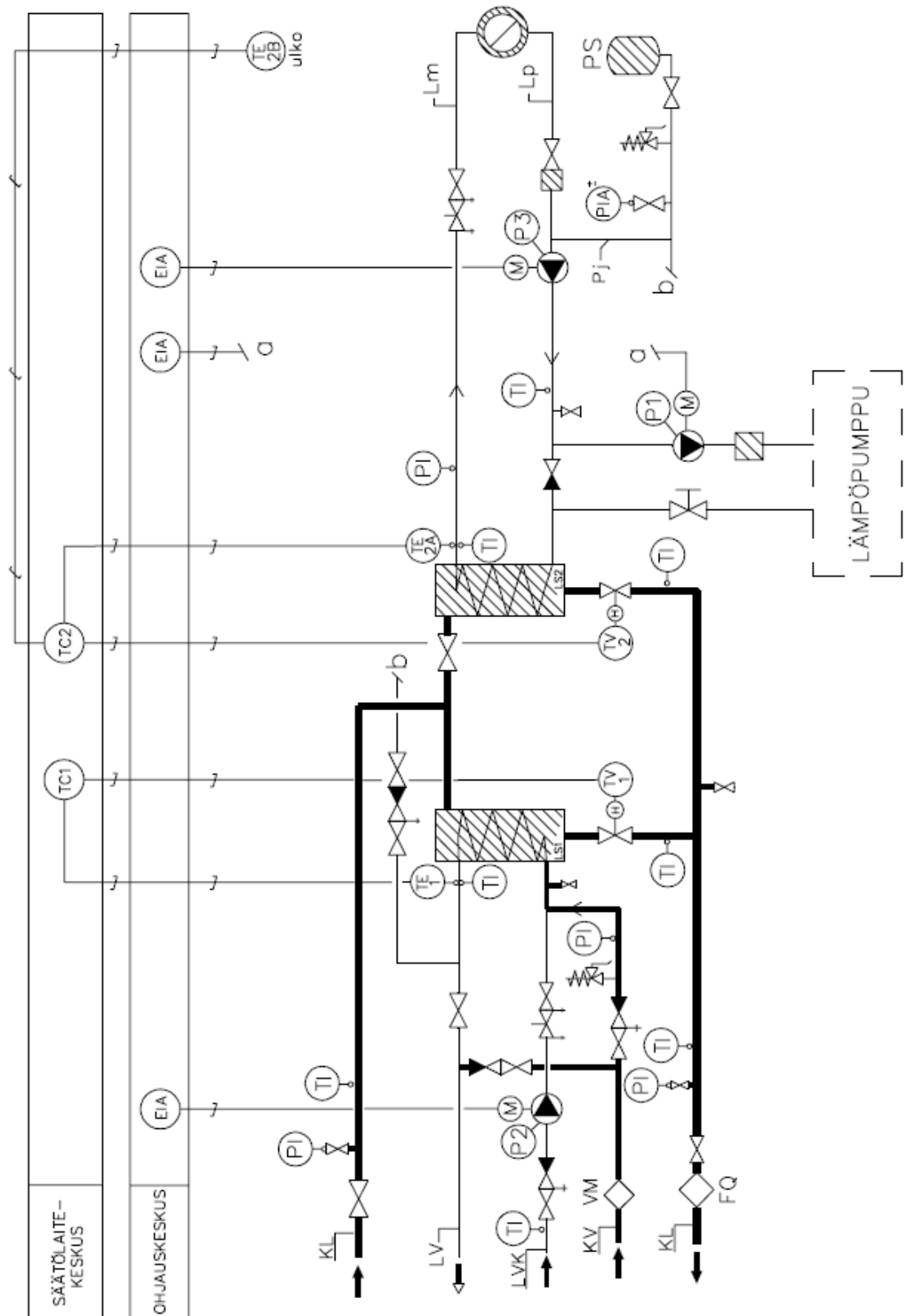
Lämpöpumppu lämpövaraajalla kytkettynä lämpimään käyttöveteen sekä lämmitykseen tapa 2.



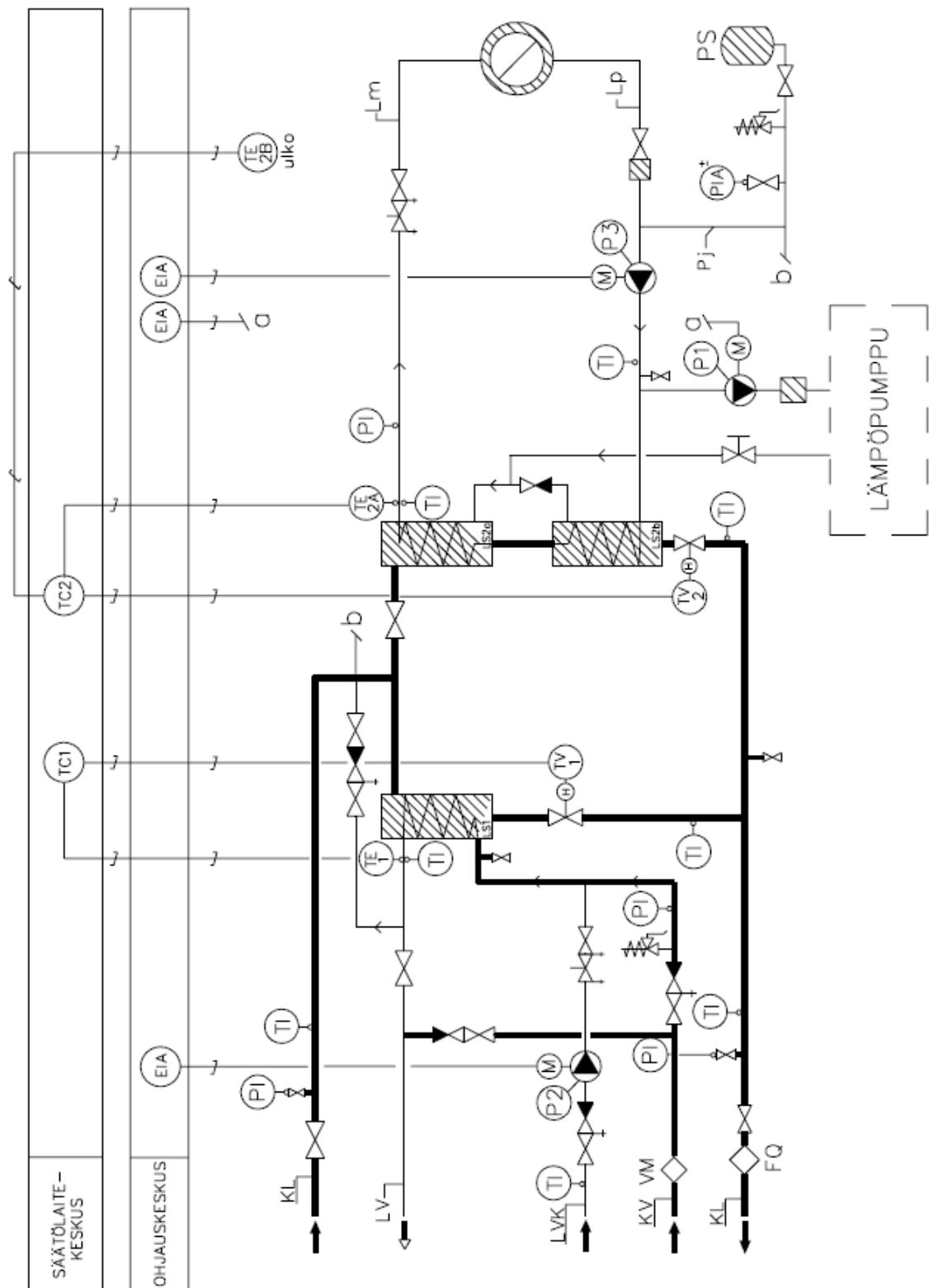
Lämpöpumppu ilman lämpövaraajaa kytkettynä lämpimään käyttöveeteen sekä lämmitykseen tapa 1.



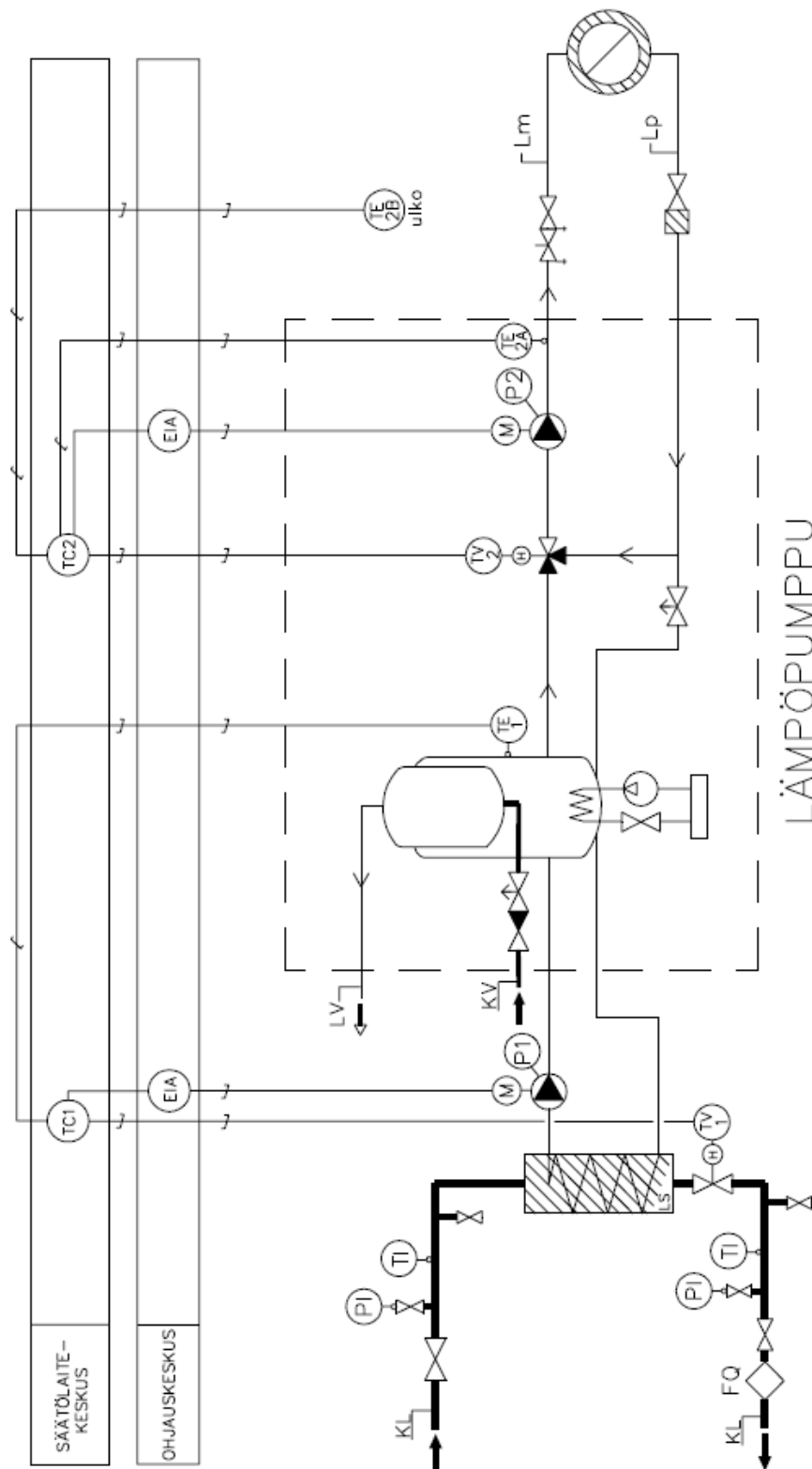
Lämpöpumppu kytkettynä ainoastaan lämmitykseen ilman lämpövaraajaa tapa 1.



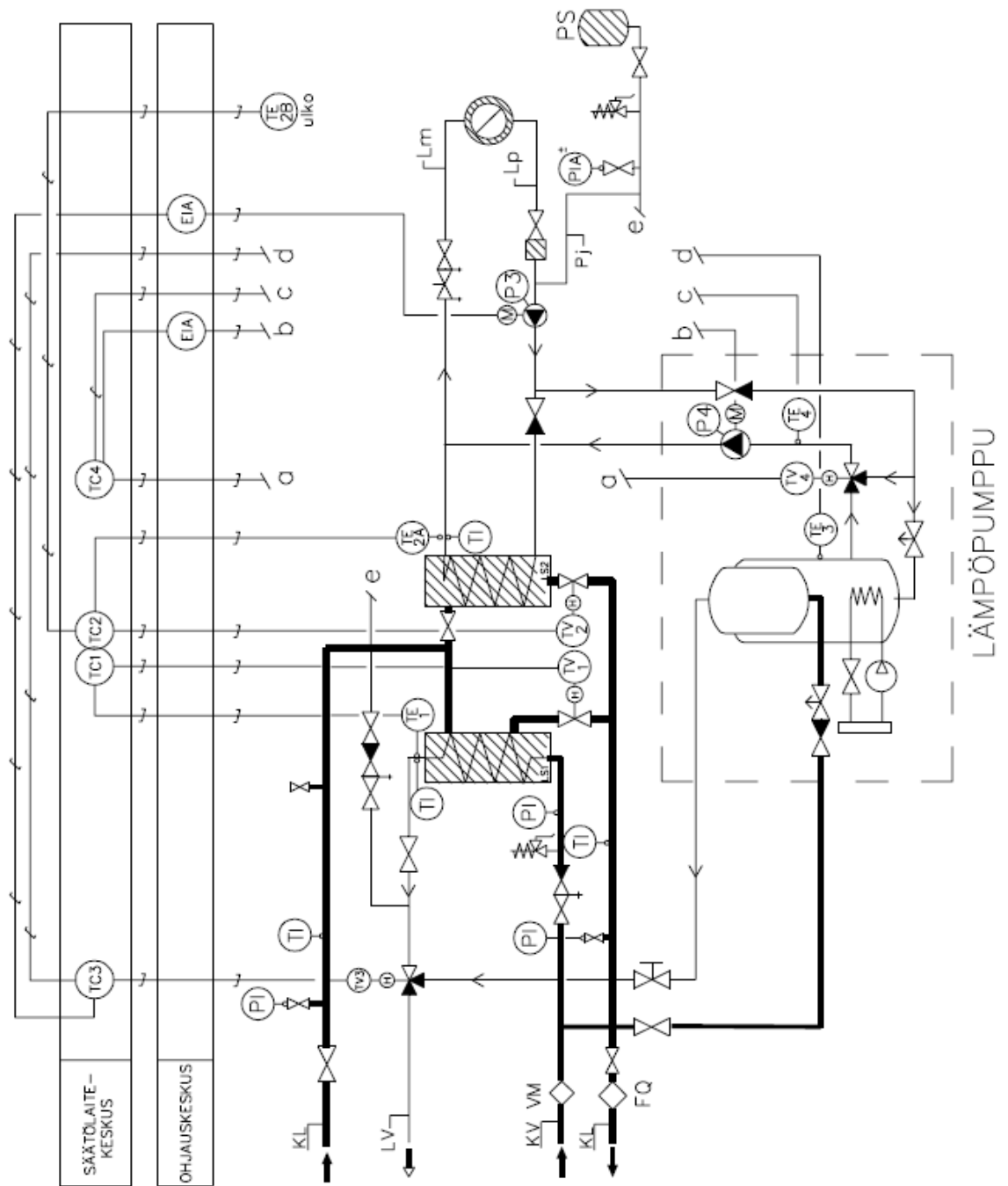
Lämpöpumppu kytkettynä ainoastaan lämmitykseen ilman lämpövaraajaa tapa 2.



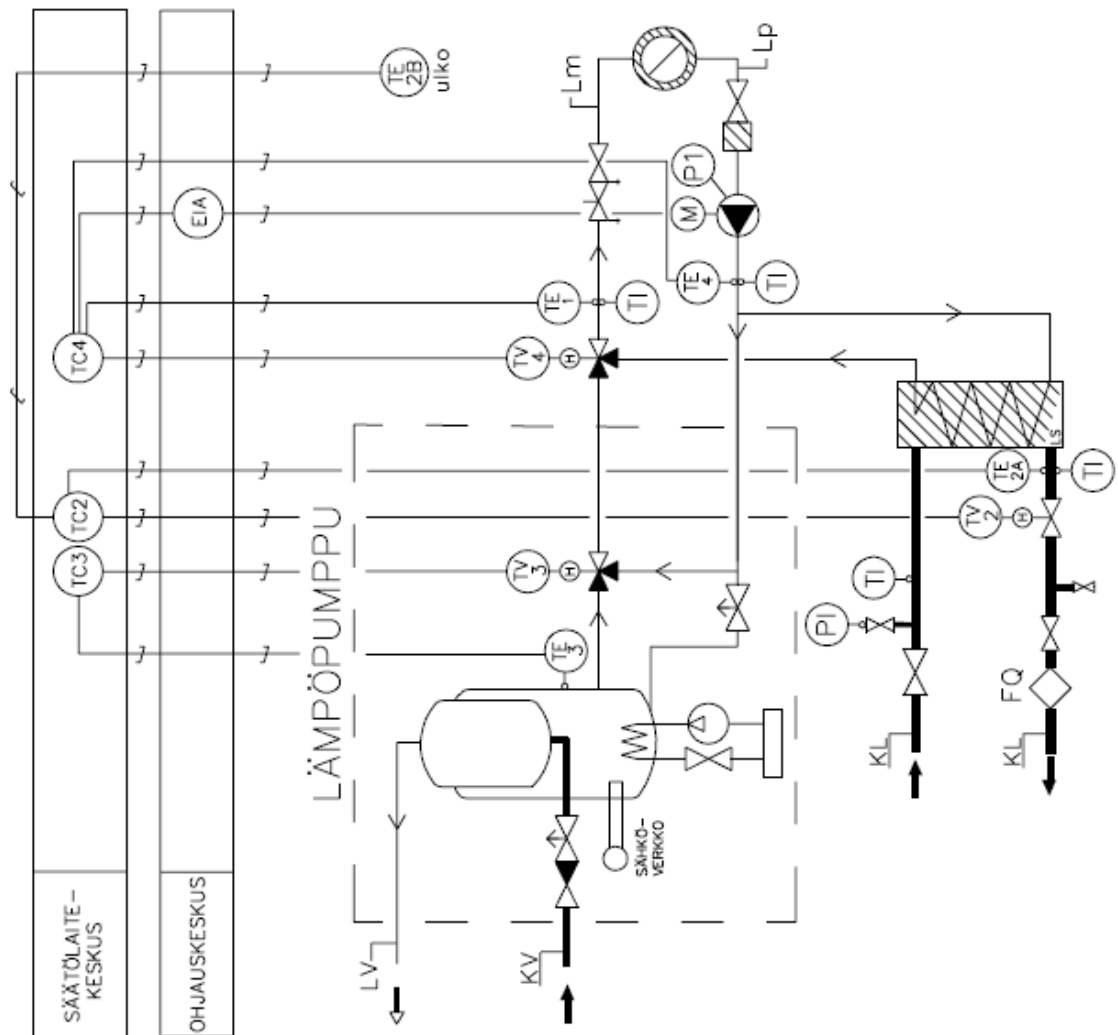
Lämpöpumppu pientalossa tapa 1.



Lämpöpumppu pientalossa tapa 2.








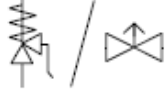










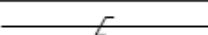


Lämpöpumppu pientalossa tapa 3.



Liite 3. Kytkennöissä käytetyt merkinnät ja lyhenteet

Merkinnät [1].

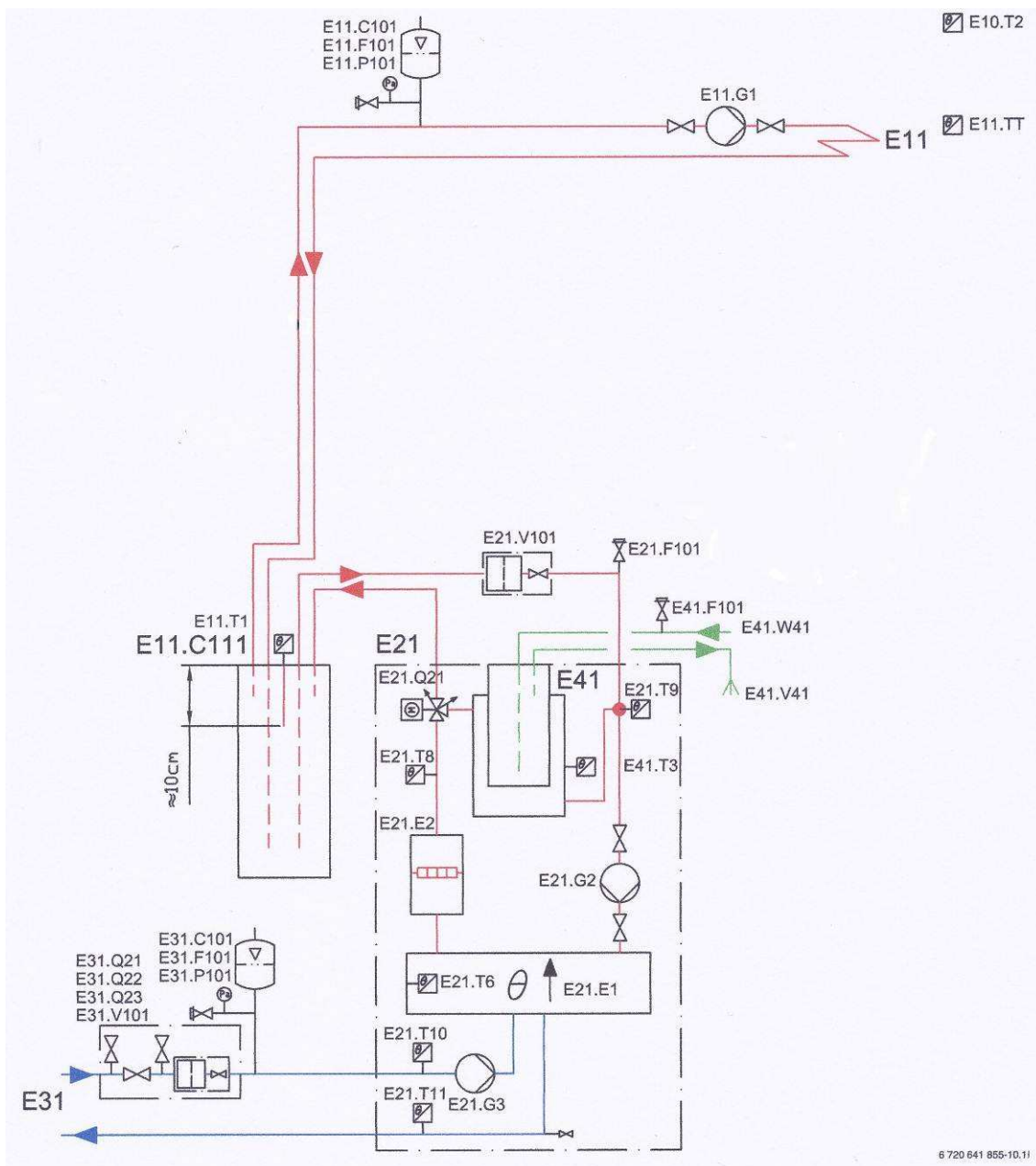
Symboli	Merkintä	Nimitys
	LS	Lämmönsiirrin
	TV	Säätöventtiili (2-tie), automaatti- ja käsiohjaus
	TV	Säätöventtiili (3-tie), automaatti- ja käsiohjaus
		Pumppu (ja moottori)
	PS	Paisuntasäiliö
		Kompressori
	L	Lämmönlähtö (lämmitysverkosto)
	VV	Varoventtiili
	TI	Lämpömittari
	TIA	Lämpömittari hälytyksellä
	PI	Painemittari
	PIA	Painemittari hälytyksellä
	TE	Lämpötilan tuntoelin
	TE	Lämpötilan tuntotelin (rajoitus)
	TC	Säätökeskus
	EIA	Relekytkin (näyttö + hälytys)
		Sulkuventtiili
		Yksisuuntaventtiili
		Kertasäätöventtiili paineenmittausyhtein
		Ryhmöventtiili (sulku + koestusyhte + yksisuunta)
		Ryhmöventtiili (sulku+koestusyhte+yksisuunta+sulku)
		Lianerotin
		Sähköinen viestijohto

Lyhenteet [1].

Merkintä	Nimitys
KL	Kaukolämpöjohto
Lm	Lämpöjohto meno
Lp	Lämpöjohto paluu
KV	Kylmävesiputki
LV	Lämminvesiputki
LVK	Lämminvesikiertoputki
Pj	Paisuntaputki
FQ	Virtausmittari
VM	Vesimittari
QE	Virtausvohti

Liite 4. IVT:n lämpöpumppujen kytkentäesimerkkejä

KytKentäesimerkki 1: Omakotitalon maalämpöpumppu (tuottaa 6–11 kW energiaa) integroidulla järjestelmällä [17].



Käytettyjen merkintöjen selitykset IVT:n kytkennöissä [18].

Symbol	Des.	Denomination	Symbol	Des.	Denomination	Symbol	Des.	Denomination
	Q	Shut-off valve		C	Accumulator tank		G	Pump
	R	Non-return valve, flow direction >		E	Coil tank		G	Fan
	Q	Adjusting valve		E	Hot water heater with electric element		F	Air vent (automatic)
	F	Safety valve, outlet >		E	Double-shelled hot water heater		Q	Air vent (manual)
	Q	Control valve with motor, 2-way		E	Double-shelled hot water heater with electric element		V	Filter valve
	Q	Control valve with motor, arrows indicate regulating gates		E	Electric boiler		E	Radiators, district heating
	K	Thermal valve		E	Oil-fired boiler		V	Domestic hot water
	P	Thermometer		E	Heat pump			Inlet/outlet
	T	Temperature sensor		C	Expansion tank			Duct (arrow indicates flow direction)
	P	Pressure gauge		V	Filter/Screen			Intersecting pipework
	T	Pressure sensor		E	Heat exchanger			T-branch
	T	Differential pressure switch						
	B	Flow monitor						

ISO/ISS 14617
Letter codes according to IEC 61346-2
This is a principal drawing

Symbols according to ISO/ISS 14617

ISO/SS 14617

Symbols according to ISO/SS 14617

ISO/SS 14617

ISO/SS 14617

ISO/SS 14617

ISO/SS 14617

ISO/SS 14617

ISO/SS 14617

ISO/SS 14617

ISO/SS 14617

ISO/SS 14617

ISO/SS 14617

ISO/SS 14617

ISO/SS 14617

ISO/SS 14617

ISO/SS 14617

ISO/SS 14617

ISO/SS 14617

ISO/SS 14617

ISO/SS 14617

ISO/SS 14617

ISO/SS 14617

ISO/SS 14617

ISO/SS 14617

ISO/SS 14617

ISO/SS 14617

ISO/SS 14617

ISO/SS 14617

ISO/SS 14617

ISO/SS 14617

ISO/SS 14617

ISO/SS 14617

ISO/SS 14617

ISO/SS 14617

ISO/SS 14617

ISO/SS 14617

ISO/SS 14617

ISO/SS 14617

ISO/SS 14617

ISO/SS 14617

ISO/SS 14617

ISO/SS 14617

ISO/SS 14617

ISO/SS 14617

ISO/SS 14617

ISO/SS 14617

ISO/SS 14617

ISO/SS 14617

ISO/SS 14617

ISO/SS 14617

ISO/SS 14617

ISO/SS 14617

ISO/SS 14617

ISO/SS 14617

ISO/SS 14617

ISO/SS 14617

ISO/SS 14617

ISO/SS 14617

ISO/SS 14617

ISO/SS 14617

ISO/SS 14617

ISO/SS 14617

ISO/SS 14617

ISO/SS 14617

ISO/SS 14617

ISO/SS 14617

ISO/SS 14617

ISO/SS 14617

ISO/SS 14617

ISO/SS 14617

ISO/SS 14617

ISO/SS 14617

ISO/SS 14617

ISO/SS 14617

ISO/SS 14617

ISO/SS 14617

ISO/SS 14617

ISO/SS 14617

ISO/SS 14617

ISO/SS 14617

ISO/SS 14617

ISO/SS 14617

ISO/SS 14617

ISO/SS 14617

ISO/SS 14617

ISO/SS 14617

ISO/SS 14617

ISO/SS 14617

ISO/SS 14617

ISO/SS 14617

ISO/SS 14617

ISO/SS 14617

ISO/SS 14617

ISO/SS 14617

ISO/SS 14617

ISO/SS 14617

ISO/SS 14617

ISO/SS 14617

ISO/SS 14617

ISO/SS 14617

ISO/SS 14617

ISO/SS 14617

ISO/SS 14617

ISO/SS 14617

ISO/SS 14617

ISO/SS 14617

ISO/SS 14617

ISO/SS 14617

