



TAMPEREEN
AMMATTIKORKEAKOULU

HYBRIDIKYTKENNÄT KAUKOLÄMPÖJÄR- JESTELMÄSSÄ

Tero Hirvelä

Opinnäytetyö
Toukokuu 2018
Talotekniikka
LVI-talotekniikka



TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Talotekniikan koulutus
LVI-talotekniikka

HIRVELÄ, TERO:
Hybridikytkennät kaukolämpöjärjestelmässä

Opinnäytetyö 35 sivua, joista liitteitä 2 sivua
Toukokuu 2018

Opinnäytetyön tavoitteena oli muodostaa perustietomateriaali kaukolämmityksen rinnalle asennettavista hybridijärjestelmistä. Työssä esitellään hybridijärjestelmiin liittyvää teoretietoa ja järjestelmien keskeisimmät komponentit sekä järjestelmien välisiä kytkentäkaavioita niiden toiminnan hahmottamiseksi.

Energiatehokkuustavoitteiden tiukentuminen ja uusiutuvien energialähteiden kysynnän kasvu on luonut tarpeen perinteisten lämmitysmuotojen tehostamiseen. Erilaisten hybridijärjestelmien ja energiatehokkuustoimien yleistyessä tulee myös niiden asennus- ja huoltotyö huomioida järjestelmien toiminnan varmistamiseksi. Opinnäytetyöllä oli myös oman osaamisen kehittämisen motiivi.

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Building Services Engineering
HVAC Building Services Engineering

HIRVELÄ, TERO:
Hybrid Systems in District Heating

Bachelor's thesis 35 pages, appendices 2 pages
May 2018

The purpose of this thesis was to compile information material on hybrid systems in district heating. The thesis introduces the theory and the essential components of the system as well as the different types of wiring diagrams between the parallel heat sources and district heating to explain the functional operations of the system.

The tightened goals of energy efficiency and the increasing demand for renewable energy sources have created a serious need for the intensification of the traditional heating sources. When the different types of hybrid systems and the general actions for energy efficiency become more common attention must be paid on the assembling and maintenance work to ensure the proper functions of the systems. The thesis also had a personal motive to improve the author's expert knowledge of the field.

Key words: hybrid systems, district heating, heat pumps

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	7
2	RAKENNUSTEN ENERGIANKULUTUS	8
	2.1 Rakennusten energiankulutus	8
	2.2 Rakennusten lämmitys	8
	2.3 Rakennusten energiankäytön taloudellinen merkitys	9
3	KAUKOLÄMMITYS	10
	3.1 Kaukolämpö yleisesti.....	10
	3.2 Kaukolämmön jakelu	10
	3.3 Kaukolämmön hinnoittelu	11
	3.4 Kaukolämpöveden jäähtymä.....	11
	3.5 Kaukolämmityksen asema ja sääntely	12
	3.6 Kaukolämmön tulevaisuus.....	12
4	LÄMPÖPUMPUT.....	13
	4.1 Lämpöpumput yleisesti	13
	4.2 Lämpöpumpun toiminta.....	14
	4.3 Lämpökerroin.....	14
5	HYBRIDIJÄRJESTELMÄT	16
	5.1 Hybridijärjestelmät yleisesti	16
	5.1.1 Varaajat	17
	5.1.2 Kaukolämmön säätöventtiilit	18
	5.1.3 Sekoitusventtiilit	19
	5.1.4 Kiertovesipumput.....	19
	5.1.5 Lämmönsiirtimet.....	20
	5.2 Hybridijärjestelmän hankinta.....	21
	5.3 Hybridijärjestelmän suunnittelu.....	21
	5.4 Hybridijärjestelmien kytkennät.....	22
	5.4.1 Hybridijärjestelmän rinnankytkentä.....	23
	5.4.2 Hybridijärjestelmän sarjakytkentä	25
	5.4.3 Kaukolämmön paluuvesikytkentä.....	27
	5.5 Poistoilmalämpöpumppu kaukolämmössä	27
	5.6 Maalämpöpumppu kaukolämmössä	28
	5.7 Aurinkolämpö kaukolämmössä	28
6	YHTEENVETO JA POHDINTA	30
	6.1 Kytkentöjen vaikutus	30
	6.2 Suunnittelu	30
	6.3 Järjestelmien tulevaisuus	31

6.4 Työn tavoitteet ja onnistuminen	31
LÄHTEET	33
LIITTEET	34
Liite 1. Esimerkkikytkentä Hybridi 1. (Energiateollisuus Ry.).....	34
Liite 2. Esimerkkikytkentä Hybridi 2. (Energiateollisuus Ry.).....	35

LYHENTEET JA TERMIT

COP	Lämpökerroin
KL	Kaukolämpö
KV	Kylmävesi
LKV	Lämminkierto-vesi
LM	Lämpöjohto meno
LP	Lämpöjohto paluu
LS	Lämmönsiirrin
LTO	Lämmöntalteenotto
LV	Lämminvesi
LÄ	Lämmitysverkosto
MLP	Maalämpöpumppu
PE	Paineanturi
PI	Painemittari
PILP	Poistoilmalämpöpumppu
PJ	Paisuntajohto
PU	Pumppu
TE	Lämpötila-anturi
TI	Lämpömittari
TV	Termostaattiventtiili

1 JOHDANTO

Lämmöntuotannon tarverakenne pitää sisällään rakennuksien, teollisuuden prosessien ja kotitalouksien päivittäisen ylläpidon. Lämmöntuotanto tapahtuu pääosin rakennuskohtaisien lämmitysjärjestelmien sekä lämmönjakeluverkkoon liitettyjen tuotantolaitosten avulla. Kaukolämpö on Suomen yleisimpiä lämmitysmuotoja ja sen markkinaosuus on noin puolet lämmitykseen käytetystä kokonaisenergiasta.

Rakennusten energiatehokkuustavoitteiden ja kaukolämmön kustannustason nousun myötä erilaiset kiinteistökohtaiset energiatehokkuustoimet ovat alkaneet kiinnostaa kuluttajia. Hybridijärjestelmät ovat kahden tai useamman eri lämmitysmuodon yhdistelmiä. Tässä opinnäytetyössä keskitytään pääasiassa kaukolämpöjärjestelmän ohessa toimiviin rinnakkaislämmönlähteiden kytkentäratkaisuihin periaatetasolla. Opinnäytetyössä esitellään myös hybridijärjestelmien keskeisimmät komponentit valokuvien ja piirrosmerkkien avulla sekä esitellään niiden toimintaa järjestelmien sisällä.

Tällä opinnäytetyöllä oli henkilökohtainen ja työelämälähtöinen tarve, jonka perusteella muodostui tietopaketti kaukolämpöjärjestelmän yhteyteen liitettyistä rinnakkaislämmönlähteistä. Hybridijärjestelmistä on julkaistu paljon materiaalia, jonka avulla tämä opinnäytetyö on koostettu ja mahdollistettu. Hybridijärjestelmät ovat monimutkaisia kokonaisuuksia ja niiden asianmukainen asennus- ja huoltotoiminta vaatii myös usein syvempää perehdytystä järjestelmiin ja laitteistoihin eri järjestelmätasoilla. Tällä opinnäytetyöllä pyritään vastaamaan myös tähän tarpeeseen.

2 RAKENNUSTEN ENERGIANKULUTUS

2.1 Rakennusten energiankulutus

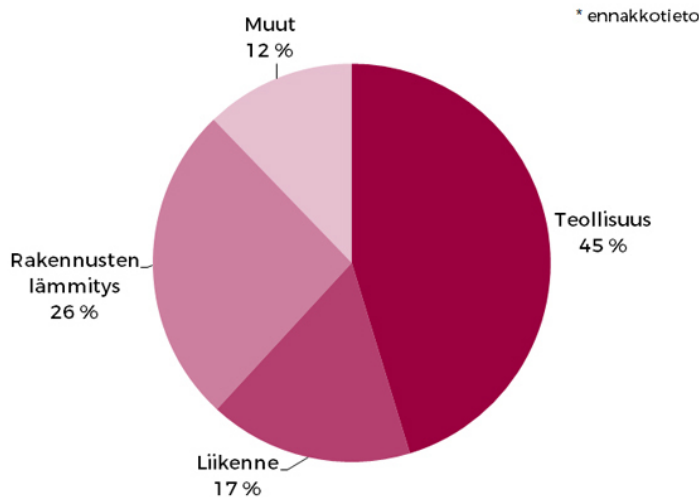
Energian kokonaiskulutuksen jakauma käyttökohteittain muuttuu hitaasti, mutta pitkällä aikavälillä muutoksia tapahtuu huomattavasti. Merkittävin pitkän aikavälin muutos kokonaiskulutuksessa on tapahtunut teollisuuden energiankäytön vähentyessä sekä rakennusten ja liikenteen osuuden kasvaessa. Rakennusten energiankäytön lisääntyminen johtuu pääosin rakennuskannan ja sähkönkulutuksen kasvusta. (Lappalainen. 2010, 12.)

Rakennuskannan kasvu ja rakennusten varustelutason parantelu mm. sähkölaitteita lisäämällä, nostaa rakennusten energian kulutusta. Energiatohokkuustoimet ja tekniikan kehittyminen ovat puolestaan vähentäneet kulutusta. Rakennuskannan lämmitysenergian kokonaiskulutus on vähentynyt kolmanneksen 1970-luvun tasosta. (Lappalainen. 2010, 15.) Joidenkin arvioiden mukaan tulevaisuudessa rakennusten sähkön kulutus kääntyy laskuun lämpöpumpulämmityksen syrjäyttäessä perinteistä suoraa sähkölämmitystä.

2.2 Rakennusten lämmitys

Suomessa rakennusten lämmitykseen kuluu noin neljännes energian loppukäytöstä. Energian loppukäyttö (Kuvio 1.) kuvaa sähkön, kaukolämmön ja rakennusten lämmittämiseen käytettyjen polttoaineiden, sekä liikennepolttoaineiden ja teollisuuden prosessipolttoaineiden kulutusta. (Motiva. Energian loppukäyttö 2016.)

Energian loppukäytön jakaantuminen sektoreittain 2016*



KUVIO 1. Energian loppukäytön jakaantuminen sektoreittain 2016 (Motiva. Energian loppukäyttö 2016.)

2.3 Rakennusten energiankäytön taloudellinen merkitys

Energiataloudellisessa suunnittelussa tulee ottaa huomioon myös erilaiset asumismukavuuteen, viihtyvyyteen ja terveellisyteen liittyvät tekijät. Laitteiden ja rakenteiden valintapäätöksiä ei kannata tehdä pelkkien investointi- ja käyttökustannuksien perusteella. Tilankäytön tarkoituksenmukainen suunnittelu korostuu ja erityisesti lämmitysjärjestelmää valittaessa tulee kiinnittää huomiota sen mahdolliseen muunneltavuuteen ja sopeutumiseen uusiin ja vaihtoehtoisiin energiamuotoihin. Pienet käyttökustannukset ja joustava lämmitysjärjestelmä nostavat myös osaltaan rakennuksen arvoa. (Lappalainen. 2010, 16)

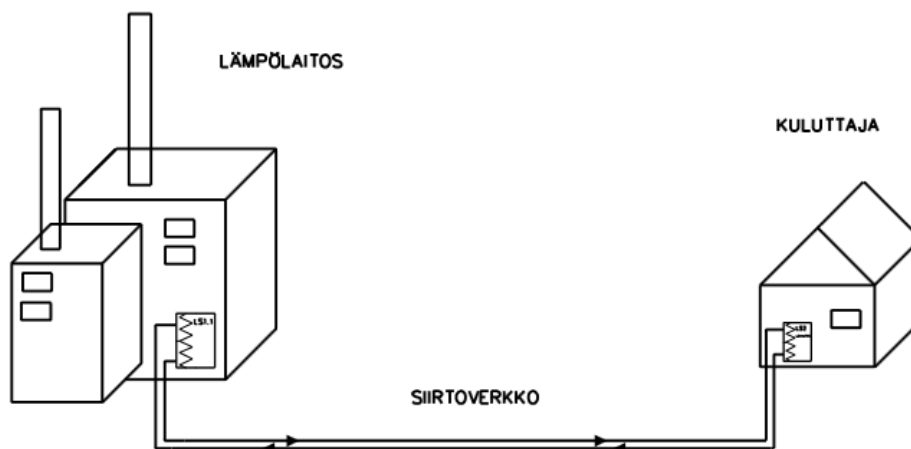
3 KAUKOLÄMMITYS

3.1 Kaukolämpö yleisesti

Kaukolämmöllä on vahvat juuret Suomen energiajärjestelmässä ja se tunnetaan perinteisesti luotettavana ja toimintavarma lämmitysmuotona. Kaukolämpö tuotetaan paikallisesti ja lähellä kuluttajia. Suurin osa kaukolämmön tuotannosta tuotetaan sähkön ja lämmön yhteistuotannolla. Yhteistuotanto on erittäin tehokasta ja sillä saadaan polttoaineen energia hyödynnettyä lähes 90 prosenttisesti. (Energiateollisuus Ry. Kaukolämmön tuotanto 2016.)

3.2 Kaukolämmön jakelu

Kuvassa 1 lämmöntuotantolaitoksella lämmitetty kaukolämpövesi kiertää suljetussa kaksiputkijärjestelmässä kuluttajien alajakokeskuksiin, joissa kaukolämpöveden lämpöenergia siirretään lämmönsiirtimien avulla kuluttajien lämmitysjärjestelmiin ja sen jälkeen jäähtynyt kaukolämpövesi palaa jäähtyneenä takaisin tuotantolaitokselle uudelleen lämmitettäväksi. Kaukolämpöjärjestelmän toimintaidea on hyvin yksinkertainen ja järjestelmän tarkoituksenmukainen sekä tehokas käyttö turvataan kuluttajalaitteiston asianmukaisella seurannalla ja huollolla.



KUVA 1. Kaukolämmön toimintaperiaate.

Kaukolämpöjärjestelmän jakeluverkon rakentaminen on kallista, eikä sitä kannata viedä joka paikkaan. Jakeluverkkoa rakennettaessa jokainen mahdollinen laajennus mietitään erittäin tarkkaan liiketaloudellisessa mielessä ennen rakentamispäätöstä. Olemassa olevat pientaloalueet ovat usein taloudellisesti kannattamattomia, pois lukien uudet pientaloalueet, joiden suunnittelussa kaukolämmitys voidaan ottaa huomioon. Kaupunkimaisesti rakennetuilla alueilla kaukolämmitys on yleensä kannattavaa. (Lappalainen. 2010, 99.)

3.3 Kaukolämmön hinnoittelu

Kaukolämmön hinnoittelu perustuu pääasiassa tehoon ja vesivirtaan. Tehoa ja vesivirtaa käytetään liittymismaksun ja käytönaikaisen tehomaksun perusteina. Kaukolämpömaksuista noin 10-50 prosenttia määräytyy mitatun energiankäytön ulkopuolelta, jolloin kaukolämpötehon määrittäminen on tärkeää molemmille osapuolille. Kaukolämmönmyyjä määrittelee sopimustehon tai sopimusvesivirran suunnittelijan mitoitus tietojen perusteella. Suunnittelijan lämmitysjärjestelmän mitoitus tietojen tavoitteiden tulee vastata tai olla mahdollisimman lähellä todellista arvoa. Asiakkaan tarpeiden muuttuessa tehomaksun perusteena oleva teho tai vesivirta tulee olla muutettavissa joustavasti. Vesivirtapohjainen maksuperuste ohjaa asiakasta myös aikaan saamaan riittävän jäähtymän, jolla on suuri vaikutus asiakasmaksujen suuruuteen. Tällä varmistetaan myös kuluttajan motivoiminen asiakaslaitteiston kunnossapitämiseksi. (Teho- ja vesivirta suositus K15/2014.)

3.4 Kaukolämpöveden jäähtymä

Kaukolämpöverkon siirtokapasiteettiin vaikuttaa se kuinka paljon vesivirtayksikköä kohden saadaan kuljetettua lämpöenergiaa. Kuluttajalaitteiden aiheuttama huono kaukolämpöveden jäähtyminen kasvattaa sen siirtokustannuksia pumppausenergian ja -tarpeen lisääntyessä. Sähkön ja lämmön yhteistuotantolaitoksissa sähkön tuotantomäärä on riippuvainen kaukolämmön paluueden lämpötilasta. Paluueden lämpötilaa saatetaan joutua alentamaan lauhduttamalla sitä mm. vesistöön. Joillain paikkakunnilla kaukolämmön paluuvettä käytetään myös katujen sulanapitoon. Kaukolämmön erillistuotantolaitoksissa savukaasujen lämmöntalteenotto laitteiston hyötysuhde, sekä toimivuus yleisesti, ovat riippuvaisia paluueden lämpötilasta. (K15/2014.)

3.5 Kaukolämmityksen asema ja sääntely

Kaukolämmön asema on vahva erityisesti tiiviisti rakennetuilla alueilla ja se tunnetaan toimintavarmana ja luotettavana lämmitysmuotona. Lämmitysmuodon vaihtaminen olemassa olevaan rakennukseen on yleensä kankeaa ja kilpailuviranomaisen toimesta on usein tulkittu kaukolämmön olevan määräävässä markkina-asemassa. Määrävän markkina-aseman statuksen pitäisi estää kaukolämmön kohtuuton hinnoittelu, kunhan se perustuu kustannuksiin. Suomessa ei ole tällä hetkellä lämmitykseen, lämmitysmuodon valintaan, tai hinnoitteluun liittyvää lainsäädäntöä. Kaukolämmön hinnoittelua ei sinänsä säädellä lailla, mutta laki määrää laskutuksen tapahtuvan todellisen kulutuksen perusteella. (Energieollisuus Ry. Kaukolämmön hinta.)

3.6 Kaukolämmön tulevaisuus

Rakentamismääräykset kiristyvät ja uudiskohteiden kaukolämmön kulutus tilojen lämmityksessä tulee vähenemään. Pidemmällä aikavälillä energiatehokkuustoimet vaikuttavat myös olemassa oleviin rakennuksiin vähentäen kaukolämmön kulutusta. Maalämpö, pellettilämmitys ja erilaiset hybridijärjestelmät tulevat vaikuttamaan myös osaltaan kaukolämpöjärjestelmään, mutta se tulee säilyttämään asemansa merkittävimpänä lämmitysmuotona myös tulevaisuudessa. (Kaukolämmön asema Suomen energiajärjestelmässä tulevaisuudessa. 2011, 53)

4 LÄMPÖPUMPUT

4.1 Lämpöpumput yleisesti

Lämpöpumpulla (Kuva 2) voidaan siirtää ilmaan, veteen tai maaperään varastoitunutta auringosta lähtöisin olevaa lämpöenergiaa rakennusten tilojen ja käyttöveden lämmittämiseen. Lämpöpumpulla voidaan saavuttaa jopa kolminkertainen lämmitysenergian määrä laitteiston sähköverkosta kuluttamaan sähköenergiaan nähden. Lämpöpumppujen suosio on ollut erittäin kovassa nosteessa jo useiden vuosien ajan. Oikein valittu lämpöpumppu on kannattava sijoitus ja perinteiseen sähkö- tai öljylämmitykseen verrattuna lämpöpumpulla voidaan säästää jopa yli puolet lämmityskustannuksista. (Suomen lämpöpumppuyhdistys Ry: Lämpöpumput 2016.)

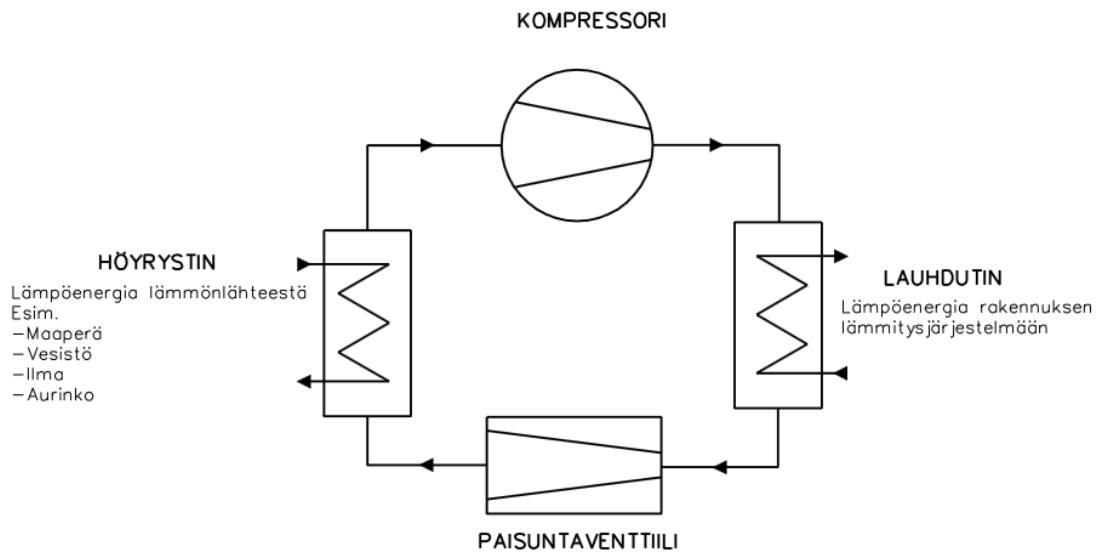


KUVA 2. Kiinteistölämpöpumppu ja piirrosmerkki.

Suomessa vajaan 300 000 öljy- ja noin 700 000 sähkölämmitteisen rakennuksen siirtymisen lämpöpumpulla tapahtuvaan lämmitykseen, tulee vähentämään merkittävästi öljyn ja sähkön kulutusta. Nykyisillä lämpöpumppujen asennusmäärillä saavutetaan Suomessa noin 800 000 lämpöpumppua vuoteen 2020 mennessä. Lämpöpumpuilla saadaan hyödynnettyä uusiutuvaa energiaa noin 5-10 TWh vuodessa rakennusten ympäriltä. (Lappalainen. 2010, 94.)

4.2 Lämpöpumpun toiminta

Lämpöpumpun avulla voidaan siirtää lämpöä matalammasta lämpötilasta korkeampaan, esimerkiksi rakennuksen poistoilmasta rakennuksen lämmitysjärjestelmään. Lämpöpumppujen toiminta perustuu kuvan 3 mukaisesti tapahtuvaan kylmäainekiertoön höyrystimen, kompressorin, lauhttimen ja paisuntaventtiilin välillä. Höyrystimessä alhaiseen paineeseen vapautunut voimakkaasti jäähtyvä kylmäaine kerää itseensä käytettävistä lämmönlähteistä lämpöenergiaa, jolloin se samalla kaasuuntuu. Seuravaksi kylmäaine puristetaan kompressorilla korkeaan paineeseen, jolloin kylmäaine lämpenee voimakkaasti noin 100 Celsius-asteen lämpötilaan. Kuumennettu paineenalainen kylmäaine ohjataan seuraavaksi lauhttimelle, jolloin se jäähtyy ja luovuttaa lämmönlähteestä kerätyn lämpöenergian käytettäväksi tiivistyen samalla jälleen nesteeksi. Nestemäinen kylmäaine vapautetaan paisuntaventtiilin läpi uudelleen höyrystimelle, jolloin sen paine laskee voimakkaasti ja neste jäähtyy alle -20 Celsius-asteeseen. (Perälä & Perälä 2013, 28-29.)



KUVA 3. Lämpöpumpun toimintaperiaate. (Mukaiillen, Perälä 2013, 28.)

4.3 Lämpökerroin

Lämpökerroin kuvaa lämpöpumpulla tuotetun lämpöenergian ja siihen käytetyn sähköenergian määrän suhdetta. Lämpökertoimesta käytetään lyhennettä COP (Capacity Of

Performance). Lämpöpumppujen lämpökerrointa voidaan parantaa sopivalla suunnittelulla. Lämmön keruulämpötilan ja luovutuslämpötilan välinen ero kannattaa pitää mahdollisimman pienenä. Mitä korkeampaan lämpötilaan lämpöpumppu joutuu lämmityspiirin nesteen nostamaan, sitä huonommaksi lämpökerroin muuttuu. Tästä syystä lämpöpumppulämmityksessä suositaan erityisesti lattialämmityksiä. (Perälä 2013, 30-31.)

5 HYBRIDIJÄRJESTELMÄT

5.1 Hybridijärjestelmät yleisesti

Yksittäisille rakennuksille saatetaan löytää jopa yli 50 prosentin energiansäästöpotentiaali, joka kannattaa hyödyntää tapauskohtaisien mahdollisuuksien mukaan. Kuvan 4 mukaisella kaukolämmityksen rinnalle asennettavalla lämpöpumppusovelluksella pyritään vähentämään kiinteistökohtaisia lämmityskustannuksia sekä laskemaan kaukolämmönkulutusta. Hybridijärjestelmä tarvitsee toimiakseen riittävän lämmönlähteen, josta lämpö siirretään lämpöpumpun avulla kiinteistön lämmitysjärjestelmään. Rinnakkaislämmönlähteenä toimii yleisimmin maalämpö, aurinkoenergia tai rakennuksen poistoilmavirta.



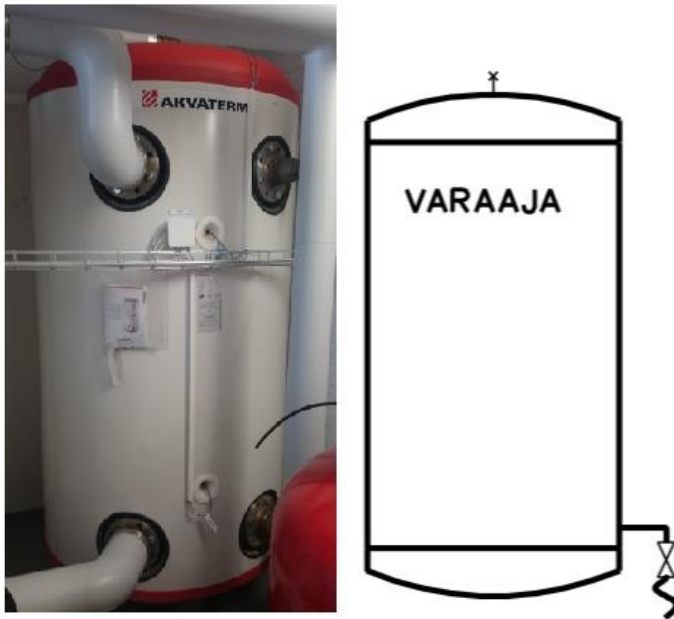
Kuva 4. Toiminnassa oleva hybridijärjestelmä.

Varhaisemman rakennuskannan energiatehokkuuteen liittyvät suhteellisesti matalammat vaatimukset luovat otollisen pohjan erilaisille energiatehokkuusratkaisuille. Suuri osa hybridijärjestelmistä asennetaan olemassa oleviin kiinteistöihin erilaisten saneerausten yhteydessä. Kaukolämmön yhteyteen liitetyt poistoilmalämpöpumput sijoittuvat pääasiassa vanhempiin koneellisella poistoilmavaihdolla varustettuihin kerrostalokohteisiin. Yleisesti korjausrakentamisessa suurimmat taloudelliset säästöt saadaan varmistamalla taloteknisten järjestelmien energiataloudellisempi toiminta.

Hybridijärjestelmä voidaan toteuttaa yksinkertaisesti liittämällä lisälämmönlähde olemassa olevan kaukolämpökeskuksen rinnalle tai päivittämällä kaukolämmönkuluttajalaitteet kokonaan. Suomessa on useita yrityksiä, jotka tarjoavat erilaisia ns. valmiita hybridijärjestelmiä kuluttajien tarpeisiin. Perinteiseen kaukolämmönlajakokeskukseen verrattuna hybridijärjestelmä on monimutkainen kokonaisuus. Hybridijärjestelmät sisältävät yleensä tavallisen kaukolämmönlajakokeskuksen lisäksi mm. yhden tai useamman lämpöpumpun, varaajia, kiertovesipumppuja, lämmönsiirtimiä, lämmönkeruujärjestelmän sekä paljon putkistoja ja putkistovarusteita. Järjestelmien tarkoituksen mukainen toiminta vaatii jatkuvaa seurantaa ja kunnossapitoa. Erityisesti tästä syystä on perusteltua käyttää hybridijärjestelmätoimittajien tarjoamia palvelupaketteja.

5.1.1 Varaajat

Hybridijärjestelmissä käytetään erilaisia vesivaraajia (Kuva 5.) rinnakkaislämmönlähteiden lämpöenergian varastointiin, tasaamiseen ja lataamiseen. Rinnakkaislämmönlähteen lämmöntuotto on usein epätasaista, joten sitä tasataan varaajalla, joka helpottaa myös lämpötilatasojen säätöä ja kompressorin käyntiä. Lämmönkäyttö on myös usein epätasaista ja varaajalla voidaan tasoittaa kulutuspiikkejä. Varaajilla mahdollistetaan tuotetun lämpöenergian tarkoituksen mukainen ja tehokkaampi käyttö. Lämpöpumppuja hyödynnettävissä rinnakkaislämmönlähteiden kytkennöissä varaajien rooli on keskeinen ja vaihtoehtoja erilaisten varaajakytkentöihin on lukuisia. Kytkentävaihtoehdot riippuvat pääosin kytkettävistä järjestelmistä, sekä niiden lämpötilasoista. Varaajien tilavuus valitaan yleensä järjestelmän tehon mukaan.

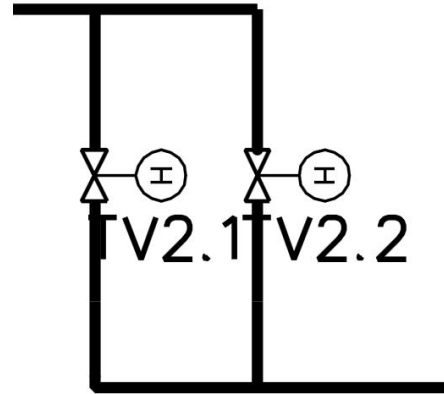


KUVA 5. Energiavaraaja ja piirrosmerkki.

Hybridijärjestelmissä varaajien kapasiteetilla voidaan vaikuttaa myös kaukolämpöjärjestelmän sopimustehoon ja tilausvesivirtaan. Sopimustehon mahdollinen aleneminen kyseisessä tilanteessa perustuu yleensä varaajan tuomien etujen hyödyntämiseen järjestelmässä. Käyttövesivaraajien yleistyminen hybridijärjestelmissä on haastavaa muun muassa lämpötilasäädön, kustannusten ja hygieniavaatimusten takia. (Pöyry Finland Oy. Kaukolämmön lämmönjakokeskusten kytkennät ja lämmönsiirtimien mitoituslämpötilat. 2011, 14-15.)

5.1.2 Kaukolämmön säätöventtiilit

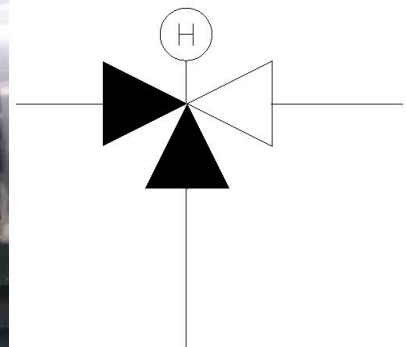
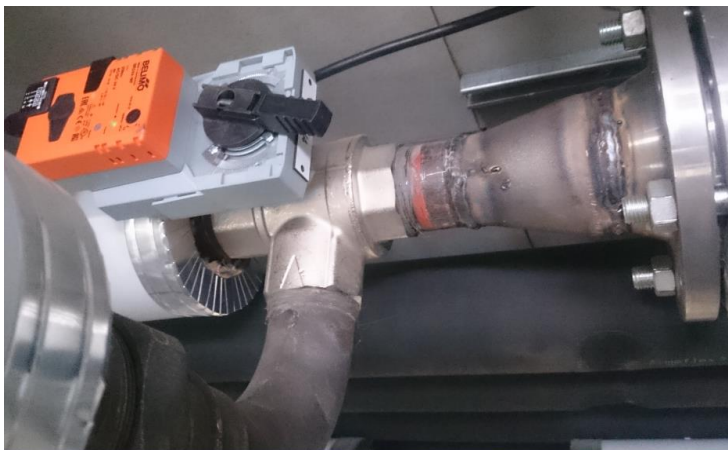
Vaihtelevien tehon tarpeiden takia hybridijärjestelmissä kaukolämmön säätöventtiilejä (Kuva 6.) suunnitellaan yleensä vähintään kaksi. Erityisesti olemassa olevien kaukolämpökeskusten yhteyteen liitettyjen rinnakkaislämmönlähteiden kanssa kaukolämmön vanhan säätöventtiilin auktoriteettiaste on usein riittämätön. Kaukolämmön säätöventtiilien kunnossapitoon kannattaa nähdä myös vaivaa, sillä huonosti sulkeutuvat säätöventtiilit aiheuttavat osaltaan kaukolämpöveden jäähtymän heikkenemistä.



KUVA 6. Kaukolämmön säätöventtiilit ja piirrosmerkit.

5.1.3 Sekoitusventtiilit

Sekoitusventtiileillä (Kuva 7.) mahdollistetaan helposti erilaiset kytkentätavat ja hybridijärjestelmissä käytetäänkin usein eri tyyppisiä 3-tieventtiilejä mm. lisälämmönlähteellä ja kaukolämmöllä lämmitetyn menoveden suhteen ja lämpötilan säätämiseen. Toiminnaltaan sekoitusventtiilejä löytyy hyvin erilaisia, mutta lämmityskäytössä yleisimmin käytössä on 3-tieventtiilit, joissa on kaksi sisään virtausta ja yksi ulosvirtausyhde.

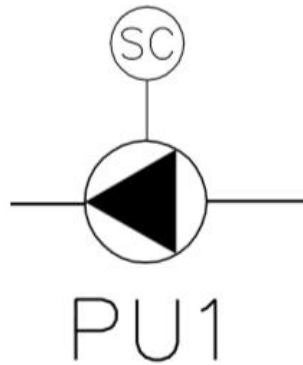


KUVA 7. 3-tieventtiili ja piirrosmerkki.

5.1.4 Kiertovesipumput

Kiertovesipumpuilla (Kuva 8.) siirretään lämpöenergia rakennuksen lämmitysjärjestelmässä lämmönlähteestä lämmönluovuttimille. Hybridijärjestelmien kiertovesipumppujen

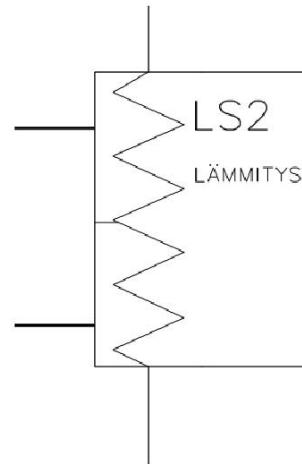
tulee olla laadukkaita, toimintavarmoja ja helposti integroitavissa järjestelmän automaatioon sekä energiankulutukseltaan optimoituja. Kiertovesipumput ovat lämmitysjärjestelmien tärkeimpiä yksittäisiä komponentteja ja niiden kuntoa ja toimintaa tulee seurata säännöllisesti.



KUVA 8. Kiertovesipumppu ja piirrosmerkki.

5.1.5 Lämmönsiirtimet

Lämmönsiirtimellä (Kuva 9.) siirretään lämpöenergia lämmönlähteestä rakennuksen lämmitysjärjestelmään. Levylämmönsiirtimet tarjoavat suuren lämmityspinta-alan kompaktissa koossa, joissa lämmönsiirto tapahtuu tehokkaasti. Lämmönsiirtimien ulkoista kuntoa tulee seurata säännöllisesti ja mahdolliset viat tai vuodot tulee korjata välittömästi. Kaukolämpökäytössä olevat levylämmönsiirtimet valitaan Rakennusten kaukolämmitys Määräykset ja ohjeet K1/2013 -julkaisun mukaisesti.



KUVA 9. Levylämmösiirrin ja piirrosmerkki.

5.2 Hybridijärjestelmän hankinta

Hybridijärjestelmää harkittaessa kannattaa tarkastaa ensin kohteen kunnossapitosuunnitelma ja suorittaa kaikki pienemmän investointi tarpeen energiansäästökohteet. Kohteen kaikkien energiankäytön perusasioiden ja teknisten järjestelmien tulee olla kunnossa ennen mahdollista laitehankintaa. Hybridijärjestelmä hankitaan yleensä elinkaarilaskelmien perusteella todettuna taloudellisesti kannattavana investointina. Elinkaarilaskelmien perusteella taloudellisesti kannattamattomaksi todettu investointi saatetaan joskus toteuttaa myös ympäristönäkökulma tai rakennuksen arvon nousu huomioiden. Yksittäisen rakennuksen järjestelmähanke kannattaa tutkia kuitenkin aina tapauskohtaisesti.

5.3 Hybridijärjestelmän suunnittelu

Hybridijärjestelmää suunniteltaessa on tärkeää olla yhteydessä kaukolämmön myyjään sopivan järjestelmän kartoittamiseksi. Suomessa on paikallisia eroja kaukolämmönmyyjien välillä mm. järjestelmien kytkentöjen osalta. Myös lämmöntuotantotapa voi vaikuttaa osaltaan kytkentään. Lämmön erillistuotannon hyötysuhde ei ole yleensä niin kriittinen kaukolämmönpaluuveden lämpötilalle, kuin sähkön ja lämmön yhteistuotantolaitoksissa.

Suunnitelmat tulee tarkastuttaa ja hyväksyttää kaukolämmönmyyjällä, sekä paikallisessa rakennusvalvonnassa ennen mahdollisia laitehankintoja. Myös asiakkaan kaukolämpö-

laitteiden ja lämmityslaitteiden asentamisessa ja tarkastamisessa tulee noudattaa lämmönmyyjän antamia, sekä muita kaukolämpölaitteita koskevia ohjeita ja suosituksia. (Tampereen Sähkölaitos Oy. 2017.)

Järjestelmän suunnittelussa on noudatettava yleisesti seuraavia ohjeita ja määräyksiä:

- Rakennusten kaukolämmitys Määräykset ja ohjeet K1/2013
- Suomen rakentamismääräyskokoelma D1
- Sosiaali- ja terveysministeriön opas 2003:1 Asumisterveysohje
- Kaukolämmön yleiset sopimusehdot

Hybridijärjestelmän suunnittelun päämääränä tulee olla kaukolämmön kannalta toimiva ja kokonaistaloudellinen ratkaisu siten, että se käyttää kaukolämpöä mahdollisimman ta-
saisesti ja parantaa kaukolämpöveden jäähtymää. (Pöyry. 2011, 27.)

5.4 Hybridijärjestelmien kytkennät

Hybridijärjestelmän kytkentätavalla on merkittävä vaikutus sekä rinnakkaislämmönlähteelle, että kaukolämpöjärjestelmälle. Kytkentätavan lisäksi vaikuttavat rinnakkaislämmitysjärjestelmän toimintalogiikka, sekä säädön asetusarvot. Yleisesti käytössä olevat kytkentävaihtoehdot perustuvat järjestelmien välisiin rinnan- ja sarjakytkentöihin, sekä näiden yhdistelmiin. Hybridijärjestelmien kytkentäsuositukset perustuvat Rakennusten kaukolämmitys Määräykset ja ohjeet K1/2013 -julkaisuun.

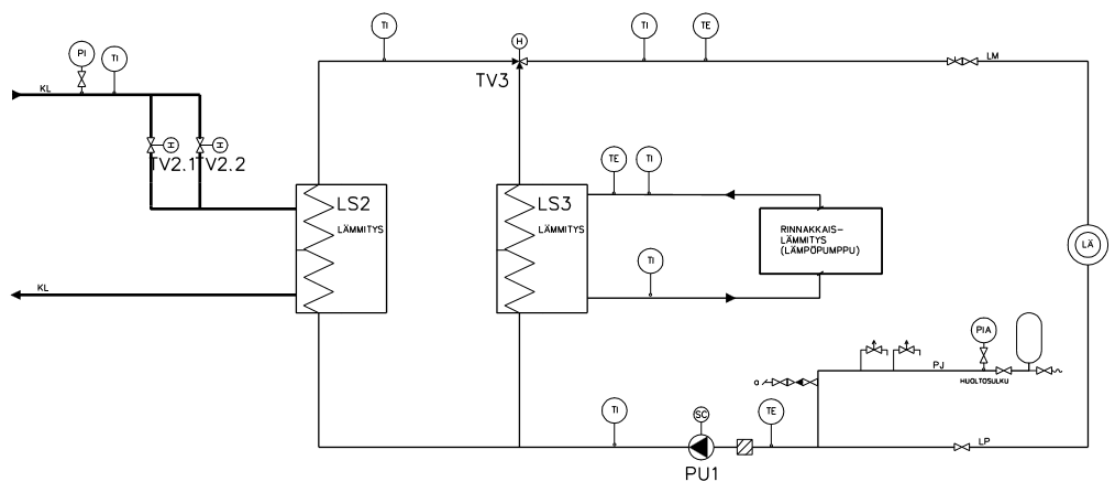
Rinnakkaislämmönlähteiden kytkennöistä löytyy yksityiskohtaisempia malleja Energiateollisuus Ry:n materiaalipankista, jotka sisältävät myös säätö- ja ohjaustapamallit. Kyseessä ovat Hybridi 1 ja Hybridi 2 esimerkkikytkennät (liite 1) ovat todettu toimiviksi käytännössä, mutta myös vaihtoehtoiset kytkennät ovat mahdollisia. Hybridi 1 esimerkikytkentää käytetään, kun kaukolämmön kuluttajalaitteisto uusitaan kokonaan. Hybridi 2 kytkentää sovelletaan, jos olemassa olevat kaukolämmön kuluttajalaitteet ovat uudehkoja ja LVI-asiantuntija on varmistanut niiden sopivuuden järjestelmän kanssa kytkettäväksi. (Energiateollisuus Ry. Poistoilmalämpöpumppu kaukolämpöaloon. Ohjeet suunnittelijalle. 2017.)

Kaukolämmön yleisten sopimusehtojen mukaan asiakkaan on huolehdittava kaukolämmön riittävästä jäähtymisestä. Kaukolämpöveden tulee jäähtyä laskutuskauden aikana keskimäärin vähintään 25 °C ja kaukolämpöverkkoon palaavan veden lämpötila ei saa ylittää 65 °C. (Kaukolämmön yleiset sopimusehdot. Suositus T1/2017.)

Kaukolämmön jäähtymää voidaan hallita myös tehostamalla lämmitysjärjestelmän lämmönsiirtoa. Lämmönsiirron tehostaminen tapahtuu yleensä kasvattamalla lämmönsiirto-pinta-alaa ja se voidaan toteuttaa esimerkiksi mahdollisen lämmitysjärjestelmän saneerausyhteydessä uusimalla vesikiertoiset patterit tai siirtymällä lattialämmitykseen.

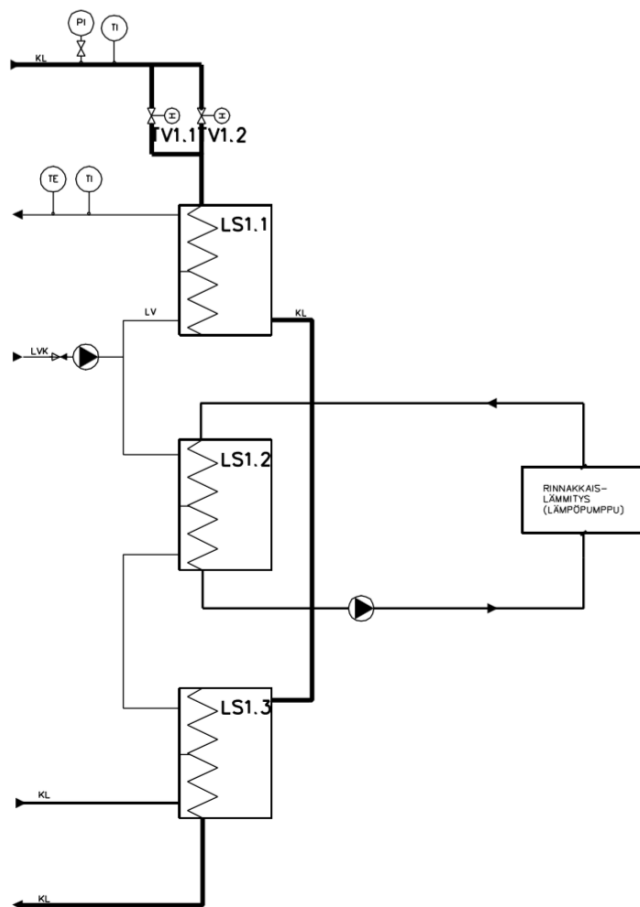
5.4.1 Hybridijärjestelmän rinnankytkentä

Hybridijärjestelmän rinnankytkennässä kaukolämpö ja rinnakkaislämmönlähde lämmitävät samanlämpöistä tilojen lämmitysjärjestelmästä palaavaa vettä. Rinnakkaislämmön rinnankytkennällä (Kuva 10.) tilojen ensisijainen lämmitystehontarve katetaan LS3:lla, joka lämpenee rinnakkaislämmönlähteestä. Mikäli lämmitysverkkoon lähtevän veden lämpötila ei pysy riittävänä, lisälämmöntarve katetaan LS2:lla kaukolämmöllä. Rinnakkaisytkentä leikkaa kaukolämmön kulutusta varmistaen riittävän kaukolämpöveden jäähtymän. (K1/2013.)



KUVA 10. Rinnakkaislämmön rinnankytkentä tilojen lämmitykseen. (Mukaiillen, K1/2013.)

Rinnakkaislämmönlähteen kytkentä käyttöveden lämmityksessä kylmävesi ohjataan ensin kuvan 11 mukaisesti ylemmälle lämpötilatasolle (LS1.2), jolloin kaukolämpövesi pääsee esilämmittämään kylmää käyttövettä (LS1.3), jolla on jäähtymää parantava vaikutus. Lämpimänkiertoveden lämmittäminen asetusarvoonsa tulee hoitaa kaukolämmöllä (LS1.1). Käyttöveden lämmityksessä säätökeskus ohjaa säätölaitteistoa lämpötila-anturin TE mittausarvon mukaan säilyttäen käyttöveden lämpötilan säätökeskuksen asetusarvon mukaisena. Jos käyttöveden asetusarvoa ei saavuteta rinnakkaislämmönlähteen avulla, kaukolämmön säätökeskus ohjaa säätöventtiili TV1.1:stä ja tarvittaessa TV1.2:sta käyttöveden lämpötilaelimen TE mittausarvon mukaisesti säilyttäen käyttöveden lämpötilan ohjearvon 58°C mukaisena. (K1/2013.)



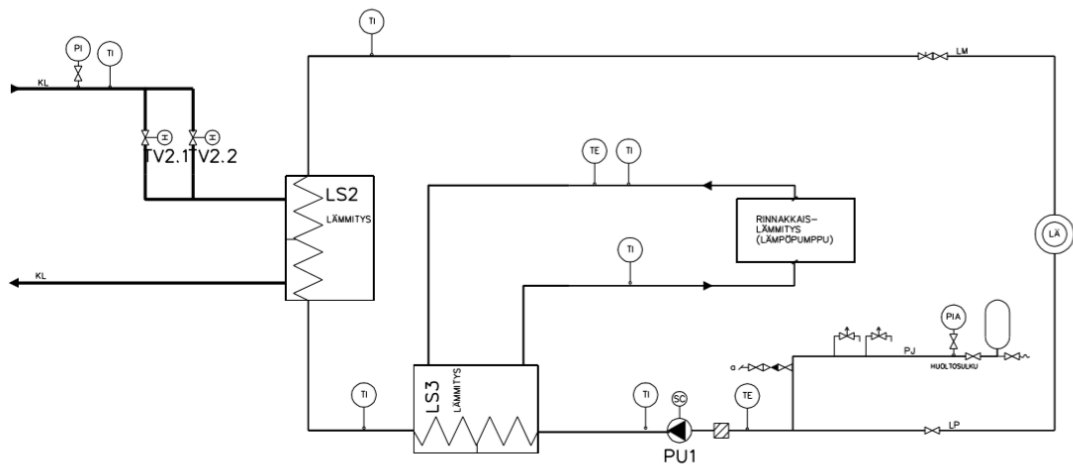
KUVA 11. Rinnakkaislämmön kytkentä käyttöveden lämmitykseen. (Mukaihen, K1/2013.)

5.4.2 Hybridijärjestelmän sarjakytkentä

Rinnakkaislämmön sarjakytkentä tilojen lämmityksessä voidaan toteuttaa lämmönmyyjän ohjeistuksen mukaan. Esimerkiksi Tampereen Sähkölaitos Oy:n mukaan rinnakkaislämmönlähde tilojen lämmityksessä voidaan kytkeä kuvan 12 mukaan sarjaan, jos tehomitoitus on korkeintaan 25 prosenttia rakennuksen lämmitystehontarpeesta mitoitusolosuhteissa. (Tampereen Sähkölaitos Oy. 2017.)

Sarjakytkentä parantaa rinnakkaislämmönlähteen lämpöpumpun hyötysuhdetta, joskin Tampereen Sähkölaitos Oy:n mukaisessa kytkentämallissa tehomitoitusta on rajattu ja näin ollen rinnakkaislämmönlähde mitoitetaan osateholle.

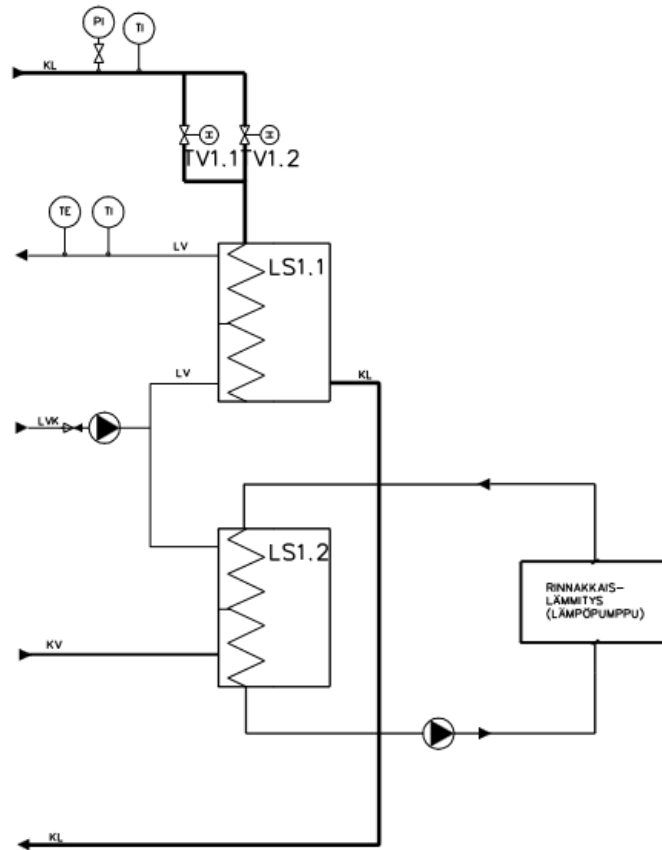
Hybridijärjestelmän sarjakytkennällä tilojen lämmityksessä (Kuva 12.) lämmitystehontarve katetaan ensisijaisesti LS3:lla, joka lämpiää rinnakkaislämmönlähteellä. Jos lämmitysverkkoon lähtevän menoveden lämpötila ei pysy haluttuna, lisälämmöntarve otetaan LS2:lla kaukolämmöstä.



KUVA 12. Rinnakkaislämmön sarjakytkentä tilojen lämmitykseen. (Mukaiillen, Tampereen Sähkölaitos Oy. 2017.)

Rinnakkaislämmön sarjakytkentä käyttöveden lämmityksessä voidaan toteuttaa paikallisesti lämmönmyyjän ohjeistuksen mukaan. Tampereen sähkölaitos Oy:n mukaan rinnakkaislämmönlähde on mahdollista kytkeä kuvan 13 mukaisesti myös sarjakytkennällä toteutettuna. Lämminkiertovesi tulee kuitenkin lämmittää kokonaan kaukolämmöllä.

Rinnakkaislämmitysjärjestelmä ohjaa säätölaitteistoa lämpötila-anturin TE mukaan sää-
täen käyttöveden lämpötilan asetusarvon mukaisesti. Jos käyttöveden asetusarvoista läm-
pötilaa ei saavuteta rinnakkaislämmöllä, kaukolämmön säätökeskus ohjaa säätöventtii-
leillä TV1.1 ja TV1.2 lämpötila-anturin TE mukaan pitäen käyttöveden lämpötilan ase-
tusarvon mukaisena. (Tampereen Sähkölaitos Oy. 2017.)

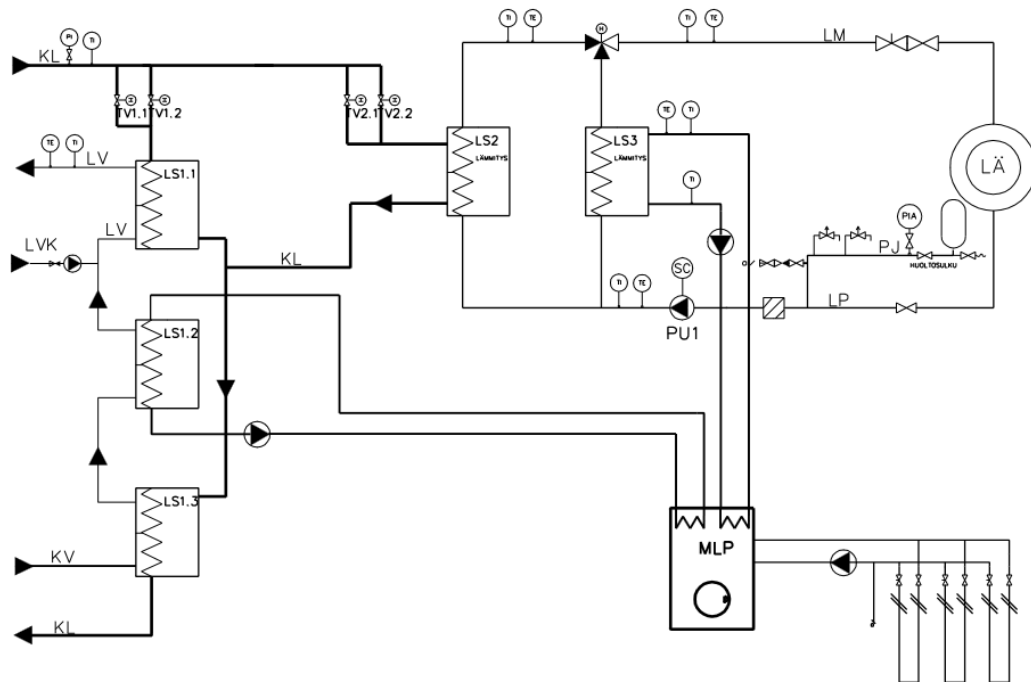


KUVA 13. Rinnakkaislämmön sarjakytkentä käyttöveden lämmitykseen. (Mukaihen,
Tampereen Sähkölaitos Oy. 2017.)

Tampereen Sähkölaitos Oy:n mukaisessa kytkennässä käyttöveden esilämmityssiirrin
(LS1.3) puuttuu verrattuna K1/2013 mukaiseen kytkentämalliin. Sarjakytkennän suurim-
mat ongelmat liittyvät kaukolämpöveden jäähtymään. Lämpöpumpun tehokkuuden kan-
nalta edullisin kytkentävaihtoehto on yleensä sarjakytkentä, jossa lämmitysjärjestelmän
paluuvesi lämmitetään ensin lämpöpumpulla ja tarvittaessa lämmitetään asetusarvoonsa
kaukolämmöllä. Sarjakytkentä on kielletty usealla paikkakunnalla lämmönmyyjien toi-
mesta, johtuen yleisesti jäähtymän riittämättömyydestä ja kaukolämmön paluuveden liian
korkeasta lämpötilasta. Tosin jäähtymän riittämättömyyteen ja kaukolämmön paluuveden
liian korkeaan lämpötilaan löytyy erilaisia ratkaisuja, jotka ovat toteutettavissa säätötek-
nisesti tai kytkennällisesti eri järjestelmätasolla.

5.6 Maalämpöpumppu kaukolämmössä

Maalämpöpumpulla voidaan hyödyntää maaperästä tai vesistöistä saatavaa auringosta peräisin olevaa lämpöenergiaa. Maalämpöjärjestelmän käyttö kaukolämmön yhteydessä on harvinaista johtuen lämpökaivojen poraamisesta ja lämpöpumpun hankinnasta aiheutuvista kustannuksista. Maalämpöjärjestelmällä voidaan kattaa yleensä rakennuksen lämmitysenergian tarve lähes kokonaan, joskin osateholle mitoitettu maalämpöjärjestelmä saattaa tulla joissain tilanteissa kannattavaksi kuvan 15 mukaisesti kaukolämmön rinnalle kytkettynä. Maalämpöjärjestelmän etuihin voidaan laskea myös rakennuksen mahdollinen jäähdyttäminen kesäaikaan.



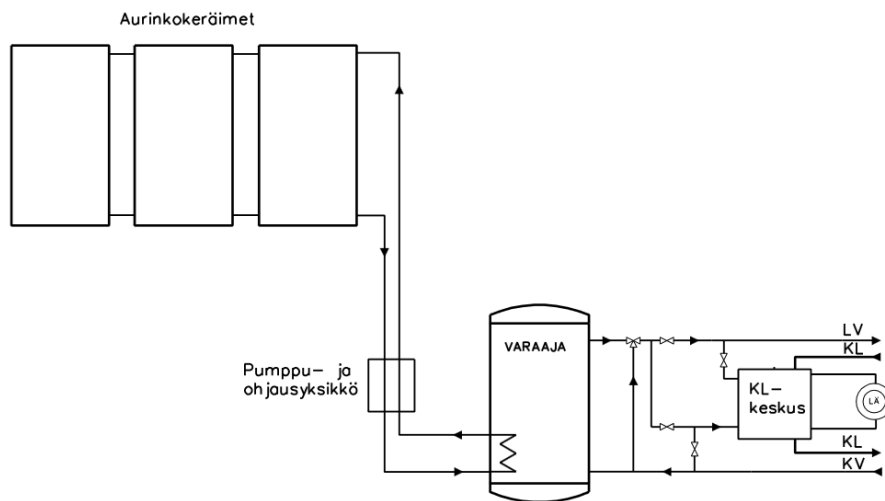
KUVA 15. Maalämpöpumppu kaukolämmössä periaatekytkentä. (Mukaillen, K1/2013.)

5.7 Aurinkolämpö kaukolämmössä

Kuvan 16 mukaisessa aurinkolämmön ja kaukolämmön hybridikytkennässä aurinkoke-
räimet lämmittävät aurinkolämpövaraajaa, jolla esilämmitetään lämminkäyttövesi. Ky-

seinen kytkentä toimii kuitenkin kaukolämmön kannalta epäedullisesti ja kyseisessä tilanteessa on suositeltavaa soveltaa enemmän liitteen 1. mukaista Energiategollisuus Ry:n Hybridi 1 tyyppistä esimerkkikytkentää.

Suomessa on kokeiltu aurinkolämmityksen ja kaukolämmön osalta erilaisia kytkentöjä, jotka perustuvat yleensä varastovaraajakytkentöihin. Kytkentätapa on kuitenkin aina selvitettävä lämmönmyyjän kanssa, joka hyväksyy verkkoonsa kytkettävän lämmönjakokeskuksen kytkentätavan. Aurinkokeräinten suunnittelun yhteydessä on suositeltavaa keskustella lämmönmyyjän kanssa eri kohteissa käytetyistä esimerkkikytkennöistä. (Erat, Erkkilä, Nyman, Peippo, Peltola, Suokivi 2008, 107.)



KUVA 15. Aurinkolämmön kytkentä kaukolämpöön. (Mukaiillen, Aurinko-opas 2008.)

6 YHTEENVETO JA POHDINTA

6.1 Kytcentöjen vaikutus

Hybridijärjestelmissä erilaisilla kytkentämalleilla pyritään saamaan aikaan tasapainoinen kokonaisuus, joka huomioi kaukolämpöjärjestelmän sekä kuluttajien rinnakkaislämmönlähteiden optimaalisen toiminnan. Järjestelmien väliset kytkentämallit perustuvat erilaisiin rinnan- ja sarjakytkentöihin sekä niiden yhdistelmiin. Rinnakkaislämmitysjärjestelmien lämpöpumpun tehokkaampi toiminta saavutetaan yleensä sarjakytkennällä ja matalalämpötilaisella lämmönjaolla. Sarjakytkennässä kuitenkin esilämmitetään usein toisipuolen virtaamaa ennen kaukolämmön lämmönsiirtimelle menoa, jolloin kaukolämpövesi ei pääse jäähtymään riittävästi. Heikomman jäähtymän ja liian korkean kaukolämmön paluuveden lämpötilan takia lämmönmyyjät eivät suosittele sarjakytkettyjä lisälämmönlähteitä. Kaukolämpöjärjestelmän toiminnan takaaminen on ensiarvoista, joskaan hybridijärjestelmien kytkentöjä ei tulisi lämmönmyyjien toimesta ohjata voimakkaasti, kunhan riittävä jäähtymä ja paluulämpötila on otettu suunnittelussa huomioon. Järjestelmien automatiikan onnistuminen korostuu edellä mainitussa tilanteessa ja mm. kaukolämmön paluuveden lämpötilan mukaan ohjattu rinnakkaislämmön käyttö voisi olla perusteltua. Toisaalta hyvästä jäähtymästä ja alhaisesta paluuveden lämpötilasta tulisi saada myös jonkinlaista hyvitystä. Tulevaisuudessa tullaan näkemään enemmän vaihtoehtoisia kytkentämalleja, kunhan jo olemassa olevista järjestelmistä saadaan riittävästi tietoa eri näkökulmat huomioiden.

6.2 Suunnittelu

Hybridijärjestelmien suunnittelu on helpottunut viime vuosina julkaistujen lukuisien selvitystöiden ja julkaisujen ansioista. Energiategollisuus Ry:n ja lämmönmyyjien erilaisten ohjeiden ja suositusten perusteella saadaan aikaan tavanomaisia ja toimivia rinnakkaislämmitysratkaisuja, mutta suunnittelun painopisteen tulisi siirtyä enemmän innovatiivisempaan suuntaan. Toisaalta järjestelmät ovat jo nykyiselläänkin kytkennöiltään ja säädoiltään monimutkaisia, joten mahdollisten vaihtoehtoisten mallien tarkoituksen mukai-

nen toiminta on syytä varmistaa ja järjestää luotettava seuranta. Järjestelmien asianmukainen huoltotoiminta vaatii erityistä huomiota ja huoltohenkilöstön tulee olla perehdytetty järjestelmän toiminnan takaamiseksi.

6.3 Järjestelmien tulevaisuus

Hybridijärjestelmien yleistymisen tulee osaltaan vaikuttamaan pidemmällä aikavälillä myös kaukolämmön hinnoitteluun. Kaukolämmön hinnoittelun siirtymisellä enemmän kiinteisiin perusmaksuihin, voi olla epäsuotuisia vaikutuksia erilaisten energiansäästöratkaisujen mittavaan kehittymiseen ja yleistymiseen. Perusmaksupainotteisella hinnoittelulla ei varsinaisesti kannusteta energiansäästämiseen, vaan pikemminkin vaikutus saattaa olla jopa enemmän päinvastainen. Hybridijärjestelmien nopea yleistymisen on haastavaa, koska järjestelmien hankintainvestoinnit ovat suhteellisen suuret. Pitkien takaisinmaksuaikojen ja tulevien huoltokustannusten yhteisvaikutuksella voi olla myös epäsuotuisaa kehitystä järjestelmien taloudellisissa kokonaistarkasteluissa.

Rinnakkaislämmitysjärjestelmiä on mahdollisuus ylivoimistaa ja joissain tilanteissa eteen voisi tulla mahdollisuus hyödyntää ylijäämälämpöä kaukolämpöverkossa, jos se olisi toiminnaltaan kaksisuuntainen. Kaksisuuntaisen kaukolämpöjärjestelmän tulevaisuus vaatisi osaltaan myös erittäin merkittäviä muutoksia kuluttajajärjestelmissä ja kaukolämpöjärjestelmässä, jotta rinnakkaisjärjestelmillä tuotettu mahdollinen ylijäämälämpö voitaisiin hyödyntää kumpaakin osapuolta hyödyttävällä tavalla. Käytännössä se vaatisi mahdollisen kiinteistökohtaisen ylijäämälämmön pumpaamista kaukolämpöjärjestelmän menopuolelle. Menopuolella kaukolämpöveden korkea lämpötila voi muodostua myös ongelmalliseksi tekijäksi ainakin talviaikaan. Kaksisuuntaisen kaukolämpöjärjestelmän kannattavuutta kannattaa arvioida tapauskohtaisesti, sillä kyseessä olevasta järjestelystä aiheutuu kuitenkin useita erinäisiä kustannuksia, jotka voivat osaltaan tehdä kyseisen järjestelyn kannattamattomaksi.

6.4 Työn tavoitteet ja onnistuminen

Opinnäytetyön tavoitteena oli muodostaa perustietopaketti kaukolämmön rinnalla toimivista hybridijärjestelmistä. Työssä esiteltiin hybridijärjestelmiin liittyviä keskeisimpiä

asioita ja ilmiöitä ja niistä koostettiin kattava perustietomateriaali. Työllä oli myös henkilökohtainen motiivi kehittää omaa tietotaitoa ko. järjestelmistä. Työn tavoitteet täyttyivät ja se onnistui kohtalaisen hyvin. Tästä opinnäytetyöstä saattaisi tulla hyvin erilainen, jos sen tekeminen alkaisi vasta nykyhetkellä, mutta kaiken kaikkiaan sillä oli merkittävä vaikutus sen tekijälle.

LÄHTEET

Energiateollisuus Ry. Kaukolämmön hinta. Luettu 18.2.2018.

https://energia.fi/perustietoa_energia-alasta/asiakkaat/kaukolammon_asiakkuus/kaukolammon_hinta

Energiateollisuus Ry. Kaukolämmön tuotanto 2016. Luettu 15.1.2018.

https://energia.fi/perustietoa_energia-alasta/energiantuotanto/kaukolammon_tuotanto

Energiateollisuus Ry. Rakennusten kaukolämmitys. Määräykset ja ohjeet. Julkaisu K1/2013. Julkaistu 3.9.2013. Luettu 12.1.2018

https://energia.fi/files/502/JulkaisuK1_2013_20140509.pdf

Energiateollisuus Ry. Teho ja vesivirta suositus K15. 2014. Julkaistu 5.12.2014. Luettu 18.2.2018.

https://energia.fi/files/586/Teho_ja_vesivirta_SuositusK15_2014.pd

Erat, Erkkilä, Nyman, Peippo, Peltola, Suokivi. 2008. Aurinko-opas. Aurinkoenergiaa rakennuksiin. Porvoo: Painoyhtymä Oy.

Lappalainen, M. 2010. Energia- ja ekologiakäsikirja. Suunnittelu ja rakentaminen. Helsinki: Rakennustieto Oy.

Motiva Oy. Energian loppukäyttö. 2016. Luettu 12.1.2018.

https://www.motiva.fi/ratkaisut/energian kaytto_suomessa/energian_loppukaytto

Pöyry Finland Oy. Selvitys. Kaukolämmön lämmönjakokeskusten kytkennät ja lämmönsiirtimien mitoituslämpötilat. 2011. Julkaistu 28.10.2011. Luettu 20.2.2018.

<http://docplayer.fi/15739893-Selvitys-energiateollisuus-ry-kaukolampo-mirja-tiinen-energia-fi-jari-kostama-energia-fi.html>

Pöyry Management Consulting Oy. 2011. Kaukolämmön asema Suomen energiajärjestelmässä tulevaisuudessa. Julkaistu 26.8.2011. Luettu 28.2.2018.

<http://www2.energia.fi/kaukolampo/KLAsemaLoppuraportti52A14971.pdf>

Suomen lämpöpumppuyhdistys SULPU ry. 2018. Lämpöpumput. Luettu 6.2.2018.

<https://www.sulpu.fi/lampopumput>

Tampereen Sähkölaitos Oy. 2017. Hybridikytkennät kaukolämmössä. Julkaistu 11.5.2017. Luettu 14.1.2018.

https://www.sahkolaitos.fi/globalassets/tiedostot/ohjeet.../2018_hybridikytkennat.pdf

