

Lumensulatusjärjestelmien käyttökustannusten optimointi

Aki Ruuska

OPINNÄYTETYÖ
Toukokuu 2024

Talotekniikan ylempi tutkinto-ohjelma
Insinööri (ylempi AMK)

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Talotekniikan ylempi tutkinto-ohjelma

RUUSKA, AKI:

Lumensulatusjärjestelmien käyttökustannusten optimointi

Opinnäytetyö 89 sivua, joista liitteitä 2 sivua

Toukokuu 2024

Opinnäytetyössä tutkittiin, saavutetaanko uuden lämmitysmuodon investoinnilla säästöjä sulanapitojärjestelmän käyttökustannuksissa. Tutkimuksessa pääpaino oli lämpöpumppujärjestelmien ja erilaisilla kytkentämalleilla varustettujen kauko-lämpöjärjestelmien käyttökustannusten vertailussa, sekä lämmitysjärjestelmien investointikustannusten ja kannattavuuksien arvioinnissa. Tutkimuksessa selvitettiin, myös lämpöpumppujärjestelmien toteutusta kaupungin keskusta-alueelle.

Tutkimus toteutettiin kvantitatiivisen tutkimusmenetelmän ja kvalitatiivisen tutkimusmenetelmän yhdistelmänä. Lähtötietoja kerättiin työtä varten muuan muassa paikalliselta energialaitokselta ALVA Oy:ltä, Jyväskylän kaupungilta, ELY-keskukselta, laitevalmistajilta, sekä Granlund Oy:ltä. Kirjallisuus selvityksessä käsitellyjä asioita käytettiin tutkimuksen apuna. Työn lopputuloksena selvitettiin kohteeseen sopivimmat ja kannattavimmat sulanapitojärjestelmän lämmöntuotto-
muodot ja lämmitysmuotojen toteutusmahdollisuudet kohteeseen. Lopuksi pohdittiin mahdollisia jatkotoimenpiteitä tutkimuksen edistämiseksi.

Asiasanat: lämpöpumppujärjestelmät, käyttökustannukset, investointikustannukset, kustannussäästö, takaisinmaksuajat, kannattavuudet

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu

Tampere University of Applied Sciences

Master's Degree Programme in Building Services Engineering

RUUSKA, AKI:

Optimizing the operating costs of the snow melting system

Master thesis 89 pages, appendices 2 pages

May 2024

The thesis investigated whether the investment in a new form of heating would lead to savings in the operating costs of the snow melting system. The focus of the study was to compare the operating costs of heat pump systems and district heating systems with different connection models, and to assess the investment costs and profitability of heating systems. The study also investigated the implementation of heat pump systems in the city centre.

The study was carried out using a combination of quantitative and qualitative research methods. Input data was collected from, among others, the local energy utility ALVA Oy, the City of Jyväskylä, the ELY Centre, equipment manufacturers, and Granlund Oy. The issues discussed in the literature review were used as an aid to the study. As a result of the study, the most suitable and profitable forms of heat supply for the melting system and the possibilities for implementing the heating forms at the site were determined. Finally, possible further measures to take the study forward were considered.

Key words: heat pump systems, operating cost, investment costs, cost savings, payback periods, profitability

KIITOKSET

Kaksi vuotta sitten aloittaessa Ylemmän AMK:n opinnot Tampereen Ammattikorkeakoulussa itselläni oli vain aavistus opinnäytetyöprosessin ajallisista vaatimuksista. Syksyn 2022 päätteeksi mielessä kävi ajatus, että opinnäytetyön tekemiseen varattu aikaa on riittävä ja ei prosessi niin suurelta vaikuta. Nyt kaksi vuotta myöhemmin voin todeta, että tämä oli moninkertaisesti suurempi ponnistus kuin etukäteen ajattelin. Olen kiitollinen saamastani tuesta opinnäytetyöprosessin aikana.

Haluan esittää erityiskiitokset työnantajalleni Granlund Oy:lle opinnäytetyön mahdollistamisesta sekä opinnäytetyöni ohjaajalle Jarkko Hilmeelle Granlundilta mielenkiintoisesta tutkimusaiheesta. Isot kiitokset kuuluvat myös työkaverilleni Maija Piiloselle opastuksesta energialaskennan ja Granlundin EC-ohjelman kanssa. Lisäksi erityiset kiitokset ohjaajalleni Joel Tirkkoselle Tampereen Ammattikorkeakoulusta, jolta olen saanut arvokasta ohjausta ja tukea opinnäytetyön tekemisessä. Kiitos myös Jyväskylän kaupungille, ALVA Oy:lle sekä laitevalmistajille yhteistyöstä ja tarvittavien lähtötietojen luovuttamisesta tutkimusta varten.

Kaikista tärkein tukeni opiskelujen suhteen on ollut puolisoni Saara, joka on tukenut, kannustanut ja ymmärtänyt mitä opiskelu ja opinnäytetyön tekeminen työn ohessa vaatii. Puolisolleni kuluukin erityisen suuri kiitos sinnikkyydestä ja tämän matkan mahdollistamisesta. Lisäksi kiitokset kuuluvat perheelleni lähipiirillini tuesta ja kannustuksesta tämän matkan aikana.

Jyväskylässä 23.5.2024

Aki Ruuska

SISÄLLYS

1.1. Tausta	6
1.2. Sisältö ja tavoitteet	7
1.3. Toteutustapa	7
1.4. Tutkimuksen rajaaminen	8
2 LUMENSULATUSJÄRJESTELMÄT	9
2.1. Taustaa	9
2.2. Käyttökohteita	10
2.3. Ympäristökijät.....	11
3 LÄMMÖNLÄHTEET SULANPITOJÄRJESTELMÄSSÄ	12
3.1. Kaukolämmitys.....	12
3.2. Kaksisuuntainen kaukolämpö.....	12
3.3. Geotermisen energiankäyttö	13
3.4. Maalämpöratkaisut.....	13
3.5. Energiakaivot	15
3.5.1 Energiakaivojen lataaminen ja energian varastointi.....	15
3.6. Kaukolämpö ja Ilma-vesilämpöpumppu.....	16
3.7. Kaukolämpö ja maalämpö.....	16
3.8. Maalämpö ja suora sähkölämmitys	16
4 LÄMMITYSJÄRJESTELMIEN KYTKENTÄMALLIT JA MITOITUS	17
4.1. Kaukolämmön kytkentämallit.....	17
4.2. Kaukolämmön paluueden hyödyntäminen mitoituksessa	18
4.2.1 Paluueden hyödyntäminen lämpöpumpuissa	18
4.3. Lämpöpumppujärjestelmän mitoitus.....	19
4.4. Sulanapitojärjestelmän mitoitusperusteet.....	19
5 LÄMMITYSJÄRJESTELMÄN KUSTANNUKSET	20
5.1. Käyttökustannukset.....	20
5.1.1 Huolto- ja korjauskustannukset.....	20
5.1.2 Energiakustannukset	21
5.2. Investointikustannukset	21
5.2.1 Suunnittelukustannukset	22
5.2.2 Laitehankinta ja asennuskustannukset.....	22
5.2.3 Tilanvarauskustannukset.....	22
5.3. Kaukolämpöjärjestelmän kustannukset.....	22
5.4. Lämpöpumppujärjestelmän kustannukset.....	23
5.5. Investoinnin kannattavuuden määrittäminen	23

6	TUTKIMUSMENETELMÄT	25
	6.1. Kirjallisuusselvitys	25
	6.2. Lähtötiedot	25
	6.3. Menetelmät ja ohjelmistot.....	25
7	TUTKIMUSKOHDE.....	28
	7.1. Tutkimuskohteen esittely.....	28
	7.2. Alueiden nykyiset sulatusalueet	29
	7.3. Järjestelmän toiminta	29
	7.4. Nykyisten kustannusten jako.....	32
8	ULKOLÄMPÖTILAN VAIKUTUS LÄMMITYSTARVELUKUUN.....	33
	8.1. Kuukausittaiset keskilämpötilat	33
	8.2. Lämmitystarveluvun käyttö ja laskeminen	34
	8.2.1 Lämmitysenergiankulutuksen normeeraus	34
	8.3. Ilmastonmuutoksen vaikutukset lämmitystarvelukuun.....	35
9	SULANAPITOJÄRJESTELMÄN MITOITUS	37
	9.1. Sulanapitoverkoston lämmitystehon mitoitus	37
	9.1.1 Kaukolämpöjärjestelmän mitoitus	39
	9.1.2 Paluuenergian hyödyntäminen	39
	9.1.3 Sopimustehon ja vesivirran laskeminen	39
	9.2. Lämmön- ja sähköhinnat.....	42
	9.3. Sulanapitojärjestelmän energialaskenta.....	47
	9.3.1 Kaukolämpöjärjestelmän energialaskenta	47
	9.4. Lämpöpumppujärjestelmien energialaskenta	48
	9.4.1 YM:n laskentamenetelmän periaatteet ja rajaukset	50
	9.4.2 Laskentajärjestys.....	51
	9.5. Energiakaivojen mitoitus	61
10	SULANAPITOJÄRJESTELMÄN KUSTANNUKSET	66
	10.1. Käyttökustannukset	66
	10.2. Investointikustannukset	70
	10.3. Investoinnin kannattavuuden arviointimenetelmät	72
	10.3.1 Sisäisen korkokannan menetelmä	73
	10.3.2 Takaisinmaksuajan menetelmä.....	74
	10.3.3 Herkkyystarkastelut.....	78
11	JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA.....	79
	LÄHTEET.....	82
	LIITTEET.....	88

JOHDANTO

1.1. Tausta

Suomen talvi aiheuttaa yleisesti ongelmia lumen ja jään kertymisen muodossa katujen ja teiden pinnoille, tehden pinnoista liukkaita. Liukkauden myötä riski vakaviin onnettomuuksiin kasvaa. Yleisimmät keinot lumi – ja jääkertymien haittojen poistamiseksi ja ehkäisemiseksi ovat mekaaninen auraaminen, hiekoittaminen ja kadun tai tien pinnan suolaaminen. Tyydyttävien olosuhteiden ylläpito vaatii asianmukaista kalustoa ja henkilöstöresursseja jatkuvaan työhön edellä mainittujen mekaanisten ylläpitotoimien muodossa. Ylläpitotoimista aiheutuu vuosittain suuret kustannukset. Mekaaniset toimet rasittavat myös rakenteen pintoja ja kadun tai pintojen suolaamisesta aiheutuu ympäristöhaittoja, joiden vuoksi suolaamista on pyritty vähentämään. (Tölli 2017,8.)

Opinnäytetyöni toimeksiantajana toimii työnantajani Granlund Oy. Työn aihe tuli ajankohtaiseksi omien työtehtävieni kautta, joihin sisältyy nykyisin paljon erilaisien kohteiden sulanapitojärjestelmien suunnittelua, ja kehitystyö aiheeseen liittyen on aina kiinnostanut. Työnantajallani Granlund Oy:llä Jyväskylän toimipisteessä ei ole aiemmin tehty yksityiskohtaista tutkimustyötä aiheeseen liittyen, joten työ antaa uusia vaihtoehtoja ja näkökulmia sulanapitojärjestelmien hanke- ja toteutussuunnittelua varten tulevaisuudessa. Erityisesti sulanapitojärjestelmän ylläpitäjää, eli Jyväskylän kaupunkia kiinnostaa mahdolliset säästöt käyttökustannuksissa, joita optimoinnilla voidaan saavuttaa. Opinnäytetyön tuloksia voidaan hyödyntää tulevissa lumensulatusjärjestelmien hankesuunnitteluissa ja toteutuksissa, kuten tulevassa kävelykadun saneeraushankkeessa, jonka toteutus on vuorossa arviolta vuosina 2027–2030.

1.2. Sisältö ja tavoitteet

Opinnäytetyössä hyödynnetään aikaisempaa tutkimustietoa aiheesta, joka auttaa havainnollistamaan, mistä sulanapitojärjestelmän käyttökustannukset ja lämmitysjärjestelmien investointikustannukset sekä kannattavuudet muodostuvat. Aikaisemman tiedon avulla havainnollistetaan myös millä perusteella kaukolämmön paluuedestä saatavan lämpöenergian hyödyntäminen määräytyy ja minkä tyyppisellä kytkentätavalla se toteutetaan käytännössä.

Opinnäytetyössä esitellään myös yleisellä tasolla lämpöpumppujärjestelmien mitoitusvaihtoehtoja. Tutkimuksen tuottamat lisätiedot täydentävät aikaisempaa tietoa lumensulatusjärjestelmistä siltä osin, että saavutetaanko lämpöpumppujärjestelmien avulla säästöjä sulanapitojärjestelmän käyttökustannuksissa verrattuna paluueden lämpöenergiaa hyödyntävään kaukolämpöjärjestelmään. Ja olisi siko lämpöpumppujärjestelmän investointi kannattavaa tutkimuskohteen lumensulatusjärjestelmälle.

1.3. Toteutustapa

Opinnäytetyö toteutetaan tutkimuksena, jota varten kerätään lähtötietoja mm. opinnäytetöistä, diplomitöistä, paikalliselta energialaitokselta ALVA Oy:ltä, Jyväskylän kaupungilta, Jyväskylän kaupungin rakennusvalvonnalta, laitevalmistajilta ja Granlund Oy:ltä. Lähtötietojen pohjalta tehdään lumensulatusalueen uudet sulatustehonmitoitukset, lämmitysjärjestelmien tehomitoitukset, energiankulutuslaskelmat, energiakaivojen mitoitukset, käyttö- ja investointikustannusten sekä kannattavuuksien. Tutkimustyössä käytetään Microsoft Officeen Excel-ohjelmaa ja Granlundin EC-ohjelmaa. Tutkimustuloksia käsitellään taulukoiden- ja kuvioiden muodossa, joiden avulla esitellään mm. lämmitysjärjestelmän käyttö- ja investointikustannuksia sekä takaisinmaksuaikoja ja arvioidaan investointien kannattavuutta.

1.4. Tutkimuksen rajaaminen

Tutkimus rajattiin käsittelemään nestekiertoisen sulanapitojärjestelmän käyttökustannuksia, sillä sähköisen sulanapitojärjestelmän käyttökustannuksista ei ole vielä riittävästi käyttökokemuksia Jyväskylässä. Mainituilla perusteilla sulanapitojärjestelmän toteuttaminen kohteeseen sähköisenä järjestelmänä ei ole todennäköinen vaihtoehto. Myös kaukolämmön toisiopuolen kytkentämalleja ja järjestelmän säätöä ja ohjausta ei käsitelty työssä, sillä nämä asiat eivät olleet oleellisia työn aiheen kannalta. Opinnäytetyön tutkimuksessa keskityttiin kaukolämpöjärjestelmän, maalämpöpumppujärjestelmän ja ilma-vesilämpöpumppujärjestelmän käyttö- ja investointikustannusten määrittämiseen ja kannattavuuksien arviointiin. Tutkimuksen laajuuden vuoksi lämmitysjärjestelmien toteuttamista ei käsitelty tässä työssä.

Opinnäytetyön laajuuden ja järjestelmän toteuttamisen haasteiden vuoksi yksittäisistä lämpöpumppujärjestelmien vaihtoehtoista rajattiin pois poistoilmalämpöpumppujärjestelmä. Maalämpöpumppujärjestelmän energiankeruumenetelmien osalta tutkimuksessa keskityttiin mainituista syistä kallioperäisiin maalämpöratkaisuihin. Näin ollen työstä rajattiin pois maahan ja vesistöön asennettavien keruuputkijärjestelmät ja pohjavesilämpöjärjestelmä.

2 LUMENSULATUSJÄRJESTELMÄT

2.1. Taustaa

Ensimmäinen lumensulatusjärjestelmä otettiin käyttöön Klamath Fallsissa USA:n Oregonissa vuonna 1948. Asennuksesta vastasi Oregon Highway Department. Järjestelmän toiminta perustui paikkakunnan geotermisen energian hyödyntämiseen. Järjestelmästä käytettiin nimitystä HISM-järjestelmä, eli hydroninen lumensulatusjärjestelmä. Järjestelmä oli käytössä 50 vuoden ajan, jonka jälkeen ulkoinen korrosio aiheutti rautaputken rikkoutumisen ja vuodon putkistossa. Järjestelmä palautettiin uudelleen toimintakuntoon syksyllä 1998. Tämän jälkeen useita HISM-järjestelmiä on suunniteltu ja rakennettu, sekä toimitettu Yhdysvaltain osavaltioissa, kuten Nebraskassa, Oregonissa, Texasissa ja Virginiassa vuosina 1994–1998 (Pan 2015.)

Ensimmäisenä nykyaikaisena katulämmitys- ja lumensulatusjärjestelmänä Suomessa otettiin käyttöön Jyväskylän kävelykadun lumensulatusjärjestelmä lokakuussa 1995. Sulanapitojärjestelmän pituus oli alkuvaiheessa 250 metriä ja alueena noin 5000 m². Aikojen saatossa sulanapitojärjestelmä on saanut hyvin paljon positiivista palautetta kadunkäyttäjiltä ja yrittäjiltä. Jyväskylän järjestelmän jälkeen seuraavaksi rakennettiin Helsingin Eteläesplanadille samanlainen järjestelmä ja nykyisin vastaavia järjestelmiä on käytössä muuallakin Suomessa.

Lumensulatusjärjestelmien energiana on käytetty hyvin yleisesti sähköä pienempien järjestelmien osalta. Huolimatta sähköisen järjestelmän suhteellisesti kalliimmista käyttökustannuksista verrattuna kaukolämpövesikiertoiseen järjestelmään. Sähköisen järjestelmän ylläpito ei vaadi huoltoa yhtä paljon, kuin nestekiertoisen järjestelmän ylläpito. Yleisesti muualla maailmalla sulanapitojärjestelmien määrä on lisääntynyt runsaasti viime aikoina. Eniten käytetyt sulatusjärjestelmät ovat kaukolämpövesi, sähkö ja infrapuna. Ylivoimaisesti käytetyin järjestelmä näistä on kaukolämpövesi suurimmilla alueilla. Nestekiertoisia sulanapitojärjestelmiä käytetään suomen lisäksi mm. Japanissa, Ruotsissa, Islannissa, Sveitsissä, Yhdysvalloissa, Kanadassa ja Argentiinassa. (Nikkola 2020, 5.)

2.2. Käyttökohteita

Lumensulatusjärjestelmän käytön tarpeellisuutta perusteltaessa on hyvin tärkeää huomioida useat eri tekijät. Huomioitavat tekijät vaihtelevat lumensulatusjärjestelmän etujen, haittojen, kustannusten, järjestelmän hyötyjen ja välillä. Lähdekirjallisuus osoittaa, että yksityiskohtaisia vertailuja eri lumensulatusjärjestelmien väliltä dokumentoituna ei juurikaan ole saatavilla. Lumen sulatuksen käyttäminen asuinrakennuksissa, myymälöissä ja teollisuudessa on saanut laajan hyväksynnän. Lumensulatusjärjestelmiä asennetaan monenlaiseen käyttökohteisiin, kuten jalkakäytävälle, ajoteille, portaisiin, maksullisille aukioille ja silloille. Lumensulatusjärjestelmän avulla vähennetään tavanomaisia lumenpoistomenetelmiä, kuten lapiointia, auraamista, hiontaa ja suolausta turvallisuuden varmistamiseksi (Kwesi 2015, 7, 11.)

Katujen lämmitys toteutetaan pääasiassa kaukolämmön paluukierron tai sähkölämmityksen avulla. Jäte- ja laudelämmön hyödyntäminen kuuluu myös suunnitelmiin, silloin kun sitä on käytettävissä. On mahdollista, myös hyödyntää maa- ja kallioperästä sekä pohjavedestä tai vesistöistä saatavilla olevaa lämpöenergiaa erilaisten ulkoalueiden lämmityksessä, silloin kun se on mahdollista paikallisten olosuhteiden puolesta. Lämmitettävät piha- ja liikennealueet voidaan jakaa ryhmiin mitoituslähtökohtien, kuten kantavuus- ja lämmitystehomitoituksen osalta. Ryhmiä ovat; kiinteistöjen piha- ja lähialueet, liikekiinteistöjen ulkoalueet, katu- ja tieliikennealueet ja molemmilta puolilta jäähtyvät kansirakenteet. Lumensulatusjärjestelmän lämmitysmuodon valintaan vaikuttavat käytettävissä olevat energialähteet sekä rakenteelliset rajoitukset (Sipilä 2001, 9.)

2.3. Ympäristötekijät

Lumensulatusjärjestelmien osalta on täysin perusteltua olla huolissaan sen ympäristövaikutuksista, vaikkakin lumensulatusjärjestelmät on osoitettu olevan osa ratkaisua, eikä osa ongelmaa. Totuus sulanapitojärjestelmien osalta on se, että ne kuuluvat ympäristöystävällisimpien vaihtoehtojen joukkoon. Ne voivat vähentää tai poistaa suolan ja kemikaalien käyttöä ympäristössä. Huoltohenkilökunta käyttää yleisesti lumen sulatuskemikaaleja, mutta nekin sulavat ja ajautuvat viemäriin ja viemäreihin, joissa ne voivat vahingoittaa kasvillisuutta ja vedeneliöitä. Lumensulatuskemikaalit ovat myös tunnettuja vaurioiden aiheuttajia betonille ja muille päällystetyille pinnoille, joiden käyttöikä lyhentyy ja tarve remontoimiselle lisääntyy.

Ympäristökuormitus lisääntyy verrattuna pidempään ja kestäväan sulanapidon ratkaisuun, joita ovat betonille ja muille päällystetyille pinnoille tehtävät ratkaisut. Kemikaalien tarve vähenee, kun lämpöä käytetään valikoiduissa paikoissa lumensulatusjärjestelmissä, jolla eliminoidaan kemikaalien vaikutusta ympäristöön ja rakennuksiin. Myös kemikaalien levittämiseen tarvittava työ ja aika jää pois. Lumensulatusjärjestelmä on lämmittämisen näkökulmasta hyvin hallittavissa, joka perustuu asianmukaiseen tehokkuuteen ja valvontaan. Samoin, kuin mikä tahansa mekaaninen järjestelmä. Oikein suunnitellut, asennetut ja toimivat lumensulatusjärjestelmät voivat olla hyvin energiatehokkaita, kun lumensulatusjärjestelmien energiakäyttöä ohjataan asianmukaisesti (Arsenault 2022,121.)

3 LÄMMÖNLÄHTEET SULANPITOJÄRJESTELMÄSSÄ

Sulanapitojärjestelmän lämmönlähteen valintaan vaikuttavat merkittävästi saataavuus ja hinta. Tavallisesti valittavia vaihtoehtoja ovat esimerkiksi kaukolämpö, sähkö, kaasu, lämpöpumppu tai prosessien jätelämpö. Isoimpien kaupunkialueiden kiinteistössä käytetään lämmönlähteenä pääasiassa kaukolämpöä (Tölli 2017, 10).

3.1. Kaukolämmitys

Piha- ja katualueiden lämmittämisessä käytetään usein kaukolämmön paluuvettä, sen sopivuuden vuoksi (maks. 39 °C). Kaukolämpöveden menolämpötila on yleisesti kesäisin 80 °C ja talvella 115 °C. Paluuveden lämpötila vaihtelee lämpötilojen 40–60 °C välillä (Sipilä 2001, 17). Energiateollisuuden lämmitystyöryhmä teki muutoksen rakennusten kaukolämmön määräyksiin ja ohjeisiin kaukolämmön menoveden osalta vuonna 2021. Menolämpötilaa päätettiin laskea 90 asteeseen. Muutos tosin koskee rakennuksen tilojen lämmityksen ja ilmanvaihdon lämmityksen mitoitusperusteita (Energiateollisuus 2021, 5.)

Yhdysvalloissa Oregon Institute of Technologyn kampuksella ja City of Klamath Fallsissa käytetään alhaisemman lämpötilan kaukolämmön paluuvettä jalkakäytävien ja siltakannen lumen sulattamiseen (Lund 2020). Myös Norjassa on käytössä lumensulatusjärjestelmiä, joista suurin osa on liitetty rakentamisen aikana kaukolämpöjärjestelmään. Nykyisin Notoddenin lumensulatusjärjestelmä on kaupungin suurin kaukolämpöjärjestelmän asiakas. Vuonna 2009 kaukolämmityksen pääasiakkaan lumensulatusjärjestelmä kattoi 12 465 m² (Prakhovnik 2013,6).

3.2. Kaksisuuntainen kaukolämpö

Kaksisuuntaisissa lämpömarkkinoissa erityyppiset toimijat voivat myydä ja ostaa lämpöä. Tämän tyylistä järjestelyä kutsutaan hajautetuksi energijärjestelmäksi. Vastaavasti kaksisuuntainen asiakkuus tarkoittaa omaa lämmöntuotantoa, tai ylijäämälämpönsä myymistä energijärjestelmän verkkoon sekä verkosta lämpöä

ostavaa asiakasta. Energiayhtiöt toimivat perinteisesti lämmöntuottajina kaksisuuntaisissa kaukolämpöverkoissa. Ulkopuoliset lämmöntuottajat voivat myydä myös tuotettua lämpöä tai ylijäämälämpöä kaukolämpöverkkoon. Kaksisuuntaisen kaukolämmön avulla parannetaan kaukolämmön kokonaistehokkuutta, taloudellista kannattavuutta ja ympäristöystävällisyyttä. Optimitilanteessa asiakas-tuottajilta saatavalla tuotannolla voidaan korvata primäärienergian tarvetta ja harventaa voimalaitosten ylös- ja alasajoja. Taloudellisessa mielessä kaksisuuntaisen kaukolämmön toteuttaminen on kannattavinta kohteissa, joissa hukkalämpöä ja ylijäämäkapasiteettia on saatavilla helposti toteuttavilla ja kustannustehokkailla ratkaisuilla (Pöyry 2016,5–6.)

3.3. Geotermisen energiankäyttö

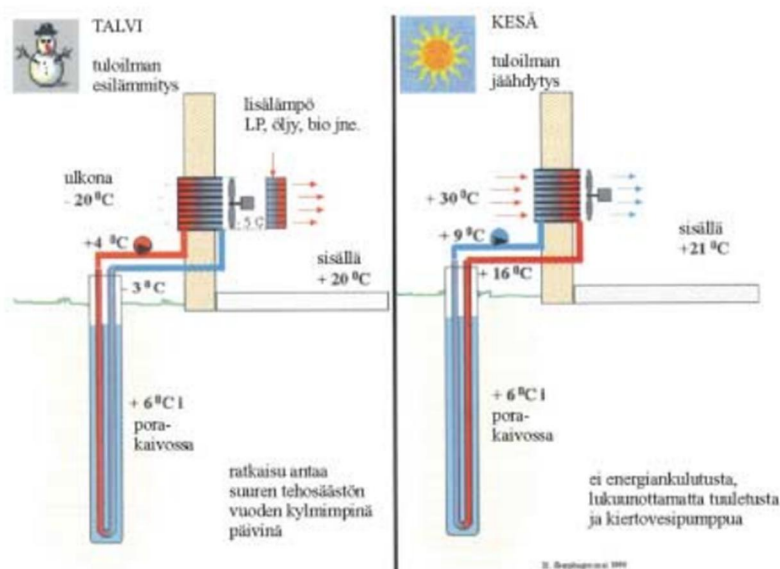
Geotermisellä energialla tarkoitetaan yli 5000 metrin syvyydestä maankuoren alta saatavaa kivien geotermisen nesteen sisältämää yli 15 asteista lämpöä. Eri-tyisesti niissä maissa, joissa geotermistä energiaa on saatavilla runsaasti geotermisellä energialla voi olla iso rooli paremman ympäristön ja kestävyuden takaajana (Arif 2010.) Lumensulatusjärjestelmiin tarvittava matalalämpöinen neste voidaan tuottaa, joko suoraan kuumasta maaperästä saatavan veden avulla, tai maalämpöpumpulla maaperästä erotetusta lämmöstä. Matalissa geotermisissä kohteissa tehokas lämmönkeruujärjestelmä ohjaa, kuitenkin lämmön talteenottoa. Lämmön talteenotto tapahtuu maakerroksesta, jossa lämpötila on stabiloitu (I-Hsuan 2017.)

3.4. Maalämpöratkaisut

Maalämpöratkaisut voidaan jakaa, sekä suljettuihin keruupiireihin, että avoimiin keruupiireihin. Molemmissa tapauksissa keskuksena toimii lämpöpumppu, joka voidaan suunnitella tarpeen mukaan siirtämään lämpöä, tai tuomaan lämpöä systeemissä virtaavan nesteen välityksellä (Sanner 2003). Suljettuihin keruupiireihin luokitellaan sekä maapiiri että energiakaivo. Järjestelmän toiminta perustuu lämmönkeruunesteen kierrättämiseen keruuputkissa, jotka luovuttavat keräämänsä energian käyttöön. Maalämpöä voidaan hyödyntää myös kierrättämällä suoraan

pohjavettä ilman lämmönkeruunesteen käyttämistä. Tämän tyyppistä lämmönkeruun menetelmää kutsutaan avoimeksi keruupiiriksi. Keruun menetelmässä pohjavettä kierrätetään pumpaamalla sitä siirtoputken avulla maanpinnalle, hyödyntämällä sen energiaa lämpöpumpussa ja lopuksi palauttamalla vesi siirtoputken avulla takaisin pohjavedeksi tai johtamalla pintavesiin (Juvonen 2013,8–9). Maaperän lämpöenergia, josta käytetään myös nimitystä geoenergia on peräisin maaperään sitoutuneesta aurinkoenergiasta. Kallionlämmön hyödyntäminen on mahdollista kallioon porattujen pystysuorien, sekä lähes pystysuorien syvyydeltään 100–300 metrin porareikien ja niihin asennettujen lämmönvaihtimien avulla. Lämmönvaihtimella varustettuja porareikiä kutsutaan energiakaivoiksi, tai toiselta nimeltään lämpökaivoiksi.

Tavallisesti lämmönvaihtimena käytetään suljettua U-putkea, jonka toiminta perustuu lämmönsiirtoaineena käytettävän vesi - etanoliseoksen kierrättämiseen. Suuremmissa kohteissa energiakaivojen määrät ovat suurempia, joten niiden vaikutukset toisiinsa on otettava huomioon. Energiakaivojen välimatkaksi suositellaan noin 20 metriä, sillä muussa tapauksessa kaivot vaikuttavat liikaa toisiinsa ja maaperän lämpötila saattaa muuttua (Manner 2014,33). Kuvassa 1 on esitetty kallioperän energiaratkaisut. Maa- ja kallioperän energiaratkaisujen osalta käyttökohteita lumensulatukseen ovat mm. kiinteistöjen piha-alueet, jalankulkualueet, sillat, rampit, risteysalueet ja urheilualueet. (Sipilä 2001,30.)



KUVA 1. Kallioperän energiaratkaisut (Sipilä 2001, 30.)

3.5. Energiakaivot

Energiakaivoja käytetään yleisimmin maalämpöjärjestelmän lämmönlähteenä. Suomessa normaali käyttösyvyys energiakaivoille on 200–400 metriä. Energiakaivokenttä muodostuu useamman energiakaivon ryhmästä. Energiakaivojen yleisin koko on 4,5 tuumaa eli 114,3 mm halkaisijaltaan. Porausreikään upotettavaa niin sanottua U-putkea kutsutaan kollektoriksi. Yleisimmät koot kollektoreille ovat 40 mm ja 45 mm. Energiakaivosyvyyden ollessa yli 300 metriä suositellaan käytettäväksi 45 mm kollektoreita pienemmän painehäviön vuoksi. Lämmönkeruunesteenä maalämpöpumpuille käytetään maaliuosta, joka sisältää vettä, denaturointiainetta ja 28 prosenttista etanolia. Liuos ei ole ympäristölle vaarallista ja se hajoaa nopeasti. Liuoksen pakkasenkesto lämpötila on -17 °C (Turunen 2021,15–16).

3.5.1 Energiakaivojen lataaminen ja energian varastointi

Suurempien lämmöntarpeiden kohdalla maan lämpötila laskee tasaisesti, kun lämpöä kerätään taukoamatta. Tämä johtaa järjestelmän elinkaaren aikana maan nopeaan jäähtymisen ja keruunesteen lämpötilan alentumiseen, joka ei ole hyväksyttävää. Järjestelmän palautumisen kannalta useamman lämpökaivon järjestelmissä yhdestä kaivosta otettava energiamäärä pidetään alhaisempana, kuin teoreettinen maksimäärä. Sopiva lämpöenergian ottoteho yhtä energiakentän kaivoa kohti on noin $10\text{--}20\text{ W / m}$ (Varjomaa 2021,46). Tyypillisesti energiavarasto kokee lämpövajetta, kun se tyhjennetään talvella ja sitä ei täytetä kesällä riittävästi. Lämpövaraston täyttämiseksi kesällä vaihtoehtona on kerätä lämpöä ympäristöstä ja kierrättämällä keruupiirissä viileää keruunestettä. Järjestelmän palautumisen kannalta on tärkeää, että lämmitys- ja jäähdytysenergiakuormat ovat tasapainossa. Ylimääräisen lämmön varastointi kesästä talveen tai ylimääräisen kylmän varastointi talvesta kesää mahdollistuu, kun nämä energiakuormat ovat tasapainossa keskenään. (Banks 2012 393–396).

3.6. Kaukolämpö ja Ilma-vesilämpöpumppu

Ilma-vesilämpöpumppujen käyttäminen kaukolämmön tuotannossa on harvinaista johtuen sen soveltumattomuudesta ympärivuotiseen lämmöntuotantoon. Kaukolämmön tehontarve on talvisin suurimmillaan, jolloin ilma-vesilämpöpumpusta saatava teho on vastaavasti pienimmillään. Ilma-vesilämpöpumpun hyötysuhteen eli COP-arvon pienentyessä järjestelmällä tuotetun lämmön hinta on korkeimmillaan. Investoinniltaan ilma-vesilämpöpumput ovat kalliita verrattuna vuosittaisiin käyttötunteihin, joten tästä syystä ilma-vesilämpöpumppujen käyttäminen on jäänyt käytännössä kokonaan pois kaukolämmön tuotannosta (Virtanen 2020,36.)

3.7. Kaukolämpö ja maalämpö

Hybridijärjestelmän hyödyntäminen on kannattavinta suurissa kohteissa, jossa voidaan käyttää kaukolämpöä maalämmön ohessa lisälämmönlähteenä. Lämmitysjärjestelmän osaoptimoinnilla voidaan saavuttaa enemmän säästöjä. Suuremmissa kiinteistökohteissa maalämpöpumpun kytkentä kaukolämmön paluupuolelle on kannattavaa, jos vaihtoehto on toteuttavissa kaukolämpöjärjestelmän kannalta. Paluuveden käytöllä lämpöpumppulämmityksessä saadaan tehostetua kaukolämmön jäähtymää ja se on investoinniltaan asiakkaalle halvempi vaihtoehto. Paluuveden hyödyntäminen lämmönlähteenä edellyttää tapauskohtaista arviointia. Lisäksi virtauksen riittävyys on aina tarkistettava etenkin niiden kohteiden osalta, jotka sijaitsevat kaukolämpöverkon silmukoissa ja haarakohdissa (Kari 2018,64.)

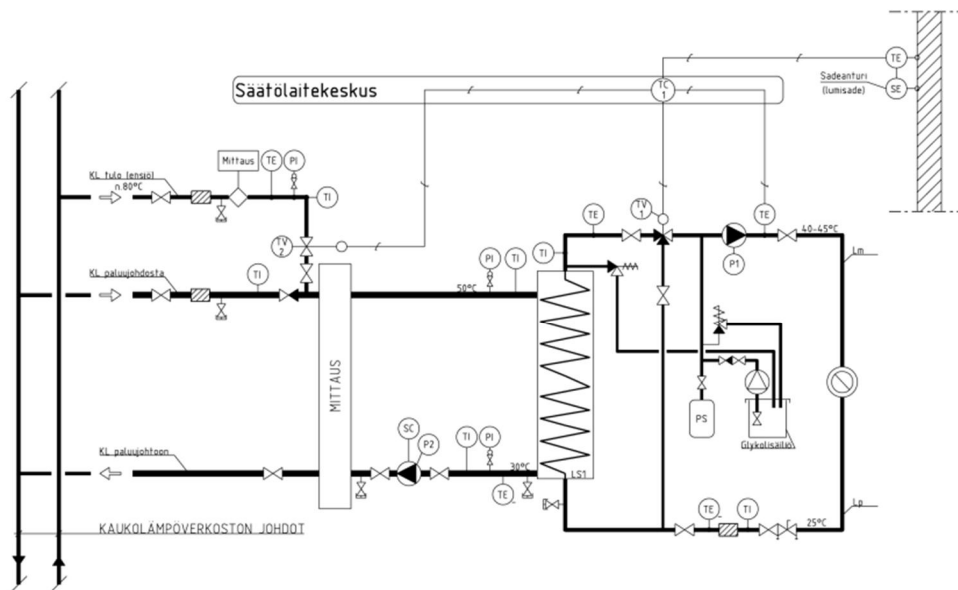
3.8. Maalämpö ja suora sähkölämmitys

Maalämmön rinnalla lisälämmönlähteenä voidaan käyttää, myös suoraa sähköä. Sähkölämmityksen käyttäminen on tavallisesti tyypillinen vaihtoehto, jos maalämmöllä pystytään saavuttamaan riittävä tehonpeitto. Sähkölämmitystä käyttämällä säästytään kaukolämmön kuukausittaiselta kiinteän maksun osuudelta. Tehomitoituksella on vaikutusta myös suoraan lämmönkeruujärjestelmän laajuuteen (Kauppinen 2020,36.)

4 LÄMMITYSJÄRJESTELMIEN KYTKENTÄMALLIT JA MITOITUS

4.1. Kaukolämmön kytkentämallit

Kaukolämmön paluuveden lämpötila vaihtelee välillä 40–60 °C. Paluuvesi soveltuu tavallisesti hyvin piha- ja katualueiden lämmittämiseen (Sipilä 2001,17). Käytettäessä kaukolämpöä sulanapitojärjestelmän lämmönlähteenä on suositeltavaa sijoittaa järjestelmän lämmönvaihdin kaukolämmön paluuputken kuvan 2 mukaisesti. Kytkennän myötä koko lämmitysjärjestelmän lämpötilaeroa voidaan kasvattaa. Järjestelmä täytyy varustaa myös kaukolämmön tulopuolen liitännällä, jotta huippukulutuksen aikana saadaan varmistettua lämmön riittävyys (Tölli 2017,10–11).



KUVA 2. Kaukolämmön ohituskytkentä (Energiateollisuus 2021,91).

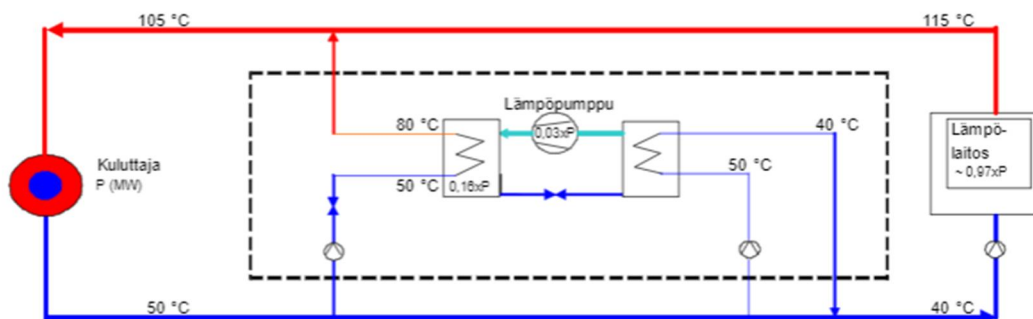
Lämmönsiirintä käytetään aina kaukolämmitysjärjestelmässä, jolloin lämmitysjärjestelmän toisiopuolena toimii piha- ja katulämmityspiiri (Sipilä 2001, 17). Lämmönsiirrin voidaan myös tarvittaessa jättää pois siinä tapauksessa, jos lämmönsiirtimen molemmilla puolilla kiertää sama vesi-jäätymisenesto-seos. Siirtimen pois jättämisen myötä pääsiirtimen jäätymisen riski suurenee (Tölli 2017,10).

4.2. Kaukolämmön paluueden hyödyntäminen mitoituksessa

Kaukolämmön paluueden käytön kannattavuus lämmityksessä perustuu tehokkaaseen vaikutukseen alentaen kaukolämmön paluulämpötilaa. Paluueden käyttäminen on kannattavaa varsinkin matalalämpöisissä järjestelmissä (Anttonen 2011,62).

4.2.1 Paluueden hyödyntäminen lämpöpumpuissa

Kaukolämmön paluueden avulla voidaan nostaa lämpöpumpun höyrystimelle menevän lämmönkeruunesteen loppulämpötilaa taloudellisemmalle toiminta-alueelle. Kaukolämmön paluulämpötila on korkeampi verrattuna maaperästä, tai vesistöistä saatavaan lämpötilaan nähden, joten korkeampi lämpötila mahdollistaa lämpöpumpun toimimisen paremmalla hyötysuhteella. Myös keruupiirin investointi pienenee merkittävästi. Ratkaisu parantaa kaukolämmön paluueden kilpailukykyä perinteisten lämmitysratkaisujen kanssa (Kari 2018,64,66–67.)



KUVA 3. Lämpöpumpun kytkentä kaukolämmön paluupuolelle (Pöyry 2011,30).

Lämpöpumpun esimerkkikytkentä kaukolämmön paluupuolelle (kuvassa 3). Kytkentä soveltuu erityisesti vanhojen ja suurien kiinteistöjen, sekä kiinteistöryhmien lämmitykseen ja teollisuuden prosessilämmitykseen. Kytkentäratkaisussa kiinteistön lämmitys toteutetaan matalalämpöisellä paluuedellä. Käyttövesi priimataan paluuesilämpöpumpulla, eli lauhttimella sopivaan lämpötilaan. Soveltuvin käyttökohde kytkentämallille on matalalämpötilaiset lämmönjakojärjestelmät, kuten lattialämmityskohteet (Pöyry 2011,30–32.)

4.3. Lämpöpumppujärjestelmän mitoitus

Lämpöpumppujärjestelmän tehomitoitus on oleellinen asia käyttö- ja investointikustannusten optimoinnin kannalta. Täystehomitoitettu lämpöpumppujärjestelmä tuottaa esimerkiksi kaiken kiinteistön tarvitsemasta energiasta ja tehosta, myös kylmimpinä talvipäivinä. Osatehomitoituksella lämpöpumput tuottavat yleisesti 60–85 % lämmitystehosta, joka voi tarkoittaa kattavan 90–98 % kiinteistön vuosienergiankulutuksesta (Juvonen 2013,31.)

4.4. Sulanapitojärjestelmän mitoitusperusteet

Sulanapitojärjestelmän suunnittelun tavoitteena on, että rakenteen pintalämpötila pysyy noin +3 asteessa. Haluttu rakenteen pintalämpötila saavutetaan rakenteen alapuolella kulkevien putkistojen avulla (Sipilä 2001,11). Toisin sanoen järjestelmän suunnittelu ja mitoitus perustuu siihen, että se pystyy sulattamaan pinnalle satavan lumen ja estämään sulamisveden jäätyksen uudelleen. Lumensulatuksen mitoitustehona käytetään tavallisesti suoraan arvoa $300 \text{ W} / \text{m}^2$. Mitoitusteho riittää useimmissa kohteissa pinnan sulana pitämiseksi aina noin -13 asteeseen asti. Erityisen vaativissa kohteissa tai mikäli sulatuksen halutaan toimivan matalammassa lämpötilassa, voidaan mitoitustehona mahdollista käyttää jopa $500\text{--}600 \text{ W} / \text{m}^2$. Menoveden lämpötilan maksimiarvona mitoituksessa käytetään tavallisesti +30–40 °C ja jäähtymänä putkistossa noin 15 astetta. Tosin AHRAE suosittelee jäähtymän maksimiarvoksi 11 °C (Tölli 2017,10).

5 LÄMMITYSJÄRJESTELMÄN KUSTANNUKSET

Lämmitysjärjestelmän kokonaiskustannukset muodostuvat rakentamisvaiheen investoinneista ja käyttökustannuksista. Investointikustannuksiin sisältyvät; järjestelmän suunnittelu, laitehankinnat, asennuskustannukset, liityntämaksut, kuten kaukolämpö- ja sähköverkkoon ja lämmitysjärjestelmän vaatima tilantarve. Vastaavasti käyttökustannuksiin sisältyvät; energiakustannukset, vuotuiset perusmaksut kaukolämpöjärjestelmän kohdalla sekä huolto- ja korjauskustannukset (Motiva 2023.)

5.1. Käyttökustannukset

Käyttökustannuksilla tarkoitetaan RAKLI ry:n määritelmän mukaisesti käyttäjälle tilojen käytöstä aiheutuvia muuttuvia kustannuksia, jotka määräytyvät tarvittavien hyödykkeiden määrän ja laadun mukaisesti. (RAKLI 2012,21). Näihin hyödykkeisiin kuuluvat mm. vesi, sähkö, siivous. Ja Suomessa energianlähteenä harvinaisempi kaasua ja muut energialähteet. Merkittävämpiin näiden hyödykkeiden osalta kuuluvat energian ja veden kulutus (Korhonen 2019,22).

Sulanapitojärjestelmän kohdalla suurimmat käyttökustannukset muodostuvat perusmaksuista ja energiamaksuista käytettäessä lämmönjakotapana kaukolämpöä. Pieni osa kustannuksista muodostuu glykolia kierrättävästä pumppauksesta ja muusta huollosta sekä kunnossapidosta (Nikkola 2020,29.)

5.1.1 Huolto- ja korjauskustannukset

Huoltokustannuksia muodostuu tehtävistä huoltotoista. Huoltokustannusten laskennassa on suositeltavaa käyttää todellisia huoltokustannusarvioita. Järjestelmien vertailu on vaikeaa, mikäli laskelmat perustuvat arvauksiin. Huoltokustannusten arvioiminen voi tosin olla hankalaa etenkin uusien järjestelmien osalta. Usein järjestelmien kohdalla toiset vaativat enemmän huoltoa, kun vastaavasti toiset toimivat pitkiäkin aikoja ilman erityistä huolenpitoa. Huollon laatu korostuu myös, sillä hyvällä huollolla korjataan investoinnissa syntyviä puutteita (Pulakka 2007,35–36).

Ennaltaehkäiseviin kunnossapitotöihin kuuluvat työt ja korjaukset, jotka toistetaan suunnilleen samaan aikaan ja samoin väliajoin, riippuen järjestelmästä tai sen rakenneosien käyttöiästä. Näiden toimintojen suorittaminen on välttämätöntä, jotta järjestelmä pysyy toimintakuntoisena. Vaihto- ja korjauskustannuksiin sisältyviä toimintoja ovat elementtien, materiaalien ja rakenteiden muutokset. Reaktiivisia eli reagoitavia kunnossapitotoimia on haastavaa ennustaa, sillä on lähes mahdotonta ennakoida kaikkia mahdollisia äkkinäisiä vikoja. Reaktiiviseen huoltotoimintaan sisältyy vikojen korjaukset ja viallisten komponenttien ja materiaalien vaihdoista aiheutuneet korjauskustannukset (Krstic 2012,294.)

5.1.2 Energiakustannukset

Energiakustannukset jaotellaan sähkö- ja lämmitysenergiakustannuksiin. Rakennusten osalta lämmitysenergiakustannukset aiheutuvat tilojen lämmityksestä ja käyttöveden lämmittämisestä. Rakennustasoisessa tarkastelussa lämmityskustannukset määritellään paikkakunta- ja lämmönjakelukohtaisesti. Kustannukset perustuvat joko arvioituihin tai todettuihin kulutuksiin. Sähköenergiakustannukset taas muodostuvat kiinteistösähköstä, käyttäjäsähköstä sekä talotekniikan laitteista ja järjestelmistä. Talotekniikan energiakustannuksiin kuuluvat taloteknisten laitteiden ja järjestelmien aiheuttamat sähköenergiakustannukset, kuten pumput, puhaltimet, kompressorit, toimilaitteet, valaistus jne. (Pulakka 2007,35–36.)

5.2. Investointikustannukset

Rakennuksen pääoma- tai investointikustannuksiin kuuluvat rakennuttajan kustannukset ja rakentamiskustannukset sekä rakennuksen luovutuksen edellyttämät kustannukset. Rakennuskustannusten arvioinnissa hyödynnetään yleisesti tiedossa olevia kustannusarviomenetelmiä ja lähteitä (Pulakka 2007,35–36). Sulanapitojärjestelmän investointikustannukset muodostuvat järjestelmän rakentamisvaiheen maatoista, putkistosta, lämpöverkkoon liittymisestä ja toiminnan mahdollistavasta tekniikasta. Toiminnan mahdollistavia tekniikoita ovat esimerkiksi glykoliliuosta kierrättävä pumppaus sekä automaatio ja mittaukset (Nikkola 2020,29.)

5.2.1 Suunnittelukustannukset

Suunnittelun osuus kustannuksista on muutaman prosentin luokkaa verrattuna oman alansa urakkakustannuksiin. LVIA-suunnittelun osuus LVIA-urakoiden kustannuksista noin 5,7 % ja vastaavasti sähkösuunnittelun 4,5 %. Tietomallin pohjainen suunnitteluprosessi kasvattaa kustannuksia hieman, mutta vaikutus projektin kokonaiskustannuksiin on pieni (Olkku 2010,49.)

5.2.2 Laitehankinta ja asennuskustannukset

Hankintakustannus muodostuu laitteen hankintahinnasta sekä asennus- ja kuljetuskuluista. Laitte- ja rakennuskustannusten arvioinnissa on käytetty apuna tunnetuimpia kustannusarviomenetelmiä ja lähteitä. Laskennassa on suositeltavaa kiinnittää erityisesti huomiota tekijöihin, jotka aiheuttavat eri vaihtoehtojen välisiä eroja puutteita (Pulakka 2007,35–36).

5.2.3 Tilanvarauskustannukset

Lämmitysjärjestelmien kustannuksissa laitteiden vaatima tilantarve on yksi merkittävistä asioista, joka on otettava huomioon. Tilantarve vaihtelee erilaisten lämmitysjärjestelmien välillä. Varsinkin polttoprosessin sisältävien lämmitysjärjestelmien kohdalla tilantarve on suurempi (Arola 2011,53.)

5.3. Kaukolämpöjärjestelmän kustannukset

Kaukolämpöjärjestelmän hinnoittelujärjestelmä jaotellaan Suomessa kolmeen osaan, joihin kuuluvat liittymismaksu, perusmaksu sekä energiamaksu. Liittymismaksu on näistä maksuista kertaluontoinen, jonka kaukolämpöverkkoon liittyvä asiakas maksaa vain liittymisvaiheessa. Liittymismaksu kattaa yleensä suurimman osan investointien pääomakustannuksista. Perusmaksun suuruus määritellään kaukolämpöverkon asiakkaan liittymistehon tai vesivirran mukaisesti. Perusmaksun säätäminen on mahdollista kaukolämmön kilpailukyvyyn ja toiminnan kannattavuuden edistämiseksi. Perusmaksun avulla voidaan yleisellä tasolla kattaa lämpöhankintaan liittyvät kiinteät kustannukset sekä muut kustannukset, joita ei

liittymis- ja energiamaksuilla pystytty kattamaan. Energimaksun suuruus taas määräytyy suoraan asiakkaan energiamäärän kulutuksen perusteella. Energimaksun osuudella on tarkoitus kattaa lämmönhankinnan muuttuvat kustannukset sekä pumppauskustannukset. Asiakkaiden energiamaksut säädetään tavallisesti kustannuksia korkeimmiksi, jolla pyritään ohjamaan asiakkaiden energian käyttöä järkevämmäksi (Kaksonen 2022,22–23.)

5.4. Lämpöpumppujärjestelmän kustannukset

Lämpöpumppujärjestelmän kustannukset aiheutuvat pääasiassa kolmen laitteen kuluttamasta energiasta, joita ovat lämpöpumppu, lämmönsiirtonesteen kiertovesipumppu ja varalämmitys-/jäähdytysjärjestelmä (Robert 2014). Lämpöpumppujärjestelmän avulla saavutettavat tuotot tulevat käyttökustannusten muutosten myötä. Järjestelmän investointikustannukset pitäisivät olla mahdollista maksaa takaisin investoinnin tarkasteluajana saavutettavilla säästöillä käyttökustannuksissa, jotta investointi olisi kannattava. Saavutettavat säästöt käyttökustannuksissa muodostuvat yksinkertaisuudessaan talteen otetun energiamäärän verran pienentyneestä lämmönhankintatarpeesta. Lisäkustannuseriä tuovat verrattuna perinteiseen kaukolämmönjakelujärjestelmään lämpöpumpun kuluttama sähköenergia ja lämpöpumppulaitoksen kunnossapitokustannukset (Koivula 2015,68.)

5.5. Investoinnin kannattavuuden määrittäminen

Investoinnin kannattavuuden määrittämiseksi käytetään niin sanottua suoran takaisinmaksuajan menetelmää. Suoran takaisinmaksuajan laskemiseksi tarvitaan tarkasteltavan toimenpiteen energiakustannussäästöt tarkasteluhetken hintatason mukaisesti. Suoran takaisinmaksuajan laskeminen toimenpiteelle tapahtuu jakamalla hankkeen investointikustannukset saavutetuilla energiakustannussäästöillä. Suora takaisinmaksuaika (TMA) on menetelmänä yksinkertainen ja sopiva energiatehokkuusinvestoinnin kannattavuuden arvioinnille. Menetelmä ei kuitenkaan huomioi mm. energiahinnan tai rahan arvon kehitystä, eikä myöskään takaisinmaksuajan jälkeisiä tulevia tuottoja. Suora takaisinmaksuaika ei oikeastaan todellisuudessa osoita investoinnin kannattavuutta, vaan rahoitusvaikutuksia. Investointia suunnittelevalla pitää olla itsellään näkemys siitä ajasta, jolloin

säästöjen on ylitettävä investointikustannukset ja tätä verrataan laskennan perusteella saatuun takaisinmaksuaikaan. Ohjeellista takaisinmaksuaikaa ei varsinaisesti ole vaan jokaisen investoinnin osalta tarkastelua on tehtävä omilla kriteereillään sekä investointia suunnittelevan omilla vaatimuksilla. Takaisinmaksuajan osalta on huomioitava myös investoitavan laitteen tai järjestelmän tuleva käyttöikä. Mikäli takaisinmaksuaika ylittää laitteen käyttöiän, silloin oletettavasti investointi ei ole kannattava ainoastaan energiataloudellisesta näkökulmasta.

Nettonykyarvon menetelmän avulla voidaan verrata investoinnista muodostuvia tulevia kustannuksia ja tuottoja nykyhetken kustannuksiin. Nettonykyarvon menetelmän avulla saadaan laskettua nykyarvo kaikille investoinnin maksusuorituksille. Nettonykyarvo on selkeä kannattavuuden arviointimenetelmä, sillä se ottaa huomioon investoinnilta vaaditun tuoton ja kustannukset koko investoinnin käyttöajalta. Nettonykyarvon menetelmässä investoinnin kannattavuuteen vaikuttavat huomattavasti laskennassa käytetty investoinnin tarkasteluajalla ja investoinnin tuottovaatimus. Investoinnin kannattavuuden tarkasteluajalla on vaikutusta mm. takaisinmaksuaikaan ja sitä kautta investointipäätökseen. Investoinnin pitoajalla tarkoitetaan teknistä käyttöikää, jolloin investointia käytetään ja se täyttää käyttötarkoituksensa. Investoinnin pitoaika voidaan määrittellä myös investoinnin taloudellisen käyttöiän kautta. Mainituilla tarkastelutavoilla on selkeä ero ja laskennassa käytettävällä tarkasteluajalla on iso merkitys investoinnin kannattavuuteen (Motiva 2018,6–7.)

6 TUTKIMUSMENETELMÄT

6.1. Kirjallisuusselvitys

Kirjallisuuskatsauksessa tutustuttiin lumen sulatusjärjestelmien käyttökohteisiin ja toimintaperiaatteisiin sekä järjestelmässä käytettäviin lämmöntuotantomuotoihin. Kirjallisuuskatsauksessa avattiin lisäksi sulanpitojärjestelmän käyttö- ja investointikustannusten muodostumista sekä investoinnin kannattavuuden arviointia. Kirjallisuuskatsauksessa lähteinä käytettiin muun muassa aikaisempia tutkimuksia, Ympäristöministeriön-, Energiateollisuuden- ja Motivan laatimia ohjeita ja määräyksiä. Myös laitevalmistajilta ja suunnittelu- ja konsulttitoimistoilta saatuja tietoja hyödynnettiin. Kirjallisuuskatsauksen perusteella selvisi, että aiheeseen suoraan liittyvä kirjallisuustieto on hyvin hajanaista ja suurin osa kirjallisuustiedosta ei ollut aiheen kannalta olennaista ja ajantasaista. Varsinaista tutkimuskirjallisuutta aiheesta on saatavilla melko suppeasti, joten aiheeseen liittyvälle tutkimukselle oli selkeästi tarvetta. Edellä mainittujen syiden takia kirjallisuuskatsauksessa päädyttiin käyttämään osittain myös lähteitä, jotka eivät olleet alkuperäisiä, sillä alkuperäisten lähteiden hyödyntäminen ei ollut kaikilta osin mahdollista. Työssä käytetty lähdetieto on, kuitenkin pääasiassa alkuperäistä.

6.2. Lähtötiedot

Opinnäytetyön tutkimusta varten kerättiin lähtötietoja mm. tutkimuskohteen nykyisen sulanapitojärjestelmän energiankulutuksesta, kaukolämmön paluuenergian hyödyntämisestä, käyttökustannuksista, lämmitysjärjestelmien investointikustannuksista. Lähtötietoja saatiin tutkimusta varten paikalliselta energialaitokselta ALVA Oy:ltä, Jyväskylän kaupungilta, laitevalmistajilta sekä Granlund Oy:ltä.

6.3. Menetelmät ja ohjelmistot

Opinnäytetyö toteutettiin määrällisen tutkimuksen, eli kvantitatiivisen tutkimusmenetelmän ja laadullisen tutkimuksen eli kvalitatiivisen tutkimusmenetelmän yhdis-

telmänä. Määrällisellä tutkimusmenetelmällä tarkoitetaan tutkimustapaa, joka antaa yleisen kuvan muuttujien (mitattavat ominaisuudet) välisistä suhteista ja eroista. Tutkimusmenetelmä kertoo vastauksen kysymykseen, kuinka paljon tai miten usein. Määrällisen tutkimuksen tarkoituksena on, joko selittää, kuvata, karottaa, vertailla tai ennustaa ihmistä koskevia asioita, ominaisuuksia tai luontoa koskevia ilmiöitä. Menetelmien aineistojen keräämiseen soveltuvat mm. haastattelu, jäsenhely havainnointi, strukturoitu haastattelulomake ja internet kysely. Menetelmä kuvaa yleisesti tuloksia numeerisesti. Määrällisen tutkimuksen tavoite on löytää tutkittavasta aineistosta yleisiä lainalaisuuksia eli selityksiä syyseuraus suhteelle. Yleisin tapa tutkimusongelman esittämiseksi on selitystä ennakoiva hypoteesi. (Vilka 2007,13,23,26).

Laadullinen tutkimus on tyypiltään aina empiiristä eli se perustuu erilaisiin aineistoihin ja niiden analyysiin. Empiirisyys ei sulje pois tutkimuksen teoreettisuutta vaan jonkinlaiset teoreettiset kiinnepohdat ovat edellytyksenä laadulliselle empiirille tutkimukselle. Laadullinen tutkimus on luonteeltaan aineistovetoista eli laadullisen tutkimuksen lopputuloksen kannalta aineiston tuottamisella ja analyysillä on keskeinen merkitys. Teoreettisen ja empiirisyuden yhteydessä tunnetaan käsitepari teoriavetoisuus-aineistovetoisuus, josta myös käytetään nimitystä deduktiivisuus-induktiivisuus. Kyseinen mainittu käsitepari saattaa aiheuttaa sekaannusta. Deduktiivisen tutkimuksen lähtökohtana on jokin teoria, jota empiirisesti lähdetään testailemaan. Induktiivinen tutkimus vastaavasti aloitetaan aineistoista näin ollen se on lähtökohtaisesti vähemmän teoreettista. Tämän perusteella deduktiivinen tutkimus yhdistetään selkeämmin kvantitatiiviseen ja induktiivinen puolestaan kvalitatiiviseen tutkimukseen.

Käsitteenä dikotominen asetelma on harhaanjohtava, sillä laadullistakin tutkimusta voidaan toteuttaa deduktiivisella ajatuksella. Eikä induktiivisuus laadullisessa tutkimuksessa tarkoita samaa, kuin teoriattomuus. Yksinkertaistettuna teoriolla tarkoitetaan laadullisessa tutkimuksessa sen jäsenhelyä esittämistä suhteessa siihen, mitä tieteellisessä kirjallisuudessa ja aiemmissä tutkimuksissa on esitetty tutkittavasta aiheesta sekä tutkimuksessa käytettävistä menetelmistä ja analyysitavoista. Jäsenhelyllä esittämällä tarkoitetaan tutkimustehtävän näkökulmasta sopivien teorioiden valitsemista, erittelyä ja keskinäistä järjestämistä.

(Kalinen 2021). Tutkimuksessa aihetta tarkasteltiin pääasiassa vertailevan ja teoreettisen tutkimuksen näkökulmasta, sillä näissä tutkimustyypeissä ollaan kiinnostuneita etenkin vertailuista ja numeerisiin tuloksiin perustuvasta ilmiön selittämisestä. Määrälliseen menetelmäsuuntaukseen sisältyy merkittävässä määrin laskennallista ja tilastollista analyysiä (Jyväskylän Yliopisto 2015).

Tutkimuksen aluksi määritettiin lumensulatusjärjestelmän uusi tarvittava sulatus-teho. Sulatustehot laskettiin sekä sulatusalueen pinta-alan mukaisella mitoituksella että järjestelmän käyttöajan perusteella. Laskettuja sulatustehoja vertailtiin keskenään. Seuraavaksi laskettiin nykyisten energiankulutustietojen perusteella energiakulutukset kaukolämpöjärjestelmälle ja lämpöpumppujärjestelmille. Tämän jälkeen laskettiin tarvittava energiakaivomäärä kohteen maalämpöjärjestelmälle. Energiakulutusten ja energiakaivomäärien ollessa tiedossa määritettiin ensin nykyiset käyttökustannukset nykyisten lämmitys, huolto- ja korjaus sekä ylläpitokustannusten perusteella. Ja tämän jälkeen laskettiin uudet käyttökustannukset vuosille 2024 ja 2027. Investoinnin kannattavuuden arvioimiseksi laskettiin lämmitysjärjestelmien investointikustannukset myös vuosille 2024 ja 2027. Lopuksi arvioitiin lämmitysjärjestelmien kannattavuuksia ja tehtiin laskelmien herkkyystarkastelut.

Tutkimuksessa käytettiin Microsoft Officen ohjelmistojen lisäksi Granlund Oy:n kehittämää EC-ohjelmaa, joka on kehitetty ensisijaisesti rakennusten energiankulutuksen, olosuhteiden ja energiajärjestelmän simulointia varten. Ohjelma soveltuu myös rinnakkaisiin energiasäästölaskentoihin ja se on integroitu Excel-ohjelman kanssa siten että ohjelmasta ladattavan Excel-laskentapohjan avulla saadaan laskettua esimerkiksi eri lämmitysmuotojen säästöt lämmitys- ja sähköenergiassa, investointikustannukset sekä investointien kannattavuudet. EC-ohjelma valittiin työhön sen monipuolisuuden ja helpon käytettävyyden vuoksi. Lisäksi Granlundin laatimia Excel-mitoitusohjelmia käytettiin tutkimuksessa energiakaivojen mitoituksessa ja lämmitysjärjestelmien investointikustannusten laskennassa (Granlund Oy n.a.)

7 TUTKIMUSKOHDE

7.1. Tutkimuskohteen esittely

Tutkimuskohteena opinnäytetyössä oli Jyväskylän kävelykadun lumensulatusjärjestelmä, josta pieni osuus on nähtävissä kuvasta 4. Sulanapitojärjestelmä on otettu käyttöön vuonna 1995 ja sen kokonaislaajuus on noin 5091 m² + kiinteistöjen omat järjestelmät. Kävelykadun lumensulatusjärjestelmä palvelee pääasiassa jalankulkijoita ja pyöräilijöitä. Järjestelmän lämmöntuotto tapahtuu nykyisellään kaukolämpöjärjestelmän avulla ja sulanapitoverkoston lämmityksessä hyödynnetään pääasiassa kaukolämmön paluuenergiaa. Lämmönsiirtonesteinä sulanapitoverkoston käytetään vesi-glykoliseosta. Sulanapitojärjestelmän huollosta ja ylläpidosta vastaa Jyväskylän kaupunki. Kävelykadun kiinteistöt vastaavat omien sulanapitojärjestelmiensä huollosta ja ylläpidosta. Jyväskylän kaupungin hallinnoima sulanapitojärjestelmä on nykyisellään käyttökänsä lopussa ja järjestelmän uudistaminen tapahtuu arviolta vuosina 2027–2030.



KUVA 4. Jyväskylän kävelykatu (Granlund Oy n.a.)

7.2. Alueiden nykyiset sulatusalueet

Jyväskylän Kävelykadun nykyiset sulatusalueet muodostuvat Asemakadun - Väinönkadun välisestä alueesta (3941 m²) ja Asemakadun - Kilpisenkadun välisestä alueesta, jonka laajuus on n. 1150 m². Kävelykadun sulatusalueen kokonaislaajuus on n. 5091 m². Alueen sulatusteho on yhteensä 1720 kW. Kävelykadun sulatusalueisiin sisältyy lisäksi Kauppakeskus Tawastinkulman kiinteistön oma sulanapitojärjestelmä 231 m² (100 kW) ja Kauppakatu 39:n kiinteistön oma sulanapitojärjestelmä (80 kW). Kävelykadun sulanapitojärjestelmien kokonaislämmitysteho on yhteensä n. 1900 kW. Tutkimuksessa keskitytään Kilpisenkadun-Väinönkadun välisten alueiden tarkasteluun, sillä ne ovat Jyväskylän kaupungin ylläpitämiä. Ja alueiden lämmöntuotannosta vastaava kaukolämpöjärjestelmä on suunniteltu uusittavaksi vuosien 2027–2030 välillä.

7.3. Järjestelmän toiminta

Lumensulatusverkoston toimintaa ohjataan alueittain kiinteistöjen lämmönjakohuoneissa sijaitsevien säätö- ja valvontakeskusten avulla. Sulanapitoverkoston säätö- ja ohjausjärjestelmä on DDC-pohjainen järjestelmä, jonka avulla verkoston tehoa säädetään muuttamalla järjestelmään tulevan veden lämpötilaa liuospuolella sijaitsevalla 3-tieventtiilillä. Sulanapitojärjestelmän käyttöönottovaiheessa säätöjärjestelmä ei toiminut vielä automaattisesti vaan järjestelmän käyttöä ohjattiin käsikäyttöisesti syksyn ajan vuonna 1995.

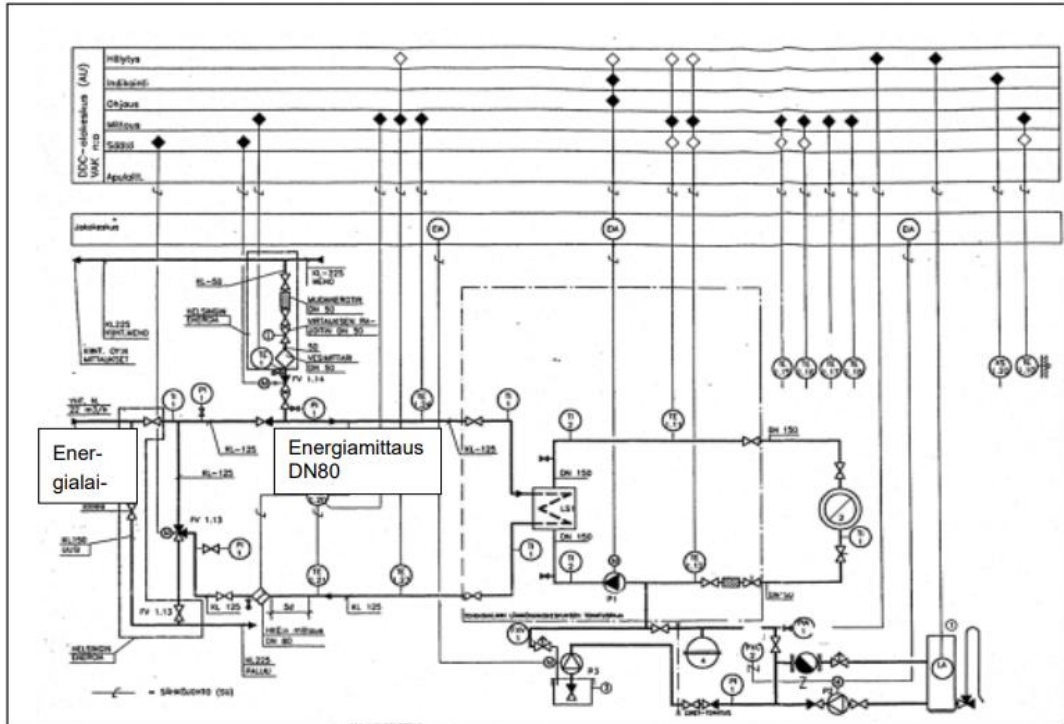
Säätöjärjestelmä saatiin toimimaan vuonna 1996 tammikuussa, mutta järjestelmässä havaittiin pian ongelmia. Tietyissä olosuhteissa, kun lunta ei satanut ja kadunpinnan ollessa kuiva pääsi kadun pintalämpötila nousemaan +13 asteeseen ulkoilman lämpötilassa -17 °C. Tämän jälkeen säätöjärjestelmän toimintaa muutettiin niin että toinen järjestelmän pintalämpötilamittauksista aktivoitiin rajoittamaan kadun pintalämpötilaa +3 asteeseen. Toisena käyttövuotena säätöjärjestelmää käytettiin ensimmäisen vuoden aikana tehtyjen muutosten mukaisesti. Asetuksia muutettiin ja järjestelmän toimintaa valvottiin lähes päivittäin. Kolmantena vuonna järjestelmää käytettiin edellisten vuosien asetuksilla, mutta paikan päällä käytiin vain tarvittaessa. Ennen neljättä käyttövuotta säätöjärjestelmään

lisättiin lumisadeanturi ja järjestelmä liitettiin valvontaan ympärivuorokautisesti (Sipilä 2001, 70.)



KUVA 5. Kävelykadun sulanapitojärjestelmän vuoto (Granlund Oy 2021.)

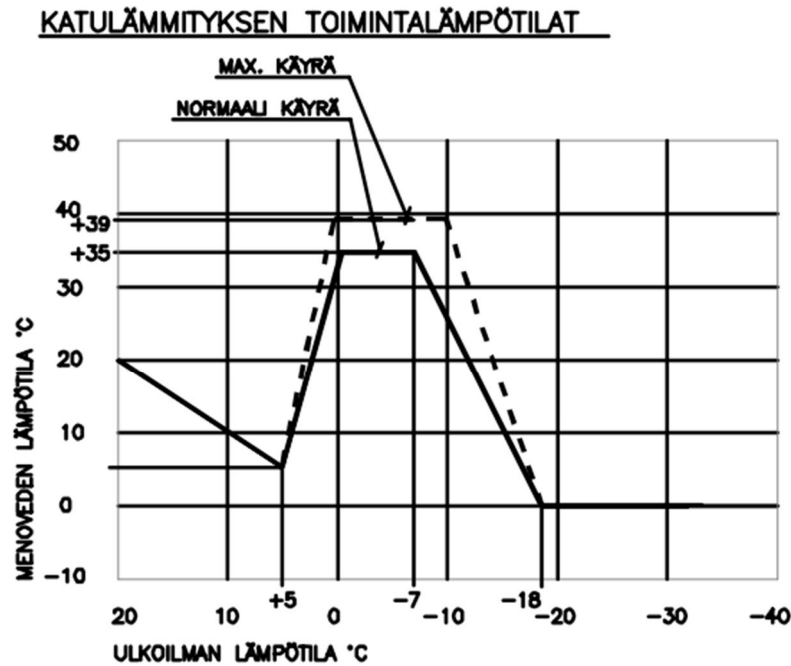
Sulanapitojärjestelmässä todettiin vuoden 2021 marraskuun lopussa vuoto, jonka vuoksi järjestelmä oli hetken aikaa osittain pois käytöstä. Vuoto pystyttiin paikallistamaan muutaman päivän kuluttua kuvassa 5 näkyvälle punaiselle viivoitetulle alueelle. Samalla vuoto saatiin rajattua, siten että järjestelmä pystyttiin palauttamaan käyttöön Kilpisenkadun ja Asemakadun väliselle osuudelle sulatusalueen puoleen väliin asti. Tämän jälkeen järjestelmä saatiin avattua hiljalleen käyttöön myös Asemakadun väliselle osuudelle. Kuvassa näkyvälle punaiselle viivoitetulle alueelle urakkarajaan asti (Granlund Oy 2021). Nykyään sulanapitojärjestelmä toimii vajaateholla, sillä järjestelmän nykyinen paisuntajärjestelmä ei mahdollista verkoston paineiden nostamista järjestelmän normaaleihin toiminta-arvoihin. Sen lisäksi mahdollisten lisävuotojen todennäköisyys kasvaa, mitä pidempään nykyinen järjestelmä on käytössä (Sol-kiinteistöpalvelut Oy 2023.)



KUVA 6. Kävelykadun sulanapitojärjestelmän kytkentäkaavio (Sipilä 2001,69.)

Kävelykadun sulanapitojärjestelmän periaatekaavio esitetty kuvassa 6. Sulanapitojärjestelmä toimii yksinkertaistettuna siten, että säätö- / valvontakeskus ohjaa sarjassa 3-tieventtiiliä FV 1.13 ja 2-tieventtiiliä FV 1.14 menoveden lämpötilan tuntoelimen TE 1.11 mittausarvojen perusteella, pitäen lämmitysverkon menoveden lämpötilan säätö- / valvontakeskuksen asetusarvojen mukaisena. Katulämmityksen paluuv veden lämpötilan rajoittavana anturina toimii TE 1.12, joka ei salli lämpötilan laskevan alle $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Mikäli anturin TE 1.23 kohdalla kaukolämmön paluulämpötila laskee alle $+0\text{ }^{\circ}\text{C}$, pysähtyy pumppu P 1 ja 3-tie moottoriventtiili FV 1.13 menee täysin sulatusasentoon.

Säätöjärjestelmän normaali toiminta ja pumpun käynnistys sallitaan vasta, kun lämpötila-anturi TE 1.23 on kohonnut asetusarvoon $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$. Pinalämpötilan mittausanturit TE 1.15 ja TE 1.16 rajoittavat kadun pinalämpötilaa niin, että se ei nouse yli antureiden asetusarvon $+3\dots+5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Lumianturi toimii siten, että sen tunnistessa lumisateen ohjautuu säätöjärjestelmä toimimaan normaalilla käyrällä ohittaen pinalämpötilarajoitukset. Säätöjärjestelmä palautuu pinalämpötilarajoituksen mukaiseen ohjaukseen, kun lumianturit eivät tunnista lumisadetta (Sipilä 2001,68.)



KUVA 7. Sulanapitojärjestelmän toimintalämpötila (Granlund Oy n.a.)

Kuvassa 7 on esitetty sulanapitojärjestelmän toimintalämpötilat. Järjestelmän toimintalämpötilat ovat ulkolämpötilavälillä +5...-18 °C. Järjestelmän huipputehontarve on silloin, kun ulkolämpötila on +0...-10 °C välillä sekä lumisateella. Tämän jälkeen järjestelmän tehontarve laskee asteittain. Sulanapitojärjestelmä siirtyy kokonaan nimellisteholle ulkolämpötilan laskiessa alle -18 asteen.

7.4. Nykyisten kustannusten jako

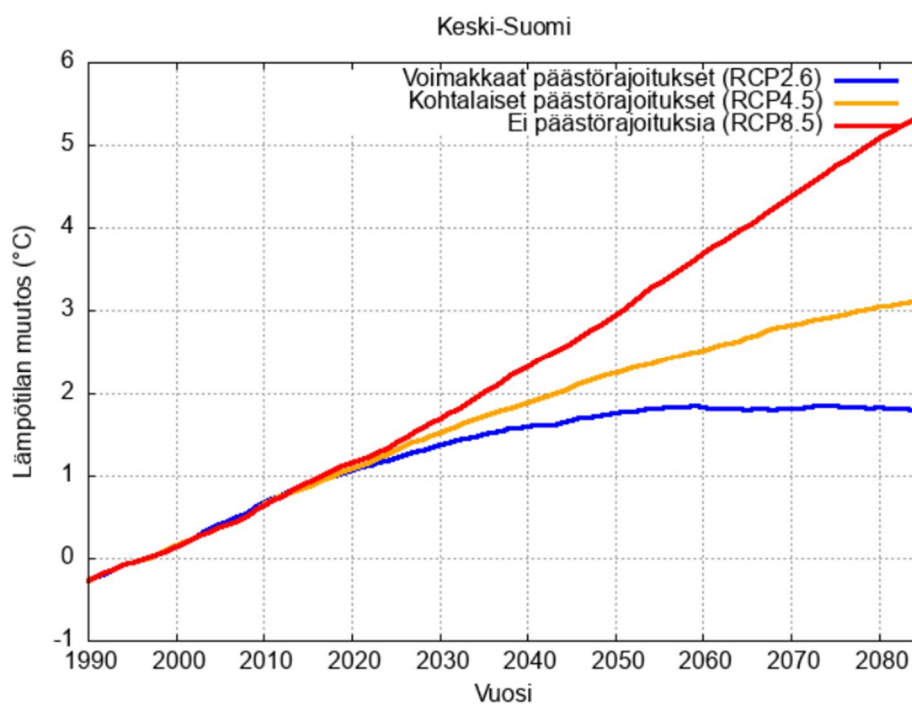
Sulanapitojärjestelmän investointikustannukset rakennusvaiheessa vuonna 1995 olivat kokonaisuudessa n. 1,3 miljoonaa markkaa, joka vastaa nykyarvoon muutettuna 361 171,41 euroa. Alueen kiinteistöt maksoivat kustannukset kokonaisuudessaan ja luovuttivat sen Jyväskylän kaupungille veloituksetta. Käyttökustannukset sovittiin jaettavan niin, että kiinteistönomistajien osuus kustannuksista on 60 % ja kaupungin osuus vastaavasti 40 %. Jakoperusteina käytettiin ajoradan ja jalkakäytävän suhdetta. Katuosuus on sittemmin muutettu pelkäksi kävelykaduksi (Kauppila 2020,26). Kyseinen jako ei ole nykyisin enää voimassa vaan kaupunki vastaa yksinään koko katuosuuden kustannuksista (Jyväskylän kaupunki n.a).

8 ULKOLÄMPÖTILAN VAIKUTUS LÄMMITYSTARVELUKUUN

8.1. Kuukausittaiset keskilämpötilat

Tulevien vuosien keskilämpötilojen nousu riippuu hyvin paljon kasvihuonepäästöjen maailmanlaajuisesta kehityksestä. Seuraavan kymmenvuoden osalta on arvioitu keskilämpötilan nousevan Keski-Suomessa n. 0,5 astetta kaikista voimakkaimmillakin päästörajoituksilla (Gregow 2021,90.)

Kuvassa 8 on esitetty Keski-Suomen vuosittaiset keskilämpötilat päästörajoituksilla ja ilman päästörajoituksia ajanjaksolla 1990–2080. Kuvassa on esitetty arvioitu ilmaston lämpeneminen kuluvaan vuosisadan aikana Keski-Suomessa. Vuosittainen keskilämpötila on noussut päästörajoituksista huolimatta esimerkiksi vuosien 1990–2023 välillä yli asteella (Gregow 2021,90.)



KUVA 8. Keskilämpötilojen muutos Keski-Suomessa (Gregow 2021,90.)

Jyväskylän keskilämpötilat ajanjaksolla 2012–2022 (Taulukossa 1). Ajanjaksolla vuosittaisten keskilämpötilojen keskiarvoksi muodostui n. 4,5 °C. Seuraavan kymmenen vuoden aikana Jyväskylän vuosittainen keskilämpötila voi nousta n. asteella. Vuosien 2023–2033 keskilämpötilat voivat vastaavasti olla vuosien 2015

ja 2020 keskilämpötilojen välillä (Ilmatieteenlaitos 2023.) Keskilämpötilan nousua ei tosin pystytä tarkasti arvioimaan vielä tässä pitkän ajan päähän, sillä ilmaston osalta voi tapahtua myös yllättäviä muutoksia, jotka joko nopeuttavat keskilämpötilan nousua tai hidastavat sitä.

Taulukko 1. Jyväskylän keskilämpötilat (Ilmatieteenlaitos 2023.)

Kuukauden keskilämpötilat Jyväskylässä 2012-2022 (°C)													
Vuodet	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Keskiarvo
2012	-9,5	-11,2	-2	1,3	9,6	12,7	16,7	13,8	9,4	3,8	1,1	-11,6	2,84
2013	-7,2	-3,9	-9,1	1,6	12,5	16,8	15,8	15	9,9	4,4	1,1	-0,6	4,69
2014	-9,9	-1,2	0,5	3,7	9,5	12,3	19	15,4	9,7	2,8	0,1	-3	4,91
2015	-6,5	-2,1	-0,4	3,4	8,7	12,2	14,7	15,6	10,9	4	2,7	0,1	5,28
2016	-14,7	-2,6	-1,5	3,5	12,4	14,3	16,5	14,1	10,2	2,6	-2,8	-2,8	4,10
2017	-4,7	-5,8	-1,2	0,4	7	12,5	14,4	14	9,1	3,6	0,8	-1,4	4,06
2018	-5,2	-11,2	-7,3	3	13,7	14,1	20,3	16,6	11,2	4,3	1,3	-4	4,73
2019	-10,3	-3,3	-2,3	4,7	8,8	16,1	15,6	14,6	9	2,5	-0,9	-1,4	4,43
2020	-0,5	-2,2	-0,8	1,7	7,6	17,9	15,1	14,8	10,7	6	2,6	-1,1	5,98
2021	-7,3	-10,4	-3,1	2,8	9,2	18,6	19,6	14	7,5	6,2	-0,9	-9,2	3,92
2022	-6,2	-4,7	-1,5	1,5	9	15,6	16,8	16,8	7,6	5,5	-0,1	-5,3	4,58

8.2. Lämmitystarveluvun käyttö ja laskeminen

Lämmitystarvelukua (tunnettiin aiemmin nimellä astepäiväluku) käytetään toteutuneiden energiankulutusten normeeraukseen. Normeeratun kulutuksen avulla voidaan verrata keskenään saman rakennuksen kulutusta eri kuukausien ja vuosien välillä ja eri kunnissa sijaitsevien rakennusten ominaiskulutusta. Lämmitystarveluvun määrittäminen tapahtuu laskemalla yhteen eri kuukausien päivittäisten sisä- ja ulkolämpötilojen erotus. Suomessa laskennassa käytetään yleisesti lämmitystarvelukua S17, joka lasketaan +17 asteeksi oletetun sisälämpötilan sekä ulkolämpötilan vuorokausikeskiarvon erotuksen perusteella. Lämmitysenergiankulutuksen normeerauksella mahdollistetaan tehokkaampi energiankulutuksen seuranta, joka on perusajatus tehokkaalle energiankäytölle. Normitettu kulutus on vertailukelpoinen huolimatta rakennuksen sijainnista ja eri kuukausien tai vuosien lämpötilaeroista. (Ilmatieteenlaitos 2023).

8.2.1 Lämmitysenergiankulutuksen normeeruus

Tutkimuksessa sulanapitojärjestelmän energiankulutus normeerattiin lämmitystehonhuipun laskemista varten. Aihetta käsitellään tarkemmin kappaleessa 11. Normeeruus suoritettiin kaavalla.

$$Q_{norm} = \frac{S_N \text{ vpkunta}}{S_{toteutunut \text{ vpkunta}}} \cdot Q_{toteutunut} \quad (1)$$

jossa,

Q_{norm}	normitettu lämmitysenergiankulutus
$Q_{toteutunut}$	lämmittämiseen kuluva energia
$S_N \text{ vpkunta}$	normaalivuoden tai -kuukauden (1991–2020) lämmitystarveluku vertailupaikkakunnalla
$S_{toteutunut \text{ vpkunta}}$	toteutunut lämmitystarveluku vuosi- tai kuukausi- tasolla vertailupaikkakunnalla

(Motiva 2023,3.)

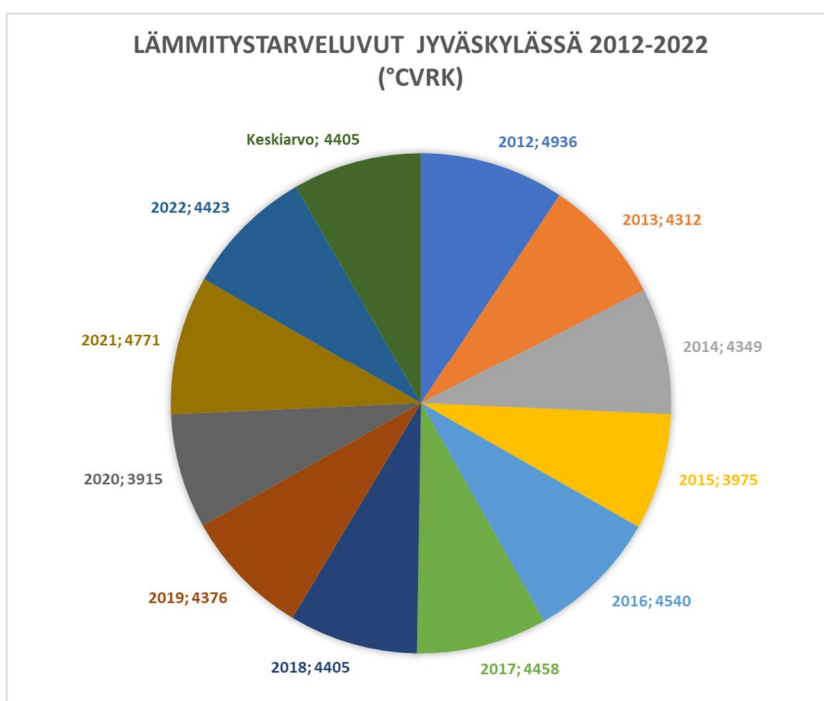
8.3. Ilmastonmuutoksen vaikutukset lämmitystarvelukuun

Suomen nykyisessä ilmastossa lämmitystarveluku vaihtelee aina lounaissaariston 3800 °Cvrk:den ja maan pohjoisosan 5000–6000 °Cvrk:den välillä. Lämmitystarveluku on suurimmallaan tammikuussa. Tulevaisuuden skenaarioissa Suomen lämmitystarveluvun on ennakoitu pienevän keskimäärin 20–40 prosentilla. Lämmitystarveluvun pieneneminen riippuu siitä ovatko maapallon kasvihuonepäästöt tulevaisuudessa pieniä, melko suuria vai suuria. Absoluuttisesti pienenemistä tapahtuu eniten talvikuukausina ja suurimmat muutokset kohdistuvat Lappiin.

Ensimmäiseksi muutos näkyy lämmitystarvelukua kerryttävän lämmityskauden pituudessa, joka lyhenee nykyisestä. Lämmityskausi alkaa nykyilmastossa, kun vuorokauden keskilämpötila laskee alle +12 asteen. Pohjoisessa tämä tapahtuu elokuun aikana ja etelässä syyskuun alkupuolella. Lähivuosikymmeninä lämmityskauden osalta ei tapahdu vielä merkittäviä muutoksia. Vuosisadan puoliväliin mennessä sen sijaan lämmityskausi voi lyhentyä muutamalla viikolla etelässä ja pohjoisessa n. kuukaudella riippumatta päästörajoituksista. Varsinkin maan pohjoisosissa muutos kohdistuu enemmän kevääseen, jolloin lämmitystarvelukua kerryttävä kausi lyhenee. (Pirinen 2014,12,16,35–37).

Jyväskylän lämmitystarveluku on ollut keskimäärin 4405 °Cvrk:ssa viimeisimmän kymmenen vuoden ajanjaksolla, kuten kuviosta 1 näkyy. Keskilämpötilan nousun vuoksi lämmitystarveluku tulee pienemään tulevaisuudessa myös Jyväskylässä. Vuosisadan loppuun mennessä Jyväskylän lämmitystarveluku voi olla arviolta keskimäärin noin 3500 °Cvrk:ssa edellyttäen, että suuret päästörajoitusten toteutuvat. Maan keskiosassa lämmityskausi tulee lyhentymään nykyisestä vuosisadan loppuun mennessä arviolta lähes kuukauden verran.

Seuraavan kymmenen vuoden lämmityskausi voi lyhentyä arviolta n. viikolla nykyisestä. Lämmityskauden lyhentymisen vaikuttaa olennaisesti lumensulatusjärjestelmän käyttöaikoihin, jotka lyhentyvät. Lyhyempien käyttöaikojen myötä myös lämmönkulutus pienenee. Toisaalta lähivuosisikymmenien aikana ei tapahdu vielä merkittäviä muutoksia ilmastollisesti, joten mainitut muutokset voivat alkaa näkyämään vasta vuosisadan puolen välin jälkeen tai vuosisadan loppupuolella.



KUVIO 1. Lämmitystarveluvut (ilmatieteenlaitos 2023.)

9 SULANAPITOJÄRJESTELMÄN MITOITUS

9.1. Sulanapitoverkoston lämmitystehon mitoitus

Lumensulatusverkoston lämmitystehon mitoitukseen vaikuttavat katurakenteen ja maaperän lämmitystekniset ominaisuudet ja paikalliset ilmasto-olosuhteet. Lisäksi lämmitystehomitoituksessa on huomioitava vaadittava lumensulatusnopeus. Rakennettujen sulanapitokohteiden osalta on käytetty lämmityksen mitoitustehona 300 W / m^2 , jonka on todettu olevan riittävä pitämään kadun pinta sulana noin -13 C° lämpötilaan asti. Lämpötilan laskiessa tätä alemmaksi lämmitysteho yleensä lasketaan nimellisteholle, jonka avulla estetään nestekiertoisten järjestelmien kiertonesteen jäätyminen. Lumisateiden todennäköisyys on näissä lämpötiloissa harvinaista. Reunakiven alla voidaan käyttää lumensulatusnopeutena 600 W / m^2 (Sipilä 2001 48,50). Vaadittava lumensulatusnopeus saadaan kaavalla.

$$\phi = Q_1 + Q_2, \quad (2)$$

jossa,

Q_1 lumen tilavuuslämpökapasiteetti
 Q_2 lumen sulatuksen vaatima lämpö
 (Sipilä 2001,48).

Lumen tilavuuslämpökapasiteetti Q_1 saadaan kaavalla (3).

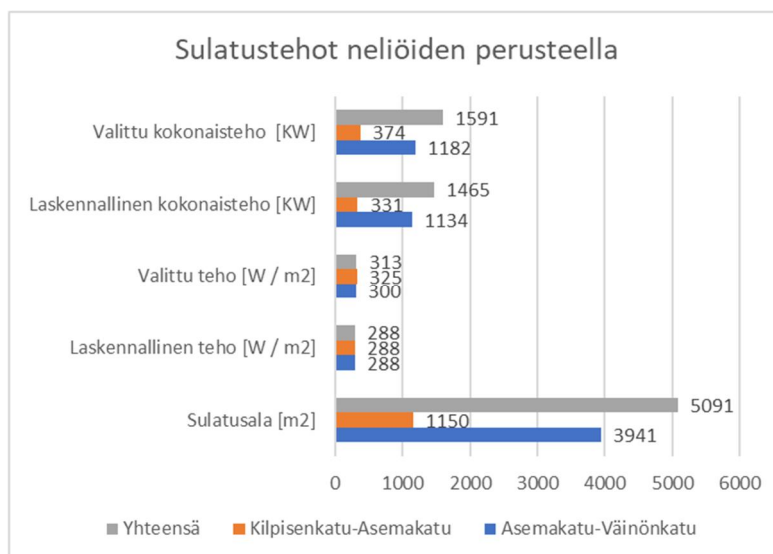
$$Q_1 = \Delta T \cdot V \cdot q_1 \cdot K$$

jossa,

ΔT lumen lämmityksen lämpötilat [$^\circ\text{C}$] = [K]
 V sulatettavan lumikerroksen paksuus [m^3 / m^2]
 q_1 lumen ominaislämpökapasiteetti [MJ / m^3]
 K sulatusaika Wh / $\text{m}^3 \text{ K}$
 (Sipilä 2001,50).

Kaavojen 1 ja 2 perusteella lumen sulatusnopeudelle $30 \text{ mm} / \text{h} / \text{m}^2$ tarvitaan lämmitystehoa $288 \text{ W} / \text{m}^2$, kun sulatusaikana käytetään 5 tunnin ajanjaksoa. Laskelmissa käytetty lämmitysteho $300 \text{ W} / \text{m}^2$ on siten riittävä sulattamaan noin 30 mm lunta tunnissa, sillä sulatustilanteessa lämmönsiirron osuus pinnasta ilmaan on vähäistä ja lämmitysteho voidaan käyttää melkein kokonaan lumen sulatukseen. (Sipilä 2001,48,50). Kävelykadun sulatusalueen nykyinen sulatusteho on noin $338 \text{ W} / \text{m}^2$, joka tarkoittaa nykyisellä laajuudella (5091 m^2) kokonaistehoa 1720 kW . Tutkimuksessa päädyttiin käyttämään pääasiallisena lämmitystehona $300 \text{ W} / \text{m}^2$ edellä mainituilla perusteilla.

Sulatustehon optimoinnilla säästetään järjestelmän energiankulutuksessa. Kilpisenkadun ja Asemakadun sulatusalueelle sijaitsevan risteysalueen osalta (450 m^2) käytettiin sulatustehona $350 \text{ W} / \text{m}^2$. Suurempi sulatusteho perustui avoimen ja tuulisen paikan huomioimiseen sulanapidossa (Tölli 2017, 17). Suuremmalla sulatusteholla varmistetaan tämän keskeisen katualueen nopeampi sulaminen. Kävelykadun valituksi kokonaissulatustehoksi muodostui keskimäärin $306 \text{ W} / \text{m}^2$ (kuvio 2). Sulanapitojärjestelmän uudeksi kokonaistehoksi muodostui laskelmien perusteella 1591 kW . Sulatustehon osalta huomioitavaa on, että Kävelykadun sulanapitoaluiden tuleva laajuus ei ollut tiedossa tutkimuksen tekohetkellä. Tuleva laajuus varmistuu siinä vaiheessa, kun yleissuunnitelma valmistuu ja päätäjät tekevät sen pohjalta päätöksiä. Myös tarvittava sulatusteho tulee joko kasvamaan nykyisestä tai pysymään samana.



KUVIO 2. Sulatustehot neliöiden perusteella.

9.1.1 Kaukolämpöjärjestelmän mitoitus

Uuden kaukolämmönsiirtimen mitoitus suoritettiin Energiateollisuus Ry:n julkaisun K1 / 2021 määräysten ja ohjeiden mukaisesti. Kaukolämmön ensiöpuolen lämpötilana käytettiin nykyisen mitoituksen perusteella 50 astetta, joka todettiin riittäväksi nykyisten kaukolämmön mittauslämpötilojen perusteella, koska järjestelmä ottaa pääasiassa kokonaan lämpöenergian paluupuolelta. Tarvittaessa järjestelmä ottaa lisälämmön kaukolämmön menovedestä. Ensiöpuolen paluulämpötila määritettiin sulanapitoverkoston toisiopuolen mitoituslämpötilojen ja K1:n perusteella, jolloin paluulämpötila saa olla enintään 3 °C toisiopuolen paluulämpötilaa korkeampi. Paluulämpötilaksi muodostui 23 °C (Energiateollisuus 2021, 58, 85). Sulanapitoverkoston, eli kaukolämmön toisiopuolen glykoli / vesiliuoksen menolämpötilana käytettiin +35 astetta mitoituksessa suositeltujen lämpötilojen +30 - +40 °C väliltä. Paluulämpötilana 20 astetta, jotta jäähtymä putkistoissa saadaan pysymään suositusten mukaisessa 15 asteessa (Tölli 2017, 10). Sulanapitojärjestelmän kaukolämpösiirtimen uusi lämmitysteho määritettiin kohdassa 9.1 lasketun sulatustehon perusteella.

9.1.2 Paluuenergian hyödyntäminen

Jyväskylän kävelykadun sulanapitojärjestelmä hyödyntää suurimmaksi osaksi kaukolämmön paluuenergiaa sulanpitoverkoston ensiöpuolella. Paluuveden lämpöenergiaa hyödynnetään noin ulkolämpötilaan -8 °C asti, jonka jälkeen kaukolämpöjärjestelmä ottaa puuttuvan lämpöenergian kaukolämmön menopuolelta (Sol-kiinteistöpalvelut 2023). Tutkimuksessa ei käsitelty paluuenergian mitoittamista ja määrälaskentaa, sillä paluuenergian käytöstä saatava rahallinen hyöty kustannuksiin määritettiin nykyisistä kustannuksista paikallisen energialaitoksen ALVA Oy:n ohjeistuksen perusteella.

9.1.3 Sopimustehon ja vesivirran laskeminen

Kaukolämmön sopimusteholla tarkoitetaan liittymisvaiheessa asiakkaalle varattua lämpötehoa. Sopimusteho laskettiin Energiateollisuuden suosituksessa esi-

tettyjen kaavojen perusteella (Energiateollisuus 2014,1,24). Kävelykadun sulanapitojärjestelmän mitoitus-teho tarkistettiin lämmityshuipun käyttöajan ja nykyisen toteutuneen kulutuksen perusteella. Huipputeho saadaan laskettua seuraavalla kaavalla.

$$\emptyset_{mit} = \frac{Q_1}{H} \quad (4)$$

jossa,

\emptyset_{mit}	lämmityksen huipuntehontarve (mitoitusteho) [kW]
Q_1	lämmitykseen kulunut energia tarkasteluaikana, [MWh]
H	$(24 \times S / (17 \text{ °C} - t_u))$ lämmityshuipun käyttöaika tarkasteluaikana
S	lämmitystarveluku tarkasteluaikana [°Cd]
t_u	paikkakunnan mitoitusulkolämpötila [°C]

(Energiateollisuus 2021,76).

Paikkakunnan mitoitusulkolämpötilasta poiketen huipputehon laskennassa käytettiin sulanapitojärjestelmälle sopivampaa mitoitusulkolämpötilaa -5 °C. Ja vuorokautisen 24 tunnin huipunkäyttöajan sijaan 5 tunnin käyttöaika. Kävelykadun sulanapitojärjestelmän lämmitystehon riittävyttä arvioitiin tutkimuksessa myös huipputehon ja lämmityshuipun käyttöaikojen perusteella. Tulokset näkyvät taulukosta 2. Huipputehojen osalta voitiin todeta, että tulevaisuudessa ennakoituilla lämmitystarveluvun muutoksilla Jyväskylän lämmityshuipun käyttöaika lyhentyy n. 217 tunnilla vuodessa. Lämmityksen huipputeho on myös pienempi Jyväskylässä verrattuna edellä kuviossa 2 saatuihin sulatustehoihin nähden.

TAULUKKO 2. Sulanapitojärjestelmän huipputehot.

Sulatusjärjestelmät	Laskennallinen lämmityshuipun käyttöaika [h / a]	Keskimääräinen lämmitystarveluku [°Cd]	Lämmityksen huipputeho [kW]	Normeerattu lämmitysenergian kulutus [MWh / a]
Yleinen (2012-2022)	1056	4400	1476	1559
Jyväskylä (2012-2022)	1061	4400	1469	1559
Yleinen (2022-2080)	840	3500	1476	1240
Jyväskylä (2022-2080)	844	3500	1469	1240

Kaukolämmön sopimusvesivirta saadaan vastaavasti laskettua, kun tunnetaan kaukolämmön meno- ja paluulämpötilat ja sopimusteho. Kaukolämmön sopimusvesivirta saadaan laskettua kaavalla.

$$V = \frac{\emptyset}{c_p} \cdot p \cdot (t_{et} - t_{ep}) \quad (5)$$

jossa,

V_e	Tehoa vastaava kaukolämpöveden tilavuusvirtaus [dm ³ / s]
\emptyset	Sopimusteho [kW]
C_p	Veden ominaislämpökapasiteetti [kJ / kg °C]
p	Veden tiheys [kJ / dm ³]
t_{et}	Kaukolämmön tulolämpötila [°C]
t_{ep}	Kaukolämmön paluulämpötila [°C]

Jyväskylässä sulanapitojärjestelmille käytetään yleensä tilausvesivirtapohjaista hinnoittelua. Tehoperusteinen hinnoittelu ei sovellu käytettäväksi sulanapitojärjestelmille, sillä järjestelmän lämmitystehontarve on suurimmillaan juuri nollakeleillä ja muutaman asteen pakkasella. Lisäksi lämmöntuottamisessa hyödynnetään paluuedestä saatavaa lämpöenergiaa. Jyväskylän Energianlaitoksen tilausvesivirtaan pohjautuvassa hinnoittelussa perusmaksu on noin 1/3 menoveden perusmaksusta, kun sulanapidon energia otetaan paluuedestä. (ALVA Oy n.a.) Kaukolämmön nykyiseksi sopimustehoksi arvioitiin 1720 kW:a tuntisen huipunkäyttöajan ja ALVA:lta saatujen vuosien 2020–2021 keskimääräisen lämmönkulutuksen perusteella. Mainitulla sopimusteholla tilausvesivirraksi muodostui n. 20 l / s, kuten taulukosta 3 nähdään.

TAULUKKO 3. Nykyinen sopimusteho ja tilausvesivirta.

Lämmitysjärjestelmä	Sopimusteho [kW]	Tilausvesivirta [l/s]	KL-paluu [°C]	KL-meno [°C]	Ominaislämpökapasiteetti [kJ / kg °C]	Tiheys [kg / l]
Nykyinen kaukolämpö	1720	20,6	50	30	4,2	1,0

Kaukolämpöjärjestelmien uudet sopimustehot ja tilausvesivirrat on esitetty taulukossa 4. Tulosten perusteella tilausvesivirta pienenee uudella mitoituksella n. 30

prosenttia nykyisestä. Käytettäessä kaukolämpöä lämpöpumppujen lisälämmönlähteenä tilausvesivirta pienenee yli puolella nykyisestä. Tilausvesivirran pienentymiseen vaikuttaa lisäksi suurempi lämpötilaero kaukolämmön meno- ja paluuvien välillä. Lämpötilaeroja perusteltiin edellä opinnäytetyön kohdassa 9.1.1.

TAULUKKO 4. Uudet sopimustehot ja tilausvesivirrat.

Lämmitysjärjestelmä	Sopimusteho [kW]	Tilausvesivirta [l/s]	KL-meno [°C]	KL-paluu [°C]	Ominaislämpökapasiteetti [KJ / Kg °C]	Tiheys [Kg / l]
Kaukolämpö	1591	14,0	50	23	4,2	1,0
MLP + kaukolämpö	1000	8,9	50	23	4,2	1,0
IVLP + kaukolämpö	1000	8,9	50	23	4,2	1,0

9.2. Lämmön- ja sähköhinnat

Nykyinen lämpöenergian hinta vuoden 2021 osalta arvioitiin ALVA Oy:n linjaaman noin 4 prosentin hinnankorotuksen mukaan, joka tuli vuoden 2022 hintaan. Vuoden 2021 lämpöenergian hinta laskettiin kaavan (6) avulla, jossa luku 0,96 on kerroin, jolla vanha hinta saatiin laskettua (ALVA Oy 2021).

$$\text{Lämpöenergia } \text{€}/\text{MWh}_{\text{vuonna } 2021} = \text{Lämpöenergia } \text{€}/\text{MWh}_{\text{vuonna } 2022} * 0,96$$

Tämän jälkeen nykyisen lämmitysenergian osuus vuosittaisista lämmityskustannuksista saatiin nykyisen lämmitysenergian kulutuksen avulla kaavalla (7).

$$\text{Lämpöenergia } \text{€}/v = \text{Lämpöenergia } \text{€}/\text{MWh}_{\text{vuonna } 2021} * Q_{KL} \text{ vuosina } 2020\text{--}2021$$

Vastaavasti nykyinen perusmaksu vuodessa saatiin selville, kun lämpöenergian osuus vähennettiin Jyväskylän kaupungilta saaduista vuosikohtaisista lämmityksen kokonaiskustannuksista. Perusmaksu kuukaudessa laskettiin kaavalla (8).

$$\text{Nykyinen perusmaksu } \text{€}/\text{kk} = \frac{\text{Nykyinen perusmaksu } \text{€}/v}{12 \text{ kk}}$$

ALVA:n linjauksen mukaisesti paluuvien käytöstä saatavalla hyvityksellä perusmaksun suuruus on kohteessa keskimäärin n. 1/3–1/4 välimaastossa normaalista

perusmaksusta (ALVA Oy n.a). Nykyisen kaukolämmön paluuvettä hyödyntävän järjestelmän perusmaksun suuruus saatiin määritettyä kaavalla (9)

$$\text{Nykyinen perusmaksu } \text{€}/\text{kk}_{\text{KL-paluu}} = \text{Nykyinen perusmaksu } \text{€}/\text{kk} \cdot 0,2613$$

Oheisten laskukaavojen perusteella nykyiseksi lämpöenergianhinnaksi muodostui 51,57 € / MWh ja nykyiseksi perusmaksuksi paluueden lämpöenergiaa hyödyntävän kytkennän avulla n. 1168 € / kk. Taulukossa 5 esitetyistä tuloksista nähdään, että lämpöenergian ottaminen paluupuolelta on menopuolen lämpöenergiaan verrattuna merkittävästi edullisempaa.

TAULUKKO 5. Kaukolämmön nykyiset hinnat (Jyväskylän kaupunki n.a)

Vuosi	Nykyinen lämpöenergia [€/MWh]	Nykyinen perusmaksu KL-paluu [€/kk]	Nykyinen perusmaksu KL-meno [€/kk]
2019-2021	51,57	1168	4469

Uudet lämmön hinnat vuodelle 2024 määritettiin liitteessä 1 esitetyn ALVA:n vuoden 2024 tilausvesivirtapohjaisen hinnoittelun perusteella. Vuoden 2027 hinnat määritettiin samoilla perusteilla, mutta hintojen arvioitiin nousevan n. 4 prosentilla aikaisempien korotusten perusteella. (ALVA Oy 2024). Kaukolämmön uudet hinnat on esitetty taulukossa 6. Lämpöenergian kohdalla korotusta vuonna 2024 on tullut n. 8 prosenttia verrattuna nykyiseen lämpöenergian hintaan. Perusmaksut ovat taas pienempiä, kuin nykyisessä hinnoittelussa. Eroa selittää uusien järjestelmien pienempi tilausvesivirta ja lämmitystehontarve.

TAULUKKO 6. Kaukolämmön uudet hinnat.

Vuosi	Lämpöenergia [€/MWh]	Perusmaksu KL-paluu [€/kk]	Perusmaksu KL-meno [€/kk]	Perusmaksu MLP + KL [€/kk]	Perusmaksu IVLP + KL [€/kk]
2024	56,57	846	3234	653	653
2027	58,72	879	3364	679	679

Nykyiset sähkökustannukset muodostuivat lämmitysjärjestelmän apulaitteiden sähkökulutuksen perusteella. Sähköenergian- ja sähkönsiirtohinnoissa ei huo-

mioitu laittilan yleisiä sähkönkustannuksia, sillä tietoja ei ollut saatavilla. Nykyinen sähköenergianhinta laskettiin nykyisen keskimääräisen sähkönkulutuksen ja nykyisten Jyväskylän kaupungilta saatujen vuosikohtaisten kulutustietojen ja sähkönhintojen perusteella kaavan (10) avulla.

$$\text{Sähköenergia } \text{€}/\text{MWh}_{\text{vuonna 2021}} = \frac{\text{Sähköenergia } \text{€}/v}{W_{\text{sähkö vuonna 2020-2021}}}$$

Nykyinen sähkönsiirtomaksu kuukautta kohta saatiin vastaavasti kaavalla (11) nykyisistä vuosikohtaisista sähkönsiirtomaksuista.

$$\text{Sähkönsiirto } \text{€}/\text{kk} = \frac{\text{Sähkönsiirto } \text{€}/v}{12 \text{ kk}}$$

Keskimääräiseksi sähköenergianhinnaksi muodostui 26,63 € / MWh. Sähkönsiirtomaksuksi tuli laskennan perusteella vastaavasti n. 157 euroa kuukaudessa. Tulokset on esitetty kokonaisuudessaan taulukossa 6.

TAULUKKO 6. Nykyiset sähkönkulutukset ja sähkönhinnat (ALVA Oy n.a; Jyväskylän kaupunki n.a)

Vuosi	Sähkönkulutus [MWh /v]	Sähköenergia [€/MWh]	Sähkönsiirto [€/kk]
2020	75,77	24,85	166,54
2021	83,52	28,41	148,67
Keskiarvo	79,65	26,63	157,60

Uusien sähkönhintojen laskemiseksi käytettiin nykyisiä kaukolämpöjärjestelmän apulaitteiden sähkönkulutustietoja. Lämpöpumppujen sähkötehot saatiin Granlundin EC-ohjelman laskentatuloksista. Loistehot vastaavasti arvioitiin sähkötehosta lasketun virran ja sulakekoon perusteella (Musakka 2016,9). Lämmitysjärjestelmien sähkönsiirtomaksut laskettiin liitteessä 2 esitettyjen ALVA:n hintatietojen perusteella. Sähkönsiirtomaksujen oletettiin pysyvän samalla tasolla myös vuonna 2027. Tulevien vuosien osalta voidaan odottaa maltillisia korotuspaineita hinnoittelussa. Korotuspaineet vahvistuvat, jos kesällä 2022 toimitetut valtakun-

nalliset sähköverkon investointisuunnitelmat toteutuvat. Ja investointikustannukset jatkavat kasvuaan sekä yleinen korkotilanne säilyy nykyisellään (Energiavirasto 2023,2–3).

Sähkösiirron hinnoittelumallina käytettiin ALVA:n 1-aikaista tehosiirron hinnoittelua, koska kohteen osalta hinnoittelun muodostumisesta ei ollut tarkempaa tietoa. Hintoihin sisältyi taulukon 7 mukaisesti perusmaksu, tehomaksu, loistetehomaksu ja energiamaksu. Siirtohintaan sisältyi myös sähkövero. Kohde kuuluu julkisen sektorin piiriin, joten veroluokaksi muodostui 1. Veroluokan valintaan liittyy, kuitenkin poikkeuksia. Poikkeuksia ovat esimerkiksi vähintään 0,5 MW:a kokoiset lämpöpumput tai niiden muodostama toiminnallinen kokonaisuus. Kohteen lämpöpumput täyttävät mainitut poikkeusehdot. Myös nykyisen kaukolämpöjärjestelmän osalta sähkönkäyttöön liittyy poikkeuksia, kuten vähäinen sähkönkäyttö, joten sähköveron osuus arvioitiin tässäkin tapauksessa veroluokan 2 mukaan (Savon Voima Oyj n.a.)

TAULUKKO 7. Sähkösiirtomaksun muodostuminen (ALVA Oy 2022.)

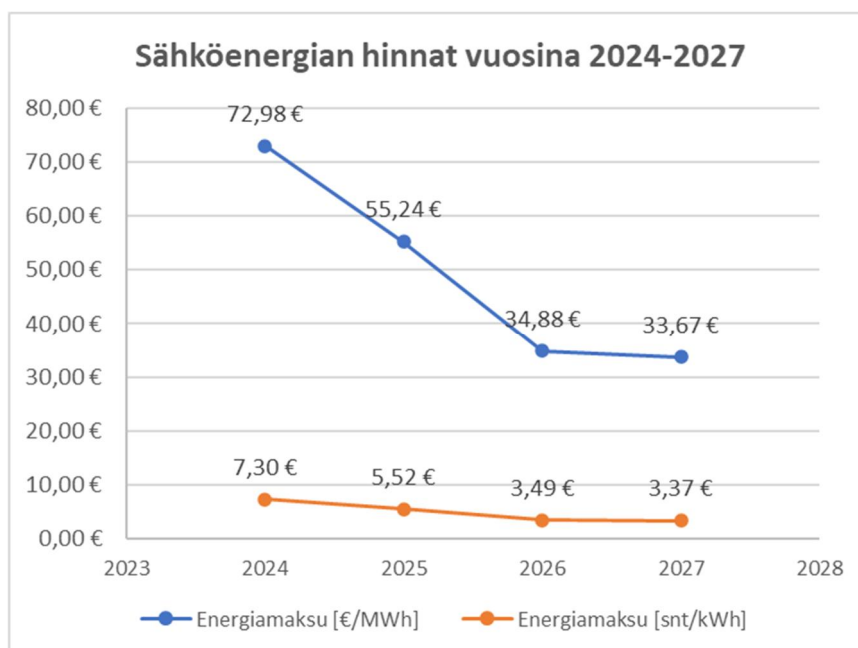
Sähkövero (sis. huoltovarmuusmaksu)	
Veroluokka 1 snt / kWh	0,23281
Veroluokka 2 snt / kWh	0,00651
Tehosiirto 1-aikainen	Hinta
Perusmaksu € / kk	118,92
Tehomaksu €/ kW,kk	1,63
Loistehomaksu €/ kvar,kk	4,36
Energiamaksu snt / kWh	0,82

Lämmitysjärjestelmien uudet sähkötehot ja sähkönenergiankulutukset on esitetty taulukossa 8. Tuloksista nähdään, että hybridijärjestelmillä on suurimmat sähkönenergiankulutukset. Järjestelmien energiankulutuksissa on mukana myös kaukolämpöjärjestelmän energiankulutus. Kaukolämpöjärjestelmän energiankulutus omana järjestelmänä on vain n. 80 MWh:a vuodessa. Ilma-vesijärjestelmän sähkönkulutus on yli puolet suurempi, kuin maalämpöjärjestelmällä, sillä lisälämmönlähteenä käytettävälle sähkökattilalle tulee enemmän käyttötunteja vuodessa.

TAULUKKO 8. Uudet sähkötehot ja sähkön energiankulutukset.

Lämmönlähde	Sähköteho [kW]	Loisteho [kvar]	Energiankulutus [MWh/v]	Energiankulutus [MWh/kk]
KL	6	25	80	6636
MLP + SK	114	100	363	30279
IVLP + SK	185	160	649	54073
KL + MLP	120	125	443	36915
KL + IVLP	191	185	536	44636

Kuviosta 5 nähdään sähköfutuuriin esittämät sähköenergian hinta-arviot vuosille 2024–2027 ilman arvonlisäveroa (24 %). Nasdagin ennusteiden mukaan sähköenergian hinta laskee vuosina 2026–2027 yli puolella nykyisestä hintatasosta, jolloin sulanapitojärjestelmän lämmönlähteen uusiminen on arviolta ajankohtainen (Nasdag 2024). Tulevien vuosien ennusteisiin liittyy tässä vaiheessa vielä hyvin paljon epävarmuustekijöitä mm. maailman tilanteen muutosten vuoksi, joten hinnat ovat varovaisia arvioita. Realistinen arvioitu sähkön hintataso vuosina 2026–2027 voisi olla 4,5–5,5 snt / kWh.



KUVIO 5. Sähköenergian hinnat (Nasdaq 2024.)

Lämmitysjärjestelmien uudet sähkönsiirtomaksut näkyvät taulukosta 9. Kaukolämpöjärjestelmän osalta uusi sähkönsiirtomaksu on arvioiduilla sähköhinnoilla n. 70 euroa kalliimpi nykyiseen verrattuna. Lämpöpumppujärjestelmien osalta vertailupohjaa nykyiseen ei ollut, mutta kuten tuloksista nähdään järjestelmien

sähkösiirtomaksut ovat luonnollisesti kaukolämpöjärjestelmään verrattuna kalliimmat. Ero selittää suuremmat sähkönkulutukset ja tehomaksut, jotka tulivat esille aiemmin tuloksissa.

TAULUKKO 9. Uudet sähkösiirtomaksut.

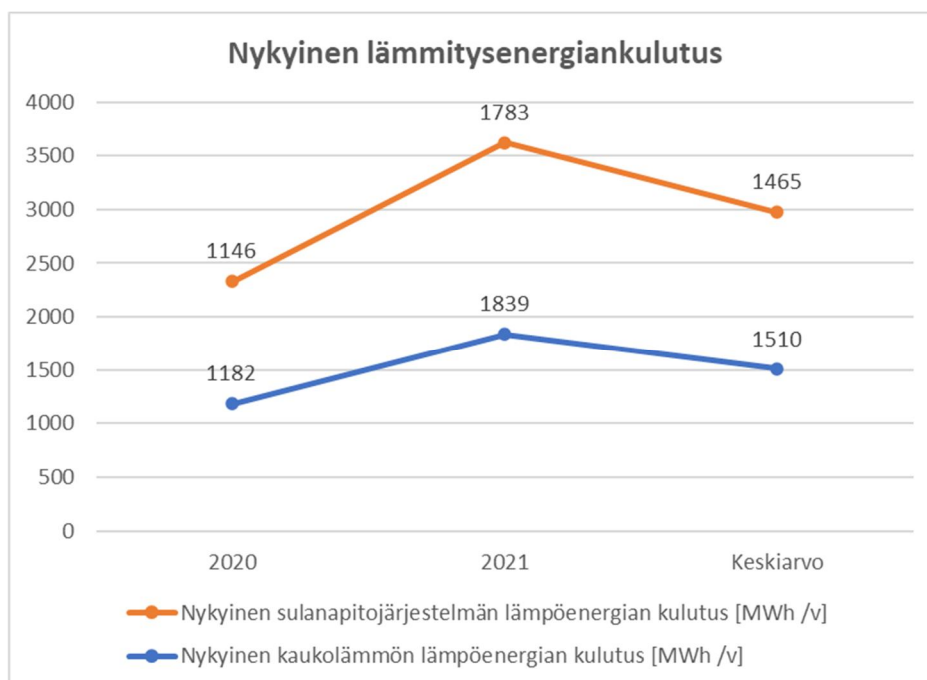
Vuodet	Sähkösiirto KL [€ / kk]	Sähkösiirto MLP [€ / kk]	Sähkösiirto IVLP [€ / kk]	Sähkösiirto KL + MLP [€ / kk]	Sähkösiirto KL + IVLP [€ / kk]
2024-2027	227	586	762	406	494

9.3. Sulanapitojärjestelmän energialaskenta

Sulanapitojärjestelmien energiankulutuksen laskentaa varten on kehitetty erilaisia laskentamenetelmiä. Laskentamenetelmiä ovat esim. simulointimallit tai yksinkertaisimpaan stationääritilan laskentaan perustuvat mallit. Ja suorat vakiot, kuten 1000 h sulatustehoa vuodessa, jolla tarkoitetaan huippukulutuksen käyttöaika (Tölli 2017,37). Sulanapitojärjestelmän energialaskennan noudatettiin Ympäristöministeriön antamia lämmitysjärjestelmien energialaskentaohjeita, sillä ne on todettu luotettaviksi lähteiksi. Energialaskennan menetelmät on esitetty tarkemmin opinnäytetyön seuraavissa kohdissa.

9.3.1 Kaukolämpöjärjestelmän energialaskenta

Kaukolämpöjärjestelmän lämmitysenergiankulutus laskettiin Suomen Rakentamismääräyskokoelman ohjeiden rakennuksen energiakulutuksen ja lämmityshontarpeen laskenta perusteella. Laskentakaavat on esitetty mainitun ohjeen kohdassa 6.2. (Ympäristöministeriö 2018, 39–43,49,73). Alla kuviossa 7 on esitetty sulanapitojärjestelmän ja kaukolämpöjärjestelmän nykyiset energiankulutukset vuoden 2020–2021 kulutustietojen perusteella laskettuina. (ALVA Oy n.a). Kuviosta nähdään, että Kävelykadun sulanapitojärjestelmän lämmitysenergiankulutus oli keskimäärin 1465 MWh:a vuosina 2020–2021. Vuonna 2021 energiankulutus oli merkittävästi suurempaa, kuin vuonna 2020. Merkittävästi suurempaa energiankulutusta selittää kylmempi talvi kyseisenä vuonna. Sulanapitojärjestelmä oli vuonna 2021 hetken pois käytöstä järjestelmässä ilmenneen vuodon vuoksi, joka ei lopulta vaikuttanut suuremmin kulutukseen.



KUVIO 7. Nykyiset lämmitysenergiakulutukset (ALVA Oy n.a)

9.4. Lämpöpumppujärjestelmien energialaskenta

Lämpöpumppujen energianlaskentaan on valittavissa yksinkertainen ja yksityiskohtainen laskentamenetelmä. Menetelmä on esitelty Ympäristöministeriön lämpöpumppujen energialaskentaoppaassa. Yksinkertainen laskentamenetelmä soveltuu erityisesti pientalojen lämpöpumppujen energialaskentaan. Oppaan taulukoissa esitetyt valmiiksi lasketut SPF-luvut kuvaavat suomalaisissa pientaloissa tyypillisesti käytettävien lämpöpumppujen suorituskykyä. Laskentamenetelmä ei sovellu lämpöpumppujen tehomitoitukseen ja sulanapitojärjestelmän energialaskentaan, sillä näissä tapauksissa SPF-luku pitää määrittää tarkemmin. Yksityiskohtaisen laskentamenetelmän avulla voidaan huomioida tarkemmin lämpöpumpun suorituskykyyn vaikuttavia tekijöitä ja laskea tarkemmin lämpöpumpun suorituskykyä kuvaava vuotuinen SPF-luku. (Ympäristöministeriö 2012,5,6,12.)

Tutkimuksen osalta päädyttiin käyttämään yksityiskohtaista laskentamenetelmää kohteen lämpöpumppujärjestelmille, sillä lämmitysmuotojen vertailun kannalta oli oleellista, että SPF-luku määritettiin mahdollisimman tarkasti. Sulanapitojärjestelmän huipputehon mitoituksessa käytetään myös eri ulkolämpötiloja, kuin rakennusten lämmitystehon mitoituksessa, joten näilläkin perusteilla yksinkertaisen menetelmän käyttäminen voitiin rajata työstä pois.

Lämpöpumppujen energiantuoton ja kulutuksen sekä SPF-luvun laskenta suoritettiin Excel-ohjelmistolla Ympäristöministeriön lämpöpumppujen energialaskentaoppaassa esitettyjen kaavojen perusteella. Lämpöpumppujen energialaskenta suoritettiin myös Granlundin EC-ohjelmalla, jotta tuloksien välille saatiin vertailupohjaa ja voitiin tehdä johtopäätöksiä tulosten luotettavuudesta. EC-ohjelman energialaskentaa varten pitää olla tiedossa esimerkki lämpöpumppumalli ja käytettävän mallin yksityiskohtaiset ominaisuustiedot. Lämpöpumppujen esimerkimmalleina käytettiin tutkimuksessa maalämpöpumpulle Oilon S580 mallia ja ilmasilämpöpumpulle Swegon Zeta REV XT LN 18.4 mallia, jotka olivat nimellisteholtaan ja kustannusten puolesta sopivan kokoluokan lämpöpumppuja kohteeseen. (Granlund Oy n.a.; Oilon Oy 2020).

Heat pump COP values				
		Water Temperatures:		
		35	50	65
Brine temperature	-10	3.53	2.79	2.3
	-5	4.01	3.14	2.55
	5	4.71	3.66	2.93

Heat pump heat power values [kW]				
		Water Temperatures:		
		35	50	65
Brine temperature	-10	480.5	469	446.8
	-5	568	560	539
	5	698	693	673

KUVA 9. Oilon S580 ominaisuudet (Granlund Oy n.a)

Oilonin S580 lämpöpumppumallin ominaisuudet on esitetty kuvassa 9. Ominaisuuksiin kuuluvat COP-arvot ja lämpötehot eri maalämmönkeruupiiriin ja menoveden lämpötiloilla, jotka määritettiin EC-ohjelmaan. Lämpöpumpun ominaisuudet ovat peräisin Oilonin valintaohjelmasta (Oilon Oy n.a). Vastaavasti kuvassa 10 on esitetty Swegonin Zeta REV XT LN 18.4 COP-arvot ja lämpötehot eri ilman ja menoveden lämpötiloilla. Kyseisen mallin ominaisuudet olivat oletuksena määritetty EC-ohjelmaan. Energialaskennassa käytettiin ohjelmaan määritettyjä oletusarvoja, koska tarkempia tietoja ei ollut saatavilla. (Granlund n.a).

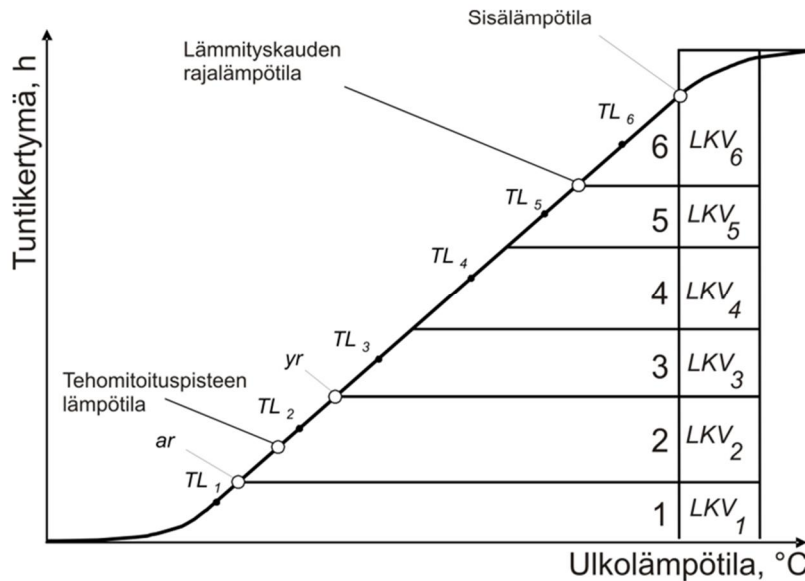
Heat pump COP values				Heat pump heat power values [kW]			
Water Temperatures:				Water Temperatures:			
		45	60			45	60
Air temperature	-20	2.27	2.02	Air temperature	-20	122.5	131.6
	-15	2.43	2.01		-15	135.6	149.7
	-5	2.79	2.27		-5	164.5	178.9
	0	2.93	2.37		0	175.4	189.9
	20	3.64	2.87		20	236	247.5

KUVA 10. Swegon Zeta REV XT LN 18.4 ominaisuudet (Granlund Oy n.a.)

9.4.1 YM:n laskentamenetelmän periaatteet ja rajaukset

Lämmitysenergiantarpeen ja lämpöpumpun tuottaman lämpöenergian sekä lisälämmitystarpeen laskennassa käytetään pysyvyyskäyrämenetelmää. Pysyvyyskäyrä menetelmällä tarkoitetaan ulkolämpötilan kestoja suhteessa aikaan, joka perustuu arvioihin. Ulkolämpötilan pysyvyyskäyrälle määritetään lämpötilavälit, joille valitaan toimintalämpötila (TL). Oletuksena laskennassa on toimintalämpötilojen säilyminen vakiona jokaisella lämpötilavälillä. Jakoperusteina voidaan noudattaa esimerkiksi standardin SFS-EN 14511-2 mukaisia mittauspisteitä, jotka on esitetty lämpöpumppu oppaan kohdassa 3.1.1.

Laskentamenetelmä käyttää lisäksi lämpötilapistettä -20 °C Suomen kylmän ilmaston takia. Kuvassa 11 on esitetty ulkolämpötilan pysyvyyskäyrä ja toimintalämpötilat välillä 1–6. Lämpötilavälien jakaminen pysyvyyskäyrällä tapahtuu tunnin keskiarvolämpötilan mukaisesti. Lämpötilaväleille valitut toimintalämpötilat ovat keskimääräisiä lämpötiloja. Lämpötilavälit on rajattu tehomitoituspisteen ylä- ja alarajalämpötiloilla, jotka valitaan laskettavan kohteen sijainnin perusteella. Laskennassa käytettävät säätiedot on esitetty Ympäristöministeriön lämpöpumpujen energialaskentaoppaan liitteessä 2. Opinnäytetyön energialaskennassa on esitetty vain jokaisen vaiheen laskukaavat, sillä kaavoissa käytettyjen lukuarvojen esittäminen olisi tehnyt tutkimuksesta liian laajan.



KUVA 11. Ulkolämpötilan pysyvyyskäyrä (Ympäristöministeriö 2012,14.)

Sisälämpötilalla tarkoitetaan laskennassa käytettävää mitoitus-sisälämpötilaa ja lämmityskauden rajalämpötilalla eli ulkolämpötilaa, jota matalimmissa lämpötiloissa rakennuksen tiloja lämmitetään. Lämpöpumppujen tuottaman lämpöenergianlaskentaa varten tarvitaan lämpöpumpun lämpökerroin, toimintarajat sekä lämmitysteho. Laskennassa otetaan huomioon mm. lämmitysverkoston menoveden säätöarvot ja lisäksi voidaan huomioida lämpöpumpun osatehokuormituksen vaikutus. Lämpöpumppujen toimintalämpötilan oletettiin pysyvän vakiona lämpötilaväleillä. Todellisuudessa toimintalämpötila muuttuu ulkolämpötilan muutosten perusteella. Laskentamenetelmä olettaa myös lämpökertoimen pysyvän vakiona valituilla lämpötilaväleillä. (Ympäristöministeriö 2012,14,15,22,51–53.)

9.4.2 Laskentajärjestys

Tutkimuksessa laskentajärjestys määräytyi Ympäristöministeriön lämpöpumppujen energialaskentaoppaan kohdan 3.2.2 mukaisesti. Laskenta suoritettiin vaiheittain jokaiselle pysyvyyskäyrän lämpötilavälille oppaan kohtien 3.3–3.5.9 mukaisesti. Laskentaan sisältyi yhteensä 13 laskentavaihetta. Vaiheen 1 laskentaja varten tiedossa oli sulanapitojärjestelmän nykyinen energiankulutus ja oppaan liitteestä 2 saatiin tarvittavat säätiedot. Lämpöpumppujen ominaisuustiedot saatiin laitevalmistajan tuotetiedoista, joita olivat lämpökerroin, lämmitysteho eri toimintalämpötiloilla sekä toimintarajat. Maalämpöpumpulle tarvittiin lähtötiedoiksi

myös lämmönkeruupiirin paluunesteen lämpötilat eri toimintalämpötiloissa. Paluunesteen lämpötiloina käytettiin oppaan laskentaesimerkissä esitettyjä lämpötiloja, koska tarkempia tietoja ei ollut saatavilla (Ympäristöministeriö 2012,14–30,51–53).

Laskentavaiheessa 2 suoritettiin lämpötilavälien valinta pysyvyyskäyrälle. Laskentaa varten valittiin suositusten mukaisesti kuusi lämpötilaväliä. Lämpötilavälien jakamisessa noudatettiin standardin SFS-EN 14511-2 mukaisia mittauspisteitä. Mittauspisteiksi valittiin, -20, -15, -7, 0 ja +7 °C. Standardin mukaisista pisteistä jätettiin mittauspiste +14 astetta, pois koska sulanapitojärjestelmän toiminnan kannalta mittauspisteelle ei ollut tarvetta (Ympäristöministeriö 2012,21).

Tämän jälkeen vaiheessa 3 laskettiin painokertoimet ja lämmitysenergian tarpeet pysyvyyskäyrän lämpötilaväleille. Painokertoimen avulla saadaan jaettua rakennuksen lämmöntarve toimintapisteiden mukaisille lämpötilaväleille. Paine kertoimien laskenta tapahtuu tilojen osalta pysyvyyskäyrän astetuntien kertymän avulla lämmityskaudelle. Tutkimuksessa painokertoimet laskettiin rakennuksen sijasta lumensulatusjärjestelmälle. Laskennassa suurimmat painotukset olivat mittauspisteille -15, -7 ja 0°C, jolloin lumensulatusjärjestelmän energiantarve on suurimmillaan. (Ympäristöministeriö 2012,21–22). Painokertoimet saadaan kaavalla.

$$k = \frac{DH_{yr} - DH_{ar}}{DH_{lk}} \quad (12)$$

jossa,

k	painokerroin
DH _{yr}	kertyneet astetunnit välin yläraja-arvon kohdassa (saatavilla liitteen 2 taulukosta) [°Ch]
DH _{ar}	kertyneet astetunnit välin alaraja-arvon kohdassa (saatavilla liitteen 2 taulukosta) [°Ch]
DH _{ar}	kertyneet astetunnit välin alaraja-arvon kohdassa (saatavilla liitteen 2 taulukosta) [°Ch]
DH _{lk}	lämmityskauden ulkolämpötilaa vastaava astelukujen kertymä (saatavilla liitteen 2 taulukosta) [°Ch]

(Ympäristöministeriö 2012,22,51–53,).

Lämmitysenergiantarve jokaiselle lämpötilavälille sovellettiin sulanapitojärjestelmälle sopivaksi. Jakson lämmöntarve saadaan kaavalla.

$$Q_{it} = k \cdot Q_{kl} \quad (13)$$

jossa,

Q_{it} jakson lämmöntarve [kWh]
 k painokerroin
 Q_{kl} kokonaislämmöntarve lämmityskaudella [kWh]
 (Ympäristöministeriö 2012,22).

Lämpöpumpun toiminta-ajan laskeminen lämpötilaväleillä laskettiin pysyvyyskäyrältä luettujen tuntien ylä- ja alarajan erotuksena kaavalla.

$$t_j = N_{yr} - N_{ar} \quad (14)$$

jossa,

t_j aika lämpötilaväleillä [h]
 N_{yr} kertyneet tunnit ylemmälle lämpötilarajalle asti [h]
 N_{ar} kertyneet tunnit alemmalle lämpötilarajalle asti [h]
 (Ympäristöministeriö 2012,23).

Lämpöpumppujen meno- ja paluueden lämpötilaero (ΔT) on standardin (SFS-EN 14511-2) mukaisessa testaustilanteessa 5 °C. Sulanapitoverkoston meno- ja paluueden lämpötilaero on vastaavasti mitoitusolosuhteissa 15 °C, joten lämpötilaeron poikkeavuuden vuoksi lämpökertoimelle tehtiin lämpötilakorjaus laskentavaiheessa 4. Ensimmäiseksi laskettiin meno- ja paluueden lämpötilaero lauhduttimessa kaavalla.

$$\Delta T = \frac{\Phi_{lpn}}{m_n \cdot c_n} \quad (15)$$

jossa,

ΔT	meno- ja paluuveden lämpötilaero lauhduttimessa [$^{\circ}\text{C}$]
\emptyset_{lpn}	lämpöpumpun lämmitysteho [W]
m_n	menoveden massavirta lauhduttimessa [kg / s]
C_n	lämmönsiirtoaineen lämpökapasiteetti [J / (kgK)]

(Ympäristöministeriö 2012,19).

Tämän jälkeen lämpötilakorjattu lämpökerroin saadaan kaavalla (16).

$$COP_T = COP_M \cdot \left(1 - \frac{\frac{\Delta t_{LM} - \Delta_{LS}}{2}}{\left(T_{HJ} - \frac{\Delta T_{LM}}{2} + \Delta T_L - (T_{LÄH} - \Delta T_H)\right)}\right)$$

jossa,

COP_T	lämpökorjattu lämpökerroin
COP_M	mitattu lämpökerroin testausolosuhteissa
ΔT_{LM}	meno- ja paluuveden lämpötilaerotus testausolosuhteissa [$^{\circ}\text{C}$]
ΔT_{LS}	meno- ja paluuveden lämpötilaerotus mitoitusolosuhteissa [$^{\circ}\text{C}$]
T_{HJ}	lämmönjakojärjestelmän menoveden lämpötila [$^{\circ}\text{C}$]
ΔT_L	lämpötilaero lämmönsiirtoaineen ja kylmäaineen välillä lauhduttimessa [$^{\circ}\text{C}$]
$T_{LÄH}$	lämmönlähteen lämpötila [$^{\circ}\text{C}$]
ΔT_H	lämpötilaero lämmönsiirtoaineen ja kylmäaineen välillä höyrystimessä [$^{\circ}\text{C}$]

(Ympäristöministeriö 2012,20).

Myös lämpökertoimelle suoritettiin lämpötilakorjaus, koska tiedossa oli vain yksi toiminnan lämpötilataso. Lämpötilakorjaus saadaan kaavalla.

$$COP_C \cdot \frac{T_L}{T_L - T_H} \quad (17)$$

jossa,

T_L	lämpöpumpun lauhtumislämpötila [K]
-------	------------------------------------

T_H lämpöpumpun höyrystyslämpötila [K]
(Ympäristöministeriö 2012,20).

Laskentaa varten tarvittiin lämpöpumpun lauhtumis- ja höyrystyslämpötilat ja ne saatiin kaavalla.

$$\begin{aligned} T_L &= T_{L1} + \Delta T_L \\ T_H &= T_{H1} + \Delta T_H \end{aligned} \quad (18)$$

jossa,

T_{L1} lauhtuttimen läpi virtaaman lämmönsiirtoaineen (ilma tai neste) lämpötila [K]
 ΔT_L kylmäaineen ja lämmönsiirtoaineen välinen lämpötilaero lauhtuttimessa [°C]
 T_{H1} höyrystimen läpi virtaaman lämmönsiirtoaineen (ilma tai neste) lämpötila [K]
 ΔT_H kylmäaineen ja lämmönsiirtoaineen välinen lämpötilaero höyrystimessä [°C]

(Ympäristöministeriö 2012,20–21).

Vaiheen 4 lopuksi laskettiin lämpöpumpun häviöprosessin häviöt huomioiva häviökerroin. Työssä tehtiin aiemmin lämpötilakorjaus meno- ja paluuveden lämpötilaerotuksen suhteen, joten laskennassa käytettiin oppaan mukaisesti lämpökertoimen COP_M sijasta kaavalla 10 korjattua lämpökerrointa COP_T . Häviökerroin saatiin kaavalla.

$$f_T = \frac{COP_T}{COP_C} \quad (19)$$

jossa,

COP_T lämpöpumpun lämpökorjattu lämpökerroin
 COP_C lämpöpumpun Carnot-lämpökerroin
(Ympäristöministeriö 2012,21).

Tutkimuksen laskentavaiheessa 5 määritettiin käytettäväksi lämpöpumpputyypiksi invertteri-säätöinen lämpöpumppu, joka toimii myös osatehosäädöllä. Osatehosäädön mitoitus suoritettiin vaiheessa 6. Osatehon määrittämiseksi laskettiin lämpöpumpun kuormituksen käyttösuhde kaavalla.

$$\beta_j = \frac{Q_{jlt}}{\phi_{lp,jlt} \cdot t_j} \quad (20)$$

jossa,

β_j	kuormituksen käyttösuhdekerroin
$\phi_{lp,jlt}$	lämpöpumpun lämpöteho lämpötilavälillä [kW]
Q_{jlt}	jakson lämmöntarve [kWh]
t_j	käyntiaika lämpötilavälillä [h]

(Ympäristöministeriö 2012,23).

Laskentavaiheessa 7 laskettiin lisälämmitystehontarve pysyvyyskäyrän lämpötilaväleille. Lisälämmitystarve muodostuu lämpöpumpun toimintaan liittyvistä lämpötilarajoituksista tai lämpöpumpun osatehomitoituksesta, jolloin lämpöpumpulla ei tuoteta lämmitystehontarvetta kokonaan. Lisälämmityksen määrittämisessä jokaiselle pysyvyyskäyrän lämpötilavälille laskettiin oma lisälämmityskerroin, jotta saatiin selvitettyä jakson lisälämmitystarve. Lisälämmitystarve lasketaan kaavalla.

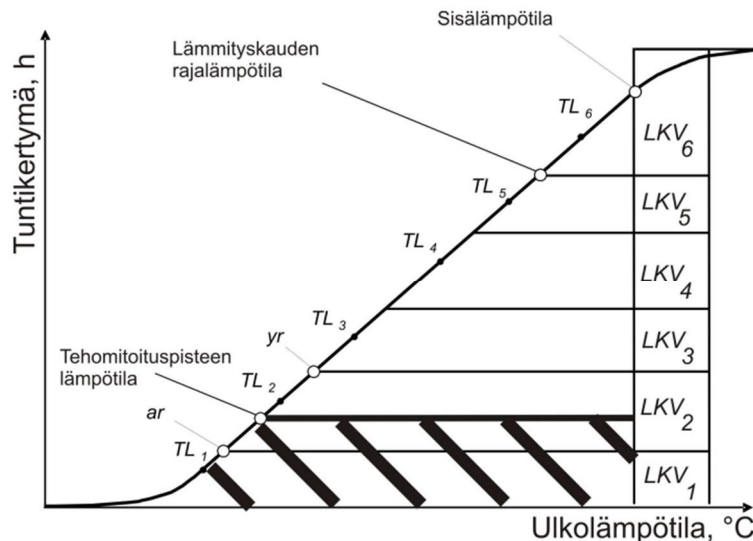
$$Q_{ll} = k \cdot Q_{jlt} \quad (21)$$

jossa,

Q_{ll}	jakson lisälämmitystarve [kWh]
Q_{jlt}	jakson lämmöntarve [kWh]
k	lisälämmityskerroin

(Ympäristöministeriö 2012,24).

Tarvittavan lisälämmityskertoimen laskentaan on olemassa useampia laskenta-kaavoja. Tutkimuksessa käytettiin laskentamenetelmää, jossa lisälämmitys oli tehomitoituspisteen alapuolella ulkolämpötilasta riippumatta. Menetelmässä lämpöpumpun toimintaa rajoitetaan niin, että tehomitoituspisteen alapuolella lämpöenergia tuotetaan kokonaisuudessaan muilla tavoin kuin lämpöpumpulla. Valinnan perusteluina lumensulatusjärjestelmän toiminnan rajoittaminen niin, että järjestelmä toimii sulatustilassa -18 asteen ulkolämpötilaan saakka. Tehomitoituspiste sijaitsee alimmissa lämpötilavälissä, kuten kuvasta 12 näkyy. Lämpöpumpua ei käytetä tehomitoituspisteen lämpötilaa alemmilla lämpötiloilla (Ympäristöministeriö 2012,25).



KUVA 12. Lisälämmitys pysyvyyskäyrällä (Ympäristöministeriö 2012,25.)

Lisälämmityksen osuus laskettiin kaavalla (17). Pysyvyyskäyrän lämpötilat ja astetuntien kertymät ovat saatavilla energialaskentaoppaan liitteestä 2.

$$k = \frac{DH_{tpiste}}{DH_{yr}} \quad (22)$$

jossa,

DH_{tpiste} kertyneet astetunnit tehomitoituspisteeseen asti [$^{\circ}\text{CH}$]

DH_{yr} kertyneet astetunnit jakson ylärajalle asti [$^{\circ}\text{CH}$]

(Ympäristöministeriö 2012,25,51–53,).

Lämpöpumpun käyntiaika laskettiin vaiheessa 8. Käyntiaika ei voi olla aiemmin (kaava 9) laskettua lämpötilavälin aikaa pidempi. Mikäli käyntiaika on lämpötilavälin aikaa pidempi, silloin tarvitaan täydentävää lisälämmitystä yli menevälle ajalle. Lämpöpumpun käyntiaika lasketaan kaavalla.

$$t_k = \frac{Q_{jlt} \cdot (1-k)}{\phi_{lp}} \quad (23)$$

jossa,

t_k	käyntiaika [h]
Q_{jlt}	jakson lämmöntarve [kWh]
k	jakson lisälämmityskerroin
ϕ_{lp}	lämpöpumpun lämmitysteho lämpötilavälillä [kWh]

(Ympäristöministeriö 2012,29).

Laskentavaiheen 9 aluksi tarkistettiin täydentävän lisälämmityksentarve edellisessä vaiheessa lasketun käyntiajan perusteella. Tarkistus suoritettiin vertailemalla lämpöpumpun käyntiaikaa pysyvyyssäyrän lämpötilankeston. Tutkimuksessa lämpöpumpun toimintaa rajoitettiin niin, että tehomitoituspisteen alapuolella tarvittava lisälämmitysenergia tuotetaan kokonaan muilla tavoin. Tällä perusteella tarvetta täydentävälle lisälämmitykselle ei ollut. Laskentavaihe 10 voitiin jättää välistä ja edetä suoraan vaiheeseen 11. Laskentavaiheessa 11 suoritettiin lämpöpumpun sähköenergiankulutuksen laskenta. Ja lämpöpumpun apulaitteiden sähkökulutus laskettiin vastaavasti vaiheessa 12. Lämpöpumpun sähköenergiankulutus lasketaan jokaiselle lämpötilavälille kaavalla.

$$W_{lp, tilat} = \frac{Q_{Jlt, tilat} - Q_{kl, tilat}}{COP_{tp, tilat}} \quad (23)$$

jossa,

$W_{lp, tilat}$	lämpöpumpun vuotuinen sähkökulutus tilojen lämmityksessä [kWh]
$Q_{jlt, tilat}$	jakson lämmöntarve tiloille [kWh]

$COP_{tp, tilat}$ lämpökerroin toimintapisteessä tilojen lämmitykselle
 $Q_{kll, tilat}$ tilojen kokonaislisälämmitysenergia [kWh]
 (Ympäristöministeriö 2012,30).

Lämpöpumppujärjestelmien apulaitteiden energiankulutus käsittää esimerkiksi lämmönkeruupiirin pumppaukseen kuuluvan sähköenergiankulutuksen, joka ei sisällä lämpöpumpun lämpökertoimen mitattuihin arvoihin, joten laskenta suoritetaan erikseen. Lämpöpumpun apulaitteiden sähkönkulutus, W_{apu} saadaan kaavasta.

$$W_{apu} = P_{apu} \cdot \Delta t \quad (25)$$

jossa,

P_{apu} lämpöpumpun apulaitteiden sähköteho kW
 Δt apulaitteiden käyttöaika laskentajaksolla, h
 (Ympäristöministeriö 2012,31).

Lämpöpumpun tuottaman lämmitysenergian laskeminen suoritettiin vaiheessa 13. Lämpöpumpulla tuotettava lämmitysenergia lasketaan jokaiselle lämpötilavälille huomioimalla lisälämmitykseen tarvittava energiankulutus seuraavalla kaavalla.

$$Q_{LP, lämmitys, tilat} = Q_{jkl, tilat} - Q_{kll, tilat} \quad (26)$$

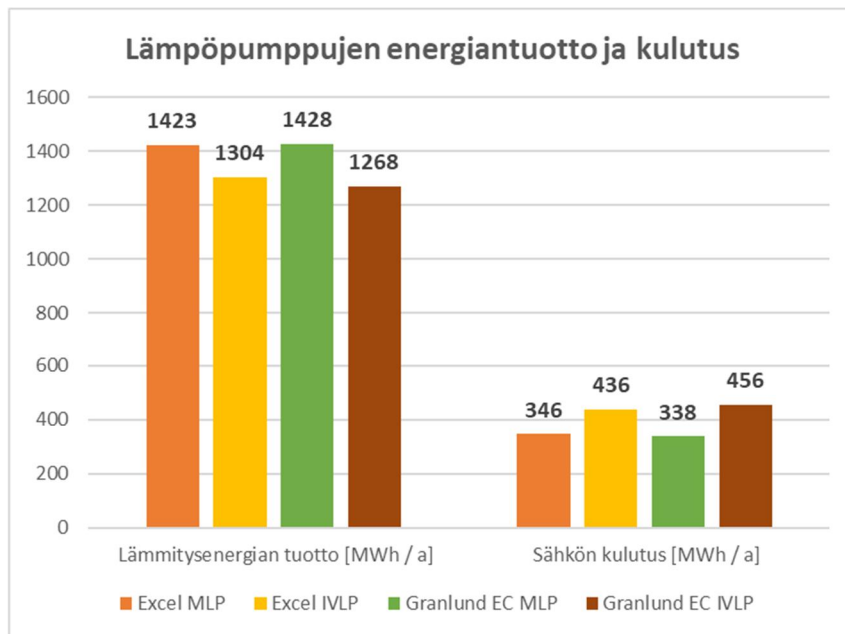
jossa,

$Q_{LP, lämmitys, tilat}$ lämpöpumpun tuottama tilojen lämmitysenergia [kWh]
 $Q_{jlt, tilat}$ tilojen lämmitysjärjestelmän energiankulutus [kWh]
 $Q_{kll, tilat}$ tilojen lisälämmitysjärjestelmän kokonaisenergiankulutus [kWh]

(Ympäristöministeriö 2012,31).

Lämpöpumppujärjestelmien energianlaskennan tulokset ovat nähtävillä kuviosta 8. Saatujen tulosten perusteella maalämpöjärjestelmän lämmitysenergiantuotto

on yli 150 MWh vuodessa suurempi, kuin ilma-vesilämpöpumppujärjestelmän lämmitysenergiantuotto. Maalämpöpumppujärjestelmän sähkönkulutus on vastaavasti n. 100 megawattituntia pienempi, kuin ilma-vesilämpöpumppujärjestelmällä. Excel ja EC-ohjelmien välisissä laskentatuloksissa ei ollut merkittäviä eroja. Kustannuslaskennassa sekä kannattavuuksien määrittämisessä päädyttiin käyttämään EC:llä saatuja tuloksia, sillä ohjelmalla saatujen tulosten jatkokäsittely todettiin helpommaksi ja nopeammaksi. Energialaskennantulokset saatiin vietyä suoraan EC-ohjelmasta siihen integroituun Excel-laskentapohjaan.



KUVIO 8. Lämpöpumppujen energiantuotto ja kulutus.

Laskennan lopuksi määritettiin lämpöpumppujen SPF-luvut kaavalla.

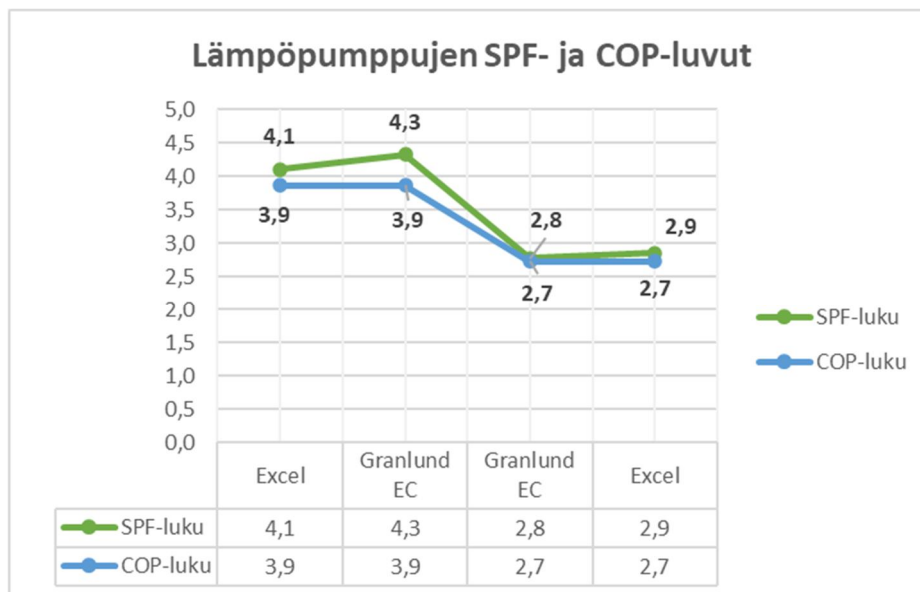
$$SPF_{tilat} = \frac{Q_{LP, lämmitys, tilat}}{W_{LP, tilat} + W_{apu}} \quad (27)$$

jossa,

$Q_{LP, lämmitys, tilat}$	lämpöpumpun tuottama tilojen lämmitysenergia [kWh]
$W_{LP, tilat}$	lämpöpumpun vuotuinen sähkönkulutus tilojen lämmityksessä [kWh]
W_{apu}	apulaitteiden sähkönkulutus [kWh]

(Ympäristöministeriö 2012, 30.)

Alla kuviossa 9 on esitetty lämpöpumppujen SPF- ja COP-luvut. COP-luvut olivat molempien laskentaohjelmien välillä samat, sillä laskennoissa käytettiin samoja lämpöpumppumalleja. SPF-lukujen osalta ei muodostunut ohjelmien välille merkittäviä eroja. SPF-luvulla on sen sijaan vaikutusta lämpöpumppujen sähkönkulutukseen. SPF-luku on riippuvainen lämpöpumpun ominaisuuksista ja kyvystä tuottaa lämpöä eri ulkolämpötiloilla. Ilma-vesilämpöpumppujärjestelmällä lämmöntuottokyky heikkenee, mitä kylmemmällä säällä järjestelmää käytetään. Keskimääräiseksi SPF-luvuksi saatiin maalämpöjärjestelmälle 4,2 ja ilma-vesijärjestelmälle 2,85.



KUVIO 9. SPF- ja COP-luvut.

9.5. Energiakaivojen mitoitus

Energiakaivojen mitoitusta käsiteltiin tutkimuksessa hyvin karkealla tasolla, koska tutkimuskohteen osalta ei ollut tiedossa tarkempia maaperäntietoja ja maaperäanalyysin saaminen työtä varten ei ollut mahdollista. Energiaperusteista mitoitusta käytettiin ensisijaisena energiakaivomäärien tarkastelutapana, mutta vertailun vuoksi energiakaivojen mitoitus suorettiin myös tehoerusteisella mitoituksella. Energiakaivojen lukumääriä tarkasteltiin kaivosyvyyksillä 300 ja 450 metriä. Kaivosyvyys 300 metriä on saatavilla useimmilta porakaivojen toteuttajilta ja kaivojen rakentaminen mainittuun syvyyteen on myös lähtökohtaisesti kustannuksiltaan halvempaa, kuin tätä syvempien kaivojen rakentaminen.

Näiden saatavuus ja kustannustekijöiden kautta kyseinen kaivosyvyys valittiin pääasialliseksi kaivosyvyydeksi. Energiakaivojen lukumääriä tarkasteltiin tutkimuksessa myös syvyydellä 450 metriä ja energiakaivokentän latausvaihtoehdolla. Tilanahtaus muodostuu energiakaivojen toteuttamisen haasteeksi kohteessa, joten syvempien kaivojen tarkastelu ja kaivokentän lataus oli perusteltua kaivojen lukumäärän optimoimiseksi ja tilan säästämiseksi. Energiaperusteisella mitoituksella energiakaivoista saatavan vuotuisen lämpöenergian määrä saadaan laskettua kaavalla (28), kun tiedetään lämpöpumpun vuotuinen lämpökerroin ja tuotettavan lämmön määrä (Turunen 2021,18.)

$$Q_{kaivo} = \left(1 - \frac{1}{\varphi}\right) \cdot Q_{lämpö}$$

jossa,

φ lämpöpumpun vuotuinen lämpökerroin
 $Q_{lämpö}$ lämpöpumpun tuoton energiantarve [MWh]
 (Turunen 2021,18.Muokattu)

Energiaperusteisella mitoituksella energiakaivoista saatavaksi vuotuiseksi lämpöenergiaksi muodostui 1097 MWh, kun lämpöpumpun lämpökertoimena käytettiin COP-arvoa 4,3. Tulokset ovat nähtävillä taulukosta 6.

TAULUKKO 6. Vuotuinen lämpöenergia kaivoista.

Lämpöpumpun vuotuinen lämpökerroin	4,3
Lämpöpumpun energiantuotto [MWh]	1428
Vuotuinen lämpöenergia energiakaivoista [MWh]	1097

Tarvittava energiakaivojen määrä saadaan kaavalla (29), kun tiedossa on lämpöpumpun energiantuotto. Laskennassa käytettiin energiakaivojen vuotuisena lämpöenergiämääränä 50–60 kWh / m, koska tarkempaa tietoa maaperän ominaisuuksista kohteessa ei ollut saatavilla (Räisä 2013, 21. Muokattu).

$$\text{Tarvittava kaivomäärä} = \frac{Q_{kaivo}}{Q_{keruulämpö} / \text{porakaivosyvyys}}$$

jossa,

Q_{kaivo}	kaivoista saatava vuotuinen lämpöenergia [MWh]
$Q_{\text{keruulämpö}}$	kaivoista saatava vuotuinen lämpöenergia [kwh / m, a]
Porakaivosyvyys (Granlund Oy n.a.)	aktiivinen porakaivosyvyys [m]

Taulukosta 7 nähdään, että tarvittavaksi porakaivomääräksi kohteelle muodostui energiamäärän perusteella 61 energiakaivoa. Kyseisellä kaivomäärällä saavutetaan n. 98 prosentin energianpeitto kohteessa.

TAULUKKO 7. Energiakaivomäärä energianperusteella.

Kaivoista saatava vuotuinen lämpöenergia [kWh/m,a]	60
Porakaivosyvyys (aktiivinen) [m]	300
Tarvittava porakaivomäärä energiamäärän perusteella	61

Maalämpöjärjestelmän tarvittavan tehonpeiton (n. 60–70 prosenttia kokonaistehosta) saavuttamiseksi suoritettiin energiakaivojen mitoitus energiakaivoista saatavan tehonperusteella. Laskennan aluksi määritettiin maalämpöjärjestelmän keruuteho maata kohti kaavalla (30).

$$\phi_{\text{keruuteho}} = \phi_h \cdot \varphi$$

jossa,

$\phi_{\text{keruuteho}}$	lämpöpumppujärjestelmän keruuteho maata kohta [kW]
ϕ_h	lämpöpumppujärjestelmän nimellisteho [kW]
φ	lämpöpumpun vuotuinen lämpökerroin

(Granlund Oy n.a.)

Maalämpöpumppujärjestelmän keruutehoksi muodostui 890 kW. Lämpöpumpun nimellisteho saatiin Oilonin esitteestä, jonka perusteella S580 mallin nimellisteho on 580 kW. Tarvittavaan 60–70 prosentin osatehoon pääsemiseksi käytettiin laskennassa kahta lämpöpumppua (Oilon Oy n.a). Tulokset on esitetty taulukossa 8.

TAULUKKO 8. Lämpöpumpun keruuteho.

LPU-järjestelmän nimellisteho, Qh [kW]	1160
Lämpöpumpun vuotuinen lämpökerroin	4,3
Keruuteho maata kohti [kW]	890

Maalämpöjärjestelmän keruutehon perusteella saatiin laskettua tarvittava energiakaivomäärä. Tutkimuksessa energiakaivojen maksimi mitoitustehona käytettiin konsultointi- ja maalämpökaivojen porauspalveluja tarjoavan Rototec Oy:n antamien karkeiden arvioiden perusteella tehoa 30 W / m (Rototec Oy n.a). Tarvittava kaivomäärä tehonmukaisella mitoituksella saadaan kaavasta (31).

$$\text{Tarvittava kaivomäärä} = \phi_{\text{keruuteho}} \cdot 1000 \cdot \frac{\phi_{\text{mit,kaivo}}}{H_{\text{kaivo}}}$$

jossa,

$\phi_{\text{keruuteho}}$ lämpöpumppujärjestelmän keruuteho maata kohta [kW]

H_{kaivo} aktiivinen porakaivosyvyys [m]

$\phi_{\text{mit, kaivo}}$ maksimi mitoitusteho kaivoille [W / m]

(Granlund Oy n.a.)

Tarvittavaksi energiakaivojen lukumääräksi muodostui tehonmukaisella mitoituksella 99 energiakaivoa, kuten taulukossa 9 on esitetty. Kyseisellä kaivomäärällä saavutetaan laskennallisesti yli 70 prosentin tehonpeitto kohteen maalämpöjärjestelmälle.

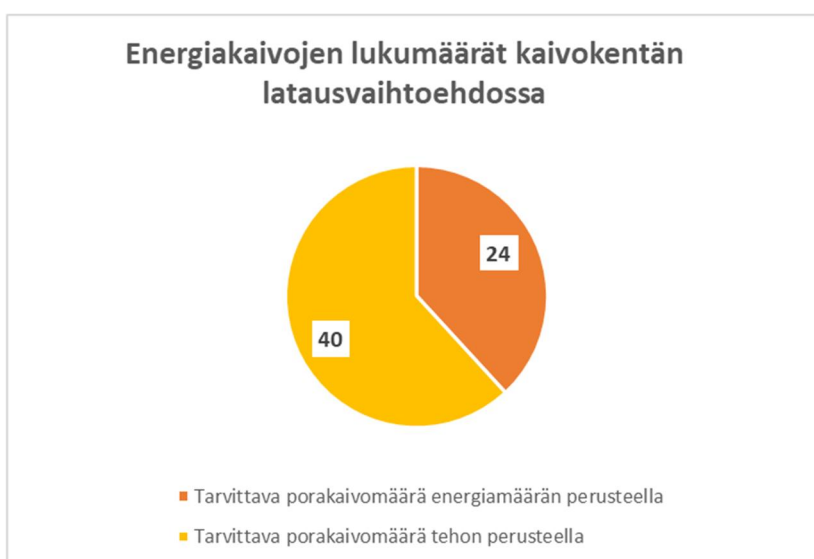
TAULUKKO 9. Energiakaivomäärät tehon perusteella.

Maks. mitoitusteho kaivoille [W/m]	30
Porakaivosyvyys (aktiivinen) [m]	300
Tarvittava porakaivomäärä tehon perusteella	99

Energiakaivokentän latausvaihtoehdossa energiaperusteisella mitoituksella vuotuisena keruuenergiana käytettiin 100 kWh / m. Vastaavasti tehoperusteisella mitoituksella maksimi mitoitustehona kaivoa kohti käytettiin tehonarvoa 50 W /

m. Lukuarvot perustuvat Rototec Oy:n arvioihin mitoituksen huippuarvoista energiakaivokentän latausvaihtoehdolla.

Kuviosta 10 nähdään, että energiakaivokentän latausvaihtoehdolla tarvittavaksi energiakaivomääräksi muodostui energia- ja tehonperusteisella mitoituksella 24 ja 40 energiakaivoa. Energiakaivokentän latauksella säästetään huomattavasti kaivojen lukumäärässä ja samalla myös oletettavasti rakentamiskustannuksissa. Lisäksi pienemmällä kaivomäärällä parannetaan maalämpöjärjestelmän toteutusmahdollisuuksia kohteessa.



KUVIO 10. Energiakaivojen lukumäärät.

Energiaperusteisen mitoituksen energiakaivomäärien avulla saavutetaan 98 prosentin energianpeitto kohteessa. Vastaavasti teho- perusteisen mitoituksen energiakaivomäärällä saavutetaan yli 70 prosentin tehonpeitto, jolloin todellisuudessa energianpeitto on yli 100 prosenttia. Rototec:n mukaan yleensä yli 95 prosentin energiapeitolla saavutetaan 70–80 prosentin tehonpeitto kohteessa. Sulanapitojärjestelmän kohdalla lämmityskausi on normaalia lyhyempi, joten tällä on vaikutusta tehomitoitukseen (Rototec Oy n.a). Tulokset osoittavat, että energiaperusteisen mitoituksen energiakaivomäärällä saavutetaan vain n. 45 prosentin tehonpeitto kohteessa. Joten kyseiset energiakaivomäärät eivät ole riittäviä lämpöpumpun toimintaan 60–70 prosentin osateholla. Lasketut energiakaivomäärät ovat tosin hyvin karkealla laskennalla saatuja tuloksia, joten ne ovat vain suuntaa antavia. Tarkempien tulosten saaminen edellyttää mm. kaivonkentän simulointia.

10 SULANAPITOJÄRJESTELMÄN KUSTANNUKSET

Jyväskylän kävelyalueen lumensulatusjärjestelmän käyttökustannukset muodostuvat alla kuvassa 13 näkyvältä kävelykadun alueelta. Sulanapitojärjestelmän kokonaiskustannukset muodostuivat lämmitysmuotojen käyttö- ja investointikustannuksista. Tutkimustuloksissa esitetyt kustannukset on määritetty ilman arvonlisäveroa (24 %).



KUVA 13. Jyväskylän kävelykatu (Kauppila 2020,27.)

10.1. Käyttökustannukset

Käyttökustannusten muodostumista käsiteltiin aiemmin tämän työn kappaleessa 5. Käyttökustannusten laskemiseksi on oltava tiedossa ainakin lämmitysjärjestelmän energiakustannukset (lämmitysenergia + sähköenergia), huolto- ja korjauskustannukset sekä mahdolliset tilavuokratkustannukset. Kaukolämpöjärjestelmän osalta lämmitysjärjestelmän energiakustannuksissa on mukana myös lämmityksen perusmaksu ja sähkönsiirtomaksu. Lämpöpumppujen energiakustannukset muodostuvat vain sähköenergian ja sähkönsiirtomaksusta, kun lisälämmönlähteenä käytetään sähköä. Tutkimuksessa lämmitysenergiakustannukset määritettiin Granlundin EC-ohjelmaan integroidun Excel-laskentapohjan avulla. Lämmitysenergiakustannukset saadaan laskettua kaavalla (Sallinen 2014,49.)

$$K = \frac{Q_{\text{l\u00e4mmitys}}}{\eta \cdot E} \quad (32)$$

jossa,

K	energiakokonaiskustannus vuodessa [€]
$Q_{\text{l\u00e4mmitys}}$	l\u00e4mmitysj\u00e4rjestelm\u00e4n l\u00e4mp\u00f6energiankulutus [kWh / a]
η	l\u00e4mmitys\u00e4rjestelm\u00e4n hy\u00f6tysuhde
E	energianhinta [€ / MWh]

L\u00e4mmitys\u00e4rjestelm\u00e4n s\u00e4hk\u00f6energiankokonaiskustannukset lasketetaan vastaavasti samalla kaavalla vaihtamalla $Q_{\text{l\u00e4mmitys}}$ termin paikalle $W_{\text{l\u00e4mmitys}}$, joka on l\u00e4mmitys\u00e4rjestelm\u00e4n s\u00e4hk\u00f6energiankulutus kWh / a (Sallinen 2014,49). Sulanapitoj\u00e4rjestelm\u00e4n muiden kustannusten osuuteen k\u00e4ytt\u00f6kustannuksista laskettiin mukaan huolto- ja korjauspalveluiden ja yll\u00e4pitopalveluiden kustannukset. Muut kustannukset laskettiin kaavalla (33).

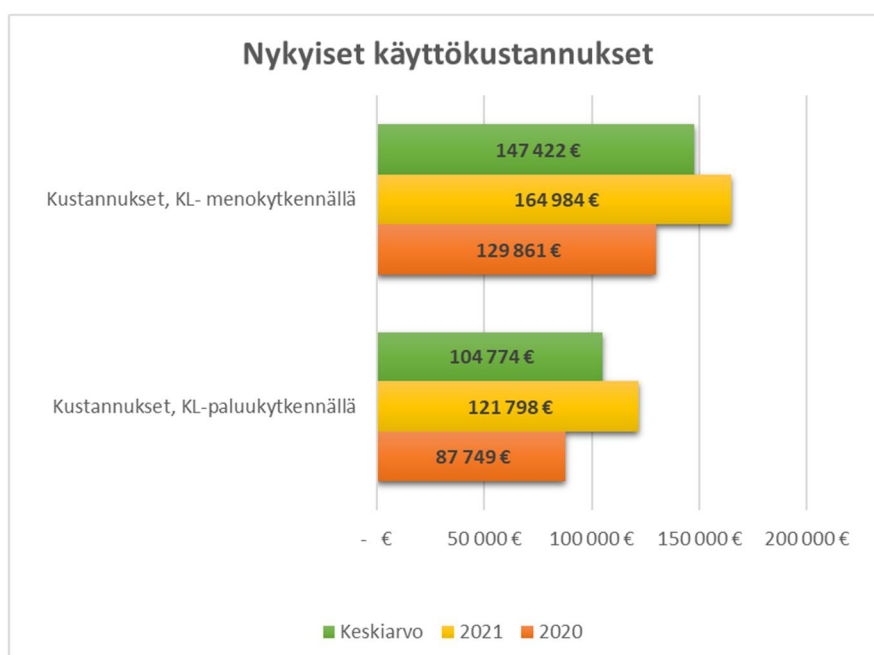
$$\text{Muut kustannukset} = \text{Huolto} - \text{ja korjauspalvelut} + \text{yll\u00e4pitopalvelut}$$

Sulanapitoj\u00e4rjestelm\u00e4n huolto- ja korjauskustannuksiin vaikuttavat j\u00e4rjestelm\u00e4n k\u00e4ytt\u00f6ik\u00e4, pakolliset huoltotoimet sek\u00e4 odottamattomat j\u00e4rjestelm\u00e4viat. Yll\u00e4pitokustannukset muodostuivat j\u00e4rjestelm\u00e4n yll\u00e4pitopalvelutoiminnoista, joihin kuuluvat esimerkiksi huollon, kunnossapidon ja laitteiden hallintapalveluista muodostuvat kustannukset. Nykyisen l\u00e4mmitys\u00e4rjestelm\u00e4n laitetilan vuokrakustannuksia ei ollut saatavilla tutkimusta varten, joten kustannuksissa ei ole mukana tilanvuokrakustannuksia. Alla taulukosta 7 on esitetty nykyiset sulanapitoj\u00e4rjestelm\u00e4n l\u00e4mm\u00f6n- ja s\u00e4hk\u00f6nkustannukset sek\u00e4 huollon ja yll\u00e4pidon kustannukset. Tulokista n\u00e4hd\u00e4\u00e4n, ett\u00e4 kaukol\u00e4mm\u00f6n paluukytkenn\u00e4ll\u00e4 l\u00e4mmityskustannukset ovat keskim\u00e4\u00e4r\u00e4in vajaat 92 000 euroa vuodessa. Vastaavasti kaukol\u00e4mm\u00f6n menoveden kytkenn\u00e4ll\u00e4 keskim\u00e4\u00e4r\u00e4isten l\u00e4mmityskustannusten osuus k\u00e4ytt\u00f6kustannuksista on melkein 45 000 euroa enemmän vuodessa, kuin paluupuolen kytkenn\u00e4ll\u00e4. Vuotuisten huolto- ja yll\u00e4pito kustannusten osuus on yhteens\u00e4 8855 euroa.

TAULUKKO 7. Käyttökustannusten muodostuminen.

Vuosi	Lämpöenergia paluukytkenällä	Lämpöenergia menokytkenällä	Sähköenergia	Sähkönsiirto	Muut kustannukset
2020	76 256 €	120 250 €	1 883 €	1 998 €	7 612 €
2021	107 544 €	153 102 €	2 373 €	1 784 €	10 097 €
Keskiarvo	91 900 €	136 676 €	2 128 €	1 891 €	8 855 €

Sulanapitojärjestelmän nykyiset käyttökustannukset on esitetty kuviossa 11. Sulanapitojärjestelmän nykyiset käyttökustannukset ovat yhteensä alle 105 000 euroa vuodessa, kun lämmöntuotannossa hyödynnetään pääasiassa kaukolämmön paluuveden lämpöenergiaa. Neliöperusteisella hinnoittelulla koko sulanapitoalueen (5091 m²) käyttökustannukset ovat n. 21 euroa neliötä kohti. Paluuenergian käytön avulla saadaan merkittävät n. 45 000 euron säästöt lämmitys- ja käyttökustannuksissa. Tulosten perusteella voidaan todeta, että lämmityskustannuksilla on ylivoimaisesti eniten vaikutusta käyttökustannusten suuruuteen.

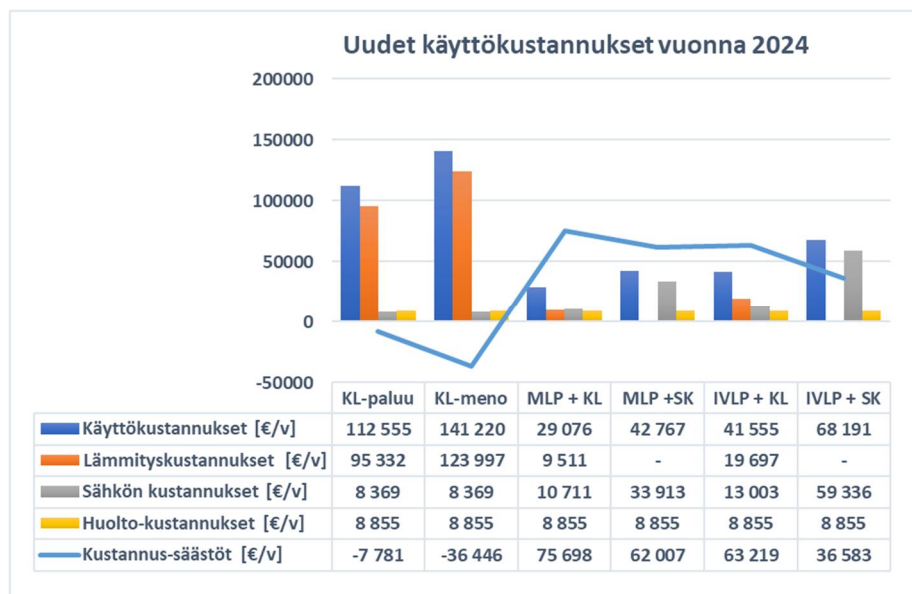


KUVIO 11. Nykyiset käyttökustannukset (Jyväskylän kaupunki; ALVA Oy n.a.)

Nykyisten ja uusien käyttökustannusten välillä merkittävimmät erot muodostuivat lämmityskustannuksissa. Huolto- ja ylläpitokustannusten oletettiin pysyvän nykyisellä tasolla, sillä tarkempia tietoja ei ollut saatavilla. Valtaosa kustannuksista muodostuu kaukolämmön toisiopuolen eli sulanapitoverkoston huoltotöistä ja järjestelmän ylläpidosta. Lämpöpumppujen huoltokustannuksissa huomioitiin lisäksi

kompressorin vaihtotyön kustannukset. Kompressorin vaihtoväliksi arvioitiin noin 10-vuotta. Vaihtotyön kustannuksiksi arvioitiin n. 700 euroa Granlundin kustannustietojen perusteella (Granlund Oy n.a).

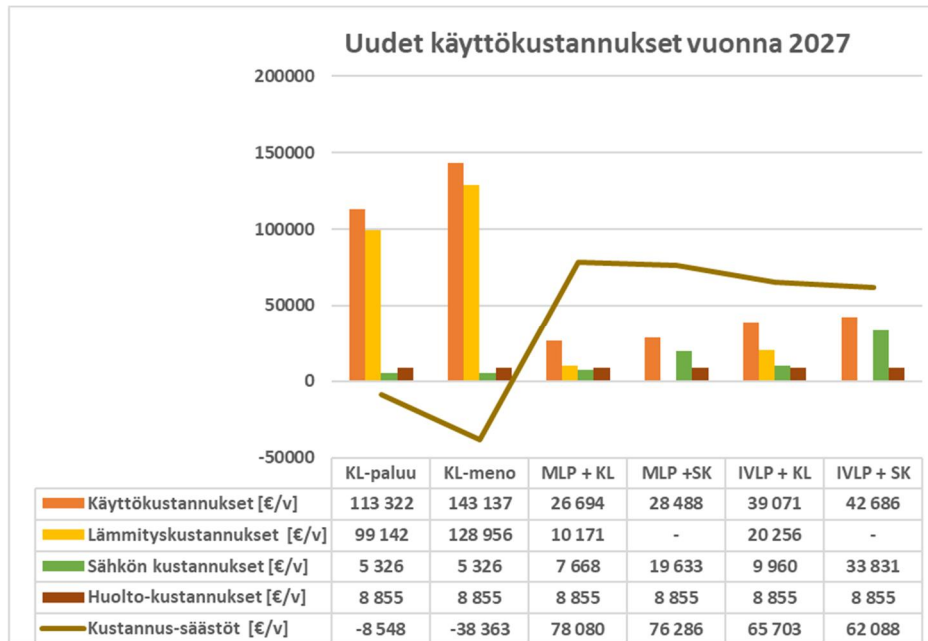
Uudet sulanapitojärjestelmän käyttökustannukset vuoden 2024 lämmön- ja sähköhinnoilla ovat nähtävillä kuviosta 12. Tuloksista voidaan päätellä, että lämpöpumppujärjestelmien avulla käyttökustannukset ovat merkittävästi nykyistä pienemmät. Maalämmön ja kaukolämmön yhdistelmällä saavutetaan suurimmat yli 75 000 euron kustannus-säästöt nykyisiin käyttökustannuksiin verrattuna. Neliöiden mukaisella tarkastelulla lämpöpumppujärjestelmien avulla käyttökustannukset ovat keskimäärin n. 9 euroa / m², joka on tarkoittaa 11 euron säästöjä nykyiseen verrattuna. Uudella kaukolämpöjärjestelmän paluukytkennällä käyttökustannukset vastaavasti lisääntyvät nykyisestä vajaalla 10 000 eurolla vuodessa. Lämpöpumpun ja sähkökattilan yhdistelmillä lämmityskustannuksia ei erikseen muodostu, sillä kaikki lämpö tuotetaan sähköllä.



KUVIO 12. Uudet käyttökustannukset vuonna 2024.

Kuviossa 13 on esitetty vastaavasti sulanapitojärjestelmän käyttökustannukset vuoden 2027 arvioiduilla hinnoilla. Tuloksista nähdään, että arvioiduilla lämmön- ja sähköhintojen muutoksilla käyttökustannukset pienentyisivät vuoteen 2024 verrattuna kaikilla muilla lämmitys vaihtoehdoilla paitsi kaukolämpöjärjestelmällä. Suurimmat muutokset tapahtuvat lämpöpumppujen ja sähkökattilan yhdistelmillä,

sillä sähkönhinta laskee arvioiden mukaan lähes puolella vuodesta 2024. Keskimäärin käyttökustannukset ovat lämpöpumppujärjestelmillä n. 7 euroa / m² eli säästöt ovat nykyiseen verrattuna 14 euroa neliölle.



KUVIO 13. Uudet käyttökustannukset vuonna 2027.

10.2. Investointikustannukset

Lämmitysjärjestelmien investointikustannukset määritettiin tutkimuksessa karkealla tasolla, sillä tarkempien kustannuslaskelmien saaminen olisi vaatinut yksityiskohtaisempia tarkasteluja ja lähtötietoja. Lämmönlähteiden investointikustannukset muodostuivat laite- ja asennuskustannuksista sekä järjestelmien suunnittelukustannuksista. Asennuskustannuksiin sisältyi lämmityslaitteiden LVI- ja rakennusautomaatiotöiden ja sähkötöiden arvioidut kustannukset ja nykyisen kaukolämpöjärjestelmän purkukustannukset. Maalämpöjärjestelmän investointikustannuksiin sisältyivät myös energiakaivokentän rakentamisen ja keruuputkiston asennuskustannukset. Kaukolämpöjärjestelmän asennuskustannukset muodostuivat järjestelmän apulaitteiden asennuksista ja lämmönsiirtimeen kytkennöistä lämpöverkkoihin. Valtaosa järjestelmän laite- ja asennuskustannuksista oli huomioitu jo kaukolämpöjärjestelmän toimitushinnassa. Työssä arvioitiin myös uuden laittilan käyttöönottamisesta muodostuvia kustannuksia, sillä nykyinen lai-

tetila ei ole enää kokonsa puolesta riittävä uusien lämmönlähteiden tilavaatimuk-
sille. Mainitun uuden laitetalan kustannukset laskettiin mukaan rakentamiskustan-
nuksiin. Laitetalan rakentamiskustannukset muodostuvat pääasiassa lattiakaivon
ja viemäroinnin asennuksista sekä uusien lämmitysputkien ja sähkökaapeleiden
läpivientien poraustöistä. Lisäksi kustannuksissa huomioitiin Chiller Oy:n arvi-
oima yllämmön poistoilmajärjestelmän asennus- ja laitekustannus uudelle laite-
tilalle. Lämmitysjärjestelmien asennuskustannukset arvoitiin Granlundilta ja laite-
valmistajilta saatujen hintojen perusteella. Esitetyt investointikustannukset ovat
budjettihintoja, joissa on huomioitu arvioitu urakoitsija alennus 30 prosenttia hin-
noista + urakoitsijan 15 prosentin arvioitu myyntikate laitteesta (Granlund Oy n.a;
Chiller Oy n.a).

Tutkimuksessa tarkasteltujen lämmitysmuotojen investointikustannukset on esi-
tetty taulukossa 8. Kustannuksista nähdään, että maalämpö- ja kaukolämpöjär-
jestelmän hybridijärjestelmä on kustannuksiltaan kaikista kallein lämmitysvaihto-
ehto kohteeseen. Maalämpöjärjestelmien investointikustannuksia kasvattaa eri-
tyisesti energiakaivojen ja keruuputkistojen rakentaminen, jotka ovat yksittäisistä
investoinneista kaikista suurimmat. Energiakaivokentän latausvaihtoehdolla saa-
daan säästöjä maalämmön investointikustannuksissa pienemmän kaivomäärän
ansiosta. Järjestelmän investoinnin kustannus on silti reilusti yli miljoona euroa.
Ilma-vesilämpöpumppujärjestelmän investointi on lämpöpumppujärjestelmien in-
vestoinneista halvin vaihtoehto. Kaukolämpöjärjestelmän investointi on lämmitys-
järjestelmistä halvin vaihtoehto kohteeseen.

TAULUKKO 8. Investointikustannukset vuoden 2024 hinnoilla.

INVESTOINTI	KL	MLP + KL	MLP + SK	MLP + KL (kaivojen lataus)	MLP + SK (kaivojen lataus)	IVLP + KL	IVLP + SK
ENERGIKAIVOKENTTÄ [€]	-	894 900	894 900	653 220	653 220	-	-
LAITEHANKINNAT [€]	44 273	402 405	417 301	459 494	490 149	317 127	386 921
LAITEASENNUKSET [€]	14 529	48 266	48 945	57 543	60 218	45 335	43 174
PUTKET (m.l. asennus) [€]	26 501	26 501	14 010	26 501	14 010	53 808	46 826
RAU-KUSTANNUKSET [€]	14 000	23 000	19 500	23 000	20 500	21 000	21 500
SÄH-KUSTANNUKSET [€]	5 000	15 000	15 000	15 000	15 000	15 000	15 000
RAK- ja PURKUKUSTANNUKSET [€]	12 500	12 500	12 500	12 500	12 500	12 500	12 500
SUUNNITTELU JA VALV. [€]	2 920	35 564	35 554	31 181	31 640	11 619	13 148
YHTEENSÄ [€]	122 722	1 464 136	1 463 709	1 284 438	1 303 236	482 390	545 068

Investointikustannukset vuoden 2027 hinnoilla on esitetty taulukossa 9. Hintojen
arvioitiin nousevan vain n. 4 prosentilla vuoteen 2027 mennessä, sillä inflaation

on arvioitu olevan laskussa seuraavien vuosien aikana (Suomen Pankki 2023; Euroopan komissio 2024). Kyseisillä arvioidulla hinnankorotuksilla investointikustannukset nousevat hieman vuodesta 2024.

TAULUKKO 9. Investointikustannukset vuoden 2027 hinnoilla.

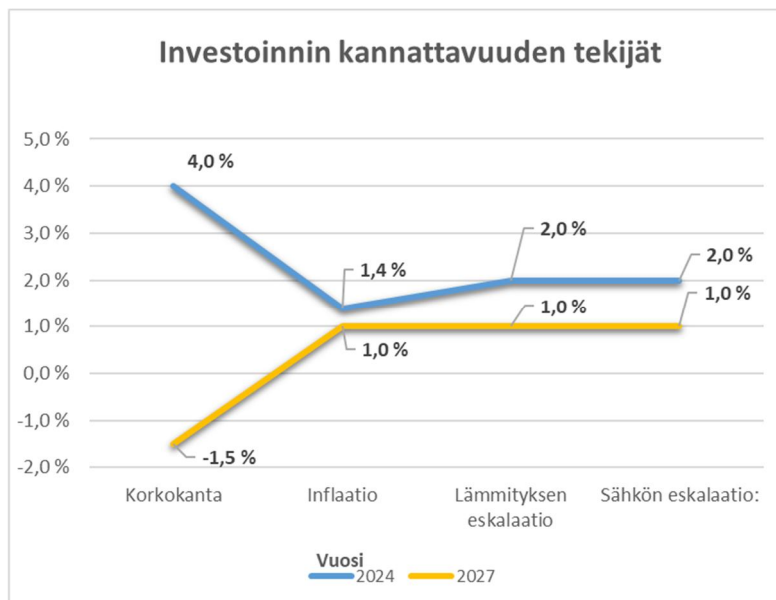
INVESTOINTI	KL	MLP + KL	MLP + SK	MLP + KL (kaivojen lataus)	MLP + SK (kaivojen lataus)	IVLP + KL	IVLP + SK
ENERGIKAIVOKENTTÄ [€]	-	930 696	930 696	679 349	679 349	-	-
LAITEHANKINNAT [€]	46 044	418 501	433 993	477 873	509 755	329 812	402 398
LAITEASENNUKSET [€]	15 110	50 197	50 902	59 844	62 627	47 149	44 900
PUTKET (m.l. asennus) [€]	27 561	27 561	14 570	27 561	14 570	55 961	48 699
RAU-KUSTANNUKSET [€]	14 560	23 920	20 280	23 920	21 320	21 840	22 360
SÄH-KUSTANNUKSET [€]	5 200	15 600	15 600	15 600	15 600	15 600	15 600
RAK- ja PURKUKUSTANNUKSET [€]	13 000	13 000	13 000	13 000	13 000	13 000	13 000
SUUNNITTELU JA VALV. [€]	3 037	36 987	36 976	32 429	32 906	12 084	13 674
YHTEENSÄ [€]	127 631	1 522 700	1 522 300	1 335 800	1 355 400	501 700	566 900

10.3. Investoinnin kannattavuuden arviointimenetelmät

Investoinnin kannattavuutta arvioitiin tutkimuksessa takaisinmaksuajan ja sisäisen korkokannan menetelmillä. Sisäisen korkokannan menetelmä valittiin investoinnin kannattavuuden tarkasteluun, sillä se on modernin investointiteorian mukaisesti suositeltava menetelmä ja se ottaa huomioon rahan aika-arvion. Investoinnin takaisinmaksuajan arviointimenetelmä valittiin perinteisistä menetelmistä, koska se on hyvin tunnettu menetelmä ja sen avulla saadaan helposti ymmärrettävä tulos (Koivula 2015,81.) Investoinnin kannattavuuden arviointijaksona käytettiin lämmitysjärjestelmien teknistä käyttöikä, joka on n. 20-vuoden ajanjakso.

Investointien laskentakorkokantana käytettiin Suomen Pankin esittämiä korkokantoja ja sen antamia arvioita tuleville vuosille. Inflaation suuruuden arvioinnissa käytettiin myös Suomen pankin väliennusteita nykyhetkeen ja tuleville vuosille. Investointien korkokannaksi arvioitiin noin 4 prosenttia vuonna 2024, kuten kuvista 14 nähdään. Muutosta vuoden 2027 korkokantaan arvioitiin ennusteiden perusteella tulevan noin 5,5 prosentin verran. Korkokannaksi arvioitiin ennusteiden perusteella -1,5 prosenttia kyseisenä vuonna. Inflaation arvioitiin olevan vielä yhden prosentin verran vuonna 2027. Vastaavasti vuoden 2024 inflaatioksi on arvioitu n. 1,4 prosenttia (Suomen Pankki 2023; Euroopan komissio 2024).

Kaukolämmön hinnankorotus tänä vuonna oli noin 5 prosentin luokkaa vuodesta 2023. Lämmönhinnan eskalaatioksi, eli hinnanmuutoksiksi arvioitiin vuonna 2027 noin prosentin verran. ALVA Oy:n investointisuunnitelmien perusteella kaukolämmön hinnat saattavat olla vielä nousussa tuleville vuosille. Korotuspaineiden arvioitiin kuitenkin laskevan viimeistään 2030-luvulla, sillä energiayhtiön suunnitelmissa on olla täysin biopolttoaineilla toimiva energialaitos vuonna 2026. Uusi investointi laskee tulevaisuudessa lämmöntuotantokustannuksia. Korotuspaineita on lisännyt lähinnä raaka-aineena käytettävien fossiilisten polttoaineiden, kuten turpeen hinnan kasvu maailman tilanteiden takia. (ALVA OY 2023). Aiemmin esitetyn Nasdaqin ennusteen perusteella sähköenergianhinnan arvioitiin laskevan noin puolella vuoteen 2027 mennessä ja hinnankorotuspaineet arvioitiin maltilliseksi.



KUVIO 14. Korot ja eskalaatiot (Suomen Pankki; ALVA Oy; Nasdaq.)

10.3.1 Sisäisen korkokannan menetelmä

Investoinnin sisäisen korkokannalla tarkoitetaan laskentakorkokantaa, jolla nettonykyarvo on laskennalliselta lukuarvoltaan nolla. Investointi on kannattava silloin, kun sisäinen korkokanta on tuottovaatimusta suurempi (Koivula 2015,82.) Sisäinen korkokanta lasketaan kaavalla.

$$NPV = 0 = \sum_{t=1}^n \cdot \frac{NCF_t}{(1+IRR)^t} + \frac{JA_n}{(1+IRR)^t} - I \quad (34)$$

jossa,

NPV	nettonykyarvo [€]
NCF_t	nettokassavirta [€]
IRR	sisäinen korkokanta
n	investoinnin pitoaika
JA_n	investoinnin jäännösarvo
I	investoinnin hankintameno [€]

10.3.2 Takaisinmaksuajan menetelmä

Investoinnin takaisinmaksuajalla tarkoitetaan aikaa, jolloin investointi on maksanut itsensä takaisin. Menetelmällä arvioidaan investoinnin kannattavuutta lähtökohtaisesti tekniseen käyttöikään, joten investoinnin ollessa kannattava takaisinmaksuajan tulisi olla käyttöikää lyhyempi. Investoinnin takaisinmaksuaika saadaan kaavalla (Koivula 2015,83.)

$$PBP = \frac{I}{NCF} \quad (35)$$

jossa,

PBP	takaisinmaksuaika [a]
I	investoinnin hankintameno [€]
NCF	nettokassavirta [€/a]

Korollinen takaisinmaksuaika saadaan vastaavasti kaavalla.

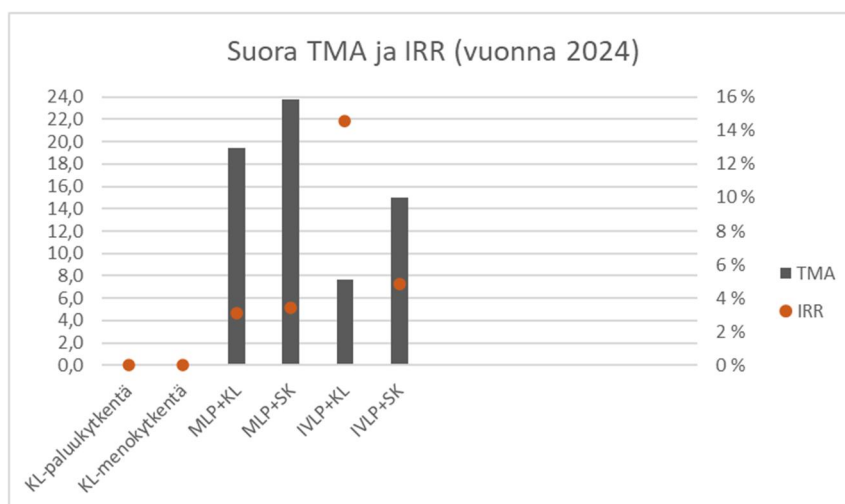
$$PBP = \frac{-\ln\left(\frac{I}{P \cdot NCF}\right) - \ln(p)}{\ln(1+p)} \quad (36)$$

jossa,

PBP	takaisinmaksuaika [a]
NCF	nettokassavirta [€]
p	laskentakorkokanta, eli vähimmäistuottovaatimus

I investoinnin hankintameno [€]

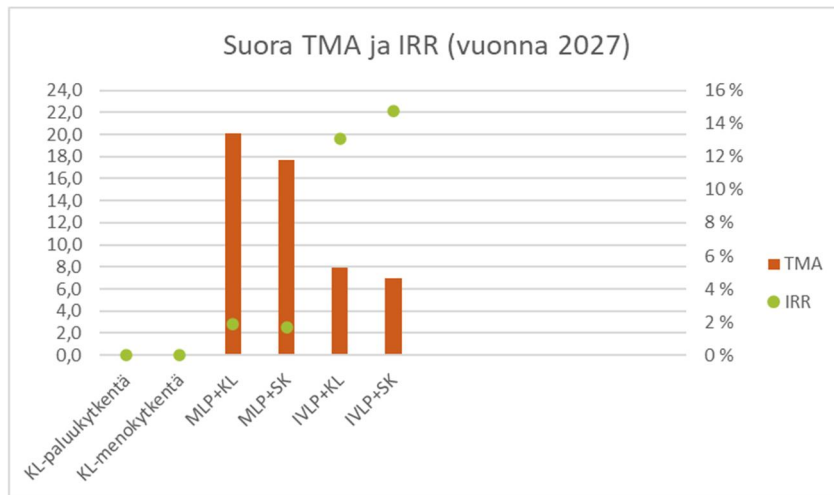
Investointien suorien takaisinmaksuaikojen tuloksista (kuvio 15) voidaan todeta, että pisimmät takaisinmaksuajat ovat maalämpöjärjestelmillä, joiden lisälämmönlähteinä käytetään kaukolämpöä ja sähkökattilaa. Maalämmön ja sähkökattilan yhdistelmällä takaisinmaksuaika on lähes 24-vuotta ja vastaavasti kaukolämmön kanssa n. 19,5-vuotta. Verrattaessa näitä tekniseen käyttöikään voidaan todeta käytännössä molempien osalta, että investoinnit eivät ole kannattavia. Myös korkotuottojen kautta arvioituna maalämpöjärjestelmien investoinnit eivät ole kannattavia, koska tuotot eivät laskentakorkoa (4 %) suurempia. Kaukolämpöjärjestelmien suorat takaisinmaksuajat ovat 0-vuotta sen vuoksi, että järjestelmällä ei ole nettotuottoja ja takaisinmaksuaikoja ei ole siitä syystä pystytty määrittämään. Kaukolämpöjärjestelmän investointi ei ole kannattava. Lämmitysvaihtoehdoista ainoastaan ilma-vesilämpöpumpputjärjestelmien investoinnit ovat selkeästi kannattavia molemmilla kannattavuuden arviointitavoilla mitattuina.



KUVIO 15. Takaisinmaksuajat ja korkotuotot vuonna 2024.

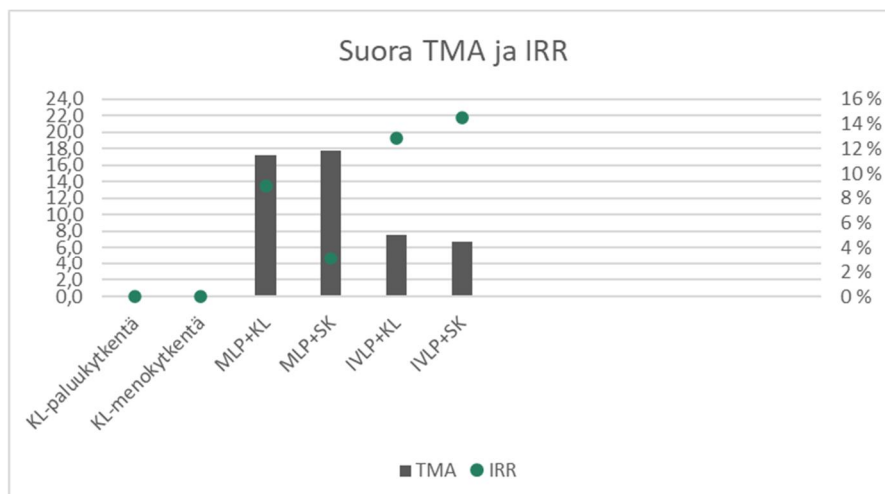
Vuoden 2027 investointien kannattavuuksissa merkittävin muutos tapahtuu maalämpöjärjestelmien korkotuotoissa. Kuvion 16 tulokset osoittavat, että maalämpöjärjestelmien korkotuotot ovat n. 2 prosenttia, joten näillä perusteilla investoinnit ovat kannattavia, koska tuotot ovat tuottovaatimusta (-1,5 %) suuremmat. Takaisinmaksuajat vastaavasti lyhentyvät MLP:n ja SK:n yhdistelmällä vuodesta 2024 reilusti ja jäävät alle 20-vuoden. Maalämmön ja sähkökattilan investointi

olisi näin ollen kannattava suoran takaisinmaksuajan kautta. Vastaavasti kaukolämpöjärjestelmän kanssa maalämpö ei olisi kannattava. Kannattavuuksiin vaihteluihin vaikuttaa eniten investointikustannusten kallistuminen ja sähköhintojen halpeneminen vuodesta 2024. Kaukolämmöhinta taas kallistuu arviolta hieman.



KUVIO 16. Takaisinmaksuajat ja korkotuotot vuonna 2027.

Kuviossa 17 tulosten muutokset kohdistuvat vain maalämpöjärjestelmien kannattavuuksiin, joita arvioitiin energiakaivokentän latausvaihtoehdolla. Maalämpöjärjestelmän ja kaukolämmön yhdistelmässä suorat takaisinmaksuajat lyhentyvät pienempien kaivokentän investointikustannusten vuoksi n. 3-vuodella ja myös korkotuotot kasvavat peräti 6 prosentilla kuvion 16 tuloksiin verrattuna. Korkotuoton kasvu perustuu oletukseen, joka saadaan lämpöenergian myynnillä. Myös takaisinmaksuaikaan tällä on vaikutusta vielä tuloksissa esitettyä enemmän.



KUVIO 17. Kannattavuudet kaivokentän latauksella vuonna 2027.

Ylimääräisen lämpöenergian määrä laskettiin Pöyryn (nykyisin AFRY Oy) esittämän arvion perusteella 90 prosentin energiapeitolla toimivan maalämpöjärjestelmän tuotetusta energiasta voidaan noin 65 prosenttia myydä kaukolämpöverkkoon (Pöyry Oy 2017). Mainitun arvion perusteella vastaavasti kohteen lämpöenergiasta voidaan myydä n. 70 prosenttia kaukolämpöverkkoon, koska järjestelmän energianpeitto on n. 98 prosenttia Maalämpöjärjestelmän ja energiantuotto on yhteensä 1428 MWh:a vuodessa, jolloin myytävä energianmäärä saadaan kaavalla (37)

$$Ylijäämä\ energia = 1428\ MWh \cdot 0,70 \approx 1000\ MWh$$

Ylijäämäenergian myynnistä saatava hyvitys saadaan kaavalla (38), jos oletetaan kaukolämmön myyntihinnan olevan sama, kuin laskutettava hinta vuonna 2024 eli noin 56,57 € / MWh.

$$Myyntihinta = 56,57\ €/MWh \cdot 1000\ MWh = 56600\ €$$

Järjestelmän investointikustannukset taulukon 9 perusteella ovat 1 335 800 euroa. Vastaavasti kustannus-säästöt ovat vuosien 2024 ja 2027 perusteella keskimäärin n. 77 900 euroa vuodessa, jolloin kaukolämmön myynnin jälkeen säästöiksi muodostuu n. 134 500 euroa vuodessa. Arvioitu takaisinmaksuaika maalämpöjärjestelmän ja kaukolämpöjärjestelmän yhdistelmälle saadaan kaavalla (39).

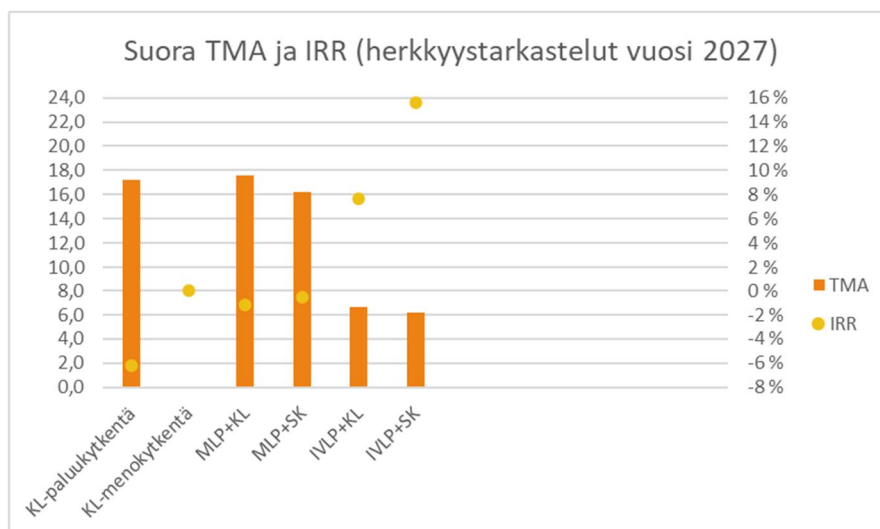
$$PBP = \frac{1\ 335\ 800\ €}{134\ 500\ €} \approx 10\ vuotta$$

Energiakaivokentän latausvaihtoehdolla maalämmön ja kaukolämmön hybridijärjestelmän suoraksi takaisinmaksuajaksi muodostuu n. 10-vuotta. Takaisinmaksuaikojen perusteella investoinnin kannattavuus parantuu merkittävästi. Myös sisäisen korkotuoton kautta päästään arviolta 9 prosentin tuottoon, joka esitettiin kuviossa 16. Mainitulla säästöillä parannetaan maalämpöjärjestelmän investoinnin kannattavuutta ja toteutusmahdollisuuksia merkittävästi.

10.3.3 Herkkyystarkastelut

Herkkyysanalyysin tekeminen voidaan tehdä esimerkiksi muuttamalla kustannuksia tai muuttamalla laskentakorkoa. Takaisinmaksumenetelmän herkkyystarkastelu tehdään samalla tavalla, eli muuttamalla investointikustannuksien ja vuotuisen tuottojen lukuarvoja (Karhu 2022,55,57). Tämän tutkimuksen herkkyystarkasteluissa muutettiin sekä lämmön että sähkönhintoja ja investointien korkotasoja. Herkkyystarkastelussa sähköenergianhintana käytettiin vuoden 2023 hintaa eli 92 euroa / MWh. Vastaavasti kaukolämmönhintoja laskettiin vuoden 2023 tasolle eli viidellä prosentilla vuoden 2024 hinnoista ja n. neljällä prosentilla vuoden 2027 hinnoista. Korkokantaa nostettiin myös n. viiteen prosenttiin eli prosentilla vuodesta 2024 ja kahdella prosentilla vuoden 2027 korkokannasta.

Herkkyystarkastelujen tuloksia verrattiin vuoden 2027 hintoihin (kuvio 18). Tuloksista voidaan todeta, että maalämpöjärjestelmien takaisinmaksuajat lyhentyvät n. 2-vuodella vuoden 2027 hintoihin ja korkoihin verrattuna. Vastaavasti maalämpöjärjestelmien sisäiset korkotuotot heikkenevät hieman edellä esitetyistä tuloksista. Mainituilla lämmön- ja sähkönhintojen muutoksilla paluuenergiaa hyödyntävän kaukolämpöjärjestelmän investointi on kannattava takaisinmaksuaikojen perusteella. Mikäli investoinnin kannattavuuden raja-arvona pidetään 20-vuotta. Ilma-vesilämpöpumppujärjestelmien kannattavuuksissa ei tapahdu juurikaan muutoksia.



KUVIO 18. Vuoden 2027 investointien herkkyystarkastelut.

11 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA

Tutkimustuloksista voidaan tehdä johtopäätökset siltä osin, että Jyväskylän Kävelykadun sulanapitojärjestelmän lämmitystehontarve on edelleen vähintään 300 W / m² seuraavan kymmenen vuoden aikana. Ilmastonmuutoksen seuraukset alkavat vaikuttamaan sulanapitojärjestelmän toimintaan arviolta vasta vuosisadan loppupuolella. Sulanapitojärjestelmän huippunkäyttöaikojen perusteella lämmityksen huipputehontarve on jonkin verran pienempi, kuin neliöiden mukaisella mitoituksella saatu huipputehontarve. Käyttöaikojen perusteella laskettu huipputehontarve on siinä mielessä todenmukaisempi, koska siinä tuloksiin vaikuttaa olennaisesti toteutunut lämmönkulutus. Neliöperusteisessa mitoituksella saadut tulokset on kuitenkin todettu yksityiskohtaisilla teoreettisilla laskelmilla luotettavaksi, joten ne voitiin todeta myös tässä tutkimuksessa luotettavimmiksi, kuin käyttöaikojen perusteella saadut laskelmat. Sulanapitojärjestelmän nykyiset lämmityskustannukset laskettiin tutkimuksessa hyvin suuntaa antavasti, sillä tarkkoja lähtötietoja ei ollut saatavilla. Uudet lämmityskustannukset vastaavasti saatiin määritettyä tarkemmalla tasolla, sillä uudet lämmön ja sähköhinnat olivat tiedossa tarkemmalla tasolla.

Tutkimuksen tulokset osoittivat, että lämpöenergian ottaminen kaukolämmön paluupuolelta vaikuttaa merkittävästi perusmaksun suuruuteen ja sitä kautta lämmityskustannuksiin. Lämpöpumppujen energiantuotot ja kulutukset olivat lähes yhtä suuria Granlundin EC-ohjelmalla ja Excel-ohjelmalla laskettuina. Energiakaivojen mitoitukset osoittivat, että yleisesti tavoiteltu 90–95 prosentin energianpeitto täyttyy kohteessa pienemmällä kaivomäärällä, mitä todellisuudessa vaaditaan tavoiteltuun 60–70 prosentin tehonpeittoon pääsemiseksi. Todellisuudessa energiakaivojen lukumäärät kohteeseen ovat suuria ja ne tuovat haasteita toteutukseen. Energiakaivokentän latausvaihtoehdolla tarvittava energiakaivomäärä kohteeseen on huomattavasti pienempi edellä mainittujen ehtojen täyttymiseksi. Syvemmillä energiakaivoilla saadaan myös määriä pienennettyä, tosin myös kustannukset kasvavat. Sulanapitojärjestelmän käyttökustannusten osalta tutkimustulokset näyttivät, että lämmityskustannukset ovat merkittävin osa-alue kustannusten kannalta. Kaukolämmön paluueenergian hyödyntämisen avulla säästetään yli 40 pro-

senttia käyttökustannuksissa. Lämpöpumppujärjestelmien avulla saatavat säästöt käyttökustannuksissa ovat vielä keskimäärin kaksinkertaisesti suuremmat, kuin nykyiset säästöt. Investointikustannuksiltaan etenkin maalämpöpumppujärjestelmän investointi kohteeseen on suuri investointi. Maalämpöjärjestelmän investointikustannuksia kasvattavat erityisesti energiakaivokentän rakentamiskustannukset ja kohteeseen vaadittavat isot energiakaivojen lukumäärät. Ilma-vesilämpöpumpun investointi on sen sijaan kohteeseen kustannuksiltaan edullisempi vaihtoehto. Kannattavuudeltaan maalämmön investointi ei ole kannattava kohteeseen ilman energiakaivojen lataamista ja talteen otetusta lämpöenergiasta saatavan yllämmön myymistä, jos kannattavuuksia verrataan 20-vuoden tekniseen käyttöikään. Sen sijaan 25-vuoden käyttöikään verrattaessa myös maalämmön investointi on kustannuksiltaan edelleen kannattava vaihtoehto. Myös ilma-vesilämpöpumppujärjestelmän investointi on selkeästi kannattavaa. Kannattavuuksien arvioinnissa on kuitenkin hyvä huomioida korkokantojen ja lämmön ja sähköhintojen vaihtelut ja tulevaisuuden ennustamiseen liittyvät epävarmuudet.

Tutkimuksessa tehdyt lämmitysjärjestelmien kustannusvertailut vuosien 2024 ja 2027 hintojen välillä osoittivat, että merkittäviä eroja etenkin investointikustannuksissa ei muodostunut vuosien välille. Sen sijaan käyttökustannuksissa kustannuserot näkyivät selkeämmin varsinkin ilma-vesilämpöpumppujärjestelmän kohdalla. Opinnäytetyö antoi vastauksia määritettyihin tavoitteisiin siltä osin, että Kävelykadun sulanapitojärjestelmän käyttökustannuksissa on mahdollista säästää huomattavasti lämpöpumppujärjestelmien avulla. Tutkimus jätti vielä avoimia kysymyksiä mm. lämpöpumppujärjestelmien toteutuksen osalta. Erityisesti maalämpöpumppujärjestelmän kalliit investointikustannukset ja toteutuksen haasteet voivat muodostua esteeksi järjestelmän toteutukselle. Toisaalta huomattavat kustannus-säästöt nykyiseen verrattuna mahdollistavat järjestelmälle siedettävät takaisinmaksuajat. Lämpöpumppujärjestelmien investointien kannattavuuksiin vaikuttavat merkittävästi yleinen korkotaso sekä sähkön- ja lämmön hinta tulevaisuudessa. Kaukolämpöjärjestelmän kilpailukyky lämpöpumppujärjestelmiin verrattuna riippuu lämmönhinnoista tulevaisuudessa. Nykyisillä lämmönhinnoilla ja paluenergian käytöllä saatavilla kustannus-säästöillä kaukolämpöjärjestelmä ei kykene kilpailemaan kannattavuuksissa lämpöpumppujärjestelmien kanssa. Tosin ALVA Oy:n suunnitelmat täysin hiilineutraalien polttoaineiden käyttämisestä

lämmöntuotannossa tulevaisuudessa puoltavat kaukolämmön hinnannousun pysähtymistä ja parantavat kaukolämmön asemaa Jyväskylässä. Lähtökohtaisesti kaikki tutkimuksessa tarkastelussa olleet lämmitysmuodot ovat sopivia kohteeseen. Lämpöpumppujärjestelmien toteutusta kohteeseen ei käsitelty tässä opinäytetyössä, joten lopullisia johtopäätöksiä järjestelmien soveltuvuudesta ei tutkimuksen perusteella voida tehdä. Ilma-vesilämpöpumppujärjestelmän toteutuksen haasteeksi muodostuvat ulkoyksiköiden sijoituspaikat kohteessa. Maalämpöjärjestelmällä vastaavasti toteutuksen haasteeksi muodostuvat suuret energia-kaivomäärät ja rajalliset tilat energiakaivojen sijoittamiseen. Halutun 60–70 prosentin tehonpeiton täyttymiseksi energiakaivoja tarvitaan kohteeseen n. 80–100 kpl ilman kaivokentän lataamista ja yllämmön varastointia. Energiakaivokentän latausvaihtoehdolla energiakaivoja tarvitaan n. 30–40 kpl. Vartenotettava lämmitysratkaisu kohteeseen voisi olla maalämpöjärjestelmän ja kaukolämpöjärjestelmän hybridijärjestelmä. Kyseisen hybridijärjestelmän toteutusta kohteeseen puoltaa se, että Jyväskylän kaupungin ei tarvitsisi irtaantua kokonaan kaukolämmöstä ja yhteistyö säilyisi ALVA:n kanssa tulevaisuudessakin vahvana.

Vaihtoehtona laajemmalle yhteistyölle voisi olla kaivokentän lataamisesta muodostuvan yllämpöenergian myyminen ALVA:n kaukolämpöverkoston. Tällä ratkaisulla tarkoitetaan kaksisuuntaista kaukolämpöä, jonka tyyppisiä järjestelmiä on jo käytössä muualla Suomessa. Jyväskylän ydinkeskusta-alueella tai lähistöllä kaukolämpöverkoissa voisi olla mahdollisuuksia mainituille ratkaisuille. Yksi vaihtoehto on, että ALVA ja Jyväskylän kaupunki lähtevät yhteistyössä edistämään lämpöpumppu- ja kaukolämpöhanketta eteenpäin, jolloin investointikustannuksia voidaan jakaa molempien osapuolten kesken. Lopputuloksena yhteistyöllä on mahdollista saavuttaa monia hyötyjä, sillä se mahdollistaa kaukolämmön säilymisen kilpailukykyisenä lämmitysmuotona. Ratkaisulla vahvistetaan myös lämmöntuotannon ekologisuutta ja ympäristöystävällisyyttä, kun lämmöntuotannon yllämpöenergiaa voidaan kierrättää uudelleen käyttöön. ALVA:lle tarjoutuu mahdollisuus lisäsäästöihin polttoainekuluissa ja voimalaitoksen ylös ja alasajoissa. Jyväskylän kaupungille mainitut lämmitysratkaisut mahdollistavat vastaavasti säästöjä lämmitys- ja käyttökustannuksissa. Yhteistyöllä vahvistettaisiin kaupungin vihreää siirtymää ja hiilineutraalisuus tavoitteiden toteutumista tulevaisuudessa.

LÄHTEET

ALVA OY. n.a. Sulanapitojärjestelmän nykyiset lämmön- ja sähkönkulutustiedot. Sähköposti. Viitattu 26.9.2023.

ALVA OY.n.a. Kaukolämmön paluuenergian hyödyntäminen kävelykadun lumensulatusjärjestelmässä. Sähköposti. Viitattu 26.9.2023.

ALVA OY.2021. Alvan hinnat Jyväskylässä 2022. Verkkosivu. Viitattu 15.11.2023. <https://www.alva.fi/blog/2021/11/24/alvan-hinnat-jyvaskylassa-2022/>

ALVA OY. 2023. Kaukolämmön erikoishinnoittelut.Verkkosivu. Viitattu 18.2.2024. https://www.alva.fi/app/uploads/1/2023/11/Kaukolammon-hinnasto-Erikoishinnoittelut_01-01-2024-alkaen.pdf

ALVA OY.2024. Kaukolämmön erikoishinnoittelut. Verkkosivu. Viitattu 18.2.2024. https://www.alva.fi/app/uploads/1/2023/11/Kaukolammon-hinnasto-Erikoishinnoittelut_01-01-2024-alkaen.pdf

ALVA OY. 2024. Sähkön verkkopalveluhinnasto. Verkkosivu. Viitattu 13.4.2024. https://www.alva.fi/app/uploads/2/2023/04/Alva_Sahkoverkko_sahkon_verkkopalveluhinnasto-01-01-2023-alkaen.pdf

Anttonen K.2011.Kaukolämpöverkon paluueden hyödyntäminen lämmityksessä. Energiatekniikan koulutusohjelma. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Diplomityö. Viitattu 13.7.2023. <https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/73946/Diplomity%C3%B6%20Kari%20Anttonen%202011.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Arif H. 2010.A review on energetic, exergetic and exergoeconomic aspects of geothermal district heating systems (GDHSs). Energy Conversion and Management. ScienceDirect. Article. Viitattu 13.7.2023. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0196890410001044#fig6>

Arola J.2011. Päätöksentekomenetelmien hyödyntäminen pientalon lämmitysjärjestelmän valinnassa. Tuotantotalouden osasto. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Diplomityö. Viitattu 10.8.2023. <https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/69855/nbnfi-fe201106151772.pdf?sequence=3&isAllowed=y>

Arsenault P.J, FAIA, NCARB, L.E.E.D.A.P 2022. Optimizing SnowMelting Systems. Architectural Record. Viitattu 8.8.2023. <https://continuingeducation.bnppmedia.com/pdf/courses/L291C2666.pdf>

Banks, D. 2012.An Introduction to Thermogeology: Ground Source Heating and Cooling. 2. painos.John Wiley & Sons, Incorporated. 546 s.ISBN 9781118447499.

Chiller Oy. Puhallinkonvektoreiden investointikustannukset. Sähköposti. Viitattu 10.12.2023.

Granlund Oy .n.a. EC-ohjelman käyttöohje. Pdf-tiedosto. Viitattu 13.9.2023.

Granlund Oy. n.a. Lämmitysjärjestelmien investointikustannukset. Viitattu 30.11.2023.

Granlund Oy. n.a. Sulanapitojärjestelmän kytkentäkaavio ja säätökäyrä. Viitattu 18.7.2023.

Granlund Oy. n.a. Sulanapitojärjestelmän käyttöajat. Viitattu 18.11.2023.

Granlund Oy. n.a. Jyväskylän keskustan sulanapitoalue. Refenssit. Verkkosivu. Viitattu 11.8.2023. <https://www.granlund.fi/projektit/keskustan-sulanapitoalue/>

Granlund Oy. 2021. Sulanapitojärjestelmän vuoto. Sähköposti. Viitattu 10.12.2023.

Gregow H, Mäkelä A, Tuomenvirta H, Juhola S, Käyhkö J, Perrels A, Kuntsi-Reunanen E, Mettiäinen I, Näkkäläjärvi K, Sorvali J, Lehtonen H, Hildén M, Veijalainen N, Kuosa H, Sihvonen M, Johansson M, Leijala U, Ahonen S, Haapala J, Korhonen H, Ollikainen M, Lilja S, Ruuhela R, Särkkä J. & Siiriä S-M. 2021. Ilmastonmuutokseen sopeutumisen ohjauskeinot, kustannukset ja alueelliset ulottuvuudet. Suomen ilmastopaneelin raportti 2/2021. Viitattu 29.9.2023. https://www.ilmastopaneeli.fi/wp-content/uploads/2021/09/SUOMI-raportti_final.pdf

Energiateollisuus Ry. 2021. Rakennusten kaukolämmitys. Määräykset ja ohjeet. K1/2021. PDF-julkaisu. Viitattu 22.6.2023. https://energia.fi/wp-content/uploads/2016/08/Julkaisu_K1_2021_Rakennusten_kaukolammitys_Maaraykset_ja_ohjeet_pdf-1.pdf

Energiateollisuus Ry. 2014. Teho ja vesivirta kaukolämmön maksuperusteina. Suositus K15/2014. Viitattu 15.9.2023. https://energia.fi/wp-content/uploads/2016/08/Teho_ja_vesivirta_SuositusK15_2014.pdf

Euroopan komissio. 2024. Euroopan talousennuste. Lehdistötiedote. Viitattu 19.2.2024. https://finland.representation.ec.europa.eu/uutiset/talven-2024-talousennuste-kasvun-elpyminen-viivastyy-inflaation-hidastuessa-ennustettua-nopeammin-2024-02-15_fi?prefLang=en

I-Hsuan H, Dickson M. 2017. Numerical modeling of heat production using geothermal energy for a snow-melting system. ScienceDirect. Article. Viitattu 20.6.2023. <https://www.sciencedirect.com.libproxy.tuni.fi/science/article/pii/S2352380816300880>

Ilmatieteenlaitos. 2023. Lämmitystarveluku eli astepäiväluku. Verkkosivu. Viitattu 22.9.2023. https://www.ilmatieteenlaitos.fi/lammitystarveluvut?6Q0hW0Ue3EKANmx4TUFVNX_q=y%253D2012

Juvonen J, Lapinlahti T. 2013. Energiakaivo. Maalämmön hyödyntäminen pien-
taloissa. Ympäristöministeriö. Helsinki. Ympäristöopas. Viitattu 5.7.2023.

https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10138/40953/YO_2013.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Jyväskylän kaupunki. n.a. Kävelykadun sulanapitojärjestelmän nykyiset käyt-
tökustannukset. Sähköposti. Viitattu 26.9.2023.

Jyväskylän Yliopisto. 2015. Määrällinen tutkimus. Verkkosivu. Viitattu 1.9.2023.

<https://koppa.jyu.fi/avoimet/hum/menetelmapolkuja/menetelmapolku/tutkimusstrategiat/maarallinen-tutkimus>

Kaksonen J. 2022. Kaukolämmön kysyntäjousto Suomalaisissa asuinrakennuk-
sissa. Energiatekniikan koulutusohjelma. Lappeenrannan teknillinen yliopisto.

Diplomityö. Viitattu 4.8.2023. https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/164488/Diplomityo_Kaksonen_Juho.pdf?sequence=3&isAllowed=y

Kallinen T, Kinnunen T. 2021. Etnografia.Laadullisen tutkimuksen verk-
kokäsi kirja. Yhteiskuntatieteellinen tietoarkisto. Tampere. Viitattu 2.10.2023.

<https://www.fsd.tuni.fi/fi/palvelut/menetelmaopetus/kvali/>

Karhu T. 2022. Toimitilojen energiasaneeraukset ja -tuet. Energiatekniikan kou-
lutusohjelma. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Diplomityö. Viitattu

16.10.2023. https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/164947/diplomityo_tommi_karhu.pdf?sequence=1

Kari A. 2018. Lämpöpumppuhybridiratkaisujen tarkastelu kaukolämpöverkossa.
Energiatekniikan koulutusohjelma. Lappeenrannan teknillinen yliopisto.

Teknillinen tiedekunta LUT. Diplomityö. Viitattu 13.7.2023. [https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/158777/Diplomityo%
c3%b6_Kari_Aino.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/158777/Diplomityo%c3%b6_Kari_Aino.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Kauppinen J. 2020. Lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmien vertailu hankesuunnit-
teluvaiheessa. Energia- ja informaatiotekniikka. Vaasan Yliopisto. Tekniikan ja
innovaatiojohtamisen akateeminen yksikkö. Diplomityö. Viitattu 13.7.2023.

[https://osuva.uwasa.fi/bitstream/handle/10024/10712/UniVaasa_2020_Kaup-
pinen_Joonas.pdf?sequence=2&isAllowed=y](https://osuva.uwasa.fi/bitstream/handle/10024/10712/UniVaasa_2020_Kauppinen_Joonas.pdf?sequence=2&isAllowed=y)

Koivula R. 2015. Kaukolämpöjohdon lämpöhäviöiden talteenotto lämpöpumppu-
teknologian avulla. Energiatekniikan koulutusohjelma. Lappeenrannan tekniil-
linen yliopisto. Diplomityö. Viitattu 4.8.2023.

[https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/116050/Kau-
kol%
a4mp%
b6johdon%
20%
a4mp%
b6h%
a4vi%
b6id-
en%
20talteenotto%
20%
a4mp%
b6pumpputeknolo-
gian%
20avulla.pdf?sequence=2&isAllowed=y](https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/116050/Kaukol%a4mp%b6johdon%20%a4mp%b6h%a4vi%b6iden%20talteenotto%20%a4mp%b6pumpputeknologian%20avulla.pdf?sequence=2&isAllowed=y)

Korhonen J. 2019. SOTE-Kiinteistöjen, erityisesti palveluasumisen, rakennus- ja
käyttökustannusten vertailu. Tampereen Yliopisto. Rakennetun ympäristön tie-
dekunta. Kandidaatintyö. Viitattu 4.8.2023.

<https://trepo.tuni.fi/bitstream/handle/10024/115618/Korhonen.pdf?sequence=2>

Krstic H, Marjenjak S. 2012. HRČAK. Portal of Croatian scientific and professional journals. Review article. Viitattu 4.8.2023.

<https://hrcak.srce.hr/en/file/121594>

Kwesi M, Jong M.C. 2015. Review of technologies for snow melting systems. ProQuest . Journal of Mechanical Science and Technology article. Viitattu 8.7.2023.

<https://www.proquest.com/docview/1977924730?pq-origsite=gscholar&fromopenview=true>

Manner K. 2014. Hiilidioksidikylmälaitoksen ja maalämpöjärjestelmän optimointi liikennemyymäläkiinteistössä. Ympäristö- ja energiatekniikan koulutusohjelma. Tampereen teknillinen yliopisto. Diplomityö. Viitattu 26.6.2013.

<https://trepo.tuni.fi/bitstream/handle/123456789/22040/Manner.pdf?sequence=4&isAllowed=y>

Motiva Oy. 2018. Toimenpiteen taloudellinen kannattavuus.Pdf-tiedosto. Viitattu 11.9.2023.

https://www.motiva.fi/files/14771/Toimenpiteen_taloudellinen_kannattavuus_laskurin_ohje_2018.pdf

Motiva Oy. 2023. Kulutuksen normitus, laskentakaavat ja ohjeet. Pdf-julkaisu.

Viitattu 12.2.2024. https://www.motiva.fi/files/20935/Motiva_Kulutuksennormitus_laskentakaavat-ja-ohjeet_01-2023.pdf

Motiva Oy. 2023. Lämmitysjärjestelmän kustannukset. Verkkosivu. Viitattu 4.8.2023.

https://www.motiva.fi/koti_ ja_ asuminen/rakentaminen/lammitysjarjestelman_valinta/vertaile_lammitysjarjestelmia/lammitysjarjestelman_kustannukset

Musakka J. 2016. Loistehon kompensointi taloyhtiössä. Sähkövoimatekniikan koulutusohjelma. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Insinööriyö. Viitattu 5.12.2023.

https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/113677/Musakka_Tommi.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Nasdaq. 2024. Sähkön markkinahinnat. Verkkosivu. Viitattu 15.1.2024.

<https://www.nasdaqomx.com/transactions/markets/commodities/market-prices>

Nikkola J. 2020. Katujen sulanapitojärjestelmät – ei pelkkää tuhlausta. Laskentatoimi. Jyväskylän yliopisto Kauppakorkeakoulu. Pro gradu -tutkielma. Viitattu 7.6.2023.

<https://jyx.jyu.fi/handle/123456789/73247>

Olkku M. 2010. Tietomallintamisen aiheuttamat muutokset ja hyödyt LVI-suunnitteluprosessissa sekä määrälaskennassa.Energiatekniikan koulutusohjelma. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Diplomityö. Viitattu 7.8.2023.

<https://lut-pub.lut.fi/bitstream/handle/10024/61573/nbnfi-fe201005051796.pdf?sequence=3&isAllowed=y>

Oilon Oy. n.a. Oilon Selection Tool-valintaohjelma. Verkkosivu. Viitattu 1.11.2023.

<https://oilon.com/fi/tuotteet/oilon-selection-tool/>

- Oilon Oy. 2020. Teollisuuslämpöpumput ja vedenjäähdyttimet. Pdf-julkaisu. Viitattu 12.2.2024. https://oilon.com/wp-content/uploads/2020/03/Oilon_ChillHeat_FI.pdf
- Pan P, Shaopeng W, Yue X. 2015. A review on hydronic asphalt pavement for energy harvesting and snow melting. ScienceDirect. Article. Viitattu 19.6.2023. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344921005796>
- Pirinen P, Simola H, Nevala S, Karlsson P, Ruuhea R. 2014. Ilmastonmuutos ja lämmitystarveluku paikkatietoarvioina Suomessa. Ilmatieteenlaitos. Raportti. Viitattu 22.9.2023. <https://helda.helsinki.fi/server/api/core/bitstreams/c01b29f1-4713-469d-8b9c-c2e249c80f9c/content>
- Prakhovik A. 2013. Improving snow melt systems energy performance. Telemark University College. Faculty of Teknology. Master Thesis. Viitattu 13.7.2023. https://openarchive.usn.no/usn-xmlui/bitstream/handle/11250/2439053/Prakhovnik_Arthur.pdf?sequence=2&isAllowed=y
- Pulakka S, Heimonen I, Junnonen J-P, Vuolle M. 2007. Talotekniikan elinkaarikustannukset. VTT-tiedotteita. Pdf-julkaisu. Viitattu 4.8.2023. <https://publications.vtt.fi/pdf/tiedotteet/2007/T2409.pdf>
- Pöyry Oy. 2017. Kaksisuuntaisen kaukolämmön liiketoimintamallit. Raportti. Pdf-julkaisu. Viitattu. 21.4.2024. https://www.sitra.fi/app/uploads/2017/02/Kaksisuuntaisen_kaukolammon_liiketoimintamallit-2.pdf
- Pöyry Oy. 2011. Kaukolämmön lämmönjakokeskusten kytkennät ja lämmönsiirtimien mitoituslämpötilat. Selvitys. Verkkosivu. Viitattu. 21.5.2024. <https://docplayer.fi/15739893-Selvitys-energiateollisuus-ry-kaukolampo-mirja-tiitinen-energia-fi-jari-kostama-energia-fi.html>
- RAKLI Ry. 2012. Kiinteistöliiketoiminnan sanasto, 2.laitos. Sanastokeskus TSK. Pdf-julkaisu. Viitattu 4.8.2023. https://sanastokeskus.fi/tiedostot/pdf/Kiinteistoliiketoiminnan_sanasto2.pdf?file=pdf/Kiinteistoliiketoiminnan_sanasto2.pdf
- Robert F, Gosselin L. 2014. New methodology to design ground coupled heat pump systems based on total cost minimization. Applied Thermal Engineering. ScienceDirect. Article. Viitattu 4.8.2023. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359431113005589>
- Rototec Oy. n.a. Energiakaivojen toteuttaminen. Sähköposti. Viitattu 2.11.2023.
- Räisä J. 2013. Maalämpöpumppulaboratorio oppimisympäristönä. Ympäristötekniikan koulutusohjelma. Mikkelin Ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö. Viitattu 24.3.2024. <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/59560/Opinnaytetyo%2016052013.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Sanner B, Karytsas C, Mendrinis D, Rybach L. 2003. Current status of ground source heat pumps and underground thermal energy storage in Europe. ScienceDirect. Article. Viitattu 21.5.2024. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0375650503000609?via%3Dihub>

Savo Voima Oy. n.a. Sähkövero ja sähköveroluokka. Verkkosivu. Viitattu 19.2.2024. <https://savonvoima.fi/sahkovero/>

Sipilä K, Kirjavainen M, Ritola J, Kivikoski H. 2001. Liikenne- ja yleisten alueiden sulanapitojärjestelmät. Energiatalous ja tekninen toteutus. VTT Energia & VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka. VTT tiedotteita. Pdf-julkaisu. Viitattu 6.12.2022. <https://www.vttresearch.com/sites/default/files/pdf/tiedotteet/2001/T2113.pdf>

SOL-Kiinteistöpalvelut Oy. n.a. Jyväskylän Kävelykadun kaukolämpöjärjestelmän toiminta. Kohdekäynti. Viitattu 1.12.2023.

Suomen Pankki. 2023. Korot. Viitattu 15.1.2024. <https://www.suomenpankki.fi/fi/Tilastot/korot/>

Turunen J.T. 2021. Kiinteistön hybridilämmitys ja viilennys. Talotekniikan koulutusohjelma. Metropolia Ammattikorkeakoulu. YAMK-opinnäytetyö. Viitattu 17.10.2023. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/501014/turunen_jaana.pdf?sequence=4&isAllowed=y

Tölli H. 2017. Nestekiertoisen sulanapitojärjestelmän säädön ja energiankulutuksen tarkastelu lämmönsiirtomallin avulla. Energia- ja LVI-tekniikka. Aalto-yliopisto. Diplomityö. Viitattu 6.12.2022. <https://aaltodoc.aalto.fi/handle/123456789/29351?show=full>

Varjomaa M. 2021. Maalämpöjärjestelmän vaikutukset elinkaarikustannuksiin uusissa asuinkerrostaloissa. Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma. Tampereen yliopisto. Diplomityö. Viitattu 24.4.2024. <https://trepo.tuni.fi/bitstream/handle/10024/132308/VarjonmaaMiika.pdf?sequence=2>

Vilka H. 2007. Tutki ja mittaa. Määrällisen tutkimuksen perusteet. Oppikirja. Pdf-julkaisu. Viitattu 2.10.2023. https://trepo.tuni.fi/bitstream/handle/10024/98723/Tutki-ja-mittaa_2007.pdf

Virtanen V-M. 2020. Ei-polttoon perustuvat lämmöntuotantoteknologiat kaukolämmön tuotannossa case Leppävirta. Energiatekniikan koulutusohjelma. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Diplomityö. Viitattu 5.7.2023. <https://lut-pub.lut.fi/bitstream/handle/10024/161475/Diplomity%c3%b6%20Virtanen%20Veli-Matti.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Ympäristöministeriö. 2012. Lämpöpumppujen energialaskentaopas. Rakentamismääräykset. Energiatehokkuus. Pdf-julkaisu. Viitattu 6.9.2023. <https://ym.fi/rakentamismaaraykset>

Ympäristöministeriö. 2018. Energiatehokkuus. Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskeminen. Asetuksiin liittyvät ohjeet. Rakentamismääräykset. Pdf-julkaisu. Viitattu 6.9.2023. <https://ym.fi/rakentamismaaraykset>

LIITTEET

Liite 1. Kaukolämmön hinnat (ALVA OY 2023; ALVA OY 2024.)

Lämpö erikoishinnoitellut

PERUSMAKSU

Erikoishinnoitelluissa kohteissa kaukolämmön kuukausittainen perusmaksu muodostuu oheisen taulukon mukaisesti.

TILAUSVESIVIRTA Q m ³ /h	PERUSMAKSU €/kk
0-0,5	$(2557 \times Q):12$
0,5-5,0	$(109 + 2339 \times Q):12$
5,0-15,0	$(7284 + 904 \times Q):12$
15,0-50,0	$(13629 + 481 \times Q):12$
50,0-	$(20479 + 344 \times Q):12$

Q on lämpösoimuksessa sovittu tilausvesivirta m³/h.

ENERGIAMAKSU €/MWh	53,72
---------------------------	-------

Lämpö erikoishinnoitellut

PERUSMAKSU

Erikoishinnoitelluissa kohteissa kaukolämmön kuukausittainen perusmaksu muodostuu oheisen taulukon mukaisesti.

TILAUSVESIVIRTA Q m ³ /h	PERUSMAKSU €/kk
0-0,5	$(2647 \times Q):12$
0,5-5,0	$(113 + 2421 \times Q):12$
5,0-15,0	$(7538 + 936 \times Q):12$
15,0-50,0	$(14108 + 498 \times Q):12$
50,0-	$(21208 + 356 \times Q):12$

Q on lämpösoimuksessa sovittu tilausvesivirta m³/h.

ENERGIAMAKSU €/MWh	56,57
---------------------------	-------

Liite 2. Sähkön siirron hinnat (ALVA OY 2024.)



Alva Sähköverkko Oy vastaa sähkön verkkopalvelusta, joka mahdollistaa voimalaitoksissa tuotetun sähkön siirtämisen yhtiön verkkoalueella oleville asiakkaille. Toiminta on luvanvaraista. Sähkön verkkopalvelua ei voi kilpailuttaa sähkön myynnin tapaan, mutta verkkopalveluhinnittelun kohtuullisuutta valvoo Energiavirasto. Verkkoyhtiölle maksettavan verkkopalvelumaksun lisäksi sähkön verkkopalvelulaskulla peritään sähkövero, valtion huoltovarmuusmaksu sekä arvonlisävero.

Yksityis- ja yritysasiakkaille alv 24 %

YLEISSIIRTO 5	Mittarin etusulake	Hinta
Perusmaksu €/kk	1x25-35A	3,35
	3x25A	5,01
Energiamaksu snt/kWh		1,93

Yleissiirto 5 -tuote on tarkoitettu vain niille 1x25/35 A ja 3x25 A käyttöpaikoille, jotka ovat vähintään viiden käyttöpaikan liittyessä.

YLEISSIIRTO	Mittarin etusulake	Hinta
Perusmaksu €/kk	1x25-35A	5,82
	3x25A	10,11
	3x35A	18,04
	3x50A	32,28
	3x63A	42,63
Energiamaksu snt/kWh		1,93

KAUSISIIRTO	Mittarin etusulake	Hinta
Perusmaksu €/kk	3x25A	21,99
	3x35A	39,20
	3x50A	68,15
	3x63A	95,57
Energiamaksu talviarki snt/kWh		1,86
Energiamaksu muu aika snt/kWh		1,18

Kausisiirron aikajako jakautuu talviarkipäivään ja muuhun aikaan. Talviarkipäivä on 1.11.-31.3. ma-ta klo 7-22.

Verkosta otettavan loistehon ilmaisuus on sulakepohjaisilla tuotteilla 40 % mittarin etusulakkeen määrittämästä nimellistehosta. Loistehomaksu €/kvar, kk 5,41

VIKSIIRTO (poistuva tuote)	Hinta
Energiamaksu snt/kWh	4,48

Vuosisiirto on mittamatonta sähkönsiirtoa tasaisella kulutuksella.

PIENTUOTANTO

Pientuotannon sopimusasiakkaille: Tuotanto verkkoon snt/kWh	0,0868
--	--------

Sähkön verkkopalveluhinnasto

1.1.2022 alkaen - Hinnat sisältävät arvonlisäveron (24 %)

Sähkövero sis. huoltovarmuusmaksun	
veroluokka I snt/kWh	2,79372
veroluokka II snt/kWh	0,07812
Verkkopalvelun energiamaksuun lisätään kulloinkin voimassaolevat sähköverot arvonlisäveroinen.	

Yritysasiakkaille alv 24 %

Tehosiirron laskutustehot määräytyvät tunnin keskiteton perusteella. Tehosiirron laskutusjärjestelmä määräytyy liukuvasti viimeisimmän 12 kuukauden suurimman kuukausihuipputehon mukaan.

Tehosiirtojen kuukauden loistehohuipusta on ilmaista 25 % saman kuukauden päättehuipusta laskien (loistehon otto verkosta). Loistehosta laskutetaan tehohinnaston yksikköhinnan mukaisesti.

2-äkkäisen pienteho- sekä teho siirron aikajako jakautuu talviarkipäivään ja muuhun aikaan. Talviarkipäivä on 1.11.-31.3. ma-ta klo 7-22.

PIENTEHOSIIRTO 1-AIKAINEN (0,4 kV)	Hinta
Perusmaksu €/kk	134,06
Tehomaksu €/kWhkk	2,19
Loistehomaksu €/kvar,kk	5,41
Energiamaksu snt/kWh	1,24

PIENTEHOSIIRTO 2-AIKAINEN	Hinta
Perusmaksu €/kk	134,06
Tehomaksu €/kWhkk	2,19
Loistehomaksu €/kvar,kk	5,41
Energiamaksu talviarki snt/kWh	1,71
Energiamaksu muu aika snt/kWh	1,10

TEHOSIIRTO 1-AIKAINEN	Hinta
Perusmaksu €/kk	147,46
Tehomaksu €/kWhkk	2,02
Loistehomaksu €/kvar,kk	5,41
Energiamaksu snt/kWh	1,02

TEHOSIIRTO 2-AIKAINEN	Hinta
Perusmaksu €/kk	147,46
Tehomaksu €/kWhkk	2,02
Loistehomaksu €/kvar,kk	5,41
Energiamaksu talviarki snt/kWh	1,55
Energiamaksu muu aika snt/kWh	0,89