

Opinnäytetyö AMK
LVI-tekniikka

2022

Jouni Ollikainen

POISTOILMALÄMPÖPUMPPU- JÄRJESTELMÄN KANNATTAVUUDEN SELVITTÄMINEN KERROSTALOSSA


TURKU AMK
TURKU UNIVERSITY OF
APPLIED SCIENCES

Jouni Ollikainen

POISTOILMALÄMPÖPUMPPUJÄRJESTELMÄN KANNATTAVUUDEN SELVITTÄMINEN KERROSTALOSSA

Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää linjasaneerauksen yhteydessä tehtävät energiatehokkuutta parantavat LVI-talotekniset keinot. Opinnäytetyössä tutkittiin poistoilmalämpöpumppujärjestelmän (PILP) kannattavuutta Varsinais-Suomessa sijaitsevaan 1970-luvulla rakennettuun taloyhtiöön, joka käsittää kaksi erillistä kerrostaloa.

Kannattavuuslaskelmat pohjautuvat isännöitsijätodistuksessa ilmoitettuihin tietoihin sekä taloyhtiöltä saatuun tietoon. Rakennuksen nykyinen kulutus kaukolämmöllä on 390 MWh vuodessa. Poistoilman lämmöntalteenottoon vaihdettaessa lämmitysjärjestelmän laskennallinen energiankulutus on 174 MWh vuodessa. Täten saneerauksen jälkeinen kulutus pienenee 216 MWh vuodessa ja järjestelmän takaisinmaksuaika on arviolta 15 vuotta.

Vanhassa kerrostalossa energiatehokkuutta voidaan parantaa korjaamalla rakennuskantaa sekä taloteknisillä järjestelmillä, kuten lämmöntalteenotolla ja lämpöpumpulla. Selvitys ja laskelmat osoittivat, että poistoilman lämmöntalteenoton käyttäminen vanhassa kerrostalossa energiatehokkuuden parantamiseksi on varteenotettava vaihtoehto.

ASIASANAT:

Poistoilman lämmöntalteenotto, energiatehokkuus, energiansäästö, talotekniikka.

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

HVAC Engineering

2022 | 48 + 1

Jouni Ollikainen

INVESTIGATION OF PROFITABILITY OF EXHAUST AIR HEAT PUMP SYSTEM IN AN APARTMENT BLOCK

The aim of the thesis was to find out the HVAC building technology measures that improve energy efficiency in connection with line renovation. In the thesis the profitability of an exhaust air heat pump system (PILP) was investigated in a housing company built in the 1970s in Southwest Finland, which included two separate apartment buildings. Profitability calculations were obtained on the basis of a property manager's certificate and information received from the housing association. The current consumption of district heating by the building is about 390 MWh per year. When switching to heat recovery, the heating system can reduce energy consumption by about 216 MWh per year. Consumption after the renovation is about 174 MWh per year. Therefore, the payback period for the system will be about 15 years. In an old apartment building, energy savings can be improved by repairing the building stock as well as with building services systems such as a heat pump. The study and calculations showed that the use of heat recovery in an old block of flats to improve energy efficiency is a viable option.

KEYWORDS:

Exhaust air heat pump system, energy efficiency, energy saving, technical building systems.

SISÄLTÖ

KÄYTETYT LYHENTEET	7
1 JOHDANTO	8
2 KERROSTALOT SUOMESSA	9
2.1 Kerrostalorakentamisen historia ja kerrostalotyypit	9
2.2 Lämmitys	10
2.3 Käyttövesi ja viemäri	11
2.4 Ilmanvaihto	12
3 KORJAUSRAKENTAMINEN	14
3.1 Korjausrakentamista koskevat määräykset ja ohjeet	14
3.2 Korjausrakentamishanke taloyhtiössä	15
3.3 Korjausrakentamiseen myönnettävät avustukset	16
4 POISTOILMALÄMPÖPUMPPU	17
4.1 Poistoilmalämpöpumpun toiminta kerrostalossa	17
4.2 Poistoilmalämpöpumpun rakenne ja käyttökohteet	19
4.3 Poistoilmalämpöpumpumallit	20
4.4 Poistoilmalämpöpumpun edut	23
4.5 Huomioitavia asioita	24
5 POISTOILMAMÄÄRÄN VAIKUTUS LÄMPÖPUMPUJÄRJESTELMÄSSÄ	26
5.1 Poistoilmamäärän vaikutus energiamäärään	26
5.2 Poistoilmamäärä suhteutettuna rakennuksen kokoon	28
5.3 Arvioidut takaisinmaksuajat pumpuille	29
6 TARKASTELTAVA KOHDE	30
6.1 Perustiedot	30
6.2 Saneerauslaajuus	31
6.3 Järjestelmän kartoitus kohteeseen	32
7 POISTOILMAN LÄMMÖNTALTEENOTTOJÄRJESTELMÄN MITOITUS KOHTEESEEN	36
7.1 Kytkenä	36

7.2 Etäyhteys	37
7.3 Mitoitus	38
7.4 Kaukolämmön kulutus	40
7.5 Järjestelmän takaisinmaksuajan määrittäminen	41
7.6 Järjestelmän takaisinmaksuajan määrittäminen nykyarvomenetelmällä	42
7.7 Sijoitetun pääoman tuotto PILP-järjestelmällä	43
7.8 PILP-järjestelmän kannattavuuslaskentaan vaikuttavat seikat	45
8 YHTEENVETO	46
LÄHTEET	47

LIITTEET

Liite 1. Kytkentäkaavio

KUVAT

Kuva 1. Korjaushankkeen vaiheet	11
Kuva 2. Kuva 1. PILP-ratkaisun periaatekuva (Taloyhtiön energiakirja, 2011)	18
Kuva 3. Kerrostalon lämpötase 60 - 80 -luvun kerrostaloissa. (Taloyhtiön energiakirja, 2011)	19
Kuva 4. Poistoilmalämpöpumpun toimintaperiaate	21
Kuva 5. Poistoilmalämpöpumpun toimintaperiaate suora höyrystyksellä	21
Kuva 6. Poistoilmalämpöpumpun toimintaperiaate epäsuoralla höyrystyksellä	22
Kuva 7. Hybriijärjestelmän toimintaperiaate	23
Kuva 8. Kohde	32

Kuva 9. Vanha Kaukolämpöpaketti	33
Kuva 10. Katolla sijaitseva puhallinhuone	35
Kuva 11. Pumppuyksiköt lämmönjakohuoneessa	36
Kuva 12. Käyttöveden ja lämmityspiirin varaajat järjestelmälle	37
Kuva 13. Maalämpöpaketti	39
Kuva 14. Talotohtori periaatekuva (tyokaari.fi)	40
Kuva 15. Diskontattu takaisinmaksuaika	43

KÄYTETYT LYHENTEET

LTO	Lämmöntalteenottojärjestelmä
PILP	Poistoilmalämpöpumppu
LVIS-saneeraus	Lämpö-, vesi-, ilmanvaihto- ja sähköjärjestelmien uusiminen
SCOP	Lämmityskauden hyötysuhde
COP	Hyötysuhde

1 JOHDANTO

Suomessa on noin 62 000 asuinkerrostaloa, joista edelleen suurin osa on rakennettu 1960–1980-luvulla, joten erilaiset korjaustoimenpiteet ovat ajankohtaisia. Energianhintojen nousu sekä energiatehokkuutta parantavien toimenpiteiden vaatimukset ja toisaalta toimenpiteistä maksettavat avustukset ovat kannustaneet taloyhtiöitä tekemään saneerauksissa energiatehokkaampia ratkaisuja.

Suuret rakennukset, joissa on koneellinen poistoilmanvaihto ilman lämmöntalteenottoa tuottavat valtavan määrän hukkalämpöä: Ilmanvaihdon kautta lämmitysenergiaa poistuu asunnoista ulkoilmaan jopa kolmannes. Tämän kaltaisissa rakennuksissa on suuri potentiaali energiasaneeraustoimenpiteille, kuten esimerkiksi poistoilmalämpöpumpun asentamiselle.

Opinnäytetyössä selvitetään poistoilmalämpöpumpun toimintaa ja kannattavuutta Varsinais-Suomessa sijaitsevassa taloyhtiössä, joka käsittää kaksi samankokoista kerrostaloa. Kyseinen kohde on tyypillinen edellä mainitun kaltainen kohde: 1960–1980-luvulla rakennettu kerrostalo varustettuna koneellisella poistoilmanvaihdolla. Kustannus- ja kulutusvertailun lähtökohtana on kohteessa ennen saneerausta käytössä ollut vuonna 2014 uusittu poistoilmavaihtojärjestelmä.

Opinnäytetyössä käydään läpi myös kerrostalojen historiaa korjausrakentamisen ja talotekniikan osilta.

2 KERROSTALOT SUOMESSA

Tyypillisesti kerrostalo on kiviaineinen, esimerkiksi teräsbetonielementeistä koottu 3–5-kerroksinen ja 2–4 porrashuoneinen rakennus, jonka kussakin kerroksessa on 2–5 asuntoa. Kerrostaloasunnossa on tyypillisesti yhdestä neljään huonetta kaksion ollessa yleisin huoneistotyyppi Suomessa. Huoneistot käsittävät vaihtelevasti olohuoneen, makuuhuoneen, kylpyhuoneen sekä keittiön. Kerrostalon yleisiin tiloihin kuuluvat lähes poikkeuksetta pesutupa, kuivaushuone, irtainvarasto, sauna, kylmiö, ullakko, väestönsuoja ja hissi. (31)

2.1 Kerrostalorakentamisen historia ja kerrostalotyypit

Kerrostalo luokitellaan rakennukseksi, joka pitää sisällään vähintään kolme asuntoa, joista kaksi on päällekkäin. Asuinkerrostaloja alettiin rakentamaan Suomen kaupunkeihin, erityisesti Helsinkiin jo 1800-luvulla. Alkuun kerrostaloissa oli yleisesti kolmesta neljään kerrosta, mutta 1800-luvun lopulla alettiin Helsingin suurimpiin kaupunginosiin rakentaa jo seitsemänkerroksisiakin kerrostaloja. Kerrostalorakentamisen murros tapahtui 1960-luvulla, kun ihmiset muuttivat joukolla maalta kaupunkeihin sodan jälkeisen pulajan jälkeen ja rakennusteollisuuden nousukausi alkoi elementtirakentamisen myötä. Tämän johdosta ennen 1940-lukua rakennettuja kerrostaloja on enää alle 10 % maamme kerrostalokannasta. Yli 60 % kerrostaloista on rakennettu vuoden 1970 jälkeen. (31 & 34)

Suuri osa kerrostaloista kuuluu asunto-osakeyhtiöille, joiden osakkeita asukkaat omistavat ja saavat näin hallita omaa asuntoaan. Osa kerrostaloista on suurten yhtiöiden tai kaupunkien omistuksessa, jotka puolestaan vuokraavat asuntoja asukkaille. Uusimmissa kerrostaloissa on myös asumisoikeusasuntoja sekä osaomistusasuntoja, joissa asukas omistaa asumisoikeuden rakennuttajayhtiön omistamaan asuntoon. Asumisoikeusmaksu on yleensä noin 10–30 % asunnon hankintahinnasta ja sen jälkeen kuukausittaista käyttövastiketta maksamalla saa oikeuden asunnon hallintaan omistusasunnon tapaan. Asumisoikeusasuntoa ei voi kuitenkaan lunastaa omaksi, toisin kuin osaomistusasuntoa. Osaomistusasunnossa maksetaan yleensä noin 20–30 % asunnon hankintahinnasta ja siinä asutaan vuokralla ensimmäiset vuodet, jonka jälkeen asunto lunastetaan omaksi. (32, s. 246–247)

2.2 Lämmitys

1800-luvulla huonekohtainen uunilämmitys oli kerrostalojen yleisin lämmitysmuoto 1910-luvulle asti, kunnes rakennuksissa yleistyi vähitellen keskuslämmitys. Ensimmäinen keskuslämmitys asuinkerrostaloon Suomessa asennettiin tiettävästi vuonna 1886. Ensin keskuslämmitystä kokeiltiin höyrylämmitteisenä, mutta kokeilujen jälkeen vesikiertoinen keskuslämmitys vakiintui yleisimmäksi järjestelmäksi ja se onkin vielä nykyäänkin yleisin keskuslämmitystapa. (32, s. 69)

Ensimmäiset vesikiertoiset keskuslämmitykset olivat painovoimakiertoisia radiaattori-lämmityksiä, jonka toiminta perustui kylmän ja kuuman veden tiheyseroon. Järjestelmä edellytti varsin suuria putkikokoja. Kattilan lämmityksen hoiti tavallisesti talonmies. Vuonna 1950 otettiin käyttöön ensimmäinen kaukolämpöverkosto Helsingin Olympiakylässä ja samoihin aikoihin alettiin käyttää myös kiertovesipumppuja lämmityksessä. Tämä mahdollisti pienemmät putkikoot ja raskaiden valurautaradiaattoreiden vaihtamisen kevyempiin teräslevypattereihin. Ensimmäiset lattialämmitykset näkivät päivänvalon rakennuksissa samoihin aikoihin, mikä mahdollisti tilaa vievien pattereiden jättämisen pois ja lattiaan ulottuvien ikkunoiden käytön. (32, s. 113)

Vuodesta 1960 lähtien yleisin lämmitysmuoto on ollut alue- tai kaukolämpöverkoston kytketty pumppukiertoinen kaksiputkipatterilämmitys, jossa on erilliset kerrosten läpi kulkevat nousulinjat sekä meno- että paluuvettä varten. 1990-luvulla alkoi yleistyä asuntajakotukijärjestelmä, jossa runkolinjat sijoitettiin porrashuoneisiin, josta ne liittyvät huoneistokohtaiseen jakotukkeihin. Jakotukilta vaakavedot kulkevat pattereille muoviputkissa lattiarakenteiden sisällä. Tämä mahdollisti huoneistokohtainen lämpöenergiankulutuksen mittaaminen. (32, s. 181)

Nykyäänkin kaukolämmitykseen liitetty vesikiertoinen patterikeskuslämmitys on yleisin lämmitysmuoto kerrostaloille. Asumisen vaatimustason kasvaessa lattialämmitys on alkanut yleistyä uusissa kerrostaloissa muun muassa suurempien ikkunakokojen ja ääni-vaatimusten vuoksi. (32, s. 230)

2.3 Käyttövesi ja viemäri

Vesijohtojen asentaminen vanhoihin ja uusiin rakennuksiin alkoi Helsingissä vuonna 1876 ja 1900-luvun ensimmäisinä vuosina vesilaitoksia otettiin käyttöön suurimmissa kaupungeissa, muun muassa Oulussa (1901), Tampereella (1901) ja Turussa (1903). Aluksi vesi tuli rakennuksiin kylmänä ja se lämmitettiin käyttötarpeisiin huoneistokohtaisesti keittiön tulisijojen yhteyteen rakennetuissa kuumavesisäiliöissä. Ensimmäiset vesikäymälät otettiin käyttöön 1880-luvulla, mutta ne yleistyivät kerrostaloissa vasta 1900-luvun alkuvuosina. Pesuhuoneissa oli tällöin pesuammeet kylvyssä käyntiä varten. Huoneistokohtaiset kaasulla toimivat vedenlämmittimet yleistyivät niiden vaivattomuuden vuoksi, mutta keskuslämmitykseen siirtyminen 1910–1920-luvuilla syrjäytti huoneistokohtaiset vedenlämmittimet. Yleensä käyttöveden lämmitystä varten oli oma erillinen lämmityskattilansa. Kylmävesijohdot olivat rakennusten sisällä yleisesti galvanoimatonta terästä ja niistä irtosi ruostetta käyttöveteen. Galvanoituihin teräsputkiin siirryttiin vasta 1920-luvun alussa. Lämminvesijohdot olivat tuolloin kuparia ja viemärit muhwillisia valurautaputkia. (32, s. 69)

1950-luvulta lähtien myös kylmävesijohtoja alettiin tehdä kupariputkillä. Muoviviemäreiden valmistus alkoi 1965, mutta niiden liitosten pitävyyteen ja lämmönkestävyyteen liittyvät ongelmat johtivat siihen, etteivät viemärit heti yleistyneet. Vuoden 1971 jälkeen muhwilliset valurautaviemärit vaihdettiin punaiseksi maalattuihin pantaliitoksilla oleviin valurautaviemäriin. Vuonna 1975 muoviviemäreiden käyttö kuitenkin yleistyi huomattavasti muhwillisten PVC-HT-viemäreiden tultua markkinoille. Myös muoviputkien käyttö vesijohdoissa alkoi yleistymään näinä aikoina. (32, s. 181–182)

1990-luvulla alkoi vedensäästöbuumi, jonka seurauksena alettiin suosia suihkuja kylpyammeiden sijaan. Myös vettä säästävät yksioteseikoittajat yleistyivät ja huoneistokohtaiset vesimittarit alkoivat yleistyä. Yleinen tapa 1990-luvulla ja yhä nykyäänkin on tuoda lämmitysputkien tapaan vesi- ja viemäriputkien pystykuilut porrashuoneisiin, jolloin kaikki talotekniikka voidaan tuoda asuntoihin vaakasuunnassa välipohjia lävistämättä jakotukien kautta muoviputkillä, jotka kulkevat suojauputkissa lattian pintarakenteiden alla. (32, s. 230–232)

2.4 Ilmanvaihto

Ilmanvaihto toteutettiin 1800-luvun lopulla painovoimaisesti tulisijan savuhormin kautta perustuen lämpimän ja kylmän ilman tiheyseroon sekä tuulen aiheuttamiin paine-eroihin. Tulisijalämmitteisissä taloissa ilmanvaihto oli siis kytköksissä tulisijaan, jolloin uunia käytettäessä tulihormit toimivat myös tehokkaina poistoilmakanavina. Raitis ulkoilma saatiin muurattujen raitisilmakanavien kautta, joita kutsuttiin ”kissanluukuiksi”. Kissanluukkuja oli mahdollista säätää jousen avulla. Pitkät pystyhormit saivat aikaan paremman vedon alimpiin huoneisiin, ylemmissä kerroksissa ilma vaihtui heikommin. Suurimmillaan ilmanvaihto oli talvella suurten lämpötilaerojen vuoksi, kesällä jouduttiin monesti avaamaan ikkunoita ilman vaihtuvuuden aikaansaamiseksi. (32, s. 70)

Myöhemmin 1920-luvulla ilmanvaihdon toimintaperiaate oli sama; se tapahtui painovoimaisesti. Tällöin alettiin suosia erillisiä poistoilmakanavia savuhormien sijaan ja kanavat sijoitettiin vedon takaamiseksi rakennusten keskiosiin, jottei kylmä ulkoseinä estä lämpimän poistoilman ylösnousemista. Jokaisella huoneella oli oma poistoilmakanavansa, jotka kuitenkin saatettiin liittää yhteiseen kokoojakanavaan ullakkolla, joka johdettiin vesikatolle. Raitisilmakanavat tehtiin edelleen muuraamalla, mutta myös ikkunalautaan tai sen alle sijoitettavat rakoventtiilit alkoivat yleistyä. Poistoilmavaihtoa alettiin tehostamaan vesikatolle poistoilmakanavan päähän asennettavien roottori-imureiden avulla, jotka tuulen vaikutuksesta saivat poistokanavaan lisää imua. (32, s. 114–117)

Painovoimainen ilmanvaihto oli yleisin ilmanvaihtotapa 1950-luvun puoliväliin asti, kunnes rakennushallitus hyväksyi Suomen Puhallintehdas Oy:n SP yhteiskanavajärjestelmän ja näin yhteiskanavapoistojärjestelmät alkoivat yleistyä kerrostaloissa. Poistoilmaventtiilit sijoitettiin vanhaan tapaan keittiöihin, vaatehuoneisiin sekä WC- ja kylpyhuone-tiloihin. Aiemmasta poiketen eri kerroksissa sijaitsevat samat tilat liitettiin yhteiseen kerrosten läpi kulkevaan pystysuoraan muurattuun poistoilmakanavaan, joka johti ullakolla olevaan puhallinkammioon, josta ilma poistui koko rakennuksesta. Yhteiskanavapoistojärjestelmä mahdollisti sääolosuhteista riippumattoman toiminnan sekä vähäisen tilantarpeen, millä saatiin enemmän asuinneliöitä käytettäväksi ja tietenkin myytäväksi. Haittapuolina järjestelmä toi melu- ja hajuhaittoja, paloturvallisuus heikentyi ja raitis ilma piti ottaa eri reittiä kuin ennen, sillä kammionpuhallin imi ilmaa ikkunoiden ja ovien sekä rakenteiden väliin jääneiden rakojen kautta. (32, s. 114–117)

Vuosina 1960–1975 käytettiin 3–4-kerroksisissa kerrostaloissa tavallisimmin painovoimaista ilmanvaihtoa – muuten yhteiskanavapoistojärjestelmä oli yleisin järjestelmä. Samoihin aikoihin alettiin käyttämään myös kierresaumattuja peltikanavia betonisten valmisselementtihormien sijaan. Tavallinen korvausilmatapa oli poistaa ikkunaa asennettaessa osa sisäpuiteen tiivisteestä tai luottaa ulkoseinän rakenteen hataruuteen. Puhaltimet olivat tällöin jo kaksinopeuksisia, jonka vuoksi taloon saatiin tehostettu ilmanvaihto tietyksi aikaa vuorokautta normaalin ilmanvaihdon lisäksi. (32, s. 188)

Vuodesta 1975 eteenpäin yhä yleisin ilmanvaihdon muoto oli yhteiskanavapoisto. Keittion poistoilmaventtiili sijoitettiin liesikuvun yhteyteen. Poistoilmapuhaltimiin tuli termostaatit, jotka estivät suuremman kierrosluvun käytön lämpötilan ollessa alle -10 °C . Vuonna 1988 astuivat voimaan uudet määräykset, jotka edellyttivät uudenlaisia raitisilmaratkaisuja; taloihin alettiin asentamaan seinäventtiileitä, ikkunakarmiventtiileitä ja myös erikoisrakenteisia tuloilmaikkunoita asennettiin. Ongelmana koneellisessa poistoilmassa oli kuitenkin se, että sen myötä jopa yli kolmannes rakennuksen lämmitysenergiasta meni hukkaan, joten uusia energiatehokkaampia ratkaisuja oli kehitettävä. (32, s. 232–233)

Nykyäikää vastaavat koneellisella tulo- ja poistoilmavaihdolla varustetut ilmanvaihtojärjestelmät tulivat muutamiin koekohteisiin 1970–1980-luvulla, mutta alkoivat yleistymään vasta 1990-luvulla. Tuloilma johdetaan peltikanavilla vain puhtaisiin tiloihin: puhtaksi tiloiksi luokitellaan huoneistojen makuu- ja olohuoneet. Poistoilmapeltikanavat johdettiin likaisiin tiloihin eli wc-, kylpyhuone-, keittiö- ja vaatehuonetiloihin. Uusi järjestelmä mahdollisti myös energiataloudellisuutta edistävän lämmöntalteenoton, joka siirtää lämpimästä poistoilmasta lämpöenergiaa kylmään tuloilmaan, jottei tuloilmaa tarvitse lämmitellä niin paljon eikä toisaalta tarvitse puhaltaa niin kylmänä huoneistoihin. Liian viileä tuloilma on veto- ja käyttömukavuusriski. Koska järjestelmässä on suodattimet, myös ilmanlaatu paranee rakennuksessa. Järjestelmät ovat keskitettyjä tai huonekohtaisia. Huonekohtainen ilmanvaihtokone mahdollistaa paremmat säätömahdollisuudet huonekohtaisesti kun taas keskitetyssä mallissa talolla on yhteinen ilmanvaihtokone, jolloin huonekohtaiset säädöt ovat rajatumpia, mutta toteuttaminen ja huoltaminen edullisempaa. (32, s. 233)

3 KORJAUSRAKENTAMINEN

Korjausrakentamisella eli saneerauksella tarkoitetaan rakennuksen korjaus- tai muutostoimenpidettä. Korjausrakentaminen on osa jokaisen talon ja huoneiston elinkaarta ja korjaustoimenpiteiden tarkoituksena on turvata rakennuksen käyttökelpoisuutta, jatkaa rakennuksen käyttöikä, pitää yllä rakennuksen rahallista arvoa, uudistaa rakennusta muuttuviin nykyajan tarpeisiin, parantaa energiatehokkuutta ja säilyttää sen arvokkaita ominaispiirteitä. Rakennuksen käyttöiän aikana ei talotekniikkasaneerausta tavallisesti montaa kertaa tulla tekemään, sillä usein saneeraus tehdään yhdellä kerralla laajemmilta osin. Rakennuksen ja sen järjestelmien säännöllisillä hoito- ja huoltotoimenpiteillä pidennetään rakennusosien käyttöikä ja vähennetään järjestelmien huoltotarvetta. (32, s. 246)

3.1 Korjausrakentamista koskevat määräykset ja ohjeet

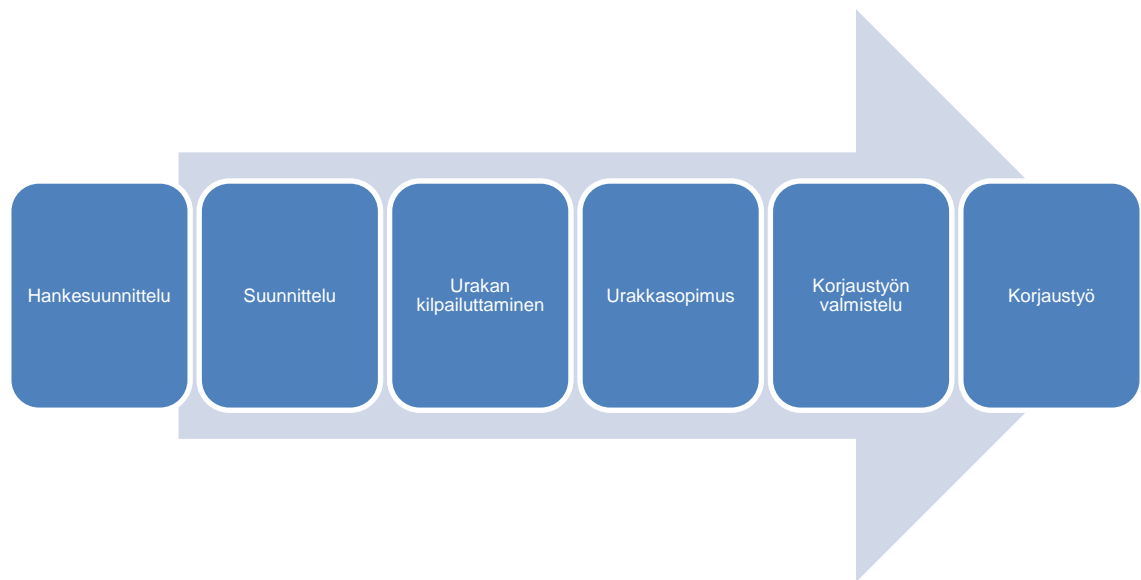
Korjaus- ja perusparannustoimenpiteitä tehdessä on noudatettava nykyisiä korjausrakentamismääräyksiä. Nykyisiä korjausrakentamismääräyksiä ei kuitenkaan kaikissa tapauksissa pystytä soveltamaan, joten on rakennusteknisesti turvallista käyttää rakennuksen valmistumisajan aikaisia määräyksiä, sillä eri aikakausien rakennustekniset ratkaisut saattavat poiketa toisistaan huomattavasti. Muutosten johdosta rakennuksen käyttäjien turvallisuus ei saa vaarantua eikä heidän terveydelliset olonsa heikentyä. (6 & 34)

Yleiset määräykset ja ohjeistukset:

- Suomen rakentamismääräyskokoelma
- Suomen rakentamista koskevat lait ja asetukset
- Kaupungin rakentamista koskevat säännöt ja ohjeet, sekä viranomaisten vaatimukset
- RYL – Rakennustöiden yleiset laatuvaatimukset
- RT – ohjekirja
- RIL 107-2017, Rakennusten veden- ja kosteudeneristysohjeet (35)

3.2 Korjausrakentamishanke taloyhtiössä

Asunto-osakeyhtiön korjaushankkeen korjaus- ja muutostöiden tulisi perustua pitkän tähtäimen korjaussuunnitelmaan, jossa arvioidaan tulevia 10–20 vuoden aikana tarvittavia korjauksia kustannusarvioineen. Korjaussuunnitelman tulee pohjautua yleispiirteiseen kuntoarvioon, jossa on selvitetty kaikkien rakennusosien ja teknisten järjestelmien kunto. Yleensä tässä vaiheessa selvitetään myös rakennuksen energiataloudellisuus. Muita korjaushankkeen osia ovat hankesuunnittelu, rakennussuunnittelu, rakentaminen, takuu-aika ja kiinteistön käyttö, tarvittavien lupien hankkiminen ja määräysten selvittäminen (kuva 1). (33)



Kuva 1. Korjaushankkeen vaiheet

Merkittävämpiä korjaushankkeita taloudellisesti ja hallinnollisesti kerrostaloissa ovat yleensä niin kutsutut putkiremontit, jotka koettelevat suuresti asukkaita pitkän kokonaisuaneerausajan sekä huoneistokohtaisen haitan vuoksi. Perinteisen linjasaneerauksen aikana asukkaat päätyvät tavallisesti muuttamaan linjasaneerauksen aikana muualle asumaan kolmesta viikosta muutamaksi kuukaudeksi riippuen työn laajuudesta. Korjausrakentamishankkeessa prosessi taloyhtiön päätöksestä ryhtyä korjausrakentamishankkeeseen aina työn toteutukseen saakka vie normaalisti 1–3 vuotta (kuva 1). Itse urakan kesto riippuu toimenpiteiden laajuudesta ja valituista korjausmenetelmistä, mutta tavallisesti työn kesto on noin 10–14 kuukautta. Perinteinen linjasaneeraus maksaa tällä hetkellä Turun alueella verollisena arviolta 1000–1100 €/m² ja kunnostaminen (esimerkiksi viemäreiden sukitus, patteriventtiileiden uusiminen ja käyttövesiverkoston uusiminen

pinnallisesti) arviolta 700–800 €/m². Hinta-arviot perustuvat 2015–2021 toteutuneihin saneerauksiin. Putkistojen tekninen käyttöikä on noin 40–50 vuotta, mistä johtuen tällä hetkellä 1970–1980-lukujen talot ovat putkien uusimisiässä ja vanhemmissa taloissa voi olla jo talon toinenkin putkiremontti edessä. Putkiremontin yhteydessä tehdään tavallisesti vesijohtojen ja viemäreiden uusimisen/saneerauksen lisäksi sähkö- ja rakennusteknisiä töitä, joissa uusitaan kylpyhuoneiden kalustus, pintarakenteet ja vedeneristys nykymääräysten mukaiseksi ja sähköjärjestelmiin lisätään vikavirtasuojaus sekä asennetaan uusi ryhmäkeskus ja mahdollisesti myös uusi kotijakamo nykyaikaisine antenni- ja datapisteineen. (16)

3.3 Korjausrakentamiseen myönnettävät avustukset

Moniin korjausrakentamistöihin voi saada yhteiskunnalta taloudellista tukea. Tärkeimmät tuen myöntäjät ovat valtio, kunnat ja alueelliset ympäristökeskukset.

Myönnettäviä avustuksia ovat esimerkiksi:

- Kotitalousvähennys: Verovähennys, jonka yksittäinen osakkeenomistaja voi saada asunnossaan teetetyistä kunnossapito- ja perusparannustöistä, esimerkiksi saneeraustyön osuudesta, siivous palveluista yms.

- Korjausavustukset: Taloudellinen avustus, jota kunnat myöntävät alueillaan korjattaviin kohteisiin. Avustusta myönnetään esimerkiksi vanhainkotien, vammaisasuntojen korjaamiseen sekä kuntoarvioiden ja –tutkimusten tekoon. Avustuksen myöntää valtion asuntorahasto, mikäli avustus on suunnattu kunnalle tai se on tarkoitettu hissien rakentamiseen ja liikuntaesteiden poistoon.

- Energia-avustukset: Taloudellinen avustus, jonka kunnat myöntävät alueillaan toimenpiteisiin, jotka parantavat rakennusten energiatehokkuutta. Avustuksen myöntää valtion asuntorahasto, mikäli avustus on suunnattu kunnalle. Kiinteistöjen omistajille ja taloyhtiöille energia-avustuksia myöntää asumisen rahoitus- ja kehittämiskeskus (ARA).

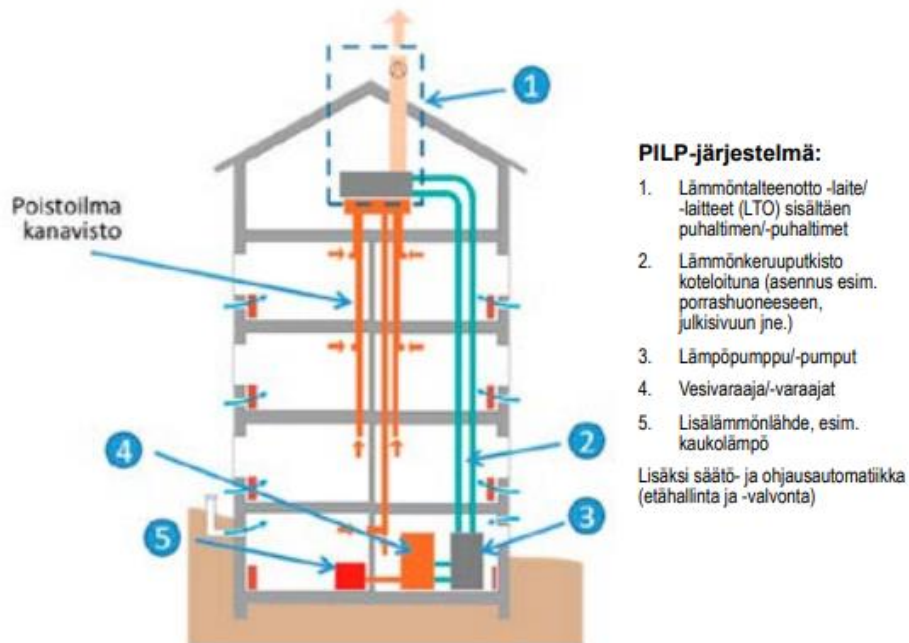
- Rakennusperintö- ja entistämisasiavustukset: Taloudellinen avustus, jonka alueelliset ympäristökeskukset ja Museovirasto myöntävät historiallisten rakennusten korjaus- ja entisöimistöimenpiteisiin. (34)

4 POISTOILMALÄMPÖPUMPPU

Poistoilmalämpöpumppu on yksi peruslämpöpumpumalleista. Se soveltuu parhaiten vanhoihin saneerauskohteisiin, joissa on ainoastaan poistoilmanvaihtojärjestelmä. Laskennallisesti paras kohde poistoilmalämpöpumppujärjestelmälle on rakennus, jossa on mahdollisimman pieni lämmitystarve, alhaiset lämmitysveden lämpötilat sekä suuri rakennustilavuus. Poistoilmalämpöpumpuilla pystytään tuottamaan edellä mainitun kaltaisissa kohteissa valtaosa rakennuksen lämmitystarpeesta. Kylmimpinä lämpötilakausina poistoilmalämpöpumpun rinnalle tarvitaan kuitenkin lisälämpöä, jota tuotetaan tavallisesti sähkövaraajalla.

4.1 Poistoilmalämpöpumpun toiminta kerrostalossa

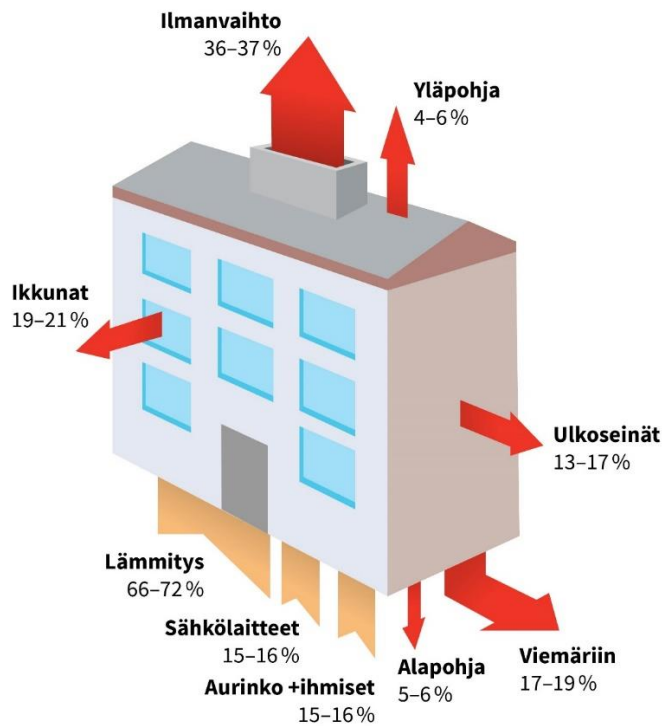
Poistoilman lämmöntalteenotto hyödyntää rakennuksen sisätiloista poistuvan ilman lämpöä, joka muuten menisi hukkaan. Katolle sijoitettavat lämmön talteenottoyksiköt keräävät lämmön talteen ja johdattaa takaisin lämmönjakohuoneeseen (kuva 2). Poistoilmalämpöpumpulla voidaan hyödyntää rakennuksen poistoilman mukana poistuva lämpöenergia tehokkaasti uudestaan rakennuksen lämmitystarpeisiin, eli järjestelmä toimii lämmöntalteenottona. Koska poistettavan ilman lämpötila pysyy ympäri vuoden lähes vakiona, saadaan myös lämpöenergiaa toteutettua vakioteholla ulkolämpötilasta riippumatta. (14, s. 355)



Kuva 2. PILP-ratkaisun periaatekuva (Taloyhtiön energiakirja, 2011)

Ympäristöministeriön asetuksen (7, s. 5) mukaan asuintilojen ilman on vaihdettava ker-
ran kahdessa tunnissa, minkä vuoksi 21-asteiseksi lämmitettyä huoneilmaa menee huk-
kaan valtava määrä – arviolta jopa yli kolmannes. Kuvassa 3 esitetään kerrostalon läm-
pötase, josta voidaan helposti havaita ne osa-alueet, joissa kannattaa tehdä energiate-
hokkuutta parantavia toimenpiteitä.

2018 voimaan astuneen Ympäristöministeriön asetuksen (1009/2017) mukaan uuden
rakennuksen on suunniteltava lämmöntalteenotto siten, että vältetään terveydelle tai
viihtyisyydelle haittaa aiheuttavien epäpuhtauksien tai hajujen leviämistä lämmöntalteen-
oton kautta. (28)



Kuva 3. Kerrostalon lämpötase 60–80-luvun kerrostaloissa. (Taloyhtiön energiakirja, 2011)

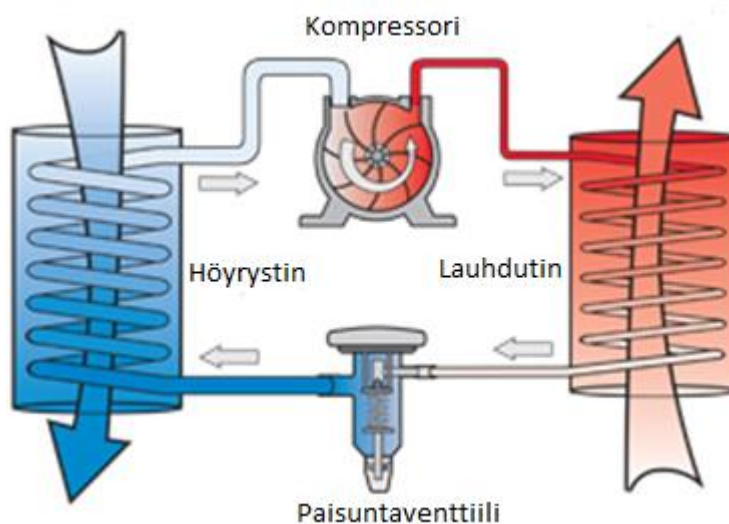
4.2 Poistoilmalämpöpumpun rakenne ja käyttökohteet

Kaikissa lämpöpumpuissa – myös poistoilmalämpöpumpuissa – yleisimpiä pääosia ovat kompressorit, lauhdutin, paisuntaventtiili ja höyrystin (kuva 4). Tavallisesti katolla tai ullakolla sijaitsevan höyrystimen tehtävä on kerätä poistoilmavirrasta lämpöä LTO-yksikön kautta lämmönkeruunesteeseen, joka lämpöpumpussa kierrätetään lauhduttimen kautta talon lämmitysenergiatarpeisiin. Mitä enemmän jäteilmaa voidaan jäähdyttää LTO-yksikössä, sitä suurempi määrä saadaan lämpöenergiaa poistoilmalämpöpumpulla tuotettua ja sitä parempi lämpökerroin järjestelmällä saadaan. Lämpö siirretään tavallisesti lauhduttimesta erillisen käyttöpiirin kautta lämmitysjärjestelmään ja käyttöveden lämmitystarpeisiin, mutta lämpöenergiaa voi siirtää myös suoraan lämmitysjärjestelmään ilman erillistä käyttöpiiriä. Järjestelmällä tuotetaan yleensä lämpöenergiaa sille osalle järjestelmää, jossa veden lämpötilalta ei vaadita niin korkeaa tasoa. (15, s. 17–18.)

Poistoilmalämpöpumpua olisi tällöin varsin perusteltua hyödyntää vesikiertoisen lattialämmityksen kiertoveden lämmitykseen sen matalien käyttölämpötilojen vuoksi (meno

35° C, paluu 30 °C), mutta vanhoissa kerrostaloissa, joihin poistoilmalämpöpumpputjärjestelmiä suunnitellaan, on tavallisesti vain radiaattoripatterilämmitys korkeilla lämpötiloilla (meno 70° C, paluu 40 °C). Tämän vuoksi vanhoissa kerrostaloissa onkin tavallista nostaa PILP-järjestelmän avulla paluuveden lämpötilaa lämmityskaudella ja lämmityskauden ulkopuolella lämmitysenergia käytetään käyttöveden lämmitykseen (vähintään 55 °C, maksimi 65 °C). (16, s. 389.)

Poistoilmalämpöpumpputjärjestelmä sopii käyttöveden lämmitystarpeisiin ja myös osaan rakennuksen lämmitystarpeista tiettyyn ulkolämpötilaan asti (-20...-10 °C): alemmilla lämpötiloilla tarvitaan lisälämmitystä. Noin 60–80 % vuotuisesta lämmitysenergiatarpeesta sekä kytketään varsinaisen lämmitysmuodon rinnalle esimerkiksi toimimaan yhdessä kaukolämmön kanssa. (17)

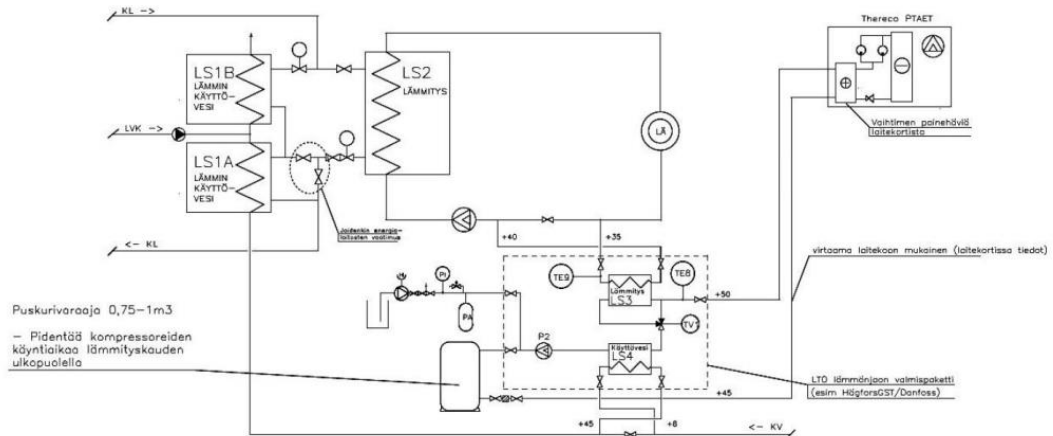


Kuva 4. Poistoilmalämpöpumpun toimintaperiaate. (Janne Ylinen)

4.3 Poistoilmalämpöpumpumallit

Yleisimmät suurien rakennusten poistoilmalämpöpumpumallit ovat suora- ja epäsuora-ilmalämpöpumpumallit, jotka ovat suorahöyrysteisellä lämmöntalteenottoyksiköllä sekä epäsuora-ilmalämpöpumpumallit, jotka ovat nestekiertoisella lämmöntalteenottoyksiköllä varustettuja.

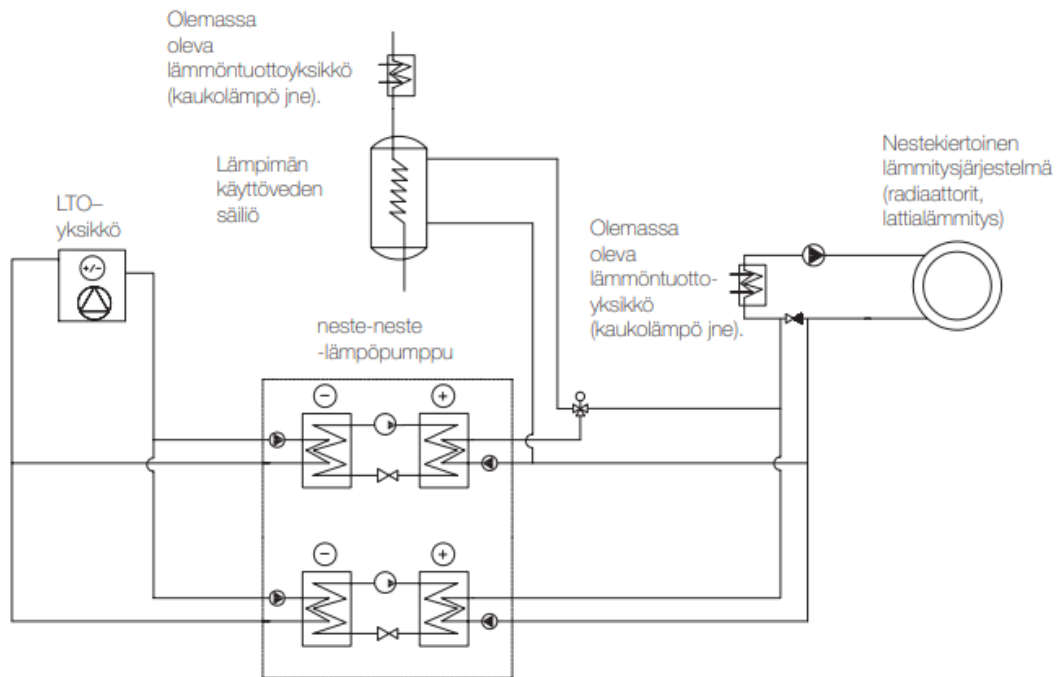
Lämmöntalteenottoyksikkö suurissa kohteissa on usein sijoitettu vesikatolle huippuimurin paikalle tai ullakolle kammiohuoneeseen. (17)



Kuva 5. Poistoilmalämpöpumpun toimintaperiaate suorahöyrystyksellä (18)

Suorahöyrysteisissä LTO-pattereissa (kuva 5.) kylmäaine virtaa lämmöntalteenottopatteriston putkien sisällä ja poistoilma kulkee patterin vaippapuolelle. Kyseisissä malleissa lämpöpumppuyksikkö sijaitsee lämmöntalteenottopatterin yhteydessä. Lämpöpumppuyksikön lauhduttimelta johdetaan putket lämmönjakohuoneeseen.

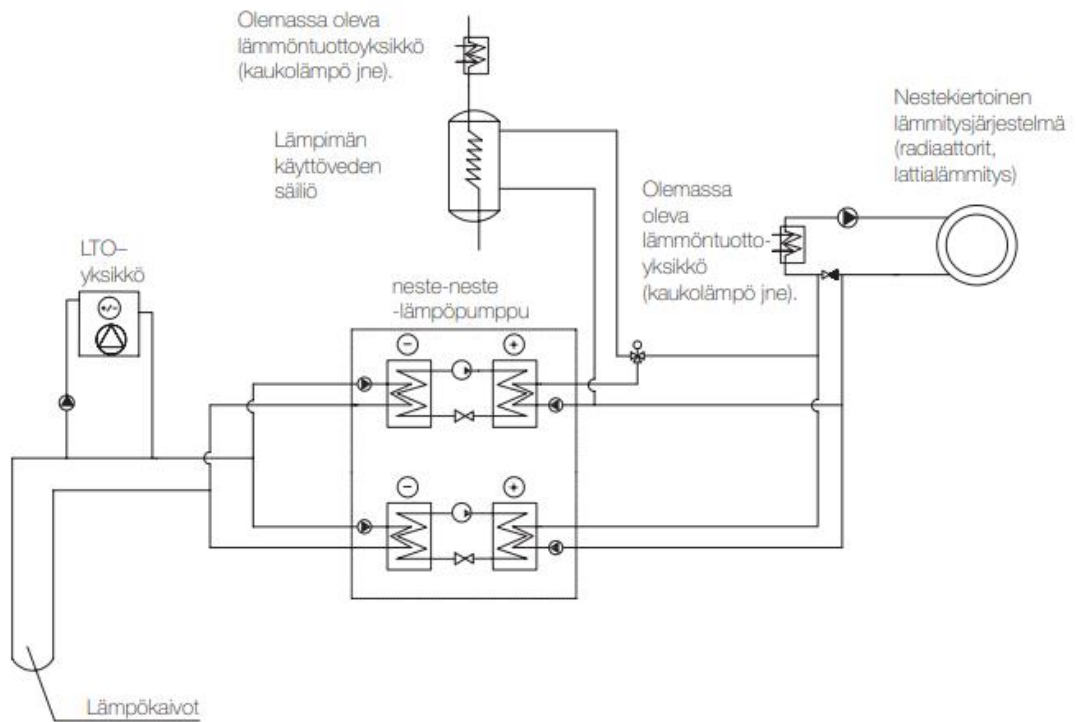
Lämmönsiirtonesteinä lämpöpumppujärjestelmissä käytetään tavallisesti vesi-glykoliseosta, kun keruuputkisto vie lämmönjakohuoneesta katolle sisätiloissa, rappukäytävässä tai ullakolla. Jos keruuputkisto vie lämmön rakennuksen ulkoseinällä, nesteinä toimii yleensä silloin 30 % etanoli. (17) Lämmönsiirrossa etyleeniglykolipohjaiset nesteet toimivat parhaana vaihtoehtona niiden erinomaisen lämmönsiirtotehokkuuden ansiosta. Lämmönsiirtonesteen valitsemisessa täytyy olla tarkka; väärän tuotteen valitseminen voi aiheuttaa vaurioita järjestelmään sen täyttövaiheessa. Korrosio tai tiivisteiden hajoaminen voi aiheuttaa vuotoja, heikentää järjestelmän suorituskykyä tai pahimmassa tapauksessa vahingoittaa koko järjestelmää. Lämmönsiirtonesteen valinnassa olisi hyvä huomioida lämpökapasiteetti, eli nesteen kyky varastoida lämpöä. (30)



Kuva 6. Poistoilmalämpöpumpun toimintaperiaate epäsuoralla höyrystyksellä (17)

Kuitenkin tehokkain tapa ottaa talteen poistoilmassa olevaa lämpöenergiaa poistoilmalämpöpumpulla on käyttää nestekiertoista lämmönsiirintä poistoilmavirassa eli epäsuoraa höyrystystä. Tässä mallissa (kuva 6.) lämpöpumppuyksikköä ei ole sijoitettu lämmöntalteenottoyksikön yhteyteen, vaan LTO-yksikkö on erillään itse lämpöpumppuyksiköstä. LTO-yksikkö sijoitetaan tällöin katolle tai ullakolle ja lämpöpumppuyksikkö lämmönjakohuoneeseen ja yksiköt ovat toisiinsa yhteydessä nesteputkien välityksellä.

Tällä mahdollistetaan useiden rinnakkaisten poistoilmapuhaltimien lämmöntalteenoton yhdistäminen samalle lämpöpumppuyksikölle ja poistoilmapatteristojen hallitun huurteeneston toteutus. Myöhemmin järjestelmää voidaan laajentaa hybridiratkaisuksi (kuva 7.) lisäämällä lämpöpumppuyksiköitä, aurinkopaneeleita tai lämpökaivoja. Poistoilman lämmöntalteenotto toimii loistavasti yhdessä vaikkapa aurinkopaneelien ja lämpökaivojen kanssa. (17)



Kuva 7. Hybrijärjestelmän toimintaperiaate (17)

Lämmöntalteenotto poistoilmasta voidaan toteuttaa myös kytkemällä poistoilman lämmöntalteenottopatterit sarjaan lämpökaivojen kanssa. Tämä nostaa lämmönkeruunsteen lämpötilaa ja siten myös lämpöpumpun suorituskerrointa (COP). COP kertoo kuinka tehokkaasti kulutettu sähköenergia saadaan muutettua lämpöenergiaksi. Esimerkiksi merkintä COP 5 tarkoittaa, että 1 kilowatilla saadaan tuotettua 5 kilowattia lämpöenergiaa. (29) Poistoilman lämmöntalteenotolla voidaan korvata osa lämpökaivoista ja niitä voidaan kesäaikaan ”ladata” poistoilman lämmitysenergialla, kun rakennuksessa ei ole tarvetta lämmitysenergialle. (17)

4.4 Poistoilmalämpöpumpun edut

Poistoilmalämpöpumpun suurin etu on energiansäästö ja sitä myötä kustannussäästö, jota erityisesti tavoitellaan saneerausten yhteydessä. PILP-järjestelmällä voidaan säästää useiden tuhansien eurojen säästö vuositasolla lämmityskustannuksissa. Energiaa huonelämpöisestä poistoilmasta saadaan hyödyksi vuosittain noin 50–60 %, mikä yleisesti laskee rakennuksen lämmitysenergian tarvetta noin 30–50 %. Tavoiteltava

hyötysuhde eli kausisuorituskerroin (SCOP) on välillä 2–4. Kausisuorituskerroimen ollessa 3 saadaan 1 kW sähköteholla aikaiseksi 3 kW lämpötehoa. PILP-järjestelmällä on verrattain kohtuullinen takaisinmaksuaika, tavallisesti 8–12 vuotta.

Poistoilmalämpöpumppu on nopea ja edullinen energiatehokkuutta lisäävä saneeraus-toimenpide, joka vaatii vain muutaman tunnin käyttökätkon lämmityksessä ja kohteesta riippuen kahdesta neljään viikkoon asennustöitä. Järjestelmän asennustyöt aiheuttavat vain vähäistä haittaa asukkaille eikä asennustöissä tarvitse huomioida mahdollisia ympäristöriskejä kuten lämpökaivoasennuksissa. (17)

Järjestelmän etuina voidaan mainita myös vähäinen tilantarve ja se, että lämpöpumppuyksiköt ovat liitettävissä automatiikan ansiosta etäyhteyshallintaan. Etähallinta mahdollistaa järjestelmän säätötoimet ja energiakulutuksen tarkastelun ammattilaisten toimesta erittäin vaivattomasti.

Asumisen rahoitus- ja kehittämiskeskus ARA voi myöntää energia-avustusta järjestelmän rakentamiselle enintään 25 % toimenpiteen kustannuksista; enimmäismäärä avustusta energiatehokkuutta parantaessa on huoneistoa kohden 4000–6000 euroa: 6000 euron avustus edellyttää mittavampia toimenpiteitä kohti nollaenergiataloa. Mikäli rakennus on kaukolämmön piirissä, voi poistoilmalämpöpumpun myötä sopia energialaitoksen kanssa kaukolämmön tilausvesivirran pienentämisestä, joka tuo osaltaan lisää kustannussäästöjä kaukolämmön perusmaksujen pienentyessä. (19)

4.5 Huomioitavia asioita

Jäteilman jäähdytystä suunnitellessa on kiinnitettävä erityistä huomiota tiettyihin seikkoihin. Yksi potentiaalinen haitta on höyrytimen huurtuminen, kun ilman lämpötila lähenee 0 °C. Höyrytimen voidaan sulattaa huurteesta pysäyttämällä kompressori, mutta jäätymisen ehkäisemiseksi voidaan myös suunnitella sunntaus liuospiiriin ennen LTO-patteria, mutta hankkeen kustannukset nousevat. Tavallisemmin sulatus hoidetaan sähköpatterilla, sillä patterilla on monia hyviä ominaisuuksia: se ei jäädy, siinä on hyvä säädettävyys, se ei vuoda eikä sen käyttö vaadi erillistä pumppuryhmää. (14, s. 171)

PILP-järjestelmän asentaminen vanhaan rakennukseen, jossa on painovoimainen ilmanvaihto on erittäin haasteellista. Vanhat rakenneaineiset ilmanvaihtokanavat eivät ole riittävän tiiviitä koneelliselle ilmanvaihdolle ja monessa tapauksessa vanhat kiviainehormit ovat murtuneet umpeen. Tällaisissa kohteissa vanhat kiviaineiset ilmanvaihtokanavat

tuleekin vaihtaa peltisiksi kierresauma- tai suorakaidekanaviksi, mikä nostaa hankkeen kustannuksia huomattavasti. Peruspoistoilmavirran tulee täyttää tietty minimimäärä, jotta siitä voidaan kerätä talteen riittävästi lämmitysenergiaa – esimerkiksi eräällä valmistajalla 500 l/s on minimisuositus kerrostalokäyttöön tarkoitetulle yksikölle. (9)

Käyttöveden lämpötila tulee lämmittää minimissään 55 °C (max 65 °C) lämpötilaan, jotta legionella-bakteeriston kasvu estyy. Poistoilmalämpöpumpun avulla voidaan periaatteessa lämmittää myös käyttövettä, sillä järjestelmä kykenee lämmittämään veden 50–65-asteiseksi, mutta tällöin lämpöpumpun hyötysuhde (COP) pienenee, joten sitä ei käytännössä juurikaan tehdä. (20)

Kustannuksia aiheutuu lämmöntalteenotto-osalle arviolta vuoden välein vaihdettavista suodattimista sekä järjestelmään lisättävistä äänenvaimentimista, sillä uusi puhallin saattaa olla suurempien kierrosnopeuksien vuoksi äänekkäämpi kuin entinen. Lisäksi LTO-yksikön viemäröinnistä on huolehdittava, sillä LTO-patterin pinnoilta tiivistyy poistoilmaa jäädytettäessä vettä jopa viisi litraa vuorokaudessa. (16, s. 382)

Saneerausta suunnitellessa tulisi mielestäni huomioida myös ilmanvaihtokanaviston puhtaus sekä raitisilmaventtiileiden riittävyys ja kunto. Oman kokemukseni mukaan järjestelmän asennuksen yhteydessä ilmanvaihtokanaviston nuohous ja raitisilmaventtiilien vaihto onkin osoittautunut kannattavaksi toimenpiteeksi ilmanlaadun parantamiseksi.

Suunnitteluvaiheessa tulee lisäksi huomioida myös rakennuksen virransyötön riittävyys ja sulakekoot poistoilmalämpöpumpputjärjestelmälle. Poistoilmalämpöpumppu nostaa rakennuksen sähkönkulutusta huomattavasti.

Esteettisiä ja paloturvallisia näkökulmia on myös syytä tarkastella järjestelmää suunniteltaessa, sillä kaikilla asuinalueilla ei välttämättä ole suotavaa sijoittaa lämmönkeruuputkia julkisivuseinällä ylös katolle ja porrashuoneessa kulkevat putket voiva aiheuttaa esteettisen haitan lisäksi haasteita poistumisteillä vaadittujen dimensioiden täyttymisessä.

5 POISTOILMAMÄÄRÄN VAIKUTUS LÄMPÖPUMPPUJÄRJESTELMÄSSÄ

Poistoilmalämpöpumppujärjestelmää suunnitellessa voidaan järjestelmän kannattavuutta haarukoida laskemalla takaisinmaksuaika-arvio selvittämällä poistoilmamäärä, josta saadaan poistoilman energiamäärä ja siitä edelleen takaisinmaksuaika. (6)

5.1 Poistoilmamäärän vaikutus energiamäärään

Oletetaan poistoilmalämpötila laskevan lämmöntalteenottopatterissa 17°C. Poistoilmasta saatava energia määrä vuodessa lasketaan kaavalla 1.

$$\phi = qv * cp * \rho * \Delta t \quad (1)$$

Jossa:

$$\phi = \text{Teho [kW]}$$

$$qv = \text{Poistoilmavirta [m}^3/\text{s]}$$

$$cp = \text{Ilman ominaislämpökapasiteetti [kJ/kgK]}$$

$$\rho = \text{Ilman tiheys [kg/m}^3\text{]}$$

$$\Delta t = \text{Ilman lämpötilaero}$$

Energiamäärät vuodessa saadaan kertomalla teho vuoden tunneilla eli

$$\phi * 8760 \text{ h/vuosi}$$

Poistoilmamäärä 400 l/s

$$\rightarrow \phi = 0,4 \text{ m}^3/\text{s} * 1,0 \text{ kJ/kgK} * 1,2 \text{ kg/m}^3 * (21 - 4)$$

$$\rightarrow \phi = 8,16 \text{ kW} \rightarrow \sim 71\,481 \text{ kWh/vuosi} \rightarrow \sim 71 \text{ MWh/vuosi}$$

Poistoilmamäärä 600 l/s

$$\rightarrow \phi = 0,6 \text{ m}^3/\text{s} * 1,0 \text{ kJ/kgK} * 1,2 \text{ kg/m}^3 * (21 - 4)$$

$$\rightarrow \phi = 12,24 \text{ kW} \rightarrow \sim 107\,222 \text{ kWh/vuosi} \rightarrow \sim 107 \text{ MWh/vuosi}$$

Poistoilmamäärä 800 l/s

$$\rightarrow \phi = 0,8 \text{ m}^3/\text{s} * 1,0 \text{ kJ/kgK} * 1,2 \text{ kg/m}^3 * (21 - 4)$$

$$\rightarrow \phi = 16,32 \text{ kW} \rightarrow \sim 142\,963 \text{ kWh/vuosi} \rightarrow \sim 143 \text{ MWh/vuosi}$$

Poistoilmamäärä 1000 l/s

$$\rightarrow \phi = 1,0 \text{ m}^3/\text{s} * 1,0 \text{ kJ/kgK} * 1,2 \text{ kg/m}^3 * (21 - 4)$$

$$\rightarrow \phi = 20,4 \text{ kW} \rightarrow \sim 178\,704 \text{ kWh/vuosi} \rightarrow \sim 179 \text{ MWh/vuosi}$$

Poistoilmamäärä 1200 l/s

$$\rightarrow \phi = 1,2 \text{ m}^3/\text{s} * 1,0 \text{ kJ/kgK} * 1,2 \text{ kg/m}^3 * (21 - 4)$$

$$\rightarrow \phi = 24,48 \text{ kW} \rightarrow \sim 214\,444 \text{ kWh/vuosi} \rightarrow \sim 214 \text{ MWh/vuosi}$$

Poistoilmamäärä 1400 l/s

$$\rightarrow \phi = 1,4 \text{ m}^3/\text{s} * 1,0 \text{ kJ/kgK} * 1,2 \text{ kg/m}^3 * (21 - 4)$$

$$\rightarrow \phi = 28,56 \text{ kW} \rightarrow \sim 250\,185 \text{ kWh/vuosi} \rightarrow \sim 250 \text{ MWh/vuosi}$$

Poistoilmamäärä 1600 l/s

$$\rightarrow \phi = 1,6 \text{ m}^3/\text{s} * 1,0 \text{ kJ/kgK} * 1,2 \text{ kg/m}^3 * (21 - 4)$$

$$\rightarrow \phi = 32,64 \text{ kW} \rightarrow \sim 285\,926 \text{ kWh/vuosi} \rightarrow \sim 286 \text{ MWh/vuosi}$$

Poistoilmamäärä 1800 l/s

$$\rightarrow \phi = 1,8 \text{ m}^3/\text{s} * 1,0 \text{ kJ/kgK} * 1,2 \text{ kg/m}^3 * (21 - 4)$$

$$\rightarrow \phi = 36,7 \text{ kW} \rightarrow \sim 321\,492 \text{ kWh/vuosi} \rightarrow \sim 321 \text{ MWh/vuosi}$$

Poistoilmamäärä 2000 l/s

$$\rightarrow \phi = 2,0 \text{ m}^3/\text{s} * 1,0 \text{ kJ/kgK} * 1,2 \text{ kg/m}^3 * (21 - 4)$$

$$\rightarrow \phi = 40,8 \text{ kW} \rightarrow \sim 357\,408 \text{ kWh/vuosi} \rightarrow \sim 357 \text{ MWh/vuosi}$$

5.2 Poistoilmamäärä suhteutettuna rakennuksen kokoon

Alla on esitetty poistoilmamäärät muutettuna huoneiston pinta-aloiksi käyttäen ilmanvaihto-ohjeistusta. Esimerkkilaskussa on käytetty huonekorkeutta 2,5 m/0,35 dm³/s. Jolloin ilmanvaihtokerroin on 2. Sillä saadaan poistoilmamääräksi neliötä kohden 0,35 dm³/s.

400–600 l/s → ~ 1 500 m²

600–800 l/s → ~ 2 000 m²

800–1 000 l/s → ~ 2 500 m²

1 000–1 200 l/s → ~ 3 200 m²

1 200–1 400 l/s → ~ 3 700 m²

1 400–1 600 l/s → ~ 4 200 m²

1 600–1 800 l/s → ~ 4 900 m²

1 800–2 000 l/s → ~ 5 500 m²

5.3 Arvioidut takaisinmaksuajat pumpuille

Taulukko 1. Oletetut lähtötiedot

Perustiedot	
Pumppujen lukumäärä	1 kpl
Käyttöikä (arvio)	25 vuotta
Laskennassa käytetty korkoprosentti	4 %
Sähkön hinta	0,12 €/kWh
Energian hinnannousu vuodessa	5 %

400–600 l/s → ~ 89 MWh → 35 v

800–1 000 l/s → ~ 161 MWh → 30 v

1 000–1 200 l/s → ~ 196 MWh → 25 v

1 200–1 400 l/s → ~ 250 MWh → 20 v

1 400–1 600 l/s → ~ 268 MWh → 15 v

1 600–1 800 l/s → ~ 303 MWh → 12 v

1 800–2 000 l/s → ~ 339 MWh → 10 v

Kuten ylempänä listalta näkee, lämmöntalteenottojärjestelmän hankinta on kannattavaa vasta, kun asuinrakennuksen pinta-ala ylittää 3 700 m² eli poistettava ilmamäärä on 1 200–1 400 l/s.

6 TARKASTELTAVA KOHDE

6.1 Perustiedot



Kuva 8. Kohde

Tarkastelussa tässä työssä on Varsinais-Suomessa vuonna 1971 rakennettua asuinkerrostalot, joissa kummassakin on yksi porraskäytävä, neljä kerrosta sekä pohjakerros; kahdessa rakennuksessa on yhteensä 40 asuntoa, joiden lämmitysjärjestelmää ohjataan samasta lämmönjakohuoneesta. Huoneistoala rakennuksessa on 2 992 m² ja rakennus-tilavuus 11 000 m³.

Yhtiöön tehtiin laaja LVIS-saneeraus, joka valmistui joulukuussa 2021. Saneerauksen yhteydessä kohteen lämmitysjärjestelmä muutettiin kaukolämmöstä lämpöpumppujärjestelmäksi. Lämpöpumppujärjestelmä koostui määlämmöstä ja poistoilmanlämmöntalteenottojärjestelmästä. Sähkönsyöttö jouduttiin uusimaan maalämpö ja poistoilmanlämmöntalteenottojärjestelmää varten, mistä koitui lisäkustannuksia hankkeeseen.



Kuva 9. Vanha kaukolämpöpaketti

6.2 Saneerauslaajuus

LVIS-saneerauksessa rakennuksen vanhat galvanoidut ja kupariset vesijohdot uusittiin komposiittiputkiksi, pohjaviemäri sukitettiin ja rakennuksen viemärit uusittiin pohjaviemäristä ylöspäin desibelimuoviviemäriksi. Kaukolämpö (kuva 9) vaihdettiin lämpöpumppujärjestelmään. Ilmanvaihdon päätelaitteet vaihdettiin huoneistokohtaisesti KSO-100 päätelaitteiksi, ilmanvaihtokanavisto nuohottiin saneerauksen päätteeksi ja järjestelmä tasapainoitettiin, jotta myös ilmanlaatu paranee.

Poistoilman lämmöntalteenottojärjestelmä suunniteltiin pienentämään yhtiön lämmityskustannuksia; järjestelmän tuottama lämpö ohjataan tällöin uusille kylpyhuoneiden lattialämmityspiireille. Energiansäästötoimenpiteenä saneerauksen yhteydessä vaihdettiin patteriventtiilit sekä lämmitysverkosto tasapainoitettiin.

6.3 Järjestelmän kartoitus kohteeseen

Seuraavasta taulukosta (taulukko 2) käy ilmi kaukolämpösiirtimen teho ja mitoitusvirtaamat, jonka avulla lähdettiin mitoittamaan uusia järjestelmiä kohteeseen.

Taulukko 2. Kaukolämpösiirtimien lämmityspiirit

	Käyttövesi	Patteriverkosto
Teho (kW)	280	220
Lämpötilat ensiö/toisio (°C)	70–21 / 10–58	115–55 / 50–80
Tilavuusvirtaama, ensiö/toisio (l/s)	1,38 / 1,40	0,90 / 1,79

Maalämmön rinnalle kytkettiin jatkuvan poistoilmavirran (1500 l/s) perusteella mitoitettu poistoilmalämpöpumppujärjestelmä, joka otettiin käyttöön saneerauksen loputtua. Järjestelmä on epäsuoralla höyrystyksellä toimiva, eli lämmöntalteenottoyksikkö sijaitsee katolla ja lämpöpumppuyksikkö lämmönjakohuoneessa. Lämmönsiirtoputket kulkevat rakennusten porrashuoneissa koteloituina, jossa ne on eristetty kondenssiveden ja lämpöhäviöiden minimoimiseksi. Lämmönsiirtonesteenä käytetään 30 % vesi-glykoliseosta.



Kuva 10. Jämä Star -lämpöpumppuyksikkö kohteessa

Lämpöpumppuyksikköinä toimii JÄMÄ STAR 40 kW Inverter-kompressoritekniikalla olevat lämpöpumput (kuva 10.), joiden lämmitysteho on 40 kW (0–50°C). Kylmäaineena toimii 30 % vesi-glykoliseos.



Kuva 11. Vesikatolla sijaitseva puhallinhuone

Lämmöntalteenottoyksikköinä rakennuksissa on Hydrocell jäätymättömät harjapatterit, jotka sijaitsevat kummankin rakennuksen katolla (kuva 11.). Harjapatterit niihin liittyvine putkituksineen ja osineen mahtuivat hyvin vanhoihin, katolla sijaitseviin puhallinhuoneisiin. Rakennusten kattotyyppi on tasakatto, mikä osaltaan helpotti järjestelmän eri osien kuljettamista puhallinhuoneisiin, sillä komponentit saatiin nostettua suoraan tulevan loppusijoituspaikan vierelle. (23)



Kuva 12. Käyttöveden ja lämmityspiirin varaajat järjestelmälle

Lämmönjakohuoneeseen on yhteensä varattu käyttövedelle 3 kappaletta 600 l käyttövesivaraajaa ja 500 l Jäspi Buffer -puskurivaraajaa rakennusten lämmitysverkostoja varten (kuva 12).

7 POISTOILMAN LÄMMÖNTALTEENOTTOJÄRJESTELMÄN MITOITUS KOHTEESEEN

7.1 Kytkentä

Lämpöpumppujärjestelmän kytkentä on toteutettu seuraavasti: PILP-järjestelmän lämpöenergiaa hyödynnetään ensisijaisesti rakennuksen patterilämmitykseen 500 l puskurivaraajan kautta. Lämmityskauden ulkopuolella, jolloin lämmitystehontarve on pienimmillään, lämpöenergiaa hyödynnetään kolmitieventtiilillä käyttöveden lämmitykseen kolmen 600 l käyttövesivaraajan kautta. Lämpöpumppuja on kaksi kappaletta, jotta aika-vastetta saadaan pienennettyä järjestelmässä ja saadaan aikaan pidempiä käyntiaikoja. Sen avulla saadaan lämpöpumppuihin kohdistuvaa kuormitusta pienemmäksi kuin yhden suuremman pumpun hetkellisellä käytöllä. Ensisijainen ”master” -lämpöpumppu tekee lämmitys- ja käyttövesilämpöenergiaa ja toissijainen ”slave” -lämpöpumppu vain lämmitysvesienergiaa. Tämän avulla pystytään parantamaan lämpöpumppujen hyötysuhdetta lämmitysvesienergiassa.



Kuva 13. Maalämpöpaketti

7.2 Etäyhteys

Järjestelmää ohjataan Talotohtori-etäyhteydellä, jolla pystytään ohjaamaan ja säätämään järjestelmää. Talotohtori-järjestelmällä saadaan myös kuukausikohtainen raportti energiankulutuksesta, minkä avulla pystytään seuraamaan kuukausikohtaisia säästöjä ja kulutuksia. Etävalvonnan avulla pystytään havaitsemaan reaaliaikaisesti, kun järjestelmä on säädön tai huollon tarpeessa. Etävalvonta mahdollistaa myös vian tai häiriön aiheuttajan paikantamisen: läheskään jokaisella hälytyksellä ei tarvita huoltokäyntiä.



Kuva 14. Talotohtori periaatekuva (tyokaari.fi)

7.3 Mitoitus

Poistoilmalämpöpumput mitoitetaan aina osatehomoitukseksi, eli niillä ei pyritä kattamaan kaikkea rakennuksen lämmitysenergiatarvetta, sillä poistoilman lämpöenergia ei riitä kattamaan koko rakennuksen tehontarpeita. Tämän lisäksi esimerkiksi kerrostoissa ei jäteilmaa voida jäähdyttää alle lämpötilan 0°C lämmöntalteenottopatterin jääty-
misen vuoksi ja sen vuoksi hyötysuhde huononee. (1, s. 129-131)

Lämmöntalteenottokapasiteettia voidaan arvioida kaavalla (1, s. 401)

$$\phi = qv * c_p * \rho * \Delta t \quad (\text{kaava 1})$$

Jossa:

$$\phi = \text{Teho [kW]}$$

$$qv = \text{Poistoilmavirta [m}^3/\text{s]}$$

$$c_p = \text{Ilman ominaislämpökapasiteetti [kJ/kgK]}$$

$$\rho = \text{Ilman tiheys [kg/m}^3 \text{]}$$

$$\Delta t = \text{Ilman lämpötilaero [}^\circ\text{C]}$$

$$\rightarrow \phi = 1,5 \text{ m}^3/\text{s} * 1,0 \text{ kJ/kgK} * 1,2 \text{ kg/m}^3 * (21 - 4)$$

$$\rightarrow \phi = 30,6 \text{ kW}$$

Energiamäärä vuodessa saadaan kertomalla teho vuoden tunneilla

$$\rightarrow 30,6 \text{ kW} * 8\,760 \text{ h/vuosi} = 268\,056 \text{ kWh/vuosi} = \sim 268 \text{ MWh/vuosi.}$$

Lämmönkeruunesteen tilavuusvirrat voidaan arvioida kaavalla (2) (1, s. 401)

$$qv = \phi, \text{lto} / (\rho, \text{glykoli} * c_p, \text{glykoli} * \Delta t) \quad (\text{kaava 2})$$

Jossa:

$$qv = \text{Lämmönkeruunesteen tilavuusvirta [l/s]}$$

$$\phi, \text{lto} = \text{Teho [kW]}$$

ρ = Nesteen kesimääräinen tiheys [kg/l]

c_p = Nesteen kesimääräinen ominaislämpökapasiteetti [kJ/kgK]

Δt = Lämmönkeruunesteen meno- ja paluupuolen lämpötilaero [°C]

$$\rightarrow q_v = 12,8238 \text{ kW} * 1,05899 * 3,4 \text{ kJ/kgK} * (10-3)$$

$$\rightarrow q_v = 0,508801 \text{ l/s}$$

Energiamäärästä saadaan hyödynnettyä poistoilmalämpöpumpulla noin 65 % lämpöä talteen. Poistoilmalämpöpumpun asennuksen jälkeen kiinteistön sähkönkulutus nousee noin 87 %, Kun kerrotaan 268 MWh/vuosi vielä arvolla 0,65 niin saadaan 174 MWh lämpöenergiaksi, joka järjestelmällä voidaan ottaa vuodessa talteen poistoilmavirrasta. Tehon avulla pystytään valitsemaan sopivat laitteet. Ja kaavaa 2 soveltamalla saadaan myös tehon kautta lämmönkeruunesteelle tarvittavat tilavuusvirrat, joilla saadaan mitoitettua PILP-järjestelmän eri osien väliset putkistot ja niiden varusteet. (24)

Toinen tapa arvioida poistoilmasta saatavaa lämpötehoa on kertoa poistoilmavirta (m^3/s) 20 kW:lla eli esimerkiksi poistoilmavirran ollessa 1,4 m^3/s :

$$\rightarrow 1,4 \text{ m}^3/\text{s} * 20 \text{ kW} = 28 \text{ kW.}$$

$$\rightarrow 28 \text{ kW} * 8\,760 \text{ h/vuosi} = 245\,280 \text{ kWh/vuosi} = \sim 245 \text{ MWh/vuosi.}$$

Tämä toteutuu poistoilmavirran ollessa lämpötilassa 21°C ja keruupiirin nesteen lämpötiloilla +3 °C/+ +10°C. (17)

Edellä mainituissa arviointitavoissa on noin 8 % ero (23 MWh): molemmat sopivat lämpötehon arviointiin suuntaa-antavina.

Lämmitysenergian riittävyyden ja hyvän hyötysuhteen takaamiseksi PILP-järjestelmä asennetaan toisen lämmitysjärjestelmän rinnalle, jonka vuoksi järjestelmä mitoitetaan rakennuksen poistoilman tilavuusvirran mukaisesti eikä talon kokonaislämmöntarpeen mukaan. (17)

Järjestelmä pitäisi aina mitoittaa suuren tehon sijaan mahdollisimman suurelle suoritus-kertoimelle, mikä mahdollistaa primäärienergiatarkastelun eli energiamuotojen kertoimilla lasketun lämmitysenergiankulutuksen. (1, s. 634)

7.4 Kaukolämmön kulutus

Taulukko 3. Kaukolämmön kulutustiedot

KULUTUSTIEDOT						
		2013	2014	2015	2016	2017
Kaukolämmöllä	yksikkö					
Lämpö	MWh	329,8	401,5	396,4	411,2	395,8
Vesi	m ³	2 891	2 814	2 939	2 698	2 485
Sähkö	kWh	102 030	105 405	103 769	101 569	97 974

Kaukolämmön energiakulutus vuosina 2013–2017 oli yhteensä 1 934.7 MWh.

Kaukolämmön kulutuksen keskiarvo vuosilta oli noin 390 MWh/vuosi.

Lämpöpumppujärjestelmän asennuksen jälkeen kaukolämmönkulutus laskee arvioilta noin 174 MWh/vuosi.

Lämpöpumppujärjestelmän vuosittainen lämpökerroin (COP) on 2,5 minkä mukaan on laskettu järjestelmän sähkönkulutus arvioilta 69MWh/vuosi.

Yhteensä rakennus kulutti ennen PILP-järjestelmän asennusta keskimäärin 390 MWh/vuosi. Lämpöpumppujärjestelmän asennuksen jälkeen kulutus laski 174 MWh/vuosi, mikä on prosentuaalisesti noin 55 %.

Yhteensä rakennus kulutti sähköä ennen PILP-järjestelmän asennusta keskimäärin 83MWh/vuosi. Lämpöpumppujärjestelmän asennuksen jälkeen sähkönkulutus nousi 69MWh/vuosi, mikä on prosentuaalisesti noin 87%

7.5 Järjestelmän takaisinmaksuajan määrittäminen

Takaisinmaksuajan laskennassa on käytetty seuraavia lähtöarvoja:

LTO-järjestelmän kokonaishinta on 128 000 € sis. ALV. 24 %

- Poistoilmamäärä 1 500 l/s; oletettu käyntiaika 24 h/vrk eli 168 h/viikko
- Laitteiston olettu käyttöikä 25 vuotta (10)
- Sähkön hinta 110 €/MWh
- Kaukolämmön hinta 80 €/MWh
- Huoltokustannukset 1150 € / vuosi
- Kaukolämmön perusmaksu 3300€ / vuosi

Seuraavia takaisinmaksuaikaan vaikuttavia tekijöitä ei ole laskennassa huomioitu:

- Mahdollinen lainan korko
- Kaukolämmön hinnanmuutokset, talvi- ja kesäkaudella kaukolämmön hinta vaihtelee.
- Todelliset huoltokulut, esimerkiksi tässä työssä tutkitussa PILP-järjestelmässä neulaputkilämmönsiirtimen pesu painepesurilla arviolta vuoden välein. (8)
- Energianhinnoittelu vaihtelee energiayhtiöittäin ja rakennustyypeittäin kulutuksien mukaan. Laskuissa käytetyt PILP:n energiakulutukset olivat vuonna 2021 toteutuneita arvoja, joita vertailtiin aiempien vuosien keskiarvoihin, sillä ei ollut luotettavia energiakulutustietoja.

Ylempänä arvioitiin järjestelmän vähentämään kaukolämmön kulutusta 174MWh/vuosi. Josta saadaan lähtötiedoissa esitetyllä kaukolämmön hinnalla järjestelmän vuosisäästöksi 17236 €.

Järjestelmä lisää sähkönkulutusta 69MWh/vuosi. Josta saadaan lähtötiedoissa esitetyllä sähkön hinnalla vuosittaiseksi lisäkustannukseksi 7664,8€.

Lisäksi otetaan huomioon järjestelmän vaativat vuosittaiset huoltokustannukset 1150€.

Näiden perusteella järjestelmän vuosittainen säästö on 8421,2€/vuosi

$$\text{Kaukolämmön säästö} - \text{Sähkön lisäkulutus} - \text{Huoltokustannukset} = \text{Vuosi säästö}$$

$$17236 \text{ €} - 7664,8 \text{ €} - 1150 \text{ €} = 8421,2 \text{ €}$$

Takaisinmaksuaika saadaan selvitettyä seuraavalla kaavalla

$$Takaisinmaksuaika = \frac{Hankintahinta}{Vuotuinen säästö}$$

Takaisinmaksuaika = Koroton takaisinmaksuaika PILP-järjestelmälle

Hankintahinta = Järjestelmän kokonaishinta (€)

Vuotuinen säästö = Rahamäärä, jonka järjestelmä säästää vuodessa verrattuna vanhaan laitteistoon (€/vuosi)

$$\rightarrow Takaisinmaksuaika = \frac{128\,000\text{€}}{8421,2\text{€/vuosi}}$$

$$\rightarrow Takaisinmaksuaika = \text{noin } 15,2 \text{ vuotta}$$

Viidentoista vuoden käytön jälkeen järjestelmä on kokonaisuudessaan maksanut itsensä takaisin. Jos järjestelmä tuottaa vuosittain 8421,2 €, on investoinnin tuotto oletetulla 25 vuoden käyttöiällä 210 530 €.

7.6 Järjestelmän takaisinmaksuajan määrittäminen nykyarvomenetelmällä

Nykyarvomenetelmä on laskentakorkokannan käyttöön perustuva investoinnin kannattavuuden laskentamenetelmä ja se on yksi yleisimmistä investointilaskelmamenetelmistä. Menetelmässä lasketaan järjestelmän tuottojen ja menojen nykyarvot diskonttaamalla eli tulevaisuuden rahavirran nykyarvon laskemista. (21)

Laskelmissa käytettiin 2 % korkokantaa ja nykyarvot laskettiin vuotuisista säästöistä.

Nykyarvon laskentakaava:

PV = nykyarvo

CF = tulevaisuuden kassavirta (8421,2€)

r = alennusaste (2%)

t = vuosienlukumäärä (1–25v)

$$PV = CF/(1 + r)^t$$

Vuosi	Säästö	Diskonttaus	Nykyarvo	Investointia jäljellä
1	8421,20	1,02	8256,08	119743,92
2	8421,20	1,04	8094,19	111649,73
3	8421,20	1,06	7935,48	103714,24
4	8421,20	1,08	7779,89	95934,36
5	8421,20	1,10	7627,34	88307,01
6	8421,20	1,13	7477,78	80829,23
7	8421,20	1,15	7331,16	73498,07
8	8421,20	1,17	7187,41	66310,66
9	8421,20	1,20	7046,48	59264,17
10	8421,20	1,22	6908,32	52355,86
11	8421,20	1,24	6772,86	45583,00
12	8421,20	1,27	6640,06	38942,94
13	8421,20	1,29	6509,86	32433,08
14	8421,20	1,32	6382,22	26050,86
15	8421,20	1,35	6257,08	19793,78
16	8421,20	1,37	6134,39	13659,39
17	8421,20	1,40	6014,11	7645,29
18	8421,20	1,43	5896,18	1749,11
19	8421,20	1,46	5780,57	-4031,46
20	8421,20	1,49	5667,23	-9698,69
21	8421,20	1,52	5556,10	-15254,79
22	8421,20	1,55	5447,16	-20701,96
23	8421,20	1,58	5340,35	-26042,31
24	8421,20	1,61	5235,64	-31277,95
25	8421,20	1,64	5132,98	-36410,93

Kuva 15. Diskontattu takaisinmaksuaika

Kuten kuvasta 15 näkee, järjestelmä on maksanut itsensä takaisin kokonaisuudessaan noin yhdeksäntoista vuoden käytön jälkeen. Investoinnin tuotto oletetulla 25 vuoden käyttöiällä on 164 410 €.

7.7 Sijoitetun pääoman tuotto PILP-järjestelmällä

Sijoitetun pääoman tuotto saadaan seuraavalla kaavalla (27)

$$\text{Sijoitetun pääoman tuotto} = \frac{\text{Investoinnin tuotto vuodessa}}{\text{Hankkeen investointikustannus}}$$

Sijoitetun pääoman tuotto = Tunnusluku, joka kuvaa suhteellista kannattavuutta

Hankkeen investointikustannus = Laitteen kokonaishinta korkoineen

Investoinnin tuotto = Investoinnin tuotto 25 vuoden aikana

$$\rightarrow \text{Sijoitetun pääoman tuotto} = \frac{8421,2\text{€}}{128\,000\text{€}}$$

$$\rightarrow \text{Sijoitetun pääoman tuotto} = 6,6 \%$$

Taulukko 5. Pääoman tuoton viitteelliset normiarvot (27)

Erinomainen	> 15%
Hyvä	10 - 15%
Tyydyttävä	6 - 10%
Välttävä	3 - 6%
Heikko	< 3%

Sijoitetun pääoman tuotoksi saatiin 6,6 %, mikä on taulukon 5 mukaan tyydyttävä sijoitetun pääoman tuotto.

Sijoitetun pääoman tuotto nykyarvolla saadaan seuraavalla kaavalla (27)

$$\text{Sijoitetun pääoman tuotto} = \frac{\text{Investoinnin tuotto vuodessa}}{\text{Hankkeen investointikustannus}}$$

Sijoitetun pääoman tuotto = Tunnusluku, joka kuvaa suhteellista kannattavuutta

Hankkeen investointikustannus = Laitteen kokonaishinta korkoineen

Investoinnin tuotto = Investoinnin tuotto 25 vuoden aikana keskiarvo nykyarvoista

$$\rightarrow \text{Sijoitetun pääoman tuotto (nykyarvo)} = \frac{6576,4\text{€}}{128\,000\text{€}}$$

$$\rightarrow \text{Sijoitetun pääoman tuotto (nykyarvo)} = 5,1 \%$$

Sijoitetun pääoman nykyarvo tuotoksi saatiin 5,1%, mikä on taulukon 5 mukaan välttävä sijoitetun pääoman tuottoon.

7.8 PILP-järjestelmän kannattavuuslaskentaan vaikuttavat seikat

Mitoitusta, takaisinmaksuaikaa, rakennukseen soveltuvuutta ja energiansäästömahdollisuuksia varten on tiedettävä seuraavat asiat:

- Poistoilmavirta tai pinta-alat ja ilmatilavuus, jonka jälkeen pystytään laskemaan poistoilmavirta.
- Käyttövedenkulutus, sähkönkulutuksen ja energianhinnat. Vaihtoehtoisesti voidaan tehdä suuntaa-antava arvio, kun tiedetään lämmitettävä pinta-ala, säävyöhyke ja asukasmäärä.
- Arvio energian hintojen kehityksestä.
- Poistoilmalämpöpumppujärjestelmän kokonaishinta sähkö- ja putkiasennuksineen käyttöönotettuna ja tasapainoitettuna järjestelmänä.
- Mahdolliset lisäkustannukset; esimerkiksi liian pieni sähkönsyöttö, joka tulisi vaihtaa suurempaan, putkien eristystöitä kylmissä tiloissa, palo-osastojen rajakohdilla palokatkoasennukset, koteloinnit ulkoseinällä tai rakennuksen sisällä kulkevissa putkissa, viemäröinnin rakentaminen LTO-yksikölle, rakennusautomaatioon liittäminen yms.

8 YHTEENVETO

Poistoilmalämpöpumppu on hyvä ja energiatehokas ratkaisu parantaa koneellisella poistoilmavaihdolla ilman lämmöntalteenottoa olevia vanhoja rakennuksia. Tällaiset rakennukset ovat tällä hetkellä sen ikäisiä, että niihin tulisi tehdä saneeraustoimenpiteitä erityisesti talotekniikan ja energiataloudellisuuden suhteen. Poistoilmalämpöpumpulla tuliaan oletettavasti säästämään tässä työssä tarkastellussa rakennuksessa vuonna 2022 yhteensä 65 % eli 174 MWh energiaa (rahamääränä arviolta 8421,2 €) verrattuna entiseen järjestelmään, jossa oli koneellinen poistoilmanvaihto ilman lämmöntalteenottoa. Näillä säästöillä saatiin tutkittavan PILP-laitteiston korottomaksi takaisinmaksuajaksi noin 15 vuotta. On huomioitava, että vuoden 2021 LVIS-saneerauksen aikana uusitut maalämpöpaketti ja patteriventtiilit termostaateineen sekä lämmitysverkoston tasapainotus vaikuttavat energiansäästöön myönteisesti. Laskennat tehtiin niiltä osin, miten laitteisto on kohteessa energiayhtiön lukemien mukaan toiminut vuonna 2014; tuloksissa ei huomioitu esimerkiksi PILP-järjestelmään aiheutuvia muita mahdollisia korjauksia, LTO-patterin puhdistusta, energianhinnan vaihtelua, kytkentätavan vaikutusta, käytön optimointia, laitteiston tehokkuutta verrattuna muihin valmistajiin, inflaatiota ja muita tekijöitä, mitkä saattavat vaikuttaa todelliseen laitteiston kustannuksiin, takaisinmaksu-aikaan ja investoinnin tuottoon. Laskennoissa käytettiin monia oletuksia, minkä vuoksi saatuja tuloksia pitää arvioida suuntaa-antavana.

Kaikkiaan poistoilmalämpöpumppu näyttäisi olevan kannattava ratkaisu energiatehokkuuden parantamiseen vanhoissa rakennuksissa, joissa ei vielä ole lämmöntalteenottoa poistoilmasta. Suunnittelu- ja toteutusvaihe tulee toteuttaa huolella, jolloin järjestelmä saadaan energiatehokkaaksi ja sitä myötä taloudellisesti kannattavaksi investoinniksi.

Tämän opinnäytetyön valmistumisajankohtana on tarkastellun kohteen laitteiston toiminnasta saatu jo dataa Talotohtorijärjestelmän kautta muutaman kuukauden ajalta. Laskennalliseksi säästökseen tässä työssä saatiin arviolta noin 548 €/kk ja järjestelmän raportin mukaan säästöä on syntynyt tähän mennessä noin 1 500 €/kk. Näin ollen tässä opinnäytetyössä käytetyllä laskentatavalla saadaan varsin realistinen kuva rahallisesta säästöstä sen ollessa kesäkuukausina tavallisesti hieman talvikuukausia pienempi.

LÄHTEET

1. Sandberg, Esa. Sisäilmasto ja ilmastointijärjestelmät. Talotekniikka-Julkaisut Oy. 2016
2. Sandberg, Esa. Ilmastointilaitoksen mitoitus. Talotekniikka-Julkaisut Oy. 2016
3. Sulpu ry, 2018. Poistoilmalämpöpumppu. Viitattu 30.12.2021 <https://www.sulpu.fi/lampopumput/poistoilmalampopumput/>
4. Tomallen, 2021. Poistoilman lämmön talteenotto. Viitattu 3.1.2022 Saatavissa: https://www.tomallensenera.fi/lammon-talteenotto?gclid=Cj0KCQiAoY-PBhCNARIsABcz7712W2CuCRZgz_ICA7XnxociP4hfPd2KccammjghRPT0ylvdvfmo0P0aAtZ-pEALw_wcB
5. Tilastokeskus, 2021. Asumisen energiakulutus. Viitattu 4.1.2022 https://www.stat.fi/til/asen/2020/asen_2020_2021-12-16_laa_001_fi.html
6. Ympäristöministeriö, 2012. Rakennusmääräyskokoelma, osa D3. Viitattu 4.1.2022 http://www.finlex.fi/data/normit/37188-D3-2012_Suomi.pdf
7. Talotekniikkainfo. Opas asuinrakennusten ilmanvaihdon mitoitukseen. Viitattu 4.1.2022 https://talotekniikkainfo.fi/sites/default/files/opas_asuinrakennusten_ilmanvaihdon_mitoitukseen_2019.pdf
8. Hydrocell, Harjalämmönsiirrin. Viitattu 17.1.2022 <https://hydrocell.fi/lammontalteenotto/teknologia-lto/>
9. Hydrocell, LTO tuotteet. Viitattu 19.1.2022 <https://hydrocell.fi/lammontalteenotto/tuotteet-lto/>
10. Jäsپی, Jämä Star kiinteistölämpöpumppu. Viitattu 17.1.2022 <https://jaspi.fi/tuote/jama-star-kiinteistomaalampopumppu/>
11. Talotohtori 2.0, Etäohjaus. Viitattu 17.1.2022 <https://www.talotohtori.fi/alusta/>
12. Motiva, Lämpöä ilmassa. Viitattu 29.1.2022 <https://www.motiva.fi/files/175/Ilmalampopumput.pdf>
13. Motiva, Poistoilmalämpöpumppu. Viitattu 29.1.2022 https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/lampopumput/lampopumpputeknologiat/poistoilmalampopumppu
14. Aittomäki, Antero. Kylmätekniikka. Suomen Kylmäyhdistys ry. 2008. Viitattu 29.1.2022
15. Kaapola Esko, Kylmätekniikan perusteet. Opetushallinto. 2011. Viitattu 29.1.2022
16. Seppänen Olli. Rakennusten lämmitys. Suomen LVI-liitto Ry. 2001. Viitattu 29.1.2022
17. Retemia News 2014. PDF-dokumentti. Viitattu 30.1.2022 https://retermia.fi/wp-content/uploads/2014/02/RetemiaNews_1_2014-WEB.pdf
18. Naavatar. Ota hukkalämpö talteen. Viitattu 30.12.2021 http://naavatar.fi/wp-content/uploads/2012/09/naavatar_esite_K_LR.pdf
19. Asumisen rahoitus- ja kehittämiskeskus. Energia-avustus taloyhtiölle. PDF-dokumentti Viitattu 1.2.2022 <https://www.ara.fi/download/noname/%7B5894F745-E16A-4EBD-9DE1-49759AEDACE4%7D/154070>

20. Ympäristöministeriö. Rakennusmääräyskokoelma, osa D1. Kiinteistöjen vesi- ja viemäri-laitteistot. PDF-dokumentti Viitattu 30.1.2022 http://www.finlex.fi/data/normit/28208-D1_2007.pdf
21. Aalto University Wiki. Investointilaskelmat. Viitattu 6.2.2022 <https://wiki.aalto.fi/display/TU22/8.+Investointilaskelmat>
22. Tilastokeskus. Energian hinnat. Viitattu 6.2.2022 <https://www.stat.fi/til/ene.html>
23. Hydrocell. Lämmöntalteenoton asiantuntija. Viitattu 12.2.2022 <https://doczz.net/doc/7034901/oy-hydrocell-ltd---harjal%C3%A4mp%C3%B6siirtimet-%C3%A4mm%C3%B6ntalteenotossa>
24. Energiatohokas koti. Poistoilmalämpöpumppu. Viitattu 13.2.2022 https://www.energiatohokaskoti.fi/suunnittelu/talotekniikan_suunnittelu/lammitys/ilmalampo- ja maalampo-pumput/poistoilmalampopumppu
25. Lämmitystarveluvut. Viitattu 17.2.2022 https://www.ilmatieteenlaitos.fi/lammitystarveluvut?6Q0hW0Ue3EKANmx4TUFVNx_q=y%253D2017
26. Motiva. kulutuksennormitus laskentakaavat. Viitattu 17.2.2022 https://www.motiva.fi/files/16105/Motiva_Kulutuksennormitus_laskentakaavat-ja-ohjeet_12-2016.pdf
27. Almatalent. sijoitetun pääomantuotto-%. Viitattu 17.2022 <https://www.almatalent.fi/tunnuslukuopas/kannattavuus/sijoitetun-paoman-tuotto-prosentti-roi/>
28. Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta. Viitattu 19.2022 <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20171009>
29. Nilan. COP VS SCOP – hyötysuhteiden erot. Viitattu 19.2.2022 <https://www.nilan.fi/energiensaasto/cop-vs-scop-hyotysuhteiden-erot/>
30. ALGOL, Onko lämmönsiirtonesteissä eroja. Viitattu 25.2.2022 <https://www.algolchemicals.com/fi/artikkelit/onko-%C3%A4mm%C3%B6nsiirtonesteiss%C3%A4-eroja>
31. Kulttuuriympäristö. Kerrostalojen perusrakenteet ja talotekniikka 1880-luvulta nykypäivään. Viitattu 20.4.2022 [https://www.kulttuuriymparistomme.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Artikkelit/Rakennusperinnon_hoito/Viisaita_korjausperiaatteita/Kerrostalojen_perusrakenteet_ja_talotekn\(37828\)](https://www.kulttuuriymparistomme.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Artikkelit/Rakennusperinnon_hoito/Viisaita_korjausperiaatteita/Kerrostalojen_perusrakenteet_ja_talotekn(37828))
32. Rakennustieto Oy. Kerrostalot 1880-2000. Tampere: Tammer-Paino Oy. 2006. Viitattu 20.4.2022
33. Kiinteistolehti. Korjaustarve ja kunnossapitotarveselvitys. Viitattu 28.4.2022 <https://www.kiinteistolehti.fi/korjaustarve/>
34. Suomen rakentamismääräyskokoelma. Viitattu 30.4.2022 <https://ym.fi/rakentamis-maaraykset>
35. Rakennus tieto Rakentamisen yleiset laatuvaatimukset. Viitattu 30.4.2022 <https://www.rakennustieto.fi/palvelut/tietoa-rakentamiseen/ry/>
36. Asumisen rahoitus- ja kehittämiskeskus. Korjausavustukset. Viitattu 1.5.2022 https://www.ara.fi/fi-FI/Lainat_ja_avustukset/Korjausavustukset
37. Tekniikanmaailma. Suomen kerrostalojen historia kertoo yhteiskunnan muutoksesta. Viitattu 7.5.2022 <https://rakennusmaailma.fi/suomen-kerrostalojen-historia-kertoo-yhteiskunnan-muutoksesta/>

