

Juho Lähde

Täystehomitoitetun omavalmisteisen maa-
lämpöpumpun kannattavuus saneeraus-
kohteessa

Opinnäytetyö
Talotekniikka


Maaliskuu 2015




MAMK

University of Applied Sciences

KUVAILULEHTI

	Opinnäytetyön päivämäärä 15.3.2015				
Tekijä(t) Juho Lähde	Koulutusohjelma ja suuntautuminen Talotekniikan koulutusohjelma				
Nimeke Täystehomitoitetun omavalmisteisen maalämpöpumpun kannattavuus saneerauskohteessa					
Tiivistelmä Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia omavalmisteisen maalämpöpumpun kannattavuutta saneerauskohteessa. Tutkittavassa kohteessa oli aiemmin suorasähkölämmitys, joka korvattiin maalämmöllä kesällä 2013. Maalämpöpumppu on mitoitettu täystehoiseksi ja se on lämmitysteholtaan 30 kW. Tutkittava kohde on vuonna 1988 rakennettu rivitalokiinteistö, jossa on lämmitettävää pinta-alaa 356 m ² . Opinnäytetyössä hyödynnettiin sähkölaskuja, joita oli seurattu vuosi ennen maalämpöön siirtymistä, ja vuosi maalämmön kanssa. Sähkökustannusten avulla laskettiin maalämpöinvestoinnin nykyarvo ja takaisinmaksuaika. Työssä tutkittiin myös maalämpöpumpusta aiheutuvaa äänihaittaa, ja tutkittiin korjausvaihtoehtoja sen poistamiseksi. Äänitasoja mitattiin Mikkelin ammattikorkeakoulun äänimittauslaitteella, ja äänitasoja verrattiin sosiaali- ja terveysministeriön sekä rakentamismääräyskokoelman osan D2 antamiin raja-arvoihin. Maalämpöpumpun takaisinmaksuajaksi saatiin 5.8 vuotta. Takaisinmaksuajkaan vaikuttaa huomattavasti lämmityskauden pituus ja sääolosuhteet. Energiankulutukselle tehtiin normeeraus ja siitä huomattiin, että talvi 2013–2014 oli suhteellisen leuto, joten se vaikutti pidentävästi investoinnin takaisinmaksuajkaan. Nykyarvoksi laskettiin noin 67 000 euroa 20 vuoden pitoajalla ja 5 % korkokannalla. Kohteessa mitattiin äänitasoiksi olohuoneessa 26,8 dB, ja makuuhuoneessa 25,3 dB. Sallittu äänitaso edellä mainituissa tiloissa on 28 dB, joten äänitasot olivat sallituissa rajoissa. Tutkittavan saneerauskohteen maalämpöinvestointi todettiin kannattavaksi, mutta kannattavuutta tutkittaessa pitää jokaista kohdetta tutkia omanaan, koska jokainen kohde on erilainen.					
Asiasanat (avainsanat) Maalämpö, kannattavuus, nykyarvomenetelmä, takaisinmaksuaika, meluhaitta					
Sivumäärä 28+2	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 33%;">Kieli</td> <td style="width: 33%;">URN</td> </tr> <tr> <td>Suomi</td> <td></td> </tr> </table>	Kieli	URN	Suomi	
Kieli	URN				
Suomi					
Huomautus (huomautukset liitteistä) (Empty space for notes)					
Ohjaavan opettajan nimi Martti Veuro	Opinnäytetyön toimeksiantaja Kylmähuolto Hurri Oy				

DESCRIPTION

		Date of the bachelor's thesis 15.3.2015
Author(s) Juho Lähde	Degree programme and option Building services	
Name of the bachelor's thesis Full power dimensioned own produced ground source heat pump's viability in a renovation site		
Abstract <p>The purpose of this bachelor's thesis was to examine viability of the own produced geothermal heating system in a renovation site. On this site, direct electric heating was changed to geothermal heating in the summer 2013. The ground source heat pump was measured to full power and heat output of ground source heat pump was 30 kW. The target of research was terraced property built in 1988 and heated surface area was 356 m².</p> <p>Electricity bills were leveraged and examined for this thesis. Bills were monitored year before installing ground source heat pump and year after the installation. Based on the information from the electricity expenses, current value and the return time on investment were calculated. Noise impacts from the ground source heat pump were examined. In addition, alternative solutions for fixing and removing the noise impacts were explored in the study. Noise levels were measured with noise measuring equipment provided by Mikkeli University of Applied sciences. Captured noise levels were compared to the limits set by the Finnish Ministry of Social Affairs and Health as well as limit D2 by The National Building Code Of Finland.</p> <p>Return time of the investment was determined to be 5.8 years. Time of the heating period as well as weather conditions have found to be significant factors in determining total return time on investment. Energy consumption was normalized and it was found that winter 2013-2014 was relatively mild, which had extending effect to overall payback time. Current value of the investment was calculated to be approximately 67 000 € with lifetime of 20 years and 5 % interest. Noise level in the living room was measured to be 26,8 dB, and in the bedroom 25,3 dB. Maximum approved noise level in the mentioned environments is 28 dB, this noise levels did not exceed the limits. Profitability of the examined ground source heat pump investment in the renovation site was noticed to be profitable. However, profitability of each site has to be examined as separate project, since every renovation site is different.</p>		
Subject headings, (keywords) Geothermal energy, viability, the present value method, payback time, noise nuisance		
Pages 28+2	Language English	URN
Remarks, notes on appendices		
Tutor Martti Veuro	Bachelor's thesis assigned by Kylmähuolto Hurri Oy	

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	1
2	MAALÄMPÖ LÄMMÖNLÄHTEENÄ	2
3	MAALÄMPÖJÄRJESTELMÄ	2
3.1	Maalämpöpumpun toiminta	2
3.2	Lämmönkeruutavat	3
3.2.1	Porakaivo	4
3.2.2	Vaakaputkisto	5
3.2.3	Vesistö.....	5
3.3	Lämmönjakelutavat	6
3.4	Lämpötilatasot	7
3.5	Maalämpöpumpun mitoitus	8
4	ENERGIAINVESTOINNIN KANNATTAVUUS.....	9
4.1	Kannattavuuden tutkiminen.....	9
4.1.1	Nykyarvomenetelmä.....	9
4.1.2	Takaisinmaksuajan menetelmä.....	10
5	RAKENNUKSEN SISÄILMASTO JA ÄÄNET	11
5.1	Ääniolosuhteet ja äänen häiritsevyys.....	11
6	TUTKIMUSMENETELMÄT.....	13
6.1	Maalämpöpumpun kannattavuus	13
6.1.1	Normeerattu energiankulutus.....	13
6.2	Maalämpöpumpusta aiheutuvat äänitasot.....	15
7	TUTKITTAVA KOHDE	16
8	TULOKSET JA NIIDEN ANALYSOINTI.....	16
8.1	Maalämpöpumpun kannattavuus	16
8.2	Maalämpöpumpusta aiheutuvat äänet.....	19
8.2.1	Korjausehdotukset äänihaitan poistamiseksi	24
9	YHTEENVETO	24
	LÄHTEET.....	26
	LIITE/LIITTEET	
	1 Kalibrointitoditus	

1 JOHDANTO

Uusiutuva energia on nykypäivää, ja sitä käytetään koko ajan enemmän myönteisten kokemusten ansiosta. Maalämpö on hyvä esimerkki tästä ja sen suosio on kasvanut ympäri maailman. Maalämpöpumppujen asennukset ovat kasvaneet 10 % vuosivauhdilla 30 maassa 1990-luvun lopusta lähtien. Suomessakin maalämpöpumppuja oli asennettu vuoden 2012 lopussa jo yli 80 000 kappaletta. /6./

Opinnäytetyön tilaaja oli Kylmähuolto Hurri Oy. Mikkelissä vuodesta 1979 asti toiminut yritys myy ja huoltaa monipuolisesti eri kylmäkoneita. Yritys on erikoistunut erityisesti maalämpöpumppuihin, jotka kootaan itse valmiista komponenteista ja suunnitellaan kohteiden vaatimusten mukaisesti. Opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää riivitalokohteeseen asennetun omavalmisteisen täystehomitoitetun maalämpöpumpun kannattavuutta ja äänitekniisiä kysymyksiä.

Tutkittavassa kohteessa oli aiemmin suorasähkölämmitys vesikiertoisella patteriverkostolla. Kesällä 2013 kohteeseen asennettiin 30 kW:n lämpötehoinen maalämpöpumppu. Maalämpöpumppu hyödyntää energialähteenä kahta 200 metrin porakaivoa, jotka ovat porattu 20 metrin etäisyydelle toisistaan. Maalämpöpumpun kannattavuutta tutkittiin nykyarvomenetelmän ja takaisinmaksuajan menetelmän kautta. Apuna kannattavuutta tutkittaessa olivat kohteen sähkönkulutukset, joita oli seurattu vuosi ennen maalämpöön siirtymistä ja vuosi maalämmön kanssa. Opinnäytetyöhön liitettiin myös maalämpöpumpun käyntiäänestä aiheutuvan äänihaitan tutkiminen ja mahdollisten korjausvaihtoehtojen tutkiminen äänihaitan poistamiseksi. Tutkimuksissa hyödynnettiin Mikkelin ammattikorkeakoulun äänimittauslaitteita ja sosiaali- ja terveysministeriön asumisterveysohjeen sekä rakentamismääräyskokoelman osan D2 määrittelemiä ohjearvoja melun suhteen.

2 MAALÄMPÖ LÄMMÖNLÄHTEENÄ

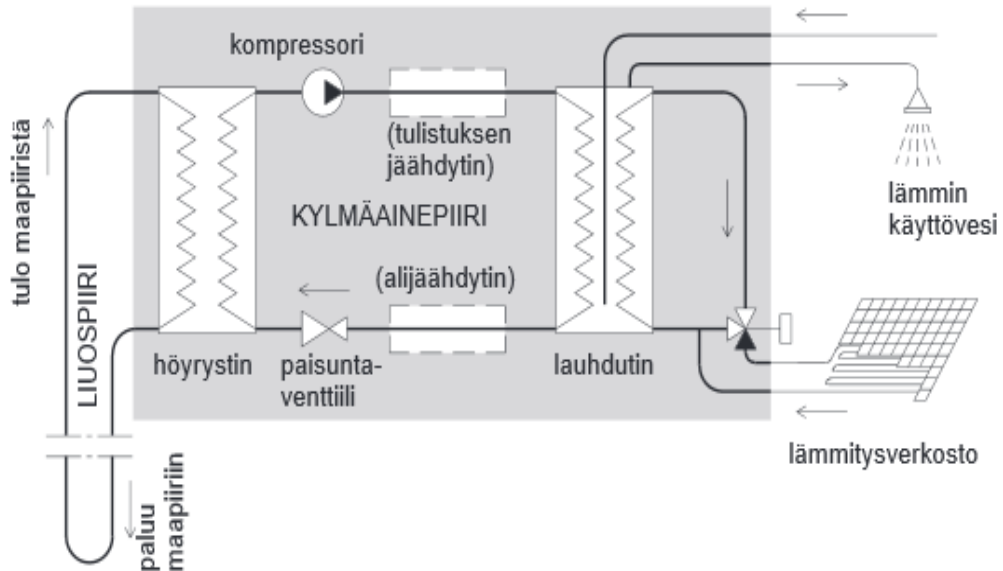
Maalämpö on yleistynyt 2000-luvulle tullessa, koska öljyn ja sähkön hinta on noussut huomattavasti. Maalämpöpumput ovat kehittyneet kuluttajalle helppokäyttöiseksi, luotettavaksi ja tehokkaaksi lämmitysmuodoksi. Maalämpö on tullut Suomessa tutuksi 1970-luvun alusta ja vuonna 2006 noin joka viidenteen pientaloon valittiin maalämpö. Maalämpöpumppu hyödyntää lämpöenergiana auringon lämmittämää pintamaata, mutta tarvitsee lämmön keräämiseen myös sähköenergiaa. Nyrkkisääntönä on, että maaperästä saadaan 2/3 lämpöenergiatarpeesta ja sähköstä loput 1/3. Yleisimmin lämpöä kerätään porakaivosta tai pintamaahan asennetusta vaakaputkistosta, mutta vesistön äärellä olevissa rakennuksissa mahdollisesti myös vesistöä. Maalämpöpumppua voidaan käyttää lämmityksen ja lämpimän käyttöveden lämmittämisen lisäksi myös tilojen jäähdyttämiseen. Parhaan hyödyn maalämmöstä saa vesikiertoisella lattialämmityksellä, koska lattialämmityksessä käytetään matalia meno- ja paluueden mitoituslämpötiloja, kuten esimerkiksi + 37 - 30 °C. Maalämpöä voidaan käyttää myös rakennuksissa, joissa on vesikiertoinen patteriverkosto, mutta silloin on käytettävä alhaisia mitoituslämpötiloja, kuten esimerkiksi + 55 - 40 °C. /1./

3 MAALÄMPÖJÄRJESTELMÄ

3.1 Maalämpöpumpun toiminta

Maalämpöpumppu on toimintaperiaatteeltaan pääpiirteittäin samanlainen kuin mikä tahansa kylmäkone kuten esimerkiksi jääkaappi. Kylmäkoneen pääkomponentit ovat kompressori, höyrystin, lauhdutin ja paisuntaventtiili. Maalämpöpumpun lämmönkeruupiirin kiertopumppu pumppaa esimerkiksi porakaivossa kiertävän lämmönkeruunesteiden lämmönsiirtimeen, jota kutsutaan höyrystimeksi. Höyrystimessä kylmäaine höyrystyy ja sen jälkeen kompressorille kulkeutunut kaasumainen kylmäaine puristetaan kompressorilla korkeaan paineeseen, jolloin myös kylmäaineen lämpötila kasvaa. Seuraavaksi korkeaan lämpötilaan puristettu kylmäaine kulkeutuu toiselle lämmönsiirtimelle, jota kutsutaan lauhduttimeksi. Lauhduttimesta lämpö siirtyy talon lämmitysjärjestelmään esimerkiksi vesikiertoiseen patteriverkostoon, ja samalla kylmäaine lauhtuu

jälleen viileäksi ja nestemäiseksi. Lopuksi paisuntaventtiili alentaa paineen ja kierto alkaa alusta. Kuvassa 1 on esitetty maalämpöpumpun toimintaperiaate ja sen pääosat. /6./



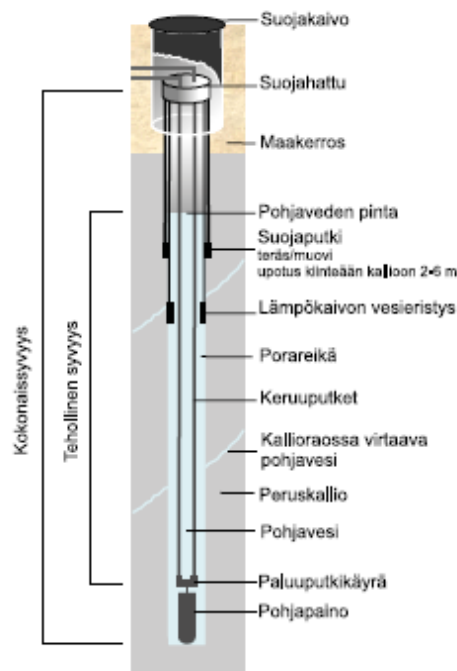
KUVA 1. Maalämpöpumpun osat ja toimintaperiaate /3/

3.2 Lämmönkeruutavat

Maalämpöpumpun asennusta suunniteltaessa valitaan lämmönkeruutapa kohteen sijainnin mukaan. Esimerkiksi maatilalla on lämmönkeruupiiri mahdollisuuksien mukaan järkevää asentaa pellolle. Lämmönkeruuputkisto voidaan asentaa myös kallioon porattuun lämpökaivoon tai vesistöön. Lämmönkeruuputkena käytetään normaalia muovista vesijohtoputkea ohuempiseinäisestä putkesta, koska seinämävahvuuden kasvaessa huononee lämmönsiirtyminen ympäristöstä lämmönkeruunesteeseen. Lämmönkeruuputken koko on yleensä 32–40 mm ja seinämän paksuus on 2,4 mm. Lämmönkeruunesteinä käytetään propyleeniglykolivesiliuosta tai alkoholivesiliuosta. Lämmönkeruuneste ei saa olla ympäristölle haitallista. Lämmönkeruuputkisto kannattaa vähän ylimitoitaa, koska alimitoitettu lämmönkeruuputkisto johtaa lämpökertoimen pienentymiseen. Lämmönkeruuputkiston asennukseen vaaditaan sijaintikunnan rakennusvalvonnasta toimenpidelupa. Luvan saantiin vaikuttaa useita tekijöitä, kuten mahdolliset maanalaiset rakenteet taajama-alueella, pohjavedet sekä suojaetäisyydet rakennuksiin ja tontinrajoihin. Vesistöön asennettaessa vaaditaan vesialueen omistajan lupa. /5./

3.2.1 Porakaivo

Porakaivo on nykyään yleisin lämmönkeruutapa, koska se sopii sekä saneeraus-, että uudiskohteisiin. Porakaivoa voidaan käyttää pienten ja suurten kiinteistöjen lämmönlähteenä. Porakaivo on monesti ainoa mahdollinen lämmönkeruutapa, koska esimerkiksi kaupunkialueella tontit ovat niin pieniä, että vaakaputkiston asennus on mahdollista. Porakaivo ei vaadi tontilta kuin pienen tilan ja se suositellaan porattavaksi mahdollisimman lähelle rakennusta, jotta kaivuutyöt tontilla jäävät mahdollisimman vähäiseksi. Porauksessa on otettava huomioon mahdolliset maassa kulkevat viemärit, sähkökaapelit ja vesijohtot. Porattaessa irtomaasuudelle maahan asennetaan suojaputki, joka on yleensä terästä. Suojaputken pituus vaihtelee sen mukaan, minkä verran kohteessa on maata ennen peruskalliota. Suojaputki upotetaan peruskallioon, ja se pitää porausreiän auki. Normaalisti porakaivon syvyys on 100–200 metriä. Syvyyteen vaikuttaa rakennuksen lämmöntarve ja porakaivon vedentuotto. Mikäli porakaivossa on huono vedentuotto, täytetään se vedellä, koska vesi lisää talteen saatavan lämpöenergian määrää. Suurissa kohteissa joudutaan poraamaan useita porakaivoja, ja silloin on porakaivojen etäisyyden oltava toisistaan vähintään 15–20 metriä. Jos porakaivo porataan viistoon, niin on huolehdittava siitä, ettei ylitetä tontin rajoja. Kuvassa 2 on esitetty normaalin lämpökaivon rakenne ja sen perusosat. /1;4./



KUVA 2. Lämpökaivon rakenne /6/

3.2.2 Vaakaputkisto

Maaperään asennettava vaakaputkisto sopii suurille tonteille kuten maataloille. Mitoituksessa nyrkkisääntönä pidetään 1-2 putkimetriä lämmitettävää rakennuskuutiota kohden. Vaakaputkisto asennetaan vähintään 1,2 metrin syvyyteen maaperään ja vähintään 1,5 metrin etäisyydelle toisistaan. Vaakaputkiston asennuksessa on oltava erityisen tarkkana, etteivät kivet aiheuta putken vaurioitumista. Vaurioituminen vältetään esitäytöllä, jossa putki peitetään hienolla maa-aineksella ennen kuin se peitetään normaalilla maa-aineksella. Vaakaputkisto routaeristetään niistä kohdista, jotka pidetään talvella puhtaana lumesta kuten esimerkiksi pihatiet sekä vähintään 2 metriä rakennuksen perustusten ulkopuolelle. Etuna vaakaputkistossa on investoinnin edullisuus verrattuna porakaivoon. Vaakaputkiston asennus ei vaikuta pihamaan viljelyyn ja kasvustoon millään lailla. Kuvasta 3 huomataan, että maaperän koostumuksella ja sijainnilla on merkitystä lämpöenergian saantiin. /1;3./

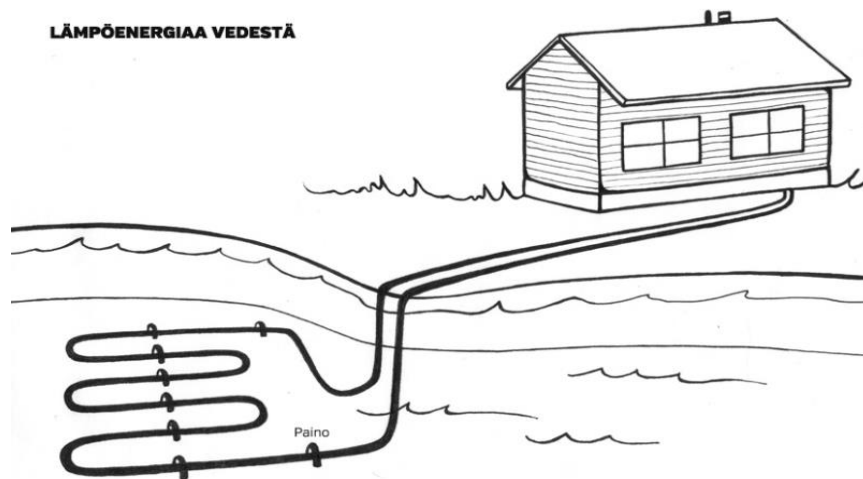
Sijainti	Lämpöenergia kWh/putkimetri	
	Savi	Hiekka
Etelä-Suomi	50...60	30...40
Keski-Suomi	40...45	15...20
Pohjois-Suomi	30...35	0...10

KUVA 3. Maasta vuotuisesti saatavan lämpöenergian ohjeellisia arvoja /3/

3.2.3 Vesistö

Lämmönkeruuputkisto on mahdollista asentaa myös vesistöön kohteissa, jotka sijaitsevat vesistön läheisyydessä. Rajoittavina tekijöinä vesistöön asennuksessa ovat rannan syvyys ja kovat virtauskohdat. Rannan pitäisi olla vähintään 2-3 metriä syvä, koska muuten talvella jääpeite voi vahingoittaa putkea. Vesistöön asennettaessa asennuksessa on samanlaisia vaatimuksia kuin vaakaputkiston asennuksessa. Putkien etäisyys toisistaan on oltava vähintään 1,5 metriä ja putki ankkuroidaan painoja käyttäen 3-5 metrin välein. Vesistöasennuksesta on suotavaa merkitä karttaan putkiston sijainti. Riskinä

putken rikkoutumiselle on esimerkiksi veneen ankkurit. Vesistöasennus on investointina edullinen verrattaessa porakaivoon, mutta työ vaatii kuitenkin erilliskalustoa. Kuvassa 4 on esitetty keruuputkiston asennus vesistöön. /7./



KUVA 4. Lämmönkeruuputkiston asennus vesistöön /8/

3.3 Lämmönjakelutavat

Maalämpö tarvitsee toimiakseen vesikiertoisen lämmönjakojärjestelmän. Yleisimmät lämmönjakojärjestelmät ovat vesikiertoinen lattialämmitys ja vesikiertoinen patterilämmitys. Maalämpö toimii parhaalla hyötysuhteella silloin, kun lämmönjakojärjestelmän lämpötila on mahdollisimman alhainen. /2./

Lattialämmitys on ihanteellinen lämmitysmuoto, koska siinä lämpö nousee fysiikan lakien mukaisesti ylöspäin ja jakautuu huonetiloihin vedottomasti ja tasaisesti. Lattialämmityksessä paras mahdollinen lämmönjakotapa on betonilaatta, koska se varaa hyvin lämpöä. Lattialämmitys voidaan asentaa myös erilaisiin puurakenteisiin lattioihin lämmönluovutuslevyjen avulla, mutta silloin menoveden lämpötilaa joudutaan nostamaan hiukan. Lattialämmitys asennetaan huonekohtaisiin piireihin siten, että ulkoseinien kohdalla putkijako on tiheämpi kuin muualla huoneessa. Jokaista piiriä säädetään huonekohtaisella termostaatilla. Lattialämmitys on paras lämmönjakotapa maalämpöpumpulle, koska lattialämmityksessä käytetään alhaisia lämpötiloja. /2;9./

Vesikiertoinen patterilämmitys voidaan toteuttaa yksiputkikytkennällä, kaksiputkikytkennällä, käännetyllä paluuputkijärjestelmällä tai näiden yhdistelmillä. Patterit asennetaan ikkunoiden alle ja ne pyritään valitsemaan pituudeltaan mahdollisimman lähelle ikkunan leveyttä, jotta vältettäisiin ikkunasta tulevaa kylmäsiiteilyä ja vetoa. Pattereiden suunnittelussa on otettava huomioon äänitekniset seikat, kuten esimerkiksi vesivirtojen säätö. Maalämpöpumppuja asennetaan paljon saneerauskohteisiin, joissa on ennestään vesikiertoinen patteriverkosto. Maalämpöpumppu voi käyttää lämmönjakotapana patteriverkostoa, mutta silloin on käytettävä aiempia lämpötilatasoja alhaisempia menoveden lämpötiloja. Parhaan mahdollisen hyötysuhteen maalämmöstä saa vesikiertoisella patteriverkostolla suurentamalla pattereiden pinta-aloja vastaamaan uusia alhaisempia meno- ja paluueden lämpötiloja. /2;10./

3.4 Lämpötilatasot

Vesikiertoisen patteriverkoston mitoituslämpötilat ovat muuttuneet ajan kuluessa suuresti. Vanhoissa rakennuksissa menoveden lämpötila on saattanut olla jopa + 90 °C, joka on lämpötilana liian korkea esimerkiksi palovammavaaran vuoksi. 70-luvulla mitoituslämpötilana käytettiin + 80 °C ja 80-luvulla siirryttiin jo + 70 °C:een. Myös mitoituslämpötilaero on muuttunut ajan kuluessa 20 °C jopa 40 °C:een. Kun pattereiden mitoituslämpötiloja alennetaan, pitää samalla pattereiden pinta-alaa kasvattaa, että saataisiin patterista sama lämpöteho. Nykyään käytettävät vesikiertoisen patteriverkoston mitoituslämpötilat ovat esimerkiksi saneerauskohteessa + 55 - 35 °C. Edellä mainitut mitoituslämpötilat soveltuvat hyvin maalämmölle. /14./

Uudisrakennuksissa mitoituslämpötiloina voidaan käyttää vesikiertoisessa patteriverkostossa jopa + 45 - 30 °C. Edellä mainitut mitoituslämpötilat ovat mitoitettu matalalämpötilaradiaattoreiden mukaan. Uudisrakennuksissa vesikiertoisessa lattialämmityksessä mitoituslämpötiloina käytetään esimerkiksi + 35 - 30 °C. /15./

3.5 Maalämpöpumpun mitoitus

Maalämpöpumppu mitoitetaan kohteesta riippuen joko täystehoiseksi tai osatehoiseksi. Mitoituksessa on oltava erityisen tarkkana, koska väärin mitoitettu maalämpö kuluttaa enemmän sähköenergiaa ja sitä kautta heikentää maalämmöstä saatavaa hyötyä. Riskinä on, että maalämpö tuottaa merkittävän osan lämmitysenergiasta lisävastuksilla maalämmön sijaan. Toinen merkittävä riski on, että maalämpöpumppu ylimitoitetaan. Ylimitoitettu maalämpöpumppu on investointina kalliimpi ja rasittaa turhaan järjestelmää lyhyillä käyntijaksoilla ja sitä kautta kuluttaa enemmän sähköenergiaa. Optimaalisesti mitoitettu maalämpöpumppu käy pitkiä käyntijaksoja ja on sen ansiosta energiatehokas. /2./

Osatehomitoituksella tarkoitetaan sitä, että maalämpöpumppu mitoitetaan esimerkiksi lämmittämään 80 % lämmitys- ja käyttövesitarpeesta ja loput 20 % lämmitetään jollain muulla tavalla, joka on yleensä sähkövastukset. Osatehomitoitetun maalämpöpumpun hyöty on pitkät käyntijaksot, koska se käy pitkiä käyntiaikoja optimaalisella hyötysuhteella. Osatehomitoitettu maalämpöpumppu on investointina edullisempi verrattuna täystehomitoitettuun, koska osatehomitoitettu maalämpöpumppu on teholtaan pienempi ja se vaatii lyhemmän lämmönkeruupiirin. /2./

Täystehomitoitus tarkoittaa, että maalämpöpumppu pystyy tuottamaan kaiken rakennuksen tarvitseman lämmitystarpeen pelkällä maalämmöllä. Lämmitystarve käsittää käyttöveden ja rakennuksen lämmityksen ilman sähkövastusta, myös talviaikaan kovimmilla pakkasilla. Täystehomitoitettu maalämpöpumppu vaatii suurempitehosen kompressorin ja pitemmän lämmönkeruupiirin, joka aiheuttaa enemmän investointikustannuksia. Myös täystehomitoitettu maalämpöpumppu varustetaan yleensä sähkövastuksella, joka on varalla, jos maalämpöpumppuun tulee toimintahäiriö. Täystehomitoitetussa maalämpöpumpussa riskinä ovat mahdolliset lyhyet käyntijaksot, jotka rasittavat järjestelmää ja alentavat hyötysuhdetta. Lyhyet käyntijaksot vältetään erillisellä varaajalla, johon varataan lämpöä. Maalämpöpumppu käy näin pidempiä käyntijaksoja, sillä varaajassa veden lämpötilan vaihtelu on hitaampaa kuin ilman erillistä varaajaa olevassa lämmitysjärjestelmässä johtuen järjestelmän suuremmasta tilavuudesta. /2./

4 ENERGIAINVESTOINNIN KANNATTAVUUS

Energiainvestoinnin yleisperiaatteena on joko parantaa vanhaa järjestelmää tai uusia se kokonaan. Energiainvestoinnin tarkoituksena on tuottaa tulevaisuudessa kustannussäästöjä laitoksen omistajalle. Hyödyksi lasketaan huolettoman ja helpon käytön lisäksi rahallinen hyöty. Yleissääntönä voidaan sanoa investoinnin olevan kannattava, jos se tuottaa elinkaarensa aikana enemmän tuloja kuin menoja. Esimerkiksi maalämpö on energiainvestointina yleinen, koska se on käyttäjälle helppokäyttöinen ja huoleton, mutta myös rahallisesti kannattava investointi. Maalämpö säästää ostoenergiaa ja sitä kautta rahaa. /17./

4.1 Kannattavuuden tutkiminen

Investointia harkittaessa ei voi olla varma siitä, että se tuottaa elinkaarensa aikana enemmän tuloja kuin menoja. Tästä syystä investointia kannattaa suunnitella huolella ja tehdä laskelmia, jotka antavat viitteitä sen kannattavuudesta. Investoinnin kannattavuutta laskettaessa yleisimmät ja yksinkertaisimmat tavat ovat nykyarvomenetelmä ja takaisinmaksuajan menetelmä. /17./

4.1.1 Nykyarvomenetelmä

Nykyarvomenetelmällä tarkoitetaan menetelmää, jossa diskontataan (siirretään tulevien maksujen arvo nykyaikaan) investoinnin pitoaikana syntyvät vuosittaiset nettotuotot nykyhetkeen. Saatua nettotuottoa verrataan investoinnin hankintamenuun. Investointi on kannattava, jos diskontattujen nettotuottojen yhteismäärä on nolla tai suurempi. /17, s. 133./ Nykyarvo voidaan laskea kaavalla 1. /18./

$$NA = a_{ni} * S + \frac{JA_n}{(1+i)^n} - H \quad (1)$$

jossa,

NA Nykyarvo [€]

a_{ni} Jaksollisten maksujen diskonttaustekijä (nykyarvotekijä)

S	Vuotuiset nettotuotot [€]
JA_n	Jäännösarvo [€]
n	Pitoaika [v]
i	Laskentakorkokanta [%]
H	Investointikustannus [€]

Jaksollisten maksujen diskonttaustekijä eli nykyarvotekijä lasketaan kaavalla 2.

$$a_{ni} = \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \quad (2)$$

jossa,

a_{ni}	Jaksollisten maksujen diskonttaustekijä (nykyarvotekijä)
i	Laskentakorkokanta [%]
n	Pitoaika [v]

4.1.2 Takaisinmaksuajan menetelmä

Takaisinmaksuajan menetelmä on yleinen laskentamenetelmä investoinnin kannattavuutta suunniteltaessa. Takaisinmaksuajan menetelmällä saadaan selvitettyä aika, jonka kuluessa investointi maksaa itsensä takaisin. Investointi on kannattava, jos takaisinmaksuaika on lyhempi kuin investoinnin suunniteltu pitoaika. Takaisinmaksuaika voidaan laskea yksinkertaisimmillaan kaavalla 3. /17, s. 138–139./

$$Takaisinmaksuaika = \frac{\text{investoinnin hankintameno}}{\text{vuotuinen nettotuotto}} \quad (3)$$

5 RAKENNUKSEN SISÄILMASTO JA ÄÄNET

Ihminen viettää huomattavan osan ajastaan sisätiloissa, joten sisäilman laadun on oltava suotuisaa monessakin suhteessa. Sisäilman laatuun vaikuttaa esimerkiksi lämpöolosuhteet, ilmanlaatu, akustiikka ja valaistus. Optimaaliset olosuhteet oleskeltavissa tiloissa vähentävät esimerkiksi väsymystä ja terveyshaittoja sekä parantavat huomattavasti asumisviihtyvyyttä. /23./

5.1 Ääniolosuhteet ja äänen häiritsevyys

Ihmiset kokevat äänet ja melun yksilöllisesti kuuloaistinsa avulla. Jotkut ovat herkempiä ja tottumattomia meluun ja se voi häiritä esimerkiksi heidän untaan tai keskittymistään. Toiset taas eivät koe melua häiritsevänä ja voivat pitää sitä jopa rauhoittavana. Pitkäaikainen kovassa melussa oleskelu aiheuttaa yleensä ihmiselle jonkinlaisen kuulovaurion, mutta myös hetkellinen altistuminen kovalle melulle voi aiheuttaa kuulovaurion. Lyhytaikaisen melun kipukynnyksenä pidetään 130 dB melua. /12./

Ääniä on taajuudeltaan erilaisia, niin korkeita kuin matalia, ja sen takia melua pystytään analysoimaan helpommin, kun se jaetaan oktaavikaistoihin tai vielä tarkemmassa tarkastelussa terssikaistoihin. Melua on helpompi vaimentaa, kun tiedetään melun taajuus. /11, s. 57./ Melu voi kulkeutua rakennukseen eri reittejä pitkin, eli puhutaan äänen reiteistä. Ääni voi kulkeutua tilaan suorana meluna eli ilmääninä tai rakenteita pitkin, jolloin puhutaan runkoäänistä.

Rakennusten meluun liittyviä määräyksiä ja ohjeita on käsitelty esimerkiksi Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa D2 ja sosiaali- ja terveysministeriön asumisterveysohjeessa. Edellä mainituissa lähteissä melulle on asetettu raja-arvoja, joita noudatetaan rakennusten äänitasoja tutkittaessa. Sosiaali- ja terveysministeriön asumisterveysohjeessa määritetyt melun ohjearvot ovat hiukan korkeammat kuin esimerkiksi rakentamismääräyskokoelman osassa D2, koska siinä on otettu huomioon asunto- tai piha-alueiden melutasot. /11, s. 61./ Taulukossa 1 on esitetty sosiaali- ja terveysministeriön asumisterveysohjeen ilmoittamat päivä- ja yöajan melutasojen ohjearvot asun-

noissa ja muissa oleskelutiloissa. Taulukossa 2 on esitetty rakentamismääräyskokoelman osan D2 ilmoittamat melutasojen A-taajuuspainotettu keskiäänitaso ja enimmäisäänitaso.

TAULUKKO 1. Päivä- ja yöajan melutasojen ohjearvot /12/

Huonetila	$L_{Aeq,07-22\text{ h}}$	$L_{Aeq,22-07\text{ h}}$
Asuinhuoneet, paitsi keittiö	35 dB	30 dB
Asunnon muut tilat ja keittiö	40 dB	40 dB

TAULUKKO 2. Huonetilojen melutasojen ohjearvot /13/

Huonetila	$L_{A,eq,T}$	$L_{A,max}$
Asuinhuoneet	28 dB	33 dB
Keittiö	33 dB	38 dB

Äänitasoja mitattaessa voidaan taustäänitaso mitata siten, että esimerkiksi maalämpöpumppu suljetaan ja mitataan muista laitteista aiheutuvat äänitasot. Mitattua taustamelua verrataan äänitasoon, jonka maalämpö aiheuttaa. Mikäli erotus on 10 dB tai sen yli voidaan todeta, että taustamelu ei vaikuta maalämpöpumpusta aiheutuvaan meluun. Kuvassa 5 on esitetty kokonaisäänitason ja taustäänitason erotuksesta riippuvat vähennettävät desibelimäärät. /19./

Kokonaisäänitason ja taustäänitason erotus dB(A)	Kokonaisäänitasosta vähennettävä dB(A)
> 10	0
6 ... 10	1
4 ... 5	2
3	3
2	4
1	6

KUVA 5. Kokonaisäänitasosta vähennettävä desibeli määrä /19/

Rakentamismääräyskokoelman osan D2 ja sosiaali- ja terveysministeriön asumisterveysohjeen määrittelemät äänitasojen ohje-arvot ovat tarkoitettu mitattavaksi tyhjässä huoneessa. Mikäli huoneisto on kalustettu, pitäisi tilasta riippuen sallitusta äänitasosta vähentää kuvan 6 mukaisesti desibelejä. /20./

Huonetila	Huonevaimennus ¹⁾
Makuuhuone	- 3 dB
Olohuone	- 2 dB
Tubakeittiö	- 1 dB
Eteinen	± 0 dB
Pesuhuone, WC	+ 7 dB

KUVA 6. Eri huonetilojen suuntaa-antavia huonevaimennuksen arvoja /20/

6 TUTKIMUSMENETELMÄT

6.1 Maalämpöpumpun kannattavuus

Maalämpöpumpun kannattavuutta tutkitaan tässä työssä nykyarvomenetelmän ja takaisinmaksuajan menetelmän kautta. Käytettävissä oli tutkittavan kohteen käyttöveden kulutukset sekä sähkölaskut. Sähkölaskut ovat vuodelta ennen maalämpöön siirtymistä ja vuodelta maalämpöön siirtymisen jälkeen.

6.1.1 Normeerattu energiankulutus

Sähkölaskujen energiankulutuksille tehtiin normitus eli astepäivälukukorjaus, jonka avulla voidaan verrata toisiinsa saman rakennuksen eri kuukausien tai vuosien energiankulutuksia. Astepäiväluvusta käytetään nykyään termiä lämmitystarveluku. Lämmitystarvelukua laskettaessa huomioon ei oteta päiviä, joiden keskilämpötila on keväällä yli + 10 °C ja syksyllä yli + 12 °C. Laskennassa siis oletetaan, että lämmitys kiinteistössä lopetetaan ja aloitetaan päivittäin ulkolämpötilan ylittäessä tai alittaessa edellä mainitut rajat. Lämmitystarveluvut laskettiin keskiarvona Jyväskylän ja Lappeenrannan arvoista, koska Mikkeli ei kuulu niihin paikkakuntiin, joille ilmatieteenlaitos ilmoittaa lämmitystarveluvun. Kohteen lämpimän käyttöveden kulutusta on seurattu vuositasolla, ja koska

vertailujakso osui kahden eri vuoden väliin, laskettiin keskiarvot kahdelta eri vuodelta. Normeerattu energiankulutus laskettiin kahdelta seurantajaksolta. Ensimmäinen seurantajakso oli ennen maalämpöön siirtymistä ja toinen seurantajakso maalämpöä käytettäessä. /21./

Normeerattu energiankulutus voidaan laskea kaavalla 4. /22./

$$Q_{norm} = \frac{S_N \text{ vpkunta}}{S_{toteutunut \text{ vpkunta}}} * Q_{toteutunut} + Q_{lämmin \text{ käyttövesi}} \quad (4)$$

jossa,

Q_{norm} .	Rakennuksen normitettu lämmitysenergiankulutus [kWh/a]
$S_N \text{ vpkunta}$	Normaalivuoden- tai kuukauden lämmitystarveluku vertailupaikkakunnalla
$S_{toteutunut \text{ vpkunta}}$.	Toteutunut lämmitystarveluku vuosi- tai kuukausitasolla vertailupaikkakunnalla
$Q_{toteutunut}$	Rakennuksen tilojen lämmittämiseen kuluva energia [kWh/a]
$Q_{lämmin \text{ käyttövesi}}$	Käyttöveden lämmittämisen vaatima energia [kWh/a]

Rakennuksen tilojen lämmittämiseen kuluva energia $Q_{toteutunut}$ lasketaan kaavalla 5. /22./

$$Q_{toteutunut} = Q_{kok} - Q_{lämmin \text{ käyttövesi}} \quad (5)$$

jossa,

Q_{kok}	Rakennuksen kokonaislämmitysenergiankulutus [kWh]
-----------	---

Käyttöveden lämmittämiseen vaatima energia $Q_{lämmin \text{ käyttövesi}}$ laskettiin kaavalla 6. /22./

$$Q_{lämmin \text{ käyttövesi}} = 58 * V_{lkv} \quad (6)$$

jossa,

58	Veden lämmittämiseen tarvittava energiamäärä vesikuutiota kohden [kWh/m ³]
----	--

V_{kv} Kulutettu lämpimän käyttöveden määrä [m^3/a]

6.2 Maalämpöpumpusta aiheutuvat äänitasot

Maalämpöpumpun käyntiäänestä aiheutuvaa äänihaittaa tutkittiin Mikkelin ammattikorkeakoulun äänimittauslaitteilla ja mittaukset suoritettiin standardin SFS 5517 laati- milla ohjeilla. /19./ Mittauslaitteena käytettiin Norsonic Nor140 äänimittaria. Äänimit- taukset suoritettiin asettamalla äänimittari 1,1 metrin korkeudelle ja mahdollisimman keskelle mitattavaa tilaa. Mittaukset olivat kestoltaan yhden minuutin ja tilasta mitattiin äänitasoja kolmesta eri suunnasta. Kolmesta eri suunnasta mitatusta äänitasosta lasket- tiin keskiarvo, jotta saataisiin mahdollisimman tarkka äänitaso tilassa.

Mittaukset suoritettiin tutkittavan kohteen lämmönjakohuoneessa ja huoneistossa, joissa äänihaitta oli havaittu. Huoneistossa mittauspisteiksi valittiin huoneet, jotka oli- vat lämmönjakohuoneen seinän takana eli olohuone ja makuuhuone. Mittaukset suori- tettiin kolmessa eri vaiheessa. Ensimmäisessä vaiheessa mitattiin äänet siten, että päällä oli vain lämmönjakohuoneessa sijaitsevat kiertovesipumput ja huoneistossa päällä oli koneellinen poistopuhallin. Toisessa vaiheessa edellä mainituiden lisäksi päälle laitet- tiin maalämpöpumppu ja mittaukset suoritettiin samalla tavalla uudelleen. Kolman- nessa vaiheessa maalämpöpumppu vuorattiin akustiikkalevyllä ja mittaukset suoritettiin samalla tavalla uudelleen. Lisäksi huoneiston tuulikaapissa oli radiaattori, josta aiheutui kuuluvaa virtausääntä. Edellä mainitut mittaukset suoritettiin tuulikaapin ovi auki. Vii- meisenä mitattiin äänet olohuoneesta tuulikaapin suuntaan siten, että tuulikaapin ovi oli kiinni, jotta saatiin selville radiaattorista aiheutuva äänitaso.

7 TUTKITTAVA KOHDE

Tutkittava kohde on vuonna 1988 rakennettu kaksiosainen rivitalokiinteistö, joka sijaitsee Ristiinassa. Rivitalokiinteistössä on 6 huoneistoa ja lämmitettävää pinta-alaa yhteensä 356 m², ja suurimmassa osassa huoneistoista asuu enintään 2 henkilöä.

Kohteessa oli aiemmin suorasähkölämmitys vesikiertoisella patteriverkostolla. Kesällä 2013 kohteeseen asennettiin maalämpöpumppu, joka on lämpöteholtaan 30 kW ja se on mitoitettu täystehoiseksi. Lämpöteho on ilmoitettu suoritusarvoilla 0/35, jossa 0 asteella tarkoitetaan lämmönlähteen lämpötilaa ja 35 asteella lämmönluovutus lämpötilaa. Maalämpöpumppu on liitetty 4 m³ vesivaraajaan, joka oli kohteessa jo ennestään. Asennettu maalämpöpumppu on omavalmisteinen, eli se on rakennettu valmiista komponenteista kohteen vaatimukset täyttäväksi.

Maalämpöön siirtymisen jälkeen tutkimuskohteen patteriverkoston mitoituslämpötilat muutettiin arvoihin + 55 - 40 °C, kun ne aikaisemmin olivat + 80 - 50 °C. Lämpimän käyttöveden arvoksi asetettiin + 55 °C. Myös sulakekoko pieneni maalämpöön siirtymisen johdosta, koska suorasähkölämmitys vaatii isommat sulakkeet kuin maalämpöpumppu. Aiemmin sulakekoko oli 3x100 A ja maalämpöön siirtymisen jälkeen sulakekoko on 3x35 A.

8 TULOKSET JA NIIDEN ANALYSOINTI

8.1 Maalämpöpumpun kannattavuus

Maalämpöpumpun kannattavuus laskettiin nykyarvomenetelmällä ja takaisinmaksuajan menetelmällä. Laskelmissa käytettävät nettotuotot laskettiin sähkölaskujen perusteella, jotka ovat ajalta 30.6.2012–30.6.2013 ja 30.6.2013–30.6.2014. Kaavalla 1 saatiin laskettua investoinnin nykyarvo. Laskelmissa vuotuinen nettotuotto oletettiin joka vuodelle vakioksi, ja laskentakorkokannaksi oletettiin 5 %. Laskelmissa esitetyt summat sisältävät arvonlisäveron 24 %. Seurantajakson aikaiset rahalliset säästöt on esitetty taulukossa 3.

TAULUKKO 3. Seurantajakson aikaiset energiakustannukset

Aika [kk]	Suorasähkölämmitys [€]	Maalämpö [€]	Säästö [€]
30.06-31.07	475,18	356,31	118,87
31.07-31.08	530,43	211,26	319,17
31.08-30.09	606,68	339,35	267,33
30.09-31.10	797,03	417,95	379,08
31.10-30.11	880,14	459,73	420,41
30.11-31.12	1225,04	585,81	639,23
31.12-31.01	1160,26	672,46	487,8
31.01-28.02	971,45	506,78	464,67
28.02-31.03	1104,22	499,58	604,64
31.03-30.04	850,31	394,24	456,07
30.04-31.05	656,37	348,51	307,86
31.05-30.06	454,2	292,79	161,41
Yhteensä	9711,31	5084,77	4626,54

$$a_{ni} = \frac{(1+0,05)^{20v}-1}{0,05(1+0,05)^{20v}} = 20,00$$

$$NA = 20,00 * 4626,54 \text{ €} + \frac{5000 \text{ €}}{(1+0,05)^{20v}} - 27043,80 \text{ €} = \underline{\underline{67371,4 \text{ €}}}$$

Jos pitoajaksi määritellään 15 vuotta ja jäännösarvoksi 3000€, niin nykyarvo muuttuu huomattavasti.

$$a_{ni} = \frac{(1+0,05)^{15v}-1}{0,05(1+0,05)^{15v}} = 10,38$$

$$NA = 10,38 * 4626,54 \text{ €} + \frac{3000\text{€}}{(1+0,05)^{15v}} - 27043,80 \text{ €} = \underline{\underline{22422,7 \text{ €}}}$$

Takaisinmaksuaika laskettiin kaavalla 3.

$$\text{Takaisinmaksuaika} = \frac{27043,80 \text{ €}}{4626,54 \text{ €}} = \underline{\underline{5,8 \text{ vuotta}}}$$

Laskelmista nähdään investoinnin olevan kannattava riippumatta siitä, onko pitoaika 15 vai 20 vuotta. Laskelmat ovat kuitenkin suuntaa antavia, koska vuotuiset nettotuotot vaihtelevat vuosittain. Vaihteluun vaikuttaa investointiin kohdistuvat vuosittaiset huoltokustannukset, sekä lämmityskauden pituus ja sääolosuhteet.

Normeerattu energian kulutus laskettiin kaavalla 4. Maalämpöpumpun normeerattua energiankulutusta laskettaessa lämpimän käyttöveden kulutus jaetaan rakentamismääräyskokoelman osan D5 määrittelemällä maalämpöpumpun lämpökertoimella, joka on 2.5. /16./

$$Q_{\text{toteutunut, suorasähkölämmitys}} = 68335 \frac{\text{kWh}}{\text{a}} - 7917 \frac{\text{kWh}}{\text{a}} = 60418 \frac{\text{kWh}}{\text{a}}$$

$$Q_{\text{toteutunut, maalämpöpumppu}} = 34872 \frac{\text{kWh}}{\text{a}} - 3108,8 \frac{\text{kWh}}{\text{a}} = 31763,2 \frac{\text{kWh}}{\text{a}}$$

$$Q_{\text{norm, suorasähkölämmitys}} = \frac{4671}{4611,5} * 60418 \frac{\text{kWh}}{\text{a}} + 7917 \frac{\text{kWh}}{\text{a}} = \underline{\underline{69114,5 \text{ kWh/a}}}$$

$$Q_{\text{norm, maalämpöpumppu}} = \frac{4671}{4008,5} * 31763,2 \frac{\text{kWh}}{\text{a}} + 7772 \frac{\text{kWh}}{\text{a}} / 2.5 = \underline{\underline{40121,6 \text{ kWh/a}}}$$

Normeeratuista energiankulutuksista nähdään, että talvi 2013–2014 on ollut leudompi kuin 2012–2013. Seurantajakson aikaiset lämmitystarveluvut esitetty taulukossa 4, sekä seurantajakson aikaiset energiankulutukset esitetty taulukossa 5, ja lämpimän käyttöveden kulutukset taulukossa 6.

TAULUKKO 4. Seurantajakson lämmitystarveluvut /21/

Vuosi	Lämmitystarveluvut	Lämmitystarveluvut vertailukaudella
2012-2013	4611,5	4671
2013-2014	4008,5	4671

TAULUKKO 5. Seurantajakson aikaiset energiankulutukset

Aika [kk]	Suorasähkölämmitys [kWh]	Maalämpö [kWh]
30.06-31.07	2776	1664
31.07-31.08	3299	1583
31.08-30.09	3963	2132
30.09-31.10	5670	2834
31.10-30.11	6387	3208
30.11-31.12	9463	4335
31.12-31.01	8698	5009
31.01-28.02	7025	3550
28.02-31.03	8294	3515
31.03-30.04	6016	2826
30.04-31.05	4286	2372
31.05-30.06	2458	1844
Yhteensä	68335	34872

TAULUKKO 6. Lämpimän käyttöveden kulutukset

Vuosi	Lämpimän käyttöveden kulutus [m ³]	Lämpimän käyttöveden kulutus [kWh/a]
2012-2013	136,5	7917
2013-2014	134	3108,8

8.2 Maalämpöpumpusta aiheutuvat äänet

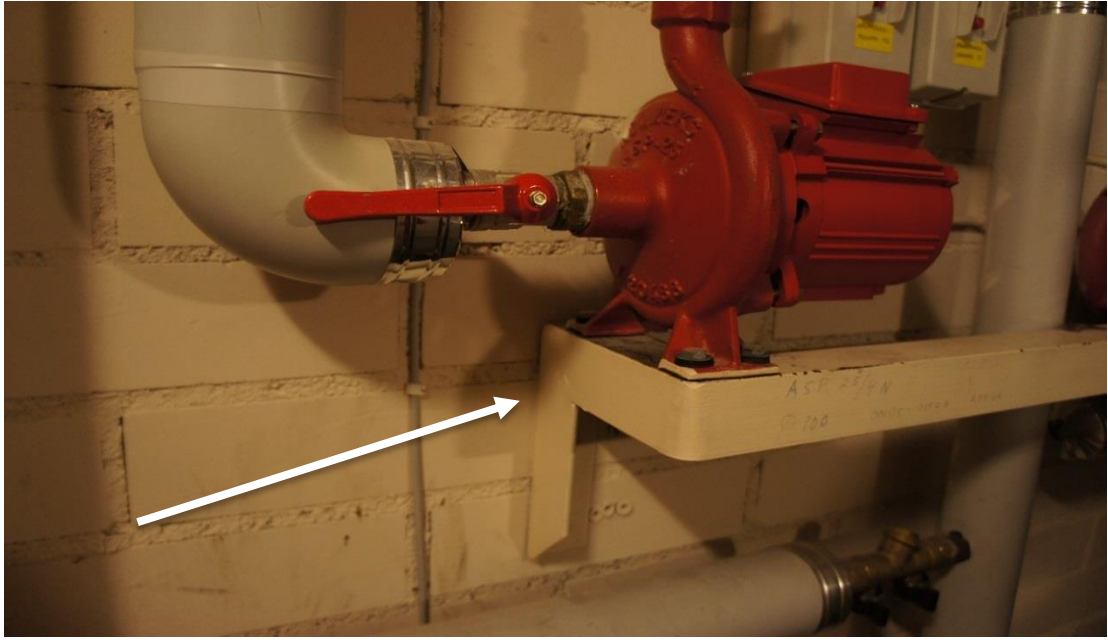
Mittaukset suoritettiin 20.1.2015. Mittausten tavoitteena oli selvittää mahdollisimman tarkasti äänilähteet, joista aiheutuva äänihaitta johtuu. Kuvassa 7 on esitetty mittauksissa käytetty Norsonic Nor140 äänimittari. Mittaukset aloitettiin ja lopetettiin kalibroimalla äänimittari, jotta nähtiin oliko mittarin näyttämät tulokset pysyneet luotettavina mittausten ajan. Kalibrointitodistus esitetty liitteessä 1.



KUVA 7. Norsonic Nor140 äänimittari

Huoneistossa mitatut äänitasot ovat tulkinnanvaraisia siinä suhteessa, että mihin niitä verrataan. Sosiaali- ja terveysministeriön asumisterveysohjeeseen verrattuna äänitasot ovat selvästi sallituissa rajoissa. Rakentamismääräyskokoelman osaan D2 verrattaessa äänitasot ovat hiukan alle sallittujen arvojen. Mikäli sallitusta 28 dB:n äänitasosta vähennetään kuvan 6 mukaisesti esimerkiksi olohuoneessa 2 dB, niin sallituksi äänitasoksi tulee 26 dB, ja siitä syystä mitatut äänitasot ovat hiukan sallittuja korkeammat.

Huoneistossa havaittu äänihaitta ei ollut yksiselitteinen, koska ääniä aiheutui monesta eri tekijästä. Lämmönjakohuoneessa kiertovesipumput olivat sijoitettu tiiliseinälle, jonka toisella puolella on asuinhuoneisto. Kiertovesipumppujen telineen ja tiiliseinän välissä ei ollut käytetty minkäänlaista värinänpoistajaa, kuten esimerkiksi kumimattoa. Kuvassa 6 on merkitty nuolella kiertovesipumppujen telineen kiinnitys tiiliseinään.



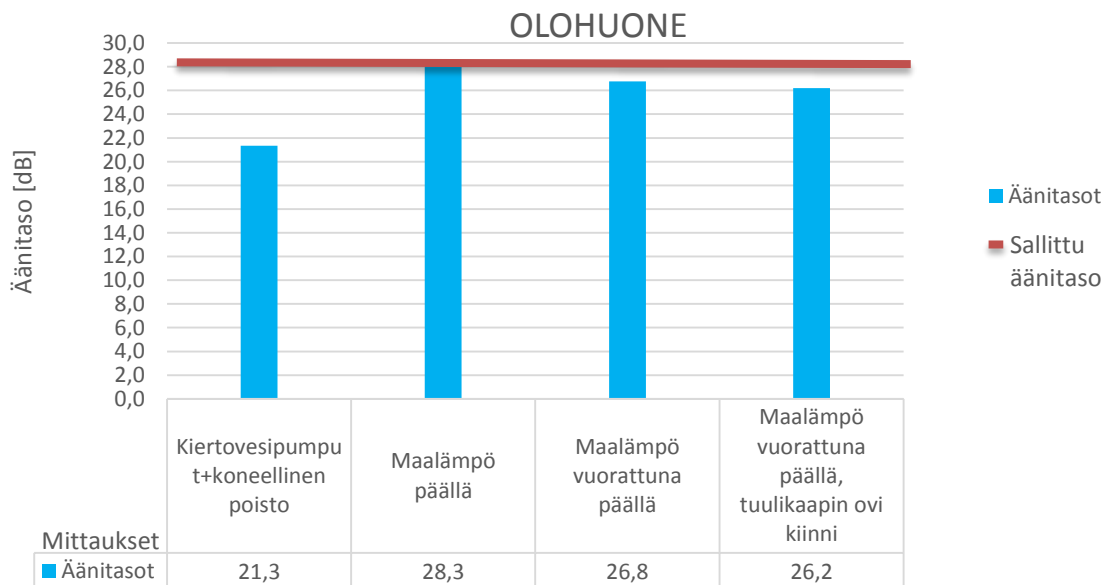
KUVA 8. Kiertovesipumppujen teline tiiliseinällä

Maalämpöpumpun käyntiääni lisättynä kiertovesipumpuista ja koneellisesta poistohaltimesta aiheutuvaan ääneen ylittää sallitun 28 dB:n äänitason. Tästä voidaan päätellä, että maalämpöpumppu on yksi osatekijä äänihaittaan. Maalämpöpumpun vuoraaminen akustiikkalevyllä auttoi äänitasoja alenemaan sallittuun arvoon noin 27 dB:iin. Maalämpöpumppu vuorattiin vain kahdelta puolelta, joten oletetaan äänitasojen alenevan entisestään jos se vuorattaisiin kokonaan. Kuvassa 7 on esitetty maalämpöpumppu ennen vuorausta ja vuorauksen jälkeen.



KUVA 9. Maalämpöpumppu ennen ja jälkeen vuorauksen

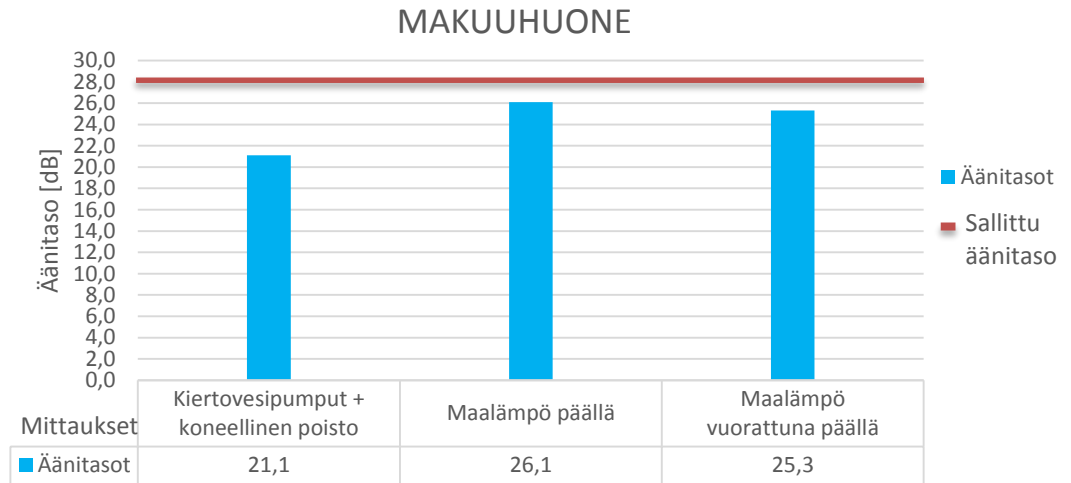
Kuvaajassa 1 on esitetty olohuoneessa mitatut äänitasot. Kuvaajasta huomaa äänitasojen olevan alhaisia, kun päällä on vain kiertovesipumput ja koneellinen poistopuhallin. Toisessa mittauksessa edellä mainittujen lisäksi päällä oli maalämpöpumppu ja kuvaajasta huomaa äänitasojen olevan hiukan yli sallitun 28 dB:n. Kolmannessa mittauksessa maalämpöpumppu vuorattiin akustiikkalevyllä ja kuvaajasta nähdään äänitasojen alentuneen sallittuun arvoon noin 27 dB. Viimeinen mittaus suoritettiin tuulikaapin ovi kiinni, jolloin saatiin poistettua radiaattorista aiheutuvan virtausäänen vaikutus tuloksiin. Kuvaajasta nähdään äänitasojen alentuneen noin 1 dB:n, joten ovea kiinni pitämällä saadaan äänitasoja alennettua vähän. Kuvassa 5 nähdyn kokonaisäänitason ja taustäänitason erotuksesta riippuvan desibelivähennyksen johdosta voidaan todeta, että kokonaisäänitason ollessa 26,77 dB ja taustäänitason ollessa 21,33 dB tulee erotukseksi noin 5,5 dB. Tästä syystä kokonaisäänitasosta voidaan tulkintatarkkuudesta riippuen vähentää 1-2 dB, joten kokonaisäänitasoksi saadaan 25–26 dB.



KUVAAJA 1. Olohuoneen äänitasot

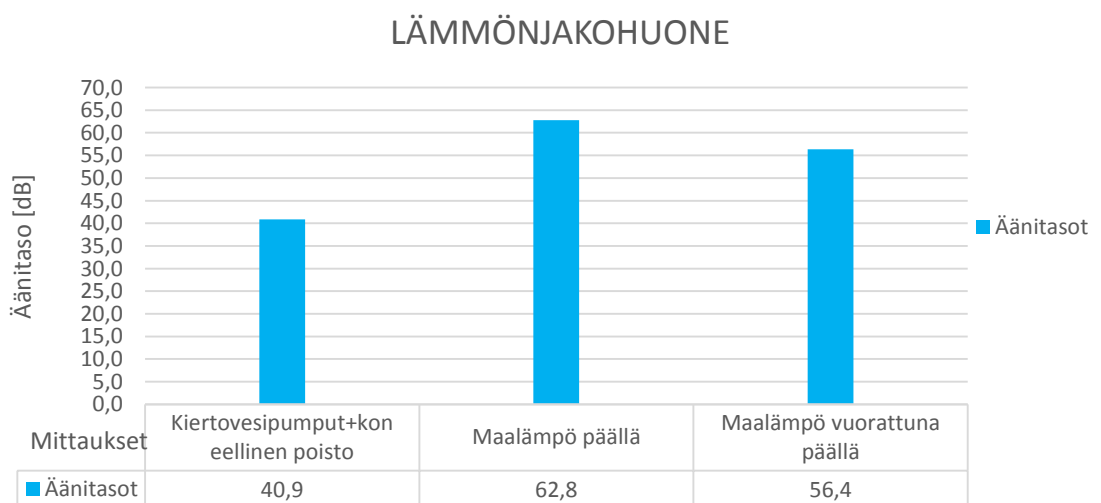
Kuvaajassa 2 on esitetty makuuhuoneessa mitatut äänitasot. Kaikki suoritettavat mittaukset osoittavat äänitasojen olevan sallituissa rajoissa makuuhuoneessa. Normaalitilanteessa äänitaso makuuhuoneessa on mittausten mukaan noin 25 dB. Makuuhuoneessa mitatut äänitasot ovat olohuoneeseen verrattuna pienemmät, koska makuuhuoneessa oli iso parisänky, joka vaimentaa ääniä hyvin. Toinen huomioitava syy on, että koneellisen

poistopuhaltimen äänet eivät kuulu makuuhuoneeseen yhtä selkeästi kuin olohuoneeseen.



KUVAAJA 2. Makuuhuoneen äänitasot

Kuvaajassa 3 on esitetty lämmönjakohuoneessa mitatut äänitasot. Kuvaajasta huomaa, että maalämpöpumpun käyntiääni aiheuttaa suurimman osan lämmönjakohuoneen äänitasoista. Äänitasot alenivat kuitenkin huomattavasti, kun maalämpöpumppu vuorattiin.



KUVAAJA 3. Lämmönjakohuoneen äänitasot

8.2.1 Korjausehdotukset äänihaitan poistamiseksi

Korjausehdotuksia on useita äänihaitan poistamiseksi. Ensimmäiseksi pitäisi ainakin kiertovesipumppujen teline erottaa tiiliseinästä esimerkiksi kumimaton avulla, jotta saataisiin värinä poistettua. Järkevintä olisi siirtää kiertovesipumput seinältä lattialle ja asentaa lattian ja pumppujen väliin äänenvaimennuskumit.

Toinen huomioitava keino olisi vuorata maalämpöpumppu kokonaan, koska mittauksissa se oli vuorattu vain kahdelta puolelta. Myös maalämpöpumpun kompressorien kytkentäputket voitaisiin vaihtaa joustoputkiin, jotta putkilinjoja pitkin ei kulkeutuisi värinä-ääntä. Lämmönjakohuoneen kattoon voisi asentaa akustiikkalevyjä, jotta maalämpöpumpun kaikumisääni vaimentuisi ja sitä kautta huoneistoon kulkeutuva ääni alentuisi.

Jos edellä mainituilla korjauksilla ei äänihaittaa saa poistettua, voisi lämmönjakohuoneen laatasta tehdä ns. kelluvan eli erottaa laatta seinistä. Kelluvalla laatalle saataisiin poistettua runkoon kulkeutuvat äänet hyvin. Edellä mainittu toimenpide on kuitenkin saneerauskohteessa hyvin hankala, koska pitäisi tietää tarkkaan putki- ja sähköjohtojen sijainti, ettei laattaa sahatessa katkaise myös niitä.

9 YHTEENVETO

Tässä opinnäytetyössä tutkittiin vain yhden saneerauskohteen maalämpöjärjestelmän kannattavuutta, joten tuloksia ei voi pitää yleispätevinä. Jokainen kohde on erilainen rakenteiltaan ja tekniikaltaan, joten jokaista kohdetta on tutkittava aina omana kohteenaan.

Tutkittavan kohteen maalämpöpumppu on investointina kannattava, vaikka tuloksia ei voida pitää täysin luotettavina. Sähkölaskujen pohjalta tehtyjen laskelmien perusteella investointi on tuottanut vuodessa nettotuottoa eli säästöä yli 4000 € ja säästänyt sähköenergiaa lähes puolet aiemmasta kulutuksesta. Laskelmista nähtiin myös, että jos oletetaan tutkittavan kohteen maalämpöpumpun pitoajaksi 20 vuotta, on sen nykyarvo lähes

70000 €, eli noin kolminkertainen alkuinvestointiin nähden. Omavalmisteisen maalämpöpumpun takaisinmaksuajaksi laskettiin 5,8 vuotta, joka on todella hyvä tutkittavassa kiinteistössä. Takaisinmaksuaikaan toisaalta vaikuttaa huomattavasti lämmityskauden pituus ja sääolosuhteet. Esimerkiksi vuosi 2013–2014 oli leuto, joten vuotuista nettotuottoa saatiin vähemmän kuin kylmänä vuotena olisi saatu ja tätä kautta myös takaisinmaksuaika pidentyi.

Tutkittavassa kohteessa havaittu äänihaitta oli usean eri tekijän summa. Äänitasot saatiin sallittuihin raja-arvoihin vuoraamalla maalämpöpumppu. Vaikka äänitasot ovat kohteessa sallituissa rajoissa, niin se ei tarkoita että ongelma olisi poistettu. Ongelman poistamiseksi kannattaisi ensimmäiseksi miettiä parannuksia kiertovesipumppujen suhteen. Järkevintä olisi siirtää kiertovesipumput lattialle, mutta jos ne pidetään entisellään, niin olisi syytä ainakin asentaa tiiliseinän ja telineen väliin kumimattoa värinän poistamiseksi. Voidaan olettaa myös, että akustiikkalevyjen asentaminen teknisen tilan kattoon parantaisi asiaa huomattavasti.

Yleisesti voidaan sanoa, että maalämpöinvestointi oli kannattava ratkaisu korvattaessa suora sähkölämmitys, jossa lämmönjako on toteutettu patteriverkostolla ja pattereiden pinta-alat ovat riittävän suuret. Opinnäytetyön tulosten perusteella maalämpö sopii hyvin asennettavaksi myös saneerauskohteisiin.

LÄHTEET

1. Lämpöä omasta maasta. Motiva. PDF-dokumentti. <http://www.gebwell.fi/wp-content/uploads/2014/05/MotivaLampoaOmastaMaasta.pdf>. Ei päivitystietoa. Luettu 5.1.2015.
2. Maalämpö. Senera. WWW-dokumentti. <http://www.senera.fi/Maalampo#9>. Ei päivitystietoa. Luettu 5.1.2015.
3. Rakennustieto. Lämpöpumput 2002. PDF-dokumentti. Päivitetty 1.3.2002. Luettu 7.1.2015.
4. Maalämpö. Lämpökaivo, porakaivo. Senera. WWW-dokumentti. http://www.senera.fi/Maalampo/Lampokaivo__porakaivo/. Ei päivitystietoa. Luettu 7.1.2015.
5. Maalämpöpumppu. Motiva. WWW-dokumentti. http://www.motiva.fi/rakentaminen/lammitysjarjestelman_valinta/eri_lammitysmuodot/maalampopumppu. Päivitetty 3.12.2014. Luettu 7.1.2015.
6. Juvonen, Janne & Lepinlammi, Toivo. 2013. Energiakaivo. Ympäristöopas. PDF-dokumentti. https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/40953/YO_2013.pdf?sequence4. Ei päivitystietoa. Luettu 8.1.2015.
7. Maalämpöpumppu. Energiatehokaskoti. WWW-dokumentti. http://www.energiatehokaskoti.fi/suunnittelu/talotekniikan_suunnittelu/lammitys/ilmalampo-_ja_maalampopumput/maalampopumppu. Päivitetty 18.8.2014. Luettu 8.1.2015.
8. Maalämpöinfo. Nordicekolämpö. WWW-dokumentti. <http://www.nordicekolampo.fi/maalampoinfo>. Ei päivitystietoa. Luettu 11.1.2015.
9. Harju Pentti. Lämmitystekniikan oppikirja. PDF-dokumentti. http://www.penantieto-opus.fi/files/lammitystekniikan_oppikirja.pdf. Ei päivitystietoa. Luettu 11.1.2015.

10. Rakennustieto. Vesikiertoinen patterilämmitys 2002. PDF-dokumentti. Päivitetty 1.11.2002. Luettu 11.1.2015.
11. Ilmastointilaitoksen mitoitus, Ilmastointitekniikka osa 2. Talotekniikka-julkaisut Oy.
12. Asumisterveysohje. Sosiaali- ja terveysministeriö. PDF-dokumentti. http://www.finlex.fi/pdf/normit/14951-asumisterveysohje_pdf.pdf. Ei päivitystietoa. Luettu 15.1.2015.
13. Ympäristöministeriö. Rakentamismääräyskokoelma osa D2, rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto. PDF-dokumentti. http://www.finlex.fi/data/normit/37187-D2-2012_Suomi.pdf. Ei päivitystietoa. Luettu 15.1.2015.
14. Seppänen Olli. Rakennusten lämmitys 2001. Suomen LVI-liitto.
15. Rakennusten kaukolämmitys, määräykset ja ohjeet K1/2013. PDF-dokumentti. http://www.jyvaskylanenergia.fi/filebank/630-julkaisuk1_2013_rakennusten-kaukolammitus.pdf. Ei päivitystietoa. Luettu 16.1.2015.
16. Ympäristöministeriö. Rakentamismääräyskokoelma osa D5, Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. PDF-dokumentti. <http://www.ymparisto.fi/download/noname/%7B8C5C3B41-E127-4889-95B0-285E9223DEE6%7D/40468>. Ei päivitystietoa. Luettu 17.1.2015.
17. Eklund Irina & Kekkonen Heidi, Kannattavuuslaskenta ja hinnoittelu 2014. Sanoma Pro Oy.
18. Investointilaskentamenetelmiä. Metropolia. PDF-dokumentti. http://users.metropolia.fi/~mikalem/investointilaskenta/3.%20Investoinnit_Nykyarvomenetelma_040913-1.pdf. Ei päivitystietoa. Luettu 17.1.2015.

19. SFS 5517, Ilmastointi. Ilmastointijärjestelmän vastaanottomittaukset. Äänimittaukset. (1992). Suomen standardoimisliitto SFS.
20. LVI 30–10333. Ilmanvaihtolaitteiden äänitekhninen suunnittelu ja äänen-
vaimennus asuinrakennuksessa.
21. Ilmatieteenlaitos. Lämmitystarveluvut. WWW-dokumentti.
<http://ilmatieteenlaitos.fi/lammitystarveluvut>. Päivitetty 20.1.2015. Luettu
19.1.2015.
22. Motiva. Kulutuksen normitus. WWW-dokumentti. http://www.motiva.fi/julkinen_sektori/energiankayton_tehostaminen/kiinteistojen_energianhallinta/kulutuksen_normitus. Päivitetty 10.9.2014. Luettu 5.2.2015.
23. Babiak Jan, Olesen Bjarne. W & Petras Dusan. Low temperature heating and high temperature cooling. Rehva.



Systemex Nederland B.V.
 Feustrat 11
 4870 AG Euen Leur

CALIBRATION CERTIFICATE

Certificate number: 538507

Page 1 of 2

Applicant: Mikkelin ammattikorkeakoulu Oy

Finland

Instrument:	Make	Type	Serial number
Sound level meter :	Norsonic	Nor 140	1405393
Microphone :	Norsonic	Nor 1225	157498
Preamplifier :	Norsonic	Nor 1209	15226

Calibration date: 19-12-2014

Calibration method: The sound level meter with microphone and microphone preamplifier has been verified against the requirements as specified in the IEC 61672 standards for the applicable class of accuracy (class 1 or class 2).
 Before and after the tests the sound level meter is calibrated with an acoustic calibrator (nominal sound level 94.0 dB; frequency 1 kHz) and adjusted if necessary.

Results: The results of the verification are stated on page 2 of this certificate. The ambient temperature during the measurements was 21,0 °C ± 4 °C.

Traceability: The measurements have been executed using standards for which the traceability to (inter)national standards has been demonstrated towards the Raad voor Accreditatie.

Executed

Eten Leur, 19-12-2014

K.J. Roskamp
 Service Engineer

The Raad voor Accreditatie is one of the signatories of the Multilateral Agreement of the European Cooperation for Accreditation for the mutual recognition of calibration certificates.

Reproduction of the complete certificate is allowed. Parts of the certificate may only be reproduced with written approval of the calibration laboratory. This certificate is issued with the reservation that neither Systemex nor the Raad voor Accreditatie does assume any liability.



Page 2 of 2

Certificate number: 538507

Status of the instrument				
Measurement:		Upon receipt (Pass/Fail)	Adjusted (Yes/No)	After adjustment (Pass/Fail)
1*	Reading under reference conditions IEC 61672	Fail	No	Pass
2	Frequency response (acoustic), C frequency weighting IEC 61672 – 5.2	Pass	No	Pass
3	Supplied acoustic calibrator IEC 651 – 4.2/9.2.1	Refer to separate certificate		
4	Frequency weighting (electrical input), A, C and Lin frequency weighting IEC 61672 – 5.4	Pass	No	Pass
5	Frequency and Time weighting at 1 kHz (A, C and Lin frequency weighting) IEC 61672 – 5.4	Pass	No	Pass
6	Accuracy of the attenuator IEC 61672 – 5.5	Pass	No	Pass
7	Toneburst F, S and SEL IEC 61672 – 5.8	Pass	No	Pass
8	Linearity of the indicator IEC 61672 – 5.5	Pass	No	Pass
Measurement uncertainty: Measurement 1: Reading under reference conditions: ± 0.3 dB Measurement 2: Frequency response: 125 Hz – 2 kHz: ± 0.3 dB, 4 kHz: ± 0.4 dB Measurement 4 to 8: Electrical properties: ± 0.15 dB / 0.1 Hz The reported uncertainty is based on a standard uncertainty multiplied by a coverage factor $k=2$, which provides a confidence level of approximately 95 %. The standard uncertainty has been determined in accordance with EA-402. * Refer to table below for detailed results – x: Not applicable				

Measurement results before and after adjustment (acoustic calibration)			
Measurement		Upon receipt Deviation (dB)	After adjustment Deviation (dB)
1	Deviation of the reading under reference conditions (at 94.0 dB – 1 kHz). IEC 61672 – 5.2	0.0	0.0 **

** After verification of all properties