



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
VASA YRKESHÖGSKOLA
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Kimi Açıl

LUONNONVARAINEN SISÄÄN- TULOILMAN ESILÄMMITYS

Tekniikka ja liikenne
2014

TIIVISTELMÄ

Tekijä	Kimi Açil
Opinnäytetyön nimi	Luonnonvarainen sisääntuloilman esilämmitys
Vuosi	2014
Kieli	suomi
Sivumäärä	46 + liitteet 2 kpl
Ohjaaja	Tapani Hahtokari

Tässä opinnäytetyössä tutkittiin maan lämpöenergian hyödyntämistä rakennuksen sisääntuloilman esilämmityksenä.

Tutkimus antaa tärkeää tietoa niille, jotka harkitsevat energiaa säästäviä ja ilman sähköä tai muuta ostettavaa energiaa toimivaa lämmitystä ja ilmanvaihtoa, joka toimii automaattisesti kesällä ja talvella pienellä ylläpidolla.

Järjestelmässä ohjattiin ulkoilma kahden metrin syvyydelle kahdenkymmenen metrin matkalle sijoitetulla RTS-putkella ja ohjattiin taloon sisälle. Järjestelmän kautta sisään ohjattu ulkoilma saatiin talviaikana sisälle tasaisena n. +3 asteisena.

Järjestelmän terveellisyyden tarkastelua ja ylläpitoa varten otettiin ilmanäytteitä ja pintanäytteitä putken sisältä, näin saatiin tunnistettua alueella olevia mikrobilajeja. Järjestelmän ylläpitotoimet ovat kerran vuodessa tehtävä putken sisäpuolen puhdistus ilmastointi harjalla ulkoa sisäänpäin. Puhdistuksen ajaksi vaihdetaan tavallisen suodattimen tilalle HEPA-suodatin ja imetään täydellä teholla.

Tutkimuksen tulokset ovat hyviä energian säästön kannalta. Järjestelmän terveellisyys tutkittiin. Järjestelmän rakentaminen on helppoa ja yksinkertaista ja rakennuskustannukset ovat pieniä ja tuottavat itsensä takaisin noin kuudessa vuodessa.

ABSTRACT

Author	Kimi Açil
Title	A Natural Preheating of Inlet Air
Year	2014
Language	Finnish
Pages	46 + 2 Appendices
Name of Supervisor	Tapani Hahtokari

In this thesis it was studied if it is possible to use geothermal energy for the pre-heating of inlet in the building.

The study gives important information for them who are considering heating and air conditioning which is energy-efficient and works without electricity or any bought energy and works automatically in summer and in winter and needs only a little maintenance.

In this system open-air was led into the RST-tube (stainless steel 12 meters) which was installed in the ground to a depth of two meters and 20 meters distance, and from there to the inside of the building. The open-air which was led inside through the system, was of even temperature about +3 degrees Celcius when it came inside.

The surface samples from the inside of tube and air samples were taken to study the health aspects of the system and maintenance. The microbes which were in that area were identified. The system must be maintained every year. While cleaning the HEPA (High Efficiency Particulate Air) -filter must be changed instead of the standard filter.

The results of the study are good. The system saves energy and health impacts were investigated. The construction of this system is easy and simple and the costs of construction are low and the pay-back time is about six years.

Keywords	natural preheating, healthiness of heating systems, town house
----------	---

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1	JOHDANTO	8
2	LUONNONVARAINEN LÄMMITYS	10
	2.1 Ilman esilämmitysjärjestelmä ja sen toiminta	10
	2.2 Mitä etua on esilämmitysjärjestelmästä.....	13
3	ESILÄMMITYS JÄRJESTELMÄN RAKENTAMINEN.....	14
	3.1 Esilämmitys järjestelmän rakentaminen	14
	3.2 Rakentamisen kustannukset	15
4	TEKNISET TIEDOT.....	16
	4.1 Yleistä	16
	4.2 Teho	16
	4.3 Hyötysuhde	21
	4.4 Aikataulu	26
	4.5 Suodattimet	26
5	JÄRJESTELMÄN TERVEELLISYYS	27
	5.1 Näytteenotot	27
	5.2 Näytteiden analysointi	30
	5.3 Näytteiden tulokset	34
	5.4 Putken sisäpinnan kuvaukset.....	37
	5.5 Järjestelmän terveellisyys	39
	5.6 Tietoja mikrobeista	39
6	JÄRJESTELMÄN YLLÄPITO	43
	6.1 Ylläpitotoimet.....	43
	6.2 Kustannukset	43
7	YHTEENVETO	44
	LÄHTEET	46
	LIITTEET	

KUVIO- JA TAULUKKOLUETTELO

Kuvio 1. 3D-havainnekuva esilämmitysjärjestelmästä	sivu 10
Kuvio 2 Kevon keskiarvoiset maalämpötilat vuosina 1971–1990	sivu 12
Kuvio 3 Lämpökartat ilman- ja maanpinnan keskilämpötiloista	sivu 12
Kuvio 4 Esilämmitysjärjestelmän leikkauskuvat	sivu 14
Kuvio 5 Kyltti ilmastointilaitteesta	sivu 21
Kuvio 6 Pintanäytteenotto	sivu 27
Kuvio 7 Pintanäytteenotto alue	sivu 27
Kuvio 8 Andersen-keräimen toimintaperiaate	sivu 28
Kuvio 9 Näytteenotto ulkoa syksyllä	sivu 29
Kuvio 10 Näytteenotto ulkoa talvella	sivu 29
Kuvio 11 Näytteiden analysointi lomake ja näyterasiat	sivu 32
Kuvio 12 Näytteiden analysointi	sivu 33
Kuvio 13 Putken sisäpinnan kuvaukset	sivu 37
Kuvio 14 Sisääntuloputken alkupää	sivu 37
Kuvio 15 Kuva 4 metriä putken alkupäästä	sivu 38
Kuvio 16 Kuva 6 metriä putken alkupäästä	sivu 38
Kuvio 17 Kuva 6 metriä putken loppupäästä	sivu 38
Kuvio 18 Kuva talon sisältä putken loppupäästä	sivu 39
Taulukko 1. Rakennuskustannukset	sivu 15
Taulukko 2. Vertailutaulukko sähkönkulutuksesta	sivu 16
Taulukko 3. Tekniset tiedot nykyjärjestelmässä käytetystä laitteesta	sivu 20
Taulukko 4. Keskiarvo lämpötilat, keskimääräinen kosteuskeskimääräinen kastepiste ja keskimääräinen ilmanpaine vuonna 2013	sivu 21
Taulukko 5. Ilmanäyte ulkoa syksyllä	sivu 35
Taulukko 6. Ilmanäyte sisältä syksyllä	sivu 35
Taulukko 7. Ilmanäyte ulkoa talvella	sivu 35
Taulukko 8. Ilmanäyte putken sisältä talvella	sivu 36
Taulukko 9. Pintanäyte syksyllä	sivu 36

Taulukko 10. Ulkoilman homesienten ominaisuuksia	sivu 41
Taulukko 11. Esimerkkejä ulko- ja sisäilmassa yleisesti esiintyvistä sienisuvuista ja -ryhmistä sekä kosteusvaurioon viittaavista mikrobisuvuista, -lajeista ja –ryhmistä	sivu 42

LIITELUETTELO**LIITE 1.** Piirustukset**LIITE 2.** Energiatodistus

1 JOHDANTO

Tässä opinnäytetyössä tutkittiin omakotitalon sisäilman lämmittämistä luonnonvaraisesti ilman esilämmityksen avulla. Menetelmä perustuu energiasäästöalojen rakentamisen mahdollisuuteen ja kannattavuuteen maan energiaa hyödyntämällä. Järjestelmä toimii ilmanvaihtokoneilla ja myös ilmanpaineen avulla. Rakennuksen ilma voidaan lämmittää ilman sähköä tai muuta energialähdettä. Eristeiden paksuuden lisääminen ei pelkästään riitä talon lämmittämiseen. Se pitää lämpimänä mutta se ei tuota lämpöä, vaan tarvitaan lisää energiaa sisäilman lämmittämiseen ja myös ilmanvaihtoon.

Sisääntuloilman esilämmittämisen toimintaperiaate on: ulkoilma ohjataan sisään kahden metrin syvyydessä maanpinnan alapuolella olevalla ruostumatonta ja haponkestävää terästä olevalla putkella (halkaisija 225 mm, vahvuus 2mm), jota on 12 metrin matkalla. Sen jatkona on 8 metriä PVC-muoviputkea. Maan lämpö lämmittää putkeen menevän ilman ja se tulee sisälle lämpimänä, talvella n. $+3^{\circ}\text{C}$ ja kesällä $+12^{\circ}\text{C}$ – $(+7)^{\circ}\text{C}$. Järjestelmä toimii, kun on lämpötilaeroa. Kun kylmä ilma on painavampaa kuin kuuma ilma – esimerkiksi kun ulkona on -3°C ja sisällä on $+20^{\circ}\text{C}$ – syntyy n. yhden Pascalin paine-ero. Ilmassa oleva vesi liikkuu kylmästä lämpimään ja pyrkii tasaantumaan, tämän tasauksen seurauksena saavutetaan energiavoittoa. Muutetaan vielä paine-ero, josta puhuttiin Pascaleina, yksinkertaisesti kilogrammoiksi. Ilman suhteellinen kosteus (RH) on oletettu vakioksi. Kun lämpötila on $+20^{\circ}\text{C}$ ja huoneen ilmatilavuus on 158 m^3 , ilmassa on vettä 191 kg, kun lämpötila on -15°C ja huoneen ilmatilavuus on 158 m^3 , vettä on 217 kg. Tämä painoero saa vesimolekyylit liikkeelle. Ilmiö perustuu yleiseen kaasulakiin, ks. kaava 1. /2/

Järjestelmän terveellisyyden selville saamiseksi ja myös ylläpitoa varten tehtiin ilman puhtauden mittaukset, putken sisäpinnan näytteenotot ja putken sisäpinnan kuvaukset. Ilman puhtauden mittaukset suoritettiin kahdessa osassa ja järjestelmän putkien sisäpinnasta otettiin pintanäyte. Selvitettiin, onko jotain epäpuhtauksia kerääntynyt putken pintaan ajan myötä. Näytteet tutkittiin laboratoriossa. Ensimmäinen näyte ilma puhtauden mittausta varten otettiin 25.9.2013, jolloin ul-

koilman lämpötila oli +6°C. Toinen näyte otettiin 2.2.2014, jolloin ilman lämpötila oli -5°C ja lunta oli maassa noin 5 cm. Näytteet otettiin 6-vaiheisella Andersen-keräimellä ja ne otettiin sisältä ilmanvaihtolaitteen sisääntuloilman aukon kohdalta ja ulkoa ilman sisäänottoputken vierestä. Andersen-keräin otti minuutissa 28,3 litraa ilmaa, kaksi kertaa 8 minuutin ajan, syksyllä ja talvella. Näytteen ilman määrä oli 905,6 litraa eli 0,9 m³.

Useimmat näytteistä löydetty mikrobit ovat yleisiä Suomessa. Niitä löytyy myös erittäin puhtaasta ilmasta, niitä on joka paikassa. Mikrobit olivat: hiiva, Penicillium, Cladosporium, Aspergillus, steriili, Botrytis, Aureobasidium ja Trichoderma. Näitä olisi hyvä olla talviaikana sisäilmassa alle 100 cfu/m³. ”Taajamassa sijaitsevien asuntojen sisäilman sieni-itiöpitoisuudet 100 – 500 cfu/m³ ovat poikkeavan suuria talven aikana. Taajamassa sijaitsevan asunnon talviaikainen sieni-itiöpitoisuus yli 500 cfu/m³ on mikrobikasvustoon viittaavaa.” Kosteusvaurioasunnoista on löydetty jopa 53600 cfu/m³ sieni-itiöitä. Mikrobin kasvuolosuhteet edellyttävät kolmea tekijää yhtä aikaa: suhteellinen kosteus ylittää 70 %, lämpötila on plussan puolella ja niillä on eloperäisiä ravinteita. Putken sisältä otetut tulokset olivat 102 cfu/m³.

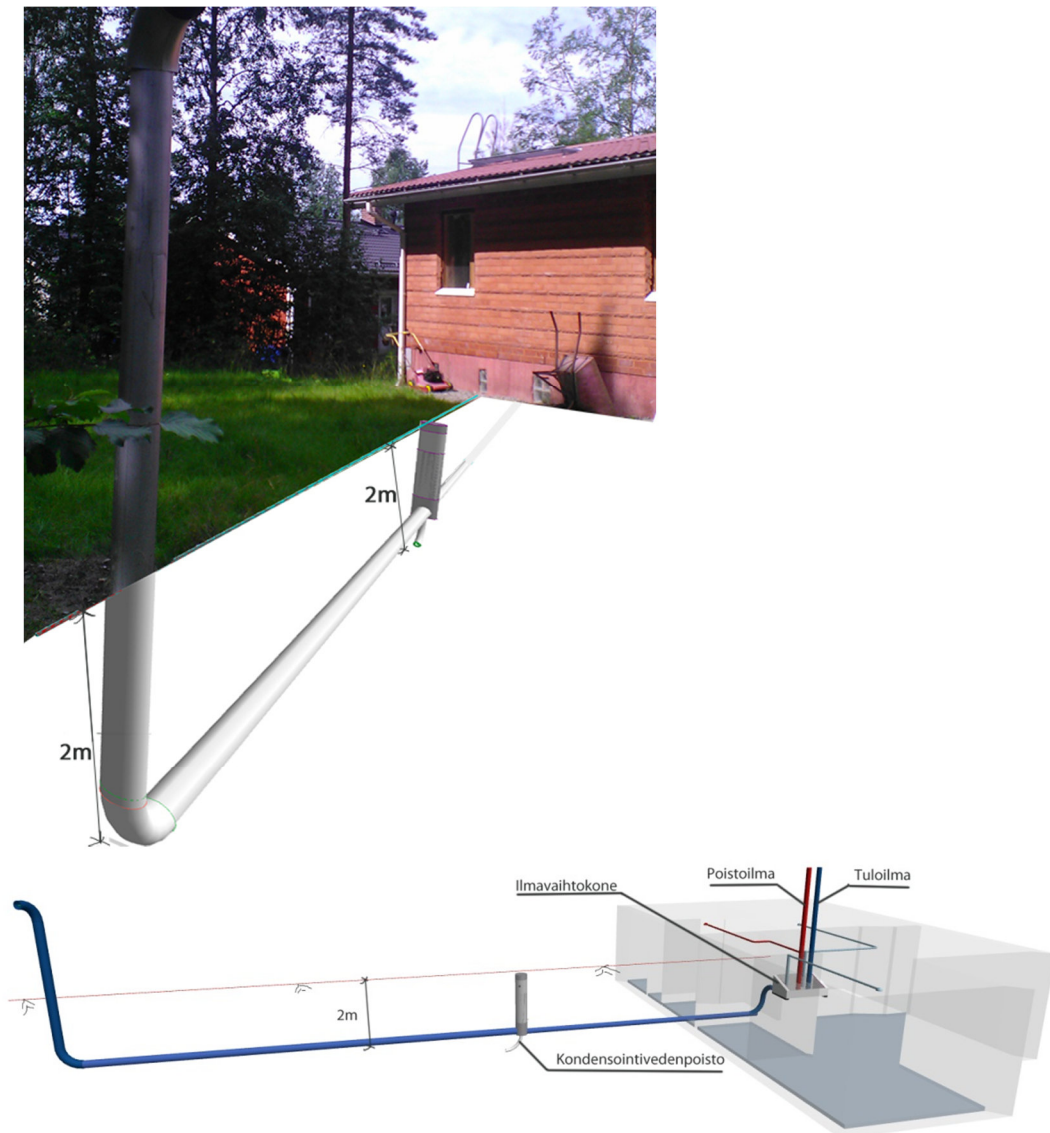
Asumisterveys oppaan mukaan ”Aktinomykeetti-itiöiden esiintyminen yli 10 cfu/m³ pitoisuuksina taajamassa sijaitsevan asunnon sisäilmassa talviaikana viittaa mikrobikasvustoon rakennuksessa.” Tulokset olivat alle tämän rajan, 8,8 cfu/m³. Laboratoriokokeista saatiin tulokseksi pintanäytteistä mikrobipitoisuus, joka oli 428 cfu/cm². Ilmanäytteiden tulokset olivat syksyllä ulkoa 609 cfu/m³ ja sisältä 198 cfu/m³. Ulkoilmassa ei ole rajoituksia normaaleissa olosuhteissa. /1, 170–171/

Järjestelmän sisääntuloilman putki pitäisi puhdistaa kerran vuodessa koska, ilman mukana kerääntyy epäpuhtauksia. Tutkitun kohteen putkea ei oltu asukkaan mukaan puhdistettu yli kolmeen vuoteen, rakentamisesta lähtien. Vaikka tulokset eivät ylittäneet rajaa, ilman olisi hyvä olla puhtaampaa eli sienipitoisuuksien olla alle 100 cfu/m³. Talon tarvetta vastaavat ilmanvaihtolaitteet, joissa on esilämmitys, kuluttavat 500–1200 W sähköä. Järjestelmästä saadaan lämmitystehoksi 574 Wattia. Vuodessa sähkön säästö on 2478 kWh.

2 LUONNONVARAINEN LÄMMITYS

2.1 Ilman esilämmitysjärjestelmä ja sen toiminta

Esilämmitysjärjestelmä on maaenergian hyödyntämistä sisääntuloilman lämmitykseen. Kovassa pakkasessa ilmanvaihtokoneen tuloilmapuhallin sammutetaan jolloin ilma tulee sisään paine-eron avulla. Kone on nimeltään LTO 270, sen kokonaisteho on 100–240 W ja poistoilmavirta on 35–60 l/s.



Kuvio 1. 3D-kuvat järjestelmän toiminnasta.

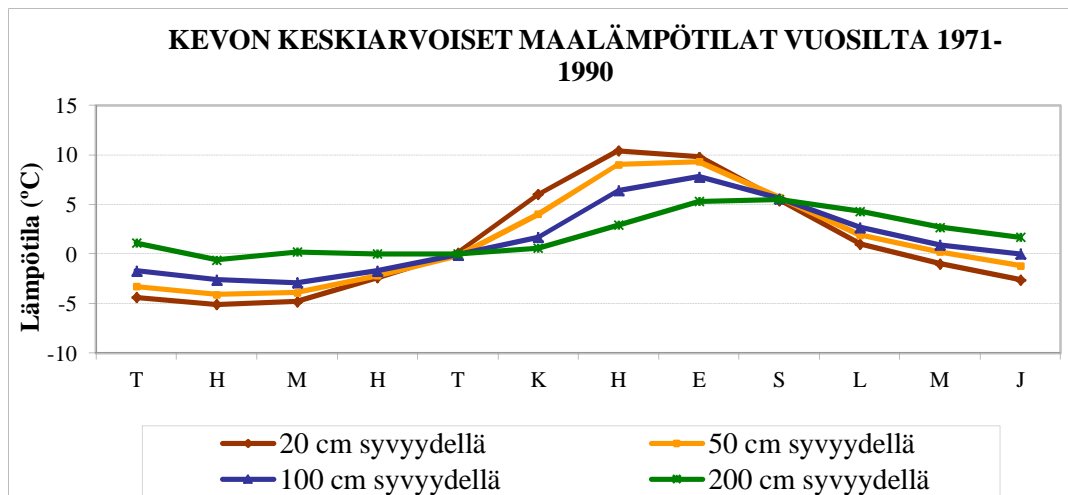
Koneessa on kaksi puhallinta, toinen, joka imee tuloilmaa ja toinen, joka poistaa ilmaa. Paine-ero lisää ilmanvaihtokoneen imutehoa n. 20 %. Siksi pienikokoinenkin ilmanvaihtokone riittää. Vaatimusten mukaan hyvä ilmanvaihto on 44 l/s. Pienissä rakennuksissa – esimerkiksi kesämökeissä – joissa halutaan että lämpötila ei mene pakkasen puolelle eikä kosteus tiivisty rakenteisiin ja joissa riittää 574 Watin lämmitysteho, ei tarvita edes sähköä eikä muuta ostettavaa energiaa. Ilmakin vaihtuu automaattisesti lämpötilaerosta johtuen.

Sisääntuloilman esilämmittämisen toimintaperiaate on: ulkoilma ohjataan sisään kahden metrin syvyydessä maanpinna alapuolella olevalla ruostumatonta terästä olevalla putkella (halkaisija 225mm, vahvuus 2mm), jonka pituus on 12 m ja PVC-putkella (halkaisija 160 mm, vahvuus 2 mm), jonka pituus on 8 m, joita on yhteensä 20 metrin matkalla. Maan lämpö lämmittää ilman ja se tulee sisälle lämpimänä, talvella n.+3°C ja kesällä +12°C – (+7)°C. Järjestelmä toimii, kun on lämpötilaeroa.

Kun kylmä ilma on painavampaa kuin kuuma ilma – esimerkiksi kun ulkona on -3°C ja sisällä on +20°C – syntyy yhden Pascalin paine-ero. Ilmassa oleva vesi liikkuu kylmästä lämpimään ja pyrkii tasaantumaan, tämän tasauksen seurauksena saavutetaan energiavoittoa. Muutetaan vielä paine-ero, josta puhuttiin Pascaleina, yksinkertaisesti kilogrammoiksi. Ilman suhteellinen kosteus (RH) on oletettu vakioiksi. Kun lämpötila on +20°C ja huoneen tilavuus on 158 m³, ilmassa on vettä 191 kg, kun lämpötila on -15°C ja huoneen tilavuus on 158 m³, vettä on 217 kg. Tämä painoero saa vesimolekyylit liikkeelle. Ilmiö perustuu yleiseen kaasulakiin (kaava 1).

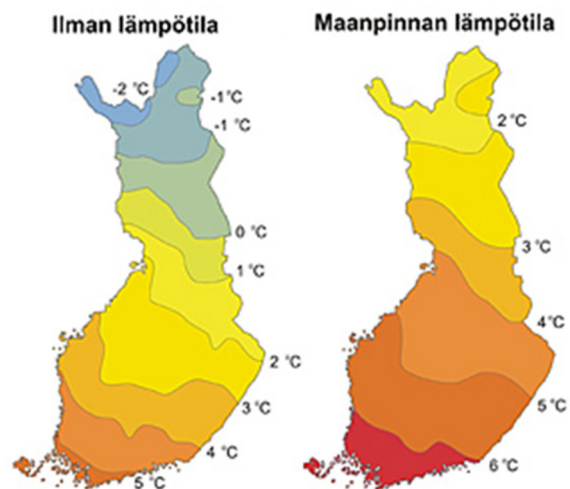
Yleinen kaasulaki

$$\rho = \frac{p \cdot M}{R \cdot T} \quad (1)$$



Kuvio 2. Kevon keskiarvoiset maalämpötilat vuosina 1971–1990 /5/

Alla oleva lämpökartta (kuvio 3) kuvaa maanpinnan lämpöä. Maanpinta voi olla 1-4 astetta lämpimämpi kuin ilma. Yläpuolella olevasta kaaviosta (kuvio 2) näkee että 2 metrin syvyydellä maan lämpötila on eristämättömänä n. 0 – (+5) astetta vuoden ympäri.



Kuvio 3. Lämpökartat ilman- ja maanpinnan keskilämpötiloista./4/

2.2 Mitä etua on esilämmitysjärjestelmästä

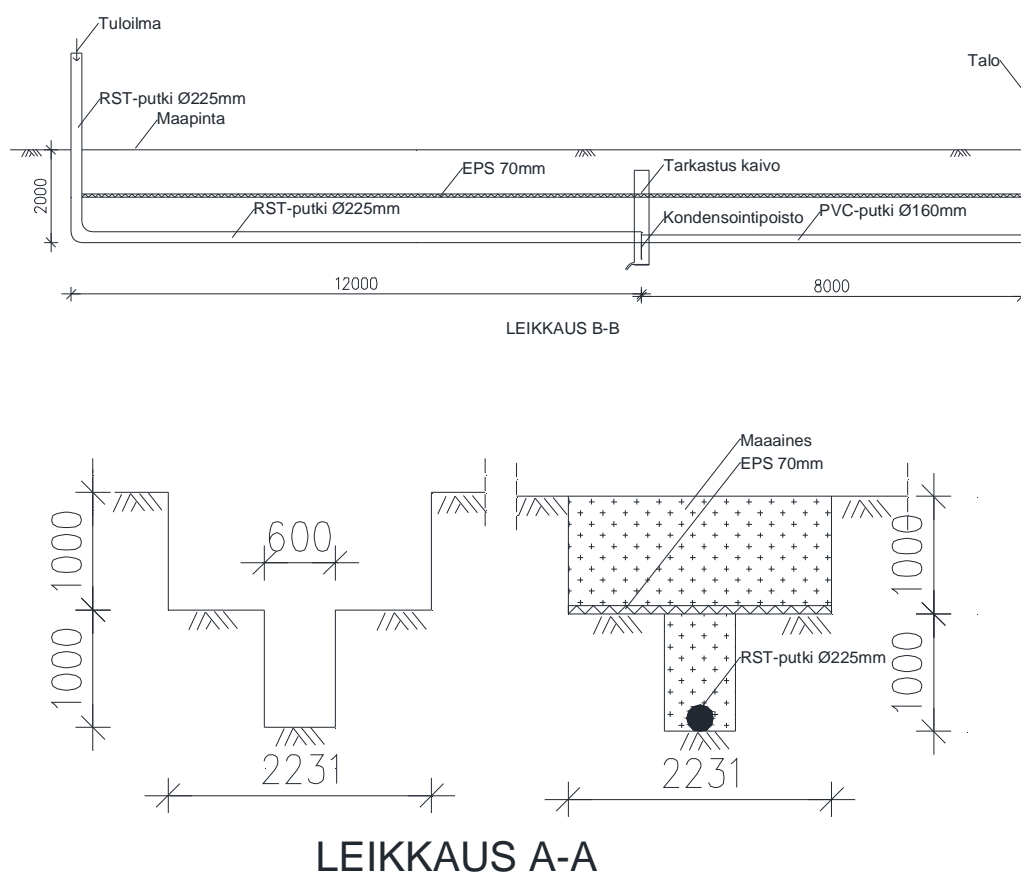
Järjestelmän edut ovat energiansäästö ilman lämmityksessä ja ilmanvaihdossa. Tässä kohteessa hyödynnetään maalämpöä sisääntuloilman esilämmityksenä. Ennen kuin ulkoilma tulee suoraan sisään, se ohjataan putkessa maan alta, jolloin maan lämpö lämmittää ilman ja se saadaan ilmanvaihtokoneeseen lämpimänä. Kovassa pakkasessa ilmanvaihtokoneen tuloilmapuhallin sammutetaan, jolloin ilma tulee sisään paine-eron avulla.

Ilman esilämmityksessä saadaan talviaikana 574 Watin jatkuva lämmitysteho ja sen hyötysuhde on vuodessa 2478 kWh alueen keskimääräisten lämpötila tilastojen mukaan laskettuna.

3 ESILÄMMITYS JÄRJESTELMÄN RAKENTAMINEN

3.1 Esilämmitys järjestelmän rakentaminen

Esilämmitys järjestelmää rakennettaessa kaivettiin Valmet-traktorikaivurilla kaksi päivää kahden henkilön toimesta 20 metriä pitkä kaivanto. Kaivanto tehtiin kahden metrin syvyyteen, alaosastaan 0,6 metriä ja yläosastaan 2,2 metrin levyinen ks. kuvio 4. Kaivamisen jälkeen kahden metrin syvyyteen asetettiin ilman sisään-tuloputki ja se peitettiin metrin korkeudelle poiskaivetulla maalla. Tämän maan päälle laitettiin 70 mm:n paksuudelta EPS-eristettä, joka peitettiin poiskaivetulla maalla maanpintaan asti. Rakentaminen tehtiin alla olevien leikkauskuva piirustusten (kuvio 4) mukaan.



Kuvio 4. Esilämmitysjärjestelmän leikkauskuvat.

3.2 Rakentamisen kustannukset

Rakentamisen kustannukset koostuvat maan kaivusta, eristeistä, putkien kustannuksista ja suodattimista. Kustannukset ovat alla olevan taulukon (taulukko 1) mukaiset. Tässä tapauksessa suurin osa kustannuksista määräytyy maankaivusta ja ruostumattoman teräsputken hinnasta.

Taulukko 1. Rakennuskustannukset.

Määrä luettelo:

	Pituus/m	Leveys	Vahvuus	Halkaisija/hinta	Kpl määrä	Hinta/€
RST-putki	12+4m		2mm	225mm	1	540
Muoviputki	8m		2mm	160mm	1	60
Kondensointipoistoputki				12mm		
EPS-eriste	20m	2.2m	70mm	5,66€/m ²	44m ²	249,04
Valmet traktorikaivuri					2pv	600
Työtunnit				Pitkä työpäivä	2pv	800
Suodattimet					3	25
				Hinta yhteensä		2274,04 €

4 TEKNISET TIEDOT

4.1 Yleistä

Tässä kohteessa hyödynnetään maalämpöä sisääntuloilman esilämmityksenä. Kovassa pakkasessa ilmanvaihtokoneen tuloilmapuhallin sammutetaan, jolloin ilma tulee sisään paine-eron avulla. Tyypillisessä kesämökissä (alle 50 m²) järjestelmää voidaan käyttää ilmanpaineen avulla tuloilman lämmitykseen ja ilmanvaihtoon ilman sähköä tai muuta energialähdettä.

4.2 Teho

Järjestelmän lämmitysteho on 574 W. Tähän kohteeseen rakennettu järjestelmä riittää ilmanvaihtokoneeseen, jonka ilmavirta on 35–110 l/s.

Jos tämän järjestelmän rakentaja ei olisi rakentanut tätä esilämmitysjärjestelmää, hänen olisi pitänyt ostaa laite, jossa on ilman esilämmitys ja hän olisi maksanut laitteiden esilämmityksen kuluttaman sähkön. Vertasimme viittä erilaista, alle 200 m² omakotitaloihin tarkoitettua ilmanvaihtolaitetta, joissa on esilämmitysjärjestelmä ja niiden kuluttamaa sähköä. Yleisimmät kaupassa mydyt laitteet ja niiden esilämmityksen sähkönkulutus ovat alla olevassa taulukossa (taulukko 2).

Taulukko 2. Vertailutaulukko sähkönkulutuksesta.

Laitteen nimi	Esilämmityksen sähkönkulutus
Vallox digit2 SE R	1200 W
Vallox 121 SE R	900 W
Envervent LTR-3 eco EDE	500 W
Swegon Ilto 440 Premium	500 W
Swegon CASA 120 Premium	800 W

LASKELMA

Ilmavirran kautta laskin ilmantilavuuden

$$\text{ilmavirta} \quad I_{\text{virta}} := 0.044 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \quad (2)$$

$$\text{Tunti} \quad h_{\text{aika}} := 3600\text{s}$$

$$V_{\text{tilavuus}} := I_{\text{virta}} \cdot h_{\text{aika}} \quad \rightarrow \quad 0.044 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \cdot (3600\text{s}) \quad \rightarrow \quad V_{\text{tilavuus}} = 158.4 \cdot \text{m}^3$$

sen jälkeen yleisestä kaasulaista sain laskettua ilman tiheyden ja tilavuuden painon

$$p := 101.325 \cdot \text{kPa} = 1.013 \times 10^5 \cdot \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \quad \text{ilman paine}$$

$$M := 29 \cdot 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{mol}} \quad \text{ilman näennäinen moolimassa}$$

$$R := \frac{8.31\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \quad \text{moolinen kaasuvakio} \quad \text{tiheyden laskentakaava}$$

$$T := 273.15 \cdot \text{K} \quad \text{lämpötila} \quad = (273.15) \cdot \text{K} \quad \rho = \frac{p \cdot M}{R \cdot T} \quad \text{kaava (17.6) sivu 436}$$

Suhteellinen kosteus oletettu vakioksi eli RH vakio

ilmantiheys lämpötila -15:ssa

$$T_1 := (273 - 15) \cdot \text{K} \quad \rightarrow \quad -15^\circ\text{C} \quad \text{sivu 438}$$

$$\rho_1 := \frac{p \cdot M}{R \cdot T_1} = \frac{101.325 \cdot \text{kPa} \cdot 29 \cdot 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{mol}}}{\frac{8.31\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \cdot (273 - 15) \cdot \text{K}} = 1.371 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

ilmantiheys lämpötila -5:ssa

$$\rho_2 := \frac{p \cdot M}{R \cdot T_2} = 1.319 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad T_2 := (273 - 5) \cdot \text{K} \quad \rightarrow \quad -5^\circ\text{C}$$

Tiheys lämpötila 0:ssa

$$\rho_3 := \frac{p \cdot M}{R \cdot T_3} = 1.295 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad T_3 := (273 + 0) \cdot \text{K} \quad \rightarrow \quad 0^\circ\text{C}$$

(3)

ilmantiheys lämpötila +3:ssa

$$\rho_4 := \frac{p \cdot M}{R \cdot T_4} = 1.281 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad T_4 := (273 + 3) \cdot \text{K} \rightarrow 3^\circ\text{C}$$

Tiheys lämpötila +20:ssa

$$\rho_5 := \frac{p \cdot M}{R \cdot T_5} = 1.207 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad T_5 := (273 + 20) \cdot \text{K} \rightarrow 20^\circ\text{C}$$

Tilavuuspaino on tiheys x tilavuus

$$\rho_1 = 1.371 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad \rho_2 = 1.319 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad \rho_3 = 1.295 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad V_{\text{tilavuus}} = 158.4 \cdot \text{m}^3$$

Tein kaksi esimerkkiä: kun lämpötila on -15 ja kun lämpötila on +3

$$m_{\text{paino}_1} := \rho_1 \cdot V_{\text{tilavuus}} \rightarrow 1.371 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot (158.4 \text{ m}^3) = 217.166 \text{ kg}$$

$$m_{\text{paino}_2} := \rho_2 \cdot V_{\text{tilavuus}} = 208.994 \text{ kg} \quad \text{ilmantiheys lämpötila -5:ssa}$$

$$m_{\text{paino}_3} := \rho_3 \cdot V_{\text{tilavuus}} = 205.166 \text{ kg} \quad \text{ilmantiheys lämpötila 0:ssa}$$

$$m_{\text{paino}_4} := \rho_4 \cdot V_{\text{tilavuus}} = 202.936 \text{ kg} \quad \text{ilmantiheys lämpötila +3:ssa}$$

$$m_{\text{paino}_5} := \rho_5 \cdot V_{\text{tilavuus}} = 191.162 \text{ kg} \quad \text{ilmantiheys lämpötila +20:ssa}$$

(4)

Tarvittavan lämpömäärän laskenta

$$Q_p = m \cdot c_p \cdot \Delta T \quad 17.12 \text{ sivu } 441 \quad /2/$$

$m = \text{paino}$

$c_p = \text{Ominaislämpökapasiteetti vakiopaineessa}$

$\Delta T = \text{lämpötilaero}$

HUOM!

Tarvittava lämpömäärä kun ilma on -15 ja maan lämpö on +3 $\Delta^\circ\text{C} = ^\circ\text{C}$

$$m_{\text{paino}_1} = 217.095 \text{ kg} \quad c_p := 1000 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \quad \Delta T_1 := [3 - (-15)] \cdot ^\circ\text{C}$$

$$Q_{p1} := m_{\text{paino}_1} \cdot c_p \cdot \Delta T_1$$

$$\rightarrow 217.095 \text{ kg} \cdot 1000 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot [3 - (-15)] \cdot ^\circ\text{C} = 3.908 \times 10^6 \cdot \text{W} \cdot \text{s} \quad \text{wattisekuntia}$$

Tarvittava lämpömäärä kun ilma on -5 ja maan lämpö on +3

$$Q_{p2} := m_{\text{paino2}} \cdot c_p \cdot \Delta T_2 \quad \Delta T_2 := [3 - (-5)] \cdot \Delta^\circ\text{C}$$

$$Q_{p2} = 1.672 \times 10^6 \cdot \text{W} \cdot \text{s}$$

Tarvittava lämpömäärä kun ilma on 0 ja maan lämpö on +3

$$Q_{p3} := m_{\text{paino3}} \cdot c_p \cdot \Delta T_3 \quad \Delta T_3 := [3 - (0)] \cdot \Delta^\circ\text{C}$$

$$Q_{p3} = 6.155 \times 10^5 \cdot \text{W} \cdot \text{s}$$

määrä muunnettiin W:ksi ja sain tehon laskettua.

$$P_{\text{teho}} = \frac{Q}{t} \quad Q = \text{lämpömäärät} = \text{aika} \quad Q_{\text{keski}} = \text{energiankeskiarvo} \quad (5)$$

$$Q_{\text{keski}} := \frac{Q_{p1} + Q_{p2} + Q_{p3}}{3} = 2.065 \times 10^6 \cdot \text{W} \cdot \text{s} \quad \text{Wattisekuntti}$$

$$P_{\text{teho}} := \frac{Q_{\text{keski}}}{h_{\text{aika}}} = \frac{2.065 \times 10^6 \text{ W} \cdot \text{s}}{3600 \text{ s}}$$

$$P_{\text{teho}} = 574 \cdot \text{W} \quad \text{Watti}$$

energia säästö 3kk talvi aikana

kk3 = tunti·päivä·3·kuukausi muutetaan 3 kuukautta

$$kk3 := 3600\text{s} \cdot 24 \cdot 90 = 7.776 \times 10^6 \text{ s} \quad h_{\text{aika}} = 3600 \text{ s}$$

1 tunti

$$E_{\text{energia}} := P_{\text{teho}} \cdot kk3 \quad E_{\text{energia}} = \text{teho} \cdot \text{aika}$$

$$5.389 \times 10^6 \text{ W} \cdot 7.776 \times 10^6 \quad E_{\text{energia}} = 4.461 \times 10^9 \cdot \text{W} \cdot \text{s}$$

(6)

Muutetaan Wattisekuntia kilowatti tunneiksi

1 tunti=3600sekuntia

1 kilowatti=1000Watti

$$E_{\text{kWh}} := \frac{4.461 \times 10^9 \text{ W} \cdot \text{s}}{1000 \cdot \text{W} \cdot 3600 \cdot \text{s}} = 1239 \text{ kWh}$$

Sähkö_hinta := 0.15 euroa sähkön hintaa

$$\text{Lasku}_{\text{säästö}} := 1239 \cdot 0.15 = 185.85$$

3kk talven aikana säästyy 185.85 €

Todellinen hyöty on 6kk.
 Kesän aikana maalämpöä hyödynnetään myös jäähdytykseen.
 Tällaisen rakentaminen maksaa 2274 € .

Todellinen hyöty on 6kk $h_{\text{aika}} = 3600 \text{ s}$ 1 tunti
 $kk6 := 3600 \text{ s} \cdot 24 \cdot 180 = 1.555 \times 10^7 \text{ s}$ sekuntia

$$E_{\text{energia.}} := P_{\text{teho}} \cdot kk6 \quad 574 \text{ W} \cdot 1.555 \times 10^7 \cdot \text{s}$$

$$E_{\text{kWh.}} := \frac{8.921 \times 10^9 \text{ W} \cdot \text{s}}{1000 \cdot \text{W} \cdot 3600 \cdot \text{s}} = 2478 \text{ kWh} \quad E_{\text{energia.}} = 8.921 \times 10^9 \cdot \text{W} \cdot \text{s}$$

$$\text{Sähköhinta.} := 0.15 \quad \text{euroa sähkön hintaa} \quad (7)$$

$$\text{Laskusäästö.} := 2478 \cdot 0.15 = 371.7 \text{ €}$$

371 € säästyy vuodessa

/2/

Taulukko 3. Tekniset tiedot nykyjärjestelmässä käytetystä laitteesta.

Malli	LTO270 KE
Teho	100 – 240 W
Poistoilma nopeus	35-60 litra/s



Kuvio 5. Kyltti ilmastointilaitteesta.

4.3 Hyötysuhde

Hyötysuhde talvisin on 100 %. Syksyisin ja keväisin, jolloin ilman lämpötila on lähes sama kuin maan lämpötila, hyötysuhde on 5 – 10 %. Alla olevasta taulukosta (taulukko 4) näkee, että lämpötila on alle +3°C marras – huhtikuussa, silloin järjestelmä toimii. Parhaan hyötysuhteen järjestelmästä saa tammi-, helmi- ja maaliskuussa viime vuoden tilastojen mukaan. Parhaan hyötysuhteen saa kun lämpötila on pakkasen puolella. Kesäisin jäähdytystä käytettäessä hyötysuhde on 80 %.

Hyötysuhde koostuu ilman liikkumisesta, jolloin kosteus ei tiivisty rakenteisiin. Pienestäkin lämpötilaerosta järjestelmä alkaa toimia.

Taulukko 4. Keskiarvo lämpötilat, keskimääräinen kosteus, keskimääräinen kastepiste ja keskimääräinen ilmanpaine vuonna 2013. /7/

Kuukauden keskiarvot Jyväskylässä vuonna 2013												
	Tammikuu	Helmi- kuu	Maaliskuu	Huhtikuu	Toukokuu	Kesäkuu	Heinäkuu	Elokuu	Syyskuu	Lokakuu	Marraskuu	Joulukuu
Keskilämpötila °C	-6.5°C	-3.2°C	-7.6°C	2.4°C	13.1°	17.9°C	17.1°C	16.3°C	11.1°C	5.4°C	2.1°C	0.1°C
Keskimääräinen kosteus %	91 %	91 %	73 %	74 %	65 %	73 %	74 %	82 %	87 %	87 %	91 %	91 %
Keskimääräinen kastepiste °C	-7.7°C	-4.4°C	-12.0°C	-2.2°C	6.0°C	12.6°C	12.0°C	12.8°C	9.0°C	3.4°C	0.7°C	-1.1°C
Keskimääräinen ilmanpaine hPa	1009.0	1015.2	1015.3	1010.3	1012.6	1011.4	1011.6	1012.4	1012.0	1008.6	1001.4	1002.3

LASKELMAT

Putken pituuden määrittäminen

$$\phi = \lambda \cdot A \cdot \frac{\Delta T}{d} \quad \begin{array}{l} 16,3 \text{ sivu } 410 \text{ Momentti } 1 \\ \text{ja sivu } 14 -1931-C4s \end{array}$$

$\phi =$ lämmönjohtuminen	$\lambda := 17 \frac{\text{W}}{(\text{m} \cdot \text{K})}$	ruostumattoman teräksen lämmönjohtavuus
$\lambda =$ lämmönjohtavuuskerroin	$d_{\text{halkaisia}} := 225 \text{mm}$	putken halkaisija
$A =$ Pinta - ala	$P_{\text{pituus}} := 12 \text{m}$	putken pituus
$\Delta T =$ Lämpötilaero	$T1 := -15 \cdot \Delta^\circ\text{C}$	ulkolämpötila
$d =$ ainekerroksen paksuus	$T2 := 3 \cdot \Delta^\circ\text{C}$	maan lämpötila
$A_{\text{rst}} := \pi \cdot 225 \text{mm} \cdot 12 \text{m}$ pinta ala	$d := 2 \text{mm}$	putken vahvuus
$\Delta T := T2 - T1$ lämpötila ero	$A_{\text{rst}} = 8.482 \text{m}^2$	pinta-ala

(8)

$$\phi_{\text{rst}} := \lambda \cdot A_{\text{rst}} \cdot \frac{\Delta T}{d} \rightarrow 17 \frac{\text{W}}{(\text{m} \cdot \text{K})} \cdot 8.482 \text{m}^2 \cdot \frac{[3 \cdot \Delta^\circ\text{C} - (-15 \cdot \Delta^\circ\text{C})]}{(2 \text{mm})} = 1.298 \cdot \text{MW}$$

$$\phi_{\text{rst}} = 1.298 \cdot \text{MW} \quad \text{lämpömäärä teräsputken läpi}$$

Muoviputken lämmönjohtavuus

$$\lambda_{\text{pvc}} := 0.18 \frac{\text{W}}{(\text{m} \cdot \text{K})} \quad \text{PVC muoviputken lämmönjohtavuus}$$

HUOM! $\Delta^\circ\text{C} = ^\circ\text{C}$

$$d_{\text{halkaisia}} := 160 \text{mm} \quad \text{putken halkaisija}$$

$$P_{\text{pituus}} := 8 \text{m} \quad \text{putken pituus}$$

$$\phi_{\text{pvc}} := 0.18 \frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{K}} \cdot 4.021 \text{ m}^2 \cdot \frac{[3\cdot\Delta^\circ\text{C} - (-15\cdot\Delta^\circ\text{C})]}{(2\text{mm})} = 0.007\cdot\text{MW}$$

lämpömäärä PVC muoviputken läpi

$$\phi := \phi_{\text{rst}} + \phi_{\text{pvc}} \quad \phi = 1.304\cdot\text{MW} \quad \text{kokonais lämmönsiirto}$$

lämpömäärä kun lämpötila on -15 ja maan lämpö on +3

$$m_{\text{paino}_1} = 217.095 \text{ kg}$$

$$Q_{\text{p1.}} := m_{\text{paino}_1} \cdot c_p \cdot \Delta T_1 \quad \text{tarvittava energia määrä}$$

$$\rightarrow 217.095 \text{ kg} \cdot 1000 \frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot\text{K}} \cdot [[3 - (-15)] \cdot \Delta^\circ\text{C}] = 3.908 \times 10^6 \cdot \text{W}\cdot\text{s} \quad \text{wattisekuntia}$$

$$h_{\text{aika.}} := 3600 \cdot \text{s}$$

(9)

$$P_{\text{teho.}} := \frac{Q_{\text{p1.}}}{h_{\text{aika.}}} = \frac{3.908 \times 10^6 \text{ W}\cdot\text{s}}{3600 \cdot \text{s}} \quad P_{\text{teho.}} = 1.085 \text{ kW} \quad \text{tarvittava energian määrä}$$

Ilmavirran ja lämpötilan kehitys

$$d_{\text{rst}} := 225 \text{ mm} \quad d_{\text{pvc}} := 160 \text{ mm} \quad L := 20 \text{ m} \quad I_{\text{virta.}} := 44 \frac{\text{L}}{\text{s}}$$

$$L_{\text{rst}} := 12 \text{ m} \quad L_{\text{pvc}} := 8 \text{ m} \quad \text{ilma virtaa litraa sekunnissa}$$

(10)

$$V_{\text{tilavuus.}} := L_{\text{rst}} \cdot \frac{\pi \cdot d_{\text{rst}}^2}{4} + \frac{\pi \cdot d_{\text{pvc}}^2}{4} \cdot L_{\text{pvc}}$$

$$\rightarrow 12 \text{ m} \cdot \frac{3.14 \cdot (225 \text{ mm})^2}{4} + \frac{3.14 \cdot (160 \text{ mm})^2}{4} \cdot 8 \text{ m}$$

$$V_{\text{tilavuus.}} = 0.638 \cdot \text{m}^3$$

putken tilavuus

$$L_{20.p} := \frac{V_{\text{tilavuus}}}{I_{\text{virta.}}} \quad \text{Ulkona oleva ilman sisääntulon kesto aika}$$

$$L_{20.p} = 14 \text{ s} \quad \text{sekuntia}$$

$$V_{\text{tilavuus_rts}} := L_{\text{rst}} \cdot \frac{\pi \cdot d_{\text{rst}}^2}{4}$$

$$L_{12.p} := \frac{V_{\text{tilavuus_rt}}}{I_{\text{virta.}}} \quad \text{Ulkona oleva ilman sisääntulon kesto aika}$$

$$\text{rts putki} \quad L_{12.p} = 10.84 \text{ s} \quad \text{sekuntia}$$

$$L_{8.p} := L_{20.p} - L_{12.p}$$

$$\text{pvc putki } L_{8.p} = 3.656 \text{ s} \quad \text{sekuntia}$$

$$L_{20.p} := \frac{V_{\text{tilavuus}}}{I_{\text{virta..}}}$$

esim.jos virtanopeus on

$$I_{\text{virta..}} := 60 \frac{\text{L}}{\text{s}}$$

ilma virtaa litraa sekunnissa

$$L_{20.p} = 11 \text{ s} \quad \text{kesto aika on sekuntia}$$

$$\text{Lämpötila 1m matkalla} \quad L_{1m} := 1 \text{ m} \quad \text{ilma} := -15 \cdot \Delta^\circ\text{C} \quad \text{Maa} := 3 \Delta^\circ\text{C}$$

ulkolämpötila

$$\text{Tilavuus}_{1m} := L_{1m} \cdot \frac{\pi \cdot d_{\text{rst}}^2}{4}$$

$$\text{Tilavuus}_{1m} = 0.04 \cdot \text{m}^3$$

$$\text{tuloilma}_{\text{määrä}} := \frac{\text{Tilavuus}_{1m}}{I_{\text{virta.}}} = 0.904 \text{ s}$$

$$\text{tuloilma} = \text{tuloilma}_{\text{määrä}} \cdot I_{\text{virta.}} = 0.0398 \cdot \text{m}^3$$

(11)

$$t = \frac{m1 \cdot t1 + m2 \cdot t2}{m1 + m2}$$

15.5 sivu 391 Momentti 1
keskilämpötilan laskenta

$$t1 := \frac{\text{Tilavuus}_m \cdot \text{Maa} + \text{tuloilmailma}}{\text{Tilavuus}_m + \text{tuloilma}}$$

$$-15 - (+3) = -18$$

$$\rightarrow \frac{0.04 \text{ m}^3 \cdot (3 \cdot \Delta^\circ\text{C}) + 0.0398 \text{ m}^3 \cdot (-18 \cdot \Delta^\circ\text{C})}{0.04 \text{ m}^3 + 0.0398 \text{ m}^3} = -7.474 \cdot \Delta^\circ\text{C}$$

kahden metrin matkalla

$$-7.474 - (+3) = -10.474$$

$$\text{ilma2} := -10.474 \Delta^\circ\text{C}$$

$$t2 := \frac{\text{Tilavuus}_m \cdot \text{Maa} + \text{tuloilmailma2}}{\text{Tilavuus}_m + \text{tuloilma}}$$

$$\rightarrow \frac{0.04 \text{ m}^3 \cdot (3 \cdot \Delta^\circ\text{C}) + 0.0398 \text{ m}^3 \cdot (-10.474 \Delta^\circ\text{C})}{0.04 \text{ m}^3 + 0.0398 \text{ m}^3} = -3.72 \cdot \Delta^\circ\text{C}$$

$$t3 := -1.8 \cdot \Delta^\circ\text{C} \quad 3 \text{ metrin matkalla}$$

HUOM! $\Delta^\circ\text{C} = ^\circ\text{C}$

eli Celsiusastetta

$$t8 := 0 \Delta^\circ\text{C} \quad 8 \text{ metrin matkalla}$$

$$t10 := 3 \cdot \Delta^\circ\text{C} \quad 10 \text{ metrin matkalla}$$

saavutetaan +3 astetta

muut matkat laskin samalla tavalla

/2/

4.4 Aikataulu

Järjestelmän rakentaminen kesti kahdelta henkilöltä 2 päivää. Kaksi päivää meni maankaivamiseen, takaisin täyttämiseen ja putkien asennukseen. Kaivaminen tehtiin Valmet-traktorikaivurilla, kone vuokrattiin 2 päiväksi. Maan alle laitettiin RST 225 mm:n putkea 12 metriä ja putken jatkoksi 160 mm:n muoviputkea n. 8 metriä sekä 4 metrin pystyputki maan alta ylös. Tehtiin reikä kondensointipoistoa varten. Kondensointiputki on 12 mm halkaisijaltaan. Putki peitettiin metrin verran maalla ja toisena päivänä laitettiin eristettä ja täytettiin maalla.

4.5 Suodattimet

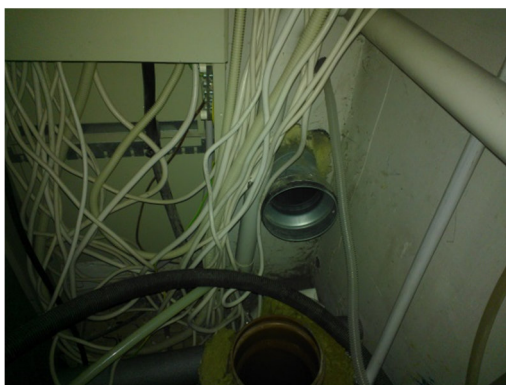
Suodattimet ovat IV-laitteen yhteydessä, hienosuodatin ja kaksi karkeasuodatinta. Suodattimien hinnat on esitetty taulukossa 1.

5 JÄRJESTELMÄN TERVEELLISYYS

5.1 Näytteenotot

Järjestelmän terveellisyyden selville saamiseksi tehdyt ilman puhtauden mittaukset suoritettiin kahdessa osassa, syyskuussa ilman lämpötilan ollessa + 6°C ja tammikuussa ulkolämpötilan ollessa pakkasen puolella. Näytteet otettiin 6-vaiheisella Andersen -keräimellä. Ne otettiin sisältä ilmanvaihtolaitteen sisääntuloilman aukon kohdalta ja ulkoa ilman sisäänottoputken vierestä. Putki tarkastettiin sisältä valolla varustetulla kameralla puhdistustarpeen selvittämiseksi. Katsottiin onko putken sisäpintaan kerääntynyt epäpuhtauksia.

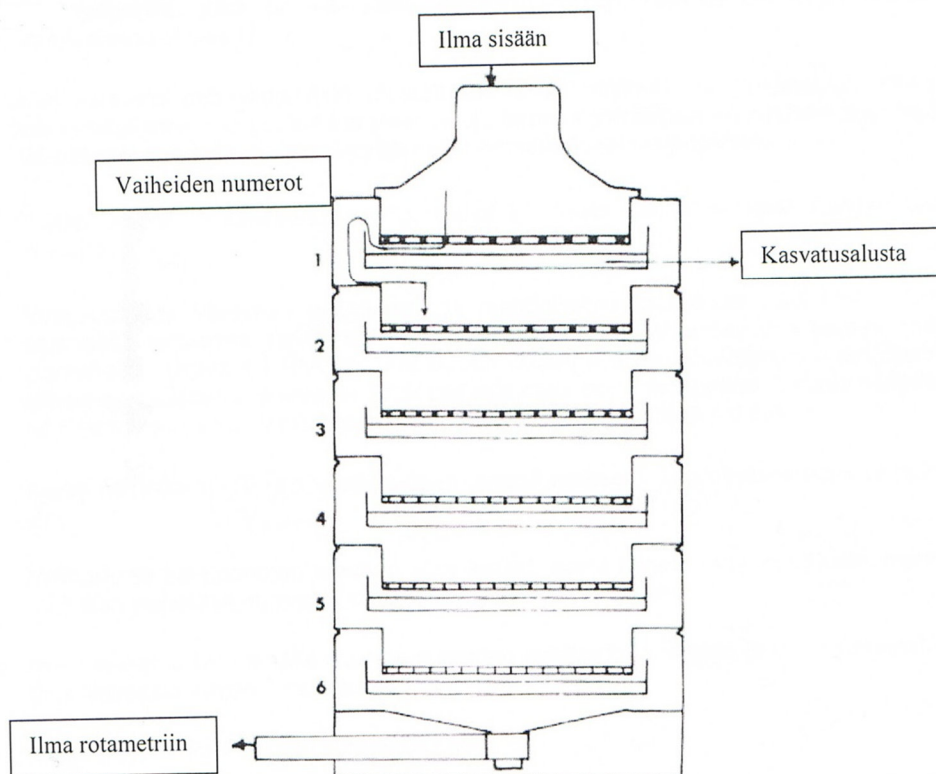
Ensimmäistä mittausta varten näytteet otettiin 25.9.2013, ulkoilman lämpötilan ollessa +6° C. Ennen näytteiden ottoa kirjoitettiin näytteiden numerot rasioiden kansiin. Näytteenotot suoritettiin siten, että avattiin näyterasiat, joissa oli kasvualustana mallasuuteagaria. Ensimmäiset näytteet sisältä olivat numerot: 1.1 – 1.6 ja toiset näytteet sisältä numerot: 2.1 – 2.6. Keräin avattiin ja osat puhdistettiin etanolilla ja sen jälkeen näytepurkit laitettiin keräimeen ilman kansiä. Keräin suljettiin ja asetettiin ilmanvaihtolaitteen sisääntuloilman aukon kohdalle. Keräimen pumppu käynnistettiin ja annettiin käydä 8 minuuttia. Näytteenottoaika oli siis 8 minuuttia ja virtausnopeus oli 28,3 l/min. Sen jälkeen pumppu sammutettiin ja näytepurkit poistettiin keräimestä ja laitettiin kannet päälle. Näytepurkit laitettiin kylmälaukkuun vietäväksi laboratorioon analysoitavaksi.



Kuvio 6. Pintanäytteenotto.



Kuvio 7. Pintanäytteenotto alue.



Kuvio 8. Andersen-keräimen toimintaperiaate (Ilmanäytteenotto-ohje VAMK).

Ulkoa näytteet otettiin samalla tavalla kuin sisältä. Kuusivaihe-keräin ja pumppu asetettiin ilman sisäänottoputken lähelle n. metri korkeudelle maan pinnasta pöydän päälle. Ensimmäiset näytteet ulkoa olivat numerot: ulko 1.1 – 1.6 ja toiset näytteet ulkoa numerot: ulko 2.1 – 2.6.



Kuvio 9. Näytteenotto ulkoa syksyllä.

Toista mittausta varten näytteet otettiin 2.2.2014 kello 10, jolloin ilman lämpötila oli -5°C ja lunta oli maassa noin 5 cm. Toiset näytteenotot suoritettiin aivan samalla tavalla kuin ensimmäisetkin.



Kuvio 10. Näytteenotto ulkoa talvella.

5.2 Näytteiden analysointi

Ensimmäiset näytteet analysoitiin laboratoriossa 27.9.2013 ja toiset näytteet talvella 4.2.2014.

Ilmanäytteiden analysointia varten näytemaljat viljeltiin kasvatuskaapissa, jonka lämpötila oli $+25 \pm 3^{\circ}\text{C}$. Viikon kuluttua saatiin bakteereita esille. Sen jälkeen viljeltiin vielä toinen viikko, jolloin tulivat esille sienipesäkkeet. Laskettiin pesäkkeiden määrä ja muunnostaulukosta muutettiin arvot, esim. 21 oli 22 jne. Sen jälkeen laskettiin mikrobipitoisuudet kaavasta.

Pintanäytteet ja ilmanäytteet on laskettu alla olevan esimerkin mukaan.

Laskelmat

Pintanäyte tulokset

(12)

Mikrobien nimet

pen = Penicillium
 clad = Cladosporium
 atla = Apergillustlavus
 ster = Steriili
 hii = Hiivä

Laskenta kaava

$$\text{Mikrobipitoisuus} = \frac{V \cdot \text{mikrobipesäkemäärien summa}}{A \cdot \text{viljeltyjen laimennosten summa}}$$

V = alkuperäisen laimennusliuoksen tilavuus = 5ml

A = näyteottonpinta - ala

$$\text{Mikrobipitoisuus_M2} = \frac{5\text{ml} \cdot (65 + 75 + 11) \cdot \text{ctu}}{100\text{cm}^2 \cdot (0.01 + 0.01 + 0.00) \cdot \text{ml}} = 359 \frac{\text{ctu}}{\text{cm}^2}$$

$$\text{Mikrobipitoisuus_DG18} = \frac{5\text{ml} \cdot (99 + 68 + 13) \cdot \text{ctu}}{100\text{cm}^2 \cdot (0.01 + 0.01 + 0.00) \cdot \text{ml}} = 428 \frac{\text{ctu}}{\text{cm}^2}$$

$$\text{Mikrobipitoisuus_Bakteerit} = \frac{5\text{ml} \cdot (18 + 2 + 1) \cdot \text{ctu}}{100\text{cm}^2 \cdot (0.01 + 0.01 + 0.01) \cdot \text{ml}} = 8.75 \frac{\text{ctu}}{\text{cm}^2}$$

1. Putken sisäilmanäyte tulokset

Mikrobien nimet

pen = Penicillium
 clad = Cladosporium
 atla = Apergillustlavus
 ster = Steriili
 hii = Hiiva
 bot = botrytis
 aur = aureobasidium
 tricho = trichoderma

Laskenta kaava

(13)

$$\text{Mikrobipitoisuus} = \frac{\text{vaiheiden-pesäkemäärien summa}}{\text{ilmanäyteen-tilavuus}}$$

$$\text{ilmanäyteen-tilavuus} = \frac{28.3 \frac{\text{litra}}{\text{min}}}{100 \text{litra}}$$

Ilmanäyte putkensisä 27.09.2013

Homeet: M2			DG: 18		
1	12	5pen,1ster,6clad	1	1	1clad
2	2	1clad,1ster	2	1	1hii
3	-	-	3	1	1ster
4	4	2clad,2ster	4	4	1clad,1pen,2ster
5	13	3atla,6clad,4ster	5	8	3clad,5ster
6	14	7pen,7clad	6	7	4ster,3clad

198 cfu/m3

97 cfu/m3

Bakteerit:	Sädesienet:
1	1
2	-
3	1
4	-
5	1
6	24
119 cfu/m3	4,4 cfu/m3

$$M2 = \frac{45 \cdot \text{ctu}}{\left(\frac{8 \text{ min} \cdot 28 \frac{\text{litra}}{\text{min}}}{1000 \text{ litra}} \right)} = 198 \frac{\text{ctu}}{\text{m}^3}$$

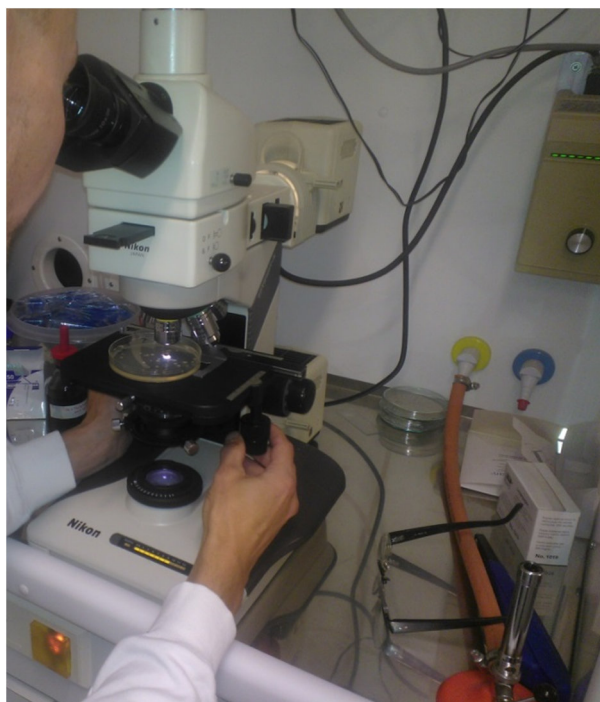
$$DG18 = \frac{22 \cdot \text{ctu}}{\left(\frac{8 \text{ min} \cdot 28 \frac{\text{litra}}{\text{min}}}{1000 \text{ litra}} \right)} = 97 \frac{\text{ctu}}{\text{m}^3}$$

$$\text{Bakteerit} = \frac{27 \cdot \text{ctu}}{\left(\frac{8 \text{ min} \cdot 28 \frac{\text{litra}}{\text{min}}}{1000 \text{ litra}} \right)} = 119 \frac{\text{ctu}}{\text{m}^3}$$

$$\text{Sädesienet} = \frac{1 \cdot \text{ctu}}{\left(\frac{8 \text{ min} \cdot 28 \frac{\text{litra}}{\text{min}}}{1000 \text{ litra}} \right)} = 4.4 \frac{\text{ctu}}{\text{m}^3}$$



Kuvio 11. Näytteiden analysointilomake ja näyterasiat.



Kuvio 12. Näytteiden analysointi.

Pintanäytteet, jotka oli kerätty 100 cm²:n alalta pumpulitikulla, laitettiin laboratoriotuotteen steriiliin laimennusliuokseen, Mekaanisen- ja ultraääniravistajan ravis-
telun jälkeen liuoksesta tehtiin laimennussarjat kasvatusaljoille. Maljat laitettiin
25 ± 3 lämpötilaan ja näytettä kasvatettiin viikko. Viikon päästä bakteerien määrä
laskettiin. Kasvatettiin vielä kaksi viikkoa ja saatiin laskettua Aktinomykeetti-
bakteerien eli sädesienien määrä. Näytteestä löydetyt bakteerit ja niiden määrä
taulukoitiin ja laskettiin alla olevista kaavoista.

Ilmanäytteen kaava

$$\text{Mikrobipitoisuus} = \frac{\text{vaiheiden-pesäkemäärien summa}}{\text{ilmanäytteen-tilavuus}}$$

Pintanäytteen kaava

$$\text{Mikrobipitoisuus} = \frac{V \cdot \text{mikrobipesäkemäärien summa}}{A \cdot \text{viljeltyjen laimennosten summa}}$$

/1, 163, 165/

5.3 Näytteiden tulokset

Näytteistä löydetty mikrobit olivat yleisimpiä mikrobeja Suomessa. Niitä löytyy myös erittäin puhtaasta ilmasta, niitä on joka paikassa. Mikrobit olivat: hiiva, Penicillium, Cladosporium, Aspergillus, steriili, Botrytis, Aureobasidium ja Trichoderma. Näitä olisi hyvä olla talvisaikaan sisäilmassa alle 100 cfu/m^3 . ”Taajamassa sijaitsevien asuntojen sisäilman sieni-itiöpitoisuudet $100 - 500 \text{ cfu/m}^3$ ovat poikkeavan suuria talven aikana. Taajamassa sijaitsevan asunnon talviaikainen sieni-itiöpitoisuus yli 500 cfu/m^3 on mikrobikasvustoon viittaavaa.” Kosteusvaurioasunnoista on löydetty jopa 53600 cfu/m^3 sieni-itiöitä. Mikrobin kasvuolosuhteet edellyttävät kolmea tekijää yhtä aikaa: suhteellinen kosteus ylittää 70 %, lämpötila on plussan puolella ja niillä on eloperäisiä ravinteita. Putken sisältä otetut tulokset olivat 102 cfu/m^3 . ”Aktinomykeetti-itiöiden esiintyminen yli 10 cfu/m^3 pitoisuuksina taajamassa sijaitsevan asunnon sisäilmassa talviaikana viittaa mikrobikasvustoon rakennuksessa.” Tulokset olivat alle tämän rajan, $8,8 \text{ cfu/m}^3$. Laboratoriokokeista saatiin tulokseksi pintanäytteistä mikrobipitoisuus, joka oli 428 cfu/cm^2 . Ilmanäytteiden tulokset olivat syksyllä ulkoa 609 cfu/m^3 ja sisältä 198 cfu/m^3 . Tulokset ovat sallitun rajan alle ja ulkoilmassa ei ole rajoituksia normaaleissa olosuhteissa.

Järjestelmän sisääntuloilman putki pitäisi puhdistaa kerran vuodessa, koska ilman mukana kerääntyy epäpuhtauksia. Tutkitun kohteen putkea ei oltu asukkaan mukaan puhdistettu yli kolmeen vuoteen, rakentamisesta lähtien. Vaikka tulokset eivät ylittäneet rajaa, ilman olisi hyvä olla puhtaampaa eli sienipitoisuuksien olla alle 100 cfu/m^3 . /1, 170–171/

Taulukko 5. Ilmanäyte ulkoa syksyllä.**Ilmanäyte Ulko 27.09.2013**

Homeet: M2			DG: 18		
1	17	8clad,3ster,5pen,1hii	1	9	1bot,1hii,6clad,1pen
2	6	1hii,4clad,1pen	2	6	1bot,4clad,1ster
3	5	3clad,1ster,1pen	3	8	4clad,4ster
4	30/31	17clad,1hii,2ster,10pen	4	6	1clad,5ster
5	34/36	1tricho,17clad,16pen	5	21/22	8aur,1tricho,5clad,4pen,4ster
6	41/43	21clad,17pen,3ster	6		

		609 cfu/cm ²			309 cfu/m3
Bakteerit:			Sädesienet:		
1	5		—		
2	1		—		
3	1		—		
4	2		—		
5	—		—		
6	3		1		
		53 cfu/m3			4,4 cfu/m3

Taulukko 6. Ilmanäyte sisältä syksyllä.**Ilmanäyte putkensisä 27.09.2013**

Homeet: M2			DG: 18		
1	12	5pen,1ster,6clad	1	1	1clad
2	2	1clad,1ster	2	1	1hii
3	—	—	3	1	1ster
4	4	2clad,2ster	4	4	1clad,1pen,2ster
5	13	3atla,6clad,4ster	5	8	3clad,5ster
6	14	7pen,7clad	6	7	4ster,3clad

		198 cfu/m3			97 cfu/m3
Bakteerit:			Sädesienet:		
1	1		—		
2	—		—		
3	1		—		
4	—		—		
5	1		—		
6	24		1		
		119 cfu/m3			4,4 cfu/m3

Taulukko 7. Ilmanäyte ulkoa talvella**Ilmanäyte Ulko 2.2.2014**

Homeet: M2		
1	3	2clad,1hii
2	1	1ster
3		
4		
5		
6		
		17 cfu/m3

Taulukko 8. Ilmanäyte putken sisältä talvella.**Ilmanäyte putken sisä 2.2.2014**

Homeet: M2		
1	4	1tricho,3pen
2	10	1hii,1clad,1atum,7pen
3	3	3pen
4	2	2pen
5	1	1tricho
6	3	2hii,1pen

102 cfu/m3

Bakteerit:		Sädesienet:
1	—	—
2	31	—
3	21/22	1
4	16	—
5	15	—
6	21/22	1
	468 cfu/m3	8,8 cfu/m3

Taulukko 9. Pintanäyte syksyllä.**Pintanäyte 27.09.2013**

Homeet: M2			DG: 18		
-1	T		-1	T	
-2	65	5pen,3clad,1atla, 4ster 52hii	-2	99	98hii,1pen
-2	75	2clad,73hii	-2	68	67hii,1pen
-3	11	11hii	-3	13	12hii,1pen
-4	—		-4	—	
-5			-5		

359 cfu/cm²428 cfu/cm²

Bakteerit:		Sädesienet:
-1	18	
-2	2	
-2	1	
-3	—	
-4	—	
-5	—	
	8,8 cfu/cm²	cfu/cm²

5.4 Putken sisäpinnan kuvaukset

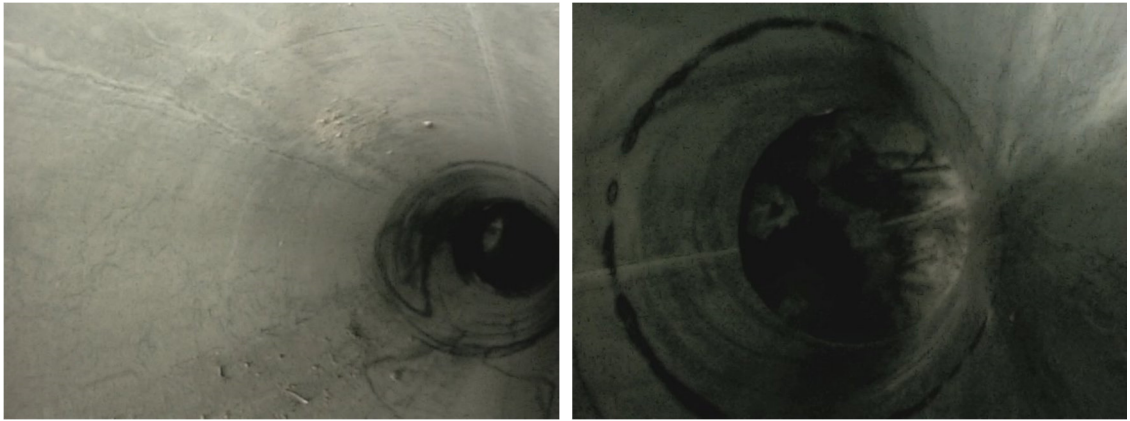
Saatujen tulosten varmistamiseksi otettiin putken sisältä kuvia. Kuvaukset osoittivat ilmanäytteiden oton oikeellisuuden. Putkessa oli pölyä mutta ei mikrobikasvustoa.



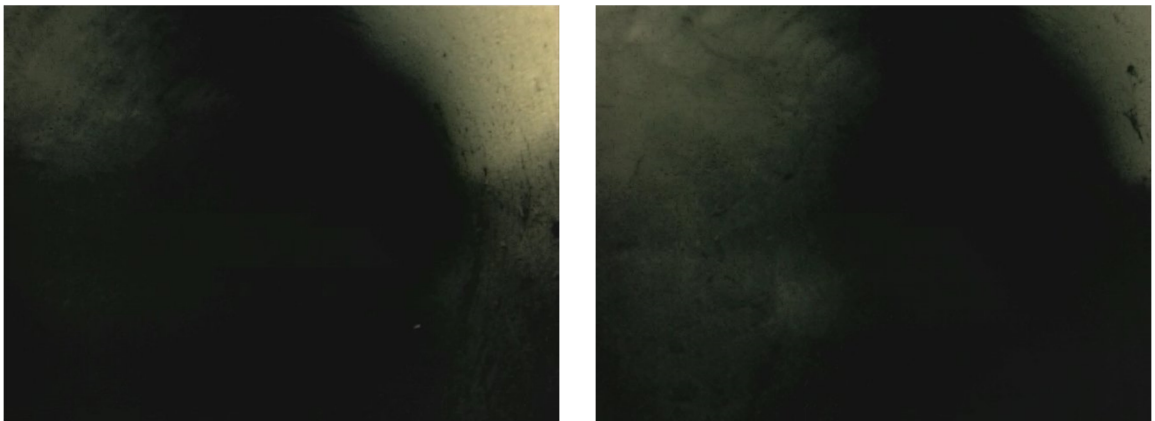
Kuvio 13. 1. Signaalivahvistettu USB-johto 10 m. 2. Valolla varustettu kamera vaijerilangalla yli 10 m. 3. Tietokone.



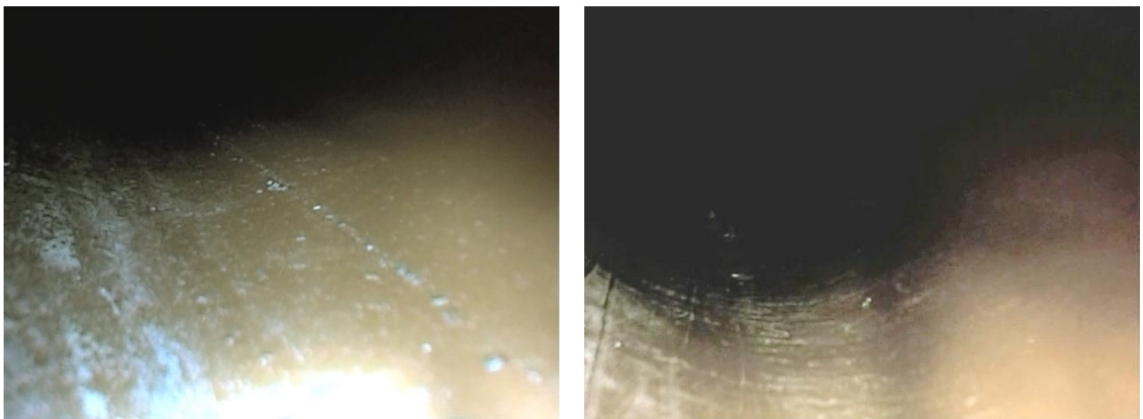
Kuvio 14. Sisääntuloilma putken alkupää.



Kuvio 15. 4 metriä putken alkupäästä.



Kuvio 16. 6 metriä putken alkupäästä



Kuvio 17. 6 metriä putken loppupäästä.



Kuvio 18. Talon sisältä putken loppupäästä.

5.5 Järjestelmän terveellisyys

Bakteerien kasvuolosuhteet edellyttävät kolmea tekijää yhtä aikaa: ilman suhteellinen kosteus ylittää 70 %, lämpötila on plussan puolella ja niillä on eloperäisiä ravinteita. Kun putki on puhdas sisältä, bakteereilla ei ole eloperäisiä ravinteita ja niillä ei ole kasvuolosuhteita. Järjestelmä pysyy kuivana, koska ilma liikkuu jatkuvasti vuoden ympäri 35–60 l/s, silloin kosteus ei tiivisty ja myös kondensointipoisto poistaa vettä järjestelmästä. Ilman mukana tulee aina jotain epäpuhtauksia, siksi järjestelmä on puhdistettava kerran vuodessa. Näin varmistetaan että, sinne ei keräännä pölyä.

5.6 Tietoja mikrobeista

Aspergillus

Aspergillus on kosteilta paikoilta löytyneistä yleisin homelaji. Ne tuottavat toksineja. Aspergillus esiintyy kaikkialla elinympäristössä. Aspergillus fumigatus kasvaa parhaiten, kun suhteellinen kosteus on 90–95 %. Aspergillus versicolor viihtyy myös kuivemmissä olosuhteissa 85–90 % tai kuivemmassa. Ne kasvavat parhaiten sellaisissa materiaaleissa kuin keraamiset tuotteet, maalajit, liimat, eivät niinkään puumateriaaleissa tai mineraalieristeessä tai muovissa. Eräässä tutkimuksessa vauriokohteiden aineistossa Aspergillus versicoloria todettiin yli 70 %:ssa vauriokohteiden näytteistä ja 90 %:ssa alapohjanäytteistä. Ammattitautitutkimuk-

siin kosteusvaurioaltistuksen vuoksi lähetetyistä potilaista 23 %:lla oli homeallergia, useimmilla juuri Aspergillus-homeelle. Astmaa sairastavien ihmisten ympäristössä Aspergillus homeetta saa olla enintään 10 ctu/m³. Terveille ihmisille tarkoitetuissa rakenteissa sitä saa olla korkeintaan 500 ctu/m³. /3, 22,24,28/.

Hiiva

Hiiva on tunnettu ruoanlaitosta. Hiivat ryhmätasolla luokitellaan värien mukaan. Niiden värit ovat vaaleat hiivat, tummat hiivat ja punaiset hiivat. Hiivat tulisi mahdollisuuksien mukaan tarkentaa hiivasienten analytiikka ryhmätasolta sukutasolle, koska on ilmeistä, että eri hiivojen aiheuttama terveydellinen riski on erilainen. Cryptococcuksen ja Sporobolomyceksen aiheuttama terveystoiminta on todennäköisesti suurempi kuin eräiden maaperässä ja ulkoilmassa esiintyvien hiivojen. Se ei tuota toksiineja mutta sitä esiintyy homevaurioituneissa kohteissa yhdessä Penicilliumin ja Aspergilluksen kanssa. Sitä esiintyy myös terveissä taloissa. Puumateriaaleissa sitä esiin yli 40 %:ssa. Myös kattojen eristysvillat ovat sen esiintymispaikkoja. Tyypillinen kasvupaikka hiivalle on kylpyhuoneen lattiakaivo. Hiiva aiheuttaa ihmisille hengitysoireita, allergioita ja iho-oireita. /3, 65–66 ja 69/.

Penicillium

Penicillium on sisäilman yleisin homeaji. Sitä on pieni määrä kaikkialla, myös terveissä taloissa. Myös lääketiede hyödyntää Penicilliumia. Penicillium-pesäke erittää ympäristöönsä ainetta, joka estää bakteerien kasvua ja sitä käytetään antibioottina. Penicillium tuottaa myös toksiinia, joka aiheuttaa ihmiselle allergiaa. Penicillium esiintyy Aspergilluksen ja Cladosporiumin kanssa. Pintamateriaaleissa sitä esiintyy leivän pinnalla, joka yleensä pilaa ruoka-ainetta. Penicillium itiöt irtoavat helposti rihmastosta ja leijuvat pitkään ilmassa. Kosteusvauriorakennusten korjaustöissä rakennustyöntekijät voivat altistuessaan saada hengitysoireita, suositellaan käytettäväksi P3 hengityssuojainta. /3 16,20/.

Steriilit sienet

Steriilit sienet ovat ulkoilman yleisin sienisuku. Pesäkkeitä, jotka eivät käytettävillä kasvualustoilla muodosta itiöitä. /1, 172/.

Trichoderma

Trichoderma eli katkolahottaja sienilajit voivat tuottaa toksiniä. Se on puutavaran homesienten yleislaji. Trichoderma kasvaa kosteusvaurion yhteydessä mm. lastulevyssä, toja-levyissä ja sahanpurussa. Toksisuutta on vähemmän puualustalla kuin epäorgaanisilla materiaaleilla. /3, 52,54/.

Cladosporium, Aureobasidium ja Botrytis

Ulkohomeiden lajisto eroaa useimmiten selvästi kosteusvaurioituneen rakennuksen indikaattorimikrobeista. Ulkoilman mikrobilajeja on kaikkialla ulkoilmassa paitsi kovalla pakkasella tai maan ollessa lumen peittämä. Ulkoilma mikrobien ravintoa on kaikki eloperäinen aines. Cladosporiumia esiintyy 32 %:ssa kosteusvaurioituneista rakenteista. Sienisukujen Cladosporium, Aureobasidium ja Botrytis eivät tuota toksineja. /3, 58,60 – 61/.

Taulukko 10. Ulkoilman homesienten ominaisuuksia. /3/

Mikrobi	Indikoi kosteusvaurioita*	Terveyshaitta	Muuta huomautettavaa	Allergiatesti saatavilla
<i>Cladosporium</i>		allergisoi	ristireagoi Alt. maaperämikrobi	IgE-testi
<i>Geotrichum</i>	kyllä	allergisoi, tuottaa maakellarin hajua		
<i>Botrytis</i>		allergisoi	elintarvikehome	IgE-testi
<i>Alternaria</i>	kyllä	allergisoi, voi tuottaa toksineja	ristireagoi <i>Cladosporium</i> in kanssa	IgE ja ihotesti
*STM:n Asumisterveysohjeen mukaan				

Taulukko 11. Esimerkkejä ulko- ja sisäilmassa yleisesti esiintyvistä sienisuvuista ja -ryhmistä sekä kosteusvaurioon viittaavista mikrobisuvuista, -lajeista ja -ryhmistä. /1/.

Ulkoilmassa yleisiä sienisukuja ja -ryhmiä	Sisäilmassa yleisiä sienisukuja ja -ryhmiä	Kosteusvaurioon viittaavia mikrobisukuja, -lajeja ja -ryhmiä
Cladosporium*	Penicillium*	Acremonium*
basidiomykeetit	Aspergillus*	Aspergillus fumigatus*
Penicillium*	Cladosporium*	A. ochraceus*
Aspergillus*	hiivat	A. penicillioides/A. restrictus
Alternaria		A. sydowii*
hiivat		A. terreus*
steriilit**		A. versicolor*
		Chaetomium*
		Eurotium
		Exophiala
		Fusarium*
		Oidiodendron
		Geomyces
		Paecilomyces*
		Phialophora
		Scopulariopsis
		Sporobolomyces
		Sphaeropsidales (Phoma
		Stachybotrys/Memnoniella*
		Sädesienet*
		Trichoderma*
		Tritirachium/Engyodontium
		Ulocladium
		Wallemia

* mahdollisesti toksiineja tuottavia mikrobeja

** pesäkkeitä, jotka eivät käytettävillä kasvialustoilla muodosta itiöitä

6 JÄRJESTELMÄN YLLÄPITO

6.1 Ylläpitotoimet

Järjestelmän ylläpitotoimet ovat kerran vuodessa tehtävä putken sisäpuolen puhdistus ilmastointiharjalla ulkoa sisäänpäin, harjan pitää ulottua 20 metrin matkalle. Sen jälkeen asennetaan tavallisen suodattimen tilalle HEPA-suodatin ja käynnistetään ilmastointilaite. Ilmastointia pidetään päällä 6 tuntia täydellä imuteholla. Sen jälkeen HEPA-suodatin poistetaan, pakataan kahteen muovipussiin ja asennetaan järjestelmään normaali suodatin. Näin mikrobit poistuvat, kun eloperäiset aineet on poistettu ja niillä ei ole enää ravintoa.

6.2 Kustannukset

Ylläpitokustannukset koostuvat putken puhdistuksesta. On olemassa firmoja, jotka puhdistavat putkien sisäpintoja koneellisesti harjalla, imevät pölyn pois ja pesivät putken painevedellä. Silloin imeminen on hyvä tehdä sisältä ulospäin. Rakentamisen yhteydessä voi ostaa harjan, joka ylettyy 20 metrin matkalle ja maksaa n. 200 €. Silloin puhdistus tulee edullisemmaksi. Harja toimii työntövoimalla kuten savupiippujen puhdistuksessa. Suodattimet maksavat 25 €, ne on puhdistettava 3 kk:n välein ja vaihdettava kerran vuodessa.

7 YHTEENVETO

Opinnäytetyön päätarkoitus oli selvittää rakennuksen sisäntuloilman esilämmitäminen kohteessa, joka hyödyntää maan energiaa. Sekä selvittää sen hyötysuhde, järjestelmän terveellisyys ja rakentamiskustannukset. Haluttiin selvittää myös, onko mahdollista rakentaa ilmanvaihto- ja lämmitysjärjestelmä, joka toimii ilman sähköä tai muuta koneellista energian kulutusta, rakennusfysiikan periaatteita käyttämällä.

Tutkimuksessa todettiin, että ilman esilämmittämisellä on hyvä hyötysuhde. Rakentaminen on helppoa ja järjestelmän voi rakentaa yksinkin. Rakentamiskustannukset tuottavat itsensä takaisin noin kuudessa vuodessa eikä ylläpitokustannuksia ole paljon, vain puhdistusharjan ostaminen. Järjestelmän terveellisyyden tarkastelua ja ylläpitoa varten otettiin ilmanäytteitä ja pintanäytteitä putken sisältä, näin saatiin tunnistettua alueella olevia mikrobilajeja. Rakennusfysiikan toimintaperiaate on: sisä- ja ulkoilman välinen lämpötilaero saa ilman liikkeelle kylmästä tilasta lämpimään tilaan koska, kylmä ilma on painavampaa kuin lämmin ilma. Sitä ilmiötä kutsutaan paine-eroksi.

Maaenergian hyödyntämistä varten Maantieteen laitos on tutkinut laajasti Kevon alueen maan lämpötiloja eri syvyyksissä. Tutkimuksen mukaan maan lämpötila on kahden metrin syvyydellä noin 0 – (+5) astetta tasaisena koko vuoden ympäri. Maaenergian hyödyntämistä on tutkinut myös Geologian tutkimuskeskus. Tutkimuksen mukaan maan lämpötila on 1–5 astetta lämpimämpää kuin ilman.

Tutkimuksen ilmanäytteistä selvisi, että kohteen putken sisälle oli kerääntynyt epäpuhtauksia ilmavirran mukana. Todettiin, että kohdetta ei oltu puhdistettu yli kolmeen vuoteen. Putki on puhdistettava joka vuosi. Kondensointipoistoputkessa on tutkimuksessa todettu eristepuutetta. Maaperän bakteereja löydettiin ilmanäytteistä, joka osoittaa että ne ovat tulleet kondensointipoistoputkesta. Kondensointipoistoputki pitää ohjata tarkastuskaivon kautta, sitten se ohjataan maahan.

Tämän järjestelmän hyötysuhde kasvaa noin nelinkertaiseksi vaihtamalla putki kupariin tai alumiiniin. Silloin putkea voisi laittaa lyhyemmälle matkalle. Tämä

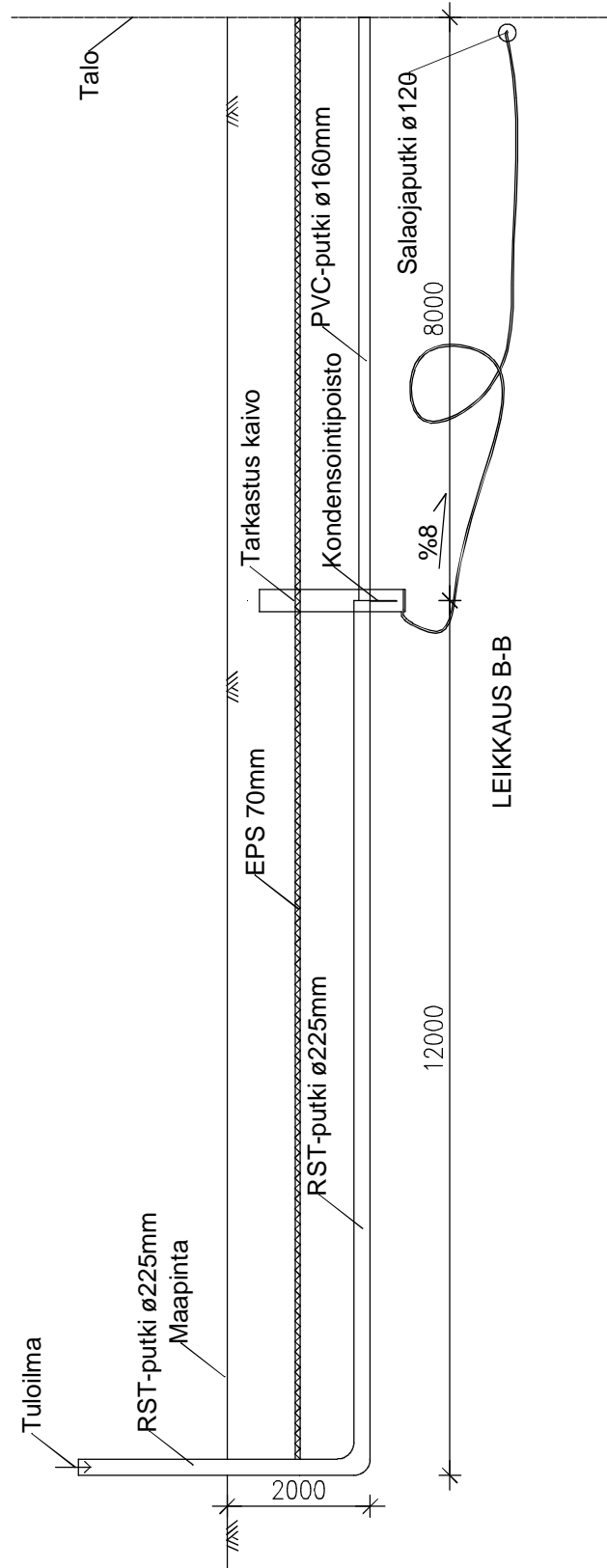
voidaan tehdä, jos maaperän aines on putkelle sopiva. Kondensointipoisto on hyvä olla sisätilassa, josta vesi ohjataan lattiakaivoon.

Oman näkemykseni mukaan talon tuloilman esilämmittäminen on hyvä tehdä luonnonvaraisesti energian säästön ja ympäristön kannalta.

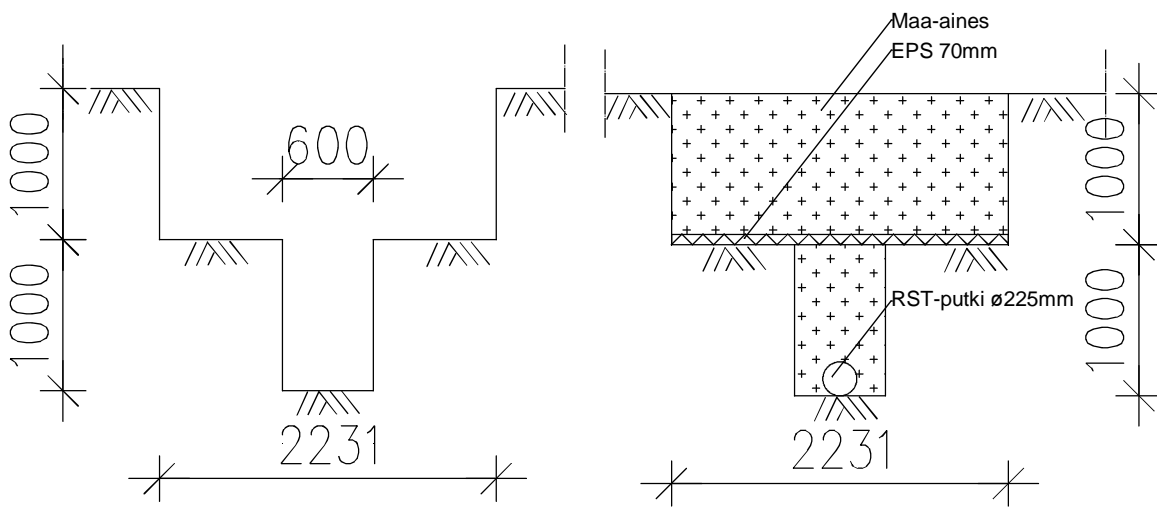
LÄHTEET

- /1/ Asumisterveysopas. 2009. Ympäristö ja Terveys-lehti. Vaasa.
- /2/ Inkinen, P. & Tuohi, J. 2002. Momentti 1. Insinöörifysiikka. Helsinki. Otava.
- /3/ Putus, T. 2010. Home ja terveys. Kosteusvauriohomeiden ja hiivojen terveyshaitat. Pori. Suomen Ympäristö- ja Terveysalan Kustannus Oy.
- /4/ Geologiset luonnonvarat, Geoenergia. Geologian tutkimuskeskus. Viitattu 27.2.2014. <http://www.gtk.fi/geologia/luonnonvarat/geoenergia/>
- /5/ Koho, E. 2004. Kevon maan pintakerroksen lämpötilat. Helsingin Yliopisto, Maantieteen laitos. Viitattu 28.2.2014.
[www.walled.org/.../Kevon%20maan%20pintakerroksen%20lampotilat.d.](http://www.walled.org/~elsi/studies.html)
<http://www.walled.org/~elsi/studies.html>
- /6/ Ilmanvaihtokoneet. 2014. Taloon.com. Viitattu 26.2.2014.
<http://www.taloon.com/ilmanvaihto/1069/dg>
- /7/ Päivittäinen, kuukautinen säähistoria tältä asemalta. 2013. Sääasema Jyväskylä, Nenäinniemi. Viitattu 27.2.2014.
<http://www.jyvweather.info/wxhistory.php?date=201312>
- /8/ Suomen rakentamismääräyskokoelma. Viitattu 10.4.2014
<http://www.finlex.fi/data/normit/1931-C4s.pdf>

Mittakaava 1:100



Mittakaava 1:50



LEIKKAUS A-A

ENERGIATODISTUS

Rakennuksen nimi ja osoite:

34300 KURU

Rakennustunnus:

Rakennuksen valmistumisvuosi:

2013

Rakennuksen käyttötarkoitusluokka:

1 Erilliset pientalot sekä rivi- ja ketjutilat (Pientalo)

Todistustunnus:

OKT

		Energiatodistusluokka
A		
B		
C		
D		
E		
F		
G		

Uudisrakennusten määräystaso 2012

Rakennuksen laskennallinen kokonaisenergiankulutus (E-luku)

128 kWh_E/(m²vuosi)

Todistuksen laatija:

Yritys:

AA-suunnittelu

36240 KANGASALA

Allekirjoitus:

Todistuksen laatimispäivä:

14.8.2013

Viimeinen voimassaolopäivä:

14.8.2023

YHTEENVETO RAKENNUKSEN ENERGIATEHOKKUUDESTA

Laskettu kokonaisenergiankulutus ja ostoenergiankulutus

Lämmitetty nettoala	121 m ²			
Lämmitysjärjestelmän kuvaus	Ilma-vesi lämpöpumppu			
Ilmanvaihtojärjestelmän kuvaus	Tulo/poistoilma levylämmönvaihtimella			
Käytettävä energiamuoto	Laskettu ostoenergia		Energiamuodon kerroin	Energiamuodon kertoimella painotettu energia
	kWh/vuosi	kWh/(m ² vuosi)	-	kWh _E /(m ² vuosi)
Uusiutuva polttoaine	2857	23.6	0.5	11.8
Sähkön kulutukseen sisältyvä valaistus- ja kuluttajalaitesähkö	8218	67.9	1.7	115.5
Kokonaisenergiankulutus (E-luku)				128

Rakennuksen energiatehokkuusluokka

Käytetty E-luvun luokitteluasteikko

Luokkien rajat asteikolla

A (<=93)	B (<=142)	C (<=203)
D (<=283)	E (<=413)	F (<=483)
G (>483)		

Tämän rakennuksen energiatehokkuusluokka

B

E-luku perustuu rakennuksen laskennallisiin kulutuksiin ja energiamuotojen kertoimiin. Kulutus on laskettu standardikäytöllä lämmitettyä nettoalaa kohden, jolloin eri rakennusten E-luvut ovat keskenään vertailukelpoisia. E-lukuun sisältyy rakennuksen lämmitys-, ilmanvaihto-, jäähdytysjärjestelmien sekä kuluttajalaitteiden ja valaistuksen energiankulutus. Rakennuksen ulkopuoliset kulutukset kuten autolämmityspistokkeet, sulanapitoilmmitykset ja ulkovalot eivät sisälly E-lukuun.

ENERGIATEHOKKUUTTA PARANTAVAT TOIMENPITEET

Keskeiset suositukset rakennuksen energiatehokkuutta parantaviksi toimenpiteiksi

Tämä osio ei koske uudisrakennuksia

E-LUVUN LASKENNAN LÄHTÖTIEDOT				
Rakennuskohde				
Rakennuksen käyttötarkoitusluokka	1 Erilliset pientalot sekä rivi- ja ketjutalot (Pientalo)			
Rakennuksen valmistumisvuosi	2013	Lämmitetty nettoala	121	m ²
Rakennusvaippa				
Ilmanvuotoluku q50	4	m ³ /(hm ²)		
	A	U	UxA	Osuus lämpöhäviöistä
	m ²	W/(m ² K)	W/K	%
Ulkoseinät	162	0.18	29	
Yläpohja	101	0.09	9	
Alapohja	46	0.15	7	
Ikkunat	20	1	20	
Ulko-ovet	4	1.4	6	
Kylmäsiilat	-	-	5	
Ikkunat ilmansuunnittain				
	A	U	gkohtisuora	
	m ²	W/(m ² K)		
Pohjoinen	13	1	0.5	
Koillinen	0	0	0	
Itä	0	0	0	
Kaakko	0	0	0	
Etelä	5	1	0.5	
Lounas	0	0	0	
Länsi	1	1	0.5	
Luode	0	0	0	
Ilmanvaihtojärjestelmä				
Ilmanvaihtojärjestelmän kuvaus:	Tulo/poistoilma levylämmönvaihtimella			
	Ilmavirta tulo/poisto (m ³ /s)/(m ³ /s)	Järjestelmän SFP-luku kW/(m ³ /s)	LTO:n lämpötilasuhde	Jäätymisenesto °C
TK1	0.048/0.048	2.08	0.6	
Rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmän LTO:n vuosiyhteyssuhde: 81%				
Lämmitysjärjestelmä				
Lämmitysjärjestelmän kuvaus:	Ilma-vesi lämpöpumppu			
	Tuoton hyötysuhde	Jaon ja luovutuksen hyötysuhde	Lämpökerroin (1)	Apulaiteiden sähkönkäyttö (2) kWh/(m ² vuosi)
Lattialämmitys 1.krs (81m ²)	-	0.85	2.2	2.5
Lattialämmitys, kellari (40m ²)	-	0.8	2.2	2.5
LKV:n valmistus	-	0.85	1.8	-
1) Vuoden keskimääräinen lämpökerroin lämpöpumpulle 2) lämpöpumppujärjestelmissä voi sisäytyä lämpöpumpun vuoden keskimääräiseen lämpökertoimeen				
	Määrä kpl	Tuotto kWh		
Varaava tulisija	1	2000		
Ilmalämpöpumppu	0	0		
Jäähdytysjärjestelmä				
Jäähdytysjärjestelmä	Jäähdytyskauden painotettu kylmäkerroin			
Lämmin käyttövesi				
Lämmin käyttövesi	Ominaiskulutus dm ³ /(m ² vuosi)	Lämmitysenergian nettotarve kWh/(m ² vuosi)		
	598.35	34.9		
Sisäiset lämpökuormat eri käyttäoasteilla				
	Käyttöaste	W/m ²		
Henkilöt	0.6	2		
Kuluttajalaitteet	0.6	3		
Valaistus	0.1	8		

E-LUVUN LASKENNAN TULOKSET				
Rakennuskohde				
Rakennuksen käyttötarkoitusluokka	1 Erilliset pientalot sekä rivi- ja ketjutilat (Pientalo)			
Rakennuksen valmistumisvuosi	2013			
Lämmitetty nettoala, m ²	121			
E-luku, kWh _E /(m ² vuosi)	128			
E-luvun erittely				
Käytettävät energiamuodot	Laskettu ostoenergia kWh/vuosi	Energiamuodon kerroin -	Energiamuodon kertoimella painotettu energiankulutus kWh _E /vuosi kWh _E /(m ² vuosi)	
Sähkö	8218	1.7	13971	115.5
Uusiutuva polttoaine	2857	0.5	1429	11.8
YHTEENSÄ	11075		15399	128
Uusiutuva omavaraisenergia, hyödyksikäytetty osuus				
		kWh/vuosi	kWh/(m ² vuosi)	
Aurinkolämpö		3744	30.94	
Lämpöpumpun lämmönlähteestä ottama energia		7954	65.74	
Rakennuksen teknisten järjestelmien energiankulutus				
		Sähkö kWh/(m ² vuosi)	Lämpö kWh/(m ² vuosi)	Kaukojäähdytys kWh/(m ² vuosi)
Lämmitysjärjestelmä				
Tilojen lämmitys (1)		2.5	55.61	-
Tuloilman lämmitys		1.69	0	-
Lämpimän käyttöveden valmistus		0	41.07	-
Ilmanvaihtojärjestelmän sähköenergiankulutus		7.24	-	-
Jäähdytysjärjestelmä		0.0	0.0	-
Kuluttajalaitteet ja valaistus		22.78	-	-
YHTEENSÄ		34.21	96.68	
1) ilmanvaihdon tuloilman lämpeneminen tilassa ja korvausilman lämmitys kuuluu tilojen lämmitykseen				
Energian nettotarve				
		kWh/vuosi	kWh/(m ² vuosi)	
Tilojen lämmitys (2)		7062	58.36	
Ilmanvaihdon lämmitys (3)		204	1.69	
Lämpimän käyttöveden valmistus		4223	34.9	
Jäähdytys		0.0	0.0	
2) sisältää vuotoilman, korvausilman ja tuloilman lämpenemisen tilassa 3) laskettu lämmönlähteenoton kanssa				
Lämpökuormat				
		kWh/vuosi	kWh/(m ² vuosi)	
Aurinko		3476	28.7	
Henkilöt		1272	10.5	
Kuluttajalaitteet		1908	15.8	
Valaistus		848	7	
Lämpimän käyttöveden kierrosta ja varastoinnin häviöistä		0	0	
Laskentatyökalun nimi ja versionumero				
Laskentatyökalun nimi ja versionumero				

TOTEUTUNUT ENERGIANKULUTUS

Saatavilla olevat ostoenergiämäärät ilmoitetaan sellaisenaan ilman lämmöntarvelukukorjausta

Toteutunut ostoenergiankulutus

Lämmitetty nettoala, m²

121

Ostettu energia

	kWh/vuosi	kWh/(m ² vuosi)
Kaukolämpö		
Kokonaissähkö	8800	72.73
Kiinteistö sähkö		
Käyttäjäsähkö		
Kaukojäähdytys		

Ostetut polttoaineet (1)

	Polttoaineen määrä vuodessa	Yksikkö	Muunnos- kerroin kWh/ksi	kWh/vuosi	kWh/(m ² vuosi)
Kevyt polttoöljy		litra	10		
Piikheet (havu- ja sekapuu)	4	pino-m ³	1300	5200	42.98
Piikheet (koivu)		pino-m ³	1700		
Puupelletit		kg	4.7		

1) Selostus ostettujen polttoaineiden määrän arvioinnista (yksikköä vuodessa) tulee esittää kohdassa "Lisämerkintöjä"

Toteutunut ostoenergia yhteensä

	kWh/vuosi	kWh/(m ² vuosi)
Sähkö yhteensä	8800	72.73
Kaukolämpö yhteensä		
Polttoaineet yhteensä	5200	42.98
Kaukojäähdytys		
YHTEENSÄ	14000	115.7

Toteutunut energiankulutus riippuu mm. rakennuksen käyttäjien lukumäärästä ja käyttötottumuksista, käyttöajoista, sisäisistä kuormista, rakennuksen sijainnista ja vuotuisista sääolosuhteista. Laskennallisessa tarkastelussa nämä asiat on vakioitu. Taulukossa ilmoitetut luvut saattavat sisältää kulutusta, joka ei sisälly laskennalliseen ostoenergiankulutukseen. Taulukosta voi myös puuttua energiankulutuksia, joiden kulutustietoja ei ollut saatavilla todistusta laadittaessa. Näiden syiden vuoksi toteutunut ostoenergiankulutus ei ole verrattavissa laskennalliseen ostoenergian kulutukseen.

LISÄMERKINTÖJÄ

Ilmastoinnin vuotuinen ilmanvaihdon hyötysuhde noin 81%, joka vastaa yhteensä noin 5700 kWh/a talteenotettua energiaa. Talteenottojärjestelmä käsittää maassa kulkevan tuloilmahormin ja koneen talteenottokennon.