



Kai Suominen

Lämmönlähteen ja viilennyksen excelpohjainen valintatyökalu ra- kennusliikkeen hankesuunnitteluun

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri AMK

Talotekniikka

Insinöörityö

23.3.2023

Tiivistelmä

Tekijä:	Kai Suominen
Otsikko:	Lämmönlähteen ja viilennyksen excelpohjainen valintatyökalu rakennusliikkeen hankesuunnitteluun
Sivumäärä:	49 sivua + 4 liitettä
Aika:	23.3.2023
Tutkinto:	insinööri AMK
Tutkinto-ohjelma:	talotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto:	LVI-suunnittelu
Ohjaajat:	yliopettaja Rauno Holopainen LVI-asiantuntija Eemil Rentola

Opinnäytetyön tavoitteena oli luoda helppokäyttöinen excelpohjainen työkalu lämmönlähteen ja viilennyksen valintaan rakennusliikkeen hankekehitysryhmän käyttöön. Työkalulla on tarkoitus vertailla eri lämmönlähteiden hintoja ja soveltuvuutta rakennukseen. Tämän lisäksi työkalu antaa tiedon teknisen tilan minimivaatimuksesta. Lisäominaisuutena työkalun oli tarkoitus vertailla lämmönlähteiden kustannusta nykyarvomenetelmällä.

Työkalun toiminta perustuu rakennuksen lämpöhäviöiden laskentaan, jossa käytettiin apuna ympäristöministeriön laskentaohjeita ja lähdekirjallisuudesta saatavia RT-korttien tietoja sekä valmistajien antamia tietoja ja neuvoja. Tämän lisäksi tutkittiin olemassa olevaa tutkimustietoa aurinkosuojauksen vaikutuksista.

Valintatyökalu täytti tilaajan vaatimukset alkuperäisen suunnitelman osalta, mutta nykyarvomenetelmää ei työkaluun pystytty toteuttamaan. Tähän vaikutti PILP-oppaassa 2018 ollut maininta, ettei tätä ohjetta voida käyttää vertailulaskentaan poistoilmalämpöpumpulla. Tämän lisäksi viilennyksen laskentaan tehtiin oletuksia, koska sen laskentaan tarvitaan dynaaminen laskentaohjelma, esimerkiksi IDA Indoor Climate and Energy (IDA ICE).

Työkalulle oli tarvetta, jotta tilatarpeet voidaan huomioida jo hankesuunnitteluvaiheessa. Tämän lisäksi työkalu antaa työryhmälle mahdollisuuden arvioida rakennukseen tehtyjen valintojen pohjalta kustannuksia sekä mahdollistaa tulevaisuudessa asiakkaalle yksilöllisesti suunnitellun lämmönlähteen hintavertailun asennuksen osalta.

Avainsanat: pientalo, lämmönlähde, lämmitys, viilennys, sisäilman laatu, rakentamismääräykset, hankesuunnittelu

Abstract

Author:	Kai Suominen
Title:	Excel Based Tool for Selection of Heat Source and Cooling Equipment
Number of Pages:	49 pages + 4 appendices
Date:	23 March 2023
Degree:	Bachelor of Engineering
Degree Programme:	Building Services Engineering
Specialisation option:	HVAC Design
Instructors:	Eemil Rentola, HVAC Specialist Rauno Holopainen, Principal Lecturer

The purpose of the project was to develop an Excel-based programme for the design team of a building constructor. The aim was to compare the price and suitability of various heat sources and cooling options. Furthermore, the programme was to be easy to use and able to present the minimum space demand for a technical room in a building. In addition, the programme was to be able to compare the cost of heat sources with the present value method.

To create the Excel-based tool, the calculation guides of the Finnish Ministry of Environment were used. Furthermore, information was collected from the publications of Rakennustieto as well as from the manuals of heat manufacturers guides and their consultations. Additionally, studies about the effects of sun shading were looked into.

The result of final year project an Excel-based tool whose operation is based on the calculation of building heat loss with default values for cooling. The tool also yields the minimum space demand for a technical room in the predesign phase of construction. The company will benefit greatly of the new tool.

Keywords: residential house, source of heat, heating, cooling, regulations of government

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Yrityksien esittely	2
2.1	Sajucon Oy	2
2.2	Watter Oy	2
3	Pientaloon liittyviä asetuksia, oppaita ja RT-kortteja	2
3.1	Asuntosuunnittelu	3
3.2	Pientaloon liittyviä RT-korttien tietoja	4
3.2.1	Teknisen tilan vaatimukset	4
3.2.2	Maalämmön vaatimuksia	6
3.2.3	Lattialämmitykseen liittyviä ohjeita	6
3.3	Pientalon viilennys	7
3.3.1	Dynaaminen laskenta	7
3.3.2	Aurinkosuojauksen vaikutus	7
3.3.3	Pientalon lämpökuormat	8
3.4	Energiatehokkuus ja lämmitystehon sekä -energian tarve	9
3.4.1	Rakennuksen tilojen lämmitysjärjestelmän lämpöteho	11
3.4.2	Tilojen vuosittainen lämmitysenergia	12
3.4.3	Ilmanvaihdon vuosittainen lämmitysenergia	15
3.4.4	Käyttöveden lämmityksen vaatima lämpöteho	17
3.4.5	Käyttöveden vuosittainen lämmitysenergia	18
3.4.6	Rakennuksen tilojen ja käyttöveden lämmitysenergia suhde	19
3.5	Pientalon ilmanvaihto	20
3.5.1	Sisäilmastoluokat	20
3.5.2	Ilmavirtojen mitoitus	21
3.5.3	Ilmanvaihdon ääniympäristö	21
4	Eri lämmönlähteiden toimintaperiaatteita	22
4.1	Poistoilmalämpöpumppu	23
4.2	Maalämpöpumppu	24
4.2.1	Keruuputkisto	24
4.2.2	Lämmitys/viilennys maalämpöpumpulla	26
4.3	Vesi-ilmalämpöpumppu	26

5	Eri viilennyslaitteiden toimintaperiaatteita	27
5.1	Ilmalämpöpumppu	27
5.2	Viilennyskonvektori	28
6	Työkalun toimintaperiaate	28
6.1	Soluihin täytettävät tiedot	30
6.1.1	Pinta-aloja	30
6.1.2	Ulkoseinien sisäkehä	31
6.1.3	Huonekorkeus	32
6.1.4	Vaipan rakenteiden valinnat	32
6.1.5	Huonetilojen määrät	33
6.1.6	Ammevaraus	35
6.1.7	Aurinkokuorman laskenta ja viilennyksen valinta	35
6.2	Valintojen tekeminen työkalun antamista vaihtoehtoista	38
6.2.1	Valintasivun alkunäkymä	38
6.2.2	Valintasivun järjestelty näkymä	39
6.2.3	Valintojen tekeminen Lopputulos-sivulle sekä NA-laskuriin	40
6.2.4	Valintasivun palautus	40
6.3	Valintojen perusteella työkalun antama lopputulos	40
6.4	Nykyarvo (NA) -työkalu	41
6.4.1	NA-laskuriin syötettävät arvot	42
6.4.2	NA-tuloksien vertailu eri valintojen suhteen	42
7	Yhteenveto	43
7.1	Ennen projektia suoritettu kysely	43
7.2	Projektin päätteeksi suoritettu kysely	43
7.3	Työkalun arviointia	44
7.4	Itsearviointia	44
7.5	Jatkokehityskohteita	45
	Lähteet	46

Liite 1: Aurinkosuojausjärjestelmiä ja näiden hyödyt sekä haitat

Liite 2: Lämpöpumpun kattama osuus tilojen ja lämpimän käyttöveden lämpö-energian tarpeesta

Liite 3: Alkukysely käyttäjille

Liite 4: Loppukysely käyttäjille

1 Johdanto

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli laatia excelpohjainen työkalu rakennusliike Sajucon Oy:n käyttöön, jolla voidaan arvioida hankesuunnitteluvaiheessa valittavan lämmönlähteen sekä viilennysjärjestelmän kustannuksia. Tehtävät valinnat vaikuttavat materiaaleihin, vaipan lämpöhäviöihin ja talotekniikkaan liittyviin ratkaisuihin ja siten myös rakentamisen hintaan ja energiatehokkuuteen.

Opinnäytetyössä on esitelty pientalon suunnitteluun liittyviä asioita, tilojen lämmitystehon laskentaan ja lämmitystehon tarpeeseen vaikuttavia asioita. Lisäksi on kerätty materiaalia lämmönlähteiden viilennyslaitteiden toimintaperiaatteista valmistajien kotisivuilta, joissa on valmistajien tuotteiden tietoja.

Pääpaino opinnäytetyössä on kuitenkin itse Excel-työkalussa, josta esitetään sen toimintaa kuvina ja osin mustattuna salassapidon alaisen aineiston vuoksi. Työkaluun on lisätty myös investoinnin nykyarvon (NA) -laskuri, jolla voi tarvittaessa myöhemmin perustella asiakkaalle, miksi hieman kalliimpi alkuinvestointi onkin pitkällä aikavälillä kannattavampi kuin pienemmän alkuinvestoinnin omaavassa tekniikassa.

Opinnäytetyön lopussa on työkalun loppukäyttäjien alku- ja lopputuloksen arviointeja sekä lopputuloksen itsearviointia. Tämä osuus sisältää myös ehdotuksia työkalun jatkokehityskohteita.

Kiitokset opinnäytetyön ohjaajille yliopettaja Rauno Holopaiselle, työpaikkaohjaaja Eemil Rentolalle, Vallox Oy:n, Nibe Oy:n, Nilan Oy:n, Sajucon Oy:n ja Watter Oy:n henkilöstölle työn mahdollistajina sekä avustavien tietojen saannista.

2 Yrityksien esittely

Tässä luvussa esitetään lyhyesti konsernin yritykset, joiden toimintaan tällä opinnäytetyön työkalulla on vaikutusta.

2.1 Sajucon Oy

Sajucon Oy on vuonna 1993 perustettu rakennusliike, joka painottaa toimintansa pääkaupunkiseudulle kohtuuhintaisiin rivi- ja kerrostaloasuntoihin sekä pientaloihin. Sajucon rakentaa perustajaurakointi-mallilla, jossa yritys hankkii tontin ja suunnittelee kohteeseen sopivan rakennushankkeen, minkä jälkeen rakentaa kohteen ja markkinoi kohteen itse.

2.2 Watter Oy

Watter Oy (aiemmin Sajutek Oy, nimi vaihtui 2021 syksyllä) on vuonna 2016 perustettu LVIS-urakointiyritys, joka on ottanut jalansijaa pääkaupunkiseudun pientalojen LVIS-urakoinnista. Sähkösuunnittelu onnistuu yrityksen omien henkilöiden toimesta ja LVI-suunnitelmat tulevat toistaiseksi alihankintana.

3 Pientaloon liittyviä asetuksia, oppaita ja RT-kortteja

Maankäyttö- ja rakennuslaista 132/1999 (1, §117) lähtevät uudisrakennuksia koskevat tekniset vaatimukset, joita ovat rakenteiden lujuus ja vakaus, paloturvallisuus, terveellisyys, käyttöturvallisuus, esteettömyys, meluntorjunta ja äänolosuhde ja energiatehokkuus.

Ilmastonmuutos aiheuttaa myös omia vaatimuksiaan rakennuksille tulevaisuudessa, kun keskilämpötilat tulevat nousemaan. Kesäiset hellejaksot aiheuttavat sisätilojen lämpenemistä, jolla on terveysvaikutuksia riskiryhmille. Vesisateiden mahdollinen lisääntyminen lisää kattoihin, ulkoseiniin ja perustuksiin kohdistuvaa kosteusrasitusta. (2, s. 4.)

Tässä opinnäytetyössä on käyty läpi, miten näitä teknisiä vaatimuksia ja ilmastomuutosta otetaan huomioon asuntosuunnittelussa terveellisyyden, energiatehokkuuden ja meluntorjunnan ja ääniolosuhteiden osalta, ja lisäksi selvitetty muutamien RT-korttien kautta koottua tietoa valmiista ratkaisuista.

3.1 Asuntosuunnittelu

Terveellisyys on otettava asuntosuunnittelussa huomioon siten, että rakennus on terveellinen asua, riippumatta ympäristön vaikutuksista. Tämä sisältää asetuksissa annetut minimivaatimukset mahdollisten vesivuotojen havaitsemisesta ja korjauksesta 782/2017 (3), sisäilman lämpötilojen, laadun, kosteuden ja valaistusolosuhteista 1009/2017 (4), käyttövesi- ja viemärijärjestelmistä sekä toimivuuksista 1047/2017 (5).

Huollettavuus on yksi tärkeä tekijä asuntosuunnittelussa, sillä elinkaariajattelussa rakennus suunnitellaan kestävänsä 50–100 vuotta (6, s. 114; 7, s. 87). Talotekniset järjestelmät tarvitsevat huoltoa ja mahdollisesti uusimistakin elinkaa- ren aikana. Mikäli tätä ei ole otettu huomioon asuntosuunnittelun alkuvaiheessa kunnolla, jälkikäteen tämä voi aiheuttaa isoa lisätyötä järjestelmien kunnostamisessa ja uudistamisessa. Pahimmillaan kunnostaminen tai uudistaminen voi olla mahdotonta, jos rakenteiden purkaminen aiheuttaisi ongelmia.

Sisäilman lämpöolosuhteisiin vaikuttaa suuresti auringosta tuleva lämpökuorma, jota ei täysin voi hallita taloteknisillä järjestelmillä, sillä auringosta tuleva energiamäärä on useita satoja watteja neliötä kohti (8, s. 7). Lämpökuormaan voidaan vaikuttaa passiivisilla ratkaisuilla jo suunnittelupöydällä, kun aurinkosuojaus otetaan huomioon. Aurinkosuojausta on käsitelty hieman enemmän myöhemmässä kappaleessa.

Uuden rakennuksen, jonka sisäilmaston ylläpitämiseen käytetään energiaa, on annettu ohjeet energiatehokkuusasetuksessa 1010/2017 (9). Laskennallinen energiatehokkuuden vertailuluku (E-luku) lasketaan vakioituun käyttöön perustuvasta laskennallisesta ostoenergiakulutuksesta.

Uuden rakennuksen sisäilmaston ja ilmanvaihdon suunnittelua ja rakentamisesta ohjaa ympäristöministeriön asetus 1009/2017 (4), jossa on annettu muun muassa vaatimukset sisäilman hiilidioksidipitoisuuden enimmäispitoisuudelle ja ulkoilmavirroille, joista viimeisimpään on annettu ohjeavot erikseen asuinrakennuksille ja muille rakennuksille FINVAC ry:n oppaassa (10).

Asuintilojen minimipinta-ala, ikkuna-ala ja huonekorkeutta sekä muita tilojen vaatimuksia on asetuksessa 1008/2017 (11), ja nämä pääsuunnittelijan, rakennussuunnittelijan ja erityissuunnittelijoiden täytyy ottaa huomioon, kun rakennusta suunnitellaan. Asuintilojen pinta-ala ja käyttötarkoitus vaikuttavat myös suoraan ulkoilmavirtoihin.

3.2 Pientaloon liittyviä RT-korttien tietoja

RT-kortistosta on saatavissa rakennusalaan ohjaavat lait ja määräykset. Tämän lisäksi RT-kortistosta on saatavilla yleiset laatuvaatimukset sekä ohjeita erilaisiin rakenteiden toteutustapoihin ja tuotetietoihin, jotka pohjautuvat tuotetoimittajien aineistoihin (12).

Tässä opinnäytetyössä käydään tarkemmin muutamien RT-korttien tietoja, jotka liittyvät opinnäytetyön teknisen tilan vaatimuksiin, maalämpöön ja vesikiertoiseen lattialämmitykseen.

3.2.1 Teknisen tilan vaatimukset

Teknisen tilan tilavaatimuksia on esitetty RT-10965-kortissa (13, s. 2) rakennuksen erilaisille tilavuuksille ja lämmönlähteille. Teknisen tilan vähimmäispinta-ala on 2 m², joka on myös esitetty kaukolämmön K1/2021 julkaisussa (14, s. 66). Teknisen tilan tilantarpeeseen vaikuttavat myös mahdolliset muut tekniset laitteet, esimerkiksi IV-kone ja keskuspolynimuri.

Tässä opinnäytetyön Excel-työkalussa on esitetty teknisen tilan tilavaraus pois-toilma- ja maalämpöpumpulle sen perusteella, paljonko vaaditaan tekniselle tilalle leveyttä ja syvyyttä. Käytännössä tilan syvyys on laitteen/laitteiden ja laitteen huoltotilan vaatimuksen summa. Oletetaan, että vähintään 1 450 mm on leveys, johon mahtuu lämmönlähde ja jakotukit. Laitteen syvyyden vaatima tila $600 \text{ mm} + \text{huoltotila } 800 \text{ mm} = 1\,400 \text{ mm}$. Näillä mitoilla teknisen tilan minimivaatimus 2 m^2 täyttyy. Excel-työkalun asettelun sivukuva on yhdenmukainen RT-10755-kortin (15, s. 4) esimerkin kanssa.

Tämän lisäksi tekniseen tilaan tulee paisunta-astia, kun käytössä vesikiertoinen lattialämmitys. Tämän mitoitus ei erikseen ole ohjelmaan tehty, sillä paisunta-astia pystytään hyvin usein asentamaan tilan seinälle kuvan 1 mukaisesti, mutta paisunta-astian mitoitus tehdään LVI-10472-kortin mukaan (16).



Kuva 1. Tekninen tila, jossa paisunta-astiat asennettu seinälle.

Tekninen tila, jossa on vesivahingon mahdollisuus, on varustettava lattiakaivolla sekä tila on vesieristettävä LVI-10623-kortin mukaan (17, s. 5–6).

3.2.2 Maalämmön vaatimuksia

Maalämpöpumpun voi sijoittaa muihinkin asuintiloihin kuin tekniseen tilaan, mutta tällöin on huomioitava, että kyseistä tilaa ei saa hiljaiseksi ja että on tehtävä laitteen alle tarvittavat toimenpiteet mahdollisten vuotojen näkyviin tulemiseksi / vuotovesien leviämisen estäminen seinän ja lattian liitoksiin RT-10755-kortin mukaisesti (15, s. 4).

Teknisen tilan oven moduulimitan suositus on 10M, jotta haalausreitti olisi tarpeeksi leveä kaikille markkinoilla oleville lämpöpumpuille. Lämpöpumpun paino on myös yksi tekijä, joka on otettava huomioon teknistä tilaa ja kulkureittejä suunnitellessa (15, s. 4).

Maalämpöpumpujärjestelmä ei vaadi erikseen paloturvallisuuden tai ilmastoinnin suhteen, joten lisäkustannuksia ei niiden osalta tule (15, s. 4; 17; 18).

3.2.3 Lattialämmitykseen liittyviä ohjeita

Lattialämmityksen suunnittelussa tarvitaan lähtötietoa siitä, kuinka paljon lämmitystehoa tila tarvitsee mitoituslämpötilassa. Yleisohjeet lattialämmityksen mitoittamiseen saadaan LVI-10261-ohjekortista (20), jossa on määritetty, kuinka paljon lämmitystehoa (W/m^2) saadaan milläkin asennusvälillä ja kiertoveden keskimääräisellä lämpötilalla. Tämän lisäksi mitoittamiseen vaikuttaa lattiapäällysteen materiaali (19, s. 4).

Lattialämmityksessä on olemassa materiaalin mukaan minimilämpötila, jotta lattianpinta ei tunnu viileältä. Nämä lämpötilat kuitenkin nostaisivat huonelämpötiloja sekä lisääisivät lämmitysenergian kustannuksia. Tämän vuoksi lattialämmitystä käytettäessä haetaan optimaalista lämpötilaa. RT-103453-kortin (20, s. 4–5) mukaan lattiaviilennystä käytettäessä menoveden lämpötilan pitää olla vakio, yleensä 15–20 °C ja varustettu kastepistesäädöllä, jotta putkisto ei kondensoi.

Yleensä lattialämmityssuunnitelmat saadaan valitulta lattialämmitysjärjestelmän toimittajalta, joiden mukaan työt toteutetaan, koska jokaisella laitevalmistajalla

on omat suunnittelu- ja asennusohjeet, kuten RT-10801-kortissa kerrotaan (21, s. 4).

3.3 Pientalon viilennys

Asetuksen 1010/2017 (9, 29 §) mukaisesti pientalojen kesäajan sisälämpötila-tarkastelua ei vaadita käyttötarkoituluokkien 1 ja 9 mukaisilta rakennuksilta, joten näistä ei tarvitse esittää vaatimuksenmukaisuuden toteutumista laskennallisella menetelmällä. Muissa käyttötarkoituluokissa tämä tarkastelu suoritetaan dynaamisella laskentaohjelmalla.

3.3.1 Dynaaminen laskenta

IDA ICE on yksi dynaamisista työkaluista, jolla pystytään tarkastelemaan rakennuksen ja tilojen sisäilmaolosuhteita. Farahanin ym. tutkimuksessa (22, s. 22) oli vertailtu vanhan ja uuden kerrostalorakennuksen eroja viilennyksen suhteen erilaisissa ilmastomuutoskenaarioissa. Lopputuloksen arvioinnissa oli, että tulevaisuuden ilmastomuutos tulee lisäämään riskiä rakennuksien ylikämpenemiseen entisestään, jolla on vaikutuksia asukkaiden terveyteen ja kuolleisuusasteeseen.

Dynaamisen laskentaohjelman avulla voidaan tehdä samalla tavalla eri viilennysjärjestelmien vertailuja. Vertailun pohjalta voidaan arvioida eri järjestelmien kustannustehokkuutta. Dynaamisen laskennan käyttö voi mahdollisesti olla tulevaisuudessa osa pientalon suunnittelua.

3.3.2 Aurinkosuojausvaikutus

Aurinkosuojaus tapoja ovat mm. varjostavat rakenteet, erilaiset markiisit, katokset, ikkunoiden lasitus, suojakalvot sekä sälekaihtimet. Näiden vaikutus riippuu siitä, missä nämä sijaitsevat ikkunaan nähden. Aurinkosuojaus-kirjassa (8) yleisimpiä aurinkosuojaustapoja on listattu tämän opinnäytetyön liitteessä 1.

Aurinkosuojausten valinta vaikuttaa myös valaistusolosuhteisiin, sillä mahdolliset ulkopuoliset suojat voivat olla näköesteitä. Valaistuksen mahdollisen vähenemisen lisäksi aurinkosuojaus voi vaikuttaa talvella aurinkolämpökuorman hyödyntämiseen. Passiivinen aurinkosuojaus voi myös vähentää lämmityksen tarvetta, riippuen valitusta suojausratkaisusta. Eri aurinkosuojauskeinojen hyödyistä ja haitoista on tehty taulukko, joka on tämän työn liitteenä 1.

Aurinkosuojauksesta on Kaakisen tekemässä opinnäytetyössä (23) esimerkkikohte, kuinka paljon voidaan passiivisella suojauksella saada vaikutusta aikaan pientalon sisäolosuhteisiin, etenkin sisäilman lämpötilaan. Simulointi oli tehty IDA ICE -ohjelmalla. Vaikka kohde onkin ulkomailla, samalla periaatteella aurinkosuojaukset kuitenkin toimivat Suomessa.

3.3.3 Pientalon lämpökuormat

Pientalon lämpökuormia ovat ihmiset, laitteet ja valaistus sekä ikkunoista sisään tulevasta auringon säteilyenergia (24, s. 31). Opinnäytetyön työkalussa on ihmisten, laitteiden ja valaistuksen lämpökuormat laskettu pohjautuen rakennuksen vakioituun käyttöön kaavalla (1) asetuksen 1010/2017 mukaisesti (9, §11)

$$Q = kP \frac{\tau_d}{24} \frac{\tau_v}{7} \frac{8760}{1000} \quad (1)$$

jossa

Q	on vuotuinen lämpökuorma (kWh/m ²)
k	on keskimääräinen valaistuksen ja kuluttajalaitteiden käyttöaste sekä ihmisten läsnäolo rakennuksen käyttöajan aikana
P	on lämpökuorma W/m ²
T _d	on rakennuksen käyttötuntien lukumäärä vuorokaudessa h
T _v	on rakennuksen käyttöpäivien lukumäärä viikossa d.

Tästä saadaan laskettua työkalussa oleva vuotuinen lämpökuorma talon pohjan nettopinta-alan mukaan.

Lämpökuormien hyödyntämistä ei ole tässä opinnäytetyössä käsitelty pidemmälle, mutta pientalon lopullisissa laskelmissa nämä huomioidaan ohjeen mukaisesti (24, s. 36).

Ikkunoiden kautta tulevan auringonsäteily energian laskennassa on käytetty kaavaa (2) (24, s. 32)

$$Q_{aur} = \sum G_{säteily, pystypinta} F_{läpäisy} A_{ikk} g \quad (2)$$

jossa

Q_{aur}	ikkunoiden kautta rakennukseen tuleva auringon säteilyenergia, kWh/kk
$G_{säteily}$	vaakapinta vaakatasolle tuleva auringon kokonaissäteilyenergia pinta-alan yksikköä kohti, kWh/(m ² kk)
$G_{säteily}$	pystypinta pystypinnalle tuleva auringon kokonaissäteilyenergia pinta-alan yksikköä kohti, kWh/(m ² kk)
F_{suunta}	muuntokerroin, jolla vaakatasolle tuleva auringon kokonaissäteilyenergia muunnetaan ilmansuunnittain pystypinnalle tulevaksi kokonaissäteilyenergiaksi, -
$F_{läpäisy}$	säteilyn läpäisyn kokonaiskorjauskerroin, -
A_{ikk}	ikkuna-aukon pinta-ala (kehys- ja karmirakenteineen), m ²
g	ikkunan valoaukon auringon kokonaissäteilyn läpäisykerroin, -.

Kaavaan 2 tarvittavat arvot saadaan laskettua ohjeen (24, s. 33–35) mukaisesti, ja auringon säteilyn intensiteetin kuukausittaiset arvot ohjeen taulukosta 11.1 (24, s. 72).

3.4 Energiatehokkuus ja lämmitystehon sekä -energian tarve

Opinnäytetyön raportin teon aikana on tapahtunut sähkömarkkinoilla merkittävä energiahintojen nousu. Tähän ovat toisaalta vaikuttaneet tapahtumat maailmalla, mutta toisaalta myös kotimaiseen energiaan siirtymisessä ollaan tilanteessa, jossa sähköä joudutaan pahimmillaan säätelemään. Tätä varten myös

eri toimijat valtion ollessa mukana aloittivat säästökampanjan syksyn 2022 aikana (25).

Sähkön hinnannousu on laittanut asunnon ostajat pohtimaan, miten energiatehokas asunto halutaan ostaa, ja isoin vaikutus on vielä sillä, millä lämmitysmuodolla talo lämmitetään (26). Sähkön hinnannousu näkyy myös lämpöpumppujen myyntitilastoissa (27).

Kuten taulukosta 1 voidaan todeta, isoin osa pientalon energiasta menee lämmitykseen, joka sisältää huonetilojen ja käyttöveden lämmityksen sekä tuloilman esilämmityksen.

Tässä opinnäytetyössä esitetään muutamia lämpöpumppuun perustuvia lämmönlähteitä, joita pientaloissa yleisimmin on käytössä.

Taulukko 1. Pientalon energiankulutuksen jakaantuminen (28).

Lämmitysenergian kulutus	Osuus %
Huonetilojen lämmitysenergia	40–60
Käyttöveden lämmitys	10–25
Tuloilman esilämmitys	5–15
Huoneisto- ja kiinteistösähkö	20–30

Rakennuksen lämmitystarpeentehon laskennan kaavat saadaan ympäristöministeriön ohjeen luvusta 10 (24). Lämmitystarpeen laskentaan ei lasketa lämpökuormia, jotka vähentäisivät lämmitystehon tarvetta, elleivät nämä ole jatkuvia. Lisäksi luvussa 3 on esitetty lämmitysenergian tarpeen laskenta. Tämän mukaisesti kaavat on kerätty kustakin osiosta, jotka käydään tarpeellisilta osiltaan läpi ja joita on käytetty laskurin kaavoissa.

Rakennuksen lämmitystehontarve lasketaan kaavalla (3)

$$\Phi_{\text{lämmitys}} = \frac{\Phi_{\text{tila}}}{\eta_{\text{tilalämmitys}}} + \frac{\Phi_{\text{iv}}}{\eta_{\text{iv}}} + \frac{\Phi_{\text{lkv}}}{\eta_{\text{lkv}}} \quad (3)$$

jossa

$\Phi_{\text{lämmitys}}$	rakennuksen lämmitystehon tarve, W
Φ_{tila}	tilojen lämmitysjärjestelmän lämpötehon tarve, W
Φ_{iv}	ilmanvaihdon tuloilman lämmitysjärjestelmän lämpötehon tarve, W
Φ_{lkv}	käyttöveden lämmitysjärjestelmän lämpötehon tarve, W
$\eta_{\text{tilalämmitys}}$	tilalämmitysjärjestelmän hyötysuhde mitoitusolosuhteissa, -
η_{iv}	ilmanvaihdon tuloilman lämmitysjärjestelmän hyötysuhde mitoitusolosuhteissa, -
η_{lkv}	käyttöveden lämmitysjärjestelmän hyötysuhde mitoitusolosuhteissa, -.

Laskentaohjeessa mainitaan erikseen tilanne, jossa mitoitus tilanteen hyötysuhdetta ei tiedetä, ja tällöin voidaan käyttää lukua 0,9. Suoraan tuloilmaa tai sisäilmaa lämmittävän sähkölämmityksen hyötysuhteen arvona voi käyttää 1,0.

Tässä opinnäytetyön Excel-työkalussa on käytetty hyötysuhteena 0,9.

3.4.1 Rakennuksen tilojen lämmitysjärjestelmän lämpöteho

Tilojen lämmitysjärjestelmän lämpöteho lasketaan kaavalla (4)

$$\Phi_{\text{tila}} = \Phi_{\text{joht}} + \Phi_{\text{vuotoilma}} + \Phi_{\text{tuloilma}} + \Phi_{\text{korvausilma}} \quad (4)$$

jossa

Φ_{tila}	tilojen lämmitysjärjestelmän lämpötehon tarve, W
Φ_{joht}	johtumislämpöhäviöt rakennusvaipan läpi, W
$\Phi_{\text{vuotoilma}}$	vuotoilman lämpenemisen lämpötehon tarve, W

ϕ_{tuloilma} teho tuloilman lämmittämiseen tilassa, W
 $\phi_{\text{korvausilma}}$ teho korvausilman lämmittämiseen tilassa, W.

Tämän opinnäytetyön Excel-työkalu on toteutettu siten, että tulo- ja poistoilma-
 virtojen oletetaan olevan tasapainossa, jolloin korvausilmaa ei oteta lasken-
 nassa huomioon. Todellisuudessa rakennus pyritään suunnittelemaan hieman
 alipaineiseksi, jolla estetään kosteuden kertyminen rakenteisiin.

3.4.2 Tilojen vuosittainen lämmitysenergia

Tilojen lämmitysenergian tarve lasketaan kaavalla (5)

$$Q_{\text{tila}} = Q_{\text{joht}} + Q_{\text{vuotoilma}} + Q_{\text{iv,tuloilma}} + Q_{\text{iv,korvausilma}} \quad (5)$$

jossa

Q_{tila} tilojen lämmitysenergian tarve, kWh
 Q_{joht} johtumislämpöhäviöt rakennusvaipan läpi, kWh
 $Q_{\text{vuotoilma}}$ vuotoilman lämpenemisen lämpöenergian tarve, kWh
 $Q_{\text{iv, tuloilma}}$ tilassa tapahtuvan tuloilman lämpenemisen lämpöenergian tarve,
 kWh
 $Q_{\text{iv, korvausilma}}$ korvausilman lämpenemisen lämpöenergian tarve, kWh.

Korvausilmaa ei oteta opinnäytetyön Excel-työkalussa huomioon, koska oletuk-
 sena, että tulo- ja poistoilmavirrat ovat yhtä suuria. Kuten aikaisemmin todettiin,
 poistoilmavirrat ovat todellisuudessa hiukan suuremmat.

Rakennusvaipan johtumislämpöhäviöt lasketaan kaavalla (6)

$$Q_{\text{joht}} = Q_{\text{ulkoseinä}} + Q_{\text{yläpohja}} + Q_{\text{alapohja}} + Q_{\text{ikkuna}} + Q_{\text{ovi}} + Q_{\text{muu}} + Q_{\text{kylmäsillat}} \quad (6)$$

jossa

Q_{joht}	johtumislämpöhäviöt rakennusvaipan läpi, kWh
$Q_{\text{ulkoseinä}}$	johtumislämpöhäviö ulkoseinien läpi, kWh
$Q_{\text{yläpohja}}$	johtumislämpöhäviö yläpohjien läpi, kWh
Q_{alapohja}	johtumislämpöhäviö alapohjien läpi, kWh
Q_{ikkuna}	johtumislämpöhäviö ikkunoiden läpi, kWh
Q_{ovi}	johtumislämpöhäviö ulko-ovien läpi, kWh
Q_{muu}	johtumislämpöhäviö tilaan, jonka lämpötila poikkeaa ulkolämpötilasta, kWh
$Q_{\text{kylmäsililat}}$	kylmäsiltojen johtumislämpöhäviö, kWh.

Tässä opinnäytetyön Excel-työkalussa ei ole huomioitu tilaa, jonka ulkoilmaan rajoittuva seinä tai katto poikkeaa ulkolämpötilasta. Kylmäsiltojen johtumislämpöhäviöiden on oletettu olevan 10 % kokonaisjohtumislämpöhäviöstä.

Ulkoilmaan rajoittuvien ulkoseinien, yläpohjien, alapohjien, ikkunoiden ja ovien lämpöhäviöt lasketaan kaavalla (7)

$$Q_{\text{rakosa}} = \sum U_i + A_i(T_s - T_u)\Delta t/1000 \quad (7)$$

jossa

Q_{rakosa}	johtumislämpöhäviö rakennusosan läpi, kWh
U_i	rakennusosan i lämmönläpäisykerroin, W/(m ² K)
A_i	rakennusosan i pinta-ala, m ²
T_s	sisäilman lämpötila, °C
T_u	ulkoilman lämpötila, °C
Δt	ajanjakson pituus, h
1000	kerroin, jolla suoritetaan laatumuunnos wateista kilowattitunneiksi.

Alapohjan laskentakaava muuttuu hiukan, jos kyseessä on maanvarainen alapohja. Tällöin alapohjan alapuolisen maan lämpötila lasketaan kaavalla (8)

$$T_{\text{maa,kuukausi}} = T_{\text{maa,vuosi}} + \Delta T_{\text{maa,kuukausi}} \quad (8)$$

jossa

$T_{\text{maa, kuukausi}}$	alapohjan alapuolisen maan kuukausittainen keskilämpötila, °C
$T_{\text{maa, vuosi}}$	alapohjan alapuolisen maan vuotuinen keskilämpötila, °C
$\Delta T_{\text{maa, kk}}$	alapohjan alapuolisen maan kuukausittaisen keskilämpötilan ja vuotuisen keskilämpötilan ero (taulukko 3.4), °C (24)

Vuotoilman lämpenemisen lämpöenergian tarve lasketaan kaavalla (9)

$$Q_{\text{vuotoilma}} = \rho_i c_{pi} q_{v,\text{vuotoilma}} (T_s + T_u) \Delta T / 1000 \quad (9)$$

jossa

$Q_{\text{vuotoilma}}$	vuotoilman lämpenemisen lämpöenergian tarve, kWh
ρ_i	ilman tiheys, 1,2 kg/m ³
c_{pi}	ilman ominaislämpökapasiteetti, 1 000 J/(kg K)
$q_{v,\text{vuotoilma}}$	vuotoilmavirta, m ³ /s
T_s	sisäilman lämpötila, °C
T_u	ulkoilman lämpötila, °C
ΔT	ajanjakson pituus, h
1000	kerroin, jolla suoritetaan laatumuunnos wateista kilowattitunneiksi

Kaavan vuotoilmavirta lasketaan kaavalla (10)

$$q_{v,\text{vuotoilma}} = \frac{q_{50}}{3600 \cdot x} A_{\text{vaippa}} \quad (10)$$

jossa

$q_{v,\text{vuotoilma}}$	vuotoilmavirta, m ³ /s
q_{50}	rakennusvaipan ilmanvuotoluku, m ³ /(h m ²)
A_{vaippa}	rakennusvaipan pinta-ala (alapohja mukaan luettuna), m ²
x	kerroin, joka on yksikerroksisille rakennuksille 35, kaksikerroksisille 24, kolmi- ja nelikerroksisille 20 ja viisikerroksisille ja sitä korkeammille rakennuksille 15 kerroskorkeuden ollessa noin 3 m. Vain

maanpinnan yläpuoliset kerrokset otetaan huomioon.

3600 kerroin, joka muuttaa ilmavirran yksiköstä m³/h yksikköön m³/s

Tässä opinnäytetyön Excel-työkalussa osioiden lämpöhäviöt on laskettu kuukausittain ja summattu yhteen.

3.4.3 Ilmanvaihdon vuosittainen lämmitysenergia

Ilmanvaihdon lämmitysenergian tarve lasketaan kaavalla (11)

$$Q_{iv} = t_d t_v \rho_i c_{pi} q_{v,tulo} \left((T_{sp} - \Delta T_{puhallin}) - T_{lto} \right) \Delta t / 1000 \quad (11)$$

jossa

Q_{iv}	ilmanvaihdon lämmitysenergian nettotarve, kWh
t_d	ilmanvaihtolaitoksen keskimääräinen vuorokautinen käyntiaika-suhde, h/24h
t_v	ilmanvaihtolaitoksen viikottainen käyntiaikasuhde, vrk / 7 vrk
ρ_i	ilman tiheys 1,2 kg/m ³
c_{pi}	ilman ominaislämpökapasiteetti, 1 000 J/(kg K)
$q_{v, tulo}$	tuloilmavirta, m ³ /s
T_{sp}	sisäänpuhalluslämpötila, °C
$\Delta T_{puhallin}$	lämpötilan nousu puhaltimessa, °C
T_{lto}	lämmöntalteenottolaitteen jälkeinen lämpötila, °C
Δt	ajanjakson pituus, h
1000	kerroin, jolla suoritetaan laatumuunnos wateista kilowattitunneiksi

Työkalussa käytetään ohjeistuksen mukaisesti lämmöntalteenottolaitteen jälkeisen lämpötilan laskemiseen kaavaa (12) siten, että jos kaavalla (11) tulee jollekin kuukaudelle tulokseksi negatiivinen tulos, kyseisen kuukauden lämmitysenergian nettotarve Q_{iv} on nolla. Sisäänpuhalluslämpötilana on käytetty oletuksena 18 °C:ta.

$$T_{lto} = T_u + \frac{\phi_{lto}}{t_d t_v \rho_i c_{pi} q_{v,tulo}} \quad (12)$$

jossa

T_{lto}	lämmöntalteenottolaitteen jälkeinen lämpötila, °C
T_u	ulkoilman lämpötila, °C
ϕ_{lto}	lämmöntalteenotolla talteenotettu kuukauden keskimääräinen teho, W
t_d	ilmanvaihtolaitoksen keskimääräinen vuorokautinen käyntiaika-suhde, h/24h
t_v	ilmanvaihtolaitoksen viikottainen käyntiaikasuhde, vrk / 7 vrk
ρ_i	ilman tiheys 1,2 kg/m ³
c_{pi}	ilman ominaislämpökapasiteetti, 1 000 J/(kg K)
$q_{v, tulo}$	tuloilmavirta, m ³ /s

Kaavan (10) lämmöntalteenotolla talteenotettu teho lasketaan kaavalla (13)

$$\phi_{lto} = \eta_{a, ivkone} t_d t_v \rho_i c_{pi} q_{v, poisto} (T_s - T_u) \quad (13)$$

jossa

ϕ_{lto}	lämmöntalteenotolla talteenotettu kuukauden keskimääräinen teho, W
$\eta_{a, ivkone}$	ilmanvaihtokoneen lämmöntalteenoton poistoilman vuosihyötysuhde, -
t_d	ilmanvaihtolaitoksen keskimääräinen vuorokautinen käyntiaika-suhde, h/24h
t_v	ilmanvaihtolaitoksen viikottainen käyntiaikasuhde, vrk / 7 vrk
ρ_i	ilman tiheys 1,2 kg/m ³
c_{pi}	ilman ominaislämpökapasiteetti, 1 000 J/(kg K)
$q_{v, poisto}$	poistoilmavirta, m ³ /s
T_s	sisälämpötila, °C
T_u	ulkolämpötila, °C

Excel-työkalussa on jokaiselle IV-koneelle laskettu kuukausittaiset tehot erikseen koneiden omilla hyötysuhteilla.

Tuloilman lämpenemisen vaatima energia tilassa lasketaan kaavalla (14)

$$Q_{iv,tuloilma} = t_d t_v \rho_i c_{pi} q_{v,tulo} (T_s - T_{sp}) \Delta t / 1000 \quad (14)$$

jossa

$Q_{iv, tuloilma}$

t_d	ilmanvaihtolaitoksen keskimääräinen vuorokautinen käyntiaika-suhde, h/24h
t_v	ilmanvaihtolaitoksen viikottainen käyntiaikasuhde, vrk / 7 vrk
ρ_i	ilman tiheys 1,2 kg/m ³
c_{pi}	ilman ominaislämpökapasiteetti, 1 000 J/(kg K)
$q_{v, tulo}$	tuloilmavirta, m ³ /s
T_s	sisälämpötila, °C
T_{sp}	sisäänpuhalluslämpötila, °C
Δt	ajanjakson pituus, h
1000	kerroin, jolla suoritetaan laatumuunnos wateista kilowattitunneiksi

Tässä työkalussa on käytetty oletuksena sisälämpötilana 21 °C:ta.

Korvausilman lämpenemistä ei lasketa, koska oletuksena on, että tulo- ja poistoilmavirrat, jolloin korvausilmavirta on nolla.

3.4.4 Käyttöveden lämmityksen vaatima lämpöteho

Käyttövedestä on säädetty asetuksessa 1047/2017 (5) lämminvesilaitteistosta sekä vähimmäislämpötila 55 °C, että maksimilämpötila 65 °C. Vähimmäislämpötilan tehtävänä on varmistaa, ettei legionellabakteeri kasva käyttövesiverkostossa. Tästä on kerrottu THL:n sivuilla (29).

Laskennassa on käytetty lämpimän käyttöveden arvona 55 °C ja kylmän käyttöveden 5 °C laskentaohjeen mukaisesti (24).

Käyttöveden lämmityksen lämpötehon tarve lasketaan kaavalla (15)

$$\phi_{lkv} = \rho_v c_{pv} q_{v,lkv} (T_{lkv} - T_{kv}) + \phi_{lkv,kiertohäviö} \quad (15)$$

jossa

ϕ_{lkv}	käyttöveden lämmityksen lämpötehon tarve, kW
ρ_v	veden tiheys, 1000 kg/m ³
c_{pv}	veden ominaislämpökapasiteetti, 4,2 kJ/(kg K)
$q_{v, lkv}$	lämpimän käyttöveden mitoitusvirtaama, m ³ /s
T_{lkv}	lämpimän käyttöveden lämpötila, °C
T_{kv}	kylmän käyttöveden lämpötila, °C
$\phi_{lkv, kiertohäviö}$	lämpimän käyttöveden kiertojohdon lämpöhäviöt, kW.

Lämpimän käyttöveden lämmityksen vaatiman hetkellisen lämpötehon pystyy tasaamaan lämmityslaitteen sisäisellä tai ulkoisella varaajalla, jolloin lämmityslaitte voi tehdä pienemmällä teholla lämmintä käyttövettä (29, s. 70). Excel-työkalussa oletetaan, että lämmin käyttövesi on lämmityslaitteen sisällä tai ulkoisessa varaajassa. Täten laskuri ottaa huomioon käyttöveden vuosittaisen lämmitysenergian vertaillessaan, miten paljon pystytään tuottamaan lämpöpumpulla vuosittaisesta lämmitysenergiasta.

3.4.5 Käyttöveden vuosittainen lämmitysenergia

Lämmintä käyttövettä oletetaan lämmitettävän vuorokauden kulutusta vastaava määrä, josta saadaan kaavalla (16) laskettua käyttöveden vuorokautisen lämmitysenergian nettotarve.

$$\phi_{lkv} = \rho_v c_{pv} V_{lkv} (T_{lkv} - T_{kv}) / 3600 \quad (16)$$

jossa

ϕ_{lkv}	käyttöveden lämmityksen lämpötehon tarve, kW
ρ_v	veden tiheys, 1000 kg/m ³
c_{pv}	veden ominaislämpökapasiteetti, 4,2 kJ/(kg K)
V_{lkv}	lämpimän käyttöveden kulutus m ³
T_{lkv}	lämpimän käyttöveden lämpötila, °C
T_{kv}	kylmän käyttöveden lämpötila, °C
3600	kerroin, jolla suoritetaan laatumuunnos kilowattitunneiksi, s/h

Tästä saadaan laskettua lämpimälle käyttövedelle vuosittainen energiamäärä, kun vuorokautinen energiamäärä kerrotaan 365 vuorokaudella. Oletuksena laskuissa on käytetty makuuhuoneiden määrää, jossa oletetussa päämakuuhuoneessa asuu kaksi henkilöä ja muissa makuuhuoneissa yksi henkilö. Muita oletuksia on, että lämmintä käyttövettä kuluu vuorokaudessa 50 dm³/henkilö, jolloin vuorokautisen lämpimän käyttöveden määrä voidaan laskea kaavalla (17).

$$V_{lkv} = nV_{lkv,omin,henk}\Delta t/1000 \quad (17)$$

jossa

V_{lkv}	lämpimän käyttöveden kulutus m ³
n	henkilöiden lukumäärä, -
$V_{lkv,omin,henk}$	lämpimän käyttöveden ominaiskulutus, dm ³ henkilöä kohti vuorokaudessa
Δt	ajanjakson pituus, vuorokautta
1000	kerroin, jolla suoritetaan laatumuunnos kuutiometreiksi, dm ³ /m ³

3.4.6 Rakennuksen tilojen ja käyttöveden lämmitysenergia suhde

Tilojen ja lämpimän käyttöveden lämmitysenergioiden suhteesta saadaan suhdeluku, jota hyödynnetään laskettaessa liitteen 2 taulukon avulla maalämpöpumpun kattama osuus tilojen ja lämpimän käyttöveden lämpöenergiantarpeesta. Jäljelle jäävä osuus hoidetaan lämpöpumpun sähkövastuksella.

Excel-työkalussa on tehty vain säävyöhykkeiden I–II osuus taulukosta (liite 2), koska työkalun tilaajalla ei ollut tarvetta muille vyöhykkeille. Nämä saadaan tarvittaessa lisättyä jälkikäteenkin. Tätä ominaisuutta tarvitaan, kun työkalulla lasketaan mahdollisia vertailulaskelmia eri lämpöpumpuilla NA-laskurissa.

3.5 Pientalon ilmanvaihto

Pientalon sisäilman ulkoilmavirroille on annettu minimivaatimukset asetuksessa 1009/2017 (4), jossa määritetään normaalitilanteen ilmanvaihdon lisäksi tehostus- (30 % suunniteltua käyttötilannetta suurempi) ja poissa-tilanteen ilmavirrat (40 % suunnitellun käyttötilanteen ilmavirrasta). Kumotun rakentamismääräyksen osan D2 pohjalta FINVAC on laatinut lainsäädännön toteutumiseksi oppaat asuinrakennuksien ulkoilmavirtoihin (30). Tämän lisäksi RT-11299-korttina on julkaistu Sisäilmastoluokitus 2018 (31), jossa on esitetty vähimmäisvaatimusta (S3) parempien sisäilmastoluokan S1 ja S2 vaatimuksia, kuten lämpöolosuhteiden, sisäilman laadun ja ääniolosuhteiden tavoitearvoja sekä ulkoilmavirtojen normaalin käyttötilanteen mitoitusarvot. Tässä työssä on keskitytty ilmanvaihdon määrään ja raportissa käydään läpi hieman ilmanvaihdon ääniympäristöä.

3.5.1 Sisäilmastoluokat

Sisäilmaston laatuluokkia on kolme tasoa S1, S2 ja S3. Näihin luokituksiin kuuluu sisäilman laadun lisäksi lämpö-, valaistus- sekä ääniolosuhteet, joista on annettu tavoitearvot eri luokkien välillä (31).

Asetuksen 1009/2017 (4) minimivaatimus toteutuu S3-luokan erittäin vähäpäästöisessä rakennuksessa, jonka ulkoilmavirta on $0,35 \text{ dm}^3/\text{s}$ lattia- m^2 tai $6 \text{ dm}^3/\text{s}$ / henkilö. S2-luokassa ulkoilmavirran määrä on $0,35 \text{ dm}^3/\text{s}$ lattia- m^2 ja $7 \text{ dm}^3/\text{s}$ / henkilö. S1-luokassa ulkoilmavirta on $0,35 \text{ dm}^3/\text{s}$ lattia- m^2 ja $10 \text{ dm}^3/\text{s}$ / henkilö (31).

Rakennuttajan tehtävä on määrittää haluttu tavoitetaso yhdessä suunnittelijoiden kanssa, jotta suunnittelussa otetaan huomioon siihen liittyvät parametrit. Tämän jälkeen suunnittelijoiden tehtävänä on huolehtia tavoitteiden täyttymisestä suunnitteluratkaisuissa ja varmistaa, että nämä on asiakirjoissa selkeästi esitetty. Edellä mainitun lisäksi halutun tavoitetason saavuttamisen toteamiseksi on tehtävä tarpeelliset laadunvarmistusmittaukset, kuten ilmavirtojen tarkastusmittaukset. Mittaukset suunnitellaan rakennuttajan ja suunnittelijoiden kesken, minkä jälkeen suunnittelija määrittää tarvittavat mittaukset (31).

3.5.2 Ilmavirtojen mitoitus

Pientalon ulko- ja poistoilmavirtojen suunnittelussa voidaan käyttää sisäilmastoluokituksen FINVACin oppaan mukaisia. Sajuconilla käytetään rakennuskohteen suunnittelussa lähtökohtaisesti huonekohtaisia ilmavirtoja, jotka ovat FINVACin oppaassa taulukossa 2 (30, s. 8). Tällöin pienissä asunnoissa ilmanvaihtuvuus voi olla yli 1 1/h. Tehostuksessa käytetään 30 % isompaa ja poissa-tilassa 60 % suunnitellun käyttöajan pienempää ilmavirtaa asetuksen 1009/2017 (4) mukaan, kuitenkin huomioiden poistoilmalämpöpumpun (PILP) minimi-ilmavirtavaatimus, joka on tässä opinnäytetyössä olleen valmistajan asennusohjeissa (32, s. 62; 33, s. 62). Liian pienellä ilmavirralla poistoilmalämpöpumppu ei toimi oikein ja menee häiriötilaan. Tällöin lämmitysenergia tuotetaan pelkästään sähkövastuksella.

3.5.3 Ilmanvaihdon ääniympäristö

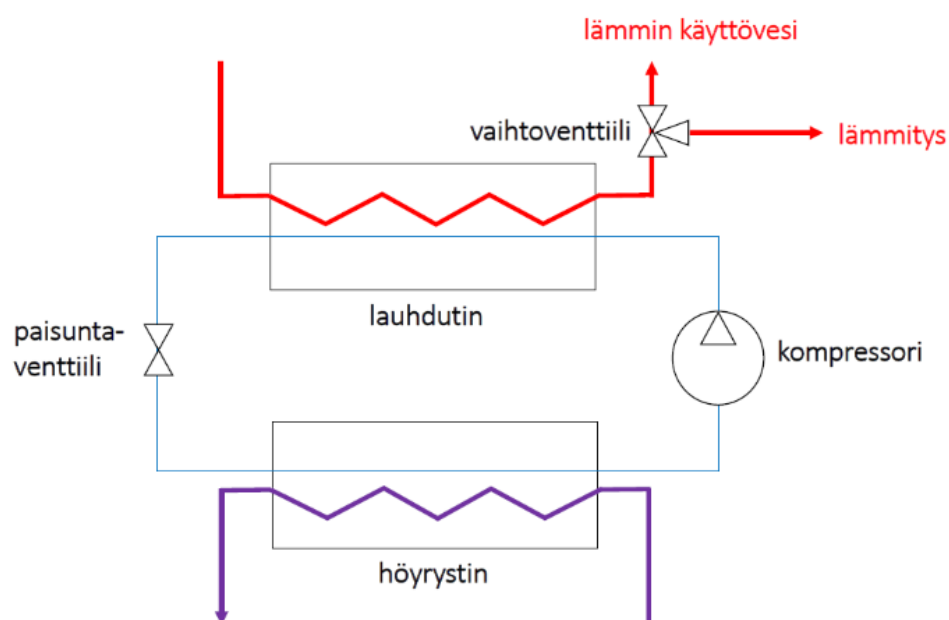
Ilmanvaihdon äänilähteitä ovat ilmanvaihtokoneen lisäksi ilmavirran säätimet sekä päätelaitteet. Tämän lisäksi ilmavirrasta syntyy ääntä, mikäli kanava on liian ahdas kyseiselle ilmavirralle, jolloin ilman nopeus kasvaa kanavassa liian suureksi. Ääntä vaimennetaan äänenvaimentimilla, ja tämän lisäksi ääni vaimenee kanavistossa pääasiassa mutkissa, haaroissa, päätelaitteissa ja huoneessa. (34.)

Äänimittareiden mitaamat tulokset mukautetaan suodattimella vastaamaan ihmiskorvan herkkyyteen. Suodattimia on olemassa A-, B-, C- ja D-taajuuspainotuksia (35, s. 13). Ilmanvaihdon äänenpainemittaukset esitetään yleensä A-taajuuspainotettua äänenpainetasona (36, s. 61).

Rakennuksen ääniympäristöstä on annettu asetuksessa 360/2019 (37, 5 §) ylärajat, jotka sisältyvät myös ympäristöministeriön ohjeeseen (38, s. 27).

4 Eri lämmönlähteiden toimintaperiaatteita

Lämpöpumpun toimintaperiaate on esitetty kuvassa 2. Tärkeimmät osat laitteistossa ovat höyrystin, kompressor, lauhdutin ja paisuntaventtiili, joiden kautta kylmäaine kulkee eri muodoissaan.



Kuva 2. Lämpöpumpun tärkeimmät osat (39).

Höyrystimelle kylmäaine tulee paisuntaventtiilistä jäähtyneenä nestemäisessä olomuodossa. Höyrystimessä kylmäaine ottaa vastaan lämpöä lämmönlähteestä, jolloin kylmäaine lämpenee ja höyrystyy kaasuksi sekä jatkaa matkaansa kohti kompressoria.

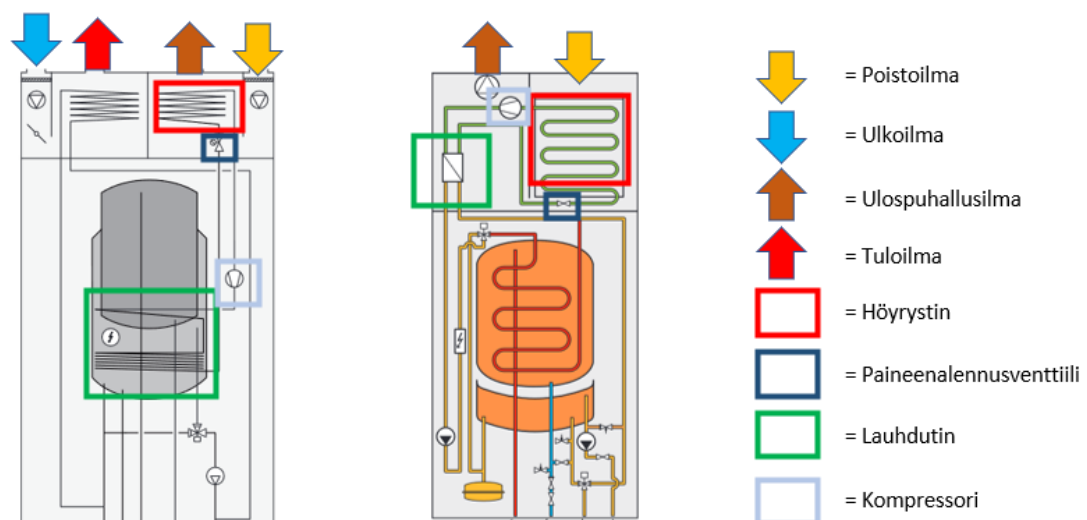
Kompressorissa kaasumainen kylmäaine puristetaan korkeampaan paineeseen, jolloin kylmäaineen lämpötila nousee. Korkeapaineinen ja lämpöinen kaasumainen kylmäaine siirtyy tämän jälkeen lauhduttimelle.

Lauhduttimessa kaasumainen kylmäaine luovuttaa lämpöään tiivistyen nestemäiseen olomuotoon pysyen edelleen korkeapaineisena. Luovutettua lämpöä voidaan käyttää lämpimään käyttöveteen sekä lämmitykseen, joka voi olla ilmanvaihtoa ja/tai tilojen lämmitystä. Lauhduttimen jälkeen jäähtynyt korkeapaineinen nestemäinen kylmäaine siirtyy paisuntaventtiilille.

Kylmäaineen paine ja lämpötila laskee paisuntaventtiilin jälkeen. Tästä kylmäaineen kierto jatkuu höyrystimelle.

4.1 Poistoilmalämpöpumppu

Poistoilmalämpöpumpussa lämmönlähteenä toimii rakennuksen poistoilma, joka höyrystimen jälkeen johdetaan ulos ulospuhallusilmana. Riippuen poistoilmalämpöpumpun mallista, komponenttien sijainnit vaihtelevat. Kuvassa 3 on muutaman tässä työssä esiintyvän poistoilmalämpöpumpun kaaviokuva.

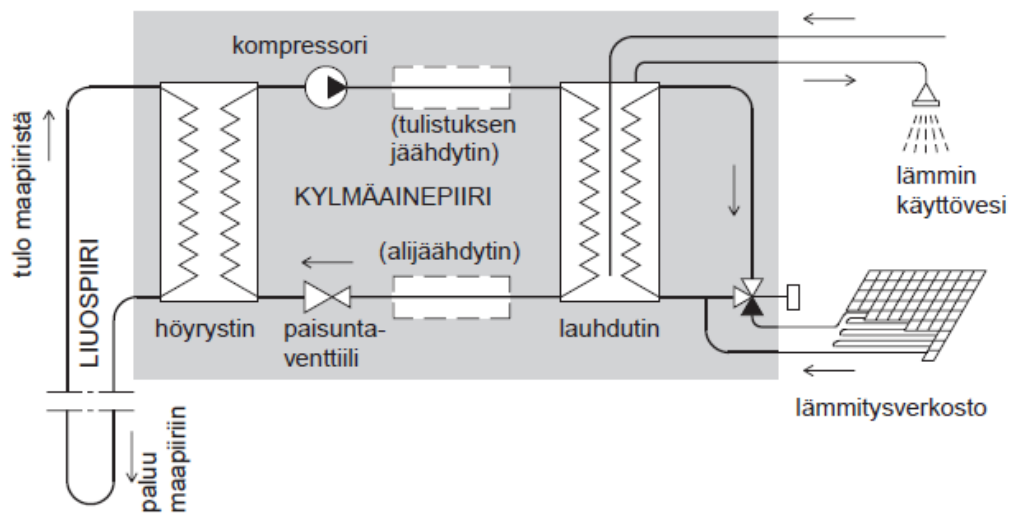


Kuva 3. Nibe F470- ja F750-mallit, joissa lämpöpumpun tärkeimmät komponentit ovat merkitty (32, s. 18; 33, s. 16).

Niben F750-mallissa ei ole tuloilmayksikköä, vaan tämä hoidetaan erillisellä tuloilmalaitteella, joka on tässä opinnäytetyössä SAM41.

4.2 Maalämpöpumppu

Maalämpöpumpussa lämmönlähteenä on maapiirin keruuputkisto, joka voi sijaita maaperässä, kallioperässä tai vesistössä, muutoin lämpöpumppu toimii kuten luvussa 4 oli esitetty.

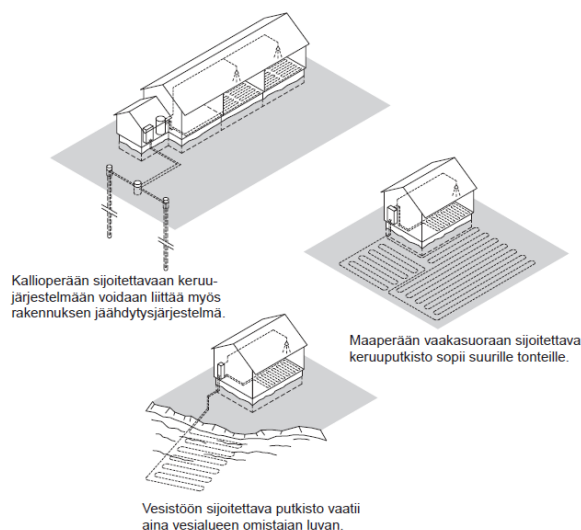


Kuva 4. Maalämpöpumpun rakenneosat ja toimintaperiaate (18).

Maalämpöpumpussa voi olla oma sisäinen lämpimän käyttöveden varaaja, kuten poistoilmalämpöpumpussa tai sitten erillinen ulkoinen varaaja.

4.2.1 Keruuputkisto

Maalämpöpumpun keruuputkiston sijoitukselle on olemassa kolme vaihtoehtoa, jotka on esitetty kuvassa 5.



Kuva 5. Keruuputkiston sijoitusvaihtoehtoja (18).

Energiakaivosta voidaan ottaa yleensä maksimissaan tehoa 30 W/m, jotta kaivosta ei oteta liikaa energiaa (40). Toinen kaivoa mitoittava tapa on 100 kWh/m (39), jolla voidaan arvioida tarvittavan kaivon syvyyttä. Mikäli kaivosta otetaan enemmän energiaa kuin siitä on suositeltava ottaa, kaivo jäähtyy eikä lataudu riittävästi ennen uutta lämmityskautta. Energiakaivoa voidaan hyödyntää jäähdytyksessä, sillä keruupiirin neste tulee höyrystimelle viileänä myös kesällä (39).

Pääkaupunkiseudun tonttien koot ovat kohtuullisen pieniä Helsingin omakotitalo tontin valintalomakkeessa (41), keskimäärin 400–500 m². Maaperään sijoitettava keruuputkisto vaatii tilaa noin 1,5 m²/putkimetri. 100 m²:n talossa on lämmitettävää tilavuutta 260 m³ oletuksella, että huonekorkeus on 2,6 metriä. Tällöin putkimetrejä tulee 400–500 m, jolloin maapiirin pinta-alavaatimus on 600–750 m² (42, s. 8). Maapiirin päälle ei saa rakentaa taloa, joten pienemmillä tonteilla maapiiriä ei voida toteuttaa.

Vesistöä ei jokaisella pääkaupunkiseudulla sijaitsevalla tontilla ole lähistöllä eikä putkistoa voida asentaa virtaavaan veteen, joten lähes ainoaksi vaihtoehdoksi maalämmölle jää käytännössä energiakaivon poraus.

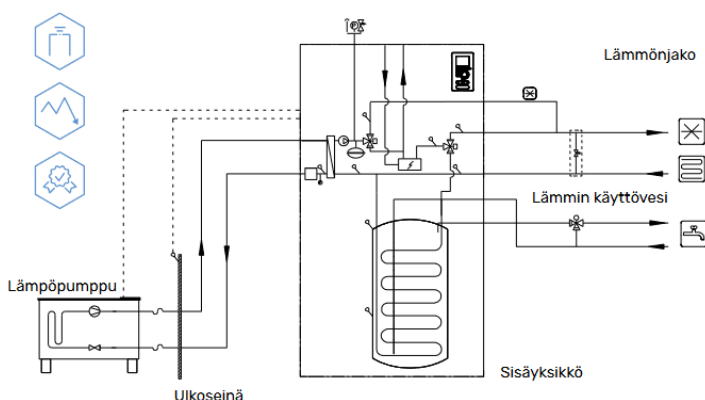
4.2.2 Lämmitys/viilennys maalämpöpumpulla

Maalämpöpumpun maapiiriä voidaan hyödyntää lämmittämisen lisäksi myös viilennykseen. Tämä voi tapahtua joko maapiiriputkistoon kytketyllä konvektorilla (43) tai sitten lattialämmityspotkiston kautta lattiaviilennyksenä (44, s. 33). Lattiaviilennys tuo hieman lisäkustannuksia uudisrakennuksessa, kun se asennetaan lattialämmityksen rinnalle (44, s. 34).

Viilennyksen avulla lämpöä siirretään maapiiriin, jolloin maapiiri toimii kahdensuuntaisena energiavarastona (43). Myös ympäristön lämpötilalla ja maaperällä on vaikutusta siihen, kuinka paljon energiaa maapiiristä voidaan ottaa lämmityskaudella sekä kuinka paljon se pystyy vastaanottamaan kesällä lämpöenergiaa (42, s. 23).

4.3 Vesi-ilmalämpöpumppu

Vesi-ilmalämpöpumpussa (VILP) lämmönlähteenä toimii ulkoilma, joka kulkee ulkoyksikössä olevan höyrystimen läpi. Kuvassa 6 on esimerkkinä split-mallinen koneisto, jossa on erilliset ulko- ja sisäyksiköt.



Kuva 6. Esimerkkikuva vesi-ilmalämpöpumpusta (45).

Joissakin malleissa ulkoyksikkö sisältää myös lauhduttimen, jolloin lämpöä siirretään lauhduttimelta sisäyksikköön pakkasen kestäväällä liuoksella.

5 Eri viilennyslaitteiden toimintaperiaatteita

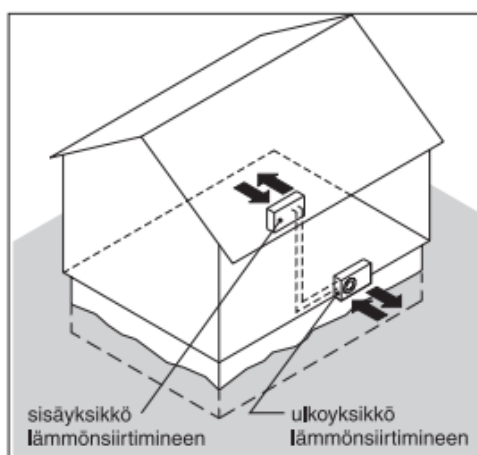
Tässä opinnäytetyössä on käyty kahden viilennyslaitteen toimintaa läpi, joita on yleisesti käytössä, riippuen lämmönlähteestä.

Poistoilmalämpöpumpun toimiessa lämmönlähteenä joudutaan asentamaan erillinen viilennyslaitteisto. Tässä tapauksessa useimmiten käytetään ilmalämpöpumppua.

Maalämpöpumpun toimiessa lämmönlähteenä ja energiakaivon energialähteenä energiakaivosta saadaan lähes ilmaisviilennystä keruuputkiston kytkennöillä.

5.1 Ilmalämpöpumppu

Ilmalämpöpumpulla viilennettäessä sisäyksikön lauhdutin toimii höyrystimenä ja ulkoyksikön höyrystin lauhduttimena. Kuvassa 7 on esitetty ilmalämpöpumpun sijoitus.

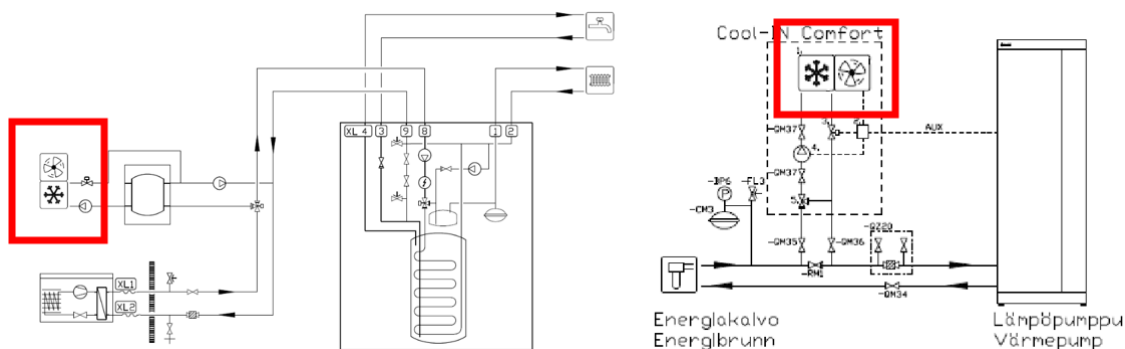


Kuva 7. Esimerkki ilmalämpöpumpun sijoituksesta (18).

Ilmalämpöpumpun ulkoyksikkö sijoitetaan yleensä lähelle sisäyksikköä. Sisäyksikkö sijoitetaan huonetilaan, josta sen lämmittävä ja viilentävä vaikutus leviää mahdollisimman laajalle tiloihin.

5.2 Viilennyskonvektori

Viilennyskonvektori on sisäyksikkö, johon johdetaan kylmää lämmönsiirtonestettä. Lämmönsiirtonesteenä voi olla vesi-ilmalämpöpumpun ulko- ja sisäyksiön välinen pakkasen kestävä liuos tai maalämpöpumpun keruuputkistossa kiertävä neste. Esimerkkikytkennät on esitetty kuvassa 8.



Kuva 8. Vasemmalla vesi-ilmalämpöpumppu- ja oikealla maalämpöpumppukytkennät, jossa viilennyskonvektori merkitty punaisella nelikulmiolla (46, s. 54 & s. 46).

Valmistajasta riippuen kytkennät voivat vaihdella, mutta järjestelmään kuuluu erillinen pumppu sekä ohjausventtiili, jotta lämmönsiirtoneste saadaan virtaamaan viilennyskonvektorille.

6 Työkalun toimintaperiaate

Työkalun tulevilta käyttäjiltä tuli tärkeimpänä toiveena helppokäyttöisyys, sillä työkalun käyttö ei saa viedä liikaa aikaa. Tämän vuoksi mm. kylmäsilat on määritetty, että ne vastaavat 10 %:a tilan lämpöhäviöistä. Samoin kerroskorkeuden valinta ohjaa täytettävät solut värjäämällä solut (kuva 9).

Talo malli	Omakotitalo		Talo malli	Omakotitalo	
Sisälämpötila	21	°C	Sisälämpötila	21	°C
Mitoituslämpötila	-26	°C	Mitoituslämpötila	-26	°C
Kerroksia	1		Kerroksia	2	
Pinta-ala alakerta	70	m2	Pinta-ala alakerta	70	m2
Pinta-ala keskikerros	70	m2	Pinta-ala keskikerros	70	m2
Pinta-ala yläkerta	70	m2	Pinta-ala yläkerta	70	m2
Kerroskorkeus alakerta	2,8	m	Kerroskorkeus alakerta	2,8	m
Kerroskorkeus keskikerros	2,8	m	Kerroskorkeus keskikerros	2,8	m
Kerroskorkeus yläkerta	2,8	m	Kerroskorkeus yläkerta	2,8	m
Ulkoseinien sisäkehä alakerta	35	m	Ulkoseinien sisäkehä alakerta	35	m
Ulkoseinien sisäkehä keskikerros	35	m	Ulkoseinien sisäkehä keskikerros	35	m
Ulkoseinien sisäkehä yläkerta	35	m	Ulkoseinien sisäkehä yläkerta	35	m

Kuva 9. Kerrosmäärän lisäys muuttaa täytettävien solujen väriä punaisella.

Solujen värjäytyminen tehtiin Excelin ehdollisella muotoilulla (kuva 10).

Ehdollisen muotoilun sääntöjen hallinta			
Näytä muotoilusäännöt: Tämä laskentataulukko			
Sääntö (käytetään esitettyssä järjestyksessä)	Muotoile	Käytetään kohteeseen	Lopeta, jos tosi
Kaava: =\$C\$61="Ei"	AaBbCcÄäÖö	=\$C\$63;\$F\$63;\$C\$65	<input type="checkbox"/>
Solun arvo sisältää: ILP/Konvektori	AaBbCcÄäÖö	=\$C\$59	<input type="checkbox"/>
Kaava: =\$C\$59="Harkittava"	AaBbCcÄäÖö	=\$C\$59	<input type="checkbox"/>
Kaava: =\$C\$9=2	AaBbCcÄäÖö	=\$C\$13;\$C\$19;\$C\$25;\$C\$39;\$C\$45	<input type="checkbox"/>
Kaava: =\$C\$9=1	AaBbCcÄäÖö	=\$C\$19;\$C\$21;\$C\$25;\$C\$27;\$C\$37;\$C\$39;\$C\$45;\$C\$47	<input type="checkbox"/>
OK Sulje Käytä			

Kuva 10. Ehdollisen muotoilun parametreja ja solut, joihin haluttu kohdentuvan.

Solujen värjäys ohjaa käyttäjää täyttämään oikeita soluja. Vääriäkin soluja pysyy täyttämään, mutta laskuri ottaa kerrosmäärästä solutiedot, joiden mukaan laskuri laskee työn taustalla.

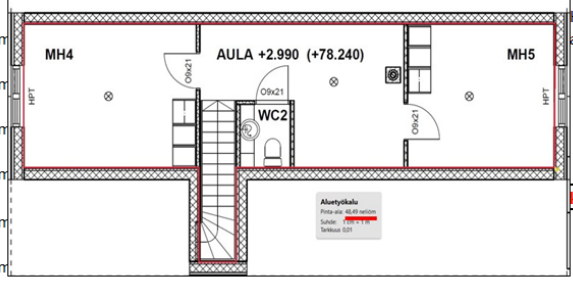
OIKOPUOLEN AURINGON LÄMPÖKUORMA							
	Pinta-ala (yläpuoli)		Pinta-ala (oikea puoli)		Pinta-ala (alapuoli)	Pinta-ala (vasen puoli)	Rakennuksen vasemmanpuolen ikkunat
Ikkunoita	5	m2	5	m2	5	m2	5
Auringon lämpökuorma vuodessa	388	kWh/a	395	kWh/a	639	kWh/a	630
	1.krs		2.krs		3.krs		
Ovia	4	m2	0	m2	0	m2	
Alapohja	betoni (maanvarainen)		Ikkunoiden lisätietoja, vaikuttaa auringosta tulevaan lämpökuormaan				
			Lasitus yksipuutteinen, kolmilasinen ikkuna				
1.Välipohja	puu		Aurinkosuojat valkoiset sälekaihtimet lasien välissä				
2.Välipohja	puu						
Yläpohja	puu		Merkitse pallo kohtaan, missä pohjoinen sijaitsee				
Ulkoseinä alakerta	puu						
Ulkoseinä keskikerros	puu						
Ulkoseinä yläkerta	puu						
Vesi-ilmalämpöpumppu	ei						
Talon lämpötehon tarve	4698	W					
Porakaivosta saatava teho	20	W/m					
Porakaivon aktiivisyys	235	m					
Auringosta tuleva lämpökuorma yhteensä	2053	kWh/vuosi					

Kuva 12. Ikkuna- ja ovitietojen ohjeistus.

Ikkunoille on työkalussa varattu kohdat talon eri puolille, jolloin tämän tiedon pohjalta työkalulla voidaan laskea aurinkolämpökuormat eri puolilta rakennusta.

6.1.2 Ulkoseinien sisäkehä

Rakennuksen sisäkehän mittauksella saadaan tarvittava tieto ulkoseinän pinta-alalle. Lisäksi eri kerrosten ulkokehän pituus voi vaihdella riippuen kerroksen muodosta (kuva 13).

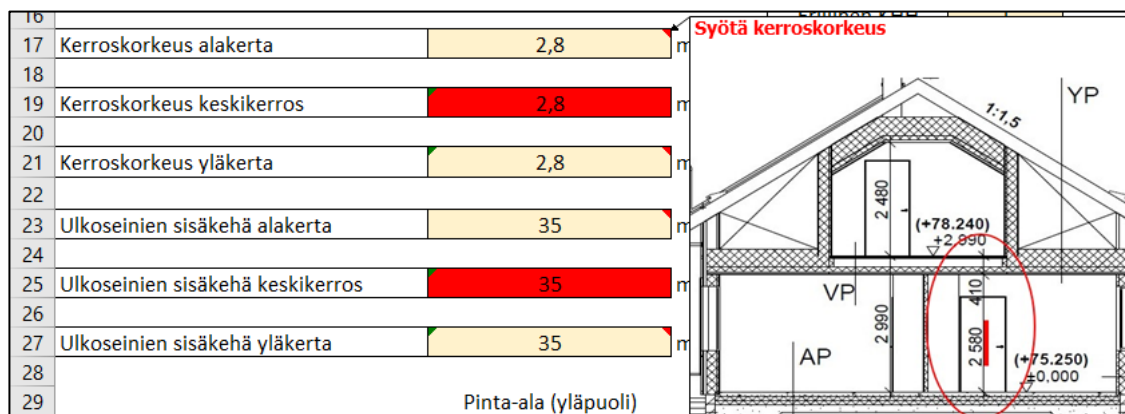
13	Pinta-ala keskikerros	70	Jos eri kuin alakerta, niin syötä kerroksen pinta-ala.	
14	Pinta-ala yläkerta	70		
16	Kerroskorkeus alakerta	2,8		
18	Kerroskorkeus keskikerros	2,8		
20	Kerroskorkeus yläkerta	2,8		
21	Ulkoseinien sisäkehä alakerta	35		
22	Ulkoseinien sisäkehä keskikerros	35		
23	Ulkoseinien sisäkehä yläkerta	35		

Kuva 13. Ulkoseinien määrittämisen ohjeistus.

Tätä varten täytettävään soluun on yhdistetty ohjeeksi erilainen kerroskuvaan kuin 1. kerroksen ohjeistuksessa, josta on aiempi esimerkki kuvassa 11.

6.1.3 Huonekorkeus

Rakennuksen kerroksen huonekorkeuden saa arkkitehdin tekemistä leikkauskuvista, jota käytetään työkalussa ulkoseinän pinta-alan laskemiseen sekä vuotoilman laskemiseen tarvittavan vaipan pinta-aloihin (kuva 14).



Kuva 14. Huonekorkeuden määrittämisen ohjeistus.

Kuvassa 14 on täytettävän solun ohjeistusnäkö, jossa täytettävä tieto on ympyröity ja alleviivattu punaisella viivalla.

6.1.4 Vaipan rakenteiden valinnat

Vaipan rakenteiden valinnoilla määritetään kyseisen rakenneosan lämmönläpäisykerroin (U-arvo), joka tässä tapauksessa on asetuksessa 1010/2017 (9) kohdassa 24 § annettu lämmönläpäisykertoimen vertailuarvo, joka rakennuksen täytyy täyttää.

Näiden tietojen valinnat on suunniteltu myös tarkempaa kylmäsiltojen laskentaa varten (kuva 15).

44		betoni
45	Ulkoseinä keskikerros	kevytbetoni
46		kevytsorabetoni
47	Ulkoseinä yläkerta	tiili
48		puu
		hirsi

Kuva 15. Eri rakenneosien valinnat on tehty valmiiksi ohjelman jatkokehitystä varten.

Tässä vaiheessa ei tätä ominaisuutta kehitetty pidemmälle, mutta jätettiin työkaluun, jotta laskuria voidaan myöhemmin kehittää eteenpäin.

6.1.5 Huonetilojen määrät

Huonetilojen täyttämisen (kuva 16) tarkoituksena on selvittää Valinta sivu-näky-mässä olevien ilmanvaihtokoneiden (IV-koneiden) kapasiteetit tehostustilanteessa, minkä lisäksi tavoitteena on, etteivät ne käy yli 90 %:n teholla tehostustilanteessa.

MH (alle 11 m ²)	3	kpl	
MH (yli 11 m ²)	0	kpl	
OH	1	kpl	0 m ²
Keittiö	1	kpl	
KPH WC/ilman WC	1	kpl	
Erillinen WC	1	kpl	Län
Vaatehuone	1	kpl	
Varasto	0	kpl	Kei
Sauna	1	kpl	Pes
Erillinen KHH	1	kpl	Sui
Tekninen tila	0	kpl	
Aula/muu tila	1	kpl	

Kuva 16. Huonetietojen täyttäminen.

Ilmavirrat lasketaan huonetietojen syötön mukaisesti taustalla (kuva 17), jolloin lasketaan myös tehostustilanteen ilmavirrat. Laskenta tekee vertailun pinta-ala-pohjaiselle ja huonetilojen mukaiselle ilmavirroille, joiden pohjalta suurempi ilmavirta tulee määrääväksi tekijäksi.

Ulkoilmavirta pinta-alan mukaan ($0,35 \text{ dm}^3/\text{s}/\text{m}^2$), vastaa 0,5 1/h ilmanvaihtokerrointa							
Alakerta	70	m2	24,5	dm^3/s			
Keskikerros	0		0	dm^3/s			
Yläkerta	0	m2	0	dm^3/s			
		Yhteensä	24,5	dm^3/s			
Vähimmäisulkoilmavirta							
Koko rakennus			18	dm^3/s			
Ulkoilmavirrat huoneiden mukaisesti							
		Määrä	Huom.		Ulko-ilmavirrat	Poisto-ilmavirrat	
MH (alle 11 m^2)		3			24		
MH (yli 11 m^2)		0			0		
OH (alle 22 m^2)		1	0	m^2	8		
Keittiö		1				20	
KPH WC/ilman WC		1				10	
Erillinen WC		1				7	
Vaatehuone		1				6	
Varasto		0				0	
Sauna		1			6	6	
Erillinen KHH		1				8	
Tekninen tila		0				0	
Aula/muu tila		1					tulo vai poisto
			Yhteensä		38	57	dm^3/s
			Määräävämpi		57	dm^3/s	74,1 dm^3/s
							tehostustilanne

Kuva 17. Excel-työkalun ilmanvaihdon laskennan näkymä taustalla.

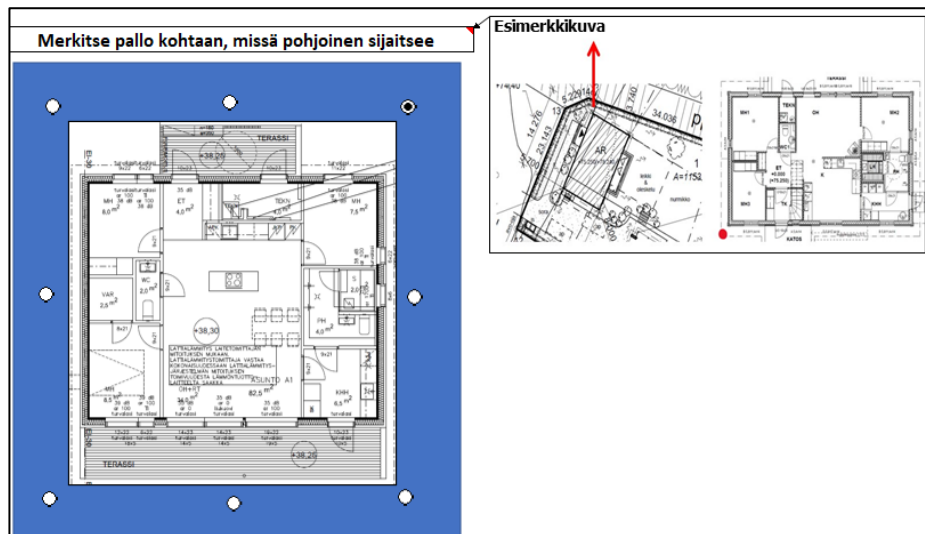
Tämän jälkeen tehostustilanteen ilmavirralla jaetaan IV-koneen valmistajan ilmoittamalla maksimi-ilmavirralla, jolloin luvun 6.2.2 -kuvassa 26 näkyy IV-koneen sopivuus.

6.1.6 Ammevaraus

Ammevaraustiedolla varaudutaan lisävaraajan tarvitsemaan tilaan, koska ammeeseen tarvitaan lämmintä käyttövetä useita satoja litroja. Tällä tiedolla valintasivulle tulee hintatietoihin lisävaraajan kustannus mukaan ja lopputulossivulle tulee kuva, jossa on varaajan tilavaraus mukana.

6.1.7 Aurinkokuorman laskenta ja viillennyksen valinta

Talon tietojen täyttämässä ikkunoiden pinta-alat täytetään talon sivujen mukaisesti, minkä jälkeen sijoitetaan pohjoisen ilmansuunnan sijainti taloon nähden kuvan 18 mukaisesti.



Kuva 18. Pohjoisen ilmansuunnan merkintä talon asemapiirustuksen mukaan.

Jokaiselle pisteelle oli annettu oma numeronsa, jonka mukaisesti laskuri pystyy laskemaan vuosittaisen lämpökuorman jokaiselle talon sivulle kuvan 19 mukaisesti.

Auringon säteilyenergian laskentaa				
valittu kulma	Ylä	Oikea	Ala	Vasen
1	502,2	811,9	799,6	492,7

Kuva 19. Auringon säteilyenergia kWh/m²/a.

Vuosittaiset säteilyenergiat tulevat kuukausittaisista (kuva 20) säteilyenergi-oista.

Auringon kokonaissäteilyenergia pystypinnoille eri ilmansuuntiin, Gsäteily, pystypinta, kWh/m²									
Kuukausi	P	Ko	I	Ka	E	Lo	L	Lu	
Tammikuu	6,2	4,7	3,8	9,5	12,9	9,5	3,8	4,7	
Helmikuu	17,3	13,8	15,6	31	41,4	30,9	15,6	14	
Maaliskuu	40,3	38,1	48,5	75,1	89,5	69,4	43,7	36,9	
Huhtikuu	43,9	56,3	79,9	101,1	107,3	101,6	80,6	56,8	
Toukokuu	57,8	82,1	112,8	123,3	116	117,5	104,5	76,3	
Kesäkuu	70,6	87,9	109,6	109,9	101,6	110,9	111,2	89,1	
Heinäkuu	66,3	91,1	118,8	123,1	115,5	128,6	122,7	91,2	
Elokuu	50	66,4	91,8	106	100,4	92,8	78,8	61,1	
Syyskuu	32,9	37,5	56,5	83,9	100,5	87,3	59,3	38,1	
Lokakuu	17,9	15,6	17,5	28,3	37	30	18,8	15,7	
Marraskuu	7,2	5,5	5,1	12,3	16,8	12,3	5,1	5,6	
Joulukuu	4,2	3,2	2,6	8,4	11,8	8,8	2,9	3,2	
Koko vuosi	414,6	502,2	662,5	811,9	850,7	799,6	647	492,7	

Kuva 20. Kuukausittaiset säteilyenergiat eri ilmansuunnista.

Laskuri tunnistaa laskentaan tarvittavan ilmansuunnan Talon tiedot -välilehden valinnasta (kuva 18), jonka mukaan se järjestää talon sivuille oikeat ilmansuunnat kuvan 21 mukaisesti.

Valittu kulma	Ylä	Oikea	Ala	Vasen
1 Ko	Ka	Lo	Lu	
2 P	I	E	L	
3 Lu	Ko	Ka	Lo	
4 L	P	I	E	
5 Lo	Lu	Ko	Ka	
6 E	L	P	I	
7 Ka	Lo	Lu	Ko	
8 I	E	L	P	

Kuva 21. Valitun kulman vaikutus talon sivujen ilmansuuntiin.

Yllä olevien tietojen yhdistäminen tapahtuu kaavalla, jossa on VHAKU-yhdistelmä (kuva 22).

C54 =VHAKU(VHAKU(\$C\$53;Taulukko14[#Kaikki];1+\$B\$54;0);G_arvot[#Kaikki];14;0)					
	B	C	D	E	F
51	Auringon säteilyenergian laskentaa				
52					
53	valittu kulma	Ylä	Oikea	Ala	Vasen
54	1	502,2	811,9	799,6	492,7

Kuva 22. Näkymä laskentasisivun kaavasta.

Lämpökuorman määrään vaikuttavat ikkunan lasitus, mahdolliset verhot tai sälekaihtimet ja varjostus (kuva 23).

Läpäisykerroin g		g _{aktiivinen}
Yksinkertainen lasitus		0,85
Kaksinkertainen lasitus		0,75
Yksipuitteinen, kolmilasinen ikkuna		0,7
Eristyslasi + erillislasi		0,65
Eristyslasi, matalaemissiviteettipinnoite + i		0,55
Aurinkosuojaus		Verhokerroin
Ei verhoa		1
Verhot		0,75
Valkoiset sälekaihtimet lasien välissä		0,3
Valkoiset sälekaihtimet lasien sisäpuolella		0,6
Ikkunaluukut (säleikkö) ulkopuolella		0,3

Kuva 23. Lasituksen ja passiivisen suojauksen valinnat.

Edellä mainittujen tietojen yhdisteleminen tapahtuu useammassa vaiheessa, jotka on tehty yksinkertaisemmilla kaavoilla, kuten kertomalla valittuja soluja. Kuvassa 24 on näkymä, miten läpäisykerroimen hakeminen tapahtuu kaavoilla ja miltä laskenta näyttää taustalla piilossa.

=PHAKU('Talon tiedot'!F36;Läpäisy;2;0)			
B	C	D	
g	0,7		
Fkerroin	0,3		
Fkehä	0,75		
Fläpäisy	0,225		
	G _{säteily,pystypinta}	m ²	
Ylä	502,2	5	
Oikea	811,9	5	
Ala	799,6	5	
Vasen	492,7	5	
	Q _{aur,vuosi}		
Yläpuoli	395,5		
Oikeapuoli	639,4		
Alapuoli	629,7		
Vasenpuoli	388,0		
Q _{aur,vuosi} yht	2052,5		

Kuva 24. Eri tietojen näkymä laskentasivulla.

Tässä tapauksessa varjostusta ei lasketa, sillä laskuri antaa karkeaa tietoa.

Tässä opinnäytetyössä ei käytetty dynaamista laskentaa hyödyksi. Viilennyksen tarve on arvioitu karkeasti vuosittaisen lämpökuorman mukaisesti. Työkalun oletusta seurataan tulevilla kohteissa, jolloin käytännössä tullaan näkemään, onko oletus liian pieni tai iso. Mikäli oletus antaa virheellistä tietoa, työkalun lämpökuorman määrää viilennyksen määrittämiseen arvioidaan uudestaan.

6.2 Valintojen tekeminen työkalun antamista vaihtoehtoista

Talon tietojen täyttämisen jälkeen voidaan päästä valitsemaan lämmönlähde ja mahdollinen ilmanvaihtokoneen yhdistelmä valintasivulla.

6.2.1 Valintasivun alkunäkymä

Valintasivulla (kuva 25) näkyvät eri lämmönlähteet ja ilmanvaihdon kapasiteetin riittävyyden arvioiminen kohteeseen, josta tiedot ovat. Tämän lisäksi näkyy lämmönlähteen osuus lämmitystarpeesta, joka kertoo, paljonko tarvitaan lisäenergiaa sähkövastuksien kautta. Tässä laskuri käyttää taustalla liitteen 2 taulukon tietoja.

Kohteen nimi: Katsojantie 32a			Yhtiö: Sajucon Talot Oy							
Järjestysno	LP:n osuus	Lisäenergia kWh	IV:n kapasiteetti	Hinta	PILP	IV-kone	MLP	VILP	ILP	Konvektori
		Lämminkäyttövesi IV:n patteri Tila lämmitys	Tehostusaikainen							
1	0 %	0	57 %		Nibe F470					
2	0 %	0	48 %		Nilan EC9					
3	0 %	0	48 %		Nilan Compact PC EK9 XL					
4	0 %	0	45 %		Nibe F750+SAM41					
5	89 %	2024	48 %				Nilan Compact PC MLP 3			
6	89 %	2024	48 %				Nilan Compact PC MLP 6			
7	89 %	2024	48 %				Nilan Compact PC MLP 9			
8	89 %	2904	81 %			Vallox 090	F1255-6			
9	89 %	2682	68 %			Vallox 096	~ 255-6			
10	89 %	2756	62 %			Vallox 99	F1255-6			
11	89 %	2830	63 %			Vallox 101	F1255-6			
12	89 %	2534	59 %			Vallox 110	F1255-6			
13	89 %	2904	59 %			Vallox 121	F1255-6			
14	89 %	2534	38 %			Vallox 145	F1255-6			
15	89 %	2272	23 %			Vallox 245	F1255-6			
16	89 %	2904	81 %			Vallox 090	S1255-6			
17	89 %	2682	68 %			Vallox 096	S1255-6			
18	89 %	2756	62 %			Vallox 99	S1255-6			
19	89 %	2830	63 %			Vallox 101	S1255-6			
20	89 %	2534	59 %			Vallox 110	S1255-6			
21	89 %	2904	59 %			Vallox 121	S1255-6			
22	89 %	2534	38 %			Vallox 145	S1255-6			
23	89 %	2272	23 %			Vallox 245	S1255-6			
24	89 %	2904	81 %			Vallox 090	F1226-8			

Kuva 25. Valintasivun näkymä.

Kuvassa 25 laitteet ovat lähtötilanteen satunnaisessa järjestyksessä, joka syntyi työn aikana. Tästä ei voi päätellä laitteiden hintojen eroa, eikä hintatietoja ole nähtävissä tässä opinnäytetyön raportissa.

6.2.2 Valintasivun järjestelty näkymä

Tilaajan puolelta toivottiin, että työkalu järjestelisi mahdolliset valinnat hinnan mukaiseen järjestykseen. Tämän lisäksi toivottiin näkyvän, kuinka paljon eri vaihtoehdot maksavat enemmän verrattuna halvimpaan vaihtoehtoon. Tämä tehtiin painikkeelle, jossa oli tehty halutut toimenpiteen makrona, minkä jälkeen järjestys on esimerkiksi kuvan 26 mukainen.

Järjestysnro	LP:n osuus	Tila lämmitys		Tehostusaikainen		PILP	IV-kone	MLP	VILP	ILP	Konvektori
		Lisäenergia kWh	IV:n kapasiteetti	Hinta							
1	0 %	0	45 %			Nilan EC9					
2	0 %	0	57 %			Nibe F470					
3	0 %	0	48 %			Nilan Compact PC EK9 XL					
4	0 %	0	45 %			Nibe F750-SAM41					
5	89 %	2904	81 %				Vallox 090	F1226-8			
6	89 %	2682	68 %				Vallox 096	F1226-8			
7	89 %	2756	62 %				Vallox 99	F1226-8			
8	89 %	2830	63 %				Vallox 101	F1226-8			
9	89 %	2534	59 %				Vallox 110	F1226-8			
10	89 %	2904	59 %				Vallox 121	F1226-8			
11	89 %	2534	38 %				Vallox 145	F1226-8			
12	89 %	2904	81 %				Vallox 090	F1255-6			
13	89 %	2682	68 %				Vallox 096	F1255-6			
14	89 %	2272	23 %				Vallox 245	F1226-8			
15	89 %	2024	48 %					Nilan Compact PC MLP 3			
16	89 %	2756	62 %				Vallox 99	F1255-6			
17	89 %	2904	81 %				Vallox 090	S1255-6			
18	89 %	2682	68 %				Vallox 096	S1255-6			
19	89 %	2830	63 %				Vallox 101	F1255-6			
20	89 %	2534	59 %				Vallox 110	F1255-6			
21	89 %	2904	81 %				Vallox 090	F1255-12			
22	89 %	2682	68 %				Vallox 096	F1255-12			
23	89 %	2904	59 %				Vallox 121	F1255-6			
24	89 %	2756	62 %				Vallox 99	S1255-6			
25	89 %	2904	81 %				Vallox 090	S1255-12			
26	89 %	2024	48 %					Nilan Compact PC MLP 6			
27	89 %	2830	63 %				Vallox 101	S1255-6			
28	89 %	2534	38 %				Vallox 145	F1255-6			
29	89 %	2682	68 %				Vallox 096	S1255-12			
30	89 %	2534	59 %				Vallox 110	S1255-6			
31	89 %	2756	62 %				Vallox 99	F1255-12			
32	89 %	2272	23 %				Vallox 245	F1255-6			
33	89 %	2904	59 %				Vallox 121	S1255-6			
34	89 %	2830	63 %				Vallox 101	F1255-12			
35	89 %	2534	59 %				Vallox 110	F1255-12			
36	89 %	2756	62 %				Vallox 99	S1255-12			
37	89 %	2534	38 %				Vallox 145	S1255-6			
38	89 %	2904	59 %				Vallox 121	F1255-12			
39	89 %	2830	63 %				Vallox 101	S1255-12			
40	89 %	2534	59 %				Vallox 110	S1255-12			
41	89 %	2272	23 %				Vallox 245	S1255-6			
42	89 %	2534	38 %				Vallox 145	F1255-12			
43	89 %	2904	59 %				Vallox 121	S1255-12			
44	89 %	2024	48 %					Nilan Compact PC MLP 3			
45	89 %	2272	23 %				Vallox 245	F1255-12			
46	89 %	2534	38 %				Vallox 145	S1255-12			
47	89 %	2272	23 %				Vallox 245	S1255-12			

Tähän järjestysnumero, joka valitaan

Valinta nro	LP osuus	Lisäenergia kWh	IV:n kapasiteetti	Hinta	PILP	IV-kone	MLP	VILP	ILP	Konvektori
13	0,89	2682	68 %			Vallox 096	F1255-6			

Järjestä edullisin ensimmäiseksi ja vertaile muihin vaihtoehtoihin

Palauta tilanne alkuperäiseksi

Lopputulostus sivulle

Kuva 26. Valintasivu järjesteltynä.

Järjestelty näkymä antaa jo selkeämmän kuvan hintaeroista, jotka on tässä kuvaajassa poistettu näkyvistä.

6.2.3 Valintojen tekeminen Lopputulos-sivulle sekä NA-laskuriin

Työssä oli tarkoitus luoda nykyarvo (NA) -laskuri, jotta voidaan verrata eri lämmönlähteitä ja näiden mahdollisia säästövertailuja. Valinnat olivat ”Valinta sivun” lopussa (kuva 27), josta pystyy valitsemaan haluamaansa järjestysnumeroa vastaavat valinnat. Tämän jälkeen painikkeella NA-tulos näkyisi graafisesti, miten kulut tai säästöt kertyvät pitkällä 30 vuoden aikavälillä.

Järjestä edullisin ensimmäiseksi ja vertaile muihin vaihtoehtoihin

Palauta tilanne alkuperäiseksi

Lopputulos sivulle

Tähän voi tehdä valinnat, jos halutaan vertailla NA-arvoa halvimpaan

Valinta nro1	LP osuus	Lisäenergia kWh	IV:n kapasiteetti	Hinta	PILP	IV-kone	MLP	VILP	ILP	Konvektori
10	0,89	2904	59 %			Vallox 121	F1226-8			
Valinta nro2	LP osuus	Lisäenergia kWh	IV:n kapasiteetti	Hinta	PILP	IV-kone	MLP	VILP	ILP	Konvektori
6	0,89	2682	68 %			Vallox 096	F1226-8			

NA-tulos sivulle

Kuva 27. NA-laskuria varten valintojen tekeminen.

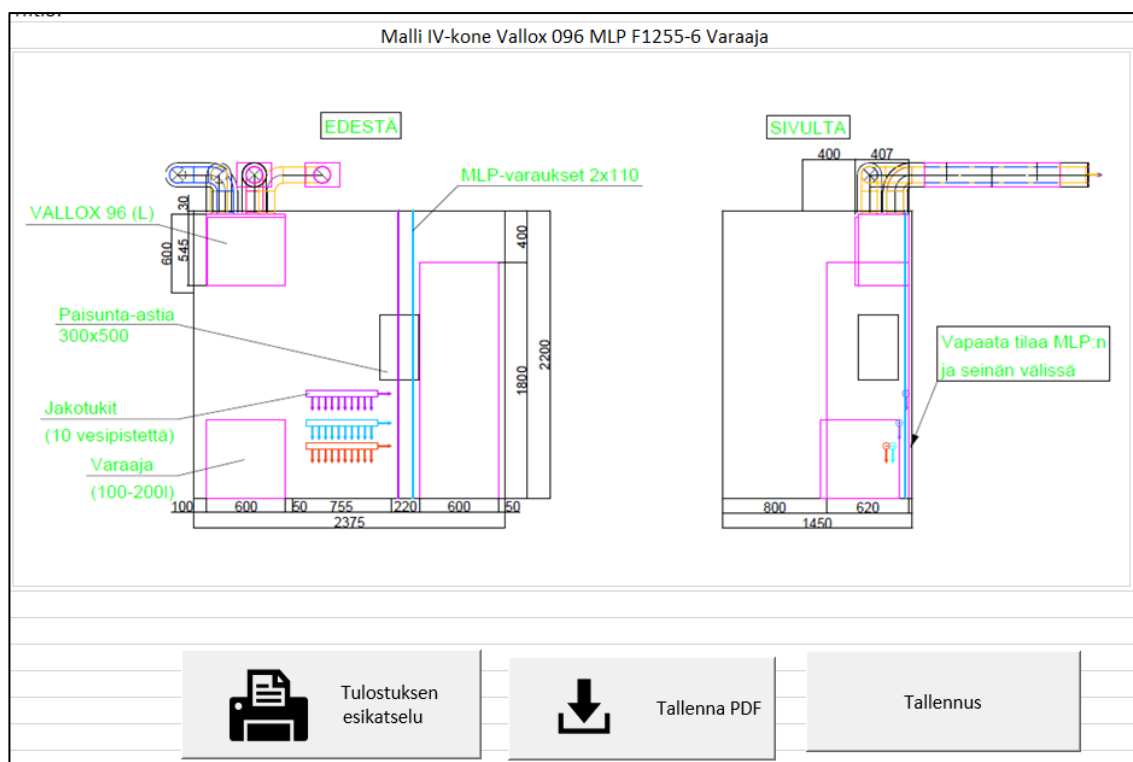
Valintojen tiedot näkyvät omilla rivillään samalla tavalla kuin ne ovat valintasi-vulla esitettynä.

6.2.4 Valintasivun palautus

Tämän lisäksi ohjelmaan toivottiin palautuspainike, jonka avulla pystytään palauttamaan valintasivu alkutilanteeseen. Muutoin mahdolliset muutokset eivät näkyisi oikein, jos talon tietojen täyttösivua muokataan.

6.3 Valintojen perusteella työkalun antama lopputulos

Kuvan 27 ”Lopputulos sivulle” -painikkeella päästään näkemään valinnan mukainen teknisen tilan tarvitseman minimileveys sekä minimisyvyys huoltotilaa varten. Esimerkkikuvassa 28 on yhden mahdollisen valinnan lopputulos nähtävissä.



Kuva 28. Lopputulossivun näkymä ja toiminnallisuudet.

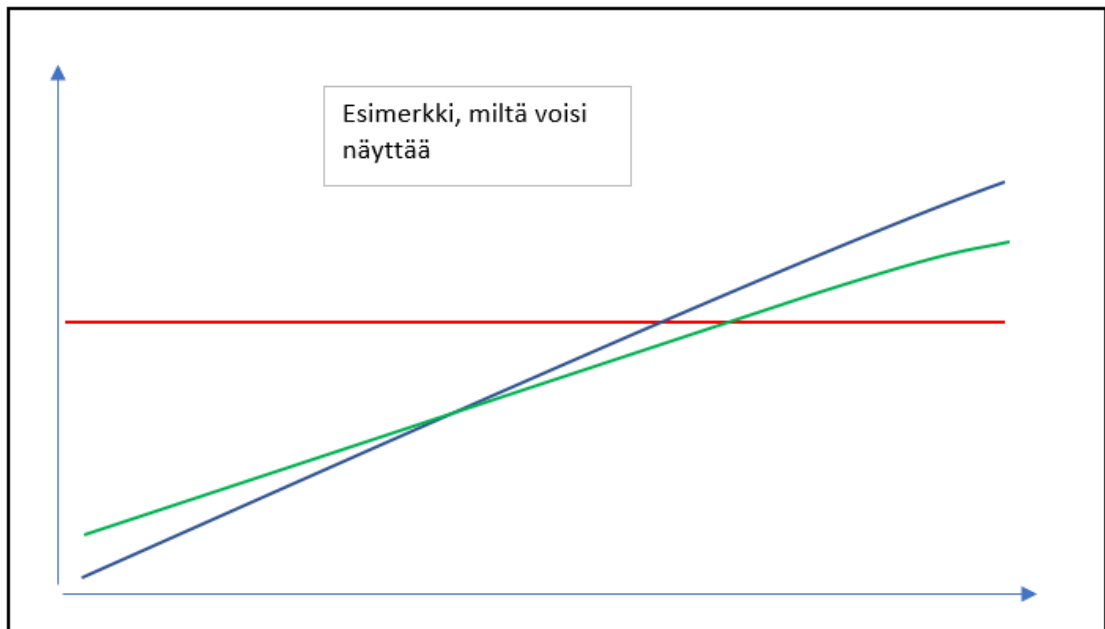
Lopputulossivulla tulostuksen esikatselulla pystytään tarkastelemaan ja valitsemaan tulostin, josta pystyy tulostamaan kerralla talon tietojen täyttösivun, valintasivun näkymän ja lopputulossivun. Tämän lisäksi on mahdollista tehdä pdf-tallennus näistä sivuista haluamaansa sijaintiin.

6.4 Nykyarvo (NA) -työkalu

Työn Excel-laskuri sisältää myös NA-laskurin alun, mutta tämän tekeminen jouduttiin jättämään kesken, sillä poistoilmalämpöpumppujen vuosittaisen hyötysuhteen laskentaan ei voinut käyttää ympäristöministeriön sivuilta löytyvää PILP-laskuria (47, s. 2). Tämä nähdään kuvassa 25, jossa LP:n osuus- ja Lisäenergia-sarakkeiden luvut ovat eri maalämpöpumpuilla samat ja vastaavasti poistoilmalämpöpumppujen lukemana on 0.

6.4.1 NA-laskuriin syötettävät arvot

NA-laskuri ottaa hintatiedot valintojen pohjalta. Tämän lisäksi NA-laskurissa on suodattimien, kompressorien ja puhaltimien hinnat sekä laitteiden elinkaariarvio. Tämän jälkeen laskuriin annettaisiin mahdollinen energianhintaa, energianhinnan inflaatio, korko sekä inflaatio prosentteina, minkä jälkeen laskuri tekee kuvaajan (kuva 29), joka on arvio valintojen nykyarvosta pitkällä aikavälillä.



Kuva 29. Kuvaajassa on esimerkki siitä, miten kaksi kalliimpaa energiaa säästävää lämmönlähdettä vertautuisi halvimpaan ja energiaa kuluttavaan investointiin.

Kuvan 29 kuvaaja ei ole todellinen laskurin keskeneräisyyden vuoksi.

6.4.2 NA-tuloksien vertailu eri valintojen suhteen

NA-laskuria voidaan käyttää erilaisten skenaarioiden, kuten koron tai energianhinnan muutoksen vaikutuksien arvioimiseen. Parhaimmassa tapauksessa rakennusliikkeen asiakas voi itse valita lämmönlähteensä. Tässä opinnäytetyössä tätä ei voida toteuttaa tämänhetkisten ohjeiden mukaan.

7 Yhteenveto

Työkalun tekemiseen varattiin noin kaksi kuukautta, jona aikana hankittiin tietoa tarpeista käyttäjiltä ja tilaajalta. Tämän lisäksi eri laitevalmistajien koulutuksia hyödynnettiin työkalun teossa. Alkutietojen pohjalta pidettiin muutama seuranta palaveri ja lopuksi työkalun esittely. Tässä luvussa esitetään kyselyiden vastaukset, joiden avulla voidaan arvioida melko suoraan, täyttääkö työkalu tarpeet.

7.1 Ennen projektia suoritettu kysely

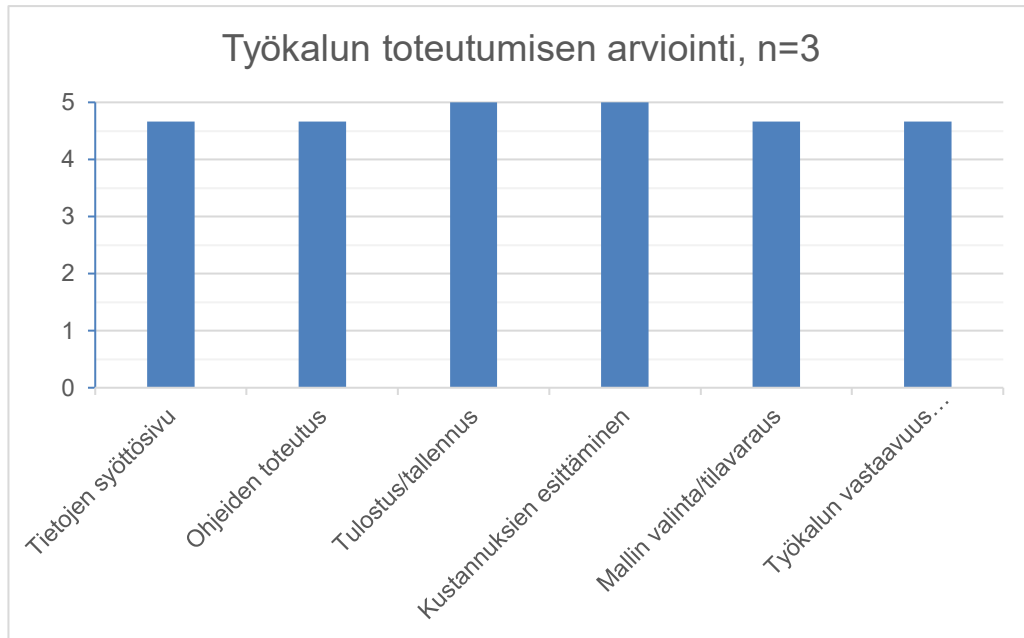
Ennen opinnäytetyön alkua suoritettiin kysely (liite 3) työkalun tuleville käyttäjille. Kyselyssä oli mahdollista esittää tulevasta työkalusta toiveita ja ajatuksia, joita on pyritty toteuttamaan mahdollisuuksien mukaan.

Kyselyn pohjalta tuli seuraavia vastauksia:

- Ohjeet sivulla / vieressä, ei häiritsevästi esillä.
- Lyhyt ohje / selitys tarpeen.
- Tulostuspainike, joka tulostaa halutut sivut / näkymät.
- Tallennuspainike, joka tallentaa halutut sivut / näkymät.
- Kustannustietoa eri lämmönlähteillä ja faktaa valintaperusteisiin.
- Lämmönlähde, malli, ja tilavaraus näkyviin.
- Tietojen tyhjennyspainike.
- Useita taloja omilla välilehdillään.
- 5 minuutissa valmista.

7.2 Projektin päätteeksi suoritettu kysely

Työkalun esittelyn ja julkistuksen jälkeen suoritettiin uusi kysely (liite 4), joka pohjautui alkukyselyn toiveisiin. Arviointi suoritettiin asteikolla 1–5, ja tämän lisäksi vastaaja sai kirjoittaa, mitä parannusta työkaluun tarvitaan jatkoa ajatellen. Arvioinnin antoi kolme henkilöä, ja tulokset näkyvät kuvassa 30.



Kuva 30. Työkalun käyttäjien arvioinnit työkalun toiminnallisuuksista.

Kaikilta ohjelman käyttäjiltä ei tullut palautetta, joten lopullinen tulos ei välttämättä ole kuvan 30 mukainen.

7.3 Työkalun arviointia

Työkalun tilaajan ja käyttäjien puolelta odotukset toteutettiin, kuten oli pyydetty. Tämän lisäksi työkalu ylitti odotukset, koska työkalussa pystyy tekemään vaihtoehtoisia laskentoja lähtötietojen vaihtamisella.

7.4 Itsearviointia

Henkilökohtaisesti työkalun tekeminen oli hyppy syvemmälle Excelin kaavoihin ja makroiin kuin kertaakaan aiemmin ja samalla sovellettiin kursseilta opittuja asioita energiatehokkuudesta. Tämä antoi myös näkemystä koodauksesta, mutta etenkin erilaiset vaihtoehdot piti ottaa huomioon, jotta työkalu toimisi kuten tilaaja on pyytänyt.

Jossain lähtötietojen laskennoissa kaava täytyi tehdä pala palalta, jolloin pystyttiin näkemään, miten laskenta toimii. Kun laskentakaavat toimivat, nämä yhdistettiin yhdeksi toimivaksi kokonaisuudeksi.

Useamman talon yhtäaikainen käsittely jätettiin pois, sillä sen jälkeen käyttämisestä olisi voinut tulla hankalampaa, eikä helppokäyttöisyys ja aikavaatimus toteutuisi mitenkään. Työkalu hyväksyttiin käyttäjien puolelta.

7.5 Jatkokehityskohteita

Jatkokehityskohteina työkalulle olisi muokata laskuri rivitalolle sopivaksi ja mahdollisten lähtötietojen tarkentaminen ottaen huomioon auringon lämpökuormien vaikutus viilennyksen tarpeeseen. Tämän lisäksi mahdollisen usean pientalon yhteinen lämmönlähde jaetaan monen talon kesken. Tällainen on esimerkiksi taloyhtiön teknisessä tilassa oleva maalämpöpumppu ja sen mitoitus. Tämä edellyttäisi, että joko talot ovat samanlaisia, jolloin tehon tarve kertaantuu. Työkalun jatkomuokkaus tähän tarkoitukseen sopisi täysin omaksi opinnäytetyön aiheeksi.

Lähteet

- 1 Maanrakennuslaki. 1999. 132/5.2.1999.
- 2 Ilmastomuutos. Hillintä ja sopeutuminen rakennetussa ympäristössä. 2020. RT-103170. Rakennustieto Oy.
- 3 Ympäristöministeriön asetus rakennusten kosteusteknisestä toimivuudesta. 2017. 782/24.11.2017.
- 4 Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta. 2017. 1009/20.12.2017.
- 5 Ympäristöministeriön asetus rakennusten vesi- ja viemärlaitteistoista. 2017. 1047/22.12.2017.
- 6 Säteri, Helena; Aho, Heikki; Adlercreuz, Gunnel; Neuvonen, Petri; Fränti-Pitkäranta, Marttiina; Heloma, Tiina; Hurmeranta, Ulla; Huhtala, Hannu; Ilkka, Mikko; Jääskeläinen, Lauri; Lehtinen, Reijo S.; Nieminen, Timo; Seppälä, Raimo; Laine, Satu & Kärkkäinen, Kari. 2004. Rakennustarkastuskirja – Suunnittelusta toteutukseen. Helsinki: Rakennustieto Oy.
- 7 Kilpeläinen, Mikko; Hekkanen, Martti; Seppälä, Pekka & Riippa, Tommi. 2006. Pientalon tekninen laatu - Tähtiluokitus. Ympäristöopas. Helsinki: Edita Prima Oy.
- 8 Beck, Wouter (toim.); Dolmas, Dick; Dutoo, Gonzague; Hall, Anders & Seppänen, Olli. 2011. Aurinkosuojaus – Aurinkosuojauksen suunnittelu kestävän kehityksen mukaisiin rakennuksiin. Rehva Guidebook no 12. Helsinki: Suomen LVI-liitto.
- 9 Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta. 2017. 1010/20.12.2017.
- 10 Opas asuinrakennusten ilmanvaihdon mitoittamiseen. 2019. Helsinki: FIN-VAC ry.
- 11 Ympäristöministeriön asetus asuin-, majoitus- ja työtiloista. 2017. 1008/20.12.2017.
- 12 RT-kortisto. 2022. Verkkoaineisto. Rakennustieto Oy. <<https://www.rakennustieto.fi/palvelut/tietoa-rakentamiseen/kortistot/rt-kortisto>>. Luettu 3.6.2022.
- 13 Asuntosuunnittelu – Talotekniikka. 2009. RT-10965. Rakennustieto Oy.
- 14 Rakennusten kaukolämmitys – Määräykset ja ohjeet K1/2021. 2021. Energiateollisuus ry.
- 15 Maalämmitys. 2001. RT-10755. Rakennustieto Oy.

- 16 Paisuntajärjestelmän valinta ja mitoitus. 2011. LVI-10472. Rakennustieto Oy.
- 17 Maalämpöpumput – Pientalot. 2018. LVI-10623. Rakennustieto Oy.
- 18 Lämpöpumput. 2002. LVI-10332. Rakennustieto Oy.
- 19 Vesikiertoinen lattialämmitys. 1996. LVI-10261. Rakennustieto Oy.
- 20 Nestekiertoiset lämmitys- ja jäähdytysverkot. 2022. RT-103453. Rakennustieto Oy.
- 21 Vesikiertoinen lattialämmitys. 2003. RT-10801. Rakennustieto Oy.
- 22 Farahani, Azin Velashjerdi; Jokisalo, Juha; Korhonen, Natalia; Jylhä, Kirsti; Ruosteenoja, Kimmo & Kosonen, Risto. 2021. Overheating Risk and Energy Demand of Nordic Old and New Apartment Buildings during Average and Extreme Weather Conditions under a Changing Climate. Applied Science. Vol. 11, s. 1–25.
- 23 Kaakinen, Henri. 2020. Passiivisten jäähdytysmenetelmien vaikutukset pientalon sisäolosuhteisiin. Insinööri työ. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.
- 24 Astetta alemmas. 2022. Verkkoaineisto. Motiva Oy. <https://www.motiva.fi/ajankohtaista/tiedotteet/2022/astetta_alemmas_-_energiaa_saa- taen_kohti_talvea.18983.news>. Päivitetty 25.8.2022. Luettu 15.9.2022.
- 25 Lämmityksen kallistuminen on saanut asunnon etsijät varovaisiksi. 2022. Verkkoaineisto. Etelä-Suomen Media Oy. <<https://www.vantaansanomat.fi/paikalliset/4768306>>. Päivitetty 6.8.2022. Luettu 15.9.2022.
- 26 Lämpöpumppuja myytiin viime vuonna lähes 200 000 kappaletta. Kasvu 50 %. 2023. Verkkoaineisto. Suomen lämpöpumppuyhdistys SULPU ry. <<https://www.sulpu.fi/lampopumppuja-myyntiin-viime-vuonna-lahes-200-000-kappaletta-kasvu-50/>>. Päivitetty 16.1.2023. Luettu 2.2.2022.
- 27 Mihin lämpöä tarvitaan?. 2022. Verkkoaineisto. Motiva Oy. <https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/rakentaminen/lammitysjarjestel- man_valinta/mihin_lampoa_tarvitaan>. Päivitetty 23.3.2022. Luettu 5.6.2022.
- 28 Energiatohokkuus – Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehon- tarpeen laskenta. 2018. Verkkoaineisto. Ympäristöministeriö. <<https://ym.fi/documents/1410903/0/Ohje+-+Rakennuksen+energiankulu- tuksen+ja+l%C3%A4mmitystehontarpeen+laskenta+20-12-2017.pdf/3efb5c34-e921-592e-3d54-aaf9ecc1b62e/Ohje+-+Rakennuk- sen+energiankulutuksen+ja+l%C3%A4mmitystehontarpeen+laskenta+20-12-2017.pdf?t=1647934666563>>. Luettu 4.5.2022.

- 29 Legionellan kasvuun vaikuttavat tekijät. 2021. Verkkoaineisto. Terveiden ja hyvinvoinnin laitos. <<https://thl.fi/fi/web/ymparistoterveys/vesi/legionella-bakteerit-vesijarjestelmissa/legionellan-kasvuun-vaikuttavat-tekijat>>. Päivitetty 8.12.2021. Luettu 6.5.2022.
- 30 Opas asuinrakennusten ilmanvaihdon mitoitukseen. 2019. Verkkoaineisto. The Finnish Association of HVAC Societies. <https://talotekniikkainfo.fi/sites/default/files/opas_asuinrakennusten_ilmanvaihdon_mitoitukseen_2019.pdf>. Päivitetty 30.11.2019. Luettu 5.6.2022.
- 31 Sisäilmastoluokitus 2018. 2018. RT-11299. Rakennustieto Oy.
- 32 Poistoilmalämpöpumppu Nibe F470 asennusohjeet. 2020. Verkkoaineisto. Nibe Energy Systems Oy. <<https://assetstore.nibe.se/hcms/v2.3/entity/document/27683/storage/MDI3NjgzLzAvbWFzdGVy>>. Päivitetty 1.10.2020. Luettu 3.6.2022.
- 33 Poistoilmalämpöpumppu Nibe F750 asennusohjeet. 2022. Verkkoaineisto. Nibe Energy Systems Oy. <<https://assetstore.nibe.se/hcms/v2.3/entity/document/330616/storage/MzMwNjE2LzAvbWFzdGVy>>. Päivitetty 10.5.2022. Luettu 3.6.2022.
- 34 Holopainen, Rauno. 2021. Toimitilojen ilmastointitekniikka. Luentomoniste. Metropolia Ammattikorkeakoulu.
- 35 Halme, Alpo & Seppänen, Olli. 2002. Ilmastoinnin äänitekniikka. Helsinki: Suomen LVI-liitto.
- 36 Pukkila, Olli. 1986. Puhallintekninen käsikirja. Helsinki: Ilmateollisuus Oy.
- 37 Ympäristöministeriön asetus rakennuksen ääniympäristöstä annetun ympäristöministeriön asetuksen 5 ja 6 §:n muuttamisesta. 2019. 360/22.3.2019.
- 38 Ääniympäristö – Ympäristöministeriön ohje rakennuksen ääniympäristöstä. 2018. Verkkoaineisto. Ympäristöministeriö. <https://ym.fi/documents/1410903/38439968/Ymparistoministerion-ohje-rakennuksen-aaniymparistosta-2852D34E_DA43_4DCA_9CEE_47DBB9EFCB08-138568.pdf/5e3efaa4-9566-17ae-83c6-2b5805fc9d/Ymparistoministerion-ohje-rakennuksen-aaniymparistosta-2852D34E_DA43_4DCA_9CEE_47DBB9EFCB08-138568.pdf?t=1603260126601>. Päivitetty 28.6.2022. Luettu 15.8.2022.
- 39 Valkeapää, Aki. 2022. Lämpöpumput ja lämpöpumppulaitokset. Luentomoniste. Metropolia Ammattikorkeakoulu.
- 40 Olander, Markus. 2022. Tuotehallintapäällikkö, Nibe Energy Systems Oy, Vantaa. Koulutus.

- 41 Tonttiluettelo. 2022. Verkkoaineisto. Helsingin kaupunki.
<<https://www.hel.fi/static/kv/tontti/omakotitonttihaku-2022/tonttiluettelo.pdf>>. Päivitetty 17.1.2023. Luettu 2.2.2023.
- 42 Juvonen, Janne. 2009. Ympäristöopas – Lämpökaivo. Helsinki: Suomen ympäristökeskus.
- 43 Maapiirillä lisää energiatehokkuutta ja asumismukavuutta. 2020. Verkkoaineisto. Motiva Oy. <https://www.energiatehokaskoti.fi/files/380/Maapiirilla_lisaa_energiatehokkuutta_ja_asumismukavuutta.pdf>. Päivitetty 21.7.2020. Luettu 18.5.2022.
- 44 Puolakka, Marjukka. 2022. Viileyttä kesähelteisiin lattian kautta. Talotekniikka 4/2022, s. 32–35.
- 45 Nibe valintaopas – Pientalojen ilma-vesilämmitys. 2022. Verkkoaineisto. Nibe Energy Systems Oy. <<https://assetstore.nibe.se/hcms/v2.3/entity/document/319382/storage/MzE5MzgyLzAvbWFzdGVy>>. Päivitetty 5.4.2022. Luettu 15.6.2022.
- 46 Käyttöohje ja asennusohjeet – Cool IN. 2020. Verkkoaineisto. Nibe Energy Systems Oy. <<https://assetstore.nibe.se/hcms/v2.3/entity/document/19088/storage/MDE5MDg4LzAvbWFzdGVy>>. Päivitetty 11.5.2020. Luettu 20.6.2022.
- 47 PILP-opas 2018. 2017. Verkkoaineisto. Ympäristöministeriö. <https://ym.fi/documents/1410903/38439968/PILP-opas-2018-3A3AA968_B9E7_48FC_ACEB_7C4E7F0917D8-133697.pdf/2d81f5bb-4869-191f-dc98-f8ff7bb0cc69/PILP-opas-2018-3A3AA968_B9E7_48FC_ACEB_7C4E7F0917D8-133697.pdf?t=1603260246178>. Päivitetty 31.3.2017. Luettu 30.6.2022

Aurinkosuojaus järjestelmiä ja näiden hyödyt sekä haitat

Yhteenveto suosituimmista **ulkopuolisista** aurinkosuojajärjestelmistä.

Screenkaidhin		<ul style="list-style-type: none"> Rullataan pystysuoraan ikkunan päälle Aurinkosuojamateriaalina kangas (usein lasikutpinnoitettu, polyesteriä tai akryyliä) Verho rullautuu suojakoteloon Sivukiskot tai vaijerit varmistavat luotettavan toiminnan Vaakasuurat säleät voidaan säätää haluttuun kulmaan päivänvalon määrän säätämiseksi Suojakotelo ja sivukiskot tai vaijerit Säleiden leveydet 50...150 mm
Julkisivusälekaidhin		<ul style="list-style-type: none"> Vaakasuurat säleät voidaan säätää haluttuun kulmaan päivänvalon määrän säätämiseksi Suojakotelo ja sivukiskot tai vaijerit Säleiden leveydet 50...150 mm
Sivuvärsimarkiisi		<ul style="list-style-type: none"> Alaslaskettuna markiisin tukivarsi osoittaa kohtisuoraan seinästä pois päin Markiisikangas Kankaan suojakotelo
Nivelvärsimarkiisi (terassimarkiisi)		<ul style="list-style-type: none"> Soveltuu hyvin liikeikkuihin ja patioille. Nivelvärsimarkiisi on varustettu kahdella tai useammalla nivelverrellä, joilla kangas (yleensä akryyli) voidaan ulottaa jopa yli 3 metrin pituiseksi Toimitetaan yleensä suojakotelolla varustettuna
Liukuvärsimarkiisi		<ul style="list-style-type: none"> Kutsutaan usein myös nimellä "markisolette" Ulkopuolisen rullakaidhimen ja sivuvärsimarkiisin välimuoto: markiisi avautuu puoleksi pystysuoraan ja tämän jälkeen sivuvärsi kallistavat markiisin ulospäin Soveltuu erityisesti korkeisiin ja kapeisiin ikkuniin
Pergola		<ul style="list-style-type: none"> Suunniteltu vähentämään auringon valoa täysissä kasvihuoneissa ja terasseilla Terassin vino katto peitetään markiisilla ulkoapäin – toisinaan myös markiisin etupuoli peitetään Saatavissa monia eri malleja ja kokoja Varustettu aurinkosuojakankaalla Alumiininen tai muovinen säleikkö rullataan alas ikkunan suojaksi Saatavilla myös oville ja jopa malleja paketti tai kuorma-autoille Parantaa ikkunan lämpöeristävyyttä
Sälerullain		<ul style="list-style-type: none"> Alumiininen tai muovinen säleikkö rullataan alas ikkunan suojaksi Saatavilla myös oville ja jopa malleja paketti tai kuorma-autoille Parantaa ikkunan lämpöeristävyyttä

Yhteenveto suosituimmista **sisäpuolisista** aurinkosuojajärjestelmistä.

Sälekaidhin		<ul style="list-style-type: none"> Oleellinen sisustuskaide Sälemateriaalina joko alumiini, puu tai muovi Päivänvalon määrää voidaan säätää muuttamalla säleiden aukkoakku/maa Säleitä ohjataan yleensä narulla ja säätötangolla Saatavissa myös moottoroitu versio Myös reikämallisia säleitä
Rullakaidhin		<ul style="list-style-type: none"> Rullautuu ikkunan päälle Pinta- tai välisäätö Suuri valikoima erilaisia kankaista mukaan lukien metalliset kankaat auringon valon tehokkaaseen takaisinheijastamiseen
Pystylamellikaidhin		<ul style="list-style-type: none"> Pystylamellikaidhimen lamellit ovat useimmiten kangasta. Harvinaisempi materiaali on muovi tai alumiini Mallista riippuen liikuteltavissa molemmille puolille tai vain yhteen suuntaan Suositella malli toistotissa
Piisäkkäkaide (veikkikaide)		<ul style="list-style-type: none"> Soveltuu erityisesti epäsuorille ikkunoille Vekki kangas lasketaan ikkunan eteen Erittäin joustavaa, vekki kangasta voidaan käyttää puoliuunikkana tai puoliympyrän muotoisissa ikkunoissa Saatavissa laajalla säätömahdollisuudella
Laskoskaidhin		<ul style="list-style-type: none"> Alaslaskettuna laskoskaidhimen näyttävät yhdeltä litteältä paneelilta Ylövedettäessä laskokset kurotuvat yhteen Monia eri kankaista mukaan lukien pinnerynkankaat
Pehmeät verhot		<ul style="list-style-type: none"> Klassinen ratkaisu yksityisyyden suojaan sekä huoneen sisustamiseksi tai pimentämiseksi Voitetaan pitää aurinkosuojajärjestelmänä, vaikka niitä harvemmin liikuteltavaan aurinkosuojajärjestelmän hyödyt

Merkkien selitykset:

+++	Erinomainen
++	Hyvä
+	keskinkertainen
-	Ei soveltu
.	ei merkittävä
N	Pohjoinen
m	itä
s	Etelä
W	Länsi

		Passiivinen jäähdytys	Passiivinen lämmitys	Lämpöeristävyyden alenema (talvi)	Lämpöeristävyyden alenema (kesä)	Visuaalinen viihtyvyys	Näköala	Suosittelava julkisivu	Tuulivastus	Odottavissa oleva käyttöikä	Tyypillinen garvo	Tyypillinen T _v	Konvektioero
Ulkopuolinen, sisäänvedettävä	Sälekaidhimen	+++	+++	-	+++	+	+	ESW	++	0,10	0,10	0,04	
	Screenit	+++	+++	+	+++	+++	++	ESW	+	++	0,15	0,10	0,10
	Sälerullaimet	+++	+++	++	+++	+	+	ESW	+++	++	0,10	0,02	0,15
	Markiisit	++	+++	-	+++	++	++	ESW	+	++	0,17	0,12	0,15
	Päivänvaloa säästävät markiisit	+++	+++	-	+++	++	+	ESW	++	++	0,12	0,05	0,18
Ulkopuolinen, ei sisäänvedettävä	Horisontaaliset säleät, kiinteät	+	+	-	++	-	++	S	+++	+++			
	Horisontaaliset säleät, liukuvat	+++	++	-	+++	+	++	S	+++	+++			
	Pystysuorat säleät, kiinteät	-	+	-	+	-	++	EW	+++	+++			
	Pystysuorat säleät, liikuteltavat	+++	++	-	+++	+	++	EW	+++	+++			
Välisäätävä	Sälekaidhimen, ilmastoimaton välillä	++	+++	-	++	+++	++	ESW	-	+++	0,23	0,10	0,21
	Sälekaidhimen, ilmastoitu välillä	+++	+++	-	+++	+++	++	ESW	-	+++		0,10	
	Sälekaidhimen	+++	+++	-	+++	+++	++	ESW	-	+++			
Sisäpuolinen, sisäänvedettävä	Sisäpuoliset sälekaidhimen	+	+++	-	+	+++	+	NESW	-	++	0,45	0,12	0,50
	Metalliset kankaat	++	+++	+	++	+++	++	ESW	-	++			
	Kankaat	+	+++	+	+	+++	++	NESW	-	++			
	Hunajakennohimmentimet	++	+++	+++	++	++	-	NESW	-	++	0,25		
Klietteä	Aurinkosuojajalkuna	++	-	-	++	-	+++	ESW	-	+++	0,34		0,04
	Aurinkosuojakalvot	++	-	-	++	-	+++	ESW	-	++	0,35		0,04

Lähde: (8, s. 40–42)

Lämpöpumpun kattama osuus tilojen ja lämpimän käyttöveden lämpöenergian tarpeesta

$\frac{\phi_{LHV}}{\phi_{tila}}$	$\frac{Q_{lämmitys, tilat}}{Q_{lämmitys, luv}}$	Maalämpöpumpun kattama osuus tilojen ja lämpimän käyttöveden lämpöenergiasta ($Q_{LHV}/Q_{lämmitys, tilat, luv}$)											
		Säävyöhyke: I-II				Säävyöhyke: III				Säävyöhyke: IV			
		T_{mv} °C				T_{mv} °C				T_{mv} °C			
		30	40	50	60	30	40	50	60	30	40	50	60
0,30	0,50	0,39	0,39	0,39	0,39	0,38	0,38	0,38	0,38	0,36	0,36	0,36	0,36
	1,00	0,47	0,47	0,47	0,47	0,46	0,46	0,46	0,46	0,44	0,44	0,44	0,44
	2,00	0,62	0,60	0,58	0,56	0,60	0,58	0,56	0,54	0,44	0,54	0,52	0,51
	4,00	0,68	0,65	0,62	0,59	0,67	0,63	0,60	0,58	0,63	0,59	0,56	0,54
0,40	0,50	0,52	0,52	0,52	0,52	0,51	0,51	0,51	0,51	0,48	0,48	0,48	0,48
	1,00	0,67	0,66	0,65	0,64	0,65	0,64	0,63	0,62	0,61	0,60	0,59	0,59
	2,00	0,78	0,75	0,72	0,70	0,76	0,73	0,70	0,68	0,59	0,69	0,67	0,64
	4,00	0,84	0,79	0,76	0,73	0,82	0,77	0,73	0,70	0,78	0,73	0,69	0,66
0,50	0,50	0,65	0,65	0,65	0,65	0,63	0,63	0,63	0,63	0,61	0,61	0,61	0,61
	1,00	0,82	0,80	0,78	0,76	0,80	0,78	0,76	0,74	0,77	0,74	0,73	0,71
	2,00	0,90	0,87	0,84	0,81	0,89	0,85	0,82	0,79	0,71	0,81	0,78	0,75
	4,00	0,92	0,89	0,86	0,83	0,91	0,88	0,84	0,81	0,89	0,84	0,80	0,76
0,60	0,50	0,81	0,80	0,79	0,78	0,79	0,78	0,77	0,76	0,75	0,74	0,74	0,73
	1,00	0,92	0,90	0,88	0,86	0,91	0,88	0,86	0,84	0,88	0,85	0,82	0,80
	2,00	0,95	0,93	0,91	0,89	0,95	0,92	0,90	0,87	0,80	0,90	0,86	0,83
	4,00	0,96	0,94	0,92	0,90	0,96	0,93	0,91	0,88	0,95	0,91	0,88	0,85
0,70	0,50	0,92	0,90	0,88	0,87	0,90	0,88	0,87	0,86	0,87	0,85	0,84	0,83
	1,00	0,97	0,95	0,94	0,92	0,96	0,95	0,93	0,91	0,95	0,92	0,90	0,88
	2,00	0,98	0,96	0,95	0,93	0,98	0,96	0,94	0,92	0,88	0,95	0,92	0,90
	4,00	0,98	0,97	0,95	0,94	0,98	0,96	0,95	0,93	0,98	0,95	0,93	0,90
0,80	0,50	0,97	0,96	0,95	0,94	0,97	0,95	0,94	0,93	0,95	0,93	0,91	0,90
	1,00	0,99	0,98	0,97	0,96	0,99	0,97	0,96	0,95	0,98	0,96	0,95	0,93
	2,00	0,99	0,98	0,97	0,96	0,99	0,98	0,97	0,95	0,99	0,97	0,95	0,95
	4,00	0,99	0,98	0,97	0,96	0,99	0,98	0,97	0,95	0,99	0,98	0,96	0,94
0,90	0,50	0,99	0,98	0,98	0,97	0,99	0,98	0,97	0,96	0,99	0,97	0,96	0,95
	1,00	1,00	0,99	0,98	0,97	1,00	0,99	0,98	0,97	0,99	0,98	0,97	0,96
	2,00	1,00	0,99	0,98	0,98	1,00	0,99	0,98	0,97	1,00	0,99	0,97	0,96
	4,00	1,00	0,99	0,98	0,97	1,00	0,99	0,98	0,97	1,00	0,99	0,97	0,96
1,00	0,50	1,00	0,99	0,99	0,98	1,00	0,99	0,99	0,98	1,00	0,99	0,98	0,97
	1,00	1,00	1,00	0,99	0,99	1,00	1,00	0,99	0,98	1,00	0,99	0,99	0,98
	2,00	1,00	1,00	0,99	0,99	1,00	1,00	0,99	0,98	1,00	0,99	0,99	0,98
	4,00	1,00	1,00	0,99	0,99	1,00	1,00	0,99	0,98	1,00	1,00	0,99	0,98

Lähde: (28, s. 74)

Alkukysely käyttäjille

5.4.2022 / Kai Suominen

Alkukysely

1. Minkälaisia toiveita työkalun suhteen, esim. minkälaisena näkymänä vaihtoehdot halutaan näkyvän / mitä tietoja halutaan näkyvän? Tässä voi antaa ajatuksen lentää vapaasti, mitä toiveita tai ajatuksia olisi. Tai jos on olemassa jonkinlainen esimerkki näkymää antaa jostain toisesta ohjelmasta/työkalusta, niin tämä auttaisi myös.

-

2. Lähtötietojen syöttämistä työkaluun tulee olemaan jonkin verran, niin onko tähän jonkinlaisia toiveita? Esim. lukujen syöttöön / valinta, riippuen tilanteesta. Kuinka paljon mahdollisia selityksiä/ohjeita halutaan näkyvän?

-

3. Kaivataanko jotain toiminnallisuutta, esim. painike/painikkeita? Tällaisia olisi mahdollista tehdä tulostukseen / tallennukseen / siirtymiseen välilehdeltä toiselle / lomakkeen tyhjentämiseen jne.

-

4. Miten kauan saisi tietojen syöttöön kulua aikaa, että tulos olisi saatavilla? Arvioi aika minuuteissa, niin voidaan myöhemmin verrata siihen, miten työ toteutui.

-

5. Pitääkö työkalulla pystyä tekemään useampaa taloa yhtä aikaa, esim. yksikerroksista ja kaksikerroksista yhtä aikaa? Tai paritaloa ja omakotitaloa? Usein kuitenkin useampia taloja kohteissa. Vai tehdäänkö jokaiselle talolle erikseen oma laskenta työkalun avulla?

-

6. Jos useampaa taloa yhtä aikaa, niin toivotaanko tuloksien näkyvän jokaiselle talolle erikseen omalla sivullaan vai kaikki samalla sivulla?

-

7. Miten mahdollinen jäähdytystarve, halutaanko talokohtaisesti määritellä mihin taloon tulisi?

-

8. Vapaa sana, minkälaisia odotuksia projektia kohtaan tai mitä tahansa projektiin liittyen?

-

Loppukysely käyttäjille

1.6.2022 / Kai Suominen

Loppukysely

Arvioi ympyröimällä vastaukseksi asteikolla 1-5 seuraavasti:

1 = erittäin huonosti, 2 = huonosti, 3 = menettelee, 4 = hyvin, 5 = erittäin hyvin

1. Miten tietojen syöttösivu on onnistunut?

1 2 3 4 5

Parannettavaa:

2. Miten ohjeiden toteutus on onnistunut?

1 2 3 4 5

Parannettavaa:

3. Miten tulostuksen/tallennuksen toteutus on onnistunut?

1 2 3 4 5

Parannettavaa:

4. Miten mielestäsi kustannuksien esittäminen on onnistunut?

1 2 3 4 5

Parannettavaa:

5. Miten mallin valinta / tilavaraus on mielestäsi onnistunut?

1 2 3 4 5

Parannettavaa:

6. Vastaako työkalu odotuksiasi?

1 2 3 4 5

Parannettavaa:

Mikä on mielestäsi isoin puute/muutostarve työkalussa? (voi olla useampiakin asioita)