



Veijo Aittomäki

# Asumisviihtyvyyden varmistaminen energiatehokkaasti lämpötilojen noustessa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Rakennustekniikka

Insinöörityö

27.3.2024

## Tiivistelmä

|                         |  |
|-------------------------|--|
| Tekijä(t):              | Veijo Aittomäki  |
| Otsikko:                | Asumisviihtyvyyden varmistaminen energiatehokkaasti lämpötilojen noustessa |
| Sivumäärä:              | 36 sivua + 1 liite   |
| Aika:                   | 27.3.2024  |
| Tutkinto:               | Insinööri (AMK)  |
| Tutkinto-ohjelma:       | Rakennustekniikka  |
| Suuntautumisvaihtoehto: | Rakentamisen projektinhallinta   |
| Ohjaaja(t):             | Lehtori Anne Aalto   |

---

Tämä insinöörityö tehtiin Metropolia ammattikorkeakoululle ja siinä käytiin läpi, millaisilla rakennussuunnitteluratkaisuilla voidaan edesauttaa pientalon sisäilman pysymistä miellyttävänä sekä millaisilla taloteknisillä järjestelmillä näitä ratkaisuja voidaan energiatehokkaasti tukea, huolimatta ilmastonlämpenemisestä johtuvasta kesän huippulämpötilojen noustusta. Muuttuneessa ilmastossa asuntojen yllämpeneminen on todellinen riski, kun yllämpenemistä tapahtuu jo nykyilmastossa. Energiataloudellisuus on osa tätä kokonaisuutta, ja työssä käytiin läpi millaisia apuja itsenäiseen energian tuotantoon, on markkinoilla saatavilla.

Lopputuotteena saatiin selkeä ja kattava esitys eri ratkaisuista. Tämä tutkimus suoritettiin itsenäisenä kirjallisuusselvityksenä. Aihetta tutkittiin lukemalla diplomitöitä sekä opinnäytetöitä, lukemalla laitevalmistajien sivuja, käymällä läpi tutkimuksia eri osa-alueista, lukemalla lakitekstejä sekä virastojen ja yhdistysten tutkimuksia ja selvityksiä. Kirjallisuuslähteiden lisäksi suoritettiin henkilöhaastatteluja alan asiantuntijoille. Näiden tietojen pohjalta tehtiin pohdintoja, joissa läpikäytiin edellä mainittuja ratkaisuja sekä niiden sovellutuksia.

Avainsanat: ilmastonmuutos, rakennussuunnittelu, energiatehokas

---

Tämän opinnäytetyön alkuperä on tarkastettu Turnitin Originality Check -ohjelmalla.

## Abstract

Author(s): Veijo Aittomäki  
Title: Ensuring Residential Satisfaction Energy Efficiently in Times of Rising Temperatures  
Number of Pages: 36 pages + 1 appendix  
Date: 27.3.2024

Degree: Bachelor of Engineering  
Degree Program: Degree Programme in Civil Engineering  
Specialisation option: Construction Project Management  
Instructor(s): Senior Lecturer Anne Aalto

---

This graduate study was conducted for Metropolia University of Applied Sciences. The purpose of the study was to find out what kind of energy efficient methods there are to uphold a pleasant living condition inside a house when summer heatwaves are becoming longer and more intense due to climate change. The study dealt with passive and active methods of controlling indoor climate through building design and technical features to support the passive methods. The study also covered off-the-grid technology which could support the technical solutions in an environmentally friendly way.

As a result of the study, it was found that there are plenty of ways to ensure good living conditions inside the house energy efficiently even when outside temperatures are rising. The methods used in this study were to study the web sites of equipment manufacturers, reading legal texts, going through Master's theses of the subject and studying web sites in Australia and the USA of what kind of solutions they have found in this matter. Also, interviews were conducted with the experts of the field: architects, design manager and chief of energy and environment services. The interviews provided insights and an opportunity to ask from an expert how to deal with the challenge.

Keywords: climate change, building design, energy efficient

## Sisällys

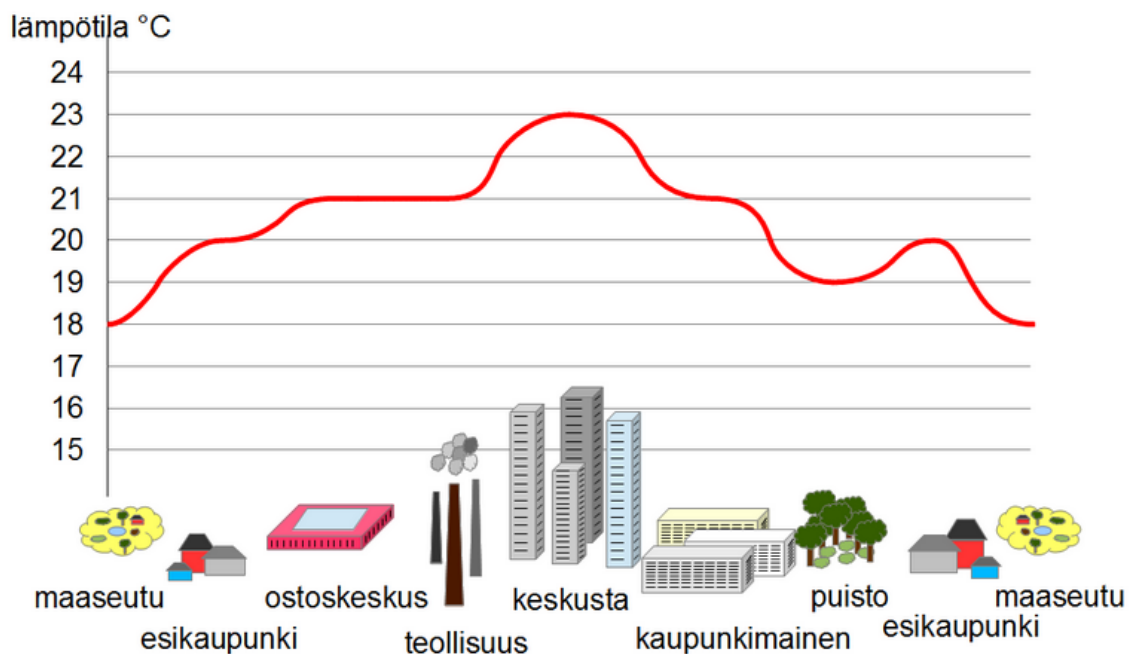
|       |                                    |    |
|-------|------------------------------------|----|
| 1     | Johdanto                           | 6  |
| 1.1   | Aiheen esittely                    | 6  |
| 1.2   | Aiheen rajausta                    | 7  |
| 1.3   | Tutkimuskysymykset                 | 8  |
| 1.4   | Tutkimusmenetelmät                 | 8  |
| 2     | Ilmastonmuutos                     | 8  |
| 2.1   | Mekanismit                         | 8  |
| 2.2   | Ihmisen vaikutus                   | 9  |
| 2.3   | Vaikutukset                        | 10 |
| 2.4   | Energiatehokkuusmääräykset         | 11 |
| 3     | Passiiviset vaikutuskeinot         | 12 |
| 3.1   | Rakennuksen suuntaus               | 12 |
| 3.2   | Varjostukset                       | 14 |
| 3.3   | Seinien eristepaksuudet ja tiiveys | 16 |
| 3.4   | Ikkunoiden vaikutus                | 17 |
| 3.4.1 | G-arvo                             | 17 |
| 3.4.2 | Selektiivilasit                    | 18 |
| 3.5   | Kaihtimet                          | 18 |
| 3.6   | Älylasi                            | 19 |
| 4     | Aktiiviset vaikutuskeinot          | 20 |
| 4.1   | Kattotuulettimet                   | 20 |
| 4.2   | Koneellinen ilmanvaihto            | 20 |
| 4.2.1 | PILP                               | 21 |
| 4.3   | VILP                               | 21 |
| 4.4   | ILP                                | 22 |
| 4.5   | Maalämpö ja -viileä                | 24 |
| 4.5.1 | Maalämpö                           | 24 |
| 4.5.2 | Maaviileä                          | 26 |
| 4.6   | Aurinkopaneelit                    | 27 |
| 4.7   | Tuulivoima                         | 27 |
| 5     | Haastattelut                       | 29 |

|   |            |    |
|---|------------|----|
| 6 | Pohdintaa  | 32 |
| 7 | Yhteenveto | 34 |
|   | Liitteet   | 37 |

# 1 Johdanto

## 1.1 Aiheen esittely

Opinnäytetyön aihe kumpusi havainnosta, että mediassa ja julkisessa keskustelussa on vähemmän kiinnitetty huomioita sille tosiasialle, että ilmastonmuutoksen vaikutuksista puhuttaessa painottuu sateisuuden ja tulvariskien lisääntyminen. Samaan aikaan pitäisi kiinnittää huomiota siihen, kun keskilämpötilat nousevat ja näin ollen talven lumisuus sekä pakkasjaksojen pituudet ja intensiteetti vähenee, niin kesällä hellejaksot pitenevät ja lämpöhuiput kohoavat (1). Rakennetussa ympäristössä, missä käytetään paljon betonia, tai muuta lämpöä varastavaa materiaalia, kuten kaupunkien keskustat ja teollisuusalueet, ovat alttiita muuta ympäristöä korkeammille lämpötiloille. Tätä kutsutaan lämpösaarekeilmiöksi. Lämpösaarekeilmiön vaikutuksia havainnollistaa kuvan 1. graafi. Ilmiön myötä kaupunkialueella sisälämpötilat voivat nousta varsin korkeisiin lukemiin ympäristöönsä verrattuna (2).



Kuva 1. Lämpösaarekeilmiö nostaa lämpötiloja huomattavasti muuta ympäristöä korkeammaksi (2).

Sisälämpötilojen noustessa asumisviihtyvyys kärsii ja rakennusten terveellisyys- ja turvallisuuskriteerit eivät enää kesäisin täyty (3). Näin ollen rakennussuunnittelua tulisi päivittää niin, että kiinnitettäisiin huomioita enemmän siihen, kuinka rakennukset pysyisivät viileämpinä kesäisin, ilman ulkoista energian käyttöä. Samalla tulisi selvittää mitkä talotekniset ratkaisut olisivat energiatehokkaita, jotka tukisivat näitä rakennussuunnittelun keinoja, kun lämpötilat ylittävät määritellyt raja-arvot. Suomessa osataan jo hyvin suunnitella rakennukset niin, että talvisin ei sisätiloissa ole kylmä eikä vetoisaa ulkolämpötiloista huolimatta ja tämä osataan tehdä melko energiatehokkaasti. Nyt siis pitäisi haastaa suunnittelualaa siihen, että samaa tietotaitoa käytettäisiin pitämään rakennusten sisälämpötilat miellyttävinä myös kesällä, huolimatta ulkolämpötiloista (4).

## 1.2 Aiheen rajaus

Ilmastonmuutos lisää sateisuutta ja näin ollen rakennusten kosteusrasitusta sekä tulvimista varsinkin kaupunkialueella ja jokien varsilla. Talven lumisuuden vähenemisen myötä vuoden valoisa-aika vähenee, mikä lisää terveyshaittoja masennuksen lisääntymisen myötä. Vaikka ilmastonmuutos lisää kasvukautta, se myös johtaa siihen, että puusto ja muu kasvillisuus sekä eläimistö tulevat kokemaan muutoksen lajien väistyessä uusien tieltä ja kasvitautien sekä muiden taudinaiheuttajien lisääntymisen myötä (3).

Tässä opinnäytetyössä aihealue rajataan kuitenkin koskemaan ilmaston lämpenemisen myötä tapahtuvaa asuntojen lämpötilojen nousua ja asumisviihtyvyyden heikentymistä, sekä siihen, kuinka tähän haasteeseen voidaan vastata rakennussuunnittelun keinoin. Ja mitkä talotekniset ratkaisut olisivat sopivimmat niiden rinnalle tällä energiamurroksen aikakaudella. Aihealue rajataan koskemaan pientaloja, vaikkakin esiteltävät ratkaisut ovat varmasti käytettävissä pienin muunnoksin myös asuinkerrostaloissa, hoivakodeissa, toimistoissa ja vastaavissa rakennuksissa, joita ei käsitellä tässä opinnäytetyössä.

### 1.3 Tutkimuskysymykset

Opinnäytetyön keskeisimmät kysymykset, joihin haetaan vastauksia ovat:

- Millaisia passiivisia ratkaisuja on olemassa talojen viileänä pitämiseksi?
- Millaisia aktiivisia ja energiatehokkaita keinoja voitaisiin hyödyntää viilen-nykseen passiivisten ratkaisujen tueksi?
- Millaisilla omavaraisilla ratkaisuilla voitaisiin vähentää ulkoa ostetun energian käyttöä?

### 1.4 Tutkimusmenetelmät

Tässä opinnäytetyössä tilaavana yrityksenä toimii Metropolia ammattikorkeakoulu, jolle työ tehtiin kirjallisuusselvityksenä. Tietoa haettiin internetistä, kirjoista ja alan julkaisuista. Työtä varten haastateltiin myös alan asiantuntijoita. Tietoa ja ymmärrystä on kertynyt myös opiskelujen myötä eri kursseilta mm. rakennusfysiikka, talotekniset järjestelmät sekä elinkaari- ja käyttötalous, jotka ovat lisänneet ymmärrystä ja antaneet pohjaa ajattelulle aiheesta.

## 2 Ilmastonmuutos

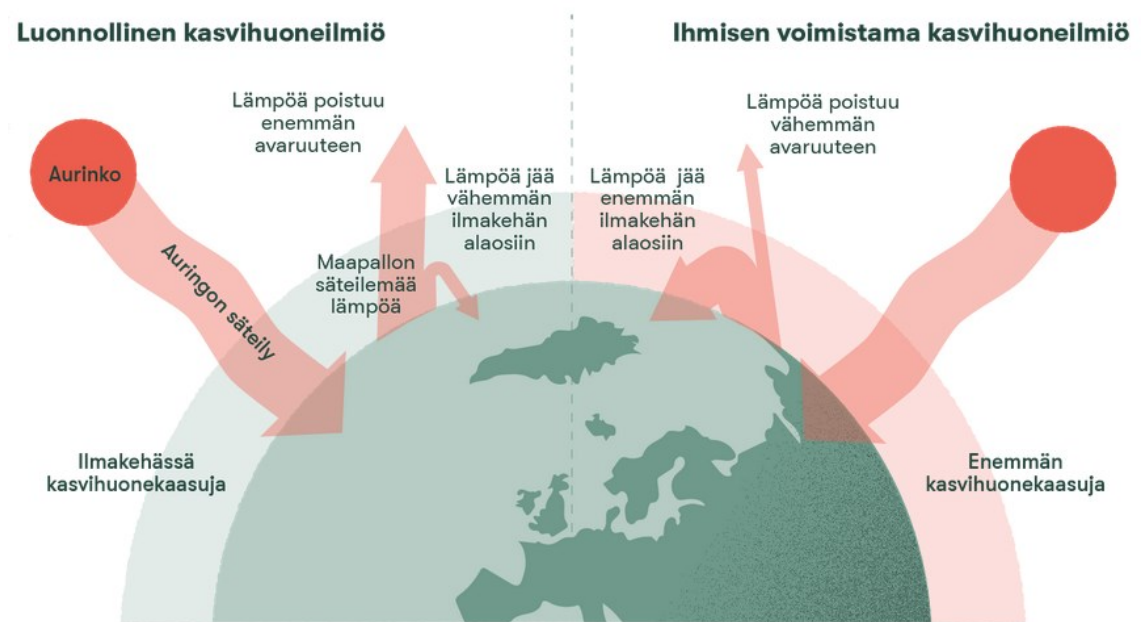
### 2.1 Mekanismit

Ilmastonmuutoksessa on kyse pohjimmiltaan niin sanotusta kasvihuoneilmiöstä. Kuvassa 2 ilmiötä on havainnollistettu kuvin. Sama ilmiö tapahtuu kasvihuoneissa pienemmässä mittakaavassa, tämän takia nimi on melko itseään selittävä (5).

Auringon lyhytaaltainen infrapunasäteily saapuu maahan ilmakehän läpi, josta osa heijastuu takaisin avaruuteen ja loput saavuttavat maaperän lämmittäen sitä. Kun maaperä on lämmennyt tarpeeksi, alkaa se säteillä pitkäaaltoista lämpösäteilyä, joka taas lämmittää ympärillä olevia asioita kuten rakennuksia ja



maastoa. Aallonpituuksien vaikutuksen erona on, että auringosta tuleva lyhytaaltoinen säteily intensiteettinsä vuoksi läpäisee kaikki läpinäkyvät esteet, kuten lasin ja kaasukehät, ja alkaa lämmittää kohtaamaansa estettä. Pitkäaaltoinen säteily ei läpäise esteitä, vaan se heijastuu takaisin kaasukehästä ja pilvistä ja jää lämmittämään ilmastoa. Näin maapallon ilmakehä toimii kuin kasvihuoneen lasit, joka ei päästä kaikkea lämpöä karkaamaan avaruuteen. Merissä toimii sama mekanismi, mutta veden korkean ominaislämpökapasiteetin myötä meret eivät jäähdy yhtä nopeasti kuin maaperä ja näin ollen ne toimivat kuin maapallon lämpöpatterit (5).



Kuva 2. Yksinkertaistettu kuva siitä, kuinka kasvihuoneilmiö toimii ilman ihmistä ja ihmisen vaikutuksesta (5).

Kasvihuoneilmiö ei itsessään ole huono asia. Itseasiassa se mahdollistaa elämän maapallolla nostamalla keskilämpötilaa niin, että elämä maapallolla on mahdollista. Ilman sitä keskilämpötilat olisivat pakkasella noin  $-14\text{ }^{\circ}\text{C}$ . (5.)

## 2.2 Ihmisen vaikutus

Ilmastonmuutos itsessään on täysin luonnollinen asia ja ilmasto on jatkuvassa muutoksessa ja on ollut sitä aina ollessaan dynaaminen kokonaisuus. Ihmisen vaikutus tähän kokonaisuuteen on se, että teollistumisen myötä ilmansaasteet

ja kasvihuonekaasupäästöt ovat moninkertaistuneet ja kiihdyttäneet prosessia niin, että enää ei voida olla täysin varmoja millä nopeudella muutokset tapahtuvat, koska ilmastomalleissa tällaisia olosuhteita, joita nyt koemme, olisi pitänyt tapahtua vasta 2050-luvulla (7).

Kasvihuonekaasuja, joita ilmakehässä on luonnostaan, ovat vesihöyry, hiilidioksidi, metaani, dityppioksidi sekä otsoni (5). Kun teollistumisen vallankumous 1700-luvulla alkoi, ihmisten elämä alkoi helpottua valtavasti koneiden avustessa arkisissa töissä. Ilmastolle se tarkoitti koneiden käyttövoiman ollessa fossiilisi, kuten kivihiihi ja puu, ilmansaasteiden ja kasvihuonekaasujen eksponentiaalista kasvua. Hiilidioksidi on kasvihuonekaasuista pitkäikäisin ja eniten ilmastoa lämmittävä. Lisäksi sitä vapautuu ilmaan fossiilisia polttoaineita käyttämällä ja metsien lisääntyneen käytön myötä sitä sitovia elementtejä on maassa koko ajan vähemmän (6). Lisäksi meriekosysteemi, joka sitoo paljon hiiltä, rehevöityy ilmastonmuutoksen myötä ja ekosysteemi kokee muutoksen lajeissa ja se muuttuu hiilidioksidin nielusta sen lähteeksi (8).

### 2.3 Vaikutukset

Ilmastonmuutos aiheuttaa keskilämpötilojen nousua, mikä taas johtaa napa- ja muiden jäätiköiden sulamiseen ja sen seurauksena merenpinnan nousuun. Ilmaston lämpeneminen myös lisää hellejaksojen intensiteettiä ja pituutta, josta aiheutuu kuivuutta, metsäpaloja ja satojen menetyksiä. Se lisää sateita, mitkä johtavat tulviin ja maanvyöryihin. Suomessa sateisuus painottuu talveen ja talvitulvat lisääntyvät. Vaikka kasvukausi Suomessakin pitenee, ilmastonmuutos lisää kasvitautien määrää ja viljelylajeja pitää vaihtaa, koska nykyiset eivät enää pärjää uusissa olosuhteissa. Myös lumisuus vähenee mikä tarkoittaa valoisuuden vähenemistä pimeimpänä vuodenaikana (9).

Ilmastonmuutos vaikuttaa myös siihen, että talvella lämmitysjakso lyhenevät ja näin ollen säästetään energiaa ja kasvihuonepäästöjä. Mutta samaan aikaan kesällä viilennysjaksojen tarve lisääntyy, koska kauden lämpötilat kohoavat ja helleaaltojen kesto pitenee. Tämä osaltaan taas lisää energiankulutusta. Siksi

olisi tärkeää, että viilennys voitaisiin suorittaa mahdollisimman energiatehokkaasti (5).

## 2.4 Energiatehokkuusmääräykset

Energiatehokkuuskirjaus on tehty myös lakiin, missä veloitetaan suunnittelemaan rakennukset niin, että viileänä pito ja viilennys toimisivat ensisijaisesti passiivisesti (10).

Energiatehokkuutta koskevat määräykset ja asetukset EU-tasolta kansalliseen lainsäädäntöön asti ovat koko ajan kiristyneet. Viimeisin esitys EU-tasolta on vuodelta 2021, mutta ehdotus on vielä kesken ja se päättyy kansalliseksi laiksi arviolta 2026. Vielä on keskustelussa mitä kaikkea direktiivi tulee pitämään sisällään. (11).

Haastattelussa Eelis Leino avasi hieman energiatehokkuusmääräyksiä, ja sitä kuinka ylitäminen lasketaan ja miten siihen reagoidaan lakitekstissä.

Rakennusmääräyksissä käytetään sisälämpötiloissa raja-arvoa 25 °C ja sitä ei saa ylittää enempää kuin 150 astetuntia kesäkuusta elokuun loppuun, eli toukokuun lämpötilat voi jättää huomiotta, vaikka parhaimmillaan toukokuussa rikotaan hella- ja lämmitysjärjestelmien raja-arvoja. Lisäksi simuloinneissa käytetään menneitä arvoja, eikä oteta huomioon lämpenevää ilmastoa. Yksi astetunti tarkoittaa, että raja-arvo ylittyy tunnin ajaksi. Eli asunnossa saisi olla 26 °C 150 h tai 27 °C 75 h. Jos 150 astetunnin raja-arvo ylittyy, tulee asuntoon järjestää koneellinen jäähdytys. Näitä lämpösimulointeja tehdään kerrostaloissa ja muissa isommissa kohteissa, mutta ei pientaloissa. Simuloinneissa saa ottaa laskelmiin mukaan kaikki passiiviset keinot, esimerkiksi sälekaihtimet ja ne oletetaan laitettavan kiinni kesäkuun 1. ja ne avataan vasta 1. syyskuuta. Lisäksi ilmanvaihtokone on laskelmissa koko ajan täysillä. Tosin määräyksissä kerrostaloasuntoon raja-arvoksi on annettu 27 °C ja kaikki passiiviset keinot saa olettaa olevan käytössä, että simulointi menee läpi ja rakennuslupa heltiää (36).

Pientalon rakentamisessa ei siis lämpösimuloineista tarvitse välittää, koska lain määräämä energiatodistus on pientaloissa luokassa tavanomainen ja silloin ei tarvitse laskea kuin yhden kuukauden energiankulutus. Eikä näin ollen lämpösimulointeja tarvitse tehdä, kun käyttää jotain muuta kuin kesäkuukaudeksi määriteltä. Toki simuloinnin voi silti teettää, mutta koska se maksaa joitakin satoja euroja lisää energiatodistuksen päälle, niin ei niitä yleisesti ottaen tehdä (36).

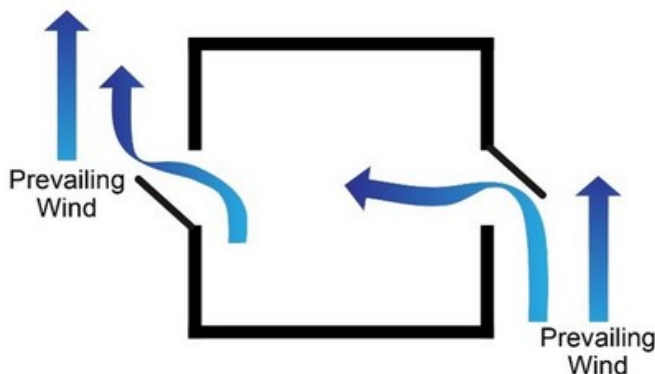
### **3 Passiiviset vaikutuskeinot**

Passiivinen viilennys tarkoittaa käytännössä sitä, että ilmanvirtaukseen ja viilennykseen ei tarvita ulkoisia apuja, kuten koneellista ilmanvaihtoa. Vaan ilmanvaihto onnistuisi ilmanpaine-eroilla painovoimaisesti ja olemassa olevaa viileää ilmaa ohjaamalla. Varjojen luominen keinotekoisesti esimerkiksi markiisin tai kiinteiden varjostimien avulla katsotaan passiiviseksi keinoksi ja näillä voidaan vähentää talon lämpökuormaa kesällä (14).

#### **3.1 Rakennuksen suuntaus**

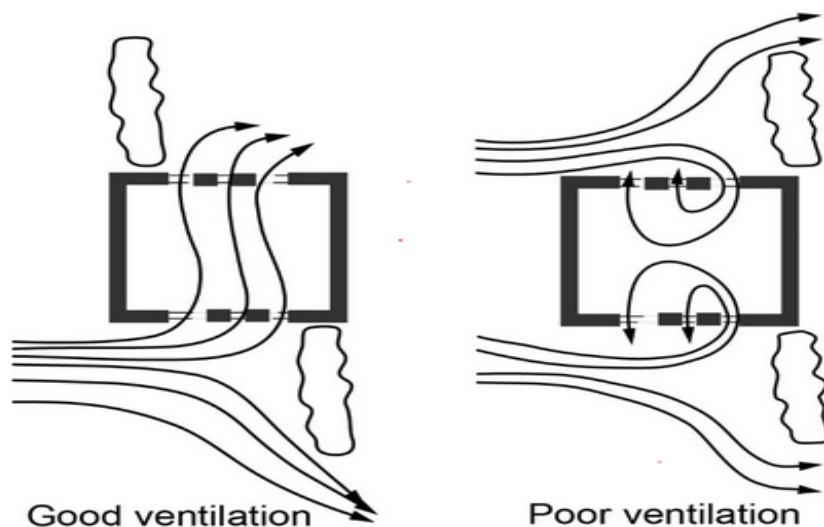
Rakennuksen suuntaukseen vaikuttavia asioita ovat mm. tontin sijainti ja muoto, alueen kaavamääräykset ja omistajan toiveet. Perinteisesti Suomessa ikkunat halutaan suunnata etelään tai lounaaseen, koska niistä ilmansuunnista tulee eniten valoa ja lämpöä, mitkä on haluttu saada hyötykäyttöön asunnoissa. Ja arkkitehtonisesti ajatellen silloin saadaan viihtyisyyttä ja luonnonvaloa rakennukseen. Haasteena rakennussuunnitteluun tulee nyt se, että ilmaston lämmetessä pitää ottaa huomioon myös kesän jäähdytystarvetta. Jos on isot ikkunat etelään, niin yllilämpenemisen riski on todellinen (14).

Talon suuntauksella voidaan vaikuttaa siihen, että luonnollinen painovoimainen ilmanvaihto toimisi paremmin rakennuksessa. Kun talo suunnataan vallitsevien tuulensuuntien mukaan, kuten kuvassa 3, ja tuuletusikkunat sijoitellaan oikein, saadaan luonnollinen läpituuletus toimimaan ja ilma vaihtumaan ilman ulkoista energiaa. Ilman liikkeisiin vaikuttaa talon suunta, ikkunoiden sijoittelu, pohjaratkaisu, että ilma pääsisi liik-



Kuva 4. Talon suuntaaminen vallitsevien tuulien mukaisesti. (12)

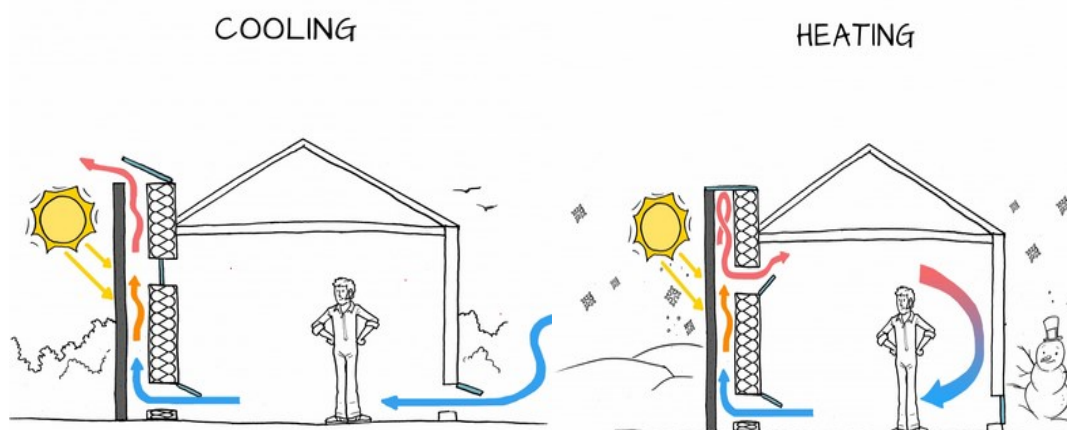
kumaan mahdollisimman vapaasti talossa, sekä pihan kasvusto. Kuvassa 4 on havainnollistettu kasvuston vaikutusta ilman liikkeeseen. Jos puskia tai muita esteitä on tuuletusikkunoiden "väärillä" puolilla suhteessa vallitseviin tuuliin, syn-



tyy epäedullisia paineroja ja ilma jääkin pyörimään näihin esteisiin eikä se vaihdukaan talossa sisällä niin kuin pitäisi (12).

Kuva 3. Havainnollistava kuva, kuinka talon suuntauksella ja sijoittelulla voidaan vaikuttaa talon läpituuletettavuuteen (12).

Painovoimaisen ilmanvaihdon haasteena on, ettei saada luotua riittävää paine-eroa, jotta ilma vaihtuisi riittävän tehokkaasti. Tässä voisi olla apuna solar chimney eli aurinkopiippu, mikä tarkoittaa eräänlaista tuuletushormia, jolla saadaan muodostettua lämpöliikkeellä, auringon lämmön vaikutuksesta, ilman liikettä piippuun ja sitä kautta ilma vaihtuisi talossa, kun paine-ero pakottaa kuumaa ilmaa tuuletuspiipun kautta ulos ja samalla viileää korvausilmaa sisään varjoisalta puolelta taloa. Kuvassa 5 on periaatetta pyritty selittämään kuvallisesti. Piipun päässä olisi kansi, jonka sulkemalla samaa auringon lämpöä voitaisiin ohjata lämmittämään taloa talvella (13).



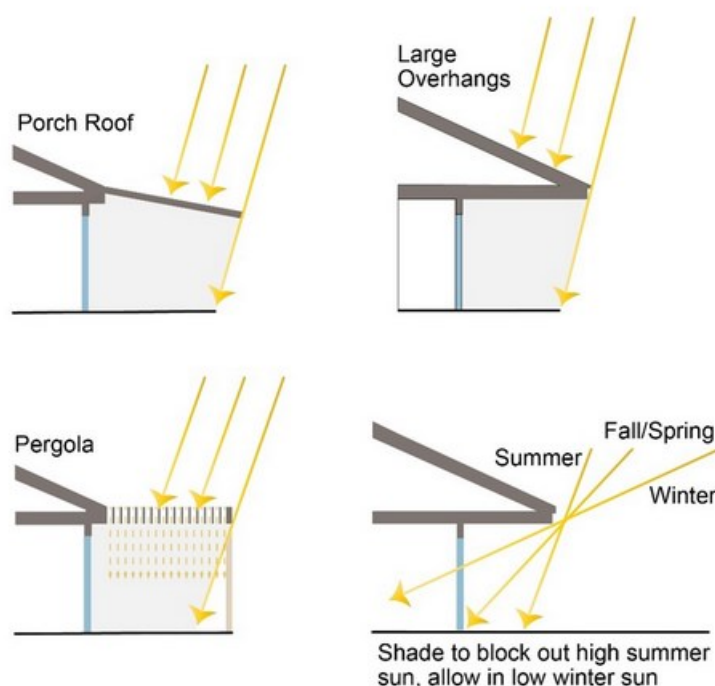
Kuva 5. Solar chimneyn toimintaa kuvaileva piirustus (13)

Yksi keino vähentää talon kokemaa lämpökuormaa, olisi suunnata talo niin, että lyhyt sivu olisi etelä-pohjoissuuntaan ja pitkät sivut itä-länsi suuntaan. Näin pinta-alaa kuumempaan suuntaan olisi vähemmän. Tällä ajatuksella talonpoikaishirsirakennuksia tehtiin 1700–1800-luvulla (14).

### 3.2 Varjostukset

Varjojen luominen keinotekoisesti rakennuksen ulkopuolella, esimerkiksi markkioilla, on kannattavampaa kuin talon sisäpuolella, esimerkiksi sälekaihtimille: jos auringon lämpösäteily ei pääse sisään rakennukseen, ei se aiheuta lämpökuormakaan, jolle pitäisi tehdä jotakin (14).

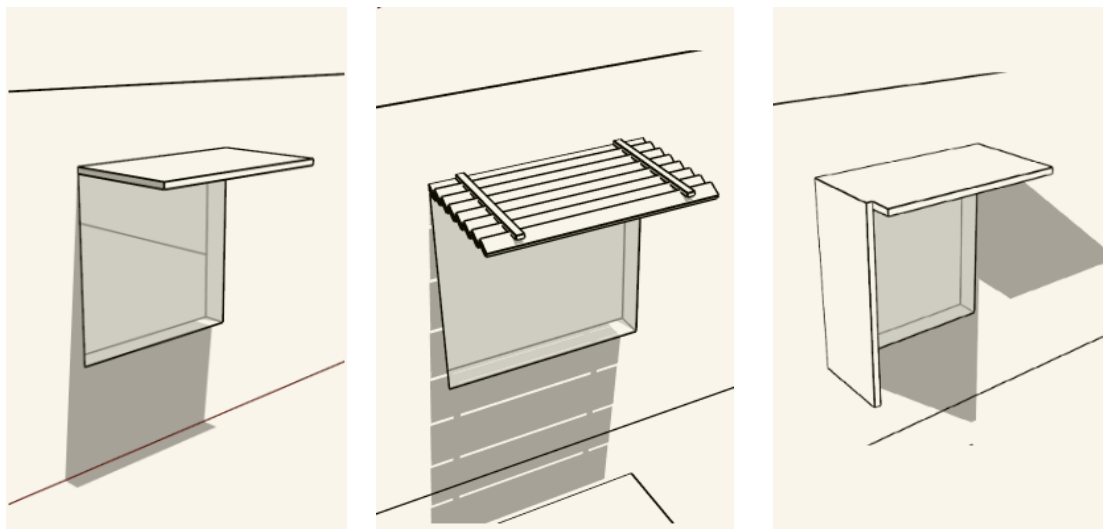
Pientalossa, jos suuntaakin ikkunoita etelään päin, niin etelän ja lännen puolelle voisi rakentaa leveän terassi tai jonkin muun vastaavan varjostavan elementin, kuten tehdä räystäistä leveämmät. Niin, että korkealta paistavan kesäaurion säteet eivät tulisi suoraan ikkunasta sisään, vaan varjostaisi ikkunoita kesällä. Ja talvella matalalla paistava aurinko taas pääsisi paistamaan sisään, tuoden kaivattua valoa ja lämpöä pimeimpään vuodenaikaan. Kuvassa 6 asiaa havainnollistetaan kuvin. Antiikin kreikkalaiset ja roomalaiset tekivät rakennusten eteen pylväikköjä, joilla oli sama tarkoitus, luoda varjo rakennuksen eteen, ettei keskipäivän paahde olisi täysin sietämätön (15).



Kuva 6. Varjostuksia luovia elementtejä ikkunoille (15).

Puut ovat paras varjostava talon ulkopuolinen elementti, joita kannattaa varjella ja, jos tontilla ei puita ole, kannattaa niitä istuttaa ja mahdollisuuksien mukaan mahdollisimman isoja, koska puiden kasvaminen siihen mittaan, että ne varjostavat taloa, vie noin 20 vuotta. Lisäksi on tietysti hyvä istuttaa lisää puita pihapiiriin ja suosia viheralueita kovien pintojen sijaan, sillä ne absorboivat itseensä lämpöä ja haihduttavat vettä viilentäen ympäristöään. Viheralueella ei ole lämpivä massaa joka päivällä varaisi lämpöä ja luovuttaisi sitä pitkin yötä (36).

Ikkunoiden päälle tai sivuille voi suunnitella varjostavia elementtejä, kuten vaaka- tai pystysuuntaisia lippoja, kuten kuvassa 7, jotka antavat luonnollista varjostusta estäen lämmittävää säteilyä pääsemästä suoraan rakennukseen sisään (15).



Kuva 7. Erilaisia vaihtoehtoja ikkunoiden kiinteiksi varjostuselementeiksi (16).

### 3.3 Seinien eristepaksuudet ja tiiveys

Seinärakenteen paksuus on lisääntynyt tasaisesti sitä mukaan, kun ymmärrys rakennusfysiikasta sekä energiataloudellisuudesta on kasvanut. Suositukset ovat muuttuneet määräyksiksi ja lähes nollaenergiataloista on tullut arkipäivää (45).

Seinien eristevahvuuden kasvattaminen on talven lämmitysjaksoa ajatellen hyvä ratkaisu, koska silloin lämmönvastus kasvaa suorassa suhteessa ja energia, joka on käytetty lämmitykseen ei karkaa avaruuteen. Tämä sama idea toimii myös toiseen suuntaan: kesällä suuren lämmönvastuksen omaavat paksut seinät estävät kuumaa ulkoilmaa läpäisemästä seinärakenteita kovin helposti. Tämä auttaa myös siinä, jos sisäilmaa viilennetään koneellisesti, että sisäilma ei lämpene niin nopeasti, tehostaen energian käyttöä (17).

Samalla, kun seinien on hyvä olla riittävän paksut, tulee rakenteiden olla tiiviit, ettei ilma virtaa hallitsemattomasti rakennuksen vaipan läpi vieden tehoa ja hyö-



tyä viilentämiseltä, tai lämmittämiseltä. Ovi- ja ikkuna-asennukset, nurkat, hormien ja putkien läpiviennit ja muut liitokset, kuten seinän ja lattian liitos, ovat altteimpia tällaisille vuodoille. Kyseiset kohdat vaativat erityistä tarkkuutta ja huolellisuutta työntekijöiltä sekä työnjohdolta, koska niissä on suurin riski tällaisille vuodoille. Lämpökamerakuvaukset ja tiiveyskoe ovat pakolliset pientaloille. Niillä testataan mahdollisten ilmavuotojen olemassaolo (17).

Sen lisäksi, että puutteellinen tiiveys hukkaa energiaa, se myös lisää sisäilma-ongelmien riskiä. Jos korvausilma tulee rakenteiden läpi, se imee mukaansa eristeistä mikropartikkeleita, mikrobeja sekä muita sisäilmaa heikentäviä elementtejä (37).

### 3.4 Ikkunoiden vaikutus

Ikkunoilla on talolle iso arkkitehtoninen merkitys ja niillä voidaan luoda rakennukselle paljon ilmettä, ja ne vaikuttavat asumisviihtyvyyteen tuoden tilaan luonnonvaloa ja avaruuden tuntua. Ikkunoilla ja niiden koolla sekä suuntauksella saadaan sisään luonnonvaloa ja auringon säteilylämpöä, mikä onkin ollut tavoiteltua. Nyt kun kesät muuttuvat kuumemmiksi riskinä on, että kasvihuoneilmiö tapahtuu talossa ja näin ollen lämpötilat nousevat liiaksi. Ikkunoiden ominaisuuksien valinnalla voidaan vaikuttaa siihen, että lämpö jää ulkopuolelle päästäten valon kuitenkin läpi. Isojen ikkunoiden ollessa nykyaikainen ilmiö ja trendi olisi tärkeää investoida ikkunoihin niin, että ne olisivat mahdollisimman vähän lämpöä sisään päästäviä (36).

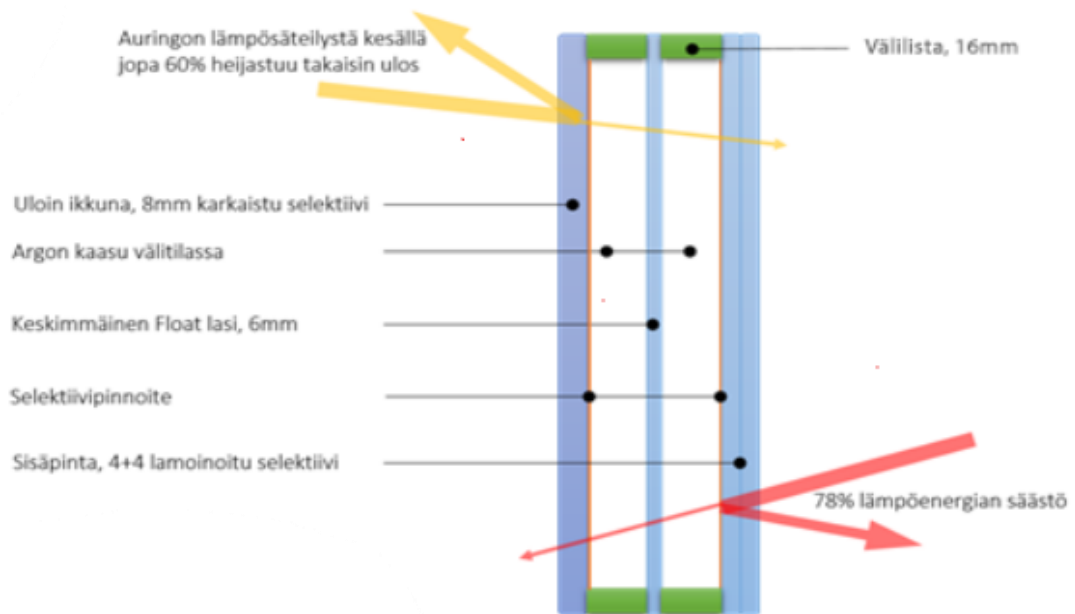
#### 3.4.1 G-arvo

G-arvo eli auringonsäteilyn kokonaisläpäisykerroin ilmaisee sitä, kuinka suuri osa auringonsäteilystä pääsee sisään. Mitä pienempi luku, sitä vähemmän säteilyä pääsee läpi. Etelän ja lännen julkisivuille, joissa aurinkoa saadaan eniten, kannattaa valita lasit, joissa on mahdollisimman pieni g-luku, jolloin säteilyä pääsee sisään mahdollisimman vähän. Toisaalta, jos luku on alle 0,38 alkaa se jo haittaamaan luonnonvalon pääsyä sisään ja talvella se voi olla jo iso miinus

Tässä onkin hyvä ottaa huomioon muut auringonsuoja ratkaisut ja sen perusteella päättää sopiva g-luku kullekin ilmansuunnalle (18).

### 3.4.2 Selektiivilasit

Selektiivilasista käytetään myös nimitystä lämpölasi tai eristylasi, koska ominaisuuksiensa vuoksi se ei päästä lämpösäteilyä läpi, mutta valo pääsee sisään, kuten kuvassa 8 voidaan nähdä. Näin ollen talvella sisäpuolen lämpö ei karkaa harakoille, eikä kesällä auringonsäteily lisää talon lämpökuormaa.



Kuva 8. Selektiivilasin toimintaperiaate (19).

Selektiivinen kerros saadaan aikaan, kun lasi pinnoitetaan ohuella metallioksidikerroksella. Lasista tulee lisäkerroksen myötä hieman sävytetyn värinen, mutta käytännössä sitä ei juurikaan huomaa (19).

### 3.5 Kaihtimet

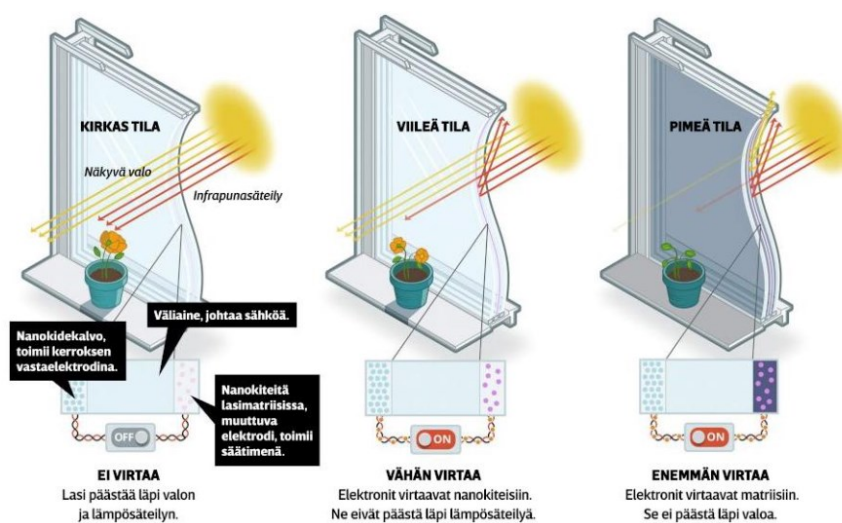
Sälekaihtimet ovat yleisin, helpoin ja taloudellisin tapa lisätä asumisviihtyvyyttä antaen suojaa auringon lämpösäteilyltä sekä näkösuojaa. Yleensä kaihtimet laitetaan ikkunapokien väliin, mutta niitä saa myös pinta-asennettavina. Pinta-asennetun sälekaihtimen lämpösuoja on tosin melko olematon. Sälekaihtimia

saa myös parvekelaseille, mikä lisää parvekkeen käytettävyyttä kesähelteillä, kun parvekkeesta ei muodostu saunaa. Jos kaihtimen lisäksi avaa vielä parvekelaseja molemmista päistä raolleen, että ilma pääsee liikkumaan, on siellä jo miellyttävä olla (37).

Sälekaihtimet ovat yleistyneet huomattavasti ja nykyään uusissa asunnoissa ne ovat enemmän sääntö kuin poikkeus. Samoin kuin parvekelasit, mikä lisää parvekkeiden käyttöikä ja -astetta (37).

### 3.6 Älylasi

Viimeisimpiä innovaatioita lasiteollisuudessa ovat olleet älylasit, joiden toimintaa kuvataan kuvassa 9, jotka nappia painamalla voidaan hiukkavirtaa käyttäen muuttaa tavallisesta lasista asteittain valoa ja lämpöä läpäisemättömäksi (20).



Kuva 9. Älylasien toiminta (20).

Tällaiset ikkunat kannattaa automatisoida tai liittää osaksi automaattista järjestelmää, joka hoitaa sisäilmanlaatua talossa. Älyikkunan käyttö vähentää sähkön kulutusta, koska se vähentää koneellisen ilmastoinnin tarvetta huomattavasti sekä lisää asumisviihtyisyyttä (36).

## 4 Aktiiviset vaikutuskeinot

Aktiiviset vaikutuskeinot tarkoittavat taloteknisiä järjestelmiä, joilla voidaan viilentää tai lämmittää sisäolosuhteet haluttuun lämpötilaan. Tällaisista järjestelmistä yleisimpiä ovat keskusilmastointi, lattiaputkisto yhdessä lämmitys/viilennys laitteiston kanssa, patterit, jotka voi asettaa myös viilennykselle sekä passiivisia viilennyskeinoja tukevia laitteita, kuten kattotuulettimet sekä poistoilmahuonehallin, jotka eivät itsessään viilennä ilmaa, mutta lisäävät ilman kiertoa (46).

### 4.1 Kattotuulettimet

Kattotuulettimet ovat varmasti aktiivisen olosuhdehallinnan halvimmasta päästä investointi- ja käyttökustannuksiltaan. Niillä voidaan tukea ilmavirtausta ja saada aikaan kaivattua konvektiota ja ilman vaihtumista tukien painovoimaista ilmanvaihtoa ja muitakin passiivisia keinoja. Lisäksi niihin on yleensä integroitu valaisin, mikä lisää niiden käytettävyyttä ja järkevyyttä. Tuuletin pitää kuitenkin laittaa keskeiselle paikalle kattoon ja yleensä valaisin halutaan asentaa samaan kohtaan. Nykyaikaisissa malleissa nämä kaksi ominaisuutta tulevat yhteen (46).

Kattotuuletin toimii molempiin suuntiin. Pyöriessään vastapäivään ilmavirta tuntuu viilentävältä. Myötäpäivään pyöriessään se tuo lämpöä katonrajasta alemmaksi parantaen lämmityksen tehoa (21).

### 4.2 Koneellinen ilmanvaihto

Ilmanvaihdolla tarkoitetaan huoneilman hallitsemista ja käsittelyä koneellisesti, sitä voidaan viilentää ja joissain järjestelmissä myös lämmittää. Ilmanvaihtokoneet ovat tänä päivänä pääosin lämpöä talteen ottavia eli LTO-koneita. Siinä poistettavasta ilmasta otetaan talteen lämpöä eri tekniikoilla yleisimmän ollessa ristivirtalevylämmönsiirrin, vastavirtalevylämmönsiirrin, lämpöpumpulla varustetut sekä pyörivät lämmöntalteenottolaitteet. Talteen otetulla lämmöllä lämmitetään kylmää puhdasta tuloilmaa tai käyttövettä. (22.)

Keskusilmanvaihto järjestelmässä ilmanvaihtokoneelta asennetaan IV-kanavisto kulkemaan koteloissa ja alakaton yläpuolella yhden putkiston tuodessa raikasta tuloilmaa sisään ja toisen viedessä jäteilmaa ulos (39).

Ilmanvaihdon idea on tuoda tuoretta, puhdasta ilmaa, tiloihin, joissa oleillaan, kuten olohuone tai makuuhuone, ja poistaa sitä tiloista, joissa syntyy paljon epäpuhtauksia ilmaan, kuten keittiö ja pesutilat. Ilmanvirtaamisesta huolehditaan jättämällä oven alareunaan parin sentin rako tai oveen asennetaan säleikkö. Muutoin ilma ei pääse vaihtumaan ja sisäilmaongelmien riski kasvaa. Ilmanvaihtokone poistaa huoneilmasta myös kosteutta, mikä on tärkeä ominaisuus talojen ollessa nykyään tiiviitä (39).

#### 4.2.1 PILP

Ilmanvaihtokoneen tilalla voi olla myös pelkkä poistoilmalämpöpumppu, joka eroaa siinä ilmanvaihtokoneesta, että se ei tuo raikasta ilmaa sisään, vaan sen tehtävä on vain poistaa epäpuhdasta ilmaa. Ilmaa poistaessaan PILP ottaa lämmön talteen ja sillä voidaan lämmittää esimerkiksi käyttövettä, tiloja kanaviston kautta tai vesikiertoisen lattialämmityksen järjestelmää (23). Tässä järjestelmässä ei ole tuloilmaa, vaan korvausilma otetaan korvausilmaventtiileistä. Jos talossa on painovoimainen ilmanvaihto, mutta se ei toimi, sen voi korvata PILP:lla, mikä lisää energiatehokkuutta, kun lämmitetty ilma ei mene hyödyntämättömänä ulos. Vanhemmat poistoilmapuhaltimet eivät ota talteen lämpö, jolloin päivittämällä PILP:n saadaan energiatehokkuutta parannettua. Joissain malleissa sisäilmaa voidaan myös jäähdyttää energiatehokkaasti PILP:lla (40).

#### 4.3 VILP

Vesi-ilmalämpöpumppu on energiatehokas ja suositaan nostanut kodin lämmitysmuoto. Sillä voidaan lämmittää niin käyttövesi kuin lämmitysjärjestelmässä kiertävä vesi. Järjestelmä voidaan asentaa uudis- ja saneerauskohteeseen. VILP järjestelmällä voi säästää lämmityskustannuksissa jopa 40–70 % kohteesta ja laitteista riippuen. Järjestelmällä voidaan lämmittää tai se voidaan kääntää viilennykselle (24).

Peruseriaate on sama kuin roomalaisilla aikanaan, kun akvedukteja pitkin johdettua vettä kierrätettiin seinärakenteiden läpi jäähdyttämistarkoituksessa (25).

VILP järjestelmässä on sisä- ja ulkoyksikkö. Ulkoyksikössä kiertää, riippuen laite valinnasta ja kohteesta, joko vettä tai glykolia. Periaate molemmissa on sama. Ulkoilmassa oleva latenttilämpö halutaan nesteen välityksellä siirtää sisäyksikölle, joka puolestaan hoitaa lämmön jakelun taloon. Lämpö voidaan jakaa taloon joko lattiaputkistolla tai pattereilla. Lattiaputkistossa on etuna, että veden lämpötilan ei tarvitse olla kuin noin 30–45 asteista, niin sillä saadaan ylläpidettyä miellyttävää sisälämpöä. Pattereilla veden pitää olla noin 10 astetta kuumempaa, koska lämmittävää pinta-alaa patterilla on paljon vähemmän (26).

VILP järjestelmällä kodin viilennys on energiatehokasta: kun viilentävää pinta-alaa on paljon, ei lämpötilaa tarvitse pudottaa kovin alas, kun se on jo tehokasta. Tämä on etuna myös siinä, kun VILP toimii lattiaputkiston kanssa, lattian pintalämpö pysyy mukavana myös paljaan jalan alla. Jos lattia on puuta se voi olla liian eristävä, jotta viilennys toimisi optimaalisesti. Tällöin voidaan putkiston rinnalle asentaa seinälle puhallinkonvektori, joka toimii silloin kuten ilmalämpöpumppu, kierrättäen sisäilmaa kennoston läpi ja siirtäen lämmön nesteeseen ja sitä kautta ulos (27).

Silloin, kun ei haluta tai voida käyttää puhallinta, eikä lattiaputkistoa ole tai sitä ei voi hyödyntää, on vaihtoehtona myös kattosäteilijä. Siinä katossa oleva yksikkö toimii kuten patteri, joka voidaan asettaa joko jäähdyttämään tai lämmittämään (27).

#### 4.4 ILP

Ilmalämpöpumppuja on kahdenlaisia, vain viilentäviä tai lämmittäviä ja viilentäviä. Hinta eroa ei ole kovin paljoa laitteissa ja asennus on saman hintaista (47).

Ilmalämpöpumppu on ollut viime vuosina erittäin suosittu ja tuotteen asennusjot ovat olleet jopa vuoden mittaisia. ILP:n suosio perustuu siihen, että se voi-

daan asentaa melkein minne vain, missä on sille riittävä tila. Eikä se tarvitse toimiakseen muuta kuin sisä- ja ulkoyksikön sekä putkiston, joka siirtää neste-mäistä väliainetta. ILP on myös kaikista ilmalämpöpumppu vaihtoehdoista halvin ja helpoin asentaa. Asennus tulee kuitenkin suorittaa aina ammattilaisen toimesta. Hintaa nostaa, jos haluaa useamman kuin yhden sisäyksikön. Mikä on suotavaa, jos talo on iso tai pohja on monimutkainen ja väliseiniä on paljon. Jos kerroksia on kaksi, suositeltu asennuspaikka on portaikko, muussa tapauksessa jokin avaratila, josta lämpö voi levitä ympäristöönsä konvektiolla (28).

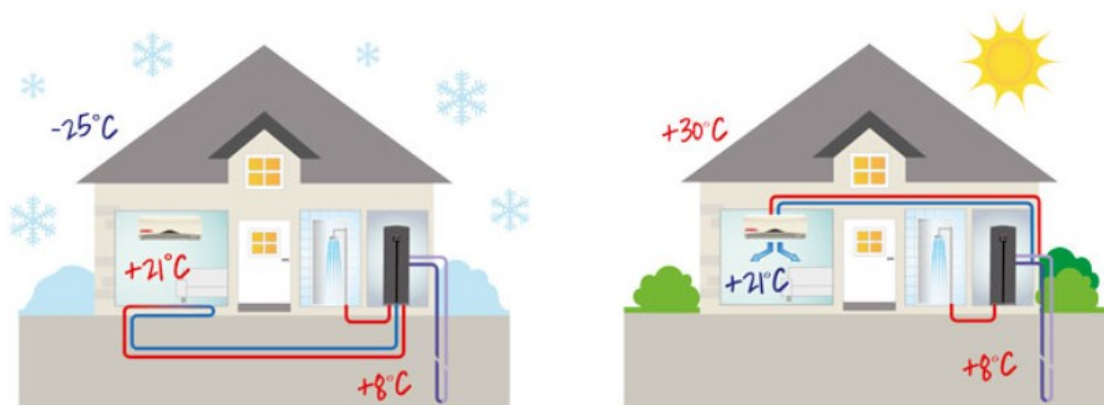
Ilmalämpöpumppu ei sovi talon ainoaksi lämmönlähteeksi, koska sen lämmitysteho ei riitä yli  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$  pakkasilla kattamaan talon lämmitystarpeita, sillä sen hyötysuhde heikkenee radikaalisti ulkolämpötilan ollessa kovin kylmä. Rinnalla voi olla mikä tahansa lämmitysmuoto suorasta sähköstä öljyyn tai takkaan. Kovi-pakkasilla ILP:n hyötysuhde on samaa luokkaa kuin suoralla sähkölämmityksellä. Muuten ILP:n COP on noin 3 luokkaa. Mikä tarkoittaa, että 1 kWh energiaa saadaan ulos 3 kWh edestä lämpöä. Tällä laitteella voi lämmitellä 30–100 m<sup>2</sup> tilaa (41).

ILP toimii viilennyksessä kuten VILP, toiminta vain käännetään päinvastaiseksi, eli lämmin sisäilma kierrätetään kennon läpi mistä lämpö kerätään ja siirretään ulkoyksikölle ja puhalletaan ulos. Ilmalämpöpumppu on tehokas tässä toimenkuvassa ja sillä saadaan sisätilat nopeasti jäähdytettyä ja pidettyä viileänä kohtuullisella energiakustannuksella (24).

## 4.5 Maalämpö ja -viileä

### 4.5.1 Maalämpö

Maalämpöä voidaan hyödyntää kolmella eri tavalla. Yksi on keruuputkisto, joka asennetaan vaakaan noin metrin syvyyteen. Tämä tapa vaatii melko ison tontin, 80 m<sup>2</sup> talon lämmittämiseen tarvitaan noin 500 m<sup>2</sup> putkistolle tilaa (29). Toinen tapa on asentaa keruuputkisto veteen. Hyötysuhde on suunnilleen sama kuin porakaivossa. Tontin pitää tietenkin olla rannalla ja rannanprofiilin melko jyrkkä, syvyys noin 2 m lähellä rantaa. Kolmas ja yleisin tapa on porauttaa tontille porakaivo ja laittaa keruuputkisto sinne, kuten kuvassa 10. Porakaivon syvyys riippuu lämpöpumpusta ja talon lämmitysalasta. Periaatteessa maksimi kaivo, jota pientaloissa käytetään, on 200–250 m. Porakaivo vaatii kaikkein vähiten pinta-alaa ja on helpoin asentaa myös saneerauskohteisiin. Kun maalämpöreikä porataan, on tärkeää, että se täyttyy vedellä, jos se ei täyty luonnollisesti, pitää se täyttää itse. Tämä varmistaa maalämpökaivon toiminnan, kun vesi on maan ja keruuputkiston väliaineena(29).



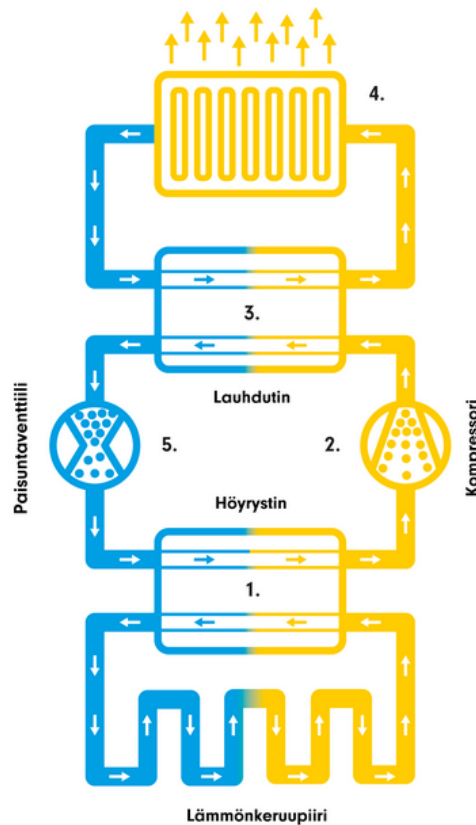
Kuva 10. Maalämmön ja -viileän toimintaperiaate (30).

Maalämpöputkistosta saatua geotermistä lämpöä voidaan jakaa talon lämmitykseen samoin kuin muissakin lämpöpumpputekniikan tavoissa, pattereilla tai vesikiertoisella lattiaputkistolla. Lattiaputkisto on energiatehokkain ja yleisin tapa. Patterit ovat järkevin ja kustannustehokkain tapa kohteeseen missä ei ole lat-



tiaputkistoa valmiina eikä sellaista haluta asentaa, koska se nostaisi kustannuksia huomattavasti. Samalla, kun lämmitetään taloa, voidaan lämmittää myös käyttövettä (30).

Maalämmön toiminta perustuu auringon lämpöenergiaan sekä maapallon tuottamaan geotermiseen lämpöön. Aurinko lämmittää maaperää mihin se varastoituu lähelle pintaa. Tätä varastoitunutta energiaa voidaan käyttää hyväksi vaakaputkistossa sekä veteen asennettavassa putkistossa. Porakaivo menee niin syväälle, että maaperästä tulee vastaan maapallon ytimessä muodostuvaa fissioenergiaa joka matkaa syvyyksistä kohti pintaa (30).



Kuva 11. Maalämmön prosessi kaavio (30).

Putkistoon johdetaan maaliuosta, joka kiertää ja kerää itseensä lämpöä. Tämä lämmennyt maaliuos jatkaa matkaa ensimmäiselle lämmönvaihtimelle, höyrystimelle, missä lämmennyt maaliuos kohtaa lämpöpumpun kylmäaineen, joka on

nestemäistä ja erittäin kylmää, kohtaamisessa kylmäaine höyrystyy. Tämä höyry ohjataan kompressoriin, missä se puristetaan kasaan, mikä johtaa kaasun lämmön nousuun. Tämä lämmennyt kaasu ohjataan toiseen lämmönvaihtimeen, lauhduttimeen, missä kiertovesi ottaa vastaan kaasun lämmön johtaen kaasun osittaiseen nesteytymiseen ja kiertoveden lämpiämiseen. Lämmennyt kiertovesi johdetaan lämmitysjärjestelmään ja samalla lämmitetään käyttövettä. Kylmäaine, joka on nyt kaasun ja nesteen sekoitusta, johdetaan paisuntaventtiin, minkä vaikutuksesta kylmäaineen paine laskee ja kaasu muuttuu takaisin nesteeksi. Nyt prosessi alkaa alusta höyrystimessä, kun maaliuos kohtaa kylmäaineen. (30). Tekniikan toimintaperiaate on havainnollistettu hyvin kuvassa 10.

Maalämpö on siitä ympäristöystävällinen lämmitysmuoto, että se ei vaadi sähköä muuhun kuin pumpun pyörittämiseen, joka liikuttaa nestettä. Maalämpö on siis uusiutuva ja erittäin ympäristöystävällinen lämmitysmuoto (48).

#### 4.5.2 Maaviileä

Maaviileä on periaatteessa maalämmön vastakohta. Samaa laitteistoa, putkistoa ja nesteitä käytetään, mutta päinvastaisessa tarkoituksessa. Maaviileässä porakaivo ratkaisu on energiatehokkain, koska vaakaputkisto lämpiää kesällä noin 10 °C (31), porakaivossa lämpötila vaihtelee 0–2 °C vuoden aikana. Maaviileän jakelun voi hoitaa lattiaputkistolla tai pattereilla, mutta on olemassa myös kolmas vaihtoehto, puhallinkonvektori. Konvektori asennetaan seinään tai kattoon ja se kerää lämmintä huoneilmaa ja kylmäaineen kautta johtaa lämmön takaisin maalämpökaivoon. Tällä tavalla voidaan pidentää maalämpökaivon elinkaarta. Tutkimusten mukaan maalämpökaivon elinkaari on noin 20–30 vuotta ja sen jälkeen ne eivät siis enää tuottaisi lämpöä, jos sieltä vain koko ajan otetaan lämpöä. Maaviileässä ainakin osa lämmöstä palautetaan maaperään. (31).

Maaviileä voidaan jakaa huoneisiin myös ilmastointikanaviston kautta, mutta silloin pitää huolehtia kondenssiveden poistosta ja että IV-kanavat ovat riittävän hyvin eristetty. Ilmastointikoneen pitää olla myös yhteensopiva maaviileän

kanssa, siksi on hyvä tietää jo hyvissä ajoin, jos tätä vaihtoehtoa haluaa hyödyntää (32).

## 4.6 Aurinkopaneelit

Aurinkopaneelien toimintaperiaate havaittiin 1830-luvulla ensimmäisen kerran ja Albert Einstein kehitti teoriapohjan näille havainnoille 1900-luvun alussa. 1940-luvulla osattiin tehdä ensimmäiset valoherkät kennot, joiden pohjalta aurinkopaneelit kehittyivät ja 1954 koesarjojen tuloksena ilmoitettiin virallisesti, että ensimmäinen aurinkokenno oli syntynyt (33).

Aurinkopaneelien toiminta, räikeän yksinkertaistettuna, perustuu fotovolttaiseksi kutsuttuun kemialliseen reaktioon, joka käynnistyy, kun auringonvalo osuu kennoon ja aktivoi puolijohdemateriaalissa elektronien liikkeen ja tästä liikkeestä syntyy sähkövirtaa. Kennon puolijohdemateriaali on usein piitä, koska sen ominaisuudet ovat optimaalisimmat tässä tarkoituksessa. Sähkövirta, joka aurinkopaneelissa syntyy, on tasavirtaa ja näin ollen tarvitaan invertteri, joka muuttaa sen vaihtovirraksi, jolloin tätä muodostunutta sähköä voidaan hyödyntää kodin laitteissa. (34).

Suomen oloissa aurinkopaneelit voivat tuottaa sähköä hyvin maaliskuusta syyskuulle ja sen jälkeenkin jonkun verran. Pohjoisessa talven vähävaloisuus heikentää aurinkopaneelien sähkön tuottoa radikaalisti, mutta ei täysin pysäytä sitä. Uuden sukupolven aurinkopaneelit pystyvät tuottamaan sähköä myös hajanvalosta, jota tulee muun muassa, kun auringonvalo heijastuu hangesta (42).

## 4.7 Tuulivoima

Ihmiset ovat valjastaneet tuulivoimaa omiin tarpeisiinsa jo satoja vuosia tuulimyllyjen muodossa. Nyt tuulimyllyt eivät murskaa viljaa jauhoiksi, vaan liike-energiaa sähköksi. Tuulivoimaloiden peruseriaate muuttaa liike-energiaa sähköenergiaksi on sama kuin muissakin voimaloissa, liikkeen tuottavan energianlähde vain vaihtelee. Fossiilivapaista energiamuodoista tuuli on yksi, joka on

kaikkien helposti saatavilla, jolla voi pientalossa saada sähköenergiaa kodin tarpeisiin (49).

Tuulivoimaloissa perinteisesti isompi pinta-ala on tarkoittanut enemmän sähköä. Kovin iso tuulivoimala ei pientalotontille sovi ja pienestä ei ole oikeastaan iloa. Uuden innovaation myötä tilanne voi muuttua, kuten kuvasta 13 voidaan nähdä(35).



Kuva 12. Uusi tuulivoimala sopii asutusalueelle (35).

Yhdysvaltalaisen Aerominen uuden tyyppinen tuulivoimala on noin viisi metriä korkea mikä saattaa muuttua ennen sarjavalmistusta. Eli sekään ei ole pieni, mutta tässä ei ole liikkuvia isoja siipiä eikä se tuota meteliä ympäristöönsä (35).

Peruseriaatteena tuuli ohjataan pystyssä olevien siipien lävitse. Niiden välissä on sylinteri, jonka alapuolella on itse turbiini. Siivet ohjaavat ilmanliikettä ja tästä muodostuu alipaine sylinteriin, joka taas pyörittää turbiinia(35).

Testeissä tällä tuulivoimalalla on saatu 150 % parempaa sähköntuottoa kuin aurinkopaneeleilla. Suunnitteilla on, että sen fyysistä kokoa saataisiin madallettua noin 2 m. Tosin hankaluutena tällä tuulivoimalalla on, että se on staattinen eli se ei suuntaudu tuulen mukaan, mikä rajoittaa mahdollisia paikkoja mihin sen voisi asentaa (35).

## 5 Haastattelut

Tässä opinnäytetyössä käytettiin tiedonhankintakeinona kirjallisuuslähteiden lisäksi henkilöhaastatteluita. Haastateltavilta kysyttiin samat kysymykset ja lopuksi oli mahdollista kertoa omaa näkemystä aiheeseen vapaan sanan muodossa (Liite 1). Haastateltavat olivat kaksi arkkitehtia, energia-asiantuntija sekä suunnittelupäällikkö.

Kaikki haastateltavat jakoivat huolen ilmastonmuutoksesta ja sen myötä tulevista lieveilmiöistä, kuten asuntojen yllämpeneminen sekä sateisuuden lisääntyminen. Heistä asialle tulisi nyt tehdä jotain, kun ei ole vielä liian myöhäistä. Heidän asiakkaiden puheissa ja toiveissa ilmastonmuutos ei näy kovin paljoa, lähinnä ollaan huolestuneita hiilijalanjäljestä. Mutta vaikka asialle voisi tehdä jotain, niin yleensä keskustelu päättyy siinä vaiheessa, kun kerrotaan vaihtoehdon hintalappu. Tällainen tendenssi voi johtaa suunnittelijoiden kyynistymiseen minkä vuoksi ei edes tarjota uusia ratkaisuja, koska ne lähes aina torjutaan. Tämä taas johtaa siihen, etteivät asiakkaat edes saa tietää vaihtoehdoista, jos niitä ei ehdoteta ja rakennuskulttuuri ei pääse kehittymään, jos kukaan ei koskaan yritä mitään uutta.

Haastateltavat olivat yhtä mieltä myös siitä, että rakentamisessa ympäristöä säästävät ratkaisut pitää lähes aina tuoda rakennuskulttuuriin pakon sanelemana eli lain kautta. On joitain isompia yrityksiä, jotka tekevät asioita proaktiivisesti, mutta suurin osa on reaktiivisia ja muuttaa toimintatapojaan vasta, kun se lukee laissa ja noudattamatta jättämisestä voi saada jonkinlaisen sakon tapaisen maksun. Karjalaisella (43) on kokemusta hankkeista ja ympäristöön liittyvästä lainsäädännöstä ja hän valotti hieman, kuinka taksonomia vaatimukset toimivat. Taksonomiavaatimusten toteutumisesta raportointi on jo pakollista esimerkiksi isoille pörssiyrityksille, ja voi vaikuttaa myös hankkeiden rahoitukseen. Toimialakohtaiset taksonomiavaatimukset on asetettu kuudelle ympäristövaikutusluokalle, joista yhtä hankkeen tulee edistää merkittävästi, ja muille luokille ei saa aiheuttaa merkittävää haittaa.

Satu Karjalaisella oli myös toinen esimerkki, jolla voisi suuria asuntosijoittajia ohjata huomioimaan asuntojen yllämpenemistä. Laissa lukee, että jos asunnossa on yli  $+32\text{ C}^\circ$  on vuokranantajan alennettava asunnon lämpötilaa tai alennettava vuokraa. Alennus voi olla jopa 20 % päiviltä, jolloin edellä mainittu lämpötila ylittyy. Tämän esille nostaminen voisi herättää kiinnostusta tehdä asialle jotain, koska vuokratuottojen takiahan sijoittajat asuntoja omistavat.

Typpö (44) ja Karjalainen pohtivat rakennusten vaipan paksuuden kasvattamista rakennusfysikaalisesta näkökulmasta: jos taloja viilennetään kovin aggressiivisesti, voiko käydä niin, että kastepiste muodostuu höyrynsulkumuovin taakse, kun lämmin ja kostea ilma ulkona pyrkii lämmittämään viilennettyä sisäilmaa, mutta höyrynsulku estää vesihöyryn kulkeutumisen sisäilmaan? Ja mikä on turvallinen maksimi seinäpaksuus? Kyseinen skenaario johtaisi siis herkästi kosteusvahinkoihin, jos sellainen realisoituisi. Tätä pitäisi tutkia vähän pidemmälle ja simuloida tietokoneella. Karjalainen mainitsikin, että ilmastonmuutos lisää asiantuntijoiden tarvetta entisestään, kun pitää yrittää ymmärtää kaikki aspektit mitä uudet olosuhteet aiheuttavat. Iso haaste Suomen ilmastossa ovat vuodenaikojen aiheuttamat suuret olosuhteiden vaihtelut. Kesällä voi olla  $+30\text{ }^\circ\text{C}$  ja talvella  $-30\text{ }^\circ\text{C}$ , ja lisäksi ilmankosteus vaihtelee 50–95 % välillä.

Jaakko Westin (14) mielipide ulkoseinärakenteisiin on, että monikerrosrakenteista tulisi kokonaan luopua niiden vaurioherkkyyden vuoksi. Esimerkiksi betoni sandwich -elementit, joiden suunnittelulähtökohta on, että 50 vuoden välein koko rakenne puretaan ja rakennetaan uudelleen, on jo suorastaan ympäristörikkos, jossa otetaan lainaa tulevilta sukupolvilta. Betonikuori karbonatisoituu ja mineraalivilla ikääntyy, jolloin koko rakenne tulee purkaa ja tehdä uudelleen. Tämä on käytännössä ikiliikkuja ja tietoinen päästöpulssi, joka toistetaan 50 vuoden välein.

Parempi ja toimivampi julkisivu olisi massiivirakenteinen esimerkiksi massiivipuun, -tiili tai savi, jolle jätettäisiin kunnon tuuletusrako ulko- ja sisäkuoren väliin. Rakenne olisi pitkäikäisempi, muuntojoustavampi ja terveellisempi. Rakennuspaikka ja olosuhteet sanelisivat sen, mikä materiaali mihinkin sopii parhaiten.

Arkkitehdit Jaakko West sekä Eelis Leino (36) olivat lähes yksimielisiä siitä, että paras tapa pitää rakennukset viileänä energiatehokkaasti ovat läpi tuuletettavat tilat ja ulkoiset varjostimet, kuten puut tai markiisi. Markiisin tai vastaavan varjostimen etu on, että varjostuksen saa pois halutessaan. Ulkoisilla varjostimilla voidaan vähentää viilennyksen tarvetta jopa 30 %. Leino piti myös ikkunalasien ominaisuuksien kirjoa etuna, koska se vapauttaa arkkitehtia käyttämään lasia tuomaan estetiikkaa rakennukselle.

Typpö ehdotti, että talojen olosuhteista huolehtiva tekniikka, kuten lämmitys/viilennyslaitteet, IV-kone ja mahdolliset älylasit, kannattaisi kytkeä automatiikan taakse, jolloin asukkaan ei tarvitsisi itse muistaa säätää koneita ja laitteita olosuhteiden muutoksen mukaan. Tänä päivänä koneet osaavat hiilidioksidimäärien perusteella päätellä ihmisten määrän tilassa ja tehostaa ilmanvaihtoa automaattisesti.

Karjalainen nosti esiin, että talon käyttö- ja huolto-oppaisiin tulisi lisätä selkeitä ohjeita esimerkiksi viilennykseen, että taloa viilennettäessä koneellisesti, tulisi kaikki ikkunat ja ovet sulkea. Tällainen hyvinkin yksinkertaiselta kuulostava ohje unohtuu yllättävän monelta.

West nosti esiin haastattelussa rakennusalan voitontavoittelukeskeisyyden. Koska vanhojen rakennusten remontointi on voitollisesti huonompaa liiketoimintaa, niin sen takia päästövähennystavoitteissa keskitytään uudiskohteisiin ja saneerauskohteet jätetään lähes huomiotta. Varsinkin asuinrakennuskannassa on niin paljon korjattavaa, että ne kuntoon laittamalla saavutettaisiin päästötavoitteita paljon nopeammin. Toinen rakennusalan haara, jonka päästöjä katsotaan läpi sormien tai niitä laskelmia ei nosteta tikun nokkaan, on infra-ala. Turun ”tunninjuna” hankkeen hiilineutraaliksi pääseminen vie noin 300 vuotta. Silti hanketta viedään aggressiivisesti eteenpäin, vaikka vaihtoehtojakin olisi.

Haastatteluiden perusteella asiantuntijoilla on paljon ymmärrystä ja halua muuttaa tapoja, joilla taloja suunnitellaan ja rakennetaan, mutta rakennuskulttuurin muuttaminen on hidasta ja kallista; aluksi ennen kuin uusi tekniikka ja tapa tulevat tutuiksi ja hintalappu pienenee, niin tämän kokoisen asian muuttamiseen

vaaditaan kärsivällisyyttä, kunnianhimoa, asennemuutosta ja yhteistyötä kaikilta rakennusalalla olevilta. Asiantuntijat painottivat myös elinkaarikustannusten ymmärrystä taloja suunniteltaessa, sillä panostettaessa suunnitteluun hieman lisää ja kun investoitaisiin talon rakennusvaiheessa uusiin ja parempiin ratkaisuihin, voitaisiin käytetty raha säästää käyttö- ja huoltokustannuksissa melko nopeastikin takaisin. Mutta, koska investoinnin kuoletus vie aikaa ja on jonkin verran riippuvainen olosuhteista ja säästöjen kautta tuo epäsuorasti rahaa rakentajalle vasta vuosien kuluessa, on sitä ehkä vaikea ymmärtää. Varsinkin, kun moni ei rakenna kuin yhden talon itselleen elämänsä aikana.

## 6 Pohdintaa

Oli positiivinen yllätys huomata kuinka paljon erilaisia passiivisia ja energiatehokkaita aktiivisia ratkaisuja pientalojen viileänä pitämiseksi on, koska taloja, tontteja ja rakentajien tarpeita on vähintään yhtä monta kuin on rakennushankkeeseen ryhtyviä, ja kun yksi ratkaisu sopii jonnekin, mutta ei missään nimessä toiseen paikkaan. Positiivinen havainto oli myös huomata kuinka paljon arkkitehteillä ja muilla alan asiantuntijoilla on tietoa, halua ja ymmärrystä asiasta, kunhan vain kysyy ja on avoin ehdotuksille.

Parhaat passiiviset ratkaisut olisivat ulkoiset varjostimet ja läpituuletettava talo. Talon suuntaus niin, että pitkä sivu olisi itä-länsi suuntaan, voisi olla optimaalinen kesällä. Mutta kyseinen ratkaisu olisi aiheen osaoptimointia ja siinä sopivasti sivuutetaan fakta, että Suomessa puolet vuodesta on kylmää ja pimeää aikaa ja silloin yli kuusi kuukautta sisätiloissa joutuisi käyttämään keinovaloja ja lämmitystä paljon enemmän, jotta saa kompensoitua talon suuntauksen tuoman haitan. Kokonaisuuden kannalta parempi ratkaisu olisi sijoittaa automatisoituihin älylaseihin tai matalan g-arvon selektiivilaseihin ja rakentaa leveä terassi tai markiisi etelän puoleiselle julkisivulle.

Materiaali ja julkisivuverhoilu vaihtoehtoista paras ratkaisu olisi tiilikuorimuuraus riittävällä ilmaraolla sekä puurunko riittävän paksulla seinärakenteella ja



hyvin tuulettuvalla yläpohjalla. Näillä saataisiin liiallinen lämpöenergia pysymään talon ulkopuolella. Tiiliverhous toimisi suojamuurina lämpösäteilyä vastaan ja samalla ilmaraon jäähdyttävän ominaisuuden lisäksi se suojaisi runkoa ja rakenteita viistosateiden haitoilta, jotka ovat jo lisääntyneet huomattavasti.

Aktiivisista vaihtoehtoista maalämpö ja -viileä vesikiertoisella lattiaputkistolla on korkeasta alkuinvestoinnista huolimatta paras ratkaisu energiatehokkuuden sekä alhaisten huoltokustannusten valossa rakennuksen lämmitys- ja jäähdytystarpeisiin.

Aurinkopaneeliin sijoittaminen voisi olla ilmaston näkökulmasta peruteltua, jos niiden pääasiallinen käyttötarkoitus olisi ylläpitää jäähdytykseen tarvittavia laitteita kesällä, jolloin niitä tarvitaan ja niistä saa suurimman hyödyn. Voisi olla jopa perusteltua tehdä naapuruston sisällä yhteishankinta ja ostaa isompi määrä paneeleita kerralla, jolloin kulut ja hyödyt jakautuisivat laajemmalle joukolle ja kesän auringonvalosta saataisiin suurempi hyöty. Energiatehokas maalämpö hyötyisi myös talvella aurinkovoimasta, koska aurinkopaneelit ovat kehittyneet niin paljon, että talvella olisi vain pari kuukautta, kun niistä ei juuri saisi sähköä kodin tarpeisiin ja maalämpöjärjestelmässä sähköä kuluu vain pumpun pyörittämiseen, joten sähköntarve on melko pientä, kesät talvet.

Samalla idealla voisi ostaa myös tässä opinnäytetyössä esiteltyjä uuden sukupolven tuulivoimaloita ja sijoittaa ne muualle kuin omalle pihalle. Näin saataisiin päästötöntä energiaa ympäri vuoden ilman, että ne syövät tilaa omalta tontilta ja aiheuttaa esteettistä haittaa, minkä lisäksi oma tontti ei aina ole optimaalinen tuulivoimalalle. Jos nämä kaksi energialähdettä yhdistää on ympärivuorokautinen ja -vuotinen päästötön energia turvattu. Tämän lisäksi aurinko ja tuulienergiaa voisi varastoida lämpönä, hyödyntäen veden korkeaa ominaislämpökapasiteettia, esimerkiksi isoon maanalaiseen vesisäiliöön tai uima-altaaseen mistä sitä voisi käyttää talvella.

Lähtökohtaisesti rakennusalan asiantuntijoilla on ymmärrystä ja tietoa tehdä energiataloudellisia rakennuksia, jotka ovat sitä kesällä ja talvella. Tämä ymmärrys ja tieto pitäisi osata välittää asiakkaalle sekä ymmärrys rakentamisen ja elinkaaren vaikutuksista ilmastonmuutokseen.

Se, että suunnittelijoilla on paljon tietoa ja ymmärrystä, mutta he eivät käy asioita läpi saman pöydän ääressä voi aiheuttaa asioiden osaoptimointia ja ristiriitoja rakentamisvaiheessa. Tässä on pääsuunnittelijalla iso vastuu sovittaa suunnitelmat yhteen. Ehkä työn nopeuttamiseksi voisi ottaa avuksi tekoälyn, joka kävisi suunnitelmat läpi ja ilmoittaisi ristiriidoista tai huonoista ratkaisuista ja suunnitelmapuutteista ja antaisi korjausehdotukset, joista pääsuunnittelija tekee sitten ratkaisunsa. Tämä olisi nopeaa, kustannustehokasta ja säästäisi asiakkaan rahoja ja hermoja. Tästä voisi jo saada opinnäytetyön aiheen.

Haastatteluissa suurimmaksi pullonkaulaksi uusien ratkaisujen tuomiseksi rakentamiseen nousi usein sama syy: raha. Jos jokin asia maksaa enemmän kuin mihin on totuttu tai varauduttu, on ratkaisua vaikeaa, ellei mahdotonta, saada vietyä lopulliseen rakennukseen. Ehkä suunnittelijoiden koulutukseen pitäisi insinööritaitojen ohelle lisätä pari kurssia peruspsykologiaa, viestintää ja myyntitaitoja jalostavia kursseja, että ideat osattaisiin esitellä asiakkaalle paremmin. Tai rahoitukseen voisi muotoilla jonkun tuen tai porkkanan ilmastoystävällisten ja energiatehokkaiden uusien ratkaisujen käyttämisestä.

## **7 Yhteenveto**

Tässä työssä käytiin läpi ilmastonmuutosta ja sen toimintamekanismeja ja vaikutuksia ympäristöön sekä sitä, millainen vaikutus ilmiöllä on kesän lämpötiloihin Suomessa. Yleinen konsensus asiasta on, että Suomessakin kesän helleputket pitenevät ja lämpötilat nousevat korkeammiksi kuin mitä ne historiallisesti ovat olleet. Tämä johtaa siihen, että asuntojen viileänä pitoon kesäaikaan tulee kiinnittää enemmän huomioita, jotta rakennusten terveellisyys ja turvallisuus säilyvät.

Opinnäytetyön pääpaino oli tutkia ja käydä läpi erilaisia passiivisia ratkaisuja, joilla asunto saadaan pysymään miellyttävässä lämpötilassa kesän helteistä huolimatta sekä aktiivisia taloteknisiä ratkaisuja, joilla viileänä pitoa voidaan tukea silloin, kun passiivisten keinojen rajat tulevat vastaan.

Työn alussa esitettyihin tutkimuskysymyksiin saatiin vastaukset ja ne olivat seuraavanlaisia.

Passiivisia ratkaisuista tehokkaimmat ovat ulkoiset varjostimet, kuten puut ja pensaat tai säleiköt, lipat ja pergolat aurinkoisella puolella ikkunoiden edessä, yläpuolella tai vieressä. Näillä varjostimilla viilennystarvetta voidaan vähentää jopa 30 %. Sen lisäksi talon läpituuletus viileältä puolelta on hyvä energiatehokas lisä passiivisista ratkaisuista. Uutena ideana Suomessa, joka tuli vastaan tutkittaessa ratkaisuja Yhdysvalloista ja jonka voisi ottaa harkintaan käytettäväksi meilläkin, on aurinkopiippu tai solar chimney englanniksi. Kyseisellä ratkaisulla voitaisiin tukea ja täydentää muita passiivisia keinoja.

Aktiivisista ratkaisuista energiatehokkain elinkaarikustannuksiltaan on maalämpö vesikiertoisella lattiaputkistolla, jonka voi muuntaa maaviileäksi kesällä. Alkuinvestointi on siinä suurin, keksimäärin 15 000–20 000 € mutta investoinnin kuoletusaika on noin 15 vuotta, minkä jälkeen käyttö tuo asujalle pelkkää säästöä. Maalämmön jälkeen hyvänä kakkosena tulee ilma-vesilämpöpumppu, jos maalämpöä ei jostain syystä voi asentaa.

Lisäksi käytiin läpi myös energiataloudellisuuden kannalta puhdasta energiaa tuottavia ratkaisuja, joita pientalon sähkötarpeiden tyydyttämiseen voisi hyödyntää. Luonnollisesti, kun auringonvalo on koko kesän runsaasti tarjolla, olisi järkevää investoida aurinkopaneeleihin ja kanavoida energiaa sähköä vaativien aktiivisten laitteiden ylläpitoon. Aurinkovoiman lisäksi tarjolla on myös runsaasti tuulivoimaa, myös pienemmässä mittakaavassa ja tätä vaihtoehtoa puitiin lyhyesti opinnäytetyössä.

Tärkeä osa tutkimustyötä olivat henkilöhaastattelut, jotka olivat erittäin antoisia ja antoivat lisäsyvyyttä työhän. Asiantuntijat avasivat aihetta omalla erikoisalallaan ja antoivat myös ajattelun aihetta eri näkökulmista tutuilta tuntuviin aiheisiin.

**Liitteet**

Liite 1

Haastattelukysymykset:

1. Onko ilmastonmuutos vaikuttanut tapaasi tehdä työtäsi?
2. Onko ilmastonmuutos vaikuttanut siihen, millaisia ratkaisuja tarjoat asiakkaalle?
3. Näkyykö ilmastonmuutostietoisuus asiakkaiden puheessa tai siinä millaisia ratkaisuja he etsivät tai toivovat teiltä? Korostuuko jokin ilmastonmuutoksen osa-alue? (sateisuus, lämpötilat, päästöt jne.)
4. Millaisilla suunnitteluratkaisuilla sinun mielestäsi pitäisi ottaa asumisviihtyvyyttä huomioon, kun lämpötilat nousevat maapallolla ja sitä myöten asunnoissa? Tai mitkä ovat parhaat ratkaisut, joita nyt hyödynnetään sisälämpötilojen hallinnassa? Passiivisia tai aktiivisia.
5. Onko sellaisia ratkaisuja mitä ei käytetä, mutta mielestäsi olisi relevanttia ottaa käyttöön?
6. Vapaa sana.

## Lähteet

- 1 Ilmastonmuutos. Verkkoaineisto. Ilmatieteenlaitos. < <https://www.ilmatie-teenlaitos.fi/ilmastonmuutoskysymyksiä>>. Luettu 10.11.2023.
- 2 Lämpösaarekeilmiön ymmärtäminen tukee kaupunkisuunnittelua. 2014. Verkkoaineisto. Ilmasto-opas.fi. < <https://www.ilmasto-opas.fi/artikkelit/lamposaarekeilmion-ymmartaminen-tukee-kaupunkisuunnittelua>>. Päivitetty 18.11.2014. Luettu 5.1.2024.
- 3 Ilmastonmuutoksen suorat terveysvaikutukset. Verkkoaineisto. Ilmasto-opas.fi. < <https://www.ilmasto-opas.fi/artikkelit/ilmastonmuutoksen-suorat-terveysvaikutukset>>. Luettu 3.11.2023.
- 4 Asumisviihtyvyys kateissa Suomessa. 2021. Verkkoaineisto. SKLL. < [https://www.skll.fi/ajankohtaista/uutiset/skll\\_n\\_lehdistotiedote\\_12.7.2021\\_asumisviihtyvyys\\_kateissa\\_suomessa.1104.news](https://www.skll.fi/ajankohtaista/uutiset/skll_n_lehdistotiedote_12.7.2021_asumisviihtyvyys_kateissa_suomessa.1104.news)>. 12.7.2021. Luettu 3.11.2023.
- 5 Ilmasto. Verkkoaineisto. MinnaLearn. <<https://courses.minna-learn.com/fi/courses/regenfarming/hiili-vesi-ilmasto/ilmasto/>>. Luettu 6.11.2023.
- 6 Hiilidioksidi ja hiilen kiertokulku. Verkkoaineisto. Ilmasto-opas.fi. <<https://www.ilmasto-opas.fi/artikkelit/hiilidioksidi-ja-hiilen-kiertokulku>>. Luettu 6.11.2023.
- 7 Mölsä, Seppo. 2023. Katsaus: Ilmastonmuutos tappaa ihmisiä, pilaa sisäilmaa, turmelee rakenteita – ja pakottaa rakentajat muutokseen. Verkkoaineisto. Rakennuslehti. <<https://www.rakennuslehti.fi/2023/11/katsaus-ilmastonmuutos-tappaa-ihmisia-pilaa-sisailmaa-turmelee-rakenteita-ja-pakottaa-rakentajat-muutokseen/>>. 9.11.2023. Luettu 7.11.2023.

- 8 Sauramaa, Anu. 2021. Fossiilivapaus tarvitsee päästövähennysten lisäksi hiilinieluja. Verkkoaineisto. Vattenfall. < <https://www.vattenfall.fi/fokuksessa/yrityksille/fossiilivapaus-tarvitsee-paastovahennysten-lisaksi-hiilinieluja/>>. 2021. Luettu 11.11.2023.
- 9 Ilmastonmuutoksen seuraukset. Verkkoaineisto. Euroopan komissio. <[https://climate.ec.europa.eu/climate-change/consequences-climate-change\\_fi](https://climate.ec.europa.eu/climate-change/consequences-climate-change_fi)>. Luettu 7.11.2023.
- 10 D3 Suomen rakentamismääräyskokoelma. 2011. 2/11. 3.2011.
- 11 Rapinoja, Sari. 2021. Rakennusten energiatehokkuusdirektiivin uudistus. Verkkoaineisto. Ympäristöministeriö. < <https://ym.fi/rakennusten-energiatehokkuusdirektiivin-uudistus>>. 15.12.2021. Luettu 7.11.2023.
- 12 Passive and low-energy cooling. 2022. Verkkoaineisto. An office of U.S. Department of Energy. < <https://basc.pnnl.gov/resource-guides/passive-and-low-energy-cooling#edit-group-description>>. Päivitetty 30.09.2022. Luettu 7.11.2023.
- 13 Solar/Thermal Chimney process. Verkkoaineisto. Varied HVAC systems. <<http://ae390-systemsvariety-group6.weebly.com/solarthermal-chimney.html>>. Luettu 7.11.2023.
- 14 West, Jaakko. 2023. Teemahaastattelu opinnäytetyön aiheesta. Teams. Keskustelu 11.12.2023.
- 15 Shading and solar control for windows and skylights. 2023. Verkkoaineisto. An office of U.S. Department of Energy. <<https://basc.pnnl.gov/resource-guides/shading-and-solar-control-windows-and-skylights#edit-group-description>>. 25.7.2023. Luettu 9.11.2023.

- 16 Sun Shading Catalogue. 2018. Verkkoaineisto. UN HABITAT. <[https://unhabitat.org/sites/default/files/2020/06/gh049e\\_compressed.pdf](https://unhabitat.org/sites/default/files/2020/06/gh049e_compressed.pdf)>. Luettu 12.11.2023.
- 17 Aho Hanna & Kopri, Minna (toim.). 2009. Verkkoaineisto. Tampereen teknillinen yliopisto. Ilmanpitävien rakenteiden ja liitosten toteutus asuinrakennuksessa. < [https://trepo.tuni.fi/bitstream/handle/10024/128381/ilmanpitavien\\_rakenteiden\\_ja\\_liitosten\\_toteutus\\_asuinrakennuksessa.pdf?sequence=1](https://trepo.tuni.fi/bitstream/handle/10024/128381/ilmanpitavien_rakenteiden_ja_liitosten_toteutus_asuinrakennuksessa.pdf?sequence=1)>. Luettu 12.11.2023.
- 18 Mikko Niemi. Verkkoaineisto. PihlaPro. <<https://www.pihlapro.fi/tamanhaluaisin-tietaa-ikkunoiden-tekninen-kehitys/>>. Luettu 13.11.2023.
- 19 Selektiivilasi eli lämpölas. Verkkoaineisto. Suomen Lasiposti Oy. <<https://www.lasiposti.fi/rakentajan-lasiopas/selektiivilasi-eli-lampolasi/>>. Luettu 13.11.2023.
- 20 Koskinen, Pinja. 2015. Luonnonvalon hyödyntäminen valaistuksessa ja energiatehokkuus. Kandidaatintyö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. LUTPub tietokanta.
- 21 Tuuletinvalaisimet. Verkkoaineisto. Valotorni. <<https://www.valotorni.fi/category/639/tuuletinvalaisimet>>. Luettu 14.11.2023.
- 22 Lämmöntalteenotto (LTO) – Tekniikka tutuksi. Verkkoaineisto. Nilan. <<https://www.nilan.fi/lammontalteenotto/>>. Luettu 14.11.2023.
- 23 Poistoilmalämpöpumppu (PILP). 2022. Verkkoaineisto. Motiva. <[https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/lampopumput/lampopumpputeknologiat/poistoilmalampopumppu](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/lampopumput/lampopumpputeknologiat/poistoilmalampopumppu)>. Päivitetty 20.12.2022. Luettu 15.11.2023.



- 24 Ilma-vesilämpöpumppu. Verkkoaineisto. Tomallensenera. <<https://www.tomallensenera.fi/ilma-vesilampopumppu>>. Luettu 15.11.2023.
- 25 Ilmastointi. 2022. Verkkoaineisto. Wikipedia. <<https://fi.wikipedia.org/wiki/Ilmastointi>>. Päivitetty 22.5.2022. Luettu 16.11.2023.
- 26 Seppälä, Pauli. 2015. Lämpöpumppu ja lattialämmitys ovat hyvä parivaljakko. Verkkoaineisto. Omakiinteistö. <<https://www.omakiinteisto.com/lampopumppu-ja-lattialammitys-ovat-hyva-parivaljakko/>>. 11.3.2015. Luettu 16.11.2023.
- 27 Viilennys lämpöpumpun avulla. Verkkoaineisto. Nibe. <<https://www.nibe.eu/fi/fi/tietopankki/viilennys-lampopumpun-avulla>>. Luettu 16.11.2023.
- 28 Ilmalämpöpumppu (ILP). 2022. Verkkoaineisto. Motiva. <[https://www.motiva.fi/koti\\_ja\\_asuminen/rakentaminen/lammitysjarjestelman\\_valinta/lammitysmuodot/ilmalampopumppu\\_ilp](https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/rakentaminen/lammitysjarjestelman_valinta/lammitysmuodot/ilmalampopumppu_ilp)>. Päivitetty 21.12.2022. Luettu 16.11.2023.
- 29 Lämpöä omasta maasta. Verkkoaineisto. Motiva. <[https://www.motiva.fi/files/7965/Lampoa\\_omasta\\_maasta\\_Maalampopumput.pdf](https://www.motiva.fi/files/7965/Lampoa_omasta_maasta_Maalampopumput.pdf)>. Luettu 16.11.2023.
- 30 Miten maalämpö toimii?. Verkkoaineisto. Gebwell. <<https://gebwell.fi/maalampo/miten-maalampo-toimii/>>. Luettu 18.11.2023.
- 31 Ignatius, Mikael. 2023. Maalämpökaivon simulointi ja maaviileän vaikutus maaperään. Diplomityö. Lappeenrannan-Lahden teknillinen yliopisto LUT. LUTpub.
- 32 Maakylmä. Verkkoaineisto. LämpöYkkönen. <<https://lampoykkonen.fi/tuotteet/maalampo/maakylma/>>. Luettu 18.1.2023.

- 33 Aurinkokenno. Verkkojulkaisu. Wikipedia. <<https://fi.wikipedia.org/wiki/Aurinkokenno>>. Päivitetty 1.4.2023. Luettu 19.11.2023.
- 34 Miten aurinkopaneelit toimii?. 2023. Verkkoaineisto. Taloekspertti. <<https://taloekspertti.fi/miten-aurinkopaneelit-toimii-toimintaperiaate-havainnollistettuna/>>. Päivitetty 27.6.2023. Luettu 20.11.2023.
- 35 Blain, Loz. 2022. Rooftop wind system delivers 150 % the energy of solar per dollar. Verkkoaineisto. New Atlas. <<https://newatlas.com/energy/aeromine-rooftop-wind/>>. Luettu 20.11.2023.
- 36 Leino, Eelis. 2023. Haatattelu opinnäytetyöhön. Teams. Haastattelu.15.12.2023
- 37 Terveelliset tilat. Verkkoaineisto. Sisäilmayhdistys ry. <<https://www.sisailmayhdistys.fi/Terveelliset-tilat/Kosteusvauriot/Kosteusvaurioituminen/Ulkoseinat>>. 13.11.2023.
- 38 Parvekekaihtimet suojaavat terassit ja parvekkeet. Verkkoaineisto. Kaihdin&markiisi lahti. <[https://www.kaihdinjamarkiisilahti.fi/tuotteet/kaihtimet/parvekekaihtimet/?gad\\_source=1&gclid=CjwKCAiArLyuBhA7EiwAqo80FEMh53f64T3CNpGNstNMPzx9phBMc7yMTjsL9x9g6bUuAVmaMIIjRoCM\\_IQAvD\\_BwE](https://www.kaihdinjamarkiisilahti.fi/tuotteet/kaihtimet/parvekekaihtimet/?gad_source=1&gclid=CjwKCAiArLyuBhA7EiwAqo80FEMh53f64T3CNpGNstNMPzx9phBMc7yMTjsL9x9g6bUuAVmaMIIjRoCM_IQAvD_BwE)>. 14.11.2023.
- 39 12 Ilmansuodatus. Ilmansuodatus. Verkkoaineisto. Talotekniikkainfo. <<https://talotekniikkainfo.fi/sisailmasto-ja-ilmanvaihto-opas/12-ilman-suodatus>>. 20.11.2023
- 40 Poistoilmalämpöpumppu (PILP). 2022. Verkkoaineisto. Motiva. <[https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/lampopumput/lampopumpputeknologiat/poistoilmalampopumppu](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/lampopumput/lampopumpputeknologiat/poistoilmalampopumppu)>. Päivitetty 20.12.2022. Luettu 21.11.

- 41 Ilmalämpöpumppu (ILP). 2023. Verkkoaineisto. Motiva.  
<[https://www.motiva.fi/koti\\_ja\\_asuminen/energiatehokas\\_pientalo/energiatehokas\\_sahkolammitys/lampopumpun\\_hankinta/ilmalampopumppu](https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/energiatehokas_pientalo/energiatehokas_sahkolammitys/lampopumpun_hankinta/ilmalampopumppu)>. Päivitetty 17.1.2023. Luettu 16.12.2023.
- 42 Auringonsäteilyn määrä Suomessa. 2023. Verkkoaineisto. Motiva.  
<[https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/aurinkosahko/aurinkosahkon\\_perusteet/auringonsateilyn\\_maara\\_suomessa](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinkosahkon_perusteet/auringonsateilyn_maara_suomessa)>. Päivitetty 31.1.2024. Luettu 21.12.2023.
- 43 Karjalainen, Satu. 2023. Haastattelu opinnäytetyöhön. Teams.  
20.11.2023
- 44 Typpö, Petteri. 2023. Haastattelu opinnäytetyöhön. Teams. 27.11.2023.
- 45 Nollaenergiatalo – Mistä siinä on kysymys?. Verkkoaineisto. Passiivi kivitalot. < <https://www.passiivikivitalot.fi/blogi/nollaenergiatalo>>.  
15.11.2023.
- 46 Pakoon paahteelta - kodin viilentämiseen helteellä on useita keinoja. Verkkoaineisto. Lumme energia. < <https://www.lumme-energia.fi/blogi/pakoon-paahteelta-kodin-viilent%C3%A4miseen-helteell%C3%A4-on-useita-keinoja>>. 20.11.2023.
- 47 Ilmalämpöpumpun asennus. Verkkoaineisto. LämpöYkkönen.  
<<https://lampoykkonen.fi/asennus-ja-huolto/asennus/ilmalampopumpun-asennus-ja-hinta/>>. 20.11.2023.
- 48 Mitä maalämpö on?. Verkkoaineisto. Nibe. <<https://www.nibe.eu/fi/fi/tietopankki/tietoa-eri-lampopumpuista/mita-maalampo-on>>. 22.11.2023.
- 49 Tuulivoima. Verkkoaineisto. Wikipedia. < <https://fi.wikipedia.org/wiki/Tuulivoima>>. Päivitetty 27.2.2024. Luettu 16.11.2023.