

Milla Virkki

SIIRRETTÄVÄN MINIMÖKIN TALOTEKNIIKAN KONSEPTISUUNNITELMA

Kandidaatintyö
Rakennetun ympäristön tiedekunta
Syyskuu 2020

TIIVISTELMÄ

Milla Virkki: Siirrettävän minimökin talotekniikan konseptisuunnitelma
Kandidaatintyö
Tampereen yliopisto
Rakennustekniikka
Syyskuu 2020

Taloteknisten järjestelmien valinta on tärkeä osa energiatehokkaan rakennuksen suunnittelu-työtä. Tässä työssä tutkittiin erilaisia toteutusvaihtoehtoja siirrettävän off-grid minimököisen vapaa-ajan asunnon taloteknisille järjestelmille. Tutkimuksen kohteena oli 12 neliön minimökki, jonka loppusijotuspaikka oli tuntematon. Tavoitteena oli luoda kohteen talotekniikalle konseptisuunnitelma. Suunnitelman täytyi täyttää kohteelle asetetut vaatimukset siirrettävyydestä ja talviasuttavuudesta Suomen ilmastossa, sekä olla ympäristöä säästävä ja kustannustehokas. Lisäksi suunnitelman täytyi täyttää Suomen lainsäädännön asettamat vaatimukset.

Työssä perehdyttiin Suomen lainsäädäntöön talotekniikan vaatimusten osalta ja kohteen energiankulutusta arvioitiin laskelmilla. Kohteelle mitoitettiin lämpöenergian tarve, sähköenergian tarve ja lämmitystehon tarve, jotka toimivat perustana taloteknisten vaihtoehtojen kartoitukselle. Taloteknisten järjestelmien toteutukselle kartoitettiin vaihtoehtoja kirjallisuusselvityksenä.

Suurin energiantarve Suomen ilmastossa syntyy talviajan lämmityksen tarpeesta. Vapaa-ajan asunnossa merkittävä vaikutus lämmitysenergian tarpeen suuruuteen on rakennuksen käyttämättömän ajan lämmitystavan valinnalla. Ratkaisuja etsittiin sähkön tuotannolle ilman kunnallista sähköverkkoa, juoksevan veden ja viemäroinnin toteutukselle ilman kunnallista vesi- ja viemäriverkkoa, energiatehokkaille tilan ja veden lämmitystavoille sekä ilmanvaihdon ja valaistuksen toteutukselle. Lisäksi perehdyttiin taloautomaation mahdollisuuksiin, etuihin ja toteutustapoihin.

Kohteen taloteknisille järjestelmille laadittiin kartoitetuista vaihtoehdoista konseptisuunnitelma. Tässä kohteessa päätettiin toteuttaa kuivanapitolämmitys rakennuksen tyhjillään olon ajalle. Kuivanapitolämmityksellä voidaan säästää merkittävästi energiaa jatkuvaan lämmitykseen ja ylläpitolämmitykseen verrattuna. Lämmitys toteutetaan hybridilämmityksenä hyödyntäen aurinkokeräimiä, aurinkosähköä ja puulämmitystä. Sähköä tuotetaan aurinkopaneeleilla ja käyttövesi pumpataan järvestä tai sadevesisäiliöstä. Pienet määrät harmaata jätevettä voidaan johtaa suoraan maahan. Ilmanvaihto toteutetaan painovoimaisena ja sitä voidaan tehostaa kamiinaa lämmittämällä tai tuuletusikkunoita avaamalla. Valaistus toteutetaan energiatehokkailla LED-lampuilla ja kohteeseen toteutetaan myös taloautomaatiojärjestelmä.

Tutkimuksessa selvisi, että vapaa-ajan asunnolle on mahdollista toteuttaa mukavuuksia ekologisesti ja taloudellisesti myös ilman kunnallisia sähkö- ja vesiverkostoja. Kohteeseen suunniteltuihin mukavuuksiin kuului valaistus, lämmitys, ruuanlaittomahdollisuus ja automaattinen talotekniikan seurantajärjestelmä sekä kesäaikaan juokseva lämmin vesi ja jääkaappi. Aurinkosähkön hinta on ollut jo pitkään laskussa ja sillä voidaan tuottaa tarpeeksi sähköä pienen loma-asunnon tarpeisiin, kun hyödynnetään energiaa säästäviä ratkaisuja.

Avainsanat: Talotekniikka, Off-grid, Vapaa-ajan asunto, Tinyhouse, Aurinkoenergia

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck –ohjelmalla.

ABSTRACT

Milla Virkki: Concept for Building Services Engineering in a Transferable Off-Grid Tinyhouse
Bachelor's thesis
Tampere University
Civil Engineering
September 2020

Building services engineering has a great impact on a building's energy efficiency. That's why it's important to take time for careful planning. In this thesis I studied different possibilities for building services in an off-grid transferable tinyhouse. The subject's size was 12 square meters. Its final location was unknown, and it was meant for holiday housing. The aim was to create a concept for heating, water, lighting, ventilation, electricity and automation systems. The concept had to be ecological, economical and fulfil the requirements of Finnish law, habitability in Finnish climate and transferability.

I got familiar with Finnish law regarding building services and made energy consumption calculations. The amount of energy needed for heating and running electrical equipment was the base for researching possibilities for the systems. I studied literature to learn about different building services systems.

The biggest need for energy in Finland is during the cold winter months and is consumed on heating. A holiday residence has great potential to reduce energy need if the building is not heated as much during the times it's empty. I searched for possibilities to produce electricity without the public electrical grid, get running water and a sewage system without the public water network, to heat the space and warm water, and to light up and ventilate the building energy efficiently. I also studied the possibilities and advantages of building automation and control system.

I created a concept for the building services based on what I found. In this building I decided to heat the space up only a few degrees warmer than the air outside when the building is empty. This prevents the moisture from condensing on the surfaces and helps keep the house dry. The heating will be a hybrid heating including solar collectors, electrical underfloor heating and wood heating with a small fireplace. Electricity will be produced with solar panels and stored to a power bank. Water will be pumped from a lake or from rain water tank. Small amounts of sewage can be led straight to the ground. There will be natural ventilation that's performance can be increased by opening windows and warming up the chimney. Energy efficient LED will be used for lighting and there will be an automation system.

In this study I found that it is possible to create facilities for comfortable living off-grid in Finland at least for holiday use. In the subject building there will be lighting, heating, cooking facilities, automation system and during warm season also running, warm water and a fridge. The price of solar energy has been decreasing for some time and it is possible to produce enough energy with it for the needs of a small holiday residence when combining it with energy efficient solutions.

Keywords: Building services, Off-grid, Tinyhouse, Solar energy, Holiday residence

The originality of this thesis has been checked using the Turnitin OriginalityCheck service.

SISÄLLYSLUETTELO

| | |
|--|----|
| 1. JOHDANTO | 1 |
| 1.1 Tutkimuksen tausta ja tavoitteet | 1 |
| 1.2 Tutkimuksen rajaukset | 1 |
| 1.3 Tutkimusmenetelmät ja tutkimuksen rakenne..... | 2 |
| 2. LAINSÄÄDÄNTÖ | 3 |
| 2.1 Maankäyttö- ja rakennuslaki..... | 3 |
| 2.2 Rakentamismääräyskokoelma | 4 |
| 3. KOHTEEN ESITTELY | 7 |
| 4. ENERGIANTARPEEN LASKENTA | 8 |
| 4.1 Rakennuksen lämmitysenergian nettotarve..... | 9 |
| 4.1.1 Rakennusvaipan johtumislämpöhäviöt | 9 |
| 4.1.2 Vuotoilman lämpenemisen lämpöenergian tarve..... | 12 |
| 4.2 Laitteiden ja valaistuksen sähkönkulutus..... | 14 |
| 4.3 Lämpökuormat | 15 |
| 4.4 Lämmitysjärjestelmän energiantarve | 19 |
| 4.4.1 Lämpimän käyttöveden lämpöenergian tarve | 19 |
| 4.5 Lämmitysjärjestelmän energiankulutus..... | 19 |
| 4.6 Lämmitysteho..... | 20 |
| 4.7 Yhteenveto rakennuksen energiantarpeesta | 22 |
| 5. TALOTEKNISET RATKAISUT | 23 |
| 5.1 Lämmitys ja ilmanvaihto | 23 |
| 5.2 Käyttövesi ja viemärointi | 24 |
| 5.3 Valaistus, taloautomaatio ja sähköntuotanto | 25 |
| 5.4 Minimökin talotekniset ratkaisut | 27 |
| 6. YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET | 29 |
| LÄHTEET | 31 |

SYMBOLIT JA TERMIT

| | |
|--------------------------|---|
| A_i | rakennusosan pinta-ala (m ²) |
| A_{ikk} | ikkuna-aukon pinta-ala karmirakenteineen (m ²) |
| A_{vaippa} | rakennusvaipan pinta-ala (m ²) |
| a | numeerinen parametri |
| c_{pi} | ilman ominaislämpökapasiteetti (1000 J/ (kg K)) |
| c_{pv} | veden ominaislämpökapasiteetti (4,2 kJ/ (kg K)) |
| $F_{läpäisy}$ | säteilyn läpäisyn kokonaiskorjauskerroin |
| g | ikkunan valoaukon auringon kokonaissäteilyn läpäisykerroin |
| $G_{säteily,pystypinta}$ | pystypinnalle tuleva auringon kokonaissäteilyenergia pinta-alan yksikköä kohti (kWh/ (m ² kk)) |
| H_{tila} | rakennuksen tilojen ominaislämpöhäviö (W/K) |
| l_k | kylmäsilän pituus (m) |
| q_{50} | rakennusvaipan ilmanvuotoluku (m ³ / (h m ²)) |
| Q_{aur} | ikkunoiden kautta tuleva auringon säteilyenergia (kWh/kk) |
| $Q_{kylmäsilta}$ | johtumislämpöhäviö kylmäsiltojen läpi (kWh) |
| $Q_{lämpökuorma}$ | rakennuksen lämpökuorma (kWh) |
| Q_{rakosa} | johtumislämpöhäviö rakennusosan läpi (kWh) |
| Q_{tila} | rakennuksen tilojen lämmitysenergian tarve (kWh) |
| $Q_{vuotoilma}$ | vuotoilman lämpenemisen lämpöenergian tarve (kWh) |
| $q_{v,lkv}$ | lämpimän käyttöveden mitoitusvirtaama (m ³ /s) |
| $q_{v,vuotoilma}$ | vuotoilmavirta (m ³ /s) |
| T_s | sisäilman lämpötila (°C) |
| T_u | ulkoilman lämpötila (°C) |
| U_i | rakennusosan lämmönläpäisykerroin (W/m ² K) |
| x | kerrosmäärän huomioon ottava kerroin |
| γ | lämpökuorman suhde lämpöhäviöön |

| | |
|--------------------------|--|
| ΔT | kylmän ja lämpimän käyttöveden lämpötilaero (°C) |
| Δt | ajanjakson pituus (h) |
| $\eta_{\text{lämpö}}$ | lämpökuormien kuukausittainen hyödyntämisaste |
| ρ_i | ilman tiheys (1,2 kg/m ³) |
| ρ_v | veden tiheys (1000 kg/m ³) |
| ϕ_{lkv} | käyttöveden lämmityksen lämpötehon tarve (kW) |
| $\phi_{lkv,kiertohäviö}$ | lämpimän käyttöveden kiertojohdon lämpöhäviöt (kW) |
| Ψ_k | kylmäsiilan lisäkonduktanssi (W/ (m K)) |
| Aurinkokeräin | Auringon säteilyenergiaa lämpöenergiaksi keräävä järjestelmä |
| Aurinkopaneeli | Aurinkosähkön tuotantoyksikkö |

1. JOHDANTO

Pienikokoisten omakotitalojen kysyntä on kasvanut Suomessa. Yhdysvalloissa syntyi vuonna 2007 asuntokriisi, joka johti ympäri maailmaa levinneeseen pientaloliikkeeseen (The smallhouse movement). (Vihmanen 2015) Pientaloliikkeen aatteeseen kuuluu ajatus sekä taloudellisesti että ekologisesti kestävämmästä asumisesta (Edelstein 2010). Liikkeen suosiota selittää myös kasvava kiinnostus minimalismiaatetta kohtaan. Minimalismissa pyritään karsimaan elämästä kaikki tarpeeton. (Chadwick 2019)

1.1 Tutkimuksen tausta ja tavoitteet

Opinnäytetyön aihe syntyi kirjoittajan tarpeesta edistää henkilökohtaisen rakennushankkeensa suunnittelutyötä. Aiemmin pitkälle edenneet arkkitehtuuriset ja rakennetekniset suunnitelmat vaativat rinnalleen sähkö-, lämmitys-, valaistus-, vesi-, viemäri- ja automaatio suunnitelmat ennen varsinaisen rakentamisen aloittamista. Esimerkiksi lämmitysjärjestelmän valinta vaatii lämmitystarpeen laskentaa ja tarpeen kattaviin vaihtoehtoihin perehtymistä, jotta lopulliset valinnat ja suunnitelmat voidaan tehdä.

Tavoitteena on luoda konseptisuunnitelma minikokoisen siirrettävän vapaa-ajan asunnon taloteknisistä järjestelmistä. Tähän sisältyy lämmitysmuodon valinta, suunnitelma ratkaisusta sähköenergian tarpeen kattamiseen, vesi- ja viemärijärjestelmän valinta sekä ilmanvaihdon toteutuksen ja taloautomaation suunnittelu.

1.2 Tutkimuksen rajaukset

Talotekniikan on vastattava laadultaan Suomen laissa asetettuja vaatimuksia. Minikokoiselle vapaa-ajan asunnolle asetetut määräykset eivät ole yhtä vaativia, kuin vakituiseen asumiseen tarkoitetuilla pientaloilla. Lainsäädäntö asettaa kuitenkin monenlaisia reuna-ehjoja vapaa-ajan asunnon talotekniikallekin.

Kohteen talotekniikka suunnitellaan toimimaan Suomen ilmastossa ja olosuhteissa. Talotekniikassa on myös huomioitava, että kohde on talviasuttava. Kohteen siirrettävyys aiheuttaa sen, että myös talotekniikka on suunniteltava mobiiliksi. Kohteen sijoituspaikassa ei välttämättä ole mahdollisuutta liittyä kunnalliseen vesi-, viemäri- tai sähköverkkoon, joten sähkön- ja lämmöntuotannon on onnistuttava paikan päällä. Käyttökustan-

nusten on pysyttävä kohtuullisina, mikä osaltaan rajaa vaihtoehtoja talotekniikan suhteen. Tavoitteena on toteuttaa talotekniset järjestelmät niin, että kohde kuormittaa ympäristöään mahdollisimman vähän elinkaarensa aikana. Automaation tulee mahdollistaa kohteen olosuhteiden seuranta ja jossain määrin myös säätö etänä sekä rakenneteknisten ratkaisujen toimivuuden seuranta. Jätevedenkäsittelyä helpottaa se, että kohteeseen ei tule sisävesiä. Tällöin kaikki syntyvä jätevesi on harmaata vettä.

1.3 Tutkimusmenetelmät ja tutkimuksen rakenne

Tutkimusmenetelmänä käytetään kirjallisuustutkimusta. Tutkielman toisessa luvussa perehdytään lainsäädännön asettamiin vaatimuksiin siirrettävän minikokoisen vapaa-ajan asunnon talotekniikan suhteen. Kolmannessa luvussa esitellään kohde. Neljännessä luvussa tehdään energialaskemia. Lämmitysmuodon valintaa varten selvitetään minimökin lämpöenergian tarve ja lämmitystehon tarve. Lisäksi määritetään sähköenergian tarve, jotta voidaan valita soveltuvat keinot tarpeen kattamiseen. Suuntaa-antavien laskelmien avulla päästään vertailemaan erilaisia taloteknisiä ratkaisuja.

Luvussa viisi kartoitetaan taloteknisiä vaihtoehtoja kohteen tarpeisiin. Ensimmäisessä alaluvussa käydään läpi kohteen potentiaalisia lämmitystapoja ja ilmanvaihdon toteutusta. Toisessa alaluvussa käydään läpi vesi- ja viemärijärjestelmien vaihtoehtoja. Kolmannessa alaluvussa suunnitellaan ratkaisu sähköenergian tarpeen kattamiseen ja taloautomaation sekä valaistuksen toteuttamiseen. Vaihtoehtojen kartoitus tehdään kirjallisuusselvityksenä. Neljännessä alaluvussa kootaan tuloksista yhteen konseptisuunnitelma kohteen talotekniikan toteutukselle.

2. LAINSÄÄDÄNTÖ

Maankäyttö- ja rakennuslaissa (132/1999) määritellään yleiset vaatimukset rakentamiselle. Lain yleisenä tavoitteena on luoda edellytykset hyvälle elinympäristölle ja edistää ekologisesti, taloudellisesti, sosiaalisesti ja kulttuurisesti kestävää kehitystä. Lisäksi sen tavoitteena on turvata muun muassa suunnittelun laatua. (MRL 1:1 §) Ympäristöministeriön ylläpitämään Suomen rakentamismääräyskokoelmaan on koottu tarkemmat rakentamista koskevat säännökset ja ohjeet.

Lainsäädännön asettamat vaatimukset on otettava huomioon suunnitteluvaiheessa. Tässä luvussa käydään läpi maankäyttö- ja rakennuslakia sekä ympäristöministeriön asetuksia talotekniikan vaatimusten osalta.

2.1 Maankäyttö- ja rakennuslaki

Taloteknisiin järjestelmiin liittyen maankäyttö- ja rakennuslaki käsittelee paloturvallisuutta, terveellisyttä, käyttöturvallisuutta, esteettömyyttä, ääniolosuhteita ja energiatehokkuutta. Lisäksi laki vaatii lämmitysjärjestelmän arviointia ja käyttö- ja huolto-ohjeiden laatimista.

Maankäyttö- ja rakennuslaki (132/1999 17: 117 c §, 117 d §) määrää, että rakennushankkeeseen ryhtyvän on huolehdittava rakennuksen suunnittelusta ja toteutuksesta niin, että rakennus on turvallinen ja terveellinen käyttää ja huoltaa ottaen huomioon vesihuollon sekä sisäilma-, lämpö-, valaistus- ja kosteusolosuhteet. Terveysten vaarantamista ei saa aiheutua veden- tai maapohjan pilaantumisesta, savusta, säteilystä, sisäilman epäpuhtauksista, rakenteiden kosteudesta tai puutteellisesti käsitellyn jätteen tai jäteveden takia (MRL 17:117 c §). Asumiseen ja majoittumiseen tarkoitettujen tilojen täytyy olla toimivia, viihtyisiä ja käyttötarkoitukseen sopivia (MRL 17:117 j §). Laitteistojen ja järjestelmien on sovelluttava käyttötarkoitukseensa ja ylläpidettävä terveellisiä olosuhteita (MRL 17:117 c §). Rakennuksen esteettömyys ja käytettävyyden on otettava huomioon erityisesti lasten, vanhusten ja vammaisten henkilöiden kannalta (MRL 17:117 e §). Rakennus on suunniteltava paloturvalliseksi ja teknisten laitteiden on oltava paloturvallisuuden kannalta soveltuvia (MRL 17:117 b §). Taloteknisten laitteiden äänitason ja asennusten on luotava sellaiset ääniolosuhteet, että rakennuksessa oleskelevien henkilöiden uni ja lepo sekä käyttötarkoituksen mukainen toiminta eivät häiriinny (MRL 17:117 f §).

Energiatehokkuuden suhteen maankäyttö- ja rakennuslaki vaatii, että rakennus suunnitellaan ja toteutetaan energiaa ja luonnonvaroja säästäen. Taloteknisten järjestelmien

on mahdollistettava energiankulutuksen seuranta sekä käyttötarkoituksen mukaisessa toiminnassa vähäinen energiankulutus ja tehontarve. Laki vaatii myös uusista rakennuksista lähes nollaenergiarakennuksia, mutta vaatimus ei koske alle 50 m² rakennuksia. (MRL 17:117 g §)

Jos lämmitysjärjestelmänä ei käytetä lämpöpumppua, uusiutuvaa energiaa, yhteistuotanto-, kauko- tai aluelämmitystä, vaikka sellainen olisi kustannustehokkaasti saatavilla, uuden rakennuksen lämmitysjärjestelmästä pitää luoda kirjallinen arvio taloudellinen, ympäristöön liittyvä ja tekninen toteutus huomioiden (MRL 17:117 h §). Asuinrakennuksen teknisten ratkaisujen on kustannustehokkuus huomioiden luotava edellytykset matkaviestinten kuuluvuuteen sisätiloissa (MRL 17:117 j §). Rakennuksen käyttö- ja huolto-ohjetta ei tarvitse laatia sellaiselle vapaa-ajan asunnolle, jota ei käytetä ympärivuotisesti (MRL 17:117 i §).

Vesihuollon järjestämisen suhteen on huomioitava, että kunnan rakennusjärjestyksessä voidaan antaa siitä määräyksiä. Rakennusjärjestyksessä voidaan määrätä myös esimerkiksi rakennuksen sopeutumisesta ympäristöön, joka voi vaikuttaa esimerkiksi aurinkopaneelien sijoitteluun. Rakennusjärjestyksen määräyksiä ei sovelleta, jos oikeusvaikutteisessa yleiskaavassa, asemakaavassa tai Suomen rakentamismääräyskokoelmassa on määrätty asiasta toisin. (MRL 1:14 §)

2.2 Rakentamismääräyskokoelma

Ympäristöministeriö on antanut asetuksen rakennuksen paloturvallisuudesta (848/2017), jonka mukaan rakennuksen teknisten asennusten ja ilmanvaihtojärjestelmän on oltava sellaiset, että ne eivät lisää palon ja savun leviämisen vaaraa. Paloturvallisuus on otettava huomioon tulisijan, savupiipun, hormin ja lämmityslaitteen rakennuksessa ja sijoituksessa. (YMa 1:10 §, 3:19 §) Asunnoissa on oltava palohälytintä tai vastaava palosta aikaisessa vaiheessa ilmoittava laitteisto. Verkkoon kytketyissä asunnoissa myös palohälyttimet on kytkettävä verkkoon. (YMa 7:38 §) Rakennuksessa on oltava mahdollisuus savunpoistoon. (YMa 8:42 §) Savunpoistoon voidaan käyttää helposti avattavia tai turvallisesti rikottavia ikkuna- ja oviaukkoja. (YMa perustelumistio 8:42 §)

Uudet rakennukset on suunniteltava niin, että mahdollisen vesivuodon ilmaantuessa sen on tultava näkyville. Laitteistojen ja laitteiden, joihin liittyy vesivuodon mahdollisuus, on oltava tarkastettavissa, korjattavissa ja uusittavissa. Jos pystyjakojohto ei ole näkyvissä, niissä on oltava vuodonilmaisimet kerroksittain. Seinärakenteisiin tehdyissä johdoissa ei saa olla liittimiä, eikä märkätilan lattiaan saa tehdä vesijohtojen läpivientejä. On huolehdittava, että vesi ei pääse jäätymään putkistoissa tai laitteissa, eikä tiivistymään

pinnoille haittaa aiheuttaen. Paikoissa, jossa vettä tiivistyy, se on ohjattava pois niin ettei siitä aiheudu haittaa. Kylmässä tilassa olevat vesijohdot on eristettävä ja maahan asennettavat putket on asennettava routarajan alapuolelle. (Ympäristöministeriön asetus rakennusten kosteusteknisestä toimivuudesta 782/2017 2:10 §; Ympäristöministeriön asetus rakennusten vesi- ja viemärlaitteistoista 1047/2017 3: 13 §, 15 §)

Vesi- ja viemärlaitteistosta annetussa asetuksessa (1047/2017) määrätään, että rakennuksen vesilaitteiston ja siinä käytettävien tuotteiden on oltava sellaisia, että laitteistosta otettava vesi on käyttäjälle turvallista eikä siinä ole maku- tai hajuhaittoja. Vesilaitteistossa on torjuttava takaisinimeytymistä sekä pilaantumisvaaraa, joka seuraa nesteiden tai kaasujen sisään tunkeutumisesta. Vesilaitteistoon ei saa johtaa muuta kuin talousveden laatuvaatimukset täyttävää vettä. (YMa 2: 4 §, 5 §)

Lämminvesilaitteistosta saatavan veden lämpötilan on oltava vähintään 55 °C ja enintään 65 °C. Sitä on saatava vesikalusteesta 20 sekunnin kuluessa. Kylmävesilaitteistossa veden lämpötila saa olla enintään 20 °C, tai oltuaan kahdeksan tuntia käyttämättä, 24 °C. Ristiin virtausta lämmin- ja kylmävesijohtojen välillä ei saa tapahtua. (YMa 2:6 §) Lämminvesilaitteiston käyttöveden kiertojohtoa ei saa liittää lämmönluovuttimiin tai lattialämmitykseen uusissa rakennuksissa. (YMa 2:8 §)

Vesikalusteiden on oltava käyttötarkoitukseensa sopivia ja virtaaman on niissä oltava tasaista. Vesikalusteista ei saa lähteä häiritsevää ääntä tai haitallisia paineiskuja, eikä niiden pintalämpötila saa nousta yli 40 °C. Käyttölaitteiden vesimäärää ja lämpötilaa ohjaavien toimintojen ja liikesuuntien on oltava turvallisia. (YMa 2: 7 §, 9 §)

Vesilaitteiston on oltava tiivis ja kestettävä vähintään 1000 kilopascaliala sisäistä ylipainetta. (YMa 2:7 §) Siinä on oltava painemittari, lämpömittarit, kertasäätöventtiilit, sekä sulkemismahdollisuudet. Lämpimän käyttöveden laitteistossa on lisäksi oltava ylipaineen estämiseksi varolaite. (YMa 3:17 §, 18 §) Tarvittaessa laitteistoon on lisättävä paineenalennusventtiili tai paineenkorotuslaitteisto. Mahdollinen tarve käy ilmi erikoissuunnittelijan tekemästä painehäviölaskelmasta. (YMa 3:19 §)

Jätevedet on johdettava kunnalliseen viemäriverkostoon, umpisäiliöön tai ne on puhdistettava kiinteistökohtaisesti. Jätevesilaitteisto ei saa aiheuttaa hajuhaittoja, viemäritulvia, melua, terveydellistä vaaraa tai ympäristöhaittaa. Viemäriin putkikoko ei saa pienentyä virtaussuunnassa. (YMa 5:25 §) Vesipisteen yhteydessä on oltava viemäripiste ja viemäripisteessä on oltava puhdistettava vesilukko. Jätevedet johdetaan pois painovoimaisesti, tai jos se ei ole mahdollista, ne on pumpattava. Viemärit on yhdistettävä tuuletusviemäriin, jonka täytyy ulottua vesikaton yläpuolelle. Tuuletusviemäri täytyy kylmässä ti-

lassa lämpöeristää. (YMa 5: 26 §, 27 §, 28 §) Jätevesilaitteiston on oltava tiivis ja kokonaan puhdistettavissa helposti käsiteltävistä ja suljettavista puhdistusaukoista. (YMa 6: 32 §, 34 §) Vesisäiliön ylivuoto- ja tyhjennysvedet eivät saa virrata viemäristä takaisin laitteeseen. (YMa 5:29 §) Mekaaniset voimat ja lämpölaajeneminen on otettava huomioon viemärien kiinnityksissä. Kiinnitysten pitää olla korroosionkestäviä käyttöympäristönsään ja pitää putkistot paikallaan. (YMa 6:30 §)

Sisäilmaston suunnittelussa on otettava huomioon sisäiset kuormitustekijät, ulkoiset kuormitustekijät, sijainti ja rakennuspaikka. Sisäisiä kuormitustekijöitä ovat muun muassa lämpö- ja kosteuskuormitus, laitteet, valaistus, henkilökuormat, melunlähteet ja rakennustuotteiden päästöt. Ulkoisia kuormitustekijöitä ovat muun muassa sää- ja ääniolot sekä ulkoilman laatu. Rakennuksen käyttötarkoituksen mukainen sisäilmasto ottaa huomioon, kun suunnitellaan rakennuksen energiatehokkuutta, aurinkosuojausta, ääneristystä ja meluntorjuntaa, tilojen valaistusta ja päivänvalon hyödyntämistä, lämmitystä, jäähdytystä ja muita talotekniikkajärjestelmiä sekä niiden käyttövarmuutta ja tilantarvetta, ilmanvaihtojärjestelmän puhtauden hallintaa sekä teknisten järjestelmien käytettävyyttä ja kunnossapitoa. Halutun sisäilmaston aikaansaamiseksi voidaan käyttää rakenteellisia keinoja, pienentää sisäisiä kuormitustekijöitä, vähentää ulkoisten kuormitustekijöiden vaikutusta tai hyödyntää ilmastointia, lämmitystä, ilmanvaihtoa ja niiden säätöominaisuuksia. (Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta 1009/2017 2:3 §)

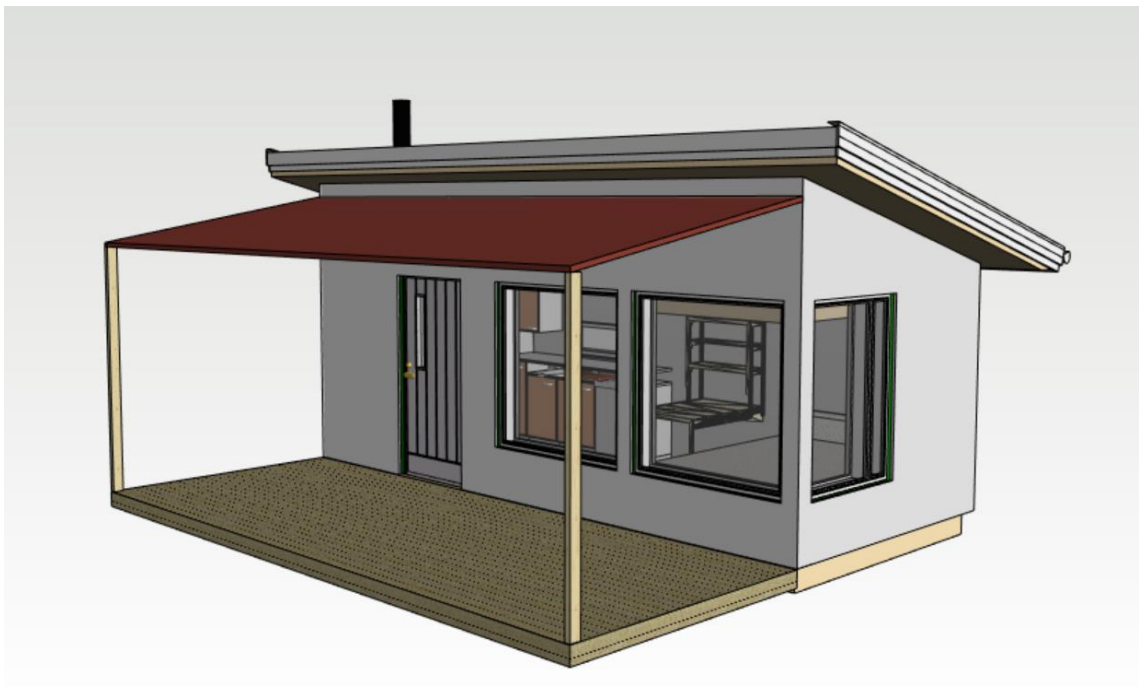
Rakennuksen käyttöturvallisuutta on huomioitava valaistuksella. Valaistuksen on mahdollistettava rakennuksen ja sen ympäristön turvallinen käyttö ja huolto. Valaistus on suunniteltava niin, ettei se aiheuta turvallisuutta vaarantavaa häikäisyä. Kulkureittien tasoerojen, kynnyksien, askelmien ja luiskojen erottuminen on varmistettava valaistuksella, tummuuseroilla tai huomiomerkinnöillä. (Ympäristöministeriön asetus rakennuksen käyttöturvallisuudesta 1007/2017 3:10 §)

Ympäristöministeriö on antanut asetuksen myös uuden rakennuksen energiatehokkuudesta (1010/2017), mutta se ei koske alle 50 m² rakennuksia. Luvussa neljä käydään kuitenkin läpi energia-asetusta energiantarpeen laskennan yhteydessä.

3. KOHTEEN ESITTELY

Minimökkiprojekti syntyi kirjoittajan halusta päästä koettelemaan kykyjään suunnitella ja toteuttaa rakennus ilman suuria pääomasijoituksia. Ilman loppusijoituspaikkaa, rakennuksesta täytyy tehdä siirrettävä. Kokeellisessa projektissa tutkitaan mahdollisuutta niin kutsuttuun off-grid-elämiseen, eli ilman kunnallisia vesi-, viemäri-, sähkö- ja lämpöverkkoja Suomen olosuhteissa. Minimökki tulee olemaan omistajalleen minimalistinen rauhoittumispaikka ilman tavallisen arjen ärsykeitä. Mökkiin on tavoitteena kuitenkin toteuttaa nykyaikaiset seurantajärjestelmät lisäämään turvallisuutta ja mahdollisuuksia tutkia rakennusratkaisujen toimivuutta.

Puurunkoisen minimökin pohjapinta-ala on noin 12 m² ja se on talviasuttava. Mökkiin tulee sänky, ruokapöytä, kamiina ja pieni keittotila vesipisteellä. Loppusijoituspaikka on luonnonläheinen paikka. Mökin pihapiiriin rakennetaan kuivakäymälä, sauna ja terassi. Mökin suuret ikkunat luovat tilantuntua ja lisäävät tunnetta luonnon äärellä olemisesta.



Kuva 1 Kohteen havainnekuva.

4. ENERGIANTARPEEN LASKENTA

Rakennuksen energiatehokkuuteen vaikuttavat hyvin monet asiat sekä rakennuksen ympäristössä että itse rakennuksen ominaisuuksissa. Rakennuspaikan valinnalla voidaan vaikuttaa rakennuksen energiatehokkuuteen esimerkiksi huomioimalla ilmansuunnat, varjostukset, ikkunoiden sijoittelut, tuulensuojaus sekä rakennuspaikan kuivuus. Energiatehokkuuden kannalta otollinen sijoituspaikka on etelä-lounas rinne, jolle ei tule talvella varjostusta. Ikkunoiden sijoitus talviauringon suuntaan lisää passiivisen aurinkoenergian hyödyntämismahdollisuutta. Rakennuksessa energiatehokkuuteen vaikuttavat esimerkiksi sen muoto, ikkunoiden pinta-ala sekä niiden rakenne ja säteilyenergian läpäisy, ilmatiiviyys, rakenteiden lämmönvarastointikyky ja talotekniset järjestelmät. Suomen olosuhteissa suurin energiantarve syntyy rakennusten ja käyttöveden lämmityksestä.

Talotekniset järjestelmät vaikuttavat lämmitystarpeeseen merkittävästi, sillä esimerkiksi poistoilman lämmöntalteenotolla omakotitalon energiankulutusta voidaan vähentää 30 % (Mattila 2008). Vapaa-ajan asunnossa ilmanvaihdon energiansäästöpotentiaali on suuri rakennuksen käyttömäärän vaihtelun takia. Turhan suuri ilmanvaihto esimerkiksi mökin ollessa tyhjiällä aiheuttaa sekä turhia lämpöhäviöitä että puhallinsähkökulutusta. Lämmitysmuodon valinnalla on merkittävä vaikutus rakennuksen ekologisuuteen ja hiilijalanjälkeen. Vapaa-ajan asunnossa on tarpeen miettiä, miten lämmityksen kanssa toimitaan aikoina, kun se ei ole käytössä. Vaihtoehtoina on pitää rakennus jatkuvasti käyttölämpötilassa, laskea lämpötilaa niin sanotulle peruslämmölle, joka on yleensä noin 15 °C, lopettaa lämmitys kokonaan käyttöajan ulkopuolella tai toteuttaa kuivanapitolämmitys. Kuivanapitolämmityksessä rakennuksen sisälämpötila pidetään aina muutaman asteen ulkolämpötilaa korkeammalla. Kuivanapitolämmitys perustuu siihen, että ilma pystyy sitomaan enemmän kosteutta lämpimämpänä. Kun sisälämpötila on ulkolämpötilaa korkeampi, kosteakaan tuloilma ei pääse tiivistymään sisäpinnoille. Kuivanapitolämmityksessä sisälämpötila pääsee kylmimpinä kuukausina pakkasen puolelle, mikä asettaa omat vaatimuksensa vesi- ja viemäriverkostolle sekä kodinkoneille. Kuivanapitolämmityksellä voidaan säästää keskimäärin 46-52 % vuosittaisesta sähkökulutuksesta peruslämpöön verrattuna (Rytkönen, Kirkkari 2010).

Minimökin talotekniikkaratkaisujen suunnittelua varten on tarpeen laskea sen energiantarve. Energiantarve koostuu tilojen, ilmanvaihdon ja käyttöveden lämmitystarpeesta sekä valaistuksen ja kuluttajalaitteiden sähköenergiantarpeesta. Energiantarpeen laskennan voi suorittaa käsin tai hyödyntämällä tietomallinnusta. Tietomallin käyttäminen

energiatarpeen laskennassa mahdollistaa esimerkiksi ilmansuuntien vaikutuksen tutkimisen helposti. Ympäristöministeriö on julkaissut vuonna 2018 ohjeen rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehon tarpeen laskentaan jäädyttämättömille rakennuksille. Ohjeessa esitetään yksinkertaistettu laskentatapa, joka ottaa huomioon olennaimmat tekijät ja rakennuksen ominaisuudet Suomen olosuhteissa. Ohje perustuu standardiin SFS-EN 13790, joka on nyttemmin jo kumottu standardilla SFS-EN ISO 52016-1:2017. Tuoreemmasta standardista ei ole vielä suomenkielistä soveltamisalaa. Ohjeen mukaan laskenta tehdään kuukausikohtaisesti energian nettotarpeelle ja vuosittainen kulutus saadaan kuukausittaisten kulutusten summana.

Energiantarpeen laskentaan käytetään lähtötietoina tietoja sisäilmastosta, rakennuksen vaipasta, valaistuksesta, kuluttajalaitteista, sisäisistä lämpökuormista, lämpimästä käytövedestä sekä säästä. Energiatohokkuusasetuksessa (1010/2017) on määritelty lähtöarvot, suunnitteluarvot (kuten säätiedot) ja laskentasäännöt, joita on käytettävä, kun osoitetaan vaatimuksenmukaisuutta. Asetus ei koske alle 50 m² rakennuksia, eikä niiltä vaadita energiatodistusta. Tässä energiantarpeen selvityksessä käytetään kuitenkin asetuksessa annettuja arvoja soveltuvin osin.

4.1 Rakennuksen lämmitysenergian nettotarve

Lämmitysenergian nettotarve lasketaan vähentämällä rakennuksen lämmitysenergian tarpeesta sisäisistä lämpölähteistä hyödynnettävissä olevat energiamäärät eli lämpökuormat. Lasketaan ensin lämmitysenergian tarve ja seuraavaksi lämpökuormien määrä.

Lämmitysenergian tarve muodostuu vaipan johtumislämpöhäviöistä sekä vuotoilman, tuuloilman ja korvausilman lämpenemisen energiantarpeesta. Vaipan johtumislämpöhäviöt koostuvat eri rakennusosien läpi johtuvista lämpöhäviöistä sekä rakennusosien välisten liitosten aiheuttamien kylmäsiltojen johtumislämpöhäviöistä.

4.1.1 Rakennusvaipan johtumislämpöhäviöt

Lasketaan ensin johtumishäviöt. Kullekin rakennusosalle lasketaan lämpöhäviöt kuukausikohtaisesti kaavalla (1).

$$Q_{rakosa} = \frac{U_i A_i (T_s - T_u) \Delta t}{1000} \quad (1)$$

jossa

Q_{rakosa} johtumislämpöhäviö rakennusosan läpi (kWh)

| | |
|------------------|--|
| U_i | rakennusosan lämmönläpäisykerroin (W/m^2K) |
| A_i | rakennusosan pinta-ala (m^2) |
| T_s | sisäilman lämpötila ($^{\circ}C$) |
| T_u | ulkoilman lämpötila ($^{\circ}C$) |
| Δt | ajanjakson pituus (h) |
| $\frac{1}{1000}$ | kerroin, jolla muunnetaan tulos kilowattitunneiksi |

Alla on esitetty minimökin rakennusosien pinta-alat ja lämmönläpäisykertoimet. Alapohjan, yläpohjan ja seinien pinta-alat on laskettu sisämittojen mukaisesti ja niistä on vähennetty ikkunoiden ja ovien pinta-alat. Ikkunoiden ja ovien pinta-alat on laskettu karmien ulkomittojen mukaisesti.

Taulukko 1 Minimökin rakennusosien pinta-alat ja U-arvot.

| Rakennusosa | Pinta-ala (m^2) | U-arvo |
|----------------|---------------------|--------|
| Alapohja | 12,2 | 0,24 |
| Ulkoseinä 1 | 14,5 | 0,22 |
| Ulkoseinä 2 | 10,0 | 0,22 |
| Ulkoseinä 3 | 5,8 | 0,22 |
| Ulkoseinä 4 | 3,4 | 0,22 |
| Yläpohja | 12,4 | 0,24 |
| Ikkuna 1 | 2,6 | 1,2 |
| Ikkuna 2 | 2,6 | 1,2 |
| Ikkuna 3 | 0,7 | 1,2 |
| Ikkuna 4 | 2,7 | 1,2 |
| Tuuletusluukku | 0,3 | 1,2 |
| Ovi | 2,1 | 1,2 |
| Koko vaippa | 69,2 | |

Energiamääräyksessä (1010/2017) ei ole annettu vapaa-ajan asunnolle käyttöaikoja, käyttöasteita tai sisäisiä lämpökuormia, joten tehdään niistä erilliset arviot. Lämmitysrajaksi on asetettu 21 °C. Oletettavasti minimökkiin ei toteuteta jäähdytystä. Alla on taulukoitu arvio minimökin käyttöajoista eri vuodenaikoina.

Taulukko 2 Minimökin käyttöaikojen arvio

| Vuodenaika | Käyttöaika | |
|--------------|------------------------|-----------------------|
| | Vuorokautinen h/24h | Viikoittainen d/7d |
| kesä-elo | 24 | 4 |
| syys-marras | 24 | 2 |
| joulu-helmi | 12 | 1 |
| maalis-touko | 24 | 2 |

Loma-asunnon vaipan lämpöhäviöille on asetettu energiamääräyksessä vaatimuksia. Vaikka energiamääräys ei koske alle 50 m² rakennuksia, lasketaan silti vaipan lämpöhäviön vertailuarvo käyttämällä energiamääräyksen lämmönläpäisykertoimien vertailuarvoja. Laskennassa on käytetty taulukossa 2 esitettyjä käyttöaikoja ja käyttölämpötilaa 21 °C. Käyttämättömälle ajalle on oletettu käytettävän kuivanapitolämpöä, eli 5 °C keskiulkolämpötilaa enemmän. Energialaskennassa käytetään Suomen uutta nykyisen ilmaston testivuotta TRY2012. Se on koostettu vuosien 1980-2009 aikana esiintyneistä kuukausista ja se pyrkii kuvaamaan mahdollisimman tyypillisiä sääolojen vaihteluita painottaen lämpötilaa ja auringon kokonaissäteilyn määrää. (YMa 1010/2017 perustelumustus 2:9 §) Tampere lähialueineen kuuluu vyöhykkeelle II ja vyöhykkeiden I ja II laskentaan käytetään samoja säätietoja energialaskennan osalta. Energiamääräyksen liitteissä on esitetty kuukausittaisia keskilämpötiloja vyöhykkeelle I ja näitä arvoja käytetään tässä laskennassa ulkolämpötiloina. Vertailuarvoksi saadaan koko vuodelta 1652 kWh. Laskennalliseksi lämpöhäviöksi saadaan 1544 kWh, joten vaipan lämpöhäviöt ovat laskennallisesti pienemmät, kuin energiamääräyksen vertailuarvo.

Rakennusosien väliset liitokset aiheuttavat kylmäsiltoja, joiden lämpöhäviöihin vaikuttaa kylmäsiltojen pituus ja lisäkonduktanssi. Kun käytetään hyvää rakennustapaa ja pyritään minimoimaan kylmäsiltojen määrä, voidaan käyttää ympäristöministeriön ohjeen mukaisia lisäkonduktanssin arvoja. Puurunkoiselle rakennukselle yläpohjan ja ulkoseinän välisen liitoksen lisäkonduktanssina voidaan käyttää arvoa $0,05 \frac{W}{mK}$ ja ulkoseinän ja ryömintätalaisen alapohjan välisellä liitoksella $0,06 \frac{W}{mK}$. Ulkoseinien välisissä liitoksissa puurunkoisella rakennuksella ulkonurkassa lisäkonduktanssin arvona voidaan käyttää $0,04 \frac{W}{mK}$.

Ikkuna- ja oviliitoksissa lämmöneristeen kohdalla voidaan käyttää arvoa $0,04 \frac{W}{mK}$. Kylmäsiltojen aiheuttamat lämpövuodot lasketaan kaavalla (2).

$$Q_{kylmäsilta} = \Sigma \frac{l_k \Psi_k (T_s - T_u) \Delta t}{1000} \quad (2)$$

jossa

$Q_{kylmäsilta}$ johtumislämpöhäviö kylmäsiltojen läpi (kWh)

l_k kylmäsilan pituus (m)

Ψ_k kylmäsilan lisäkonduktanssi (W/ (m K))

T_s sisäilman lämpötila (°C)

T_u ulkoilman lämpötila (°C)

Δt ajanjakson pituus (h)

$\frac{1}{1000}$ kerroin, jolla muunnetaan tulos kilowattitunneiksi

Kun käytetään samoja käyttöasteita, sisälämpötilan arvoja ja ulkolämpötilan arvoja kuin vaipan lämpöhäviöiden laskennassa, vuotuiseksi kylmäsilloista johtuvaksi lämpöhäviöksi saadaan 152 kWh.

4.1.2 Vuotoilman lämpenemisen lämpöenergian tarve

Vuotoilmavirta syntyy tuulen ja lämpötilaerojen aiheuttamista paine-eroista. Painovoimaisessa ilmanvaihdossa nämä paine-erot ovat ilmanvaihdon perusta. Ilmanvuoto lasketaan energiamääräyksen mukaan kaavalla (3).

$$q_{v,vuotoilma} = \frac{q_{50}}{3600 \cdot x} A_{vaippa} \quad (3)$$

jossa

$q_{v,vuotoilma}$ vuotoilmavirta (m³/s)

q_{50} rakennusvaipan ilmanvuotoluku (m³/ (h m²))

A_{vaippa} rakennusvaipan pinta-ala (m²)

x kerroin, joka ottaa huomioon kerrosmäärän

$\frac{1}{3600}$ kerroin, joka muuttaa yksikön tuntikohtaisesta sekuntikohtaiseksi.

Keskimääräisen ilmanpitävyyden vaipoilla pientaloissa ilmanpitävyyysluku on luokkaa 3 - 5 $\frac{m^3}{hm^2}$. Käytetään tässä vaipan ilmanvuotolukuna arvoa 4 $\frac{m^3}{hm^2}$. Yksikerroksisen asunnon kertoimena x käytetään arvoa 35. Alla on esitetty kaavalla (3) laskettuna ilmavuotovirran arvo.

$$\frac{4 \frac{m^3}{hm^2}}{3600 \cdot 35} \cdot 69,2 m^2 = 0,00219 \frac{m^3}{s}$$

Koska kohteessa ei ole koneellista ilmanvaihtoa, ei puhuta tuloilmasta, vaan korvausilmasta ja sen lämmitykseen kuluva energiantarve lasketaan vuotoilman laskennan yhteydessä. Ympäristöministeriön energiamääräyksen (1010/2017) mukaan ulkoilmavirran arvo on 0,4 $\frac{dm^3}{s m^2}$ ja poistoilmavirran arvona käytetään samaa lukua. Tätä arvoa voidaan vähentää 20%, mutta enintään arvoon 0,35 $\frac{dm^3}{s m^2}$, jos käytetään tarpeenmukaista ilmanvaihtoa. Minimökin pinta-alalle ulkoilmavirran arvoksi tulee 4,2 $\frac{dm^3}{s}$, kun käytetään tarpeenmukaista ilmanvaihtoa. Käyttöaikana ulkoilmavirraksi on oleskelutiloissa mitoitettava vähintään 6 dm^3/s henkilöä kohden. Minimökki on mitoitettu kahdelle hengelle, joten käyttöaikana ulkoilmavirran pitää olla vähintään 12 dm^3/s . Sisäilmastoa ja ilmanvaihtoa koskevan asetuksen (1009/2017) mukaan asuinhuoneiston ilmanvaihdon pitää olla vähintään 18 dm^3/s . Perustelumistiosta käy ilmi, että tämä vähimmäisvaatimus koostuu keittiön ilmavirrantarpeesta (8 dm^3/s) sekä pesuhuoneen ilmavirrantarpeesta (10 dm^3/s). Minimökkiin ei tule pesuhuonetta, joten ilmanvaihdon tarve ei ole niin suuri. Ympäristöministeriö on julkaissut oppaan painovoimaisen ilmanvaihdon suunnittelun ja mitoituksen avuksi. Sen perusteella maksimissaan 9 dm^3/s ilmavirta voidaan saavuttaa yksikerroksisessa rakennuksessa 200 mm kierresaumattulla poistohormilla. Koska kyseessä on satunnaiseen käyttöön tuleva vapaa-ajan asunto, tehdään tulkinta, että yksi poistohormi riittää asunnon ilmanvaihdon tarpeisiin. Ilmanvaihtoa voidaan tarvittaessa tehostaa tuuletusluukkujen avulla.

Lisätään siis vuotoilmavirran arvoon ilmanvaihtokanavasta tuleva ilmavirta 0,009 $\frac{m^3}{s}$. Vuotoilman lämmittämiseen tarvittavan energian määrä lasketaan kaavalla (4).

$$Q_{vuotoilma} = \frac{\rho_i c_{pi} q_{v,vuotoilma} (T_s - T_u) \Delta t}{1000} \quad (4)$$

jossa

$Q_{vuotoilma}$ vuotoilman lämpenemisen lämpöenergian tarve (kWh)

ρ_i ilman tiheys (1,2 kg/m^3)

| | |
|-------------------|--|
| c_{pi} | ilman ominaislämpökapasiteetti (1000 J/ (kg K)) |
| $q_{v,vuotoilma}$ | vuotoilmavirta (m ³ /s) |
| T_s | sisäilman lämpötila (°C) |
| T_u | ulkoilman lämpötila (°C) |
| Δt | ajanjakson pituus (h) |
| $\frac{1}{1000}$ | kerroin, jolla muunnetaan tulos kilowattitunneiksi |

Samoilla lämpötilojen ja käyttöasteiden arvoilla, vuotoilman lämpenemisen energiantarpeeksi saadaan 816 kWh.

Kun lasketaan yhteen eri rakennusosien läpi johtuvat lämpöhäviöt, kylmäsiltojen aiheuttamat lämpöhäviöt sekä vuotoilman lämpenemisen energiantarve, saadaan kokonaislämmitysenergian tarve 2513 kWh.

4.2 Laitteiden ja valaistuksen sähkönkulutus

Oletetaan kohteessa käytettävän 12 V sähköjärjestelmää ja seuraavia sähkölaitteita: jääkaappi, vedenkeitin, kännykän laturi ja taloautomaatiojärjestelmä. Lisäksi valaistukseen arvioidaan käytettävän viittä led-lamppua, joiden keskimääräinen teho on 10W. Laitteiden kulutuksen arvioinnissa huomioidaan kohteen käyttömäärät. Talvella ei oleteta käytettävän vedenkeitintä tai jääkaappia.

12 V jännitteellä toimivat kompressorilla varustetut pienet jääkaapit kuluttavat arviolta keskimäärin 130 kWh vuodessa. Kesäaikaan kohteen käyttöaste on 0,43. Tällöin jääkaapin kokonaiskulutus on noin 28 kWh. Vedenkeitintä voidaan olettaa käytettävän puoli tuntia päivässä kesäaikaan kohteen käyttöpäivinä. Vuosittaiseksi käyttöajaksi saadaan näin ollen noin 40 tuntia. Keittimen tehontarve on luokkaa 200W, joten vuosittainen sähkönkulutus on luokkaa 8 kWh. Puhelimen lataus kuluttaa yhden yön aikana noin 19,2 Wh (Kuinka paljon kännykän lataaminen kasvattaa sähkölaskua vuodessa? Laskelma voi yllättää. 2016). Kohteen käyttöajat huomioiden puhelimen lataukseen kuluu noin 2 kWh vuodessa.

Valaistusta arvioidaan käytettävän kesäaikaan yhtenä tuntina vuorokaudesta ja talviaikaan 12 tuntia vuorokaudessa. Käyttöajat huomioiden valaistukseen kuluu näillä arvioilla noin 23 kWh vuodessa.

Lisäksi sähköä tarvitaan vesipumppuun ja taloautomaatiojärjestelmään. Jos vettä pumpataan kesän aikana 400L, pumpun tarvitseman sähköenergian määrä jää merkityksettömän pieneksi. Arvioidaan taloautomaatiojärjestelmän käyttävän tehoa 6W. Järjestelmä

on käynnissä ympäri vuoden ja ympäri vuorokauden, joten sen vuosittaiseksi sähköenergiankulutukseksi saadaan 52 kWh.

Laitteiden ja valaistuksen yhteenlasketuksi vuotuiseksi sähköenergiantarpeeksi muodostuu 113 kWh, josta noin 45 kWh kulutetaan talven aikana ja loput 68 kWh kesän aikana. Tarkastelussa ei ole huomioitu, miten jääkaapin keskiikulutukseen vaikuttaa se, että se sammutetaan usein eikä se siksi pysy tasaisen viileänä. Sähkötehon tarpeen laskenta tehdään aurinkopaneelien ja akuston mitoituksen yhteydessä.

4.3 Lämpökuormat

Sisäisiä lämpökuormia rakennukseen tulee ihmisistä, sähkölaitteista, ikkunoista tulevasta auringon lämpösäteilystä, sekä lämpimän käyttöveden kierrosta ja varastoinnista. Lämpökuormat otetaan huomioon laskennassa vain, jos samanaikaisesti esiintyy lämmitystarvetta ja lämmöntuottoa voidaan vähentää lämpökuormia vastaavalla määrällä.

Yhden henkilön luovuttamana keskimääräisenä lämpötehona voidaan käyttää arvoa 85 W. Arvioidaan minimökissä oleskelevan keskimäärin 1,5 henkilöä käyttöaikana. Tällöin ihmisistä tuleva lämpökuorma on 127,5 W.

Lämpöä tuottavia kuluttajalaitteita ei todennäköisesti pidetä päällä suurimman lämmitystarpeen aikoihin, koska silloin myös aurinkosähkön tuotanto on heikkoa.

Ikkunoiden kautta tuleva auringon säteily lisää rakennuksen lämpökuormaa. Lämpökuorman määrään vaikuttaa ikkunoiden pinta-ala ja se mihin ilmansuuntaan ikkunat on suunnattu. Lisäksi ikkunoiden lasituksen ominaisuudet, ikkunoiden puitteet, verhot ja muut suojarakenteet sekä ulkopuolelta, kuten puista tuleva varjostus vaikuttaa säteilyenergian määrään. Säteilyenergian määrän voi laskea Ympäristöministeriön ohjeen mukaankavalla (5).

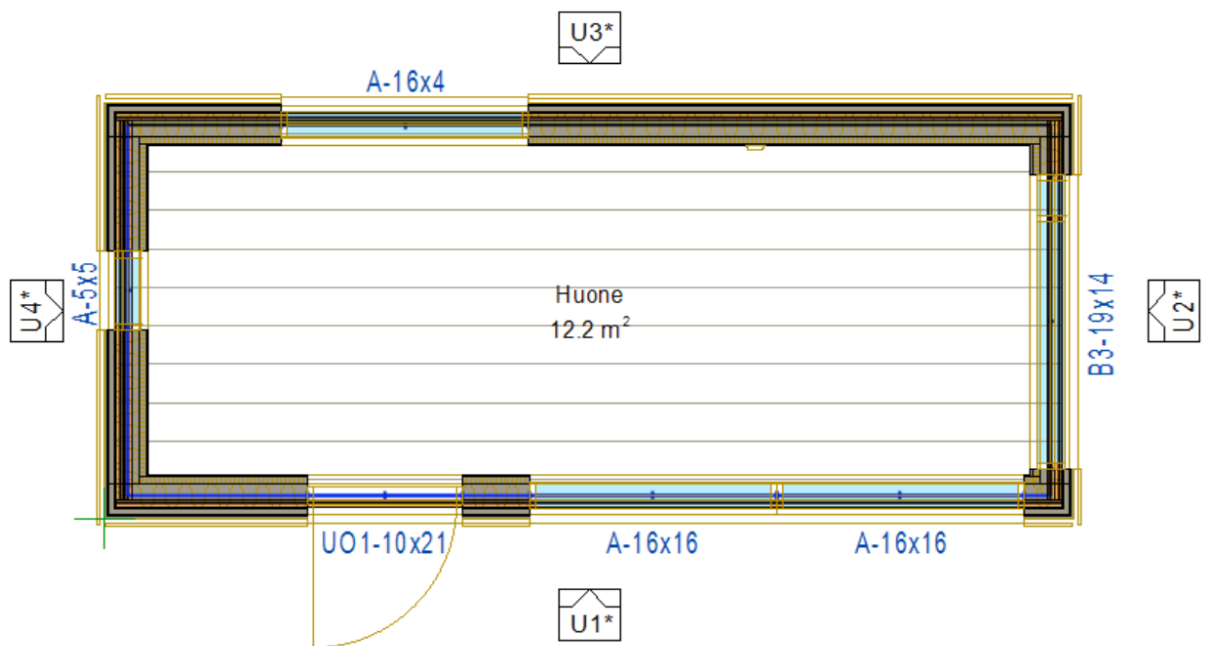
$$Q_{aur} = \Sigma G_{säteily,pystypinta} F_{läpäisy} A_{ikk} g \quad (5)$$

jossa

| | |
|--------------------------|---|
| Q_{aur} | ikkunoiden kautta tuleva auringon säteilyenergia (kWh/kk) |
| $G_{säteily,pystypinta}$ | pystypinnalle tuleva auringon kokonaissäteilyenergia pinta-alan yksikköä kohti (kWh/ (m ² kk)) |
| $F_{läpäisy}$ | säteilyn läpäisyn kokonaiskorjauskerroin |
| A_{ikk} | ikkuna-aukon pinta-ala karmirakenteineen (m ²) |
| g | ikkunan valoaukon auringon kokonaissäteilyn läpäisykerroin |

Kokonaisläpäisykertoimen g arvoon vaikuttaa ikkunan lasituksen tyyppi. Oletetaan, että minimökin ikkunat ovat yksipuitteisia, kolmilasisia ikkunoita, jolloin niiden kohtisuoran läpäisykertoimen arvo on 0,70. Kohtisuorasta läpäisykertoimesta saadaan laskettua kokonaisläpäisykerroin g kertomalla se arvolla 0,9. Kokonaisläpäisykertoimeksi saadaan siten 0,63.

Säteilyn läpäisyn korjauskerroin saadaan kertomalla valoaukon ja ikkuna-aukon pinta-alan suhde, verhokerroin ja varjostuskerroin yhteen. Valoaukon ja ikkuna-aukon pinta-alan suhteena voidaan käyttää arvoa 0,75. Verhokerroin on 0,30, jos käytetään valkoisia sälekaihtimia lasien välissä. Varjostuskertoimena käytetään tässä arvoa 1, koska varjostavia rakenteita tai kasvillisuutta ei ole tiedossa. Näin läpäisyn korjauskerroimen arvoksi saadaan 0,225. Auringon kokonaissäteilyenergian arvoja on annettu eri kuukausille ympäristöministeriön asetuksen liitteissä. Oletetaan, että minimökin oviseinä on suunnattu etelään ja lasketaan auringon säteilyenergian määrä sen mukaan. Alla on esitetty kohteen pohjapiirustus, jossa näkyy ikkunoiden suuntaukset ja koot.



Kuva 2 Kohteen pohjapiirustus.

Alla on esitetty tammikuun säteilyenergian laskenta ja taulukko kaavalla (5) lasketuista säteilyenergioiden arvoista kaikille kuukausille.

$$\begin{aligned}
 Q_{aur,tammi} &= 12,9 \frac{kWh}{m^2} \cdot 0,225 \cdot (2,6 + 2,6)m^2 \cdot 0,63 + 3,8 \frac{kWh}{m^2} \cdot 0,225 \cdot 2,7m^2 \cdot 0,63 \\
 &+ 6,2 \frac{kWh}{m^2} \cdot 0,225 \cdot 0,7m^2 \cdot 0,63 = 11,6 kWh
 \end{aligned}$$

Taulukko 3 Ikkunoista tuleva auringon säteilyenergian määrä eri kuukausina.

| | kokonaissäteily- energia kWh |
|----------|------------------------------------|
| tammi | 11,578 |
| helmi | 38,203 |
| maalis | 81,897 |
| huhti | 114,03 |
| touko | 134,41 |
| kesä | 123,84 |
| heinä | 137,18 |
| elo | 114,1 |
| syys | 98,967 |
| loka | 35,747 |
| marras | 15,05 |
| joulu | 10,11 |
| yhteensä | 915,11 |

Lämpökuormien hyödyntämisasteen laskentaa varten on selvitettävä rakennuksen aikavakio, joka muodostuu rakennuksen sisäpuolisen tehollisen lämpökapasiteetin suhteesta ominaislämpöhäviöön. Rakennuksen sisäpuolinen tehollinen lämpökapasiteetti lasketaan rakennusosien pinta-alojen ja tehollisen lämpökapasiteetin ominaisarvon tulona. Kevytrakenteisilla rakennetyypeillä pientalossa tehollisen lämpökapasiteetin ominaisarvona voidaan käyttää ulkoseinille, yläpohjalle ja alapohjalle 40 Wh/ (m² K). Teholliseksi lämpökapasiteetiksi kohteelle saadaan siten 2,8 kWh/K. Tilojen ominaislämpöhäviö lasketaan lämmitysenergiantarpeesta kaavalla (6).

$$H_{tila} = \frac{Q_{tila}}{(T_s - T_u)\Delta t} 1000 \quad (6)$$

jossa

H_{tila} rakennuksen tilojen ominaislämpöhäviö (W/K)

| | |
|------------|--|
| Q_{tila} | rakennuksen tilojen lämmitysenergian tarve (kWh) |
| T_s | sisäilman lämpötila (°C) |
| T_u | ulkoilman lämpötila (°C) |
| Δt | ajanjakson pituus (h) |
| 1000 | kerroin, jolla muunnetaan tulos wateiksi |

Ominaislämpöhäviön arvoksi saadaan 41,3 W/K. Lasketaan tehollisesta lämpökapasiteetista ja ominaislämpöhäviöstä aikavakio:

$$\tau = \frac{2800 \frac{Wh}{K}}{41,3 \frac{W}{K}} = 67,8 h$$

Aikavakio kertoo kuinka monen tunnin lämpöenergiatarpeen rakenteet voivat sitoa lämpönä. Lämpökuormien kuukausittainen hyödyntämisaste lasketaan kaavalla (7).

$$\eta_{lämpö} = \frac{1 - \gamma^a}{1 - \gamma^{a+1}} \quad (7)$$

Numeerinen parametri a lasketaan aikavakiosta kaavalla (8).

$$a = 1 + \frac{\tau}{15} \quad (8)$$

Suhdeluku γ lasketaan kaavalla (9)

$$\gamma = \frac{Q_{lämpökuorma}}{Q_{tila}} \quad (9)$$

joissa

$\eta_{lämpö}$ lämpökuormien kuukausittainen hyödyntämisaste

γ lämpökuorman suhde lämpöhäviöön

a numeerinen parametri

$Q_{lämpökuorma}$ rakennuksen lämpökuorma (kWh)

Q_{tila} rakennuksen tilojen lämmitysenergian tarve (kWh)

Kuukausittaisen hyödyntämisasteen avulla lasketaan lämpökuormista lämmityksessä hyödynnettävä energia. Vuoden aikana hyödynnettävää energiaa syntyy laskelman mukaan 872 kWh. Kun vähennetään se kokonaisenergiatarpeesta, saadaan nettotarpeeksi 2513 kWh – 872 kWh = 1641 kWh.

4.4 Lämmitysjärjestelmän energiantarve

Lämmitysjärjestelmän energiantarpeen laskennassa otetaan huomioon lämmönluovutuksen, -jakelun ja -varastoinnin häviöt sekä lämmöntuoton vaikutus. Jos oletetaan että lämmitys tapahtuisi sähköisellä pinalattialämmityksellä, sen vuosihyötysuhteen ($\eta_{\text{lämmitys,tilat}}$) ohjearvo on 0,95. Tästä ja lämmitysenergian nettotarpeesta (1641 kWh) saadaan laskettua lämmitysjärjestelmän energiantarve: $\frac{1641 \text{ kWh}}{0,95} = 1727 \text{ kWh}$.

Pinalattialämmityksen apulaitteiden ominaissähkönkäytön (e_{tilat}) ohjearvo on 5 kWh/(m²a). Siitä ja tilan pinta-alasta saadaan laskettua apulaitteiden vuosittainen sähköenergian kulutus: 5 kWh/(m²a) * 12 m² = 60 kWh.

4.4.1 Lämpimän käyttöveden lämpöenergiatarve

Oletetaan, että lämmin käyttövesi lämmitetään puolet vuodesta sähköllä ja puolet vuodesta puulla. Arvioidaan, että lämmitettyä vettä kuluu mökin käyttöpäivinä 5 L. Otetaan huomioon arvioidut käyttöasteet (taulukko 2) ja lasketaan kesäajan lämpimän veden kulutus. Puolisvuosittaiseksi lämpimän käyttöveden tarpeeksi maaliskuussa saadaan noin 200 L eli 0,2 m³. Jos vettä lämmitetään 50 °C, käytetään veden lämmittämiseen tarvittavana energiamääränä 58 kWh/m³. Lasketaan vedenlämmitykseen käytettävä sähköenergian kulutus: $0,2 \text{ m}^3 * 58 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^3} = 11,6 \text{ kWh}$. Oletetaan, että lämpimän veden siirtoputkisto jää niin lyhyeksi, ettei siitä tule suuria häviöitä ja pienen lämminvesivaraajan lämpöhäviöt jäävät pieniksi.

4.5 Lämmitysjärjestelmän energiankulutus

Lämmitysjärjestelmän energiankulutus koostuu lämmitysenergian ja sähköenergian kulutuksesta. Suoralla sähkölämmityksellä tuoton hyötysuhde on 1. Jos siis oletetaan, että kohde lämmitetään kokonaan suoralla sähkölämmityksellä, lämmitysjärjestelmän energiankulutus saadaan yksinkertaisesti laskemalla yhteen lämmitysenergian ja sähköenergian kulutus.

Taulukko 4 Lämmitysjärjestelmän energiankulutus

| | Energiankulutus (kWh) |
|------------------------------------|-----------------------|
| Sähköinen pintalattialämmitys | 1727 |
| Pintalattialämmityksen apulaitteet | 60 |
| Lämmin käyttövesi | 11,6 |
| Yhteensä | 1798,6 |

Motivan lämmitystapojen vertailulaskurilla saadaan 12 neliöisen rakennuksen lämmitysenergian kokonaistarpeeksi 1075 kilowattituntia vuodessa, kun lämmin käyttövesi jätetään huomioimatta, huonekorkeutena on 2,8 metriä ja rakennuksen energiatehokkuuden arvioidaan vastaavan 2010-luvun rakennusta. Rakennusta ei pidetä jatkuvasti käyttölämpötilassa, joka laskee energiankulutusta. Energiankulutuksen määrää nostaa sen sijaan ilmanvaihdon lämmön talteenoton puuttuminen. Arvio on samaa suuruusluokkaa laskelmilla saatujen tuloksien kanssa.

4.6 Lämmitysteho

Tehontarpeen laskennassa ei oteta huomioon auringon lämpösäteilyä. Sisäiset lämpökuormat otetaan huomioon vain, jos ne ovat jatkuvia ja merkittäviä. Kohteessa ei ole tällaisia jatkuvia sisäisiä lämmönlähteitä. Rakenteiden lämpökapasiteetti huomioidaan epäjatkuvan lämmityksen mitoituksessa. Lämmitysjärjestelmän lämpötehon tarve muodostuu rakennusvaipan johtumislämpöhäviöistä ja vuotoilman lämpenemisen tehontarpeesta. Johtumislämpötehot eri rakennusosien yli saadaan samoilla kaavoilla (1) ja (2), kuin johtumislämpöhäviöt, kun jätetään ajallinen tarkastelu kaavasta pois ja ulkoilman lämpötilana käytetään mitoittavaa ulkolämpötilaa, joka vyöhykkeellä II on ympäristöministeriön energia-asetuksen (1010/2017) liitteen 1 mukaan -29 °C . Samoin vuotoilman lämmityksen tehontarve saadaan, kun jätetään lämmitysenergian kaavasta (4) ajallinen tarkastelu ja käytetään mitoittavaa ulkolämpötilaa. Alla on taulukoituna lämmitystehon tarpeen muodostavat lämpötehot.

Taulukko 5 Lämmitystehon tarve -4,5 °C ulkolämpötilassa

| | |
|---|--------|
| Vaipan johtumislämpöteho | 1270 W |
| Kylmäsiltojen johtumislämpöteho | 125 W |
| Vuotoilmavirran lämpenemisen tehontarve | 671 W |
| Yhteensä | 2066 W |

Laskelmassa on käytetty melko suurta tuloilman määrää 9 dm³/s. Todellisuudessa kovichimilla pakkasilla tuloilmalaitteita säädettäisiin pienemmälle. Jos tuloilman arvona käytetään 0 dm³/s, lämmitystehon tarve laskee arvoon 1526 W.

Lämpimän käyttöveden lämpötehontarve lasketaan kaavalla (10).

$$\phi_{lkv} = \rho_v c_{pv} q_{v,lkv} \Delta T + \phi_{lkv,kiertohäviö} \quad (10)$$

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) |
| ΔT | kylmän ja lämpimän käyttöveden lämpötilaero (°C) |
| $\phi_{lkv,kiertohäviö}$ | lämpimän käyttöveden kiertojohtojen lämpöhäviöt (kW) |

Kylmän ja lämpimän käyttöveden lämpötilaerona käytetään 50 °C. Koska kohteessa on vain yksi lämpimän veden vesipiste, voidaan sen mitoitusvirtaamana käyttää pesualtaan lämpimän veden normivirtaamaa 0,1 dm³/s. Lämpimän käyttöveden kiertohäviöt arvioidaan olevan merkityksettömän pieniä. Näillä tiedoilla käyttöveden lämpötehontarpeeksi saadaan 21 kW. Kun käytetään lämminvesivaraajaa, varaajan latausteho ja varauskyky mitoitetaan yleensä vastaamaan yhden vuorokauden kulutusta. Varaajan latausteho on yleensä pienempi kuin veden lämmitysteho mitoitusvirtaamalla. Kun viittä vesilitraa lämmitetään 50 asteen verran, kuluu energiaa 1050 kJ. Kun jaetaan vaadittava energiamäärä vuorokaudelle, saadaan tehontarpeeksi noin 12 W. Laskelmassa ei ole otettu huomioon varastoinnin lämpöhäviöitä.

4.7 Yhteenveto rakennuksen energiantarpeesta

Edellä olevissa laskelmissa käytiin läpi kohteen energian ja lämmitystehon tarvetta. Alla on koottu yhteen saadut tulokset taulukkoon.

Taulukko 6 Rakennuksen energialaskelmien tulokset

| Lämmitysenergian tarve | |
|--------------------------------------|----------|
| Lämpöhäviöt | |
| Vaippa | 1544 kWh |
| Kylmäsillat | 152 kWh |
| Vuotoilmavirta | 816 kWh |
| Yhteensä | 2513 kWh |
| Lämpökuormista hyödynnettävä energia | 872 kWh |
| Lämmitysenergian nettotarve | 1641 kWh |

| Sähköenergian kulutus | |
|--|----------|
| Lämmitysjärjestelmä | 1727 kWh |
| Sähköisen lattialämmityksen apulaitteet | 60 kWh |
| Lämmin käyttövesi | 12 kWh |
| Laitteiden ja valaistuksen sähkönkulutus | 113 kWh |
| Yhteensä | 1912 kWh |

| Lämmitystehon tarve | |
|----------------------------|--------|
| Tilan lämmitys | 2066 W |
| Käyttöveden lämmitys | 12 W |

5. TALOTEKNISET RATKAISUT

Tässä kappaleessa käydään läpi erilaisia toteutusvaihtoehtoja kohteen taloteknisten vaatimusten täyttämiseksi ja kootaan vaihtoehtoista konseptisuunnitelma kohteen taloteknisille järjestelmille.

5.1 Lämmitys ja ilmanvaihto

Lämmönjakojärjestelmä voi olla vesikiertoinen tai kuiva. Vesikiertoisen lämmönjakelun etuna on, että siihen on helppo liittää monenlaisia lämmönlähteitä. Vesikiertoisessa järjestelmässä syntyy kuivaa järjestelmää enemmän lämmönsiirrossa tapahtuvia lämpöhäviöitä. Vesikiertoisessa järjestelmässä on otettava huomioon jäätymisvaara. Jos rakennuksen lämpötilan on mahdollista pudota pakkasen puolelle, täytyy vesikiertoiseen lämmönjakelujärjestelmässä käyttää jäätymisenestoainetta. Kuivia lämmönjakeluvaihtoehtoja ovat takka, sähkölämmityspatterit, sähkölämmityskaapelit ja ilmalämpöpumppu. Kuivien lämmönjakojärjestelmien kanssa tarvitaan yleensä erillinen lämminvesivaraaja, kun vesikiertoisessa järjestelmässä vesi lämmitetään yleensä samassa yhteydessä kuin tilojen lämmitysenergia. Kuivien järjestelmien kanssa vesivahingon riskit ovat pienemmät.

Lämmityksen tarve on suurin talvella, jolloin aurinkosähköä on heikosti tarjolla. Lämmityksen toteutus omavaraisella aurinkosähköllä on käytännössä kannattamatonta (Erat et al. 2016). Sähköä voidaan kuitenkin hyödyntää lämmitykseen silloin, kun sitä on saatavilla. Suora sähkölämmitys on erittäin energiatehokas tapa jakaa lämpöä ja sen alkuinvestoinnit ovat pienet (Sähkölämmitys 2020). Uusiutuvaa sähköä käyttäen se on myös ekologista. Suoralla sähköllä lämmitettäessä lämmönjakeluun voidaan käyttää esimerkiksi lattialämmitystä tai sähköpatteria. Ilmalämpöpumpulla on sopivissa lämpötiloissa suoraa sähkölämmitystä parempi hyötysuhde. Sillä saadaan nopeasti lämmitettyä tilan ilma mukavaan käyttölämpötilaan. Ilmalämpöpumput soveltuvat useimmiten maksimissaan 100-150 m² tilan lämmittämiseen. Ne eivät toimi kovalla pakkasella, eikä niitä saa käynnistää kylmänä. Ilmalämpöpumppujen hankintakustannukset ovat suoriin sähkölämmittäjiä kovemmat ja niistä saatava energiansäästö jää pienessä tilassa vähäiseksi. Ilmalämpöpumpulla voi myös jäähdyttää tilaa tarvittaessa.

Ilman sähköä off-grid rakennusta voidaan lämmittää erilaisia polttoaineita hyödyntävillä lämmittimillä ja aurinkokeräimillä. Polttoainevaihtoehtoja ovat kaasu, petroli, diesel, öljy ja puu, joista puu on ainoa uusiutuva polttoaine.

Puun polttoon tarkoitettut kamiinat ovat kevyitä ja soveltuvat hyvin pieneenkin tilaan. Kamiinalla voidaan tuottaa 1,5-9 kilowatin lämpötehoa sen koosta riippuen 80% hyötysuhteella. (Takkamaailma)

Aurinkokeräin voi olla nestekiertoinen tai ilmakeräin. Nestekiertoinen keräin soveltuu hyvin lämpimän käyttöveden lämmitykseen ja vesikiertoisen lämmönjakelujärjestelmän yhteyteen. Ilman lämpökapasiteetti ja lämmönsiirtokyky ovat nestettä huonommat. Ilmalla ei kuitenkaan ole nesteen tavoin jäätymis-, ylikuumenemis- tai vuotovaaraa. Ilma lämpee nopeammin ja ilmakeräimet ovat helpompia rakentaa. (Erat et al. 2016)

Ilmanvaihto voidaan toteuttaa koneellisesti tai painovoimaisesti. Koneistettu ilmanvaihto vaatii sähköä toimiakseen. Pienessä ja epäsäännöllisesti käytetyssä rakennuksessa koneistetusta ilmanvaihdosta ja lämmön talteenotosta saatu hyöty jää pieneksi ilmanvaihtojärjestelmän hankintakustannuksiin ja energiankulutukseen nähden.

Painovoimaisessa ilmanvaihdossa ilma vaihtuu ilmanpaine-eron seurauksena. Poistoilmahormin on oltava tarpeeksi pitkä, jotta paine-ero pääsee syntymään. Sääoloissa, joissa paine-eroa ei muuten saavuteta, ilmanvaihtoa voidaan tehostaa sähkökäyttöisellä puhaltimella tai aurinkohormilla, joka lämmittää hormin yläpäättä ja lisää siten paine-eroa. Poistoilmahormina voidaan käyttää myös tulisijan hormia. Kun tulisijassa pidetään tulta, hormi lämpee ja ilmanvaihto tehostuu. Tuloilma otetaan ulkoilmalaitteen kautta. Ulkoilmalaitteen on oltava säädettävissä niin, että kylmällä ilmalla ilmamäärät eivät kasva liian suuriksi. Tämä voidaan toteuttaa esimerkiksi lautas- tai kippiventtiilillä. Venttiilin tulee olla alhaisen virtausvastuksen tuottava tuloilmalaitte ja sen kanavan tulee olla mahdollisimman lyhyt ja suora. (Kuuluvainen et al. 2018)

5.2 Käyttövesi ja viemäröinti

Käyttövettä voidaan lämmittää kamiinalla, aurinkokeräimellä, lämminvesivaraajalla tai läpivirtausvedenlämmittimellä. Aurinkokeräintä käytettäessä vesivaraajan tilavuuden pitää olla 50-100 litraa keräineliötä kohti. Keräineliömetri voi tuottaa aurinkoisena päivänä kahdesta neljään kilowattituntia lämpöenergiaa. (Erat et al. 2016) Jos käytetään 10 L vesivaraajaa, aurinkokeräin saisi olla noin 0,13 m² kokoinen. Lämminvesivaraajaan voidaan syöttää myös aurinkosähkön ylituotantoa tai vaihtoehtoisesti vettä ei tarvitse lämmittää niin kuumaksi, jos sähköntuotanto on vähäistä. Liian matalassa lämminvesivaraajan lämpötilassa voi kasvaa Legionella-bakteeri, joka kuolee muutamassa minuutissa yli 60 °C lämpötilassa (Vesikiertoinen vai kuiva lämmönjakojärjestelmä? 2020). Lämminvesivaraaja vaatii enemmän tilaa kuin läpivirtausvedenlämmitin. Läpivirtausvedenlämmittimellä on suuri tehontarve. Läpivirtauslämmitin tarvitsee esimerkiksi 3,5 kW sähkötehon

lämmittääkseen kaksi litraa vettä minuutissa 25 astetta lämpimämmäksi (Clage MBH läpivirtauslämmitin). Pienellä jännitteellä toimivia läpivirtaus vedenlämmittimiä ei ole markkinoilla. Venekäyttöön suunniteltuja 12V lämminvesivaraajia sen sijaan löytyy markkinoilta. Molemmilla laitteilla on jäätymisvaara talvikuukausina. Käytännössä ne täytyy tyhjentää talveksi. Koska talvella sähköä on huonosti saatavilla, voidaan veden lämmitykseen silloin käyttää kamiinaa. Kamiinan kylkeen, päälle tai sen piippuun voidaan laittaa vesisäiliö, jossa vesi lämpenee kamiinaa lämmitettäessä.

Vesipisteeseen johdetaan käyttövesi pumpulla. Jos rakennus sijaitsee järven rannalla, vettä voidaan pumpata järvestä. Järvivedestä pumpattu vesi saattaa vaatia suodatinta. Jos järvivettä ei ole saatavilla, voidaan käyttää sadevettä. Katolta rännien avulla keräämällä sadevesi saattaa likaantua, jolloin sitä ei kannata käyttää juomavetenä ilman puhdistamista. Sadeveden keräystä varten tarvitaan säiliö, joka täytyy tyhjentää talveksi. Myös järvestä johdettu vesiputki on valutettava tyhjäksi talven ajaksi. Jotkut pumput on suunniteltu toimimaan myös talvella, mutta niitäkään ei saa päästää jäätymään. Vesijohtoon voidaan laittaa sähköllä lämpenevä saattolämmitys, joka pitää johdot sulana, jos sähköä on saatavilla. Sadeveden keräysjärjestelmiä valmistetaan kaupallisesti. Kaupalliset sadevesisysteemit ovat maahan upotettavia eli vaikeasti siirrettäviä. Vapaa-ajan asunnolle voidaan kantaa juomavesi erillisissä säiliöissä, jolloin sade- tai järvivettä voidaan käyttää tiskaamiseen ja peseytymiseen. Tällöin veden puhtausvaatimukset eivät ole yhtä tiukat. Vesijohtojen sulana pitäminen ja vesipumpun käyttö vaativat sähköä, jota on heikosti tarjolla talviaikaan, joten talviaikaan kantovesi saattaa olla ainoa vaihtoehto.

Harmaiden jätevesien käsittely on huomattavasti helpompaa, kuin vesivessoista syntyvien mustien jätevesien. Ympäristönsuojelulaissa (527/2014) sanotaan, että muiden kuin vesikäymälän jätevedet voidaan johtaa puhdistamatta maahan, jos jätevesimäärät ovat pieniä ja siitä ei aiheudu ympäristön pilaantumisen vaaraa (YSL 16:155 §). Tiski- ja käsi pesuvedet voidaan siis ohjata suoraan maahan.

5.3 Valaistus, taloautomaatio ja sähköntuotanto

Valaistus voidaan toteuttaa energiatehokkaimmin hyödyntämällä luonnonvaloa ja käyttämällä LED-lamppuja. Niillä on hyvä hyötysuhde ja pitkä käyttöikä. Valaistuksen nouseva trendi on dynaaminen valaistus, jossa valon määrää ja värilämpötilaa säädetään esimerkiksi vuorokaudenajan mukaan (Lukkari 2018).

Taloautomaatiojärjestelmällä voidaan keskitetysti seurata ja ohjata talon eri laitteita ja järjestelmiä. Sillä voidaan tehokkaasti ja helposti seurata, ohjata, optimoida ja valvoa talon tekniikkaa. (Taloautomaatio pientaloissa 2019)

Taloautomaatiojärjestelmällä voidaan seurata rakennuksen sisä- ja ulkolämpötiloja sekä ilman kosteuspitoisuutta. Näin voidaan tutkia esimerkiksi ilma-aurinkolämmittimen toimintaa Suomen oloissa ja kuivanapitolämmityksen onnistumista. Painovoimaista ilmanvaihtoa voidaan säätää automaatiolla sääolojen mukaan ilmanottoventtiiliä pienentämällä tai suurentamalla. Voidaan myös mitata sisäilman hiilidioksidipitoisuutta, jolloin voidaan tehdä päätelmiä ilmanvaihdon toimivuudesta. Automaatiojärjestelmällä voidaan seurata aurinkosähkön tuotantoa, virrankulutusta, akuston tilaa sekä optimoida sähkönkulutusta sen saatavuuden mukaan. Lisäksi voidaan seurata vedenkulutusta. Automaatiojärjestelmä lisää turvallisuutta mahdollistamalla etäseurannan. Esimerkiksi tulipalon sattuessa hälytyksen voi saada järjestelmältä etänä.

Taloautomaatiojärjestelmän voi hankkia kaupalliselta toimijalta tai rakentaa ja koodata itse hyödyntäen esimerkiksi Raspberry Pi -minitietokonetta. Minitietokone käyttää päällä ollessaan sähkötehoa arviolta 6W (Power Consumption Benchmarks). Jos tietokone käynnistetään esimerkiksi tunnin välein kahdeksi minuutiksi lukemaan anturit ja päivittämään tiedot verkkoon, sekä tarkistamaan etäyhteydenottopyynnöt, päivittäistä energiankulutusta voidaan saada laskettua jopa viiteen Wattituntiin. Tämän lisäksi erilaiset anturit tarvitsevat pieniä määriä sähkötehoa.

Ilman sähköliittymää sähköntuotannolle on vaihtoehtoina aurinkosähkö, tuulisähkö sekä bensa- tai dieselaggregaatti. Aggregaatti tarvitsee sähköä tuottaakseen polttoainetta, joka ei ole uusiutuvaa ja josta tulee käyttökustannuksia. Aurinko- ja tuulisähkö ovat uusiutuvia energianlähteitä ja niillä ei ole käyttökustannuksia. Niihin vaadittavat alkuinvestoinnit sen sijaan ovat suurempia. Tuulivoiman kannattavuus riippuu sijoituspaikan ympäristö- ja tuuliolosuhteista. Aurinkopaneelit vievät tuulivoimalaa vähemmän tilaa ja ovat täysin äänettämiä. Sekä tuulta että auringon paistetta ei ole saatavilla ympäri vuoden ja ympäri vuorokauden.

Aurinkosähkön tuotannolle otollisinta aikaa on huhti-syyskuu. Marras-tammikuussa aurinkosähkön tuotanto riittää yleensä vain vähäiselle tai satunnaiselle käytölle. Vapaa-ajan asuinnoissa, joiden käyttö on jaksottaista, tarvitaan yleensä suuremmat akustot kuin tasaisemman sähkönkulutuksen kohteissa. Omavaraiselle aurinkosähköjärjestelmälle suunnitellaan yleensä 1,1-1,5-kertainen tuotto kulutukseen verrattuna. Akuston käytettävissä oleva kapasiteetti mitoitetaan vastaamaan 2-50 vuorokauden kulutusta. Aurinkosähköä hyödynnettäessä on ensiarvoisen tärkeää valita sähköä säästäviä ratkaisuja, kuten led-lamppuja hehkulamppujen sijaan. (Erat et al. 2016) Kohteen sähkötehontarpeen mitoittavana tekijänä voidaan pitää automaattisen seurantasysteemin sähköenergian tarvetta, sillä sen halutaan pysyvän päällä myös kaikista pimeimpinä vuodenaikoina.

Aurinkosähköjärjestelmän energiantuoton laskentaan voidaan käyttää EU:n Joint Research Centerin ylläpitämää verkkolaskuria. Laskurissa valitaan paikkakunta, aurinkopaneelin teho, aurinkopaneelin kallistuskulma ja ilmansuunta, johon se on suunnattu. Paneelilla, jonka teho on 300 Wp, kallistuskulma 35° ja ilmansuunta etelä, saadaan laskurin mukaan joulukuussa päivittäin keskimäärin 43 Wh energiaa Tampereella. Joulukuu on selvästi heikoimman sähköntuotannon kuukausi.

Akustosta saadaan matalajännitteistä sähkövirtaa. Matalajännitteisellä sähkövirralla voidaan toteuttaa lattialämmitys ja valaistus. Myös erilaisia kodinkoneita myydään pienijännitteisiin kohteisiin. Jos tarvitaan laitteita, jotka vaativat suurempaa jännitettä, tarvitaan laitteistoon invertteri. Invertteristä aiheutuu tehohäviöitä.

5.4 Minimökin talotekniset ratkaisut

Kohteen vaatimukset täyttäviä taloteknisiä ratkaisuja löytyy monenlaisia ja vaihtoehtojen tarjonta on kovassa kehityksessä. Kootaan läpikäydyistä ratkaisuista yksi mahdollinen kokonaisuus kohteen taloteknisten järjestelmien toteutukselle.

Kohteen lämmitys toteutetaan useamman lämmitysmuodon yhdistelmänä eli hybridilämmityksenä. Kun aurinkosähköä on tarjolla, voidaan tilaa lämmittää suoralla sähköllä pintalattialämmityksenä. Lisälämpöä pimeään vuodenaikaan saadaan kamiinasta puunpoltolla. Auringon paistaessa tilaa lämmittää ja kuivattaa ilma-aurinkokeräin. Käyttövesi lämmitetään kesäaikaan pienellä aurinkokeräimellä ja lämminvesivaraajaan voidaan tarvittaessa johtaa myös sähkön ylituotantoa. Kamiinaan yhdistettävässä vesisäiliössä lämmitetään vesi silloin, kun lisälämmitys kamiinalla on tarpeellista. Ruuanlaittoon käytetään kamiinan liettä, kaasuhellaa ja ulkogrillia.

Ilmanvaihto toteutetaan painovoimaisena. Poistoilmakanavana hyödynnetään kamiinan hormia ja tuloilmalaitteena sähkösäädettävää venttiiliä. Tuloilma tulee tilaan aurinkokeräimen kautta. Ilmanvaihtoa voidaan tehostaa sähköisellä puhaltimella, kamiinaa lämmitämällä ja tarvittaessa ikkunaa avaamalla. Tilan ylikuumentumista ennaltaehkäistään varjostamalla eteläikkunoita korkealta tulevalta auringonpaisteelta terassikatoksella.

Vesi johdetaan rakennukseen pumpulla sijoituspaikan mukaan järvestä tai sadevesisäiliöstä. Veden puhtauden mukaan järjestelmään asennetaan tarvittavia suodattimia. Talveksi kaikki säiliöt ja vesijohdot valutetaan tyhjäksi. Tiskauksesta ja käsienpesusta syntyvät jätevedet johdetaan suoraan maaperään.

Taloautomaatiojärjestelmään kuuluu lämpötilaa, kosteutta ja hiilidioksidipitoisuutta mittaavia antureita, jotta voidaan seurata rakennusratkaisujen ja talotekniikan toimivuutta. Järjestelmä seuraa myös sähkön tuotantoa ja kulutusta ja veden kulutusta. Sen avulla

voidaan ohjata ilmanvaihtokanavaa, sähköistä lämmitystä ja valaistusta. Valaistukseen käytetään LED-lamppuja, joiden kirkkautta ja värilämpötilaa voidaan säätää. Taloautomaatiojärjestelmä lähettää käyttäjälle hälytyksen palohälyttimen lauetessa. Järjestelmä tuottaa dataa verkkopalvelimelle, jonka kautta järjestelmää voi seurata ja ohjata myös etänä.

Sähköntuotanto tapahtuu aurinkopaneeleilla. Sähkö varastoidaan akustoon, josta saadaan matalajännitteistä tasavirtaa. Paneelit ja akusto mitoitetaan niin, että pimeimpinäkin kuukausina sähköä riittää taloautomaatiojärjestelmän ylläpitoon. Taloautomaatiojärjestelmällä pyritään optimoimaan sähkönkulutusta. Sähköä käytetään tilan ja veden lämmitykseen, valaistukseen ja jääkaappiin silloin kun sitä on runsaammin tarjolla. Lisäksi varataan USB-pistorasia mobiililaitteiden lataamista varten.

6. YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Tässä työssä selvitettiin siirrettävän minikokoisen vapaa-ajan rakennuksen talotekniikalle lainsäädännön asettamia vaatimuksia, energiantarvetta ja vaihtoehtoja taloteknisten järjestelmien toteutukselle. Vaihtoehtoista koottiin konseptisuunnitelma, joka ottaa huomioon kohteen talviasuttavuuden Suomen ilmastossa, ekologisuuden, terveellisyyden ja kustannustehokkuuden.

Suomen lainsäädäntö vaatii uusilta rakennuksilta energiatehokkuutta ja talotekniikan suunnittelua varten on määritetty vaatimustasoja esimerkiksi lämpötiloille, ilmanvaihdon tehokkuudelle ja vesilaitteistojen toiminnalle. Alle 50 neliön rakennuksien suhteen sekä vapaa-ajan asuntojen suhteen lainsäädännössä on myös myönnytyksiä.

Energialaskelmien tuloksena saatiin rakennuksen kokonaisenergian tarpeeksi 1912 kilowattituntia vuodessa ja lämmitysjärjestelmän tehontarpeeksi 1054 Wattia. Lämmitys päätettiin toteuttaa hybridilämmityksenä hyödyntäen aurinkokeräimiä, sähköistä lattialämmitystä ja puulämmitystä kamiinalla. Sähköntuotanto toteutetaan aurinkopaneeleilla ja sähköä varastoidaan akustoon. Sähkönkulutusta pyritään optimoimaan taloautomaatiojärjestelmän avulla ja sähkönkulutus pidetään pienenä hyödyntäen muun muassa energiatehokkaita LED-lamppuja valaistuksessa. Ilmanvaihto toteutetaan painovoimaisena ja sitä tehostetaan tarvittaessa ikkunoita avaamalla tai kamiinan piippua lämmitämällä. Käyttövesi pumpataan järvestä tai sadeveisisäiliöstä. Jätevedet voidaan johtaa suoraan maahan.

Taloteknisten järjestelmien kartoituksessa huomattiin, että mahdollisia ratkaisuja minikokoisen talviasuttavan off-grid vapaa-ajan asunnon talotekniikalle löytyy paljon. Markkinat pyrkivät löytämään ratkaisuja ympäristö- ja energiakriisien ratkaisemiseksi ja kehitys on taloteknisten järjestelmien osalta nopeaa. Aurinkosähköjärjestelmien kustannukset laskevat jatkuvasti sekä paneelien että akkujen hinnankehityksen myötä. Energiatehokas rakentaminen, aurinkosähkön hinnan laskun ja esimerkiksi valaistuksen energiatehokkuuden paraneminen tekevät mahdolliseksi mukavuuksien ympäristöystävällisen toteutuksen myös irti verkoista. Juokseva vesi, lämmitys, sähköistys ja taloautomaatio, ovat toteutettavissa myös ilman kunnallisia sähkö- ja vesiverkostoja. Talviaikaan Suomen ilmastossa joistain mukavuuksista, kuten juoksevasta vedestä, on kuitenkin luovuttava.

Työ täytti tavoitteensa luoda konseptisuunnitelma off-grid siirrettävän minikokoisen vapaa-ajanrakennuksen talotekniikan toteutukselle. Ratkaisuja kohteen tarpeiden täyttämi-

selle löytyi useampia. Lopullinen konseptisuunnitelma on kustannustehokas, toteutuskelpoinen, ja täyttää kohteelle asetetut vaatimukset. Seuraavaksi kohteen talotekniikalle tulee luoda tarkemmat suunnitelmat ja piirustukset yhdessä sähkö- ja LVI-alan ammattilaisten kanssa. Tarkempi suunnitelma tulee sisältämään esimerkiksi aurinkopaneelien koon ja sijoittelun, akuston koon, sähköasennusten, vesilaitteiden asennusten ja ilmanottolaitteiden sekä aurinkokeräinten suunnittelun. Jatkoselvityksessä tulee myös tehdä tarkempi selvitys energian tuotannon ja kulutuksen kohtaamisesta.

LÄHTEET

Chadwick, K. (2019). Living Small, Library Journal, Vol. 144(8), s. 31.

Clage MBH läpivirtauslämmitin, tuotesivu. Saatavissa (24.9.2020): <https://www.huippu-tuotteet.fi/vedenlammitimet/lapivirtauslammitin-clage-mbh-35-kw-10-bar/>

Edelstein, J. (2010). Small Houses, Big Impact, Journal of gerontological nursing, Vol. 36(4), s. 8.

Erat, B., Tahkokorpi, M., Hänninen, P., Nyman, C., Raisinkoski, A., Wiljander, M. (2016). Aurinkoenergia Suomessa, Helsinki: Into.

Kamiina - kevyttakka, Takkamaailma. Saatavissa (24.9.2020): <http://www.takkamaailma.fi/kamiina.html>

Kuinka paljon kännykän lataaminen kasvattaa sähkölaskua vuodessa? Laskelma voi yllättää, Talouselämä (2016). Saatavissa (24.9.2020): <https://www.talouselama.fi/uutiset/kuinka-paljon-kannykan-lataaminen-kasvattaa-sahkolaskua-vuodessa-laskelma-voi-yllattaa/d06ac7ac-4c57-3a7e-bbff-6c5b20b4f6a5>

Kuuluvainen, L., Lindberg, B., Lylykangas, K., Mikkola, J., Sainio, J., Vuolle, M., (2018). Painovoimainen ilmanvaihto-opas, Ympäristöministeriö. Saatavissa (viitattu 24.9.2020): <https://ym.fi/rakentamismaaraykset>

Lukkari, J. (2018). Led jyrää valaistuksessa, Tekniikka ja talous. Saatavissa (24.9.2020): <https://www.tekniikkatalous.fi/uutiset/led-jyraa-valaistuksessa/11f3fda3-b6c6-3069-b217-b1288a9f9035>

Mattila, I. (2008). Lämpöä karkaa taivaalle – turhaan, Rakennusmaailma, päivitetty 20.2.2008. Saatavissa (24.9.2020): <https://rakennusmaailma.fi/lampoa-karkaa-taivaalle-turhaan/>

MRL 132/1999. Maankäyttö- ja rakennuslaki. Saatavissa (viitattu 16.9.2019): <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1999/19990132>

Photovoltaic Geographical Information System, European Commission, päivitetty 15.10.2019. Saatavissa (28.9.2020): https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/#PVP

Pientalon lämmitystapojen vertailulaskuri, Motiva, päivitetty 20.9.2017. Saatavissa (24.9.2020): https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/rakentaminen/lammitysjarjestelman_valinta/vertaile_lammitysjarjestelmia/pientalon_lammitystapojen_vertailulaskuri

Power Consumption Benchmarks, Raspberry Pi Dramble. Saatavissa (28.9.2020): <https://www.pidramble.com/wiki/benchmarks/power-consumption>

Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehon tarpeen laskenta, Ympäristöministeriö, (2018). Saatavissa (viitattu 24.9.2020): <https://ym.fi/rakentamismaaraykset>

Rytkönen, A. & Kirkkari, A.-M. (2010). Vapaa-ajan asumisen ekotehokkuus, Ympäristöministeriö, s. 21.

Sähkölämmitys, Motiva, päivitetty 17.3.2020. Saatavissa (24.9.2020):

https://www.energiatehokaskoti.fi/suunnittelu/talotekniikan_suunnittelu/lammitys/sahkolammitys

Taloautomaatio pientaloissa, Motiva, päivitetty 23.10.2019. Saatavissa (24.9.2020):

https://www.motiva.fi/koti_ ja _asuminen/hyva_arki_kotona/taloautomaatio/taloautomaatio_pientaloissa

Vesikiertoinen vai kuiva lämmönjakojärjestelmä? Motiva, päivitetty 17.3.2020. Saatavissa (24.9.2020):

https://www.energiatehokaskoti.fi/suunnittelu/talotekniikan_suunnittelu/lammitys/vesikiertoinen_vai_kuiva_lammonjakojarjestelma

Vihmanen, L. (2015). Onko omakotitalon pakko olla suuri? Yle, päivitetty 12.2.2015.

Saatavissa (24.9.2020): <https://yle.fi/aihe/artikkeli/2015/02/08/onko-omakotitalon-pakko-olla-suuri>

YMa 1007/2017. Ympäristöministeriön asetus rakennuksen käyttöturvallisuudesta.

Saatavissa (viitattu 24.9.2020): <https://ym.fi/rakentamismaaraykset>

YMa 1009/2017. Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdesta. Saatavissa (viitattu 24.9.2020):

<https://ym.fi/rakentamismaaraykset>

YMa 1009/2017 Perustelumuistio. Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdesta perustelumuistio. Saatavissa (viitattu 24.9.2020):

<https://ym.fi/rakentamismaaraykset>

YMa 1010/2017. Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta. Saatavissa (viitattu 24.9.2020):

<https://ym.fi/rakentamismaaraykset>

YMa 1010/2017 Perustelumuistio. Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta perustelumuistio. Saatavissa (viitattu 24.9.2020):

<https://ym.fi/rakentamismaaraykset>

YMa 1047/2017. Ympäristöministeriön asetus rakennusten vesi- ja viemärlaitteistoista. Saatavissa (viitattu 24.9.2020):

<https://ym.fi/rakentamismaaraykset>

YMa 782/2017. Ympäristöministeriön asetus rakennusten kosteusteknisestä toimivuudesta. Saatavissa (viitattu 24.9.2020):

<https://ym.fi/rakentamismaaraykset>

YMa 848/2017. Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta. Saatavissa (viitattu 24.9.2020):

<https://ym.fi/rakentamismaaraykset>

YMa 848/2017 Perustelumuistio. Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta perustelumuistio. Saatavissa (viitattu 24.9.2020):

<https://ym.fi/rakentamismaaraykset>

YSL 527/2014. Ympäristönsuojelulaki. Saatavissa (viitattu 16.9.2019):

<https://finlex.fi/laki/ajantasa/2014/20140527>