



Uusiutuvien energialähteiden käyttö Lahdessa

Tapaustutkimus pohjaveden hyödyntämisestä jäähdytyskäyttöön asuinkerrostalossa

Lotta Ihalainen

Opinnäytetyö
Hajautetut energiajärjestelmät
2015

OPINNÄYTE	
Arcada	
Koulutusohjelma:	Hajautetut energiajärjestelmät
Tunnistenumero:	14298
Tekijä:	Lotta Ihalainen
Työn nimi:	Hajautettujen energiajärjestelmien käyttö Lahdessa – Tapaustutkimus pohjaveden hyödyntämisestä jäähdytyskäyttöön asuinkerrostaloissa
Työn ohjaaja (Arcada):	Björn Wiberg
Toimeksiantaja:	Lahden seudun ympäristöpalvelut
<p>Tiivistelmä:</p> <p>Tässä lopputyössä luodaan katsaus uusiutuvien energialähteiden käyttöön kestäväen kehityksen mukaisesti. Tapaustutkimuksena lopputyö esittelee jäähdytysjärjestelmän, jonka primäärienergiälähteinä ovat pohjavesi ja aurinkosähkö. Työn tilaajana on Lahden seudun ympäristöpalvelut, joka vastaa kestävästä kehityksestä kaupunkikonsernitason. Lahdessa verkostovesi on pohjavettä ja tehtäväksi tuli täten tutkia mahdollisuutta hyödyntää verkostovettä jäähdytykseen. Lahden kaupungin tavoitteena on kestävä yhteiskunta ilman hiilidioksidipäästöjä ja on siksi asettanut tavoitteekseen puolittaa hiilidioksidipäästöt vuoden 1990 tasosta vuodelle 2025. Päästöjen vähentämiseksi on fossiilisten polttoaineiden käyttämisestä luovuttava ja lisättävä uusiutuvien energialähteiden käyttöä primäärienergiälähteinä. Ilmaston lämpenemisen sekä kasvavien sisäilmavaatimusten johdosta uskotaan jäähdytyksen yleistyvän asuintaloissa.</p> <p>Asuinkerrostalon todellisen jäähdytystarpeen selvittämiseksi mallinnettiin passiivirakenteinen kolmikerroksinen asuintalo IDA ICE (Indoor Climate and Energy) -simulointiohjelmalla. Jäähdytysjärjestelmän kylmätehon mitoitus tehtiin verkostovedestä hyödynnettävän virtaaman mukaan. Järjestelmän tarvitseman sähkötehon tuottamiseksi rakennuksen katolle mitoitettiin tehontarvetta vastaavat aurinkopaneelit.</p> <p>Simuloinnin tulokset osoittivat merkittävän jäähdytystarpeen rakennuksessa kesäheinäkuulle. Laskentojen perusteella saatiin selville pohjaveden esiintymisen sekä lämpötilan olevan suotuisat jäähdytyksen tuotannolle. Pohjaveden hyödyntäminen verkostoveden mitoitusvirtaamalla osoittautui kuitenkin liian pieneksi halutun jäähdytystehon tuottamiselle. Pohjavedestä saatavaa virtaamaa kasvattamalla voidaan tarvittava jäähdytysteho kuitenkin tuottaa kuormittamatta ympäristöä.</p>	
Avainsanat:	Lahden seudun ympäristöpalvelut, hajautetut energiajärjestelmät, pohjavesi, jäähdytys, IDA ICE
Sivumäärä:	76
Kieli:	suomi
Hyväksymispäivämäärä:	

EXAMENSARBETE	
Arcada	
Utbildningsprogram:	Distribuerade energisystem
Identifikationsnummer:	14298
Författare:	Lotta Ihalainen
Arbetets namn:	Användning av distribuerade energisystem i Lahtis – Fallstudie om kylning med grundvatten i höghus
Handledare (Arcada):	Björn Wiberg
Uppdragsgivare:	Lahtis-regionens miljötjänster
<p>Sammandrag:</p> <p>Slutarbetet har som syfte att arbeta för hållbar utveckling genom att uppmuntra till användning av förnybara energikällor. Som fallstudie presenteras ett kylsystem som vid drift endast använder förnybara energikällor. Arbetet beställdes av Lahtis-regionens miljötjänster som ansvarar för hållbar utveckling på stads koncernnivå. Eftersom att hushållsvattnet i Lahtis är grundvatten blev uppgiften att undersöka huruvida färskvatten kunde användas för kylning. Lahtis stad arbetar för ett hållbart samhälle med noll koldioxidutsläpp och har som mål att minska utsläppen med hälften från årets 1990 nivå till år 2025. För att minska utsläppen måste användningen av fossila bränslen avta och energieffektivisering ske inom energiproduktion. Behovet av forcerad kylning förväntas öka på grund av global uppvärmning.</p> <p>För att reda ut det egentliga kylbehovet i höghus gjordes en modellering av ett passivhus med IDA ICE (Indoor Climate and Energy) -simuleringsprogrammet. Kylbehovet räknades för ett bostadshöghus med tre våningar och sammanlagt 22 lägenheter. Dimensioneringen av kylanläggningen definierades av flödet i färskvattnet. För att producera eleffekten som pumparna i kylanläggningen krävde dimensionerades solpaneler med rätt effekt på höghusets tak.</p> <p>Simuleringen bevisade stort behov för kylning från juni till augusti. Resultaterna visade att temperaturen samt förekomsten av grundvatten är lämpliga för kylandet av bostadshus men att flödet i vattennätverket inte räcker för att producera den önskade kyleffekten. Genom att öka flödet från grundvattnet kan man ändå åstadkomma den önskade kyleffekten utan att belasta miljön.</p>	
Nyckelord:	Lahtis-regionens miljötjänster, distribuerade energisystem, grundvatten, kylning, IDA ICE
Sidantal:	76
Språk:	finska
Datum för godkännande:	

DEGREE THESIS	
Arcada	
Degree Programme:	Distributed energysystems
Identification number:	14298
Author:	Lotta Ihalainen
Title:	The use of distributed energy systems in Lahti – Case study on cooling with groundwater in apartments
Supervisor (Arcada):	Björn Wiberg
Commissioned by:	Lahti regions environmental services
<p>Abstract:</p> <p>This thesis aims to boost sustainable development by encouraging use of renewable energy. As a case study it presents a cooling system that only uses renewable energy when operating. The thesis was ordered by Lahti regions environmental services that are in charge of sustainable development on a city consolidated level. The task was to explore whether fresh water could be used for cooling, as it in Lahti is groundwater. Lahti city is aiming for a sustainable society with no carbon dioxide emissions and has set a goal for halving the emissions from the year 1990's level till 2025. The use of fossil fuels has to decline and energy effectiveness as well as the use of renewable energy sources increase to reduce emissions. Due to global warming forced cooling is expected to increase in homes.</p> <p>A model of a passive house was built with IDA ICE (Indoor Climate and Energy) -simulation program to find out the actual cooling load in a block of flats. The cooling demand was calculated for a three-storey building with 22 apartments. Dimensioning of the cooling system was defined by the flow rate of fresh water. Solar panels were to be installed on the roof to produce the required electric power for cooling pumps.</p> <p>The simulation proved that there is a great need for cooling from June to August. The results display that the occurrence and temperature of groundwater is suitable for cooling but that the flow rate in the water network and residential dimension rate are not sufficient to produce the desired cooling effect. By increasing the flow rate the requested cooling effect can still be achieved without burdening the environment.</p>	
Keywords:	Lahti regions environmental services, distributed energy systems, ground water, cooling, IDA ICE
Number of pages:	76
Language:	Finnish
Date of acceptance:	

INNEHÅLL / CONTENTS

1 Johdanto	7
1.1 Aiheen rajaus	8
2 TAVOITTEET	10
2.1 Rakennuksen valinta ja simulointi.....	10
2.2 Sijainti	11
2.3 Passiivitalo.....	12
3 NYKYTILANNE	14
3.1 Jäähdytyksen tarve	14
3.2 Jäähdytysjärjestelmät	14
3.2.1 <i>Koneellinen jäähdyttäminen</i>	15
3.2.2 <i>Ilmastointijärjestelmät</i>	16
4 AIHEEN TARPEELLISUUS	18
4.1 Ilmastopolitiikka.....	20
4.1.1 <i>Lahden kaupunki</i>	21
4.2 Uusiutuvat energianlähteet	22
4.2.1 <i>Tuuli</i>	23
4.2.2 <i>Vesi</i>	24
4.2.3 <i>Bioenergia</i>	26
5 AURINKOENERGIA	29
5.1 Aurinkosähkö	33
6 POHJAVESI	37
7 TYÖTAPA JA MENETELMÄT	39
7.1 Simulointi	41
7.2 Lattiajäähdytys	45
7.3 Esimerkki pohjaveden käytöstä jäähdytykseen	47
8 LOPPUTULOS	50
8.1 Mitoitus.....	55
8.2 Aurinkopaneelien valinta.....	60
9 KESKUSTELU JA ANALYYSI	65
9.1 Ehdotuksia jatkotutkimuksille	70
LÄHTEET	73

ALKUSANAT

Tämä opinnäytetyö on kirjoitettu Hajautetut energijärjestelmät–koulutusohjelman lopputyönä Arcadan ammattikorkeakoulussa. Työn ohjaajana toimi koulun tutkimusinsinööri Björn Wiberg ja toimeksiantajana Lahden seudun ympäristöpalvelut. Opinnäytetyön kirjoittaminen laajensi tuntemustani pienimuotoisesta energiantuotannosta sekä jäähdytyksen tarpeesta asuinrakennuksissa.

Haluan osoittaa kiitokseni Lahden seudun ympäristöpalveluille harjoittelun ja opinnäytetyön aiheen tarjoamisesta sekä Saara Vauramolle työn ohjaamisesta. Kiitoksen ansaitsevat lisäksi ohjaajani Björn Wiberg sekä koulun opettaja Kaj Karumaa, jotka neuvoiltaan mahdollistivat työn valmistumisen.

Kiitän myös Lahti Aquan suunnitteluinsinööri Jyrki Hiltusta, jonka kanssa käyty sähköpostiviestittely tarjosi lisätietoa verkostoveden käyttömahdollisuuksista Lahdessa.

Helsinki

Lotta Ihalainen

1 JOHDANTO

Tässä opinnäytetyössä esitellään suunnitelma uusiutuvilla energianlähteillä toimivasta jäähdytysjärjestelmästä. Järjestelmä mitoitetaan pienkerrostalolle, joka tulevaisuudessa tulee sijaitsemaan Lahden Hennalassa. Jäähdytysjärjestelmällä pyritään lisäämään asuinviihtyvyyttä kesäaikaan ympäristöä vahingoittamatta. Energian tuotanto toteutetaan paikallisesti, jolloin vältytään siirtohäviöiltä sekä ylimääräisiltä kustannuksilta. Opinnäytetyössä paneudutaan lisäksi ilmastonmuutoksen tuomiin haasteisiin sekä uusiutuvien energianlähteiden käytön mahdollisuuksiin nyky-yhteiskunnassa. Työn tilaajana on Lahden seudun ympäristöpalvelut, jolle kaupunginvaltuuston määräämänä kuuluu kaupunkikonsernitasonen kestävä kehitys ja energiaratkaisut sen osana. Lahden kaupungille tehtiin työ- ja elinkeinoministeriön rahoittamana Motiva-energiakatselmus vuonna 2014, jossa selvitettiin kaupungin mahdollisuuksia uusiutuvien energialähteiden käytön lisäämiseen sekä energiatehokkuuden tehostamiseen kaupungin omistamissa rakennuksissa. Tämä opinnäytetyö toimii kuntakatselmuksen lisänä kaupungin kestävä kehityksen edistäjänä. Kestävä kehitys on kehitystä, joka pyrkii tyydyttämään yhteiskunnan tarpeet haastamatta tulevien sukupolvien mahdollisuutta tyydyttää omansa. (Areskoug, M. 2006, s. 37)

Maailmanlaajuinen ilmastonmuutos on jo useamman vuoden ajan ollut aktiivisesti esillä mediassa ja tutkimuskohteena tieteen eri aloilla. Tutkijoiden parissa on viime vuosina saavutettu konsensus ihmistoiminnan merkittävydestä ilmastonmuutokseen, joka nykyisellään on vaikuttanut keskilämpötilan nousuun koko maailmassa. Hallitustenvälisen ilmastonmuutospaneelin, IPCC: n (Intergovernmental Panel on Climate Change), mukaan mantere- sekä merialueiden yhteenlaskettu lämpeneminen on noin 0,65 – 1,06 celsiusastetta vuodesta 1880 vuoteen 2012 (IPCC, 2014). Ihmisen toiminta vaikuttaa ilmaston pitkäaikaiseen muutokseen maankäytön sekä ilmakehään joutuvien kasvihuonekaasujen kautta. Kasvihuonekaasut estävät auringonsäteilyn heijastumista takaisin avaruuteen, joka aiheuttaa häiriötä maan säteilytasapainoon ja vahvistaa kasvihuoneilmiötä maan pinnalla. Kasvihuonekaasuista haitallisinta on hiilidioksidi, jota syntyy eniten fossiilisia polttoaineita - öljyä, maakaasua sekä kivihiiltä poltettaessa. Lisääntyvä metsien hakkuu pienentää maapallon luonnollisia hiilinieluja, joka kasvattaa ilmakehään joutuvan hiilidioksidin määrää. (VTT. 2010, s. 28-30)

Ilmastonmuutoksen johdosta on useissa maissa ryhdytty mittaviin toimenpiteisiin muutoksen hillitsemiseksi sekä toisaalta sopeutumiseen lämpenemisen aiheuttamiin muutoksiin. Lahden kaupungin ympäristöpolitiikan yhtenä päämääränä on kasvihuonekaasupäästöjen vähentäminen ([1] Lahden kaupunki, 2014). Tämä asettaa haasteita kaupungin energiantuotannolle, joka perustuu 49 prosenttisesti kivihiilen polttamiseen (Ikonen, E & Pulkkinen, M. 2014, s.12). Motiva-energiakatselmus keskittyy sähkön sekä lämmityksen erillis- ja yhteistuotannon nykyisiin tapoihin ja kestävyuden lisäämiseen näiden parissa. Aurinkoenergian hyödyntämiseen sekä jäähdytyksen järjestämiseen ei energia-katselmuksessa ole paneuduttu.

Asuinviihtyvyyden vaatimusten kasvaessa, väestön vanhetessa, rakennusten parantuvan lämpöeristyksen seurauksena ja kodinkoneiden sekä muun lämpöä tuottavan elektroniikan määrän kasvaessa kodeissa, tulee jäähdytyksen tarve lisääntymään. Ilmatieteenlaitoksen ja Aalto yliopiston yhteistyössä toteuttaman hankkeen mukaan jäähdytysenergian tarve tyypillisissä suomalaisissa uudispientaloissa kasvaa noin 10 % vuoteen 2030 mennessä ja 20-30 % vuoteen 2080 mennessä (Ilmatieteenlaitos & Aalto yliopisto, 2011)

Tämä opinnäytetyö keskittyy olemassa olevan teknologian hyödyntämiseen kestävästä kehitystä kunnioittaen. Jäähdytysjärjestelmä käyttää Lahdessa suurissa määrin esiintyvää pohjavettä kylmänlähteenä, vesikierteisen järjestelmän pumppu mitoitetaan toimimaan aurinkopaneeleilla tuotettavalla sähköllä. Jäähdytystarve määritellään rakennusmääräysten perusteella kesäajan käyttöön ja lasketaan IDA Indoor Climate and Energy -simulointiohjelmalla.

1.1 Aiheen rajaus

Opinnäytetyö keskittyy toimivan jäähdytysjärjestelmän kokonaissuunnitteluun. Tarkoituksena on käyttää olemassa olevia laitteita ja tekniikkaa ja luoda energiatehokas jäähdytysjärjestelmä Hennalassa tulevaisuudessa rakennettavaan kolmikerroksiseen asuin-kerrostaloon. Rakennuksen tarpeet laskelmoidaan Suomen passiivitalomääritelmän sekä

rakennusmääräysten mukaiseksi. Jäähdytystarpeen määrittämiseksi rakennus simuloitetaan käyttäen IDA ICE -simulointiohjelmaa, versio 4.6.2. (2015). Jäähdytys toteutetaan vesikiertoisella järjestelmällä, jonka käyttämä sähkö tuotetaan aurinkovoimalla. Rakennuksen lämmitysmuodoksi valitaan passiivitaloissa suosittu lattialämmitys, joka tuotetaan kaukolämmöllä. Jäähdytys voidaan toteuttaa lämmitysputkia hyödyntäen, joka laskee rakennuskustannuksia. Aurinkosähköä tuotetaan aurinkopaneelien avulla, jotka sijaitsevat talon katolla. Absorptiojäähdytystä aurinkovoiman avulla ei tutkita opinnäytetyössä, johtuen aikaisempien tutkimusten tuloksista järjestelmän epätaloudellisuudesta Suomen olosuhteissa.

Jäähdytysjärjestelmän käyttö kohdistuu kesäkuukausille, tarkoituksena ei ole suunnitella ympärivuotista jäähdytystä. Simulointi toteutetaan ajanjaksolle 1.5.-30.9. Aurinkopaneelit mitoitetaan jäähdytysjärjestelmän tarpeiden mukaisiksi. Paneelien mahdollisesti tuottaman ylijäämäenergian käyttöön ei opinnäytetyössä paneuduta aihealueen liiallisen laajenemisen vuoksi. Paneelit kytketään kuitenkin talon sähköpääkeskukseen, josta tuotettu sähkö voidaan jakaa muuhun käyttöön. Paikallinen sähköyhtiö, Lahti Energia, on lisäksi ilmoittanut alustavan kiinnostuksensa ostaa ylijäämäsähköä kunnalliseen sähköverkkoon.

Opinnäytetyö esittelee jäähdytysjärjestelmän pääkomponentit ja toimintaperiaatteen perehtymättä putkistojen kytkentäkaavioihin, eristämiseen tai yksityiskohtaisiin materiaallivalintoihin. Uusiutuvat energianlähteet esitellään perustellen aurinkoenergian käyttöjärjestelmässä. Aiheen tärkeyttä perustellaan ilmastonmuutoksen aiheuttamien ilmasto-direktiivien sekä kansallisten ilmastositomusten kautta.

2 TAVOITTEET

Opinnäytetyön tutkimustavoitteena on luoda suunnitelma hajautetusta jäähdytysjärjestelmästä yksittäiseen taloon Hennalan kaavoittamattomalle alueelle. Jäähdytysjärjestelmä kuluttaa käytössä ainoastaan uusiutuvaa energiaa eikä sen toiminnasta aiheudu lainkaan päästöjä. Jäähdytys mitoitetaan kolmikerroksiseen puukerrostaloon, joka täyttää VTT:n määrittelemät passiivitalon vaatimukset Suomen olosuhteille. Jäähdytysjärjestelmän tehtävänä on pitää asuinviihtyvyys hyvänä säilyttämällä huoneilman lämpötila alhaisena kuumina kesäpäivinä. Opinnäytetyö keskittyy olemassa olevan teknologian hyödyntämiseen parhaalla mahdollisella tavalla. Tarkoituksena on luoda suunnitelma järjestelmästä, jota voi hyödyntää muillakin alueilla tietyin vaatimuksin. Rakennuksen sijainti vaikuttaa järjestelmän tehokkuuteen verkostovedestä saatavan pohjavesivirtaan tai mahdollisen oman pohjavedenottamon sekä auringon säteilyn mukaan.

Opinnäytetyö tarjoaa katsauksen Suomen kaupunkeja ohjeistavista ilmastomääräyksistä sekä –sopimuksista. Ilmastonmuutoksen ja sen vauhdittamien ilmastolakien avulla perustellaan uusiutuvien energianlähteiden tärkeys tulevaisuuden primäärienergiälähteenä. Työn tavoitteena on tutkia uusiutuvan pohjaveden hyödyntämistä jäähdytyskäyttöön verkostovedestä kestävällä sekä ympäristöystävällisellä tavalla.

2.1 Rakennuksen valinta ja simulointi

Jäähdytystarpeen laskemista, järjestelmän mitoitusta sekä rakennuksen sijainnin määrittämistä varten opinnäytetyö sisältää simuloinnin mahdollisesta alueelle rakennettavasta puukerrostalosta. Rakennuksen valinta perustuu alueen kaavaluonnosten, rakennusoi-keuden sekä energiatehokkuuden määrittelemiin kriteereihin. Suomen Rakennusmääräysten kiristymisen odotetaan johtavan rakennusten energiatehokkuuden kehittymiseen siten, että vuoteen 2020 mennessä uudisrakennusten normitaso saavuttaa passiivitalon kriteerit. (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. 2009, s. 257) Oletettavaa on siis, että Hennalan uudisrakentaminen on passiivi-tasoista. Rakennuksen optimoinnissa on tutustuttu alueen kaavaluonnokseen, jossa kerrostalot ovat pääosin kolmi- ja nelikerrok-

sisia. Kerrosala on määritelty tämänhetkisen rakennusoikeuden ja tehokkuuden (e-luku) mukaan ja on viitteellinen.

Passiivitalon ulkopuolisen lämmitysenergian tarve keskittyy joulu-, tammi- sekä helmi-kuun ajalle eteläisessä Suomessa, alle 60° N. (VTT. 2010, s. 95) Muuna aikana lämmitys hoidetaan passiivitalossa pääsääntöisesti lämmöntalteenotolla, eristävän ulkorakenteen sekä sisäisen lämpökuorman avulla. Lahden kaupungissa on kattava kaukolämpöverkosto, jonka runkoputki kulkee Hennalan alueen lähetyvillä. Kaukolämpö tuotetaan CHP (*Combined Heat and Power*) -laitoksissa, sähkön ja lämmön yhteistuotannossa. Kaukolämmön ekologisuutta Lahdessa lisää kierrätyspolttoainetta käyttävä Kymijärvi 2 CHP-laitos ja vuonna 2020 valmistuva biopolttolaitos. Kaukolämmön ympäristöystävällisyyden sekä kattavan verkoston ansiosta on järkevää, että Hennalan asuinalue kytetään kaukolämpöverkostoon. Rakennukseen suunnitellaan energiatehokas vesikiertoinen lattialämmitys, jota voidaan käyttää sekä lämmitykseen, että jäähdytykseen. Jäähdytystarpeen lisääntyessä alueen rakennuksissa, voidaan harkita kaukokylmän järjestämistä alueelle. Opinnäytetyön esittelemä jäähdytysjärjestelmä voidaan kytkeä kaukokylmän piiriin, mikäli asia tulee myöhemmin ajankohtaiseksi. Jäähdytysjärjestelmän osia voidaan hyödyntää myös muun keskitetyn jäähdytyksen järjestämiseen, joka lisää investoinnin taloudellisuutta.

2.2 Sijainti

Hennalan rakentamaton, noin 40 hehtaarin alue, on tänä päivänä kaavoittamatonta seutua, jonne on tarkoitus lähivuosina rakentaa uusi asuin- ja työpaikka-alue. Kaupunginosalle ominaista on seututie 140, jonka varrella Hennala sijaitsee, keskustan läheisyys ja vuonna 2014 lakkautettu Hennalan varuskunta. Entisen varuskunnan noin 30 punatiilirakennusta rakennettiin Venäjän vallan alla 1900-luvun alussa ja ovat arvokasta kulttuuriympäristöä. Valtion omistamat kasarmien rakennukset on tarkoitus myydä uusille omistajille työpaikka- ja asuinkäyttöön. (Lahti uudistuu. 2014) Opinnäytetyön tarjoaman jäähdytysratkaisun toteutuksen mahdollistamiseksi on asemakaavassa huomioitava talojen sijoitus aurinkopaneelien tuottavuutta varten. Energiaratkaisut on tärkeä ottaa huomioon jo kaavoitusvaiheessa, sillä niiden sovittaminen valmiiseen kaavaan tai rakennet-

tuun alueeseen on vaikeaa sekä rajoittavaa. Opinnäytetyön tuloksia voidaan lisäksi hyödyntää rakennusten materiaalivalintojen optimointiin ja mahdollisen paneeleihin kohdistuvan varjostuksen minimointiin. Irrallisten ja erikseen asennettavien aurinkopaneelien vaihtoehtona voidaan rakennuksen pintamateriaalina käyttää integroitua paneelia, joka tulee huomioida asemakaavassa. Aurinkopaneelien tehoon vaikuttaa auringon säteilyn voimakkuus, ja tuotto on tehokkainta säteilyn osuessa paneeliin lähes kohtisuorassa kulmassa.

2.3 Passiivitalo

Passiivitalo on matalaenergiarakennus, jonka energiankulutus on tehokasta, asuminen viihtyisää ja kustannukset kohtuullisia. Passiivitalo-määritelmää ei ole suojattu eikä rekisteröity, jonka johdosta sille löytyy useita eri määritelmiä. *Passivhaus Institut* on saksalainen vuonna 1996 perustettu laitos, joka ensimmäisenä kehitti passiivitalomääritelmän sekä ratkaisumenetelmiä. Määritelmän mukaan passiivitalo on rakennus, jonka lämpöviihtyvyys voidaan hoitaa tuloilman lämmittämällä ja jäähdyttämällä. Tätä määritelmää käytetään yleisesti Keski-Euroopassa ja sen sovelluksia hyödynnetään eri maissa. (Nieminen, J. & Lylykangas, K. 2009, s. 2) Ilmastollisten eroavuuksien johdosta on passiivitalomääritelmää sovellettu kansallisella tasolla. Kustannusten kohtuullisuus on saksalaisessa määritelmässä laskettu Keski-Euroopan olosuhteiden mukaan, jotka eivät toteudu Suomessa. Tästä johtuen on Suomessa Teknologian tutkimuslaitos, VTT, määritellyt Suomen olosuhteisiin soveltuvat kriteerit passiivitalolle. Maan sisäisten ilmaston aiheuttamien erojen takia Suomen passiivitalomääritelmä jakaa maan kolmeen osaan, joille jokaiselle on määritelty omat kriteerinsä.

Kansainvälisesti hyväksyttävä passiivitalo täyttää kolme kriteeriä:

tilojen lämmitysenergiantarve	$\leq 15 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$
kokonaisprimäärienergiantarve	$\leq 120 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$
ilmavuotoluku n_{50}	$\leq 0,6 \text{ 1/h}$

Määritelmässä käytettävä pinta-ala on ulkoseinien sisäpinnasta laskettava vapaa lattiapinta-ala, johon ei kuulu kiinteiden kalusteiden tai väliseinien varaama lattia-ala. (Nieminen, J. & Lylykangas, K. 2009, s. 3)

Suomessa passiivitalon tulee täyttää seuraavat kriteerit:

Etelärannikko:

lämmitysenergiantarve	$\leq 20 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$
kokonaisprimäärienergiantarve	$\leq 130 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$
ilmavuotoluku n_{50}	$\leq 0,6 \text{ 1/h}$

Maan keskiosat:

lämmitysenergiantarve	$\leq 25 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$
kokonaisprimäärienergiantarve	$\leq 135 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$
ilmavuotoluku n_{50}	$\leq 0,6 \text{ 1/h}$

Pohjoisosat:

lämmitysenergiantarve	$\leq 30 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$
kokonaisprimäärienergiantarve	$\leq 140 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$
ilmavuotoluku n_{50}	$\leq 0,6 \text{ 1/h}$

Määritelmässä käytettävä pinta-ala on lämmitettävä bruttoala, jonka laskenta perustuu Suomen Rakentamismääräyskokoelman määritelmiin. Bruttoala on kerrostasalojen summa ja lasketaan rakennuksen ulkoseinien ulkopinnasta. Bruttoala eroaa huomattavasti kansainvälisen määritelmän käyttämästä nettolattiapinta-alasta. (Nieminen, J. & Lylykangas, K. 2009, s. 9)

3 NYKYTILANNE

3.1 Jäähdytyksen tarve

Suomessa on pääasiassa jäähdytetty rakennuksia kesäaikaan ulkolämpötilan kohotessa. Poikkeuksen ovat tehneet erityiset tilat, kuten leikkaussalit, serveritilat sekä lääkevarastot, jotka tarkkojen ilmanlaadun kriteerien saavuttamiseksi sekä sisäisen lämpökuorman johdosta vaativat ympärivuotista jäähdytystä. Asuinrakennusten jäähdytyksen tarve määräytyy pääosin sääoloista, mutta vaihtelee suuresti myös rakennuksen ulkovaipan sekä sisäisen kuorman mukaan. Passiivitaloihin suunnitellaan usein tehokkaat passiiviset ratkaisut auringon sisään tulevan säteilyn minimoimiseen. Tällaisia ovat ulkoiset aurinkosuojat, sälekaihtimet, pienet ikkunat sekä ikkunoiden suotuista suuntaus.

Ilmatieteenlaitoksen ja Aalto yliopiston yhteistyössä tekemän tutkimuksen mukaan jäähdytyksen tarve Suomessa tulee vuosikymmenen kuluessa lisääntymään 20 – 30 % uudispientaloissa (Ilmatieteenlaitos & Aalto yliopisto, 2011). Tämä tulee lisäämään erillisten jäähdytysjärjestelmien tarvetta asuinrakennuksissa. Jäähdytyksen tarpeeseen vaikuttaa ulkoilman lämpötilan lisäksi sisäinen lämpökuorma, johon kuuluu lämpökuorma henkilöistä, valaistuksesta ja sähkölaitteista, ikkunoiden kautta tuleva säteilyenergia sekä lämpimän käyttöveden kierrosta aiheutuva lämpökuorma. (Suomen RakMK D5. 2012, s. 29)

Jäähdytyksen tarkoituksena on poistaa huoneilmasta ylimääräinen lämpö, jonka vaikutuksesta huoneen sisäilman lämpötila nousee liian korkeaksi. Asuintalojen huoneilman määräykset löytyvät Suomen rakennusmääräyskokoelmasta D2 sekä laskennalliset ohjeet osasta D5. (Suomen RakMK D2 ja D5. 2012)

3.2 Jäähdytysjärjestelmät

Sisäilman jäähdyttäminen perustuu ylimääräisen lämpimän ilman poistamiseen. Ilman lämpötilat pyrkivät tasoittumaan siten, että lämpimästä ilmasta virtaa ilmaa kylmempää

kohti tasoittaen energiatasapainoa ilmamassojen välillä. Yksinkertaisin tapa huoneilman viilentämiseen on avata ikkuna tai ovi viileämpään ilmaan, jolloin lämpötilat tasoittuvat. Kasvattamalla ilmavirtaa ilmanvaihtojärjestelmässä voidaan myös viilentää ilmaa. Ilman lämpötilan kohotessa huoneen ulkopuolella vastaamaan sisäilman lämpötilaa tarvitaan lämpötilan alentamiseen kuitenkin erillistä jäähdyttämistä. Sisäilmaston tavoitearvojen enimmäisarvot Suomessa ovat talviaikaan 20-23 °C ja kesäaikaan 22-27 °C, kuitenkin siten, että 27 °C ei ylitä 150 astetuntia vuodessa 1.6.-31.8. välisenä aikana (Suomen RakMk D3. 2012). (Seppänen, M & O. 2010)

Jäähdytyksen teho lasketaan tehokaavalla:

$$Q = v * C_p * \rho * \Delta t$$

Q = teho (W)

C_p = väliaineen ominaislämpökapasiteetti (kJ/kg°C)

v = virtaama (dm³/s)

ρ = tiheys (kg/m³)

Δt = väliaineen meno- ja tulolämpötilojen erotus (°C)

3.2.1 Koneellinen jäähdyttäminen

Koneellinen jäähdyttäminen on kompressorin avulla tuotettua jäähdytystä, jossa hyödynnetään suljettua kylmäaineen kiertoprosessia. Kylmäprosessin peruskomponentit ovat höyrystin, joka höyrystää kylmäaineen ja sitoo samalla itseensä lämpöä, ja lauhdutin, joka poistaa lämpövirran kylmäprosessista. Komponenttien välillä sijaitsee kompressori, jossa höyrystimestä lauhduttimeen kulkevan kylmäaineen paine korotetaan. Lauhdutin voi olla joko vesi- tai ilmajäähdytteinen. Lauhduttimen alhainen lämpötila, joka on jäähdytyksen tehon kannalta tärkeää, on helpompi saavuttaa veden avulla. Ulkolämpötilan ollessa matala voidaan kuitenkin käyttää myös ilmalauhdutinta. Lauhduttimen jälkeen kylmäaine kulkee paisuntaventtiilin läpi, joka alentaa kylmäaineen paineen ennen höyrystintä. (Seppänen, M & O, 2010, s. 205-206)

Koneellinen jäähdyttäminen voidaan toteuttaa joko suoralla tai välillisellä järjestelmällä. Jäähdytysjärjestelmän jäähdyttäessä läpivirtaavaa ilmaa kylmäkoneiston höyrystimen lämmönsiirtopinnalla on kyseessä suora järjestelmä. Välillisessä järjestelmässä höyrystin puolestaan jäähdyttää lämmönsiirtonestettä, joka patterin välityksellä viilentää ilmaa. Suora sekä välillinen jäähdytys voidaan järjestää joko hajautetusti tai keskitetysti. Erona on tällöin, että keskitetty järjestelmä jäähdyttää tuloilmaa tuloilmakoneessa ja hajautettu jäähdyttää erillisiä huoneita ilmaa kierrättävien patterien välityksellä. (Aittomäki, A. et al. 2012, s. 321)

3.2.2 Ilmastointijärjestelmät

Jäähdytetty ilma voidaan jakaa huoneeseen erilaisten ilmastointijärjestelmien avulla. Järjestelmän valintaan vaikuttavat huoneilman laatuksiteerit, sallittu tilankäyttö sekä kuinka suurelle alueelle ilmastointi mitoitetaan. Tyypillisimpiä ilmastointijärjestelmiä ovat vakioilmavirtajärjestelmä, ilmavirtasäätöinen järjestelmä sekä jäähdytyskattojärjestelmä.

Vakioilmavirtajärjestelmässä käsitelty ilma kuljetetaan kanavistoa pitkin huoneisiin. Vakioilmavirtajärjestelmä sisältää ilman suodattimen, jäähdytinkoneikon sekä puhaltimen. Se voi pitää sisällään lisäksi veden kostuttimen, erillisen lämmittimen sekä sekoituksen. Vakioilmavirtajärjestelmää voidaan käyttää myös useamman eri vyöhykkeen ilmastointiin, tällöin puhutaan monivyöhykejärjestelmästä. Lämpötilan säätelyssä käytetään hyväksi ulkoilman jäähdyttävää vaikutusta 15 °C asti, jonka jälkeen jäähdytyskoneikko käynnistyy. (Seppänen, M & O, 2010, s. 201)

Ilmavirtasäätöisessä järjestelmässä tuloilman lämpötila pidetään vakiona ilmastointikoneella ja teho määräytyy ilmavirran suuruudesta, jota säätöyksikkö säätelee. Tuloilma puhalletaan ilmavirtasäätöisessä järjestelmässä huoneeseen usein alakaton kautta. (Seppänen, M & O, 2010, s. 202)

Puhallinkonvektorijärjestelmällä jäähdytys tehdään kierrättämällä ilmaa usein ikkunapenkkiin tai alakattoon sijoitetun puhallinkonvektorin kautta. Väliaineena järjestel-

missä on vesi, joka tuodaan puhallinkonvektorin lamellipatteriin muovi- tai teräsputkissa. Kierrätettävä ilma kulkee lamellipatterin läpi, joka jäädyttää sen. Kondensoinnin välttämiseksi veden lämpötilan on oltava yli 15 °C, suurempaa jäädytystehoa vaativissa tiloissa matalampi, jolloin kondenssivesi johdetaan lattiakaivoon. (Seppänen, M & O, 2010, s. 203)

Ilmalämpöpumppua voidaan käyttää taloissa, joihin ei rakenneta vesiverkostoa jäähdystystä varten. Ulkoyksiköt asennetaan rakennuksen seinään siten, että kondenssivesi voidaan johtaa viemäriin tai maahan. Sisäyksiköiden sijoituksessa on otettava huomioon syntyvä veto. Kompressorikäyttöiset ilmalämpöpumput ovat energiatehokkaita, sähköenergiaa käytetään ainoastaan kompressorin pyörittämiseen. (RIL. 2009, s. 143)

Jäähdytyskattojärjestelmällä huonetila jäädytetään kattoon asennettujen jäähdytysputkien avulla. Jäähdytys mitoitetaan ei-kondensoivaksi, joka tarkoittaa, että virtaavan veden lämpötila ei saa laskea alle 15 °C. Jäähdytyskattojärjestelmän lisäksi kattojäähdytyksenä voidaan käyttää jäähdytyspalkkeja, jotka vastaavat toiminnaltaan jäähdytyskattojärjestelmää. Jäähdytyspalkit asennetaan alakattoon.

Jäähdytys perustuu kummassakin luonnolliseen konvektioon, jossa painavampi kylmä ilma valuu alaspäin. (Seppänen, M & O, 2010, s. 204)

Lattiajäähdytys toimii jäähdytyskattojärjestelmän tavoin, mutta lattiassa ja se voidaan toteuttaa lattialämmityksen putkia hyödyntäen. Järjestelmä poissulkee samanaikaisen lämmityksen ja jäähdytyksen. (RIL. 2009, s. 139)

Lopputyössä mitoitettava jäähdytysjärjestelmä on vesikiertoinen ja jäähdytys toteutetaan lattiajäähdytyksenä. Jäähdytysjärjestelmään kuuluu vedenjäähdytysyksikkö, joka sisältää pumput, jäähdytyskoneikon ja tarvittavan automatiikan. Lisäksi järjestelmään kuuluu lauhdutin, jäähdytysputkistot sekä vesivaraaja. Lauhduttimessa käytetään lattiajäähdytysputkista palaavaa vettä.

4 AIHEEN TARPEELLISUUS

“Ilmastonmuutos on yksiselitteinen ja ihmisen vaikutus siihen on selvä”, todetaan IPCC:n yhteenvetoraportissa vuodelta 2014 (IPCC, 2014, s. 1). Ilmastonmuutoksen laajuutta on vaikea ennakoida eikä sen jo aiheuttamia tapahtumia tai muutoksia ole helppo jäljittää. Hallitustenvälisen ilmastonmuutospaneelin (IPCC) kokoaman materiaalin mukaan ilmasto on kolmen viimeisen vuosikymmenen aikana lämmennyt. Paneelin vuonna 2014 julkaiseman raportin mukaan aikaväli 1983 - 2012 oli todennäköisesti kuumin 30 vuoden jakso viimeisen 1400 vuoden aikana pohjoisella pallonpuoliskolla (IPCC, 2014, s. 1). Raportissa käytetyn “todennäköisesti”-määritelmän varmuus on 66 – 100 %. Lämpenevä ilmasto vaikuttaa muun muassa kasvien kasvukauteen, kuivuuteen, merenpinnan muutoksiin ja sääilmiöihin, aiheuttaen arvaamattomia tapahtumia sekä olosuhteita. IPCC:n vuosiraportissa kerrotaan tarkemmin muutoksen vaikutuksista sekä luonnon, että ihmiskunnan elämään. Tulosten luotettavuutta määritellään 5-portaisella luokittelulla *very low, low, medium, high, very high*.

”Evidence of observed climate-change impacts is strongest and most comprehensive for natural systems. In many regions, changing precipitation or melting snow and ice are altering hydrological systems, affecting water resources in terms of quantity and quality (medium confidence). Many terrestrial, freshwater, and marine species have shifted their geographic ranges, seasonal activities, migration patterns, abundances, and species interactions in response to ongoing climate change (high confidence). Some impacts on human systems have also been attributed to climate change, with a major or minor contribution of climate change distinguishable from other influences.- Assessment of many studies covering a wide range of regions and crops shows that negative impacts of climate change on crop yields have been more common than positive impacts (high confidence). Some impacts of ocean acidification on marine organisms have been attributed to human influence (medium confidence).” (IPCC, 2014, s. 6)

Ilmatieteenlaitoksen mukaan Suomen keskilämpötila on noussut noin 0,9 °C ajanjaksolla 1909-2008 (Ilmatieteenlaitos & Aalto Yliopisto, 2010, s. 10) ja trendin uskotaan jatkuvan tulevina vuosikymmeninä. Jäähdytyksen tarpeen lisääntyessä sen toteuttaminen ei kuitenkaan saa lisätä päästöjen määrää. Uudisrakennusten energiavaatimusten kiristyes-

sä matalaenergiatasolle tulee jäähdytyskausi lisäksi pitenemään rakennusten sisäisen lämpökuorman johdosta. (RIL. 2009, s. 103)

Suomen väestörekisterin ylläpitämän väestötilaston mukaan Suomen väestö on vanhenevaa. “Yli 65-vuotiaiden osuuden väestöstä arvioidaan nousevan nykyisestä 18 prosentista 26 prosenttiin vuoteen 2030 ja 28 prosenttiin vuoteen 2060 mennessä” ([2] SVT, 2012). Lapsia syntyy vähemmän ja suuret ikäryhmät vanhenevat. Tämä asettaa uusia vaatimuksia kunnille, sillä vanheneva väestö vaatii erityisiä asuinolosuhteita, jonka merkittävä tekijä on huoneilman laatu. Vanhainkotien sekä palvelutalojen lisäksi kerrostalojen asuinviihtyvyyteen on panostettava vanhenevan väestön tarpeiden mukaisesti, jotta kotona asuminen onnistuisi mahdollisimman monelle. Sosiaali- ja terveystieteissä Tessa -lehdessä julkaistun tutkimuksen mukaan *“Vanhuuden myötä elimistön lämmönsäätelykyky heikkenee ja kroonisten sairauksien todennäköisyys kasvaa. Vakavat perussairaudet ovat aina riskitekijä. Ikäihmisillä myös keho kuivuu herkemmin, sillä elimistön nestepitoisuus on pienempi ja janon tunne heikentynyt.”* (Pernaa, M. 2014) Lämmönsäätelyn heikentyessä kuuma ilma aiheuttaa elimistölle lisästressin, joka pahentaa erityisesti sydänpotilaiden kuntoa.

Lämpenevän ilmaston tuovan jäähdytystarpeen sekä huollettavan väestön kasvun lisäksi aiheen ajankohtaisuutta lisää järjestelmän toiminnan perustuminen puhtaasti uusiutuvien energianlähteiden hyödyntämiseen. Järjestelmän käytöstä ei aiheudu päästöjä ja sitä voidaan käyttää innovaattorina uusiutuvien energianlähteiden käytön lisäämiseen Lahdessa ja muualla Suomessa. Sähköntuotanto on paikallista, jolloin vältytään sähkönsiirron aiheuttamilta häviöiltä sekä ylimääräisiltä kustannuksilta. Energia saadaan auringosta, jolloin vältytään polttoaineen kuljetuksilta sekä varastoinnilta. Jäähdytysjärjestelmä mitoitetaan kolmikerroksiselle asuinkerrostalolle, jonka sijainti on tiiviillä asutusalueella lähellä keskustaa. Tästä johtuen tuulivoima poissuljetaan energianlähteenä, sillä sen aiheuttaman melun takia voimalaa ei voida sijoittaa lähelle asutusta. Koska tarkoituksena on hyödyntää lähienergiaa, ei tuulivoimalan sijoittaminen kauas asuinalueesta ole tarkoituksenmukaista. Bioenergian käyttö sähköntuotantoon on tilaa vievää, sillä polttoaineen säilytys sekä energian tuotanto vaativat suuret tilat. Lisäksi biopolttoaineen tuotanto on usein kaukana kaupunkialueelta ja sen kuljettaminen tiiviisti rakennetulle

asuinalueelle hankalaa. Vesivoima ei tässä tapauksessa lukeudu lähienergian pariin, sillä sen tuotantoa ei ole Lahdessa.

4.1 Ilmastopolitiikka

Ilmastopolitiikkaa käydään Suomessa usealla eri tasolla. Suomen maakohtaisten päästötavoitteiden lisäksi maamme ilmastopolitiikkaa ohjaavat kansainväliset sopimukset sekä Euroopan Unionin ilmasto- ja energiasopimukset. Kansainvälisiä sopimuksia sekä tavoitteita linjataan YK:n vuonna 1994 voimaan tulleessa ilmastonmuutosta koskevassa puitesopimuksessa. Sopimus vaatii ilmakehän kasvihuonekaasupitoisuuden saamista vaarattomalle tasolle. Tarkemmat velvoitteet teollisuusmaiden osalle (OECD-maat) määritellään Kioton pöytäkirjassa, jonka toinen velvoitekausi, 2013 - 2020, on parhailaan käynnissä. Kioton pöytäkirjan toisessa velvoitekaudessa EU:n silloisille vuoden 2005 15 jäsenvaltioille määritellään yhteisökohtainen 20 %:n päästövähennys. Vähennys koskee kuutta haitallisinta kasvihuonekaasua - hiilidioksidi, metaani, dityppioksidi, sekä kolmea teollista yhdistettä - HFC:t, PFC:t ja SF6. Ympäristöministeriöllä on Suomessa vastuu ilmastopöytäkirjoista ja -neuvotteluista sekä säännöllisestä päästötilanteen raportoinnista YK:lle. ([1] Ympäristöministeriö, 2013.)

Kioton pöytäkirja sekä EU:n ilmasto- ja energiapaketti säätelevät EU:n sisäistä ilmastopolitiikkaa. Kioton pöytäkirjan määrittelemien päästövähennysten lisäksi EU:n tavoitteena on lisätä uusiutuvien energianlähteiden osuutta 20 % vuoteen 2020 mennessä. Euroopan komissio on julkaissut tavoitteen 2050 vuodelle, jolloin päästövähennyksen tulisi olla 80 % vuoden 1990 tasosta. EU on mukana kansainvälisissä keskusteluissa, joissa tavoitteena on uuden ilmastopöytäkirjan laatiminen vuodesta 2020 lähtien. Uusi sopimus edellyttäisi päästövähennyksiä myös kehittyviltä mailta, jotka toistaiseksi ovat YK:n ilmastopöytäkirjan ulkopuolella. ([2] Ympäristöministeriö, 2013.)

Päästökauppasektorilla Suomen tavoitteena on EU:n tasolla vähentää päästöjä 21 % vuoden 2005 tasosta vuoteen 2020. Suomen maakohtainen tavoite on vähentää kasvihuonekaasupäästöjä 16 % päästökaupan ulkopuolisilla sektoreilla vuoden 1990 tasosta

vuoteen 2020 mennessä ([2] Ympäristöministeriö, 2013). Päästökaupan ulkopuolisella sektorilla käsitetään rakentaminen, rakennusten lämmitys, asuminen, maatalous, liikenne ja jätehuolto sekä teollisuuden fluoratut kasvihuonekaasut. Lisäksi uusiutuvan energian osuus nostetaan 38 %:iin energian loppukulutuksesta vuoteen 2020 mennessä ([3] Ympäristöministeriö, 2013). Suomessa suurin päästölähde on energiasektori, jonka päästöt vuonna 2012 olivat 80% kokonaispäästöistä (yht. 64 milj. tonnia hiilidioksidiekvivalenttia). Kasvihuonekaasuista merkittävin Suomessa on hiilidioksidi, jota vapautuu eniten fossiilisia polttoaineita poltettaessa. (Tilastokeskus. 2013, s. 8)

4.1.1 Lahden kaupunki

Lahden kaupunki on profiloitunut ympäristökaupungiksi ja täten sitoutunut erinäisiin ympäristötavoitteisiin. Tavoitteena on puolittaa hiilidioksidipäästöt vuodelle 2025 vuoden 1990 tasosta ja panostaa tästä johtuen erityisesti energiatehokkuuteen. Uudet energiaratkaisut sekä matalaenergiarakentaminen kuuluvat kaupungin strategiaan (Ikonen, E & Pulkkinen, M. 2014, s. 9). Uusiutuvan energian kuntakatselmus tehtiin juuri energiatehokkuuden sekä uusiutuvan energian lisäämiseksi Lahden kaupungissa.

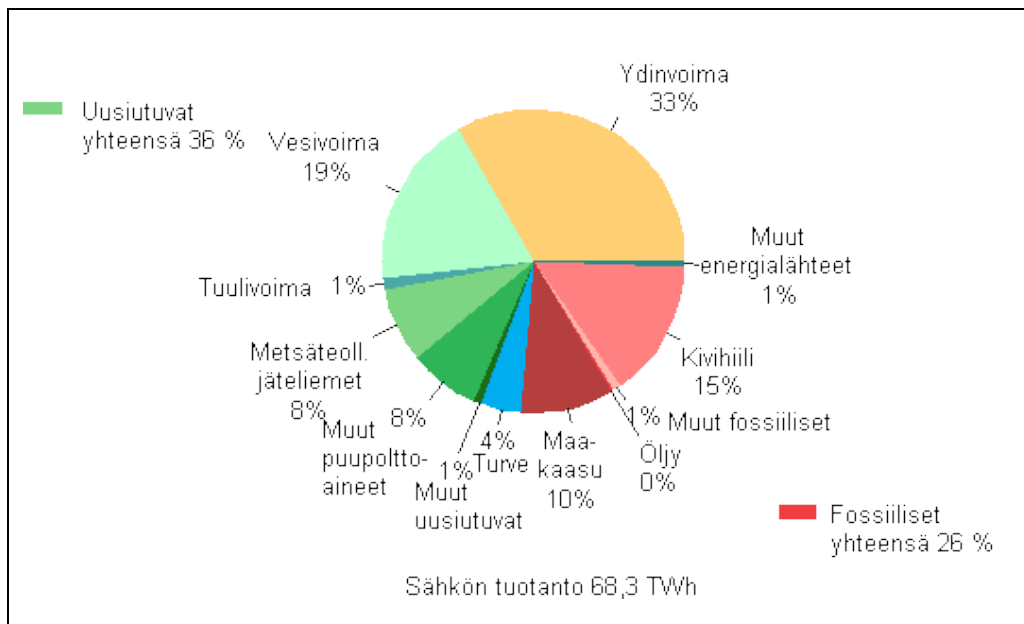
“Lahden kaupunki on liittynyt kuntien energiatehokkuussopimukseen (KETS) vuonna 2008. Sopimuskausi kestää vuoteen 2016 asti. KETS-sopimuksen mukaisesti Lahti on asettanut 9 %:n energiansäästötavoitteen, joka on energiamääränä 16 GWh. Lisäksi Lahden kaupunki on sitoutunut KETS-sopimusta kunnianhimoisempaan 15 prosentin säästötavoitteeseen vuoden 2005 tasosta vuoteen 2016 mennessä.“ (Ikonen, E & Pulkkinen, M.. 2014, s.20)

KETS-sopimus on vapaaehtoinen kaupunkien, kuntien ja kuntayhtymien EnergiaTehokkuusSopimus, joka toimii osana Suomen kansallista ilmasto- ja energiastrategiaa. Päästöjen vähentämisen lisäksi KETS-sopimus tähtää energiakustannusten pienentämiseen sekä energiatehokkuuteen. Uuden teknologian käyttöönotto energiatehokkuuden parantamiseksi on yksi KETS-sopimuksen päätavoitteista ja sitä varten tarjotaan mahdollisuutta hakea tukea investointeihin. (Koski, Pertti. 2010)

4.2 Uusiutuvat energianlähteet

Tieteen termipankki on eri tieteenalojen asiantuntijoiden ylläpitämä ja Suomen Akatemian sekä Helsingin yliopiston rahoittama tietopankki, joka kokoaa tieteen termejä sekä niiden suomenkielisiä määritelmiä yhteen. Tieteen termipankin määritelmä uusiutuville energianlähteille on “(E)energiavarat, jotka käytöstä riippumatta tai ainakin kestävästi käytettynä uusiutuvat eivätkä vähene: esim. auringon säteilyenergia, tuulen liike-energia, mannerten vesien ja vuoroveden potentiaali- ja liike-energia sekä biomassan kemiallinen energia.” (Tieteen termipankki, 2015)

Uusiutuvilla energianlähteillä käsitetään aurinko-, tuuli-, vesi- ja bioenergia sekä geotermiinen lämpö. Näitä energialähteitä hyödynnetään energiamuodon muuntamiseen, kuten sähkön tai lämmön tuotantoon tai polttoaineen valmistamiseen. Vuonna 2013 Suomessa tuotetusta sähköstä 36 % tuotettiin uusiutuvilla energialähteillä (kuva 1). Vesivoimalla tuotettiin tästä yli puolet ja loppuosa suurelta osin puulla. (SVT, 2013)



Kuva 1. Sähkön tuotanto energialähteittäin 2013. ([3] Suomen virallinen tilasto (SVT), 2013)

4.2.1 Tuuli

Tuulen syntyyn vaikuttavat auringon epätasaisen säteilyn aikaansaamat ilmassojen paine-erot, jotka maapallolla pyrkivät tasoittumaan. Tästä johtuen ilmaa virtaa korkeapaineesta matalapaineeseen päin. Virtaavan ilman sisältämä kineettinen energia voidaan tuulivoimaloiden lapojen avulla muuntaa pyörimisliikkeeksi ja siten edelleen mekaaniseksi energiaksi turbiinin akseliin. Akseli pyörittää generaattoria, joka tuottaa mekaanisesta energiasta sähköä. (Wizelius, T. 2007)

Tuulen energiaa on jo antiikin ajalla käytetty purjevereiden kuljettamiseen sekä myöhemmin viljan jauhamiseen tuulimyllyjen avulla. Ensimmäinen dokumentoitu tuulimylly rakennettiin Persiassa vuonna 947 eKr ja Euroopassa vasta 1100 - luvun lopulla. Tuulimyllyjen akselit olivat alunperin vaakatasossa ja myllyt hyödynsivät vesivoimaloissa käytössä olevaa hammasratasta myllynkiven pyörittämiseen. Vähitellen myllyjen tehoa parannettiin rakentamalla neljä-lapaisia tuulimyllyjä vertikaalisella akselilla. Tuulivoima oli yksi tärkeimmistä energialähteistä Euroopassa 1200 - luvulta aina 1800 - luvulle saakka ja ylsi parhaimmillaan 1500 MW tuotantoon. (Wizelius, T. 2007, s. 23-25)

Ensimmäinen sähköä generoiva tuulimylly rakennettiin Tanskassa 1892 (Wizelius, T. 2007, s. 33). Lentokonetekniikka oli tuolloin jo kehittynyt ja uusissa myllyissä käytettiin uudistunutta aerodynamiikka -oppia kaventaen roottorin lapoja. Lapojen päihin kohdistunut tuuli kasvatti roottorin nopeutta 5 - 10 kertaiseksi tuulen nopeuteen verrattuna ja mahdollisti näin sähköön tuottamisen. Tuotetulla sähköllä ladattiin akku, jonka avulla radiota ja muutamaa hehkulamppu pystyttiin käyttämään myös tyynenä päivänä. (Wizelius, T. 2007)

Modernit tuulivoimalat muistuttavat toimintaperiaatteeltaan tuulimyllyjä, mutta kykenevät uudistuneen teknologiansa ansiosta tuottamaan enemmän sähköä samoissa olosuhteissa. Tuulivoimalan tuottoon vaikuttaa turbiinin tehon lisäksi voimalan sijainti sekä maston korkeus. Tuulen nopeus on maanpinnalla aina nolla (Wizelius, T. 2007, s. 58) ja kasvaa ylöspäin mentäessä riippuen maan pinnanmuodoista. Mitä korkeammalle maapallon pinnalta mennään, sitä vähemmän topografian aiheuttama kitka vaikuttaa

tuuleen aiheuttaen turbulenssia sekä hidastusta tuulen nopeuteen. Nykypäivän tuulivoimalat käynnistyvät pääsääntöisesti 3 m/s tuulennopeudella ja saavuttavat nimellistehonsa, voimalamallista riippuen, tuulennopeuden ylittäessä 13-14 m/s. Rikkoutumisen estämiseksi tuulivoimalat pysähtyvät tuulennopeuden yltäessä myrskylukemiin (25 m/s). Paras sijainti tuulivoimalalle on avoin merenranta tai muu tuulinen paikka, jossa tuulen keskinopeus on ympärivuotisesti n. 6 m/s tai enemmän. (Tuulivoimayhdistys)

Tuulivoimaloiden kokonaishyötysuhde on roottorin tehokertoimen ja voimalan vaihteelaatikon sekä generaattorin tehokkuuskertoimien yhteenlaskettu tulo. Roottorin tehokerroin (C_p) perustuu sen kykyyn hyödyntää tuulen teoreettisesti sisältämää energiaa ja vaihtelee siten eri tuulennopeuksilla (Wizelius, T. 2007, s. 147). Generaattorit mitoiteetaan pääsääntöisesti voimalan nimellistehon mukaan ja saavuttavat tällöin parhaan hyötysuhteensa. Tuulennopeuden alittaessa mitoitettun tuulen generaattorit käyvät osakuormalla, jolloin hyötysuhde usein laskee huomattavasti.

Tuulivoiman suosio on kasvanut viimeisten vuosikymmenten aikana ja se on saavuttanut merkittävän osan sähköntuottajana paikallisesti. Euroopan unionissa pystyttiin vuoteen 2013 mennessä tuulivoimalla tuottamaan 257 TWh sähköä, luku vastaa noin 8 % kulutetusta sähköenergiasta (EWEA, 2014). Suomessa tuulivoimalla tuotettiin vuonna 2013 0,8 TWh sähköä (yhteensä 43 TWh) (SVT. 2013). Tuulivoiman etuina ovat uusiutuva energianlähde sekä tuotannon päästöttömyys, se on usein lähellä tuotettua eikä aiheuta suuria muutoksia ympäristölle. Tuulisuuden vaihtelu aiheuttaa kuitenkin epävarmuustekijän sähkön tuotannolle, joka pahimmillaan voi pysähtyä pitkäksi ajaksi tuulen nopeuden ollessa alhainen. Modernin tekniikan myötä on kuitenkin mahdollista saavuttaa korkea tehokkuus alustavien mittausten sekä alhaisilla tuulennopeuksilla käynnistyvien turbiinien avulla.

4.2.2 Vesi

Vesi on uusiutuva luonnonvara, jonka kiertokulku maapallolla on jatkumo. Mantereelle sateena alas satava vesi sitoutuu hetkellisesti kasveihin ja maaperään, virtaa kivilta pin-

noilta suurempiin vesiin tai lämpötilasta riippuen jäätyy jääksi. Auringon lämpösäteilyn seurauksena maan pinnalta haihtuu vettä takaisin ilmakehään, joka lämpötilan sekä paineen muuttuessa tiivistyy nesteeksi.

Veden potentiaalienergiaa on käytetty ihmiskunnan historiassa jo antiikin ajoista lähtien. Vesivoimaa hyödynnettiin alunperin vesimyllyjen avulla, jolloin veden liike-energia siirrettiin myllyn avulla hammasrattaisiin ja eteenpäin tehtaiden koneisiin. Suomeen ensimmäiset myllyt tulivat 1300 - luvulla ja 1800 - luvun lopulla Suomen koskissa oli noin 4000 myllyä. Tammerkosken vesivoimalaitos valmistui 1891 ja oli ensimmäinen sähköä tuottava vesivoimalaitos Suomessa. Sen teho oli tuolloin 240 kW. (Kemijoki Oy)

Vesivoimalaitokset toimivat tuulivoimaloiden tapaan. Tuulen sijaan polttoaineena toimii kahden vesimassan välisen korkeuseron aikaansaama virtaava vesi, jota ylläpidetään patojen avulla. Vesi kulkee generaattoria pyörittävän turbiinin kautta, jolloin generaattori muuntaa veden liike-energian sähköksi. Vesivoima on luotettava energianlähde, jota patojen avulla voidaan säädellä huippukulutuksen mukaan. Suomessa on yli 220 vesivoimalaa (Energiateollisuus), joilla vuonna 2013 tuotettiin yhteensä 12,7 TWh sähköä (SVT. 2014). Vesivoiman osuus sähkön kokonaistuotannosta vaihtelee vesitilanteesta johtuen, mutta on Suomessa pääsääntöisesti noin 10 - 20 % kokonaistuotannosta. (Energiateollisuus)

Vesivoima on uusiutuva sekä päästötön energiamuoto. Sen vaikutukset ympäristöön ovat lähinnä paikallisia ja johtuvat suurten patojen rakentamisesta. Padot estävät kala- sekä eliölajien vapaan liikkumisen, joka voi johtaa ekosysteemin muuttumiseen. Tähän on kuitenkin pyritty vaikuttamaan kalaistutuksilla. Patojen rakentamisen on koettu auttavan hallitsemaan suuria tulvia. (Energiateollisuus)

Vesivoimaloiden lisäksi veden potentiaalienergiaa hyödynnetään aaltojen sekä nousuveden aiheuttamasta veden liikkeestä. Nousuvettä hyödynnetään lähinnä alueilla, joissa vaihtelut veden korkeuksissa ovat huomattavia. Nousuvesivoimalat muistuttavat toi-

minnaltaan padottuja vesivoimaloita. Aaltojen sisältämä kineettinen energia muunnetaan sähköksi joko veden pysty- tai lineaariliikkeestä. Merenpohjaan kiinnitetyssä voimalassa ilma pakotetaan sisään ja ulos nousevalla vedellä, jolloin syntyvä ilmavirta pyörittää turbiinia. Toinen tapa on käyttää ylösalaista liikettä männän liikuttamiseen, joka pyörittää generaattoria. Haasteeksi aaltovoiman käyttöön on muodostunut voimaloiden rikkoutuminen sekä korroosio. Uusia tekniikoita kehitetään kuitenkin aaltovoiman hyödyntämiseen kestäväällä tavalla. (Kalogirou, S. 2009, s. 44-45)

4.2.3 Bioenergia

Bioenergiaa tuotetaan biopolttoaineella, joka käsittää eloperäiset polttoaineet, kuten puun, orgaanisen jätteen ja peltobiomassan sekä turpeen. Maataloustuotteista tärkkelystä sisältävät kasvit, kuten sokeriruoko sekä maissi ovat yleisimmin käytettyjä biopolttoaineen valmistuksessa. Eloperäisen aineen hajotessa hapettomassa ympäristössä syntyy bioenergian tuotantoon käytettyä biokaasua, joka koostuu metaanista sekä hiilidioksidista. Biopolttoaineet ovat uusiutuvia ja niiden poltossa vapautuva hiili vastaa luonnollisessa hajoamisessa vapautuvan hiilen määrää. ([1] Motiva, 2014)

Bioenergian tuotanto perustuu eloperäisen aineen polttamiseen, jolloin polttoaineen kemiallinen energia vapautetaan. Polttotekniikalla voidaan tuottaa mekaanista energiaa moottorissa tai kaasuturbiinissa, jolloin laajeneva kaasu liikuttaa mäntää tai pyörittää turbiinia tuottaen sähköä. Moottoreissa biopolttoainetta voidaan käyttää sekä kaasuna että nestemuodossa. Palamisen lämpöenergiaa voidaan käyttää myös sellaisenaan höyryturbiinilaitoksella siirtäen lämpöä väliaineen kautta. Väliaineen, usein vesi, höyrystyminen ja laajeneminen pyörittää höyryturbiinia. ([2] Motiva, 2014)

Bioenergia muodostaa kolme alalajia, joihin kuuluvat kiinteät, kaasumaiset ja nestemäiset polttoaineet. Biopolttoaineet jaetaan ensimmäisen, toisen ja kolmannen sukupolven polttoaineisiin tuotantotavan mukaan. Ensimmäisen sukupolven biopolttoaineisiin lasketaan laajassa käytössä olevat biomassa, biokaasu, biodiesel ja etanoli. Ensimmäisen sukupolven biopolttoaineiden tuotannon haittana ovat niiden kasvattamiseen vaadittavat suuret peltoalat. Polttoaineen viljely vie tilaa ruoantuotannolta kuluttaen maaperää ja

aiheuttaen eettisiä ongelmia. Tästä johtuen kehitellään toisen ja kolmannen sukupolven biopolttoaineita, joiden tuotanto perustuu korkeamman hehtaarisadon aikaansaamiseen. Toisen sukupolven biopolttoaineet tuotetaan lignoselluloosasta sekä energiapitoisesta jätteestä. Kolmannen sukupolven biopolttoaineet eivät kilpaile ruoantuotannon kanssa ollenkaan. Tuotanto perustuu suoran vedyn sekä biodieselin öljytiivisteiden tuotannon mikrolevistä, joita voidaan viljellä maataloudelle kelpaamattomalla maa-alalla tai merissä. (Scragg, a. 2009, s. 63-64)

Puu on Suomessa eniten käytetty biomassana. Sen osuus uusiutuvan energian kokonaiskulutuksesta oli 77% vuonna 2012 ([1] Motiva, 2014). Energian kokonaiskulutuksessa käytetyn biomassan osuus Suomessa on teollisuusmaiden korkein ja tavoitteena on lisätä erityisesti metsähakkeen käyttöä lähivuosina. Metsähakkeen käytön arvioidaan nousevan vuoteen 2020 mennessä 13 miljoonaan m³, kun se vuonna 2012 oli 7,6 m³. ([1] Motiva, 2014)

Peltobiomassoista merkittävin Suomessa on ruokohelpi, jonka tuotantoala vuonna 2008 oli 17 500 hehtaaria. Peltobiomassoja kasvatetaan kesannoilla, elintarviketuotantoon sopimattomilla pelloilla sekä käytöstä poistuneilla turvetuotantosoilla ja niitä voidaan käyttää joko sellaisenaan tai jalostaa kiinteitä tai nestemäisiä biopolttoaineita, kuten bioetanolia ja -dieseliä (Ikonen, E & Pulkkinen, M. 2014). Peltobiomassojen viljely on usein energiatehokasta, viljelyyn käytetystä energiasta saadaan noin 10-15 kertainen määrä energiaa biopolttoaineen muodossa (Kalogirous, S. 2009, s. 39). Polttoaineen viljely vaatii kuitenkin suuria aloja ja vähentää monipuolista kasvillisuutta alueella heikentäen biodiversiteettiä. Tehoviljely kuluttaa lisäksi maaperää, jonka ravintoaineet kulkeutuvat sadon mukana pois pelloilta. Luonnonmukaisilla lannoitteilla pystytään korvaamaan osa näistä ravinteista, mutta maan eroosio on kuitenkin jatkuvan viljelyn johdosta uhka tuotannolle. (Kalogirous, S. 2009, s. 39)

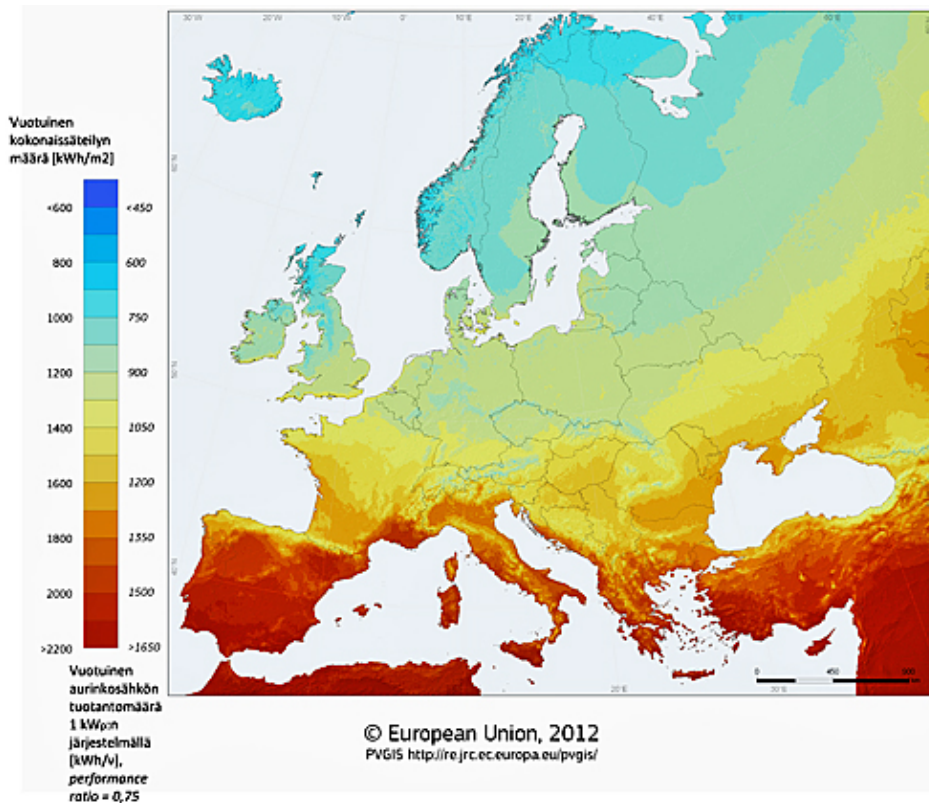
Biokaasua muodostuu eläinten ulosteen sekä muun orgaanisen aineen, kuten ruuantähtien ja pieneliöiden, hajotessa. Biokaasu sisältää tavallisesti 40-70 % metaania, noin 30-60 % hiilidioksidia ja pieniä pitoisuuksia mm. rikkiyhdisteitä (Ikonen, E & Pulkkinen, M. 2014). Maatiloilla eläinten uloste kerätään tankkeihin, josta happea lisäämällä muodostuu metaania. Metaania voidaan käyttää sellaisenaan diesel -moottoreissa säh-

köä tuottavan generaattorin polttoaineena (Kalogirous, S. 2009, s. 38). Eloperäisen jätteen hajoamisessa syntyvää metaania kerätään biokaasun tuottamiseen pumppaamalla tai biokaasureaktorin avulla. Metaani on yksi haitallisimmista kasvihuonekaasuista, jonka anaerobinen käsittely biokaasun tuotannossa vähentää sen päästöjä ilmakehään (Ikonen, E & Pulkkinen, M. 2014). Biokaasua voidaan tuottaa myös polttamalla yhdyskuntien, kotitalouksien tai teollisuuden lajiteltua jätettä. Jätteen orgaaninen osuus, noin 70 – 80 % katsotaan kuuluvan uusiutuviin energialähteisiin. Jätteen polttaminen pienentää huomattavasti kaatopaikalle päätyvän tavaran määrää sekä fossiilisten polttoaineiden käyttöä sähkön ja lämmön tuotannossa. ([3] Motiva, 2014)

5 AURINKOENERGIA

Auringonpaistetunnit vaihtelevat suuresti vuodenajasta ja vuodesta toiseen liikuttaessa päiväntasaajalta kohti napoja. Suomen leveysasteilla aurinko paistaa eniten kesällä auringon zeniittiaseman liikkeessa kohti pohjoista ja Kravun kääntöpiiriä. Aurinko paistaa Etelä-Suomessa keskimäärin 1900 tuntia ja Pohjois-Suomessa keskimäärin 1400 tuntia vuodessa. (Ilmatieteenlaitos, 2012) Helsingissä vaakasuoralle pinnalle kohdistuva auringonsäteily on vuodessa noin 980 kWh/m^2 ja Sodankylässä noin 790 kWh/m^2 . (Ilmatieteenlaitos & Aalto yliopisto, 2011)

Kartalla (kuva 2) kuvataan Euroopan vuotuinen kokonaissäteilyn määrä vuonna 2012. Väriskaala etenee tummanpunaisesta Välimeren seudusta keltaisen ja vihreän Keski-Euroopan kautta kohti vaaleansinistä Pohjois-Eurooppaa. Säteily määrä Etelä-Euroopassa on noin $2200 - 1600 \text{ kWh}$ neliometriä kohden, Keski-Euroopassa $1600 - 1100 \text{ kWh/m}^2$ ja Pohjois-Euroopassa välillä $1100 - 600 \text{ kWh/m}^2$. Vuotuinen aurinkosähkön tuotantomäärä on lisäksi merkittynä väriskaalan oikealla puolella. Tuotanto on laskettu 1 kW_p :n järjestelmälle, jonka hyötysuhde on 0,75 - nykyhetken aurinkopaneelien hyötysuhteet yltävät parhaimmillaan kuitenkin vain puoleen tästä.



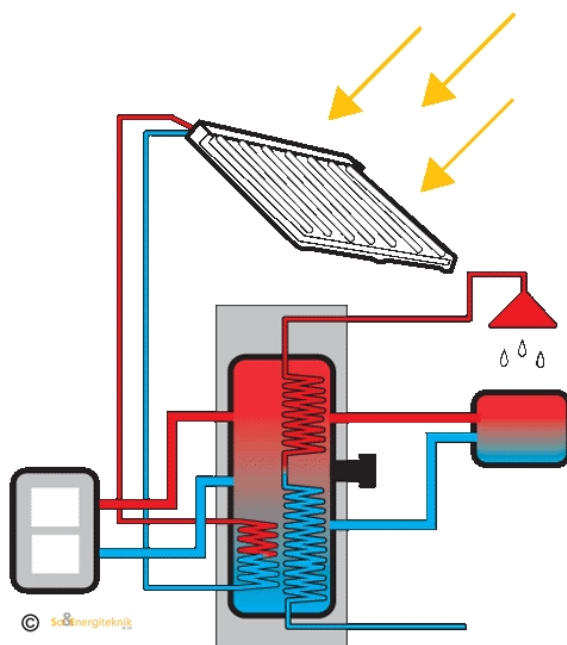
Kuva 2. Vuotuinen kokonaissäteily Euroopassa 2012. ([4] Motiva, 2014)

Auringon massasta noin 74 % on vetyä, 25 % heliumia ja loppuosa raskaampia elementtejä. Auringon energia on peräisin fuusioreaktiosta, jossa vety-ytimet yhdistyvät heliumytimiksi vapauttaen suuria määriä energiaa (Kalogirou, S. 2009, s.1). Auringosta peräisin oleva energia riittäisi yksinomaan koko maailman energiatarpeen kattamiseen 10 000 kertaisesti (VTT, 2010, s.187). Vaikka auringon säteilemä energiamäärä maan pinnalle teoriassa riittäisi kattamaan kaikki tarpeet, sen hyödyntäminen primäärienergiana oli vuonna 2010 vain noin 0,1 %.(VTT, 2010, s.187)

Aurinko on välttämätön energialähde maapallon elämälle. Sen suurin tehtävä on fotosynteesin, kasvien yhteyttämisen, mahdollistaminen. Aurinkoenergia on maapallon vanhin käytetty energianlähde ja lähes kaikki tänä päivänä käytettävissä olevista energialähteistä ovat aurinkosyntyisiä. Fossiiliset polttoaineet sekä puu ovat alkujaan fotosynteesin tuotteita, tuulivoima sekä aalto- ja nousuvesienergia ovat peräisin lämpötilan muutoksista. Aurinkoenergialla, tässä kontekstissa, käsitetään kuitenkin auringon säteilyn suora muuttaminen lopulliseksi energiamuodoksi. Eniten käytettyjä tekniikoita tähän

ovat aurinkolämmitys, valosäteilyn muuntaminen sähköksi sekä terminen aurinkoenergia eli aurinkolämpövoima. (VTT, 2010, s. 187)

Aurinkolämmitystä käytetään pääosin lämpimän käyttöveden lämmitykseen, mutta sen hyödyntäminen tilojen lämmitykseen on kasvussa. Aurinkolämmityksen ydin on aurinkokenno, joka voi olla taso- tai tyhjiöputkikeräin. Aurinkokennoissa auringon lämpösäteilyn avulla lämpenevä neste kulkee lämmönsiirtimeen (kuva 3), josta sitä voidaan hyödyntää vesikiertoisiin lämmitysjärjestelmiin. Tasokeräimissä lasilevyn läpi säteilevä lämpö lämmittää kupariputkissa kiertävää vesi-glykoli -seosta. Putkien alla on absorptiolevy, joka nostaa keräimen lämpötilaa. Tasokeräimet eristetään alapuolelta, jotta lämpötila saadaan mahdollisimman korkeaksi. (Kalogirou, A. 2009, s.122-129) Tyhjiöputkikeräimet ovat huomattavasti tasokeräimiä tehokkaampia. Putket tehdään tuplalasista, joiden sisäpuolella on eristyskerros, jonka ansiosta putket toimivat termospullon tavoin. Eristyskerroksen avulla vähennetään lämmön siirtymistä ulospäin. Tyhjiöputken sisällä kulkee kuparinen lämpöputki, jossa kulkeva neste höyrystyy lämpösäteilyn ansiosta. Höyry kulkee keräimestä lämmönsiirtimeen, jossa se tiivistyy luovuttaen latenttia lämpöä. (Kalogirou, A. 2009, s.131-135)



Kuva 3. Aurinkolämpöjärjestelmän toimintaperiaate lämmön johtuessa väliaineeseen. ([4] Motiva, 2014)

Aurinkolämpövoima perustuu auringon lämpösäteilyn keskittämiseen saaden aikaan korkeita lämpötiloja. Auringon säteet keskitetään paraboloidikourujen peilien avulla lämmittämään öljytäytteisiä kupariputkia, joissa öljy kuumenee jopa 400 °C. Kuuma öljy kulkee tämän jälkeen lämmönvaihtimeen, jossa se höyrystää vettä. Höyrystynyt vesi pyörittää sähköä tuottavaa höyryturbiinia perinteisen lämpövoimalan tavoin. (Kalogirou, A. 2009, s. 135-141)

Auringon valon säteilyä hyödynnetään energiantuotannossa aurinkopaneelien avulla. Auringon valon säteilyenergia koostuu fotoneista, jotka osuessaan puolijohteisiin aurinkopaneelisiin luovuttavat paneelin elektroneille energiaa. Elektronit muodostavat energiaa saaneena sähkövirran aurinkopaneelin virtajohtimiin, josta sähköä saadaan käyttöön (Kalogirou, A. 2009, s. 474). Seuraavassa kappaleessa perehdytään lähemmin aurinkosähkön tuottamiseen.

Auringon säteilyn tulokulma vaihtelee vuodenajan mukaan, sillä maapallon akseli on noin 23,5 astetta kallellaan kiertorataan nähden, joka aiheuttaa vuodenaikojen vaihtelun. Yhdessä vuodessa, noin 365 päivää, maapallo kiertää ellipsin muotoisen kiertoratansa ympäri ja yhdessä päivässä, 24 tuntia, maapallo pyörrähtää akselinsa ympäri. Auringon zeniitiksi kutsutaan maapallon sitä kohtaa, johon aurinko paistaa kohtisuoraan. *Päiväntasaaja*, 0 leveyspiiri, on zeniitti-asemassa kaksi kertaa vuodessa, syyspäiväntasauksena 21. marraskuuta tienoilla ja kevätpäiväntasauksena 21. maaliskuuta tienoilla. Tasauspäivinä aurinko paistaa keskipäivällä kohtisuoraan päiväntasaajalle tasaten yön ja päivän kaikkialla lähes yhtä pitkiksi, kumpikin noin 12 tuntia. Zeniittiasema liikkuu maan kulkiessa kiertoradallaan, mutta pysyy aina *kääntöpiirien* sisäpuolella. Talvipäiväntasauksena, 21. joulukuuta tienoilla, aurinko paistaa zeniitissä Kauriin kääntöpiirillä. Tällöin pohjoisella pallonpuoliskolla on talvi. Vastaavasti pohjoisen pallonpuoliskon kesällä, kesäkuun 21. tienoilla, auringon zeniitti on Kravun kääntöpiirillä aiheuttaen talven eteläiselle pallonpuoliskolle. (Kalogirou, A. 2009, s. 52-56)

Auringon paistaessa zeniitissä päiväntasaajalle on sen pituusasteeksi sovittu 0° ja lisäämällä tai vastaavasti vähentämällä 23,5 astetta saadaan kääntöpiirien pituusasteiksi, eli longitudeiksi, 23,5° ja -23,5°. Auringon pituusasteen vaihtuminen aiheuttaa muutoksen säteilyn tulokulmaan, jota verrataan taivaanpallon päiväntasaajan. Auringon leveysastet-

ta kutsutaan deklinaatioksi. Pohjoisen taivaannavan deklinaatio on 90° ja eteläisen vastaavasti -90° . Auringon paistaessa kevätpäiväntasauksena kohtisuoraan taivaanpallon päiväntasaajalta on sen deklinaatio 0° ja säteilyn tulokulma keskipäivällä 90° kulmassa maan päiväntasaajalla. Auringon säteilyn tulokulma voidaan laskea yksinkertaisesti keskipäivälle, kun tiedetään auringon zeniittiasema sillä määritelmän mukaan aurinko paistaa silloin kohtisuoraan meridiaanin yllä.

Auringon säteilyn tulokulman laskukaava seisaus- ja tasauspäiville:

Kevätpäiväntasaus: $90^\circ - (L) + 23,5^\circ$

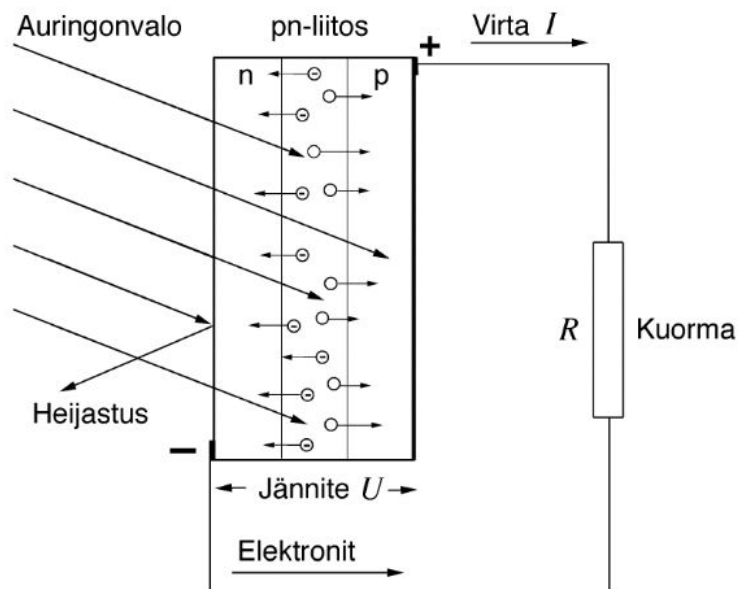
Syyspäiväntasaus: $90^\circ - (L) - 23,5^\circ$,

jossa L vastaa paikan leveysastetta (*local latitude*).

5.1 Aurinkosähkö

Auringosta peräisin oleva valosäteily on maapallon runsain energianlähde. PV-tekniikan (Photovoltaic) avulla voidaan säteilyn sisältämä energia hyödyntää sähkön-tuotannossa. PV-aurinkosähköjärjestelmät ovat viimeisten vuosikymmenten aikana kehittyneet huomattavasti, joka on johtanut kysynnän kasvamiseen ja samalla investoinnin kustannusten laskuun (Kalogirou, A. 2009, s. 469). Suomen virallinen tilastokeskus (SVT) ei ole tilastoinut PV-tekniikalla tuotetun sähkön määrää, sillä se on Suomessa yhä pientuotannon tasolla. Aurinkoenergia.fi Tmi ylläpitää kaupallisesti ja energiapoliittisesti riippumatonta listaa Suomen suurimmista aurinkovoimaloista sekä aurinkovoiman asennetusta tehosta Suomessa. Vuoden 2015 alussa Suomessa oli arviolta asennettua aurinkosähköä 10 MW. Suurin yksittäinen aurinkovoimala sijaitsee Salon Astum-tehtaan katolla ja on teholtaan 322 kW (Aurinkoenergia.fi, 2015). Vuonna 2007 oli VTT:n (Tekniikan tutkimuskeskus VTT Oy) tutkimusten mukaan asennettu kaikkiaan 12 000 MWp PV-aurinkovoimaa, jonka tuotto oli noin 15 TWh. PV-tekniikan investoinnit ovat 2000-luvun alussa kasvaneet vuosittain noin 30 - 40%. (VTT, 2010, s. 188)

Auringon säteily koostuu fotoneista, jotka sisältävät energiaa. Aurinkokennojen toiminta perustuu fotonien absorptioon p-tyyppin puolijohdteeseen, jossa ne valosähköisessä ilmiössä vapauttavat elektroneja (kuva 4). P-tyyppin puolijohdteella on positiivisia aukkoja (puuttuvia elektroneja), joihin se voi vastaanottaa ylimääräisiä elektroneja. Aukot aikaansaadaan korvaamalla piin atomeja jaksollisen järjestelmän kolmannen ryhmän alkuaineella, kuten gallium (Ga). Ennen absorptiota p-tyyppin puolijohdteeseen fotonit kulkevat n-tyyppin puolijohdteen läpi. Korvaamalla piin atomeja jaksollisen järjestelmän viidennen ryhmän alkuaineen kanssa, kuten arseeni, saavutetaan n-tyyppin puolijohde, joka on sähköisesti neutraali, mutta sisältää ylimääräisiä elektroneja. P- ja n-tyyppin puolijohdteiden liittyessä yhteen puhutaan p-n -liitoksesta. Liitoskohdassa olevat elektronit sekä aukot diffundoituvat osittain aikaansaaden sähkökentän. Auringon säteilyn osuessa PV-kennoon fotonit vapauttavat elektroneja n-tyyppin puolijohdanteesta, joista osa muodostaa elektroni-aukko -pareja.



Kuva 4. Aurinkopaneelin toimintaperiaate sähköntuotannossa. (Nissinen, R. 2012)

Valon osuessa aurinkopaneeliin vapautuu elektroneja, jotka kulkeutuvat johtimen kautta varastoitavaksi akulle tai sähköä tarvitsevalle laitteelle. Elektronien liike mahdollistetaan varaukseltaan erilaisten puolijohteiden avulla, joiden välille syntyy sähkökenttä.

PV-kennot koostuvat kahdesta tai useammasta ohuesta kerroksesta puolijohteista materiaalia (puolijohteinen materiaali johtaa sähköä kohtalaisesti), useimmiten piitä (Si). Pii-kennot voivat järjestäytyä joko homogeenisesti eli yhtäjaksoisesti tai kiderakenteisesti. Amorfiset, ei-kiteiset, pii-kennot koostuvat pii-atomeista ohuessa homogeenisessä kerroksessa. Ne absorboivat auringon valoa kiderakenteisia tehokkaammin, jonka ansiosta kennot voivat olla ohuempia. Amorfisia pii-kennoja kutsutaan ohuen ja taipuisan olemuksensa johdosta ohutkalvo PV-teknologiaksi. Kiderakenteiset pii-kennot ovat usein jäykempiä sekä paksumpia, kuin ohutkalvokennot, mutta niiden tehokkuus on usein huomattavasti parempi. Piitä on runsaasti ja se on ympäristölle haitaton raaka-aine. Muita käytettyjä puolijohteisia materiaaleja ovat kadmiumsulfidi -yhdisteet (CdS), kupari rikkivety (Cu_2S) sekä galliumarsenidi (GaAs). Mainittujen materiaalien hyödyntäminen kennojen valmistukseen on usein halvempaa kuin piin (Kalogirous, A. 2009, s. 26-27). Eniten käytettyjä aurinkopaneeleja ovat yksi- ja monikiteiset pii-kennot. Monikiteisten paneelien hyötysuhde on heikompi kuin yksikiteisten, joka on johtanut yksikiteisten yleistyneeseen käyttöön. Yksikiteisten paneelien valmistamisprosessi on kuitenkin monimutkaisempi, jonka takia investointikustannukset ovat monikiteisiä paneeleita korkeammat.

PV-kennot yhdistetään paneeliksi tuottamaan valaistuessaan tietty jännite ja virta. Paneeleita voi aurinkosähköjärjestelmässä olla useita ja ne voidaan kytkeä toisiinsa joko rinnan tai sarjaan halutun jännitteen mukaan. PV-aurinkosähköjärjestelmien teho riippuu paneelin ominaisuuksista, asennuksesta sekä kohteen sijainnista. Säteilyn lisäämiseen voidaan vaikuttaa keskittämällä säteilyä peilien tai linssien avulla. Paneelien tuottama sähkö on tasavirtaa, joka voidaan invertterillä muuntaa vaihtovirraksi ja näin sopivaksi yleiseen sähköverkkoon liitettäväksi. Aurinkopaneelien tuotto on parhaimmillaan säteen osuessa paneeliin kohtisuorassa. Tästä johtuen on paneeleihin saatavissa ohjausjärjestelmä, jonka avulla paneelin kallistusta voidaan muuttaa auringon säteilykulman mukaan. Aurinkosähköjärjestelmä koostuu aurinkopaneelista, ohjausyksiköstä, akusta sekä invertteristä. Lisäksi "avaimet käteen" -periaatteella ostetun aurinkosähköjärjestelmän mukana tulee asennustarvikkeet.

Aurinkovoima täyttää monella tapaa kestävän kehityksen kriteerejä. Se tuottaa sähköä kuluttamatta luonnonvaroja eikä sen tuotannossa synny päästöjä. Paneelien käyttöikä on korkea, keskimäärin 30 vuotta (VTT, 2010, s. 188) eivätkä ne vaadi suuria ylläpitotoimenpiteitä.

6 POHJAVESI

Pohjavedeksi kutsutaan maanpinnan alapuolista vettä kohdissa, joissa maaperän avoimet tilat ovat vedellä kyllästettynä. Pohjavedet ovat suurin makean veden varasto ja niitä esiintyy kaikkialla. Pohjavesi on uusiutuvaa ja se saa vetensä maanpinnan vesivarastoista, joista ja järvistä, sekä sateena purkautuen lopulta suurempiin pohjavesivarastoihin tai järviin ja meriin. Pohjavesien esiintyminen on erityisen runsasta alueilla, jossa maaperän aines on huokoista.

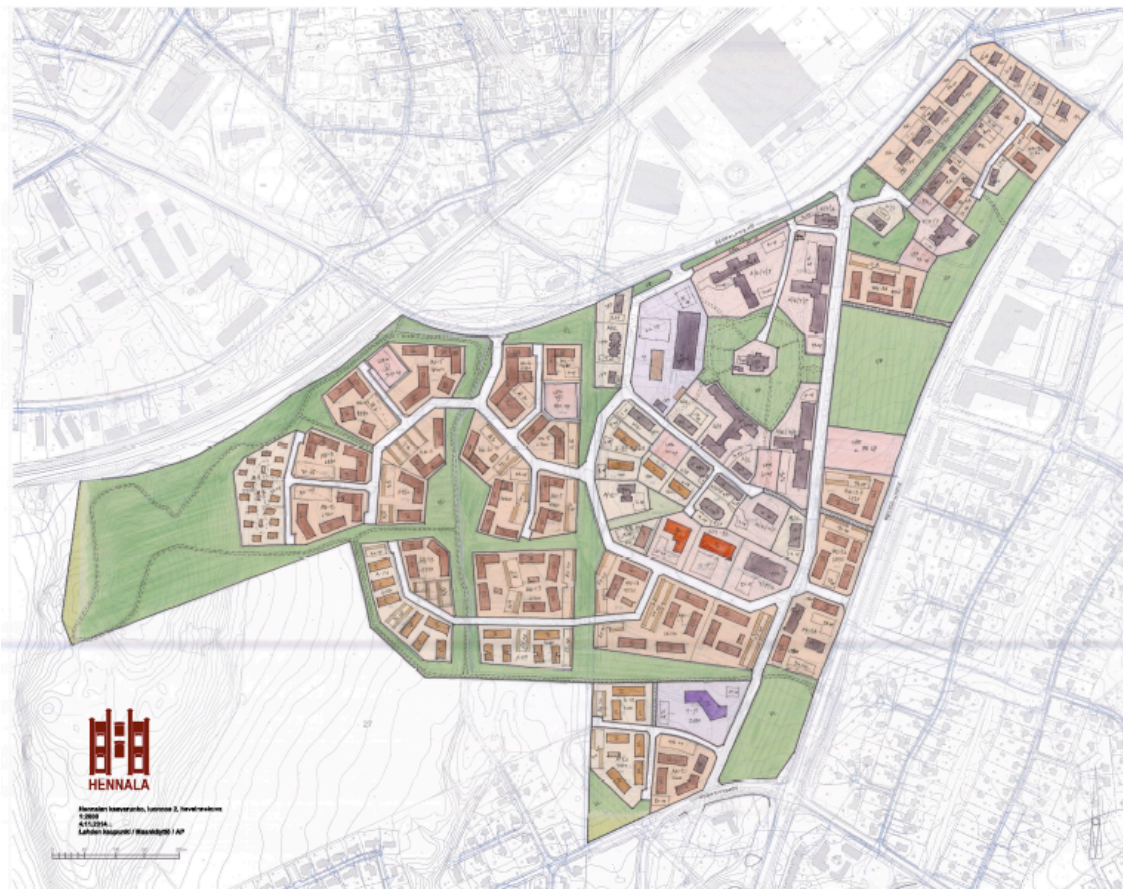
Lahden kaupungin sijainti on erityinen pohjaveden muodostumiselle, sillä ensimmäinen Salpausselkä kulkee Lahden lävitse. Salpausselät ovat jääkaudella muodostuneita reunamuodostumia, jotka syntyivät jään reunaan moreenista, lajittelemattomasta kiviaineksesta, jään ollessa paikallaan. Salpausselän lisäksi Lahden maastoa rikastuttavat useat harjut, jotka myös ovat peräisin jääkaudelta. Harjut muodostuivat jään alla sulamisrailoissa tai jäänalaisissa joissa veden kuljettamasta materiaalista. Harjujen maa-aines on lajitellumpaa, kuin reunamuodostumien, niin kutsuttua harjuainesta. Harjujen suuntaus on Etelä-Suomessa luode-kaakko – suuntainen, kun taas Salpausselät kulkevat lounaskoillinen-suuntaan. Sekä moreeni, että harjuaines ovat huokoista maa-ainesta, jonka läpi vesi suodattuu hyvin. Maan pinnalle satava vesi pääsee valumaan kallioperän aukkoihin ja pohjavesivarantoihin muodostaen suodattunutta pohjavettä. ([2] Lahden kaupunki, 2014.)

Pohjavesien laatu on Suomessa tarkoin seurattua, sillä sitä käytetään monissa paikoin talousvetenä. Lahdessa ja lähikunnissa on käytössä 18 vedenottamoita, joista pohjavettä pumpataan talousvesikäyttöön. Vuorokaudessa vettä pumpataan noin 30 000 m³ eli vuodessa noin 100 000 000 m³. ([4] Lahden kaupunki, 2014.) Suurimpia uhkia pohjaveden laadulle ovat erilaiset liuottimet, öljyt, tiesuola ja torjunta-aineet, joita maaperään joutuu teollisuudesta, maanviljelystä sekä liikenteestä. Pohjavesien suojelutoimenpiteisiin kuuluu pohjaveden muodostumisen kannalta tärkeiden alueiden kartoittaminen, jotta toiminta seudulla voidaan määritellä pohjavesille vaarattomaksi. Raskas teollisuus, autopesulat sekä muut maaperää saastuttavat toimenpiteet on erityisen tärkeä pitää etäällä pohjavesialueilta. ([5] Lahden kaupunki, 2014.)

Tässä työssä tarkoituksena on laskelmoida pohjaveden käytön kannattavuus kohteessa, jossa ei ole omaa vedenottamoita. Oman vedenottamon puuttuminen luo haasteen järjestelmän mitoitukselle, sillä pohjaveden virtaus on pieni ja verkostoveden käyttö rajoitettua. Mikäli pohjavedellä toteutetun jäähdyttämisen kysyntä kasvaa Hennalan uudella asuinalueella, voidaan jäähdytyskäyttöön harkita omaa vedenottamoita tai mitoittaa vedenkulutus henkilöä kohden suuremmaksi. Nämä toimenpiteet nostavat kuitenkin jäähdytysjärjestelmän investointikuluja. Pohjaveden käyttäminen jäähdytykseen ei vaaranna pohjavesien laatua. Lauhde-/jätevesi voidaan purkaa lähellä virtaavaan Porvoon-jokeen, sillä se ei saastu järjestelmässä.

7 TYÖTAPA JA MENETELMÄT

Opinnäytetyön tutkimuskohteena oleva asuinkerrostalo suunnitellaan Hennalan vanhan kasarmialueen länsipuolen uudelle asuin- ja työpaikka-alueelle. Rakennettava asuinalue on kooltaan noin 40 ha ja alueen kaavoitus on parhaillaan käynnissä (Lahti uudistuu. 2014). Karttaan (kuva 5) on merkitty vuonna 2014 lakkautetun kasarmin alue, jonka punatiilirakennukset ovat valtion omistuksessa, sekä tämänhetkinen kaavoittamaton alue, jolle opinnäytetyön kerrostalo sijoittuu. Kerrostalojen korkeudeksi luonnoksissa arvioidaan 3-4 kerrosta, lähinnä matalia kerrostaloja. Luonnokset on saatu Lahden kaupungin kaavoitusarkkitehti Armi Patrikaiselta, joka vastaa Hennalan uudisalueen kaavoituksesta. Kerrostalo on suunniteltu Hennalan kaavuluonnosten pohjalta, pohjaratkaisu sekä esteettisyys ovat kuitenkin yksinkertaistettuja eikä taloon ole suunniteltu parvekkeita. Parvekkeiden tarjoama passiivinen aurinkosuoja on kuitenkin huomioitu ulkoisilla aurinkolipoilla.



Kuva 5. Hennalan kaavarunko, 2014. (Lahden kaupunki, kaavoitusarkkitehti Armi Patrikainen, 2014)

Rakentamismääräykset tiukentuvat jatkuvasti uudisrakentamisen energiatehokkuusvaatimusten suhteen ja vuonna 2020 uskotaan normaalitasoisen uudisrakentamisen täyttävän tämän hetkisten passiivitalojen kriteerit (RIL. 2009, s. 257). Hennalan alueen kaa-voitus on aloitettu vuonna 2014 ja suunnittelut jatkuvat useamman vuoden ajan. Rakentamisen alkaessa on oletettavaa, että kyseeseen tulee passiivitalo tai matalaenergiarakennus. Tästä johtuen valittiin tutkittavan talon rakenteet VTT:n määrittelemän passiivirakennuksen kriteereitä noudattaen. Jäähdytystarpeen laskennassa käytettiin apuna IDA ICE -simulointiohjelmalla suunniteltua kerrostaloa. Sisäisen lämpökuorman arviointi perustuu simulointiohjelman asetuksiin asuinkerrostalon arvoille (perustuvat Suomen rakennusmääräyksiin) ja asukasmäärä valittiin asuntojen huoneiden perusteella.

Jäähdytysjärjestelmän pumpun tarvitsema sähkö tuotetaan pääasiassa aurinkopaneeleilla ja mahdollinen vaje paneelien tuotannossa korvataan ostetulla sähköllä. Paneelien tuotannon maksimoimiseksi rakennuksen suuntaus valittiin optimoiden sähköntuotanto paneeleilla. Varjostuksen ja paneelien sähköntuotannon heikentymisen voi aiheuttaa viereiset talot sekä puut, jotka varjostavat paneeleita. Aurinkopaneelien valinta perustuu tämänhetkiseen tarjontaan, joka voi olla eroava kerrostalon rakentamisvaiheen paneelien tarjonnan kanssa. Aurinkopaneelien sähköntuotto on laskettu keskimääräisen auringon säteilyn perusteella ja voi vaihdella suuresti vuodesta toiseen. Lisäksi paneeleissa on keskinäisiä eroja, jotka vaikuttavat sähköntuotannon tehokkuuteen. Alla olevan taulukon (kuva 6) Lahden alueen arvoja on käytetty havainnollistamaan auringon säteilyn määrää, sillä Hennalan alueelta ei ollut saatavissa tarkkoja auringon säteilyn mittauksia. Säteily on mitattu Etelä-Lahdessa, Renkomäessä sijaitsevalla Suomen Sääpalvelu Oy:n sääasemalla. Mittaukset on tehty kahden metrin korkeudesta. Suomen Sääpalvelu Oy on yksityinen paikallissääätiedottaja, joka markkinoi ammattitasoisia sääasemia yksityisille sekä julkisille tahoille. (Suomen Sääpalvelu Oy. 2015)

Auringon säteilyteho													
	Tam	Hel	Maa	Huh	Tou	Kes	Hei	Elo	Syy	Lok	Mar	Jou	Vuosi
2015	57	149	125	—	—	—	—	—	—	—	—	—	102
2014	68	116	434	670	669	853	853	772	573	251	59	35	448
2013	78	70	521	604	806	901	825	716	522	304	123	39	461
2012	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	17	17
Keskim.	68	112	360	637	738	877	839	744	548	278	91	30	411

Värikartta	< 100 W/m ²	100 - 200 W/m ²	200 - 300 W/m ²	300 - 400 W/m ²	400 - 500 W/m ²	500 - 600 W/m ²	600 - 700 W/m ²	700 - 800 W/m ²	800 - 900 W/m ²	900 - 1000 W/m ²	1000 - 1100 W/m ²	1100 - 1200 W/m ²	1200 W/m ² >
------------	---------------------------	----------------------------------	----------------------------------	----------------------------------	----------------------------------	----------------------------------	----------------------------------	----------------------------------	----------------------------------	-----------------------------------	------------------------------------	------------------------------------	----------------------------

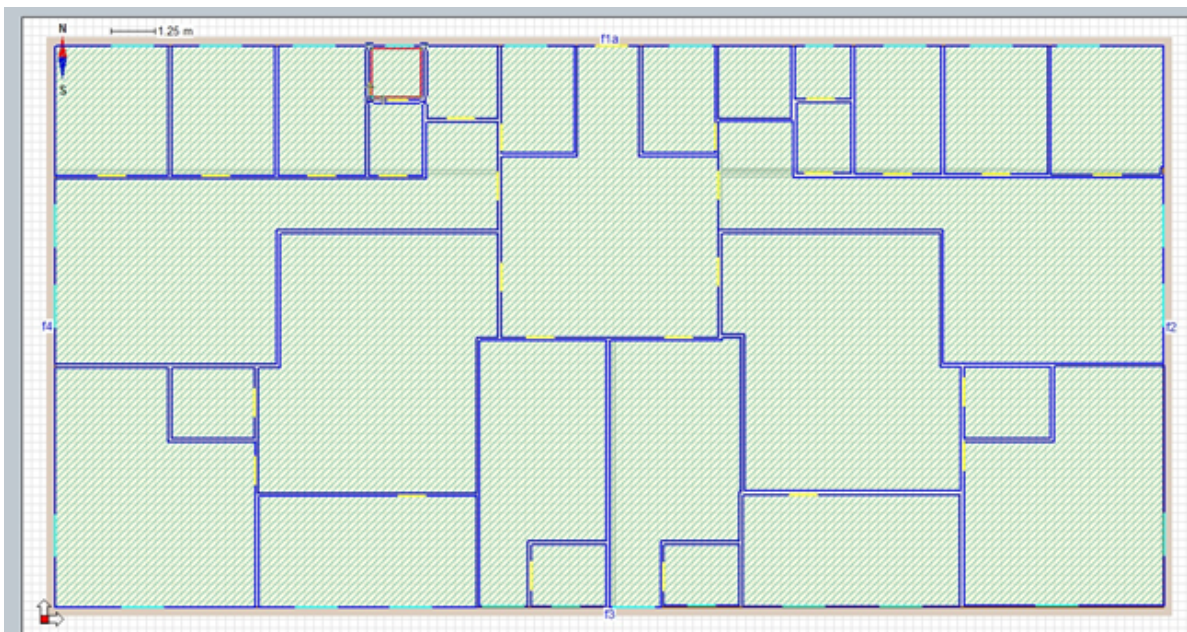
Kuva 6. Auringon keskimääräinen säteilyteho kuukaudessa Lahdessa 12/2012 – 3/2015. (Suomen Sääpalvelu Oy, 2009)

Kuten taulukosta (kuva 6) näkyy, on kesäkuukausien säteilyteho keskimäärin noin 800 W/m². Auringon säteily on kahden viimeisen vuoden aikana ollut tehokkaimmillaan kesä- ja heinäkuussa yltyen lähes 900 W/m² ja alhaisimmillaan joulukuussa, keskimäärin 30 W/m². Vuotuinen säteilyteho neliometriä kohden vuosina 2013 ja 2014 on ollut noin 450 W.

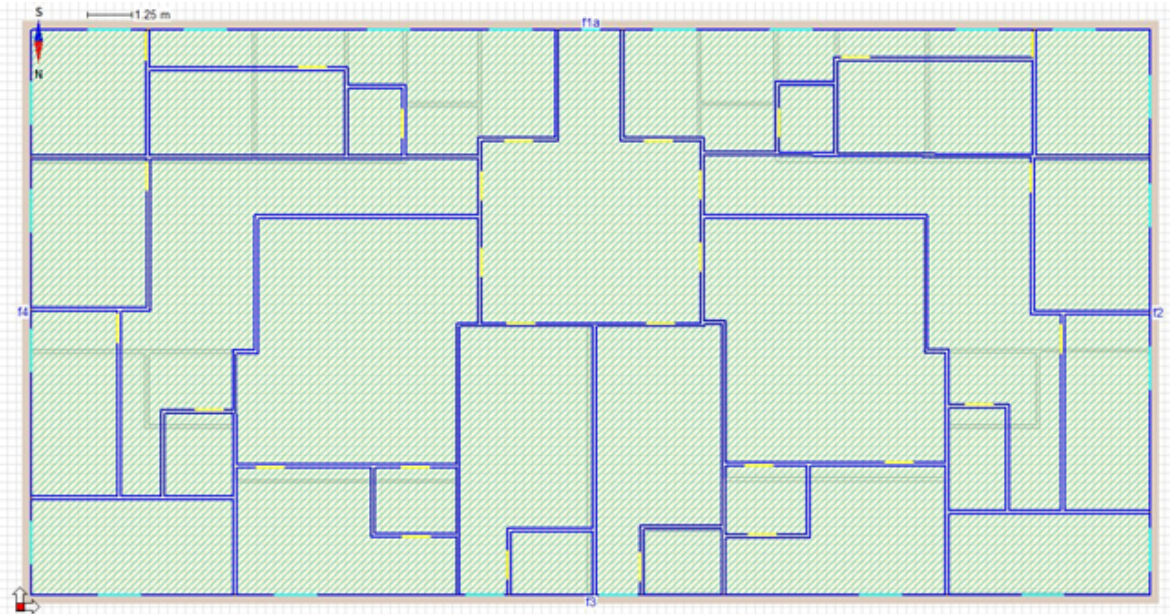
7.1 Simulointi

Jäähdytystehon määrittämiseksi on opinnäytetyöhön mallinnettu rakennus, joka vastaa Hennalan uuden asuinalueen kaavaluonnosta. Alueen luonteelle sopivaksi työhön valittiin kolmikerroksinen asuinkerrostalo. Asuin alaa talossa on 1497,3 m², jotka jakaantuvat tasan jokaiselle kerrokselle, 499,1 m²/krs. Asuntoja kerrostalossa on kaikkiaan 22. Asukasluvuksi määriteltiin 56 henkeä, joka saatiin asuntojen oletetun asukasluvun keskiarvoksi. Talon pohjaratkaisu (kuva 7) on yksinkertainen ja koostuu ensimmäisen kerroksen kuudesta asunnosta, joista kahdessa on 3 makuuhuonetta ja keittiö-olohuone, kahdessa kaksi makuuhuonetta ja keittiö-olohuone sekä lisäksi kaksi yksiötä. Toinen ja kolmas kerros ovat identtiset (kuva 8) ja koostuvat kahdesta yksiöstä, kahdesta kolmiosta ja neljästä kaksiosista. Pohjaratkaisu on tehty huomioiden alueen mahdollisuus tarjota asuminen eri asukasryhmille.

Rakennuksen simulointi on tehty IDA ICE (Indoor Climate and Energy) -simulointiohjelmalla, versio 4.6.2. IDA ICE on monivyöhykemallinnukseen suunniteltu simulointiohjelmisto, jolla saadaan selvitettyä rakennuksen lämpötase sekä kokonaisenergiankulutus. Simuloinnilla tarkoitetaan todellisuuden jäljittelyä parhaalla mahdollisella tavalla tunnettujen tietojen avulla. Ohjelmiston fysikaaliset mallit ovat yhdenmukaisia viimeisimmän tutkimustiedon sekä rakennusmääräysten kanssa ja ohjelman tuottamat raportit, standardit sekä säätiedostot maakohtaisia. Ohjelmalla voidaan mallintaa rakennus, käytettävät järjestelmät sekä säätölaitteet parhaan energiatehokkuuden saavuttamiseksi. Simulointiohjelmalla piirretään vyöhykkeitä, joille asetetaan eri laskentatarvoja. Kerroksien vyöhykkeet (kuva 7 ja 8) on jaettu huoneiden käyttötarkoituksien mukaan ja vyöhykkeiden oleskeluajat sekä sisäiset kuormat, koneet ja valaistus, asunnon asukasluvun, huoneen koon sekä käytön mukaan. Arkisin olohuone-keittiön oleskelu painottuu iltapäivälle sekä illalle ja aamuisin käytössä on lähinnä keittiö. Makuuhuoneiden oleskeluajat ovat yöllä matalalla aktiivisuustasolla, aamulla töihin lähtiessä sekä illalla käyttö on huipussaan. Vessojen ja pesuhuoneiden käyttö on huipussaan aamulla ja iltapäivästä iltaan. Viikonloppuisin vyöhykkeissä oleskelua on vaikea arvioida, jonka takia oleskelu on asetettu kerrostalon normaalikäytön mukaan. Tällöin käyttöaste on rakennusmääräysten mukaan tasaisesti 0,6.



Kuva 7. Pohjapiirustus kerros 1.



Kuva 8. Pohjapiirustus kerros 2 ja 3.

Jäähdytystarve määriteltiin ajanjaksolle 1.5. - 30.9. ja lämpötilat Helsinki-Vantaan sääaseman mittausten mukaisiksi ohjelman tietojen mukaan. Jäähdytyksen asetusarvoksi valittiin 25 astetta sallien 27 °C ylityksen 150:n astetunnin ajan. Sisäinen lämpökuorma laskettiin asuinkerrostalolle, jonka asukasluku on 56 ja talousveden (ilman jäähdytystä) käyttö 150 l/asukas. Rakennusmääräyskokoelman D3 mukaan valaistuksen lämmönluovutus on 11 W/m², laitteiden 4 W/m² ja ihmisten 3 W/m² (Suomen RakMk D3, 2012). Sähkölaitteiden lämmönluovutuksena voidaan kuitenkin pitää samaa tehoa, kuin niiden käyttämä sähköteho. Tällöin esimerkiksi tietokoneen lämmönluovutus olisi riippuen koneesta noin 50 W ja television noin 22 W (RakMK. D5, 2012, s. 30). Simuloinnissa on määritelty jokaisen huoneen/asunnon käyttäjät, koneiden arvioitu määrä ja lämmönluovutus sekä asukkaiden määrä, jotta jäähdytystehon todellinen tarve saadaan laskettua. Ilmavirrat on asetettu vyöhykekohtaisesti rakennusmääräysten arvojen mukaisesti. Simulointiohjelma laskee huoneiden lämpökuorman ja auringon säteilyenergian ilmansuunnan sekä säätietojen mukaan.

Rakenteiden valinta perustuu passiivitalon kriteereihin ja voi poiketa todellisista rakenteista. Simuloidun rakennuksen rakenteiden lämmönläpäisykertoimet (taulukko 1) ovat hyvät passiivitalolle ja alittavat rakennusmääräysten mukaiset maksimiarvot. Rakennuksen ulkokuoren yhteenlaskettu pinta-ala on 1903,52 m².

Taulukko 1. Simuloidun asuinkerrostalon rakenteiden lämmönläpäisykerroimet.

Rakennuksen vaippa	Ala [m ²]	U [W/(K m ²)]	U*A [W/K]
Maanpäälliset seinät	603.34	0.09	53.53
Maanalaiset seinät	0.00	0.00	0.00
Katto	612.19	0.09	55.15
Maavastainen lattia	554.10	0.08	42.70
Ikkunat	128.50	0.85	109.25
Ovet	5.40	0.30	1.64
Kylmäsiilat			10.53
Yhteensä	1903.52	0.14	272.80

Taulukko 2. Simuloidun asuinkerrostalon ikkunoiden ala, suuntaus (ilmansuunta) sekä lämmönläpäisy. (Saint-Gobain ikkunalasilla)

Ikkunat	Ala [m ²]	U Ikkuna [W/(K m ²)]	U Kehys [W/(K m ²)]	U Yht. [W/(K m ²)]	U*A [W/K]	Varjostuskerroin g
P	48.00	0.73	2.00	0.86	41.14	0.51
I	16.20	0.70	2.00	0.83	13.45	0.50
E	48.10	0.73	2.00	0.86	41.22	0.51
L	16.20	0.70	2.00	0.83	13.45	0.50
Yht.	128.50	0.72	2.00	0.85	109.25	0.50

Rakennuksen nelikerroksisissa ikkunoissa on sälekaihtimet kahden uloimman lasin välissä, lukuun ottamatta vessojen ja porraskäytävän ikkunoita. Sälekaihtimien lisäksi passiivisena jäähdytystapana toimii ulkoiset aurinkosuojat, jotka asennettiin olohuoneiden sekä makuuhuoneiden ikkunoihin. Taulukossa 2 on esitettyinä ikkunoiden suuntaus, ala, varjostuskerroin, sekä lämmönläpäisykerroin. Ikkuna-aloista huomataan, että etelään ja pohjoiseen on yhtä suuret ikkuna-alat. Ikkunoiden ulkoiset aurinkosuojat ovat 2 metriä leveät ja 80 cm syvät ja varjostavat ikkunoita merkittävästi kesäaikaan. Kuvassa 9 näkyy aurinkosuojien antama varjostus eteläpuolella keskikesällä keskipäivällä (4.7.2015 klo 12:15).



Kuva 9. Aurinkosuojien varjostus 4.7. kl 12:15.

7.2 Lattiajäähdytys

Lattiajäähdytys on Suomessa melko uusi jäähdytystapa. Jäähdytys perustuu kylmän veden kiertoon lattiassa sijaitsevissa putkissa. Ennakkoluulot epämiellyttävästä viileästä lattiasta sekä lattiajäähdytyksen tehottomuudesta ovat aikaisemmin johtaneet muiden jäähdytystapojen pääasialliseen suosimiseen Suomessa. Kiinnostus lattiajäähdytystä kohtaan on kuitenkin kasvanut Suomessa viimeisten vuosien aikana maailmalta kulttuurien positiivisten kokemusten johdosta. Passiivitalojen yleistyminen on lisäksi kasvattanut jäähdytysjärjestelmän suosiota, sillä vähäisen lämmitystarpeen johdosta suosittu lattialämmitysjärjestelmän putkia voidaan käyttää myös jäähdytykseen.

Lattiajäähdyttämisen hyviä puolia ovat sen näkymättömyys, äänettömyys, hyvät huonekohtaiset säätömahdollisuudet sekä huoneiden oleskelutilojen tehokas viilennys. Lattia- viilennys on aina lähellä oleskelutilaa, eikä se aiheuta vedon tunnetta. Jäähdytystapa on hyvä valinta asuintiloihin, joissa tavoitellaan parasta sisäilmaluokkaa (Sisäilmastoluokitus. 2008), sillä sen vyöhykekohtainen säätömahdollisuus on mahdollista järjestää melko pienillä kustannuksilla. Yksilöllinen säätö huonetiloihin voidaan toteuttaa kiertopiirille asennettavien säätimien sekä jakotukkien automaattisten toimilaitteiden avulla. Lattiajäähdytys on kustannustehokas vaihtoehto tiloissa, joissa jäähdytyksen tarve on kohtuullinen. Tietokonesaleissa sekä muissa ympärivuotista jäähdytystä tarvitsevissa tiloissa voi lattiajäähdytyksen tarjoama teho jäädä pieneksi, sillä maksimaalisen jäähdytyksen

tuottaminen voi johtaa sisäilman kondensoitumiseen viileälle pinnalle aiheuttaen kosteusvaurioita. (Savolainen, S. 2009)

Suosituksen mukaisesti lattian lämpötilan tulisi olla alhaisimmillaan noin 19-20 astetta, jotta lattia ei tuntuisi epämiellyttävältä. Ylläpidettäessä suositusten mukaisia lämpötiloja ei usein voida hyödyntää lattiajäähdytyksen teknisesti mahdollistamaa maksimaalista jäähdytystehoa. Lattian lämpötilan laskiessa suositusten alle on vaarana sisäilman kosteuden tiivistyminen kylmälle lattian pinnalle, joka voi aiheuttaa kosteusvaurioita rakenteissa. Kondensoitumista tapahtuu ulkoilman sisältämän kosteuden ylittäessä jäähdytetyn ilman kastepisteen. Kondensoitumisen välttämiseksi on lisäksi tärkeää hyvä ilmanvaihto, jolla voidaan poistaa kosteutta huoneilmasta. Kesäaikaan ulkoilman kosteuspiitoisuus on kuitenkin korkea, jolloin lämpötilaa on hyvä säätää huoneilman kosteutta mittaavalla säätimellä, joka varmistaa ettei menoveden lämpötila laske alle kastepisteen. Kondenssiveden muodostumisen lisäksi lattian lämpötilan laskeminen aiheuttaa heikentymistä asuinviihtyvyydessä, sillä ihminen aistii herkästi lämpötiloja jaloillaan. Kylmä lattia aiheuttaa kylmän tunteen koko kehoon. (Savolainen, S. 2009)

Jäähdytykseen hyödynnetään lattialämmitykseen käytettäviä putkia. Lämmityskauden ulkopuolella lattialämmitysputket ovat luonnollisesti poissa käytöstä, jolloin putkien hyödyntäminen jäähdytykselle on kustannustehokas sekä ympäristöystävällinen vaihtoehto erillisen jäähdytysjärjestelmän rakentamiselle. Asuintalojen jäähdytystarve on Suomessa yhä melko alhainen, jolloin erilliseen jäähdytysjärjestelmään investoiminen voi tulla kohtuuttoman hintaiseksi. Lattiaputket suunnitellaan Suomen olosuhteissa ensisijaisesti lämmitykselle sopiviksi, jolloin jäähdytyksen maksimaalisen tehon saavuttaminen voi jäädä toisarvoiseksi. Tehokkaassa lattiajäähdytyksessä putkien asennusvälin tulisi olla noin 10 - 15 cm. Lämmityskäytössä yksittäisen kiertopiirin koko pituus voi kuitenkin olla vain noin 80 - 100 metriä, jolloin tiheä putkitus pienentää lämmitysaluetta huomattavasti. Kompromissina järjestelmien tehokkuuden maksimoimiseksi voidaan putkitus tehdä tiheäksi paikoissa, jotka kesällä lämpenevät eniten. Lattiajäähdytystä voidaan hyödyntää lähes kaikilla lattiamateriaaleilla, mutta materiaalin valinnalla voidaan vaikuttaa merkittävästi jäähdytyksen tehokkuuteen. Lattialämmitykseen sekä jäähdytykseen soveltuu parhaiten kivilattiat, joiden lämmönsiirtokyky on hyvä. Eristä-

vät materiaalit, kuten korkki tai paksut lattiamatot, heikentävät jäähdytyksen tehoa verrattaessa esimerkiksi betonilattiaan. (Savolainen, S. 2009)

“Rajoitukset huomioon ottaen tyypillisen lattiaviilennysjärjestelmän suurin mahdollinen jäähdytystehontuotto lattian pintamateriaalista ja putkikoosta riippuen on n. $7 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$, josta $5,5 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ on säteilyn välityksellä ja $1,5 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ konvektiona tapahtuvaa jäähdytysenergian siirtoa. Näin ollen lattialaatan lämpötilan ollessa $19 \text{ }^\circ\text{C}$ ja sisälämpötilan ollessa $26 \text{ }^\circ\text{C}$ on lattiaviilennyksen jäähdytystehontuotto n. 50 W/m^2 .” (Savolainen, S. 2009, s. 11)

Sisäilman laatua tarkkailtaessa merkittäviä asioita ovat sisäilman lämpötila sekä huone-tilan pintojen säteilylämpötilat. Ihmisten aistima lämpötila huoneessa on näiden yhteisvaikutuksesta muodostuva, niin kutsuttu operatiivinen lämpötila. Operatiivinen lämpötila saadaan huoneilman lämpötilan sekä sisäpintojen säteilyn lämpötilan keskiarvoista. Säteilystä perustuvaa lämpöaistimusta määriteltäessä on tärkeää huomioida ns. näkyvyyskerroin, joka riippuu henkilön ja jäähdytettävän pinnan etäisyydestä sekä pinnan alasta. Verratessa esimerkiksi katossa olevaan säteilypalkkiin on lattiajäähdytyksen näkyvyyskerroin yli kaksinkertainen, mikä tarkoittaa että pienilläkin lattian lämpötilan muutoksilla saavutetaan tuntuva muutos operatiivisessa lämpötilassa. Tietyistä rajoituksista huolimatta on lattiajäähdytyksen hyötysuhde jäähdytystehon tuotossa hyvä, sillä jäähdytettävä ala on suuri ja aina lähellä oleskeluvyöhykettä. (Savolainen, S. 2009, s. 16)

7.3 Esimerkki pohjaveden käytöstä jäähdytykseen

Tapaustutkimus Pro Gradu –tutkielmasta:

Keskimääräinen viilennystarve matalaenergiatalolle on 5 W/m^2 . Pohjavettä pumpataan 50 m^3 päivässä jäähdyttämistä varten. Hämeessä, Hämeenkoskella 1996 tehtyjen mittausten mukaan pohjaveden lämpötila vaihteli $4,8$ ja $6,7 \text{ }^\circ\text{C}$ välillä. Viilennykseen käytettävän lämpöpumpun suorituskerroin, COP (*Coefficient Of Performance*), on 30.

Kaava: Pohjavedestä hyödynnettävä energiamäärä.

$$Q = q * \Delta T * C_p$$

Q = Energiämäärä (W)

q = Vedenvirtaus (l/s) = 50 m³/d = 0,58 l/s

ΔT = Lämpötilaero (K) = 5

C_p = Veden energiakapasiteetti (J/l*K) = 4202

Saadaan:

$$Q = 0,58 \text{ l/s} * 5 \text{ }^\circ\text{C} * 4202 \text{ J/l*K}$$

$$Q = 12\ 185 \text{ W}$$

Kaava: Lämpöpumpun tehokkuus viilennykselle.

$$HC \approx Q = q * \Delta T * C_p / 1 + (1/COP_c)$$

HC = Lämpömäärän teho viilennykseen

COP_c = Lämpöpumpun viilennyskerroin

Saadaan:

$$H_c = 12\ 185 \text{ W} / 1 + (1/30)$$

$$H_c = 11\ 791 \text{ W}$$

Jos viilennystarve olisi 5 W/m² (keskiarvo matalaenergiatalolle), saataisiin tällä teholla toteutettua viilennys pinta-alalle:

$$11\ 791 \text{ W} / 5 \text{ W/m}^2 = 2\ 358,2 \text{ m}^2 \text{ (ko. rakennus } 1275 \text{ m}^2\text{) (Buss, M. 2014)}$$

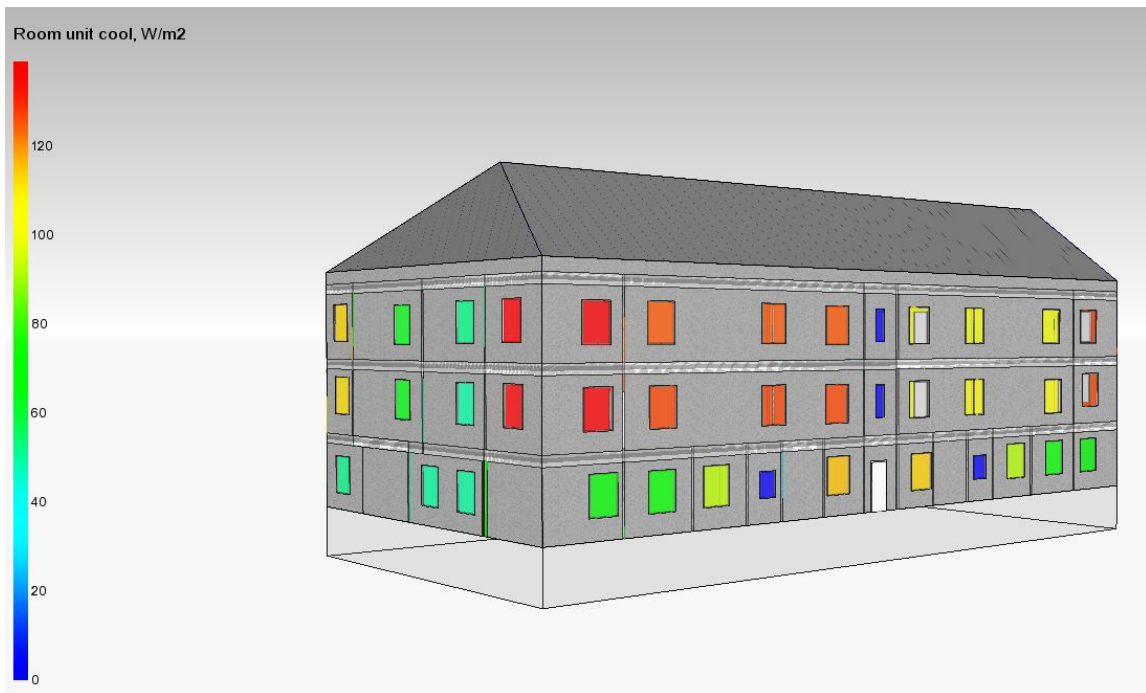
Esimerkin mukainen vedenkulutus jäähdytyskäyttöön riittäisi reilusti simuloidun rakennuksen jäähdytykseen. Pumpattu pohjavesi vastaa kuitenkin koko Hennalan varuskuntamuotoisen alueen vedenkulutusta (41 m³/d) ja käyttäisi 16:s osan laskennallisesta tulevan asuinalueen vedenkulutuksesta (840 m³/d). Verkostoveden kulutuksen kustannusten lisäksi esimerkin ratkaisu ei ole alueella toimiva ilman omaa pumppaamoja, sillä se kuormittaisi liikaa verkostovettä jättäen kotitalouksille vajeen talousveden käytölle.

Lahti Aqua tuottaa vedenhuoltopalvelut Lahdessa sekä Hollolassa ja on merkittävä pohjaveden laadun ylläpitäjä. Suunnitteluinsinöörin kanssa käydyn sähköpostikeskustelun perusteella Hennalan alueelle voitaisiin jo kaavoitusvaiheessa vaikuttaa jäähdytysratkaisun toimivuuteen.

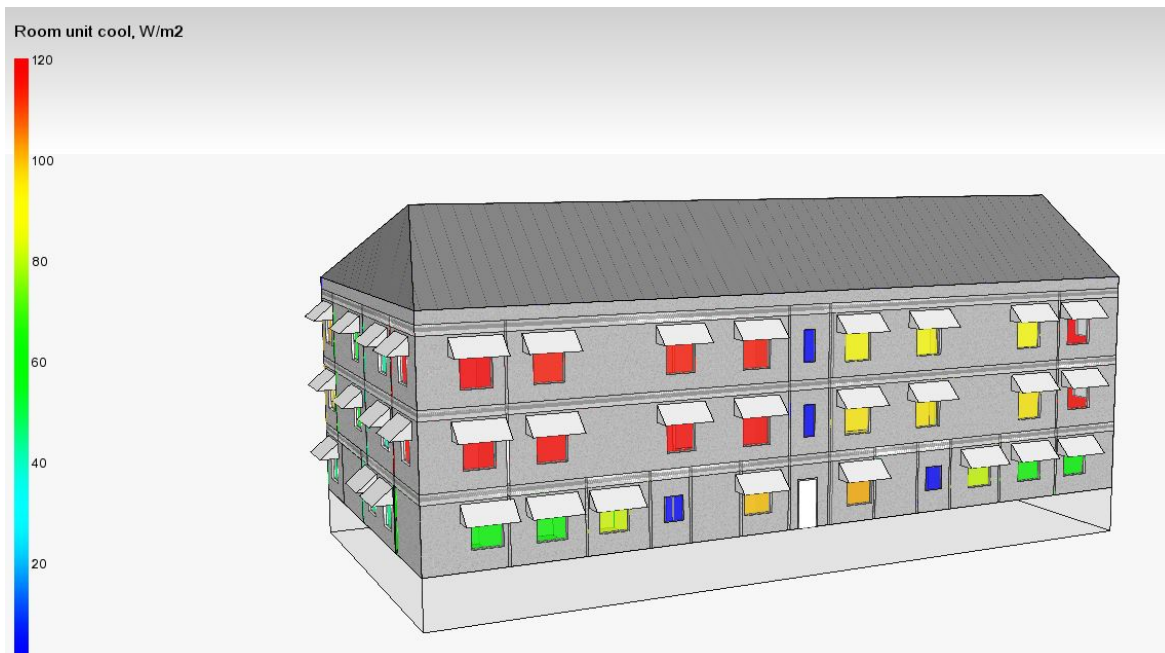
“Hennalan kohdalta vesijohtoverkoston mitoitustilanne on se, että alueen vedenkulutus tulee selvästi nousemaan nykyisestä. Viimeisin varuskuntamuotoisen alueen vedenkulutuksen kulutusennuste oli $15000 \text{ m}^3/\text{a} = 41 \text{ m}^3/\text{d} (=0,48 \text{ l/s})$. Jos alustavat kaavailut alueen kaavoittamisesta toteutuvat, voisi alueen asukasvastineluku jopa noin 6000 as => laskennallinen vedenkulutus $307000 \text{ m}^3/\text{a} = 840 \text{ m}^3/\text{d} (9,7 \text{ l/s})$. Tästä saadaan yleisesti käytetyillä kertoimilla vesijohtoverkoston mitoittamisessa käytettäväksi mitoitusvirtaamaksi (=huippupäivän huipputuntikulutus) noin 34 l/s. Nykyisen verkoston keskelle olla siis tekemässä aluetta, jolla vedenkulutus kasvaa huomattavasti siitä mihin verkosto on alustavasti luotu. Kun tuo 34 l/s jaetaan verkoston nykyiselle kahdelle syöttösuunnalle ($\text{Ø}160$ ja $\text{Ø}200$ runkojohdot), voidaan todeta, että veden syöttökapasiteetti alueelle on tulevaisuuden vedenkulutukseen nähden riittävä, muttei enää mitenkään väljä. Eli ylimääräistä ei hirveästi ole. Tällaisessa tapauksessa kuin Hennala, jossa tavallaan toteutetaan kokonaan uusi alue ja sinne tulee uusi toimija, voitaisiin ehkä teoriassa käsitellä em. tasapuolisuusvaatimusta hieman toiselta kannalta kuin jo verkostoon liittyneiden kiinteistöjen kohdalla? Tällöin ko. systeemin luomisesta aiheutuvia kustannuksia voitaisiin alusta alkaen kohdistaa hyödyn saajille.[- -] Jäähdytysveden purkamisen suhteen alueella ei ongelmia, ne on ohjattavissa suhteellisen lyhyitä reittejä esim. nykyisiin avo-ojiin ja edelleen Porvoonjokeen.” (Hiltunen, Jyrki. Suunnitteluinsinööri, Lahti Aqua. 2015. sähköpostiviesti tekijälle)

8 LOPPUTULOS

Suurimmat jäähdytystehontarpeet esiintyvät molemmissa tapauksissa rakennuksen etelän puoleisissa toisen ja kolmannen kerroksen huoneissa (kuva 10 ja 11). Kuvista 10 ja 11 nähdään aurinkosuojien aiheuttama jäähdytystarpeen ero rakennuksessa. Rakennuksessa, jossa on aurinkosuojat on jäähdytyksen tarve suurimmillaan 100-120 W/m², kun se ilman aurinkosuojia on 120-140 W/m². Kuvien vasemmassa laidassa jäähdytystarve esitettyinä W/m². Lämmin ilma kohoaa laajetessaan, mikä selittää ylimpien kerrosten lämpenemisen. Alin kerros on lisäksi kosketuksissa viileän maan kanssa, joka pienentää jäähdytystarvetta ensimmäisessä kerroksessa. Porraskäytävissä vallitsee alipaine paloturvallisuussyistä, jolloin ilmvirta on asunnoista porraskäytävään. Tästä johtuen simuloitussa rakennuksessa ei suunniteltu erillistä jäähdytystä porraskäytäviin, joka nähdään kuvasta 10 jäähdytystarpeen puuttumisena (tummansininen väri).

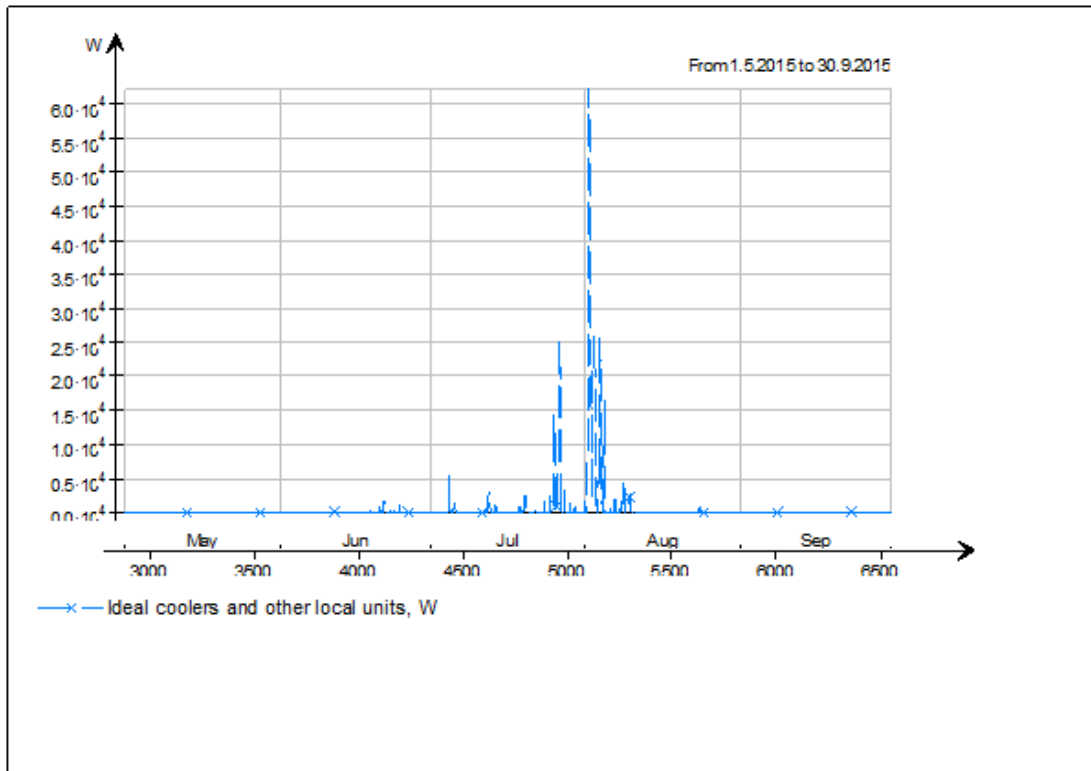


Kuva 10. Huonekohtainen jäähdytyksen tarve eteläisellä puolella rakennuksessa ilman aurinkosuojia, W/m².



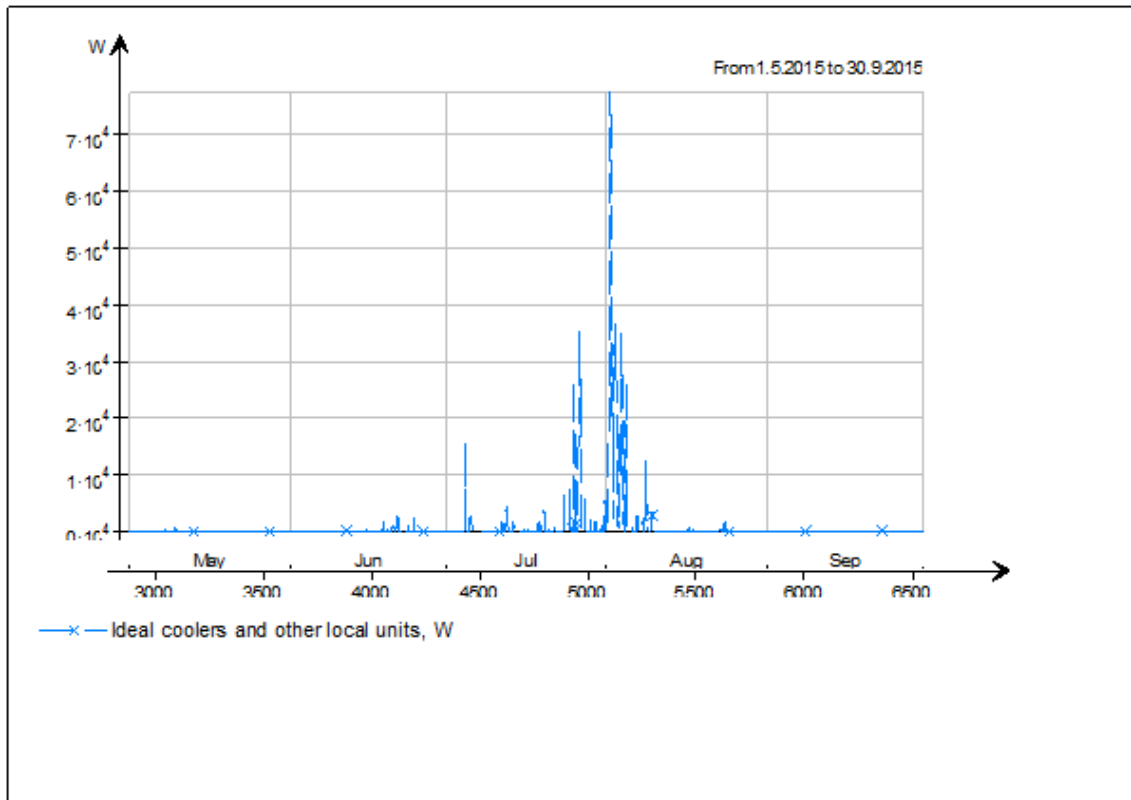
Kuva 11. Huonekohtainen jäähdytyksen tarve eteläisellä puolella rakennuksessa, jossa on aurinkosuojat, W/m^2 .

Jäähdytystarve laskelmoitiin siten, että rakennukseen suunniteltiin ulkoiset aurinkosuojat muihin paitsi vessojen sekä porraskäytävän ikkunoihin, sekä ilman ulkoisia aurinkosuojia. Kummassakin simuloinnissa ikkunoihin asetettiin sälekaihtimet ja sisäinen lämpökuorma määriteltiin yhtä suureksi. Rakennuksessa, jossa on aurinkosuojat jäähdytystehontarve oli noin 15 % pienempi kuin rakennuksessa, jossa ei ole aurinkosuojia.



Kuva 12. Jäähdytyksen tarve ajanjaksolle 1.5. - 30.9. simuloitulle asuinkerrostalolle, jossa ulkoiset aurinkosuojat.

Kuvaajasta (kuva 12) nähdään, että jäähdytystarve ei ole tasainen tarkasteltuna ajanjaksona. Elokuun alkuun sijoittuu jäähdytyksen tehopiikki 63,3 kW ja vähäisimmät jäähdytystarpeet sijoittuvat toukokuulle sekä syyskuun lopulle, jolloin jäähdytys ei aina ole edes tarpeen. Jäähdytyksen merkittävimpanä ajankohtana voidaan tuloksien perusteella pitää heinä-elokuuta, jolloin jäähdytyksen tehontarve on keskimäärin 15 - 25 kW ajoittaisin muutoksin, jäähdytyspiikki 63,3 kW saavutetaan elokuun alussa. Verrattaessa jäähdytyksen tarvetta simuloitujen rakennusten välillä huomataan ulkoisten aurinkosuojien verrattain suuri vaikutus jäähdytystarpeeseen. Ilman aurinkosuoja jäähdytystarve heinä-elokuulle on keskimäärin välillä 25 - 35 kW ja jäähdytyksen tehopiikki elokuun alussa jopa 80,6 kW (kuva 13). Jäähdytyksen tarve ilman aurinkosuoja on kesäkuulta elokuulle, kun se aurinkosuojien kanssa alkaa vasta heinäkuussa jatkuen elokuulle.



Kuva 13. Jäähdytyksen tarve ajanjaksolle 1.5. - 30.9. simuloitulle asuinkerrostalolle, jossa ei ulkoisia aurinkosuojia. (Ihalainen, L. IDA ICE. 2015)

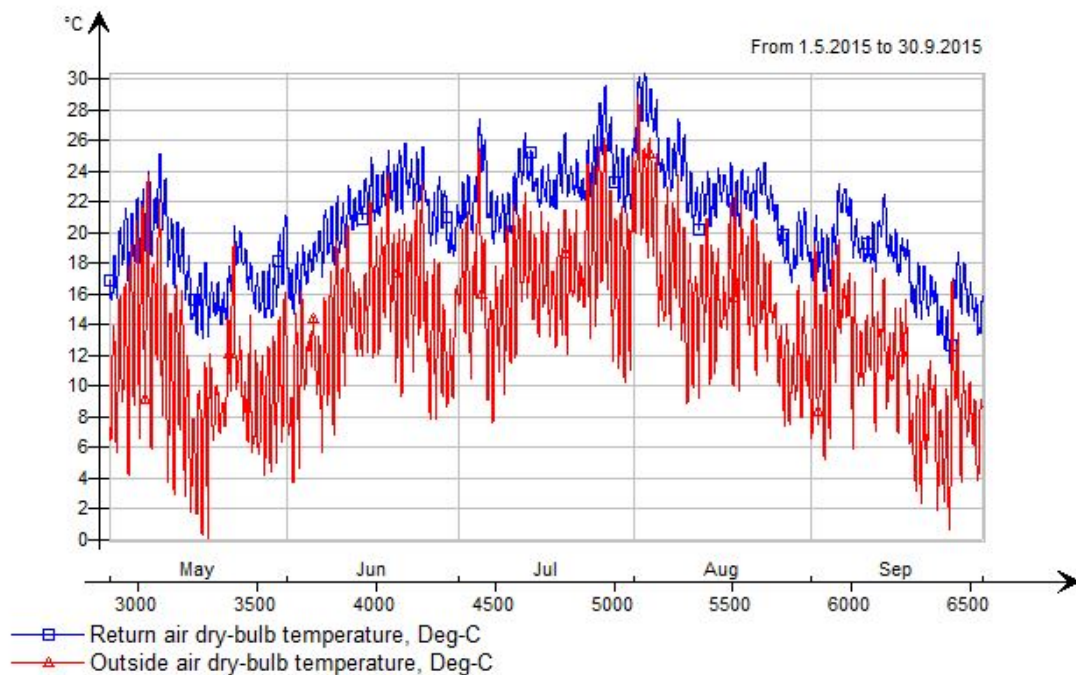
Taulukko 3. Sisäiset lämpökuormat.

Sisäiset lämpökuormat	kWh
Henkilöt	84 805
Kuluttajalaitteet	12 458
Valaistus	29 954
Aurinko	10 149

Taulukossa 3 on simuloinnin tuloksena saadut sisäiset lämpökuormat simuloitulle ajanjaksolle, joista huomataan, että henkilöistä aiheutuva lämpökuorma on yksittäinen suurin lämmönlähde. Henkilöiden lukumäärä rakennuksessa on kuitenkin vaihteleva, eikä sitä voida määrittää simuloinnissa täydellisesti. Kuluttajalaitteiden sekä valaistuksen lukumäärät sekä lämpökuormat voivat lisäksi vaihdella jonkin verran riippuen asukkaista. Tarkka jäähdytystarve tulee mitoittaa suunnitellulle rakennukselle rakentamisen jälkeen, jolloin asukasryhmät sekä kiinteä valaistus voidaan määrittää tarkemmin.

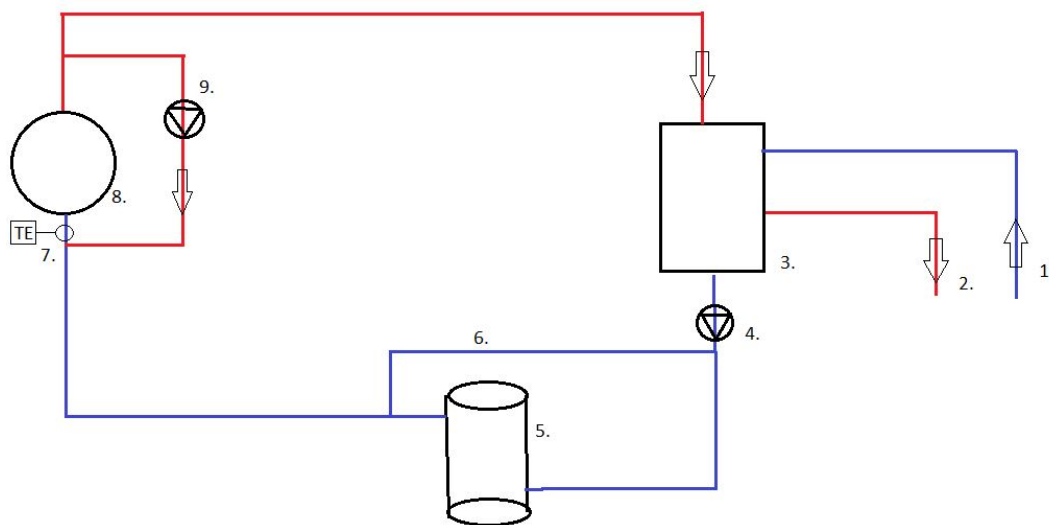
Jäähdytyksen puuttuminen

Rakennus simuloitiin myös ilman jäähdytystä siten, että sisäiset lämpökuormat olivat samat kuin jäähdytyksen kanssa. Kuvaajassa (kuva 14) merkittynä ulko- sekä sisäilman absoluuttinen lämpötila, joka ei huomioi materiaaleista säteilevää lämpöä tai ilman kosteutta. Kuvaajasta nähdään, että sisäilman lämpötila kohoaa yli rakennusmääräysten mukaisen 25 °C heinä- ja elokuun aikana. Operatiivinen lämpötila, jonka ihminen aistii, nousee kuitenkin korkeammaksi kuin termodynaaminen (absoluuttinen) lämpötila, joka kuvaajassa on ilmoitettu huoneilman lämpötilana, sillä siihen vaikuttavat huoneilman sisältämä kosteus sekä materiaaleista säteilevä lämpö. Rakennusmääräysten mukaan kesäajan huoneilman lämpötila saa kohota yli 25 °C aikavälillä 1.6. ja 31.8. maksimissaan 150 astetunnin ajan. Asetunti lasketaan kertomalla lämpötila ja aikaväli yhteen, jolloin esimerkiksi 2 ° lämpötilan ylistys viitearvosta kolmen tunnin ajan on yhtä kuin 6 astetuntia. (Suomen RakMk D3. 2012).



Kuva 14. Huoneilman kuivalämpötila kuvattuna (sinisellä) rakennuksessa ilman jäähdytystä ja ilman ulkoisia aurinkosuojia. Punaisella ulkoilman lämpötila.

Kuvasta (kuva 15) voidaan nähdä astetuntien ylittyminen ilman ulkoisia aurinkosuojia ja jäähdytysjärjestelmää. Kuvan vasemmassa laidassa oleva väriskaala kuvaa tuntimää-



Kuva 16. Jäähdytyksen yksinkertaistettu kytkentäkaavio.

1. Ensiöpuolen meno.
2. Ensiöpuolen tulo. Lauhdevesi viemäroidään.
3. Lämmönsiirrin.
4. Toisiopuolen pumppu.
5. Vesivaraaja.
6. Varaajan ohittava kierto.
7. Lattiajäähdytyspiirin lämpötilamittaus (suntti).
8. Lattiajäähdytyspiiri.
9. Jäähdytysveden lämmityskierto.

Kuvassa 16 esitettynä jäähdytyksen toimintaperiaate. Ensiöpuolella saatava teho määräytyy pohjaveden virtaaman ja lämpötilan mukaan. Pohjavesi pumpataan kierukalliseen lämmönvaihtimeen, jossa se viilentää toisiopuolen veden. Toisiopuolella jäähdytykseen käytettävä vesi kiertää suljetussa järjestelmässä lämmönvaihtimessa, vesivaraajassa ja jäähdytysputkissa. Varaaja täytetään yöaikaan kylmällä vedellä. Jäähdytysveden kierto voidaan suorittaa myös ohittaen vesivaraaja tilanteessa, jossa varaajan vesi on lämmennyt yli lattiajäähdytyksen mitoituslämpötilan.

Mitoitus verkostoveden virtaaman mukaan

Verkostoveden virtaamaksi oletetaan tasaisena **0,008 l/s asuntoa kohden** (yleisesti Lahdessa 0,002 - 0,008 l/s (Hiltunen, J. 2015)), jolloin koko rakennukselle saadaan verkostoveden virtaamaksi **0,176 l/s** (22 asuntoa * 0,008 l/s = 0,176 l/s). Käytetään mitoituksessa jäähdytykseen puolet rakennuksen käyttämästä verkostovedestä, jolloin saa-

daan ensiöpuolen virtaamaksi $0,176 \text{ l/s} / 2 = 0,088 \text{ l/s}$ (Kuva 17). Pohjaveden lämpötila perustuu Hämeessä tehtyihin lämpötilamittauksiin, jotka osoittivat lämpötilan olevan välillä 4,8 ja 5,3 °C ympärivuotisesti (Buss, M. 2014) Toisiopuolen virtaama mitoitetaan jäähdytystehon mukaan olettaen, että lämmönvaihtimen hyötysuhde on liki 100 %. Toisiopuolen mitoituslämpötilat perustuvat lattiajäähdytykseen käytettäviin lämpötiloihin ja voivat vaihdella hieman riippuen jäähdytysputkien asennuksesta ja lattian materiaalista.

Tehokaava jäähdytykselle:

$$Q = v * C_p * \rho * \Delta t$$

Q = teho (W)

C_p = kylmäaineen ominaislämpökapasiteetti (kJ/kg°C)

v = virtaama (dm³/s)

ρ = tiheys (kg/m³)

Δt = kylmäaineen meno- ja tulolämpötilojen erotus (°C)

Saadaan $Q = 0,088 \text{ l/s} * 4,2 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C} * 0,977 \text{ kg/m}^3 * 8 \text{ }^\circ\text{C}$

$$Q = 2,88 \text{ kW}$$

Ensiöpuoli		Toisiopuoli	
Tmeno	5 °C	Tmeno	19 °C
Tpaluu	13 °C	Tpaluu	24 °C
dT	8 °C	dT	5 °C
C_p	4,2 kJ/kg*°C	C_p	4,2 kJ/kg*°C
ζ	0,977 kg/m ³ /1000	ζ	0,977 kg/m ³ /1000
virtaama	0,088 l/s	virtaama	0,141 l/s
kylmäteho	2,889 kW	kylmäteho	2,889 kW

Kuva 17. Jäähdytyksen mitoitusarvot verkostoveden virtaamalla 0,088 l/s.

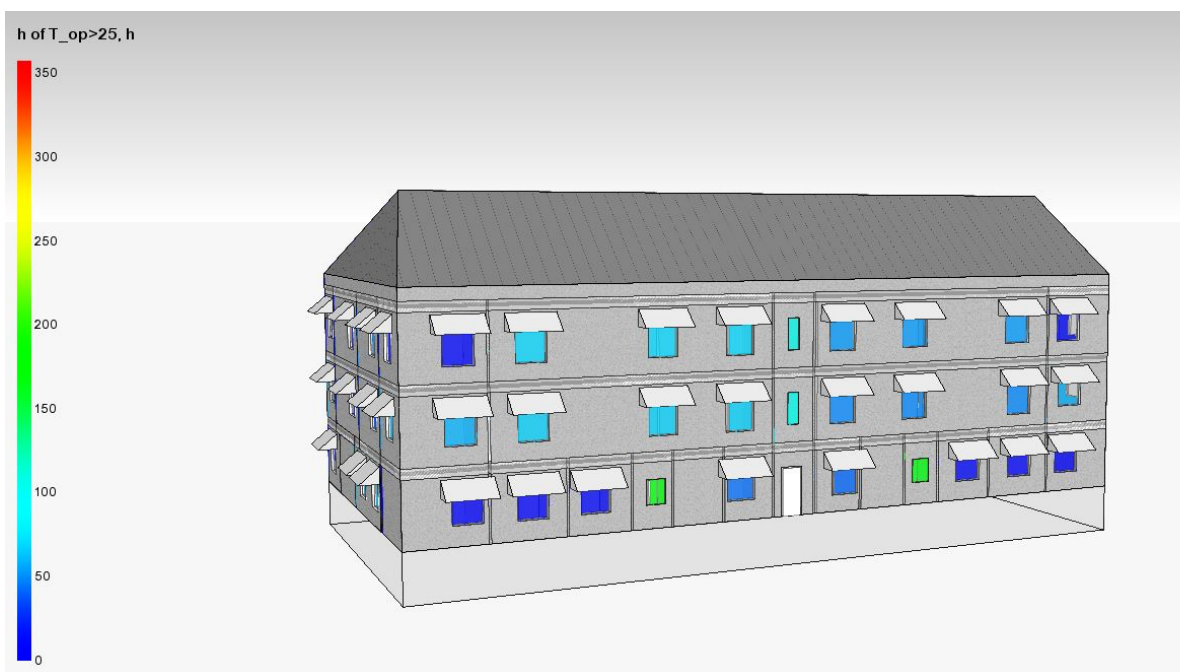
Verkostoveden virtaamalla voidaan siis aikaansaada noin **3 kW jäähdytysteho**, kun virtaamien lämpötilaero ensiöpuolella on 8 °C. Jäähdytysteho nousee aavistuksen verran kasvattaessa lämpötilaeroa ensiöpuolella ja toisaalta pienenee eron kaventuessa. Paluu-lämpötilan on kuitenkin hyvä olla toisiopuolen menolämpötilaa merkittävästi alhaisempi, jotta lämmönsiirtimen hyötysuhde ei laske. Verkostovedestä hyödynnettävä jäähdytysteho on **15 %** halutusta jäähdytystehosta. Järjestelmän tehon lisäämiseksi voidaan

lämmönsiirtimen perään kytkeä vesivaraaja, jolloin käytettävän kylmän veden määrää voidaan kasvattaa. Vesivaraajan lataus suoritetaan yöaikaan talousveden käytön ollessa lähes olematon. Mikäli vesivaraajan lataus voidaan suorittaa **0,176 l/s** virtaamalla välillä 24 – 6, voidaan saavuttaa noin **35 kWh** jäähdystysenergia.

$$Q = 0,176 \text{ l/s} * 4,2 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C} * 0,977 \text{ kg/m}^3 * 8 \text{ }^\circ\text{C} * 6\text{h}$$

$$Q = 34,7 \text{ kWh}$$

Varaajan tilavuuden tulisi tuolloin olla: $6 \text{ h} * 0,176 \text{ l/s} = 6 * 60 \text{ min} * 60 \text{ s} * 0,176 \text{ l} = 3\ 801,6 \text{ l}$, joka vastaa $3,8 \text{ m}^3$. Mikäli jäähdystyksen tarve rakennuksessa olisi 12 tuntia päivässä, voitaisiin varaajan avulla tuottaa lähes **3 kW:n** jäähdystysteho. Yhteenlaskettu jäähdystysteho on tuolloin **6 kW**, joka on 30 % halutusta jäähdystyksestä (20 kW). Kuvassa 18 on esitettyä tuntimääriä, jolloin operatiivinen sisäilma kohoaa yli 25 asteen jäähdystystehon ollessa 6 kW. Vaaleansinisissä vyöhykkeissä operatiivinen lämpötila kohoaa yli 25 asteen noin 100 tunnin ajan simuloituna ajankohtana ja tummansinisissä noin 50 tunnin ajan. Tuloksista voidaan huomata 6 kW:n jäähdystystehon merkittävä vaikutus operatiivisen lämpötilan (vertaa kuva 15) ja tuntimäärän, jolloin 25 astetta ylitetty, laskuun.



Kuva 18. Tuntimäärä, jolloin operatiivinen lämpötila kohoaa yli 25 °C eteläisellä puolella, kun jäähdystysteho on 6 kW.

Mitoitus tarvittavan kylmätehon mukaan

Simuloinnin tuloksista saadaan selville, että jäähditys tulisi mitoittaa heinä- elokuun aikaisen keskimääräisen jäähditystarpeen, 20 kW, mukaan. Taulukossa 4 on tarvittavat virtaamat ensiö- ja toisiopuolella halutun jäähditystehon tuottamiselle. Kasvattamalla ensiöpuolen virtaamaa lähes seitsenkertaiseksi nykyisestä voidaan aikaansaada 20 kW jäähditysteho pohjaveden virtaamalla.

Taulukko 4. Mitoitusarvot 20 kW jäähditystehon tuotolle.

Mitoitusarvot	ENSIÖPUOLI	TOISIOPUOLI
Tmeno	5	19
Tpaluu	13	22,5
lämpötilaero dT (°C)	8	3,5
entalpia Cp (kJ/kg*°C)	4,2	4,2
tiheys ρ (kg/m ³ /1000)	0,977	0,977
virtaama l/s	0,6	1,39
kylmäteho (kW)	20	20

Lattiajäähdytyksen mitoitus

Simuloidun rakennuksen asuinala on 1490 m², joka jakautuu 22:lle asunnolle. Kun WC-tilat ja saunat jätetään laskuista jää asuinakaksi **1 275 m²**. Lattiajäähdytyksellä on mahdollista olosuhteista hieman riippuen tuottaa jäähditystehoa 30-40 W/m². Jäähditystarve ei kuitenkaan jakaannu tasaisesti koko rakennukselle, joka selviää simuloinnin huonekohtaisista tuloksista. Lattiajäähdytystä voidaan säädellä tehokkaasti huonekohtaisesti, jolloin tuloksena saatu jäähditysteho pohjavedestä voi tarjota viilennyksen kuumimmille vyöhykkeille. **6 kW:n** jäähditysteholla voidaan tasaisesti jaettuna aikaansaada **4,7 W/m²** viilennys. Kuvasta 11 huomataan kuitenkin jäähditystehon neliökohtaisen tarpeen olevan pahimmissa vyöhykkeissä noin 120 W/m².

Pumpun sähköteho

Pumpun mitoituksessa tärkeintä on tietää pumpun kierrättämä virtaama sekä tarvittava nostokorkeus. Jäähditysjärjestelmissä käytettävien pumppujen hyötysuhde (η) on tavallisesti 50 - 60 % ja painehäviö 2 - 3 kPa. Tarvittava maksimaalinen nostokorkeus simuloidussa rakennuksessa on 6 metriä, joka vastaa 6 baarin painetta. Pumppujen energia-

tehokkuuden kannalta on erityisen tärkeä valita pumppu, jossa on paras hyötysuhde halutussa kohteessa. Suuritehoisin pumppu ei aina ole paras ratkaisu, vaan mitoitus tulee tehdä tapauskohtaisesti. Tutkimusten mukaan pumppujen energiakulutus on suurin virtaaman ollessa 75 % maksimista (Mänttari, V. 2011). Vakiovirtaaman pumpuilla ei ole kuin yksi toimintapiste, mikä helpottaa pumpun valintaa. Virtaaman ollessa muuttuva on pumpun valinnassa hyvä kiinnittää huomiota hyötysuhteen optimoimisesta koko käyttövälille.

“Teho on suoraan verrannollinen energiankulutukseen, jolloin pyörimisnopeuden puo-
littuessa tehontarve ja energiankulutus tippuvat kahdeksasosaan alkuperäisestä. [--]
Taajuusmuuttajaohjatulla pyörimisnopeudensäädöllä voidaan siis päästä pumpun koko-
naisenergiankulutuksen kannalta merkittäviin energiansäästöihin.” (Mänttari, V. 2011)

Pumpun tarvitsema sähköteho lasketaan kaavalla:

$$Q = (v * P) / \eta$$

Q = teho (kW)


v = virtaama (l/s)

P = tarvittava paine (kPa)

η = hyötysuhde (%)

Esimerkki soveltuvasta pumpusta lattijäähdytyspiiriin on WILO Nordic Ab:n Yonos MAXO 25/0,5-10 PN10 vakiomallinen *high efficiency* –pumppu. Pumpun mitoitusvirtaama on 1,5 l/s, nostokorkeus 6 metriä ja ottoteho 0,165 kW. Mikäli jäähdytys tuotettiin suoralla verkostovedestä saatavalla virtaamalla olisi lattijäähdytyspiiriin virtaama laskujen mukaan (kuva 17) 0,141 l/s. Pumpun tehokäyrän mukaan (kuva 19) on pumpun ottoteho kyseisellä virtaamalla ja 6:n metrin nostokorkeudella noin 0,055 kW. Mitoitetun vesivaraajan kanssa virtaama kasvaa puolella, jolloin varaajan jälkeisen 0,282 l/s virtaaman vaativa ottoteho pumpulle kasvaa noin 0,06 kilowattiin.

Esimerkki valitusta pumpusta

WILO Nordic Ab Tillinmäentie 1 A FIN 02330 ESPOO Puhelin +358 45 677 1670 Faksi 0207 401549	Yonos MAXO 25/0,5-10 PN10 Laite: Vakioallinen high efficiency -pumppu	
Asiakas Asiakas nro. Yhteyshenkilö Käsittelijä Ali Aaltonen	Projekti Projekti nro: Pos. nro Location Päiväys 28.4.2015 Sivu 3 / 3	
	Mitoitustiedot Virtaus 1,5 l/s Nostokorkeus 6 m Neste Vesi, puhdas Nesteen lämpötila 20 °C Tiheys 0,9983 kg/dm ³ Kinemaattinen viskositeetti 1,005 mm ² /s Höyrynpaine 2,337 kPa	
	Pumputiedot Valmiste WILO Tyyppi Yonos MAXO 25/0,5-10 PN10 Aseman tyyppi Vakiopumppu Käyttötapa dp-c Nimellispaine PN10 Nesteen min. lämpötila -20 °C Nesteen max. lämpötila 110 °C	
	Hydrauliset tiedot (toimintapiste) Virtaus 1,5 l/s Nostokorkeus 6 m Ottoteho P1 0,165 kW	
Oikeudet muutoksiin pidätetään Softwareversion 3.1.13 - 08.11.2013 (Build 47)	Käyttäjryhmä FI Data versio 01.01.2013	

Kuva 19. Esimerkki pumpun toiminnasta. (Aaltonen, A. WILO Nordic. 2015)

8.2 Aurinkopaneelien valinta

Yleisimmin käytettyjä aurinkopaneeleita ovat yksi- ja monikiteiset piikennot. Yksiki-teisten kennojen hyötysuhde (keskimäärin n. 15 %) on parempi kuin monikiteisten (n.12 %), mutta valmistaminen on monimutkaisempaa ja hinta kalliimpi. Yksi- ja moni-kiteisten piikentöiden lisäksi yleisessä käytössä ovat ohutkalvomoduulit. Ohutkalvomoduulit valmistetaan amorfisesta piistä ja niiden suurin hyöty on ohut ja joustava ominai-suus, joka mahdollistaa moduulin monipuolisen käytön. Vaikka ohutkalvomoduulien valmistus usein on edullisempaa kuin kristallisten piikentöiden on sen käyttö vähäisem-pää alhaisen hyötysuhteen (n. 6 %) johdosta. Kiteisen piin kestävyys on lisäksi huomata-vasti parempi ja tuotto tasaisempaa kuin amorfisen piin, joka johtaa ohutkalvomoduu-lin tuoton heikkenemiseen jo muutaman vuoden jälkeen. Tekniikan kehittyessä aurinko-kennojen tuotannon uskotaan tulevan edullisemmaksi muun muassa piikarbidin uuden valmistustavan myötä. Piikarbidin käyttö aurinkopaneeleissa voi lisäksi nostaa paneeli-en hyötysuhdetta merkittävästi. (Kalogirous, A. 2009, s. 486-487)

Aurinkopaneelien sähköntuotantoon vaikuttavat auringon säteilytehon ohella paneelin sähköteho, asennuskulma sekä suuntaus. Sähköä siirtäessä käyttöön tai tallentaviin ak-kuihin tapahtuu siirtokaapeleissa aina tehohäviöitä. Paneelin kuumeneminen ja pinnalle kertyvä lika sekä lumi voivat lisäksi heikentää sähköntuottoa. Aurinkopaneelien sijoit-tamisessa tärkeää on huomioida auringon sijainti suhteessa kohteeseen sekä säteilyn tu-lokulma, joka voidaan laskelmoida tarkasti jokaiselle leveysasteelle. Paras tuotanto saa-vutetaan yleisesti tuulisella paikalla etelään suunnatuilla paneeleilla, joiden kallistus-kulma seuraa auringon liikkeitä.

Kiinteästi asennettujen paneelien kallistuskulma määritetään optimaaliseksi tuotannon ajankohdan mukaan. Mikäli tuotanto halutaan maksimoida talviaikaan auringon paista-essa matalalta suositetaan suuria kallistuskulmia, noin 75-90 astetta, kun taas kesällä tuot-to maksimoidaan pienemmällä kulmalla, noin 30 astetta. Paneelien kallistus on tärkeää lisäksi myös estämään lian sekä lumen kertymisen paneelien pinnalle. Paneelien tuotta-man sähkönsä tehoa hyödyntämisen ja siirtohäviöiden minimoinnin kannalta on tehokkainta sijoittaa aurinkopaneelit lähelle kulutuskohtetta. Akkujen käyttäminen aurin-kosähköjärjestelmässä on suositeltavaa silloin, kun se on ainoa hyödynnettävä sähkönsä

lähde tai sähkönkulutus on hajanaista, esimerkiksi kesämökeillä. (Nissinen, Reko. 2012)

Aurinkopaneelien lukumäärä määräytyy sähkönkulutuksen sekä paneelin tehon mukaan. Aurinkopaneelien teho määritetään kattamaan jäähdytysjärjestelmän tarvitsema sähkönkulutus, joka koostuu pumpun sähkötehosta. Auringon säteily on epätasaista ja vaihtelee pilvisyyden mukaan. Tästä johtuen paneelien lukumäärä arvioidaan kattamaan sähkönkulutus noin 1,1 - 1,5 kertaiseksi. Aurinkopaneelin mitoituksessa tulee lisäksi huomioida sähkön siirrossa tapahtuva siirtohäviö. Siirtojohdot mitoitetaan usein siten, että siirtohäviö jää alle 5 %. Monikiteisten pii-kennojen sähköntuotto kirkkaalla auringonpaisteella on noin 0,32 A / cm². Sarjaan kykettynä yhden neliömetrin alan muodostavat kennot voivat siis tuottaa 320 A. Kennojen koko on keskimäärin 90 x 120 mm ja jännite 0,5 – 0,6 V. Kennoja kytketään käyttötarkoituksesta riippuen sarjaan halutun jännitteen ja sähkötehon aikaansaamiseksi. (Suntekno Oy, 2015)

Simuloidun rakennuksen kattoala on yhteensä 595 m², josta 132 m² on etelään. Katon lappeen kallistus suunniteltiin suotuisaksi aurinkopaneelien yksinkertaiselle asentamiselle ja paneelien tuoton maksimoimiseksi. Etelänpuoleisen katon kallistuskulmaksi mitoitettiin 37 °, jolloin aurinkopaneelit voidaan asentaa suoraan katolle, ilman erillisiä korokkeita tuottoisan kallistuskulman saavuttamiseksi. Aurinkopaneelien asennus katon lappeen mukaan ei usein vaadi rakennuslupaa, joka helpottaa toimenpidettä. Etelä-Suomessa noin puolet vuoden auringon säteilystä on hajasäteilyä. Aurinkopaneelien tuotanto perustuu paneelille osuvan säteilyn määrään, eikä sähköntuotannon kannalta ole merkityksellistä onko säteily suoraa vai hajasäteilyä. Hajasäteilyn suuri osuus vuoden kokonaissäteilystä Suomessa aiheuttaa kuitenkin aurinkoa seuraavien paneelien taloudellisen kannattamattomuuden, sillä niiden tehokkuus perustuu suoran auringon säteilyn maksimoimiseen.

Esimerkki sopivasta aurinkosähköjärjestelmästä:

Verkkoon kytketty 1,23 kW:n aurinkosähköjärjestelmä, kokonaishinta 2 450 € (sisältää asennustelineet).

Paneelien tekniset tiedot:

- 5 kpl monikidepaneeli SF156-60-P, soluja 60 kpl

- 245 Wp (Watt-peak, nimellisteho)
- jännite (Vmpp) 30,4 V
- virta (Impp) 7,89 A
- hyötysuhde 14,6 %
- yhteenlaskettu nimellisteho 1,23 kW
- koko 1650 x 992 mm = 1 636 800 mm² → 5 kpl x 1,64 m² = 8,2 m²
- käyttölämpötilat -40 - 85 °C

Takuu paneelin tehokkuudelle: 2 vuotta 90%:nen tehontuotto ja 25 vuotta 80%:nen tehontuotto. Paneelien nimellisteho on laskettu auringon säteilyteholla 800 W/m², paneelin ollessa 35 °:en kulmassa, tuulennopeuden 1 m/s ja ympäröivän lämpötilan 20 °C.

Lisäksi SMA SB 1300 TL verkkoinvertteri:

- hyötysuhde 96 %
- jännite 125 - 480 V
- max. input 600 V
- syöttövirta 11 A
- nominal output 1300 W

Invertterin hinta yksinään 780 €.

(JN-Solar, maahantuojaja. Säkylä. 2015)

Rakennuksen etelänpuoleiselle katolle mahtuisi 16 kyseistä järjestelmää, jolloin yhteenlaskettu teho olisi 20 kW. Investoinnin kustannukset olisivat tuolloin noin 39 200 €.

Aurinkosähköjärjestelmän tuotto Lahdessa kesä - elokuussa:

Suomessa neliömetrille tulevan auringon vuosittainen säteilyteho on n. 1000 kWh (Sun-tekno Oy, 2015). Esimerkin mukainen aurinkopaneelien ala on yhteensä 8,2 m² ja hyötysuhde 14,6 %, josta saadaan 1 197 kWh vuosittainen tuotanto. Suomen sääpalvelun mukaan vuonna 2014 auringon säteilyteho vaakatasoon Lahdessa oli keskimäärin 853 W/m² heinä- ja elokuun ajan. Oletetaan säteilytehon vastanneen 8 tuntia päivässä kahden kuukauden ajan, jolloin paneelien tuotannoksi saataisiin 506 kWh. Esimerkin pumpun ottoteho samana aikana on 29,8 kWh (kuva 19), joka voidaan aikaansaada aurinkopaneelilla, mikäli laskelman tuotosta 6 % toteutuu. Tarkka tuotanto on kuitenkin tuntikohtaiseen säteilytehoon perustuva ja vaihtelee suuresti alueittain ja vuosittain.

9 KESKUSTELU JA ANALYYSI

Lopputyön tarkoituksena on kestävä kehityksen mukaisen energiatehokkuuden lisääminen ja kasvihuonepäästöjen vähentäminen Lahdessa. Tavoitteena on lisätä uusiutuvien energialähteiden käyttöä hajautetusti ja siten innostaa suurempiin investointeihin Lahdessa ja lähikunnissa. Rakennusten lämmitykseen kuluu Suomessa energian loppukäytöstä neljäsosa ja vuonna 2013 asumiseen kului kaiken kaikkiaan noin 63 TWh ([3] SVT, 2013). Energiatehokkuuden sekä uusiutuvien energialähteiden käytön lisääminen juuri asuinsektorilla tuo merkittäviä muutoksia Suomen energiakulttuuriin.

Tutkimuskysymys

Tutkittiin voidaanko pohjavettä hyödyntää asuinkeuhkon jäähdytystarpeisiin verkostovedestä käytettävällä virtaamalla. Oletuksena ennen tapaustutkimusta oli, että pohjaveden hyödyntäminen jäähdytykseen Hennalassa on ympäristöystävällinen ja energiatehokas ratkaisu ja että aurinkopaneelien tuottama sähköteho kattaa järjestelmän tarvitseman ottotehon. Jäähdytystarpeen selvittämiseksi simuloitiin 56 asukkaan mahdollinen asuinkeuhkon, joka toimii esimerkkinä passiivirakenteisesta matalasta keuhkon.

Tutkimustulos

Simuloinnin tuloksista saatiin selville, että jäähdytyksen tarve rakennuksessa on todellinen. Lisäksi todettiin ulkoisten aurinkosuojien tarjoama merkityksellinen passiivinen viilennys, joka estää huomattavasti ikkunoista tulevaa auringon lämpösäteilyä vaikuttamasta sisäilman lämpötilaan. Tutkittaessa selvisi kuitenkin, että verkostovedestä jäähdytyskäyttöön saatava pohjaveden virtaama jää liian pieneksi mahdollistaakseen halutun jäähdytystehon toteuttamisen. Pohjaveden esiintyminen ja lämpötila ovat kuitenkin suotuisat jäähdytyksen toteuttamiseen uusiutuvasti. Puhtaan pohjaveden käyttäminen jäähdytykseen helpottaa lisäksi jäähdytysveden purkamista, sillä se voidaan tehdä avo-ojiin tai sadevesiviemäriin eikä sen viemärointi aiheuta suuria kustannuksia. Saatuja simulointituloksia voidaan hyödyntää vastaavan rakennuksen jäähdytystarvetta perusteltaessa.

Halutun jäähdytystehon tuottamiseen tarvittava pohjaveden virtaama on tämän hetkisel-
le vesijohtoverkostolle liian suuri eikä sitä voida toteuttaa ilman verkoston putkistokoon
kasvattamista tai jäähdytykselle toteutettavaa erillistä verkostoa käyttäen. Jäähdytys on
kuitenkin mahdollista toteuttaa pohjavedestä virtaamaa kasvattamalla tai osittain yhdis-
tämällä jäähdytykseen vesisäiliö. Vesisäiliön lataus voidaan suorittaa yöaikaan verkos-
toveden muun käytön ollessa alhainen, jolloin lataus ei kuormita verkostoa liikaa. Vir-
taaman tai vedenkulutuksen kasvattamiseen on myös mahdollista puuttua varsinkin, kun
kyseessä on uusi, vasta rakenteilla oleva asuinalue. Jäähdytyskäyttöön voitaisiin periaat-
teessa suunnitella oma pohjavedenpumppaamo, josta saatava virtaus voidaan suoraan
mitoittaa jäähdytyskäyttöön sopivaksi. Uuden asuinalueen vesijohtoverkosta voitaisiin
mahdollisesti mitoittaa hieman suuremmaksi ja sallia jäähdytyskäyttöön asuntoihin suu-
remman vedenkulutuksen (Hiltunen, J. s.posti tekijälle, 2015).

Hennalaa lähinnä sijaitsee Kärpäsenmäen vedenottamo, josta pohjavettä pumpataan
päivittäin noin 1000 m³/d. Mikäli ko. vedenottamon kaikki vesi johdettaisiin jäähdytys-
käyttöön saataisiin virtaama 11,6 l/s. (Hiltunen, J. 2015). 20 kW:n jäähdytystehon tuot-
toon tarvitaan laskelmien mukaan 0,6 l/s virtaama. Kärpäsenmäen vedenottamolta saa-
tavalla pohjavesimäärällä voitaisiin siis jäähdyttää lähes 20 tapaustutkimuksen kaltaista
rakennusta. Lahti Aquan tämänhetkinen kanta on ollut kielteinen jäähdytyskäyttöliitty-
mille. Mikäli jäähdytyksen tarve kuitenkin tulevaisuudessa lisääntyy huomattavasti voi-
daan asiaa tarkastella uudemman kerran.

“[--]Esitetty mitoitustilanne tarkoittaa kuitenkin sitä, että normaalin talousveden johta-
minen ja toisaalta jäähdytysveden johtaminen pitäisi automatisoida jotenkin yhteen niin,
että ehdottomasti ensisijainen talousveden tarve tulisi kaikkina mitoitushetkinä tyydyt-
tää.--]esim. erilliset putkistot kummallekin vedelle [jäähdytysvesi ja talousvesi], jolloin
eri haaroihin meneviä virtaamia voitaisiin toki säätää. [--] oman verkoston lisäksi jääh-
dytysvedellä pitäisi olla myös oma vesilähde, josta vesi otetaan, niin epäsuhtaiset taita-
vat olla näiden eri käyttöön johdettavien vesien virtaamat olla. Tällaisesta voisi mitoi-
tusesimerkiksi ottaa esim. Hennalaa lähinnä olevan Lahti Aquan vedenottamon, eli
Kärpäsen vedenottamon. Sen luvannukainen suurin sallittu pohjavedenottomäärä on
noin 1000 m³/d eli 11,6 l/s.” (Hiltunen, J. 2015)

Vaikka Suomessa yhä kohdataan epäluuloa aurinkosähköön investoimisessa sen epäta-
saisen tuoton johdosta on aurinkopaneelien hyödyntäminen juuri jäähdytyskäytössä hy-

vin perusteltua paneelien tuoton ja jäähdytystarpeen huippujen osuessa samalla ajankohdalle. Tapaustutkimuksen esittelemä jäähdytys verkostoveden virtaamalla ei kuitenkaan osoittautunut toimivaksi, josta johtuen aurinkopaneelien asentamiselle jäähdytysjärjestelmän kannalta ei ole aihetta. Ehdotetun aurinkosähköjärjestelmän vuosittainen tuotanto on noin 1 197 kWh, joka vastaa 16 % simuloidun rakennuksen kodinkoneisiin ja muihin laitteisiin käytettävästä energiasta (laitteet 18 393 kWh) toukokuusta syyskuulle. Mikäli eteläpuoleinen kattoala, 132 m², käytettäisiin tehokkaasti hyödyksi voitaisiin esimerkin mukaisia aurinkosähköjärjestelmiä asentaa kaikkiaan 16 kappaletta. Vuosittainen tuotanto olisi tuolloin noin 19 100 kWh, jolla voitaisiin kattaa laitteisiin käytetty energia puhtaasti auringosta saatavalla energialla.

Suomessa ei perinteisesti ole rakennettu erillisiä jäähdytysjärjestelmiä asuintaloihin. Koneellisen jäähdytyksen tarve asuinkerrostaloissa voi kuitenkin kasvaa vuosikymmenten saatossa merkittävästi lämpenevän ilmaston johdosta sekä mukavuussyistä. Vaikka ilmaston lämpeneminen saataisiin pysähtymään +2 C° yleistyvät todennäköisesti sääääri-ilmiöt, jotka Suomessa voivat esiintyä pitkinä hellejaksoina. Ilmastonmuutoksen ollessa jo edennyt tähän vaiheeseen on tullut tärkeäksi muutokseen sopeutuminen sen pysäyttämisen ja hidastamisen rinnalle. Sopeutumiseen kuuluu rakennusalaalla oleellisena osana asuinolojen laadun ylläpitäminen muutoksen aikana ja jälkeen. Tulevaisuuden sääolosuhteet ovat kuitenkin aina arvioita ja voivat muuttua ajan kuluessa. Jäähdytyksen tarve näyttäisi nyt olevan kasvussa, mutta asiaan voi tulla muutoksia ilmaston sekä rakentamisen muuttuessa. (Ilmatieteen laitos & Aalto yliopisto, 2011)

Hajautettujen energiajärjestelmien käyttö asuinrakennuksissa on hyvä ottaa huomioon jo kaavoitusvaiheessa. Aurinkosähköjärjestelmän kannalta oleellista on esimerkiksi talojen suuntaus ja kattoalat, rakennusten sijoittelu, ulkoinen varjostus sekä katon materiaalit, jotka ovat erityisen merkityksellisiä aurinkopaneelien sähköntuoton kannalta ja voidaan huomioida kaavoituksessa. Asemakaavoissa tulee lisäksi mahdollistaa aurinkopaneelien asennus myös jälkikäteen. Pohjaveden käytölle merkittävää on virtaaman kasvattamisen mahdollisuuden selvittäminen alueella sekä jäähdytysveden viemärointimahdollisuuksien, kuten lähistön avo-ojien tutkiminen, ja viemäroinnin suunnittelu. Myös muiden uusiutuvien, hajautettujen tai aluekohtaisten energiajärjestelmien käyttöön voidaan kaavoituksessa vaikuttaa kannustavasti. Energiantuotanto uudisrakennusalueilla on tärkeä ottaa

huomioon aikaisessa vaiheessa, jotta ylimääräisiltä kustannuksilta vältytään myöhemässä vaiheessa.

Kestävä kehitys

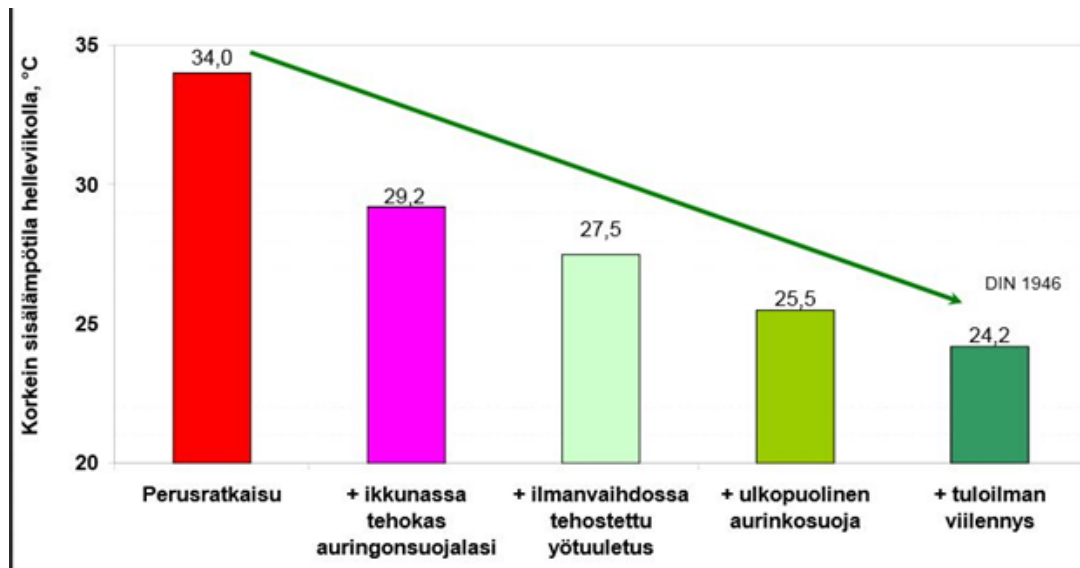
Työssä onnistuttiin luomaan todellisuutta hyvin vastaava passiivirakenteinen asuinkerrostalo, jonka asunto- ja asukasmäärät, 22 asuntoa ja 56 asukasta, voivat tulevaisuudessa toteutua Hennalan alueella. Jäähdytykseen käytetään puhdasta pohjavettä, joka voidaan viemäroidä takaisin maaperään. Pohjaveden hyödyntäminen jäähdytykseen verkostoveDESTÄ saatavalla virtaamalla mahdollisti tutkimuksen mukaan kuitenkin vain pienen osuuden todellisesta jäähdytystarpeesta. Alhainekin jäähdytysteho voi kuitenkin tarjota helpotusta hellepäivien huoneilman lämpötilaan, jolloin yksinkertainen ja ympäristöystävällinen ratkaisu voi toimia hyvänä vaihtoehtona. Järjestelmän kannattavuus tulisi tällöin laskelmoida rakennus- ja huonekohtaisesti. Jäähdytysjärjestelmän käyttäminen ei rasita ympäristöä lainkaan vaan se hyödyntää ainoastaan uusiutuvia energianlähteitä. Jäähdytys täyttää kestävä kehityksen kriteerit primäärienergian suhteen ja voi toimia innostajana uusiutuvien energialähteiden käytölle ja kehitykselle. Jäähdytyksen tuotto on energiatehokasta, sillä lattijäähdytyksessä hyödynnetään lämmitykseen suunniteltuja putkia. Suomen talviolosuhteissa ovat lämmitysjärjestelmät vielä tarpeellisia myös passiivitaloissa, ja näin vältytään erillisen järjestelmän aiheuttamilta lisäkustannuksilta sekä ympäristön ylimääräiseltä kuormittamiselta.

Sähkövero

Omaan käyttöön tuotetun sähkön tehoraja on 50 kV, joka tarkoittaa, että alle 50 kV järjestelmillä tuotettu sähkö omaan käyttöön on verovapaata. Vuonna 2014 Tulli asetti isompien kiinteistöjen sähköntuotantojärjestelmille (50-2000 kV) energiaverotusohjeen, jossa sähkövero tuli maksaa koko omasta tuotannosta, mikäli sitä tuotettiin edes pieni määrä yleiseen sähköverkkoon. Tämä verotusohje johti aurinkovoiman investointien määrän huimaan laskuun. Hallitus on nyt valmistellut uuden ehdotuksen, jossa verottoman tuotannon tehoraja nostetaan 100 kV:iin ja vuosituotannon verottoman tuotannon ylärajaksi asetetaan 800 MWh. Tällä esityksellä on tarkoituksena lisätä sähkön pientuotantoa uusiutuvilla energianlähteillä. (Lähienergialiitto. 2015) Opinnäytetyön esittelemän jäähdytysjärjestelmän investoinnin houkuttimena toimii mahdollisuus myydä aurinkopaneelien tuottamaa sähköä kunnalliseen verkkoon.

Passiivinen lämpötilojen hallinta

Talon suuntauksen sekä ulkoisten varjostusten, kuten puiden ja läheisten rakennusten avulla voidaan sisätilojen lämpenemistä vähentää. Ikkunoiden koko, suuntaus, ulkoiset aurinkosuojat sekä sälekaihtimet ja muut verhot ovat tehokkaita keinoja välttää auringon lämpösäteilyn aiheuttamaa lämpötilan kohoamista sisätiloissa. Kuvaajassa (kuva 19) on esitetty sisälämpötilan muutokset erilaisten passiiviratkaisujen myötä. Tutkimuksen mukaan voidaan ikkunoiden aurinkosuojilla sekä tehostetulla ilmanvaihdolla saada sisäilman lämpötila pidettyä 25,5 C° alapuolella hellejaksoina. (Heljo, J. 2010)



Kuva 19. Passiiviratkaisujen vaikutus sisäilman lämpötilaan. (Heljo, Juhani. Tampereen Teknillinen Yliopisto, 2010. "Passiivirakentamisen haasteet".)

Työn haasteet

Jäähdytysjärjestelmän suunnittelu rakennukselle, jota ei ole olemassa tai suunniteltu tuo erityisiä haasteita. Määritteleviä tekijöitä jäähdytyksen tehon tarpeelle ovat rakenteiden lämmönläpäisy, ikkunoiden koko, suuntaus ja määrä, ulkoiset varjostukset sekä sisäinen lämpökuorma. Mitoitettu jäähdytys perustuu opinnäytetyössä näiden tekijöiden arvioihin, jotka voivat poiketa todellisuudesta. Jäähdytyksen todellinen tarve voi tulevaisuu-

nessa olla suurempi, jolloin järjestelmän tuottama teho voi jäädä liian alhaiseksi viihtyisän sisäilman lämpötilan luomiselle.

Verkostoveden alhainen virtaus ja asuntokohtainen sallittu mitoitusvirtaama sekä oman pumppaamon puuttuminen jäähdytyskäyttöön rajoittavat jäähdytyksen tuotantoa. Aurinkopaneelien tuotanto on vaihteleva eikä sen toiminta primäärienergianlähteenä ole taattua säteilyn vaihdellessa ennustamattomasti. Ilmaston lämpeneminen perustuu ennustuksiin ja tutkimuksiin menneestä ajasta, eikä sen vaikutuksia voida tietää varmaksi.

9.1 Ehdotuksia jatkotutkimuksille

Kestävä kehitys

Kestävän kehityksen oleellisena mittarina pidetään tuotteiden täydellisen elinkaaren vaikutusta ympäristöön sekä talouteen. LCA (Life Cycle Assessment) arvioi tuotteen tai palvelun ympäristövaikutuksia koko elinkaaren ajalta. Järjestelmän energiatehokkuuden sekä kestävä kehityksen edistämisen kannalta olisi tähdellistä selvittää ympäristövaikutukset kyseisen jäähdytysjärjestelmän kohdalla sekä tarkastella vaihtoehtoisia osia tai toimintoja kestävyuden parantamiseksi. Ekologisen sekä sosiaalisen kestävyuden kannalta tärkeää on huomioida osien valmistusprosessit raaka-aineista lähtien ja selvittää olosuhteet valmistuksen ympärillä.

Jäähdytysveden hyödyntäminen talousveden lämmitykseen

Jäähdytysputkissa kiertävä vesi lämpenee jäähdytyksen yhteydessä poistaessaan huoneista ylimääräistä lämpöä. Lämmönvaihtimeen palatessaan jäähdytykseen käytetystä vedestä siirretään ylimääräinen lämpö katolla olevan lauhduttimen kautta ulos. Jatkotutkimuksena ehdotan lämmöntalteenoton tutkimista ja käyttämistä lämpimän käyttöveden esilämmittämiseen. Tällöin voidaan säästää kaukolämpökustannuksissa ja hyödyntää sivutuotteena syntyvää lämpöä energiatehokkaasti. Tutkimuskohteena voisi lisäksi olla mahdollisuus hyödyntää jäähdytykseen käytettävää vettä lämpimänä talousvetenä. Tällöin lämmin käyttövesi kulkisi jäähdytysputkiston kautta lämmönvaihtimeen, jolloin

veden esilämmitys tapahtuisi ylimääräisellä huoneilmalla. Rajoituksina kyseiselle järjestelmällä voivat olla terveysriskit talousveden kierron pitkittyessä tai hidastuessa.

Suljettu kierto

Suljettu kierto jäähdytyksessä voisi toimia siten, että jäähdytykseen käytettävä vesi kiertää suljetussa järjestelmässä. Vesi jäähdytetään lämmönvaihtimessa, jossa kylmä käyttövesi toimii kylmänlähteenä ja palaa jäähdytysputkien jälkeen takaisin vaihtimeen. Tällöin veden kulutus pienenesi huomattavasti ja samalla vältyttäisiin lauhdeveden viemäroinniltä. Jäähdytyksen teho voi tällöin kuitenkin laskea.

Kiinnostavaa olisi lisäksi tutkia pohjavesikaivon mahdollisuutta toimia lämmönvaihtimena. Tällöin jäähdytykseen käytettävä neste jäähdytetään pohjavesikaivossa ilman erillistä lämmönvaihdinta. Tärkeä seikka järjestelmässä on tutkia kuinka paljon pohjavesi lämpenee ja lämpenemisestä mahdollisesti aiheutuvat terveysriskit tai muut haitat.

Taloudellisuus

Opinnäytetyön esittelemä jäähdytysjärjestelmä voidaan kytkeä kaukokylmän piiriin, mikäli asia tulee myöhemmin ajankohtaiseksi. Aurinkopaneelien tuottama sähkö käytetään tuolloin talon muihin tarpeisiin tai myydään kunnalliseen sähköverkkoon. Jäähdytysjärjestelmän osia voidaan hyödyntää myös muun keskitetyn jäähdytyksen järjestämiseen, kuten kaukokylmän, joka lisää investoinnin taloudellisuutta.

Lahti Energian myynti- ja kehityspäällikkö Matti Wallinin kanssa käydyn sähköpostikeskustelun perusteella Lahti Energialla on alustavaa kiinnostusta investoida aurinkopaneeleihin. Tuolloin voimalaitos toimisi investoijana ja vuokraisi paneelit taloyhtiön käyttöön. Lisäksi Lahti Energialla on kiinnostusta mahdollisesti ostaa paneelien tuottamaa ylijäämäenergiaa hintaan SPOT - X €. (Wallin, Matti. s.posti 16.2.2015)

Aurinkopaneelien tuottaman sähköön kustannukset koostuvat alkuinvestoinnista sekä mahdollisista huolto-/korjaustöistä. Paneelien keskimääräinen elinikä on noin 30 vuotta ja toimivuus luotettava koko eliniän ajan. Suuremmissa paneeli-investoinneissa voidaan harkita joukkosijoitusta, jolloin määritelty yhteisö investoi yhdessä paneeleihin jakaen

omistuksen sekä tuoton keskenään. Paneeleihin investoiminen sekä omistus voisi olla myös paikallisen energialaitoksen intressi, jolloin energian myynti pysyisi energialaitoksella, mutta polttoainekustannukset jäisivät pois. Tällöin kuluttajien energialaskut koostuisivat investoinnin takaisinmaksusta, huoltotöistä sekä mahdollisista siirtokustannuksista ja verkon ylläpitämisestä. Polttoainekustannukset sekä ympäristön kuormitus jäävät tällöin pois.

Jatkotutkimuksena voitaisiin selvittää aurinkopaneelien kustannustehokkuus ja suotuisin investointimuoto asuinkerrostalon käyttöön.

Oma pohjavedenpumppaamo

Mikäli pohjavedellä toteutetun jäähdyttämisen kysyntä kasvaa Hennalan uudella asuinalueella, voidaan jäähdytyskäyttöön harkita omaa vedenottamoaa tai mitoittaa vedenkulutus henkilöä kohden suuremmaksi. Kasvattamalla pohjaveden virtaamaa saadaan vedestä suurempi jäähdytysteho. Jatkotutkimuksena voitaisiin laskea oman vedenottamon tuottamia kustannuksia sekä käyttömahdollisuuksia. Lisänä voitaisiin tutkia jäähdytyksen tarjoamista keskitetysti useammalle talolle ja kustannustehokkuutta ko. järjestelmässä.

LÄHTEET

Elektroninen materiaali:

Aurinkoenergia.fi Tmi, 2015. *Suomessa: Suomen suurimmat aurinkovoimalat*. [Elektroninen]. Haettu: <http://www.aurinkoenergia.fi/Info/184/aurinkovoimaa-suomessa>, [6.2.2015]

Aurinkosähköä ikkunoista – paneelitehdas aloittaa Salossa, *Turun Sanomat*, 24.2.2015. Haettu: <http://www.ts.fi/uutiset/kotimaa/738793/1/738808.jpg>, [5.3.2015]

Buss, Mia. 2014. *Kaupunkialueiden pohjaveden lämpöenergian hyödyntämispotentiaali Suomessa - esimerkkinä Lohja ja Turku*. Pro Gradu -tutkielma. Geotieteiden ja maantieteen laitos, geologian osasto, Helsingin yliopisto. [Elektroninen]. Haettu: https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/135851/Mia_Buss_Gradu2014.pdf?sequence=3, [17.3.2015]

Energiateollisuus: *Vesivoima*. [Elektroninen]. Haettu: <http://energia.fi/energia-ja-ymparisto/energialahteet/vesivoima>, [22.1.2015]

EWEA: Corbetta, Giorgio; Miloradovic, Thomas; Pineda, Iván; Azau, Sarah; Moccia, Jacopo & Wilkes, Justin. 2014, *Wind in power*. 2013 European statistics. [Elektroninen] Haettu: http://www.ewea.org/fileadmin/files/library/publications/statistics/EWEA_Annual_Statistics_2013.pdf, [22.1.2015]

Heimonen, Ismo. VTT, 2011. *Aurinko-opas 2012. Aurinkolämmön ja -sähkön energiantuoton laskennan opas*. [Elektroninen]. Haettu: <http://www.ym.fi/download/noname/%7BF4F73E83-56AF-4112-AD7B-0E1F1804D38B%7D/30750>, [7.4.2015]

Heljo, Juhani. Tampereen Teknillinen Yliopisto, 2010. *Passiivirakentamisen haasteet*. [Elektroninen]. Haettu: http://www.tut.fi/ee/Materiaali/TAKK_passiivirakentamisen_haasteet161210.pdf, [20.4.2015]

Ikonen, Elli. & Pulkkinen, Mikko. 2014 *Lahden kaupunki, Uusiutuvan energian kuntakatselmus* [Elektroninen]. Haettu: [http://www.lahti.fi/www/images.nsf/files/991801B309031CD3C2257D78004DCC00/\\$file/Kuntakatselmusraportti_Lahti.pdf](http://www.lahti.fi/www/images.nsf/files/991801B309031CD3C2257D78004DCC00/$file/Kuntakatselmusraportti_Lahti.pdf), [10 Nov 2014]

Ilmatieteen laitos & Aalto yliopisto. 2011, *Rakennusten energialaskennan testivuosi 2012 ja arviot ilmastonmuutoksen vaikutuksista* -raportti, [Elektroninen]. Haettu: <https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/33069/2011nro6.pdf?sequence=1>, [1.12.2014]

IPCC The Core Writing Team, Rajendra K. Pachauri & Leo Meyer (2014). *CLIMATE CHANGE 2014 Synthesis Report*. Yhteenveto päätöksentekijöille.

[Elektroninen] Haettu: http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/SYR_AR5_SPMcorr1.pdf, [15.1.2015]

JN-Solar, maahantuoja. Säkylä, 2015. *Aurinkosähköjärjestelmät*. [Elektroninen]. Haettu: <http://www.jn-solar.fi/fi/36-omakotitaloihin>, [20.4.2015]

Kemijoki Oy: *Vesivoiman historiaa*. [Elektroninen]. Haettu: <http://www.kemijoki.fi/vesivoima/vesivoiman-historiaa.html>, [22.1.2015]

Koski, Pertti. 2010. *Kuntien energiatehokkuussopimus (KETS) ja energiaohjelma (KEO)*. [Elektroninen]. Haettu: www.ylapirkanmaa.fi/attachments/filebank/55.pdf, [17.2.2015]

Kuntatekniikka, 13.4.2012. *Kaukokylmä yleistyy suomalaiskaupungeissa* -artikkeli. [Elektroninen]. Haettu: <http://kuntatekniikka.fi/2012/04/13/kaukokylma-yleistyy-suomalaiskaupungeissa/#/home>, [26.1.2015]

[1] Lahden kaupunki, 2014. *Hollola - Lahti - Nastola ympäristöpolitiikka 2013 - 2016*. [Elektroninen]. Haettu: <http://www.lahti.fi/www/cms.nsf/pages/4830B82F5DF8B4CBC2256F8D00247AF7>, [4.2.2015]

[2] Lahden kaupunki, 2014. *Pohjaveden muodostuminen*. [Elektroninen]. Haettu: <http://www.lahti.fi/www/cms.nsf/pages/BC6BF6EA4130A052C2257AEF00430A47>, [4.2.2015]

[3] Lahden kaupunki, 2014. *Ilmasto-ohjelma*. [Elektroninen]. Haettu: <http://www.lahti.fi/suomi/ilmasto-ohjelma>, [17.2.2015]

[4] Lahden kaupunki, 2014. *Pohjavedet Hollolassa, Lahdessa ja Nastolassa*. [Elektroninen]. Haettu: <http://www.lahti.fi/www/cms.nsf/subpages/asuminenjaymparistoymparistonsuojelupohjavedet>, [23.2.2015]

[5] Lahden kaupunki, 2014. *Pohjaveden laatu*. [Elektroninen]. Haettu: <http://www.lahti.fi/www/cms.nsf/pages/3A523F2059F100F5C2256F65004229BA>, [23.2.2015]

Lahden kaupunki. Kaavoitusarkkitehti Patrikainen, Armi. Hennalan kaavaluonnos.

Lahti uudistuu. 2014. *Hennala*. [Elektroninen]. Haettu: <http://lahtiuudistuu.fi/hennala/>, [20.2.2015]

Lähienergialiitto, 2015. *Lähienergialiitto iloitsee: Isompien kiinteistöjen sähkön pientuotanto vapautetaan sähköverosta*. [Elektroninen]

Haettu: <http://www.lahienergia.org/lahienenergialiitto-iloitsee-isompien-kiinteistojen-sahkon-pientuotanto-vapautetaan-sahkoverosta/>, [11.2.2015]

Macedon D. M, Visa I, Neagoe M, Burduhos B.G. 2014, *Solar heating & cooling energy mixes to transform low energy buildings in nearly zero energy buildings*. Energy Procedia. [Elektroninen]. 48: 924-937 Haettu: http://ac.els-cdn.com/S1876610214003683/1-s2.0-S1876610214003683-main.pdf?_tid=ae9e0362-7ac4-11e4-8637-00000aacb361&acdnat=1417594769_5e1da40e3fbf4c377469d198bbab0bb8, [3.12.2014]

[1] Motiva. 2014. *Bioenergian käyttö*. [Elektroninen]. Haettu: http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/bioenergia/bioenergian_kaytto, [24.1.2015]

[2] Motiva. 2014. *Polttotekniikasta yleisesti*. [Elektroninen]. Haettu: http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/bioenergia/bioenergian_tuotantotekniikka/polttotekniikasta_yleisesti, [24.1.2015]

[3] Motiva, 2014. *Kierrätyspolttoaineet*. [Elektroninen]. Haettu: http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/bioenergia/muita_biopolttoaineita/kierratyspolttoaineet, [26.1.2015]

[4] Motiva, 2014. *Auringonsäteilyn määrä Suomessa*. [Elektroninen]. Haettu: http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/aurinkoenergia/aurinkosahko/aurinkosahkon_perusteet/auringonsateilyn_maara_suomessa, [4.3.2015]

Mänttari, Ville. 2011. *Energiatohokkaan pumpun määrittäminen LVI-suunnittelussa*. Opinnäytetyö. Talotekniikan koulutusohjelma, Mikkelin Ammattikorkeakoulu. [Elektroninen]. Haettu: <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/27748/Insinorityo%20Ville%20Manttari.pdf?sequence=1>, [20.4.2015]

Nieminen, Jyri & Lylykangas, Kimmo. 2009. *Passiivitalon määritelmä*. [Elektroninen]. Haettu: http://www.passiivi.info/download/passiivitalon_maaritelma.pdf, [20.2.2015]

Nissinen, Reko. 2012. *Aurinkopaneelien kiinnitys eri katto- ja seinämateriaaleihin*. Opinnäytetyö. Tuotekehityksen koulutusohjelma, Hämeen lu. [Elektroninen]. Haettu: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/49697/nissinen_reko.pdf?sequence=1, [7.4.2015]

Pernaa, Minna. 2014. *Hellehaitat voi ennaltaehkäistä*. *Tesso. Sosiaali- ja terveystieteiden aikakauslehti*. [Elektroninen]. Haettu: <http://tesso.fi/artikkeli/hellehaitat-voiennaltaehkaista>, [12.2.2015]

Pirinen, Pentti; Simola, Henriikka; Aalto, Juha; Kaukoranta, Juho-Pekka; Karlsson, Pirkko; Ruuhela, Reija. Ilmatieteenlaitos. 2012. *Tilastoja Suomen ilmastosta 1981-2010 -raportti*. [Elektroninen]. Haettu: https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/35880/Tilastoja_Suomen_ilmastosta_1981_2010.pdf?sequence=4, [2.2.2015]

Savolainen, Seppo. 2009. *Lattiaviilennysjärjestelmät ja pientalon vesikiertoisen lattialämmitysjärjestelmän hyödyntäminen viilennyksessä*. Opinnäyteyö. Talotekniikan koulutusohjelma, Metropolia Ammattikorkeakoulu. [Elektroninen]. Haettu: http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/2943/SSa_lopputyo.pdf?sequence=1, [17.3.2015]

Suntekno Oy, Pieksämäki. 2015 *Aurinkopaneelit*. [Elektroninen]. Haettu: <http://www.suntekno.fi/resources/public/tietopankki/paneelit.pdf>, [22.4.2015]

Suomen Sääpalvelu Oy. 2015. *Vuositilastot*. [Elektroninen].
tu: <https://www.saapalvelu.fi/lahti/tilastot/vuositilastot/>, [5.3.2015]

[1] Suomen virallinen tilasto (SVT): Sähkön ja lämmön tuotanto [verkkójulkaisu]. ISSN=1798-5072. 2013. Helsinki: Tilastokeskus.
Haettu: http://www.tilastokeskus.fi/til/salatuo/2013/salatuo_2013_2014-10-16_tie_001_fi.html, [22.1.2015]

[2] Suomen virallinen tilasto (SVT): Väestöennuste [verkkójulkaisu]. ISSN=1798-5137. 2012. Helsinki: Tilastokeskus.
Haettu: http://www.tilastokeskus.fi/til/vaenn/2012/vaenn_2012_2012-09-28_tie_001_fi.html, [12.2.2015]

[3] Suomen virallinen tilasto (SVT): Asumisen energiankulutus [verkkójulkaisu]. ISSN=2323-3273. 2013, Liitetaulukko 1. Asumisen energiankulutus vuosina 2008-2013, GWh . Helsinki: Tilastokeskus.
Haettu: http://www.stat.fi/til/asen/2013/asen_2013_2014-11-14_tau_001_fi.html, [14.4.2015]

Tieteen termipankki 20.01.2015: Oikeustiede: *uusiutuva energia*. [Elektroninen] Haettu: [http://www.tieteentermipankki.fi/wiki/Oikeustiede:uusiutuva energia](http://www.tieteentermipankki.fi/wiki/Oikeustiede:uusiutuva_energia), [20.1.2015]

Tietäväinen, Hanna. 2011 *Rakennusten energiantarpeen laskentaan uusi ilmastollinen testivuosi*, [Elektroninen]. Haettu: http://ilmatieteenlaitos.fi/c/document_library/get_file?uuid=56310e21-fa0d-4618-9b58-971d33f5925e&groupId=30106, [1.12.2014]

Tilastokeskus, 2013. *Suomen kasvihuonepäästöt 1990-2011*. Katsauksia 2013/1. ISSN 1797-6103. [Elektroninen]. Haettu: http://www.stat.fi/tup/khkinv/suominir_2013.pdf, [13.3.2015]

Tuulivoimayhdistys: *Tuulivoima*. [Elektroninen]. Haettu: <http://www.tuulivoimayhdistys.fi/tuulivoima>, [20.1.2015]

[1] Ympäristöministeriö, 2013. Laurikka, Harri. *Kansainväliset ilmastoneuvottelut*. [Elektroninen]. Haettu: http://www.ym.fi/fi-fi/Ymparisto/Ilmasto_ja_ilma/Ilmastonmuutoksen_hillitseminen/Kansainvaliset_ilmasto_neuvottelut, [16.2.2015]

[2] Ympäristöministeriö, 2013. Cederlöf, Magnus. *Euroopan unionin ilmastopolitiikka*. [Elektroninen]. Haettu: http://www.ymp.fi/fi/Ymparisto/Ilmasto_ja_ilma/Ilmastonmuutoksen_hillitseminen/Euroopan_unionin_ilmastopolitiikka, [16.2.2015]

[3] Ympäristöministeriö, 2013. Turunen, Merja. *Kansallinen ilmastopolitiikka*. [Elektroninen]. Haettu: http://www.ymp.fi/fi/Ymparisto/Ilmasto_ja_ilma/Ilmastonmuutoksen_hillitseminen/Kansallinen_ilmastopolitiikka, [17.2.2015]

Sähköpostit:

Aaltonen, Ali. Tekninen myynti, WILO Nordic Ab. *Wilo, lattialämmitys*. Sähköposti tekijälle 28.4.2015. Tekijän hallussa.

Hiltunen, Jyrki. suunnitteluinsinööri, Lahti Aqua. *Pohjavesikysymyksiä*. Sähköposti tekijälle 18.3.2015. Tekijän hallussa.

Kirjat:

Aittomäki, Antero (toim.); Aalto, Esa; Alijoki, Tapio; Hakala, Pertti; Hirvelä, Aulis; Kaappola, Esko; Mentula, Jukka; Seinelä Altti. Suomen Kylmäyhdistys ry (2012) *Kylmätekniikka*, 4. painos, Porvoo: Bookwell Oy, 413 s.

Areskoug, Mats (2006) *Miljöfysik: Energi för hållbar utveckling*, 2. painos, Lund: Författaren och Studentlitteratur. Narayana Press, 400 s.

Kalogirou, Soteris A. (2009) *Solar energy engineering: processes and systems*, 1. painos, USA: Academic Press, 760 s.

Scragg, Alan H. (2009) *Biofuels, production, application and development*, Iso - Britannia: Cambridge University Press, 237 s.

Seppänen, Matti & Olli. SIY Sisäilmatieto Oy (2010) *Rakennusten sisäilmasto ja LVI-tekniikka*. 5. painos, Porvoo: Bookwell Oy, 279 s.

Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. (2009) *Matalaenergiarakentaminen: asuinrakennukset*, RIL 249-2009. Saarijärven Offset Oy, 291 s.

VTT. (2010) *Energy visions 2050*. 2. painos, Porvoo: Bookwell Oy, 380 s.

Wizelius, Tore. (2007) *Vindkraft i teori och praktik*, painos 2:2., Puola: Studentlitteratur, 399 s.

Rakennusmääräyskokoelmat:

Sisäilmastoluokitus. 2008. LVI 05-10440. *Sisäympäristön tavoitearvot, suunnitteluohjeet ja tuotevaatimukset*. Ohjekortti. Sisäilmayhdistys Ry.

Suomen RakMK D5. 2012. *Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta*. Määräykset ja ohjeet 2012. Helsinki: Ympäristöministeriö, Asunto ja rakennusosasto.

Suomen RakMK D3. 2012. *Rakennusten energiatehokkuus*. Määräykset ja ohjeet 2012. Helsinki: Ympäristöministeriö, Asunto ja rakennusosasto

