

Ossi Lipsanen

Jäähdytys uusiutuvalla energialla

Opinnäytetyö
Energiatekniikka

2019



**Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu**

Tekijä/Tekijät	Tutkinto	Aika
Ossi Lipsanen	Insinööri (AMK)	Toukokuu 2019
Opinnäytetyön nimi		51 sivua 0 liitesivua
Jäähdytys uusiutuvilla energianlähteillä		
Toimeksiantaja		
XAMK TKI-osasto, Metsä, ympäristö ja energia		
Ohjaaja		
Merja Mäkelä (XAMK, energiatekniikka), Hannu Sarvelainen (XAMK, TKI)		
Tiivistelmä		
<p>Tämä opinnäytetyö on osa Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun TKI-hanketta, jonka tarkoitus oli tutkia ja kehittää menetelmiä kiinteistöjen, teollisuuden prosessien ja toimitilojen jäähdytykseen. Hankkeen tarkoituksena oli ilmastonmuutoksen myötä nouseviin lämpötiloihin sopeutuminen ja kasvavan jäähdytystarpeen kattaminen kestävästi muun muassa uusiutuvan energian avulla. Tämän opinnäytetyön painopiste oli jäähdytyksen toteutuksessa uusiutuvalla energialla, jonka käyttöönotto nousee yhä välttämättömämmäksi ilmastomuutoksen edetessä.</p> <p>Tämän toteuttamiseksi tässä työssä keskityttiin pääasiassa jäähdytyksen ja uusiutuvan väliseen rajapintaan. Ensimmäiseksi tarkasteltiin jäähdytyksessä yleisimmin tekniikoita ja niiden käyttötapoja, sillä olemassa olevan teknologian käyttö on ilmastonmuutoksen kannalta nopeampi ja edullisempi ratkaisu kuin täysin uudenlaisen, joskin tehokkaamman, tekniikan kehittäminen. Toisena analysoitiin sähköllä tapahtuvan jäähdytyksen toteuttamisvaihtoehtoja siihen sopivilla uusiutuvan energian muodoilla ja etsittiin mahdollisia ratkaisuja vastaantuleviin haasteisiin. Kolmantena arvioitiin lämmöllä tapahtuvan jäähdytyksen toteutusta vastaavalla tavalla. Lopuksi katsastettiin kohteita, joissa uusiutuvalla energialla on merkittävä osuus kohteiden jäähdytyksessä ja analysoitiin ratkaisujen sopivuutta Suomen olosuhteisiin. Työn ulkopuolelle on jätetty rakennustekniikkaan ja ympäristösuunnitteluun liittyvät ratkaisut.</p> <p>Opinnäytetyön tuloksena saatiin perusteellinen läpileikkaus uusiutuvan energian ja jäähdytyksen välisestä suhteesta ja niistä keinoista, joilla ne voidaan yhdistää. Tulokset tiivistettiin taulukoihin, jotka esittävät saadut edut ja mahdolliset haasteet. Nykyiset tavat jäähdyttää ovat pitkälle kehittyneitä ja sovellettavissa moneen käyttöön. Uusiutuva energia on myös pääsemässä eroon vanhoista heikkouksistaan, kuten korkeasta hinnastaan. Suurimmat haasteet ovat näiden kahden rajapinnalla tapahtuva energian muutos ja uusiutuvan energian perusongelman, luotettavuuden, parantaminen. On myös muistettava, että parhaiden tulosten saamiseksi on käytettävä kuhunkin tilanteeseen sopivaa jäähdytyksen ja energianlähteen yhdistelmää ja pidettävä hybridivaihtoehdot käytössä niiden monimutkaisuudesta huolimatta.</p>		
Asiasanat		
uusiutuva energia, jäähdytys, kylmätekniikka, kestävä kehitys		

Author	Degree	Time
Ossi Lipsanen	Engineer (AMK)	May 2019
Thesis title		
Cooling with renewable energy		51 pages 0 pages of appendices
Commissioned by		
XAMK, RDI Forest, environment and energy		
Supervisor		
Merja Mäkelä, Principal Lecturer; Hannu Sarvelainen, Senior Lecturer		
Abstract		
<p>This thesis is a part of the Southeast Finland University's RDI project which aims at studying and developing methods for cooling real estates, industrial processes and premises. The goal of the project was to adapt the rising temperatures due to climate change and to cover the growing need for cooling through renewable energy. The focus of this thesis is on the implementation of cooling with renewable energy. Its implementation becomes increasingly necessary as climate change advances.</p> <p>As a result of the thesis, a summary was produced about the use of renewable energy in cooling and the ways in which they can be combined. Firstly, the most commonly used techniques for cooling are considered, as the use of existing technology is a quicker and more affordable solution to fight against climate change than the development of a completely new, yet more effective, technology. Secondly, the task is to analyse the alternatives for the implementation of electric cooling with suitable forms of renewable energy and possible solutions to emerging challenges. Thirdly, the implementation of heat cooling is evaluated in a similar way. Finally, the facilities using renewable energy in cooling are examined and the suitability of the solutions for conditions in Finland is analysed. Solutions to construction engineering and environmental design are excluded.</p> <p>The thesis resulted in a review using renewable energy in cooling and the ways in which they can be combined. The results were combined to charts, which show the acquired benefits and possible challenges. Existing ways of cooling are highly sophisticated and applicable to many uses. Renewable energy is also eliminating its old weaknesses, such as its high price. The most significant challenges are in the energy efficiency and in the improvement of renewable energy availability based on demand. To obtain the best results, a combination of cooling and energy sources appropriate to each situation are recommended. The hybrid alternatives could be considered where they are appropriate.</p>		
Keywords		
renewable energy, refrigeration, cooling, sustainable development		

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	5
2	JÄÄHDYTYKSESSÄ KÄYTETTÄVÄT TEKNIIKAT.....	6
2.1	Kompressoritekniikka.....	8
2.2	Absorptiokone.....	10
2.3	Peltier-elementti.....	12
3	SÄHKÖJÄÄHDYTYS.....	13
3.1	Jäähdytys aurinkosähköllä.....	13
3.2	Jäähdytys tuulivoimalla ja aaltoenergialla.....	15
3.3	Jäähdytys vuorovesi- ja vesivoimalla.....	18
3.4	Jäähdytys biomassalla sähköisesti.....	20
4	LÄMPÖJÄÄHDYTYS.....	21
4.1	Jäähdytys aurinkolämmön avulla.....	22
4.2	Jäähdytys vapaajäähdytyksenä vedellä ja ilmalla.....	24
4.3	Jäähdytys geotermisellä energialla ja maalämmöllä.....	26
4.4	Jäähdytys termisenä jäähdytyksenä biomassalla.....	27
5	SOVELLUKSIA JÄÄHDYTYKSESTÄ UUSIUTUVALLA ENERGIALLA.....	29
5.1	S-ryhmän logistiikkakeskus.....	30
5.2	Pinecrest Medical Care Facility.....	33
5.3	Menetelmien soveltuvuusvertailu.....	35
6	YHTEENVETO.....	40
	LÄHTEET.....	42
	KUVALUETTELO.....	50

1 JOHDANTO

Hallitustenvälinen ilmastomuutospaneeli (IPCC) julkaisi 8.10.2018 viidennen arviointiraporttinsa (Koistinen 2018), jonka mukaan ihminen on aiheuttanut noin yhden celsiusasteen lämpenemisen verrattuna esiteolliseen aikaan vuonna 2017 nousten 0,2 °C vuosikymmenessä (IPCC 2018). Saman raportin mukaan ”jos nykyinen lämpenemisnopeus jatkuu, maailma kokisi 1,5 celsiusasteen lämpenemisen ihmisen toiminnan vaikutuksesta noin vuonna 2040”. Suomessa ilmaston lämpeneminen lisää ilmatieteen laitoksen mukaan myrskyjen voimaa, tulvia suurten järvien alueella ja tekee talvista pimeämpiä ja säään ääri-ilmiöistä tavallisempia lämpötilojen nousun lisäksi (Teematietoa s.a.). On siis selvää, että ilmastomuutoksen hillitsemiseksi ja pysäyttämiseksi on tehtävä enemmän kuin nyt ja samalla sopeuduttava sen tuomiin muutoksiin.

Tämän opinnäytteen päätarkoitus on tutkia yhtä kestävästä kehityksestä mukaista vaihtoehtoa energiantuotannon ja -kulutuksen näkökulmasta. Jäähdytys muodostaa jo nyt huomattavan osan energiankulutuksesta trooppisessa ilmastossa. Jos ilmasto lämpenee ennakoitusti, sen tarve lisääntyy tulevaisuudessa merkittävästi myös kylmässä ilmastossa, kuten Suomessa. Uusiutuvan energian, kuten auringon, tuulen ja biomassan voimin, toimiva jäähdytys kompensoisi kulutuksen kasvusta syntyviä haittoja ja edistäisi osaltaan kestävästä energiankäyttöä. Koska kaikki vaihtoehdot tuskin ovat tasavertaisia keskenään, niiden selvittäminen etukäteen auttaa välttämään niiden käyttöönotossa syntyviä haasteita.

Tutkimustavoitteen saavuttamiseksi opinnäytetyön teossa käytetään kirjallisuustutkimusta, tutkimusanalyysiä ja laskentaa eri vaihtoehtojen etujen ja haittojen selvittämiseksi ja niiden tilannetta käyttöönoton ja toteutettavuuden suhteen. Lopputulokset esitetään laskennallisena esimerkkinä, käytännön toteutuksena, sekä taulukkona jäähdytystekniikoiden ja uusiutuvan energian muotojen ominaisuuksista. Tässä opinnäytetyössä ei käsitellä kryogeeniikan, eli alle -150 celsiusasteen sovelluksia, sillä tekniikka jää energiainsinöörin koulutuksen ulkopuolelle ja vaatii erityisjärjestelyjä, jotka sopivat paremmin teollisuuden ja laboratorio-olosuhteisiin. Tekniikkaa ei myöskään käytetä kiinteistöjen jäähdytyksessä, joten sen käsittely tässä olisi tarpeetonta.

2 JÄÄHDYTYKSESSÄ KÄYTETTÄVÄT TEKNIIKAT

Rakennuksissa jäähdytyksen tarkoitus on pitää tilan lämpötila käyttöön nähden sopivan alhaisena. Tämä lämpötila vaihtelee normaalin huoneenlämmön 21 celsiusasteesta pakastustunneleiden -40 celsiusasteeseen (Helsingin kaupunki 2015). Jotta saatava hyöty olisi mahdollisimman suuri, järjestelmän on oltava käyttötarkoitukseen sopiva. Tästä syntyy vaatimuksia, jotka riippuvat kohteesta. Osa näistä, kuten taloudellisuus, ovat yhteisiä kaikille kohteille. Monilla on kuitenkin erityispiirteitä, jotka erottavat ratkaisut toisistaan. Sairaaloissa järjestelmien on oltava ehdottoman luotettavia. Biopolttoaineiden paikallinen hinta vaikuttaa käytettävän järjestelmän valintaan. Osa ratkaisuista on sovitettavissa vanhoihin rakennuksiin, osa taas ei. Pelkästään kohteen koko voi tehdä yhdestä ratkaisusta käyttökelpoisen toisen jäädessä auttamatta liian pieneksi.

Jäähdytyksen osuus Suomen energiankulutuksesta on pieni, sillä vuosittaiset keskilämpötilat jäävät alle 10 celsiusasteen. Ilmatieteen laitoksen vuositilastojen mukaan Helsingissä lämpötila on ollut keskimäärin alle 6 celsiusastetta vuosina 1981–2010, mikä on vähemmän kuin lämpötila, jossa ilmastointi tavallisemmin otetaan käyttöön. (Ilmatieteen laitos 2018.) Ilmastoinnin käyttötarkvetta kuvaa Tilastokeskuksen seuraava määritelmä: ”Jäähdytyskäytössä olevien lämpöpumppujen kuluttama sähkö on tässä tarkastelussa laskettu lämmityksen sähkönkulutukseen, samoin kuin lämmityskäytössä olevien lämpöpumppujen kuluttama sähkö.” Tällä perusteella jäähdytyksen merkitys Suomen energiankulutuksessa on ainakin toistaiseksi niin pieni, ettei sen tilastointi erillisenä kohteena kannata. Tämän tilaston varaan ei kuitenkaan voi laskea ilmastonmuutoksen etenemisen johdosta. (Suomen virallinen tilasto (SVT) s.a.)

Kaupallisesti jäähdytyksellä on kuitenkin huomattava merkitys, sillä monet liiketoimintamallit pohjautuvat kylmätekniikkaan. Myös uusiutuva energia on taloudellisesti merkittävää liiketoimintaa, kuten kahdesta viimeisestä esimerkistä voidaan todeta

- Jääkiekko on Kanadassa 11,2 miljardin Kanadan dollarin liiketoimintaa (Scotia Bank 2015).
- Neljä suurinta NHL-liigan joukkuetta ovat arvoltaan yli miljardin Yhdysvaltain dollarin arvoisia koko liigan arvon ollessa yhteensä yli 19,5 miljardia dollaria (Forbes 2018).
- 15 myydyimmän jäätelömerkin yhteenlaskettu myynti maailmanlaajuisesti ylitti 14 miljardia dollaria vuonna 2015 ja jokainen näistä odotti myynnin kasvavan vuonna 2016 (Forbes 2016).
- Uusiutuvan energian toimialan liikevaihto nousi yli 800 miljoonaa ja jalostusarvo 300 miljoonaa euroa vuosien 2010 ja 2016 välisenä aikana (Työ- ja elinkeinoministeriö 2017).
- Uusiutuvien energialähteiden käyttö on kasvanut vuosituhannen vaihteen jälkeen hyvin nopeasti, keskimäärin 16,8 % vuosina 2006–2016. (BP 2018.)

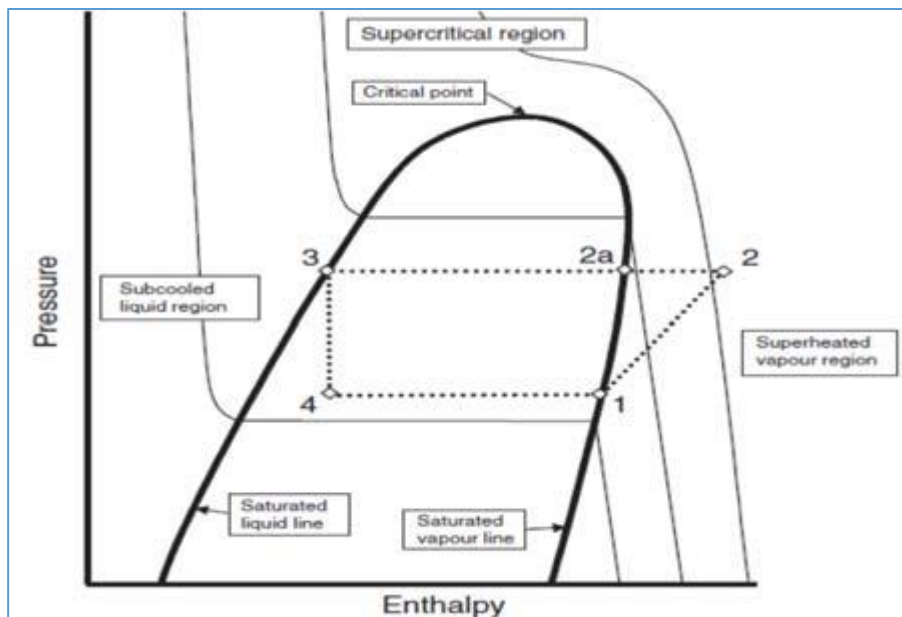
Koska tavoitteena on toteuttaa jäähdytys uusiutuvalla energialla, on ensin tutkittava tarkemmin uusiutuvan energian tilanne Suomessa. Tilastokeskuksen mukaan 34 %, eli noin kolmannes, kokonaisenergiankulutuksesta katettiin uusiutuvalla energialla vuonna 2016 (Energy in Finland 2017). Suomen kokonaisloppukulutuksesta tämä kattaa 38,7 %, mikä täyttää Suomen EU-tavoitteet (Energia 2017 -taulukkopalvelu 2018). Koska uusiutuvan energian osuus tulee näistä luvuista vielä nousemaan, sovelluskohteiden etsiminen ja kehittäminen on hyvä vaihtoehto seuraavaksi askelmaksi. Tämän ja ilmastonmuutoksen perusteella kylmätekniikka sopii mainiosti uusiutuvan energian kohteeksi erityisesti, jos sen tarve tulee vain nousemaan. Tämän toteuttamiseksi tarvitaan siis luokittelu, jonka perusteella on mahdollista tarkentaa uusiutuvan energian käyttökohde.

Kirjassa "Kylmätekniikka" on annettu kylmätekniikalle tähän tarkoitukseen soveltuva määritelmä: "Kylmätekniikka, jota kutsutaan myös jäähdytystekniikaksi, on tekniikan alue, jonka tehtävänä on ympäristöä alemman lämpötilan ylläpitäminen jäähdytettävässä kohteessa." (Aittomäki ym. 1993, 1). Tämän määritelmän mukaan jääkaapit, pakastimet ja ilmastointilaitteet kuuluvat kylmätekniikan piiriin. Määritelmä sopii tämän opinnäytetyön tarpeisiin, koska se on yhtä-

läinen tutkimustavoitteen kanssa. Kryogeniikka, eli -150 celsiusasteen lämpötilojen ylläpito, kuuluu saman määritelmän mukaan kylmätekniikkaan, mutta on jätetty tässä opinnäytetyössä pois. Näin alhaisia lämpötiloja ei käytetä muualla kuin laboratorioden koejärjestelyissä ja joissakin teollisuuden prosesseissa. Myös kodinkoneiden jäähdytys on jätetty asialistan ulkopuolelle, koska aihe kuuluu sähkölaitteiden piiriin.

2.1 Kompressoritekniikka

Yleisin kylmätekniikan toteutustapa on kompressoriin pohjautuva jääkaappi, pakastin tai ilmastointilaitte. Laite perustuu kylmäaineena käytettävän kaasun sitomaan ja luovuttamaan lämpöön höyryn puristussyklissä. Kuvassa 1 esitetyssä diagrammissa on kuvattu jäähdytysaineen paineen ja entalpiian muutokset kierron aikana. Nämä muutokset kierron eri vaiheissa ovat menetelmän perusta. Vaaka-akselilla on kylmäaineen entalpia ja pystyakselilla paine.

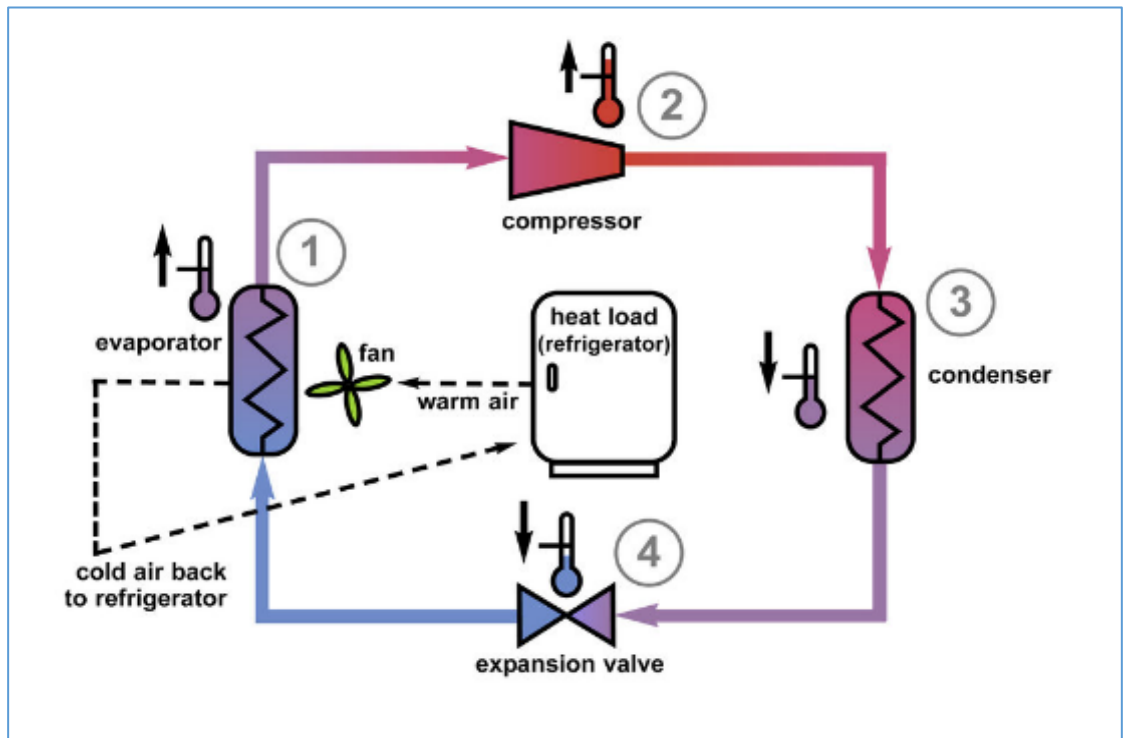


Kuva 1. Kylmäaineen paine-entalpia muutos kompressorijääkaapissa. (Setiyo ym. 2017)

1. Höyrystimessä kylmäaine höyrystyy matalassa paineessa, sitoen lämpöä ympäristöstään (kuvan 1 diagrammi 4–1).
2. Kompressori imee kaasua ja puristaa sen suurempaan paineeseen lauhduttimeen (kuvan 1 diagrammi 1–2).
3. Lauhduttimessa kylmäaine luovuttaa lämpöä ympäristöön kovan paineen alaisena (kuvan 1 diagrammi 2–3).

4. Kuristimessa kylmäaineen paine laskee jyrkästi ja sykli alkaa alusta (kuvan 1 diagrammi 3–4). (Korhonen 2011, 9.)

Ne ovat tyypillisesti käytössä kuvassa 2 esitettyssä prosessissa, joka on tavallisin käytetty jäähdytyskone. Yllä oleva luettelon alkunumerointi on kuvan 2 mukainen.



Kuva 2. Kompressoripohjainen jääkaappi. (National Institute of Standards and Technology 2014)

Tämä tekniikka on ollut käytössä vuodesta 1834, jolloin Jakob Perkins patentoit ensimmäisen kompressorijääkaapin. Tekniikka on mahdollistanut elintarvikkeiden pidemmän säilymisajan, joka puolestaan on muuttanut ruokavaliota monipuolisemmaksi ja vaihtelevammaksi. (Breverton 2012.) Noin kaksisataavuotisen historiansa aikana sen on kehittynyt ratkaisuksi, joka on käyttökelpoinen lukuisissa kohteissa. Tekniikka kestää käytössä vuosikymmeniä, on edullinen hankintahinnaltaan, toimii missä vain sähköä on saatavilla ja on käytettävissä kaikkialla lämpötiloista riippumatta.

Kompressoritekniikalla on kuitenkin heikkoutensa. Järjestelmä on riippuvainen sähköstä, joka pyörittää kompressoria. Se on ainoa energiamuoto, jota järjestelmä voi käyttää, joten mahdollinen ylijäämälämpö muista prosesseista tai järjestelmästä itsestään jää hyödyntämättä. Vanha heikkous, koneissa käytettyjen CFC-yhdisteiden aiheuttama otsonikato, ei ole enää ongelma, sillä

vuonna 1985 solmittu Wienin sopimus ja sitä seurannut Montrealin pöytäkirja lisäyksineen johtivat CFC-yhdisteiden käytön loppumiseen ja otsonikerroksen vahvistumiseen (Ympäristöministeriö 2013). Tällä hetkellä suurin kehitystyön aihe on kehittää kaasuja, joiden vaikutus kasvihuoneilmiöön olisi nykyistä pienempi. Joitakin vaihtoehtoja on jo kehitetty, mutta niiden yleistymisen tiellä on esteitä, jotka vaihtelevat patentoinnista tulipalovaaraan ja teknisiin rajoituksiin. (Rosenthal & Lehren 2012.)

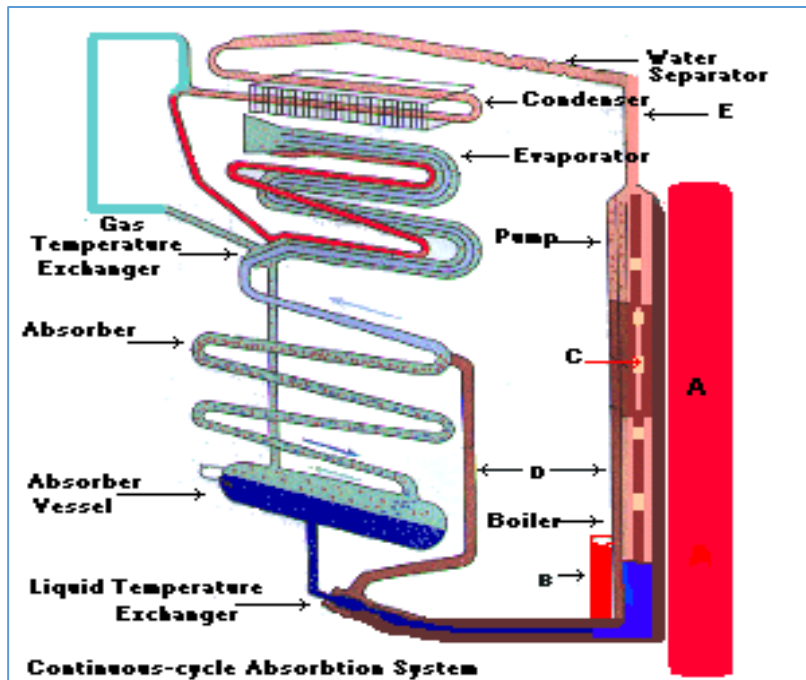
2.2 Absorptiokone

Absorptiokone on jäähdytyskone, joka tuottaa kylmää lämmön avulla. Toisin kuin adsorptiossa, joka on vain pintaan rajoittuva prosessi, absorptio käsittää koko absorboivan aineen tilavuuden (Jasuja ym. 2019). Tämän vuonna 1922 keksityn jäähdytyskonetyypin versiot toimivat lämmön avulla. Tästä syystä absorptiokoneisto sopiikin kohteisiin, joissa on käytettävissä hukkalämpöä tai prosessin sivutuotteena syntyvää lämpöä (Kuningas 2016). Toisin kuin mekaanisella työllä toimiva kompressorijääkaappi, absorptiotekniikka pohjautuu kemiaan ja lämpöön. Perusajatus on käyttää jäähdytettävän tilan lämpöä jäähdytysaineen haihuttamiseen matalassa paineessa, joka absorboituu toiseen kemikaaliin ja siirtää lämmön pois. Toimiakseen prosessissa käytettävien kemikaalien on liuettava ja erottava toisistaan ja jäähdytysaineen on pystyttävä sitomaan lämpöä haihtuessaan matalassa paineessa.

Ammoniakin ja veden avulla toimiva järjestelmä pystyy tuottamaan alle nollan celsiusasteen lämpötiloja, mutta ammoniakki on myrkyllistä, mikä rajoittaa sen käyttöä. Litiumbromidin ja veden yhdistelmä on tähän verrattuna paljon turvallisempi, mutta pystyy tuottamaan vain viiden celsiusasteen lämpötiloja. Tämä vastaa tavallisen jääkaapin lämpötilaa, mutta ei riitä pakastimen -18 asteeseen (Näin tarkastat... 2015). Absorptiokoneen toiminta on molemmilla yhdistelmillä sama. Muitakin työainepareja on kokeiltu, mutta usein niiden suorituskyky on heikompi kuin edellä mainittujen. (Koljonen & Sipilä 1998.) Kuvassa 3 on esitetty koneen rakenne, joka esittää tyypillisen koneen toiminnan.

Absorptiokone on täytetty vedellä, ammoniakilla ja vedyllä paineeseen, jossa ammoniakki tiivistyy huoneenlämmössä. Kattilan A alle tai taskuun B sijoitettu

lämmönlähde lämmittää liuosta, josta kuplii ammoniakkia. Nämä kuplat nostavat heikkoa ammoniakkiliuosta mukanaan sifonipumppuun C. Heikko liuos kulkee putkeen D, kun ammoniakkihöyry nousee höyryputkeen E ja vedenerottiin. Vedenerottimessa vesi tiivistyy ja valuu takaisin kattilaan, kuivan ammoniakkihöyryn jatkaessa lauhduttimeen, jossa höyry jäähtyy, tiivistyy ja virtaa höyrystimeen. Höyrystimeen virtaa vetyä, joka laskee ammoniakin painetta riittävästi sen höyrystymiseen, mikä sitoo lämpöä. Tämä lämpö otetaan höyrystimen jäähdyttämästä tilasta. Vedyn ja ammoniakin seos kulkee höyrystimestä absorptioastiaan. Heikko ammoniakkiseos virtaa absorptioastian yläosaan putkesta D ja absorboi ammoniakin seoksesta. Vapaa vety virtaa takaisin höyrystimeen ja vahva ammoniakkiseos absorptioastiasta kattilaan A ja molemmat aloittavat kierron uudelleen.

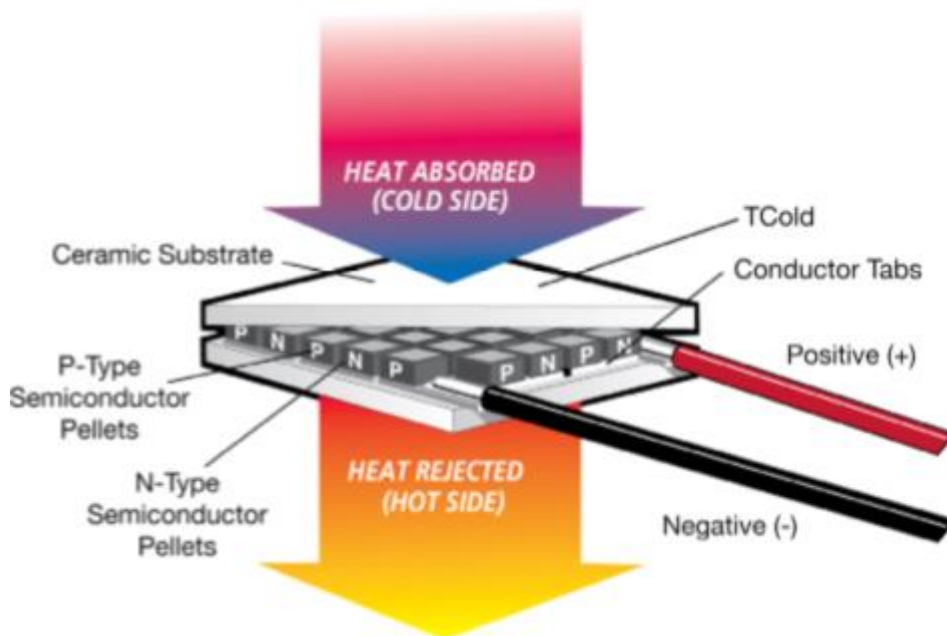


Kuva 3. Absorptiojäähdytyskoneen rakenne (Carnegie Mellon School of Computer Science s.a)

Absorptiokoneen suurin heikkous on sen pieni suorituskykykerroin, joka mittaa paljonko kylmää tai lämpöä kone tuottaa yhdellä yksiköllä energiaa. Absorptiokoneissa tämä luku jää alle yhden, eli yhdellä kilowattitunnilla energiaa saa alle yhden kilowattitunnin verran jäähdytystä. Absorptiokone ei myöskään voi toimia lämpötila-alueensa ulkopuolella, mikä riippuu käytetystä työaineparista. (Crepinsek ym. 2009.)

2.3 Peltier-elementti

Jean Charles Athanase Peltier, ranskalainen fyysikko, kuvasi nimeään kantavan Peltier-efektin vuonna 1834 (Encyclopædia Britannica 2018a). Peltier-efekti toimii kuvassa 4 näytetyllä tavalla: Tasavirtalähteestä syötetään virtaa piiriin, jossa on kahta erityyppistä puolijohdemateriaalia. Puolijohteen tyypistä ja virran suunnasta riippuen lämpö siirtyy elementin puolelta toiselle, jolloin piirin toinen puoli jäähtyy toisen lämmetessä. Lämmön siirtyminen voidaan kääntää päinvastaiseksi pelkästään vaihtamalla virran kulkusuunta, tehon ollessa verrannollinen sähkövirran voimakkuuteen. (Brown ym. 2010.)



Kuva 4. Peltier-elementin rakenne (Adcol Electronics (Guangzhou) Co 2019)

Peltier-elementin etuja on liikkuvien osien puute ja pieniin kohteisiin sopivampi koko edellisiin menetelmiin verrattuna. Elementti on myös hyvin hiljainen kompressoriin verrattuna, eikä käytä haitallisia kemikaaleja, mikä eliminoi vuotoriskit. Näistä syistä elementti on suosittu kylmälaukuissa, joissa nämä edut ovat välttämättömät. Tarvittaessa elementtiä voi käyttää myös lämmityksessä, jossa se on tehokkaampi kuin jäähdytyksessä, johtuen sen omista häviöistä. Elementti voidaan myös rakentaa kohteen muotoja noudattaen, mikä optimoi tilankäyttöä.

Peltier-elementin suurin heikkous on vaatimaton teho, mikä rajoittaa merkittävästi sen käyttöä hyvin kylmissä ja suurissa kohteissa. Toinen merkittävä heikkous on elementin korkea hinta. Se rajoittaa käytön erikoiskohteisiin, joissa kompressori- tai absorptiotekniikka on epäkäytännöllinen. Kiinteistöjen jäähdytyksessä tekniikkaa ei näistä syistä käytetä muutoin kuin yksittäisissä laitteissa. (Tellurex 2010.) Kehitystyön tavoitteena on tällä hetkellä COP-luvun ja hyötysuhteen nostaminen esimerkiksi uusien materiaalien ja ohutkalvotekniikan avulla, mutta mitään läpimurtoa teknologian suhteen ei voi odottaa ilman uutta vallankumouksellista tietämystä lämpösähköisestä ilmiöstä (RTI International s.a).

3 SÄHKÖJÄÄHDYTYS

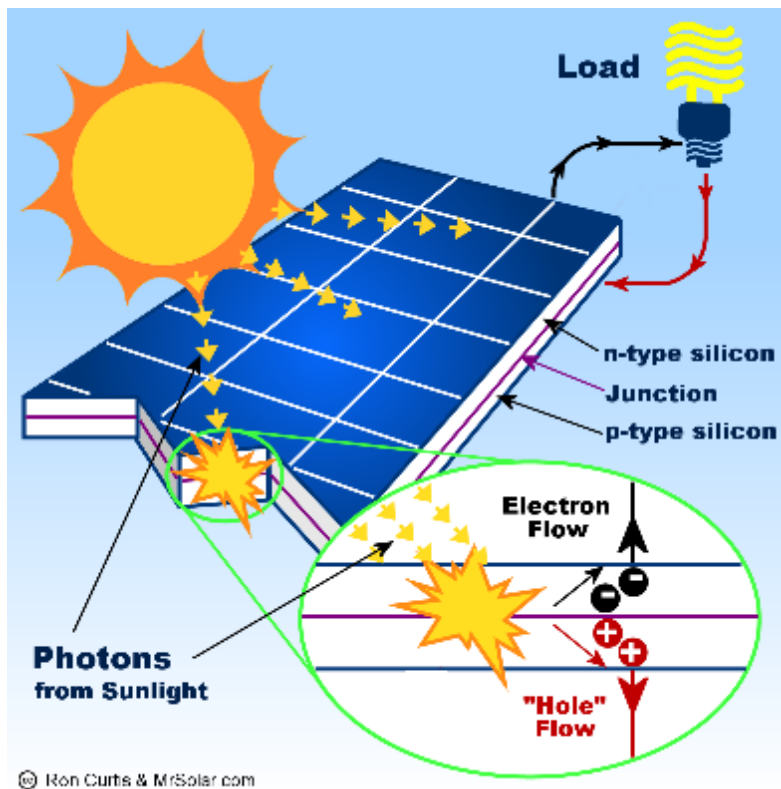
Uusiutuvalla energialla tarkoitetaan niitä energianlähteitä, jotka eivät pohjaudu fossiilisten polttoaineiden käyttöön. Näitä ovat mm. aurinkoenergia, biomassa, geoterminen lämpö, vuorovesi, aalto-, tuuli- ja vesivoima. Kierrätyspolttoaineiden biohajoava osa lasketaan myös uusiutuvaan energiaan kuuluvaksi, biomassan alajakeeksi. (Uusiutuva energia 2018.) Koska jäähdytys tapahtuu lähinnä sähkön tai lämmön voimin, on järkevää käsitellä jäähdytystä ja uusiutuvan energian sopivuutta sen tuottoon tällä perusteella.

Jäähdyttäminen sähköllä on yksinkertainen ratkaisu. Uusiutuvalla energialla tuotetaan sähköä, jolla käytetään jäähdytyskonetta. Tällaisen järjestelmän etuna on mahdollisuus käyttää uusiutuvaa energiaa missä tahansa sähköä kuluttavassa kohteessa jäähdytyksen lisäksi. Jos kulutusta ei ole, energia voidaan varastoida akkuihin tai myydä eteenpäin, mikä kasvattaa järjestelmästä saatavaa hyötyä. Menetelmän suurin heikkous on sen riippuvuus luotettavasta sähköverkosta, eli katkokset saatavuudessa vaikuttavat välittömästi jäähdytykseen. Toinen merkittävä heikkous on sen kyvyttömyys hyödyntää matalan lämpötilan lämpöenergiaa, jota on saatavissa lukuisista lähteistä, kuten prosessista itsestään.

3.1 Jäähdytys aurinkosähköllä

Aurinkosähköllä tarkoitetaan sähköenergian tuottamista Auringon säteilyenergiasta aurinkokennoilla (Komp R 2016). Tämä tapahtuu valosähköisen ilmiön avulla, jonka kuvaamisesta Albert Einstein sai Nobelin fysiikan palkinnon

vuonna 1921 (Encyclopædia Britannica 2018b). Suurin osa tällä periaatteella toimivista aurinkokennoista on valmistettu boorilla ja fosforilla kyllästetystä piistä. (AZoOptics 2008.) Kun tällainen kenno, joka on esitetty kuvassa 5, on auringonpaisteessa, fotonit erottavat elektroneja atomeista. Nämä elektronit kulkevat kennon negatiiviselle n-puolelle, siitä sähköpiirin läpi ja lopulta kennon positiiviselle p-puolelle. Kierro toistuu niin kauan, kun fotoneja päätyy kennoon. Toinen vähemmän käytetty tapa hyödyntää aurinkoenergiaa sähköinä on keskittävän peilin ja Stirling-moottorin voimin toimiva generaattori. Tällaisen järjestelmän sähköntuotannon hyötysuhde on verrattavissa aurinkopaneeliin, mutta selvästi kalliimpänä ja mekaanisesti vaativampana se ei ole yleistynyt (Savolainen s.a.).



Kuva 5. Aurinkopaneelin toimintaperiaate (MrSolar.com s.a)

Aurinkopaneeleilla toteutettu jäähdytys ei eroa perinteisestä aurinkosähkön käytöstä, sillä tekniikka on samaa. Suurimmat erot syntyvät hetkellisistä tehon vaihteluista, joita syntyy sähkömoottorien käynnistyessä ja pidemmistä kuumista jaksoista, jolloin huipputehoa käytetään pitkiä aikoja. Nämä voidaan täyttää riittävän suurella teholla ja varastointikyvyllä, kuten suurella paneelien määrällä tai riittävällä akkukapasiteetilla. Jäähdytys voidaan toteuttaa myös järjestelmää optimaalisesti käyttävällä tavalla, kuten ohjaamalla lämpötila

alemmas päiväsaikaan ja antamalla lämpötilan nousta yön aikana, jolloin energiaa ei ole saatavissa.

Järjestelmä on yksinkertainen ja liitettävissä rakennuksessa jo olevaan sähköjärjestelmään varsin nopeasti, jos siihen ei tarvitse tehdä suuria muutoksia, kuten sähkökaapin vaihtoa tai kaapeleiden uusimista (Beudet 2018). Sitä voidaan käyttää sekä pääasiallisena sähkönlähteenä, että vaihtoehtona ostetulle sähkölle. Käyttö varavoiman lähteenä on myös mahdollista, jos tehdään lisäinvestointeja kapasiteetin ja luotettavuuden parantamiseksi. Järjestelmät ovat myös teknisesti luotettavia, valtaosa paneeleista saavuttaa 25-vuoden käyttöiän, kun mittana käytetään 80 % alkuperäisestä tehosta (Maehlum 2012). Järjestelmän etu on myös se, että sähkölle on enemmän käyttökohteita, jos jäähdytystä ei tarvita.

Aurinkosähkön heikkous on sen riippuvuus auringonvalosta, jota on saatavilla vain päiväsaikaan. Jäähdytyksen tarve on yöllä alhaisempi kuin päivällä, mutta keskeytymätön jäähdytys vaatii runsaasti akkukapasiteettia ja tehoa sen lataamiseen yhdessä jäähdytyksen kanssa. Pitkät tauot auringonvalon saatavuudessa voivat katkaista jäähdytyksen, jos akkujen varaus loppuu ennen seuraavaa latausta. Akkujen käyttöikä myös lyhenee merkittävästi jatkuvassa käytössä, kun lataus/purkaus jaksoja tapahtuu toistuvasti ja akkujen kokonaisvarauksesta käytetään suuria osia (Power-Thru 2016).

3.2 Jäähdytys tuulivoimalla ja aaltoenergialla

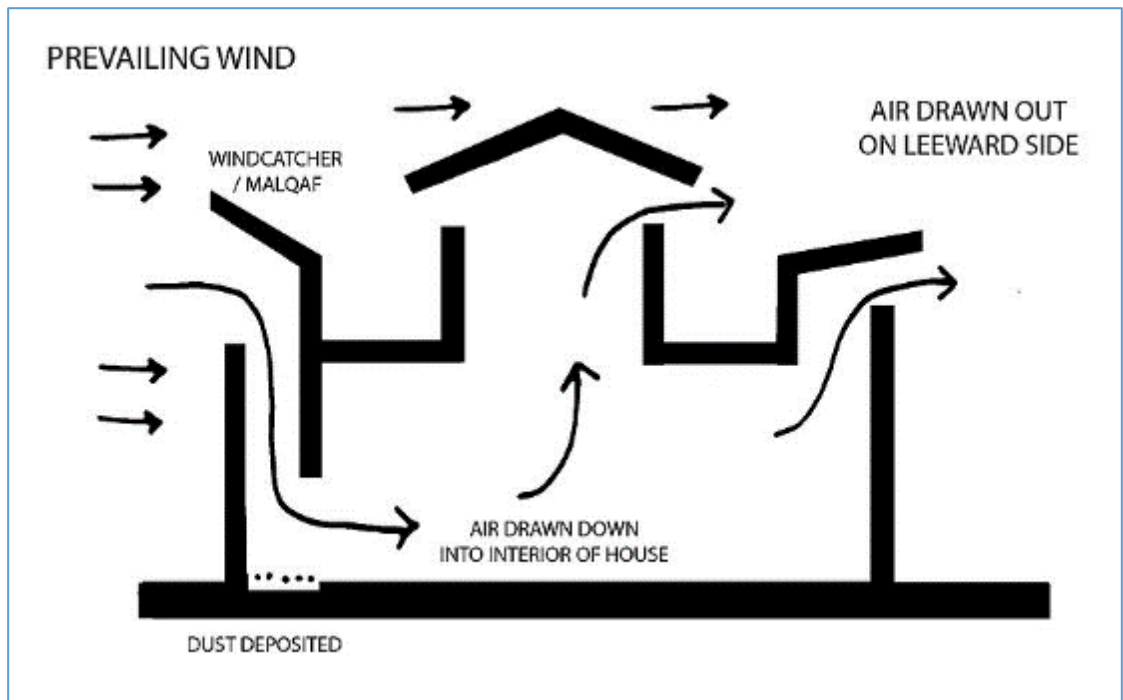
Tuulivoima on tuulen liike-energian hyödyntämistä. Tätä energianlähdettä on käytetty vuosisatoja viljan jauhamisesta veden pumppaamiseen ja on 90-luvulta alkaen ollut voimakkaassa kasvussa sähköntuotannossa. (Pimiä ym. 2014, 10.) Erityyppisistä tuuliturbiineista ja teknologioista huolimatta perusperiaate on aina sama: Tuulella oleva roottori pyörii tuulen voimin ja siirtää sen liike-energian akselinsa mekaaniseksi energiaksi. Kuvan 6 kaltaisissa nykyisissä tuulivoimaloissa tämä mekaaninen energia käyttää generaattoria, joka tuottaa sähköenergiaa. Tuulivoiman etuja ovat ympärivuorokautinen tuotanto, aurinkoenergiaa suurempi teho ja pienemmät päästöt verrattuna aurinkopaneelien valmistukseen (Redlitz 2016). Pienissä kohteissa tuulivoima on parhaimmillaan, kun se yhdistetään aurinkoenergiaan.



Kuva 6. Tavallisin tuuliturbiinityyppi (Monconduit 2018)

Tuulivoiman suurin heikkous on sen alttius turbulenssille, joka heikentää sen tehoa. Tästä syystä tuuliturbiini vaatii optimaalisesti toimiakseen paikan, jossa ilmavirtaan ei synny häiriöitä. Paikan on myös oltava mahdollisimman korkealla, mikä pienentää turbulenssia ja parantaa tehoa tuulen ollessa voimakkaampaa. Rakennusten katoille asennettaessa pitää myös huomioida turbiinin aiheuttamat värinät, jotka voivat olla hyvin häiritseviä rakenteiden vahvistamiseksi. (Boxwell 2017.)

Tällä hetkellä tuulta ei käytetä suoraan jäähdytykseen teollisessa mittakaavassa. Tavallisin sovellus on kuvassa 7 esitetyn kaltainen Lähi-idän arkkitehtuurissa tyypillinen "tuulisieppari", joka ohjaa ilmavirran rakennukseen luomaan viilentävän ilmavirran. Yhdistettynä veden haihtumisen sitomaan energiaan tämä vanha arkkitehtuurinen ratkaisu on edelleen käyttökelpoinen silloin, kun lämpöpumpputekniikka syystä tai toisesta ei ole käyttökelpoinen ratkaisu. (Roaf 2005.) Ratkaisua voisi käyttää myös muiden jäähdytysmenetelmien tukena, esimerkiksi lämpöpumppujen lauhduttimien ympärillä kiertävän ilman virtauksen vahvistamiseen.



Kuva 7. Tuulisiepparin toimintaperiaate (Fellanameedlime 2010)

Aaltovoima voidaan pitää tuulienergian alalajina, joka vaihtaa ilman liikkeen veden liikkeeksi. Perusperiaatteena on kerätä ja käyttää veden aaltoihin varastoitunutta liike-energiaa sähköenergian tuottamiseen. Tämä uusiutuvan energian muoto on varsin uusi verrattuna muihin energialähteisiin ja on siksi vielä kehitysasteella. Yksi menetelmistä kerätä aaltoenergiaa on kuvassa 8 näytetty järjestelmä, joka kelluu veden pinnalla ja käyttää hydraulisia sylintereitä pyörittämään generaattoria, tuottaen sähköä (Greenpeace UK 2008). Sen potentiaalin uskotaan kuitenkin olevan huomattava: Pelkästään Yhdysvalloissa 66 % käytetystä sähköstä voitaisiin kattaa pelkästään maan omien rannikoiden aaltoenergialla (U.S. Energy Information Administration 2018). Tämä tekniikka ei kuitenkaan sovi suoraan jäähdytykseen ja on rajoitettu rannikoille, jossa tuulen voimakkuus ja ennakoitavuus on riittävä käytännölliseksi energianlähteeksi. Tekniikkaa rasittavat myös haasteet suunnittelutyössä, jonka täytyy huomioida mm. myrskyjen tuoma moninkertainen energia normaalitilanteeseen nähden. (Letcher 2014, 357–382.)



Kuva 8. Pelamis P2 -aaltoenergia-laite (Pelamis Wave Power 2011)

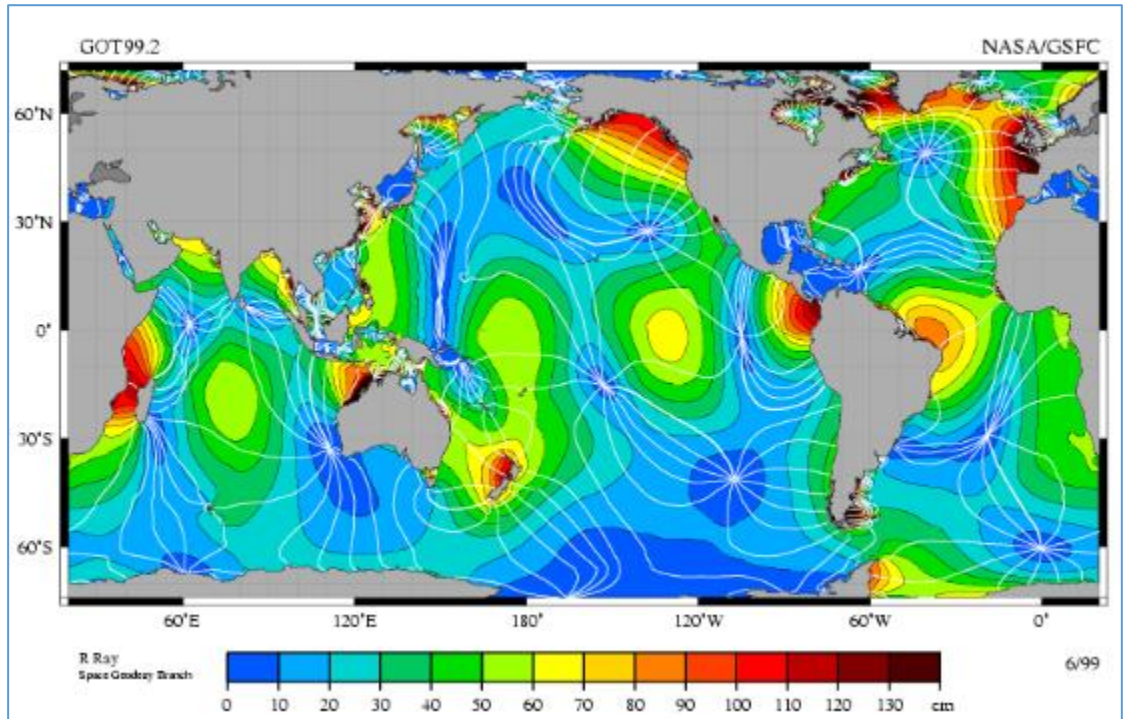
3.3 Jäähdytys vuorovesi- ja vesivoimalla

Vesivoima on tuulivoiman ohella yksi vanhimmista energianlähteistä, joka perustuu veden liike-energian käyttöön. Veden virtaus käyttää joko vesipyörää tai turbiinia, jonka voimalla tuotetaan generaattorilla sähköä. Suurimmat käyttökohteet ovat sähköntuotannossa, jossa vesivoimaa käytetään erityisesti säästövoimana ja huippukulutusten kattamiseen (Energiateollisuus 2018). Vesivoiman merkityksen odotetaan nousevan muiden uusiutuvan energian muotojen yleistyessä, koska vesivoima on tällä hetkellä ainoa taloudellisesti kannattava ratkaisu sähkön varastointiin suuressa mittakaavassa pumppuvoimalaitosten muodossa (KEMA Consulting GmbH 2015).

Vesivoima ei tuota hiilidioksidipäästöjä ja on luotettavuudeltaan korkea. Ainoastaan pitkät sateettomat jaksot voivat vähentää vesistön virtausta ja siten tehoa. Investointina vesivoima on kallis, mutta myös erittäin pitkäikäinen. Suomen vanhin vesivoimala, vuonna 1876 rakennettu Vanhankaupungin vesivoimala Helsingissä, on edelleen käytössä (Helen Oy 2017). Vesivoima myös tuottaa runsaasti energiaa, jos veden virtaus tai putouksen korkeus on huomattava. Kiinassa sijaitsevan Kolmen rotkon pato esimerkiksi tuottaa 8300 MW tehon 110 metrin korkeudella ja noin 10 000 kuutiometrin virtaamalla (Mäkeläinen 2016).

Vesivoima on muita uusiutuvan energian muotoja rajoitetumpi käytettävyydeltään, koska sen käytölle sopivia paikkoja on rajatusti. Merkittävimmät kosket ja joet on jo Suomessa käytetty vesivoiman tuotantoon ja jäljelle jäävät ovat joko liian pieniä merkittäville investoinneille tai suojeltuja. Olemassa olevia laitoksia puolestaan ei voida päivittää enää tehokkaammiksi nykytekniikalla. (Energiateollisuus s.a.) Globaalisti vesivoimalla on vielä hyödyntämätöntä kapasiteettia länsimaita huomioimatta, mutta sen määrästä ei ole yksimielisyyttä. Osa tästä kapasiteetista on myös teknisesti vaikea hyödyntää tai taloudellisesti kannattamatonta rakentaa. Myös ympäristövaikutukset, sosiaaliset arvot, vesistöihin liittyvä politiikka ja talous rajoittavat merkittävästi, mitä kapasiteettia voidaan edes harkita otettavaksi käyttöön. (World Energy Council 2010.)

Vuoroveden nousuun ja laskuun perustuva vesivoima saa energiansa Kuun vetovoimasta. Tämä energianlähde on teknisesti pidemmällä kuin aaltovoima (Cunningham 2014), mutta on silti varsin uusi menetelmä verrattuna muihin uusiutuvan energian muotoihin (Rutledge ym. 2011). Tuotantopotentiaali on suuri, mutta vain tietynlaisilla rannikoilla, mikä rajoittaa sen käytettävyyttä. NASA:n julkaiseman kuvan 9 mukaan kaikki rannikot eivät ole yhtä suotuisia vuorovesivoimalle, joten globaaliksi energianlähteeksi siitä ei ole. Vuorovesien vaihtelua ei myöskään välttämättä ajoitu kulutuksen kanssa samaan hetkeen, joten säätö- ja varastokapasiteettia on oltava runsaasti (Student Energy 2015). Näiden haasteiden ratkaisu on hidasta, sillä kehitystyölle ei saada tukea, joilla rahoitettaisiin teknologian kehittäminen ja testaaminen. Syynä tähän on ympäristönäkökohdat ja vedenalaisen maan omistamiseen liittyvät kysymykset, jotka nostavat taloudellisen riskin liian korkeaksi merkittäville rah summille. (Rutledge ym. 2011.) Näistä syistä vuorovedestä tuskin tulee merkittävää energianlähdettä vuosiin. Muilla tavoin mitattuna sen hyödyt ja haitat ovat verrattavissa perinteiseen vesivoimaan.



Kuva 9. Vuoroveden vaihteluväli senteissä, tummat alueet ovat vuorovesivoimalle suotuisampia (NASA 2019)

3.4 Jäähdytys biomassalla sähköisesti

Biomassalla tapahtuva sähköinen jäähdytys on sähkön tuottamista biomassalla höyryvoimalaitoksella, joka polttaa jotakin seuraavista polttoaineena:

- polttoaineeksi tarkoitettua biomassaa, kuten ruokohelpeä ja viljakasvien osia
- teollisuuden ja maatalouden tuotannosta syntynyttä sivuainesta, kuten sahanpurua ja leipomoiden ylijäämiä
- teollisuuden, kotitalouksien ja maatilojen biojätteistä saatavaa polttoainetta, esimerkkinä kaatopaikkakaasua
- puuperäisiä polttoaineita metsäteollisuuden prosesseista. (Bioenergi-aneuvoja 2018; Bioenergian käyttö 2018.)

Prosessi on sama kuin kivihiltä, öljyä tai maakaasua käyttävän voimalaitoksen polttoprosessi. Suurimmat erot syntyvät polttoaineen syötössä ja päästöjenhallinnassa, jotka johtuvat polttoaineen kemiasta ja muodosta, kuten onko puu purua vai haketta. Biomassaa käytetään runsaasti metsäteollisuuden prosessienergiana, sillä sulfaattisellutehtaiden yhteydessä lähes puolet puumassasta

käytetään energiana. Tämä onkin suurin syy siihen, miksi biomassassa on Suomessa merkittävä energiamuoto, sillä noin 80 % kaikesta bioenergiasta syntyy juuri metsäteollisuuden yhteydessä. (Suomi on bioenergian suurvalta 2007.)

Biomassan käyttö sähkön tuotantoon ja edelleen jäähdytyksen käyttövoimaksi on hyvin ennakoitavissa verrattuna aurinkoon ja tuuleen, sillä sen tuotanto ei riipu säästä. Energiaa on mahdollista myös varastoida ajaksi, jonka pituus riippuu käytöstä ja varastotilojen koosta. Jotkin prosessit tarjoavat runsaasti polttoainetta sivutuotteena, kuten pelletit sahateollisuuden sahanpurusta, mikä auttaa näiden prosessien kannattavuutta. Biopolttoaineiden laaja valikoima varmistaa energian saatavuuden ja useampaa polttoainetta käyttävissä kattiloissa on mahdollista valita kussakin tilanteessa edullisin biomassassa, mikä laskee sähkön hintaa. Ilmastopolitiikan suhteen niitä pidetään aikakin toistaiseksi nollasummapelinä, koska biomassassa on kasvaessaan sitonut hiilidioksidia ilmasta. Suomessa biopolttoaineilla on myös valtion tuki puolellaan merkittävän työllisyysvaikutuksen ja verotulojen vuoksi.

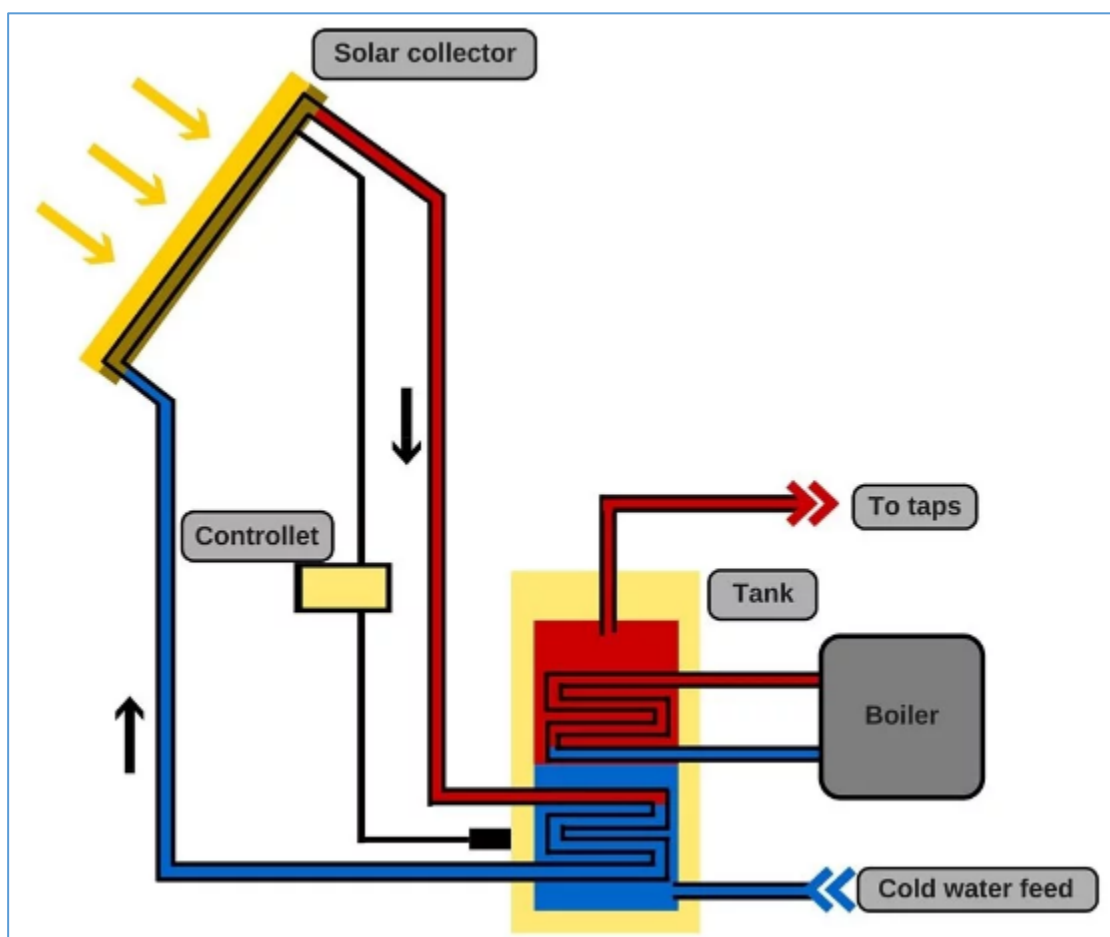
Biomassan heikkouksia on sen riippuvuus toimivasta logistiikasta. Kun kuljetusten hinta nousee, myös biomassan hinta nousee, vaikka se olisikin aluksi ilmaista. Biomassalla on myös fossiilisia alhaisempi energiatiheys, mikä heikentää kuljetusten kannattavuutta (Suopajärvi 2013). Tietyn etäisyyden päästä laitoksesta biomassaa ei kannata enää hankkia, mikä tekee biomassasta hyvin paikkasidonnaisen energianlähteen. Sähkön siirrettävyys johtoja pitkin helpottaa ongelmaa, mutta siinäkin menetetään energiaa. Kannattavuussyistä polttoaineen on myös oltava fossiilisia polttoaineita edullisempaa johtuen teknisistä vaatimuksista ja lisääntyneestä huollontarpeesta. Tarvittavien investointien hinta estää yksittäisiä henkilöitä tuottamasta sähköä kotitalouden käyttöön. Näistä johtuen ainoastaan vakiintuneilla energiayhtiöillä on mahdollisuus tuottaa sähköä biomassalla taloudellisella menestyksellä.

4 LÄMPÖJÄÄHDYTYS

Tässä tutkitaan menetelmät, joissa jäähdytys toteutuu uusiutuvalla lämmöllä, useimmiten absorptiokoneen avulla. Lämpöenergia käytetään suoraan jäähdytykseen ilman välivaiheita, minkä ansiosta järjestelmien kokonaishyötysuhde on parempi kuin sähköllä toimivissa menetelmissä.

4.1 Jäähdytys aurinkolämmön avulla

Aurinkolämpö viittaa tässä työssä auringon lämpösäteilyä kerääviin, varastoi-
viin ja käyttöviin järjestelmiin ja ratkaisuihin, mukaan lukien passiiviset mene-
telmät. Aurinkokeräimissä auringon lämpö lämmittää keräimen veden tai ve-
den ja glykolin seosta, joka kiertää järjestelmässä pumpun käyttämänä tai
passiivisesti lämpötilasta avulla. Lämmennyt vesi kerätään säiliöön odotta-
maan käyttöä tai johdetaan kierukkaan, joka lämmittää varsinaisen käyttöve-
den. Tällainen aurinkoenergia, joka on esitetty myös kuvassa 10, on yhdistet-
tävässä muihin lämmitysmenetelmiin vaihtamalla esitetyn kattilan (boiler) tilalle
mikä tahansa toinen lämmitysmenetelmä.



Kuva 10. Tavallisin aurinkolämmitysratkaisu (Science ABC 2016)

Monissa kuvan 11 kaltaisissa kaupallisesti käytettävissä aurinkovoimaloissa
auringon säteily keskitetään peilein polttopisteeseen, jonka lämpötila kohoaa
satoihin asteisiin peilien kokonaispinta-alasta riippuen. Polttopisteessä oleva
kattila, lämmönvaihdin tai putki siirtää lämpöenergian nesteeseen, usein ve-

teen. Tämä lämpöenergia muutetaan sitten käyttökelpoiseksi energiaksi samalla tekniikalla kuin normaali kivihiilivoimala tai käytetään suoraan lämmityksessä. Joissakin laitoksissa tuotetaan ylimääräistä lämpöä, joka varastoidaan ja käytetään yön aikana. Tällöin laitos toimii vuorokauden ympäri, minkä ansiosta laitoksen kannattavuus ja energian saatavuus paranevat.

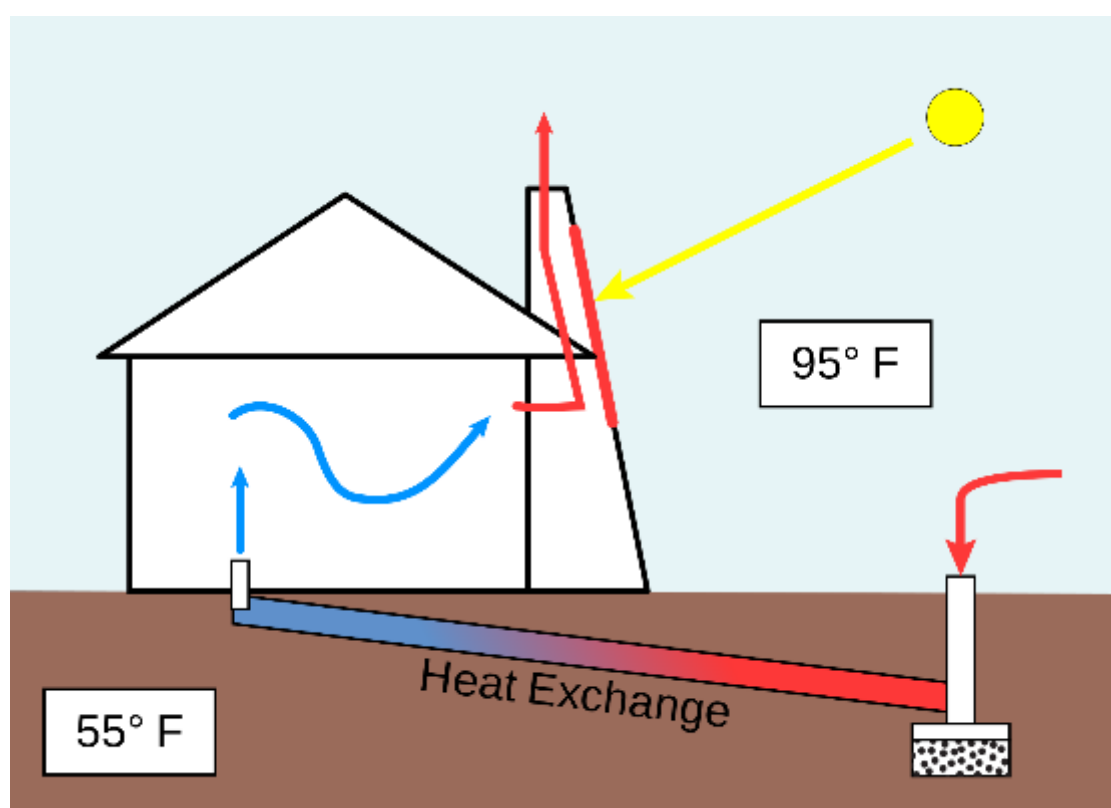


Kuva 11. Keskittävä aurinkovoimala (Bureau of land management 2015.)

Aurinkokeräimillä saatu lämpöenergia ei sellaisenaan kelpaa jäähdytykseen, mutta se kelpaa absorptioprosessin käyttöenergiaksi tai sähköntuotannon lähtöpisteeksi keskittävässä aurinkovoimaloissa. Jäähdytyksessä aurinkokeräimiä käytetään kuitenkin harvoin, sillä järjestelmät ovat tekniikaltaan monimutkaisia. Aurinkosähköllä järjestelmä koostuu lähinnä lämpöpumpusta ja aurinkojärjestelmästä, kun aurinkokeräimillä vaaditaan absorptiokiertoa kolme neste-kiertoa, mahdollinen varajärjestelmä, useita pumppuja ja jäähdytysallas tai -torni. Järjestelmän etuna on sen sopivuus jäähdytyksen peruskuorman kattamiseen ja mahdollisuus kattaa jopa 50 % jäähdytystarpeesta. (Eicker 2012.)

Toinen tapa hyödyntää auringon lämpöä jäähdytykseen on ”solar chimney”, jonka rakenne on nähtävissä kuvassa 12. Tämä arkkitehtoninen ratkaisu pohjautuu auringon lämmittämään piippuun, jossa lämmin ilma kohoaa ylös, viileä sisäilma virtaa tilalle ja luo rakennukseen jäähdyttävän ilmavirran (Hanania ym. 2017). Ulkoilman lämpötilan ollessa korkea ilmavirran on oltava huomattavan suuri, jotta jäähdyttävä vaikutus syntyisi. Tämän saavuttamiseksi piipun

on oltava huomattavan kokoinen. (Szikra s.a.) Tästä syntyvä veto voi haitata käyttömukavuutta ja estää piipun käytön rakennuksissa, joissa ilmavirtojen hallinta on tarkkaa tai rajoitettua. Mm. leikkaussalien jäähtyksessä aurinkopiippua ei voida käyttää suuren ilmavirtausvaatimuksen vuoksi, joka on jopa 20 kertaa tunnissa, ja laadulliset vaatimukset kosteuspitoisuudesta ja puhtaudesta vaativat kuitenkin ilmanvaihtokoneita (Roy & Stevens 2018). Ratkaisu on kuitenkin energiatehokas, sillä sen tarvitsema energia saadaan auringosta ilman ulkoisia lähteitä ja teho on suoraan verrannollinen auringon paahteeseen.

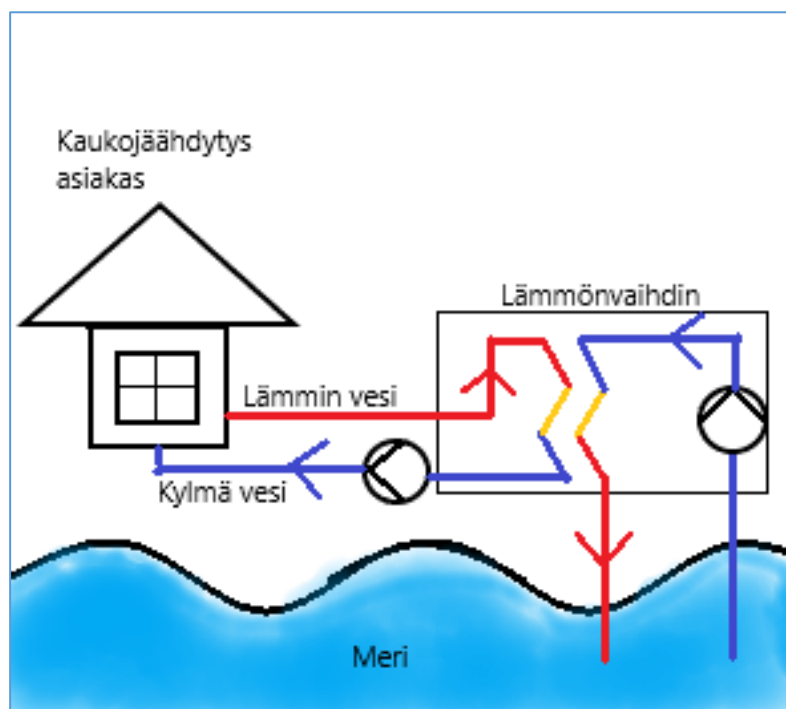


Kuva 12. Aurinkopiipun toimintaperiaate, lämpötilat $95^{\circ}\text{F}=35^{\circ}\text{C}$ ja $55^{\circ}\text{F}=13^{\circ}\text{C}$ (Hanania ym. 2017).

4.2 Jäähdytys vapaajäähdytyksenä vedellä ja ilmalla

Vapaajäähdytyksen perusajatus on käyttää viileämpää ulkoilmaa tai vesistöä suoraan jäähdytyksen toteutuksessa, kuten kuvassa 13 on esitetty. Toisin kuin perinteinen lämpöpumppuun perustuva ilmastointi, vapaajäähdytys ei käytä energiaa lämmön aktiiviseen siirtämiseen pois rakennuksesta, vaan antaa lämmön virrata omalla voimallaan kylmempään ilmaan tai veteen. Energiaa tarvitaan vain pumppujen tai puhaltimien käyttöön, jotka siirtävät ilmaa tai

jäähdytysnestettä järjestelmässä. Periaate on sama riippumatta koosta tai tehosta ja sovellettavissa aina, kun kohteen lämpötila on tavoiteltua korkeampi ja ympäröivän ilman tai jäähdyttävän veden lämpötila alempi kuin 10 astetta celsiusta. (Toivanen 2010.)



Kuva 13. Vapaajäähdytyksen periaate

Datakeskukset ovat edustavin esimerkki vapaajäähdytyksen käytöstä. Koska palvelimet kuluttavat jatkuvasti paljon energiaa, hukkalämpöä muodostuu suuria määriä. Koneellinen jäähdytys on mahdollinen, mutta tämä nostaisi energiankulutuksen lukemiin, joissa keskuksen kannattavuus heikkenisi liikaa. Jäähdytys suoraan ulkoilmaan ei ole mahdollista, sillä palvelimet ovat painostaan ja koostaan huolimatta herkkiä laitteita, joita ei voi ympäristön vaikutuksille altistaa. Vapaajäähdytys mahdollistaa lämmön poistamisen keskukselta altistamatta sitä häiriötekijöille. Suuri hukkalämmön määrä tekee keskukselta usein merkittävän lämmöntuottajan, jota voidaan hyödyntää yhdistämällä keskus kaukolämpöverkkoon energian kierrättämiseksi. (Selvitys IT-ympäristön... 2010.)

Vapaajäähdytys on teknisesti yksinkertainen toteuttaa ja siten yhdistettävissä muihin jäähdytysmenetelmiin joko päätoimisena menetelmänä tai täydentävänä apujärjestelmänä. Käytön taustalla on vapaajäähdytyksen edulliset käyt-

tökustannukset, joiden vuoksi sitä hyödynnetään paljon kaupallisessa toiminnassa, kuten teollisuudessa. Järjestelmän koko on valittavissa vapaasti yksittäisistä rakennuksista kokonaiseen kaupunkiin. Näiden lisäksi järjestelmä on ympäristöystävällinen, koska ympäristölle haitallisia kemikaaleja tarvitaan vähän ja niiden vuotoriski on pieni. (Marjala 2015.)

Sen merkittävin heikkous on riippuvuus kohteen ja ympäristön lämpötilojen erosta, joka on pienimmillään silloin, kun jäähdytyksen tarve on suurimmillaan. Kylmänä vuodenaikana jäähdytyksen teho on suurimmillaan, mutta sen tarve on myös pienimmillään. Vapaa jäähdytystä ei myöskään kannata käyttää, jos ulkoilman lämpötila ylittää kymmenen celsiusastetta. Näistä syistä se sopii hyvin jäähdytyksen lähteeksi Suomessa, jossa vuoden keskilämpötila jää alle kuuden celsiusasteen (Ilmatieteen laitos 2018). Ilmaston lämmitessä tämä hyöty voi tosin jäädä tavoiteltua pienemmäksi.

4.3 Jäähdytys geotermisellä energialla ja maalämmöllä

Jäähdytys geotermisellä energialla ja maalämmöllä on maahan varastoituneen auringon lämmön tai geologisten ilmiöiden tuottaman lämmön käyttöä. Kotitalouksissa tekniikka pohjautuu useimmiten lämpöpumppuun, joka kerää maan lämpöä sähkökäyttöisen kompressorin avulla. (Wahlres Oy s.a.) Sähkön tuotannossa käytössä on voimalaitosprosessi, joka käyttää kuumien lähteiden lämpöä turbiinin käyttövoimana joko vesihöyryn tai sen lämmittämän työkaasun avulla (Renewable energy world s.a.). Maalämmön käyttöä rakentamalla maan alle ei tässä tutkita, sillä tällöin on kyse matalaenergiarakentamisesta, joka ei kuulu tämän työn piiriin.

Alueilla, jossa geotermistä energiaa on paljon saatavilla, se pystyy kattamaan merkittävän osan kulutuksesta. Islannissa geoterminen energia kattaa yli 90 % rakennusten lämmityksestä ja neljänneksen käytetystä sähköstä (Promote Iceland 2014). Tässä auttaa geotermisen energian luotettavuus ja saatavuus, jotka eivät riipu lainkaan sääolosuhteista, vaan lähinnä porausreiän syvyydestä ja käytetystä tekniikasta. Järjestelmät itsessään ovat pitkäikäisiä ja luotettavia, jolloin huollon tarve on matala. Lisäksi geotermisen energian hyötysuhde on hyvä niin energiatehokkuutta kuin tilankäyttöä mitattaessa. (Advantages and Disadvantages of Geothermal Energy 2014.)

Valitettavasti tekniikkaa voi käyttää vain vulkaanisesti aktiivisilla alueilla, jotka Islantia lukuun ottamatta sijaitsevat pääasiassa Tyynenmeren ympärillä, jossa geotermistä energiaa on saatavissa lähempänä maanpintaa (Luhr 2003). Muualla maailmassa, kuten Suomessa, geotermisen energian käyttö vaatii poraamista monen kilometrin syvyyteen, sillä maaperän ylimmissä kerroksissa lämpötilat ovat liian matalia. Poraussyvyydestä riippumatta tämä aiheuttaa maanjäristysriskin, joka on Sveitsin Baselissa toteutuessaan aiheuttanut noin seitsemän miljoonan Sveitsin frangin (n. 6,3 miljoonan euron) vahingot ja hidastanut merkittävästi vastaavia hankkeita mm. Saksassa (Geosto Oy s.a.; Valuuttalaskuri.org 2019). Se ei myöskään ole päästötön energianlähde, sillä porausreiästä nousee pieniä määriä mm. metaania ja ammoniakkia, jotka luokitellaan kasvihuonekaasuiksi. Geotermistä energiaa ei myöskään voi kerätä loputtomasti samasta paikasta, sillä kallion jäähtyessä tuotanto laskee ja pahimmillaan alueesta tulee käyttökelttomalle myöhemmälle tuotannolle. Näiden lisäksi tuotantomuotoa rasittavat korkeat investointikustannukset ja rajoitukset maankäytössä, esimerkiksi, miten lähelle toisia järjestelmiä ja maanalaista infrastruktuuria geotermistä energiaa voidaan rakentaa. (Advantages and Disadvantages of Geothermal Energy 2014.)

Selvästi matalampia lämpötiloja hyödyntävä maalämpö, joka on yhdistelmä maahan ja veteen varastoitunutta maan ja auringon lämpöä, on helpommin saatavissa ympäri maailmaa. Maalämpöä voidaan käyttää myös jäähdytyksessä pumpaamalla lämpöä kaivoon, josta se voidaan käyttää uudelleen lämmityksessä. Tällöin maalämpö toimii varastona, jonka koko määräytyy enemmän maan tai kallioperän ominaisuuksien kuin käytettävän tilavuuden mukaan. (Arola 2018.)

4.4 Jäähdytys termisenä jäähdytyksenä biomassalla

Tuotetaan sähköä tai lämpöä biomassalla höyryvoimalaitoksella tai lämpövoimalassa, joka polttaa jotakin seuraavista polttoaineista:

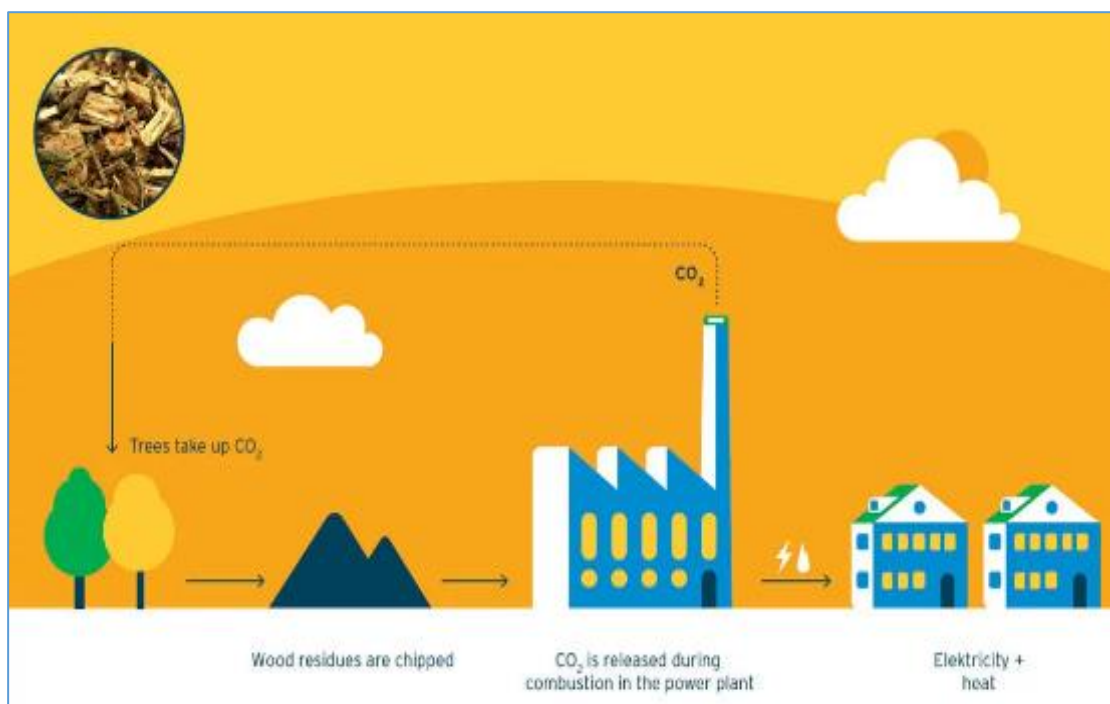
- polttoaineeksi tarkoitettua biomassaa, kuten ruokohelpeä ja viljakasvien osia
- teollisuuden ja maatalouden tuotannosta syntynyttä jätteinä, kuten sahanpurua ja leipomoiden ylijäämiä.

- teollisuuden, kotitalouksien ja maatalojen biojätteistä saatavaa polttoainetta, esimerkkinä kaatopaikkakaasua
- puuperäisiä polttoaineita metsäteollisuuden prosesseista. (Bioenergianeuvoja 2018; Bioenergian käyttö 2018.)

Prosessi on sama kuin kivihiiltä, öljyä tai maakaasua käyttävän voimalaitoksen polttoprosessi. Suurimmat erot syntyvät polttoaineen syötössä ja päästöjenhallinnassa, jotka johtuvat polttoaineen kemiasta ja muodosta, kuten onko puu purua vai haketta. Tavallisin tapa hyödyntää biomassaa jäähdytyksessä on järjestelmä, jossa biomassaa polttoaineena käyttävä kattila tuottaa käyttöenergiaa absorptiokoneelle, joka tuottaa varsinaisen jäähdytyksen.

Biomassan etuja jäähdytyksessä on polttoaineiden laaja valikoima. Polttoaine voi olla yhtä lailla energiaksi tarkoitettua puuta, vanhoja jauhoja tai biojätettä, kunhan se on prosessiin sopivaa. Sen toinen merkittävä etu on helppo varastoitavuus, mikä auttaa tasoittamaan kulutuksen ja tuotannon vaihteluita hyvin pitkällä aikavälillä. Tarvittaessa myös tuotettua lämpöä voidaan varastoida, mikä on helpompi ja edullisempi toteuttaa kuin sähkön varastoinnissa. Lämpöä käyttävässä jäähdytyksessä ei myöskään tarvitse huolehtia sähkölle asetetuista vaatimuksista, puhdas ja lämpötilarajoissa pysyvä poltto riittää.

Kasvimassan kohdalla on myös etuna kuvassa 14 kuvattu hiilen kiertokulku, jossa polttamisessa vapautunut hiili sitoutuu kasvin biomassaan. Tämä on usein käytetty perustelu tulkinnalle, jossa biomassaa ja varsinkin puuta kohdellaan päästöttömänä. (Biomassavoimala 2017.) Todellisuudessa biomassan kuljetuksessa syntyy päästöjä, jotka syntyvät fossiilisen polttoaineen palamisesta moottorissa. Tämän vuoksi biomassan asema hiilineutraalina polttoaineena on usein kyseenalaistettu. Biomassan poltosta syntyy myös muita päästöjä. Typen oksideja syntyy poltossa käytettävän ilman ja polttoaineen oman typen vaikutuksesta (Hiilitieto 2019). Puun pienpoltossa syntyvät pienhiukkaspäästöt puolestaan ovat mahdollisia syitä sydän- ja hengityssairauksille (Terveyden ja hyvinvoinnin laitos 2017).



Kuva 14. Hiilen kierto perusteena nollapäästöille (Biomassavoimala 2017)

Vaikka biomassaa käytetäänkin paljon sähkön, lämmön ja prosessihöyryn tuotannossa, jäädytyksessä biomassaa käytetään Euroopassa lähinnä suurten laitosten tuottaman kaukojäähdytyksen kautta, sillä pieniä kotitalouden kokoi- siin kohteisiin sopivia järjestelmiä ei markkinoilla ole (Sulzbacher ja Rathbauer 2011). Tämä on linjassa yhdysvaltalaisen Agricultural Utilization Research Ins- tituten selvityksen kanssa, jota on tutkittu kohdassa 5.2. Toisin kuin fossiilisten polttoaineiden kanssa, biomassalla on myös aikaraja varastoinnissa, jonka jäl- keen sen laatu heikkenee biologisesta hajoamisesta johtuen (Suopajarvi 2013). Prosessissa syntyy myös runsaasti lämpöä, jonka hyödyntäminen riip- puu sen lämpötilasta. Tavallisesti tämä lämpötila on liian matala käytettäväksi muuten kuin käyttöveden tai rakennuksen lämmitykseen. Jos lämmölle ei ole tarvetta, prosessin toimivuuden varmistamiseksi se pitää silti poistaa proses- sista, mikä johtaa energian menettämiseen ilmaan tai vesistöön.

5 SOVELLUKSIA JÄÄHDYTYKSESTÄ UUSIUTUVALLA ENERGIALLA

Vaikka uusiutuvalla energialla onkin kyky hillitä ilmastonmuutosta ja korvata fossiilisia polttoaineita, liiketaloudellisesti ympäristöystävällisyys itsessään ei riitä perusteeksi toisinaan hyvinkin korkeille investointikustannuksille. Jos in- vestointi ei tuota voittoa yritykselle, laske liiketoiminnan kustannuksia tai ris- kejä tai tuo lisää asiakkaita, investointi ei kannata yrityksen näkökulmasta.

Maine ympäristöasiat vakavasti ottavana yrityksenä ei auta konkurssissa. Jos investoinnista ei myöskään ole esittä minkäänlaisia kannustavia esimerkkejä tai lukuja, idea ei koskaan etene.

Tästä syystä on tarpeen esittää esimerkkejä, jotka näyttävät uusiutuvalla energialla tapahtuvan jäähdytyksen potentiaalia ja saatua taloudellista etua. Esimerkki logistiikkakeskuksesta näyttää, miten paljon yksittäinen rakennus voi hyötyä uusiutuvan energian käytöstä taloudellista riskiä pienentävänä ja yrityksen ympäristöpolitiikkaa mainostavana toimenä. Pinecrestin esimerkki puolestaan demonstroi taloudellista hyötyä, joka uusiutuvilla voidaan saada verrattuna fossiilisiin energianlähteisiin.

5.1 S-ryhmän logistiikkakeskus

Koska aurinkosähköllä tuotettu jäähdytys ei eroa verkkosähkön avulla tuotetusta, on järkevää ajatella aurinkosähköä verkkovirran korvaajana ja verrata sen ominaisuuksia käytettävässä jäähdytyksessä. Kohteena on tässä esimerkissä Inex Partnersin logistiikkakeskus Sipoossa, joka valmistui viime vuoden syksyllä. S-ryhmän vuoden 2017 vuosikatsauksesta selviää, että logistiikkakeskus ”imaisi 28 740 megawattituntia sähköä”. Tästä 60 prosenttia, 17244 MWh, tuli uusiutuvista lähteistä, pääasiassa tuulivoimasta. Näitä arvoja käyttämällä voidaan laskea mitä tapahtuisi, jos keskuksen koko pohjapinta-alalle paistava aurinkoenergia käytettäisiin jäähdytyksen voimanlähteenä.

Laskennassa on käytetty seuraavia lukuarvoja:

- Aurinkovakio on 1000 W/m^2 (Perälä 2017).
- Koko rakennuksen kattopinta-ala (144000 m^2) on käytettävissä (Manninen 2017).
- Auringosta saatava säteilyenergia on 900 kWh/m^2 vuodessa (Perälä 2017).
- Keskuksen varmennetut tuotantotehot jääkaappi- (11,1 MW) ja pakasosastolla (3,3 MW) ovat huipputehoja (Virtanen 2013).
- Sääolosuhteet oletetaan hyviksi aurinkoenergian tuotantoon.

Taulukko 1. Aurinkopaneelijärjestelmien tekniset tiedot (Amerisolar 2016; SolarXon 2012; Astronergy 2017.)

	SolarXon ES-140P	Amerisolar AS-6P30	Astronergy STAVE 2	
Sähkönkulutus	28 740			MWh
Uusiutuvan osuus sähköstä	60 %			%
Uusiutuva sähkö ennen asennusta	17244			MWh
Päästökerroin	164			Kg/MWh
Päästöt ennen	1885344			Kg/a
Pituus	1486	1640	1648	mm
Leveys	676	992	990	mm
Huipputeho (STC)	140	275	290	W
Moduulin hyötysuhde	13,9 %	16,9 %	17,8 %	%
Moduulin pinta-ala	1,005	1,627	1,632	m ²
Paneelia alalle	143350	88513	88261	kpl
Teho	20	24	26	MW
Energia	18014	21902	23069	MWh
Uusiutuva sähkö asennuksen jäl- keen	35258	39146	40313	MWh
Ylijäämä sähkö	6518	10406	11573	MWh
Kertaa kulutus	1,39	1,69	1,78	
Muuntaja (75% hyötysuhde)	1,05	1,27	1,33	
Päästöjen lasku muualla	1069018	1706650	1897939	Kg/a
Päästöjen lasku yhteensä	2954362	3591994	3783283	Kg/a

Näillä paneeleilla toteutettuna aurinkosähköjärjestelmä pystyisi kattamaan keskuksen koko jäähdytystarpeen 1,39–1,78-kertaisesti, mikä riittää jäähdytyksen lisäksi kattamaan häviöt muuntajassa ja johdoissa. Lasketut vuosittai-

set energiantuotantoluvut pystyvät kattamaan logistiikkakeskuksen koko sähkönkulutuksen ja energiaa jää ylikin. Jos tämä ylimääräinen energia käytetään muualla, esimerkiksi kaupassa, kyseisen kohteen hiilijalanjälki voi laskea lähes 1900 tonnia vuodessa. Yhteensä hiilidioksidipäästöt voivat laskea jopa 3800 tonnia vuodessa olettaen, että energiaa ei varastoida keskuksen omaan myöhempään käyttöön (CO₂-päästökertoimet 2019).

Kuriositeettina laskettiin myös paneelien hyötysuhteen ja pinta-alan yhteys toisiinsa. Tässä laskennassa oletettiin, että paremmalla hyötysuhteella pienin SolarXonin paneeli tuottaa yhtä paljon tehoa ja energiaa kuin suurempi Astronergyn paneeli. Koska auringosta saatava energia ei muutu, vain hyötysuhteella pitäisi olla merkitystä saadun tehon ja energian kannalta. Taulukossa 2 on tehty samat laskutoimitukset kuin taulukossa 1, mutta SolarXonin paneelin hyötysuhde on vaihdettu Astronergyn paneelia vastaavaksi.

Taulukko 2. Aurinkopaneelin hyötysuhteen vaikutus (SolarXon 2012; Astronergy 2017.)

	SolarXon ES-140P	Päivitetty SolarXon	
Sähkönkulutus	28740		MWh
Uusiutuvan osuus sähköstä	60 %		%
Uusiutuva sähkö ennen asennusta	17244		MWh
Päästökerroin	164		Kg/MWh
Päästöt ennen	1885344		Kg/a
Pituus	1486		mm
Leveys	676		mm
Huipputeho (STC)	140	178	W
Moduulin hyötysuhde	13,9 %	17,8 %	%
Moduulin pinta-ala	1,005		m ²
Paneelia alalle	143 350		kpl
Teho	20	26	MW
Energia	18014	23069	MWh
Uusiutuva sähkö asennuksen jäl- keen	35258	40313	MWh
Ylijäämäsähkö	6518	11573	MWh

Lukujen tarkistamiseksi käytettiin Euroopan unionin rahoittaman SOLAREC-toiminnan Photovoltaic Geographical Information System:n antamia tuloksia. Ohjelmaan syötettiin arvoiksi huipputeho 20 MW, järjestelmän häviöiksi 14 % ja paneelien suuntaus annettiin järjestelmän optimoitavaksi. Molemmissa taulukoissa esitetyt tulokset ovat lähellä ohjelman antamia arvoja, minkä perusteella tulokset ovat realistisia ja käyttökelpoisia arvioitaessa saatuja etuja ja hyötysuhteen vaikutusta. (Photovoltaic geographical information system 2019.)

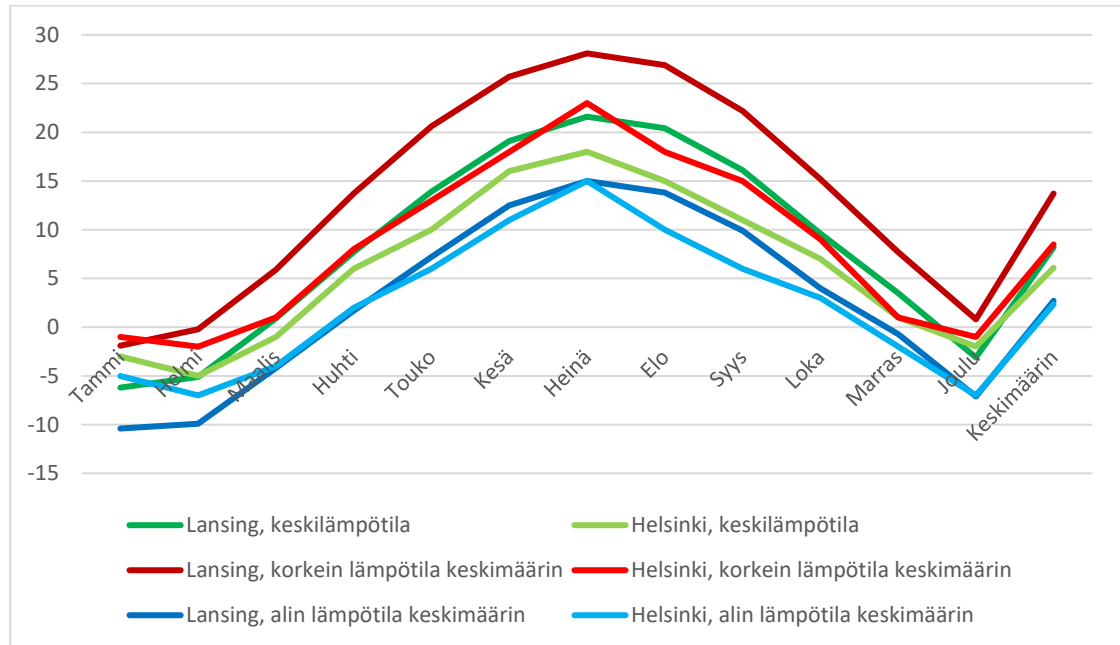
Laskennan perusteella parempi hyötysuhde on pääasiallinen syy Astronergyn paneelin suurempaan tehoon ja tuotettuun energiaan. Tämän perusteella hypoteesi on oikea ja hyötysuhteella on enemmän merkitystä kuin paneelien määrällä, koolla tai teholla. Tämä on mahdollista siksi, että hyötysuhde vaikuttaa tehoon ja tuotettuun energiaan pinta-alaa kohti, sen sijaan koon kasvattaminen vaikuttaa vain alaan, jolta paneeli kerää energiaa. Teho riippuu koosta ja hyötysuhteesta, määrään vaikuttaa vain käytettävissä oleva tila ja investoinnin suuruus. Tämän perusteella on parempi investoida paneeliin, jossa hyötysuhde on korkeampi, kuin valita teholtaan ja kooltaan suurempi (Aggarwal 2019).

Logistiikkakeskus on myös merkittävä maalämmön hyödyntäjä, joka sai 20 % kokonaisenergiantarpeestaan maalämmöstä. Syynä pieneltä kuulostavaan lukuun on keskuksen koko, joka vastaa yli 30 eduskuntataloa, ja energiankulutus, joka vastaa noin 3000 omakotitalon vuosikulutusta. (S-ryhmän vuosi ja vastuullisuus 2018.) Lukua pienentää myös ajankohta vuonna 2017, jolloin logistiikkakeskus oli vielä rakennusvaiheessa kylmä- ja pakkasosastojen osalta ja näiden tuottaman lauhdelämmön käyttö lämmitykseen puuttuu. Keskuksen on tarkoitus käyttää kallioperää energiavarastona, joka viilentää kesällä ja lämmittää talvella (Logistiikkakeskuksen... 2010).

5.2 Pinecrest Medical Care Facility

Powerssissa, Michiganin osavaltiossa sijaitseva Pinecrest Medical Care Facility on hoivakeskus, joka on erikoistunut pitkäaikaishoitoon, Alzheimer potilaisiin ja kuntoutusterapiaan. Hoivakeskus osallistui vuonna 2016 Agricultural Utilization Research Institutuutin (AURI) projektiin, jossa Minnesotan yliopisto

kirjoitti oppaan biomassan käytöstä jäähdytyksessä. Kuvassa 15 kuvatut lämpötilat osoittavat tämän hoivakeskuksen hyväksi analogiksi tutkittaessa jäähdytystä ilmastonmuutoksen lämmittämässä Suomessa. Michiganissa vallitsevat lämpötilat ovat samanlaisia kuin Suomessa nyt, mutta keskimäärin korkeampia paitsi talvella, jolloin lämpötilat ovat samanlaisia.



Kuva 15. Keskilämpötilat pääkaupungeissa Michiganissa ja Suomessa (Climate-zone.com 2019)

Kaikki Pinecrestin hoivakeskusta koskeva tieto perustuu AURI:n (2016) ja Cookin (2015) julkaisemaan tietoon. Tämä noin 15800 neliömetrin ja neljästä rakennuksesta koostuva kiinteistö on käyttänyt puuhaketta lämmityksessään vuodesta 1984 ja päivitti lämmitysjärjestelmää vuonna 2001 mahdollistamaan jäähdytyksen samalla polttoaineella. Jäähdytys toimii litiumbromidiin pohjautuvan absorptiokoneen voimin, joka jäähdyttää kiinteistössä kiertävän ja varsinaisen jäähdytyksen toteuttavan suolaveden 5,6 celsiusasteeseen. Kone saa prosessiin tarvittavan lämpöenergian puuhaketta polttavasta biokattilasta. Prosessissa syntyvä hukkalämpö ohjataan jäähdytystorniin, jossa lämpö siirtyy ulkoilmaan veden osittain haihtuessa. Varapolttoaineena käytetään maakaasua, joka poltetaan kahdessa erillisessä kattilassa. Lisäksi hoivakeskuksessa on 10 kilowatin aurinkopaneelijärjestelmä, joka on jätetty tutkimusten ulkopuolelle. Järjestelmän käyttöönoton tarkoitus oli tuoda säästöjä polttoaineen edullisen hinnan vuoksi, joka oli noin kolmannes maakaasun hinnasta kilowattitunnin hintaa verrattaessa tutkimusajankohtana.

Taloudellisesti sijoitus on ollut kannattava: 30 tonnin järjestelmän hinnaksi tuli noin 152 400 dollaria ja putkien ja asennustyön hinnaksi 173 391 dollaria, yhteensä 325 890 dollaria. 9.4.19 kurssilla laskettuna järjestelmä olisi n. 135 200 €, putket ja asennustyö n. 153 800 € ja loppusumma olisi lähes 289 000 € (Valuuttalaskuri.org 2019). Summa katettiin lainalla, jonka takaisinmaksu onnistui kolmesta neljään vuodessa pienempien polttoainekulujen ansiosta. Polttoainetta kuluu vuosittain noin 2 800 tonnia, josta koituu vuosikuluja 120 000 dollaria. Tämä on tullut kuukausittain 10 000 dollaria halvemmaksi maakaasuun verrattuna vuonna 2014. Järjestelmän heikkouksia on maakaasua ja öljyä suurempi huollon tarve, yli kaksinkertainen verrattuna maakaasuun, ja tarve tuhkan poistolle. Biomassan käytöstä koituvia kuluja, kuten arinan vaihto, hydrauliiikan korjaukset ja uudelleenmuuraukset, ei lähteessä mainita. Tämän perusteella mainitut kulut on jo huomioitu, jolloin luvut olisivat nettosäästöjä.

5.3 Menetelmien soveltuvuusvertailu

Etujen ja haittojen perusteella uusiutuvien käyttö energianlähteenä ja jäähdytyksessä on hyvin samanlaista. Esimerkkinä aurinkoenergian päästöttömyys on etu sekä energian tuotannossa että jäähdytyksen voimanlähteenä. Vastavasti biomassan käyttö sähkön muodossa on pienissä kohteissa mahdotonta riippumatta siitä, onko kyse jäähdytyksestä vai sähköstä itsestään. Tällaisia päällekkäisyyksiä on niin paljon, että taulukossa 3 esitetyt uusiutuvien edut ja haitat ovat sovellettavissa sellaisinaan taulukkoon 4, joka esittää niiden jäähdytyskäytön. Jos esimerkkinä käytetään aurinkosähköä, akkujen tarve on yhtä suuri yön aikaisessa käytössä, oli käyttötapa tai -kohde mikä tahansa.

Jos uusiutuvia on tarkoitus käyttää vain jäähdytyksen energiaksi, on niiden ominaisuudet energianlähteenä huomioitava. Tällöin niiden haittoja voidaan kompensoida ja etuja hyödyntää mahdollisimman paljon, jolloin järjestelmästä saadaan taloudellisesti kannattava ja kestävä kehityksen mukainen. Taulukossa 4 mainitut ominaisuudet huomioimalla myös jäähdytyskäytössä voidaan saavuttaa asetetut tavoitteet samoja periaatteita käyttämällä. Taulukot toimivat myös esimerkkinä siitä, että parhaan lopputuloksen löytämiseksi on tietoa kerättävä useammasta lähteestä ja käytettävä kaikkea avointa tietoa. Pelkästään ominaisuudet energiamuotona eivät riitä jäähdytysjärjestelmää suunniteltaessa.

Taulukko 3. Uusiutuvien energiamuotojen edut ja haitat energianlähteinä

Energian- lähde	Edut	Haitat
Aurinko- sähkö	Käytettävissä kaikkialla Nopea rakentaa Päästötön	Käytettävissä vain päivällä Vaatii akkuja yöksi ja tilaa
Tuuli- voima	Nopea rakentaa Päästötön	Teho vaihtelee tuulen mukaan Ulkonäköhaitat ja melu
Aalto- energia	Suuri potentiaali Päästötön Käytettävissä kaikkialla	Kehitystyö hidasta Kallis investointi Lakitekniset kysymykset
Vesi- voima	Luotettava Edullinen säätövoima Olemattomat päästöt Pitkäikäinen	Ympäristövaikutuksen huomattavat Sopivia paikkoja rajallisesti Veden omistamisen kysymykset
Vuoro- vesi	Luotettava Päästötön Suuri potentiaali	Ei voi säätää Sopivia paikkoja rajallisesti Kehitystyö hidasta Kallis investointi
Bio- massa, sähkö	Laaja polttoainevalikoima Paikallinen Nollapäästöt	Sopimaton pieniin kohteisiin Huoltotarve merkittävä Polttoaineen kuljetukset
Aurinko- lämpö	Käytettävissä kaikkialla Nopea rakentaa Päästötön	Sähkön tuotanto ei pieniin kohteisiin Hukkalämpö merkittävä Vaatii sähköä ja tilaa
Geoter- minen	Ehdottoman luotettava Lähes päästötön Sopii peruskulutuksen kattamiseen	Kallis investointi Maanjäristysriski Helposti saatavilla vain vulkaanisilla alueilla
Maa- lämpö	Ehdottoman luotettava Päästötön	Kallis investointi Rajoituksia kaupungeissa
Bio- massa, lämpö	Laaja polttoainevalikoima Paikallinen Nollapäästöt	Huoltotarve merkittävä Polttoaineen kuljetukset

Päästöjen suhteen uusiutuvat ovat samanlaisia, suurimmat päästöt syntyvät järjestelmien valmistuksen, käytöstä poistamisen ja kuljetusten myötä. Käytöstä ei päästöjä synny kuin vähän. Suurimmat erot syntyvät niiden haitoista, jotka vaihtelevat tuulivoiman maisemaan vaikuttavasta ulkonäöstä ja melusta biomassojen kuljetuksesta syntyviin päästöihin ja suuriin investointeihin. Esimerkkinä aurinkosähköä voidaan käyttää vain päiväsaikaan ilman akkuja, mutta yhdistettynä esimerkiksi vesivoimaan energian saatavuus myös yöllä paranee merkittävästi. Jäähdytyksen kohdalla tällaisella heikkojen kohtien kattamisella on suuri merkitys, koska se kuluttaa paljon energiaa.

Jos uusiutuvia käytettäisiin ainoastaan jäähdytyksen toteuttamiseen, taulukossa 4 kuvatut edut ja haitat olisivat merkittävässä roolissa. Monet uusiutuvista tuottavat sähköä, joka on liian arvokasta käytettäväksi absorptiokoneissa. Absorptiokone tuottaisi merkittävästi vähemmän jäähdytystä verrattuna kompressoritekniikkaan. Moni uusiutuvista lähteistä on myös varsin arvokas investointi käytettäväksi pelkästään jäähdytyksessä. Geoterminen energia sopisi hyvin jatkuvasti samana pysyvän kulutuksen kattamiseen, mutta pelkästään jäähdytyksessä käytettäessä kohteena pitäisi olla kuumassa ilmastossa toimiva suuri kuluttaja, jotta investointi olisi perusteltavissa.

Parhaiten jäähdytys voidaan toteuttaa käyttämällä ainakin kahta uusiutuvaa energiamuotoa, joilla on suurimmaksi osaksi eri heikkoudet. Tuuli ja aaltovoima ovat molemmat riippuvaisia tuulesta, joten ne eivät tue toisiaan. Tuulen ja biomassan yhdistelmä on merkittävästi parempi, koska tuuli voi toimia päästöttömänä päävoimanlähteenä, jota biomassalla tukee heikolla tuulella. Vielä parempia tuloksia saadaan kolmen tai useamman lähteen yhdistelmillä, jos yksi toimii säätövoiman tai energiavaraston roolissa. Jäähdytyksessä on myös mahdollista luoda valtavia lämpö- ja kylmävarastoja veden avulla, mikä auttaa suuresti kulutuksen ja tuotannon tasapainottamisessa.

Taulukko 4. Uusiutuvien energiamuotojen edut ja haitat jäähdytyksessä

Jäähdytyksessä	Edut	Haitat
Aurinkosähkö	Sähkö voidaan käyttää muualla tarpeen mukaan Sijoitettavissa katolle	Heikko hyötysuhde Akkujen tarve ja huolto Inventterit kuluvia laitteita
Tuuli-voima	Teho maapinta-alalla Sijoitettavissa katolle	Sopimaton absorption kanssa Rakennuksissa värinäongelma Kulutus ja tuotanto eivät kohtaa
Aaltoenergia	Voidaan sijoittaa kaupunkiympäristöön rannoilla Teho maapinta-alalla	Sopimaton absorption kanssa Tuulesta riippuvainen
Vesi-voima	Luotettava Helppo säätää Teknisesti yksinkertainen	Sopimaton absorption kanssa Vaatii virtaavan vesistön Kallis investointi
Vuorovesi	Sopii perusjäähdytyksen käyttövoimaksi Paljon tehoa pienellä alueella	Sopimaton absorption kanssa Sopivia paikkoja rajallisesti
Biomassa, sähkö	Polttoaine valikoima Käytön mukaan säädettävissä	Teknisesti monimutkainen Kallis investointi
Aurinkolämpö	Sijoitettavissa katolle Edullinen Varastointi helpompaa kuin sähköllä	Sähkön tuotanto ei sovi pieniin kohteisiin Hukkalämpö merkittävä Sähkön tarve
Vapaa-jäähdytys	Yhdistettävissä muihin menetelmiin	Lämpö hukataan ilman kierräystä
Geotermiini	Luotettava Edullinen pitkällä aikavälillä Sopii hyvin lämmitykseen	Pitkällä aikavälillä kaivo voi jäähtyä ja suurinta tehoa ei voi nostaa suunnitellusta
Maa-lämpö	Riippumaton lämpötilasta Sopii myös lämmitykseen	Toimii lähinnä lämpövarastona Vaatii sähköä
Biomassa, lämpö	Helppo säätää Polttoaineen varastoitavuus	Polttoaineen oltava edullista / Jäähdytys tapahtuu hukkalämmöllä

Kuten taulukko 5 näyttää, kaikki uusiutuvan energian muodot eivät ole samalla viivalla käytön suhteen. Auringolla, tuulella ja geotermisellä energialla ei ole yhtä suurta merkitystä energiantuotannossa kuin vedellä ja biomassalla. Syynä on veden ja biomassan käytön yleisyys, jonka saavuttamisessa auringolla, tuulella ja geotermisellä energialla kestää vielä pitkään. Niitä kuitenkin käytetään jo jäähdytyksessä ainakin sähköverkon kautta kompressoripohjaisen lämpöpumppujen käyttämiseen. Aurinkolämpöä käytetään paikallisesti jäähdyttämään teollisuusprosesseja ja kiinteistöjä, mutta kaukojäähdytysverkon tasolla ei. Biomassan kohdalla kysymys on enemmän koosta, kaupallisesti sitä käytetään kaukojäähdytyksen tai sähkötoimisella kompressorikooneella, mutta yksittäisessä omakotitalossa järjestelmät ovat liian suuria, monimutkaisia ja kalliita. Aaltoenergia ja vuorovesivoima ovat molemmat vielä kehitystyön alla ja tuskin tulevat kaupalliseen käyttöön vielä vuosiin. Vesivoima toimii jäähdytyksessä, mutta on taloudellisempaa käyttää sähkön tuotannossa tai säätövoimana sitä ennen.

Taulukko 5. Uusiutuvien käyttö nykytilanteessa

	Käyttö jäähdytyksessä
Aurinkosähkö	Sähköverkon kautta tai omaan kulutukseen
Tuulivoima	Sähköverkon kautta, omaan kulutukseen vain saarekekäytössä
Aaltoenergia	Ei, kehitystyö kesken
Vesivoima	Sähköverkon kautta, omaan kulutukseen vain saarekekäytössä
Vuorovesi	Ei, kehitystyö kesken
Biomassa, sähkö	Suuressa ja keskikokoisessa mittakaavassa sähköverkon kautta tai kaukojäähdytyksenä CHP-prosessina
Aurinkolämpö	Sähköverkon kautta, omaan jäähdytykseen vain rajoitetusti
Vapaajäähdytys	Osana olemassa olevaa prosessia tai kaukojäähdytyksenä
Geoterminen	Sähköverkon kautta tai paikallisesti absorptiolla
Maalämpö	Lähinnä lämpövarastona
Biomassa, lämpö	Sähköverkon kautta tai kaukojäähdytyksenä, omaan kulutukseen vain suurilla toimijoilla

6 YHTEENVETO

Uusiutuvan energian käyttö jäähdytyksen voimanlähteenä on mahdollista ja taloudellisesti kannattavaa, kuten esimerkkien perusteella voidaan havaita. Jäähdytystekniikat ovat teknisesti kehittyneitä ja sovellettavissa myös haasteellisissa käyttötilanteissa, joissa ympäristö tai käyttötapa asettaa erityisehtoja. Uusiutuvan energian puolella on saavutettu tilanne, jossa aurinko, tuuli, vesi ja biomassa ovat taloudellisesti kannattavia energianlähteitä myös ilman tukia. Ohjaustekniikka ja automaatio ovat kehittyneet tasolle, jossa hybridijärjestelmät ovat käyttökelpoisia ja tuovat omistajalleen suurempaa taloudellista hyötyä kuin yhtä energianlähdeä käyttävät ratkaisut. Kestävää kehitystä tukeville ratkaisuille luodaan perusta jo suunnitteluvaiheessa materiaalivalinnoilla, energiatehokkuutta parantavilla yksityiskohdilla ja modulaarisilla järjestelmillä, joita voidaan päivittää tehokkaammiksi, kun teknologia kehittyy.

Suurimmat haasteet muodostuvat jäähdytyskoneen ja uusiutuvan energian rajapinnalla, jossa sähkö tai lämpöenergia muuttuu jäähdytykseksi. Kaikki jäähdytystekniikat eivät sovi yhteen kaikkien uusiutuvien kanssa, mikä rajoittaa käytettäviä vaihtoehtoja. Biomassaa voidaan käyttää kompressorijäähdytyksen voimanlähteenä voimalaitoksella, mutta biomassan konversio jäähdytykseksi on liian kallista ja monimutkaista yksittäisen omakotitalon käyttöön. Absorptiokoneet toimivat lähes millä tahansa lämpöä tuottavalla energialla, mutta jos energiaa ei saada hukkalämmöstä tai erittäin halvasta polttoaineesta, niiden matala hyötysuhde nostaa jäähdytyksen hintaa herkästi ylöspäin. Tästä syystä jäähdytysmenetelmän on vastattava käytettävää energianlähdeä, jotta saatava hyöty olisi mahdollisimman suuri.

Toinen merkittävä ongelma on heikko luotettavuus ja ennakoitavuus, jotka ovat uusiutuvan energian suurimmat kompastuskivet. Biomassan ja vesivoiman kohdalla ongelma on pieni, mutta tuuli- ja aurinkovoiman kanssa on ylimitoitettava tuotanto ja luotava varastokapasiteettia, jotta jäähdytyksessä ei synnyisi katkoksia. Tämä asettaa vesivoiman, jota käytetään usein säätövoimana, vaikeaan asemaan, kun sen odotetaan toimivan myös perusvoiman tuottajana. Sairaaloissa jo potilasturvallisuuden takia on pakko luoda myös varajärjestelmiä, mikä nostaa investointien hintaa korkealle. Suurissa kylmävarasto-

halleissa on enemmän varaa luopua jäähdytyksestä, mutta jos poikkeustilanne pitkittyy, mikään määrä eristevahvuutta ei auta kesähelteellä pelastamaan taloudellisilta tappioilta. Tämän perusteella varajärjestelmät ja vaihtoehdotiset polttoaineet ovat luotettavuutta haettaessa lähes välttämättömät. Hybridiratkaisut ovat tässä merkittävä apu.

Osa ratkaisuista vaatii myönnytyksiä rakennusten suunnittelussa ja rakentamisessa, osaa ei voida käyttää erityiskohteissa lainkaan, biomassossa taas on mahdollisuus päätyä käyttämään kalliimpaa polttoainetta kattilan rajoituksista johtuen ja niin edelleen. Mahdollisten kombinaatioiden määrä on erittäin suuri, mutta lähes kaikissa vaihtoehdoissa on aina rajoituksia ja ehtoja, joiden vuoksi kaikki eivät käy samaan tarkoitukseen. Onnistuneen jäähdytyksen toteuttamiseksi uusiutuvalla energialla on tehtävä tavallista enemmän taustatutkimusta ja laskentatyötä, sillä valmiita ”avaimet käteen” -periaatteella myytäviä ratkaisuja ei välttämättä ole saatavana. Monet olemassa olevat järjestelmät on luotu yhdistämällä eri valmistajien tuotteita, joita ei ole välttämättä suunniteltu kyseiseen tarkoitukseen. Harva omakotiasujakaan on ajatellut katon aurinkopaneeleja pakastimen ja ilmastoinnin varavoimana mitenkään erityisesti, kun järjestelmää mitoitettiin suunnitteluvaiheessa.

Tulosten perusteella seuraava tavoite uusiutuvan energian käytössä jäähdytykseen on ympäristöystävällisen jäähdytystekniikan saaminen laajempaan käyttöön ja tavallisen kuluttajan ulottuville. Tämä vaatii paitsi insinööriä edullisempien ratkaisujen löytämiseksi, myös poliittista tahtoa kestävien ratkaisujen edistämiseksi tarvittaessa taloudellisten intressien kustannuksella. Lisäksi kuluttajan on opittava vaatimaan ympäristön huolenpitoa yhä useammassa asiassa, kuten juuri jäähdytyksessä.

Tutkimus- ja kehitystyö uusien ja parempien ratkaisujen löytämiseksi etenee jatkuvasti niin materiaalitekniikan kuin kulutustottumustenkin taholla ja tuottaa näkyviä tuloksia jätekatoksissa, katukuvassa ja tilastoissa. Tämä opinnäytetyö on osaltaan edistänyt tätä tapahtumaketjua luomalla ymmärrettävän katsauksen aihealueestaan. Vaikka uusiutuvalla energialla tapahtuva jäähdytys olisi-kin vasta eilen keksitty idea, sen saralla on tapahtunut kuitenkin edistystä jo tänäänkin.

LÄHTEET

2010 Survey of Energy Resources. 2010. 7. Hydropower. World Energy Council. PDF-dokumentti. Saatavissa: https://www.worldenergy.org/wp-content/uploads/2012/09/ser_2010_report_1.pdf [viitattu 24.3.19].

Advantages and Disadvantages of Geothermal Energy. 2014. The Source of Renewable Heat. GreenMatch. Blogi. Päivitetty 17.12.19. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.greenmatch.co.uk/blog/2014/04/advantages-and-disadvantages-of-geothermal-energy> [viitattu 1.4.19].

Aggarwal, V. 2019. What are the most efficient solar panels on the market? Solar panel efficiency explained. EnergySage. WWW-dokumentti. Päivitetty: 1.1.19. Saatavissa: <https://news.energysage.com/what-are-the-most-efficient-solar-panels-on-the-market/> [viitattu 16.4.19].

Aittomäki, A. 1993. Kylmäteknikka. Kylmätuki Ky Oy. Toinen painos. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy.

Amerisolar. 2016. AS-6P30. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.aurinkopaneelikauppa.fi/WebRoot/vilkas04/Shops/20120903-11092-142553-1/MediaGallery/Amerisolar.pdf> [viitattu 29.1.2019].

Arola, T. 2018. Maa- ja kallioperä energia-akkuna. Varastoinnin geologiset perusteet. Geologiantutkimuskeskus. Seminaarimateriaali. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://tem.fi/documents/1410877/11102074/Maa%20ja%20kallioper%C3%A4%20energia-akkuna%20-%20Teppo%20Arola/fdc06eab-5e8c-66b2-9cb2-9906dbf8e17d> [viitattu 19.3.19].

Astronergy. 2017. STAVE 2. 275W~290W. 5BB-Polycrystalline PV Module. Saatavissa: https://www.aurinkopaneelikauppa.fi/WebRoot/vilkas04/Shops/20120903-11092-142553-1/MediaGallery/Astronergy_285W.pdf [viitattu 25.3.19].

AURI. 2016. Biomass for Cooling System Technologies. A Feasibility Guide. Raportti. PDF-dokumentti. Saatavissa: https://www.auri.org/assets/2016/06/Biomass-Cooling_Final.pdf [viitattu 5.3.19].

AZoOptics. 2008. An Overview of the Materials Used for Solar Cells. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.azooptics.com/Article.aspx?ArticleID=147> [viitattu 24.9.18].

Badenhausen K. & Ozanian M. 2018. The NHL's Most Valuable Teams. *Forbes*. Artikkel. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.forbes.com/sites/mikeozanian/2018/12/05/the-nhls-most-valuable-teams/#3735de7050e2>. [viitattu 6.3.19].

Beudet, A. 2018. Grid-tied Solar and the Dreaded 120% Rule. altE. Blogi. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.altestore.com/blog/2018/11/grid-tied-solar-breaker-box-120-percent-rule/> [viitattu 20.3.19].

Bioenergian käyttö. 2018. Motiva. WWW-dokumentti. Saatavissa: https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/bioenergia/bioenergian_kaytto [viitattu 12.2.2019].

Bioenergianeuvoja. 2018. Biopolttoaineet. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.bioenergianeuvoja.fi/biopolttoaineet/> [viitattu 5.11.18].

Biomassavoimala. 2017. Toimintaperiaate. Vattenfall Oy. WWW-dokumentti. Päivitetty: 23.5.2017. Saatavissa: <https://corporate.vattenfall.fi/tietoa-energiasta/sahkon-ja-lammontuotanto/biomassa/biomassavoimala-toimintaperiaate/> [viitattu 4.4.19].

Boxwell, M. s.a. Solar Electricity Handbook 2019 Edition. Wind Turbines vs Solar Panels. WWW-dokumentti. Saatavissa: <http://solarelectricityhandbook.com/Solar-Articles/wind-turbines.html> [viitattu 26.11.18].

BP. 2018. Statistical Review of World Energy. Saatavissa: <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2018-full-report.pdf> [viitattu 22.3.19].

Breverton, T. 2012. Breverton's encyclopedia of innovations. Lontoo. Quercus Editions Ltd, 198–199.

Brown, D., Fernandez, N., Dirks, J., & Stout, T. 2010. The Prospects of Alternatives to Vapor Compression Technology for Space Cooling and Food Refrigeration Applications. Pacific Northwest National Laboratory. Raportti. PDF-dokumentti. Saatavissa: www.pnl.gov/main/publications/external/technical_reports/pnnl-19259.pdf [viitattu 23.11.18].

Climate-zone.com. 2019. Climate. Saatavissa: <https://www.climate-zone.com/climate/united-states/michigan/lansing/> ja <https://www.climate-zone.com/climate/finland/celsius/helsinki.htm> [viitattu 26.3.19].

CO₂-päästökertoimet. 2019. Motiva. WWW-dokumentti. Päivitetty: 26.4.2018. Saatavissa: [https://www.motiva.fi/ratkaisut/energian_kaytto_suomessa/co2-laskentaohje_energiankulutuksen_hiilidioksidipaastojen_laskentaan/co2-paastokertoimet](https://www.motiva.fi/ratkaisut/energian kaytto_suomessa/co2-laskentaohje_energiankulutuksen_hiilidioksidipaastojen_laskentaan/co2-paastokertoimet) [viitattu 27.3.19].

Cook, B. 2015. Michigan District Energy Facility Case Studies. Michigan State University. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.canr.msu.edu/uploads/234/69992/Pinecrest-2015.pdf> [viitattu 5.3.19].

Crepinsek, Z., Goricanec, D. & Krope, J. 2009. Comparison of the performances of absorption refrigeration cycles. Mariborin yliopisto, Slovenia. Tutkimusraportti. PDF-dokumentti. Saatavissa: www.wseas.us/e-library/transactions/heat/2009/29-511.pdf [viitattu 19.11.18].

Cunningham, N. 2014. Five Crazy New Forms Of Energy That Just Might Work. OilPrice.com. Saatavissa: <https://oilprice.com/Energy/Energy-General/Five-Crazy-New-Forms-Of-Energy-That-Just-Might-Work.html> [viitattu 25.9.18].

Eicker, U. 2012. Solar Thermal or Photovoltaic Cooling? University of Applied Sciences Stuttgart. Research center sustainable energy technologies. Raportti. PDF-dokumentti. Saatavissa: http://task48.iea-shc.org/Data/Sites/6/documents/events/intersolar2012/Eicker_ZAFHNET_Solar%20thermal%20or%20photovoltaic%20cooling.pdf [viitattu 10.2.19].

Encyclopædia Britannica. 2018a. Jean-Charles-Athanase Peltier. WWW-dokumentti. Päivitetty 23.10.2018. Saatavissa: <https://www.britannica.com/biography/Jean-Charles-Athanase-Peltier> [viitattu 23.11.18].

Encyclopædia Britannica. 2018b. Photoelectric effect. WWW-dokumentti. Päivitetty: 19.1.2018. Saatavissa: <https://www.britannica.com/science/photoelectric-effect> [viitattu 24.9.18].

Energia 2017 -taulukkopalvelu. 2018. 2.8. Uusiutuvat energialähteet. Tilastokeskus. Tilasto. Excel-taulukko. Saatavissa: https://pxhopea2.stat.fi/sahkoiset_julkaisut/energia2017/data/t02_08.xls [viitattu 21.11.18].

Energiavaikuttajaseminaari 23.11.2017. 2017. Näkemyksestä menestystä. Työ- ja elinkeinoministeriö. Seminaarimateriaali. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://tem.fi/documents/1410877/5717373/Uusiutuvan%20energian%20toimialaraportti/38ff4911-aabe-4a00-bd55-c5823cc1b189> [viitattu 19.3.19].

Energy in Finland 2017. 2017. Tilastokeskus. Tilasto. PDF-dokumentti. Saatavissa: https://pxhopea2.stat.fi/sahkoiset_julkaisut/energia2017/pdf/julkaisu.pdf [viitattu 21.11.18].

Frequently Asked Questions About Our Cooling And Heating Technology. 2010. Tellurex. Saatavissa: <https://docplayer.net/25007810-Frequently-asked-questions-about-our-cooling-and-heating-technology.html> [viitattu 23.11.18].

Geothermal Power and Electricity Production. s.a. Renewable energy world. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.renewableenergyworld.com/geothermal-energy/tech/geoelectricity.html> [viitattu 25.9.18].

Global Warming of 1.5 °C. 2018. IPCC. Raportti. PDF-dokumentti. Saatavissa: <http://www.ipcc.ch/report/sr15/> [viitattu 7.11.18].

Hanania J., Stenhouse, K., & Donev, J. 2017. Energy Education. Solar chimney. University of Calgary. WWW-dokumentti. Saatavissa: https://energyeducation.ca/encyclopedia/Solar_chimney#cite_note-Article5-4 [viitattu: 10.2.19].

Helsingin tukkutorin uusi pakastamo. 2011. Sörnäistenkatu 7-11 00580 Helsinki. Uudisrakennus ja perusrakennus. Hankesuunnitelman tekniset liitteet. Helsingin kaupunki. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://docplayer.fi/5424960-Helsingin-tukkutorin-uusi-pakastamo-sornaistenkatu-7-11-00580-helsinki.html> [viitattu 19.11.18].

Hiilitieto. 2019. Rikin ja typen oksidit. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.hiilitieto.fi/hiilitietoa/hiilen-haitat/rikin-ja-typen-oksidit/> [viitattu 22.5.19].

Hydropower Explained. 2018. Wave Power. Basics. U.S. Energy Information Administration. WWW-dokumentti. Päivitetty: 28.8.2018. Saatavissa: https://www.eia.gov/energyexplained/index.php?page=hydropower_wave [viitattu 25.9.18].

Jasuja, N., Sehgal, P., Gauri S., Kate T., Tarbuka, P. & Prakash C. 2019. Absorption vs. Adsorption. Diffen.com. WWW-dokumentti. Saatavissa: https://www.diffen.com/difference/Absorption_vs_Adsorption [viitattu 18.4.19].

Koistinen, A. 2018. Ihmiskunnan ratkaisevat vuodet. Jättiraportti. Ilmaston lämpeneminen voidaan rajata 1,5 asteeseen, jos päästöt nollataan ennätysnopeasti. Yle. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://yle.fi/uutiset/3-10444012> [viitattu 7.11.18].

Koljonen, T. & Sipilä, K. 1998. Uudemman absorptiojäähdytystekniikan soveltaminen kaukojäähdytyksessä. VTT. VTT Energia. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/1998/T1926.pdf> [viitattu 24.10.18].

Komp, R. 2016. How do solar panels work? TED-ED. Youtube-video. Saatavissa: <https://www.youtube.com/watch?v=xKxrkht7CpY> [viitattu 22.9.18].

Korhonen, T. 2011. Henkilöauton ilmastointilaitteen suunnittelu ja rakentaminen. Oulun seudun ammattikorkeakoulu. Talotekniikan koulutusohjelma. Opin näytetyö. PDF-dokumentti. Saatavissa: <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201105107154> [viitattu 1.10.18].

Kuningas, J. 2016. Kaukojäähdytyksen liiketoimintamallin esiselvitys. Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Opin näyte. PDF-dokumentti. Saatavissa: <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2016052710251> [viitattu 25.10.18].

Lead acid battery working. 2016. Lifetime study. Power-Thru. PDF-dokumentti. Saatavissa: <http://www.power-thru.com/documents/The%20Truth%20About%20Batteries%20-%20PO-WERTHRU%20White%20Paper.pdf>. [viitattu 5.2.19].

Letcher, T. 2014. Future Energy. Improved, Sustainable and Clean Options for Our Planet. Toinen painos. Lontoo: Elsevier Ltd. 357–382.

Logistiikkakeskuksen energiajärjestelmä sai kolmannen tunnustuksen. 2010. *S-kanava*. WWW-dokumentti. Saatavissa: https://www.s-kanava.fi/web/s-ryhma/uutinen/logistiikkakeskuksen-energiajarjestelma-sai-kolmannen-tunnustuksen/132961_66560 [viitattu 30.1.19].

Luhr, J. 2003. Earth. Lontoo: Dorling Kindersley Limited, 201–207.
Maehlum, M. 2012. The Real Lifespan of Solar Panels. Artikkele. WWW-dokumentti. Saatavissa: <http://energyinformative.org/lifespan-solar-panels/> [viitattu 30.1.19].

Main Report. 2015. Macro-Economic Study on Hydropower in Europe. KEMA Consulting GmbH. Raportti. PDF-dokumentti. Saatavissa: https://energia.fi/files/507/Main_Report_-_Macro-Economic_Study_on_Hydropower_in_Europe.pdf [viitattu 28.11.18].

Manninen, O. 2017. Sipoon logistiikkakeskuksen erityislaatuiset betonilattiatyöt. Mestarityö. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/123585/Sipoon%20logistiikkakeskuk-sen%20erityislaatuiset%20betonilattiatyot..pdf?sequence=1> [viitattu 18.2.19].

Marjala A. 2015. Vapaajähdytyksen tutkiminen nostokoneen sähkömoottorin jäähdytyksessä. Oulun ammattikorkeakoulu. Talotekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö. Saatavissa: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/100372/Marjala_Arto.pdf?sequence=1&isAllowed=y [viitattu 1.4.19].

Mäkeläinen, M. 2016. Kiinan jättipato on viimein täysin valmis. Maailman suurin laivahissi otettiin käyttöön. Yle. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://yle.fi/uutiset/3-9349079> [viitattu 5.3.19].

Näin tarkastat jääkaapin ja pakastimen todellisen lämpötilan. 2015. Lue näppärät vinkit. *Helsingin uutiset*. Päivitetty: 24.9.2015. Saatavissa: <https://www.helsinginuutiset.fi/artikkeli/321042-nain-tarkastat-jaakaapin-ja-pakastimen-todellisen-lampotilan-lue-napparat-vinkit> [viitattu 28.3.19].

Otsonikato. 2013. Ympäristöministeriö. WWW-dokumentti. Saatavissa: https://www.ymparisto.fi/FI/Ilmasto_ja_ilma/Otsonikerroksen_suojelu/Otsonikato [viitattu 28.2.19].

Perälä, R. 2017. Aurinkosähköä. Helsinki: Alfamer / Karisto Oy.
Photovoltaic geographical information system. 2019. Euroopan komissio. Päivitetty: 21.09.17. Saatavissa: http://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html [viitattu 11.4.19].

Pimiä T., Biktuganov R., Gerlitc I., Häkkinen, J-J., Kakko M., Martikainen, J., Matikkala, J., Mäkelä, M., Tuliniemi, E. & Töyrylä, N. 2014. Info package of wind energy. Kymenlaakson ammattikorkeakoulu. Julkaisu. 10.

Promote Island. 2014. Islanti. Esite. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://docplayer.fi/15966761-Islanti-lyhyesti-luonnonvarat-kalat-vesivoima-geoterminen-energia-luonnonmullistukset-vulkanismi-maanjaristykset-lumi-vyoryt-jaatikkotulvat.html> [Viitattu 30.1.2019].

Redlitz, H. 2016. Wind vs. Solar. Which Power Source Is Better? Artikkelii. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://greenfuture.io/solar/wind-vs-solar-energy> [viitattu 5.2.19].

Roaf, S. 2005. Air-conditioning avoidance. Lessons from the windcatchers of Iran. Department of Architecture, Oxford Brookes University, Oxford. PDF-dokumentti. Saatavissa: http://www.inive.org/members_area/medias/pdf/Inive%5Cpalenc%5C2005%5CRoaf.pdf [viitattu 9.2.19].

Rosenthal E. & Lehren A. 2012. Relief in Every Window, but Global Worry Too. *The New York Times*. Päivitetty: 6.7.2012. Saatavissa: <https://www.nytimes.com/2012/06/21/world/asia/global-demand-for-air-conditioning-forces-tough-environmental-choices.html?pagewanted=1&r=1&hp> [viitattu 10.4.19].

Roy M-C. & Stevens M. 2018. Guide to infection control in the hospital. Chapter 22. The operating room. PDF-dokumentti. Päivitetty: 02/2018. Saatavissa: https://www.isid.org/wp-content/uploads/2018/02/ISID_InfectionGuide_Chapter22.pdf [viitattu 23.3.19].

Rutledge, K., McDaniel, M., Boudreau, D., Ramroop, T., Teng, S., Sprout, E., Costa, H., Hall, H. & Hunt, J. 2011. Tidal energy. National Geographic Society. Artikkelii. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.nationalgeographic.org/encyclopedia/tidal-energy/> [viitattu 25.9.18].

Savolainen, M. s.a. STIRLING-moottori. Savonia. PDF-dokumentti. Saatavissa: http://www.oamk.fi/cdn/fileuploads/stirlingmarkku_savolainen.pdf [viitattu 16.4.19].

Selvitys IT-ympäristön sähkönsäästökeinoista. 2010. Konesalipalvelujen energiatehokkuuden periaatteet. Motiva Oy. PDF-dokumentti. Saatavissa: http://www.motiva.fi/files/4427/Konesalipalvelujen_energiatehokkuuden_periaatteet.pdf [viitattu 3.4.19].

SolarXon. 2012. ES-140P. Esite. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.aurinkopaneelikauppa.fi/WebRoot/vilkas04/Shops/20120903-11092-142553-1/MediaGallery/140W.pdf> [viitattu 29.1.2019].

S-ryhmän vuosi ja vastuullisuus 2017. 2018. S-ryhmä. Raportti. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.s-kanava.fi/documents/15244/89732351/S->

- The Economic Impact of Hockey in Canada. 2015. Scotia Bank. Raportti. PDF-dokumentti. Saatavissa: <http://www.scotiabank.com/ca/common/pdf/Ice-Hockey-in-Canada-Summary-and-Infographic.pdf> [viitattu 6.3.19].
- Thin-film Superlattice Thermoelectric Technology. s.a. RTI International. Esite. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.rti.org/sites/default/files/resources/anser.pdf> [viitattu 20.3.19].
- Tidal Power 101. 2015. Student Energy. Youtube-video. Saatavissa: <https://www.youtube.com/watch?v=VkTRcTyDSyk> [viitattu 6.3.19].
- Toivanen T. 2010. Vapaajäähdytyksen toiminnan tutkiminen. Mikkelin ammattikorkeakoulu. Talotekniikan linja. LVI-tekniikan suuntautumisvaihtoehto. Opin- näytetyö. Saatavissa: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/22878/Vapaaajaahdytyksen_tutkiminen.pdf?sequence=1 [viitattu 3.4.19].
- Uusiutuva energia. 2018. Motiva. WWW-dokumentti. Päivitetty: 25.7.2018. Saatavissa: https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia [viitattu 22.9.18].
- Valuuttalaskuri.org. 2019. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.valuuttalaskuri.org/usan-dollar-euro.html> [viitattu 6.3.19].
- Vanhankaupungin voimalamuseo. 2017. Helen Oy. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.helen.fi/yritys/energia/energiantuotanto/voimalaitokset/vanhankaupungin-voimalamuseo/> [viitattu 1.11.18].
- Wave power. How it works. 2008. Greenpeace UK. Youtube-video. Päivitetty: 11.2.2008. Saatavissa: <https://www.youtube.com/watch?v=F0mzrbfzUpM> [viitattu 23.3.19].
- Vesivoimalla eniten uusiutuvaa sähköntuotantoa. s.a. Energiateollisuus. WWW-dokumentti. Saatavissa: https://energia.fi/perustietoa_energia-alasta/energiantuotanto/sahkontuotanto/vesivoima [viitattu 28.11.18].
- Virtanen, S. 2013. S-ryhmän logistiikkakeskus Sipoossa suunnitellaan hiili-neutraaliksi. Artikkel. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.tekniikkatalous.fi/tekniikka/energia/2013-05-14/S-ryhm%C3%A4n-logistiikkakeskus-Sipoossa-suunnitellaan-hiilineutraaliksi-3313899.html> [viitattu 29.1.19].
- Vuositalastot. 2018. Vuoden keskilämpötila ja vuosisade 1981-2010. Ilmatieteen laitos. Tarkastettu 11.7.2018. Saatavissa: <https://ilmatieteenlaitos.fi/vuositalastot> [viitattu 15.11.18].

Zhu Y. 2016. TOP-SELLING ICE CREAM BRANDS OF 2016. *Forbes*. Kuva-galleria. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.forbes.com/sites/yehong-zhu/2016/06/21/the-worlds-top-selling-ice-cream-brands-2/#d6adf425a890> [viitattu 8.3.19].

KUVALUETTELO

Kuva 1. Kylmäaineen paine-entalpia muutos kompressorijääkaapissa. Setiyo M., Saifudin. Purnomo B., Waluyo B., & Ramadhan A. 2017. Temperature distribution of R-134a through aluminum and ptfе expansion valve on automotive air conditioning applications. PDF-dokumentti. Saatavissa: https://www.researchgate.net/publication/314102108_Temperature_distribution_of_R-134a_through_aluminum_and_PTFE_expansion_valve_on_automotive_air_conditioning_applications/download [viitattu 28.3.19].

Kuva 2. Kompressoripohjainen jääkaappi. Refrigeration. 2014. National Institute of Standards and Technology. Kaaviokuva. WWW-dokumentti. Saatavissa: http://res.publicdomainfiles.com/pdf_view/133/13970687413108.jpg [viitattu 30.1.19].

Kuva 3. Absorptiojäähdytyskoneen rakenne. CONTINUOUS-CYCLE ABSORPTION SYSTEM. s.a. Carnagie Mellon School of Computer Science. Kaaviokuva. WWW-dokumentti. Saatavissa: <http://www.cs.cmu.edu/~mnr/fridge.html> [viitattu 30.1.19].

Kuva 4. Peltier-elementin rakenne. Adcol Electronics (Guangzhou) Co., Ltd. 2019. Peltier Effect Cooling Peltier Thermoelectric Modules Best Cooling Solution. WWW-dokumentti. Saatavissa: <http://dutch.peltier-thermoelectriccooler.com/sale-9718418-peltier-effect-cooling-peltier-thermoelectric-modules-best-cooling-solution.html> [viitattu 5.2.19].

Kuva 5. Aurinkopaneelin toimintaperiaate. What Is A Solar Panel? s.a. MrSolar.com. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.mrsolar.com/what-is-a-solar-panel/> [viitattu 10.2.19].

Kuva 6. Tavallisin tuuliturbiinityyppi. Monconduit, V. 2018. Wind-turbine-wind-energy-3709110. JPG-kuva. Päivitetty: 20.8.18. Saatavissa: <https://pixabay.com/photos/wind-turbine-wind-energy-3709110/> [viitattu 23.3.19].

Kuva 7. Tuulisiepparin toimintaperiaate (Fellanamedlime. 2010. Malqaf. Wikipedia Commons. JPG-kuva. Saatavissa: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Malqaf.jpg> [viitattu 23.3.19].

Kuva 8. Pelamis P2 aaltoenergia laite. Pelamis P2 wave energy device. 2011. Pelamis Wave Power. Päivitetty: 29.07.11. Saatavissa: <https://www.flickr.com/photos/scottishgovernment/7020981211> [viitattu 23.3.19].

Kuva 9. Vuoroveden vaihteluväli senteissä, tummat alueet ovat vuorovesivoimalle suotuisampia. TOPEX/Poseidon. Revealing Hidden Tidal Energy. Tidal Patterns_hires.tif. 2019. NASA. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://svs.gsfc.nasa.gov/stories/topex/tides.html> [viitattu 6.3.19].

Kuva 10. Tavallisin aurinkolämmitysratkaisu. How Does Solar Energy Work? 2016. Science ABC. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.scienceabc.com/innovation/solar-energy-working-photovoltaic-pv-cells-silicon-inverter-thermal-collector-flat-plate.html> [viitattu 10.2.19].

Kuva 11. Keskittävä aurinkovoimala. Nevada Crescent Dunes. 2015. Bureau of land management. Saatavissa: <https://www.flickr.com/photos/mypubliclands/29720945372> [viitattu 2.4.19].

Kuva 12. Aurinkopiipun toimintaperiaate, lämpötilat $95^{\circ}\text{F}=35^{\circ}\text{C}$ ja $55^{\circ}\text{F}=13^{\circ}\text{C}$. Hanania J., Stenhouse, K., & Donev, J. 2017. Energy Education. Solar chimney [Online]. University of Calgary. WWW-dokumentti. Saatavissa: https://energyeducation.ca/encyclopedia/Solar_chimney#cite_note-Article5-4 [viitattu: 10.2.19].

Kuva 14. Yleisin peruste biomassan nollapäästöille. Biomassavoimala. Toimintaperiaate. 2017. Vattenfall. Päivitetty: 23.5.17. Saatavissa: https://corporate.vattenfall.fi/globalassets/corporate/about_energy/2c_biomass_cyclus.jpg [viitattu 4.4.19].

Kuva 15. Keskilämpötilat pääkaupungeissa Michiganissa ja Suomessa. Climate-zone.com. 2019. Climate. Saatavissa: <https://www.climate-zone.com/climate/united-states/michigan/lansing/> ja <https://www.climate-zone.com/climate/finland/celsius/helsinki.htm> [viitattu 26.3.19].