

Kaukojäähdytyksen liiketoimintamallin esiselvitys

Janne Kuningas

Opinnäytetyö
Huhtikuu 2016
Tekniikan ja liikenteen ala
Insinööri (AMK), energiatekniikan tutkinto-ohjelma

Tekijä(t) Kuningas, Janne	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä Huhtikuu 2016
	Sivumäärä 133	Julkaisun kieli Suomi
		Verkojulkaisulupa myönnetty: x
Työn nimi Kaukojäähdytyksen liiketoimintamallin esiselvitys		
Tutkinto-ohjelma Energiatekniikan koulutusohjelma		
Työn ohjaaja(t) Marjukka Nuutinen, Juhani Alakangas		
Toimeksiantaja(t) Lappeenrannan Energiaverkot Oy		
<p>Tiivistelmä</p> <p>Kaukojäähdytyksen liiketoimintamallin esiselvitystyöstä tuli ajankohtainen aihe Lappeenrannassa Etelä-Karjalan sosiaali- ja terveystieteiden eli Eksoten uuden sairaalarakennuksen (K-sairaala) rakennushankkeen käynnistyttyä. Lappeenrannan Energia Oy:ltä tiedusteltiin halua ryhtyä uuden sairaalarakennuksen kaukojäähdytysenergian toimittajaksi.</p> <p>Opinnäytetyön tavoitteena oli luoda kaukojäähdytyksen liiketoimintamallin esiselvitys Lappeenrannan Energiaverkot Oy:lle ja koota yhteen esimerkkikohteena toimineen K-sairaalahankkeen taustatiedot, laskelmat ja tulokset. Tavoitteena oli tutkia Lappeenrannan kaukojäähdytysmarkkinoiden potentiaalia ja kaukojäähdytyksen hinnoittelua, koota hintatietoja muilta yhtiöiltä sekä muodostaa hinnoittelumalli toimeksiantajalle. Tavoitteena oli myös liiketoiminnan kehittämisvaihtoehtojen tarkastelu Suomessa toimivien energiayhtiöiden kokemusten perusteella ja pohtia vaihtoehtojen etenemismallien soveltuvuutta Lappeenrantaan. Tavoitteena oli koota kaukojäähdytysalaan liittyvää teoriaa ja kokemuksia niin, että kaukojäähdytysalasta muodostuisi kattava kokonaiskuva toimeksiantajalle.</p> <p>Kaukojäähdytystä toimittavien energiayhtiöiden kokemuksia kerättiin puhelinhaastatteluiden ja sähköpostikyselyiden avulla. Lisää tietoa haettiin kirjallisuuden ja internetin lisäksi vierailulla Tampereen Sähkölaitokselle sekä jäähdytysalan teemapäiviltä Vantaalta. Hintatietoja kaukojäähdytykselle ja jäähdytyslaitoksille hankittiin muilta energiayhtiöiltä sekä jäähdytyslaitteiden toimittajilta.</p> <p>Lopputuloksena selvitettiin potentiaalisten kaukojäähdytyskohteiden tai -alueiden jäähdytystehon ja -energiantarve sekä todettiin suuren kokoluokan jäähdytystuotannon olevan kannattamatonta Lappeenrannassa. Tariffijärjestelmien todettiin olevan hyvin erilaisia toimintaympäristöstä riippuen. Toimeksiantajalle laadittiin vaihtoehtoinen hinnoittelumalli K-sairaalahankkeen yhteydessä luodulle hinnastolle. K-sairaalahankkeeseen liittyvät lähtötiedot, tarkasteluiden tulokset ja päätökset dokumentoitiin.</p>		
Avainsanat (asiasanat) kaukojäähdytys, kylmätekniikka		
Muut tiedot Laki viranomaisen toiminnan julkisuudesta (621/1999) 24 §:n mukaan salassa pidettäviä ovat asiakirjat, jotka koskevat esimerkiksi kunnan liike- tai ammattisalaisuuksia. Liikesalaisuuden julkittulo voi aiheuttaa yritykselle tappioita ja aiheuttaa kilpailijoille taloudellista hyötyä. Liikesalaisuus voi olla myös tekninen salaisuus. Tämän vuoksi opinnäytetyö on osittain salattu.		

Author(s) Kuningas, Janne	Type of publication Bachelor's thesis	Date April 2016 Language of publication: Finnish
	Number of pages 133	Permission for web publication: x
Title of publication Preliminary report on district cooling		
Degree programme Degree Programme in Energy Technology		
Supervisor(s) Nuutinen Marjukka, Alakangas Juhani		
Assigned by Lappeenrannan Energiaverkot Oy		
Abstract <p>The preliminary report for a district cooling business model became a current topic in Lappeenranta after South Karelia Socials and Health Care Districts (Eksote) new hospital project called K-hospital started. Lappeenranta's Energy Ltd. was inquired about becoming a cooling energy supplier for the new hospital building.</p> <p>The goal was to create a preliminary report on district cooling for Lappeenrannan Energiaverkot Oy and aggregate output data, calculations and final results of the K-hospital project. The target was to explore district cooling potential of Lappeenranta and research the pricing of district cooling, collect price information from other companies and construct a pricing model for the client. The aim was also to review different ways to develop the cooling business with the experience of other energy companies in Finland and to discuss how those different ways could be suitable in Lappeenranta. The goal was to collect theory of district cooling sectors, experiences of other companies and to form a wide overview about district cooling sectors for the client.</p> <p>Experiences of district cooling companies were collected by phone and email interviews. Information was sought from literature, internet, a visit in Tampere's energy company and a professional fair in Vantaa. Price data of district cooling and cooling plants were acquired from other energy companies and refrigeration equipment suppliers.</p> <p>As a result the requirement of cooling power and energy in potential district cooling targets or areas were reported and one of the conclusions was that cooling production in a large quantity isn't profitable in Lappeenranta. Tariff systems have big differences depending on operating environments. An alternative pricing model for the original pricing in K-hospital project was made for the client. The input data, results of the reviews and conclusions of the K-hospital project were documented.</p>		
Keywords/tags (subjects) district cooling, refrigeration technology		
Miscellaneous According to section 24 of the Act on the Openness of Government Activities (621/1999) any official documents containing business or professional secrets of a municipality are to be kept in secrecy. Publishing a business secret may cause losses to an entity or economic benefit to a competitor. In addition, a business secret may be a technical secret. For these reasons this thesis is partially confidential.		

Sisältö

1	Johdanto.....	9
1.1	Opinnäytetyön tausta.....	9
1.2	Opinnäytetyön tavoitteet.....	9
1.3	Työn toteuttaminen	10
1.4	Lappeenrannan Energia Oy	11
1.5	Lappeenrannan Energiaverkot Oy.....	12
2	Kylmätekniiikan perusteita	14
2.1	Kylmätekniiikan historiaa	14
2.2	Kylmätekninen kiertoprosessi	15
2.3	Kylmäaineet.....	18
3	Rakennusten jäähdyttäminen	20
3.1	Rakennusten jäähdytystarve	20
3.2	Rakennusten ilmastointijärjestelmät	22
3.2.1	Ilmajärjestelmät.....	24
3.2.2	Ilma-vesijärjestelmät	25
3.2.3	Vesijärjestelmät	28
3.2.4	Hajautetut järjestelmät	29
3.3	Kiinteistökohtainen jäähdytyksen tuotanto ja kaukojäähdytys.....	30
3.3.1	Vedenjäähdytyskoneet	30
3.3.2	Kaukojäähdytys.....	33
4	Kaukojäähdytysmarkkinat Suomessa.....	34
4.1	Nykytilanne kaukojäähdytysmarkkinoilla.....	34
4.2	Jäähdytysmarkkinoiden tulevaisuus.....	36
4.3	Jäähdytysmarkkinoiden toimintaympäristö.....	38
4.3.1	Kilpailuympäristö	39
4.3.2	Asiakkaat.....	39

	2
4.3.3	Rahoitus 40
4.3.4	Resurssit..... 40
5	Kaukojäähdytysenergian tuotanto..... 41
5.1	Vapaajäähdytysenergia 42
5.2	Kompressorijäähdytys 42
5.3	Lämpöpumppu 43
5.4	Absorptiojäähdytys..... 45
5.4.1	Absorptioprosessi 45
5.4.2	Lauhdutin..... 47
5.4.3	Höyrystin..... 47
5.4.4	Imeytin..... 47
5.4.5	Keitin..... 48
5.5	Adsorptiojäähdytys..... 48
6	Kaukojäähdytysenergian jakelu 49
6.1	Jakelulämpötilat ja mitoitus 49
6.2	Siirtojohdot..... 50
6.3	Jäähdytysenergian mittaaminen ja asiakaslaitteet 51
7	Lappeenrannan jäähdytysmarkkinat..... 54
7.1	Jäähdytystarpeen kartoittaminen 54
7.2	Kohdealueet 55
7.2.1	Keskusta..... 56
7.2.2	Skinnarila 59
7.2.3	Sammonlahti..... 60
7.2.4	Myllymäki..... 61
7.2.5	Reijola 62
7.2.6	Viipurin Vanerin kerrostaloalue..... 64
7.2.7	Joutseno..... 65

7.3	Kaupungin tulevia rakennushankkeita	66
7.4	Tuloksien yhteenveto	66
8	Kaukojäähdytysliiketoiminnan kehittäminen	68
8.1	Liiketoiminnan kehittyminen Suomessa	68
8.1.1	Helen.....	68
8.1.2	Turku Energia.....	69
8.1.3	Tampereen Sähkölaitos	69
8.1.4	Lahti Energia	70
8.1.5	Lempäälän Lämpö.....	70
8.2	Lappeenrannan Energian etenemisvaihtoehtoja.....	70
8.2.1	Keskitetty jäähdytyksen tuotanto	71
8.2.2	Alueittain keskitetty eli hajautettu kaukojäähdytysjärjestelmä	73
8.2.3	Kaukojäähdytysverkoston rakentaminen.....	73
9	Kaukojäähdytystariffin arviointi.....	76
9.1	Investoinnin kannattavuuden mittareita	76
9.2	Kaukojäähdytystariffeja Suomessa	76
9.2.1	Yhtiön 1 hinnoittelumalli	77
9.2.2	Yhtiön 2 hinnoittelumalli	77
9.2.3	Yhtiöiden 3 ja 4 hinnoittelumallit	77
9.3	Tariffijärjestelmien vertailu	78
9.3.1	Energiamaksun ja keskihinnan vertailu	78
9.3.2	Tariffijärjestelmien kannattavuus erilliskohteessa.....	80
9.3.3	Tariffijärjestelmien kannattavuus kerrostaloalueella	82
9.4	Kaukojäähdytyshinnaston muodostuminen Lappeenrannassa	84
9.4.1	K-sairaalalle luotu hinnasto	84
9.4.2	Vaihtoehtoinen hinnoittelumalli	84
9.5	Tarkastelun tulokset.....	87

10	K-sairaalan jäähdytysprojektin dokumentointi.....	87
10.1	Kohteen esittely.....	88
10.2	Lähtötiedot.....	89
10.3	Kolmannen osapuolen lämpöpumppuratkaisu.....	89
10.4	Laitosratkaisun valinta.....	90
10.5	Mitoitus.....	92
10.6	Kustannukset.....	92
10.7	Kannattavuuslaskelmat.....	94
10.8	Eksoten hallituksen päätös.....	95
11	Pohdinta.....	95
11.1	Tuloksien arviointi.....	95
11.1.1	Kaukojäähdytysmarkkinoiden arviointi.....	95
11.1.2	Liiketoiminnan kehittäminen.....	97
11.1.3	Kaukojäähdytystariffien tarkastelu.....	99
11.2	Jatkotutkimustarpeet.....	100
11.3	Lopuksi.....	101
	Lähteet.....	103
	Liitteet.....	109

Kuviot

Kuvio 1. Lappeenrannan Energiaverkot Oy:n verkostokartta (Lappeenrannan Energia Oy -esitys 2016, 10)	13
Kuvio 2. John Hagen piirros Jacob Perkinsin patentoimasta kylmäkoneistosta (Baker Perkins Historical Society n.d.)	14
Kuvio 3. Kylmäteknisen kierto-prosessin periaate (Hirvelä ym. 2011, 17)	15
Kuvio 4. Kylmäaineen olomuodot log p,h -tilapiirroksessa (Hirvelä ym. 2011, 19)	17
Kuvio 5. Kylmäaineen R143a häviötön kierto-prosessi log p,h -tilapiirroksessa (Hirvelä ym. 2011, 26).....	18
Kuvio 6. Aurinkosuojajärjestelmä (Sipilä 2016).....	21
Kuvio 7. Ilmastointijärjestelmät (Sisäilmasto ja ilmastointijärjestelmät 2014, 129) ...	23
Kuvio 8. Jäähdytysjärjestelmän periaatekuvio (Jäähdytysjärjestelmien energialaskentaopas 2011, 5)	24
Kuvio 9. Muuttuvilmavirtajärjestelmä eli VAV-järjestelmä (Sisäilmasto ja ilmastointijärjestelmät 2014, 133)	25
Kuvio 10. Puhallinkonvektorijärjestelmä (Sisäilmasto ja ilmastointijärjestelmät 2014, 138).....	26
Kuvio 11. Jäähdytyspalkkijärjestelmä aktiivipalkeilla toteutettuna (Sisäilmasto ja ilmastointijärjestelmät 2014, 143)	27
Kuvio 12. Vesijärjestelmä puhallinkonvektoreilla toteutettuna (Sisäilmasto ja ilmastointijärjestelmät 2014, 149)	29
Kuvio 13. Alfa Lavalin ilmalauhdutin (AlfaBlue BD n.d.)	30
Kuvio 14. Hermeettinen mäntäkompressori (Kylmäinfo 2009, 4)	31
Kuvio 15. Scroll-kompressori (Scroll-kompressori n.d.)	32
Kuvio 16. Puolihermeettinen ruuvikompressori (Compact Screw Compressors n.d., 2)	32
Kuvio 17. Kaukojäähdytyksen toimintaperiaate	33
Kuvio 18. Jäähdytysenergian myynti 2001–2015 (Kaukojäähdytys graafeina 2016, 1)	35
Kuvio 19. Rakennuskanta kerrosalan mukaan vuonna 2015 (Airaksinen ym. 2015, 20)	35

Kuvio 20. Jäähdytysenergian tarve toimintaympäristön kehityksen mukaan (Airaksinen ym. 2015, 31).....	37
Kuvio 21. Jäähdytysliiketoiminnan toimintaympäristö (Airaksinen ym. 2015, 39).....	38
Kuvio 22. Jäähdytysenergiantuotanto eri jäähdytystekniikoilla vuodesta 2010 (Kaukojäähdytys graafeina 2016, 2).....	41
Kuvio 23. Vapaajäähdytyksen toimintaperiaate talvella Helsingissä (Koskelainen ym. 2006, 557).....	42
Kuvio 24. Kompressorikylmäkoneen toimintaperiaate (Koskelainen ym. 2006, 532).	43
Kuvio 25. Lämpöpumpun toimintaperiaate (alkup. kuvio AdvanTEC n.d.).....	44
Kuvio 26. Absorptioprosessi (alkup. kuvio Koskelainen ym. 2006, 534).....	46
Kuvio 27. Kaukojäähdytysverkon rakennustyömaa Helsingissä (Aaltonen 2015)	50
Kuvio 28. Kaukojäähdytyslaitteiden ohjeellinen tilantarve (Rakennusten kaukojäähdytys 2014, liite 1)	51
Kuvio 29. Kaukojäähdytysasiakkaan epäsuorakytkentä	52
Kuvio 30. Jäähdytystarkastelussa mukana olleet alueet (Pohjakartta n.d., muokattu)	56
Kuvio 31. Lappeenrannan keskusta (Pohjakartta n.d., muokattu)	57
Kuvio 32. Skinnarilan tarkastelualue (Pohjakartta n.d., muokattu).....	59
Kuvio 33. Sammonlahden keskus (Pohjakartta n.d., muokattu).....	60
Kuvio 34. Myllymäen kaupunginosa (Pohjakartta n.d., muokattu)	62
Kuvio 35. Reijolan tarkastelualue (Pohjakartta n.d., muokattu).....	63
Kuvio 36. Ajantasa-asemakaava Viipurin Vanerin alueesta (Lappeenrannan karttapalvelu n.d.)	64
Kuvio 37. Joutsenon tarkastelualue (Pohjakartta n.d., muokattu)	65
Kuvio 38. Saimaan pintaveden lämpötila vuosina 2006–2016 (Saimaan lämpötila 2016).....	72
Kuvio 39. Vuonna 2012 rakennetun toimistorakennuksen jäähdytysenergiankulutus (Airaksinen ym. 2015, 10).....	79
Kuvio 40. Energiamaksujen ja keskihintojen vertailu (ei julkisia tietoja).....	80
Kuvio 41. K-sairaalan ja lämpölaitoksen sijainti (Pohjakartta n.d., muokattu).....	88

Taulukot

Taulukko 1. Lappeenrannan energiakonsernin ja emoyhtiö Lappeenrannan Energia Oy:n avainlukuja (Vuosikertomus 2014, 8)	11
Taulukko 2. Energiaverkot Oy:n avainlukuja (Vuosikertomus 2014, 14)	12
Taulukko 3. Lappeenrannan Energiaverkot Oy:n verkosto lukuina (Lappeenrannan Energia Oy -esitys, 11)	13
Taulukko 4. Kylmäaineiden käyttörajoituksia (Kylmäainetilanne 2008, 4).....	19
Taulukko 5. Huonelämpötilojen tarkastelussa käytettävät käyttötarkoitukseluokan mukaiset jäähdytysrajat (RakMK 2012)	22
Taulukko 6. Jäähdytystarpeen arviointitaulukko ennen vuotta 2010 rakennetuille rakennuksille	55
Taulukko 7. Jäähdytystarpeen arviointitaulukko vuoden 2015 jälkeen rakennetuille rakennuksille	55
Taulukko 8. Keskustan jäähdytystarve	58
Taulukko 9. Skinnarilan jäähdytystarve	60
Taulukko 10. Sammonlahden jäähdytystarve	61
Taulukko 11. Myllymäen jäähdytystarve	62
Taulukko 12. Reijolan jäähdytystarve	63
Taulukko 13. Joutsenon jäähdytystarve.....	66
Taulukko 14. Jäähdytystarpeen tarkastelun yhteenveto.....	67
Taulukko 15. Lappeenrannan rakennuskanta vuonna (Rakennukset Lappeenrannassa 2014).....	74
Taulukko 16. Esimerkkirakennuksien kaukojäähdytyskustannukset (ei julkisia tietoja)	75
Taulukko 17. Kannattavuustarkastelun tulokset 1 000 metrin jäähdytysjohdolle (ei julkisia tietoja)	75
Taulukko 18. Yhteenveto hinnoittelusta ja kustannukset 1,0 MW:n asiakkaalle (ei julkisia tietoja)	77
Taulukko 19. Kannattavuusvertailun esimerkkikohteen lähtötiedot	80
Taulukko 20. Energiayhtiöiden tariffijärjestelmien kannattavuus esimerkkikohteessa	81
Taulukko 21. Tariffijärjestelmien kannattavuus ilman varabudjettia	81

Taulukko 22. Tariffijärjestelmien kannattavuus kerrostaloalueella (järvivesiputkistolla varustettu jäähdytyskontti) (ei julkisia tietoja)	83
Taulukko 23. Tariffijärjestelmien kannattavuus kerrostaloalueella (nestejäähdyttimillä varustettu jäähdytyskontti) (ei julkisia tietoja)	83
Taulukko 24. Vaihtoehtoinen liittymähinnoittelu Lappeenrannalle (ei julkisia tietoja)	85
Taulukko 25. Vaihtoehtoinen perusmaksun hinnasto Lappeenrannalle (ei julkisia tietoja)	85
Taulukko 26. Tariffijärjestelmien vertailutaulukko (ei julkisia tietoja)	86
Taulukko 27. Jäähdytyslaitoksen kustannusarviot.....	93
Taulukko 28. Lappeenrannan Energian jäähdytysenergian hinnoittelu K-sairaalalle (ei julkisia tietoja)	95

1 Johdanto

1.1 Opinnäytetyön tausta

Kaukojäähdytysala on kasvanut Suomessa viime vuosien aikana. Yhä useampi energiayhtiö on lisännyt tuotevalikoimaansa kaukojäähdytyksen, kun sisäilman laadulle asetettu vaatimustaso ja energiatehokkuuteen pyrkivä rakentaminen ovat lisänneet jäähdytystarvetta. Lappeenrannan Energiaverkot Oy halusi selvittää Lappeenrannan markkinapotentiaalin ja vaihtoehtoisia tapoja aloittaa jäähdytystoimintaa.

Kaukojäähdytystoiminnan esiselvityksestä tuli Lappeenrannassa ajankohtaista, kun Etelä-Karjalan sosiaali- ja terveystoimintayhtiö eli Eksoten uuden K-sairaalahankkeen yhteydessä tiedusteltiin energiayhtiön kantaa jäähdytyksen toteuttamisesta uuteen sairaalarakennukseen. Keskussairaalan alueelle rakennetaan uusi seitsemänkerroksinen sairaalarakennus, jonka kustannukset nousevat noin 50 miljoonaan euroon (Kotiharju 2015). Saimaan hyödyntämistä lämmityksen ja jäähdytyksen tuotannossa oli keskusteltu Eksoten ja lämpöpumppuratkaisua tarjonneen kolmannen osapuolen välillä jo ennen yhteydenottoa Lappeenrannan Energiaan. (Kylliäinen 2015.)

Lappeenrannan Energia Oy selvitti jäähdytysenergian tuotannon ja jakelun kannattavuutta uudelle sairaalarakennukselle. Kolmas osapuoli tarjosi energiayhtiölle sopimusta operaattorina toimimisesta, mikä olisi tarkoittanut jäähdytysenergian ostamista kyseiseltä toimijalta ja sen toimittamista Eksoten sairaalarakennukselle. Tarjouksen katsottiin olevan kannattamaton Lappeenrannan Energialle. Eksotelle esitettiin myös energiayhtiön oma tarjous jäähdytysenergian tuottamisesta omalla tuotantolaitoksella. Saimaan hyödyntäminen energiantuotannossa olisi yksi Eksoten vihreitä arvoja tukeva tavoite. Asiakkaiden yleinen kiinnostus kaukojäähdytystä kohtaan on ollut aikaisemmin hyvin vähäistä Lappeenrannassa. (Kylliäinen 2015.)

1.2 Opinnäytetyön tavoitteet

Opinnäytetyön tehtävänä oli laatia kaukojäähdytyksen liiketoimintasuunnitelman esiselvitys Lappeenrannan Energiaverkot Oy:lle ja koota yhteen esimerkkikohteena toimineen uuden sairaalarakennuksen taustatiedot, laskelmat ja tulokset. Tavoitte-

na oli tutkia Lappeenrannan kaukojäähdytysmarkkinoiden potentiaalia ja tarkastella toiminnan kannattavuutta alueella. Todellisen jäähdytystarpeen selvittämiseen tarvittaisiin tarkempia tietoja kiinteistöjen rakennustekniikasta ja ympäristöstä, joten tarkastelussa käytettiin hyväksi simuloinnin tuloksena saatuja ominaisarvoja erilaisille rakennustyypeille. Rakennusten teknisten tietojen hankkiminen ja ympäristön vaikutuksen analysointi olisivat laajentaneet opinnäytetyötä liikaa.

Tavoitteena oli tarkastella liiketoiminnan kehittämismahdollisuuksia suomalaisten energiayhtiöiden kokemusten perusteella ja pohtia erilaisten etenemismahdollisuuksien soveltuvuutta Lappeenrannan toimintaympäristöön. Etenemismahdollisuuksia kaukojäähdytyksen tuotannon suhteen ei tarkasteltu laskennallisesti, vaan johtopäätökset tehtiin energiayhtiöiden kokemusten pohjalta vertaillen Lappeenrannan toimintaympäristöä muiden yhtiöiden toimintaympäristöihin. Tuotantotekniikoita ja niiden kustannuksia ei vertailtu laskennallisesti. Lämpöpumppu- ja kompressorijäähdytystekniikkaa vertaillaan esimerkkikohteen yhteydessä luvussa 10.4.

Tavoitteena oli lisäksi tutkia kaukojäähdytyksen hinnoittelua, koota hintatietoja sekä muodostaa hinnoittelumalli toimeksiantajalle. Opinnäytetyön teoriaosuuden tavoitteena oli tiivistää kaukojäähdytysalaan liittyvää teoriaa ja kokemuksia niin, että kaukojäähdytysalasta muodostui kattava kokonaiskuva.

1.3 Työn toteuttaminen

Opinnäytetyön sisältö muodostettiin yhteistyössä toimeksiantajan ja ohjaavan opettajan kanssa. Opinnäytetyön tiedonhankinnassa käytettiin monipuolisesti erilaisia lähteitä. Ammattikirjallisuuden ja internetistä haetun tiedon lisäksi tietoa kerättiin toimeksiantajan henkilökunnalta. Jäähdytysalaan liittyvää tietoa hankittiin myös muilta energiayhtiöiltä, energiaviranomaisilta ja jäähdytyslaitetoimittajilta vapaaehtoisten puhelin- ja sähköpostihaastatteluiden avulla.

Energiayhtiöiden johto- ja myyntiosastojen henkilökunnalle suunnatut puhelinhaastattelut aloitettiin kesän 2015 lopussa. Energiayhtiöiltä selvitettiin kaukojäähdytysalan kokemuksia sekä pyydettiin suuntaa antavia tietoja kaukojäähdytys hinnoista. Syksyn 2015 aikana Lappeenrannan Energiaverkot järjesti vierailun Tampereen Sähkölaitokselle. Vierailun aikana tutustuttiin Tampereelle rakennettavaan kauko-

jäähdytyslaitokseen sekä pienempiin tuotantoyksiköihin. Tampereen Sähkölaitoksen henkilökunta piti esityksen kaupungin kaukojäähdytyksestä ja heille esitettiin kysymyksiä alaan liittyen. Helmikuussa 2016 osallistuttiin Jäähdytyksen teemapäivään Vantaalla. Päivän aikana kuunneltiin esityksiä, jotka liittyivät kaukojäähdytysalan nykytilanteeseen ja yhtiöiden kokemuksiin viime vuosilta. Kaukojäähdytyslaitteiden toimittajilta selvitettiin olemassa olevia laitosratkaisuja sekä niiden hinnoittelua joulukuusta 2015 alkaen.

1.4 Lappeenrannan Energia Oy

Lappeenrannan Energia Oy on kaupungin kokonaan omistama konserniyhtiö. Yhtiön pääasiallinen toiminta on kaukolämmön, maakaasun, sähkön ja veden jakelu sekä myynti. Lappeenrannan Energia Oy on emoyhtiö, jolla on kolme tytäryhtiötä – Lappeenrannan Energiaverkot Oy, Lappeenrannan Lämpövoima Oy ja Lappeenrannan Verkonrakennus Oy. Lisäksi yhtiö on osakkaana Kaukaan Voima Oy:ssä ja Suomen Hyötytuuli Oy:ssä. Konsernin ja emoyhtiön tunnusluvut vuosilta 2012–2014 on esitetty taulukossa 1. (Lappeenrannan Energian esittely n.d.)

Taulukko 1. Lappeenrannan energiakonsernin ja emoyhtiö Lappeenrannan Energia Oy:n avainlukuja (Vuosikertomus 2014, 8)

AVAINLUKUJA (MILJ. €)	Konserni			Emoyhtiö		
	2012	2013	2014	2012	2013	2014
Liikevaihto	120,9	121,4	129,0	77	75,2	78,8
Liikevoitto	11,6	12,4	21,6	5,0	5,5	11,6
Tilikauden voitto/tappio	0,9	1,1	9,1	1,8	4,3	8,2
Investoinnit	30,8	26,7	14,4	0,9	1,2	0,3
Taseen loppusumma	278	300	287	203	220	212
Omavaraisuusaste (%)	7,1	7,1	8,4	11,8	11,7	14,1
Vak. henkilöstö 31.12. (lkm)	216	220	205	46	46	43

Tytäryhtiöistä Energiaverkot Oy vastaa energian ja veden siirtämisestä asiakkaille sekä hallinnoi energia- ja vesiverkkoja (Energiaverkot n.d.). Lämpövoima Oy:n vastualueeseen kuuluvat toiminta-alueen lämpö- ja höyrylaitosten, vedenottamoiden sekä jätevedenpuhdistamoiden käyttö ja kunnossapito (Lämpövoima n.d). Verkonra-

kennus Oy palvelee konsernin muita yhtiöitä sekä ulkopuolisia tilaajia sähkö-, vesi-, hulevesi- ja jätevesiverkkojen sekä katuvalaistuksen ja liikennevalojen rakentamisen ja kunnossapidon palveluilla (Verkonrakennus n.d.).

Energiayhtiön historia alkoi vuodesta 1901, kun Lappeenrantaan perustettiin sähkövalolaitos. Ensimmäinen höyrykäyttöinen voimalaitos valmistui vuoden 1902 tammi-kuussa. Kaukolämpötoiminta alkoi vuonna 1966, ja samalla Lappeenrannasta tuli Suomen ensimmäisiä kaukolämmön käyttöönotaneita kaupunkeja. Lappeenrannassa on toimitettu kaukolämpöä jo vuodesta 1966, joten vuosi 2016 on kaukolämmön 50-vuotisjuhlavuosi. Maakaasun toimittaminen teollisuusyrityksille alkoi vuonna 1983, ja jakelu pientaloille aloitettiin 1986. Vuoden 2003 alussa Energialaitos yhtiöitettiin kaupungin omistamaksi osakeyhtiöksi. (Historia n.d.)

1.5 Lappeenrannan Energiaverkot Oy

Lappeenrannan Energiaverkot Oy vastaa energian ja veden siirtämisestä asiakkaille sekä hallinnoi, ylläpitää ja kehittää energia- ja vesiverkkoja. Energiaverkot Oy perustettiin vuonna 2006, ja yhtiön omistukseen siirrettiin sähkön, lämmön ja maakaasun jakeluverkostot. Vesihuollon puhtaan veden, jäte- ja huleveden verkostot sekä niihin liittyvät laitteistot siirtyivät yhtiön hallinnoitavaksi Lappeenrannan Energian ja Veden fuusiossa vuonna 2011. Lappeenrannan Energiaverkot Oy:n avainluvut on esitetty taulukossa 2. (Energiaverkot n.d.)

Taulukko 2. Energiaverkot Oy:n avainlukuja (Vuosikertomus 2014, 14)

AVAINLUKUJA (MILJ. €)	2012	2013	2014
Liikevaihto	47,8	47,9	52,0
Liikevoitto	7,4	6,8	10,1
Tilikauden voitto/tappio	-0,02	-0,003	-2,5
Investoinnit	19,7	23,2	14,4
Taseen loppusumma	196	215	211
Omavaraisuusaste (%)	12,5	10,8	12
Vak. henkilöstö 31.12. (lkm)	40	40	41

Yhtiö toimii pääasiassa Lappeenrannan kaupungin alueella, mutta sähkönjakelualueeseen kuuluvat myös Lemi, Taipalsaari ja Savitaipale sekä itärajan takana oleva Saimaan kanavan vuokra-alueen sähköverkko (ks. kuvio 1) (Energiaverkot N.d.). Energia- ja vesiverkostojen pituudet ja asiakkasmäärät on koottu taulukkoon 3.



Kuvio 1. Lappeenrannan Energiaverkot Oy:n verkostokartta (Lappeenrannan Energia Oy -esitys 2016, 10)

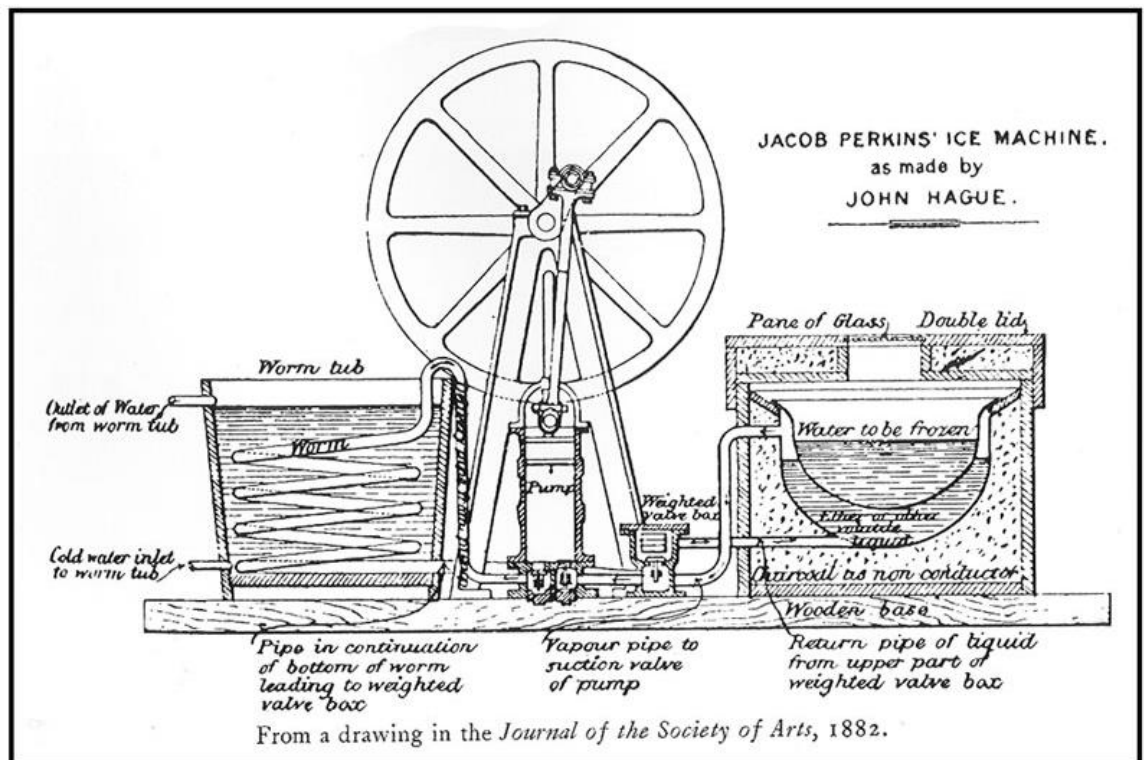
Taulukko 3. Lappeenrannan Energiaverkot Oy:n verkosto lukuina (Lappeenrannan Energia Oy -esitys, 11)

	Pituus (km)	Asiakkaiden määrä (kpl)
Sähköverkko	6100	55400
Kaukolämpöverkko	410	5100
Maakaasuverkko	110	560
Vesihuoltoverkko	1250	13000

2 Kylmätekniiikan perusteita

2.1 Kylmätekniiikan historiaa

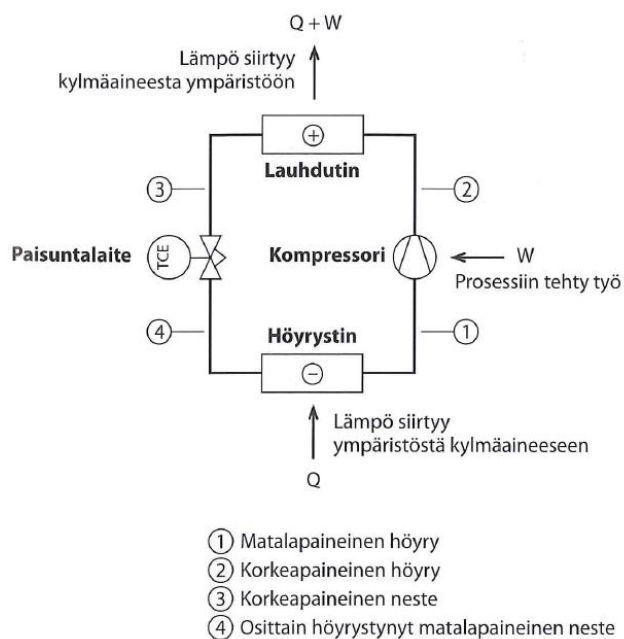
Luonnollista jäähdystystä on hyödynnetty jo useita satoja vuosia. Talviaikaan järvistä hankittua jäätä säilöttiin esimerkiksi sahanpurukasoihin ja jääkellareihin, jotta kesällä niitä oli mahdollista hyödyntää elintarvikkeiden jäähdyttämiseen. Varastojään avulla on ollut mahdollista säilöä maitotuotteita maataloilla kesäkuukausien aikana. Skotlantilainen William Cullen demonstroi vuonna 1748 ensimmäisen kerran keinotekoisia jäähdystystä. Amerikkalainen Jacob Perkins patentoi vuonna 1834 ensimmäisenä kylmäkoneiston, jonka kierto-prosessissa käytettiin hyväksi höyrystymistä ja lauhtumista (kuvio 2). Perkinsin kehittämän prosessin kylmäaineena oli eetteri. (Hakala 2007.)



Kuvio 2. John Haguén piirros Jacob Perkinsin patentoimasta kylmäkoneistosta (Baker Perkins Historical Society n.d.)

2.2 Kylmätekninen kiertoprosessi

Kylmätekninen kiertoprosessi perustuu lämmön siirtämiseen matalammasta lämpötilasta korkeampaan prosessiin tehdyn työn avulla. Työaineena toimii kylmäaine, jonka höyrystäminen ja lauhduttaminen eri painetasoilla ovat koko kiertoprosessin perusta. Kuviossa 3 on esitetty kylmäteknisen kiertoprosessin periaate ja kylmäaineen olo-
muoto eri osissa prosessia. (Hirvelä, Jokela, Kaappola & Kianta 2011, 17.)



Kuvio 3. Kylmäteknisen kiertoprosessin periaate (Hirvelä ym. 2011, 17)

Kiertoprosessin peruskomponentit ovat höyrystin, kompressori, lauhdutin ja paisuntalaite. Matalapaineinen ja -lämpötilainen kylmäaine sitoo höyrystimessä lämpöä ympäristöstään ja höyrystyy. Höyrystynyt kylmäaine imetään kompressoriin, joka puristaa kylmäaineen korkeampaan paineeseen. Höyry tulistuu kompressorin puristuksen aikana ja höyryn lämpötila nousee merkittävästi. Kompressorin jälkeen korkeassa paineessa ja lämpötilassa oleva tulistunut höyry johdetaan lauhduttimeen, jossa se tiivistyy nesteeksi luovuttaen samalla lämpöä ympäristöön. Lauhduttimen jälkeen kylmäaine johdetaan paisuntalaitteelle, jossa nestemäisen kylmäaineen paine ja lämpötila laskevat. Osa kylmäaineesta höyrystyy jo ennen höyrystintä. Kiertoprosessi alkaa tämän jälkeen alusta. (Hirvelä ym. 2011, 17–18.)

Kylmäprosessin hyötysuhteesta käytetään nimitystä kylmäkerroin ε tai COP_{cool} . Kylmäkertoimesta käytetään myös lyhennettä EER (Energy Efficiency Ratio), mikä tarkoittaa hetkellistä kylmäkerrointa. Kylmäkerroin lasketaan jakamalla höyrystimen sitoma lämpö eli tuotettu jäähdystysteho Q_c kompressorin tekemällä työllä W :

$$\varepsilon = \frac{Q_c (kW)}{W (kW)}$$

Lämpökerroin φ tai COP_{heat} on lämpöpumpun hyötysuhteesta käytetty nimitys. Lämpökerroin lasketaan jakamalla tuotettu lämpöteho Q_h kulutetulla sähköteholla W :

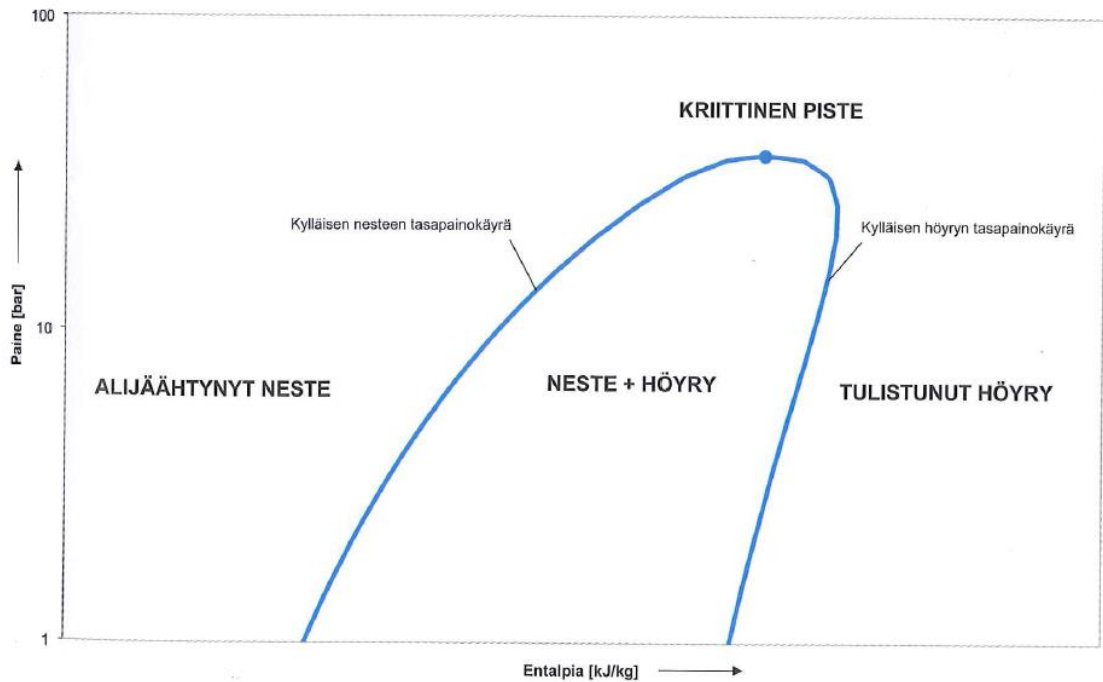
$$\varphi = \frac{Q_h (kW)}{W (kW)}$$

Kylmä- ja lämpökerrointa yhdistää kaava:

$$\varphi = \varepsilon + 1$$

(Hakala & Kaappola 2013, 10.)

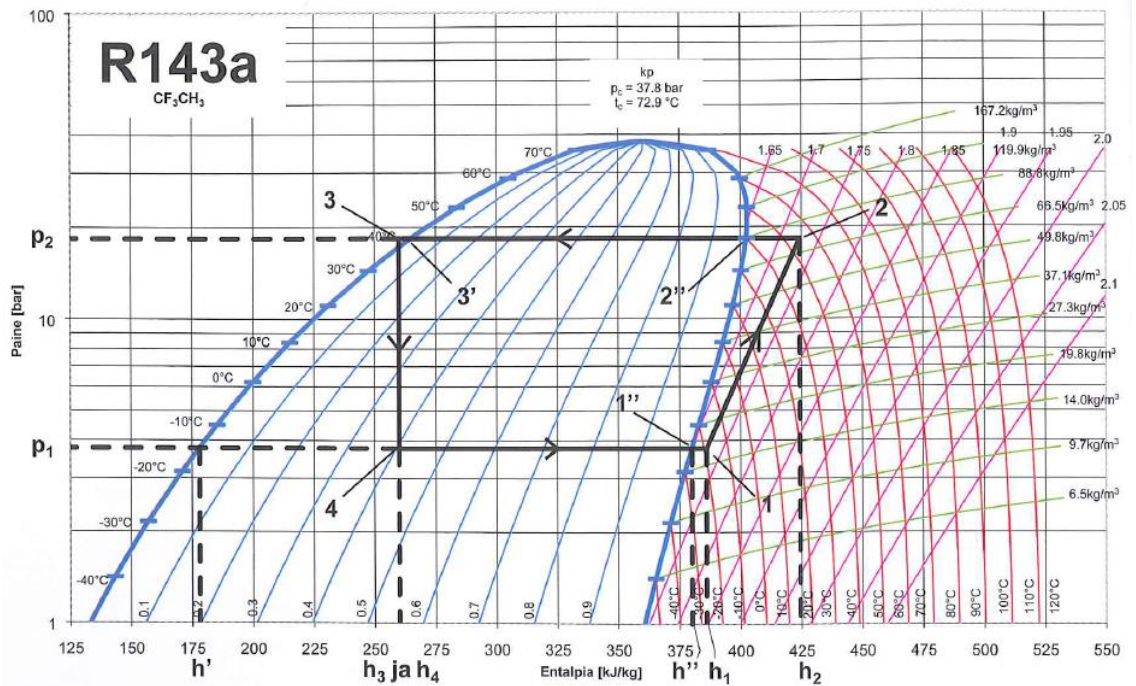
Kylmätekninen kiertoprosessi esitetään jokaiselle kylmäaineelle ominaisella paineentalpia -tilapiirroksella (ks. kuvio 4). Piirroksen x-akselilla on esitetty entalpian (h) arvo ja y-akselilla absoluuttisen paineen (p) arvo. Rajakäyrä jakaa kylmäaineen eri olomuotoihin. Käyrän huipulla oleva kriittinen piste jakaa rajakäyrän kylläisen nesteen ja kylläisen höyryn tasapainokäyriin. Kylläisen nesteen tasapainokäyrän vasemmalla puolella kylmäaine on alijäähtynyttä nestettä. Kylläisen höyryn tasapainokäyrän oikealla puolella kylmäaine on tulistunutta höyryä. Näiden käyrien väliin jääneellä osalla kylmäaine esiintyy seoksena, jossa on sekä nestettä että höyryä. Kriittisen pisteen yläpuolella kylmäaine on kaasumaista ainetta, jota ei enää saada nesteytettyä lämpöä poistamalla. Kriittisen pisteen alapuolella tapahtuvaa kiertoprosessia kutsutaan alikriittiseksi prosessiksi. (Hirvelä ym. 2011, 19.)



Kuvio 4. Kylmäaineen olomuodot log p,h -tilapiirroksessa (Hirvelä ym. 2011, 19)

Kuviossa 5 on esitetty kylmäaineen R143a häviötön kiertoprosessi höyrystymislämpötilan ollessa -15 °C ja lauhtumislämpötilan $+40\text{ °C}$. Höyrystymis- ja lauhtumispaaineet (p_1 ja p_2) ovat absoluuttisina paineina 3,8 bar ja 18,3 bar. Log p,h -tilapiirroksessa esitetyn kylmätekniikan prosessin vaiheet ovat höyrystyminen (vaihe 4-1), puristus (1-2), lauhtuminen (2-3) ja paisunta (3-4). (Hirvelä ym. 2011, 26.)

Log p,h -tilapiirros sisältää useita tasapainokäyriä, joita tarvitaan kylmätekniikan kiertoprosessin esittämiseen. Vakiopainekäyrät ovat tilapiirroksessa vaakasuoria ja vakioentalpiakäyrät ovat pystysuoria. Vakioitiheys- ja vakioentropiakäyrät esitetään yleensä vain tulistuneen höyryn alueella. Neste+höyry -alueella esitettyjen vakiohöyrpitoisuuskäyrien avulla voidaan esittää höyryfaasin osuus kylmäaineen massasta. (Hirvelä ym. 2011, 23.)



Kuvio 5. Kylmäaineen R143a häviötön kiertoprosessi log p,h -tilapiirroksessa (Hirvelä ym. 2011, 26)

2.3 Kylmäaineet

Kylmäaineet ovat nesteytettyjä kaasuja, joita käytetään väliaineena lämmönsiirtämiin kylmäkoneistoissa. Kylmäaineiden käyttö perustuu niiden kykyyn muuttaa olo- muotoa nestemäisestä kaasumaiseksi lämpöenergiaa vastaanottaessa. Kylmäaineet jaotellaan halogeenimolekyylin mukaan CFC-, HCFC-, HFC- ja PFC-kylmäaineisiin sekä halogeenittomiin kylmäaineisiin. Lisäksi kylmäaineita voidaan jaotella höyrystymis- ja lauhtumiskäyttötymisen mukaan. (Hirvelä ym. 2011, 33–35.)

Kylmäaineet ovat pääsääntöisesti hiilivetyjä, joiden vetyatomeja on korvattu halogeenimolekyyleillä. Halogeenimolekyyleillä tarkoitetaan fluori- (F), kloori- (Cl), bromi- (Br) ja jodi-molekyylejä (I). Kylmäaineen kirjainyhdistelmä kertoo, mitä alkuaineita se sisältää. CFC-kylmäaineet (Chloro-Fluoro-Carbon) sisältävät lyhenteen mukaan klooria, fluoria ja hiiltä. Ne omaavat suuren otsoni- ja merkittävän kasvihuonehaitallisuuden. CFC-kylmäaineet eivät sisällä lainkaan vetyä, joten niitä kutsutaan täysin halogenoiduiksi hiilivedyiksi. (Hirvelä ym. 2011, 34–35.)

HCFC-tuotteet sisältävät kloorin, fluorin ja hiilen lisäksi vetyä, joten kylmäaineita kutsutaan osittain halogenoiduiksi hiilivedyksi. Nämä kylmäaineet luokitellaan pienen otsoni- ja merkittävän kasvihuone-haitallisuuden omaaviksi. HFC-kylmäaineet ovat osittain halogenoituja hiilivetyjä, jotka sisältävät fluoria, hiiltä ja vetyä. Ne eivät aiheuta haittoja otsonikerrokseen, mutta omaavat merkittävän kasvihuonehaitallisuuden. PFC-kylmäaineet (Per-Fluoro-Carbon) ovat täysin halogenoituja hiilivetyjä, jotka sisältävät ainoastaan fluoria ja hiiltä. Ne ovat haitattomia ilmakehän otsonikerrokselle, mutta HFC-kylmäaineiden tapaan ne omaavat merkittävän kasvihuonehaitallisuuden. HFC- ja PFC-kylmäaineita ovat niin sanottuja fluorihilivetyjä ja niitä kutsutaan yleisesti myös F-kaasuiksi. (Hirvelä ym. 2011, 35.)

EU:n uuden F-kaasusetuksen tavoitteena on vähentää F-kaasujen päästöjä. F-kaasujen käyttöä rajoitetaan tietyissä uusissa laitteissa, joihin on tarjolla korvaavia vaihtoehtoja. Vuoteen 2030 mennessä HFC-yhdisteiden määrä vähenee asteittain 21 prosenttiin vuosien 2009–2012 tasosta Euroopan unionin alueella. Kylmäaineiden käyttörajoituksia on esitetty taulukossa 4. (Käyttörajoitukset ja kiellot 2016.)

Taulukko 4. Kylmäaineiden käyttörajoituksia (Kylmäainetilanne 2008, 4)

Kylmäaine	Käyttörajoitukset
CFC-kylmäaineet (esim. R11, R12, R502)	Käyttö kielletty <ul style="list-style-type: none"> - uusissa laitoksissa 1.1.1995 alkaen - huollossa 1.1.2001 alkaen
HCFC-kylmäaineet (esim. R22, R401, R402, R403, R408, R409)	Käyttö kielletty <ul style="list-style-type: none"> - uusissa laitoksissa ja laitteissa 1.1.2000 alkaen - kielletty huollossa 1.1.2015 alkaen
HFC- ja PFC-kylmäaineet (esim. R134a, R404A, R407C, R410A, R507A)	Käyttö sallittu <ul style="list-style-type: none"> - uusissa laitoksissa ja laitteissa Käyttö kielletty <ul style="list-style-type: none"> - kaikkien ajoneuvojen ilmastointilaitteissa 1.1.2017 alkaen

Kylmäaineita, jotka eivät sisällä lainkaan halogeenimolekyylejä, kutsutaan luonnonmukaisiksi kylmäaineiksi. Tällaisia kylmäaineita ovat esimerkiksi puhtaat hiilivedyt, ammoniakki ja hiilidioksidi. Luonnolliset kylmäaineet eivät ole haitallisia ilmakehän otsonikerrokselle ja niiden kasvihuoneilmiötä lisäävä vaikutus on lähes nolla tai nolla. Luonnonmukaiset kylmäaineet voidaan jakaa HC-kylmäaineisiin ja epäorgaanisiin kylmäaineisiin. HC-aineet (Hydro-Carbon) ovat puhtaita hiilivetyjä. Epäorgaanisia

kylmäaineita ovat puhtaat epäorgaaniset yhdisteet. Luonnonmukaisille kylmäaineille ei ole asetettu käyttörajoituksia. Puhtaat hiilivedyt kuuluvat kuitenkin ensimmäisen luokan palaviin nesteisiin ja epäorgaanisista kylmäaineista muun muassa ammoniakki on ensimmäisen luokan palava neste ja myrky. Luonnonmukaisten kylmäaineiden käyttöä säätelevät painelaitelainsäädäntö (PED) sekä kansalliset palavia nestekaasuja koskeva lainsäädäntö. (Hirvelä ym. 2011, 35; Kylmäainetilanne 2008, 4.)

3 Rakennusten jäähdyttäminen

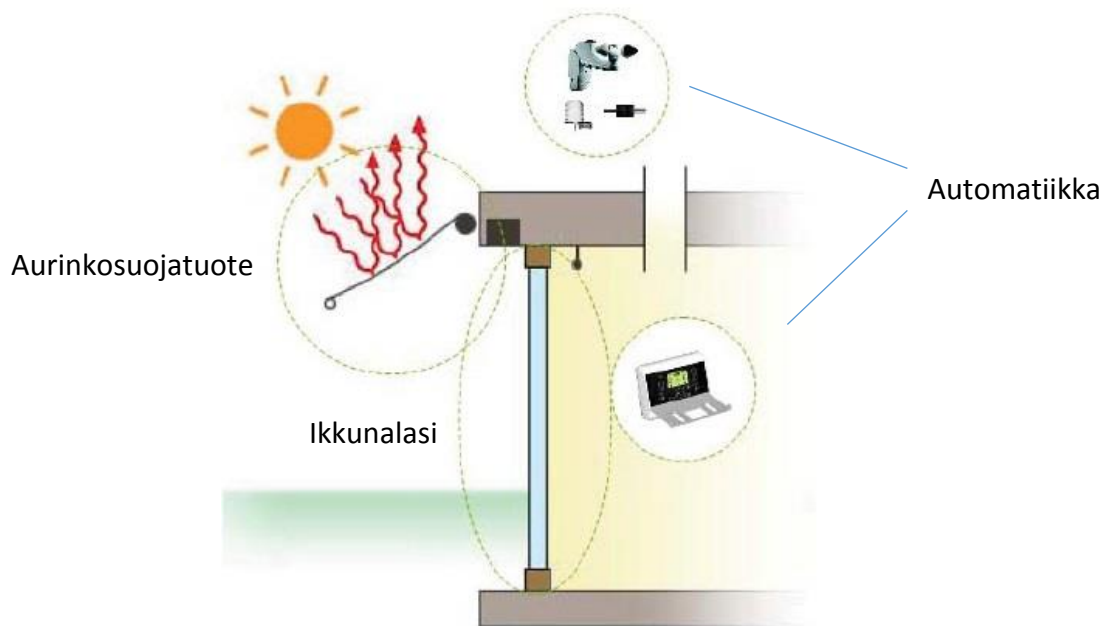
Rakennusten jäähdyttämisellä pyritään takaamaan laadukas sisäilmasto käyttäjille ja asukkaille tilanteissa, joissa rakennuksen tiloissa ilmenee ylikämpöä. Sisäilmasto tarkoittaa ihmisen terveyteen ja viihtyvyyteen vaikuttavia fysikaalisia, kemiallisia tai mikrobiologisia tekijöitä. Nämä tekijät jaotellaan usein lämpöoloihin ja sisäilman laatuun. Rakennuksessa vallitsevat lämpöolosuhteet vaikuttavat ihmisten viihtyvyyteen, terveyteen ja tuottavuuteen, joten on hyvin tärkeää valita tavoitteet oikein ja varmistua lopputuloksen laadusta. (Sisäilmasto ja ilmastointijärjestelmät 2014, 37.)

3.1 Rakennusten jäähdytystarve

Uudisrakennusten energiatehokkuudelle on annettu Suomessa sitovia vaatimuksia 1970-luvulta lähtien. Viimeksi vaatimuksia on kiristetty vuonna 2012 annetuissa energiatehokkuusvaatimuksissa. Vaatimuksia kiristetään seuraavan kerran 2010-luvun loppupuolella, sillä rakennusten energiatehokkuusdirektiivi (EPBD) edellyttää, että 31.12.2018 jälkeen valmistuvat julkiset rakennukset sekä 31.12.2020 jälkeen kaikki uudet rakennukset ovat lähes nollaenergiarakennuksia. Lähes nollaenergiatalolla tarkoitetaan minimienergiataloa, jonka energiantarpeesta merkittävä osa kateetaan rakennuksessa tai sen lähistöllä tuotetulla uusiutuvalla energialla (Johdanto energiatehokkuuteen 2015). Energiatehokkuuden edistäminen on vähentänyt lämmitysenergian kulutusta, mutta lisännyt ylikämpöä esiintymisen mahdollisuutta. (Airaksinen, Ala-Kotila, Vainio & Vesanen 2015, 7.)

Kiinteistön tilojen ylikämpöä aiheuttavat merkittävimmin auringon säteilyenergia ja rakennuksen käyttötarkoitus. Sisäistä lämpökuormaa aiheuttavat muun

muassa ihmiset, valaistus ja kuluttajalaitteet. Haitallista vaikutusta auringon säteilyenergiasta voidaan vähentää rakennuksen muodolla ja rakenteellisilla varjostuksilla, ikkuna-pintojen suuntauksella, koolla ja lasilaadulla sekä muilla auringonsuojaukeinoilla. Aurinkosuojauksella, kuten ikkunamarkiiseilla on merkittävä vaikutus rakennuksen energiankulutukseen, sillä onnistuneesti toteutetulla aurinkosuojausjärjestelmällä voidaan vähentää jäähdytystarvetta 89 %, valaistustarvetta 39–89 % ja lämmityksen kulutusta 9 %. Aurinkosuojajärjestelmään kuuluvat aurinkosuojatuote, ikkunalasi ja automatiikka (ks. kuvio 6). (D3 laskentaopas 2012, 8; Sipilä 2016.)



Kuvio 6. Aurinkosuojajärjestelmä (Sipilä 2016)

Myös rakennusta ympäröivien ulkoalueiden pintamateriaalit, kuten asfaltti, kivetys ja nurmikko vaikuttavat kohteen kesäajan huonelämpötiloihin. Viheralueet viilentävät rakennuksen lähiympäristön pienilmastoa sitomalla kosteutta ja luovuttamalla sitä hellepäivinä. Asfalttipinnat aiheuttavat sen sijaan rakennusten lähiympäristön lämpenemistä. Asfaltti varastoi merkittävästi auringon lämpöenergiaa ja luovuttaa sitä rakennuskohteen ympärillä vallitsevaan pienilmastoon. (D3 laskentaopas 2012, 8.)

Tärkeimmät jäähdytystarpeen mitoituskriteerit ovat huonelämpötilan tavoitearvon pysyvyys ja enimmäisarvo. Rakennuksen lämpötekniset ominaisuudet, kuten ikkunoiden pinta-ala, rakenne ja aurinkosuojaus sekä rakenteiden lämmönjohtavuus, rakennusmassat ja niiden varauskyky ovat myös mitoitukseen vaikuttavia tekijöitä.

Jäähdytysjärjestelmien suunnittelussa on otettava huomioon myös terminen viihtyvyys, työn tuottavuus, työsuojelumääräykset, tuotantoprosessi ja varaus tulevalle tehontarpeelle. Jäähdytysteho valitaan niin, että haluttu huonelämpötilan pysyvyys saavutetaan. (Koskelainen, Saarela & Sipilä 2006, 550.)

Kesäajan (1. kesäkuuta – 31. elokuuta) huonelämpötiloille on asetettu vaatimukset Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa D3 (2012), minkä tarkoituksena on estää energiatehokkuuden parantaminen sisäolosuhteiden kustannuksella. Kesäajan huonelämpötilojen vaatimustenmukaisuus standardikäytöllä ja -säällä tulee osoittaa jo rakennuslupavaiheessa. Laskennalliset tulokset täytyy päivittää kohteen valmistuksen yhteydessä osana energiaselvitystä. Rakentamismääräyskokoelman osassa D3 määritetään, että kesäajan huonelämpötila ei saa ylittää jäähdytysraja-arvoja (ks. taulukko 5) enemmän kuin 150 astetuntia. Asetunnilla tarkoitetaan tietyn raja-arvon ylittävän lämpötilan ja ajan tuloa (D3 tekninen liite 2011). (D3 laskentaopas 2012, 6.)

Taulukko 5. Huonelämpötilojen tarkastelussa käytettävät käyttötarkoitukseluokan mukaiset jäähdytysrajat (RakMK 2012)

Käyttötarkoitukseluokka	Jäähdytysraja (°C)
Erillinen pientalo sekä rivi- ja ketjutalo	27
Asuinkerrostalo	27
Toimistorakennus	25
Liikerakennus	25
Majoitusliikerakennus	25
Opetusrakennus ja päiväkot	25
Liikuntahalli	25
Sairaala	25

3.2 Rakennusten ilmastointijärjestelmät

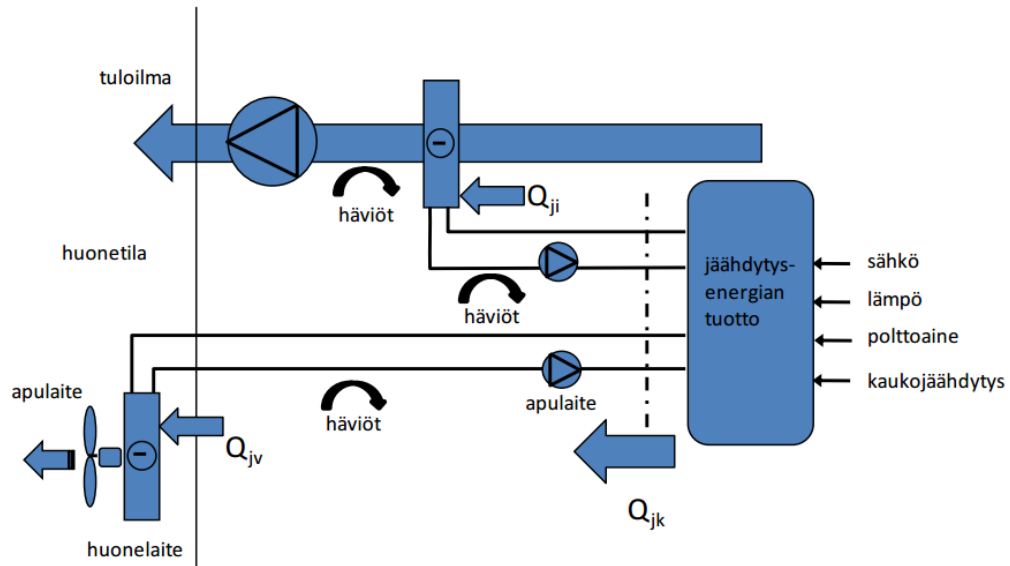
Rakennusten tiloja voidaan jäähdyttää viilentämällä rakennuksen tuloilmaa tai siirtämällä jäähdytysenergia huonelaitteille vesiputkiston välityksellä. Ilmanvaihto- ja ilmastointijärjestelmät eroavat toisistaan tuloilman käsittelyssä ja ilmavirran mitoi-

tuksessa. Rakennusten ilmanvaihtojärjestelmällä hallitaan sisäilman laatutavoitteet eli ilman puhtaus, jonka perusteella ilmavirta on mitoitettu. Ilmastointijärjestelmällä hallitaan ilman puhtauden lisäksi myös lämpöolotavoitteet, jolloin palveltavien tilojen jäähdytetty tuloilmavirta on mitoitettu jäähdytyskuorman perusteella tai ilmanvaihtoilman jäähdytyksen lisäksi jäähdytys on hoidettu erillisillä huonelaitteilla. Ilmastointijärjestelmät voidaan jaotella neljään eri tyyppiin jäähdytystehon toimitustavan perusteella: ilmajärjestelmät, ilma-vesijärjestelmät, vesijärjestelmät ja hajaute-
tut järjestelmät (ks. kuvio 7). (Sisäilmasto ja ilmastointijärjestelmät 2014, 113.)

Ilmastointijärjestelmien jaottelu			
<p>Ilmajärjestelmät</p> <p>Vakioilmavirtajärjestelmä</p> <p>Muuttuvilmavirtajärjestelmät:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Konekohtainen säätö • Vyöhykekohtainen säätö • Huonekohtainen säätö <p>Ilmavirta mitoitetaan jäähdytstarpeen mukaan, vakioilmavirralla tarvittaessa huonekohtaisia jälkilämmityspattereita.</p>	<p>Ilma-vesijärjestelmät</p> <p>Puhallinkonvektorijärjestelmä</p> <p>Suutinkonvektorijärjestelmä</p> <p>Jäähdytyspalkkijärjestelmä</p> <p>Jäähdytyspaneelijärjestelmä</p> <p>Jäähdytyskatto- ja jäähdytyslattiajärjestelmät</p> <p>Ilmavirta mitoitetaan ilmanvaihdon tarpeen mukaan. Jäähdytys tuloilmalla ja laitteen jäähdytysvesipatterilla. Lämmitys laitteen lämmitysvesipatterilla tai radiaattoreilla.</p>	<p>Vesijärjestelmät</p> <p>Puhallinkonvektorijärjestelmä</p> <p>Muut puhallinpatterijäähdytysjärjestelmät</p> <p>Ilmavirta mitoitetaan ilmanvaihdon tarpeen mukaan. Ilmanvaihto erikseen jäähdytyksestä. Jäähdytys laitteen jäähdytysvesipatterilla ja lämmitys laitteen lämmitysvesipatterilla tai radiaattoreilla.</p>	<p>Hajauteut järjestelmät</p> <p>Huonekohtaiset jäähdytyslaitteet</p> <p>Huoneistokohtaiset jäähdytyslaitteet</p> <p>Ilmalämpöpumput (jos edellisissä lämpöpumpputoiminto mukana)</p> <p>Ilmanvaihto ja jäähdytys samassa huone- tai huoneistokohtaisessa yksikössä, yleensä suorahöyrysteisessä jäähdytyslaitteessa.</p>

Kuvio 7. Ilmastointijärjestelmät (Sisäilmasto ja ilmastointijärjestelmät 2014, 129)

Jäähdytysjärjestelmä voi olla suorahöyrysteinen, mikä tarkoittaa, että kylmäaine kiertää jäähdytettävän kohteen kautta sitoen lämpöä itseensä. Välillisessä järjestelmässä vesi jäähdytetään jäähdytinkoneella ja jäähdytysenergia toimitetaan kohteeseen kiertonesteeseen (esim. veden) välityksellä omassa kiertopiirissä. Rakennusmääräyskokoelman jäähdytysjärjestelmän energialaskentaoppaassa (2011) jäähdytysjärjestelmää havainnollistettiin kuviolla 8. Jäähdytysjärjestelmällä tuotettu vuotuinen jäähdytysenergia Q_{jk} muodostuu ilmastointikoneen jäähdytyspatterin ja huonelaitteiden käyttämästä vuotuisesta jäähdytysenergiasta (Q_{ji} ja Q_{jv}) sekä järjestelmän häviöistä. (Jäähdytysjärjestelmien energialaskentaopas 2011, 5.)

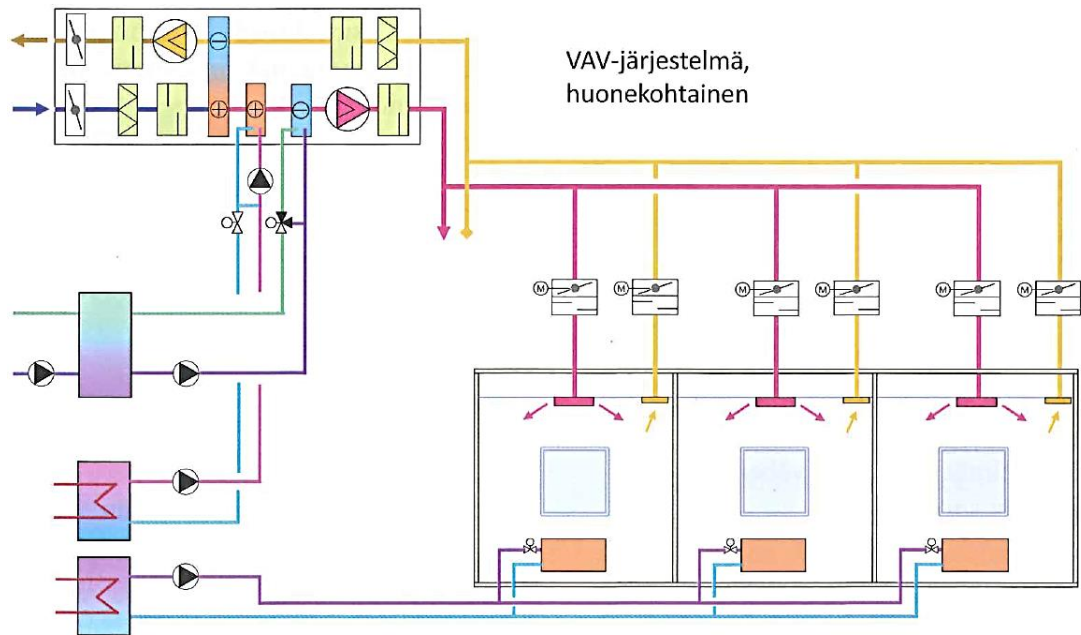


Kuvio 8. Jäähdytysjärjestelmän periaatekuvio (Jäähdytysjärjestelmien energialaskentaopas 2011, 5)

3.2.1 Ilmajärjestelmät

Ilmajärjestelmissä ilmanvaihto, jäähdytys ja joissain tapauksissa myös lämmitys hoidetaan samalla ilmavirralla. Mitoitusperusteena ilmavirralla on yleensä jäähdytystehon tarve. Ilmajärjestelmissä tuloilmavirran määrää ja lämpötilaa voidaan säätää kone-, vyöhyke- tai huonekohtaisesti. Yleisimmin käytetyt ilmajärjestelmät ovat vakioilmavirtajärjestelmä eli CAV-järjestelmä (Constant Air Volume) sekä muuttuvailmavirtajärjestelmä (ks. kuvio 9) eli VAV-järjestelmä (Variable Air Volume). (Sisäilmasto ja ilmastointijärjestelmät 2014, 132–133.)

Huonetilan lämmitys toteutetaan vakioilmavirtajärjestelmissä yleensä lämmityspattereilla ja jäähdytys viileän tuloilman tai jäähdytyslaitteiden avulla. Korkeatasoisen huonekohtaisen ilmastoinnin toteutuksessa käytetyllä muuttuvailmavirtajärjestelmällä huonelämpötilaa hallitaan muuttamalla ilmavirtaa. Molemmissa järjestelmissä jäähdytyspatterille johdettavan jäähdytysveden lämpötila on noin $+7\text{ °C}$, jolloin patterissa tapahtuu myös kuivatusta. Ilmanjakotavasta riippuen tuloilman lämpötila voi olla huoneen päätelaitteella alimmillaan noin $+16\text{--}18\text{ °C}$. (Sisäilmasto ja ilmastointijärjestelmät 2014, 132–133.)



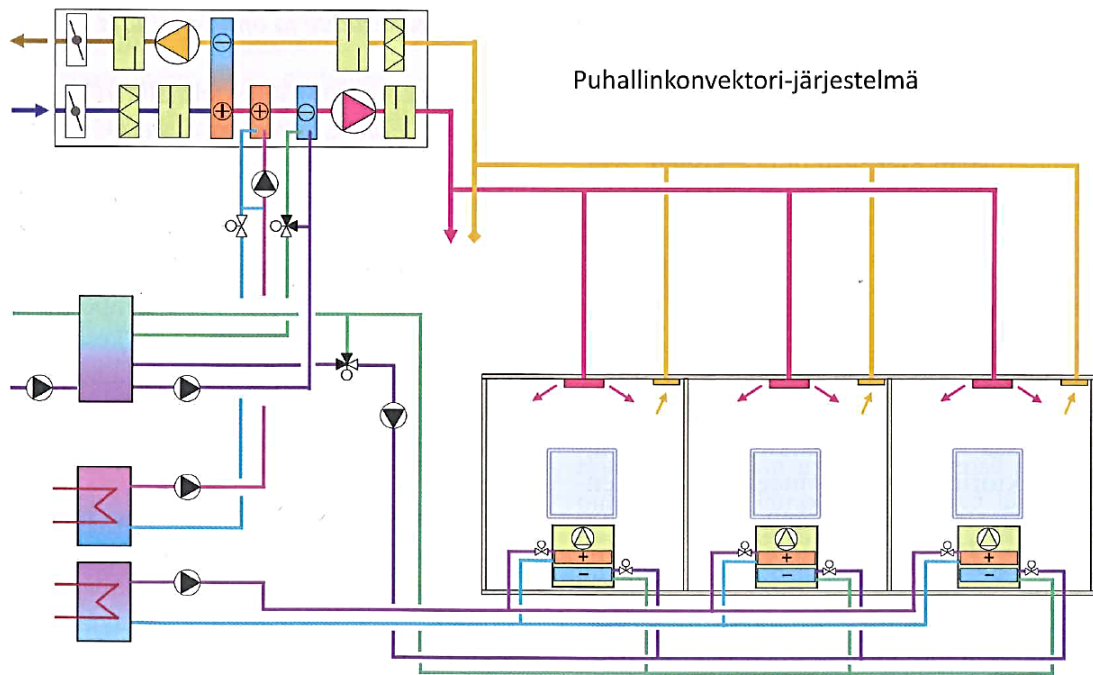
Kuvio 9. Muuttuvilmavirtajärjestelmä eli VAV-järjestelmä (Sisäilmasto ja ilmastointijärjestelmät 2014, 133)

3.2.2 Ilma-vesijärjestelmät

Ilma-vesijärjestelmissä ilmavirta määräytyy pääasiassa ilmanvaihdon tarpeen mukaan. Haluttu jäähdytys- ja lämmitysteho tuodaan tilaan sekä ilman että veden mukana. Huoneilman kosteuden tiivistyminen jäähdytyspatteriin estetään tuloilman kuivaamisella. Lämpötilan säätö toteutetaan vesivirtaa säätämällä. Yleisimmät ilma-vesijärjestelmät ovat puhallinkonvektori-, suutinkonvektori-, jäähdytyspalkki-, jäähdytyspaneeli- ja jäähdytyskattojärjestelmä.

Ilma-vesijärjestelmiä yhdistävät käyttölämpötilat. Tuloilmakoneen jäähdytyspatterille toimitettava jäähdytysvesi on $+7\text{ }^{\circ}\text{C}$, jolloin patterin läpikulkeva tuloilma kuivaa samalla. Huonelaitteille toimitettavan jäähdytysveden lämpötila säädetään $+15\text{--}16\text{ }^{\circ}\text{C}$:een, jotta vältetään huonelaitteisiin kondensoituvaa kosteutta. Tarvittaessa voidaan varautua hetkellisiin kosteuskuormituksiin ja laitteet voidaan varustaa viemäröinnillä. (Sisäilmasto ja ilmastointijärjestelmät 2014, 130.)

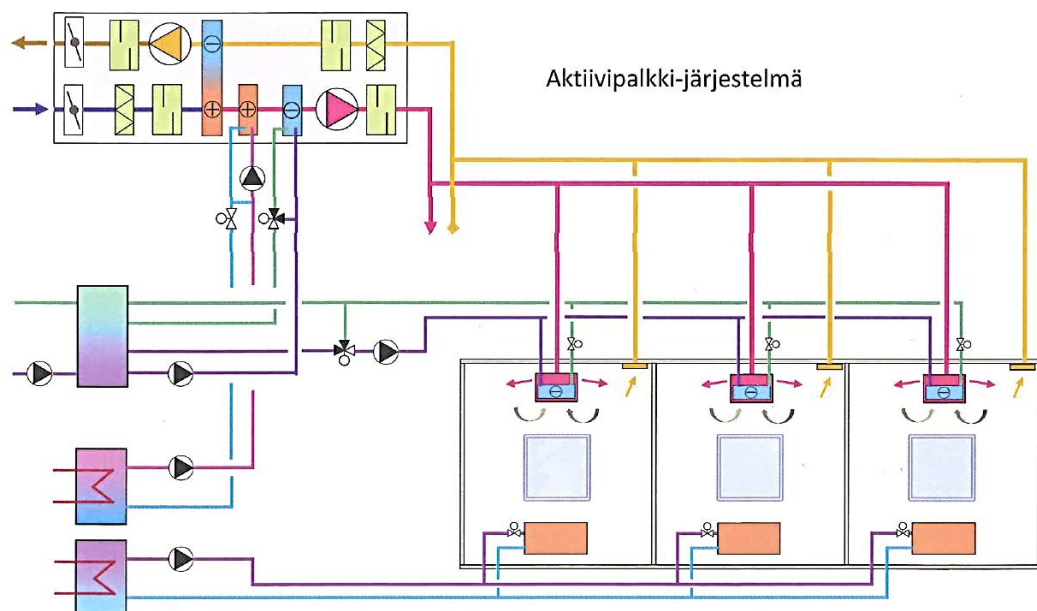
Puhallinkonvektorijärjestelmän keskusyksikössä on suodatus, lämmöntalteenotto, lämmitys- ja jäähdytystoiminto (ks. kuvio 10). Huoneeseen sijoitettavalla puhallinkonvektorilla toteutetaan tilan jäähdytys, usein lämmitys ja joissakin tapauksissa myös ilmanvaihto. Konvektori asennetaan usein huoneen ulkoseinälle ikkunapenkkiin tai kattoon. (Sisäilmasto ja ilmastointijärjestelmät 2014, 137–138.)



Kuvio 10. Puhallinkonvektorijärjestelmä (Sisäilmasto ja ilmastointijärjestelmät 2014, 138)

Puhallin tai puhaltimet kierrättävät ilmaa lamellipatterien kautta. Patterit voivat olla joko erikseen jäähdytykselle ja lämmitykselle tai jaettuna molemmille vesipiireille. Jäähdytyksen ja lämmityksen tehoa säädetään lämpötilan mukaan vesivirtaa säätämällä. **Suutinkonvektorijärjestelmä** on rakenteeltaan hyvin samanlainen kuin puhallinkonvektorijärjestelmä. Erona näiden järjestelmien välillä ovat tuloilman kanavointi ja huonelaitteet, joissa puhaltimien tilalla ovat tuloilmakanavat ja niiden suuttimet, jotka aikaansaavat huoneilman kierrätyksen. (Sisäilmasto ja ilmastointijärjestelmät 2014, 138–140.)

Jäähdytyspalkkijärjestelmän eli ilmastointipalkkijärjestelmän keskusyksikkö koostuu suodatuksesta, lämmöntalteenotosta sekä lämmitys- ja jäähdytystoiminnosta. Jäähdytyspalkki asennetaan huoneen kattoon joko ilman alakattoa tai alakattoon. Huone-tilan lämmitys toteutetaan yleensä radiaattoreilla, vaikka joitakin palkkeja voidaan varustaa myös lämmitysmahdollisuudella. Jäähdytyspalkkijärjestelmät jaotellaan passiivipalkeilla ja aktiivipalkeilla (ks. kuvio 11) toteutettuihin järjestelmiin. Passiivipalkkijärjestelmässä tuloilman sisäänpuhallus toteutetaan erillisillä päätelaitteilla ja aktiivipalkein toteutetussa järjestelmässä tuloilma tuodaan huoneeseen palkin kautta. Palkkeja voidaan kytkeä rinnan tai sarjaan. (Sisäilmasto ja ilmastointijärjestelmät 2014, 142.)



Kuvio 11. Jäähdytyspalkkijärjestelmä aktiivipalkeilla toteutettuna (Sisäilmasto ja ilmastointijärjestelmät 2014, 143)

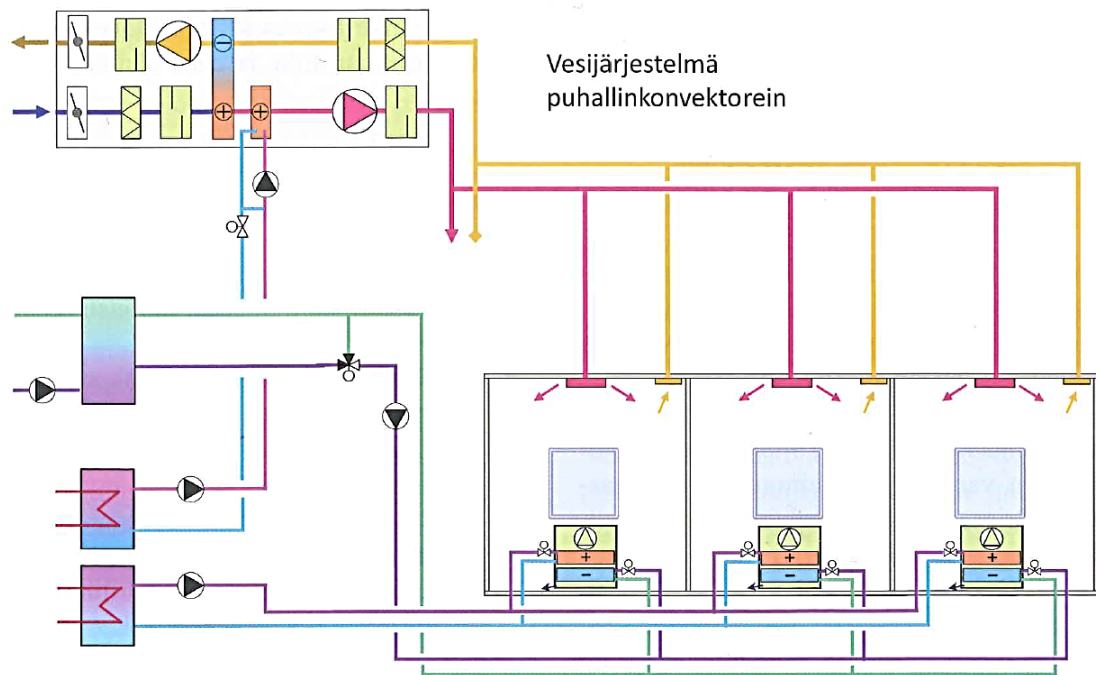
Jäähdytyspaneeli- ja jäähdytyskattojärjestelmä muistuttavat passiivipalkkijärjestelmää, sillä ilmanvaihto ja ilmanjako on toteutettu erillään jäähdytystoiminnosta. Jäähdytyskatto koostuu tehdasvalmisteisista elementeistä, jotka liitetään toisiinsa. Elementit voidaan ripustaa huoneen kattoon tai integroida alakattojärjestelmään. Yleensä kupariset putket on kiinnitetty tiiviisti alumiinista tai muusta metallista valmistettuun jäähdytyskaton levytasoon niin, että putken ja levytason välinen lämmönsiirtyminen on varmistettu. Jäähdytyskaton yläpuolisella lämpöeristyksellä varmistetaan

taan jäähdytyksen suuntautuminen alaspäin huonetilaan. Alakattoelementit voivat olla koottu myös jäähdytyspaneeleista. (Sisäilmasto ja ilmastointijärjestelmät 2014, 146–147.)

Jäähdytyspaneelit ovat tasoelementtejä, jotka on yleensä rakennettu suuren koon vuoksi useasta materiaalikerroksesta materiaalien lämpölaajenemisen aiheuttamien taipumien välttämiseksi. Paneelit eristetään yleensä yläpuolelta jäähdytysenergian kohdentamiseksi huonetilaan. Paneelien kytkennät voidaan toteuttaa rinnan- tai sarjankytkentänä. (Sisäilmasto ja ilmastointijärjestelmät 2014, 148.)

3.2.3 Vesijärjestelmät

Vesijärjestelmissä jäähdytys- ja lämmitysteho johdetaan huonetiloihin ainoastaan veden avulla. Ilmanvaihto on toteutettu erillisenä järjestelmänä, eikä tuloilmaa ole jäähdytetty, joten huoneilman kondensoituminen jäähdytyspatterissa sallitaan. Huoneilämpötilaa säädetään vesivirtausta säätämällä. Yleisin vesijärjestelmä on puhallinkonvektorijärjestelmä (ks. kuvio 12). Erona ilma-vesijärjestelmän puhallinkonvektorijärjestelmään on se, että keskuskoneeseen ei sisälly jäähdytyspatteria ja huoneiden päätelaitteet on varustettu kondenssivesialtaalla ja viemäröinnillä. Puhallinpatterilaitteita käytetään paljon tiloissa, joiden jäähdytystarve on suuri. Tällaisia tiloja ovat muun muassa IT-tilat, konesalit ja sähkötilat. Laitteiston avulla kierrätetään, suodataan ja jäähdytetään huoneilmaa. (Sisäilmasto ja ilmastointijärjestelmät 2014, 148.)



Kuvio 12. Vesijärjestelmä puhallinkonvektoreilla toteutettuna (Sisäilmasto ja ilmastointijärjestelmät 2014, 149)

3.2.4 Hajautetut järjestelmät

Hajautettuja järjestelmiä käytetään, kun keskitettyä järjestelmää ei voida jostain syystä toteuttaa. Esteenä keskitetyn järjestelmän toteuttamiselle voi olla keskuskojen sijoitusmahdollisuuden, kanavointitilan tai lämmitys- ja jäähdytysvesiputkistojen tilan puute. Tällaisia ongelmia kohdataan usein peruskorjauskohteissa. Hajautettu järjestelmä voi olla ratkaisu lämpökuorman kasvamiseen tai väliaikaisen jäähdytystarpeen tyydyttämiseen. Esimerkkikohteita ovat vesijärjestelmien kohteet ja erilliset toimistohuoneet, tuotannon työjohtotilat sekä parakit. Tyypillisiä kohteita ovat myös koulut, joissa on omia luokkahuonekohtaisia ilmastointikoneita. (Sisäilmasto ja ilmastointijärjestelmät 2014, 149.)

Ilmalämpöpumput, joita käytetään sekä lämmitykseen että jäähdytykseen, voidaan lukea myös hajautettuihin järjestelmiin. Ilmalämpöpumppulaitteistot voivat olla huone- tai huoneistokohtaisia. Laitteet ovat yleensä suorahöyrysteisiä eli kylmäaine kulkee jäähdytettävän kohteen kautta sitoen lämpöä itseensä. Huonelaitteet on varustettava aina kondenssivesialtailla ja -viemäröinnillä. (Sisäilmasto ja ilmastointijärjestelmät 2014, 149.)

3.3 Kiinteistökohtainen jäähdytyksen tuotanto ja kaukojäähdytys

Ilmastointilaitteille toimitettava jäähdytysenergia voidaan tuottaa rakennuksessa paikallisesti tai keskitetysti. Paikallisella jäähdytyksellä tarkoitetaan tilakohtaisia jäähdytysratkaisuja, kuten ilmalämpöpumppuja, jotka palvelevat vain tiettyä rakennuksen osaa. Rakennuksen keskitetyssä jäähdytyksessä jäähdytysenergia tuotetaan yhdellä jäähdytyskoneella ja toimitetaan jakeluputkistolla useampaan tilaan tai järjestelmään. Lisäksi jäähdytysenergia voidaan hankkia kaukojäähdytystoimittajalta, jolloin rakennuksen järjestelmän ja jäähdytysverkon välinen lämmönsiirto tapahtuu teknisessä tilassa sijaitsevan lämmönsiirtimen avulla. Kaukojäähdytysasiakas ei tarvitse kiinteistökohtaisia jäähdytinlaitteita, vaan jäähdytysenergia tuotetaan keskitetysti jäähdytyslaitoksissa, joista on kerrottu tarkemmin luvussa 5.

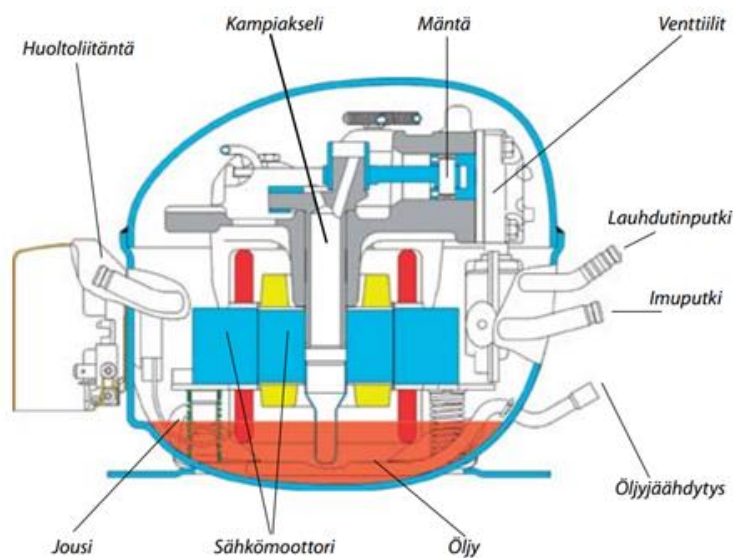
3.3.1 Vedenjäähdytyskoneet

Ilmastoinnin ja prosessien jäähdytysenergia tuotetaan yleensä vedenjäähdytyskoneilla. Koneissa käytetään hermeettisiä scroll- ja mäntäkompressoreita, puolihhermeettisiä mäntä- ja ruuvikompressoreita sekä turbokompressoreita. Vedenjäähdytyskoneet voidaan jakaa ilma-, vesi- tai liuoslauhdutuksella toimiviin koneisiin. Kylmäkoneessa voi olla erillinen ulos asennettava lauhdutin tai se voi olla osa kylmäkonetta, jolloin lauhdutusilma kanavoidaan ulkoilmaan. Kylmäkone voidaan sijoittaa myös kokonaisuudessaan ulkotiloihin. Ilmalauhduttimien (ks. kuvio 13) tai jäähdytyskoneiden sijoittaminen rakennuksen katolle voi aiheuttaa meluongelmia sekä esteettisiä haittoja, joten näistä tilaa vievistä laitteista pyritään eroon. (Sisäilmasto ja ilmastointijärjestelmät 2014, 250.)



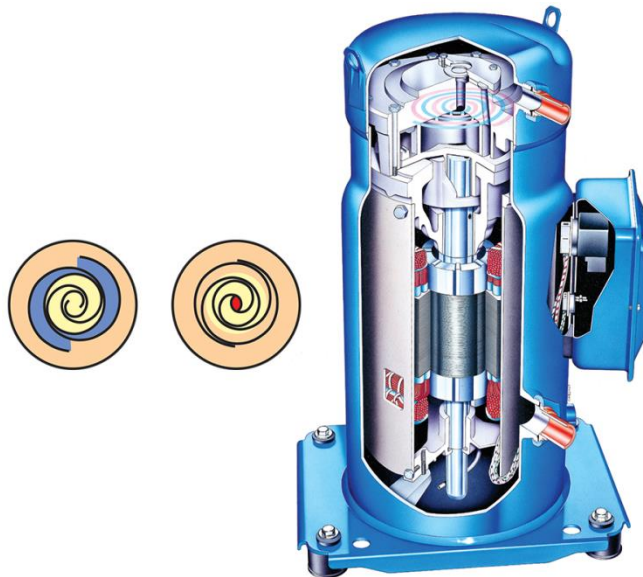
Kuvio 13. Alfa Lavalin ilmalauhdutin (AlfaBlue BD n.d.)

Hermeettisiä mäntäkompressoreita (ks. kuvio 14) hyödynnetään 40 kW:n tehoisissa jäähdytyskoneissa, joiden kylmäaineena on R-407C. Puolihermeettisillä mäntäkompressoreilla saavutetaan 700–800 kW teho samalla kylmäaineella. Koneen tehoa voidaan säätää sylinteritehonsäädöllä, kompressoreiden on/off-käytöllä sekä taajuusmuuttajalla. Mäntäkompressoreiden käyttö vedenjäähdytyskoneeratkaisuissa on vähentynyt scroll- ja ruuvikompressoreiden myötä. (Sisäilmasto ja ilmastointijärjestelmät 2014, 250.)



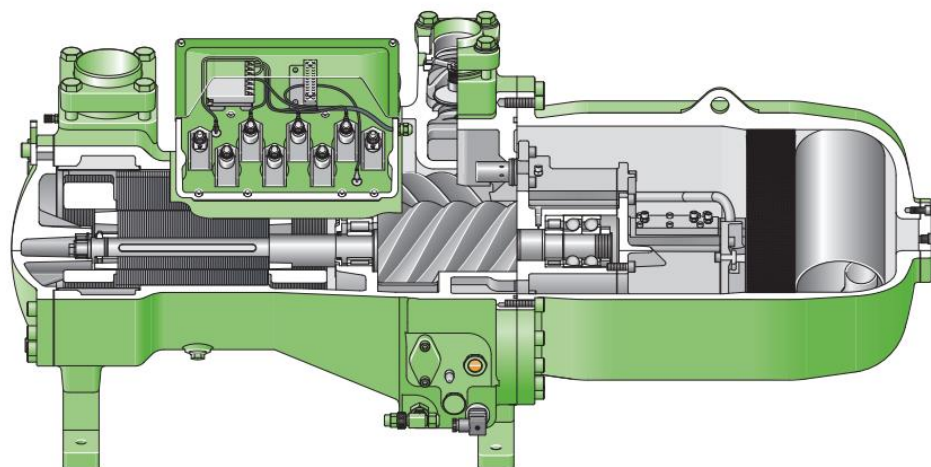
Kuvio 14. Hermeettinen mäntäkompressori (Kylmäinfo 2009, 4)

Scroll-kompressoreita (ks. kuvio 15) käytetään 5–400 kW:n jäähdytyskoneissa. Koneet ovat yksipiirisiä noin 40 kW:n teholuokkaan asti. Suuremmissa koneissa kylmäainepiirejä ja kompressoreita on useampia. Yhdessä kylmäainepiirissä voi olla yhdestä kolmeen kompressoria. Yleisimmät kylmäaineet scroll-kompressoreissa ovat R-410A ja R-407C. Koneiden tehonsäätö toteutetaan pysäyttämällä ja käynnistämällä kompressoreita sekä kompressorirakenteen mukaan säätämällä taajuusmuuttajalla kompressoreiden pyörimisnopeutta. (Sisäilmasto ja ilmastointijärjestelmät 2014, 251.)



Kuvio 15. Scroll-kompressori (Scroll-kompressori n.d.)

Ruuvikompressoriteknikalla (ks. kuvio 16) toteutettuja vedenjäähdytyskoneita valmistetaan kokoluokassa 200–1300 kW. Valtaosassa koneita käytetään kylmäainetta R-134a ja höyrystimenä on märkähöyrystin. Märkähöyrystimessä vesi kulkee moniputkihöyrystimen putkissa ja kylmäaine vaipassa. Kylmäaineella R-410A voidaan käyttää myös märkähöyrystintä, mutta R-407C:n kanssa on käytettävä kuivahöyrystintä. Ruuvikompressorin tehoa voidaan säätää luistolla portaattomasti tai portaittain sekä taajuusmuuttajalla. (Sisäilmasto ja ilmastointijärjestelmät 2014, 251.)

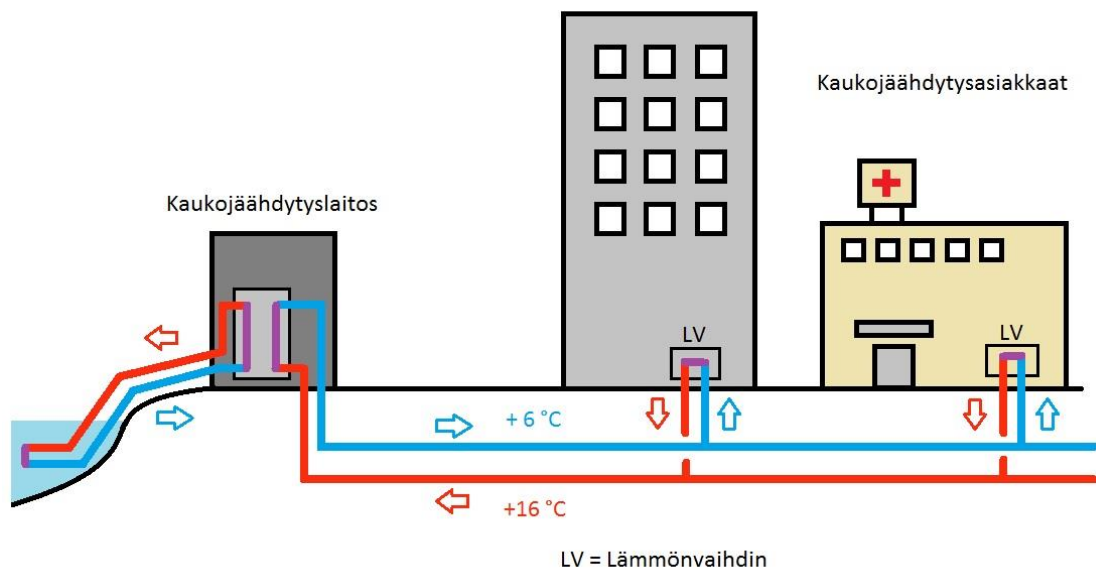


Kuvio 16. Puolihermeettinen ruuvikompressori (Compact Screw Compressors n.d., 2)

Turbovedenjäähdytyskoneita valmistetaan 1000–5000 kW tehoalueella. Koneet ovat vesilauhdutteisia ja kylmäaineena on useimmiten R-134a. Lauhdutukseen voidaan käyttää esimerkiksi jäähdytystorneilla jäähdytettyä vettä. Tehoa säädetään tavallisesti johtosiipisäädöllä, mutta muiden kompressoritekniikoiden tapaan voidaan käyttää myös kierrosnopeussäätöä. (Sisäilmasto ja ilmastointijärjestelmät 2014, 251.)

3.3.2 Kaukojäähdytys

Kaukojäähdytys tarkoittaa keskitetyssä tuotantolaitoksessa tuotetun jäähdytetyn veden jakelua asiakkaille erillisen jakeluverkoston välityksellä (ks. kuvio 17). Kun jäähdytystuotanto keskitetään suurempiin yksiköihin, energian käytön tehokkuus ja prosessien hyötysuhteet paranevat kiinteistökohtaisiin jäähdytysjärjestelmiin verrattuna. Jäähdytysenergiaa voidaan toimittaa myös teollisuuden prosessien tai elintarviketeollisuuden valmistus- ja säilytystilojen jäähdyttämiseen. Suomessa jäähdytystehontarve vaihtelee runsaasti vuodenaikojen mukaan ja suurin tarve ajoittuu kesäkuukausille. Suomen leveyspiireillä vallitseva ilmasto aiheuttaa myös sen, että jäähdytyksen huipunkäyttöaika on melko lyhyt. (Koskelainen ym. 2006, 529.)



Kuvio 17. Kaukojäähdytyksen toimintaperiaate

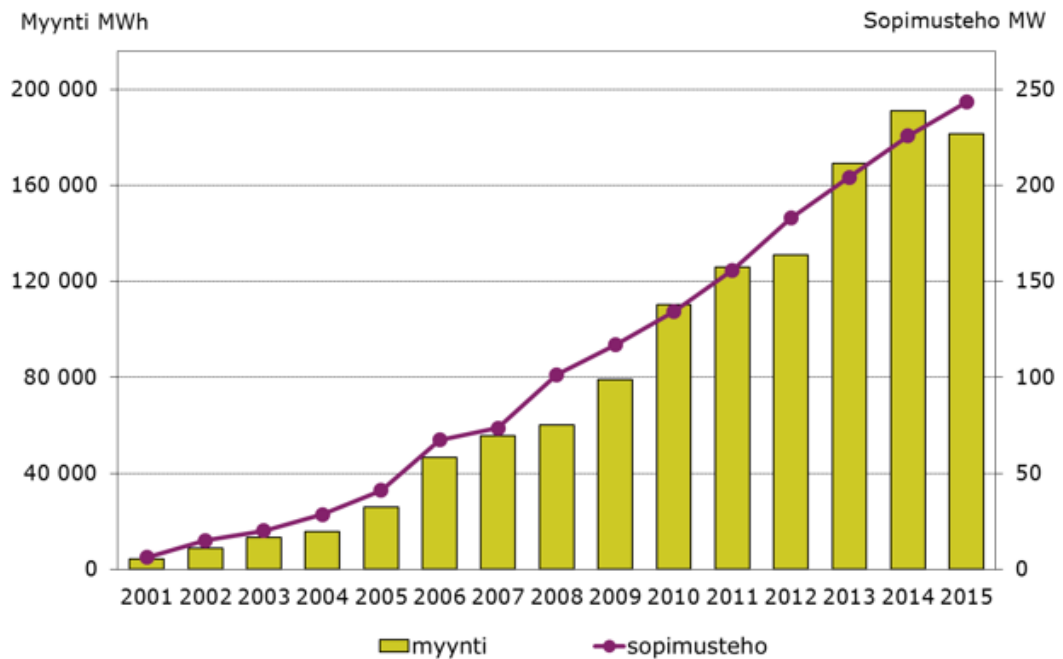
Kaukojäähdytyksen etuihin voidaan lukea sen vaivattomuus ja riskittömyys. Kirjoittaessaan jäähdytyssovimuksen asiakas luopuu kiinteistökohtaisten jäähdytyskoneiden huolto- ja kunnossapitotöistä. Jäähdytyskoneiden aiheuttamat ilma- ja runkoäänet sekä tärinä poistuvat, julkisivua rumentavia lauhdutusyksiköitä ei tarvita ja jäähdytyskoneille varatut tilat vapautuvat muuhun käyttöön. Kaukojäähdytyksen hinta pysyy vakaana, mikä auttaa asiakkaita talouden hallinnassa. Lisäksi kaukojäähdytyksellä voidaan tavoitella yhtiölle ”vihreää imagoa” keskitetyn tuotannon tehokkuuden ja luonnollisten energialähteiden hyödyntämisen avulla. (Kaukojäähdytys n.d.)

4 Kaukojäähdytysmarkkinat Suomessa

4.1 Nykytilanne kaukojäähdytysmarkkinoilla

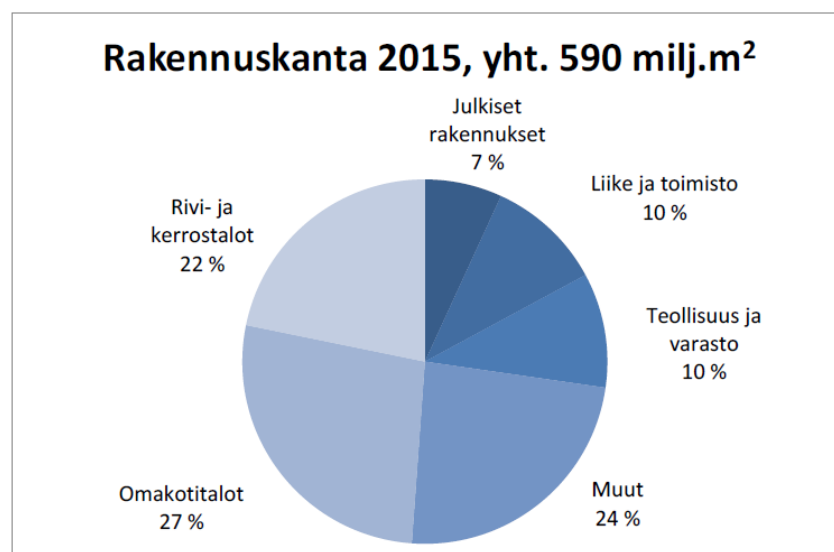
Energialaitokset toimittavat kaukojäähdytystä kahdeksalla paikkakunnalla: Helsingissä (jäähdytystoiminta alkoi vuonna 1998), Turussa (2000), Lahdessa (2000), Heinolassa Vierumäellä (2002), Lempäälässä (2008), Espoossa (2012), Tampereella (2012) ja Porissa (2012) (Kaukojäähdytys n.d.). Lisäksi Jyväskylän Energia Oy on sopinut Jyväskylän kaupungin kanssa kaukojäähdytystekniikan toimittamisesta Vanhan paperitehtaan siipiosaan Jyväskylän Kankaalle keväällä 2016 (Jyväskylän ensimmäinen kaukojäähdytyskohde 2015). Myös Kuopion Energia kaavailee kaukojäähdytystoiminnan aloittamista Puijon sairaalan alueella (Kehityshankkeet n.d.).

Jäähdytyksen tarve on lisääntynyt sekä uusissa että vanhoissa rakennuksissa, kun käyttäjien vaatimukset sisäilman laatutasolle ja lämpötiloille ovat kasvaneet. Energia-teollisuus ry:n tilastojen mukaan kaukojäähdytysenergiaa myytiin vuonna 2014 noin 191 GWh. Myynti on lähes 2,5-kertainen ja asiakkaiden lukumäärä kaksinkertainen viiden vuoden takaisin lukuihin verrattuna (ks. kuvio 18). (Airaksinen ym. 2015, 5.)



Kuvio 18. Jäähdytysenergian myynti 2001–2015 (Kaukojäähdytys graafeina 2016, 1)

Jäähdytysjärjestelmiä asennetaan eniten liike-, toimisto- ja julkisrakennuksiin. Edellä mainittujen rakennustyyppien osuus rakennuskannasta vuonna 2015 oli 17 prosenttia (ks. kuvio 19). Jäähdytystehontarve ja sen sijoittuminen ovat riippuvaisia väestön maantieteellisestä sijoittumisesta. Asuinrakennuksia rakennetaan alueille, missä on kysyntää ja tätä kautta myös toimitilat työpaikkoineen ja palveluineen sijoittuvat sinne, missä niitä käyttävät ihmisetkin ovat. (Airaksinen ym. 2015, 20.)



Kuvio 19. Rakennuskanta kerrosalan mukaan vuonna 2015 (Airaksinen ym. 2015, 20)

4.2 Jäähdytysmarkkinoiden tulevaisuus

Airaksinen ja muut (2015) tutkivat Energiategollisuus ry:lle laaditussa raportissa erilaisten tulevaisuuden skenaarioiden vaikutusta jäähdytystarpeen kehittymiseen. Merkittävimmät muuttujat skenaarioissa olivat talouskehitys ja väestön liikkeistä riippuvainen aluerakenteen kehitys. Väestökehitys antaa pääsuunnan rakennuskannan muutoksille. Talouskehityksen mittarina toimivan bruttokansantuotteen oletettiin noudattavan valtioministeriön melko matalan talouskehityksen ennustetta. Lisäksi vaihtoehtoina olivat skenaariot, joissa talous voi piristyä merkittävästi tai taantua entisestään. (Airaksinen ym. 2015, 27.)

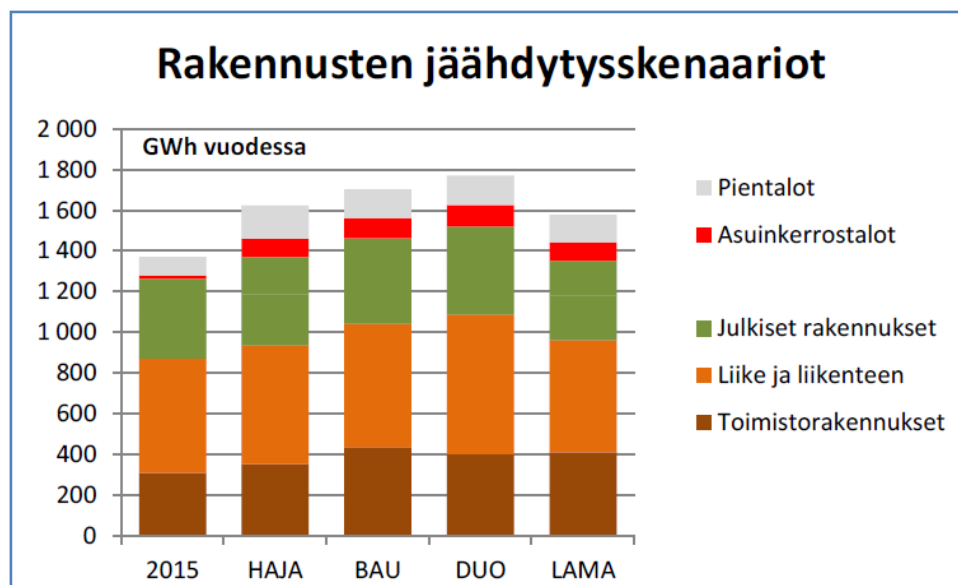
Muuttoliike ja maahanmuutto ovat keskittäneet väestöä suuriin kaupunkeihin. Muuttovoittoalueet ovat positiivisessa kierteessä, jossa ne vahvistuvat luonnollisen väestönkasvun ja houkuttelevien työmarkkinoiden ansiosta. Vaihtoehtoinen skenaario kaupunkialueiden vahvistumiselle on alueiden tasapuolisempi kehitys, jolloin väestökasvu jakaantuisi laajemmalle alueelle. Suomen väestöennusteet muodostetaan kolmen edellisen vuoden väestökehityksen perusteella. Vuoden 2015 ennusteen mukaan väkiluvun kasvu on hidastunut Etelä-Suomen kaupungeissa heikon talouskehityksen vuoksi. Keski- ja Pohjois-Suomessa väestön liike on ollut voimakasta maakuntakeskuksiin. Lappeenrannan suhteellisen väestömuutoksen ennustetaan olevan +0–5 % välillä vuosien 2010–2030 aikana. (Airaksinen ym. 2015, 28.)

Airaksinen ja muut (2015) ovat luoneet rakennuskannan kehitykselle skenaarioita. Skenaarioita on neljä kappaletta: BAU, Haja, Duo ja Lama. BAU eli ”business as usual” perustuu hitaaseen talouskasvuun. BAU-skenaariossa alue- ja yhteiskuntarakenteen muutos jatkuu samaan tapaan kuin viime vuodet eli väestö keskittyy edelleen kaupunkeihin. Rakentaminen perustuu täydennysrakentamiseen ja alueiden uusiokäyttöön. Asuntotuotanto painottuu kerrostalorakentamiseen. (Airaksinen ym. 2015, 29.)

Haja-skenaariossa talous kehittyy ennakoitua myönteisemmin ja talouskasvu jakaantuu laajasti myös muihin maakuntiin kuin Uusimaalle. Tällä hetkellä olemassa oleva rakennuskanta riittää pidemmälle, joten uudisrakentaminen on vähäisempää kuin BAU:ssa. Duossa talous kehittyy hyvin myönteisesti ja yhteiskuntarakenteen duopolisoituu eli kaupunkeihin rakennetaan korkeita liikerakennuksia, korkeatasoisia kerrostaloja sekä uusia pientaloalueita. Lama-skenaariossa talous taantuu ja muuttoliike

vähenee. Tämä tarkoittaisi sitä, että yhteiskunnassa pärjättäisi vähäisemmällä uudisrakentamisen määrällä ja tyhjiä toimitiloja muokattaisi uusiokäyttöön. Lisäksi yleisesti hyväksyttäisi laatutasosta tinkiminen. (Airaksinen ym. 2015, 30.)

Jäähdytystarpeen arviointia varten skenaarioissa on oletettu, että pientalot on varustettu aurinkosuojilla, kuten kaihtimilla ja rullaverhoilla. Isoimpien rakennuksien osalta puolet kiinteistöistä on oletettu aurinkosuojatuiksi ja puolet suojaamattomiksi. Huomioimalla aurinkosuojaus pyritään muodostamaan oikeanlainen kuva potentiaalisista jäähdytysmarkkinoista. Rakennusten jäähdytyskenaarioita on vertailtu kuviossa 20. (Airaksinen ym. 2015, 31.)



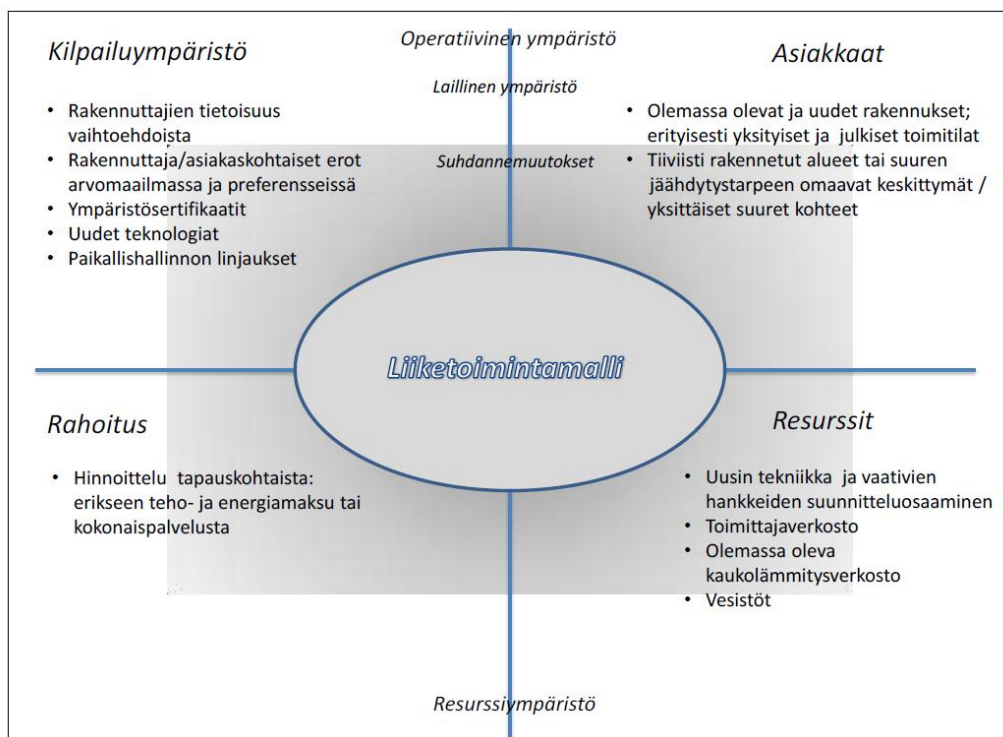
Kuvio 20. Jäähdytysenergian tarve toimintaympäristön kehityksen mukaan (Airaksinen ym. 2015, 31)

Tällä hetkellä osittain aurinkosuojattujen kiinteistöjen jäähdytykseen kuluu vuosittain noin 1 400 GWh. Realistisesti määritellystä jäähdytystarpeesta kaukojäähdytyksen markkinaosuus oli reilut 10 prosenttia vuonna 2014. BAU-skenaarioon perustuvan ennusteen mukaan jäähdytystarve kasvaa 1 700 gigawattituntiin vuoteen 2030 mennessä. Jos myynnin kasvu jatkuisi nykyisellä kasvuvauhdilla seuraavat 15 vuotta, kaukojäähdytyksen markkinaosuus kasvaisi 30 prosenttiin jäähdytystarpeesta. Skenaario vaatisi kuitenkin talouden piristymisen. (Airaksinen ym. 2015, 31.)

Potentiaalisimpia kohteita kaukojäähdytystoiminnalle ovat korkealuokkaiset asuin- kerrostalot, liike- ja toimistorakennukset sekä julkiset rakennukset, jotka sijaitsevat kaupunkien tiheään rakennetuilla alueilla tai muodostavat muutoin rakennuskeskitymiä. Uudisrakennusten lisäksi potentiaaliin kohteisiin kuuluvat olemassa olevat rakennukset, joiden teknisesti helpoin ja taloudellisesti järkevin hetki jäähdytysverkkoon liittymiselle on silloin, kun kiinteistökohtaisen järjestelmän tekninen käyttöikä on lopussa. Saneerauksen yhteydessä rakennukseen voidaan varata mahdollisuus kaukojäähdytyksen hyödyntämiselle. (Airaksinen ym. 2015, 33.)

4.3 Jäähdytysmarkkinoiden toimintaympäristö

Jäähdytysliiketoiminnan ulkoiseen toimintaympäristöön vaikuttavat kilpailuympäristö, asiakkaat, rahoitus ja resurssit. Toimintaympäristön tekijät määrittelevät sen, millä mallilla jäähdytysliiketoiminta on kannattavaa aloittaa. Kuviossa 21 esitetyt tekijät ohjaavat ja rajaavat liiketoimintaa sekä sen kehittämistä. (Airaksinen ym. 2015, 39.)



Kuvio 21. Jäähdytysliiketoiminnan toimintaympäristö (Airaksinen ym. 2015, 39)

4.3.1 Kilpailuympäristö

Uusissa yksityisissä ja julkisissa toimitiloissa jäähdytysjärjestelmät ovat olleet jo pitkään vakiovarusteina, mutta myös vanhoihin rakennuksiin rakennetaan jäähdytysjärjestelmiä saneerauksien yhteydessä. Yleensä kerrostaloista vain arvokkaimmat on varustettu jäähdytyksellä. Viime vuosien aikana lämpöpumput ovat yleistyneet sekä omakotitaloissa että kerrostaloissa. Lämpöpumppujen avulla voidaan myös jäähdyttää kiinteistöjä. Energiayhtiöiden tarjoama kaukojäähdytys on herättänyt kiinnostusta erityisesti suurien kiinteistöjen tai kiinteistömassojen omistajissa. Lämmitys- ja jäähdytysratkaisua valittaessa rakennuttajien ja asiakkaiden päätöksenteossa painavat erilaiset arvot ja argumentit. Päätöstä tehdessä ratkaisevana tekijänä voi olla niin ympäristöarvot, vaivattomuus kuin taloudellisuus. Nämä arvot puoltavat kaukojäähdytystä yhtenä vaihtoehtona. (Airaksinen ym. 2015, 40.)

Kilpailuympäristön keskeisiä tekijöitä ovat avainkumppaneiden luominen ja kaukojäähdytystuotteen markkinointi. Alueella toimivien rakennusyhtiöiden johdon, arkkitehtien ja suunnittelijoiden tulee olla tietoisia kaukojäähdytyksen hyödyntämismahdollisuuksista. Myös kaupungin alue- ja rakennussuunnittelusta vastaavien henkilöiden tulee tietää jäähdytysliiketoiminnasta, jotta jäähdytysvaihtoehto huomioitaisi hyvissä ajoin suunnitteluprosesseissa. Yhteistyö rakennuttajan ja energiayhtiön välillä tulee olla tiivistä, jotta kaukojäähdytyksen tuottamisen mahdollisuutta jäähdytyskohteeseen voidaan tarkastella ennen lopullista päätöksentekoa.

4.3.2 Asiakkaat

Potentiaalisimmat markkinat kaukojäähdytysliiketoiminnalle ovat yksityisten ja julkisten toimitilojen jäähdyttämisessä. Jäähdytyksellä halutaan varmistaa laadukkaat työolosuhteet ja hallita liiketoiminnasta aiheutuvaa ylimääräistä lämpökuormaa. Asuinrakennuskohteet jakautuvat kolmeen eri kategoriaan. Lukumäärän ja pinta-alan perusteella suurimman ryhmän muodostavat omakotitalot. Suuren lukumäärän vuoksi niiden muodostama jäähdytystarve on suuri, mutta niissä ylimääräinen lämpö poistetaan tuulettamalla tai kiinteistökohtaisilla järjestelmillä. (Airaksinen ym. 2015, 40.)

Toiseksi suurimman ryhmän muodostavat kerrostalot ja rivitalot, jotka ovat rakennusliikkeiden rakennuttamia ja yksityisten asunto-osakeyhtiöiden omistamia. Näihin

kohteisiin on vaadittu vuodesta 2003 alkaen lämmöntalteenotolla varustettu ilmanvaihto. Uudisrakentamista koskevat energiaratkaisut päättää kohteen rakennuttaja, joka käytännössä on joko rakennusliike tai erityinen rakennuttajaorganisaatio tai -yksikkö. Vuotta 2003 aiemmin rakennetuissa kiinteistöissä on tyypillisesti koneellinen poistoilma. Vanhoihin rakennuksiin on asennettu jonkin verran myös asuntokohtaisia lämpöpumppuja. (Airaksinen ym. 2015, 40–41.)

Kiinteistöosaakeyhtiöiden rakennuttamat ja omistamat vuokratalot ovat kolmanneksi suurin asuinkiinteistöryhmä. Ilmanvaihdon ja jäähdytyksen puolesta nämä rakennukset ovat samanlaisia kuin rakennusliikkeiden rakennuttamat rakennukset. Rakennukset voivat olla joko vapaarahoitteisia vuokrataloja tai sosiaalista asuntotuotantoa. Vapaarahoitteiseen tuotantoon vaikuttaa kohderyhmä, joka voi olla esimerkiksi varakkaat vuokralaiset, jotka odottavat korkeaa varustelutasoa asunnolta. Sosiaalista asuntotuotantoa ohjaa Asumisen rahoitus- ja kehittämiskeskus ARA, joka pyrkii rakennuttamaan kohtuuhintaisia ja määrätyt laatuksiteerit täyttäviä asuntoja. Toistaiseksi jäähdytys kuuluu ainoastaan arvokkaimman asuntotuotannon varusteluun. Arvokkaihin asuntokohteisiin luetaan yleisesti arvokkaimmat asunto-osaakeyhtiökohteet ja vapaarahoitteiset vuokratalot. Jäähdytys on tulevaisuudessa myös osa muuta asuntotuotantoa, kun vuoden 2020 jälkeen valmistuvien rakennusten tulee olla energiatehokkuudeltaan lähes nollaenergiataloja. (Airaksinen ym. 2015, 41.)

4.3.3 Rahoitus

Asiakaskiinteistöjen ominaisuudet, käyttö, sijainti ja valittu jäähdytysratkaisu ovat tapauskohtaisia, jonka vuoksi palvelu hinnoitellaan useasti yksilöllisesti. Tämä voi tarkoittaa tehon ja energia hinnoittelua tai kokonaispalvelua, jossa energiayhtiö ottaa vastuulleen sekä lämmityksen että jäähdytyksen. Tuotantoyksikön ja jakeluverkoston rakentaminen merkitsee energiayhtiölle suuria investointeja, jotka maksetaan takaisin jäähdytyksen myynnin kassavirralla. Lisäksi energiayhtiön tulee sisällyttää kunnossapito, huolto ja energiakulut hinnoitteluun. (Airaksinen ym. 2015, 41.)

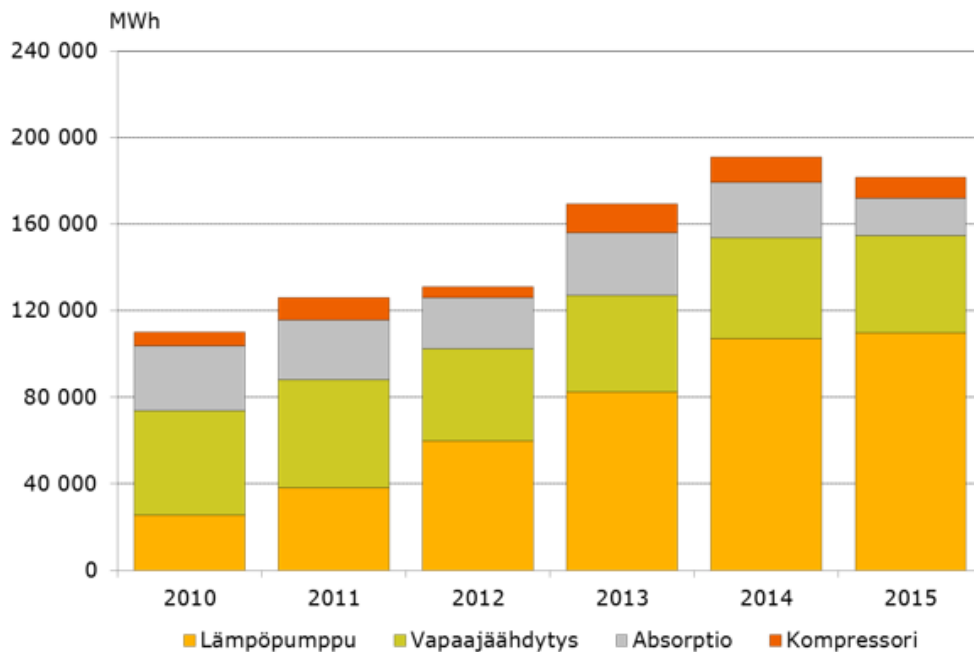
4.3.4 Resurssit

Arkkitehtuuri on tyypillisesti määritellyt ehdot alueiden ja rakennusten suunnittelulle. Useimmiten alueen infra sekä tekniset ratkaisut ovat sovitettu paikalleen vasta

rakennusvaiheessa. Tekniikan kehittyminen, infrarakenteiden yhteiskäyttö, teknisten järjestelmien kietoutuminen toisiinsa sekä digitalisoituminen ovat lisänneet suunnittelun osaamisvaatimusten nousua. Airaksinen ja muut (2015, 42) nostavat rakennusten jäähdytysmarkkinoita koskevassa raportissa osaavan ja luotettavan verkostosuunnittelun, toteutuksen ja operoinnin tärkeäksi resurssiksi riippumatta siitä, millaista jäähdytyskonseptia käytetään. (Airaksinen ym. 2015, 42.)

5 Kaukojäähdytysenergian tuotanto

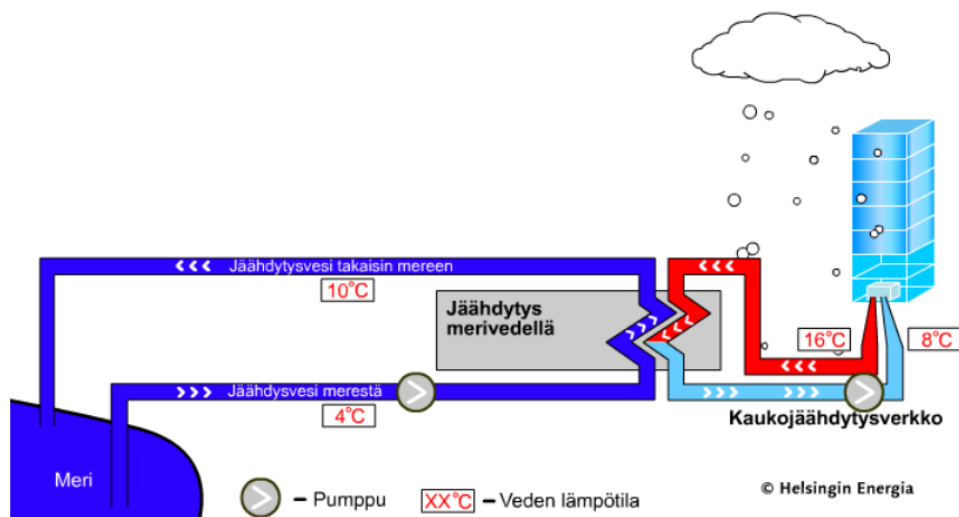
Kaukojäähdytysenergiaa tuotetaan usealla eri tekniikalla. Käytetyimmät jäähdytysmekaniikat ovat vapaajäähdytys-, kompressori-, lämpöpumppu- ja absorptiotekniikka. Vuonna 2015 Suomessa tuotettiin lämpöpumpuilla 60,5 % jäähdytysenergian tuotannosta, mikä tarkoitti energiamääränä 182 GWh. Toiseksi eniten jäähdytystä tuotettiin vapaajäähdytyksellä (24,7 %) ja loput absorptio- (9,6 %) ja kompressorijäähdytyksellä (5,2 %). Kuviossa 22 on esitetty tuotannon jakautuminen jäähdytystekniikoiden kesken vuodesta 2010. (Kaukojäähdytys graafeina 2016, 3.)



Kuvio 22. Jäähdytysenergiantuotanto eri jäähdytystekniikoilla vuodesta 2010 (Kaukojäähdytys graafeina 2016, 2)

5.1 Vapaajäähdytysenergia

Hyödynnettäessä luonnon omia energiavarastoja, kuten meri-, järvi- tai jokivettä jäähdytysenergian tuotannossa, puhutaan vapaajäähdytysenergiasta. Hyödyntämällä vapaajäähdytystä voidaan kattaa suuri osa tarvittavasta jäähdytysenergian tarpeesta sekä merkittävä osa jäähdytystehosta. Vesistöjen kylmän veden arvioidaan riittävän sellaisenaan 4-8 kuukautta vuodesta kaukojäähdytyksen tarpeisiin. Myös kesällä vesistö on tehokas ja edullinen perustehon lähde. Vapaajäähdytys on jäähdytysenergian hankinnan peruspilari, johon yhdistetään jäähdytysenergian muita tuotantotapoja. Helen Oy tuottaa talviaikaan tarvittun jäähdytysenergian lämmönsiirtimien avulla suoraan merivedestä (ks. kuvio 23). (Koskelainen ym. 2006, 531.)

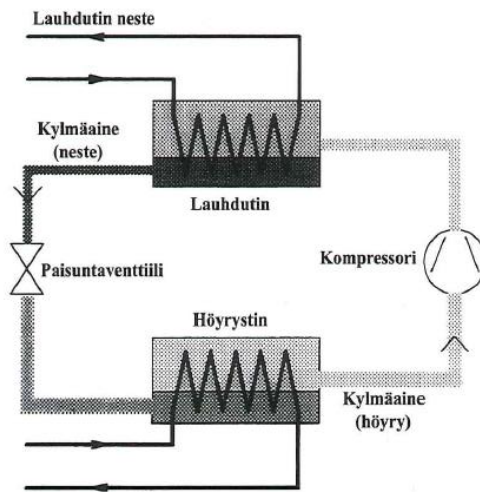


Kuvio 23. Vapaajäähdytyksen toimintaperiaate talvella Helsingissä (Koskelainen ym. 2006, 557)

5.2 Kompressorijäähdytys

Kompressorijäähdytyslaitteiston peruskomponentit ovat höyrystin, kompressori, lauhdutin ja paisuntaventtiili (ks. kuvio 24). Kylmäaine höyrystyy matalapaineisessa höyrystimessä, kun jäähdytettävän kohteenlämpö tuodaan höyrystimeen. Kompressori nostaa höyryn painetta ja lämpötilaa. Lauhduttimessa höyry luovuttaa lämpöä lauhduttimen väliaineeseen. Lauhduttimen jälkeen kylmäaine virtaa paisuntaventtiili-

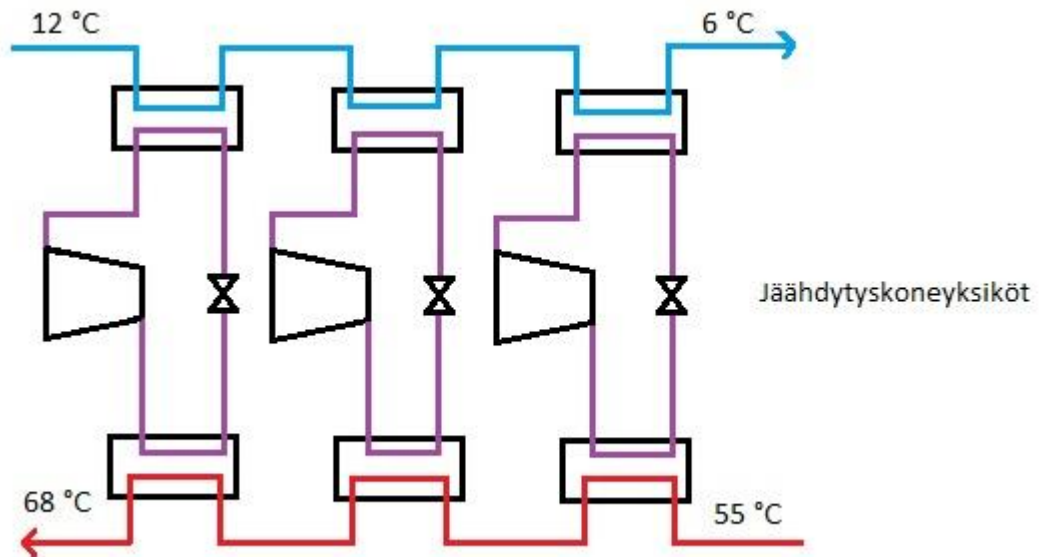
lille, joka laskee nesteen painetta. Lopulta neste virtaa uudelleen höyrystimeen, jossa se sitoo höyrystyessään lämpöä ympäröivästä tilasta. (Koskelainen ym. 2006, 531.)



Kuvio 24. Kompressorikylmäkoneen toimintaperiaate (Koskelainen ym. 2006, 532)

5.3 Lämpöpumppu

Lämpöpumpulla voidaan yhdistää teollisessa mittakaavassa kaukojäähdytyksen ja -lämmityksen tuotanto. Lämpöpumpulla jäähdytetään asiakkaalle menevän jäähdytysveden lämpötilaa ja poistettu lämpöenergia voidaan siirtää hyötykäyttöön esimerkiksi kaukolämpöverkkoon (ks. kuvio 25). Kuvion lämpöpumppu sitoo lämpöenergiaa kaukojäähdytysverkon paluuedestä ja siirtää kompressoritekniikan avulla lämpöenergiaa kaukolämpöverkkoon. Kolmen jäähdytysyksikön jälkeen jäähtynyt kaukojäähdytysvesi pumpataan takaisin asiakkaille. Lämpöenergiaa voidaan hyödyntää myös suoraan matalalämpöenergiana asiakkaalle. Lämpöpumpun lämmönlähteenä voidaan käyttää myös jätevettä tai vesistöä. (Koskelainen ym. 2006, 539.)



Kuvio 25. Lämpöpumpun toimintaperiaate (alkup. kuvio AdvanTEC n.d.)

Lämpöpumppu koostuu kolmesta kylmäainepiirin pääkomponentista: höyrystin, lauhdutin ja kompressori. Lisäksi prosessissa on venttiileitä, joilla säädelään kylmäaineen virtausta. Kiertoprosessi toimii vastaavalla tavalla kuin kompressorijäähdytyslaitteistossa. Höyrystimen tehtävänä on sitoa energiaa kylmäaineeseen jäähdytettävästä kohteesta. Kylmäaine höyrystyy höyrystimessä, koska se siirtyy höyrystimeen ympäröivää väliainetta alhaisemmassa lämpötilassa ja matalassa paineessa. Kompressori pitää höyrystimen painetason alhaisena ja höyrystymisen jatkuvana imemällä höyrystynyttä kylmäainetta höyrystimeltä. (Koskelainen ym. 2006, 540.)

Turku Energia ja Helen hyödyntävät jäähdytyksen tuotannossa jäteveden hukkalämpöä. Turussa sijaitsevalla Kakolan lämpöpumppulaitoksella siirretään lämpöenergiaa puhdistetusta jätevedestä kaukolämpöverkkoon, jonka jälkeen jäähtynyttä jätevettä käytetään kaukojäähdytyksen tuotantoon. Kakolan lämpöpumpputekniikalla voidaan tuottaa lähes 90 asteista kaukolämpöä. Laitoksen lämpöteho on 19,5 MW ja kylmäteho 13,0 MW. Katri Valan lämpöpumppulaitos Helsingin Sörnäisissä on maailman suurin lämpöä ja jäähdytystä tuottava lämpöpumppulaitos. Helenin lämpöpumppulaitoksen lämpöteho on 90 MW ja jäähdytysteho 60 MW. (Kakolan lämpöpumppulaitos 2009; Katri Valan lämpöpumppulaitos n.d.)

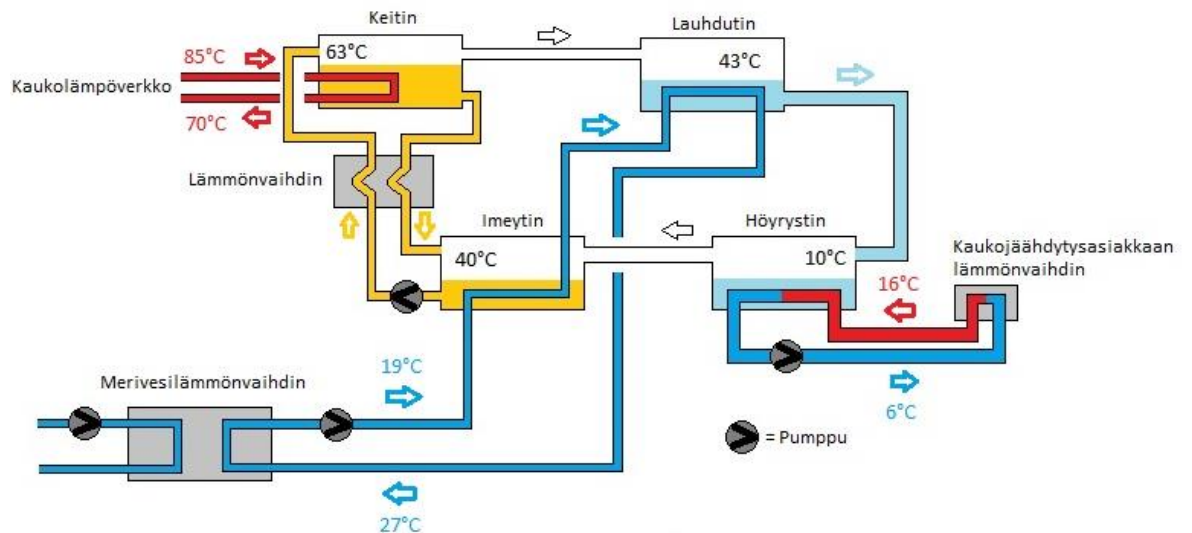
Tampereelle rakennettavan maauimalan lämmitys on suunniteltu toteutettavan lämpöpumpulla, joka jäähdyttää kaukojäähdytysverkon paluuvettä ja toimittaa jäähtyneen veden takaisin verkoston menopuolelle. Maauimalalle tuotetun lämpöenergian lämpötila on +40–65 °C:een välillä ja tarvittaessa uimalan lämmitystä voidaan tukea tai korvata kaukolämmöllä. (Heikkilä 2016a.)

5.4 Absorptiojäähdytys

Absorptiojäähdyttimet käyttävät prosessin primäärienergiana lämpöenergiaa, joka voi olla veden tai höyryn olomuodossa olevaa ylijäämälämpöä ulkopuolisista prosesseista. Absorptiolaitteisto on energiatehokas ratkaisu silloin, kun ylijäämälämpöä on saatavilla tai sen tuottaminen on edullista. Esimerkiksi Tornion Outokummun terästehdas hyödyntää hukkalämpöä kylmävalssaamon jäähdytysenergian tuotannossa (Huovinen 2015).

5.4.1 Absorptioprosessi

Absorptiojäähdytysprosessi perustuu sekä liuenneen aineen eli liuottimen että kylmäaineen eli absorbentin ominaisuuksiin ja erityisesti niiden muodostaman aineparin käyttäytymiseen. Tietyssä paineessa ja lämpötilassa kaasun (tai höyryn) ja nesteeseen absorboituneen kaasun välillä vallitsee tasapainotila. Paineen tai lämpötilan muuttuessa tasapaino muuttuu, jonka seurauksena vapautuu tai sitoutuu höyryä. Kuviossa 26 on havainnollistettu Helenin kaukojäähdytysprosessia, jossa absorptiokone tuottaa kesällä jäähdytysenergiaa edullisesti kaukolämmön avulla. (Koskelainen ym. 2006, 534.)



Kuvio 26. Absorptioprosessi (alkup. kuvio Koskelainen ym. 2006, 534)

Kylmäaine virtaa lauhduttimelta paisuntaventtiilin kautta höyrystimelle. Kylmäaine höyrystyy osittain jo paisuntaventtiilissä ja lopullisesti höyrystimessä. Höyrystimen lämpö saadaan jäähdyttävästä nestevirrasta, joka kaukojäähdytysliiketoiminnassa on asiakkailta siirrettävä lämmennyt vesi. Seuraavaksi höyry absorboidaan imeyttimessä liuottimeen eli absorbenttiin ja liuoksen painetta nostetaan. Tämä osa prosessia vastaa lämpövoimakoneen suorittamaa työtä ja korvaa mekaanisen kompressorin. Imeyttintä jäähdytetään lauhtumis- ja liukenemislämmön kompensoimiseksi. Keittimessä kylmäaine vapautetaan lämmittämällä liuosta ja väkevöitynyt liuos palautetaan lämmönsiirtimen ja paisuntaventtiilin kautta imeyttimeen. Keittimen vaatima lämpöenergia saadaan esimerkiksi kaukolämmöstä tai vieraan prosessin hukkalämmöstä. (Koskelainen ym. 2006, 534.)

Imeyttimen ja lauhduttimen jäähdytys toteutetaan usein kierrätettävällä jäähdytysvedellä, joka luovuttaa lämpöenergiaa jäähdytystorniin tai vesistöön. Keittimen ja imeyttimen välillä olevassa liuoslämmönsiirtimessä kuuman ja väkevän liuoksen lämpöä siirretään imeyttimestä poistuvaan laimentuneeseen liuokseen. Lämmönsiirtimen ansiosta lämpöpumpun hyötysuhde kasvaa. (Koskelainen ym. 2006, 534.)

5.4.2 Lauhdutin

Lauhdutin koostuu jäähdytysvesiputkistosta sekä välilevyistä. Käytettävissä olevan jäähdytysveden lämpötila määrää lauhduttimen lämpötilan ja lauhtumispaineen. Lämpötilan on oltava riittävän alhainen, jotta saadaan aikaan vaadittava lämpötila-gradientti. Jos työaineparin kiehumispisteet ovat lähellä toisiaan, keittimestä höyrystyy mukaan liuotinta. Edellä mainittu ilmiö on mahdollinen esimerkiksi ammoniakkin ja veden muodostamalle aineparille. Mikäli liuotinta kulkeutuu lauhduttimeen, lauhtumislämpötila nousee. $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O}$ -jäähdytyskoneistossa höyry puhdistetaan niin sanotulla rektifikaatiolla eli tislaamalla. (Koskelainen ym. 2006, 535.)

5.4.3 Höyrystin

Höyrystin koostuu höyrystinputkista ja jäähdytysaineen kokooma-altaasta. Höyrystimen paine määräytyy jäähdytyskohteen lämpötilatason mukaisesti. Jos jäähdytettävän veden lämpötilaksi vaaditaan $7\text{ }^\circ\text{C}$ ja kylmäaineena on vesi, höyrystimen lämpötila saa olla korkeintaan $4\text{--}5\text{ }^\circ\text{C}$, jotta saavutetaan tarvittava lämpötilaero lämmönsiirtoa varten. Höyrystimen painetta on laskettava, jos höyrystimeen kulkeutuva lauhide sisältää liuotinta. Paineen alentaminen pienentää jäähdyttimen tehoa ja laskee COP-arvoa. (Koskelainen ym. 2006, 535.)

5.4.4 Imeytin

Käytettävissä olevan jäähdytysveden lämpötila määrittelee imeyttimen lämpötilan. Jäähdytysveden tulolämpötilan ja imeyttimestä poistuvan liuoksen välillä on oltava riittävän suuri lämpötilaero, jotta saadaan aikaan tarvittava lämpötila- ja aineensiirtogradientti. Absorption jälkeinen tilapiste määräytyy höyrystymispaineen ja absorption loppulämpötilan perusteella. Myös liuenteen aineen pitoisuus määräytyy edellä mainittujen ehtojen mukaan. (Koskelainen ym. 2006, 535.)

Ideaalisessa palautuvassa absorptiossa vallitsee joka kohdassa aineen- ja lämmönsiirron tasapaino, jolloin ei esiinny lämpötila- tai konsentraatioeroja. Todellisuudessa höyrystimen ja imeyttimen välinen virtaus aikaansaadaan höyrynpaineen erolla. Imeyttimessä vallitsevan höyrynpaineen on oltava matalampi kuin höyrystimestä tulevan höyryn paine, jonka vuoksi syötettävä liuos usein alijäähdytetään ennen

imeytintä. Liuoksen pitoisuus imeytymisen jälkeen on pienempi kuin teoreettinen pitoisuus, joka vastaa loppulämpötilan ja paineen mukaista tasapainoa. (Koskelainen ym. 2006, 535.)

5.4.5 Keitin

Ideaalisessa prosessissa keittimen paine on sama kuin lauhduttimessa vallitseva paine. Todellisuudessa keittimen paine on painehäviöiden suuruuden verran korkeampi. Keittimeltä poistuvan liuoksen tilapiste riippuu keittimen paineesta ja loppulämpötilasta. Paine ja loppulämpötila riippuvat puolestaan keittimen rakenteesta ja käytettävästä lämmitysväliaineesta. Maksimilämpötilaa rajoittaa käytettyjen aineiden stabiilius. Lisäksi keittimen hyödyntämän primäärienergiavirran lämpötilan täytyy olla korkeampi kuin keittimessä vallitsevan lämpötilan, mikä aiheuttaa rajoituksia esimerkiksi kaukolämmön hyödyntämiselle absorptiojäähdytyksessä. Lisäämällä keitinyksiköiden määrää voidaan saavuttaa korkeampia COP-arvoja ja alentaa primäärienergian lämpötilaa. (Koskelainen ym. 2006, 536.)

5.5 Adsorptiojäähdytys

Adsorptiokone, jota kutsutaan myös varastoivaksi lämpöpumpuksi, toimii lämmöllä absorptiokoneen tapaan. Höyrystimeltä tuleva vesihöyry imeytetään liuoksen sijasta kiinteään materiaaliin. Prosessi toimii jaksottaisesti muutaman kymmenen sekunnin jaksosta kymmeneen minuutteihin. Kiinteä materiaali (silikageeli) kuivataan lämmöllä, esimerkiksi kaukolämmöllä, jolloin kosteus höyrystyy. Höyry johdetaan lauhduttimeen, jossa se luovuttaa lämpönsä jäähdyttävään vesivirtaan. Lämpö siirretään veden avulla esimerkiksi ulkoiseen jäähdytystorniin. (Koskelainen ym. 2006, 538.)

Silikageeli-vesi adsorptioprosessissa voidaan tuottaa kylmää vettä, jonka lämpötila on 3–18 °C. Käyttöenergiana hyödynnetyn lämpöenergian lämpötilaksi riittää 55 °C, maksimissaan lämpötila voi olla 90 °C. Käyttöveden jäähtymä on 5–15 °C ja sitä voidaan parantaa asentamalla jäähdytysmoduuleja sarjaan. Jäähdytysveden lämpötila on 25–33 °C, mutta on mahdollista käyttää myös kylmempää vettä, koska kiteytymisvaaraa ei ole. Parempi kylmäkerroin ja teho saadaan koneesta mahdollisimman korkealla käyttöveden ja kylmän veden lämpötilalla ja alhaisella jäähdytysveden lämpötilalla. Adsorptiokone on huollon osalta yhtä yksinkertainen kuin absorptiokone. Lait-

teisto pysyy kunnossa pumppujen, venttiilien ja lämmönsiirtimien perushuollolla. (Koskelainen ym. 2006, 538–539.)

6 Kaukojäähdytysenergian jakelu

Kaukojäähdytysenergia toimitetaan asiakkaille putkessa virtaavan jäähdytetyn veden avulla. Asiakkailla lämmennyt vesi siirtyy lämmönsiirtimien välityksellä jäähdytysverkon paluuputkeen, jonka kautta ylimääräinen lämpö siirtyy takaisin jäähdytyslaitokselle. Laitoksella paluuvesi jäähdytetään uudelleen ja toimitetaan asiakkaalle. Jäähdytysverkosto toimii vastaavalla tavalla kuin kaukolämpöverkosto, mutta jäähdytysverkossa ylimääräistä lämpöä siirretään asiakkailta tuotantolaitokselle. Kaukolämmössä lämpöenergia siirretään asiakkaalle. (Koskelainen ym. 2006, 541.)

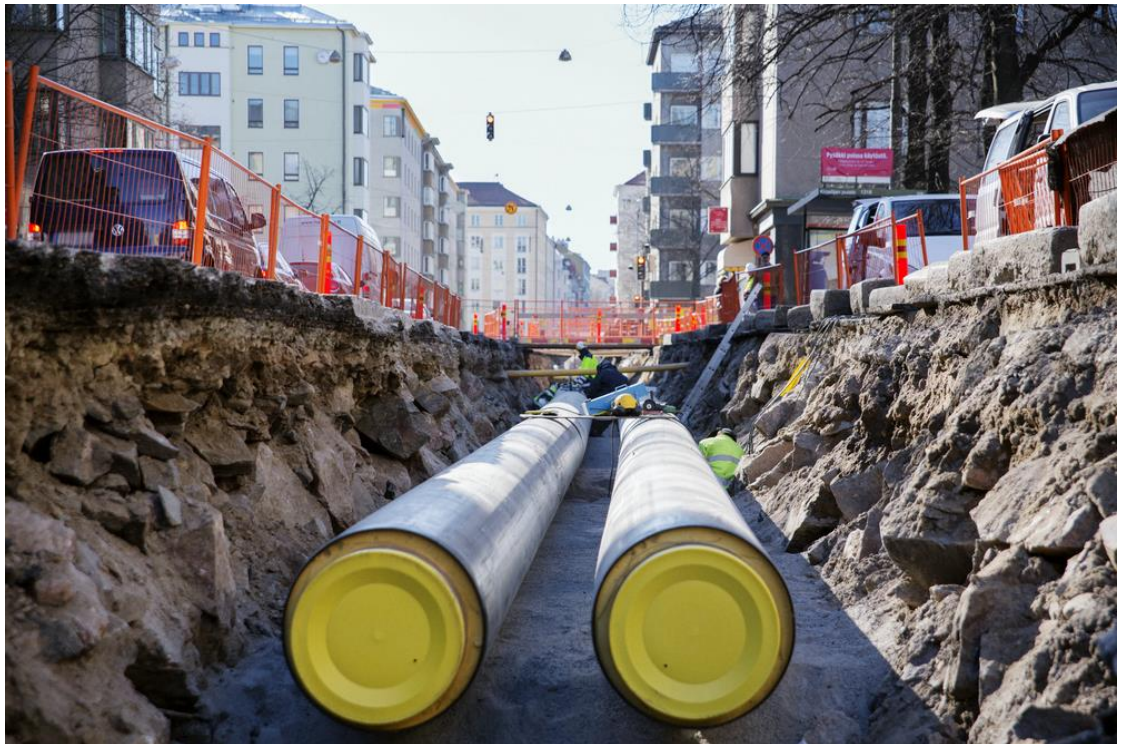
6.1 Jakelulämpötilat ja mitoitus

Kaukojäähdytysveden lämpötilat riippuvat käytettävästä kaukojäähdytysjärjestelmästä. Jäähdytysverkoston menolämpötila vaihtelee useimmiten 6–8 °C:een välillä. Jäähdytysveden lämpötila voidaan sovittaa yksittäisissä tapauksissa asiakkaan vaatimusten mukaisesti. Meno- ja paluupuolen välinen lämpötilaero vaihtelee tavallisesti 10–4 °C:een välillä toimituslämpötilasta riippuen. Jäähdytysveden toimituslämpötilan voidaan antaa liukua ulkolämpötilan mukaan, esimerkiksi välillä 6–12 °C. Liukumalla voidaan parantaa kylmäkoneen COP-arvoa ja vapaajäähdytyksen hyödyntämismahdollisuuksia. (Koskelainen ym. 2006, 541.)

Lämpötilaero kaukojäähdytysjärjestelmän meno- ja paluupuolen välillä on noin viidennes siitä, mitä kaukolämmön lämpötilaero on. Jäähdytysveden lämpötilan vuoksi virtausnopeus tulisi rajoittaa teräsputkissa arvoon 1–2 m/s eroosiovaaran vuoksi. Koskelainen ja muut (2006, 541) vertailevat Kaukolämmön käsikirjassa kaukolämpö- ja kaukojäähdytysputkiston siirtokapasiteettia. Halkaisijaltaan DN100 siirtojohdolla on mahdollista siirtää noin 370 kW kaukojäähdytystehoa ja 2900 kW kaukolämpötehoa. Pienen lämpötilaeron ja alhaisen virtausnopeuden vuoksi jäähdytysjohtojen halkaisijat ovat kaukolämpöjohtoja suuremmat. (Koskelainen ym. 2006, 541.)

6.2 Siirtojohdot

Kaukojäähdytysputkien materiaaleina voidaan käyttää muun muassa terästä, muovia sekä lasikuitua. Matalan lämpötilan vuoksi ilman ja maaperän kosteus tiivistyy helposti jäähdytysputken pinnalle aiheuttaen korroosiovaaraa. Villaa ei voida käyttää eristysmateriaalina kostumisvaaran vuoksi. Maahan asennettavissa johdoissa käytetään usein perinteistä kiinnivaahdotettua kaukolämpöjohtoa (ks. kuvio 27). Kaukojäähdytysjohdon ja maan välille ei muodostu yhtä suurta lämpötilaeroa kuin kaukolämmityksessä, joten putken ympärillä voidaan käyttää ohuempaa eristekerrosta. Jäähdytysputki täytyy lämpöeristää ja suojata kosteudelta kaikissa olosuhteissa. Jäähdytysverkon rakentamiskustannukset ovat samaa kokoluokkaa kuin kaukolämmitysverkon. (Koskelainen ym. 2006, 541.)

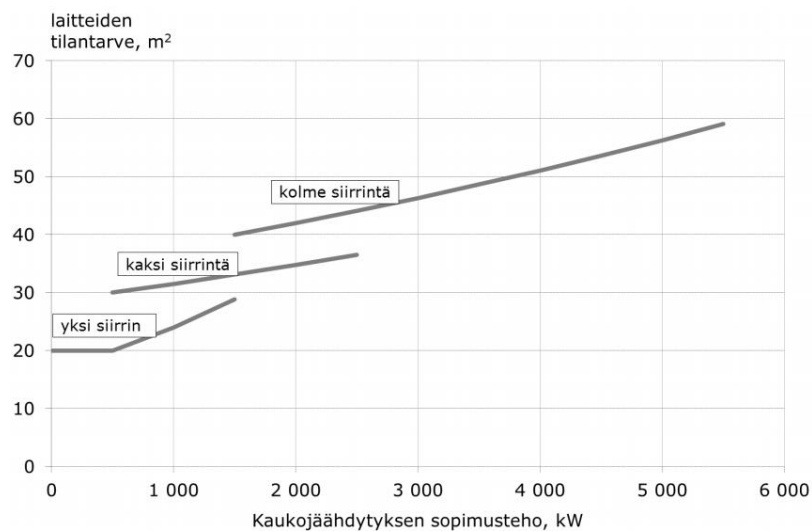


Kuvio 27. Kaukojäähdytysverkon rakennustyömaa Helsingissä (Aaltonen 2015)

6.3 Jäähdytysenergian mittaaminen ja asiakaslaitteet

Energiateollisuus ry on laatinut rakennusten kaukojäähdytykselle julkaisun J1/2014 (Rakennusten kaukojäähdytys 2014), jonka sisältämien laatuvaatimusten ja ohjeiden tarkoituksena on taata asiakkaiden ostaman jäähdytysenergian korkea laatu tarkoituksenmukaisilla laitteilla ja laadunvalvonnalla. Julkaisussa käsitellään teknisien tilojen ja jäähdytyskeskuksen laitteiden vaatimuksia, kuvaillaan rakennusten jäähdytysjärjestelmiä ja kytkentätapoja sekä annetaan ohjeita laadunvarmistukseen ja tarkastuksiin. (Rakennusten kaukojäähdytys 2014)

Kaukojäähdytyksen mittakeskus ja asiakaslaitteet sijoitetaan asiakkaan tekniseen laitetilaan. Asiakas ja myyjä selvittävät ja sopivat laitetilän sijoittamisesta heti suunnittelun alkuvaiheessa. Laitetila pyritään sijoittamaan uudisrakennuksessa siten, että liittymisjohto on mahdollisimman lyhyt kaukojäähdytysverkosta tekniseen tilaan. Myös muiden yhdyskuntateknisten järjestelmien, kuten kaukolämmön, veden ja sähkön liittynät pyritään sijoittamaan samaan tilaan, jonne on yhteinen käynti suoraan ulkoa. Teknisen laitetilän sijoittamisessa tulee huomioida myös laitteiden aiheuttama ääni siten, että sallittu äänitaso ei ylitä asuinhuoneistoissa. Energiateollisuus ry:n julkaisussa J1/2014 on annettu myös suuntaa antavia ohjeita laitetilän koosta (ks. kuvio 28), vaadittavista olosuhteista sekä laitteiden sijoittamisesta. (Rakennusten kaukojäähdytys 2014, 4.)



Kuvio 28. Kaukojäähdytyslaitteiden ohjeellinen tilantarve (Rakennusten kaukojäähdytys 2014, liite 1)

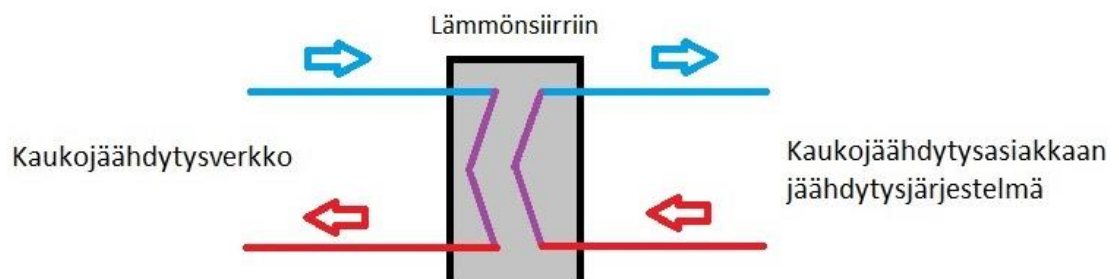
Kaukojäähdytysenergian mittaamisessa voidaan käyttää samanlaisia energiamittareita kuin kaukolämpöenergian mittauksessa. Mittaus perustuu ensiöpuolen meno- ja paluuveden lämpötilaeron sekä vesivirtauksen avulla laskettuun energiankulutukseen. Mittalaitteiden valinnassa ja mitoituksessa tulee kuitenkin huomioida kaukojäähdytyksen erityispiirteet:

- lämpötilaero on huomattavasti pienempi kuin kaukolämpöverkossa
 - o lämpötila-antureiden mittaustarkkuuden on oltava hyvä
 - o lämpötila-antureita asennettaessa on varmistettava, että anturi mittaa todellista lämpötilaa, sillä matalilla virtausnopeuksilla lämpötilakerrostumat ovat mahdollisia
 - o lämpötila-anturit tulee eristää
- virtausanturi on valittava huomioiden jäähdytysveden matala lämpötila ja virtauksen suuri vaihtelu
- putken suuren DN-koon vuoksi lämpötila-anturien valinnassa on huomioitava, että anturit ovat riittävän pitkiä.

(Koskelainen ym. 2006, 544.)

Kaukojäähdytysasiakas voidaan liittää verkkoon joko suoralla tai epäsuoralla kytkennällä (ks. kuvio 29). Suorassa kytkennässä jäähdytysverkon vesi kiertää asiakkaan jäähdytysjärjestelmässä. Epäsuora kytkentä toteutetaan rakennuksen tekniseen tilaan sijoitetulla lämmönsiirtimellä, jonka ansiosta kaukojäähdytysverkosto ja rakennuksen jäähdytysjärjestelmä muodostavat omat kiertopiirinsä. Kaukojäähdytysverkkoon liitettävät asiakkaat kytketään verkostoon lähes aina epäsuoralla kytkennällä.

(Koskelainen ym. 2006, 546.)



Kuvio 29. Kaukojäähdytysasiakkaan epäsuorakytkentä

Kytkentätapa valitaan jäähdytettävän rakennuksen ja sen jäähdytysjärjestelmän mukaan. Kytkenällä tavoitellaan jäähdytysvedelle mahdollisimman suurta lämpenemää. Korkeammalla paluuveden lämpötilalla saadaan pienennettyä vesivirran tarvetta, mikä tarkoittaa säästöjä pumppauskustannuksissa. (Koskelainen ym. 2006, 546.)

Mitoituspaine määräytyy ympäristön mukaan. Jos kaukojäähdytysverkosto rakennetaan kaupunkiolosuhteisiin, jossa esiintyy korkeuseroja ja korkeita rakennuksia, valitaan mitoituspainetasoksi usein 1,6 MPa. Pienissä alueverkoissa voidaan mitoituspaineksi valita myös 0,6 tai 1,0 MPa. Uudisrakennusten mitoituslämpötilat liikkuvat ensiöpuolella 7–18 °C:een ja toisiopuolella 9–20 °C:een välillä. Saneerauskohteiden tyyppillisiksi mitoituslämpötiloiksi ilmoitetaan 8–14 °C ja 9–15 °C. Kaukojäähdytyslaitteiden suunnittelulämpötila eli laitteiden sisällä virtaavan veden korkein sallittu lämpötila on 30 °C (Rakennusten kaukojäähdytys 2014, 2). (Koskelainen ym. 2006, 546.)

Jäähdytyskeskuksen pääkomponentit ovat lämmönsiirrin, säätölaitteet ja venttiilit. Kaukojäähdytysveden matalan lämpötilaeron vuoksi lämmönsiirtimien on kyettävä mahdollisimman hyvää lämmönsiirtoon. Suurten virtauksien vuoksi lämmönsiirtimen tyyppi soveltuu levylämmönsiirrin. Siirtimen materiaaleiksi suositellaan ruostumatonta ja haponkestävää terästä sekä kuparia. Säätöpiirien säätöjärjestelmien täytyy olla suunniteltu, mitoitettu, valittu asennettu ja viritetty niin, että haluttu lopputulos saavutetaan kaikissa käyttötilanteissa. Kondenssiveden aiheuttamien vaurioiden välttämiseksi säätölaitteiden materiaalina täytyy käyttää ruostumatonta ja haponkestävää terästä sekä kuparia. (Koskelainen ym. 2006, 547.)

Kiinteistöissä jäähdytysvesi siirretään pumpun avulla lämmönsiirtimiltä huoneistojen jäähdytyslaitteille ja ilmastointikoneiden jäähdytyspattereille, joista lämmennyt vesi palaa takaisin lämmönsiirtimelle. Jäähdytysvesi kulkee nousu- ja vaakavetoputkistoja pitkin huoneistojen ja lämmönjakokeskuksen välillä. Jäähdytys voidaan jakaa huoneistoihin lattijäähdytyksellä, kattoon tai seinään asennetuilla tilalaitteilla sekä ilmanvaihdon kautta. Kattolaitteita ovat muun muassa puhallinkonvektori, jäähdytyspalkki ja kattosäteilijä. Seinään asennetut tilalaiteratkaisut ovat puhallinradiaattoreita, joilla voidaan toteuttaa sekä lämmitys että jäähdytys. (Talotekniikka n.d.)

7 Lappeenrannan jäähdytysmarkkinat

7.1 Jäähdytystarpeen kartoittaminen

Lappeenrannan kaupungin alueella olevaa jäähdytysenergiantarvetta tarkasteltiin ydinkeskustassa, kauppahallien muodostamissa liiketilakeskitymissä sekä suurten julkisten rakennusten ja asuinkeksuksien yhteydessä. Kohdealueet valittiin kartta-tiedustelun ja paikallistuntemuksen avulla. Tarkastelua varten laadittiin Excel-laskentataulukko, johon kerättiin rakennusten tietoja kohdealueilta. Rakennusten teknisiä tietoja saatiin Lappeenrannan tilakeskuksen tilahallintatiimiltä (Rakennusluettelo 2016) ja Lappeenrannan Energia Oy:n asiakastietorekisteristä.

Kaupungin tilakeskuksen tiedoista kävi ilmi kaupungin omistamien rakennuksien sijainti, kerros- ja huoneistoala, kokonaistilavuus ja valmistumisvuosi. Energiayhtiön asiakasrekisteristä saadun rakennustilavuuden avulla voitiin arvioida rakennuksen pinta-ala jäähdytystarpeen laskentaa varten. Asiakasrekisterin tilavuustiedot erosivat osaltaan rakennusluettelossa olevista tiedoista. Erojen syyksi epäiltiin, että osa tilavuuksista on arvioitu asiakasrekisteriin tarkan tiedon puuttuessa.

Jäähdytystarpeen kartoittamisessa hyödynnettiin Energiateollisuus ry:n laatimaa jäähdytystehon ja -energian kulutuksen arviointitaulukkoa Kaukolämmön käsikirjasta sekä VTT:n Rakennusten jäähdytysmarkkinat -raporttia, johon on kerätty tietoja jäähdytystarpeen simuloinnista IDA ICE -simulointiohjelmistolla. IDA ICE on ruotsalaisen Equa Simulation AB:n kehittämä simulointityökalu, jolla voidaan tutkia rakennuksen lämpötasetta sekä energiankulutusta (IDA n.d.).

Simuloinnin tulokset on esitetty VTT:n raportissa erilaisille rakennustyypeille sekä aurinkosuojauksen kanssa että ilman suojausta. Taulukot tarjoavat tuntitason simulointitulokset jäähdytysenergialle ja jäähdytysteholle (ks. liite 1). Taulukoita luettaessa on huomattava, että huipputehot ovat suurempia lyhyemmällä aika-asteleella sekä simuloinnissa että todellisuudessa (Airaksinen ym. 2015, 19). VTT:n taulukoita täydennettiin Energiateollisuuden Kaukolämmön käsikirjan taulukon arvoilla, jotta jäähdytystarpeen arviointia varten saatiin aikaan yksiselitteiset taulukot ennen vuotta 2010 ja vuoden 2015 jälkeen rakennetuille rakennuksille (ks. taulukko 6 ja 7). Taulukoissa on arvot aurinkosuojattujen (A-suojaus) ja ilman aurinkosuojaa (Ei a-suojaa)

olevien rakennuksien jäähdytystarpeille sekä jäähdytystarpeen keskiarvo (KA). Jäähdytystarve laskettiin sekä keskiarvon että maksimi- ja minimiarvojen mukaan. Simuloinnissa käytettiin vuoden 2012 säätietoja.

Taulukko 6. Jäähdytystarpeen arviointitaulukko ennen vuotta 2010 rakennetuille rakennuksille

Rakennustyyppi	Tehontarve (W/m ²)			Energiankulutus (kWh/m ²)		
	Ei a-suojaa	A-suojaus	KA	Ei a-suojaa	A-suojaus	KA
Pientalot	23	4	13,5	2	0,5	1,25
Kerrostalot	10	0	5	1	0,5	0,75
Toimistorakennus	90	41	65,5	34	6	20
Opetusalan rak.	76	66	71	13	7	10
Liikerakennukset	200	100	150	12	12	12
Hoitoalan rak.	90	41	65,5	34	6	20
Hotellit	70	40	55	34	6	20

Taulukko 7. Jäähdytystarpeen arviointitaulukko vuoden 2015 jälkeen rakennetuille rakennuksille

Rakennustyyppi	Tehontarve (W/m ²)			Energiankulutus (kWh/m ²)		
	Ei a-suojaa	A-suojaus	KA	Ei a-suojaa	A-suojaus	KA
Pientalot	24	9	16,5	12	2	7
Kerrostalot	21	16	18,5	6	3	4,5
Toimistorakennus	82	42	62	39	7	23
Opetusalan rak.	76	65	70,5	16	8	12
Liikerakennukset	200	100	150	15	15	15
Hoitoalan rak.	82	42	62	39	7	23
Hotellit	70	40	55	39	7	23

7.2 Kohdealueet

Jäähdytystarkasteluun valitut alueet on merkitty Lappeenrannan kartalle kuvioon 30. Lappeenrannan keskustaajaman lisäksi tarkastelussa oli mukana Joutsenon keskustan alue, joka sijaitsee noin 20 km Lappeenrannan kaupungin keskustasta. Teollisuuden jäähdytyskohteita, kuten Kaukaan tehdasaluetta, ei tarkastella tässä työssä. Etelä-Karjalan keskussairaalan aluetta ei ole käsitelty tässä luvussa, sillä sairaala-alue on tarkasteltu luvussa 10 esimerkkiprojektin dokumentoinnin yhteydessä.

Kohdealueiden jäähdytystarvetta on tarkasteltu omissa alaluvuissa. Jäähdytystarpeen tuloksien lisäksi kerättiin tietoa alueen rakennuskannan nykytilasta ja tulevaisuuden rakentamissuunnitelmista. Tulevaisuuden aluesuunnittelusta saatiin lisätietoa Lappeenrannan kaavoituskatsauksesta (2016), jossa on kuvailtu, mille alueille lähivuosi- na kohdistetaan kaavoitustoimenpiteitä. Asemakaavakohteita on kuvailtu tarkemmin Lappeenrannan kaupungin julkaisemassa ”Kaavoitusohjelma 2016–2017 asemakaavakohteet” -dokumentissa (2016).

Lappeenrannan kartalle (ks. kuvio 30) merkityt alueet ovat:

1. Keskusta
2. Skinnarila (Teknillinen yliopisto, Saimaan ammattikorkeakoulu ja Technopolis)
3. Sammonlahti
4. Viipurin Vaneri
5. Reijola
6. Myllymäki (itä ja länsi)
7. Joutsenon keskusta



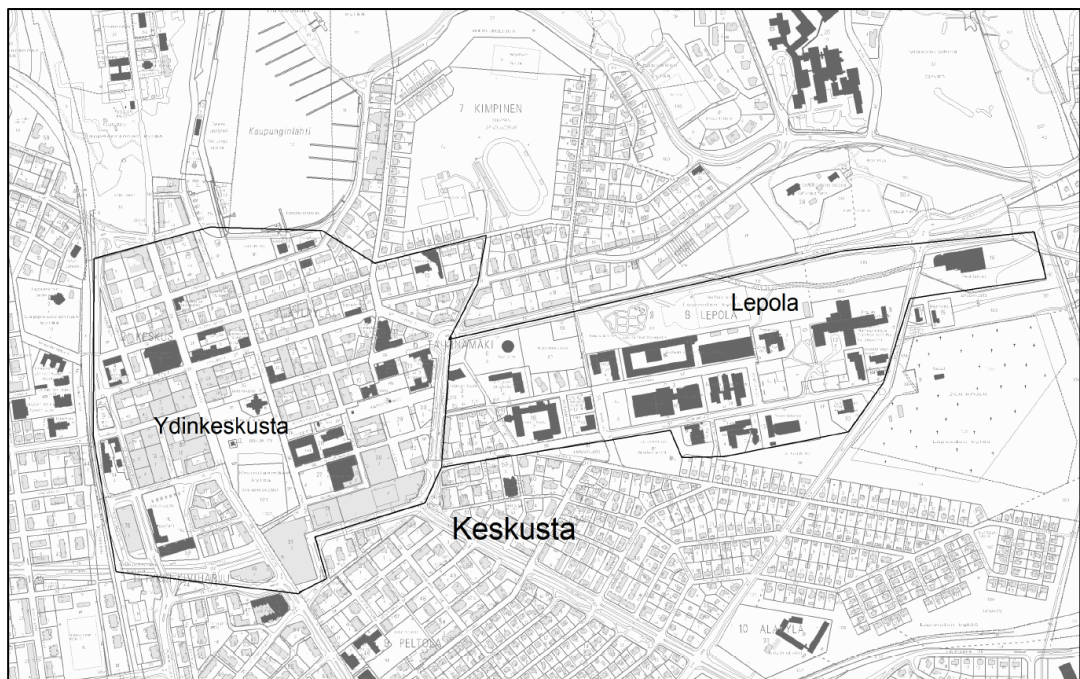
Kuvio 30. Jäähdytystarkastelussa mukana olleet alueet (Pohjakartta n.d., muokattu)

7.2.1 Keskusta

Keskustan rakennuskanta on suhteellisen matalaa. Suurimmassa osassa ydinkeskustan rakennuksia on alle kolme huonekerrosta, mutta myös korkeampia rakennuksia on. Rakentamisessa on huomioitu johdonmukaisesti kaupungin eheä silhuetti Sai-

maalle päin, minkä vuoksi rakentaminen rajoittuu pääosin mataliin rakennuksiin. Paikoitellen rakennuksissa on kuitenkin jopa 7–8 kerrosta. Rakennusten ikä vaihtelee keskustan alueella hyvin paljon vanhimpien rakennusten ollessa 1800-luvulta. Pääasiassa rakennuskanta on peräisin 1950–1960-luvuilta. Keskustan uudisrakentamisen ja rakennuksien ikääntymisestä johtuvien saneerauksien johdosta rakennuksia voitaisiin mahdollisesti varustaa kaukojäähdytystekniikalla. Koska rakennusten ikärakenne on laaja ja vanhemmat rakennukset sijaitsevat uudempien rakennusten seassa, saneerattavien kohteiden saavuttaminen edellyttäisi jäähdytysverkon rakentamista laajalle alueelle. (Kaupunkikuvaselvitys 2013.)

Jäähdytystarpeen tarkastelussa keskustan alue jaettiin kahteen osaan, ydinkeskustaan ja Lepolan alueeseen (ks. kuvio 31). Ydinkeskusta on Lappeenrannan palvelu- ja toimitilakeskittymä. Alueella sijaitsevat muun muassa kaupungin hallintorakennukset, teatteri sekä kolmen suuren hotelliketjun hotellirakennukset. Ydinkeskustassa on neljän kauppakeskuksen lisäksi yksittäisiä erikoisliikkeitä ja useita ravintoloita.



Kuvio 31. Lappeenrannan keskusta (Pohjakartta n.d., muokattu)

Lepolan alueelle sijoittuvat Saimaan ammattiopiston toimipisteet, Etelä-Karjalan sosiaali- ja terveystieteiden tutkimuskeskus sekä Kaakon Viestintä Oy:n toimistorakennus. Lisäksi Lepolan länsiosassa sijaitsee Kimpisen kampus, jonka

tiloja käyttävät esikoululaiset, ala- ja yläkoululaiset sekä lukiolaiset. Lappeenrannan uimahalli ja urheilutalo sijaitsevat keskellä Lepolan aluetta.

Ydinkeskustan jäähdytystarpeeksi saatiin keskimääräisillä jäähdytystarpeen arvoilla noin 26,2 MW ja 3,2 GWh. Lepolan jäähdytystarve on noin 6,8 MW ja 1,3 GWh, joten keskustan alueen kokonaistarve jäähdytyksen osalta on 33,0 MW ja 4,5 GWh. Simulointituloksien perusteella suurin mahdollinen tehontarve on alueella 43 MW, kun oletetaan, että rakennuksia ei ole suojattu ollenkaan auringon säteilyltä. Aurinkosuojauksella varustetun rakennuskannan tehontarve on noin 23 MW. Keskustan jäähdytystarve on esitetty rakennustyypeittäin taulukossa 8. Ydinkeskustan laskentataulukko on esitetty liitteessä 2 ja Lepolan laskentataulukko liitteessä 3.

Taulukko 8. Keskustan jäähdytystarve

YHTEENVETO: Keskusta (Lepola + Ydinkeskusta)	MW	GWh
Terveystarve- ja sosiaalirakennukset	1,7	0,5
Toimistotilat	2,3	0,7
Julkiset rakennukset	5,7	1,0
Kauppakeskukset	21,7	1,7
Hotellit	1,7	0,6
Yhteensä	33,0	4,5

Lappeenrannan kaavoitusohjelmaan on merkitty keskustan alueelta muutamia kohteita, joiden uudisrakentamisen ja saneeraamisen mahdollisuuksia tutkitaan. Raatihuoneen korttelin kaavamuutoksen tavoitteena on tutkia uudisrakentamisen mahdollisuutta Koulukadun varrella. Kauppatorin ja sen ympäristökortteleiden kehittämissuunnitelman tavoitteeseen kuuluu Karjalankulman rakennuksen korottaminen. Pormestarinkorttelin asemakaavasuunnittelun tavoitteena on mahdollistaa uusi asuin-, liiketila- ja toimistorakentaminen. Entisen kaupunginteatterin tontin suunnittelusta järjestettiin tontinluovutuskilpailu vuonna 2014. Asemakaava entisen teatterin tontille laaditaan voittajaehdotuksen pohjalta. Lisäksi Lepola itäosaan, Vanhoillilestadiolaisten kirkon rukoushuoneen tontin tilalle suunnitellaan asuinalueita useamman kerrostalon myötä. (Asemakaavakohteet 2016.)

7.2.2 Skinnarila

Skinnarilan kaupungin osasta tarkasteltiin Lappeenrannan teknillisen yliopiston kampusalue (ks kuvio 32). Tarkastelualueen pohjoisosassa sijaitsee Saimaan ammattikorkeakoulun kampus. Ammattikorkeakoulun eteläpuolella on yliopiston moniosainen rakennus. Alueella sijaitsee myös Technopoliksen ja VTT:n kiinteistöjä sekä Lappeenrannan seudun opiskelija-asuntosäätiön kerrostaloja.



Kuvio 32. Skinnarilan tarkastelualue (Pohjakartta n.d., muokattu)

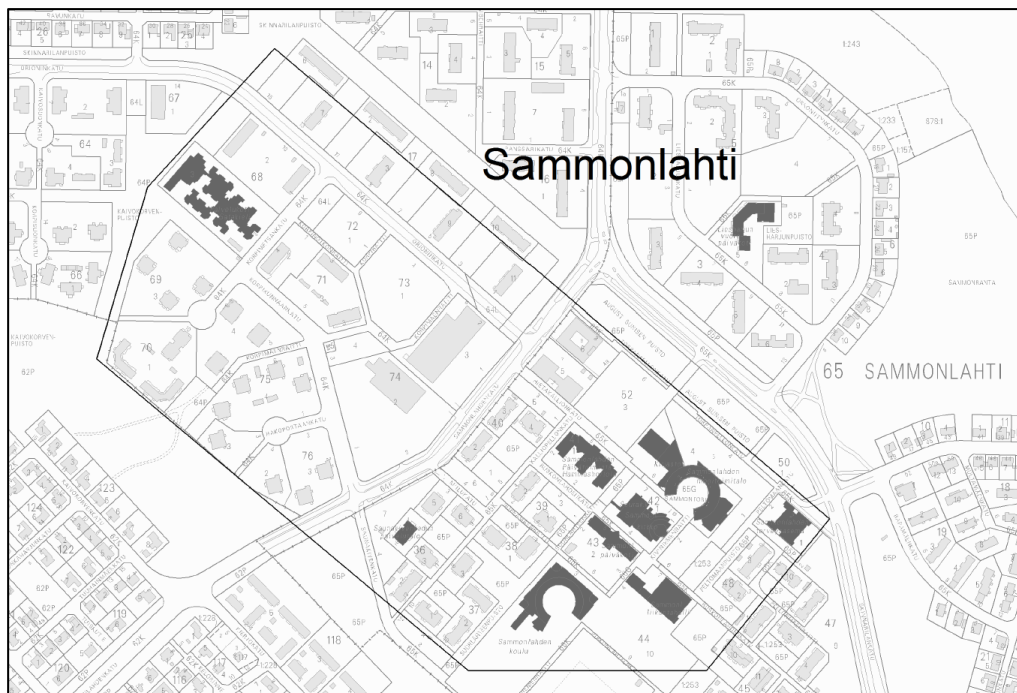
Skinnarilassa korkeakoulujen, yritysten toimipisteiden ja asuinkerrostalojen muodostama jäähdytyspotentiaali on yhteensä noin 10,5 MW ja 1,7 GWh. Taulukkoarvojen perusteella jäähdytysteho asettuu 17,4 ja 34,9 MW:n välille, kun huomioidaan aurinkosuojausten vaikutus. Tarvittava jäähdytysenergia on välillä 2,7–5,8 GWh. Keskimääräisen jäähdytystarpeen arvion jakautuminen korkeakoulun, toimistotilojen ja kerrostalojen kesken on esitetty taulukossa 9. Skinnarilan alueen laskentataulukko on opinnäytetyön liitteenä 4.

Taulukko 9. Skinnarilan jäähdytystarve

YHTEENVETO: Skinnarila	MW	GWh
Julkiset rakennukset	9,0	1,3
Toimistorakennukset	1,3	0,4
Asuinrakennukset	0,2	0,03
Yhteensä	10,5	1,7

7.2.3 Sammonlahti

Sammonlahden kaupunginosasta tarkasteltiin alueen palvelukeskittymän jäähdytystarvetta (ks. kuvio 33). Tarkastelualueella sijaitsevat Sammonlahden terveysasema, päivätoimintakeskus ja palvelutalo Satakieli sekä ruokakaupat S-market ja K-supermarket. Sammontorin kaareva rakennus toimii monitoimitalona erilaisille liikkeille ja yrityksille tarkastelualueen itäosassa. Sammontorin läheisyydessä sijaitsee Sammonlahden kirkko, liikuntahalli, koulu ja päiväkot.



Kuvio 33. Sammonlahden keskus (Pohjakartta n.d., muokattu)

Sammonlahden alueella olevien rakennusten yhteenlasketun jäähdytystehontarve on noin 2,2 MW ja jäähdytysenergian kulutus noin 0,34 GWh. Todellisen tehoalueen

arvioitiin taulukkoarvojen perusteella olevan 1,5–2,9 MW:n välillä ja energiankulutuksen 0,2-0,5 GWh:n haarukassa. Jäähdytystarpeen jakautuminen rakennustyyppien kesken on esitetty taulukossa 10 ja koko laskentataulukko on liitteenä 5.

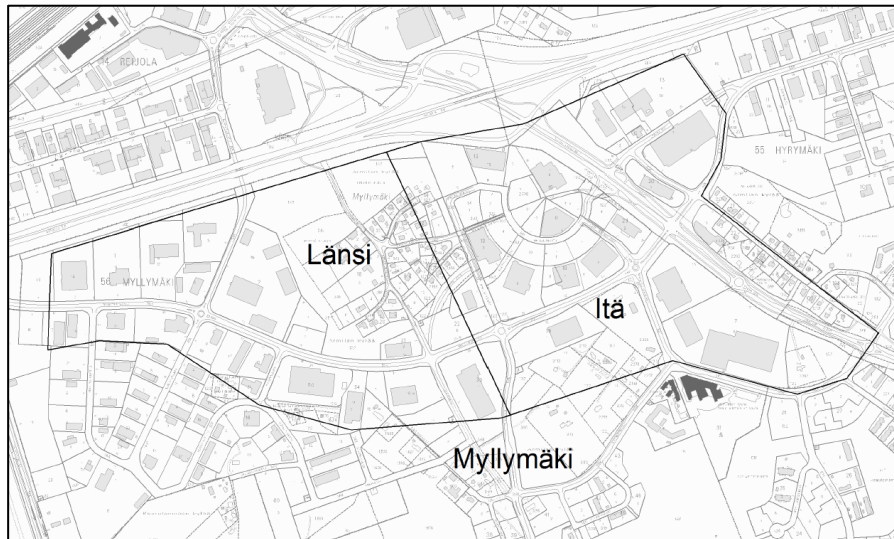
Taulukko 10. Sammonlahden jäähdytystarve

YHTEENVETO: Sammonlahti	MW	MWh
Terveystarve- ja sosiaalirakennukset	0,6	195
Julkiset rakennukset	0,4	57
Liikerakennukset	1,1	91
Yhteensä	2,2	344

Lappeenrannan länsialueelle on laadittu palveluverkkoselvitystä, joka valmistuu vuoden 2016 alussa. Alueelle tehdään tulevaisuudessa asemakaavamuutoksia, jotka mahdollistavat palveluverkon, erityisesti koulujen ja päiväkotien, toiminnan kehittämisen hallintoelimissä päätettyjen linjausten mukaisesti. Palveluverkkoselvityksen pohjalta alue uudistetaan koulujen, päiväkotien ja liikuntapaikkojen osalta. Sammonlahden liikuntahallin purkamista ja sen korvaamista uudella suuremmalla hallilla on suunniteltu kevään 2016 aikana. (Asemakaavakohteet 2016, 21; Sopanen 2016.)

7.2.4 Myllymäki

Myllymäki sijaitsee Lappeenrantaan halkovan 6-tien eteläpuolella (ks. kuvio 34). Tarkastelussa alue jaettiin kahteen osaan, läntiseen ja itäiseen Myllymäkeen. Itäinen osa on kauppa-alue, jonne on sijoittunut paljon eri alojen liikkeitä. Alueen liiketilat ovat hallimaisia, korkeita rakennuksia. Länsiosassa Myllymäkeä on teollisuuden ja teknisten palveluiden erikoisliikkeitä sekä autoliikkeitä. Kaavoitussuunnitelmissa on mainittu, että Myllymäen itäpuolella olevan Hyrymäen teollisuusalueen ja Airikanpuiston asemakaavat tarkastetaan teollisuustonttien laajentamis- sekä liike- ja palvelurakentamisen mahdollisuuksien selvittämiseksi (Asemakaavakohteet 2016).



Kuvio 34. Myllymäen kaupunginosa (Pohjakartta n.d., muokattu)

Myllymäen alueen yhteenlaskettu jäähdytystehontarve on noin 14,9 MW ja jäähdytysenergiankulutus 2,1 GWh. Tehontarve itäalueella (13,8 MW) on huomattavasti länsialuetta (1,1 MW) suurempi. Myllymäen laskentataulukossa (liite 6) on eritelty tarkemmin itä- ja länsiosien jäähdytystarpeen muodostuminen. Taulukossa 11 on eritelty jäähdytystarve rakennustyypeittäin. Itäalueen suurikokoiset liikehallit muodostavat suurimman osan koko alueen jäähdytystarpeesta.

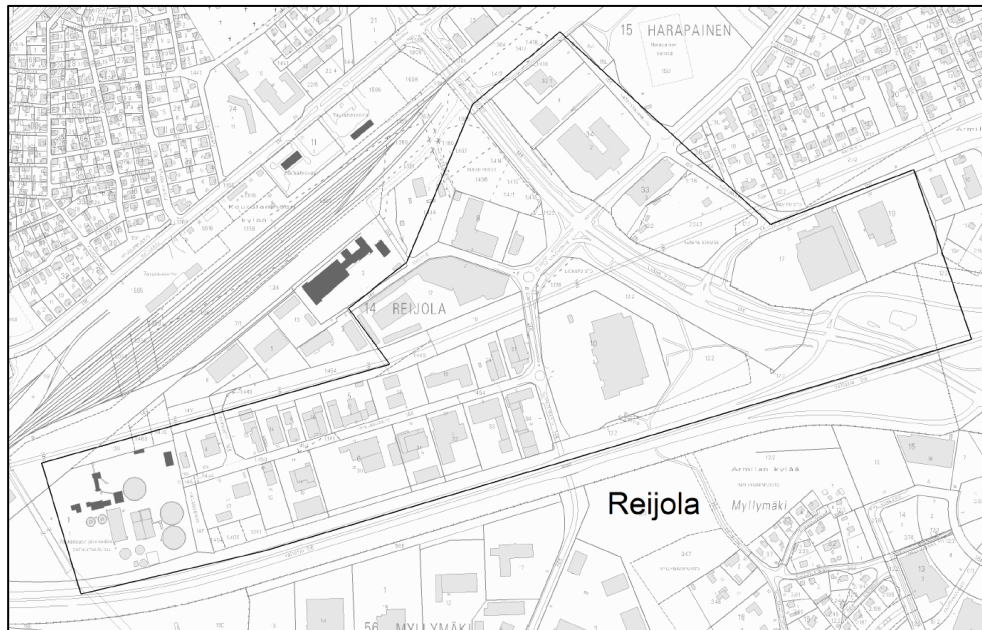
Taulukko 11. Myllymäen jäähdytystarve

YHTEENVETO: Myllymäki	MW	GWh
Julkiset rakennukset	0,4	0,04
Liikerakennukset	13,4	1,1
Yritykset	1,1	1,0
Yhteensä	14,9	2,1

7.2.5 Reijola

Reijolan kaupunginosa sijaitsee Myllymäen alueen pohjoispuolella, vastakkaisella puolella 6-tietä (ks. kuvio 35). Reijola on teollisuusalue, jonne ei ole sijoittunut ollenkaan asutusta. Tarkastelualueella on teollisuuden lisäksi niin suuria kuin pieniä päivittäistavarakauppoja. Lisäksi alueella on muuta kaupallista toimintaa, kuten autokaup-

poja, rautakauppoja ja korjaamoja. Muun muassa S-market Myllykeskus, K-citymarket, K-rauta ja SisteK palvelevat alueella. Toikansuontien länsipäässä sijaitsee kaupungin jäteveden puhdistuslaitos. (Kaupunkikuvaselvitys 2013, 39.)



Kuvio 35. Reijolan tarkastelualue (Pohjakartta n.d., muokattu)

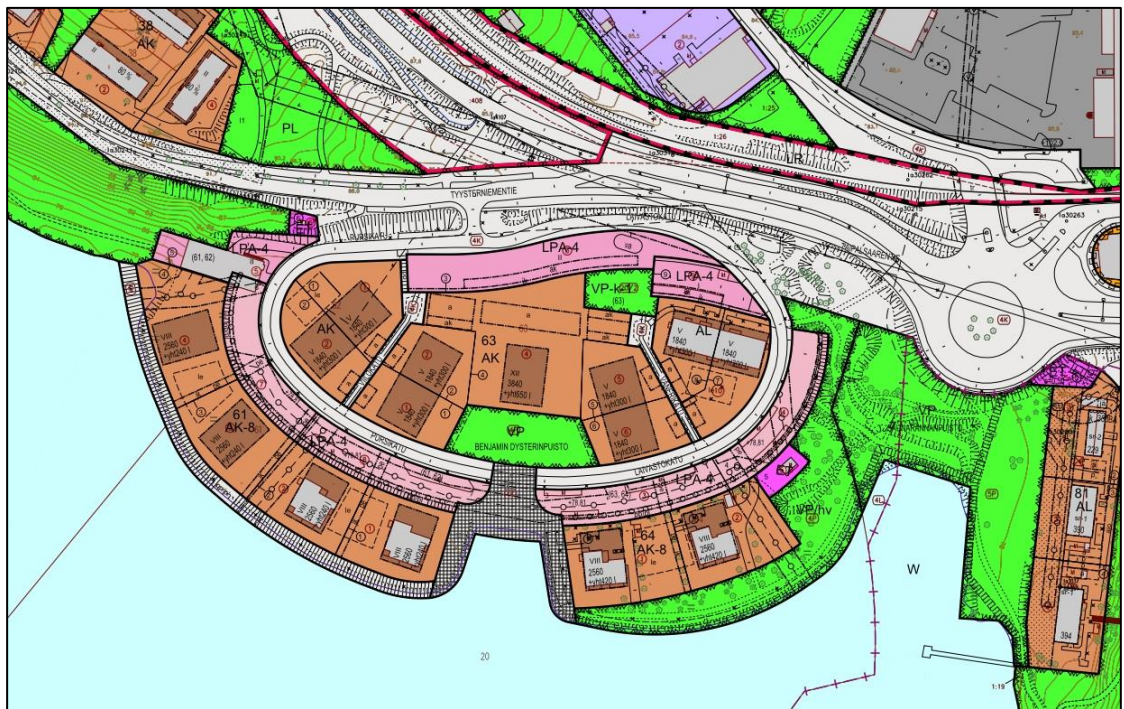
Reijolan tarkastelualueen jäähdytystarve on noin 5,9 MW, kun taulukkoarvojen vaihteluväliksi laskettiin 4,3–8,5 MW. Jäähdytysenergian laskennallinen kulutus vuodessa on noin 0,7 GWh. Alueella toimivien autoliikkeiden ominaistehontarvelukuna käytettiin toimistorakennuksien arvoa 65,5 W/m² (ks. liite 7), jonka arvioitiin olevan lähempänä todellista kuin liikerakennuksen ominaisarvot. Lisäksi autoliikkeiden jäähdytystarpeeseen huomioitiin vain puolet lasketusta, sillä useimmiten puolet rakennuksen pohjapinta-alasta on käytetty huoltotiloihin, joiden jäähdytystarve on vähäistä. Taulukkoon 12 on koottu Reijolan alueen tarkastelun tuloksia rakennustyypeittäin.

Taulukko 12. Reijolan jäähdytystarve

YHTEENVETO: Reijola	MW	MWh
Liikerakennukset	4,9	388
Yritykset	0,6	169
Autoliikkeet	0,5	138
Yhteensä	5,9	694

7.2.6 Viipurin Vanerin kerrostaloalue

Jäähdytystarkasteluun otettiin mukaan myös uusi kerrostaloalue Saimaan rannalta (ks. kuvio 36). Kerrostaloaluetta on rakennettu entisen Viipurin Vanerin vaneritehtaan tontille. Skanska ja YIT Rakennus solmivat vuonna 2011 esisopimuksen Viipurin Vanerin alueen tonttikaupasta. Sopimuksen mukaan YIT osti Skanskalta vajaat puolet alueen kokonaisrakennusoikeudesta. Alueen rakentaminen toteutetaan vaiheittain ja alueelle syntyy noin 500–550 kerrostaloasuntoa. (Viipurin Vanerin rakentaminen alkaa 2011.)

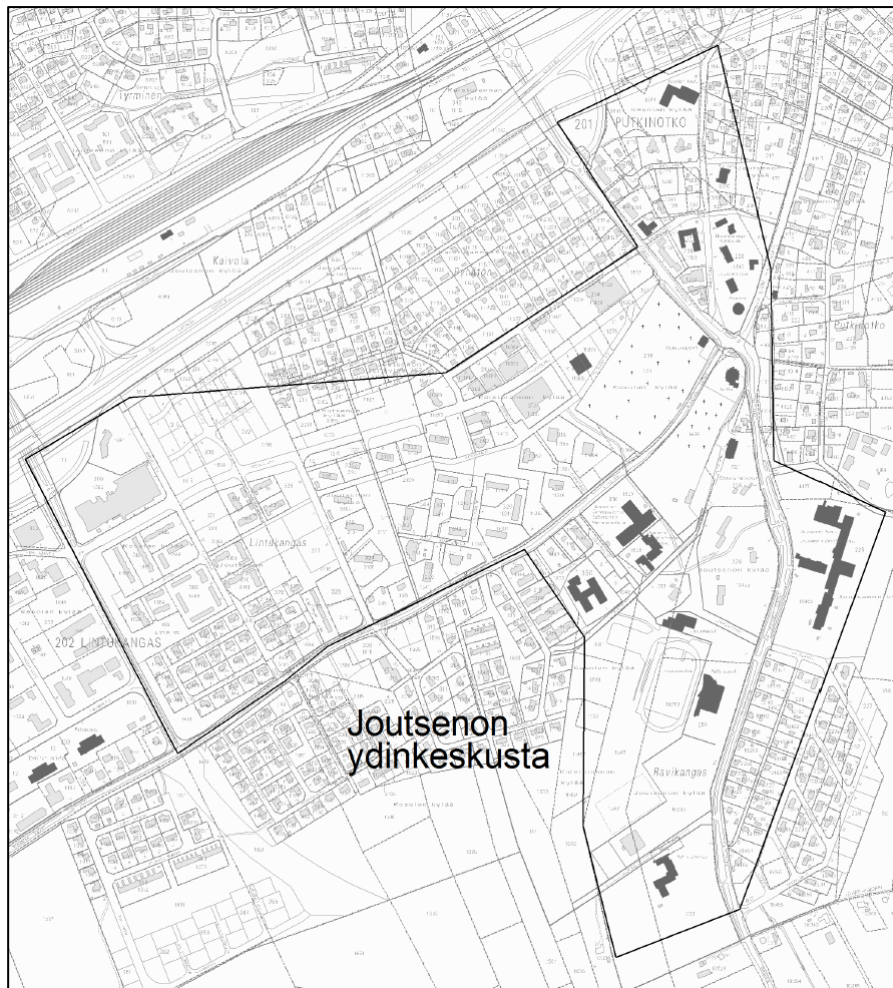


Kuvio 36. Ajantasa-asemakaava Viipurin Vanerin alueesta (Lappeenrannan karttapalvelu n.d.)

Viipurin Vanerin alueen jäähdytystehontarpeen ja -energiankulutuksen laskennassa käytettiin vuoden 2015 jälkeen rakennettujen kiinteistöjen simulointiarvoja, koska alueelle valmistuneet rakennukset on tehty vuosien 2013 ja 2014 aikana. VTT:n raportissa taulukkoarvot oli jaettu ennen vuotta 2010 rakennettuihin ja vuoden 2015 jälkeen rakennettuihin rakennuksiin. Huhtikuussa 2016 kuusi kerrostaloa on vielä rakentamatta. Tämänhetkisten rakennusten jäähdytystehontarve on noin 350 kW ja energiankulutus 55,5 MWh. Alueen valmistuessa kerrostalojen yhteenlaskettu tehontarve on noin 804 kW ja energiankulutus noin 200 MWh (ks. liite 8).

7.2.7 Joutseno

Joutsenosta tuli osa Lappeenrantaa 1.1.2009 solmitun kuntaliitoksen myötä. Joutsenon keskustaajaman ydin on Lintukangas (ks. kuvio 37), jonne ovat keskittyneet kaikki alueen palvelut. Lintukankaan alueella on myös pienteollisuutta. Joutsenon jäähdytystarpeen tarkastelussa oli mukana vain Lintukankaan alue. (Joutseno 2011)



Kuvio 37. Joutsenon tarkastelualue (Pohjakartta n.d., muokattu)

Joutsenon keskustaajaman jäähdytystarve on noin 4,6 MW. Aurinkosuojaus huomioituna tehontarpeen laskettiin olevan välillä 3,3–6,0 MW. Jäähdytysenergian kulutuksen keskiarvo on laskennan perusteella 0,7 GWh ja vaihteluväli 0,4–1,0 GWh. Taulukossa 13 on eritelty jäähdytystarpeen jakautuminen rakennustyyppien kesken ja alkuperäinen laskentataulukko on liitteenä 9.

Taulukko 13. Joutsenon jäähdytystarve

YHTEENVETO: Joutseno	MW	MWh
Julkiset rakennukset	2,0	467
Yritykset	2,7	213
Yhteensä	4,6	681

7.3 Kaupungin tulevia rakennushankkeita

Lappeenrannan kaavoitusohjelmassa on esitelty muutamia kohteita, jotka toteutessaan ovat mahdollisia kaukolämpökohteita ja potentiaalisia kaukojäähdytyskohteita. Uusia asuinrakennuksia ja -alueita on kaavailtu keskustan lähelle muun muassa Armi-lan U-koulun tilalle sekä Alakylän entisen koulun tontille. Lisäksi Simolantien varteen rakennettavan korkeatasoisen asuinalueen II-vaiheen asemakaavamuutosta laaditaan vuoden 2016 aikana. Ensimmäisen osan eli pohjoisenpuolen asemakaavamuutos hyväksyttiin 17.2.2014. Vastaavanlaiset, korkeatasoisiksi mainostetut asuinalueet ovat potentiaalisia kaukojäähdytyskohteita. (Asemakaavakohteet 2016.)

Sisustustavaratalo IKEA harkitsee uuden tavaratalon sijoittamista Lappeenrantaan 6-tien ja Saimaan kanavan risteämiskohtaan. Lappeenrannan kaupunki on valmistellut, tyhjentänyt ja tasoittanut tontin liikerakennusta varten. IKEA venytti investointipäätöksen tekoa vuodelle 2016 ja on luvannut tehdä lopullisen päätöksen vuoden loppuun mennessä. Jos IKEA kiinnostuisi jäähdytysenergian ostamisesta energiayhtiöltä, Saimaan kanavan hyödyntäminen jäähdytysenergiantuotannossa kannattaisi tarkastella. (Laitakari 2015.)

7.4 Tuloksien yhteenveto

Jäähdytystarvetarkastelun tuloksena saatiin jäähdytystehon- ja jäähdytysenergian laskennalliset tarpeet valituille alueille. Tulokset antavat suuntaa alueiden markkinapotentiaalille. Tarkastelua varten laadittujen laskentataulukoiden perusteella pystytään tarkastelemaan tulevaisuudessa myös muita alueita, joiden markkinapotentiaalia halutaan tutkia. Laskennassa käytettiin rakennustyypeille simuloituja ja arvioituja ominaistehon- ja ominaisenergiankulutuksen arvoja, joten todellinen jäähdytystarve

tulee tarkastella alueittain tarkemmin, jotta liiketoiminnan kannattavuudesta voidaan varmistua. Tulokset voivat poiketa todellisista arvoista monien syiden vuoksi. Suurin yksittäinen tekijä on aiemmin mainittu aurinkosuojaus, joka voi vaihdella kaupunkialueella suuresti rakennusten varustelutason ja luonnollisten aurinkosuojien vuoksi. Myös rakennuksien todellinen käyttötarkoitus vaikuttaa tuloksiin, sillä rakennus voi olla osittain muussa käytössä kuin sille ilmoitetussa ja sisäolosuhteet voivat vaihdella merkittävästi. Esimerkiksi toimistorakennus voi sisältää tiloja, jotka eivät ole käytössä ja niissä vallitsevan sisäilman laadun voidaan antaa muuttua vapaasti.

Tarkastelun kaikki tulokset on koottu taulukkoon 14. Taulukossa on esitetty keskiarvo ja vaihteluväli (haarukka) alueittain jäähdytystehontarpeelle ja -energiankulutukselle.

Taulukko 14. Jäähdytystarpeen tarkastelun yhteenveto

	Keskiarvo	Tehohaarukka		Keskiarvo	Energiahaarukka	
	MW	MW _{max}	MW _{min}	GWh	GWh _{max}	GWh _{min}
Keskusta	33,0	43,0	23,0	4,5	5,8	2,7
Armila	6,8	8,1	5,6	1,3	2,0	0,7
Ydinkeskusta	26,2	34,9	17,4	3,2	3,8	2,1
Skinnarila	10,5	11,7	9,2	1,7	2,3	1,0
Sammonlahti	2,2	2,9	1,5	0,3	0,5	0,2
Myllymäki	14,9	20,2	9,6	2,1	2,1	2,1
Itä	13,8	18,3	9,3	1,1	1,1	1,1
Länsi	1,1	1,9	0,3	1,0	1,0	1,0
Reijola	5,9	8,5	4,3	0,7	1,1	0,5
Viipurinvaneri	0,8	1,0	0,7	0,2	0,3	0,1
Joutseno	4,6	6,0	3,3	0,7	1,0	0,4
YHTEENSÄ	119,8	156,4	84,2	16,9	21,0	11,9

8 Kaukojäähdytysliiketoiminnan kehittäminen

8.1 Liiketoiminnan kehittyminen Suomessa

Kaukojäähdytystoiminta alkoi Suomessa vuonna 1998, kun Helsingin Energia otti ensimmäisen jäähdytyslaitteiston käyttöön erilliskohteen jäähdytyksessä (Koskelainen ym. 2006, 556). 2000-luvulla jäähdytysliiketoiminnan aloittivat Turku, Lahti, Heinola ja Lempäälä. Espoo, Tampere ja Pori käynnistivät toiminnan vuonna 2012. Yhteistä yhtiöiden toimintamalleille on se, että jäähdytyksen toimittaminen on aloitettu yksittäisillä siirrettävillä kylmäkoneilla ja monesti erilliskohteisiin. Seuraavissa kappaleissa on esitelty muutamien kaukojäähdytysyhtiöiden toimintaa. (Kaukojäähdytys n.d.)

8.1.1 Helen

Kaukojäähdytystoiminta alkoi Helsingissä vuonna 1998, kun Helsingin Energia Oy otti käyttöön ensimmäiset kaukolämpötoimiset absorptiojäähdytyskoneet Pitäjänmäellä. Erilliskohteeseen tuotettiin jäähdytysenergiaa 300 kW ja 600 kW jäähdytyskoneilla, ilmalauhduttimilla sekä kolmen jäähdytysvesivaraston avulla. Varsinainen kaukojäähdytystoiminta alkoi syksyllä 2000 Ruoholahdessa, kun Salmisaaren voimalaitosalueelle valmistui 10 MW:n kaukojäähdytyskeskus. Jäähdytys tuotetaan absorptiokoneilla ja lauhdutus on toteutettu merivedellä. Talviaikaan jäähdytysenergia saadaan lämmönsiirtimien avulla suoraan merivedestä. (Koskelainen ym. 2006, 556.)

Vuonna 2006 jäähdytysverkossa oli yhteensä neljä kiinteää ja 9 siirrettävää jäähdytyskeskusta. Asiakkaille on tarjottu myös prosessijäähdytystä eli kaukojäähdytysverkon paluupuolen vettä, jota voidaan hyödyntää esimerkiksi kiinteistökohtaisten kompressorijäähdytyslaitteiden lauhduttamiseen. Vuoden 2015 lopussa Helen Oy tuotti jäähdytysenergiaa Salmisaaren absorptiokoneilla, Katri Valan lämpöpumpulla sekä kahdella 2 MW:n jäähdytyskontilla. Salmisaaren tuotantokapasiteetti on 35 MW ja Katri Valan 60 MW. Helenin käyttämiä jäähdytyskontteja siirtyi muun muassa Tampereelle ja Poriin energiayhtiöiden käyttöön (Tampereen vierailu 2015; Niemi 2015). Talviaikaan kaukojäähdytystä tuotetaan Helsingissä merivesijäähdytyksellä, jolloin verkoston vaatima jäähdytysenergia saadaan lämmönsiirtimien avulla suoraan merivedestä. (Koskelainen ym. 2006, 556; Kaukojäähdytystilasto 2016.)

8.1.2 Turku Energia

Turku Energia aloitti kaukojäähdytystoiminnan vuonna 2000. Vuoden 2005 loppuun mennessä asiakkaita oli 20 ja yhteenlaskettu liittymisteho oli 8,5 MW. Jäähdytysenergiaa tuotettiin aluksi kolmella siirrettävällä kylmäkontilla, joiden yhteenlaskettu teho oli 2,0 MW. Myöhemmin Kupittaaan ja Biolaakson alueille valmistuivat kiinteät tuotantolaitokset, joiden lauhdelämpö on mahdollista hyödyntää kaukolämpöverkkoon. Vuonna 2009 valmistui Kakolan jäähdytyslaitos, joka hyödyntää jätevedettä vapaajäähdytyksen energianlähteenä. Vuoden 2015 lopussa Turku Energialla oli 80 asiakasta ja yhteenlaskettu sopimusteho oli 47,1 MW. (Koskelainen ym. 2006, 559; Kaukojäähdytystilasto 2016.)

8.1.3 Tampereen Sähkölaitos

Tampereen Sähkölaitos selvitti kaukojäähdytystoiminnan aloittamisen mahdollisuutta vuonna 2010 tehdyssä konsulttiavusteisessa selvitysprojektissa. Projektin keskeisiä tavoitteita oli ratkaista hinnoittelurakenne sekä selvittää teknisiä seikkoja, kuten toimitettavan jäähdytysveden lämpötila. Vuosien 2012–2014 aikana Tampereen jäähdytystarve tuotettiin siirrettävien kylmäkonttien avulla. Vuoden 2015 lopussa jäähdytysasiakkaita oli 14 kappaletta, yhteenlaskettu sopimusteho 7,1 MW ja myyty energiamäärä noin 35 GWh (Kaukojäähdytystilasto 2016). (Tampereen vierailu 2015.)

Vuonna 2017 valmistuva Tampereen Kaupinojan kaukojäähdytyslaitos pumppaa viileää järvivettä Näsijärven syvänteestä laitokselle ja takaisin järveen. Kaupinojan jäähdytyslaitos tulee olemaan jäähdytysteholtaan 40 MW. Kaupin alue yhdistetään keskustan alueen jäähdytysverkkoon. Tampereen olosuhteet järvivesijäähdytykselle ovat erittäin hyvät, sillä laitoksen imukaivo on sijoitettu 21 metrin syvyyteen, jossa veden lämpötila on alle 2 °C. Vapaajäähdytyksen osuudeksi on arvioitu noin 80 % energiatarpeesta ja 60 % tehontarpeesta. Näsijärvi on parhaimmillaan yli 60 metriä syvä. (Koskelainen ym. 2006, 557; Kaukojäähdytys Tampereella 2015.)

8.1.4 Lahti Energia

Lahti Energia aloitti jäähdytysliiketoiminnan vuonna 2000 tuottamalla Sibeliustalolle jäähdytysenergiaa absorptiojäähdyttimen avulla. Noin kilometrin päässä jäähdytyslaitoksesta sijaitsevan Sibeliustalon sopimusteho on 0,6 MW ja vuonna 2015 myyty jäähdytysenergia oli 65 MWh (Kaukojäähdytystilasto 2016). Lahden ratkaisussa kuumaa vettä hankittiin alkuvaiheessa Mallasjuoma Oy:n panimon prosessista. Myöhemmin panimo lopetti toimintansa ja absorptioprosessin vaatima primäärienergia tuotettiin viereisessä voimalaitoksessa, mikä laskee hiukan jäähdytystuotannon kannattavuutta. Lopulta absorptiokone vaihdettiin kompressorikoneeseen vuonna 2010. (Seitsonen 2012.)

Lahti Energia suunnittelee kaukojäähdytyksen toimittamista Teivaan voimalaitokselta myös Ranta-Kartanon alueelle. Rakennusten jäähdytysmarkkinat -raportin (2015) mukaan kaukojäähdytysverkon tuottamisen esteenä pidetään sitä, että Vesijärvi on liian matala kylmän tuotantoon. (Airaksinen ym. 2015, 37–38.)

8.1.5 Lempäälän Lämpö

Lempäälän Lämpö Oy:n asiakkaita ovat paikallinen jäähalli sekä terveyskeskus. Jäähallille toimitetaan kylmää -15 °C:een lämpötilassa. Terveyskeskukselle toimitettavan jäähdytysveden lämpötila on 9 °C, joka on yleensä käytettyä kaukojäähdytysveden lämpötilaa korkeampi. Tavallista lämpimämpi jäähdytysvesi on toiminut Lempäälän Lämpö Oy:n toimitusjohtajan, Toni Laakson mukaan hyvin. Terveyskeskukselle toimitettava jäähdytysenergia tuotetaan osittain vapaajäähdytyksellä vesistöistä ja osa suoraan kompressoriteknikalla jäähdytyslaitoksessa. Lempäälässä asiakkaiden yhteenlaskettu sopimusteho on 1,0 MW ja vuoden 2015 aikana myyty energiamäärä 1 842 MWh (Kaukojäähdytystilasto 2016). (Laakso 2015.)

8.2 Lappeenrannan Energian etenemisvaihtoehtoja

Jäähdytysenergiatuotanto ja -jakelu voidaan jakaa keskitettyihin ja hajautettuihin järjestelmiin. Keskitetyissä järjestelmissä jäähdytysenergiaa tuotetaan suurissa yksiköissä absorptio- tai kompressorikoneilla, lämpöpumpuilla sekä vapaalla jäähdytyksellä ilmasta tai vedestä. Hajautetussa järjestelmässä jäähdytysenergiaa tuotetaan

paikallisesti esimerkiksi rakennusryhmälle tai suurelle yksittäiselle rakennukselle. (Koskelainen ym. 2006, 529.)

8.2.1 Keskitetty jäähdytyksen tuotanto

Suurempien kokoluokkien jäähdytyslaitokset on rakennettava suurten ja syvien vesistöjen läheisyyteen, jotta voidaan hyödyntää vesistön tarjoamaa luonnollista jäähdytysenergiaa. Pienten ja matalien vesistöjen lämpötila vaihtelee merkittävästi lyhyellä aikavälillä ulkoilman lämpötilan ja auringon säteilyenergian suuruuden muuttuessa. Vapaajäähdytysenergiaa voidaan hyödyntää suoraan lämmönvaihtimen kautta jäähdytysverkkoon, kun vesistön lämpötila on riittävän alhainen eli alhaisempi kuin asiakkaiden vaatima jäähdytysveden lämpötila.

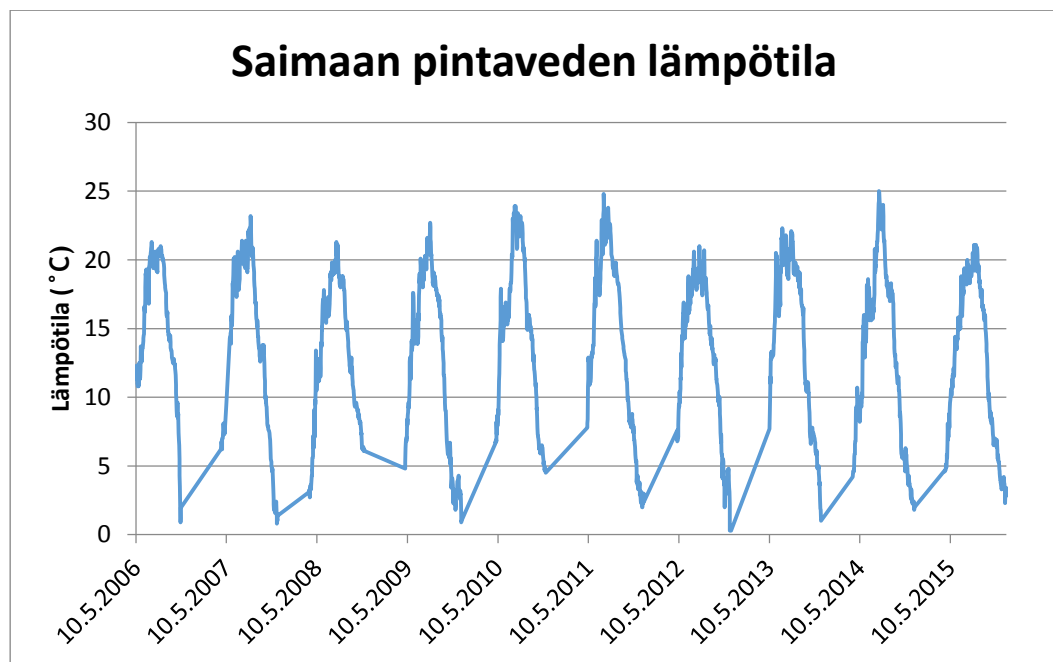
Rakennusten jäähdytysmarkkinat -raportissa (Airaksinen ym. 2015) kerrottiin, ettei Lahti Energia ole laajentanut kaukojäähdytystoimintaa, sillä yhtiö pitää laajentamisen esteenä matalaa Vesijärveä, jota ei voida käyttää kylmän tuotantoon. Pori Energian kehitysinsinööri Tiia Niemi kertoi puhelinhaastattelussa (2015), että ongelmana suurimman mittaluokan jäähdytystuotannolle on Porissa meren kaukainen sijainti, noin 10 kilometriä keskustasta. Porin halki virtaava Kokemäenjoki on liian matala ja joen lämpötila seuraa liiaksi ulkolämpötilaa. (Niemi 2015.)

Lappeenrannan kaupunki on levittäytynyt Suomen suurimman järven, Saimaan etelärannalle. Maanmittauslaitoksen ylläpitämän paikkatietojärjestelmän, Paikkatietoikunan (Karttaikkuna n.d.) avulla tarkasteltiin Saimaan syvyystietoja (ks. liite 10). Saimaa on Lappeenrannan edustalla syvimmillään Sunisenselällä, jonka syvin kohta Tyysterniemen läheisyydessä on noin 10 metriä. Syvyys on vain puolet Tampereen laitoksen imuputken sijoitusyvyvyydestä (Kaukojäähdytys Tampereella 2015). (Karttaikkuna n.d.)

Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskuksen Tampereen Sähkölaitokselle tekemässä Näsijärven lämpötilaselvityksessä ei esitetty omia lämpötilapisteitä 10 metrin syvyydelle. Selvityksen perusteella Näsijärven lämpötila on toukokuussa viiden metrin syvyydessä noin 7 °C ja palaa kesän jälkeen samaan lämpötilaan vasta marraskuussa. Korkeimmillaan lämpötila käy kesällä 16 °C:een yläpuolella. Lämpötila 20 metrin sy-

vydyssä nousee talvikuukausien jälkeen samaa tahtia toukokuuhun asti, mutta kesälämpötila käy korkeimmillaan vain 11 °C:ssa. (Kaukojäähdytys Tampereella 2015.)

Lappeenrannan Lauritsalassa on kerätty Saimaan pintaveden lämpötilatietoja vuodesta 1916. Kaakkois-Suomen ELY-keskukselta saaduista tilastoista todettiin, että Saimaan pintalämpötila on noussut kesäaikana 20–25 °C:een välille viimeisen kymmenen vuoden aikana (ks. kuvio 38). Talviaikana, pysyvän jään aikaan lämpötilaa ei ole mitattu, vaan vuoden ensimmäiset tulokset on mitattu useimmiten toukokuussa. Veden lämpötila vaihtelee huomattavasti syvyyden mukaan eikä pintaveden lämpötilalla voida tarkkaan vertailla olosuhteita muihin vesistöihin. Näsijärnessä veden lämpötila nousee kesällä korkeimmillaan vajaan 18 °C:een yhden metrin syvyydessä (Kaukojäähdytys Tampereella 2015). (Saimaan lämpötila 2016.)



Kuvio 38. Saimaan pintaveden lämpötila vuosina 2006–2016 (Saimaan lämpötila 2016)

Muiden energiayhtiöiden kokemuksiin ja Lappeenrannan toimintaympäristöön vedoten voidaan todeta, ettei suuremman kokoluokan jäähdytysenergiantuotanto ole Lappeenrannassa kannattavaa. Kaupunki levittäytyy laajalle alueelle Saimaan etelärannalle, joten myös etäisyydet tuotannon ja asiakkaiden välillä kasvavat kannattavan verkonrakentamisen kannalta liian suuriksi. Suuren kokoluokan jäähdytyslaitoksen investointikustannukset ovat niin suuret, ettei Lappeenrannan energiakonsernilla

ole lähivuosien aikana varaa sijoittaa senkaltaisiin mittaviin laitosinvestointeihin (Kylliäinen 2016). Lisäksi uuden laitoksen rakentamispäätös vaatisi vahvan asiakaskunnan, joka tulisi kartoittaa tarkemmin ennen laitosinvestointia.

8.2.2 Alueittain keskitetty eli hajautettu kaukojäähdytysjärjestelmä

Suomalaiset energiayhtiöt ovat aloittaneet kaukojäähdytystoiminnan yksittäisten kohteiden tai alueiden jäähdyttämällä. Kohteiden lukumäärän lisääntyessä ja alueiden laajentuessa on harkittu jäähdytysverkkojen yhdistämistä. Tällöin on mahdollisuus tarjota kaukojäähdytystä myös verkostoalueiden välillä oleville kiinteistöille. Verkoston laajentuessa ja jäähdytystarpeen kasvaessa voidaan joutua lisäämään tuotantolaitoksien lukumäärää tai kasvattamaan jäähdytyskeskuksien kokoa. Jäähdytyslaitetoimittajat tarjoavat laitosratkaisuja, joita voidaan laajentaa jälkikäteen. Laajentaminen onnistuu esimerkiksi lisäämällä rinnan jäähdytyskoneikoita syöttämään jäähdytysenergiaa jakeluverkkoon. Käytännössä kapasiteetin kasvattaminen voi tarkoittaa esimerkiksi yhden kylmäkontin lisäämistä nykyisen kontin rinnalle.

Alueiden tai erilliskohteiden jäähdyttäminen on järkevin tapa aloittaa kaukojäähdytysliiketoiminta myös Lappeenrannassa. Alkuvaiheessa täytyy tarkastella jäähdytyspotentiaalia omaavien alueiden ja erilliskohteiden jäähdytystarve tarkemmin. Luvussa seitsemän esitetyt tulokset antavat suuntaa Lappeenrannan alueella olevan jäähdytyspotentiaalin suuruudelle. Kun tarkka jäähdytystarve ja asiakaskunta ovat selvillä, voidaan tehdä kannattavuuslaskelmia, joissa on otettu huomioon alueille tai erilliskohteisiin tehtävien investointikustannuksien suuruus. Lappeenrannan alueiden kannattavuutta jäähdytyskohteina ei tarkasteltu tarkemmin, sillä investointien kannattavuuteen vaikuttavat muun muassa liittyvien asiakkaiden todellinen lukumäärä, jäähdytystehontarve ja jäähdytysenergiankulutus sekä tuotantotekniikka. Laskelmat olisivat niin epätarkkoja, ettei niistä olisi hyötyä toimeksiantajalle.

8.2.3 Kaukojäähdytysverkoston rakentaminen

Kaukojäähdytysverkon rakentamiskustannukset vastaavat kaukolämmitysverkon kustannuksia. Jäähdytysputken rakentaminen on nopeampaa kuin lämpöputken, sillä putkien esilämmitystä ei tarvita lämpölaajenemisen kompensoimiseksi. Lappeenrannan Energiaverkkojen verkostopäällikkö Ami Kylliäinen arvioi rakentamiskustannuk-

siksi 250 €/m (Kylliäinen 2016b). Hinta-arvio on valmiille johto-osuudelle, joten se sisältää muun muassa putkimateriaalit sekä hitsaus-, eristys- ja maanrakennustyöt. (Koskelainen ym. 2006, 541.)

Kaukojäähdytysverkon laajentamisen kannattavuutta tarkasteltiin vaaditun jäähdytysenergian myynnin avulla. Putkiosuudelle laskettiin tarvittavat myyntitulot, jotta investointi maksaisi itsensä takaisin 10–15 vuodessa. Tarkastelussa oletettiin, ettei kasvava jäähdytystehontarve aiheuttanut lisäinvestointeja tuotantokapasiteettiin. Yhden kilometrin matkalla jäähdytysjohdon kustannukseksi muodostui 250 000 €. Takaisinmaksuaikaa laskettaessa käytettiin hyväksi erään energiayhtiön hinnastoa, jonka kaavojen avulla oli mahdollista laskea hintatiedot yksiselitteisesti myös pienkohteille, kuten erillisille pientaloille sekä asuinkerrostaloille.

Erilaisille rakennustyypeille laskettiin energiankulutus ja huipputehontarve Rakennusten jäähdytysmarkkinat -raportissa (Airaksinen ym. 2015) ja Kaukolämmön käsikirjassa (Koskelainen ym. 2006) olevien taulukkoarvojen perusteella. Taulukkoarvot on koottu taulukoihin 6 ja 7 kappaleessa 7.1. Rakennustyypeille laskettiin keskimääräinen rakennuspinta-ala Tilastokeskuksen tarjoamien Lappeenrannan rakennustietojen (ks. taulukko 15) perusteella.

Taulukko 15. Lappeenrannan rakennuskanta vuonna (Rakennukset Lappeenrannassa 2014)

Rakennusluettelo	Rakennuksia (lkm)	Kerrosala (m ²)	Keskiarvo (m ² /rakennus)
Erilliset pientalot	14 652	2 022 662	138
Rivi- ja ketjutalot	727	318 935	439
Asuinkerrostalot	1 031	1 442 137	1 399
Liikerakennukset	412	570 890	1 386
Toimistorakennukset	154	188 639	1 225
Hoitoalan rakennukset	120	134 274	1 119
Opetusrakennukset	106	238 430	2 249

Pinta-alatietojen avulla selvitettiin rakennuksen laskennallinen kokonaistehontarve ja -energiankulutus. Esimerkkirakennuksille laskettiin kaukojäähdytyksestä aiheutuvat kustannukset ja ne on esitetty taulukossa 16. Taulukossa on esitetty kustannukset ennen vuotta 2010 ja jälkeen 2015 rakennetuille rakennuksille, sillä rakennusvuosi

vaikuttaa kaukojäähdytystehon ja -energiantarpeeseen kehittyneen rakennustekniikan ja korkeampien energiatehokkuusvaatimusten myötä.

Taulukko 16. Esimerkkirakennuksien kaukojäähdytyskustannukset (ei julkisia tietoja)

	Liittymismaksu (€)		Perusmaksu (€/a)		Energiamaksu (€/MWh)		Myyntitulot (€/a)	
	-2010	2015-	-2010	2015-	-2010	2015-	-2010	2015-
Rakennusvuosi								
Erilliset pientalot								
Asuinkerrostalot								
Liikerakennukset								
Toimistorakennukset								

1 000 metrin johto-osuudelle laskettiin tarvittavat liittymämäärät rakennustyypeittäin, jotta investoinnin koroton takaisinmaksuaika olisi kaikilla rakennustyypeillä lähes sama, noin 15 vuotta. Tarkastelun avulla selvitettiin verkostorakentamisen kannattavuutta konsernitasolla. Johto-osuuden investoinnista vähennettiin rakennustyypeiltä veloittavat liittymismaksut ja jaettiin vuotuisella myyntikatteella eli myyntitulojen ja vuoden aikana kertyvien verkoston ja jäähdytyslaitoksen käyttökulujen erotuksella:

$$Takaisinmaksuaika = \frac{\text{Investointi (€)} - \text{Liittymistulot (€)}}{\text{Myyntitulot (€/a)} - \text{Vuosikulut (€/a)}}$$

Tarkastelun tulokset on koottu taulukkoon 17. Taulukossa on esitetty rakennustyypeittäin rakennusten määrä, millä verkostoinvestointi maksaa itsensä takaisin esitetyssä takaisinmaksuajassa. Nettoinvestointi kertoo, kuinka paljon energiayhtiön on katettava verkostoinvestoinnista myyntikatteella, kun investoinnista on vähennetty rakennusten liittymismaksut.

Taulukko 17. Kannattavuustarkastelun tulokset 1 000 metrin jäähdytysjohdolle (ei julkisia tietoja)

	Kappalemäärä		Nettoinvestointi (€)		Takaisinmaksuaika (a)	
	-2010	2015-	-2010	2015-	-2010	2015-
Rakennusvuosi						
Erilliset pientalot						
Asuinkerrostalot						
Liikerakennukset						
Toimistorakennukset						

Tuloksista voidaan todeta, etteivät pientaloalueet ole kannattavia verkoston rakennuskohteita. Pientalot eivät ole suuresta määrästä huolimatta kannattavia jäähdytysasiakkaita, sillä usein jäähdytys toteutetaan tuuletuksella. Asuinkerrostalot tulevat olemaan tulevaisuudessa huomattavasti kannattavampia asiakkaita kuin vanhemmat kerrostalot, sillä kerrostalojen jäähdytystehontarve ja -energiankulutus ovat kasvaneet merkittävästi. Liike- ja toimistorakennuksien osalta tarvittavien asiakkaiden määrä johto-osuutta kohden pysyy karkeasti samana rakennusvuodesta riippumatta.

9 Kaukojäähdytystariffin arviointi

9.1 Investoinnin kannattavuuden mittareita

Kaukojäähdytyksen investointien kannattavuutta tarkasteltaessa käytettiin hyväksi kannattavuutta mittaavaa sisäistä korkoa, nettonykyarvoa sekä takaisinmaksuaikaa. Sisäinen korko (IRR = Internal Rate of Return) on laskentakorko, jolla investoinnin nettonykyarvo on nolla. Investointi on kannattava, jos sisäinen korko on suuri. Kaukojäähdytysinvestoinnille asetettiin vaatimukseksi 6 %:n ylittävä sisäinen korkokanta.

Nettonykyarvo (NPV = Net Present Value) on tulovirran nykyarvon ja menovirran nykyarvon erotus. Jos nettonykyarvo on laskennassa käytetyllä korkoprosentilla positiivinen, niin tulovirta on korot huomioiden arvokkaampi kuin menovirta. Investointi on siis kannattava, jos nettonykyarvo on positiivinen.

Takaisinmaksuaika (PBP = Payback Period) kertoo, kuinka monta jaksoa investointihetkestä tulee kerätä nettotuloa, jotta investointi maksaa hintansa takaisin. Takaisinmaksuaika voidaan laskea nimellisesti eli nollakorolla tai korot huomioiden. Pienissä investoinneissa takaisinmaksuajan tavoitteeksi on asetettu usein 10 vuotta, mutta suuremmissa investoinneissa maksuaika voi kasvaa yli 10 vuoteenkin.

9.2 Kaukojäähdytystariffeja Suomessa

Kaukojäähdytyksen hinta muodostuu kaukolämmön tapaan liittymismaksusta, perus- eli tehomaksusta ja energian hinnasta. Energiateollisuus ry:n Mirja Tiitinen (2015)

kertoi puhelinhaastattelussa, että energiayhtiöt eivät ole halunneet antaa kaukojäähdytyksen hintatietoja tilastoitavaksi. Vain osalla valtakunnan energiayhtiöistä on käytössä yleinen kaukojäähdytyshinnasto, jota sovelletaan kaikille yhtiön asiakkaille. Yleisen hinnaston rakentamista rajoittavat eroavaisuudet kaukojäähdytyskohteissa ja toimintaympäristössä. Usein jäähdytysenergian toimittajat laativatkin asiakkaan kanssa erillisen sopimuksen liittymis-, perus- ja energiamaksun suuruudesta. Tiitisen mukaan kaukojäähdytyksen hintarakenne eroaa kaukolämmöstä siten, että kaukojäähdytyksessä kiinteän maksun eli perusmaksun osuus hinnasta on suurempi (n. 60–70 %) ja energiamaksun osuus pienempi. (Tiitinen 2015.)

Suomalaisia kaukojäähdytyshinnastoja kyseltiin muista energiayhtiöistä puhelimen ja sähköpostin välityksellä. Moni kaukojäähdytysenergiaa toimittava yhtiö ilmoitti, että hinnoittelu on täysin tapauskohtaista, eikä hinnoittelusta pystytty tai haluttu antaa minkäänlaisia arvioita. Kolme energiayhtiötä tarjosi hintatietoja puhelin- ja sähköpostikeskustelujen kautta. Lisäksi erään yhtiön hintatiedot löytyivät internetin kautta löytyneestä puite- ja yhteisö sopimuksesta.

Yhteenveto yhtiöiden jäähdytyshinnoittelusta on esitetty taulukossa 18. Taulukossa on esitetty esimerkkinä maksujen suuruus asiakkaalle, jonka jäähdytyksen sopimus-teho on 1 000 kW. Hinnat eivät sisällä arvonlisäveroa (alv 0 %).

Taulukko 18. Yhteenveto hinnoittelusta ja kustannukset 1,0 MW:n asiakkaalle (ei julkisia tietoja)

Energiayhtiö	Perusmaksu (€/a)	Energiamaksu (€/MWh)	Liittymismaksu (€)

9.2.1 Yhtiön 1 hinnoittelumalli

9.2.2 Yhtiön 2 hinnoittelumalli

9.2.3 Yhtiöiden 3 ja 4 hinnoittelumallit

9.3 Tariffijärjestelmien vertailu

9.3.1 Energimaksun ja keskihinnan vertailu

Energiayhtiöillä käytössä olevia yleisiä tariffijärjestelmiä vertailtiin valittujen jäähdytyskohteiden avulla. Vertailussa oli mukana neljä hinnoittelumallia. Tariffijärjestelmiä vertailtiin kappaleessa 10 esitellyn sairaalakohteen avulla. Uuden sairaalarakennuksen jäähdytystehontarpeeksi ilmoitettiin 900 kW ja energiantarpeeksi 1200 MWh. Vertailua varten sairaalarakennukselle laskettiin jäähdytystehoa vastaava sopimusvesivirta. Jäähdytysveden ominaislämpökapasiteettina käytettiin arvoa 4,20 kJ/kg °C, tiheytenä 1,0 kg/dm³ ja lämpötilaerona 10 °C. Sopimusvesivirta laskettiin kaavalla:

$$\dot{V} = \frac{\Phi}{c \times \rho \times \Delta T}$$

$$\dot{V} = \text{Sopimusvesivirta} \left(\frac{\text{dm}^3}{\text{s}} \right)$$

$$c = \text{Ominaislämpökapasiteetti} \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}} \right)$$

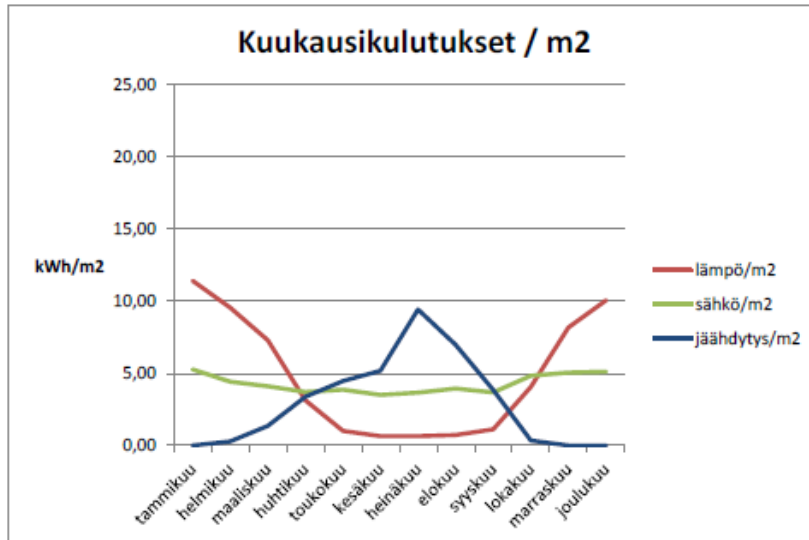
$$\rho = \text{Tiheys} \left(\frac{\text{kg}}{\text{dm}^3} \right)$$

$$\Delta T = \text{Lämpötilaero} (^\circ\text{C})$$

$$\Phi = \text{Jäähdytystehontarve} (\text{kW})$$

$$\dot{V} = \frac{900 \text{ kW}}{4,20 \text{ kJ}/(\text{kg}^\circ\text{C}) \times 1,0 \text{ kg}/\text{dm}^3 \times 10^\circ\text{C}} = 21,428 \dots \frac{\text{dm}^3}{\text{s}} \approx 77,1 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Käytössä oleva kausihinnoittelu huomioitiin vertailussa arvioimalla kesä- ja talvikauden osuudet jäähdytysenergiankulutuksesta. Osuuksien avulla voitiin painottaa kesäajan korkeampaa hintaa jäähdytyskaudelle, jolloin jäähdytysenergiankulutus on suurimmillaan. Jäähdytysenergian jakautumisen selvittämisessä käytettiin hyväksi Rakennusten jäähdytysmarkkinat -raportissa (Airaksinen ym. 2015) esitettyä kuvaajaa (ks. kuvio 41) vuonna 2012 rakennetun toimistorakennuksen energiankulutuksesta. Kuvaajasta määritettiin graafisesti kesä- ja talvikauden osuus jäähdytysenergian kulutuksesta. Talvikauden (1.10.–30.4.) osuudeksi saatiin noin 17,8 % ja kesäkauden (1.5.–30.9.) noin 82,2 %.



Kuvio 39. Vuonna 2012 rakennetun toimistorakennuksen jäähdytysenergiankulutus (Airaksinen ym. 2015, 10)

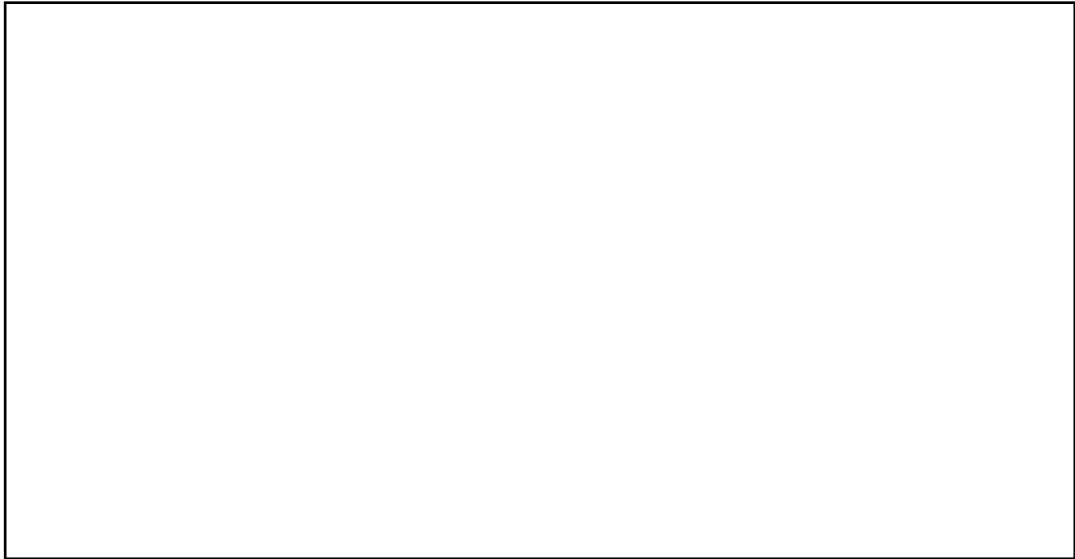
Keskimääräinen hinta (alv 0 %), jossa otettiin huomioon energiankulutuksen jakautuminen vuositasolla, laskettiin kaavalla:

$$\text{Energiamaksu}(\text{€/MWh}) = \text{Energiamaksu}(\text{€/MWh}) \times 0,822 + 0,50 \times \text{Energiamaksu}(\text{€/MWh}) \times 0,178$$

Vertailua varten laskettiin myös vuotuinen kaukojäähdytyksen keskihinta (€/MWh), johon otettiin huomioon jäähdytysenergian myynnistä kertyneet myyntitulot sekä vuoden aikana maksettavan perusmaksun suuruus. Yhteenlasketut myyntitulot jaettiin energiankulutuksella:

$$\text{Keskihinta} = \frac{\text{Perusmaksu} + \text{Energian myynti}}{\text{Energiankulutus}}$$

Yhtiöiden energiamaksut ja keskihinnat esimerkkikohteelle on esitetty kuviossa 42.



Kuvio 40. Energimaksujen ja keskihintojen vertailu (ei julkisia tietoja)

9.3.2 Tariffijärjestelmien kannattavuus erilliskohteessa

Energiayhtiöiden tariffeja vertailtiin erilliskohteen investoinnin kannattavuuden perusteella. Lähtötietoina käytettiin kappaleessa 10 esimerkkikohteena toimivan sairaalarakennuksen teknisiä tietoja sekä järvivesilauhdutuksella ja vapaajäähdytyksellä varustetulle jäähdytyslaitokselle arvioituja investointikustannuksia. Kaikki lähtötiedot on esitetty taulukossa 20.

Taulukko 19. Kannattavuusvertailun esimerkkikohteen lähtötiedot

Esimerkkikohte: sairaalarakennus		
Jäähdytystehontarve	900	kW
Sopimusvesivirta	77,1	m ³ /h
Jäähdytysenergian kulutus	1200	MWh
Investointikustannukset (1 MW:n laitos, jakeluputkisto...)	ei julkinen	€
Juoksevat kulut (sähkö, huolto...)	ei julkinen	€
Korko	6	%
Tarkastelu-aika	15	vuotta

Tariffien kannattavuutta vertailtiin sisäisen koron, nettonykyarvon ja takaisinmaksuajan avulla. Tarkasteluajanjaksona oli 15 vuotta.

Taulukko 20. Energiayhtiöiden tariffijärjestelmien kannattavuus esimerkkikohteessa

Energiayhtiö	Sisäinen korko (%)	Nettonykyarvo (€)	Takaisinmaksuaika (a)

Vertailussa mukana olleet hinnastot sopivat erilliskohdetta paremmin alueelle, jossa on olemassa jo kaukojäähdytysverkosto tai alueelle, jonne rakennettavaan uuteen verkostoon liittyy useita suuria jäähdytysasiakkaita.

Vertailun perusteella saadut tulokset riippuvat suuresti lähtötiedoista. Lappeenrannan K-sairaalahankeeseen investointikustannukset on arvioitu mahdollisimman suuriksi taloudellisten riskien minimoimiseksi. Liiketoiminnan aloittamisesta aiheutuvat kustannukset eivät luultavasti ole yhtä suuria kuin lähtötiedoissa on arvioitu. Lisäksi budjetti sisältää varauksen yllättäville menoille. Kun varaus jätettiin pois budjetoinnista, tulokset muuttuivat selvästi (ks. taulukko 22).

Taulukko 21. Tariffijärjestelmien kannattavuus ilman varabudjettia

Energiayhtiö	Sisäinen korko (%)	Nettonykyarvo (€)	Takaisinmaksuaika (a)

9.3.3 Tariffijärjestelmien kannattavuus kerrostaloalueella

Yleisten hinnastojen kannattavuutta tarkasteltiin myös uudella kerrostaloalueella. Esimerkkialueena toimi Viipurin Vanerin asuinalue, jonne suunnitelluista kerrostaloista noin puolet on rakennettu vuoden 2015 loppuun mennessä. Viipurin Vanerin alue sijaitsee Saimaan rannalla, joten laskelmissa tarkasteltiin tilannetta, jossa hyödynnettiin vesistöä vapaajäähdytykseen. Lisäksi kannattavuutta tarkasteltiin, kun jäähdytysenergia tuotettiin nestejäähdyttimillä varustetulla jäähdytyskontilla.

Kerrostaloalueen jäähdytystehontarve ja -energiankulutus laskettiin kaavoituksesta hankittujen pinta-alatietojen (Lappeenrannan karttapalvelu n.d.) avulla. Kerrostalojen ominaistehontarve ja ominaisjäähdytysenergiankulutus selvitettiin luvussa 7. Alueella sijaitsevien kerrostalojen tehontarve on keskimäärin 76 kW ja energiankulutus 18 MWh. Edellä mainitut arvot on laskettu keskimääräisillä ominaistehontarpeilla, joten todellinen tehontarve on tarkasteltava aina tapauskohtaisesti.

Alueelle on rakennettu viisi kerrostaloa ja kuudelle rakennukselle on varattu paikka kaavoituksessa. Yhteenlaskettu tehontarve kymmenelle kerrostalolle on 760 kW, joten jäähdytyslaitoksen kooksi valittiin 1,0 MW. Lähtötilanteessa viiden kerrostalon yhteenlaskettu tehontarve on noin 380 kW, joten laitosratkaisu on suunniteltava niin, ettei laitteistoa jouduta käyttämään ensimmäisinä vuosina pienillä osatehoilla. Pienien osatehojen käyttäminen voi aiheuttaa laitteistolle toimintavaikeuksia.

Vertailun kuvitteellisessa lähtötilanteessa kaukojäähdytysverkkoon liitettiin viisi kerrostaloa. Ensimmäisten viiden vuoden jälkeen verkostoon lisättiin viisi uutta kerrostaloa. Jakeluputkiston kustannuksien arvioitiin olevan 100 000 €, kun kaukojäähdytysjohdon rakentamisen oletettiin maksavan 250 €/m ja alueen halki kulkevan runkojohdon pituus oli 400 metriä. Tariffijärjestelmien vertailua varten tulokset on esitetty taulukossa 23.

Taulukko 22. Tariffijärjestelmien kannattavuus kerrostaloalueella (järvivesiputkistolla varustettu jäähdytyskontti) (ei julkisia tietoja)

Energiayhtiö	Sisäinen korko (%)	Nettonykyarvo (€)

15 vuoden tarkasteluaikana vertailussa mukana olleet tariffijärjestelmät olivat täysin kannattamattomia. Kerrostaloalueen jäähdytystarve on liian pieni, jotta hinnastot olisivat kannattavia. Vesistöä hyödyntävä jäähdytysjärjestelmä olisi kannattava eräällä hinnoittelumallilla, jos sekä lähtötilanteessa että viiden ensimmäisen vuoden jälkeen kerrostalorakennuksia liitettäisi jäähdytysverkkoon kahdeksan kappaletta.

Nestejäähdyttimillä varustetun jäähdytyskontin investointikustannukset ovat pienemmät kuin järvivettä hyödyntävällä laitoksella, sillä nestejäähdyttimille varustettu jäähdytyskontti ei tarvitse järvivesiputkistoa. Erään laitostoimittajan jäähdytysratkaisun kannattavuutta osoittavat luvut on esitetty taulukossa 24. Lähtötilanteessa kerrostaloja liitettiin verkostoon viisi kappaletta ja viisi vuotta myöhemmin verkostoon liitettiin uudet viisi kerrostaloa.

Taulukko 23. Tariffijärjestelmien kannattavuus kerrostaloalueella (nestejäähdyttimillä varustettu jäähdytyskontti) (ei julkisia tietoja)

Energiayhtiö	Sisäinen korko (%)	Nettonykyarvo (€)

Edellä mainitun laitostoimittajan kaukojäähdytyskontilla toteutetun jäähdytysratkaisu teki investoinnista kannattavamman, mutta ei kuitenkaan kannattavaa. Kahden yhtiön hinnastot olivat kannattavia 15 vuoden tarkastelujaksolla, kun vastaavanlaisia kerrostaloja liittyi jäähdytysverkkoon lähtötilanteessa sekä viiden ensimmäisen vuoden jälkeen kahdeksan kappaletta.

Tarkasteluiden perusteella kahden yhtiön hinnastot ovat kannattavimpia. Toisen yhtiön hinnasto oli kannattavin suurelle yksittäiselle kohteelle korkeamman energiamaksun ansiosta. Toinen hinnasto oli energiayhtiölle kannattavin alueella, jossa jäähdytysenergiankulutus on vähäisempää rakennusta kohden, mutta liittyviä rakennuksia on useita. Lappeenrannan Energian vaihtoehtoista hinnoittelumallia suunniteltaessa käytettiin hyväksi kahden kannattavimman yhtiön hinnastojen vahvuuksia.

9.4 Kaukojäähdytyshinnaston muodostuminen Lappeenrannassa

9.4.1 K-sairaalalle luotu hinnasto

9.4.2 Vaihtoehtoinen hinnoittelumalli

K-sairaalalle laaditussa hinnastossa liittymismaksun suuruus on korkea, minkä avulla voidaan varmistaa toiminnan taloudellinen kannattavuus jäähdytysenergiatoimittajalle. Korkea liittymismaksu voi nostaa kuitenkin monen mahdollisen asiakkaan kynnystä jäähdytysenergian ostamiseen ulkopuoliselta toimittajalta. Jotta liittymismaksun suuruutta voitaisiin pienentää, täytyy korottaa perusmaksun, energiamaksun tai molempien suuruutta. K-sairaalan hinnastolle laadittiin vaihtoehtoinen hinnoittelumalli, jonka avulla voitaisiin hinnoitella jäähdytystä myös pienemmille asiakkaille.

Hinnaston selkeys ja ymmärrettävyys ovat tärkeitä ominaisuuksia, jos hinnan muodostumista selvitetään asiakkaalle. Kahden yhtiön hinnoittelu oli toisia selkeämpiä, joten asiakkaan on helppo käsittää kaukojäähdytyksen hinnan muodostuminen.

Erään yhtiön hinnoittelussa käytetyt laskentakaavat seuraa paremmin taloudelliseen kannattavuuteen vaikuttavia muuttujia, mutta hinnoittelurakenne on monimutkaisempi kuin muilla vertailussa mukana olevilla yhtiöillä.

Liittymähinnoittelun on oltava kohtuullista kaikille asiakasryhmälle. Tämän vuoksi hinnoittelu täytyy jaotella sopimustehon suuruuden mukaan. Vaihtoehtoinen hinnoittelumalli muodostettiin neljälle kokoluokalle tilaustehon mukaan. Liittymämaksun perusosan ja kilowattien mukaan määräytyvän muuttujaosan suuruus arvioitiin laskentataulukon avulla vertailemalla esimerkkirakennusten hinnoittelua muiden energiayhtiöiden hinnoitteluun. Liittymishinnasto Lappeenrannan Energialle on esitetty taulukossa 25.

Taulukko 24. Vaihtoehtoinen liittymähinnoittelu Lappeenrannalle (ei julkisia tietoja)

Liittymän kokoluokka (kW)	Liittymismaksun suuruus

Vaihtoehtoiseen hinnoittelumalliin valittiin energiamaksun suuruudeksi Lappeenrannan Energian kaukolämpöenergian hinta 55,24 €/MWh (alv 0 %). Perusmaksulle laadittiin hinnoittelu kahdelle eri sopimustehon kokoluokalle. Lappeenrannan Energialle arvioitiin vuosittainen perusmaksun suuruus laskentataulukon avulla vertailemalla perusmaksun suuruutta muiden yhtiöiden perusmaksun käyttäytymiseen erilaisien jäähdytyskohteiden tapauksissa. Hinnoittelumalli on esitetty taulukossa 26.

Taulukko 25. Vaihtoehtoinen perusmaksun hinnasto Lappeenrannalle (ei julkisia tietoja)

Liittymän kokoluokka (kW)	Perusmaksun suuruus

Vaihtoehtoisia hinnoittelumallia vertailtiin muiden yhtiöiden hinnastoihin (ks. taulukko 27). Vertailussa käytettiin rakennustyyppien keskimääräisiä rakennuspinta-aloja Lappeenrannassa (ks. taulukko 15) ja niille simuloituja energiankulutustietoja (ks. liite 1). Rakennusten oletettiin noudattavan vuoden 2015 jälkeen rakennettujen kiinteistöjen tehon- ja energiantarvetta.

Taulukko 26. Tariffijärjestelmien vertailutaulukko (ei julkisia tietoja)

	Hinnasto 1	Hinnasto 2	Hinnasto 3	Hinnasto 4	Lappeenranta
Energiamaksu (€/MWh)					
Pientalo (2 kW / 1 MWh/a)					
Liittymismaksu (€)					
Perusmaksu (€/a)					
Myyntitulot (€/a)					
Asuinkerrostalo (26 kW / 6 MWh/a)					
Liittymismaksu (€)					
Perusmaksu (€/a)					
Myyntitulot (€/a)					
Liikerakennus (208 kW / 21 MWh/a)					
Liittymismaksu (€)					
Perusmaksu (€/a)					
Myyntitulot (€/a)					
Toimistorakennus (76 kW / 28 MWh/a)					
Liittymismaksu (€)					
Perusmaksu (€/a)					
Myyntitulot (€/a)					
Esimerkkikohde: K-sairaala (900 kW / 1200 MWh/a)					
Liittymismaksu (€)					
Perusmaksu (€/a)					
Myyntitulot (€/a)					

Lappeenrannan vaihtoehtoinen hinnoittelumalli seuraa esimerkkirakennusten perusteella muiden yhtiöiden hinnoittelua melko hyvin. Pientalojen kohdalla hinnoittelussa on suuria eroavaisuuksia, sillä hinnastoja ei ole todennäköisesti laadittu kattamaan pientalojen liittymistä eikä niiden pientä tehontarvetta ja energiankulutusta. Erään yhtiön hinnastossa perusmaksu ei muutu pienillä sopimusvesivirroilla, joten perushinta on pientaloille sama kuin kerrostaloille ja vuosittaiset myyntitulot pientaloilta eivät laske yhtä alas kuin muiden energiayhtiöiden tariffeilla. Pientalot eivät ole kannattavia kaukojäähdytysasiakkaita, joten tariffijärjestelmiä ei kannata vertailla pientalojen avulla liiaksi. Jos tariffijärjestelmästä halutaan tehdä toimiva myös pienille asiakkaille, täytyy hinnastolle määritellä minimihinnat.

Vaihtoehtoisen liittymähinnoittelun liittymis- ja perusmaksu eivät ole pientaloa suuremmissa kohteissa muita kalliimpia. Ainoastaan K-sairaalan hinnoittelussa Lappeen-

rannan liittymismaksu on suurempi kuin erään yhtiön liittymismaksu, joka on vertailussa olevista tariffeista kallein. Liike- ja toimistorakennuksissa sekä näitä suuremmis- sa kohteissa vaihtoehtoisella hinnoittelumallilla saatiin paremmat myyntitulot kuin muilla vertailuhinnastoilla.

9.5 Tarkastelun tulokset

Tariffijärjestelmien vertailun perusteella todettiin, että kaukojäähdytyksen hinnoittelussa käytetään hyvin erilaisia malleja eri yhtiöissä, mikä johtuu osaltaan hinnastojen salassapidosta ja yhtiöiden muiden tuotteiden olemassa olevista hinnoitteluista. Lisäksi kaukojäähdytyksen kannattavuus riippuu hyvin paljon toimintaympäristöstä, minkä vuoksi hinnoittelu on täytynyt muodostaa kannattavaksi kyseisen alueen erityisolosuhteet huomioiden. Olosuhteet ja asiakaskunta voivat vaikuttaa esimerkiksi perusmaksun ja energian hinnan erilaiseen painottamiseen.

Vertailussa mukana olleista hinnastoista kahden yhtiön hinnastot olivat kannattavimpia erikokoisille asiakkaille. Kaksi vertailuhinnastoista on suunnattu sairaalarakennuksille, jotka ovat suuria asiakkaita. Vertailussa hinnastot olivat toimivia liike- ja toimistorakennuksissa sekä esimerkikohteessa. Hinnoittelussa on hyvä noudattaa myös yksinkertaista rakennetta, jotta hinnaston käyttö ja ymmärrettävyys säilyvät.

Korkea liittymishinta voi laskea kiinnostusta asiakkaissa, jotka tekevät hankintapäätöksiä investointikustannuksien perusteella. Tämän vuoksi vaihtoehtoisessa hinnoittelumallissa hinnoittelua painotettiin liittymishinnan sijasta energiamaksuun. Vaihtoehtoinen hinnoittelumalli seurasi tarkastelussa hyvin muiden energiayhtiöiden tariffeja, mutta ennen hinnoittelumallin käyttöönottamista olisi tarpeellista tarkastella sen kannattavuutta myös muilla kuin tässä työssä käytetyillä lähtötiedoilla.

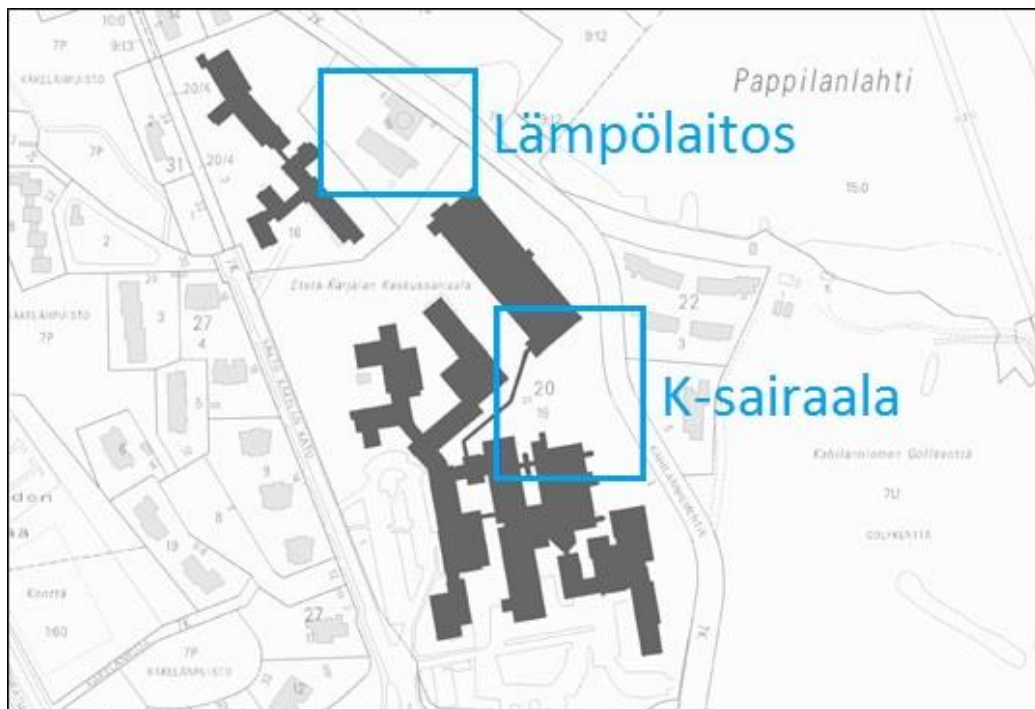
10 K-sairaalan jäähdytysprojektin dokumentointi

Etelä-Karjalan sosiaali- ja terveystieteiden keskuslaitos eli Eksote rakentaa uutta sairaalaosaa Etelä-Karjalan keskussairaalan yhteyteen. Eksoten hallitus halusi selvittää mahdollisuuden Saimaan hyödyntämisestä sairaalarakennuksen energiantuotannossa. Järvestä han-

kittavan jäähdytysenergian katsottiin olevan mahdollisuus, mikä kasvattaisi osaltaan Eksoten vihreää imagoa. Kolmas osapuoli tarjosi Eksotelle laitosratkaisua, jossa sairaalalle tuotettaisi lämpöpumpulla sekä lämpöä että jäähdytystä Saimaata hyödyntämällä. Lappeenrannan Energialta kysyttiin halua ryhtyä osapuolen tuottaman energian ostajaksi ja toimittajaksi. Lisäksi Lappeenrannan Energia jätti oman tarjouksen kaukojäähdytyksen tuottamisesta ja toimittamisesta hallituksen käsiteltäväksi.

10.1 Kohteen esittely

Keskussairaalan uuteen osaan, K-sairaalaan, keskitetään yleis- ja erikoislääketieteen päivystystä. Lisäksi rakennukseen tulee päivystysosasto ja vuodeosastoja. K-sairaala sijoitetaan keskussairaalan taakse Kahilanniementien varteen Eksoten pysäköintitalon ja golf-kentän viereen (ks. kuvio 43). Rakennustyöt alkoivat vuoden 2016 alussa. K-sairaala valmistuu vuoden 2017 lopussa ja se otetaan käyttöön vuonna 2018. Uudella sairaalaosalla pyritään turvaamaan nykyaikainen sairaalatoiminta tämänhetkisen sairaalarakennuksen ikääntyessä. (Uusi K-sairaala n.d.)



Kuvio 41. K-sairaalan ja lämpölaitoksen sijainti (Pohjakartta n.d., muokattu)

10.2 Lähtötiedot

Granlund Consultingin lähtötietojen (Loisa 2015) mukaan K-sairaalan jäähdytystehontarve on 750 kW ja jäähdytysenergiankulutus 1100 MWh/a. Kolmannen osapuolen edustajan (2015) esittelemässä lämpöpumppuratkaisussa käytettiin lähtöarvoina Granlundilta saatuja arvoja 900 kW ja 1200 MWh. Lappeenrannan Energiaverkkojen suunnittelusta vastaava verkostomestari sai sairaalahankkeen LVI-suunnittelijalta tiedon, jonka mukaan jäähdytystehon tarve on 630 kW (Saipu 2016). Lämmitystehontarve uudessa sairaalaosassa on Granlundin selvityksen mukaan 2600 kW ja energiatarve 3000 MWh/a. Sairaala-alueen jäähdytystehontarpeeksi on arvioitu 3300 kW, josta noin 2000 kW on kantasairaalaan asennettua jäähdytystehoa. (Loisa 2015.)

10.3 Kolmannen osapuolen lämpöpumppuratkaisu

Kolmas osapuoli tarjosi uuden sairaalaosan lämmitys- ja jäähdytysratkaisuksi vesistölämmönvaihdinratkaisulla toteutettavaa hybridijärjestelmää. Käytännössä ratkaisussa yhdistettäisi vesistöstä hankittava lämpöenergia ja kaukolämpö. Automaatiikka ohjaisi toimintaa siten, että vesistöstä saatavaa lämpöenergiaa hyödynnettäisi mahdollisimman paljon. Kapasiteetin loppuessa lämmitysenergian vaje täytettäisi kaukolämmön avulla. Lämmöntuotannon ohella lämpöpumppu tuottaisi jäähdytysenergiaa K-sairaalan ilmastointijärjestelmään. (Kolmannen osapuolen tarjous 2016.)

Kolmannen osapuolen toimittaman lämpöpumpun lämpöteho olisi 490 kW, jolloin laitteiston kylmäteho olisi 370 kW. Laitosratkaisu ei siis pystyisi tuottamaan kokonaan K-sairaalan lämmitys- ja jäähdytystehontarvetta, vaan avuksi tarvittaisi myös kaukolämpöä ja sairaalan omaa jäähdytyskapasiteettia. Laitetoimittajan ilmoittama yläraja tuotetun lämmitysveden lämpötilalle on 65 °C. (Sopimusluonnos 2016.)

Kolmannen osapuolen tarjouksessa Lappeenrannan Energia Oy sitoutuisi ostamaan vuosittain minimienergiämäärän lämpö- ja jäähdytysenergiaa. Tämä osapuoli laskuttaisi energiasta kulutuksen mukaan. Mikäli lämmön energiankulutus ei ylittäisi vuositasolla arvoa 2500 MWh tai jäähdytysenergiankulutus arvoa 600 MWh, laskutettaisi tilaajalta edellä mainittujen minimiarvojen mukainen energiamäärä. Energiayhtiöllä olisi mahdollisuus lunastaa lämpöpumppulaitteisto sopimuksessa määrättyinä lunastusajankohtina ja -hinnoilla.

Kolmannen osapuolen esittelytilaisuuden jälkeen Lappeenrannan Energia teki ratkaisun siitä, lähtisikö yhtiö osapuolen tuottaman lämpö- ja jäähdytysenergian ostajaksi ja toimittajaksi Eksotelle. Taloudellisten tarkasteluiden jälkeen todettiin, ettei liiketoiminta sellaisenaan ole kannattavaa energiayhtiölle. Eksotelle laadittiin oma tarjous pelkän jäähdytysenergian toimittamisesta K-sairaalalle.

10.4 Laitosratkaisun valinta

Etelä-Karjalan keskussairaalan läheisyydessä sijaitsee Lappeenrannan Lämpövoima Oy:n lämpö- ja höyrylaitos (ks. kuvio 43). Laitos tuottaa kaukolämpöä kaupungin lämpöverkkoon ja höyryä sairaalan käyttöön. Lämpölaitoksen läheisyyden vuoksi jäähdytyslaitteiston valinnassa otettiin huomioon myös lämpöpumppuratkaisu, jolla jäähdytyksen tuotannossa syntyvä lauhdelämpö olisi siirrettävissä kaukolämpöverkkoon. Kannattavuuslaskelmia varten tarjouspyyntöjä lähetettiin muutamille jäähdytyslaitetoimittajille. Budjettiarvioita saatiin kolmelta laitostoimittajalta. Vastanotetut hinta-arviot on taulukoitu ja esitetty liitteessä 11 (ei julkisia tietoja).

Hintatiedoissa on hajontaa, mikä aiheutuu laitoksien kokoonpanojen eroavaisuuksista. Kaikki tarjoukset annettiin kuitenkin ”avaimet käteen” -periaatteella, joten toimitukset sisältävät asennuksen ja käyttöönoton. Kahdelta toimittajalta saatiin hinta-arvio sekä lämpöpumppukoneistolle että pelkälle jäähdytyskontille. Yksi toimittajista antoi hintatietoja vain jäähdytyskonttiratkaisulle, mutta yhteyshenkilö mainitsi, että myös lämpöpumput kuuluvat yhtiön tuotevalikoimaan. Laitoskokonaisuuksien teknisiä ominaisuuksia koottiin vertailutaulukkoon (ks. liite 12, ei julkisia tietoja).

Laitostoimittajien antamien tietojen perusteella lämpöpumppujen synnyttämä lauhdelämpö on 60–70 °C:een välillä. Lauhdelämpöä olisi mahdollista syöttää sellaisenaan vain kaukolämpöverkoston paluupuolelle, jonka lämpötila on lauhdelämpöä pienempi (noin 45–50 °C). Menopuolen lämpötila vaihtelee vuoden aikana yleisesti 80–115 °C:een välillä, joten lauhteen lämpötilaa olisi nostettava, jotta sitä voitaisiin toimittaa kaukolämmitysenergiana asiakkaille.

Lauhdelämpö olisi mahdollista hyödyntää matalalämpöenergiana suoraan kohderakennukselle, mutta se tarkoittaisi lisäinvestointeja asiakkaalle. Lauhdelämmöllä tuotetun lämmitysveden lämpötilaa olisi nostettava tarvittaessa kaukolämmöllä, jotta

sitä olisi mahdollista hyödyntää rakennuksen tai käyttöveden lämmittämisessä. Lisäksi jäähdytyksen huipunkäyttöaika vaikuttaa lauhdelämmön hyödyntämismahdollisuuksiin. Tasaisella ja ympärivuotisella jäähdytyskuormalla tuotettaisi lauhdelämpöä ympäri vuoden myös lämmityksen käyttöön. Jos jäähdytystarve keskittyy vain kesäaikaan, lämmitysratkaisun kannattavuus heikentyy ja takaisinmaksuaika pitkittyy.

Siirtämällä lauhdelämpö kaukolämmön paluuveteen saadaan jäähdytystuotannossa syntyvä hukkaenergia talteen energiayhtiön verkostoon. Tämä tarkoittaisi, että lämpölaitokselle palaavaa vettä ei tarvitsisi lämmittää yhtä paljon, vaan lauhdelämpö toimisi omanlaisena esilämmityksenä. Paluuveden lämmittämisessä on hyötyjen lisäksi myös haittoja. Tuotantolaitoksille matala paluuveden lämpötila tarkoittaa säästöä pumppauskustannuksissa, sillä meno- ja paluuveden suuremmalla lämpötilaerolla voidaan käyttää pienempää virtausnopeutta saman tehon toimittamiseksi. Paluuveden lämpötilan korottaminen huonontaisi myös vastapainevoimalaitoksen hyötysuhdetta. Korkeampi paluuveden lämpötila aiheuttaa myös suuremmat lämpöhäviöt verkostossa. Hyötyjen ja haittojen vertailu ei ollut lopulta merkittävä tekijä laitosratkaisun valinnassa, sillä 1 MW:n lämpöpumppulaitoksessa syntyvän lauhdelämmön merkitys kaupungin kaukolämpöverkossa on hyvin vähäinen.

Lappeenrannan Energia päätyi lopulta valitsemaan laitosratkaisuksi jäähdytyskontin, jolla tuotettaisi K-sairaalle pelkkää jäähdytysenergiaa. Ratkaisu on teknisesti yksinkertaisempi, eikä se vaadi laitoksen yhdistämistä kaukolämpöverkkoon tai erillisen lämmitysverkon rakentamista asiakkaalle. Lämmitys toteutettaisi omalla kaukolämpöliittymällä. Syksyllä 2015, Tampereen vierailun yhteydessä, Lappeenrannan energiayhtiön henkilökunta kävi tutustumassa Lempäälän jäähdytysratkaisuun, jossa terveyskeskuksen jäähdytys oli toteutettu jäähdytyskontilla. Jäähdytyskontti tuottaa jäähdytysenergiaa kahdella 500 kW:n ruuvikompressorilla ja hyödyntää vieressä sijaitsevaa matalaa vesistöä vapaajäähdytykseen. Saimaan matala lahti keskussairaalan läheisyydessä tarjoaa samankaltaisen mahdollisuuden vesistön hyödyntämiselle.

10.5 Mitoitus

K-sairaalan jäähdytystehontarpeeksi oli arvioitu 900 kW (Loisa 2015). Tämän vuoksi jäähdytyslaitoksen kooksi valittiin 1 000 kW. Jäähdytyslaitoksen kokoa olisi mahdollista kasvattaa myöhemmin lisäämällä uusia jäähdytyskoneistoja olemassa olevien rinnalle. Kahden laitostoimittajan jäähdytyslaitteille ilmoitettiin tehoalueeksi 20–100 % maksimitehosta. Mitoituksessa on huomioitava, että laitteet toimivat erinomaisesti vain yli 50 % osatehotarpeissa. Jatkuva ON/OFF-toiminta pienellä osateholla aiheuttaisi laitteistolle toimintavaikeuksia. Tämän vuoksi jäähdytyslaitosta ei kannata mitoittaa mahdollista jäähdytysverkoston laajentamista ajatellen, vaan laajentaa sitä tarvittaessa myöhemmin. Sen sijaan vesistön ja laitoksen välille rakennettavan siirto-putkiston mitoituksessa kannattaa ottaa huomioon myös tulevaisuuden rakentaminen. (Huovinen 2015.)

Erään toimittajan tarjoamassa laitosratkaisussa jäähdytysenergiaa tuotetaan neljällä ruuvikompressorilla, joiden jäähdytysteho yhtä kompressoria kohden on noin 300 kW eli yhteensä 1 200 kW. Vaikka yksi kompressoreista vioittuisi, voidaan kolmella kompressorilla tuottaa noin 900 kW, joka riittäisi K-sairaalan LVI-suunnittelijan ilmoittaman jäähdytystehontarpeen (630 kW) kattamiseen. Jos toinen kylmäainepiireistä vikaantuisi, olisi jäähdytystehoa käytettävissä noin 600 kW. Jäähdytyslaitokseen sijoitettaisi myös 500 kW vapaajäähdytysirrinn, jonka avulla olisi mahdollista viilentää asiakkaille toimitettavaa jäähdytysvettä ilman kompressoreita, kun vesistön lämpötila on riittävän alhainen. Sairaala tarvitsee jäähdytysenergiaa myös talviaikana, joten jäähdytystä pystyttäisi tuottamaan talvella edullisesti vapaajäähdytyksellä.

10.6 Kustannukset

Laitosinvestoinnin lisäksi kustannuksia kertyy muun muassa vesistön ja laitoksen välisestä siirto-putkistosta sekä jäähdytysveden jakeluputkistosta, laitoksen sähköliittymästä ja suunnittelusta. Juokseviin kuluihin luettiin sähkönkulutus, henkilöstökulut ja materiaalikulut. Projektin kustannusarviota varten laaditussa laskentataulukossa käytettiin taulukon 28 arvoja. Laitosinvestoinnin suuruutena käytettiin erään laitostoimittajan antamaa budjettiarviota vesistöjäähdytyksellä toimivasta jäähdytyskontista. Keruuputkiston hinta-arvio saatiin Lempäälän Lämpö Oy:n Toni Laaksoilta (Laakso

2016). Sähköliittymän hinta on arvioitu selvästi yläkanttiin laitostoimittajan edustajan ilmoittaman sähköntarpeen mukaan. Lappeenrannan Energiaverkkojen liittymismaksuhinnaston (Sähkön liittymismaksuhinnasto n.d.) mukaan tarkka hinta sähköliittymälle olisi 15 910 euroa.

Taulukko 27. Jäähdytyslaitoksen kustannusarviot

Investointikulut		
Kustannuskohde	Hinta	Yksikkö
Jäähdytyslaitos (kontti)	400 000	€
Vesistöputkisto	150 000	€
Sähköliittymä	16 000	€
Jakeluputkisto	60 000	€
Suunnittelu	20 000	€
Varabudjetti	75 000	€
Yhteensä	735 000	€
Juoksevat kulut		
Sähkö	75	€/MWh
	12 857	€/a
Huoltokulut	3 000	€/a
Yhteensä	15 857	€/a

Jäähdytysenergian jakeluputkiston hinta on verkostopäällikkö Ami Kylliäisen arvioima. Suunnitteluun varattu budjetti oli jäähdytysprojektin työryhmän arvio suunnittelukuluista ja varabudjetti on lisätty kustannuksiin yllättävien lisäkustannuksien varalta. Sähkön kokonaishinta on pyritty arvioimaan sähkömarkkinoiden nykytilanteen mukaan. Sähkönkulutus laskettiin K-sairaalalle arvioidun jäähdytysenergiantarpeen (1200 MWh) ja keskimääräisen kylmäkertoimen mukaan. Huoltokulujen arvioinnissa käytettiin hyväksi laitostoimittajan arvioimia kustannuksia.

10.7 Kannattavuuslaskelmat

K-sairaalan jäähdytysprojektin kannattavuutta tarkasteltiin investoinnin sisäisen koron, netto nykyarvon ja takaisinmaksuajan avulla. Tarkastelua varten laadittiin Excel-laskentataulukko, jonka rakensi Lappeenrannan Energian energiakaupan johtaja Marko Pollari. Taulukkoon syötettiin laskentaa varten jäähdytyslaitoksen teknisiä tietoja, investointikuluja, myyntituloja ja juoksevia kuluja (ks. liite 13).

Tarkastelun tavoitteena oli etsiä sopiva liittymismaksu, perusmaksu ja jäähdytysenergian hinta asiakkaalle niin, että toiminta olisi energiayhtiölle kannattavaa. Laskelmissa päädyttiin käyttämään erään energiayhtiön hintatietoja, jotka Kylliäinen oli hankkinut yhtiön johtohenkilöltä. Mitä suurempi on vapaajäähdytyksen osuus, sitä vähemmän tuotannossa joudutaan käyttämään sähköenergiaa. Lappeenrannassa vapaajäähdytyksen osuus tuotannosta on pieni matalan vesistön vuoksi, joten myös kustannukset jäähdytystuotannolle ovat korkeammat. Laskentapohjassa käytettiin kerrointa, jolla voitiin korottaa syötettyjä hintatietoja ja etsiä tilanne, jossa toiminta on energiayhtiölle kannattavaa.

Tarkastelussa päädyttiin hinnoitteluun, jossa investointikustannuksista peritään tietty prosenttiosuus liittymismaksuna. Perusmaksun ja energiamaksun suuruuden määrittelyssä käytettiin erään yhtiön hinnastoa, jossa perusmaksun suuruus on $X \text{ €/kW/a}$ ja energian hinta $X \text{ €/MWh}$. Yhtiön perusmaksun suuruudella ja energian hinnalla investoinnin sisäinen korko on 6,6 %. Lappeenrannan Energian energiakaupan johtaja Pollarin mukaan sisäisen koron olisi oltava vähintään 6 %, jotta investointi olisi kannattava. Lopullinen K-sairaalan jäähdytyshinnasto, johon tarkastelun perusteella päädyttiin, on esitetty taulukossa 29 ja laskentataulukon tulossivu on liitteessä 14 (ei julkisia tietoja).

Taulukko 28. Lappeenrannan Energian jäähdytysenergian hinnoittelu K-sairaalalle (ei julkisia tietoja)

Maksun osa	Hinta	Yksikkö
Liittymismaksu		€
Perusmaksu		€/a
Energiamaksu		€/MWh
Keskihinta		€/MWh

Hillitsemällä liittymismaksua saadaan kaukojäähdytys kannattavaksi myös asiakkaalle. K-sairaalalle toteutettavan jäähdytyksen kannattavuutta Lappeenrannan Energialle esittävät luvut ovat työryhmän päättämällä hintatiedoilla:

- Sisäinen korko (IRR) X %
- Nettonykyarvo (NPV) X €
- Takaisinmaksuaika (PBP) X vuotta

10.8 Eksoten hallituksen päätös

11 Pohdinta

11.1 Tuloksien arviointi

11.1.1 Kaukojäähdytysmarkkinoiden arviointi

Tuloksina kaukojäähdytysmarkkinoiden tarkastelusta saatiin jäähdytyspotentiaalın suuruuden vaihteluväli, keskiarvo ja sijoittuminen kaupungissa. Jäähdytyspotentiaalın ohessa tarkasteltiin tulevaisuuden rakentamiskäytöksiä, joiden avulla toimeksiantaja voi suunnitella sekä kaukojäähdytyksen että muiden toimialojen tulevaisuutta. Jäähdytyspotentiaalın tarkastelua varten laadittujen laskentataulukoiden avulla toimeksiantaja voi tarkastella myös jatkossa alueiden jäähdytystarpeen suuruutta.

Suurimpia virhelähteitä tarkastelussa olivat käytetyt lähtöarvot, joihin kuuluivat muun muassa rakennusten pinta-ala tiedot ja simuloidut jäähdytyksen ominaistehon-

ja energiankulutuksentarpeet. Pinta-alatietoja hankittiin Lappeenrannan kaupungin toimittaman rakennusluettelon ja Lappeenrannan Energian asiakasrekisterin kautta. Kun näiden lähteiden tietoja vertailtiin, havaittiin rakennuksien taustatiedoissa eroja. Erojen katsottiin johtuvan eri tietolähteistä ja eri ajankohtina hankituista tiedoista. Lappeenrannan Energian asiakasrekisterin tietojen epäiltiin olevan osittain arvioituja. Asiakasrekisterin ilmoittama rakennustilavuus muunnettiin pinta-alaksi rakennukselle arvioitun kerroskorkeuden avulla. Epätarkat lähtöarvot ja arviointivirheet vaikuttavat lopputuloksien tarkkuuteen, mutta todelliseen jäähdytystarpeeseen vaikuttavien tekijöiden lukumäärän vuoksi lähtötietojen mahdolliset virheet eivät ole merkittäviä tarkastelun lopputuloksien kannalta.

Rakennustyypeille arvioidut ominaisjäähdytyksentarpeet koottiin Rakennusten jäähdytysmarkkinat -raportista (2015) ja Kaukolämmön käsikirjassa (2006) esitetyistä taulukkoarvoista. Luodun taulukon pohjana käytettiin pääasiassa raportissa esitettyjä tehon- ja energiankulutuksenarvoja, jotka oli hankittu simulointiohjelman avulla. Simulointitulokset eroavat todellisista jäähdytystarpeen arvoista, mikä aiheuttaa virhettä lopputuloksiin. Simulointituloksien perusteella voitiin kuitenkin todeta aurinkosuojauksen merkitys rakennuksen jäähdytysenergiankulutuksessa, sillä ilman aurinkosuojausta varustetun rakennuksen jäähdytystarve oli selkeästi aurinkosuojattua rakennusta suurempi. Tarkastelun tuloksissa esitettiin jäähdytystarpeen keskiarvo sekä vaihteluväli, jolla todellinen tehon- ja energiantarve voi vaihdella aurinkosuojauksesta riippuen.

Rakennuksen käyttötarkoitus vaikuttaa todelliseen jäähdytystarpeeseen. Esimerkiksi toimistorakennuksessa voi olla osia, joiden käyttötarkoitus eroaa rakennuksen taustatiedoissa mainituista käyttötarkoituksista. Lisäksi rakennuksissa voidaan sallia hetkelliset muutokset sisäilmastossa, kuten sisälämpötilan liukuminen energian säästämiseksi. Tarkastelu ei huomionnut todellista käyttötarkoitusta.

Alueiden jäähdytystarvetta laskettaessa keskityttiin teoriaosuudessa mainittuihin suurimman potentiaaloin omaaviin rakennuskohteisiin, yksityisiin ja julkisiin toimitiloihin. Seuraavaksi suurimman potentiaaloin omaavia rivi- ja kerrostaloja ei huomioitu lukuun ottamatta Skinnarilan opiskelija-asuntoja ja Viipurin Vanerin uutta kerrostaloaluetta. Tarkastelualueilla olevat rivi- ja kerrostalot on hyvä huomioida mahdollisissa jatkotarkasteluissa, jos alueelle suunnitellaan keskitettyä jäähdytyksentuotantoa.

Tuloksina saadut jäähdytystehon- ja jäähdytysenergiantarpeet ovat suuntaa antavia, sillä todelliseen jäähdytystarpeeseen vaikuttaa moni muuttuja, joista suurin on teorioosuudessa esitelty aurinkosuojauksen merkitys. Myös käytetty rakennustekniikka ja ympäristö vaikuttavat merkittävästi rakennuksen todelliseen jäähdytystarpeeseen. Nämä muuttujat tulee huomioida, kun tutkitaan alueiden todellisia jäähdytystehon- ja energiantarpeita.

Jäähdytysmarkkinoiden tarkastelun tuloksien perusteella voidaan todeta, minne alueille jäähdytystarve on sijoittunut ja kuinka suuri alueen jäähdytyspotentiaali voi olla. Keskustan alueen jäähdytyspotentiaali on odotetusti tarkastelun suurin tiheimmän rakennuskannan ja liike- ja toimistorakennuksien määrän ansiosta. Jäähdytyspotentiaalin sijainnin ja suuruuden lisäksi toimeksiantaja voi hyödyntää luotua laskentataulukkoa tulevissa tarkasteluissa. Tutkimuksen osana ollut tulevaisuuden rakentamisen tarkastelu antaa toimeksiantajalle tiivistetyn kuvan mahdollisista rakennushankkeista Lappeenrannassa, jotta ne voidaan huomioida omassa liiketoiminnan suunnittelussa.

11.1.2 Liiketoiminnan kehittäminen

Kaukojäähdytystoiminnan kehittämisen tarkastelu perustui muilta energiayhtiöiltä hankittuihin kokemuksiin ja energiayhtiöiden toimintaympäristöjen vertailuun. Suurimmaksi haasteeksi suuren kokoluokan kaukojäähdytystuotannolle osoittautui vesistöjen hyödyntämismahdollisuus vapaajäähdytykseen. Helsinki voi sijaintinsa ansiosta hyödyntää laajasti merta vapaajäähdytyksessä. Myös Tampereen ja Kuopion välittömässä läheisyydessä olevat syvät sisävesistöt tarjoavat mahdollisuuden suuremmalle jäähdytystuotannolle. Esimerkiksi Porissa ja Lahdessa on taas jouduttu toteamaan, että vesistöt ovat liian matalia suuren tuotantolaitoksen perustamiselle. Sisävesikarttojen perusteella todettiin, että Saimaa on hyvin matala Lappeenrannan edustalla ja tämän vuoksi tilanne on sama kuin Porissa ja Lahdessa.

Tampereen Sähkölaitos oli teettänyt tutkimuksen Näsijärven lämpötiloista järven eri syvyyksissä. Vertailun vuoksi Lappeenrannan alueelta yritettiin hankia Saimaan lämpötilatietoja. Vertaamalla Saimaan lämpötilatietoja Näsijärvestä tehtyyn tutkimukseen olisi voitu havaita syvän ja matalan vesistön lämpötilan käyttäytymisen eroja. Saimaan vesistöistä saatiin vain pintaveden lämpötilan tilastotietoja, joten Saimaan ja Näsijärven lämpötilatietoja ei voitu vertailla tarkemmin. Saimaan lämpötilatilastolla

voitiin kuitenkin havainnollistaa auringon vaikutusta vesistön lämpötilaan ja todeta vesistön korkein lämpötila kesäaikana.

Kaukojäähdytysverkoston laajentaminen on osa liiketoiminnan laajentamista, joten opinnäytetyössä tutkittiin vaadittavia asiakasmääriä rakennettavalle johto-osuudelle, jotta verkostoinvestointi maksaisi itsensä takaisin 10–15 vuodessa. Tarkastelun tuloksena voitiin jälleen todeta, että pientalot eivät sovellu kaukojäähdytysasiakkaiksi, sillä yhden kilometrin matkalle vaadittaisiin uusia omakotirakennuksia vähintään yli X kappaletta, jotta investointi maksaisi itsensä takaisin 15 vuodessa.

Verkoston laajentamista koskevassa tarkastelussa havaittiin, että vuoden 2015 jälkeen rakennettujen kerrostalorakennuksien määräksi riittäisi uudelle yhden kilometrin johto-osuudelle X kappaletta, mikä on huomattavasti vähemmän kuin X kappaletta vanhempia kerrostaloja. Ero johtuu uusien kerrostalorakennuksien parantuneesta energiatehokkuudesta. Rakennukset ovat aikaisempaa paremmin eristettyjä, joten kiinteistöissä esiintyy useammin myös sisäisestä lämpökuormasta tai auringon säteilyenergiasta aiheutuvaa yllämpöä.

Uuden johto-osuuden tarkastelussa käytettiin hyväksi aikaisemmin muodostettuja keskimääräisiä jäähdytystarpeen ominaisarvoja, joten tuloksiin voi aiheutua samankaltaisia virheitä kuin markkinapotentiaalin tarkastelussa. Rakennustyyppien keskimääräiset pinta-alat laskettiin Tilastokeskuksen Lappeenrannan rakennustilastojen avulla, joten alueiden todelliset rakennuspinta-alat voivat olla täysin erilaisia. Tarkasteluun valittu hinnasto vaikuttaa myös olennaisesti lopputuloksiin. Tarkastelussa käytettiin erään energiayhtiön hinnastoa, jonka avulla voitiin laskea tarkka hinnoittelu pientaloista liikerakennuksiin.

Kaukojäähdytysverkoston rakentaminen rakennetulle alueelle, etenkin ydinkeskustaan, on haasteellista olemassa olevan yhdyskuntatekniikan vuoksi. Uusien putkilinjojen rakentaminen edellyttää tarkkaa suunnittelua, jotta verkoston rakentaminen etenee sujuvasti. Kattavien esiselvitysten avulla voidaan välttää suunnitteluvirheitä ja minimoida ylimääräiset kustannukset rakentamisessa.

Liiketoiminnan aloittaminen erilliskohteiden tai -alueiden jäähdyttämisellä on turvallinen vaihtoehto yhtiölle, joka opettelee uuden toimialan tuomia haasteita ensimmäistä kertaa. Jäähdytystoiminnan kohdentaminen pienelle alueelle helpottaa myös

investoinnin kannattavuuden arviointia. Kun pienempiä jäähdytyskohteita tai -alueita kertyy useampia, voidaan niiden yhdistämistä harkita uusien tarkasteluiden avulla.

11.1.3 Kaukojäähdytystariffien tarkastelu

Tariffijärjestelmien tarkastelun tavoitteena oli muodostaa käsitys muiden energiayhtiöiden käyttämistä kaukojäähdytys hinnastoista ja muodostaa vaihtoehtoinen hinnoittelumalli toimeksiantajalle. Lopputuloksina saatiin yhteenveto Suomessa käytettävistä tariffijärjestelmistä, vertailutuloksia kaukojäähdytys hinnastojen välillä sekä vaihtoehtoinen hinnoittelumalli toimeksiantajalle.

Suomessa toimivien energiayhtiöiden käyttämiä hinnoittelumenetelmiä tiedusteltiin puhelinhaastatteluilla ja sähköpostikyselyillä. Haastatteluiden perusteella todettiin, että suurella osalla yhtiöistä ei ole käytössä vakiintunutta hinnastoa, vaan hinnoittelu määritellään tapauskohtaisesti. Hintatietojen jakeluun suhtauduttiin varovaisesti, sillä kaukojäähdytys hinnastoja ei ole koottu Suomessa vielä yhteen viranomaisten toimesta. Puhelinhaastatteluiden yhteydessä saatiin myös uusia kontakteja kaukolämpö- ja kaukojäähdytysalalta.

Kaksi energiayhtiötä toimitti käytössä olevia hintatietoja avoimesti. Hinnastot saatiin sähköpostitse tarkasteltavaksi. Yhden yhtiön hinnat saatiin puhelimitse suoraan yhtiön henkilökunnalta ja neljännen yhtiön muodostama hinnoittelu sairaala-alueelle oli saatavissa internetistä. Kaksi hinnastoista kattaa sekä pienien että suurien asiakkaiden hinnoittelun, kun kaksi muuta hinnastoa on suunniteltu suurille sairaalakiinteistöille sopiviksi. Tarkastelun kannalta oli hyvä, että mukana oli erilaisiin käyttötarkoituksiin laadittuja hinnoittelumalleja, joiden avulla oli mahdollista hahmotella hinnoittelun rakennetta myös Lappeenrantaan.

Tariffijärjestelmiä vertailtiin esimerkkikohteiden avulla. Esimerkkikohteina käytettiin Lappeenrannan keskussairaalan yhteyteen rakennettavaa uutta sairaalarakennusta eli K-sairaala ja Viipurin Vanerin uutta kerrostaloaluetta. Lisäksi kaikkia hinnoittelumalleja vertailtiin vaihtoehtoisen hinnoittelumallin yhteydessä pientalo-, kerrostalo-, toimistorakennus- ja liikerakennusasiakkaalta saatavien myyntitulojen avulla. Lopputuloksena havaittiin, että muiden energiayhtiöiden hinnastoista erään yhtiön hinnastolla saatiin suurimmat myyntitulot suurilta kaukojäähdytysasiakkailta. Toisen ener-

gyhtiön hinnoittelulla saatiin parhaat vuositulot toimistorakennuksia pienemmiltä asiakkailta.

Tariffijärjestelmien vertailuun valittiin käytännöllinen lähestymistapa. Järjestelmien kannattavuutta vertailtiin lappeenrantalaisissa esimerkkikohteissa. Tulokset eivät olleet kovin mielekkäitä, sillä hinnastot olivat pääasiassa kannattamattomia. Kannattamattomuudesta huolimatta vertailujen perusteella hinnoittelumallit voitiin järjestää järjestykseen vähiten kannattavasta kannattavimpaan. Tariffijärjestelmien tarkastelun ohessa esitettiin, kuinka budjettiarvion leikkaaminen ja kerrostaloliittymien määrä alueella vaikuttivat herkästi investointien kannattavuuteen. Vertailu havainnollisti, että budjettiarviota laadittaessa tasapainotellaan taloudellisten riskien minimoimisen ja kannattavuuslaskelmien realistisuuden välillä.

Toimeksiantajalle muodostettu hinnoittelumalli seurasi muiden yhtiöiden hinnoittelua hyvin. Hinnaston muodostamisessa hyödynnettiin laskentataulukkoa, johon oli mahdollista syöttää tarkastelukohteena käytetyn rakennustyyppin jäähdytystehon- ja energiantarve. Laskentataulukon avulla voitiin vertailla liittymis-, energia- ja perusmaksujen suuruuksia rakennustyyppille eri yhtiöiden välillä. Tärkeimpinä vertailukohteina olivat kahden energiayhtiön hinnastot, jotka oli suunniteltu käytettäväksi erikoisille asiakkaille. Vaihtoehtoisen hinnoittelumallin rakennetta korjattiin laskentatulosien myötä vastaamaan vertailussa mukana olleiden hinnastojen käyttäytymistä. Vaihtoehtoinen hinnoittelumalli on selkeä ja ymmärrettävä malli hinnoittelulle. Sen rakennetta ja käytettävyyttä on tarkasteltava silti lisää, jotta voidaan varmistua, että hinnoittelumalli ei sisällä puutteita ja ristiriitoja. Jos hinnastoa haluttaisi käyttää pienkohteisiin, tulisi hinnoittelulle harkita jonkinlaista minimisummaa, jolla pienasiakkaiden liittäminen jäähdytysverkkoon olisi kannattavaa.

11.2 Jatkotutkimustarpeet

Kaukojäähdytystoiminnan käynnistäminen vaatisi, että tarkasteltavien alueiden todellinen jäähdytystehon- ja energiantarve selvitetäisi. Kaukojäähdytystä tulisi markkinoida potentiaalisille asiakkaille ja selvittää kiinnostuneiden asiakkaiden määrä. Tämän jälkeen olisi mahdollista tehdä laskelmia liiketoiminnan kannattavuudesta. Jos kaukojäähdytyksestä halutaan uusi tuote yhtiölle, tulee rakennusyhtiöiden ja kau-

pungin suunnittelijoiden kanssa tehdä yhteistyötä, jotta jäähdytysratkaisu voidaan ottaa huomioon jo suunnitteluvaiheessa.

Jäähdytysenergian tuotantoteknisten ratkaisuiden ja niistä aiheutuvien kustannuksien eroja tulisi tarkastella myös laskennallisesti. Laskelmien avulla varmistettaisiin toiminnan kannattavuus ja voitaisiin valita tuotantotekniikoista taloudellisesti kannattavin vaihtoehto toimintaympäristöön. Tarkastelussa tulisi huomioida esimerkiksi mahdollinen kaukojäähdytyksen ja -lämmityksen yhdistäminen lämpöpumppuratkaisuilla sekä toimintaympäristön tarjoamat olosuhteet erityisratkaisuille, kuten vesistön tai jätevesivirran hyödyntämiselle. Kannattavuuslaskelmien perusteella olisi mahdollista todeta myös alueellisesti keskitetyn tuotannon kannattavuus suuren kokoluokan tuotantoon verrattuna.

Liiketoiminnan kehittämismuutosten yhteydessä todettiin, että turvallisin tapa aloittaa kaukojäähdytystoiminta on jäähdytyskonttiratkaisu. Jäähdytyskontilla voidaan jäähdyttää aluetta tai erillistä rakennuskohdetta. Tarvittaessa tuotantokapasiteettia voidaan lisätä jäähdytyskoneistojen lukumäärää lisäämällä.

Vaihtoehtoisen kaukojäähdytystariffin rakennetta ja toimivuutta on tarkasteltava lisää, jotta se voidaan todeta käyttökelpoiseksi. Erityisesti huomiota on kiinnitettävä hinnoittelun toimivuuteen hinnoittelumallissa esitettyjen raja-arvojen läheisyydessä. Hinnoittelussa asiakkaita on lajiteltu sopimustehon mukaan ja raja-arvot on arvioitu erään energiayhtiön hinnaston pohjalta. Vaihtoehtoisen hinnoittelumallin kannattavuutta ei tarkasteltu erikseen esimerkkitilanteissa tai -alueilla. Tästä syystä tariffin kannattavuutta Lappeenrannan toimintaympäristössä tulisi tarkastella lisää, vaikka hinnoittelumallilla saatiin vertailussa suuremmat myyntitulot kuin muiden yhtiöiden hinnastoilla. Tariffijärjestelmän tulisi olla Lappeenrannan Energialle kannattava investointilaskelmiin perustuen ja lisäksi järjestelmän pitäisi tarjota kilpailukykyinen ratkaisu kiinteistökohtaisille jäähdytysratkaisuille.

11.3 Lopuksi

Opinnäytetyön aihe oli mielenkiintoinen, sillä kaukojäähdytyksen historia on melko lyhyt ja ala kasvaa huomattavasti tulevaisuudessa. Tiukempien rakennusmääräysten ja korkeampien laatuvaatimusten myötä jäähdytystarve kasvaa myös Suomessa, jos-

sa olosuhteiden oletetaan usein olevan kaukojäähdytystä vastaan. Yhä useampi energiayhtiö on aloittanut tai suunnittelee kaukojäähdytyksen tuottamista, sillä muiden yhtiöiden positiiviset kokemukset ruokkivat kiinnostusta jäähdytysalaa kohtaan.

Opinnäytetyön aihe osoittautui niin laajaksi kuin ennen sen aloittamista epäiltiin ja tarkempaa pureutumista aihealueisiin ei ollut resurssien puolesta mahdollista tehdä. Aiheen rajaamisella olisi saatu tarkempia tarkastelutuloksia, kun työssä olisi ollut mahdollista keskittyä johonkin tiettyyn ja suppeampaan osa-alueeseen. Laajan aiheen ansiosta kaukojäähdytyksestä sai kuitenkin laajan yleiskuvan ja monipuolista tietoa niin markkinoista, muista energiayhtiöistä kuin jäähdytystekniikastakin.

Opinnäytetyön aikana opittiin paljon uutta esimerkiksi jäähdytystekniikasta, rakennusten ilmastointi- ja aurinkosuojojärjestelmistä, kaukojäähdytyksen markkinatekijöistä sekä talousmatematiikasta. Syksyn 2015 ja kevään 2016 aikana saatiin paljon uusia kontakteja ja tuttavuuksia energia-alalta puhelinkeskusteluiden, vierailuiden ja tapahtumien yhteydessä. Eksoten sairaalahankkeeseen osallistuminen antoi uusia kokemuksia projektityöskentelystä ja hankkeen etenemistä oli mahdollisuus seurata eturivistä. Opinnäytetyön mielenkiintoa lisäsi se, että aihe oli ajankohtainen K-sairaalahankeeseen myötä ja työnteko hankkeen eteen oli osa opinnäytetyötä. Työn tuloksia voidaan käyttää tulevaisuudessa jäähdytysliiketoiminnan suunnittelussa.

Lappeenrannan Energiaverkot tarjosi hienon mahdollisuuden tehdä opinnäytetyötä jo entuudestaan tutussa työympäristössä. Työsuhteen lisäksi toimeksiantaja tarjosi kaikki välineet työntekoon työpuhelimesta omaan työpisteeseen. Haluan kiittää Lappeenrannan Energiaverkot Oy:tä mahdollisuudesta ja kaikkia energiakonsernin työntekijöitä ohjeista, opastuksesta ja kannustamisesta. Suuri kiitos tuesta kuuluu myös läheisille, perheelle ja ystäville.

Lähteet

Aaltonen, J. 2015. Kaukojäähdytys laajenee Helsingissä. Blogikirjoitus Helenin sivustolla. Viitattu 26.4.2016. <http://blogi.helen.fi/kaukojaahdytys-laajenee-helsingissa/>

AdvanTEC. N.d. Carrier Oy:n esite vedenjäähdytyslaitteistosta. Sähköpostiviesti 10.2.2016 Louhi, K. Projektipäällikkö. Vastaanottaja J. Kuningas.

Airaksinen, M., Ala-Kotila, P., Vainio, T. & Vesanen, T. 2015. Rakennusten jäähdytysmarkkinat. Asiakasraportti. VTT:n raportti Energiategollisuus ry:n käyttöön.

AlfaBlue BD. N.d. Tuote-esittely Alfa Lavalin sivustolla. Viitattu 14.4.2016. <http://www.alfalaval.com/de/products/heat-transfer/finned-coil-air-heat-exchangers/Air-cooled-liquid-coolers/alfablue-bd/>

Asemakaavakohteet. 2016. Lappeenrannan kaupungin julkaisema ”Kaavoitusohjelma 2016-2017 asemakaavakohteet”. Viitattu 14.3.2016. <http://www.lappeenranta.fi/loader.aspx?id=2fd8c50d-6d33-47a4-ab95-051479a4ccc1>

Baker Perkins Historical Society. N.d. Baker Perkins Groupin historian ja keksintöjen esittely yhtiön internetsivuilla. Viitattu 11.2.2016. <http://www.bphs.net/EarlyHistory/EarlyInventions/index.htm>

Compact Screw Compressors. N.d. Bitzerin esite puolihermeettisistä ruuvikompressoreista. Viitattu 9.3.2016. https://www.bitzer.de/shared_media/documentation/sp-171-2.pdf

D3 laskentaopas. 2012. Rakentamismääräyskokoelman ohjeen (D3 2012) Kesäajan huonelämpötilan vaatimuksen mukaisuuden osoittaminen. Ympäristöministeriö. Viitattu 3.3.2016. http://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Rakentamismaarayskokoe_lma

D3 tekninen liite. 2011. Tekninen liite muistioon: Ympäristöministeriön asetus rakennusten energiatehokkuudesta. Ympäristöministeriö. Viitattu 4.3.2016. http://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Rakentamismaarayskokoe_lma

D5 laskentaopas. 2011. Rakentamismääräyskokoelman ohjeen (D5 2012) jäähdytysjärjestelmien energialaskentaa käsittelevä energialaskentaopas. Ympäristöministeriö. Viitattu 3.3.2016. http://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Rakentamismaarayskokoe_lma

Energiaverkot. N.d. Lappeenrannan Energiaverkot Oy:n esittely konsernin sivustolla. Viitattu 21.1.2016. <http://www.lappeenrannanenergia.fi/konserni/energiaverkot/Sivut/default.aspx>

Hakala, P. & Kaappola, E. 2013. Kylmälaitoksen suunnittelu. 3. korj. p. Helsinki: Opetushallitus.

- Hakala, P. 2007. Kylmäaineiden kehitystyö hiilidioksidista hiilidioksiidiin -esitys. Suomen Jäähdytystekniikan Museo. Viitattu 11.2.2016. http://www.kylmamuseo.fi/Kylmaaineiden_kehitys.pdf
- Heikkilä, T. 2016a. Lämmitystä kylmällä -esitys Jäähdytyksen teemapäivänä 9.2.2016 Vantaalla. Tampereen Sähkölaitos Oy.
- Hirvelä, A., Jokela, M., Kaappola, E. & Kianta, J. 2011. Kylmätekniiikan perusteet. Helsinki: Opetushallitus.
- Historia. N.d. Lappeenrannan Energia Oy:n historiakertomus yhtiön sivustolla. Viitattu 21.1.2016. <http://www.lappeenrannanenergia.fi/konserni/historia/Sivut/default.aspx>
- IDA. N.d. IDA Indoor Climate and Energy simulointiohjelmien esittely Equa Simulation AB:n internetsivuilla. Viitattu 16.2.2016. <http://www.equa.se/fi/ida-ice>
- Johdanto energiatehokkuuteen. 2015. Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Energiatekniiikan koulutusmateriaali Prosessien energiatehokkuus -kurssilla. Viitattu 4.3.2016.
- Joutseno. 2011. Joutsenon esittely Lappeenrannan kaupungin sivustolla. Viitattu 15.3.2016. <http://www.lappeenranta.fi/fi/Osallistu-ja-vaikuta/Asukas--ja-alue toiminta/Kaupunginosat/Joutsenon-keskustataajama>
- Jyväskylän ensimmäinen kaukojäähdytyskohde. 2015. Artikkelit Jyväskylän Energia Oy:n sivustolla. Viitattu 2.9.2016. http://www.jyvaskylanenergia.fi/mediatiedote/1617/jyvaskylan_ensimmainen_kaukojaahdytyskohde_kankaalle_kevaalla_2016
- Kaavoituskatsaus. 2016. Lappeenrannan kaupungin asukaslehti 1/2016. Viitattu 14.3.2016. <http://www.lappeenranta.fi/loader.aspx?id=9fd0f323-a710-45f9-a86a-66e000f4ac03>
- Kakolan lämpöpumppulaitos. 2009. Kakolan lämpöpumppulaitoksen esittely "Ekologista kaukolämpöä ja kaukokylmää turkulaisille" Turku Energian internetsivuilla. Viitattu 10.2.2016. http://www.turkuenergia.fi/files/8713/7034/5290/Kakolan_lampopumppulaitos.pdf
- Karttaikkuna. N.d. Maanmittauslaitoksen ylläpitämän Paikkatietoikkunan karttapalvelu. Viitattu 22.3.2016. <http://www.paikkatietoikkuna.fi/web/fi/kartta>
- Katri Valan lämpöpumppulaitos. N.d. Lämpöpumppulaitoksen esittely Helenin sivustolla. <https://www.helen.fi/helen-oy/tietoa-yrityksesta/energiantuotanto/voimalaitokset/katri-vala/>
- Kaukojäähdytys graafeina. 2016. Energiateollisuus ry:n kokoamat graafit vuoden 2015 kaukojäähdytystilastoista. Viitattu 18.3.2016. <http://energia.fi/tilastot-ja-julkaisut/kaukolampotilastot/kaukojaahdytys>
- Kaukojäähdytys Tampereella. 2015. Tampereen Kaukolämpö Oy:n Timo Pesosen kaukojäähdytysesitys. Myyntineuvottelija Timo Heikkilän sähköposti 24.8.2015. Kuningas, J. Viitattu 21.3.2016.

Kaukojäähdytys. N.d. Kaukojäähdytyksen esittely Energiateollisuus ry:n sivustolla. Viitattu 27.1.2016. <http://energia.fi/energia-ja-ymparisto/kaukolampo-ja-kaukojaahdytys/kaukojaahdytys>

Kaukojäähdytystilasto. 2016. Energiateollisuus ry:n ”Kaukojäähdytys v. 2015” -tilasto. Viitattu 21.3.2016. <http://energia.fi/tilastot-ja-julkaisut/kaukolampotilastot/kaukojaahdytys>

Kaupunkikuvaselvitys. 2013. Kaupunkiselvitys Lappeenrannan keskusta-alueen osayleiskaavoitusta varten. Tengbom Eriksson Arkkitehdit Oy. Viitattu 3.1.2016. <http://www.lappeenranta.fi/loader.aspx?id=2ae97000-9c9c-4162-94f6-67115125b3b0>

Kehityshankkeet. N.d. Kuopion Energian kehityshankkeiden esittely yhtiön sivustolla. <https://www.kuopionenergia.fi/yritys/sen-tuntee/kehityshankkeet/>

Koskelainen, L., Saarela, R. & Sipilä K. 2006. Kaukolämmön käsikirja. Helsinki: Kirjapaino Libris Oy.

Kotiharju, A. 2015. Uusi sairaala kasvoi 7-kerroksiseksi – Eksote investoi Kahilanniemeen 93 miljoonaa. Etelä-Saimaa 31.1.2015. Viitattu 1.2.2016. <http://www.esaimaa.fi/Online/2015/01/31/Uusi%20sairaala%20kasvoi%207-kerroksiseksi%20%E2%80%94%20Eksote%20investoi%20Kahilanniemeen%2093%20miljoonaa%20/2015118568628/4>

Kylliäinen, A. 2015. Kaukojäähdytys taustatietoja. Sähköpostiviesti 26.1.2016. Vastaanottaja J. Kuningas. Lappeenrannan Energiaverkot Oy:n verkostopäällikön vastauksia kysymyksiin selvitystyön taustoista.

Kylliäinen, A. 2016a. Verkostopäällikkö. Lappeenrannan Energiaverkot Oy. Haastattelu 22.3.2016.

Kylliäinen, A. 2016b. Verkostopäällikkö. Lappeenrannan Energiaverkot Oy. Keskustelu 31.3.2016.

Kylmäainetilanne. 2008. Suomen Kylmäyhdistyksen kokoama raportti kylmäaineiden perusteista, käytöstä ja rajoituksista. Viitattu 14.4.2016. <http://www.skll.fi/yhdistys/www/att.php?type=2&id=37>

Kylmäinfo. 2009. Danfoss A/S:n esite kompressoreista ja koneikoista. Viitattu 9.3.2016. <http://www.danfoss.com/NR/rdonlyres/AF0B95C0-D09E-4815-9274-F7E8E4681E64/0/097096DANFOSSCIMasterF..>

Käyttörajoitukset ja kiellot. 2016. Ympäristö.fi -sivustolla esitetyt fluorattujen kasvihuonekaasujen käyttörajoitukset ja kiellot. Viitattu 14.4.2016. <http://www.ymparisto.fi/fkaasut/kiellot>

L 22.12.2009/1599. 2009. Asunto-osakeyhtiölaki. Viitattu 16.2.2016. <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2009/20091599>, Finlex.

Laakso, T. 2015. Tomitusjohtaja. Lempäälän Lämpö. Haastattelu 21.8.2015.

Laakso, T. 2016. Toimitusjohtaja. Lempäälän Lämpö. Puhelinhaastattelu 19.2.2016.

- Laitakari, T. 2015. Ikea on edelleen tulossa Lappeenrantaan. Kouvola Sanomat 11.12.2015. Viitattu 22.3.2016.
<http://www.kouvola.fi/Online/2015/12/11/Ikea%20on%20edelleen%20tulossa%20Lappeenrantaan/2015520002148/4>
- Lappeenrannan Energia Oy -esitys. 2016. Lappeenrannan Energia Oy:n PowerPoint-esitys. Viitattu 26.1.2016. Saatavilla yhtiön sisäisestä tietojärjestelmästä (M-Files).
- Lappeenrannan Energian esittely. N.d. Lappeenrannan Energia Oy:n esittely yhtiön sivustolla. Viitattu 21.1.2016.
<http://www.lappeenrannanenergia.fi/konserni/Sivut/default.aspx>
- Lappeenrannan karttapalvelu. N.d. Lappeenrannan kaupungin ajantasa-asemakaava. Viitattu 16.3.2016. <http://kartta.lappeenranta.fi/ims/>
- Lassila, R. 2016. Kaukolämpöjohtaja. Kuopion Energia. Puhelinkeskustelu Lappeenrannan Energiaverkkojen verkostopäällikkö Kylliäisen ja Lassilan välillä.
- Loisa, L. 2015. Lappeenrannan keskussairaala-alueen rakennusten lämmitys- ja jäähdytysenergiatarpeet. Granlund Consulting.
- Lämpövoima. N.d. Lappeenrannan Lämpövoima Oy:n esittely konsernin sivustolla. Viitattu 21.1.2016.
<http://www.lappeenrannanenergia.fi/konserni/lampovoima/Sivut/default.aspx>
- Niemi, T. 2015. Kehitysinsinööri. Pori Energia. Haastattelu 25.8.2015.
- Ote pöytäkirjasta. 2016. Ote asianmukaisesti allekirjoitetusta ja tarkastetusta pöytäkirjasta Eksoten hallituksen kokouksesta 20.4.2016. Pohjakartta. N.d. Lappeenrannan kaupungin omistama pohjakartta.
- Rakennukset Lappeenrannassa. 2014. Tilastokeskuksen PX-Web-tietokannasta hankitut Lappeenrannan rakennustiedot. Viitattu 15.4.2016.
- Rakennusluettelo. 2016. Luettelo Lappeenrannan kaupungin omistamista rakennuksista. Viitattu 13.1.2016.
- Rakennusten kaukojäähdytys. 2014. Julkaisu J1/2014: Yhtenäiset laatuvaatimukset, suositukset ja ohjeet. Energiateollisuus ry. Viitattu 11.2.2016.
<http://www.kaukolampoekstra.fi/kirjasto/suosituksset-ja-raportit/kaukojaahdytys/j12014-rakennusten-kaukojaahdytys>
- RakMK D3. 2012. Rakentamismääräyskokoelma: Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto, määräykset ja ohjeet. Ympäristöministeriö: Rakennettu ympäristön osasto. Viitattu 4.3.2016. http://www.finlex.fi/data/normit/37188-D3-2012_Suomi.pdf
- Reciprocating Compressors. N.d. Bitzerin esite puolihiermeettisistä scroll-kompressoreista. Viitattu 9.3.2016.
https://www.bitzer.de/shared_media/documentation/kp-104-3.pdf
- Saimaan lämpötila. 2016. Kaakkois-Suomen ELY-keskuksen lämpötilahavaintosarja Saimaan Lauritsalasta vuosilta 1916-2016. Vastaanotettu sähköpostilla 23.3.2016. Höytämön, J. Vastaanottaja Kuningas, J. Viitattu 23.3.2016

- Saipu. 2016. Talotekniikkayritys Saipun antamia taustatietoja K-sairaalan jäähdytyslaitteistosta Lappeenrannan Energiaverkot Oy:n Eero Toivolalle.
- Salmi, J. 2015. Product Manager, jäähdytys. Helen Oy. Puhelinkeskustelu 19.8.2015.
- Salmi, J. 2016. Product Manager, jäähdytys. Helen Oy. Puhelinkeskustelu 18.2.2016.
- Scroll-kompressori. N.d. Kompressorityyppien esittely SWEPin sivustolla. Viitattu 25.4.2016. <http://swep.ru/pt-BR/refrigerant-handbook/3.-compressors/3.2-compressor-types/>
- Seitsonen, A. 2012. Kaukojäähdytyksen hinnan muodostuminen asiakkaalle Lahden Ranta-Kartanon alueella. Opinnäytetyö. Kymenlaakson ammattikorkeakoulu, kone- ja tuotantotekniikka, energiatekniikka. Viitattu 24.2.2016. <https://www.theseus.fi/handle/10024/38482>
- Sipilä, H. 2016. Aurinkosuojaus -esitys Jäähdytyksen teemapäivänä 9.2.2016 Vantaalla. Aurinkosuoja ry.
- Sisäilmasto ja ilmastointijärjestelmät. 2014. Perustietoa ilmastointitekniikasta rakentamisen ja rakennusten käytön asiantuntijoille. Helsinki: Talotekniikka-Julkaisut.
- Sopanen, H. 2016. Sammonlahden liikuntahallia ehdotetaan purettavaksi. Etelä-Saimaa 9.3.2016. Viitattu 15.3.2016. <http://www.esaimaa.fi/Online/2016/03/09/Sammonlahden%20liikuntahallia%20ehdotetaan%20purettavaksi/2016120442089/4>
- Sopimusluonnos. 2016. Sopimusluonnos lämpö- ja jäähdytysenergian toimittamisesta kolmannen osapuolen ja Lappeenrannan Lämpövoiman välillä.
- Sähkön liittymismaksuhinnasto. N.d. Lappeenrannan Energiaverkkojen hinnasto sähköliittymille. Viitattu 30.3.2016. http://www.lappeenrannanenergia.fi/palvelut/LRE%20tiedostot/Hinnastot/LEV_S%C3%A4hk%C3%B6n%20liittymismaksuhinnasto_2013.pdf
- Talotekniikka. N.d. Kaukojäähdytyslaitteiden esittely Taloyhtiö.net -sivustolla. Viitattu 18.2.2016. <http://www.taloyhtio.net/talotekniikka/kaukojaahdytys/>
- Tampereen vierailu. 2015. Lappeenrannan Energiaverkot Oy:n henkilökunnan vierailu Tampereen Kaukolämpö Oy:llä 23.9.2016.
- Tiitinen, M. 2015. Asiantuntija, kaukolämpö ja -jäähdytys. Energiateollisuus ry. Puhelinhaastattelu 19.8.2015.
- Kolmannen osapuolen tarjous. 2016. Kolmannen osapuolen 27.1.2016 esittämä tarjous Lappeenrannan Lämpövoimalle. Esittelijänä osapuolen myyntipäällikkö.
- Uusi K-sairaala. N.d. Artikkelit Etelä-Karjalan sosiaali- ja terveystieteiden sivustolla. Viitattu 23.3.2016. <http://www.eksote.fi/toimipisteet/etela-karjalan-keskussairaala/k-sairaala/Sivut/default.aspx>
- Verkonrakennus. N.d. Lappeenrannan Verkonrakennus Oy: esittely konsernin sivustolla. Viitattu 21.1.2016. <http://www.lappeenrannanenergia.fi/konserni/verkonrakennus/Sivut/default.aspx>

Viipurin Vanerin rakentaminen alkaa. 2011. Ylen verkkouutinen 23.8.2011. Viitattu 15.3.2016.

http://yle.fi/uutiset/viipurin_vanerin_alueen_rakentaminen_alkaa/5411016

Vuosikertomus. 2014. Lappeenrannan Energia Oy:n vuosikertomus 2014. Viitattu

21.1.2016. <http://issuu.com/lappeenrannanenergiaoy/docs/150617-lre-vuosikertomus-2014-lowre>

Liitteet

Liite 1. Simuloinnin tuloksena saadut energiankulutustiedot ja tehontarpeet tyyppirakennuksille (Airaksinen ym. 2015, 19)

Jäähdytystarve 2030 säätiedoilla				
kWh/kerros-m ²	Ennen v. 2010 rakennetut	2015-2030 rakennetut	Ennen v. 2010 rakennetut	2015-2030 rakennetut
	ei aurinkosuojausta		aurinkosuojaus	
Pientalot	2	12	0,5	2
Kerrostalot	1	6	0,5	3
Toimistorakennukset	34	39	6	7
Liikerakennukset	12	15	12	15
Hoitoalan rakennukset	34	39	6	7
Opetusalan rakennukset	13	16	7	8

Jäähdytystehon 2012 säätiedoilla				
W/m ²	Ennen v. 2010 rakennetut	2015-2030 rakennetut	Ennen v. 2010 rakennetut	2015-2030 rakennetut
	ei aurinkosuojausta		aurinkosuojaus	
Pientalot	23	24	4	9
Kerrostalot	10	21	0	16
Toimistorakennukset	90	82	41	42
Opetusalan rakennukset	76	76	66	65

Jäähdytystarve 2030 säätiedoilla				
W/m ²	Ennen v. 2010 rakennetut	2015-2030 rakennetut	Ennen v. 2010 rakennetut	2015-2030 rakennetut
	ei aurinkosuojausta		aurinkosuojaus	
Pientalot	26	26	6	11
Kerrostalot	12	23	2	17
Toimistorakennukset	94	85	46	47
Opetusalan rakennukset	84	84	73	72

Jäähdytystehon 2012 säätiedoilla				
kW	Ennen v. 2010 rakennetut	2015-2030 rakennetut	Ennen v. 2010 rakennetut	2015-2030 rakennetut
	ei aurinkosuojausta		aurinkosuojaus	
Pientalot	3	3	1	1
Kerrostalot	11	24	0	18
Toimistorakennukset	161	147	73	76
Opetusalan rakennukset	184	184	159	158

Jäähdytystarve 2030 säätiedoilla				
kW	Ennen v. 2010 rakennetut	2015-2030 rakennetut	Ennen v. 2010 rakennetut	2015-2030 rakennetut
	ei aurinkosuojausta		aurinkosuojaus	
Pientalot	4	4	1	2
Kerrostalot	14	26	2	20
Toimistorakennukset	169	153	83	84
Opetusalan rakennukset	204	204	176	175

Liite 2. Ydinkeskustan jäähdytystarpeen laskentataulukko

Ydinkeskusta Tunniste Nimi	Osoite	Hsto ala	Kok. tilav.m ³	Valmistunut	Hallinnollinen kiinteistö	Keskiarvo (W/m ²) (KW)	Keskiarvo (KW)	Ei a-suojaa (KW)	A-suojaus (KW)	Keskiarvo (kWh/m ²) (MWh)	Ei a-suojaa (MWh)	A-suojaus (MWh)	
													= jätetty pois tarkastelusta
Terveydenhuolto- ja sosiaalirakennukset													
Iso apu-palvelukeskus													
	Kauppakatu 63, 53100 LPR	7048,1	19 030,0	2012	Kiinteistö Oy Lappeen Helmi	65,5	461,7	634,3	289,0	20	141,0	239,6	42,3
	Yhteensä						461,7	634,3	289,0		141,0	239,6	42,3
Toimistotilat													
	Technopoliksen rakennus	10737,4	28 991,0		Assi Group Oy	65,5	703,3	966,4	440,2	20	214,7	365,1	64,4
	Lappeenrannan Centre	7500	20250	2014	Kiinteistö Oy Lappeenrannan Centre	65,5	491,3	675,0	307,5	20	150,0	255,0	45,0
	Yhteensä						1194,6	1641,4	747,7		364,7	620,1	109,4
Julkkiset rakennukset													
815106	Kaupungintalo	9 000,0	49 200,0	1983	9-27-1 Edustori	65,5	589,5	810,0	369,0	20	180,0	34,0	6,0
832203	Maakuntakirjasto	3 813,0	18 650,0	1974	6-13-2 Maakuntakirjasto	65,5	249,8	343,2	156,3	20	76,3	34,0	6,0
831104	Lpr:n Kaupunginteatteri	4 432,0	30 289,0	1955	6-15-1 Lpr:n Kaupunginteatteri	5	22,2	44,3	0,0	0,75	3,3	1,0	0,5
815105	Monttoimitalo	1 200,0	4 900,0	1981	3-10-5 Monttoimitalo	5	6,0	12,0	0,0	0,75	0,9	1,0	0,5
823105	Snellmanin päiväkoti, rak. 3	182,0	546,0	1900	2-4-12 Snellmanin päiväkoti	13,5	2,5	4,2	0,7	10	1,8	13,0	7,0
823107	Snellmanin päiväkoti, rak. 2	180,0	485,0	1923	2-4-12 Snellmanin päiväkoti	13,5	2,4	4,1	0,7	10	1,8	13,0	7,0
852103	Musiikkiopisto; ns. ruskea rak.	415,1	2 045,0	1894	6-10-4 Musiikkiopisto	71	29,5	31,5	27,4	10	4,2	13,0	7,0
852104	Musiikkiopisto; uusi puoli	1 386,0	7 240,0	1988	6-10-4 Musiikkiopisto	71	98,4	105,3	91,5	10	13,9	13,0	7,0
872203	Kirkkokadun väestösuojaja	575,0	2 025,0	1980	2-9903-0 Kaupungintalon edustori+VSS	5	2,9	5,8	0,0	0,75	0,4	1,0	0,5
811202	Kauppahalli	770,0	3 910,0	1956	11-9902-0 Kauppatori	13,5	10,4	17,7	3,1	1,25	1,0	2,0	0,5
	Virastotalo	3111,1	8 400,0	1970	Lappeenrannan Energia Oy	65,5	203,8	280,0	127,6	20	62,2	34,0	6,0
	Energian toimipiste	1666,7	4 500,0	1970	Lappeenrannan Energia Oy	65,5	109,2	150,0	41,0	20	33,3	34,0	6,0
	Yhteensä						1168,6	1612,9	697,0		353,7	139,0	25,0
Kauppakeskukset													
	Brahenkatu 3, 53100 LPR	777,8	2 100,0	1987	Villimiehen Vitonen Oy	150	116,7	155,6	77,8	12	9,3	9,3	9,3
	Brahenkatu 5, 53100 LPR	15444,4	41 700,0	1986	Villimiehen Vitonen Oy	150	2316,7	3088,9	1544,4	12	185,3	185,3	185,3
	Lappeenkatu 7, 53100 LPR	10555,6	28 500,0	1992	Villimiehen Vitonen Oy	150	1583,3	2111,1	1055,6	12	126,7	126,7	126,7
	Sibeliuskatu 5, 53100 LPR	51 851,9	140 000,0	2014	Villimiehen Vitonen Oy	150	7777,8	10370,4	5185,2	12	62,2	62,2	62,2
	Lpr:n uusi kaupunginteatteri	13 148,1	35 500,0	2014	Lappeenrannan Teatterikerho Oy	150	1972,2	2629,6	1314,8	12	157,8	157,8	157,8
	Kauppakeskus Galleria	21037,0	56 800,0	2007	KK Oy Gallerian Liiketilät	150	3155,6	4207,4	2103,7	12	252,4	252,4	252,4
	Kauppakeskus Armada	16077,8	43 410,0	1972	Kiinteistö Oy Lappeen City	150	2411,7	3215,6	1607,8	12	192,9	192,9	192,9
	Kauppakeskus Oppri	2857,0	7 714,0	1975	K Oy Lappeenrannan Valtakatu 30	150	428,6	571,4	285,7	12	34,3	34,3	34,3
	Kauppakeskus Weera	12750,0	34 425,0	1969	Scantor Oy	150	1912,5	2550,0	1275,0	12	153,0	153,0	153,0
	Yhteensä						21674,9	28899,9	14450,0		1734,0	1734,0	1734,0
Hotellit													
814102	Lappeenrannan Kasino	692,0	3 460,0	1913	3-9903-0 Kyöpylän puistoalueet	55	38,1	48,4	27,7	20	13,8	23,5	4,2
	Hotelli Lappee	13163,0	35 540,0	1983	Lappee Hotelli (S-ryhmä)	55	724,0	921,4	526,5	20	263,3	447,5	79,0
	Hotelli Cumulus	5766,7	15 570,0	1982	Cumulus Oy / Lappeenranta	55	317,2	403,7	230,7	20	115,3	196,1	34,6
	Hotelli Scandic	11355,6	30 660,0	1990	Scandic Hotels Oy	55	624,6	794,9	454,2	20	227,1	386,1	68,1
	Yhteensä						1665,7	2120,0	1211,4		605,7	1029,7	181,7

Liite 3. Lepolan jäähdytystarpeen laskentataulukko

Keskusta
Lepola
Terveydenhuolto- ja sosiaalirakennukset = Jätetty pois tarkastelusta

Tunniste	Nimi	Osoite	Hsto ala	Kok. tilav.m ³	Valmistunut	Hallinnollinen kiinteistö	Tehontarve		Energiankulutus		A-suojaus (MWh)			
							Keskiarvo (W/m ²)	El a-suojaus (kW)	Keskiarvo (kWh/m ²)	El a-suojaus (MWh)				
821304	Armilan kothoitokeskus	Armilankatu 46, 53100 LPR	244,0	1 023,0	1939 8-12-2	Armilan kothoitokeskus	65,5	16,0	22,0	10,0	4,9	8,3	1,5	
821401	Armilan terveysasema ja kuntoutuskeskus	Armilankatu 44, 53100 LPR	14 113,0	50 271,0	1964 8-12-5	Armilan sairaala	65,5	924,4	1270,2	578,6	20	282,3	479,8	84,7
821502	Mielenterveyskeskus	Armilankatu 44, 53100 LPR	1 715,0	4 586,0	1987 8-12-5	Armilan sairaala	65,5	112,3	154,4	70,3	20	34,3	58,3	10,3
	Armilan palvelukoti	Armilankatu 46, 53100 LPR	1 728,9	4668		Lappeen Ikhonka Oy	65,5	113,2	155,6	70,9	20	34,6	58,8	10,4
	Lehmuskodin asunnot	Armilankatu 33b, 53100 LPR	1 570,4	4240		Lappeenrannan Asuntopalvelu Oy	5	7,9	15,7	0,0	1	1,2	1,6	0,8
	Lapsi- ja nuorisotalo	Armilankatu 33a, 53100 LPR	1 914,1	5168		Tirikka-säätiö	13,5	25,8	44,0	7,7	1	2,4	3,8	1,0
						Yhteensä	1199,7	1661,8	737,5	359,6	610,6	108,5		
Toimistotilat														
			16 351,9	44150		Kaakon Viestintä Oy	65,5	1071,0	1471,7	670,4	20	327,0	556,0	98,1
						Yhteensä	1071,0	1471,7	670,4	327,0	556,0	98,1		
Julkiset rakennukset														
835202	Lpr:n uimahalli- ja urheilutalo	Pohjolankatu 29, 53100 LPR	11 472,0	91 540,0	1972 8-3-38	Lpr:n uimahalli- ja urh.talo	5	57,4	114,7	0,0	0,75	8,6	11,5	5,7
851156	Kimpisen lukio	Pohjolankatu 2, 53100 LPR	5 938,0	37 284,0	1952 6-11-6	Kimpisen lukio	71	421,6	451,3	391,9	10	59,4	77,2	41,6
851218	Kimpisen koulu	Pohjolankatu 23, 53100 LPR	10 660,0	44 765,0	1957 6-16-2	Kimpisen koulu, Pohjolankatu 23	71	756,9	810,2	703,6	10	106,6	138,6	74,6
851135	Peltolan koulu	Lappeenkatu 2, 53100 LPR	2 031,0	10 000,0	1930 6-3-4	Peltolan koulu	71	144,2	154,4	134,0	10	20,3	26,4	14,2
	Etelä-Karjalan Koulutusyhtymä A	Armilankatu 40 A-osa, 53100 LPR	3 248,1	8770		Etelä-Karjalan Koulutusyhtymä	71	230,6	246,9	214,4	10	32,5	42,2	22,7
	Etelä-Karjalan Koulutusyhtymä B	Armilankatu 40, 53100 LPR	3 224,1	8705		Etelä-Karjalan Koulutusyhtymä	71	228,9	245,0	212,8	10	32,2	41,9	22,6
	Etelä-Karjalan Koulutusyhtymä C	Armilankatu 40, 53100 LPR	2 903,7	7840		Etelä-Karjalan Koulutusyhtymä	71	206,2	220,7	191,6	10	29,0	37,7	20,3
	Etelä-Karjalan Koulutusyhtymä Itäinen	Pohjolankatu 12, 53100 LPR	19 111,1	51600		Etelä-Karjalan Koulutusyhtymä	71	1356,9	1452,4	1261,3	10	191,1	248,4	133,8
	Etelä-Karjalan Koulutusyhtymä Keski	Pohjolankatu 12, 53100 LPR	11 333,3	30600		Etelä-Karjalan Koulutusyhtymä	71	804,7	861,3	748,0	10	113,3	147,3	79,3
	Etelä-Karjalan Koulutusyhtymä Läntinen	Pohjolankatu 12, 53100 LPR	3 846,3	10385		Etelä-Karjalan Koulutusyhtymä	71	273,1	292,3	253,9	10	38,5	50,0	26,9
	Etelä-Karjalan Kansalaisopisto säätiö	Pohjolankatu 27, 53100 LPR	925,9	2500		Etelä-Karjalan Kansalaisopisto säätiö	71	65,7	70,4	61,1	10	9,3	12,0	6,5
						Yhteensä	4546,1	4919,6	4172,6	640,8	833,4	448,3		

Liite 4. Skinnarilan jäähdytystarpeen laskentataulukko

Skinnarila

Julkiset rakennukset		Hsto ala		Kesk. tilav. m ³		Valmistunut		Hallinnollinen kiinteistö		Kesk. kiarvo	Ei a-suojaa	A-suojaus	Kesk. kiarvo	Ei a-suojaa	A-suojaus		
Nimi	Osoite	19456,7	Kok. tilav. m ³	10735	10735	2000	1988	1988	1988	(W/m ²)	(kW)	(kW)	(kWh/m ²)	(MWh)	(MWh)		
Teknopolis	Skinnarilankatu 36, 53850 LPR	19456,7	52560	10735	10735	2000	1988	1988	1988	71	1382,1	1479,5	1284,8	10	194,7	253,1	136,3
Technopolis Kareitek Oy	Skinnarilankatu 36, 53850 LPR	66296,3	179000	5511	5511	1985	1973	1973	1973	71	4707,0	5038,5	4375,6	10	663,0	861,9	464,1
Technopolis itäinen	Skinnarilankatu 34, 53850 LPR	15247,4	41168	1230	1230	1989	2003	2003	2003	71	1082,6	1158,8	1006,3	10	152,5	198,2	106,7
Tieto Finland Oy	Skinnarilankatu 36, 53850 LPR	19270,4	52030	10000	10000	1991	2011	2011	2011	71	1368,2	1464,5	1271,8	10	192,7	250,5	134,9
Tulevaisuuden Tehdas	Saimaan Ammattikorkeakoulu Ylioppllastalo	6814,81	18400	13860	13860	1998	1993	1993	1993	71	483,9	517,9	449,8	10	68,1	88,6	47,7
	Yhteensä										9023,8	9659,3	8388,3		1271,0	1652,2	889,7
Technopolis	Laserkatu 8, 53850 LPR	3975,93	10735	10735	10735	2000	1985	1985	1985	65,5	260,4	357,8	163,0	20	79,5	135,2	23,9
Technopolis aikuissosiaalityö	Laserkatu 6, 53850 LPR	2041,11	5511	5511	5511	1989	1989	1989	1989	65,5	133,7	183,7	83,7	20	40,8	69,4	12,2
Technopolis itäinen	Teknologiapuistonkatu 3, 53850 LPR	455,556	1230	1230	1230	1991	1991	1991	1991	65,5	29,8	41,0	18,7	20	9,1	15,5	2,7
Tieto Finland Oy	Teknologiapuistonkatu 10, 53850 LPR	3703,7	10000	10000	10000	2002	2002	2002	2002	65,5	242,6	333,3	151,9	20	74,1	125,9	22,2
Tulevaisuuden Tehdas	Tuotantokatu 2, 53850 LPR	3759,26	10150	10150	10150	1998	1998	1998	1998	65,5	246,2	338,3	154,1	20	75,2	127,8	22,6
	Yhteensä	5133,33	13860	13860	13860					65,5	336,2	462,0	210,5	20	102,7	174,5	30,8
	Yhteensä										1249,0	1716,2	781,8		381,4	648,3	114,4
LOAS Laserkatu 2	Laserkatu 3, 53850 LPR	3622,22	9780	9780	9780	1992	1992	1992	1992	5	18,1	36,2	0,0	0,75	2,7	3,6	1,8
LOAS Skinnarilankatu 28 F	Skinnarilankatu 28 F, 53850 LPR	4329,63	11690	11690	11690	1985	1985	1985	1985	5	21,6	43,3	0,0	0,75	3,2	4,3	2,2
LOAS Skinnarilankatu 28 G	Skinnarilankatu 28 G, 53850 LPR	4033,33	10890	10890	10890	2012	2012	2012	2012	5	20,2	40,3	0,0	0,75	3,0	4,0	2,0
LOAS Timppa	Laserkatu 1, 53850 LPR	10063	27170	27170	27170	2015	2015	2015	2015	5	50,3	100,6	0,0	0,75	7,5	10,1	5,0
LOAS Skinnarila 2	Teknologiapuistonkatu 4, LPR	4592,59	12400	12400	12400	1988	1988	1988	1988	5	23,0	45,9	0,0	0,75	3,4	4,6	2,3
LOAS Skinnarila 3	Teknologiapuistonkatu 2, LPR	3935,19	10625	10625	10625	1998	1998	1998	1998	5	19,7	39,4	0,0	0,75	3,0	3,9	2,0
LOAS Kotaniemi	Tervahaudankatu 1, 53850 LPR	4362,96	11780	11780	11780	2002	2002	2002	2002	5	21,8	43,6	0,0	0,75	3,3	4,4	2,2
As Oy LPR BEKTEK	Tervahaudankatu 3, 53850 LPR	2006,67	5418	5418	5418	2002	2002	2002	2002	5	10,0	20,1	0,0	0,75	1,5	2,0	1,0
	Yhteensä										184,7	369,5	0,0		27,7	36,9	18,5

Liite 5. Sammonlahden jäähdytystarpeen laskentataulukko

Terveystieteiden ja sosiaalirakennukset		Hsto ala		Kok. tilav. m ³		Valmistunut		Hallinnollinen kiinteistö		Tehontarve			Energiankulutus			
										Keskiarvo (W/m ²)	(kW)	El a-suojaa (kW)	A-suojaa (kW)	Keskiarvo (kWh/m ²)	(MWh)	El a-suojaa (MWh)
Tunniste	Nimi	Osoite														
821404	Sammonlahden terveysasema	Torpanpellonkatu 2, 53850 LPR	1 434,0	5 860,0	1986 65-47-1	Sammonlahden terveysasema	65,5	93,9	129,1	58,8	20	28,7	48,8	8,6		
	Sammonlahden päivätöiminta	Hietakallionkatu 5, 53850 LPR	5 814,8	15 700,0	1991 Lappeenrannan Asuntopalvelu Oy		65,5	380,9	523,3	238,4	20	116,3	197,7	34,9		
	Palvelukoti Satakielei	Korpimetsänkatu 3, 53850 LPR	2 511,1	6 780	1994 Neuroliitto ry		65,5	164,5	226,0	103,0	20	50,2	85,4	15,1		
					Yhteensä			639,3	878,4	400,2		195,2	331,8	58,6		
Julkiset rakennukset																
851189	Sammonlahden koulu	Saunakivenkatu 12, 53850 LPR	4 051,0	17 029,0	1989 65-44-10	Sammonlahden koulu/liikuntahalli	71	287,6	307,9	267,4	10	40,5	52,7	28,4		
835401	Sammonlahden liikuntahalli	Ruskonlahdenkatu 7, 53850 LPR	1 909,0	14 238,0	1990 65-44-10	Sammonlahden koulu/liikuntahalli	5	9,5	19,1	0,0	0,75	1,4	1,9	1,0		
836105	Slahden urhikenttä; VSS-pukusuoja	Pirkonlihteenkatu 6, 53850 LPR	205,0	840,0	2004 65-9903-0	Sammonlahden urheilukenttä	5	1,0	2,1	0,0	0,75	0,2	0,2	0,1		
823129	Sammonlahden päiväkot	Ruskonlahdenkatu 5, 53850 LPR	1 043,0	4 339,0	1984 65-43-2	Sammonlahden päiväkot	71	74,1	79,3	68,8	10	10,4	13,6	7,3		
	Slahden monitoimitalo (Tor)	Sammontori 2, 53850 LPR	1 286,3	3 473	1988	Kiinteistö Oy Sammontori	5	6,4	12,9	0,0	0,75	1,0	1,3	0,6		
	Sammonlahden kirkko	Hietakallionkatu 7, 53850 LPR	4 957,0	13 384,0	1991 Lappeenrannan seurakuntayhtymä		5	24,8	49,6	0,0	0,75	3,7	5,0	2,5		
					Yhteensä			403,5	470,7	336,2		57,2	74,6	39,8		
Liikerakennukset																
	S-market	Orioninkatu 2, 53850 LPR	4 600,0	23 000	2004 Eteä-Karjalan Osuuskauppa		150	690,0	920	460,0	12	55,2	55,2	55,2		
	K-market	Korpikunnaankatu 1, 53850 LPR	3 002,0	15 010	2004 Ruokakesko Oy		150	450,3	600,4	300,2	12	36,0	36,0	36,0		
					Yhteensä			1140,3	1520,4	760,2		91,2	91,2	91,2		

Liite 6. Myllymäen jäähdytystarpeen laskentataulukko

Myllymäki itä		Häto ala		Kok. tilav. m ³	Valmistunut	Hallinnollinen kiinteistö	Keskisarvo (W/m ²)	Keskisarvo (kW)	Ei-a-suojaa (kW)	A-suojaus (kW)	Keskisarvo (kWh/m ²)	Keskisarvo (MWh)	Ei-a-suojaa (MWh)	A-suojaus (MWh)
Tunniste	Nimi	Osoite	Häto ala	Kok. tilav. m ³	Valmistunut	Hallinnollinen kiinteistö	(W/m ²)	(kW)	(kW)	(kW)	(kWh/m ²)	(MWh)	(MWh)	(MWh)
Julkiset rakennukset														
851194	Myllymäen koulu	Hiessilänkatu 10, 53100 LPR	4562,0	24 770,0	2003	56-31-2 Myllymäen koulu	71	323,9	346,7	301,1	10	45,6	59,3	31,9
822203	Lasten ja nuorten vast.ottokoti	Kotimäenkatu 2, 53100 LPR	850,0	3 765,0	2005	56-31-3 Lasten ja nuorten vastaanottokoti	71	60,4	64,6	56,1	10	8,5	11,1	6,0
	Yhteensä						384,3	411,3	357,2			54,1	70,4	37,9
Liikerakennukset														
	Family Center	Eteläkatu 1, 53500 LPR	16976,0	84880	2008	Kiinteistö Oy Eteläkatu 1	150	2546,4	3395,2	1697,6	12	203,7	203,7	203,7
	Vepsäläinen	Hyrymäenkatu 1, 53550 LPR	1933,3	5220	1989	Santana Property Oy	150	290,0	386,7	193,3	12	23,2	23,2	23,2
	Masku	Hyrymäenkatu 3, 53550 LPR	3866,7	10440	1991	JPM-Kalluste Oy	150	580,0	773,3	386,7	12	46,4	46,4	46,4
	Lidl	Myllymäenkatu 36, 53550 LPR	2403,7	6490	2002	Lidl Suomi Ky	150	360,6	480,7	240,4	12	28,8	28,8	28,8
	Sorkka/Asko liikekeskus	Myllymäenraitti 1, 53500 LPR	7944,4	21450	2003	Indoor Group Oy	150	1191,7	1588,9	794,4	12	95,3	95,3	95,3
	Grande Orchidee	Helkalankatu 5, 53550 LPR	4393,3	26360	2013	Trendy Italy Oy	150	659,0	878,7	439,3	12	52,7	52,7	52,7
	Gigantti	Myllymäenkatu 12, 53550 LPR	4333,3	26000	2011	Kiint. Oy Myllymäen kauppaapuisto 1	150	650,0	866,7	433,3	12	52,0	52,0	52,0
	Ilittala liikekeskus	Kauppiaankatu 2, 53550 LPR	4398,3	26390	2007	K/S Myllymäki Retail	150	659,8	879,7	439,8	12	52,8	52,8	52,8
	Plantagen	Helkalantie 7, 53100 LPR	4077,2	24463	2006	Plantagen Lappeenranta Fastighet Oy	150	611,6	815,4	407,7	12	48,9	48,9	48,9
	Topi-keittiöt liikekeskus	Myllymäenkatu 4, 53550 LPR	901,7	5410	2007	Haru Kiinteistöt Oy	150	135,3	180,3	90,2	12	10,8	10,8	10,8
	Luhta (ent. Gigantti)	Myllymäenkatu 32, 53550 LPR	3700,0	22200	2001	Kiinteistö Oy Lpr Myllymäki 2	150	555,0	740,0	370,0	12	44,4	44,4	44,4
	Robinhood liikekeskus	Myllymäenkatu 34, 54550 LPR	4900,0	29400	2001	Isku Invest Oy	150	735,0	980,0	490,0	12	58,8	58,8	58,8
	Kespro	Myllymäenkatu 35, 53550 LPR	4532,2	27193	2014	Kespro Oy	150	679,8	906,4	453,2	12	54,4	54,4	54,4
	Bliterna	Vanha Viipurintie 132, 53550 LPR	8266,3	49598	2007	Oy Bliterna Suomi Ab	150	1240,0	1653,3	826,6	12	99,2	99,2	99,2
	Kodinakeskus (Puuillo/Robin.)	Hiessilänkatu 5, 53550 LPR	16933,3	101600	2006	Kiinteistö Oy Lpr Kodinakeskus	150	2540,0	3386,7	1693,3	12	203,2	203,2	203,2
	Yhteensä						13434,0	17912,0	8956,0			1074,7	1074,7	1074,7
Myllymäki länsi														
Yritykset														
	Fazer	Myllymäenkatu 29, 53550 LPR	26029,6	70280	2003	Fazer Leipomot Oy	13,5	351,4	598,7	104,1	12	312,4	312,4	312,4
	Agri Market	Myllymäenkatu 31, 53550 LPR	8396,7	22671	2007	Hankkija Oy	13,5	113,4	193,1	33,6	12	100,8	100,8	100,8
	Laatu-Sähkö rakennus	Myllymäenkatu 25, 53550 LPR	3108,1	8392	2000	Kiinteistö Oy Myllymäenkatu 25	13,5	42,0	71,5	12,4	12	37,3	37,3	37,3
	Tools	Myllymäenkatu 23, 53550 LPR	1907,4	5150	1993	-	13,5	25,8	43,9	7,6	12	22,9	22,9	22,9
	Starkki	Myllymäenkatu 14, 53550 LPR	23829,6	64340	1997	Starkki Oy Ab	13,5	321,7	548,1	95,3	12	286,0	286,0	286,0
	YIT	Myllymäenkatu 21, 53550 LPR	4400,0	11880	1991	Caverion Suomi Oy	13,5	59,4	101,2	17,6	12	52,8	52,8	52,8
	LänsiAuto	Myllymäenkatu 6, 53550 LPR	11296,3	30500	2007	LänsiAuto Visio Oy	13,5	152,5	259,8	45,2	12	135,6	135,6	135,6
	SLO	Myllymäenkatu 15, 53550 LPR	2633,3	7110	2004	M Heinänen Oy	13,5	35,6	60,6	10,5	12	31,6	31,6	31,6
	Yhteensä						1101,6	1876,8	326,4			979,2	979,2	979,2

Liite 7. Reijolan jäähdytystarpeen laskentataulukko

Kauppakeskukset	Reijola	Osoite	Hsto ala	Kok. tilav. m ³	Valmistunut	Hallinnollinen kiinteistö	Tehontarve		Energiankulutus				
							Keskiarvo	Ei a-suojaa	A-suojaus	Keskiarvo	Ei a-suojaa	A-suojaus	
							(W/m ²)	(kW)	(kW)	(kWh/m ²)	(MWh)	(MWh)	
S-market		Kaakkoiskaari 22, 53500 LPR	5334,8	32009	1985	Etelä-Karjalan Osuuskauppa	150	800,2	1067,0	533,5	12	64,0	64,0
Sistek		Harapaisentie 1, 53500 LPR	2688,3	16130	1974	Sistek, Kaakon Kumi Oy	150	403,3	537,7	268,8	12	32,3	32,3
K-Rauta		Tullitie 4, 53500 LPR	6623,8	39743	2000	Rautakesko Oy	150	993,6	1324,8	662,4	12	79,5	79,5
Citymarket		Toikansuontie 4, 53500 LPR	17683,3	106100	2000	Ruokakesko Oy	150	2652,5	3536,7	1768,3	12	212,2	212,2
		Yhteensä					4849,6	6466,1	3233,0	388,0	388,0	388,0	388,0
Ent. Mustapörssi		Toikansuontie 3, 53500 LPR	1850,0	7400	1991	Kiint.yhtymä Paatsamakatu 8	65,5	121,2	166,5	75,9	20,0	37,0	62,9
Etola		Toikansuontie 8a, 53500 LPR	2957,5	11830	1989	Etola Kiinteistöt Oy	65,5	193,7	266,2	195,2	20,0	59,2	100,6
Vianor		Toikansuontie 10, 53500 LPR	1220,0	4880	1973	Vianor Oy	65,5	79,9	109,8	122,0	20,0	24,4	41,5
Toikansuontie 12		Toikansuontie 12, 53500 LPR	2412,5	9650	1974	Kiinteistö Oy Toikansuontie 10	65,5	158,0	217,1	98,9	20,0	48,3	82,0
		Yhteensä					552,8	759,6	492,0	168,8	168,8	287,0	50,6
Autoteekoo		Kaakkoiskaari 20, 53500 LPR	2588,5	10354	1974	Etelä-Karjalan Osuuskauppa	65,5	169,5	233,0	106,1	20	51,8	88,0
Auto-Suni		Harapaisentie 2, 53500 LPR	2983,8	11935	1974	Auto-Suni Oy	65,5	195,4	268,5	122,3	20	59,7	101,4
Delta-Auto		Katsastajankatu 4, 53500 LPR	2000,0	8000	-	Delta-Auto Oy	65,5	131,0	180,0	82,0	20	40,0	68,0
Auto-Kilta		Tullitie 3, 53500 LPR	2127,5	8510	1977	Auto-Kilta Oy	65,5	139,4	191,5	87,2	20	42,6	72,3
AutotaloRipatti		Toikansuontie 6, 53500 LPR	1607,5	6430	1976	Etelä-Karjalan Osuuskauppa	65,5	105,3	144,7	65,9	20	32,2	54,7
Auto-Hatakka		Toikansuontie 8a, 53500 LPR	2461,0	9844	1973	Saimaan Auto-Arita Oy	65,5	161,2	221,5	100,9	20	49,2	83,7
		Yhteensä					901,8	1239,1	564,5	275,4	275,4	468,1	82,6
		Korjauskerroin (korjaamotilat)		0,5								137,7	

Liite 8. Viipurin Vanerin jäähdytstarpeen laskentataulukko

Viipurin Vaneri

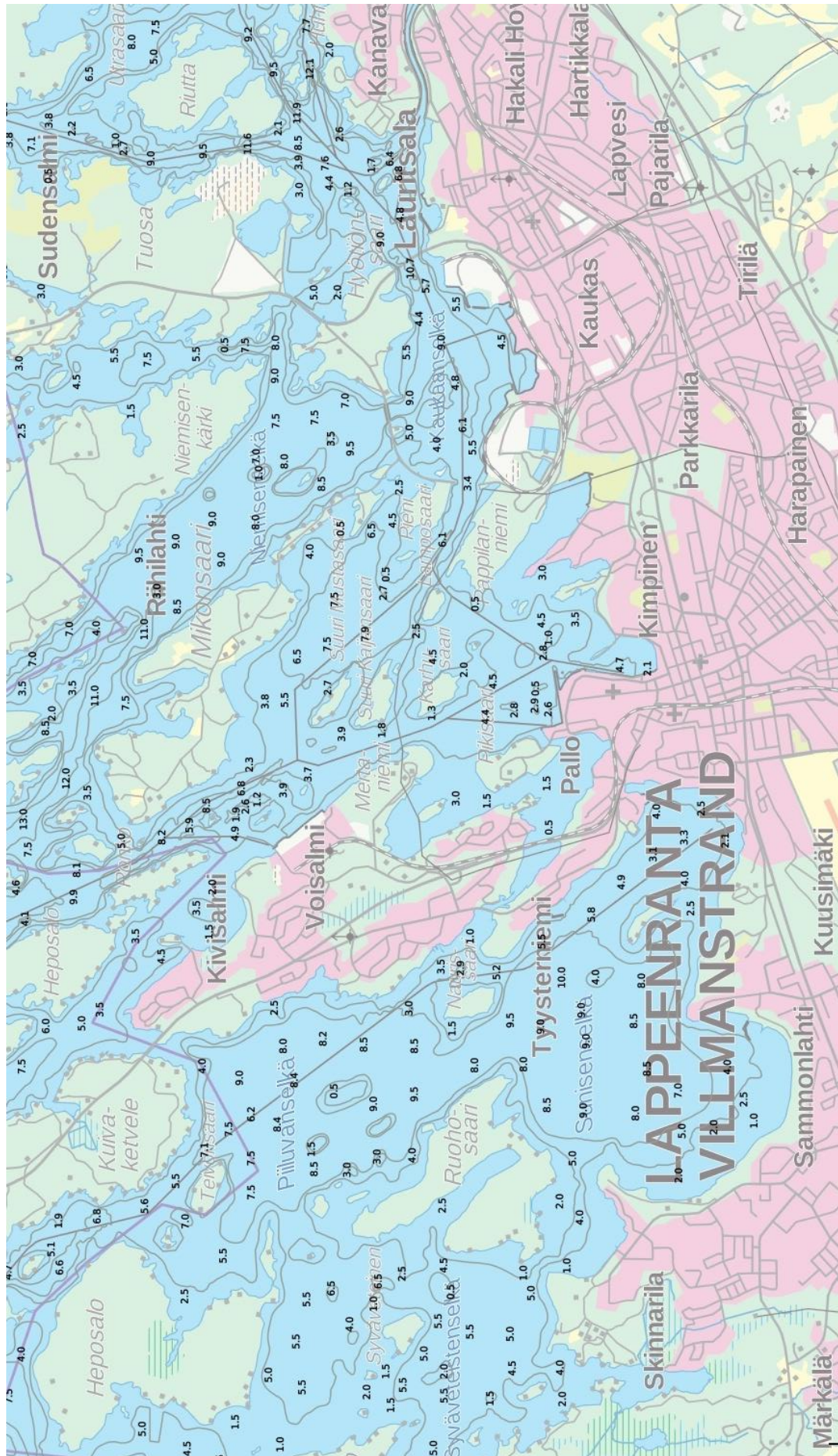
Asuinrakennukset	Nimi	Osoite	Hsto ala	Kok. tilav. m ³	Valmistunut	Tehontarve		Energiatarve				
						Keskisarvo (W/m ²) (kW)	Ei a-suojaa (kW)	A-suojaus (kW)	Keskisarvo (kWh/m ²) (MWh)	Ei a-suojaa (MWh)	A-suojaus (MWh)	
	Kommodori	Pursikatu 15, 53900 LPR	3593,0	9701	2014 As. Oy Lappeenrannan Kommodori	18,5	66,5	75,5	4,5	16,2	21,6	10,8
	Amiraali	Pursikatu 17, 53900 LPR	3637,0	9820	2013 As. Oy Lappeenrannan Amiraali	18,5	67,3	76,4	4,5	16,4	21,8	10,9
	Vivaldi	Laivastokatu 10, 53900 LPR	3200,0	8640	2013 As. Oy Lappeenrannan Vivaldi	18,5	59,2	67,2	4,5	14,4	19,2	9,6
	Verdi	Laivastokatu 8, 53900 LPR	3163,0	8540	2013 As. Oy Lappeenrannan Verdi	18,5	58,5	66,4	4,5	14,2	19,0	9,5
	Kajanus	Vanerikatu 1-3	4911,1	13260	2014 As. Oy Lappeenrannan Kajanus	18,5	90,9	103,1	4,5	22,1	29,5	14,7
					Yhteensä	342,3	388,6	296,1	83,3	111,0	111,0	55,5
Tulevat rakennukset												
	2 x V 1840 + yht 300 I	Vanerikatu 2-4	4911,1	13260	-	18,5	90,9	103,1	4,5	22,1	29,5	14,7
	1 x XII 3840 + yht 650 I	Laivastokatu 3	4911,1	13260	-	18,5	90,9	103,1	4,5	22,1	29,5	14,7
	2 x V 1840 + yht 300 I	Viiilukatu 1-3	4911,1	13260	-	18,5	90,9	103,1	4,5	22,1	29,5	14,7
	2 x V 1840 + yht 300 I	Viiilukatu 2-4	4911,1	13260	-	18,5	90,9	103,1	4,5	22,1	29,5	14,7
	1 x VIII 2560 + yht 240 I	Pursikatu 11	3592,6	9700	-	18,5	66,5	75,4	4,5	16,2	21,6	10,8
	1 x VIII 2560 + yht 240 I	Pursikatu 9	3592,6	9700	-	18,5	66,5	75,4	4,5	16,2	21,6	10,8
					Yhteensä	496,3	563,4	429,3	120,7	161,0	161,0	80,5

Liite 9. Joutsenon jäähdytystarpeen laskentataulukko

= Jätetty pois tarkastelusta

Joutseno	Julkiset rakennukset	Osoite	Histo ala	Kok. tilav. m ³	Valmistunut	Hallinnollinen kiinteistö	Tehontarve		Energiantarve					
							Kesk. (W/m ²)	Ei a-suojaa (kW)	A-suojaus (kW)	Kesk. (kWh/m ²)	Ei a-suojaa (MWh)	A-suojaus (MWh)		
823151	Joutsenon päiväkot	Penttiläntie 4, 54100 JOUTSENO	1 112,0	4 930,0	2014	535-10-455 Joutsenon koulu	71	79,0	84,5	73,4	10	11,1	14,5	7,8
832205	Joutsenon kirjasto	Keskuskatu 2, 54100 JOUTSENO	814,0	4 570,0	1980	538-11-366 Joutsenon kirjasto	65,5	53,3	73,3	33,4	20	16,3	27,7	4,9
835402	Joutsenon liikuntahalli	Penttiläntie 17, 54100 JOUTSENO	2 774,5	23 110,0	2009	535-10-263 Joutsenon liikuntahalli	5	13,9	27,7	0,0	0,75	2,1	2,8	1,4
851207	Kesolan koulu	Kesolantie 14, 54100 JOUTSENO	3 063,0	12 750,0	1956	539-1-634 Kesolan koulu	71	217,5	232,8	202,2	10	30,6	39,8	21,4
851214	Joutsenon koulu	Penttiläntie 4, 54100 JOUTSENO	7 446,5	29 810,0	1970	535-10-455 Joutsenon koulu	71	528,7	565,9	491,5	10	74,5	96,8	52,1
815122	Joutseno-talo	Kesolantie 1, 54100 JOUTSENO	945,1	3 990,0	1951	539-1-547 Joutsenon kaupungintalo/virastotalot	65,5	61,9	85,1	38,7	20	18,9	32,1	5,7
815123	Joutsenon virastotalo 2	Kesolantie 3, 54100 JOUTSENO	950,0	4 010,0	1951	539-1-547 Joutsenon kaupungintalo/virastotalot	65,5	62,2	85,5	39,0	20	19,0	32,3	5,7
821503	Joutsenon virastotalo 3	Kesolantie 5, 54100 JOUTSENO	827,1	3 180,0	1953	539-1-547 Joutsenon kaupungintalo/virastotalot	65,5	54,2	74,4	33,9	20	16,5	28,1	5,0
815124	Joutsenon virastotalo 4	Kesolantie 4, 54100 JOUTSENO	1 205,3	4 110,0	1967	539-1-547 Joutsenon kaupungintalo/virastotalot	65,5	78,9	108,5	49,4	20	24,1	41,0	7,2
821306	Penttiläntien palvelukoti	Penttiläntie 19, 54100 JOUTSENO	4 331,5	17 230,0	1962	535-10-263 Joutsenon liikuntahalli	65,5	283,7	389,8	177,6	20	86,6	147,3	26,0
821406	Joutsenon terveysasema	Välskärintie 2, 54100 JOUTSENO	4 250,8	15 431,0	1983	539-1-629 Joutsenon terveysasema	65,5	278,4	382,6	174,3	20	85,0	144,5	25,5
	Leivontien palvelukoti	Leivontie 4, 54100 Joutseno	4 124,8	11 137,0	2011	Lappen Ikhonka Oy	65,5	270,2	371,2	169,1	20	82,5	140,2	24,7
823135	Tuulenpesä, päiväkot	Penttiläntie 13, 54100 JOUTSENO	165,0	800,0	1957	535 10-455 Tuulenpesä, päiväkot	71	11,7	12,5	10,9	10	1,7	2,1	1,2
						Yhteensä	1981,9	2481,4	1482,4	467,3	747,1	187,4		
Yritykset														
	Vaasan	Keskuskatu 13, 54100 Joutseno	6665,0	26660,0	1980	Vaasan Oy	150	999,8	1333,0	666,5	12	80,0	80,0	80,0
	S-Market	Keskuskatu 3, 54100 Joutseno	3900,0	15600,0	2001	Etelä-Karjalan Osuuskauppa	150	585,0	780,0	390,0	12	46,8	46,8	46,8
	K-kauppa/LähiTapiola	Keskuskatu 4, 54100 Joutseno	4604,8	12433,0	1970	Kiinteistö Oy Joutsenon Liikekeskus	150	690,7	921,0	460,5	12	55,3	55,3	55,3
	Minimani	Keskuskatu 5, 54100 Joutseno	2600,0	7020,0	1970	Juha-Pekka Aarnio	150	390,0	520,0	260,0	12	31,2	31,2	31,2
						Yhteensä	2665,5	3554,0	1777,0	213,2	213,2	213,2	213,2	213,2

Liite 10. Saimaan syvyyspisteitä Lappeenrannan edustalla



Liite 11. Jäähdytyslaitostoimittajien budjettiarvioita

Liite 12. Laitosratkaisuiden vertailutaulukko

Liite 13. Excel-laskentataulukon lähtötietosivut

Liite 14. Excel-laskentataulukon tulossivu

Liite 15. Erään energiayhtiön kaukojäähdytyksen myyntihinnasto