

Jukka Marjakangas

**YLIVIESKAN JÄÄHALLIN JÄÄHDYTYSLAITTEISTON LAUH-
DELÄMMÖN HYÖTYKÄYTÖN TEHOSTAMINEN**

**Opinnäytetyö
CENTRIA-AMMATTIKORKEAKOULU
Sähkö- ja automaatiotekniikan koulutusohjelma
Toukokuu 2019**

TIIVISTELMÄ OPINNÄYTETYÖSTÄ

Centria-ammattikorkeakoulu	Aika Toukokuu 2019	Tekijä/tekijät Jukka Marjakangas
Koulutusohjelma Sähkö- ja automaatiotekniikka		
Työn nimi YLIVIESKAN JÄÄHALLIN JÄÄHDYTYSLAITTEISTON LAUHDELÄMMÖN HYÖTYKÄYTÖN TEHOSTAMINEN		
Työn ohjaaja Aki Suokko		Sivumäärä 51 + 2
Työelämäohjaaja Leena Löytynoja; Timo Hämäläinen		
<p>Tämä opinnäytetyö tehtiin Ylivieskan kaupungin tilapalveluyksikölle rakennuspäällikkö Leena Löytynojan toimeksiannosta. Työssä tutkittiin jäähallin jääntekokoneiston tuottaman lauhde-energian hyödyntämistä jäähallissa ja viereisessä liikuntakeskuksessa sekä lauhteen hyödyntämisen edelleen tehostamista sekä arvioitiin tehostamisen kustannuksia.</p> <p>Työssä käytiin ensin yleisesti läpi kylmäteknikan teoriaa, erilaisia jäähdytysprosesseja ja niihin liittyviä pääkomponentteja, kylmäaineita ja jäärataa. Laskelmien avulla selvitettiin kylmäkoneistossa syntyvän lauhdelämmön määrä.</p> <p>Työssä selvitettiin jäähallin ja liikuntakeskuksen nykyisiä lämmitysprosesseja ja miten lauhdelämpöä on hyödynnetty niissä tällä hetkellä. Jäähallin osalta matalalämpöisen lauhde-energian hyödyntäminen osoittautui tehokkaasti hoidetuksi. Liikuntakeskuksessa lauhdelämmön käyttöä on tehostettu lämpöpumpun avulla kuumentamalla vettä sillä korkeampaan lämpötilaan.</p> <p>Käytettävissä olevan lauhde-energian määrä osoittautui aikaisempia laskelmia pienemmäksi ja se olikin yksi opinnäytetyön selvitettävistä asioista. Lauhdelämmön käyttöä jäähallissa voidaan tehostaa lämpöpumpun avulla. Lämpöpumpulla ja lauhdelämmöllä voidaan korvata jäähallin kaukolämmön kulutus kokonaisuudessaan. Kaukolämpö jäisi varalämmitysjärjestelmäksi.</p> <p>Liikuntakeskuksessa lauhdelämmön tehostamistoimenpiteinä oli lauhteen käyttö lämpimän käyttöveden lämmitykseen sekä uimahallin allasveden lämmitykseen. Nykyinen käyttö ilmanvaihtopiirin esilämmitykseen tulisi olla lämmön tarpeeseen perustuvaa. Liikuntakeskuksen automaatiossa tulisi olla tilatieto jääntekokoneiston käynnistä.</p> <p>Opinnäytetyölle asetetut tavoitteet saavutettiin. Lauhdelämmön määrä tarkentui ja selvitettiin sen mahdollisia tehostamistoimenpiteitä ja kannattavuutta. Jäähallista on mahdollista tehdä energiaomavarainen yksikkö, jos niin halutaan.</p>		
Asiasanat Energiatehokkuus, jäähalli, kylmäteknikka, lauhdelämpö, lauhdelämpöpumppu, liikuntakeskus, lämpöpumppu, uimahalli.		

ABSTRACT

Centria University of Applied Sciences	Date May 2019	Author Jukka Marjakangas
Degree programme Electrical and Automation Engineering		
Name of thesis IMPROVING THE EFFICIENCY OF THE COOLING SYSTEM CONDENSATION HEAT UTILIZATION IN YLIVIESKA INDOOR ICE RINK.		
Instructor Aki Suokko	Pages 51 + 2	
Supervisor Leena Löytynoja; Timo Hämäläinen		
<p>This thesis was made for the Ylivieska City Facility Service Unit and was commissioned by Construction Manager Leena Löytynoja. The thesis explored the use of condensing power produced by the ice resurfacing machine at the indoor ice rink and adjoining sports center, as well as further improving the utilization of condensate energy, and the cost of improved efficiency.</p> <p>The thesis first generally covers the theory of cooling technology, various cooling processes and related main components, refrigerants, ice rink and calculations to determine the amount of condensate heat generated in the refrigerating system.</p> <p>The current heating processes of the ice rink and sports center were studied, and also how condensate heat is utilized at the moment. With regard to the indoor ice rink, the utilization of low-temperature condensate energy proved to be effectively treated. In the sports center, the use of condensate heat has been enhanced with the help of a heat pump that heats the water to a higher temperature.</p> <p>The amount of condensed energy available proved to be lower than the previous calculations showed, and it was one of the issues to be clarified in the thesis. The use of condensate heat in the ice rink can be enhanced by means of a heat pump. The heat pump and condensate heat can replace the entire district heating consumption of the ice rink. District heating would remain a backup heating system.</p> <p>In the sports center, condensing heat was boosted by the use of condensate for heating hot water and by heating the swimming pool water. The current use for preheating of the ventilation circuit should be based on heat demand. The sport center automation should have status information about when the ice machine is in use.</p> <p>The goals set for the thesis were achieved. The amount of condensate heat was refined and its potential efficiency improvement measures and profitability were investigated. The ice rink could be made an energy self-contained unit, if so desired.</p>		
Key words Condensation heat, condensation heat pump, cooling technology, energy efficiency, heat pump, ice rink, refrigeration system, sports center, swimming baths.		

KÄSITTEIDEN MÄÄRITTELY

brm ²	Bruttoneliometri kuvaa rakennuksen kaikkien kerrosten projektion alaa.
brm ³	Bruttokuutiometri kuvaa rakennuksen tilavuutta, jota rajoittaa alapohjan alapinta, ulkoseinien ulkopinta ja yläpohjan yläpinta.
CO ₂	Hiilidioksidi.
COP	Coefficient of Performance on lämpökerroin standardiolosuhteissa. Lämpöpumpun tehokkuus ilmaistaan lämpökertoimella, joka määritellään tuotetun lämmitysenergian suhteena käytettyyn ostoenergiaan.
EER	Energy Efficiency Ratio eli kylmäkerroin. Mitä korkeampi luku sitä energia- taloudellisempi laite on.
GWP	Global Warming Potential on luku, joka ilmoittaa kylmäaineen kasvihuonehaitallisuuden. Vertailulukuna käytetään hiilidioksidin (CO ₂) haitallisuuslukua, jonka arvo on 1,0. GWP-arvot ilmoitetaan yleensä 100 vuoden ajanjaksolle laskettuina arvoina. Asteikko on 0:sta ylöspäin.
HFC	Hydro-Fluoro- Carbon tarkoittaa osittain halogenoituja hiilivetyjä, jotka sisältävät fluoria, hiiltä ja vetyä. Otsonihaitattomia, mutta merkittävän kasvihuonehaitallisuuden omaavia kylmäaineita.
kW	Kilowatti.
Kylmäaine	Nesteytetty kaasu, jota käytetään lämmönsiirtämisen väliaineena kylmäkoneistoissa.
Kylmäliuos	Nestettä, jota käytetään lämmön siirtämiseen ilman olotilan muutosta.
Lauhdelämpö	Jäähallin jäähdytyskoneiston käytön seurauksena muodostuva lämpöenergia.
MW	Megawatti.
MWh	Megawattitunti.
NH ₃	Ammoniakki.
ODP	Ozone Depletion Potential on luku, joka ilmoittaa kylmäaineen suhteellisen otsonihaitallisuuden. Referenssilukuna käytetään kylmäaineen R11-otsonihaitallisuutta, jolle on annettu arvo 1,0. Asteikko on 0...1,0.
ppm	Parts per million, on suhdeyksikkö, joka ilmaisee, kuinka monta miljoonasosaa jokin on jostakin, kuten ilmasta. 10 000 ppm = 1 %.
Tulistuslämpö	Lämpömäärä, joka sitoutuu kylmäainehöyryyn puristuksessa. Tulistuneen höyryn ja samassa paineessa olevan kylläisen höyryn entalpioiden erotus.

**TIIVISTELMÄ
ABSTRACT
KÄSITTEIDEN MÄÄRITTELY
SISÄLLYS**

1 JOHDANTO	1
2 YLIVIESKAN LIKUNTAKESKUS JA JÄÄHALLI	3
2.1 Ylivieskan liikuntakeskus	3
2.2 Ylivieskan jäähalli	3
3 JÄÄHDYTYSTEKNIikka	5
3.1 Teoria	5
3.2 Suora ja välillinen jäähdytys	6
3.2.1 Suorahöyrysteinen ja -lauhdutteinen järjestelmä	7
3.2.2 Välillinen jäärata ja suora lauhdutus	8
3.2.3 Välillinen jäärata sekä välillinen lauhdutus	9
3.3 Kompressori	9
3.4 Lauhdutin	11
3.5 Paisuntaventtiili	13
3.6 Höyrystin	14
3.7 Putkisto	15
3.8 Kylmäliuos	16
3.9 Kylmäaine	16
3.9.1 R404A	17
3.9.2 R717 (Ammoniakki)	19
3.9.3 R744 (Hiilidioksidi)	20
3.10 Jäärata	22
4 LAUHDE-ENERGIA	24
4.1 Lauhdelämpö jäähdytysjärjestelmässä	25
4.2 Lauhde-energian käyttö Ylivieskan jäähallissa	26
4.3 Lauhdelämmön määrä	28
4.4 Lauhdelämpöpumppu	29
4.4.1 Lauhdelämpöpumpun tehon tarve	30
4.4.2 Rinnakkaislämmön kytkeminen	31
4.4.3 Lämpökerroin	32
5 LAUHDELÄMMÖN HYÖDYNTÄMISEN TEHOSTAMINEN	33
5.1 Liikuntakeskus	33
5.2 Jäähalli	38
5.3 Lauhdelämpöpumppu ilmalämpöpumppuna	44
6 JOHTOPÄÄTÖKSET	46
LÄHTEET	49
LIITTEET	

KUVIOT

KUVIO 1. Kylmätekniinen kiertoprosessi	6
KUVIO 2. Suorahöyrysteinen ja -lauhdutteen järjestelmä, kylmäaineilla CO ₂ ja NH ₃	7
KUVIO 3. Välillinen jäärata ja suora lauhdutus kylmäaineilla CO ₂ ja NH ₃	8
KUVIO 4. Välillinen jäärata sekä välillinen lauhdutus kylmäaineilla CO ₂ ja NH ₃	9
KUVIO 5. Eräiden HFC- kylmäaineiden hintakehitys 2014-2018	19
KUVIO 6. Lauhdelämmön hyödyntäminen lämpöpumpun avulla	25
KUVIO 7. Lauhdelämmön hyödyntämisen periaatekaavio	25
KUVIO 8. Liikuntakeskuksen lauhdelämmön hyödyntämiskaavio	27
KUVIO 9. Lauhdelämpöpumpun toimintaperiaate	30
KUVIO 10. Rinnakkaislämmön kytkentä tilojen lämmitykseen.	31
KUVIO 11. Liikuntakeskuksen kaukolämmön ja sähkön vuosikulutukset kuuden vuoden jaksolta.	34
KUVIO 12. Liikuntakeskuksen lämpöpumpun tuottama lauhde-energia.....	34
KUVIO 13. Liikuntakeskuksen kävijämäärä ja käyttöveden kulutus	35
KUVIO 14. Lauhteen, varaajan ja iv-verkon lämpötilojen kehitys.	36
KUVIO 15. Liikuntakeskuksen lämpöenergian kulutuksen jakautuminen	37
KUVIO 16. Jäähallin kuluttamat energiat ja vesi. Vettä käytetään myös viereisen ulkojään jäädymiseen ja jäänhoitoon.	39
KUVIO 17. Lämpöpumpun käyttö- ja pääomakustannus tuotettua megawattituntia kohti.....	44

KUVAT

KUVA 1. Ylivieskan jäähalli	4
KUVA 2. Ylivieskan jäähallin pohjapiirustus	4
KUVA 3. Erilaisia kompressorirakenteita	10
KUVA 4. Kompressorit Bitzer CSH 7573-90Y-40P, kaksi kappaletta	11
KUVA 5. Tulistuksenpoistolämmönvaihtimet kylmäkontissa	12
KUVA 6. Alfa-Lavalin CB300-140H levylämmönvaihdin konehuoneessa	13
KUVA 7. Danfoss ETS-100B -elektroninen paisuntaventtiili.....	14
KUVA 8. Alfa Lavalin höyrystimet AC500EQ-180H.....	15
KUVA 9. Jääradan rakenteen poikkileikkaus	22
KUVA 10. Jäärataputkistoa asennettuna jäähalliin.....	22
KUVA 11. Kylmäliuospumput Wilo IL 100/150-15/2 jäättekokontissa	23
KUVA 12. Lauhdelämpöpumppu 100 kW ja tulistuslämmönvaraaja sijoitettuna jäähallin konehuoneeseen	39
KUVA 13. Ylivieskan jäähallin tekniikkakontin katolla oleva ilmajäähdytteinen nestejäähdytin.....	45

TAULUKOT

TAULUKKO 1. Kylmäaineen R404A ominaisuudet	18
TAULUKKO 2. Kylmäaineen R717 ominaisuudet	20
TAULUKKO 3. Kylmäaineen R744 ominaisuudet	21
TAULUKKO 4. Kompressorin valmistajan Bitzer Software -ohjelmalla laskettuja suoritusarvoja	28
TAULUKKO 5. Esimerkkejä lauhdelämpöpumpun mitoituksesta ja tehosta	32
TAULUKKO 6. Liikuntakeskuksen lämpöpumpun tuotto ja kulutus vuonna 2018	41

1 JOHDANTO

Suomen jääkiekkoliiton tietojen mukaan vuonna 2017 Suomessa oli 49 tekojäärataa ja 223 jäähallia, joissa on 264 jäärataa. Jäähalleista käytetään erilaisia tyyppinimiä niiden katsomon paikkamäärän perusteella. Katettu tekojäärata on niistä vaatimattomin. Niissä on muutama sata seisomapaikkaa yleisölle. Vastaavasti suurhalleiksi nimitetään monitoimiareenoita, joissa katsomopaikkoja on yli kuusituhatta ja jotka soveltuvat kansainvälisten tapahtumien näyttämöksi. (Hemmilä & Laitinen 2017, 8.)

Jäähallit poikkeavat monin eri tavoin tavanomaisista rakennuksista mm. ilmasto-olosuhteiden ja rakennevaatimusten vuoksi. Jäähalliin kohdistuu samaan aikaan lämmitystarvetta, kun jääaluetta jäähdytetään, sekä ilmanvaihtotarvetta runsaan kosteuskuormituksen hallitsemiseksi. Hallissa tarvitaan siis jäähdytyslaitteiston lisäksi tehokas lämmitysjärjestelmä jääradan jäähdyttävän vaikutuksen kompensointiin, sekä koneellinen ilmastointijärjestelmä, joka on varustettu ilmankuivaimella. Jäähallit ovatkin paljon energiaa kuluttavia rakennuksia, joten niissä energian säästämismahdollisuudet ovat merkittäviä. Jäähalleissa käytettävästä sähköenergiasta suurin osa kuluu jään tekemiseen ja sen ylläpitoon. Jääntekokone ja siihen liittyvät pumput, puhaltimet sekä muut oheislaitteet käyttävät paljon sähköenergiaa. Näiden edellä mainittujen laitteiden sähkönkulutus voi olla yli 60 prosenttia jäähallin kokonaissähkönkulutuksesta. (Lautiainen 2018,12.)

Suomen jääkiekkoliiton asiantuntijan Pekka Paavolan mukaan yhden kaukalon jäähallit kuluttavat sähköä ja lämpöä 80-150 MWh kuukaudessa, josta sähkön osuus on n. 2/3 osaa. (Helsingin uutiset 2015.) Ylivieskan jäähallin sähkönkulutus vuonna 2018 oli 603 MWh ja kaukolämmön kulutus oli 360 MWh. Paavolan arvio pitää Ylivieskan jäähallin kohdalla hyvin paikkaansa, sillä kuukausittaiseksi kulutukseksi saadaan sähkön ja lämmön yhteiskulutuksena 107 MWh kuukaudessa. Jäähallin jäähdytysjärjestelmän tuottamaa lauhde-energiaa hyödynnetään hallin omassa lämmitysjärjestelmässä monipuolisesti ja ylijäävää lämpöä siirretään vieressä sijaitsevaan liikuntakeskukseen. Käyttökauden pituus hallissa on noin 9 kk. Se alkaa heinä-elokuun vaihteessa ja päättyy huhtikuun puolivälin paikkeilla. (Hämäläinen 2018.)

Jääntekokoneistot tuottavat runsaasti lauhdelämpöä, jota pystytään hyödyntämään osana jäähallin lämmitysjärjestelmää sekä lämpimän käyttöveden ja jäänhoitoveden esilämmitystä. Lauhdelämpöä voidaan pitää lähes ilmaisena energiana, koska sitä syntyy jään tekemisen ja jään ylläpidon sivutuotteena. Jäähallien energiatehokkuuteen on alettu kiinnittää huomiota vasta 2000-luvulla. Tätä aiemmin hallien

rakentamisessa ei kiinnitetty erityistä huomiota energiatehokkuuskysymyksiin ja lauhdelämpö puhallettiin hyödyntämättä ulkoilmaan. (Opetusministeriö 2007, 97.)

Ylivieskan jäähallissa lauhdelämpöä käytetään ilmastointikoneissa tuloilman esilämmitykseen, lämpimän käyttöveden ja jäänhoitoveden esilämmitykseen, lattialämmitykseen sekä radan routasuojuukseen. Jäähallin lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmä on mahdollista toteuttaa siten, että halli on lämmön suhteen lähes omavarainen. Lauhteen sisältämää energiaa riittää käytettäväksi myös lähellä sijaitsevan liikuntakeskuksen tarpeisiin. Liikuntakeskuksessa on käytössä lämpöpumppu, jolla lauhteen lämpötilaa nostetaan lämmityskäyttöön paremmin sopivaksi. Lauhteen hyötykäytön nykytilan kartoittaminen ja sen mahdollinen tehostaminen ovat tämän opinnäytetyön lähtökohtia. Lauhde-energian tuotantokustannusten perusteella voidaan laskea saavutettava säästö, mikäli lauhdelämmöllä pystytään korvaamaan kaukolämpöä.

Tämän opinnäytetyön aihe tuli Ylivieskan kaupungin rakennuspäälliköltä. Hänen arvionsa mukaan lauhteesta saatava lämpöenergia ei vastannut aikaisemmin tehtyjä laskelmia. Tehtäväksi tulikin selvittää, mistä laskelmien ja todellisuuden välinen ero johtuu. Lisäksi tuli selvittää, voisiko lauhteen hyötykäyttöä vielä nykyisestä lisätä ja mitä sen lisähyödyntäminen maksaisi. Liikuntakeskuksen lämmönjakohuoneeseen asennettu, jäähallin lauhdetta hyödyntävä lämpöpumppu ei ole alentanut kiinteistön lämmönkulutusta, vaikka kyseinen lämpöpumppu on mittauksen mukaan tuottanut 370 MWh lämpöä vuonna 2017. Samanlainen tilanne on ollut myös vuonna 2016 ja kiinteistössä ei ole tapahtunut merkittäviä muutoksia lämmönkulutuksen suhteen. Mihin tämä lauhteesta lämpöpumpulla tuotettu lämpö olisi järkevintä hyödyntää?

Tässä opinnäytetyössä käydään läpi kylmätekniikan teoriaa, erilaisia jäähdytysprosesseja sekä siihen liittyviä pääkomponentteja, kylmäaineita, kylmäliuosta ja jäärataa sekä laskelmien avulla selvitetään kylmäkoneistossa syntyvän lauhde-energian määrää. Merkittävimpinä lähteinä teoriaosuudessa olivat kylmätekniikkaa käsittelevä suomalainen kirjallisuus, Suomen jääkiekkoliiton jäähallipäivien luentomateriaalit sekä jäähalliportaali.

2 YLIVIESKAN LIIKUNTAKESKUS JA JÄÄHALLI

2.1 Ylivieskan liikuntakeskus

Ylivieskan kaupungin omistama liikuntakeskus, johon kuuluvat mm. uimahalli, liikuntasali, squash-halli, keilahalli, tennishalli ja kuntosali, on valmistunut vuonna 1969 ja sitä on laajennettu 1988 ja peruskorjattu 2007. Vuosien varrella liikuntakeskukseen on tehty useita pienehköjä korjauksia. Rakennuksen tilavuus on 45 629 brm³ ja kokonaisala 19 000 brm². Pääaltaan pituus on 25 m, leveys 10 m ja maksimisyvyys 2,5 m. Lisäksi uimahallissa on lastenallas, opetusallas ja terapia-allas. Kaikkiaan allaspinta-alaa on 332 m² ja vesitilavuus altaissa on 1132 m³. Liikuntakeskus on auki 294 päivänä vuodessa ja siellä on vuosittain n. 60 000 kävijää. Kiinteistön lämmitys on hoidettu kaukolämmöllä vuodesta 1982 lähtien ja lämmöntuotannosta vastaa Herrfors Oy:n kaukolämpövoimala. Kaukolämpöä on kulunut viimeisimpinä vuosina n. 2100-2800 MWh ja kulutus oli 2792 MWh vuonna 2017. Sähkön siirrosta kiinteistölle vastaa Herrfors Nät-Verkko Oy ja sähköenergian toimittaa Oulun Sähkönyynti Oy. Pääsulakkeen koko on 3 x 400 A ja sähkönkulutus on vaihdellut vajaasta 900 MWh:sta yli tuhanteen MWh:iin. Vuonna 2018 se oli 981 MWh. (Uimahalliportaali 2018.)

2.2 Ylivieskan jäähalli

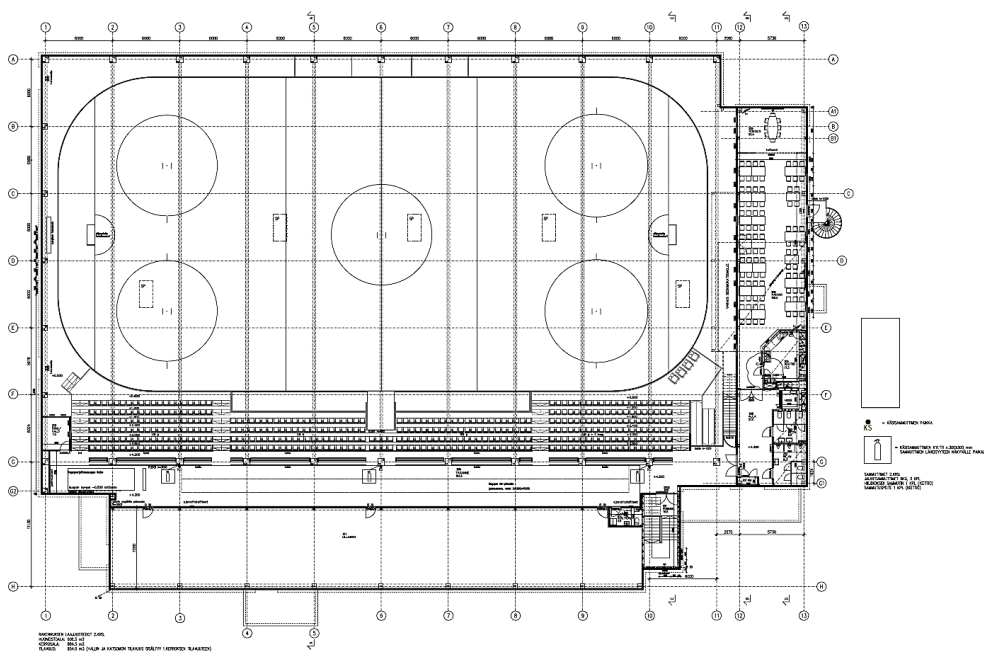
Ylivieskan kaupungin omistama jäähalli, joka sijaitsee liikuntakeskuksen välittömässä läheisyydessä, on valmistunut vuonna 2015 ja on luokitukseltaan yksiratainen pieni kilpahalli. Hallin kerrosala on 4138 m² ja tilavuus 33428 m³, jään pinta-ala on 1624 m² ja katsomossa on 490 istuinpaikkaa sekä seisomapaikkoja toista sataa. Hallissa on myös sadan hengen kahvio sekä pelaajien pukuhuoneita ja pesutiloja löytyy kuudelle joukkueelle. Hallin jääkausi kestää n. 9 kk ja käyttötunteja tulee n. 17 päivässä. Hallin ilman suhteellinen kosteus pyritään pitämään 40-70 %:n välillä. Jään pinnan lämpötila on -4°C ja jäähoidokertoja tulee n. 19 viikossa. Jäänhoitoon käytetään n. 600 litraa vettä hoitokertaa kohti ja hoitoveden lämpötila on +36°C. Jään keskipaksuus kaukalossa on 35 mm. (Jäähalliportaali 2018.)

Jäähallin energiatehokkuuteen on myös panostettu. Valaistukseen käytetään led-valoja ja ilmastointiteknikka hyödyntää poistoilman hukkaenergiaa. Hallissa hyödynnetään myös jääntekoprosessin tuottamaa lauhde-energiaa monipuolisesti. Kuvassa 1 oleva jäähallin vieressä sijaitseva tekniikkakontti, jossa jäähdytyslaitteistot fyysisesti sijaitsevat, on hankittu vuonna 2013 Suomen Tekojää Oy:ltä.

Jäähdytyskoneisto koostuu kahdesta erillisestä yksiköstä, jolla varmistetaan jään ylläpito mahdollisen laiterikon sattuessa. Koneiston pääosat ovat kompressori, lauhdutin, paisuntaventtiili ja höyrystin sekä näitä kaikkia yhdistävä putkisto. Radan alla kiertää rataputkisto, jossa kylmäluoksena on 40-prosenttinen etyleeniglykolin ja veden seos. Kontin kylmäteho on 400 kW ja sähköteho 240 kW. (Hämäläinen 2018.)



KUVA 1. Ylivieskan jäähalli



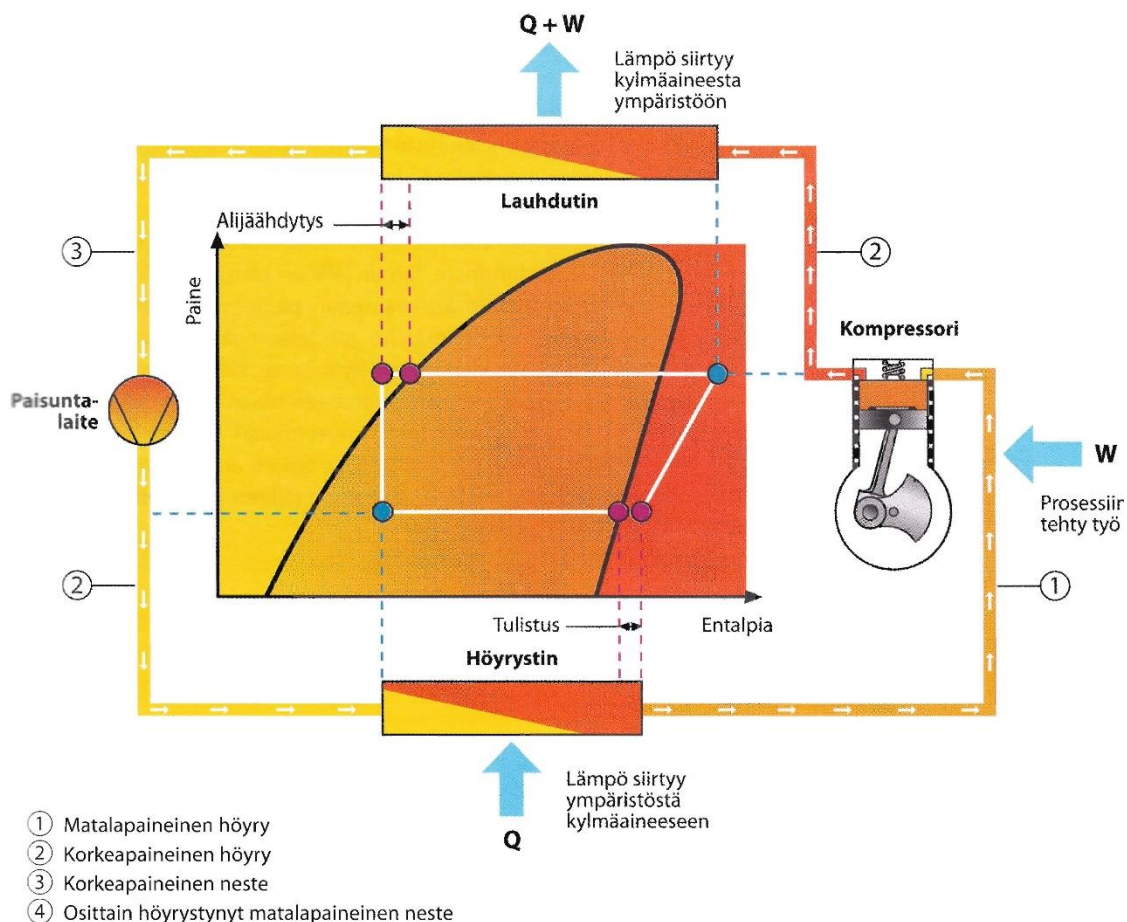
KUVA 2. Ylivieskan jäähallin pohjapiirustus (Ylivieskan kaupunki 2013.)

3 JÄÄHDYTYSTEKNIikka

3.1 Teoria

Termodynamiikan 2. pääsääntö toteaa, että on mahdotonta rakentaa laitetta, joka siirtää lämpöä matalammasta lämpötilasta korkeampaan tekemättä lainkaan työtä. Tästä seuraa, että jäähdytystekniikka kuluttaa väistämättä energiaa. Kylmäteknikan kiertoprosessissa työtä tuodaan systeemiin tyypillisesti kompressoria pyörittävän sähköenergian avulla. Tämä kompressorin ottama sähköteho muuttuu lämpöenergiaksi, josta osa siirtyy kylmäaineeseen ja osa jäähdyttävään väliaineeseen, esimerkiksi veteen tai ilmaan. Termodynamiikan 1. pääsäännön mukaan energia ei häviä, vaan ainoastaan muuttaa muotoaan. Kylmäteknisessä kiertoprosessissa siirretään systeemiin tuodun työn avulla lämpöenergiaa matalammasta lämpötilasta korkeampaan lämpötilaan työaineena toimivan kylmäaineen välityksellä. (Kaappola, Hirvelä, Jokela & Kianta 2015, 18.)

Kompressorijäähdytys perustuu perinteiseen kylmäainekiertoon (käänteinen Clausius Rankine-prosessi). Kuviossa 1 on esitetty kylmäaineen kiertoprosessi. Siihen kuuluu neljä eri vaihetta. Vaiheessa 1 kompressori imee höyrystimestä hiukan tulistunutta matalapaineista ja alhaisessa lämpötilassa olevaa kylmäainehöyryä ja puristaa sen korkeampaan paineeseen, jolloin kylmäainehöyry lämpenee voimakkaasti. Vaiheessa 2 korkeapaineinen tulistunut kylmäainehöyry siirtyy putkistoa pitkin lauhduttimeen, jossa kylmäainehöyrin sisältämää lämpöenergiaa siirretään ympäröivään jäähdytysaineeseen. Tämä prosessi on tavallisesti kolmivaiheinen. Ensin kylmäainehöyry jäähtyy lauhdutinpainetta vastaavaan lauhtumislämpötilaan. Tästä käytetään nimitystä tulistuksen poisto. Lauhtumislämpötilassa tapahtuu kylmäaineen faasimuutos kaasusta nesteeksi. Tätä ilmiötä kutsutaan lauhtumiseksi ja siinä tapahtuu suurin lämpöenergian luovutus. Ympäristön lämpötilan täytyy olla lauhtumislämpötilaa matalampi, jotta lämmön siirtyminen on mahdollista. Kolmas vaihe on kylmäaineen alijäähdytys, jossa nesteeksi muuttunut kylmäaine jäähtyy hieman kylläisyyspistettä matalampaan lämpötilaan paineen pysyessä koko ajan samana. Vaiheessa 3 nesteytynyt kylmäaine siirtyy lauhduttimesta putkistoa myöten paisuntalaitteelle, jossa kylmäaineen painetta pudotetaan ja jonka seurauksena kylmäaineen lämpötila alkaa laskea. Tästä seuraa, että kylmäaine alkaa höyrystyä jo paisuntalaitteessa. Paisuntalaitteelta osittain höyrystynyt kylmäaineen nestehöyry seos jatkaa matkaa putkistoa myöten höyrystimeen, jossa pääosa kylmäaineen höyrystymisestä tapahtuu ja kierto alkaa uudelleen. (Kaappola ym. 2015, 17-18.)



KUVIO 1. Kylmätekninen kiertoprosessi (Mukaiillen Kaappola ym. 2015, 17.)

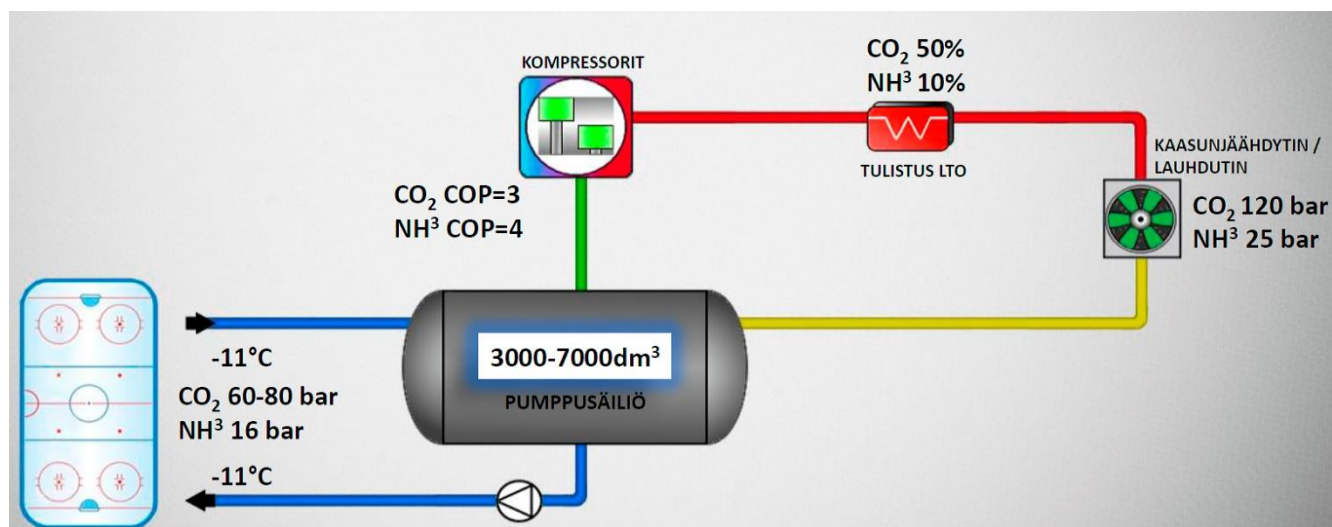
3.2 Suora ja välillinen jäähditys

Jäähdytysprosessit jaetaan toimintaperiaatteensa puolesta kahteen järjestelmään, suora- ja välilliseen. Suora- ja välilliseen jäähdytysjärjestelmään. Nämä prosessit eroavat toisistaan siinä, kuinka lämpö siirretään jääradasta jäähdytyskoneistoon ja siitä edelleen joko ulkoilmaan tai hyötykäyttöön. Laitostyyppin valinta riippuu paikallisista olosuhteista, lämpötilatasoista, jäähdytystarpeesta sekä lauhde-energian hyödyntämistavoista. (Aittomäki, Aalto, Alijoki, Hakala, Hirvelä, Kaappola, Mentula & Seinelä 2012, 269.)

3.2.1 Suorahöyrystein ja -lauhdutteinen järjestelmä

Suorahöyrysteisellä jääntekokoneistolla tarkoitetaan järjestelmää, jossa höyrystin on suoraan jäähdytettävässä kohteessa eli jäähallin radan alla. Kylmäkoneiston kompressorit pumpppaa kylmäainestettä jäähallin radan alla olevaan höyrystinputkistoon, jossa kylmäaine höyrystyy ja ottaa lämpöä jäähallista. Kylmäaine palaa jääntekokoneistoon höyrystyneenä tai osittain höyrystyneenä (KUVIO 2). (Aittomäki ym. 2012, 269.)

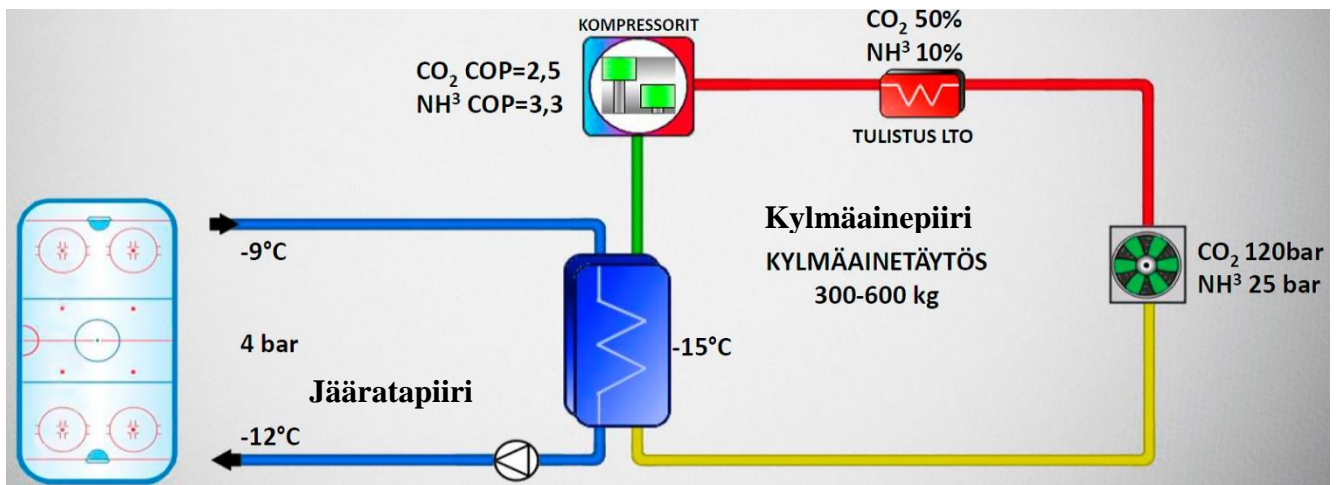
Suorahöyrysteisen järjestelmän eduksi voidaan laskea parempi kylmäkerroin kuin välillisessä järjestelmässä sekä pienemmät pumppauskustannukset. Suorahöyrysteisen järjestelmän huono puoli on suuri kylmäainetäyttö, koska sama kylmäaine kiertää koko prosessissa. Suuri kylmäainetäyttö on myös vuottilanteessa vaarallinen, koska kylmäaineet ovat haitallisia ympäristölle ja haitallisia tai myrkyllisiä ihmisille. Suorassa jäähdytyksessä rataputkistolta vaaditaan korkean paineen kestävyyttä ja tämä nostaa rakentamiskustannuksia. Putkimateriaalina käytetään kuparia, terästä tai haponkestävää terästä. Korkea käyttöpaine edellyttää koko järjestelmän rekisteröimistä painelaitokseksi. (Mansikkaviita 2018.)



KUVIO 2. Suorahöyrystein ja -lauhdutteinen järjestelmä, kylmäaineilla CO_2 ja NH_3 (Mukaiillen Mansikkaviita 2018.)

3.2.2 Välillinen jäärata ja suora lauhdutus

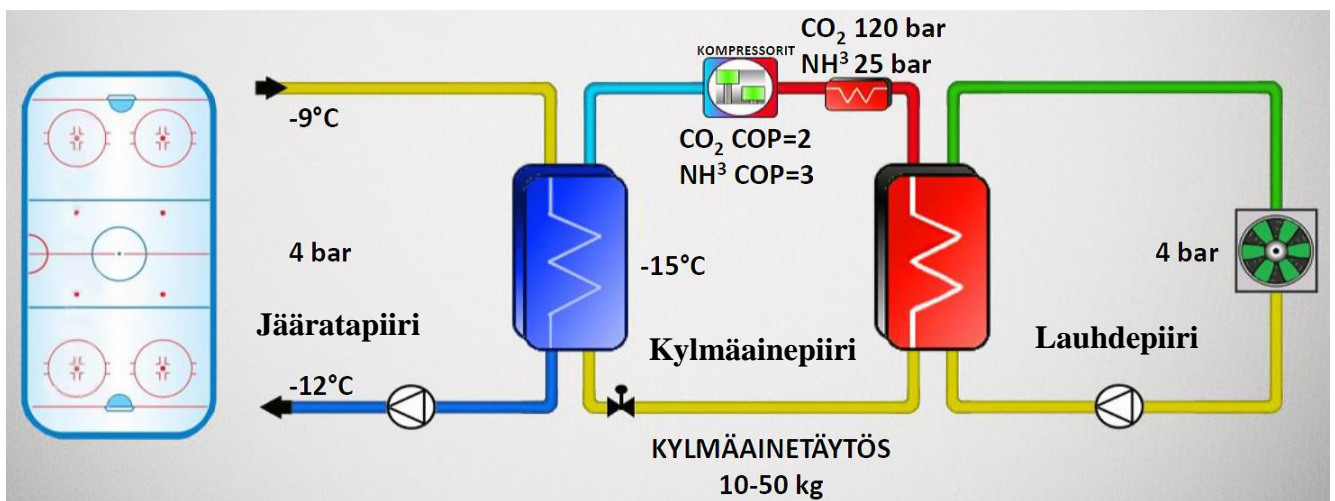
Välillinen jäähdytysjärjestelmä on suoraa järjestelmää yleisempi, vaikka sen kylmäkerroin on suoraa järjestelmää pienempi ja energiatehokkuus huonompi. Kylmäkerroin on kuitenkin parempi kuin täysin välillisessä järjestelmässä. Välillisessä järjestelmässä on kaksi erillistä kylmäainepiiriä, joissa kiertää kahta erilaista nestettä. Toisessa piirissä kiertää varsinainen kylmäaine, joka jäähdytetään kylmäkoneistolla 10 – 15 °C pakkasen puolelle. Toisessa piirissä kiertää jäätymätön kylmäliuos, joka jäähdytetään höyrystimessä kylmäaineen avulla 8 – 12 °C pakkasasteeseen. Kylmäliuosta kierrätetään pumpulla jääradan jäähdytysputkistossa, jossa siihen siirtyy lämpöä jääradasta (KUVIO 3). Välillisen järjestelmän eduksi katsotaan suoraa järjestelmää pienempi kylmäainetäytös. Näin mahdollinen vuotoriski pienenee. Energiaa kuluu kuitenkin suoraa järjestelmää enemmän, sillä laitteistossa on oltava erillinen höyrystin. Lisäksi energiaa kuluu kylmäliuoksen kierrättämiseen rataputkistossa. Rataputkiston materiaalina voidaan käyttää muoviputkea alhaisemman ratapaineen vuoksi. Välillinen jäähdytysjärjestelmä on rakenteeltaan suoraa jäähdytysjärjestelmää monimutkaisempi, joten sen hankintakustannus on korkeampi. Kylmäainevaraaja ja ilmalauhdutin on rekisteröitävä painelaitteeksi. (Kaappola ym. 2015, 75.)



KUVIO 3. Välillinen jäärata ja suora lauhdutus kylmäaineilla CO₂ ja NH₃ (Mukaiillen Mansikkaviita 2018.)

3.2.3 Välillinen jäärata sekä välillinen lauhdutus

Tämä jäähdytysprosessi on ehdottomasti yleisin järjestelmä, varsinkin nykyaikaisissa jäähalleissa. Ulkolauhdutuksen rinnalla järjestelmässä on välillinen lauhdutin, josta lauhdelämpö on helposti hyödynnettävissä. Lauhduttimessa kiertää jäätymätön nesteliuos, joka on koostumukseltaan samanlaista kuin jääradan alla kiertävä rataliuos. Tätä lauhdetta voidaan käyttää monipuolisesti jäähallin eri lämmitysjärjestelmiin. Tämän jäähdytysjärjestelmän hyväksi puoleksi voidaan laskea myös järjestelmän pieni koko. Kylmäainepiiri mahtuu konehuoneeseen ja kylmäainetäytös on pieni. Kylmäkoneisto mahtuu helposti jäähallin ulkopuolella olevaan siirrettävään konttiin. Myös alhainen ratapaine mahdollistaa muoviputken käytön jäähdytysputkina (KUVIO 4). Haittapuolina on järjestelmän korkeampi lauhtumis- ja matalampi höyrystymislämpötila. Suurempi lämpötilaero lauhtumis- ja höyrystymislämpötilojen välillä huonontaa kylmäkerrointa. Rataliuosta ja lauhdeliuosta joudutaan kierrättämään pumpuilla, joka kuluttaa sähköenergiaa. Liuospumppujen taajuusmuuttajakäytöllä voidaan kuitenkin saavuttaa merkittäviä energiansäästöjä. (Aittomäki ym. 2012, 270-271.)

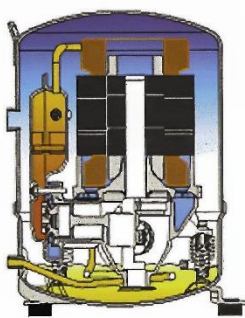


KUVIO 4. Välillinen jäärata sekä välillinen lauhdutus kylmäaineilla CO₂ ja NH₃ (Mukaiillen Mansikkaviita 2018.)

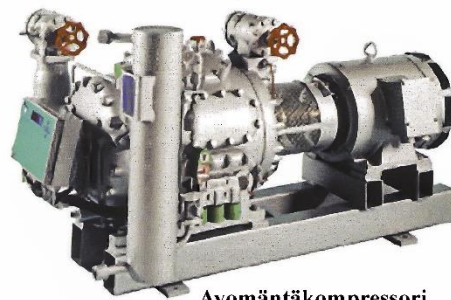
3.3 Kompressori

Kompressorit ovat jäähdytyskoneiston kalleimmat yksittäiset osat ja ne toimivat koneiston sydäminä kierrättäen kylmäainetta prosessissa. Kompressorit luokitellaan rakenteensa perusteella kolmeen eri

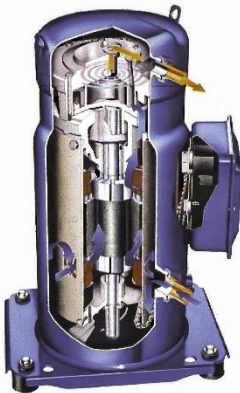
luokkaan: puolihermeettisiin, hermeettisiin ja avokompressoreihin. Jäähallien kylmäprosesseissa käytetään pääsääntöisesti joko mäntä- tai ruuvikompressoreita, joiden rakenne on yleisimmin puolihermeettinen tai hermeettinen. Kompressorilla imetään höyrystimessä muodostunut kylmäainehöyry sieltä pois ja samalla se ylläpitää höyrystimessä riittävän alhaista painetta ja siten riittävän alhaista kylmäaineen kiehumislämpötilaa, jotta höyrystimessä kiertävän kylmäliuoksen lämpötila taso riittää siirtämään lämpöä höyrystyvään kylmäaineeseen. Kaasumainen kylmäainehöyry puristetaan kompressorissa korkeampaan lauhduspaineeseen, jolloin höyry samalla lämpenee voimakkaasti. Korkeassa lämpötilassa oleva kaasumainen kylmäaine johdetaan lauhduttimeen, jossa lämpöä siirtyy toiseen kiertoaineeseen ja kylmäaine nesteytyy. Kuvassa 3 on esitelty erilaisia kompressorirakenteita. (Kaappola ym. 2015, 51 – 53.)



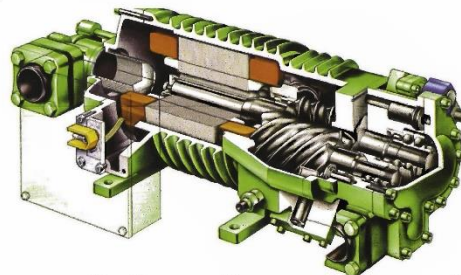
Hermeettinen mäntäkompressori



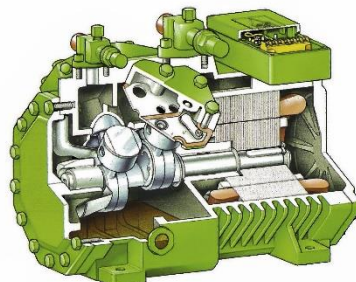
Avomäntäkompressori



Hermeettinen scroll kompressori



Puolihermeettinen ruuvikompressori



Puolihermeettinen mäntäkompressori

KUVA 3. Erilaisia kompressorirakenteita (Mukaiillen Hakala & Kaappola 2013, 72.)

Kuvassa 4 on Ylivieskan jäähallin jääntekokontissa käytössä olevat kaksi Bitzer CSH 7573-90Y-40P -ruuvikompressoria, ottoteholtaan 96 kW. Kompressorin tuotto on $258 \text{ m}^3/\text{h}$ / 2900 rpm ja kylmäaineena on R404A.



KUVA 4. Kompressorit Bitzer CSH 7573-90Y-40P, kaksi kappaletta

3.4 Lauhdutin

Lauhduttimen tehtävänä on muuttaa kompressorilta tuleva tulistunut kylmäainehöyry nesteeksi. Lauhdutin on lämmönsiirrin, jossa kompressorilta tuleva korkeapaineinen kaasu jäähtyy ja lauhtuu eli muuttuu kaasusta nesteeksi, luovuttaen samalla tulistumis- ja nesteytymislämpönsä toiseen lauhduttimessa kiertävään jäähdytysaineeseen. Käytännössä kylmäaine hiukan alijäähtyy lauhduttimessa, millä pystytään vähentämään paisuntaventtiilille menevien kaasukuplien määrää ja edesautetaan paisuntaventtiilin oikeaa toimintaa. Lauhdutusprosessissa käytetään kahta erilaista menetelmää, suoraa lauhdutusta ja välillistä lauhdutusta. Suorassa lauhdutuksessa kylmäaine lauhdutetaan suoraan ilmalla ja tätä käytetään yleensä pienissä järjestelmissä edullisuutensa takia. Välillisessä lauhdutuksessa kylmäprosessin lauhdelämpö siirretään lauhduttimessa kiertävään jäätymättömään nesteeseen. Lauhdenesteenä voi toimia esimerkiksi vesi-glykoliliuos. Välillisissä jäähdytysjärjestelmissä käytetään usein lauhduttimina levylämmönvaihtimia. Lauhduttimen rakenne koostuu toisiinsa juotetuista poimutetuista levyistä, joissa vuorotellen virtaa kylmäainetta ja lämmönkeruunestettä. Tällaiset lauhduttimet ovat pieniä ja tehokkaita kokoonsa nähden. Välillinen nestejäähdytys mahdollistaa kylmäkoneiston pienemmän kylmäainetäytöksen ja parantaa järjestelmän säädettävyyttä. (Hakala & Kaappola 2013,78-84; Aittomäki ym. 2012, 188.)

Lauhtumisessa on kolme vaihetta, josta ensimmäinen on tulistuksen poisto. Kompressorilta tuleva kuuma höyry jäähtyy tulistuksenpoistovaihtimella lauhtumislämpötilaan. Tulistuksenpoistovaihtimelta (KUVA 5; harmaan ja kuparin värinen levylämmönvaihdin) saadaan normaalia lauhtumislämpöä kuumempaa lauhdetta ja tätä käytetäänkin jäähallin käyttöveden esilämmitykseen. Tulistuksen poiston osuus lauhteen kokonaisenergiasta on n. 10-20 %. Tässä vaiheessa ei kylmäaineessa tapahdu vielä faasimuutoksia. (Opetusministeriö 2007, 55.)



KUVA 5. Tulistuksenpoistolämmönvaihtimet kylmäkontissa

Kun tulistuslämpö on poistettu, alkaa varsinainen lauhtuminen, jossa kaasumainen kylmäaine muuttuu nesteeksi ja tässä vaiheessa vapautuu suurin osa (noin 80-90 %) höyrystymisessä ja sen jälkeen tuodusta lämpöenergiasta. Lauhduttimeen (KUVA 6; harmaan värinen levylämmönvaihdin) johdetaan tulistuslämmönvaihtimelta tulevaa kylläistä höyryä, joka tiivistyy takaisin nestefaasiin luovuttaen samalla

lämpöä vaihtimessa kiertävään jäähdytysnesteeseen. Kolmas vaihe on alijäähtyminen, jossa kylmäaineen lämpötila laskee alle lauhtumislämpötilan. Tämän vaiheen osuus lauhteen kokonaisenergiasta on n. 0-5 %. Alijäähditys parantaa kylmäaineen kylmäntuottokykyä. (Hakala & Kaappola 2013, 12, 18.)

Ylivieskan jäähallissa käytetään välillistä lauhtutusjärjestelmää. Välillisessä lauhtutusjärjestelmässä kylmäaineen lämpö siirretään lämmönvaihtimessa lämmönsiirtonesteeseen, josta se pumpulla siirretään tarvittaviin kohteisiin. Tätä lämmennyttyä lauhtenestettä voidaan hyödyntää monipuolisesti esim. jäähallin lämmitykseen ja käyttöveden esilämmitykseen.



KUVA 6. Alfa-Lavalin CB300-140H-levylämmönvaihdin konehuoneessa

3.5 Paisuntaventtiili

Pieni, mutta tärkeä kylmälaitoksen osa on paisuntaventtiili. Sen tehtävänä on annostella kylmäaineen syöttöä höyrystimeen sen verran, että se kaikki ehtii varmasti höyrystyä siellä. Tällä toimenpiteellä varmistetaan, että kompressorille ei pääse nestepisaroita, jotka voisivat vaurioittaa kompressoria. Toisena tärkeänä tehtävänä on ylläpitää kompressorin tuottamaa paine-eroa korkeapaineisen lauhduttimen ja

matalapaineisen höyrystimen välillä. (Nydal 2002, 60.) Paisuntaventtiilin toimintaa ohjataan mittamalla kompressorin imuputken lämpötilaa ja verrataan sitä höyrystymislämpötilaan. Tämä lämpötilaero, josta käytetään myös nimitystä imuhöyryn tulistus, pyritään pitämään vakiona. Tyypillisesti imuhöyryn tulistus on 5-10 °C. Kylmäaine höyrystyy osittain jo paisuntaventtiilissä paineen alenemisen seurauksena ja höyrystimelle menee kosteaa höyryä, joka on nestemäisen- ja kaasumaisen kylmäaineen seos. Elektroninen paisuntaventtiili mukautuu mekaanista venttiiliä paremmin olosuhteiden muutoksiin ja sillä saavutetaan mahdollisimman vakaa imuhöyryn tulistus. Paisuntaventtiilin jälkeen kylmäaineen lämpötila ja paine ovat samat kuin höyrystymislämpötila ja -paine. Ylivieskan jäähallin kylmäjärjestelmässä on kaksi kappaletta (KUVA 7; kuparin väriset paisuntaventtiilit) Danfossin ETS-100B elektronista paisuntaventtiiliä. (Hakala & Kaappola 2013, 12, 18, 231-232.)

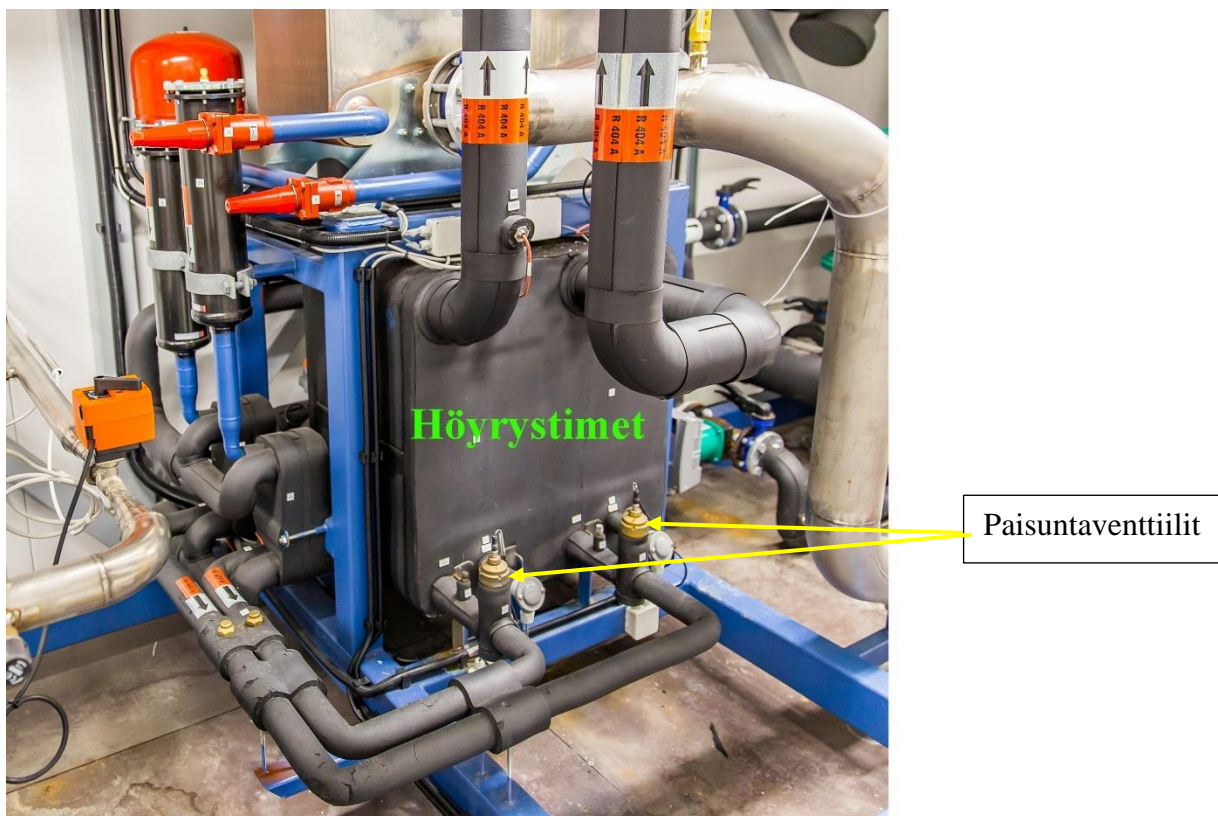


KUVA 7. Danfoss ETS-100B elektroninen paisuntaventtiili (Mukaiillen Danfoss 2017.)

3.6 Höyrystin

Höyrystimen tehtävänä on höyrystää paisuntaventtiililtä tuleva matalapaineinen ja -lämpöinen kylmäaine. Höyrystymisprosessi vaatii lämpöä, jonka kylmäaine ottaa ympäristöstään, samalla jäädyttäen höyrystimen ympärillä olevaa ilmaa tai höyrystimessä kiertävää väliainetta. Välillisissä jäähdytysjärjestelmissä käytetään höyrystiminä usein levylämmönsiirtimiä, jotka ovat rakenteeltaan ja toimintaperiaatteeltaan lämmönvaihtimia, eli samanlaisia kuin lauhduttimet, mutta lämmön siirtosuunta on päinvastainen. Höyrystimen (KUVA 8; mustalla solukumieristeellä eristetyt) rakenne koostuu kuparilla tai nikkelillä toisiinsa juotetuista poimutetuista levyistä, joissa vuorotellen virtaa kylmäainetta ja jäädytettävää nestettä. Tällainen höyrystin vie tehoonsa nähden ylivoimaisesti vähiten tilaa. Kylmäaine johdetaan lämmönvaihtimeen sen alaosasta ja höyry poistuu yläosasta. Kylmäaine ja kylmäliuos eivät missään vaiheessa pääse

sekoittumaan keskenään. Paisuntaventtiilissä kosteaksi höyryksi muuttunut kylmäaine höyrystyy höyrystimessä, sitoen samalla höyrystymislämpöä höyrystimessä kiertävästä kylmäliuoksesta. Kylmäliuos puolestaan jäähtyy ja se pumpataan takaisin radan alla kiertävään putkistoon. Höyrystymislämmöllä tarkoitetaan sitä lämpö määrää, joka tarvitaan muuttamaan 1 kg nestettä kiehumispisteestä saman lämpöiseksi höyryksi. Höyrystymislämpö riippuu kylmäaineen paineesta ja alenee paineen noustessa. Kylmäaine yleensä tulistuu muutamia asteita ennen poistumistaan höyrystimestä. Tällä varmistetaan se, että kompressorille tulee vain pelkkää kylmäainekaasua. (Kaappola ym. 2015, 59 – 60.)



KUVA 8. Alfa Lavalin höyrystimet AC500EQ-180H

3.7 Putkisto

Kylmälaitoksen putkistolla tarkoitetaan putkista rakennettua kokonaisuutta, joka yhdistää kylmälaitoksen eri osat toisiinsa. Putkiston tehtävänä on siirtää kaasuna, nesteenä tai näiden kahden seoksena olevaa kylmäainetta koneiston eri osien välillä. Putkisto rakennetaan yleensä kylmälaatua olevasta kupariputkesta tai teräsputkesta. Koska kylmäaineen mukana kiertää yleensä voiteluöljyä, tulee putkisto mitoittaa

ja asentaa siten, että öljy ja kylmäaine palaavat hallitusti takaisin kompressoriin. Jotta varmistetaan öljynpalautuminen laitoksissa, joissa öljy palautuu imukaasun mukana, täytyy kaasun nopeus olla niin suuri, että öljy seuraa imukaasun mukana. Liian suuri kaasun nopeus putkistossa aiheuttaa painehäviötä ja pienentää näin koneiston kylmätehoa. (Kaappola ym. 2015, 61.)

3.8 Kylmäliuos

Kylmäliuos on nestettä, jonka tehtävänä on lämmön siirtäminen kahden lämpötasoltaan erilaisen kohteen välillä ilman faasimuutoksia. Jäähallissa kylmäliuos siirtää lämpöä jääradasta kylmäkoneiston höyrystimelle, jossa lämpö luovutetaan höyrystyvälle kylmäaineelle. Kylmäliuosta käytetään välillisissä jäähdytys- ja lauhdutusprosesseissa. Välillisen järjestelmän eduksi katsotaan suoraa järjestelmää pienempi kylmäainetäytös, mikä pienentää mahdollista vuotoriskiä ja lisää käyttöturvallisuutta. Kylmäliuoksen täytyy olla jäätyvätöntä, koska käyttölämpötilat ovat selvästi nollan alapuolella. Lämpötila vaihtelee käyttötilanteen mukaan muutamasta pakkasasteesta jopa -15 celsiusasteen lämpötilaan. (Laitinen, Nykänen & Paiho 2010, 21-22.)

Kylmäliuoksina käytetään sellaisten aineiden seoksia, joita esiintyy luonnossa tai jotka luontoon päästyään hajoavat itsestään ympäristölle vaarattomiksi yhdisteiksi. Yleisimmin jäähalleissa käytettäviä liuoksia ovat etyleeniglykoli - vesi, propyleeniglykoli - vesi, etanoli - vesi, kalsiumkloridi (CaCl_2) - vesi, kaliumformiaatti - vesi ja ammoniakki - vesi. Hyvän kylmäliuoksen ominaisuuksia ovat alhainen viskositeetti, korkea ominaislämpökapasiteetti, hyvä lämmönjohtavuus, hyvä lämmönsiirtokyky, ympäristöystävällisyys ja palamattomuus. (Laitinen ym. 2010, 21-22.)

3.9 Kylmäaine

Kylmäkoneiston jäähdytysprosessi on suljettu kiertopiiri, jonka sisällä kiertää kylmäaine. Kylmäaineet, jotka ovat nesteytettyjä kaasuja, toimivat kylmäkoneessa lämmönsiirron väliaineena. Kylmäaineiden käyttö perustuu niiden kykyyn muuttaa olomuotoaan prosessin eri vaiheissa. Kylmäaine sitoo lämpöenergiaa höyrystimessä muuttuessaan samalla nestemäisestä olomuodosta kaasumaiseen olomuotoon ja siirtää sitomansa lämpöenergian kompressorin tekemällä työllä putkistoa pitkin lauhduttimeen. Lauhduttimessa kylmäaine luovuttaa sitomansa määrän energiaa muuttuessaan samalla kaasumaisesta olomuodosta nestemäiseksi. Kylmäaineen faasimuutosta hyväksikäyttäen saadaan suuriakin lämpökuormia

siirrettyä suhteellisen pienellä kylmäaineen massavirralla. Kylmäaineen ominaisuudet riippuvat kierto-prosessin eri vaiheissa siihen vaikuttavasta paineesta ja lämpötilasta. Kylmäaineen valinnalla vaikute-taan kylmäkoneiston kylmä- ja lämpökertoimeen, puristuslämpötilaan, käyntipaineisiin ja tulistusläm-mön määrään. Kylmäaineen termodynaamiset ominaisuudet kuten höyrystymislämpö, ominaislämpöka-pasiteetti, viskositeetti, höyryn paine ja lämmönjohtavuus vaikuttavat kylmäaineen käyttäytymiseen jäähdytysprosessissa. Ihanteellisella kylmäaineella on suuri höyrystymislämpö, hyvät lämmönsiirto-ominaisuudet, suuri tilavuustuotto eli suuri teho tilavuusvirtaa kohti, pieni kompressorin painesuhde ja pieni viskositeetti. Suuren höyrystymislämmön hyöty on siinä, että se pienentää kylmäaineen massavir-taa ja näin riittää pienempi ja edullisempi kompressor. Kylmäaineen hyvä lämmönjohtokyky ja pieni viskositeetti tehostavat lämmönsiirtoa. Käytännössä näiden ominaisuuksien välillä on käytävä jonkin verran lehmänkauppaa. Vähiten voidaan yleensä tinkiä höyrystymis- ja lauhtumislämpötiloista. (Kaa-pola ym. 2015, 31.)

3.9.1 R404A

Jäähallien kylmäjärjestelmissä yleisimmät kylmäaineet ovat R404A ja R717 eli ammoniakki. R404A kuuluu fluorihilivetyjen HFC-kylmäaineryhmään, jotka eivät sisällä otsonikerrosta tuhoavaa klooria, mutta ovat merkittäviä kasvihuonekaasuja kuten hiilidioksidi. HFC-yhdisteet ovat myrkyttömiä, pala-mattomia ja biologisesti hajoavia. R404A on kylmäaineiden R125 (44 %), R134a (52 %) ja R143a (4 %) seos, jonka lämpöliukuma on n. 0,7°C (TAULUKKO 1). Lämpöliukumassa kylmäainesseoksilla lämpötila muuttuu höyrystymisen ja lauhtumisen aikana liukuman verran. (Kapanen 2017, 4.)

EU julkaisi vuonna 2014 uuden kylmäaineiden käyttöä rajoittavan F-kaasusetuksen N:o 517/2014. Uu-den asetuksen myötä kylmäaineisiin liittyviä kasvihuonekaasujen päästöjä pyritään vähentämään asteit-taisilla rajoituksilla vuoteen 2030 mennessä. Jäähdytystekniikassa käytetään yleisesti kylmäaineita, jotka ovat ilmakehään joutuessaan voimakkaita kasvihuonekaasuja, kuten R404A, R407C ja R410A. Näiden kylmäaineiden tilalle on kehitetty uusia kylmäaineita, joiden ilmaston kasvihuonehaitallisuutta kuvaava GWP-indeksi on huomattavasti matalampi. Korvaavia kylmäaineita on kehitetty HFO-yhdis-teistä sekä niiden ja HFC-yhdisteiden seoksista. (Airaksinen, Laitinen & Rämä 2016, 11.)

Ylivieskan jäähallin jäähdytyskoneistossa on käytössä R404A-kylmäaine ja kylmäainetäytös on 2 x 40 kg. Kylmäaine R404A on väistävä kylmäaine. Korkean GWP-arvonsa vuoksi se korvataan tulevaisuu-dessa matalamman GWP-arvon kylmäaineilla, kuten esimerkiksi 448A:lla, 449A:lla ja 455A:lla.

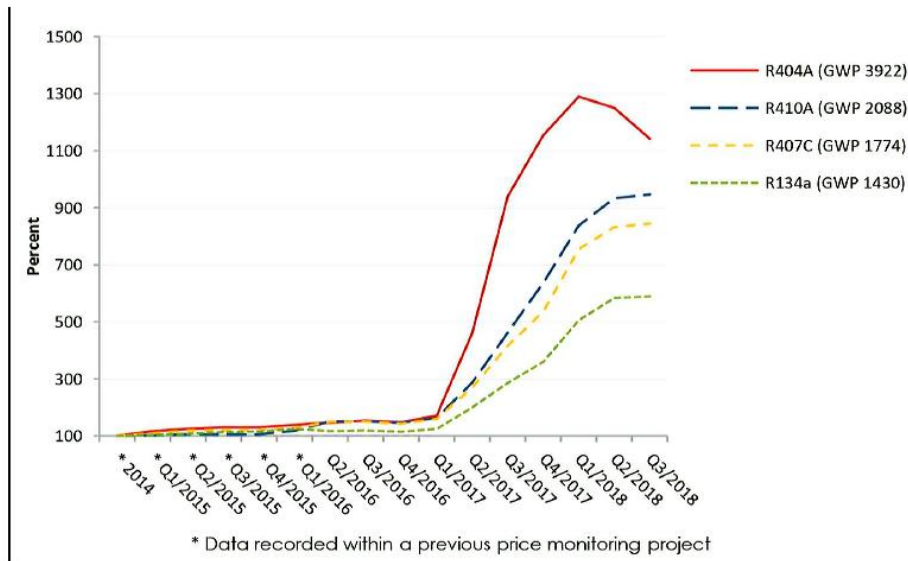
Vuoden 2020 alusta alkaen uudet R404A-laitokset ovat kiellettyjä. Kiinteitä jäähdytyslaitteita, joiden käyttämän kylmäaineen GWP on enemmän kuin 2500, ei saa enää rakentaa, mutta kierrätetyn R404A:n käyttö on sallittu huollossa vuoden 2029 loppuun. (EU kaasuasetus 2014.)

TAULUKKO 1. Kylmäaineen R404A ominaisuudet (Kapanen 2017, 11)

Ominaisuus	R404A
Koostumus	R125 (44%) / R143a (52%) / R134a (4%)
Moolimassa [g/mol]	97,6
Kiehumispiste [°C]	-46,6
Kriittinen lämpötila [°C]	72,1
Kriittinen paine [bar]	37,3
ODP	0
GWP	3922
Turvaluokka	A1
Liukuma	0,8...0,2 °C
Yhteensopivat öljyt	AB, POE, PVE, PAG
Edut	Alhainen tulistuminen puristuksessa, laaja käyttöalue.
Haitat	Korkea GWP-luku, korkeahko puristuspaine, lämpötilaliukuma.
Käyttökohteita	Myymlöiden kylmälaitokset, kylmä- ja pakastekoneistot, jääratakoneistot.

Korvaavan kylmäaineen vaihtaminen Ylivieskan jäähallin jäähdytyskoneistoon tulee jossain vaiheessa ajankohtaiseksi. Kylmäaine R404A:n saatavuus on vaikeutunut ja hinta on kohonnut merkittävästi tammikuusta 2017 lähtien (KUVIO 5). Hollannissa vähittäiskauppaketju Ahold on vaihtanut kylmäkalusteisiinsa vanhan R404A:n korvaavaa 449A-kylmäainetta. Tämä vaihto edellyttää vain pieniä säätöjä eikä esimerkiksi komponenttien tai öljyn vaihtamista tarvita. Hollantilaisen kylmäalan konsultointiyritys P.W. Vlaskampin testien mukaan energiatehokkuus on parantunut vaihdon myötä 8 %. 449A-kylmäaineen käytöllä saavutetaan 65 % alhaisempi GWP verrattuna R404A:n käyttöön. (Cooling Post 2016.)

Hinta EU-tasolla (-Q3/18)



Asennus- ja huoltoyritysten ostohintana

KUVIO 5. Eräiden HFC- kylmäaineiden hintakehitys 2014-2018 (Mukaiillen Kapanen 2019, 7.)

3.9.2 R717 (Ammoniakki)

Ammoniakki oli ensimmäisiä 1800-luvun loppupuolella käyttöön otettuja kylmäaineita ja sitä käytetään edelleenkin varsinkin suurissa teollisissa kylmälaitoksissa. Ammoniakin höyrystymislämpö on korkein kaikista tämän hetken kylmäaineista. Se pienentää kylmäjärjestelmän massavirran tarvetta ja järjestelmään riittää pienempi kompressori ja pienemmät putkistot. Ammoniakin pienen viskositeetin ja suuren lämmönjohtavuuden vuoksi lämmönsiirto-ominaisuudet ovat höyrystimessä sekä lauhduttimessa hyvät ja painehäviöt pienet. Ammoniakin ympäristövaikutukset ovat myös erittäin pienet, sillä sekä kylmäaineen ilmakehille aiheuttamat suhteellisen otsonihaitallisuuden (ODP) että kasvihuonehaitallisuuden (GWP) arvot ovat nolliä (TAULUKKO 2). Myös edullinen hinta ja helppo saatavuus kuuluvat ammoniakin hyviin ominaisuuksiin. (Aittomäki ym. 2012, 116-119.)

Ammoniakin heikkoutena on, että se on 1. luokan palava neste ja 1. luokan myrky, jolloin tarvitaan erikoiskonehuonetila. Tästä syystä suora höyrysteisiä ammoniakkijärjestelmiä ei juurikaan käytetä, vaan kylmäjärjestelmä on välillinen, jossa kylmäainetäyttö on huomattavasti pienempi ja rajoittuu konehuoneeseen. Vaikka ammoniakki on hyvin myrkyllinen aine, sen erittäin pistävä haju havaitaan jo hyvin

alhaisissa pitoisuuksissa (5-10 ppm) ja lievät vaikutukset alkavat vasta 150-200 ppm pitoisuuksilla. Ammoniakki syövyttää kuparia, joten laitteistossa ei voi käyttää kuparia. Putkistot tehdään yleensä teräksestä. (Aittomäki ym. 2012, 116-119.)

TAULUKKO 2. Kylmäaineen R717 ominaisuudet (Kapanen 2017, 11.)

Ominaisuus	R717
Koostumus	NH ₃ ammoniakki
Moolimassa [g/mol]	17,0
Kiehumispiste [°C]	-33,3
Kriittinen lämpötila [°C]	132,4
Kriittinen paine [bar]	113,5
ODP	0
GWP	0
Tulvaluokka	B2
Liukuma	Ei liukumaa
Yhteensopivat öljyt	MO, AB, MO+AB, PAO, PAG
Edut	Hyvä tilavuustuotto, alhainen puristusaine, sopii käytettäväksi myös märkähöyrysteisiin järjestelmiin, hyvät lämmönsiirto-ominaisuudet, hyvä kylmäkerroin, ympäristöystävällinen, vuodot helppo havaita.
Haitat	Erittäin myrkyllinen, palava, suuri tulistuminen puristuksessa, suhteellisen kallis laitos.
Käyttökohteita	Suuret vedenjäähdytyskoneistot, suuret kylmä- ja pakastekoneistot, jääratakoneistot, suuret lämpöpumput.

3.9.3 R744 (Hiilidioksidi)

Hiilidioksidin käyttö kylmäaineena alkoi jo 1800-luvulla elintarvikekuljetusten jäähdytyksessä laivoilla. Sen käyttö jatkui 1930-luvulle saakka, jolloin halogeenihiilivedyt syrjäyttivät sen ja hiilidioksidi jäi vähemmälle käytölle pitkäksi aikaa. Hiilidioksidi alkoi uudelleen yleistyä 1990-luvulla halogeenihiilivedytien ympäristöongelmien takia. (Aittomäki ym. 2012, 121.)

Hiilidioksidilla on kylmäaineena monia hyviä ominaisuuksia verrattuna muihin kylmäaineisiin. Se ei ole herkästi syttyvää eikä myrkyllistä, sen ilmastovaikutukset ovat hyvin pieniä ja se on edullista.

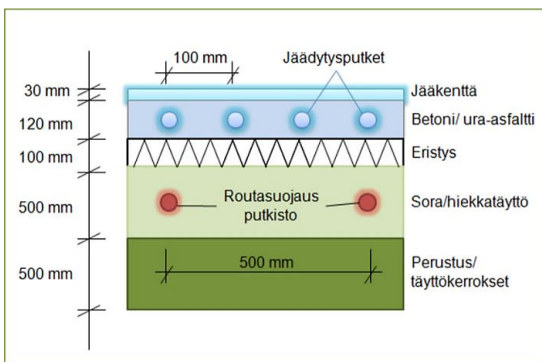
Hiilidioksidilla on suuri tilavuustuotto, joka on 5–10 -kertainen verrattuna muihin nykyisiin kylmäaineisiin. Tämä tarkoittaa, että pienellä kylmäaineen tilavuusvirralla voidaan siirtää suuria tehoja. Tämä mahdollistaa kompressorin ja putkiston fyysisen koon merkittävän pienentämisen. Hiilidioksidilla on erittäin korkea lämmönsiirtokerroin, jolloin lämmönsiirtimien koko voi olla pienempi kuin muilla kylmäaineilla. Sitä voi käyttää kaikkien metallien ja useimpien muovien kanssa. Hiilidioksidilla on myös hyvät ominaisuudet mitä tulee energiatehokkuuteen ja lämmöntalteenottoon. Huonoina puolina hiilidioksidilla on korkea höyrynpaine (7,4 MPa) ja alhainen kriittinen lämpötila (+31,1°C) (TAULUKKO 3). Alikriittisessä prosessissa hiilidioksidi käyttäytyy kuin muutkin kylmäaineet, tosin huomattavasti korkeammalla painetasolla. Ylikriittisessä prosessissa kaasu ei nesteydy lainkaan ja lauhdutin toimii kaasun jäähdyttimenä koko lämmönluovutusprosessin ajan. Korkean paineen vuoksi järjestelmä on varustettava riittävän järeillä komponenteilla. Hiilidioksidia voidaan käyttää jäähallien jäähdytysjärjestelmissä ali- ja ylikriittisissä jäähdytysprosesseissa sekä kylmäliuksena rataputkistossa. (Laitinen ym. 2010, 17-18.)

TAULUKKO 3. Kylmäaineen R744 ominaisuudet (Kapanen 2017, 11)

Ominaisuus	R744
Koostumus	CO ₂ hiilidioksidi
Moolimassa [g/mol]	44,0
Kiehumispiste [°C]	-78,4
Kriittinen lämpötila [°C]	31,3
Kriittinen paine [bar]	73,8
ODP	0
GWP	1
Tulvaluokka	A1
Liukuma	Ei liukumaa
Yhteensopivat öljyt	MO, AB, MO+AB, PAO, PAG
Edut	Loistava tilavuustuotto, pieni painesuhde, sopii käytettäväksi myös märkähöyrysteisiin järjestelmiin, hyvät lämmönsiirto-ominaisuudet, ympäristöystävällinen.
Haitat	Korkea paine, alhainen kriittinen piste, syrjäyttää hapen vuototilanteissa, suurissa pitoisuuksissa aiheuttaa tajuttomuutta tai jopa kuoleman (10 % ilmassa), ilman happipitoisuusmittari ei sovellu CO ₂ -pitoisuuden valvontaan!
Käyttökohteita	Pakastekoneistot, pienet kylmäkaapit, ajoneuvojen kylmälaitteet, jääratojen liuos, lämpöpumput.

3.10 Jäärata

Jäärata on jäähallin näkyvin ja keskeisin osa. Kuten kuvasta 9 voidaan havaita, muodostuvat jään alapuoliset rakenteet täyttömassoista, jotka ovat jääradan alimmainen rakennekerros. Täytekerros tehdään hiekasta tai sorasta tiivistämällä ja routasuojausputket asennetaan täytekerrokseen lämpöeristelevyjen alle. Routasuojauksen tehtävänä on pitää rakennuksen pohja sulana ympäri vuoden, estää roudan aiheuttamat rakenneauriot sekä estää ikeiroudan muodostuminen jääradan alle. Routasuojausputkiston asennusväli on n. 500 mm ja se tulee asentaa aina, kun järjestelmää käytetään jäädytykseen kuutta kuukautta kauemmin. Lämpöeristelevyjen päälle tulee raudoitus ja betonivalu. Betonivalussa tulee ensin pohjavalu ja sen päälle pintavalu, johon jäädytysputket asennetaan. Betonilaatta on yleisin pintamateriaali jäähalleissa. Se on lämpötekniisiltä ominaisuuksiltaan hyvä ja kestää kovaa kulutusta. Rataputkien (KUVA 10) materiaalina käytetään yleisimmin joko polyeteenimuovia tai terästä. Ylivieskan jäähallin rataputket ovat 25 mm:n muoviputkea asennusvälin ollessa n. 100 mm. (Prorink 2018.)



KUVA 9. Jääradan rakenteen poikkileikkaus (Mukaiillen Rantala 2015, 45)



KUVA 10. Jäärataputkistoa asennettuna jäähalliin (Mukaiillen LK Systems 2018, 2.)

Ylivieskan jäähallin radan jäähdytys toteutetaan välillisellä jäähdytyksellä, jossa kylmäliuosta kierrätetään pumpun avulla radan alla olevissa rataputkissa. Kylmäliuos kiertää höyrystimen kautta, jossa se jäähtyy luovutettuaan lämpöä kylmäainepiirissä kiertävän kylmäaineen höyrystymiseen. Kylmäliuoksen kierrättämisestä rataputkistossa vastaa kylmäliuospumppu (KUVA 11), joita on kaksi kappaletta. Pumput toimivat vuorotellen niin että molemmille tulee yhtä paljon käyttötunteja. Yhden pumpun teho riittää kylmäliuoksen kierrätykseen, mutta kahden pumpun avulla varmistetaan vikatapauksessa laitteiston normaali toiminta. Pumppujen käyntiä ohjataan taajuusmuuttajilla, joilla säädetään pumppaustehoa tarvetta vastaavaksi. Tällä menettelyllä saadaan säästettyä sähköenergiaa. Kylmäliuospumpun tehontarve riippuu rataputkiston pituudesta ja mitoituksesta sekä kylmäliuoksen lämmönsiirto- ja pumppausominaisuuksista. (Opetusministeriö 2007, 88.)

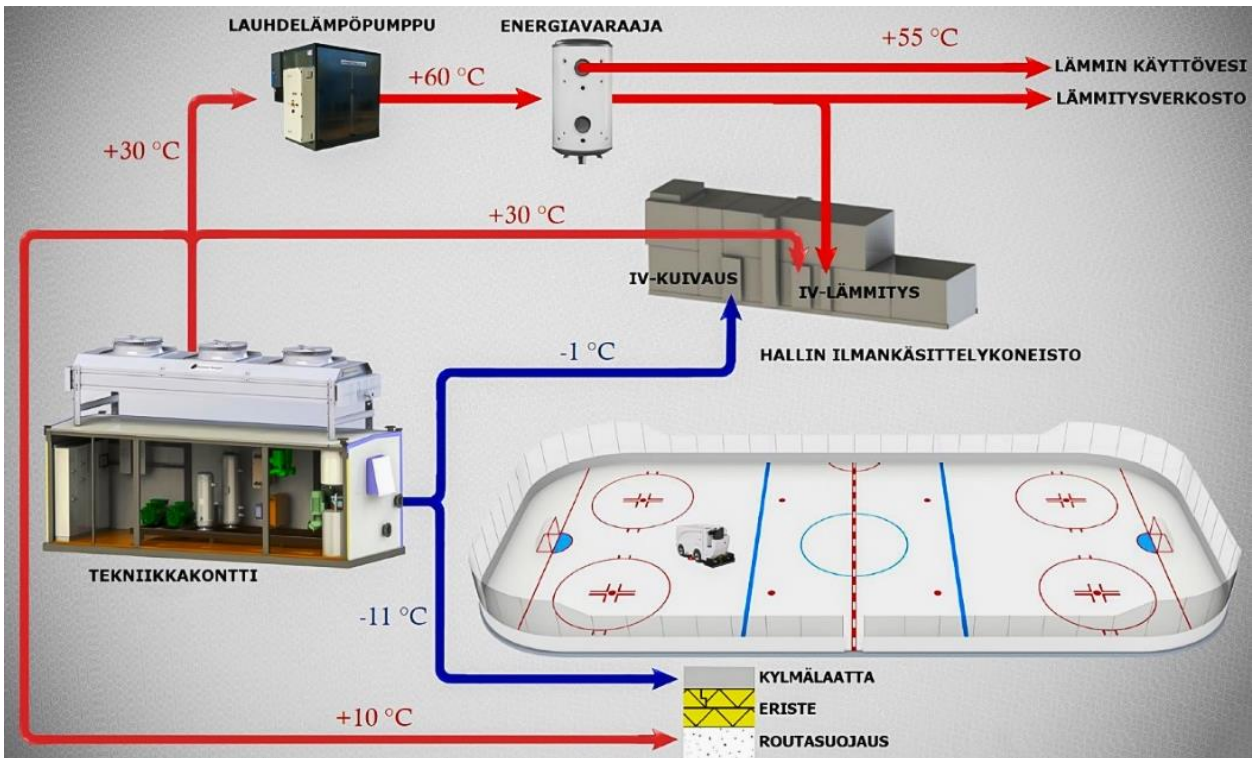


KUVA 11. Kylmäliuospumppu Wilo IL 100/150-15/2 jääntekokontissa

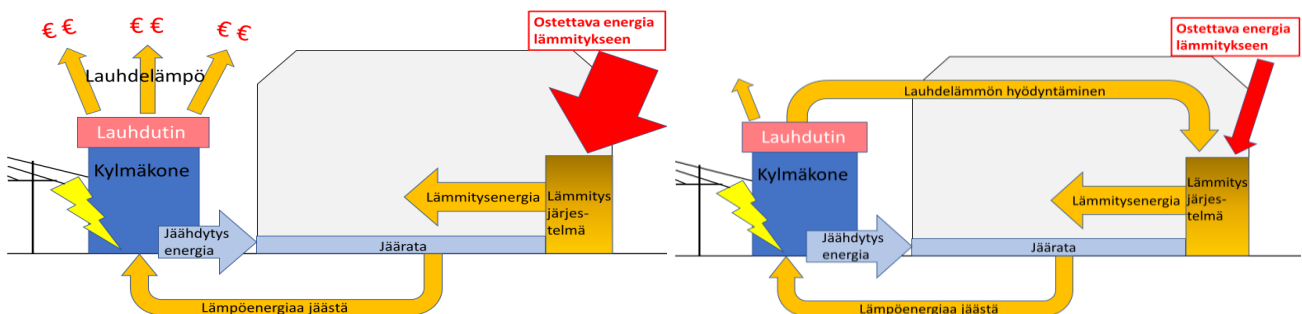
4 LAUHDE-ENERGIA

Jäähallien energiatehokkuuteen vaikuttavista tekijöistä keskeisimpiä on lauhde-energian mahdollisimman tehokas hyödyntäminen. Lauhdelämpö joudutaan poistamaan jäähdytysprosessista suoraan ulkoilmaan, mikäli sitä ei oteta hyötykäyttöön. Niissä jäähalleissa on merkittävä energiansäästöpotentiaali, joissa lauhdelämpöä ei hyödynnetä ollenkaan. Pienissä kilpahalleissa ja harjoitushalleissa lauhdelämpöä muodostuu niin paljon, että se riittää kattamaan koko jäähallin lämmitysenergian tarpeen. Kylmäkoneistossa syntyvää lauhdelämpöä voidaan pitää lähes ilmaisena energiana, sillä sitä syntyy jään tekemisen ja ylläpidon sivutuotteena. Huomionarvoista on myös, että kylmäkoneistossa lauhde-energiaa syntyy aina enemmän kuin varsinaista ”kylmäenergiaa”. Myös ostettu energia, jolla käytetään kompressoria, päätyy lauhdelämmöksi. (Opetusministeriö 2007, 45.)

Lauhdelämmöstä suurin osa on matalalämpöistä n. +30 asteista lauhdutusliuosta. Lauhdelämmön hyödyntämisessä on huomioitava, että jäähdytyskoneiston tehoa ohjataan jään lämpökuorman mukaan ja se vaihtelee paljon jään käytön perusteella. Tästä seuraa, että myös lauhdelämmön tuotto vaihtelee ja sitä syntyy vain silloin, kun kylmäkoneisto on käynnissä. Lauhdelämmön tehokkaampi hyödyntäminen vaatii energiavaraajien ja lauhdelämpöpumpun hankintaa. Lauhdelämpöpumpulla voidaan jalostaa matalan lämpötilan omaavaa lauhdetta korkeampaan lämpötilaan, jolloin sitä voidaan käyttää jäähallin kaikkiin lämmöntarpeisiin. Tällä menetelmällä säästetään lämpöenergiakustannuksissa esim. kaukolämmön pienempänä kulutuksena. Kuten kuviossa 6 on havainnollistettu, lauhdelämpöpumpulla voidaan tuottaa tarvittava määrä korkean lämpötilan lauhdetta hyvällä hyötysuhteella ja matalalämpöinen lauhde käytetään siihen soveltuviin käyttökohteisiin. Jäähallin kesätaun aikana lauhdelämpöpumppua voidaan käyttää ilmalämpöpumppuna. Lauhdelämmön tehokas hyödyntäminen pitäisikin olla olennaisena osana jäähallin lämmitysjärjestelmää. (Opetusministeriö 2007, 45.) Lauhdelämmön hyötykäyttöä on esitelty kuviossa 7.



KUVIO 6. Lauhdelämmön hyödyntäminen lämpöpumpun avulla (Mukaiillen Mansikkaviita 2018.)



KUVIO 7. Lauhdelämmön hyödyntämisen periaatekaavio (Mukaiillen Rantala 2015, 33.)

4.1 Lauhdelämpö jäähdytysjärjestelmässä

Kylmäkoneistossa tapahtuva kylmäliuoksen jäähdytys vaatii prosessina ulkoista energiaa, joka syötetään kylmäkoneistoon sähköenergian muodossa. Lopulta sekä kylmäliuoksesta jäähdytyksen seurauksena poistettu lämpöenergia että koneistoon syötetty sähköenergia vapautuvat lämpöenergiana. Tätä kutsutaan kylmäkoneiston lauhde-energiaksi. Lauhde-energian tuotannolta ei voida kylmäkoneistossa välttyä,

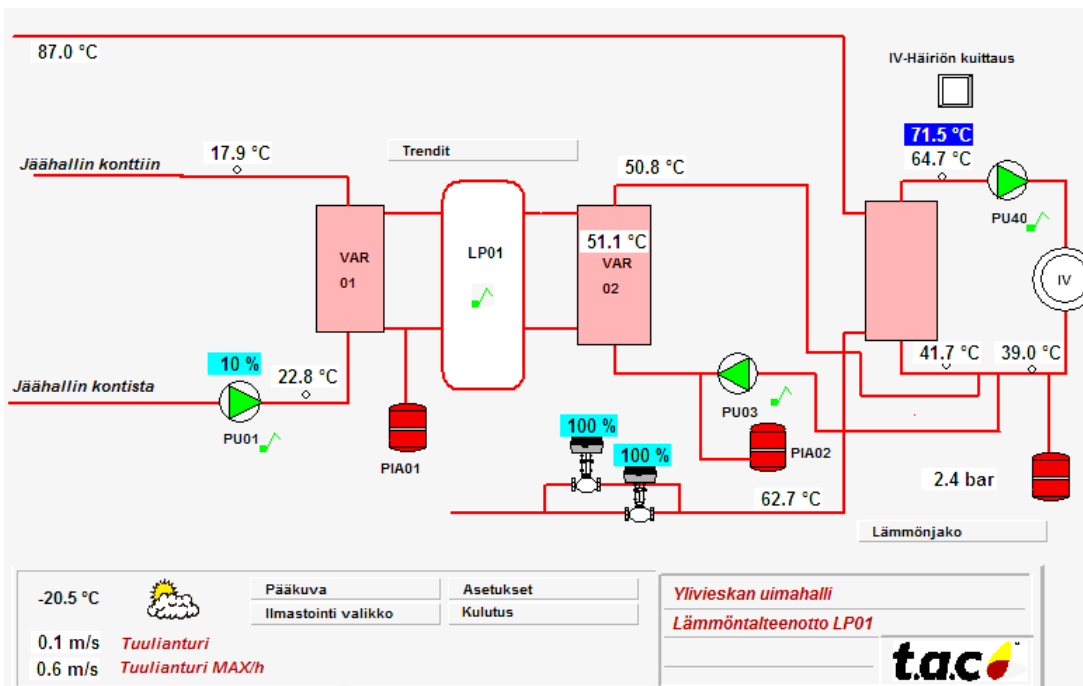
ja se on tavalla tai toisella poistettava prosessista. Kylmäprosessin lauhdelämpö koostuu kolmesta eri osatekijästä. Ne ovat kylmäaineen tulistuksenpoistolämpö, varsinainen lauhtumislämpö ja kylmäaineen alijäähtymislämpö. Tulistuksenpoistolämmön osuus kokonaislauhdelämmöstä on n. 10 – 20 % ja sen lämpötila riippuu kompressorityypistä ja kylmäaineesta. Mäntäkompressorilla tulistuneen kylmäaineen lämpötila on n. 70 - 100 °C. Tulistuksenpoistolämpöä voidaan käyttää esim. käyttöveden lämmitykseen. Ruuvikompressorilla tulistuneen kylmäaineen lämpötila on selvästi alhaisempi. Tulistuslämmön hyödyntäminen vaatii oman lämmönvaihtimen, josta lämpö siirretään omaan lämpövaraajaan. Merkittävin määrä lauhdelämmöstä syntyy kylmäaineen lauhtumisen yhteydessä. Lauhtumislämmön osuus on n. 80 – 90 % kokonaislauhdelämmöstä ja lauhtumisesta vapautuu lämpöä n. 30 - 35 celsiusasteen lämpötilassa. Sitä voidaan hyödyntää esim. käyttöveden esilämmitykseen, lattialämmitykseen, routasuojaukseen ja ilmastoinnin esilämmitykseen. Lauhdutuslämmön ongelmana on sen matala lämpötila, jolloin sen tehokas hyödyntäminen hallin omaan käyttöön on haasteellista. (Hakala & Kaappola 2013, 217.)

Nesteytyneen kylmäaineen alijäähdytyslämpöä on myös mahdollista hyödyntää. Siinä lämpötila on kuitenkin vain n. 10 - 35 °C ja alijäähdytyslämmön osuus on vain n. 0 – 5 % koko lauhdutuslämmöstä. Alijäähdytyslämpöä käytetäänkin etupäässä imukaasun tulistamiseen. Suurin osa lauhde-energiasta saadaan siis lauhdelämpönä alhaisessa lämpötilassa, mikä rajaa sen suoraa hyödyntämismahdollisuutta hallin lämmityksessä. Kylmäprosessin lauhtumislämpötilan nosto ei myöskään ole kannattavaa, sillä se alentaa kylmälaitoksen kylmäkerrointa. Lauhtumislämpötilan nosto yhdellä asteella alentaa kylmäkerrointa noin 3 %. Vastaavasti kolmen asteen lauhtumislämpötilan nosto heikentää kylmäkerrointa 9 %. Lauhdelämmön hyödyntäminen vähentää tai jopa kokonaan poistaa ulkolauhduttimien käyttötarvetta ja ulkolauhduttimien puhaltimien käyttö vähenee tai kokonaan poistuu. (Hakala & Kaappola 2013, 217.)

4.2 Lauhde-energian käyttö Ylivieskan jäähallissa

Lauhdelämmön hyödyntäminen edellyttää, että jäähdytyskoneiston tuottaman jäähdytystehon lisäksi on samanaikainen lämmitysenergian tarve. Toinen tärkeä asia on varmistua siitä, että lämmön talteenotto ei vaaranna kylmäprosessin toimintavarmuutta missään olosuhteissa. Lämmön talteenottolauhdutinta ei ole pakko mitoitaa koko lauhdutusteholle, jos kaikelle lauhdelämmölle ei löydy järkevää käyttöä. Sopivalla järjestelmällä on mahdollista käyttää samaan aikaan lämmön talteenottoa sekä ulkolauhdutusta. Lainsäädäntö kieltää suoran lauhdutuksen käytön käyttöveden lämmitykseen terveysriskien vuoksi. Tällöin joudutaan lauhdelämmön hyödyntämisessä käyttöveden lämmittämiseen käyttämään välipiiriä, joka heikentää hyötysuhdetta ja kasvattaa kustannuksia. (Hakala & Kaappola 2013, 218.)

Jääntekokoneiston tuottamaa matalalämpöistä lauhde-energiaa käytetään monipuolisesti Ylivieskan jäähallissa ja viereisessä liikuntakeskuksessa. Kylmäkoneiston tuottama lauhdelämpö otetaan talteen kolmeen eri varajaan, joista kaksi sijaitsee jäähallin lämmönjakohuoneessa ja yksi liikuntakeskuksen lämmönjakohuoneessa. Nämä kaikki kolme varaajaa ovat 2000 litran vetoisia ja niissä kiertää etyleeniglykolin (40 %) ja veden nesteseos. Yksi varaajista on tulistuslämmön varaaja, jonka lämpötilataso on korkeampi kuin pelkän lauhteen lämpötila. Tulistuslämmön varaajaa käytetäänkin lämpimän käyttöveden esilämmitykseen. Kaksi muuta varaajaa varastoivat pelkkää lauhdelämpöä. Jäähallin lauhdevaraajasta lämpö siirretään normaaleihin vesikiertoisiin lämmönjakojärjestelmiin. Lauhdetta käytetään neljän ilmastointikoneen tuloilman esilämmitykseen, lattialämmitykseen, portaiden sulanapitoon ja jääradan alapuolisen maan routasuojaukseen. Jäähallissa ei ole käytössä lauhdelämpöpumppua, jolla lauhteen lämpötilaa voitaisiin korottaa paremmin käyttöön sopivaksi. Lauhdelämpö, jota ei saada hyödynnetyksi jäähallin omissa prosesseissa, siirretään lämpökanaalin kautta viereiseen liikuntakeskukseen. Liikuntakeskuksen lauhdevaraajasta lähtevän lauhdelämmön lämpötilaa korotetaan lämpöpumpun avulla +50-60 °C:een ja siirretään kuumavesivaraajaan. Lämpöpumpun avulla lämmitetty vesi syötetään liikuntakeskuksen IV-lämmönjakoverkoston paluupuolelle, josta se menee kaukolämmönvaihtimen kautta uudelleen kiertoon (KUVIO 8). Lauhteen lämpötilan korottaminen lämpöpumpulla kuluttaa sähköenergiaa, mutta näin saadaan huomattavasti käyttökelpoisempaa lämpöenergiaa. Kaaviossa 8 on esitetty liikuntakeskuksen lauhdelämmön hyödyntäminen.



KUVIO 8. Liikuntakeskuksen lauhdelämmön hyödyntämiskaavio

4.3 Lauhdelämmön määrä

Ylivieskan jäähallin jääntekoprosessissa vapautuu lauhdelämpöä noin 2200 MWh vuodessa. Tästä lauhde-energian määrästä kuluu jäähallin omaan lämmöntarpeeseen noin 1000 MWh. Loppuosa lauhde-energiasta eli 1200 MWh on mahdollista siirtää maahan kaivettua lämpökanaalia myöten vieressä sijaitsevalle liikuntakeskukselle. Siirtomatkaa lauhteelle tulee n. 200 m. (Kamula 2014.)

Kylmäkoneiston lauhdelämmön määrä voidaan arvioida suhteellisen tarkasti myös laskemalla. Laskentaan voidaan käyttää laskentakaavaa:

$$Q_{\text{lauhde}} = (E_{\text{kylmäkone}} * \text{COP} / \text{EER}) + (0,5 * E_{\text{kylmäkone}}) \quad (\text{Rantala 2015}). \quad (1)$$

jossa

Q_{lauhde} = Lauhdelämmön määrä (MWh)

$E_{\text{kylmäkone}}$ = Kylmäkoneiston kuluttama sähkö käyttökaudessa (MWh) ja

COP / EER = Kylmäkoneiston kylmäkerroin.

TAULUKKO 4. Kompressorin valmistajan Bitzer Software ohjelmalla laskettuja suoritusarvoja

Compressor	CSH 7573-90Y-40D
Capacity steps	100 %
Cooling capacity	79,6 kW
Cooling capacity*	78,4 kW
Evaporator capacity	79,6 kW
Power input	27,7 kW
Current (400V)	54,5 A
Voltage range	380 - 415 V
Condenser Capacity	107,3 kW
COP / EER	2,88
COP / EER*	2,83
Mass flow LP	1879 kg / h
Mass flow HP	1879 kg / h
Operating mode	Standard
Liquid temp.	30,0 °C
Oil volume flod	0,81 m ³ / h
Cooling method	-
Discharge gas temp. w/o cooling	62,1 °C
*According to EN 12900 (10K suction gas superheat. OK liquid subcooling. see tech data/notes)	

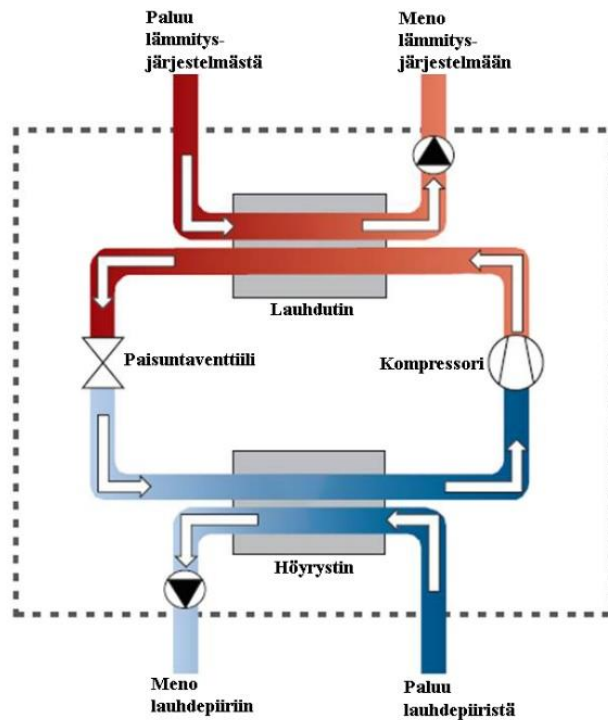
Jääntekokoneiston kuluttama sähköenergia n. 9 kk:n käyttökauden aikana on 367 MWh ja taulukosta 4 saadaan COP / EER arvo luettua suoraan. Lasketaan kaavalla 1.

$$(367 \text{ MWh} * 2,83) + (0,5 * 367 \text{ MWh}) = \mathbf{1222 \text{ MWh}} \text{ lauhde-energiaa}$$

4.4 Lauhdelämpöpumppu

Lauhdelämpöpumpulla voidaan hyödyntää matalalämpöistä lauhdetta, joka muuten jäisi hyödyntämättä. Lauhdelämpöpumppu nostaa lauhteen lämpötilan tasolle, jolla lämpöenergiaa voidaan käyttää hyödyksi kaikissa lämmitysjärjestelmissä. Näin voidaan vähentää merkittävästi ostoenergian kulutusta ja sen tuotannossa syntyviä haitallisia päästöjä. Lauhdelämpöpumpun hankkiminen on järkevää, mikäli tuotetun lämmön luovutus tapahtuu sellaisessa lämpötilassa, jossa se voi korvata suoraan ostettavaa energiaa. Lauhdelämpöpumpun käyttämän ostoenergian (sähkö) täytyy maksaa vähemmän kuin pumpulla korvattun energian ja lauhdelämpöpumppuinvestoinnin takaisinmaksuajan täytyy olla riittävän lyhyt. Lauhdelämpöpumppuinvestoinnin kannattavuuden määrittelee käytännössä korvattavan lämpöenergian ja lämpöpumpun käyttöenergian (tyypillisesti sähköä) välinen hintaero.

Lauhdelämpöpumpun toimintaperiaate on kuin minkä tahansa lämpöpumpun. Se ottaa lämpöenergiaa matalamman lämpötilan energiavarastosta ja nostaa sekä siirtää sen korkeamman lämpötilan energiavarastoon (KUVIO 9). Lämpöpumpun toiminta perustuu koneistossa kiertävän kylmäaineen höyrystymiseen ja lauhtumiseen. Toiminta on päinvastainen kuin kylmäkoneistossa, jonka toimintaperiaate on kuvattu luvussa 3.1. Lauhdelämpöpumpun höyrystimessä matalapaineinen kylmäaine höyrystyy sitoen lämpöä kylmäkoneiston lauhtenesteestä, joka samalla jäähtyy. Lämpöpumpun höyrystin toimii lauhdepiirin välityksellä kylmäkoneiston lauhtuttimena. Höyrystimestä kompressori imee matalapaineista kylmäainehöyryä ja puristaa sen korkeampaan paineeseen, jolloin kylmäainehöyry tulistuu voimakkaasti. Korkeapaineinen tulistunut kylmäainehöyry siirtyy putkistoa pitkin lauhtuttimeen, jossa kylmäaineen faasi muuttuu kaasusta nesteeksi luovuttaen samalla lämpöä lauhtuttimen toisiopuolella kiertävään nesteeseen. Nesteytynyt kylmäaine siirtyy lauhtuttimesta putkistoa myöten paisuntalaitteelle, jossa kylmäaineen painetta pudotetaan ja kylmäaine siirtyy höyrystimeen höyrystymään. (Hakala & Kaappola 2013, 230.)



KUVIO 9. Lauhdelämpöpumpun toimintaperiaate (Mukaiillen Juvonen & Lapinlampi 2013, 12.)

Lauhdelämpöpumpun avulla voidaan lauhdeliuoksen matala lämpötila nostaa lämmitysjärjestelmälle tai käyttöveden tekemiseen sopivaksi hyvällä hyötysuhteella, jolloin ostettavan energian tarve vähenee merkittävästi. Käytännössä tämä tarkoittaa, että lämpöpumpun hankinnan lisäksi lämmitysjärjestelmään tarvitaan lauhdevaraaja, josta lämpöpumppu ottaa lämpöenergiaa, ja tulistusvaraaja, johon lämpöpumppu siirtää tuotetun korkeamman lämpötilan lämpöenergiaa. Tulistusvaraajasta lämpö siirretään lämmitys-järjestelmän tarvitsemiin lämmityskohteisiin. Varaajia tarvitaan varastoimaan lämpöenergiaa, koska lauhdetta syntyy vain kylmäkoneiston käydessä. Lauhdelämpöpumpun tuottama lämpöenergia ei välttämättä riitä korkeiden kulutushuippujen aikana ja se tarvitseekin rinnalleen jonkin lisälämmönlähteen kulutushuippujen tasaamiseen. Lisälämmönlähteenä käytetään tavallisimmin kaukolämpöä tai sähköä. (Leimu 2018.)

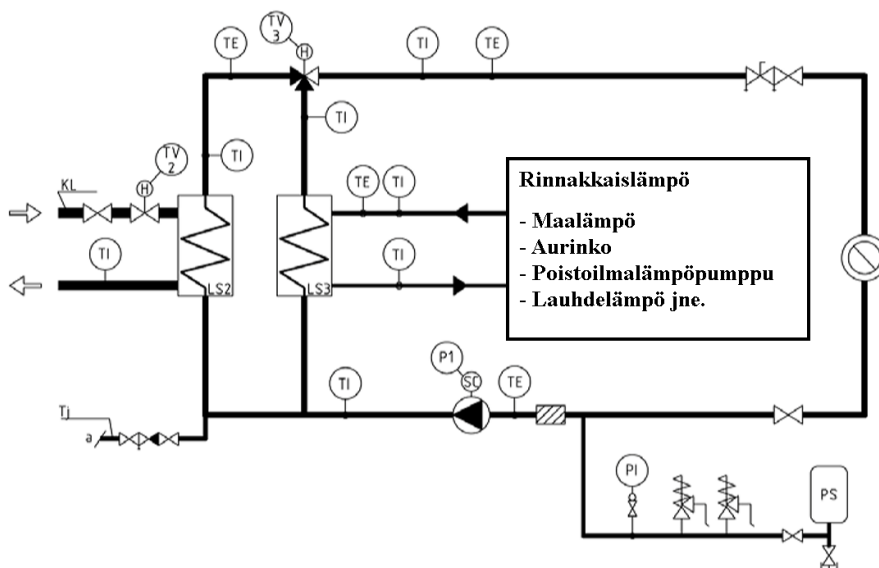
4.4.1 Lauhdelämpöpumpun tehon tarve

Kun jäähallin lämmitysjärjestelmän osaksi suunnitellaan lauhdelämpöpumppua, on sen tehontarve syytä selvittää tapauskohtaisesti. Tehon tarpeeseen vaikuttavia tekijöitä ovat mm. kylmäkoneistossa syntyvän lauhdelämmön määrä, kohteessa tarvittavan lämmitystehon määrä, erilaiset järjestelmän

mitoitusterusteet sekä hankkeen kannattavuuslaskelmat. Lauhdelämmön hyödyntäminen on suunniteltava kylmäprosessin asettamalla ehdoilla. Jos lauhdelämpöä hyödynnetään hallitsemattomasti, saattaa kylmälaitoksen kompressorilta lauhduttimelle menevä kuumakaasu jäähtyä liikaa ja se nesteyttää lauhduttimen sisällön. Tällöin kokonaan nesteytynyt lauhdutin voi pysäyttää koko kylmäkoneiston. Pienissä harjoitus- ja kilpahalleissa lauhdelämpöpumppujen teho on yleensä 100-200 kW. Lauhdelämpöpumpun rinnalle tarvitaan huippukulutusilanteita varten toinen lämmitysjärjestelmä, joka on tavallisimmin kaukolämpö- tai sähkölämmitys. Lauhdelämpöpumppu kytketään kaukolämpövaihtimen tai sähkövastuksien kanssa sarjaan niin, että lämpöpumppu toimii ensisijaisena lämmönlähteenä, ja jos lämmitysteho ei riitä, lämmitysverkoston vettä lämmitetään lisäksi kaukolämmöllä tai sähköllä. (Leimu 2018.)

4.4.2 Rinnakkaislämmön kytkeminen

Lämmitystarve katetaan ensisijaisesti rinnakkaisella lämmönvaihtimella, johon lämpö tuodaan kiinteistökohtaisesta lämmönlähteestä esim. aurinkokeräimet, poistoilmalämpöpumppu, lauhdelämpöpumppu tai maalämpöpumppu. Mikäli lämmitysverkoston lähtevän veden lämpötila ei pysy riittävän korkealla tasolla, lisälämpö otetaan kaukolämpöverkosta. Kuviossa 10 on kytkentäesimerkki rinnakkaislämmön kytkennästä. Lämmönvaihtimelle (LS3) tuodaan rinnakkaislämpö ja jos sen lämmöntuotto ei ole riittävä, otetaan lisälämpöä kaukolämpövaihtimesta (LS2). (Energiateollisuus 2014, 89.)



KUVIO 10. Rinnakkaislämmön kytkentä tilojen lämmitykseen (Energiateollisuus 2014, 89.)

4.4.3 Lämpökerroin

Lämpökerroin kuvaa lämpöpumpulla tuotetun lämpöenergian ja siihen käytetyn sähköenergian määrän suhdetta. Lämpökertoimesta käytetään lyhennettä COP (*coefficient of performance*). Lämmityskäytössä lämpöpumpun tärkein ominaisuus on, että prosessi tuottaa enemmän lämpöä kuin mitä kompressorin kuluttaa sähköä. Lämpökerroin kertoo suoraan, kuinka moninkertaisesti lämpöä laite tuottaa verrattuna sen kuluttamaan sähköön. Jos lämpöpumpun COP on 3, niin 1 kW:n sähköteholla saadaan 3 kW:n lämpöteho. Käytännössä lämpökertoimen suuruus riippuu kuitenkin lämpöpumpputyypistä, pumpussa käytetävästä kylmäaineesta sekä keruu- ja luovutuslämpötilan erosta. Jos tavoitellaan korkeaa lämpökerrointa lämpöpumpun keruulämpötilan ja luovutuslämpötilan välinen ero kannattaa pitää mahdollisimman pienenä. Mitä korkeampaan lämpötilaan lämpöpumppu joutuu lämmityspiirin veden lämpötilan nostamaan, sitä huonommaksi lämpökerroin muuttuu. Tästä syystä lämpöpumppulämmityksessä lattialämmitys on hyvä vaihtoehto alhaisen lämpötilansa vuoksi. (Hautala & Peltonen 2009, 192.) Taulukossa 5 on muutama esimerkki lämpöpumpun lämpökertoimien eroista, kun lämmönlähteen lämpötila muuttuu.

TAULUKKO 5. Esimerkkejä lauhdelämpöpumpun mitoituksesta ja tehosta (Mukaiillen Mansikkaviita 2018.)

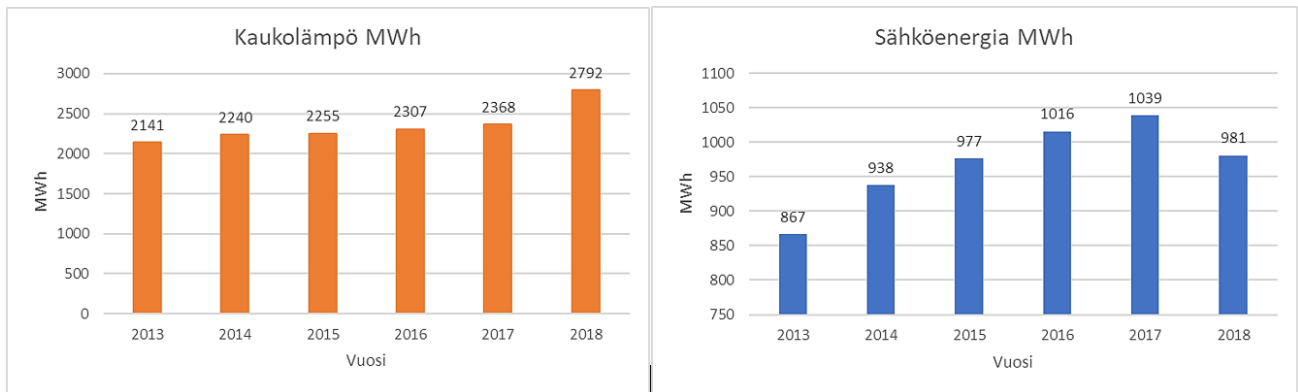
Lauhdelämpöpumppu	
Kylmäaine	R1234ze
Tehoalue	0 – 100 kW
Sähköteho	25 kW
Lämpöteho	100 kW (COP _h ~4)
ESIMERKKEJÄ	
Olosuhteissa	+10 °C / +62 °C
Lämmitysteho	103,5 kW (COP _h 3,79)
Olosuhteissa	+15 °C / +62 °C
Lämmitysteho	100,6 kW (COP _h 4,35)
Olosuhteissa	+20 °C / +62 °C
Lämmitysteho	117,8 kW (COP _h 4,97)

5 LAUHDELÄMMÖN HYÖDYNTÄMISEN TEHOSTAMINEN

Ylivieskan jäähallissa syntyvää matalalämpöistä lauhdetta hyödynnetään tällä hetkellä tehokkaasti. Sitä käytetään ilmastointikoneissa esilämmittämässä ilmaa, lattialämmityksessä, routasuojauksessa, portaikon sulanapidossa ja käyttöveden esilämmityksessä. Lauhdetta siirretään myös viereisen liikuntakeskuksen kiinteistön käyttöön. Ratkaisu on järkevä ja käytännöllinen, sillä tällä järjestelyllä matalalämpöinen lauhde saadaan hyötykäyttöön. Hyödyntämistä voidaan vielä tehostaa, mutta se vaatii lämpöpumpun käyttöä. Lämpöpumpputekniikalla saadaan matalan lämpötilan lauhteesta lämpöä korkeammassa lämpötilassa ja näin paremmin hyötykäyttöön sopivaksi. Lämpöpumpulla lämmitettyä vettä voidaan käyttää matalalämpöisen lauhteen rinnalla kaikissa jäähallin korkeampaa lämpötilaa vaativissa kohteissa. Lämpöpumpun etuna on, että sillä pystytään vähentämään ostettavan kaukolämmön tarvetta. Vaikka lauhdelämpöpumppu ja lauhdeliuoksen kiertopumppu kuluttavat sähköä, toimii lämpöpumppu niin hyvällä hyötysuhteella, että sen avulla voidaan saavuttaa merkittäviä energian säästöjä.

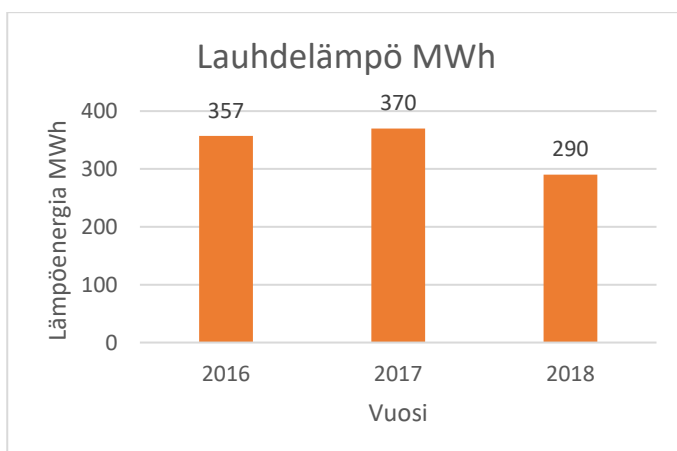
5.1 Liikuntakeskus

Liikuntakeskus on liitetty Herrfors Oy:n kaukolämpöverkkoon vuonna 1982. Sopimusteho on 1597 kW kun jäähtymä on 50 °C ja sopimustilausvirta on 27,37 m³/h. Se kuluttaa kaukolämpöä 2351 MWh vuodessa (vuosien 2013-2018 keskiarvo). Herrforsin kaukolämpövoimalassa lämpöä tuotetaan turpeella ja hakkeella sähkön ja lämmön yhteistuotantona. Sähkön siirrosta kiinteistölle vastaa Herrfors Nät Verkko Oy ja sähköenergian toimittaa Oulun Sähkönmyynti Oy. Pääsulakkeen koko on 3 x 400 A. Sähkönkulutus on vaihdellut vajaasta 900 MWh:sta yli tuhanteen MWh:iin (KUVIO 11). Kuuden vuoden keskiarvokulutus on 970 MWh/a. (Kamula 2014; Uimahalliportaali 2019.)

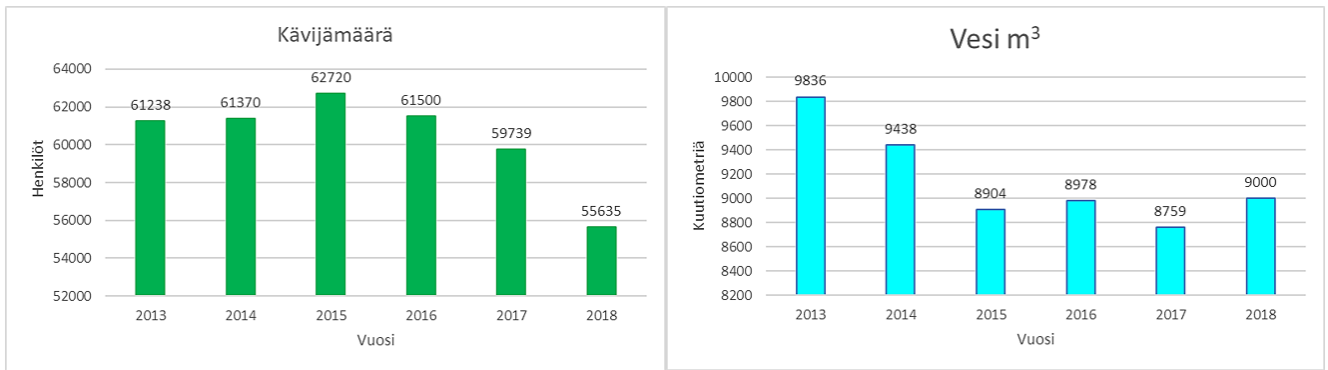


KUVIO 11. Liikuntakeskuksen kaukolämmön ja sähkön vuosikulutukset kuuden vuoden jaksolta (Uimahalliportaali 2018.)

Vuoden 2015 lopulla liikuntakeskukseen asennettiin lämpöpumppu, joka priimaa jäähallilta tulevaa matalalämpöistä lauhdetta korkeampaan lämpötilaan. Lämpöpumppu ottaa lämpöenergiaa lauhdevaraajasta ja priimaa siitä 60 °C:sta vettä tulistusvaraajaan. Tätä kuumennettua vettä käytetään ilmastointikoneilla kiertävän veden esilämmitykseen. Lauhde-energiaa on tuotettu kuvion 12 mukainen määrä vuosina 2016-2018. Tästä huolimatta liikuntakeskuksen kaukolämmön kulutus ei ole vähentynyt lämpöpumppua edeltävistä vuosista, vaan päinvastoin se on jopa lisääntynyt, vaikka kävijämäärät ovat vähentyneet, kuten kuviosta 13 käy ilmi. Tämä voi johtua lauhdelämmön kontrolloimattomasta pumppaamisesta ilmastointikoneiston lämmitysjärjestelmään. Tarpeeton lämmitys lisää liikuntakeskuksen tilojen tuuletustarvetta ja lämpöenergiaa menee poistoilman mukana hukkaan. Mittaustuloksissa on myös tapauksia, jossa ilmastointikoneistolta tuleva paluuvesi on lämmittänyt tulistusvaraajaa.

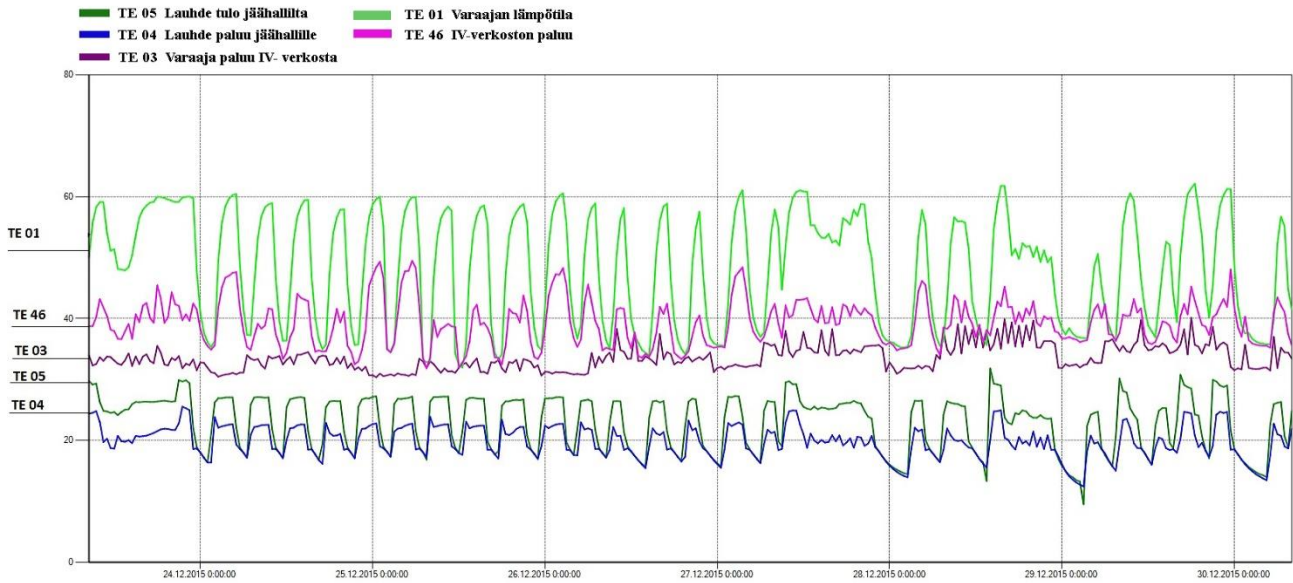


KUVIO 12. Liikuntakeskuksen lämpöpumpun tuottama lauhde-energia



KUVIO 13. Liikuntakeskuksen kävijämäärä ja käyttöveden kulutus (Uimahalliportaali 2018.)

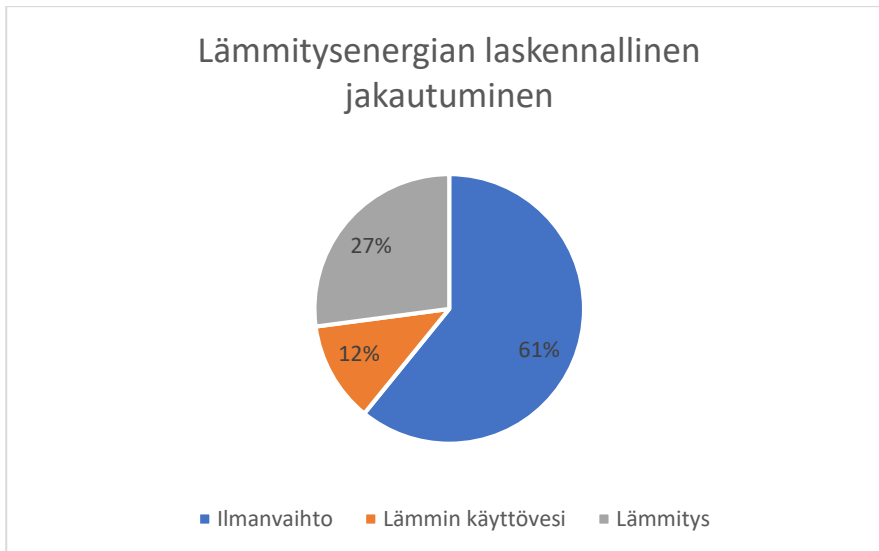
Lauhde-energiaa kannattaisi käyttää matalan lämpötilan lämpönieluihin, kuten esimerkiksi lämpimän käyttöveden esilämmitykseen ja uima-allasvesien lämmitykseen. Mitä suurempi lämpötilaero lämmitettävän kohteen ja lammittävän veden välillä on, sen parempi lämmönsiirtymä saadaan aikaan. Mitä vähemmän lämpöpumpun tarvitsee lämpötilaa nostaa, sitä parempi lämpökerroin prosessilla on. Ilmanvaihtokoneiden paluupuolen lämpötilat ovat sen verran korkeita, että 1340 mittaus tuloksen keskiarvona tulistusvaraajasta lähtevän ja palaavan veden lämpötilaero on 6,9 °C (mittaukset tehty joulukuussa 2015; Hämäläinen 2019.) Tuohon tulokseen vaikuttaa oleellisesti tulistusvaraajan lämpötilataso, joka on vaihdellut kyseisenä mittausajankohtana maksimi-arvon ollessa 62,2 °C ja minimi-arvon 31,0 °C välillä. Mitä korkeampi lämpötila tulistusvaraajassa on ollut, sitä paremmin on lämpö siirtynyt ilmanvaihtokoneiden paluuveteen. Tämä voidaan todeta trendiseurantakaaviosta kuviossa 14.



KUVIO 14. Lauhteen, varaajan ja iv-verkon lämpötilojen kehitys (Hämäläinen 2019.)

Ongelmana lämmön siirrossa iv-verkkoon on sen kontrolloimattomuus. Kun lämpöpumppu on käynnissä, samalla on käynnissä myös veden kierto tulistusvaraajan ja iv-verkon paluupuolen välillä riippumatta siitä, onko iv-verkossa lämmöntarvetta. Kun jäätkeko jäähallilla alkaa heinä-elokuun vaihteessa ja lauhdelämmön tuotto alkaa, on vielä lämmin vuodenaika ja lämmitystarvetta ei välttämättä ole ollenkaan. Jos lämpöpumppu on tuolloin käynnissä, lämpö menee hukkaan.

Kuten kuviosta 15 voidaan todeta, suurin osa eli n. 61 % liikuntakeskuksen lämmitysenergian jakelusta tapahtuu ilmanvaihtokoneiden kautta lämmityskohteisiinsa. Lämpimän käyttöveden osuus n. 12 % ja muun lämmityksen osuus n. 27 %. Aikaisempi arvio lauhde-energian määrästä ja ilmanvaihdon suuri osuus lämmönjakelussa voisi olla peruste lauhdelämmön syöttämiseen ilmanvaihtopiiriin. (Hintsala & Jaatinen 2014, 14.)



KUVIO 15. Liikuntakeskuksen lämpöenergian kulutuksen jakautuminen (Hintsala & Jaatinen 2014.)

Kun lauhdetta kuitenkin halutaan hyödyntää, pitäisi se pystyä käyttämään lämpimänä vuodenaikana muuhun kuin ilmanvaihtopuolen lämmitykseen. Vaihtoehtona voisi olla käyttöveden esilämmitys ja uima-allasvesien lämmitys. Näitä vaihtoehtoja voisi käyttää ympäri vuoden. Lauhdettahan syntyy eniten silloin kun tilojen lämmitystarve on pieni. Kun uutta jäätä aletaan kesän jälkeen tehdä, koneet käyvät täydellä teholla ja ilma on vielä lämmin. Lauhdelämmölle pitäisi siis keksiä muuta vaihtoehtoista käyttöä lämpimänä vuodenaikana. Uimahallin altaiden vesitilavuus on yhteensä 1132 m³ ja lämpötila 28 °C. Altaiden veden lämpötilalle ei sallita kovin suurta vaihtelua, mutta tavoitelämpötilan yhden asteen alitus ja ylitys on vielä hyväksyttävissä. Tuohon kahteen asteeseen ja suureen vesimäärään voidaan ylläpito- lämmityksen lisäksi mahdollistaa uimahallin vuorokautisen kiinnioloajan lauhdelämpö.

Kaavalla 2 voidaan laskea lauhde-energia suhteellisen tarkasti:

$$Q_{\text{lauhde kWh}} = (p * c_p * V * \Delta T) / 3600 \quad (2)$$

jossa

$Q_{\text{lauhde kWh}}$ = Veden lämmittämiseen kuluva energia (kWh)

p = Veden tiheys (1000 kg/m³)

c_p = Veden ominaislämpökapasiteetti (4,2 kJ/[kg°C])

V = veden määrä m³

ΔT = Lämpötilan muutos °C

3600 = Yksikkömuunnoskerroin (kJ → kWh).

Allasvesien kahden asteen lämpötilan noston vaatima lämpöenergia on kaavalla 2 laskettuna:

$$(1000 \text{ kg/m}^3 * 4,2 \text{ kJ/[kg}^\circ\text{C]} * 1132 \text{ m}^3 * 2 \text{ }^\circ\text{C}) / 3600 = 2641 \text{ kWh}$$

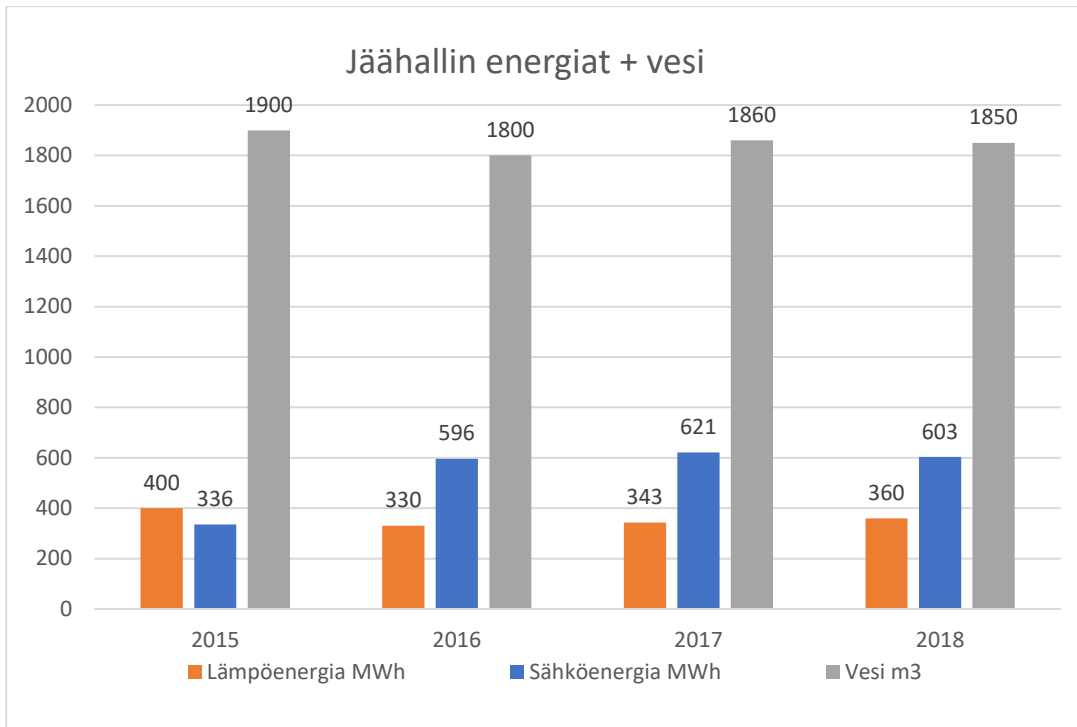
Lauhde-energiaa syntyi laskennallisesti viime vuonna 1222 MWh ja jäättekoneet olivat käynnissä 246 vuorokautta. Vuorokautta kohti laskettuna lauhde-energiaa syntyi 4967 kWh ja keskimääräistä tuntia kohti n. 207 kWh. Jäättekoneiston koko lauhdelämpö on mahdollista varastoida allasvesien lämmitykseen uimahallin yöllisen kiinniolon aikana. Allasvesien kahden asteen lämpötilan nousuun tarvittava lämpöenergian määrä jaetaan lauhde-energian keskimääräisellä tuotolla / tunti, saadaan lämmitykseen tarvittava aika.

$$2641 \text{ kWh} / 207 \text{ kW} = 12,76 \text{ h}$$

Tuo tilanne, että lauhdetta ei käytettäisi samanaikaisesti mihinkään muuhun lämmitykseen, on lähinnä teoreettinen. Jos tuo sama lämpömäärä varastoitaisiin lämminvesivaraajaan, sen koko pitäisi olla 45 m³ ja ΔT 50 °C.

5.2 Jäähalli

Jäähalli on liikuntakeskuksen tavoin liitetty Herrforsin kaukolämpöverkkoon. Kuten kuviosta 16 voidaan todeta, kaukolämpöä on kulunut neljän toimintavuoden aikana 330 - 400 MWh vuodessa. Tämän ostoenergian lisäksi jäähallissa hyödynnetään jään tekemisen yhteydessä syntyvää lauhdelämpöä tehokkaasti. Lauhde-energian hyödyntämisen tehostaminen jäähallilla edellyttää kuitenkin lämpöpumpun ja tulistusvaraajan hankintaa. Lämpöpumppu voidaan sijoittaa jäähallin tekniseen tilaan tai jäättekoneiston kanssa samaan tekniikkakonttiin. Monessa tapauksessa se on sijoitettu samaan konehuoneeseen jäättekolaitteiston kanssa kuten kuvasta 12 voidaan todeta.



KUVIO 16. Jäähallin kuluttamat energiat ja vesi. Vettä käytetään myös viereisen ulkojään jäädyttämiseen ja jäänhoitoon (Hämäläinen 2019.)



KUVA 12. Lauhdelämpöpumppu 100 kW ja tulistuslämmönvaraaja sijoitettuna jäähallin konehuoneeseen (Mukaiillen Mansikkaviita 2018.)

Lauhdelämmön ensisijainen käyttökohde on jäähalli ja tästä käytöstä ylijäävä osa siirretään liikuntakeskuksen tarpeisiin. Lähtökohdiana lauhdelämmön käytön tehostamiselle voisi olla ostetun kaukolämmön korvaaminen omalla tuotannolla ja kaukolämpö jäisi näin varalämmitysjärjestelmäksi. Lämpöpumpun mitoituksen lähtökohdiana tulisi olla n. 400 MWh:n lämpömäärän tuotanto vuodessa. Jäähallin tämänhetkinen lauhdelämmön käyttö on n. 700 MWh vuodessa, josta ilmastoinnin esilämmitys on n. 500 MWh, lattialämmitys 100 MWh, käyttöveden esilämmitys ja routasuojaus n. 100 MWh. (Kamula 2014, 50.)

Kaukolämmön korvaaminen lämpöpumpun tuottamalla energialla kuluttaa sähköenergiaa, mutta jos lämpöpumpun lämpökerroin on neljä, niin 100 MWh:n sähköenergialla ja 300 MWh:n lauhdelämmöllä saadaan tuotettua yhteensä 400 MWh lämpöenergiaa.

Jos vertailutilanteena käytetään liikuntakeskuksen lämpöpumppua ja sen kuluttamaa sähköenergiaa vuonna 2018, niin 290 MWh:n lämmöntuotto on saatu 78,33 MWh:n sähkönkulutuksella, jossa on mukana myös kiertovesipumppujen kuluttama energia. Tästä voimme laskea koko järjestelmän lämpökerroimen seuraavalla kaavalla.

$$Q_{\text{lämpöpumppu}} / W_{\text{sähköenergia}} = \text{Järjestelmän lämpökerroin (COP)} \quad (3)$$

jossa

$$Q_{\text{lämpöpumppu}} = \text{Lämpöpumpun tuottama lämpöenergia}$$

$$W_{\text{sähköenergia}} = \text{Lämpöpumpun kuluttama sähköenergia.}$$

Lasketaan järjestelmän lämpökerroin COP kaavalla 3 seuraavasti:

$$290 \text{ MWh} / 78,33 \text{ MWh} = 3,70$$

Lasketaan jäähallin tarvitseman n. 400 MWh:n lämpöenergian hinta. Jos tuo energia ostetaan kaukolämpöverkosta, on megawattitunnin hinta 57,40 € / MWh (TAULUKKO 6).

Kokonaiskustannus ostoenergialla on näin 400 MWh * 57,40 €/MWh = 22 960 €. Tämä on siis lämmityksen vuosikustannus kaukolämmöllä tuotettuna.

Tehdään laskelma, jossa jäähallin tarvitsema n. 400 MWh:n vuotuinen lämpöenergia tuotetaan lauhdeesta lämpöpumpun avulla. Jäähallin kokonaislämpöenergian tarve jaetaan lämpökertoimella, josta saadaan lämpöpumpun tarvitsema sähköenergia.

Tällöin ostoenergian määräksi vuositasolla tulee 400 MWh / 3,70 (COP) = 108,1 MWh. Sähköenergian hintana käytetään toimitetun sähkön kokonaiskustannusta energiayksikköä kohti, joka on 130 €/MWh (TAULUKKO 6).

TAULUKKO 6. Liikuntakeskuksen lämpöpumpun tuotto ja kulutus vuonna 2018 (Hämäläinen 2019.)

			2018			
Hinnat verottomia ja sis. Perusmaksut						
	Lukema	Lukema	57,4€/MWh	0,13€/kwh		
	Lauhde MWh	Sähkö kwh	Lämmön tuotto	Sähkön kulutus	Kulutus/Tuotto €	keskilämp.
Tammikuu	882	50689	31	14167	-62,3	-4,8
Helmikuu	911	58204	29	7515	687,6	-9,4
Maaliskuu	952	69158	41	10954	929,4	-5,5
Huhtikuu	959	71023	7	1865	124,3	4
Toukokuu	959	71023	0	0	0	13,8
Kesäkuu	959	71023	0	0	0	13,2
Heinäkuu	959	71023	0	0	0	21,4
Elokuu	959	71023	0	0	0	17,1
Syyskuu	972	74804	13	3781	254,7	12
Lokakuu	1024	89305	51	14501	1042,3	5,6
Marraskuu	1073	3378	49	14073	983,1	3,3
Joulukuu	1113	14851	40	11473	804,5	-2,2
yht.	231	64162	290	78329	4763,6	

Näin lämpöpumpulla lämmityksen vuosikustannukseksi tulee $130 \text{ €/MWh} * 108,1 \text{ MWh} = 14\,053 \text{ €}$.

Hinta lämpöpumpulla tuotettuna pelkillä käyttökustannuksilla.

Lämpöpumpulla tuotettu lämpöenergia osoittautui 8907 € edullisemmaksi kaukolämpöön verrattuna pelkillä sähköenergian hinnalla.

Tehdään laskelma, minkä tehoinen lämpöpumppu tarvitaan tuottamaan jäähallin vuotuinen lämpöenergian tarve. Lämpöpumpun keskimääräisen tehontarve voidaan laskea karkeasti jakamalla tarvittavan lämpöenergian määrä käyttötunneilla kaavalla 4.

$$Q_{\text{lämpö}} / t_{\text{käyttötunnit}} = \text{Lämpöpumpun tehontarve (kW)} \quad (4)$$

jossa

$$Q_{\text{lämpö}} = \text{Tarvittava lämpöenergia (kWh)}$$

$$t_{\text{käyttötunnit}} = \text{Lämpöpumpun käyttötunnit}$$

Lämpöpumpun keskimääräinen tehontarve lasketaan kaavalla 4 seuraavasti.

$$400\,000 \text{ kWh} / 6000 \text{ h} = 66,7 \text{ kW}$$

Koska lämmönkulutus ei ole tasaista, täytyy lämpöpumppu mitoittaa laskennallista keskitehoa suuremmaksi tai varustaa järjestelmä riittävän kokoisella energiavaraajalla. Jääntekokoneiston toimittajayritykseltä en useista pyynnöistä huolimatta saanut tarjousta järjestelmään sopivasta lämpöpumpusta. Internetistä löytyi kuitenkin hukkalämmön talteenottoon erikoistunut yritys, jonka sivustolla olevalla laskurilla saa jonkinlaisen hintahaarukan investoinnille.

Laskelman lähtötietoina pitää syöttää:

- Hukkalämmönlähde, neste vai ilma.
- Hukkaenergian lämpötila, mistä lämpö otetaan.
- Sallittu hukkaenergian lämpötila, poistolämpötila.
- Virtaama m^3 / h .
- Prosessin käyttöaika, tuntia vuorokaudessa / käyttöaika vuodessa (h).
- Tuotettavan nesteen lämpötila.
- Lämmitysenergian hinta, sen energian hinta mikä korvataan, tässä tapauksessa kaukolämpö.
- Sähköenergian hinta.

(Calefa 2019.)

Liitteessä 1 on esitelty tuo laskelma ja sen tulokset kokonaisuudessaan. Laskelmasta puuttuu energiavaraaja, jonka kustannus tilavuudesta riippuen on 3500-6000 €.

Lasketaan tuon lämpöpumpun kustannusarvioksi lämpövaraaja mukaan luettuna ja asennettuna 60 000 €. Kun lämpöpumppuun investoidaan, investointi olisi hyvä jakaa sen oletetulle käyttöiälle. Vähimmäisvaatimuksena lämpöpumpulle voidaan pitää 10 vuoden käyttöikä. Annuiteettimenetelmällä investointikustannus jaetaan pitoajalle vuosikustannuksiksi. Korkoprosenttina kustannusarvioissa on yleisesti käytetty 5 prosenttia. Annuiteettitekijä voidaan tällöin laskea alla olevalla kaavalla.

$$c = \frac{(1+i)^n * i}{(1+i)^n - 1} \quad (5)$$

jossa

c = annuiteettitekijä,

i = korko desimaalilukuna

n = maksuvuosien lukumäärä.

Annuiteettikerroin lasketaan seuraavasti kaavalla 5.

$$c = \frac{(1+0,05)^{10} * 0,05}{(1+0,05)^{10} - 1} = 0,1295$$

Vuosipoisto on siten $60\,000\text{ €} \times 0,1295 = 7770,00\text{ €}$

Lämpöpumpun antoteho 68 kW ja käyttöaika 6000 h/a = 408 000 kWh = 408 MWh / käyttökausi.

Lämpöpumppua käytetään vain jäätkekoaikana, ei kesäisin.

Jaetaan pääomakustannus megawattitunnille $7770,00 / 408\text{ MWh} = \mathbf{19,04\text{ €/MWh}}$

Jaetaan käyttökustannus megawattitunnille, kun lämpöpumpun ottoteho on 18 kW.

$(18\text{ kW} \times 6000\text{ h} \times 0,130\text{ €/kWh}) / 408\,000\text{ kWh} = 0,0344\text{ €/kWh} = \mathbf{34,4\text{ €/MWh}}$

Käyttökustannus ja pääomakustannus yhteensä 10 vuoden poistolla ja 5 %:n korkotasolla **52,81 €/MWh**

Tehdään sama laskelma, mutta oletuskestävyys lämpöpumpulla on 15 vuotta ja lämpöpumppua käytetään myös kesäaikaan.

Annuiteettikerroin lasketaan kaavalla 5 seuraavasti.

$$c = \frac{(1+0,05)^{15} \cdot 0,05}{(1+0,05)^{15} - 1} = 0,0963$$

Vuosipoisto on $60\,000\text{ €} \times 0,0963 = 5778,00\text{ €}$

Lämpöpumpun antoteho 68 kW ja käyttöaika 8000 h/a = 544 000 kWh = 544 MWh / vuosi

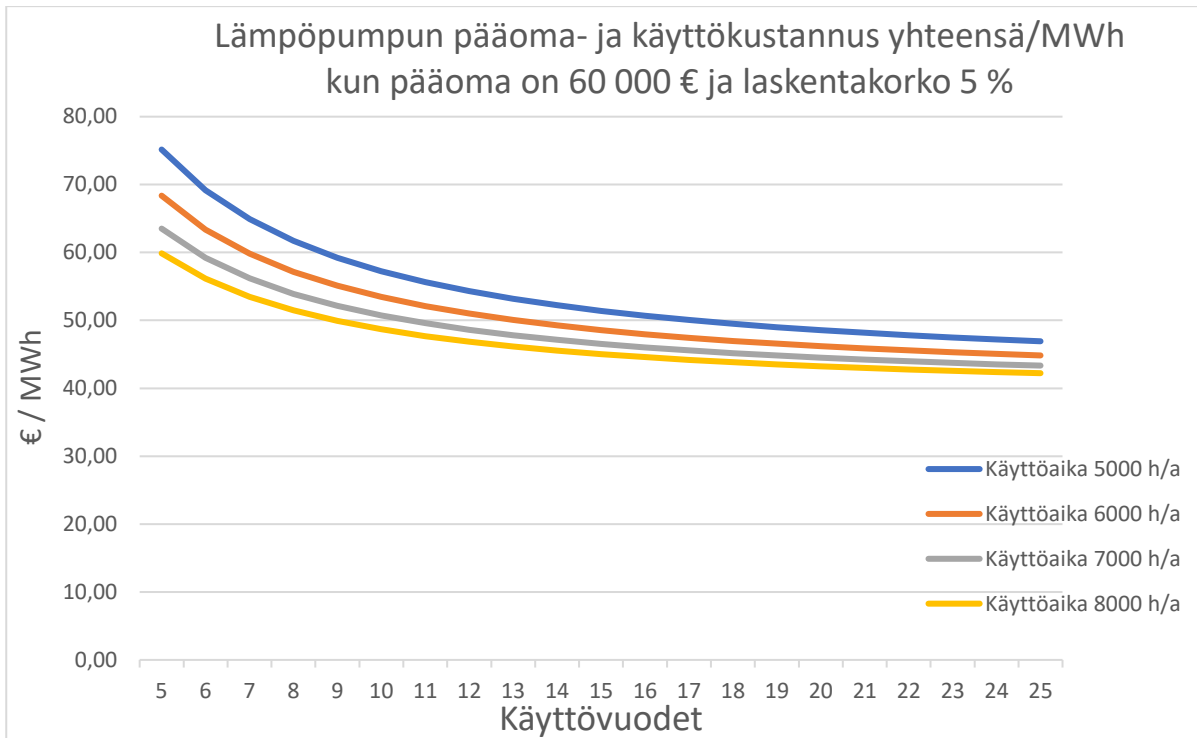
Jaetaan pääomakustannus megawattitunnille $5778,00\text{ €} / 544\text{ MWh} = \mathbf{10,62\text{ €/MWh}}$

Jaetaan käyttökustannus megawattitunnille, kun lämpöpumpun ottoteho on 18 kW.

$(18\text{ kW} \times 8000\text{ h} \times 0,130\text{ €/kWh}) / 544\,000\text{ kWh} = 0,0344\text{ €/kWh} = \mathbf{34,4\text{ €/MWh}}$

Käyttökustannus ja pääomakustannus ovat 15 vuoden poistolla ja 5 %:n korkotasolla yhteensä **45,02 €/MWh**

Kuviosta 17 voidaan nähdä, että mitä enemmän lämpöpumpulle tulee käyttötunteja vuodessa ja mitä pitempi on laitteiston käyttöikä, sitä edullisempaa lämpöä lämpöpumppu tuottaa.

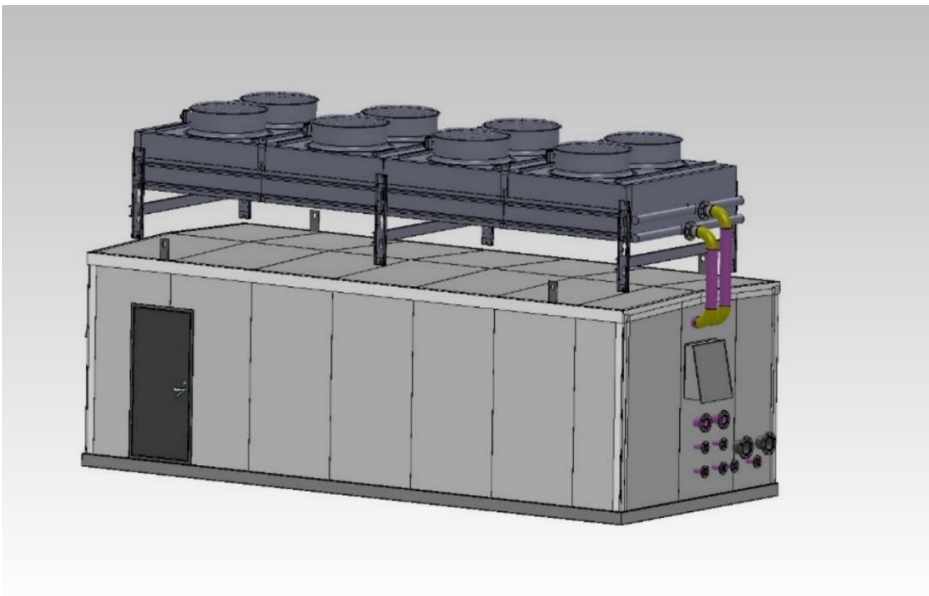


KUVIO 17. Lämpöpumpun käyttö- ja pääomakustannus tuotettua megawattituntia kohti

5.3 Lauhdelämpöpumppu ilmalämpöpumpuna

Lauhdelämpöä syntyy vain jääntekokoneiston käyttöaikana. Kesätaun ajaksi jää sulatetaan ja silloin lauhdelämpöä ei muodostu. Lämpöpumppu ja jääntekolaitteisto ovat käyttämättöminä 3-4 kuukautta ke-sällä, riippuen jään tekemisen aloitus- ja lopetusajankohdasta. Lämmöntarvetta on kuitenkin kesäkuu-kausinakin, varsinkin liikuntakeskuksessa, jossa on myös uimahalli. Jääntekokoneiston ulkona sijaitse-vaan ilmajäähdytteistä nestejäähdytintä on mahdollista käyttää lämpöpumpun lämmönkerääjänä kuten ilmalämpöpumpuissa. Lauhdeliuosta kierrätetään pumpulla hitaasti nestejäähdyttimessä, jossa sen läm-pötila kohoaa lähelle ulkoilman lämpötilaa. Lämmennyt lauhdeliuos pumpataan lämpöpumpun höyry-s-timelle, jossa siitä otetaan lämpöä talteen normaalin lämpöpumppuprosessin mukaisesti. Jäähdytynyt lauh-deliuos pumpataan takaisin nestejäähdyttimelle lämpenemään. Tämän kaltainen jäähdytyskoneiston ja lämpöpumpun väliaikainen uusiokäyttö lisää kohteiden energiatehokkuutta, etenkin kun laitteet ovat jo olemassa ja lisäinvestointeja ei juurikaan tarvita. Lisäkustannuksia aiheuttavat mahdolliset lisäventtiilien asennukset, muutamien putkien eristäminen ja ohjausjärjestelmän koodin päivittäminen, joka sek in hoi-tuu etäyhteydellä järjestelmän toimittajan taholta. (Leimu 2018.)

Kuten kuvasta 13 nähdään, on nestejäähdytin iso ja tehokas lämmönsiirrin, jonka lämmönsiirtotehoa voidaan tarvittaessa tehostaa käyttämällä puhaltimia. Nestejäähdyttimen tehon täytyy olla niin suuri, että se kykenee jäähdyttämään yksin koko kylmäjärjestelmän tuottaman lauhdelämmön. Lämpöpumppukäytössä nestejäähdyttimellä kiertävän lauhdeliuoksen lämpötila ei saa mennä pakkasen puolelle, koska nestejäähdyttimessä ei ole sulatustoimintoa. Nestejäähdyttimen käytön rinnalle on mahdollista lisätä aurinkolämpökeräimiä, joilla lauhdeliuoksen lämpötilaa on mahdollista korottaa entisestään. Aurinkolämpö on päästötön ja uusiutuva lämmön lähde, jota erityisesti kesäaikana on mahdollista hyödyntää tehokkaasti. Liikuntakeskuksella ja jäähallilla on isot kattopinta-alat, jos tätä uusiutuvaa energianlähdettä halutaan hyödyntää. Liikuntakeskuksella ja jäähallilla on mahdollisuus LVI-asennuksiin ja kokenutta henkilökuntaa aurinkolämmön hyödyntämiseen. Näillä ratkaisulla vähennetään ostoenergian tarvetta ja pienennetään jäähallin ja liikuntakeskuksen hiilijalanjälkeä.



KUVA 13. Ylivieskan jäähallin tekniikkakontin katolla oleva ilmajäähdytteinen nestejäähdytin (Suomen tekojää 2013.)

6 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tämä opinnäytetyön aihe tuli Ylivieskan nyt jo eläkkeellä olevalta rakennuspäälliköltä. Opinnäytetyön aloituspalaveri ajoittui rakennuspäällikön viimeisille työpäiville, joten hänen tietämystään ja asiantuntemustaan en pystynyt hyödyntämään tässä työssä. Opinnäytetyön lähtökohtana oli tutkia, mistä johtuu Ylivieskan jäähallista saatavan lauhdelämmön vähäisempi saanto aikaisempiin laskelmiin verrattuna. Tehtävänä oli myös tutkia, olisiko lauhdelämmön hyödyntämisen tehostaminen mahdollista ja olisiko se taloudellisesti kannattavaa.

Liikuntakeskukseen on tehty energiakatselmus vuonna 2014 ja sen on tehnyt opinnäytetyönä Oulun ammattikorkeakoulun opiskelija Pauli Kamula insinööritoimisto Eero Jaatisen tilaamana. Energiakatselmuksessa käydään läpi liikuntakeskuksen energiavirtojen ja veden käyttöä sekä esitetään niille energiataloudellisia parannuskeinoja. Tässä yhteydessä on myös osio jäähallin lauhdelämmön hyödyntämisestä. Opinnäytetyössä ei kuitenkaan ole esitetty mitään laskelmia, miten tuohon jäähallista saatavaan 2202 MWh:n lauhde-energiamäärään on päädytty. Työn tilaajana ollut insinööritoimisto Eero Jaatinen on lopettanut toimintansa alkuvuodesta 2017, joten sieltäkään kautta en ole tietoja asiasta saanut. Omien laskelmieni mukaan jäähallista saatava lauhde-energia oli viime vuonna 1222 MWh, joka on n. 1000 MWh vähemmän kuin energiakatselmuksessa ilmoitettu määrä. Energiakatselmus on tehty vähän ennen uuden jäähallin valmistumista, joten lauhde-energian määrä on todennäköisesti perustunut enemmän arvioon kuin todelliseen tietoon. Oletuksena on voinut olla, että jääntekokoneet käyvät koko ajan täydellä teholla. Näinhän ei kuitenkaan ole, sillä jään ylläpito vaatii vähemmän tehoa kuin jään tekeminen. Vastauksena opinnäytetyössäni esitettyyn kysymykseen, mistä johtuu lauhde-energian laskelmia pienempi saanto, voidaan todeta, että lauhde-energian saanto on laskettu tai arvioitu liian suureksi. Energiatalouden kannalta on hyvä asia, että koneet saadaan toimimaan mahdollisimman energiatehokkaasti. Ensin on kartoitettava tarjolla olevan energian määrä, minkä jälkeen voidaan tarkastella kyseiselle lämpöenergialle mahdollisia käyttökohteita kannattavuuskysymyksineen.

Toisena asiana opinnäytetyössä oli selvittää, voisiko lauhde-energian käyttöä nykyisestä vielä tehostaa. Jäähallien tuottama lauhde-energia on käytännössä ilmaisenergiaa, koska sitä syntyy jään tekemisen sivutuotteena ja sen hyödyntämättä jättäminen on energian tuhlausta. Toki on hyvä muistaa, että ilmaista energiaa ei kannata käyttää hyödyksi, jos sen käyttäminen tulee kalliimmaksi kuin vaihtoehtoinen os-toenergia. Lauhdelämpöä hyödynnetään jäähallissa tällä hetkellä tehokkaasti, mutta tehostamisen varaa on vielä. Matalalämpöinen lauhde sopii sellaisenaan tiettyihin lämmityskohteisiin, kuten ilman ja veden

esilämmityksiin sekä routasuojaukseen. Korkeampia lämpötiloja vaativiin kohteisiin, kuten lämpimän käyttöveden lämmitykseen, se ei riitä, vaan tarvitaan ulkopuolista lämpöenergiaa. Ostoenergian vaihtoehtona on tehdä matalalämpöisestä lauhdesta kuumaa vettä lämpöpumpun avulla. Lämpöpumpputekniikka on kehittynyt hurjasti viimeisen kymmenen vuoden aikana. VTT:n ja Aalto yliopiston tutkimuksen mukaan ei ole tavatonta, että lämmön tuottaminen maalämpöpumpulla on kaukolämpöä edullisempaa. (VTT 2015.) Jos lämmönlähteenä on peruskalliota selvästi lämpimämpi lauhdeliuos, lämpöpumpun lämpökerroinkin on silloin korkeampi, mikä parantaa lämmön kilpailukykyä ostoenergiaan verrattuna.

Ehdotukseni onkin, että jäähallin käyttämä kaukolämpö korvattaisiin lämpöpumpun ja lauhde-energian avulla. Kaukolämpö jäisi lähinnä varalämmitysjärjestelmäksi ja mahdollisten suurten kulutushuippujen energianlähteeksi. Investointi maksaisi itsensä 6-8 vuodessa lämpöpumpun käyttöasteesta riippuen. Tämän jälkeen alkaisi tulla kustannussäästöjä. Pienellä lisäpanostuksella lämpöpumppua voi hyödyntää myös kesällä, jäähallin käyttökauden ulkopuolella. Lauhdenesteen ulkojäähdytintä voi käyttää lämmön kerääjänä kuten ilmalämpöpumpussa. Tätä hyötykäyttöä on vielä mahdollista tehostaa aurinkolämpökeräimien avulla. Näin on mahdollista saada lämpöpumpulle lisää käyttötunteja sekä ilmaista aurinkoenergiaa hyötykäyttöön. Haittapuolena on järjestelmän muuttuminen aiempaa monimutkaisemmaksi, mutta jäähallin ja uimahallin käyttöhenkilöstö on ammattitaitoista, joten LVI-tekniikan monimutkaistuminen ei välttämättä ole iso ongelma. Lämpöpumpun kesäaikainen käyttö mahdollisesti lyhentää myös investoinnin takaisinmaksuaikaa.

Jos jäähallin hiilijalanjälkeä halutaan vielä pienentää, on hallin laajaa kattopinta-alaa myös mahdollista hyödyntää sähköä tuottavien aurinkopaneelien avulla. Teoriassa on mahdollista rakentaa ”off-grid”-jäähalli. Hallin kattopinta-ala riittää nykyisillä aurinkopaneelilla tuottamaan vuotuisen sähkönkulutuksen. Tähän tarvittaisiin kapasiteetiltaan ja hinnaltaan järjettömän suuri sähkövarasto. (Laitinen 2018, 28.) Paneelien valmistuksen ja niiden asennusten mahdollisesti edelleen halventuessa ja tekniikan kehittyessä aurinkosähkö saattaa jollakin aikavälillä olla kannattava hanke ja kaupungin omistama ensimmäinen aurinkovoimala olisi totta. Uusiutuvan energian investoinneille on saatavissa myös investointitukea. Ylivieskan valtuustolle on tehty aloite kaupungin liittymisestä hiilineutraalien kuntien Hinku-verkoston. Kaikki edellä luetellut toimenpiteet tukevat tällaisia hankkeita.

Lauhde-energiaa hyödynnetään myös viereisessä liikuntakeskuksessa. Liikuntakeskuksen lämmönjakohuoneessa on lämpöpumppu, lauhdevaraaja sekä tulistusvaraaja, johon lämpöpumpun kuumentama vesi varastoidaan. Lämpöpumppu ottaa lämpöenergiansa lauhdevaraajasta ja lauhdetta kierrätetään pumpulla jääntekokontin ja lauhdevaraajan välillä maanalaisissa kaukolämpöputkissa. Lämmön jakelu

tulistusvaraajasta ilmanvaihtokoneiston paluupiiriin tuntuu teoriassa hyvältä ajatukselta, koska suurin osa liikuntakeskuksen lämmöntarpeesta menee tätä kautta. Ongelma on siinä, ettei tuota lämmönsyöttöä kontrolloida mitenkään. Lämpöpumpun käydessä kiertovesipumppu syöttää tulistusvaraajasta kuumaa vettä ilmanvaihtokoneiden paluupiiriin riippumatta siitä, onko siellä lämmöntarvetta. Kun jäätä aletaan jäähallin puolella tekemään heinä-elokuun vaihteessa, on vielä lämmin vuodenaika ja lämmitystarvetta liikuntakeskuksessa ei välttämättä ole. Tällöin menee lämpöenergiaa hukkaan. Tämä asia on ratkaistu sillä, että lämpöpumppua ei käynnistetä kuin vasta syyskuussa, kun lämmön tarvetta alkaa olla. Lauhdelämpöä syntyy kuitenkin eniten jään tekemisen aikaan, jolloin koneet käyvät täydellä teholla ja ulkona on lämmin ilma.

Ratkaisuehdotuksena esitän, että lämpöpumpun tuottamaa lämpöenergiaa käytetään lämpimän käyttöveden lämmitykseen sekä allasvesien lämmitykseen. Lämmintä käyttövettä kuluu liikuntakeskuksen aukioloaikana, ja muina aikoina lämmön voisi varastoida lämminvesivaraajien lisäksi uima-altaiden suureen vesimäärään. Toki tuo jo olemassa oleva vaihtoehtokin kannattaa säilyttää, mutta siihen suosittelisin lämmöntarpeen tunnistavaa ohjausta. Vuoden 2019 alussa liikuntakeskus lopetti lämpöpumpun käytön, koska automaatiosta puuttuu tarvittava tilatieto jääntekokoneiston käynnistä. Tällä hetkellä lauhdeella lämmitetään vain jäähallia.

Liikuntakeskuksessa on muuallakin hyödynnettävissä olevaa hukkalämpöpotentiaalia. Jätevesistä ja suodattimien huuhteluviesistä ei oteta lämpöä talteen, vaan ne menevät hyödyntämättä viemäriin. Nykyään on olemassa järjestelmiä, jotka ottavat hukkalämpöä talteen myös mustista jätevesistä, joten harmaille jätevesille tarkoitettua kaksoisviemärointiä ei välttämättä tarvitse rakentaa. Liikuntakeskus käyttää n. 9000 m³ vettä vuodessa ja siitä merkittävä osa on lämpimiä suihkuvesiä ja altaiden suodattimien huuhteluviesiä. Tästä vesimäärästä voisi ottaa hukkalämpöä talteen esimerkiksi lämpimän käyttöveden esilämmitykseen.

Myös ilmastonin kautta menee energiaa hukkaan, jonka voisi tehokkaasti ottaa talteen poistoilmalämpöpumpuilla. Liikuntakeskuksen kosteat poistoilmat sisältävät vesihöyryn muodossa latenttia lämpöä, jonka voisi lämpöpumpulla hyödyntää jäädyttämällä poistoilma lähelle nollaa astetta. Samalla kun lämpöenergia otetaan talteen poistoilmasta, voisi lämpöä ottaa talteen myös liikuntakeskuksen katolle sijoitetuilla aurinkokeräimillä varsinkin keväästä syksyyn. Liikuntakeskuksen laaja kattopinta-ala mahdollistaisi aurinkolämmön hyödyntämisen moniin lämmöntarpeisiin.

LÄHTEET

- Airaksinen, M., Laitinen, A. & Rämä, M. 2016. Jäähdytyksen teknologiset ratkaisut. VTT Oy. WWW-dokumentti. Saatavissa: https://energia.fi/files/1359/Jaahdytysteknologiaseelvitys_VTT_221216.pdf Viitattu 18.04.2019.
- Aittomäki, A., Aalto, E., Alijoki, T., Hakala, P., Hirvelä, A., Kaappola, E., Mentula, J. & Seinelä, A. 2012. Kylmäteknikka. 4. painos. Porvoo: Bookwell Oy.
- Calefa. 2019. Internetsivulla oleva kannattavuuslaskuri. Saatavissa: <http://www.calefa.fi/fi/kannattavuuslaskuri/> Viitattu 24.04.2019.
- Cooling Post.27.9.2016. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.coolingpost.com/world-news/r449a-retrofit-brings-8-energy-savings/>. Viitattu 28.03.2019.
- Danfoss. 2017. Tuotokuva. Saatavissa: <http://files.danfoss.com/images/IMG107321141426.jpg?w=1024&h=724&mode=pad>. Viitattu 28.3.2018.
- Energiateollisuus Ry. 2014. Rakennusten kaukolämmitys. Määräykset ja ohjeet. Julkaisu K1/2013. Päivitetty 09.05.2014. WWW-dokumentti. Saatavissa: https://energia.fi/files/502/JulkaisuK1_2013_20140509.pdf Viitattu 8.4.2019.
- EU:n kaasuasetus N:o 517/2014. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/?uri=CELEX%3A32014R0517>. Viitattu 27.03.2019.
- Hakala, P. & Kaappola, E. 2013. Kylmälaitoksen suunnittelu. 3. tarkistettu painos. Tampere: Opetushallitus: Juvenes Print.
- Hautala, M. & Peltonen, H. 2009. Insinöörin (AMK) fysiikka, osa I. 9. painos. Lahden Teho-Opetus Oy. Saarijärvi: Saarijärven offset Oy.
- Helsingin uutiset. 2015. Jäähallit syövät hurjasti turhaa energiaa. 19.02.2015. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.helsinginuutiset.fi/artikkeli/267517-jaahallit-syovat-hurjasti-turhaa-energiaa> Viitattu 20.04.2019.
- Hemmilä, K. & Laitinen, A. 2017. Tavoitteena nollaenergialiikuntarakennukset. Espoo: VTT Oy. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.dropbox.com/s/74qmwogr4eokzcg/14-T320.pdf?dl=1> Viitattu 20.04.2019.
- Hintsala, J. & Jaatinen, E. 2014. Ylivieskan liikuntakeskuksen energiakatselmusraportti. 31.12.2014.
- Hämäläinen, T. 2018. Liikuntakeskuksen käyttöpäällikkö. Henkilökohtainen tiedonanto, keskustelu. 01.02.2018.
- Hämäläinen, T. 2019. Liikuntakeskuksen käyttöpäällikkö. Henkilökohtainen tiedonanto, sähköposti. 25.04.2019.

- Juvonen, J. & Lapinlampi, T. 2013. Ympäristöopas. Energiakaivo. Helsinki: Edita Prima Oy. WWW-dokumentti. Saatavissa: http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10138/40953/YO_2013.pdf?sequence=1&isAllowed=y Viitattu 24.04.2019.
- Jäähalliportaali. 2018. Jäähallien tietoja. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://jaahallit.lipas.fi/jaahalliportaali/hallit/512978> Viitattu 27.3.2018.
- Kaappola, E., Hirvelä, A., Jokela, M. & Kianta, J. 2015. Kylmätekniiikan perusteet. 4. painos. Helsinki: Opetushallitus: Nex Print Oy.
- Kamula, P. 2014. Ylivieskan liikuntakeskuksen energiatehokkuuden kehittäminen. Opinnäytetyö. Oulun ammattikorkeakoulu. Talotekniikan koulutusohjelma. WWW-dokumentti. Saatavissa: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/91254/Kamula_Pauli.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Viitattu 8.4.2019.
- Kapanen, M. 2017. Kylmäainetilanne 2017. Suomen kylmäyhdistys ry. Saatavissa: www.skll.fi/www/att.php?type=2&id=305. Viitattu 06.05.2018.
- Kapanen, M. 2019. Kylmäaineet muuttuvat, oletko valmis muutoksiin. Suomen kylmäyhdistys. Jäähallipäivät 03.04.2019. WWW-dokumentti. Saatavissa: https://www.dropbox.com/s/bftdzbs62878v8g/Kylmaaineet_muuttuvat_oletko%20valmis_muutoksiin_Kapanen_SKLL_20190403.pdf?dl=1 Viitattu: 18.04.2019.
- Lautiainen, K. 2018. Energiajäähallin energiatehokkuuden kehittäminen. Diplomityö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Energiatekniiikan koulutusohjelma. WWW-dokumentti. Saatavissa: http://lut-pub.lut.fi/bitstream/handle/10024/158394/Diplomityo_Lautiainen_Katja.pdf?sequence=1&isAllowed=y Viitattu 20.04.2019.
- Laitinen, A. 2018. Aurinkokennot jäähalleihin ja niiden kannattavuus. Jäähallipäivät 04.04. 2018. WWW-dokumentti. Saatavissa: https://www.dropbox.com/s/fbx3vm1dpukb4vk/03-Aurinkosahko_Ari_Laitinen_VTT.pdf?dl=1 Viitattu 25.04.2019.
- Laitinen, A. Nykänen, V. & Paiho, S. 2010. Jäähallin kylmäkoneistojen hankintaopas. VTT Oy. WWW-dokumentti. Saatavissa: https://www.dropbox.com/s/5er9odx7ky9ilvf/17-kylmakoneistojen_hankintaopas.pdf?dl=1 Viitattu 27.3.2019.
- Leimu, A. 2018. LVIS-suunnittelija, suomen tekojää Oy. Henkilökohtainen tiedonanto, puhelinkeskustelu 23.03.2018.
- LK Systems. 2018. LVI-alan yritys. WWW-dokumentti. Saatavissa: https://www.lksystems.fi/globalassets/inriver/resources/fi.31.b.2_jaakentat.pdf Viitattu 20.04.2019.
- Mansikkaviita, T. 2018. Lauhdelämmön hyödyntäminen lämpöpumpulla. Jäähallipäivät 04.04. 2018. WWW-dokumentti. Saatavissa: https://www.dropbox.com/s/uk6u1t3t8yj5a9z/09-Lauhdelammon_hyotykyaytto_lampopumpulla_-_STJ_Timo_Mansikkaviita.pdf?dl=1 Viitattu 25.04.2019.
- Nydal, R. 2002. Käytännön kylmätekniiikka. Jyväskylä: Gummerus kirjapaino Oy.
- Opetusministeriö liikuntapaikkajulkaisu. 2007. Jäähallien lämpö- ja kosteustekniikka. Tampere: Rakennustieto Oy.

Prorink International Oy. 2018. Routasuojaus. WWW-dokumentti. Saatavissa: <http://www.pro-rink.com/tuotteet/esitteet/putkistot/routasuojaus.pdf> Viitattu 26.04.2019.

Rantala, M. 2015. Tikkakosken jäähallin energiakatselmus. Opinnäytetyö. Seinäjoen ammattikorkeakoulu. Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma. WWW-dokumentti. Saatavissa: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/95373/Rantala_Matias.pdf?sequence=1&isAllowed=y Viitattu 27.04.2019.

Suomen tekojää Oy. 2013. Rakennepiirustukset. Ylivieskan jäähalli. Parkano.

Uimahalliportaali. 2018. Ylivieskan liikuntakeskuksen uimahalli. Internet sivu. Saatavissa: <https://uimahallit.lipas.fi/uimahalliportaali/hallit/512025> Viitattu 27.04.2019.

VTT Technology 235. 2015. Heat pumps in energy and cost efficient nearly zero energy buildings in Finland. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.vtt.fi/inf/pdf/technology/2015/T235.pdf> Viitattu 26.04.2019.

Ylivieskan kaupunki. 2013. Rakennuspiirustukset.

Hukkalämmönlähde

Ilma

Neste

Nykyinen
hukkaenergian
lämpötila (°C)

5



40

Sallittu
hukkaenergian
lämpötila (°C)

030



Virtaama

3,2 m³/hProsessin käyttöaika
vuorokaudessa (h) 24

1

TAI Prosessin käyttöaika
vuodessa

6000

h

Tuotettava nesteen lämpö (°C)

40



95

Lämmitysenergian
hintaa (€/MWh)

10



100

Sähköenergian
hintaa (€/MWh)

30



150

Kohteen nimi

Ylivieskan jäähalli

Näytä tulokset

+ 358 10 2190 280
www.calefa.fi

CALERI® ENERGIANKIERRÄTYS

Ylivieskan jäähalli, 28.04.2019

Hukkateho

Hukkaenergian virtaama	0.9 kg/s
Prosessin käyttöaika vuorokaudessa	16.4 h/vuorok.
Prosessin käyttöaika vuodessa	6000 h/vuosi
Lämpötila ennen lämmöntalteenottoa	28 °C
Lämpötila talteenoton jälkeen	14 °C
Hukkaenergian lämpöteho	52 kW

Laitteiston energian kulutus

Sähköteho	18 kW
Sähkön kulutus vuodessa	106 MWh
Sähköä vuodessa	13 814 €

Saatava hyöty

Lämpöteho	68 kW
Lämpötila neste	65 °C
Lämpöpumpun COP	4.2
Lämpöenergia vuodessa	410 MWh
Lämpöenergian arvo	23 354 €

Säästö vuodessa 9 541 €

Investoinnin takaisinmaksuaika 5.2 vuotta

Investoinnin hinta Calefan toteutuksella 50 077 € *

Hinta sisältää täydellisen Caleri® Energiakierrätysjärjestelmän, asiakaskohtaisen suunnittelun, asennuksen ja käyttöönoton.

Caleri® Energian kierrätysjärjestelmä:

- Energiasieppari
- Energiasovitin
- Lämpöpumppu
- Putkisto varusteineen
- Automaatio ja sähköistys

Huom! Uusiutuvaa energiaa ja energian kulutusta vähentäville hankkeille on haettavissa investoitetukia. Niillä saattaa olla merkittävä vaikutus investoinnin takaisinmaksu-aikaan. Lisätietoja Calefan asiantuntijoilta sekä ELY-keskuksesta ja Motivasta.

* lopulliseen investointikustannukseen vaikuttaa mm. etäisyydet, sijainti, automaation taso

Calefa Oy ei vastaa näiden tulosten oikeellisuudesta.

Lisätietoja:

Antti Porkka, myyntipäällikkö

puh. +358 44 723 3347

antti.porkka@calefa.fi

we renew your energy