

Asko Joensuu

Lumen ja sadeveden hyödyntäminen rakennuksen jäähdyttämiseen

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Talotekniikan tutkinto-ohjelma

Insinöörityö

24.5.2015

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Asko Joensuu Lumen ja sadeveden hyödyntäminen rakennuksen jäähdyttämiseen 34 sivua 22.5.2015
Tutkinto	insinööri AMK
Tutkinto-ohjelma	talotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	LVI-suunnittelu
Ohjaaja	yliopettaja Jukka Yrjölä
<p>Insinööriyön tarkoituksena oli selvittää sekä tutkia lumen ja sadeveden hyödyntämistä rakennuksen jäähdyttämiseen. Työssä tehtiin kirjallinen selvitys rakennusten vapaajäähdytysmenetelmistä.</p> <p>Selvitys on laadittu perehtymällä lumijäähdytyksen mahdollisuuksiin sekä sadeveden käyttöön osana rakennuksen talotekniikkaa. Työssä esitellään lumivarastoinnin vaihtoehtoja ja kerrotaan muissa maissa, jo käytössä olevista, lumivarastoista. Työssä myös pohditaan, kuinka aiempia, jo toteutettuja ideoita voidaan viedä eteenpäin.</p> <p>Lumivarastointi vaatii suuren varastointitilan, johon lämpökuormat eivät pääse vaikuttamaan. Huomioon tulee myös ottaa, että lunta saatetaan joutua tuottamaan myös keinotekoisesti.</p> <p>Sadeveden hyödyntäminen rakennuksen jäähdyttämisessä on teknisesti helpompi, mutta taloudellisesti huonompi kuin lumijäähdytys. Sadevesi on tehottomampi ja energiatehottomampi vaihtoehto kuin lumijäähdytys.</p> <p>Lumijäähdytystekniikka on tehokas jäähdytysmuoto. Se toimii maissa, joissa talvikausi on pitkä ja runsasluminen. Suomessa lumijäähdytys on varteenotettava vaihtoehto, joka vaatii vielä lisätutkimuksia sekä esimerkiprojekteja. Tulevaisuudessa energiamääräykset kiristyvät, joten luontoystävällisyys, saasteettomuus sekä matalat energiakulut tulevat ajamaan lumen hyödyntämistä rakennuksen jäähdytyksessä.</p>	
Avainsanat	sadevesi, lumi, lumivarasto, jäähdytys, luonnollinen jäähdytys, vapaajäähdytys, lumivarastojäähdytys.

Author Title	Asko Joensuu Snow and rainwater utilization of the building cooling
Number of Pages Date	34 pages 22 May 2015
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Building Services Engineering
Specialisation option	HVAC Engineering
Instructor	Jukka Yrjölä, Principal Lecturer
<p>The Bachelor's thesis looked into the snow and rainwater utilization in building cooling. For the thesis the possibilities of snow cooling opportunities and the use of rain water as part of building services engineering were studied. The aim was to identify and explore other useful cooling methods than the existing cooling solutions.</p> <p>Information retrieved from diverse sources was utilized for the thesis. Also snow cooling solutions from other countries were presented in the thesis. Furthermore, the development of existing snow cooling solutions was discussed.</p> <p>The thesis stated that snow cooling is a potential method to be used in the Finnish context. Snow cooling technology must be investigated further, also with sample projects. The use of rainwater for cooling buildings was found to be difficult and cost ineffective. In the future, energy regulations will become stricter, so the environmentally friendly, pollution-free utilization of snow for cooling of buildings with low energy costs will most likely gain popularity. This thesis increases the awareness of snow and rain water use in Finland.</p>	
Keywords	rainwater, snow, snow storage, snow cooling, natural cooling, Free cooling

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Rakentamisen tavoitteet tulevaisuudessa	3
2.1	Uusiutuva energia	3
2.2	Lähes nollaenergiatalon määritykset	5
3	Vapaajäähdytys	6
4	Kylmäkoneen toiminta	7
5	Sadeveden määrä	9
6	Sadevedestä saatava energiansäästö	12
7	Maakylmän ja lumijäähdytyksen vertailu	14
8	Sulamislumen hyödyntäminen	16
8.1	Lumenvarastointi vaihtoehtoja	16
8.2	Sundsvallin sairaala, Ruotsi	17
8.3	Elintarvikeyritys Japanissa	19
8.4	Lumivarasto jäähdytettävän rakennuksen sisällä	19
8.5	Sapporon lentokenttä, Japani	20
8.6	Oslon lentokenttä, Norja	20
8.7	Case: KONE Oyj	21
8.8	Siirrettävä katto lumivarastossa	21
8.9	Lumesta saatava jäähdytysenergian laskeminen	23
9	Lumivarastoon kohdistuvat lämpökuormat	25
10	Alueellinen jäähdytys lumivarastoja hyödyntäen	26
11	Erilaisia kytkentäperiaatemalleja	27
12	Lumi- ja sadevaraston hyödyt ja ongelmat	30
13	Yhteenveto	31
	Lähteet	32

Lyhenteet

CHP	Lämmityksen ja sähkön yhdistelmätuotanto eli CHP (Combined heat and power). Sähkön tuotantoprosessissa samanaikaisesti tuotettu lämpö hyödynnetään rakennusten lämmitykseen.
COP	Lämpö- tai kylmäkerroin eli COP (Coefficient of performance). Tarkoittaa kylmäkoneen hyötysuhdetta. Esim. COP 4,2 tarkoittaa, että 1 kW:n sähköteholla saadaan 4,2 kW.

Yksiköt

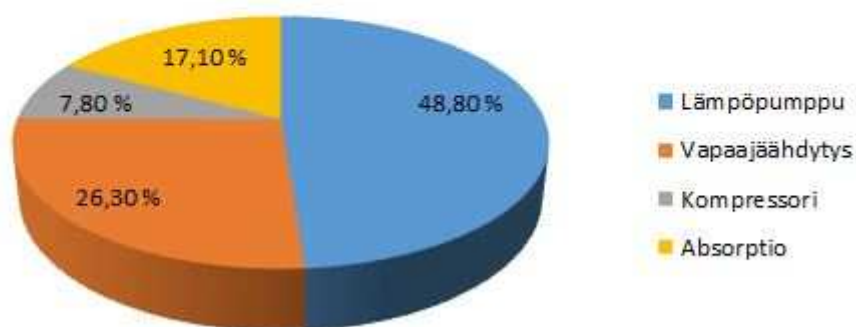
C_p	ominaislämpökapasiteetti kJ/Kg
C_p vesi	4,2 kJ/kg K
C_p jää	2,1 kJ/kg K
kW	kilowatti
L	lumen sulamiseen tarvittava energia 333,6 kJ/ kg
m^2	neliömetri
m^3	kuutiometri
MW	megawatti
MWh	megawattitunti

1 Johdanto

Nykypäivänä Suomessa rakennettavat uudet rakennukset ovat hyvin energiatehokkaita ja varsinkin kesällä ne tarvitsevat jäähdytystä. Yleisimmät jäähdytysratkaisut toteutetaan kylmäkoneilla, joita ovat esimerkiksi vedenjäähdytyskone sekä maakylmä. Suurissa kaupungeissa käytetään kaukojäähdytystä. Vedenjäähdytyskone toimii kylmäkoneena, josta on kerrottu tarkemmin luvussa 4, Kylmäkoneen toiminta. Maakylmässä saadaan maaperästä lämpökaivolla tai keruupiirillä sitoutunutta viileää jäähdytysenergiaa ja tätä käytetään hyödyksi rakennuksen jäähdytykseen. Maakylmää selitetään lisää luvussa 7 Maakylmän ja lumijäähdytyksen vertailu.

Kaukojäähdytykseen on rakennettu jakeluverkko kaupungeissa ja kaukokylmän tuottaja vastaa kaukojäähdytyksen toimivuudesta ja, että jäähdytysenergia riittää viilentämään verkostoa. Kaukojäähdytystä voidaan tuottaa seuraavilla menetelmillä kaukojäähdytysverkkoon: lämpöpumput, vapaa jäähdytys, absorptio ja kompressorit. Kaukojäähdytyksen tuotant jakauma vuodelta 2013 on esitetty kuvassa 1.

Kaukojäähdytyksen tuotantomuodot vuonna 2013



Kuva 1. Kaukojäähdytyksen tuotantomuodot vuonna 2013 [19, s.18s]

Tämän insinööriyön tarkoituksena on tutkia ja selvittää sadeveden ja lumivarastoinnin avulla järjestettävää jäähdytysratkaisua. Samalla tarkoituksena on löytää energiatehokas ja ympäristöystävällinen ratkaisu käytettäväksi tulevaisuuden rakentamisessa.

Euroopan unionin alueella vuoden 2020 jälkeen, kaikkien uusien rakennusten tulee olla nollaenergiarakennuksia. Rakennuksen jäähdytys on energialaskelmissa osa kokonaisenergian määrää. Asuinrakennuksen jäähdytysenergia kulutus on noin 10–15 kWh/m², toimistorakennuksen jäähdytysenergia kulutus on 15–50 kWh/m² ja kauppakeskusten jäähdytysenergia kulutus on noin 70–150 kWh/m². [20]

Selvityksen tarkoituksena on syventää tekijän tietoa vapaajäähdytyksen toimintaperiaatteista. Tavoitteena on myös etsiä uusia mahdollisuuksia, jotka ottavat huomioon ympäristön sekä energiatehokkuuden.

2 Rakentamisen tavoitteet tulevaisuudessa

Suomessa on tavoitteena, että vuoden 2020 loppuun mennessä rakennukset ovat nollaenergiataloja. EU:n direktiivi 2010/31/EU määrää asiasta koko Euroopan alueella. Nollaenergiatalot ovat rakennuksia, joiden energian tarpeesta suurin osa toteutetaan uusiutuvalla energialla. Rakennuksen energiakulut muodostuvat sähköstä, lämmityksestä, vedenkäytöstä ja jäähdytysenergian käytöstä. Tulevaisuudessa rakennettavat rakennukset ovat entistä tiiviimpiä ja teknisempiä kokonaisuuksia, jolloin jäähdytystarve lisääntyy.

Suunnitteluvaiheessa rakennukset suunnitellaan mahdollisimman energiatehokkaiksi. Tavoitteena on, että rakennus käyttäisi mahdollisimman paljon ilmaista sekä uusiutuvaa energiaa. Uusiutuva energia on mahdollista tuottaa rakennuksessa tai omalla tontilla, esimerkiksi auringonlämmöllä ja aurinkosähköllä.

2.1 Uusiutuva energia

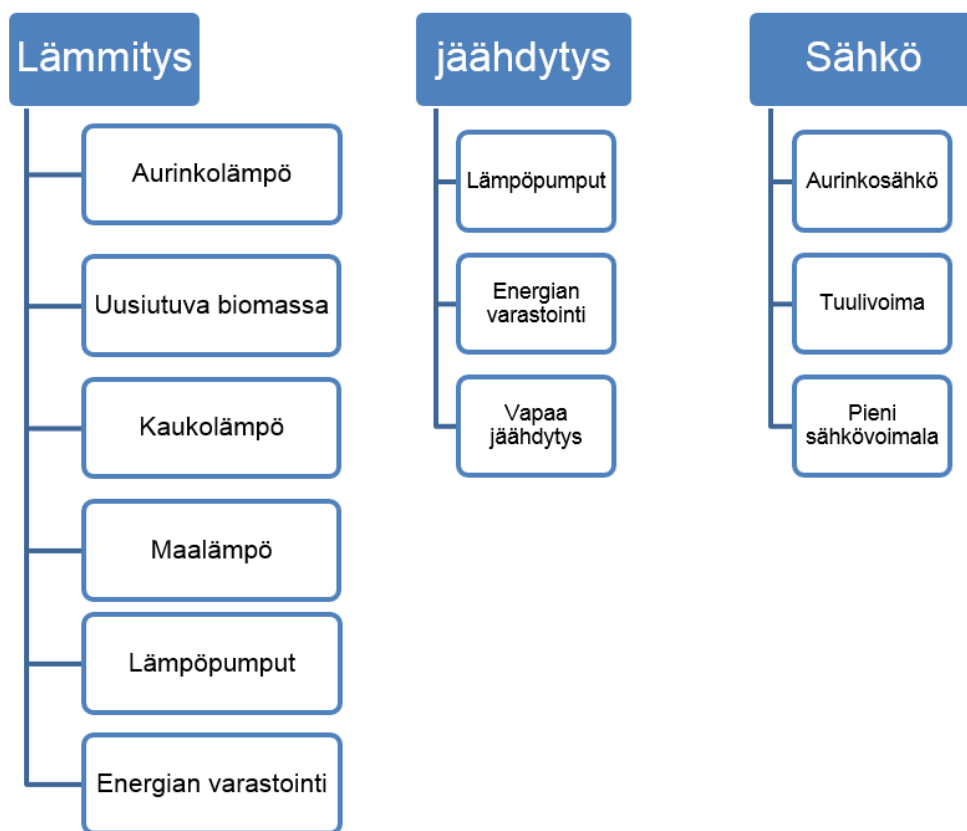
On olemassa monia erilaisia tuotantomenetelmiä tuottaa uusiutuvaa energiaa. Osa rakennuksen sähköntarpeesta voidaan tuottaa aurinkosähköpaneelilla tai tuulivoimalla. Lämpöä voidaan tuottaa aurinkokeräimillä, maalämmöllä tai esim. polttamalla puu-polttoaineita kattilassa.

Uusiutuvassa energiassa jäähdytykseen on erilaisia ratkaisuja: maakylmä, lämpöpumppu, kaukojäähdytys ja lumivarastointi. Maakylmässä otetaan maaperästä viileää maalämpöä keruuputkiston avulla. Lämpöpumppu toimii kylmäkoneen periaatteella. Tätä selitetään lisää luvussa 4 Kylmäkoneen toiminta. Kaukojäähdytyksessä jakeluputkistossa virtaa kylmä vesi useille rakennuksille samanaikaisesti.

Euroopan unionin tavoitteena on, että vuonna 2020 koko energian kulutuksesta 20 % on peräisin uusiutuvista energialähteistä. Tavoitteeseen rakennuspuolella päästään pienentämällä rakennusten energiakulutuksia. Rakennuksen lämmityspuolella tavoitteeseen päästään hyödyntämällä seuraavia ratkaisuja: maalämpöä, ilmalämpöenergiaa, geotermistä lämpöä sekä aurinkolämpöä että biopolttoaineita. Sähkön ja lämmön yhdistelmätuotannossa (CHP) syntyy hukkalämpöä, joka hyödynnetään esim. kauko-

lämpönä. [1] Uusiutuvien energialähteiden jaottelu on esitetty kuvassa 2. Kuvassa on esitelty lämmityksen, jäähdytyksen ja sähkön puolella olevia uusiutuvia energiaratkaisuja.

Uusiutuvat energiamuodot



Kuva 2. Uusiutuvien energialähteiden jaottelu [20]

2.2 Lähes nollaenergiatalon määritykset

Nollaenergiatalo (Net zero building, ZEB) on rakennus, joka tuottaa energiaa yhtä paljon kuin se kuluttaa vuoden aikana. Vuotuinen nettoenergiankulutus on nolla. Nollaenergiatalon rakentaminen saavutetaan laadukkaalla suunnittelulla. Suunnittelussa täytyy ottaa huomioon energiakulut ja se, miten kulutettu energia saadaan takaisin. Esimerkiksi aurinkopaneeleilla ja aurinkolämmöllä saadaan ilmaista energiaa hyödynnettäväksi rakennuksen sähkönkulutukseen ja lämmitykseen. [2]

Nollaenergiatalojen on tarkoitus olla energiatehokkaita ympäri vuoden. Rakennuksen energiakulutus on tarkoitus tasapainottaa. Talvella rakennus tarvitsee lämmitykseen enemmän energiaa, kun taas keväältä pitkälle syksyyn pärjätään pienemmällä energiamäärillä. Kesällä tuotettu aurinkosähköenergia voidaan myydä ja välittää muille rakennuksille, jotka tarvitsevat sähköä.

Suunniteltaessa nollaenergiataloa energiatehokkaaksi täytyy talon suunnittelijoiden tehdä tarkkaa yhteistyötä. Talotekniikan täytyy olla energiatehokasta, mutta myös talon valaistus ja muu elektroniikka tulee ottaa suunnittelussa huomioon.

3 Vapaajäähdytys

Rakennuksia voidaan viilentää ja jäähdyttää vapaajäähdytyksellä. Vapaajäähdytyksen toimintaperiaate on, että viileää ulkoilmaa käytetään tiloihin, jotka tarvitsevat jäähdytystä. Vapaajäähdytys toimii hyvin, kun ulkolämpötila laskee alle +10 °C:n. Kuvassa 16 esitellään vapaajäähdytyksen kytkentäperiaate. Talvella vapaajäähdytys toimii erinomaisesti lämpimien ATK-tilojen jäähdytykseen.

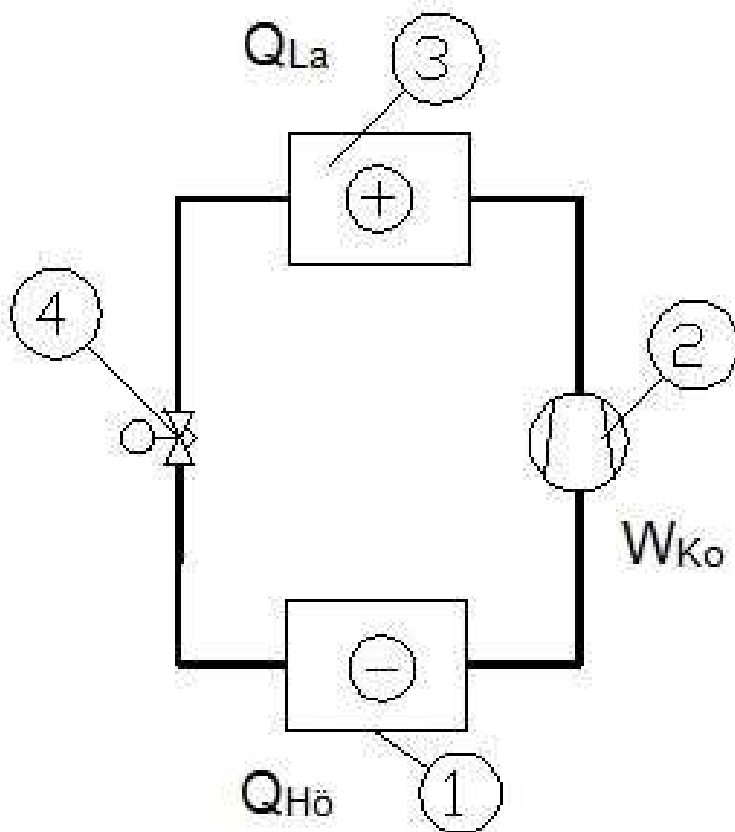
Kuumana kesäpäivänä, kun vapaajäähdytyksessä ei ole tarpeeksi tehoa ulkoilman ollessa lämmintä, ja lämpötilaerot eivät ole riittävät, käynnistyy lämpöpumppu. Lämpöpumpun kytkentäperiaate on esitetty kuvassa 17. Lämpöpumpussa toimii kylmäaine. Kylmäaine toimii väliaineena, joka sitoo itseensä lämpöä ja luovuttaa sitä ympäristöön. Sillä saadaan kylmäkoneen avulla tuotettua höyrystimen puolelle viileää nestettä ja lauhduttimen puolelle lauhdutettavaa lämmintä nestettä. Lämpöpumpuista selitetään lisää luvussa 4 Kylmäkoneen toiminta. [4]

Vapaajäähdyttämiseen voidaan käyttää myös lumivarastoa. Lunta varastoidaan erilaisiin varastotiloihin, muun muassa kallion sisälle ja suuriin varastohalleihin. Lumesta saadaan runsaasti edullista jäähdytysenergiaa maissa, joissa talvikausi on pitkä ja lunta saadaan varastoitua runsaasti. Lumivarastointia on selitetty tarkemmin luvussa 8 Sulamislumen hyödyntäminen.

4 Kylmäkoneen toiminta

Kylmäkoneen tehtävänä on jäähdyttää tilaa tai rakennusta. Kylmäkoneessa toimii kylmäaine väliaineena, joka siirtää lämmön pois tilasta. Lämpöpumppu toimii samanlaisella periaatteella kuin kylmäkone. Kuvassa 3 esitetään kylmäkoneikon pääosat.

1. Höyrystin
2. Kompessori
3. Lauhdutin
4. Paisuntaventtiili



Kuva 3. Periaate kylmäkoneikko pääkomponenteista

Höyrystimen tehtävänä on sitoa ympäristössä olevasta ilmasta tai nesteestä lämpöä itseensä. Kompressori tekee työn kylmäkoneikkossa, se laittaa kylmäaineen liikkeelle. Höyrystimeltä tuleva kylmäaine on täysin höyrystynyt, ja kompressori puristaa kylmäaineen korkeaan paineeseen ja tämän jälkeen kylmäaine siirtyy lauhduttimelle. Lauhduttimessa kylmäaineen täytyy olla noin 10 astetta lämpöisempää kuin ympäristön. Paisuntaventtiili tiputtaa kylmäaineen paineen niin, että se on höyrystimelle sopivan lämpöistä. [5]

Kylmäkoneikon energiataseen kaava:

$$Q_{La} = Q_{Hö} + W_{Ko} \quad (1)$$

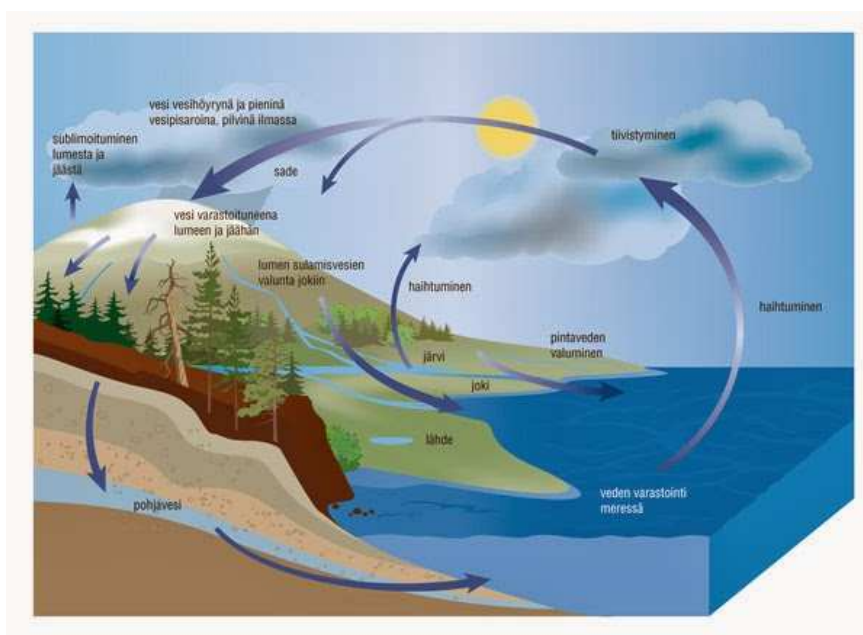
Q_{La} on lauhduttimen luovuttama lämpö

$Q_{Hö}$ on höyrystimen sitoutuva lämpö

W_{Ko} on kompressorin tekemä työ

5 Sadeveden määrä

Sade syntyy, kun aurinko lämmittää vesistöjä. Vesistöistä vesi haihtuu ilmaan, ja nousee konvektion ansiosta ylöspäin. Tämän jälkeen ilmakehässä haihtunut vesi tiivistyy ilmassa ja syntyy sadetta. Kuvassa 4 on esitetty veden kierto.



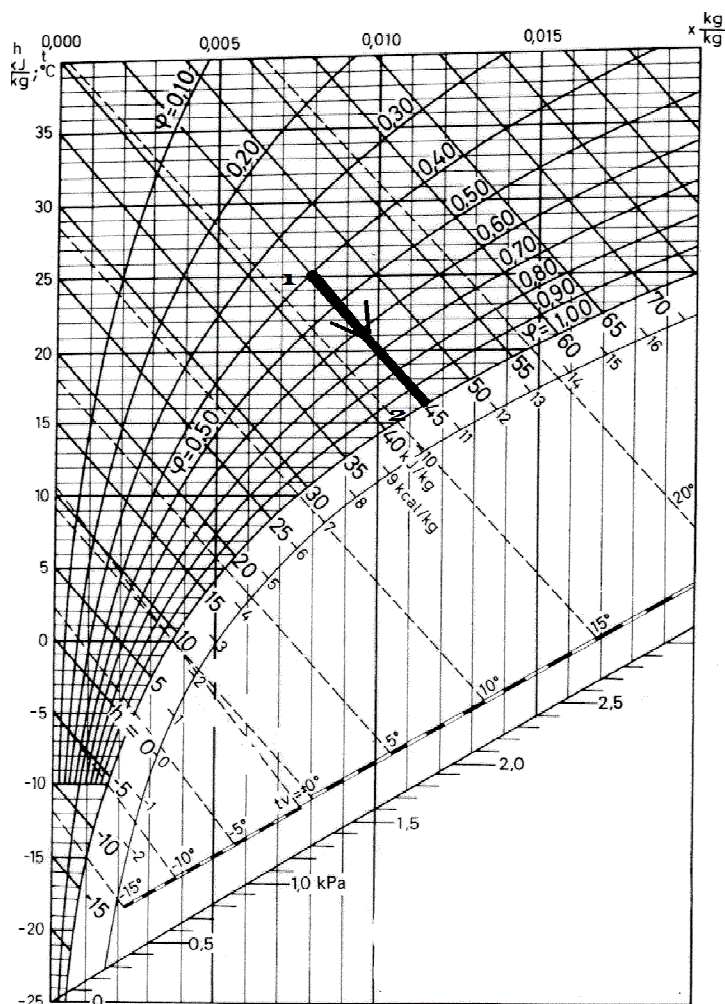
Kuva 4. Veden kierto [3]

Ilmatieteen laitoksen sivuilta löytyy tietoa Suomen vuotuisen sadeveden määristä. Kuvassa 6 nähdään koko Suomen vuotuiset sadevesimäärät. Kuvassa 7 nähdään, että vuonna 2014 toukokuu-elokuun välisenä aikana Helsingissä satoi noin 250 mm.

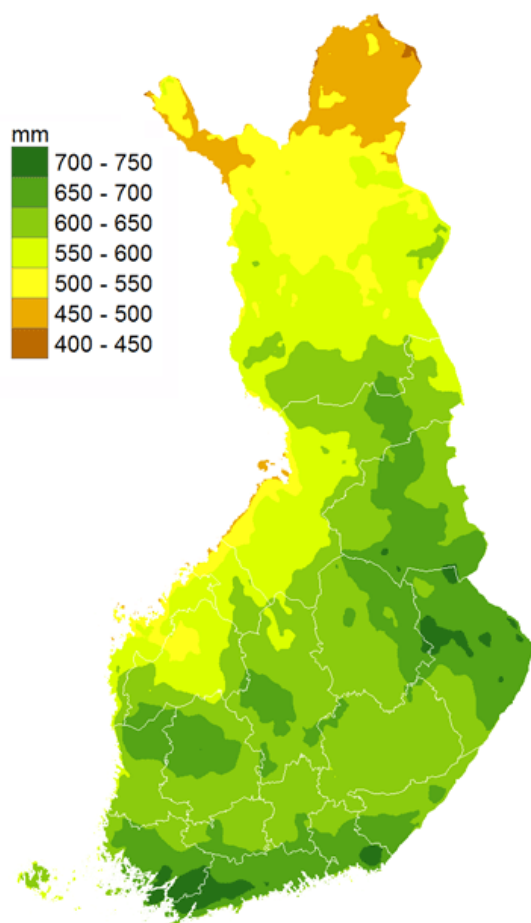
Päivittäisen sadeveden määrän tarkka ennustaminen on vaikeaa, sillä vettä ei sada jatkuvasti. Ilmatieteen laitos pystyy kuitenkin päivittäin ennustamaan tulevan sateen määrän.

Sadeveden lämpötila on yleensä hyvin lähellä ilman kosteaa lämpötilaa, joka riippuu suhteellisesta kosteudesta. Suomen oloissa sadeveden lämpötila on yleensä 0–10 °C kylmempi kuin ilman lämpötila. Kuvassa 5 on esitetty kostean ilman Mollier-piirroksella, kuinka ulkoilma jäähtyy, kun sataa vettä. Ilma jäähtyy kostutuksen avulla kohti kaste-pistettä. [6]

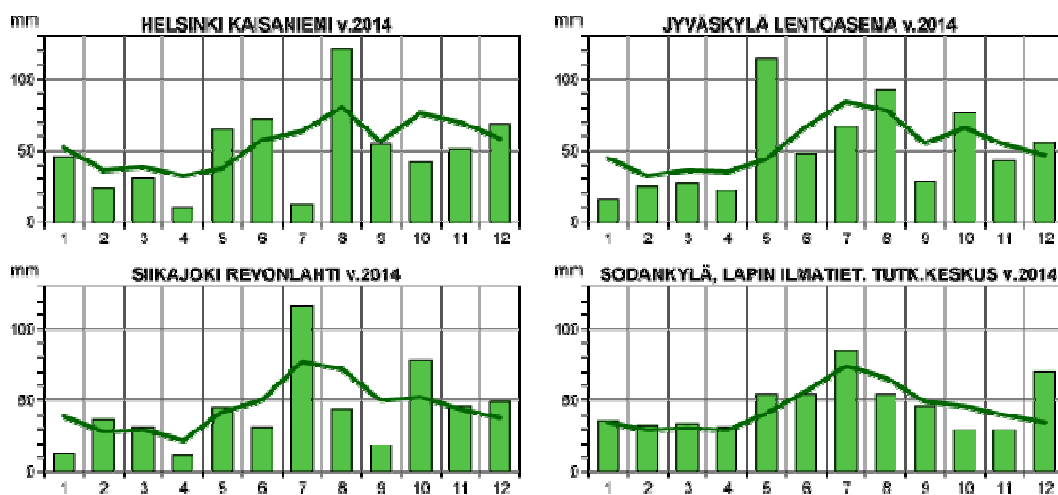
Kostutus tarkoittaa sitä, että vesi haihtuu ilmaan. Ilmankostutus tapahtuu seuraavanlaisesti: ilma jäähtyy, koska vedessä on paljon energiaa, joka sitoo itseensä lämpöä ja samalla ilman suhteellinen kosteus nousee.



Kuva 5. Kostean ilman Mollier-piirros



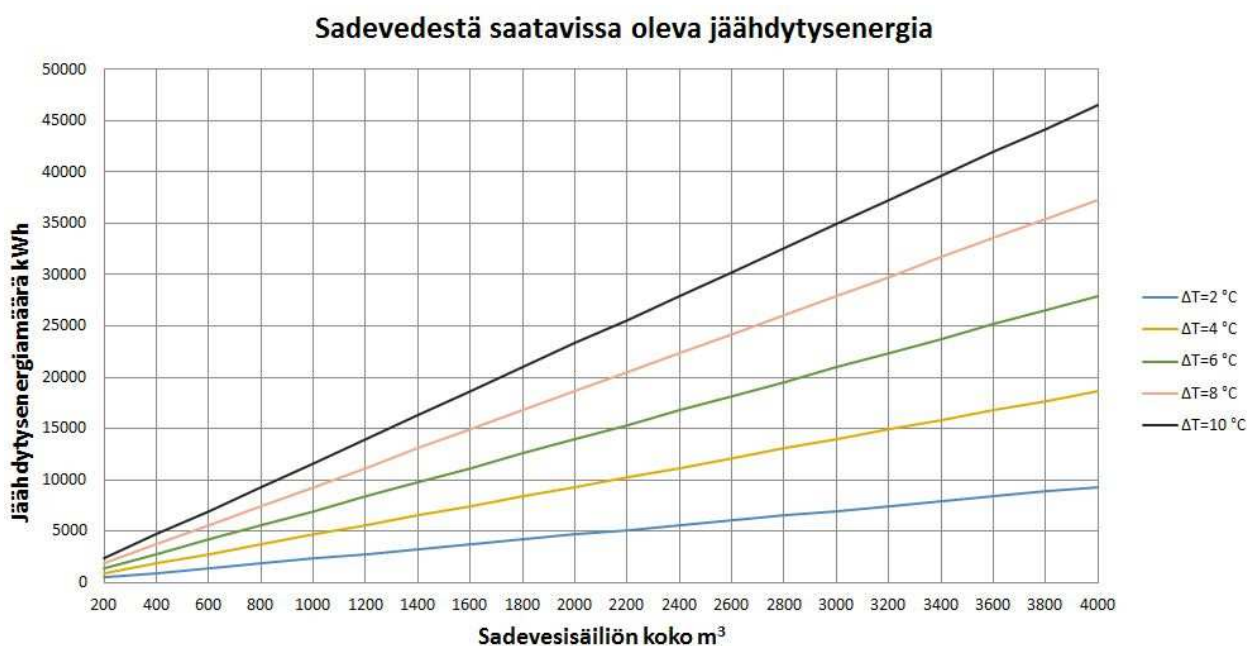
Kuva 6. Suomen keskimääräinen vuosisade (mm) [7]



Kuva 7. Vuosisademäärä neljällä eri paikkakunnalla Suomessa vuonna 2014 [8]

6 Sadevedestä saatava energiansäästö

Suomessa vesisateet eivät ole jokapäiväisiä, ja voi olla viikkoja jolloin vettä ei sada lainkaan. Myös eri puolilla Suomea sademäärät vaihtelevat, kuten kuvassa 6 näkyy. Jotta sadevettä voitaisiin käyttää ja hyödyntää rakennuksen jäähdyttämiseen, täytyy rakentaa säiliö sadeveden varastointia varten. Säiliön tulisi olla mahdollisimman suuri ja syvällä maan alla, jotta maaperästä tuleva kylmyys pitää varastoidun veden viileänä. Säiliössä tulisi olla mahdollisuus kerätä kunnallistekniikan sadevesiviemäreistä sadevettä talteen. Näin säiliö täyttyisi nopeammin, ja pidemmät sateettomat kaudet eivät estäisi jäähdytysjärjestelmää toimimasta. Kuvassa 8 on esitetty, miten eri lämpötilaeroilla saadaan sadevesisäiliöstä jäähdytysenergiaa.



Kuva 8. Sadevesisäiliöstä saatava jäähdytysenergiämäärä eri lämpötilaerojen mukaan

Säiliön jäähditysenergia määrä voidaan laskea seuraavalla kaavalla:

$$Q = \frac{V \cdot \rho \cdot c_p \cdot \Delta T}{3600} \quad (2)$$

Q on energiamäärä kWh

V on tilavuus m³.

ρ on sadeveden tiheys $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$.

c_p on veden ominaislämpökapasiteetti $4,2 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}$.

ΔT on sadeveden lämpötilaero °C

Esimerkiksi jäähditysenergian tarve on 5 000 kWh. Tämä saavutetaan lämpötilaeron ollessaan $\Delta T = 4 \text{ }^\circ\text{C}$, ja säiliön koko on noin 1 075 m³. Jos säiliössä oleva sadeveden lämpötilaero olisi $\Delta T = 10 \text{ }^\circ\text{C}$, niin 1 075 m³:n säiliöstä saisi 12 516 kWh.

Satavan veden määrää on vaikea ennustaa, mutta suuntaa antavia arvioita voidaan tehdä tutkimalla aiempien vuosien sadetilastoja.

Sadevedestä saatava jäähditysenergian hyöty jää hyvin pieneksi, sillä sadeveden käyttöön rakennuksen jäähdyttämisessä tarvitaan erittäin suuri säiliö, johon varastoitaisiin kaikki talvella ja keväällä lumesta syntynyt sulamisvesi.

7 Maakylmän ja lumijäähdytyksen vertailu

Maalämmön talteenotossa käytetään maahan varastoitua lämpöä hyväksi. Maalämpöä voidaan myös käyttää maakylmänä energiamuotona. Siinä käytetään hyväksi maakylmän vakiolämpötiloja, joista saadaan laadukasta jäähdytysenergiaa. Porakaivon syvyyden ollessa 100 metriä saadaan noin 5–7 °C:n lämpöistä nestettä ja noin 200 metrin syvyydestä kaivosta noin 6–9 °C:n lämpöistä nestettä. Maakylmässä jäähdytysmenetelmässä liuosneste kulkee aluksi lämpökaivon kautta maahan, ja se luovuttaa liuosnesteestä lämpöä maaperään ja samalla liuosneste viilenee. Tämän jälkeen liuosneste nousee takaisin ylöspäin kohti rakennusta ja kulkeutuu lämmönvaihtimelle, josta viileä liuosneste luovuttaa viileää lämpöä rakennuksen jäähdytysverkostoon. Maakylmän käyttö energiamuotona on melkein päästötöntä, jos se toimii täysin vapaana jäähdytyksenä. Kylmäkonetta voidaan myös käyttää antamaan lisätehoa maakylmän jäähdytysenergian tuottoon. Kylmäkoneen käyttö toki lisää käytettävän sähkön ja energian määrää, kylmäkone kun itsessään vie jo paljon energiaa. [9]

Maalämpö on erittäin hyvä ratkaisu jäähdytykseen, varsinkin jos sitä voidaan käyttää hyödyksi rakennuksen lämmitykseen lämmityskaudella. Japanissa Lawson-niminen yritys on käyttänyt molempia ratkaisuja: maalämpöä rakennuksen lämmitykseen, ja maakylmää silloin, kun jäähdytykselle on tarvetta. Kyseinen yritys hyödyntää myös lumivarastointia ja lumen käyttöä jäähdytyksessä. Enemmän Lawsonin ratkaisusta on kerrottu luvussa 8.3 Elintarvikeyritys Japanissa.

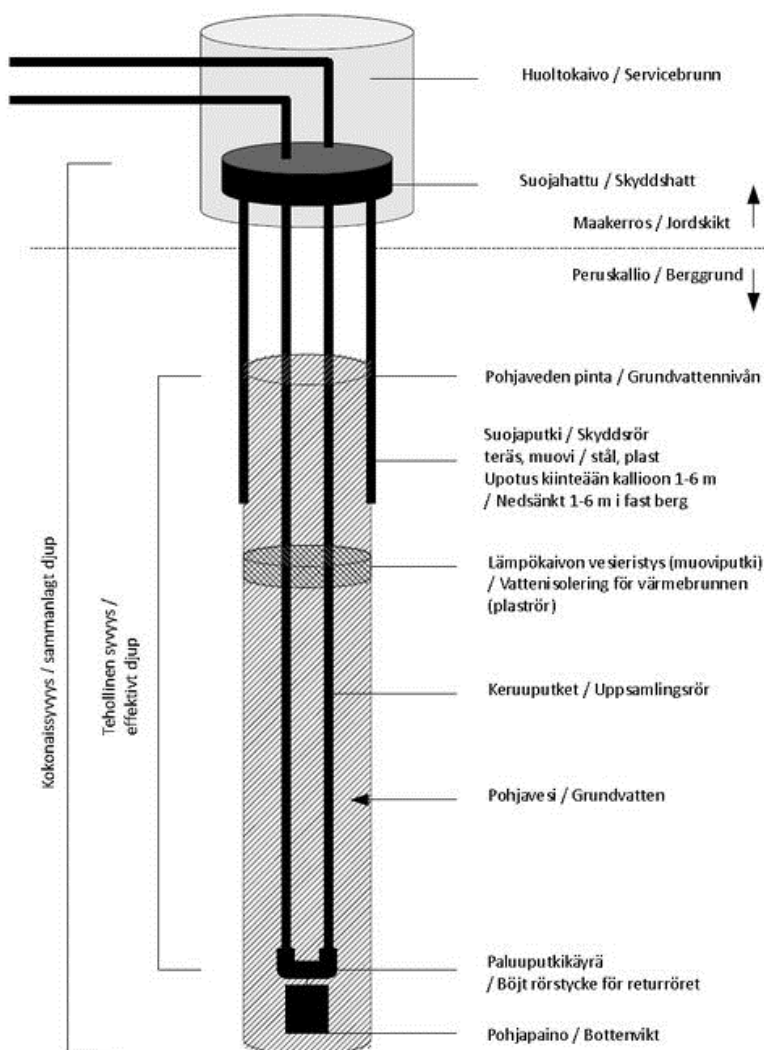
Maakylmän käytössä alkuiinvestointi on korkeampi kuin lumijäähdytyksen käytössä. Maakylmässä joudutaan poraamaan monia energiakaivoja, joista saadaan rakennukseen jäähdytysenergiaa. Maakylmän energian käytöstä aiheutuvia kuluja ovat huoltokustannukset sekä mahdolliset laiterikot että vedenjäähdytyskoneen sähkönkulutus. Kuvassa 9 esitellään lämpökaivon rakenne.

Lumijäähdytyksessä investointi riippuu lumivarastoinnin ratkaisumallista ja lumivaraston koko vaikuttaa hintaan. Mitä suurempi lumivarasto on käytössä, sen suurempi hyöty siitä myös saadaan. Kuvassa 15 näkyy lumivarastosta saatava jäähdytysenergia verrattuna lumivaraston kokoon. Lumijäähdytyksen käytöstä aiheutuu kuluja huoltokus-

tannuksista, mahdollisen keinotekoisien lumen tekemisestä sekä puusilpusta, jota käytetään varastojen eristeenä.

Maakylmän energian jäädytyskoneet käyttävät runsaasti sähköä, joten hyötysuhde lumijäädytykseen verrattuna on heikompi. Lumijäädytykseen käytetään sähköä vain talvisin, jos on tarvetta varastoida keinotekoisia lunta, joten energia, ja sähkökustannukset pysyvät matalina.

Lämpökaivon rakenne / Uppbyggnad av en värmebrunn



Lähde / källa: Ympäristöopas "Lämpökaivo, maailmämön hyödyntäminen pienialoissa", Suomen ympäristökeskus 2009 / Miljöguiden "Energiöbrunnär, utnyttjande av jordvärme i småhus", Finlands miljöcentral 2009.

Kuva 9. Lämpökaivon rakenne [10]

8 Sulamislumen hyödyntäminen

Lumivarastoon kerätty lumi voidaan hyödyntää sulamislumena ja näin jäähdyttää rakennuksia. Ohjaamalla lumesta syntynyt vesi lumivarastosta suodattimien ja pumppujen kautta jäähdytysjärjestelmään hyödynnetään vapaajäähdytystä.

Eri puolilla maailmaa, esimerkiksi Ruotsissa, Japanissa, Yhdysvalloissa ja Kanadassa, on monia toteutuksia, joissa on käytetty lumivarastointia ja jäävarastointia hyödyksi jäähdytystarkoituksessa. Pelkästään Japanissa on 30 vuoden aikana ollut 100 erilaista projektia [11]. Suomessa lumi- ja jäävaraston käyttöä jäähdytysratkaisuna ei ole vielä toteutettu.

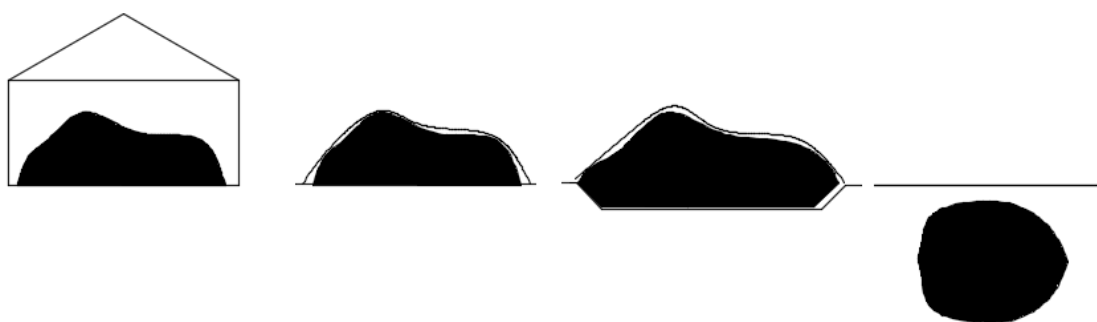
8.1 Lumivarastointi vaihtoehtoja

Lumivarastoinnissa voidaan käyttää pääsääntöisesti neljää erilaista mallia. Ensimmäinen vaihtoehto on erillinen rakennus, jossa tulee olla hyvin eristetyt seinät, lattia sekä katto. Hyvä eristys estää tehokkaasti jäähdytysenergian karkaamisen.

Toinen lumivarastointivaihtoehto on kasata suuria lumikasoja maahan, jotka peitetään hakkeella tai eristepeitolla. Kolmas vaihtoehto on lumiallas, joka voidaan rakentaa betonista, ja se tulee eristää hyvin, ettei sulava lumi pääse valumaan vetenä maaperään. Altaaseen kasattavan lumen päälle laitetaan tässäkin vaihtoehdossa haketta tai eristepeitto.

Neljäs vaihtoehto lumivarastointiin on hankkia varastointitila maan alta, esimerkiksi kallion sisältä. Tämä vaihtoehto on paras vaihtoehto, jos otetaan huomioon lämpökuormat. Kallio suojaa varastoitua lunta joka suunnasta, ja tuuli ja sadevesi sekä auringsäteily eivät pääse kosketuksiin lumen kanssa. [11]

Kallioon täytyy kuitenkin louhia lunta ja teknisiä tiloja varten suuret tilat. Kallioulouhinta tiedetysti on erittäin kallista. [19] Kaikki varastointivaihtoehdot on esitelty kuvassa 10.



Kuva 10. Lumenvarastoinnin neljä erilaista mallia [11, s. 5]

8.2 Sundsvallin sairaala, Ruotsi

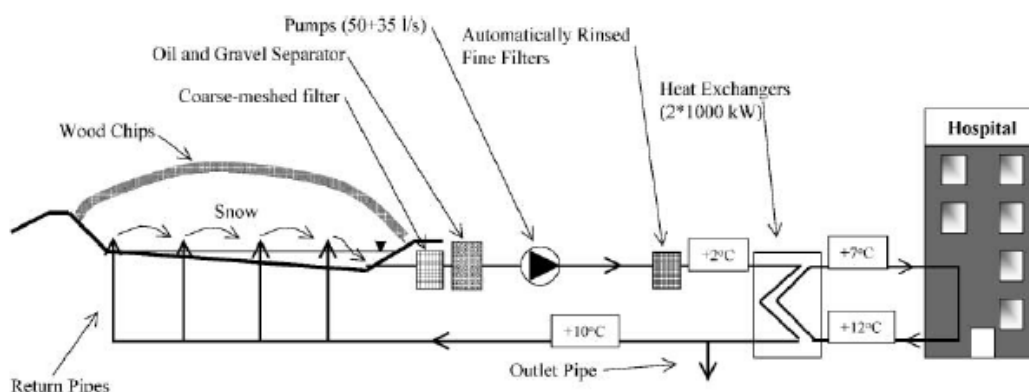
Keski-Ruotsissa sijaitsevassa Sundsvallin sairaalassa rakennuksen jäähdytys hoideetaan kesäisin lumijäähdytyksellä. Sairaalan pinta-ala on 190 000 m². Sairaalan jäähdytyskautena tarvittava jäähdytysenergian kysyntä on 1000 MWh ja maksimi jäähdytystehon tarve on 1500 kW. [11]

Vuodesta 2000 lähtien sairaalassa on käytetty sulamislunta rakennuksen jäähdytykseen. Lumen varastointialueen koko on 140 x 60 metriä ja korkeus 9 metriä, ja sen kapasiteetti on 60 000 m³, joka vastaa noin 40 000:ta tonnia lunta. Lumivarasto on rakennettu matalaan kuoppaan, jossa on vesitiivis asfaltti. Keväällä, ennen kuin alkaa lumensulaminen, lumivarasto peitetään puuhakkeella. Tämä ratkaisu hidastaa lumen sulamisnopeutta noin 20–30 %. Hake estää auringonsäteilyn sulattamasta lumikasaa ja hake myös imee sulamisvettä itseensä, näin se myös hidastaa veden haihtumista. [11]

Ensimmäisenä lumivaraston käyttöönottovuonna lumivaraston kapasiteetti oli 30 000 m³, joka vastaa noin 20 000 tonnia lunta. Lumen tiheys vaihtelee välillä 500–650 kg/m³. 30 000 m³ jäähdytysenergiaa on noin 2 000 MWh.

Lumen sulaessa sulamisvesi lähtee liikkeelle ensiöpiirissä kohti suodattimia. Suodattimien tehtävänä on poistaa hake. Suodattimien jälkeen vesi valuu öljyn- ja hiekanerotimiin. Tämän jälkeen tulee pumppu, joka pitää sulamisveden kierron päällä. Pumppujen virtaamat ovat 50 l/s ja 35 l/s. Pumppujen jälkeen on hienosuodatin. Hienosuodatin puhdistuu itsekseen sulamisveden virtaaman avulla. Lämmönsiirtimien tehot ovat

1000 kW ja 2000 kW. Toisiopiirissä jäähdytysvesi jatkaa jäähdytettävään rakennukseen. [11] Kuvassa 11 on Sundsvallin sairaalan lumijäähdytyksen kytkentäperiaate.



Kuva 11. Lumivaraston toiminta Sundsvallin sairaalassa [11 s. 89]

Seuraava taulukko kuvassa 12 yrityksen Snowpower ab tekemiä mittauksia ja laskelmia tuloksesta lumijäähdytyksestä Sundsvallin sairaalasta. Taulukosta näkee hyvin, että lumen osuus kokonaisjäähdytyksestä ensimmäisenä käyttöönottovuotena on 93 %. [12]

	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Jäähdytyskausi	6.6-29.8	26.3-22.8	25.4-29.8	6.5-17.8	28.4-3.9	22.4-19.9
Lumen määrä m^3	18 800	27 400	40 700	36 800	35 400	39 900
Keinotekoisien lumenosuus %	49 %	59 %	57 %	38 %	52 %	70 %
Kaikki jäähdytysenergia MWh	655,5	1159,1	1345,3	1068,4	870,5	941,9
Lumen osuus jäähdytysenergiasta %	93 %	77 %	84 %	84 %	92 %	92 %
Maksimi jäähdytysteho kW	1366	1648	2004	2034	1919	1995
Maksimi lumenjäähdytysteho kW	1366	1148	1873	1508	1594	1610
COP, lumi	4,3	11,2	17,2	6,2	5,7	6,1
Cop, lumi /kompressori	2	3,3	6,6	2,6	2,4	3,1

Kuva 12. Lumialtaan tulokset Sundsvallin sairaalasta (Snowpower 2014b)

Vuonna 2010 Sundsvallin sairaalaan tehtiin laajennus ja samalla lumivarastoa laajennettiin. Tämän jälkeen lumijäähdytys on pystynyt hoitamaan jopa 100 % koko kesän jäähdytysenergiatarpeesta. Vuoden 2010 laajennuksen jälkeen jäähdytysteho on 3 000 kW ja jäähdytysenergian tarve 3 000 MWh [12]

8.3 Elintarvikeyritys Japanissa

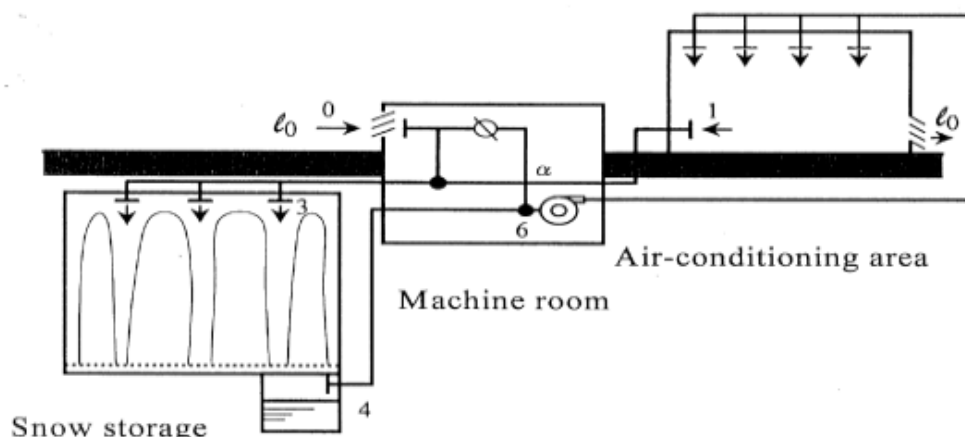
Japanissa on elintarvikeyritys nimeltään Lawson inc. Osassa tämän ketjun marketeista on käytetty jäähdytysratkaisuna lumivaraston ja maalämmön yhdistelmää. Maalämpö toimii talvella rakennusten lämmitysmuotona. Maalämmössä käytettävän porakaivon syvyys on noin 100 metriä. Porakaivossa lämpötila pysyy tasaisena, noin 17-asteisena ympäri vuoden. Tämä toimii hyvin lämmitykseen ja jäähdytykseen.

Porakaivon tuottama maakylmä kattaa noin 30 % jäähdytystarpeesta, ja satojen tonni- en lumivarasto hoitaa lopun jäähdytystarpeen. Lumivarasto on erillinen rakennus, johon talvella alueelle tulevat lumet siirretään. Tässä kohteessa ei tarvitse erikseen käyttää sähköä lumen tuottamiseen tai erillistä jäähdytyskonetta, sillä maakylmä ja lumivarasto riittävät. [14]

8.4 Lumivarasto jäähdytettävän rakennuksen sisällä

Japanissa on käytössä myös tekniikka, jossa käytetään sekä lumivarastoa että ilma- jäähdytystä. Lumivarastot sekä ilmapuhaltimet sijaitsevat rakennuksen sisällä. Lumi on varastoitu rakennuksen alla oleviin tiloihin tai ensimmäiseen kerrokseen. Tässä jäähdytysratkaisussa lämmin ulkoilma tuodaan lumivarastoon, jossa on pieniä pystysuuntaisia tunneleita. Tunneleissa ilma mahtuu kulkemaan pienellä ilmavirtauksella. Ilma kulkee lumivaraston läpi ja tulee jäähtyneenä ilmanvaihdon sekoitusyksikköön. Sekoitusyksikön jälkeen ilma jatkaa toimistotiloihin ja jäähdyttää näitä tiloja.

Toimistorakennuksen jäähdytyspinta-ala on 11 000 m². Lumivaraston koko on noin 7 000 tonnia lunta. Lumi on varastoitu kahteen eri tasoon, ja lumesta saatu maksimi jäähdytysteho on 1 000 kW. [11] Seuraavassa kuvassa numero 13 on kytkentäperiaate, jossa on esitetty edellä mainittu jäähdytysratkaisu.



Kuva 13. Lumijäähdytys, jossa on pieniä virtauskanavia ilmalle [11, s. 8]. Kuvan alkuperäinen lähde Kobiyama 1997.

8.5 Sapporon lentokenttä, Japani

Japanissa Sapporon lentokentällä käytetään lumijäähdytystä. Lumivarastoalueen koko on $200 \text{ m} \times 100 \text{ m} \times 6 \text{ m} = 120\,000 \text{ m}^3$. Ensimmäisenä käyttöönottovuotena sen kapasiteetti oli $1\,390 \text{ MWh}$ jäähdytysenergiaa, mutta se ei ollut käytössä koko vuotta. Seuraavana vuonna saatiin jo $2\,222 \text{ MWh}$ jäähdytysenergiaa, ja maksimi jäähdytysteho oli $2\,500 \text{ kW}$. Japanin Sapporon lentokentän jäähdytysratkaisu on saanut inspiraatiota Sundsvallin sairaalan jäähdytysratkaisusta. [15, s. 198.]

8.6 Oslon lentokenttä, Norja

Norjassa Oslon lentokentän uusi terminaali valmistui vuonna 2013. Uuden terminaalin rakennuspinta-ala on $120\,000 \text{ m}^2$. Oslon uudelle terminaalille tulee lumijäähdytys, joka toimii samantalaisella periaatteella, kuin Sundsvallin sairaalassa. Aluksi talvella satavat lumet kerätään altaaseen, jonka kokonaistilavuus on $22\,000 \text{ m}^3$ lunta. Lumivarastoa hyödynnetään kesällä rakennuksen jäähdytykseen. Kun lumivarasto on käytössä, saadaan jäähdytysenergiaa, jopa $2\,000 \text{ MWh}$. Lumijäähdytys täydentää nykyistä jäähdytysjärjestelmää. [17]

8.7 Case: KONE Oyj

Hissivalmistaja KONE Oyj:n Hyvinkäällä sijaitsevaan tehdasalueeseen liittyen on tehty diplomityö (Lumen varastointi ja hyödyntäminen tilojen jäähdytykseen [19]). Diplomityössä on tarkasteltu lumijäähdytyksen mahdollisuuksia Koneen Hyvinkään alueelle. Työssä on käytetty hyödyksi Sundsvallin sairaalan lumijäähdytyksestä saatavia tietoja ja tutkimuksia. Tehdasalueen jäähdytysenergia määrä on noin 1 600 MWh, josta katettaisi 75 % lumella. Loppu jäähdytysenergia tulnaisi hoitamaan kompressorijäähdytyksellä. [19, s. 99.]

Taloudellisesti lumijäähdytys ei ollut kannattava päätös Hyvinkään tehdasalueelle. Syitä tähän ovat esimerkiksi se, että tehdasalueella on hyödyllistä tilaa, johon tehdas tulevaisuudessa pystyy laajentumaan. Muita syitä ovat vähälumiset talvet, jotka tekevät lumijäähdytyksestä kannattamattoman. Runsaslumisina talvina lumenjäähdytysjärjestelmän kannattavuus nousee. Työssä on myös laskettu investointikustannuksia, niiden suuruutta ja niitä on verrattu säästöihin, joita lumijäähdytys tuottaa. Ne todetaan ongelmaksi. Takaisinmaksuajaksi on saatu 16 vuotta nollakorolla ja investointituilla. Lainan takaisinmaksuaika sekä epävarmuudet toiminnassa lisäävät riskejä jäähdytysjärjestelmän muutoksiin. Lumijäähdytyksestä Suomessa ei ole kokemusta, joten sen toimivuudesta ja huoltotöistä, joita järjestelmä vaatii, ei ole tarkkaa tietoa. [19]

Diplomityön tehnyt Jukka Heino toteaa lumijäähdytyksen ympäristöllisesti kannattavaksi. Myös imago, jota lumijäähdytyksen käyttö yritykselle tuo, voidaan katsoa positiiviseksi hyödyksi. [19, s. 99.]

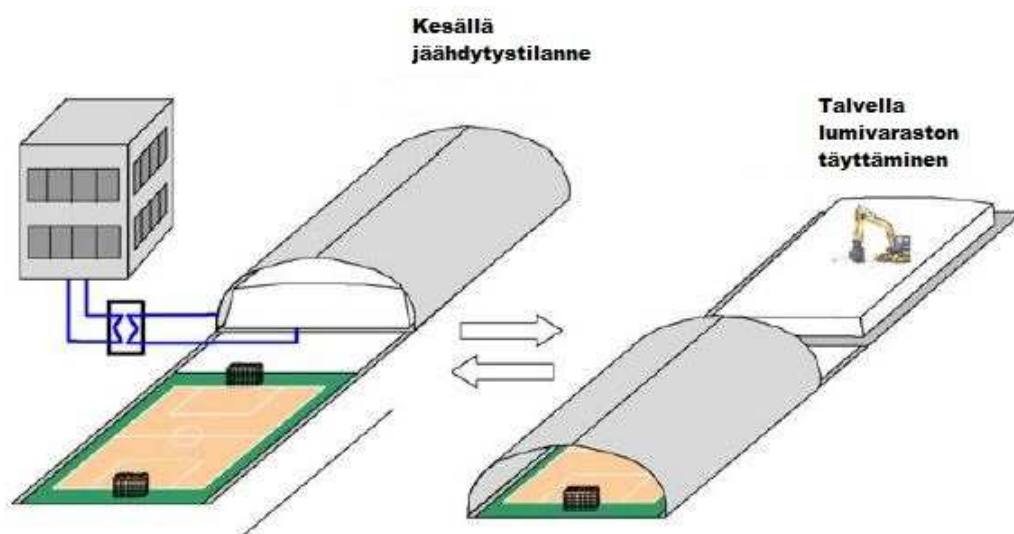
8.8 Siirrettävä katto lumivarastossa

Japanissa, Oshun kaupungissa, Iwaten hallintoalueella on toteutettu pienessä mittakaavassa lumivarastointijäähdytys. Samanlaista järjestelmää pyritään käyttämään pienissä ja keskisuurissa kaupunkiympäristöissä. Auratut lumet on helppoa kasata keskeisille paikoille ja samalla hyödyntää sitä jäähdytykseen.

Tässä jäähdytysjärjestelmässä on lumivaraston päällä siirrettävä kupolin muotoinen katto. Siirrettävä katto liikkuu kiskoilla. Varastointialue on jaettu kahteen osaan. Toinen

alueista toimii kesällä esimerkiksi jalkapallo- tai tenniskenttänä. Talvella satava lumi kerätään kentän toiselle puoliskolle ja kevään alkaessa hallin siirrettävä katto siirretään lumialueen päälle. [21, s.178.]

Varastoitu lumi toimii kesällä rakennuksen jäähdytysjärjestelmänä. Kuvassa 14 on esitetty tämä ratkaisumalli. Lumivaraston koko on kokonaisuudessaan 840.3 m^3 , josta 612 m^3 voidaan käyttää lumen varastointiin. Varasto on eristetty käyttäen uretaanivaahtoa. Uretaanivaahdon paksuus riippuu ilmansuunnasta. Katossa vahtokerros on paksuin, ettei auringon tuottama lämpö pääse sulattamaan lunta. Maan alla sijaitsevassa pohjassa eristys on ohuimmillaan, maasta nouseva viileys ei sulata lunta yhtä tehokkaasti kuin aurinko ja tuuli. Pohjoinen ja eteläinen seinä on myös eristetty kevyesti, kun taas itäinen ja läntinen seinä vaativat paksumman eristeen johtuen auringonliikeradasta sekä muista lämpökuormista. [21, s.179.] Kuvassa 16 esitellään kaikki lumivarastoon vaikuttavat lämpökuormat.



Kuva 14. Siirrettävä lumivarasto [21, s. 179.]

8.9 Lumesta saatava jäädytysenergian laskeminen

Lumen avulla saadaan tuntuvasti enemmän jäädytystehoa kuin pelkällä sadevedellä. Lumesta saatavilla oleva jäädytysenergia saadaan laskemalla seuraavasti. [11, s. 64]

$$E = (0 - T_1)C_p \text{ Lumi} + L + (T_2 - 0)C_p \text{ Vesi} \quad (3)$$

L tarkoittaa lumen sulamiseen käytettävää energiamäärää, joka on $333,6 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$. [13, s. 2]

E on jäädytysenergia $\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$

T_1 on lumen lämpötila °C.

T_2 on sulamisveden lämpötila °C

$c_p \text{ Vesi}$ on ominaislämpökapasiteetti vedelle $4,2 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}$.

$c_p \text{ Lumi}$ on ominaislämpökapasiteetti lumelle, joka on $2,1 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}$

Seuraavalla kaavalla voidaan laskea lumen luonnollinen sulamisen [11 s. 67]

$$\Delta V = K * A * (T_1 - T_2) \quad (4)$$

ΔV on sulamisvedenvirtaama vuorokaudessa. $\frac{\text{m}^3}{\text{vrk}}$.

K on aste päiväväkio, jonka yksikkö on $\frac{\text{m}}{^\circ\text{C vrk}}$.

A on lumivaraston pinta-ala m^2 .

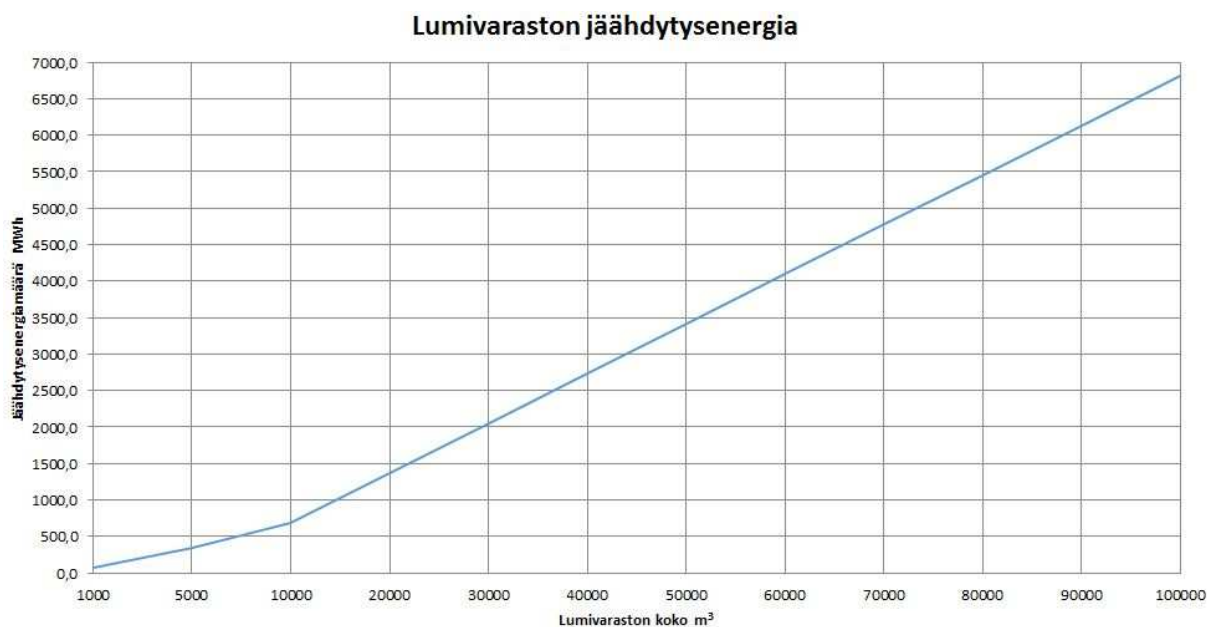
T_1 on ympäristön lämpötila °C.

T_2 on lumen lämpötila °C.

Kaavassa numero 4 on K kerroin, joka perustuu ilmatieteen kirjallisuuteen (SMHI, 2000) [11, s. 68.] Ulkolämpötila on ollessa +0 °C kerroin K on $0,003 \frac{\text{m}}{^\circ\text{C vrk}}$. Huhtikuusta

eteenpäin kerroin K on $0,011 \frac{\text{m}}{^\circ\text{C vrk}}$.

Lumesta saatava jäähditysenergian määrä ilman häviöitä on esitetty kuvassa 15. Käyrästöön on syötetty seuraavat arvot; Lumentiheys on 650 kg/m^3 , ennen sulamista lumen lämpötila on $-5 \text{ }^\circ\text{C}$. Lumi sulaa, ja lumen sulamisesta saadaan jäähditysenergiaa. Tämän jälkeen lämmönsiirtimessä sulamisvesi lämpenee $+8 \text{ }^\circ\text{C}$.

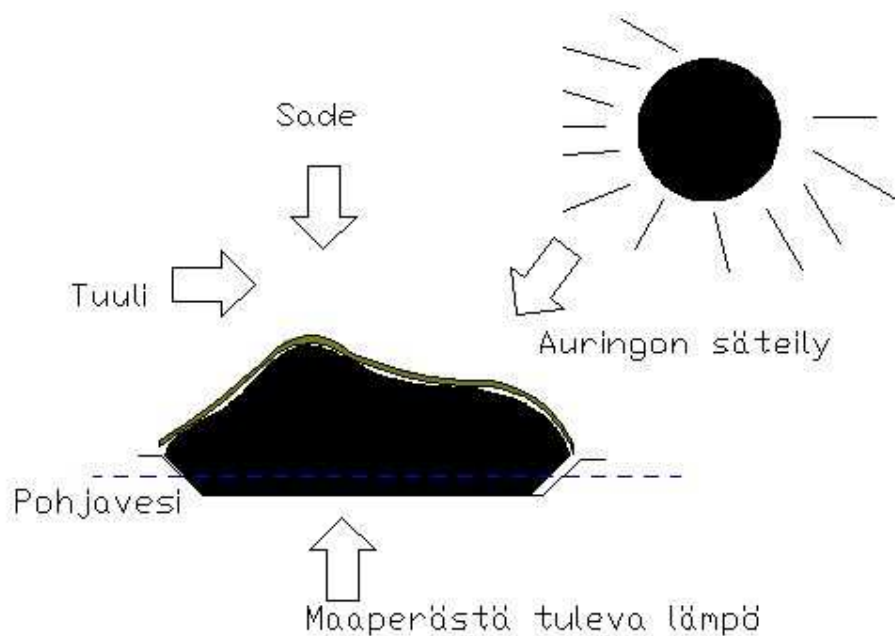


Kuva 15. Lumivaraston jäähditysenergia

Hyvänä nyrkkisääntönä voidaan pitää, että 1000 kg lumelta saadaan noin 100 kWh jäähditysenergiaa, kun sulamisvesi lämpenee 6 asteeseen.

9 Lumivarastoon kohdistuvat lämpökuormat

Lumivaraston kohdistuu useita lämpökuormia. Tuulisella säällä lumivarastoon kohdistuva lämpökuorma kasvaa. Tuulennopeus yhdistettynä ympäristön lämpötilaan, joka useimmiten on lumen lämpöä korkeampi, kuormittavat varastoa ja sulattavat lunta nopeasti. Sateella lumivarastot alkavat sulaa, jos lumivarasto ei ole katettu, sillä sadevesi on varastoitua lunta lämpimämpää. Sadevesi on lumivarastojen kannalta pahin rasite. Aurinko lämmittää ja sulattaa lumivarastoja varsinkin kesällä. Lumivaraston ollessa vesitiivis ja eristetty ei pohjavesi pääse lämmittämään maan kautta varastoitua lunta. Pohjaveden liikehdintä myös voi sulattaa lunta, mutta tähänkin auttaa se, että varasto on hyvin eristetty. Lämpökuormat on esitelty kuvassa 16.



Kuva 16. Lumivarastoon kohdistuvat lämpökuormat [11, s. 6]

10 Alueellinen jäähdytys lumivarastoja hyödyntäen

Alueellisessa jäähdytyksessä samaan jäähdytysverkostoon yhdistetään useampi rakennus. Rakennuksien jäähdytys pystytään näin hoitamaan yhdestä paikasta. Lumivarastolle pitäisi löytää mahdollisimman hyvä paikka, joka mieluiten olisi rakennettu kallion sisälle. Lähialueilta kerätään lumet kallion sisälle varastotilaan. Kun lämpiminä vuoden aikoina rakennuksen tarvitsevat jäähdytystä, käynnistyy jäähdytysjärjestelmä.

Lumella jäähdyttäessä suunniteltaessa tulee ottaa huomioon mahdolliset vähälumiset talvet sekä varautua, että lumi voidaan joutua tekemään keinotekoisesti. Keinotekoisien lumen tuottamista varten täytyy ottaa huomioon siihen kuluva energia ja kustannukset.

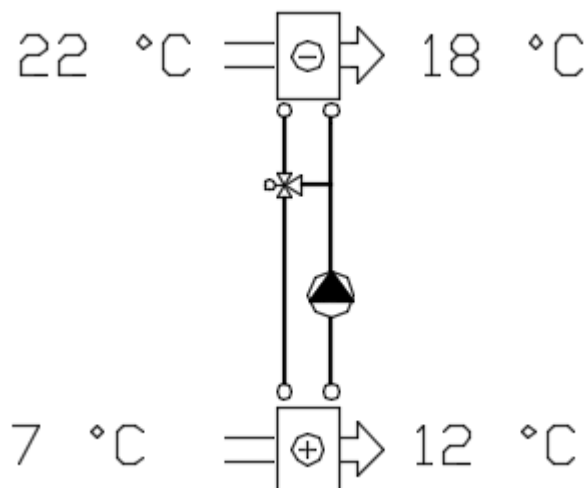
Alueellinen lumijäähdytys sopii alueille, joihin ei ole saatavilla kaukokylmää sekä laaja-pinta-alaisille alueille, kuten lentokentille ja kauppakeskuksiin. Myös teollisuusalueilla lumijäähdytystä voisi käyttää osana jäähdytysjärjestelmää.

Helsingin kaupunki on jo jonkin aikaa suunnitellut lumiluolia. Lumiluoliin kerättäisiin talvella kaupunkista aurattavat lumet talteen. Lumet kuljettaisiin lumiluoliin ja hyödynnettäisiin kaukojäähdytykseen. Lumiluolien käyttötarkoituksena olisi myös, että kuljetusmatkat olisivat lyhyempiä ja ettei aurattua lunta kaadettaisiin vesistöihin. Vesistöihin kaadettava ylimääräinen lumi aiheuttaa ympäristökuormaa ja rasittaa Itämeren. [18]

Helsingin kaupunki on kuitenkin selvityksissään todennut, että lumivarasto kallioon sisään louhittavana ei ole kannattava. Kallion sisään rakennettu lumivarasto on kallis, jolloin takaisinmaksuajaksi on arvioitu olevan yli 100 vuotta. [19, s. 35.]

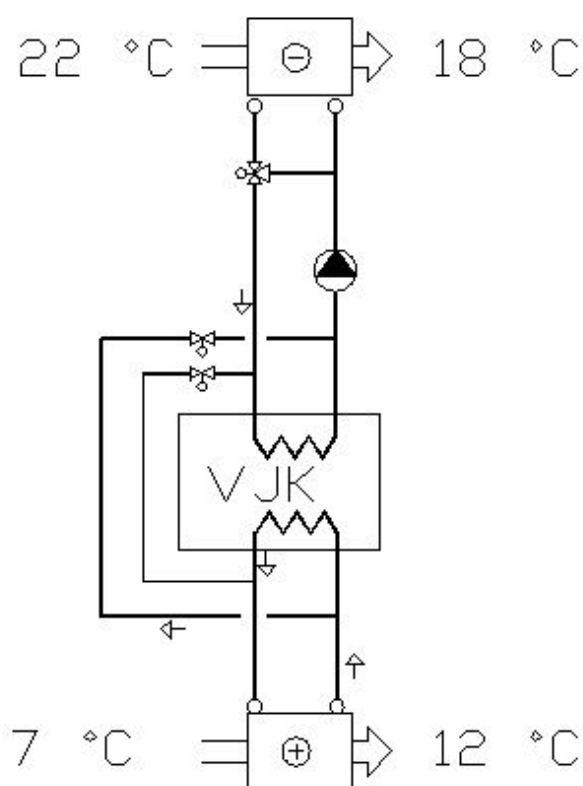
11 Erilaisia kytkentäperiaatemalleja

Tässä kohtaa on esitetty erilaisia kytkentäperiaatteita jäähdytykseen. Kuvassa 17 on esitetty vapaajähdytyksen kytkentäperiaate.



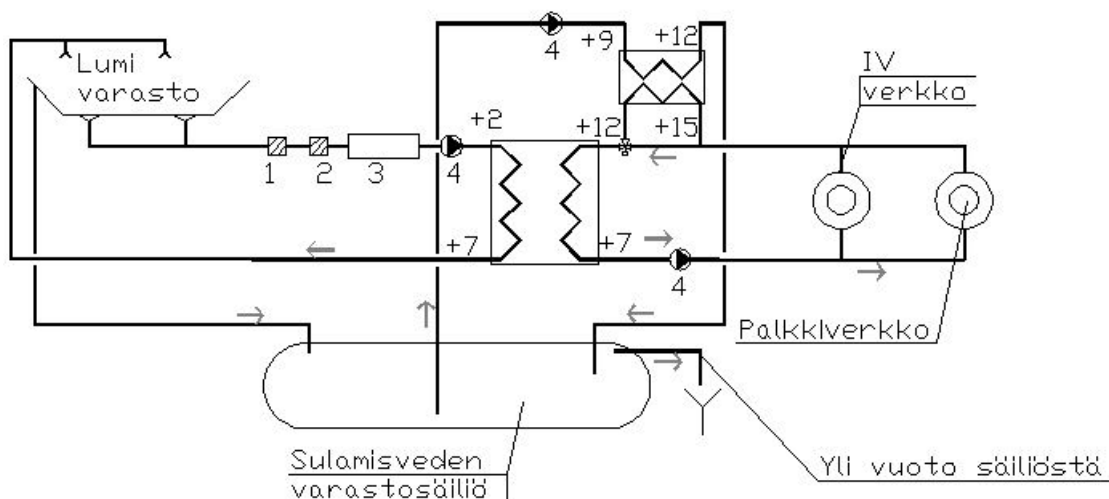
Kuva 17. Kaavio, vapaajähdytys

Vapaajähdytyksessä energiankulutus syntyy pumpun pyörimisestä ja ilmapuhaltimen käyttämästä sähköstä. Jäähdytysjärjestelmässä liuos kiertää lämmönsiirtimien läpi. Alemmassa lämmönsiirtimessä liuos vapauttaa ympäristöön lämpöä ja ylemmässä lämmönsiirtimessä sitoo lämpöä liuokseen. Kuvassa 18 on esitetty kytkentäperiaate vapaajähdytys- ja vedenjäähdytyskoneella.



Kuva 18. Vapaajähdytys, ja tarvittaessa vedenjäähdytyskone

Vapaajähdytyksen ollessa käynnissä venttiilit ovat auki. Kun jäähdytysenergian tarvetta ei saavuteta vapaajähdytyksellä, käynnistyy vedenjäähdytyskone ja samalla sulkeutuu vapaajähdytyksen venttiilit. Vedenjäähdytyskone käynnistyy, kun ympäristön lämpötila on liian suuri ja eikä saada aikaan tarpeeksi suurta lämpötilaeroa. Kuvassa 19 on esitetty lumijähdytyksen kytkentäperiaate.



Kuva 19. Kytentäperiaate, jossa on otettu hyötykäyttöön sulamisveden varastointisäiliö

Kytentäperiaatteessa lumijäähdytyksen toimintaperiaate on samanlainen kuin Sundsvallin sairaalassa. Tässä kytentäperiaatteessa olen kehittänyt alkuperäistä ratkaisua. Tässä ratkaisussa on tarkoitus ottaa lumijäähdytysvarastosta tuleva ylivuoto- sulamisvesi talteen. Sulamisveden varastointisäiliössä voidaan käyttää ensimmäisenä lämmönsiirtimenä, jossa menovesi on $+9\text{ °C}$ ja paluuvesi $+12\text{ °C}$. Tämän jälkeen sulamisvesi kulkeutuu kunnalliseen sadeviemäri verkostoon.

Sulamisveden säiliön lämpötila on arvattu, todellisen tarkan lämpötilan saa vain mittaamalla. Sulamisveden varastointisäiliössä on kuitenkin viileämpää kuin ulkoilmassa. Tätä voidaan myös käyttää jäähdytysverkon lisätehostamiseen, kuten kytentäperiaatteessa olen esittänyt. Ensimmäinen lämmönsiirrin toimisi korkeammalla lämpötilalla. Toinen siirrin, johon tulee lumivarastosta viileä sulamisvesi, jäähdyttää lopullisesti verkoston.

12 Lumi- ja sadevaraston hyödyt ja ongelmat

Lumivarastoinnin hyöty on ympäristöystävällisyys ja alkusijoitusten jälkeiset pienet kulut. Alkusijoitus, varastointipaikka sekä tekniset laitteet pumppausta varten ovat suurin menoerä, jos lumi- ja sadevarastoja aiotaan hyödyntää rakennusten jäähdytyksessä. Juoksevia kuluja aiheutuu sähköstä sekä huoltokustannuksista. Vähälumisina talvina keinotekoisien lumen tuottaminen vaatii myös lisäsähköä. Kuitenkin lumenvarastoinnin kustannukset ovat pienemmät kuin maakylyn käytössä.

Kaduilta aurattu ja kerätty lumi on likaista. Se täytyy puhdistaa ja suodattaa epäpuhtauksista ennen kun sulamisvesi pääsee pumppujen luokse. Epäpuhtaudet kuten öljy ja hiekka täytyy hävittää asianmukaisesti. Ympäristö ja luonto säilyvät puhtaina ja vesistöihin kohdistuvat rasitteet pienenisivät.

Sadevedenvarastoinnissa ei jäähdytysenergian kannalta ole suurta hyötyä, koska sadevedensäiliö pitäisi saada pysymään matalassa lämpötilassa, esimerkiksi alle 12 °C. Myöskään sadevedestä ei saada kovinkaan paljon jäähdytysenergiaa. 1 m³:n sadevedellä saadaan noin 9,3 kWh jäähdytysenergiaa, kun käytetään kaavaa 2 hyödyksi ja lämpötilaero on 8 °C.

13 Yhteenveto

Tällä hetkellä Suomessa ei ole käytössä sadevettä tai lumivarastoa käyttävää jäähdytysjärjestelmää. Ruotsissa on jo jonkin aikaa ollut käytössä lumijäähdytys. Se on toiminnut hyvin, ja monissa maissa hyödynnetäänkin Ruotsista saatavia tietoja ja tuloksia. Myös muualla maailmassa on menestyksekkäästi hyödynnetty lunta jäähdytystekniikkana. Japanissa lumisimmilla alueilla lumen käyttö jäähdytyksessä lisääntyy jatkuvasti kaupunkisuunnittelussa.

Suomessa lumen käyttö vaatisi enemmän tutkimuksia ja esimerkkiprojekteja, mutta uskon, että tulevaisuudessa rakennusten energiantarpeet pyritään toteuttamaan luontoystävällisemmin ja edullisemmin, lunta hyödyntäen. Suomessa järjestelmää voisi käyttää allasmallisena. Kallion sisään louhittu lumivarasto ei ole kannattava vaihtoehto, sillä louhintakustannukset ovat kalliit ja takaisinmaksuaika on pitkä.

Lumivarastoissa on tällä hetkellä vielä paljon olettamuksia ja vähälumisena talvena lumi täytyisikin valmistaa lumitykeillä keinotekoisesti. Keinotekoisien lumen tekemiseen kuluu energiaa, vettä ja sähköä.

Sadevesivarastointi ei laskelmien mukaan ole kannattavaa, sillä sadevedestä saatava energia on pieni ja sen toiminta on riippuvainen sääolosuhteista ja sademääristä. Toki sadevesivarastointiakin kannattaa tulevaisuudessa tutkia esimerkkiprojektina energiamittausten perusteella.

Tulevaisuudessa olisi mielenkiintoista tutkia lumijäähdytysratkaisua vielä syvemmin. Esimerkkiprojektin avulla saadaan suuntaa antava talousarvio. Toivon, että resurssit, joita esimerkkiprojekti vaatii, ovat joskus käsissäni. Ja toivonkin, että pääsisin mukaan työskentelemään ensimmäisessä suomalaisessa lumijäähdytysprojektissa.

Lähteet

1. Euroopan unionin virallinen lehti. 2009. s. 18. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2009/28/EY Energiatsehokkuudesta. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:140:0016:0062:fi:PDF> Luettu 11.2.2015
2. Euroopan unionin virallinen lehti. 2010. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2010/31/EU rakennuksen energiatahokkuudesta. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2010:153:0013:0035:FI:PDF> Luettu 18.3.2015
3. Vesikehä- kiertää ja kuljettaa. Veera http://brasilinflinland.blogspot.fi/2014/10/kpl-6-vesikeha-kiertaa-ja-kuljettaa_27.html Luettu 28.3.2015
4. Vapaajäähdytys. LVI kortti 16-10151. 1991. Verkkodokumentti, Rakennustieto.fi Luettu 20.2.2015
5. Kaappola Esko. 2014. Kylmätekniikka 2. Luentoaineisto.
6. Toppari Anna, ilmatieteen laitos. Sähköpostikeskustelu käyty, helmikuussa 2015.
7. Vuositilastot. 2014. Verkkodokumentti. Ilmatieteen laitos. <http://ilmatieteenlaitos.fi/vuositilastot> Luettu 5.3.2015.
8. Vuoden 2014 säät. 2015. Verkkodokumentti. Ilmatieteen laitos <http://ilmatieteenlaitos.fi/vuosi-2014> Luettu 5.3.2015.
9. Hanki hallitusti maalämpöjärjestelmä. 2011. Verkkoartikkeli. Motiva. http://www.motiva.fi/files/4764/Hanki_hallitusti_maalampojarjestelma.pdf Luettu 28.3.2015
10. Maalämpökaivo. 2014. Verkkoartikkeli. Loviisan kaupunki. <http://www.loviisa.fi/fi/palvelut/ymparistojuuonto/lupajailmoitusasiatm/maalampo> Luettu 31.03.2015.
11. Skogsberg Kjell, 2005. Seasonal Snow Storage for Space and Process Cooling. Väitöstutkimus. <http://epubl.luth.se/1402-1544/2005/30/LTU-DT-0530-SE.pdf> Luettu 10.3.2015

12. B.Nordell. 2015. Using ice and snow in thermal energy storage systems. Verk-
kodokumentti.
https://books.google.fi/books?id=_590AwAAQBAJ&pg=PA187&lpg=PA187&dq=Using+ice+and+snow+in+thermal&source=bl&ots=stDDJjKYVP&sig=CNKLy9O-_KgifgqwhgolCfvUOYs&hl=en&sa=X&ei=xyckVc-4CoH3sAG8-YHIBw&ved=0CCMQ6AEwAQ#v=onepage&q=Using%20ice%20and%20snow%20in%20thermal&f=false Luettu 25.03.2015
13. Skogsberg Kjell. 2000. The Sundsvall hospital snow storage. Tieteellinen verk-
kodokumentti. Sciencedirect,
<http://www.sciencedirect.com.ezproxy.metropolia.fi/science/article/pii/S0165232X00000215?np=y> Luettu 10.03.2015
14. Natural Energy that Supports Convenience Convenience Stores Open Every
Day of the Year. 2014. Trends in Japan. http://web-japan.org/trends/11_tech-life/tec140414.html Luettu 29.3.2015
15. Cabezza Luisa F. 2015. Advances in Thermal Energy Storage Systems: Meth-
ods and Applications. Verkkodokumentti.
https://books.google.fi/books?id=_590AwAAQBAJ&pg=PA198&lpg=PA198&dq=japan+sapporo+snow+cooling&source=bl&ots=stDDJjMVZP&sig=ooORiXc8frxqWuFV61-3UgHfr8s&hl=en&sa=X&ei=ky4kVdyhBMSnsgHDm4P4Dg&ved=0CB4Q6AEwADgK#v=onepage&q=sapporo&f=false Luettu 23.03.2015.
16. Renewable energy. Oslo Airport. Verkkoartikkeli.
<https://avinor.no/en/corporate/airport/oslo/community-and-environment/energi/#!fornybar-energi-5036> Luettu 01.04.2015
17. Susanne Junge. 2012. Snow will cool Oslo airport in the summer heat. Verkko-
artikkeli. cowi.com
<http://www.cowi.com/menu/NewsandMedia/News/Newsarchive/Pages/Snow-will-cool-Oslo-airport-in-the-summerheat.aspx> Luettu 6.4.2015
18. Helsinki kaavailee lumiluolaa Töölöön. Yle.fi. Verkkoartikkeli. 2012.
http://yle.fi/uutiset/helsinki_kaavailee_lumiluolaa_tooloon/5070068 Luettu 6.4.2015
19. Heino Jukka. 2015. Lumen varastointi ja hyödyntäminen tilojen jäähdytykseen,
CASE: KONE Oyj. Diplomityö
<https://docs.google.com/viewer?docex=1&url=https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/103389/Lumen%20varastointi%20ja%20hyodyntaminen%20tilojen%20jaahdytykseen,%20Case%20Kone%20Oyj.pdf?sequence=3> Luettu 01.03.2015
20. Ville Reinikainen. 2014. Granlund. Uusiutuvien energiamuotojen hyödyntämi-
sestä kiinteistöissä.
http://ssty.fi/download/hki2014/018_Ville_Reinikainen.pptx.pdf Luettu 19.4.2015

21. Hamada Yasuhiro, Kubota Hideki, Nakamura Makoto, Kudo Kazuhiro, Yoshiaki Hashimoto. 2009. Experiments and evaluation of a mobile high-density snow storage system. Tieteellinen verkkodokumentti. Sciencedirect.
<http://www.sciencedirect.com.ezproxy.metropolia.fi/science/article/pii/S0378778809001923?np=y> Luettu 23.4.2015