



Geoenergiaopas



OFFENTLIGA
FASTIGHETER

Julkiset kiinteistöt

Offentliga fastigheter -organisaatio koostuu Ruotsissa julkisia kiinteistöjä hallinnoivista tahoista. Yhdessä hallinnoimme yli 90 miljoonaa neliömetriä kouluja, viranomaisrakennuksia, armeijan tiloja, sairaaloita ja vankiloita. Verkostomme kattaa valtavan valikoiman erilaisia rakennuksia, mutta myös valtavasti erilaista kokemusta. Hyödyntääksemme ja kehittääksemme erilaisia taitojamme olemme liittyneet yhteen Offentliga fastigheter -järjestöksi.

Toteutamme rajat ylittäviä kehityshankkeita, jotka tehostavat ja parantavat yhteisten kiinteistöjemme hallintaa. Hankkeiden on oltava oleellisia kiinteistöjen kannalta ja herätettävä ajattelemaan uudella tavoin. Niiden on toimittava hyvänä esimerkkinä ja tarjottava käytännöllisiä työkaluja, joilla julkisten kiinteistöjen laatua voidaan parantaa ja tarjota vuokralaisille käytännön etuja. Hankkeiden tavoitteena on paitsi hyödyttää meitä itseämme, myös opastaa monia muita. Offentliga fastigheter -järjestön taustalla ovat Ruotsin kuntien ja maakäräjäin liitto Sveriges Kommuner och Landsting, Ruotsin puolustusvoimien rakennusvirasto Fortifikationsverket sekä yhteistyöorganisaatio Samverkansforum Ruotsin valtion kiinteistöyhtiöiden Statens fastighetsverkin ja Specialfastigheterin kautta.

Lisätietoja saat osoitteesta **www.offentligafastigheter.se** (vain ruotsiksi).

Sivuilta voit myös tilata tämän ja muita julkaisuja.

Geoenergiaopas

Geoenergiaopas

© Offentliga fastigheter, 2017

ISBN 978-91-7585-572-1

Lisätietoa sisällöstä: Saija Thacker,
saija.thacker@skl.se

Teksti: Signhild Gehlin, Svenskt Geoenergicentrum

Kannen kuvitus: Christina Jonsson

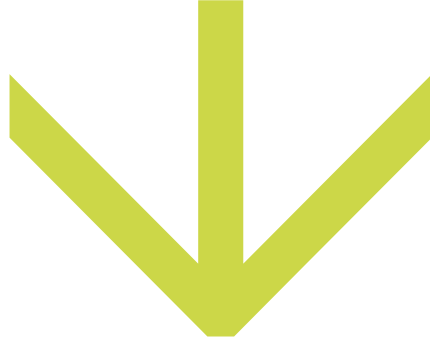
Graafinen suunnittelu: ETC Kommunikation

Tuotanto: Advant Produktionsbyrå

Paino: Toiprint Oy

Käännöstyön (ruotsi-suomi) teettäjä: Rototec Oy, rototec.fi

Verkkosivut: www.offentligafastigheter.se



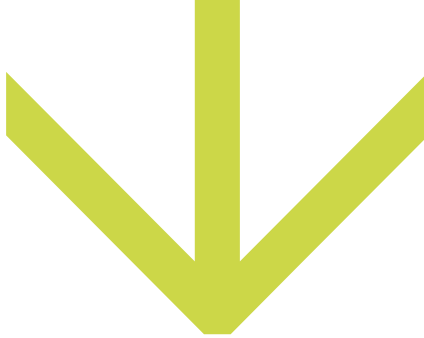
Esipuhe

Tämän julkaisun tarkoituksena on innostaa ja kuvailla, miten julkisia kiinteistöjä hallinnoivat tahot voivat hyödyntää geoenergiaa. Mahdollisuus koskee nykypäivänä lähes neljännessä koko Ruotsin lämmityksen ja viilennyksen energiankäytöstä.

Tekstissä havainnollistetaan esimerkkien avulla geoenergian valtava potentiaali taloudellisiin ja energiankäyttöisiin säästöihin. Uudet geoenergiaprojektit voidaan silti kokea kiistanalaisiksi, etenkin jos niihin liittyy vaihtoehtoja suurempi sähkönkäyttö.

Sveriges Kommuner och Landsting -liiton julkisille kiinteistöille tarkoitettu FoU-rahasto on käynnistänyt ja rahoittanut tutkimuksen. Tutkijana ja kirjoittajana on toiminut Svenskt Geoenergicentrumin Signhild Gehlin. Faktojen tarkistuksessa häntä ovat auttaneet NeoEnergyn Göran Hellström, Luulajan teknisen yliopiston Bo Nordell, Geostratan Olof Andersson sekä Geotecin Johan Barth. Työhön on osallistunut ja materiaaleja sekä arvokkaita näkemyksiään on tarjonnut ohjausryhmä, jossa ovat olleet mukana Länsipohjan läänin maakäräjien Hans Johansson, Akademiska Husin Per Löveryd, Värmlannin maakäräjien Bengt-Åke Karlsson sekä Katrineholmin kunnan Kjell Dävelid.

Tukholmassa, syyskuussa 2017



Sisällysluettelo

Tiivistelmä	6
Kappale 1 Geoenergian esittely	9
Geoenergia	9
Geoenergian edellytykset	10
Geoenergiatekniikan muotoja	13
Maan energiatasapaino	18
Geoenergia ja rakennuksen energiajärjestelmä	23
Kehitys ja käyttö Ruotsissa ja maailmalla	25
Kappale 2 Geoenergian ympäristönäkökulmat	29
Geoenergian suorat ympäristövaikutukset	29
Geoenergian sähkönkäyttö	30
Sähkönkäytön ympäristö- ja ilmastovaikutukset	30
Kappale 3 Talous	33
Kappale 4 Toteuttaminen	37
Kappale 5 Inspiroivia esimerkkejä	43
Terminen verkko Norlannin yliopistollisessa sairaalassa Uumajassa	44
Sundsvallin sairaalan lumivarasto	48
Arlandan lentokentän lämpö ja viilennys pohjavesivarastosta	51
Tukholman Frescatin ylioppilastalon kattava porakaivovarasto	54
Ruotsin kansallismuseon meriviilennys – Tukholma	58
Backavallenin urheilualueen porakaivovarasto Katrineholmissa	61
Karlstadin keskussairaalan porakaivovarasto	64
Vikbolandsskolan-peruskoulun porakaivo Norrköpingissä	67
Rågårdenin oikeuspsykiatrian laitoksen porakaivovarasto Göteborgissa	69
Kalmarin lääninsairaalan pohjavesivarasto	71
Kristallen-kunnantalon porakaivo Lundissa	74
Rosengårdin poliisitalon korkealämpöinen porakaivoviilennys	77
Tarkistuslistat	80
Lähteet	88

Tiivistelmä

Tämä julkaisu tarjoaa tiiviin katsauksen geoenergian alaan, joka on yleiskäsite useille tekniikoille, joissa hyödynnetään maaperän lämpöä ja viileyttä. Tekstissä osoitetaan, miten monin tavoin geoenergiaa voidaan käyttää rakennusten ja tilojen lämmityksessä ja viilennyksessä, erityisesti julkista sektoria koskien. Geoenergiajärjestelmissä käytetään usein, joskaan ei aina, lämpöpumppua tai viilennyslaitetta. Pientalojen käyttämä maalämpö lienee geoenergian tunnetuin muoto.

Suuri osa tekstistä muodostuu kahdestatoista esimerkistä, joissa esitellään julkisen sektorin geoenergialaitoksia eri puolilla Ruotsia. Valitut laitokset ovat eri kokoisia, ja niissä on erilaisia ilmastovaatimuksia ja teknisiä ratkaisuja. Teksti tukee geoenergiajärjestelmien hankintaa esimerkiksi tarjoamalla hankinnan toteuttamisen yhteydessä käytettäviä tarkistuslistoja sekä muistuttamalla muista hankinnoissa huomioitavista seikoista.

Ruotsi on jo 1970-luvulta asti ollut maailman johtavien maiden joukossa geoenergian suhteen. Nykyään Ruotsissa tuotetaan lähes 10 prosenttia kaikesta maailman geoenergiasta, eli maa on geoenergiantuottajana kolmanneksi suurin heti Kiinan ja Yhdysvaltojen jälkeen. Läpilyönti pientalomarkkinoilla tapahtui 1990-luvulla, ja nykyään joka viidennessä ruotsalaisessa pientalossa on geoenergialaitteisto. Kuluneen vuosikymmenen aikana suurten geoenergialaitteistojen markkinat useampien asuntojen rakennuksiin ja tiloihin ovat kasvaneet huomattavasti, etenkin sekä lämmitystä että viilennystä käyttävien kiinteistöjen osalta.

Geoenergialaitteistoja voidaan ottaa käyttöön koko Ruotsissa. Sopivan geoenergiaratkaisun valinta yksittäiseen kiinteistöön määräytyy kyseisen kiinteistön erityisvaatimusten, paikallisten geologisten edellytysten sekä ilmaston perusteella. Geoenergialle on tyypillistä suuri alkuinvestointi mutta matalat käyttö- ja huoltokustannukset, mikä sopii julkisia kiinteistöjä pitkällä tähtäimellä hallinnoiville.

Lukuohje

Julkaisussa on pohjustava faktaosio geoenergiasta ja sen erilaisista teknisistä toteutuksista, sekä katsaus Ruotsin sisäisiin sekä kansainvälisiin geoenergiamarkkinoihin. Luvussa 2 kuvataan geoenergiajärjestelmän käyttöönoton ympäristövaikutuksia. Geoenergialaitteistojen taloudellisia edellytyksiä ja toteuttamismahdollisuuksia käsitellään luvussa 3. Luvussa 4 käsitellään geoenergialaitteiston käyttöönottoprosessia alustavista tutkimuksista aina käyttöönottoon saakka, keskittyen erityisesti prosessin toteuttamiseen. Julkaisun lopussa olevat tarkistuslistat tarjoavat myös neuvoja ja tärkeitä huomioita geoenergialaitteistosta päättämiseen sekä tukea hankintaan.

Luvussa 5 esitellään 12 inspiroivaa esimerkkiä geoenergialaitteistoista erilaisissa julkisissa kiinteistöissä ympäri Ruotsin, aina Uumajassa sijaitsevan Norlannin yliopistollisen sairaalan termisestä verkostosta Malmön Rosengårdin poliisilaitoksen lämpöpumputtomaan kaivovarastoon. Julkaisun lopussa on lähdeluettelo, josta julkaisun aiheesta saa lisätietoja.

1

Geoenergian esittely

Tässä luvussa esitellään geoenergia tekniikan alana sekä sen sovelluksia, käyttötapoja ja kehitystä. Kappaleessa *Geoenergia* selitetään kyseinen käsite ja kappaleessa *Geoenergian edellytykset* kuvataan sen fyysiset edellytykset eli ilmaston, geologian ja hydrologian vaikutukset geoenergian mahdollisuuksiin. Kappaleessa *Geoenergian tekniset muodot* esitellään lyhyesti erilaisia tekniikoita, joilla maasta ja vedestä voidaan saada käyttöön lämpöä ja viilennystä. *Maan energiatasapaino* -kappaleessa kuvataan erilaisten lämmön ja viilennyksen keräämistapojen vaikutuksia maan energiatasapainoon. Kappaleessa *Geoenergia ja rakennusten energiapuhtaus* kuvataan käyttöstrategioita sekä geoenergiajärjestelmien erilaisia käyttösovelluksia rakennuksissa. Kappaleessa *Geoenergian kehitys ja käyttö Ruotsissa ja maailmalla* esitellään joitakin ajankohtaisia lukuja geoenergian käytön nykyisestä laajuudesta Ruotsissa, Euroopassa ja maailmalla sekä siitä, miten tilanne on ajan myötä kehittynyt.

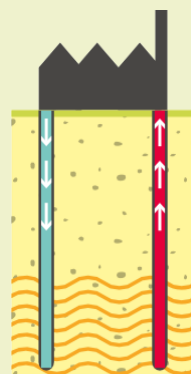
Geoenergia

Geoenergia on yleiskäsite useille tekniikoille, joissa maan lämpöä ja viileyttä hyödynnetään lämpöä johtavan nesteen lämmönvaihdon avulla joko suoraan tai suljetussa putkistossa. Geoenergiajärjestelmiin kuuluu usein, joskaan ei aina, lämpöpumppu, jonka avulla talteen otetun energian lämpötilaa voidaan nostaa. Joskus tähän yhdistetään myös viilennyslaite, joka puolestaan laskee lämpötilaa. Erityisen tehokas saattaa olla järjestelmä, joka ottaa kylminä vuodenaikoina kylmää ja lämpiminä vuodenaikoina lämpöä. Pientalojen käyttämä maalämpö lienee geoenergian tunnetuin muoto. Geoenergia on uudistuvaa lämpö- ja viilennysenergiaa, jota saadaan kalliosta, maasta, pohjavedestä, järvistä ja meristä sekä muista vesistöistä. Maasta kerättävä energia on joko passiivisesti varastoitua aurinkoenergiaa tai aktiivisesti varastoitua aurinko- tai hukkaenergiaa. EU:n uusiutuvan energian direktiivin (2009/28/EY) mukaan geoenergia on uusiutuvaa ja rinnastettavissa aurinkoenergiaan.

Geoenergiaa eri muodoissaan käytetään nykyään asuntojen ja muiden tilojen lämmitykseen ja viilennykseen, teollisten prosessien viilennykseen, erilaisten pintojen liukkaudentorjuntaan sekä elektroniikan viilennykseen.

→ ERIKOISTAPAUS: GEOTERMINEN ENERGIA

Geotermisessä lämmityksessä hyödynnetään maankuoressa tapahtuvassa radioaktiivisessa hajoamisessa syntyvä lämpö, joka johdetaan syvältä maan sisältä. Joillakin, etenkin tektonisesti aktiivisilla alueilla, saattaa olla huomattavan korkeita lämpötiloja, ja niiden lämpöä voidaan käyttää suora-lämpönä ja joissain tapauksissa jopa sähköntuotantoon. Ruotsissa, lounais-Skånea lukuun ottamatta, geotermisen energian hyödyntämismahdollisuudet ovat hyvin pienet. Geotermistä lämpöä kutsutaan myös syvämaalämmöksi.



Geoenergian edellytykset

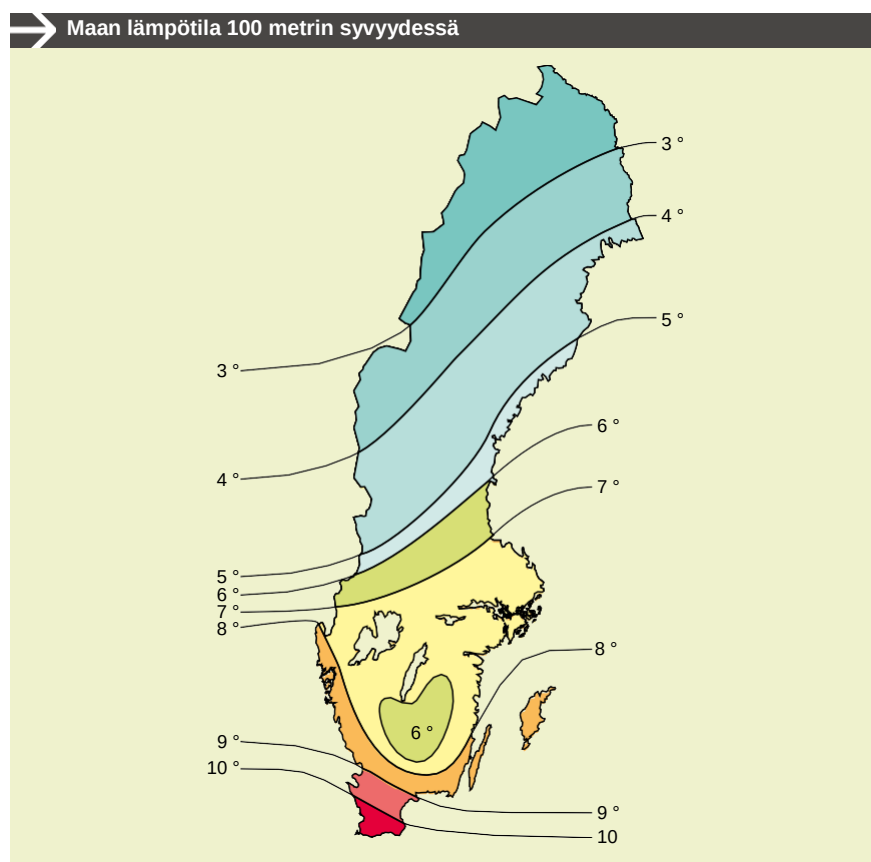
Geoenergialla on Ruotsissa hyvät edellytykset. Ilmastomme, jossa kesät ovat lämpimiä ja talvet kylmiä, on suotuisa lämmön ja kylmän varastoiselle maassa, kalliolla, pintavesissä ja pohjavesistöissä. Maan ylimmän kerroksen lämpötila vaihtelee vuoden mittaan. Vaihtelu tasautuu kuitenkin nopeasti syvemmällä maan sisällä, ja noin 15 metrissä vuodenaikavaihtelut ovat kokonaan tasoittuneet ja maan lämpötila pysyy tasaisena. Lämpötila vastaa tavallista ilman koko vuoden keskimääräistä lämpötilaa kussakin paikassa, johon lisätään noin 1,2 astetta kutakin sataa lumipeitteistä päivää kohden. Pohjois-Ruotsissa tämä voi vastata jopa 3–4 astetta. Lämpötila kohoaa jonkin verran mitä syvemmälle maan sisään mennään, johtuen geotermisestä lämpöliikkeestä (kuva 2). Ruotsissa lämmön kasvu eli geotermisen gradientti on 1–3 astetta sadan metrin syvyyttä kohden. Sadassa metrissä maan lämpötila vaihtelee etelän noin 11 asteesta pohjoisen noin 2 asteeseen (kuva 1). Taajama-alueilla rakennusten lämpövuoto nostaa maan ylimpien 50–200 metrin lämpötilaa tavallista korkeammalle. Se, miten syvälle tällainen urbaani lämpövaikutus ulottuu, riippuu mm. siitä, miten pitkään rakennukset ovat olleet olemassa. Maan lämpötilaa ennen geoener-gialaitoksen käyttöönottoa kutsutaan maan *häiriöttömäksi* lämpötilaksi.

Maan häiriötön lämpötila on erittäin tärkeä tekijä geoenergiajärjestelmän mitoituksen kannalta: mitä lämpimämpi maa, sitä enemmän siitä saadaan lämpöä. Geoenergiajärjestelmiä voidaan mitoittaa kaikkialle Ruotsiin.

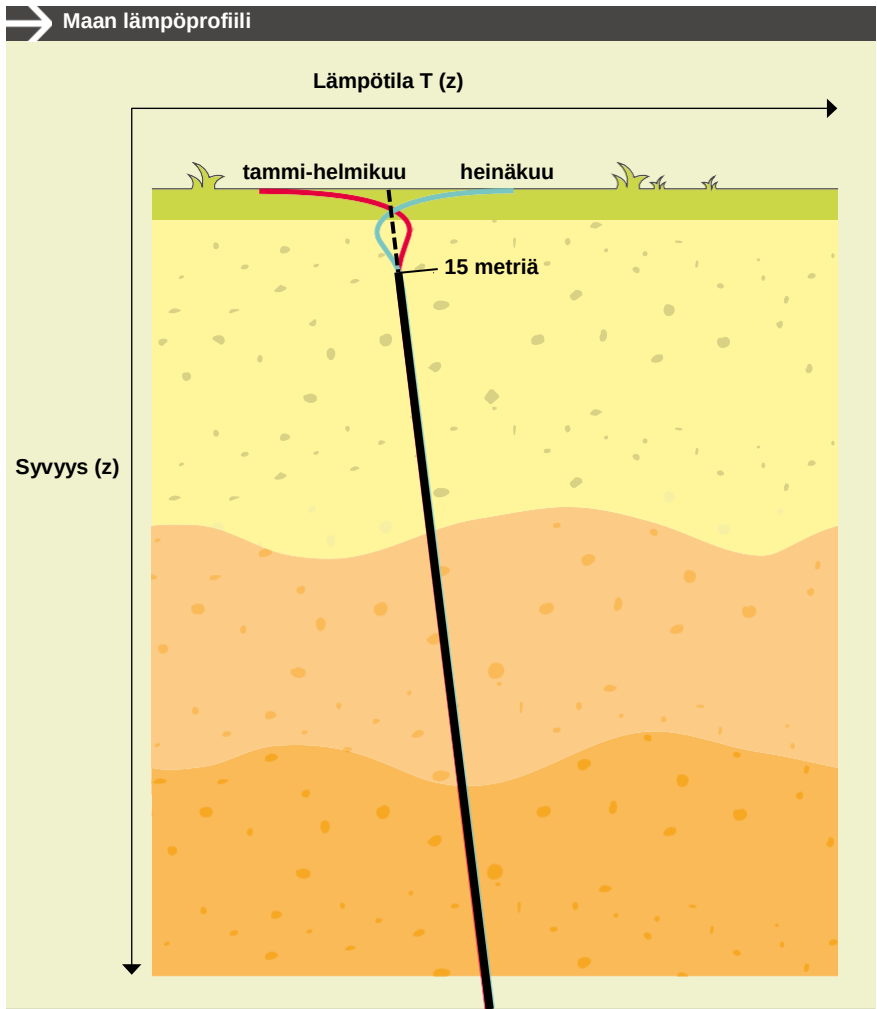
Ruotsin kalliopohja muodostuu suurelta osin vanhasta kiteisestä kalliosta (peruskallio), jonka lämmönjohtokyky ja lämmöntalteeniominaisuudet ovat yleisesti ottaen hyvät ja jonka rakenne ja koostumus ovat yksinkertaiset. Suurimmassa osassa Ruotsia maanpinnan paksuus on vain muutaman metrin, eli kallioon yltääkseen ei tarvitse porata kovinkaan syvälle.

Puhtaasti geologisesta ja laitteistoteknisestä näkökulmasta geoenergiaa voidaan hyödyntää kaikkialla Ruotsissa. Paikalliset geologiset, hydrologiset ja ilmastolliset edellytykset kuitenkin sanelevat, mikä geoenergiatekniikka alueelle sopii parhaiten teknisiltä ja taloudellisilta ominaisuuksiltaan. Ruotsin kalliopohjassa on eniten graniittia ja gneissia, joiden lämmönjohtokyky on 2,5–5 W/m,K (wattia per metri ja kelvin-aste; keskiarvo 3,45 W/m,K). Irtonaisten kerrostumien, kuten hiekan, moreenin ja saven, tavallinen lämmönjohtavuus on alempi, noin 1–2,5 W/m,K.

Ruotsissa pohjavedet ovat yleisesti ottaen helposti käytettävissä, ja niiden taso on yleensä korkea, mikä on hyvä asia geoenergian kannalta. Joillakin alueilla Ruotsissa kalliopohja on sedimenttinen ja koostuu etupäässä hiekka- ja kalkkikivistä. Tällaisilla alueilla pohjaveden antoisuus on yleensä huomattavasti parempi, mikä mahdollistaa pohjaveden energian hyödyntämisen. Pohjavedestä saatavaa geoenergiaa voidaan hyödyntää laajassa mittakaavassa myös suuremista hiekka- ja sorakerroksista, kuten harjuista.



KUVA 1 • Kartta maan lämpötiloista sadan metrin syvyydessä.



KUVA 2 • Maan häiriötön lämpöprofiili.

Geoenergiatekniikan muotoja

Geoenergia-käsite kattaa useita erilaisia maasta saatavan lämmön ja kylmän varastoinnin ja hyödyntämisen tekniikoita (ks. kuva 3). Pääasiallisiin tekniikoihin kuuluu lämmön ja kylmän kerääminen ja varastointi

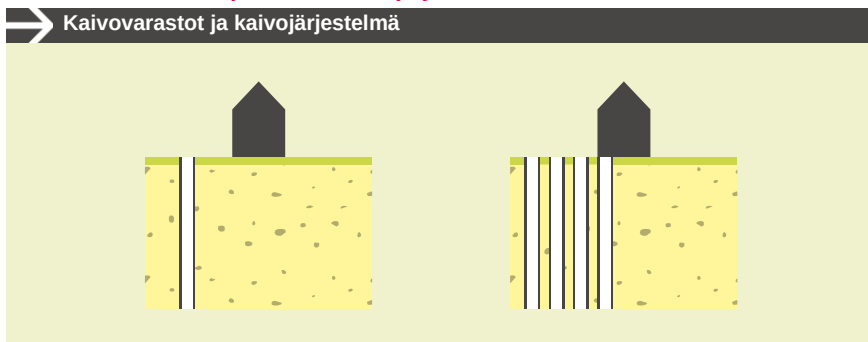
- suljetuista järjestelmistä, kuten poratuista kaivoista ja irtonaisista kerrostumista, maanpinta- ja pintavesijärjestelmistä, joissa on suljettu putkijärjestelmä. Pintaveteen lasketaan järvet, meret ja muut vesistöt.
- avoimista järjestelmistä, kuten pohjavedestä ja pintavesijärjestelmistä, joissa on avoin otto ja poisto.
- varastointi kuoppiin ja kalliosuojiiin.

Geoenergia Ruotsissa (20 TWh/vuosi)					
Matalalämpöinen (<20°C)				Matalalämpöinen (>20°C)	
Suljetut järjestelmät (putket)		Avoimet järjestelmät (vesi)		Lämmin fossiilinen pohjavesi	HT-BTES
Maanpinta-lämpö (maakerros)	Järvilämpö (pintavesi)	Pohjavesi-varasto (ATES)	Lumikerros	Kalliosuoja-kerros	Kuoppa-kerros
Maalämpö (porakaivo)	Maaviilennys (porakaivo)	Pohjavesi-lämpö	Pohjavesi-viilennys	Höyry sähköntuotantoon (ei käytössä Ruotsissa)	
Kaivovarasto (BTES)		Pintavesi-lämpö	Pintavesi-viilennys		

KUVA 3 • Yleiskuva erilaisista geoenergiatekniikoista ja niihin liittyvistä Ruotsissa käytössä olevista termeistä.

Edempänä kuvataan geoenergiatekniikoita lyhyesti.

Porakaivot: maalämpö, maaviilennys ja kaivovarasto



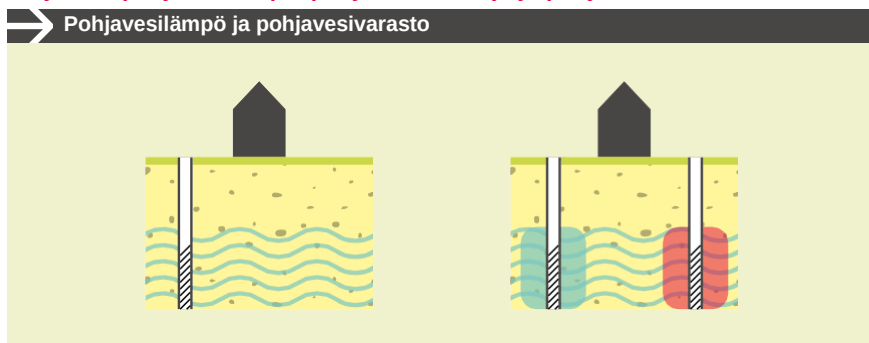
Kaivojärjestelmässä energia varastoidaan porakaivoa ympäröivään kallioon tai maahan ja lämpö siirtyy maassa johtumalla. Maan ja rakennuksen välinen lämmönvaihto tapahtuu porakaivossa olevan lämmönvaihtimen tai -keräimen avulla, jotka useimmiten ovat yksin- tai kaksinkertaisia U-putkia. U-putki on muoviputki, jossa ylös- ja alaspäin kulkevat kanavat on yhdistetty U-kirjaimen muotoisella taitteella. Putkissa kiertää lämmönsiirtoneste, jollaisena Ruotsissa käytetään veden ja etanolin sekoitusta. SGU:n (Sveriges geologiska undersökning) kaivojen porausta koskevassa neuvonta-asiakirjassa ”Normbrunn – vägledning för att borra brunn” määritelty etanoli on biomassasta tuotettua bioetanolia. Jotta saadaan aikaan lämpökontakti eli lämmön siirtyminen keräimen ja kaivon seinien välille, Ruotsissa kaivot on yleensä täytetty pohjavedellä. Joillakin alueilla on perusteltua tiivistää kaivot ja täyttää ne tiivistävillä täyteaineilla, joka suojaa pohjavettä. Täyteaineena käytetään tiivistä sementti- tai bentoniittiseosta.

Kaivot ovat yleensä 100–300 metriä syviä. Näin syvällä maan sisällä lämpötila säilyy tasaisena vuoden ympäri. Kaivojärjestelmässä ja siihen asennetuissa lämmönvaihtimissa ei ole liikkuvia osia, ja niiden huoltotarve on minimaalinen. Kaivojen käyttöikä on todella pitkä, ja ne voidaan yleensä poistaa käytöstä samaan aikaan kuin rakennus, jonka käyttöön ne on tehty. Lupaprosessi on yleensä yksinkertainen.

Kaivojärjestelmät, joissa on useita kaivoja, eli niin kutsutut kaivovarastot, soveltuvat hyvin julkisten kiinteistöjen lämmitykseen ja viilennykseen.

Noin kolme neljästä Ruotsin reilusta 500 000 geoenergiajärjestelmästä koostuu järjestelmistä, joissa kallion ja irtokerrosten lämmön/kylmän keräämiseen ja varastointiin käytetään porakaivoja. Tekniikan tehokkuus ja sopeutuvuus useisiin erilaisiin geologisiin olosuhteisiin tekevät siitä Ruotsin käytetyimmän ja kehitetyimmän geoenergiatekniikan. Porakaivojärjestelmä hyödyntää järeää tekniikkaa, jota voidaan käyttää koko maassa niin pienissä kuin suurissakin käyttökohteissa.

Pohjavesi: pohjavesilämpö, pohjavesiviilennys ja pohjavesivarasto



Ollakseen hyödyllinen pohjavesijärjestelmä vaatii tiettyjä hydrogeologisia olosuhteita, jollaiset löytyvät vain noin 15 prosentista Ruotsin pinta-alasta. Olosuhteet ovat suotuisat alueilla, joilla on soraharjuja ja huokoista sedimenttistä kalliotyyppejä, kuten hiekka- ja kalkkikiveä.

Yksikertaisimmillaan toimintaperiaate pohjautuu siihen, että kaivosta pumpataan pohjavesivarastossa eli akviferissa oleva pohjavesi, siitä otetaan lämpö talteen ja se joko palautetaan samaan pohjavesivarastoon hieman erillään olevaan toiseen kaivoon tai ohjataan muuhun sopivaan poistoon, kuten vesistöön. Pohjaveden lämpötila pysyy lähes samana ympäri vuoden, mikä tekee siitä erinomaisen lämmönlähteen lämpöpumpuille. Lämmönsiirto pohjavesijärjestelmässä tapahtuu pääasiassa pohjaveden liikkeen kautta, mutta osittain myös pohjavettä ympäröivän maa-aineksen kautta. Pohjavesijärjestelmässä on erittäin hyvä lämmönsiirtokyky, sillä pohjavesi sijaitsee maan huokosissa ja halkeamissa, jolloin lämmönvaihtopinta on todella suuri.

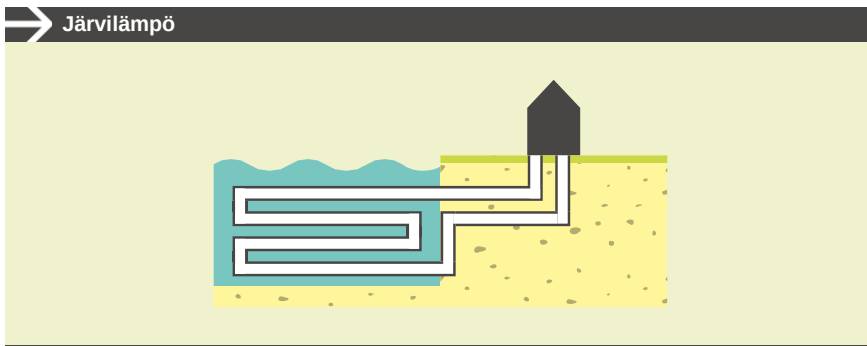
Pohjavesivarastojärjestelmässä pohjavettä pumpataan kaivoista ylös osassa varastoja, ja lämmönvaihdon jälkeen se palautetaan toisiin pohjavesivarastoihin. Tällaiset järjestelmät voivat kääntää virtaussuuntaa, joten pohjavesivarastoihin muodostuu erillisiä kylmiä ja lämpimiä osia. Tästä syystä pohjavesivarastot ovat erittäin tehokas tapa hyödyntää maasta tulevaa lämpöä ja viilennystä. Soraharjujen kaivot porataan tavallisesti 20–40 metrin syvyyteen ja kalkki- ja hiekkakivipohjaan poratut kaivot 50–150 metriin.

Pohjavesijärjestelmiä on huollettava tietyin väliajoin. Epäsuotuisista olosuhteista tai virheellisestä kokoonpanosta saattaa aiheutua käyttöä haittaavia ongelmia, kuten vesikemiasta aiheutuvaa korroosiota tai raudan ja mangaanin muodostamia saostumia.

Pohjavesijärjestelmät luetaan tavallisimmin vesitaloustoiminnaksi, joka vaatii Ruotsissa nk. vesioikeuspäätöksen, vaikkei pohjaveden määrä missään vaiheessa muutukaan. Lupaprosessi saattaa viedä aikaa ja olla hankala, mikä saattaa johtaa tekniikan käytön välttämiseen, vaikka muut edellytykset olisivatkin suotuisat.

Pohjavesijärjestelmät sopivat hyvin julkisiin kiinteistöihin, jos hydrogeologiset edellytykset täyttyvät. Vain muutama prosentti Ruotsin kaikista geoenergiajärjestelmistä on avoimia eli pohjavesijärjestelmiä.

Pintavesi – järvilämpö, järvi-ilennys



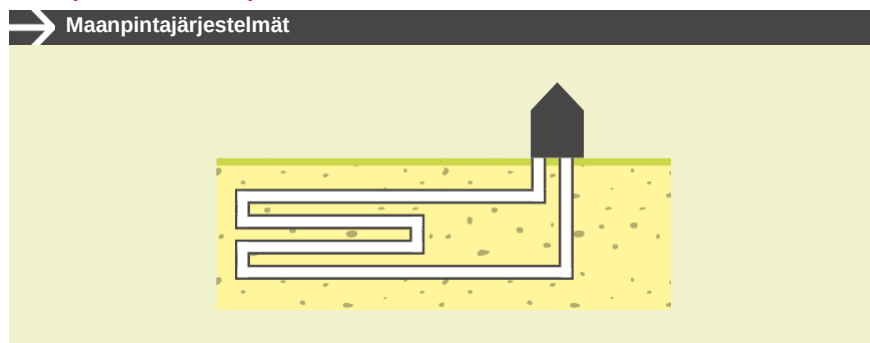
Pintavesijärjestelmiä on sekä avoimia että suljettuja, joskin useimmat ovat suljettuja. Avoimet pintavesijärjestelmät luetaan vesitaloustoiminnaksi, joka vaatii Ruotsissa nk. vesioikeuspäätöksen. Avointen pintavesijärjestelmien toimintaperiaatteena on, että merestä, järvestä tai muusta vesistöstä pumpataan vettä ja vedestä otetaan lämpö talteen, minkä jälkeen vesi palautetaan samaan pintavesistöön, mutta alavirtaan keruupaikasta. Suljetuissa pintavesijärjestelmissä järven tai muun vesistön pohjalla on muoviputkista muodostettuja silmukoita. Silmukat on täytetty kiertävällä lämmönsiirtonesteellä, joka siirtää lämpöä ympäröivästä vedestä. Ruotsissa lämmönsiirtonesteinä käytetään useimmiten veden ja etanolin sekoitusta. Lämpöä siirretään sekä johtamalla että veden liikkeiden kautta. Pintavesijärjestelmät eivät sovellu kausittaiseen lämmön varastointiin, paitsi jos niiden yhteydessä on esimerkiksi kaivovarasto.

Pintavesijärjestelmissä on suurta potentiaalia, jota kuitenkin usein rajoittavat laistekniset olosuhteet, kilpailevat intressit kuten venelaiturit sekä joissain tapauksissa herkäät vesiympäristöt. Sopivien vesistöjen äärellä sijaitseville julkisille kiinteistöille pintavesijärjestelmä saattaa olla kannattava vaihtoehto tai lisä muille lämmitys- tai viilennysjärjestelmille.

Ruotsissa pintavesijärjestelmiä on vain vähän, sillä niiden kustannustehokas hyödyntäminen edellyttää kiinteistön sijaintia rannan läheisyydessä. Joissakin tapauksissa pintavesijärjestelmiä on käytetty suurempien kiinteistöjen porakaivojärjestelmien veden takaisinkiertämiseen.

Geoenergian julkisille kiinteistöille vähemmän potentiaaliset vaihtoehdot

Maanpinta – maalämpö

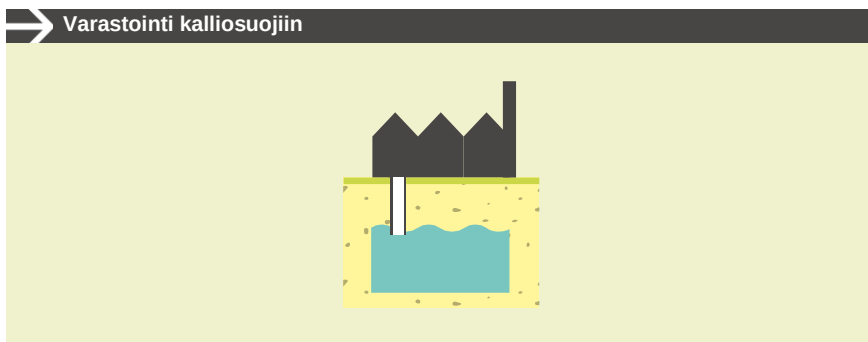


Maanpintajärjestelmien toimintaperiaate on siirtää maassa olevaa lämpöä ja kylmää johtamalla se muoviputkista muodostettuihin silmukoihin, jotka on asennettu maan sulaan kerrokseen. Putkistoissa kiertää lämmönsiirtonestettä, joka yleensä on veden ja etanolin sekoitus. Ruotsissa lähes kaikki maanpintajärjestelmät muodostuvat vaakatasossa olevista putkistoista, jotka on tarkoitettu ainoastaan keräämään lämpöä pientalon lämpöpumpulle. Maanpintajärjestelmät voivat muodostua myös maahan asennettavista pystysuuntaisista tai pyöreistä putkistoista. Maanpinnan ylimpien metrien lämpötila vaihtelee huomattavasti vuoden mittaan, eli lämpimintä on kesällä ja kylmintä talvella. Maanpintajärjestelmät eivät sovellu kausittaiseen lämmön varastointiin.

Maanpintajärjestelmien soveltuvuus julkisille kiinteistöille Ruotsissa on rajallista, johtuen maanpintaan kohdistuvista vaatimuksista, putkistoille tarvittavista suurista pinta-aloista sekä siitä, etteivät maanpintajärjestelmät sovellu viilennykseen.

Maanpintajärjestelmiä on vajaa neljännes Ruotsin kaikista geoenergiajärjestelmistä. Tämä tekniikka vaatii riittävän maa-alueen, jossa on hienorakeista ja vettynyttä maata noin parin metrin syvyyteen saakka.

Varastointi kuoppiin ja kalliosuojiiin



Lämmön varastointi kuoppiin ja kalliosuojiiin perustuu siihen, että lämpöä, useimmiten 60–90–asteista, varastoidaan maan kuopissa tai kalliosuojissa olevaan veteen tai veden ja kivien sekoitukseen, sekä siihen, että ympäröivä maa toimii varaston seininä ja eristeenä. Ruotsissa on nykyään vain joitakin yksittäisiä kuoppa- ja kalliosuojavarastoja. Kalliosuojavarastojen rakentaminen vaatii suuria investointeja, minkä vuoksi niiden on tähän mennessä ollut vaikea kilpailla porakaivojen kanssa, jotka useimmissa tapauksissa ovat osoittautuneet kustannustehokkaammiksi. Vaadittujen volyyymien ja investointien vuoksi kalliosuojajärjestelmien käytettävyys julkisissa kiinteistöissä on epäilemättä rajoitettu. Kuoppia ja kalliosuojia voidaan käyttää myös lumen varastointiin tilojen viilennystä varten.

Maan energiatasapaino

Geoenergian hyödyntäminen muuttaa maan energiatasapainoa lämmönvaihtimia ympäröivällä alueella, ja ajan myötä maahan muodostuu uusi energiatasapaino. Uuden tasapainotilan saavuttaminen on hidasta ja kestää useita vuosia. Se tapahtuu sitä hitaammin, mitä suurempi alkuperäisen maan lämpötilan ja uuden tasapainolämpötilan välinen ero on. Jos geoenergiajärjestelmä poistetaan käytöstä, palautuvat energiatasapaino ja maan lämpötila vähitellen järjestelmän käyttöä edeltäneille tasoilleen eli häiriöttömään tilaansa. Palautuminen tapahtuu, kun lämpöä virtaa alueelle auringon lämmittämästä maanpinnasta ja ympäröivästä maasta. Geoenergiajärjestelmä on tärkeä mitoittaa niin, että energian otto ja palautus ovat tasapainossa. Jos geoenergiajärjestelmän ottama energiamäärä on suurempi kuin ympäröivästä maasta ja maanpinnasta tapahtuva passiivinen palautuminen, on lämpöä palautettava maahan aktiivisesti järjestelmän kautta. Muuten järjestelmän lämmönottoteho vähentyy ajan myötä. Tämä erottaakin *passiiviset* ja *aktiiviset* geoenergiajärjestelmät toisistaan.

Passiiviset geoenergiajärjestelmät – vain otto

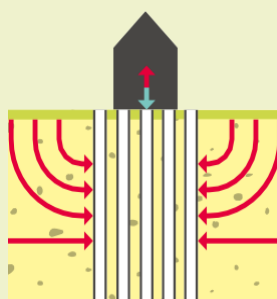
Maalämpö, maanpintalämpö, pintavesilämpö ja pohjavesilämpö – enimmäkseen pientalokäytössä ja yhdistettyinä lämpöpumppuun – ovat tyypillisiä esimerkkejä passiivisista geoenergiajärjestelmistä. Passiivisissa järjestelmissä energiaa palautuu maahan pelkästään ympäristön vaikutuksesta, ja jos järjestelmä on mitoitettu oikein, maahan palautuu uusi tasapainoinen lämpötila. Passiivisia geoenergiajärjestelmiä voidaan mitoitaa käytettäväksi myös suuremmille kiinteistöille, kuten usean asunnon taloyhtiöille tai viilennystä tarvitsemattomille pienemmille laitoksille. Viilennysjärjestelmänä niitä voidaan käyttää yleensä ilman lämpöpumppua lähetinmastoissa, palvelintiloissa ja muissa elektronisissa tiloissa.

Passiivisissa porakaivojärjestelmissä porakaivot on sijoitettava riittävän etäälle toisistaan, jotta niiden väliin jää mahdollisimman suuri lämpöä palauttava maa-alue. Ruotsissa voimassa olevan porakaivo-ohjeasiakirjan ”Normbrunn – Vägledning för att borra brunn” mukaan (Sveriges Geologiska Undersökning, SGU) porakaivot on Ruotsissa sijoitettava tavallisesti vähintään 20 metrin päähän toisistaan.

Julkiseen kiinteistökantaan kuuluu myös pienempiä rakennuksia, kuten kouluja ja esikouluja, nuorisotaloja ja pienempiä hoitorakennuksia, joissa useinkaan ei ole varsinaista viilennystarvetta. Tämän kaltaisiin rakennuksiin saattaa olla kustannustehokasta ottaa lämmityskäyttöön passiivinen geoenergiaratkaisu, kuten maalämpö, pohjavesilämpö tai joissain tapauksissa maanpintalämpö.

→ LÄMMÖNOTTO

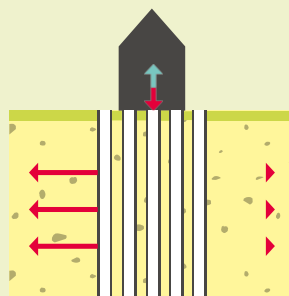
Passiivista geoenergiaa, jossa energiaa ei aktiivisesti palauteta maahan tai vesistöön, käytetään usein lämmönottoon esimerkiksi usean asunnon taloyhtiöissä tai kouluissa, joissa tarvitaan pelkästään sisäilman ja käyttöveden lämmitystä. Tällöin lämpö otetaan harvaan sijoitetuista porakaivoista tai pohjavesikaivoista lämpöpumppuun. Lämmönottoa kompensoi lämmön virtaus viilentyneeseen maahan sitä ympäröivästä maasta. Joidenkin vuosien käytön jälkeen maan lämpötila asettuu uudelle tasolle, joka on jonkin verran häiriötöntä lämpötilaa matalampi.



*Lämmönottoesimerkki:
passiivinen geoenergia-
järjestelmä usean asunnon
taloyhtiön tai koulun
lämmitysjärjestelmänä.*

→ VIILENNYKSENOTTO

Passiivista geoenergiaa käytetään viilennykseen esimerkiksi lähetinmastoissa, elektroniikkatiloissa ja palvelinsaleissa. Sitä voidaan käyttää myös ilmastoinnissa käytettävän ilman jäähdytykseen. Tavallisesti harvaan asennettuja porakaivoja käytetään elektronisten laitteiden aiheuttaman ylimääräisen lämmön jäähdyttämiseen ilman lämpöpumppua. Maahan porakaivojen kautta kulkeutuva lämpö leviää ympäröivään maahan, ja joidenkin vuosien kuluttua maan lämpötila asettuu uudelle tasapainotasolle, joka on jonkin verran häiriötöntä lämpötilaa korkeampi. Järjestelmät ovat todella järeitä ja energiatehokkaita, sillä ne tarvitsevat ainoastaan pieniä määriä sähköä kiertovesipumpun ja viilennyksenjakelun toimintaan. Maissa, joissa rakennukset tarvitsevat enimmäkseen viilennystä, käytetään useimmiten viilennyslaitteiden kondenssi-puolen viilennykseen tarkoitettuja passiivisia geoenergiajärjestelmiä.



Jäähdytyksenottoesimerkki: passiivinen geoenergiajärjestelmä tietoliikennelaitoksen viilennysjärjestelmänä.

Aktiiviset geoenergiajärjestelmät – varastot ja energian palautus

Porakaivo- ja pohjavesivarastot ovat aktiivisia geoenergiajärjestelmiä. Aktiiviseksi luetaan kaikenlainen kalliosta, maasta, pohja- ja pintavesistä, kuopista ja kalliovarastoista saatava geoenergia, joiden käytössä jossain määrin aktiivisesti siirretään lämpöä tai viilennystä. Aktiiviset geoenergiajärjestelmät ovat usein hyödyllisiä julkisissa kiinteistöissä, joissa tarvitaan sekä lämmitystä että viilennystä.

Geoenergiakentän koko lisää sen tehokkuutta, sillä energian palautuminen ympäristöön vähentää varastoitavaa määrää ja vaihtelulle altistuvaa aluetta. Geoenergian käytössä kannattaa pyrkiä hyvään tasapainoon varastosta käytettävän lämmön ja viilennyksen välillä. Mitä parempi tasapaino on, sitä tehokkaammin varastointi toimii ja sitä vähemmän lisäenergiaa ympäristöstä tarvitaan.

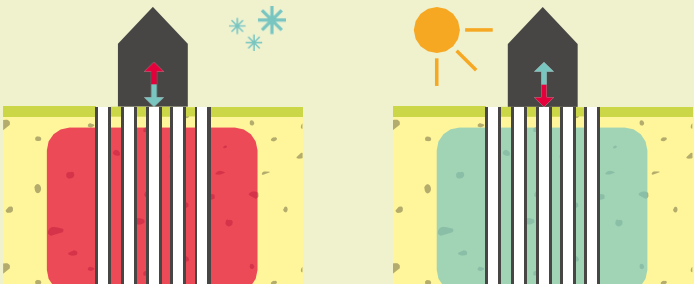
Kalliossa sijaitsevat aktiiviset geoenergiajärjestelmät eli porakaivovarastot mahdollistavat lämmön ja viileän kausittaisen varastoinnin. Toisin kuin passiivisissa järjestelmissä, porakaivot sijoitetaan tiiviisti, noin 4–6 metrin päähän toisistaan, sillä niiden on tarkoitus toimia yhdessä ja vaikuttaa huomattavasti maan lämpötilaan, ja lämmönsiirron varastojen ulkopuolisen maamassan kanssa on tarkoitus olla rajoitettua. Toiminta perustuu porakaivojen väliseen maamassaan aktiivisesti varastoidun lämmön tai viileän varastointiin. Porakaivovarastojen tyypilliset lämpötilat vaihtelevat välillä -1 – +10 °C.

Porakaivovarastoissa voi olla kymmeniä tai jopa satoja porakaivoja. Tiedossa on yli tuhat kaivoa käsittäviä porakaivovarastoja, ja maailman suurimmassa varastossa on yli 6 000 porakaivoa. Porakaivovarastot vaativat verraten vähän maapinta-alaa, ja usein porakaivokenttä voidaankin rakentaa pysäköintipaikoille, sisäpihoille tai viheralueille. Joitakin porakaivovarastoja on rakennettu jopa rakennusten alle.

Pohjaveteen perustuvia aktiivisia geoenergiajärjestelmiä eli pohjavesijärjestelmiä käytetään useimmiten suuren mittakaavan kohteissa, kuten sairaaloissa. Pohjavesi pumpataan ottokaivosarjan kautta ylös, lämmönvaihto tapahtuu rakennuksessa, ja vesi palautetaan toiseen pohjavesikaivoon. Näin pohjaveteen muodostuu kylmä puoli ja lämmin puoli. Jako lämpimään ja viileään tekee näistä järjestelmistä todella tehokkaita ja nopeita reagoimaan viilennys- ja lämmitystarpeiden muutoksiin. Lämpimän puolen tyypillinen lämpötila on 12–15 °C ja kylmän puolen 5–7 °C. Rakennuksen viilennystarve täyttyy tavallisesti kokonaan ilman kompressoriviilennystä.

Joissakin järjestelmissä varastoidaan pelkästään joko lämpöä tai kylmää. Näissä tapauksissa viilennyksen- tai lämmönlähteenä käytetään yleensä epäsuoraa lämmönvaihtoa pintavedestä tai ulkoilmasta.

→ LÄMMÖN JA VIILEÄN MATALA-LÄMPOINEN KAUSIVARASTOINTI



Kausivaroointi porakaivoissa. Vasemmalla esimerkki talvi- ja oikealla kesäajan käytöstä.

Tavallisin aktiivinen geoenergiajärjestelmä on matalalämpöinen varasto lämmön- ja viileänottoon, jossa varaston lämpötila vaihtelee häiriöttömän maan lämmön mukaan. Talvella maasta otetaan matalalämpöistä lämpöä, joka tavallisimmin välitetään lämpöpumppuun. Tämä laskee varaston lämpötilaa vähitellen.

Jäähdytettyä varastoa käytetään kesäaikana viilennykseen, tavallisin ilman viilennyslaitetta, jolloin varaston lämpötila nousee valmiiksi talvikautta varten. Sekä porakaivo- että pohjavesivarastot soveltuvat tällaiseen käyttöön erinomaisesti. Lämmityksen ja viilen-nyksen tarpeen välisestä energiatasapainosta riippuen järjestelmä voi saada jossain määrin lisätehoa myös sitä ympäröivästä maasta.

Ruotsissa on yli tuhat suurta aktiivista geoenergiajärjestelmää, joita käytetään lämmön ja viileän matalalämpöiseen kausivarastointiin suuremmille kiinteistöille.

KORKEALÄMPÖINEN KAUSIVARASTOINTI

Korkealämpötilavarastoinnissa energiaa varastoidaan huomattavasti alueen häiriötöntä lämpötilaa korkeammassa lämpötilassa. Lämpö kerätään aurinkokeräimistä tai teollisista prosesseista. Korkealämpötilavarastoiksi soveltuvat parhaiten porakaivo- tai kalliosuojavarastot, sillä pohjavedessä korkeat lämpötilat saattavat aiheuttaa esimerkiksi korroosiota ja saostumia. Varastojen on oltava riittävän suuria ja tiiviitä, jotta suhteellinen energiahäviö ei kasva liian suureksi.

Maailman ensimmäinen suuri korkean lämpötilan porakaivovarasto rakennettiin Luulajan teknisessä yliopistossa vuonna 1982. Se käsitti 120 porakaivoa, kukin 65 metriä syvä. Varasto oli kytketty kaukolämpöverkkoon, ja se oli käytössä vuosina 1983–1990. Saman kaltainen mutta kolme kertaa suurempi lämpövarasto otettiin käyttöön Emmabodassa vuonna 2010. Siinä varastoidaan teollisuudesta saatavaa korkeita lämpötiloja sisätilojen talvista lämmitystä varten. Lisäksi Tukholman Annebergin asuinalueella on vuodesta 2000 lähtien ollut käytössä korkealämpöinen varasto, jonka 99 porakaivossa varastoidaan katoilla olevista aurinkokeräimistä saatavaa lämpöä noin viidenkymmenen pien- ja rivitalon lämmitykseen. Järjestelmässä ei käytetä lämpöpumppuja.

Lyckebossa sijaitseva kalliosuojavarasto on sekin hyvä esimerkki korkealämpöisestä varastosta. Varasto rakennettiin 1980-luvun puolivälissä, ja sen alkuperäinen tarkoitus oli varastoida varaston yläpuolella olevassa aurinkokeruukentässä aurinkoenergialla lämmitettyä vettä. Nykyään siinä varastoidaan edelleen vettä kaukolämpöverkkoon, mutta vesi lämmitetään biopolttoaineella.

Yhdistelmäratkaisut

Geoenergian erilaisia muotoja voidaan usein yhdistellä joko keskenään tai muiden lämmitys- ja viilennysmuotojen kanssa. On paljon viitteitä siitä, että tulevaisuudessa etenkin suurten kiinteistöjen ja asuntokeskittymien käytössä yleistyvät entisestään monenlaiset hybridijärjestelmät, joissa geoenergiaa käytetään yhtenä osana. On huomattavissa myös selkeää kiinnostuksen kasvua porakaivovarastojen käyttöä kohtaan osana kaukolämpöverkostoa, sillä niiden avulla voidaan laskea kaukolämmön paluulämpötilaa ja saada aikaan suotuisat kuljetusolosuhteet.

Nykyäänkin geoenergiaa käytetään jo yhdessä kaukolämmön kanssa niin, että kaukolämpö täydentää tasapainoisen geoenergiakentän, joka kattaa koko viilennystarpeen ja osan lämmitystarpeesta. Joissakin tapauksissa myös pintavettä käytetään ylimääräisen lämmön tai viileän varastoinnissa porakaivo- tai pohjavesivarastoihin tai sitten maalämpöä täydentämään käytetään jäteilmasta tai energian palautuksesta porakaivoon saatavaa lämpöä.

Geoenergia ja rakennuksen energiajärjestelmä

Varsinaisen lämmön tai viileän lähteen (maa) lisäksi geoenergiailaitukseen kuuluvat myös lämmön tai viileän talteenottolaitteistot sekä energian siirto rakennukseen ja sen sisällä. Rakennuksen sisäinen jakelujärjestelmä on suurelta osin sama kuin muissakin energiahuoltoratkaisuissa, mutta joitakin tekijöitä on otettava erityisesti huomioon geoenergiailaitteiston asennuksessa.

Geoenergiailaitteiston tehokkuus on paljolti riippuvainen rakennuksen lämmönjakelun ja viilennyksen vaatimasta lämpötilatasosta. Järjestelmä on sitä tehokkaampi, mitä lähempänä vaadittu lämpötila on maan häiriötöntä lämpötilaa. Matalalämpöiset lämmitysjärjestelmät ja korkealämpöiset viilennysjärjestelmät ovat näin ollen suositeltavampia tehokkuuden kannalta. Tämä tarkoittaa, että lämmityksen ja/tai viilennyksen jakelujärjestelmää saatetaan joutua muuttamaan, kun rakennus muutetaan geoenergiaa käyttäväksi, etenkin kun kyse on vanhemmista lämmitysjärjestelmistä, jotka on usein mitoitettu korkeille jakelulämpötiloille. Valitusta energiahuoltoratkaisusta riippumatta rakennusten mukauttamisesta matalammille lämmönjakelulämpötiloille voi olla suuria hyötyjä. Tällöin esimerkiksi hukkalämpöä, vapaajäähdytystä, lämpöpumppuja ja kaukolämpöä voidaan käyttää tehokkaammin.

Geoenergiajärjestelmät ovat melko hitaita vastaamaan nopeisiin muutoksiin lämmön ja viilennyksen tarpeissa, ja ne onkin usein mitoitettu kattamaan perustarve, eli suurin osa vuotuisesta energiantarpeesta. Korkean kuormituksen aikoina voidaankin tarvita täydentäviä lämmitys- ja viilennysmuotoja muista energianlähteistä. Rakennuksen n.s. pysyvyyskaaviolla voidaankin muodostaa kokonaiskäsitys rakennuksen lämmityksen ja viilennyksen perustarpeesta ja huipputarpeesta. Kaaviosta käy myös ilmi, onko rakennusta joinakin aikoina voitava sekä lämmittää että viilentää samanaikaisesti. Samanaikaisten

lämmitys- ja viilennystarpeiden tasoittamisessa voidaankin hyödyntää rakennuksen sisäistä hukkalämpöä ja -viilennystä, tai varastoida lämpöä tai viileää sellaisina aikoina, kun niitä muodostuu yli käyttötarpeen. Näin voidaan tasata energiankäytön huippuja sekä säästää resursseja ja rahaa. Jotkin geoenergiaratkaisut vähentävät järjestelmän ulkopuolisen sähkön ja lämmityksen tarvetta verrattuna vaihtoehtoihin ratkaisuihin. Toiset ratkaisut taas vähentävät ulkopuolisen lämmityksen tarvetta mutta lisäävät ulkopuolisen sähkön tarvetta, mitä mietittäessä onkin otettava huomioon useita seikkoja. Luvussa 2 kerrotaan lisää ympäristöarvioinnista.

Jotkin julkiset kiinteistöt asettavat erityisedellytyksiä energiahuoltomuodon valinnalle. Esimerkiksi historialliset rakennukset ja museot vaativat tiettyä ilmankosteutta, lämpötilaa, paloturvallisuutta sekä rakennuksen ulko- ja sisäpintojen huomioimista. Geoenergiaratkaisut täyttävät tällaiset vaatimukset usein hyvin. Geoenergiajärjestelmien lämpötilatasot ovat tasaisen matalat, mikä sopii usein raskasrakenteisiin ja lämpötehokkaisiin rakennuksiin, joissa energiankuormitukselle asetetaan tiukkoja vaatimuksia. Maassa oleva varasto on näkymätön, äänetön ja hajuton, kun se on asennettu. Sopivan geoenergiaratkaisun valinta yksittäiseen kiinteistöön määräytyy kyseisen kiinteistön erityisvaatimusten, paikallisten geologisten edellytysten sekä ilmaston perusteella.

Jos kiinteistöllä on useita käyttäjiä, joiden energiatarpeet poikkeavat toisistaan, kuten sairaala-alueet, urheilukeskukset tai teollisuuskompleksit, geoenergiajärjestelmä tarjoaa mahdollisuuden tasoittaa ja tehostaa lämmityksen ja viilennyksen tarvetta vuoden mittaan erilaisten rakennusten kesken niin kutsutun termisen verkon avulla. Terminen verkko voi kattaa useita erillisiä geoenergiajärjestelmiä sekä muita lämmityksen ja viilennyksen lähteitä.

Esimerkiksi sairaalat vaativat äärimmäisen turvallista ja varmatoimista lämmön-, viilennyksen- ja sähköntoimitusta. Geoenergian kausivarastoint ominaisuudet ja paikallinen tuotanto vastaavat tällaiseen tarpeeseen hyvin. Geoenergiaratkaisun yhdistäminen käytettävissä olevaan kaukolämpöön saattaa olla sekä tehokas että kaksoisvarmistettu energiahuoltoratkaisu, joka tarjoaa myös joustavuutta toiminnan muutosten, kunnostustöiden tai lisärakentamisen yhteydessä.

Kehitys ja käyttö Ruotsissa ja maailmalla

Maaperää on osattu käyttää energianlähteenä yhdessä lämpöpumpun kanssa jo yli sata vuotta, mutta tekninen kehitys sai kunnolla vauhtia vasta 1970-luvun öljykriisin yhteydessä.

Ruotsi oli yksi maista, joissa geoenergiaa kehitettiin omana tekniikan alanaan jo varhain. Ruotsin ensimmäinen porakaivovarasto rakennettiin vuonna 1978 Sigtunaan, missä suurehko omakotitalo sai lämpönsä 42 auringolla lämmitetystä porakaivosta. Tämän jälkeen geoenergiajärjestelmiä on asennettu joka viidenteen pientaloon Ruotsissa, mikä tekee Ruotsista maailman kolmanneksi suurimman geoenergian käyttäjän, heti Yhdysvaltojen ja Kiinan jälkeen.

1980-luvulla geoenergian kehityksessä keskityttiin pitkälti korkealämpövarastoihin ja kausivarastoituihin auringonlämpöön ja Ruotsissa kokeiltiin muun muassa varastoida kuumaa vettä kalliosuojavarastoihin. Maailman kaksi ensimmäistä kalliosuojavarastoa rakennettiin Avestaan ja Lyckebohon, ja maailman ensimmäinen suuren mittakaavan korkean lämpötilan porakaivovarasto rakennettiin Luulajan teknisellä yliopistolla vuonna 1982. Vuosina 1983–1990 käytössä olleessa varastossa oli 120 porakaivoa, ja se oli kytketty kaukolämpöverkkoon.

1990-luvulla kehitys oli nopeaa ja geoenergian käyttökohteet laajenivat.

Ruotsiin perustettiin useita suuria lämmitystä ja viilennystä tuottavia geoenergialaitoksia, ja kallioon porattava vapaajäähdytys löi läpi järeänä ja kustannustehokkaana tietoliikennelaitosten viilennysjärjestelmänä.

1990-luvun puolivälissä NUTEK käynnisti tekniikkakilpailun, jossa haettiin pientaloille parasta maalämpöä hyödyntävää lämpöpumppuratkaisua. Aloite johti räjähdysmäiseen kehitykseen lämpöpumppumarkkinoilla ja teki Ruotsista alan johtavan maan. Ruotsi ja Yhdysvallat olivat ensimmäisiä maita, joissa kehitettiin ja otettiin käyttöön porakaivojen TRT-mittausmenetelmä (terminen vastetesti), mikä puolestaan nopeutti suurten porakaivovarastojen kehitystä ja käyttöönottoa.

Vuoden 2015 lopulla Ruotsissa oli yli puoli miljoonaa geoenergiajärjestelmää, joista ylivoimaisesti suurin osa oli pientalojen käytössä olevia maalämpö- tai maanpintalämpölaitteistoja. Pari prosenttia Ruotsin geoenergialaitteistoista on suurempia kokonaisuuksia, jotka ovat usean asunnon taloyhtiöiden tai muiden suurempien yksiköiden käytössä. Vuonna 2015 geoenergiajärjestelmät tuottivat noin 23 TWh lämmitystä ja viilennystä Ruotsin energiakokonaisuuteen. Tämä on suunnilleen yhtä paljon kuin Ruotsin kaukolämpöjärjestelmät toimittivat samana vuonna polttamalla tyvi- tai latvahaketta sekä jalostettua tai jalostamatonta puupolttoainetta.

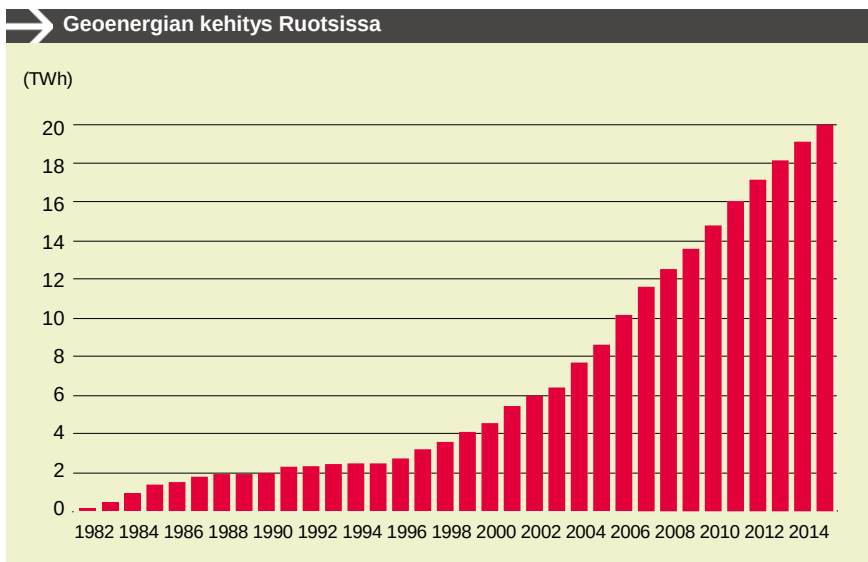
Laitteistot

Vuoden 2015 lopussa Ruotsissa oli noin 540 000 geoenergialaitteistoa, joiden yhteenlaskettu teho oli 6,8 GW. Lämmitykseen ja viilennykseen hyödynnettävä laskennallinen energiamäärä, mukaan lukien lämpöpumppujen käyttämä sähkö, oli 23 TWh.

Kolme neljäsosaa kaikista geoenergiajärjestelmistä hyödyntää kallioon tai irtokerroksiin porattuja kaivoja. Neljännes koostuu maanpintalämpöjärjestelmistä ja noin kymmenestä tuhannesta pohjavesijärjestelmästä (pohjavesivarastot ja pohjavesikaivot).

Ylivoimaisesti suurin osa Ruotsin geoenergiajärjestelmistä on pieniä omakotitaloissa käytettäviä laitteistoja, joissa huoneilmaa ja käyttövettä lämmitetään lämpöpumpulla.

Ruotsin suurimmista geoenergiajärjestelmistä noin 160 on pohjavesivarastoja, joiden yhteenlaskettu vuosittainen tuotto on noin 1 TWh lämpöä ja 0,6 TWh viilennystä. Noin 650 järjestelmää hyödyntää porakaivovarastoja ja tuottaa yhteensä 0,7 TWh lämpöä ja 0,3 TWh viilennystä. Nämä järjestelmät tuottavat pääasiassa lämpöä ja viilennystä paikallisille rakennuksille.

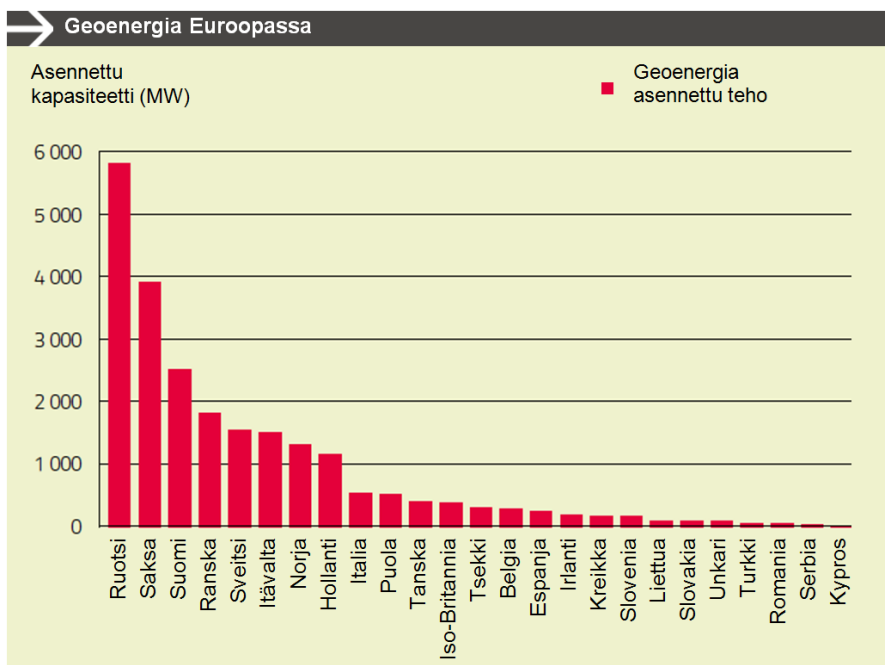


KAAVIO 1 • Geoenergian kehitys Ruotsissa 1980–2015 (mukaan lukien lämpöpumpuille toimitettu sähkö).

Lähde: Gehlin & Andersson, 2016, *European Geothermal Congress*.

Vuoden 2015 lopulla Euroopassa oli asennettuna yli 1,7 miljoonaa geoenergiajärjestelmää, joiden yhteenlaskettu teho oli hieman alle 23 GW. Euroopan geoenergiajärjestelmät tuottivat yhteensä 49 TWh uusiutuvaa lämpöä ja viilennystä.

Tämän lisäksi asennettuna on yhteensä runsaat 9 GW geotermistä suoralämpöä tuottavia laitteistoja, joista puolet kaukolämpönä, sekä 2 GW geotermistä sähköntuotantoa.

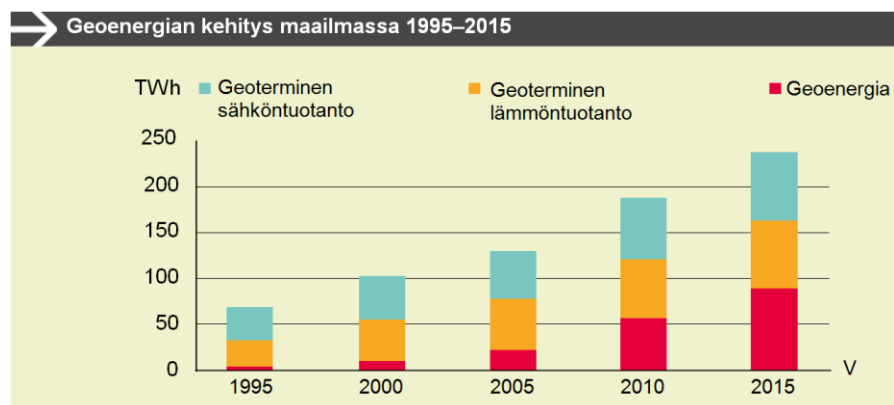


KAAVIO 2 • Geoenergia Euroopassa vuoden 2015 lopussa (mukaan lukien lämpöpumpuille toimitettu sähkö) (Antics 2016).

Lähde: Antics et al., 2016, European Geothermal Congress.

Vuonna 2014 geoenegiaratkaisuilla toimitettiin 90 TWh:n edestä lämmitystä maailmanlaajuisesti. Geoterminen lämmöntuotanto tuotti lisäksi 73 TWh ja geoterminen sähköntuotanto 74 TWh, pääosin Yhdysvalloissa ja Aasiassa.

Vuonna 2014 Ruotsissa käytettiin noin 9 % kaikesta maailman geoenergiasta, mikä oli kolmanneksi eniten Kiinan (30 %) ja Yhdysvaltojen (13 %) jälkeen.



KAAVIO 3 • Geoenergian kehitys maailmassa 1995–2015. Luvut: Lund & Boyd 2015 sekä Bertani 2015.

Lähde: Lund & Boyd, 2015, World Geothermal Congress.

2

Geoenergian ympäristönäkökulmat

Tässä luvussa kuvataan geoenergiajärjestelmien ja -laitteistojen paikallisia ympäristövaikutuksia sekä esitellään energia-antia ja ulkopuolisen sähköenergian tarvetta. Ennen kuin päätetään uuden geoenergialaitteiston käyttöönotosta, tehdään usein käytettävissä olevien vaihtoehtojen ympäristöarviointi verrattuna olemassa oleviin järjestelmiin.

Geoenergian suorat ympäristövaikutukset

Geoenergialla on tiettyjä paikallisen tason ympäristövaikutuksia. Tutkimusten mukaan maanpintalämpö, jossa maassa on vaakatasoon asennettuja putkia, viivästyttää kasvukautta putkistojen lähellä joillakin viikoilla. Porakaivo- ja maanpintajärjestelmissä lämmönvälityksineen käytettävät etanoliseokset eivät kerry eläviin organismeihin, ja ne hajoavat nopeasti joutuessaan kosketuksiin hapen tai maan bakteerien kanssa. Näin ollen mahdolliset vuodot eivät ole haitallisia ympäristölle. Lämmönsiirtonesteeseen lisättävät denaturointiaineet säilyvät maassa pidempään ennen hajoamistaan.

Joillain alueilla, kuten rannikkoalueilla, joilla suolainen pohjavesi voi työntyä ylös ja vaikuttaa vesihuoltoon, järjestelmä saattaa vaikuttaa pohjaveteen. Energiakaivo saattaa muodostaa yhteyden erilaisten vettä siirtävien geologisten kerrosten välille ja sekoittaa pohjavettä epätoivotulla tavalla. Tämän välttämiseksi energiakaivoille saatetaan herkillä alueilla asettaa lisävaatimuksia ja erityisiä toimintaohjeita. Porakaivojen täyttämiseen ja eristämiseen on myös olemassa keinoja.

Energiakaivojen poraaminen saattaa aiheuttaa liejupitoisen porausveden vuotoja. Lisäksi porauslaitteistosta voi aiheutua kaasun- ja melupäästöjä. Porauksen ympäristövaikutusten minimoimiseksi porausala on vähitellen tiukentanut ympäristövaatimuksia, parantanut konekantaansa ja puhdistusmahdollisuuksiaan sekä antanut henkilökunnalle ympäristökoulutusta. SGU (Sveriges Geologiska Undersökning) on kehittänyt vaatimuserittelyn ja koulutusmateriaaleja maan kaivonporausajien sertifiointia varten. SGU:n kaivojen poraamisen ohjeasiakirja Normbrunn esittelee, miten pohjavesistöä ja ympäristöä voidaan suojata.

Geoenergiaratkaisuihin usein käytettävissä lämpöpumpuissa käytetään kylmäainetta. Erilaisilla kylmäaineilla on ympäristöön vuotaessaan erilaiset ympäristövaikutukset, joita mitataan ns. TEWI-määrittelyllä (*Total Equivalent Warming Impact*). Lisätietoja kylmäaineista löytyy muista kirjoituksista.

Geoenergian sähkönkäyttö

Geoenergilaitteistot käyttävät sähköä lämpö- ja kiertovesipumppujen toimintaan. Käyttökohteissa, joissa ei ole lämpöpumppua, saattaa sähkön määrä olla hyvinkin pieni suhteessa tuotettavaan energiaan, sillä sähköä käytetään ainoastaan kiertovesipumppuihin ja toiminnanohjaukseen. Useimmissa geoenergilaitteistoissa lämpöpumppu kuitenkin on käytössä geoenergian talteen ottamiseksi. Lämpöpumpun kompressorin käyttämä sähkö muunnetaan lämmöksi, joka hyödynnetään yhdessä geoenergian kanssa. Sähkön tarve riippuu lämpöpumpun ja geoenergiajärjestelmän tyypistä sekä tulo- ja lähtölämpötiloista. Tavallisimmin sähkön osuutta koko energiantuotantojärjestelmästä käyttövuoden aikana mitataan SPF-kertoimen (*Seasonal Performance Factor*) avulla. SPF kertoo vuoden käytön aikana tuotetun termisen energian ja lisäksi käytetyn sähkön keskiarvoisen suhteen. Esimerkiksi SPF 4 kertoo, että järjestelmä tarvitsee 1 kWh sähköä tuottaakseen rakennukselle 4 kWh termistä energiaa. Hyödynnetyn geoenergian määrä on tuolloin 3 kWh. Hukkalämpöä ja vapaa-jäähdytystä käyttävissä järjestelmissä, joissa ei ole lämpöpumppua tai viilennyslaitetta, kiertovesipumppujen ja tuuletinten käyttämän sähkön ja tuotetun energian suhde on usein luokkaa 30–40.

Sähkönkäytön ympäristö- ja ilmastovaikutukset

Kuten kaikella energiankäytöllä, myös sähkönkäytöllä on suoria tai epäsuoria ympäristö- ja ilmastovaikutuksia. Geoenergiajärjestelmän ympäristöarvio riippuu järjestelmän käyttösähkön ympäristöarviosta. Sähkön ympäristövaikutuksia voidaan arvioida monin tavoin, ja arviointiin on tarjolla monia kehittyneitä teorioita ja metodeja, jotka keskittyvät pääosin joko kirjanpidollisiin tai seurausvaikutuksiin. Seurausanalyysi tutkii investoinnin tai muun toimenpiteen aiheuttamia muutoksia energijärjestelmän liikkumavarassa ja sen ilmastovaikutuksissa. Kirjanpidollinen analyysi laskee olemassa olevan toiminnan osuuden koko yhteiskunnan ilmastovaikutuksesta.

Arvioinnin tulos vaihtelee käytetystä laskentatavasta ja olettamuksista riippuen. Samoin kuin taloudellisissa laskelmissa, tässäkin on huomioitava toimenpiteen koko elinkaari (vrt. LCC luvussa 3). Se tarkoittaa, että energijärjestelmän kehityksen ennusteet on otettava huomioon analyysissa.

Kiinteistön omistajalle voi päätöksenteon pohjaksi riittää valmiit laskelmat sähkön ja muun energian ympäristö- ja ilmastovaikutuksista. Tarkempaa, laitteiston tehoprofiilin huomioivaa analyysia varten tarvitaan usein ulkopuolisen asiantuntijan apua. Lisätietoa sähkönkäytön ja muiden energianlähteiden ympäristö- ja ilmastovaikutusten laskennasta on mm. SKL:n julkaisussa *Klimatkonsekvenser av olika energilösningar* (2017). Esimerkkejä eri näkökulmista on myös julkaisussa *Miljövärdering av energilösningar i byggnader etapp 2* (IVL 2017).

3



Talous

Geoenergialle on tyypillistä suuri alkuinvestointi, mutta matalat käyttö- ja huoltokustannukset. Lämpö- ja kiertovesipumppujen tekninen käyttöikä on noin 18–20 vuotta, mutta geoenergiajärjestelmän (suljettu järjestelmä) muut osat eivät juurikaan vaadi huoltoa ja niiden käyttöikä on huomattavasti pidempi. Pohjavesijärjestelmien (avoin järjestelmä) alkuinvestointi on usein pienempi, mutta porakaivojen ja maanpintaan asennettavien putkistojen huoltokustannukset suljettuja järjestelmiä korkeammat. Maahan asennettavien osien osuus alkuinvestoinnista porausta vaativissa laitteistoissa on noin puolet. Nykyään on kuitenkin vankkaa kokemusta siitä, että niiden tekninen käyttöikä on 40 vuotta tai enemmänkin ja niiden voidaan näin ollen olettaa toimivan useiden lämpöpumpunvaihtojen ajan. Maahan asennettavat osat katsotaan joissakin tapauksissa osaksi kiinteistöä, joten niiden tuottovaatimus ja poistot (pääomakustannus) lasketaan samoilla perusteilla kuin rakennuksenkin. Geoenergiajärjestelmän maassa olevat osat ovat rakennuksen ulkopuolella ja osa sen infrastruktuuria. Rakennusta voidaan remontoida useita kertoja ennen kuin maassa olevat osat ovat käyttöikänsä päässä.

Investointiparametrit

Uuden rakennuksen suunnittelu ja asennukset voidaan sovittaa suoraan optimaaliseksi geoenergialaitteistoa varten. Tällöin investointi on suoraan verrattavissa muihin mahdollisiin lämmitys- ja viilennyslaitteistoihin. Muutettaessa olemassa olevan rakennuksen lämmitys- ja viilennysjärjestelmää tietyt toimenpiteet on suoritettava riippumatta aiemmasta järjestelmästä, kun taas osa toimenpiteistä riippuu aiemmasta järjestelmästä. Suurempien muutostöiden yhteydessä tehdään usein myös energiankäyttöä tehostavia muutoksia, mikä vaikuttaa lämmityksen- ja viilennyksentarpeeseen. Sekä remontoinnin että uudisrakentamisen yhteydessä on kuitenkin huomioitava koko energiajärjestelmä, eli lämmitys ja viilennys sekä mahdollisuus järjestelmästä syntyvän hukkaenergian uudelleenkäyttöön.

Suunnittelun geoenergialaitteiston tyypistä ja toiminnoista riippuen remontoitujen rakennuksen energiankäytön hinta saattaa muuttua suuntaan tai toiseen. Jos geoenergialla korvataan paljon energiaa käyttävä kompressoriviilennys tai sähkölämmitys tai jos sillä tasoitetaan energiankäytön huippuja, hinta saattaa laskea. Joissakin muissa tapauksissa energiantarve saattaa kuitenkin kasvaa, jolloin on käytävä läpi myös sulakkeiden ja lämmönjohtamisen kapasiteetti.

Joskus voi olla hyödyllistä varmistaa, voisiko lämmön- ja viilennyksentuotannon ohjaamisen kautta pienentää sulakkeiden kokoa tai hyödyntää tiettyjen vuorokaudenaikojen matalampia sähkönhintoja kustannustehokkaasti. Sähkön ja muiden energiatyyppien odotettu hintakehitys on myös huomioitava investointilaskelmissa, samoin kuin hankkeen kokonaisvaikutus ympäristöön. Rakennustensa ympäristösertifikaattien parissa työskentelevien organisaatioiden on myös otettava tämä huomioon.

Kannattavuuslaskelmat

Tuottovaatimus ja poisto aika vaikuttavat geoenergiaratkaisujen ja vastaavien vaihtoehtojen, kuten aurinkolämmön ja -sähkön, kannattavuuteen merkittävästi. Julkisella sektorilla, missä omistusta ja hallintaa tutkitaan pitkän tähtäimen näkökulmasta yhdessä matalien lainakustannusten kanssa, tuottovaatimus on usein muita markkinoita matalampi. Suurin osa (60–80 %) geoenergiajärjestelmän tuottamasta energiasta otetaan maasta ja on niin ollen ilmaista, joten geoenergiaa hyödyntävien järjestelmien energian kustannus ei ole kovinkaan herkkä sähkön hinnan muutoksille. Elinkaarikustannus (LCC) on hyvä perusta geoenergian investointipäätökselle, sillä siinä huomioidaan laitteiston taloudellinen käyttöikä sekä käyttö- ja huoltokustannukset.

Suora takaisinmaksuaika on yksioikoinen tapa laskea geoenergiajärjestelmän kannattavuutta. Suurempien porakaivo- ja pohjavesivarastoja hyödyntävien hankkeiden kannattavuuslaskelmissa suoraksi takaisinmaksuajaksi lasketaan usein 4–6 vuotta. Yksi esimerkki pitkästä takaisinmaksuajasta on kunnallinen hallintorakennus Lundissa, Kristallen, missä takaisinmaksuajaksi laskettiin jopa 20 vuotta. Hanke päätettiin tästä huolimatta toteuttaa, sillä LCC-laskelmissa geoenergiajärjestelmää pidettiin osana rakennuksen infrastruktuuria, ja sen poisto aika laskettiin samaksi kuin itse rakennuksen.

Muita esimerkkejä kannattavuuden avainluvuista ovat esimerkiksi tuottolaskelmat, investoinnin efektiivinen korko, investointikustannus kutakin asennettua lämmitys- ja viilennyskilowattia kohden sekä tuotetun kilowattitunnin hinta, perustuen vuosikustannukseen (poistot ja käytetty sähkö) sekä vuotuiseseen energiamäärään.

Geoenergiajärjestelmän kaksi funktiota

Se, että yksi geoenergiajärjestelmä voi tuottaa sekä lämpöä että viilennystä, tekee geoenergiasta erittäin kannattavan suurille kiinteistöille, joissa tarvitaan näitä molempia. Sen lisäksi, että tarvitsee investoida vain yhteen järjestelmään, on kätevää, että lämmönotto tuottaa myöhemmin käytettävää kylmää ja kylmänotto lämpöä.

Geoenergian toimittajat

Erityisesti julkisten kiinteistöjen isännöitsijöitä, joiden isännöinti on pitkäaikaista, saattaa houkutella oman geoenergialaitteiston omistaminen ja oman lämmön ja viilennyksen tuottaminen. Viime vuosina on noussut esiin myös vaihtoehto laitteiston omistamiselle: on olemassa yrityksiä, jotka erikoistuvat geoenergialla tuotetun lämmön ja viilennyksen myyntiin kilowattituntiperusteisesti. Toimijoilla on erilaisia liiketoimintakonsepteja, mutta yleisesti ottaen toiminta-ajatuksena on, että geoenergian toimittaja vastaa järjestelmän koko investoinnista ja rakennuksesta sekä huolehtii sen toiminnasta. Asiakas ostaa geoenergiaa kilowattituntiperusteisesti tiettyyn hintaan tietyn ajanjakson ajan. Sopimuskauden päätyttyä asiakas saa mahdollisuuden lunastaa laitteiston jossakin muodossa tai jatkaa geoenergian ostamista toimittajalta.

Osalle kiinteistönomistajista tämä saattaa olla houkutteleva vaihtoehto, etenkin jos hallinta on lyhytaikaista tai epävarmaa tai jos mahdollisuudet suuriin investointeihin ovat rajalliset.

4

Toteuttaminen

Geoenergiajärjestelmän toteutusprosessiin kuuluu hankintoja prosessin yhdessä tai useammassa vaiheessa, alustavia tutkimuksia, käytännön testausta, yhteistyötä viranomaisten kanssa, suunnitelmien tekemistä, tuotantoa ja asennusta, valvontaa, hankkeen luovutus käyttöön sekä lopulta käyttö- ja huoltotoimenpiteet. Tarkkuus on tärkeää alustavassa tutkimusvaiheessa, jotta saadaan selville oikeat edellytykset energiakuormitukselle, paikallisille olosuhteille, luville sekä taloudelle. Suunnitelmavaiheessa sekä tarpeiden määrittämisessä on myös tärkeää saada tiedot mittauspisteistä, mittalaitteistosta sekä ohjaus- ja valvontajärjestelmistä, joita tarvitaan toiminnan varmistamiseen ja optimointiin.

Tämän julkaisun lopussa olevassa tarkistuslistassa nostetaan esiin toteutusprosessin kannalta tärkeitä huomioita.

Geoenergiahankkeen muodostuminen

Ennen kiinteistön uudisrakentamisen tai remontoinnin aloittamista on usein huomioitava paitsi valtakunnalliset rakennussäädökset (Ruotsissa BBR, Boverkets byggregler), myös sisäiset ohjeistukset ja tavoitteet koskien taloudellisuutta, ympäristöä, rakennuksen suunnittelua sekä energiahuoltoa. Tavallisesti rakennuksen energiatehokkuus päätetään ennen sähkön, lämmityksen ja viilennyksen järjestelmiä, jotka valitaan tavoitteena kustannusten, hiilidioksidipäästöjen ja muiden ympäristövaikutusten minimoiminen. Joissakin tapauksissa myös ostenergia on yksi rajoite. Energiahuollon erilaisia vaihtoehtoja vertaillaan näiden kriteerien pohjalta ja päätös tehdään vertailun pohjalta. Rakennuksissa joissa tarvitaan sekä lämmitystä että viilennystä, geoenergia on usein todettu parhaaksi vaihtoehdoksi. Yksi syy tähän on se, että viilennys saadaan aikaan matalilla kustannuksilla vapaajäähdityksellä, mikä puolestaan tehostaa lämmitystä.

Alustavat tutkimukset

Alustavissa tutkimuksissa kartoitetaan hankkeen edellytykset. Rakennuksen energiantarve ja kuormituksen jakautuminen, ilmasto- ja maaperäedellytykset, sähkönsaanti, lupavaatimukset ja taloudelliset edellytykset kuvataan. Joissakin tapauksissa käyttövarmuus, kaksoisvarmistus ja ympäristövaatimukset saattavat asettaa erityisvaatimuksia.

Näiden tietojen perusteella määritetään geoenergiajärjestelmää kuormittava energiakuorma sekä se, miten hyvässä tasapainossa lämmityksen ja viilennyksen välinen suhde on. Avainlukuja ovat energiatasapaino ja järjestelmän kattavuusaste, mitoitettu teho, vuosittainen energiamäärä, lämmityksen, viilennyksen ja käyttöveden kuormituksen vaihtelut sekä lämpötilavaatimukset. Lämpötilavaatimuksia voidaan sopeuttaa geoenergian käytön mahdollistamiseksi valitsemalla esimerkiksi matalalämpöinen lattialämmitys (30–40 °C) ja korkealämpöinen viilennyslaite (10–20 °C). Tavallisesti käyttöveden lämpötilavaatimukset määritetään legionellabakteeririskin vuoksi 60 asteeseen. Jakelulämpötilana (kuumavesikierto) on yleisimmin 50 astetta. Hoitolaitoksissa käyttöveden on saavutettava 60 asteen lämpötila 30 sekunnissa.

Kartoitettavana on myös energianlähteet, joiden tuottamaa energiaa voidaan uudelleenkäyttää, käyttöhuippujen tarve sekä eri rakennusten ja rakennuksen eri osien väliset synergiamahdollisuudet. Energian palautus voi tapahtua esimerkiksi kiertoveden viilennyksen, rakennusviilennyksen, ulkoilman, pintaveden, hukkalämmön tai aurinkokeräinten avulla. Näiden tietojen perusteella muodostetaan alustava järjestelmäkuvaus. Sähkön saatavuus on myös varmistettava.

Alustavassa tutkimusvaiheessa kartoitetaan paikalliset olosuhteet tutkimalla kiinteistön rajojen sisäpuolinen geoenergiajärjestelmälle käytettävissä oleva maapinta-ala sekä porauksen vaatima pinta-ala. Maa-alueen olosuhteista on suoritettava alustava arviointi. Tässä voidaan käyttää apuna SGU:n kaivoarkiston tietoja, geologisia karttoja sekä paikallisten poraajien tietoja, sillä heillä on hyvä käsitys maaolosuhteista. Näiden tietojen pohjalta valitaan sopiva geoenergian muoto ja päätetään laitteiston alustavat mittasuhteet, kuten energiakäivien määrä, etäisyys, sijoittelu ja syvyys.

Alustaviin tutkimuksiin kuuluvat myös kannattavuuslaskelmat ja investoinnin takaisinmaksuaika sekä käyttö- ja huoltokustannuslaskelmat. Tarvittaessa voidaan suorittaa myös vaikutusarviointi organisaation energia-, ilmasto- ja ympäristötavoitteet huomioiden.

Viranomaisyhteistyö

Alustavan tutkimuksen jälkeen valmistellaan lupa-asiat ja tehdään yhteistyötä tarvittavien viranomaisten kanssa. Porakaivovarastojen lupaprosessi on Ruotsissa yleisesti ottaen yksinkertainen. Kunnan ympäristötoimisto antaa porausluvan saatuaan ilmoituksen ja suoritettuaan arvioinnin.

Pohjavesijärjestelmät sen sijaan luetaan vesitaloustoiminnaksi, joten ne vaativat Ruotsissa yleensä nk. vesioikeuspäätöksen.

Maaperätutkimus

Tarkemmissa maaperätutkimuksissa selvitetään maa-alueen ominaisuudet. Kaikille porakaivojärjestelmille, joissa on yli kymmenen kaivoa, on suoritettava vähintään terminen vastetest (TRT), jotta voidaan määrittää maan efektiivinen lämmönjohtavuus porakaivokentän alueella. TRT-testiä varten porattava testikaivo tarjoaa tietoja poraamisen suorittamiseen ja taloudellisiin seikkoihin vaikuttavista olosuhteista sekä mahdollisista voimakkaasti vettä siirtävistä kerroksista, pohjaveden ylipaineisuudesta ja porakaivon sortumariskistä. Pohjavesijärjestelmistä on tehtävä hydrogeologinen arvio, johon kuuluu koeporaus, koepumppaus sekä vesikemianalyysi.

Suunnitelmat

Suunnitelmavaiheessa analysoidaan geoenergiajärjestelmän energiakuorma tarkemmin maaperätutkimuksesta saatuihin yksityiskohtaisiin tietoihin perustuen. Myös järjestelmän muodostusta ja poraussuunnitelmaa voidaan muokata. Aivan kuten muissakin energiaan liittyvissä investointipäätöksissä, tässä vaiheessa on tutkittava tarkkaan rakennuksen huoltosuunnitelmaa ja varmistettava, onko energiankäyttöä tehostavia toimenpiteitä suunnitelmissa ja voidaanko ne suorittaa ensin. Tämä saattaa vähentää energian tarvetta ja madaltaa geoenergiajärjestelmän hintaa. Sekä kannattavuuden että teknisten toimintojen kannalta on tärkeää, että geoenergiajärjestelmä on mitoitettu todellista kuormitustaan varten, ja ettei tarpeetonta liikakapasiteettia lämmityksen tai viilennyksen suhteen ole luotu. Kokemus osoittaa, että kannattaa ennemmin asentaa useampi pienempi lämpöpumppu rinnakkain yhden suuremman sijaan, sillä suurempi pumppu toimii liikakapasiteetilla suuren osan ajasta. Useammalla pienellä rinnakkaisella lämpöpumpulla kapasiteetti voidaan optimoida niin, että ne tuottavat juuri sopivan määrän lämpöä ja viilennystä joka hetki.

Muita tärkeitä energiatehokkuutta parantavia ja laitteiston taloudellisuutta tehostavia toimenpiteitä ovat lämpöpumpun tai viilennyslaitteen lämpimän ja kylmän puolen hyödyntäminen ja optimaalisen lämpötilaeron (ΔT) varmistaminen sekä lämpimällä että kylmällä puolella.

Usein huomiotta jäänyt tekijä on pumppuenergia ja valmiustilan synnyttämä hävikki. Tarkkuus on tärkeää järjestelmää suunnitellessa, jotta voidaan minimoida loishäviöt, kuten tarpeettoman pumppuenergian ja laitteistojen valmiustilassa pitämisen synnyttämä hävikki. Jos pumppaus on mukautettu virtaaman mukaan, voidaan käyttää frekvenssiohjattuja pumppuja.

Vaatimusmäärittely

Vaatimukset on määriteltävä selkeästi ja tarkasti. Vaatimusmäärittelyn on katettava muun muassa laitteiston ohjausjärjestelmän ja mittausohjelmien määrittely, vaatimus sertifioiduista porausurakoitsijoista ja asentajista, maininta tyyppihyväksytyjen keräinten ja muiden komponenttien käytöstä sekä vaatimus SGU:n Normbrunn-asiakirjan ohjeiden noudattamisesta porauksessa ja asennuksessa.

Hankinnat ja hankkeen toteuttaminen

Kuten muidenkin kuntien, maakäräjien ja valtion hankintojen Ruotsissa, geoenergialaitteiston toteuttamishankkeen on luonnollisesti noudatettava Ruotsissa voimassa olevaa lakia julkisista hankinnoista (Lagen om offentlig upphandling, LOU). Hankintamuotoa valittaessa on otettava huomioon rakennuttajan toiveet ja mahdollisuudet vaikuttaa laitteiston muodostumiseen ja kokonaiskustannuksiin. Jos rakennuttajalla ei vielä ole kattavaa kokemusta eikä suuria resursseja osallistua aktiivisesti hankkeeseen, saattaa paras vaihtoehto olla kokonaisurakka yhdeltä urakoitsijalta, jolla on kattavat referenssit vastaavista hankkeista.

On tärkeää, että hanke kattaa hyvät takuuehdot ja tarkan seurannan, toiminnanhallinnan sekä käyttöönluovutuksen. Laitteiston lopputarkastusta varten vaaditaan yksityiskohtaiset käyttötестit, mieluiten pidemmältä aikaväliltä, kuten kahden viikon ajalta. Hankintaan kannattaa usein sisällyttää suunnittelijoiden ja käyttöhenkilöstön käytönseurantatapaamisia tietyin välein ensimmäisten käyttövuosien aikana.

Käyttö ja huolto

Julkisten kiinteistöjen omistajille on usein hyötyä siitä, jos laitteiston käyttäjiksi on nimetty erillisiä, geoenergiaa tuntevia henkilöitä, sillä kokemus varmistaa laitteiston huolellisen hoidon sekä parhaan mahdollisen käytön ja huollon. Geoenergian käyttötoimenpiteet vastaavat kaukolämmön tai -viilennyksen käyttötoimenpiteitä, mutta jos geoenergiaa käytetään sekä lämmitykseen että viilennykseen, on käyttötoimenpiteitä jonkin verran enemmän.

Koulutetun, jatkokoulutetun ja aktiivisen käyttöhenkilöstön merkitystä ei voi korostaa liikaa. Selkeisiin mittaukseen, seuraamiseen sekä käyttötietojen keräämiseen, tallentamiseen ja analysoinnin rutiineihin kannattaa investoida, jos haluaa myös käytännössä tehokkaasti toimivan järjestelmän. Geoenergialaitteiston suunnittelijoiden ja käyttöhenkilöstön välisen käyttöönluovutuksen ja vuorovaikutuksen sujuvuus on ensiarvoisen tärkeää laitteiston sujuvan hienosäädön kannalta. Suositus on, että käytöstä myöhemmin vastuussa oleva henkilö olisi mukana jo rakennusprosessissa.

→ COP JA SPF

COP-tehokkuuskerroin (Coefficient of Performance) mittaa lämpöpumpun toiminnan tehokkuutta *tietyllä hetkellä* tietyissä olosuhteissa. Kerrointa käytetään vertailemaan eri lämpöpumppujen tehokkuutta samoissa olosuhteissa, ja kaikkien lämpöpumpputoimittajien on ilmoitettava se standardisoidusti. COP ilmaisee kondenssoriin tuotetun energian ja kompressorin käyttöön kuluvan energian välisen suhteen.

SPF-kerroin (Seasonal Performance Factor) mittaa, paljonko energiaa tuotetaan suhteessa laitteiston käyttöön kuluvaan energiaan *vuoden aikana*. SPF voidaan laskea myös järjestelmän eri osille: SPF₁ kattaa pelkän lämpöpumpun, SPF₂ lämpöpumpun ja lämmönlähteen, mukaan lukien kiertovesipumpun, SPF₃ lämpöpumpun, lämmönlähteen ja varalämmönlähteen, ja SPF₄ lämpöpumpun, lämmönlähteen, varalämmönlähteen sekä jakelujärjestelmän.

Samalla tavoin voidaan laskea *järjestelmän tietyn osan keskimääräinen tehokkuus tietylle ajanjaksolle*, kuten tietylle päivälle tai kuukaudelle: hyödynnetyn energian määrän ja prosessin käyttöön kuluneen energian määrän suhde. On tärkeää ilmaista selkeästi, mille järjestelmän osalle ja mille ajanjaksolle järjestelmän keskimääräinen tehokkuus on laskettu.

Yksi keino arvioida laitteiston suorituskykyä on laatia kaavio järjestelmän keskimääräisestä tehokkuudesta viilennyksen ja lämmityksen suhteen (esimerkiksi vuorokausi- tai kuukausitasolla) ulkolämpötilaan verraten.



5

Inspiroivia esimerkkejä

Tässä luvussa esitellään 12 erilaista geoenergiahanketta Ruotsin julkisissa kiinteistöissä. Laitteistot toimivat esimerkkeinä geoenergian erilaisista sovelluksista, ja ne sijaitsevat eri puolilla maata.



KAAVIO 4 • Erilaisia julkisten kiinteistöjen geoenergiahankkeita eri puolilla Ruotsia.

Terminen verkko Norlannin yliopistollisessa sairaalassa Uumajassa

Uumajassa sijaitseva Norlannin yliopistollinen sairaala on Länsipohjan läänin ja koko pohjoisen sairaanhoitoalueen suurin sairaala. Sairaala tarjoaa erikoistunutta hoitoa ja palveluja 876 000 ihmiselle, joiden asuinalue kattaa maantieteellisesti yli puolet Ruotsista. Sairaala työllistää noin 5 600 henkilöä, ja sen lämmitettävä ja jäähdytettävä pinta-ala kattaa 330 000 neliometriä. Sairaalakäytössä olevien lämmitys-, viilennys- ja sähköjärjestelmien on oltava toimintavarmoja ja kaksoisvarmistettuja, mikä käytännössä tarkoittaa, että käytettävissä on oltava varajärjestelmä, joka käynnistyy, jos varsinainen järjestelmä vikaantuu. Sairaalassa on panostettu sisäiseen termiseen verkkoon, johon kuuluu kaksi geoenergialaitteistoa, kolme kaukoviileän toimituspistettä, kaksi kylmä-lämpöpumpuilla varustettua laitteistoa, aurinkokeräimet sekä käyttöhuipuille tarkoitettu viilennyslaite. Termisen verkon käyttöönoton jälkeen kaikki potilaat ja henkilöstön jäsenet ovat saaneet nauttia entistä paremmasta sisäilmasta sekä kesä- että talviaikana.

→ LAITTEISTOTIEDOT

Norlannin yliopistollinen sairaala (NUS)

Kohdetyyppi: Aluesairaala

Rakennuttaja: Länsipohjan läänin maakäräjät
(Västerbottens läns landsting, VLL)

Porakaivovarastojen käyttöönotto: 2010 ja 2016

Geoenergian muoto: Porakaivovarasto

Muuta tietoa laitteistosta: Terminen verkko, johon kuuluu kaukolämpö ja -viileä, kylmä-lämpöpumppuja, viilennyslaite, aurinkokeräimiä sekä viilennykseen ja lämmitykseen käytettäviä geoenergialaitteistoja

Muuta: Tilojen pinta-ala 330 000 neliometriä

Investoinnin syyt

Yksi painava syy sille, että sairaalan energiaratkaisuksi valittiin terminen verkko, oli vakauden ja kaksoisvarmistuksen vaatimus. Kriisivalmiudesta vastaava viranomais on julkaissut sairaaloita koskevan ”Det robusta sjukhuset” -kirjoituksen, jossa nostetaan esiin mm. sähkön, viestintätekniikan, vedensaannin, lämmityksen, viilennyksen sekä IT:n varajärjestelmien välttämättömyys ulkoisista häiriöistä selviämiseksi. Termistä verkkoa ylläpitää kaksinkertainen lämmitys- ja viilennysjärjestelmä.

Norlannin yliopistollisen sairaalan kiinteistöaluepäällikkö Hans Johansson vastaa myös termisen verkon töistä. Hän on ottanut huomioon, että sairaalan alueella tarvitaan sekä lämmitystä että viilennystä, joskus samanaikaisesti mutta eri paikoissa. Lähtökohtana on ollut, että ensisijaisesti käytetään paikallisia termisiä resursseja sen sijaan, että ensin käytettäisiin sähköä laitteille, ostettaisiin

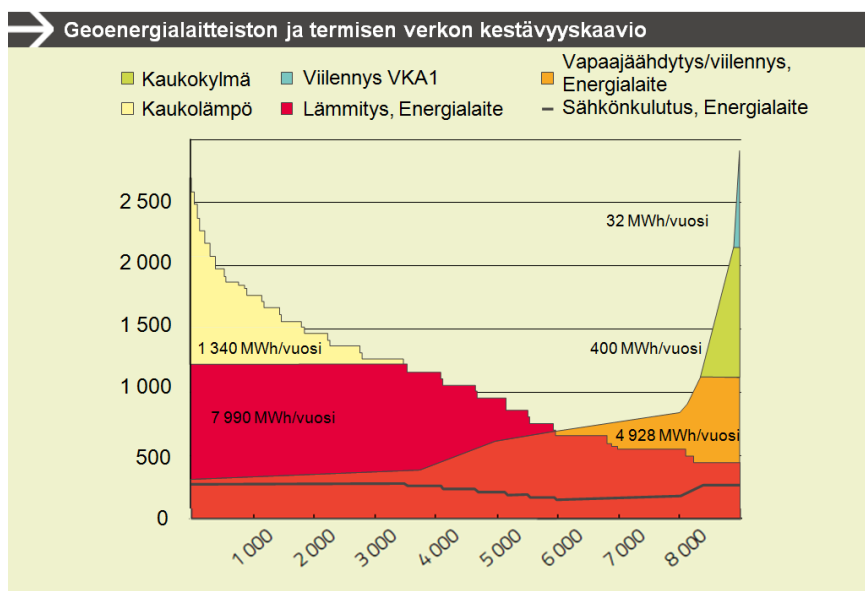
viilennystä ylijäämälämmöstä huolehtimiseksi ja sitten ostettaisiin vielä lämpöä sairaalan toiseen osaan. Termisen verkon avulla ylijäämälämpö ja -kylmä voidaan varastoida porakaivovarastoihin ja käyttää myöhemmin.

Kaksoisvarmistuksen lisäksi investointia puolsi se, että energian hyötykäyttö ja kausittainen varastointi porakaivovarastoihin pienentävät hiilidioksidipäästöjä. Järjestelmää pidettiin myös pitkällä aikavälillä kestäväenä investointina.

Sairaalan termisen verkon geoenergiajärjestelmä muodostaa perustan viilennykselle, jossa kaukoviileää käytetään varalla, jos geoenergiajärjestelmä vikaantuu.

Talous

Maakäräjät investoi termiseen verkkoon yhteensä 55 miljoonaa kruunua, josta 40 miljoonaa kului suurempaan geoenergialaitteistoon (n. 32 000 kruunua/lämmityskilowatti). Koko terminen verkko säästää vuodessa 10 miljoonaa kruunua, josta porakaivovaraston osuus on noin 4,5 miljoonaa. Päivätasolla tämä tarkoittaa maakäräjille noin 12 000 kruunun säästöä lämmityksen ja viilennyksen kustannuksista.



KAAVIO 4 • Geoenergialaitteiston ja termisen verkon pysyvyyskaavio.



Norrlandin yliopistollinen sairaala, Länsipohjan läänin maakäräjät. Kuva: Andreas Nilsson.

Lyhyt tekninen kuvaus

Sairaalan sisäiseen termiseen verkkoon kuuluu kaksi geoenergialaitteistoa, kaukokylmä sekä viilennyslaitteita monimutkaisena järjestelmänä, johon verrattavissa olevia kokonaisuuksia ei maailmassa ole montaa. Termisen verkon hyötykäyttämän energian määrä on noin 18 000 MWh, josta 10 000 MWh on lämpöä ja 8 000 MWh kylmää. Lämmöntuotannossa kylmä-lämpöpumppuja käytetään lämpöasetuksella. Koko termisen verkon asennettu lämmitysteho on 220 + 160 kW kylmä-lämpöpumpuilta, 160 + 1 100 kW geoenergiasta sekä 1 000 kW viilennystä viilennyslaitteista.

Järjestelmään kuuluvat kaksi geoenergialaitteistoa on sijoitettu pysäköinti-alueen alle. Pienemmän, vuonna 2010 rakennetun, kokonaisuuden 20 porakaivoa ulottuvat 200 metrin syvyyteen. Suurempi laitteisto rakennettiin vuonna 2015, ja sen 125 porakaivoa ulottuvat 250 metriin. Suurempi laitteisto on jaettu kahdelle porakaivovarastolle, joiden lämpötila on keskenään erilainen.

Suurempi geoenergialaitteisto kaksine porakaivovarastoineen otettiin käyttöön keväällä 2016, ja se mahdollistaa sairaalalle vapaajäähdytyksen täysimittaisen käytön keväisin. Kun ulkoilma lämpenee, viilennyslaitteet käynnistyvät ja niiden ylijäämälämpö varastoidaan toiseen porakaivovarastoon talvea varten. Samaan aikaan toiseen porakaivovarastoon varastoituu toiminnoissa syntyvää lämpöä, ja sieltä luovutetaan vapaajäähdytystä. Tämä tarkoittaa, että viilennyslaitteiden ja kaukokylmän tarve pysyy pienenä. Kaksi geoenergialaitteistoa tuottaa noin 7 000 MWh lämpöä ja 5 000 MWh kylmää vuodessa, mikä kattaa noin 95 % sairaalan viilennystarpeesta ja yli 20 % lämmitystarpeesta. Tämän ylittävä lämmitystarve katetaan kaukolämmöllä.

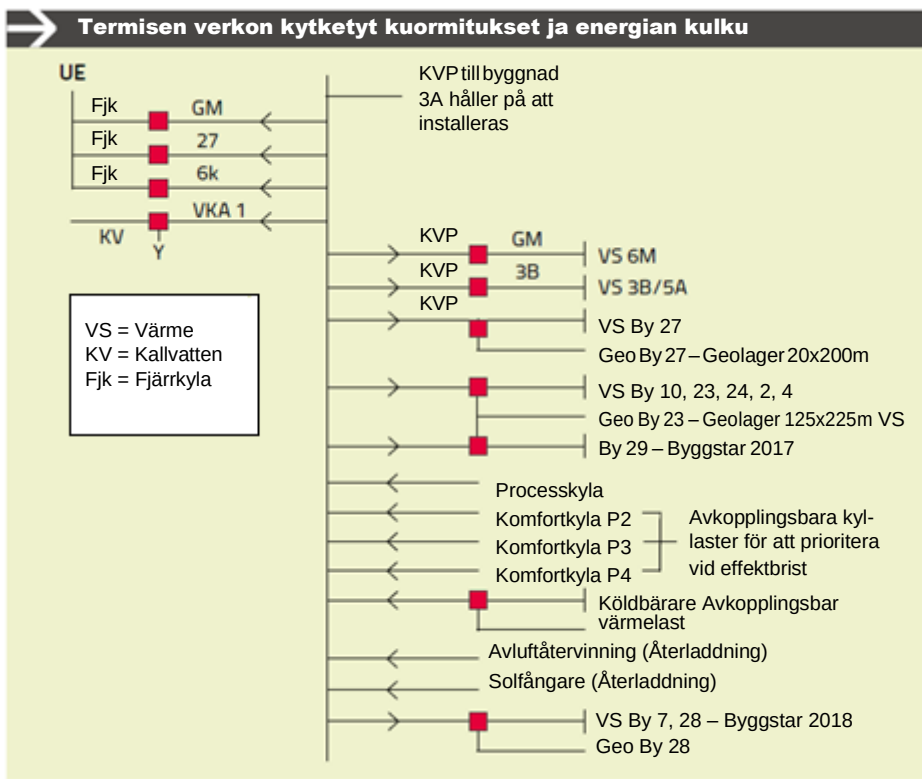
Muuta

Sairaalan energijärjestelmä on monimutkainen, ja sen ohjausjärjestelmän on oltava kattava, jotta kaikki järjestelmän osat saadaan viestimään keskenään. Ohjausjärjestelmä on kokonaiskonsepti, jossa energiakeskus optimoi porakaivo-varastojen ja kylmän ja lämpimän verkon välistä yhteistyötä niin, että energia kulkee järjestelmän osien välillä mahdollisimman tehokkaasti.

Hans Johanssonin mielestä tekniikan ja energian alan insinöörien ja teknikojen välillä on kilpailua, mutta teknisesti mielenkiintoinen rakennuskanta yhdessä dynaamisen ja nykyaikaisen hallinto-organisaation kanssa voivat tehdä VLL:stä houkuttelevan työpaikan. Tätä tavoitetta ollaan kovaa vauhtia saavuttamassa, eikä hyvien työntekijöiden rekrytoimisessa liene tulevaisuudessakaan ongelmaa.

Ensimmäisen käyttövuoden aikana geoenergiajärjestelmä tuotti odotettua enemmän kylmää. Uuden geoenergialaitteiston viennystehoksi mitattiin 1 200–1 700 kW, mikä on 120–170 % suunnitellusta tehosta.

Sairaalan termistä verkkoa täydennetään seuraavaksi yhdellä porakaivo-varastolla, johon tulee noin 10 000 metriä porakaivoja ja noin 600 kW lämmön- tuotantoa.



KAAVIO 5 • Termisen verkon kytketyt kuormitukset ja energian kulku Norlannin yliopistollisessa sairaalassa.

Sundsvallin sairaalan lumivarasto

Sundsvallin Hagan alueella sijaitseva Sundsvallin sairaala on yksi kolmesta pohjoiseen sairaanhoitoalueeseen kuuluvasta Västernorrlandin läänin maakäräjien sairaalasta. Sairaalassa toimii ensihoidon, synnytyksen, erikoissairaanhoidon sekä palvelutoimintojen osastoja. Sairaalan alue kattaa yli 210 000 neliometriä. Sairaala työllistää lähes 3 000 henkilöä ja hoitopaikkoja on 500.

Vuonna 2000 sairaalalla otettiin käyttöön lumivarasto, johon mahtuu 30 000 kuutiometriä lunta, jota voidaan käyttää sairaalan viilennykseen. Lumivarastoa on sittemmin laajennettu 70 000 kuutiometriin, jotta se kattaa sairaalan koko viilennystarpeen toukokuusta syyskuuhun. Lumi kerätään sairaala-alueen lumenpoistosta ja varastoidaan asfaltoituun kuoppaan sairaalan lähellä. Varasto eristetään kesäksi samankaltaisella hakkeella, jota Sundsvallin kaukolämpökeskuksessakin käytetään. Sundsvallin sairaalan laitteisto on ainoa laatuaan Ruotsissa, ja se on toiminut suurelta osin ongelmitta. Viilennystä käytetään pitämään tiloja, lääketieteellisiä laitteita ja palvelinsaleja sopivan lämpöisinä. Lunta on muissa maissa käytetty jo pitkään viilennykseen: esimerkiksi Japanissa on useita lumivarastoja vihannesten ja juuresten säilytykseen.

→ LAITTEISTOTIEDOT

Sundsvallin sairaala

Kohdetyyppi: Lääninsairaala

Rakennuttaja: Västernorrlandin maakäräjät (Landstinget i Västernorrland, LVN)

Käyttöönotto: 2000

Geoenergian muoto: Lumivarasto (kuoppavarasto)

Muuta tietoa laitteistosta: 70 000 kuutiometriä lunta varastoidaan kesän viilennystarpeita varten. Viilennys 2 000 MWh (touko-syyskuu); viilennysteho noin 3 000 kW

Investoinnin syyt

Kun R11- kylmäaine kiellettiin 1990-luvun lopulla, sairaalan oli keksittävä vaihtoehto R11:tä käyttävälle viilennysjärjestelmälleen. Idea lumivarastosta keksittiin ja testattiin yhdessä Luulajan teknisen yliopiston tutkijoiden kanssa, ja onnistuneiden testauksen jälkeen varasto rakennettiin täydessä mittakaavassa.



Lunta ja haketta, Västernorrlandin maakäräjät. Kuva: Anders Eliasson.

Talous

Lumivaraston käyttöönoton jälkeen sähkönkulutus ja näin ollen myös hiilidioksidipäästöt ovat vähentyneet yli 90 prosentilla: vuosittaisesta 900 MWh:sta noin 65 MWh:iin. Ympäristölle vaarallisista kylmäaineista on suurimmaksi osaksi päästy eroon. Lisäksi ympäristölle hyödyllistä on se, että lumesta puhdistetaan öljy ja muut epäpuhtaudet, jolloin nämä jäänteet voidaan varastoida tai tuhota.

Lumivaraston käyttö kuluttaa yhteensä noin 50–60 MWh sähköä vuodessa. Varasto tuottaa 1 500–2 000 MWh kylmää vuodessa, joten vuosittainen viilennyskerroin on noin 30–35.

Lumivaraston käyttöönottokustannukset olivat yhteensä 14,5 miljoonaa kruunua (4 800 kruunua yhtä kilowattia viilennystä kohden). Sundsvallin lumivarasto oli uraa uurtava hanke, jossa voitiin testata ja demonstroida uutta tekniikkaa, mutta tämäkin huomioon ottaen toteutuneet kustannukset olivat huomattavasti korkeammat kuin vastaavilta hankkeilta voisi odottaa. Hanke sai taloudellista tukea 50 prosenttia investointikustannuksista.

Jos lunta ei ole saatavilla riittävästi, varajärjestelmänä toimii lumitykkejä. Vesi lumitykkeille johdetaan järjestelmässä olevista porakaivoista, ja se viilennetään lumivarastossa ennen kuin se johdetaan tykeille. Tuotetun tykkilumen kustannus on kaksi äyriä yhdeltä kilowattitunnilta. Urakoitsijat maksavat 130 kruunun säilytysmaksun kuormaa kohden.

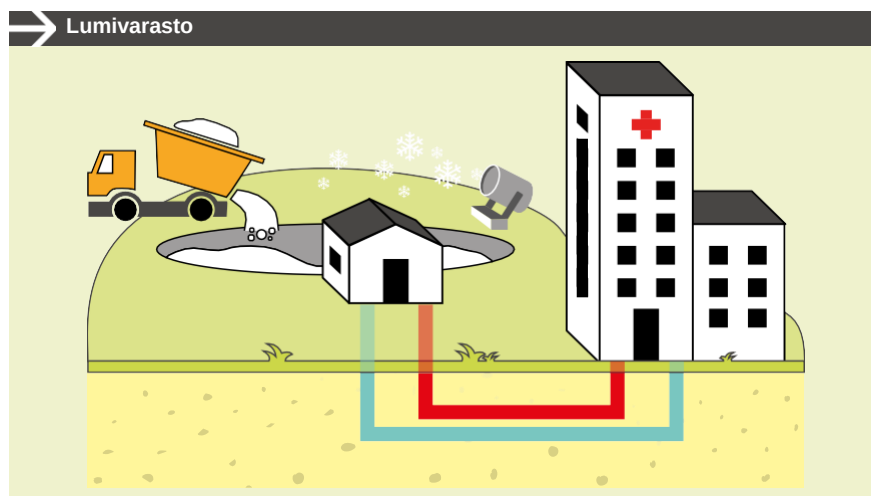
Lyhyt tekninen kuvaus

Sundsvallin sairaalan lumivarasto kattaa sairaalan lähes koko viilennyksen-tarpeen toukokuusta syyskuulle, ja tuottaa 1 500–2 000 MWh kylmää, mikä on noin kaksi kolmasosaa sairaalan koko vuoden viilennystarpeesta. Viilennykseen voidaan tarvittaessa käyttää myös ulkoilmasta saatavaa vapaajäähdytystä.

Sundsvallin lumivarastoa on laajennettu ja parannettu käyttöönottovuoden 2000 jälkeen. Kapasiteetti on nyt 70 000 kuutiometriä lunta. Lumivaraston toiminta-

periaate on yksinkertainen. Sairaala kerää alueen lumenpoistosta kertyvän lumen ja varastoi sen seitsemän metrin korkuiseen ja jalkapallokentän kokoiseen asfalttipintaiseen varastoon. Lumenpoistokauden lopuksi varasto peitetään noin 20 senttimetrin kerroksella eristävää puuhaketta. Lumivaraston pohja viettää jonkin verran yhteen kulmaan, jossa pumppuyksikkö pumppaa 1–2-asteista sulamisvettä pois varastosta. Sulamisvedelle suoritetaan sairaalan viilennysjärjestelmässä lämmönvaihto, minkä jälkeen noin 8–10-asteinen vesi johdetaan takaisin lumivarastoon sulattamaan lisää lunta. Noin 90 % viilennyksestä tulee sulamisprosessista. Koska prosessin aikana syntyy yhä enemmän sulamisvettä, osa siitä on johdettava pois järjestelmästä. Pumppujen ja lämmönvaihdinten suojaamiseksi sulamisvedestä suodatetaan pois pienhiukkaset ja muut lumeen talven aikana kertyvät epäpuhtaudet.

Vaikka lumi peitetään eristävällä hakekerroksella, aiheuttavat sää ja tuuli jonkin verran lämpövuotoa. Sundsvallissa on laskettu, että noin 30 % lumesta menetetään tahattoman sulamisen vuoksi.



KAAVIO 6 • Sundsvallin sairaalan lumivarastossa käytetään lumenpoistosta saatavaa lunta, jonka määrää täydennetään tarvittaessa lumitykeillä.

Muuta

Lumitykkeitä käytetään marraskuun puolestavälistä eteenpäin, jotta varasto saadaan noin 15-prosenttisesti täyteen. Sen jälkeen on tähän saakka voitu luottaa siihen, että luonnonlumi täyttää varaston loppuun. Lumivaraston käytöstä ja huollosta vastaavat Västernorrlandin maakäräjien käyttöteknikot.

Sundsvallin lumivarasto on luonut pohjaa uusille tieteelliselle tutkimuksille (ks. Lähteet).

Arlandan lentokentän lämpö ja viilennys pohjavesivarastosta

Arlandan lentokenttä käyttää nykyään yhteensä noin 22 GWh lämpöä ja viilennystä yhteensä, mikä vastaa suunnilleen 25 000 asukkaan kaupungin energiankäyttöä. Vuoteen 2009 saakka Arlandan lentokentän viilennys hoidettiin viilennyslaitteilla, jonka kondensaattoreita viilensi läheinen Halmsjön-järvi. Järveen palautui suuria määriä lämpöä, mikä huononsi järven kuntoa. Vuonna 2009 otettiin käyttöön pohjavesivarasto korvaamaan viilennyslaitteet. Tämän jälkeen koko lentokentän lämmitys ja viilennys on hoidettu kausivarastoidun pohjaveden avulla. Lämpö ja kylmä varastoidaan pohjavesivarastoon kylmän ja lämpimän kaivoryhmän avulla. Pohjavesi on osa Långåsen-soraharjua, joka on Halmsjön-järven lähellä lentokentän itäpuolella.

Talven aikana käytetään lämpöä pohjavesivaraston lämpimältä puolelta lentokentän ilmanvaihdossa käytettävän ilman lämmittämiseen sekä lentokoneiden pysäköintialueiden lämmittämiseen ja lumen sulatukseen. Palautuva kylmä varastoidaan pohjavesivaraston kylmälle puolelle. Myös järvestä saatavaa kylmää siirretään pohjavesipiiriin ja varastoidaan pohjavesivarastoon. Kylmää käytetään kesäaikana lentokentän viilennystarpeisiin samalla, kun hukkalämpö varastoidaan lämpimiin kaivoihin. Järjestelmässä ei ole lämpöpumppuja, mutta pari vanhempaa viilennyslaitetta, joita käytetään varalaitteina ja käyttöhuippuja tasaamaan.

→ LAITTEISTOTIEDOT

Arlandan lentokenttä

Kohdetyyppi: Lentotermiinaali

Rakennuttaja: Swedavia

Käyttöönotto: 2009

Geoenergian muoto: Pohjavesivarasto, jossa lämmin ja kylmä puoli

Muuta tietoa laitteistosta: Ilmanvaihdossa käytettävän ilman lämmitys ja viilennys sekä lentokonepaikkojen lumensulatus. 12 siiviläkaivon muodostelma, 20–30 metriä syviä (2016). Lisää kaivoja suunnitteilla.

Pohjaveden tason hallinta: Pumpputkaivo, jossa poisto järveen

Työlämpötila, kylmä puoli: 3–8 °C

Työlämpötila, lämmin puoli: 15–25 °C

Maksimivirtaus: 720 kbm/h (200 l/s)

Viilennys- ja lämmitysteho: 12 MW (ΔT 15°C)

Vuosittainen energianvaihto: 11 GWh kylmää ja 11 GWh lämpöä



Arlandan lentokenttä. Kuva: Daniel Asplund. Lähde: Swedavian MyNewsdesk.

Investoinnin syyt

Päätös pohjavesivaraston käyttöönotosta tehtiin etupäässä ympäristösyistä. Yhtenä tavoitteena oli vähentää kasvihuonepäästöjä, toisena vähentää sähkönkulutusta. Hukkalämmön pääsyä järveen haluttiin myös vähentää. Laskelmat osoittivat kannattavuuden hyväksi, mikä tuki päätöstä.

Talous

Hankkeen kokonaisinvestointi oli noin 50 miljoonaa kruunua. Summasta noin puolet käytettiin kaivoihin, kaivoasennuksiin, päällysrakenteisiin, energiahuoltoon, kaivojen ohjaus- ja valvontajärjestelmiin sekä kylmäkeskukseen ja sieltä pois vieviin johtamisjärjestelmiin. Toinen puoli kului kylmäkeskuksen sisäiseen järjestelmään, mukaan lukien pieni lisärakennus.

Kuluneiden vuosien vuosituotto kylmälle ja lämmölle on ollut noin 22 GWh ja energiakerroin noin 60. Tämä tarkoittaa noin 4 GWh:n vuosittaista sähkön-säästöä ja noin 11 GWh pienempää kaukolämmön tarvetta. Säästön rahallinen arvo vaihtelee, mutta vuonna 2008 sen arvioitiin olevan noin kymmenen miljoonaa kruunua vuodessa, mikä antoi kokonaisjärjestelmälle takaisinmaksuajaksi noin viisi vuotta.

Lyhyt tekninen kuvaus

Järjestelmä on mitoitettu 200 l/s:n maksimivirtaukselle sekä kesä- että talvi-käytössä. Pohjavesivaraston kylmän puolen keskimääräinen lämpötila on +6 °C ja lämpimän puolen +20 °C. Suurin mahdollinen ottoteho on 12 MW (kun ΔT 15 °C), mikä vastaa lentokentän koko viilennystehontarvetta keski-kesän lämmössä. Kylmäkeskuksessa on varajärjestelmänä pari vanhempaa viilennyslaitetta, joita voidaan käyttää tasaamaan käyttöhuippuja tai varmistamaan viilennys toimintahäiriöissä.

Kylmäkeskuksessa kylmä tai lämpö siirretään kaksinkertaiseen jakelu-putkeen, joka kulkee tunnelia pitkin terminaalirakennuksiin. Lämmönvaihtoon käytetään kahta rinnankytkettyä valtavaa lämmönvaihdinta, joiden lämpötappio on korkeintaan yhden asteen. Järjestelmä on kytketty myös viereiseen järveen, mistä vapaajäähdytystä voidaan ottaa suoraan keväällä ja syksyllä tai siirtää talven aikana viileää pohjaveteen, missä se varastoidaan kesää varten.

Kaivot vaativat huoltoa, muun muassa siksi, koska niiden kapasiteetti pienenee ajan mittaan. Tähän mennessä puhdistustoimenpiteiden määrä on tosin ollut hyvin pieni.

Muuta

Ensimmäinen käyttövuosi osoitti, että pohjavesi ”vuosi” itään päin täydellä virtauksella, kun kylmää varastoitiin sinne talven aikana. Tilanteen korjaamiseksi laadittiin suunnitelma kylmän varastoinnin parantamiseksi laskemalla pohjaveden tasoa kyseisessä harjun osassa ja poraamalla uusia kaivoja, jolloin korkeampi paine jakaantuu laajemmalle. Vesioikeuspäätöksen uudessa arvioinnissa Swedavia sai vuonna 2013 osittaisen vesioikeuspäätöksen myötä luvan toteuttaa muutostyöt. Ne tosin aloitettiin vasta vuonna 2015, kun Swedavia oli saanut vesioikeuspäätöksen koko lentokentälle. Tähän mennessä (vuonna 2016) on rakennettu yksi uusi kylmä kaivo sekä yksi pumppukaivo, jolla pohjaveden tasoa voidaan laskea ennen talvella tapahtuvaa kylmänvarastointia.

Tukholman Frescatin ylioppilastalon kattava porakaivovarasto

Tukholman yliopistoalueen, Frescatin, uusi ylioppilastalo valmistui syksyllä 2013. Rakennuksen neljässä kerroksessa on yli 6 000 neliötä lämmitettyä pinta-alaa. Rakennuksessa on opiskelijatiloja, kokoustiloja, juhlasaleja, oppilaskunnan toimisto ja kahvila. Rakennuksen omistava Akademiska Hus on ollut mukana varmistamassa, että rakennuksen ilmastosuojassa on toimiva lämpöeristys ja energiatehokkaat ikkunat sekä riittävästi suojaa auringolta. Rakennuksen ulkoveien osien varjostusta on hyödynnetty myös viilennystarpeen vähentämisessä.

Koko ylioppilastalon lämmön- ja viilennyksentarpeen täyttää kahdestakymmenestä 200 metrin syvyydestä porakaivosta muodostuva porakaivovarasto. Rakennuksen energiasuoritusarvoksi (ostoenergia, mukaan lukien kiinteistö sähkö) on laskettu alle 25 kWh neliömetriä kohden vuodessa.

LAITTEISTOTIEDOT

Frescatin ylioppilastalo

Kohdetyyppi: Uusi rakennus, jossa toimistoja, ravintola sekä opiskelupaikkoja

Rakennuttaja: Akademiska Hus

Rakennusvuosi: 2013

Geoenergian muoto: Porakaivovarasto

Muuta tietoa laitteistosta: 20 porakaivoa 200 metrin syvyyteen. Asennettu teho 200 kW lämmitystä ja 120 kW viilennystä. Kattaa rakennuksen koko lämmitys- ja viilennystarpeen. 200 MWh lämmitystä ja 34 MWh viilennystä

Investoinnin syyt

Akademiska Hus oli yksi ensimmäisistä toimijoista Ruotsin kiinteistömarkkinoilla, joka alkoi käyttää ja kehittää geoenergiaratkaisuja omiin rakennuksiinsa. Kuten muissakin Akademiska Husin energiaratkaisuvalinnoissa, myös ylioppilastalon tapauksessa vertailtiin erilaisten energiaratkaisujen energiatehokkuutta, ympäristöhyötyjä ja taloudellisuutta. Laskelmien pohjalta ylioppilastalolle valittiin kattava geoenergiaratkaisu, jossa on porakaivovarastoja lämmölle ja vapaajäähdytykselle.

Talous

Geoenergiajärjestelmän investointi oli 2,7 miljoonaa kruunua eli 13 500 kruunua yhtä kilowattia lämpöä kohden. Laitteiston vuosittaiset huoltokustannukset ovat noin 5 000 kruunua.



Frescatin ylioppilastalo, Tukholma. Kuva: Jeffrey D Spitler.

Lyhyt tekninen kuvaus

Rakennuksen koko lämmön- ja viilennyksentarpeen täyttää porakaivovarasto, joka koostuu kahdestakymmenestä 200 metriä syvästä porakaivosta. Porakaivot on sijoitettu sisäpihalle, ja ne on rakennettu kulmaan niin, että ne viettävät rakennuksen alle. Rakennuksen laskennallinen lämmön ja viilennyksen tarve on 36 ja 3 kWh neliömetriltä vuodessa. Porakaivovarasto kattaa koko tarpeen, eikä käyttöhuippujakaan varten tarvita lämmitystä tai viilennystä sähköstä tai muista ratkaisuista. Ostettua sähköä tarvitaan lämpöpumppujen käyttöön vuositasona noin 8 kWh neliömetriltä. Vuosittainen kiinteistösähkö on vähän yli 14 kWh neliömetriltä, ja järjestelmän jakelu- ja säätöhävikin on laskettu olevan noin 2 kWh neliömetriltä vuodessa.

Porakaivovarasto on lämmöntuotantoa varten kytketty viiteen rinnakkain kytkettyyn 40 kW:n lämpöpumppuun. Yksi pumpuista tuottaa tarvittaessa ensisijaisesti lämmintä käyttövetä, lopun aikaa se tuottaa lämpöä rakennukselle. Käyttöhuippujen tasausta ja suojaa legionellabakteerilta tarjoamaan järjestelmään on kytketty yksi sähkösäiliö, jota tarvitaan etupäässä kesäaikaan. Rakennuksen mukavuusviilennys hoidetaan vapaajäähdytyksellä ja lämpöpumppujen paluuvileillä. Keittiön jäähdytyksessä syntyvä lämpö hyödynnetään ja ylijäämälämpö varastoidaan porakaivovarastoon.

Rakennuksessa lämpö jaetaan lämpöpattereilla, joiden pinta-ala on tavallista suurempi, jotta niihin johdettu lämpö voidaan pitää 40 °C:ssa tavallisemman 55 °C:n sijaan. Viilennys tapahtuu osittain muuttuvan ilmavirran järjestelmän (VAV, Variable Air Volume) avulla, jonka tarpeen mukaan säädettävä ilmavirta tuulettaa ja viilentää rakennusta tarvittaessa, ja osittain vakioilmavirtajärjestelmällä (CAV, Constant Air Volume), jossa on jatkuva ilmavirta ja aktiiviset viilennyslaitteet. Jotta rakennus voidaan viilentää kokonaan porakaivojen

vapaajäähdytyksellä, on kylmänkeruupiirien mitoitettu lämpötila asetettu 16 asteeseen. Kun lämpöpumppujen toimintalämpötila on suotuisa, niiden laskennallinen suorituskyvyn vuosikeskiarvo on COP 4,5.

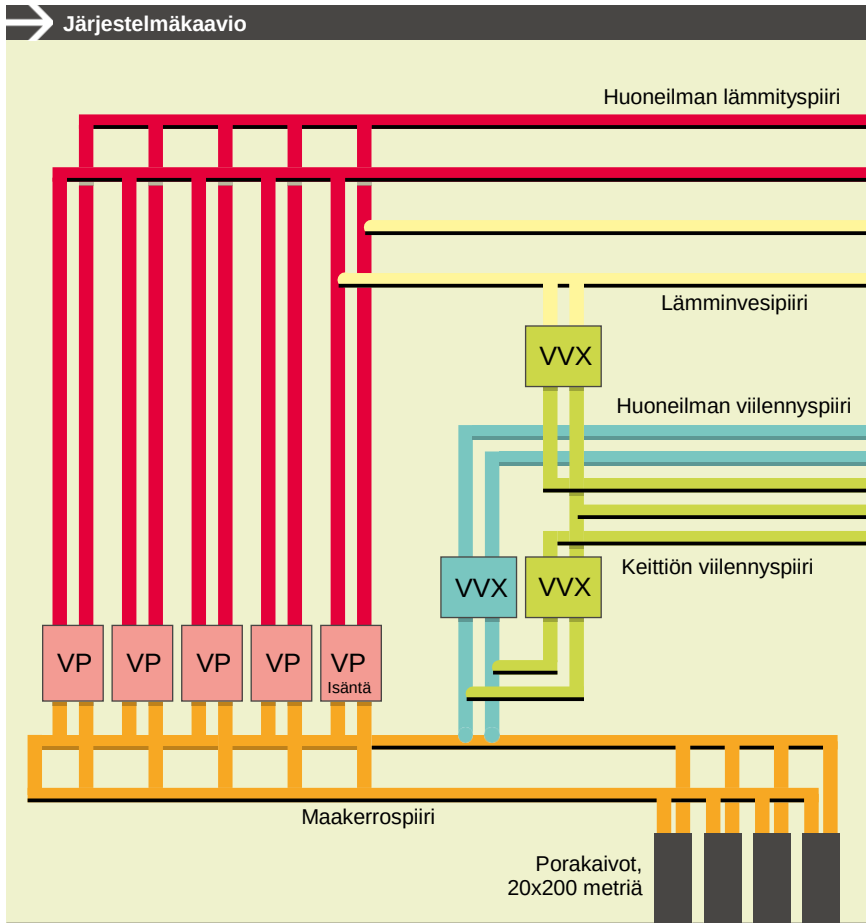
Muuta

Rakennukseen asennetut viisi lämpöpumppua ovat tavallisia pientaloissa käytettyjä malleja, joissa on yhdysrakenteinen kiertovesipumppu. Alkuvaiheessa kiertovesipumput aiheuttivat järjestelmän ohjausongelmia, sillä ne toimivat keskuskiertovesipumppuja vastaan.

Ylioppilastalon geoenergialaitteiston toiminnasta vastaa Akademiska Husin henkilökunta, joka valvoo toimintaa ja varmistaa sen optimoinnin jatkuvasti.



Ylioppilastalon porakaivokenttä. Kuva: Signhild Gehlin.



KAAVIO 7 • Ylioppilastalon lämmitys- ja viilennyslaitteiston yksinkertaistettu järjestelmäkaavio.

Ruotsin kansallismuseon meriviilennys – Tukholma

Ruotsin kansallismuseo rakennettiin vuonna 1866, ja siellä on esillä taideteoksia, joista osa lainataan ajoittain muista kokoelmista. Rakennusta hallinnoi Ruotsin valtion kiinteistölaitos Statens fastighetsverk (SFV), joka vuonna 2014 hallituksen tehtävänannosta käynnisti rakennuksen kattavan remontoinnin, jonka oli tarkoitus valmistua vuonna 2017. Arvokas museorakennus on mitoitettu korkeille ilmanlämpötilavaatimuksille ($20\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$) ja 50 %:n suhteelliselle ilmankosteudelle, jonka suurin sallittu vaihtelu on $\pm 5\%$. Ilmastointilaitteita on voitava käyttää myös muiden mahdollisten vaatimusten mukaan riippuen kulloinkin esillä olevasta esineistöstä.

Kansallismuseo on luokiteltu kansallisesti merkittäväksi rakennukseksi, joten asennettavat uudet laitteistot on mahdollisuuksien mukaan saatava pois näkyvistä. Asennuksiin varatut tilat vastaavat kuitenkin noin viittäkymmentä paikallisliikenteen linja-autoa. Tämä ratkaistiin luovasti mm. korottamalla lattiaa museon kahdessa valopihassa, mikä loi kaksi näkymätöntä tuuletintilaa lattian alle, sekä asentamalla ilmastointikanavat ylemmän kerroksen välipohjaan. Tuloilma- ja sprinklerisuuttimet asennettiin piiloon kauniiden kattoruuusukkeiden taakse.

Museoon valittiin energiaratkaisu, jossa lämmitys tulee kaukolämpönä ja viilennyksestä huolehtii Kastellholmenia ympäröivä merivesi.

→ LAITTEISTOTIEDOT

Kansallismuseo

Kohdetyyppi: Museorakennus, luokiteltu kansallisesti merkittäväksi rakennukseksi

Rakennuttaja: Statens fastighetsverk

Rakennusvuosi: Rakennus valmistui vuonna 1866. Meriviilennys asennettiin vuosina 2014–2017.

Laitteistotyyppi: Vapaaäähdytys

Geoenergian tyyppi: 30 metrin syvyydestä Kastellholmenin edustalta saatava meriviilennys

Muuta tietoa laitteistosta: Viilennysteho 1 550 kW, viilennyksen tarve 1 150 MWh vuodessa (meriviilennys)

Investoinnin syyt

Kansallismuseota remontoitaessa toivottiin kestäviä ratkaisuja. Tämä tarkoitti muun muassa uusiutuvia energianlähteitä, pientä ilmastovaikutusta sekä resursien tehokasta käyttöä.



Kansallismuseo. Kuva: By ArildV – Own work, CC BY-SA 3.0.

Meriviilennys valittiin, sillä 30 vuoden LCC-analyysi osoitti sen kannattavamaksi vaihtoehdoksi kuin kaukoviilennys. Tarkastelussa oli myös vaihtoehto, jossa meriviilennyksen lisäksi olisi otettu käyttöön merivedellä lämmitettäviä lämpöpumppuja, mutta siitä jouduttiin luopumaan, sillä museossa ei riittänyt tila laitteistolle.

Kastellholmenin edustalla oli jo olemassa Vasa-museon ja Skeppsholmenin muiden rakennusten käyttämä meriviilennyslaitteisto, ja Kansallismuseota varten oli tehty laitteistoon varaus.

Talous

Statens fastighetsverk laskee voivansa vähentää rakennukselle ostetun energian määrää (pois lukien käyttösähkö) 37 prosentilla remontin jälkeen. Tavoitteena on, että vaikka ilmastoidun (lämpötila ja suhteellinen kosteus) pinta-alan määrä remontin jälkeen kaksinkertaistuu, kokonaisenergiankulutus sisältäen käyttösähkön ja meriviilennyksen käytön ei kasvaisi.

Meriviilennyksen SPF-kertoimeksi on laskettu keskimäärin 20–25, eli yhtä sähköyksikköä kohden tuotetaan keskimäärin 20–25 yksikköä viilennystä. Tarkempi SPF-kerroin riippuu siitä, miten alhaiseksi meriviilennysvirta voidaan matalalla viilennyskuormalla ohjata ilman että meriviilennysvaihtimeen muodostuu karstaa.

Ylläpitokustannus on suurempi kuin kaukokylmällä, sillä merivesivaihdin on puhdistettava pienhiukkasista ja liejusta vähintään kerran vuodessa.

Lyhyt tekninen kuvaus

Kansallismuseo sijaitsee Saltsjön-lahden rannalla, mistä merivettä nostetaan Kastellholmenin edustalta 30 metrin syvyydestä. Vesi on viileää läpi vuoden: toukokuussa vain muutaman asteen nollan yläpuolella, ja veden ollessa lämpimimmillään lokakuun puolivälissä lämpötila on korkeintaan 11 astetta. Merivedestä suodatetaan pois hiukkaset ja lieju ennen sen välittämistä kylmänvaihtimeen. Järjestelmään on asennettu kaksi rinnakkaista kylmänvaihdinta, jotta toinen voidaan puhdistaa toisen huolehtiessa viilennyksestä. Toinen syy kahden kylmänvaihtimen asentamiseen oli kaksoisvarmennuksen tarve.

Meriviilennystä käytetään ympäri vuoden, sillä sähkötilat ja tekniset tilat on jäähdytettävä myös talvella, samoin kuin keittiön kylmälaitteista syntyvä kondenssilämpö. Meriviilennyksen vastapainona käytetään kaukolämpöä, jota käytetään huoneilman lämmitykseen ja kesällä myös yhdessä kosteudenpoisto-järjestelmän kanssa. Ilmankosteutta poistetaan nimittäin viilentämällä ilmaa kondensaatiopisteeseen meriviilennyksen ja ylimääräisen viilennyslaitteen avulla. Jottei tilojen lämpötila kuitenkaan laskisi liian alhaiseksi, ilma lämmitetään tämän jälkeen kaukolämmöllä.

Kansallismuseon meriviilennysjärjestelmän asennettu viilennysteho on 1 550 kW, mikä vastaa 38 merivesilitran virtausta sekunnissa. Viilennyksen tarpeen oletetaan olevan noin 1 150 MWh vuodessa, ja laitteiston odotetaan olevan valmis ja käytössä vuoden 2017 lopulla.

Muuta

Tilanpuutteesta johtuen meriviilennysjärjestelmän kylmänvaihtimia ei voitu asentaa Kansallismuseon rakennukseen. Kansallismuseon lisäksi meriviilennysjärjestelmä palvelee jo Vasa-museota ja Ruotsin arkkitehtuurimuseota sekä useita muita Skeppsholmenin rakennuksia. Vasa-museossa merivettä käytetään osin vapaajäähdytyksenä ja osin lämpöpumppujen lämmönlähteenä. Kun vettä pumpataan 30 metrin syvyydestä, tapahtuu lämpötilaviive, sillä veden lämpö on ilman lämpötilaa alhaisempi – seikka, jota voidaan hyödyntää viilennykseen kesällä ja lämmitykseen talvella.

Backavallenin urheilualueen porakaivovarasto Katrineholmissa

Osana Katrineholmin urheilukeskusta toimivalla Backavallenilla on jo pitkä historia ja sitä on kehitetty ajan mittaan. Jääpallokentän viilennyslaitteisto on vuodelta 1964. 1980-luvun alussa keskus liitettiin kaukolämpöön, ja Woody-hallen-jäähalli valmistui vuonna 2006. Vuonna 2009 otettiin käyttöön tekonurmikenttä, jonka alla on porakaivovarasto. Backavallenin porakaivovarasto on useista yhdessä toimivista osista koostuva energijärjestelmä. Kesäaikaan porakaivovarastoon varastoidaan jääpallokentän viilennyskompressorien hukkalämpöä ja kesän tuomaa lämpöä jalkapallokentältä. Talvella tätä varastoitua lämpöä käytetään lämpöpumppujen avulla tilojen ja veden lämmittämiseen sekä jalkapallokentän pitämiseen sulana. Kun nurmikenttä on roudaton, sitä voi käyttää pelaamiseen läpi vuoden. Laitteisto otettiin käyttöön 24.6.2009, jolloin jalkapallokentän auringonlämpöä alettiin varastoida porakaivoihin. Kaukolämpöjärjestelmää pidettiin aluksi varajärjestelmänä, mutta sittemmin se on kytketty pois käytöstä ja järjestelmä toimii aiotusti.

→ LAITTEISTOTIEDOT

Backavallenin urheilualue

Kohdetyyppi:

Urheilualue**Rakennuttaja:**

Katrineholmin kunta

Rakennusvuosi: 2009

Geoenergian muoto: Porakaivovarasto

Muuta tietoa laitteistosta: Varastoi hukkalämpöä jääpallokentän jäärakenteista ja auringonlämpöä tekonurmikentältä talviaikaan tapahtuvaan tilojen ja käyttöveden lämmittämiseen sekä tekonurmikentän pitämiseen käytettävissä ympäri vuoden. 91 porakaivoa 180 metrin syvyyteen.

Muuta: Lisärakentaminen on suunnitteilla.

Investoinnin syyt

Samaan aikaan kun Katrineholmin kunta oli päättänyt rakentaa lämmitetyn tekonurmikentän ja käyttää sen lämmittämiseen kaukolämpöä, kunnasta oltiin yhteydessä geoenergiaurakoitsijaan, joka selitti, miten porakaivovaraston avulla voitaisiin hyödyntää jääpallokentän ylijäämälämpöä. Kunta tutki tällaisen järjestelmän mahdollisuuksia Backavallenissa. Ajatuksena oli hyödyntää jääpallokentän kompressoreita, jotka olivat tulevan tekonurmikentän vieressä, ja käyttää tekonurmikenttää suurena aurinkokeräimenä. Laskelmat osoittivat ratkaisun energiatehokkaaksi ja kustannuksia säästäväksi.



Jääpallo- ja tekonurmikentät. Kuva: Thomas Wildig.

Talous

Porakaivovarasto- ja lämmönhyödyntämisjärjestelmä säästää energiaa noin kahdella kolmanneksella perinteiseen laitteistoon verrattuna. Tekonurmikentän kautta porakaivovarastoon varastoitua energiaa saadaan 1 700 MWh vuodessa. Porakaivovarasto ja energianhyödyntämisjärjestelmä ovat korvanneet kaukolämmön käytön täysin. Backavallenin energiantarve veden ja tilojen lämmitykseen sekä tekonurmikentän sulana pitämiseen täytetään kierrätetyllä ylijäämäenergialla, aurinkoenergialla sekä pumppujen ja aggregaattien käyttöenergialla.

Uuden laitteiston myötä käyttökustannukset ovat laskeneet 1 200 000 kruunulla vuodessa (brutto) ja 550 000 kruunulla vuodessa (netto).

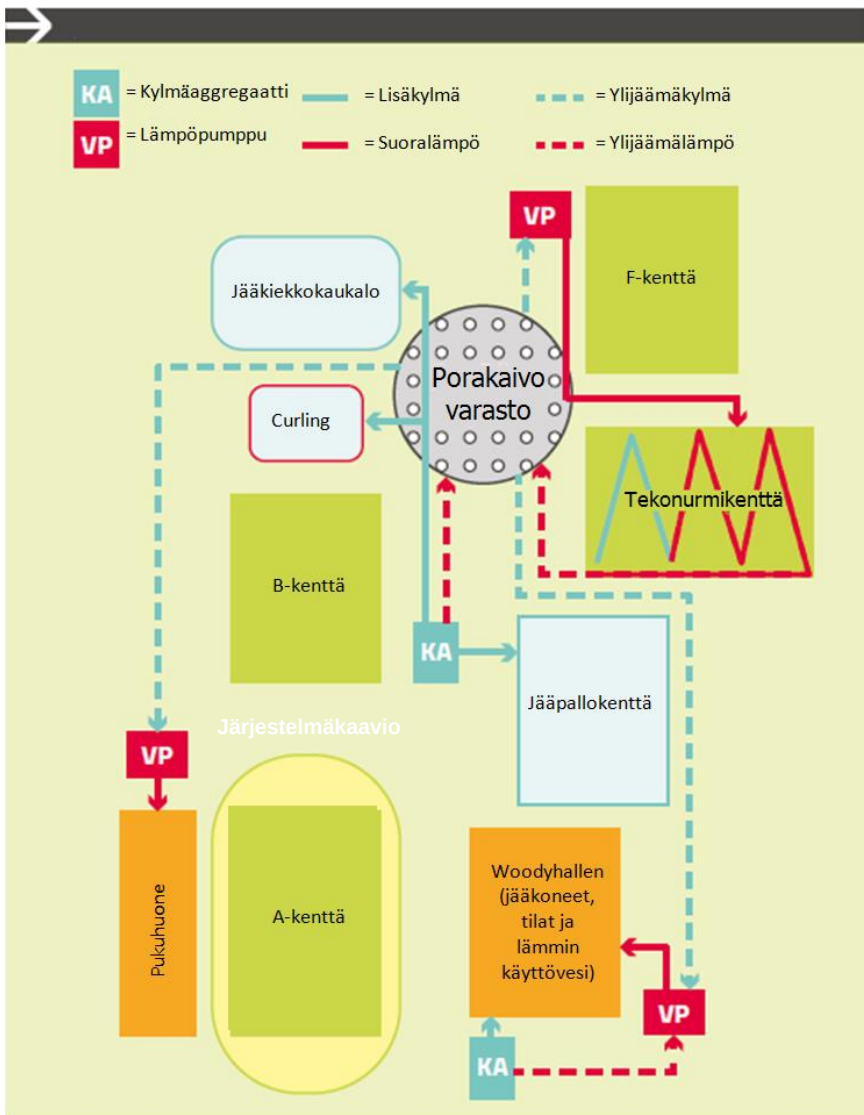
Lyhyt tekninen kuvaus

Porakaivovarasto koostuu 91 porakaivosta, jotka ulottuvat 180 metrin syvyyteen, sekä niihin liitetyistä lämpöputkista. Ne rakennettiin tekonurmikentän alle ennen kentän valmistumista. Kesän aikana porakaivoihin varastoidaan tekonurmikentän avulla kerättyä auringonlämpöä sekä jääpallokentän jään muodostuksesta syntyvää liikaenergiaa, mikä tehostaa jään muodostusta ja hyödyntää tavallisesti hukkaan joutuvan lämmön. Talven aikana maahan varastoitua lämpöä johdetaan takaisin tekonurmikentän alle asennettuun lämpöputkistoon pitämään kenttä sulana ja käyttökelpoisena ympäri vuoden, mikä pidentää samalla kentän elinkaarta. Järjestelmä tuottaa lämpöä ja lämmintä käyttövettä myös siihen kytketyille urheilukeskuksen kiinteistöille.

Kaukolämpö, joka aiemmin lämmitti urheilukeskusta, on nyt kytketty täysin pois käytöstä.

Muuta

Suunnitelmissa on laajentaa järjestelmää kattamaan myös tenniskenttä, kuntosali ja urheiluhalli saunatiloineen. Lisäksi käytettävissä on tilaa Woodyhallenin jääntuotannosta syntyvän hukkalämmön (420 MWh) hyödyntämiseen.



KAATIO 8 • Backavallenin urheilukeskusta järjestelmäkaavio.

Karlstadin keskussairaalan porakaivovarasto

Karlstadin keskussairaalan rakennuspinta-ala on yhteensä 163 000 neliömetriä, joka jakautuu useisiin eri-ikäisiin rakennuksiin. Rakennuksia on laajennettu ja remontoitu kattavasti vuosien varrella. Sairaalan energiantarve on täytetty kaukolämmöllä ja läheisestä Klarälven-joesta saatavalla vapaajäähdytyksellä, mutta kun sairaalaa laajennettiin vuosina 2010–2011, viilennyksen tarve kasvoi. Vuonna 2010 otettiin käyttöön uusi 20 000 neliön lääketekninen rakennus, jossa on paljon viilennystä vaativaa laitteistoa, ja seuraavana vuonna valmistui ilmastointia vaativa 10 000 neliön mielenterveyshoidon yksikkö. Uudet magneettiröntgenkamerat vaativat kukin 60 kW:n äärimmäisen toimintavarmaa viilennystä. Uusi palvelinsali on mitoitettu 400 kW:n viilennysteholle. Tässä yhteydessä käytiin läpi laitteistojen käyttöä energiankulutuksen optimoimiseksi sekä asennettiin uusi viilennys- ja lämmitysjärjestelmä. Vuonna 2010 otettiin käyttöön sadan porakaivon porakaivovarasto, jonka avulla katetaan osa viilennyksen ja lämmityksen tarpeesta. Porakaivovarastoa laajennettiin vuonna 2013 vielä 85 kaivolla, ja nykyään se kattaa suurimman osan Karlstadin keskussairaalan viilennyksestä ja lämmityksestä. Mahdollisuus käyttää viilennykseen myös jokivettä on yhä olemassa, mutta sitä ei ole tarvittu.

→ LAITTEISTOTIEDOT

Karlstadin keskussairaala

Kohdetyyppi: Sairaala

Rakennuttaja: Värmlannin maakäräjät

Rakennusvuosi: 2010 + 2013

Geoenergian muoto: Porakaivovarasto, jota voidaan täydentää Klarälven-joesta saatavalla vesiviilennyksellä

Muuta tietoa laitteistosta: 185 porakaivoa 163 metrin syvyyteen. 2 500 kW viilennystä, 5 000 kW lämpöä



Karlstadin keskussairaala. Kuva: Janee, CC BY-SA 3.0.

Investoinnin syyt

Vuosina 2008–2010 rakennettiin noin 30 000 neliömetriä uusia tiloja, jotka vaativat energiatehokkaita ratkaisuja ja hiilidioksidiekvivalenttien vähentämistä. Hankkeen myötä myös mm. röntgen- ja laboratoriotilojen viilennystarve kasvoi huomattavasti. Alkuperäinen ajatus oli käyttää geoenergialaitteistoa ja lämpöpumppuja pelkästään uuden rakennuksen viilentämiseen ja lämmitykseen. Kun hanke edistyi ja useita LCC-laskelmia erilaisille lämmitys- ja viilennysvaihtoehdoille oli tehty, osoittautui sekä taloudellisesti että huoltovarmuuden kannalta kannattavammaksi hyödyntää geoenergialaitteistoa koko sairaalalle.

Talous

Ennen porakaivovaraston ja lämpöpumppujen asentamista Karlstadin keskussairaala käytti vuositasolla noin 78 kWh ostettua kaukolämpöä neliömetriä kohden. Porakaivovaraston rakentamisen jälkeen määrä laski 26,8 kWh:iin neliömetriltä.

Ostetun lämmitys- ja viilennysenergian kokonaistarve on nyt 24,5 GWh vuodessa, josta kaukolämpöhuiput muodostavat 2,5 GWh ja sähkönkulutus 22,2 GWh vuodessa.

Porakaivovaraston kahden vaiheen kokonaisinvestointikustannus on 66,5 miljoonaa kruunua. Värmlannin maakäräjät sai energiatehostamistukena puolet viilennyslaitteiston kuluista.

Laitteiston asennettu viilennysteho on 2 600 kW, mikä vastaa noin 26 000 kruunun investointia kilowattia kohden. Suoraksi takaisinmaksuajaksi on laskettu viisi vuotta.

Lyhyt tekninen kuvaus

Tällä hetkellä porakaivovarasto kattaa 185 kahdessa vaiheessa rakennettua porakaivoa yli 160 metrin syvyyteen. Varaston lisäksi viilennystä voidaan ottaa joen vedestä, mutta tätä mahdollisuutta ei ole tarvinnut käyttää.

Porakaivovarasto on kytketty kuuteen lämpöpumppuun/viilennyslaitteeseen, joiden maksimiteho on 2 600 kW. Geoenergiajärjestelmä kattaa noin 60 % kylmimmän vuodenajan lämmöntarpeesta ja 80 % koko vuoden lämmöntarpeesta.

Vuosittainen perusviilennystarve on 770 kW, mutta kesällä tarve kasvaa lyhyeksi aikaa hieman yli 4 200 kW:iin. Yhteenlaskettu lämmitystarve on 5 000 kW.

Kesällä lämpöpumppujen huollon aikana ostetaan kaukolämpöä ja käytetään ammoniakki- viilennyslaitteita. Vuosittainen ostetun kaukolämmön määrä on vähentynyt niin, että nykyään se kattaa vain osia lämpimän veden tuotannosta ja vuoden kylmimpien päivien aiheuttamien käyttöhuippujen tarpeesta.

Muuta

Porakaivovarasto on asettanut käytölle korkeita vaatimuksia, mikä on muun muassa saanut Värmlannin maakäräjät ottamaan käyttöön anturienpaikannus- käytännön.

Vikbolandsskolan-peruskoulun porakaivo Norrköpingissä

Vibolandsskolan on yli 400 oppilaan peruskoulu. Se sijaitsee 25 kilometriä itään Norrköpingistä, Östra Husbyn keskuksessa Vikbolandetin niemimaalla. Koulu koostuu kolmesta rakennuksesta, joissa toimivat esikoulu, peruskoulu ja liikuntasali, ja sen läheisyydessä sijaitsee koululaisten iltapäiväkerhotilat ja Östra Husbyn kirjasto. Koulurakennus valmistui vuonna 1967, ja sen alkuperäisenä lämmitysmuotona oli pelletti, jota täydennettiin tarvittaessa öljyllä. Lämmitysmuodoksi vaihdettiin vuonna 2016 geoenergia, jota saadaan yhteensä 32 kallioon poratusta kaivosta.

LAITTEISTOTIEDOT

Vikbolandsskolan

Kohdetyyppi: Koulu

Rakennuttaja: Norrköpingin kunta/Norrevo Fastigheter AB

Rakennusvuosi: Koulurakennus 1967, geoenergiajärjestelmä 2016

Geoenergian muoto: Maalämpö – porakaivo kalliossa lämmönottoon

Muuta tietoa laitteistosta: Yhteensä 32 porakaivoa jaettuna kolmelle rakennukselle: 4 kpl 260 metriä syviä, 10 kpl 240 metriä syviä ja 18 kpl 256 metriä syviä. Lämmitystarve: 280 MWh, lämmitysteho noin 340 kW

Investoinnin syyt

Päätös lämmitysjärjestelmän vaihtamisesta pelletiltä ja öljyltä maalämpöön perustui useisiin tekijöihin. Fossiilisista lämmitysmuodoista haluttiin eroon sekä ympäristösyistä että korkeiden käyttö- ja huoltokustannusten vuoksi. Vanhan lämmitysjärjestelmän vuosittaiset huoltokustannukset olivat jopa 100 000 kruunua, ja myös seisokit huolestuttivat.



Vikbolandsskolan-peruskoulu Norrköpingissä. Kuva: Niklas Ljung, Norrevo.

Hankkeessa todettiin, että geenergiaratkaisu toisi ympäristöhyötyjä sekä pienemmät käyttö- ja ylläpitokustannukset, joten kun järjestelmän käyttövarmuus todettiin aiempaa paremmaksi, päätös muutoksesta voitiin tehdä.

Kunnallisen Norrevo Fastigheter -yrityksen ennakoiva energiankulutuksen tehostamistyö edistää Norrköpingin energiantehostustavoitteisiin pääsemistä: tavoitteena on vähentää energiankulutusta 30 prosentilla vuosina 2005–2030, ja että kunta käyttää sataprosenttisesti uusiutuvaa energiaa vuoteen 2030 mennessä. Tavoitetta lähestytään muun muassa korvaamalla muut kuin uusiutuvat polttoaineet ja lisäämällä geenergian käyttöä sekä tutkimalla ja arvioimalla aurinko- ja tuulienergian mahdollisuuksia.

Talous

Geenergiajärjestelmään siirtymisen kokonaisinvestointikustannus oli 6,5 miljoonaa kruunua, eli noin 19 000 kruunua yhtä lämmityskilowattia kohden. Vuosittaiset käyttö- ja huoltokustannukset laskivat 70 prosentilla noin miljoonasta kruunusta noin 280 000 kruunuun. Investoinnin takaisinmaksuaika on alle yhdeksän vuotta, ja 20 vuoden jaksolle laskettu LCC-laskelma, jossa tuottovaatimus on 2,5 % ja vuosittainen energianhinnan nousu 3,5 %, tarjoaa 20 vuoden säästökseen yli 16 miljoonaa kruunua. Laitteiston vuosittaiseksi järjestelmähyötysuhteeksi on laskettu noin 4.

Lyhyt tekninen kuvaus

Vikbolandsskolanin geenergiajärjestelmä on puhtaasti maalämpölaitos. Se koostuu yhteensä 32 porakaivosta, jotka ovat 240–260 metriä syviä ja kytketty huoneilmaa ja käyttövetä lämmittäviin lämpöpumppuihin. Porakaivot on jaettu kolmeen erilliseen kaivoryhmään, yksi kullekin koulun rakennukselle. Tavoitteena oli yksinkertaistaa järjestelmää ja tehdä rakennuksista toisistaan riippumattomat sekä vähentää yhdysputkissa syntyvää energiahävikkiä. Rakennuksessa 1 on 52 kW:n lämpöpumppu ja 6 kW:n lämminvesivaraaja, ja rakennukseen kytketyt neljä porakaivoa ovat 260 metriä syviä. Rakennuksessa 2 on 208 kW:n lämpöpumpputeho ja 9 kW:n lämminvesivaraaja, ja rakennukseen kytketyt 18 porakaivoa ovat 256 metriä syviä. Kolmas rakennus on kytketty kymmeneen 240 metrin syvyiseen porakaivoon, ja siinä on 80 kW:n lämpöpumpputeho ja 6 kW:n lämminvesivaraaja.

Kun koulun lämmitysjärjestelmä vaihdettiin, lisättiin sähköjärjestelmän varokkeita samalla 250 A:sta 1 000 A:han.

Muuta

Vanha öljypannu jätettiin paikalleen osittain siksi, että geenergiajärjestelmä voitaisiin rakentaa lämmityskauden aikana, mutta myös siksi, että sitä voidaan tarvittaessa käyttää geenergiajärjestelmän toimintahäiriötapaauksissa varajärjestelmänä. Sitä ei tosin ole tarvittu kertaakaan geenergialaitteiston ensimmäisen käyttövuoden aikana.

Rågårdens oikeuspsykiatrian laitoksen porakaivovarasto Göteborgissa

Rågårdens oikeuspsykiatrian hoitolaitos sijaitsee koillis-Göteborgissa Gunnilsen ja Olofstorpin kaupunginosien välissä noin 15 kilometrin päässä Göteborgin keskustasta. Laitoksessa on vahvat turvatoimenpiteet pakoja ja luvattomia ulkopuolelta tulevia vapautuksia vastaan. Noin 15 000 neliömetrin kokoinen rakennus sijaitsee 175 000 neliön tontilla, ja se valmistui helmikuussa 2013. Rakennuksen lämmitys- ja viilennysratkaisuksi valittiin porakaivovarastosta koostuva geoenergiajärjestelmä.

→ LAITTEISTOTIEDOT

Rågårdens oikeuspsykiatrian laitoksen porakaivovarasto Göteborgissa

Kohdetyyppi: Hoitolaitos

Rakennuttaja: Västfastigheter

Rakennusvuosi: 2012–2013

Geoenergian muoto: Porakaivovarasto

Muuta tietoa laitteistosta: 64 porakaivoa 150 metrin syvyyteen.

Lämmöntarve 1 GWh, viilennysentarve 0,9 GWh. Lämpöteho 420 kW, viilennysteho 850 kW.

Investoinnin syyt

Rågårdens lämmitys- ja viilennysjärjestelmäksi valittiin porakaivovarasto, sillä kaukolämpöä ja -viileää ei ollut saatavilla ja koska geoenergiaratkaisu oli kustannustehokas vaihtoehto huolehtimaan laitoksen suuresta lämmitys- ja viilennystarpeesta.

Talous

Geoenergialaitteiston kokonaisinvestointi oli 7,4 miljoonaa kruunua. Tähän sisältyvät järjestelmän käyttö- ja huoltokustannukset ensimmäisiltä viideltä vuodelta. Västfastigheter antoi hankkeen kokonaisurakoitsijalle, joka hoiti kaiken geoenergialaitteistoon liittyvän ja vastaa myös laitteiston riittävästä suorituskyvystä ensimmäisten viiden vuoden ajan, minkä jälkeen käytöstä laaditaan uusi sopimus.

Lämmitysjärjestelmän rinnalle asennetun erillisen viilennysjärjestelmän kustannukset olisivat olleet korkeammat kuin järjestelmän, jossa hyödynnetään lämmityksen porakaivovarastosta saatavaa vapaajäähdytystä. Varasto vaatii myös vähemmän huoltoa kuin erilliset lämmitys- ja viilennysjärjestelmät, mikä myös luo säästöjä.

Talvikäytössä keskimääräiseksi lämpökertoimeksi laskettiin 3,82. Kesällä, kun käytössä on pääasiassa porakaivosta saatava vapaajäähdytys, keskimääräinen viilennyskerroin on 3,17. Koko järjestelmälle laskettu vuositason SPF₄ on 4,55.



Rågårdens oikeuspsykiatrian laitos Göteborgissa. Kuva: White arkitekter. Kuva: Hans Wretling.

Lyhyt tekninen kuvaus

Rågårdensin geoneergialaitos on mitoitettu kattamaan noin 60 % laitoksen lämmitystarpeesta vuoden kylmimpänä päivänä. Porakaivojärjestelmän 64 porakaivoa ulottuvat 150 metrin syvyyteen, ja ne on sijoitettu 15 metrin etäisyydelle toisistaan. Varasto on kytketty kuuteen 70 kW:n lämpöpumppuun. Kaukolämpöä ei ole alueelle saatavilla, joten käyttöhuippujen lämmityksessä lisänä käytetään suorasähköä. Kaksi 300 kW:n sähkölämmityskattilaa on käytettävissä käyttöhuippuja varten. Lämmintä käyttövetä saadaan 4 000 litran varaajasäiliöistä, jotka lämpiävät kahden 50 kW:n lämpöpumpun avulla. Järjestelmän asennettu viilennysteho on 480 kW, ja kylmä tulee ensisijaisesti suoraan varastosta vapaajäähdytyksenä. Viilennystä voidaan täydentää ulkoilmasta saatavalla vapaajäähdytyksellä sekä aktiivisella viilennyksellä lämpöpumpuilla, jotka vastaavat yhteensä 470 kW:n lisäviilennystehoa. Suurin mahdollinen viilennysteho on näin ollen 850 kW.

Oikeuspsykiatrisen laitoksen toiminta vaatii sähkön varman saatavuuden, ja laitoksessa onkin varajärjestelmänä kaksi dieselkäyttöistä generaattoria. Jos sähkönjakelu keskeytyy, dieselmoottorit tuottavat noin kolmasosan sähköä ja kaksi kolmasosaa lämpöä, joista puolet syntyy savukaasujen kierrätyksestä. Jos savukaasujen kierrätys ei riitä, voidaan käyttää apuna myös lämpöpumppuja. Näin ollen käytössä on jopa kylmimpinä aikoina omavarainen järjestelmä.

Sekä sähkölämmityskattiloiden että vettä lämmittävien lämpöpumppujen toiminta on täysin kaksoisvarmistettu.

Muuta

Alkuperäisten suunnitelmien mukaan porakaivovaraston oli tarkoitus koostua 48 porakaivosta, jotka olisivat 240 metriä syviä, mutta 15 metrin syvyydessä havaittiin huomattava määrä pohjavettä, joka vaikeutti poraamista syvemmälle. Hankkeen suunnitelmia muokattiin niin, että käytössä on nyt 150 metrin syvyisiä porakaivoja, joita on 64 kappaletta.

Kalmarin lääninsairaalan pohjavesivarasto

Kalmarin lääninsairaalaan kuuluu kolmisenkymmentä rakennusta, joiden yhteispinta-ala on 165 000 neliometriä ja joissa on noin 300 hoitopaikkaa. Aiemmin rakennuksia lämmitettiin kaukolämmöllä ja viilennykseen käytettiin viilennyslaitteita. Vuonna 2015 alettiin rakentaa keskitettyä viilennys- ja lämmitysjärjestelmää, jossa lämpöä ja kylmää varastoidaan kausittain pohjavesivarastoon.

Järjestelmässä on hyödynnetty Kalmarin lääninsairaalan kiinteistön pohjavesivarastolle suotuisia geologisia ja hydrologisia olosuhteita. Kiinteistön alla olevaan pohjavesivarastoon varastoidaan sekä lämpöä että kylmää kausittain. Pohjavesivarastossa on yhteensä 16 kaivoa, jotka tuottavat viilennystä keskitettyyn lämmönvaihtimella varustettuun viilennysjärjestelmään, sekä uusi viilennyslaite, mistä kylmä välitetään sairaalan eri rakennuksiin. Talvella pohjavesivarastoa käytetään myös sairaalan ilmastointiin käytetyn ilman lämmittämiseen.

→ LAITTEISTOTIEDOT

Kalmarin lääninsairaala

Kohdetyyppi: Sairaala-alue

Rakennuttaja: Kalmarin läänin maakäräjät

Rakennusvuosi: 2015–2018

Geoenergian muoto: Pohjavesivarasto

Muuta tietoa laitteistosta: 16 kaivoa (8 kylmää, 8 lämmintä) 65–70 metrin syvyyteen, maksimivirtaus 60 l/s. Viilennys- ja lämmitysteho 2,8 MW. 2,1 GWh viilennys, 1,4 GWh lämmitys

Järjestelmä rakennetaan kolmessa vaiheessa, joista viimeisen on tarkoitus olla valmis vuonna 2018. Ensimmäinen vaihe käynnistyi lokakuussa 2015 ja valmistui kesäkuussa 2016. Tuolloin rakennettiin pääviilennyskeskus lämpöpumppuineen ja ensimmäiset kuusi kaivoa otettiin käyttöön. Yksi suurista hoitorakennuksista kytkettiin järjestelmään. Toinen vaihe kestää elokuusta joulukuuhun 2017. Se sisältää kuuden lisäkaivon käyttöönoton ja kahden muun hoitorakennuksen kytkennän järjestelmään. Kolmas ja viimeinen vaihe alkaa vuoden 2018 alusta ja jatkuu vuoden 2019 alkuun. Tällöin otetaan käyttöön viimeiset neljä kaivoa ja järjestelmään kytketään vielä kolme rakennusta. Käyttökustannukset laskevat huomattavasti, kun keskusviilennysjärjestelmä korvaa vanhat viilennyslaitteet ja lämmittää ilmastointiin käytettävän ilman.

Kun varasto on täysin valmis ja kaikki rakennukset kytketty geoenergiajärjestelmään, järjestelmä kattaa 80 % sairaalan viilennystarpeesta ja sen kokonaisviilennysteho on 2,8 MW. Kaukolämmön tarve vähentyy samalla neljänneksellä.

Investoinnin syyt

Energiajärjestelmän valinnassa tärkeitä tekijöitä olivat ympäristö, taloudellisuus ja turvallisuus. Sairaalassa on edistyksellisiä laitteistoja, kuten röntgenlaitteistot, jotka vaativat jatkuvaa viilennystä. Geoenergia todettiin yksinkertaiseksi viilennysvaihtoehdoksi viilennyslaitteisiin verrattuna.

Järjestelmän elinkaarikustannukset laskettiin 40 vuodelle ja kannattavuus todettiin hyväksi. Lisäksi todettiin, että geoenergiasta saatava viilennys paransi turvallisuutta ja luotettavuutta ja näin ollen myös potilasturvallisuutta.

Kalmarin läänin maakäräjien energiastrategiasta vastaava Stefan Westblom on sitä mieltä, että kiinteistönomistajana maakäräjien investoinnit kestävyteen ja energiatalouteen ovat pitkäjänteisiä ja kestäviä.

Talous

Keskusviilennyslaitteiston ja pohjavesivaraston kokonaisinvestointi on 25 miljoonaa kruunua, eli 9 000 kruunua viilennyskilowattia kohden.

Elinkaarikustannuslaskelmien mukaan geoenergiaviilennyksen kokonaiskustannukset 25 vuoden aikajänteellä ovat 12 miljoonaa kruunua pienemmät kuin aiemman järjestelmän, jossa jokaisessa rakennuksessa oli omat paikalliset viilennyslaitteet. Laitteisto vähentää ostetun sähkön ja kaukolämmön tarvetta 1,8 GWh:lla.



Kuva: Kalmarin läänin maakäräjät.



Kuva: Kalmarin läänin maakäräjät.

Lyhyt tekninen kuvaus

Kolmannen vaiheen jälkeen pohjavesivarasto koostuu 16 kaivosta, jotka ovat 65–70 metriä syviä ja joista kahdeksan on varaston lämpimällä ja kahdeksan kylmällä puolella. Pohjavesivaraston lämpötila on 12–18 astetta.

Pumppujen maksimivirtaus on 60 litraa sekunnissa, ja niiden kokonaisteho vastaa 2,8 megawattia kylmää ja lämpöä. Hyödynnetyn energian määräksi on laskettu 2,1 GWh viilennystä ja 1,4 GWh lämmitystä vuodessa.

Muuta

Kalmarin kaukolämpötoimittaja pitää maakäräjien investointia geoenergiaan positiivisena. Kalmar on kasvava kaupunki, ja kun maakäräjät vähentää kaukolämmön ostoaan, energiayhtiö voi toimittaa lämpöä muille tilaajille.

Ennen pohjavesivaraston käyttöönottoa porattiin kolme koekaivoa koepump-pauksia ja vedenlaadun analysointia varten.

Yksi sairaalan omista käyttötieteikoista osallistui sairaalan geoenergiajärjes-telmän suunnitteluvaiheeseen ja koulutukseen, jotta hän voi sittemmin hoitaa energiajärjestelmän käyttöä tehokkaasti.

Kristallen-kunnantalon porakaivo Lundissa

Lundin uusi kunnantalo Kristallen oli muuttovalmis toukokuussa 2014. Suurta lasirakennusta käyttää viisi erillistä kunnallishallintoelintä. Rakennuksen suunnittelu aloitettiin jo vuoden 2010 tienoilla, jolloin yksikään rakennus Ruotsissa ei vielä ollut onnistunut saavuttamaan Green Building Councils Swedenin kultatason Miljöbyggnad-sertifikaattia. Kun Kristallen valmistui, oli Ruotsissa jo muitakin kultatason saavuttaneita rakennuksia, mutta Kristallen on silti Lundin ensimmäinen rakennus, johon kultatasoa tavoiteltiin käyttämällä geoenergiaa lämmitykseen ja viilennykseen.

→ LAITTEISTOTIEDOT

Kristallen-talo Lundissa

Kohdetyyppi: Kunnantalo

Rakennuttaja: Lundin kunta, Lundafastigheter

Rakennusvuosi: 2013–2014

Geoenergian muoto: Porakaivovarasto

Muuta tietoa laitteistosta: 40 porakaivoa 120 metrin syvyyteen.

Lämpöteho 400 kW + 175 kW, viilennysteho 600 kW.

Investoinnin syyt

Lundin kunnan ympäristötavoitteet ovat korkeat, ja yhtenä niistä oli Green Building Councils Swedenin kultatason Miljöbyggnad-sertifikaatin saavuttaminen. Tavoitteena oli, että rakennukseen tarvittavan lisäenergian määrä olisi alle 25 kWh neliömetriltä. Lämmitystä ja viilennystä varten analysoitiin kolme vaihtoehtoa: kaukolämpö ja viilennyslaitteet, kaukolämpö ja sorptioviilennys sekä geoenergia (porakaivovarasto lämmitykseen ja vapaajäähdytys). Kristallenin suunnittelun aikaan Lundin kaukolämpö ei vastannut kultatason kriteereistöä energiatyyppin suhteen, eikä lasirakennus Kristallenkaan kaukolämpöä ja sorptioviilennystä käyttävänä niitä olisi vastannut. Rakennuksen viilennyksentarve on suuri, mutta alueella ei ole saatavilla kaukoviilennystä. Geoenergia todettiin ainoaksi vaihtoehdoksi, jonka avulla hankkeen kultatasotavoite ($<25 \text{ kWh/m}^2$ ostoenergiaa) voitiin saavuttaa, ja lisäksi sen LCC-kustannukset olivat vaihtoehdoista matalimmat.



Kristallen-kunnantalo Lundissa. Kuva: Jorchr, CC BY-SA 4.0.

Talous

Geoenergialaitteisto koostuu porakaivovarastosta ja laitekeskuksesta, jossa on mm. lämpöpumppu. Sen hankinnasta vastasi rakentaja alihankintana. Järjestelmän kokonaisinvestoinnin laskettiin vuonna 2012 olevan 6,4 miljoonaa kruunua, josta puolet koostui porakaivovarastosta.

Porakaivovaraston pitkä käyttöikä ja pieni huoltotarve osoittautuivat hyödyllisiksi ennen päätöstä suoritettussa LCC-analyysissä, joka laskettiin 40 vuodelle ja jonka mukainen energiakustannus oli 5 miljoonaa kruunua. Analyysiin sisältyi lämpöpumppuun ja/tai viilennyslaitteeseen käytettävä lisäinvestointi 20 vuoden kuluttua. Vastaava LCC-arvo kaukolämmölle ja viilennyslaitteille oli 12 miljoonaa.

Kultatason vaatimusten mukaan lämmön ja viilennyksen tuoton vuosilämmityskertoimen (SPF₄) on oltava koko vuodelta noin 5. Tavoitteena on siis, että porakaivovarasto tuottaa 80 % kiinteistön tarvitsemasta lämmöstä ja viilennyksestä. Varasto otettiin käyttöön toukokuussa 2014, joten se ei ollut vielä viilentynyt eikä sen ensimmäisen kesän toiminta ollut tavoitetasolla.

Ensimmäisen vuoden energiakerroin oli noin 2,5, minkä jälkeen se on parantunut järjestelmän säätöjen ja parannusten myötä. Elokuussa 2016 suoritettu takuutarkastus kattoi ajan huhtikuusta elokuuhun, ja keskimääräinen lämmityskerroin oli yli tavoitetason, joka on 5. Järjestelmää on vielä hienosäädettävä, ennen kuin se on täysin tavoitteiden mukainen.

Lyhyt tekninen kuvaus

Geoenergiajärjestelmän lämmityskapasiteetti on jopa 400 kW, mihin lisätään 175 kW polkupyörärampin lämmitykseen. Viilennyskapasiteetti on suurin piirtein sama kuin vapaajäähdytyksen teho. Jos viilennyksentarve on tavallista suurempi, käytetään lisäksi kylmä-lämpöpumppuja.

Puolet geoenergialaitoksen 120 metrin syvyyisistä 40 porakaivosta on rakennuksen lähellä olevan pysäköintialueen alla. Loput ovat rakennuksen piha-alueen alla. Jokaisessa kaivoryhmässä on kokoomakaivo, joka on yhteydessä laitekeskukseen.

Rakennuksen sähköntuotto tapahtuu osittain katolle asennettujen aurinkokennojen avulla, ja loput sähköstä ostetaan vihreänä.

Muuta

Pysäköintialueen ulommainen porakaivo on lähellä tontin rajaa, ja kun naapuritontille rakennettiin uutta rakennusta ja kaksikerroksista maanalaista pysäköintitallia, pontti vahingoitti yhden porakaivon putkea. Hätäratkaisuna koko porakaivovarasto suljettiin joiksikin viikoiksi, mikä oli tarpeetonta, sillä porakaivot voidaan sulkea yksittäin. Tässä huomataan, miten tärkeää on että tällaisten laitteistojen käyttäjät ovat asiaan perehtyneitä ja asiansa osaavia.

Toinen hyvä oppi oli, että lämmitys- ja viilennyskäytössä olevat porakaivovarastot saattavat tarvita jonkin vuoden sisäänajon ennen kuin ne toimivat täydellä kapasiteetilla. Lisäksi laitteistoon kuuluvia tuotantolaitteita ja ohjausjärjestelmiä saatetaan joutua jossain määrin säätämään.

Rosengårdin poliisitalon korkealämpöinen porakaivoviilennys

Rosengårdin poliisitalo sijaitsee neljän kilometrin päässä Malmön keskustasta. Rakennus valmistui ja Skånen poliisiviranomaiset muuttivat siihen syyskuussa 2012. Poliisitalo on nelikerroksinen rakennus, jonka kokonaispinta-ala on 3 500 neliömetriä, joista 2 500 neliömetriä on toimistotiloja. Rakennuksella on Green Building -sertifikaatti, eli se käyttää 25 % vähemmän energiaa kuin rakennusaikana voimassa ollut BBR:n vaatimus. Se oli Ruotsin ensimmäinen julkinen rakennus, joka sai kultatason LEED-sertifikaatin.

Rakennuksen ilmastointijärjestelmä kierrättää lämmön, ja käytetty ilma viilennetään tai lämmitetään vuodenajan mukaan kalliossa olevien porakaivojen avulla. Viilennykseen käytetään Skanskan Deep Green Cooling (DGC) -konseptin mukaisia viilennyslaitteita. Lämmitysjärjestelmänä on kaukolämpö pattereiden kautta.

→ LAITTEISTOTIEDOT

Rosengårdin poliisitalo

Kohdetyyppi: Poliisitalo

Rakennuttaja: Skanska Öresund AB

Rakennusvuosi: 2012

Geoenergian muoto: Skanskan Deep Green Cooling -konseptin mukainen porakaivovarasto, jossa ilmastointiin käytettävä ilma viilennetään tai esilämmitetään ilman lämpöpumppua.

Muuta tietoa laitteistosta: 12 porakaivoa, joiden aktiivinen syvyys on 195 m. Viilennystarve 24 kWh/m² lämmitettävää kokonaispinta-alaa, viilennysteho 100 kW, lämmönhyödynnys DGC:ltä 11 kWh/m² lämmitettävää kokonaispinta-alaa, sähköntarve DGC:lle 2 kWh/m² lämmitettävää kokonaispinta-alaa

Investoinnin syyt

Malmön kaupunki järjesti rakentamisesta kilpailutuksen, jossa vaatimukset rakennuksen energiatehokkuuden, kestävyys ja logistiikan suhteen olivat korkeat. Skanskan ehdotus voitti kilpailun. Poliisitalo suunniteltiin käyttämään 50 % vähemmän energiaa kuin voimassa olevissa BBR-vaatimuksissa määritelty suurin sallittu määrä, ja lämmitys suunniteltiin ilman lämpöpumppuja.



Rosengården poliisitalo. Kuva: Jorchr, CC BY-SA 3.0.

Talous

Rakennusta käytetään joka päivä läpi vuoden ja ympäri vuorokauden, ja keskimääräinen ilmavirtaus on kaksinkertainen tavalliseen toimistorakennukseen nähden. Tästä huolimatta rakennuksen vuosittainen energiankulutus on 68 kWh/m^2 , mikä on alle puolet BBR:n asettamasta maksimista ja noin 60 % Green building -sertifikaatin vaatimuksesta rakennuksille, joissa on vastaava ilmavirtaus.

Poliisitalon porakaivovaraston järjestelmähyötysuhde on 15, mikä on todella hyvä, joskin alempi kuin mitä laitteistolta odotettiin. Vertailuna voidaan todeta, että Tukholmassa sijaitsevan Skanskan pääkonttori-rakennuksen DGC-järjestelmän järjestelmähyötysuhde vuonna 2014 oli 35.

Verraten matalaan järjestelmähyötysuhteeseen vaikutti se, että mitattujen käyttövuosien aikana rakennuksen viilennystarve oli odotettua matalampi. Tietty energiankulutus pysyy samana riippumatta viilennyksentarpeesta; esimerkiksi ilmakehäsittelykoneiden ladattavien akkujen painehäviö. Laitteisto on tehokkaimmillaan lämpimien kesien aikana, kun viilennyksentarve on suurempi.

DGC:n investointikustannus on noin kaksinkertainen vastaavaan viilennyslaitteistoon verrattuna, mutta LCC-kustannus on jonkin verran matalampi.

Lyhyt tekninen kuvaus

Rakennuksen lämmitykseen käytetään lähinnä kaukolämpöä, ja ilmastointiin käytettävän ilman lämmitys ja viilennys vuodenaikasta riippuen tapahtuu Skanskan Deep Green Cooling (DGC) -konseptin avulla. Poliisitalon DGC-järjestelmä koostuu kahdestatoista 200 metrin syvyydestä porakaivosta. Järjestelmään ei kuulu kylmäaineita eikä kompressoreita.

Porakaivokeräimissä on kaksinkertaiset U-putket, joissa lämmönvälitysaineena käytetään vettä. Kesäisin rakennus viilennetään maahan varastoidun kylmän avulla. Maan häiriötön lämpötila alueella on noin 10 °C, mutta porakaivoja käytetään enimmäkseen kesäaikaan, joten varastosta tuotavan lämmönvälitysaineen lämpötila on korkeimmillaan 16 °C. Paluulämpötila viilennyslaitteilta pysyy 23 °C:ssa. Talvella porakaivoihin varastoidaan kylmää lämmittämällä ilmastointiin käytettävää ilmaa. Talven aikana vapaajähdytykseen voidaan käyttää myös ulkoilmaa.

Porakaivovarasto mitoitettiin niin, että sen huippuviilennysteho on noin 100 kW, mutta ensimmäisen käyttövuoden aikana mitattu tehontarve oli korkeimmillaan 37 kW.

Muuta

Malmön poliisitalo on yksi Skanskan lämpöpumputtoman korkealämpöisen viilennyksen lippulaivahankkeista, ja se oli Ruotsin ensimmäinen LEED-kultasertifioitu julkinen rakennus.

Chalmers ja Skanska arvioivat poliisitalon energijärjestelmää ja käyttötietoja hankkeessa, johon saatiin rahoitus Bygginnovationen-ohjelmasta. Chalmersin ja Lundin teknisen korkeakoulun tutkijat hyödynsivät tuloksia korkealämpöiseen viilennykseen liittyvässä hankkeessaan, joka on osa Ruotsin energiaviranomaisen (Statens energimyndighet) EffsysExpand-tutkimusohjelmaa.

Tarkistuslistat

Ohjeita

Tässä luvussa esitetään joitakin yleisiä suosituksia, jotka tulisi ottaa huomioon geoenergialaitteiston asennusta suunniteltaessa. Jokaisen laitteiston yksilölliset edellytykset on huomioitava. Geoenergiahankkeet etenevät usein monessa vaiheessa, joiden väleissä tehdään päätöksiä jatkosta. Tarkkuus kaikissa vaiheissa kannattaa aina.

Hanke aloitetaan tyypillisesti alustavalla tutkimuksella, jossa kuvataan ja vertaillaan kaikkien eri vaihtoehtojen edellytykset. Vertailussa voidaan huomioida teknisiä, taloudellisia ja ympäristöllisiä näkökulmia. Myös poraamiseen vaadittava aika on huomioitava. Alustava tutkimus tarjoaa pohjaa toteutettavan järjestelmän valinnalle, joten sen on pohjauduttava hyvin perusteltuihin tosiasioihin.

Alustavan tutkimuksen jälkeen seuraa suunnitteluvaihe, jossa tarkistetaan ja tarkennetaan ensimmäisessä vaiheessa käytettyjä termisiä ja geologisia parametreja. Tämän vaiheen aluksi suoritetaan yksi tai useampia koeporauksia (suljetut porakaivojärjestelmät) tai porataan koekaivoja (avoimet pohjavesijärjestelmät), jotta kallion tai pohjavesimakasiinin ominaisuudet saadaan kuvattua tarkasti. Suljetuissa järjestelmissä käytetään termistä vastetestiä (TRT) kallion termisten ominaisuuksien määrittämiseen. Avoimissa järjestelmissä pohjavesivaraston hydrauliset ominaisuudet määritetään koepumppauksilla.

Suljetuissa järjestelmissä testitulosten avulla määritetään porakaivojen määrä ja etäisyys toisistaan. Tämä tapahtuu useimmiten EED-simulointiohjelman tai vastaavan ohjelman avulla. Avoimissa järjestelmissä testitulosten avulla päätetään kaivojen määrä ja kylmän ja lämpimän puolen etäisyys toisistaan. Tähän analyysiin käytetään usein MODFLOW-laskentaohjelmaa, jonka käyttösimulaatio luo olennaisen pohjan luvannäaritykselle (ympäristövaikutuskuvauksen laadinta).

Tässä vaiheessa poratut porakaivot tai kaivot otetaan yleensä myöhemmässä vaiheessa osaksi valmista järjestelmää, joten ne voidaan nähdä ennakkoinvestointina.

On suuri ero siinä, asennetaanko järjestelmä olemassa olevaan rakennukseen vai uuteen rakennukseen. Joka tapauksessa alustavaa tutkimusta tehtäessä on alustavasti määritettävä rakennuksen tyypillinen teho sekä lämmityksen, viilennyksen ja lämpimän veden vuosittainen energiantarve. Tämän jälkeen tutkitaan muita geoenergiajärjestelmän määrittämiselle merkityksellisiä edellytyksiä.

Alustavaan tutkimukseen on kuuluttava seuraavaa:

- ☐ Järjestä keskustelu geoenergialaitteiston tavoitteista koko organisaation sitouttamiseksi.
- ☐ Varmista, että organisaation henkilökunnalla on mielenkiintoa ja aikaa osallistua hankkeen kaikkiin vaiheisiin.
- ☐ Tarkista tavoiteasiakirjat talouden, ympäristön sekä rakennuksen suunnittelun ja energiantarpeen vaatimusten osalta.
- ☐ Päätä energiankäytön suuruusluokka ja jaottelu (lämmitys, viilennys, lämmin vesi).
- ☐ Tutki mahdollisuudet kiinteistön hukkalämmön hyödyntämiseen (esim. aktiivinen ilmastointi).
- ☐ Mukauta lämpötilantarve suotuisien käyttöehtojen määrittämiseksi (matala johdettu lämpö / korkea johdettu viilennys).
- ☐ Kartoita maaolosuhteet (saatavuus, geologia, hydrogeologia).
- ☐ Tutki tilat ja mahdolliset maanalaiset esteet (johdot, tunnelit jne.) kiinteistökartan avulla.
- ☐ Hyödynnä SGU:n (Sveriges geologiska undersökning) maa- ja kalliotyypikarttoja sekä hydrogeologisia karttoja.
- ☐ SGU:n kaivoarkistosta saat tietoja alueella jo olevista energia- ja vesikaivoista.
- ☐ Hyödynnä Ruotsin ilmatieteen ja hydrologian laitoksen (SMHI) ilmastonkuvaustietoja (ulkolämpötilat kesällä/talvella).
- ☐ Tarkista, mitä lupia tarvitset.
- ☐ Varmista, että kiinteistölle on käytettävissä riittävästi sähkövoimaa, sillä tämä unohtuu usein.
- ☐ Suunnittele alustavasti yksi tai useampia järjestelmätyyppejä.
- ☐ Laadi investointi- ja kannattavuuslaskelmat sekä käyttö- ja huoltokustannuslaskelmat ja LCC-analyysi.
- ☐ Valitse kannattavin ratkaisu ja jatka sen suunnittelua.

Maatutkimukset (suljettu porakaivojärjestelmä)

- ☐ Poraa yksi tai useampia testikaivoja, jotka voidaan sittemmin sisällyttää valmiiseen hankkeeseen (suositellaan laitteistoille, joihin tulee yli kymmenen 200 metriä syvää porakaivoa).
- ☐ Pyydä nähtäväksi maan syvyyttä, kalliolajeja, porattavuutta (ajankäyttö), eri syvyyksien vedensiirtävyyttä sekä pohjaveden tasoa koskevia asiakirjoja.
- ☐ Pyydä urakoitsijaa asentamaan vedellä täytetty keruuputki.
- ☐ Suorita terminen vastetesti (aikaisintaan viikko porauksen jälkeen).
- ☐ Pyydä, että testaukset arvioidaan ja raportoidaan.

Maaperätutkimukset (avoin pohjavesijärjestelmä)

- ☐ Poraa kaksi tutkimuskaivoa (yksi lämpimäksi ja yksi kylmäksi suunnitellulle puolelle).
- ☐ Pyydä nähtäväksi varastoinnin seurauksia, hyvää vedensiirtävyyttä sekä pohjaveden tasoa koskevat asiakirjat.
- ☐ Pyydä urakoitsijaa suorittamaan lyhytkestoinen koepumppaus (kahden tunnin kapasiteettikoe, jossa jatkuvalla virtauksella tapahtuvan pinnan laskun mittausta).
- ☐ Jos tuleva laitteisto on suuri, suorita pidempi koepumppaus useilla mittauskaivoilla.
- ☐ Varmista, että jokaisen pumppauksen lopuksi otetaan vesinäytteet kemiallista analyysia varten.
- ☐ Pyydä geohydrologia arvioimaan asiakirjat ja pumppaukset.

Mitoitus – suunnittelu – hankinta

- ☐ Laadi rakennukselle tarkemmat energialaskelmat (tyypillinen teho, vuositasen energiamäärä).
- ☐ Mieti, kuinka suuri osa lämmityksen- ja viilennyksentarpeesta geo-energilaitteiston on tarkoitus kattaa.
- ☐ Pohdi mahdollista kulutushuippujen lämmitys- ja viilennystarvetta.
- ☐ Suorita maaperätutkimukset – koeporaukset, terminen vastetesti, koepumppaukset, vesikemiallinen analyysi.

- ☐ Määritä toiminnalliset tarpeet.
- ☐ Suljettujen järjestelmien osalta varmista, että ilmanpoistomahdollisuudet ovat hyvät.
- ☐ Määritä toiminnan ja suorituskyvyn valvontaan kuuluvat energiamittaukset.
- ☐ Päätä käytettävä urakkamuoto ja laadi aikataulu.
- ☐ Laadi kilpailutus pohja yleisten määräysten mukaisesti (AB04 tai ABT06).
- ☐ Julkaise ja lähetä kilpailutus.
- ☐ Varmista tarjoajille mahdollisuus käydä paikan päällä ennen tarjouksen jättämistä.
- ☐ Käy tarjoukset läpi tarjoajien kanssa epäselvyyksien välttämiseksi ennen urakoitsijan valintaa.
- ☐ Laadi sopimus.

Toteuttaminen

- ☐ Valvo rakentamista (AB04-urakoissa).
- ☐ Tutki suunnitelmat (ABT06-urakoissa).
- ☐ Osallistu koordinoituun testaukseen (toimintojen ja niiden yhteyksien valvonta).
- ☐ Muista varmistaa urakoitsijan omavalvonta.

Lopputarkastus ja käyttöön luovutus

- ☐ Valitse kokenut ja asiantunteva tarkastaja.
- ☐ Käyttö- ja huolto-ohjeet, lopulliset piirustukset ym. on luovutettava ennen koulutusta.
- ☐ Varmista, että koko käyttöhenkilöstö on paikalla koulutuksissa.
- ☐ Painota koulutuksen perusteellisuutta.

Erityishuomioita

Talous

- ☐ Geoenergialaitteiston maassa olevan osan elinkaari on yli 40 vuotta, ja sitä voidaan monissa tapauksissa pitää osana kiinteistöä, joten sille voidaan laskea yhtä pitkä poistoaika kuin rakennukselle, jota se palvelee (tämä pätee lähinnä suljettuihin järjestelmiin).
- ☐ Pitkän aikavälin kilpailukykyisyyttä on vaikea ennustaa, sillä energian hinnan kehitys on arvaamatonta niin lyhyellä kuin pitkälläkin aikavälillä.
- ☐ Ole tarkkana tarjouspohjan suhteen, jotta tarjoukset voidaan jättää keskenään samanlaisin ehdoin ja jotta niitä voidaan vertailla reilusti. Varmista, että tarjouspohja on valmis, jotta välttyä turhilta muutoksilta ja lisätyöltä.
- ☐ Vertaile ratkaisun ympäristö- ja ilmasto-ominaisuuksia muihin vaihtoehtoihin ja mieti, miten ratkaisu edistää mahdollista ympäristöluokitusta tai muuta suunnitteilla olevaa sertifiointia.

Alustavien tutkimusten vaihe

- ☐ Valittavissa on useita vaihtoehtoja: suljettuja maalämpö- tai porakaivovarastojärjestelmiä tai avoimia, pohjaveden pumppaamiseen perustuvia järjestelmiä. Alustavassa tutkimuksessa voi olla mukana erilaisia ja eri kokoisia järjestelmiä, mutta keskity mahdollisimman aikaisessa vaiheessa yhteen vaihtoehtoon.
- ☐ Lupakysymys saattaa joissakin tapauksissa ratkaista valinnan suljetun ja avoimen järjestelmän välillä. Ruotsissa suljetut järjestelmät vaativat tavallisesti vain ilmoituksen ympäristötoimistolle, mutta avoimet saattavat vaatia vesioikeuspäätöksen.
- ☐ Pohjaveden käyttöön perustuvia järjestelmiä suunniteltaessa on varattava riittävästi aikaa ja rahaa lupaprosessille.
- ☐ Suljetut järjestelmät saattavat vaatia erityisiä porakaivon eristämistoimenpiteitä, esimerkiksi jos alueen vesistö on suojeltu. Varmista aikaisessa vaiheessa, koskeeko tämä rakentamaasi järjestelmää.

Maaperätutkimusvaihe

- ☐ Käytä geologin tai hydrogeologin apua tutkimusten suunnittelussa.
- ☐ Käytä porausurakoitsijaa, jolla on todistettavaa osaamista tutkimusporaamisesta.
- ☐ Sisällytä testaamiseen liittyvät käytännön asiat porausurakkaan.
- ☐ Arvioita testit kokeneella geokonsultilla.

Suunnitteluvaihe

- ☐ Käytä apuna konsultteja, joilla on todistettavaa kokemusta geoenergiasta.
- ☐ Pienennä riskejä käyttämällä suunnitelmissa standardisoitua ja vakiintunutta tekniikkaa.
- ☐ Ole huolellinen eri urakoitsijoiden välisessä rajanvedossa (rakennus, maa, LVI, geoenergia, ohjaus jne.).
- ☐ Jokainen laitteisto on yksilöllinen, ja urakkaan onkin sisällyttävä tarkkojen valvonta- ja huolto-ohjeiden luovuttaminen tilaajalle.
- ☐ Varmista, että ohjaus- ja valvontajärjestelmässä on varoitustoiminnot, jotka ilmoittavat mahdollisista toimintahäiriöistä.
- ☐ Ilmoita selkeät vaatimukset järjestelmän hyötysuhteesta (COP/SPF).
- ☐ Joidenkin geoenergiajärjestelmien täyden termisen tehon saavuttaminen vie joitakin vuosia. Varmista, että järjestelmää voidaan hienosäätää jälkikäteen.
- ☐ Sekä lämpöä että viilettä tuottavat järjestelmät kannattaa käynnistää lämmöntuotannolla syksyn aikana, jotta viilennys toimii seuraavana kesänä tehokkaasti.

Hankintavaihe

- ☐ Julkisen sektorin hankintoja koskee Ruotsissa laki julkisista hankinnoista (Lagen om offentlig upphandling, ks. www.notisum.se/rnp/sls/lag/20071091.htm). Laki määrittelee hankinnan ehdot ja tarjoaa selkeät ohjeet seurattaville asioille.
- ☐ Pyydä referenssejä vastaavien laitteistojen rakentamisesta.
- ☐ Tee sopimusta laadittaessa selväksi kaikki laitteistolle asetettavat teho-, energia- tai lämpötilavaatimukset sekä muutkin järjestelmän rakentamista koskevat ehdot.
- ☐ Käytä poraus- ja asennustöissä sertifioituja kaivonporaajia ja asentajia.

Rakennusvaihe

- ☐ Tee hankkeen eri urakoitsijoiden väliset erot selkeiksi, samoin kuin se, kuka on koordinoivastuussa.
- ☐ Käytä etenkin suuremmissa hankkeissa erillistä asennuskoordinoijaa.
- ☐ Suljetuissa geoenergiajärjestelmissä varmista järjestelmän tiiviys kunnolla ennen kuin johtamisjärjestelmä peitetään.
- ☐ Harkitse laitteiston rakentamista niin, että järjestelmää voitaisiin hyödyntää myös rakennusaikaiseen lämmitykseen.

Hallinta – käyttö- ja huolto-ohjeet

- ☐ Geoenergialaitteiston suunnittelijoiden ja käyttöhenkilöstön välisen käyttöönluovutuksen ja vuorovaikutuksen sujuvuus on ensiarvoisen tärkeää laitteiston sujuvan hienosäädön kannalta. Suositus on, että käytöstä myöhemmin vastuussa oleva henkilö olisi mukana jo rakennusprosessissa.
- ☐ Luo rutiinit järjestelmän käyttötietojen mittaukselle, seuraamiselle, keräämiselle, varastoinnille ja analysoinnille. Listaa kaikki säännöllisesti varmistettavat asiat.

Käy referenssikohteissa

Jo valmiista hankkeista voi oppia paljon. Tämän vuoksi kannattaakin käydä paikan päällä katsomassa käsillä olevaan investointiin verrattavissa olevia laitteistoja. Näin näet tekniikan toimivuuden mutta saatat saada myös vinkkejä ja ohjeita sekä suunnittelu- ja hankintavaiheeseen mutta myös rakennus- ja hallintavaiheisiin. Saatat kuulla myös arvokkaita käytännön käyttökokemuksia tai saada tietoa komponenttien, urakoitsijoiden ja asentajien arvioinnista.

Lähteet

Luku 1. Geoenergian esittely

- Andersson, O. (2007). Aquifer Thermal Energy Storage (ATES). In H.Ö. Paksoy (ed.). Thermal Energy Storage for Sustainable Energy Consumption, 155–176. 2007 Springer.
- Antics, M., Bertani, R., Sanner, B. (2016). Summary of EGC 2016 Country Update Reports on Geothermal Energy in Europe. Proceedings from European Geothermal Congress 2016, Strasbourg, France, 19–24 September 2016.
- Geotec (2012). Geoenergi i samhället – En viktig del i en hållbar energiförsörjning. Lund: Geotec – Svenska Borrentreprenörers Branschorganisation.
- Gehlin, S. (2016). Chapter 11. Borehole Thermal Energy Storage. I S. J. Rees: Advances in ground-source heat pump systems. London: Woodhead Publishing.
- Gehlin, S., Andersson, O., Alm, P-G., Rosberg, J-E. (2015). Country Update for Sweden. Proceedings World Geothermal Congress 2015. Melbourne, Australia, 19–25 April 2015.
- Gehlin, S., Andersson, O. (2016). Geothermal Energy Use, Country Update for Sweden. Proceedings from European Geothermal Congress 2016, Strasbourg, France, 19–24 September 2016.
- Lund, J.W., Boyd, T.L. (2015). Direct Utilization of Geothermal Energy 2015 Worldwide Review. Proceedings World Geothermal Congress 2015, Melbourne, Australia, 31 p.
- Platell, O., Wikström, H. (1981). Sunstore-projektet 1977–1980. Solvärmesystem med låg temperatur och säsongslagring för uppvärmning av lokaler. BFR Rapport R100:1981.
- Rosén, B. et al. (2001). System för värme och kyla ur mark – En nulägesbeskrivning. Statens Geotekniska Institut, SGI. Varia 511.
- SGU (2016). Normbrunn-16. Vägledning för att borra brunn. Sveriges Geologiska Undersökning.
- Sundberg J. (1988). Thermal Properties of Soils and Rocks. PhD Thesis. Publ. A 57. Geologiska Institutionen. Chalmers Tekniska Högskola. Göteborg 1988.
- Svensk Fjärrvärme (2016). Tillförd energi till kraftvärme och fjärrvärmeproduktion och fjärrvärmeleveranser 2015. <https://www.energiforetagen.se/statistik/fjarrvarmestatistik/tillford-energi/>

Luku 2. Ympäristö

EU 2009. Directive 2009/28 EC. On the promotion of use of energy from renewable sources and amending and subsequently repealing Directives 2001/77/EC and 2003/30/EC.

Geotec (2012). Geoenergi i samhället – En viktig del i en hållbar energiförsörjning. Lund: Geotec – Svenska Borrentreprenörers Branschorganisation.

Hjulström, J. (2014). Bortforsling av kaxblandat vatten från borrningar via dagvattenledning: Riskanalys, karaktärisering av kaxvatten och reningsmetoder. Examensarbeten i geologi vid Lunds universitet, masterarbete, nr 414.

Hagberg, M., Goude, J., Lätt, A., Ekwall, T., Adolfsson, I., Martinsson, F. (2017). Miljövärdering av energilösningar i byggnader (etapp 2). Metod för konsekvensanalys. Stockholm: IVL.

Ida Adolfsson, Martin Wetterstedt och Andreas Hagnell (2017). Klimatkonsekvenser av olika energilösningar. Sveriges Kommuner och Landsting.

Luku 3. Talous

Geotec (2012). Geoenergi i samhället – En viktig del i en hållbar energiförsörjning. Lund: Geotec – Svenska Borrentreprenörers Branschorganisation.

Luku 4. Toteuttaminen

SGU (2016). Normbrunn-16. Vägledning för att borra brunn. Sveriges Geologiska Undersökning.

Luku 5. Inspiroivia esimerkkejä

Myndigheten för Krisberedskap (2008). Det robusta sjukhuset. <https://www.msb.se/Rib-Data/Filer/pdf/24319.pdf>

Norlannin yliopistollinen sairaala

Hans Johansson, Norlannin yliopistollisen sairaalan kiinteistöaluepäällikkö. Henkilökohtainen viestintä, tammi–toukokuu 2017.

Sundsvallin sairaalan lumivarasto

Bo Nordell, professori emeritus, LTU. Henkilökohtainen viestintä, tammi–maaliskuu 2017.

Skogsberg, K. (2005). Seasonal Snow Storage for Space and Process Cooling. Doctoral Thesis 2005:30 Architecture and Infrastructure, Dept. of Civil and Environmental Eng. Luleå University of Technology, Sweden <http://ltu.diva-portal.org/smash/get/diva2:990071/FULLTEXT01.pdf>

Skogsberg, K. & Lundberg, A. (2005) Wood chips as thermal insulation of snow. Cold Regions Science and Technology Volume 43, Issue 3, Dec. 2005, pp. 207–218, <http://dx.doi.org/10.1016/j.coldregions.2005.06.0>

Nordell, B. & Skogsberg, K. (2006). The Sundsvall Snow Storage – six years of operation. Proc. of the NATO Advanced Study Institute on Thermal Energy Storage for Sustainable Energy Consumption – Fundamentals, Case Studies and Design. Izmir, Turkey, 6–17 June 2005. ISBN-10 1-4020-5288-X (HB), Springer, The Netherlands.

Arlandan lentokentän pohjavesivarasto

Olof Andersson, Geostrata. Henkilökohtainen viestintä, tammi–maaliskuu 2017.

Andersson, O., Arvidsson, K., Djurberg, H. och Johansson, P-O. (2013). Akviferlager Arlanda – erfarenheter från de första årens drift samt förslag till effektivisering. Grundvatten-dagarna 2013.

Ylioppilastalo

Akademiska Hus, järjestelmäasiakirjat sekä henkilökohtainen viestintä: käyttötekniikka
Anders Larsson, energiatoiminnan kehittäjä Johan Tjernström ja Jonas Sjöholm
Norling, Incoord. Lokakuu 2016–kesäkuu 2017.

Kansallismuseo

Magnus Kruså, Statens fastighetsverk. Henkilökohtainen viestintä, touko-kesäkuu 2017.

Wirtén, L. (2015). Sjövatten ger nationalskatten rätt klimat. Svensk Geoenergi nr 1/2015, sid 23.

Backavallenin urheilualue

Kjell Dävelid, Katrineholmin kunta. Henkilökohtainen viestintä, tammi–toukokuu 2017.

Karlstadin keskussairaala

Bengt-Åke Karlsson, apulaistekniikkapäällikkö, Landstingsfastigheter, Värmland.
Henkilökohtainen viestintä, tammi–toukokuu 2017.

Vikbolandsskolan

Niklas Ljung, Norrevo Fastigheter sekä David Johansson, FBB. Henkilökohtainen viestintä, touko-kesäkuu 2017.

Rågårdenin oikeuspsykiatrian laitos

Jardeby, Å., Räftegård, O. (2012). Borrhåls- och grundvattenlager. Praktisk Handbok om geoenergi. SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut.

Hans Bjurbäck, Västfastigheter ja Fredrik Hansson, Accio AB. Henkilökohtainen viestintä, kesä-heinäkuu 2017.

Kalmarin lääninsairaala

Stefan Westblom, Kalmarin läänin maakäräjät. Henkilökohtainen viestintä, touko-kesäkuu 2017. Wirtén, L. (2016). Akviferlager sparar skattepengar. Svensk Geoenergi nr 2 2016. sid 19.

Kristallen

Olof Andersson, Geostrata. Henkilökohtainen viestintä, touko-kesäkuu 2017.

Wirtén, L. (2017). Guldglans över Kristallen i Lund. Svensk Geoenergi nr 1 2017. sid 22.

Rosengårdin poliisitalo

Saqib Javed, Tekn. Dr. Installationsteknik Chalmers, Rakennus- ja ilmastointioppi, Lundin tekninen korkeakoulu, sekä Jonas Gräslund, tekniikkapäällikkö, Skanska, ja Martin Persson, projektipäällikkö, Skanska Öresund. Henkilökohtainen viestintä, huhti-kesäkuu 2017.

Geoenergiaopas

Geoenergia, joka luokitellaan uusiutuvaksi energiaksi, on ryhmä pitkälle kehitettyjä tekniikoita, jotka kattavat lähes neljänneksen Ruotsin rakennuskannan lämmitykseen ja viilennykseen käytetyn energian kulutuksesta. Esimerkkejä suurista rahallisia säästöjä tuottaneista ja ilmasto- ja ympäristövaikutuksia vähentäneistä geoenergialaitteistoista on monia, ja niistä joitakin on esitelty tässä julkaisussa.

Julkaisu tarjoaa julkisten kiinteistöjen parissa työskenteleville henkilöille johdannon erilaisten geoenergiajärjestelmien toiminnasta sekä talous- ja ympäristövaikutuksista, prosessikuvausten geoenergiahankkeen toteuttamisesta, 12 inspiroivaa esimerkkiä sekä tarkistuslistan geoenergiahankkeen eri vaiheisiin.