



# Guide för geoenergi

## **Offentliga fastigheter**

Organisationen Offentliga fastigheter består av organisationer som förvaltar Sveriges offentliga fastigheter. Tillsammans förvaltar vi över 90 miljoner kvadratmeter – skolor, myndighetsbyggnader, militära installationer, sjukhus och fängelser. I vårt nätverk finns det en enorm bredd, inte bara av olika slags fastigheter utan också i form av olika slags erfarenheter. För att ta tillvara och utveckla vår breda kompetens har vi gått samman i Offentliga fastigheter.

Vi bedriver gränsöverskridande utvecklingsprojekt som effektiviserar och förbättrar förvaltningen av våra gemensamma fastigheter. Projekten ska vara angelägna och väcka nya tankar. De ska visa på goda exempel och erbjuda praktiska verktyg som i slutändan höjer kvaliteten på offentliga fastigheter och för våra hyresgäster. Projekt som inte bara gynnar oss själva utan också kan hjälpa och vägleda många fler. Bakom Offentliga fastigheter står Sveriges Kommuner och Landsting, Fortifikationsverket och Samverkansforum genom Statens fastighetsverk och Specialfastigheter.

Mer information hittar du på [www.offentligafastigheter.se](http://www.offentligafastigheter.se).  
Där kan du även beställa denna och andra skrifter.

# Guide för geoenergi

## **Guide för geoenergi**

© Offentliga fastigheter, 2017

**ISBN** 978-91-7585-572-1

**Upplysningar om innehållet** Saija Thacker,  
saija.thacker@skf.se

**Text** Signhild Gehlin, Svenskt Geoenergicentrum

**Omslagsillustrationer** Christina Jonsson

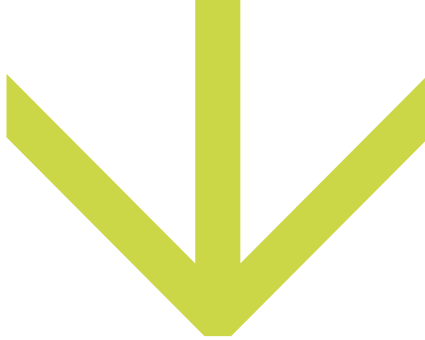
**Grafisk form** ETC Kommunikation

**Produktion** Advant Produktionsbyrå

**Tryckeri** Åtta.45 2017

**Webbplats** [www.offentligafastigheter.se](http://www.offentligafastigheter.se)

# Förord



Syftet med den här skriften är att inspirera och beskriva hur offentliga fastighetsorganisationer kan använda sig av geoenergi. Denna står idag för närmare en fjärdedel av energianvändningen för värme och kyla i Sverige.

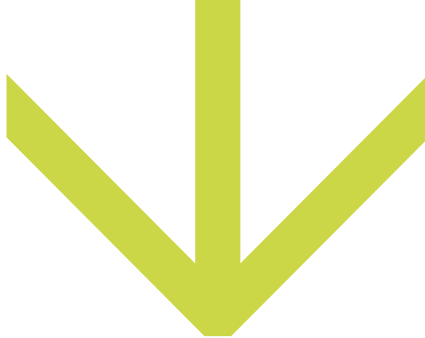
Exemplen i skriften visar att det finns stor potential till ekonomiska och energimässiga besparingar med geoenergi. Ett nytt geoenergiprojekt kan ändå uppfattas som kontroversiellt, särskilt om det medför en högre elanvändning än alternativen.

Projektet har initierats och finansierats av Sveriges Kommuner och Landstings FoU-fond för offentliga fastigheter. Signhild Gehlin, Svenskt Geoenergicentrum, har varit utredare och skribent. Hon har haft stöd i form av faktagranskning av Göran Hellström, NeoEnergy; Bo Nordell, Luleå tekniska universitet; Olof Andersson, Geostrata och Johan Barth, Geotec. En styrgrupp bestående av Hans Johansson, Västerbottens läns landsting; Per Löveryd, Akademiska Hus; Bengt-Åke Karlsson, Landstinget i Värmland och Kjell Dävelid, Katrineholms kommun har medverkat i arbetet, bistått med material och lämnat värdefulla synpunkter.

*Stockholm, september 2017*



# Innehåll



<b>Sammanfattning</b>	<b>6</b>	
<b>Kap 1</b>	<b>Introduktion till geoenergi</b>	<b>9</b>
	Geoenergi	9
	Geoenergins förutsättningar	10
	Geoenergins teknikformer	13
	Energibalansen i marken	18
	Geoenergin och byggnadens energisystem	23
	Utveckling och användning i Sverige och världen	25
<b>Kap 2</b>	<b>Miljöaspekter av geoenergi</b>	<b>29</b>
	Direkt miljöpåverkan från geoenergi	29
	Geoenergins elanvändning	30
	Miljö- och klimatpåverkan från elanvändning	30
<b>Kap 3</b>	<b>Ekonomi</b>	<b>33</b>
<b>Kap 4</b>	<b>Genomförande</b>	<b>37</b>
<b>Kap 5</b>	<b>Goda exempel</b>	<b>43</b>
	Termiskt nät för Norrlands Universitetssjukhus i Umeå	44
	Sundsvalls sjukhus snölager	48
	Arlanda flygplats kyla och värme med akviferlager	51
	Heltäckande borrhålslager för Studenthuset i Frescati, Stockholm	54
	Sjökyla för Nationalmuseum, Stockholm	58
	Borrhålslager för Backavallens idrottsområde i Katrineholm	61
	Borrhålslager för Karlstads Centralsjukhus	64
	Borrhål för Vikbolandsskolan i Norrköping	67
	Borrhålslager för Rågården Rättspsykiatri i Göteborg	69
	Akviferlager för Länssjukhuset i Kalmar	71
	Borrhål för kommunhuset Kristallen i Lund	74
	Högtemperaturkyla med borrhål för Polishuset i Rosengård	77
<b>Checklistor</b>		<b>80</b>
<b>Källor</b>		<b>88</b>

# Sammanfattning

Denna skrift ger en kortfattad översikt över teknikområdet geoenergi, som är ett samlingsbegrepp för ett flertal tekniker där värme och kyla från marken tas tillvara. Skriften visar hur geoenergi på olika sätt kan bidra med värme och kyla till byggnader och lokaler, med fokus på den offentliga sektorn. I geoenergisystem ingår ofta, men inte alltid, en värmepump eller en kylmaskin. Bergvärme för småhus är den mest välkända formen av geoenergi.

En stor del av skriften utgörs av presentationer av tolv exempel på svenska geoenergianläggningar inom offentlig sektor, spridda över landet. De utvalda anläggningarna ger exempel från olika klimatförutsättningar, tekniktillämpningar och anläggningsstorlekar. Skriften ger stöd för upphandling av geoenergisystem, bland annat genom checklistor för genomförande och andra beaktanden i samband med upphandling.

Sverige är sedan 1970-talet en världsledande nation inom geoenergi, och står idag för en knapp tiondel av hela världens samlade geoenergi, näst efter Kina och USA. Marknadsgenomslaget för småhus kom under 1990-talet, och idag har vart femte småhus i Sverige en geoenergianläggning. Det senaste decenniet har marknaden för större geoenergianläggningar för flerbostadshus och lokaler ökat väsentligt, i synnerhet för fastigheter med behov av både värme och kyla.

Geoenergianläggningar kan anläggas över hela Sverige. Vilka tillämpningar av geoenergi som passar bäst för en enskild fastighet måste avgöras utifrån fastighetens särskilda krav, lokala geologiska förutsättningar och klimat. Geoenergin kännetecknas av en förhållandevis stor inledande investering, men därefter en låg efterföljande drift- och underhållskostnad vilket kan passa offentliga fastighetsägare som ofta har ett långsiktigt förvaltningsperspektiv.



## Läsanvisning

Skriften innehåller ett inledande faktakapitel om geoenergi och dess olika tekniktillämpningar, och en orientering kring marknaden för geoenergi nationellt och internationellt. I kapitel 2 ges en bild av miljökonsekvenser i samband med anläggning av ett geoenergisystem. Ekonomiska förutsättningar och avväganden för geoenergianläggningar diskuteras i kapitel 3. Genomförande av en geoenergianläggning ägnas speciell uppmärksamhet i kapitel 4 där hela processen från förstudier till drifttagande beskrivs. Ett flertal checklistor i slutet av skriften ger också vägledning kring viktiga beaktanden i samband med beslut om en geoenergianläggning, och ger stöd för en bra upphandling.

I kapitel 5 kan läsaren ta del av tolv goda exempel på geoenergianläggningar för olika typer av offentliga byggnader som anlagts i Sverige, från det termiska nätverket för Norrlands Universitetssjukhus i Umeå i norr, till det värmepumpslösa borrhålslagret för polishuset i Rosengård i Malmö i söder. I slutet av skriften finns en lista på källor som ger fördjupning kring informationen i denna skrift.

1



# Introduktion till geoenergi

I detta kapitel ges en introduktion till teknikområdet geoenergi och dess tillämpningar, användning och utveckling. I avsnitt *Geoenergi* förklaras begreppet geoenergi och i avsnitt *Geoenergins förutsättningar* beskrivs hur de fysiska förutsättningarna i form av klimat, geologi och hydrologi påverkar geoenergins möjligheter. I avsnitt *Geoenergins teknikformer* ges korta introduktioner till de olika tekniker som används för att ta ut och lagra värme och kyla ur mark och vatten. Avsnitt *Energibalansen i marken* beskriver hur olika strategier för uttag och lagring av värme och kyla påverkar markens energibalans. Avsnitt *Geoenergin och byggnadens energisystem* beskriver driftstrategier och hur geoenergisystem används i olika driftstillämpningar för byggnader. Avsnitt *Utveckling och användning av geoenergi i Sverige och världen* återger några aktuella siffror för i vilken omfattning geoenergi används idag i Sverige, Europa och världen, och hur utvecklingen har sett ut över tid.

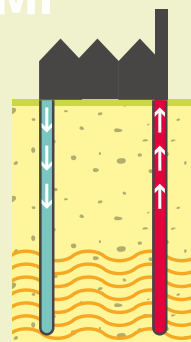
## Geoenergi

Geoenergi är ett samlingsbegrepp för ett flertal tekniker där värme och kyla från marken tas tillvara genom värmeväxling av en värmebärande vätska, antingen direkt eller i ett slutet slangsystem. I geoenergisystem ingår ofta, men inte alltid, en värmepump för att höja temperaturnivån på den utvunna energin. Ibland kombineras denna med en kylmaskin vilken istället sänker temperaturnivån. Ett system som tar ut kyla under delar av året och värme under andra kan vara en särskilt effektiv kombination. Bergvärme för småhus är den mest kända formen av geoenergi. Geoenergi är förnybar energi i form av värme och kyla som tas ur berg, jord, grundvatten, sjöar och vattendrag. Den energi som används från marken är passivt lagrad solenergi eller aktivt lagrad sol- eller spillenergi. Enligt EU:s förnybarhetsdirektiv (2009/28/EG) är geoenergi förnybar och likställs med solenergi.

Geoenergi i dess olika former används i dag för uppvärmning och kylning av bostäder och lokaler, för kylning av industriprocesser, för halkbekämpning av ytor och för kylning av elektronik.

## SPECIALFALLET GEOTERMI

Geotermi är en annan teknikform som tar tillvara värme från radioaktivt sönderfall i jordskorpan och värmeledning från jordens inre, vanligtvis på stort djup. Värmen, som på vissa ställen i världen, framförallt i tektoniskt aktiva zoner, kan hålla mycket höga temperaturer, används som direktvärme och i vissa fall även för elproduktion. I Sverige är potentialen för geotermisk energiutvinning, förutom i sydvästra Skåne, mycket liten. Geotermi kallas även ibland för djupjordvärme.



### Geoenergins förutsättningar

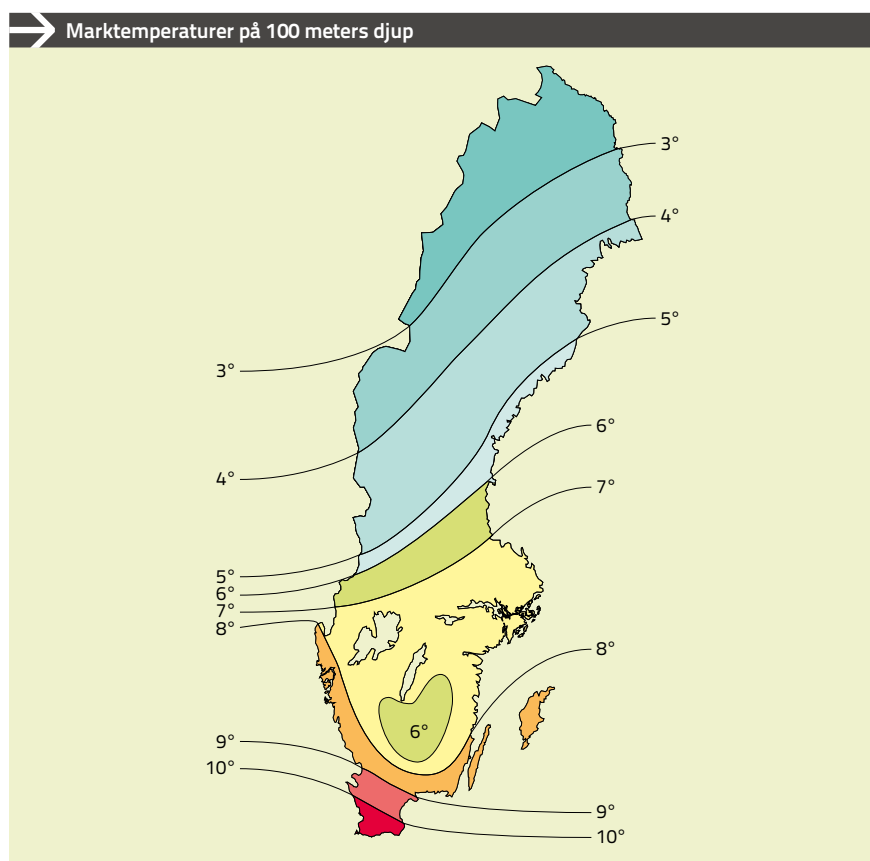
Förutsättningarna för geoenergi är goda i Sverige. Vårt klimat med varma somrar och kalla vintrar är fördelaktigt för uttag och lagring av värme och kyla i jord, berg, ytvatten och grundvattenmagasin. Temperaturen i markens översta skikt varierar under året. Variationerna dämpas snabbt med djupet och på omkring 15 meters djup är årsvariationerna helt utsläckta och marken håller en konstant temperatur. Temperaturen motsvarar normalt årsmedeltemperaturen i luften på den aktuella platsen med ett tillägg på ca 1,2 grader per 100 dagar med snötäcke, vilket kan motsvara upp till 3–4 grader i nordligaste Sverige. Temperaturen ökar något med djupet på grund av det geotermiska värmeflödet (figur 2). I Sverige är temperaturökningen, dvs. den geotermiska gradienten, mellan 1 och 3 grader per 100 meters djup. På 100 meters djup varierar marktemperaturen från ca 11 grader i söder till ca 2 grader i norr (figur 1). I tätorter leder värmeläckage från byggnader till att markens temperatur i de övre 50–200 metrarna är högre än normalt. Hur djupt denna urbana temperaturpåverkan når beror bland annat på hur länge byggnaderna funnits där. Den temperatur som råder i marken innan en geoenergianläggning tagits i bruk kallas markens *ostörda* temperatur.

Markens ostörda temperatur är en faktor som har stor betydelse för geoenergisystemens dimensionering – ju varmare mark desto mer värme kan tas ut. Geoenergisystem kan dimensioneras för alla platser i Sverige.

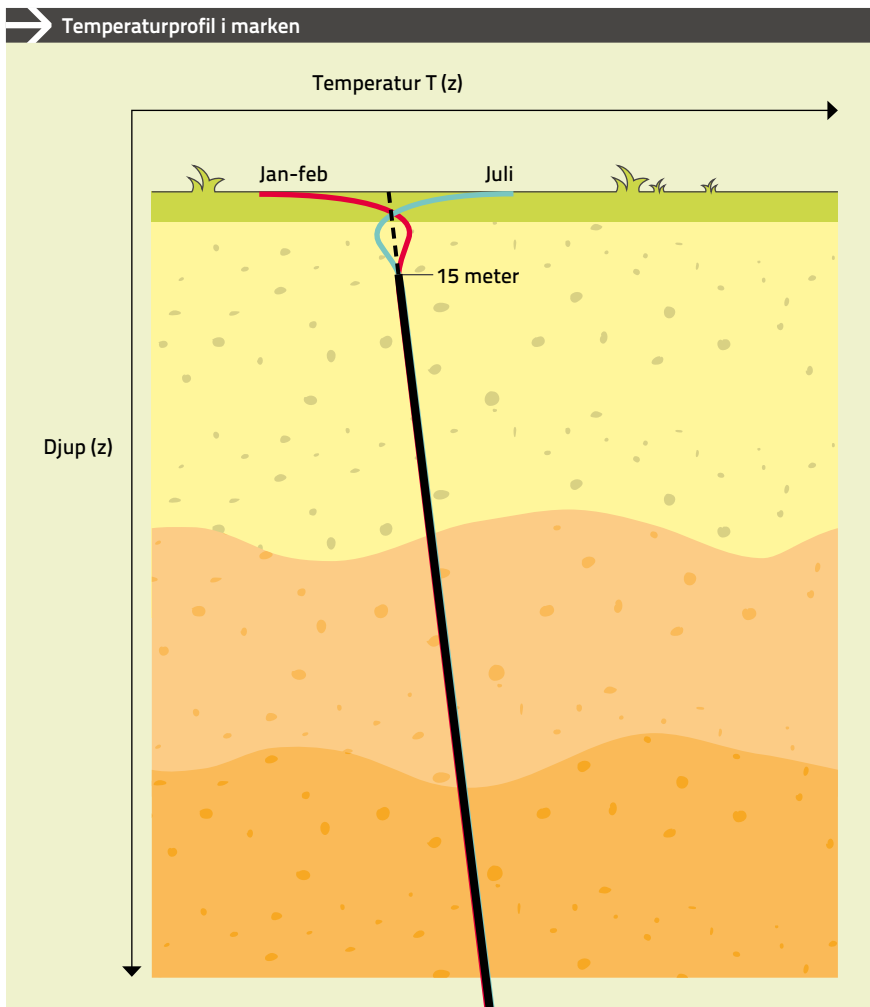
Den svenska berggrunden utgörs i huvudsak av mycket gammal kristallin berggrund (urberg) med generellt sett goda värmeledande och värmelagrande egenskaper och okomplicerad struktur och sammansättning. Ytjordlagret i stora delar av Sverige är ofta tunt med några meters tjocklek (mäktighet), vilket innebär att man inte behöver borra särskilt djupt för att nå berget.

Ur rent geologiskt och anläggningstekniskt perspektiv kan geoenergi anläggas var som helst i Sverige, men de lokala geologiska, hydrologiska och klimatmässiga förutsättningarna avgör vilken av geoenergins tekniker som lämpar sig bäst, både tekniskt och ekonomiskt. Den svenska berggrunden domineras av graniter och gnejser med en typisk värmeledande förmåga inom intervallet 2,5–5 W/m,K (watt per meter och grad kelvin), där medelvärdet är 3,45 W/m,K. Typisk värmeledningsförmåga för lösa avlagringar såsom sand, moräner och leror är lägre och ligger inom 1–2,5 W/m,K.

I Sverige har vi över lag god grundvattentillgång och en hög grundvattenyta vilket är gynnsamt för geoenergi. I några delar av Sverige finns områden med sedimentär berggrund – främst sandsten och kalksten. Där är vattentillgången generellt betydligt större och ger förutsättningar för energiutvinning ur grundvattnet. Även i de större sand- och grusavlagringarna (rullstensåsar m.m.) ger grundvattentillgången möjlighet att utnyttja grundvattenbaserad geoenergi i större skala.



**FIGUR 1** ▪ Karta med marktemperaturer på 100 m djup.

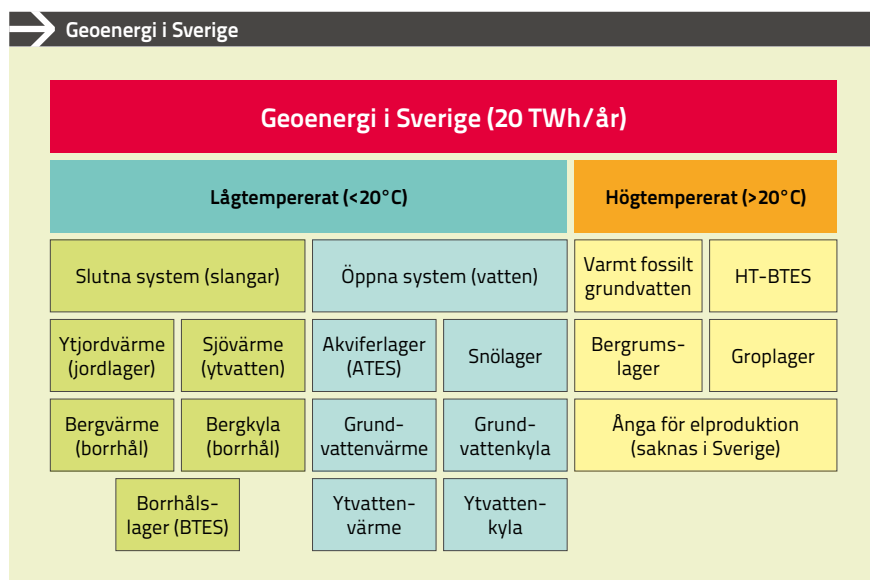


FIGUR 2 • Ostörd temperaturprofil i marken.

## Geoenergins teknikformer

I begreppet geoenergi ingår ett antal tekniker för lagring och tillvaratagande av värme och kyla i marken (se figur 3). I dessa huvudtekniker ingår uttag och lagring av värme och kyla från:

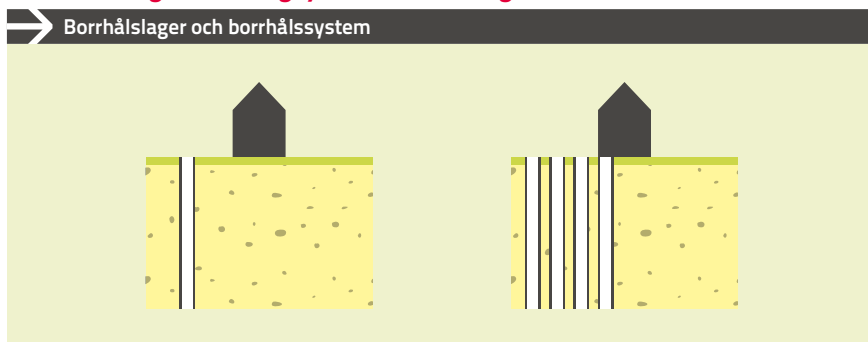
- slutna system: borrhål i berg och lösa avlagringar, ytjord samt ytvattensystem med slutna slanginstallationer. Till ytvatten räknas sjöar och vattendrag
- öppna system: grundvatten och ytvattensystem med öppna intag och utsläpp
- lagring i gropar och bergrum



FIGUR 3 • Översikt av geoenergins olika tekniker och nomenklatur i Sverige.

## Nedan följer korta beskrivningar av geoenergins teknikformer

### *Borrhål – bergvärme, bergkyla och borrhålslager*



Principen för borrhålssystem bygger på att energin lagras i berget eller markmaterialet omkring borrhålen och att värmetransporten i marken sker genom värmeledning. Värmeväxlingen mellan marken och byggnaden sker med hjälp av så kallade borrhålsvärmeväxlare, eller kollektorer, vilka i de flesta fall består av enkla eller dubbla u-rör. Ett u-rör är en plastslang där den uppåtgående och den nedåtgående kanalen är sammanlänkade med en u-böj. I slangarna cirkulerar en värmebärare vilken i Sverige är en blandning mellan vatten och etanol. Den etanol som föreskrivs i SGU:s vägledningsdokument "Normbrunn – vägledning för att borra brunn" benämns bioetanol och framställs ur biomassa. Borrhålen är i Sverige vanligen fyllda med grundvatten för att få så kallad termisk kontakt, dvs. värmeöverföring, mellan kollektorn och borrhålsväggen. I vissa områden i Sverige är det motiverat att borrhålen tätas och fylls med ett tätande fyllnadsmaterial, så kallad "grout", som ett extra skydd för grundvattnet. Grout består av en tät cement- eller bentonitblandning.

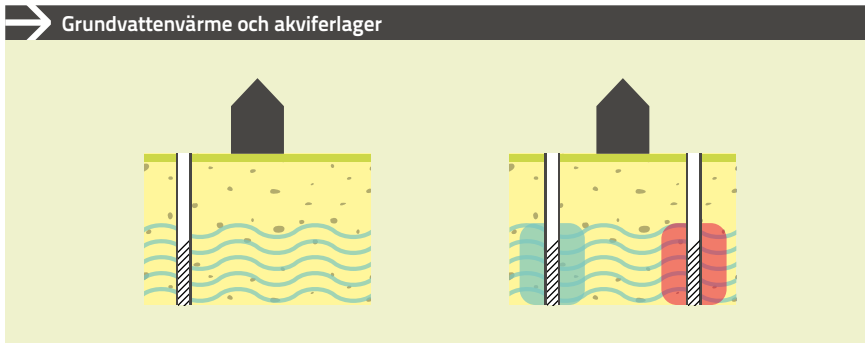
Borrhålen är vanligen mellan 100–300 m djupa. Temperaturen i marken på dessa djup är jämn under året. Borrhålssystem med installerade värmeväxlare innehåller inga rörliga delar och behovet av underhåll är minimalt. Borrhålen har mycket lång livslängd och kan normalt avskrivas i samma takt som de fastigheter de betjänar. Tillståndprocessen är vanligen enkel.

Borrhålssystem med flera borrhål, så kallade borrhålslager, lämpar sig väl för värmning och kylning av offentliga fastigheter.

Ungefär tre fjärdedelar av Sveriges dryga halvmiljon installerade geoenergisystem utgörs av system med borrhål för uttag/lagring av värme/kyla i berg och lösa avlagringar. Det är teknikens effektivitet och anpassningsbarhet till olika geologiska förhållanden som gör den till den i särklass mest tillämpade och utvecklade geoenergitekniken i Sverige. Borrhålssystem är en robust teknik som går att tillämpa så gott som överallt i Sverige i stor eller liten skala.



## Grundvatten – grundvattenvärme, grundvattenkyla och akviferlager



Grundvattensystem ställer krav på specifika gynnsamma hydrogeologiska förhållanden som endast förekommer på omkring 15 % av Sveriges yta. Dessa förhållanden finner man i områden med grusåsar och porösa sedimentära bergarter såsom sandsten och kalksten.

I sin enklaste form bygger principen på att man ur en brunn pumpar upp och värmväxlar det grundvatten som finns i ett grundvattenmagasin, en så kallad akvifer, varpå man antingen återför det värmväxlade grundvattnet till samma akvifer i en annan brunn som är belägen en bit bort, eller släpper ut vattnet på något annat lämpligt ställe, exempelvis i ett vattendrag. Grundvattnet har en nära nog konstant temperatur året runt, vilket gör det till en utmärkt värmekälla till värmepumpar. Värmetransporten i ett grundvattensystem sker huvudsakligen genom transporten av grundvattnet, men även till viss del genom värmeledning i markmaterialet som omger grundvattnet. Grundvattensystem har en mycket god värmväxling eftersom grundvattnet finns i markens porer och sprickor och den värmväxlade ytan blir mycket stor.

I system med akviferlager pumpar man upp grundvattnet från brunnar i en del av akviferen och återför det efter värmväxlingen i en annan del av akviferen. Genom att dessa system kan vända flödesriktning bildas en varm och en kall del av akviferen. Detta gör akviferlager till mycket effektiva och effektstarka system för uttag av både värme och kyla. I grusåsar är brunnarna vanligtvis mellan 20–40 m djupa och i vattenförande kalk- och sandsten 50–150 m djupa.

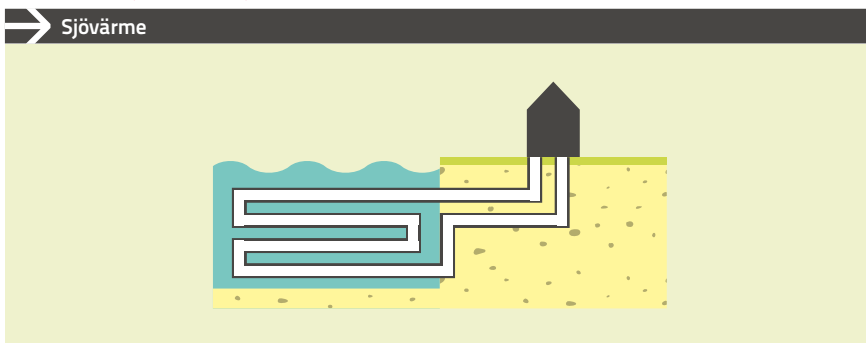
Grundvattensystem kräver normalt visst underhåll. Driftproblem såsom vattenkemiskt orsakad korrosion eller utfällningar av järn och mangan kan uppstå vid ogynnsamma förhållanden eller felaktig konstruktion.

Grundvattensystem räknas vanligtvis som vattenverksamhet och kräver då prövning i miljödomstol, en så kallad vattendom, trots att man inte gör

ett nettouttag av grundvatten. Tillståndsprocessen kan vara tidskrävande och komplicerad vilket ibland leder till att man avstår från denna teknik även om förutsättningarna i övrigt är gynnsamma.

Grundvattensystem lämpar sig väl för offentliga fastigheter där de rätta hydrogeologiska förutsättningarna finns. Ett fåtal procent av alla geoenergisystem i Sverige är öppna system, dvs. grundvattensystem.

### Ytvatten – sjövärm, sjökyla



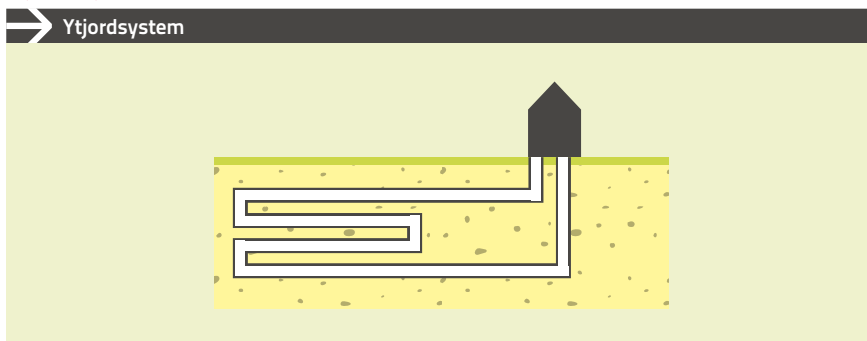
Ytvattensystem kan vara öppna eller slutna. De flesta ytvattensystem är slutna. Öppna ytvattensystem räknas som vattenverksamhet och kräver miljödöm. Principen för öppna ytvattensystem är att vatten från hav, sjö eller vattendrag pumpas upp och värmeväxlas för att sedan återföras till samma ytvattenresurs nedströms. Slutna ytvattensystem har plaströrslingor väl förankrade på botten av en sjö eller ett vattendrag. Slingorna är fyllda med en cirkulerande värmebärare som växlar värmen i det omgivande vattnet. I Sverige är värmebäraren vanligtvis en blandning av vatten och etanol. Värmetransporten sker både genom värmeledning och genom vattenrörelser. Ytvattensystem lämpar sig inte för säsongslagring annat än i kombination med till exempel ett borrhålslager.

Potentialen för geoenergi i form av ytvattensystem är i grunden stor men begränsas ofta av anläggningstekniska förhållanden, konkurrerande intressen som till exempel båtplatser samt i vissa fall även känsliga vattenmiljöer. För offentliga fastigheter som ligger i direkt anslutning till lämplig sjö, hav eller vattendrag kan ytvattensystem vara ett lönsamt alternativ eller komplement till ett annat värme- och kylsystem.

Antalet ytvattensystem i Sverige är litet och förutsätter strandnära fastigheter för kostnadseffektivt nyttjande. I några fall har ytvattensystem använts för återladdning av borrhålssystem för större fastigheter.

## Geoenergi med mindre potential för offentliga fastigheter

### Ytjord – jordvärme

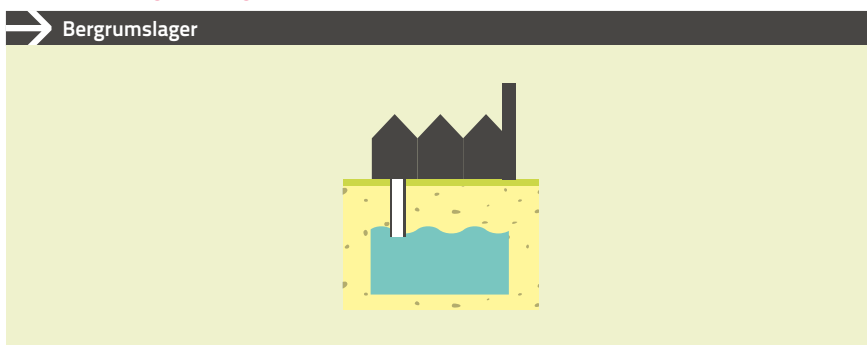


Ytjordsystemets princip bygger på att värme och kyla i marken transporteras genom värmeledning till plaströrsslingor som lagts på frostfritt djup i ytjordlagret och att en värmebärare, vanligen en blandning mellan vatten och etanol, cirkuleras i slangarna. Ytjordssystem i Sverige utgörs nästan uteslutande av horisontella slingor endast avsedda för uttag av värme till en värmepump för ett småhus. Ytjordssystem kan även utgöras av grunda vertikala rörslingor eller cirkelformade rörslingor, så kallade slinky-kollektorer, som placeras i marken. Temperaturen i ytjorden varierar över året i de översta metrarna, vilket innebär att ytjorden är som varmast under sommaren och som kallast under vintern. Ytjordssystem lämpar sig inte för säsongslagring.

Tillämpbarheten för ytjordssystem för offentliga fastigheter är i Sverige begränsad på grund av kravet på rätt förutsättningar i ytjorden, de stora markytor som behövs för rörslingorna samt att ytjordsystemen inte är lämpliga för kyluttag.

Ytjordsystemen utgör en knapp fjärdedel av Sveriges totala geoenergi-bestånd. Denna teknik förutsätter tillräckligt stora markytor med finkornig vattenmättad ytjord ner till ett par meter under markytan.

## Grop- och bergumslager



Principen för grop- och bergumslager är att värme, oftast vid hög (60–90°C) temperatur, lagras i vatten eller en blandning av vatten och sten i gropar i marken eller i bergum och att den omgivande marken både fungerar som magasinväggar och viss isolering. Det finns endast enstaka grop- och bergumslager i Sverige idag. Bergumslager innebär stora investeringar och har därför hittills haft svårt att konkurrera med borrhåslager vilka i de allra flesta tillämpningar visat sig mer kostnadseffektiva. Bergumslager har sannolikt begränsad tillämpbarhet för offentliga fastigheter på grund av de stora volymer och investeringar som krävs. Grop- och bergumslager kan även användas för att säsongslagra snö för kylning av lokaler.

## Energibalansen i marken

Vid uttag av geoenergi förändras energibalansen i markvolymen som omger markvärmeväxlarna och över tid inställer sig en ny energibalans. Processen att uppnå det nya jämviktstillståndet är långsam och tar många år. Ju större skillnad det är mellan den ursprungliga marktemperaturen och den nya jämviktstemperaturen i marken desto längre tid tar det. Om geoenergisystemet skulle tas ur bruk återgår så småningom energibalansen och markens temperatur till det tillstånd som rådde innan geoenergisystemet togs i bruk, markens ostörda temperatur. Återhämtningen sker genom värmeströmning från markytan och omgivande mark, båda med solvärme som ursprung. Det är viktigt att ett geoenergisystem dimensioneras så att det råder balans mellan uttag och återladdning. Om energikuttaget från geoenergisystemet är större än den passiva återladdningen från omgivande mark och markyta behöver man aktivt återladda marken via geoenergisystemet. Annars minskar möjligheten till värmeuttag över tid. Man skiljer därför mellan *passiva* och *aktiva* geoenergisystem.

## Passiva geoenergisystem – endast uttag

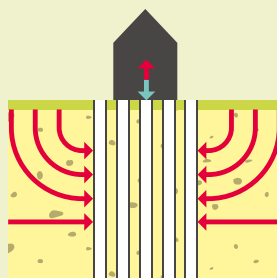
Bergvärme, ytjordvärme, ytvattenvärme och grundvattenvärme – företrädesvis för villor och kopplade till en värmepump – är de typiska exemplen på passiva geoenergisystem. I passiva geoenergisystem sker återladdningen av energi till marken helt genom omgivningens inverkan och vid korrekt dimensionering uppnås en ny jämviktstemperatur i marken. Passiva geoenergisystem kan även dimensioneras för större fastigheter såsom flerbostadshus och mindre lokaler utan kylbehov och som kylsystem, vanligen utan värmepump, för sändarmaster, serverrum och annan elektronik.

Vid passiva borrhållssystem behöver borrhålen placeras gles så att de exponeras för en så stor återladdande markvolym som möjligt. Normalt bör borrhålen placeras på minst 20 meters avstånd från varandra enligt rekommendation i gällande version av vägledningsdokumentet ”Normbrunn – vägledning för att borra brunn” (Sveriges Geologiska Undersökning, SGU).

Det offentliga fastighetsbeståndet innehåller även mindre byggnader som till exempel skolor och förskolor, fritidsgårdar och mindre vårdbyggnader där man i många fall inte har något egentligt behov av kyla. För denna typ av byggnader kan passiva geoenergilösningar såsom bergvärme, grundvattenvärme och i vissa fall även ytjordvärme och ytvattenvärme vara kostnadseffektiva lösningar för uppvärmningsbehovet.

## → UTTAG AV VÄRME

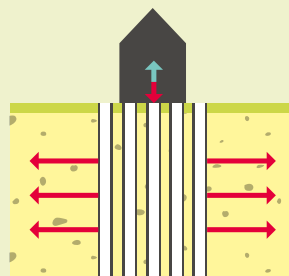
Vid passiv geoenergi, dvs. utan aktiv återladdning, för uttag av värme till exempelvis ett flerbostadshus eller en skola där man bara har behov av rumsvärme och tappvarmvatten tar man upp värme från gles placerade borrhål eller grundvattenbrunnar till en värmepump. Värmeuttaget kompenseras av att värme strömmar till den nedkylda markvolymen från omgivande mark och markytan och efter ett antal års drift inställer sig i marken en ny jämviktstemperatur som ligger något under den ostörda marktemperaturen.



*Värmeuttagsexempel – passiv geoenergi för uttag av värme till ett flerbostadshus eller en skola.*

## → UTTAG AV KYLA

Passiv geoenergi för uttag av kyla används exempelvis till kylning av sändarmaster, lokaler för elektronik och serverhallar. Det kan även användas till för-kylning av ventilationsluft. Vanligtvis används glest placerade borrhål i berget för att utan värmepump kyla bort över-skottsvärmen som elektroniken alstrar. Värmen som tillförs marken via borrhålen sprids till den omgivande marken och efter ett antal år inställer sig en ny jämviktstemperatur i marken som ligger något över den ostörda marktemperaturen. Systemen är mycket robusta och energieffektiva eftersom den enda el som behövs för kylsystemet är små elmängder för drift av cirkulationspumpar och kyldistribution. I länder där man huvudsakligen har ett kylbehov för byggnader används ofta passiva geoenergisystem för kylning av kylmaskiners kondensorsida.



*Kyluttagsexempel – passiv geoenergi för uttag av kyla till en Telecomanläggning.*

### **Aktiva geoenergisystem – lager och återladdning**

Borrhålslager och akviferlager hör till de aktiva geoenergisystemen. Till aktiva geoenergisystem räknas all geoenergi från berg, mark, grund- och ytvatten, gropar och berggrum där man i olika grad aktivt tillför värme eller kyla. I offentliga byggnader som har behov av både värme och kyla är aktiva geoenergisystem ofta tillämpbara.

Geoenergilager blir effektivare ju större de är eftersom utbytet med omgivningen minskar relativt den lagrade volymen och den exponerade ytan. Det är eftersträvarsvårt att det råder en god balans mellan värme- och kyluttag från lagret. Ju bättre balans, desto effektivare blir lagret och desto mindre energitillskott från omgivningen behövs.

Aktiva geoenergisystem i berg, dvs. borrhålslager, skapar förutsättningar för säsongslagring av värme och kyla. Till skillnad från de passiva systemen placerar man här borrhålen i en kompakt konfiguration med ett inbördes avstånd på 4–6 m eftersom man vill att borrhålen ska samverka och markant påverka marktemperaturen samt att värmeutbytet med markvolymen som ligger utanför lagret ska vara begränsat. Lagret bygger på att man vill behålla den värme respektive kyla som man aktivt laddat

markvolymen mellan borrhålen med. Typiska arbetstemperaturer för borrhålslager är att temperaturen varierar mellan  $-1^{\circ}\text{C}$  och  $+10^{\circ}\text{C}$  över året. Borrhålslager kan ha mellan ett tiotal hål och upp till hundratals borrhål. Det finns exempel på borrhålslager med fler än 1 000 borrhål och världens största borrhålslager har över 6 000 borrhål! Borrhålslager tar förhållandevis liten markyta i anspråk och ofta går det att utnyttja parkeringsplatser, innergårdar eller grönområden för borrhålsfältet. Det finns flera exempel på borrhålslager som ligger under byggnader.

Aktiva geoenergisystem som baseras på grundvatten kallas akviferlager och används mest för storskaliga tillämpningar, till exempel sjukhus. Grundvattnet pumpas upp genom en uppsättning uttagsbrunnar, värmeväxlas i byggnaden och återförs till en annan del av akviferen via återföringsbrunnar. På så vis får akviferen en varm och en kall sida. Uppdelningen på varmt och kallt gör dessa system mycket effektiva och snabba att svara på förändringar i behov av uttag av kyla och värme. Typiska temperaturer på den varma sidan är  $12-15^{\circ}\text{C}$  och  $5-7^{\circ}\text{C}$  på den kalla sidan. Byggnadens kylbehov tillgodoses normalt helt utan hjälp av kompressorkyla.

Det finns exempel på system där enbart kyla eller värme lagras. I dessa fall är det oftast indirekt värmeväxling mot ytvatten eller uteluft som används som kyl- eller värmekälla.

## → LÅGTEMPERERAD SÄSONGS-LAGRING AV VÄRME OCH KYLA



*Säsongslager med borrhål. Till vänster vinterfall och till höger sommarfall.*

Den vanligaste typen av aktiva geoenergisystem är lågtemperaturlager för värme- och kyluttag, där temperaturen i lagret varierar kring den ostörda markens temperatur. På vintern tas lågtempererad värme ut, vanligtvis till en värmepump, vilket innebär att temperaturen i lagret

sjunker efter hand. På sommaren används det nedkylda lagret för kyluttag, vanligtvis utan kylmaskin, varvid lagret åter värms upp inför vintersäsongen. Både borrhålslager och akviferlager är utmärkta för denna tillämpning. Beroende på energibalansen mellan värmebehov och kylbehov för systemet kan dessa system även få tillskott i större eller mindre grad från omgivande mark.

Det finns över tusen större aktiva geoenergisystem för lågtempererad säsongslagring av värme och kyla i Sverige, framförallt för större fastigheter.

## → HÖGTEMPERERAD SÄSONGS- LAGRING AV VÄRME

Högtemperaturlager är lager där energin lagras vid temperaturer som är avsevärt högre än den ostörda marktemperaturen på platsen. Värmen kommer från solfångare eller industriella processer. Högtemperaturlager lämpar sig bäst som borrhålslager eller berggrumslager eftersom höga temperaturer i akviferer bland annat kan ge problem med korrosion och utfällningar. Lagren behöver vara tillräckligt stora och kompakta för att hålla de relativa energiförlusterna inom rimliga gränser.

Världens första storskaliga borrhålslager för värmelagring vid hög temperatur byggdes vid Luleå tekniska universitet år 1982. Värmelagret som bestod av 120 stycken 65 meter djupa borrhål och var anslutet till fjärrvärmenätet var i drift 1983–1990. Ett liknande men tre gånger större värmelager togs år 2010 i drift i Emmaboda för att lagra högtempererad värme från en industri till vintern då värmen används för lokaluppvärmning. Ytterligare ett högtemperaturlager finns i drift i Sverige sedan 2000. Det är ett borrhålslager med 99 borrhål som lagrar solvärme från takplacerade solfångare för uppvärmning av ett femtiotal småhus och radhus i bostadsområdet Anneberg i Stockholm. Inga värmepumpar används i systemet.

Berggrumslagret i Lyckebo är ett annat exempel på ett högtemperaturlager. Lagret konstruerades i mitten av 1980-talet och avsågs ursprungligen lagra solvärt vatten från ett solfångarfält ovanför lagret. Idag används det fortfarande som magasin i fjärrvärmenätet men vattnet värms med biobränsle.



## Kombinationslösningar

De olika geoenergislagen kan i många fall kombineras med varandra och med andra tekniker för värme och kyla. Mycket tyder på att olika typer av hybridsystem där geoenergi ingår som en del kommer att bli vanligare i framtiden, i synnerhet för större fastigheter och byggnadskluster. Det finns även ett tydligt ökande intresse för borrhålslager som ingående del i fjärrvärmenät för att sänka fjärrvärmens returtemperatur och skapa fördelaktiga lastförhållanden.

Redan idag förekommer det att man kombinerar geoenergi med fjärrvärme, där man använder fjärrvärmen för att komplettera ett helt balanserat geoenergilagert som täcker hela kylbehovet och delar av värmebehovet. Det finns även exempel där man använder ytvatten för att lagra extra värme eller kyla i borrhålslager eller akviferlager, eller bergvärme som kompletteras med värme från avluft för återladdning av borrhålen.

## Geoenergin och byggnadens energisystem

En geoenergianläggning består dels av själva källan för värmen och/eller kylan (markdelen), dels av installationerna som tillvaratar värmen och/eller kylan från markdelen samt distributionen av energin till och inuti byggnaden. Till stora delar är distributionssystemet inuti byggnaden det samma som för andra energiförsörjningslösningar, men det finns några faktorer att särskilt beakta vid installation av en geoenergianläggning.

Effektiviteten hos en geoenergianläggning är till stor del beroende av kraven på temperaturnivå för byggnadens värme- och kyldistribution. Effektiviteten ökar ju närmare temperaturkraven ligger markens ostörda temperatur. System för lågtemperaturvärme och högtemperaturkyla är därmed att föredra ur effektivitetssynpunkt. Detta innebär att man kan behöva förändra distributionssystemet för värme och/eller kyla i en byggnad vid konvertering till geoenergi, i synnerhet när det gäller byggnader med äldre värmesystem som ofta är dimensionerade för höga distributions-temperaturer. Oavsett val av energiförsörjning finns det mycket att vinna på att byggnader utformas för lägre distributionstemperaturer för värme. På så vis kan spillvärme, frikyla, frivärme, värmepumpar och fjärrvärme m.m. användas effektivare.

Geoenergisystem är relativt långsamma att svara på snabba förändringar i behovet av värme och kyla och är ofta dimensionerade för att täcka basbehovet, dvs. det som utgör den största delen av energibehovet under året. Under höglastperioder kan därför kompletterande värme- och

kyleffekt behövas från andra energikällor. Genom att ta fram ett så kallat varaktighetsdiagram för en byggnad kan man bilda sig en uppfattning om byggnadens bas- respektive spetsbehov för värme och kyla. Man kan där även se om det finns perioder när man behöver värma och kyla byggnaden samtidigt. Det är en fördel att ta vara på den interna spillvärmens/spillkylan för att jämna ut samtidiga värme- och kylbehov, eller för att lagra värme eller kyla från tider med överskott till tider med högre behov. På så vis kan man jämna ut effekttoppar och spara resurser och pengar. I vissa av geoenergins tillämpningar minskar behovet av både externt tillförd el och värme jämfört med alternativa lösningar. I andra tillämpningar innebär geoenergilösningen ett minskat behov av externt tillförd värme och ett ökat behov av externt tillförd el, ett val med flera dimensioner att ta hänsyn till. Mer om miljövärdering finns i kapitel 2.

En del offentliga fastigheter medför särskilda förutsättningar för val av energiförsörjning. Det kan till exempel vara historiska byggnader och museer där det ställs särskilda krav på luftfuktighet, temperatur, brandsäkerhet och hänsyn till byggnadens exteriör och interiör. Geoenergins tillämpningar kan i många fall svara väl mot sådana krav. Temperaturnivåerna i geoenergisystem är jämna och låga vilket ofta passar väl för tunga och värmetröga byggnader med jämna energilastvillkor. Själva marklagret är osynligt, ljudlöst och luktfritt när det väl är anlagt. Vilka tillämpningar av geoenergi som passar bäst för en enskild fastighet måste avgöras utifrån fastighetens särskilda krav, lokala geologiska förutsättningar och klimat.

För fastigheter med flera brukare som har olika energibehov, såsom sjukhusområden, sportanläggningar och industrikomplex, erbjuder geoenergilösningar möjlighet att jämna ut och effektivisera behovet av värme och kyla under året och mellan flera byggnader med olika behovsprofil. Det kan åstadkommas med hjälp av ett så kallat termiskt nät. Flera separata geoenergisystem kan ingå i ett termiskt nät, tillsammans med andra källor för värme och kyla.

För till exempel sjukhus ställs stora krav på trygghet och säker värme-, kyl- och elleverans. Geoenergins säsongslagrande egenskaper och lokala produktion svarar väl mot sådana krav. Att kombinera geoenergilösningar med tillgänglig fjärrvärme kan skapa en både effektiv och redundant energiförsörjning som också ger flexibilitet vid förändringar i verksamheten, ombyggnad och utbyggnad.

## Utveckling och användning i Sverige och världen

Att använda marken som energikälla i kombination med en värmepump har man kunnat göra i mer än hundra år, men det var först i samband med oljekrisen på 1970-talet som teknikutvecklingen tog ordentlig fart.

Sverige var ett av de länder som tidigt var med och utvecklade geoenergin som teknikområde. Det första borrhålslagret i Sverige konstruerades i Sigtuna år 1978 där det försåg ett större enfamiljshus med värme från 42 stycken solvärmda borrhål. Sedan dess har det installerats geoenergisystem i vart femte småhus i Sverige, vilket har gjort Sverige till världens tredje största geoenergianvändare efter USA och Kina.

Under 1980-talet handlade geoenergiutvecklingen mycket om högtemperaturlager och säsongslagrad solvärme, och i Sverige experimenterade man bland annat med att lagra hetvatten i berggrumslager. De två första berggrumslagren i världen byggdes i Avesta och Lyckebo, och världens första storskaliga borrhålslager för lagring vid hög temperatur anlades vid Luleå tekniska universitet år 1982. Värmelagret som bestod av 120 hål och var anslutet till fjärrvärmenätet var i drift 1983–1990.

Under 1990-talet skedde en snabb utveckling och en breddning av geoenergins tillämpningar.

Ett flertal större geoenergianläggningar för värme och kyla anlades i Sverige och frikyla med borrhål i berg slog igenom som en robust och kostnadseffektiv kylteknik för telekommunikation.

I mitten av 1990-talet utlyste NUTEK en tekniktävling för att ta fram den bästa värmepumpen för bergvärme till småhus. Initiativet ledde till en explosiv utveckling av villavärmepumpsmarknaden där Sverige blev världsledande. Sverige var också tillsammans med USA först med att utveckla och tillämpa mätmetoden termisk responstest (TRT) för borrhål, vilket i sin tur påskyndat utveckling och anläggning av större borrhålslager.

I Sverige fanns i slutet av år 2015 över en halv miljon geoenergisystem. Den överväldigande majoriteten av dessa utgörs av små bergvärme- eller ytjordvärmeanläggningar för småhus. Ett par procent av Sveriges geoenergianläggningar är större anläggningar för flerbostadshus och lokaler eller andra tillämpningar. Geoenergin tillförde år 2015 ca 23 TWh värme och kyla till det svenska energisystemet. Mängden energi motsvarar ungefär den mängd energi som den svenska fjärrvärmen levererade från förbränning av rot- och toppflis samt förädlad och oförädlad trädbränsle under samma år.

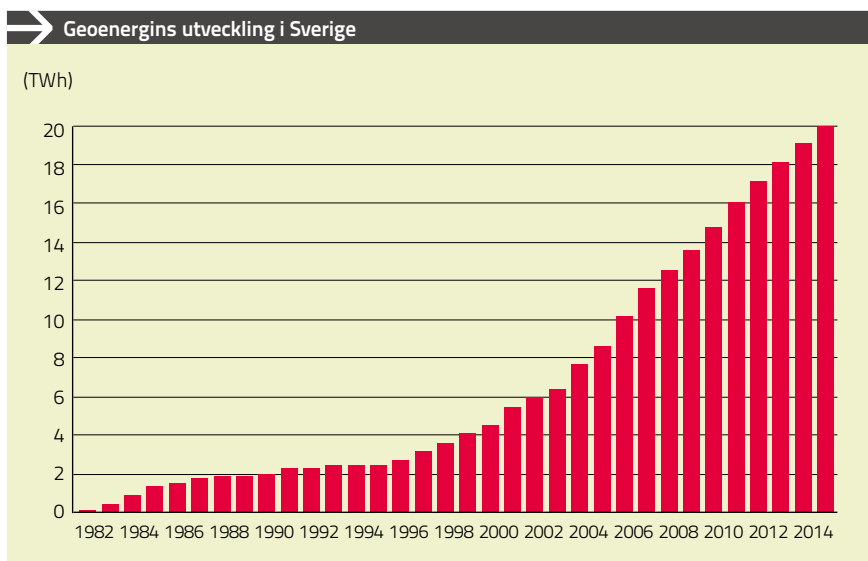
## Anläggningar

I slutet av 2015 fanns det i Sverige ca 540 000 geoenergianläggningar med en total installerad effekt motsvarande 6,8 GW. Den tillgodogjorda energin i form av värme och kyla, inklusive el till värmepumpar, har beräknats till 23 TWh.

Tre fjärdedelar av alla anläggningar är geoenergisystem som nyttjar borrhål i berg eller lösa avlagringar, resterande fjärdedel utgörs av yttjordvärmesystem och omkring tiotusen grundvattensystem (akviferlager och grundvattenbrunnar).

En överväldigande majoritet av Sveriges geoenergisystem är små anläggningar för enfamiljshus som använder en värmepump för rumsvärme och tappvarmvatten.

Av de största geoenergisystemen i Sverige är ca 160 stycken akviferlager som sammanlagt varje år levererar ca 1 TWh värme och 0,6 TWh kyla, och ca 650 stycken borrhålslager som sammanlagt ger ca 0,7 TWh värme och 0,3 TWh kyla. Dessa system är i huvudsak anläggningar som försörjer lokalbyggnader med både värme och kyla.

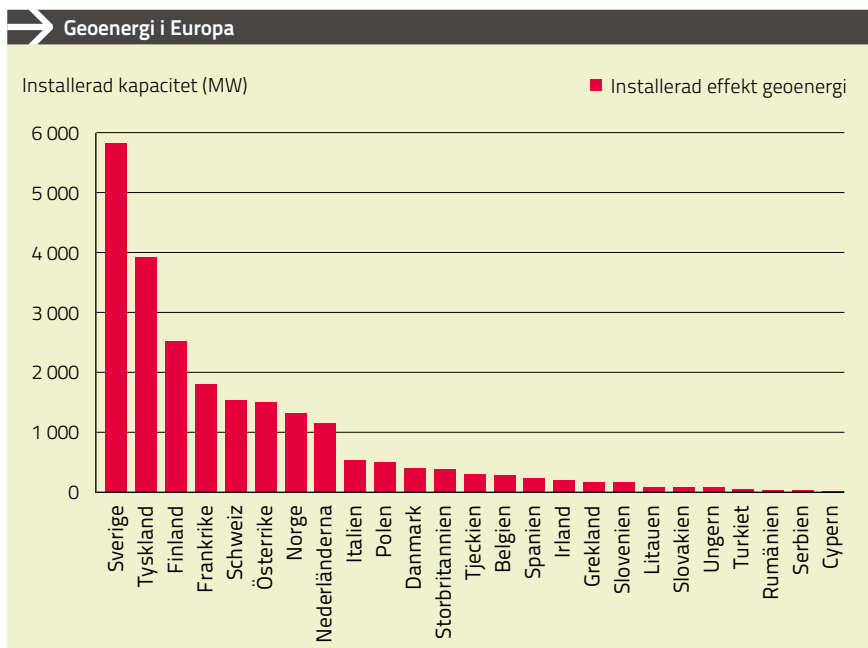


**DIAGRAM 1** • Geoenergis utveckling i Sverige 1980–2015 (inklusive el till värmepumpar).

Källa: Gehlin och Andersson, 2016, *European Geothermal Congress*.

I Europa fanns det i slutet av 2015 mer än 1,7 miljoner installerade geoenergisystem med en total installerad effekt motsvarande knappt 23 GW. Europas geoenergisystem bidrog med totalt 49 TWh förnybar värme och kyla.

Utöver detta fanns även drygt 9 GW geotermisk direktvärme installerad, varav hälften som fjärrvärme, samt 2 GW geotermisk elproduktion.

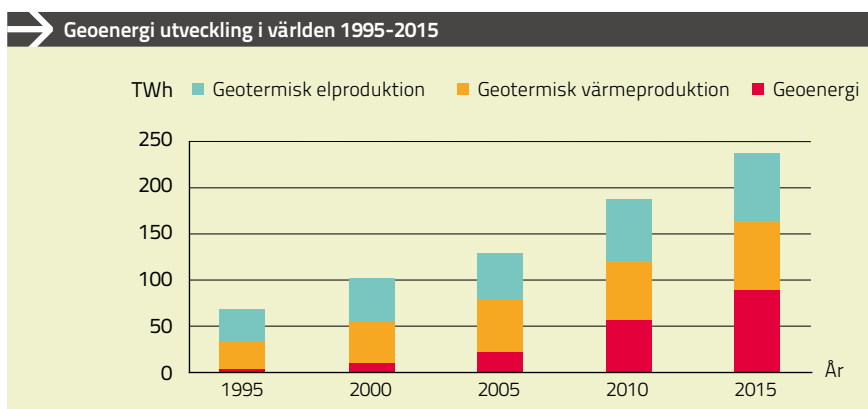


**DIAGRAM 2** • Geoenergi i Europa i slutet av 2015 (inklusive el till värmepumpar) (Antics 2016).

Källa: Antics et al., 2016, *European Geothermal Congress*.

Globalt tillförde geoenergi motsvarande 90 TWh värme år 2014. Geotermisk värmeproduktion tillförde ytterligare 73 TWh och geotermisk elproduktion tillförde 74 TWh, huvudsakligen i Amerika och Asien.

Sverige stod år 2014 för ca 9 % av världens geoenergianvändning efter Kina (30 %) och USA (13 %).



**DIAGRAM 3** • Geoenergens utveckling i världen 1995–2015. Siffror från Lund och Boyd 2015 och Bertani 2015.

Källa: Lund och Boyd, 2015, *World Geothermal Congress*.

2



# Miljöaspekter av geoenergi

Detta kapitel beskriver lokal miljöpåverkan från ett geoenergisystem eller en geoenergianläggning samt ger en orientering om energiutbyte och behov av tillförd elenergi. Inför beslut om att anlägga en geoenergianläggning görs ofta en miljöutvärdering av möjliga alternativ jämfört med befintligt system.

## Direkt miljöpåverkan från geoenergi

Geoenergi kan ge viss miljöpåverkan lokalt. Forskning har visat att ytjordvärme med horisontella slangar i mark försenar växtsäsongen intill slangarna med någon vecka. Etanollösningar som används som värmebärare i borrhåls- och ytjordsystem ackumuleras inte i levande organismer och bryts snabbt ner vid kontakt med syre eller bakterier i marken. Eventuella läckage ger därför inte någon allvarlig miljöpåverkan. Denatureringsmedlen som tillsätts värmebäraren stannar kvar längre i marken innan de bryts ner.

Grundvatten kan påverkas inom vissa områden, till exempel i kustnära områden där salt grundvatten kan tränga upp och påverka vattenförsörjningen. En energibrunn kan bilda en länk mellan olika vattenförande geologiska lager och på så vis blanda grundvatten på ett oönskat sätt. För att undvika detta kan det finnas krav och riktlinjer för energibrunnar i känsliga områden. Det finns även metoder för återfyllnad och tätning av borrhål.

Borrning av energibrunnar kan ge upphov till utsläpp av slamhaltigt borrhvatten samt buller och avgaser från utrustningen. För att minimera borrhvattens miljöpåverkan har borrhvattensindustrin successivt stärkt miljökraven, förbättrat maskiner och reningsmöjligheter samt utbildat personalen i miljökrav. Sveriges Geologiska Undersökning, SGU, har tagit fram en kravspecifikation och ett utbildningsmaterial för certifiering av landets brunnborrarna. SGU:s vägledningsdokument för borrning av brunn, Normbrunn, beskriver hur grundvatten och miljö kan värnas.

I värmepumpar, vilka ofta används i geoenergitillämpningar, finns ett köldmedium. Olika sorters köldmedier har olika klimatpåverkan, så kallad *Total Equivalent Warming Impact* (TEWI), om de skulle läcka ut i omgivningen. För orientering och fördjupning kring köldmedier hänvisas till andra texter.

## Geoenergins elanvändning

Geoenergianläggningar använder el för drift av värmepumpar och cirkulationspumpar. I tillämpningar utan värmepump kan mängden el vara liten i förhållande till den uttagna energin från marken eftersom elen endast används för cirkulationspumpar och driftstyrning. De flesta geoenergianläggningar använder dock en värmepump för att utvinna geoenergin. Elen som driver värmepumpens kompressor övergår sedan till värme som tillgodogörs byggnaden tillsammans med geoenergin. Hur mycket el som krävs beror på typ av värmepump, typ av geoenergisystem samt inkommande och utgående temperaturer. Vanligen används *Seasonal Performance Factor* (SPF) som mått på elens andel av hela energiproduktionssystemet under ett driftår. SPF anger den genomsnittliga kvoten mellan levererad termisk energi och tillförd el under ett års drift. Exempelvis anger SPF 4 att det åtgår 1 kWh el för att leverera 4 kWh termisk energi till byggnaden. Mängden tillgodogjord geoenergi är då 3 kWh. I system med frikyla och frivärme, dvs. utan värmepump/kylmaskin, är en genomsnittlig kvot mellan driftel (till cirkulationspumpar och fläktar) och levererad energimängd ofta i storleksordningen 30–40.

## Miljö- och klimatpåverkan från elanvändning

Elanvändning medför som all energianvändning direkt eller indirekt miljö- och klimatpåverkan. Ett geoenergisystems miljövärdering beror av hur systemets driftel miljövärderas. Utvärdering av miljöpåverkan från el kan göras på olika sätt och det finns flera väl utvecklade teorier och metoder för att beräkna denna, främst ur ett bokförings- eller konsekvensperspektiv. En konsekvensanalys studerar förändringen på marginalen i energisystemet och dess klimateffekter till följd av en investering eller annan åtgärd. I en bokföringsanalys beräknas en befintlig verksamhets andel av samhällets totala klimatpåverkan.



Resultatet av utvärderingen varierar beroende på metod och antaganden. Liksom vid ekonomiska kalkyler bör man ta hela åtgärdens livslängd i beaktande (jämför LCC i kapitel 3). Det betyder att man bör använda prognoser för energisystemets utveckling.

Som beslutsunderlag för en fastighetsägare kan det räcka med att använda redan beräknade värden för miljö- och klimatpåverkan från el och annan energi. För en djupare analys, där hänsyn tas till effektprofilen för den egna anläggningen och där flera olika energilösningar jämförs, behövs oftast externt expertstöd. För orientering och fördjupning kring olika sätt att beräkna miljö- och klimatpåverkan från elanvändning och andra energikällor hänvisas till SKL:s skrift *Klimatkonsekvenser av olika energilösningar* (2017). Exempel på angreppssätt finns även i skriften *Miljövärdering av energilösningar i byggnader etapp 2* (IVL 2017).

B



# Ekonomi

Geoenergi kännetecknas av en förhållandevis stor inledande investering, men därefter en låg drift- och underhållskostnad. Värme- och cirkulationspumpar har en teknisk livslängd på 18–20 år medan resterande delar i ett geoenergisystem, dvs. markdelen, är mer eller mindre underhållsfria (slutna system) och betydligt mer långlivade. Grundvattensystem (öppna system) har oftast en lägre investering, men högre underhållskostnad än slutna system med borrhål och ytjordsslangar. Det finns idag gedigen erfarenhet av att markdelen, som för tillämpningar med borrhning brukar stå för ungefär halva investeringen, har en teknisk livslängd på 40 år eller mer och således kan antas överleva flera värmepumpsbyten. Markdelen kan i vissa fall ses som en del av fastigheten och kalkylränta och avskrivning (kapitalkostnad) beräknas då på samma grunder som för byggnaden. Geoenergisystemets markdel ligger utanför byggnaden och är en del av dess infrastruktur. Byggnaden som den betjänar kan hinna bli ombyggd flera gånger innan markdelen är uttjänt.

## Investeringsparametrar

När det gäller en ny byggnad kan byggnadens utformning och installationer direkt anpassas för att vara optimala för geoenergianläggningen. Investeringen kan då enkelt jämföras med andra möjliga alternativ för uppvärmning och kyla. Vid renoveringsprojekt finns vissa åtgärder som måste vidtas oavsett val av värme- och kylsystem och andra som är avhängiga av dessa. Vanligtvis passar man vid en större renovering på att genomföra energieffektiviserande åtgärder vilket också påverkar värme- och kylbehovet. Både vid renovering och nybyggnation bör man betrakta hela energisystemet med värme, kyla och möjligheter till återvinning av spillenergi i systemet.

Beroende på den tänkta geoenergianläggningens typ och funktion kan den renoverade byggnadens effekttaxa komma att påverkas åt ena eller andra hållet. Där geoenergi ersätter effektkrävande kompressorkyla, elvärme eller kapar effekttoppar, kan effekttaxan sjunka och i andra fall kan effektbehovet öka och man kan behöva se över säkrings- och ledningskapacitet.

Det kan vara värt att undersöka om det genom att styra värme- och kylproduktion går att minska säkringsstorlek eller dra nytta av lägre elpris vissa tider på dygnet på ett kostnadseffektivt sätt. Förväntad prisutveckling för el och andra aktuella energislag är andra parametrar att ta hänsyn till i investeringskalkylerna, liksom projektets totala miljöeffekter. Organisationer som arbetar med miljöcertifiering av sina byggnader bör ha konsekvenser för detta i åtanke.

### **Lönsamhetskalkyler**

Kalkylränta och avskrivningstid har en betydande påverkan på lönsamheten för geoenergilösningar och liknar situationen för till exempel solvärme och solex. Inom offentlig sektor där man har ett långsiktigt perspektiv på ägande och förvaltning i kombination med låga upplåningskostnader används ofta en lägre kalkylränta än på marknaden i övrigt. Eftersom den övervägande delen (60–80 %) av den levererade energin från ett geoenergisystem tas från marken, och således är gratis, blir energikostnaden i system med geoenergi inte så känslig för förändringar i elpris. Livscykelkostnad (LCC) är ett bra underlag för investeringsbeslut om geoenergi eftersom denna metod tar hänsyn till ekonomisk livslängd och inkluderar drifts- och underhållskostnader.

Rak återbetalningstid (payoff) är en trubbig metod för att beräkna geoenergisystems lönsamhet. Raka lönsamhetskalkyler för större projekt med borrhållager och akviferlager slutar normalt med återbetalningstider inom intervallet 4–6 år. Ett exempel på lång återbetalningstid är den kommunala byggnaden Kristallen i Lund, där rak återbetalningstid beräknades till upp till 20 år, men där man likväl valde att genomföra projektet eftersom man i LCC-kalkylen betraktade geoenergisystemet som en del av byggnadens infrastruktur som då skrevs av på samma tid som själva byggnaden.

Andra exempel på nyckeltal för lönsamhet kan vara avkastningsberäkningar, internränta på investeringen, investeringskostnad per kilowatt installerad värme- och kyleffekt samt kronor per levererad kilowattimme, baserat på årskostnad (för avskrivning och driftel) och levererad årsenergi.

### **Geoenergisystemets dubbla funktion**

En faktor som starkt bidrar till geoenergins goda lönsamhet för större fastigheter med behov av både värme och kyla är att geoenergin kan leverera dessa i samma system. Förutom fördelen att bara behöva investera i ett enda system som ger både värme och kyla, genererar värmeuttaget i sig den kyla som sedan används medan kyluttaget genererar värmen.

### **Geoenergileverantörer**

För fastighetsförvaltare med ett långsiktigt förvaltningsperspektiv, vilket ofta är fallet för offentliga fastigheter, kan det vara attraktivt att äga sin egen geoenergianläggning och därmed vara leverantör av egen värme och kyla. På senare år har ett alternativ till eget ägande av geoenergianläggning vuxit fram i form av företag som specialiserat sig på att leverera värme och kyla från geoenergi per såld kilowattimme. Olika aktörer har utvecklat olika affärskoncept, men i stora drag innebär verksamhetsidén att geoenergileverantören står för hela investeringen och konstruktionen av geoenergisystemet samt handhar driften. Kunden kontrakteras att köpa geoenergi per kilowattimme till ett visst pris under ett visst antal år. Efter det att avtalstiden gått ut erbjuds ofta kunden att överta anläggningen i någon form eller att fortsätta köpa geoenergi av leverantören.

För en del fastighetsägare med till exempel mer kortsiktig eller osäker förvaltning, eller begränsade möjligheter till stora investeringar, kan detta vara en attraktiv möjlighet.

44



# Genomförande

Processen för realisering av ett geoenergisystem innehåller upphandling vid ett eller flera tillfällen i processen, förstudie, fälttester, samråd, projektering, produktion och installation, kontroll, överlämning och till sist drift och underhåll. Det är viktigt att vara noggrann i förstudiestadiet för att få med korrekta förutsättningar för energilaster, lokala förhållanden, tillstånd och ekonomi. En annan viktig aspekt är att tidigt i projektering och i kravspecifikationer få med mätpunkter, mätutrustning samt styr- och övervakningssystem som behövs för att kunna säkerställa god funktion och en optimerad drift.

Checklistan i slutet av denna skrift tar upp viktiga punkter för genomförandeprocessen.

## **Ett geoenergiprojekt uppstår**

Inför beslut om nybyggnation eller renovering av fastigheter finns förutom BBR (Boverkets byggregler) ofta interna riktlinjer och mål gällande ekonomi, miljö, byggnadens utformning och energiförsörjning att ta hänsyn till. Byggnadens energieffektivitet bestäms vanligtvis först och därefter väljer man försörjningssystem för el, värme och kyla utifrån målet att minimera kostnader, koldioxidutsläpp och annan miljöpåverkan. I vissa fall är även köpt energi en parameter. Olika energiförsörjningsalternativ ställs mot varandra utifrån dessa kriterier och utgör underlag för ett beslut. I synnerhet för byggnader med både värme- och kylbehov visar sig geoenergi i många fall vara det vinnande alternativet. Ett skäl till detta är att kylbehovet täcks till låga kostnader med frikyla, vilket i sin tur bidrar till ökad effektivitet vid värmeuttag.

## **Förstudie**

Under den viktiga förstudien kartlägger man projektets förutsättningar. Man beskriver byggnadens energibehov och lastfördelning, klimat- och markförutsättningar, eltillgång, tillståndskrav och ekonomiska förutsättningar. Vissa verksamheter har även särskilda krav på driftsäkerhet, redundans och miljökrav.

Utifrån allt detta bestäms den energilast som belastar geoenergisystemet, och hur pass väl balanserat förhållandet är mellan värme- och kylbehov. Nyckeltal är energibalans och systemtäckningsgrad, dimensionerande effekt, årlig energimängd, lastvariation för värme, kyla och tappvatten samt temperaturvillkor. Temperaturvillkoren kan anpassas för att ge gynnsammare driftsvillkor för geoenergi genom att till exempel välja golvvärme med låg temperatur (30–40 °C) för uppvärmning och kylbafflar med hög temperatur (10–20 °C) för kyla. Vanligen bestäms tappvarmvattenkraven utifrån ett legionellaperspektiv med kravet 60 °C vid beredning. Distributionstemperaturen (vvc) ligger oftast på 50 °C. För vårdlokaler är kravet att tappvarmvattnet vid tappstället ska vara 60 °C inom 30 sekunder.

Källor som kan energiåtervinnas, spetsbehov och synergier mellan olika byggnader och byggnadsdelar behöver kartläggas. Återladdning kan till exempel ske med hjälp av cirkulationskyla, byggnadskyla, uteluft, ytvatten, spillvärme och solfångare. Utifrån detta gör man sedan en preliminär systemutformning. Man behöver även undersöka tillgång på el.

Under förstudien kartlägger man de lokala förhållandena genom att undersöka tillgänglig markyta för geoenergisystemets markdel inom fastighetsgränsen samt erforderlig yta för borrentreprenaden. En preliminär bedömning av markförhållanden behöver göras. För detta kan man använda uppgifter från SGU:s brunnarsarkiv, geologiska kartor och information från lokala borrhare, vilka brukar ha god kännedom om markförhållandena. Utifrån dessa data avgör man sedan vilken geoenergiform som är lämplig och en preliminär dimensionering av anläggningen görs med antal energibrunnar, avstånd, placering och djup.

I förstudien ingår även lönsamhetsberäkningar och återbetalningstid för investeringen samt beräkning av drift- och underhållskostnad. En konsekvensbedömning utifrån organisationens energi-, klimat- och miljömål kan också genomföras.

### **Samråd med myndigheter**

Efter förstudien utreds tillståndsfrågor och man har samråd med berörda myndigheter. Tillståndsprocessen för borrhålslager är i allmänhet enkel. En anmälan görs till kommunens miljökontor som gör en bedömning och utfärdar borrhållstillstånd.

Grundvattensystem räknas däremot som vattenverksamhet och kräver för det mesta en miljödom.



## Markundersökning

Fördjupade markundersökningar görs för att mer exakt bestämma markens egenskaper. För alla borrhållssystem med mer än 10 borrhål bör minst ett så kallat termiskt responstest (TRT) genomföras för att bestämma markens effektiva värmeledningsförmåga på platsen för borrhållsfältet. Provhålet där TRT genomförs ger även information om förhållanden som kan påverka genomförandet och ekonomin i borrentreprenaden, såsom förekomst av kraftigt vattenförande zoner, artesiskt grundvattentryck och risk för ras i borrhålet. För grundvattensystem görs en hydrogeologisk bedömning med provborrning och provpumpning samt analys av vattenkemin.

## Projektering

I projekteringskedet görs en fördjupad analys av geoenergisystemets energilast utifrån den detaljinformation som framkommit under markundersökningarna och systemutformning och borrplan kan revideras. Precis som inför andra energirelaterade investeringsbeslut, bör man i detta skede titta på byggnadens underhållsplan för att se om energieffektiverande åtgärder planeras och om dessa går att genomföra först. Det kan medföra ett minskat energibehov och resultera i ett billigare geoenergisystem. Det är viktigt ur både ekonomisk synvinkel och för den tekniska funktionen att geoenergisystemet är avvägt för sin verkliga last och att man inte skapat en onödig överkapacitet för värme eller kyla i systemet. En erfarenhet är att det är en fördel att installera flera mindre värmepumpar parallellt istället för en enda stor, eftersom denna kommer att arbeta med överkapacitet huvuddelen av tiden. Med flera mindre parallella värmepumpar kan man optimera driftkapaciteten så att lagom värmepumpskapacitet är inkopplad i varje stund.

Andra viktiga åtgärder för att skapa energieffektivitet och god ekonomi i anläggningen är att nyttja både den varma och kalla sidan av en värmepump/kylmaskin, och att säkerställa en optimal temperaturskillnad ( $\Delta T$ ) både på den varma och den kalla sidan.

En ofta förbisedd faktor är pumpenergi och stand-by-förluster. Det är viktigt med noggrannhet i systemdesign för att minimera parasitförluster såsom onödig pumpenergi och utrustning i standby-läge. För flödesanpassad pumpning kan med fördel frekvensstyrda pumpar användas.

### **Kravspecifikation**

En tydlig och noggrann kravspecifikation tas fram. Kravspecifikationen behöver bland annat innehålla specifikationer för anläggningens styrsystem och mätprogram, krav på certifierade borrentreprenörer och installatörer, användning av typgodkända kollektorer och andra komponenter samt krav på att riktlinjerna i SGU:s Normbrunn följs vid borring och installation.

### **Upphandling och genomförande**

En entreprenad för utförande av geoenergianläggning måste givetvis liksom andra upphandlingar inom kommuner, landsting och stat följa LOU. Val av upphandlingsform bör göras med hänsyn till vilka önskemål och möjligheter byggherren har att vara aktiv och kunna påverka anläggningens utformning och totalkostnad. För den mindre erfarne byggherren med begränsade resurser för aktivt deltagande under entreprenaden torde en totalentreprenad genom en totalentreprenör med dokumenterat väl genomförda referensobjekt vara det bättre valet.

Det är viktigt att få med bra garantivillkor och noggrann uppföljning, funktionskontroll och överlämning i entreprenaden. För en bra slutbesiktning av en anläggning behövs noggranna driftprov, gärna under en längre period, till exempel 14 dagar. En god idé är att i upphandlingen ta med driftsuppföljningsmöten mellan projektören och driftpersonal med ett visst intervall under de första driftåren.

### **Drift och underhåll**

För offentliga fastighetsägare är det ofta en fördel att ha egen driftpersonal med kunskap inom geoenergi. Det borgar för en välskött anläggning med optimerad drift och underhåll. En geoenergianläggning innebär liknande driftåtgärder som för fjärrvärme och fjärrkyla, men om geoenergin används för både värme och kyla ingår fler driftaspekter.

Värdet av utbildad, fortbildad och aktiv driftpersonal kan inte nog understrykas. En tydlig rutin för mätning och uppföljning samt insamling, lagring och analys av driftdata är en god investering för att få ett effektivt system även i praktiken. En bra överlämning och återkoppling mellan projektören för geoenergianläggningen och dess driftpersonal är viktigt för en smidig intrimning av anläggningen. En rekommendation är att kommande driftansvarig får vara med redan under byggprocessen.

## → COP OCH SPF

COP, Coefficient of Performance, är ett mått på hur en värmepump fungerar vid givna förutsättningar *i ett visst ögonblick*. Det används för att jämföra hur effektiva olika värmepumpar är under samma förhållanden och anges på ett standardiserat sätt av värmepumpsleverantörerna. COP är kvoten mellan den levererade energin från kondensorn och den energi som går åt till att driva kompressorn.

SPF, Seasonal Performance Factor, är ett mått på hur mycket energi som levereras i förhållande till den energi som går åt för att driva anläggningen *under ett år*. SPF kan anges för olika systemgränser, där  $SPF_1$  beräknas för endast värmepumpen,  $SPF_2$  beräknas för värmepump och värmekälla inklusive cirkulationspump,  $SPF_3$  beräknas för värmepump, värmekälla och back-up-värmekälla, och  $SPF_4$  inbegriper värmepump, värmekälla, back-up-värmekälla och distributionssystem.

Man kan även beräkna en *medelsystemeffektivitet för en viss systemgräns under en viss tidsperiod*, till exempel en dag eller en månad på samma sätt – en kvot mellan nyttiggjord energimängd och den energimängd som åtgått för att driva processen. Det är viktigt att tydligt ange vilken systemgräns och vilken tidsperiod som denna medelsystemeffektivitet avser.

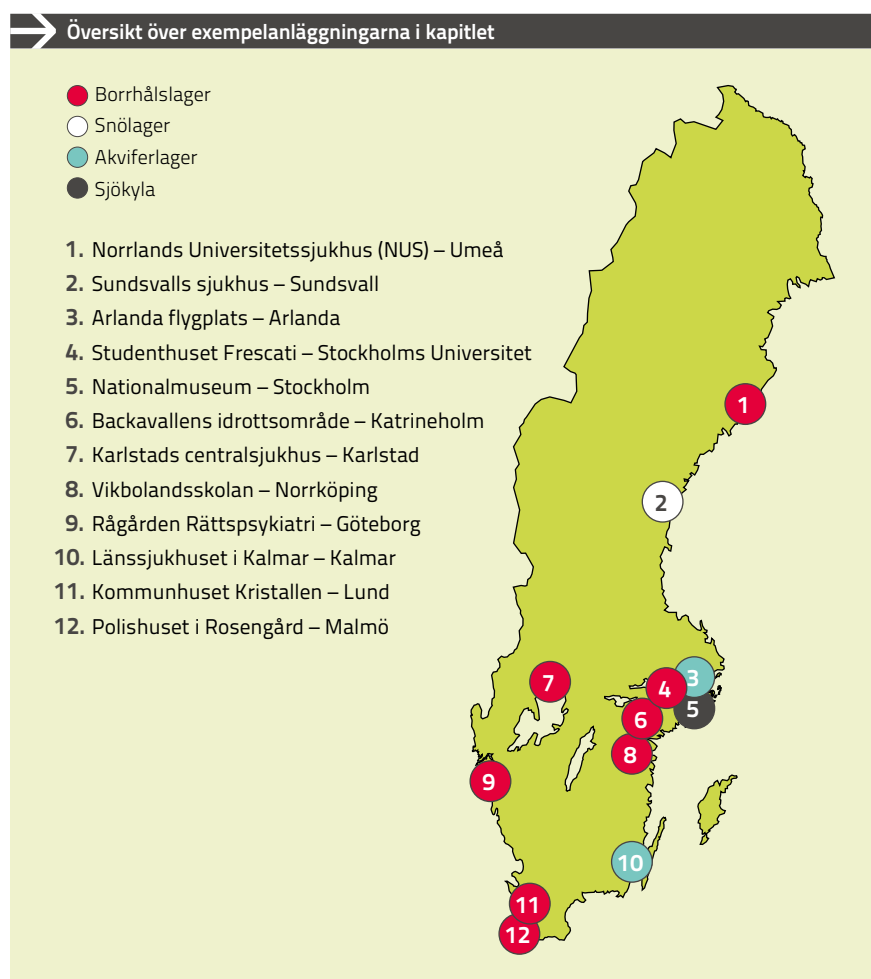
Ett sätt att utvärdera anläggningens prestanda är att rita upp medelsystemeffektivitet för kyla respektive värme (till exempel dygnsvis eller månadsvis) mot utetemperaturen.

5



# Goda exempel

I detta kapitel presenteras 12 objekt som representerar olika typer av geoenergiprojekt för offentliga fastigheter i Sverige. Anläggningarna är exempel på olika geoenergityllämpningar och har en god geografisk spridning över landet.



FIGUR 4 • Olika typer av geoenergiprojekt för offentliga fastigheter i Sverige.

## Termiskt nät för Norrlands Universitetssjukhus i Umeå

Norrlands Universitetssjukhus (NUS) i Umeå är det största sjukhuset i Västerbottens län och i norra sjukvårdsregionen. Sjukhuset ansvarar för högspecialiserad vård och service till 876 000 människor som bor på en yta som motsvarar mer än halva Sverige. Sjukhuset är arbetsplats för omkring 5 600 personer och består av 330 000 kvadratmeter yta att värma och kyla. Sjukhuset har krav på sig att bland annat värme-, kyl- och elförsörjning ska vara redundant och försörjningssäkert, vilket i praktiken innebär att man måste ha reservsystem som går in om ordinarie system fallerar. Det energisystem för värme och kyla som man satsat på är ett internt termiskt nät i vilket det ingår två geoenergianläggningar, tre leveranspunkter för fjärrkyla, två anläggningar med kylvärmepumpar, solfångare och en spetslastkylmaskin. Satsningen på det termiska nätet har även inneburit att patienter och vårdpersonal fått förbättrat inomhusklimat både sommartid och vintertid.

### ANLÄGGNINGSAKTA

**Norrlands Universitetssjukhus (NUS)**  
**Typ av objekt:** Regionsjukhus  
**Byggherre:** Västerbottens läns landsting (VLL)  
**Drifttagning av borrhålslager:** 2010 respektive 2016  
**Geoenergitillämpning:** Borrhålslager  
**Om anläggningen:** Ett termiskt nät i vilket ingår fjärrvärme, fjärrkyla, kylvärmepumpar, kylmaskin, solfångare och två geoenergianläggningar för kyla och värme  
**Övrigt:** Lokalyta 330 000 kvadratmeter

### Motiv till investeringen

En viktig faktor för valet av det termiska nätet som energilösning för NUS har varit kravet på stabilitet och redundans. Myndigheten för krisberedskap har gett ut skriften "Det robusta sjukhuset" där man bland annat lyfter fram nödvändigheten av reservsystem för el, telekommunikationer, vatten, värme/kyla och IT för att klara avbrott i yttre försörjning. Det termiska nätet försörjs av dubbla värme- och kylsystem.

Hans Johansson, fastighetsområdeschef på NUS och den som driver arbetet med det termiska nätet, har tagit fasta på det faktum att det inom sjukhusområdet finns behov av både värme och kyla – ibland samtidigt,

men på olika ställen. Utgångspunkten har varit att man i första hand ska tillvarata de lokala termiska resurserna, istället för att först använda el till utrustningen, sedan köpa kyla för att ta hand om överskottsvärmen och därefter köpa värme till någon annan del av sjukhuset. Det termiska nätet ger möjlighet att lagra överskott av värme och kyla i de ingående borrhållagren för senare användning.

Utöver redundansen motiveras investeringen av minskade utsläpp av koldioxid genom energiåtervinning och säsongslagring i borrhållagren. Man har också sett det som en långsiktigt hållbar investering.

I NUS termiska nät utgör geoenergisystemet basen för kylproduktionen med fjärrkyla som reservproduktion om geoenergin skulle fallera.

## Ekonomi

Landstinget investerade totalt 55 miljoner kronor i det termiska nätet, varav 40 miljoner kronor för den större geoenergianläggningen (ca 32 tkr/kW installerad värme). Hela det termiska nätet ger en årlig besparing på 10 miljoner kronor, varav borrhållagren i det termiska nätet sparar cirka 4,5 miljoner kronor per år, eller ungefär 12 000 kronor per dag åt landstinget, genom minskade kostnader för värme och kyla.

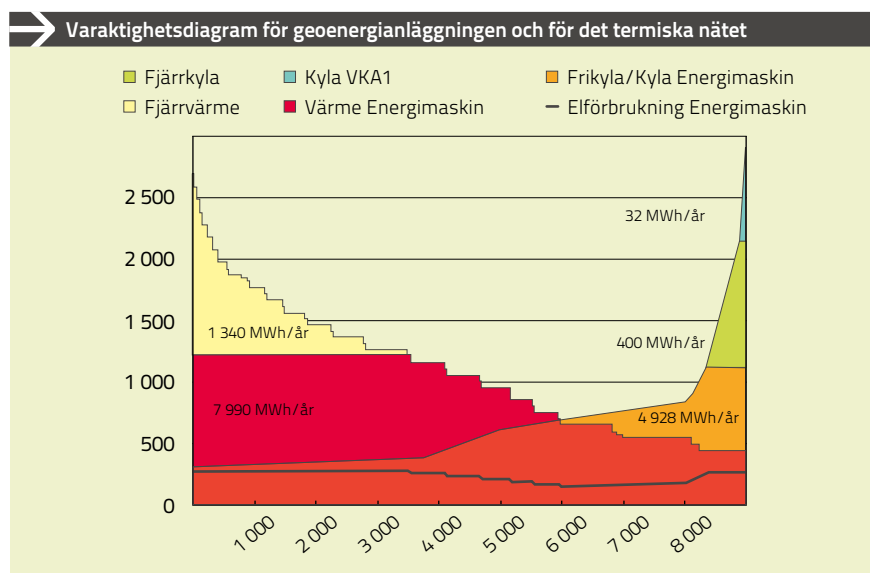


DIAGRAM 4 ▪ Varaktighetsdiagram för geoenergianläggningen och för det termiska nätet.



*Norrlands Universitetssjukhus, Västerbottens läns landsting. Fotograf: Andreas Nilsson.*

### **Kort teknisk beskrivning**

I det interna termiska nätet på NUS ingår två geoenergianläggningar, fjärrkyla och kylmaskiner i ett komplext system som har få jämförbara anläggningar i världen. Det termiska nätet har en total energiåtervinning som motsvarar omkring 18 000 MWh, varav 10 000 MWh som värme och 8 000 MWh som kyla. Värmeproduktionen sker med kylvärmepumpar i värmepumpsdrift. Den installerade värmeeffekten i det termiska nätet är 220 kW+160 kW från kylvärmepumpar, 160 kW+1 100 kW från geoenergi samt 1 000 kW kyla från kylmaskiner.

De två ingående geoenergianläggningarna – en mindre med 20 borrhål till 200 meters djup som anlades år 2010, och en större med 125 borrhål till 250 meters djup som anlades 2015 och som är uppdelad i två borrhålslager med olika temperaturer – är placerade under den stora bilparkeringen.

Den större geoenergianläggningen med de dubbla borrhålslagen driftsattes under våren 2016 och gör att sjukhuset kan ta ut frikyla fullt ut på våren. När det blir varmare går kylmaskiner in och överskottsvärmen från dessa överförs till det ena borrhålslagret som då laddas med värme inför vintern. Samtidigt fortsätter det andra borrhålslagret att laddas med värme från verksamheter och får i och med detta frikyla i retur. Detta innebär att behovet av aktiv kyla från kylmaskiner och fjärrkyla kan hållas nere. De två geoenergianläggningarna ger cirka 7 000 MWh värme och 5 000 MWh kyla per år och täcker 95 % av kylbehovet och drygt 20 % av värmebehovet för hela NUS. Resterande värmebehov täcks av fjärrvärme.



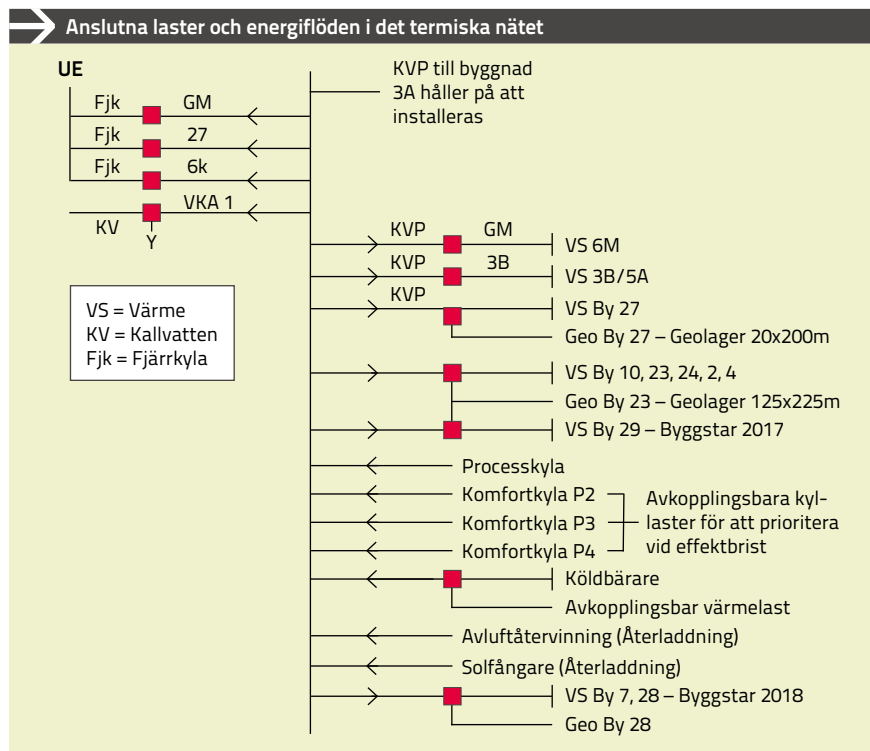
## Övrigt

NUS energisystem är komplext och kräver ett övergripande styrsystem som kan få alla ingående delar att kommunicera med varandra. Styrsystemet är ett helhetskoncept där energicentralen optimerar samverkan mellan borrhåslagren och det kalla respektive varma nätet så att energi flyttas mellan systemdelarna så effektivt som möjligt.

Hans Johansson konstaterar att det råder konkurrens om de ingenjörer och tekniker som utbildas inom teknik- och energiområdet, men med det tekniskt intressanta byggnadsbeståndet och en dynamisk och modern förvaltningsorganisation är målet att VLL ska anses vara den mest attraktiva arbetsgivaren för intresserade tekniker. Man är på god väg att nå dit och tror inte att det kommer att vara några problem att rekrytera de duktigaste teknikerna.

Under det första driftåret levererade geoenergisystemen mer kyla än beräknat. Mellan 1 200 kW och 1 700 kW kyleffekt uppmättes i den nya geoenergianläggningen, vilket motsvarar 120–170 % jämfört med projekterad effekt.

Det termiska nätet vid NUS ska kompletteras med ytterligare ett borrhåslager med ca 10 000 borrhålsmeter och ca 600 kW värmeproduktion i ett nästa steg.



**FIGUR 5** • Anslutna laster och energiflöden i det termiska nätet för Norrlands Universitetssjukhus.

## Sundsvalls sjukhus snölager

Sundsvalls sjukhus i området Haga i Sundsvall är ett av tre sjukhus inom Landstinget i Västernorrland vilket ingår i Norra sjukvårdsregionen. Vid sjukhuset finns akutsjukvård, förlossning, specialistsjukvård och servicefunktioner. Sjukhuslokalerna uppgår till drygt 210 000 kvadratmeter lokal-yta med över 500 vårdplatser och knappt 3 000 anställda arbetar där.

År 2000 togs ett snölager som rymmer 30 000 kubikmeter lagrad snö i drift för att förse sjukhuset med kyla. Snölagret har senare byggts ut till 70 000 kubikmeter för att klara sjukhusets hela kylbehov från maj till september. Snön, som kommer från snöröjning av sjukhusområdet, lagras i en asfaltsbelagd grop nära sjukhuset. Lagret isoleras under sommaren med flis av samma typ som används i Sundsvalls fjärrvärmecentral. Anläggningen vid Sundsvalls sjukhus är den enda av sitt slag i Sverige och har fungerat i stort sett problemfritt. Kylan används till att hålla lokaler, medicinsk utrustning och serverhallar vid rätt temperatur. Snö har sedan länge använts för kylning i andra länder, till exempel i Japan där många snölager finns för lagring av grönsaker och rotfrukter.



### ANLÄGGNINGSAKTA

#### **Sundsvalls sjukhus**

**Typ av objekt:** Länssjukhus

**Byggherre:** Landstinget i Västernorrland (LVN)

**Drifttagning:** 2000

**Geoenergityllämpning:** Snölager (groplager)

**Om anläggningen:** 70 000 kubikmeter snö lagras från vinter till sommar för lokalkylning. Kylning 2 000 MWh (maj–september); kyleffekt ca 3 000 kW

### Motiv till investeringen

Satsningen på snölagret började med att köldmediet R11 förbjöds i slutet av 1990-talet, vilket innebar att sjukhuset måste göra något åt sitt kylsystem med R11 i kylmaskinerna. Idén med ett snölager kom upp och testades tillsammans med forskare på Luleå tekniska universitet och utifrån testernas lyckade resultat byggdes sedan lagret i full skala.



*Snö och flis, Landstinget i Västernorrland. Fotograf: Anders Eliasson.*

## **Ekonomi**

Sedan snölagret togs i drift har elanvändningen, och följaktligen även utsläppen av koldioxid, minskat med över 90 % – från 900 MWh till ungefär 65 MWh per år. De miljöfarliga köldmedierna har i stort sett avvecklats. En ytterligare miljöfördel är att snön renas från olja och andra föroreningar och att dessa rester kan deponeras respektive destrueras.

Den totala elanvändningen för snölagrets drift uppgår till 50–60 MWh el per år. Med en kylproduktion på 1 500–2 000 MWh/år innebär det att köldfaktorn på årsbasis blir ca 30–35.

Kostnaderna för att anlägga snölagret i Sundsvall uppgick till totalt 14,5 Mkr (4 800 kr/kW kyla). Snölagret i Sundsvall var ett pionjärprojekt – en anläggning för experiment, testning och demonstration av ny teknik – men även med detta i beaktande är de redovisade kostnaderna betydligt högre än man kan förvänta sig utifrån jämförbara projekt. Projektet fick finansiellt stöd med 50 % av investeringskostnaden.

Ett backupsystem för snötillförsel finns i form av snökanoner. Vattnet till snökanonerna kommer från egna borrhållsbrunnar och kyls först via snölagret innan det når snökanonerna. Kostnaden för den egenproducerade snön är två öre per kWh. Entreprenörer betalar en deponiavgift på 130 kr per lass.

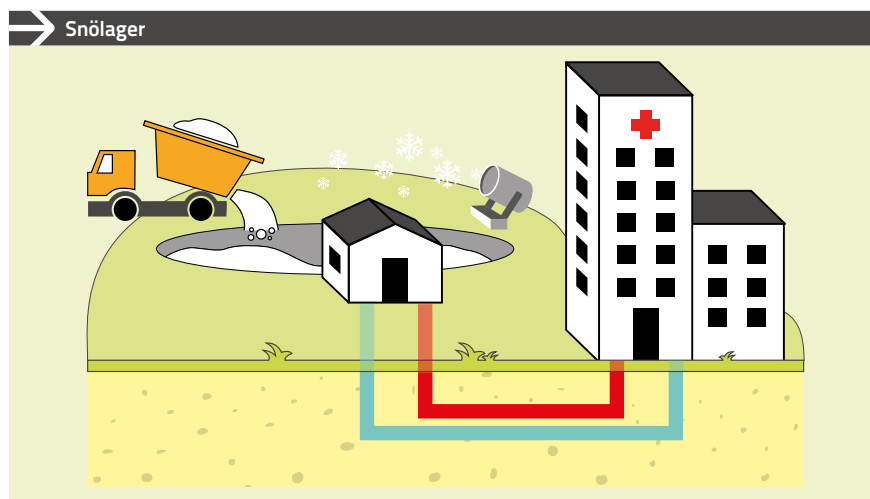
## **Kort teknisk beskrivning**

Sundsvalls sjukhus snölager täcker nära på hela kylbehovet från maj till september och ger mellan 1 500–2 000 MWh kyla, vilket är cirka två tredjedelar av sjukhusets totala årskylbehov. Kyla kan även tas som frikyla från kall utomhusluft vid behov.

Snölagret i Sundsvall har successivt byggts ut och förbättrats sedan det invigdes år 2000. Kapaciteten är nu 70 000 kubikmeter snö. Principen för

snölagret är enkel. Sjukhuset samlar ihop snön från snöröjningen inom sjukhusområdet och lagrar snön i ett sju meter högt lager på en asfalterad yta, stor som en fotbollsplan. När snöröjningssäsongen är slut täcks snölagret med ca två decimeter isolerande träflis. Ytan under snölagret sluttar något mot ena hörnet, där en pumpstation pumpar upp smältvattnet, vars temperatur är 1–2 °C när det lämnar snölagret. Smältvattnet värmeväxlas in i sjukhusets kylsystem, och smältvattnet, som efter värmeväxlingen håller en temperatur på 8–10 grader, går tillbaka till snölagret för att där smälta mer snö. Cirka 90 % av kylan kommer från smältprocessen. Eftersom allt mer smältvatten bildas under processen måste delar av smältvattnet ledas bort från systemet. För att skydda pumpar och värmeväxlare filtreras smältvattnet från partiklar och andra föroreningar som samlats i snön under vintern.

Trots att snön har täckts med ett värmeisolerande lager av träflis kommer ett visst värmeläckage att ske på grund av väder och vind. I Sundsvall beräknas att 30 % av snön förloras genom oönskad avsmältning.



**FIGUR 6** • Snölagret för Sundsvalls sjukhus använder snö från snöröjning och kompletterar med snö från snökanoner.

## Övrigt

Snökanonerna används från mitten av november för att som grund fylla lagret till 15 %. Därefter har man hittills kunnat förlita sig på natursnö för att fylla resten av lagret. Drifttekniker vid Landstinget Västernorrland ansvarar för snölagrets drift och underhåll.

Snölagret i Sundsvall har legat till grund för flera vetenskapliga studier (se Källor).

## Arlanda flygplats kyla och värme med akviferlager

Arlanda flygplats använder idag ca 22 GWh värme och kyla totalt, vilket är ungefär lika mycket energi som en stad med 25 000 invånare. Fram till år 2009 försågs Arlanda flygplats byggnader med kyla från kylmaskiner där den närliggande Halmsjön användes för kylning av kondensatorerna. Det dumpades stora mängder värme i sjön, som därför inte mådde så bra. År 2009 invigdes ett akviferlager som ersättning för kylmaskinerna. Sedan dess förser akviferen hela flygplatsen med säsongslagrad kyla och värme. Kylan och värmen lagras i akviferen (grundvattenmagasinet) med hjälp av en varm och en kall brunnsgrupp. Akviferen är en del av en grusås, Långåsen, som ligger i anslutning till Halmsjön strax öster om flygterminalen.

Under vinterhalvåret används värme från den varma delen av akviferlagret för att förvärma flygplatsens ventilationsluft samt för varmhållning och snösmältning på uppställningsplatser för flygplanen. I retur lagras kyla ner i den kalla delen av akviferlagret. Även kyla från Halmsjön växlas över till grundvattenkretsen och lagras i akviferlagret. Kylan används sedan sommartid för att täcka flygplatsens kylbehov samtidigt som spillvärmen lagras ner i de varma brunnarna. I systemet finns inga värmepumpar, men väl ett par äldre kylmaskiner som finns kvar som reserv och spetslast.

### ➔ ANLÄGGNINGSAFKTA

#### **Arlanda Flygplats**

**Typ av objekt:** Flygplatsterminal

**Byggherre:** Swedavia

**Driftsättning:** 2009

**Geoenergitillämpning:** Akviferlager med varm och kall sida

**Om anläggningen:** Kylning och förvärmning av ventilationsluft, samt snösmältning på uppställningsplatser. 12 stycken formationsfilterbrunnar, 20–30 m djupa (2016). Fler brunnar planeras

**Kontroll av grundvattennivå:** En pumpbrunn med utsläpp i Halmsjön

**Arbetstemperatur kall sida:** 3–8°C

**Arbetstemperatur varm sida:** 15–25°C

**Maximalt flöde:** 720 kbm/h (200 l/s)

**Kyl- och värmeeffekt:** 12 MW (vid  $\Delta T$  15°C)

**Årlig energiomsättning:** 11 GWh kyla och 11 GWh värme



Arlanda flygplats. Fotograf: Daniel Asplund. Källa: Swedavias MyNewsdesk.

### **Motiv till investeringen**

Beslutet om akviferlagret togs främst av miljöskäl. Det handlade dels om att minska utsläpp av växthusgaser, dels om att minska elanvändningen. Dessutom handlade det om att minska spillvärmeutsläppet till Halmsjön. Kalkylerna visade på god lönsamhet vilket stärkte ett beslut om genomförande.

### **Ekonomi**

Investeringen för projektet som helhet hamnade på ca 50 miljoner kronor. Av denna summa användes ungefär hälften till brunnar, brunninstallationer, överbyggnader, kraftförsörjning, styr- och övervakningssystem i brunnar samt ledningssystem till och från kylcentralen. Den andra hälften gick till det invändiga systemet i kylcentralen, inklusive en mindre tillbyggnad.

Årsproduktionen av kyla och värme från akviferen har de senaste åren varit ca 22 GWh vid en energifaktor på runt 60. Detta resulterar i en elbesparing på runt 4 GWh/år och ett minskat behov av fjärrvärme på 11 GWh. Värdet av besparingen varierar i tid, men bedömdes 2008 till ca 10 miljoner kronor/år, vilket då gav en rak återbetalningstid på 5 år för systemet som helhet.

### **Kort teknisk beskrivning**

Systemet är dimensionerat för ett maximalt flöde på 200 l/s vid såväl vinter- som sommar drift. I genomsnitt är temperaturen i den kalla delen av akviferlagret +6°C och den varma delen av lagret ca +20°C. Maximal uttagseffekt är 12 MW (vid  $\Delta T$  15°C), vilket motsvarar flygplatsens effektbehov av kyla vid högsommarvärme. Ett backup-system med ett par äldre kylmaskiner för spetskyla och säkerhet finns kvar i kylcentralen.

Inne i kylcentralen växlas kyla eller värme över till en dubbel distributionsledning som går i en tunnel till terminalbyggnaderna. Värmeväxlingen sker med två parallellkopplade gigantiska värmeväxlare som har ett temperaturtapp på högst 1°C. Systemet är också kopplat till Halmsjön varifrån frikyla kan tas direkt under vår och höst, samt kyla akviferen under vintern för lagring till sommaren.

Brunnarna kräver ett visst underhåll, bland annat eftersom brunnskapaciteten annars minskar med tiden. Hittills har dock omfattningen av rensningsåtgärder varit liten.

### **Övrigt**

De första årens drift visade att akviferen "läckte" österut vid fullt flöde då kyla laddas in under vintern. För att åtgärda detta togs en plan fram för hur kylvattning skulle kunna ökas dels genom att sänka grundvattennivån i aktuell del av Långåsen och dels genom att skapa ett antal nya brunnar för att sprida tryckhöjningen över en större yta. En omprövning av miljödomen gav 2013 Swedavia tillstånd att enligt en deldom förverkliga förändringarna. Dessa påbörjades dock först sedan Swedavia fått miljödom för hela flygplatsen 2015. För tillfället (2016) har en ny kall brunn tillkommit samt en pumpbrunn som ska sänka grundvattennivån i akviferen inför vinterns kylvattning.

## Heltäckande borrhålslager för Studenthuset i Frescati, Stockholm

Det nya Studenthuset på Stockholms universitetsområde Frescati stod klart hösten 2013 och är en byggnad i fyra plan med drygt 6 000 kvadratmeter uppvärmd lokalyta. Byggnaden innehåller studentlokaler, samlings-salar, studentkårens kontor och ett kafé. Akademiska Hus, som äger byggnaden, har varit noga med att byggnadens klimatskärm ska ha god värmeisolering och energieffektiva fönsterkonstruktioner samt tillräcklig solavskärmning. Man har även utnyttjat skuggning från utstickande byggnadsdelar för att minska kylbehovet.

Studenthusets hela värme- och kylbehov täcks av ett borrhålslager med 20 borrhål till 200 meters djup. Byggnadens energiprestanda (köpt energi inklusive fastighetsel), är beräknad till knappt 25 kWh per kvadratmeter och år.

### ANLÄGGNINGSAKTA

#### **Studenthuset Frescati**

**Typ av objekt:** Ny byggnad med kontor, restaurang och studieplatser

**Byggherre:** Akademiska Hus

**Byggår:** 2013

**Geoenergityllämpning:** Borrhålslager

**Om anläggningen:** 20 borrhål till 200 m djup. Installerad effekt 200 kW värme och 120 kW kyla. Täcker hela kyl- och värmebehovet. 200 MWh värme och 34 MWh kyla

#### **Motiv till investeringen**

Akademiska Hus var en av de tidigaste aktörerna på den svenska fastighetsmarknaden som började använda och utveckla geoenergilösningar för sitt bestånd. För Studenthuset, liksom i alla Akademiska Hus val av energilösningar, jämfördes olika energilösningar utifrån energieffektivitet, miljönytta och ekonomi. Baserat på dessa kalkyler valdes för Studenthuset en heltäckande geoenergilösning med borrhålslager för värme och frikyla.

#### **Ekonomi**

Investeringen för geoenergisystemet uppgick till 2,7 miljoner kronor, dvs. 13 500 kr/kW värme. Underhållskostnaden för anläggningen är beräknad till 5 000 kr/år.





*Studenthuset i Frescati, Stockholm. Fotograf: Jeffrey D Spitler.*

### **Kort teknisk beskrivning**

Byggnadens hela värme- och kylbehov täcks av ett borrhåslager bestående av 20 stycken borrhål till 200 meters djup. Borrhålen är placerade i en innergård och är vinklade in under byggnaden. Det beräknade behovet av värme och kyla till byggnaden är 36 respektive 3 kWh per kvadratmeter och år, och täcks helt av borrhåslagret, utan spets från el eller annan värme eller kyla. Behovet av köpt el till drift av värmepumparna är beräknat till 8 kWh per kvadratmeter och år. Fastighetselen är beräknad till drygt 14 kWh per kvadratmeter och år, och distributions- och reglerförluster i värmesystemet är beräknade till ca 2 kWh per kvadratmeter och år.

Borrhåslagret är kopplat till fem stycken parallella 40 kW värmepumpar för värmeproduktion. En av värmepumparna prioriterar varmvattenproduktion när det behövs, i övrigt levererar den värme till byggnaden. En elpatron är installerad som spetsvärme för varmvattenproduktion och legionellskydd, främst sommartid. Komfortkylan utgörs av frikyla och returkyla från värmepumparna. Värme från returen på kökskylningen återvinns och överskottet laddas ner i borrhåslagret.

Värmen i byggnaden distribueras via radiatorer som har större yta än normalt så att framledningstemperaturen kan ligga på 40°C istället för 55°C som är vanligare. Kyldistributionen sker genom en kombination av dels ett VAV-system med behovsstyrd ventilation som ventilerar och kyler byggnaden efter behov, dels ett CAV-system med konstanta luftflöden och med aktiva kylbafflar för ventilation och kylning. För att byggnaden ska

kunna kylas helt med frikyla från borrhålen har köldbärarkretsens dimensionerande framledningstemperatur satts till 16°C. Genom att låta värmepumparna arbeta vid gynnsamma temperaturnivåer har den projekterade årsmedelprestandan för värmepumparna beräknats till COP 4,5.

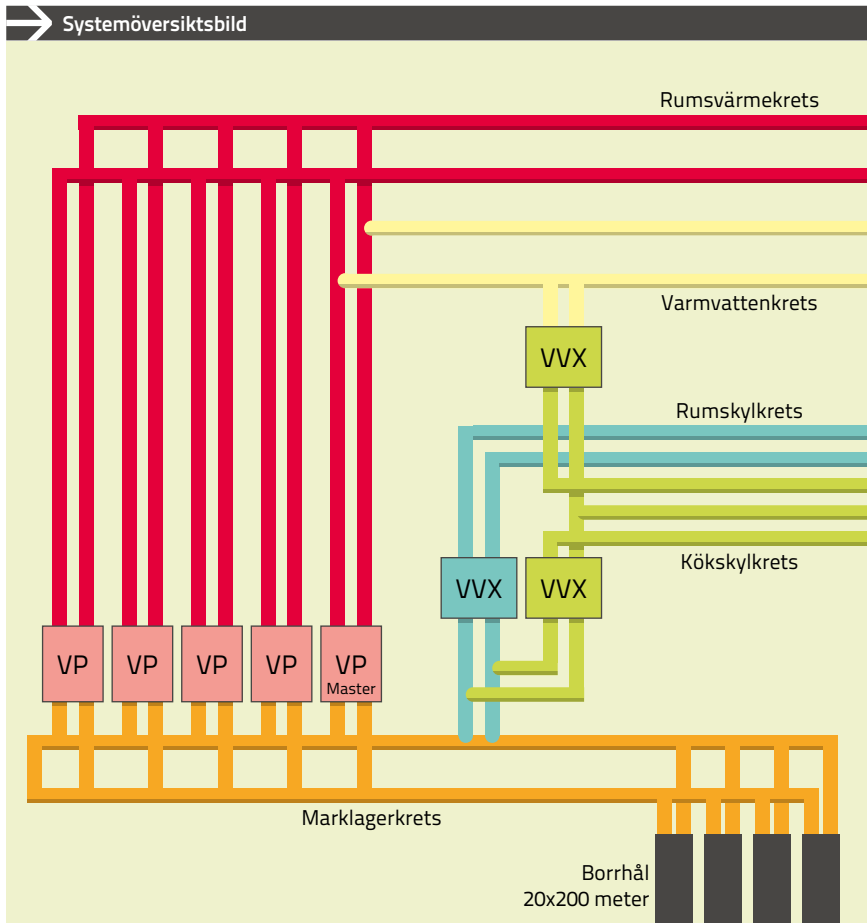
### Övrigt

De fem värmepumparna som är installerade är vanliga standardvärmepumpar för småhus med inbyggda cirkulationspumpar. De inbyggda cirkulationspumparna skapade initialt problem med styrningen av systemet eftersom de motverkade de centrala cirkulationspumparna.

Driften av Studenthusets geoenergianläggning sköts av Akademiska Hus egen personal som följer upp och löpande arbetar med att optimera anläggningens drift.



*Borrhålsfält Studenthuset. Foto: Signhild Gehlin.*



**FIGUR 7** ▪ Förenklad systemöversikt av Studenthusets värme- och kylanläggning.

## Sjökyla för Nationalmuseum, Stockholm

Nationalmuseum uppfördes 1866 och används för att ställa ut konstverk, varav en del inlånas periodvis från andra samlingar. Byggnaden förvaltas av Statens fastighetsverk, SFV, som på uppdrag av regeringen under sommaren 2014 inledde en omfattande renovering av byggnaden med målet att vara klart under 2017. Den anrika museibygnaden har dimensionerats för höga krav på lufttemperatur,  $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ , och relativ luftfuktighet på 50 %, med en maximal variation av  $\pm 5$  %. Klimatanläggningen kan sedan driftsättas enligt eventuella andra klimatkrav, beroende på vilka behov aktuella utställningar har.

Nationalmuseum är klassad som statligt byggnadsminne, vilket bland annat innebär att installationer i möjligaste mån ska förläggas dolda. Utrymmena avsedda för installationerna motsvarar ändå ett femtiotal stadsbussar. Man löste detta på ett kreativt sätt genom att bland annat höja golvet i museets två ljusgårdar och på så sätt skapa två stora osynliga fläktrum under golvet, samt att lägga ventilationskanalerna i golvbjälklaget på en våning ovanför. Dolda av de vackra takrosetterna integreras tilluft och sprinklermunstycken.

Den energilösning man valt för att klimatisera Nationalmuseum innebär att värmebehovet täcks med fjärrvärme medan kylbehovet tillgodoses med kyla från sjövattnet utanför Kastellholmen.

### ANLÄGGNINGSFAKTA

#### **Nationalmuseum**

**Typ av objekt:** Museibygnad, klassad som statligt byggnadsminne

**Byggherre:** Statens fastighetsverk

**Byggår:** Byggnaden uppfördes 1866. Sjökylan installerades 2014–2017

**Typ av anläggning:** Frikyla

**Typ av geoenergi:** Sjökyla från vattnet utanför Kastellholmen på 30 meters djup

**Om anläggningen:** Kyleffekt 1 550 kW, kylbehov 1 150 MWh/år (sjökyla)

#### **Motiv till investeringen**

I samband med renoveringen av Nationalmuseum fanns en önskan att hitta hållbara lösningar. Detta innefattade bland annat energiförsörjning från förnybara energikällor med låg klimatpåverkan och effektivt resursutnyttjande.



*Nationalmuseum. Fotograf: By ArildV – Own work, CC BY-SA 3.0.*

Sjökyla valdes efter att den i en LCC-analys över 30 år visade sig vara mer fördelaktig än fjärrkyla. Alternativet att ha sjökyla och värmepumpar med sjövatten som värmekälla studerades också men fick förkastas på grund av otillräckligt utrymme för detta inne i museet.

Ett befintligt sjökylasystem med intag placerat utanför Kastellholmen och rör på sjöbotten betjänade redan Vasamuseet och byggnader på Skeppsholmen. Det fanns redan en förberedd avsättning avsedd för just Nationalmuseum vilken kunde användas.

### **Ekonomi**

Statens fastighetsverk räknar med att sänka byggnadens köpta energi, exklusive verksamhetsel, med 37 % efter renoveringen. Man har även som målsättning att den totala energianvändningen, inklusive verksamhetsel och användning av sjökyla, inte ska öka, trots att lokalytan med kontrollerat klimat (temperatur och relativ luftfuktighet) blir dubbelt så stor efter ombyggnaden.

Säsongs kylfaktorn (SPF) för sjökylan beräknas i snitt bli ca 20–25, det vill säga 1 del el blir i snitt 20 till 25 delar kyla. Exakt vad säsongs kylfaktorn blir beror på hur lågt man kan styra ner sjökylflödet vid låg kyllast utan att det blir beläggningar på sjökylväxlaren.

Underhållskostnaden blir högre än för fjärrkyla eftersom sjövattenväxlaren måste rengöras från partiklar och slam minst en gång per år.

### **Kort teknisk beskrivning**

Nationalmuseum är beläget intill Saltsjön och härifrån tar man upp sjövattnet från 30 meters djup utanför Kastellholmen. Vattnet håller låg temperatur hela året. I maj är temperaturen bara någon plusgrad, och när det är som varmast, i mitten av oktober, är temperaturen som högst runt 11 grader. Sjövattnet filtreras från partiklar och slam innan det når kylväxlaren. Två parallella kylväxlare har installerats för att kunna rengöra den ena medan den andra är i drift. Ytterligare en anledning till att ha två kylväxlare är Nationalmuseums krav på redundans.

Sjökylan används året om eftersom el- och teknikrum behöver kyla även på vintern och kondensorvärme från kökets kylmaskiner behöver kylas bort. Sjökylan kombineras med fjärrvärme som används för rumsvärmning och under sommaren även i samband med avfuktning av luften. Luften avfuktas nämligen genom att kyla luften till kondensation med hjälp av sjökyla samt en extra kylmaskin. För att det inte ska bli för kallt i lokalerna eftervärms sedan ventilationsluften med fjärrvärme.

Installerad kyleffekt för sjökylan till Nationalmuseum är 1 550 kW vilket motsvarar ett sjövattnenflöde på 38 l/s. Kylbehovet väntas ligga på 1 150 MWh/år och anläggningen beräknas vara färdigställd och i drift i slutet av 2017.

### **Övrigt**

På grund av utrymmesbrist var man tvungen att placera kylväxlarna för sjökylan i en annan byggnad än Nationalmuseum. Utöver Nationalmuseum försörjs redan Vasamuseet, Moderna museet inklusive Arkitekturmuseet samt flera andra byggnader på Skeppsholmen av sjökyla. På Vasamuseet används sjövattnet dels som frikyla, och dels som värmekälla till värmepumpar. Pumpning av vatten från 30 meters djup innebär en temperaturfördröjning, eftersom vattentemperaturen ligger efter lufttemperaturen, som med fördel kan utnyttjas för kyla på sommaren och värme på vintern.

## Borrhålslager för Backavallens idrottsområde i Katrineholm

Backavallen är en del av Sportcentrum i Katrineholm. Anläggningen har flera år på nacken och har utvecklats över tid. Bandyplanens kylanläggning är från 1964. Fjärrvärme anslöts i början av 1980-talet och ishallen Woodyhallen var färdig år 2006. År 2009 anlades en konstgräsplan med ett borrhålslager under. Backavallens borrhålslager ingår i ett energisystem som består av flera samverkande delar. Sommartid laddas borrhålslagret med spillvärme från kylkompressorer vid bandyplanen och sommarvärme från fotbollsplanen. Vintertid används värme från borrhålslagret för att med hjälp av värmepumpar värma lokaler, bereda varmvatten samt hålla fotbollsplanens konstgräs snöfritt. Fotbollsplanen hålls därigenom fri från tjäle och är spelbar hela vintern. Anläggningen togs i drift 24 juni 2009 då man började lagra solvärme från fotbollsplanen i borrhålen. Till en början behöll man fjärrvärmeinkopplingen som backup-system, men numera är fjärrvärmen bortkopplad och systemet fungerar som det är tänkt.

### ANLÄGGNINGSAFKTA

#### **Backavallens idrottsområde**

**Typ av objekt:** Idrottsplats

**Byggherre:** Katrineholms kommun

**Byggår:** 2009

**Geoenergitillämpning:** Borrhålslager

**Om anläggningen:** Lagrar spillvärme från bandyplanens istillverkning och solvärme från konstgräsplanen för att vintertid värma lokaler, tappvarmvatten och hålla konstgräsplanen spelbar året om. 91 borrhål till 180 m djup

**Övrigt:** Planer på ytterligare utbyggnad finns

#### **Motiv till investeringen**

Vid samma tid som Katrineholms kommun hade beslutat att anlägga uppvärmt konstgräs, och att använda fjärrvärme för detta, kom kommunen i kontakt med en geoenergi-entreprenör som förklarade hur ett borrhålslager skulle kunna ta tillvara bandybanans överskottsvärme. Kommunen undersökte då möjligheterna med ett sådant system för Backavallen. Idén var att dra nytta av bandybanans kompressorer, vilka var placerade intill platsen för den nya konstgräsplanen, och använda konstgräsplanen som en stor solfångare. Beräkningar visade att den lösningen skulle vara energi-effektiv och kostnadsbesparande.



*Bandyplanen och konstgräsplanen. Fotograf: Thomas Wildig.*

## **Ekonomi**

Systemet med borrhålslager och värmeåtervinning innebär en energibesparing på motsvarande omkring två tredjedelar jämfört med en traditionell anläggning. Den lagrade energin från konstgräsplanen via borrhålslagret ger 1 700 MWh/år. Borrhålslagret och energiåtervinnings-systemet har ersatt all fjärrvärmeanvändning. Energiförbehovet på Backavallen för varmvatten, uppvärmning av lokaler och för att hålla konstgräsplanen frostfri tillgodoses av återvunnet energiöverskott, solenergi och drivenergi för pumpar och aggregat.

Driftkostnaderna har med den nya anläggningen minskat med 1 200 000 kr/år brutto och 550 000 kr/år netto.

## **Kort teknisk beskrivning**

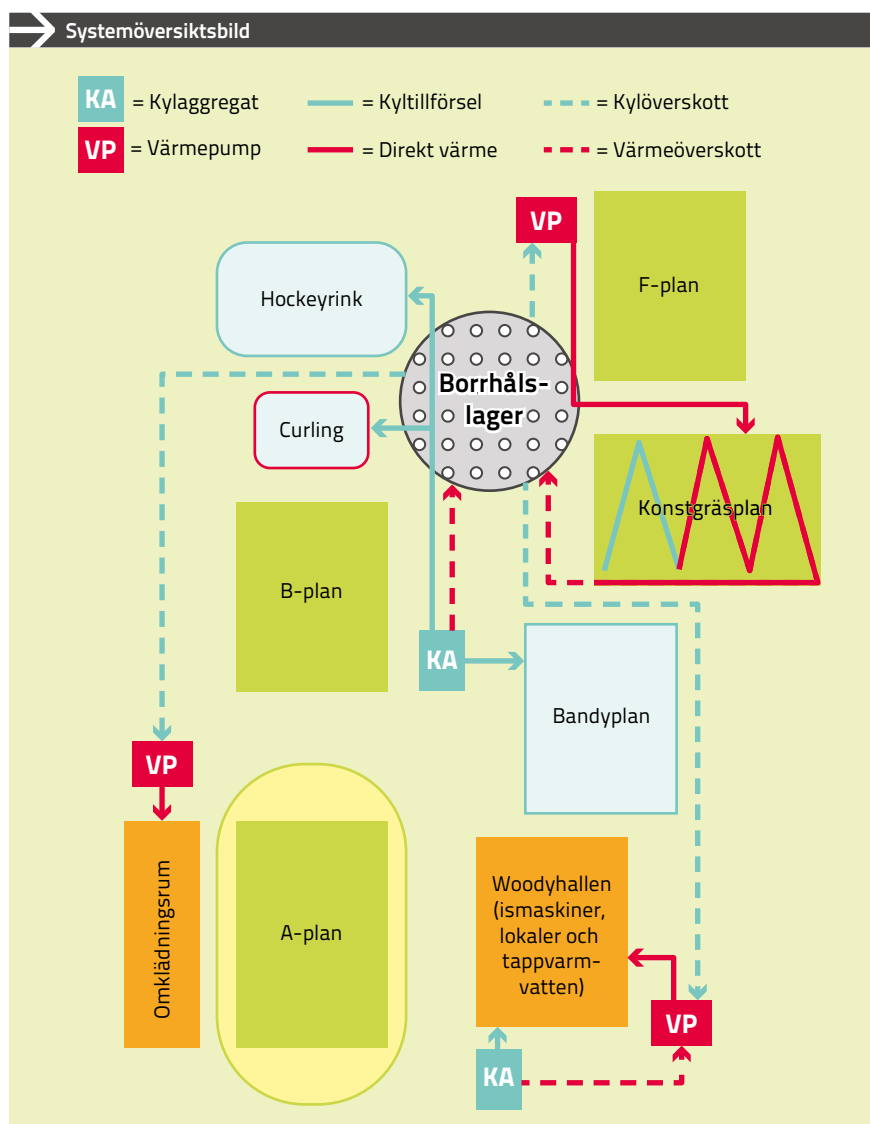
Värmeslingor kopplade till ett borrhålslager bestående av 91 borrhål till 180 meters djup anlades under konstgräsplanen innan denna färdigställdes. Under sommaren lagras solvärme från konstgräsplanen i borrhålen. Dessutom laddas överskottsenergi från bandyplanens istillverkning i borrhålen, vilket förbättrar istillverkningens effektivitet och tillvaratar spillvärme som vanligtvis går förlorad. Under vintern leds värmen som lagrats i marken mellan borrhålen tillbaka till värmeslingorna under konstgräsplanen så att fotbollsplanen hålls snöfri och spelbar året runt, och konstgräsplanens livslängd ökar. Systemet förser även anslutande fastigheter inom sportanläggningen med värme och tappvarmvatten.



Fjärrvärmens som tidigare försåg sportanläggningen med värme är helt bortkopplad.

### Övrigt

Planer finns på att bygga ut systemet till att även inkludera en tennisbana, ett gymnasium och en idrottshall med bad. Det finns även utrymme att återanvända ytterligare 420 MWh spillvärme från Woodyhallens isproduktion.



FIGUR 8 • Systemöversikt för Backavallens idrottsområde.

## Borrhåslager för Karlstads Centralsjukhus

Karlstad Centralsjukhus består av totalt 163 000 kvadratmeter byggnadsyta, fördelade över ett flertal byggnader med olika byggnadsår. Byggnaderna har över åren genomgått omfattande om- och tillbyggnader. Sjukhusets energibehov har tillgodosetts med fjärrvärme och frikyla från intilliggande Klarälven, men i samband med att sjukhuset byggdes ut år 2010–2011 ökade kylbehovet. En medicinteknisk byggnad på 20 000 kvadratmeter med mycket kylkrävande utrustning togs i drift 2010, och en mentalvårdsenhet på 10 000 kvadratmeter som kräver klimatisering stod klar 2011. De nya magnetröntgenkamerorna som installerades har ett effektbehov på vardera 60 kW kyla och krav på leveranssäkerhet av kyla. Den nya datahallen är dimensionerad för en effekt på 400 kW kyla. I samband med detta såg man över driften för att optimera energianvändningen, och ett nytt kyl- och värmeproduktionssystem installerades. År 2010 togs ett borrhåslager med 100 borrhål i drift för att täcka delar av kyl- och värmebehovet. Borrhåslagret byggdes år 2013 ut med ytterligare 85 borrhål, och täcker nu större delen av kyl- och värmebehovet vid Centralsjukhuset i Karlstad. Möjligheten att komplettera kylproduktionen med frikyla från älvvattnet finns kvar, men har inte behövt användas.

### ➔ ANLÄGGNINGSFAKTA

#### **Karlstad Centralsjukhus**

**Typ av objekt:** Sjukhus

**Byggherre:** Landstinget i Värmland

**Byggår:** 2010 + 2013

**Geoenergitillämpning:** Borrhåslager med möjlighet att komplettera med kyla från Klarälven

**Om anläggningen:** 185 borrhål till 163 m djup. 2 500 kW kyla, 5 000 kW värme



*Centralsjukhuset i Karlstad. Fotograf: Janee, CC BY-SA 3.0.*

### **Motiv till investeringen**

År 2008–2010 gjordes en tillbyggnad på ca 30 000 kvadratmeter med höga krav på energieffektiva lösningar samt ett krav på reduktion av koldioxid-ekvivalenter. Tillbyggnadsprojektet innebar även ett avsevärt ökat kylbehov till bland annat röntgen och laboratorium. Den ursprungliga tanken var att försörja endast tillbyggnaden med kyla och värme från en geoenergianläggning med värmepumpar. Allt eftersom projektet framskred, och efter ett totalt LCC-beräkningar på olika alternativ för värme och kyla, visade det sig medföra både ekonomiska fördelar och förbättrad försörjningstrygghet att nyttja geoenergianläggningen för hela Centralsjukhuset.

### **Ekonomi**

Innan borrhåslagret och värmepumparna installerades använde Centralsjukhuset i Karlstad ca 78 kWh köpt fjärrvärme per kvadratmeter och år. Med borrhåslagret installerat sjönk behovet av inköpt fjärrvärme till 26,8 kWh per kvadratmeter.

Det totala behovet av inköpt energi för värme och kyla är nu 24,5 GWh/år, varav fjärrvärmespetsen utgör 2,5 GWh/år och elanvändningen 22,2 GWh/år.

Den totala investeringskostnaden för borrhålslagrets två etapper är 66,5 miljoner kronor. Landstinget i Värmland fick ett energieffektiviseringsstöd motsvarande 50 % på kylanläggningen.

Med en installerad effekt på 2 600 kW kyla, motsvarar detta en investering på ca 26 000 kr/kW. Rak pay-off är beräknad till 5 år.

### **Kort teknisk beskrivning**

Borrhålslagret utgörs idag av 185 borrhål till drygt 160 m djup, och har byggts i två steg. Borrhålslagret kan kompletteras med kyla från älven, men detta har hittills inte behövts.

Borrhålslagret är kopplat till sex stycken värmepumpar/kylmaskiner som har en maximal effekt på 2 600 kW. Geoenergisystemet täcker cirka 60 % av värmeeffektbehovet när det är som kallast ute och 80 % av årsvärmebehovet.

Baskylbehovet under året är 770 kW, men under en kort period av sommaren ökar behovet till drygt 4 200 kW. Det totala värmeeffektbehovet är 5 000 kW.

Sommartid köper man fjärrvärme och kör ammoniakkyllmaskiner, medan man serverar värmepumparna. De årliga fjärrvärmeinköpen har minskat för att nu endast omfatta delar av varmvattenproduktionen samt spetsvärmebehovet de kallaste dagarna under året.

### **Övrigt**

Borrhålslagret har inneburit höjda krav på driften, vilket bland annat medfört att Landstinget i Värmland har tagit fram en praxis för placering av givare.

## Borrhål för Vikbolandsskolan i Norrköping

Vikbolandsskolan är en F-9-skola med drygt 400 elever belägen två och en halv mil öster om Norrköping i centralorten Östra Husby på halvön Vikbolandet. Vikbolandsskolan består av tre byggnader som inrymmer grundskola, förskola och gymnastiksal. I anslutning finns även fritidshem och Östra Husby bibliotek. Skolbyggnaden uppfördes 1967 och värmdes initialt med pelletspanna med spetsvärme från olja. Uppvärmningen konverterades år 2016 till geoenergi med totalt 32 borrhål i berg.

### ANLÄGGNINGSAKTA

#### **Vikbolandsskolan**

**Typ av objekt:** Skola

**Byggherre:** Norrköpings kommun/Norrevo Fastigheter AB

**Byggår:** Skolbyggnad 1967, geoenergisystem 2016

**Geoenergitillämpning:** Bergvärme – borrhål i berg för värmeuttag

**Om anläggningen:** Totalt 32 st borrhål uppdelat på tre byggnader;

4 st à 260 m, 10 st à 240 m samt 18 st à 256 m. Värmebehov:

280 MWh, Värmeeffekt ca 340 kW

#### **Motiv till investeringen**

Beslutet om att konvertera värmesystemet från pellets och olja till bergvärme baserades på flera avgörande faktorer. Man ville bli av med fossila inslag i värmesystemet, både av miljöskäl och på grund av de höga drift- och underhållskostnaderna för pannorna. Kostnaderna för att underhålla det gamla värmesystemet uppgick till omkring 100 000 kronor per år, och man hade



*Vikbolandsskolan i Norrköping. Fotograf: Niklas Ljung, Norrevo.*

även bekymmer med driftstopp. I projektet bedömde man att geoenergilösningen skulle ha miljöfördelar och minskade drift- och underhållskostnader, vilket tillsammans med ökad driftsäkerhet avgjorde beslutet om konvertering.

Det kommunala bolaget Norrevo Fastigheter arbetar proaktivt med energieffektivisering för att bidra till Norrköpings mål om energieffektiviseringar; att minska energianvändningen med 30 % från år 2005 till år 2030 och att ha 100 % förnybar energi år 2030. Detta sker till exempel genom att ersätta icke förnybara bränslen och öka användningen av geoenergi samt att alternativen solenergi och vindenergi undersöks och övervägs.

### **Ekonomi**

Den totala investeringen för konverteringen till geoenergisystemet uppgick till 6,5 miljoner kronor, ca 19 000 kr/kW värme. Drift- och underhållskostnaderna minskade med 70 % från ca 1 miljon kr/år till ca 280 000 kr/år. Återbetalningstiden för investeringen är knappt 9 år, och en LCC-kalkyl gjord på 20 års sikt med kalkylräntan 2,5 % och en årlig energiprisökning på 3,5 % ger en besparing på drygt 16 miljoner kronor under 20-årsperioden. Anläggningens systemårsverkningsgrad har uppskattats till ca 4.

### **Kort teknisk beskrivning**

Geoenergisystemet för Vikbolandsskolan är en ren bergvärmeanläggning. Den utgörs av totalt 32 borrhål till mellan 240 och 260 meters djup kopplade till värmepumpar för rumsvärme och tappvarmvatten. Borrhålen är uppdelade i tre separata borrhålssystem. Ett system vardera för skolans tre byggnader i syfte att förenkla systemutformningen och göra byggnaderna oberoende av varandra, samt minska energiförluster i kulvertar. Byggnad 1 är utrustad med en 52 kW värmepump och en 6 kW varmvattenberedare och är ansluten till fyra borrhål som är 260 meter djupa. Byggnad 2 har 208 kW värmepumpseffekt och en 9 kW varmvattenberedare installerad och är ansluten till 18 borrhål till 256 meters djup. Den tredje byggnaden är inkopplad mot tio borrhål som är 240 meter djupa och har en värmepumpseffekt på 80 kW samt en 6 kW varmvattenberedare.

I samband med bytet av värmesystem säkrades elsystemet för skolan upp från 250 A till 1 000 A.

### **Övrigt**

Den gamla oljepannan behölls inkopplad, dels för att installationen av geoenergisystemet skulle kunna utföras under pågående uppvärmningssäsong, dels för att fungera som nödsystem vid eventuella initiala driftproblem. Oljepannan behövde dock inte användas under geoenergianläggningens första driftår.

## Borrhålslager för Rågården Rättspsykiatri i Göteborg

Rågården är en rättspsykiatrisk vårdenhet belägen i nordöstra Göteborg mellan Gunnilse och Olofstorp, cirka 15 kilometer från Göteborgs centrum. Anläggningen är både rymningssäker och fritagningssäker. Rågården är en byggnad med ca 15 000 kvadratmeter byggnadsarea och 175 000 kvadratmeter tomtarea och stod klar för inflyttning i februari 2013. Som energilösning för byggnadens värme- och kyltillförsel valdes ett geoenergisystem med ett borrhålslager.

### ANLÄGGNINGSAFKTA

#### **Rågården Rättspsykiatri i Göteborg**

**Typ av objekt:** Vårdlokal

**Byggherre:** Västfastigheter

**Byggår:** 2012–2013

**Geoenergitillämpning:** Borrhålslager

**Om anläggningen:** 64 borrhål à 150 m. Värmebehov 1 GWh, kylbehov 0,9 GWh. Värmeeffekt 420 kW, kyleffekt 850 kW

### Motiv till investeringen

Valet av borrhålslager för uppvärmning och kyla för Rågården berodde dels på att fjärrvärme och fjärrkyla inte fanns att tillgå, och dels på att geoenergisystemet kunde erbjuda en kostnadseffektiv lösning för såväl det stora kylbehovet som värmebehovet.

### Ekonomi

Investeringen i geoenergianläggningen uppgick till 7,4 Mkr. I detta ingick drift- och underhållskostnad under anläggningens första fem år. Västfastigheter anlätade en totalentreprenör som genomfört allt kring geoenergianläggningen och som även har ansvar för att anläggningen uppnår en viss prestanda under 5 år. Efter den första femårsperioden görs sedan en ny upphandling för driften.

En kylanläggning som komplement till en värmeanläggning skulle ha gett en högre kostnad än värme och frikyla från borrhålslagret. Lagret kräver mindre skötsel än två separata värme- och kylsystem, vilket ger en ekonomisk besparing.

Medelvärmefaktorn för vinterdriftfallet beräknades till 3,82. För somrardriftfallet, då huvudsakligen frikyla från borrhålen används, är medelkylfaktorn 3,17. Totalt är SPF<sub>4</sub> för hela systemet 4,55 på årsbasis.



Rågårdens Rättspsykiatri i Göteborg. Foto: White arkitekter. Fotograf: Hans Wretling.

### **Kort teknisk beskrivning**

Rågårdens geoenergianläggning är dimensionerad för att täcka ca 60 % av värmen på årets kallaste dag. Borrhålsanläggningen består av 64 borrhål till 150 meters djup, placerade med 15 meters avstånd mellan varandra. Borrhåls-lagret är kopplat till sex stycken standard-värmepumpar på vardera 70 kW. Spetsvärmen går på direktverkande el, fjärrvärme finns inte tillgängligt i området. Två elpannor på vardera 300 kW står för toppeffekten. Tappvarmvatten tas från ackumulatortankar på 4 000 liter, som värms av två värmepumpar på vardera 50 kW. Kylan tas i första hand direkt från lagret i form av frikyla med en installerad effekt på 480 kW. Det är även möjligt att komplettera med frikyla från uteluft och aktiv kyla motsvarande ytterligare 470 kW från värmepumparna, så att den samtidiga maximala kyleffekten blir 850 kW.

Den rättspsykiatriska vårdenheten har krav på säker tillgång till el och har en reservkraftanläggning i form av två dieselgeneratorer som fungerar som mikrokraftvärmeverk. Vid elavbrott producerar dieselmotorerna ca en tredjedel el, och två tredjedelar värme, varav hälften via återvinning från rökgaserna. Om återvinningen från rökgaserna inte räcker till används även värmepumparna. Det ger en självförsörjande systemlösning även om det skulle vara mycket kallt.

Såväl elpannor som värmepumparna för varmvattenproduktion har 100 % redundans.

### **Övrigt**

Ursprungligen var tanken att borrhåls-lagret skulle bestå av 48 borrhål till 240 meters djup, men vid 150 meters djup stötte man på mycket grundvatten som gjorde det svårt att borra djupare. Arbetet planerades då om till ett grundare lager med 64 borrhål till 150 meters djup.



## Akviferlager för Länssjukhuset i Kalmar

Länssjukhuset i Kalmar består av ett trettiootal byggnader, totalt 165 000 kvadratmeter byggnadsyta, och har ca 300 vårdplatser. Tidigare värmdes byggnaderna med fjärrvärme och kylbehovet täcktes av kyla från kylmaskiner. År 2015 påbörjades utbyggnad av ett centralt kyl- och värmesystem med ett akviferlager för säsongslagrad värme och kyla.

Man har utnyttjat det faktum att de naturliga geologiska och hydrologiska förutsättningarna inom fastigheten där Länssjukhuset i Kalmar är beläget är gynnsamma för akviferlager. Grundvattnet i akviferen under fastigheten används för säsongslagring av både värme och kyla. Akviferlagret, med totalt 16 brunnar, levererar kyla till ett centralt kylsystem med värmeväxlare och en ny kylmaskin. Därifrån levereras kylan till sjukhusets olika byggnader. På vintern kommer akviferlagret även att användas för att förvärma sjukhusets ventilationsluft.

### ➔ ANLÄGGNINGSFAKTA

#### **Länssjukhuset i Kalmar**

**Typ av objekt:** Sjukhusområdet

**Byggherre:** Landstinget i Kalmar län

**Byggår:** 2015–2018

**Geoenergitillämpning:** Akviferlager

**Om anläggningen:** 16 brunnar (8 st varma och 8 st kalla) till 65–70 m djup, och med maximalt flöde 60 l/s. Effekt 2,8 MW kyla och värme. 2,1 GWh kyla, 1,4 GWh värme

Anläggningen byggs i tre etapper, varav den sista etappen ska vara klar 2018. Den första etappen startades i oktober 2015 och avslutades i juni 2016. Då byggdes huvudkylcentralen med värmepumpar och de första sex brunnarna togs i drift. En av de stora vårdbyggnaderna kopplades in. Den andra etappen genomförs mellan augusti 2017 och december samma år. Etappen innebär driftsättning av ytterligare sex brunnar samt anslutning av två nya vårdbyggnader. Den tredje och avslutande etappen startar i början av 2018 och löper till början av 2019. De sista fyra brunnarna tas då i drift och ytterligare tre byggnader ansluts. Genom att centralkylsystemet ersätter de äldre kylmaskinerna och förvärmer ventilationsluften, minskar driftkostnaderna väsentligt.

När lagret är helt färdigställt och alla byggnader är anslutna till geoenergi-anläggningen kommer det att leverera 80 % av kylbehovet för Länssjukhuset i Kalmar, med en sammanlagd kyleffekt på 2,8 MW. Behovet av fjärrvärme minskar samtidigt med en fjärdedel.

### **Motiv till investeringen**

Miljö, ekonomi och säkerhet har varit viktiga faktorer för sjukhuset när man bedömt energisystem. Sjukhuset inrymmer avancerad utrustning med konstant kylbehov, bland annat röntgenutrustning, och man anser att kylan från geoenergi är ett enkelt tekniskt system jämfört med kylmaskiner.

Med en livscykelkostnad beräknad på 40 års sikt är lönsamheten god, och man anser att kylan från geoenergin innebär ökad säkerhet och tillförlitlighet och därmed förbättrad patientsäkerhet.

Stefan Westblom, energistrateg på Landstinget i Kalmar län, framhåller att landstinget som fastighetsägare har en långsiktighet och uthållighet i investeringar i hållbarhet och energihushållning.

### **Ekonomi**

Den centrala kylanläggningen och akviferlagret innebär en investering på 25 miljoner kronor, dvs. ca 9 000 kr/kW kyla.

Livscykelkostnadsberäkningarna har visat att den totala kostnaden för kyla från geoenergi blir 12 miljoner kronor lägre under 25 år framåt, jämfört med det tidigare systemet med lokala kylmaskiner i varje byggnad. Anläggningen sparar 1,8 GWh inköpt el och fjärrvärme.



*Foto: Landstinget i Kalmar län.*



*Foto: Landstinget i Kalmar län.*

### **Kort teknisk beskrivning**

Akviferlagret utgörs efter den tredje och avslutande etappen av totalt 16 brunnar till 65–70 meters djup, varav åtta på den varma och åtta på den kalla sidan av lagret. Akviferlagret kommer att arbeta inom temperaturintervallet 12–18 grader.

Det maximala pumpflödet är 60 l/s och kan då producera en total effekt motsvarande 2,8 MW kyla och värme. Den tillgodgjorda energin från akviferlagret har beräknats till 2,1 GWh kyla och 1,4 GWh värme per år.

### **Övrigt**

Fjärrvärmelieferantören i Kalmar har sett positivt på att landstinget investerat i geoenergi. Kalmar är en växande stad och när landstinget minskar inköpen av fjärrvärme kan energibolaget förse andra abonnenter med fjärrvärme istället.

Innan akviferlagret anlades borrades tre provbrunnar där man utförde propvpumpningar och analyser av vattenkvaliteten.

Under projekteringen av geoenergisystemet för Kalmar Länssjukhus är de egna driftteknikerna med och utbildas för att sedan effektivt kunna ta över och sköta driften av energisystemet.

## Borrhål för kommunhuset Kristallen i Lund

Det nya kommunhuset i Lund, Kristallen, stod klart för inflyttning i maj 2014. Den stora glasbyggnaden rymmer fem kommunala förvaltningar. Projekteringen för Kristallen började redan kring 2010 och vid den tidpunkten hade ingen byggnad i Sverige ännu lyckats nå guldnivån i Swedish Green Building Councils certifiering Miljöbyggnad. När byggnaden stod klar hade andra byggnader i Sverige hunnit före med att nå guldnivån, men Kristallen blev i alla fall först i Lund med att försöka nå guldnivån genom att använda geoenergi för värme och kyla.

### ANLÄGGNINGSAKTA

#### ***Kristallen i Lund***

**Typ av objekt:** Kommunhus

**Byggherre:** Lunds kommun, Lundafastigheter

**Byggår:** 2013–2014

**Geoenergiltillämpning:** Borrhålslager

**Om anläggningen:** 40 borrhål till 120 m djup. Värmeeffekt 400 kW + 175 kW, kyleffekt 600 kW

#### **Motiv till investeringen**

Lunds kommun har höga mål i miljöfrågor och man ville nå guldnivån i Swedish Green Building Councils certifiering Miljöbyggnad. Energitillägget för Kristallen var att tillförd energi till byggnaden skulle understiga 25 kWh/kvm. Man analyserade tre alternativ för uppvärmning och kyla; fjärrvärme och kylmaskiner, fjärrvärme och sorptionskyla samt geoenergi med borrhålslager för värme och frikyla. Vid tiden då Kristallen projekterades klarade inte Lunds fjärrvärme kraven för guld enligt bedömningskriteriet energislag, och Kristallen, som är ett glashus, hade heller inte klarat guldnivån för energianvändning med fjärrvärme och sorptionskyla. Byggnaden kräver mycket kyla, men det saknas fjärrkyla i området. Geoenergin blev det enda alternativ som uppnådde projektets krav på guldnivån (<25 kWh/kvm tillförd energi) och hade även lägst LCC-kostnad.



*Kommunhuset Kristallen i Lund. Fotograf: Jorchr, CC BY-SA 4.0.*

## **Ekonomi**

Geoenergianläggningen, bestående av ett borrhålslager och en media-central med bland annat en värmepump, handlades upp som under-entreprenad till byggaren. Den projekterade investeringen i systemet som helhet bedömdes 2012 till 6,4 miljoner kronor, varav borrhålslagret stod för hälften.

Borrhålslagrets långa livslängd och låga underhållsbehov visade sig fördelaktigt i den LCC-analys som gjordes inför beslutet. LCC-analysen, beräknad på 40 år, visade en energikostnad för geoenergisystemet som låg på 5 miljoner kronor. I den analysen ingick en reinvestering i värmepump respektive kylmaskin efter 20 år. Som jämförelse blev motsvarande LCC 12 miljoner för alternativet fjärrvärme och kylmaskiner.

Enligt förutsättningarna för guldnivån ska årsvärmefaktorn ( $SPF_4$ ) för produktion av värme och kyla sammantaget över året ligga runt 5. Målet är således att borrhålslagret ska producera 80 % av tillförd värme och kyla till fastigheten. Lagret driftsattes i maj 2014, vilket innebär att lagret då inte var nedkylt och därmed gav sämre förutsättningar för första årets sommar drift.

Från att första driftåret ha uppvisat en årsenergifaktor på runt 2,5 har denna successivt ökat efter intrimning och justeringar. Garantibesiktningen i augusti 2016, som täckte perioden april–augusti, gav en medelvärmefaktor som låg över målfaktorn 5. Det återstår dock fortfarande en del intrimningar och finjusteringar innan systemet är i fullgod drift.

### **Kort teknisk beskrivning**

Värmekapaciteten hos geoenergisystemet uppgår till 400 kW plus 175 kW för uppvärmning av en cykelramp. Kylkapaciteten uppgår till ungefär samma effekt som frikylan. Vid stora kyleffektbehov används kyl/värme-pumpen som stöd.

Geoenergianläggningens 40 borrhål till 120 meters djup är till hälften placerade i ett parkområde en bit från byggnaden. Den andra hälften finns på gårdsplanen till byggnaden. Varje grupp har en samlingsbrunn som ansluter till mediacentralen.

Elförsörjningen till byggnaden sker delvis med hjälp av solceller på taket, men är till övervägande del köpt grön el.

### **Övrigt**

Borrhålslagrets yttersta borrhål i parkområdet ligger nära en fastighetsgräns och vid uppförandet av en ny byggnad på grannfastigheten med parkeringsgarage i två plan under jord råkade en spont skada en slang till ett av borrhålen. I panik stängdes då hela borrhålslagret av under någon vecka, något som inte hade behövts eftersom borrhålen kan stängas var för sig. Detta pekar på vikten av insatta och kunniga drifttekniker för denna typ av anläggningar.

En annan lärdom är att borrhålslager för värme och kyla kan behöva en insvägningsperiod på några år innan de fungerar fullt ut. Även tillhörande produktionsutrustning och styrsystem kan behöva en väl tilltagen tid för intrimning av anläggningen.

## Högtemperaturkyla med borrhål för Polishuset i Rosengård

Polishuset i Rosengård är beläget fyra kilometer från centrala Malmö. Byggnaden stod klar i september 2012 då Polismyndigheten i Skåne flyttade in. Polishuset är en fyra våningsbyggnad med en total byggnadsyta motsvarande 3500 kvadratmeter, varav 2 500 kvadratmeter är kontorsyta. Byggnaden är Green Building-certifierad, vilket innebär att den använder 25 % mindre energi än det då gällande BBR-kravet. Den var den första offentliga byggnaden i Sverige att få LEED Guld-certifiering.

Byggnaden har ett ventilationssystem med värmeåtervinning och ventilationsluften kyls eller förvärms beroende på årstiden även med borrhål i berg. Kylning sker via kylbafflar enligt Skanskas koncept Deep Green Cooling (DGC). Uppvärmning sker med fjärrvärme via radiatorer.

### → ANLÄGGNINGSAFKTA

#### ***Polishuset i Rosengård***

**Typ av objekt:** Polishus

**Byggherre:** Skanska Öresund AB

**Byggår:** 2012

**Geoenergiltillämpning:** Borrhålslager enligt Skanskas koncept Deep Green Cooling med kylning och förvärmning av ventilationsluft utan värmepump

**Om anläggningen:** 12 st borrhål till 195 m aktivt djup. Kylbehov 24 kWh/kvm A Temp, kyleffekt 100 kW, värmeåtervinning från DGC 11 kWh/kvm A Temp, elbehov för DGC 2 kWh/kvm A Temp

#### **Motiv till investeringen**

Malmö stad anordnade en markanvisningstävling med höga krav på energieffektivitet, hållbarhet och logistik inom byggnaden, vilken Skanska vann med sitt förslag. Polishuset utformades för att klara 50 % lägre energianvändning än gällande BBR-krav, och utformades med ett system utan värmepumpar för uppvärmningen.



*Polishuset i Rosengård. Fotograf: Jorchr, CC BY-SA 3.0.*

## **Ekonomi**

Byggnaden används dygnet om, alla dagar i veckan, året om, och medel-luftflödet är nära dubbelt så stort som för en vanlig kontorsbyggnad. Trots detta är byggnadens årsenergianvändning 68 kWh/kvm, vilket är mindre än hälften av energikravet i BBR och drygt 60 % av kravet för Green building-certifiering för en byggnad med motsvarande luftflöden.

Systemverkningsgraden för Polishusets borrhålslager är 15, vilket är mycket bra, men ändå lägre än man förväntat sig av anläggningen. Som jämförelse uppgick systemverkningsgraden för DGC-systemet för Skanskas huvudkontorsbyggnad i Stockholm under år 2014 till 35.

Skälet till att systemverkningsgraden inte blev ännu högre är att byggnadens kylbehov under de uppmätta driftåren varit lägre än förväntat. Viss energianvändning är konstant oavsett hur stor kylanvändningen är, till exempel tryckfallet över laddbatteriet i luftbehandlingsaggregatet. Under år med varmare somrar och därmed större kylbehov blir systemet mer effektivt.

Investeringskostnaden för DGC är ca det dubbla jämfört med en motsvarande kylmaskinanläggning, medan LCC-kostnaden för DGC är något lägre.



### **Kort teknisk beskrivning**

Byggnaden värms huvudsakligen med fjärrvärme som värmekälla och beroende på årstid sker kylning och förvärmning av ventilationsluften med Skanskas kylkoncept Deep Green Cooling (DGC). Polishusets DGC-system består av tolv stycken 200 meter djupa borrhål. Inga köldmedier eller kompressorer ingår i systemet.

Borrhålskolektorerna med dubbla u-rör använder vatten som värmebärare.

Sommartid kyls byggnaden med den lagrade kylan i marken. Markens ostörda temperatur är i området ca 10°C men när borrhålen används som mest sommartid går temperaturen i värmebäraren som kommer från marklagret högst upp till 16°C. Returtemperaturen från kylbafflarna håller ca 23°C. Vintertid återladdas borrhålen med kyla genom att förvärma ventilationsluften. Under vinterhalvåret kan även uteluft användas för frikyla.

Borrhålslagret dimensionerades för en toppkyleffekt på ca 100 kW, men under första driftåret uppmättes som högst 37 kW effektbehov.

### **Övrigt**

Malmö Polishus är ett av Skanskas flaggskeppsprojekt för högtemperaturkyla utan värmepump, och var den första svenska offentliga byggnad att tilldelas LEED guldcertifiering.

Polishusets energisystem och driftdata utvärderades av Chalmers och Skanska i ett projekt finansierat av Bygginnovationen och används av forskare på Chalmers och LTH i ett forskningsprojekt om högtemperaturkyla inom Energimyndighetens forskningsprogram EffsysExpand.

# Checklistor

## Så gör du

I detta avsnitt följer några allmänna rekommendationer att beakta då man ska installera geoenergianläggningar. Varje anläggning har sina unika förutsättningar som man behöver ta hänsyn till. Typiskt utvecklas ett projekt med geoenergi i flera steg med mellanliggande beslutspunkter. Noggrannhet i alla stegen betalar sig alltid.

En typisk handlingsgång är att först göra en förstudie där förutsättningarna för olika alternativ beskrivs och jämförs med varandra. Jämförelsen tar upp tekniska, ekonomiska och miljömässiga aspekter. Även tidsåtgång för borrning måste vägas in. Förstudien bildar beslutsunderlag för vilket system man ska gå vidare med. Det är alltså viktigt att förstudien bygger på väl underbyggda faktauppgifter.

Efter förstudien vidtar ett projekteringsskede då de termiska och geologiska parametrarna man använt i förprojekteringen kontrolleras eller justeras. Detta skede inleds med en eller flera provborrningar (slutna borrhålssystem) eller provbrunnar (öppna grundvattensystem). Syftet med dessa är att i detalj beskriva bergets eller grundvattenmagasinets egenskaper. För slutna system används termisk responstest (TRT) för att bestämma bergets termiska egenskaper. För öppna system använder man provpumpning för att bestämma grundvattenmagasinets hydrauliska egenskaper.

För slutna system används resultatet för att bestämma antal borrhål och dessas inbördes avstånd. Detta utförs vanligen med simuleringsprogrammet EED eller motsvarande. För öppna system används resultatet för att bestämma antalet brunnar och avstånd mellan varm och kall sida. Vanligen används beräkningsprogrammet MODFLOW för denna analys. Driftsimulering i MODFLOW bildar ett viktigt underlag vid tillståndsbedömning (upprättande av MKB).

Borrhål eller brunnar som görs i detta skede ingår normalt sett i den färdiga anläggningen och kan därför ses som en förinvestering.

Det är stor skillnad om det handlar om en installation i en befintlig byggnad eller om det är en nybyggnation. Oavsett vilket gäller i förstudiefasen att inledningsvis beskriva byggnadens effektsignatur och årsenergi-behov av värme, kyla och tappvarmvatten. Därefter studeras alla andra förutsättningar av betydelse för utformningen av geoenergisystemet.

## Det här bör ingå i förstudien

- Syfte och mål med geoenergianläggningen diskuteras för att skapa ett engagemang i hela organisationen
- Se till att organisationen har personal med intresse och tid att medverka i projektets alla faser
- Stäm av med måldokument för ekonomimål, miljömål, byggnadens utformning och energikrav
- Bestäm energianvändningens storlek och fördelning (värme, kyla, varmvatten)
- Undersök möjligheter till tillvaratagande av spillvärme inom fastigheten (till exempel aktiv ventilation)
- Anpassa temperaturkraven för att ge gynnsamma driftvillkor (låg framledning värme/hög framledning kyla)
- Kartlägg markförutsättningarna (tillgänglighet, geologi och hydrogeologi)
- Använd fastighetskarta för kontroll av utrymme och undermarkshinder (ledning, tunnlar, etc.)
- Använd Sveriges geologiska undersöknings (SGU) jord- och bergartskartor samt hydrogeologiska kartblad
- Använd SGU:s brunnarkiv för information om befintliga energi- och vattenbrunnar i området
- Använd data från SMHI för beskrivning av klimatet (dimensionerande utetemperaturer sommar/vinter)
- Undersök vilka tillstånd som är aktuella
- Kontrollera att det finns tillräckligt med elkraft till fastigheten (försummas ofta)
- Förprojektera ett eller flera typer av system
- Utför investerings- och lönsamhetskalkyler, beräkning av drift- och underhållskostnader, LCC-analys
- Välj det mest fördelaktiga systemet och gå vidare med projektering

### **Markundersökningar (slutna borrhålssystem)**

- Borra ett eller flera undersökningshål som senare kan ingå i den färdiga entreprenaden (rekommenderas för anläggningar med >10 borrhål à 200 m)
- Begär att få protokoll med jorddjup, bergarter, borrhårhet (tidsåtgång), vattenföring på olika djup och grundvattennivå
- Låt entreprenören installera vattenfylld kollektorslang
- Utför termisk responstest (tidigast en vecka efter borrhången)
- Begär att få testerna utvärderade och rapporterade

### **Markundersökningar (öppna grundvattensystem)**

- Borra två undersökningsbrunnar (en på tänkt varm och en på tänkt kall sida)
- Begär att få protokoll med lagerföljd och nivåer för god vattenföring samt grundvattennivå
- Låt entreprenören utföra kortvarig provpumpning (två timmars kapacitetstest med mätning av avsänkning vid konstant flöde)
- Vid större anläggningar, utför en längre tids provpumpning med ett flertal mätbrunnar
- Se till att vattenprov tas för kemisk analys i slutet av samtliga pumpningar
- Få protokoll och pumpningar utvärderade av geohydrolog

### **Dimensionering – projektering – upphandling**

- Utför mer detaljerad energiberäkning för byggnaden (effektsignatur och årsenergi)
- Hur stor del av värmebehovet respektive kylbehovet ska geoenergianläggningen täcka?
- Eventuell spetsvärme och spetskyla (täckningsgrad)
- Markundersökningar – provborrning, termisk responstest, provpumpning, vattenkemisk analys

- Ange funktionella kravspecifikationer
- För slutna system – se till att goda avluftningsmöjligheter ingår
- Ange vilken energimätning som ska ingå för uppföljning av funktion och prestanda
- Bestäm vilken entreprenadform som ska gälla och upprätta tidplan
- Upprätta förfrågningsunderlag enligt allmänna bestämmelser (AB04 eller ABT06)
- Publicera/skicka ut förfrågan
- Se till att anbudsgivare får möjlighet att besöka platsen under anbudstiden
- Genomför anbudsgranskning med anbudsgivare för klargöranden innan val av entreprenör
- Upprätta kontrakt

### **Genomförandet**

- Kontroll under anläggande (vid AB04-entreprenad)
- Granskning av projektering (ABT06-entreprenad)
- Medverkan vid samordnad provning (kontroll av funktioner och funktionssamband)
- Granskning av entreprenörens egenkontroller är viktigt

### **Besiktning och överlämnande**

- Välj en erfaren och sakkunnig besiktningsman
- Drift- och skötselmanualer, relationshandlingar m.m. ska överlämnas innan utbildningen
- Vid utbildningen ska all driftpersonal närvara
- Lägg stor vikt vid att utbildningen blir grundlig

## Speciellt att tänka på

### Ekonomi

- Geoenergins markdel har >40 års livslängd och kan i många fall betraktas som en del av fastigheten, dvs. ges en likvärdig kapitalkostnad (avskrivningstid) som den byggnad som ska försörjas (gäller främst slutna system)
- Det är svårt att förutse konkurrenskraften över tiden eftersom energiprisutvecklingen är svår att förutse på såväl kort som lång sikt
- Var noga med att upprätta anbudsunderlag så att anbud kan lämnas på lika villkor och att anbuden kan utvärderas rättvist (0-ställas). Det är viktigt att anbudsunderlaget är komplett för att minska risken för ändrings- och tilläggsarbeten (ÅTOR)
- Jämför miljö- och klimatprestanda med andra alternativ och hur lösningen bidrar till eventuell miljöklassning eller annan certifiering som ämnas göras

### Förstudiefasen

- Det finns flera system att välja mellan, slutna system med bergvärme eller borrhålslager eller öppna system som baseras på pumpning av grundvatten. I en förstudie kan olika system och storlekar ingå, men fokusera så tidigt som möjligt på ett av alternativen
- Tillståndsfrågan kan ibland bli avgörande för valet av slutet eller öppet system. De slutna systemen kräver normalt sett bara anmälan till Miljökontoret, medan de öppna kan bli föremål för vattenrättslig prövning i Mark- och miljödomstol
- För grundvattenbaserade system måste man vara tidigt ute och räkna med betydande tid och kostnader för tillståndsprocessen
- För slutna system kan det ibland krävas speciella åtgärder i form av borrhålstätning, exempelvis inom vattenskyddsområden. Kontrollera i ett tidigt stadium om så är fallet

## Markundersökningsfasen

- Ta hjälp av geolog/hydrogeolog för planering av undersökningarna
- Handla upp borrentreprenör med dokumenterad kompetens inom undersökningsborrning
- Låt praktiska moment vad gäller tester ingå i borrentreprenaden
- Låt erfaren geokonsult utföra utvärderingen av testerna

## Projekteringsfasen

- Anlita konsulter med verifierad erfarenhet av geoenergi
- Minska riskerna genom att projektera utifrån standardiserad och etablerad teknik
- Var noga med gränsdragningar mellan olika entreprenörer (bygg, mark, VVS, geoenergi, styr, etc.)
- Varje anläggning är unik och därför bör leverans av en specifik instruktion för tillsyn och underhåll ingå i entreprenaden
- Se till att larmfunktioner som indikerar om det uppstår någon form av driftstörning finns med i styr- och övervakningssystemet
- Ange tydliga krav på systemets verkningsgrad, COP/SPF (Coefficient of Performance/Seasonal Performance Factor)
- Vissa geoenergisystem kräver ett antal år i drift innan systemet mognar termiskt. Skapa därför förutsättningar för att systemet kan trimmas in efter hand
- För system som levererar både värme och kyla är det fördelaktigt att starta upp anläggningen med värmedriftfall under hösten, detta för att få tillgång till hög kylkvalitet påföljande sommar

## Upphandlingsfasen

- Utgångspunkten för upphandling inom den offentliga sektorn är Lagen om Offentlig Upphandling (se [www.notisum.se/rnp/sls/lag/20071091.htm](http://www.notisum.se/rnp/sls/lag/20071091.htm)). Lagen anger vilka villkor som gäller och det finns tydliga riktlinjer om vad som ska följas
- Efterfråga referenser från liknande anläggningar
- Vid kontraktsskrivning – klargör tydligt vilka effekt-, energi- eller temperaturkrav som ställs på anläggningen och vad som i övrigt gäller för systemuppbyggnaden
- För borrhings- och installationsarbeten – anlita certifierade brunnsbore och installatörer

## Byggfasen

- Var noga med att tydligt ange gränsdragningen mellan de olika entreprenörerna i projektet och vem av dessa som har samordningsansvar
- Använd gärna en installationssamordnare vid större projekt
- För slutna system med geoenergi – var noga med kontroll av täthet innan ledningssystemet täcks
- Tänk på att bygga anläggningen så att systemet om möjligt kan användas för byggvärme



## **Förvaltning – drift- och skötselinstruktioner**

- En bra överlämning och återkoppling mellan projektör för geoenergianläggningen och driftpersonal är viktigt för en smidig intrimning av anläggningen. En rekommendation är att kommande driftansvarig får vara med redan under byggprocessen
- Skapa en rutin för mätning, uppföljning och insamling, lagring och analys av driftdata. Skapa lista över sådant som ska kontrolleras regelbundet

## **Besök referenser**

Det finns mycket att lära av genomförda projekt. Av det skälet finns det god anledning att besöka anläggningar som är jämförbara med den aktuella investeringen. Inte bara för att se teknikens funktion utan också för att få tips och råd i såväl projekterings- och upphandlingsfasen som bygg- och förvaltningsfasen. Via besök vid genomförda objekt finns det också möjlighet att ta del av praktiska drifterfarenheter, vilket är värdefullt. Det finns också möjlighet att få information om och värdering av komponenter, leverantörer och installatörer.

# Källor

## Kapitel 1. Introduktion till geoenergi

- 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/>

## Kapitel 2. Miljö

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., Ekvall, 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.

## Kapitel 3. Ekonomi

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

## Kapitel 4. Genomförande

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

## Kapitel 5. Goda Exempel

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

### *Norrlands Universitetssjukhus*

Hans Johansson, fastighetsområdeschef NUS. Personlig kommunikation, januari–maj 2017.

### *Sundsvalls sjukhus snölager*

Bo Nordell, professor emeritus, LTU. Personlig kommunikation, januari–mars 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.

### ***Arlanda flygplats akviferlager***

Olof Andersson, Geostrata. Personlig kommunikation, januari–mars 2017.

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

### ***Studenthuset***

Akademiska Hus, systemhandlingar och personlig kommunikation med Anders Larsson, drifttekniker, Johan Tjernström, affärsutvecklare inom energi samt Jonas Sjöholm Norling, Incoord. Oktober 2016–juni 2017.

### ***Nationalmuseum***

Magnus Kruså, Statens fastighetsverk. Personlig kommunikation, maj–juni 2017.

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

### ***Backavallens idrottsområde***

Kjell Dävelid, Katrineholms kommun. Personlig kommunikation, januari–maj 2017.

### ***Karlstads Centralsjukhus***

Bengt-Åke Karlsson, Biträdande Teknisk chef, Landstingsfastigheter, Värmland. Personlig kommunikation, januari–maj 2017.

### ***Vikbolandsskolan***

Niklas Ljung, Norrevo Fastigheter samt David Johansson, FBB. Personlig kommunikation, maj–juni 2017.

### ***Rågården Rättspsykiatri***

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

Hans Bjurbäck, Västfastigheter och Fredrik Hansson, Accio AB. Personlig kommunikation, juni–juli 2017.

### ***Länssjukhuset i Kalmar***

Stefan Westblom, Landstinget i Kalmar Län. Personlig kommunikation, maj–juni 2017.

Wirtén, L. (2016). Akviferlager sparar skattepengar. Svensk Geoenergi nr 2 2016. sid 19.

### ***Kristallen***

Olof Andersson, Geostrata. Personlig kommunikation, maj–juni 2017.

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

### ***Polishuset i Rosengård***

Saqib Javed, Tekn. Dr. Installationsteknik Chalmers, Installations- och klimatiseringslära, Lunds Tekniska Högskola samt Jonas Gräslund, Teknikchef, Skanska, Martin Persson, projektchef, Skanska Öresund. Personlig kommunikation, april–juni 2017.









# Guide för geoenergi

Geoenergi, som klassas som förnybar energi, är en samling välutvecklade teknikslag som står för närmare en fjärdedel av energianvändningen för värme och kyla till byggnader i Sverige. Det finns många goda exempel, varav några presenteras i denna skrift, på geoenergitillämpningar som sparat stora mängder pengar åt fastighetsägaren samtidigt som klimat- och miljöpåverkan minskat.

Skriften ger dig som arbetar med offentliga fastigheter en introduktion till hur olika tillämpningar av geoenergi fungerar, en orientering kring ekonomi och miljö, en processbeskrivning för genomförande av ett geoenergiprojekt, tolv goda exempel och en checklista att använda vid geoenergiprojekt.