

Förutsättningar för geoenergi till idrottsanläggningar i Kallerstad, Linköpings kommun: En förstudie

Albin Petersson

Examensarbeten i geologi vid Lunds universitet,
kandidatarbete, nr 320
(15 hp/ECTS credits)



Geologiska institutionen
Lunds universitet
2012

**Förutsättningar för geoenergi till
idrottsanläggningar i Kallerstad,
Linköpings kommun:
En förstudie**

Kandidatarbete
Albin Petersson

Geologiska institutionen
Lunds universitet
2012

Innehåll

1 Introduktion	5
1.1 Bakgrund	5
1.2 Syfte och mål	5
1.3 Avgränsning	5
2 Metoder	5
2.1 Områdesbeskrivning	5
2.2 Klimatdata	6
2.3 Energidata	6
2.4 Modellering	6
2.5 Figurer och tabeller	6
3 Områdesbeskrivning	6
3.1 Geologi	7
3.2 Hydrogeologi	7
3.3 Klimat	8
4 Förnyelsebar geoenergi.....	8
4.1 Geotermi	8
4.1.1 Problematik och miljökonsekvenser	9
4.2 Geoenergi	9
4.2.1 Passiv geoenergi	10
4.2.2 Aktiv geoenergi	10
4.2.3 Viktiga förutsättningar	11
4.2.4 Problematik och miljökonsekvenser	13
4.2.5 Rättsliga aspekter	14
5 Utvärdering av möjligheterna i Kallerstad.....	14
5.1 Energidata	14
5.1.1 Isanläggningar	14
5.1.2 Fotbollsstadion	14
5.2 Modellering	14
5.2.1 Modellering ATES	15
5.2.2 Modellering BTES	15
6 Diskussion	16
6.1 Felkällor och fortsatta utredningar	18
7 Slutsats	19
8 Tack.....	19
9 Referenser	19
Bilagor.....	22
A Profiler	22
B Kartor	23
C Brunnsdata	24
D Jordartsdata	25
E Energidata	26
F EED modelleringsdata	27

Omslagsbild: Borrhålslager. Källa: Geotec.

Förutsättningar för geoenergi till idrottsanläggningar i Kallerstad, Linköpings kommun: En förstudie

ALBIN PETERSSON

Petersson, A., 2012: Förutsättningar för geoenergi till idrottsanläggningar i Kallerstad, Linköpings kommun: En förstudie. *Examensarbeten i geologi vid Lunds universitet*, Nr. 320, 30 sid. 15 hp.

Sammanfattning: Tack vare solen och geotermisk värme har marken två naturliga källor till värmeenergi, och p.g.a. trögheten att ändra temperatur har marken en jämnare temperaturvariation än luften. Detta är gynnsamt för den som vill utnyttja geoenergi. Detta är en förnyelsebar energikälla som fått allt mer uppmärksamhet på marknaden de senaste åren.

Under begreppet förnyelsebar geoenergi ligger två olika metoder; geotermi och ”vanlig” geoenergi. Geotermisk energiutvinning baseras på att utnyttja den värme som bildas inne i jorden, huvudsakligen genom radioaktivt sönderfall. Eftersom temperaturerna i jorden strävar efter jämvikt flödar den bildade värmen utåt mot markytan. Detta ger upphov till en geotermisk gradient vilken innebär att markens temperatur successivt ökar från markytan in mot jordens mittpunkt. För att utnyttja geotermi borrar ett eller flera hål i marken varifrån varmt geotermalvatten pumpas.

”Vanlig” geoenergi utnyttjar den övre delen av marken vilken i större utsträckning påverkas av solens och mindre av det geotermiska flödet. Systemen kan utformas på flera olika sätt. Energin kan dels hämtas genom att värmeväxlare, eller så kallade kollektorer, förs ner i marken. Genom att cirkulera en vätska i kollektorerna hämtas sedan värme eller kyla från berget alternativt jorden beroende på vilket som är lämpligast att utnyttja. Ett mer effektivt alternativ till att utnyttja kollektorer är att använda grundvatten. Grundvattnet ändrar, liksom marken, temperatur långsammare än luften. Genom att pumpa grundvatten från en eller flera brunnar och utvinna detta vatten på energi behövs ingen värmeväxling mellan mark och kollektorer.

En viktig del i valet av geoenergilösning är de geologiska villkoren. Även om grundvattenmetoder i regel är mer effektiva går de inte alltid att tillämpa p.g.a. brist av tillgängliga akvifärer. Till de geologiska faktorerna tillkommer även flera miljömässiga och juridiska aspekter. Som följd av alla de faktorer som måste bejakas är det vitalt med förundersökningar innan geoenergisystem anläggs.

I Kallerstad, Linköpings kommun, ligger idrottsanläggningar som är i behov av både värme och kyla. Från kylmaskiner bildas överskottsvärme som i dagsläget släpps ut till ingen nytta. Förfarandet har uppmärksamats i denna rapport vilken sammanställts för att ge anläggningarna ett mer miljövänligt och kostnadseffektivt alternativ till energikälla. Resultatet är baserat på litteratur och redogör om förutsättningarna för dessa anläggningar att använda geoenergi.

Slutsatsen av detta arbete är att den mest effektiva geoenergimetoden med de rådande förutsättningarna är ett borrhållager. Några beräkningar på kostnad och utsläpp har inte gjorts, men undersökningen pekar på att systemet kommer kunna drivas med framgång. Ännu återstår emellertid flera undersökningar som måste genomföras innan ett geoenergisystem anläggs. Klart står dock att systemet endast bör dimensioneras för att täcka energibehovet hos de studerade isanläggningarna, den undersökta fotbollsstadion har i dagsläget låg potential att etablera ett effektivt geoenergisystem.

Nyckelord: Geoenergi, BTES, ATES, akvifär, grundvatten, energibrunn

Handledare: Malva Abugor-Ahlkrona, Mikael Erlström

Ämnesinriktning: Berggrundsgeologi

*Albin Petersson, Geologiska institutionen, Lunds universitet, Sölvegatan 12, 223 62 Lund, Sverige.
E-post: albp594@hotmail.com*

Possibilities for geothermal energy to sport facilities in Kallerstad, Linköping: Feasibility study

ALBIN PETERSSON

Petersson, A., 2012: Possibilities for geothermal energy to sport facilities in Kallerstad, Linköping: Feasibility study. *Dissertations in Geology at Lund University*, No. 320, 30 pp. 15 hp (15 ECTS credits)

Abstract: Because of the sun and geothermal heat the ground has two natural recourses for heat energy, and since the ground changes temperature slower than the air it has a more even temperature fluctuation. This is positive for the use of geothermal energy which is a renewable method that has been given more attention lately due to its positive environmental effects.

The term renewable geothermal energy includes two different methods, shallow and deep geothermal energy. Deep geothermal energy is based on utilization of the heat produced inside the earth, mainly due to radioactive decay. Because the temperatures in the earth want to be balanced the heat flows towards the earth surface. This results in a geothermal gradient which means that the temperature progressively gets higher further in towards the earth core. To utilize deep geothermal heat a hole is drilled from which warm geothermal water is taken.

Shallow geothermal heat utilizes the upper part of the ground which is more affected by the sun and less by the geothermal flow. The systems can be designed in more than one way. The energy can be transported from the ground by providing it with collectors. By circulating a fluid in the collectors heat or cold is obtained and can be distributed to a needing facility. A more effective alternative to collectors is utilizing of groundwater. The groundwater changes, just like the earth, temperature slower than the air. By taking the water directly from the ground and extract the energy from it, no collectors is needed.

An important part in the choice of solution is the geological factors. Even if groundwater methods are a more effective solution it can't be applied all the times because of the lack of aquifers. To this all the environmental and juridical factors shall be considered when selecting method. As a consequence of all the things that has to be considered it is important to make a feasibility study before the geothermal system is being built.

In Kallerstad, Linköping, sport facilities which are in demand of both heat and cold are located. When the cooling machines are running excess heat is created. This heat is today released into the outside air for no use. The situation has been given attention and has resulted in this essay which aims to give the facilities an alternative for energy source that both makes the environment better and lower the energy costs. The essay is based on literature and describes the possibilities for the investigated buildings to cover their energy demand with geothermal methods.

The conclusion from this work is that the most effective alternative in this case is a borehole thermal energy storage. Any calculations on costs or emissions have not been done, but the investigation implies that the system will be successful. However, some things remains to be investigated before any constructing of the system can start. What clearly can be said though is that the system only should be fitted to support the studied ice facilities with their energy demand, the investigated soccer stadium has, as it appears today, low potential to cover its energy demand with geothermal heat.

Keywords: Geothermal energy, BTES, ATEs, aquifer, groundwater, energy well

*Albin Petersson, Department of Geology, Lund University, Sölvegatan 12, SE-223 62 Lund, Sweden.
E-mail: albp594@hotmail.com*

Ordförklaringar

Akvifär	Grundvattenmagasin med tillräcklig lagringskapacitet och genomsläpplighet för utvinning i användbara mängder.
COP	Coefficient of Performance (värmefaktor)
Payback tid	Återbetalningstid
UTES	Underground Thermal Energy Storage
BTES	Borehole Thermal Energy Storage
ATES	Aquifer Thermal Energy Storage
TRT	Termiskt responstest
HK	Högsta kustlinjen
MG	Marina gränsen
MB	Miljöbalken
PBL	Plan- och bygglagen

1 Introduktion

1.1 Bakgrund

Dagens samhälle kämpar ständigt med miljöproblem och frågan om hur en hållbar utveckling ska kunna upprättas. En viktig del för att förbättra vår miljö är att övergå till en större andel förnyelsebara energikällor. Förnyelsebara energikällor har haft en stor effekt på den globala marknaden under de senaste åren och spelar en viktig roll i arbetet att minska halten koldioxid i luften (Blum et al. 2010).

En av de förnyelsebara energimetoder som finns på marknaden är geoenergi vilken kan användas för att både kyla och värma fastigheter (Blum et al. 2010). Geoenergi innebär att man tar ut termisk energi från marken, distribuerar den till en fastighet, och på så sätt täcker en del av det energibehov som finns. Därigenom kan geoenergi vara en lönsam affär inte bara för miljön utan även ur ekonomisk synvinkel (Andersson et al. 2009).

De fördelar som geoenergi medför har lett till en anmärkningsvärd tillväxt på den svenska marknaden, och enligt Andersson et al. (2009) bidrar geoenergi med ca 12-15 % av den totala uppvärmningen av svenska bostäder och lokaler. Detta tack vare en stor forskningsinsats av byggforskningsrådet mellan 70- och 90-talet vilket ledde till Sverige blev ett ledande land inom branschen. Trots detta är politiker och myndigheter dåligt upplysta om tekniken, mycket p.g.a. att den nyttiggjorda energin inte syns i den offentliga energistatistiken. Denna kunskapsbrist hämmar utvecklingen av geoenergi, och tillhörande branschorganisationer får kämpa hårt för att marknadsföra sig (Andersson et al. 2009).

Geoenergi är ett samlingsbegrepp av flera metoder vilka har gemensamt att de utnyttjar marken för att tillgodose ett energibehov. Vilken metod som lämpar sig till respektive projekt beror av flera faktorer, huvudsakligen storlek på energibehovet samt områdets geologi. Till följd av detta krävs förundersökningar av fastigheterna och geologin innan anläggandet av ett geoenergisystem kan påbörjas (Andersson et al. 2009).

I Linköping byggs idag en fotbollsarena som be-

räknas stå klar till hösten 2012. Stadion kommer behöva tillgodose med värme under hela året, dels för att värma lokaler men också för att hålla igång de värmeslingorna som anläggs under fotbollsplanen. I dagsläget är fastigheten inte projekterad för något kylbehov (Fridell 2012b). I närheten av fotbollsstadion ligger Stångebro sportfält där en bandyanläggning och tre isanläggningar är belägna. Fastigheterna har ett kylbehov för att producera isen till banorna, men även ett värmebehov för att hålla en behaglig inomhustemperatur (Torrestam 2012b).

1.2 Syfte och mål

Syftet med denna rapport är att undersöka förutsättningarna för ett gemensamt geoenergisystem mellan isanläggningarna och fotbollsstadion och därigenom finna ett sätt att minska energikostnaderna och miljöbelastningen från de berörda fastigheterna. Målet har varit att, med den datakvalitet som finns att tillhandahålla, finna ett så optimalt geoenergisystem som möjligt.

1.3 Avgränsning

Denna rapport baseras på befintlig information, alltså är några omfattande fältundersökningar inte gjorda. Rapporten är ett examensarbete (15 hp) inom geologi och fokuserar därför på de geologiska faktorer som är avgörande för geoenergi. Beräkningar på effektivitet, kostnader och utsläpp har således inte gjorts i någon större utsträckning.

2 Metoder

2.1 Områdesbeskrivning

För att kunna genomföra ett projekt som detta måste information om områdets karaktär erhållas, huvudsakligen i form av geologi, hydrogeologi och markens känslighet (djur- och växtliv etc.). Andra aspekter som bedöms vara av vikt är platsens framkomlighet, bebyggelse och avstånd mellan platser som kan påverka eller påverkas av projektet. Informationen till områdesbeskrivningen har tillkommit genom en okulär besiktning av platsen, kartor samt litteratur som inhämtats från internet. Avståndsbedömningar är gjorda med hjälp av den karttjänst som finns på hitta.se.

Eftersom valet av geoenergilösning baseras på marken i området har en geologisk modell framställts. Modellen grundas på geologisk och hydrogeologisk information som hämtats från SGU:s geologiska kartor (jordartskarta, berggrundskarta och hydrogeologisk karta över Linköping NO) och beskrivningarna till dessa. SGU:s geologiska berggrundskarta är framställd genom fältobservationer av exponerade hållar. Eftersom hållarna bara förekommer sporadiskt har bergartsgränserna dragits godtyckligt (Gorbatshev et al. 1976). De jorddjup och lagerförhållanden som redovisas på SGU:s jordartskarta baseras på data från undersökningar utförda av Linköpings kommun och VIAK

AB samt borrhningar som gjorts av statens vägverk och SGU (Fromm 1976). Uttagskapaciteter i berggrund redovisade i SGU:s hydrogeologiska karta grundas på uppgifter från bergborrade brunnar och anger mediankapaciteten för flera brunnar i samma bergart. Uttagskapaciteten i jordlagren är uppskattade utifrån jordartstyp (Müllern & Pousette 1980).

För att bedöma jorddjup har förutom jordartskartan även brunnarsarkivet på SGU:s hemsida samt data från geotekniska undersökningar utförda av Stadspartner AB i Linköping använts. Det geotekniska materialet innehåller punktdata om jordarter och jorddjup. I brunnarsarkivet är djup till berggrundsytan registrerat för de brunnar som är lokaliserade på området. För att kunna framställa en geologisk modell behövs även höjduppgifter angående områdets topografi. Topografisk data har erhållits från Google Earth.

2.2 Klimatdata

Redovisad medeltemperatur för Linköping är ett beräknat medelvärde från klimatstationer som noterar ortstemperaturen för åren 1931-1990, 1993-2005 och 2007-2010. Beräknat antal dagar med snötäcke är ett medelvärde av det som registrerats mellan år 1961-1990 (SMHI 2009b).

2.3 Energidata

För att kunna beräkna storleken på geoenergisystemet har fastigheternas energidata i form av effekter, energimängder och temperaturnivåer analyserats. De energidata som presenteras i denna rapport är hämtade från energirapporter och personliga möten med energi-ansvariga för respektive fastighet. Energidata för isstadion är uppmätt data statistiskt redovisad från hela år 2011 samt januari och februari månad 2012 (Torrestam 2012b). Energidata för fotbollsstadion är beräknade värden som tagits fram av ansvariga VVS-konsulter (Fridell 2012b).

2.4 Modellering

För att kunna motivera vilken geoenergilösning som är bäst lämpad för området har en beskrivning av de olika alternativen gjorts. Beskrivningen innefattar hur de olika systemen fungerar, vilka parametrar som avgör systemets effektivitet och lönsamhet samt den problematik och miljöpåverkan som lösningarna kan medföra. Informationen till beskrivningen är i första hand erhållen från en litteraturstudie där böcker, tidigare utredningar och facklitteratur utnyttjats. Med all data tillhanda har beräkningar och modelleringar kunnat göras för alternativa geoenergisystem. För akvifärssystemet är detta gjort med en enkel beräkning på behovet av pumpkapacitet (1 & 2) samt en beräkning av vilken volym akvifär om behövs (3):

$$P = E_{\max}/\Delta T \quad (1)$$

$$Q = P/(C_v * \Delta T) \quad (2)$$

$$V = E_{\text{tot}}/(C_a * \Delta T) \quad (3)$$

C_v	Vattnets effektkonstant [kW/l/s/°C]
t	Tid [h]
Q	Vattenuttag [l/s]
P	Effekt [kW]
ΔT	Temperaturförändring [°C]
E_{\max}	Totalt lagrad mängd energi under en månad [kWh]
E_{tot}	Den maximala mängden lagrad energi [kWh]
C_a	Akvifärens värmekapacitet (sand- och grusakvifär) [kWh/m ³ /°C]
V	Volym akvifär [m ³]

2.5 Figurer och tabeller

De figurer och tabeller som saknar referenser är framställda på egen hand. Både modifierade och egenproducerade figurer är illustrerade med hjälp av dataprogrammet Inkscape. Redovisade tabeller har framställts i Excel.

3 Områdesbeskrivning

Området för undersökningen ligger i stadsdelen Kallerstad strax öster om Linköpings innerstad. Fotbollsstadion och isanläggningarna ligger på ca 700-800 m avstånd från varandra, se figur 1.

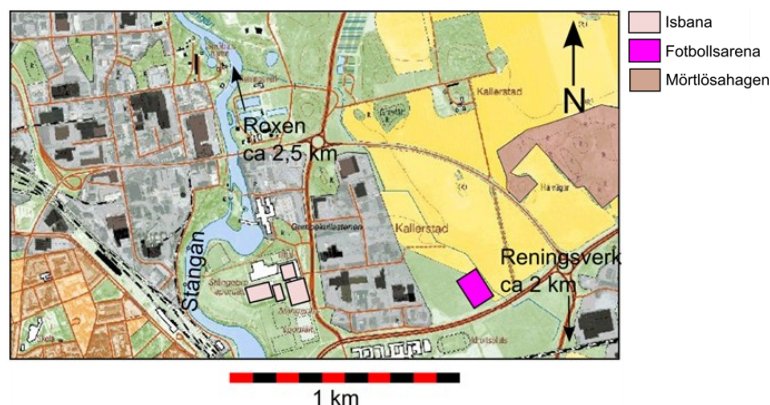


Fig. 1. Översiktskarta över undersöksområdet. På kartan är isanläggningarna, fotbollsarenan samt Mörtlösahagen utmarkerat. Kartan är modifierad från Länsstyrelsen Östergötland (2012).

Fotbollsstadion förmodas bli betydande för Kallerstads tillväxt, och området förväntas exploateras kraftigt av bostäder och lokaler för kontor eller handel de närmsta åren (Linköpings kommun 2011a). I dagsläget är området kring bygghuset kallt med enstaka byggnader i närområdet (Linköpings kommun 2010).

Isanläggningarna är en del av Stångebro sportfält vilket innebär att de ligger på ett område med kontinuerlig aktivitet. På sportfältet finns förutom de berörda isanläggningarna även en fastighet som främst brukas för racketsport. Kring anläggningarna finns asfaltsbelagda ytor samt grönområden vilka delvis utnyttjas till andra idrottsaktiviteter såsom fotboll. Strax väster om sportfältet rinner vattendraget Stångån som mynnar i sjön Roxen ca 3,5 km norrut. Stångån och närområdet kring vattendraget är värdefulla naturplatser och livs-

miljöer för många växt- och djurarter (ALcontrol Laboratories 2005).

I Kallerstad finns inga av stadens 20 reservat (nationalpark, naturreservat, kulturresevat, naturminne, biotopskyddsområde, djur- och växtskyddsområde, miljöskyddsområde, vattenskyddsområde eller natura-2000 område) som skyddas av lagstiftning, dock gäller strandskyddslagen kring Stångån. Det närmst belägna naturvärdet utöver Stångån är Mörtlösahagen som ligger öster om Kallerstadsleden, se figur 1. Detta är ett kommunalt intresseområde som ingår i kommunens naturvårdsprogram. Mörtlösahagen har en artrik flora varav många är sällsynta i trakten, och i området finns även rikligt med fornlämningar (Linköpings kommun 2003; Länsstyrelsen Östergötland 2012).

3.1 Geologi

Berggrunden i Kallerstad består i huvudsak av prekambrikt urberg i form av grovporfyrisk Smålandsgranit. Övriga bergarter utgörs av mindre lokaler bestående av leptit samt enstaka diabasgångar riktade NNO-SSV riktning. Leptiterna är företrädesvis intermediära eller basiska och har en låg andel kvarts. Diabaserna är små och bredden uppgår vanligtvis endast till ett fåtal meter. Berggrundsytan har en tämligen flack stupning jämt emot Linköpings grannkommuner (Fromm & Gorbatshev 1974; Gorbatshev et al. 1976)

Jordlagren i Kallerstad domineras av glaciala och postglaciala leror. Den postglaciala leran uppnår dock ingen betydande mäktighet jämfört med den glaciala leran. I beskrivningen till jordartskartan Linköping NO

av E. Fromm (1976) poängteras en sporadisk förekomst av läsidesmoräner inom kartbladet. I Kallerstad är dessa i regel små och lokaliserade på den sydliga eller sydostliga sidan av uppstickande hällar. SGU:s jordartskarta antyder enstaka lokaler med sand eller grus under leran, men det normala är att leran ligger ovanpå morän. Moränen består av sand-silt fraktion men innehåller även en del lera, halten är dock för låg för att jordarten ska klassificeras som lerig morän. Moränen har en sammansättning som motsvarar innehållet i det urberg den överlagras. Omkring 700 m norr om isanläggningarna består marken av fyllnadsmaterial, innehållet är ej specificerat. Jordartskartan visar att fyllnadsmaterialet avgränsas från isanläggningarna och fotbollsstadion av en bergklack.

De sporadiskt uppstickande hällarna vittnar om ett varierat jorddjup. Mätningar visar att djupet på många ställen uppgår till över 5 m, men sällan över 10 m, se figur 2 eller bilaga A (Fromm 1975, 1976). En sondering utförd av F. Stenqvist (okänt årtal) visar dock att mäktigheten på de lösa avlagringarna runt isanläggningarna varierar mellan ca 9 och 19 m. Vid fotbollsstadion uppgår jorddjupet till ca 11 m (Hydén 2009).

Väster om Stångån ligger ett åsstråk som börjar mitt inne i stadskärnan och sträcker sig åt nordväst. Inne i staden utgör den ett flackt välvt fält, ca 10 m mäktigt och med en dominerande fraktion av finsand. Åsen övergår norrut till en mer utpräglad ryggbform som till viss del exploaterats och återfyllts av bl.a. avfall. Beräkningar gjorda av SGU visar att åsen har en total volym 18,7 miljoner m³. Under åsen ligger en stenblockig moränliknande jordart. (Fromm 1975, 1976).

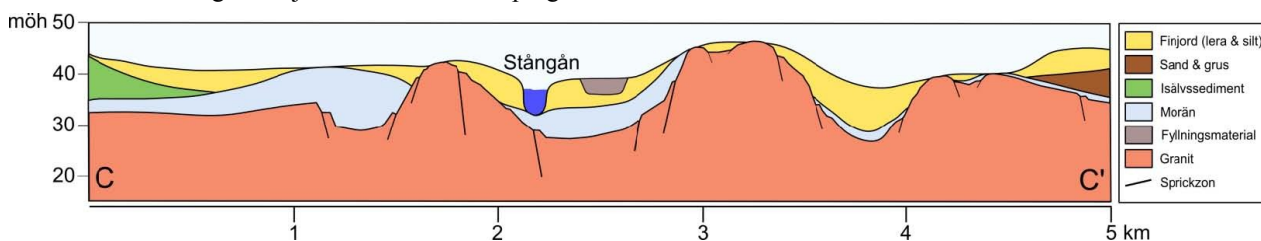


Fig. 2. Geologisk profil över området. Profilriktningen är markerad på karta A i bilaga B. Bilden är baserad på information som finns i bilaga B-D.

3.2 Hydrogeologi

Enligt beskrivningen till den hydrogeologiska kartan 8F Linköping NO finns Kallerstads största grundvattentillgång i urberget (smålandsgraniten). Bergarten har enligt uppgifterna en pumpkapacitet på 2000-6000 l/h och är med detta betydligt bättre än syeniten hydrogeologiskt sett. Grundvattentillgången i det kristallina berget är dock helt beroende på sprickfrekvens och sprickriktningar och varierar därför kraftigt. (Müllern & Pousette 1979, 1980). Den övervägande delen av vattenföringen i berg är normalt lokaliserad till ett fåtal sprickzoner. Den största chansen att finna en god vattenomsättning är i långa uthålliga sprickzoner eftersom dessa sannolikt är sammankopplade med ett större antal vattenförande sprickor än korta sprickzoner. Som kartorna i bilaga B visar finns det

flera utpräglade sprickzoner i Kallerstad vilka således bör vara vattenförande. Detta är emellertid inte hela sanningen eftersom en sprickzon inte betyder att berget är mycket sprucket, bara att det är mer sprucket än kringliggande bergmassa. En kraftigt påverkad sprickzon benämns krosszon vilket därför är ett mer talande uttryck (Gustafsson 2009).

Vad gäller de kvartära avlagringarna är det framförallt de grovkorniga jordarterna som kan betraktas som akviferer. Uttagskapaciteten i de leriga jordarna är minimal. Detta innebär att de viktigaste grundvattenförande avlagringarna i området utgörs av isälvsavlagringar, läsidesmoräner och friktionsjordar i förkastningsdalar. Läsidemoränerna är små och har uttagskapaciteter som lämpar sig för enstaka hushåll. Förkastningsdalarnas avlagringar är löst packade och har ett

stort tillströmningsområde. Om dessa friktionsjordar är tjocka kan uttagsmöjligheterna av vatten därför förväntas goda. Den hydrogeologiska kartan visar dock att de största uttagsmöjligheterna ur kvartära avlagringar finns i området strax väster om Stångån (1-5 l/s). Området sammanfaller med det som i jordartskartan är markerat som isälvsavlagring (Müllern & Pousette 1979, 1980). Bortsett från i åsen är varken grundvattenytan eller grundvattnets strömningsriktning definierat i något av SGU-materialen. Åsens grundvattenförhållanden skiljer sig troligtvis från övriga vattenförande lager i området. I åsen sker grundvattenströmningen i formationens längdriktning från SO till NV (Müllern & Pousette 1979). Med hänsyn till Stångåns närhet är det dock rimligt att anta att marken i övrigt har en vattenströmning i riktning mot vattendraget. Närheten till Stångån och områdets plana topografi innebär sannolikt även en lokalt ytlig grundvattennivå (Gustafsson 2009). Grundvattenbildningen i området är ungefär 100 mm/år (SMHI 2009a).

Linköping ligger under högsta kustlinjen (HK), dvs. har en gång i tiden varit täckt av hav, men över den marina gränsen (MG) vilken markerar de områden som har varit täckta av salt hav. Eftersom staden ligger långt från havet innebär detta att saltvatten med ursprung från det marina endast bör förekomma på stora djup (SGU 2008). De kommunala dricksvattentäkterna utnyttjar ytvatten, bl.a. från Stångån. Kommunen har alltså inga täkter som använder grundvatten. Ytvattnet renas i reningsverket Råberga som ligger ca 2 km uppströms Kallerstad (söder) (Johansson 2012; Tekniska Verken 2012).

3.3 Klimat

Linköping har en genomsnittlig årsmedeltemperatur på 6,2°C (Linköpings kommun 2011b) och i snitt mellan 75-100 dagar med snötäcke per år (SMHI 2009b).

4 Förnyelsebar geoenergi

I marken finns en naturlig värme som beror på värmeförsel från två olika källor, jordens inre och solenergi. Som en följd av radioaktivt sönderfall av uran, thorium och kalium inuti jordklotet skapas en massiv värmeproduktion. Värmen strävar efter jämvikt och strömmar med hjälp av konvektionsrörelser i manteln utåt mot jorden yttre delar. När den geotermiska värmen strömmar ut mot jordytan avtar effekten kontinuerligt. Detta ger upphov till en så kallad geotermisk gradient vilken innebär att temperaturen blir högre längre in mot jordens mitt, d.v.s. värmeeffekten stiger. För värmeförsel som sker från solen gäller dock det omvända, d.v.s. energitillskottet är som störst vid markytan och avtar sedan mot djupet. Effekten från solinstrålning avgörs av flera faktorer och är i högsta grad beroende av vilken latitud man befinner sig på. I jämförelse med det geotermiska värmeflödet är dock effekten från solinstrålningen alltid förhållandevis stor på jordytan. I motsats avgörs värmeeffekten allt mer av den geoter-

miska gradienten och mindre av solenergi desto djupare ner i marken man kommer (Lindblom 1978).

Generellt gäller att solenergin når ungefär 10 meter ner i marken och att temperaturen på denna nivå är ungefär samma som årsmedeltemperaturen för området i fråga (Hallström 2011). Dock finns flera aspekter som avgör marktemperaturen. Vinterns snötäcke isolerar marken och gör att mindre värme avges när luften är kall. Av denna anledning läggs ca 1,2–1,5 °C till för varje 100 dagar som området är snötäckt när man beräknar marktemperaturen. Därtill har markegenskaper, marktäcket (barmark, vegetation etc.), vind, lufttemperatur, luftfuktighet och regn en väsentlig betydelse för markens temperatur. Påverkan från detta är emellertid mer svårkalkylerat (Florides & Kalogirou 2007).

Mängden värmeenergi som strömmar genom ett berg (värmeledningsförmågan) beror på bergets termiska konduktivitet. Denna avgörs i första hand av mineralsammansättning och mineralstruktur, men även sprickor, grundvatten och grundvattenrörelser spelar en betydande roll. Allmänt gäller dock att ett högt kvartsinnehåll medför hög termisk konduktivitet. Värmeflödet beräknas genom att multiplicera den termiska gradienten med markens konduktivitet. Detta betyder alltså att kvartsrika bergarter såsom sandsten har ett högt värmeflöde jämfört med bergarter som innehåller mycket lera och/eller organiskt material (Florides & Kalogirou 2007; Hellström 2009).

Terminologin inom geoenergi är tvetydlig. Olika branschorganisationer använder begreppet geoenergi på olika sätt, och därför kan det vara svårt att veta vad som avses. I denna rapport har geoenergi valt att delas in enligt figur 3.

4.1 Geotermi

Geotermisk energiutvinning innebär att man utnyttjar den värmeproduktion som pågår i jordens inre. Som ovan nämnts beror den geotermiska gradienten huvudsakligen på sönderfall av radioaktiva isotoper. En avgörande faktor för den potentiella värmeförselningen är hur värmen transporteras uppåt. De konvektionsströmmar som transporterar värmen i manteln cirkulerar i nästan helt regelbundna banor med en koncentrerad uppåtgående ström som sedan divergerar utåt och förlorar intensitet. Områden som ligger ovan uppåtgående konvektionsströmmar, t.ex. randzoner såsom den atlantiska oceanbottenryggen, får därför en avsevärt större geotermisk gradient jämfört med andra områden. I den yttre delen av jordskorpan transporteras värmen antingen genom konvektion eller konduktion. Om det finns ett vätskeförande lager kommer det vatten som finns nederst i akvifären att värmas, stiga uppåt och skapa en temperaturutjämnning i lagret. Fördelningen sker då precis som i manteln genom konvektion. Lager nära markytan kommer genom denna process att få en högre temperatur än om konvektion inte ägt rum. Om det inte finns någon möjlighet för konvektion genom lagret sker värmeförtransporten ge-

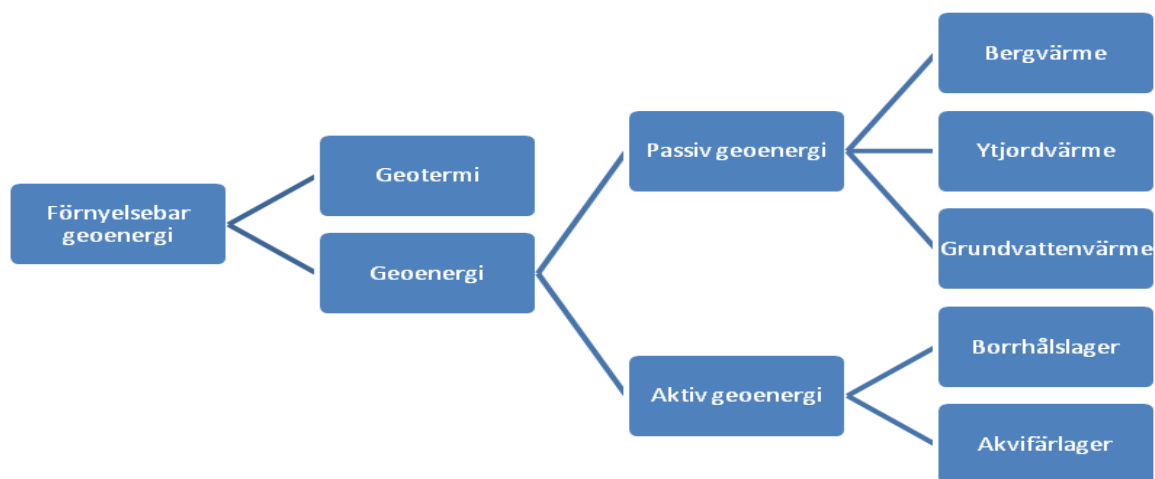


Fig. 3. Begreppet förnyelsebar geoenergi är inte helt definierat vilket lätt åstadkommer förvirrande. I detta arbete har begreppet delats in i undergrupper enligt figuren ovan vilken baseras på Lindblom (1978); Andersson et al. (2009).

nom konduktion, d.v.s. som en följd av bergets värmeledningsförmåga (Lindblom 1978).

Ett geotermisystem går ut på att man pumpar ut geotermalvatten (varmt vatten eller vattenånga) från brunnar och utnyttjar den energi som finns i vätskan. Vattnet återförs sedan till formationen genom injektionsbrunnar eller återförs till närliggande vattendrag. De brunnar som borrar är förhållandevis djupa och således även dyra. Detta innebär att det måste finnas en akvifär tillgänglig med stor uttagskapacitet, ex porös och permeabel sandsten, på stort djup så att höga temperaturer uppnås för att ett geotermisystem ska vara lönsamt. Dessa förutsättningskrav gör att användandet av geotermisystem är väldigt begränsat i Sverige (Lindblom 1978).

4.1.1 Problematik och miljökonsekvenser

Geotermalvatten som pumpas från produktionsbrunnarna innehåller normalt höga halter av ämnen som kan vara problematiska ur både produktionssynpunkt och miljösynpunkt. Till dessa ämnen hör kalk, salt, kvarts, järnsulfid och flusspat. Ämnena är lösta i vattnet vid det tryck och temperatur som råder djupt ner i marken, men när vattnet pumpas upp till markytan sker en tryckminskning vilket ökar risken för att ämnena fälls ut som beläggningar och därmed täpper till foderrör och/eller porsystemet i akvifären. Detta leder till ett successivt större produktionstapp. Igensättningar är även vanligt i värmeväxlare eftersom ämnenas löslighet också minskar då temperaturen sjunker (Lindblom 1978).

Geotermalvatten innehåller även svaveldioxid, svavelväte och kolsyra. Om koncentrationen av dessa ämnen är hög ökar risken för korrosion på de anordningar som leder vattnet. Korrosionen förvärras i hög grad om ämnena kommer i kontakt med syre, och därför är ett syrefritt system av yttersta vikt. Finns det kvalitetsbrister på rörledningar eller foderrör kan geotermalvatten läcka ut och kontaminera färskt grundvattnet (Lindblom 1978).

Geotermalvattnet som innehåller mineralhalter

över vanligt färskvatten måste återinjekteras i brunnar eftersom det betraktas som kontaminerat. Om vattnet tas om hand på annat sätt än återinjektion måste riskerna för marksättningar och jordskalv beaktas eftersom marken utarmas på vatten (Lindblom 1978).

4.2 Geoenergi

Geoenergi innebär att man utnyttjar solenergi som lagras i marken. Tillskottet från jordens inre beräknas vara under 5 % (Andersson et al. 2009). Eftersom jord och berg ändrar sin temperatur långsammare än luften är marken varmare än luften under vintern och kallare än luften under sommaren. Energiutvinningen kan ske på flera olika sätt och väljs utifrån rådande energibehov och geologiska förutsättningar. Teknikerna delas in i passiva och aktiva metoder. Passiv geoenergi innebär att endast den värme som finns naturligt i marken genom lagring från solen utnyttjas. När värmen tas upp kyls marken ner, men under sommaren återlagras marken igen tack vare solens energitillförsel. Med aktiv geoenergi avses att man tar ut både värme och kyla från samma geoenergisystem (Hellström & Sanner 2000; Barth 2010). I och med detta förstärks återladdningen, och genom denna process kan säsongslagring av värme och/eller kyla ske.

Den värme som tas upp från geoenergisystemen har normalt för låg temperatur för uppvärmningsändamål. Därför behövs en värmepump så att tillräckligt högvärdig värmeenergi uppnås (Hallström 2011). I värmepumpen cirkulerar en köldbärare som transporterar värmen. Genom att höja och sänka trycket på fluiden förändras fasen och temperaturen hos den, se figur 4. Värmepumpen kan även användas omvänt för att sänka temperaturer men kallas då för kylmaskin (Areskou & Eliasson 2007).

För att driva kompressorn i värmepumpen krävs ett tillskott av energi i form av elektricitet. Den totala värmeenergin (nyttiga energin) blir därför den tillförda energin från geoenergisystemet plus den tillförda elektriciteten till kompressorn. Eftersom den tillförda elektriciteten är köpt energi bör denna hållas så låg

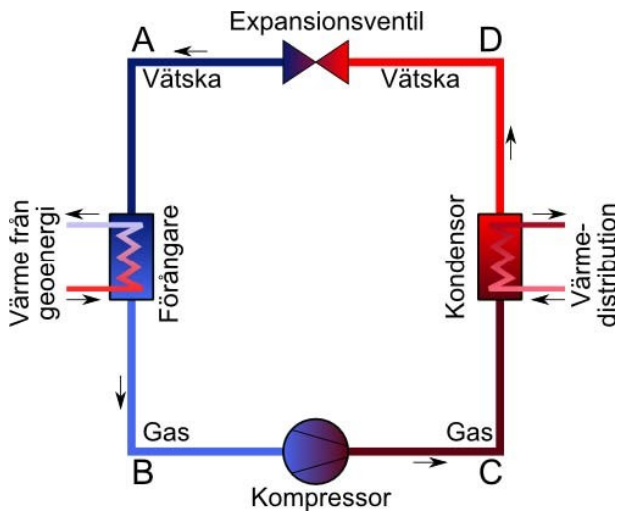


Fig. 4. Beskrivning av en värmepump:

- Fluiden har passerat expansionsventilen och har låg temperatur och är i flytande form,
- I förångaren värms fluiden upp av den värme som transporterats från geoenergisystemet. Därmed övergår vätskan till gasform,
- I kompressorn komprimeras gasen vilket gör att temperaturen ökar,
- Värmen distribueras till avsett värmesystem. Därefter transporteras fluiden vidare till expansionsventilen och processen börjas om på nytt.

Figuren är baserad på Areskoug & Eliasson (2007)

som möjligt relativt den tillförda värmeenergin. Som ett mått på detta talar man om värmefaktor, eller COP (Coefficient of Performance), vilken beskriver sambandet mellan den utvunna energin och den köpta energin (Areskoug & Eliasson 2007).

$$\text{COP} = E_{\text{nyttig}}/E_{\text{tillförd}}$$

$$E_{\text{nyttig}} = E_{\text{mark/vatten}} + E_{\text{tillförd}} \quad (\text{Hallström 2011})$$

Ex. COP = 3 innebär att 2/3 av värmen kommer från marken och 1/3 av värmen kommer från värmepumpen.

I alla energisystem finns det en toppeffekt vilken i regel endast behövs en kortare period av året. Om ett geoenergisystem ska anpassas så det täcker toppeffekten blir det därför en väldigt olönsam dimensionering. Detta då systemet blir större och får högre kostnader samtidigt som den positiva effekten är liten. Därför rekommenderar Svenska Värmepumpsföreningen (SVEP) att systemen dimensioneras för 60-75% av det högsta effektbehovet. Detta innebär emellertid att systemet normalt ändå kan täcka ca 90% av energibehovet.

4.2.1 Passiv geoenergi

Globalt sett finns det tre olika typer av passiv geoenergi som är riktigt beprövade; bergvärme, ytjordvärme och grundvattenvärme. Bergvärme och ytjord-

värme är lämpligast på mindre fastigheter såsom villor medan grundvattenvärme helst används i storskaliga projekt. Grundvattenvärme är den effektivaste metoden (högst COP) och har kortast payback tid (Andersson et al. 2009).

4.2.1.1 Bergvärme

En brunn borrar och förses med slangar, s.k. kollektorer. I kollektoreorna cirkulerar ett köldmedium som tar upp värme från borrhålet och transporterar den vidare. Det uppvärmda köldmediet förs vidare till en värmväxlare där den avger sin värme, och därefter tillbaka till borrhålet. Vissa bergvärmesystem används även för komfortkyla sommartid vilket då värmer upp borrhålet och ökar effektiviteten vid uppvärmning. (Energimyndigheten 2010; Hallström 2011).

4.2.1.2 Ytjordvärme

Kollektorer anläggs utmed ett horisontellt plan ca 1 m under markytan. Värme överförs till köldbärarvätskan p.g.a. värmedifferensen mellan jord och kollektorvätska. Värmedifferensen orsakas här av två anledningar, dels av markuppvärmningen från solenergi, men också av isbildningsvärme som avges när vattnet fastförländras (fryser). Ytjordvärme kan inte användas för kylutvinning eftersom det leder till för höga temperaturer i marken (Andersson et al. 2009).

4.2.1.3 Grundvattenvärme

I grundvattensystem används inga kollektorer, istället fungerar vatten som energibärare. Vattnet pumpas upp från en eller flera brunnar och leds därefter till en värmväxlare där den utvinns på värme eller kyla. Efter energiutvinningen återinfiltteras vattnet till grundvattenmagasinet eller leds bort till någon annan lämplig recipient. Vattnet har då en annan temperatur jämt mot vid brunnspumpningstillfället (högre om kylutvinning och lägre om värmeutvinning) (Hallström 2011).

4.2.2 Aktiv geoenergi

Det finns två typer av aktiv geoenergi; borrhålslager (BTES = Borehole Thermal Energy System) och akvifärlager (ATES = Aquifer Thermal Energy Systems). Dessa är s.k. UTES-system (Underground Thermal Energy Storage) vilket innebär att termisk energi lagras under marken. Både borrhålslager och akvifärlager tillämpas i första hand i storskaliga projekt. Akvifärlager är den effektivaste metoden (högst COP) och har kortast payback tid. Gemensamt för båda systemen är att de statistiskt sett är effektivare än de passiva metoderna (Andersson et al. 2003; Andersson et al. 2009).

4.2.2.1 Borrhålslager (BTES)

Genom att borra tätt sittande hål i berggrunden (ca 4-6 m avstånd) skapas en möjlighet att förändra temperaturen hos en större bergmassa. Värme och kyla överförs till eller tas upp från berget genom en köldbärarvätska som cirkulerar i kollektorer vilka monteras i borrhålen. P.g.a. markens termiska tröghet kan energin sä-

songslagras för att utnyttjas vid ett senare tillfälle. Lagret kan utformas både som långtidslager och korttidslager (Andersson et al. 2003; Hallström 2011).

När kyla önskas förs köldbärarvätskan till en kylmaskin som genom kondensationsprocessen värmer upp fluiden. Fluiden förs därför till borrhålslagret där den värmeväxlar med berget, d.v.s. köldbäraren kyls ner och berget värms upp. Värmen lagras i berget och fluiden återförs till kylmaskinen där processen startas om på nytt. När värme önskas sker samma process fast omvänt, d.v.s. värme tas upp och bergmassan kyls ner. Skillnaden är att köldbärarfluiden denna gång förs till en värmepump istället för en kylmaskin, se figur 5 (Hallström 2011).

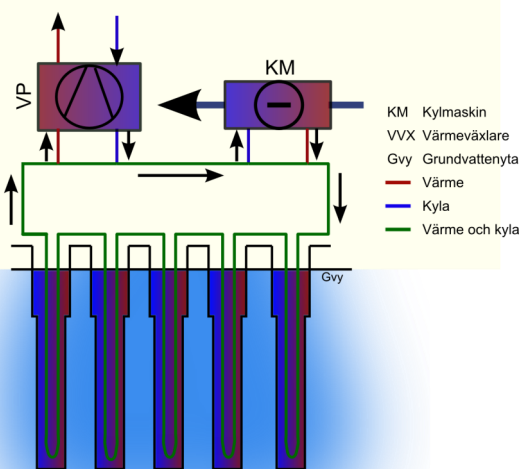


Fig. 5. Beskrivning av ett borrhålslager. Borrhålen sitter tätt bredvid varandra och kyler tillsammans ner en stor volym bergmassa. Figuren är baserad på Andersson et al. (2003).

I Europa används sällan köldmaskiner. P.g.a. det svala europeiska klimatet är temperaturen på köldbärarvätskan tillräckligt låg redan när den kommer ut från borrhålslagret för att kunna kyla byggnader med vanlig värmeväxling. Denna metod är effektivare och ger högre COP eftersom det inte krävs någon elektricitet för att driva en kylmaskin (Andersson et al. 2003).

4.2.2.2 Akvifärlager (ATES)

ATES utnyttjar grundvatten som energibärare. Vatten tas upp från en akvifär och utnyttjas som värme- eller kylmedium. Vattnet återförs därefter till akvifären med en annan temperatur än vid brunnspumpningstillfället. (Andersson et al. 2009).

Det vanliga är att systemet används åt båda hållen, alltså att alla brunnar används för både produktion och infiltration beroende på säsong och energibehov. På detta sätt skapas en varm och en kall sida i akvifären, se figur 6 A-D. Kylning m.h.a. ATES sker företrädesvis som vanlig frikyla vilket innebär att systemet utnyttjas utan kylmaskin (Andersson et al. 2009). Det

har dock genomförts lyckade projekt där man använt en kylmaskin för att nå lägre temperaturer, men COP blir då lägre eftersom det krävs elektricitet för att driva apparaten (Desmedt et al. 2007).

Den varma och den kalla sidan i akvifären skiljs åt av en s.k. temperaturfront. Temperaturfronten förflyttas i akvifären beroende på vilken brunn som pumpas, vid värmeuttag förflyttas temperaturfronten mot den varma brunnen och ökar akvifärens kalla del. Det motsatta sker vid uttag från den kalla brunnen (Nordgaard & Sehlin 2005).

Med ATES kan man säsongslagra värme och kyla både i korta och långa cykler. I beprövade fall har man framgångsrikt även lyckats säsongslagra endast det ena, d.v.s. värme eller kyla, i akvifären. Detta har i första hand handlat om lagrad spillvärme från ex. industrier eller kyla i form av sjövattnet i korttidslager (Hallström 2011)

I Sverige används fyra olika typer av ATES-system. Vilket system som lämpar sig bäst avgörs av områdets hydrologiska och hydrogeologiska förhållanden samt vilket energibehov som finns. I A används grundvattnet till att förvärma eller kyla konditioneringsystem utan hjälp från värmepump. Detta upplägg används i regel bara för ventilering. Upplägg B använder samma princip som A bara att en värmepump används för att boosta upp temperaturerna. System C och D bygger på en helt annan princip, nämligen inlagring av termisk energi från ytvatten. I C lagras värmen under sommartid genom att ytvatten pumpas till en värmeväxlare som överför värme till akvifärsystemet. Det uppvärmda vattnet i akvifärsystemet lagras i den varma brunnen för att kunna utnyttjas vintertid. Det samma gäller för D med skillnaden att allt sker omvänt, d.v.s. att kyla från kallt sjövattnet lagras under vintern för att sedan utnyttjas under sommaren (Andersson et al. 2003).

4.2.3 Viktiga förutsättningar

För alla geoenergianläggningar har markens geologi inverkan på systemets effektivitet. För exempelvis yttjordvärme rekommenderas våta (ej vattenmättade) finkorniga jordar medan fallet för grundvattenvärme och ATES är helt annat. Det mest essentiella för dessa system är att marken har en god potential att utvinnas på en ansevärd mängd vatten, d.v.s. förekomst av akvifärer (Hallström 2011). De bästa förutsättningarna finns i åsar, deltan, sandstenar och sedimentära bergarter där vattnet kan lagras i formationens porer (Andersson et al. 2009). Stora vattenmängder kan dock även utvinnas från kristallina berg, men till skillnad från i de sedimentära avlagringarna lagras i princip inget vatten i bergets porer. Mängden utvinningsbart vatten styrs då istället av sprickigheten, sprickornas uthållighet och hur de hänger ihop med varandra (SGU 2008). Omfattningen av spricksystemet i en bergmassa styrs av den aktuella bergarten samt omfattningen av tektonisk aktivitet. Alla bergarter har olika mekaniska egenskaper och uppträder därför olika när de utsätts

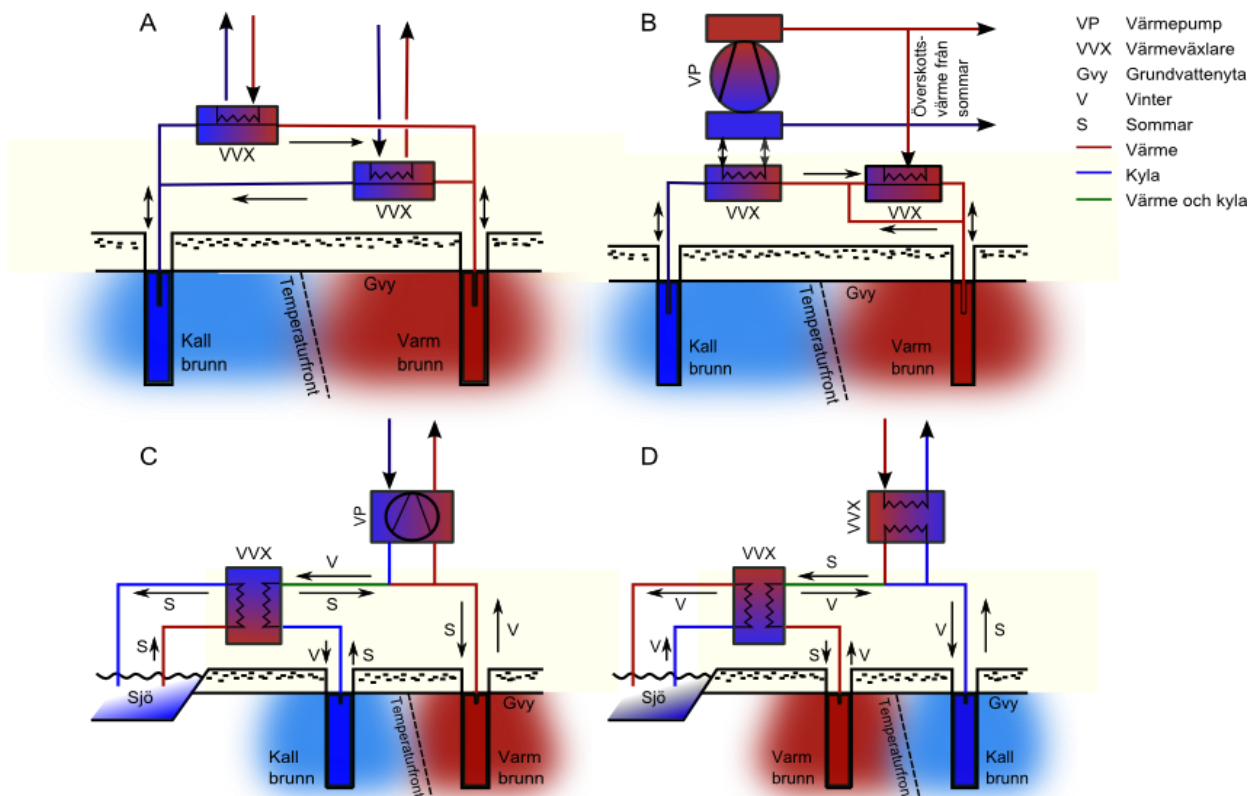


Fig. 6. Beskrivning av de fyra vanligaste ATES-systemen. System A och B utnyttjar endast grundvatten och används för både värme och kyla. System C och D använder ytvatten för att säsongslagra termisk energi. I C säsongslagras värme under sommaren för att sedan utnyttjas under vintertid, och i D sker det omvända. Figuren är baserad på Andersson et al. (2003).

för påfrestningar. Generellt sätt gäller att sura bergarter (hög andel kvarts, ex granit) är sprödare, har en större benägenhet att spricka, och har således en högre hydraulisk konduktivitet än basiska bergarter. Sprickornas omfattning varierar dock ofta inom samma bergart, och variationen mellan olika områden är i realiteten större än variationerna mellan olika bergarter. Detta bevisar att den hydrauliska konduktiviteten i högsta grad styrs av de lokala sprickförhållandena och därför är svåra att förutsäga. Som en allmän regel gäller dock att sprickfrekvensen, och därmed den hydrauliska konduktiviteten, avtar mot djupet (Gustafsson 2009).

För ATES innebär en god hydraulisk konduktivitet att varm och kall brunn måste anläggas på stora avstånd från varandra för att förhindra termisk kortslutning (hydraulisk kontakt), d.v.s. att vattnet transporteras mellan brunnarna så att varmt och kallt vatten blandas i akvifären (Nordgaard & Sehlén 2005). En hög genomströmning av grundvatten kan även ha negativ effekt på såväl ATES som BTES då den lagrade energin transporteras bort från lagringsplatsen (Hellström 2009).

Dimensioneringen av borrhål för bergvärme eller lagring (antal energibrunnar, djup, inbördes avstånd etc.) görs utifrån temperatur-, effekt- och energibehov samt markens geologi och dess termiska egenskaper (Hallström 2011). Till de viktigaste termiska egenskaperna hör värmeledningsförmåga, värmekapacitet och marktemperatur (Hellström & Sanner 2000).

Marktemperaturen beror i första hand på områdets årsmedeltemperatur, men som nämnts i tidigare avsnitt finns flera faktorer som avgör marktemperaturen. Bergets värmeledningsförmåga styrs främst av mineralammansättning och mineralens struktur, men även bergets sprickighet och grundvattenrörelser har en betydelse. De termiska egenskaperna för ett borrhål kan bestämmas med hjälp av ett termisk responstest (TRT). För ett TRT krävs att man borrar en brunn vilket innebär viss kostnad, och därför används ofta schablonvärden. Generellt sätt gäller att förutsättningarna för effektiva bergvärmesystem och BTES ökar med en större andel kvarts (Hellström 2009). Markens förmåga att överföra energi till kollektorerna styrs förutom av de geologiska egenskaperna av vissa tekniska faktorer. Till dessa faktorer hör kollektorns material och utformning, val av värmebärare, värmebärarens flödes hastighet, borrhålsdiameter, återfyllnadsmaterial och borrhålsmotstånd (Hellström & Sanner 2000). Effektiviteten hos ett BTES ökar även med storleken på lagret eftersom värmeförlusten under lagringsperioden blir mindre (Andersson et al. 2009).

När man borrar måste delen genom de lösa avlagringarna förses med ett foderrör som förhindrar ras och dylikt. Denna borring är betydligt dyrare än borring utan foderrör samtidigt som de lösa avlagringarna är mindre effektiva än berg vid utnyttjande av bergvärme eller BTES. P.g.a. detta är en viktig geologisk förutsättning att det finns ytligt berg för att bergvärme eller

BTES ska vara lönsamt (Florides & Kalogirou 2007). Eftersom temperaturöverföringen från berget till bärarvätskan endast sker i det aktiva borrhålet, d.v.s. den delen av borrhålet som är vattenfyllt, är det också viktigt att grundvattenytan ligger nära markytan. Om grundvattennivån är låg måste åtgärder vidtas för att öka det aktiva borrhålsdjupet (Energimyndigheten 2010)

Bergvärme och BTES är angenäma system med hänsyn till att de inte kräver något omfattande underhåll eller tillsyn och har lång livslängd (Energimyndigheten 2010). Trots att den utnyttjade bergvolymen är stor (för borrhålslager vanligtvis >100 000 m³) kan intrånget på markytan dessutom hållas minimal. Den mark som tas i anspråk kan användas som parkering, grönområde eller bebyggd mark precis som annars.

För att förhindra att marken successivt kyls ner eller värms upp när man använder aktiv geoenergi är det viktigt att inlagringen och uttaget av energi är ungefär lika stort. Lagret kan således inte dimensioneras för ett större energiuttag än det minsta värdet av värme respektive kyla som kan återlagras i marken (Johansson 1992).

4.2.4 Problematik och miljökonsekvenser

Alla geoenergianläggningar medför viss påverkan på omgivningen. Ytligt sett är ytjordvärme den metod som påverkar mest eftersom den kräver stora markarealer och stora ingrepp på naturen (Andersson et al. 2009). Eftersom värmestillskottet kommer från solenergi krävs dessutom att marken ovan kollektorerna inte bebyggs och skuggbeläggs (Florides & Kalogirou 2007)

När man förändrar temperaturen kring energibrunnar påverkas även andra brunnar i närheten. För bergvärme rekommenderas därför att man inte anlägger två brunnar närmare än 20 m från varandra. Om berget är kraftigt påverkat måste hålet borrar djupare för att kunna nyttiggöra samma energimängd som vid ett ostört tillfälle, detta medför högre anläggningskostnader. Om problemet förbises kan berget kylas så pass att borrhålet fryser och kollektorlangarna trycks ihop och skadas (Energimyndigheten 2010). Problemet kan lösas genom att återladda berget m.h.a. solfångare, ytjordvärme, frånluft eller uteluft eller att kombinera värmesystemet med komfortkyla (Hellström 2011).

Anläggandet av borrhål medför en risk att kringliggande brunnar kontamineras av sprickfyllnader eller rentav faller ihop p.g.a. vibrationer och övertryck under borrhållningen. Det är därför viktigt att vidta försiktighet när man borrar nära andra brunnar samt att de andra brunnarna kontrolleras under borrhållningen. En stor vattentillgång hos de andra brunnarna indikerar en sprickrik berggrund och hydraulisk kontakt mellan brunnarna. Detta borde därför fungera som en indikation på att dessa problem måste beaktas extra noga. Vibrationer som orsakas av borrhållningen och som gör att luft trycks ut i marken runtomkring kan även medföra

dräneringsproblem och sättningar i närliggande byggnader. Därför måste borrhållning i närheten av byggnader ske med lågt lufttryck och med mycket spolvatten (SGU 2008).

Geoenergisystem som utnyttjar kollektorer innehåller kemiska ämnen såsom frostskydd- och köldbärarfluider vilka kan läcka ut till grundvattnet vid exempelvis förfrysning av borrhål. Köldbärarvätskan utgörs normalt av glykol, saltlösning, vegetabilisk olja eller vatten- och etanollösning. I Sverige rekommenderas det sistnämnda alternativet eftersom det är en beprövad blandning som är tämligen ofarligt. Baksidan med blandningen är att den p.g.a. myndighetskrav måste innehålla vissa andra tillsatser vilka ökar nedbrytningstiden av vätskan. Detta leder till mer ihållande konsekvenserna vid eventuella läckage. De mest problematiska följderna av kontaminering är att närliggande brunnar får en nedsättande vattenkvalitet i form av lukt och smak (Nordgaard & Sehlin 2005; SGU 2008).

För att skydda brunnarna från föroreningar bör brunnarna anläggas uppströms misstänkta föroreningskällor. Därför krävs en god kunskap om förorenings-spridningen i området. Lämpligt avstånd mellan brunn och föroreningskälla avgörs av typ av förorening och markens hydrauliska konduktivitet. Energibrunnar som det inte sker något grundvattenuttag från är emellertid inte lika känsliga för markföroreningar som vattenpumpade brunnar. Med brunnsanläggningar tillkommer också en risk att grundvatten, jordmaterial och ytliga föroreningar tränger ner och kontaminerar andra marklager. Därför är det viktigt att de foderrör som sätts genom de ytliga jordlagren är täta. Ibland krävs att borrhålet återfylls med tätande material för att reducera kontaminationsrisken. Detta gäller speciellt för energibrunnar där vattnet inte kontrolleras regelbundet. Återfyllnadsmaterialet medför en lägre prestanda på borrhålet som därför måste kompenseras på något sätt (SGU 2008).

När man borrar djupa brunnar i områden som varit täckta av hav kan relik saltvatten påverkas och kontaminera ytligare marklager. Denna risk föreligger förvisso i alla områden som ligger under HK, men bedöms bara vara riktigt påtaglig i de områden som ligger under MG. I områden över MG beror saltvatteninverkan i brunnar övervägande på ytliga antropogena föroreningar. Eftersom saltvattensinträngning huvudsakligen sker när grundvattenuttaget är större än grundvattenbildningen måste pumphänsyn kontrolleras noggrant om grundvatten tas från en riskzon för saltvattensinträngning. Risken för saltvattensinträngning ökar dessutom med ökat borrhålsdjup. Det är därför också viktigt att dokumentation av kloridhalt sker samtidigt som man borrar (SGU 2008).

För grundvattenvärme och ATES förutsätts att det finns en akvifär tillgänglig. Potentiella akvifärer finns det emellertid en minoritet av i Sverige. För de akvifärer som är aktuella råder delade meningar om vad de bör utnyttjas till. Motstående intressen till grundvattenvärme och ATES kan exempelvis vara närliggande

vattenskyddsområden eller berglager som påverkas negativt av intrång på grundvattnet. Detta har inneburit att det krävs en lång och omfattande tillståndsprocess för att genomföra dessa geoenergiprojekt, och utredningar har ofta lagts ner även när förutsättningarna för grundvattenvärme eller ATES uppfyllts (Energimyndigheten 2010). Underhållskostnaderna för systemen är höga jämt emot annan geoenergi. Om underhållsproblemen blir omfattande finns därför en risk att lönsamheten inte blir den förväntade (Andersson et al. 2009). Om exploateringen innebär att grundvattennivån förändras påverkar detta markens stabilitet och medför en risk för sättningar. Detta gäller framförallt när finkorniga jordar såsom lera och silt berörs. Grundvattenuttag kan dessutom sänka nivåerna i kringliggande ytvattendrag vilket innebär störningar på ekosystemet (Maxe & Thunholm 2007). Denna negativa inverkan uppkommer framförallt då förbrukat grundvatten ej återinfiltreras utan istället släpps ut i ytvattendrag (Nordgaard & Sehlin 2005).

Öppna akvifärlager som används för långtidslagring bör hålla temperaturer inom 2-20°C. Temperaturer utanför detta intervall ger en stor temperaturkontrast jämt mot omgivningen och medför därmed höga energiförluster. I slutna akvifärlager kan temperaturer utanför detta intervall vara tillämplingsbart, dock innebär höga temperaturer en ökad risk för omfattande kemiska problem i form av korrosion och utfällningar som skadar systemkomponenter. Höga temperaturer dödar dessutom vissa av markens mikroorganismer vilket gör att markens naturliga förmåga att oharmliggöra organiska ämnen förstörs. Till följd av dessa kemiska problem finns det idag krav på vattenbehandlingsanläggningar. Dessa innebär en kostnad som därmed sänker lönsamheten. (Nordgaard & Sehlin 2005). Om systemen hålls problemfria är grundvattenvärme och ATES emellertid väldigt gynnsamma eftersom initialkostnaderna för anläggandet snabbt återbetalas av den låga driftkostnaden. BTES däremot har en lång payback tid (ca 4-6 år) och har därför svårt att konkurrera med akvifärlager (Andersson et al. 2003).

4.2.5 Rättsliga aspekter

Anläggandet av energibrunnar ska alltid följa de brunnsnormer som tagits fram av SGU. Dessa har utformats med de svenska miljö kvalitetsmålen som bakgrund och syftar till att minska riskerna för miljöstörningar. Därtill gäller de hänsynsregler etc. som återfinns i Miljöbalken (MB) (SGU 2008).

Borrning är alltid helt förbjudet inom primär vattenskyddszon och tillståndspliktigt inom sekundär vattenskyddszon (SGU 2008). Vilka typer av tillstånd som behöver sökas i övrigt är individuellt för det geoenergikoncept som tillämpas. År 1999 tillkom en svensk lag som innebär att alla vattenverksamheter är tillståndspliktiga enligt 11 kap MB "Vattenverksamhet" (Notisum 2012c) Detta har lett till långa och komplicerad tillståndsprocesser för att genomföra projekt med grundvattenvärme eller ATES. I regeln finns ett undantag som innebär att verksamhet-

en som uppenbart inte påverkar enskilt eller allmänt intresse inte behöver prövas i 11 kapitlet. Detta innebär att BTES, bergvärme och ytvordvärme sällan drabbas av denna tillståndsprövning eftersom grundvattnet inte påverkas nämnvärt av energibäraren eller några andra delar av systemet (Andersson 2002). Dessa anläggningar är dock, precis som alla andra verksamheter som behandlar kemiska produkter, berörda av det 9 kap MB "Miljöfarlig verksamhet och hälsoskydd" (Notisum 2012b), och enligt 17 § i förordning (1998:889) om miljöfarlig verksamhet och hälsoskydd samt punkt 40.110 i bilagan till förordningen måste verksamheten anmälas innan den påbörjas (Notisum 2012a). Dessutom har kommunen rätt att med stöd av plan- och bygglagen (PBL) bestämma om det ska krävas bygglov för att borra en brunn (SGU 2008). Dessa bestämmelser är de mest aktuella vad gäller anmälan och tillstånd, dock finns flera delar i MB som måste beaktas ex. kapitel 3 och 6 (Andersson 2002). Noteras bör dock att man i Linköping inte ser någon anledning till att hindra geoenergi p.g.a. strandskydd (Johansson 2012).

5 Utvärdering av möjligheterna i Kallerstad

5.1 Energidata

Isanläggningarna och fotbollsstadion har sammantaget en hög förbrukning av både kyl- och värmeenergi, se bilaga E. Under sommaren finns ett större kylbehov än värmebehov hos isanläggningarna vilket resulterar i överskottsvärme. Denna kan inte tas till vara på eftersom inga av fastigheterna är i behov av dessa värmemängder under sommarsäsongen. Under vintern råder däremot omvända förhållanden, d.v.s. värmebehovet är större än kylbehovet (Fridell 2012a; Torrestam 2012a).

5.1.1 Isanläggningar

Isanläggningarna har ett gemensamt kylbehov på 2746 MWh/år och värmebehov på 3067 MWh/år. Värmebehovet är som är störst under vintern och avtar till sommaren, kylbehovet följer samma mönster men har inte lika stora variationer. Följden av detta är att kylbehovet är större än värmebehovet mellan juni och november (ca 600 MWh) och vice versa mellan december och maj (ca 900 MWh), se bilaga E (Torrestam 2012a).

5.1.2 Fotbollsstadion

Fotbollsplanen beräknas ha ett totalt värmebehov på ca 600 MWh/år för att värma lokaler. Värmebehovet är som störst under vintern och avtar till sommaren, se bilaga E. I dagsläget finns inget kylbehov för fastigheten. Dock finns planer på att utvidga stadion i framtiden vilket då kommer medföra ett kylbehov (Fridell 2012a). Data över värmebehovet till värmeslingorna har ej lyckats erhållas.

5.2 Modellering

Beräkningar görs endast för BTES och ATES. Vid modelleringen utesluts fotbollsanläggningen. Dimensioneringen av geoenergisystemen görs således utifrån enbart isanläggningarnas energibalans (läs diskussionen).

Vid modelleringen antas att man inte behöver lagra den överskottsvärme som kan nyttjas direkt i en annan fastighet. Detta innebär att det finns ca 600 MWh överskottsvärme per år som bildas vid isfrysningen och som kan användas till säsongslagring, se diagram i figur 7. Förutsatt att den värmepump som används har ett COP på 3 kommer emellertid hela värmebehovet på 900 MWh per år ändå kunna täckas. Detta eftersom 300 MWh värmeenergi tillkommer varje år från den elektricitet som driver värmepumpen:

$$\begin{aligned} E_{\text{mark}} &= 600 \text{ MWh} \\ E_{\text{tillförd}} &= 300 \text{ MWh} \\ E_{\text{nyttig}} &= 900 \text{ MWh} \end{aligned}$$

Detta lagringssätt betyder att värme lagras från början av juni till slutet av november. I början av december går värmepumpen igång och förser fastigheterna med värme från lagret ända fram till slutet på maj, se diagram i figur 7.

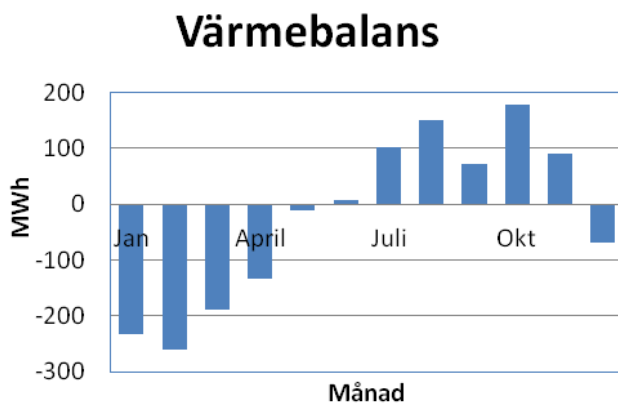


Fig. 7. Beskrivning av energibalansen i systemet. De positiva värdena symboliserar den värmeenergi som lagras, de negativa värdena visar den nyttiga energin som brukas varje månad. Figuren är baserad på Torrestam 2012a.

5.2.1 Modellering ATES

För att lagra 600 MWh värmeenergi i ett akvifärlager krävs en stor volym och pumpkapacitet på grundvattenmagasinet. Detta tydliggörs av de förenklade beräkningarna nedan. Vid beräkningen av max pumpkapacitet antas följande:

- Maxeffekten är ett månadsmedelvärde av värmeeffektbehovet eller värmeenergiöverskottet för den månaden då behovet är som störst, d.v.s. oktober (ca 179 MWh värmeöverskott, under februari

finns ett värmebehov på 266 MWh men endast 2/3 av denna energi tas från grundvattnet).

- Vattnet kan temperaturändras mellan 16 och 7°C, vilket ger ett ΔT på 9°C. Värdet är baserat på ett akvifärlager i Frösundavik strax norr om Stockholm (Johansson 1992).
- Projekteringen görs för 100 % av maxeffekten
- Vattens effektkonstant är 4,18 kW/l/s/°C.

$$P = 179\,000/744 \approx 240,6 \text{ kW} \quad (1)$$

$$Q = 240,6/(4,18 \cdot 9) \approx 6,40 \text{ l/s} = 23\,040 \text{ l/h} \quad (2)$$

Med dessa förutsättningar behövs alltså en akvifär och brunnssystem med pumpkapacitet på 23 040 l/h. Vid beräkningen av behovet av akvifärvolym antas följande:

- Den största mängden lagrad värme är 600 MWh
- Akvifären består av sand och grus (åsen) och har en värmekapacitet på 0,7 kWh/m³/°C
- Vattnet ändrar temperatur 9 °C.

$$V = 600\,000/(0,7 \cdot 9) \approx 95\,000 \text{ m}^3 \quad (3)$$

Med dessa förutsättningar behövs alltså en akvifärvolym på 95 000 m³ (100*100*9,5 m).

5.2.2 Modellering BTES

Modelleringen med EED förutsätter att alla variabler kan bestämmas. Med hjälp av programmet kan schablonvärden tas fram såvida alla materialparametrar kan fastställas. Här nedan sammanfattas de antaganden som gjorts för att kunna genomföra modelleringen.

- Markytans temperatur. Denna uppskattas utifrån årsmedeltemperatur och antal dagar med snötäcke. En genomsnittlig årsmedeltemperatur på 6,2 °C (Linköpings kommun 2011b) och 75-100 dagar med snö per år (SMHI 2009b) ger den ytliga marken en temperatur på ca 7,4 °C.
- Berget består av granit och ligger helt under grundvattenytan.
- Jordlagren är ca 10 m tjocka.
- Det geotermiska värmeflödet är 0,06 W/m².
- Energibalansen är samma varje år, se figur 7.
- Projektering görs för 100 % av maxeffekten.
- Effekten för varje månad är medelmånadsvärdet ($P = E/t$).
- Inget fyllnadsmaterial används, d.v.s. borrhålen är vattenfyllda.
- Som kollektorer används enkla U-rör (PE DN40 PN6).
- Borrhålsdiametern är 110 mm.

- Skänkelavståndet (avståndet mellan centrum på kollektorrören i varje borrhål) är 65 mm.
- Som köldbärarvätska används vatten med 25 % monoetylenglykol.
- Köldbärarvätskan får inte kylas/värmas utanför intervallet -10-20°C
- Max borrhålsdjup är 200 m.

EED beräknar att den bästa modellen av ett BTES vilket ska uppfylla förutsättningarna ovan har följande dimensioner (se även bilaga F):

- 40 (5*8) borrhål
- Varje borrhål är ca 175 m djupt
- Avståndet mellan borrhålen är 6 m
- Flödet på köldbärarvätskan är 0,6 l/s

Följaktligen krävs en tillgänglig yta på 24 *42 m för att detta borrhålslager ska kunna anläggas, se figur 8.

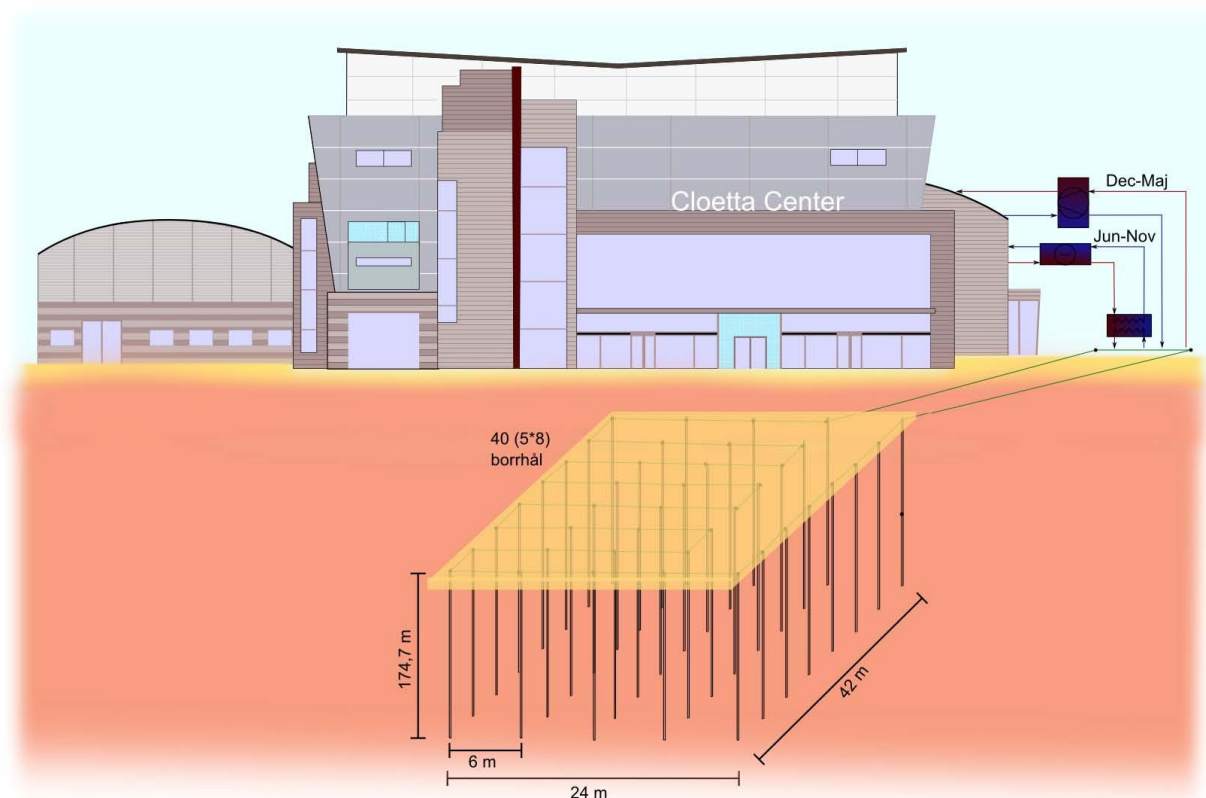


Fig. 8. Resultatet från modelleringen av borrhålslager. Som figuren visar bör lagret utformas med 40 stycken ca 175 m djupa borrhål på 6 m avstånd från varandra (Blomberg et al. 2010).

6 Diskussion

Då det finns ett överskott av värme från isanläggningarna under sommaren och ett överskott av kyla under vintern bör ett säsongslagringsystem användas. Eftersom värmebehovet för isanläggningarna är större än överskottsvärmen från kylmaskinerna finns det ingen lönsamhet i att ta med fotbollsarenan i projektet. Att ansluta fotbollsarenan och isanläggningarna till samma geoenergisystem medför endast långa rördragningar och således både höga anläggningskostnader och en ökning av energiförluster. En fördel med att eventuellt ha med fotbollsarenan är att ett BTES skulle kunna dimensioneras större och således få lägre energiförluster nere i lagret. För detta projekt har det dock bedömts lämpligast att utesluta fotbollsstadion och endast ha med isanläggningarna.

Varken grundvattenvärme, bergvärme eller ytjordvärme kan lagra överskottsvärme och är därför inte lämpligt för anläggningarnas behov. Bergvärme och ytjordvärme är dessutom inte anpassade för projekt i denna storleksordning. Systemen är utformade för att täcka en bråkdel av det värmebehov som finns till anläggningarna. Ytjordvärme skulle dessutom begränsa möjligheter för en framtida exploatering, och med hänsyn till områdets centrala lokalisering är ytjordvärme därför inget lämpligt alternativ. Valet av geoenergilösning kommer således stå mellan ATES eller BTES.

Eftersom inget kommunalt dricksvatten tas från grundvattentäkter är risken att ett geoenergisystem kontaminerar några viktiga dricksvattenakviferer obefintlig. Reningsverket som producerar dricksvatten ligger skyddad från föroreningar eftersom det är beläget i Stångån uppströms Kallerstad. De närmsta regi-

strerade brunnarna ligger ca 500 m från isanläggningarna och ca 1000 m från fotbollsanläggningen. P.g.a. det långa avståndet innebär en borring i närheten till dessa platser inga risker i form ras eller kontaminering av närliggande brunnar. Eftersom ATES och BTES återlagrar och inte medför något nettouttag av varken vatten eller energi kommer närliggande brunnar inte drabbas av produktionstapp vare sig det gäller pumpkapacitet eller energiutvinningskapacitet.

Till skillnad från de flesta andra energisystem har isanläggningarna toppeffekter som varar under förhållandevis långa perioder. En projektering av 60-75% av toppeffekten, vilket är normalt, skulle därför innebära att mycket energi går förlorat. Dimensioneringen av UTES-systemen har därför antagit att 100% av maxeffekten ska täckas. Viktigt att tänka på är att lagringen inte kan ske vid höga temperaturer eftersom detta medför större energiförluster och kemiska problem. Tyvärr finns ingen data på systemtemperaturerna men förmodligen måste överskottsvärmen från kylmaskinerna därför ”spädas ut” innan lagringen. Utspädningen gör att både problemet med energiförlust och de kemiska problemen elimineras.

ATES är som denna rapport visar inget rimligt alternativ för det aktuella projektet. För att anlägga ATES krävs en stor och tillgänglig akvifär. Detta gäller för alla akvifärsystem oavsett om grundvattensystemen eller koncepten med lagrat ytvatten utnyttjas. Åsen som finns inne i staden har förvisso stor kapacitet och, som tidigare beräkningar visat, även en stor volym. Tillgängligheten till åsen är dock begränsad. Det långa avståndet mellan isanläggningen och åsen ställer till problem eftersom det innebär långa rördragningar. Med detta kommer stora anläggningskostnader och energiförluster. Geoenergisystemet måste sannolikt skalas upp för att dessa kostnader ska vara acceptabla. Åsen har emellertid potential för ATES eller grundvattenvärme för fastigheter som ligger nära och därmed undviker dessa problem. Tyvärr återstår ett annat problem som är viktigt att beakta, sättningar. Då Linköping övervägande är byggt på tjocka lerjordar behöver sättningsproblematiken utredas vidare för ett eventuellt ATES. Dessutom föreligger det en risk att lakvatten från den delen av åsen som återfyllts av avfall kontaminerar omgivningen när man gör ingrepp på grundvattnet.

Såvida åsen inte är ett alternativ reduceras möjligheterna för ATES avsevärt. Eftersom leran och moränen i Kallerstad har för låg konduktivitet och övriga sand eller grusavlagringar förekommer i för liten skala eller är för dåligt utredda måste vattenuttaget ske ur berggrunden. Vattenkapaciteten i kristallin berggrund är dock väldigt osäker. Hittills har inga stora ATES projekt anlagts i kristallin berggrund, och förmodligen är pumpkapaciteten Kallerstads berggrund för liten för att vara användbar. För att utreda hydrauliska förutsättningarna i berget krävs omfattande undersökningar som visar var de vattenförande sprickorna finns, riktningar och vilken uttagskapacitet som går att åstadkomma. Ett ingrepp på grundvattnet i berggrunden

skulle dessutom, liksom vid ingrepp i åsen, medföra en risk för sättningar.

Hänsyn måste även tas till de naturvärda föremålen i och runtomkring Kallerstad. Detta gäller i synnerhet Stångån som är ett känsligt vattenområde. Grundvattenuttag och eventuella läckage kommer inverka negativt på miljön. Att en grundvattenexploatering kommer medföra spridning av föroreningar är dock osannolikt. Området med fyllnadsmaterial ca 700 m norr om isanläggningen är en potentiell källa till föroreningar, men som tidigare nämnts avgränsas fyllnadsmaterialet från isanläggningen av en bergklack. Detta gör att en spridning från fyllnadsmaterialet till pumpbrunnar är otrolig. Även risken för saltvatteninträngning är försumbar eftersom området ligger över MG och långt från havet. Sannantaget bör dock, trots detta och det faktum att det inte finns några större reservat som skyddas av MB i närheten, ett ATES-projekt Kallerstad inte vara något undantag till den långa och problematiska tillståndsprocessen som krävs för denna energilösning. Med den grundvattenpåverkan som ATES innebär, och i det centrala läge som Kallerstad har, kommer det med stor sannolikhet finnas många motstående intressen som hindrar projektet.

BTES är en bättre lösning för att lagra överskottsen energi från isanläggningarna i Kallerstad. Geologin tillåter anläggningen att inrättas till en relativt låg initialkostnad eftersom jordtäcknet har en begränsad mäktighet. Sett till bergarterna finns det två alternativ för BTES, leptit och granit. Av dessa anses granit ha de bästa egenskaper för ett borrhålslager eftersom den innehåller en större andel kvarts. Med tillgång till granit finns goda förutsättningar att driva systemet effektivt, och om lagringen sker på ett optimalt sätt bör energiförlusterna kunna hållas låga. Sett till dessa aspekter sannantaget bör den långa payback tiden, vilken anses vara den största nackdelen med BTES, kunna hållas i kortast laget. Det största hotet för ett effektivt BTES är de sprickor som penetrerar berget. Om dessa har god vattenföring och en stor genomströmning av vatten kommer värme transporteras bort från lagringsplatsen.

Med ett BTES undviks många av de juridiska komplikationer som vattenverksamheter medför, och bekymret att utreda hur grundvattenexploateringen kan påverka omgivande förorenade lokaler reduceras. Risken för att föroreningar börjar spridas från omgivningen in mot borrhålslagret är helt obetydlig eftersom det inte sker något vattenuttag. Det ska dock inte glömmas att det ännu finns en risk för kontaminering orsakad av geoenergisystemet som följd av ex. kollektorläckage. Därför råder ännu ett behov av att utreda spridningsvägar etc. Det långa avståndet till närmsta brunn innebär emellertid att förödelsen från ett läckage kommer vara minimal eftersom föroreningarnas transporttid därmed troligen är lång. Miljöaspekter måste dock diskuteras noggrant för att ta reda på om återfyllning krävs. I så fall måste borrhålsändgen eller antalet borrhål ökas för att kompensera det förhöjda borrhålsmotståndet.

Det värmebehov som finns till fotbollsstadion

skulle kunna täckas av en separat markvärmemetod. Områdets geologiska förhållanden sätter dock stopp för flera av koncepten, detta gäller för såväl geotermi som grundvattenvärme. Det ytliga urberget innebär att det inte finns några djupa akvifärer som kan användas till geotermi. Geotermi är dessutom en obeprövad metod i Sverige, därför skulle det krävas omfattande förundersökningar samtidigt som det blir svårt att förut-säga lönsamheten för ett sådant system. För grundvat-tenvärme gäller precis som för ATES att den närmsta tänkbara akvifären (åsen) ligger för långt ifrån anlägg-ningen. Ytjordvärme och bergvärme har precis som för isanläggningarna en för liten kapacitet för att täcka energibehovet. Just nu ser det därför inte ut att finnas någon lämplig geoenergilösning för fotbollsstadion. Inom några år, om området runt stadion bebyggs som planerat eller om det uppkommer ett kylbehov till arenan, är det dock möjligt att det uppstår en billig värme-källa. Då kan ett borrhålslager motsvarande det som rekommenderas för isanläggningarna bli lukrativt.

6.1 Felkällor och fortsatta utredningar

Av resursskäl har inga omfattande undersökningar kunnat göras. Därför återstår ännu flera saker som måste utredas innan det aktuella geoenergisystemet anläggs. En viktig del är att göra en kostnadskalkyl. Om det inte finns någon lönsamhet i projektet finns ingen anledning att ta utredningen vidare. Kostnads-kalkylen borde göras både utifrån ekonomiskt och mil-jömässigt perspektiv så att alla fördelar med geoenergi värderas. En kostnadsberäkning blir förvisso inte bättre än de data som finns tillgänglig. Hittills har värden på markens termiska egenskaper tagits schablon-mässigt för vad som är normalt för förhållandena. Värdena varierar dock beroende på olika faktorer vilka är svåra ta med i en beräkning. Därför är det viktigt att göra ett TRT som ger exakta värden på prestandan hos ett borrhål. Vid den slutliga kostnadsberäkningen bör man även jämföra olika alternativ på kollektorer etc. Vid modelleringen i denna rapport har det förutsatts att man använder enkla U-rör som kollektorer. Ett alterna-tiv till detta är att använda dubbla U-rör i borrhålen och på så sätt öka effektiviteten. Effektivitetsökningen måste då vägas mot den ökade kostnaden för material och installation. För att minska temperaturförlusterna bör även lagringslogistiken undersökas, d.v.s. i vilken ordning borrhålen fylls på eller utarmas på värme. Spörsmålet har inte behandlats i denna rapport men är sannolikt en avgörande faktor för borrhålets effektivitet.

Innan arbetet med geoenergianläggningen kan på-börjas måste tillståndansökan och samråd genomföras. Till detta hör även att se över äganderätten av den mark som tas i anspråk. För att kunna redogöra för de miljömässiga delarna och få tillstånd krävs det mer grundläggande undersökningar av grundvattnet (kemi, strömriktning etc.) och möjligtvis sprickor så att för-oreningsspridningen vid eventuella läckage kan utvär-deras när man upprättar en kontrollplan. Kunskap om

markens sprickzoner är även vital för att kunna be-döma genomströmningen och kompensationskravet för den energiförlust som uppkommer när grundvatten strömmar genom lagret (gäller oavsett om man tilläm-par ATES eller BTES). Sprickzonerna kan undersökas översiktligt med hjälp av geofysiska metoder, ex. VLF. Det är dock svårt att säga hur noggrann upp-skattningen av kompensationskravet kan göras ef-tersom genomströmningen inte är direkt proportionell med sprickigheten. Det bör därför göras en avvägning av hur betydelsefull en VLF-undersökning verkligen är innan några ekonomiska resurser avsätts. Då områ-det har en plan topografi och markytan naturligt sett ligger nära markytan finns det heller inga tecken på att genomströmningen bör vara annat än låg. De närmsta pumpade brunnar som kan påverkar grundvattnet vid isanläggningarna ligger på långt avstånd därifrån.

Efter miljöutredningen måste en avvägning av ifall anlagda borrhål måste återfyllas för att förhindra nega-tiva miljöeffekter göras. Om återfyllnad är aktuellt måste dimensionerna på borrhålslagret kompenseras för det ökade borrhålsmotståndet som återfyllnads-materialet medför. För att kunna dimensionera BTES måste dessutom grundvattenytans läge bestämmas mer exakt så det aktiva borrhålsdjupet blir känt. Utan vet-skap om djupet till grundvattenytan är det omöjligt att vara säker på vilket borrhål som krävs.

De energidata som inhämtats har en bristande kva-litet. För fotbollsarenan finns beräknade energivärden, men det verkliga energibehovet kan avvika en hel del. Eftersom det dessutom finns framtida planer på att utvidga stadion finns det inga garantier på att energi-datan kommer vara aktuella någon längre tid. Att in-rätta ett geoenergisystem är därför riskabelt då det föreligger en risk att lagret inte kommer kunna utnytt-jas på något lämpligt vis i framtiden när energibehovet ändras. För isanläggningarna finns faktiska energidata, dock bara från en kortare period. Temperaturerna i ett område skiljer sig mellan olika år och detta betyder att även kyl- och värmebehovet skiljer sig. Därför skulle det behövas energidata för en längre tidsperiod för att kunna göra en mer exakt kalkyl.

Noggrannheten i den geologiska modellen kan också ifrågasättas. Den information som använts är inhämtad från olika källor, och eftersom geologiska beskrivningar alltid sker med olika noggrannhet och utifrån olika bedömningssätt måste gränsdragningar betraktas med försiktighet. De data som finns i SGU:s brunnsarkiv är dessutom inlämnade av brunnsbörare som sannolikt registrerat data med begränsad nog-grannhet, speciellt vid tanke på att vissa brunnar är borrade redan på 1940-talet. Läget på brunnarna anges för övrigt som bäst med en noggrannhet på <100 m och inte sällan som ”osäkert”. Detta gör gränsdrag-ningen för berggrundsytan ännu mer opålitlig. Allmänt bör dock den redovisade geologi i Kallerstad vara mer tillförlitlig än den från de övriga områdena då provtag-ningarna i Kallerstad förekommer mer frekvent och från mer pålitliga källor.

Vid båda modelleringarna görs antagandet att

maxeffekterna är ett månadsmedelvärde. Detta är dock inte verkligheten, maxeffekter är i praktiken högre eftersom kyl- och värmebehovet hela tiden varierar med utomhusklimatet och vilka aktiviteter som pågår i anläggningarna. Båda UTES-systemen kommer därför att behöva dimensioneras större än vad som redovisats i resultatet. En annan bidragande orsak till att BTES är underdimensionerat är att beräkningarna gjorts med demoversionen av EED. I demoversionen kan inte markytans temperatur ändras, därför har konstanten satts till 8°C istället för 7,4°C.

7 Slutsats

När man projekterar ett geoenergiprojekt finns det många olika faktorer som måste beaktas. Därför är det viktigt att genomföra en förundersökning för att se vilka möjligheter som finns och vilka geoenergimetoder som är rimliga. Förundersökningen bör innefatta såväl en geologisk studie som en överblick av energidata, juridiska aspekter samt påverkan på miljö och omgivningen i övrigt. Förundersökningen kan ligga som underlag för att bedöma lönsamheten i ett geoenergiprojekt och visa på om det är lönsamt att gå vidare i utredningen. Förundersökningen bör emellertid innebära en mindre kostnad i förhållande till kostnaderna för projektet i övrigt. Av denna anledning är det inte rimligt att anta att en liknande studie som denna kan genomföras för alla geoenergiprojekt, ex sådana projekt som görs för enskilda villor. Dessutom är det trots alla undersökningar omöjligt att helt förutsäga effektiviteten på systemet. Därför är det rimligt att endast de viktigaste faktorerna prioriteras i förstudien. En förundersökning kan lämpligtvis disponeras enligt följande:

- Överblick av energibehov
 - ♦ Hur stort är energibehovet?
 - ♦ Är man i behov av både värme och kyla och hur varierar behovet under året?
 - ♦ Finns det några närliggande fastigheter som kan samarbetas med så det eventuella geoenergisystemet blir mer lönsamt?
- Geologiska förutsättningar
 - ♦ Vad består jordlagren av och hur mäktiga är de?
 - ♦ Vad består berget av och hur sprucket är det?
 - ♦ Hur ser de hydrogeologiska förhållandena ut?
- Områdesbeskrivning
 - ♦ Hur ser tillgången på mark ut?
 - ♦ Finns det några motstående intressen?
 - ♦ Vad finns det för föroreningsrisker?
- Juridiska aspekter
 - ♦ Vilka restriktioner gäller för området?

- Modellering
 - ♦ Snabb beräkning på systemets utformning och lönsamhet

För fastigheterna i Kallerstad är det lämpligaste alternativet ett borrhålslager som kan lagra överskottsvarme mellan juni och november. Denna metod är både den som för området är mest driftsäker och den som gör minst intrång på omgivningen. Dessutom undviks de rättsliga processer som är typiska för akvifersystemen. Att kombinera isanläggningarna och fotbollsstadion är inget bra alternativ då isanläggningarna i sig själva har ett stort värmebehov. Ännu återstår dock flera undersökningar som måste göras innan geoenergisystemet kan anläggas.

8 Tack

Ett stort tack till min handledare Malva Abugor-Ahlkrona från WSP som alltid hjälpt till och haft en positiv inställning genom hela arbetet, utan dig hade arbetet aldrig blivit vad det är! Tack även till Mikael Erlström som varit min handledare på Lunds universitet och som hjälpt till med diverse praktiska bitar. Även Olle Torrestam, Stefan Fridell, Christina Berglund och Lisa Björk ska ha ett tack för hjälpen att få fram information om energidata och gamla sonderingar. Likaså är Svante Blomstedt värd ett tack för de goda tipsen vid modelleringen. Avslutningsvis ett stort tack till alla vänner som stöttat mig när slutet känts långt borta.

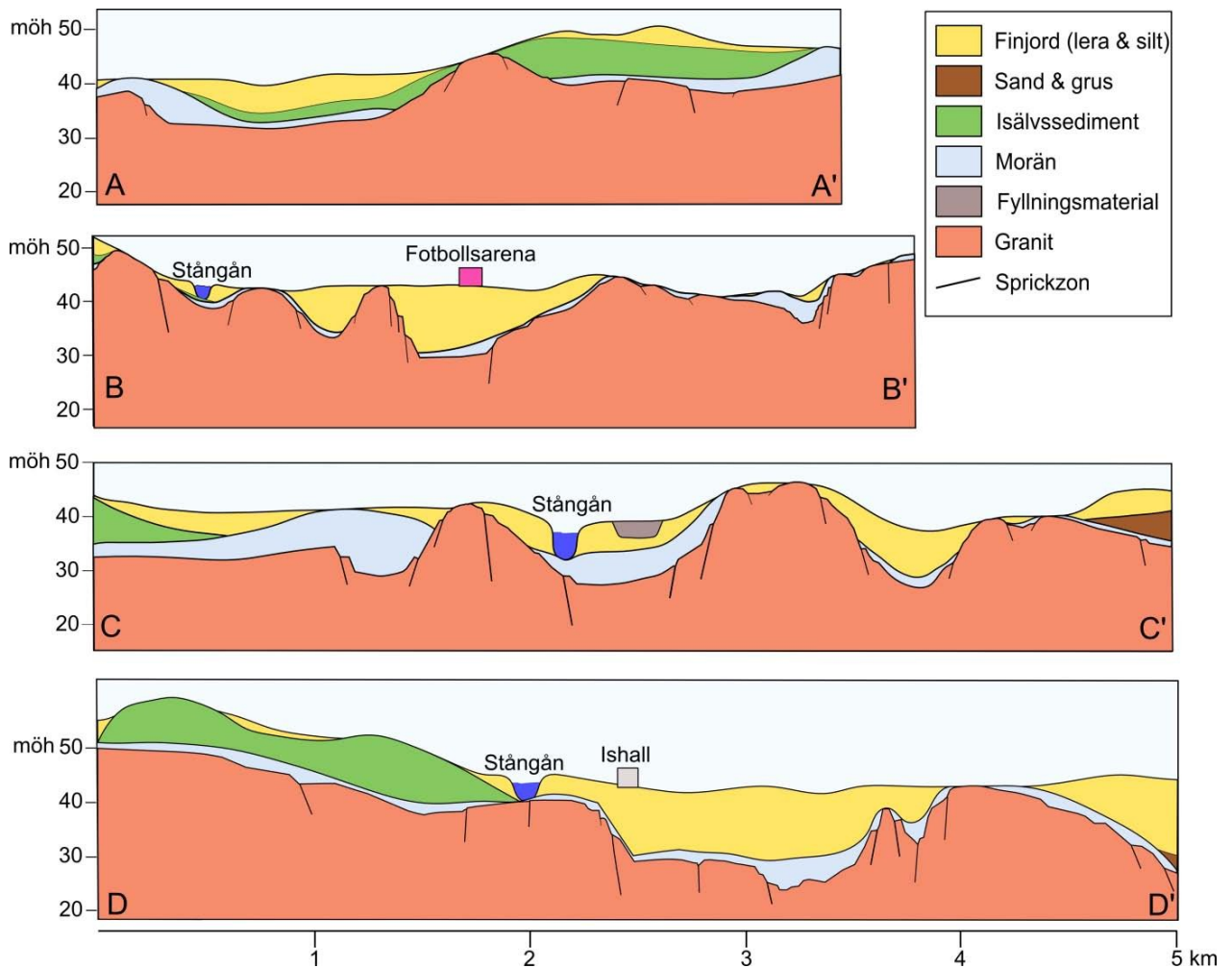
9 Referenser

- ALcontrol Laboratories, 2005. Stångån genom Linköping: Inventering och naturvärdesbedömning. Natur i Linköping, Linköping, 157 pp.
- Andersson, O., 2002. Säsongslagring av spillvärme under mark - Förstudie, Malmö, SWECO VBB VIAK AB, 52 pp.
- Andersson, O., Barth, J. & Hellström, G., 2009. Geoenergi - Underlagsrapport Vägval energi, 16 pp.
- Andersson, O., Hellström, G. & Nordell, B., 2003. Heating and Cooling with UTES in Sweden - Current Situation and Potential Market Development, Warszawa, Polen, 7 pp.
- Areskoug, M. & Eliasson, P., 2007. Värme från luft, mark och vatten, Energi för hållbar utveckling : ett historiskt och naturvetenskapligt perspektiv, Lund, Studentlitteratur, 361 pp.
- Barth, J., 2010. Dags att svenska myndigheter erkänner geoenergis storhet, Newsmill, <http://www.newsmill.se/artikel/2010/03/21/dagsatt-svenska-myndigheter-erkanner-geoenergis-storhet>, hämtat 4/4 2012
- Blomberg, T., Claesson, J., Eskilson, P., Hellström, G. & Sanner, B., 2010. Earth Energy Designer - EED, Version 3.16, DEMO

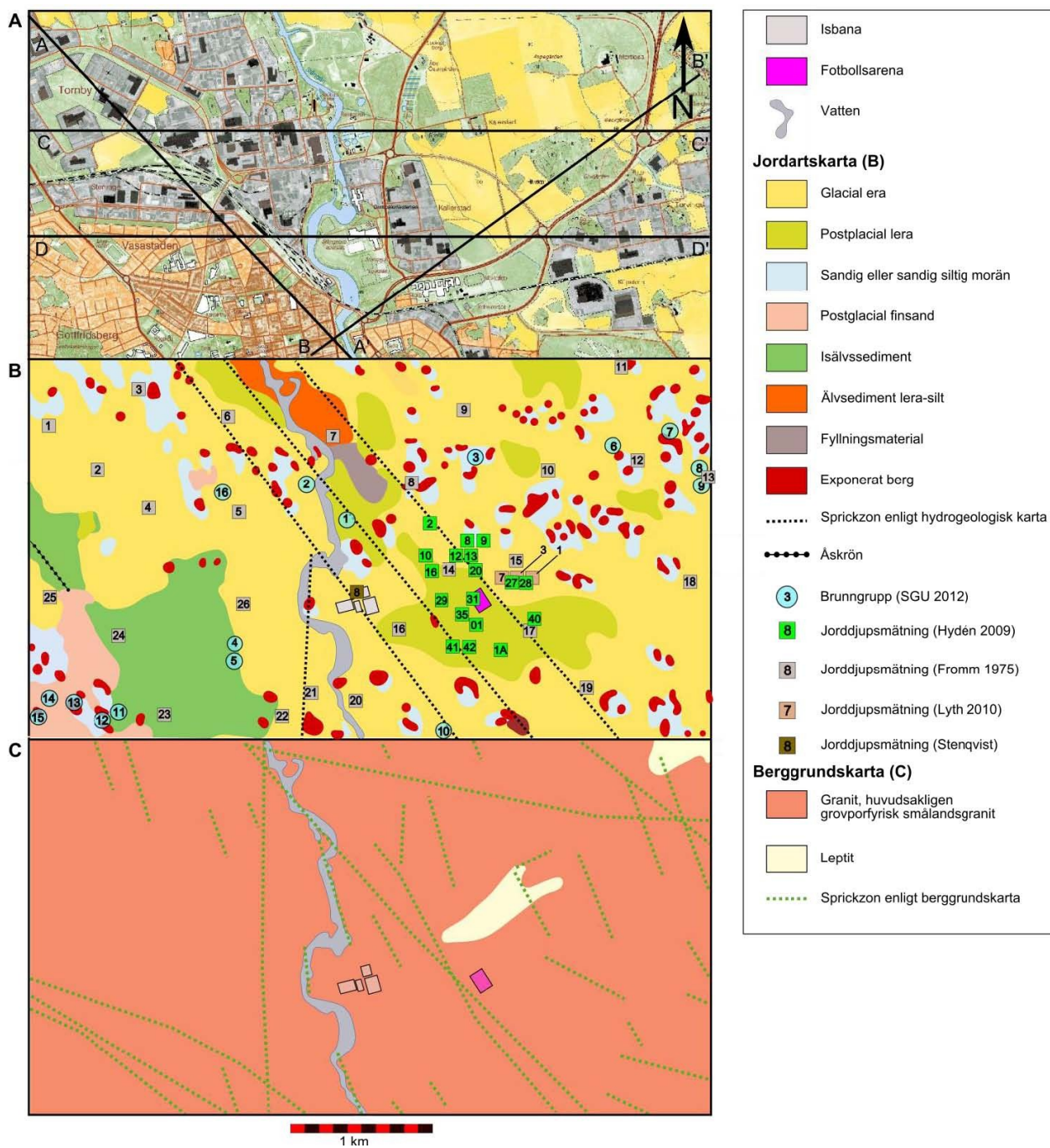
- Blum, P., Campillo, G., Munch, W. & Kolbel, T., 2010. CO2 savings of ground source heat pump systems - A regional analysis, *Renewable Energy* 35, 122-127 pp.
- Desmedt, J., Hoes, H. & Robeyn, N., 2007. Experiences on sustainable heating and cooling with an aquifer thermal energy storage system at a Belgian hospital, *Proceeding of Clima 2007 WellBeing Indoors*, Belgien, Flemish Institute for Technological Research "VITO", 8 pp.
- Energimyndigheten, 2010. Välj rätt värmepump, Eskilstuna, 27 pp.
- Florides, G. & Kalogirou, S., 2007. Ground heat exchangers - A review of systems, models and applications, *Renewable Energy* 32, 2461-2478 pp.
- Fridell, S., 2012a. Energidata fotbollsarenan i Linköping, Bengt Dahlgren AB, Linköping
- Fridell, S., 2012b. Personligt möte, Bengt Dahlgren AB, Linköping, 6/3.
- Fromm, E., 1975. Jordartskartan 8F Linköping NO, Ser. Ae nr 19, Stockholm, LiberKartor, Sveriges Geologiska Undersökning (SGU).
- Fromm, E., 1976. Beskrivning till jordartskartan Linköping NO, Ser. Ae nr 19, Stockholm, LiberKartor, Sveriges Geologiska Undersökning (SGU), 77 pp.
- Fromm, E. & Gorbatshev, R., 1974. Berggrundskartan 8F Linköping NO, Ser. Af nr 107, LiberKartor, Sveriges Geologiska Undersökning (SGU).
- Geotec. <http://www.geotec.se/geoenergi-ar-fornynelsebar-och-skonsam-for-bade-miljon-och-planboken/vad-ar-geoenergi/>, hämtat 20/4 2012
- Google, 2012: Google earth, hämtat 12/4 2012
- Gorbatshev, R., Fromm, E. & Kjellström, G., 1976. Beskrivning till berggrundskartan Linköping NO, Ser. Af nr 107, Stockholm, LiberKartor, Sveriges Geologiska Undersökning (SGU), 111 pp.
- Gustafsson, G., 2009. Hydrogeologi för bergbyggare, Göteborg, Forskningsrådet för miljö, areella näringar och samhällsbyggande (Formas), 167 pp.
- Hallström, E., 2011. Geoenergi: Möjligheter och förutsättningar för geoenergi i Jönköping och Huskvarna, Länsstyrelsen i Jönköping län, 2011:22, Jönköping, 43 pp.
- Hellström, G., 2009. Termisk responstest: Brf. Vintervägen 2, Östhammar, Lund, NeoEnergy Sweden AB, 18 pp.
- Hellström, G., 2011. Termisk påverkan mellan borrhål - Föreläsningmaterial, Lunds Tekniska Högskola
- Hellström, G. & Sanner, B., 2000: EED. Earth Energy Designer User manual Version 2.0
- Hydén, G., 2009. Översiktlig geoteknisk undersökning, Stadspartner AB, Linköping, Kallerstad
- Johansson, E., 2012. Telefonkontakt, Linköpings kommun, Linköping, 12/4.
- Johansson, S., 1992. SAS Frösundavik: Grundvatten värmer och kyler kontor, T1:1992, Stockholm, Byggeforskningsrådet, 27 pp.
- Lindblom, U., 1978. Jordvärmeboken - den geotermiska energins möjligheter i Sverige, Stockholm, Ingenjörskyrkans förlag, 88 pp.
- Linköpings kommun, 2003. Naturvårdsprogram: antaget av kommunfullmäktige 2003., Linköping, <http://www.pub.linkoping.se/Naturvardsprogram/index.htm>, hämtat 25/4 2012
- Linköpings kommun, 2010. Översiktsplan för Kallerstad (Stång) och nytt resecentrum m m, Linköping, 118 pp.
- Linköpings kommun, 2011a. Första spadtaget för fotbollsarenan i Linköping, Linköpings kommun hemsida, 1 pp.
- Linköpings kommun, 2011b: Medeltemperatur, Årsmedelvärde 1931-2010 °C, Linköpings kommun, Statistisk årsbok 2011, Statistik och utredningar, Angelica Gomez
- Lyth, M., 2010: Geoteknisk undersökning, Stadspartner AB, Kallerstad, Linköping
- Länsstyrelsen Östergötland, 2012: Länsstyrelsens karttjänst Östgötakartan, <http://gise.lst.se/gise/htm/viewer.asp>, hämtat 9/4 2012
- Maxe, L. & Thunholm, B., 2007: Områden där grundvattennivån är av särskild betydelse för vattenkvalitet, markstabilitet eller ekosystem, 2007:20, Sveriges geologiska undersökning (SGU), 27 pp.
- Müllern, C.-F. & Pousette, J., 1979: Hydrogeologiska kartan 8F Linköping NO, Ser. Ag nr 9, Stockholm, LiberKartor, Sveriges Geologiska Undersökning (SGU).
- Müllern, C.-F. & Pousette, J., 1980: Beskrivning till hydrogeologiska kartan Linköping NO, Ser. Ag nr 9, 9, Uppsala, LiberKartor, Sveriges Geologiska Undersökning (SGU), 96 pp.
- Nordgaard, E. & Sehlin, J., 2005: Säsongslagring av energi i akviferer, 24 pp.
- Notisum, 2012a: Förordningen (1998:889) om miljöfarlig verksamhet och hälsoskydd, hämtat 24/4 2012
- Notisum, 2012b: Miljöbalken (1998:808): 9 kap. Miljöfarlig verksamhet och hälsoskydd, hämtat 24/4 2012
- Notisum, 2012c: Miljöbalken (1998:808): 11 kap. Vattenverksamhet, hämtat 24/4 2012
- SGU, 2008: Att borra brunn för energi och vatten - en vägledning, Normförande vid utförande av vatten- och energibrunnar, Växjö, Sveriges geologiska undersökning (SGU), 38 pp.
- SGU, 2012: Brunnarkivet, Sveriges geologiska undersökning (SGU), http://vkv.sgu.se/sguMapView/web/sgu_MV_brunnar.html, hämtat 11/4 2012
- SMHI, 2009a: Normal årsavrinning, <http://www.smhi.se/klimatdata/hydrologi/vattenstand/1.7967>, hämtat 2/5 2012
- SMHI, 2009b: Normalt antal dygn med snötäcke per år, <http://www.smhi.se/klimatdata/meteorologi/sno/Normalt-antal-dygn-med-snotacke-per-ar-1.7937>, hämtat 23/4 2012
- Stenqvist, F., Linköpings sportfastigheter AB Stångebro Arena, Alternativ B: Geoteknisk undersökning,

Stadspartner AB, Linköping
SVEP, Fakta om Värmepumpar och anläggningar:
Värmepumpen, en miljövänlig, ekonomisk och
energispärande uppvärmningsteknik, Stockholm,
<http://www.svepinfo.se/filarkiv/>, hämtat 2/5 2012
Tekniska Verken, 2012: Dricksvatten, Tekniska Ver-
k e n i L i n k ö p i n g A B ,
<http://www.tekniskaverken.se/vatten/dricksvatten/>,
hämtat 13/4 2012
Torrestam, O., 2012a: Energidata Stångebro, Lejonfas-
tigheter AB, Linköping
Torrestam, O., 2012b: Personligt möte, Lejonfastighet-
er AB, Linköping, 6/3.

Bilagor



Bilaga A. Profiler av geologin i området. Profilriktningarna är markerade på karta A i bilaga B. Profilerna är baserade på Fromm 1975, 1976; Fromm & Gorbatshev 1974; Google 2012, Gorbatshev et al. 1976; Länsstyrelsen Östergötland 2012; Müllern & Pousette 1979



Bilaga B. Kartor över området:

- Översiktskarta med profilriktningar (A-D) från bilaga A (Länsstyrelsen Östergötland 2012),
- Jordartskarta med borrade brunnar, jorddjupsmätningar och sprickriktningar enligt hydrogeologisk karta (Fromm 1975; Hydén 2009; Lyth 2010; Müller & Pousette 1979; SGU 2012; Stenqvist),
- Berggrundskarta med sprickriktningar enligt berggrundskarta (Fromm & Gorbatshev 1974).

SGUs brunnsarkiv				
Nr	Brunn ID	Djup till berg	Noggrannhet läge	Medeljorddjup
1	85490155	4,9	osäkert	4,9
2	902140425	10	<100 m	10
”	902140433	10	<100 m	”
3	85490187	10,3	osäkert	5,9
”	85490188	1,5	osäkert	”
4	85490291	8,5	osäkert	3,8
”	85490297	4	osäkert	”
”	85490298	0,8	osäkert	”
”	85490299	Okänt	osäkert	”
”	85490300	1,8	osäkert	”
5	85490007	21	osäkert	21
6	85490190	0	osäkert	8
”	85490191	10	osäkert	”
”	85490192	14,1	osäkert	”
7	901086728	1	<100 m	1
8	902172600	4	<100 m	4
9	909042525	10	<100 m	10
10	900042854	13	<100 m	13
11	997025150	4,5	<100 m	4,5
12	904514524	10	<100 m	10
13	902059666	7	<100 m	7
14	998064562	10	<100 m	8
15	904083466	10	<100 m	10
16	85400089	11	<250 m	12
”	85400090	13	<250 m	”
”	85400091	11	<250 m	”
”	85400092	13	<250 m	”

Bilaga C. Data över brunngrupper. Brunngruppernas läge är markerat i bilaga B. Djup anges i meter (SGU 2012).

Översiktlig geoteknisk undersökning		
Nr.	Finjord	Djup till förmodat berg
2	X	9
8	1	X
9	X	10
10	6	X
12	3	X
13	X	2,5
16	X	9
20	X	10
27	X	5
28	X	11
29	X	19
31	>7	X
35	X	15
40	X	16
41	X	13
42	>8	X
1	>5	X
1A	>3,5	X

Geoteknisk undersökning	
Nr.	Finjord
1	7,5
3	3
7	7

Stångebro arena	
Nr.	Finjord
8	13

Jordartskarta		
Nr.	Kohesionsjord	Friktionsjord
1	3	3
2	5	2
3	3,5	2,5
4	4,5	2
5	8,5	Y
6	6,5	1,5
7	1	Y
8	5	Y
9	11	2
10	9	Y
11	16	Y
12	7	Y
13	3	7,5
14	10	Y
15	5	Y
16	15	Y
17	13	Y
18	17	1
19	8	Y
20	13	Y
21	Y	5,5
22	3	4
23	Y	3,5
24	Y	5,5
25	5	Y
26	Y	8

Bilaga D. Data från jordartskarta samt geotekniska undersökningar. Mätpunkternas läge är markerat i kartan i bilaga B. Djup anges i meter, X = inga data, Y = ingen förekomst. Finjord innebär fraktioner i storlek lera till silt. Kohesionsjord är en benämning på jordar som hålls ihop av kohesionskrafter, främst jordar som innehåller lera och silt. Friktionsjord är motsatsen till kohesionsjord (Fromm 1975; Hydén 2009; Lyth 2010; Stenqvist).

Udermätare för el Stångebro (MWh)

	VKA1	VKA2	VKA5	VKA6	KM1	KM2
	A-hall	B-hall	Komfort	C-hall	Bandy	Bandy
Jan	65	72	1	35	40	44
Feb	58	67	1	33	33	37
Mars	72	71	2	36	28	31
April	43	8	5	21	1	3
Maj	25	1	22	43	1	5
Juni	1	0	0	36	0	3
Juli	38	57	12	37	1	4
Aug	88	101	41	18	41	11
Sep	64	85	39	16	22	21
Okt	70	80	15	38	105	117
Nov	64	74	5	35	98	103
Dec	70	63	1	35	66	71
Totalt	658	679	142	382	434	450

Fjärrvärme Stångebro (MWh)

	FJV	FJV
	A-hall	B-hall
Jan	207	288
Feb	206	288
Mars	174	259
April	98	121
Maj	46	68
Juni	10	24
Juli	22	24
Aug	94	55
Sep	94	80
Okt	116	128
Nov	132	155
Dec	174	206
Totalt	1373	1694

Sammanräkning energibehov Stångebro (MWh)

	VKA+KM	FJV	VKA+KM-FJV
	Tot	Tot	Tot
Jan	257	495	-238
Feb	228	494	-266
Mars	240	433	-194
April	80	219	-139
Maj	97	114	-16
Juni	42	34	8
Juli	148	46	102
Aug	300	149	151
Sep	246	174	73
Okt	423	244	179
Nov	380	287	93
Dec	305	380	-74
Totalt	2746	3067	-321

Värmeförsörjning fotbollsstadion (MWh)

	Värme	Värme	Värme
	VS1 exkl VS3	VS3	Totalt
Jan	91	12	103
Feb	77	10	88
Mar	62	8	70
Apr	37	4	41
Maj	19	1	20
Jun	10	0	10
Jul	9	0	9
Aug	10	0	10
Sep	20	0	20
Okt	45	3	48
Nov	71	7	78
Dec	91	11	102
Totalt	541	57	597

Bilaga E. Data över energiförbrukningen för isanläggningarna och fotbollsstadion (Fridell 2012a; Torrestam 2012a)

SNABBFAKTA

Antal borrhål	40
Aktiv borrhålsdjup	164,70 m
Total aktiv borrhålslängd	6588,10 m
Jorddjup	10,00 m
Borrdjup	174,70 m
Total borrhålslängd	6988,10 m

INDATA FÖR DESIGN*MARK*

Värmeledningsförmåga	3,500 W/(m·K)
Värmekapacitet	2,160 MJ/(m ³ ·K)
Årsmedeltemperatur	8,00 °C
Geotermiskt värme flöde	0,0600 W/m ²

BORRHÅL

Konfiguration:	380 ("40 : 5 x 8 rectangle")
Djup	164,70 m
Avstånd	6,00 m
Borrhålsvärmväxlare	Enkelt U-rör
Diameter	110,00 mm
U-rör diameter	40,000 mm
U-rör tjocklek	2,300 mm
U-rör värmeledningsförmåga	0,420 W/(m·K)
U-rör skänkelavstånd	65,000 mm
Fyllnad: värmeledningsförmåga	1,000 W/(m·K)
Kontaktmotstånd rör/fyllnad	0,0000 (m·K)/W

TERMISKT MOTSTÅND

Borrhålsmotståndet beräknas,	X
Antal multipoler	10
Intern värmeöverföring mellan rören nedåt/uppåt beaktas,	X

KÖLDBÄRARVÄTSKA

Värmeledningsförmåga	0,4800 W/(m·K)
Specifik värmekapacitet	3795,000 J/(Kg·K)
Densitet	1052,000 Kg/m ³
Viskositet	0,005200 Kg/(m·s)
Frys punkt	-14,0 °C
Volymflöde per borrhål	0,600 l/s

BASLAST

Säsongsvärmefaktor (varmvatten)	3
Säsongsvärmefaktor (uppvärmning)	3
Säsongsvärmefaktor (kylning)	99999

MÅNATLIGA ENERGIVÄRDEN [MWh]

Månad	Värme	Kyla	Mark
JAN	238	0	158,667
FEB	266	0	177,333
MAR	194	0	129,333
APR	139	0	92,667
MAJ	16	0	10,667
JUN	0	8	-8
JUL	0	102	-102,001
AUG	0	151	-151,002
SEP	0	73	-73,001
OKT	0	179	-179,002
NOV	0	93	-93,001
DEC	74	0	49,333
Totalt	927	606	11,994

SPETSLAST

SPETSLASTER PER MÅNAD [kW]				
Månad	Spetsvärme	Varaktighet [h]	Spetskyla	Varaktighet [h]
JAN	320	24	0	0
FEB	396	24	0	0
MAR	261	24	0	0
APR	193	24	0	0
MAJ	22	24	0	0
JUN	0	0	11	24
JUL	0	0	137	24
AUG	0	0	231	24
SEP	0	0	101	24
OKT	0	0	241	24
NOV	0	0	129	24
DEC	99	24	0	0

Antal simuleringsår	25
Första månad för igångsättning	SEP

BERÄKNADE VÄRDEN

Total borrhålslängd	6988,10 m
---------------------	-----------

TERMISKA MOTSTÅND

Internt borrhålsmotstånd	0,3581 (m·K)/W
Reynolds tal	4366
Termiskt motstånd fluid/rör	0,0102 (m·K)/W
Termiskt motstånd rörmaterial	0,0463 (m·K)/W
Kontaktmotstånd rör/fyllnadsmat.	0,0000 (m·K)/W
Borrhålsmotstånd fluid/mark	0,0835 (m·K)/W
Effektivt borrhålsmotstånd	0,0879 (m·K)/W

SPECIFIKT EFFEKTUTTAG [W/m]

Månad	Baslast	Spetsvärme	Spetskyla
JAN	32,99	32,38	0
FEB	36,87	40,07	0
MAR	26,89	26,41	0
APR	19,27	19,53	0
MAJ	2,22	2,23	0
JUN	-1,66	0	-1,67
JUL	-21,21	0	-20,8
AUG	-31,4	0	-35,06
SEP	-15,18	0	-15,33
OKT	-37,22	0	-36,58
NOV	-19,34	0	-19,58
DEC	10,26	10,02	0

BASLAST: MEDELFLUIDTEMPERATURER (i slutet av månaden) [°C]

År	1	2	5	10	25
JAN	9,41	1,96	2,42	2,33	2,24
FEB	9,41	-0,29	0,05	-0,02	-0,11
MAR	9,41	1,16	1,39	1,33	1,25
APR	9,41	2,29	2,41	2,37	2,29
MAJ	9,41	6,48	6,29	6,27	6,19
JUN	9,41	7,82	7,44	7,42	7,34
JUL	9,41	13,66	13,2	13,17	13,08
AUG	9,41	17,3	16,9	16,85	16,76
SEP	13,65	13,87	13,65	13,58	13,48
OKT	20,33	20,39	20,31	20,22	20,12
NOV	16,63	16,74	16,74	16,64	16,54
DEC	8,89	9,29	9,36	9,26	9,17

Baslast år	25
Lägsta medelfluidtemperatur	-0,11 °C vid slutet av FEB
Högsta medelfluidtemperatur	20,12 °C vid slutet av OKT

SPETSVÄRMELAST: MEDELFLUIDTEMPERATURER (i slutet av månaden) [°C]

År	1	2	5	10	25
JAN	9,41	2,08	2,54	2,45	2,36
FEB	9,41	-0,91	-0,57	-0,64	-0,73
MAR	9,41	1,25	1,48	1,42	1,34
APR	9,41	2,24	2,36	2,32	2,24
MAJ	9,41	6,48	6,29	6,27	6,19
JUN	9,41	7,82	7,44	7,42	7,34
JUL	9,41	13,66	13,2	13,17	13,08
AUG	9,41	17,3	16,9	16,85	16,76
SEP	13,65	13,87	13,65	13,58	13,48
OKT	20,33	20,39	20,31	20,22	20,12
NOV	16,63	16,74	16,74	16,64	16,54
DEC	8,94	9,34	9,41	9,31	9,21

Spetsvärmelast år	25
Lägsta medelfluidtemperatur	-0,73 °C vid slutet av FEB
Högsta medelfluidtemperatur	20,12 °C vid slutet av OKT

SPETSKYLLAST: MEDELFLUIDTEMPERATURER (i slutet av månaden) [°C]

År	1	2	5	10	25
JAN	9,41	1,96	2,42	2,33	2,24
FEB	9,41	-0,29	0,05	-0,02	-0,11
MAR	9,41	1,16	1,39	1,33	1,25
APR	9,41	2,29	2,41	2,37	2,29
MAJ	9,41	6,48	6,29	6,27	6,19
JUN	9,41	7,82	7,45	7,42	7,34
JUL	9,41	13,58	13,12	13,09	13
AUG	9,41	18,01	17,61	17,56	17,47
SEP	13,68	13,9	13,68	13,61	13,51
OKT	20,2	20,27	20,19	20,1	20
NOV	16,67	16,78	16,79	16,69	16,59
DEC	8,89	9,29	9,36	9,26	9,17

Spetslast år	25
Lägsta medelfluidtemperatur	-0,11 °C vid slutet av FEB
Högsta medelfluidtemperatur	20,00 °C vid slutet av OKT

Bilaga F. Resultatet från modelleringen av BTES i dataprogrammet EED (Blomberg et al. 2010).

**Tidigare skrifter i serien
”Examensarbeten i Geologi vid Lunds
Universitet”:**

271. Ulmius, Jan, 2010: Microspherules from the lowermost Ordovician in Scania, Sweden – affinity and taphonomy. (15 hp)
272. Andersson, Josefin, Hybertsen, Frida, 2010: Geologi i Helsingborgs kommun – en geoturistkarta med beskrivning. (15 hp)
273. Barth, Kilian, 2011: Late Weichselian glacial and geomorphological reconstruction of South-Western Scania, Sweden. (45 hp)
274. Mashramah, Yaser, 2011: Maturity of kerogen, petroleum generation and the application of fossils and organic matter for paleotemperature measurements. (45 hp)
275. Vang, Ina, 2011: Amphibolites, structures and metamorphism on Flekkerøy, south Norway. (45 hp)
276. Lindvall, Hanna, 2011: A multi-proxy study of a peat sequence on Nightingale Island, South Atlantic. (45 hp)
277. Bjerg, Benjamin, 2011: Metodik för att förhindra metanemissioner från avfallsdeponier, tillämpad vid Albäcksdeponin, Trelleborg. (30 hp)
278. Pettersson, Hanna, 2011: El Hicha – en studie av saltstäppssediment. (15 hskp)
279. Dyck, Brendan, 2011: A key fold structure within a Sveconorwegian eclogite-bearing deformation zone in Halland, southwestern Sweden: geometry and tectonic implications. (45 hp)
280. Hansson, Anton, 2011: Torvstratigrafisk studie av en trädstamshorisont i Viss mosse, centrala Skåne kring 4 000 - 3 000 cal BP med avseende på klimat- och vattenståndsförändringar. (15 hp)
281. Åkesson, Christine, 2011: Vegetationsutvecklingen i nordvästra Europa under Eem och Weichsel, samt en fallstudie av en submorän, organisk avlagring i Bellinga stenbrott, Skåne. (15 hp)
282. Silveira, Eduardo M., 2011: First precise U-Pb ages of mafic dykes from the São Francisco Craton. (45 hp)
283. Holm, Johanna, 2011: Geofysisk utvärdering av grundvattenskydd mellan väg 11 och Vombs vattenverk. (15 hp)
284. Löfgren, Anneli, 2011: Undersökning av geofysiska metoders användbarhet vid kontroll av den omättade zonen i en infiltrationsdamm vid Vombverket. (15 hp)
285. Grenholm, Mikael, 2011: Petrology of Birimian granitoids in southern Ghana - petrography and petrogenesis. (15 hp)
286. Thorbergsson, Gunnlaugur, 2011: A sedimentological study on the formation of a hummocky moraine at Törnåkra in Småland, southern Sweden. (45 hp)
287. Lindskog, Anders, 2011: A Russian record of a Middle Ordovician meteorite shower: Extraterrestrial chromite in Volkhovian-Kundan (lower Darriwilian) strata at Lynna River, St. Petersburg region. (45 hp)
288. Gren, Johan, 2011: Dental histology of Cretaceous mosasaurs (Reptilia, Squamata): incremental growth lines in dentine and implications for tooth replacement. (45 hp)
289. Cederberg, Julia, 2011: U-Pb baddelyit dateringar av basiska gångar längs Romeleåsen i Skåne och deras påverkan av plastisk deformation i Protoginzonen (15 hp)
290. Ning, Wenxing, 2011: Testing the hypothesis of a link between Earth's magnetic field and climate change: a case study from southern Sweden focusing on the 1st millennium BC. (45 hp)
291. Holm Östergaard, Sören, 2011: Hydrogeology and groundwater regime of the Stanford Aquifer, South Africa. (45 hp)
292. Tebi, Magnus Asiboh, 2011: Metamorphosed and partially molten hydrothermal alteration zones of the Akulleq glacier area, Paamiut gold province, South-West Greenland. (45 hp)
293. Lewerentz, Alexander, 2011: Experimental zircon alteration and baddeleyite formation in silica saturated systems: implications for dating hydrothermal events. (45 hp)
294. Flodhammar, Ingrid, 2011: Lövestads åsar: En isälvsavlagring bildad vid inlandsisens kant i Weichsels slutskede. (15 hp)
295. Liu, Tianzhuo, 2012: Exploring long-term trends in hypoxia (oxygen depletion) in Western Gotland Basin, the Baltic Sea. (45 hp)
296. Samer, Bou Daher, 2012: Lithofacies analysis and heterogeneity study of the subsurface Rhaetian–Pliensbachian

- sequence in SW Skåne and Denmark. (45 hp)
297. Riebe, My, 2012: Cosmic ray tracks in chondritic material with focus on silicate mineral inclusions in chromite. (45 hp)
298. Hjulström, Joakim, 2012: Återfyllning av borrhål i geoenergisystem: konventioner, metod och material. (15 hp)
299. Letellier, Mattias, 2012: A practical assessment of frequency electromagnetic inversion in a near surface geological environment. (15 hp)
300. Lindenbaum, Johan, 2012: Identification of sources of ammonium in groundwater using stable nitrogen and boron isotopes in Nam Du, Hanoi. (45 hp)
301. Andersson, Josefin, 2012: Karaktärisering av arsenikförorening i matjordsprofiler kring Klippans Läderfabrik. (45 hp)
302. Lumetzberger, Mikael, 2012: Hydrogeologisk kartläggning av infiltrationsvattentransport genom resistivitetsmätningar. (15 hp)
303. Martin, Ellinor, 2012: Fossil pigments and pigment organelles – colouration in deep time. (15 hp)
304. Rådman, Johan, 2012: Sällsynta jordartsmetaller i tungsand vid Haväng på Österlen. (15 hp)
305. Karlstedt, Filippa, 2012: Jämförande geokemisk studie med portabel XRF av obehandlade och sågade ytor, samt pulver av Karlshamnsdiabas. (15 hp)
306. Lundberg, Frans, 2012: Den senkambriska alunskiffern i Västergötland – utbredning, mäktigheter och faciestyper. (15 hp)
307. Thulin Olander, Henric, 2012: Hydrogeologisk kartering av grundvattenmagasinet Ekenäs-Kvarndammen, Jönköpings län. (15 hp)
308. Demirer, Kursad, 2012: U-Pb baddeleyite ages from mafic dyke swarms in Dharwar craton, India – links to an ancient supercontinent. (45 hp)
309. Leskelä, Jari, 2012: Loggning och återfyllning av borrhål – Praktiska försök och utveckling av täthetskontroll i fält. (15 hp)
310. Eriksson, Magnus, 2012: Stratigraphy, facies and depositional history of the Colonius Shale Trough, Skåne, southern Sweden. (45 hp)
311. Larsson, Amie, 2012: Kartläggning, beskrivning och analys av Kalmar läns regionalt viktiga vattenresurser. (15 hp)
312. Olsson, Håkan, 2012: Prediction of the degree of thermal breakdown of limestone: A case study of the Upper Ordovician Boda Limestone, Siljan district, central Sweden. (45 hp)
313. Kampmann, Tobias Christoph, 2012: U-Pb geochronology and paleomagnetism of the Westerberg sill, Kaapvaal Craton – support for a coherent Kaapvaal-Pilbara block (Vaalbara). (45 hp)
314. Eliasson, Isabelle Timms, 2012: Arsenik: förekomst, miljö och hälsoeffekter. (15 hp)
315. Badawy, Ahmed Salah, 2012: Sequence stratigraphy, palynology and biostratigraphy across the Ordovician-Silurian boundary in the Röstånga-1 core, southern Sweden. (45 hp)
316. Knut, Anna, 2012: Resistivitets- och IP-mätningar på Flishultsdeponin för lokalisering av grundvattenytor. (15 hp)
317. Nylén, Fredrik, 2012: Förädling av ballastmaterial med hydrocyklon, ett fungerande alternativ? (15 hp)
318. Younes, Hani, 2012: Carbon isotope chemostratigraphy of the Late Silurian Lau Event, Gotland, Sweden. (45 hp)
319. Weibull, David, 2012: Subsurface geological setting in the Skagerrak area – suitability for storage of carbon dioxide. (15 hp)
320. Petersson, Albin, 2012: Förutsättningar för geoenergi till idrottsanläggningar i Kallerstad, Linköpings kommun: En förstudie. (15 hp)



LUNDS UNIVERSITET

Geologiska institutionen
Lunds universitet
Sölvegatan 12, 223 62 Lund