



Sveriges lantbruksuniversitet  
Swedish University of Agricultural Sciences

Institutionen för energi och teknik

# Geotermisk fjärrvärme i Gunsta

*Geothermal district heating in Gunsta*

Caroline Krouthén, Andreas Lundgren, Per Mandfloen,  
Karl-Oskar Sandberg, Johanna Sjöberg-Högerås,  
Johan Thorell och Svante Wärnsberg Monie

Kandidatuppsats i teknik

**Civilingenjörsprogrammet i energisystem**

**Examensarbete 2014:16  
ISSN 1654-9392  
Uppsala 2014**



SLU, Sveriges lantbruksuniversitet  
Fakulteten för naturresurser och jordbruksvetenskap  
Institutionen för energi och teknik

Caroline Krouthén, Andreas Lundgren, Per Mandfloen, Karl-Oskar Sandberg, Johanna Sjöberg-  
Högerås, Johan Thorell och Svante Wärnsberg Monie

Geotermisk fjärrvärme i Gunsta  
Geothermal district heating in Gunsta

Handledare: Alfredo de Toro, institutionen för energi och teknik, SLU  
Examinator: Sven Smårs, institutionen för energi och teknik, SLU

EX0759 Självständigt arbete i energisystem, Grundnivå, G2E, teknik  
Civilingenjörsprogrammet i energisystem 300 hp

Serienamn: Examensarbete (Institutionen för energi och teknik, SLU)  
ISSN 1654-9392  
2014:16

Uppsala 2014

Nyckelord: geotermi, geotermisk energi, fjärrvärme, Gunsta, förnybar, värmekälla,  
värmeproduktion

Elektronisk publicering: <http://stud.epsilon.slu.se>



## Abstract

Gunsta is situated about 10 km east of Uppsala. Today there are plans to establish 1000 new households in Gunsta before year 2030. The required energy for heating houses and water would be distributed via a district heating system, which also includes 200 existing residences. The annual required energy, according to this study, would be 16.2 GWh with a maximal peak effect of 6.9 MW.

To meet this need, the study suggests a system with heat pumps to upgrade the 31 °C water from a 1.8 kilometre deep borehole. In order to achieve the desired water flow, hydraulic fracturing will be necessary since it is assumed that the rock would be relatively solid at that depth. Water at 10 °C will be pump down between an injection hole and a production one. During circulation water absorbs heat from the surrounding ground and increases temperature. The main source of energy is the difference between the initial and after circulation temperatures.

The proposed system consists of a primary and a secondary circuit connected via a heating exchanger. The primary circuit includes the boreholes and necessary equipment for filtering and pumping the thermal water. The secondary circuit involves two paralleled series of heat pumps, a pellet boiler for peak production and a storage tank to even out the daily consumption variations. The system is then connected to the Gunsta's local heating system.

Uncertainties regarding the extent of the drilling make it difficult to estimate total costs of the geothermal district heating plant in Gunsta. The investment costs for the plant were roughly estimated to 88 million SEK, with a production cost of 0.19 SEK/kWh and a payback time of 12 years.

## Sammanfattning

Gunsta är ett område som ligger cirka 1 mil öster om Uppsala. Det finns idag planer på att uppföra 1000 nya bostäder i Gunsta fram till år 2030. Energi för uppvärmning och varmvatten till dessa bostäder kommer att distribueras via ett närvärmenät, som även kommer att vara sammankopplat med 200 av de redan befintliga fastigheterna. Energibehov för området beräknades i denna studie att uppgå till 16,2 GWh per år, med krav på en maxeffekt på 6,9 MW.

För att möta detta behov föreslår denna studie ett system med värmepumpar, som uppgraderar värmen i vatten som håller 31 °C från ett 1,8 kilometer djupt borrhål. Då berggrunden antas vara relativt solid på det önskade djupet måste hydraulisk spräckning användas för att göra det möjligt för ett vattenflöde att ske. Vatten som håller 10 °C kan sedan pumpas mellan injektionshål och brunnshål, under vilket vattnet kommer att anta bergets temperatur. Energin i temperaturdifferensen utgör den huvudsakliga energikällan för systemet.

Den systemlösning som denna studie föreslår, kommer att bestå av en primär- och en sekundär krets, sammankopplade med en värmeväxlare. Primärkretsen utgörs av utrustning för att filtrera och pumpa upp brunnsvattnet. Den sekundära kretsen utgörs av två parallella serier med vardera tre värmepumpar, samt en pelletsplatta för topplaster och en ackumulatortank för att utjämna dygnsvariationer i energibehovet. Systemet kopplas därefter samman med Gunstas närvärmenät.

På grund av osäkerheten kring hur omfattande borrhningen blir är det mycket svårt att uppskatta ett pris till en nyckelfärdig geotermisk fjärrvärmeanläggning i Gunsta. En grov uppskattning på cirka 88 miljoner SEK gjordes. Med en produktionskostnad på 0,19 SEK/kWh fås en återbetalningstid för anläggningen på 12 år.



# Innehållsförteckning

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Enhetstabell</b> .....                                | <b>5</b>  |
| <b>1 Inledning</b> .....                                 | <b>6</b>  |
| 1.1 Problembeskrivning .....                             | 6         |
| 1.2 Syfte .....  | 6         |
| 1.3 Avgränsningar .....                                  | 6         |
| <b>2 Bakgrund och teori</b> .....                        | <b>7</b>  |
| 2.1 Allmänt om tekniker som kan tillämpas I Gunsta ..... | 7         |
| 2.2 Juridik .....  | 8         |
| 2.3 Miljöaspekter .....                                  | 9         |
| <b>3 Material och metoder</b> .....                      | <b>10</b> |
| 3.1 Litteratur .....                                     | 10        |
| 3.2 Studiebesök .....                                    | 10        |
| 3.3 Personliga kontakter .....                           | 10        |
| 3.4 Beräkningsmetoder och ekvationer .....               | 10        |
| <b>4 Resultat</b> .....                                  | <b>12</b> |
| 4.1 Behovsunderlaget .....                               | 12        |
| 4.2 Potentialen .....                                    | 12        |
| 4.3 Borrmetod och spräckning .....                       | 12        |
| 4.4 Värmeextraheringsmetod .....                         | 12        |
| 4.5 Anläggningens utformande .....                       | 13        |
| 4.6 Ekonomi .....  | 14        |
| 4.7 Juridiska aspekter .....                             | 15        |
| 4.8 Känslighetsanalys .....                              | 15        |
| 4.9 Miljöaspekter .....                                  | 16        |
| <b>5 Diskussion</b> .....                                | <b>17</b> |
| 5.1 Osäkerheter i studien .....                          | 18        |
| 5.2 Rekommenderade vidare studier .....                  | 18        |
| <b>6 Slutsats</b> .....                                  | <b>19</b> |
| <b>Referenser</b> .....                                  | <b>20</b> |
| <b>Bilagor</b>   |           |
| Bilaga A – Behovsunderlag .....                          | 22        |
| Bilaga B – Matlabkod för temperatur .....                | 30        |
| Bilaga C – Geotermiska egenskaper .....                  | 33        |
| Bilaga D – Geologiska Förutsättningar .....              | 45        |
| Bilaga E – Borring och spräckning .....                  | 51        |
| Bilaga F – Extraheringsteknik .....                      | 63        |
| Bilaga G – Värmepumpar .....                             | 75        |
| Bilaga H – Juridiska aspekter .....                      | 79        |
| Bilaga I – Miljöaspekter .....                           | 82        |
| Bilaga J – Nationella miljömål .....                     | 88        |
| Bilaga K – Kartor .....                                  | 95        |
| Bilaga L – Varaktighetsdiagram .....                     | 101       |
| Bilaga M – Värmefördlingssystem .....                    | 103       |
| Bilaga N – Topplaster och reserv .....                   | 105       |
| Bilaga O – Ekonomi .....                                 | 112       |

## Enhetstabell

|            |   |                        |
|------------|---|------------------------|
| EGS        | Engineered (eller Enhanced) Geothermal Systems                      |                        |
| HDR        | Hot Dry Rock  |                        |
| $t_{bt}$   | Breakthrough time   | [ s ]                  |
| H          | Mäktighet i akvifärlager  | [ m ]                  |
| C          | Volymetrisk värmekapacitet i marken                                 | [ J/m <sup>3</sup> K ] |
| L          | Avståndet mellan produktion och injektionshål                       | [ m ]                  |
| $Q_w$      | Volymflöde vatten   | [ m <sup>3</sup> /s ]  |
| $C_w$      | Specifika värmekapaciteten, vatten                                  | [ J/m <sup>3</sup> K ] |
| $t_m$      | Melting time  | [ s ]                  |
| $\lambda$  | Värmeledningsförmågan   | [ W/m K ]              |
| $\gamma$   | Enhetslös tidskontant   | [ - ]                  |
| $\tau$     | Enhetslös tidskontant   | [ - ]                  |
| t          | Tidpunkt  | [ s ]                  |
| $U_{out}$  | Temperaturstörningen vid uttagsbrunnen för en akvifär på stort djup |                        |
| $\Delta T$ | Temperaturavsänkning  | [ K ]                  |
| E          | Effekt  | [ W ]                  |
| F          | Vattenflödet  | [ kg/s ]               |
| K          | Värmekapaciteten  | [ J/kg ]               |
| COP        | Coefficient Of Performance, värmefaktor                             |                        |



# 1 Inledning

Idag produceras svensk fjärrvärme i huvudsak genom förbränning av biomassa, avfall och torv. EU:s avfallstrappa syftar till att minimera avfallsproduktionen i Europa vilket i förlängningen kan leda till att Svenska fjärrvärmeverk som importerar avfall måste ersätta detta bränsle, exempelvis med biomassa (Direktiv om avfall, 2008). På flera håll planeras övergång till biomassa från torv. Samtidigt skall fossil bränslena fasas ut enligt visionen om en fossilfri fordonsflotta 2030, vilket ökar efterfrågan på biomassa i form av biobränsle (Regeringen, 2012).

Ur klimatperspektiv är en rovdrift på skogen olycklig då den är en kolsänka som tar ca 70 år på sig att nybilda det kol som frigörs vid förbränning. Det sker en ackumulering av kol i atmosfären som kortsiktigt kan öka klimateffekten (Skogsstyrelsen, 2009). Alternativa produktionssätt för fjärrvärme som frigör biomassa är således högaktuellt. Ett sådant sätt skulle kunna vara geotermisk fjärrvärme.

I dagsläget är den geotermiska värmeproduktionen i Sverige låg, men geotermisk fjärrvärme är implementerad i det konventionella fjärrvärmesystemet i mindre utsträckning, där den största anläggningen finns i Lund.

Utanför Uppsala ska ett nytt bostadsområde anläggas, där ges möjligheten att undersöka om geotermisk fjärrvärmeproduktion skulle vara möjlig.

## 1.1 Problembeskrivning

Området Gunsta är beläget i Funbo socken, cirka en mil öster om Uppsala längs landsväg 282. Folkmängden uppgick år 2012 till 380 personer (Statistiska Centralbyrån, 2013). Idag består bebyggelsen på orten i huvudsak av villor byggda på 1950-talet, men ett antal radhus återfinns också. Byggnader för jordbruk, skola och andra verksamheter föreligger också i trakten (Uppsala Kommun, 2010).

I den kommunala översiktsplanen för Funbo, som antogs år 2006, anges att omkring 1000 nya bostäder ska uppföras fram till år 2030 i södra Gunsta. För att täcka dessa bostäders värmebehov avser kommunen att anlägga ett värmedistributionssystem. Till detta system antas att även hälften av de befintliga bostäderna kommer att ansluta sig till år 2030 (Uppsala Kommun, 2010) (för mer information, se bilaga A).

## 1.2 Syfte

Projektets syfte är att ta fram ett underlag till värmeförsörjning av Gunsta med geotermisk energi. Systemet skall kunna möta krav som tillgänglighet, efterfrågan, stabilitet, och ekonomin skall redovisas. En grov ekonomisk uppskattning skall redovisas tillsammans med miljökonsekvenser samt juridiska aspekter.

## 1.3 Avgränsningar

### Tekniska avgränsningar

Denna studies system stäcker sig från extraheringshålet till och med fjärrvärmenätets anslutning, där injektionshål, pump, värmeväxlare, värmepumpar, ackumulatortank och reservsystem ingår. Fjärrvärmenätet exkluderas, men även mindre apparatur försummas då den inte förväntas påverka projektet i helhet.

### Geografiska avgränsningar

Geografiskt sett är systemet avgränsat till den del av berggrunden som påverkar produktions- och injektionshållets geotermiska egenskaper. Global och lokal miljöpåverkan innefattas och likaså juridiska aspekter av anläggningen.

## 2 Bakgrund och teori

Jordens genomsnittliga värmefflöde är  $65 \text{ mW/m}^2$  (Goldstein *et al.*, 2011). Värmefflödet har ackumulerats i berggrunden och härrör från processer som pågått under eoner. Under ett år producerar jordklotet värme motsvarande 139 000 TWh, det motsvara ungefär världens totala energikonsumtion under samma period. Det totala globala värmefflödet är drygt 40 TW vilket är dubbla vårt globala effektbehov på cirka 20 TW (Bjelm *et al.*, 2006; International Energy Outlook, 2013). I de översta 5 -10 kilometrarna av jordskorpan finns lagrad energi motsvarande en effekt på  $10^{27} \text{ W}$  (Juhlin, 2014, personlig kontakt). Kan endast en bråkdel av detta tillnyttas är det ändå en siffrig faktor mer än vårt totala energibehov.

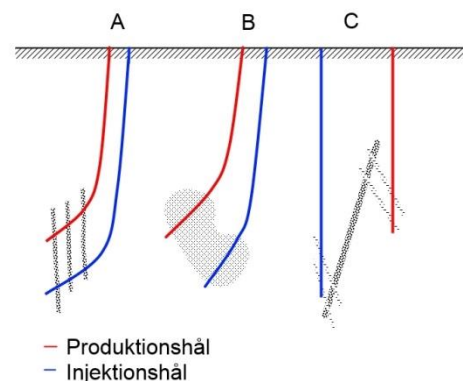
Genomsnittlig termisk gradient i jordskorpan ytligare skikt ligger runt  $25^\circ\text{C/km}$  (Hammons, 2004). Begränsande för potentialen anses vara de geologiska förutsättningarna. Sverige har generellt en låg geotermisk potential då berggrunden är mestadels granitisk av stor mäktighet och har få områden av sedimentära bergarter. Lund, Gotland samt Siljansringen är undantag där geotermisk energiextrahering är mer gynnsam.

Ökad potential förutspås ske genom Engineered (eller Enhanced) Geothermal Systems (EGS) där en teknik kallad Hot Dry Rock är inkluderad (HDR) (Goldstein *et al.*, 2011). Där utnyttjas lågpermeabla berggrunder med god termisk gradient så hög temperatur nås på moderata djup. Genom hydraulisk spräckning skapas en artificiell akvifär ur vilken uppvärmt vatten hämtas för nyttogörande, se figur 1 (Bjelm *et al.*, 2006). Elproduktionsanläggningen Soultz-sous-Forêts i Tyskland har framgångsrikt använt sig av hydraulisk spräckning (Projektinfo, 2009; Genter *et al.*, 2010).

### Geologin i Gunsta

Berggrunden antogs vara homogen vid större djup och består av granitiska och granodioritiska bergarter, där kvarts är huvudbeståndsdelen. Granit har värmekapaciteten  $800 \text{ J/kg}$  (Nordling & Österman, 2008). Värmeledningsförmågan kan variera, men uppskattas till cirka  $3,1 \text{ W/mK}$  i området och temperaturgradienten i jordskorpan antas vara cirka  $17,5^\circ\text{C/km}$  ner till 8 km djup (Schwarz, 2014; personlig kontakt).

För att beskriva en akvifär enligt en matematisk modell antogs att vattnet strömmar i cirkelringar enligt ett dipolmönster, där den termiska löptiden från injektionshål till produktionshål varierar beroende på vinkeln ut från borrhålet. Enligt Claesson (2014) är det bara en liten del av det kalla injicerade vattnet som tränger igenom akvifären ned till produktionshålet. När temperaturavtagandet i ett produktionshål beräknas ses det termiska flödet som en skarp front som förflyttar sig radiellt (för mer information, se bilaga C).



Figur 1: Exempel på hydraulisk spräckning. I A sker spräckningen vertikalt på grund av spänningsriktningarna i berget. I B har en större zon spräckts upp och i C utnyttjas en förkastningsspricka där hydraulisk spräckning har ökat volymen för vattnet att flöda genom. Exempel C är en principskiss baserad på EGS från Soultz.

### 2.1 Allmänt om tekniker som kan tillämpas i Gunsta

Geotermisk energi anses vara ett högriskprojekt då stora osäkerheter finns i utfallet. Kunskaper kan dock utnyttjas från andra fält. Prospekteringen kan exempelvis nyttja kunskaper från mineralprospektering och geologiska kartläggningar (Henkel, 2006), medan borrhningen har liknande tekniklösningar som oljeindustrin. Borrhning står för största delen av anläggningens totala kostnad (Lundin, 2007) och är även en kritisk process med stora osäkerheter då de geologiska och petrofysiska antagandena baseras på ytkunskaper som revideras med borrhdjupet (Erlström *et al.*, 2004). Lågtemperaturkällor kan vara intressanta

med hjälp av en binär cykel där värmen uppgraderas med värmepumpar (Lund, 2007; Zarrouk & Moon, 2014). Denna lösning skulle lämpa sig för Gunsta och Sverige har goda kunskaper om tekniken från bergvärmepumpar (Björk *et al.*, 2013).

## Prospekteringen

Provboring bör utföras när prospektering gäller för stora djup (Budh, 2014; personlig kontakt). Detta är idag den enda tekniska lösningen för att mäta precist vattenflöde och temperatur. Sveriges Geologiska Undersökning (SGU) har approximerat en värmegradient, men som dock endast varierar med djupet. Prospektering baseras till stor del på befintliga kartor hos SGU, men behöver kompletteras med exempelvis seismiska mätningar (för mer information, se bilaga C och D).

## Borning och spräckning

Information och kunskap om den geologiska miljön kan anskaffas genom kärnboringar där kärnprover analyseras och slutsatser kan dras gällande permeabiliteten (Grundfelt, 2010). Permeabiliteten är ett mått på bergets genomsläpplighet vilket styr det möjliga vattenflödet. Där möjlighet till vattenflöde finns kan boring påbörjas. Om permeabilitet saknas kan en akvifär skapas genom spräckning, hydrauliskt, kemiskt eller via sprängning (Henkel, 2006).

Borrmedierna luft, vatten och lera varierar och blandas beroende på den rådande geologin, för att uppnå nödvändiga smörjegenskaper och viskösa egenskaper. Ytterligare optimeringar kan göras med andra tillsatser (Harrison, 2000).

Boringen kan delas in i två olika grupper beroende på den aktuella tryckskillnaden. Dessa bormetoder är över- samt underbalanserad boring (Bjelm, 2007) (för mer information, se bilaga E).

## Extraheringen

Den geotermiska energin utvinns i djupare system och där är vattenflödet. Dessa termalvattensystem delas in utifrån temperatur i källan och huruvida den levererar varmt vatten (under 150°C), ånga (över 150°C) eller torr ånga. Källan kan vara en hetvattenreservoar, en vattenförande sedimentär bergart eller en magmakropp. Gemensamt är att kallare vatten pumpas ned i ett injektionshål, flödar genom en värmeväxlande volym där den tar upp värme, för att sedan pumpas upp genom ett produktionshål (Lund, 2007).

EGS, som är den nyare teknologin inom geotermi, utnyttjar HDR-teknik, Magma Energy samt Geopressure (Goldstein, 2011). HDR-teknologin söker högt tempererade berggrunder där en konstgjord akvifär kan skapas genom hydraulisk spräckning (Barbier, 2002) (för mer information, se bilaga F).

## Förädlingen

Om det vatten som tas upp från marken inte håller en tillräckligt hög temperatur för att direkt distribueras ut till bostäderna måste denna höjas, vilket kan göras med olika metoder. En vanlig metod är användning av en förbränningspanna där värmen kan överföras till vätskan. Ett annat sätt är att använda värmepumpar för att utnyttja energin i den lågt tempererade källan och på så sätt få en högre temperatur (för mer information, se bilaga G).

## 2.2 Juridik

För att utforma en geotermisk anläggning måste svensk lag följas. Tillstånd för djuphålsboring söks hos kommunen där de beaktar översikts- och detaljplanen. I anslutning måste också bygglov sökas hos kommunen och huruvida området är ett vattenskyddsområde samt om det är ett primärt- eller sekundärt vattenskyddsområde, reglerar om tillstånd kommer att beviljas (Normbrunn, 2008). För hantering av vatten i

borrhålen krävs tillstånd för vattenverksamhet (SFS, 1988) och tillstånd måste även sökas för inrättande av värmepumpsanläggning (Miljöbalken, 1998).

Borrbolaget är skyldigt att mäta konduktiviteten och kloridhalten hos vattnet, då detta kan påvisa försämring av grundvattnets kvalitet. De måste också rapportera utfall vattenuttag sker från övre och undre akvifären eftersom det kan leda till att vattenkvaliten försämras. Borrhålen måste placeras så att de inte påverkas av föroreningar (Normbrunn, 2008) (för mer information, se bilaga H).

Borrkax är en blandning av krossat berg med varierad kornstorlek som returneras från borrspetsen upp till marknivå. Borrning och hantering av kax regleras av miljöprövningsförordningen som beslutar hur kaxet skall hanteras beroende på innehållande ämnen och dess halter (för mer information, se bilaga I).

## 2.3 Miljöaspekter

För att undvika utsläpp kring närliggande vattendrag spelar hanteringen av borrvätskan en viktig roll, där borrvätskan ibland behöver sedimenteras (för mer information, se bilaga I).

Vid borrning av stora djup finns risk för saltvatteninträngning som kan ge en negativ påverkan på grundvattnet. Salthalten i vattnet ökar med djupet, och för ett djup på 1000 meter är troligen salthalten jämförbar med saltlake på 50 g/liter. Djuphålvattnet har ett pH-värde på 8, medan regnvatten vid markytan har ett pH på 5 och en salthalt på 10 mg/liter (Djupa borrhål, 2007).

Vid hydraulisk spräckning används stora vattenmängder, och spräckvattnet mellanlagras i tillfälliga bassänger på platsen. Vattnet transporteras sedan med lastbilar till konventionella vattenreningsverk. Huruvida vattenreningsverket i Uppsala har kapacitet att rena vattnet beror på egenskaperna av det vattnet som tas upp (Anonym, 2013).

## De nationella miljömålen

Sverige har 16 miljö kvalitetsmål beskriver målsättningen med Sveriges miljö och ger en riktlinje för hur miljöproblem skall lösas till år 2020 (Naturvårdsverket, 2013). Den geotermiska anläggningen i Gunsta kommer troligtvis inte påverka miljö kvalitetsmålen nationellt men en påverkan lokalt på plats skulle kunna ske. Anläggningen kan komma att påverka färdsträckan till målen både negativt och positivt.

Miljö målen som kan komma att påverkas av det geotermiska värmeverket är: En giftfri miljö, Bara naturlig försurning, Begränsad klimatpåverkan, Grundvatten av god kvalitet, God bebyggd miljö, Levande skogar, Ett rikt växt- och djurliv, Levande sjöar och vattendrag (Naturvårdsverket, 2012a) (för mer information, se bilaga J).

## 3 Material och metoder

### 3.1 Litteratur

Denna rapport är i huvudsak baserad på information inhämtad från litteraturstudier. Databaser där vetenskapliga artiklar har hämtats är Sveriges lantbruksuniversitet, SLU:s Primo, Web of Science, Science Direct och Google Scholar.

Uppgifter kring Gunsta har erhållits från dokument som Uppsala kommun tillhandahåller, samt från undersökningar som genomförts på deras uppdrag. Gällande uppgifter kring den svenska normalvillans energibehov har information hittats genom Statistiska Centralbyrån. Beräkningar på de kommande fastigheterna är baserade på den energianvändning som angetts av husproducenten som är tänkt att bygga den första etappen villor och radhus i området.

Kring extraheringstekniker studerades främst en rapport från IPCC av Goldstein et al., 2011 samt EGS-forskning från Soultz.

Större delen av de juridiska aspekterna är hämtade från Sveriges geologiska undersöknings rekommendationer; *Normbrunn -07, Att borra brunn för energi och vatten – en vägledning*, som behandlar borring av energi- och vattenbrunnar på ett lägre djup. På grund av brist på källor som rör juridik vid djuphålsboring approximeras *Normbrunn -07* att gälla för djupare borrhål i Gunsta.

Geologiska och hydrogeologiska kartor och information kring dessa är hämtade från SGUs bibliotek och SGUs kartgenerator på internet. Kartor har även hämtats från Lantmäteriets hemsidas kartgenerator och "Vattenskyddsområde, Gunsta 03 FS 2001:6" från Uppsala Vatten (Arbom & Persson, 2002; SGU, 2014; Lantmäteriet, 2014; Uppsala Vatten, 2010).

Beräkningar av potential och temperaturstörningar i akvifärer baserades på metoder föreslagna av Claesson *et al.*, 1985.

### 3.2 Studiebesök

Ett flertal studiebesök genomfördes under projektets gång. Gruppen besökte Siljansnäs (Igrene AB), Eggebyholm (SGU), Geocentrum (SGU) och Lund (Kraftingen och Alfa Laval). Studiebesöken bidrog till en helhetsbild av geotermin som energikälla, markförutsättningar, borring samt komponenter till värmesystem.

### 3.3 Personliga kontakter

Personliga kontakter knöts med berörda personer för att bekräfta samt att reda ut frågetecken kring den genom litteraturstudien tillgodogjorda informationen, se vidare referenslistan, personliga referenser.

### 3.4 Beräkningsmetoder och ekvationer

Temperaturstörningen för en djupt belägen akvifär kan beräknas enligt följande formler.

Tiden det tar för den första fraktionen av injektionsvattnet att nå produktionshålet, break-through time, i en djupt belägen akvifär ges av ekvationen (Claesson *et al.*, 1985):

$$t_{bt} = \frac{\pi \cdot H \cdot C \cdot L^2}{3 \cdot Q_w \cdot C_w} \quad [1]$$

där H är akvifärlagrets mäktighet, C markens värmekapacitet och L avstånd mellan produktions- och injektionshål. Vidare är  $Q_w$  volymflöde hos vatten och  $C_w$  vattnets specifika värmekapacitet. Tiden för uppblandning, melting time, ges av:

$$t_m = H^2 \cdot \left( \frac{C}{\sqrt{\lambda \cdot C}} \right)^2 \quad [2]$$

där  $\lambda$  är värmeledningsförmågan. Med ekvation 1 och 2 kan en enhetslös konstant,  $\gamma$ , formuleras enligt

$$\gamma = \sqrt{\frac{t_{bt}}{t_m}} \quad [3]$$

I figur 2 visas olika grafer för  $\gamma$ . För att beräkna temperaturstörningen vid produktionshållet för olika tidpunkter ansätts en tid  $t$  i uttrycket för  $\tau$  enligt:

$$\tau = \frac{t}{t_{bt}} \quad [4]$$

och dess skärningspunkt med  $\gamma$ -grafnen avläses på y-axeln som  $U_{out}$ . Detta värde gäller för en grad injicerat vatten i ett nollgradigt system och måste då tas gånger  $\Delta T$ , differensen i upphämtat och returnerat vatten till akvifären (Claesson *et al.*, 1985).

## Effektuttag

$$E = F \cdot \Delta T \cdot k \quad [5]$$

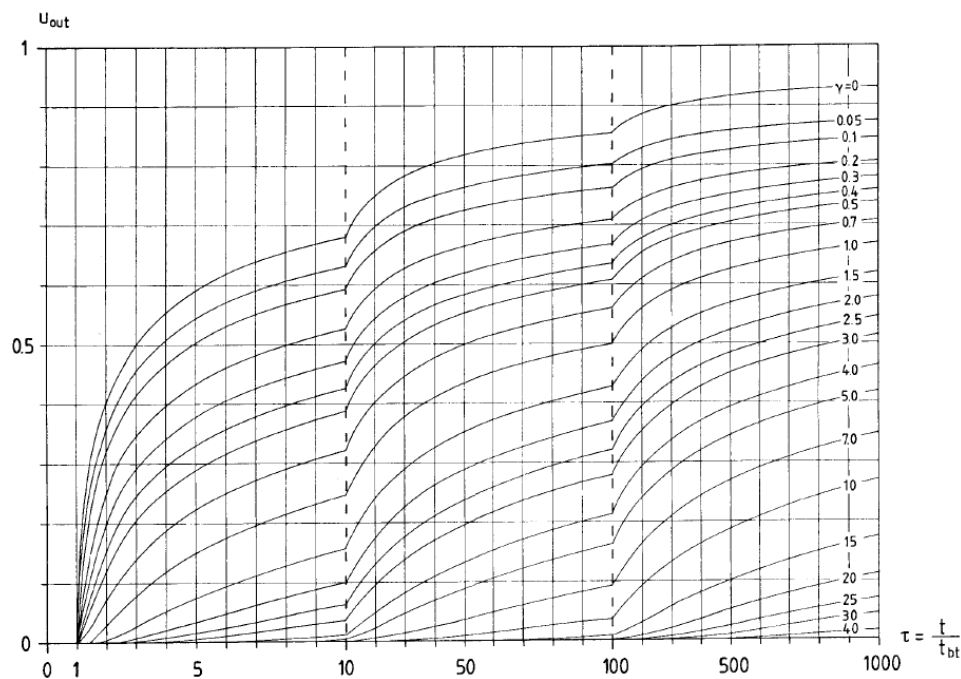
Möjlig energi att plocka ut ur berggrunden,  $E$  [W], är relaterad till det möjliga vattenflödet,  $F$  [kg/s], temperaturavsänkning,  $\Delta T$  [K] och värmekapaciteten,  $k$  [J/kg] i fluiden (Henkel *et al.*, 2004; Freeston, 1995). Samma formel kan användas för att beräkna effektuttaget från en värmepump.

## Borrkostnad

För att räkna ut borkkostnaden kan man använda följande formel:

$$3 \cdot e^{0,6 \cdot x} \quad [6]$$

där  $x$  är borkdjupet i kilometer och kostnaden är i miljoner SEK (Lundin, 2007).



Figur 2: Temperatur vid produktionshål för akvifär på stort djup. Skärningspunkten för definierat  $\tau$  med aktuell kurva för  $\gamma$  avläses på y-axeln som  $U_{out}$ .  $U_{out}$  motsvarar en grads störning i ett nollgradigt system och tags då gånger  $\Delta T$  för aktuellt system (Claesson *et al.*, 1985).

## 4 Resultat

### 4.1 Behovsunderlaget

Vid dimensionering av ett värmesystem måste uppvärmnings- och varmvattenbehovet fastställas, samt dess variationer. Det behov som ska täckas i Gunsta år 2030 utgörs av två typer av bostäder. Dels 1000 bostäder som i dagsläget inte är byggda, samt 200 bostäder från det befintliga bostadsområdet.

Av de tillkommande fastigheterna kommer den första etappens bostäder ha ett uppvärmnings- och varmvattenbehov på 75 kWh/m<sup>2</sup> (Branthammer, 2014; personlig kontakt). Behovet de befintliga byggnadernas har för uppvärmning antas vara detsamma som för 2009 års svenska normalvilla. En sådan villa är på 149 m<sup>2</sup> och förbrukar omkring 90 kWh/m<sup>2</sup>, vilket ger ett årsbehov på 13 480 kWh. För varmvattenbehovet antas det uppgå till 4 500 kWh/år (Energimyndigheten, 2012a).

Med antagandet att närvärmesystemets förluster uppgår till 15 % (Optensys, 2008) kunde det totala energibehovet beräknas. Resultatet blev att närvärmeverket i Gunsta måste tillföra 16,2 GWh per år till värmedistributionssystemet. Med energibehovet fastställt kunde en dimensionering av effektbehovet för området göras utgående från förhållandet mellan levererad energi och installerad effekt i Uppsala stads fjärrvärmenät. Gunstas effektbehov uppgick då till 6,9 MW (för mer information, se bilaga A).

### 4.2 Potentialen

Vid Gunsta bör en akvifär spräckas upp för att nå ett vattenflöde på 36 kg/s, vilket förmodligen ger en livslängd på 30 – 50 år (för mer information, se bilaga C). Borrålet rekommenderas att nå 1,8 kilometers djup för att erhålla en temperatur av ca 31 °C. Med föreslagen temperaturdifferens på 20 °C mellan produktion- och injektionshål samt en värmekapacitet för fluiden i akvifären på 4,18 kJ/kg (cirka 1,16 Wh/kg) erhålls enligt ekvation 5 ett effektuttag på 3 MW ur berggrunden vid Gunsta.

### 4.3 Borrmetod och spräckning

Den borrhörteknik som studien föreslår i Gunsta är i huvudsak underbalanserad rotationsborrning med luft. Hålet ska under borringens gång kapslas för att öka dess stabilitet. Vid vattenfyndigheter byts teknik till överbalanserad rotationsborrning. I de sedimentära delarna rekommenderas att ett lerbaserat borrhörmedium användas för att förhindra att olika föroreningar letar sig in i borrhålet (Rosberg, 2006).

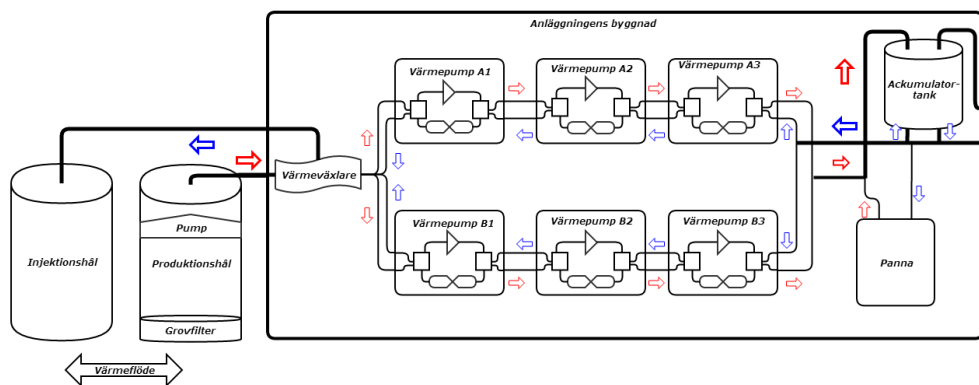
Om kärnborringens analyser visar en avsaknad av naturliga akvifärer ska hydraulisk spräckning genomföras, vilket troligtvis är fallet i Gunsta. Hydraulisk spräckning inleds i mindre omfattning för att mäta bergets spänningsriktningar. Spräckning görs punktvis längs det horisontellt borrhörade hålet med hjälp av vatten under högt tryck. Sprickornas storlek och utbredning mäts med hjälp av seismiska refraktions- och reflektionsmätningar (Bjelm, 2014; personlig kontakt).

### 4.4 Värmeextraheringsmetod

Då de geologiska förutsättningarna i Gunsta inte antogs erbjuda ett naturligt termalvattensystem rekommenderas istället att HDR-tekniken utnyttjas (för mer information, se figur 1-3, bilaga K). Utifrån tillgängliga kartor sätts störst tilltro till sprickzonerna i södra Gunstatrakten, se figur 1c (för mer information, se figur 4, bilaga K). Hydraulisk spräckning föreslås för att uppnå ett flöde upp ur borrhålet om minst 36 kg/s. Studien antog att erhållen temperatur kommer bli för låg för direkt användning och höjs via värmepumpar (för mer information, se bilaga F).

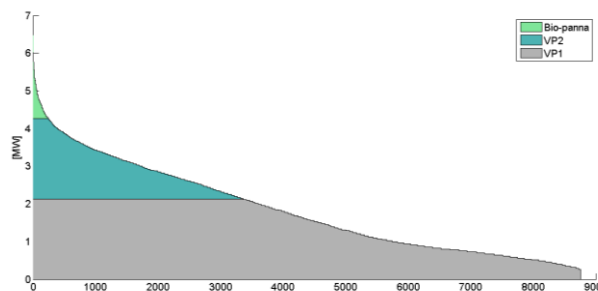
## 4.5 Anläggningens utformande

För att täcka energibehovet i Gunsta rekommenderas ett värmepumpsystem till baslasten, och en pelletspanna för att täcka toppeffekten. I figur 3 visas den geotermiska energianläggningens utformande. Systemet kommer bestå av en primärkrets som inbegriper termalvattencirkuleringen och en sekundärkrets som inbegriper förädlingen av värmemot ut mot närvarmenätet.



Figur 3: Schematisk bild över anläggningens utformande.

Varaktighetsdiagrammet i figur 4, illustrerar på årsbasis effektinivån som erfordras för att möta Gunstas behov. Profilen varierar mellan åren, främst beroende på hur kall vintern är. Denna profil är baserad på ett genomsnittligt behov från sex olika fastigheter i Uppsala under år 2013. Ur figuren utläses att värmepumparna bidrar med cirka 90 % av den levererade energin (för mer information, se bilaga L).



Figur 4: Varaktighetsdiagram för Gunsta (se vidare bil. L).

### Primärkretsen

Då vattnets sammansättning är okänt antogs vattnet vara av aggressiv art, det vill säga gasrikt och ha hög saltkoncentration. Systemet måste därför hållas trycksatt och slutet för att undvika emissioner. Det måste anpassas till att hantera scaling, så som exempelvis kiselbeläggningar (Zarrouk *et al.*, 2014).

Produktionshålet behöver inte isoleras utan systemet anses uppnå en termisk jämvikt efter viss tid (Claesson, 2014; personlig kontakt). Enligt denna studie antogs avståndet från produktionshål till anläggningen vara ca 1000 m (för mer information, se figur 4, bilaga K). Förläggs rören på två meters djup i marken i polyetenrör ger marken den isolerande effekt som behövs (Gierow, 2014; personlig kontakt).

För att förlänga livslängd och öka prestanda på primärkretsens komponenter planerades ett tvådelat filtersystem. Ett mekaniskt filter bör placeras i botten på borrhålet för större partiklar såsom grus och sten och ett andra filter ovan jord skall förhindra finare partiklar. Lämpligt filter ansågs vara Alfa Laval's vattenfilter ALF-prefilter som i kombination med en integrerad backspolningsfunktion på värmeväxlaren ger god renhållningsprestanda på systemet (Carselid, 2014; personlig kontakt).

Då borrhålet är djupt krävs en dränkt pump. Lämplig pump kan vara SP125-8, vilket är en trefaspump från Grundfos AB med en kapacitet på upp till 150m<sup>3</sup>/h (=40kg/s). Denna placeras max hundra meter ned i borrhålet som en kompromiss mellan serviceåtkomst och tryckförhållande i borrhål (Johansson, 2014; personlig kontakt).



Primärkretsen leds till Alfa Laval's plattvärmväxlare TL15-B, som är anpassad för korrosivt termalvatten. Plattvärmväxlaren är försedd med skiljeväggar i rostfritt stål och titan som klarar kraftigt korrosiva fluider. Den har en kapacitet på upp till 120 kg/s och 1 MPa (Alfa Laval, 2014) (för mer information, se bilaga F).

## Sekundärkretsen

Värmväxlaren mellan primär- och sekundärkrets byter medium från termalvatten till vanligt vatten. Temperaturen antogs vara 30°C ut från värmväxlaren och värmepumparna levererar en temperatur på 80°C ut på närvärmenätet.

Lösningförslaget är uppbyggt av två parallella värmepumpssystem med R134a som köldmedium, vardera innehållande tre värmepumpar i serie som arbetar i olika temperaturintervall. Ett förslag på leverantör av värmepumparna kan vara Oilon. Varje serie är uppbyggd av en värmepump modell S490 SU VFD samt av två stycken P380 SU VFDx2 (Östman, 2014; personlig kontakt).

Enligt Östman (2014), ger en serie en maxeffekt på 2130 kW, flödet är då 16,9 kg/s och temperaturen på vattnet innan det värms upp är 50°C. COP-värdet är 3,3 vid maxeffekt, vilket innebär att 645 kW elektricitet krävs per serie (för mer information, se bilaga M).

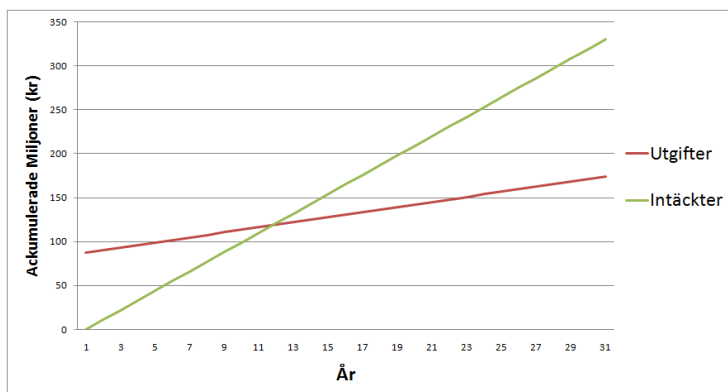
Studien föreslår en ackumulatortank på drygt 1300 m<sup>3</sup>, vilket motsvarar ett energiinnehåll på 0,13 GWh. Detta skulle vara tillräckligt för att täcka dagliga effekttoppar. Exempelvis Rodonverken kan tillverka en sådan (Larsson, 2014; personlig kontakt) (för mer information, se bilaga N).

Studien föreslår även att pellets pannan OSBY PB2 från Osby Parca bör finnas i anläggningen för att användas under kallare delar av året då effektbehovet är större. Pannan kan leverera 3 MW effekt och har då ett arbetstryck på 6 bar vilket ger ett flöde på 4 kg/s. Den har en verkningsgrad på 90 % vid varierande last (Osby Parca, 2009) (för mer information, se bilaga N).

## 4.6 Ekonomi

Studier av tidigare borrhningar i likande berggrund i Skåne ger en kostnadsuppskattning på 14 kSEK/meter genom urberg med underbalanserad borrhning, och denna kostnadsuppskattning applicerades på Gunsta (Bjelm, 2007).

Den geotermiska värmeanläggningen beräknades grovt kosta 88 MSEK. Då innefattar detta två borrhål, cirka 62 MSEK, och anläggningen med större komponenter, 25 MSEK. Mindre komponenter och rörledningar försummas. Det totala priset för den hydrauliska spräckningen



Figur 5: Återbetalningstiden för den geotermiska fjärrvärmeanläggningen i Gunsta. Grön linje motsvarar intäkterna och röd linje motsvarar utgifterna. Linjerna skär varandra efter ca 12 år, vilket är återbetalningstiden.

ligger mellan 6 till 10 miljoner SEK (Bjelm, 2014; personlig kontakt).

Studien gav en grov årlig driftskostnad på cirka 3 MSEK, och ett kWh-pris på 0,18 SEK (för mer information, se bilaga O).

Ett medelvärde från 2013 för intäkten/producerad kWh för fjärrvärme i Sverige är 80 öre (Svensk fjärrvärme, 2014) Med denna siffra samt det uppskattade energibehovet

kan totalvinsten i Gunsta per år räknas ut till 11 MSEK.

Enligt uppskattning krävs en marginalkapacitet på 500 h/år. Kostnaden för att täcka detta behov är cirka 230 kSEK i driftkostnad och 10,7 MSEK i investeringskostnad (för mer information, se bilaga O).

Återbetalningstiden för anläggning har beräknats till 12 år, se figur 5. Eventuella haverier är då försummade, och samtliga komponenters livslängd är förväntade vara längre än återbetalningstiden (för mer information, se bilaga O).

## 4.7 Juridiska aspekter

Svensk lag ska följas och de tillstånd som tidigare nämndes måste sökas. Dock kommer Uppsala kommun inte behöva ta hänsyn till aspekterna för vattenskyddsområde eftersom Gunsta inte är placerat i ett sådant (för mer information, se figur 5, bilaga K). Vidare måste borrningsbolaget vara certifierat och uppfylla ovannämnda krav på utrustning och uppförande.

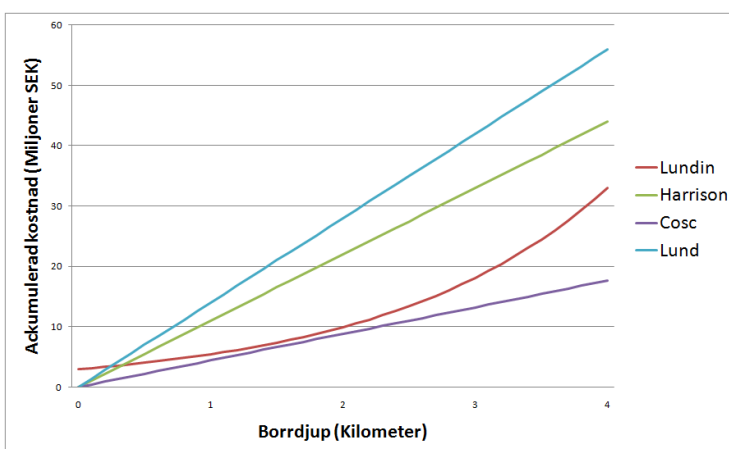
## 4.8 Känslighetsanalys

### Behovsunderlag

Energibehovet i Gunsta är framtaget genom beräkningar på befintliga och planerade fastigheter. Variationen som uppstår då dessa beräkningar ändras kan få konsekvenser på hur studiens förslag utformas. I bilaga B redovisas hur en 20 % ökning av energibehovet till de nybyggda fastigheterna påverkar områdets totala energibehov. Resultatet blir då att energibehovet ökar med knappt 15 %.

### Flöde samt temperaturextrahering

Vid ändrat flöde genom akvifären påverkas effektuttaget enligt ekvation 5 i en linjär trend. Samtidigt påverkas temperaturavtagandet i produktionshålet vilket bestämmer livslängden för systemet. Som resultat av analysen fås att ett minskat flöde förlänger systemets livslängd, men för bibehållen uteffekt blir arbetet för värmepumparna större från start. Med högre flöde krävs mindre arbete från värmepumparna initialt, men systemets livslängd kortas. I takt med temperaturavtagandet kommer arbetet för värmepumparna att öka oavsett flöde. Systemet anses oanvändbart då temperaturstörningen gör att  $T_{retur}$  blir  $< 0$  °C. Livslängd för system med flödet 10 kg/s uppskattades till större än 50 år, flödet 36 kg/s gav en livslängd på mindre än 50 år och flödet 62 kg/s mindre än 25 år (för mer information, se bilaga C).



Figur 6: Kostnaden att borra två hål utan prospektering samt spräckning, varierande per meter enligt olika källor.

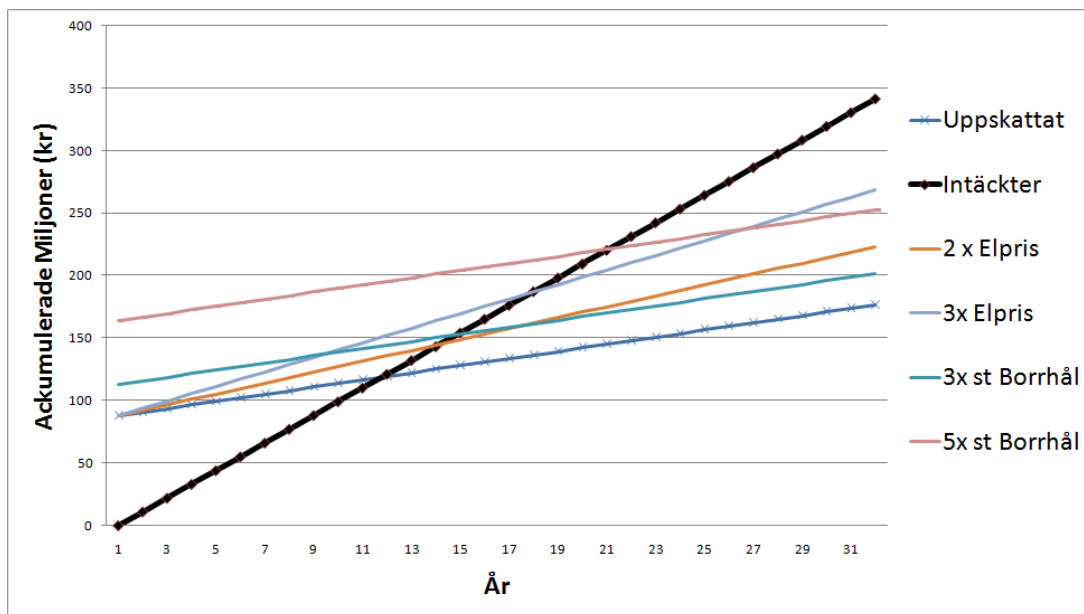
### Ekonomisk analys

Ett extra borrhål innebär en ökad utgift på 25 MSEK vilket ger en återbetalningstid på 16 år. Tre extra borrhål skulle innebära en ökad utgift på 75 MSEK och en återbetalningstid på 22 år, se figur 6-7 (för mer information, se bilaga O).

Om elpriset ökar till det dubbla, fås en ökad driftkostnad till cirka 5 MSEK vilket motsvarar en ökning på 51 %. Detta ger en

driftkostnad på 0,27 SEK/kWh värme. Återbetalningstiden ökade till 16 år, se figur 6. Ökar elpriset tredubbelt blir driftkostnaderna ca 6 MSEK/år och därmed 0,36 SEK/kWh. Detta

motsvarar en ökning med 104 % och en återbetalningstid på 20 år, se figur 7. I denna analys är samtliga komponenters livslängd antagna att vara längre än återbetalningstiden. Eventuella haverier är försummade.



Figur 7: Återbetalningstiden för det geoteriska fjärrvärmeverket i Gunsta. Den ackumulerade kostnaden över 30 år varierar med avseende på elpriset (dubbelt och tredubbelt så dyrt), samt upprättandet av flera borrhål (ett extra respektive tre extra). Linjerna med brytpunkter är projektets uppskattade ackumulerade kostnader samt intäkter.

## 4.9 Miljöaspekter

Miljöpåverkan från den geotermiska anläggningen uppkommer främst under anläggningskedet, exempelvis från borrhåll och spräckning.

Köldmediet som denna studie föreslår är R134a, vilket är ett ämne som ej är hälsofarligt. R134a är dock en kraftig växthusgas (Atlas Copco, 2009).

Driften av det geotermiska verket är en för miljön ren process med ett slutet system som inte påverkar miljön i form av emissioner från verket (Lund, 2007). Då anläggningen använder nordisk elmix beräknas miljöpåverkan för driften av anläggningen bli 75 till 100 g koldioxid/kWh (Klimatkompassen, u.å.). Dock kan läckage av köldmedel och grundvatten uppkomma, vilket skulle skada miljön i området och bidra till en ökad växthuseffekt.

I naturliga akvifärer finns ofta CO<sub>2</sub> respektive CH<sub>4</sub> bundet vilket gör att primärkretsen måste hållas slutet samt trycksatt för att undvika ett läckage av växthusgaserna (Goldstein, 2011).

En hög risk för påverkan från geotermiska verket finns efter borrhållsprocessen då stora mängder vatten används, som sedan måste renas eller sedimenteras. Efter detta är det tillåtet att släppa ut vattnet i åar så länge vattenkonduktiviteten inte ändras (Gierow, 2014; personlig kontakt).

Energikällan måste integreras i samhället på ett sätt som tar hänsyn till natur- och kulturmiljö men också säkerhet och hälsa (Naturvårdsverket, 2012a). Det krävs också en klargörelse för vilka utsläpp verket kommer bidra med, samt att en beredskap finns för skyddsåtgärder, så som t.ex. hanteringen av borrhållsaxet om halten radioaktiva ämnen är hög (Naturvårdsverket, 2014).

## 5 Diskussion

### Gunstas potential

Gunsta har förmodligen en lägre termisk gradient,  $17,5^{\circ}\text{C}/\text{km}$ , än den globalt genomsnittliga,  $25^{\circ}\text{C}/\text{km}$  (Hammons, 2004). Naturligt permeabla vattenförande skikt eller större sprickzoner saknas vilket ger Gunsta mycket låg potential. För HDR-tekniken globalt eftersträvas temperaturer  $> 80^{\circ}\text{C}$  på djup mindre än 2 km samt större sprickzoner för att anses intressanta (Barbier, 2002; Hofmann *et al*, 2014). Till denna studie gjordes flera antaganden. Dessa var: temperaturgradienten erhållen från SGU följer en linjär trend, borrningen lyckas nå ett djup av 1,8 km, spräckningen resulterar i ett flöde av 36 kg/s.

### Miljökonsekvenser

På riksnivå kan det geotermiska verket i Gunsta bidra till ett undviket utnyttjande av torv för uppvärmning i Gunsta, vilket i sin tur bidrar med att de naturliga kolsänkorna stärks. En möjlig undviken energiproduktion är värme från avfallsförbränning eller gas, vilket skulle leda till ett undviket utsläpp av växthusgaser.

Placeras borrhål så risk för passage genom grundvattentäcker uppstår, krävs casening för att säkra separeringen av fluider. Bra erfarenheter av cementering och foderrörstättning är få. Inom oljebranschen beräknas varje tätning lyckas till 50 %. På djup runt tre km är andelen lyckade tätningar ännu lägre (Grundfelt, 2010).

### Borrning

Borrning i kristallin bergart på djupet 1-4 km med nödvändig diameter ställer höga krav på både utrustning och borrarerna.

Underbalanserad borrning kan lätt modifieras genom att byta mindre komponenter. Detta minskar tidsåtgången och kostnaderna då samma grundrigg nyttjas. Rotationsborrning bygger på samma grundteknik vilket gör att både vatten, lera och luft kan användas den är också förenad med relativt låg produktionskostnad och lång livslängd (Bjelm, 2006).

Borrning och spräckning av denna karaktär är fullt möjligt att genomföra men långt ifrån enkelt. Under processens gång kan förutsättningarna förändras drastiskt. Detta till följd av förändrad stabilitet i det borrhålet. Borrning och spräckning kan komma att äventyra hela projektets genomförbarhet.

### Extrahering

Temperaturavtagandet i det geotermiska systemet är starkt kopplat till mäktighet på akvifären, avståndet mellan borrhålen samt flödet genom systemet. I Gunsta har denna studies beräkningar baserats på antagandet om en uppspräckt akvifär med 5 meters mäktighet, 500 meter mellan borrhålen samt ett flöde på 36 kg/s. Utifrån ekvationerna 1, 2, 3 och 4 samt figur 3, kan systemets temperaturavtagande fastställas och därmed även dess livslängd. I känslighetsanalysen visades att om ingen återuppladdning sker kommer en temperaturminskning ske, vilket innebär en minskning om  $6^{\circ}\text{C}$  på 10 år. Om systemet återladdas kan temperaturminskningen bli försumbar. Efter 100 år beräknades produktionshålets temperatur ha minskat med ca  $4^{\circ}\text{C}$  (för mer information, se bilaga C).

### Primärkrets

Kiselrikt termalvatten orsakar beläggningar på komponenter (scaling), vilket sänker prestandan. Alfa Laval TL15-B har en effektiv reningsprocess med backspolning som kan göras under drift. Andra system på marknaden nyttjar kemikalier eller mekanisk rengöring som kräver driftstopp. Med viss överdimensionering i värmeväxlaren ökar det laminära

flödet och värmeöverföringen, men risken för igensättning minskas (Carselid, 2014; personlig kontakt).

## Sekundärkrets

Två parallella serier med värmepumpar ökar flexibiliteten hos och underlättar servicen av systemet. Enligt figur 4, kan utläsas att systemet har visst utrymme för utbyggnad av närvärmenätet. Valet av Oilon som leverantör gavs av att deras system kan nå uttemperaturen 80° C samt systemets goda styrförmåga. Oilon figurerar även som leverantör vid flera storskaliga värmesystemlösningar (Östman, 2014; personlig kontakt).

Pellets pannan valdes framför traditionell oljepanna då bränslet är billigare (Bioenergi, 2012) och ger mindre klimatpåverkan (Energimyndigheten, 2012b) vilket ligger i linje med visionen om klimatneutralt Gunsta.

## Ekonomi

De ekonomiska kalkylerna innehåller stora osäkerheter när det kommer till borrhållskostnaderna. Internationella källor stämmer med studiens framtagna resultat, men COSC-projektet och Lundin talar om betydligt lägre borrhållskostnader. Detta gör att kostnaden skulle kunna vara lägre, men vid komplikationer skenar lätt kostnaderna iväg. En ekonomisk osäkerhet är också att priset på el kan komma att ändras i framtiden.

Priset/kWh som estimerades stämmer relativt bra överens med teoretiska värden (Barbier, 2002; Stefansson, 2002). Den teoretiska återbetalningstiden, 12 år, är väldigt nära den beräknade. Dock är dessa beräknade för hela världen där andra förutsättningar finns. Driftskostnaden uppskattades till 0,18 SEK/kWh, vilket är ett fördelaktigt resultat i jämförelse med traditionell pelletsbaserad värmeproduktion som ligger i spannet 0,20 – 0,30 SEK/kWh, exklusive spetslastperiod (Zetterberg, 2014; personlig kontakt).

Elpriset har visat sig vara en avgörande faktor för den årliga ekonomiska vinsten. Känslighetsanalyser påvisar att ett elpris på 1 SEK/kWh, vilket kan vara en rimlig kostnad för elen idag, ger stora utslag på ekonomin. Detta bör beaktas om en anläggning upprättas.

De grova ekonomiska beräkningarna har visat att det kan vara lönsamt att anlägga ett geotermiskt närvärmeverk om önskat flöde uppnås, elpriset inte eskalerar och få eller inga extra borrhål behövs. Om fem borrhål krävs förlängs återbetalningstiden till ca 21 år. Enligt känslighetsanalysen finns utrymme för extra utgifter och på lång sikt skulle systemet kunna ses som ekonomiskt försvarbart. Osäkerheterna i kalkylerna måste dock tas i beaktande och noggrannare ekonomiska analyser bör göras (för mer information, se bilaga O).

## 5.1 Osäkerheter i studien

För borrhningen finns flera osäkerheter. Exempelvis ostabila borrhål som ger utfall i hål och kollaps av foderrör. Man kan stöta på aggressivt vatten så utrustning slits hårdare. Svårigheter vad gäller borrhning horisontellt samt övergången från vertikal borrhning.

Osäkerheter för spräckning kan vara att bergets spänningsförhållande är ojämnt fördelade vilket leder till otillfredsställande form hos akvifären. Under spräckning kan horisontella hål kollapsa och därmed förloras utrustning.

## 5.2 Rekommenderade vidare studier

Seismiska studier för att ringa in sprickzoner lämpade för uppspräckning till större volymer.

Utformning av återuppladdningssystem för returvattnet till injektionshål.

En djupare undersökning för valet av pann-typ som ska producera värme då effektbehovet är högre än vad värmepumparna kan producera.

En detaljerad ekonomisk analys som fastställer ekonomiska osäkerheter.

## 6 Slutsats

Den förväntade geotermiska potentialen i Gunsta är låg, med troligtvis ingen vattengenomsläpplighet.

Den rekommenderade extraheringen baserar sig på en modifierad HDR-teknik där en konstgjord akvifär bildas vid ca 1,8 kilometers djup med en antagen temperatur på 30°C och ett flöde om minst 36 kg/s.

Den föreslagna primärkretsen består av mekaniskt filter i botten på produktionshålet, dränkt pump (SP-125, Grundfos AB), vattenfilter (ALF-prefilter, Alfa Laval) samt en plattvärmväxlare gentemot sekundärkretsen (TL15-B, Alfa Laval).

I förslaget på sekundärkrets ingår sex värmepumpar från Oilon, installerade i två serier. En serie utgörs av en värmepump modell S490 samt två av modell P380. Den installerade effekten är sammanlagt 4260 kW från detta system (Oilon, 2014).

I anläggningen rekommenderas en ackumulatortank, tillverkad av Rodoverken, för att tillgodose dagliga effekttoppar. Tanken rymmer 1300 m<sup>3</sup> vatten och har en kapacitet att lagra 0,13 GWh. Även en pelletspanna som kan leverera effekten 3MW tillrådas som backupsystem och reservsystem för anläggningen under kallare perioder. För modellen på pannan föreslås en OSBYPB2 från tillverkaren Osby Parca.

Kunskap och kompetens för borrning och spräckning på önskat djup finns idag, främst inom olje och gasindustrin som dock skyddas av företagsintessen. Borrningen kan underlättas genom att hålla nere på hålets dimensioner vad gäller djup och diameter. Borrningen och spräckningen är fullt genomförbar då tekniken finns, men det är en komplicerad process.

Miljöpåverkan från drift av det geotermiska verket kommer bli låg om ett slutet system används. Dock kan en negativ påverkan på närmiljön ske under anläggningskedet.

De ekonomiska uppskattningarna gav en driftkostnad för den geotermiska anläggningen på 0,18 SEK/kWh, vilken är låg medan installationskostnaden för anläggningen är hög, 88 MSEK, där borrkostnaden utgör den största kostnaden på 62 MSEK. Kostnaden för borrningen är dock svår att uppskatta på grund av att en exakt kostnadskalkyl per meter inte finns, utan bara antaganden som ej styrker varandra.

Den grova ekonomiska beräkningen ger inte ett entydigt svar om ekonomisk försvarbarhet.

Livslängden på systemet är 30 – 50 år, men kan förlängas avsevärt med återladdning i form av spillvärme eller med solfångare.

# Referenser

- Alfa Laval. 2014. TL15-B. URL [http://www.alfalaval.com/solution-finder/products/gasketed-industrial-range-phe/Documents/TL15\\_B\\_plate\\_heat\\_exchanger.pdf](http://www.alfalaval.com/solution-finder/products/gasketed-industrial-range-phe/Documents/TL15_B_plate_heat_exchanger.pdf). (Hämtad 2014-05-12)
- Anonym. 2013. "Lokala och regionala myndigheters syn på skiffergas, tät gas och olja" (Okonventionella kolväten). ENVE-V-034. Regionkommittén. Europeiska Unionen
- Arbom J. O & Persson L. 2002. Beskrivning till berggrundskarta 111 Uppsala NV. 111 Uppsala NV. [Kartografiskt material]. 1:250 000. ISSN 0586-1543 ISBN 91-7158-673-3. Uppsala: SGU.
- Atlas Copco. 2009. Säkerhetsblad r134a. URL [http://www.atlascopco.se/images/kylr134a\\_tcm44-154885.pdf](http://www.atlascopco.se/images/kylr134a_tcm44-154885.pdf) (Hämtad 2014-05-13)
- Barbier E. 2002. Geothermal energy technology and current status: an overview. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 6 (2002) 3 – 65 PII:S1362-0321(02)00002-3
- Bioenergi. 2012. Energibesparing – Spara miljö och pengar med pellets. URL [http://www.bioenergilulea.se/Pages/sv-SE/pellets\\_besparingskalkyl.aspx](http://www.bioenergilulea.se/Pages/sv-SE/pellets_besparingskalkyl.aspx) (Hämtad 2014-05-08)
- Bjelm L., Henkel H., Bergman, B. 2006. Geotermisk energi. Infofolder om geotermisk energi. KTH, LTH och SWEC. Alfaprint, Solna, 2006.
- Bjelm L. 2006. Under balanced drilling and possible well bore damage in low temperature geothermal environments, *Engineering Geology*, Lund University
- Bjelm L. 2007. Deponering av kärnavfall i djupa borrhål! Lund Universitet. Teknisk Geologi
- Björk E., Acuña J., Granryd E., Mogensen P., Nowacki J-E., Palm, B., Weber, K. 2013. Bergvärme på djupet. Boken för dig som vill veta mer om bergvärmepumpar. US-AB, Stockholm. ISBN: 978-91-7501-754-9.
- Claesson J., Efring, B., Eskilson, P., Hellström, G. 1985. Markvärme. En handbok om termiska analyser. Del III Naturvärmekällor. T18:1985. ISBN 91-540-4465-0. Statens råd för byggnadsforskning. Stockholm Art.Nr. 6703515.
- Direktiv om avfall. 2009. Direktiv om avfall, n.d. URL [http://europa.eu/legislation\\_summaries/environment/waste\\_management/ev0010\\_sv.htm](http://europa.eu/legislation_summaries/environment/waste_management/ev0010_sv.htm) (Hämtad 2014-05-27)
- Djupa borrhål. 2007. Ett alternativ för slutförvaring av använt kärnbränsle? Rapport 2007:6 från Statens råd för kärnavfallsfrågor (KASAM).
- International Energy Outlook 2013 - Energy Information Administration, n.d. URL <http://www.eia.gov/forecasts/ieo/> (hämtad 2014-05-29).
- Energimyndigheten. 2012a. Ditt hus och din uppvärmning. URL <https://www.energimyndigheten.se/Hushall/Din-uppvarmning/> (Hämtad 2014-04-15)
- Energimyndigheten. 2012b. Pellets och briketter. URL <http://www.energimyndigheten.se/Hushall/Din-uppvarmning/Biobransle---ved-och-pellets/Pellets/> (Hämtad 2014-05-07)
- Erlström M., Hammar L., Tengbro P., Tunbrå L-O. 2004. Projekt Igrene. Ett geotermiprojekt i Siljansringen.
- Freeston D. H. 1995. Direct uses of geothermal energy. *Geothermics* Vol. 25, No. 2, pp. 189-214, 1996
- Genter A., Evans K., Cuenot N., Fritsch D., Sanjuan B. 2010. Contribution of the exploration of deep crystalline fractured reservoir of Soultz to the knowledge of enhanced geothermal systems (EGS). *C. R. Geoscience* 342 (2010) 502–516
- Goldstein B., Hiriart G., Bertani R., Bromley C., Gutiérrez-Negrín L., Huenges E., Muraoka H., Ragnarsson A., Tester J., Zui V. 2011. Geothermal Energy. In IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation [Edenhofer O., Pichs-Madruga R., Sokona Y., Seyboth K., Matschoss P., Kadner S., Zwickel T., Eickemeier P., Hansen G., Schlömer S., von Stechow C. (eds)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Grundfelt B. 2010. Jämförelse mellan KBS-3-metoden och deponering i djupa borrhål för slutligt omhändertagande av använt kärnbränsle. ISSN 1402-3091 SKB R-10-13.
- Hammons T. J. 2004. Geothermal Power Generation Worldwide: Global Perspective, Technology, Field Experience, and Research and Development, *Electric Power Components and Systems*. 32:5, 529-553, DOI: 10.1080/15325000490224076
- Harrison T. 2000. Very deep borehole, Deutag's opinion on boring, canister emplacement and retrievability. ISSN 1402-3091, SKB Rapport R-00-35
- Henkel H., Bergman B., Stephansson O., Lindström M. 2004. Björkö energiprojekt. Slutrapport avseende geovetenskapliga undersökningar 2000 - 2004, 2:a upplagan. TRITA-LWR.REPORT 3010, ISSN 1650-8610, ISRN KTH/LWR/REPORT 3010-SE, ISBN 91-7283-934-1
- Henkel H. 2006. Geotermisk energi - en vitbok för Sverige. trita-lwr.report 3014, ISSN 1650-8610, ISRN KTH/lwr/report 3014-SE, ISBN 91-7178-409-8
- Hofmann H., Blöcher G., Börsing N., Maronde N., Pastrik N., Zimmerman G. 2014. Potential for enhanced geothermal systems in low permeability limestones – stimulation strategies for the Western Malm karst (Bavaria). *Geothermics* 51 (2014) 351 – 367.
- Klimatkompassen. u.å. Beräkningsmetodik och grundantaganden. URL <http://www.klimatkompassen.se/index.php?id=348257> (Hämtad 2014-05-05)
- Lantmäteriet, 2014. Kartor, flygbilder och ortnamn. URL <http://www.lantmateriet.se/sv/Kartor-och-geografisk-information/Kartor-flygbilder-och-ortnamn/> (Hämtad 2014-05-19).
- Lund J. W. 2007. Characteristics, development and utilization of geothermal resources. *Geo-Heat Center Bulletin*, Oregon Institute of Technology, June 2007.
- Lundin J. 2007. Kan Geotermisk elproduktion i Sverige vara lönsam? Institutionen för teknikvetenskaper, Avd. för elektricitetslära, Ångströmlaboratoriet,

- Uppsala Universitet. ISSN 1401-5765 UPTEC W07 020
- Miljöbalken. 1998. Förordning om miljöfarlig verksamhet och hälsoskydd. 17 §. 1998:899.
- Naturvårdsverket. 2012a. Preciserings av God bebyggd miljö. URL <http://xn--miljml-mua8k.se/sv/Miljomalen/15-god-bebyggd-miljo/Preciseringar-av-god-bebyggd-miljo/> (Hämtad 2014-05-06)
- Naturvårdsverket. 2012b. Preciserings av Levande skogar URL <http://xn--miljml-mua8k.se/sv/Miljomalen/12-levande-skogar/Preciseringar-av-levande-skogar/> (Hämtad 2014-05-05)
- Naturvårdsverket. 2013. Miljömålen. URL <http://xn--miljml-mua8k.se/sv/Miljomalen/> (Hämtad 2014-05-08)
- Naturvårdsverket. 2014. Utsläppsrätter för anläggningar. URL <http://www.utslappshandel.se/Stod-i-miljoarbetet/Vagledning/Utslappshandel---vagledning/Utslappsratter-for-anlaggningar/> (Hämtad 2014-05-08)
- Nordling C & Österman J. 2008. Physics Handbook for Science and Engineering. Studentlitteratur AB
- Normbrunn. 2008. Att borra brunn för energi och vatten – en vägledning. Normbrunn- 07.2008. Sveriges geologiska undersökning.
- Oilon, 2014. Industrial heat pumps - Oilon Chillheat P - Scancool, n.d. URL [http://www.oilon.com/scancool/heat-solutions/Industrial\\_heat\\_pump-oilon\\_chillheat\\_P/](http://www.oilon.com/scancool/heat-solutions/Industrial_heat_pump-oilon_chillheat_P/) (Hämtad 2014-05-29).
- Optensys. 2008. Energilösningar för bebyggelse i Funbo, Uppsala. URL [http://www.uppsala.se/Upload/Dokumentarkiv/Externa/Dokument/Bostad\\_o\\_byggande/Stadsplanering/Funbo\\_FOP/FOP\\_Funbo\\_antagandehandling.pdf](http://www.uppsala.se/Upload/Dokumentarkiv/Externa/Dokument/Bostad_o_byggande/Stadsplanering/Funbo_FOP/FOP_Funbo_antagandehandling.pdf) (Hämtad 2014-04-10)
- Osby Parca. 2009. Osby PB2. URL [http://www.termocal.fi/easydata/customers/termocal/files/liitetiedostot/osby\\_pb2\\_350-3000\\_kw\\_low.pdf](http://www.termocal.fi/easydata/customers/termocal/files/liitetiedostot/osby_pb2_350-3000_kw_low.pdf) (Hämtad 2014-05-12)
- Projektinfo. 2009. BINE projektinfo 04/09, 2009. BINE Information Service Energy Expertise. ISSN: 0937-8367. FIZ Karlsruhe 76344 Eggstein-Leopoldshaven, Germany.
- Regeringen. 2012. Kommittédirektiv. Fossiloberoende fordonsflotta – ett steg på vägen mot nettonollutsläpp av växthusgaser, n.d. URL [http://www.regeringen.se/download/c2503071.pdf?major=1&minor=196433&cn=attachmentPublDuplicator\\_0\\_attachment](http://www.regeringen.se/download/c2503071.pdf?major=1&minor=196433&cn=attachmentPublDuplicator_0_attachment) (Hämtad 2014-05-27)
- Rosberg J. 2006. Flow test of a perforated deep dual cased well proceedings, Thirty-First Workshop on Geothermal Reservoir Engineering Stanford University, Stanford, California, 2006. SGP-TR-179
- SFS 1988. Lag med särskilda bestämmelser om vattenverksamhet. SFS 1988:812.1981. Stockholm.
- SGU. 2014. Utsnitt från grundvattenkarta (1:250 000) framställd från SGU:s databas 2014-04-02.
- [Kartografiskt material]: id-nr: dll4uZQASI. Uppsala: SGU.
- Skogsstyrelsen. 2009. Skogsstyrelsens klimatpolicy. n.d. URL [http://www.google.se/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&sqi=2&ed=0CC0QFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.sko.gsstyrelsen.se%2FGlobal%2Fmyndigheten%2FSkogsstyrelsen%2520och%2520miljo%2FPolicy-Skogsstyrelsens\\_Klimatpolicy091119.pdf&ei=0IqE U7uIfTG4QSpgoGYAw&usq=AFQjCNFKMyzMiegdXoUpM5dwZ4Icf3b4Lg&sig2=Uf3oYgxlEEXgaY0Z4ejQJg&bv=bv.67720277.d.bGE](http://www.google.se/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&sqi=2&ed=0CC0QFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.sko.gsstyrelsen.se%2FGlobal%2Fmyndigheten%2FSkogsstyrelsen%2520och%2520miljo%2FPolicy-Skogsstyrelsens_Klimatpolicy091119.pdf&ei=0IqE U7uIfTG4QSpgoGYAw&usq=AFQjCNFKMyzMiegdXoUpM5dwZ4Icf3b4Lg&sig2=Uf3oYgxlEEXgaY0Z4ejQJg&bv=bv.67720277.d.bGE) (Hämtad 2014-05-27)
- Statistiska Centralbyrån. 2013. Tätorter 2010. URL [http://www.scb.se/statistik/MI/MI0810/2010A01/MI0810\\_2010A01\\_SM\\_MI38SM1101.pdf](http://www.scb.se/statistik/MI/MI0810/2010A01/MI0810_2010A01_SM_MI38SM1101.pdf) (Hämtad 2014-04-07)
- Stefansson V. 2002. Investment cost for geothermal power plant. 0375-6505/02/\$22.00 # 2002 CNR. PII: S0375-6505(01)00018-9
- Svensk fjärrvärme, 2014. Fjärrvärmepriser. URL <http://www.svenskfjarvarme.se/Statistik--Pris/Fjarvarmepriser/> (Hämtad 2014-05-20)
- Uppsala Kommun. 2010. Fördjupad översiktplan för Funbo. URL [http://www.uppsala.se/Upload/Dokumentarkiv/Externa/Dokument/Bostad\\_o\\_byggande/Stadsplanering/Funbo\\_FOP/FOP\\_Funbo\\_antagandehandling.pdf](http://www.uppsala.se/Upload/Dokumentarkiv/Externa/Dokument/Bostad_o_byggande/Stadsplanering/Funbo_FOP/FOP_Funbo_antagandehandling.pdf) (Hämtad 2014-04-07)
- Uppsala Vatten. 2010. Vattenskyddsområde, Gunsta 03 FS 2001:6 [Kartografiskt material]. Uppsala: Uppsala Vatten.
- Zarrouk S. J. & Moon H. 2014. Efficiency of geothermal power plants: A worldwide review. Geothermics 51 (2014) 142–153
- Zarrouk S. J., Woodhurst B. C., Morris C. 2014. Silica scaling in geothermal heat exchangers and its impact on pressure drop and performance: Wairakei binary plant, New Zealand. Geothermics 51, 445–459. doi:10.1016/j.geothermics.2014.03.005

## Personliga referenser

- Bjelm L. 2014. Professor i Georeursteknik vid Lunds Universitet.
- Branthammer R. 2014. Småa Hus AB.
- Budh M. 2014. Anställd på SGU.
- Carselid M. 2014. Marketing Manager, application development, Komfort/HVAC, Alfa Laval Lund AB.
- Claesson J. 2014. Professor i byggt teknik, Lunds Tekniska Högskola, telefonintervju 2014-05-09.
- Gierow M. 2014. Projektledare Kraftringen i Lund.
- Juhlin C. 2014. Professor i geofysik, Institutionen för geovetenskaper Uppsala Universitet
- Johansson M. 2014. Säljtekniker, Grundfos AB, Mölndal.
- Larsson, H-O. 2014. Projektledare Rodoverken
- Schwarz G. 2014. SGU gerhard.schwarz@sgu.se
- Zetterberg J. 2014. Vattenfall, ekonomiavd. Uppsala
- Östman S. 2014. Export & Technical Sales Manager, Oilon AB.



## Bilaga A – Behovsunderlag

*Karl-Oskar Sandberg*

### Sammanfattning

Uppsala kommun planerar att uppföra ett nytt bostadsområde i Gunsta, cirka 1 mil öst om Uppsala. Anläggningsarbetet kommer att ske etappvis och år 2030 ska omkring 1000 nya fastigheter stå klara. Energiförbehovet hos dessa fastigheter kommer att utgöras av uppvärmning samt varmvatten. Detta behov antas bli tillfredställt av ett närvärmeverk genom ett värmedistributionssystem.

Det totala energibehovet för att tillgodose områdets efterfrågan på värme och varmvatten beräknas uppgå till 16,2 GWh per år. Detta inkluderar förluster i distributionsnätet och är beräknat på en utbyggnad av 1000 fastigheter á 140 m<sup>2</sup> med en energianvändning för värme och varmvatten på 75 kWh/m<sup>2</sup>. Inräknat är även anslutning av 200 befintliga fastigheter med ett värmebehov på 13480 kWh vardera. Varje befintlig fastighet har antagits förbruka 4500 kWh till uppvärmning av vatten. Det maximala effektbehovet för området beräknas uppgå till 6,9 MW.

### 1 Bakgrund

Gunsta är en tätort i Funbo Socken, beläget vid länsväg 282 omkring 1 mil öster om Uppsala. Orten hade år 2012 en folkmängd på 380 personer (Statistiska Centralbyrån, 2013). Hela Funbobygden hade under samma år en folkmängd på 2422 personer, samtidigt var antalet fastigheter 823 stycken (Uppsala Kommun, 2014b). Funbobygden består utöver Gunsta även av andra mindre orter, där de största är Marielund och Bärby.



*Figur 1.* Kartbild över Uppsalas sydöstra delar och Gunsta (Lantmäteriet, 2014).

Den nuvarande bebyggelsen består i huvudsak av villor uppförda från omkring 1950-talet och framåt. Ett antal radhus återfinns också i området. Inom området återfinns också andra typer av byggnader och verksamheter såsom jordbruk, plantskola, kriminalvårdsanläggning och även skola samt förskola.

Omkring 2 kilometer syd om Gunsta ligger området Lövsta. Sveriges lantbruksuniversitet, SLU, bedriver där forsknings och utbildningsverksamhet. Större anläggningar för nöt, svin och fjäderfä återfinns bland annat där (Sverige lantbruksuniversitet, 2012). I det närbelägna området Bläckhornet har SLU också verksamhet, där finns även bland annat åkeri och slakteri (Uppsala Kommun, 2010).



Figur 2. Kartbild över området, utbyggnad är planerad söder om Gunsta (Lantmäteriet, 2014).

## 1.1 Nuvarande värmeförsörjning

Utanför storstadsområden sker oftast värmeförsörjningen till fastigheter genom enskilda värmeanläggningar. Äldre bebyggelses värmeförsörjning är ofta baserad på olja eller ved, men även direktverkande el och biobränslen är förekommande. Nybyggda småhus använder numera ofta värmepumpar för sin värmeförsörjning. En blandning av dessa metoder är förekommande i Gunstaområdet (Uppsala Kommun, 2013a).

Värmeförsörjning till områdena Bläckhornet och Lövsta sker idag genom SLU:s försorg. SLU har investerat i en biogasanläggning samt kraftvärmeverk som byggts ut över åren. Biogasanläggningen har för värmeproduktion en installerad effekt på 540kW. Kraftvärmeverket utgörs av två flispannorna med den sammanlagda installerade effekten 1,6MW. Biogaspannan står för grundförsörjningen och flispannorna används vid behov, bland annat vid topplast. Detta system är sammankopplat och försörjer utöver SLU:s egna anläggningar även ett trettiotal närliggande verksamheter. I nuläget levererar systemet omkring 4 GWh värme varje år, varav 2,5 GWh kommer från biogasanläggningen (Davidsson, 2014. Personlig kontakt).

## 1.2 Planerad utbyggnad av området

I kommunens översiktplan för området anges de långsiktiga planerna och de övergripande inriktningar som finns i nuläget. Detaljplaner utformas efter hand och innehåller mer detaljerade planer och förutsättningar. I dagsläget planeras det att uppföras cirka 1000 nya bostäder av olika typer i området fram till år 2030. I ett senare skede kan även området Marielund komma att utredas för utbyggnad.

Utbyggnaden av området är planerad att ske etappvis, där en huvudgata med ledningar för bland annat vatten och fjärrvärme anläggs först. Denna huvudgata kommer att knyta ihop Gunsta och Bläckhornet. Bostadsbygganden kommer sedan att ske i ett flertal etapper, varav endast den första är detaljplanerad. Utbyggnadstakten är satt till runt 50 bostäder per år fram till år 2030. En sådan takt anses ge bäst möjlighet för området att växa fram på ett naturligt sätt (Uppsala Kommun, 2010).

Kommunen har i sina styrdokument angett att nya bostadsområden inte ska bidra till ökade klimatförändringar. Det innebär bland annat att kommande utbyggnad ska sträva efter att hålla en låg energiåtgång. Den använda energin bör dessutom komma från förnybara källor. Redan från planeringen av området är ett av målen att goda förutsättningar skall ges för ett samhällsbygge med effektiva tekniska system med förutsättningar för både avsevärt lägre energiförbrukning samt utsläpp av växthusgaser (Uppsala Kommun, 2014a).

## Översiktplan

Uppsala kommun anger sträckningen längst väg 282 som ett område där översiktplaner bör upprättas i syfte att undersöka lämpligheten för att upprätta bebyggelse. I området Gunsta är dessa planer i dagsläget längst gångna, men ambitionen är att på längre sikt även omfatta Länna och Almunge i dessa utbyggnadsplaner. Anledningen till detta är att dessa områden, med sin närhet till Uppsala och dess stora arbetsmarknader och serviceutbud antas bli attraktiva områden att bo och leva i.

Arbetet med att ta fram en översiktplan för Gunsta inleddes redan år 2006 och det första förslaget togs fram år 2008. Arbetet fortskred och utmynnade i en samrådsredogörelse som godkändes av kommunstyrelsen år 2009 (Uppsala Kommun, 2010).

Den plan som finns för området preciserar dels ett område för tätortsutveckling, samt två områden för annan typ av verksamhet i Bläckhornet och Lövsta. I planen kommer dessa områden att bindas samman med en huvudgata. På längre sikt kan också de omgivande områdena komma att exploateras för bostäder samt övrig service. I översiktplanen anges att det i området dessutom finns planer på att etablera skola, förskola och idrottsområde. Parallellt med planerna för bebyggelse finns även planer för väg-, cykel-, samt spårvägsutbyggnad. Kraftledningar och fördelningsstationer kan också behöva byggas ut för att tillgodose framtida behov (Uppsala Kommun, 2010).

## Detaljplaner

Över området finns det idag två detaljplaner. Dels rörande den första etappen av bostadsbyggande i Södra Gunsta, samt anläggning av en huvudgata som de kommande bostadsetapperna ska kopplas samman med (Uppsala Kommun, 2013a).

I detaljplanen för Södra Gunsta är syftet att bygga flerfamiljshus, radhus, kedjehus och enfamiljshus. I tidsplanen är målet att planen ska antas under andra kvartalet år 2014, byggstart ska då kunna ske under våren år 2015. Genomförandetiden beräknas att vara omkring 5 år från byggstart. I detaljplanen anges vissa riktlinjer för bebyggelsen, bland annat storlek på tomter, maximala byggnadshöjder samt begränsning för byggnadsarean (Uppsala Kommun, 2013b). Det är inte i dagsläget fastställt vilken typ av bebyggelse det kommer att bli i kommande etapper utan efterfrågan kommer att vara styrande i den frågan.

### 1.3 Val av värmesystem

För att begränsa klimatpåverkan från den planerade utbyggnaden av området är det av stor vikt att använda effektiva och smarta energisystemslösningar. Det finns många sätt att värma upp en fastighet på, och således många alternativ och avväganden att ta i beaktning när värmesystemet ska väljas. Uppvärmningen av bostäder kan ofta ge upphov till negativ miljöpåverkan. Det styrande i denna fråga är i huvudsak vilken energikälla som används för uppvärmningen. Av stor vikt är också att minimera energianvändandet genom att öka effektivitet och minska förluster i bland annat överföringar (Uppsala Kommun, 2010).

I stadsnära områden kan uppvärmning ofta ske med hjälp av fjärrvärme som producerats i större anläggningar där effektiviteten är hög och utsläppsnivåer ofta kan hållas relativt låga. På mindre orter där fjärrvärmeöverföring ej är möjligt på grund av långa överföringssträckor, kan närvärme istället användas. Likheterna med fjärrvärmeproduktion är stor, dock är skalan på verksamheten mindre. Oberoende val av värmekälla kommer det under utbyggnaden anläggs värmedistribueringsledningar tillsammans med vatten- och avloppsledningar i samband med vägbyggnationer (Uppsala Kommun, 2010).

### Systemval i Gunsta

Enligt kommunen finns två tänkbara alternativ som skulle vara möjliga gällande värmeförsörjning av området, antingen biobränslebaserad närvärme från Lövstaområdet eller fjärrvärme från Uppsala stad. Utifrån genomförd underlagsstudie är kommunens inriktning att värmeförsörjningen ska ske från närvärmeverk eldat med biobränsle. Redan år 2007 angavs det i förutsättningarna för en eventuell utbyggnad av området att värmeförsörjningen skulle ske med en lokal fjärrvärmearläggning (Uppsala Kommun, 2013b).

### 1.4 Värmebehov

För att dimensionera ett värmesystem är det två värmelaster som är av betydelse. Störst är uppvärmningsbehovet, men även behovet av varmvatten har betydelse. Dessa behov följer i regel vissa cykler, från dags- till årsbasis. Distributionsförluster måste också ingå i en dimensionering (Pettersson, 2013).

För att beräkna ett områdes värmebehov måste några viktiga parametrar beaktas. Dels är byggnadens energiförbrukning per kvadratmeter avgörande, men även den totala boendeytan som uppförs. Hur tätt fastigheterna byggs har också betydelse. Detta kommer att avgöra värmebehov samt förlusterna i systemet.

Frågan rörande anslutning av redan befintlig byggnation till fjärrvärmenätet påverkar också värmebehovet. I Gunsta beräknas att minst 50 % av det befintliga området anslutits till år 2030 (Uppsala Kommun, 2010). Detta antas innebära anslutning av 200 fastigheter.

### Uppvärmningsbehov

Arbetet med att ta fram planer för utbyggnaden i hela området är i ett inledande skede. Beräkningsunderlaget för uppvärmningsbehovet utgörs därför av de specifikationer som gäller för den första etappen i utbyggnaden.

Efter krav specificerade i detaljplanen för Södra Gunsta hölls en markanvändningstävling i syfte att få fram intressenter till att bebygga området. De inkomna bidragen värderades och vinnaren blev bostadsföretaget Småa Hus AB. I deras förslag beräknas energiförbrukningen till 75 kWh/m<sup>2</sup> för byggnader anslutna till värmenätet, detta inkluderar behovet för

uppvärmning samt för varmvatten (Branthammer, 2014. Personlig kontakt). Dessa byggnader var både radhus samt fristående villor, med 140 m<sup>2</sup> boendeyta (Småa Hus, 2012). Detta kan ställas mot den genomsnittliga energiförbrukningen för småhus i den zon som Uppsala län ingår i, som är 138kWh/m<sup>2</sup> (Statistiska Centralbyrån, 2009).

För anslutning av redan befintliga fastigheter antas uppvärmning vara desamma som för det svenska genomsnittshuset år 2009, vilket uppgår till 13480 kWh per år (Energimyndigheten, 2012).

## Varmvattenbehov

Beräkningar för varmvattenbehovet är svåra att göra då många faktorer påverkar en fastighets varmvattenförbrukning. Skillnaden i äldre och nyare hus är inte så påtaglig, däremot är hushållens storlek och levnadsvanor styrande för behovet. Energimyndigheten anger att det svenska genomsnittshuset år 2009 förbrukade 4500 kWh per år för varmvatten (Energimyndigheten, 2012). Denna nivå antas gälla för de befintliga fastigheterna. För de tillkommande fastigheterna är varmvattenförbrukningen inräknad i de 75kWh/m<sup>2</sup> som också täcker värmebehovet.

## Förluster

Förlusterna i systemet är beroende av många aspekter. Generellt gäller att med ett större värmedistributionsnät blir också omvandlings- och distributionsförlusterna större. Även vilken typ av fastigheter som är anslutna, deras avstånd från varandra, samt värmeledningen i systemet påverkar storleken på förlusterna. Med ett närvärme system beräknas förlusterna uppgå till 15 %. Som jämförelse kan nämnas att om fjärrvärme från Uppsalas centrala system skulle användas beräknades förlusterna bli omkring 20 %. Detta främst då distributionsförlusten blir generellt lägre ju kortare och effektivare nät som kan anläggas (Optensys, 2008).

# 2 Resultat

## 2.1 Energibehov

En sammanställning av ovanstående värden ger att områdets totala energibehov för uppvärmning och varmvatten kan beräknas.

Tabell 1. Totalt energibehov för området.

| Hustyp                        | Behov          | Antal | Area (m <sup>2</sup> ) | Energib. (kWh/m <sup>2</sup> ) | Energib. (kWh) | Energib. (MWh) |
|-------------------------------|----------------|-------|------------------------|--------------------------------|----------------|----------------|
| Nybygg.                       | Vatten & Värme | 1000  | 140                    | 75                             |                | 10500          |
| Befint.                       | Vatten         | 200   |                        |                                | 4500           | 900            |
|                               | Värme          | 200   |                        |                                | 13480          | 2696           |
| Totalt                        |                |       |                        |                                |                | 14096          |
| Totalt inkl. förluster (15 %) |                |       |                        |                                |                | 16210          |

Ur tabell 1 kan utläsas att när området är utbyggt med 1000 fastigheter, samt med 200 befintliga fastigheter anslutna till värme systemet uppgår energibehovet till 16210 MWh per år, vilket kan avrundas till 16,2 GWh. I detta ingår både energibehov till uppvärmning och varmvatten, samt förluster i distributionssystem.

## 2.2 Effektbehov

För att dimensionera den anläggning som ska leverera energin till fastigheterna måste hänsyn tas till variation i energibehovet. Denna variation är till största del beroende av utetemperatur och styr vilken effekt som måste vara tillgänglig för att kunna möta värmebehovet vid exempelvis kalla vinterdygn.

För att dimensionera effektbehovet för området kan en jämförelse med Uppsalas fjärrvärmesystem göras. Det antas att det i Uppsala råder samma variation i effektbehovet eftersom områdena har samma utetemperatur. Vattenfall levererade 1413 GWh till Uppsala stadsnät under år 2012 (Vattenfall, 2012). Samtidigt var den tillgängliga effekten, främst från avfallsförbränningsanläggning samt torv- och träeldat kraftvärmeverk, cirka 600 MW (Karlsson, 2012). Kvoten mellan energiförbrukningen och den installerade effekten kan beräknas med *ekvation 1*.

$$K = \frac{\text{Energiförbrukning}}{\text{Installerad effekt}} = \frac{1413}{600} = 2,355 \quad [1]$$

För att sedan ta fram ett värde på den installerade effekten som krävs i Gunsta nyttjas *ekvation 2*.

$$\text{Installerad effekt} = \frac{\text{Energiförbrukning}}{K} = \frac{16,2}{2,355} = 6,88 \text{ [MW]} \quad [2]$$

Vi kan se att detta förhållande ger att den motsvarande effekten för Gunsta är 6,88 MW, vilket kan avrundas till 6,9 MW.

## 2.3 Känslighetsanalys

En känslighetsanalys kan med fördel genomföras för att undersöka hur effekt- och energibehovet förändras om vissa parameterar ändras. Av hustillverkaren angivna värden för energiförbrukningen kan visa sig behöva justeras i efterhand då aspekter som boendes vanor eller byggkvaliten kan påverka.

Om de nybyggda fastigheternas energiförbrukning för uppvärmning och varmvatten skulle stiga med 20 % skulle det innebära att områdets totala energiförbrukning efter förluster skulle uppgå till en högre nivå än tidigare.

Tabell 2. Totalt energibehov för området med energibehov för nybyggda fastigheter ökade med 20 %.

| Hustyp                        | Behov          | Antal | Area (m <sup>2</sup> ) | Energib. (kWh/m <sup>2</sup> ) | Energib. (kWh) | Energib. (MWh) |
|-------------------------------|----------------|-------|------------------------|--------------------------------|----------------|----------------|
| Nybygg.                       | Vatten & Värme | 1000  | 140                    | (1,2 · 75)<br>= 90             |                | 12600          |
| Befint.                       | Vatten         | 200   |                        |                                | 4500           | 900            |
|                               | Värme          | 200   |                        |                                | 13480          | 2696           |
| Totalt                        |                |       |                        |                                |                | 16196          |
| Totalt inkl. förluster (15 %) |                |       |                        |                                |                | 18625          |

Enligt *tabell 2* skulle det nya energibehovet då uppgå till 18,6 GWh. En ökning med 2,4 GWh eller knappt 15 %.

Vi kan också undersöka hur energibehovet påverkas av att maxeffekten måste utnyttjas en lägre tid på grund av exempelvis en väldigt kall period under vintern. Det är under de kallaste vinterdagarna som toppeffekten behövs. En förenklad beräkning kan göras genom att till året addera två veckor då maxeffekten utnyttjas i området. Det ger ett energibehov enligt *ekvation 3*.

$$14 \text{ [dygn]} \cdot 24 \text{ [timmar]} \cdot 6,9 \text{ [MW]} = 2,32 \text{ [GWh]} \quad [3]$$

Energibehovet skulle alltså under de extra två veckorna öka med omkring lika mycket som om energibehovet hos de nybyggda fastigheterna skulle öka med 20 %.

### 3 Diskussion

En reflektion som är viktig att ha i åtanke är att beräkningarna bygger på antaganden samt på uppgifter från offertgivare. Det siffror för energibehovet som erhålls i offerter kan visa sig vara för låga, i syfte att göra offerten konkurrenskraftig. Justeras exempelvis energibehovet per kvadratmeter upp får det genast konsekvenser för det totala energibehovet. Detta blir tydligt då en känslighetsanalys görs.

Beräkningar på hela områdets energibehov kan dock jämföras med tidigare studier. Enligt en rapport från Optensys år 2008 rörande bebyggelse i Funbo gjordes beräkningar på energiförbrukning för värmebehovet vid olika grader av utbyggnad. I den studien gjordes beräkningarna mot total bebyggd area, vilket skulle motsvara cirka 1600 nybyggda fastigheter med ett energibehov på  $60 \text{ kWh/m}^2$ , vilket gav 16 GWh per år (Optensys, 2008). Det kan jämföras mot de 16,2 GWh som denna rapport anger. Ytterligare en jämförelse kan göras med ett examensarbete av Emmy Pettersons, där beräkningar för energi- och effektbehov genomförts i ett scenario med 1000 anslutna villor. Där uppgick effektbehovet till 7,7 MW och energibehovet till 20,2 GWh (Petersson, 2013). De jämförelser som gjorts leder till slutsatsen att det är rimligt att området Gunsta när det är färdigbyggt år 2030, kommer ha ett effektbehov på 6,9 MW samt ett totalt energibehov på 16,2 GWh.

### Referenser

- Björk E., Acuña J., Granryd E., Mogensen P., Nowacki J-E., Palm, B., Weber, K. 2013. Bergvärme på djupet. Boken för dig som vill veta mer om bergvärmepumpar. US-AB, Stockholm. ISBN: 978-91-7501-754-9.
- Energimyndigheten. 2012a. Ditt hus och din uppvärmning. URL <https://www.energimyndigheten.se/Hushall/Din-uppvarmning/> (Hämtad 2014-04-15)
- Karlsson, A. 2012. Förbränning - bränslen och rening. Vattenfall AB Värme Uppsala. Presentation.
- Lantmäteriet. 2014. Karttjänst. URL <http://kso2.lantmateriet.se/?e=659443&n=6637245&z=9> (Hämtad 2014-04-14)
- Optensys. 2008. Energilösningar för bebyggelse i Funbo, Uppsala. URL [http://www.uppsala.se/Upload/Dokumentarkiv/Externt/Dokument/Bostad\\_o\\_byggande/Stanplanering/Funbo\\_FOP/Energianalys\\_maj\\_2008.pdf](http://www.uppsala.se/Upload/Dokumentarkiv/Externt/Dokument/Bostad_o_byggande/Stanplanering/Funbo_FOP/Energianalys_maj_2008.pdf) (Hämtad 2014-04-10)

- Petersson, E. 2013. Lantbruket som energiproducent – Tekniska, ekonomiska och miljömässiga förutsättningar för fjärrvärmeproduktion med lokalt skogsbränsle. Examensarbete. SLU. URL [http://stud.epsilon.slu.se/5812/11/petersson\\_e\\_130702.pdf](http://stud.epsilon.slu.se/5812/11/petersson_e_130702.pdf) (Hämtad 2014-04-15)
- Statistiska Centralbyrån. 2009. Energistatistik för småhus. Hemsida. URL [http://www.scb.se/sv/\\_Hitta-statistik/Statistik-efter-amne/Energi/Tillforsel-och-anvandning-av-energi/Energistatistik-for-smahus/6204/2008A01/Genomsnittlig-energianvandning-for-uppvarmning-av-smahus-2008-kWhm2/](http://www.scb.se/sv/_Hitta-statistik/Statistik-efter-amne/Energi/Tillforsel-och-anvandning-av-energi/Energistatistik-for-smahus/6204/2008A01/Genomsnittlig-energianvandning-for-uppvarmning-av-smahus-2008-kWhm2/) (Hämtad 2014-04-15)
- Statistiska Centralbyrån. 2013. Tätorter 2010. URL [http://www.scb.se/statistik/MI/MI0810/2010A01/MI0810\\_2010A01\\_SM\\_MI38SM1101.pdf](http://www.scb.se/statistik/MI/MI0810/2010A01/MI0810_2010A01_SM_MI38SM1101.pdf) (Hämtad 2014-04-07)
- Småa Hus. 2012. Markanvisningstävling för nya bostäder sydväst om Gunsta.
- Sverige lantbruksuniversitet. 2012. Broschyr om Lövsta. URL <http://www.slu.se/Documents/externwebben/vh-fak/vh-intendenturen/L%C3%B6vsta/Ny%20L%C3%B6vsta-broschyr%20v%C3%A5r%202012.pdf> (Hämtad 2014-04-11)
- Uppsala Kommun. 2010. Fördjupad översiktplan för Funbo. URL [http://www.uppsala.se/Upload/Dokumentarkiv/Externt/Dokument/Bostad\\_o\\_byggande/Stadsplanering/Funbo\\_FOP/FOP\\_Funbo\\_antagandehandling.pdf](http://www.uppsala.se/Upload/Dokumentarkiv/Externt/Dokument/Bostad_o_byggande/Stadsplanering/Funbo_FOP/FOP_Funbo_antagandehandling.pdf) (Hämtad 2014-04-07)
- Uppsala Kommun. 2013a. Detaljplan för infart till utbyggnadsområdet i Gunsta. URL <http://www.uppsala.se/Uppsala/Templates/Detaljplaner/File.aspx?DocumentId=466743> (Hämtad 2014-04-11)
- Uppsala Kommun. 2013b. Detaljplan för södra Gunsta. URL <http://www.uppsala.se/Uppsala/Templates/Detaljplaner/File.aspx?DocumentId=492745> (Hämtad 2014-04-11)
- Uppsala Kommun. 2014a. Ekologisk hållbarhet – samlande ramverk för program och planer. URL [http://www.uppsala.se/Upload/Dokumentarkiv/Externt/Dokument/Om\\_kommunen/Styr\\_dokument/ekologiskt\\_ramverk.pdf](http://www.uppsala.se/Upload/Dokumentarkiv/Externt/Dokument/Om_kommunen/Styr_dokument/ekologiskt_ramverk.pdf) (Hämtad 2014-04-14)
- Uppsala Kommun. 2014b. Områdesfakta 2013, Funbobygden. URL [http://www.uppsala.se/Upload/Dokumentarkiv/Externt/Dokument/Om\\_kommunen/Omradesfakta/Funbobygden.pdf](http://www.uppsala.se/Upload/Dokumentarkiv/Externt/Dokument/Om_kommunen/Omradesfakta/Funbobygden.pdf) (Hämtad 2014-04-07)
- Vattenfall. 2012. Vattenfall Värme, Uppsala. URL [http://corporate.vattenfall.se/Global/sverige/Om-Vattenfall/Om-oss/Varverksamhet/miljoredovisning\\_Uppsala\\_2012\\_3.25\\_MB.pdf\\_30315437.pdf](http://corporate.vattenfall.se/Global/sverige/Om-Vattenfall/Om-oss/Varverksamhet/miljoredovisning_Uppsala_2012_3.25_MB.pdf_30315437.pdf) (Hämtad 2014-04-15)

## Personliga referenser

- Davidsson, C. 2014. SLU Lövsta.
- Branthammer, R. 2014. Småa Hus AB.



## Bilaga B – Matlabkod för temperaturavtagande

*Svante W Monie*

```

% Matlab-kod för beräkning av temperaturavtagande vid uttagsbrunn i
% akvifär på stort djup.

H = 5; % [m] Måktighet hos uppspräckt
% akvifärlager.
C = 2.12*10^6; % [J/m^3K] Specifika värmekapaciteten hos
% granit.
L = 500; % [m] Avstånd mellan borrhål.
Q_w = 0.036; % [m^3/s] Flöde vatten.
C_w = 4.18*10^6; % [J/m^3K] Specifika värmekapaciteten hos
% vatten.
Lambda = 3.1; % [W/mK] Värmeledningsförmåga hos granit.
Delta_T = [0:2:40]; % Dimensionslös temperaturdifferens på
% injicerat samt uthämtat vatten.
t = [1, 5, 10, 15, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 125, 150, 175, 200, 225, 250,
275, 300]; % Tidsvektor

% [s] Break-through time. Tiden det tar för en fraktion av injektionsvattnet att
% nå produktionsbrunnen.

t_bt = (pi*H*C*L^2)/(3*Q_w*C_w);

Omloppstid = t_bt/31536000 % [år]

% [s] Melting-time. Tiden det tar för uppblandning.

t_m = H^2*(C/(sqrt(Lambda*C)))^2;

Melting_time = t_m/31536000 % [år]

gamma = sqrt(t_bt/t_m) % [-] Enhetslös tidskonstant.

Tao = zeros(); % [-] Enhetslös tidskonstant.
for i=1:length(t);
    Tao(i)=t(i)/Omloppstid;
end
disp(' ')
disp(['Tao är: ' num2str(Tao)]);
disp(' ')

% U_out ges av inmatade värden utifrån den framtagna Tao-vektorn och avläsning av
% diagrammet bifogat nedan.
for i=1:21;
    U_out(i)=input(['Ange U_out ' (num2str(i)) ' för ' num2str(Tao(i)) ': ']);
    disp(' ');
    i=i+1;
end

% Genom avläsning från bifogad graf ges nedanstående:

% Vid flöde = 0.01 [m^3/s] gäller att U_out blir:
% U_out = [0, 0, 0.03, 0.07, 0.1, 0.14, 0.185, 0.2, 0.22, 0.255, 0.265, % 0.28,
0.29, 0.32, 0.34, 0.36, 0.37, 0.385, 0.39, 0.41, 0.42]

% Vid flöde = 0.036 [m^3/s] gäller att U_out blir:
% U_out = [0.02, 0.225, 0.31, 0.36, 0.39, 0.44, 0.47, 0.485, 0.5, 0.515,
% 0.53, 0.54, 0.55, 0.565, 0.575, 0.585, 0.6, 0.61, 0.62,
% 0.625, 0.63] (Flöde = 0.036 [m^3/s]);

% Vid flöde = 0.062 [m^3/s] gäller att U_out blir:
% U_out = [0.1, 0.325, 0.405, 0.45, 0.48, 0.52, 0.545, 0.56, 0.575,

```

## Bilaga B – Matlabkod för temperaturavtagande

```

%           0.59, 0.595, 0.605, 0.61, 0.625, 0.64, 0.65, 0.66, 0.665,
%           0.67, 0.675, 0.685]

% Loop för beräkning av temperaturavtagandet vid produktionshål för
% varje år.
T_minskning = zeros(21);
for i=1:length(Delta_T);
    for k=1:length(Delta_T);
        T_minskning(k,i) = U_out(k) * Delta_T(i);
    end
end
T_upp = -T_minskning;

x = [1:21];
y = Delta_T;
z = T_upp;

labels = {'1' '5' '10' '15' '20' '30' '40' '50' '60' '70' '80' '90' '100' '125' '150'
'175' '200' '225' '250' '275' '300'};

figure(1);
surf(x,y,z);
title('Temperaturavtagande i produktionshål över tid med varierat värmeuttag. Ingen
återladdning. ');
xlabel('År efter driftsättning');
ylabel('Temperaturdifferens mellan injektions- och produktionshål. ');
zlabel('Temperaturstörning i produktionshål');
set(gca, 'XTick', 1:21, 'XTickLabel', labels);

figure(2);
plot(x,T_upp(106:126),x,T_upp(169:189),x,T_upp(232:252),x,T_upp(295:315),x,T_upp(358:378)
,x,T_upp(421:441));
hleg=legend('10°C','16°C','22°C','28°C','34°C','40°C',...
'Location','Best');
set(hleg,'FontAngle','italic','TextColor',[.3,.2,.1]);
title('Temperaturstörning i produktionshålet vid olika extraherade temperaturer. Ingen
återladdning. ');
xlabel('År efter driftsättning');
ylabel('Grader celsius [°C]');
set(gca, 'XTick', 1:21, 'XTickLabel', labels);

% Återuppladdning med 50-gradigt vatten från exempelvis solfångare
% under april - september. I soltimmar blir det ca 1400 h. Detta ger
% att Delta_T, som är medel för ett år, justeras upp till nytt
% medelvärde på årsbasis.

T_laddning = 50;
for i=1:length(Delta_T);
    Delta_T2(i) = ((7360*Delta_T(i))-(1400*T_laddning))/8760;
end

T_minskning2 = zeros(21);

% Loop för beräkning av temperaturavtagandet vid produktionshål för
% varje år.
for i=1:length(Delta_T);
    for k=1:length(Delta_T);
        T_minskning2(k,i) = U_out(k) * Delta_T2(i);
    end
end

T_upp2 = -T_minskning2;

x = [1:21];

labels = {'1' '5' '10' '15' '20' '30' '40' '50' '60' '70' '80' '90' '100' '125' '150'
'175' '200' '225' '250' '275' '300'};

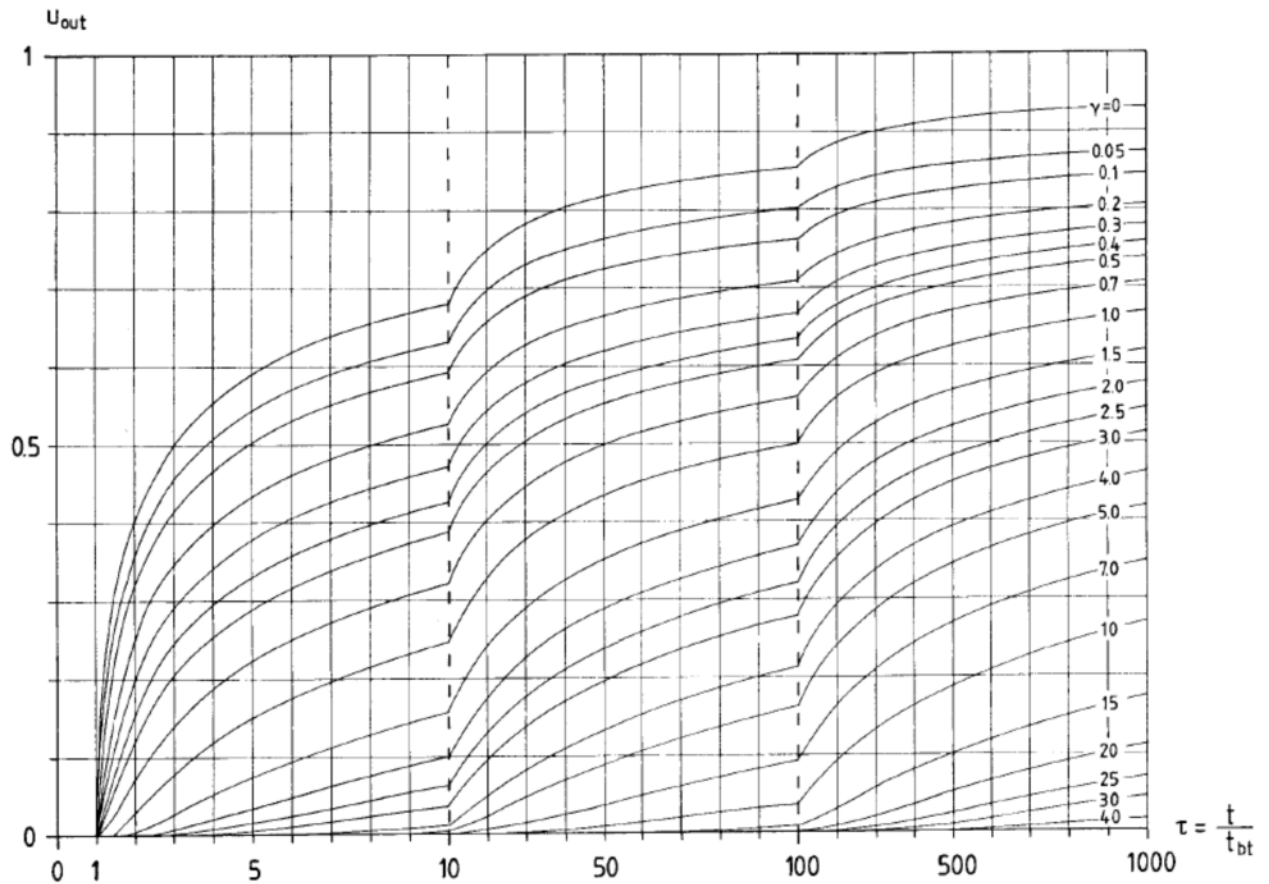
```

```

figure(3);
plot(x,T_upp2(106:126),x,T_upp2(169:189),x,T_upp2(232:252),x,T_upp2(295:315),x,T_upp2(358:378),x,T_upp2(421:441));
hleg=legend('10°C','16°C','22°C','28°C','34°C','40°C',...
'Location','Best');
set(hleg,'FontAngle','italic','TextColor',[.3,.2,.1]);
title('Temperaturstörning i produktionshålet vid olika extraherade temperaturer.
Återladdning under 3 månader med 50°C');
xlabel('År efter driftsättning');
ylabel('Grader celsius [°C]');
set(gca,'XTick',1:21,'XTickLabel',labels);

```

### Temperaturstörning vid uttagsbrunnen för akvifer på stort djup



KÄLLA: Claesson, J. Efring, B. Eskilson, P. Hellström, G. 1985. MARKVÄRME. En handbok om termiska analyser. Del III Naturvärmekällor. T18:1985. ISBN 91-540-4465-0. Statens råd för byggnadsforskning. Stockholm Art.Nr. 6703515.

Figur1: Temperaturstörning vid uttagsbrunnen för akvifer på stort djup (Markvärme. En handbok om termiska analyser. 1985. Claesson, J. Efring, B. Eskilson, P. Hellström, G. Statens råd för byggnadsforskning).

## Bilaga C – Geotermiska egenskaper

*Svante Monie*

### 1 Bakgrund

#### 1.1 Beteckningar

|   |   |                                     |
|---|---|-------------------------------------|
| $P$   | Värmeflödet (värmemängd per sekund)         | [W]                                 |
| $\varepsilon_{res} = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1}$ | Emissionsförhållande för parallella kroppar | [ - ]                               |
| $\sigma = 5,67 \times 10^{-8}$  | Stefan-Boltzmanns konstant                  | [W/m <sup>2</sup> ·K <sup>4</sup> ] |
| $\alpha$  | Värmeledningstätheten                       | [W/m <sup>2</sup> ·K]               |
| $\mu$   | Dynamiska viskositeten                      | [kg/m s]                            |
| $u$   | Karakteristisk hastighet                    | [m/s]                               |
| $\lambda$   | Värmeledningsförmågan                       | [W/m·K]                             |
| $F$   | Massflöde, vatten                           | [kg/s]                              |
| $k$   | Specifika värmekapaciteten                  | [J/kg]                              |
| $C_w = 4,18$  | Specifik värmekapacitet, vatten             | [MJ/m <sup>3</sup> ·K]              |
| $C = \rho \cdot c_p$  | Volymetrisk värmekapacitet i marken         | [J/m <sup>3</sup> ·K]               |
| $Q_w$   | Volymflöde, vatten                          | [m <sup>3</sup> /s]                 |
| $H$   | Måktighet i akvifärlager                    | [m]                                 |
| $t$   | Tid   | [s]                                 |
| $T$   | Temperatur                                  | [K]                                 |

#### 1.2 Vilken energi är det som utnyttjas

Värmeenergin i bergrunden härrör från strålning från kärnan, konvektion från manteln samt konduktion (ledning) av denna värme från jordens inre, men även värmediffusion från det radioaktiva sönderfallet i berggrunden.

##### Strålning

Strålningsvärmens från kärnan följer Stefan-Boltzmanns lag vilken kan formuleras som

$$P = \varepsilon_{res} \cdot \sigma \cdot A \cdot \left[ \left( \frac{T_1}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_2}{100} \right)^4 \right] \quad [1]$$

Där energiutbytet,  $P$ , går från den varmare kroppen,  $T_1$ , till den kallare,  $T_2$ , hos kroppar belägna bredvid varandra. Detta gäller mellan kärna och mantel.

## Konvektion

I manteln förflyttas värmemängden,  $P$ , via konvektion enligt

$$P = \alpha \cdot A \cdot (T_1 - T_2) \quad [2]$$

där  $T_1$  är berggrund och  $T_2$  är mantelfluid. För maximal överföring erfordras turbulent strömning. Vid laminär strömning sker värmeöverföring mellan fluid och omgivning enbart via strålning och värmeledning. Ett laminärt gränsskikt finns dock alltid närmast den fasta kroppens yta.

Även värmeflödestäthet,  $\alpha$ , som är ett mått på hur effektiv värmeöverföringen är mellan berget och fluiden som rinner igenom det, är en viktig komponent för värmeöverföringen (Alvarez, 2006).

Ett sätt att avgöra om en fluid är turbulent eller laminär är att räkna ut Reynolds tal,  $Re$ , om det överstiger 2000-2300 är fluiden turbulent om den understiger är det laminär strömning.

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot d}{\mu} \quad [3]$$

Där  $\mu$  är fluidens viskositet [ $kg/m \cdot s$ ],  $d$  är cylinderns diameter [m],  $v$  är fluidens karakteristiska hastighet [m/s] och  $\rho$  är fluidens densitet [ $kg/m^3$ ] (Riml, 2005)

## Konduktion

Värmeeffekten,  $P$ , som överförs via konduktion mellan fasta kroppar följer

$$P = A \cdot \alpha \cdot (T_v - T_k) \quad [4]$$

Där värmegenomgångskoefficienten,  $\alpha$  [ $W/m^2 \cdot K$ ], räknas ut enligt:

$$\frac{1}{\alpha} = \frac{1}{\alpha_v} + \frac{1}{\alpha_k} + \frac{\delta}{\lambda} \quad [5]$$

Värmeflödestätheterna,  $\alpha_v$  och  $\alpha_k$ , är beroende av konvektions- och strålningsförhållandena på respektive sida av det fasta materialet. Värmeledningens inne i föremålet,  $\lambda$ , och tjockleken på materialet,  $\delta$  [m], är även viktiga för värmegenomgångskoefficienten (Alvarez, 2006).

## Värmediffusion

I berggrunden sker ett radioaktivt sönderfall av thorium, kalium och uran. Den frigjorda strålningsenergin absorberas av kringliggande bergart och ombildas direkt till värme.

Värmeproduktionen från detta kan uttryckas

$$P = 34,8K + 95,3U + 25,6Th \text{ [pW/kg]} \quad [6]$$

där kaliumhalten anges i % och uran- och thoriumhalterna i ppm (Linden *et al.*, 1983).

Den energi som finns lagrad i berggrunden är en ackumulering av strålnings-, konvektions- och konduktionseffekten från jordens inre. Denna har under årtusenden ansamlats i berget på grund av dess låga konduktivitet och därmed höga isoleringsförmåga. Värmet bildat från det radioaktiva sönderfallet är i sammanhanget försumbart och bidrar inte ens över tid till en utvinningsbar energimängd (Claesson, 2014; personlig kontakt).

## 2 Beräkningar

### 2.1 Effekt

Möjlig energi att plocka ut ur berggrunden,  $E$  [W], är relaterad till det möjliga vattenflödet,  $F$  [kg/s], temperaturavsänkning,  $\Delta T$  [K] och värmekapaciteten,  $k$  [J/kg] i materialet (Henkel *et al.*, 2004):

$$E = F \cdot \Delta T \cdot k \quad [7]$$

### 2.2 Temperatursänkning i berggrund

Vattnet i en akvifär strömmar i cirkelringar enligt dipolmönster. Den termiska löptiden från injektionshål till produktionshål varierar beroende på vinkeln ut från borrhålet. Riktning åt diametralt motsatt hål som produktionshål räknas ta oändlig tid. Av det injicerade kallare vattnet är det blott en fraktion som bryter igenom akvifären fram till produktionshålet där den kan ses som en temperaturstörning enligt

$$u_s(r, z) = \frac{R_f}{\sqrt{r^2 + (|z| + R_f)^2}} \quad [8]$$

där  $R_f$  är den stationära influensradien enligt

$$R_f = \frac{Q_w C_w}{2\pi(\lambda_c + \lambda_b)} \quad [9]$$

där  $\lambda_c$  och  $\lambda_b$  är värmeledningsförmågan i caprock respektive bedrock (se figur 2). När temperaturavtagande i ett produktionshål ska beräknas ser man det termiska flödet som enbart en skarp front som förflyttar sig radiellt. Man kan bortse från den termiska diffusiviteten då den främst bidrar till att göra fronten mjukare och ändå erhålla goda resultat på avtagandet. Genombrotts tiden, break through-time, vid injicering av en grad i ett nollgradigt system ges av

$$t_{bt} = \frac{\pi H C L^2}{3 Q_w C_w} \quad [10]$$

som är tiden för att nå produktionshålet. Tillsammans med melting time

$$t_m = H^2 \cdot \left( \frac{2C}{\sqrt{\lambda_c C_c} + \sqrt{\lambda_b C_b}} \right)^2 \quad [11]$$

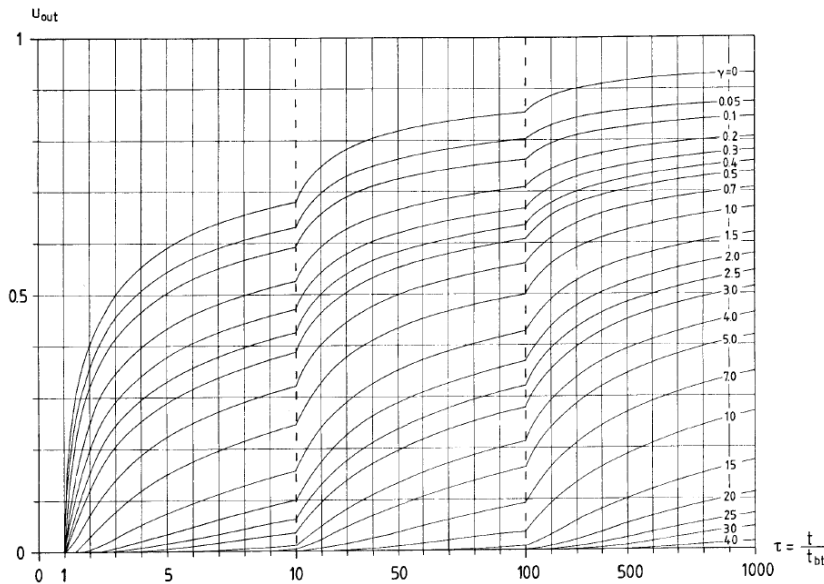
som visar tiden för uppblandning kan en enhetslös konstant, gamma, formuleras enligt

$$\gamma = \sqrt{\frac{t_{bt}}{t_m}} \quad [12]$$

I figur 1 visas olika grafer för  $\gamma$ . För att beräkna temperaturstörningen vid produktionshålet för olika tidpunkter ansätts en tid i uttrycket för  $\tau$  enligt

$$\tau = \frac{t}{t_{bt}} \quad [13]$$

och dess skärningspunkt med  $\gamma$  avläses på y-axeln som  $U_{out}$ . Detta värde gäller för en grad injicerat i ett nollgradigt system och måste då tas gånger  $\Delta T$ , differensen i upphämtat och returnerat vatten till akvifären (Claesson *et al.*, 1985).



Figur 1: Temperatur vid produktionshål för akvifer på stort djup (Claesson et al., 1985).

## 2.3 Värmeproduktion från berggrunden

Det finns inga säkra värden över värmeproduktionen i jorden längs en vertikal axel, utan antaganden måste göras. Manteln består mestadels av basiska bergarter (basalter) som alla har en låg halt radioaktiva beståndsdelar om de följer ytbergarternas egenskaper. Produktionen kan ligga inom 50 – 100 [pW/kg]. Värmeenergin som kan tillgodogöras vid geotermisk utvinning härrör dels från den upplagrade värmen från jordens glödande inre via värmeflöde, men även nybildad värme från radioaktivt sönderfall i berggrunden. I den del av skorpan som är av intresse för geotermi, 0 – 15 km djup, produceras värme motsvarande de värden som uppmätts på jordytan. Bergarter med icke anomal produktion ligger inom intervallet 500 – 1200 [pW/kg] och bergarter med högre andelar radioaktiva beståndsdelar, vanligtvis granitiska, har produktion inom 1200 – 6000 [pW/kg] (motsvaras av 1,3 – 3,2 [ $\mu\text{W}/\text{m}^3$ ] respektive 3,2 – 15,9 [ $\mu\text{W}/\text{m}^3$ ] med tätheten,  $\rho$ , satt till 2 650 [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]) (Linden *et al.*, 1983). Enligt Henkel kan ett genomsnitt för Sveriges granitiska bergarter sägas ligga inom 2,6 – 4,6 [ $\mu\text{W}/\text{m}^3$ ] (Henkel *et al.*, 2004).

## Värmegenerering vid radioaktivt sönderfall

Den frigjorda energin i form av alfa- beta- och gammastrålning från det radioaktiva sönderfallet omvandlas omedelbart till värmeenergi vilken absorberas av den kringliggande berggrunden. Med fastställda halter av kalium (K), uran (U) och thorium (Th) kan värmeproduktionen fastställas enligt tabell 1 och ekvation 6.

Tabell 1: Radioaktiva beståndsdelar i granitiska bergarter och effekten de genererar per element.

| Sönderfallsserie/Element | Värmeproduktion [mW/kg] element |
|--------------------------|---------------------------------|
| Kalium                   | 0,00000348                      |
| Uran                     | 0,00953                         |
| Thorium                  | 0,00256                         |

Anges kaliumhalten i % och uran- och toriumhalterna i ppm (miljondelar) kan värmeproduktionen uttryckas som:

$$P = 34,8K + 95,3U + 25,6Th \text{ [pW/kg]} \quad [14]$$

Granitiska bergarter och närliggande bergarter (gnejs) har den högsta radioaktiva värmeproduktionen. Vissa andra, exempelvis pegmatit och svartskiffer, kan även ha hög radioaktivitet, men då dessa sällan bygger upp större volymer är de inte intressanta som geotermisk energikälla. Vanligen ligger kaliumhalten i granit kring 4 – 6 %, men uran och thoriumhalten varierar. De håller sig dock relativt konstanta hos en given granit även om viss differentiering inom graniten sker. Således är den geologiska kartbilden till stor hjälp vid prospektering efter geotermiskt anomal bergart. Då starkt inhomogena bergarter inte är ovanliga är metoden för analys av sammansättningen kritisk. Spektrometer kan analysera 400 kg massa, provtagning kanske endast behandlar 10 kg. Begränsning av antalet prover kan således kraftigt påverka resultatet (Linden *et al.*, 1983). I tabell 2 redovisas uppmätta koncentrationer av uran, kalium och thorium i berggrunden i området av Gunsta (Arnbom, Persson, 2002).

Tabell 2: Resultat från analyser av gammastrålmätningar gjorda på granitoidhällar.

| Element | Koncentrationsintervall | Skattat medelvärde |
|---------|-------------------------|--------------------|
| Uran    | 3 – 9 [ppm]             | 5 [ppm]            |
| Thorium | 10 – 22 [ppm]           | 16 [ppm]           |
| Kalium  | 2 – 4 %                 | 3 %                |

I Sverige finns det fyra regioner där en ansamling av geotermiskt anomala graniter finns: Blekinge, Västerviksområdet, södra Bergslagen och Bingsjöområdet. Lokalt i Uppland finns intressanta anomalier vid Rimbo, Storvreta och Tierp (Linden *et al.*, 1983).

### 3 Resultat

Med följande antaganden: avstånd mellan borrhål: 500m, vattenflöde: 36 kg/s, samt mäktighet i den uppspräckta permeabla zonen: 5m, gavs följande resultat:

Effekten ut från det geotermiska systemet ges av ekvation 7 och uppgick till

$$E = F \cdot \Delta T \cdot k = 36 \left[ \frac{kg}{s} \right] \cdot 20 \cdot 4180 \left[ \frac{J}{kg} \right] = 3009,6 [kW]$$

Break-through time för den första fraktionen av injektionsvattnet i det tänkta geotermiska systemet i Gunsta ges av ekvation 10 och uppgick till

$$t_{bt} = \frac{\pi HCL^2}{3Q_w C_w} = 18441477,34 [s] \approx 0,6 [\text{år}] \approx 7 \text{ månader}$$

Utan återuppladdning av det geotermiska systemet erhålls en temperaturminskning vid produktionshållet efter tio år om 6°C.

Värmeproduktionen i Gunstas berggrund gavs av ekvation 6 och uppgick till:

$$P = 34,8K + 95,3U + 25,6Th = 990,5 \text{ [pW/kg]} \leftrightarrow 2,62 \text{ [}\mu\text{W/m}^3\text{]}$$

De geologiska beskaffenheterna i Gunsta är av sådan art att ingen värmeregenerering sker under akvifärens livslängd. Utan aktiv återladdning av returvattnet ned i akvifären kommer systemet inom relativt överskådlig tid dräneras på upptagbar energi.



## 4 Diskussion

Resultaten baserar sig på flera antaganden vilka redogörs för under respektive delrubrik.

### Effektformel

Ekvation 7 ger potentiell energi att extrahera ur akvifären. Ur den kan ses att de komponenter som kan påverkas är flödet samt temperaturdifferensen. Flödet beror på hur den hydrauliska spräckningen lyckas. Temperaturdifferensen är i sin tur beroende av kostnadsutrymmet som finns att borra djupt. Antag att 1,8 kilometers djup nås, med en geotermisk gradient på  $17,2^\circ\text{C}/\text{km}$  (Schwarz, 2014; personlig kontakt) ger det en botten temperatur i borrhålet på  $\sim 31^\circ\text{C}$ . Utrymme finns då för en extrahering av upp mot  $\Delta T = 20^\circ$ . Antag att spräckningen ger ett flöde av  $F = 36$  [kg/s]. Enligt ekvation 7 fås då

$$E = F \cdot \Delta T \cdot k = 36 \left[ \frac{\text{kg}}{\text{s}} \right] \cdot 20 \cdot 4180 \left[ \frac{\text{J}}{\text{kg}} \right] = 3009,6 \text{ [kW]}$$

På årsbasis ger detta en energimängd av ca 13 [GWh]. Denna temperatur är dock för låg för direkt användning och måste höjas via värmepumpar.

### Break-through time

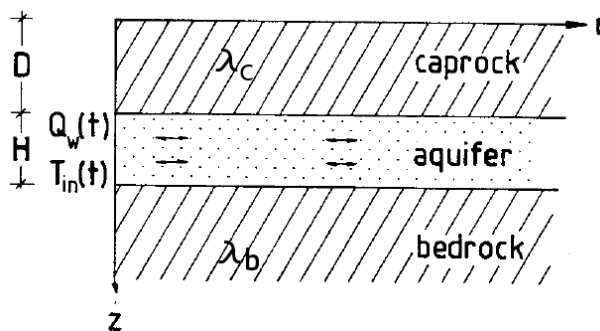
Vad gäller att uppskatta genombrottstiden i Gunstas akvifär krävs ett antal antaganden. Akvifärens mäktighet,  $H$ , måste sättas och då extraheringen bygger på att det skapas en konstgjord akvifär via spräckning finns inget värde på detta innan en faktisk spräckning gjort. Vidare måste avståndet mellan borrhålen,  $L$ , bestämmas. Detta påverkas av omständigheter såsom markägare och var berg finns i dagen, vilket underlättar borring. Slutligen måste ett flöde,  $Q_w$ , sättas. Detta är också beroende av en lyckad spräckning. Låt anta  $H = 5$  [m],  $L = 500$  [m] samt  $Q_w = 0,036$  [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]. Ekvation 10 ger

$$t_{bt} = \frac{\pi H C L^2}{3 Q_w C_w} = \frac{\pi \cdot 5[\text{m}] \cdot 2,12 \left[ \frac{\text{MJ}}{\text{m}^3 \text{K}} \right] \cdot 500^2[\text{m}]}{3 \cdot 0,036 \left[ \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right] \cdot 4,18 \left[ \frac{\text{MJ}}{\text{m}^3 \text{K}} \right]} = 18441477,34[\text{s}] \approx 0,6[\text{år}]$$

$\approx 7$  månader

### Temperaturstörning

I Gunsta är berggrunden med stor sannolikhet homogen vilket ger att värmeledningsförmågan i caprock är samma som för bedrock, dvs  $\lambda_c = \lambda_b = \lambda$ , se figur 2.



Figur 2: Vertikalt snitt genom akvifär (Claesson et al., 1985).

Ekvation 11 kan då förenklas:

$$t_m = H^2 \cdot \left( \frac{c}{\sqrt{\lambda c}} \right)^2$$

och med samma antaganden som ovan erhålls:

$$t_m = 5^2 [\text{m}] \cdot \left( \frac{2,12 \left[ \frac{\text{MJ}}{\text{m}^3 \text{K}} \right]}{\sqrt{3,1 \left[ \frac{\text{W}}{\text{mK}} \right] \cdot 2,12 \left[ \frac{\text{MJ}}{\text{m}^3 \text{K}} \right]}} \right)^2 = 17096774,19 [\text{s}] \approx 0,54 [\text{år}] \approx 198 \text{ dagar}$$

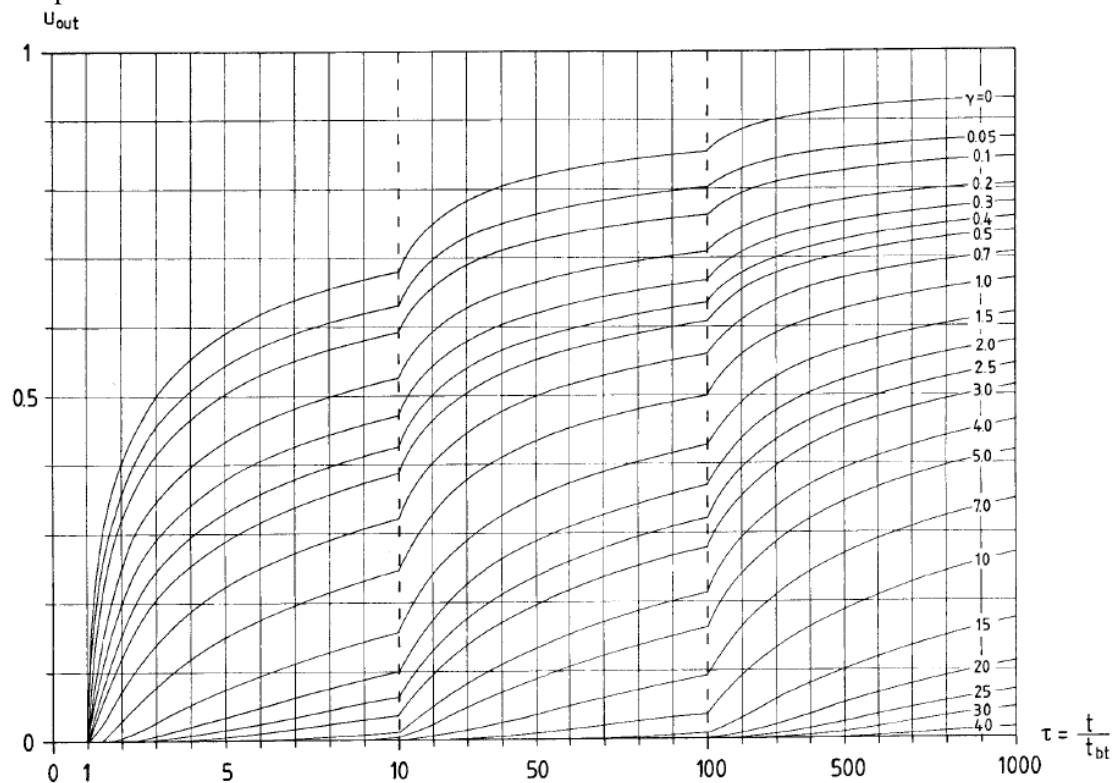
Ekvation 12 ger

$$\gamma = \sqrt{\frac{t_{bt}}{t_m}} = \sqrt{\frac{0,58 [\text{år}]}{0,54 [\text{år}]} } = 1,0386$$

och ekvation 13 ger för  $t = 10$  år

$$\tau = \frac{t}{t_{bt}} = \frac{10 [\text{år}]}{0,58 [\text{år}]} = 17,09986$$

vilket kan avläsas i figur 3 till  $U_{out} = 0,3$ . För ett  $\Delta T$  på  $20^\circ\text{C}$  blir således temperaturstörningen vid produktionshålet ca  $6^\circ\text{C}$  efter tio år.



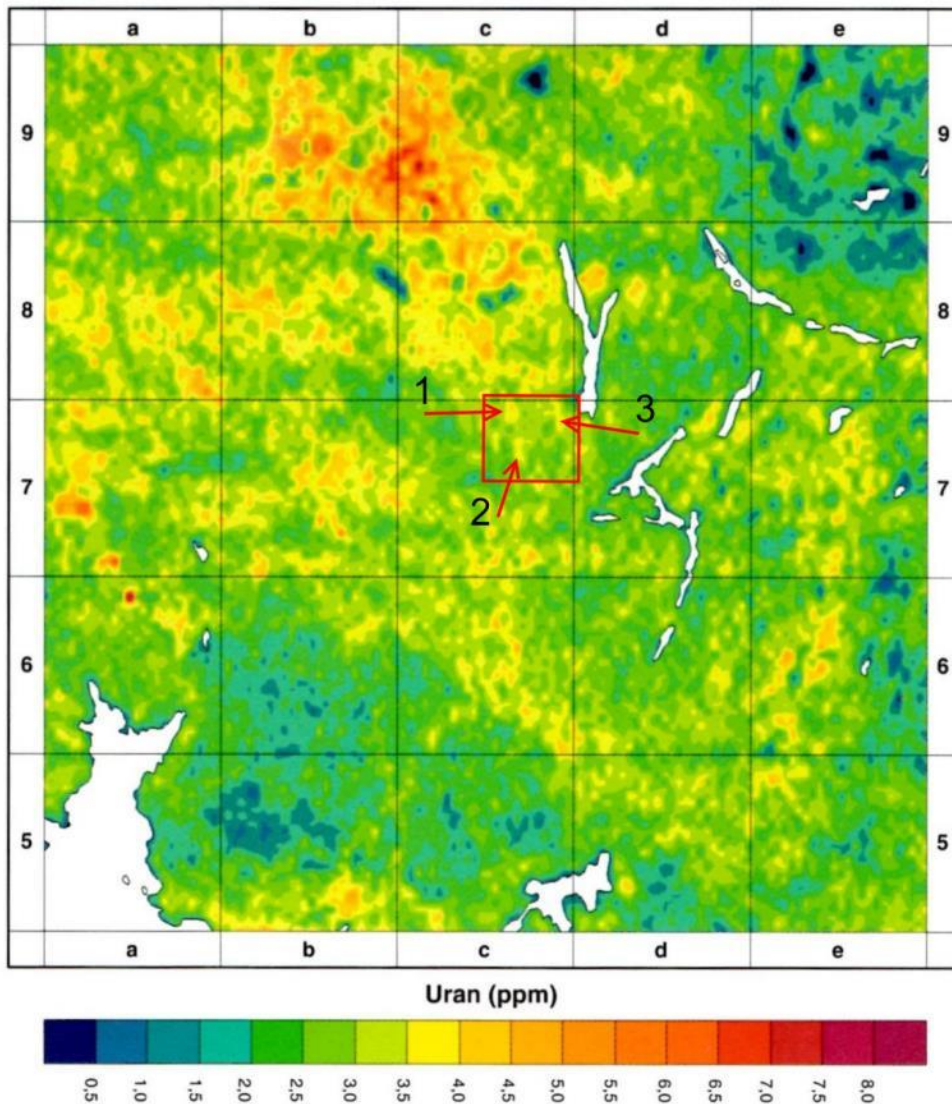
Figur 3: Olika gamma utitade för en akvifär på stort djup. På x-axeln ses en enhetslös tidskonstant,  $\tau$ , som sätts utifrån önskad tid att undersöka. Temperaturstörningen avläses på y-axeln som  $U_{out}$  per grad delta-T (Claesson et al., 1985).

## Värmeproduktionen

Den radioaktiva värmeproduktionen i berggrunden av de naturliga radioaktiva isotoperna för bergarterna yngre granit, gnejs och gnejsgranit ligger alla mellan  $2,6 - 4,6 [\mu\text{W}/\text{m}^3]$ . (et al, 2004). Med hjälp av *Ekvation 6* kan den ungefärliga värmeproduktionen i Gunsta beräknas:

$$\begin{aligned}
 P &= 34,8K + 95,3U + 25,6Th = \\
 &= (34,8 \cdot 3) + (95,3 \cdot 5) + (25,6 \cdot 16) = \\
 &= 990,5 \text{ [pW/kg]} \leftrightarrow 2,62 \text{ [\mu W/m}^3\text{]}
 \end{aligned}$$

Detta kan jämföras med området utanför Storvreta med en anomal radioaktiv produktion där värmeproduktionen enligt samma mätillfälle uppgår till 5,06 [ $\mu\text{W/m}^3$ ] (Arnbom, Persson, 2002). I figur 4 visas koncentrationen av uran i marken kring Gunsta med tre områden



Figur 4: Karta över markens uranhalt över 111 Uppsala NV.

utmärkta av större intresse. Område 3 stämmer där överens med det område av berggrunden i Gunsta som även har högre halt av radon.

Värmeledningsförmågan  $\lambda$  har för berggrunden i Gunsta ett värde på 3,1 [W/mK] (Schwarz, 2014; personlig kontakt).

Konduktiviteten i berget är för dåligt för värmeuttag via endast värmeöverföring. Om inte tillräckliga vattenflöden existerar kommer tillräcklig mängd värme inte att kunna extraheras, berget skulle inom en kort tidsperiod tömmas på värme (Juhlin, 2014).

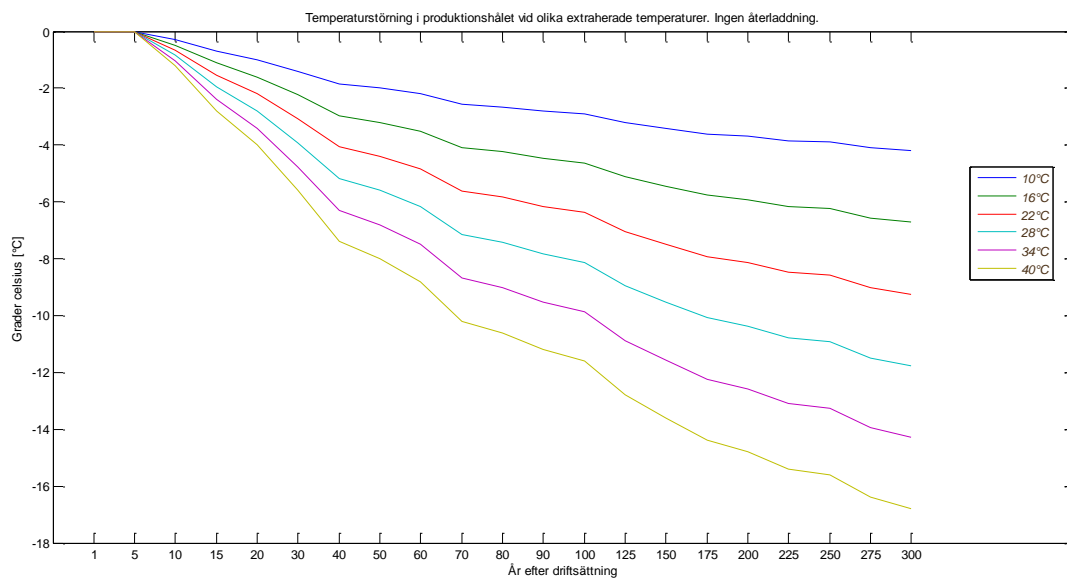
Det genomsnittliga värmeflödet för kristallina bergarter är  $47 \text{ mW/m}^2$  (Juhlin, 2014). Genomsnittsvärdet över jordklotet ligger kring  $60 \text{ [mW/m}^2]$  och i Sverige varierar den troligen inom  $40 - 100 \text{ [mW/m}^2]$  (Linden *et al.*, 1983). Detta kan jämföras med solinstrålningen mot ett optimerat vinklat plan (ca  $42^\circ$ ) som vid  $60^\circ$  breddgraden uppstiger till  $1000 \text{ [W/m}^2]$ . Värmeflödet i sig från bergrunden är således alltför litet för att direkt verka som energikälla.

## Värmeregenerering

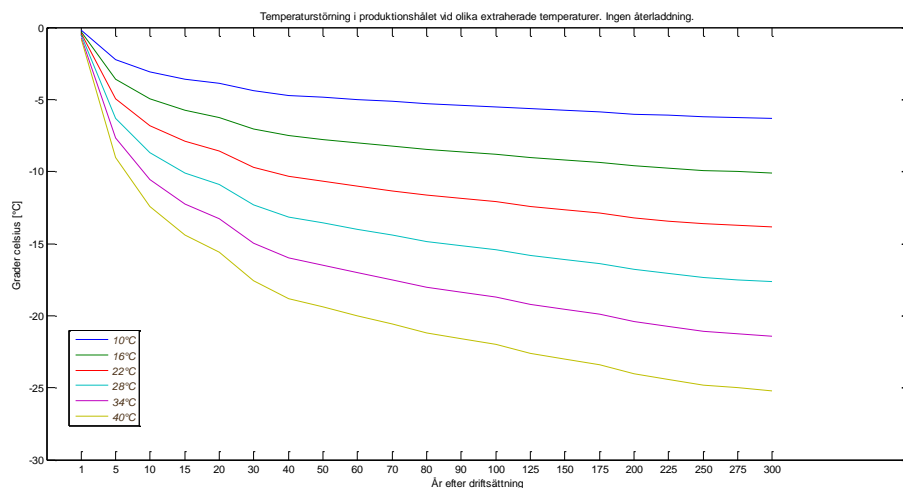
Under en akvifärs livslängd sker ingen värmeåterbildning. Det radioaktiva sönderfalllets värmegenerering är försumbar och den vertikala avkylningen uppåt tar ut den vertikala uppvärmningen nedåt (den termiska gradienten). Det enda sättet som systemet kan återfå sin ackumulerade värme är genom att stoppa extraheringen och låta ny värme diffundera upp under mycket lång tid (> tusen år).

## Känslighetsanalys

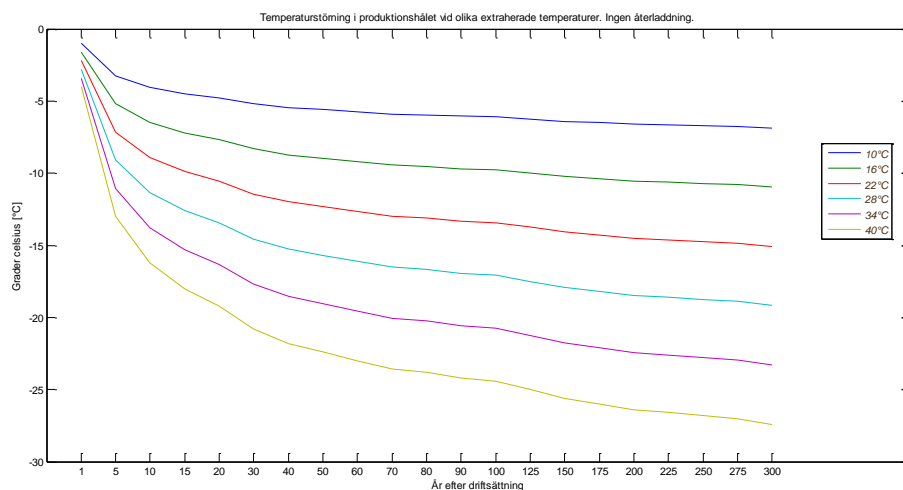
Vid ändrat flöde genom akvifären påverkas effektuttaget enligt ekvation 7 i en linjär trend (se figur 6 i bilaga B). Samtidigt påverkas temperaturavtagandet i produktionshålet vilket bestämmer livslängd för systemet. Vid ett flöde av  $10 \text{ kg/s}$  erhålls en temperaturminskning efter 10 år på ca  $0,5^\circ\text{C}$ . Motsvarande för ett flöde av  $36 \text{ kg/s}$  är en temperaturminskning med ca  $6^\circ$  och för ett flöde av  $62 \text{ kg/s}$  är minskningen ca  $7,5^\circ$  (se figur 5, 6 och 7).



Figur 5: Temperaturavtagande vid produktionshålet för olika  $\Delta T$  vid ett flöde av  $10 \text{ kg/s}$ . Inge återuppladdning.



Figur 6: Temperaturavtagande vid produktionshållet för olika  $\Delta T$  vid ett flöde av 36 kg/s. Ingen återuppladdning.



Figur 7: Temperaturavtagande vid produktionshållet för olika  $\Delta T$  vid ett flöde av 62 kg/s. Ingen återuppladdning.

Som resultat av detta fås att ett minskat flöde förlänger systemets livslängd, men för bibehållen uteffekt måste arbetet för värmepumparna bli större från start. Med högre flöde krävs mindre arbete från värmepumparna initialt, men systemets livslängd kortas. I takt med temperaturavtagandet kommer arbetet för värmepumparna att öka. Livslängd för system med flödet 10 kg/s kan uppskattas till större än 50 år, flödet 36 kg/s ger en livslängd på mindre än 50 år och flödet 62 kg/s ger livslängd mindre än 25 år. Treshold sattes till då temperaturstörningen gör att  $T_{\text{retur}}$ , med ett  $\Delta T = 20$ , blir lägre än noll grader.

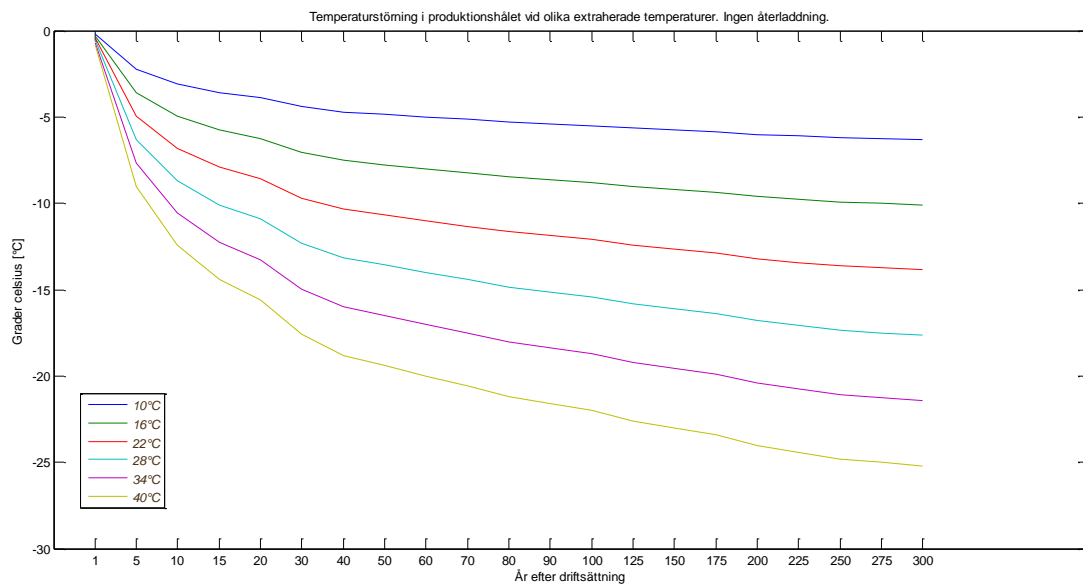
Då temperaturavtagandet följer samma trend även vid större djup ses att om  $T_{\text{retur}}$  är avsevärt högre initialt så förlängs livslängden markant. Om ett djup av ytterligare 1 km nås erhålls ett  $T_{\text{upp}}$  av ca 48 °C vilket med ett  $\Delta T = 20$  °C ger en  $T_{\text{retur}}$  på 28 °C. Det ger att temperaturavtagandet vid produktionshållet kan minska med 25 ° innan treshold och  $T_{\text{retur}}$  närmar sig noll. För ett flöde av 36 kg/s skulle detta ge en livslängd på ca 200 år utan att systemet behöver återladdas.

För att förlänga livslängden hos ett akvifärt system kan återladdning göras under sommarmånader då värmebehovet är mindre i fjärrvärmenätet. Exempelvis kan solfångare, spill- och/eller returvärme nyttjas för att under året värma upp returvattnet innan det pumpas

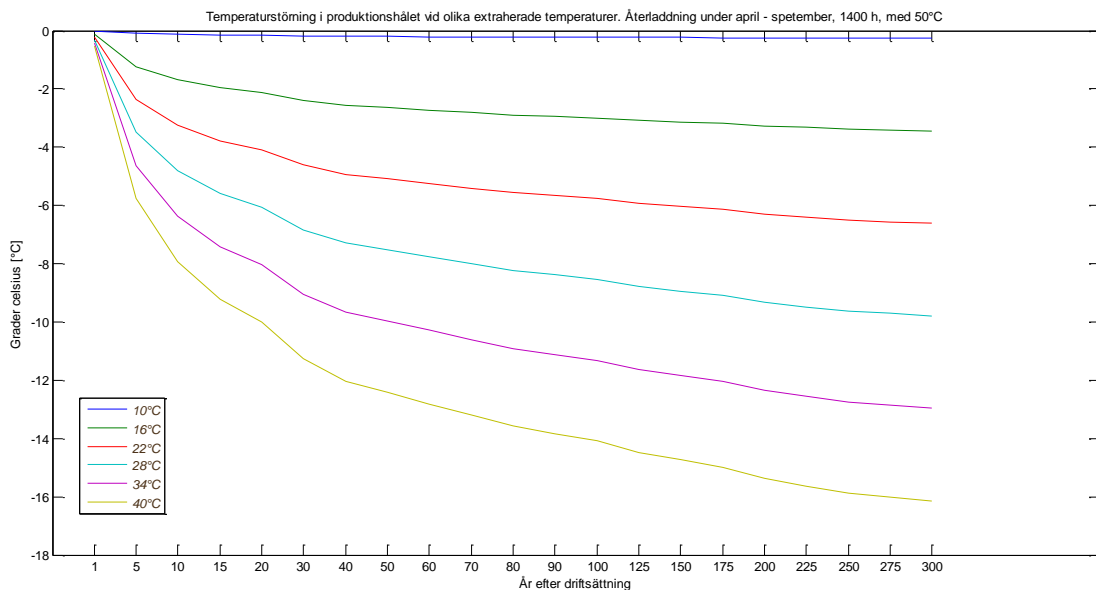
ned i injektionshålet. För att påvisa trenden en återladdning kan ge räknas här på uppladdning med hjälp av solfångare. Från april – september erhålls ca 1400 soltimmar för uppvärming av vatten (SMHI, 2014). Genom att räkna ett medelvärde för temperaturen på returvattnet kan en enkel jämförelse göras på ett system utan respektive med återladdning, se figur 8 och 9. För beräkning av återuppladdningskurvan har ett årsmedel satts,  $\Delta T = \Delta \bar{T}$ , utifrån 7 360 h med ren värmeextrahering utan återuppladdning,  $\Delta T_1 = -20^\circ$ , plus 1 400 h med återuppvärmning av returvattnet till  $50^\circ\text{C}$  så  $\Delta T_2 = +30$ .

$$\Delta \bar{T} = \frac{7\,360 \cdot \Delta T_1 + 1\,400 \cdot \Delta T_2}{8\,760} = \frac{7\,360 \cdot (-20) + 1\,400 \cdot 30}{8\,760} = -12$$

Detta gjordes för varje intressant temperaturintervall ur extraheringssynpunkt (se figur 9).



Figur 8: Temperaturavtagande vid produktionshålet i ett system utan återladdning med 5 m mäktighet i akvifär samt 500 meter mellan produktions- och injektionshål.  $F = 36$  [kg/s].



Figur 9: Temperaturavtagande hos samma system som i figur 8, men här med återladdning av 50 grader varmt vatten under sommarmånaderna.  $F = 36$  [kg/s].

## Referenser

- Alvarez, H. 2006. Energiteknik upplaga 3:6. Studentlitteratur. ISBN: 978-91-44-04509-2.
- Arnbom J. O & Persson L. 2002. Beskrivning till berggrundskarta 111 Uppsala NV. 111 Uppsala NV. [Kartografiskt material]. 1:250 000. ISSN 0586-1543 ISBN 91-7158-673-3. Uppsala: SGU.
- Claesson J., Efring, B., Eskilson, P., Hellström, G. 1985. Markvärme. En handbok om termiska analyser. Del III Naturvärmekällor. T18:1985. ISBN 91-540-4465-0. Statens råd för byggnadsforskning. Stockholm Art.Nr. 6703515.
- Henkel H., Bergman B., Stephansson O., Lindström M. 2004. Björkö energiprojekt. Slutrapport avseende geovetenskapliga undersökningar 2000 - 2004, 2:a upplagan. TRITA-LWR. REPORT 3010, ISSN 1650-8610, ISRN KTH/LWR/REPORT 3010-SE, ISBN 91-7283-934-1
- Linden, A., Melin, O., Mellander, H. 1983. Områden med anomal radioaktiv värmeproduktion i södra och mellersta Sverige. Projekt 4112 041 Mätningar SGAB. Projektresultat Efn/LET 1983:34.
- Riml, J. 2005. Prestandaförändring hos en bergvärmeanläggning efter fem års drifttid. Department of Earth Science, Uppsala University. Villavägen 16, Se-75236 Uppsala. ISSN: 1401-5765
- SMHI. 2014. Strålning URL <http://www.smhi.se/klimatdata/meteorologi/stralning/normal-solskenstid-for-ett-ar-1.3052> (Hämtad 2014-05-27).

## Personliga referenser

- Juhlin, C. 2014. Professor i geofysik, Institutionen för geovetenskaper Uppsala Universitet
- Schwarz, G. 2014. SGU, gerhard.schwarz@sgu.se
- Claesson, J. 2014. Professor i byggt teknik, Lunds Tekniska Högskola, johan.claesson@byggt ek.lth.se

## Bilaga D – Geologiska förutsättningar

*Andreas Lundgren*

### 1 Bakgrund

De äldsta delarna av Sveriges berggrund hör till den Prekambriska skölden vilket även kallas för urberget och är kristallin berggrund. Uppland ligger i den Södra regionen av den Svekofenniska delprovinsen, som är en del av den Svekokarelska provinsen, vilken är en del av den Prekambriska skölden. Södra regionen innefattar Bergslagen, Uppland, Sörmland, Östergötland och norra Småland.

Den södra regionen består av sura metavulkaniter som ingår i gruppen Leptiter, dessa är utbredda över en stor area inom bergslagen. Sen och postorogena graniter är vanligt förekommande i norra och västra delarna av området (Hoseini, 2007).

I södra Sverige finns Tornquistzonen där jordskorpan är tunnare (ca 30 km) och täcks av kilometertjocka sedimentlager, dessa sedimentskikt kan innehålla vattengenomsläppliga skikt. Detta ger Skåne bra förutsättningar för utvinning av geotermiskenergi, med en geotermisk gradient på 30 K/km. De övriga delarna av Sverige har en gammal och djupare jordskorpa på upp till 50 kilometer. Tjockleken på jordskorpan ger att avståndet till manteln blir större vilket ger ett lägre värmefflöde och då också lägre värmegradient för den kristallina berggrunden. I den Prekambriska skölden ligger temperaturökningen normal mellan 15 - 20 K/km på djupet (Henkel, 2006). Områden som var täckta av inlandsisen fick en nedkylning, men isen hade även en isolerande effekt. Bergrunder som istället var isfria drabbades av permafrost till ett par kilometers djup, vilket påverkar berggrundens temperaturgradient än idag. En exakt temperaturgradient kan endast fastställas via provborringar till mer än 1000 meters djup (Juhlin, 2014; personlig kontakt).

#### 1.1 Värmeledningsförmåga och specifik värmekapacitet

Värmetransporten i jorden kan delas upp i tre processer: konduktion, konvektion och strålning. Manteln är fast i sin struktur enligt seismologiska indikationer, men beter sig som en viskös vätska sett över långa tidsintervaller, detta på grund av den höga temperaturen. Detta ger att konvektion blir den viktigaste processen i manteln för värmetransport. Värmetransport genom skorpan och litosfären sker genom konduktion. Värmetransport genom strålningen uppstår kring kärnan och den inre delen av manteln (Hoseini, 2007).

Värmeledningsförmågan (materialets förmåga att leda värme) samt den specifika värmekapaciteten är viktiga då dessa ger indikationer på det potentiella energiutbytet. Vid vattenförande skikt är värmeledningsförmågan högst då vatten leder värme 20 gånger bättre än luft (Ahlström, 2004), vilket kan vara problematiskt om reservoaren ligger djupare ned. Man kan få avkylning av energibäraren och isolering måste tas i beaktande.

Värmeledningsförmågan är lägre i den kristallina berggrunden än i bergarterna i manteln (generellt i kristallin berggrund: 3 - 4 [W/mK], (Henkel, 2006) eller 3,2 – 4.1 [W/mK] (Alvarez, 2006), och ännu sämre i sedimentlagret ovanför, där avgörs värmeledningsförmågan av mängden vatten i sedimenten. Den kristallina berggrunden har låg porositet.

Bergartens specifika värmekapacitet påverkas av flera faktorer som innefattar dess mineralinnehåll, struktur, sprickor, densitet, porositet och kornform (Hoseini, 2007). Bergarter



håller en specifik värmekapacitet mellan 0,7 - 1,2 [kJ/kg] (Henkel, 2006), där granit med kvarts som huvudbeståndsdel har 0,8 [kJ/kg] (Nordling, Österman, 2008).

Sprickorna kan även vara igensatta av utfällda mineraler från berggrunden, sprickmineraler. En fördel är då om dessa har låg hållfasthet så att de kan spräckas och tas bort (Hoseini, 2007). Om berggrunden i Gunsta har utsatts för *brecciering*, uppsprickning, exempelvis från ett meteoritnedslag finns större möjlighet till sprickbildningar i berggrunden. Erfarenheter från oljeutvinning har visat att man på konstgjord väg kan spräcka berggrunden via hydraulisk spräckning. Detta har använts framgångsrikt för kristallin berggrund vid geotermiprojektet i Soultz. Spräckningsförsök har även gjorts i Fjällbacka i Sverige (Henkel *et al.*, 2004).

## 1.2 Metoder för kartläggning av berggrund inför prospektering

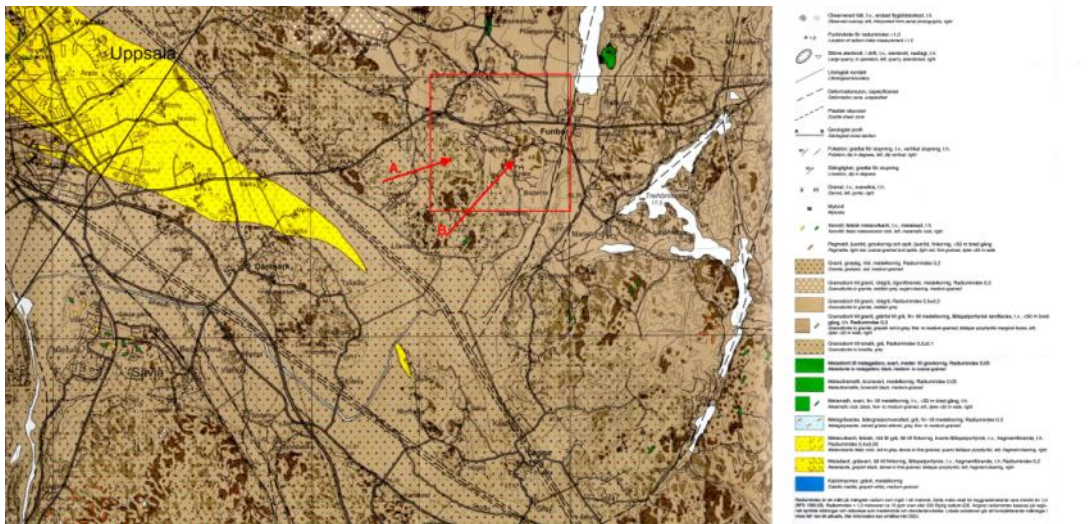
- Vertikal elektrisk sondering (VES)
  - Resistiviteten kan bestämmas mot djupet, ca 1 km max.
- Elektromagnetiska (magnetotelluriska, MT) mätningar
  - Kan störas ut av kraftledningar, radiomaster eller transformatorstationer. Kan nå ett djup av 5 km. En endimensionell modell över den vertikala profilens resistivitet erhålls.
- Elektromagnetiska (very low frequency, VLF) mätningar
  - Maximal djupavkänning är ca 400m och ger en bild av sprickbildningsgraden (låg resistivitet).
- Tyngdkraftsmätningar
  - Med hjälp av en gravimeter kan densiteten i berggrunden fastställas och bidra till bilden av geologin.
- Petrofysik
  - På ytan görs provtagningar som används som bakgrundsdata för att tolka MT-mätningar och tyngdkraftsmätning. Även elektrisk resistivitet mäts.
- Berggrundsgeologisk kartering
  - SGU har omfattande databaser med geologisk information. Dessa ger en god startreferens.
- Tektonik
  - Större sprick- och/eller rörelsezoner (skjuv- eller förkastningszoner) kan områdets morfologi ge (från flyg- och markgeofysiska mätningar). Dessa påvisar berggrundsblock eller vattenförande strukturer. Större homogena berggrundsvolymer ger goda förutsättningar för kontroll på vattenflöden. Sprickzoner kan orsaka läckage mellan injektion och extraktion.
- Seismiska undersökningar
  - Reflektions- och refraktionsseismiska mätningar kan ge god uppfattning om bergartens utbredning i sidled samt gränsskikt av olika densitet (behöver dock ej betyda att berggrunden övergått i en annan bergart).

- Flyg- marin- och markmagnetiska mätningar.

Ovanstående metoder kan sammantaget användas för att ge en uppfattning av hur berggrunden ser ut och var det kan vara lämpligt att prospektera. Vid borrhörsök gjorda i Björkö-projektet visade det sig dock att ingen av dessa mätningar var hundra procentigt tillförlitliga. De gav en god uppskattning, men för en mer exakt kartläggning måste provborrning till där man kan analysera borrhörsöken direkt (Henkel *et al.*, 2004) (Erlström *et al.*, 2004) (Juhlin, 2014; personlig kontakt).

## 2 Geologiska förutsättningar i Gunsta

Enligt *figur 1* finns vid Gunsta granitiska och granodioritiska bergarter, antagningsvis är det samma bergarter även vid större djup (Schwarz, 2014; personlig kontakt). I *figur 1* är två områden utmärkta med synligt urberg i dagen, vilket utgör intressanta områden för prospektering, då naket berg underlättar vid borring.



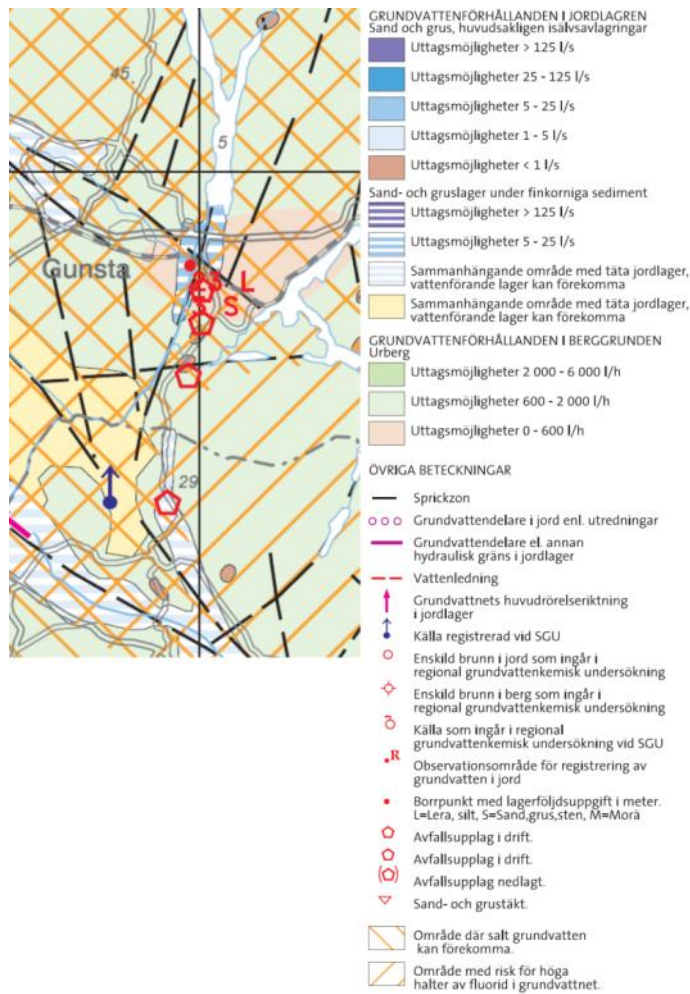
*Figur 1.* (AF 210. Berggrundskartan 111 Uppsala NV). Den röda rektangeln märker ut Gunsta området. De röda pilarna visar på observerat urberg i dagen vilket är fördelaktigt vid borring. (Karta: © SGU, u.å)

Värmeledningsförmågan i berggrunden vid Gunsta kan variera, men uppskattas till cirka 3,1 [W/mK]. Temperaturgradienten i jordskorpan ner till 8 km djup kan antas vara cirka 17,5 grader/km, sen minskar gradienten och ligger på 15 grader/km vid djup större än 20 kilometer. (Schwarz, 2014; personlig kontakt). Den specifika värmekapaciteten vid Gunsta är 0,8 kJ/kg, berggrunden består av granit där kvarts är huvudbeståndsdel i granodioritiska bergarter.

### 2.1 Sprickzoner vid Gunsta

Enligt *figur 2* kan det ses att naturliga sprickzoner finns kring Gunsta området. De huvudsakliga grundvattendepåerna ligger koncentrerade till ett område öster, i Funbosjöns sydliga förlängning, respektive norr om nuvarande Gunsta. Sprickzonerna som kan vara av intresse för prospektering ligger i Södra området. Här kan två scenarios ses, ett första där man i sprickzonerna kan hitta ett lateralt flöde mellan injektions- och produktionshål och ett andra tillvägagångssätt där målet blir att hitta ett homogent berggrundblock, utan sprickbildningar. Med hjälp av provborrningar får bergets spänningsriktning fastställas för att sedan genomföra

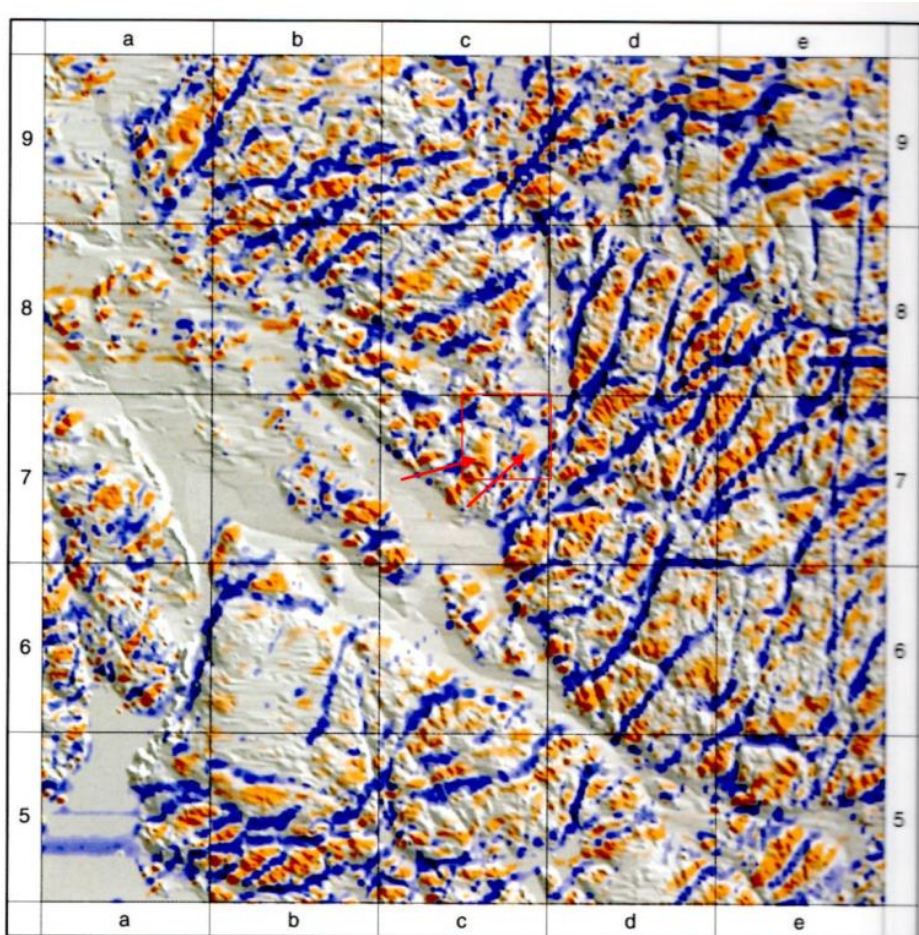
hydraulisk spräckning och på konstgjord väg bilda en lokal akvifer i berggrundsblocket (Juhlin, 2014; personlig kontakt).



Figur 2: (SGU, 2014). Utsnitt från grundvattenkarta (1:250 000) karta framställd ifrån SGU:s databas 2014-04-02. Utsnitt från vattenkarta över Gunsta där sprickzoner samt grundvattendepåer kan utläsas. SGU:s borrpunkt i östra Gunsta har registrerat en lagerföljd av 23 m lera och silt följt av 3 m sand, grus och sten innan urberg påträffas. (Karta: © SGU, u.å)

I figur 3 visas VLF (very low frequency) gjorda över området i orange-blått tillsammans med höjdreliëf i grått. Blå färg indikerar god ledningsförmåga och orange färg dålig ledningsförmåga. Ledningsförmågan kan indikera permeabla skikt i form av porositeter eller breccierade skikt. I den röda rektangeln är Gunsta beläget och pilarna pekar på område A respektive område B. Då bägge dessa är orangefärgade (dålig ledningsförmåga) samt ligger i dagen kan antagandet göras att det inte föreligger något permeabelt skikt på djupet.





Figur 3. ( Ambom, Person, 2002). Kartan visar totalintensiteten av det sekundärt inducerade elektromagnetiska fältet i orange-blått tillsammans med höjdreliëf i gråskala. ©SGU

### 3 Resultat

Den kristallina berggrunden i Gunsta består av granitiska och granodioritiska bergarter, sammansättning av berggrunden är den samma i vertikalt led på djupet. Hydraulisk spräckning kommer erfordras för att få en tillräcklig permeabilitet i berget för värmeuttag i Gunsta. Temperaturgradienten i berggrunden är  $17,5 \text{ }^\circ\text{C}/\text{km}$  och värmekapaciteten vid Gunsta är  $0,8 \text{ kJ}/\text{kg}$ . Värmeledningsförmågan i berggrunden vid Gunsta är  $3,1 \text{ [W/mK]}$ .

Risken för nerkylning av vatten som finns övre lager kan bortses på grund av bergets tröga värmeöverföring (Claesson, 2014; personlig kontakt). Då temperaturgradienten är förhållandevis låg i detta område kommer värmepumpsteknik vara en nödvändig komponent för att kunna få tillräckligt hög uteffekt för att täcka närvärmenät i Gunsta.

### 4 Diskussion

Enligt de data som finns tillgängliga antas berggrunden i. Erfarenheter från Björkö-projektet och Igrene-projektet visade dock att antagandet att berggrunden är den samma i vertikalt led som ytsammansättningen fick korrigeras efter provborringar. Man kan då dra slutsatsen att för en mer korrekt bedömning av potentialen måste provborringar utföras i intressanta delar av området. I synnerhet de utmärka områden A och B enligt figur 1.

Effektuttaget är direkt kopplat till volymen berggrund som kan växla av värme till vattnet. Detta är en stor osäkerhetsfaktor som inte kan beräknas utan avgörs först efter utförd spräckning.

Ett lämpligt borrhjupsintervall avgörs av borrhjups-tekniken, temperaturgradienten i berggrunden och späcknings möjlighet i berggrunden vid Gunsta.

Alternativa extraktionstekniker kan behöva undersökas om hydraulisk spräckning inte kan genomföras. Finns dock en risk att om hydraulisk spräckning ej är möjlig att göra vid Gunsta, att geotermisk energi ej är möjligt att använda vid Gunsta.

## Referenser

- Ahlström, A, K. 2004. Bergvärmeanläggningar där frysning i borrhål orsakar hopklämda kollektorslangar. Luleå tekniska universitet. 2005:070 CIV, ISSN: 1402 - 1617, ISRN: LTU - EX 05/07 SE
- Alvarez, H. 2006. Energiteknik upplaga 3:6. Studentlitteratur. ISBN: 978-91-44-04509-2. Uppsala: SGU
- Arnbom J. O & Persson L. 2002. Beskrivning till berggrundskarta 111 Uppsala NV. 111 Uppsala NV. [Kartografiskt material]. 1:250 000. ISSN 0586-1543 ISBN 91-7158-673-3. Uppsala: SGU.
- Erlström M., Hammar L., Tengbro P., Tunbrå L-O. 2004. Projekt Igrene. Ett geotermiprojekt i Siljansringen.
- Hoseini, E. 2007. Värmeflödet från jordens inre och dess användning som energikälla. Luleå tekniska universitet. ISSN: 1402-1552
- Henkel H., Bergman B., Stephansson O., Lindström M. 2004. Björkö energiprojekt. Slutrapport avseende geovetenskapliga undersökningar 2000 - 2004, 2:a upplagan. TRITA-LWR.REPORT 3010, ISSN 1650-8610, ISRN KTH/LWR/REPORT 3010-SE, ISBN 91-7283-934-1
- Henkel H. 2006. Geotermisk energi - en vitbok för Sverige. trita-lwr.report 3014, ISSN 1650-8610, ISRN KTH/lwr/report 3014-SE, ISBN 91-7178-409-8
- Nordling C & Österman J. 2008. Physics Handbook for Science and Engineering. Studentlitteratur AB
- SGU. AF 210. Berggrundskarta 11L Uppsala NV. [Kartografiskt material]. SGU: Uppsala
- SGU. 2014. Utsnitt från grundvattenkarta (1:250 000) framställd från SGU:s databas 2014-04-02. [Kartografiskt material]: id-nr: dll4uZQASI. Uppsala: SGU.

## Personliga referenser

- Juhlin, C. 2014. Professor i Geofysik, Uppsala Universitet. The Swedish Deep Drilling Program. Geocentrum, SGU, Uppsala
- Schwarz, G. 2014. SGU gerhard.schwarz@sgu.se
- Claesson, J. 2014. Professor i byggt teknik, Lunds Tekniska Högskola  
[johan.claesson@byggttek.lth.se](mailto:johan.claesson@byggttek.lth.se)

## Bilaga E – Borrning och spräckning

*Per Mandfloen*

### Sammanfattning

Borrning i jord och berg har traditionellt används för att borra brunnar och komma åt viktiga vattenresurser. Denna typ av borrning sker till stor del på grunda djup. Djuphålsborrning används för tre olika ändamål. Dessa tre är sökandet efter geotermisk-och fossil energi samt rätt plats för slutförvaring av kärnbränsleavfall. Dessa tre borrhingsändamål baseras i stort sett på samma grundteknik som väljs efter aktuellt borrhjup och geologiska förutsättningar (Bjelm, 2007).

Borrningen och bergtekniken utgör en viktig del i den totala anläggningsprocessen. Detta gäller inte minst för den totala kostnadsbilden. Ett fungerande värmeverk i Gunsta som baseras på geotermisk energi, kräver att ett tillräckligt stor värmeuttag kan göras ur berget och de borrhålen. Detta för att kunna tillgodose de behov som finns. För att på bästa tänkbara sätt hämta denna värme ställs höga krav på borrningen och de bergtekniska momenten (Bjelm, 2007).

Borrteknik och tillvägagångssätt kan varieras på lika många sätt som det finns olika geologiska miljöer. För att uppnå ett bra borresultat krävs det att god kunskap finns om miljön där borrningen ska ske. Med hjälp av undersökningar och tester kan en viss kännedom om den geologiska miljön anskaffas (Juhlin *et al.*, 1989).

Det kan vara svårt att reda ut i detalj hur miljön egentligen ser ut innan faktisk borrning sker (Bjelm, 2007). Därför kan det vara riskfyllt att välja en teknik som är särskilt effektiv under speciella förhållanden men direkt ineffektiv då förhållandena förändras. Då det rör sig om djuphålsborrning är det därmed mer säkert att välja en teknik med tillhörande infrastruktur som är mer mångsidig och anpassningsbar (Harrison, 2000), (Juhlin *et al.*, 1989).

Då bormiljön och förutsättningarna förändras kan även den tilltagna borrhälsborrtekniken behöva varieras för att på bästa sätt uppnå ett så tillfredsställande resultat som möjligt. Val av borrhälsborrmetod beror på den geologiska miljön (Harrison, 2000), där borrningen ska ske samt borrhälsborrningens ändamål. Den grundläggande borrhälsborrteknik som valts har valts på grund av dess tillförlitlighet och förmåga att med modifiering kunna borra i geologiskt krävande och varierande områden. Detta utan långa driftstopp samt relativt låg miljöpåverkan och låga driftkostnader (Bjelm, 2007).

Borrhälsborrningens komplexitet varierar med vald teknik. De borrhålen ska vara stabila och funktionella samtidigt som de ska nå ett område i urberget där värmegradienten och permeabiliteten är tillräckligt bra. Under de omständigheter och förutsättningar som råder kan denna borrning i Gunsta-området behöva ske på ett relativt stort djup och genom hård berggrund. Då geologin i Gunsta är av kristallin bergart ska därmed i huvudsak luftstyrd rotationsborrning användas (Bjelm, 2007).

Om det aktuella flödesområdet ej har tillräcklig permeabilitet eller om det råder en typ av naturlig hydraulisk kraft ska spräckning av berggrunden utföras. Spräckning kan genomföras på olika sätt. Dessa är främst hydraulisk spräckning, kemisk spräckning och spräckning genom

sprängning. Vidare kan dessa kombineras på ett sådant sätt att den anpassas efter den rådande geologin (Juhlin *et al.*, 1989).

## 1 Bakgrund

### 1.1 Borrteknik

Borrteknik kan delas in två olika grupper, över- och underbalanserad borrning. Överbalanserad borrning kan tex vara rotationsborrning med spolning och kärnborrning medan underbalanserad borrning är rotationsborrning med luft samt rotationsborrning med luft blandat med skum. Tryckskillnaden mellan vätsketrycket och trycket för omgivning nere i hålet avgör huruvida borrningen är över- eller underbalanserad. Då vätsketrycket är högre gentemot omgivande geologi rör det sig om en överbalanserad borrning. Då den motsatta situationen råder handlar det om underbalanserad borrning. Den underbalanserade borrningen är i regel den snabbare metoden men kräver oftast foderrör för att inte borrhålet ska bli instabilt. Underbalanserad borrning är mellan 2-5 gånger snabbare jämfört med överbalanserad borrning (Bjelm, 2007).

### 1.2 Spräckning

Spänningar i berget och rådande kemi kan få stor betydelse för borrhingsprocessen och flödets väg genom berget. För att råda bot på detta används spräckning. Spräckning i form av mätning och flödesoptimering är något som utgör en viktig del för att på bästa sätt verka i berg. Spräckning har flera användningsområden (Juhlin *et al.*, 1989). Ett viktigt användningsområde är förundersökningar som görs inför anläggning av vägar, tunnlar och byggnader (Berg, 2005). För geotermiska ändamål är syftet att spräcka upp, konstruera och efterlikna naturliga akvifärer, där permabiliteten är bättre än i örört urberg. Vidare används spräckning för att styra om det naturliga vattenflödet som finns naturligt urberget. Med bättre permabilitet kan värme lättare utvinnas från berggrunden (Henkel, 2006).

### 1.3 Djuphålsborrningen och spräckning i tidigare projekt

Vikten i denna bilaga har lagts vid andras expertutlåtande. Dessa expertutlåtanden härstammar främst från tre olika typer av projekt och därmed anses det resultat som tas fram i denna rapport vara fullgod i förhållande till projektets syfte. På samma sätt har avgränsningarna dragits på ett sådant sätt att aktuella metoder och tekniker ska hållas på en relevant nivå vad gäller projektets storlek och ändamål. Referensobjekten är egentligen för få för att kunna bena ut ett tydligt tillvägagångssätt och fokus kommer därmed att läggas på att försöka ringa in en metod som kan användas i Gunsta.

Teknikutbudet är stort med många fördjupningar och därtill många frågetecken. Osäkerheterna är också många och kunskapskravet ligger på en hög nivå för att kunna säkerställa vad som verkligen är den bästa metoden.

Djuphålsborrning med ändamålet geotermi i områden som liknar Gunsta har sedan tidigare inte gjorts i någon större utsträckning. Dock har vissa projekt gjorts i regioner med bättre förutsättningar samtidigt som andra ändamål har varit drivande faktorer till projektmålen. Från dessa borrningar och bergtekniska processer har sedan data och information kunnat insamlas. Djuphålsborrning har varit och är en teknik som används av gas- och oljeindustrin. Då dessa djuphålsborrningar oftast kretsar kring att hitta fossila fyndigheter har fokus istället lagts på

projekt där borrhålets kvalité samt ändamål överensstämmer mer med projektet i Gunsta (Harrison, 2000).

Rapporter och slutsatser från tre betydande projekt har använts som kunskapsbas i framtagandet av lämplig teknik och metod. Dessa projekt är geotermiprojekt i Lund och Soultz samt slutförvaringsprojektet av använt kärnbränsle i Forsmark.

## 1.4 Lund

Målet med borrningarna i Lund var att hitta lämpliga områden med tillräcklig permeabilitet för ändamålet geotermi. Utöver de mer geotermiska ändamålen fanns även en tydlig önskan från projektets finansierare att ett stort fokus skulle läggas på projektets borrhållsprocess. Förhoppningar fanns om att resultat och utvecklingsmöjligheter skulle genereras inom borrning i kristallin bergart och även bidra till den allmänna borrhållstekniken. Detta speciellt för djuphållsborrning i hårda bergarter.

I Lund användes fyra olika borrhållsmetoder:

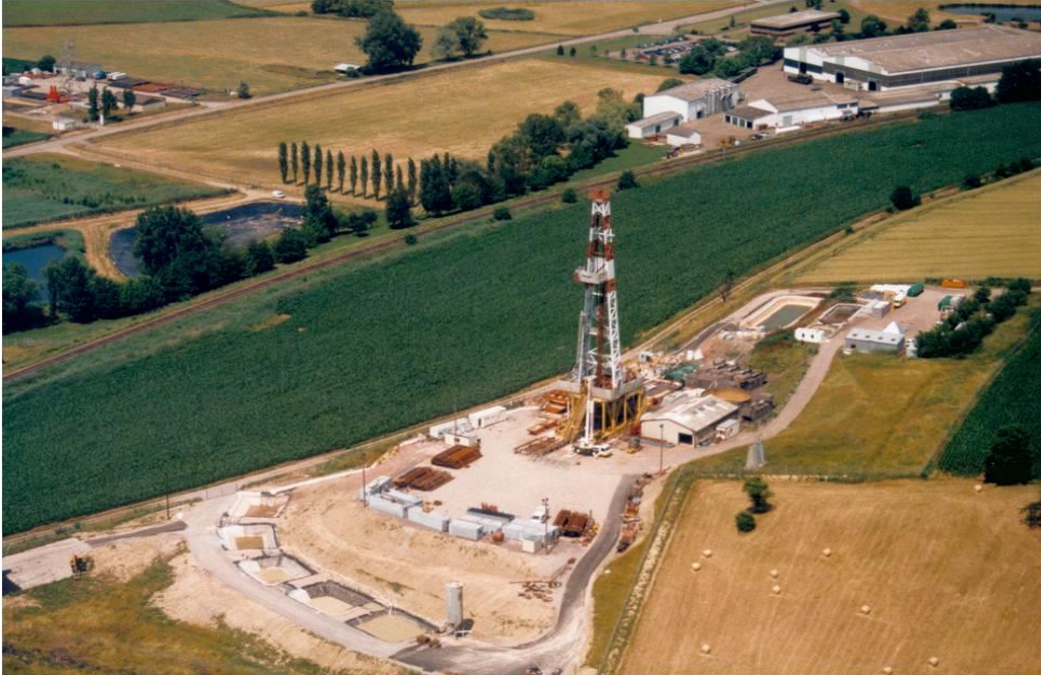
- Konventionell rotationsborrning med lera
- Luftstyrd rotationsborrning
- Luftstyrd hammarborrning
- Lerbaserad hammarborrning.

Efter att ha provat dessa fyra stod det klart att de två som varit utmärkande bäst för denna typ av borrning var luftstyrd rotationsborrning och hammarborr med luft. Den luftstyrda rotationsborrningen var hela fyra gånger snabbare jämfört med konventionell rotationsborrning med lera. Dessa metoder användes och byttes emellan, då miljön i det borrhålls hålet varierade med djupet. Rotationsborrning användes med en polymerbaserad lera ner till ca 2119 meter, därefter användes rotationsborrning med luft eller luftat vatten ner till borrhålls slutdjup. Detta med undantag för under två etapper då de två andra borrhållsmetoder under kortare sträckor användes.

Foderrör installerades i etapper med olika diametrar. Då borrhållningen var färdig hade 1756 meter urberg samt 1900 sediment genomborrats. Borrningarna i Gunsta förväntas ske på ett liknande sätt fast då med ett tunnare lager sediment (Rosberg, 2006).



## 1.5 Soultz



Figur 1: Borranläggning i Soultz

Sedan slutet på 80-talet har ett omfattande geotermiprojekt pågått i Soultz, Frankrike. Medverkande har varit flera prominenta forskare och sakkunniga från hela Europa. Projektets syfte är att med geotermisk energi generera elektricitet. Soultz-projektet är på så sätt olik projektet i Gunsta, däremot har borrning och spräckning skett i miljöer som är liknande varandra. Slutsatser och observationer från Soultz-projektet har därmed fungerat som referens då de bergmekaniska processerna planerats för projektet i Gunsta

Fem hål borrades, varav tre ner till ett djup av fem km. Projektet och tillhörande borrplanering inleddes med att genomföra olika typer provborrningar. Efter det kunde två djupare hål borraras. Djupet på dessa var 3600 och 3880 meter. Mellan dessa borrarade hål kunde sedan flödestester göras genom en granitreservoar på 3,5 km djup. När detta var gjort kapslades det ena hålet in och därifrån kunde två ytterligare hål borraras ner till 5 km. Foderrör sträcker sig ner till 4,5 km och resterande 0,5 km var öppet borrhål. Diametern på den sista biten var 8,5 tum. På platsen fanns ca ett 1,4 km tjockt sedimentlager. Därefter var bergarten av kristallin typ. Borrningen genom den kristallina bergarten ansågs vara en utmaning. Sedimentlagrets tjocklek var känt sedan tidigare då flera oljeborrningar skett på platsen. För att bättra på flödet och uppnå tillräcklig permeabilitet genomfördes spräckning. Spräckningen baserades på hydraulisk- och kemisk spräckning.

Viktiga slutsatser kunde erhållas från borrningen och spräckning som ägde rum i Soultz. En slutsats av större vikt var hur kemiska sammansättningar påverkade flödets naturliga riktning i berget. Under borrningen på 5 km djup påträffades flera zoner med berg som genomgått metasomatisk förändring. Dessa zoner innehöll stora reservoarer med saltlösning. Dessa reservoarer med saltlösning bidrog till en hydraulisk källa som på naturlig väg styrde flödet av vatten. På hydraulisk och kemisk väg kunde detta flöde omstyras. Slutsaten var att anläggnings optimeringar kan göras genom att ha bättre kunskap om hur dessa mekanismer fungerar (Genter *et al.*, 2010).

## 1.6 Kärnbränsleförvaringen

Slutförvaringen av använt kärnbränsle har genererat många rapporter om bergmekaniska processer. Krav på stabila och funktionsdugliga borrhål har gjort att bormetoder för djupa borrhål haft en betydande del i slutsatsen om denna typ av förvaring och deponi är lämplig. Den geologiska miljön i Forsmark är på många sätt lik den som går att finna i Gunsta.

I en rapport framtagen för detta projekt jämförs olika metoder som lämpar sig bäst i ändamålet slutförvaring. Jämförelsen står mellan KBS-3-metoden och förvaring i djupa borrhål. Denna jämförelsen tar avstamp i de tekniska möjligheter som finns och är möjliga att använda på bästa tänkbara sätt. Den tänkta anläggningen som ska hysa avfallet består av många djuphål med ett djup på mellan 4 till 5 km.

Bormetoderna i tillhörande rapporter delades grovt upp i tre olika metoder: Kärnborrning, hammarborrning och rotationsborrning. Kärnborrning ansågs vara lämpad för borrning av små dimensioner och därmed bäst för pilot- och undersökningshål. I jämförelsen mellan hammarborrning och rotationsborrning kunde det fastslås att en större instabilitet var att räkna med då hammarborrningen användes. Tekniken bakom rotationsborrning ansågs vara väl utvecklad vad gäller kontroll och styrning på hålets lutning.

Vidare nämndes andra problematiska situationer vad gäller installation av foderrör och tätning av dito. Dessa rör är styva och tunga (Harrison, 2000) och ställer därmed höga krav på att en god hanteringsförmåga finns på marknivå i form av lyftkraft. Andra tekniker såsom gallerutformade foderrör där bentonitlera får svälla igenom nätets maskning och på så sätt täta. (Harrison, 2000) Dock råder tveksamhet i om denna teknik är nog motståndskraftig vad gäller utfall från omgivande berg (Grundfelt, B. 2010).

## 2 Resultat

### 2.1 Djuphålsborrning

Det finns en mängd olika tillvägagångssätt för att testa och beräkna geologin och de kemiska sammansättningar i berget samt dess styrka och spänningsriktning. Bergmekanik är minst sagt ett djupt ämnesområde. Borrning och spräckning utförs på plats med aktuella förhållanden som måste undersökas mer noggrant innan någon som helst säker slutsats kan göras. Framtagna slutsatser är baserade på grova antaganden.

### 2.2 Borrning och spräckning i Gunsta

Djuphålsborrning kräver god planering och utrymme för förändringar som kan uppstå under borrhningen. Detta beror på att bergmekaniska processer av denna typ sker i en miljö som enbart med hjälp av tester, beräkningar och uppskattningar inte är tillräcklig. Variationen kan vara stor vad gäller bergets beteende vilket gör att arbetet under stundom sker i blindo. Med detta menas att en förändring först märks när prover från borrhningen kan analyseras på marknivå eller efter att själva borrhningen avstannar, i värsta fall efter ett haveri.

### 2.3 Borrutrustning

Tillhörande infrastruktur och utrustning kan komma att variera. Men i huvudsak handlar det om komponenter som finns på varje borrhplats. Borrhplatsens totala områdesstorlek kan vara allt från en hektar och uppåt beroende på borrhningens typ och storlek. På detta område ska

verkstäder, fordon och dammar för lagring av borrhslam få plats. Exempel på komponenter är kraftverk för drift, pumpar och kompressorer. Den samlade vikten på all utrustning kan varieras från 500 till 50000 ton beroende på ändamål och valda dimensioner (Bjelm, 2007).

För en fungerande och godkänd borrhplats ska även miljöskyddsutrustning och brandskyddsutrustning samt förvaring av borrhkax finnas inom området. Den borrhutrustning som ska användas vid borrning i Gunsta-området måste vara dimensionerad på ett sådant sätt att borrning kan genomföras efter de satta krav som råder för platsen. För att kunna borra på det planerade djupet i de geologiska miljöer som finns på platsen krävs det att anläggning i Gunsta och använd utrustning dimensioneras på ett relativt kraftfullt sätt. Exempel på kraftfull och nödvändiga dimensioner är tex en lyftkraft på 300 ton samt att effektkapaciteten bör vara minst 2000 kW för att borrhsträngens vridkraft ska vara tillräcklig (Grundfelt, 2010).

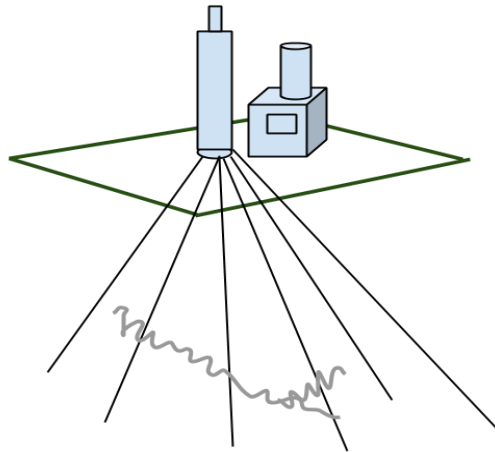
Verksamhetsutövaren måste ha godkända tillstånd och plan för hantering av borrhslam och borrhkax. Tillstånd och bestämmelser kan beroende på borrhnings totala omfattning utredas och utfärdas efter dialog med kunniga inom kommunförvaltning och även inom aktuell instans på Länsstyrelsen. Verksamhetsutövaren är skyldig att kontinuerligt undersöka och ta prover på det biprodukter som uppkommer under borrhningens gång. På samma sätt är det viktigt att borrhningsansvarige har uppsikt över borrhslam och uttjänt borrhväska för att undvika spridning till närliggande vattendrag. Prover från borrhningen och borrhslam ska sedan analyseras för att utreda under vilken miljölag processens biprodukter hamnar och därefter hur gällande hantering av dito ska se ut (Bjelm, 2007), (Dahlén, 2014; personlig kontakt).

## 2.4 Kärnborrning

Då permeabiliteten för området ska undersökas och analyseras används en annan typ av borrh teknik, den tekniken kallas kärnborrning. Vid kärnborrning produceras stenstavar som sedan kan användas för att studera bergets olika struktur och skiktning. Den grundläggande tekniken för rotationsborrnig med luft och kärnborrning är den samma, vilket då underlättar själva borrhning när samma anläggning i stort kan användas. Först bör en kärnborrning genomföras för att undersöka de geologiska miljöerna för platsen (Juhlin *et al.*, 1989).

Teknikutformandet för kärnborrning har likheter med rotationsborrnig. Vatten leds ner genom själva borrhstaget och ut genom borrhprocessens spetsfront, borrhvudet. Själva borrhkärnan hamnar central inuti själva borrhöret medan borrhkaxet leds upp med borrhväska. Längden på borrhkärnan kan variera men är i regel mellan 1-6 meter långa. Dessa borrhkärnor samlas sedan upp för att kategoriseras och därefter analyseras. När kärnborrhningen är gjord kan sedan en slutsats dras för vart vidare rotationsborrnig bör ske (Lindberg *et al.*, 2009).

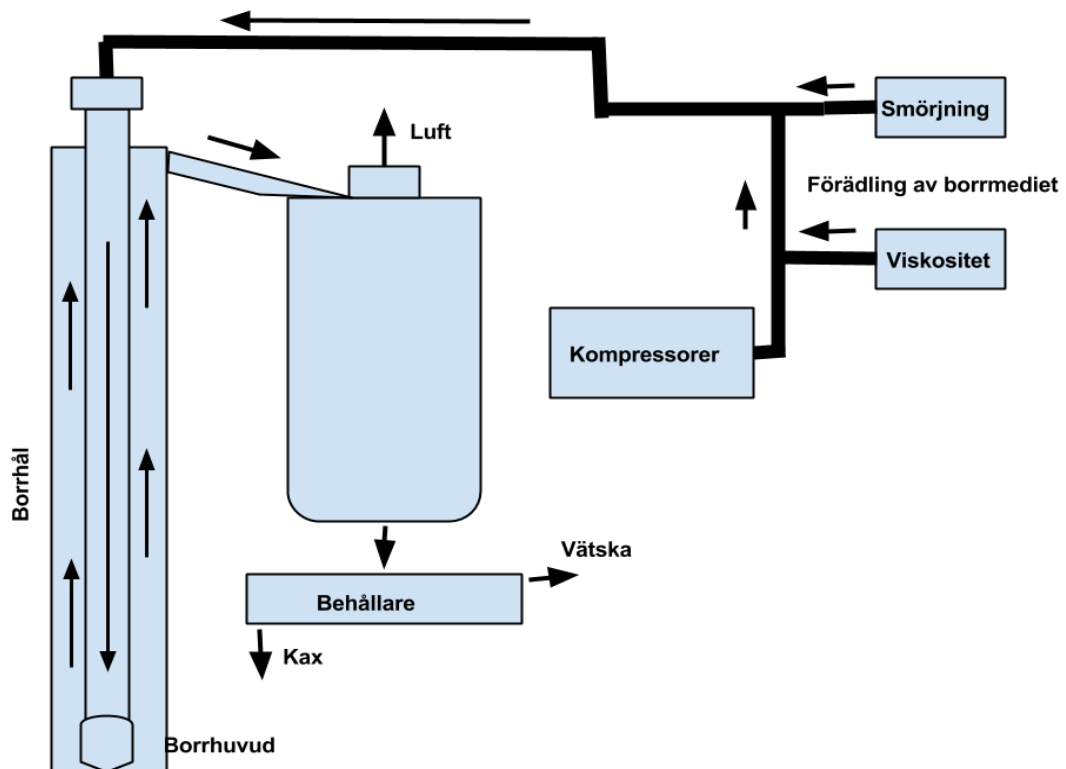
För att hitta lämpligt område med tillräcklig permeabilitet eller rätt typ av geologiska förutsättningar kan kärnborrhningar behöva ske i större omfattning. Omfattningen begränsas av ekonomiska faktorer då kärnborrhningen är kostsam (Juhlin *et al.*, 1989). Exempel på möjlig borrhningen illustreras i följande borrhskiss:



Figur 2: Borrskiss - kärnborring.

## 2.5 Luftstyrd rotationsborring

Den borrhsteknik som ska användas för borring i Gunsta kommer i huvudsak att vara underbalanserad rotationsborring med luft. Detta beror på att bergartstypen i Gunsta är kristallin bergart. Nedan kan en skiss över tillhörande anläggning för luftstyrd rotationsborring skådas:



Figur 3: Skiss över utrustning vid rotationsborring.

Luftstyrd rotationsborring är en beprövad global teknik som använts i borringen efter olja och gas. Fördelar med att använda denna teknik är framförallt att borrhkaxet på ett smidigt sätt transporteras bort från själva borrhfronten då detta på ett effektivt sätt trycks uppåt. Detta beror på att det råder ett högre tryck från den aktuella omgivningen jämfört med själva borrhmediet. Utöver denna fördel är tekniken förenad med relativt låg produktionskostnad och längre livslängd (Bjelm, 2006).

Då vattenfyndigheter påträffas, pausas borrning och installation av foderrör genomförs för att hindra vattnet från att sprida sig in i hålet och sinka den resterande borrhningen. Luften och tillhörande borrhuvud kommer att bytas ut mot vatten och ett vattenanpassat borrhuvud de gånger man under borrhningen stöter på vattenfyndigheter. Borrhningen kommer att ske i etapper där diametern och hålets dimension minskas allteftersom borrhningen fortskrider för att bibehålla hålets stabilitet. I de sedimentära delarna kommer ett lerbaserat borrhmedie användas för att förhindra att olika föroreningar letar sig in i borrhålet och sprider sig i omgivningens sprickor.

Borrning i kristallin bergart kan vara mycket tidskrävande om fel typ av borrh teknik används. Genom att använda rotationsborrning kan borrhningen fortskrida i ett jämnt och effektivt tempo. Anläggningens utformande med tillhörande borrhigg kan därmed användas genom hela processen (Bjelm, 2006).

## 2.6 Spräckning

Innan själva spräckning kan påbörjas måste ett hål borras till det djup som är planerat för det tänka ändamålet. Därefter påbörjas borrhning horisontellt till ett avstånd som är tillräckligt långt i relation till bergets värmeöverföringsförmåga. Avståndet och därmed storleken på akvifären måste vara tillräckligt stort för att kunna värma upp det vatten som sedan ska cirkuleras i det som blir anläggningens primära system (Henkel, 2006).

För att kunna välja rätt typ av instrument och teknik borras först ett mindre mäthål ner till det tänkta spräckningsområdet. Detta görs för att mäta och analysera vilka förutsättningar som råder och som får påverkan på vald utrustning vid själva spräckningen. När detta är genomfört kan spräckningsprocessen sedan fortsätta. De hål spräckning ska utföras mellan måste ha en diameter på minst 6,5 tum, detta för att den nödvändiga utrustningen ska få plats (Bjelm, 2014).

En pump ihopkopplad med en kompressor pumpar ner vatten med övertryck till spräckningszonen. Sprickor skapas då det uppstår skjuvning kring bergmassans spänningsfält, det beror bland annat av befintliga sprickor, erosion, topografi och glaciala processer (Berg, 2005). De spänningar som finns i berget kan delas upp i två olika typer, primär- och sekundärspänningar. Den faktor som avgör spänningstypen är om bergsområdet är av naturlig eller störd bergsmassa. Spänningarna har även varierande riktning som kan delas in i delriktningar (horisontella och vertikala), skillnaden mellan dessa avgör vilket vattentryck som behövs för spräckningen. (Juhlin *et al.*, 1989).

Sprickbildningen kommer sedan att gå parallellt med de starkaste spänningsfälten i berggrunden och därmed kan spänningsfältets riktning bestämmas (Juhlin, 2014). För att ovanjord se hur spänningarna går används seismiska sensorer som känner av vågorna som skapas när det övertryckta vattnet tränger igenom bergmassan (Henkel, 2006).

## 3 Diskussion

Val av borrh teknik kan som tidigare nämnts bero på många olika faktorer. Geologiska förutsättningar, borrhdjup samt förekomst av vatten har störst påverkan på valet av borrh teknik. Förekomst och omfattning av vatten i borrhålet samt de geologiska förutsättningar är något som först vid faktisk borrhning kan utredas. Borrhdjupet kan komma att variera men kommer med stor sannolikhet att bli tämligen stort. Detta för att kunna uppnå önskad och nödvändig

värmegradient.

För att undersöka om de geologiska förutsättningarna är rätt bör en kärnborrning först genomföras. Det maximala borrhjupet med den teknik som finns idag är 2500 meter. Om borrning är tänkt att ske på större djup kan det blir svårt att genomföra heltäckande undersökningar med hjälp av borrhävar för att kunna reda ut de förhållanden som råder på platsen. Diametern på dessa borrhävar är på dessa djup relativt små. Kärnborrningen kan ändå komma att ge en fingervisning på hur den aktuella geologin ser ut.

Det finns en rad olika borrhävar som baseras på annan teknik eller tillvägagångssätt och som vid speciella förhållanden är den mest optimala metoden att använda sig av. Därför blir det troligtvis effektivast med avseende på tid och ekonomi om en beprövad teknik med möjlighet för bitvis modifiering används. Speciellt då det aktuella borrhjupet är av en sådan storlek att exakta förhållanden är närmast omöjligt att på förhand veta om. Denna ovetskap gör att en speciell teknik med styrka för nischade områden lätt blir riskabel att använda.

Ett sådant nischat område gör att ett särskilt borrhävar kan användas med ett tillhörande borrhävar. Val av arbetsmedium beror till stor del på förutsättningarna som råder. Förekomst av vatten är en sådan situation som kan vara svårt att förutse. Förekomst av vatten i borrhålet påverkar val av borrhävar och därmed också val av borrhävar. Genom att då använda en beprövad borrhävar som lätt kan modifieras genom att mindre komponenter byts ut samtidigt som den huvudsakliga grundtekniken är den samma underlättas tidsbesparingar och därmed direkt ekonomiska besparingar. Detta beror till stor del på att samma rigg samt markanläggning kan användas under hela den aktuella borrhävar (Harrison, 2000).

Rotationsborrning bygger på den samma grundteknik som gör att både vatten, lera och luft kan användas var för sig men också blandas med olika andra beståndsdelar så som t.ex. skum. Skum blandas med luft för att skapa en bättre bärförmåga då borrhävar ska lyftas upp till marknivå. Detta är en teknik som fungerar bra tills det att vatten påträffas i hålet. När detta sker måste då luften bytas ut mot vatten eller lera beroende på borrhävars djup (Harrison, 2000).

Luftstyrd rotationsborrning är den mest lämpade borrhävar i kristallint berg. Genom att använda luftstyrd rotationsborrning kan borrhävar fortskrida med relativ hög hastighet. Dock så är borrning i kristallint berg utförd i en sådan liten omfattning att en objektiv bedömning gällande mest lämpad borrhävar inte är möjlig. Därav är det svårt att jämföra och dra slutsatser kring vilken borrhävar som är mest lämpad.

Borrhävarna har delats upp i tre kategorier: Kärnborrning, Rotationsborrning och Hammarborrning. Från denna utvärdering kunde det slås fast att kärnborrning huvudsakligen var mer lämpad för borrning där ändamålet var undersökningar och pilothål. Detta då dimensionen på det borrhävar hålet är relativt litet, vidare är kärnborrning svårt på djup större än 2500 meter. För att kunna borra hål med större dimensioner krävs det att hammarborrning eller rotationsborrning används. Vid hammarborrning används luft eller vatten. Användning av luft vid hammarborrning görs för att lyfta upp borrhävar till ytan. Denna metod kan påverka hålets stabilitet på ett negativt sätt. Vidare är denna metod energikrävande på större djup. Hammarborrning med vatten är en metod som är ineffektiv på större djup. Vidare krävs stora mängder unikt vatten vilket gör att förvaring, sedimentering och nödvändiga deponier av använd borrhävar kan bli omfattande och krävande (Grundfelt, B. 2010).

Praktiska erfarenheten gällande rotationsborrning i kristallint berg med en diameter runt 0,5

meter saknas. Det har sedan tidigare gjorts borrningar i Tyskland där ett 9 km djupt borrhål borrades. Diametern var då 0,45 ner till tre km och 0,375 mellan tre och sex km. Den borrhög som då användes var 83 meter hög. Detta är dimensioner som antagligen är något större än för den borrningen i Gunsta. Dock finns likheter i möjliga problem, däribland riggens nödvändiga matningskraft. Nödvändig matningskraft för att en rullkrona med en diameter på 0,445 är 450-500 kilonewton (Grundfelt, B. 2010).

Vad gäller cementering och tätning av foderrör är erfarenheterna av detta dåliga. Inom oljebranschen räknar man med att varje tätning lyckas till 50 %. På djup runt tre km är andelen lyckade tätningar ännu lägre. Dessa foderrör är tunga och styva, därmed krävs det att borrhögens lyftkraft är tillräcklig för att kunna lyfta och hantera dessa foderrör. Raka borrhål är dessutom ett måste för att kunna installera dessa foderrör (Grundfelt, B. 2010).

Kombinationen mellan djupa borrhål och en hållets grova diameter är problematisk. För att minska denna problematiska kombination är det viktigt att goda kunskaper finns om de bergmekaniska förhållanden samt att tester utförs och att borrningen förbereds på ett noggrant sätt. När detta är gjort minskar risken för att borra fast och snett. Kontentan rörande gällande borrhögsteknik är att den teknik som krävs för ändamålet inte finns utvecklat idag. Dock finns möjlighet för utveckling men den utvecklingen är kostsam sett utifrån ett tids- och ekonomiskt perspektiv. Vidare finns ett litet intresse från kommersiella drivkrafter vilket gör att utvecklingen går sakta (Grundfelt, B. 2010).

Kunskap om spräckning i svåra miljöer finns men skyddas delvis av företag som väljer att kalla det för företagshemligheter. Därmed finns en utbredd global kunskap, som kunde ha varit ännu bättre om fler valde att dela med sig av de resultat som uppkommit tidigare projekt. Det råder en viss frustration i yrket då det många gånger handlar om att "uppfinna hjulet på nytt" istället för att teknikens tidigare framsteg skulle kunna fungera som en kunskapsbas för utveckling inom området.

Hydraulisk spräckning är en metod som i takt med ökat djup kan bli allt mer komplext. Komplexiteten ökar även med borrhållets diameter och lutning sett ifrån marknivå. Borrhål med mindre diameter kan medföra stora förluster i form av friktionsförluster. Hydrauliska spräckning på större djup medför att spräckning kan komma att bete sig på ett sätt som styrs av hur bergets formation och mönster ser ut vad gäller den naturliga bergsformationen. På större djup får bergets skjuvningskrafter större betydelse vad gäller utformning på det spräcka området. I viss mån kan kemikalier behöva användas för att kunna hantera naturligt förekommande hydrauliska krafter. Dessa krafter uppstår när områden med hög salthalt förekommer. I användandet av kemikalier ställs ett större ansvar på verksamhetsutövaren när det gäller hantering av returvätska.

## 4 Slutsats

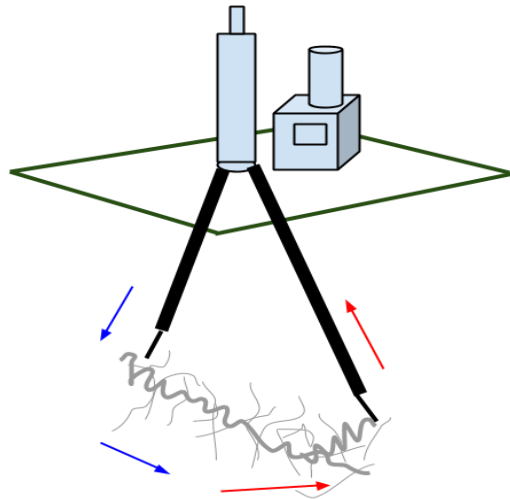
Sammanfattningsvis kommer här en uppskattning på anläggningskapacitet och dimensionering som behövs för borrning i Gunsta (Bjelm, 2007).

- Mast och tillhörande understruktur ska installeras för att kunna bemöta de lastkrav som finns för borrning på djupintervallet 1500 - 2500 m.
- Prestanda och potentiell kraftkapacitet vad gäller lyftanordning, vridmoment för borrhög, kompressorer och pumpar för borrning i kristallint berg inom djupintervallet 1500 - 2500 m.

- Utrustning och system för borrhålstester och styrd borring.
- Tillräcklig dimensionering och hållfastighet för borring i kristallint berg vad gäller borrhåls, borrhålskronor och foderrör. Samt utrymme för mer extrema förhållanden med aggressiva kemiska miljöer.

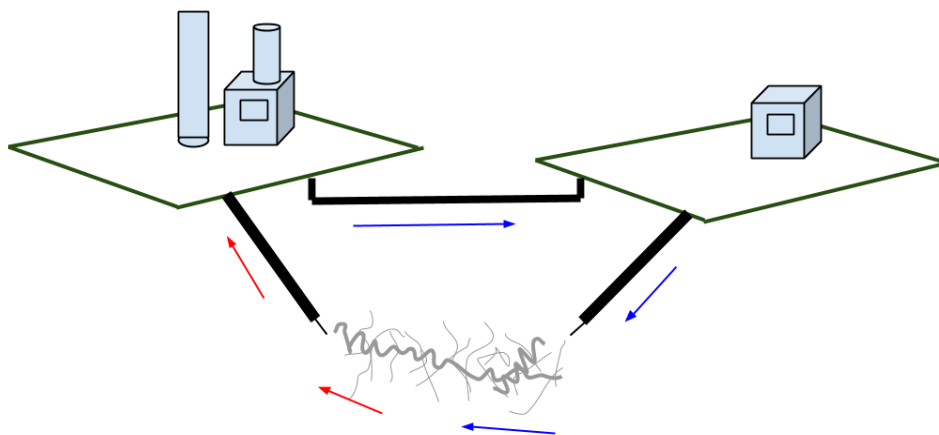
Med den kunskap som finns idag kommer två alternativa skisser över hur de borrade hålen med slutgiltiga anläggningen i Gunsta kan komma att se ut.

### Alternativ 1



Figur 4: Skiss över borrhål och anläggning, Alt 1. Borrhålen utgår från samma plats.

### Alternativ 2



Figur 5: Skiss över borrhål och anläggning, Alt 2. Borrhålen är placerade på ett större avstånd ifrån varandra.

Spräckning ska ske i borrhål med tillräckligt stor diameter och hantering av borrhålsvätska bör ske på ett ansvarsfullt sätt för att minimera påverkan på natur och miljö. Kort sagt ska en seriös spräckningsentreprenör anlitas.

## Referenser

Berg S. 2005. Bergspänningar på litet djup. Examensarbete. 2005:246, CIV - ISSN: 1402-1617 - ISRN: LTU-EX--05/246--SE



- Bjelm L. 2006. Under balanced drilling and possible well bore damage in low temperature geothermal environments, Engineering Geology, Lund University
- Bjelm L. 2007. Deponering av kärnavfall i djupa borrhål! Lund Universitet. Teknisk Geologi
- Genter A., Evans K., Cuenot N., Fritsch D., Sanjuan B. 2010. Contribution of the exploration of deep crystalline fractured reservoir of Soultz to the knowledge of enhanced geothermal systems (EGS). C. R. Geoscience 342 (2010) 502–516
- Grundfelt B. 2010. Jämförelse mellan KBS-3-metoden och deponering i djupa borrhål för slutligt omhändertagande av använt kärnbränsle. ISSN 1402-3091 SKB R-10-13.
- Harrison T. 2000. Very deep borehole, Deutag's opinion on boring, canister emplacement and retrievability. ISSN 1402-3091, SKB Rapport R-00-35
- Henkel H. 2006. Geotermisk energi - en vitbok för Sverige. trita-lwr.report 3014, ISSN 1650-8610, ISRN KTH/lwr/report 3014-SE, ISBN 91-7178-409-8
- Juhlin C., Sandstedt H. 1989. *Storage of nuclear waste in very deep boreholes*. SKB Technical Report 89-39
- Lindberg J., Åkesson M., Ålund A. 2009. Anmälan om miljöfarlig verksamhet, provborrning på fastighet Hedeberga 9:3 Tomelilla kommun. Provbörning för uttag av borrhärnor i alunskiffer. Sweco Environment AB Malmö, Miljöanalys, Södra regionen. Uppdragsnummer 1288134000
- Rosberg J. 2006. Flow test of a perforated deep dual cased well proceedings, Thirty-First Workshop on Geothermal Reservoir Engineering Stanford University, Standford, California, 2006. SGP-TR-179

## Personliga referenser

- Bjelm, L. 2014. Avdelningschef och ämnesansvarig vid Teknisk geologi. Lunds Universitet
- Dahlén, M. 2014. Uppsala kommun.
- Juhlin, C. 2014. Professor i geofysik vid Institutionen för geovetenskaper. Uppsala Universitet.

## Bilaga F – Extraheringsteknik

*Svante W Monie*

### Sammanfattning

Extraheringstekniken vid geotermisk energiutvinning är direkt kopplad till de geologiska förutsättningarna men även behovet av energiutvinning. Geotermisk energi bygger, principiellt sett, på flera system av värmeväxlare där värmeenergi flyttas från berggrunden till ett nyttogörande ändamål såsom el eller fjärrvärme. Extraheringstekniken behöver då uppfylla krav på optimal effektivitet som termisk värmeväxlare. Man kan dela in teknikerna i två huvudgrupper, den första som utnyttjar termalvatten som utför värmeväxlingen inne i berggrunden, här kallat Termalvattensystem. Den andra är Energibrunn eller bergvärmesond där värmeväxlingen sker utmed brunnens mantelarea, traditionellt använt inom bergvärmesystem (se figur 1).

För en summering över hur olika extraheringstekniker väljs ges en schematisk överblick i figur 6.

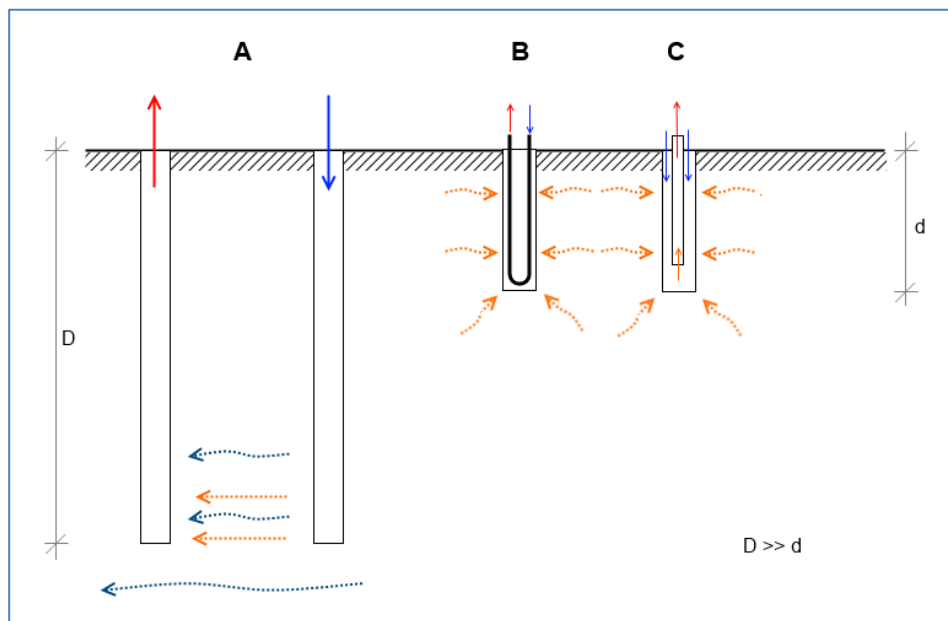
Då de geologiska förutsättningarna ger en hög osäkerhetsfaktor inom geotermiska energiutvinningsprojekt, finns många som ser en stor framtidspotential inom enhanced geothermal systems (EGS) och en teknik kallad HDR (Hot Dry Rock). Den innebär att man lokaliserar anomalit heta berggrunder med lågt eller inget naturligt vattenflöde, det vill säga låg porositet, och på konstgjord väg bildar man porositet via brecciering eller spräckning med hjälp av hydrauliskt tryck, på kemisk väg eller via sprängning. Här erhålls då ett system utan naturlig flödesriktning vilket ger större möjlighet att designa hur produktionssikten skall utformas (se figur 7).

Specifikt i Gunsta är de geologiska förutsättningarna av sådan art att HDR-tekniken hålls för troligast val av extraheringsteknik. Detta får vägas mot totala energibehovet och kostnaden. Alternativet finns att borra fler grundare hål där man utnyttjar den mer traditionella bergvärmetekniken via bergvärmesonder. Kostnaden kan för detta möjligen bli lägre, men det förutsätter att energibehovet är tillräckligt lågt. Energibrunnarna skulle behöva bli av stort antal samt ställa högre krav på värmepumpar och elförbrukningen till dessa. Det alternativet med störst sannolikhet att bli hållbart och möjligt att leverera tillräcklig mängd energi är HDR-teknik i anslutning till befintliga sprickzoner av tillräcklig mäktighet för att möjliggöra en tillräckligt stor bergkroppsvolym att växla av värme ifrån samt uppnå ett tillräckligt högt flöde.

## 1 Bakgrund

Vid extrahering av geotermisk energi kan man likna det vid att ett antal värmeväxlare som är verksamma i ett kedjesystem. Värme växlas av från berggrunden till energibäraren i cirkulationssystemets primärkrets. Primärkretsens energibärare växlar av värmeenergin direkt till nyttogörning såsom fjärrvärme eller elgenerering alternativt till cirkulationssystemets sekundärkrets. Sekundärkretsens energibärare, oftast ett köldmedium, leds via värmepump för att sedan växla av den förhöjda värmeenergin till slutändamålet såsom fjärrvärme eller elgenerering.

Två viktiga frågor att ta i beaktande är dels hur effektivt värmeväxlingen kan ske i de olika stegen, men även hur värmnet återbildas i sänkan. Det senare avgör oftast vilken typ av borrhål man kan utnyttja. Extraheringstekniken är således en fråga om att nyttja bäst lämpade teknik för att växla av värmen från berggrunden via borrhålet. Man skiljer på geotermisk energi och bergvärme, men i denna bilaga behandlas bägge energiutvinningsformerna då extraheringsteknikerna kan ha användningsområden i bägge systemen. Det går att dela in extraheringen på olika sätt: borrhålsdjup, energibäraren eller värmereservoar exempelvis. Här görs uppdelningen i två huvudgrupper: Termalvattensystem, även något missvisande kallat grundvattensystem, där värmeväxlingen sker inne i bergkroppen respektive energibrunn eller bergvärmesond där värmeväxlingen sker utmed brunnens mantelarea, traditionellt använt inom bergvärmesystem. I figur 1 exemplifieras extraheringsteknikerna.

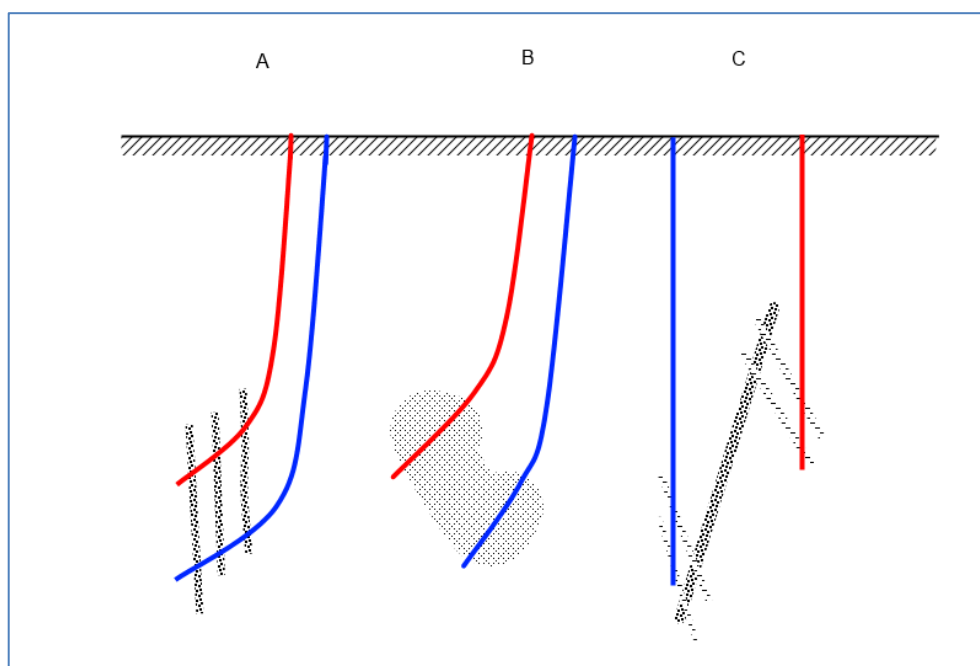


Figur 1: Principskisser över extraheringstekniker. A representerar Termalvattensystem, i detta fall ett slutet system med återcirkulation i ett injektionshål. B & C representerar energibrunnar där B har en kollektorslang och C visar cirkulation genom koaxialt rör.

## 1.1 Termalvattensystem

Absolut vanligaste tekniken för geotermiska energikällor är vattencirkulation genom injektionshål/produktionshål. Denna metod är beroende av att det finns en hetvattenreservoar (termalvatten) eller en akvifär förbindelse mellan hålen. En sådan förbindelse kan bestå av porösa bergarter eller breccierade (sönderspruckna) kristallina bergarter. I dessa system används det befintliga vattnet i berggrunden som energibärare. Vattnet tas upp och efter värmeavgivning återförs det antingen via ett injektionshål ner till lämplig akvifär eller avges vid markytan och får leta sig ned via naturliga sprickor. I det senare fallet bör miljökonsekvenser beaktas då grundvattnet kan vara mycket aggressivt med avseende på pH, samt frigörande av  $\text{CO}_2$  och  $\text{CH}_4$  (Europeiska Unionens officiella tidning, 2006). Då vattnet används som energibärare blir vattenflödet ur borrhålet avgörande för hur mycket energi som kan produceras (Erlström *et al.*, 2004; Henkel *et al.*, 2004; Freeston, 1995). Saknas hetvattenreservoar eller akvifär förbindelse kan man undersöka möjligheterna till hydraulisk spräckning för att på konstgjord väg bilda en akvifär förbindelse (Henkel, 2006).

Enhanced Geothermal Systems (EGS) förutspås vara den kommande teknologin inom geotermisk energiutvinning och här ingår Magma Energy, Geopressured reservoirs samt Hot Dry Rock systems (HDR) (Barbier, 2002). Magma Energy består av avancerade geofysiska och petrofysiska undersökningar för att lokalisera magmakroppar att utnyttja som värmekällor för att producera torr ånga (dry steam). Utvinningsmetoden är liknande, men metoden är starkt begränsad till geografiska områden med hög vulkanitet. Geopressured reservoirs utnyttjar förekomsten av djupt liggande hetvattenreservoarer (4- 6 km) och med högt tryck. Dessa reservoarer har potentialen att kunna leverera termisk energi (direktverkande som fjärrvärme exempelvis), hydraulisk energi på grund av det höga trycket (att driva ångturbiner) samt energin bunden i metangasen i vattnet. Även dessa är geografiskt begränsade till områden med rätt geologiska förutsättningar. Den teknik som anses ha den största potentialen är HDR då denna teknik bygger på artificiellt genererade permeabla akvifärer genom spräckning. Spräckning kan göras hydrauliskt, kemiskt eller med hjälp av sprängning (Barbier, 2002; Genter *et al.*, 2010). HDR-tekniken har den fördelen att man inte begränsas till att hitta naturliga sprickformationer eller porösa bergarter utan istället handlar det mer om att nå djup med lämplig temperatur. Genom att utnyttja förekomsten av en förkastningsspricka kan en större volym spräckas upp alternativt så skapas en spräckt zon i vilken kallt vatten pumpas ned för att sedan extraheras då den tagit upp värmen (se figur 2). Normalt behöver vattnet färdas ett par hundra meter mellan

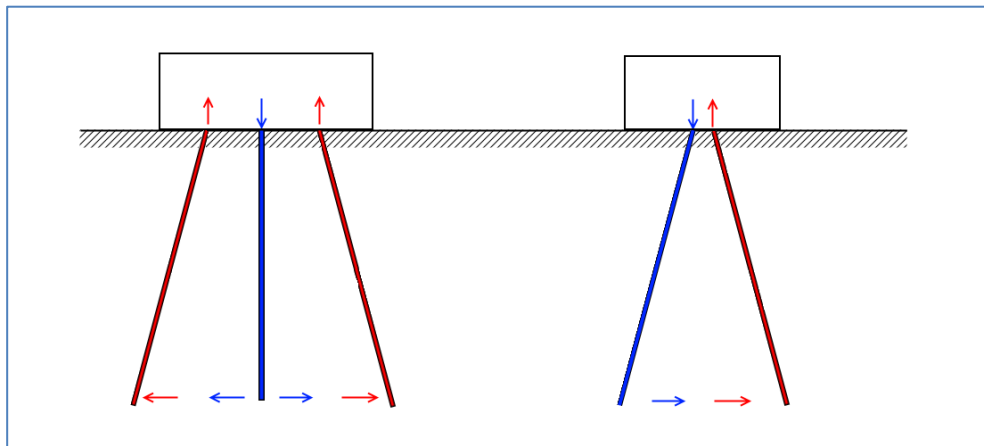


Figur 2: Exempel på hydraulisk spräckning. I A sker spräckningen vertikalt på grund av spänningsriktningarna i berget. I B har en större zon spräckts upp och i C utnyttjas en förkastningsspricka där hydraulisk spräckning har ökat volymen för vattnet att flöda genom. Exempel C är en principskiss baserad på EGS från Soultz.

injektion- och produktionshål. Detta kan orsaka intressekonflikter kring markanvändningen. I figur 3 exemplifieras hur borrningen kan gradas. Skissen med ett centriskt placerat injektionshål lämpar sig vid HDR där det inte finns naturliga flöden att förhålla sig till. Här bildas permeabilitet via spräckning och flödet sker på konstgjord väg från injektions- till produktionshål (Henkel, 2006).

Den gedigna forskningen som skett under 20 års tid vid Soultz har påvisat hur kristallin berggrund består av varvade skikt med mikrosprickor och densitetsvariationer. Dessa kan med

hjälp av spänningsfältsmätningar utnyttjas för uppspräckning av konstgjorda flödesvägar där konduktiviteten kan höjas. Kristallin berggrund har naturligt en mycket låg porositet, typiskt mellan  $10^{-16}$  till  $10^{-17}$  m<sup>3</sup>. I Soultz utnyttjades zoner i borrhålen med förhöjd konduktivitet av  $10^{-11}$  m<sup>3</sup> till att via hydraulisk och kemisk spräckning längs med spänningsfältet i berggrunden skapa flödesvägar på ca 600m vid ett djup av 5 km. Det totala flödet man uppnådde ur produktionshålet blev 35 l/s (Genter *et al.*, 2010).



Figur 3: Gradade borrhål gör att mindre markyta tas i anspråk. Genom tillräckligt djupt gående hål uppnås erforderligt flödesavstånd mellan hålen.

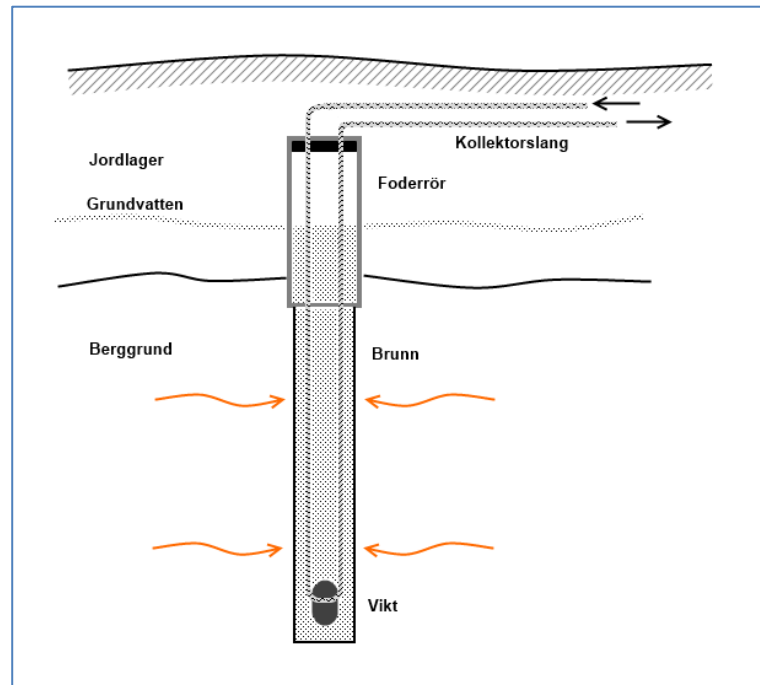
## 1.2 Energibrunn

Berggrunden i Sverige har generellt för låg värmeproduktion för att själv kunna förse ett konstant värmeuttag. Majoriteten av berggrunden i Sverige består av granit och gnejs vilka har hög kvartshalt och därmed även högre värmeproduktion på grund av det radioaktiva sönderfallet än exempelvis hos basalter (Linden *et al.*, 1983). Enligt Henkel *et al.*, 2004, ligger den svenska berggrundens värmeproduktion inom intervallet 2,6 - 4,6  $\mu\text{W}/\text{m}^3$  medan Linden *et al.*, 1983, talar om ett intervall av 1,3 - 3,2  $\mu\text{W}/\text{m}^3$  med anomaliska extremfall uppemot 16  $\mu\text{W}/\text{m}^3$ . Denna värmeproduktion ger dock ett försumbart bidrag till den utvinningsbara energin. Den energi som energibrunnar utnyttjar är snarare den lagrade solinstrålningen i den ytliga berggrunden. Dessa brunnar kan utformas på två sätt. Kollektorslang eller ringformig koaxial borrhålsvärmväxlare.

### U-rörskollektor

Det traditionella är en så kallad kollektorslang som leds i en U-form ned i energibrunnen (figur 4). Den förses med en tyngd för att komma ned ordentligt samt är ofta försedda med ytstrukturer för att öka värmeutbytet och distanser mellan slangarna. De kan bestå av en eller flera parallella eller dubbla U-rör i vilka en köldbärare transporteras. Oftast är slangarna av polyeten (Björk *et al.*, 2013) eller polyuretan (Goldstein, 2011). Dimensionen på slangarna är beroende på ändamål, för enskilda hus kan ytterdiameter vara 40 mm med en godstjocklek på ett par millimeter, men generellt sett är förlusterna mindre ju större ledningar som kan användas om flödet kan ökas. Detta gäller främst för distributionsledningar som oftast är av stål med glasfiberisolerings. Mindre komplex har även framgångsrikt använt polybutylene-rör med polyuretan-isolerings. På Island har exempelvis transmissionsledningar på 63 km anlagts med försumbara förluster (Goldstein, 2011).

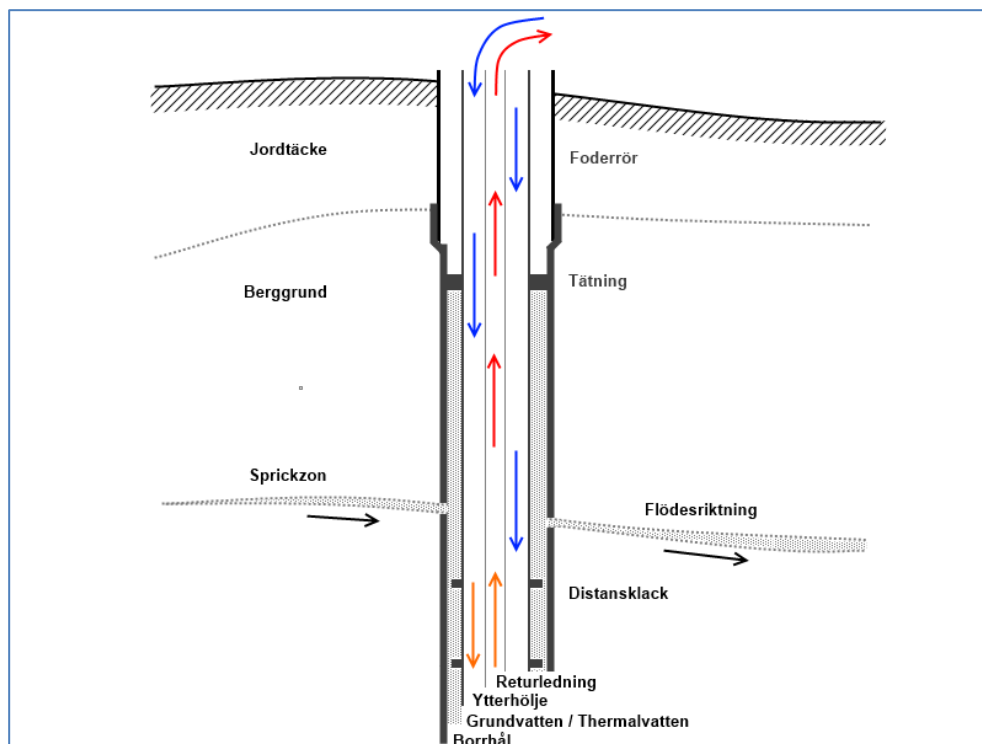
U-rörskollektorer är billiga, enkla att installera och driftsäkra. De håller dock en relativt låg prestanda då man inte kan kontrollera slangens läge i borrhålet samt har värmeläckage mellan in- och utgående slang. Optimalt skall slangarna hamna intill borrhålets mantel och så långt från varandra som möjligt (Björk *et al.*, 2013). Ytterligare problematik för U-rörskollektorn är det höga termiska motståndet mellan borrhålsvägg och slangar vilket ligger inom 0,06 – 0,09 K·m/W (Westin, 2012).



Figur 4: Principskiss över U-rörskollektor. Foderröret borrar ned 2 meter och tätas mot berget. Värmeåterföringen i grunda hål sker via solinstrålningen, som när stationärt tillstånd nåtts ger ett konstant tillflöde av värme. Djupare hål är beroende av värmeförsel via termalvatten då värmeproduktionen i berggrunden generellt är för långsam. Skissen visar ett grunt hål med radiellt tillstånd av värmeförsel, det vill säga i början av det transienta temperaturavtagandet.

## Ringformad koaxial borrhålsvärmväxlare

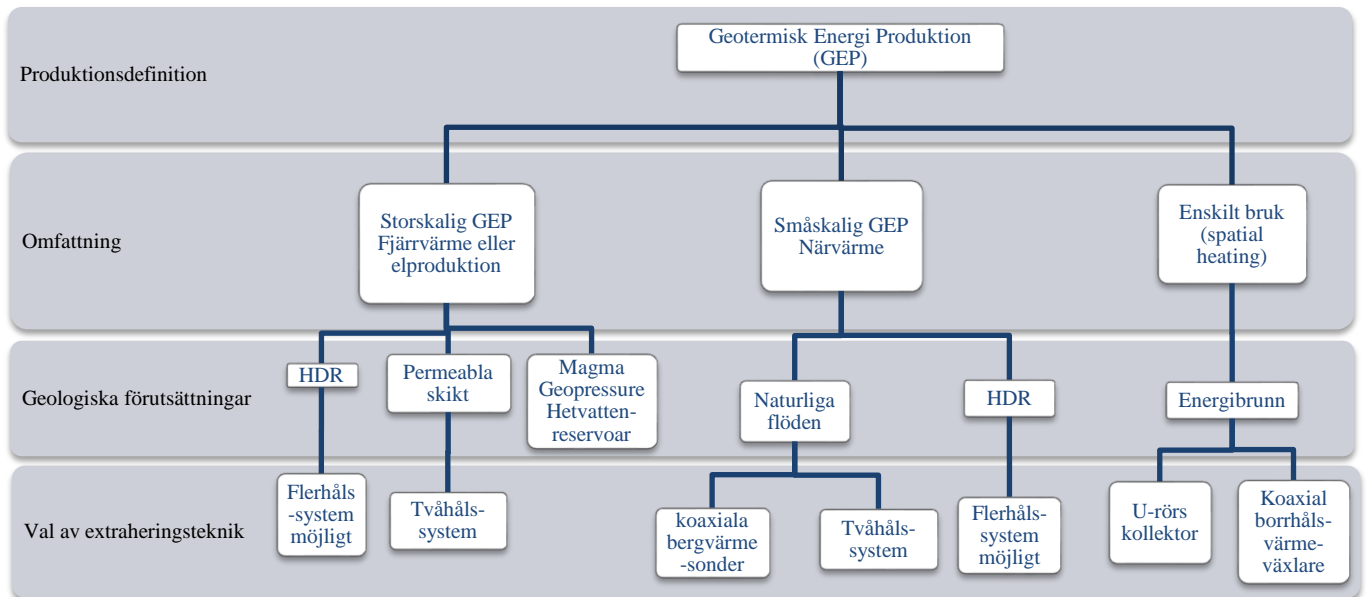
En ringformad koaxial borrhålsvärmväxlare är uppbyggd kring en isolerad centrisk returledare för köldbäraren och där hela borrhålets volym nyttjas som matarmediets uppvärmningsvolym (se figur 5). Med denna specifika geometriska utformning får den koaxiala borrhålsvärmväxlaren ett termiskt motstånd på 0,0067-0,013 K · m/W i överföring av värme från berggrund till köldbärare. Detta motsvarar en höjning av förångningstemperaturen i värmepumpen med 2-3 °C i jämförelse med att använda ett traditionellt U-rör. Beräkningar visar också att cirkulationspump-arbetet kan minskas till 1/6 av motsvarande fall med U-rör. Vidare har simuleringar visat att en koaxial borrhålsvärmväxlare kan fungera som en termiskt optimal moströmsväxlare för återladdning av borrhålet med överskottsvärme under sommarhalvåret (Westin, 2012). Vid anläggande av energibrunnar skall det tas i beaktande att berggrunden lokalt får en transient temperatursänkning innan stationärt tillstånd uppnås. Detta påverkar effektuttaget och prestandan för systemet, men kan i förlängning även leda till oönskade effekter i marken såsom djup tjäle vintertid. För att minska dessa effekter bör systemet utformas så återladdning kan utföras under sommarhalvåret (Goldstein, 2011).



Figur 5: Principskiss över ringformad koaxial borrhålsvärmväxlare.

I figur 6 ges en schematisk överblick av hur extraheringstekniker beror på produktionsomfattning och geologiska förutsättningar. I diagrammet ingår de geologiska förutsättningarna magma där man utnyttjar hettan från magmakroppar till att överhetta vatten till torr ånga även fenomenet geopressure som innebär att fickor fyllda med hett vatten under högt tryck används för att generera el från ångan, fjärrvärme av överskottsvärmen samt utvinna metangasen bunden i termalvattnet. Slutligen finns även hetvattenreservoar med vilket utnyttjar förekomsten av en stor underjordisk ansamling av hetvatten. Dessa geologiska företeelser förekommer inte i Sverige eller Gunsta.

För spåret Enskilt bruk åsyftas även uppvärmning av större huskomplex såsom kontorsbyggnader eller varuhus. Dessa borrhål, ofta kallade energibrunnar, är generellt grunda och utnyttjar förekomsten av underjordiska akvifärer i exempelvis rullstensåsar eller lager med sedimentära och porösa bergarter



Figur 6: Schematiskt diagram över hur extraheringstekniken styrs av behov och geologiska förutsättningar.



## 2 Resultat

Sett till de geologiska förutsättningarna och de geotermiska egenskaperna i relation till energibehovet för den planerade bebyggelsen i Gunsta kan det konstateras att:

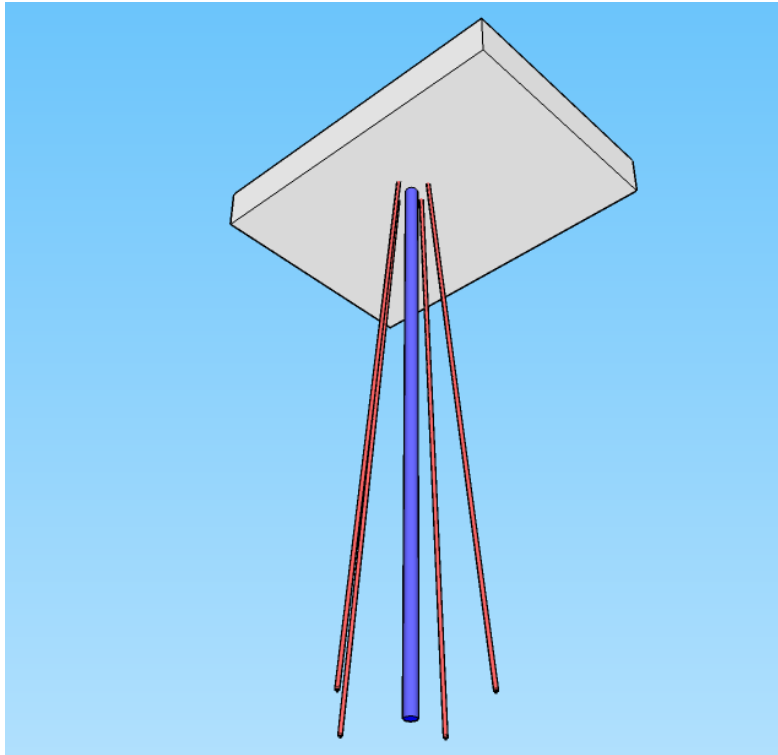
- 1) Anläggningen kan närmast beskrivas som en småskalig geotermisk energiproduktion där närvärme och varmvatten är levererbar produkt.
- 2) Med hjälp av hot dry rock-teknik (HDR) bildas artificiellt en permeabel zon. Utifrån seismiska undersökningar måste lämplig sprickzon fasställas för hydraulisk spräckning enligt principskiss visad i figur 2 C. Denna teknik torde vara den troligaste för att uppnå önskat energiutbyte, hotbilden är kostnaderna för de djupa hålen, samt osäkerheten i breccieringen.

Baserat på erfarenheter från EGS-forskningen vid Soultz geotermiska anläggning kan fastställas att hydraulisk spräckning kan ge en konduktivitet tillräckligt hög för att kunna försörja det behövda flödet om lämpliga segmenterings- och sprickzoner kan lokaliseras där det kristallina bergets konduktivitet är naturligt förhöjt på grund av mikrosprickor eller tektoniska skjuvningssprickor.

Termalvattnets beskaffenhet i Gunsta är okänt varför det bör betraktas som aggressivt med korrosiva egenskaper och primärkretsens komponenter måste anpassas efter det. Filtrering, ledningar och värmeväxlare måste klara slitaget orsakat av partikelrikt vatten. Alfa Laval och Grundfos AB har lämpliga komponenter att tillgå.

## 3 Diskussion

Valet av extraheringsteknik är starkt knutet till de geologiska förutsättningarna, för att inte till och med säga att de geologiska förutsättningarna styr val av extraheringsmetod. Vid tillgång till termalvatten, naturligt förekommande eller artificiellt skapat via spräckning, lämpar sig en flerhållslösning med ett eller flera injektionshål och ett eller flera produktionshål. Då själva borrhållskostnaden riskerar bli den enskilt största kostnaden finns tungt vägande skäl för att se över utformningen av extraheringen. Är behovet inte för stort kanske en bergvärmesond kan vara tillräcklig, förutsatt att temperaturen är tillräckligt hög i berggrunden och att värmeåterbildningen klarar effektuttaget. Det senare ställer krav på att det finns ett naturligt förekommande akvifärt flöde i lämplig temperaturzon, vilket ger stora osäkerheter i projektet som generellt sett är avskräckande för investerare. HDR-tekniken har där fördelar att den är mer kontrollerbar då man artificiellt designar och skapar flödesvägen (se figur 7). Enligt Hofmann *et al.*, 2014, är spräckningens framgång direkt kopplad till närheten till breccierade zoner. Deras studie, gjord för kalksten, visar att solitt berg behövde bearbetas upp till 80 ggr för att nå en permeabilitet av 34 l/s/MPa medan borrhål i anslutning till breccierade zoner uppnådde samma flöde med endast ett tiotal behandlingar. Processen är dock ännu inte fullt ut implementerad på marknaden utan ses alltså som varandes på experimentstadiet. Styrkan ligger i att man kan utnyttja teknologier från gas- och oljeindustrins utvinningsmetoder (exempelvis fracking) (Lundin, 2007; Hammons, 2004).



*Figur 7:* Exempel på fyra gradade produktionshål cirkulärt centerade runt ett gemensamt injektionshål i en breccierad berggrund där artificiell permeabilitet skapats. Borr djup är satt till 4 km, avstånd mellan injektionshålets mynning och respektive produktionshål är ca 0,5 km nere i berggrunden. Uppe på markytan är alla hålen samlade inom en diameter av ca 50 m tack vare gradningen.

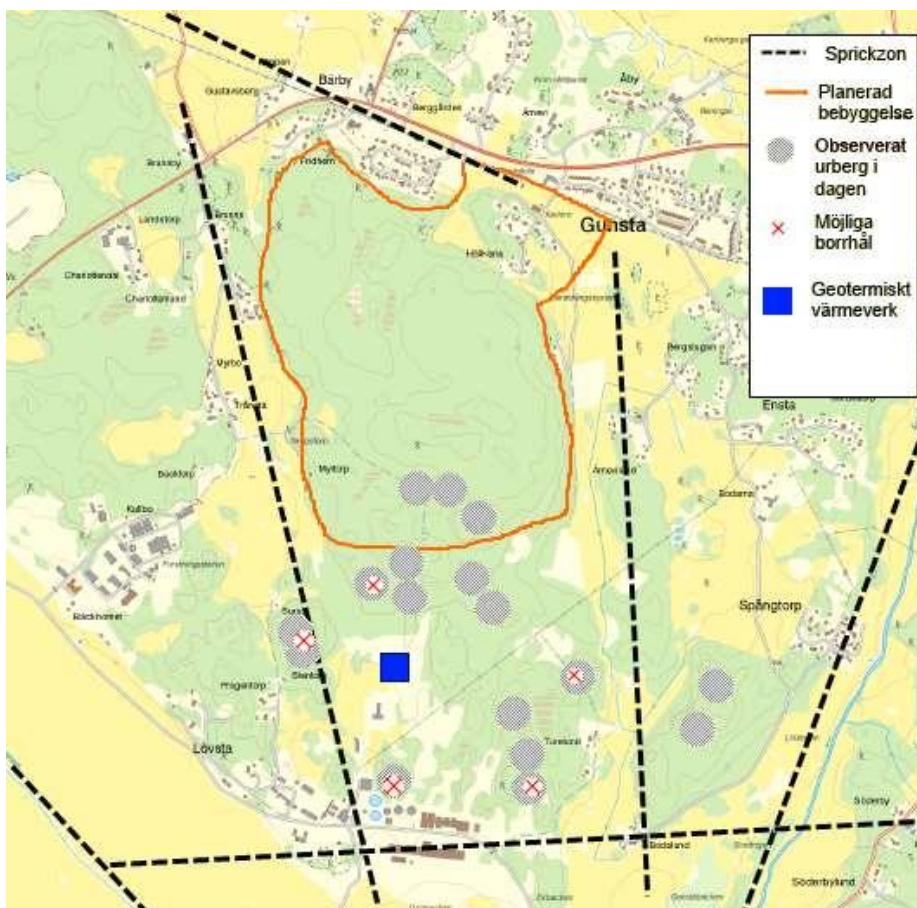
Då vattnet som hämtas upp från borrhålet med största sannolikhet har korrosiva egenskaper samt är bemängt med partiklar och bunden gas, ställer det särskilda krav på komponenterna i primärkretsen. För att minska energiförluster kan en vattenrening vara nödvändig för att minska mängden kalcium, svavel och sand (Alfa Laval, 2012). Naturligt förekommande termalvatten är syrefritt samt med närmast neutralt pH (Barbier, 2002). Hur berggrunden i Gunsta reagerar och vilka ämnen som fälls ut kan fastställas först vid test av borrhålet. Alfa Laval har laboratorier som utför vattenanalyser och kan utifrån dessa resultat utforma lämpliga komponenter såsom filter och värmväxlare. För att minska slitage på värmväxlare bör ett filter sättas i primärkretsen före värmväxlaren. Vid temperatursänkningen i värmväxlaren finns även stor risk att mineraler och salter fälls ut vilka över tid bygger upp en beläggning som sänker prestandan. Kiselpartiklar som finns i vattnet är för små för att kunna fångas upp av filtret och även dessa bygger upp en beläggning (Zarrouk *et al*, 2001). Traditionellt har detta föranlett mödosamma rengöringsprocesser med kemiska lösningar där driftstopp upp till ett par dagar ibland behövts, men Alfa Laval har utvecklat en enkel backspolningsteknik att koppla till värmväxlaren som då under ett par minuters tid spolats ren från beläggningar. Fördelen är att produktionsbortfallet knappt blir märkbart.

Då berggrunden i Gunsta är granit som i genomsnitt består av 72 %  $\text{SiO}_2$  kan antagande göras att vattnet kommer att reagera mycket lite och då främst med  $\text{K}^+$  och  $\text{Na}^+$ . Primärkretsen bör ändå utformas för att klara kraftiga korrosiva komponenter såsom sulfater och bikarbonater, vilket ställer krav på materialval i casing och ledningar. Här utgör titan ofta den bästa lösningen (Alfa Laval, 2012; Carselid, 2014). Alfa Laval tillhandahåller även packningsförsedda plattvärmväxlare med titanbeläggning lämpade för att hantera geotermiskt vatten. Exempelvis deras modell TL15-B är konstruerad för att hantera höga temperaturer

(180°C), tryck (1,0 [MPa]) och flödesvolym up till 120 [kg/s] med skiljeväggar i rostfritt stål (legering 304 och 316) samt titan.

Pump teknik för extraheringen måste bli dränkt pump då djupen är alltför omfattande för torrställda pumpar. Detta försvårar dessvärre servicemöjligheten. Grundfos tillhandahåller korrosionsbeständiga pumpar med lyfthöjd på upp till 3-400 meter, men eftersom pumparna måste lyftas upp årligen för service bör ett grundare djup för pumparna väljas. I Lund har pumparna placerats på ett djup av 80 meter, vilket kan antas vara lämpligt även för Gunsta. På grund av trycket måste pumpröret bli av stål om alltför stora djup väljs, detta undviks om ett grundare djup väljs. För vanliga vattenbrunnar, med djup kring 140 meter, duger plaströr (Johansson, 2014; personlig kontakt). Egenvikten på rör och pump kräver att lyftanordning konstrueras för service.

Erfarenheter från Lund visar att den termiska jämvikt som uppnås efter en tids användande gör att ingen särskild isolering behövs i produktionshål eller ledningar fram till anläggningen. Flera av Lunds borrhål ligger ett par kilometer från själva värmepumpsanläggningen och ledningarna är placerade cirka två meter under markytan utan särskild isolering. Marken jämnar ut temperatursvängningarna och rören i polyeten klarade termalvattnets egenskaper bra (Gierow, 2014; personlig kontakt). I Gunsta tros borrhålen hamna inom en radie av 800 meter från anläggningen, se figur 8.



Figur 8: En estimerad geologisk placering av Gunstas geotermiska värmeverk. Hänsyn tagen till den allmänna byggplanen med rekreationsytor, potentiella borrhål utifrån sprickzoner och berggrund i dagen (Monie, 2014; Lantmäteriet, 2014).

## Referenser

- Alfa Laval, 2012. Near Comfort. Nyhetsbrev för fjärrvärme- och VVS-branschen. Nr 2-2012 ECF00406SV 1209
- Barbier E. 2002. Geothermal energy technology and current status: an overview. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 6 (2002) 3 – 65 PII:S1362-0321(02)00002-3
- Björk E., Acuña J., Granryd E., Mogensen P., Nowacki J-E., Palm, B., Weber, K. 2013. Bergvärme på djupet. Boken för dig som vill veta mer om bergvärmepumpar. US-AB, Stockholm. ISBN: 978-91-7501-754-9.
- Erlström M., Hammar L., Tengbro P., Tunbrå L-O. 2004. Projekt Igrene. Ett geotermiprojekt i Siljansringen.
- Europeiska Unionens officiella tidning, 2006. 52005 IE1502 Yttrande från Europeiska ekonomiska och sociala kommittén om Förnybara energikällor Europeiska unionens officiella tidning nr C 065, 17/03/2006 s. 0105 – 0113 URL <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:52005IE1502:SV:HTML> (Hämtad 2014-04-23)
- Freeston D. H. 1995. Direct uses of geothermal energy. *Geothermics* Vol. 25, No. 2, pp. 189-214, 1996
- Genter A., Evans K., Cuenot N., Fritsch D., Sanjuan B. 2010. Contribution of the exploration of deep crystalline fractured reservoir of Soultz to the knowledge of enhanced geothermal systems (EGS). *C. R. Geoscience* 342 (2010) 502–516
- Goldstein B., Hiriart G., Bertani R., Bromley C., Gutiérrez-Negrín L., Huenges E., Muraoka H., Ragnarsson A., Tester J., Zui V. 2011. Geothermal Energy. In IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation [Edenhofer O., Pichs-Madruga R., Sokona Y., Seyboth K., Matschoss P., Kadner S., Zwickel T., Eickemeier P., Hansen G., Schlömer S., von Stechow C. (eds)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Hammons T. J. 2004. Geothermal Power Generation Worldwide: Global Perspective, Technology, Field Experience, and Research and Development, *Electric Power Components and Systems*. 32:5, 529-553, DOI: 10.1080/15325000490224076
- Henkel H., Bergman B., Stephansson O., Lindström M. 2004. Björkö energiprojekt. Slutrapport avseende geovetenskapliga undersökningar 2000 - 2004, 2:a upplagan. TRITA-LWR.REPORT 3010, ISSN 1650-8610, ISRN KTH/LWR/REPORT 3010-SE, ISBN 91-7283-934-1
- Henkel H. 2006. Geotermisk energi - en vitbok för Sverige. trita-lwr.report 3014, ISSN 1650-8610, ISRN KTH/lwr/report 3014-SE, ISBN 91-7178-409-8
- Hofmann H., Blöcher G., Börsing N., Maronde N., Pastrik N., Zimmerman G. 2014. Potential for enhanced geothermal systems in low permeability limestones – stimulation strategies for the Western Malm karst (Bavaria). *Geothermics* 51 (2014) 351 – 367.

- Lantmäteriet, 2014. Kartor, flygbilder och ortnamn. URL  
<http://www.lantmateriet.se/sv/Kartor-och-geografisk-information/Kartor-flygbilder-och-ortnamn/> (Hämtad 2014-05-19).
- Linden A., Melin O., Mellander H. 1983. Områden med anomal radioaktiv värmeproduktion - i södra och mellersta Sverige. Projektresultat Efn/LET 1983:34
- Lundin J. 2007. Kan Geotermisk elproduktion i Sverige vara lönsam? Institutionen för teknikvetenskaper, Avd. för elektricitetslära, Ångströmlaboratoriet, Uppsala Universitet. ISSN 1401-5765 UPTEC W07 020
- Westin R. 2012. Värmeöverföring i bergvärmesystem. En numerisk analys av den ringformade koaxiala borrhållsvärmeväxlaren. ISSN: 1650-8300. UPTEC-ES12016.
- Zarrouk S. J., Woodhurst B. C., Morris C. 2014. Silica scaling in geothermal heat exchangers and its impact on pressure drop and performance: Wairakei binary plant, New Zealand. Geothermics 51, 445–459. doi:10.1016/j.geothermics.2014.03.005

## Personliga referenser

- Johansson, M. 2014. Säljtekniker, Grundfos AB, Mölndal.
- Gierow M. 2014. Projektledare Krafringen i Lund.
- Carselid M. 2014. Marketing Manager, application development, Comfort/HVAC, Alfa Laval Lund AB

## Bilaga G – Värmepumpar

*Karl-Oskar Sandberg*

### Sammanfattning

I området Gunsta utanför Uppsala ska ett tusental bostäder uppföras fram till år 2030. För att försörja detta område med värme kan geotermisk energi användas. För att uppgradera den värme som kan plockas upp genom vatten från djupa borrhål är det lämpligt att använda värmepumpar.

Idag används värmepumpar för värmeproduktion i både mindre och större skala, kunnande och tekniken finns i Sverige och är väl beprövad. I ett system för värmeförädling ingår även värmeväxlare och cirkulationspumpar.

### 1 Bakgrund

Inom en mängd olika områden finns det intresse av att uppgradera lågvärdig värmeenergi för att använda till exempelvis uppvärmning av fastigheter eller inom industriprocesser. Förädling, alltså uppgradering av värmets, kan genomföras med flera olika metoder.

En metod för att höja värmets hos ett köldmedium är att värma mediet ytterligare. Det kan exempelvis ske med hjälp av olika typer av pannor. Denna bilaga avhandlar dock i huvudsak förädling genom värmepump. Värmepumpen är en anordning som med hjälp av tillförd elektrisk energi kan uppgradera värme ur en temperaturdifferens.

Spillvärme från industrin med en temperatur på 20 – 50°C kan idag med värmepump höja sin temperatur till 80 - 120°C för att kunna användas på nytt. Samarbeten mellan industrin och energiföretag förekommer vid ett 60-tal platser i landet, vilket sammanlagt bidrar med 1 TWh till fjärrvärmenäten. Totalt levererar värmepumpar 7 TWh till fjärrvärmenätet. Storleken på de befintliga värmepumparna uppgår i ett 30-tal fall till över 500 kW (Gabriellii, 2002).

#### 1.1 Värmekälla

Det finns ett flertal olika typer av värmepumpar som används för att uppgradera värme från olika källor. Viktigt är att värmeförseln sker från en källa som är lättillgänglig och gärna ekonomiskt fördelaktig. Det kan exempelvis vara uteluft eller grundvatten. Även frånluft från ventilation, eller avloppsvatten kan användas. Ibland kan värmeväxlare krävas för att överföra värme på ett säkert och smidigt sätt från källan till värmepumpen (Alvarez, 2006a).

När vatten används som värmekälla är fördelarna bland annat enkelheten i transporten. Vatten har även hög specifik värmekapacitet. Vatten, som är enkelt att hantera kan användas direkt i förångaren i värmepumpen. Värmekällans temperatur är en viktig parameter, då temperaturen hos värmekällan ökar stiger också pumpens effektivitet. Det är också av vikt att temperaturen i värmekällan inte sjunker nämnvärt vid drift. Det påverkar i sin tur systemet eftersom värmekällans temperatur måste överskrida förångningstemperaturen för köldmediet för att undvika driftstopp (Alvarez, 2006a).

## 1.2 Värmeväxlare

Värmeväxlarens huvudfunktion är att påskynda en värmetransport mellan olika medier. Det finns ett flertal olika typer av värmeväxlare beroende på om systemet håller högt tryck eller lågt tryck, även givna och önskade temperaturer samt flödesnivåer är avgörande för vilken typ som används.

En vanligt förekommande typ är plattvärmeväxlaren, som består av ett stort antal platta men korrugerade plåtar som ger en stor kontaktyta mellan medierna som man vill överföra värme emellan. Korrugeringen gör flödet turbulent vilket bidrar till att maximera värmeutbytet. De i värmepumpen ingående komponenterna förångare och kondensator, är i princip värmeväxlare (Alvarez, 2006a).

## 1.3 Pumpar

Pumpar är en viktig komponent i de flesta system där en fluid ska förflyttas eller där trycket ska ökas. Användningsområdet är mycket stort och pumpar finns i en mängd olika storlekar och utföranden. Den vanligaste typen av pump är den så kallade turbopumpen, som överför energi med hjälp av roterade skovlar till fluiden (Alvarez, 2006a).

# 2 Värmepumpar

Värmepumpen fungerar enligt samma princip som ett kylskåp, med skillnaden att man är intresserad av att utnyttja den varma sidan i processen, inte den kalla. Idag finns över 300 000 värmepumpssystem med bergvärme som värmekälla i Sverige. Inkluderas samtliga typer av värmepumpar beräknas metoden leverera en energimängd omkring 15 TWh. Inom fjärrvärmenäten stod värmepumparna för knappt 8 % av den tillförda energin mellan åren 1970-2010 (Geotec, 2012).

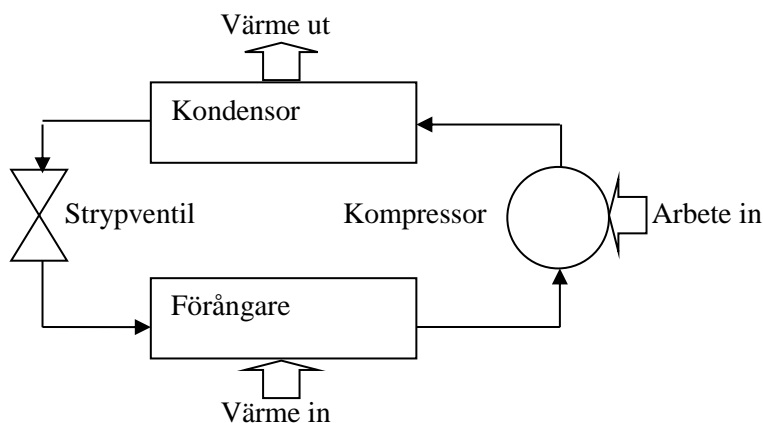
## 2.1 Teori bakom värmepumpen

Värme kan inte övergå från en kallare kropp till en varmare utan att energi tillförs, vilket termodynamikens 2:a huvudsats förklarar. Värmepumpen arbetar enligt den teoretiska Carnot-cykeln, som beskriver hur en temperaturdifferens kan skapas med hjälp av ett till systemet adderat arbete. Carnot-cykeln rör sig mellan två olika temperaturer, där ett köldmedium också ändrar tryck och därmed växlar mellan flytande- och gasform. När mediet ändrar fas avges eller upptas värme från omgivningen vilket kan användas i praktisk tillämpning.

I Carnot-cykeln hålls konstanta temperaturer i köldmediet medan värme tillförs och bortförs. Cykeln är reversibel, i teorin kan alltså processen köras baklänges utan några förluster. Detta gäller dock endast i teorin då temperaturen inte är konstant i det verkliga förloppet. I verkligheten är effektiviteten inte så hög som kan beräknas ur Carnot-cykeln då de verkliga processerna är irreversibla (Alvarez, 2006a).

## 2.2 Funktion

Värmepumpssystemet strävar efter att efterlikna Carnot-processen. Systemet består i huvudsak av fyra komponenter. Förångare, kompressor, kondensator och strypventil. Genom komponenterna flödar ett köldmedium som ändrar fas och temperatur genom det slutna systemet. En principiell förklaring till värmepumpen illustreras i *figur 1*.



Figur 1. Värmepumpens principiella uppbyggnad.

I förångaren råder den lägre temperaturen, där kokar köldmediet genom att förångaren står i termisk anslutning till värmekällan. Förångaren är utformad som en värmeväxlare där maximal mängd värme ska kunna överföras från värmekällan.

Kompressorn är en central komponent i systemet, den tillför arbete genom att den höjer trycket på det förångade köldmediet. Det är via kompressorn som arbete tillförs systemet. Ett flertal olika typer av kompressorer kan användas för ändamålet.

Ett högre tryck krävs för att kondensation ska kunna ske i kondensorn vid en högre temperatur än i förångaren. Kondensorn avger värme, arbetsmediet kondenserar där och avger därmed värme till sin omgivning. Den avgivna värmen överförs till en fluid som sedan kan användas i värmedistribueringsystemet.

Strypventilen reglerar massflödet i systemet genom att den styr tryck- och temperaturskillnaden mellan kondensorn och förångaren. Köldmediet antar den lägre trycknivån efter passagen. Strypventilen kan vara reglerbar för att kunna optimera systemet om olika temperaturnivåer önskas (Alvarez, 2006b).

## Värmefaktor

Värmefaktorn, också benämnd COP-faktorn (Coefficient Of Performance) är ett mått på värmepumpens verkningsgrad. Denna är dock alltid större än ett, varför det är mer korrekt att använda begreppet skenbar verkningsgrad. Det beror på att den uttagna värmemängden är en summa av den värmemängd som avgetts från lågtemperaturkällan samt av arbetet som kompressorn tillfört processen (Alvarez, 2006b).

Värmefaktorn påverkas av skillnaden i temperatur mellan den varma och den kalla sidan. En stor differens leder till en lägre värmefaktor, medan en mindre differens leder till ett högre värde. Vilket system som används påverkar också värmefaktorn (Geotec, 2012). Det teoretiska värdet på värmefaktorn baseras på Carnotprocessen, i verkligheten är dock även en effektivitetsfaktor betydelsefull som innebär att den verkliga verkningsgraden blir lägre (Larsson, 2010).

För att beräkna värmefaktorn används *ekvation 1*, där  $\Phi$  betecknar värmefaktorn,  $Q_{bortförd}$  den bortförda värmemängden och  $w$  är det arbete som adderats genom kompressorn.

$$\Phi = \frac{Q_{bortförd}}{w} \quad [1]$$



Värmefaktor anges vid specifika temperturnivåer, det kan därför vara missvisande att jämföra olika värmepumpar endast med avseende på värmefaktorn. Internationella standarder finns dock för att underlätta jämförelser. Idag kan värmefaktorn med förluster i hjälputrustning uppgå till omkring 2-3. Det innebär att då 1 kWh förbrukas av kompressorn levererar systemet 2-3 kWh värme (Alvarez, 2006b).

## Köldmedium

De önskvärda termiska egenskaper som ett köldmedium bör ha är bland annat att fryspunkten ska vara lägre än systemets förångningstemperatur. Dessutom bör den kritiska punkten för mediet vara högre än systemets kondenseringstemperatur. Med dessa två krav uppfyllda kommer systemet varken frysa eller drabbas av svårhanterliga superkritiska vätskor. Beroende på vilka arbetstemperaturer som används är olika arbetsmedium mer eller mindre lämpliga.

De köldmedium som används är exempelvis ammoniak, som ofta används i större anläggningar. Ammoniak är dock giftigt och kan i luftblandning vara explosiv, vilket måste tas i beaktning. Det finns även en mängd olika halogenföreningar som är vanligt förekommande i värmepumpar och kylmaskiner. Dessa fasas dock ut på grund av dess miljöpåverkan och istället används numer ofta kolväteföreningar såsom propan (Alvarez, 2006b). Även vatten kan användas som köldmedium vid temperaturer kring 100°C (Eriksson, 2004).

## 3 Diskussion

Värmepumpen är beroende av tillförsel av elektrisk energi. Den är även relativt dyr i anskaffningskostnad, en fördel är dock att drivkostanden är låg. En annan positiv aspekt är att värmepumpen inte ger upphov till lokala utsläpp, vilket exempelvis är fallet vid förbränningsenheter för att producera värme. Däremot är valet av el avgörande för miljöpåverkan vid drift.

## Referenser

- Alvarez, H. 2006a. Energiteknik, del 1, upplaga 3:6. Studentlitteratur. ISBN: 978-91-44-04509-2.
- Alvarez, H. 2006b. Energiteknik, del 2, upplaga 3:6. Studentlitteratur. ISBN: 978-91-44-04510-8.
- Eriksson, M. 2004. Tekniska möjligheter och potential för högtemperaturvärmepumpar i kommunala och industriella energisystem. URL [http://effsysplus.se/wp-content/filesystem/tidigare\\_program/effsys1/2.%20V%C3%A4rmepumpssystem/H%C3%B6gtemperatursystem%20H21/SR-H21-H%C3%B6gtemperatursystem.pdf](http://effsysplus.se/wp-content/filesystem/tidigare_program/effsys1/2.%20V%C3%A4rmepumpssystem/H%C3%B6gtemperatursystem%20H21/SR-H21-H%C3%B6gtemperatursystem.pdf) (Hämtad 2014-04-24)
- Gabriellii, C. 2002. Potentialen för värmepumpar som utnyttjar industriell spillvärme. Chalmers tekniska högskola. URL [http://effsysplus.se/wp-content/filesystem/tidigare\\_program/effsys1/2.%20Värmepumpssystem/Högtemperatursystem%20H21/Förstudie%20Hf19/Hf19-Förstudie\\_Högtemperaturvp.pdf](http://effsysplus.se/wp-content/filesystem/tidigare_program/effsys1/2.%20Värmepumpssystem/Högtemperatursystem%20H21/Förstudie%20Hf19/Hf19-Förstudie_Högtemperaturvp.pdf) (Hämtad 2014-04-29)
- Geotec. 2012. Geoenergin i samhället – En viktig del i en hållbar energiförsörjning. URL <http://www.fab.w.se/wp-content/uploads/Geoenergin-i-samhället.pdf> (Hämtad 2014-04-29)
- Larsson, Gustav. 2010. Bergvärme i kombination med solfångaren. Examensarbete. Umeå Universitet. URL <http://www8.tfe.umu.se/courses/energi/exjobbcinget/rapporter/2010/gustavlarsson.pdf> (Hämtad 2014-04-29)

## Bilaga H – Juridiska aspekter

*Caroline Krouthen, Johanna Sjöberg Högerås*

### 1 Bakgrund

Djuphålsborrning kan utgöra ett hot mot ett rent grundvatten, och därför måste tillstånd om borrning sökas via kommunen. Vid vattenskyddsområden eller andra känsliga områden ökar risken för nedslag. En viktig lag att ta hänsyn till är plan- och bygglagen som skall kontrollera användningen av vatten- och markområden. Denna lag reglerar bebyggelse inom kommunen och kan kräva en ansökan om bygglov (SGU, 2008).

Sverige arbetar mot en nationell plan för långsiktigt hållbar markanvändning med syfte att nå generationsmål, miljö kvalitetsmål samt miljömål. Av detta innefattas bevarande av den biologiska mångfalden, och internationellt strävas efter att år 2020 ska 17 % av land- och sötvattensområden vara skyddade från användning (SOU 43, 2013).

För att nå miljömålet "grundvatten av god kvalitet" arbetar Sveriges Geologiska Undersökning (SGU) för att alla borrentreprenörer skall vara utbildade samt certifierade. SGU ansvarar för att följa upp detta mål och har utarbetat riktlinjer och rekommendationer för energi- och vattenborrning som bygger på dokumentet Normbrunn -07 *Att borra brunn för energi och vatten – en vägledning*. Normbrunn -07 innefattar normer som bör beaktas vid utförande av vatten- och energibrunnar. Dokumentet täcker inte in djuphålsborrning, men en förenkling vi får göra är att applicera normerna från Normbrunn -07 på djupgeotermianläggningen i Gunsta. I Normbrunn -07 finns Normbrunnsförfarandet, vilket är en checklista som tar hänsyn till borrning, brunnsplacering, utrustning och vattenanalys. Normbrunnsförfarandet rekommenderas att följa under borrning (SGU, 2008).

Större delen av denna bilaga är framtagen genom information från Normbrunn -07, men uppgifter är också hämtade från miljöbalken samt arbetsmiljörådet Prevent. Sökningar har även genomförts vid universitetsdatabaserna Primo (Sveriges Lantbruksuniversitet) och i Universitetsbiblioteket (Uppsala Universitet) samt databasen Google Scholar, där hittades dock ingen lämplig information.

#### 1.1 Lagar och rekommendationer

##### Beslutstyper och plantyper

För beslut om bygglov finns ett flertal beslutstyper och plantyper. Översiktsplanen innefattar kommunen i helhet och beskriver hur vatten- och markområden skall användas, medan detaljplanen konstaterar villkoren för att bebyggelse får uppföras och reglerar var bebyggelsen får uppföras. Bygglovet är ett tillstånd som måste godkännas av kommunen för att få upprätta en anläggning på en önskad plats. Byggsamråd sker via kommunen och denna lag innefattar kontroller på anläggningen, samt anläggningens tekniska utformning (SGU, 2008).

Översiktsplanen och detaljplanen reglerar byggnation som kan skada känslig natur, miljö och kultur och tar hänsyn till exempelvis kulturarv. Om byggnation sker i närheten av dessa känsliga områden ökar tillsynen med avseende på miljöbalken och konsumentlagarna (SGU, 2008).

## Ansvarstagande

Hänsyn måste tas enligt miljöbalken med mÅn om att bevara biologisk mångfald, bevara kulturarv och natur av högt värde och arbeta hänsynstagande för god hälsa för människor och miljö. Bolaget som ansvarar för borrningen måste använda sig av de skyddsåtgärder som krävs för att motverka eller hindra skada på människa och miljö (SGU, 2008).

Angående miljön så har varje borrar ett personligt ansvar för miljön där ansvaret är kopplat till arbetsuppgiften. Beslut om vem som tar det yttersta miljöansvaret behöver inte finnas och om miljöförstöring av enskild person sker kan denna bli ansvarig. Dock kan även företaget bli skyldigt om närmiljön påverkas (SGU, 2008).

Borrningsbolaget ska vara certifierat och anläggningsansvarig måste uppfylla vissa kunskapskrav så som kännedom om närliggande vattentäkter (SGU, 2008). Den som utför borrning är skyldig att tillhandahålla SGU med borrningsplan och borrningsresultat. Borrningsbolaget måste också kontinuerligt undersöka utrustningen för att undvika borrningsbrand som kan ske på grund av läckage av diesel eller olja. Enligt EU:s maskindirektiv är borrningsbolaget dessutom skyldig att genomföra en riskbedömning av de maskiner som används vid borrningen, vilka sedan blir CE-märkta då de anses säkra att använda (Prevent, 2008).

## Placering

En viktig aspekt med borrning är var energibrunnen (djuphålet enligt approximationer) placeras. Brunnen måste placeras så att den inte påverkas av föroreningar, och ett rekommenderat avstånd är 30-50 meter från källan. Avståndet som rekommenderas beror bland annat på förorestyp och markens infiltrationskänslighet (SGU, 2008).

Två brunnar får heller inte placeras för nära varandra eftersom det då finns risk för kontakt mellan dem via exempelvis sprickbildning i berglagret. Under borrningen kan vibrationer påverka sprickbildningar i närheten och det kan påverka omkringliggande brunnar (SGU, 2008).

## Salthalt, vattenskyddsområde och hantering av vatten

Under borrning vid stora borrhjup tilltar salthalten i vattnet vilket gör att saltvatteninträngningen ökar. Detta gör att konduktiviteten och kloridhalten måste dokumenteras för att mäta salthalten. Vid stora borrhjup är brunnsbarraren skyldig att informera kunden om att risk för saltvatteninträngning finns. Bolaget är också skyldigt att rapportera om det under borrningen sker vattenuttag från både undre och övre vattenakvifären, detta på grund av att vattenkvaliteten försämras (SGU, 2008).

Ett vattenskyddsområde representeras av en primär eller sekundär skyddszon. Att borra i ett primärt vattentäktområde är förbjudet medan tillstånd måste sökas för att borra i ett sekundärt skyddsområde. Om borrning sker i ett sekundärt vattentäktområde måste det ske med ökad försiktighet då det är en riskfull process. Oljeläckage, läckage vid hantering av köldbärrätskan samt saltvattenpåverkan är de största riskerna som måste tas hänsyn till i det sekundära vattentäktområdet (SGU, 2008).

I ett vattenskyddsområde är det högre risk att vatten från olika lager kommer i kontakt med varandra vilket gör att borrningsbolaget bör vara observant på att vattnet från de olika lagren har varierande fysiska och kemiska egenskaper. En blandning av dem kan medföra att vattenkvaliteten blir lägre. Vid borrning i vattentäktområde bör prov på vattnet i området tas

för att undersöka om vattnet har påverkats av borrningen. Har det skett en påverkan ska brunnen återfyllas (SGU, 2008).

För att få använda vatten i den geotermiska anläggningen krävs enligt miljöbalken och Svensk författningssamling (Lag med särskilda bestämmelser om vattenverksamhet, 1981) även tillstånd för vattenverksamhet, vilket söks hos Miljödomstolen. Även upprättning av värmepumpar kräver tillstånd (Förordning om miljöfarlig verksamhet och hälsoskydd, 1998).

## 2 Resultat

Tillstånd för bygglov måste sökas hos Uppsala kommun, vilket bör beviljas då Gunsta inte är inom ett vattenskyddsområde (se figur 5, bil. K). Även tillstånd för vattenverksamhet och upprättning av värmepumpar måste sökas eftersom vatten kommer att pumpas upp respektive ner genom djupborrhålen samt eftersom att värmepumpar kommer att användas för att få driva den geotermiska anläggningen i Gunsta.

Bolaget som ska anställas för att utföra borrningen ska vara certifierat och uppfylla ovannämnda krav på utrustning och uppförande.

## 3 Diskussion

Lagar som specifikt rör djuphålsbörning och geotermisk värmeproduktion är få. Gällande djuphålsbörningen beror det antagligen på att få djupa börningar har genomförts i Sverige i dagsläget. Att Normbrunn -07 egentligen är anpassad för grundrare börning kan betyda att en del aspekter inte är av betydelse för börning på större djup.

## Referenser

Förordning om miljöfarlig verksamhet och hälsoskydd. 1998. Stockholm. (Miljöbalk 1998:899).

SFS 1988. Lag med särskilda bestämmelser om vattenverksamhet. SFS 1988:812.1981. Stockholm.

Prevent. 2008. Borrningssäkerhet. URL <http://www.geotec.se/upload/cms/file/borrguiden.pdf> (Hämtad 2014-04-07)

SOU 43, 2013. Långsiktigt hållbar markanvändning - del 1. URL <http://www.regeringen.se/content/1/c6/21/90/86/12a68497.pdf> (Hämtad 2014-04-01)

SGU. 2008. Normbrunn -07. Att borra brunn för energi och vatten – en vägledning. URL [http://www.geotec.se/upload/cms/file/normbrunn\\_07.pdf](http://www.geotec.se/upload/cms/file/normbrunn_07.pdf) (Hämtad 2014-04-07)

## Bilaga I – Miljöaspekter

*Andreas Lundgren*

### 1 Bakgrund

Jämfört med andra värmeverk så sker det för det geotermiska verket ingen förbränning vilket minskar all form av emissioner från det. Inte heller bildas något farligt restmaterial som måste tas omhand under driften, det är bara i anläggningskedet som material som kan behövas deponeras bildas.

#### 1.1 Borrning

Avfall från själva borrningen kan delas upp i två huvudgrupper: borrhax och använd borrhätska. Hantering av borrhax kan skilja sig markant mellan olika platser. Detta styrs av tidigare föroreningar samt aktuell geologi. Hanteringsprocessen av kaxet kan därför bli kostsam. Men på samma sätt kan även borrhaxet bli en tillgång som kan användas som fyllningsmaterial. Under själva borrningen är det därför viktigt att borrhaxentreprenören är aktsam vad gäller speciella händelser under själva borrning samt förekomst av gaser och ämnen som bidrar till en stark och frän doft vid ett särskilt borrhaxdjup. Information och kunskap som finns inom den kommunala verksamheten kan på ett positivt sätt bidra till att borrning på förorenad mark undviks. Därför är det viktigt med öppen och tydlig dialog mellan alla inblandade parter så att borrningen kan ske utan onödig påverkan på miljön. De ämnen i borrhaxet som med höga halter medför att borrhaxet blir miljöfarligt är framförallt tungmetaller samt radioaktiva ämnen. Som exempel kan borrning i alunskiffer medför att halten uran i borrhaxet är för hög och därmed klassas borrhaxet som en miljöfara. (Borrsvängen, 2014) Vid de borrningar där bergarter påträffas som innehåller högre halter radioaktiva ämnen ställs högre krav på efterarbete av borrhax hål. För att undvika att artesiskt grundvatten strömmar ut ur hålet och sprider miljöfarliga ämnen vidare bör dessa hål pluggas (Höglund, 2010). Pluggning eller också kallas återfyllning kan göras på olika sätt. Vanligast är att använda bentonit, stenmjöl, borrhax eller sand. Detta varierar beroende på dess tillgång samt kostnadsbild (Hjulström, 2012).

Vidare anses att borrhax från platser som inte sedan tidigare är förorenat, ej är en fara för miljö. Däremot bör kaxet samlas upp i en container för att på ett bättre sätt ha kontroll över det och därmed kunna minska den direkta markpåverkan. Detta gäller alla naturliga bergarter. Dock finns det ett antal mer ovanliga bergarter som kan komma att påverka mer. Då dessa ovanliga bergarter påträffas bör tester göras för att se hur urlakning kan komma att sprida metaller och anjoner (RVF, 2006), (Härnösand Kommun, 2012).

Det uppkomna borrhaxslammet innehåller borrhax och borrhätska. I stort finns två olika metoder för behandling av denna biprodukt. Valet mellan dessa metoder baseras på omgivningens utseende och känslighet vad gäller flora, fauna och vattendrag samt typ av bergart som borrhaxas upp. Dessa förutsättningar styr hur vida borrhätskan ska spridas på och omkring närområdet eller om borrhätskan ska samlas upp i containers för att sedan genom sedimentering separera suspenderat material från den använda borrhätskan. Därefter kan kvarliggande vatten spridas om detta inte uppvisar aggressiva egenskaper som kan påverka miljön där spridningen sker. Borrhätskan bör helst sedimenteras för att inte sprida sig till omgivande vattendrag och bidra till grumlighet eller på annat sätt störa naturliga vattenmiljöer. Detta kan bli en omfattande

process då det hela tiden behövs nytt unikt vatten vid borrningen. Processen kan då komma att begränsas av tillgång på brukbart vatten samt möjlighet att genomföra nödvändig och passande dumpning. Hanteringen av borrkaxet styrs till stor del av bergartens typ. Bedömningar ska göras för att reda ut om borrkaxet kan bidra till negativ miljöpåverkan genom urlakning. Då denna risk bedöms som liten kan borrkaxet användas som fyllningsmaterial vid väg- och husbyggen. I andra fall kan kaxet behöva genomgå tvätt och/eller placeras på deponi (Ekvy, 2014; personlig kontakt)(Borrsvängen, 2014).

## 1.2 Salthalt i borrhål

Vid kustnära områden finns det en risk med att borra djupt för geotermisk energi, detta för att saltvatten kan vid oförsiktig borrning tränga in i grunda vattentäkter. Saltvattnet kan i dessa områden finnas på relativt små djup i marken. För att hindra saltvatteninträning till vattenbrunnar och dricksvattentäkter är det viktigt att täta borrhålet för att få en isolering mellan sötvattnet och saltvattnet.(Miljösamverkan Stockholms Län, 2006 ). Salthalten i vattnet ökar med djupet i borrhålet, regnvatten har en halt på 10 mg/liter och vid 1000 meters djup är vattnet som saltlake med en salthalt på 50 000 mg/liter. Vilket kan jämföras med saltvatten som har en salthalt på 35 000 mg/liter. Surheten i vattnet förändras även, från ett pH-värde på 5 för regnvatten minskar surheten till ett värde på pH 8 vid ett borrhål på 1000 meter. Våldigt djupa borrhål innehåller ofta ett vatten som innehåller höga halter av kalcium, natrium och klorid (Djupa borrhål, 2007).

## 1.3 Emissioner från geotermisk energi

Geotermisk energi producerar i regel inga emissioner, detta eftersom det förorenade vattnet från berggrunden injekteras tillbaka ner i borrhålet i ett slutet system utan att komma i kontakt med atmosfären (Lund, 2007).

Då anläggningen använder nordisk elmix beräknas miljöpåverkan bli liten, 75 till 100 g koldioxid per kWh (Klimatkompassen).

## 1.4 Miljöpåverkan hydraulisk spräckning

För hydraulisk spräckning krävs en stor vattenförbrukning, där det är viktigt att skydda grundvatten resurserna i området. En liten del av det förorenade vattnet återanvänds och injekteras ner i borrhålet igen under spräckningsprocessen. Resterande stora vattenmängd lagras i tillfälliga bassänger på platsen. Vattnet transporteras sedan med lastbilar till konventionella vattenreningsverk. Lagringen och transporten av det förorenade vattnet måste ske försiktigt för att undvika spill och läckage. Finns risk att vanliga vattenreningsverk inte är byggda för att klara av att rena vattnet från de kemikalier som används vid hydraulisk spräckning. Det finns även en risk för att radioaktiva material från berggrunden kan transporteras ut i vattenmiljöer på ytan, vilket ger ökande kostnader och problem för myndigheterna i området att hantera.

Bör införas krav på information om spräckningsvätskornas kemikalieinnehåll och koncentration till berörda myndigheter och invånare innan beslut om spräckning tas. (Anonym, 2013).

## 1.5 Buller

Bullret som bildas från en geotermisk anläggning kan delas upp i två kategorier, byggbuller som uppstår under borrningen och yttre arbete, och buller från värmepumpanläggningen under

drift, från pumpar och värmeväxlare. Buller från driften regleras av nybyggnadsreglerna enligt SS 02 52 67. Vilket säger att installationen av pumpanläggningen ska utföras så att ljudnivån inomhus i närliggande bostäder inte får överstiger givna riktvärden. Riktvärden anges i Boverkets byggregler (BFS 1998:38) och är för kök 35 dBA, 50 dBA i sovrum och 30 dBA i bostadsrum utan kök. Beroende på hur omgivande bebyggelse ser ut och hur stor anläggningen ska bli, får hänsyn tas för byggbuller. Buller från arbete såsom borring och transporter av utrustning får endast bedrivas under helgfria vardagar från 07.00 till 19.00. För byggbuller ska man följa riktvärdena NFS 2004:15, “allmänna råd för buller från bygplatser” (Miljösamverkan Stockholms län, 2006).

## 1.6 Förändring landskap

Uttag av energi ur marken och berggrunden i form av vätska kan minska det normala trycket i underjordiska reservoarer, vilket kan få marken att sjunka ner och sätta sig. Detta ger en förflyttning på marken i sidled samt höjddled vilket kan skada byggnader och rör, även ändra dräneringsvägarna på markytan. Kan även skada naturliga fenomen så som varma källor och gejsrar, genom allt för stort värmeuttag ur berggrunden (The Encyclopedia of New Zealand, 2012). Ifall lager eller fickor med gas med högt tryck påträffas vid borring, kan det leda till ett okontrollerat tryck som går upp till ytan vilket kan ge stora miljöskador i området kring borrhålet (Dagens Nyheter, 2007).

## 1.7 Fjärrvärme

Från fjärrvärmenätet kan två typer av värmeläckage beräknas. Dels en medel förlust vid vanlig drift på tio % samt läckage i form av haveri. Fjärrvärmenätet är vanligtvis förlagt på områden som sedan tidigare inte innehåller orörd natur. Detta är vanligtvis inom städer, under vägar eller anlagda gräsmattor. Röret kan sedan grävas ner på olika djup beroende på hur områdets medeltemperatur ter sig under året. En kallare medeltemperatur bidrar till att röret grävs ner på ett större djup. Runt om det nergrävda röret schaktas sedan sand, grus och krossat berg i olika storlek runt röret. Detta bidrar till mängden organiskt material som är i kontakt med röret är försvinnande liten. Detta i kombination med att värmestrålningen från röret avtar relativt snabbt med avståndet från röret gör att påverkan på naturlig och omkringliggande levnadsmiljö är närmast minimal (Lummi, 2014; personlig kontakt).

## 2 Borring i Gunsta och Uppsala kommun

Från kommunens sida finns egentligen inga speciella direktiv. Borring och hantering av kax regleras av Miljöprövningsförordningen där verksamhetsutövaren sedan gör en bedömning efter att ha genomfört prover på kaxet. Denna bedömning görs med stöd av handboken Återvinning av avfall i anläggning från Naturvårdsverket. Därefter kan beslut tas vad gäller användande av borrhaxet. Aktuellt beslut styrs av huruvida föroreningsrisken är ringa eller mer än ringa. Olika typer av utfall styr sedan vilken typ av tillståndsplikt och anmälningsplikt som blir aktuellt. För berggrunden i Uppsala-området är av en sådan typ att urlakning av metaller inte är att vänta. Detta gäller främst sulfidmalm som förekommer i mer norra delar av landet. (Dahlén, 2014; personlig kontakt). En annan viktig fråga är hanteringen av borrhätskan, att undvika att omgivande vattendrag grumlans eller påverkas av använd borrhätska såsom vatten eller lera. Den använda borrhätskan ska tas om hand med noggrannhet, att så lite borrhätska som möjligt spridas och att rengöringen sker på ett så effektivt sätt. Rengöringen av materialet som tas upp ur borrhålet minskar spridning av

suspenderat material som annars skulle följa med utsläppt borrvätska. (Naturvårdsverket, 2010)

## 2.1 Föroreningar i vattnet vid Gunsta

Vissa ämnen som finns naturligt i grundvattnet är skadligt för naturen och människor, ifall större halter av dessa ämnen skulle läcka ut i dricksvattentäkter. I Gunsta har prover tagits på grundvatten ur en bergbrunn, där har grundvattenkvaliteten undersökts för att få fram halterna av några av ämnen som finns i grundvattnet, se tabell 1 (Söderholm *et al.*, 1983).

Gränsvärdena är för otjänligt vatten för de olika ämnena kan ses i tabell 1 och i fall halterna av dessa överstiger gränsvärde, finns det risk för negativ hälsopåverkan för människor som kommer i kontakt med vattnet (Karlsson *et al.*, 2007).

Tabell 1. Grundvattenkvalitet, halter av olika ämnen i grundvattnet i området kring Gunsta och gränsvärden för dessa ämnen.

| Ämne                    | Uppmät       | Gränsvärde |
|-------------------------|--------------|------------|
| Klorid, Cl              | < 40 mg/l    | 0,4 mg/l   |
| Sulfat, SO <sub>4</sub> | < 50 mg/l    | *100 mg/l  |
| Radon, Rn-222           | < 350 Bq/l   | >1000 Bq/l |
| Nickel, Ni              | < 0,005 mg/l | 0,02 mg/l  |
| Bly, Pb                 | < 0,01 mg/l  | 0,01 mg/l  |
| Kvicksilver, Ag         | < 0,05 mg/l  | 0,001mg/l  |
| Koppar, Cu              | < 0,05 mg/l  | 2 mg/l     |
| Kadmium, Cd             | < 0,005 mg/l | 0,005 mg/l |

\*Sulfathalt på 100 mg/l eller mer klassas som tjänligt men bör göras något åt

## 2.2 Miljöpåverkan från valt processmedia som köldbärare

Köldmedlet R134a är en så kallad flourkolväte (HCF), dessa är starka växthusgaser som kraftigt bidrar till växthuseffekten. Köldmedlet fungerar bra ur tekniskt hänseende. Läckage och användet av den är strikt reglerat både internationellt och i Sverige, förordningen 2007:846. Läckage kontrolleras för en köldmängd på minst 3 kg minst var tolfte månad, för 30 kg minst var sjätte månad och för 300 kg köldmedel eller mer ska läckage kontrolleras minst var tredje månad. Finns krav på att installera system för att påträffat läckage för anläggningar som använder 300 kg köldmedel eller mer (Länsstyrelsen Skåne). R134a inte klassad som ett hälso eller miljöfarligt ämne (Atlas Copco, 2009).

## 3 Resultat

Driften påverkar inte miljön för att systemet med vattnet som pumpas runt är slutet utan kontakt med omgivande miljö. Detta gäller för systemet ner i borrhålen, mellan värmeväxlare/pumpar och på fjärrnätet. Detta leder till att vattentäckter och marker i Gunsta inte kommer att påverkas av den höga salthalt på vattnet som tas upp ur marken och inte heller av dem andra ämnen i det geotermiskavattnet. Dock kan läckage uppkomma i system, vilket kan påverka miljön negativt



Den stora miljöpåverkan från geotermiska verk sker under anläggningskedet, med hantering av restmaterial som bildats under borrhningen och spräckningen. Gällande bullret kommer lagar för byggplatser, med arbetstider och ljudnivåer att regler påverkan. Även buller från drift med höga ljudnivåer för närliggande hushåll, regleras av lagar för maximala ljudnivåer.

## 4 Diskussion

Beroende på vilken el verket använder ändrar mängden koldioxid som släpps ut, för nordisk elmix som verket i Gunsta kommer gå på ligger nivån på koldioxid utsläpp lågt sätt globalt. En bio eldad panna kommer köras som en toppanna i det geotermiska värmeverket, vilket kommer öka andelen emissioner under visa perioder på året.

R134a som används som köldbärare är en kraftig växthusgas vars användning är strikt reglerad, detta sätter stora krav på att hindra och upptäcka läckage av denna. Vilket gör det mindre troligt att i Gunsta få ökad påverkan på växthuseffekten från den.

I området kring Gunsta bör inga sättningar i marken uppkomma, inte heller områden med extremt högt tryck bör påträffas vilket ger att det med stor säkerhet inte kommer bli några kraftiga miljöpåverkningar på landskapet grund av detta. Inte mer än det som kommer uppkomma under anläggningen med transporter, borrhningen och uppbyggnad av ett värmeverk på markytan.

## Referenser

- Anonym. 2013. "Lokala och regionala myndigheters syn på skiffergas, tät gas och olja" (Okonventionella kolväten). ENVE-V-034. Regionkommittén. Europeiska Unionen
- Atlas Copco. 2009. Säkerhetsblad r134a. URL [http://www.atlascopco.se/images/kylr134a\\_tcm44-154885.pdf](http://www.atlascopco.se/images/kylr134a_tcm44-154885.pdf) (Hämtad 2014-05-13)
- Borrsvängen. 2014. URL [http://www.geotec.se/wp-content/files\\_mf/bs1\\_2014\\_web.pdf](http://www.geotec.se/wp-content/files_mf/bs1_2014_web.pdf) (Hämtad 2014-05-05)
- Dagens Nyheter. 2007. Borrhning utlöste katastrof, säger geologer. URL <http://www.dn.se/nyheter/varlden/borrhning-utlost-katastrof-sager-geologer/> (Hämtad 2014-04-27)
- Djupa borrhål. 2007. Ett alternativ för slutförvaring av använt kärnbränsle? Rapport 2007:6 från Statens råd för kärnavfallsfrågor (KASAM).
- Hjulström, J. 2012. Återfyllning av borrhål i geoenergisystem: konventioner, metoder och material. Kandidatarbete 15 hp nr 298. Geologiska institutionen. Lunds Universitet.
- Härnösand Kommun. 2012. Bergvärme. URL <http://www.harnosand.se/download/18.675c688c13ada0c7f4f1160/1352803396148/26+-+Bergv%C3%A4rme.pdf> (Hämtad 2014-05-05)
- Höglund, L-O. 2010. Kunskapsläge om miljökonsekvenser av prospektering, utvinning och bearbetning av mineraltillgångar av uran. Kematka AB 2010-07.
- Karlsson, T., Klintenstedt J., Larsson, J., Rosvall O., Sverndal, J., Wennerström, M. 2007. Dricksvatten - olika miljöagens. Linköpings hälsouniversitet

- Klimatkompassen. u.å. Beräkningsmetodik och grundantaganden. URL <http://www.klimatkompassen.se/index.php?id=348257> (Hämtad 2014-05-05)
- Lund J. W. 2007. Characteristics, development and utilization of geothermal resources. Geo-Heat Center Bulletin, Oregon Institute of Technology, June 2007.
- Länsstyrelsen Skåne. Köldmedier. URL <http://www.lansstyrelsen.se/skane/Sv/miljo-och-klimat/verksamheter-med-miljopaverkan/kemiska-produkter/Pages/Koldmedier.aspx> (Hämtad 2014-05-13)
- Miljösamverkan Stockholms Län. 2006. Processbeskrivning – handläggning av bergvärmepumpar. URL <http://www.miljosamverkan.se/miljosamverkan/SiteCollectionDocuments/Publikationer/2006/2006-processbeskrivning-handlaggning-varmepumpar.pdf> (Hämtad 2014-04-25)
- Naturvårdsverket. 2010. Återvinning av avfall i anläggningsarbete, Handbok 2010:1 utgåva 1. ISBN 978-91-620-0164-3. ISSN 1650-2361.
- RVF. 2006. Lakegenskaper för naturballast Bergmaterial och moräner. rapport 2006:06. ISSN 1103-4092
- Söderholm, H., Müller, C., Engqvist, P. 1983. Beskrivning och bilagor till hydrogeologiska kartan över Uppsala Län. Sveriges Geologiska Undersökning. ISBN: 91-7158-306-8
- The Encyclopedia of New Zealand. 2012. URL <http://www.teara.govt.nz/en/geothermal-energy/page-5> (Hämtad 2014-04-27)

### Personliga referenser

- Dahlén, M. 2014. Uppsala Kommun
- Ekvy, M. 2014. Malmberg ltd
- Lummi, T. 2014. Svensk Fjärrvärme

## Bilaga J – Miljömål

*Johanna Sjöberg Högerås*

### 1 Bakgrund

Sverige har sexton miljö kvalitetsmål som skall beskriva målsättningen med Sveriges miljö och ge en riktlinje för hur miljöproblem skall lösas till år 2020. Miljö kvalitetsmålen har preciseringar som skall tydliggöra målen (Naturvårdsverket, 2013a). Den geotermiska anläggningen i Gunsta kommer inte påverka miljö kvalitetsmålen nationellt men en påverkan lokalt på plats kan ske. Anläggningen kan komma att påverka färdsträckan till målen både negativt och positivt.

Miljö målen som inte kommer att påverkas av anläggningen är: Frisk luft, Säker strålmiljö, Hav i balans samt levande kust och skärgård, Storslagen fjällmiljö, Skyddande ozonskikt, giftfri miljö, Ett rikt odlingslandskap (Naturvårdsverket, 2012a), samt myllrande våtmarker (Lantmäteriet, 2014). Övriga miljö mål kan komma att påverkas. I Uppsala nås idag endast målen Bara naturlig försurning samt Skyddande ozonskikt (Naturvårdsverket, 2013b).

Levande kust och skärgård, storslagen fjällmiljö samt myllrande våtmarker kommer inte påverkas på grund av att sådan miljö inte existerar i Gunsta. Gällande målet Myllrande våtmarker finns mindre sankmarker inom radien 1 km från det tilltänka området för geotermivärmeverket och inga betydande våtmarker. Sankmarkerna är begränsade till omfånget 175 x 65 m, se bifogad karta (Lantmäteriet, 2014). Målen Frisk luft och Ett rikt odlingslandskap påverkas inte ty det geotermiska verket släpper inte ut miljöfarliga partiklar som kan komma att påverka. Strålsäker miljö påverkas inte då den geotermiska verksamheten inte hanterar radioaktiva ämnen (Naturvårdsverket, 2013b).

### 2 Anläggningens påverkan på miljö målen

#### 2.1 En giftfri miljö

Målet En giftfri miljö påverkas av bland annat hälsofarliga kemiska produkter där bränslen ingår. Enligt riksdagen skall ämnen i miljön inte påverka hälsan hos människan eller påverka den biologiska mångfalden (Naturvårdsverket, 2012b).

#### 2.2 Bara naturlig försurning

Försurad mark beror på nedfall av kväve och svavel. Att värmekraftverk bidrar till försurningen beror i flera fall på att biobränsleanvändning leder till uttag av skog vilket i sin tur kan leda till försurning. (Naturvårdsverket, 2014a) I Uppsala finns inget problem med försurning tack vare kalkrik mark, vilket gör att geotermianläggningen inte skulle spela någon roll för försurningsgraden av Gunsta (Naturvårdsverket, 2013b). En Geotermisk anläggning släpper i snitt ut 0,16 kg svaveldioxid per MWh vilket är försumbart jämfört med kolkraft som släpper ut 4,71 kg per MWh. (John W. 2007) En annan faktor som stärker att verket i Gunsta inte kommer inverka på försurningen är att år 2009 kom 91 % av svavelnedfallet i Sverige från utländska källor (Naturvårdsverket, 2013c).

## 2.3 Begränsad klimatpåverkan

Riksdagens definition av miljömålet beskrivs av halten växthusgaser i atmosfären, där halten skall överrensstämma med FN:s ramkonventioner. Målet skall åstadkommas på det viset att livsmedelsproduktionen upprätthålls, att den biologiska mångfalden bevaras, samt på ett sätt så andra miljömål inte påverkas negativt (Naturvårdsverket, 2014b).

Målet begränsad klimatpåverkan har två preciseringar som riksdagen har definierat. Den ena precisionen rör temperaturen på jorden som inte får öka med mer än 2 grader. Den andra precisionen definierar att koncentrationen växthusgaser i atmosfären skall stabiliseras på ett värde som inte för överstiga 400 miljondelar koldioxidekvivalenter (Naturvårdsverket, 2012c).

I Uppsala har utsläppen som bidrar till växthuseffekten minskat sedan 1990 med undantag för enstaka vintrar då temperaturen ute varit låg och bränslen med höga utsläppshalter används. I Uppsala står energiförsörjningen för 35 % av växthusgasutsläppen i länet. Koldioxidutsläppen orsakas främst av förbränning av torv i Uppsalas värmekraftverk, men också av andelen plast i bränslet under avfallsförbränning. Det finns också indikatorer för målet Begränsad klimatpåverkan, som är till för att följa upp målet (Naturvårdsverket, 2013d).

I naturliga akvifärer finns oftast varierande halter av växthusgaserna CO<sub>2</sub> respektive CH<sub>4</sub> bundet vilket gör att primärkretsen måste hållas slutet samt trycksatt för att undvika ett läckage av gaserna. (Goldstein, 2011) Primärkretsen i Gunsta måste således betraktas som en potentiell emitteringskälla av växthusgaser och behandlas med lämpliga metoder för att undvika okontrollerade utsläpp.

## 2.4 Grundvatten av god kvalitet

Riksdagens definition av miljömålet lyder: ”grundvattnet ska ge en säker och hållbar dricksvattenförsörjning samt bidra till en god livsmiljö för växter och djur i sjöar och vattendrag” (Naturvårdsverket, 2014c).

Regionalt i Uppsala län kommer grundvatten av god kvalitet inte uppnås till 2020 och detta mycket på grund av dålig vattenkvalitet som uppstått på grund av bekämpningsmedel och salt. Att vattnet är salt beror på vägsalt samt lämningar av saltvatten (Naturvårdsverket, 2013e).

En åtgärd för att nå miljömålet är att brunnborrning endast skall ske av certifierad brunnborrare, detta på inrådan av SGU – Sveriges Geologiska undersökning. Denna åtgärd är införd på grund av att brunnborrning annars kan ge stor påverkan på grundvattnet i form av försämrade vattenkvalitet (Naturvårdsverket, 2014d) från bland annat drivmedel från borrningen, eller att olika geologiska lager av grundvatten sammanfogas (Naturvårdsverket, 2014e).

## 2.5 God bebyggd miljö

Miljömålet för god bebyggd miljö är till för att både samhällets behov och människans behov skall tillfredsställas, samt för att bidra till en god levnadsmiljö och hållbar utveckling. Viktiga aspekter för Gunsta inom detta miljömål är bland annat hur och när människor värmer sina bostäder. En viktig del i målet är att distribuera energi från miljövänliga energikällor (Naturvårdsverket, 2014g).

Preciseringar som rör verket i Gunsta är: Hållbar bebyggelsestruktur, Infrastruktur, hälsa och säkerhet samt hushållning med energi och naturresurser. Hållbar bebyggelsestruktur innefattar

hur förvaltning och underhåll av byggnaderna sker, och är viktigt att ta hänsyn till då anläggningar och verksamheter anläggs. Betydelsefullt är också att byggnaderna är konstruerade på ett hållbart sätt (Naturvårdsverket, 2012d).

Ett geotermiskt verk är litet och upptar i snitt 404 m<sup>2</sup> mark per GWh i jämförelse med kolkraften som ockuperar 3632 m<sup>2</sup> i snitt per GWh. De geotermiska verken är ofta designade på ett sätt som smälter in i miljön då delar av det befinner sig under marken (Lund, W, J. 2007).

Med preciseringen infrastruktur är den viktiga aspekten för geotermiverket hur energisystemet är integrerat i det lokala samhället. Energikällan måste integreras i samhället på ett sätt som tar hänsyn till natur- och kulturmiljö men också säkerhet och hälsa. Utformningen av Geotermiverket måste också anpassas till Gunstas behov (Naturvårdsverket, 2012d).

Preciseringen för hälsa och säkerhet innebär att människor i samhället inte skall utsättas för föroreningar från luft, kemikalier, höga ljudnivåer eller höga radonhalter (Naturvårdsverket, 2012d). Detta betyder att det krävs en klagörelse för vilka utsläpp verket kommer bidra med, samt att en beredskap finns för skyddsåtgärder, så som t.ex. rening för borrhaxet om halten radioaktiva ämnen är hög (Naturvårdsverket, 2014l).

Två indikatorer för att nå målet är energianvändningen samt planering av energi. Det betyder att kommunerna i Sverige skall upprätta en energiplan för framtiden, där andel fossilfri energi är en viktig faktor. Uppsala kommun har i dagsläget en energiplan (Naturvårdsverket, 2013f).

## 2.6 Levande skogar

Miljömålet levande skogar finns till för att skydda skogsmarkens och skogens värde för den biologiska produktionen, samt för att skydda den biologiska mångfalden och värna om kulturmiljövärden samt sociala värden (Naturvårdsverket, 2012e).

Preciseringar för miljömålet som rör geotermisk energi i Gunsta är friluftsliv, där friluftslivet i skogen skall bevaras. En annan intressant precisering är skogsmarkens egenskaper och processer där alla typer av processer och egenskaper hos skogen skall bevaras. Ekosystemtjänster och grön infrastruktur är också preciseringar som kommer påverkas av avverkningen av skogen. Preciseringen om ekosystemtjänster skall upprätthålla skogens ekosystemtjänster och preciseringen för grön infrastruktur säger att skogens biologiska mångfald skall bevaras, och arter skall kunna utbreda sig (Naturvårdsverket, 2012f).

Geotermiverket i Gunsta kommer placeras på en berghäll där skog växer, vilket gör att skog på den specifika platsen kommer avverkas, och djur och natur i närheten kommer att störas i upprättningsprocessen. På kort sikt kommer upprättandet av verket påverka arters utbredningsmöjlighet lokalt på platsen, och det finns risk att ekosystemet påverkas lokalt för en kort tid.

## 2.7 Ett rikt växt- och djurliv

I detta miljömål värnas den biologiska mångfalden som skall bevaras på ett hållbart sätt. Viktigt är att livsmiljöer för olika arter skyddas. Energibehovet ökar i Gunsta vilket leder till en anläggning av det geotermiska verket. Att möta behovet samtidigt som påfrestningarna på ekosystem inte skall öka är en utmaning. Detta betyder att naturresurserna i Gunsta måste utnyttjas på ett varsamt sätt (Naturvårdsverket, 2014h).

## 2.8 Levande sjöar och vattendrag

Målet säger att vattendrag och sjöar skall ha en bevarad artsammansättning där miljön skall bevaras, men de skall också vara ekologiskt hållbara (Naturvårdsverket, 2014i).

En viss risk för påverkan från geotermiska verket finns speciellt efter borrningsprocessen. Stora mängder vatten används till borrning, som sedan måste renas eller sedimenteras. Efter detta är det tillåtet att släppa ut vattnet i åar så länge vattenkonduktiviteten inte ändras (Gierow 2014).

## 3 Diskussion

### En giftfri miljö

En påverkan i Gunsta kan vara konsekvensen av en olycka där köldbärarmedlet läcker ut i miljön, vilket skulle påverka preciseringen: ”Oavsiktligt bildade ämnen med farliga egenskaper” (Naturvårdsverket, 2014k). Även ett läckage i primärkretsen kan orsaka lokala ekorubbningar. I naturligt förekommande akvifärer närmar sig saltkoncentrationen saltlake vid djup större än ett par kilometer. I Gunsta ska en konstgjord akvifär skapas vilket gör att vattnets egenskaper är okända innan driftsättning och provtagning, men vattnet bör hanteras som skadligt för närmiljön på grund av höga salthalter. Vid läckage kan därför odlingsmark drabbas under det år som läckaget sker. Vid extremt stora läckage kan kontaminerad jord behöva grävas bort. Skadan spädes bort naturligt av regn och nästföljande år är marken odlingsbar (Gierow, M., 2014).

### Bara naturlig försurning

Geotermianläggningen i Gunsta skulle indirekt kunna motverka ett uttag av skog på riksnivå. Eftersom Gunsta planeras att bygga ut kommer också energianvändningen att öka. Detta leder till att nya energikällor behövs för att mätta konsumenternas behov. Indirekt kan geotermianläggningen bidra med ett undviket uttag av t.ex. skog (Naturvårdsverket, 2014a). De lokala utsläppen i Uppsala som bidrar till utsläpp av svaveldioxid som bidrar till försurning är Vattenfalls värmekraftverk som utnyttjar förbränning av torv, (Naturvårdsverket, 2013b) men kommer också från bränslen med hög svavelhalt så som kol och eldningsolja (Naturvårdsverket, 2014j). Anläggningen i Gunsta kommer inte påverka användningen torv i Uppsala, men den skulle indirekt kunna motverka ett ökat användande av torv i Gunsta.

### Begränsad klimatpåverkan

Med geotermianläggningen uppnås ett utvecklande av miljötekniken. Gunsta kommer kunna använda miljövänlig energi, istället för värme från t.ex. avfallsförbränning eller gas. Detta gör att utsläpp av växthusgaser undviks. Dock kommer andelen växthusgaser inte att minska, detta på grund av att Gunsta är ett planerat område som skall utvidgas. En ersättning av värmeanläggningar som släpper ut växthusgaser kommer alltså inte ske, men en undviken ökning av andel växthusgaser är möjlig. Geotermisk energi släpper ut 40 kg koldioxid per MWh, vilket är en låg siffra jämfört med kolkraft som släpper ut 994 kg koldioxid per MWh (John W. 2007).

### Grundvatten av god kvalitet:

Om borrhål måste placeras på så vis att risk finns för passage genom grundvattentäkter måste caseing göras av borrhålet för att säkra separeringen av fluiderna. Risk föreligger att vattnet

från djup större än en kilometer närmar sig saltkoncentrationer i paritet med saltlake. Detta är en kostnads- och riskökande faktor som i största möjliga mån bör undvikas. Likaså om borrning placeras på mark där mäktiga lager av lera eller morän täcker urberget så måste dessa förses med foderrör. Dessa skall nå ner till urberget där de gjutes fast med betong för att undvika läckage av termalvatten då jordlagren kan vara vattenförande och leda till grundvattendepåer. I Lund har inga erfarenheter gjorts som påvisat kontaminering av grundvatten (Gierow, 2014).

### God bebyggd miljö:

Eftersom det geotermiska verket i Gunsta är en miljövänlig energikälla bidrar det positivt till miljömålet God bebyggd miljö i Uppsala län. Positiva miljöeffekter som kan väntas lokalt av ett geotermiskt kraftverk är exempelvis undviken logistik med avseende på bränsletransporter, undvikna rökgasutsläpp samt en rent estetisk aspekt då ett värmeverk med bränsleupplag undviks.

### Levande skogar

På riksnivå kan det geotermiska verket i Gunsta bidra till ett undviket ökat uttag av biomassa för värmeproduktion och därmed stärka de naturliga kolsänkorna. Utan verket finns risk att torv eller biobränslen används för uppvärmning i Gunstas hushåll.

I Uppsala län ville man 2013 använda 75 % av den slutavverkade skogen till bioenergi för drivmedel. Detta är inte något verket kan påverka då endast värme skall produceras från verket i Gunsta (Naturvårdsverket, 2013g).

### Levande sjöar och vattendrag

Risk finns att sjöar och vattendrag påverkas framförallt med avseende på borrningen. Detta är dock ej troligt eftersom tillstånd för borrning krävs. På det viset kommer tillstånd nekas om risk för påverkan på natur- och kulturmiljövärden finns. Påverkan på natur- och kulturmiljövärden är ett preciserat mål för levande sjöar och vattendrag.

## Referenser

- Goldstein B., Hiriart G., Bertani R., Bromley C., Gutiérrez-Negrín L., Huenges E., Muraoka H., Ragnarsson A., Tester J., Zui V. 2011. Geothermal Energy. In IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation [Edenhofer O., Pichs-Madruga R., Sokona Y., Seyboth K., Matschoss P., Kadner S., Zwickel T., Eickemeier P., Hansen G., Schlömer S., von Stechow C. (eds)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Lantmäteriet. 2014. Kartgenerator. URL <http://www.lantmateriet.se/sv/Kartor-och-geografisk-information/Kartor-flygbilder-och-ortnamn/> (Hämtad 2014-05-12)
- Lund J. W. 2007. Characteristics, development and utilization of geothermal resources. Geo-Heat Center Bulletin, Oregon Institute of Technology, June 2007.
- Naturvårdsverket. 2013. Miljömålen. URL <http://xn--miljml-mua8k.se/sv/Miljomalen/> (Hämtad 2014-05-08)

- Naturvårdsverket. 2012a. Preciseringar av Bara naturlig försurning. URL <http://xn--miljml-mua8k.se/sv/Miljomalen/3-Bara-naturlig-forsurning/Preciseringar-av-Bara-naturlig-forsurning/> (Hämtad 2014-05-05)
- Naturvårdsverket. 2012b. Giftfri miljö. URL <http://www.miljomal.se/sv/Miljomalen/4-Giftfri-miljo/> (Hämtad 2014-05-12)
- Naturvårdsverket. 2014a. Bara naturlig försurning. URL <http://www.miljomal.se/sv/Miljomalen/3-Bara-naturlig-forsurning/> (Hämtad 2014-05-05)
- Naturvårdsverket. 2013b. När vi Uppsala läns miljömål? URL <http://www.miljomal.se/sv/Miljomalen/Regionala/Regionalt/?l=3&t=Lan&eqo=3> (Hämtad 2014-05-05)
- Naturvårdsverket. 2013c. Nedfall av svavel. URL <http://www.miljomal.se/Miljomalen/Alla-indikatorer/Indikatorsida/?iid=101&pl=1> (Hämtad 2014-05-05)
- Naturvårdsverket. 2014b. Begränsad klimatpåverkan. URL <http://xn--miljml-mua8k.se/sv/Miljomalen/1-Begransad-klimatpaverkan/> (Hämtad 2014-05-05)
- Naturvårdsverket. 2012c. Preciseringar av Begränsad klimatpåverkan. URL <http://xn--miljml-mua8k.se/sv/Miljomalen/1-Begransad-klimatpaverkan/Preciseringar-av-Begransad-klimatpaverkan/> (Hämtad 2014-05-08)
- Naturvårdsverket. 2013d. När vi Uppsala läns miljömål?. URL <http://xn--miljml-mua8k.se/sv/Miljomalen/Regionala/Regionalt/?l=3&t=Lan&eqo=1> (Hämtad 2014-05-06)
- Naturvårdsverket. 2014c. Grundvatten av god kvalitet. URL <http://www.miljomal.se/sv/Miljomalen/9-Grundvatten-av-god-kvalitet/> (Hämtad 2014-05-05)
- Naturvårdsverket. 2013e. När vi Uppsala läns miljömål? URL <http://xn--miljml-mua8k.se/sv/Miljomalen/Regionala/Regionalt/?l=3&t=Lan&eqo=9> (Hämtad 2014-05-05)
- Naturvårdsverket. 2014d. Certifierade brunnborrare. URL <http://www.miljomal.se/Miljomalen/Alla-indikatorer/Indikatorsida/?iid=35&pl=1> (Hämtad 2014-05-05)
- Naturvårdsverket. 2014e. Certifierade brunnborrare – Uppsala län. URL <http://www.miljomal.se/Miljomalen/Alla-indikatorer/Indikatorsida/?iid=35&pl=2&t=Lan&l=3> (Hämtad 2014-05-05)
- Naturvårdsverket. 2014f. Myllrande våtmarker. URL <http://www.miljomal.se/sv/Miljomalen/11-Myllrande-vatmarker/> (Hämtad 2014-05-05)
- Naturvårdsverket. 2014g. God bebyggd miljö. URL <http://www.miljomal.se/sv/Miljomalen/15-God-bebyggd-miljo/> (Hämtad 2014-05-06)
- Naturvårdsverket. 2012d. Preciseringar av God bebyggd miljö. URL <http://xn--miljml-mua8k.se/sv/Miljomalen/15-god-bebyggd-miljo/Preciseringar-av-god-bebyggd-miljo/> (Hämtad 2014-05-06)
- Naturvårdsverket. 2013f. Planering energi – Uppsala län. URL <http://www.miljomal.se/Miljomalen/Alla-indikatorer/Indikatorsida/?iid=107&pl=2&l=3&t=Lan> (Hämtad 2014-05-08)



- Naturvårdsverket. 2012e. Levande skogar. URL <http://xn--miljml-mua8k.se/sv/Miljomalen/12-Levande-skogar/> (Hämtad 2014-05-05)
- Naturvårdsverket. 2012f. Preciseringar av Levande skogar. URL <http://xn--miljml-mua8k.se/sv/Miljomalen/12-levande-skogar/Preciseringar-av-levande-skogar/> (Hämtad 2014-05-05)
- Naturvårdsverket. 2014h. Ett rikt växt- och djurliv. URL <http://xn--miljml-mua8k.se/sv/Miljomalen/16-Ett-rikt-vaxt--och-djurliv/> (Hämtad 2014-05-08)
- Naturvårdsverket. 2014i. Levande sjöar och vattendrag . URL <http://xn--miljml-mua8k.se/sv/Miljomalen/8-Levande-sjoar-och-vattendrag/> (Hämtad 2014-05-08)
- Naturvårdsverket. 2014j. Svaveldioxidutsläpp – Uppsala län. URL <http://www.miljomal.se/Miljomalen/Alla-indikatorer/Indikatorsida/?iid=126&pl=2&l=3&t=Lan> (Hämtad 2014-05-05)
- Naturvårdsverket. 2013g. När vi Uppsala läns miljömål? URL <http://xn--miljml-mua8k.se/sv/Miljomalen/Regionala/Regionalt/?l=3&t=Lan&eqo=12> (Hämtad 2014-05-05)
- Naturvårdsverket. 2013g. När vi Uppsala läns miljömål? URL <http://xn--miljml-mua8k.se/sv/Miljomalen/Regionala/Regionalt/?l=3&t=Lan&eqo=12> (Hämtad 2014-05-05)
- Naturvårdsverket. 2014k. Preciseringar av Giftfri miljö. URL <http://xn--miljml-mua8k.se/sv/Miljomalen/4-giftfri-miljo/Preciseringar-av-giftfri-miljo/> (Hämtad 2014-05-05)
- Naturvårdsverket. 2014l. Utsläppsrätter för anläggningar. URL <http://www.utslappshandel.se/Stod-i-miljoarbetet/Vagledning/Utslappshandel---vagledning/Utslappsratter-for-anlaggningar/> (Hämtad 2014-05-08)

## Personliga referenser

Gierow, M. 2014 Kraftringen. Lund.

## Bilaga K – Kartor

### 1 Bakgrund

Kartor som är av vikt för huvudrapporten presenteras nedan.

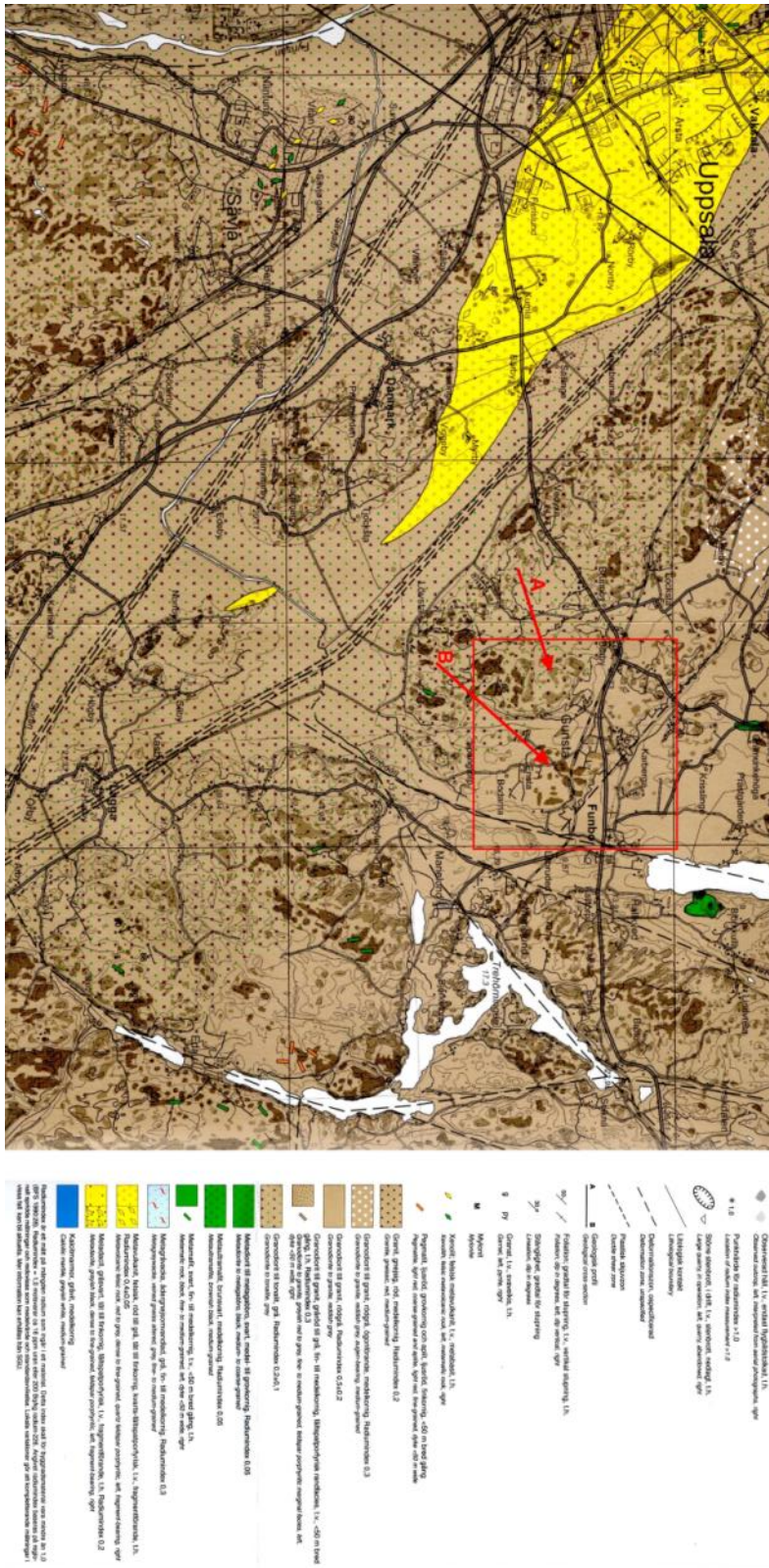
### 2 Kartor

#### 2.1 Hydraulisk karta över Gunsta



Figur 1. Utsnitt från grundvattenkarta (1:250 000) karta framställd ifrån SGU:s databas 2014-04-02. (Karta: ©SGU, u.ä)

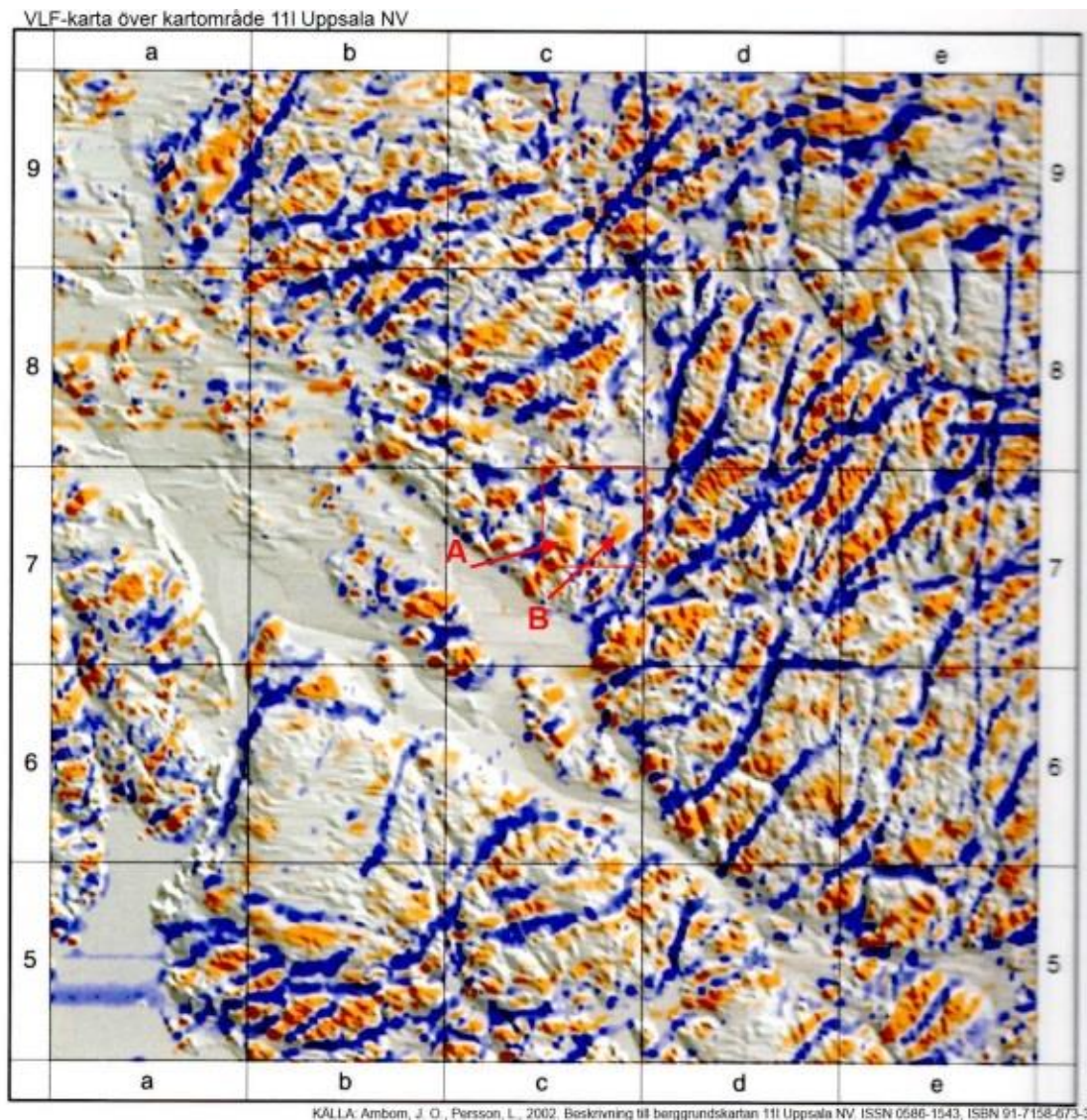
## 2.2 Berggrundskarta över Uppsala kommun



Figur 2. AF 210. Berggrundskarta 11L Uppsala NV. (Karat: ©SGU, u.å)

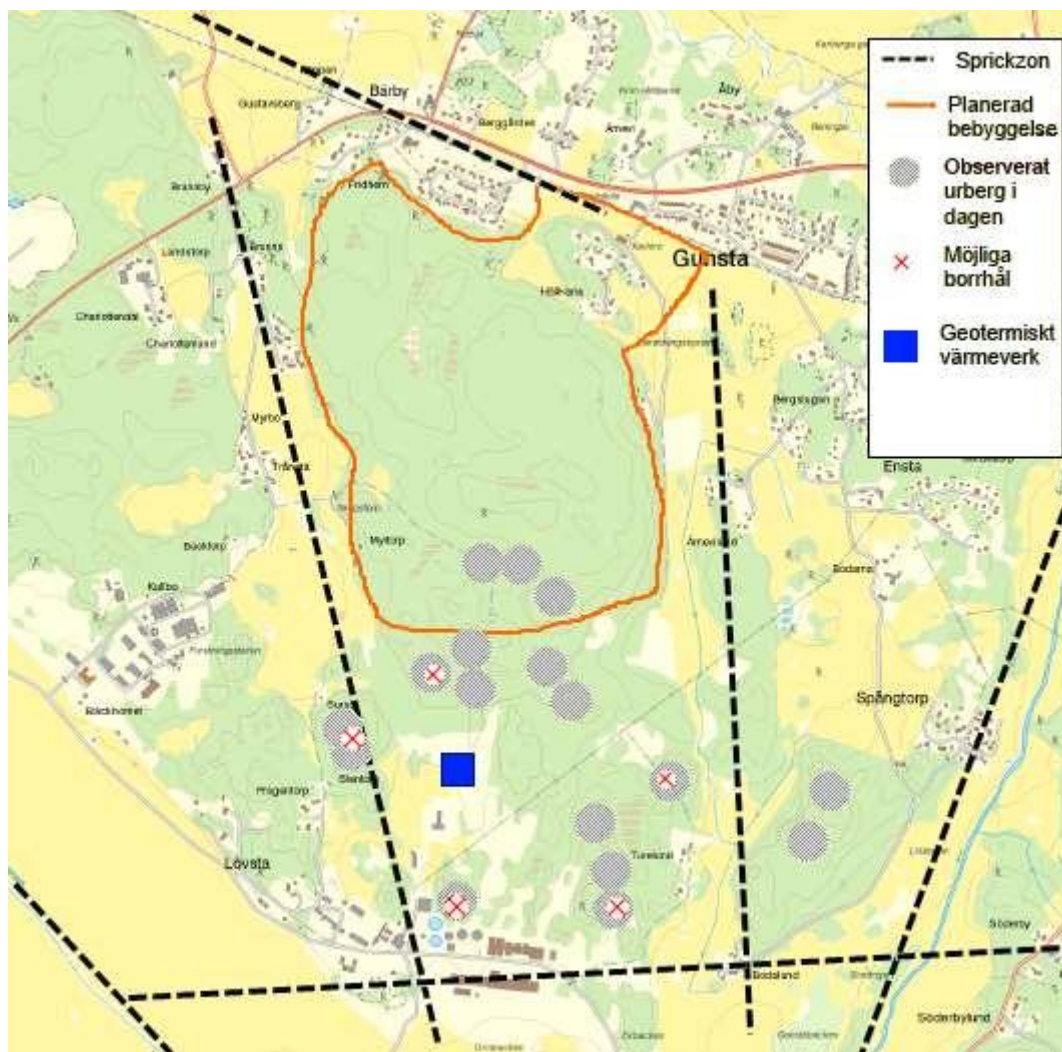


## 2.3 Very Low Frequency- karta över Gunsta



Figur 3. Beskrivning till berggrundskarta 111 Uppsala NV. (Karta: Arnbom, J. O., Persson, L., ©SGU, 2002). Blått betyder hög konduktivitet orange – låg konduktivitet. Hög betyder att det finns vattenförande lager. A och B betecknar att det är överensstämmer med urberg idagen vilket är och den röda rutan omringar området Gunsta.

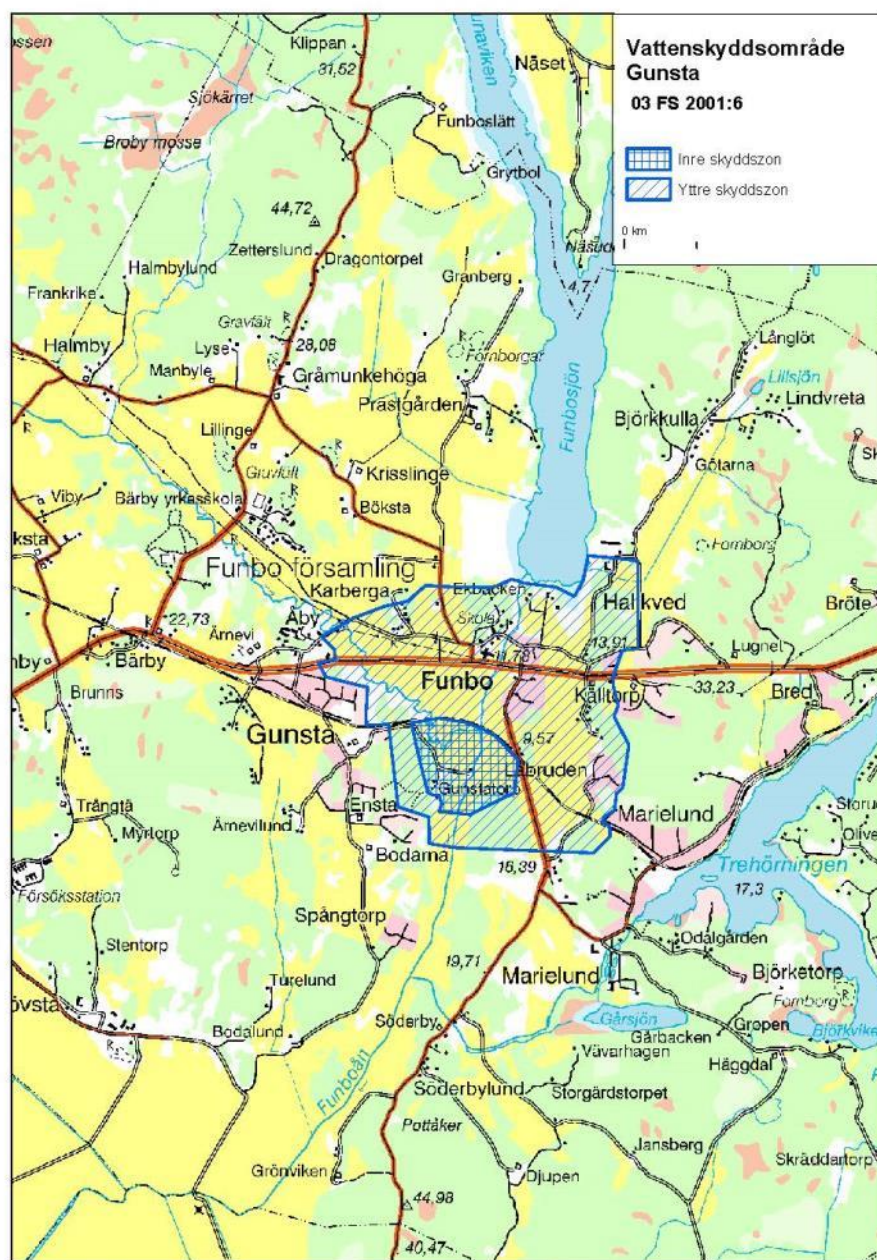
## 2.4 Anläggningens geografiska placering



Figur 4. Anläggningens geografiska placering, med potentiella borrhål. (Bild: Monie, S. 2014; Lantmäteriet, 2014)



## 2.5 Vattenskyddsområde omkring Gunsta



Figur 5. Vattenskyddsområden Kartor - Gunsta. (Karta: Uppsala Vatten)

## Referenser

- Arnbom J. O & Persson L. 2002. Beskrivning till berggrundskarta 111 Uppsala NV. 111 Uppsala NV. [Kartografiskt material]. 1:250 000. ISSN 0586-1543 ISBN 91-7158-673-3. Uppsala: SGU.
- Lantmäteriet, 2014. Kartor, flygbilder och ortnamn. URL  
<http://www.lantmateriet.se/sv/Kartor-och-geografisk-information/Kartor-flygbilder-och-ortnamn/> (Hämtad 2014-05-19).
- SGU. 2014. Utsnitt från grundvattenkarta (1:250 000) framställd från SGU:s databas 2014-04-02. [Kartografiskt material]: id-nr: dll4uZQASI. Uppsala: SGU.
- SGU. u.å. AF 210. Berggrundskarta 11L Uppsala NV. [Kartografiskt material]. SGU: Uppsala
- Uppsala Vatten. 2010. Vattenskyddsområde, Gunsta 03 FS 2001:6 [Kartografiskt material]. Uppsala: Uppsala Vatten. URL  
[http://www.uppsalavatten.se/Documents/Gemensam/Informationsmaterial/Vattenskydd/Karta\\_Gunsta.pdf](http://www.uppsalavatten.se/Documents/Gemensam/Informationsmaterial/Vattenskydd/Karta_Gunsta.pdf) (Hämtad 2014-05-12)

## Bilaga L – Varaktighetsdiagram

*Karl-Oskar Sandberg*

### 1 Bakgrund

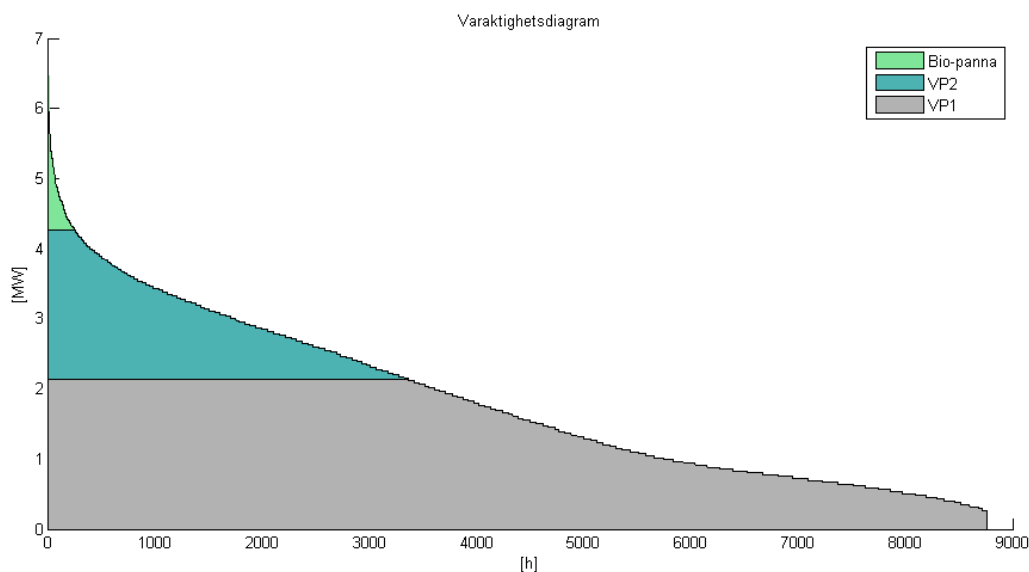
Ett varaktighetsdiagram illustrerar hur ett effektbehov fördelas i storlek över tid. På y-axeln ansätts effekten, på x-axeln tiden. När det exempelvis gäller effektbehovet för ett bostadsområde kan de använda enheterna vara megawatt (MW) samt timmar (h). Ur diagrammet kan sedan den totala energimängden avläsas som arean som diagrammet spänner upp. För att åskådliggöra hur ett effektbehov kan täckas av olika produktionsenheter kan dessa läggas in i diagrammet.

### 2 Varaktighetsdiagram för Gunsta

Varaktighetsdiagrammet för Gunsta är baserat på värden för timlaster för sex fastigheter i Uppsala under år 2013. Fastigheterna är två villor med genomsnittligt energibehov på 23 respektive 25 MWh samt fyra flerbostadshus med energibehov på 270, 290, 1460 samt 1770 MWh.

Dessa data representerar endast ett enskilt år, fördelningen över året antas dock vara tillräckligt lik ett genomsnittsår då syftet är att illustrera hur olika produktionsenheter kan täcka upp effektbehovet. Då genomsnittsvärden för timlasterna finns kan dessa sedan skalas om för att passa ett visst energibehov över året. I detta fallet är energibehovet 16,2 MWh (Se bil. A). Matlab har använts för att ta fram figur 1, som visar hur effektfördelningen ser ut i Gunsta.

I Gunsta föreslås energin komma från två serier med värmepumpar samt en biobränsleeldad panna. Värmepumparna är på 2130 kW vardera och pannan är på 3 MW (Se bil. M samt bil. N för mer information).



Figur 1. Varaktighetsdiagram för Gunsta.



### 3 Diskussion

Den beräknade maxeffekten som krävs för Gunsta har i bil. A beräknats till 6,9 MW, i varaktighetsdiagrammet i *figur 1* uppgår dock maxeffekten endast till 6,5 MW. Detta är ett resultat av att varaktighetsdiagrammet är baserat på ett specifikt års timlaster, vilket kan skilja sig från genomsnittsåret. Diagrammets profil antas dock följa ett mönster som är snarlikt mellan alla år, därför är resultatet godtagbart i syfte att illustrera fördelningen mellan de olika produktionsenheterna.

Det går att utläsa att pannan endast behöver vara i drift i cirka 300 timmar per år. På grund av att pannan har en uppstartstid kommer denna tid att i praktiken vara längre. Pannan kan då utnyttjas mer än den i teorin måste, samtidigt som värmepumparna får gå på lägre effekt. Det är rimligt att anta att pannan kommer att användas omkring 500 timmar per år. Det innebär att panna kommer stå för knappt 10 % av den levererade energin.

### 4 Rådata

Rådatat utgjordes av medelvärden av timlaster för sex olika fastigheter. Mätningarna genomfördes år 2013 av Vattenfall i Uppsala.

### Referenser

#### Personliga referenser

Ivarsson, L-O. 2014. Vattenfall Uppsala.

## Bilaga M – Värmeförädlingssystem

*Karl-Oskar Sandberg*

### Sammanfattning

För att tillgodose de behov som kommer att finnas i Gunsta år 2030 gällande värmeförsörjning är ett system med värmepumpar lämpligt att användas.

Denna studie föreslår att värmepumpar från Oilon används. En modell S490 SU VFD i serie med två P380 SU VFDx2 kan tillsammans utgöra ett system som ger 2130 kW. Två sådana serier kan tillsammans stå för basenergin till Gunsta. Det sammanlagda priset för värmepumparna, med den totala effekten 4260 kW, beräknas bli 6 480 000 kronor.

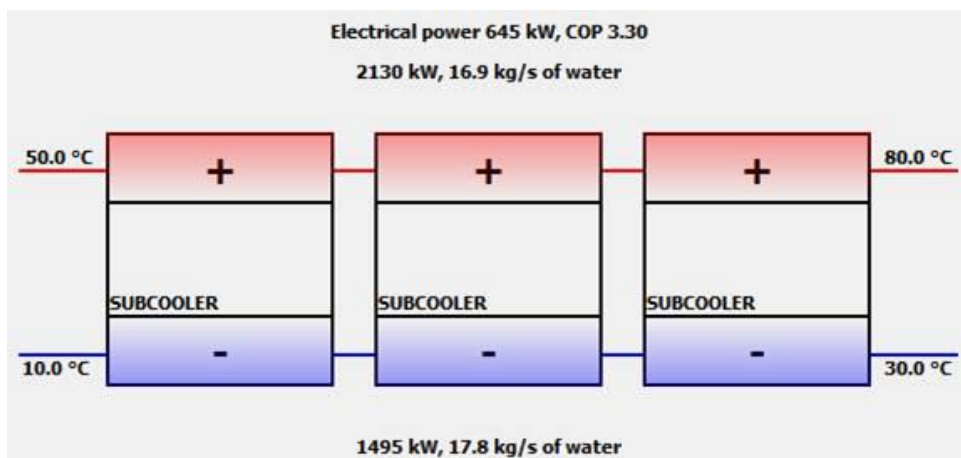
### 1 Bakgrund

Gunsta kommer från och med år 2030 ha ett värmebehov på 16,2 GWh per år. Den topeffekt som området kräver är samtidigt 6,9 MW (för mer information, se bilaga A). För att möta detta behov kommer i huvudsak ett system med värmepumpar att användas. För att värmepumparna ska kunna täcka huvuddelen av energibehovet bör deras sammanlagda installerade effekt uppgå till omkring 4 MW.

Värmepumparna måste också vara dimensionerade mot den temperaturen som antas finnas till hand i berget, i detta fallet är den 30°C. Det vatten som återför till berget bör inte understiga 10°C för att undvika isbildning. Vidare ska värmepumparna klara att leverera 80°C vatten som kan skickas ut på värmenätet.

### 2 Resultat

Ett lämpligt system för Gunsta består av värmepumpar från Oilon. Detta företag kan leverera värmepumpar som ger den önskade uttemperaturen på 80 °C, något som många andra företag inte når upp till. Efter kontakt med Samuel Östman på Oilon har en lösning tagits fram som består av tre värmepumpar i serie, som steg för steg ökar temperaturen.



Figur 1. Systembeskrivning för en värmepumpsserie (Östman, 2014, personlig kontakt)

Systemlösningen består av en S490 SU VFD med subcooler och frekvensomformare och två P380 SU VFDx2 med subcooler och frekvensstyrda kompressorer. Samtliga använder R134a som köldmedium. Det är också lämpligt att använda frekvensstyrda vattenpumpar, då kan vattenflödet anpassas efter det aktuella värmebehovet.

En serie kan ge maxeffekten 2130 kW med ett vattenflöde på 16,9 kg/s. Temperaturen på det från värmenätet inkommande vattnet är 50°C. Vid maxeffekt är COP-värdet 3,3. Med bibehållet COP-värde kan dessa steglöst regleras mellan 700 – 2130 kW. Reglering kan dock göras ner till 100 kW, men då påverkas dock COP negativt (Östman, 2014).

En serie som beskrivs i figur 1 kostar 3 240 000 kronor i inköp samt installation. Gällande driftskostnaderna beror de i huvudsak på elpriset (Östman, 2014).

### 3 Diskussion

Då det finns två parallella serier med värmepumpar ökar systemets flexibilitet. Under knappt halva året krävs endast att en av serierna är i drift, vilket innebär att service av systemet underlättas. En konsekvens av detta blir dock att systemlösningen har en kapacitet som inte utnyttjas under stora delar av året. En ytterligare ytbyggnad av bostadsområdet, eller en anslutning till annan verksamhet skulle således vara möjlig.

Gällande valet av värmepumpar finns det en mängd leverantörer och även möjliga kombinationer av olika typer av värmepumpar. Valet föll på en lösning från Oilon, bland annat då de har kapacitet att leverera en uttemperatur på 80 °C. Den goda styrförmågan är också ett skäl som talar till fördel för den valda lösningen.

Värmepumpen är beroende av tillförsel av elektrisk energi, hur denna el producerats är således av stor vikt för anläggningens totala miljöpåverkan. En annan aspekt på detta är att värmepumpen inte ger upphov till lokala utsläpp, vilket exempelvis är fallet vid förbränningsenheter för att producera värme.

## Referenser

### Personliga referenser

Östman, S. 2014. Export & Technical Sales Manager, Oilon AB.

## Bilaga N - Topplaster och reservsystem

*Caroline Krouthén*

### 1 Bakgrund

Vanligtvis dimensioneras inte ett system i en anläggning till att klara av att tillgodose 100 % av effektbehovet eftersom det inte inträffar så stor del av året. Därför brukar istället ytterligare system utformas för spetslastkörning som ska kunna användas för att möta större andel av effekttoppar (Svensk Fjärrvärme, 2006). Effektbehovet och det årliga energibehovet i form av värme och varmvatten i Gunsta är till 6,9 MW respektive 16,2 GWh (se bil. A) och därav måste anläggningen utformas för att kunna tillgodose det.

För att kunna garantera leverans av värme till fjärrvärmenätet krävs ett redundanssystem som ska kunna möjliggöra leverans då det inte är möjligt att leverera värme från den geotermiska energikällan. Pumpar och värmeväxlare i systemet kräver elektricitet så en extern elektricitetskälla möjligtvis behövas. Vanligtvis ska ett reservsystem för elektricitet utformas på så vis att det har en snabb uppstartningstid så att avbrottet av värmeleveransen blir kort. Ett reservsystem för värmeproduktion utformas ofta för att endast vara i drift en mindre del av året och därför bör investeringskostnaden vara låg, medan driftkostnaden kan vara högre (Svensk Fjärrvärme, 2009).

Egenskaperna för en spetsanläggning är att den bör kunna användas under längre tider, exempelvis vintertid, för att kunna täcka de värmebehov som den befintliga värmekällan inte klarar av. Systemet bör även klara av att vara ur drift samt lagra energi under längre perioder då effektbehovet är mindre (Svensk Fjärrvärme, 2006).

I åtanke av valet av reservsystem och spetsanläggning för Gunsta bör också tilläggas att Uppsala kommun har som vision att göra Gunsta till ett klimatneutralt område (se bil. A).

Metoden för att hitta information till denna rapport har bland annat varit genom sökningar i databaser och en del rapporter hittades i Google Scholar. En stor del av informationen kommer från rapporter från Svensk Fjärrvärme, där de har behandlat reservsystem i fjärrvärmeverksanläggningar. Information har även hämtats från ett studiebesök hos energiföretaget Krafringen i Lund. Storleken av ackumulatortanken är gjord av en överslagsberäkning och dimensionerad för att kunna lagra lika stor procentuellt mängd energi i förhållande till värme och varmvattenproduktionen i Gunsta som Krafringens ackumulatortank gör i Lund.

#### 1.1 Alternativa system vid effekttoppar och avbrott

##### Oljepanna

Eldning av olja genom användning av oljepanna är idag ett vanligt sätt att utvinna energi till effekttoppar och det vanligaste viset att utvinna reservenergi till fjärrvärmesystemet. Detta eftersom de anses väldigt pålitliga då eldningsoljan har en hållbarhet för flera år och även eftersom den är snabb att få igång (Svensk Fjärrvärme, 2006).

En passande eldningsolja bör vara en lågsvavlig olja med en densitet över 900 kg per kubikmeter, ha en flampunkt omkring 84°C samt ha en viskositet på 20 kvadratmillimeter per sekund (Alvarez, 2006).

I de flesta oljepannor kan eldningsoljan bytas ut mot en bioolja som har samma egenskaper som den eldningsolja som används i pannan eftersom oljans höga pris. Biooljorna har dock ofta sämre lagringsegenskaper och är också känsligare för vilken metall som används i pannan, viss metall kan exempelvis orsaka att bränslet oxiderar. Dessutom har biooljorna en förmåga att ge ett större slitage på pumpar och ventiler (Svensk Fjärrvärme, 2009).

Det finns även ett alternativ att blanda i en fjärdedel tallbecksolja som utvinns ur råtalolja i den traditionella eldningsoljan. Begränsningen till en fjärdedel är på grund av tallbecksoljans förmåga bilda höga stoftmängder. Används tallbecksolja måste sänks dock verkningsgraden på oljepannan eftersom på grund av dess längre brinntid. Oljan kräver dock speciell förvaring för lagring som klarar den annars frätande oljan (Svensk Fjärrvärme, 2009).

Förutom bioolja och tallbecksolja som alternativ till den traditionella eldningsoljan finns även möjlighet att använda träpulver. Levereras inte bränslet som pulver utan istället som pellets eller briketter, krävs dock att anläggningen har en egen kvarn som kan mala biomassan till pulverstorlek. Träpulvret genererar dock större slitage på pannan än vad eldningsoljan ger och kräver också mer sotning. Lagringsmöjligheterna för träpulvret är goda, men vid hantering av bränslet avges hälsofarliga dammpartiklar som även kan leda till damexplosion. För att använda träpulver i oljepannan krävs antingen att bränslet är malt när de tas emot vid anläggningen eller att pannan är utrustad med en egen pelletskvarn (Svensk Fjärrvärme, 2009).

## Akkumulatortank

Akkumulatortanken används för att lagra energi och användas då behovet är högre än vanligt. Tanken fylls med hetvatten vars temperatur behålls på grund av att tanken är gjord av värmeisolerande material som exempelvis stål. En akkumulatortank kan vara trycksatt (då det råder övertryck) eller trycklös (då det råder atmosfärstryck) där den sistnämnda är vanligast i Sverige idag eftersom de är billigare då en större vattenmängd ska lagras. I tanken är vattnet sedan skiktat eftersom vatten med lägre temperatur har en högre densitet och det varmaste vattnet kommer därför att vara i tankens överdel och för att skiktningen ska vara god bör tanken vara hög. Det varma vattnet flödar in i tankens tak och det svalare vattnet i tankens botten leds till returledningen för att värmas upp (Svensk Fjärrvärme, 2008).

I stort sett hela tanken kan lagras med varmvatten då mer värme produceras än vad som efterfrågas på fjärrvärmenätet för sedan användas då efterfrågan är högre än vad som produceras (Larsson, 2014; personlig kontakt). Kraftringen i Lund använder denna typ av energilagring. Deras akkumulatortank har en volym som utgör 20 000 kubikmeter och hetvattentemperaturen är 98 °C (Gierow, 2014; personlig kontakt).

## Pelletsbrännare

En annan panna som skulle kunna användas för att backa upp systemet är pelletspanna som är en typ av rosterpanna. Rosterpannan har en låg investeringskostnad för anläggningar mindre än 20 MW och har även låga driftkostnader (Larsson, 2013; personlig kontakt).

Att elda pellets anses av Energimyndigheten (2012) vara ett miljövänligt alternativ då utsläppen av oförbrända kolväten, stoft och andra partiklar är mycket låga och de menar

därmed att pelletsen inte bidrar till växthuseffekten. Pelletsen är som tidigare nämnt billigare i drift än oljan som kostar över 120% mer för pannor med samma verkningsgrad (Bioenergi, 2012). Hos Krafringen i Lund (Gierow, 2014; personlig kontakt) används pelletsbrännare för hjälpa till att tillgodose efterfrågan av värme och varmvatten större delar av året.

### Tillträde till befintlig värme

Enligt Sveriges Lantbruksuniversitets (2012) är det idag en biogasanläggning som förser det närliggande industriområdet kring Lövsta med energi. Kommunens förhoppning med anläggningen är att den efter att har täckt Lövstas energibehov även ska kunna leverera energi till omkringliggande områden. Den installerade effekten i anläggningen är i dagsläget 500 kW och producerar varje år 4 GWh energi.

Förutom anslutning till närvärmenätet i Lövsta har Uppsala kommun i åtanke att ansluta Gunsta till fjärrvärmenätet i Uppsala (se bil. A). Ett antagande görs att dessa istället skulle kunna kopplas samman med värmenätet i Gunsta med en befintlig värmekälla från geotermisk energi genom djuphållsborrningen. Dock framgår det även i rapporten att långa avstånd i fjärrvärmenäten ökar fjärrvärmeförlusterna.

## 1.2 Alternativa reservsystem för elavbrott

### Diesलगenerator

Diesलगeneratorn är idag det vanligast använda reservsystemet för elavbrott som bland annat används i kärnkraftverk för dess snabba och säkra starttid på ca 10-20 sekunder (Lenasson, 2013).

Möjligheten finns även att använda generator som drivs av bensin eller gas, dock har ger diesel högst verkningsgrad (Hedlund, 2010). I generatorn kan även syntetiskt diesel som framställs genom gasifiering av biomassa som minskar utsläppen av koldioxid. (Motion 10:Sk366, 2009)

### Gasturbin

Ett annat sätt att snabbt generera elektricitet är användning av gasturbin. Gasturbinen kan drivas av olika bränslen både, biogas och naturgas samt av flytande oljebränslen. Vid användning av det sistnämnda bränslena behöver gasturbinen samma mängd bränsle som diesलगeneratorn för att uppnå samma energiuttag. Gasturbinens starttid brukar variera mellan 2,5 till 10 minuter (Elforsk, 2013).

### I redan existerade anläggning i Lund

Hos Krafringen i Lund behövs inget större back up system av el vid elavbrott. Detta eftersom ett strömavbrott i produktionen oftast även innebär strömavbrott i hushållen som är konsumenterna av värmen och som utan elektricitet inte kan ta emot den. I Lund har de dock säkrat sin elförsörjning med hjälp av mottagning av el från olika nät. (Gierow, 2014; personlig kontakt).

## 2 Val av system i Gunsta

Reserv och backupsystemet i Gunsta kommer att efterlikna utformningen hos Krafringen i Lund; en ackumulatortank kommer att täcka upp för dagliga effekttoppar och en pelletsbrännare kommer att finnas för att producera värme de delar av som effektbehovet är

som högst och vara kopplad på så vis att den värmer upp vatten som kommer kunna lagras i ackumulatortanken. Pelletspressen kommer även fungera som reservsystem för anläggningen. Liksom i Lund kommer inget större system för elbackup att finnas.

## 2.1 Ackumulatortank

Akkumulatortanken kommer att specialdesignas och ett företag som kan göra det är Rodoverken. Storleken är utformad för att kunna lagra lika stor procentuell mängd energi i förhållande till värme och varmvattensproduktionen i Gunsta som Krafringens ackumulatortank gör i Lund. Den högre temperaturen för ackumulatortanken i Gunsta kommer dock endast att vara 80 °C eftersom det är den temperaturen som pumpsystemet kommer att leverera (se bil. A).

Fjärrvärmeproduktion i Lund: 1071 GWh (Krafringen, 2014).

Behov av producerad fjärrvärme i Gunsta: 16,2 GWh (se bil. A).

Förhållande mellan fjärrvärmeproduktion i Lund och fjärrvärmeproduktionen i Gunsta

$$\frac{16,2 \text{ GWh}}{1071 \text{ GWh}} = 1,5 \% \quad [1]$$

Här framgår att ackumulatortanken i Gunsta ska kunna lagra 1,5 % av den energi som kan lagras i ackumulatortanken i Lund.

Energiinnehållet för vattnet i ackumulatortanken i Lund uträknas med en överslagsberäkning. Densiteten för vatten,  $\rho$ : 1 000 kg/m<sup>3</sup> (Wikipedia, 2014a). Volym för ackumulatortanken i Lund,  $V_L$ : 20 000 m<sup>3</sup>. Temperatur i ackumulatortanken i Lund,

$$T_L: 98 \text{ °C} + 273,15 = 371,15 \text{ Kelvin} \quad [2]$$

Specifik värmekapaciteten för vatten,  $C_p$ : 4,181 kJ/(kg · Kelvin) (Wikipedia, 2014b) Massan vatten i Lund,  $m_L$ :

$$1\,000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 20\,000 \text{ m}^3 = 20\,000\,000 \text{ kg} \quad [3]$$

Lagrade energin i ackumulatortanken i Lund,  $E_L$ :

$$C_p \cdot T_L \cdot m_L = 4,181 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{Kelvin}} \cdot 371,15 \text{ Kelvin} \cdot 20 \cdot 10^6 \text{ kg} = 3,1035563 \cdot 10^{10} \text{ kJ} \quad [4]$$

Lagrade energin i ackumulatortanken i Gunsta:

$$3,1035563 \cdot 10^{10} \text{ kJ} \cdot 1,5 \% = 465\,533\,445 \text{ kJ} \quad [5]$$

Temperatur i ackumulatortanken i Lund,

$$T_G: 80 \text{ °C} + 273,15 = 353,15 \text{ Kelvin} \quad [6]$$

Volymen för ackumulatortanken i Gunsta,  $V_G$ :

$$\frac{E_G}{C_p \cdot T_G \cdot \rho} = \frac{465\,533\,445 \text{ kJ}}{4181 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{Kelvin}} \cdot 353,15 \text{ Kelvin} \cdot 1\,000 \text{ kg/m}^3} = 1318,22 \text{ m}^3 \quad [7]$$

Då en Wh är det samma som 3 600 J lagras cirka 0,13 GWh i ackumulatortanken i Gunsta.

Akkumulatortanken i Gunsta ska rymma cirka 1300 kubikmeter vatten. Enligt Larrson (2014; personlig kontakt) är omkring 1000 kubikmeter en rimlig storlekt för Gunstas effektbehov.

Eftersom en akkumulatortank specialdesignas finns ingen exakt kostnad, men för denna storlek kan priset grovt approximeras till 5000 kr/kubikmeter (Larsson, 2014; personlig kommunikation). Det betyder att akkumulatortnken i Gunsta kostar cirka 6,6 miljoner kronor.

## 2.2 Pelletspanna

Pannan som kommer att användas i anläggningen kommer från Osby Parca och är av modellen OSBY PB2. Pannan är utformad för att kunna levera effekten 3MW och ett flöde på cirka 4 kg/s och håller då arbetstrycket 6 bar. Den maximala verkningsgraden vid varierande las är 90 %. Inköpspriset för pannan är 10,7 miljoner (Osby Parca, 2009, OSBY PB2).

## 3 Diskussion

Akkumulatortanken blir en miljövänlig värmelagring som kommer att kunna täcka dagliga effekttoppar vilket går hand i hand med Uppsala Kommuns vision om ett klimatneutralt område. Dimensioneringen av tanken skulle behöva göras mer specifik, med höjd och diameter samt tryck. Även vattnets densitet kan variera med tryck och temperatur men i denna utformning anses det försumbart, dels på grund av brist på information och dels på grund av men volymen anses som det väsentliga då det är beroende av den som kostnaden beräknas som också är grovt antagen.

Akkumulatortanken kommer att finnas för att täcka upp för de dagliga effekttopparna, men under kalla perioder kommer även pellets pannan att användas som en spetslastpanna för att producera värme. Enligt varaktighetsdiagrammet (se bil. L) så kommer pannan endast att behövas ca 250 timmar om året, vilket kan anses som en kort period för att använda denna typ av panna. En oljepanna har en snabbare uppstarttid än pellets pannan, vilket gör att pannan ändå kommer att användas i längre perioder för att undvika flera uppstartstider. Istället kommer verkningsgraden för pumparna vridas ner under dessa perioder och på så vis regleras systemet att leverera önskad effekt. Pellets pannan kommer även att användas som reservsystem och då pellets inte bara är billiga i drift utan även mer klimatvänligt än oljan eftersträvas här också Uppsala kommuns mål om att utforma Gunsta till ett klimatneutralt område. Orsaken till att bioolja inte anses lämpligt är på grund av de sämre lagringsmöjligheterna för bränslet.

Att samkoppling till befintliga närvärmenät i Lövsta i kombination med akkumulatortanken utesluts är på grund av att det antagligen inte skulle kunna täcka upp vid uppstådda effekttoppar. Detta eftersom den installerade effekten i den anläggningen är betydligt mindre än effektbehovet i Gunsta, samtidigt som den också ska täcka behovet i Lövsta. Att koppla anläggningen till Uppsalas fjärrvärmenät är inte heller ett bra alternativ då det förmodligen skulle innebära för stora värmeförluster.

Eftersom fjärrvärme antagligen inte kan mottas av hushållen vid strömavbrott behövs det inte något reservsystem för elavbrott, vilket var fallet hos Kraftringen i Lund.

## Referenser

Alvarez, H. 2006. *Energiteknik, del 1*, upplaga 3:6. Studentlitteratur. ISBN: 9789144014128



- Bioenergi. 2012. Energibesparing – Spara miljö och pengar med pellets. URL [http://www.bioenergilulea.se/Pages/sv-SE/pellets\\_besparingskalkyl.aspx](http://www.bioenergilulea.se/Pages/sv-SE/pellets_besparingskalkyl.aspx) (Hämtad 2014-05-08)
- Energimyndigheten. 2012. Pellets och briketter. URL <http://www.energimyndigheten.se/Hushall/Din-uppvarmning/Biobransle---ved-och-pellets/Pellets/> (Hämtad 2014-05-07)
- Lenasson, M. 2013. Jämförelse av olika kraftslag som nödelförsörjning vid kärnkraftverk. Stockholm: Elforsk (Elforsk Rapport, 13:87).
- Hedlund, H. 2010. Dimensionering av reservkraftsaggregat för kopplings- och transformatorstationer. Examensarbete, Kungliga Tekniska Högskolan. URL <http://www.svk.se/PageFiles/42996/Exjobb-2010-Dimensionering-av-reservkraft.pdf> (Hämtad 2014-04-23)
- Krafttringen. 2014. Affärsmässig samhällsnytta: Hållbarhetsredovisning URL [http://www.krafttringen.se/Global/Krafttringen/Dokument/Rapporter/H%C3%A5llbarhetsredovisningar/Krafttringen\\_Hallbarhetsredovisning\\_2013\\_webb.pdf](http://www.krafttringen.se/Global/Krafttringen/Dokument/Rapporter/H%C3%A5llbarhetsredovisningar/Krafttringen_Hallbarhetsredovisning_2013_webb.pdf) (Hämtad 2014-05-09)
- Motion 10:Sk366, 2009. Syntetisk diesel. URL <http://data.riksdagen.se/dokument/GX02Sk366> (Hämtad 2014-05-02)
- Osby Parca. 2009. OSBY PB. URL <http://www.energikontorsydost.se/userfiles/file/Publikationer/Rapporter/N%C3%A4rv%C3%A4rme%20Kronoberg.pdf> (Hämtad 2014-05-02)
- Svensk Fjärrvärme. 2006. Förnyelsebar ersättning av olja i spetslastproduktion URL [http://www.svenskfjarrvarme.se/Global/Rapporter%20och%20dokument%20INTE%20Fj%C3%A4rrsyn/Ovriga\\_rapporter/Energitillforsel\\_och\\_Produktion/Fornybar\\_ersattning\\_av\\_olja\\_i\\_spetslastproduktion\\_2006\\_5.pdf](http://www.svenskfjarrvarme.se/Global/Rapporter%20och%20dokument%20INTE%20Fj%C3%A4rrsyn/Ovriga_rapporter/Energitillforsel_och_Produktion/Fornybar_ersattning_av_olja_i_spetslastproduktion_2006_5.pdf) (Hämtad 2014-04-24)
- Svensk Fjärrvärme. 2008. Säsongvärmelager i kraftvärmesystem. URL [http://www.svenskfjarrvarme.se/Global/FJ%C3%84RRSYN%20english/Reports%20and%20Results/2008/2008\\_01%20Long-term%20storage%20of%20heat%20produced%20by%20CHP%20plants/Long-term%20storage%20of%20heat%20produced%20by%20CHP%20plants.%20Report%20in%20Swedish.pdf](http://www.svenskfjarrvarme.se/Global/FJ%C3%84RRSYN%20english/Reports%20and%20Results/2008/2008_01%20Long-term%20storage%20of%20heat%20produced%20by%20CHP%20plants/Long-term%20storage%20of%20heat%20produced%20by%20CHP%20plants.%20Report%20in%20Swedish.pdf) (Hämtad 2014-04-23)
- Svensk Fjärrvärme. 2009. Fasa ut sista oljan. URL [http://www.svenskfjarrvarme.se/Global/Rapporter%20och%20dokument%20INTE%20Fj%C3%A4rrsyn/Broschyren/Fasa\\_ut\\_sista\\_oljan.pdf](http://www.svenskfjarrvarme.se/Global/Rapporter%20och%20dokument%20INTE%20Fj%C3%A4rrsyn/Broschyren/Fasa_ut_sista_oljan.pdf) (Hämtad 2014-04-23)
- Sverige lantbruksuniversitet. 2012. Lövsta – Sverige nya anläggning för utbildning och forskning kring lantbrukets djur. URL <http://www.slu.se/Documents/externwebben/vh-fak/vh-intendenturen/L%C3%B6vsta/Ny%20L%C3%B6vsta-broschyr%20v%C3%A5r%202012.pdf> (Hämtad 2014-04-23)
- Wikipedia, 2014a. Densitet. URL <http://sv.wikipedia.org/wiki/Densitet> (Hämtad 2014-05-09)
- Wikipedia, 2014b. Specifik värmekapacitet. URL [http://sv.wikipedia.org/wiki/Specifik\\_v%C3%A4rmekapacitet](http://sv.wikipedia.org/wiki/Specifik_v%C3%A4rmekapacitet) (Hämtad 2014-05-09)

## Personliga referenser

Gierow, M. 2014. Projektledare, Krafringen i Lund.

Larsson, G. 2013. Forskare inom Energi och teknik, Sveriges Lantbruksuniversitet i Uppsala.

Larsson, H-O. 2014. Projektledare, Rodoverken.

## Bilaga O – Ekonomi

*Johan Thorell, Andreas Lundgren*

### 1 Bakgrund

I Sverige har borrhningar till liknande djup gjorts vid olika platser. Exempelvis i Lund 2002/2003 borrades det med en dimension på 216 – 914 mm på borrhålet, till ett djup på ca 3700 meter. Borrningen hade en totalkostnad på 85 miljoner SEK där både över och underbalanserad borrning ingick och en tidsåtgång på 153 dagar. Vidare borrades även ca 1300 meter genom urberg med en diameter på 311 mm och underbalanserad borrning, vid ett djup av 2080 till 3365 meter för en total kostnad på 18 miljoner SEK. Från 2000 meter ner till 4000 antogs det ta ca 103 dagar.

Harrison gjorde år 2000 en uppskattning av vad det skulle kosta att borra ett borrhål med ett djup på 4 kilometer ner i urberg. Dimensionen på det tänkta hålet var 832 till 1166 mm och borrh teknik som kunde användas var underbalanserad borrning. Tidsåtgång uppskattades till 137 dagar. Kostnaden för detta skattades till 45 miljoner SEK, då ingick dock inte kostnaden för tester och loggningar under arbetets gång. Det föreligger risk att Harrison underskattade tidsåtgången eller överskattade kapaciteten att borra sådan stor diameter, om kostnaden för den faktiska underbalanserade borrningen i Lund jämförs med den Harrisons teoretiska värdering (Bjelm, 2007).

En metod som kan användas för beräkning av borkkostnaden, år 2000, för att borra ner till ett visst djup i berggrunden fås genom:

$$3 \cdot e^{0,6x} \text{ [miljoner SEK]} \quad [1]$$

där x är borrhdjup i km. Om borrhålet i Gunsta ska nå ett djup på 4 km ger ekvation 1 en borkkostnad på ca 33 miljoner SEK. Kostnaden för prospektering innan ett investeringsbeslut uppskattades till 2 miljoner SEK (Lundin, J. 2007).

Materialkostnaden är en viktig orsak till att borrning på större djup blir mycket dyrare. Mer kostsamma och specialiserade maskiner krävs som klarar av det tyngre arbetet samt en större mängd borrhmedium går åt för att förhindra slitage på materialet vid borrningen (Wedholm, 2014; personlig kontakt).

För ett geotermiskt värmeverk uppskattas den teoretiska anläggningskostnaden till ett nyckelfärdigt verk variera från det billigaste på 1300 SEK per kW installerad effekt upp till en kostnad på 13 000 SEK per kW installerad effekt (Barbier, 2002).

#### 1.1 Driftkostnad

Driftkostnader för geotermisk värmeproduktion kan ligga så lågt som 0,03 SEK per producerad kWh och den övre kostnadsgränsen ligger på 0,33 SEK per producerad kWh (Barbier, 2002). Den totala kostnaden för den hydrauliska spräckningen uppgår enligt Henkel (2006) till 10 miljoner kronor. De företag som kan genomföra spräckning kommer från länder i Europa såsom exempelvis Baker Hughes och Halliburton. Dessa kräver cirka 1 miljon SEK i mobiliseringskostnad samt en halv miljon SEK i dagskostnad (Bjelm, 2014; personlig

kontakt). Enligt Bjelm (2014) står fyra – fem hundratusen SEK av priset för provspräckningen.

## 2 Kostnader för anläggningen i Gunsta

### Kostnader för primär- och sekundärkrets

De investeringskostnader, exklusive borrhålen, som uppskattades utifrån anläggningens utformande och effektbehov är cirka 25,5 miljoner SEK. Detta beräknades från utgiftsposterna i tabell 1.

Tabell 1: Sammanställning över uppskattade och beräknade utgifter för Gunstas geotermiska anläggning.

| Komponenter                    | Inköp<br>[kSEK] | Driftkostnad per levererad kWh<br>[SEK] | Driftkostnad per år<br>[kSEK] |
|--------------------------------|-----------------|---|-------------------------------|
| Vattenpump <sup>1</sup>        | 220             | 0,02                                    | 256                           |
| Vattenfilter <sup>2</sup>      | 315             | -                                       | -                             |
| Värmeväxlare <sup>2</sup>      | 750             | -                                       | -                             |
| Värmepumpar A <sup>3</sup>     | 3 240           | 0,05                                    | 779                           |
| Värmepumpar B <sup>3</sup>     | 3 240           | 0,02                                    | 390                           |
| Panna <sup>4 5 6</sup>         | 10 700          | 0,01                                    | 229                           |
| Akkumulatortank <sup>7 8</sup> | 6 560           | 0,04                                    | 648                           |
| Byggnad <sup>9 10</sup>        | 500             | 0,00                                    | 61                            |
| Arbete <sup>11</sup>           | -               | 0,03                                    | 500                           |
| <b>Totalt</b>                  | <b>25 525</b>   | <b>0,18</b>                             | <b>2 863</b>                  |

Källor: Johansson, 2014<sup>1</sup>. Ahlm, & Carselid, 2014<sup>2</sup>. Östman, 2014.<sup>3</sup> Osby Parca, 2009<sup>4</sup>. Novator, 1994<sup>5</sup>. Greger, 2011.<sup>6</sup>Bilaga M.<sup>7</sup> Larsson, 2014<sup>8</sup>. Rinnan, 2011<sup>9</sup>. Maskinisten, 2009<sup>10</sup>. Linqvist, 2007.<sup>11</sup>

Här antogs att elpriset är 0,50 SEK per kilowattimme för företaget. (Elprisguiden, 2014) Då erhöles driftkostnaderna för vattenpumpen och förädlingsprocesserna med värmepumpar. Pannans bränslekostnad antogs vara pellets och varierar men ett medelvärde sattes till 0,30 SEK per kilowattimme. (Energimyndigheten, 2013) Akkumulatortankens förlust uppskattades till 10 procent och därav erhöles dennes driftkostnad (Novator, 1994). Arbetskostnad som krävs för drift av anläggningen uppskattades till en halv miljon SEK. Mindre utgiftsposter försumrades på grund av avgränsningar, dock kan dessa påverka resultatet.

Utifrån de teoretiska värdena, med antagandet att fjärrvärmeproduktion är relativt dyr då Gunsta är lokaliserat i Sverige, uppskattades ett pris på 0,30 SEK per kilowattimme. Detta gav en årskostnad av 4,8 miljoner SEK för en anläggning av storleken 16,2 GWh (Barbier, 2002). Investeringskostnaden, exklusive borrhålen, uppgick teoretiskt till 25 miljoner SEK (Stefansson, 2002).

Marginalkapaciteten, alltså topplasten, är den effekt som krävs när effekttoppar uppstår under kalla vinterdagar. Enligt studiens uppskattning uppgick det till 250 timmar per år. Kostnaden för att täcka denna skulle då vara cirka 230 tusen SEK i driftkostnad per år och med en investeringskostnad på 10,7 miljoner SEK.

### Kostnader för borrhål

Borringen innefattar båda borrhålens kostnad (ett injektionshål och ett produktionshål) vid borring till 1,8 kilometers djup. Den antagna kostnadsekvationen är 14 000 SEK per meter vilket var priset för borringarna i Lund (Bjelm, 2007). Summan av detta blev då cirka 62 miljoner SEK. Vid samtal med Jan-Erik Rosberg menade denne dock att borkostnaderna är

omöjliga att förutse samt starkt konjunkturberoende. I tabell 2 redovisas de uppskattade kostnaderna för borrhålet.

Tabell 2: Uppskattade och beräknade utgifter för borrhning, prospektering och hydraulisk spräckning.

| Utgiftspost  | Kostnad miljoner [SEK] |
|--|------------------------|
| Borrhning av produktions- och injektionshål <sup>1</sup> | 50,4                   |
| Prospektering inklusive provborrning <sup>2</sup>        | 2                      |
| Hydraulisk spräckning <sup>3</sup>                       | 10                     |
| <b>Totalt</b>  | <b>62,4</b>            |

Källor: Bjelm, 2007.<sup>1</sup> Lundin, 2007.<sup>2</sup> Henkel, 2006.<sup>3</sup>

Vid summering av kostnaderna för anläggning och borrhningen erhöles en kostnad på 88 miljoner SEK för den totala anläggningskostnaden. Den teoretiska kostnaden uppgick 65 miljoner SEK (Stefansson, 2002.).

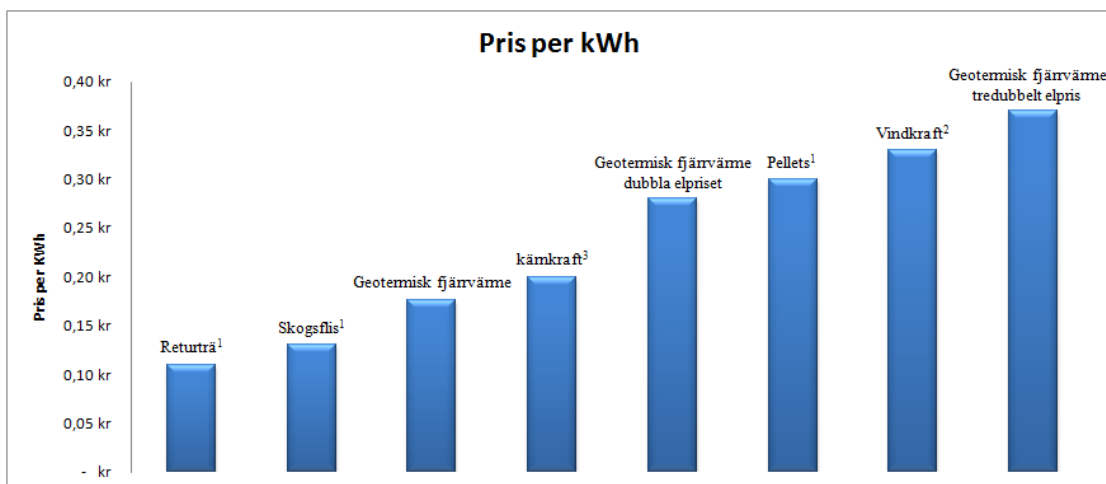
Många av dessa beräkningar, framför allt utgifterna för underhåll, baserades på uppskattningar. Detta kan leda till osäkra resultat och då framförallt en orealistiskt kort återbetalningstid. Även lånekostnaderna försumrades i de vanliga beräkningarna, dock togs dessa med i en känslighetsanalys.

Enligt studiens beräkningar uppgick den årliga driftkostnaden till 2 863 kSEK. Divideras detta med den årliga energiproduktionen, 16,2 GWh, uppgick den beräknade driftkostnaden för Gunstas geotermiska närvärmeanläggning till 18 öre per kWh. I tabell 3 redogörs en jämförelse mellan olika driftskostnadsutfall och andra producenttypers driftskostnader.

Tabell 3: Gunstas geotermiska närvärmeanläggnings driftskostnad per producerad kWh för olika utfall då elpris varierar samt med jämförelse mot andra producenttypers driftskostnader.

| Producent              | SEK/kWh | Producent                       | SEK/kWh |
|------------------------|---------|---------------------------------|---------|
| Returträ <sup>1</sup>  | 0,11    | Geotermisk fjärrvärme 2x elpris | 0,28    |
| Skogsflis <sup>1</sup> | 0,13    | Pellets <sup>1</sup>            | 0,30    |
| Geotermisk fjärrvärme  | 0,18    | Vindkraft <sup>2</sup>          | 0,33    |
| Kärnkraft <sup>3</sup> | 0,20    | Geotermisk fjärrvärme 3x elpris | 0,37    |

Källor: Energimyndigheten, 2013<sup>1</sup> Svensk Vindenergi, 2012.<sup>2</sup>



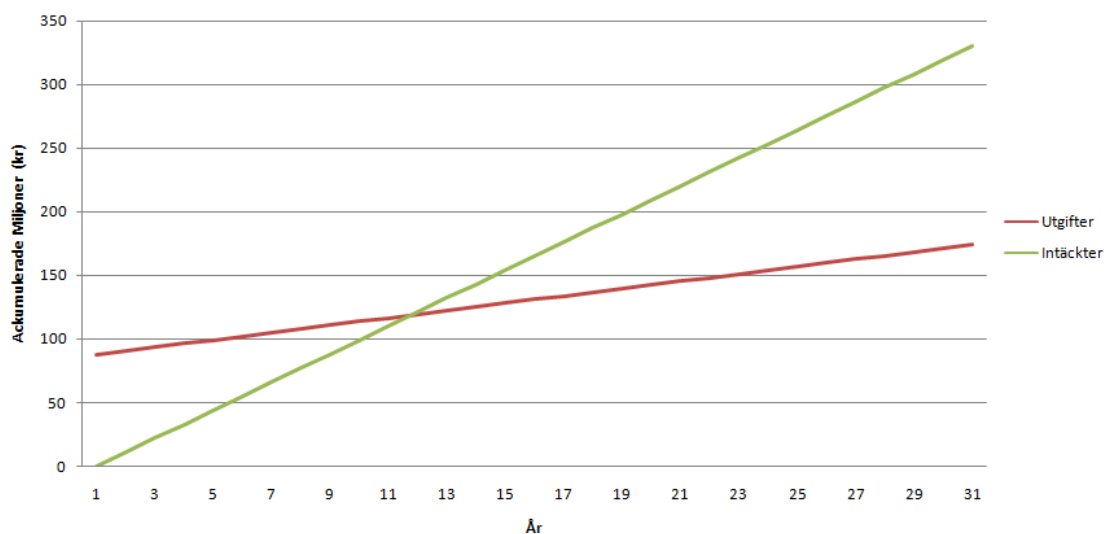
Figur 1: Driftpris per kWh för olika system. Returträ, skogsflis, geotermisk fjärrvärme och pellets producerar värme medan kärn- och vindkraft levererar el. Detta är jämförelsevärden dock skall ej värme ses som likvärdig energi som el. Två känslighetsanalyser med varierande elpris är också inräknade. De uppskattas i kapitel 5, känslighetsanalyser.

### 3 Intäkter för geotermisk närvärme i Gunsta

Geotermisk fjärrvärmeenergi antas säljas till kund för samma pris som andra fjärrvärmeslag. Då erhöles ett medelvärde, från 2013, för intäkten per kWh på 0,80 SEK (Svensk fjärrvärme, 2014). Med denna siffra (0,8 SEK/kWh) samt det uppskattade energibehovet (16,2 GW/år) gavs totalvinsten per år till 11 miljoner SEK.

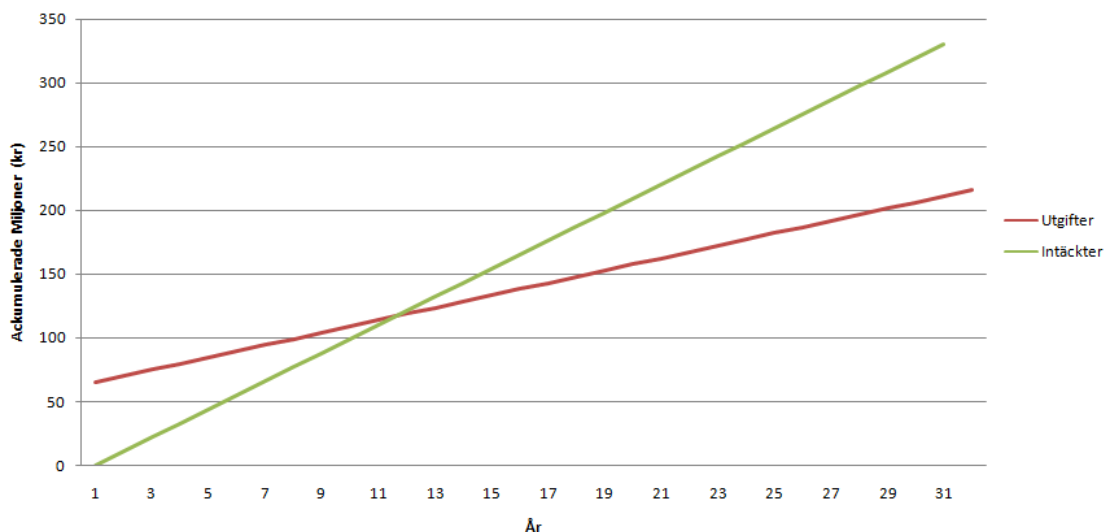
### 4 Återbetalningstid

I figur 2 redovisas den uppskattade återbetalningstiden för Gunsta geotermiska närvärmeanläggning. Flera grova uppskattningar ligger till grund för dessa beräkningar och osäkerheten är därmed stor. Återbetalningstiden uppgick för ett system med två borrhål till cirka 12 år.



Figur 2. Den beräknade återbetalningstiden för Gunstas geotermiska närvärmeanläggning. Återbetalningstid uppgick till cirka 12 år. Med givna antaganden bör vinsten efter 30 år uppgå till cirka 165 miljoner SEK.

I figur 3 redovisas de teoretiska värdena utifrån jämförelse med andra studier och rapporter. I dessa fall uppgick driftskostnaderna till något högre belopp (4,8 miljoner SEK), men med en lägre investeringskostnad för färdig anläggning. Återbetalningstiden blev även här cirka 12 år.



Figur 3: Den teoretiska återbetalningstiden för Gunstas geotermiska närvärmeanläggning. Beräkningen är baserad på formler framtagna från två oberoende rapporter. De båda pekade på samma kostnader. Återbetalningstiden som erhöles uppgick till cirka 12 år (Stefansson, 2002; Barbier, 2002.). Med givna antaganden bör vinsten efter 30 år uppgå till cirka 125 miljoner SEK.

## 5 Känslighetsanalys

### Elpriser

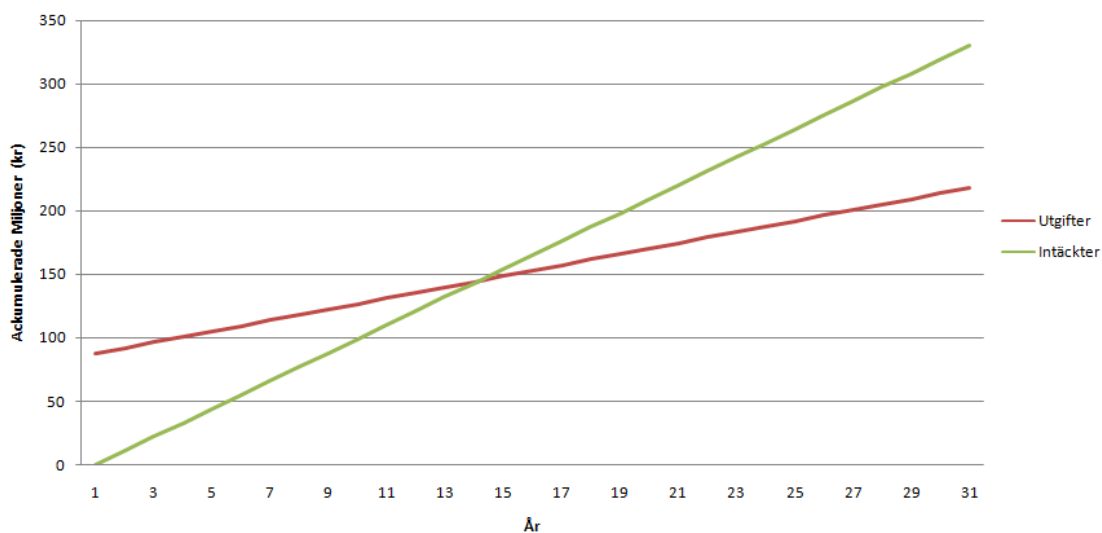
Första parametern att variera i känslighetsanalysen var elpriset då anläggningen till stor del är beroende av el till vatten- och värmepumpar. Priset varierades till det dubbla och tredubbla. Utslagen ses i tabell 4 och figur 4 för dubbelt elpris samt tabell 5 och figur 5 för tredubbelt pris. Vid dubblerat elpris (1 SEK) blev den årliga kostnaden 52 procent dyrare.

Återbetalningstiden uppgick då till cirka 15 år. Då ett tredubblat elpris antogs (1,5 SEK) blev utfallet en ökning på 104 procent per kWh. Återbetalningstiden ökade till cirka 20 år.

Tabell 4: Uppskattade och beräknade utgifter för Gunstas geotermiska närvärmeanläggning vid dubbla elpriset. Vattenpumpen, värmepumparna och byggnadens årliga utgifter varierar då dessa beror av elpriset.

| Komponenter                    | Inköp [kSEK]  | Driftskostnad per levererad kWh [SEK] | Driftskostnad per år [kSEK] |
|--------------------------------|---------------|---------------------------------------|-----------------------------|
| Vattenpump <sup>1</sup>        | 220           | 0,03                                  | 512                         |
| Vattenfilter <sup>2</sup>      | 315           | -                                     | -                           |
| Värmeväxlare <sup>2</sup>      | 750           | -                                     | -                           |
| Värmepumpar A <sup>3</sup>     | 3 240         | 0,10                                  | 1 558                       |
| Värmepumpar B <sup>3</sup>     | 3 240         | 0,05                                  | 779                         |
| Panna <sup>4 5 6</sup>         | 10 700        | 0,01                                  | 229                         |
| Akkumulatortank <sup>7 8</sup> | 6 560         | 0,04                                  | 648                         |
| Byggnad <sup>9 10</sup>        | 500           | 0,01                                  | 123                         |
| Arbete <sup>11</sup>           | -             | 0,03                                  | 500                         |
| <b>Totalt</b>                  | <b>25 525</b> | <b>0,27</b>                           | <b>4 349</b>                |

Källor: Johansson, 2014<sup>1</sup>. Ahlm, & Carselid, 2014<sup>2</sup>. Östman, 2014.<sup>3</sup> Osby Parca, 2009<sup>4</sup>. Novator, 1994<sup>5</sup>. Greger, 2011.<sup>6</sup>Bilaga M.<sup>7</sup> Larsson, 2014<sup>8</sup>. Rinnan, 2011<sup>9</sup>. Maskinisten, 2009<sup>10</sup>. Linqvist, 2014.<sup>11</sup>



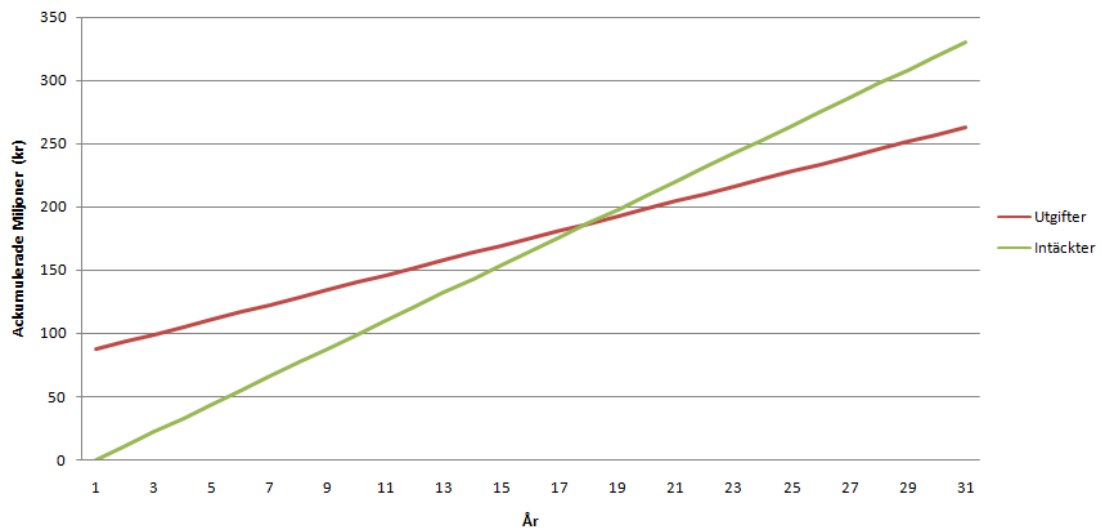
Figur 4: Återbetalningstiden för Gunstas geotermiska närvärmeanläggning med fördubblat elpris. Det tar då längre tid, totalt cirka 15 år, att återbetala anläggningen. Med givna antaganden bör vinsten efter 30 år uppgå till cirka 119 miljoner SEK.

Tabell 5: Uppskattade och beräknade utgifter för Gunstas geotermiska anläggning med tredubbla elpriset. Vattensumpen, värmepumparna och byggnadens årliga utgifter varierar då dessa beror av elpriset.

| Komponenter                    | Inköp<br>[kSEK] | Driftskostnad per levererad kWh<br>[SEK] | Driftskostnad per år<br>[kSEK] |
|--------------------------------|-----------------|--|--------------------------------|
| Vattensump <sup>1</sup>        | 220             | 0,05                                     | 768                            |
| Vattenfilter <sup>2</sup>      | 315             | -  | -                              |
| Värmeväxlare <sup>2</sup>      | 750             | -  | -                              |
| Värmepumpar A <sup>3</sup>     | 3 240           | 0,14                                     | 2 337                          |
| Värmepumpar B <sup>3</sup>     | 3 240           | 0,07                                     | 1 168                          |
| Panna <sup>4 5 6</sup>         | 10 700          | 0,01                                     | 229                            |
| Akkumulatortank <sup>7 8</sup> | 6 560           | 0,04                                     | 648                            |
| Byggnad <sup>9 10</sup>        | 500             | 0,01                                     | 184                            |
| Arbete <sup>11</sup>           | -               | 0,03                                     | 500                            |
| <b>Totalt</b>                  | <b>25 525</b>   | <b>0,36</b>                              | <b>5 834</b>                   |

Källor: Johansson, 2014<sup>1</sup>. Ahlm, & Carselid, 2014<sup>2</sup>. Östman, 2014.<sup>3</sup> Osby Parca, 2009<sup>4</sup>. Novator, 1994<sup>5</sup>. Greger, 2011.<sup>6</sup>Bilaga M.<sup>7</sup> Larsson, 2014<sup>8</sup>. Rinnan, 2011<sup>9</sup> Maskinisten, 2009<sup>10</sup>. Jan Linqvist.<sup>11</sup>





Figur 5: Återbetalningstiden för Gunstas geotermiska närvärmeanläggning med tredubbla elpriset. Det tar då längre tid, totalt cirka 20 år, att återbetala anläggningen. Med givna antaganden bör vinsten efter 30 år uppgå till cirka 73 miljoner SEK.

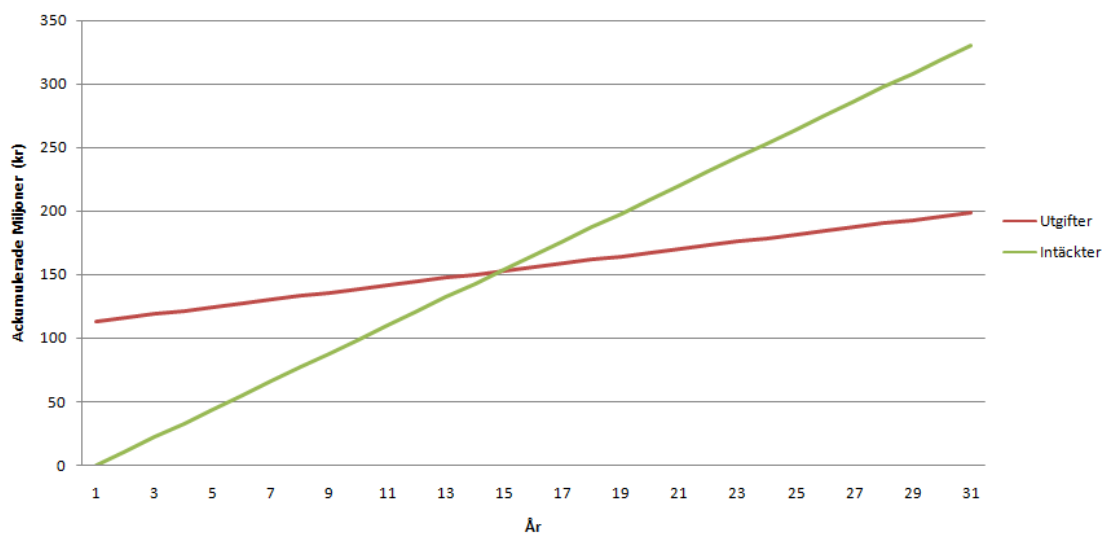
## Antal borrhål

Nästa parameter att variera var antal borrhål. Borrhålen utgör den största kostnaden och därmed den största risken för projektet. I tabell 6 och figur 6 redovisas det uppskattade utfallet om ett extra borrhål behöver utföras, det vill säga totalt tre borrhål. Kostnaden ökade då med 25,2 miljoner SEK, cirka 28 procent högre, samt försköt återbetalningstiden till cirka 15 år. I tabell 7 och figur 7 redovisas utfallet för tre extra borrhål, det vill säga totalt fem borrhål. Projektets totalkostnad beräknades då anta värdet 164 miljoner SEK vilket är 86 procent högre. Återbetalningstiden blev då cirka 21 år.

Tabell 6: Uppskattade och beräknade utgifter för borrhål, prospektering och hydraulisk spräckning. Denna gång görs antagandet att ett extra borrhål görs och projektet blir 25,2 miljoner SEK mer kostsamt.

| Utgiftspost                   | Kostnad miljoner SEK |
|-------------------------------|----------------------|
| Borrning <sup>1</sup>         | 75,6                 |
| Prospektering <sup>2</sup>    | 2                    |
| Hydralisk Spräck <sup>3</sup> | 10                   |
| <b>Totalt</b>                 | <b>87,6</b>          |

Källor: Bjelm, L. 2007.<sup>1</sup> Lundin, J. 2007.<sup>2</sup> Henkel, H. 2006.<sup>3</sup>

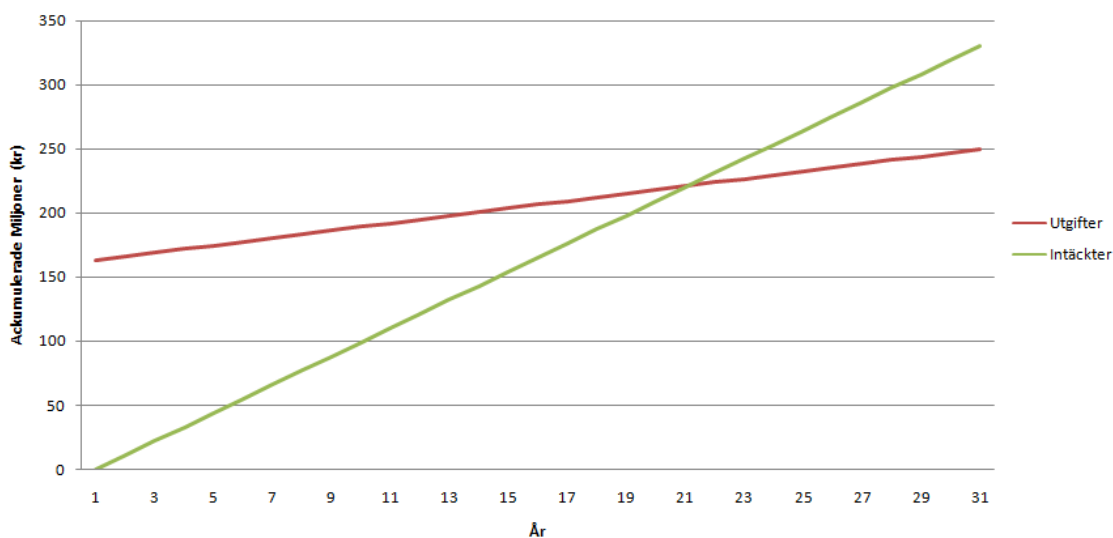


Figur 6: Återbetalningstiden för Gunstas geotermiska närvärmeanläggning med ett extra borrhål. Det tar då längre tid, totalt cirka 15 år, att återbetala anläggningen. Med givna antaganden bör vinsten efter 30 år uppgå till cirka 140 miljoner SEK.

Tabell 6. Uppskattade och beräknade utgifter för borrhål, prospektering och hydraulisk spräckning. Denna gång görs antagandet att tre extra borrhål görs och projektet blir 76,4 miljoner SEK mer kostsamt.

| Utgiftspost                        | Kostnad miljoner SEK |
|------------------------------------|----------------------|
| Borrning <sup>1</sup>              | 126                  |
| Prospektering <sup>2</sup>         | 2                    |
| Hydraulisk spräckning <sup>3</sup> | 10                   |
| <b>Totalt</b>                      | <b>138</b>           |

Källor: Bjelm, L. 2007.<sup>1</sup> Lundin, J. 2007.<sup>2</sup> Henkel, H. 2006.<sup>3</sup>



Figur 6. Återbetalningstiden för Gunstas geotermiska närvärmeanläggning med tre extra borrhål. Det tar då längre tid, totalt cirka 21 år, att återbetala anläggningen. Med givna antaganden bör vinsten efter 30 år uppgå till cirka 89 miljoner SEK.

## Borrdjup

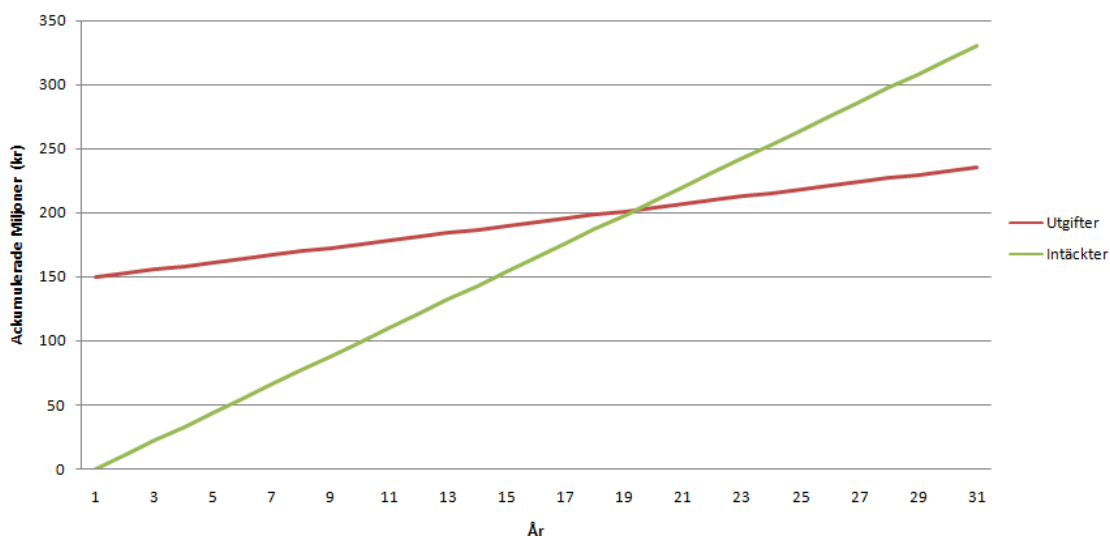
Varieras istället borrdjup erhölls ett annat utfall. I tabell 7 och figur 7 redovisas kostnadsökning och återbetalningstid för borrdjup på fyra km. Projektets totalkostnad

beräknades då anta värdet 150 miljoner SEK vilket var 70 procent högre. Återbetalningstiden ökade till cirka 20 år.

Tabell 7: Uppskattade och beräknade utgifter för borrhål, prospektering och hydraulisk spräckning. Här gjordes antagandet att borrhålen är 4000 meter djupa och projektet blev 62 miljoner SEK mer kostsamt.

| Utgiftspost                   | Kostnad miljoner SEK |
|-------------------------------|----------------------|
| Borring <sup>1</sup>          | 112                  |
| Prospektering <sup>2</sup>    | 2                    |
| Hydralisk Spräck <sup>3</sup> | 10                   |
| <b>Totalt</b>                 | <b>124</b>           |

Källor: Bjelm, L. 2007.<sup>1</sup> Lundin, J. 2007.<sup>2</sup> Henkel, H. 2006.<sup>3</sup>



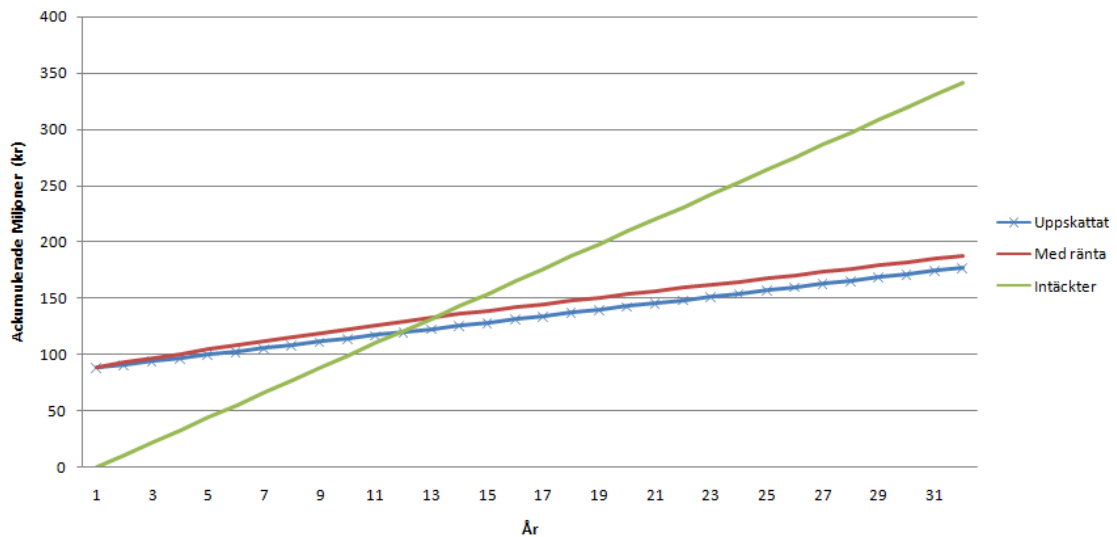
Figur 7: Återbetalningstiden för Gunstas geotermiska närvärmeanläggning med ett 4000 meter borrhål. Det tar då längre tid, totalt cirka 20 år, att återbetala anläggningen. Med givna antaganden bör vinsten efter 30 år uppgå till cirka 103 miljoner SEK.

## Räntekostnader

En sista parameter att undersöka var räntekostnadernas inverkan på lönsamhet och återbetalningstid. Realräntan sattes till 1,5 procent, utifrån en inflation om 2 procent och en banklåneränta på 3,5. I tabell 8 och figur 8 redovisas utfallen. Totalkostnaden uppskattades till att bli cirka 13 procent högre. Återbetalningstiden ökade något till cirka 13 år.

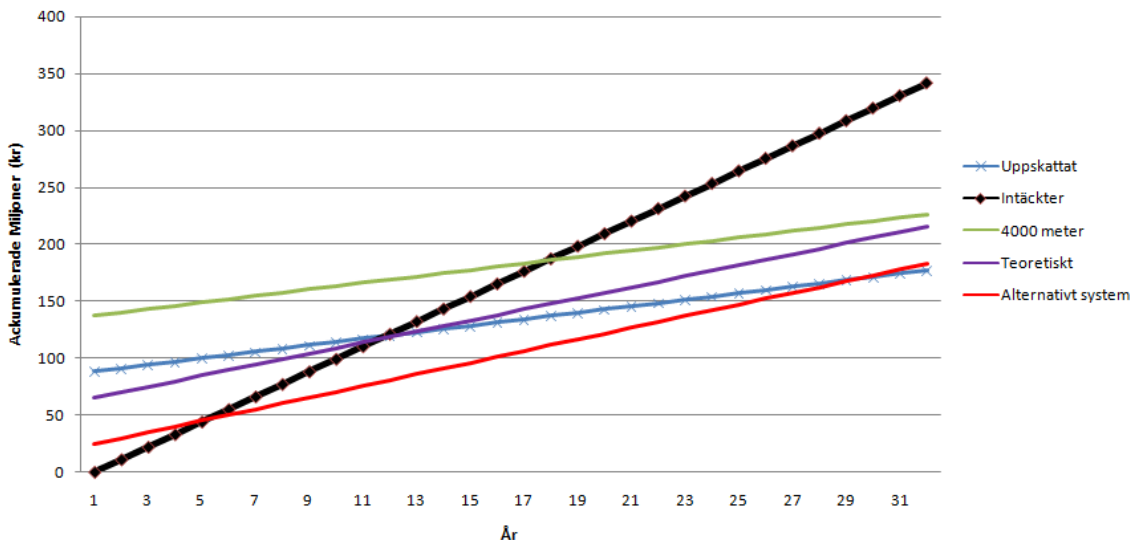
Tabell 8: Uppskattade och beräknade utgifter för banklånet realränta till anläggandet. Realräntan antas till 1,5 procent. Det som antogs vidare var en bankränta på 3,5 och inflation på 2 procent.

| Total Investering | Kostnad miljoner SEK |
|-------------------|----------------------|
| Investering       | 88                   |
| Ränta (1,5%)      | 11                   |
| <b>Totalt</b>     | <b>99</b>            |

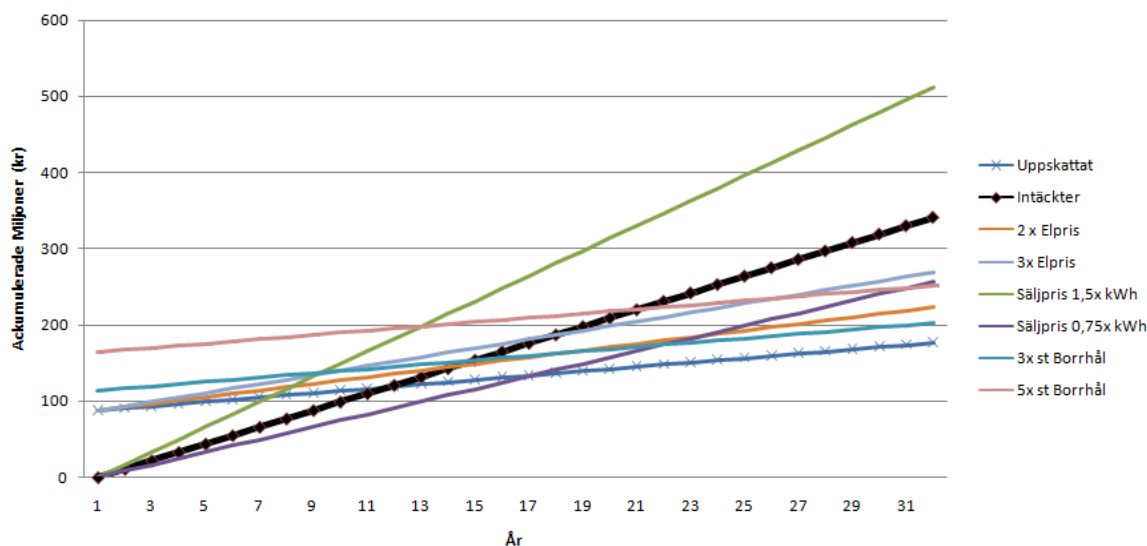


Figur 8: Återbetalningstiden för Gunstas geotermiska närvärmeanläggning om en realränta på 1,5 procent gäller. Det tar då längre tid, totalt cirka 13 år, att återbetala anläggningen. Med givna antaganden bör vinsten efter 30 år uppgå till cirka 154 miljoner SEK. Detta betyder att räntekostnaderna uppgår till 11 miljoner SEK, vilket är i skala med en årsinkomst.

## 5.1 Sammanfattning av känslighetsanalyserna

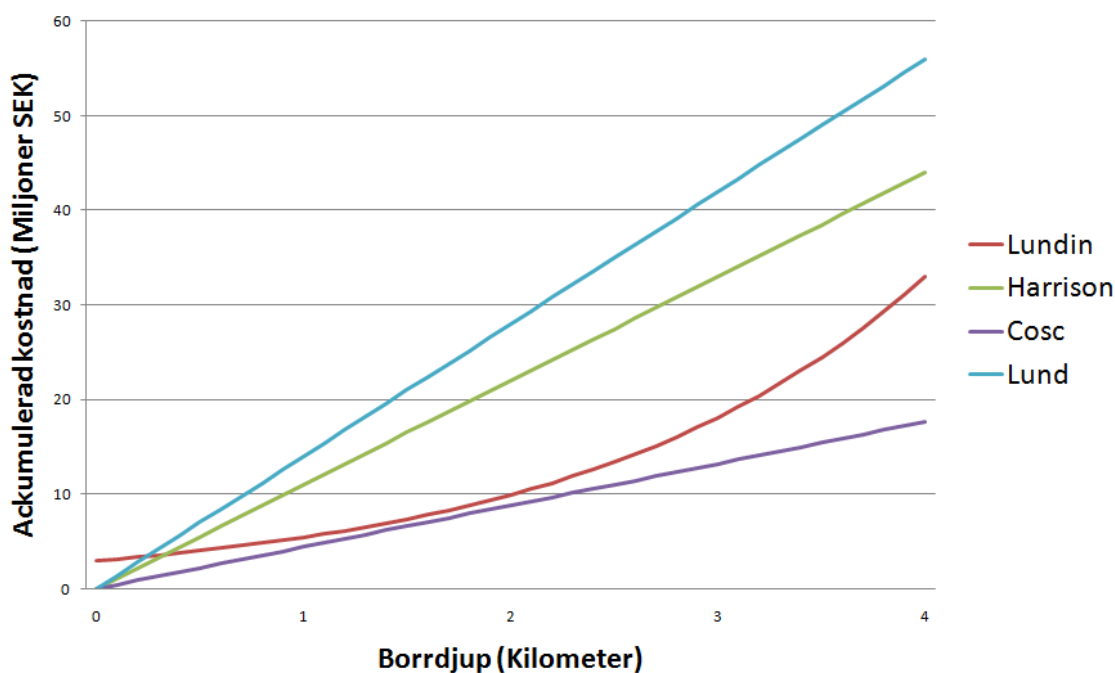


Figur 9: Återbetalningstiden för Gunstas geotermiska närvärmeanläggning med flera olika system. 'Uppskattat', blå linje, innebär studiens resultat. '4000 meter', grön linje, är då borrhjupet sätts till 4 istället för 1,8 km. 'Teoretiskt' är beräknade kostnader utifrån andra studier. 'Alternativt system', röd linje, är två 3 MW samt 1 MW pellets pannor.



Figur 10: Återbetalningstiden för Gunstas geotermiska närvärmeanläggning. Detta med samtliga känslighetsanalyser.

### 3 Diskussion



Figur 11: Borrkostnader enligt olika källor och beräkningar.

Kostnaderna ovan mark är lättare att förutse och beräkna i förväg. Dock är kostnaderna under jord mycket svåra att ange exakt i förväg, när fakta om hur berggrunden i praktiken ser ut i djupled saknas. I Gunsta antogs berggrunden vara homogen vilket gör att antagandena om kostnaderna för borrhningen kan anses verklighetstroliga. Borrkostnaderna grundas på verkliga siffror från existerande exempel i liknade miljö. En förenkling för kostnaden för borrhålet gjordes genom att borrhningen antogs kosta lika mycket per meter oberoende av vilket djup som borrhningen sker på. Ekvation 1 som Lundin använder för borrkostnaden ansågs inte trolig eller användbar för Gunstaområdet eftersom det gav ett resultat så skilt från det verkliga resultatet i Lund. Likaså borrkostnaden för djuphålsprojektet, COSC, valdes bort då borrdimensionerna för dessa hål antogs vara alltför små för behovet i Gunsta.

Berggrunden är avgörande för hur långt ner ett borrhuvud klarar av att borra. Det höga priset för djupborrade hål tros inte bero på bristen av konkurrens trots att det inte finns många företag som borrar till dessa djup. Riskerna som att något fastnar, ökar med ett större djup på borrhålet (Wedholm, 2014; personlig kontakt).

## Referenser

- Barbier, E. 2002. Geothermal energy technology and current status: an overview. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 6 (2002) 3 – 65 PII: S1362-0321(02)00002-3
- Bjelm L. 2007. Deponering av kärnavfall i djupa borrhål! Lund Universitet. Teknisk Geologi
- Elprisguiden, 2013. Elprisguiden Prisbevakare. URL  
<http://www.elprisguiden.se/prisbevakaren/senaste> (Hämtad 2014-05-19)
- Energimyndigheten. 2013. Kärnkraften nu och i framtiden. URL  
<http://www.energimyndigheten.se/Global/Press/Karnkraft.pdf> (Hämtad 2014-05-21)
- Energimyndigheten. 2013. Trädbränsle- och torvpriser. URL:  
[http://www.energimyndigheten.se/Global/Tr%C3%A4dbr%C3%A4nsle-och-torvpriser-EN0307\\_SM1301\\_130301.pdf](http://www.energimyndigheten.se/Global/Tr%C3%A4dbr%C3%A4nsle-och-torvpriser-EN0307_SM1301_130301.pdf) (Hämtad 2014-05-21)
- Greger, L. 2011. Möjliga alternativ för att ersätta direktverkande el i flerbostadshus URL  
<http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:421696/FULLTEXT01.pdf> (Hämtad 2014-05-19)
- Henkel H. 2006. Geotermisk energi - en vitbok för Sverige. trita-lwr.report 3014, ISSN 1650-8610, ISRN KTH/lwr/report 3014-SE, ISBN 91-7178-409-8
- Lundin J. 2007. Kan Geotermisk elproduktion i Sverige vara lönsam? Institutionen för teknikvetenskaper, Avd. för elektricitetslära, Ångströmlaboratoriet, Uppsala Universitet. ISSN 1401-5765 UPTEC W07 020
- Maskinisten. 2009. URL <http://www.maskinisten.net/viewtopic.php?t=14619>  
(Hämtad 2014-05-14)
- Nibe Energy Systems, 2014. Jämförelse mellan värmepump / bergvärme, pellets, fjärrvärme, el och olja. URL <http://www.nibe.se/villaguiden/jamforelse-mellan-bergvarme-pellets-fjarrvarme-el-och-olja/> (Hämtad 2014-05-02)
- Novator, 1994. Vedpärmen. URL <http://www.novator.se/bioenergy/wood/a6.html> (Hämtad 2014-05-15)
- Osby Parca, 2009. Fastbränslepanna. URL  
[http://www.osbyparca.se/pdf/PB2/Osby\\_Parca\\_PB2\\_svenska.pdf](http://www.osbyparca.se/pdf/PB2/Osby_Parca_PB2_svenska.pdf) (Hämtad 2014-05-17)
- Rinnan, D. 2011. URL <http://www.varmepumpsforum.com/vpforum/index.php?topic=42986.0>  
(Hämtad 2014-05-15)
- Stefansson, V. 2002. Investment cost for geothermal power plant. 0375-6505/02/\$22.00 # 2002 CNR. PII: S0375-6505(01)00018-9

Svensk Vindenergi, 2012. Lathund – olika begrepp när du talar om vindkraft. URL  
<http://www.vindkraftsbranschen.se/start/vindkraft/lathund-2/> (Hämtad 2014-05-15)

## Personliga referenser

Ahlm, M. & Carselid, M. 2014. Alfa Laval.

Johansson, M. 2014. Grundfos AB.

Larsson, H-O. 2014. Rodoverken.

Rosberg, J-E. 2014. Teknisk Geologi, Lund.

Wedholm, D. 2014. Styrud.

Östman, S. 2014. Export & Technical Sales Manager, Oilon AB.

SLU  
Institutionen för energi och teknik  
Box 7032  
750 07 UPPSALA  
Tel. 018-67 10 00  
pdf.fil: [www.slu.se/energiogteknik](http://www.slu.se/energiogteknik)

SLU  
Department of Energy and Technology  
P. O. Box 7032  
SE-750 07 UPPSALA  
SWEDEN  
Phone +46 18 671000