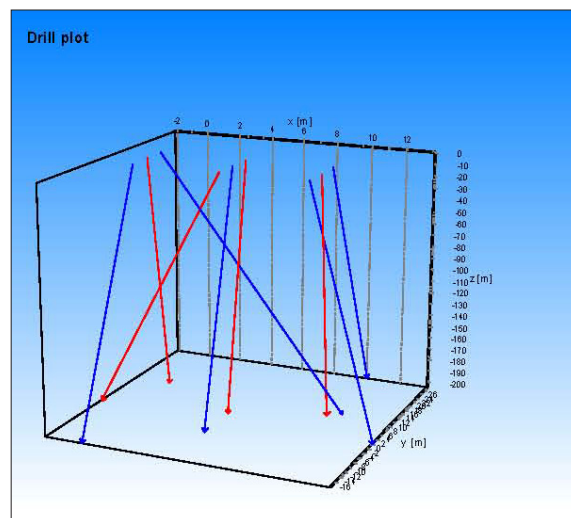


Betydelsen av raka borrhål för större geoenergisystem

Malin Westman

Examensarbeten i geologi vid Lunds universitet,
kandidatarbete, nr 359
(15 hp/ECTS credits)



Betydelsen av raka borrhål för större geoenergisystem

Kandidatarbete
Malin Westman

Geologiska institutionen
Lunds universitet
2013

Innehållsförteckning

1 Inledning och bakgrund	5
1.1 Dimensionering av energibrunnar	5
1.2 Placerig av energibrunnar	5
2 Problembeskrivning av borrhålsavvikelser	6
2.1 Riktad borrhning	6
2.2 Termisk influens	7
2.3 Kollektorslangarna i vinklade borrhål	7
3. Operatörs,- maskin- och bergsberoende faktorer	7
3.1 Borrhålsavvikelser i lagrade berg	8
3.2 Lutande lagrig	8
3.3 Horisontell lagring	8
3.4 Vertikal lagring	8
3.5 Olagrat berg med eller utan sprickor	8
4. Avgränsning och syfte.....	8
5. Metod	8
6. Resultat	9
6.1 Praktiskt	9
6.2 Juridik	9
6.2.1 En fastighets gräns och termisk rådighet	9
6.3 Funktion	10
6.3.1 Resultat av simuleringar i SBM	11
6.3.2 Borrhålslagret i Luleå	13
7. Slutsatser och diskussion	13
8. Tack.....	14
9 Referenser	15
Bilaga 1	

Omslagsbild: Bild på resultat efter simulering i *Superposition Borehole Model*.

Betydelsen av raka borrhål för större geoenergisystem

MALIN WESTMAN

Westman, M., 2013: Betydelsen av raka borrhål för större geoenergisystem. *Examensarbeten i geologi vid Lunds universitet*, Nr. 359, 16 sid. 15 hp.

Sammanfattning: Ett 200 meter djupt borrhål avviker ofta mer eller mindre från sin planerade bana. Hur mycket borrhålet avviker beror på de geologiska förutsättningarna, vilken borrhåsteknik och vilken borrhåstrustning som används. Alternativet kan vara så kallad riktad borrhåsboring vilket innebär att styrning kopplas på borrhåshammaren för att få hålet så rakt som möjligt. Priset på riktad borrhåsboring ligger i storleksordningen 50 % högre än priset för vanlig borrhåsboring.

Syftet med examensarbetet har varit att reda ut vilka konsekvenser ett avvikande borrhål får, ur ett praktiskt, juridiskt samt funktionsmässigt perspektiv.

Resultaten visar att de flesta borrhål avviker mer eller mindre och att de flesta borrhålsavvikelser är geologiskt betingade. De tekniska problemen med avvikande borrhål är inte lika omfattande då få borrhål går in i varandra. Mer vanligt är att borrhål med kort avstånd till varandra påverkar varandra termiskt. Termisk påverkan leder till att temperaturen i borrhålen blir lägre vilket medför att värmepumpens effekt sänks. Sju olika scenarier har simulerats i SBM (Superposition Borehole Model), och samtliga fall illustrerar ett borrhålslager med 9 borrhål. Resultaten av simuleringen visar att lägst temperatur i borrhål och köldbärandevätskan återfås i ett scenario där ett borrhål i centrum är helt vertikalt och där resterande borrhål avviker in mot centrum. I resterande scenarier påverkas temperaturen positivt, temperaturen i borrhål och köldbärandevätska är högre i förhållande till ett system med enbart vertikala borrhål, eller negligerbart mindre. Ett borrhål som avviker från sin planerade bana kan driva in på en annan fastighet. Huruvida ett avvikande borrhål kränker en grannes äganderätt är svårt att svara på då en fastighets gränser är svåra att definiera. En gängse tolkning är att en fastighets gräns sträcker sig till det djup som det är möjligt att utnyttja en fastighet på. Ett avvikande borrhål kan då kränka en grannes äganderätt om de termiska förutsättningarna i berget förändras. Å andra sidan behöver inte någon termisk rådighet visas enligt domslut (mål nr T 3084-00). Det behöver alltså inte stå klart att berget inte kommer att påverkas termiskt utanför fastighetsgränsen.

Nyckelord: Geoenergi, avvikande borrhål, praktiskt-, juridiskt- och funktionsmässigt perspektiv, SBM- simulering.

Handledare: Signhild Gehlin, Svenskt Geoenergicentrum, Johan Barth, Geotec,
Per Möller, Geologiska institutionen

Ämnesinriktning: Berggrundsgeologi

*Malin Westman, Geologiska institutionen, Lunds universitet, Sölvegatan 12, 223 62 Lund, Sverige.
E-post: westman_malin_@hotmail.com*

The importance of straight boreholes for shallow geothermal energy systems

MALIN WESTMAN

Westman, M, 2013: The importance of straight boreholes for shallow geothermal energy systems. *Dissertations in Geology at Lund University*, No. 359, 16 pp. 15 hp (15 ECTS credits).

Abstract: A 200 meter deep borehole often deviates more or less from its planned path. How much the borehole deviates depends on the geological conditions, the drilling technique and drilling equipment used. The alternative is directional drilling which means that a device is coupled to the rotary hammer to make the hole as straight as possible. The cost of directional drilling is in the order of 50 % higher than for conventional drilling.

The aim with this bachelor thesis was to find out what impact a borehole deviation may cause, from a practical, legal and functional perspective. The results show that most boreholes deviates more or less and that the deviation is mostly caused by geological conditions. The technical problems associated with deviating boreholes is not as extensive as few boreholes collide. More common is that boreholes with a short distance to each other interact thermally. Thermal effects cause the temperature in the boreholes to decrease, which means that the heat pump output is reduced. Seven different scenarios have been simulated in SBM (Superposition Borehole Model), and each case illustrates a shallow geothermal system with 9 wells. The results of the simulation show that the lowest temperature in wells and brine is found in a scenario where the the center borehole is completely vertical and the remaining boreholes deviate toward the center. In the remaining scenarios, the effects on the temperature is positive. The temperature in the borehole and the brine is higher compared to a system with only vertical boreholes, or negligible.

One hole that deviates from its planned path can drive onto another property. Whether a deviated borehole violates a neighbor's ownership is difficult to say as the boundaries for a property are difficult to define. The usual interpretation is that the boundary of a property extends to the depth that it is possible to use the property on. An borehole that deviates can in that sense violate a neighbor's property if the thermal conditions in the rock changes. On the other hand, it is not necessary to legally show that the rock will not influence thermally outside the boundary of the property, according to the judgement in swedish Supreme Court (nr T 3084-00).

Keywords: Geothermal energy systems, borehole deviation, practical-, legally- and functional perspective, SBM simulations.

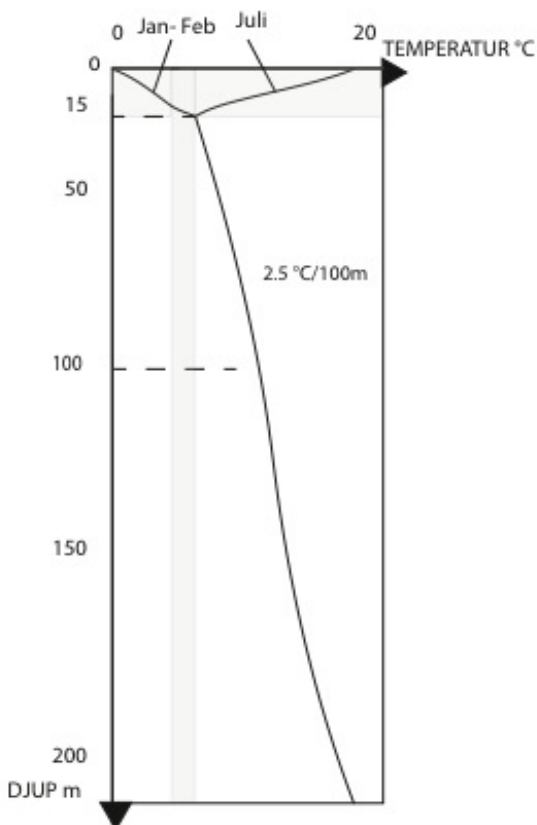
*Malin Westman, Department of Geology, Lund University, Sölvegatan 12, SE-223 62 Lund, Sweden.
E-mail: westman_malin_@hotmail.com*

1. Inledning och bakgrund

Geoenergi består till allra störst del av solenergi som har lagrats i marken, medan endast en liten del, ca 5 %, består av värme från jordens inre. Ner till ett djup av ungefär 15 meter varierar temperaturen i marken med årstiderna, medan temperaturen på 100 meters djup brukar motsvara årsmedeltemperaturen i luften för den geografiska platsen (se bild 1) (Geotec och Svensk Geoenergi 2012). Värmeflödet från jorden inre anges som en geotermisk gradient. Den geotermiska gradienten varierar för olika platser; vanligtvis ökar temperaturen med 2.5 - 3.0°C/100 m, men för att veta exakt behöver den ostörda temperaturen i marken för just den specifika platsen mätas in.

Värme i marken kan nyttiggöras genom att en geoenergibrunn borrar och värme tas från en jord- eller bergsmassa via överföring med hjälp av en borrhålsvärmeväxlare och en värmepump. Djupet på geoenergibrunnar i berg varierar utifrån faktorer som bergets värmeledningsförmåga och vilket energiuttag som den planeras för.

Vanligtvis är brunnsdjupet mellan 100-300 meter (Geotec och Svensk Geoenergi 2012). När energibrunnen är borrad förs en värmeväxlare ner, en så kallad kollektorslang. Slangen är fylld med en köldbärarvätska som fungerar som värmebärare mellan borrhålet och värmepumpen.



Figur 1. Visar temperaturvariationer i marken beroende av värme från jordens inre, årstiderna och den solenergi som lagras i marken (Geotec och Svensk Geoenergi 2012).

När kollektorslangen förs ner i brunnen är det viktigt att slangen inte viker sig så att köldbärarvätskan kan cirkulera utan problem. Enligt SGU et al (2008) har mer än 95 % av anlagda energibrunnarna ett slutet värmepumpsystem, det vill säga att köldbärarvätskan cirkulerar i ett slutet system mellan borrhålet och värmepumpen. Vätskan består vanligtvis av en blandning av vatten och etanol. Etanolen tillförs för att undvika att vätskan fryser. I Sverige fylls därefter borrhålen vanligtvis med vatten, men även material som bentonit och cement kan användas (Kjellson 2009).

Ett systems verkningsgrad brukar anges i COP (Coefficient of Performance) som främst är ett resultat av skillnaden mellan ingående och utgående effekt i värmepumpen. En liten differens i dessa värden ger en högre så kallad värmefaktor (Kjellson 2009).

När ett byggnadsobjekt som skall värmas med geoenergi under den kalla perioden på året tas värme ur marken. Detta resulterar i att berget i borrhålets närhet kyls av för att sedan återvärmas ("laddas") under sommaren. En bergsmassa är emellertid ett relativt trögt system, varför det tar lång tid att påverka. Den reducerade temperaturen i berget efter ett värmeuttag kan därför bestå en tid genom en fördröjningseffekt av detta uttag.

Vid en temperaturskillnad i berget tas värme från omgivande bergsmassa och från solenergi via markytan (Geotec och Svensk Geoenergi 2012). Om värmeuttaget över en årscykel är större än den naturliga återladdningen som sker kommer en lägre temperatur än den normala medeltemperaturen i berget successivt att sprida sig. Om uttaget är större än den naturliga återladdningen finns dock möjligheten att påverka systemet med aktiv återladdning för att minska temperaturdifferensen.



Figur 2. Visar hur en geoenergibrunn kan se ut för ett enskilt hushåll. Bild (hämtad 2013-05-15) från Geotec och Svensk Geoenergi 2012.

Geoenergi som begrepp brukar delas upp i två delar, passiv respektive aktiv geoenergi. Det som skiljer de båda systemen åt är att den passiva geoenergin endast återladdas genom sin naturliga omgivning (nedträngning av värme via markytan respektive värmeöverföring från omgivande bergsmassa) medan ett så kallat aktivt geoenergisystemet kan återladdas genom aktiv lagring (Geotec och Svensk Geoenergi 2012). Principen bakom de båda systemen är i grunden likvärdiga, men skillnaden i konstruktion består i att i ett aktivt system borrar borrhålen tätare och värme (eller kyla i ett kylsystem) förs ner i berget under perioder. Aktiva geoenergisystem används framför allt till större fastigheter och industrier som både har behov av värme och kyla.

1.1 Dimensionering av energibrunnar

Beroende på en rad förutsättningar dimensioneras djupet för energibrunnar mot bakgrund av en rad variabler. Grundläggande är de geologiska förutsättningarna som den naturliga temperaturen i marken, hur mäktiga de lösa avlagringarna är som täcker berggrunden, bergets konduktivitet samt grundvattenflöde genom berget. Andra viktiga faktorer är avståndet till andra energibrunnar samt naturligtvis det värmebehov som finns från anläggningen. Ett vanligt borrhålsdjup i Stockholmsområdet är ca 20 meter för ett energiuttag på 1kW (Kjellson 2008). En energibrunns diameter ligger vanligtvis mellan 115-140 mm.

1.2 Placering av energibrunnar

Så kallad 'normbrunn 07' är en vägledning som SGU tillsammans med bland andra aktörer inom borrarbranschen tagit fram med målet att minska risken för miljöstörningar och därmed för sådana skadestånd som kan bli följden om borrhåll orsakar skada på omgivande fastigheter (SGU et al. 2008). Vägledningen omfattar bergsborrade brunnar och innehåller bland annat riktlinjer för anläggandet av energibrunnar. Normbrunn 07 innehåller dessutom rekommendationer för inbördes placering av två energibrunnar samt mellan energibrunn och byggnad. Två eller fler brunnar bör placeras med ett inbördes avstånd på 20 meter för att undvika påverkan samt på ett avstånd av 4 meter mellan brunn och huskropp för att minska risken för exempelvis skador på dränering och/eller byggnad (SGU et al. 2008).

2. Problembeskrivning av borrhålsavvikelse

En 200 meter djup borrar energibrunn avviker ofta mer eller mindre från sin planerade bana.

Hur mycket borrhålet avviker beror på de geologiska förutsättningarna, vilken borrar teknik och vilken borrarutrustning som används, samt borrararens erfarenhet (Olsson 2012).

Med uttrycket 'avvikande borrhål' menas borrhål som mer eller mindre avviker från sin planerade bana.

Avvikande borrhål kan bland annat leda till att borrhål driver över en fastighetsgräns, att borrhål blir feldimensionerade till följd av den termiska influensen mellan närliggande borrhål eller att två borrhål borrar in i varandra.

Alternativet till att borrhål avviker kan vara att rikta borrhålen genom att en styrning kopplas på borrhammaren. Riktad borrhåll innebär att priset per borrarad meter blir högre. Frågan är om en ökning i pris står i proportion till effekterna av ett eventuellt avvikande borrhål.



Figur 3. Visar ett exempel på hur ett större geoenergisystem kan vara utformat. Bild (hämtad 2013-05-15) från Geotec och Svensk Geoenergi 2012.

2.1 Riktad borrhåll

Med riktad borrhåll menas att en styrning kopplas på borrhammaren för att få hålet så rakt som möjligt. För att få en uppfattning av prisskillnaden mellan riktad och vanlig borrhåll kontaktades per telefon två personer verksamma som brunnborrare och som gavs följande tre frågor; (1) vad priset är per borrarad meter, (2) vad priset är för riktad borrhåll per borrarad meter och (3) när riktad borrhåll används.

Priset per borrarad meter ligger mellan 200-230 kronor. Vid riktad borrhåll tillkommer i vanliga fall 70-100 kronor per meter. För ett 200 meter djupt borrhål innebär riktad borrhåll vanligen en merkostnad på 14 000-20 000 kronor. Priset för riktad borrhåll varierar också med under vilka förhållanden brunnen ska borraras, samt med hur noga den utförs, det vill säga hur ofta borrarutrustningen kontrolleras då en sliten utrustning tappar effekt. Borrkronorna är utformade på olika sätt, vanligen med stiftkrona eller skärkrona. Både skär- och stiftkronor består av hårdmetall och beroende på bergets hårdhet är de legerade för att göras slitstarkare (Andersson 1981). Hårdmetallen måste slipas om med jämna mellanrum för att behålla sin funktion. Främst används riktad borrhåll i tätbebyggda områden där många hål ofta borraras över små områden och det rekommenderade avståndet på 20 meter mellan borrhål ofta inte går att följa. Riktad borrhåll förekommer även vid större borrhållslager. I aktiva geoenergisystem med kylning av berget eftersträvas att borrhåll läggs så tätt som möjligt för att undvika varma stråk. I sådana fall är det också önskvärt med

riktad borrning samt att hålen mäts in för att få en så korrekt bedömning som möjligt av eventuell borrhålsavvikelse.

2.2 Termisk influens

När värme tas från berget i ett geoenergisystem påverkas berget termiskt kring brunnen. I ett passivt geoenergisystem, är det önskvärt att placera brunnarna på ett så stort avstånd som möjligt ifrån varandra då värmeuttagskapaciteten för brunnar som ligger på ett kortare avstånd ifrån varandra är lägre än för brunnar på ett större avstånd till varandra, detta visar Claesson et al. (1985) i en studie baserad på passiva system. Om brunnarna ligger på ett större avstånd än 10 meter ifrån varandra är påverkan under det första årets effektuttag mycket liten. Claesson et al. (1985) använder datormodellen SBM för att beräkna det termiska förloppet i mark och brunn för två bergvärmebrunnar på ett avstånd av 20 meter respektive 4 meter ifrån varandra, djupet på brunnarna är satt till 146 meter. Modellen visar försämring i prestanda på grund av termisk influens. Efter 20 år har prestandan försämrats med 8 % där brunnarna är placerade med ett avstånd på 20 meter. Jämförelsevis försämrats prestandan med upp till 20 % för brunnar med enbart 4 meters avstånd (Claesson et al. 1985).

Om rekommenderat avstånd mellan två energibrunnar inte kan uppnås kan andra åtgärder kompensera för termisk påverkan. Till exempel kan borrhålen vinklas avsiktligt från varandra eller så kan de kompenseras med ökat borr djup (SGU et al. 2008).

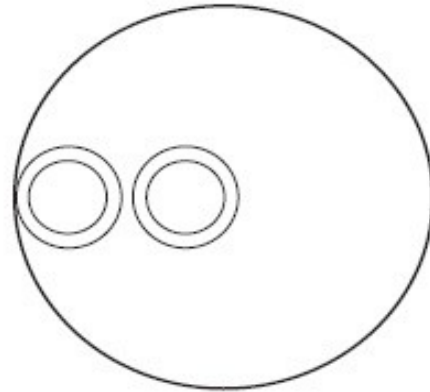
2.3 Kollektorslangarna i vinklade borrhål

Acuña (2013) visar i sin avhandling på sätt att minska temperaturdifferensen mellan berg och förångnings-temperaturen, och på så sätt ge en ökning av värmefaktorn. Han visar bland annat på en svag ökning av värmeledningsförmåga på samma djup som ett borrhål börjar avvika. Beroende på hur kollektorslangarna placeras i hålet kan det termiska motståndet minska. Fig. 4. Visar ett exempel på hur kollektorslangarna kan bli placerade i ett läge nära borrhålsväggen. När borrhålen avviker för det ofta med sig att kollektorslangarna hamnar nära bergsväggen, vilket kan minska det termiska motståndet (Acuña 2010) mellan köldbärare och berg, men samtidigt ökar den termiska kortslutningen mellan de två slangarna om slangarna, som i figur 4, ligger intill varandra. Vinklade borrhål kan även leda till att kollektorslangarna inte når hela vägen ner till önskad nivå i borrhålet.

3. Operatörs-, maskin- och bergsberoende faktorer

Esensjö (1985) menar att det finns operatörs-, maskin- och/eller bergsberoende faktorer bakom att ett borrhål avviker från sin planerade riktning under borrning.

Till de operatörsberoende faktorerna hör t.ex. utställningsfel, det vill säga att hålet märks ut fel från



Figur 4. Visar exempel på hur kollektorslangar kan komma att placeras i ett läge nära borrhålsväggen till följd av att borrhålet inte är helt vertikalt. Bild modifierad efter Acuña

första början och därför får en avvikande, mot den planerade, riktning. Liknande fel kan vara inriktningsfel som gör att hålen avviker på grund av att de riktas fel från början (Hallqvist 2010). Är matningskraften, det vill säga den kraft som tillförs för att få ner borren i marken, för hög kan det ge upphov till så kallade påhuggsfel. Det innebär att borrkronan glider på bergytan och leder till att hålet från början får fel utgångsläge och riktning (Hallqvist 2010). Kortfattat är det den krökning av borrhål som helt hade kunnats undvikas om all utrustning hade använts på rätt sätt (Esensjö 1985).

Den maskinberoende avvikelsen består av krökning av borrhål som uppkommer även fast berget är helt isotropt och homogent, samt när ingen operatörsberoende krökning förekommer (Esensjö 1985). Borrkronan är monterad i främre änden utav borrsträngen som består av ihopkopplade borrör eller borrstänger. Borrsträngen och borrkronan roterar och borrkronan pressas mot botten i hålet med en så kallad matningskraft (Esensjö 1985). De annars styva rörstängerna kan bli tänjbara, vilket leder till att hålet avviker. Borrkronans huvud blir även slitet efter ett tag, vilket leder till att borrhålet kröker av ju djupare det borras (en borras personliga kommentar, 2013).

De bergsberoende faktorerna uppkommer till följd av att berget inte är helt isotropt eller homogent.

Skiktat berg kan ge upphov till systematisk krökning av borrhål, medan exempelvis krosszoner och malmgränser snarare ger upphov till icke-systematisk krökning.

3.1 Borrhålsavvikelse i lagrade berg

Med anledning av att borrhålsavvikelser uppträder systematiskt i lagrade bergarter kan det vara intressant att redogöra för avvikelserna. Sinkala (1988) har undersökt hur mycket borrhålsavvikelser beror på bergets struktur, baserat på studier av 350 borrhål från 36 olika platser i olika områden i både Sverige och Norge med både sedimentära, metamorfa och magmatiska bergarter. Hålen som mätningarna är gjorda på är borrade med hammarborr. Borrhålsavvikelserna har mätts in med hjälp av laser i både horisontell och vertikal led och varje hål mättes in i minst fyra punkter. Hålavvikelser har studerats i fyra olika strukturer: (i) lutande lagring, (ii) horisontell lagring, (iii) vertikal lagring samt, (iv) olagrat berg med eller utan sprickor.

3.2 Lutande lagring

Avvikelserna i berg med lutande skiktning tenderar att riktas åt endast ett håll, relaterat till de lutande lagrens strykning och stupning. När lutningen i planen är mindre än 40° - 50° mot horisontalplanet blir avvikelsen vinkelrät mot bankningsplanet. I fall med större lutning tenderar avvikelsen istället att gå parallellt med bankningsplanet. Borrhålsavvikelsen minskar med ökad lagertjocklek, diameter på borrhålet, hårdhet på berget och kohesion mellan lagren (Sinkala 1988). Hur stor borrhålsavvikelsens blir beror även på borrhålets längd, längre hål ger större avvikelse. Bergets kornstorlek påverkar också, ett mer finkornigt berg gör att avvikelsen blir större, är lagergränserna dessutom svaga tenderar avvikelsen att bli än större. Är berget kraftigt uppsprucket, följer oftast avvikelsen sprickorna och de går oftast åt samma håll. Är berget veckat går avvikelserna antingen åt samma håll eller så blir de slumpvisa, detta beroende på hur starkt veckat berget är (Sinkala 1988).

3.3 Horisontell lagring

Majoriteten av de hål som har undersökts i horisontellt lagrat berg har i princip varit helt vertikala, med avvikelse på mindre än 1° . Den lilla avvikelse som har observerats har varit helt slumpmässig och oberoende av lagrens mäktighet (Sinkala 1988). I de flesta av fallen minskar avvikelsen med minskad borrhålsdjup. Även faktorer som större borrhålsdiameter och ökad hårdhet på berget minskar avvikelsen.

3.4 Vertikal lagring

I mer eller mindre vertikalt lagrat berg tenderar borrhålsavvikelsen att följa lagergränserna. Avvikelsen minskar med ökad lagertjocklek och ökad diameter på borrhålet. Mindre svaghetszoner mellan lagren leder till att borrhålsavvikelsen minskar (Sinkala 1988).

3.5 Olagrat berg med eller utan sprickor

Borrhålsavvikelsen i olagrat (homogent) berg med eller utan sprickor verkar vara mer eller mindre slumpmässig i sin riktning. Ökad hårdhet på berget, större

borrhålsdiameter, samt ett mer vertikalt hål ger generellt en mindre borrhålsavvikelse.

Beroende på hur sprickorna är orienterade i berget kan ett mönster i borrhålsavvikelsen dock urskiljas. Är sprickorna ofta förekommande i parallella plan så tenderar borrhålen att gå i enbart en riktning. Är sprickplanen däremot horisontella blir hålavvikelsen mer slumpmässig (Sinkala 1988). Är berget uppsprucket har även borrhålsdjupet betydelse då hålavvikelsen verkar öka med ökande längd på hålet. Ett mönster har iakttagits där lutande, ofta förekommande sprickor med parallella plan ger hålavvikelse i enbart en riktning medan lutande, sällan förekommande sprickor med parallella eller nästan parallella plan ger hålavvikelse åt ett håll eller slumpmässig avvikelse. Horisontella sprickplan verkar ge slumpmässig hålavvikelse medan slumpvis orienterade, större eller mindre sprickplan ger en slumpvis hålavvikelse.

4. Avgränsning och syfte

Föreliggande arbetet kommer att beröra sneda borrhål som ett resultat av icke-styrd borrhållning. Styrd borrhållning eller precisionsborrhållning innebär att hålen får en väldigt liten krökning eller hamnar inom ett förbestämt område, det vill säga att borrhålen inte avviker. Precisionsborrhållning kräver noggranna inställningar och inriktningar (Esensjö 1985). Metoden är mycket tidskrävande, vilket leder till att kostnaden för varje borrhålsmeter blir hög. Därför används vanligtvis inte metoden vid anläggandet av geoenergianläggningar.

Syftet med arbetet är att reda ut vilka konsekvenser ett avvikande borrhål får, ur ett juridiskt, funktionsmässigt samt praktiskt perspektiv. Arbetet kommer främst behandla betydelsen av raka borrhål för större geoenergisystem.

De huvudsakliga frågeställningarna som arbetet kommer att bygga på är följande:

- Är risken stor att borrhål går in i varandra? Hur ofta inträffar det och vilka effekter får detta?
- Är det möjligt att lagligen borra in under någon annans fastighet på 200 m djup, det vill säga måste botten på ett borrhålslager sluta under den egna fastigheten?
- Är det skillnad i ett systems funktion om borrhålen är raka och följer den projekterade geometrin, eller är effekten så liten att det inte märks?

5. Metod

Rapporten bygger på en kombination av litteraturstudier, simuleringar, sammanställning av en enkät samt intervjuer. Den inledande generella informationen samt det juridiska avsnittet bygger främst på litteraturstudier. Kontakt har även tagits med advokat Magnus Berg på advokatfirman Nordic Laws för hjälp med att reda ut lagar och begrepp. För att få en uppfattning av problemet med avvikande borrhål och dess omfattning har kontakt tagits med verksamma inom borrhålsbranschen

genom telefonintervjuer och utskickade enkäter. Slutligen har exempel på avvikande borrhål konstruerats för att belysa problemet och simuleringar har utförts i simuleringsprogrammen EED (Earth Energy Designer Program) och SBM (Superposition Borehole Model) för att undersöka effektskillnad i systemen.

6. Resultat

6.1 Praktiskt

För att besvara frågeställningen kring risken att borrhål går in i varandra och hur ofta detta inträffar och vilka effekter det får planerades en enkät (se bilaga 1) för utskick till verksamma inom branschen för borring av geoenergibrunnar (20 företag). Emellertid erhöles inga svar! Istället ställdes tre enklare frågorna via telefonintervjuer och av 10 kontaktade företag svarade 5 stycken. Frågorna som ställdes var: (i) är risken stor att borrhål går in i varandra, (ii) hur ofta inträffar detta samt, (iii) vilka effekter får detta? Svaren har sammanställts och presenteras här anonymt.

Sammantaget är avvikande borrhål ett vanligt förekommande fenomen, borrhål följer sällan sin planerade bana. Att två borrhål går in i varandra är däremot mindre vanligt. Det händer i storleksordningen aldrig, till att vart tusende borrhål går in i varandra. Att borrhål får kontakt med varandra genom t.ex. sprickor i berget är mer förekommande, och förekommer oavsett borrhålsavvikelse. Detta anses emellertid vara ett mindre problem.

Vid enskilda borrhål är det sällan ett problem att borrhål avviker. Det är i större geoenergisystem där borrhålen ofta ligger på ett mindre avstånd ifrån varandra som funktionsmässiga problem kan tillstöta om borrhålen hamnar för nära varandra. I och med att berget närmast ett borrhål kyls ner kan det få betydelse för effekten av värmeavgivningen, att denna blir sämre än förväntat. Detta kan emellertid kompenseras med att borrhålen görs lite djupare eller att fler hål borras.

När borrhålen avviker från sin planerade bana är det oftast geologiska betingelser som ligger bakom, såsom att berget inte är homogent. Det kan vara sprickor i berget eller olika hårdhetsgrad i olika partier som gör att hålen driver iväg. Att det går fort att borra nämner samtliga som en faktor bakom avvikande borrhål. Högre hastighet ger mer avvikande borrhål.

Slutligen nämns även anledningar som att det är för högt tryck på hammaren, att den långa rörsträngen blir tänjbar, eller för hög matarkraft som bakomliggande orsak till att borrhålen inte följer sin planerade bana.

6.2 Juridik

I de allra flesta geoenergianläggningar leds inget grundvatten bort. Geoenergibrunnen klassad därför inte som vattenverksamhet, vilket i sin tur innebär att Miljöbalkens föreskrifter om vattenföretag inte är tillämpningsbara och att det vid anläggandet av en geoenergibrunn i de flesta fall enbart krävs en anmälan till kommunens nämnd för miljöfrågor (Geotec och

Svensk Geoenergi 2012). I vissa fall kan dock kommunen kräva tillståndsprövning enligt 17§ i förordningen om miljöfarlig verksamhet och hälsoskydd (1998:899) om det anses krävas för att skydda människors hälsa och miljön. Detta förfarande lämnas här åt sidan för att istället reda ut var en fastighetsgräns går, samt be- greppet termisk rådighet.

6.2.1 En fastighets gräns och termisk rådighet

För att svara på frågeställningen om det lagligen går att borra in under någon annans fastighet på 200 meters djup eller om den fastighetsägarens äganderätt kränks är det relevant att för det första reda ut var en fastighets gränser går. För att reda ut det studeras Jordabalken (SFS 1970:994) första kapitel, en fastighets gränser.

I Jordabalkens första kapitel Fastighet och dess gränser, reds en fastighets gränser ut. En fastighet kan antingen delas in tvådimensionellt eller tredimensionellt enligt definition i 1 § ”Fast egendom är jord. Denna är indelad i fastigheter. En fastighet avgränsas antingen horisontellt eller både horisontellt och vertikalt” (SFS 1970:994). I den tvådimensionella indelningen avgränsas fastigheten enbart horisontellt medan en fastighet i den tredimensionella indelningen avgränsas både horisontellt och vertikalt, alltså i markytan, luften ovanför och marken under markytan. Den vanligaste indelningen av fastigheter är tvådimensionell medan en tredimensionell indelning, eller förändring i fastighetsstrukturen, är mest vanlig i större städer (Magnus, Nordic Law personlig kommentar 2013).

För att reda ut frågan om vem som har rätt till utvinning av energiresurser i mark är det främst en fastighets vertikala indelning som är av intresse. En fastighets vertikala indelning framgår dock inte klart i Jordabalken utan blir först tydligare om äldre lagtexter studeras. Vissa menar att även jorden under en fastighet kan innefattas i begreppet jord och således tillhöra fastigheten, men det finns inget generellt uttalande gällande en fastighets gränser (Michanek 1990). En vedertagen fastighetsrättslig princip säger att det inte går att ange räckvidden uppåt och nedåt för en fastighet (Berg, Bosdotter Olsson 2012). Generellt gäller dock att äganderätten kan sträcka sig långt ner under fastigheten så länge fastighetsägaren har någon nytta av att använda fastigheten på ett sådant djup (Berg, Bosdotter Olsson 2012).

På liknande sätt tolkar Michanek (1990) lagtexten i Jordabalken. Naturresurser som saknar fast anknytning till fastigheten, så som värmen i marken, kan inte ses som fast egendom. Men han menar vidare att utvinningen av naturresursen är ett sätt att använda fastigheten på, och markägaren har rätt att utvinna naturresursen inom det egna fastighetsutrymmet.

Problemet i frågan är att reda ut huruvida grannens äganderätt blir kränkt eller ej om ett borrhål driver över fastighetsgränsen på t.ex. 200 meters djup. Grannen får anses bli kränkt om denne själv har möjlighet att nyttja sin fastighet på det djupet, vilket grannen rimligtvis har. Men grannens möjlighet att nyttja geo-

energin inom sin fastighetsgräns försvinner å andra sidan inte om ett borrhål har drivit in över gränsen, det råder bara andra termiska förutsättningar (Berg, Bosdotter Olsson 2012).

Det kan även vara av vikt att reda ut vem som har termisk rådighet, det vill säga vem som lagligen förfogar över värmen i berget. I slutet av 1990-talet uppkom för första gången frågan om termisk rådighet. Det var i samband med en tillståndsprövning av en geoenergianläggning i centrala Malmö där målet prövades enligt 1983 års Vattenlag (har senare uppgått i Miljöbalken). Malmöföretaget avsåg att borra 10 produktionsbrunnar för uttag av vatten för uppvärmningssyfte för att sedan återföra det avkylda vattnet i 10 återföringsbrunnar för senare avkylningsändamål. Malmöföretaget behövde styrka att de hade vattenrättslig rådighet för den sökta verksamheten. Uttags- och återföringsbrunnarna var belägna på brunnsfastigheten, vilket likställdes med att företaget hade vattenrättslig rådighet (lagen.nu, hämtad 2013-04-24).

I samband med tillståndsprövningarna framgick det däremot att det inte var möjligt för företaget att säkerställa att det återförda grundvattnet inte skulle påverka temperaturen i berget utanför brunnsfastighetens område. I och med att företaget inte hade termisk rådighet över de andra fastigheterna som skulle kunna komma att påverkas beslutade Vattendomstolen att ansökan skulle ogillas. Domen överklagades till Högsta domstolen, vilken däremot menade att det inte kunde begäras krav på rådighet då verksamheten inte innebar någon bortledning av grundvatten. För återföring av avkyld grundvatten finns inga rådighetskrav. Den 7 december 2001 (mål nr T 3084-00) slog Högsta domstolen fast att företaget enbart behövde råda över det område där den geografiska punkten för grundvattenbortledning sker (Geotec och Svensk Geoenergi, 2012).

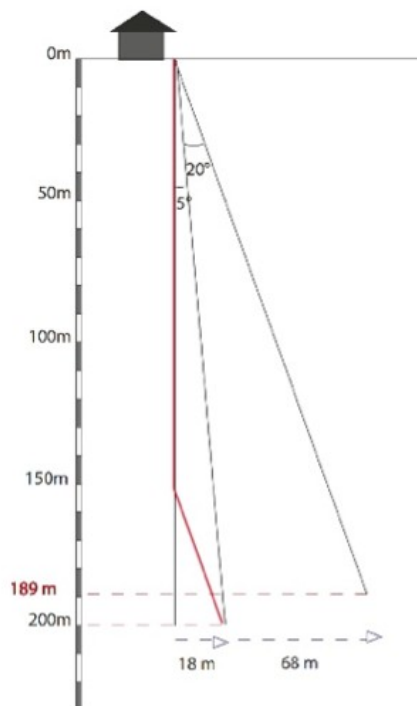
Den som ska anlägga en geoenergibrunn behöver således inte visa på rådighet eller ha tillstånd från grannar att värma upp eller kyla ner berget i anslutning till anläggningen i samband med anmälan. Ingen termisk rådighet behöver påvisas (Magnus, Nordic Law personlig kommentar 2013).

6.3 Funktion

Beroende på vilka olika djup ett borrhål slutar vid spänner de över olika temperaturintervall. Det kan både bero på att värmestillskottet från den geotermiska gradienten påverkar olika mycket eller att den termiska influensen mellan borrhålen blir olika stor. För att svara på frågeställningen om det är skillnad i ett systems funktion om borrhålen är raka och följer den projekterade geometrin, eller om effekten är så liten att det inte märks om ett borrhål avviker, har jämförelse gjorts i de två olika datormodellerna EED och SBM. EED (Earth Energy Designer Program) och SBM (Superposition Borehole Model) är två simuleringsprogram där EED är en förenklad version av SBM. EED har färre frihetsgrader medan SBM innefattar den mest avancerade modellen för termisk beräkning i ett borrhålslager. Simuleringen i de båda programmen är den-

samma men i SBM beräknas inverkan för varje borrhål separat, varför det bland annat är möjligt att simulera vinklade borrhål och olika borrhålsdjup (Hellström och Sanner 2000).

Beroende vilken vinkel ett borrhål har, kommer det för samma borrhållängd sluta på ett annat djup än ett helt vertikalt borrhål. I sin tur leder detta till att de olika borrhålen kan spänna över skilda temperaturintervall. Fig. 5 visar ett helt vertikalt borrhål, ett borrhål med 5° vinkel och ett med 20° vinkel. Samtliga tre borrhål har ett aktivt borrhålsdjup på 200 meter. I botten slutar borrhålet med 5° vinkel 18 meter i lateral riktning i förhållande till det vertikala hålet och skillnaden i absolut vertikalt djup är liten, varför skillnaderna i temperaturförhållandena mellan de två borrhålen troligen är negligerbar. Borrhålet med 20° avvikelse slutar emellertid 68 meter i lateral riktning från det vertikala och 11 meter högre upp, vilket för given temperaturgradient skulle ge en skillnad i borrhålstemperatur på 0,475°C mot det helt vertikala borrhålet. En temperaturskillnad på - 0,475°C gör att medeltemperaturen i borrhålet blir obetydligt lägre. I uträkningen har, förenklat, en temperaturökning på 2,5° C/ 100 meter använts för att se temperaturskillnaden med hänsyn av den geotermiska gradienten. Marktemperaturen på 100 meters djup är i det här exemplet 7° C då borrhålets är



Figur 5. Visar ett helt vertikalt borrhål, ett borrhål med 5° vinkel, ett borrhål med 20°vinkel samt ett borrhål (markerat i rött) som visar ett mer troligt avvikelsemönster. Figuren visar även vilket ungefärligt djup borrhålen slutar på.

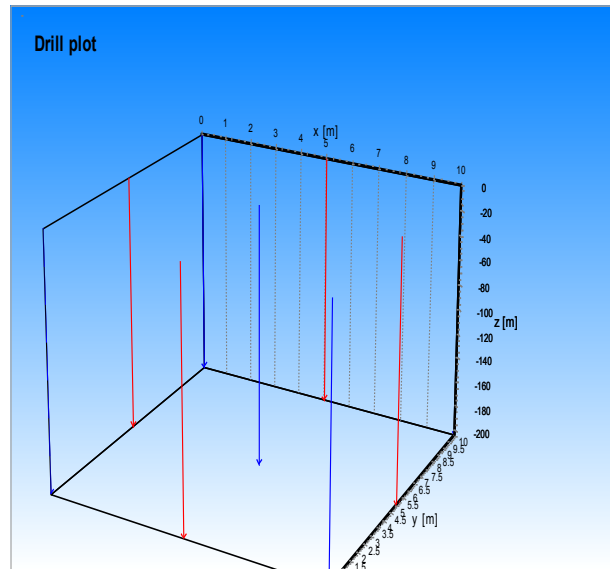
placerat i Stockholmsområdet med en årsmedeltemperatur på 7° C.

I fig. 5 visas dels borrhål som avviker lika mycket hela vägen, men även ett mer troligt exempel där borrhålet till en början går ganska rakt för att längre ner böja av (som det rödmarkerade borrhålet). Borrhålets avvikelse ökar med borrhjupet (Acuña 2010).

För att undersöka skillnader i ett större geoenergisystems funktion har simulering gjorts i ett antal teoretiskt olika fall, presenterade nedan i fig. 6- 12. Simuleringen omfattar 9 borrhål och i samtliga fall har avståndet mellan dessa lagts till 5 meter. Det vanliga i borrhålslager är att borrhålen förläggs med ett avstånd på 4-6 meter då det är önskvärt att borrhålen i ett aktivt system ska samverka och påverka varandra (Geotec och Svensk Geoenergi 2012). I simuleringen är borrhålen placerade för ett aktivt system även fast simuleringarna är utförd som i ett passivt system då det enbart är ett uttag av värme ur systemet. Borrhålen har i samtliga fall placerats i en kvadrat. Följande parametrar har använts: (i) 36 MWh per borrhål och år vilket ger 324 MWh för 9 borrhål, (ii) simuleringstiden sattes till 25 år; (iii) borrhålslagret simuleras till geografisk placering i Stockholmsområdet i en granitberggrund; (iv) det aktiva borrhjupet sattes till 200 meter.

6.3.1 Resultat av simuleringar i SBM

De olika fallen med passiva borrhålssystem som har simulerats i SBM sammanfattas i tabell 1. Tabellen visar maximum och minimum temperatur i borrhål respektive köldbärarvätska efter 25 år i sju olika 9-håls konfigurationer. Resultaten visar att störst skillnad i temperatur är det i fallen med helt vertikala borrhål och borrhål som är vinklade utåt med 5° respektive 15° (fig. 7 och fig. 8). De borrhål som är vinklade utåt med



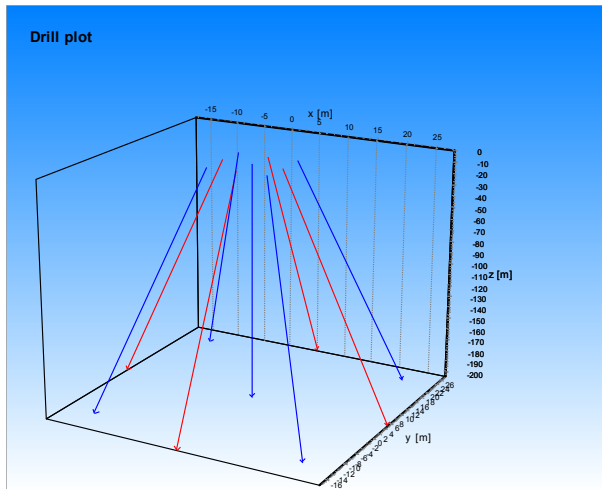
Figur 6. Vertikala borrhål, aktiva borrhålsdjupet är 200 meter. Avstånd mellan borrhålen är 5 meter. Efter simulering i SBM

15° har en högre temperatur i både borrhål och köldbärarvätska efter 25 år (både max och min.). Detta beror antagligen på att den termiska influensen mellan borrhålen minskar med ökat avstånd. I ett motsatt scenario där borrhålen är vinklade inåt med 1° (fig. 11) uppvisas lägst temperaturer.

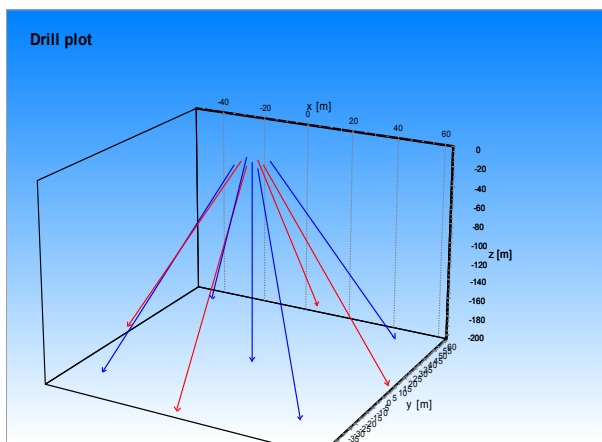
Liknande resultat presenterar Claesson et al. (1985) som visar på prestandaförsämring på grund av termisk influens mellan tre passiva geoenergibrunnar som ligger på en linje med olika radie. Efter 25 år är prestan-

Tabell 1. Sammanställning över max och min temperatur i borrhål respektive köldbärarvätska efter 25 år. Simulering utförd i SBM.

	Borrhål temp. max (°C)	Borrhål temp. min (°C)	Köldbärarvätska temp. max (°C)	Köldbärarvätska temp. min (°C)
Vertikala borrhål (Fig. 6)	6,0860	-5,4490	5,4292	-7,0425
Vinklade 5° utåt (Fig. 7) (borrhålet i centrum är vertikalt)	7,2260	-1,3090	6,5692	-2,9779
Vinklade 15° utåt (Fig. 8) (borrhålet i centrum är vertikalt)	7,3920	1,2150	6,7352	-0,4539
Vinklade 5° åt samma håll (Fig. 9)	6,0770	-5,4580	5,4202	-7,0515
Vinklade 15° åt samma håll (Fig. 10)	6,0020	-5,5670	5,3452	-7,1605
Vinklade 1° inåt (Fig. 11) (borrhålet i centrum är vertikalt)	5,3220	-7,6730	4,6652	-9,2665
Slumpade vinklar och riktningar (Fig. 12)	6,6170	-3,6260	5,9602	-5,2669



Figur 7. Vinklade borrhål, 5°. Borrhål i centrum helt vertikalt. Aktivt borrhål djup är 200 meter. Avstånd mellan borrhål (på markytan) är 5 meter. Efter simulering i SBM.

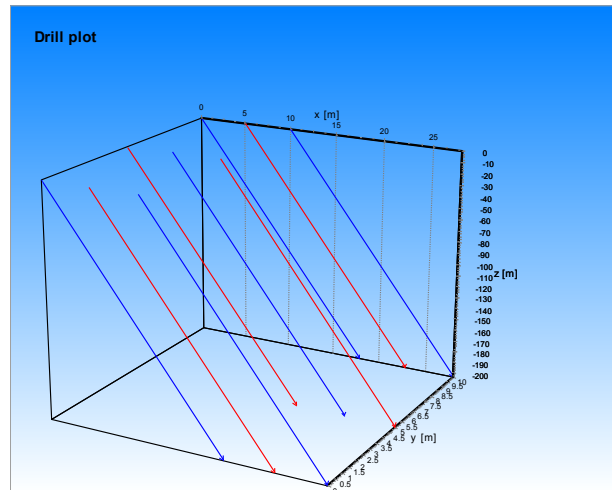


Figur 8. Vinklade borrhål, 15°. Borrhål i centrum helt vertikalt. Aktivt borrhål djup är 200 meter. Avstånd mellan borrhål (på markytan) är 5 meter. Efter simulering i SBM

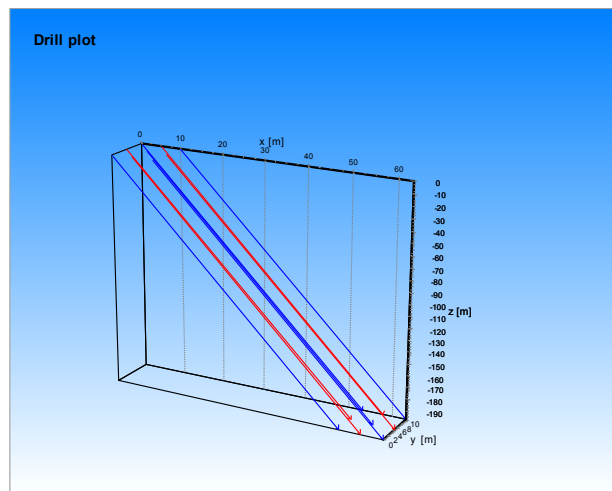
daförsämringen i en brunn som ligger på en radie av 4 meter ungefär 30 %. Till skillnad från två eller flera brunnar på 20 meters avstånd som upplever en prestandaförsämring efter 25 år på 13 %.

Borrhål som avviker åt samma håll med samma vinkel visar ingen nämnvärd temperaturskillnad, varken i borrhål eller köldbärarvätska, jämfört med ett system med helt vertikala borrhål. I ett sådant scenario ändras inte avståndet mellan borrhålen, det blir enbart en förskjutning, vilket innebär att den termiska influensen mellan borrhålen förblir oförändrad. Enligt beräkningar av Hellström (2007) innebär en grads lägre brunnstemperatur (efter 25 år) att kapaciteten hos värmepumpen sjunker med ca 3-5%. De första åren är skillnaden mindre. I snitt hamnar kapacitetssänkningen omkring 2-3 % under de 25 årens drift. Fig. 12 visar ett scenario där avvikelser och riktning har slumpats fram mellan 0-5° och i samtliga fyra vädersträck: (i) borrhål 1, 3° Ö, (ii) borrhål 2, 2° S; (iii) borrhål 3, 5° N; (iv) borrhål 4, 2° N; (v) borrhål 5, 3° S; (vi) borrhål

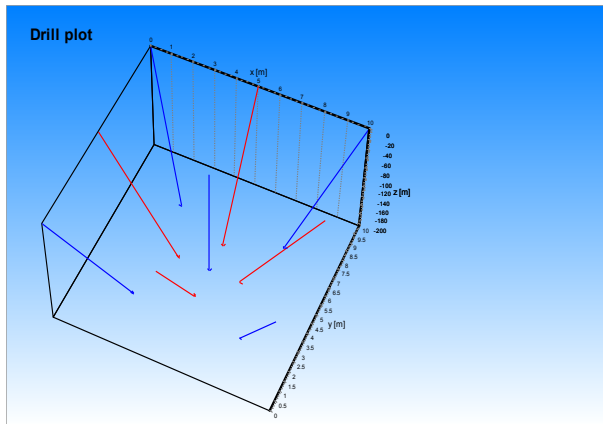
6, 1° N, (vii) borrhål 7, 5° S; (viii) borrhål 8: 2° V; (ix) borrhål 9: 1° Ö (borrhål 1 är överst i vänstra hörnet och borrhål 9 i nedersta högra hörnet). Scenariot syftar till att illustrera hur avvikelser kan framträda i t.ex. ett bostadsområde där många geoenergibrunnar anläggs på en liten yta med skiftande geologi.



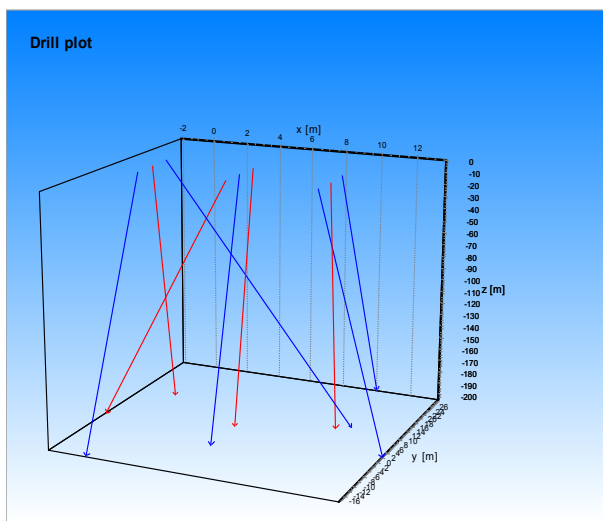
Figur 9. Vinklade borrhål, 5° åt samma håll. Aktivt borrhål djup är 200 meter. Avstånd mellan borrhål (på markytan) är 5 meter. Efter simulering i SBM.



Figur 10. Vinklade borrhål, 15° åt samma håll. Aktivt borrhål djup är 200 meter. Avstånd mellan borrhål (på markytan) är 5 meter. Efter simulering i SBM.



Figur 11. Vinklade borrhål, 1° inåt, borrhål i centrum är vertikalt. Aktivt borrhåldjup är 200 meter. Avstånd mellan borrhål (på markytan) är 5 meter. Efter simulering i SBM.



Figur 12. Borrhålen avviker i slumpad riktning och med slumpad grad. Avstånd mellan borrhålen är (på markytan) 5 meter. Efter simulering i SBM

6.3.2 Borrhålslagret i Luleå

Genom att studera det storskaliga borrhålslagret i Luleå ges ett exempel på hur borrhål kan avvika i praktiken samt vilka effekter det får för funktionen. Borrhålslagret i Luleå var det första storskaliga borrhålslagret i Sverige, det anlades under åren 1982-83. Syftet med lagret var att demonstrera tekniken och för att studera lagrets funktion efter 5 år. En bergsvolym, granit och gnejsgranit, på 100 000 m³ bergsvolym användes. Lagret bestod av 120 stycken borrhål till 65 meters djup. Lagret togs ur drift 1990. Innan lagret togs i bruk genomförde Sveriges Geologiska AB borrhålsloggningar, där bland annat avvikelsemätningar på 18 stycken borrhål utfördes. Mätningarna visade att borrhålen avviker i stort sett åt samma håll, mellan nordost och ost. Medelvärdet för avvikelserna från en vertikal linje är 5,7 meter på ett djup av 65 meter. Den största borrhålsavvikelsen uppmättes till 20 meter i ett 100 meter djupt mätborrhål. Eftersom avvikelserna är

större än borrhålsavståndet skulle borrhålen ha kunnat bli ihopborrade, vilket skulle ha orsakat problem vid rörinstallation i hålen och för driften. Ihopborring har inte inträffat i något fall, anledningen är att borrhålen böjer av med bergets struktur och därmed i samma riktning (Nordell 1989). Hellström (1989) visar att borrhålsavvikelsen inte har någon nämnvärd betydelse för lagrets funktion. I det här fallet, där medelvärdet på avvikelserna var 5,7 meter på 65 meters djup i slumpmässig riktning försämras lagrets prestanda med ca 1 %, för en systematisk avvikelse blir försämringen försämrbar.

7. Slutsatser och diskussion

- Är det möjligt att lagligen borra in under någon annans fastighet på 200 m djup, det vill säga måste botten på ett borrhålslager sluta under den egna fastigheten?

Det är svårt att säga exakt var en fastighets gräns går och den som vill anlägga en geoenergi-brunn på sin fastighet behöver inte visa på termisk rådhighet. Om borrhåll utförs efter gällande normer och avståndet hålls mellan brunnar och fastigheter minimeras risken att ett borrhål driver över fastighetsgränsen. Ett avtal eller servitut mellan grannar kan upprättas i förhand för att minska risken för en rättslig konflikt om det visar sig att ett borrhål har drivit över fastighetsgränsen. Domen i Malmö Värme - målet visar att någon termisk rådhighet inte behöver påvisas. Vid anläggandet av större geoenergisystem behöver det inte stå klart att området runt borrhålen inte kommer påverkas termiskt, så länge energibrunnarna är belägna inom fastighetsgränsen.

- Är det skillnad i ett systems funktion om borrhålen är raka och följer den projekterade geometrin, eller är effekten så liten att det inte märks?

Simulering i SBM visar att effekten inte skiljer sig så mycket mellan helt raka borrhål och borrhål som avviker. Temperaturskillnaden i borrhålet samt köldbärarvätskan efter 25 år framgår av tabell 1. Störst skillnad i temperatur erhålls där borrhålen är vinklade utåt respektive inåt. Där borrhålen är vinklade utåt från det centrerade borrhålet som är vertikalt, blir avståndet mellan borrhålen som störst, den termiska influensen påverkar minst och högst temperaturer kan erhållas både från borrhål och köldbärarvätska. I ett omvänt scenario, där borrhålen avviker inåt mot det vertikala borrhålet i centrum, är den termiska influensen stark och de lägsta temperaturerna erhålls. Påverkan kan kompenseras med djupare borrhål eller återladdning från t.ex. solfångare (Hellström 2007). Borrhål som följer de geologiska strukturerna på platsen tenderar att avvika åt samma håll (Nordell 1989).

I Fig. 9 och Fig. 10 visas simulering av borrhål som

avviker åt samma håll. Simulering visar att varken temperaturen i borrhål eller köldbärandevätska skiljer sig nämnvärt mot temperaturen för system med vertikala borrhål (se tabell 1). Detta på grund av att borrhålen enbart förskjuts, och borrhålen bibehåller samma avstånd.

Att borrhål avviker utåt i ett borrhålslager är sannolikt ingenting som uppkommer spontant, utan uppstår främst vid riktad borrning. Detta för att minska den termiska influensen mellan borrhålen när ett önskvärt avstånd mellan borrhålen på markytan inte går att uppnå. Med ett liknande resonemang antas att borrhål som avviker inåt inte heller uppkommer spontant. Mest sannolikt är att borrhål avviker åt samma håll, som i fallet med borrhålslagret i Luleå eller att borrhålen avviker slumpvis. Att borrhål avviker åt samma håll eller slumpvis ger ingen nämnvärd skillnad i prestanda (se tabell 1).

- Är risken stor att borrhål går in i varandra? Hur ofta inträffar det och vilka effekter får det?

Om borrningen utförs efter gällande normer verkar risken att två borrhål går in i varandra väldigt liten. Andra problem som att det uppstår kontakt mellan två brunnar, eller att den termiska influensen mellan två brunnar gör att de blir feldimensionerade, verkar vara ett mer vanligt förekommande problem. Resultaten tyder på att effektskillnaden inte är stor och närheten till andra brunnar kan kompenseras med ett ökat borrhåldjup.

För enskilda brunnar känns det inte motiverat att öka borkostnaden. Riktad borrningen, med en ungefärlig kostnadsökning på 50 %, står inte i proportion till de komplikationerna som eventuellt kan uppkomma genom att borrning inte riktas. Den främsta anledningen till att borrhål avviker verkar vara på grund av geologiska förhållanden. Borrhålet följer ofta svaghetszoner i berget (se exempel med borrhålslagret i Luleå) och de geologiska avvikelserna verkar vara mer eller mindre systematiska. Av den anledningen skulle en utökad geologisk undersökning av borrhållplatsen vara befogat innan borrningen startar.

8. Tack

Framför allt vill jag tacka Signhild Gehlin, Svenskt Geoenergicentrum, för all vägledning och hjälp oavsett dag och tid på dygnet. Tack! Jag vill även tacka Johan Barth, Geotec för uppslaget till arbetet samt för att jag fick chans att skriva arbetet från första början. Tack även till Per Möller på Geologiska Institutionen för viktiga synpunkter på texten och till Göran Hellström, för simuleringarna i SBM. Och sist men inte minst, tack Rickard för att du är lugn i mitt kaos.

9. Referenser

- Acuña, J., 2013: Distributed thermal response tests – New insights on U-pipe and Coaxial heat exchangers in groundwater-filled boreholes. Doctoral Thesis. KTH Energy and Environmental Technology Stockholm. 138 pp.
- Acuña, J., 2010: Improvements of U-pipe Borehole Heat Exchangers. Licentiate Thesis, KTH Energy and Environmental Technology Stockholm. 124 pp.
- Andersson, O., 1981: Borrning och dokumentation-borrningsteknik jämte metodik för geologisk data insamling under borrhings gång. Thesis, Lunds Universitet, kvartärgeologiska avdelningen, Lund. 281 pp.
- Berg, M., Bosdotter Olsson, P. 2012. Hur långt ner äger man under sin fastighet? Borrsvängen, 4, 38.
- Claesson, J., Efring, B., Eskilson, P., Hellström, G., 1985: Markvärme- en handbok om termiska analyser. Stockholm: Statens råd för byggnadsforskning
- Esensjö, S., 1985: Bergborrning med kontrollerad hållkrökning - simulering och försök till praktisk lösning. Licentiatuppsats, Avd. för Bergmaskinteknik Högskolan i Luleå, Luleå.
- Geotec och Svensk Geoenergi, 2012: Geoenergin i samhället - En viktig del i en hållbar energiförsörjning. Lund. 92 pp.
- Hallqvist, D., 2010: Hur borrar man raka kvalitetshål. C-uppsats, Luleå Tekniska Universitet, Luleå. 45 pp.
- Hellström, G., 1991: Bedrock Heat Store in Lund – Numerical Simulation 1983-1988. Lund 1991.
- Hellström, G., 2007: Termisk påverkan mellan borrhål. Lunds Tekniska Högskola, Lund.
- Hellström, G., Sanner B., Earth Energy Designer, EED, Version 2.0, 2000
- Gregow, T. (red.) 2010: Sveriges rikes lag: gillad och antagen på riksdagen år 1734, stadfäst av Konung en den 23 januari 1736. Med tillägg innehållande författningar som utkommit från trycket fram till början av januari 2010. Norstedts Juridik AB. 4152 pp.
- Kjellsson, E., 2009: Solar Collectors Combined with Ground-Source Heat Pumps in Dwellings-analyses of system of performance. Doctoral Thesis, Building Physics LTH Lunds Universitet, Lund. 160 pp.
- Michanek, G., 1990: Energirätt. Iustus Förlag. 656 pp.
- Nordell, B., 1986: Borrhållager i berg vid högskolan i Luleå- anläggnings- och driftserfarenheter. Projekt Luleåvärme 1982-1985. Luleå. 114 pp.
- Nordell B., 1989: Borrhållager i berg vid Högskolan i Luleå- slutrapport - projekt Luleåvärme 1982-1988. Luleå. 48 pp.
- Olsson, A. 2012. Avvikelsemätning av borrhål - vad står till buds? Borrsvängen, nr. 1, 20-23.
- SGU, Socialstyrelsen, SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut, Geotec, Avanti och Svep, 2008: Normbrunn -07: Normförfarande vid utförande av vatten- och energibrunnar. Sveriges geologiska undersökning. 36 pp.
- Sinkala, T., 1988: Drill Hole Deviations Governed by the rock structure; How – Why - What to do. Tekniska Universitetet i Luleå. 31 pp.

Bilaga 1

Vad är Er uppfattning gällande:

- Om borrhålen blir sneda/krökta, vad är er uppfattning om vad som har gått fel. Geologin på platsen (sprickor eller andra svaghetszoner), felaktiga maskininställningar eller den mänsklig faktor?
- Vad finns det för risker förknippat med sneda borrhål?
- Hur ofta blir borrhålen sneda?
- Hur ofta gör ni rakhetsmätningar?
- Om/när ni mäter in lutningen på borrhålen, vem är det som efterfrågat det? Registreras lutningen i brunnsprotokollet?
- Vad är det för problem förknippade med sneda/krökta borrhål?
- Hur ofta går borrhål in i varandra?
- Vad händer/vilka är riskerna med att två eller flera borrhål går in i varandra?
- Vem är det som blir skadeståndsskyldig i ett fall där två borrhål har gått in i varandra?
- Använder Ni er utav utrustning som gör borrhålen mer raka?
- Om ja, hur mycket mer tidskrävande är det och hur mycket dyrare blir det för konsumenten?
- Om ett snett borrhål, som går in på grannens fastighet, innebär att två värmepumpsanläggningar anläggs för nära för varandra och följderna blir att verkningsgraden blir sämre, kan det kompenseras med ett ökat borrhåldjup?
- Vad kostar det att borra en energibrunn på 250 meter? Meterpris.

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

309. Leskelä, Jari, 2012: Loggning och återfyllning av borrhål – Praktiska försök och utveckling av täthetskontroll i fält. (15 hp)
310. Eriksson, Magnus, 2012: Stratigraphy, facies and depositional history of the Colonus Shale Trough, Skåne, southern Sweden. (45 hp)
311. Larsson, Amie, 2012: Kartläggning, beskrivning och analys av Kalmar läns regionalt viktiga vattenresurser. (15 hp)
312. Olsson, Håkan, 2012: Prediction of the degree of thermal breakdown of limestone: A case study of the Upper Ordovician Boda Limestone, Siljan district, central Sweden. (45 hp)
313. Kampmann, Tobias Christoph, 2012: U-Pb geochronology and paleomagnetism of the Westerberg sill, Kaapvaal Craton – support for a coherent Kaapvaal-Pilbara block (Vaalbara). (45 hp)
314. Eliasson, Isabelle Timms, 2012: Arsenik: förekomst, miljö och hälsoeffekter. (15 hp)
315. Badawy, Ahmed Salah, 2012: Sequence stratigraphy, palynology and biostratigraphy across the Ordovician-Silurian boundary in the Röstånga-1 core, southern Sweden. (45 hp)
316. Knut, Anna, 2012: Resistivitets- och IP-mätningar på Flishultsdeponin för lokalisering av grundvattenytor. (15 hp)
317. Nylén, Fredrik, 2012: Förädling av ballastmaterial med hydrocyklon, ett fungerande alternativ? (15 hp)
318. Younes, Hani, 2012: Carbon isotope chemostratigraphy of the Late Silurian Lau Event, Gotland, Sweden. (45 hp)
319. Weibull, David, 2012: Subsurface geological setting in the Skagerrak area – suitability for storage of carbon dioxide. (15 hp)
320. Petersson, Albin, 2012: Förutsättningar för geoenergi till idrottsanläggningar i Kallerstad, Linköpings kommun: En förstudie. (15 hp)
321. Axbom, Jonna, 2012: Klimatets och människans inverkan på tallens etablering på sydsvenska mossar under de senaste århundradena – en dendrokronologisk och torvstratigrafisk analys av tre småländska mossar. (15 hp)
322. Kumar, Pardeep, 2012: Palynological investigation of coal-bearing deposits of the Thar Coal Field Sindh, Pakistan. (45 hp)
323. Gabrielsson, Johan, 2012: Havsisen i arktiska bassängen – nutid och framtid i ett globalt uppvärmningsperspektiv. (15 hp)
324. Lundgren, Linda, 2012: Variation in rock quality between metamorphic domains in the lower levels of the Eastern Segment, Sveconorwegian Province. (45 hp)
325. Härling, Jesper, 2012: The fossil wonders of the Silurian Eramosa Lagerstätte of Canada: the jawed polychaete faunas. (15 hp)
326. Qvarnström, Martin, 2012: An interpretation of oncolite mass-occurrence during the Late Silurian Lau Event, Gotland, Sweden. (15 hp)
327. Ulmius, Jan, 2013: P-T evolution of paragneisses and amphibolites from Romeleåsen, Scania, southernmost Sweden. (45 hp)
328. Hultin Eriksson, Elin, 2013: Resistivitetsmätningar för avgränsning av lakvattenplym från Kejsarkullens deponis infiltrationsområde. (15 hp)
329. Mozafari Amiri, Nasim, 2013: Field relations, petrography and $40\text{Ar}/39\text{Ar}$ cooling ages of hornblende in a part of the eclogite-bearing domain, Sveconorwegian Orogen. (45 hp)
330. Saeed, Muhammad, 2013: Sedimentology and palynofacies analysis of Jurassic rocks Eriksdal, Skåne, Sweden. (45 hp)
331. Khan, Mansoor, 2013: Relation between sediment flux variation and land use patterns along the Swedish Baltic Sea coast. (45 hp)
332. Bernhardson, Martin, 2013: Ice advance-retreat sediment successions along the Logata River, Taymyr Peninsula, Arctic Siberia. (45 hp)
333. Shrestha, Rajendra, 2013: Optically Stimulated Luminescence (OSL) dating of aeolian sediments of Skåne, south Sweden. (45 hp)
334. Fullerton, Wayne, 2013: The Kalgoorlie Gold: A review of factors of formation for a giant gold deposit. (15 hp)
335. Hansson, Anton, 2013: A dendroclimatic study at Store Mosse, South Sweden – climatic and hydrologic impacts on recent Scots Pine (*Pinus sylvestris*) growth dynamics. (45 hp)
336. Nilsson, Lawrence, 2013: The alteration

- mineralogy of Svartliden, Sweden. (30 hp)
337. Bou-Rabee, Donna, 2013: Investigations of a stalactite from Al Hota cave in Oman and its implications for palaeoclimatic reconstructions. (45 hp)
338. Florén, Sara, 2013: Geologisk guide till Söderåsen – 17 geologiskt intressanta platser att besöka. (15 hp)
339. Kullberg, Sara, 2013: Asbestkontamination av dricksvatten och associerade risker. (15 hp)
340. Kihlén, Robin, 2013: Geofysiska resistivitetsmätningar i Sjöcrona Park, Helsingborg, undersökning av områdets geologiska egenskaper samt 3D modellering i GeoScene3D. (15 hp)
341. Linders, Wictor, 2013: Geofysiska IP-undersökningar och 3D-modellering av geofysiska samt geotekniska resultat i GeoScene3D, Sjöcrona Park, Helsingborg, Sverige. (15 hp)
342. Sidenmark, Jessica, 2013: A reconnaissance study of Rävliiden VHMS-deposit, northern Sweden. (15 hp)
343. Adamsson, Linda, 2013: Peat stratigraphical study of hydrological conditions at Stass Mosse, southern Sweden, and the relation to Holocene bog-pine growth. (45 hp)
344. Gunterberg, Linnéa, 2013: Oil occurrences in crystalline basement rocks, southern Norway – comparison with deeply weathered basement rocks in southern Sweden. (15 hp)
345. Peterffy, Olof, 2013: Evidence of epibenthic microbial mats in Early Jurassic (Sinemurian) tidal deposits, Kulla Gunnarstorp, southern Sweden. (15 hp)
346. Sigeman, Hanna, 2013: Early life and its implications for astrobiology – a case study from Bitter Springs Chert, Australia. (15 hp)
347. Glommé, Alexandra, 2013: Texturella studier och analyser av baddeleyitombildningar i zirkon, exempel från sydöstra Ghana. (15 hp)
348. Brådenmark, Niklas, 2013: Alunskiffer på Öland – stratigrafi, utbredning, mäktigheter samt kemiska och fysikaliska egenskaper. (15 hp)
349. Jalnefur Andersson, Evelina, 2013: En MIFO fas 1-inventering av fyra potentiellt förorenade områden i Jönköpings län. (15 hp)
350. Eklöv Pettersson, Anna, 2013: Monazit i Obbhult-komplexet: en pilotstudie. (15 hp)
351. Acevedo Suez, Fernando, 2013: The reliability of the first generation infrared refractometers. (15 hp)
352. Murase, Takemi, 2013: Närkes alunskiffer – utbredning, beskaffenhet och oljeinnehåll. (15 hp)
353. Sjöstedt, Tony, 2013: Geoenergi – utvärdering baserad på ekonomiska och drifttekniska resultat av ett passivt geoenergisystem med värmeuttag ur berg i bostadsrättsföreningen Mandolinen i Lund. (15 hp)
354. Sigfúsdóttir, Thorbjörg, 2013: A sedimentological and stratigraphical study of Veiki moraine in northernmost Sweden. (45 hp)
355. Månsson, Anna, 2013: Hydrogeologisk kartering av Hultan, Sjöbo kommun. (15 hp)
356. Larsson, Emilie, 2013: Identifying the Cretaceous–Paleogene boundary in North Dakota, USA, using portable XRF. (15 hp)
357. Anagnostakis, Stavros, 2013: Upper Cretaceous coprolites from the Münster Basin (northwestern Germany) – a glimpse into the diet of extinct animals. (45 hp)
358. Olsson, Andreas, 2013: Monazite in metasediments from Stensjöstrand: A pilot study. (15 hp)
359. Westman, Malin, 2013: Betydelsen av raka borrhål för större geoenergisystem. (15 hp)



LUNDS UNIVERSITET

Geologiska institutionen
Lunds universitet
Sölvegatan 12, 223 62 Lund