

Optimera med rätt kollektorval

text & bild: José Acuna

Ett mera genomtänkt val av borrhålskollektor kan bidra till att göra geoenergianläggningarna effektivare eller billigare att driva. Denna möjlighet börjar först nu beaktas av dagens marknadsaktö-

rer, påpekar José Acuna, doktorand vid Institutionen för energiteknik på KTH i Stockholm. Här sammanfattar han resultaten av sina tester och pekar på alternativa kollektorlösningar.

Stabil berggrundstemperatur

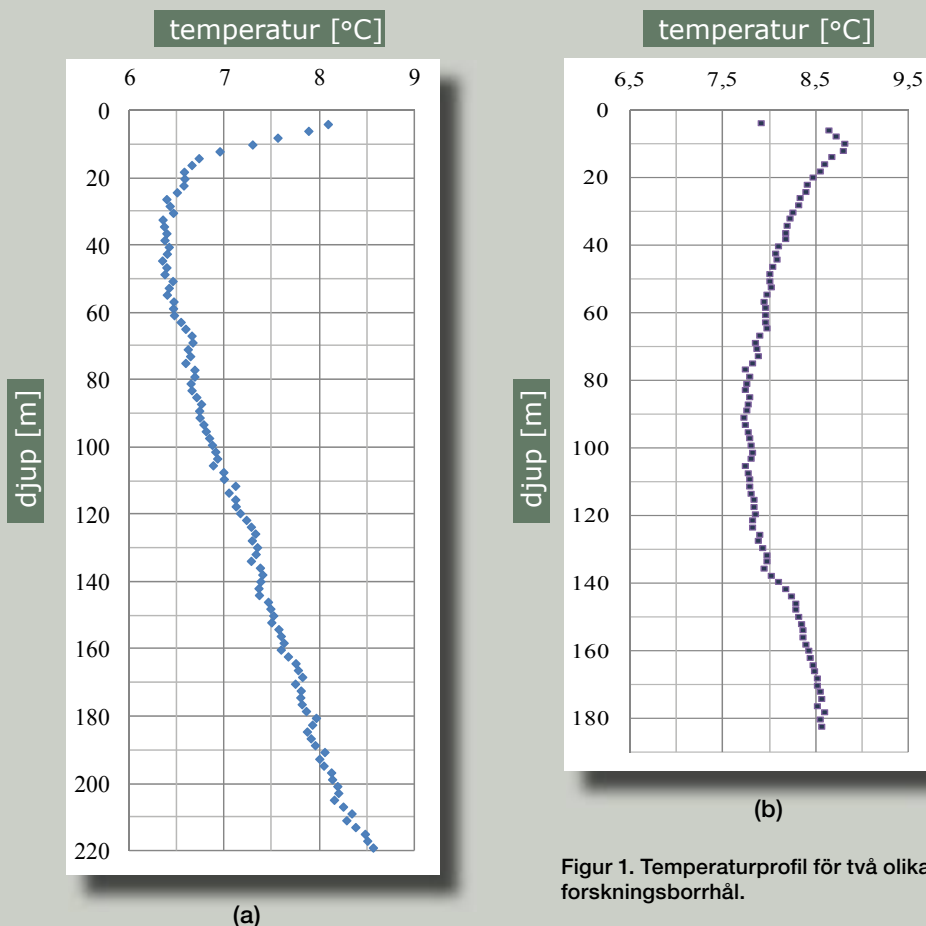
Att använda berggrunden som källa för värme eller kyla i geoenergianläggningar utgör idag en mycket vanlig metod för uppvärmning av villor resp. för kylning av större fastigheter. Det som gör berget attraktivt är att berggrunden håller en relativt konstant temperatur året om oberoende av lufttemperaturförändringar. Detta gäller för jord och berg på djup större än 15 meter då de första metrarna påverkas av lufttemperaturer under året.

Markens ostörda temperatur vid normala djup för energibrunnar varierar i olika områden i världen - den kan dock generellt uppskattas som årets medelvärde av uteluftstemperaturen. I Stockholm är bergets medeltemperatur cirka 8°C, vilket ligger strax över uteluftstemperaturens medelvärde.

Genom mätningar av markens ostörda temperatur kan en sk temperaturprofil för ett visst område tas fram. Figur 1 visar en sådan profil som resultat av en undersökning som utförts i två forskningsborrhål i Stockholm. I dessa borrhål har mätning skett längs borrhålsdjupet med 2 meters avstånd mellan mätpunkterna. Undersökningen utgör del av ett forskningsprojekt som pågår på KTH (Kungliga Tekniska Högskolan, Stockholm).

Bebyggelsen påverkar temperaturen

Temperaturen har ett minimum på ett visst djup. Detta kan delvis förklaras med att marken runt borrhålen delvis



Figur 1. Temperaturprofil för två olika forskningsborrhål.

är bebyggd vilket påverkar värmetransportprocessen i marken.

Långsiktigt orsakar bebyggelsen en relativ höjning av temperaturen i markens översta skikt. Borrhålet som redovisas i figur 1a har borrats i ett villaområde som är cirka sju år gammalt. Området kring brunnen i figur 1b består mest av cirka 70 år gamla villor.

Ur figur 1 kan vi utläsa att temperaturen når sitt minimum på ca. 40 m resp. 90 m djup, därefter stiger temperaturen med ca 1°C/100 m (geotermisk gradient). Beroende på hur denna temperaturgradient ser ut kan värmepumpsystemet, som skall nyttja borrhålet som energikälla, utformas.

U-formad kollektor vanligast

I Sverige kan medeltemperaturen i marken variera mellan cirka 9°C (södra delen av landet) och 3°C (i norr). I södra Europa ligger temperaturnivåerna på cirka 15°C. Att temperaturerna på olika platser är relativt högre och lägre än luften under sommaren respektive under vintern gör att marken kan nyttjas som energikälla med stabila och attraktiva temperaturer för olika sorters behov. Denna energi är gratis och förnybar.

Det vanliga sättet att nyttja denna tillgång är med hjälp av en vätskefylld borrhålsvärmväxlare (kollektor) nedsänkt i en energibrunn. Med energibrunn avses här bergborrat hål som utnyttjas för att växla värme med det omgivande berget. (Det är vanligt att benämna kollektorer med förkortningen BHE från engelskans Borehole Heat Exchanger). En kollektor består i de flesta fall av en U-formad polyetenslang (PE40x2,4mm).

Lägre spritkoncentration effektivast

Vätskan som cirkulerar i vanliga kollektorer kan vara vatten eller en blandning av vatten och olika frostskyddsmedel, då det finns en risk för frysning på grund av de låga temperaturerna. Frostskyddskapaciteten beror på frostskyddsmedlets koncentration.

I kalla länder som Sverige är det normalt att använda köldbärarvätska som innehåller knappt 30% etanol, vilket ger frysskydd ner till -15°C. Koncentrationen är avgörande för hur mycket el-effekt som krävs för att pumpa köldbäraren runt i kollektorslingan på grund av att viskositeten i vätskan ökar med den ökande spritkoncentrationen. Det är därför av intresse att minska etanolkoncentrationen så långt det är möjligt vilket

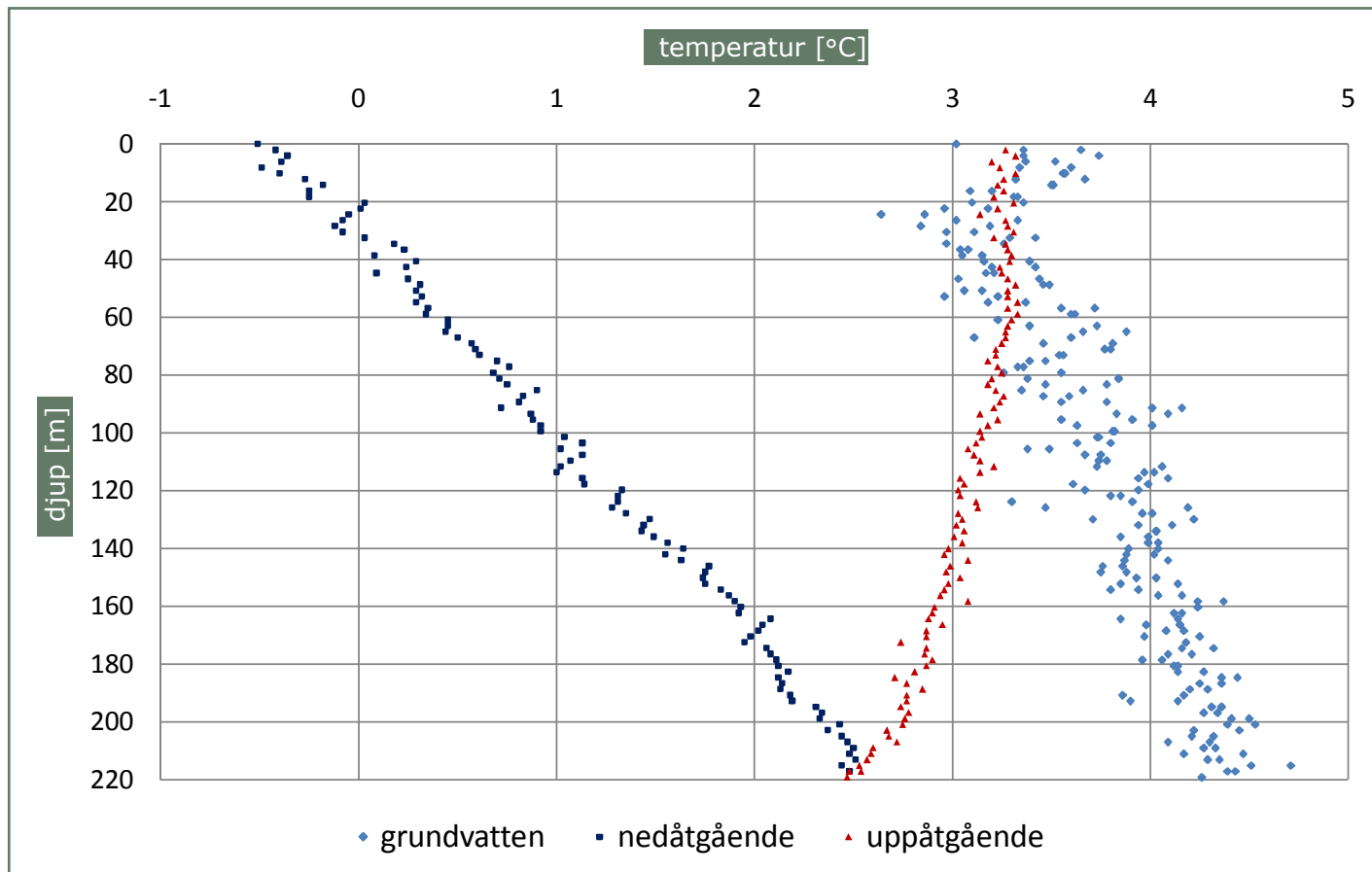
kan göras om energisystemet är väldimensionerat, särskilt i system med bättre borrhålsvärmväxlare.

U-rör inte optimalt

U-rörskollektorer är säkra, lätta att installera och har en relativt låg kostnad. Samtidigt kan det konstateras att U-rörskollektorer vanligtvis har dålig prestanda, vilket tyder på att det fortfarande finns egenskaper som kan förbättras, trots att dagens bergvärmesystem redan är mycket effektiva.

Figur 2 visar en typisk temperaturprofil för köldbäraren (och grundvattnet) längs en U-rörsvärmväxlare under pågående värmeuttag från berget. Temperaturen ökar medan vätskan passerar igenom kollektorn tack vare värmeförlust till marken. I detta driftfall ser man att grundvattnet högst upp i borrhålet har lägre temperatur än köldbärarvätskan som rör sig uppåt i kollektorn. Medeltemperaturdifferensen mellan borrhållväggen och köldbäraren i detta driftfall är minst tre grader, beroende på hur slangarna ligger i hålet.

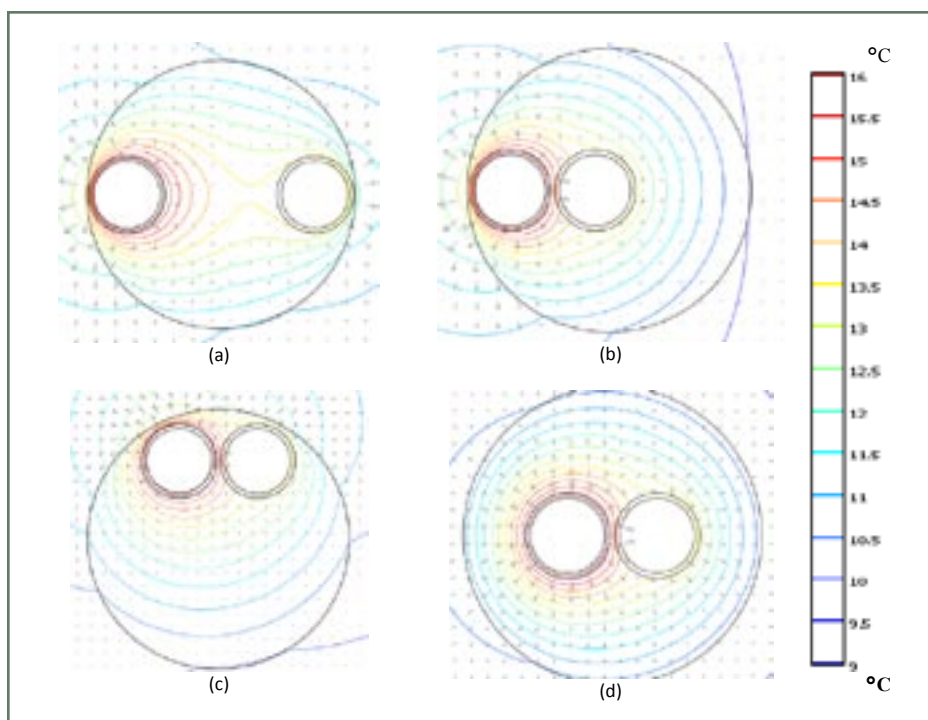
Fortsättning på nästa sida...



Figur 2. Temperaturprofil i ett U-rörskollektor med lågt köldbärarflöde.

Geoenergi - bättre kollektorer

Figur 3. Temperaturprofiler tvärs över en U-rörsväxlare med olika placeringsalternativ.



...fortsättning från föregående sida

I lutande borrhål vilar kollektorslangarna förmodligen mot borrhålsväggen, vilket ger bättre värmeöverföring.

Konvektion främjar energiöverföring

I Sverige är de flesta energibrunnar fyllda med grundvatten, vanligtvis inte ända upp till ytan. Borrhåls längden som är vattenfylld kallas för aktiv borrhåls-längd.

Värmeöverföring i en energibrunn kan delvis ske genom konvektion som resultat av grundvattenrörelser i borrhålet - mätningar visar att denna konvektion är till hjälp.

En vanlig energibrunn är ungefär mellan 120 m och 250 m djup, beroende på energibehovet. Normalt brukar man dimensionera anläggningen/energi brunnen så att man växlar cirka 30 W/m - 40 W/m (watt per kollektorlöpmetrar). Dessa effekter, och ännu högre, kan uppnås med vilken borrhålsväxlare som helst, men dimensioneringen av bergvärmesystemen har traditionellt gjorts utifrån ett effektuttag på högst 50 W/m. Anledningen till detta är att man långsiktigt vill upprätthålla bra temperaturnivåer i marken.

Frysningrisk vid högt effektuttag

En risk med högt effektuttag är att grundvattnet kring kollektorslangarna kan frysa. Värmeledningen genom isen blir cirka fem gånger bättre än genom

stillastående vatten, men frystemperaturen ligger vid noll grader. Det är klart att effektivisering av värmewäxling i borrhålet uppnås lättast genom sänkning av temperaturskillnaden mellan köldbärarvätskan och berget. Vid liten temperaturskillnad blir energiöverföringen från berget till kollektorn betydligt effektivare. Det är temperaturen som avgör systemets prestanda, således vill man helst inte frysa borrhålet.

Kollektor tätt intill borrhålsvägg

Det är också viktigt att installera kollektorslangarna så tätt intill berget som möjligt och samtidigt så långt som möjligt ifrån varandra. Figur 3 visar exempel på temperaturfördelningen och den termiska kontakten för olika placeringsalternativ i borrhålet (här för en U-rörskollektor).

Det termiska shuntflödet (termiska kontakten mellan slangarna) blir tydligare i djupare borrhål.

Trög marknad för alternativa kollektorer

Diskussionen om förbättring av borrhålsväxlare har pågått på olika håll i världen i flera år. Flera alternativ på utformning av borrhålsväxlare har utvecklats och studerats. I rapporten "Borehole Heat Exchangers - State of the Art" (av Göran Hellström, en del av IEA ECES Annex 13, år 2002), presenteras en komplett sammanfattning av allt som hade hänt fram till 2002.

Förbättringar via tillämpad forskning

I Sverige har vi gedigen erfarenhet av borrhålsväxlare och en mycket framgångsrik forskning på geoenergiområdet. Däremot har framgången för nya borrhålsväxlare varit begränsad - marknaden har helt enkelt inte vågat introducera dem i någon nämnvärd skala.

I ett aktuellt KTH-projekt genomförs nu noggranna temperaturmätningar i flera borrhål. Syftet är att visa upp alternativa kollektorlösningar och ta fram rekommendationer för förbättring av dagens U-rörskollektor. Projektet genomförs vid Institutionen för Energiteknik med finansiering från Energimyndigheten och flera industripartners. Genom samarbetet med industrin ökar möjligheterna att praktiskt använda forskningsresultaten och påverka marknaden. De flesta resultat från detta projekt finns redovisade i en teknologie licentiatrapport "Improvements of U-pipe Borehole Heat Exchangers" (av artikelförfattaren) som presenterades i slutet av maj i år.

Spacers förbättrar U-rörskollektorn

Några av kollektorvarianterna som studeras på KTH visas i figur 4. Dessa borrhålsväxlare kan delas in i två generella grupper: U-rörbaserade respektive koaxiala kollektorer.



Figur 4. Olika kollektortyper

(a) U-rör med spacers

I den första gruppen återfinns kollektorer som består av en eller flera parallella U-rör, med eller utan tillbehör avsedda för förbättring av värmeöverföringen. Som exempel på sådana förbättrande åtgärder/tillbehör kan nämnas distansbrickor (spacers) - se figur 4a - eller inre räfflor (figur 4b).

Koaxialkolektor ger större kontaktyta

Koaxialkolektorer består av en centrumslang omgiven av en eller flera perifera flödeskanaler (figur 4c och 4d). En uppmätt temperaturprofil längs en koaxial borrhålsvärmväxlare under värmeförseln i berget (gäller även vid värmeuttag) visas i figur 5.

Den större ytan i rørets yttre struktur gör att värmen kan samlas upp på ett effektivare sätt. Den/de yttre kanalerna i

en koaxial värmväxlare har större kontaktyta och ligger närmare berget, vilket ökar möjligheten för den cirkulerande vätskan att vara i termisk kontakt med värmekällan. Den termiska kontakten mellan centrum och den yttre kanalen (eller kanalerna) måste optimeras för att undvika det termiska shuntflödet.

Figur 5 visar också att den uppåtströmmande kolektorvätska som i detta fall flödar genom en yttre kanal som ligger nära berget, värms upp till en temperatur som ligger nära borrhålsväggens.

Cirkulationspump onödig

Optimering av köldbärarvätskans cirkulation är ett annat sätt att öka kolektorns prestanda.

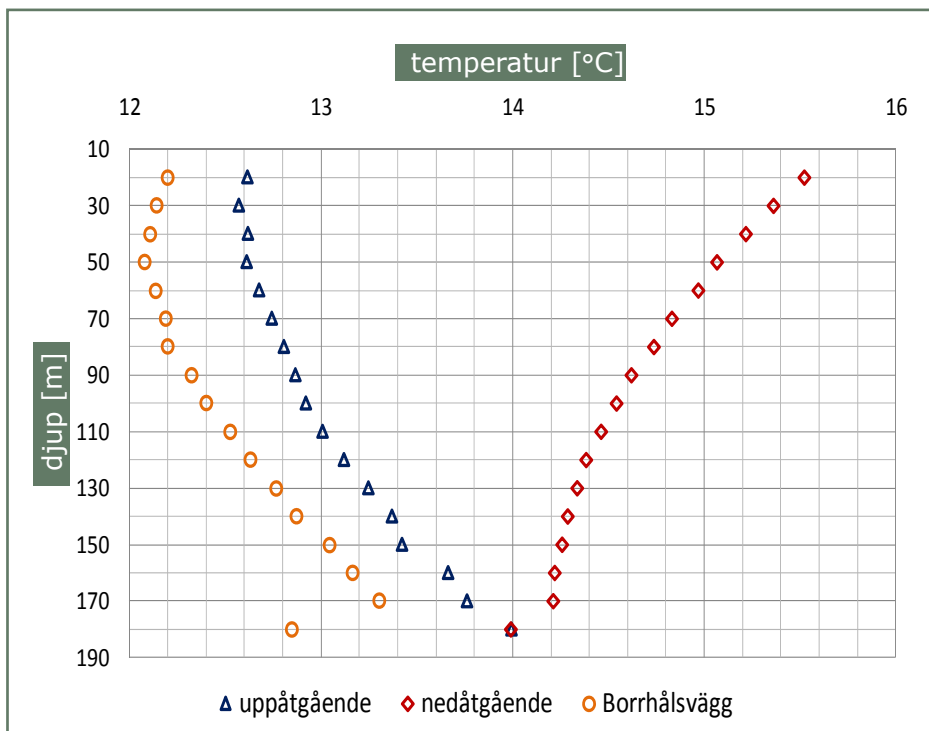
Vad gäller optimering av cirkulationen i kolektor slangar finns det ytterligare

ett sätt, och det är att få vätskan i kolektorn att cirkulera naturligt utan hjälp av en cirkulationspump. Detta görs på KTH med koldioxid som köldbärare. Denna fluid kan förflytta sig på egen hand tack vare att den växlar mellan flytande form och gas (ändrar densitet). Mätningar har bekräftat att det fungerar - ett sådant pumpplöst system kräver ca 5%-10% mindre elenergi.

De hittills utförda mätningarna tyder på att borrhålsvärmväxlarens termiska prestanda påverkas primärt av utformningen. Dessutom är köldbärarflödet, kontakt mellan olika material, termiska egenskaper hos omgivande mark och eventuellt återfyllnadsmaterial (eller värmväxling genom grundvattnet) viktiga faktorer.

Med bättre borrhålsvärmväxlare öppnas vägen för två olika sätt att förbättra dagens geoenergisystem: effektivare kollektorer ger oss möjlighet att antingen behålla dagens systemprestanda med grundare borrhål (lägre installationskostnader) eller att behålla dagens borrhålsdjup och öka systemprestanda (lägre driftkostnader).

Mer information om effektivisering av borrhålskolektorer finns på hemsidan www.energy.kth.se/energibrunnar.



Figur 5. Temperaturprofil i en annulär koaxial borrhålsvärmväxlare.



(b) U-rör med räfflor



(c) Koaxial kolektor



(d) Koaxial termosifon