

Bergvärmesystem med fler än en energibrunn

I år installeras ca 7000 energibrunnar i Sverige. I de flesta fall används en enda energibrunn i kombination med en värmepump för uppvärmning av enfamiljshus. Men det blir allt vanligare att marken används som energikälla för större fastigheter, som ofta har behov av både värme och kyla. För sådana system krävs fler än en energibrunn. Mycket tyder på att den här typen av energisystem kommer att få en alltmer betydande roll när vårt samhälle lägger allt större vikt vid energieffektivisering och uthållighet. Idag finns flerbrunnssystem med mellan 2 till 400 borrhål.

Enskilda energibrunnars termiska funktion är relativt enkel att beskriva (se Energi & Miljö, 1/2000, se tidigare artikel), men betydligt mer komplicerat blir det för system med flera energibrunnar. I den här artikeln beskrivs funktionen hos flerbrunnssystem och vilka parametrar som påverkar detta.

En eller flera energibrunnar -vad spelar det för roll?

Spelar det någon roll om man utformar en bergvärmeanläggning med en energibrunn som är 150 meter djup eller två energibrunnar som är 75 m djupa? - Ja!

Värmeuttaget från en energibrunn medför att temperaturen sänks i berget kring borrhålet. Om två energibrunnar placeras så nära varandra att de påverkar varandra termiskt, så kommer värmebärartemperaturen till värmepumpen att bli lägre än om avståndet mellan dem är stort. Värmepumpen får då en lägre värmefaktor och förbrukar därmed mer energi (högre driftskostnad). Man får isåfall öka borrhålsdjupet, för att samma lägsta värmebärartemperatur ska erövas som om de två brunnarna varit helt opåverkade av varandra.

Två näraliggande energibrunnar kräver alltså ett större totalt borrhålsdjup, vilket ger en ökad anläggningskostnad. Avståndet mellan energibrunnarna är avgörande för hur många fler borrhålsmeter man måste borra. Hur blir det då om grannarna också skaffar bergvärme? Hur långt ifrån varandra måste två borrhål ligga för att inte påverkas? Antalet energibrunnar som påverkar varandra, inbördes avstånd och uttagen (netto) energimängd under året per meter borrhål är faktorer som kraftigt påverkar dimensioneringen. Tabell 1 visar hur mycket energi man kan få ut från två 75 m djupa brunnar på olika avstånd från varandra, jämfört med en ensam energibrunn på 150 m. Generellt kan man säga att brunnar i svensk berggrund på större avstånd än ca 30 meter kan sägas vara opåverkade av varandra. Men även om brunnarna ligger långt ifrån varandra brukar det löna sig att borra djupt. Bergets temperaturökar nämligen med djupet med ca 1-2 grader per hundra meter i svensk berggrund, så energibrunnar för värmeuttag blir alltså effektivare på större djup.

	Enskild energibrunn	Två brunnar på inbördes avstånd			
		4 m	10 m	20 m	30 m
Erfoderligt brunnsdjup per borrhål:	150 m	88 m	83 m	81 m	80 m

Tabell 1. Erfoderligt djup per borrhål för två brunnar på olika inbördes avstånd jämfört med samma uttagsmängd ur enskild energibrunn

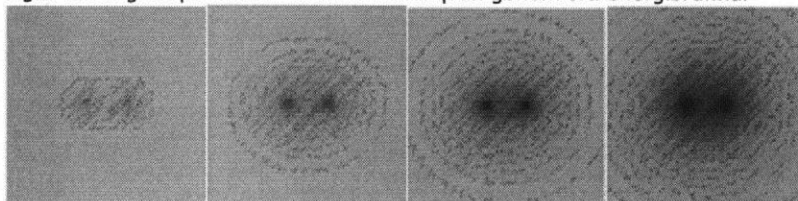
Frågan om man ska borra en djup eller flera grunda brunnar har även en totalekonomisk aspekt. Den del av brunnen som är ovanför grundvattenytan bidrar inte med något värmeuttag. I Sverige ligger vanligtvis grundvattenytan ett par meter under markytan, d v s för en grundvattenyta på 2 meters djup får man borra 2 m extra borrhål, som man inte kan nyttja för energiuttag, per energibrunn. Dessutom kan det vara flera gånger dyrare per borrhålsmeter att borra genom de översta lösa jordlagren jämfört med bergborrning. Det kan alltså vara ekonomiskt att borra få och djupa borrhål även ur denna aspekt.

Termisk influens

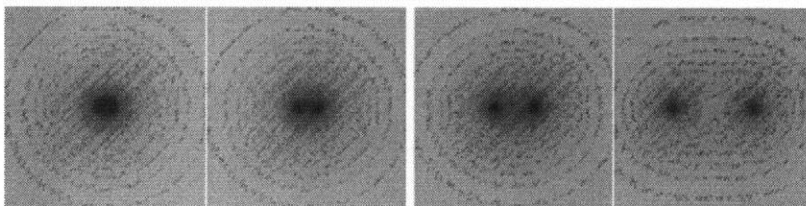
Temperatursänkningens karaktär då värme strömmar från det ursprungligen varma omgivande berget till den kalla energibrunnen är mycket lik den avsänkning som erhålls då vatten strömmar till en vanlig vattenbrunn i ett grundvattenbärande skikt. Temperatursänkningen är störst närmast borrhålet och avtar med avståndet från borrhålet. Värmeledningen är dock en relativt långsam process, vilket medför att temperatursänkningens räckvidd, området för termisk influens, blir betydligt mindre. I svenskt urberg är storleksordningen ca 10 meter efter ett år, ca 20 meter efter 5 år, o.s.v. För mark med lägre värmeledningsförmåga blir räckvidden kortare. Om en energibrunn ligger inom området för termisk influens från en eller flera andra energibrunnar får man en lägre värmebärartemperatur än om den varit opåverkad. Hur stor sänkningen blir beror huvudsakligen på omgivande energibrunnars årliga energiuttag per meter borrhål och på avståndet till dessa.

Figur 1a och 1b visar bergstemperaturen i ett horisontellt plan genom två energibrunnar. Figurtyorna är kvadratiska med sidlängden 100 m. De första fyra figurerna visar hur temperatursänkningen kring två brunnar med 20 meters avstånd har brett ut sig efter 1, 5, 10 och 25 år. Östörd bergtemperatur på detta djup ges av den ljusgröna färgen medan mörkblått motsvarar ca tre graders sänkning. Det är uppenbart att den termiska influensen är liten efter 1 år men att den sedan tilltar. Figur 1b illustrerar hur den termiska influensen efter 10 år blir minskar då avståndet mellan energibrunnarna ökar. Avståndet är 5 m, 10 m, 20 m och 40 m.

Figur 1. Bergstemperaturen i ett horisontelltplan genom två energibrunnar



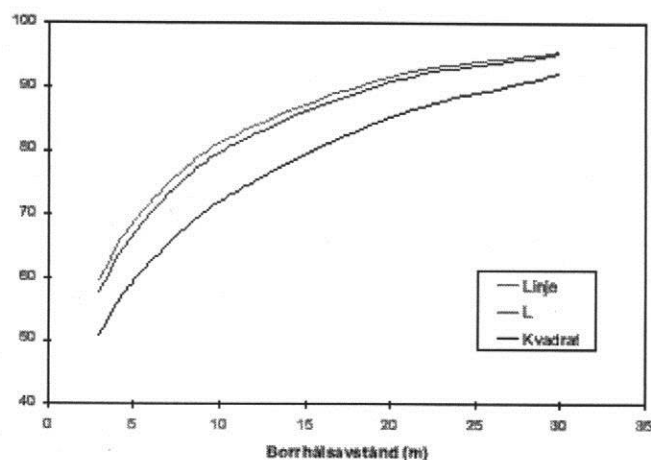
A) Temperatursänkningens utbredning kring två brunnar med 20 meters avstånd efter 1, 5, 10 och 25 år.



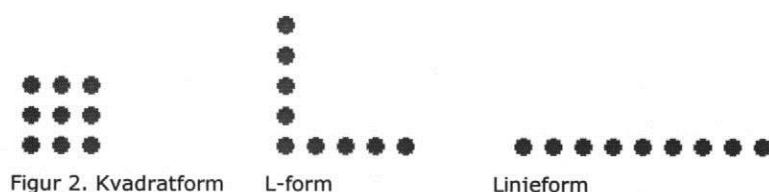
B) Den termiska influensen efter 10 år på avståndet 5, 10, 20 och 40 meter.

I figur 3 jämförs prestanda för nio energibrunnar som placerats i olika formationer (linje, L-form och kvadrat) med prestanda för en enskild energibrunn.

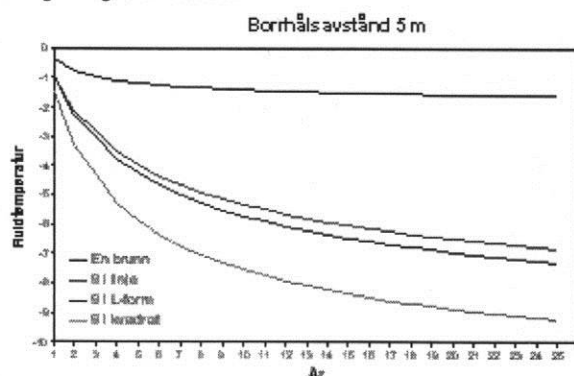
Dimensionering avser att ge samma minimitemperatur på värmebäraren till värmepumpen vid maxlast under 15 års drift. P.g.a termisk influens måste då effektuttaget per meter borrhål reduceras i förhållande till en enskild energibrunn. Reduktion tilltar med minskat avstånd mellan borrhålen och uppgår till 30-40 % vid ett borrhålsavstånd på 5 m. Den kvadratiske formationen ger större reduktion än linje- och L-formationen eftersom varje energibrunn har fler närliggande energibrunnar. Om vi ökar antalet energibrunnar tilltar minskningen av prestanda.



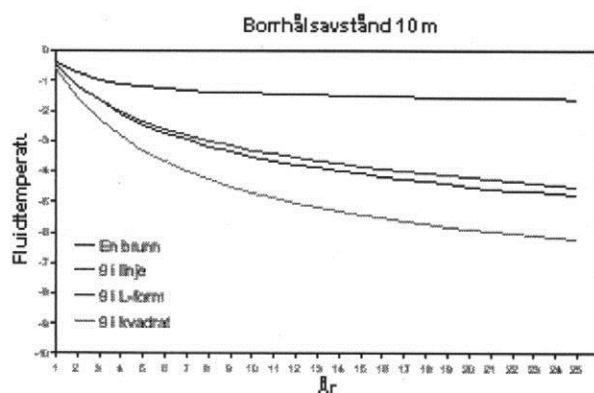
Figur 3. Prestanda för 9 st energibrunnar som placerats i linje, L-form resp kvadrat, jämfört med enskild brunn.



Hur mycket sjunker värmebärarens temperatur om vi tar ut lika mycket effekt per energibrunn för de nio energibrunnarna som för en enskild brunn? I figur 4 ges värmebärarens årliga minimitemperatur under 25 års drift för borrhålsavstånd 5 m (till vänster) och 10 m (till höger). För den enskilda energibrunnen stabiliserar sig temperaturen väsentligen efter 3-4 år. För flerbrunnsystemet går detta betydligt långsammare och man får räkna med en gradvis sänkning under överskådlig tid. Under de första åren är inte skillnaden så stor, särskilt inte om borrhålsavståndet är 10 m eller mer, men den tilltar med tiden då området för termisk influens breder ut sig kring brunnarna.



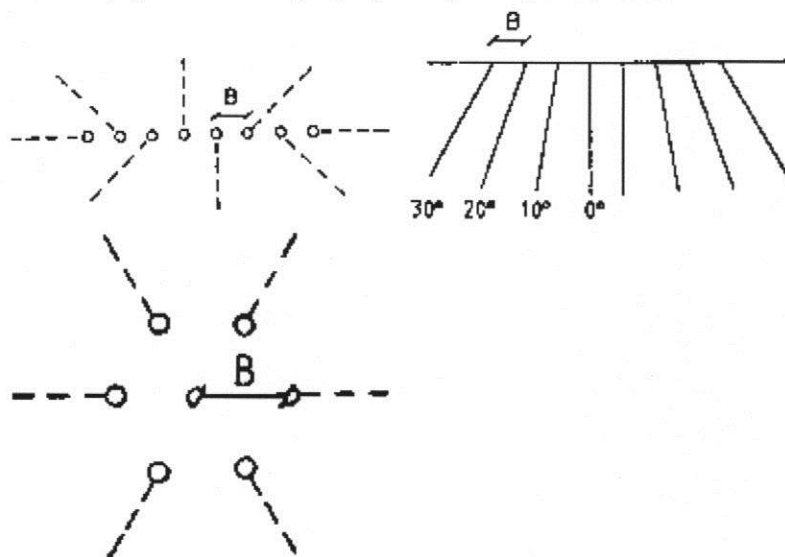
Figur 4. Värmebärarens årliga minimitemperatur under 25 års drift
a) borrhålsavstånd 5 meter,



b) borrhålsavstånd 10 meter.

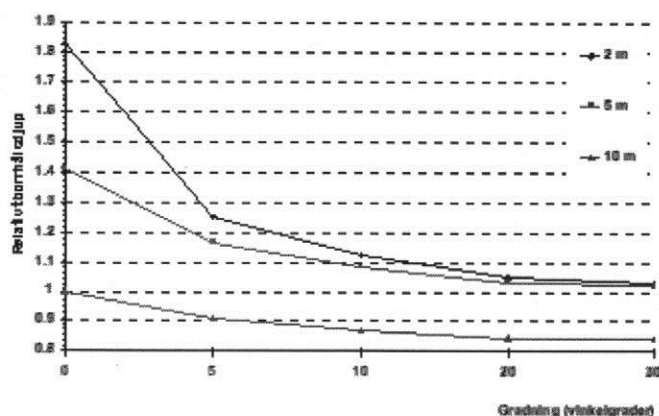
Gradning av hål

För ett system avsett för uttag av antingen värme eller kyla (eller med stor obalans mellan mängd värme och kyla) är det ut termisk synpunkt gynnsamt om energibrunnarna placeras med ett inbördes avstånd som är större än räckvidden av temperatursänkningen från ett borrhål, d.v.s att man undviker termisk influens. Det finns dock praktiska och ekonomiska villkor som skall uppfyllas; lämplig plats för borrhåll skall anpassas till åtkomlighet bland befintliga byggnader, kulvertar, o.d.; kostnader för markarbeten och anslutningsrör från borrhål till värmepump skall beaktas. Det är därför önskvärt att samla borrhåll till ett begränsat område vid markytan. För att reducera inverkan av termisk influens mellan borrhållen är det då ofta lämpligt att grada hålen, d v s vinkla dem jämfört med vertikalled. Man bör sträva efter att sprida borrhållen jämnt i tillgänglig bergvolym (under tomten) och undvika ansamlingar av näraliggande borrhål. Figur 5 visar tre exempel på hur man kan nyttja en större bergvolym genom gradning av borrhållen.



Figur 5. Tre exempel på gradade energibrunnsystem

Figur 6 visar en jämförelse av erforderligt borrhålsdjup för ett energibrunnssystem med 6 brunnar placerade i en cirkel som i figur 5. I figuren jämförs borrhålsdjupet m p det radiella avståndet mellan borrhållen och cirkelns mitt (2 m, 5 m samt 10 m) och med olika gradning av hålen (0 - 30 graders lutning jämfört med vertikallinjen). Som referens i jämförelsen används systemet med 6 helt vertikala borrhål med 10 m radiellt avstånd mellan borrhållen och cirkelns mitt.



Figur 6.

Jämförelse av erforderligt borrhålsdjup för 6 brunnar i cirkel med radien 2, 5, 10 meter och med olika gradning av borrhållen.

Såsom tidigare konstaterats är avståndet mellan brunnarna avgörande för deras kapacitet, och i figuren ser vi att för de helt vertikala systemen (gradningen är 0),

krävs nästan dubbelt så djupa brunnar om radien är 2 m jämfört med 10 m radie. Skillnaden i erforderligt borrhålsdjup minskar dock om borrhålen vinklas.

Vi ser även att den största förbättringen sker för vinklar upp till 10 graders lutning. Därefter är avståndet mellan borrhålen på djupet redan så stort att ytterligare ökning av gradningen inte gör någon större skillnad. Intressant är även att när gradningen överstiger 20 grader för systemen med 2 m och 5 m radie, så motsvarar de kapacitetsmässigt nästan ett helt vertikalt system med radien 10 m. Gradning med vinklar upp till 20 grader från lodlinjen är vanligt förekommande i bergkylanläggningar. I vissa fall har vinklar på 30-40 grader använts. Vid gradning finns en viss ökad risk för ras i borrhålet, vilket kan försvåra nedförandet av kollektorn.

Kan man minska den termiska influensen?

För en bergvärmeanläggning med ett antal näraliggande energibrunnar och en given värmelast kan man egentligen inte undvika den termiska influensen. Däremot kan man genom aktiv återladdning förändra energibalansen för marken så att den långsiktiga termiska influensen minskar eller väsentligen elimineras. Återladdning kan ske på olika sätt, och kommer troligen att bli alltmer aktuellt i framtiden. Olika sätt att återladda bergvärmesystem tar vi upp i en kommande artikel.

Fotnot:

Figurer och tabellvärden i denna artikel är baserade på beräkningar med vissa antaganden om markens termiska egenskaper, variation av värmelast och valda dimensioneringskriterier. Vi har försökt att välja rimliga värden för en bergvärmeanläggning med normala svenska förhållanden. Andra förutsättningar kan ge betydande avvikelser i resultat. De presenterade resultaten skall därför inte betraktas tumregler utan är avsedda att illustrera principer för termisk dimensionering av bergvärmeanläggningar.

Docent Göran Hellström,

Avd. för Matematisk Fysik, Lunds tekniska högskola,
goran.hellstrom@matfys.lth.se

Tekn. Lic Signhild Gehlin,

Avd. för Vattenteknik, Luleå tekniska universitet,
gehlin@sb.luth.se