

# Vatten som köldbärare i svenska berg

I Sverige levereras up till 12 TWh kyla och värme varje år med system som är kopplade till marken på ett eller annat sätt (GEOTEC, 2012). Under 2011 såldes det cirka 30000 enheter och under det andra kvartalet 2012 blev det cirka 5000 enheter (SVEP, 2012). Under 2010 såldes det sammanlagt i alla europeiska länder mer än 100 000 bergvärmepumpar och med detta nåddes över en miljon installationer (RHC, 2012) i Europa. Världen runt finns det cirka 2.94 miljoner bergvärmepumpar som under 2010 levererade 49% av all energi som togs upp från marken och representerade 69,7% av den totala installerade markanslutna effekten (Lund J, 2010). Med andra ord är bergvärmepumparna idag en mycket vanlig metod för uppvärmning och kylning.

JOSÉ ACUNA, KTH ENERGITEKNIK

Trots att systemverkningsgraden för bergvärmepumpar har ökat under de senaste 30 åren finns det fortfarande aspekter som kan förbättras. Två av dessa aspekter är borrhålsvärmeväxlarna (dvs kollektorslangarna som installeras i borrhålen) och dess användning. Detta har nyligen betonats av (Spitler & Bernier, 2011) och av (RHC, 2012) som ett ämne som kräver mer forskning. Ett EFFSYS projekt på KTH Energiteknik har under de senaste fyra åren haft som syfte att experimentellt studera hur olika typer av kollektorer fungerar och att ta fram rekommendationer för att effektivare utnyttja dem. Denna artikel rör lite av det som behandlats i projektet.

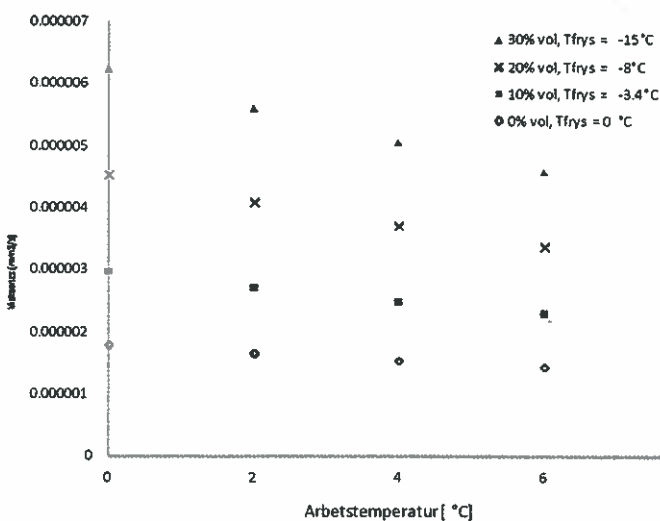
Generellt kan man säga att en bra kollektor är en som är lätt att installera, kräver lågt (eller inget) pumparbete, och har lågt borrhålsmotstånd. Dessa egenskaper beror inte bara på själva kollektorslangen som installeras i borrhålet, utan beror också på vilken köldbärare man använder, vad borrhålsdiametern är, vilket material borrhålet är fyllt med, vilken bergart som finns kring borrhålet, hur mycket energi borrhålet belastas med, bland annat.

För att helt eliminera pumpeffekten har projektet på KTH visat hur detta kan göras genom att använda en så kallad termosifonkollektor. En prototyp installerades i Norrtälje och har varit i drift i nästan fyra år nu. Denna termosifon arbetar med koldioxid som

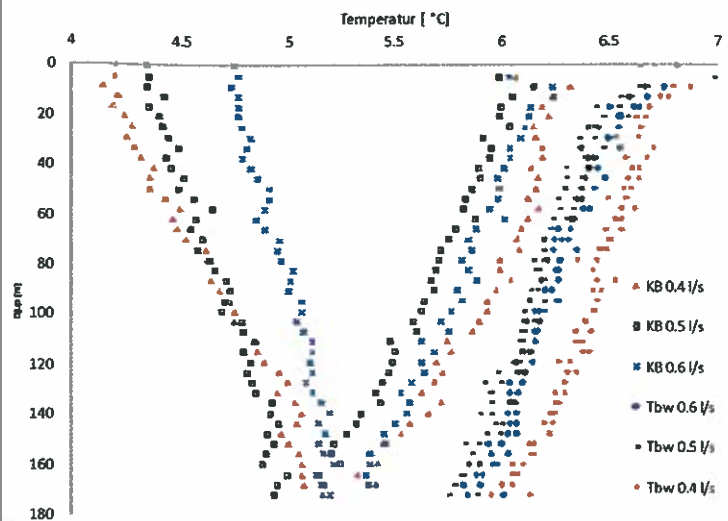
köldbärare och cirkulationen uppnås tack vare en fasomvandlingsprocess och köldbärarens densitetsskillnad mellan vätska och gas.

För övrigt så använder man i Sverige oftast en blandning av vatten med etanol som köldbäraren. Etanolen fungerar som fryskydd och brukar blandas till cirka 30% volymkoncentration, en blandning som ibland kan vara onödigt högt, speciellt om anläggningen befinner sig i den södra delen av landet. Det finns till och med anläggningar i södra Europa som använder denna koncentration utan att det finns någon anledning till det. I Stockholms område har vi under projektets gång använt olika koncentrationer från 0% och upp till 20% volym-etanolblandning (sällan mer än 20%). Med ett fåtal undantag har temperaturen alltid varit över noll grader under fyra års tid och anläggningarna har täckt energibehovet i fyra olika bostadshus utan problem.

Förutom att ge fryskydd påverkar etanolen de termiska egenskaperna i köldbäraren. Figur 1 visar ett exempel av hur viskositeten varierar. Ju mer etanol desto högre viskositet, vilket leder till en högre pumpeffekt för att cirkulera köldbäraren, som i sin tur orsakar lägre verkningsgrad och högre kostnader. Figur 1 visar också, inom typiska arbetstemperaturer i Stockholms område, att ju högre arbetstemperatur desto lägre viskositet. Högre temperaturer och låga etanolhalter är därför att föredra.



FIGUR 1. Köldbärarens (Etanol+vatten) viskositet vid olika koncentrationer och temperaturer – från (Melinder, 2007)



FIGUR 2. Temperaturprofil för köldbärare (KB) och borrhålsvägg (Tbw) längs en koaxial värmeväxlare som använder vatten som köldbärare, vid olika flödes hastigheter.

# Värmepumpar! Är det möjligt?

För att kunna optimera etanolhalten behövs det en bra dimensionering av bergvärmepumpssystemet, så att man kan förutse och sedan påverka de temperaturer som systemet kommer att jobba i under ett antal år. Dessutom krävs kunskap om vilka kollektorer och flöden som kommer att användas i borrhålen. Figur 2, till exempel, visar köldbärarens (KB) temperaturprofiler vid tre olika flöden längs en koaxial borrhålsvärmväxlare som är installerad i Stockholm. Denna kollektor använder vatten som köldbärare. Profilerna i Figur 2 är uppmätta vid ett typiskt och gemensamt effektuttag från värmepumpen under vintersäsongen. Som förväntad så minskar temperaturdifferensen mellan in och utkommande KB med ökande flödet. Förångningstemperaturen kommer att minska eller öka beroende på hur dessa flöden regleras, vilket kommer att påverka verkningsgraden i systemet.

Figur 2 visar också att temperaturen längs borrhålsväggen är cirka en halv grad högre än köldbärarens. Denna relativt låga temperaturdifferens samt användning av vatten som köldbärare är möjligt i detta fall tack vare att köldbäraren i denna kollektor rör sig i nästan direktkontakt mot berget på vägen upp från borrhålsbotten. På vägen ned går köldbäraren genom en delvis isolerad polyeten centrumslang. Denna kollektors prestanda är minst två gånger bättre än U-rörs kollektor vid samma flöde och samma temperatur.

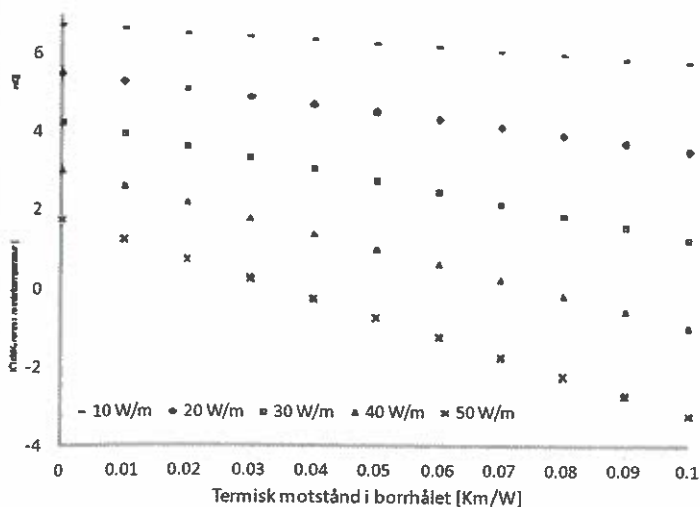
Skulle man använda en kollektor som inte är i direktkontakt med hela borrhålsväggens perimeter så kan man tänka sig att optimera kombinationen av borrhålsdiameter + kollektorslang. En stor borrhålsdiameter resulterar i högre borrhålsmotstånd, men också i lägre termiskt motstånd i berget. Detta beror också på egenskaperna och vattenrörelsen som sker i materialet som fyller volymen mellan kollektorslangarna och borrhålsväggen (grundvatten i Skandinavien och olika återfyllningsmaterial i resten av Europa och USA). Är materialets värmeledningsförmåga lägre än bergets så kommer den större diametern att leda till ännu större motstånd i borrhålet än det som sker i berget (avstånd mellan slangarna, temperaturnivån i borrhålet, köldbärareflödet,

slangmaterial, är också avgörande). En stor diameter som gör att bergets motstånd är lågt samtidigt som man säkerställer att kollektorslangarna sitter nära bergväggen skulle vara en bra design. Om fyllningsmaterialet har hög värmekapacitet så kommer prestandan under korta drifttider med värmepump att vara optimal.

Prestandan för kollektorer har traditionellt kvantifieras i termer av ett så kallat borrhålsmotstånd, som ger en mått på temperaturdifferensen mellan köldbäraren och borrhålsväggen. Under värmeuttag från marken så resulterar ett lägre borrhålsmotstånd i högre köldbäraretemperaturer, och viceversa. Men den termiska prestandan i en bergvärmepump beror inte bara på det som händer innanför borrhålsväggen utan också på det som händer i berget under tiden man växlar värme med den. Den sammanlagda effekten illustreras i Figur 3 för olika specifika effektuttag. Ett högt effektuttag gör att borrhålet blir kallt mycket snabbare, vilket resulterar i lägre mark och köldbäraretemperaturer.

En hög köldbäraretemperatur är att föredra för att uppnå en högre verkningsgrad. Varje grad kan öka COP med 2 till 3%. Det framgår också från Figur 3 att samma köldbäraretemperatur kan uppnås vid olika effektuttag genom att ändra det termiska motståndet i borrhålet. Att ändra motståndet kan göras genom att byta kollektorn eller genom att ändra förutsättningarna i en befintlig kollektor (variera köldbärareflödet, återfylla borrhålet, skapa rörelser i grundvattnet, bland annat). Skulle man byta alla U-rörs kollektorer i Sverige mot bättre värmväxlare så skulle cirka 0.2 TWh elförbrukning sparas varje år. Etanolhalten i köldbäraren skulle därmed gå att optimera samtidigt som frysskyddet skulle kunna elimineras i vissa delar av landet.

Genom detaljerade mätningar har projektet på KTH visat att borrhålsmotståndet i stort sett kan elimineras. En doktorsavhandling där alla detaljer kommer att presenteras kommer att försvaras nu under hösten. Projektet finansieras av Energimyndigheten inom EFFSYS+ programmet, tillsammans med cirka 30st industriparter! Mycket mer detaljerad information finns att läsa på <http://www.energy.kth.se/energibrunnar>.



## Referenser

- GEOTEC. (2012). *Geoenergin i samhället - En viktig del i en hållbar energiförsörjning*. GEOTEC.
- Lund J, D. H. (2010). *Direct Utilization of Geothermal Energy 2010 Worldwide Review*. (s. 007). Bali: Proceedings IGA World Geothermal Congress 2010.
- Melinder, Å. (2007). *Thermophysical Properties of Aqueous Solutions Used as Secondary Working Fluids [Doctoral Thesis]*. Stockholm: The Royal Institute of Technology KTH.
- RHC. (2012). *Strategic Research Priorities for Geothermal Technology*. Brussels: European Technology Platform on Renewable Heating and Cooling.
- Spitler, J., & Bernier, M. (2011). *Ground-source heat pump systems: The first century and beyond*. HVAC&R, 17:6, 891-894.
- SVEP. (2012). Hämtat från <http://www.svepinform.se/aktuellt/statistik/>

FIGUR 3. Köldbärarens medeltemperatur som funktion av det termiska motståndet i borrhålet (beräknad för ett år av konstant effektuttag, bergets värmeledningsförmåga antas till 2.5 W/mK, ostörd bergtemperatur 8°C, 140 mm borrhålsdiameter)