

ENERGISPAREFFEKTER AV JORDRÖR

Stig-Inge Gustafsson och Björn G. Karlsson
IKP-Energisystem,
Tekniska Högskolan Linköping

INLEDNING

Det är känt sedan länge att temperaturen en bit ner i marken inte varierar särskilt mycket mellan vinter och sommar. Detta faktum utnyttjas ju också när man gräver ner ex. vis vatten- och avloppsledningar till frostfritt djup. Om denna jordvärme skulle kunna utnyttjas för att värma upp ex vis bostäder skulle stora besparingar kunna göras. Problemet är dock att temperaturen nere i marken endast uppgår till kanske $+5$ °C vilket inte passar särskilt väl till bostadsuppvärmning. Detta problem har man försökt lösa genom att använda värmepumpar som höjer temperaturen på det tillgängliga värmnet. Tyvärr är detta förenat med avsevärda kostnader även om värmen i marken i princip är gratis och dessutom "förnyas" varje sommar. Dels kostar värmepumpen mycket pengar, dels måste denna tillföras el, eller annan prima energi, som också kostar pengar. I stort sett alla våra byggnader måste förses med ett ventilationssystem. Under vinterhalvåret måste därför luften som passerar detta, värmas upp på något sätt. I ett system där ventilationsluften tas in på ett enda ställe i huset, skulle man enkelt kunna låta denna passera ett i marken nedgrävt rör innan luften tas in i byggnaden. Under vinterhalvåret skulle då den kalla luftströmmen under sin passage genom marken kunna ta upp en del av jordvärmens vilket i sin tur betyder att luften inte skulle behöva värmas upp lika mycket. Systemet verkar mycket lockande då ett sådant nedgrävt rör inte skulle behöva kosta särskilt mycket samtidigt som det fungerar helt passivt och utan något nämnvärt underhåll. Genom ett anslag från Byggeforskningsrådet har vi på avdelningen Energisystem vid Linköpings Tekniska Högskola kunnat studera några sådana jordrör mera i detalj. Forskning har dessutom pågått på Chalmers och Lunds Tekniska Högskola liksom också på andra platser utom och inom landet. I ex. vis referens [1] undersöks hur värmeledningsprocessen i marken teoretiskt kan beskrivas med utgångspunkt från den vanliga värmeledningsekvationen. En ytterligare förfining av dessa modeller återfinns i referens [2] där författaren utvecklat en superpositionsmetod där temperaturvariationen hos den inkommande luften beskrivs som distinkta pulser. Anledningen till att pulstekniken använts beror på att man då kan erhålla en analytisk lösning på problemet, se ex. vis referens [3] sidan 31. I referensen [2] har dessutom författaren testat sina resultat på en verklig installation i Boden. Dessa visar nämligen att värmeöverföringen mellan marken, jordröret och den framströmmande luften blir högre ju större temperaturskillnader som råder mellan mark och luft. Jordröret fungerar ju i princip som en vanlig värmeväxlare och därför är det bra att placera försöksutrustningen på en plats med ett kallt klimat. Genom detta förfarande kan man dessutom

undersöka vad som händer när marken tjälär just kring röret. Fasövergången mellan vatten och is innebär ju att ytterligare värme kan tas ut och nyttiggöras, d.v.s. värmen från sommaren lagras i form av smältvärme. Funktionen hos jordrör har dessutom undersökts i U.S.A., se referens [4]. Det synes som om man där mest försökt att utnyttja markvärmen för uppvärmning av djurstallar och andra byggnader knutna till jordbruk och boskapsskötsel. I referensen har man undersökt ett 64 meter långt rör som ingått i en experimentanläggning. Även här kunde man studera jordrörets funktion både för ofrusen och frusen mark.

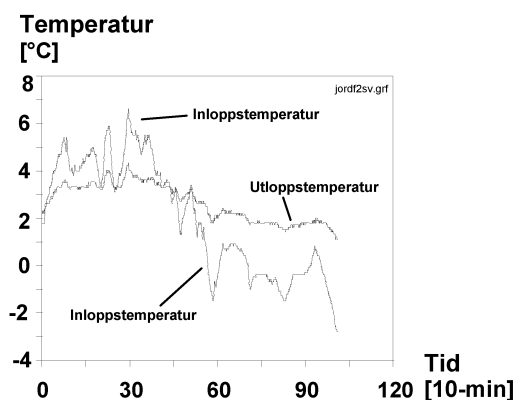
VÅRT PROJEKT

I vår undersökning har vi studerat två olika byggnader i Linköping där man installerat jordrör för att försöka minska värmebehovet. Projektet har redovisats i detalj i, se referens [5], och här kommer därför endast en sammanfattning att göras. Det första huset är försett med ett s.k luftvärmesystem, FTX, d.v.s. värmen till byggnaden transporteras i ventilationsluften. Luften har i sin tur värmts upp med hjälp av ett elvärmeaggregat. Innan denna kommit in i byggnaden har den dock först passerat ett c:a 25 meter långt PVC-rör med en diameter om 16 cm. I elvärmeaggregatet finns också en avfrostningsutrustning som kan värma upp luften innan den passerar en luft-till-luftvärmväxlare. Detta för att undvika att aggregatet täpps till av is. Luftflödet genom värmväxlaren uppmättes till omkring 150 m³/h vilket innebär att c:a 48 Wh/°C per timma kan tillföras luften. Det mätsystem vi använt lagrar temperaturvärden som medelvärden i tiominutersintervall vilket sätter en gräns för upplösningen. I tabell 1 återfinns mätvärden för de första timmarna i januari 1988.

Tidpunkt	Inlopp	Utlopp	Tidpunkt	Inlopp	Utlopp	Tidpunkt	Inlopp	Utlopp
00.10	1.8	2.3	01.10	1.8	2.2	02.10	2.6	2.5
00.20	1.8	2.2	01.20	1.8	2.3	02.20	2.6	2.5
00.30	1.8	2.2	01.30	1.8	2.3	02.30	2.6	2.6
00.40	1.8	2.3	01.40	2.0	2.3	02.40	2.7	2.6
00.50	1.8	2.2	01.50	2.1	2.4	02.50	2.8	2.6
01.00	1.8	2.3	02.00	2.4	2.4	03.00	2.8	2.6

Tabell 1: In- respektive utloppstemperaturer i jordröret 1988-01-01, fall 1

Vi ser att medelvärdet på inloppstemperaturen under de första tio minuterna var 1.8 °C medan utloppstemperaturen endast var en halv grad högre. Värme har därför passerat från marken till luftströmmen men endast i mycket liten grad. Vi ser också att värmeflödet fått motsatt riktning två timmar senare, värme transporteras från luftströmmen till marken, istället för tvärtom, som var avsikten. Anledningen till detta nedslående resultat kan vara att vi haft en förhållandevis stabil väderlek innan mätperioden startade vilket innebär att den omgivande marken erhållit ungefär samma temperatur som uteluften. En annan anledning kan vara att marktemperaturen genom en längre köldperiod helt enkelt inte är högre än c:a 3 °C även på längre avstånd från röret. Det är således nödvändigt att undersöka en längre tidsperiod för att kunna avgöra jordrörets funktion. I figur 1 där vi på tidsaxeln har avsatt antalet tiominutersintervall visas utfallet för en vecka.



Figur 1: In- och utloppstemperaturer för jordröret första veckan i januari 1988, se referens [5]

Man ser klart att värme överförs mellan luftströmmen och marken då utloppstemperaturen varierar mycket mindre än temperaturen före jordröret. I början av perioden har värme transporterats från luften till marken istället för tvärtom. Under slutet av veckan fungerar dock röret som avsett. Av figuren framgår också att skillnaden mellan ut- och inloppstemperatur inte är särskilt stor, maximalt omkring $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ vilket innebär att endast mycket lite värme överförs. Beräkningar visar, se referens [5], att endast omkring 5 kWh erhållits som nettobidrag, d.v.s. elkostnaden minskade med omkring 3 SEK för den undersökta veckan.

I tabell 2 har undersökningsperiodens längd utökats till 18 veckor d.v.s. ungefär så lång tid som eldningsssäsongen sträckte sig under våren 1988.

Man ser att jordröret i huvudsak fungerar som förväntat, d.v.s. värme överförs från marken till luftströmmen under så gott som hela den undersökta perioden, men under några veckor blir utbytet negativt. Det totala nettoflödet blev för perioden omkring 245 kWh vilka har ett värde om c:a 125 SEK .

I vår andra studie har en solpanel placerats före jordröret som nu var c:a 15 meter långt. Detta innebär att luften tidvis är avsevärt varmare än den omgivande marken. Denna värme antas då lagras i marken för att kunna återhämtas under ett senare skede. Här redovisar vi dessutom en avsevärt kallare period, början på 1987, då vi i den första studien visade att skillnaden mellan inloppstemperatur och den omgivande marken var av stor betydelse för den nyttiga värmeöverföringen. I tabell 3 redovisas funktionen hos systemet 1987-03-01, detta då solens inverkan tydligt framgår.

Vid midnatt är utelufttemperaturen omkring $-14\text{ }^{\circ}\text{C}$. Då solfångaren inte är i funktion nattetid har man samma temperatur omedelbart före jordröret, men efter detta har temperaturen stigit till $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$. Således har röret här fungerat utmärkt. En väsentlig förändring inträffar kl 12. Solen har nu värmt upp solfångaren så att luftens temperatur stiger från -8 till $+17\text{ }^{\circ}\text{C}$. Då marken kring jordröret blivit ordentligt nedkyld under natten sjunker nu lufttemperaturen igen, ner till strax över 0 grader. Solfångaren synes sedan vara aktiv fram till kl 17 då uteluften och luften före jordröret återigen har ungefär samma tempera-

Vecka nr	Från luft till mark	Från mark till luft	Nettoflöde
1	-3.5	8.6	5.1
2	-0.3	17.5	17.2
3	-0.2	11.9	11.6
4	-0.0	14.8	14.8
5	-0.9	15.5	14.6
6	-0.5	9.2	8.7
7	-0.6	12.9	12.3
8	-0.3	36.5	36.2
9	-0.5	35.6	35.1
10	-3.5	18.4	14.9
11	-0.9	35.2	34.3
12	-6.6	20.5	13.8
13	-7.2	4.6	-2.6
14	-9.9	3.3	-6.6
15	-2.2	23.3	21.1
16	-13.1	11.0	-2.1
17	-4.7	24.2	19.5
18	-5.3	2.2	-3.2
Sum	-60.41	305.01	244.60

Tabell 2: Överförd värme i kWh mellan luftström och mark de arton första veckorna, 1988, se referens [5]

tur. Tyvärr verkar det inte som om den värme som förts ner i marken, i någon större grad återvinns. Temperaturförhållandena är i stort sett likartade kl. 24 som kl. 19. Detta framgår också av figur 2.

Man ser först och främst att jordröret har en klart utjämnande effekt på luftströmmens temperatur. Uteluften och luften efter solfångaren har till en början ungefärligen samma värden. Temperaturhöjningen i jordröret uppgår till omkring 10 grader. När solen börjar värma upp solfångaren stiger temperaturen högst avsevärt före jordröret och värme leds då ut i marken. Denna värme tas dock inte, i någon större utsträckning, återigen upp av luftströmmen då solen "försvinner". Detta kan till viss del bero på att jorden runt röret är frusen vilket samtidigt innebär att den leder värme förhållandevis bra. I referens [2], sidan 14, anges att värmeledningsförmågan varierar mellan 0.2 till 2.6 W/m°C för torr respektive frusen vattenmättad morän. Troligen leds den värme som luftströmmen lämnar ifrån sig snabbt bort från rörets omedelbara närhet och temperaturen närmast röret förändras därför inte särskilt mycket.

Vi har också undersökt förhållandena för en längre tidsperiod vilket framgår av tabell 4.

P.g.a. solfångarsystemet kommer här det totala nettoflödet, 65 kWh, av energi här att vara riktat från luftströmmen och till marken. Systemet har därför inte fungerat som man avsett även om jordröret som komponent har fungerat bra. Beräkningar i referens [5] visar nämligen god överensstämmelse med den teoretiska modell som redovisats i [2], nämligen en värmeöverföring om c:a 100 W/m rör, speciellt om man tar hänsyn till att den senare undersökningen visar förhållandena i norra Norrland. Temperaturskillnaderna är vidare störst i bör-

Tid	Ute	Före	Efter	Tid	Ute	Före	Efter
0000	-13.91	-13.81	-2.22	1300	-7.21	23.13	1.62
0100	-13.91	-14.32	-2.63	1400	-7.11	25.74	2.23
0200	-14.81	-14.62	-2.83	1500	-7.21	12.08	1.12
0300	-15.01	-15.22	-3.13	1600	-7.81	10.48	0.91
0400	-15.41	-15.62	-3.34	1700	-8.81	-0.76	-0.3
0500	-15.51	-15.92	-3.54	1800	-9.91	-7.09	-1.31
0600	-15.61	-16.02	-3.74	1900	-11.01	-8.9	-1.92
0700	-15.51	-16.42	-4.05	2000	-11.81	-10	-2.22
0800	-15.01	-15.02	-4.05	2100	-13.11	-11.51	-2.63
0900	-12.51	-10.8	-3.64	2200	-14.21	-12.51	-2.93
1000	-10.01	-7.49	-3.13	2300	-15.11	-13.41	-3.24
1100	-8.71	-0.96	-2.02	0000	-15.71	-14.52	-3.54
1200	-7.71	16.8	0.51				

Tabell 3: Lufttemperatur i °C före och efter jordröret, 1987-03-01, studie 2, se referens [5]

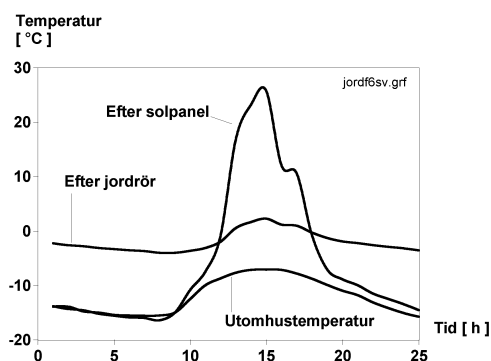
Vecka Nr	Luft till jord	Jord till luft	Netto flöde	Vecka Nr	Luft till jord	Jord till luft	Netto flöde
1	0.1	50.8	50.7	10	26.8	29.9	2.9
2	0.3	54.6	54.2	11	25.6	18.2	-7.4
3	0.9	11.2	10.3	12	19.8	6.4	-13.4
4	7.5	25.0	17.5	13	39.2	1.9	-37.3
5	18.5	13.4	-5.1	14	41.2	4.8	-36.4
6	17.4	11.2	-6.3	15	23.8	4.2	-19.6
7	13.3	13.8	0.5	16	32.0	5.9	-26.0
8	28.7	18.1	-10.6	17	48.3	4.6	-43.7
9	24.4	34.7	10.3	18	7.0	0.1	-6.9

Tabell 4: Beräknade värmefföden i kWh från och till luftströmmen för 18 veckor 1987-01-01 till 1987-04-30

jan av röret och det är därför där som värmeöverföringen blir högst. I referens [2] anges att c:a 200 W/m kan erhållas i detta läge.

SLUTSATSER

Beräkningar visar att de två undersökta jordrören fungerar i enlighet med de teoretiska modeller som tagits fram. En värmeöverföring på omkring 100 W/m rör eller mera kan förväntas för en rimlig temperaturdifferens mellan inkommande luft och omgivande mark. Av största vikt är att temperaturskillnaderna är något så när stora, omkring 20 grader eller helst större, för att något ekonomiskt utbyte skall erhållas. Systemen lämpar sig därför bäst i norrlandsklimat. Det skulle dessutom vara bra om man under vissa tider skulle kunna koppla bort röret från värmesystemet. Detta då man inte får tillbaka all den värme som leds



Figur 2: Temperaturer ute, före och efter jordröret, studie 2, se referens [5]

ner i marken när uteluftens temperatur överstiger den kringliggande jordens. En ytterligare fördel, som inte närmare behandlats här, är möjligheten att använda jordröret som kylanläggning under sommartid. Detta skulle avsevärt höja rörets ekonomiska avkastning.

Referenser

- [1] Claesson J., Dunand A. "Heat Extraction from the Ground by Horizontal Pipes. Technical report, Document D1:1983, Byggeforskningsrådet, 1983.
- [2] Nilsson Carl-Eric. *Preheating of Ambient Air by a System of Earth Tubes as a Heat Source for Buildings*. PhD thesis, Chalmers Tekniska Högskola, Avd Byggnadsteknik, Göteborg, 1991. Publikation 91:1 No 753.
- [3] Mills A. F. *Heat Transfer*. R.D. Irwin Inc, 1992.
- [4] Baxter Denver O. Energy Exchanges and Related Temperatures of an Earth-Tube Heat Exchanger in the Heating Mode. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, 35(1):275–285, 1992.
- [5] Gustafsson Stig-Inge. Are Earth Tube Heat Exchangers of Interest when Heating Buildings? *The International Journal of Energy Research*, 17(7), 1993.