



Det här verket har digitaliserats vid Göteborgs universitetsbibliotek och är fritt att använda. Alla tryckta texter är OCR-tolkade till maskinläsbar text. Det betyder att du kan söka och kopiera texten från dokumentet. Vissa äldre dokument med dåligt tryck kan vara svåra att OCR-tolka korrekt vilket medför att den OCR-tolkade texten kan innehålla fel och därför bör man visuellt jämföra med verkets bilder för att avgöra vad som är riktigt.

This work has been digitized at Gothenburg University Library and is free to use. All printed texts have been OCR-processed and converted to machine readable text. This means that you can search and copy text from the document. Some early printed books are hard to OCR-process correctly and the text may contain errors, so one should always visually compare it with the images to determine what is correct.



Rapport

R68:1990

Förvärmning av uteluft till värme- pump med markkollector

Datormodell

Anders Johansson

V-HUSETS BIBLIOTEK, LTH



15000

400135476

Byggforskningsrådet

R68:1990

TEKNISKA HOGSKOLAN I LUND
SEKTIONEN FOR VÄRME- OCH VÄTTE
BIBLIOTEKET

FÖRVÄRMNING AV UTELUFT TILL VÄRMEPUMP MED
MARKKOLLEKTOR

Datormodell

Anders Johansson

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 851054-3
från Statens råd för byggnadsforskning till Jordvärme-
gruppen, Inst. för Teknisk Geologi, CTH, Göteborg.

REFERAT

Rapporten redovisar en förstudie av användningen av intagsledning i mark för förvärmning av luft till luftvärmepump. Huvudsyftet har varit att ta fram en datormodell för beräkning av uppvärmningen av luften i intagsledningen, samt att verifiera denna modell. Modellen har använts för att simulera utbytet av intagsledningar i tre svenska klimat. Dessutom har en bedömning av intagsledningens ekonomiska förutsättningar gjorts, inklusive förutsättningarna för att uppnå full effekttäckning. Datormodellen är utvecklad ur en tvådimensionell modell som beräknar tidsvariabel värmeledning med en explicit differensmetod. Genom att den tvådimensionella modellen kan stegas fram i intagsledningens längdriktning erhålls en förenklad tredimensionell lösning. Programmet inkluderar en modell för frysning. Ett antal simuleringar av intagsledningar har gjorts med klimatdata för Luleå, Uppsala och Kristianstad. Den ekonomiska förutsättningen för intagsledningen bedöms som god i kallt klimat, Luleå, men i varmare klimat, Kristianstad, är lönsamheten osäker. Förutsättningarna för full effekttäckning med luftvärmepump och intagsledning är, med nuvarande elpris, dåliga.

I Bygghörsningsrådets rapportserie redovisar forskaren sitt anslagsprojekt. Publiceringen innebär inte att rådet tagit ställning till åsikter, slutsatser och resultat.

Denna skrift är tryckt på miljövänligt, oblekt papper.

R68:1990

ISBN 91-540-5246-7

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

gotab Stockholm 1990

INNEHÅLL.

FÖRORD

SAMMANFATTNING

1. INLEDNING	1
2. LUFT SOM VÄRMEBÄRARE	4
3. PROGRAMBESKRIVNING	7
4. VERIFIERING	9
5. SIMULERING	11
6. EKONOMI	21
REFERENSER	27
BILAGA 1	

FÖRORD.

Denna rapport härrör sig till BFR-projekt 851054-3 och är en förstudie som behandlar förvärmning av luft till luftvärmepump genom markförlagd intagsledning.

I förstudien har huvudvikten lagts på att ta fram ett datorprogram för simulering av värmetransporten till luften i intagsledningen och att verifiera programmet. Dessutom har ett antal simuleringar gjorts för tre olika klimat i Sverige. Avsikten har varit att visa på förutsättningarna och möjligheterna för ett luftvärmepumpsystem med markförlagd intagsledning. På grundval av dessa simuleringar har en översiktlig ekonomisk kalkyl gjorts.

Projektledare för förstudien har Peter Wilén, Jordvärmegruppen, CTH, varit. Ingvar Rhen, Jordvärmegruppen, CTH, har också varit delaktig i projektets uppläggning.

SAMMANFATTNING.

Rapporten behandlar förvärmning av uteluft till luftvärmepump genom en markförlagd intagsledning. Detta är en metod att öka täckningsgraden och utnyttjandetiden för en konventionell luftvärmepump. Metoden är lämplig för uppvärmning av enstaka småhus.

Anläggningen består av ett litet antal, 3-6, korrugerade ledningsrör på 1-1.5 meters djup kopplade till en samlingsbrunn med spjäll. Under den varma årstiden tas uteluften direkt till värmepumpen och under den kalla suges luften genom intagsledningen. Eftersom intagsledningens effekt ökar med sjunkande utetemperatur utgör den ett bra komplement till värmepumpen.

Användandet av korrugerade ledningsrör ger upphov till komplicerade strömningsförhållande vilket medför att värmeövergångsmotstånd och tryckförluster ej kan beräknas. Mätning och beräkning av övergångsmotstånd har inom projektets ram utförts på en anläggning för förvärmning av ventilationsluft i Örebro. Bestämningar av övergångsmotstånd för en försöksanläggning i Danmark har dessutom funnits tillgängliga.

Huvuddelen av arbetet har utgjorts av utvecklandet av en datormodell för simulering av uppvärmning av luft i intagsledning. Datormodellen är utvecklad ur en tvådimensionell modell, som beräknar tidsvariabel värmeledning med en explicit differensmetod. Beräkningarna sker fortfarande tvådimensionellt men kan stegas fram i intagsledningens längdriktning, för att på så sätt ge en förenklad tredimensionell lösning. Programmet innehåller en modell för fryssing.

Datormodellen har verifierats gentemot mätvärden från en försöksanläggning i Danmark. Mätperioden är tyvärr ganska kort, två månader. Överensstämmelsen mellan beräknade och uppmätta temperaturer är under givna förhållanden god.

Ett antal simuleringar av intagsledningar har gjorts för tre olika klimat i Sverige. Klimatdata för Luleå, Uppsala och Kristianstad har använts. Simuleringarna visar att det behövs relativt korta intagsledningar för att höja lufttemperaturen över den gräns, -10°C , då de flesta värmepumpar stänger av.

På grundval av utförda simuleringar har en ekonomisk jämförelse gjorts mellan luftvärmepump med och utan förvärmning. En kostnadskalkyl har gjorts, dels för intagsledningen och dels för en heltäckande luftvärmepump med intagsledning. I kallt klimat, Luleå, har intagsledningen en relativt god ekonomi, men i varmare klimat, Kristianstad, är lönsamheten osäker. Ekonomin för uppvärmning med heltäckande luftvärmepump är, med nuvarande elpris, dålig.

1. INLEDNING.

Att förvärma luft till en luftvärmepump m.h.a en markförlagd intagsledning är en metod att öka en luftvärmepumps täckningsgrad och utnyttjningstid. I förstudien undersöks även möjligheten att uppnå full energitäckning för småhus.

Förvärmning av luft har funnit en del tillämpningar under senare år, främst som energisparåtgärd då man tvingats öka ventilationen i hus med fukt- eller radonproblem. Vid Inst. för Lantbrukets byggnadsteknik, Sveriges Lantbruksuniversitet i Lund, pågår en förstudie över tillämpningen av intagsledningar i mark för förvärmning och kylning av luft till djurstallar.

Syftet med denna studie är att översiktligt utröna de teoretiska och ekonomiska förutsättningarna för förvärmning av luft till luftvärmepump. Huvuddelen av arbetet har legat på att utarbeta en datormodell för simulering av energiuttag med markluftslang. Därtill har ett antal simuleringar gjorts och utifrån dessa en kostnadskalkyl.

Datormodellen är inte begränsad till tillämpningar med värmepump utan kan också användas för att beräkna energiutbytet vid förvärmning av ventilationsluft.

SYSTEMBESKRIVNING.

Anläggningen består av en luftvärmepump och ett antal nedgrävda rör med samlingsbrunn och spjäll, (se fig. 1.1). Under den varma årstiden tas uteluften direkt till värmepumpen och under den kalla tiden på året sugs luften genom intagsledningen.

Inkopplingen av markslingan kan göras manuellt eller med ett automatiskt styrsystem. Det är troligen svårt för systemet att ekonomiskt bära ett styrsystem, men detta skulle innebära flera driftsfördelar, främst att undvika kondens i intagsledningen. Vare sig kondensen avsätts som vatten eller is medför den större värmeövergångsmotstånd och högre tryckfall.

Korrugerade PVC-rör, typ ledningsrör, är det mest lämpliga för markslingan, då dessa är relativt billiga. Lämplig dimension är 100-200 mm diameter. För en normal villavärmepump, med ett luftflöde på 1500-2500 m³/h, behövs 3-6 parallella rör. Ett problem som omedelbart inställer sig vid användning av en konventionell luftvärmepump med fläktbatteri är den ökade tryckförlust som intagsledningen medför. För att kunna driva igenom tillräcklig mängd luft måste relativt korta rör användas, varvid det möjliga energiuttaget begränsas. En lösning, som är nödvändig om man vill få ut några större energimängder ur marken, är att installera en större fläkt, lämpligen med två eller flera driftlägen.

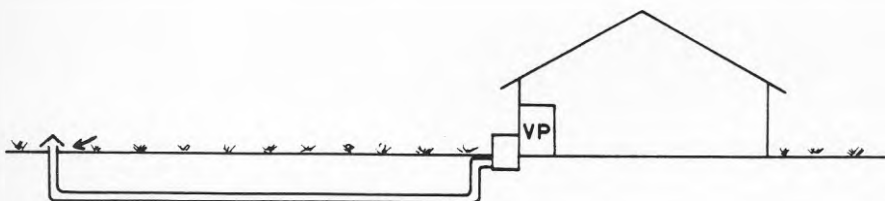


Fig. 1.1 Luftvärmepump med intagsledning i mark.

Storleken på effektuttaget ur marken, för en intagsledning med givet flöde, bestäms av temperaturskillnaden mellan uteluften och marken invid röret. Markens temperatur bestäms dels av lufttemperaturen, dels av intagsledningens energiuttag. Därav följer ett beroende av den tidigare belastningen. Markens latent energi utgör dock en betydande energireserv, vilket gör att intagsledningen tämligen väl kan följa variationer i utelufttemperaturen och effektbehovet, se fig. 1.2. Detta gör anläggningen väl lämpad som komplement till en luftvärmepump.

När värmepumpsystemet dimensioneras för att klara hela effektbehovet är intagsledningens längd dimensionerande. Det möjliga effektuttaget ur marken är lägst mot slutet av eldningssäsongen varför köldperioder under denna tid kommer att vara dimensionerande.

Erfarenheterna från en försöksanläggning i Danmark* visar på ett konstruktionsproblem. Under den första eldningssäsongen hade man där långa stillestånd p.g.a vatteninträngning i rören, trots att man förutsett detta och lagt ner speciellt arbete på att utforma tätare rörfogar. Slutsatsen som dras är att man bör ha en brunn i samlingsbrunnen. En annan, billigare lösning är att inte ha några skarvar längs rören och att låta dessa gå in i samlingsbrunnen ovan grundvattenytan. Dock levereras f.n. rör med grova dimensioner i alltför korta längder. Upp till en diameter på ca 150 mm levereras rör på rulle.

* "Eksperimentel undersøgelse af luftjordslanger", P. Munter, 1987.

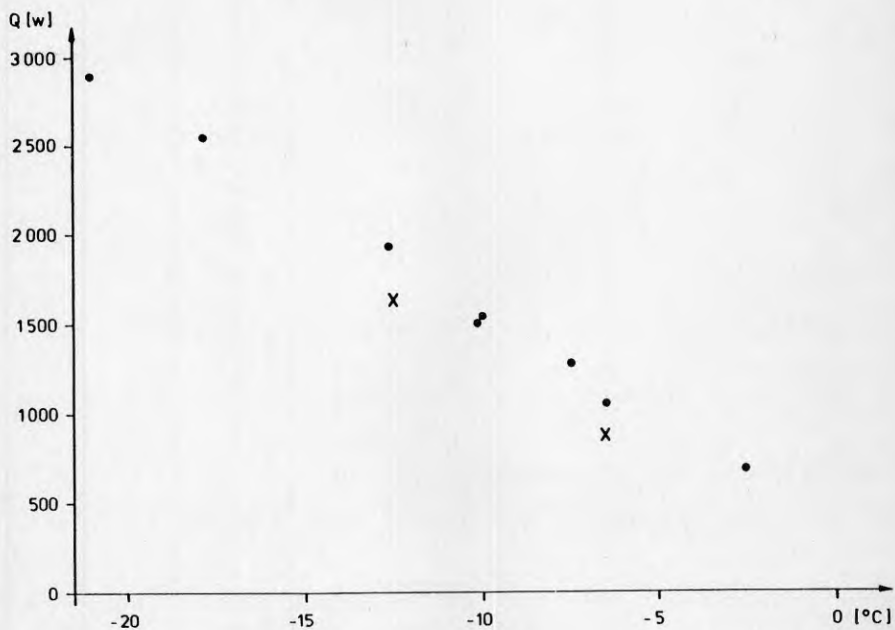


Fig. 1.2. Samband mellan utelufttemperatur och effekt ur mark. Månadsmedelvärden från simulering av en 60 m lång intagsledning, normal- och extremår, Luleå.
X avser värden efter effekttopp, på våren.

2. LUFT SOM VÄRMEBÄRARE.

Luft har helt andra förutsättningar än vatten eller vattenlösningar som värmebärare i jordvärmesystem, (se tab. 2.1). Luftens värmekapacitet är betydligt lägre liksom värmeövergångstalet. Som en konsekvens därav krävs stora flöden, i storleksordningen 1500-2000 m³/h för en normal villavärmepump.

	värme- kapacitet c	värme- ledning k	värmeöver- gångstal a
	kJ/kg°C	10 ⁻³ W/m°C	W/m ² °C
Vatten	4.2	569	1700-23000
Luft	1.0	25	10-50

Tab. 2.1 Värmeegenskaper vid 0°C. (a för turb. strömning)

Värmekapacitet och värmeledningsförmåga för luft varierar något med temperatur, vattenhalt och tryck. Under de förhållanden som råder vid tillämpningen för jordvärme har detta ingen praktisk betydelse.

Värmeövergångstalet, däremot, är en parameter med stor betydelse för det praktiska resultatet och som varierar, beroende på flödesförhållandena, inom ett stort område. De teoretiska sambanden mellan flöde, medium och värmeöverföring vid strömning genom ett slätt rör är, förutom i övergångszonen mellan laminärt och turbulent flöde, tämligen väl fastlagda. De uttrycks m.h.a tre dimensionslösa parametrar:

Reynold's tal,	(strömningskriterium)
$Re = u \cdot d / \nu$	u=hastighet (m/s) d=innerdiameter (m) ν =kin. viskositet (m/s ²)
Prandtl's tal,	(materialkriterium)
$Pr = \nu \cdot r \cdot c / k$	ν =enl. ovan. r=densitet (kg/m ³) c=värmekapacitet (Ws/kg°C) k=värmeledningsförmåga (W/m°C)
Nusselt's tal,	(temperaturfältskriterium)
$Nu = a \cdot d / k$	a=värmeövergångsmotstånd (W/m ² °C) d=enl. ovan. k=enl. ovan.

Nusselt's tal kan uttryckas som en funktion av Reynold's tal och Prandtl's tal, varvid värmeövergångstalet kan fås genom lösning av:

$$\text{Nu} = f(\text{Re}, \text{Pr}) = a \cdot d / k$$

För fullt utvecklat laminärt flöde är dock Nu enbart beroende av gränsvillkoren för värmeflödet. För de två fallen konstant yttemperatur längs röret resp. konstant värmeflöde per längd rör erhålls följande värden:

$$\text{konst. yttemp.} \quad \text{Nu} = a \cdot d / k = 3.656$$

$$\text{konst. värmeflöde} \quad \text{Nu} = a \cdot d / k = 4.364$$

För fullt utvecklat, turbulent flöde finns ett flertal olika samband med olika villkor för Prandtl's tal och Reynold's tal. För gaser med Prandtl's tal mellan 0.6 till 0.8, (för luft är $\text{Pr} = 0.7$), gäller:

$$\text{Nu} = 0.022 \cdot \text{Pr}^{0.5} \cdot \text{Re}^{0.8} \quad \text{Re} < 10^5 \quad (2.1)$$

Ett ofta använt, allmännare uttryck är Dittus-Boelter's ekvation:

$$\text{Nu} = 0.023 \text{Re}^{0.8} \text{Pr}^{0.4} \quad 0.7 < \text{Pr} < 120 \quad (2.2)$$

$$10^4 < \text{Re} < 1.2 \cdot 10^5$$

Villkoret för fullt utvecklat flöde brukar anges av relationen inströmningslängd/rördiameter så att $l/d > 60$.

I fig. 2.1 tecknas sambandet mellan flöde och värmeövergångsmotstånd i ett slätt rör med diametern 200 mm, beräknat utifrån uttrycket (2.1). Som jämförelse är också en uppskattning av motsvarande relation för korrugerat rör inlagda. Denna baseras på ett fåtal mätvärden från anläggningarna i Danmark och Örebro.

Mätningarna från anläggningarna i Danmark och Örebro visar på ganska god värmeöverföring mellan luft och rörvägg. Detta beror på att rören är korrugerade, vilket ger större turbulens och större yta än motsvarande släta rör. Mätvärdena är alltför få för att man ska kunna dra några långtgående slutsatser. Övergångsmotståndet minskar med ökande flöde men friktionsförlusten ökar betydligt mer. För släta rör och turbulent strömning ökar tryckfallet med kvadraten på hastigheten.

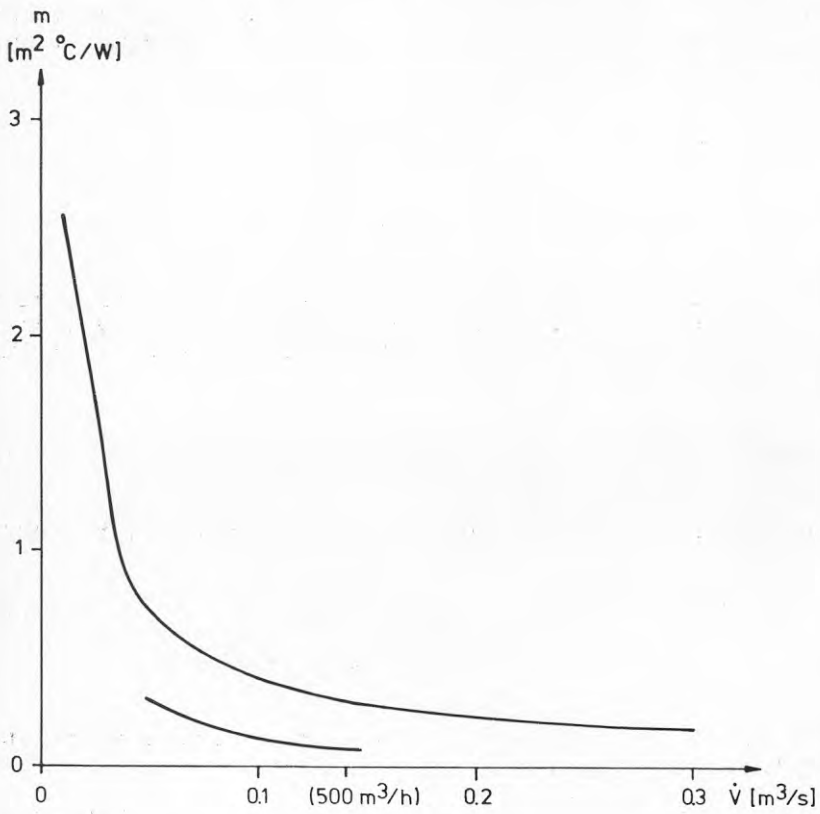


Fig. 2.1. Samband mellan flöde och övergångsmotstånd. Slangdiameter 200 mm. Den nedre kurvan representerar korrugerat rör.

3. PROGRAMBESKRIVNING.

Datormodellen är utvecklad ur ett program som tidigare använts av Jordvärmegruppen vid simulering av jordvärmesystem med brineslinga. Den ursprungliga modellen, gjord av Eftring, Johansson, Westman vid LTH, beräknar tvådimensionell, tidsvariabel värmeledning med en explicit framåtdifferensmetod.

Programmet innehåller en modell för frysning. Marken representeras av en mängd beräkningsceller. Jordparametrar (k, c) kan åsättas olika värden cellvis eller för cellgrupper och även varieras i tiden. Randtemperaturen vid markytan kan varieras godtyckligt. Snö- och rand-motstånd vid markytan kan inkluderas i beräkningarna.

Programutvecklingen omfattar en förändring av representationen av intagsledningen och dess energiuttag samt en förenklad tredimensionell modell. Beräkningarna sker fortfarande tvådimensionellt, men programmet stegar sig fram längs intagsledningen och gör beräkningar i flera sektioner under samma tidssteg.

MODELL AV INTAGSLEDNINGENS ENERGIUTTAG.

Datorprogrammet förutsätter beräkningsceller av rektangulär form. Intagsledningen kan följaktligen inte representeras exakt. Vid tillämpningen för brineslang är slangens tvärsnittsytta så liten i förhållande till lämplig cellstorlek att dess inverkan på cellens värmekapacitet kan försummas, men detta är inte fallet för en luftslang. I den nuvarande versionen av modellen reduceras cellens värmekapacitet proportionellt i förhållande till intagsledningens andel av cellytan.

För en intagsledning med givna egenskaper och givet luftflöde bestäms effektuttaget av nivån på utelufttemperaturen och marktemperaturen kring intagsledningen. Uppvärmningen av luften i intagsledningen, fig. 3.1, beskrivs matematiskt i programmet enligt:

$$T_{1,i+1} = T_{m,i} + (T_{1,i} - T_{m,i}) e^{-(x_{i+1} - x_i) l_i} \quad (^\circ\text{C})$$

T_m = marktemperatur (i cellmitt)

T_1 = lufttemperatur (för $i=1$ utelufttemperatur)

$l_i = (m_1 + m_m) * V_1 * C_1$

m_1 = övergångsmotstånd, luft till utsida slang

m_m = övergångsmotstånd, utsida slang till cellmitt

V_1 = luftens volymflöde

C_1 =luftens volumetriska värmekapacitet

x_i =längskoordinat

Effektuttaget ur slangsektionen i är då:

$$Q_i = (T_{l,i} - T_{l,i+1}) * C_1 * V_l / (x_{i+1} - x_i) \quad (\text{W/m})$$

Marktemperaturen bestäms sedan av effektuttaget Q_i under tidssteget dT .

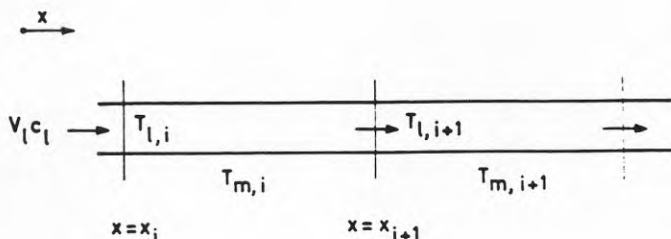


Fig. 3.1. Uppvärmning av luft i intagsledning.

Frysmodell.

Marken representeras av en mängd beräkningsceller som kan ges godtycklig värmekapacitet och värmeledningsförmåga. Vidare karakteriseras cellerna av ett värmeinnehåll E (J/m^3), vilket är en funktion av temperaturen och värmekapaciteten. Vid temperaturen 0°C är E definitionsmässigt noll.

Marken antas frysa i ett temperaturintervall $T_f < T < 0^\circ\text{C}$. I detta intervall anges värmekapaciteten av kvoten L/T_f , (se fig. 3.2).

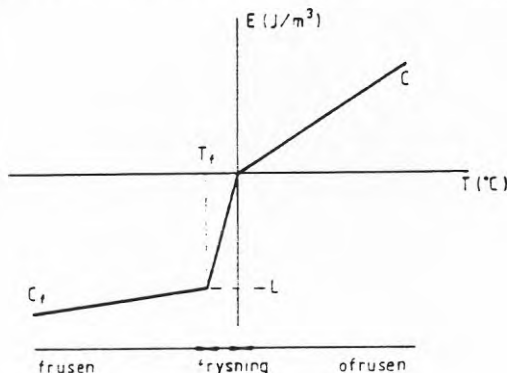


Fig. 3.2. Värmeinnehåll per volymsenhet som funktion av temperaturen.

4. VERIFIERING.

Verifiering av simuleringsmodellen har gjorts gentemot data från en dansk testanläggning. Anläggningen och dess resultat finns rapporterade i "Eksperimentel undersøgelse af luftjordslanger" av P. Munter, Teknologisk Institut.

Markslingan består av tre korrugerade PVC-rör med en effektiv längd på 12 m. Rör-diametern är 200 mm och luftflödet genom varje rör är 500 m³/h. Nedgrävningdjupet för två av rören är ca 1.5 m och 1.15 m för det tredje. Jorden på platsen utgörs av moränlera med hög kvartshalt och värmeledningsförmåga. Övergångsmotståndet luft-slang ligger i storleksordningen 0.05-0.1 m²°C/W. Värdet 0.08 har använts vid simuleringen. Luft- och marktemperaturer samt övriga driftsdata är mätta kontinuerligt med data-logger. Mätvärdena är presenterade i diagramform som tre-timmars medelvärden. Anläggningen kördes under eldnings-säsongen 83/84 och 84/85. Den första säsongen hade man många driftsstopp på grund av problem med vatteninträngning i rören. I rapporten presenteras en representativ mätserie, från perioden 841227-850120.

För att verifiera datormodellen har en simulering av anläggningen under ovanstående tidsperiod gjorts. Indata, uteluft-temperaturen, har getts som dygnsmedelvärden istället för tre-timmars värden. Resultatet framgår av fig. 4.1.

Modellens känslighet för snabba temperaturförändringar är beroende av nodnätet och tidssteget. Ett fint nodnät ger ökad känslighet, men beräkningstiden och kostnaden ökar också kraftigt. De av programmet beräknade lufttemperaturerna kan avvika mycket för enstaka, uppmätta dygnsmedelvärdena. Avvikelsen skulle kunna minskas med ett tätare nodnät, men det väsentliga är att för medeltemperaturen över hela perioden är differensen enbart 0.2°C. Tilläggas skall att avläsningsnoggrannheten från diagrammen är låg.

Mätresultat från en försöksanläggning i Luleå har också funnits tillgängliga. Dessa har dock inte kunnat användas för verifiering. Luften förvärms där i solpaneler innan den sugs genom intagsledningen. Därmed fås omväxlande nedkylning och uppvärmning av marken. Vid uppvärmning kan en betydande del av energiöverföringen ske genom kondensation, vilket datormodellen inte kan beräkna. Mätvärden från en anläggning för förvärmning av ventilationsluft i Örebro har också använts för beräkning av övergångsmotstånd.

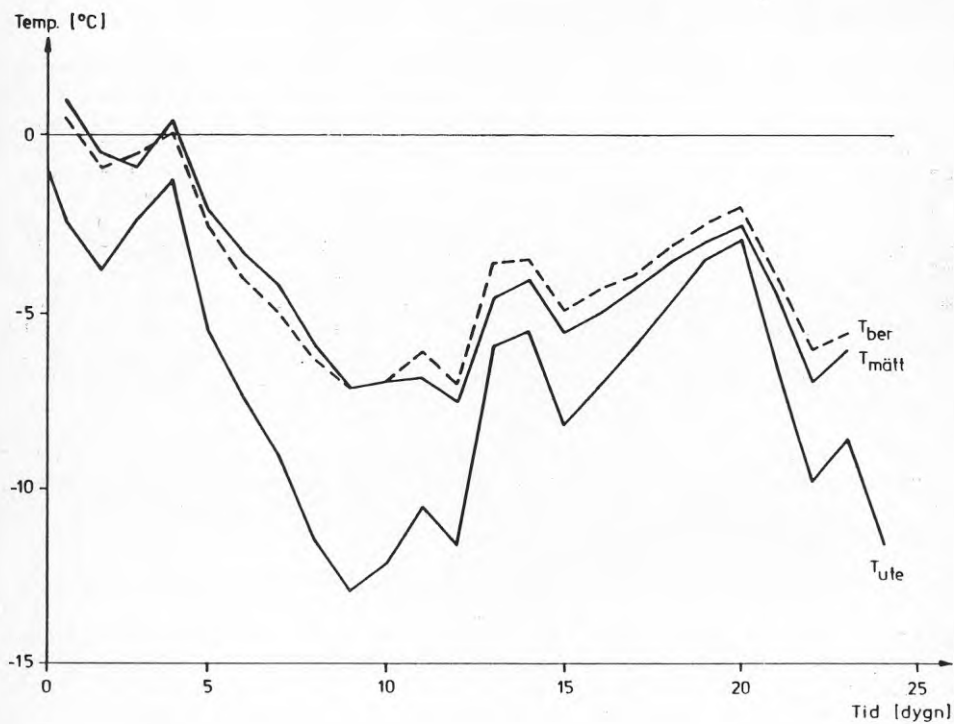


Fig. 4.1 Jämförelse av uppmätt och beräknad temperatur.

5. SIMULERING.

Simulering av värmeupptagningen för rör i mark har gjorts för tre olika klimat i Sverige. Klimatdata för Luleå, Uppsala och Kristianstad har använts. Gemensamma förutsättningar för simuleringarna är:

Rör av PVC
 Rördiameter 200 mm
 Förläggningsdjup 1.40 m
 Luftflöde $0.139 \text{ m}^3/\text{s} = 500 \text{ m}^3/\text{h}$
 Värmekapacitet $1310 \text{ Ws}/\text{m}^3 \cdot \text{C}$

Mark: Värmeledningsförmåga $k_+ = 0.9 \text{ W}/\text{m} \cdot \text{C}$

$k_- = 2.4 \text{ W}/\text{m} \cdot \text{C}$

Värmekapacitet $c_+ = 3.5 \cdot 10^6 \text{ J}/\text{m}^3 \cdot \text{C}$

$c_- = 2.0 \cdot 10^6 \text{ J}/\text{m}^3 \cdot \text{C}$

Latent värme $L = 2.2 \cdot 10^8 \text{ J}/\text{m}^3$

Normalår: Medelvärde för perioden 1930-1960.

Extremår: 1965/66 för Luleå och Uppsala, 1962/63 för Kristianstad.

Övergångsmotståndet luft-slang är i alla fall utom ett satt till $0.08 \text{ m}^2 \cdot \text{C}/\text{W}$. För att testa känsligheten mot försämrade värmeöverföring gjordes en simulering med motståndet 0.15.

Intagsledningen tas i bruk vid utetemperaturen 0°C om inte annat anges. Programmet tar inte hänsyn till värmepumpens driftsätt, som är intermitterant tills dess att max effekt uppnås. Intagsledningen är ständigt i drift efter att starttemperaturen underskridits.

Resultatet av simuleringarna redovisas nedan i form av temperaturdiagram, visande uteluftens månadsmedeltemperatur och den förvärmade luftens månadsmedeltemperatur.

I dessa inledande simuleringar har endast en marktyp använts. Den motsvaras av en lera med relativt hög vattenhalt och lågt kvartsinnehåll.

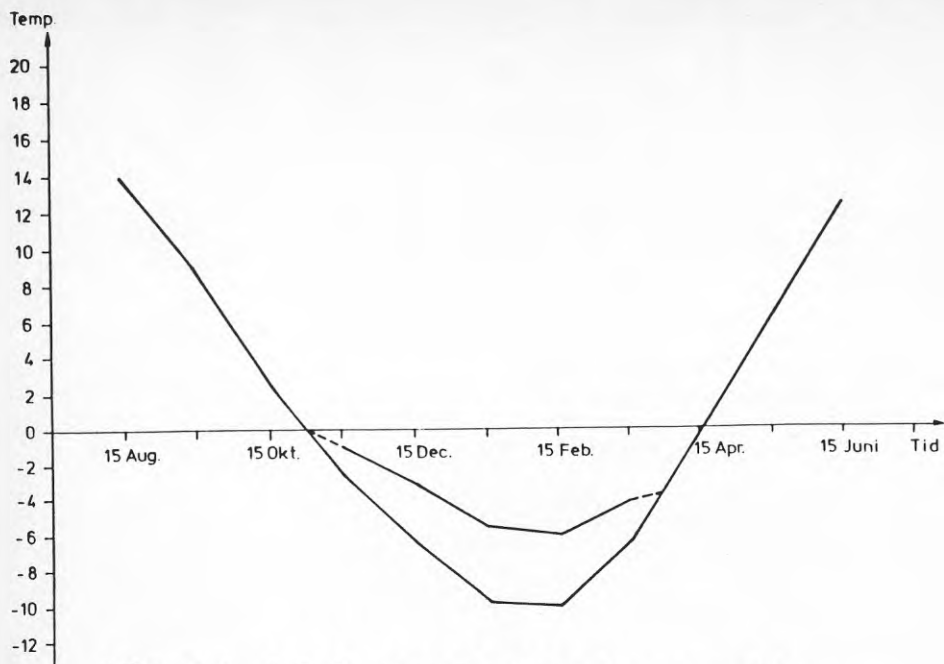


Fig. 5.1. Luleå, Intagsledning 20m, normalår.
 Energiuttag: 2960 kWh motsv. 148 kWh/m
 Medeleffekt: 0.56 kW motsv. 28 W/m

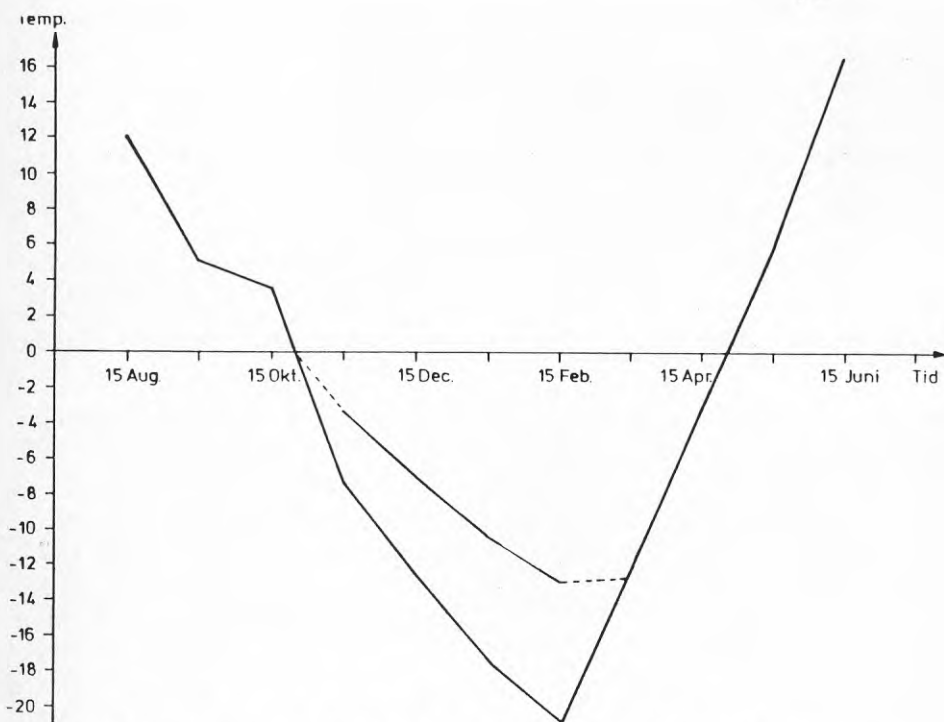


Fig. 5.2. Luleå, Intagsledning 20m, extremår.
 Energiuttag: 3760 kWh motsv. 188 kWh/m
 Medeleffekt: 1.12 kW motsv 56 W/m

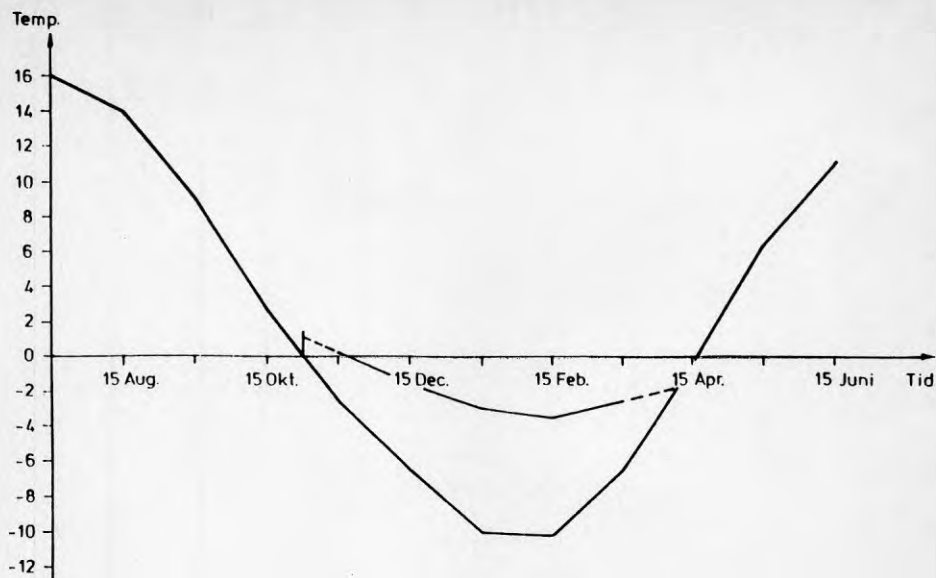


Fig. 5.3. Luleå, Intagsledning 40m, normalår.
 Energiuttag: 3250 kWh motsv. 81 kWh/m
 Medeleffekt: 0.92 kW motsv. 23 W/m

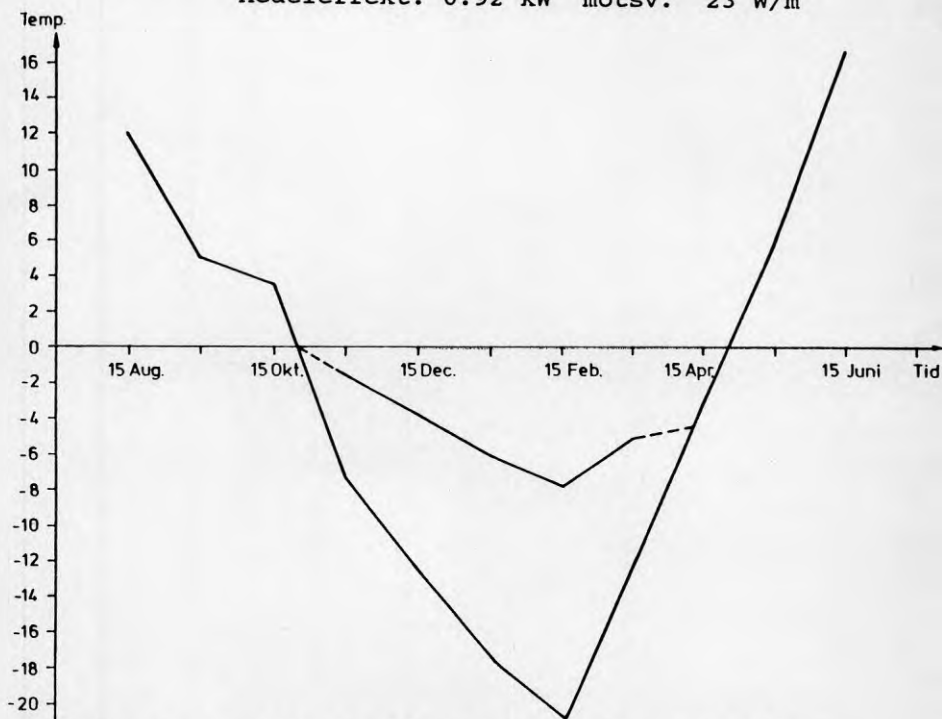


Fig. 5.4. Luleå, Intagsledning 40m, extremår.
 Energiuttag: 6120 kWh motsv. 153 kWh/m
 Medeleffekt: 1.72 kW motsv. 43 W/m

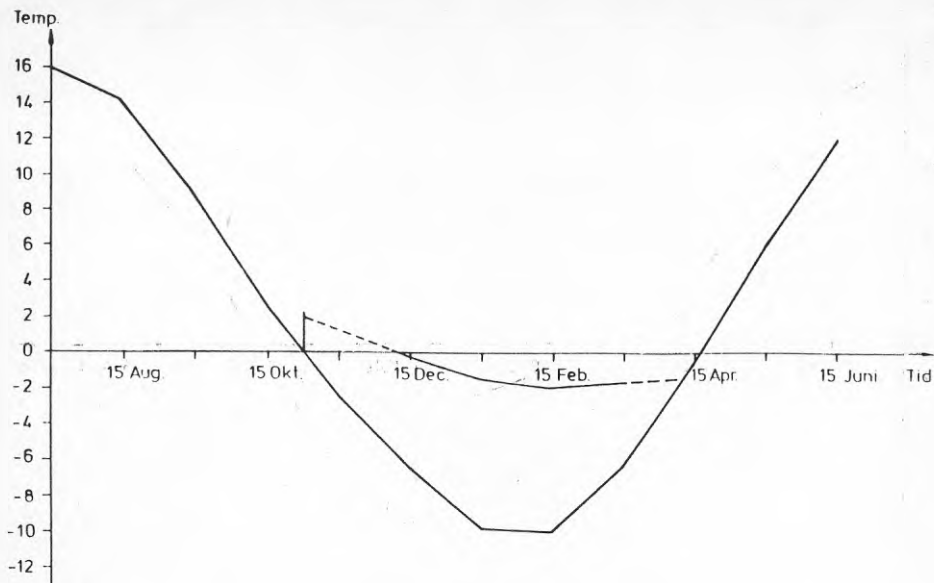


Fig. 5.5. Luleå, Intagsledning 60m, normalår.
 Energiuttag: 4000 kWh motsv. 67 kWh/m
 Medeleffekt: 1.13 kW motsv. 19 W/m

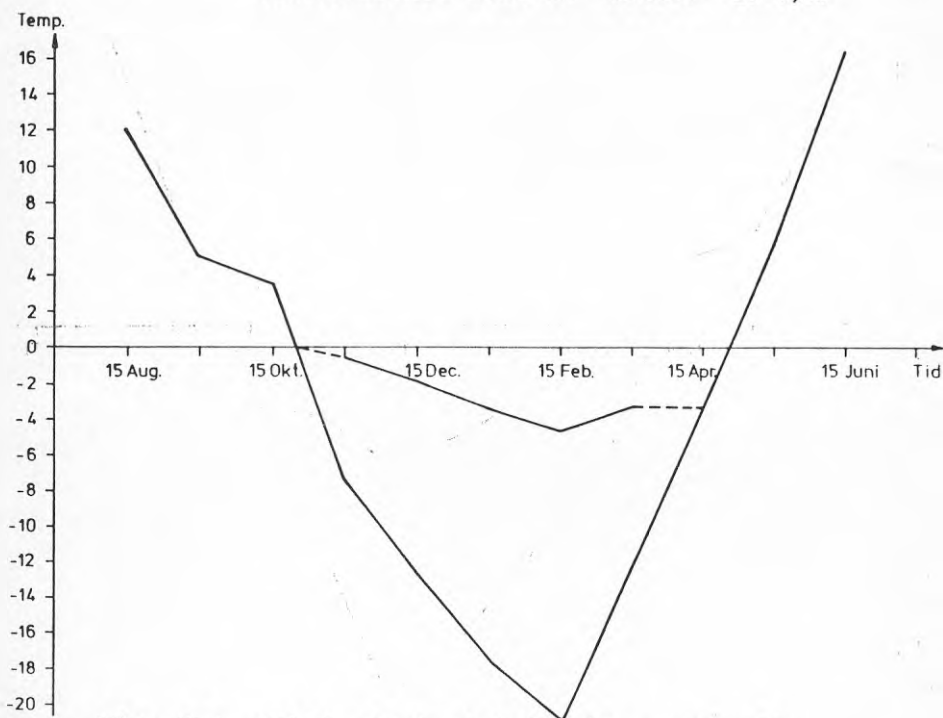


Fig. 5.6. Luleå, Intagsledning 60m, extremår.
 Energiuttag: 7680 kWh motsv. 128 kWh/m
 Medeleffekt: 2.10 kW motsv. 35 W/m

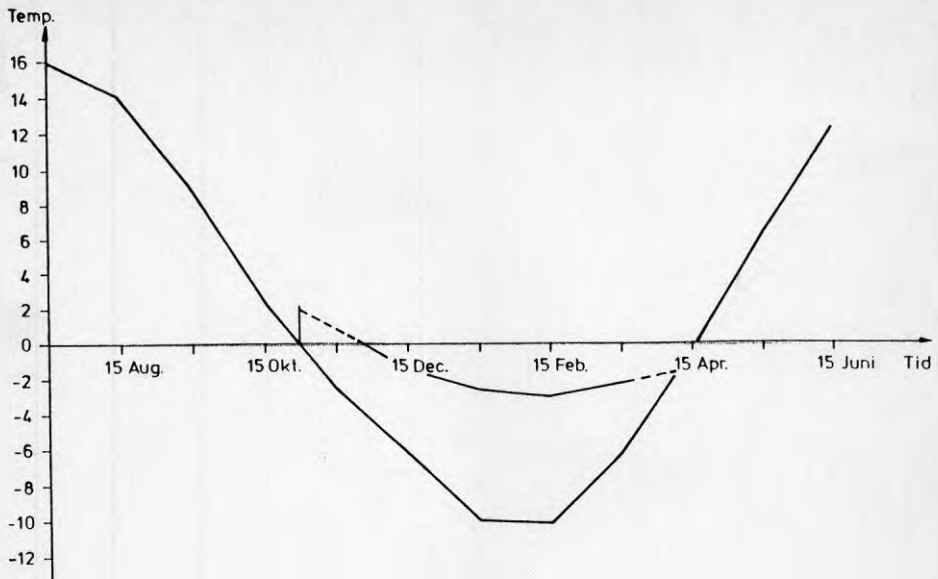


Fig. 5.7. Luleå, Intagsledning 60m, normalår, $m=0.15$.
 Energiuttag: 3500 kWh motsv. 58 kWh/m
 Medeleffekt: 0.99 kW motsv. 17 W/m

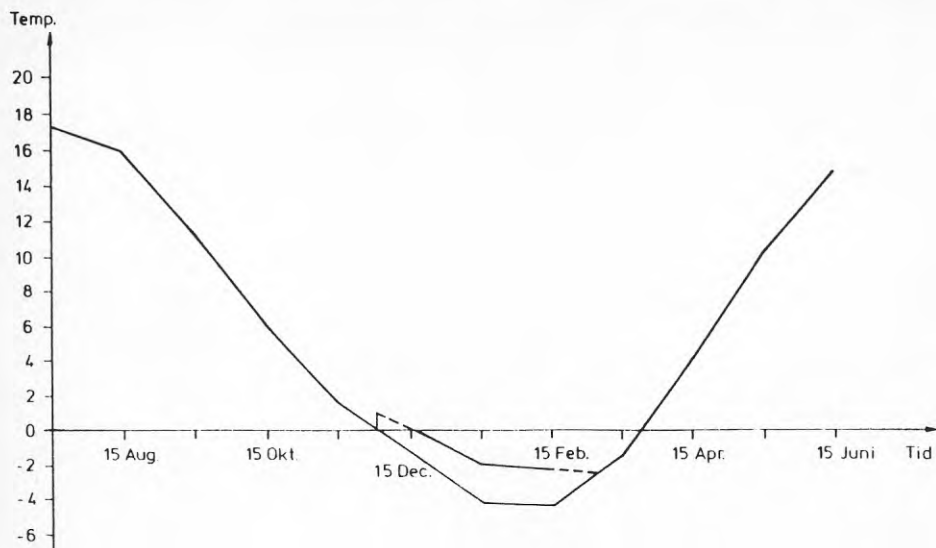


Fig. 5.8. Uppsala, Intagsledning 20m, normalår.
 Energiuttag: 716 kWh motsv. 36 kWh/m
 Medeleffekt: 0.34 kW motsv 17 W/m

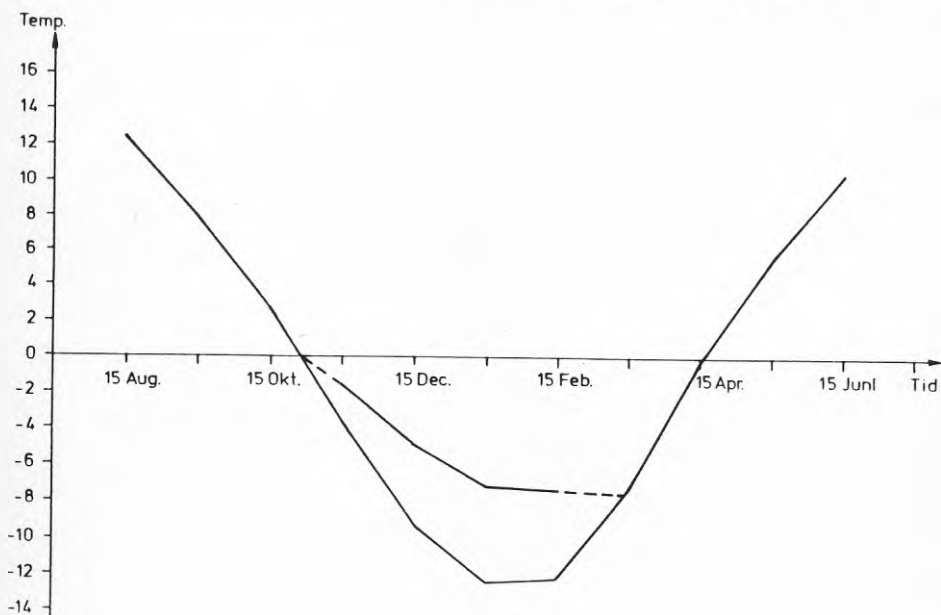


Fig. 5.9. Uppsala, Intagsledning 20m, extremår.
 Energiuttag: 2540 kWh motsv. 127 kWh/m
 Medeleffekt: 0.76 kW motsv. 38 W/m

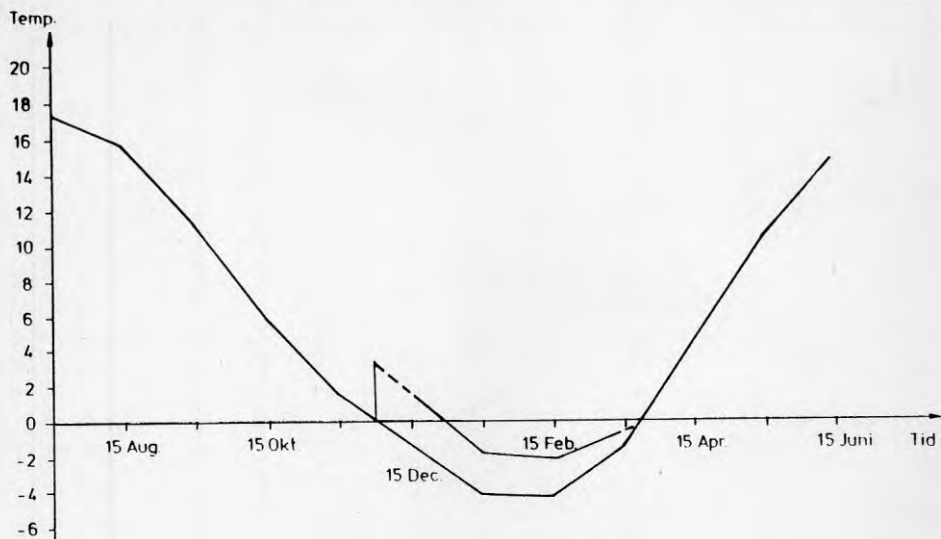


Fig. 5.10. Uppsala, Intagsledning 40m, normalår.
Energiuttag: 1200 kWh motsv. 30 kWh/m
Medeleffekt: 0.45 kW motsv. 11 W/m

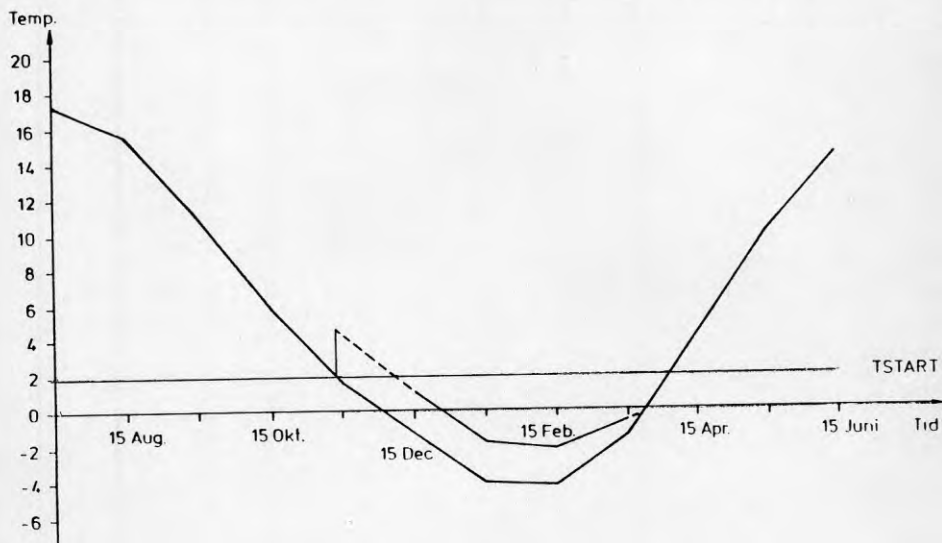


Fig. 5.11. Uppsala, Intagsledning 40m, normalår.
Energiuttag: 1380 kWh motsv. 35 kWh/m
Medeleffekt: 0.45 kW motsv 11 W/m

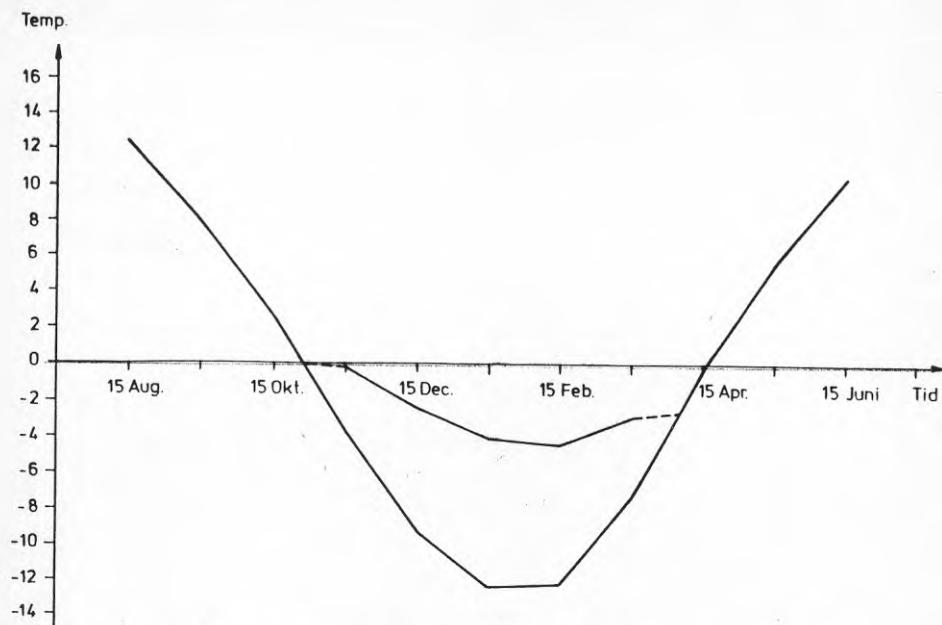


Fig. 5.12. Uppsala, Intagsledning 40m, extremår.
Energiuttag: 4080 kWh motsv. 102 kWh/m
Medeleffekt: 1.2 kW motsv. 29 W/m

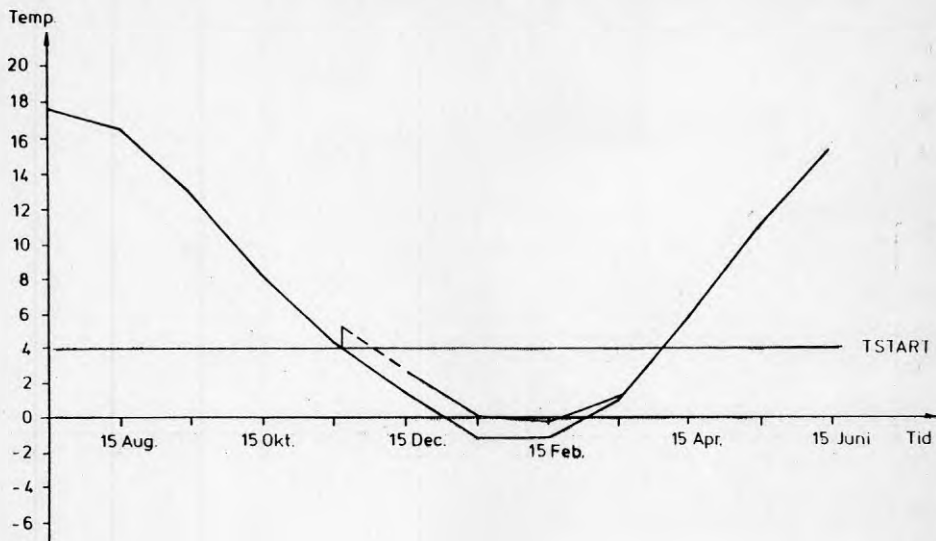


Fig. 5.13. Kristianstad, Intagsledning 20m, normalår.
 Energiuttag: 520 kWh motsv. 26 kWh/m
 Medeleffekt: 0.16 kW motsv. 8 W/m

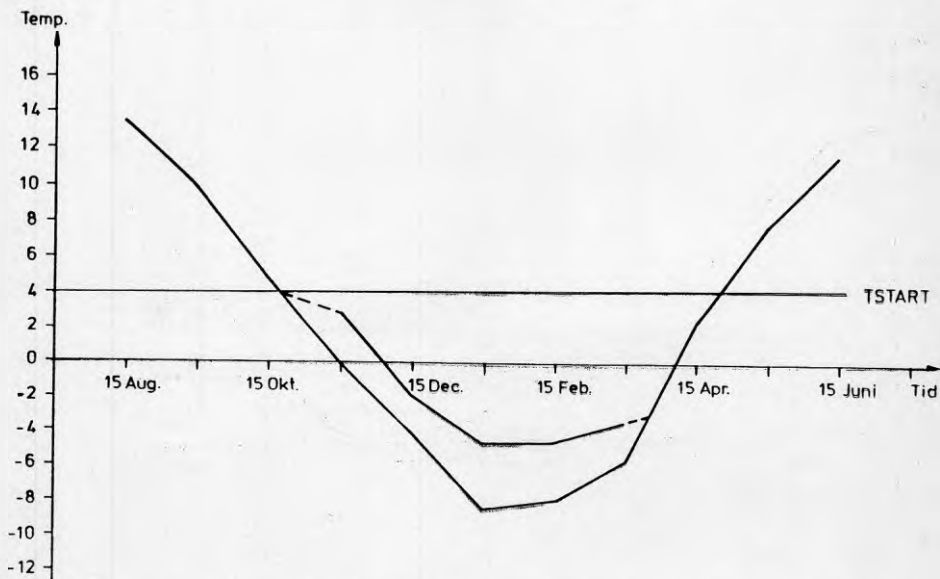


Fig. 5.14. Kristianstad, Intagsledning 20m, extremår.
 Energiuttag: 1570 kWh motsv. 79 kWh/m
 Medeleffekt: 0.52 kW motsv. 26 W/m

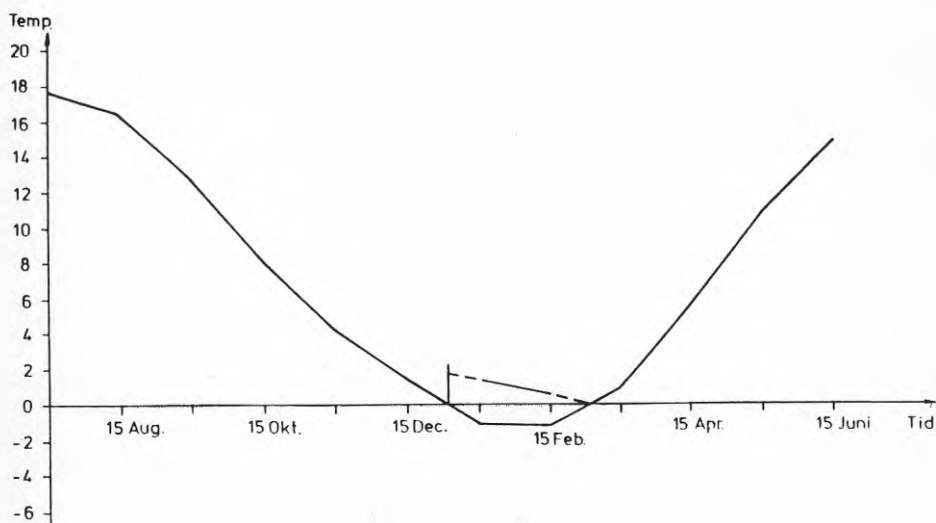


Fig. 5.15. Kristianstad, Intagsledning 40m, normalår.
 Energiuttag: 560 kWh motsv. 14 kWh/m
 Medeleffekt: 0.40 kW motsv. 10 W/m

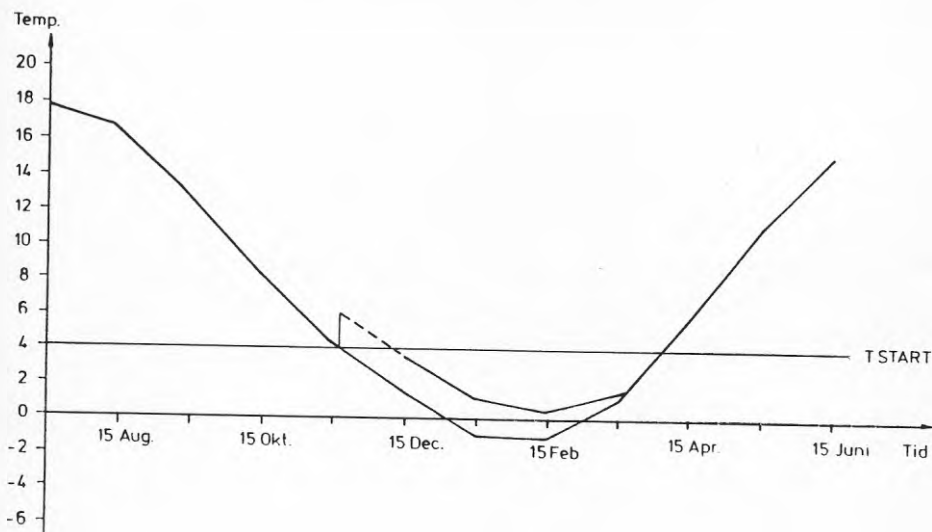


Fig. 5.16. Kristianstad, Intagsledning 40m, normalår.
 Energiuttag: 950 kWh motsv. 24 kWh/m
 Medeleffekt: 0.30 kW motsv. 7.6 W/m

6. Ekonomi.

Energiutbyte för luftvärmepump med/utan förvärmning.

Som hjälpmedel för den ekonomiska beräkningen har ett dimensioneringsprogram för luftvärmepumpar använts. Programmet är utvecklat av Per-Erik Nilsson vid Inst. för Installationsteknik, CTH.

Som gemensamma förutsättningar för alla dimensioneringskörningar gäller:

Vattenburet värmesystem 55/40
 Konstant kondensorflöde, variabel kondensortemperatur
 Max. kondensortemperatur 60°C
 Värmepumpen stängs av då förångningstemperaturen understiger -15°C, motsvarande utetemperaturen -10°C.
 Värmepumpens tillgänglighet är 100%
 Tappvarmvatten ej kopplat till värmepump.

För respektive ort gäller följande längder för intagsledningen:

Luleå: 3x60m
 Uppsala: 3x40m
 Kristianstad: 3x20m

Optimal effekttäckningsgrad för en konventionell luftvärmepump ligger ganska lågt, i storleksordningen 35-40 %. Dimensioneringsberäkningar har gjorts vid 35, 50 och 65% effekttäckning. Dessutom har möjligheterna till full effekttäckning studerats, utifrån arbetskurvor från några värmepumpar som finns på marknaden.

När utemperaturen som motsvarar dimensionerande effekt ligger över den temperatur vid vilken intagsledningen ska tas i bruk får man samma värmepump för båda systemen. När detta inte är fallet kan man göra jämförelsen på två olika sätt. Antingen bibehåller man den dimensionerande effekten, varvid värmepumpens storlek minskas, eller bibehåller man värmepumpstorleken, varvid effekttäckningen ökar. I tabellerna nedan avser värdena för dim. effekt i % hela systemet, medan värdena i kW avser värmepump utan förvärmning. Elförbrukning avser el till värmepump och anges i % av total uppvärmningsenergi.

I figur 6.1 och 6.2 är två dimensioneringsberäkningar åskådliggjorda i diagramform.

Luleå		Effektbehov: 10 kW		Energibehov: 24000 kWh		
<u>Med/Utan</u> <u>förvärmning</u>	<u>Dim.</u> <u>effekt</u> %/kW	<u>Energi</u> <u>täckning</u> %	<u>El för-</u> <u>brukning</u> %	<u>Utnyttj-</u> <u>ningstid</u> tim.	<u>Energi-</u> <u>tillskott</u> kWh	<u>ÅVF</u>
U	35/3.5	50.1	19.2	5066	8650	2.6
M	35/3.5	75.5	29.6	7644	12850	2.6
U	50/5.0	64.9	27.4	3616	10500	2.4
M	50/3.9	86.4	35.5	5909	14250	2.4
M	83/5.0	99.3	47.5	2638	14500	2.1
U	65/6.5	69.7	32.1	2400	10530	2.2
M	65/4.4	96.3	42.5	4018	15070	2.3

Uppsala		Effektbehov: 8 kW		Energibehov: 20000 kWh		
<u>Med/Utan</u> <u>förvärmning</u>	<u>Dim.</u> <u>effekt</u> %/kW	<u>Energi</u> <u>täckning</u> %	<u>El för-</u> <u>brukning</u> %	<u>Utnyttj-</u> <u>ningstid</u> tim.	<u>Energi-</u> <u>tillskott</u> kWh	<u>ÅVF</u>
U	35/2.8	60.2	22.7	5550	7500	2.7
M	35/2.8	72.8	27.5	6629	9050	2.6
U	50/4.0	79.2	32.6	4142	9300	2.4
M	50/3.5	85.8	34.4	5438	10280	2.5
M	64/4.0	95.6	41.1	3905	10900	2.3
U	65/5.2	88.1	39.5	2896	9700	2.2
M	65/4.2	95.8	41.2	3848	10900	2.3

Kristianstad		Effektbehov: 6 kW		Energibehov: 16000 kWh		
<u>Med/Utan</u> <u>förvärmning</u>	<u>Dim.</u> <u>effekt</u> %/kW	<u>Energi</u> <u>täckning</u> %	<u>El för-</u> <u>brukning</u> %	<u>Utnyttj-</u> <u>ningstid</u> tim.	<u>Energi-</u> <u>tillskott</u> kWh	<u>ÅVF</u>
U	35/2.1	64.3	23.7	5545	6500	2.7
M	35/2.1	74.3	27.5	6410	7500	2.7
U	50/3.0	84.1	33.7	4183	8060	2.5
M	50/2.6	87.7	34.3	5116	8550	2.6
M	58/3.0	93.9	38.2	4254	8900	2.5
U	65/3.9	92.4	40.2	2906	8350	2.3
M	65/3.2	96.2	40.6	3558	8900	2.4

Energitillskottet och värmefaktorn är beräknade utan hänsyn till den extra fläktenergi som krävs för att driva luften genom in-tagsledningen. Huvuddelen av fläktenergin kan tillgodogöras systemet genom höjning av lufttemperaturen.

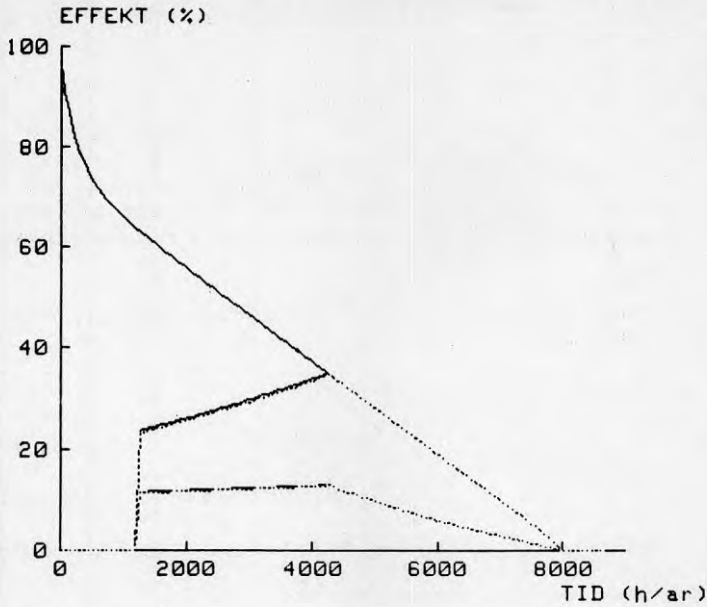


Fig. 6.1. Energitäckningsdiagram. Luftvärmepump i Luleå utan förvärmning. Dim. effekttäckningsgrad: 35%. Den undre linjen avser el till värmepump.

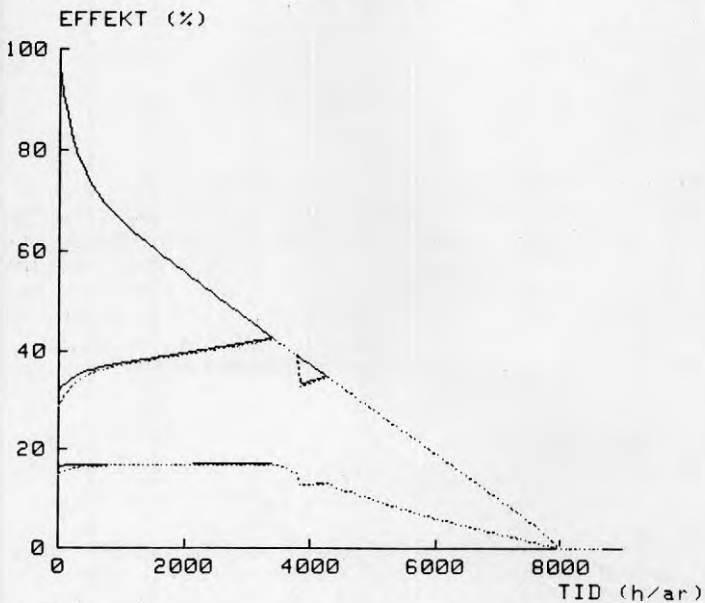


Fig. 6.2. Energitäckningsdiagram. Luftvärmepump i Luleå med 60 m intagsledning. Dim. effekttäckningsgrad: 35%. Den undre linjen avser el till värmepump.

Beräknad intäkt av intagsledning.

Den gängse avskrivningstiden för en luftvärmepump är 15 år, medan den är 30 år för rör-installationer. För intagsledningen bör man kunna räkna med 30 år, men bägge alternativen har beräknats nedan. Den framtida utvecklingen av priset på el och annan energi är svårbedömd, men sannolikt kommer kostnadsökningen att vara relativt stor. Tidsdifferenterade eltaxor kommer antagligen att införas generellt, vilket gynnar värmepumpsystem gentemot eluppvärmning.

Nuvärdet av energitillskottet från intagsledning har beräknats med följande förutsättningar:

Kalkylränta,	r=6%	
Tid,	$t_1=15$ år	$t_2=30$ år
Elpris,	$e_1=30$ öre/kWh	$e_2=40$ öre/kWh
Dim. effekt,	35% (3.5, 2.8 resp. 2.1 kW)	

Nuvärdet av energibesparingen blir då:

	Luleå (kr)	Uppsala (kr)	Kristianstad (kr)
t_1+e_1	10500	4500	2900
t_1+e_2	14000	6100	3800
t_2+e_1	14800	6400	4100
t_2+e_2	19800	8700	5500

Till detta kommer vinsten av att värmepumpen ger ett bidrag även den kallaste tiden, vid effekttopp, och därmed ett minskat effektbehov. Minskningen av effektbehovet torde ligga på 10-20 %, dvs. 0.5-2.0 kW. Det är svårt att värdera ett minskat effektbehov generellt, men det är en faktor som bör tas med i bedömningen av luftvärmesystem med förvärmning. I den mån tidsdifferenterade eltaxor införs i framtiden fås en direkt möjlighet till privatekonomisk värdering.

Beräknad kostnad för markintagsledning.

Intagsledning förutsätts kunna installeras under en arbetsdag, av en man med grävmaskin eller kedjegrävare, för en timkostnad av ca 350 kr. Vid nybyggnation, då installationen görs i samband med annat grävarbete, bör denna kostnad kunna halveras. Kostnaden för rören stiger kraftigt med ökande dimensioner. För rör i storleksordningen 150-200 mm ligger kostnaden på 35-55 kr/m, 1988 års prisläge. Till en anläggning krävs tre parallella rör.

Till detta kommer kostnad för samlingsbrunn och spjäll:

Arbetskostnad: 1500-3000 kr
Material: 500 kr + 45 kr/m

	Luleå (kr)	Uppsala (kr)	Kristianstad (kr)
Kostnad:	10100-11600	7400-8900	4700-6200
Intäkt:	10500-19800	4500-8700	2900-5500

Kostnads- och intäktsberäkningen tyder på att intagsledningen är lönsam i norra Sverige redan med dagens el-pris och oräknat vinsten av mindre effektbehov. I en nyligen utgiven BFR-rapport, "Uteluftvärmepumpar i Norrland", visas att energibesparingen och lönsamheten för uteluftvärmepumpar i Norrland är bättre än i södra Sverige. System med förvärmning av luft genom intagsledning i mark bör därför vara särskilt intressant för norra Sverige. Med något högre eltaxa än dagens erhålls lönsamhet även för anläggningar i mellersta och södra Sverige.

Det ekonomiska resultatet bör kunna förbättras ytterligare genom en bättre optimering av intagsledningen.

I bilaga 1 redovisas två anläggnings typer med 30m resp. 3*30m intagsledning samt en kostnadsberäkning med 1990 års priser utförd av en entreprenör, Projektförvaltning. Som framgår av beräkningarna i bilaga 1 ligger de kostnadsexemplen över ovan angivna ramar, som dock är räknade i 1988 års prisnivå. Tas hänsyn till kostnadsökningen 1988-1990 visar kostnaderna i bilaga 1 på en något högre kostnad än vad som redovisas ovan. Skillnaden mellan kostnadsuppskattningarna är tämligen liten.

Föutsättningar för full effekttäckning.

För att kunna göra en dimensionering för full effekttäckning bör datormodellen kompletteras med en pulsfunktion, dvs. möjlighet att simulera korta, intensiva köldperioder.

Simuleringsprogrammet förutsätter ett kontinuerligt flöde från det att intagsledningen tas i bruk, men i verkligheten kommer intagsledningen att vara vilande ibland. En värmepump med liten effekttäckningsgrad kommer i stort sett att utnyttja intagsledningen kontinuerligt, men för en större värmepump blir driften mera intermitterant. En värmepump dimensionerad för 100% effekttäckning kommer att ha ganska långa stilleståndstider när intagsledningen vilar. Detta ger högre marktemperatur och större effekt när ledningen utnyttjas.

På grundval av gjorda simuleringar för extremår kan man dock få en ganska god uppfattning om förutsättningarna för monovalent drift.

Två lämpliga luftvärmepumpar, båda tillverkade av AGA-Thermia, har använts vid den ekonomiska bedömningen. DUO 12L är en konventionell luftvärmepump som levereras med elpatron, 3 kW, för tillsatsvärme. Modul Luft är en luftvärmepump med direktförångning. Den arbetar effektivare men har en större mängd freon. Samma effektbehov och energiförbrukning som i beräkningen ovan har använts.

Modul Luft ger, vid en utgående radiatortemperatur av +45°C, 6 kW vid -2°C. Det bör räcka för en anläggning i Kristianstad med en markintagsledning på 20-30 m.

DUO 12L ger, vid en utgående radiatortemperatur av +45°C, 8 kW vid -7°C. Med den inbyggda reserven på 3kW är den lämplig för en anläggning i Luleå med en markintagsledning på ca 60m.

Den kapitaliserade intäkten av energibesparingen blir enligt nedan:

Kalkylränta,	r=6%	
Tid,	t=15 år	
Elpris,	$e_1=30$ öre/kWh	$e_2=40$ öre/kWh
	$e_3=50$ öre/kWh	
Årsvärmefaktor,	DUO 12L; 2.2	Modul Luft; 2.8
	Luleå	Kristianstad
	(kr)	(kr)
e_1	38000	30100
e_2	51000	39800
e_3	63600	50000

Investeringskostnaden för de båda anläggningarna, inkl. markintagsledning, är ca 85.000 kr för DUO 12L och 55.000 kr för Modul Luft. Om man jämför med vattenburen elvärme, investeringskostnad 10.000-15.000 kr, finner man att en heltäckande luftvärmearläggning i nuläget inte är lönsam. Med ett elpris på drygt 40 öre/kWh bör effektiva luftvärmepumpar med direktförångning bli lönsamma. Tidsdifferentierade eltaxor skulle också bidra till en bättre lönsamhet.

REFERENSER.

Claesson J, m.fl., 1985, Markvärme, del I-III, BFR-Rapport T16-T18:1985, Stockholm.

Harderup L-E, Claesson J, Hagentoft C-E, 1987, Prevention of moisture damage by ventilation of the foundation, Paper presented at the 8th AIVC Conference, Überlingen.

Henriksson M, Schmeling P, 1988, Uteluftvärmepumpar i Norrland, BFR-Rapport R35:1988, Stockholm.

Johansson M, 1979, Jordvärmväxling i grund, studie i projektet "Värmelagring i mark" vid Lunds Tekniska Högskola.

Munter P, 1987, Eksperimentel undersøgelse af luftjordslanger, Energiministeriets Värmepumpeforskningsprograms rapport nr. 52, Teknologisk Institut, Tåstrup.

Rhen I, Sundberg J & Modin B, 1986, Dimensionering av ytjordvärme-kollektor, BFR-Rapport R13:1986, Stockholm.

SPECIFIKATION.

Allmänt: Anläggning 1 är tänkt för en liten värmepump och består av ett rör med dimensionen 128 mm. Anläggning 2 består av tre rör med dimensionen 200 alt 160 mm. Det är osäkert om 200 mm finns i standardsortimentet. 160 mm finns troligen inte i större längd än 25 m, varför röret måste skarvas. Skarven ska vara vattentät.

Rörmaterial: Huvudsakligen korrugerat PVC-rör, typ kabelrör. Vid insuget krävs stabilare rör, lämpligen PVC-rör, typ avloppsrör. Rörlängd i marken ska vara ca 30 m för bägge anläggningarna.

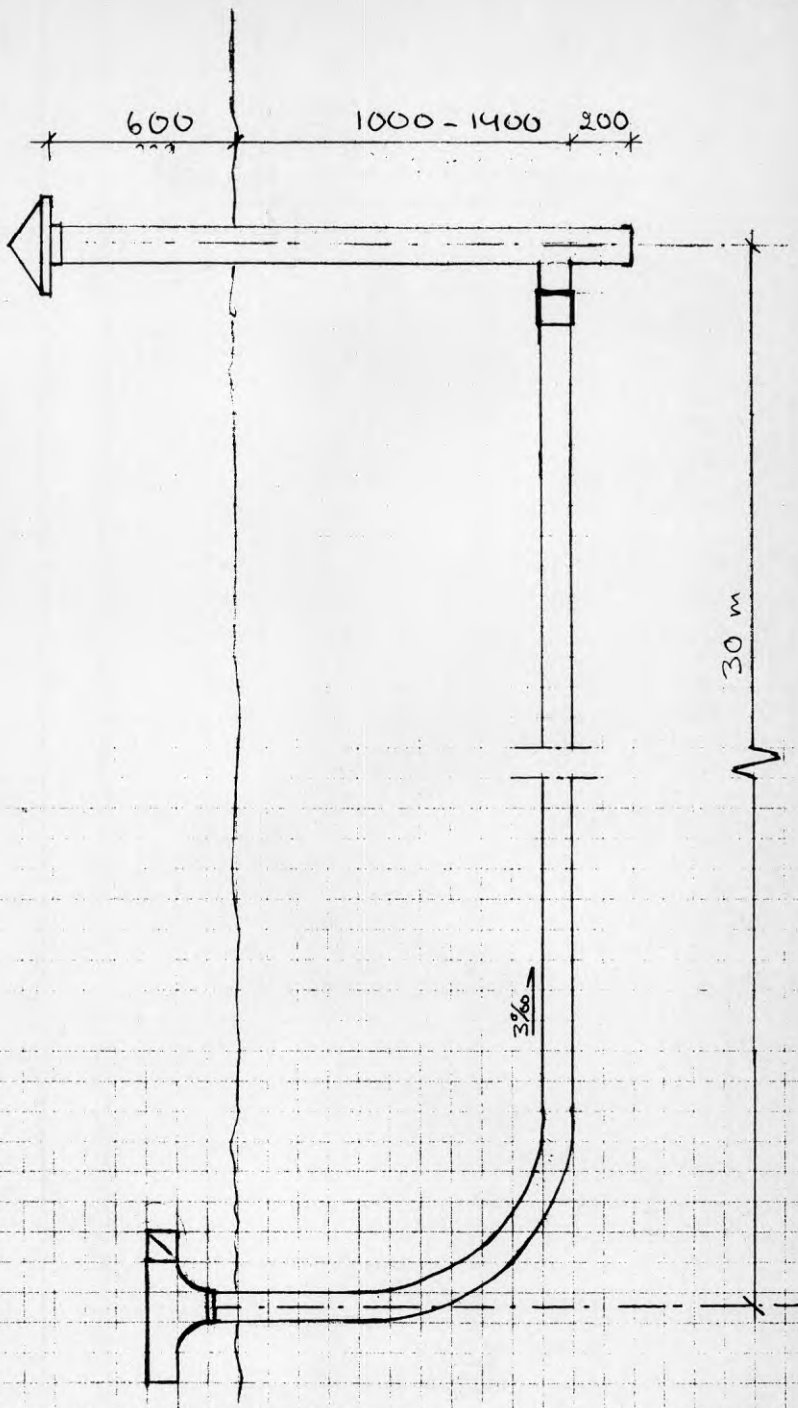
Förläggingsdjup: 1.0-1.4 m. Om röret kan förläggas på 1.4 m djup utan större merkostnad bör detta göras.

Schakt: Det förutsätts att marken är relativt lättschaktad och att schaktmassorna kan återfyllas utan att skada eller trycka ihop slangen.

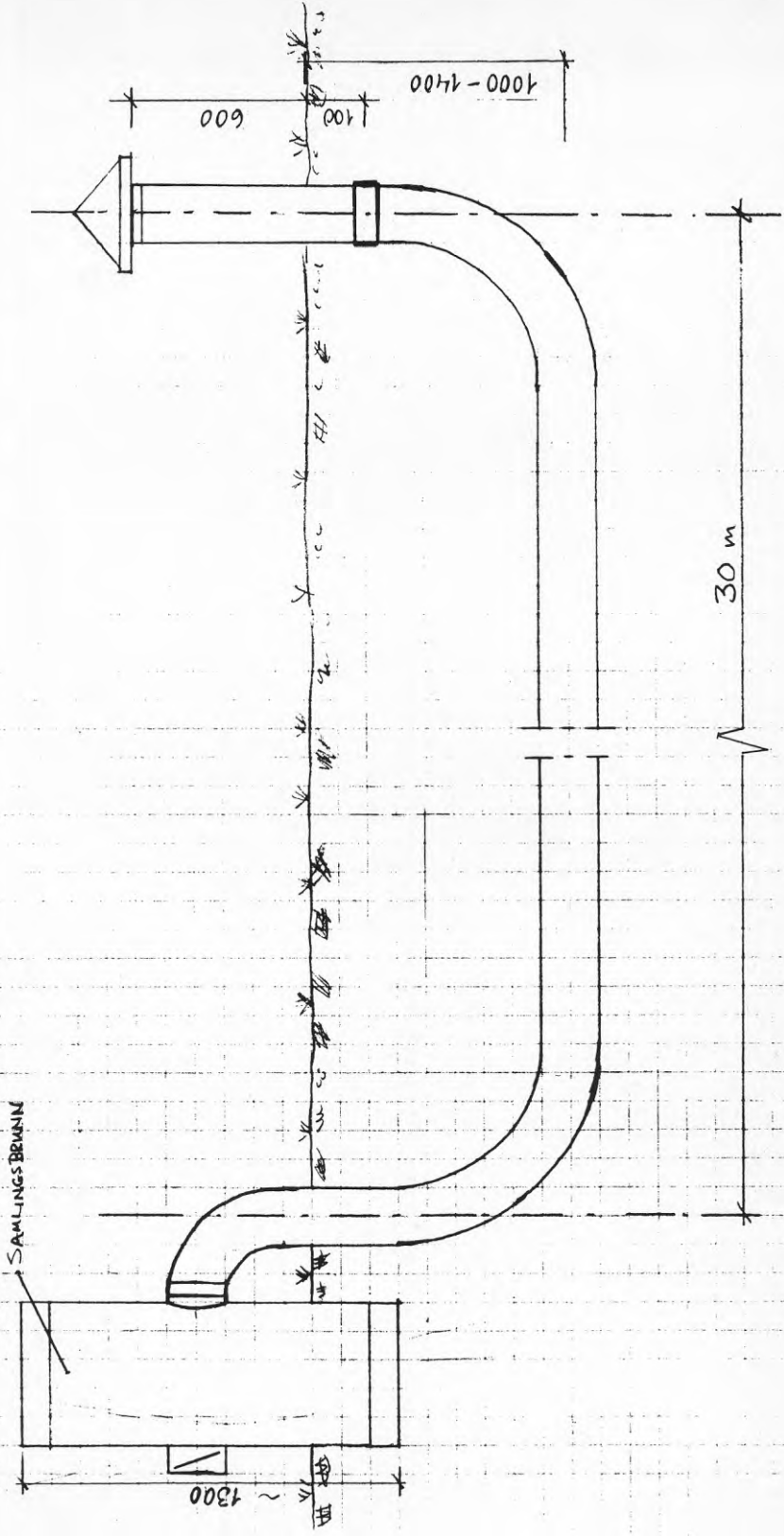
Insug: Insugsröret är ett styvt PVC-rör, med en skyddshätta överst. Skarvningen till det korrugerade röret kan göras på två sätt. Skissen av anläggning 1 visar en skarv på förläggingsdjupet. Då måste skarven göras vattentät, vilket bör kunna göras med en standardmuff, extra o-ringar i korrugeringsrännorna samt silikontätning. Insugsröret ska också vara vattentätt i botten. I det andra alternativet görs skarven nära markytan, och behöver då bara skydda mot rinnande vatten längs insugsröret.

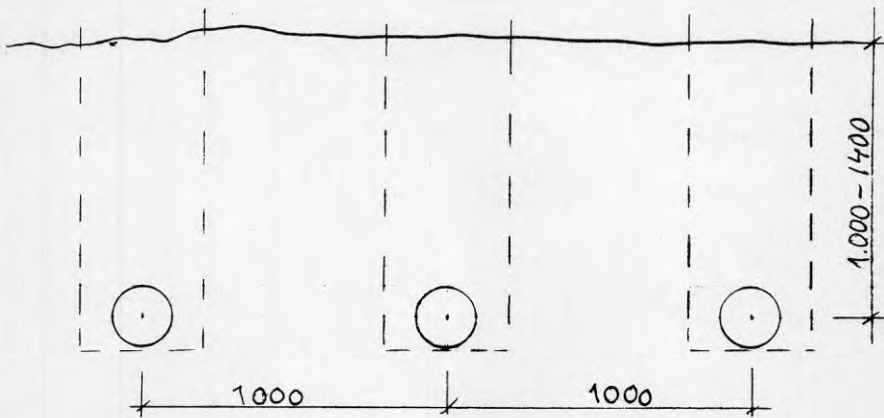
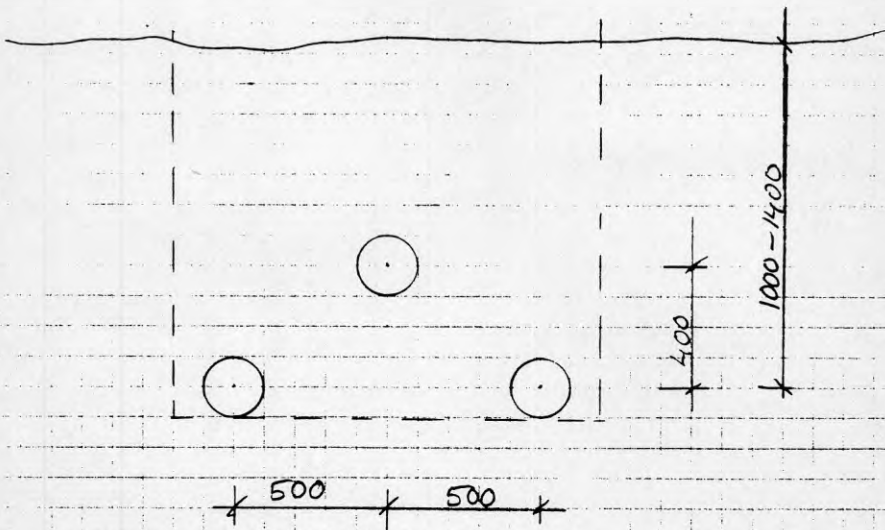
Utlopp: För anläggning 1 består utloppsdelen av ett ventilations-T-rör med ett enkelt vridspjäll, lufttätt skarvat på PVC-röret. Samlingsbrunnen för anläggning 2 utgörs av en ventilationstrumma, 500 mm diameter eller motsv. för rektangulärt snitt. Trumman ska ha tre påstick för de inkommande rören, ett utlopp med 300 mm diameter, samt ett vridspjäll, 300 mm diameter.

ANLÄGGNING 1.



ANLÄGGNING 2.



ANLÄGGNING 2.Trärsnitt: Alt. A.Trärsnitt: alt B.

KOSTNADSBERÄKNING FÖR
MARKFÖRLAGDA LUFTINTAGSLEDNINGAR
TILL VÄRME PUMP

ENLIGT ANLÄGGNING I

RÖRGRAVSSCHAKTER (1,4m DJUP)	}	2280-
RÖRLÄGGNING		
ÅTERFYLNING, ÅTERSTÄLLANDE		
MATERIAL PVC-RÖR Ø120	}	2200-
SÄTTNING BRUNN AV PVC-RÖR		
FÖRBRUKNINGSMATERIAL OCH DETALJER		400-
MOMS 3,95%		193-
	<u>SUMMA</u>	<u>5073-</u>

KOSTNADSBERÄKNING FÖR
MARKFÖRLAGDA LUFTINTAGSLEDNINGAR
TILL VÄRMEPUMP

ENLIGT ANLÄGGNING II

ALTERNATIV B

RÖRGRAVSSCHAKTER (1,4m DJUP)	}	4560-
RÖRLÄGGNING		
ÅTERFYLNING, ÅTERSTÄLLANDE		

MATERIAL PVC-RÖR Ø 160	}	5300-
SÄTTNING BRUNNAR AV PVC		

FÖRBRUKNINGSMATERIAL OCH DETALJER		1000-
--------------------------------------	--	-------

MOMS	3,95 %	429-
------	--------	------

<u>SUMMA</u>	<u>11 289</u>
--------------	---------------

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 851054-3
från Statens råd för byggnadsforskning till Jordvärme-
gruppen, Inst. för Teknisk Geologi, CTH, Göteborg.

R68:1990

ISBN 91-540-5246-7

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Art.nr: 6801068

Abonnemangsgrupp:
Ingår ej i abonnemang

Distribution:
Svensk Byggtjänst
171 88 Solna

Cirka pris: 41 kr exkl moms