

Termisk sond

Utrustning för mätning av värme- konduktivitet

Anna Gabrielsson
Marti Leht mets

Juni 1992

Anna Gabrielsson SGI

Marti Leht mets SGI

TERMISK SOND

Utrustning för mätning

av värmekonduktivitet

BFR-projekt 870343-2

SGI Dnr: 1-134/91

Datum: 92-06-30

FÖRORD

Denna rapport utgör redovisning av BFR-projekt 870343-2 och behandlar mätning av värmekonduktivitet med termisk sond. Syftet med projektet var att ta fram en lätthanterlig utrustning för mätning av värmekonduktivitet i fält och på laboratorium. En viktig del av projektet omfattade utveckling av ett användarvänligt mätdatorprogram för styrning av mätning och datainsamling. Mätutrustningen finns dokumenterad i en användarbeskrivning.

Projektet har genomförts av Marti Lehtmets och Anna Gabrielsson, SGI. Under projektets gång har Jan Sundberg, Terratema AB, konsulterats. Björn Löfroth och Sven-Erik Tornéus, SGIs mätlaboratorium, har utvecklat mätdatorprogram respektive satt samman utrustningens olika delar.

Linköping, juni 1992

Marti Lehtmets och Anna Gabrielsson

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

FÖRORD	i
INNEHÅLLSFÖRTECKNING	ii
SAMMANFATTNING	iii
1. BAKGRUND OCH SYFTE	1
2. MÄTMETOD	1
3. UTRUSTNING FÖR MÄTNING AV VÄRMEKONDUKTIVITET	4
3.1 Beskrivning av mätutrustning	4
3.2 Mätningens utförande	5
3.3 Funktionsbeskrivning	5
3.4 Kostnader	6
4. TEST AV UTRUSTNING	6
5. SLUTSATSER	7
6. REFERENSER	8
BILAGA: Användarbeskrivning termisk sond.	9

SAMMANFATTNING

Värmeledningsförmågan är en viktig parameter i markvärmesammanhang, bland annat vid dimensionering av värmelager och för uppskattning av värmeförluster. Värmeledningsförmågan har också betydelse för hur väl energi kan bortledas från markförlagda elkablar. Genom att använda ett mer korrekt värde kan besparingar göras.

Värmeledningsförmågan kan sägas vara ett mått på hur väl energi transporteras i ett material. Värmeledningsförmågan λ mäts i enheten $W/m^{\circ}C$ och definieras som den mängd energi som på en sekund passerar genom $1 m^2$ av en $1 m$ tjock platta av ett visst ämne när temperaturskillnaden mellan sidoytorna är $1^{\circ}C$.

Tidigare har mätningar av värmeledningsförmågan i jord utförts i begränsad omfattning. Syftet med projektet har varit att ta fram en lätthanterlig utrustning för mätning av värmekonduktivitet i fält och laboratorium. Avsikten var också att utveckla ett användarvänligt mät-datorprogram för styrning av mätning och datainsamling.

Mätutrustningen består av en bärbar PC, ett mindre kraftaggregat, mätdatainsamlingsenhet samt en fältsond och en laboratoriesond. Sonderna är avsedda för lösa sedimentjordar men kan även användas i vatten. Mätutrustningen finns dokumenterad i en användarbeskrivning.

I samband med en funktionskontroll genomfördes vissa justeringar som förbättrade mätutrustningens prestanda och lättillgänglighet. Användning av utrustningen och tolkning av mätresultat kräver en viss erfarenhet. Mätutrustning och datorprogram finns tillgängligt vid Statens geotekniska institut, Linköping.

1. BAKGRUND OCH SYFTE

Värmekonduktivitet eller värmeledningsförmågan är en viktig värmeteknisk parameter vid bland annat markvärmeställning. Den kan sägas ange hur väl energi transporteras i ett material och används bland annat vid dimensionering av värmelager och för att uppskatta värmeförluster. Värmekonduktiviteten λ mäts i enheten $W/m^{\circ}C$ och definieras som den mängd energi som på en sekund passerar genom $1 m^2$ av en $1 m$ tjock platta av ett visst ämne när temperaturskillnaden mellan sidoytorna är $1^{\circ}C$. I Sverige har värmekonduktivitetmätningar i jord utförts i begränsad omfattning i laboratorium och fält, bland annat vid CTH.

Med ett verkligt värde på jordens värmeledningsförmåga kan en markvärmeställning dimensioneras med större säkerhet än om ett uppskattat värde används. Färre feldimensioneringar och bättre dimensioneringar möjliggör lägre kostnader för lagret.

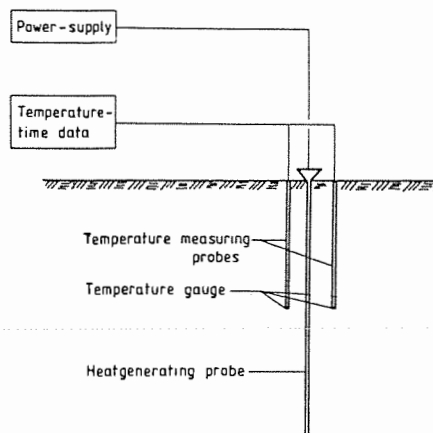
Mätning av värmeledningsförmåga kan utföras i sektioner längs profiler i och utanför ett planerat värmelager. Genom att studera mätvärdesvariationer kan grundvattenströmningar upptäckas. Beräkningar av lagrets värmeförluster kan då utföras mer exakt.

Ett annat tillämpningsområde för utrustningen är till exempel uppskattning av värmeförluster från fjärrvärmerör. Utrustningen kan också användas för att undersöka hur väl värme bortleds från markförlagda elkablar. Om omgivande materials värmeledningsmotstånd är för högt kan en oacceptabelt hög temperatur uppstå i kabeln med stora förluster eller termisk kollaps som följd.

Syftet med projektet har varit att utifrån en specifikation ta fram en lätthanterlig utrustning för mätning av värmekonduktivitet i fält och på laboratorium. Avsikten har också varit att utveckla ett mätprogram för styrning av mät- och datainsamling.

2. MÄTMETOD

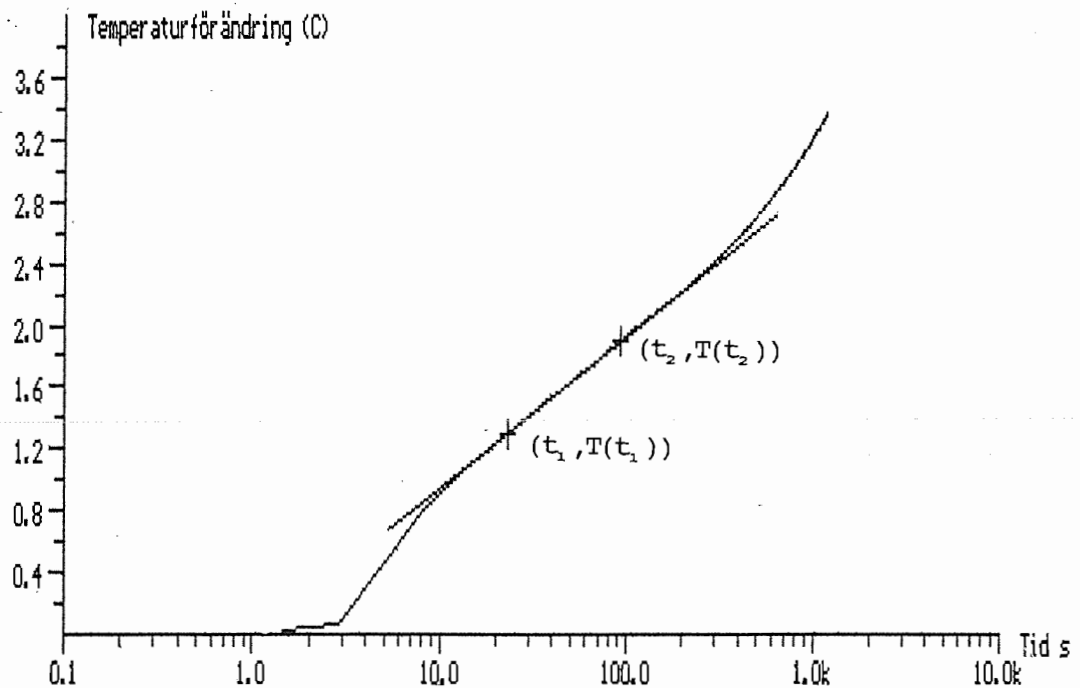
Mätmetoden bygger på principerna för den så kallade ensondsmetoden. Ensondsmetoden innebär att endast en värmegenererande sond med inbyggd temperaturgivare används, till skillnad från flersondsmetoden där även flera separata temperatursonder ingår. Utrustningen kan emellertid anpassas till flersondsmetoden, Figur 2.1.



Figur 2.1. Principskiss för flersondsmetoden (Sundberg, 1988).

Mätningen utförs genom att sticka ned en sond i ett provmaterial. Inuti sonden sitter en värmespiral och en temperaturgivare. Under mätningen tillförs sonden en känd konstant effekt och jorden närmast sonden värms upp. Samtidigt mäts temperaturhöjningen, det vill säga jordens värmeledningsmotstånd, i förhållande till tiden. I det fall att materialets värmeledningsförmåga är låg, det vill säga värmeledningsmotståndet är högt, så erhålls en snabbare temperaturstegring i sonden än om materialets värmeledningsförmåga är högre. Med hjälp av den erhållna kurvan över temperaturutvecklingen som funktion av tiden kan värmekonduktiviteten utvärderas enligt kända teorier.

Mätmetodens teori bygger på den allmänna värmeledningsekvationen. Om temperaturen vid två tidpunkter subtraheras från varandra ger den allmänna värmeledningsekvationen en lösning där temperaturutvecklingen runt sonden är proportionell mot den naturliga tidslogaritmen. Det vill säga vid en uppritning av temperaturutvecklingen mot tiden avbildas, efter ett insvägningsförlopp, en rät linje på ett semilogpapper, Figur 2.2. Två punkter på den räta linjen väljs ut för beräkning av en parameter k . Med hjälp av parametern k och effektmatningen q [W/m sond] till sonden kan värmekonduktiviteten λ [W/m⁰C] beräknas enligt efterföljande samband.



Figur 2.2. Exempel på temperaturutvecklingen som funktion av tiden vid mätning med ensondsmetoden.

$$\lambda = \frac{q}{4\pi k} \quad [\text{W/m}^\circ\text{C}]$$

$$k = \frac{T(t_2) - T(t_1)}{\ln(t_2/t_1)} \quad [^\circ\text{C}]$$

För att ekvationen ska gälla måste följande villkor uppfyllas:

- Värmetransporten sker genom värmeledning. Vid högre temperaturer detekteras en fiktiv värmeledningsförmåga, sammansatt av värmeledning och ångdiffusion men även konvektion och strålning.
- Värmekällan är linjär, kontinuerlig samt oändligt lång och smal.
- Värmeströmmen ut från linjekällan är radiell och tvådimensionell.
- Avgiven värmeeffekt är konstant.
- Temperaturfördelningen är homogen innan mätning påbörjas.
- Provmaterialet är homogent och isotropt.

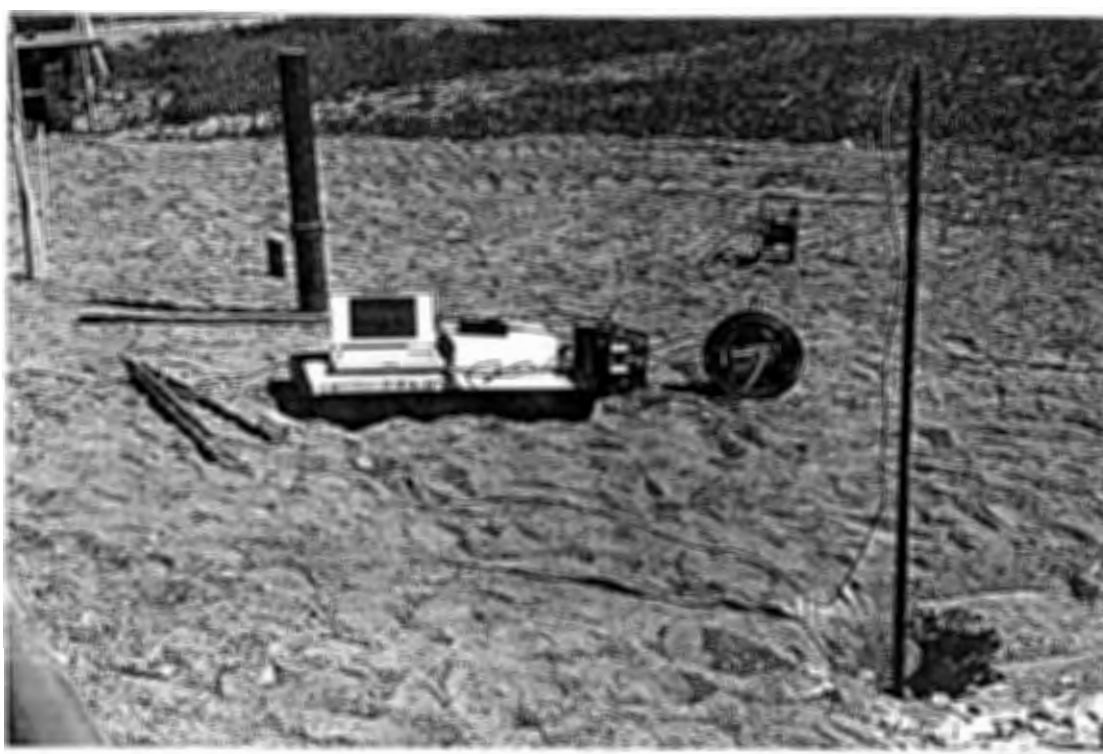
För fördjupande självstudier hänvisas till "Thermal properties of soils and rocks", doktorsavhandling Jan Sundberg, geologiska institutionen, Chalmers tekniska högskola 1988.

3. UTRUSTNING FÖR MÄTNING AV VÄRMEKONDUKTIVITET

3.1 Beskrivning av mätutrustning

Utrustningen har utifrån en framtagen kravspecifikation konstruerats vid SGI:s mätlaboratorium. Den består av ett litet kraftaggregat, logger för insamling av mätvärden, en bärbar PC samt en laboratoriesond och en fältsond. I Bilaga "Användarbeskrivning termisk sond" finns en detaljerad beskrivning över utrustningens alla komponenter.

Mätutrustningen är framtagen för bestämning av värmekonduktivitet i lera men kan även användas i andra lösa sedimentjordar och i vatten. Mätutrustningen är anpassad för fältmässiga förhållanden såsom väta, hög fuktighet och minusgrader. Vid fältförsök kan reservkraftaggregat anslutas. Hela utrustningen, förutom fältsonden och kraftaggregatet, är inrymd i en väska.



Figur 3.1.1 Mätning av värmekonduktivitet i fält.

De termiska sönerna används för mätning i laboratorieprover och i fält ned till cirka 5 meters djup. Djupet begränsas i realiteten av fältsondens kabellängd. Mätutrustningen är anpassad för mätning med en sond i taget. I det fall man önskar undersöka flera prover samtidigt kan utrustningen kompletteras för samtidig mätning med upp till fyra sonder.

Mätmetodens giltighet begränsas till temperaturer under $+25^{\circ}\text{C}$. Vid temperaturer över $+25^{\circ}\text{C}$ får andra mekanismer större betydelse för värmetransporten, bland annat ökar värmetransporten genom ångdiffusion i inte helt vattenmättade material. Vid högre temperaturer utvärderas därför en fiktiv värmeledningsförmåga.

3.2 Mätningens utförande

Mätningen utförs i princip på samma sätt i fält och på laboratorium, med den skillnaden att en fältsond respektive laboratoriesond används. Mätningen inleds med att ange ingångsdata och därefter uppmanas användaren att ställa in lämplig effekt. Sonden installeras sedan i provmaterialet. Den 0.6 meter långa fältsonden är försedd med förlängningsstål. Vid mindre djup kan fältsonden tryckas ned manuellt. Vid större djup kan det bli nödvändigt att trycka ned den maskinellt till exempel med hjälp av en geoteknisk bandvagn. På laboratorium utförs mätningen genom att sticka ned den 0.15 meter långa laboratoriesonden i en provhylsa fylld med ostört provmaterial.

Mätningen startas när stationära temperaturförhållanden inträtt. Temperaturförloppet som funktion av tiden ritas på datorskärmen. Mätningen tar i regel inte mer än 30 minuter.

Efter genomförd mätning sparas värden på temperatur, tid och effekt för senare analys. En preliminär uppskattning av värmekonduktiviteten kan göras dels automatiskt av programmet dels manuellt genom att användaren väljer ut det avsnitt på kurvan som programmet ska använda för beräkningen. För utförligare beskrivning av mätningens utförande se Bilaga "Användarbeskrivning termisk sond".

3.3 Funktionsbeskrivning

Mätförlopp och utvärdering av mätresultatet styrs med ett menystyrt datorprogram i en bärbar dator. Datorn skickar en styrsignal som öppnar effektmatningen till sonden. Lämplig effekt ställs in med hjälp av kraftaggregatet. Inställt värde anges på skärmen tillsammans med sondens temperatur. När effekten ställts in stänger datorn effekt-tillförseln. Sonden placeras därefter i provmaterialet. När sondens temperaturdrift upphört, det vill säga när stationära förhållanden inträtt, öppnar datorn på nytt effekt-tillförseln och mätdata-insamlingen påbörjas.

Efter valda mätintervall registreras samhörande värden på tid, spänning och temperatur. Mätningen avbryts vid uppnådd mättid, på manuellt kommando eller då gränsvärden överskrids. Insamlade mätdata används för efterföljande databehandling, exempelvis för att beräkna sondeffekten och effektens standardavvikelse. Kurvor och mätdata kan presenteras på datorskärmen eller tas ut via skrivare.

3.3 Kostnader

Totalkostnad för hela projektet budgeterades till 235 tkr, 110 tkr i investeringar och 125 tkr i arbetskostnad. I tabellen nedan anges verklig kostnad i 1991 års penningvärde . Materialkostnad avser kostnad för bärbar PC, konstantströmaggreat, logger, termiska sonder samt väska och övrig kringutrustning.

Tabell 1.

	tkr
Materialkostnad	80
Arbetskostnad	
Konstruktion	45
Datorprogram	60
Projektledning, funktionstest, rapport m m	50
SUMMA	235 tkr

4. TEST AV UTRUSTNING

Utrustningen har funktionstestats i fält och i laboratorium av SGI och extern konsult. Utrustningen fungerade utan allvarligare anmärkningar. Fält- och laboratoriesonden testades i lera och vatten. De uppmätta värdena hade en viss spridning. En tendens till för låga värden i jämförelse med tidigare kända värden kunde skönjas.

Funktionstesterna visade på behov av förbättringar och gav information om mindre fördelaktiga mät- och konstruktionstekniska lösningar. Efter justering och med ledning av uppmätta resultat konstateras att utrustningens prestanda och tillgänglighet förbättrats.

5. SLUTSATSER

En utrustning för värmekonduktivitetmätning i främst lösa sedimentjordar finns nu för praktiskt bruk i fält och laboratorium.

Flera faktorer påverkar erhållna mätresultat, bland annat förhållanden före och under själva mätningen, materialparametrar samt det sätt med vilket utvärderingen görs. Analys av mätresultaten kräver erfarenhet och kännedom om de mest betydelsefulla faktorerna.

I efterföljande studier bör en del av dessa faktorer undersökas närmare för att bestämma lämpligaste mätning utförande som ger entydiga mätresultat.

Exempel på faktorer som kan påverka mätning och utvärdering av värmeledningsförmågan:

- **Temperaturnivå vid mätningen**
Mätmetoden gäller för temperaturer lägre än +25°C. Vid högre temperaturer får andra värmetransporterande mekanismer större betydelse.
- **Installation av sonden**
Kontaktmotståndet mellan sond och provmaterial påverkar värmeöverföringen till omgivande material.
- **Konvektion längs sonden**
Konvektion kan uppstå längs sonden om inte god kontakt med omgivande material finns. Värmeströmmen kan övergå från att vara radiell till att även ske longitudinellt.
- **Provmaterialets egenskaper, till exempel för lera: vatteninnehåll, densitet och porositet.**
- **Provtagning**
Eftersom värmeledningsförmågan i hög grad beror av materialets vattenhalt och densitet gäller för upptagna prover att dessa egenskaper inte nämnvärt förändras under provtagning och transport.
- **Sondmaterial**
- **Mätrutin**
Mätförfarandet, exempelvis antalet mätningar, effektnivåer, tidpunkt för installation och effekttillförsel. Flera mätningar krävs för att analysen ska bygga på ett statistiskt underlag.
- **Datorbehandling**
Ett datorprogram väljer mekaniskt ut det avsnitt på kurvan som sedan används för beräkningen. Utvärderingen kräver dock en viss känsla och kännedom om utrustningen för att analysen ska ge ett relevant resultat.

6. REFERENSER

Sundberg, J., (1988), Thermal properties of soils and rocks, Chalmers tekniska högskola och Göteborgs universitet, Geologiska institutionen, Doktorsavhandling Publ. A57, 1988, Göteborg. Även publicerad av Statens geotekniska institut, Rapport 35, Linköping.

Sundberg, J., (1991) Termiska egenskaper i jord och berg, Statens geotekniska institut, Information 12, Linköping.

User's Manual, Datataker 50 and Datataker 500, (1990), Data Electronics Pty. Ltd., (Aust).

BILAGA: Användarbeskrivning termisk sond

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1.	INLEDNING	1
2.	MÄTMETOD	1
3.	MÄTUTRUSTNINGENS ANVÄNDNINGSSOMRÅDE	3
4.	MÄTUTRUSTNINGENS SAMMANSÄTTNING OCH FUNKTION	3
4.1	Beskrivning av mätutrustning	3
4.2	Funktionsbeskrivning	5
5.	BRUKSANVISNING MÄTPROGRAM	5
5.1	Start	5
5.2	Inställning	7
5.3	Mätning utförande	9
5.3.1	Ingångsdata	9
5.3.2	Starta mätning	9
5.4	Redovisning och plottning	10
5.5	Utskrift av data	11
5.6	Övrigt under meny data	11
5.7	Avslutning	11
6.	KONTAKTPERSONER	12

ANVÄNDARBESKRIVNING TERMISK SOND

Termisk sond omfattar mätutrustning för direkt mätning av lösa sedimentjordars värmekonduktivitet i fält och laboratorium.

1. INLEDNING

Värmekonduktivitet eller värmeledningsförmågan λ mäts i enheten $W/m^{\circ}C$ och definieras som den mängd energi som på en sekund passerar genom $1 m^2$ av en 1 m tjock platta av ett visst ämne när temperaturskillnaden mellan sidoytorna är $1^{\circ}C$.

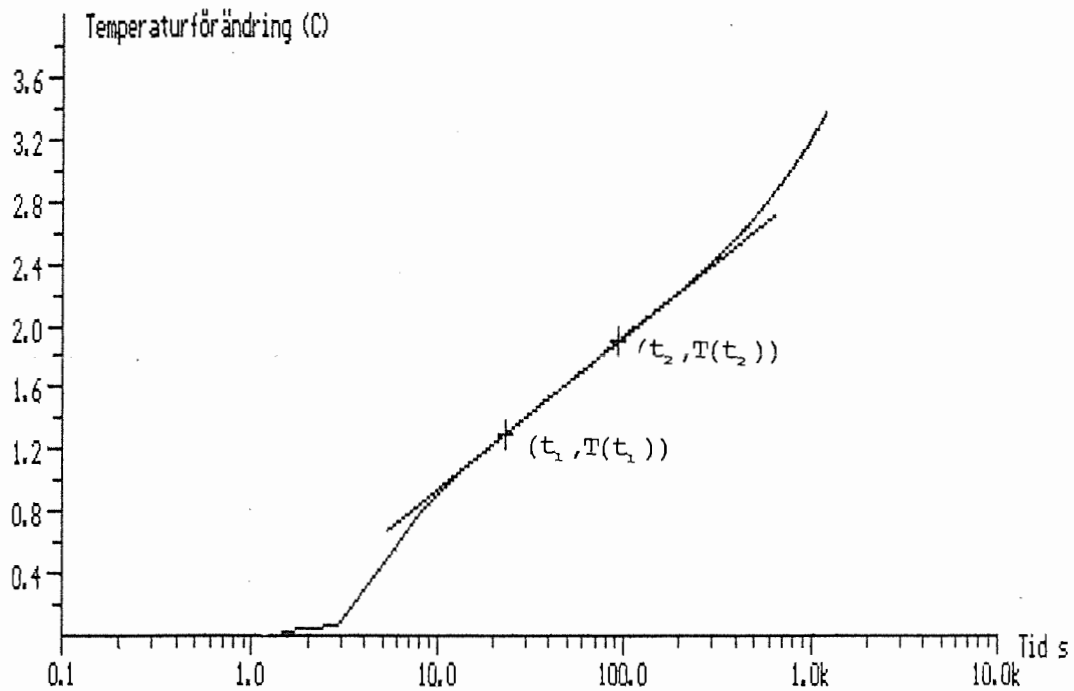
Det vanligaste sättet att uppskatta värmekonduktiviteten är att titta i ett tabellverk. Genom att undersöka jordartens vatteninnehåll och densitet alternativt mäta värmeflödet och temperaturskillnaden mellan två punkter med känt avstånd kan den aktuella värmekonduktiviteten beräknas.

En annan metod innebär att värmekonduktiviteten mäts direkt i jorden. Genom att installera en termisk sond i jorden kan data samlas in ur vilka värmekonduktiviteten beräknas. Beskrivningen förklarar mätmetoden, utrustningens uppbyggnad och tillvägagångssätt för ensondsmetodens användning.

2. MÄTMETOD

Mätning av värmekonduktivitet utförs genom att en värmegenererande sond trycks ned i det aktuella materialet i laboratorium eller i fält. I samma sond, i dess centrala del är en temperaturgivare placerad. Efter kontroll av stationära förhållanden startar mätningen med att sonden avger en konstant känd värmeeffekt. Samtidigt mäts temperaturhöjningen, det vill säga jordens värmeledningsmotstånd, i förhållande till tiden. I det fall att materialet har en låg värmeledningsförmåga, det vill säga värmeledningsmotståndet är högt, så erhålls en snabbare temperaturstegring i sonden än om materialets värmeledningsförmåga är högre. Mättiden och avgiven värmeeffekt anpassas efter sondens diameter, det omgivande materialet samt kontaktmotståndet mellan sond och omgivande material.

Mätmetodens teori bygger på den allmänna värmeledningsekvationen. Om temperaturen vid två tidpunkter subtraheras från varandra ger den allmänna värmeledningsekvationen en lösning där temperaturutvecklingen runt sonden är proportionell mot naturliga tidslogaritmen. Det vill säga vid en uppritning av temperaturutvecklingen mot tiden avbildas, efter ett insvängningsförlopp, en rät linje på ett semi-log papper. Två punkter på den räta linjen väljs ut för beräkning av en parameter k . Med hjälp av parametern k och effektmatningen q [W/m sond] till sonden kan värmekonduktiviteten λ [$W/m^{\circ}C$] beräknas.



$$\lambda = \frac{q}{4\pi k} \quad [\text{W/m}^\circ\text{C}]$$

$$k = \frac{T(t_2) - T(t_1)}{\ln(t_2/t_1)} \quad [^\circ\text{C}]$$

För att ekvationen ska gälla måste följande villkor uppfyllas:

- Värmetransporten sker genom värmeledning. Vid högre temperaturer detekteras en fiktiv värmeledningsförmåga, sammansatt av värmeledning och ångdiffusion men även konvektion och strålning.
- Värmekällan är linjär, kontinuerlig samt oändligt lång och smal.
- Värmeströmmen ut från linjekällan är radiell och två-dimensionell.
- Avgiven värmeeffekt är konstant.
- Temperaturfördelningen är homogen innan mätning påbörjas.
- Provmaterialet är homogent och isotropt.

För fördjupande självstudier hänvisas till "Thermal properties of soils and rocks", doktorsavhandling Jan Sundberg, geologiska institutionen, Chalmers tekniska högskola 1988.

3. MÄTUTRUSTNINGENS ANVÄNDNINGSSOMRÅDE

Mätutrustningen är framtagen för bestämning av värmekonduktivitet i lera men den kan även användas i andra lösa sedimentjordar och i vatten. Den är anpassad till fältmässiga förhållanden såsom nederbörd, hög fuktighet och minusgrader. Vid fältförsök kan reservkraftaggregat anslutas.

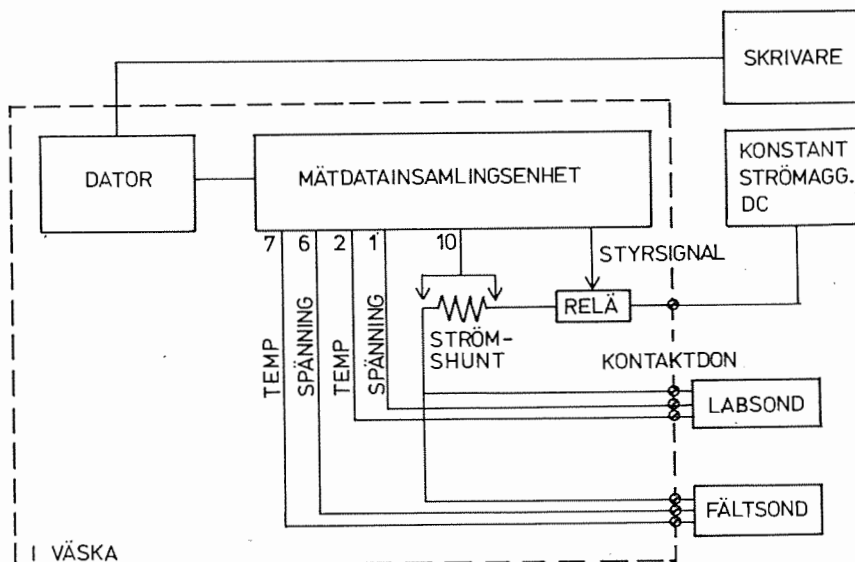
Termiska sonder finns för mätning i laboratorieprover och för mätning i fält ned till cirka 5 meters djup. Djupet begränsas i realiteten av fältsondens kabellängd. Mätutrustningen är anpassad för mätning med en sond i taget.

Mätmetodens giltighet begränsas till temperaturer under $+25^{\circ}\text{C}$. Vid högre temperaturer ökar andra värmetransporterande mekanismer i betydelse, bland annat ångdiffusion i inte helt vattenmättade material. Vid temperaturer över $+25^{\circ}\text{C}$ utvärderas därför en fiktiv värmeledningsförmåga.

4. MÄTUTRUSTNINGENS SAMMANSÄTTNING OCH FUNKTION

4.1 Beskrivning av mätutrustning

Principskiss av mätutrustning.



Tekniska data:

Dator	PC Toshiba T1000LE 1Mb RAM, 1,44Mb floppy, 20Mb HD, DOS3.3, LCD-skärm, batteridrift.
Konstantströmaggat	American Reliance Inc, PPS-1322. Ström och spänning ställs in med hjälp av knappsats på frontpanelen. Spänning kan väljas mellan 0-32 VDC och ström mellan 0-2 ADC. Kraftenheten kan anslutas till dator via ett GPIB-interface.

Mätdatainsamlingsenhet	Datataker 500 med lagringskapacitet 16000 mätvärden. Upplösning 14 bitar/mätkanal. Datorkommunikation sker via RS232. Interface med hastighet 150-4800 baud. Spänningsförsörjning 6-15 VAC / 8-28 VDC.
Precisionsmotstånd	Dimensionerad för 2,5 A och 250 mV +/- 0,2 %, det vill säga 100 mV/A. Mätdatainsamlingsenhet och precisionsmotståndets uppskattade noggrannhet medger ett största absoluta fel av +/-0,15W. Det relativa mätfelet är mindre än 10 mW.
Laboratoriesond	Tillverkad av Geotherm Inc. Kanada. Längd 0,150 m, diameter 0,0032 m, l/d = 47. Temperaturgivare YSI termistor typ 44033. Värmspiralresistans 4,6 Ohm, gul anslutning till värmspiral, grön anslutning till temperaturgivare. Temperaturgivarens noggrannhet är +/- 0,1 °C. Laboratoriesondens högsta mätbara spänning är vald till 11,5 VDC. Vid 11,5 VDC tillförs max effekt (28,8 W) till sonden.
Fältsond	Tillverkad av Geotherm Inc. Kanada. Längd 0,585 m, diameter 0,01 m, l/d = 58. Temperaturgivare YSI termistor typ 44033. Värmspiralresistans 11,9 Ohm, röd och svart anslutning till värmspiral, grön och vit anslutning till temperaturgivare. Temperaturgivarens noggrannhet är +/- 0,1 °C. Kabellängd 15 m. Fältsondens högsta mätbara spänning är vald till 22,5 VDC. Vid 22,5 VDC tillförs max effekt (42,5 W) till sonden.
Skrivare	HP DeskJet PLUS (eller valfri).

4.2 Funktionsbeskrivning

Obs! Mätning kan utföras med enbart en inkopplad laboratoriesond eller fältsond. Vid samkörning kan den klenare laboratoriesonden överbelastas och förstöras.

Mätförlopp och utvärdering av mätresultatet styrs med ett menystyrt datorprogram i bärbar dator. Datorn skickar en styrsignal som öppnar effektmatningen till sonden. Lämplig effekt ställs in med hjälp av kraftaggregatet. Inställt värde anges på skärmen tillsammans med sondens temperatur. När effekten ställts in stänger datorn effekttillförseln. Sonden placeras därefter i provmaterialet. När sondens temperaturdrift upphört, det vill säga när stationära förhållanden inträtt, öppnar datorn på nytt effekttillförseln och mätdatainsamlingen påbörjas.

Efter valda mätintervall registreras samhörande värden på tid, spänning och temperatur. Mätningen avbryts vid uppnådd mättid, på manuellt kommando eller då gränsvärden överskrids. Insamlade mätdata används för efterföljande databehandling, till exempel för att beräkna sondeffekten och effektens standardavvikelse. Kurvor och mätdata kan presenteras antingen på datorskärmen eller tas ut via skrivare.

5. BRUKSANVISNING MÄTPROGRAM

5.1 Start

Programmet startas från DOS-prompten med kommandot SOND följt av ENTER och därefter med kommandot SOND.EXE.

Programmet är menystyrt med följande menysystem i skärmens överkant:

```
DATA  STARTA MÄTNING  REDOVISNING  UTSKRIFT  INSTÄLLNING  AVSLUTA
```

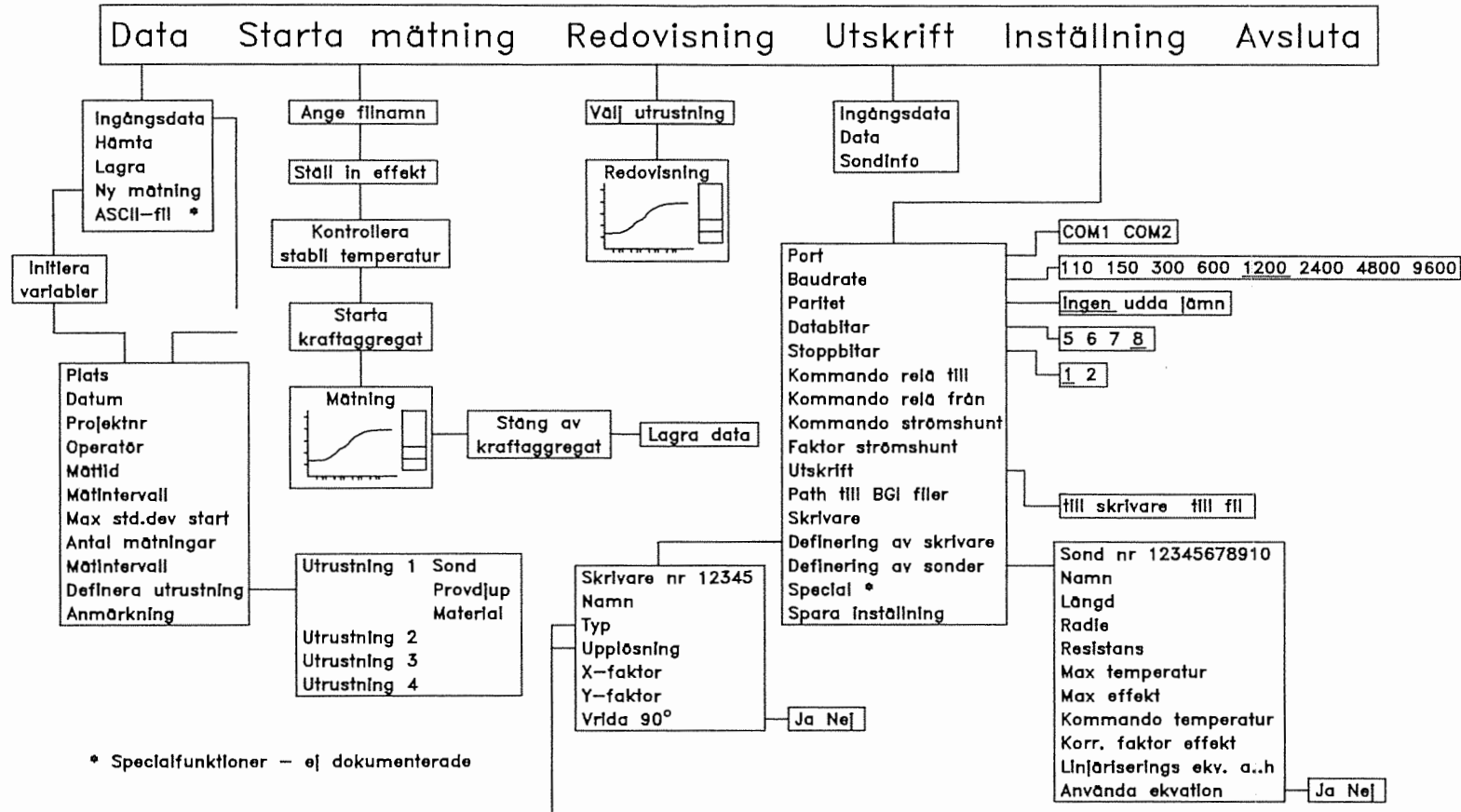
Menysystemets flödesschema visas i sin helhet på nästa sida.

Markören flyttas med vänster/höger piltangent och vald funktion startas med ENTER. Vissa menyer har även undermenyer. I undermenyerna flyttar du markören med upp/ner pil. En del funktioner utförs i ett på skärmen uppritat fönster. Genom att trycka ESC lämnas en undermeny. Resten av skärmen upptas av information om aktuell inställning.

Vid inmatning av data finns tre typer av inmatning:

1. Indata med flera fasta alternativ. Genom att trycka ENTER kan man "bläddra" fram rätt alternativ. Till exempel för att välja sond under meny NY MÄTNING.
2. Indata med befintligt värde. Genom att trycka ENTER öppnas ett fönster där det gamla värdet kan editeras. Exempel är Path till till BGI-filer under meny INSTÄLLNING.
3. Direkt inmatning i till exempel INGÅNGSDATA.

SGI Varia 384



Epson MX	Epson FX	Epson LQ	Toshiba P	HP Laser Jet	HP Ink Jet
Single density	Normal speed	Single density Normal speed 8 pin	180x180 dot image	75 dots/Inch	
Double density	Half speed	Double density Half speed 8 pin	180x360 dot image	100 dots/Inch	
Double density	Normal speed	Double density Normal speed 8 pin		150 dots/Inch	
Quadruple density		Quadruple density 8 pin		300 dots/Inch	
		Standard density 24 pin			
		Double density 24 pin			
		CRT III 24 pin			
		Triple density 24 pin			
		Hex density 24 pin			

Menysystemets flödesschema.

BILAGA - Användarbeskrivning termisk sond.

5.2 Inställning

Under menyn INSTÄLLNING finns följande parametrar:

PORT	COM-port till logger, 1 eller 2.
BAUDRATE	110 - 9600 baud.
PARITET	ingen, udda eller jämn.
DATABITAR	5,6,7 eller 8.
STOPPBITAR	1 eller 2.
KOMMANDO RELÄ TILL	Kommando för till- och frånslag av relä till kraftaggregat. Loggern har fyra digitala utgångar. För närvarande används utgång nr 4. 4 DSO = 1, tillslag. 4 DSO = 0, frånslag.
KOMMANDO RELÄ FRÅN	
KOMMANDO STRÖMSHUNT	Kommando för att mäta spänningen över strömshunten, 10+V.
FAKTOR STRÖMSHUNT	används inte för närvarande, men är tänkt att vara en korrigeringsfaktor för effektmätningen. Faktorns sätts till 1.
UTSKRIFT	kan ske till skrivare eller fil.
PATH TILL BGI FILER	anger var drivrutiner (*.BGI *.CHR) finns. Path måste anges för att mätning och redovisning ska fungera. Förslagsvis skapas ett underbibliotek där drivrutinerna lagras. På grund av problem med att hitta tecknet \ (backslash) på olika tangentbord så används här tecknet ? vilket ger en \.
SKRIVARE	anger vald skrivare för plottning, påverkar inte utskrift av data .
DEFINERING AV SKRIVARE	Val av skrivare för plottning av kurva. Ett fönster öppnas i vilket upp till 5 st olika skrivare kan defineras. Vänster/höger pil-tangent väljer skrivare och upp/ner väljer parameter att ändra.
NAMN	För att en skrivare ska kunna användas måste ett namn anges.
TYP	anger vilken drivrutin som ska användas. Drivrutiner finns för Epson FX, Epson MX, Epson LQ, HP Laser Jet, HP Ink Jet, Toshiba P samt Epson FX.
UPPLÖSNING	För varje skrivare kan även olika upplösning väljas.
Om X-FAKTOR, Y-FAKTOR	sätts större än 1 kan plotten förstöras i respektive riktning. OBS att det inte går att förminska, värdet måste vara >= 1.
VRIDA 90°	avser 90-gradig vridning av diagrammet vid utskrift.

DEFINIERING AV SOND	10 st olika sonder kan definieras.
NAMN	För varje sond anges sondens namn,
LÄNGD	sondens längd,
RADIE	radie,
RESISTANS	och resistans.
MAX TEMPERATUR	Sondens maxtemperatur.
MAX EFFEKT	Sondens maxeffekt. Om sondens maxtemperatur eller maxeffekt överskrids under mätning stängs kraftaggregatet av, vilket skyddar sönerna.
KOMMANDO TEMPERATUR	Temperaturen mäts som en resistans av en termistor inuti sonden. Det finns två olika sätt att översätta den uppmätta resistansen till temperatur: <ol style="list-style-type: none"> 1. Loggerns inbyggda linearisering används. Laboratorie- och fältsonden mäts med kommandot YS04. För laboratoriesonden anges 2YS04. För fältsonden anges 7YS04. 2. En lineariseringsfunktion inlagd i programmet används. Möjligheten finns att lägga in ett 7-gradspolynom för beräkning av temperatur utifrån uppmätt resistans. För laboratoriesonden anges 2R(4W). För fältsonden anges 7R(4W). <p>Datorns inbyggda linearisering sträcker sig över ett stort temperaturområde. I loggerns manual anges felet i ändpunkterna -20°C och 120°C till $+0.83^{\circ}\text{C}$ respektive -0.067°C.</p> <p>För ett mindre temperaturområde kan en bättre linearisering än den inbyggda göras genom att definiera ett 7-gradspolynom.</p>
KORR. FAKTOR EFFEKT	Används inte.
LINJÄRISERINGSEKVATION	för mätning av sondens temperatur med hjälp av ett 7-gradspolynom. $T = a + bxR + cxR^2 + dxR^3 + \dots + hxR^7.$ Konstanterna a-h anges. För närvarande finns ett 7-gradspolynom inlagt för temperaturområdet $0-30^{\circ}\text{C}$. Svara "Ja" om 7-gradspolynom ska användas, annars svara "Nej".
ANVÄNDA EKVATION	
SPECIAL	Används inte.
SPARA INSTÄLLNING	lagrar aktuell inställning.

5.3 Mätning utförande

5.3.1 Ingångsdata

Välj NY MÄTNING under meny DATA.

Ange plats, projektnr, operatör, total mättid och mätintervall. Maximal standardavvikelse för start används innan start av mätning för att kontrollera att temperaturen i proverna är stabil. Försöket startar inte förrän standardavvikelsen för samtliga prover är mindre än den maximalt angivna. Antal mätningar anger hur många mätningar som ska göras innan standardavvikelse beräknas. Mätintervall anger tid mellan mätningar.

Till exempel om antal mätningar är 6 och mätintervall 10 fås ett mätvärde var 10:e sekund och efter 1 minut beräknas medelvärde och standardavvikelse.

Flytta markören till fältet DEFINIERA UTRUSTNING och tryck ENTER. Ett fönster öppnas där upp till 4 olika utrustningar kan definieras. I dagsläget kan mätningar utföras med enbart en inkopplad sond. För varje utrustning anges typ av sond, provdjup och material. Flytta markören med upp/ner pil. För att välja sond tryck ENTER för att "bläddra" fram aktuell sond. För närvarande finns 2 st sonder definierade, Labbsond och Fältsond. Ett tredje alternativ finns om utrustningen inte ska användas. Ange även PROVDJUP och MATERIAL för de olika utrustningarna.

Tryck ESC för att komma tillbaka till föregående fönster. I fältet ANMÄRKNING finns plats för 5 rader med egna noteringar.

Tryck ESC för att komma tillbaka till huvudmenyn.

5.3.2 Starta mätning

Välj STARTA MÄTNING och tryck ENTER.

Ange filnamn och tryck ENTER. Efter initiering av loggern visas ett meddelande om effektinställning. Effekten ställs in manuellt på nätaggregatet. Under effektinställningen bör sonden inte vara installerad i provmaterialet. Tryck ENTER för att fortsätta. Nätaggregatet stängs av och ett meddelande visas med uppmaning att installera sonden i provet. Tryck ENTER för att fortsätta. Därefter kontrolleras att temperaturen är stabil innan försöket startas. På skärmen visas aktuell temperatur för de olika utrustningarna. När en mätomgång utförts visas temperaturens medelvärde och standardavvikelse. Mätning pågår tills alla utrustningar har en stabil temperatur eller tills dess att försöket startas manuellt med ENTER.

Därefter startar själva försöket genom att kraftaggregatet slås på och på skärmen ritas temperaturen mot tiden. Till höger på skärmen finns två "fönster", det övre visar senast uppmätta temperaturer och effekter. Med F10 kan man växla mellan att visa absolut temperatur eller temperaturens förändring sedan start. Den undre boxen visar min och max för y-axel, mätintervall samt vilka utrustningar som visas.

Med F1 och F2 kan minvärdet för y-axeln minskas respektive ökas. F3 och F4 gör motsvarande för y-axelns maxvärde. Efter varje mätning gör programmet en kontroll av max/minvärdet och justerar y-axeln vid behov. Mätintervall kan minskas/ökas med F5/F6. Med siffertangenterna 1 - 4 kan uppritningen av respektive utrustning slås på/av. Efter att någon parameter ändrats med F1 - F6, 1 - 4 måste man trycka ENTER för att ändringen ska gälla.

Mätningen pågår tills något av följande villkor är uppfyllda:

- Normal avslutning efter angiven mättid.
- Manuellt avslutad med ESC.
- Temperaturen eller effekten i någon sond är för hög.
- Fler än 255 mätvärden registrerade.

När mätningen slutförts lagras ingångsdata och mätvärden automatiskt.

5.4 Redovisning och plottning

Välj REDOVISNING i huvudmenyn. Om flera utrustningar körts samtidigt öppnas ett fönster i vilket en utrustning kan väljas.

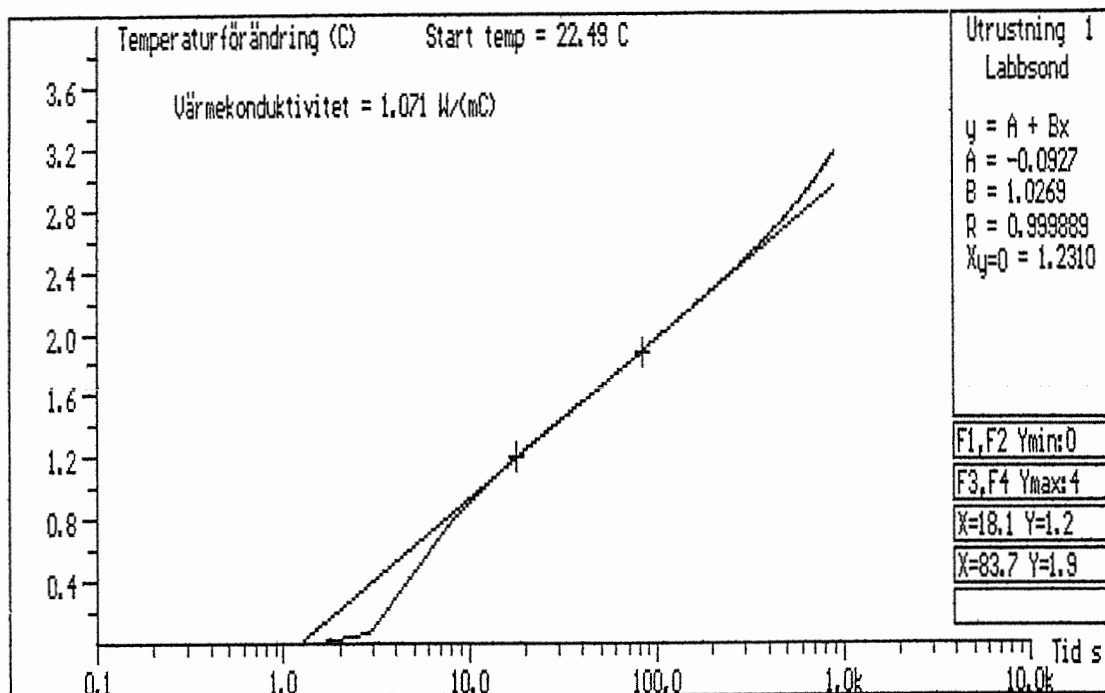
Därefter ritas kurvan upp på samma sätt som vid mätningen. Axlarna skalas automatiskt men y-axelns min- och maxvärde kan även ändras manuellt med F1 - F4.

På kurvan finns två markörer som förflyttas med piltangenterna. Vänster/högerpil flyttar den vänstra markören och upp/nerpil flyttar den andra markören. Markörerna kan inte flyttas förbi varandra, ej heller utanför kurvan. Markörerna flyttas normalt en mätning för varje tryckning. Genom att hålla ner CTRL och därefter piltangent flyttas markören i steg om 10 mätvärden. Markörerna används för att markera vilken del av kurvan som ska användas för beräkning av kurvanpassning. Till höger på skärmen visas även kordinaterna för markörerna.

Den del av kurvan som bäst svarar mot en rät linje väljs ut. Det kan göras dels manuellt med F7, dels automatiskt med F8. F7 beräknar ekvationen för en linje mellan markeringarna samt korrelationskoefficienten R. Korrelationskoefficienten är ett mått på hur väl linjen stämmer överens med kurvan inom det markerade avsnittet. Värdet 1.0 innebär att kurvan och linjen sammanfaller.

F8 utför en automatisk sökning efter den kurvdel som har bästa anpassningen till en rät linje. Programmet söker igenom hela kurvan i steg om 5 mätvärden och visar därefter vald kurvdel samt dess ekvation och korrelationskoefficient. Steglängden med vilken kurvan genomsöks kan minskas eller ökas med F5 respektive F6. Programmet väljer därefter ut två punkter på den räta linjen genom att använda markeringarnas x-värde och motsvarande y-värde beräknat med hjälp av linjens ekvation. Dessa två punkter samt den inmatade effekten används för att beräkna värmekonduktiviteten λ [$W/m^{\circ}C$] som skrivs ut på skärmen tillsammans med starttemperatur.

Genom att trycka ENTER ritas hela skärmen om. Om en skrivare är definierad kan kurvan plottas med F9.



Exempel på kurva från en mätning utförd i lera.

5.5 Utskrift av data

Under menyalternativ UTSKRIFT finns en möjlighet att skriva ut ingångsdata, uppmätta mätvärden; tid, temperatur och effekt samt information om aktuella sonder. Utskrift kan ske till skrivare eller textfil beroende på vad som angivits under meny INSTÄLLNING.

5.6 Övrigt under meny DATA

Under menyalternativ DATA finns förutom funktionen NY MÄTNING ytterligare tre funktioner: INGÅNGSDATA, HÄMTA och LAGRA.

INGÅNGSDATA visar ingångsdata för den senaste mätningen under den aktuella programkörningen.

HÄMTA hämtar ett tidigare försök från disk. Möjligheten finns att hämta en tidigare försöksupställning och starta ett nytt försök utan att på nytt behöva ange alla parametrar.

LAGRA sparar aktuell inställning och data.

5.7 Avslutning

Programmet lämnas med AVSLUTA.

Programvaran finns tillgänglig vid Statens geotekniska institut till självkostnadspris.

6 KONTAKTPERSONER

Handhavande

- Marti Lehtmets och Anna Gabrielsson, Energiteknik, Statens geotekniska institut, 581 01 Linköping, tfn. 013-115100.

Konstruktion

- Sven-Erik Tornéus och Björn Löfroth, Mätlaboratoriet, Statens geotekniska institut, 581 01 Linköping, tfn. 013-115100.