



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

R81:1987

# Sju ytjordvärmeanläggningar

## Del I. Fältmätning och datorsimulering

Douglas Ahlkrona  
Palne Mogensen

K  
Jull

INSTITUTET FÖR BYGGDOKUMENTATION	
Accnr	
Plac	Ser

Byggeforskningsrådet

R81:1987

SJU YTJORDVÄRMEANLÄGGNINGAR

Del I. Fältmätning och datorsimulering

Douglas Ahlkrona  
Palne Mogensen

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag  
811692-7 från Statens råd för byggnadsforskning  
till Thermia AB, Arvika.

## REFERAT

Rapporten redogör för en fältuppföljning av sju ytjordvärmeanläggningar för småhus, speciellt vad avser värmekälla och kollektorsystem. Uppföljningsperiodens längd och det årliga energiuttagets storlek har varit olika för anläggningarna, mellan tre och sju år resp. mellan 25 och 73 kWh/m.

Resultatet från fältmätningarna illustrerar bl a snötäckets betydelse för köldbärartemperatur och tjäldjup. Lokala variationer i växtlighet, exponering och markegenskaper visar sig kunna påverka energiinnehållet i marken i samma storleksordning som ett ytjordvärmeuttag gör.

Jämförande simuleringar med datormodell har även utförts för ett par säsonger. Med en annan datormodell har temperaturförlopp längs slangen studerats. Resultatet härifrån visar att värmeuttaget är markant större i början av slangen än i slutet av densamma.

Rapporten utges i två delar. Del I innehåller det mest väsentliga rörande värmekälla och kollektor och kan mycket väl läsas separat. Del II utgöres av bilagorna vilka i huvudsak består av diagram över mätresultat från det kompletta uppföljningsprogrammet, vilket även innebar en uppföljning av själva värmepumpen. Del II finns tillgänglig på Byggdok.

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

R81:1987

ISBN 91-540-4778-1

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Svenskt Tryck Stockholm 1987

## INNEHÅLL

SAMMANFATTNING .....	5
1. INLEDNING .....	7
1.1 Bakgrund .....	7
1.2 Rapporten .....	7
2. FÄLTMÄTNINGAR .....	9
2.1 Beteckningar, .....	9
2.2 Beskrivning av anläggningarna .....	11
2.3 Köldbärartemperatur vid de sju anläggningarna .....	24
2.4 Anläggningsvis redovisning .....	31
2.5 Övergripande kommentar till mätresultaten .....	85
2.6 Mätutrustning och mätfel .....	86
3. JÄMFÖRELSE MED BERÄKNINGSMODELLER ..	89
3.1 Storskalig modell för värmeuttag ur mark .....	89
3.2 Modell för detaljstudier längs ytjordvärmeslang .....	93
BILAGEFÖRTECKNING .....	99
LITTERATURREFERENSER .....	101



## SAMMANFATTNING

Projektet har omfattat en fältuppföljning av sju stycken ytjordvärmeanläggningar jämte ett antal jämförande datorsimuleringar. Fältuppföljningen avser främst värmekällans och kollektorns prestanda, men storheter som värmefaktor, gångtid, startantal och radiator- och varmvattentemperaturer är även mätta och redovisade. Datorkörningarna avser värmekällans och kollektorns prestanda.

En av avsikterna med projektet är att allmänt vinna erfarenhet av hur ett antal ytjordvärmeanläggningar fungerar och då i synnerhet vad avser värmekällans och kollektorns prestanda. Dessutom avses resultatet från de sju anläggningarna kunna tjäna som underlag för kontroll av dimensioneringsregler för ytjordvärme.

Anläggningarna är belägna i Kungälv, Djursholm, Karlstad, Arvika, Eda, Umeå och Luleå. De är småhusanläggningar utrustade med prestandamässigt praktiskt taget identiska värmepumpar av fabrikat Thermia JBC 400 eller motsvarande. Olika markförhållanden är representerade. Det årliga energiuttaget under normalår varierar mellan ca 25 kWh/m (Umeå) och ca 73 kWh/m (Djursholm).

Mätdata presenteras för om uppvärmningssäsongen 1976/77 till om början av säsongen 1983/84. Endast för en anläggning, Kungälv, finns, mätdata presenterat för hela denna period. För övriga anläggningar finns data presenterat för mellan tre och sex säsonger. Mätresultaten tyder inte på att vi skulle få någon långsiktig temperatursänkning som är märkbart större än den som predikerats av datorsimuleringar.

Ett tjockt snötäcke förefaller, speciellt om det lägger sig tidigt, ha en klart positiv betydelse för energibalansen i jorden. Tjäl djupen minskar, tjälsäsongen blir kortare och köldbärartemperaturen ökar.

Resultaten från fältmätningarna visar också att de anläggningar som dimensionerats så att de kring slangen får en begränsad, och från tjälen i närheten av markytan skild, tjälkropp erhåller den stabilaste köldbärartemperaturen. Köldbärartemperaturen är här förhållandevis okänslig för variationer av snödjup och utetemperatur under vintern och dessutom är temperaturvariationen mellan olika vintrar liten. Dessa anläggningar karakteriseras av litet energiuttag i relation till det latent energiinnehållet närmast slangen. Anläggningar med större energiuttag erhåller en sammanhängande tjälkropp från markytan och ner till området under slangarna och får en betydligt ner varierande köldbärartemperatur, både under vintern och mellan olika vintrar.

Det är inte bara värmeuttag som påverkar energi- och temperaturförhållandena i marken. Mätningar av marktemperatur och tjäl djup i Eda och Umeå indikerar att variationer inom tomtens av skuggighet, vegetation och markegenskaper påverkar temperatur- och energi-förhållanden ungefär lika mycket, i alla fall under vår-sommar-höst.

För två av anläggningarna Djursholm och Arvika, rapporteras tjälpåverkan i form av vågig och sprickig markyta. I Djursholm är kollektorn hårt belastad och grunt förlagd. Markförhållanden utgöres av mellanlera eller styvlera på friktionsjord/berg. I Arvika ligger kollektorn på normalt djup i en tjälaktiv silt. Däremot rapporteras ingen nämnvärd tjälpåverkan från den i relativt styv lera djupt förlagda, ca 1,8 m, kollektorn i Kungälv.

Under provperioden har säsongen 1976/77 t o m 1981/82 haft större uppvärmningsbehov än normalt. Säsongen 1982/83 hade däremot mindre uppvärmningsbehov än normalt.

De dimensioneringsregler som tillämpas av anslagsmottagaren, Thermia AB, bygger på resultat från simuleringsprogrammet "YJSIMUL". Utifrån indata som effektuttag, utetemperatur, snödjup och solstrålning beräknar programmet det tvådimensionella temperatur- och tjälområdet i marken samt köldbärartemperatur. Programmet har använts för simulering av anläggningarna i Eda och Djursholm. Vid jämförelse med mätdata förefaller simuleringsmodellen vara något pressimistisk. Modellen tycks ge en något försenad temperaturstegring under våren. Dessutom tycks snötäckets isolerande förmåga underskattas. Att modellen är pessimistisk är rimligt då de förenklingar som gjorts i modellen sammantaget förmodats ligga åt det konservativa hållet.

Simulering har även utförts med en annan datormodell som beskriver hur köldbärartemperatur och effektuttag varierar i tiden och längs slangen vid normal intermittert drift. De visar att effektuttaget både vid drift och stillestånd är klart högre strax efter värmepumpen än strax före värmepumpen. Vidare visar sig variationen i inkommande köldbärartemperatur under en driftcykel endast bli en eller ett par 10-dels grader. Utgående köldbärartemperatur varierar något mer.

Följande bilagor finns tillgängliga på Byggdok:

Bilaga 2.1	Kungälv, plan
" 2.2	Kungälv, sektion A-A
" 2.3	Karlstad, Jordprovtabell
" 2.4	Arvika, Jordprovtabell
" 2.5	Arvika, Jordprovtabell forts.
" 2.6	Eda, Jordprovtabell
" 2.7	Eda, Jordprovtabell forts.
" 2.8 - 2.61	Djursholm. Diagram över mätresultat för säsongerna 1977/78 t.o.m. 1983/84
" 2.62 - 2.93	Arvika. Diagram över mätresultat för säsongerna 1978/79 t.o.m. 1983/84
" 2.94 - 2.126	Eda. Diagram över mätresultat för säsongerna 1978/79 t.o.m. 1982/83
" 2.127 - 2.146	Luleå. Diagram över mätresultat för säsongerna 1980/81 t.o.m. 1983/84



## 1. INLEDNING

### 1.1 Bakgrund

I januari 1977 ansökte Thermia AB (dåvarande AB Thermia Verken) om typgodkännande av sitt kompletta ytjordvärmsystem. För att erhålla ett interimistiskt godkännande ställde Statens Planverk härvid en del krav, däribland att en uppföljning av ett 10-tal anläggningar skulle komma till stånd. Efterhand visade sig det kommersiella värdet av ett typgodkännande blir alltmer diskutabelt och följaktligen betvivlades värdet av uppföljningen. Dock hade den påbörjade fältuppföljningen ett mer generellt värde i det att mätresultat och erfarenheter skulle kunna tjäna som underlag för framtagning av dimensioneringsregler för ytjordvärme-kollektorer. För ett sådant projekt hade CTH under 1981 beviljats medel från Byggforskningsrådet (proj.nr 810673-9). Under försättning att bli ett samarbete skedde med detta CTH-projekt beviljade Byggforskningsrådet under 1982 medel för fältuppföljningen. Till CTH-projektet knöts sedan fler angränsande forskningsprojekt varför uppföljningen kom att ske under överinseende av en arbetsgrupp som förutom författarna bestått av Björn O Modin, Ingvar Rehn och Jan Sundberg vid CTH, Per Erik Jansson och Lars Christer Lundin vid SLU, Ultuna samt Sven Fredén vid VTI.

Vid Karlstadanläggningen har samarbete och mätdatautbyte skett med Sven Åke Kroon och hans elever vid Älvkulle gymnasiet, vid Luleåanläggningen har vi samarbetat med Arvid Jacobsson, Högskolan i Luleå.

Sist men inte minst har vi samarbetat med husägarna, som i ur och skur och i vinklar och vrår enträget avläst instrumenten.

### 1.2 Rapporten

Från början avsåg uppföljningen att väl dokumentera och vinna erfarenhet av det då relativt nya och obeprövade ytjordvärmsystemet. I mätprogrammet ingick därför såväl storheter för karakteriserande av värmepumpsprestanda som storheter för karakteriserande av värmekällans prestanda. Stödet från Byggforskningsrådet innebar att tonvikten för projektet lades på uppföljningen av värmekällan.

Rapporten består av två delar, textdel och bilagedel. Så gott som samtliga bearbetade mätstorheter finns samlade i diagramform i en separat bilagedel. De data som är av störst intresse för studier av värmekällan finns medtagna som figurer i textdelen. Diagrammen som visar tjälens tillväxt och återgång under året är emellertid, på ett undantag här, endast medtagna i bilagedelen.

Avsikten med denna uppdelning är att bespara dem, som främst är intresserade av värmekällans prestanda, läsning av och kostnader för bilagorna. För den som är mer intresserad av värmepumpens funktion innehåller bilagorna däremot en del intressanta diagram som relativ gångtid, gångtid per cykel, värmefaktor mm.

Förutom fältmätningar har projektet omfattat beräkningar med simuleringsmodell samt jämförelse mellan modell och verklighet. Dessa beräkningar presenteras i kapitel 3 för vilket P Mogensen svarar. D Ahlkrona svarar för de övriga två kapitlen.

## 2 FÄLTMÄTNINGAR

## 2.1 Beteckningar

Följande beteckningar användes genomgående i de diagram som ingår i detta kapitel. Både sådana som är infogade i texten och sådana som ingår som bilagor. Vad beträffar beteckningarna för köldbärarvätskans temperatur,  $T_{IN}$  och  $T_{UT}$  och uttrycken inkommande och utgående köldbärarvätska, avser in detsamma som in till aggregat och ut detsamma som ut från aggregat. Med vattenkvot avses massa vatten till massa torrsbstans.

Storhetsbeteckningar

$E_{AGGR}$	=	Elenergi till aggregat inkl energi till köldbärarpump, rad.cirk.pump, manöverkretsar och eventuellt förekommande kontaktelement.
$E_{TOT}$	=	Totalt till huset levererad elenergi.
$E_{KEL}$	=	Elenergi till kontaktelement (reservvärme på värmepump).
$E_{OLJA}$	=	Energi från oljepanna. Beräknat utifrån förbrukad oljevolym och en antagen verkningsgrad hos oljepanna av 0,7.
N	=	Antal start för kompressorn.
P	=	Nederbörd
$Q_{MARK}$	=	Energi från mark.
$T_{UTE}$	=	Utetemperatur enligt närliggande SMHI-station
$T_{UTE N}$	=	Utetemperatur under normalår enligt SMHI.
$T_{IN}$	=	Inkommande köldbärartemperatur, om möjligt mätt till 4 min efter start.
$T_{UT}$	=	Utgående köldbärartemperatur, om möjligt mätt 3 till 4 min efter start.
$T_{FÖR 3,5}$	=	Förångningstemperatur mätt 3,5 min efter start.
$T_{KOND 3,5}$	=	Kondenseringstemperatur mätt 3,5 min efter start.
$T_{RAF}$	=	Framledningstemperatur, radiatorer.
$T_{RAR}$	=	Returledningstemperatur, radiatorer.
$T_{VV}$	=	Tappvarmvattentemperatur, avläst efter ca 3 min tappning.

- $T_{INNE}$  = Innetemperatur  
 $T_{BR SPF}$  =  $(\int T_{KB} dE_{AGGR}) / \int dE_{aggr}$   
 uppsäsong uppsäsong  
 där  $T_{KB} = (T_{IN} + T_{UT})/2$ .  $T_{BR SPF}$  är den  
 brinetemperatur som är relevant för be-  
 räkning av årsmedelvärmefaktorn, (SPF).  
 $T_{BR SPF}$  är den högra ändpunkten av den  
 aktuella kurvan i diagram. Kurvan är  
 medtagen för att möjliggöra viss kontroll  
 av beräkningen.
- $TZ$  = Temperaturtid under säsongen enligt tid-  
 skriften VVS (i graddagar, Kd).
- $TZ_N$  = Dito under ett normalår.
- $V_{BR}$  = Cirkulerad volym köldbärarvätska.
- $Z$  = Tid
- $Z_{KOMP}$  = Gångtid kompressor
- $+H GV XXX$  = Plushöjd för grundvattennivån enligt  
 mätare XXX. Plushöjden beräknad med hjälp  
 av en på platsen vald referensnivå.
- $SNÖ_{SMHI}$  = Snödjup enligt närliggande SMHI-station.
- $SNÖ_{MEDEL}$  = Medelvärdet av snödjupet 1 m ifrån snö-  
 djupsmätare, i allmänhet placerade på  
 tjälgränsmätarna. Medelvärdet bildas av  
 mätresultatet ifrån de snödjupsmätare som  
 avlästs.

#### Övriga beteckningar

- $\dot{X}$  =  $\Delta X / \Delta Z$  (tidsderivatan)
- $X_S$  =  $X - X_{\text{vid säsongstart}}$ , där säsongstart  
 inträffar i månadsskiftet juni/juli.

I överensstämmelse härmed betyder exempelvis  $\dot{Z}_{KOMP}$

relativ gångtid för kompressorn,  $\Delta Z / \Delta N$  tid mellan  
 start och  $\Delta Z_{KOMP} / \Delta N$  gångtid för kompressorn per  
 driftscykel.

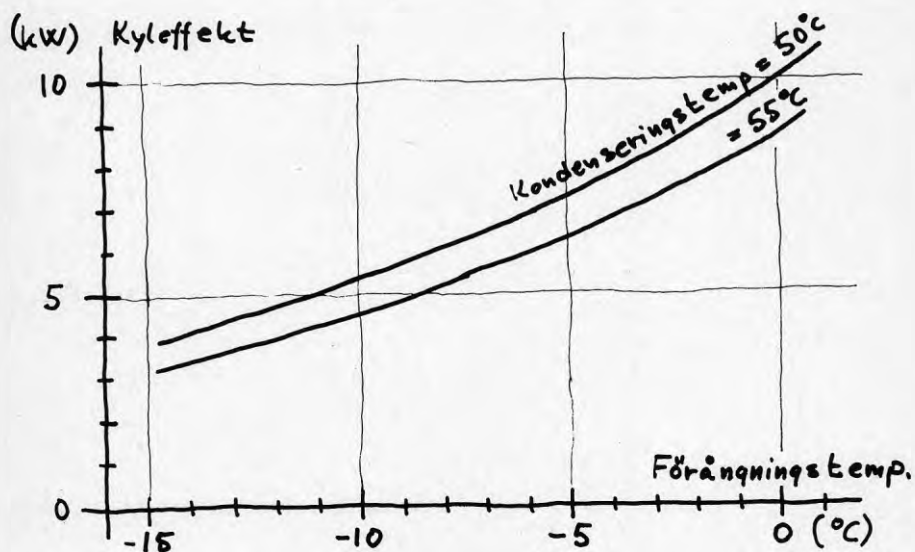
I rapporten användes tjälgränsmätare och frostgräns-  
 mätare som sydonyma begrepp. Mätresultaten redovisas  
 säsongsvist där en säsong varar från 1 juli t.o.m.  
 30 juni nästföljande år. En sådan säsong betecknas  
 exempelvis 1980/81.

## 2.2 BESKRIVNING AV ANLÄGGNINGARNA

Samtliga anläggningar har en värmepump av typ Thermia JBC 400 eller dess förångare av typ fabrikat Geotherm. Detta medför att samtliga värmepumpar i stort sett har samma prestanda. Se figur 2.1. Då köldbärar- och radiatortemperatur varierar något mellan anläggningarna kommer även kyleffekt och värmefaktor att skilja något mellan anläggningarna. Samtliga anläggningar förutom Kungälvvanläggningen har en köldbärarpump av typ Grundfos CP-3-30. Kungälvvanläggningen har den något mindre pumpen Grundfos CP-3-20.

Effektuttaget från marken blir något lägre än den i figur 2.1 redovisade kyleffekten. En del av kyleffekten har nämligen tillförts genom köldbärarpumpen. Ifall dennas axeleffekt subtraheras från kyleffekten fås, i alla fall ungefärligt, effektuttaget från marken. CP-3-20 pumparna har en axeleffekt av ca 480W och CP-3-20 pumpen om ca 320W. Volymflödet för köldbärarvätskan varierar för de olika anläggningarna mellan ca 35 och 55 l/min. För samtliga fall är flödet tillräckligt stort för att vi skall erhålla klart turbulent strömning i slangarna. Detta innebär att temperaturfallet mellan slangvägg och köldbärare för samtliga anläggningar är litet, i storleksordningen 1/10 grad. Köldbärare är för samtliga anläggningar etylenglykol - vattenblandning. Glykolhalten är mellan 15 och 25 vikts-%.

Samtliga anläggningar har kollektorslang av PEL-plast med 35 mm innerdiameter och 40 mm ytterdiameter.



Figur 2.1 Prestanda för värmepump Thermia JBC 400. Efter Fehrm Kraft, KTH 1978.

Vid Arvikaanläggningen plöjdes slangen ner. Vid övriga anläggningar har den grävts ner med skopa eller med kedja.

Vad beträffar markvärmeuttagets storlek och fördelning i tiden är detta, förutom av värmepumpen beroende av huset, dess innevärdare, klimatet samt av eventuellt nyttjande av kompletterande uppvärmningsanordningar. Ingen av anläggningarna har haft av uteluft-temperaturen styrd kondenseringstemperatur utan denna har i princip varit fix.

Värmepumpen ensam klarar att värma upp samtliga hus utom huset i Karlstad som har ett maximalt effektbehov som är drygt dubbelt av vad värmepumpen kan prestera. Denna anläggning har således ett värmeuttag av klar baslastkaraktär.

En annan anläggning som är avvikande är den i Kungälv. Här ligger slangen på närmare 2 m djup, medan övriga har en slang liggande på eller strax under 1 m djup.

I tabell 2.1 är sammanställt en del viktigare data för anläggningen.

Tabell 2.1 Effekt och energiuttag från mark mm.

	Årsmedel, temperatur, normalår	Slanglängd i mark	Slangdjup	Markenergi- uttag/slangl under normal år	Karaktär- istiskt (markeffekt- uttag/slangl) under vintern	Idrifttagnings- datum
	(°C)	(m)	(m)	(kWh/m)	(W/m)	
Kungälv	+ 7,2	483	ca 1,8	ca 29	ca 11	juli -76
Djursholm	+ 6,6	280	ca 0,6	ca 73	ca 16	nov -77
Karlstad	+ 5,9	490	ca 0,9	ca 45	ca 9	nov -77
Arvika	+ 5,6	319	ca 0,8	ca 28	ca 15	maj -78
Eda	+ 4,8	575	ca 1,0	ca 29	ca 9	aug -78
Umeå	+ 3,2	480	ca 0,9	ca 25	ca 9	sep -77
Luleå	+ 2,0	500	ca 1,0	ca 28	ca 10	nov -78

Det i tabellen redovisade "Karaktäristiskt (markeffektuttag/slangl) under vintern", avser markeffektuttag genom slanglängd då värmepumpen är idrift vid tiden för maximalt effektbehov för huset. Värdet har i möjligaste mån korrigerats till normalår. Detta värde på effektuttag/slanglängd är inte det lägsta under året. Detta torde i allmänhet inträffa vid tidpunkten för minimum av köldbärar-temperaturen som infaller något senare under vintern, kring första delen av mars.

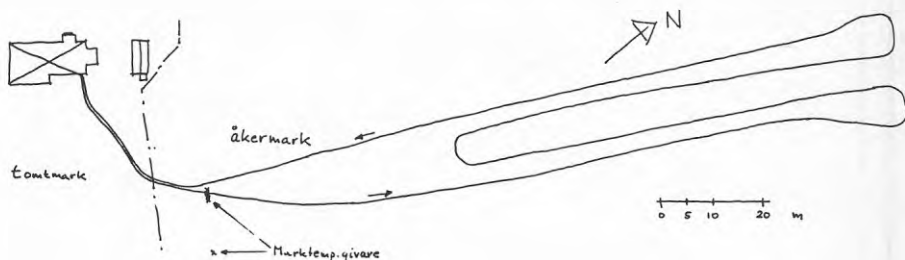
Slangdelningen ligger mellan 1 och 2 m med undantag för Kungälv-anläggningen där slangdelningen är ca 5 m.

Vad beträffar markförhållandena gäller i stort tabell 2.2.

Tabell 2.2 Översiktliga markdata		Stickprov på värmelednings- tal, ofrusna höstförhåll- anden (W/mK)				
	Jordarter Översiktlig beskrivning	Grundvatten nivå, djup under mark ytan (m)	Stickprov på värmelednings- tal, ofrusna höstförhåll- anden (W/mK)			
			Vid slang	Ovan slang	Bredvid slang	Ovan och bredvid slang
Kungälv	Mellanlera eller styv lera ner till åtminstone 5 m djup	ca 0,5				
Djursholm	0 till 2,5 m mellan- lera eller styvlera i undre delen sand- skiktad, underlagrad av friktionsjord och/ eller berg	ca 1,0	1,3	1,3	1,8	
Karlstad	Siltig finsand eller finsandig silt ner till 3 m. Härunder något grövre sand	ca 3,0	1,5	1,3		1,4
Arvika	Ung 2 m lerig silt underlagrad av ca 3 m siltskiktad lera	ca 1,0				
Eda	Torr mellansand	ca 6,0	1,0	1,2		1,2
Umeå	Friktionsjord i väster, dytorv i öster	ca 1,0	2,3	1,9		1,2
Luleå	Knappt 2 m finsand underlagrad av gyttjig silt.	ca 1,5	1,3	1,1		1,0

De värmeledningstal som är redovisade i tabell 2.2 är bestämda vid Geologiska Institutionen vid Chalmers Tekniska Högskola. Proven togs under oktober - november 1982 vid 5 av provanläggningarna. Ett prov togs omedelbart bredvid slang, ett andra togs ovan slang ca 0,5 m under markytan och ett tredje togs mellan slangar på samma nivå som det andra. Undantag är Djursholm där slangen låg grunt (0,55 m). Proven togs här vid slang, ovan slang 0,35 m under markytan samt 0,5 m bredvid slang i slangnivå.

Närmare beskrivning av anläggningen och den mätutrustning som är installerad finns i Ahlkrona (1979) och Eklund (1984).



Figur 2.2 Kungälv. Slangens förläggning.

### 2.2.1 Kungälvanläggningen

Denna är den av de uppföljda anläggningar som varit i drift längst. Den startades i juli 1976. Värmepumpen klarar av att tillgodose husets effektbehov. Av olika skäl har under extrema köldknäppar ägaren ändå stängt av värmepumpen och använt den befintliga oljepannan för uppvärmning. Slangens förläggning framgår av figur 2.2. Slangen är nedgrävd med 40 cm skopa och ligger ovanligt djupt, enligt uppgift mellan 1,6 och 2,0 m på åkermarken, grundare på tomtmarken. Slanglängd i mark är ca 483 m.

Området för kollektorn ligger på Götaälvdalens leravlagringar. Markytan ligger drygt en m över älvnivån. Ungefär 50 - 100 m väster om kollektorområdet går berget i dagen.

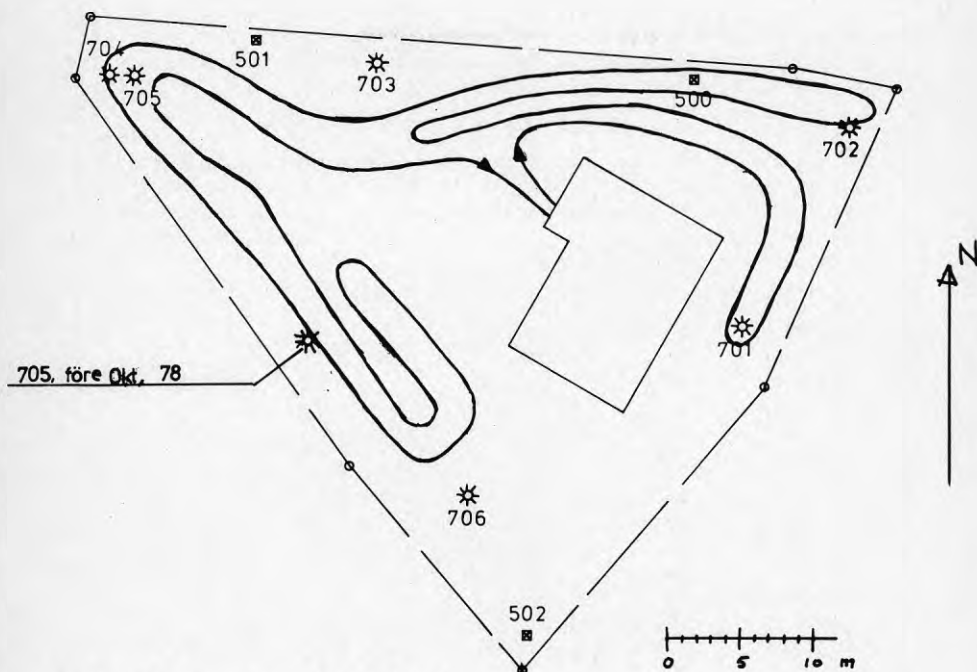
Enligt en av VIAK utförd geoteknisk undersökning har vi lera ner till åtminstone 5 m djup. Se bilaga 2.1 och 2.2. Enligt denna undersökning har vi till drygt en meters djup en torrskorpelera med en torrdenitet kring  $1200 \text{ kg/m}^3$  och vattenkvot (massa vatten till massa torrsubstans) kring 40 vikts-%. På några meters djup ligger torrdeniteten kring  $830 \text{ kg/m}^3$  och vattenkvoten kring 90 vikts-%.

Portrycket är mätt med hjälp av öppna filterspetsar av fabrikat Geotech. Tre spetsar på 1,95, 3,60 resp 5,55 m djup har avlästs under ca 2 år med början under februari 1982. Portrycksnivån ligger drygt 0,5 m under markytan med en årlig variationsamplitud om några decimeter.

Portrycksnivån beror vidare något av spetsens djup. Nivån vid den grundare spetsen ligger genomgående några decimeter över nivån vid den djupare spetsen. Den djupledes mellersta spetsen ger en portrycksnivå här emellan.

Anläggningen har ej varit försedd med tjälgränsmätare. Däremot har kring den utgående slangen temperaturen mätts med ett antal temperaturgivare. Dessa har ingått i ett mätsystem installerat och underhållet av avdelningen för byggnadskonstruktion, Chalmers Tekniska Högskola. Se Lindquist (1980).





□ = Grundvattenmätare : 500,501,502.

\* = Tjälgränsmätare : 700,701,702,703,704,705,706.

**Slanglängd i mark : 280 m**

Figur 2.3. Djursholm. Slangens förläggning.

### 2.2.2 Djursholmanläggningen

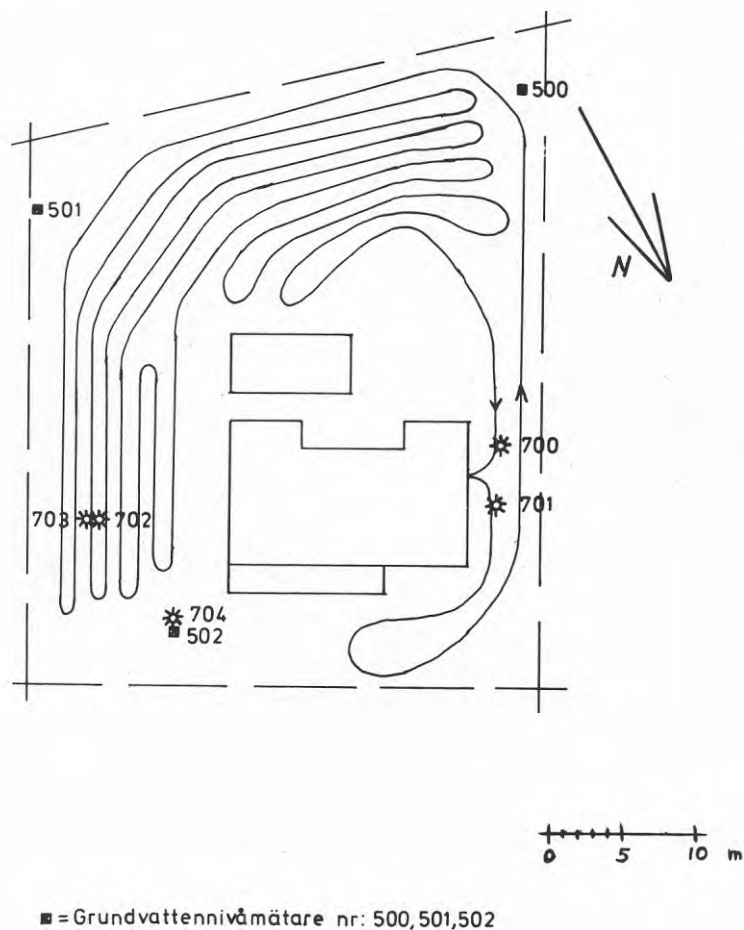
Värmepumpen är på gränsen till att klara huset maximala effektbehov.

Då berget mestadels ligger grunt och tomten är uppvuxen och relativt liten är slanglängden för denna anläggning kort, ca 280 m i mark. Enligt uppgift ligger större delen av slangen nära underliggande urberg. Se figur 2.3. I denna är även lägena för tjälgränsmätare och grundvattenrör inritade. På grund av det ringa djupet till berg är slangens förläggningsdjup endast ca 60 cm.

Jordprov har tagits vid platserna för grundvattenrören 500, 501 och 502.

Tomten ligger i övergångsområde mellan berg/morän/lera är kuperad och har varierande djup till berg. Se figur 2.3. Djupet till berg eller hård friktionsjord är vid platserna för grundvatten ca 2,35, 1,54 resp 1,25 m. Jordarten var mellanlera eller styvlera på djup större än ca en meter skiktad med silt eller sand. Det prov vid slang som CTH nyttjade för bestämning av värmeledningstal, bestod av styv lera, med en torrdenitet om  $1577 \text{ kg/m}^3$  och en vattenkvot  $w = 28$  vikts-%.

Om vi bortser från de mullrikare övre decimetrarna låg vattenkvoten vid provtaningstillfället mellan 20 och 32 vikts-%. Grundvattennivån mätt med rörspetsar neddrivna till friktionsmaterial/berg ligger i allmänhet ungefär en meter under markytan. Se även redovisningen av mätresultat.



Figur 2.4. Karlstad. Slangens förläggning.

### 2.2.3 Karlstadanläggningen

Som tidigare nämnts är detta den enda anläggning där energiuttaget är av barlastkaraktär. Värmepumpen klarar endast av att täcka ungefär husets halva effektbehov. Ungefär 490 m slang ligger nedgrävd på ca 0,9 m djup. Se figur 2.4.

Tomten ligger på Klaraälvsdeltat ca 3 m över älvnivån. Grundvattennivån ligger ca 3 m under markytan. Se även redovisningen av mätresultat, figur 2.41.

Ner till ca 3 m djup består jorden av relativt ensartad siltig finsand eller finsandig silt, härunder något grövre sand. Se bilaga 2.3. Proven som redovisas i denna bilaga är tagna under oktober. Vattenkvoten i slangnivå ligger enligt bilaga 2.3 mellan 8 och 16 vikts-%. Egna provtagningar under våren visar en vattenkvot i slangnivå kring 10 %. (ej i närheten av slang).

Proven till CTH's värmeledningstals mätningar (tagna 1982-11-02) höll en vattenkvot kring 15 vikts-% och hade en torrdensitet kring 1400 kg/m<sup>3</sup>. Provet närmast slangen hade inte högst vattenkvot.

Förutom tjälgränsmätare och grundvattenrör mättes genom Älvkullegymnasiets försorg marktemperaturer.

### 2.2.4 Arvikaanläggningen

Denna anläggning har det effektmässigt minsta huset. Värmepumpen skulle nästan kunna klara av två hus av denna storlek.

Huset ingår i en grupp identiska hus av vilka 14 har ytjordvärme. Kollektorslangarna inom detta område ligger förlagda, inte bara under det "egna" husets tomt, utan även under granntomterna och utanför liggande allmänt område. Se figur 2.5.

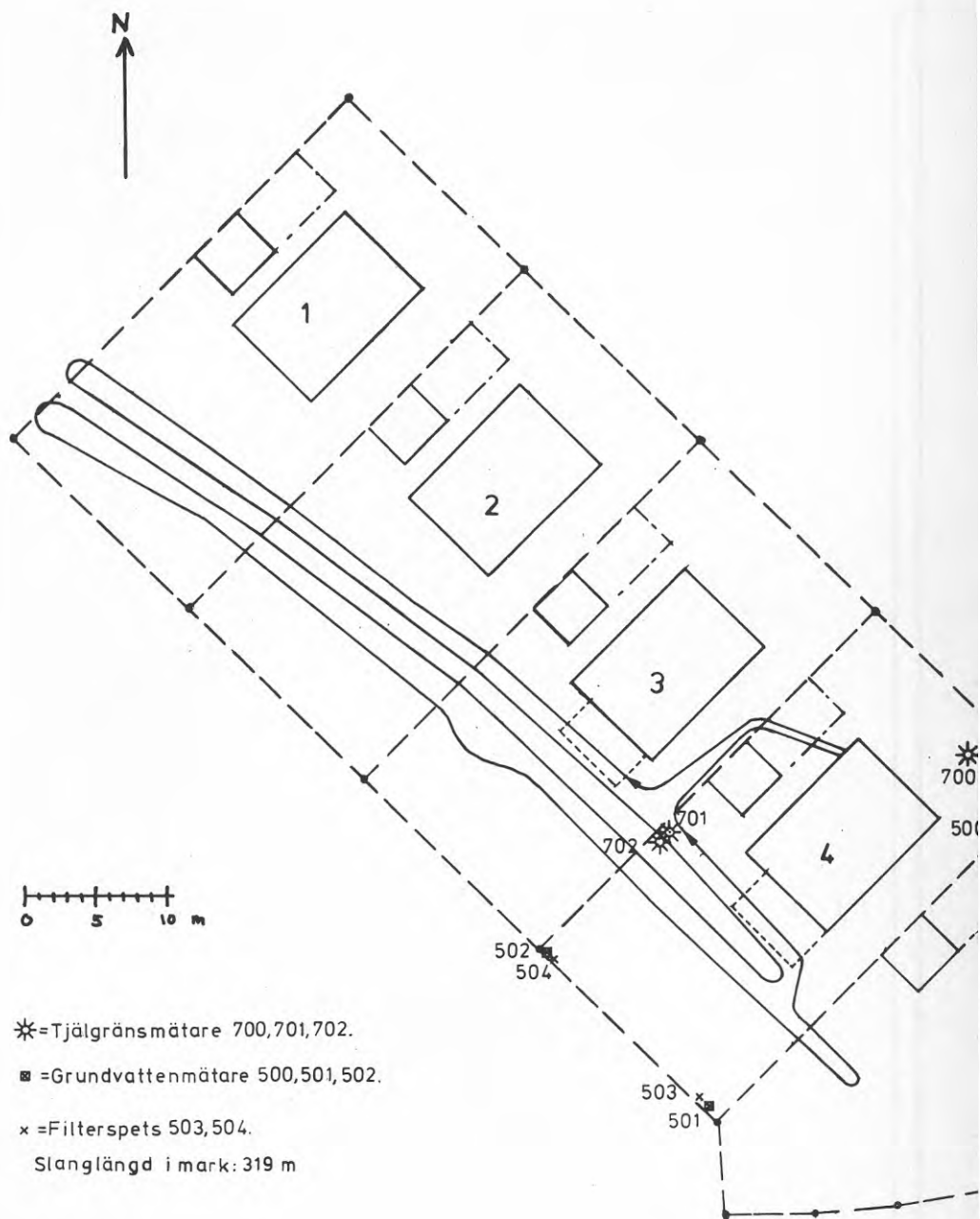
Området ligger på gammal åkermark som ner till ett djup om ungefär två meter utgöres av lerig silt, med en vattenkvot kring 25 vikts-%. Härunder återfanns siltskiktad lera ner till ungefär 5 m djup där jordarten förmodligen övergår till morän. Se bilaga 2.4 och 2.5. Knappt 100 m söderut går morän och berg i dagen.

Grundvattennivån mätt med rörspets i friktionsmaterial på 5 m djup ligger ca 2,5 meter under markytan. Nivån mätt med öppen porttrycksmätare i torrskorpan ligger knappt 1 m under markytan. Se även redovisningen av mätresultat, figur 2.44.

Markförhållanden är klart tjälfarliga, vilket bland annat visat sig i form av ojämn tjälhävning ovan markkollektorn.

Slanglängden är 319 m och djupet bedöms utifrån stickprov i medeltal att vara ca 0,8 m.

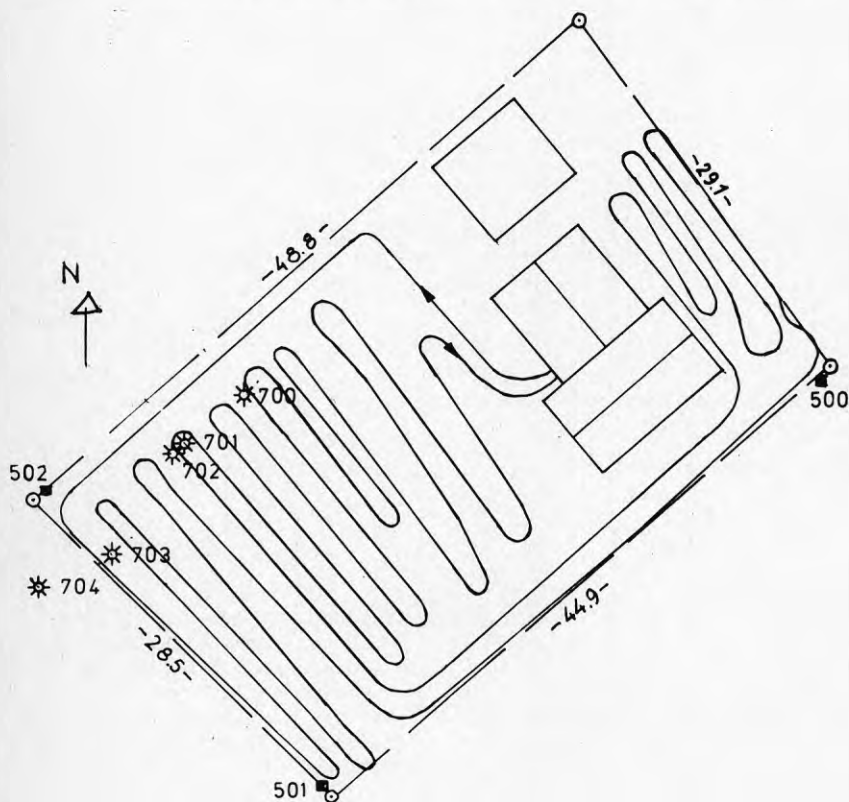
Som jämförelse redovisas också köldbärartemperaturerna för ett av grannhusen som på grund av olyckliga omständigheter endast fick nerplöjt ca 208 m slang. För övrigt torde de två anläggningarna vara likvärdiga.



Figur 2.5. Arvika. Slangens förläggning.

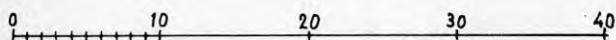
## 2.2.5 Edaanläggningen

Detta är den av de uppföljda anläggningarna som ligger på den torraste marken. Tomten ligger på de mäktiga sandavlagringar genom vilka Vrångsälven rinner i gränstrakterna mellan Sverige och Norge. Avståndet till älven är ca 200 m och markytans höjd över älven ca 10 m. Marken är bevuxen med gles tallskog, på själva tomten dock endast enstaka träd. Vegetationstäcket är tunnt. Slangens förläggning framgår av figur 2.6.



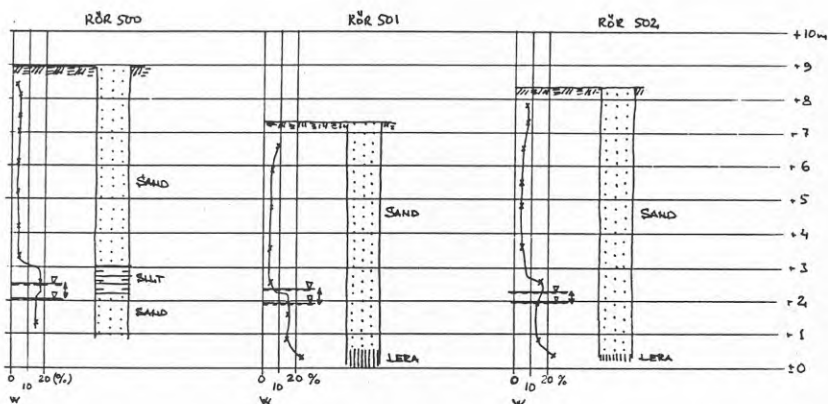
Tjälgränsmätare : 700, 701, 702, 703, 704.

Grundvattenmätare : 500, 501, 502.



Figur 2.6. Eda. Slangens förläggning.

Markens övre ca 6 m utgöres av en något siltig sand, huvudsakligen av mellansandsfraktion, med låg vattenhållande förmåga. I naturligt tillstånd har vi i slangnivån en vattenhalt kring 7 %, se figur 2.7 och figur 2.8 samt bilagorna 2.6 och 2.7.



JORDART OCH VATTENKVOT (SEH. VAK'S RAPPORT 5316.7464) SAMT INTERVALL FÖR OBSERVERAD ÖBUNDVATTENNIVÅ UNDER PERIODEN FEBR - 21 T.OM JUNI 1982. LOKAL HÖJDSKALA, VATTENKVOT AVSER OKT - 80.

Figur 2.7.

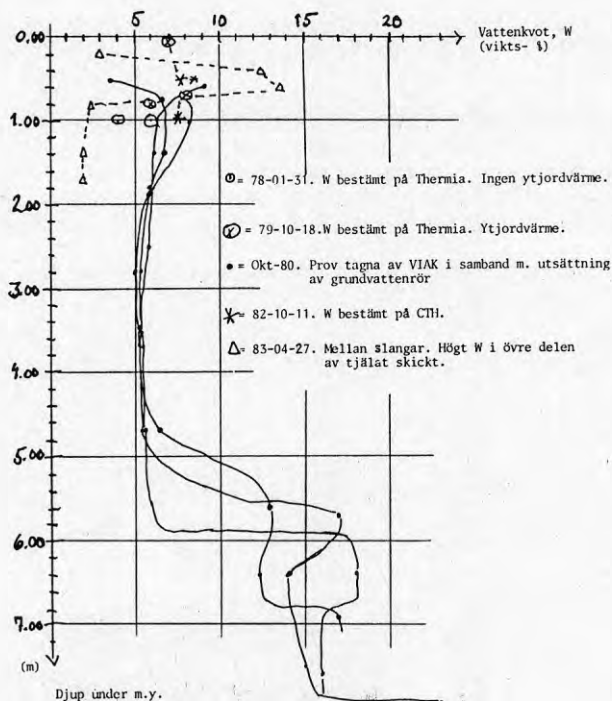
Grundvattennivån ligger ca 6 m under markytan. I figur 2.8 skiljer sig kurvan för 1983-04-27 från de övriga. Denna kurva beskriver nämligen förhållandena mellan slangar under våren då tjälen börjar tina uppifrån. Se figur 2.9. Ovanför det decimetertjocka skiktet av finare sand är vattenkvoten hög. En tänkbar förklaring här-till är att det finare skiktet har så låg permeabilitet att perkolerande smältvatten ansamlas ovan detta skikt.

I figur 2.9 ses också vertikala gravar i tjälen ovanför slangarna. Detta beror kanske på att det mindre permeabla finsandsskiktet brutits vid nedgrävningen. (Slangen grävdes ner med kedjegrävare). Även det tunna förnasskiktet på 35 cm nivån har brutits. Permeabiliteten bör på så sätt blivit bättre i grävspåren varvid smält och regnvatten lättare kan perkolera ner och tina sanden.

Som också framgår av figur 2.9 finns närmare slangerna ett område med hård tjäle och mer vattenmättad sand, vilket är bra då det bör höja värmeledningstalet. Sanden är finare kring slangerna varför det är svårt att säga huruvida vattenhaltsökningen beror på den finare sandens bättre vattenhållande förmåga eller på fukt-vandring till det tjälade/kalla området.

Proven för värmeledningstaletsbestämning vid CTH hade en torrdensitet mellan 1410 och 1435 kg/m<sup>3</sup>. Det indikerade inte någon ökning av vattenhalten vid slangerna. Proven var tagna under oktober.

Slangen är ca 575 m lång och utifrån stickprov bedöms dess medel-  
djup till ca 1,0 m.



Figur 2.8. Uppmätta vattenkvoten i Eda.

#### 2.2.6 Umeåanläggning

Kollektorn ligger enligt uppgift i gränsområdet mellan friktionsjord och torvmark. Torvskiktet ligger före byggnation varit 1 till 2 dm vid platsen för huset och drygt 0,5 m i kollektorns östra del, som ligger i samfällt område. Se figur 2.10.

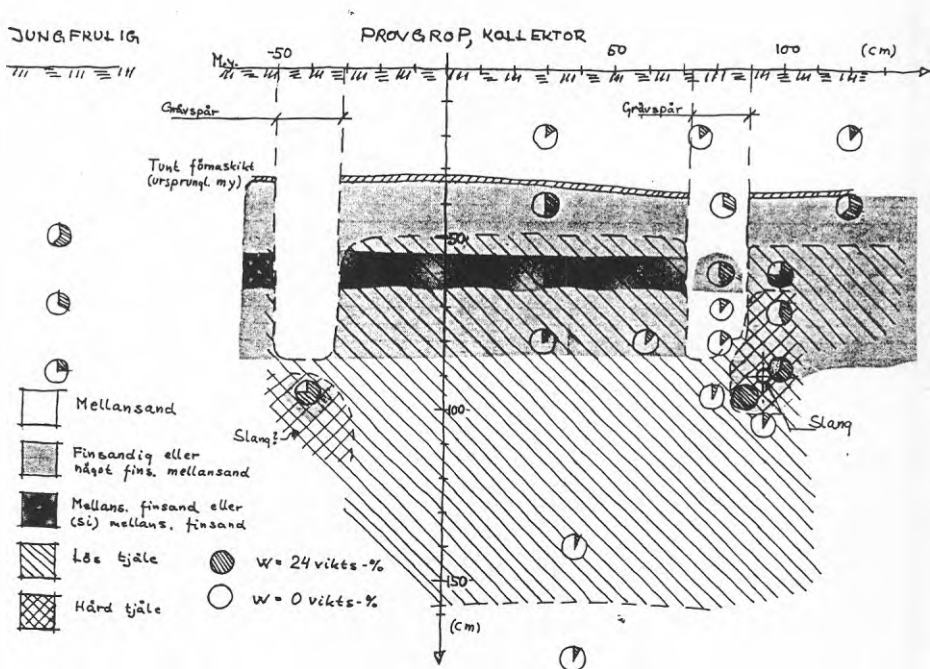
På tomten har torven avlägsnats och ersatts med annan jord, bl a matjord. Prov togs vid grundvattennivåmätaren 1980-11-12. Överst hade vi några decimeter matjord/torv, på 0,6 m djup en sandig jord med en vattenkvot om 19 %. Djupare ner övergick jorden till sandig silt med 12 % vattenkvot. På 2,3 m djup påträffades förmodligen morän.

Proven till CTH's värmeledningstalsbestämningar togs strax öster tomtgränsen. Provgropen som härvid grävdes avslöjade högst varierande jordarter, som sand, grus, sten, block, matjord, rötter, "i snitt" kanske mullhaltig sandig "morän" med växtdelar. Mycket av jorden är uppenbarligen ditkörd. Värmeledningstalerna var som framgår av tabell 2.2 ganska goda.

Två provgrävningar har även gjorts på samfälligheten i kollektorns östra delar. I dessa provgropar utgjordes jorden huvudsakligen av dytorv.

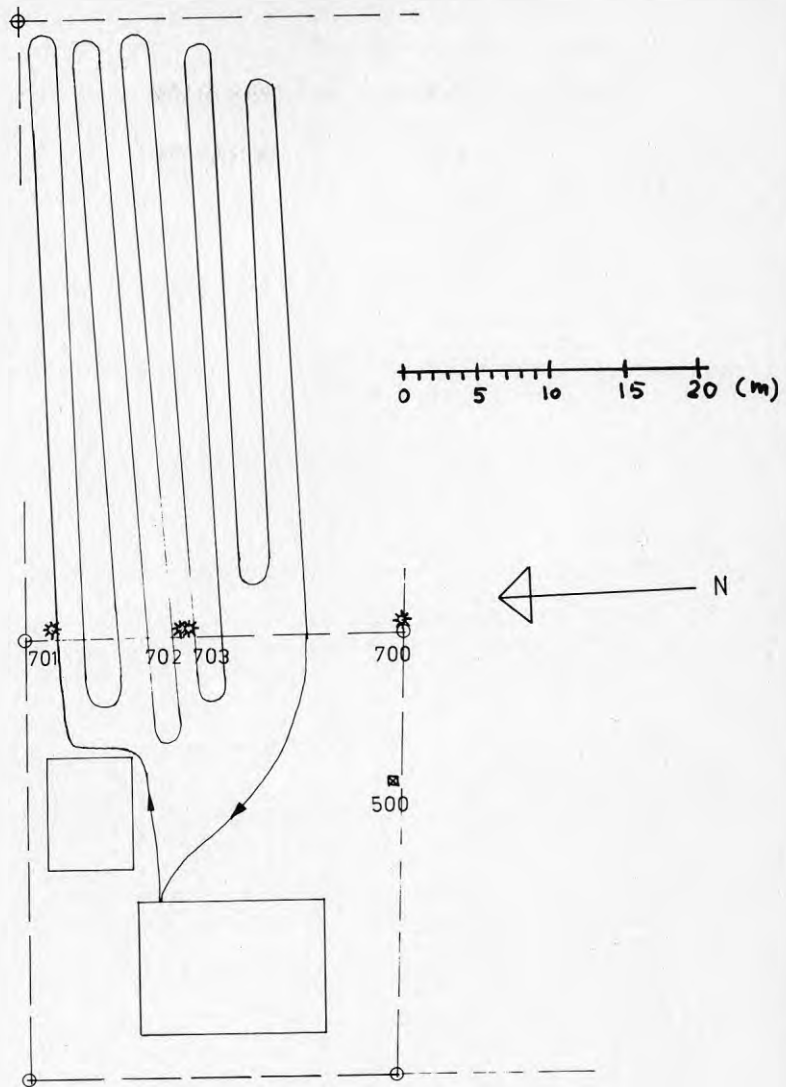
Grundvattennivån har mätts med öppen filterspets, mätpunkt 500 i figur 2.10, samt observerades vid provgropsgrävningar. Av dessa observationer att dömma ligger grundvattennivån i medeltal drygt en meter under markytan i närheten av huset och knappt en meter under markytan i den östra delen av kollektorområdet.

Slanglängden är ca 480 m och slangens medeldjup bedöms till ca 0,9 m.



Figur 2.9. Provgrävningar i Eda 1983-04-27.





■ = Grundvattennivåmätare nr: 500

\* = Tjälgränsmätare nr: 700, 701, 702, 703

Figur 2.10. Umeå. Slangens förläggning.

### 2.2.7 Luleåanläggningen

Anläggningen ligger egentligen i Södra Sunderbyn vid Lule älvs norra strand drygt 1 mil NV själva Luleå. Området där anläggningen är belägen ligger på mäktiga sedimentavlagringar längs älven. Området är flackt med en svag sluttning ut mot älven. Tomten ligger ca 4 m över och ca 250 m från Lule älv.

Ner till ett djup om knappt 2 m utgöres jorden av finsand. Denna lär underlagras av en gyttjig silt eller siltig lera ner till knappt 4 m djup, varefter en fastare lagrad silt skall ta vid ner till åtminstone 6 m djup.

Grundvattennivån vid den aktuella tomten torde utifrån diverse mätresultat och uttalanden ligga mellan 1,5 och 2 m under markytan. Avståndet mellan slangen och grundvattennivån torde vara ungefär lika med slangens kapillaritet.

Några stickprov på vattenkvoten i slangnivån finns. I månadsskiftet maj - juni 1978 tog husägaren prov, vilka i slangnivå hade en vattenkvot om ca 10 vikts-%. Provet togs före det att ytjordvärme installerats. Provet för CTH's värmeledningstalsbestämningar, taget 1982-10-13 höll vid slangen 19 vikts-%. Torrdensitet hos de tre CTH-proven varierade mellan 1490 och 1640 kg/m<sup>3</sup>.

Av de tre sandanläggningarna Karlstad, Eda och Luleå torde marken i Eda var den sämsta ur värmeupptagnings synpunkt. Sanden är grövst och grundvattenytan lägst. Markförhållandena i Karlstad och Luleå torde vara mer likvärdiga ur värmeupptagnings synpunkt. Vid båda anläggningarna består markens övre metrars av finsand. Den i Luleå är något grövre, vilket dock bör kompenseras av att grundvattenytan här ligger högre.

Värmeupptagande slanglängd i mark är ca 500 m och förläggingsdjupet torde vara kring 1,0 m. Se figur 2.11.

Varken tjälgränsmätare eller grundvattenmätare har varit utplacerade vid anläggningen. Däremot har Högskolan i Luleå installerat temperaturgivare i marken kring slangarna. Avläsning har skett i anslutning till avsläsning av den av oss monterade mätutrustningen. Genom överenskommelse med Högskolan har vi fått tillgång till mätvärdena.

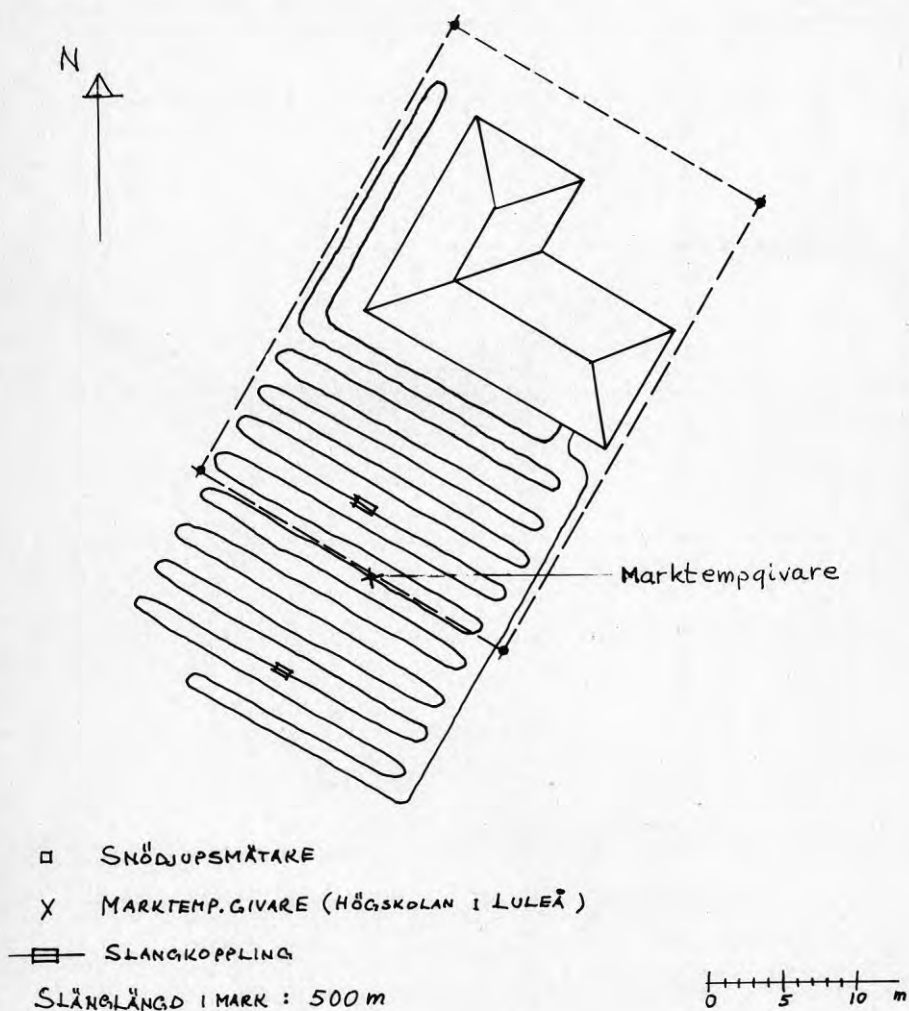
### 2.3 Köldbärartemperaturer vid de sju anläggningarna.

Dessa redovisas i figur 2.12 t.o.m. 2.18. Antalet kurvor varierar mellan de olika anläggningarna beroende på antalet mätsösonger. Den temperatur som avses är medelvärdet av temperaturen hos in- och utgående köldbärare. Vid samtliga anläggningar utom en har köldbärartemperaturerna avlästs 3 till 4 min efter start. Undantaget är Kungälv där avläsning skett strax efter det att aggregatet stoppat. Detta torde ha resulterat i någon tiondels grader lägre temperatur.

Förutom temperaturen för den aktuella anläggningen finns för att underlätta jämförelsen en bred kurva skräfferad. Denna kurva är ett mått på medeltemperaturen för de fem anläggningarna Djursholm, Arvika, Eda, Umeå och Luleå. Kungälv och Karlstad ingår således ej i underlaget för dessa kurvor då dessa anläggningar inte bedöms

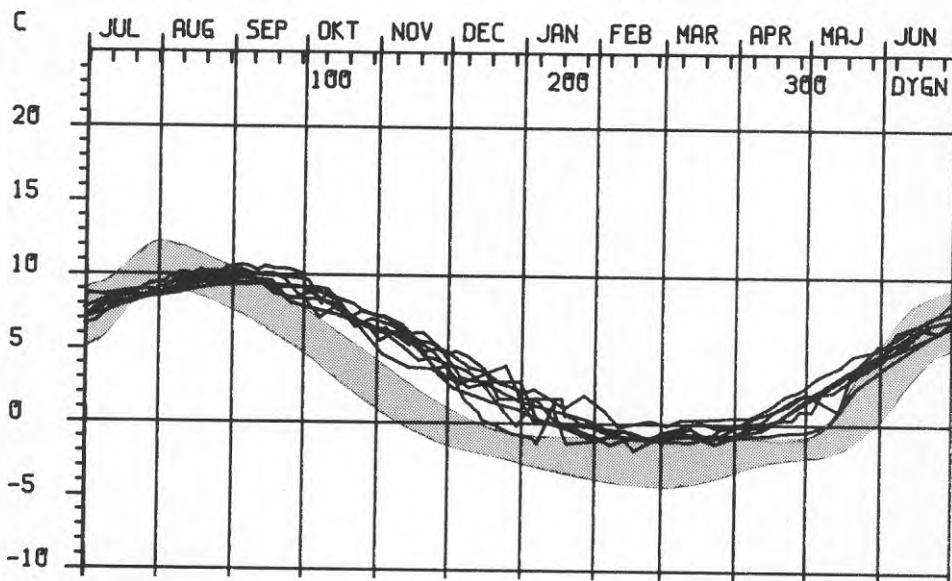
som särskilt typiska småhusanläggningar (stor förläggingsdjup resp baslast).

Kurvan är framtagen genom att året delas in i 30 st lika långa intervaller. För varje intervall har medelvärdet och standardavvikelse beräknats för temperaturavläsningar i detta intervall.



Figur 2.11. Luleå. Slangens förläggning.

Härvid har för de olika anläggningarna mätvärdena givits en vikt i omvänd proportion till deras respektive antal. Kurvans övre och undre gräns är temperatursamplet's medelvärde plus respektive minus samplet's standardavvikelse. Någon vidare tolkning av detta intervalls statistiska betydelse görs inte här. Det väsentliga är att vi får en referenskurva vars mitt är en god skattning av medeltemperaturen för de fem anläggningarna. Observera att intervallet smalnar av i början och slutet av tjälsäsongen i samband med frigörelse av respektive bindning i latent energi.

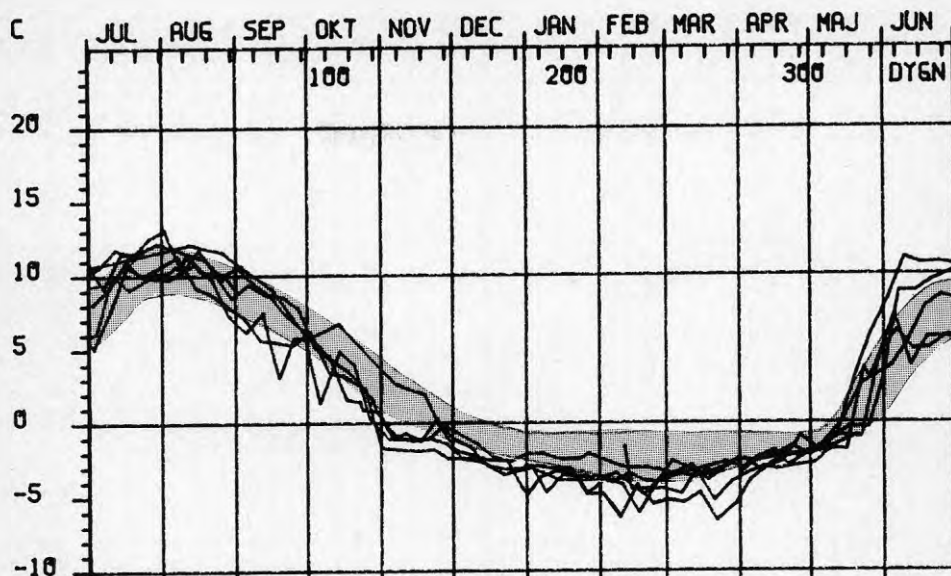


Figur 2.12. Kungälv. Köldbärartemperatur 1976/77 -- 1983/84 samt 1986/87.

Luftmedeltemperatur =  $+7,2^{\circ}\text{C}$ . Slangdjup = ca 1,8 m  
 Energiuttag från mark under normalår = ca 29 kWh/m  
 Karaktäristiskt effektuttag vintertid = ca 11 W/m  
 Lera; Grundvattennivå ca 0,5 m under markytan.

Låt oss titta på kurvorna för de olika anläggningar.

Kurvskalan för Kungälvanläggningen är, som vi kan förvänta oss med tanke på det stora slangdjupet, färförskjuten i tiden samt har mindre temperaturamplitud än referenskurvan. Någon utplaning av kurvskaran vintertid sker knappast, vilket också förefaller rimligt då köldbärartemperaturen underskrider  $0^{\circ}\text{C}$  först någon gång kring slutet av januari.

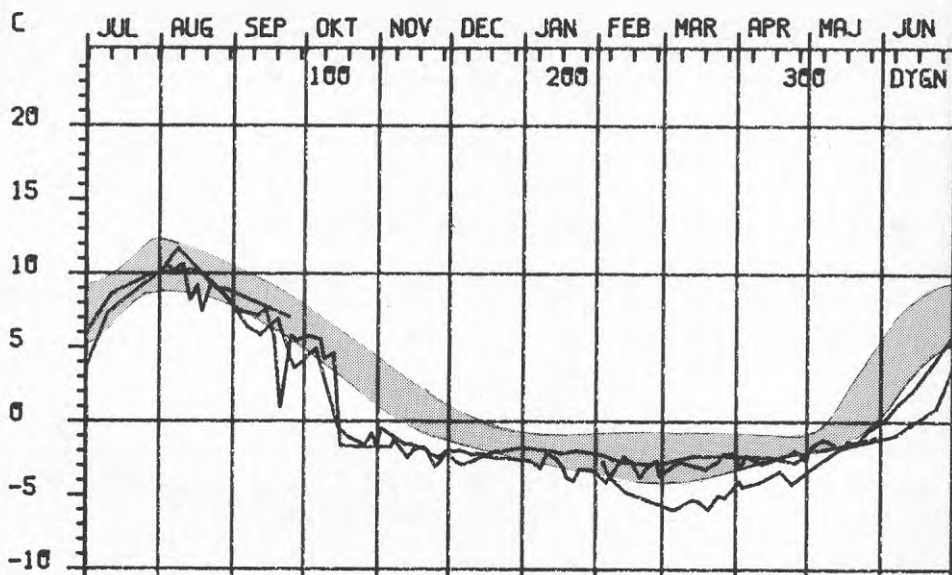


Figur 2.13. Djursholm. Köldbärartemperatur 1977/78 -- 1983/84.  
 Luftmedeltemperatur =  $+6,6^{\circ}\text{C}$  Slangdjup = ca 0,6 m  
 Energiuttag från mark under normalår = ca 73 kWh/m  
 Karaktäristiskt effektuttag vintertid = ca 16 W/m.  
 Lera, friktionsjord, berg ; Grundvattennivå ca 1 m under mar-  
 ytan.

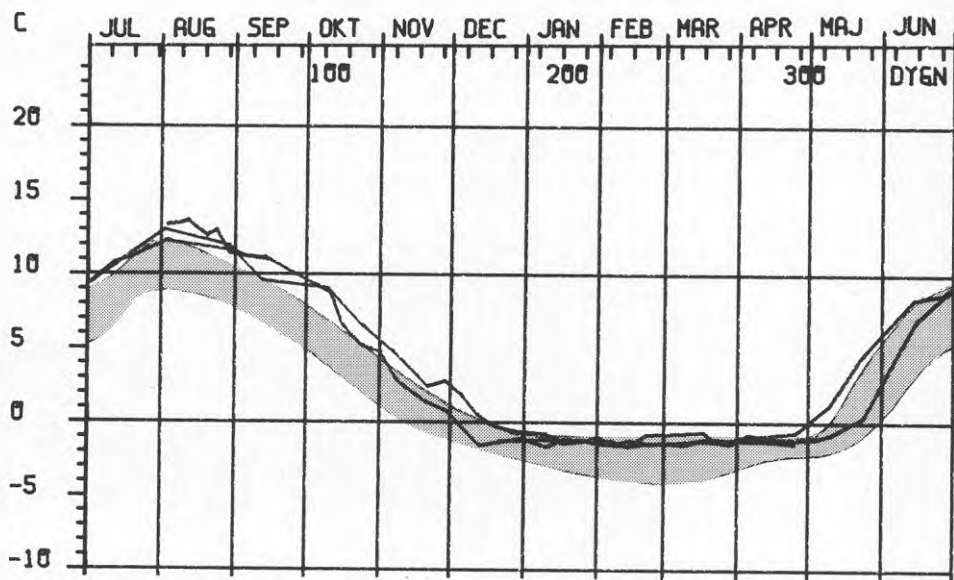
Djursholmanläggningen har den i särklass hårdast belastade kollektorn. Vintertemperaturen är låg. Då slangen ligger grunt och i allmänhet är underlagrad av friktionsjord eller berg blir det för värmeuttaget tillgängliga latent energiinnehållet kring slangen litet, trots att vi ovan slangen i allmänhet har lera. Detta är förmodligen förklaringen till att kurvskarvarens utplaning under vintern är svag. Den snabba temperaturstegringen på våren är förmodligen orsakad av dels det grunda förlägningsdjupet och dels det ringa latent och sensibla energiinnehållet i området kring slangen.

Karlstadanläggningens karaktär av baslastanläggning återspeglas i kurvskaran för köldbärartemperaturen. Vi har en lång period med köldbärartemperatur under  $0^{\circ}\text{C}$ . En kurva ligger lägre än de övriga under februari - april. Den avser vårvintern 1981 då Karlstad hade låga februari- och marstemperaturer samt relativt lite snö.

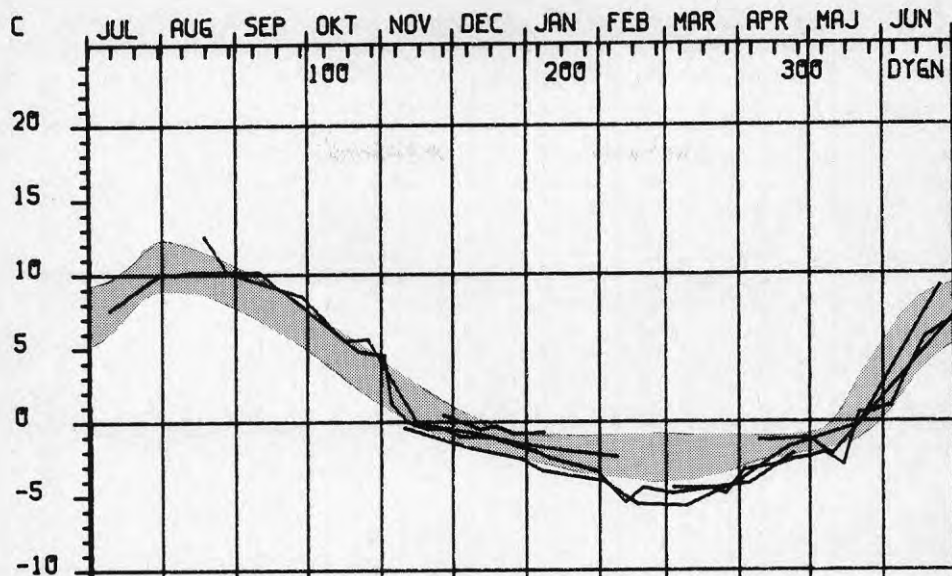
Kurvskarorna för Arvikaanläggningen är tydligt utplanade under vintern. Vi har en silt med god vattenmättnadsgrad och därmed stor latent energiomsättning. Som framgår längre fram i rapporten erhålles kring slangen begränsade tjälkorvar, vilka inte växer ihop med tjälen under markytan. Detta förhållande bör göra köldbärartemperaturen mindre känslig för variationer i snötäcke och utelufttemperatur.



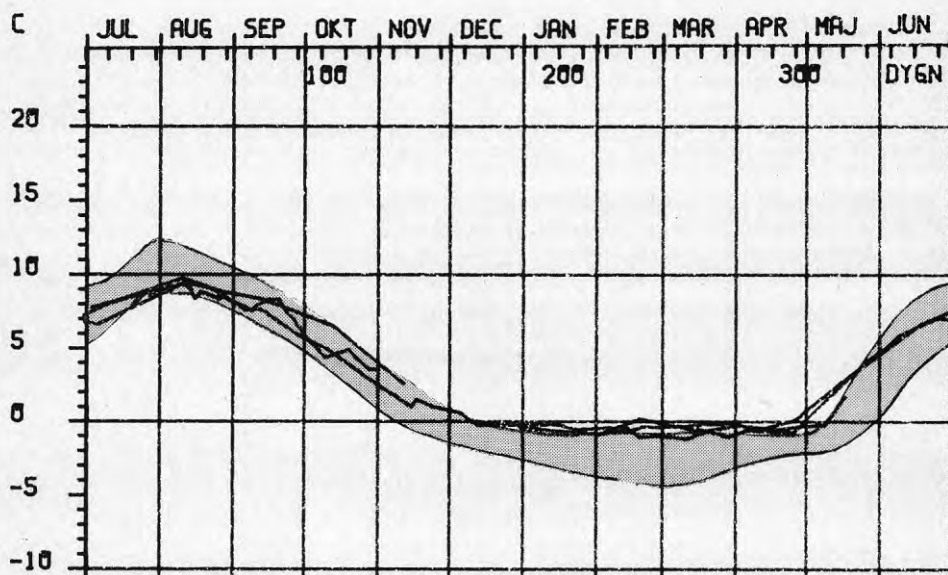
Figur 2.14. Karlstad. Köldbärartemperatur 1980/81 -- 1983/84.  
 Luftmedeltemperatur =  $+ 5,9^{\circ}\text{C}$  Slangdjup = ca 0,9 m.  
 Energiuttag från mark under normalår = ca 45 kWh/m  
 Karaktäristiskt effektuttag vintertid = ca 9 W/m  
 Finsand ; Grundvattennivå ca 3 m under markytan.



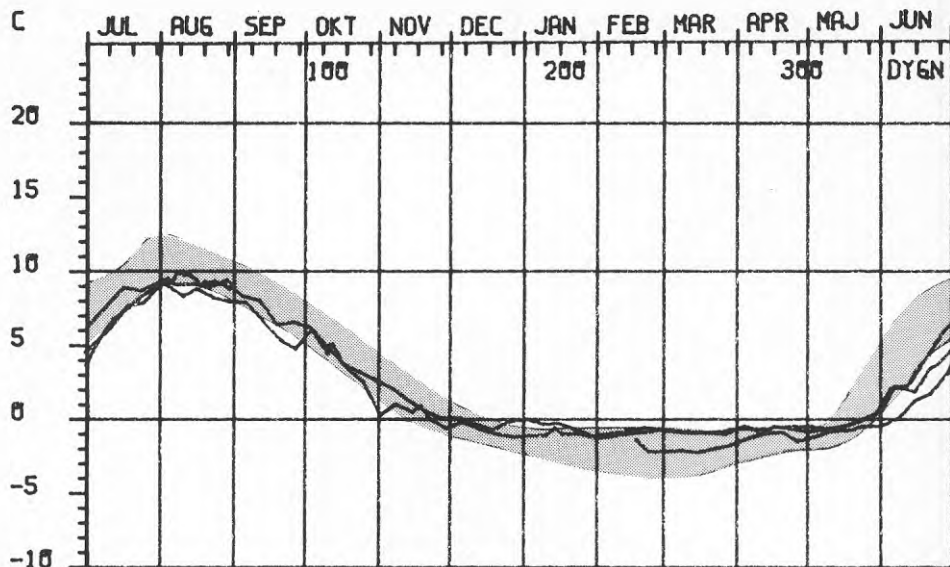
Figur 2.15. Arvika. Köldbärartemperatur 1980/81 -- 1983/84.  
 Luftmedeltemperatur =  $+ 5,6^{\circ}\text{C}$  Slangdjup = ca 0,8 m.  
 Energiuttag från mark under normalår = ca 28 kWh/m  
 Karaktäristiskt effektuttag vintertid = ca 15 W/m.  
 Lerig silt ; Grundvattennivå ca 1 m under markytan.



Figur 2.16. Eda. Köldbärartemperatur 1978/79 -- 1982/83.  
 Luftmedeltemperatur =  $+4,8^{\circ}\text{C}$  Slangdjup = ca 1,0 m  
 Energiuttag från mark under normalår = ca 29 kWh/m  
 Karaktäristiskt effektuttag under normalår = ca 9 W/m  
 Torr mellansand ; Grundvattennivå ca 6 m under markytan.



Figur 2.17. Umeå. Köldbärartemperatur 1980/81 -- 1983/84  
 Luftmedeltemperatur =  $+3,2^{\circ}\text{C}$  Slangdjup = ca 0,9 m  
 Energiuttag från mark under normalår = ca 25 kWh/m  
 Karaktäristiskt effektuttag vintertid = ca 9 W/m  
 Friktionsjord + dytorv ; Grundvattennivå ca 1 m under markytan.



Figur 2.18. Luleå. Köldbärartemperatur 1980/81 -- 1983/84.  
 Luftmedeltemperatur + 2,0°C Slangdjup = ca 1,0 m  
 Energiuttag från mark under normalår = ca 28 kWh/m  
 Karakteristiskt effektuttag vintertid = ca 10 W/m  
 Finsand ; Grundvattennivå ca 1,5 m under markytan.

Edaanläggningen är den som bedöms ha de sämsta markförhållandena ur värmeupptagningssynpunkt. Trots det måttliga såväl energiuttaget som effektuttaget erhåller vi låga köldbärartemperaturer under vintern. Markens låga latent värmeinnehåll återspeglas i den vintertid dåliga utplaningen av köldbärartemperaturkurvan.

Umeåanläggningen är ungefär lika hårt belastad som Edaanläggningen men har klart högre köldbärartemperatur vintertid. Den vattenrika torvjorden och den förmodat hyggliga värmeledande moränrika jorden är nog en stor del av orsaken härtill. Tjälgränsmätningen visar också att det knappast bildas någon tjäle kring slangarna. Köldbärartemperaturens tidiga ökning under våren förbryllar något. Har vi måhända påverkan av strömmande grundvatten?

Luleåanläggningen visar också höga och "utplanade" vintertemperaturer. Förmodligen är, alternativt blir, vattenhalten relativt hög kring slangerna under vintern. Den utplanade delen av köldbärartemperaturkurvan är lång, vilket förmodligen beror på luftens låga årsmedeltemperatur.



## 2.4 Anläggningsvis redovisning

Nedan följer en redovisning i diagramform för merparten av de storheter som mätts. Samma storhet förekommer ibland i två eller flera diagram. Detta är medvetet och ägnat att underlätta bedömningen av samvariationen mellan olika storheter.

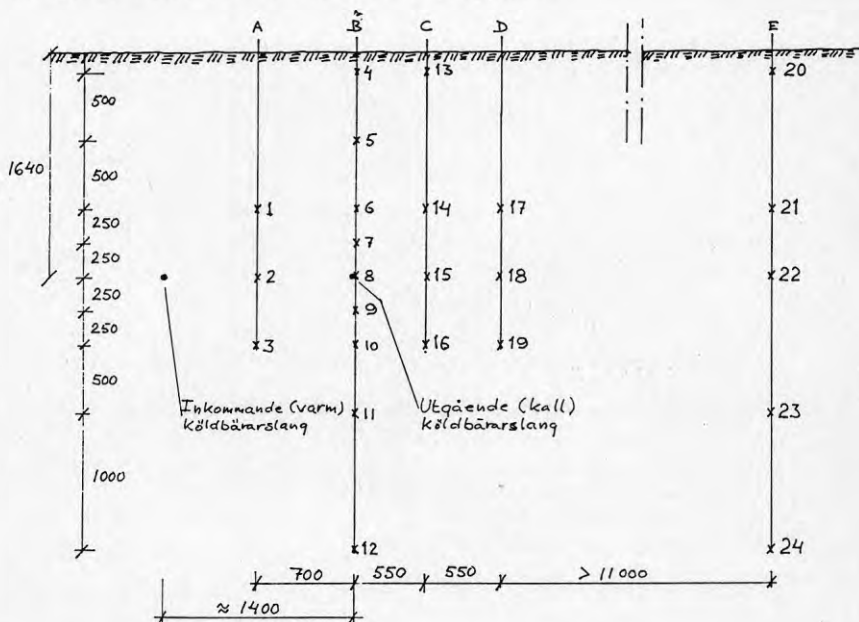
Förutom de diagram som presenteras som figurer i texten finns för anläggningarna Djursholm, Arvika, Eda och Luleå diagram medtagna som bilagor. Dessa diagram redovisar samtliga mätta storheter, som exempelvis radiatortemperatur, gångtider, startantal och värmeuttag. Även för de tre övriga anläggningarna är dessa storheter mätta, insamlade och lagrade men har av tidskäl ej presenterats.

De diagram som presenteras som figurer i det följande redovisar också i form av stolpdiagram maximalt tjäldjup enligt tjälgränsmätaravläsningar. Stolparna är längs tidsaxeln placerade vid tidpunkten för maximalt tjäldjup. Nedåtriktad pil i nederdel av stolpe betyder att tjäle indikerats ner till tjälgränsmätarens nedersta ände och att tjälen förmodligen trängt djupare än så. Horisontell pil bredvid tjälstolpe markerar slangnivån vid tjälgränsmätaren. Tjälgräns vid slang och mellan slangar avser förhållande ungefär mitt på slingan.

### 2.4.1 Kungälvanläggningen

Se figur 2.20 t.o.m. 2.28.

Såsom tidigare har påpekats har avläsning av köldbärartemperaturerna skett först omedelbart efter det att aggregatet stoppat. Marktemperaturen har avlästs då aggregatet varit i drift, företrädesvis under senare delen av driftcykeln.



Figur 2.19. Placering av marktemperaturgivare i Kungälv. Efter Thomas Lindqvist, Chalmers Tekniska Högskola.

För Kungälvsvdiagrammen speciella beteckningar är:

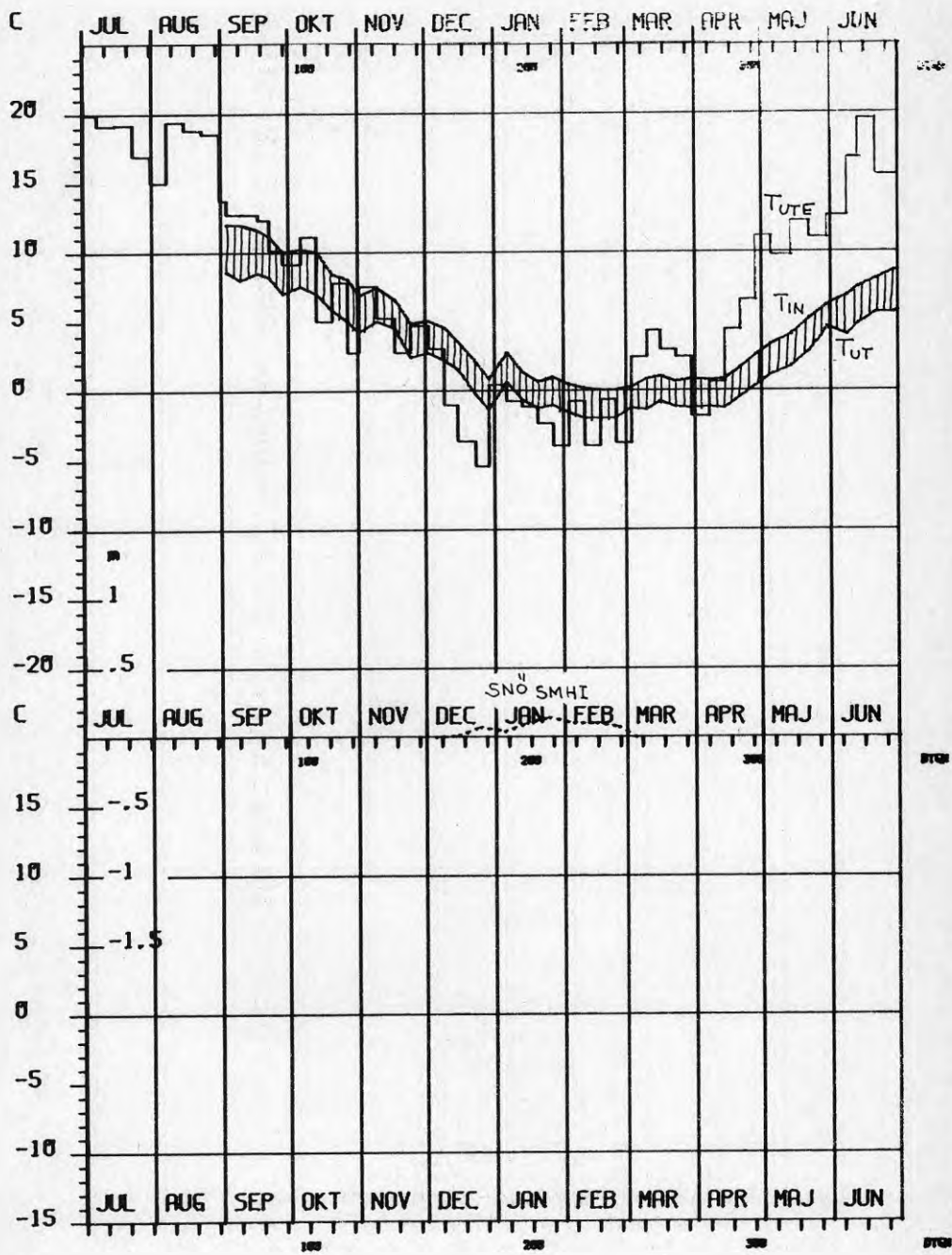
$T_{1,5}$ OVAN	=	Marktemperatur 1,5 m ovan utgående slang. 14 cm under markytan. Givare 4 i figur 2.19.
$T_{0,5}$ OVAN	=	Marktemperatur 0,5 ovan utgående slang. Givare 6 i figur 2.19.
$T_{\text{VID SLANG}}$	=	Marktemperatur strax utanför utgående slang. Givare är placerad i ett mätrör som tangerar slangen med högst några millimeters spel. Själva temperaturgivaren befinner sig ca 1 till 2 cm från köldbärarslangens ytteryta. Givare 8 i figur 2.19.
$T_{1,0}$ UNDER	=	Marktemperatur 1,0 m under utgående slang. Givare 11 i figur 2.19.
$T_{11}$ BREDVID	=	Marktemperatur i slangnivå men mer än 11 m bredvid slang. Givare 22 i figur 2.19. Vid kalibreringen 1981-09-14 fick givaren ett plötsligt renisanstillskott. Vid utvärdering av temperaturerna har hänsyn tagits till detta. Lägre mätkvalité efter detta datum.
$T_{1,1}$ BREDVID	=	Marktemperatur i slangnivå men 1,1 m bredvid utgående slang. Givare 18 i figur 2.19.
$T_{0,55}$ BREDVID	=	Marktemperatur i slangnivå men 0,55 m bredvid utgående slang. Givare 15 i figur 2.19.
$SNÖ_{\text{MEDEL}}$	=	Snödjup beräknat som medelvärdet av snödjupen enligt de två snödjupsmätarna 550 och 551.

Närliggande SMHI-station var Torslanda under 1976/77, härefter Säve.

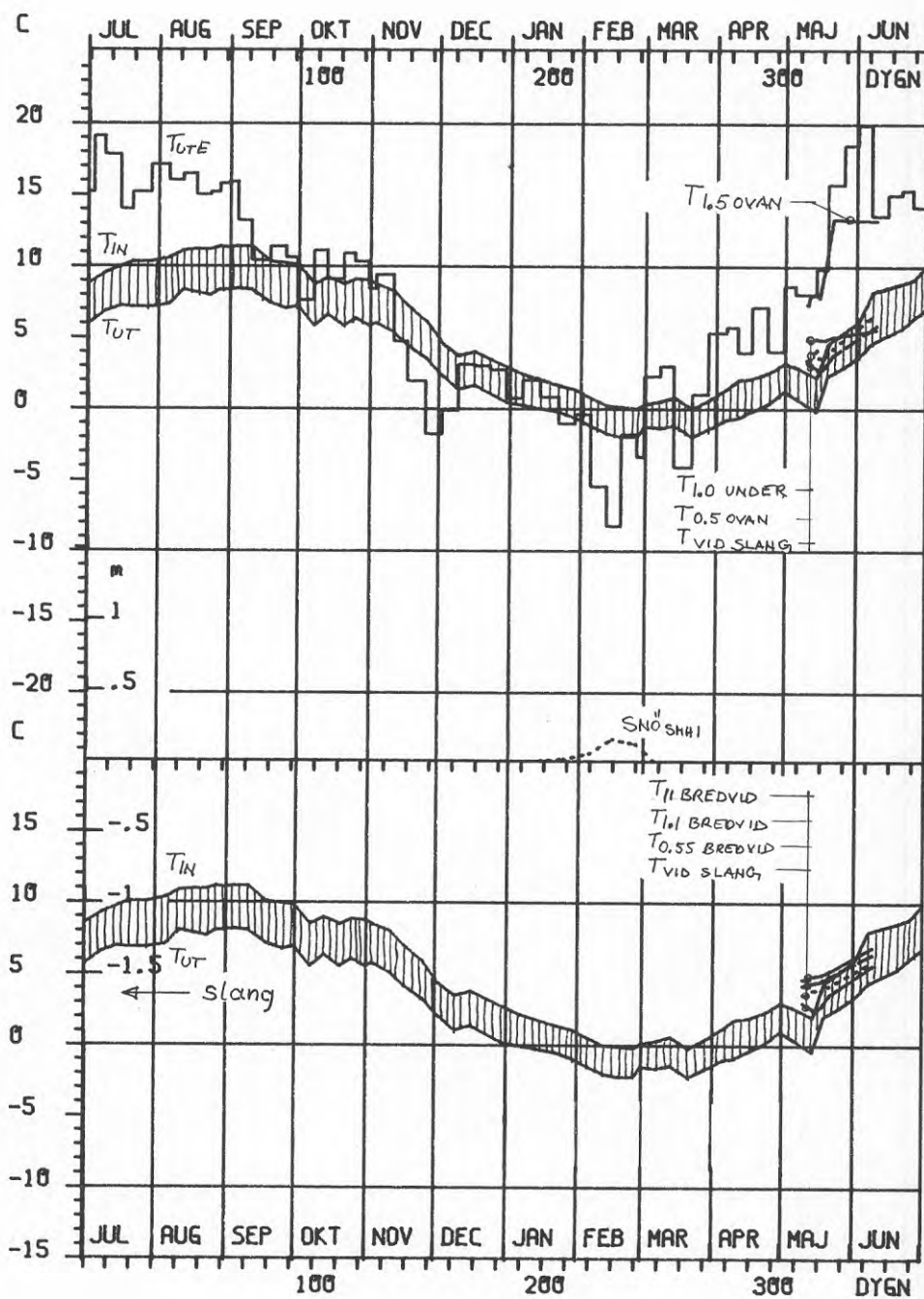
Följande kommentarer kan göras till diagrammen.

Av utplottade marktemperaturer är det endast den vid utgående slang  $T_{\text{VID SLANG}}$ , som underskrider  $0^{\circ}\text{C}$ . Då vi i lera dessutom har en frys punktsnedsättning för det bundna vattnet innebär detta att tjäle endast bildas i den omedelbara närheten av den utgående slangen, kanske några cm ut. Kring inkommande slang har vi förmodligen ingen tjäle alls.

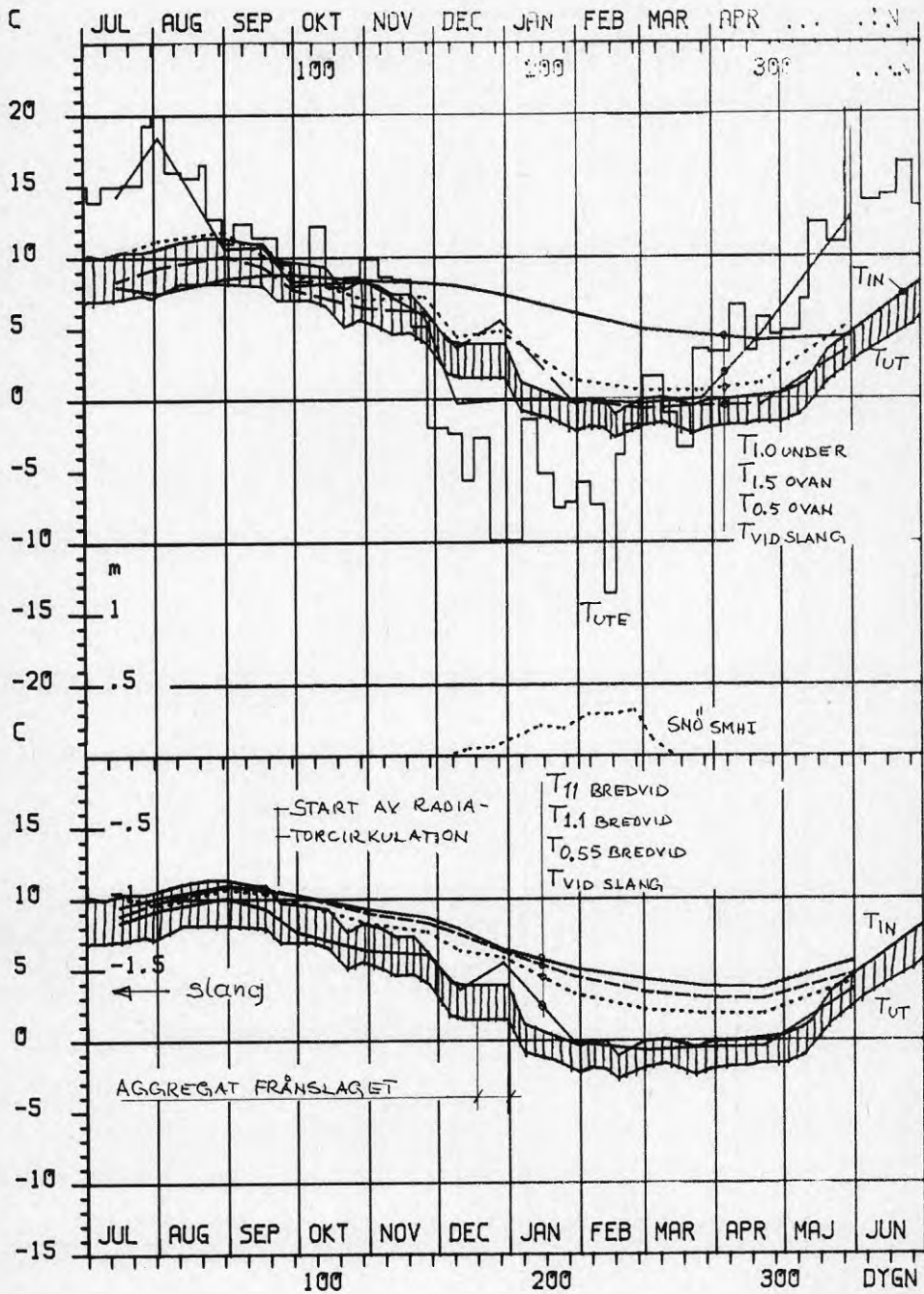
Någon markbar långsiktig avkylning av jorden är inte iakttagbar, i alla fall inte av  $T_{1,0}$  UNDER att döma.



Figur 2.20. Kungälv 1976/77

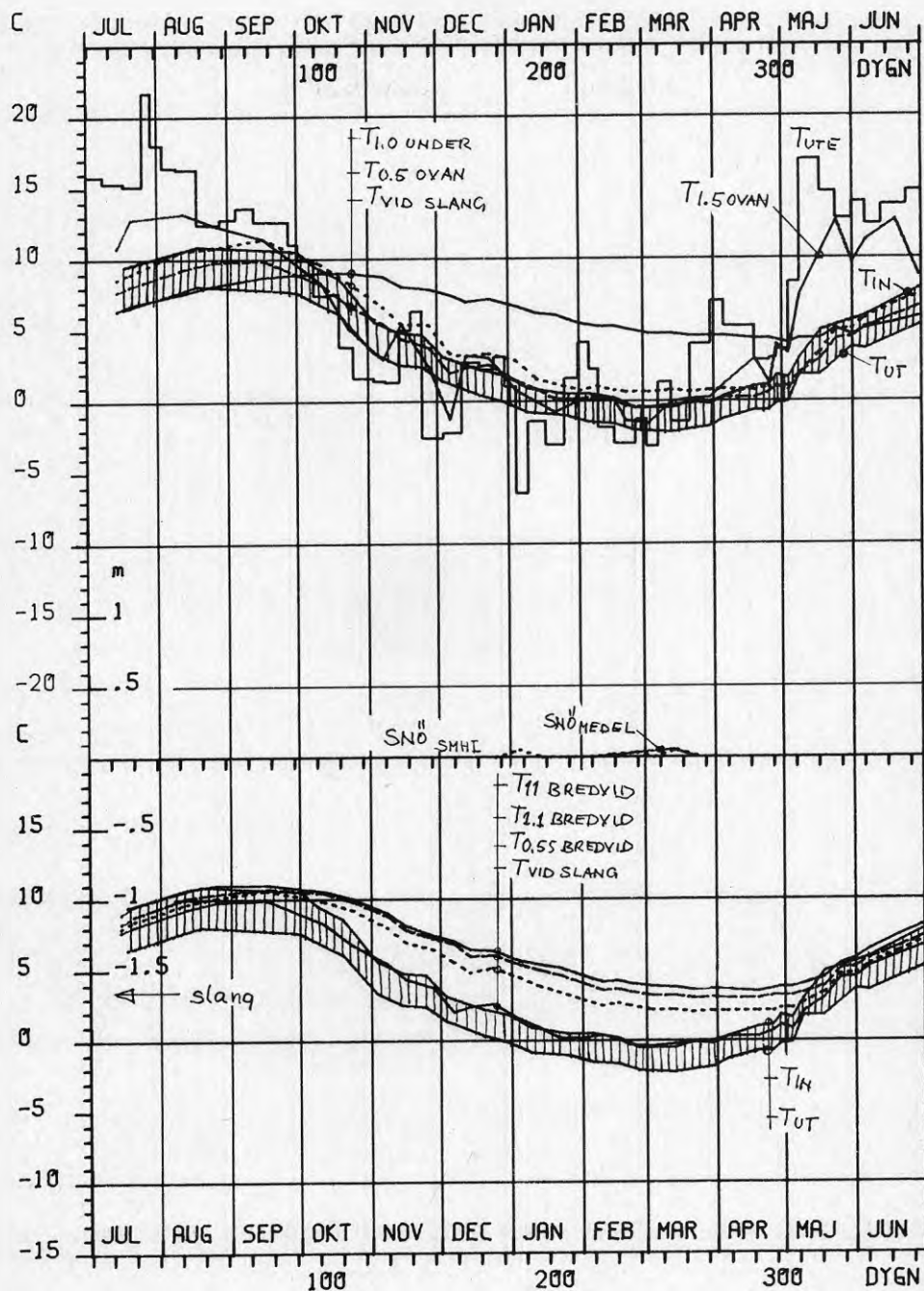


Figur 2.21 Kungälv 1977/78

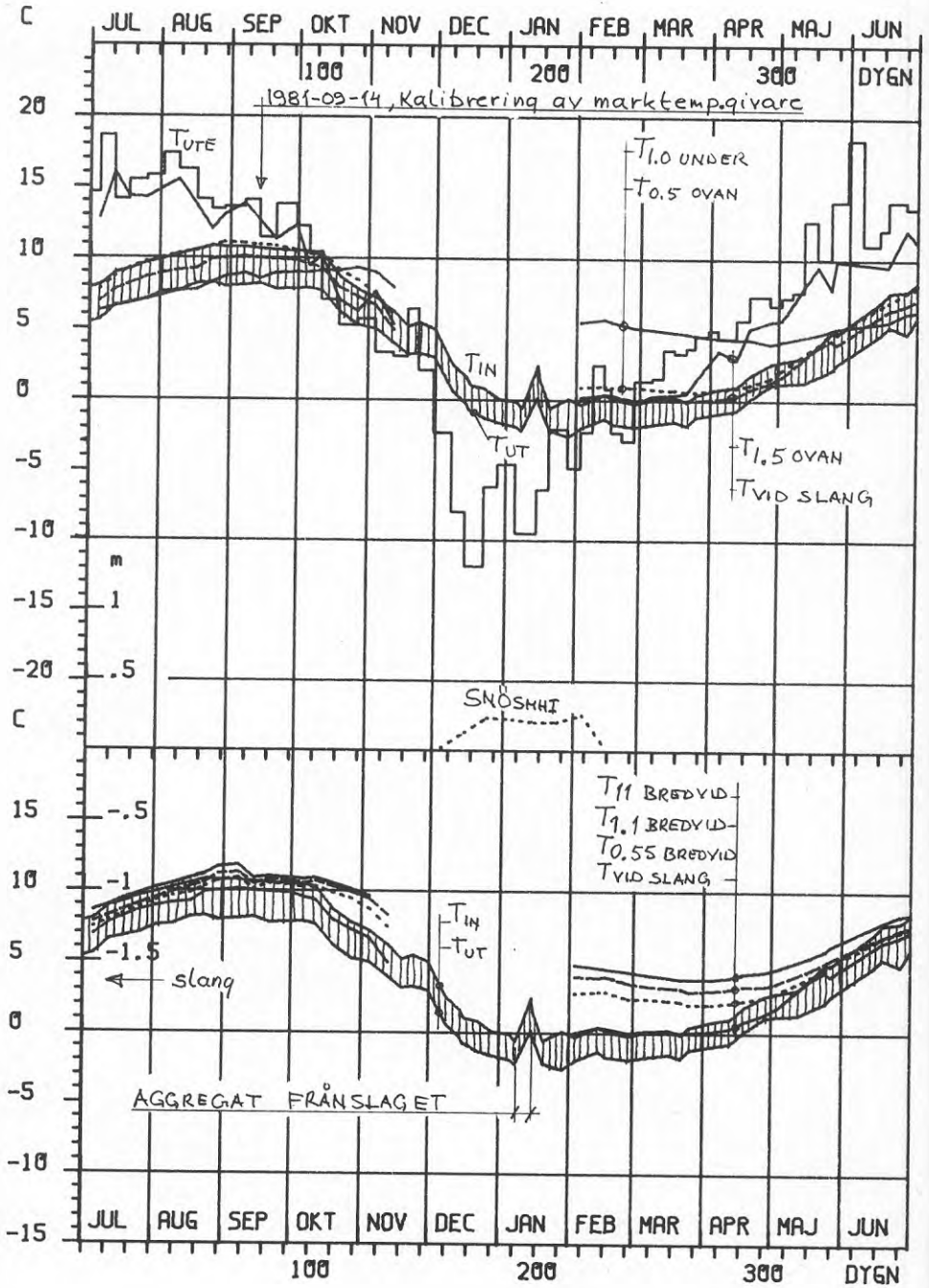


Figur 2.22 Kungälv 1978/79



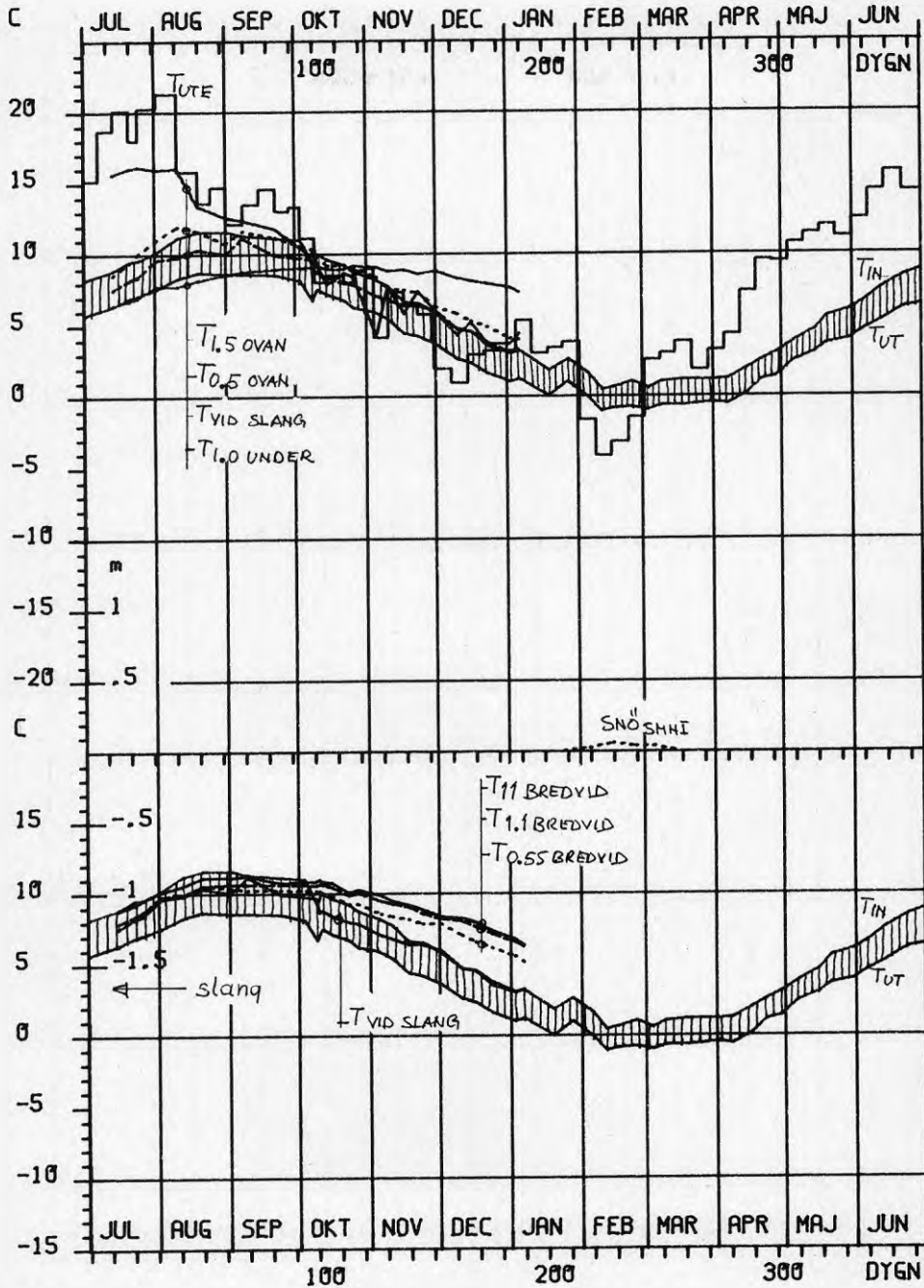


Figur 2.24 Kungälv 1980/81

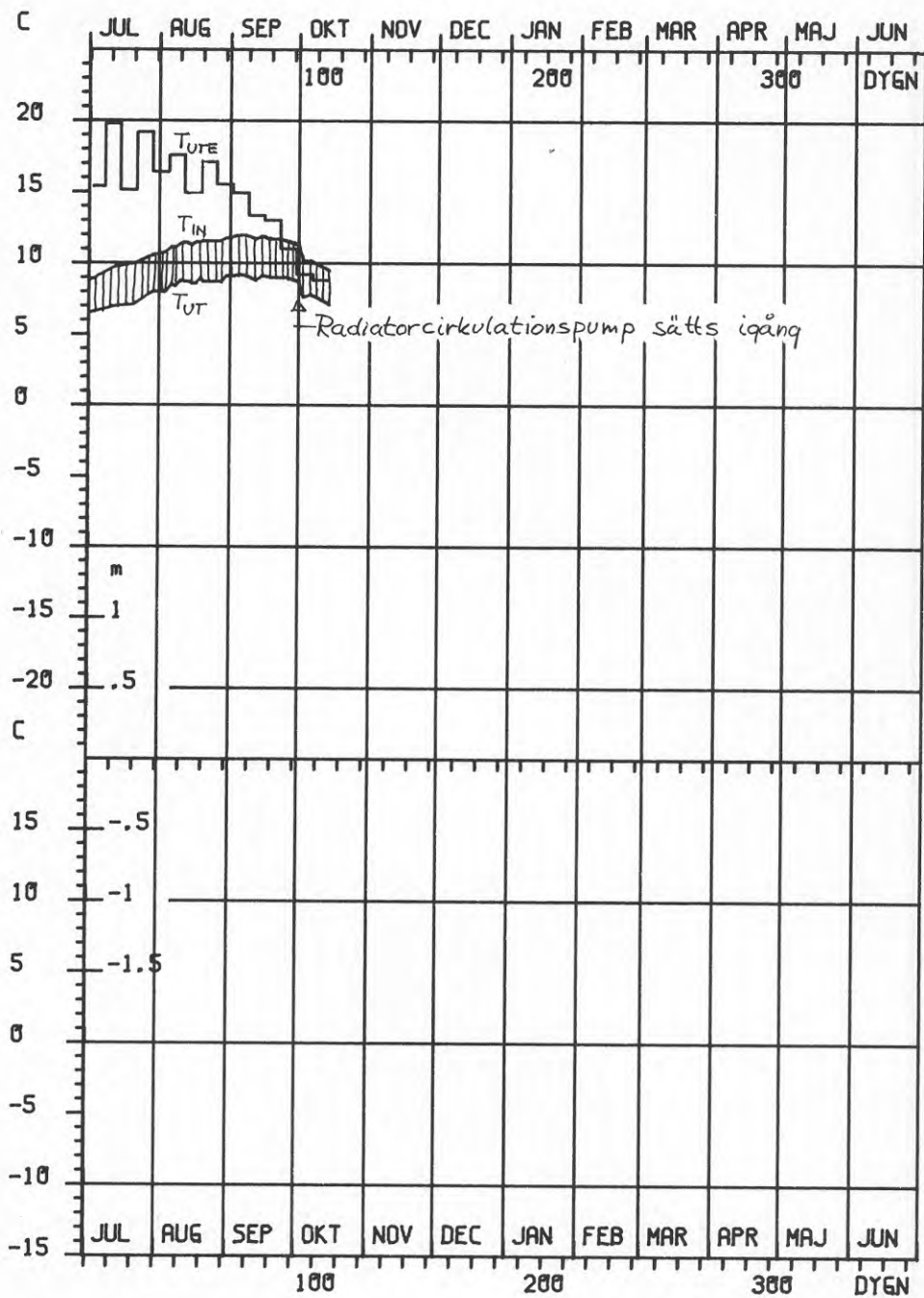


Figur 2.25 Kungälv 1981/82

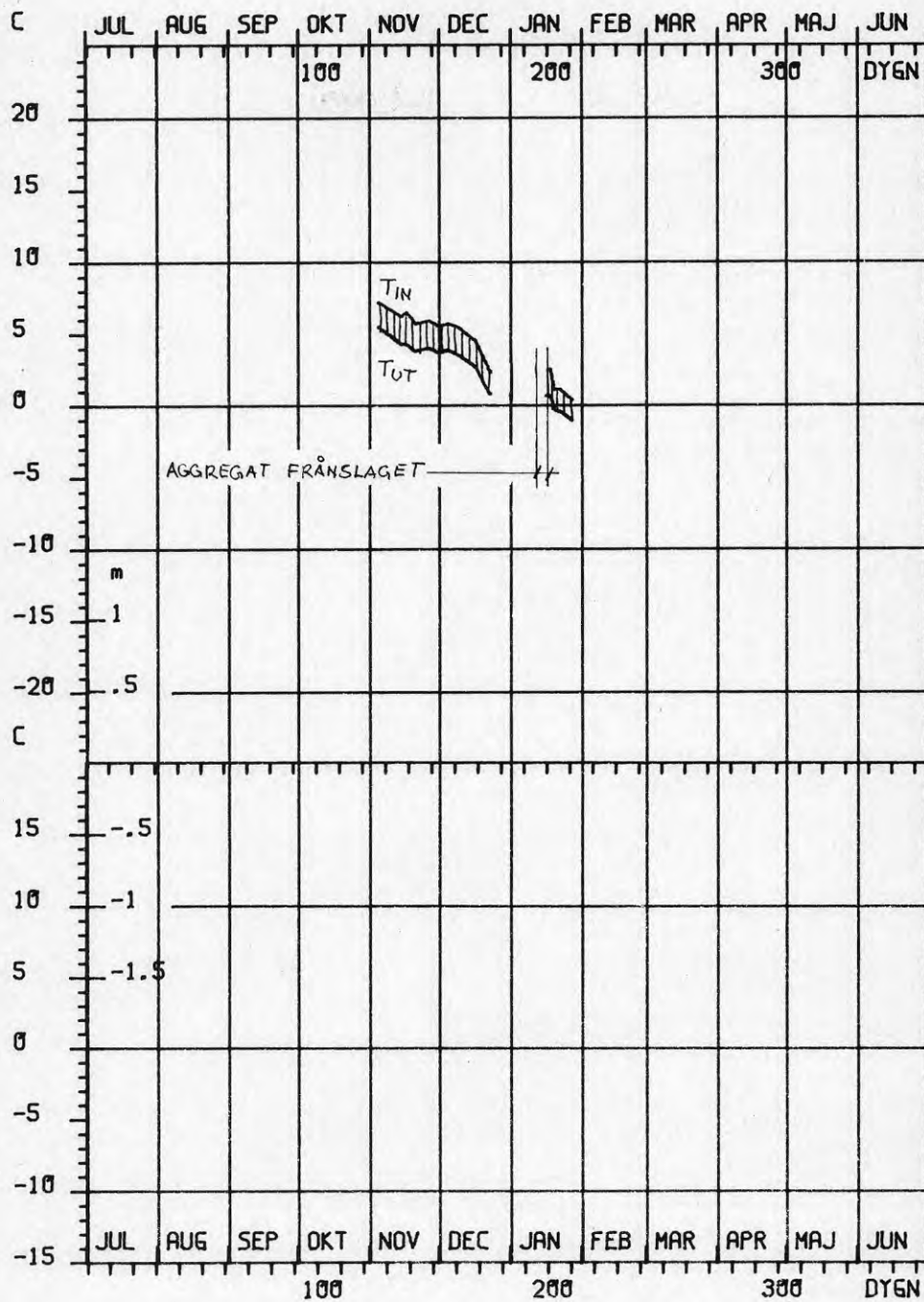




Figur 2.26 Kungälv 1982/83



Figur 2.27 Kungälv 1983/84



Figur 2.28 Kungälv 1986/87

Referenstemperaturen,  $T_{IN}$  BREDVID, är under sommaren periodvis lägre än  $T_{IN}$ . Tänkbara förklaringar är mätfel eller att givaren för referenstemperaturen är placerad på ett svalare ställe än slingan i övrigt. Det senare är kanske fallet då referenstemperaturen är placerad i närheten av ett något skuggande buskage medan slingan i övrigt ligger på öppen åkermark.

Mätdatainsamlingen upphörde under hösten 1983. För denna anläggning har emellertid även några enstaka observationer av köldbärartemperaturen skett under hösten 1986/1987, se figur 2.28, vilket är drygt 10 år efter det att mätdata började insamlas.

Som framgår av figur 2.20 t.o.m 2.28 kan vi knappast påstå att köldbärartemperaturen blivit lägre under denna 10-årsperiod. Nämnas bör då också att husets isolering bättrades någon sommaren 1986 samt att november och början av december 1986 var en ovanligt varm period medan det därefter blev extremt kallt.

Parentetiskt kan också nämnas att det allmänt iakttagna sambandet att kalla vintrar normalt har mycket snö och omvänt mildra vintrar har lite snö, tycks hålla streck under de undersökta åren. Se exempelvis de kalla vintrarna 1978/79, 1979/80 och 1981/82, vilka alla har mycket snö medan de milda vintrarna 1980/81 och 1982/83 båda har lite snö.

#### 2.4.2 Djursholmanläggningen

Se figur 2.29 t.o.m. 2.35 samt bilagorna 2.8 t.o.m. 2.61.

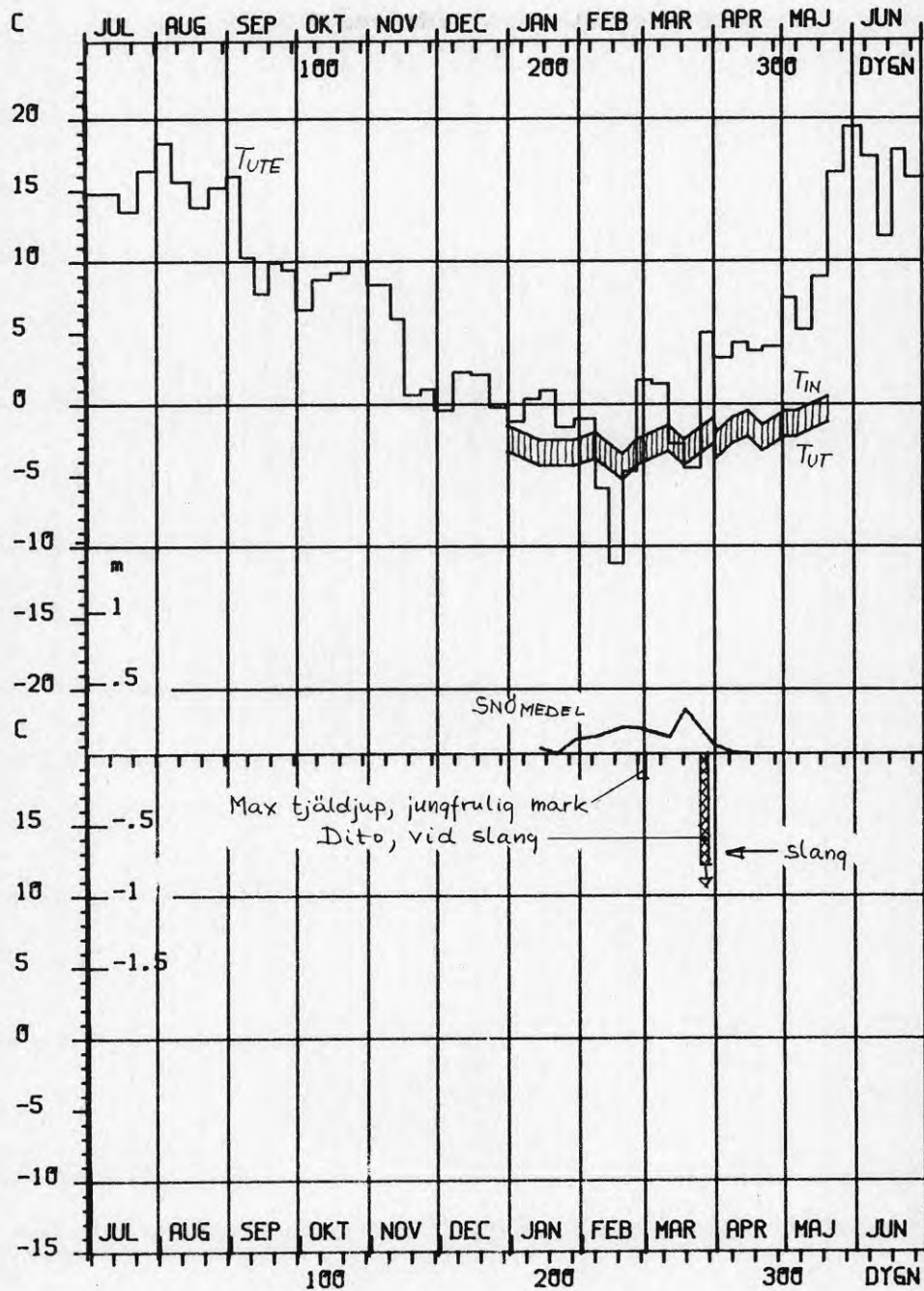
Förutom de kommentarer som gjorts under avsnitt 2.3 kan följande nämnas.

Tjälldjup för jungfrulig mark i figurerna 2.29 t.o.m. 2.35 avser medelvärde enligt tjälgränsmätare 703 och 706.

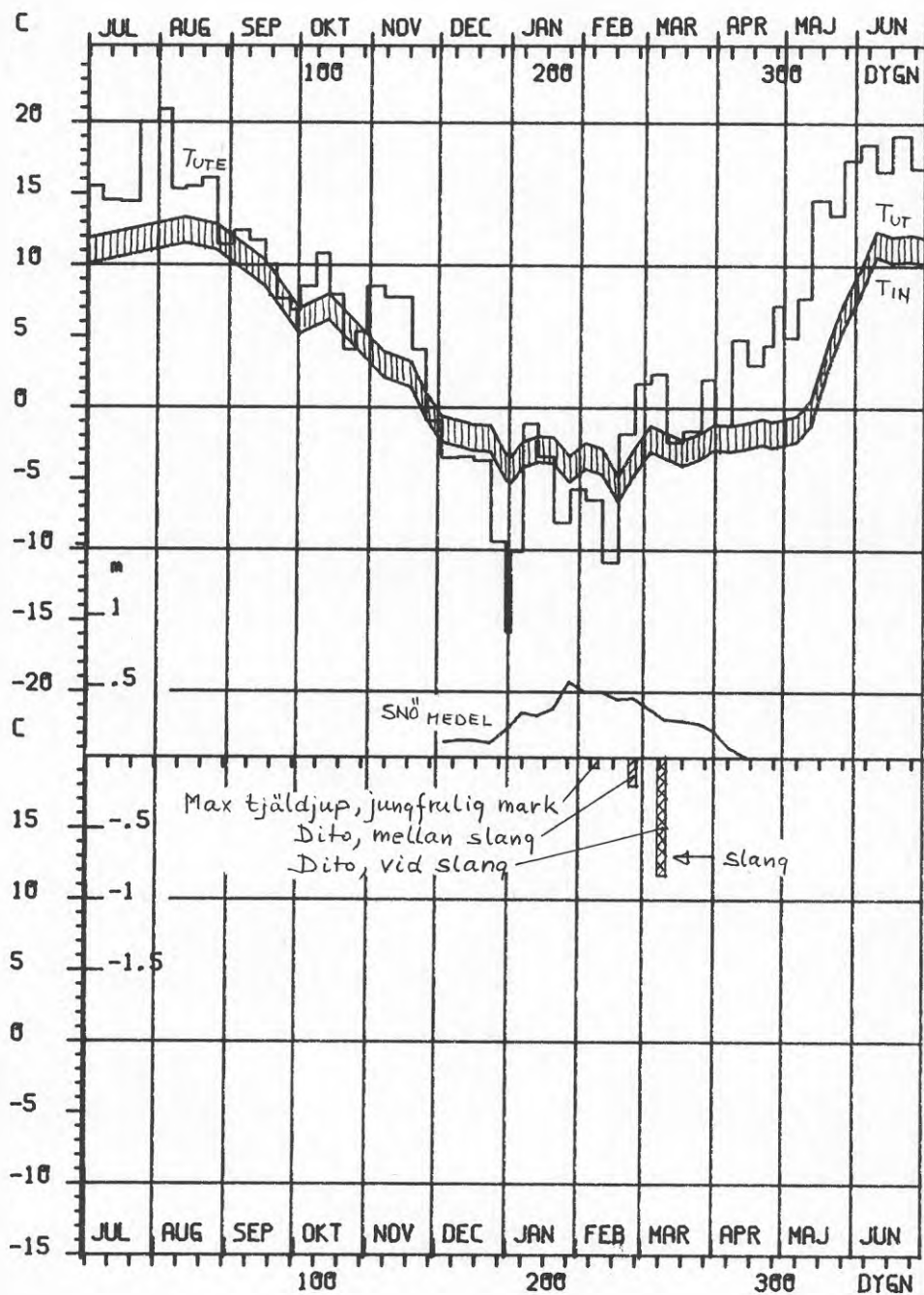
Vintern 1979/80 förefaller ha varit de besvärligaste ur värmeuttagssynpunkt. Det var en kall vinter, och då även under mars, med lite snö, vilket har medfört stora tjälldjup och låga köldbärartemperaturer. Se figur 2.31. Den likaledes kalla vintern 1981/82 har resulterat i mindre maximala tjälldjup och högre köldbärartemperatur, vilket förmodligen får tillskrivas det djupare snötäcket och att kylan släppt vid den kritiska perioden i början av mars.

Vid tjälsäsongens början sker tjälning relativt symmetriskt kring slangen medan vid tjälsäsongens slut tjälen håller sig kvar längst under slangen. Detta illustreras av tjälgränsmätardiagrammen, speciellt av mätare 702 i bilaga 2.45 samt av figur 2.36.

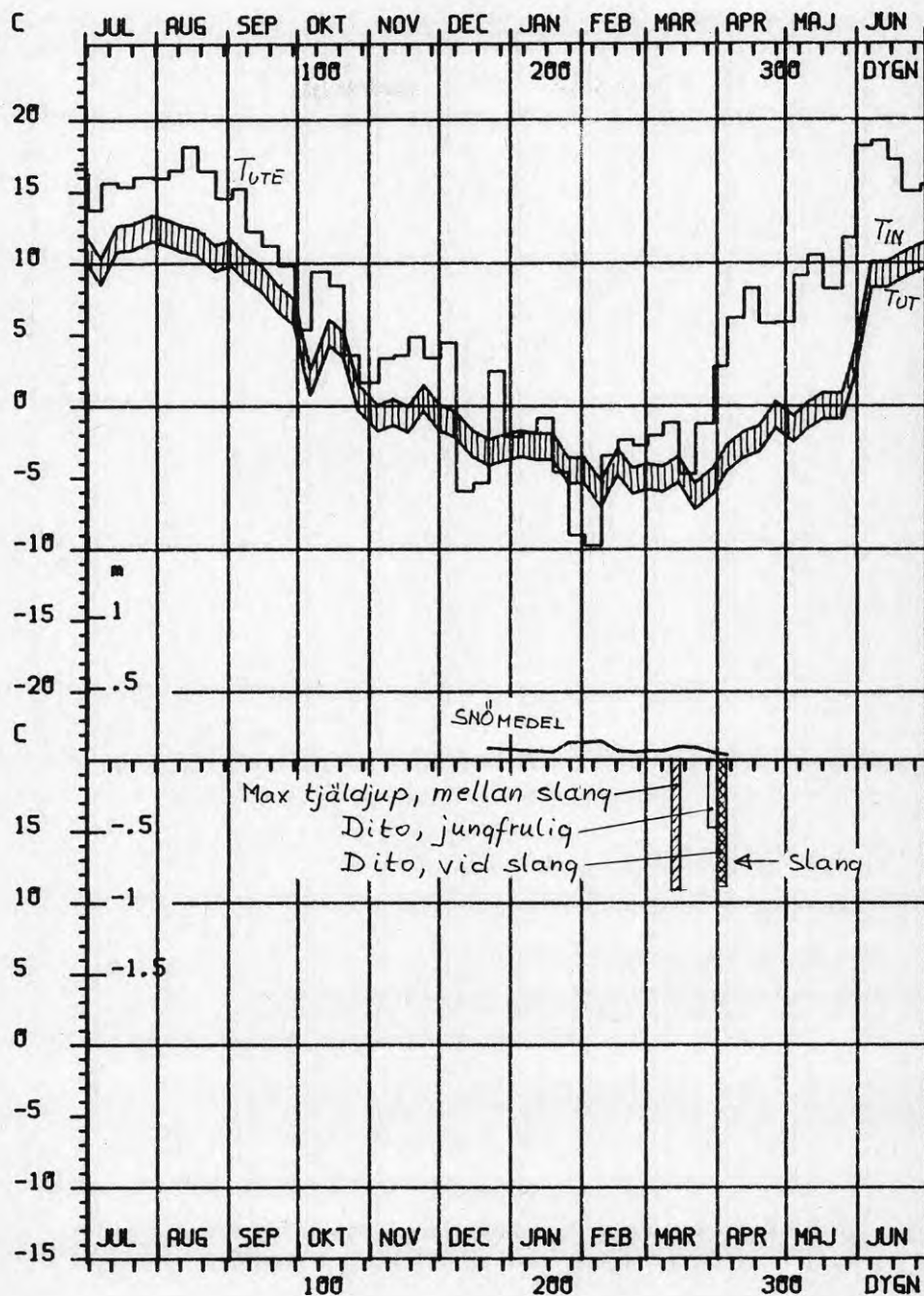
Lägg märke till den stora skillnaden i markeffektuttag under drift, bilaga 2.25. I början av augusti är effektuttaget mer än dubbelt så högt som det är under februari. Även volymflödet hos köldbärarvätskan varierar under året, mellan ca 50 l/min under januari - februari, då viskositeten är som högst, till ca 57 l/min under augusti. Se bilaga 2.32 att markeffektuttag och köldbärarflöde varierar under året är självfallet inget unikt för Djursholmanläggningen utan ungefär lika stor variation råder vid övriga anläggningar.



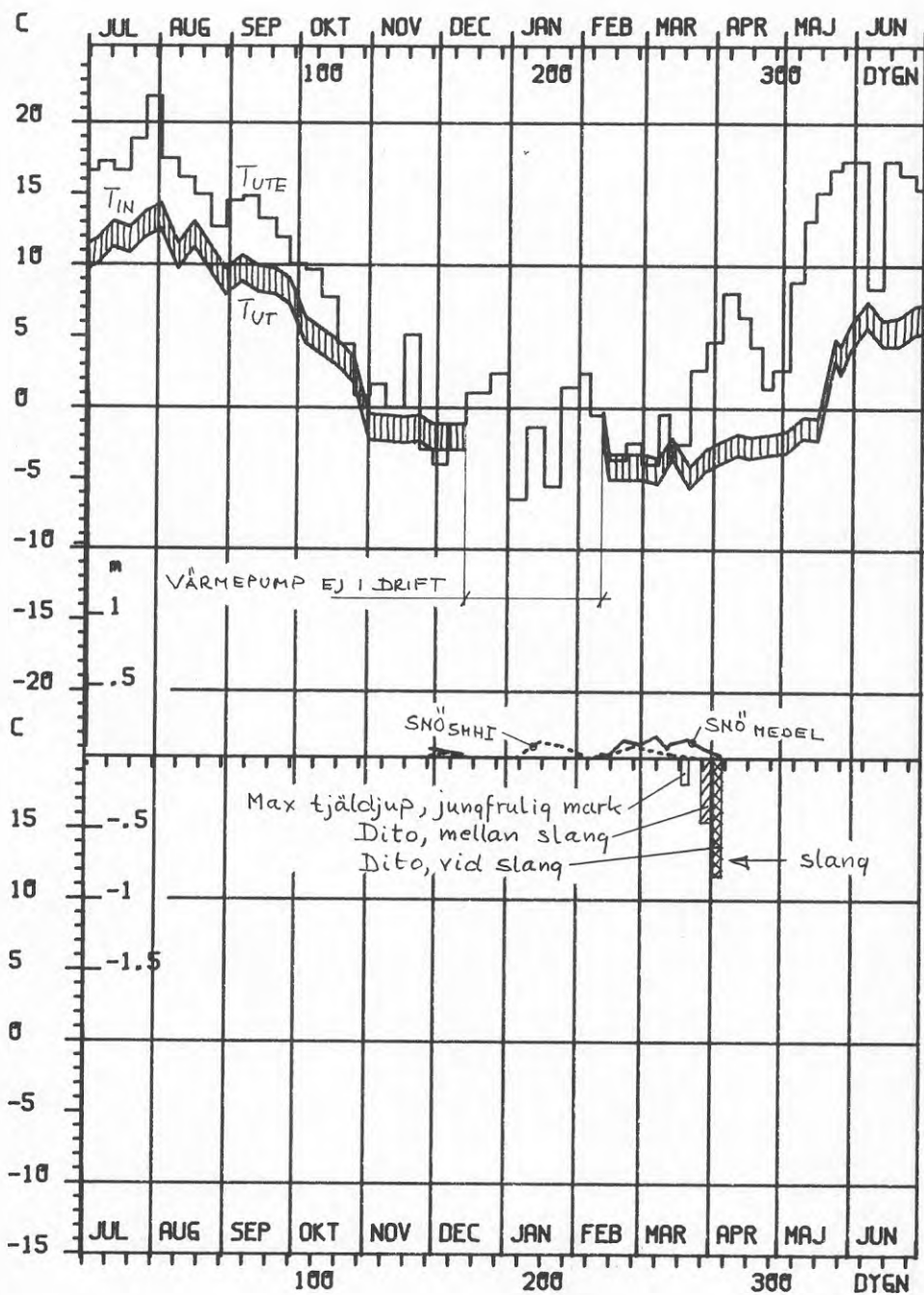
Figur 2.29 Djursholm 1977/78



Figur 2.30 Djursholm 1978/79

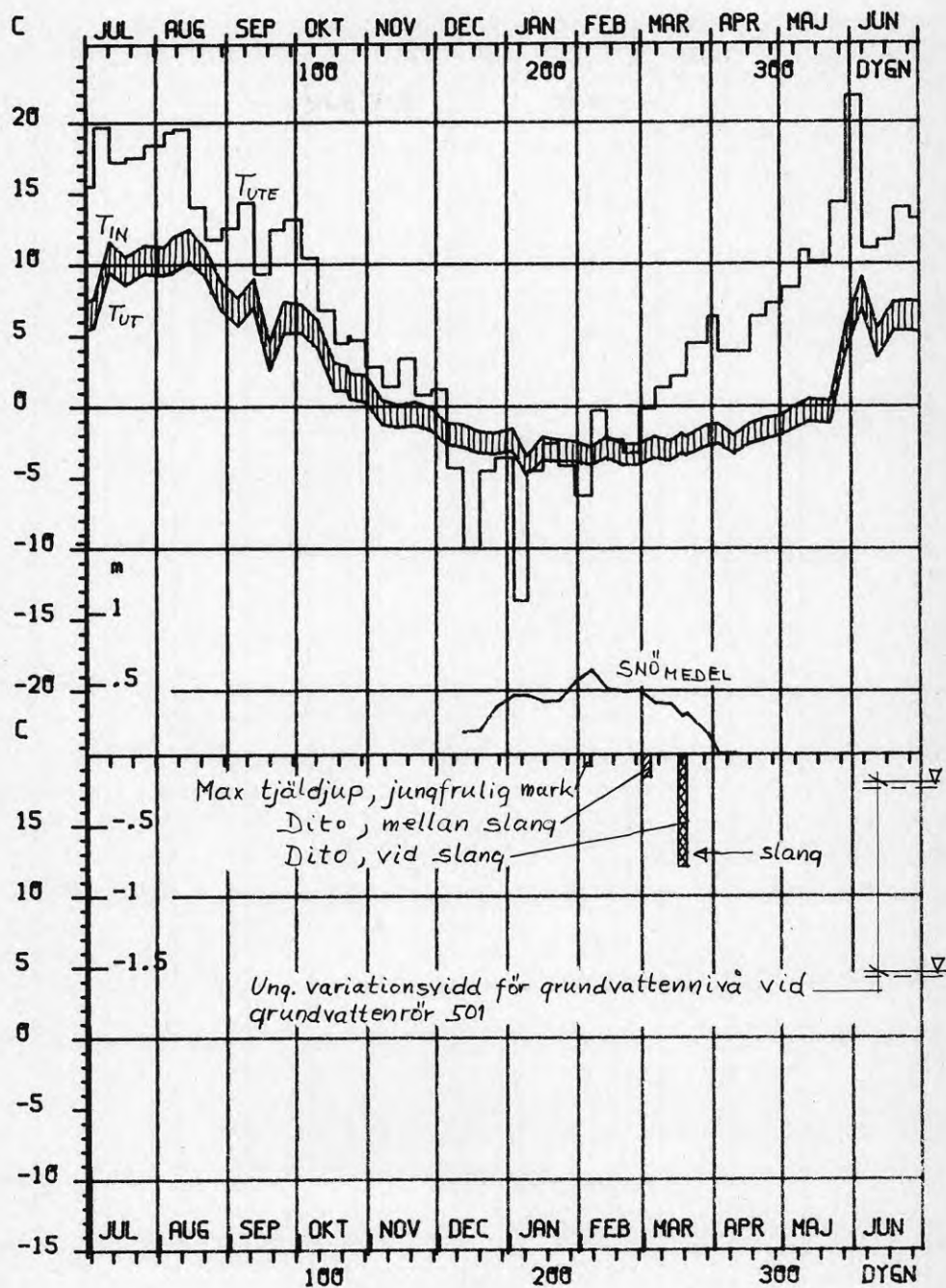


Figur 2.31 Djursholm 1979/80

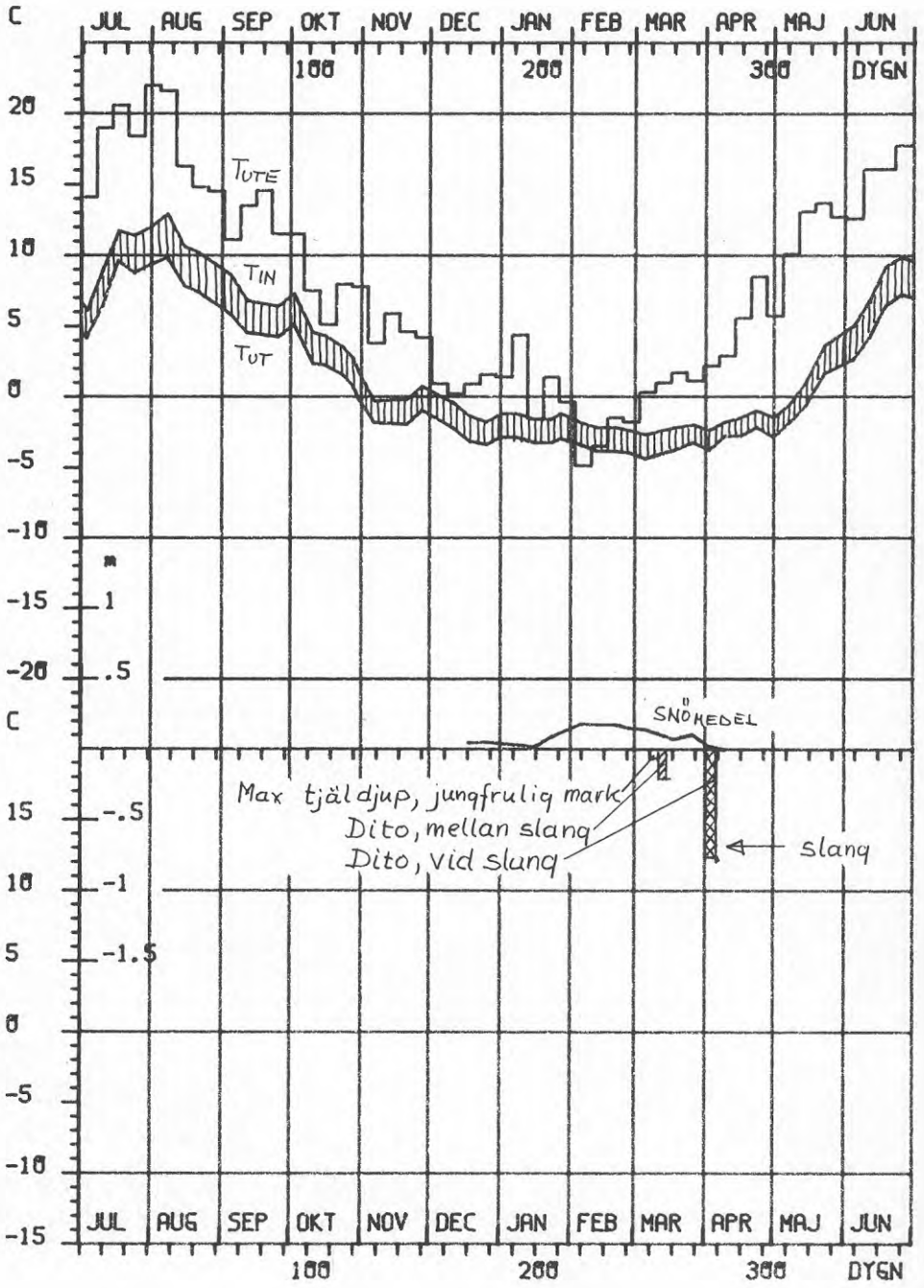


Figur 2.32 Djursholm 1980/81

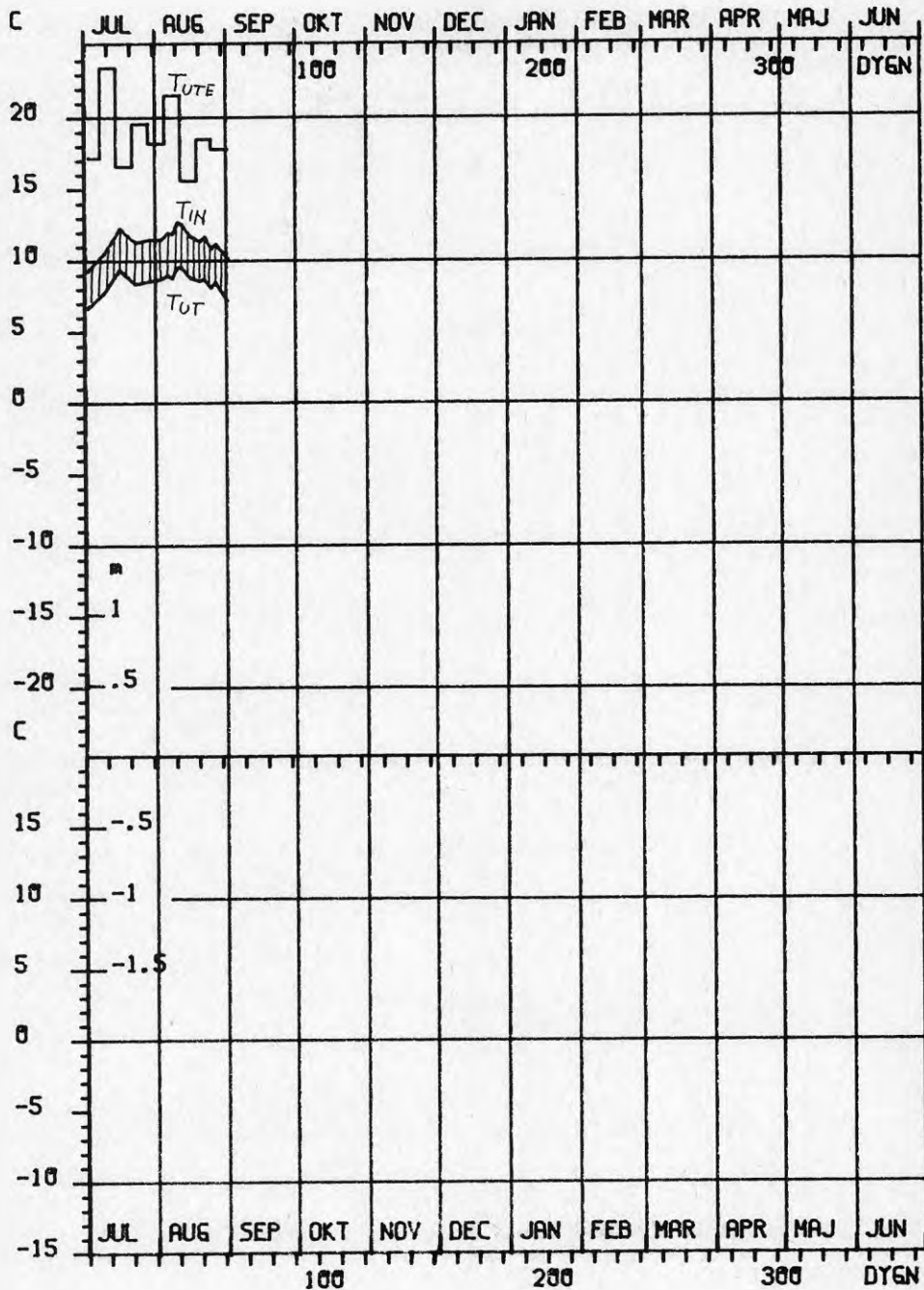




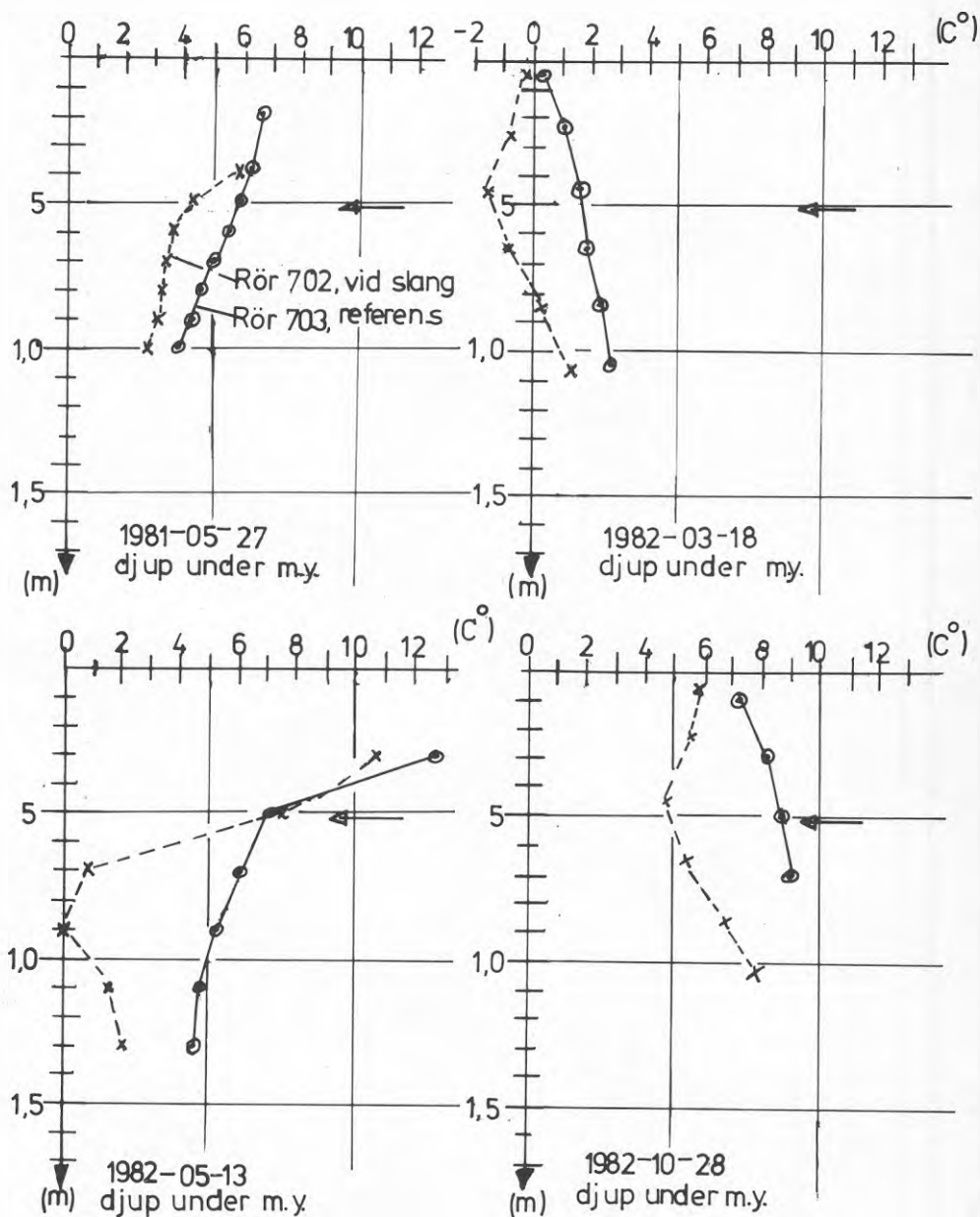
Figur 2.33 Djursholm 1981/82



Figur 2.34 Djursholm 1982/83



Figur 2.35 Djursholm 1983/84

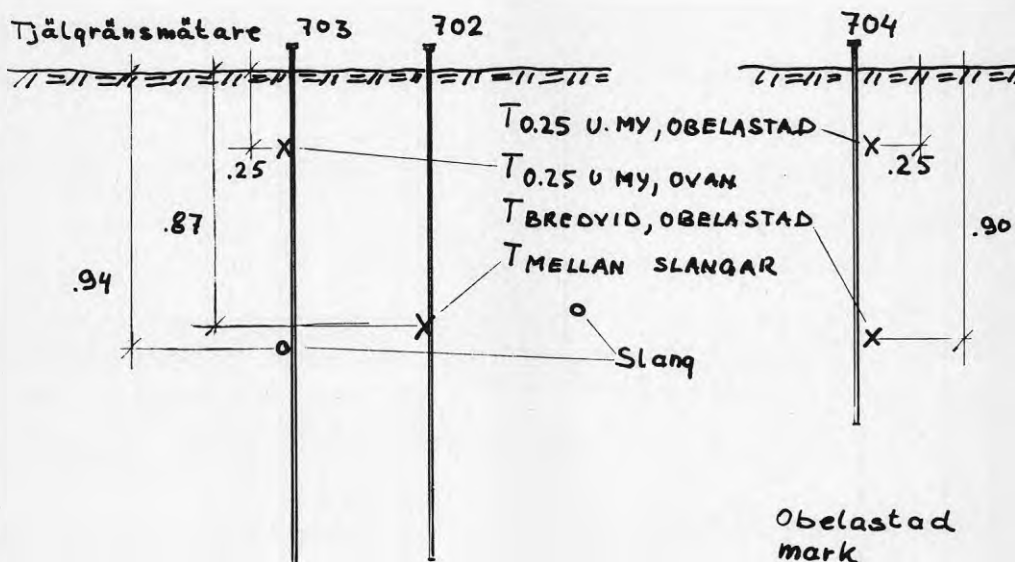


Figur 2.36 Djursholm. Temperaturmätning i tjälgränsmätarrör. Pil markerar slangnivå.

Att kurvan för grundvattennivåernas plushöjd är tillplattade nertill beror på att nivån understigit rörspetsnivån, se exempelvis bilaga 2.42. Grundvattenrören kunde inte drivas ner särskilt långt p.g.a. det ringa djupet till friktionsjord/berg.

#### 2.4.3 Karlstadanläggningen

Som tidigare nämnts har anläggningen genom Älvkullegymnasiets försorg varit försedd med temperaturgivare i mark, se figur 2.37.

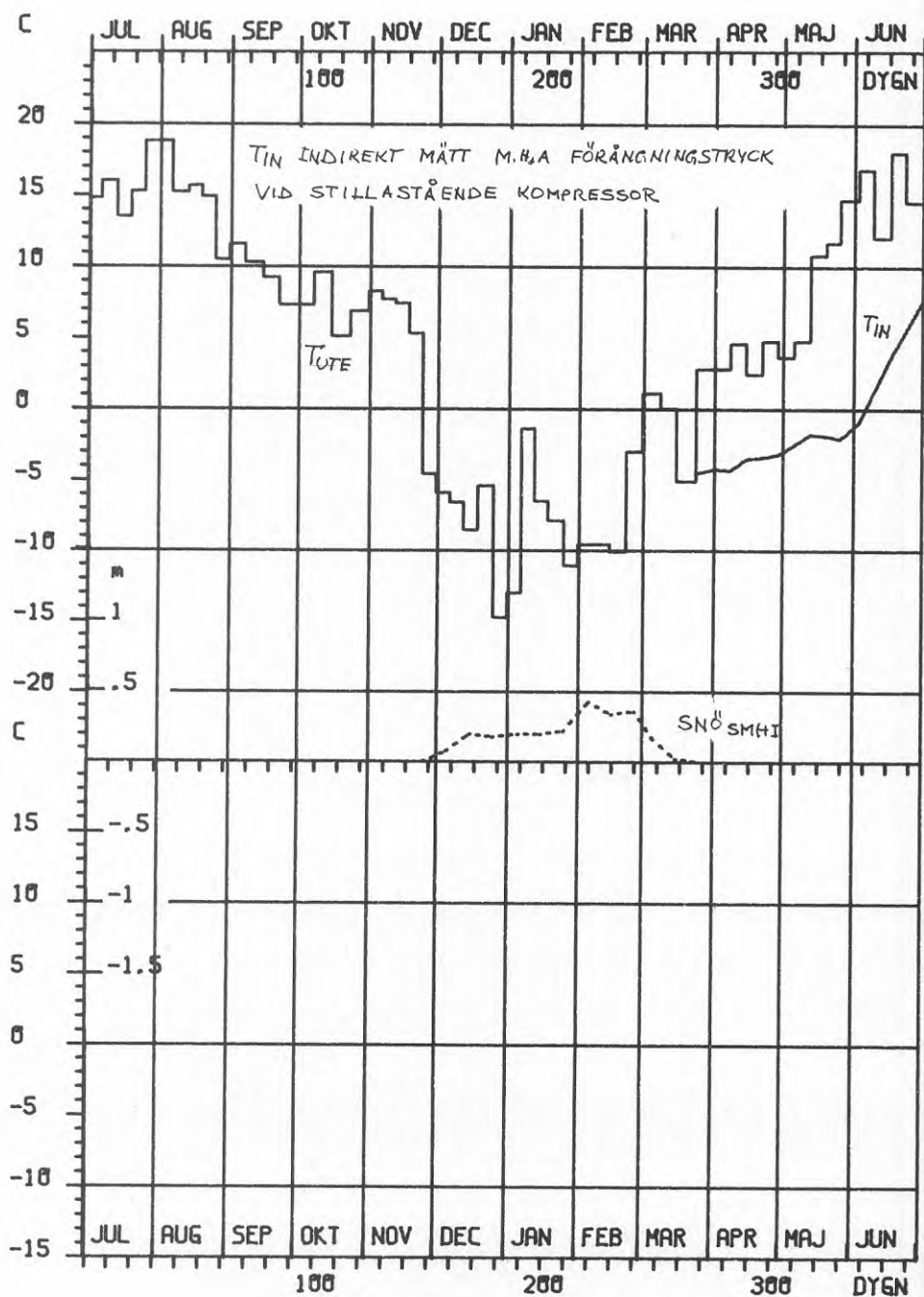


Figur 2.37 Placering av temperaturgivare för redovisade temperaturer.

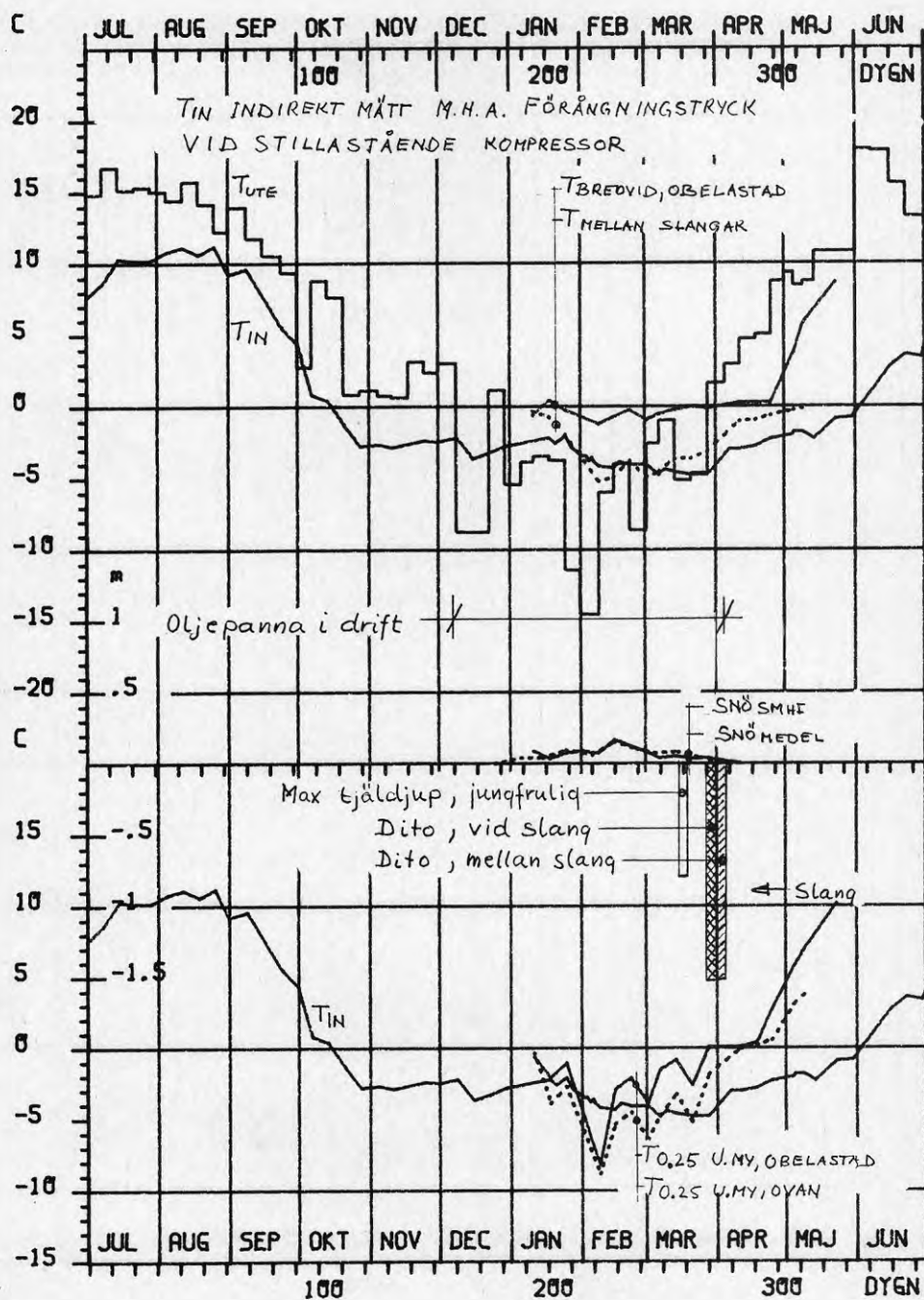
Mätdata redovisas i figurerna 2.38 t.o.m. 2.43.

Inkommande köldbärartemperatur,  $T_{\text{IN}}$  har fram till och med 1981-02-01 avlästs indirekt genom mätning av förångningstrycket vid stillastående kompressor. Efter detta datum har såväl inkommande som utgående köldbärartemperatur avlästs med instickstermometer av precisionsutförande.

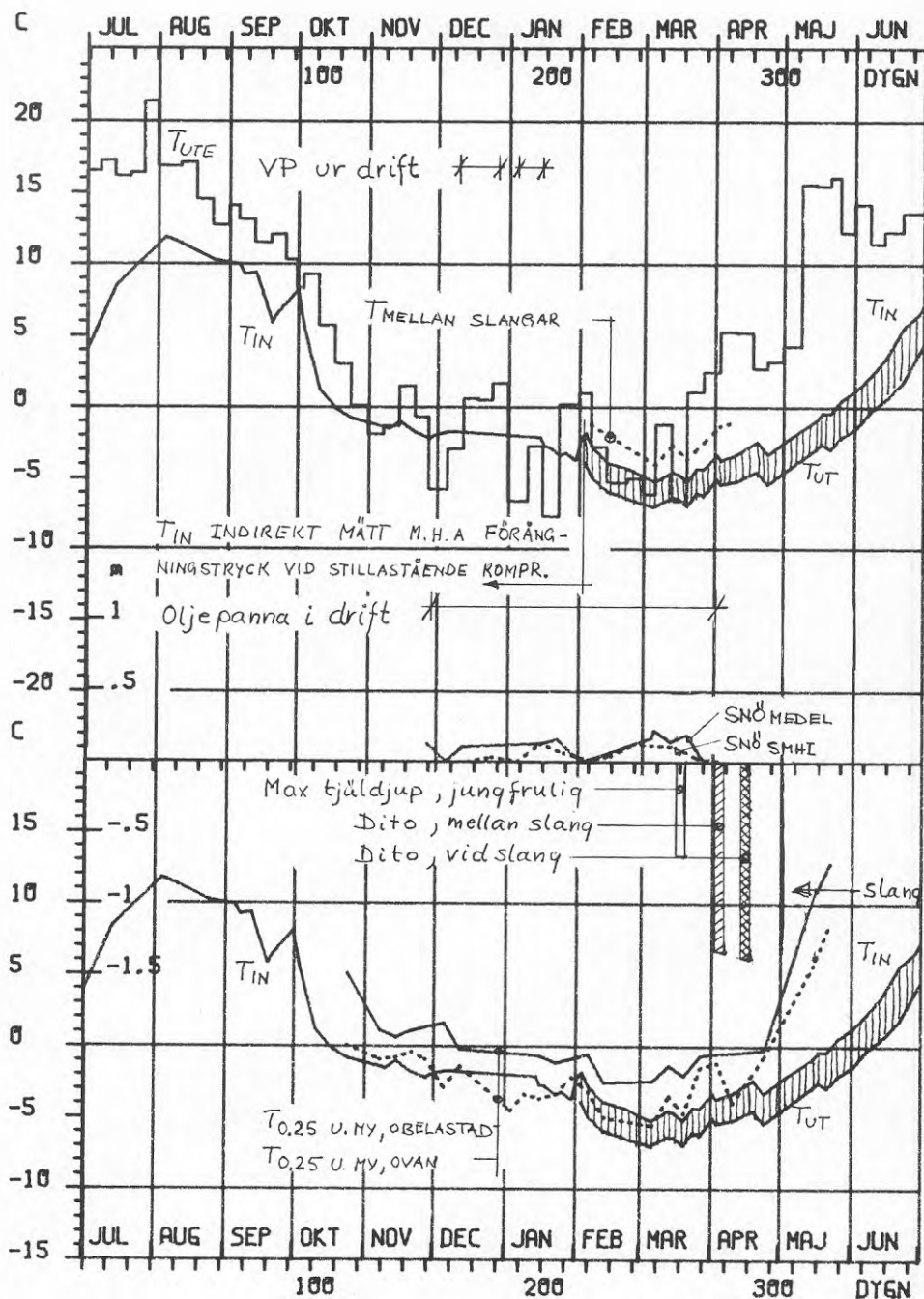
Temperaturgivarena i obelastad mark är placerade bredvid tjälgränsmätare nr 704, vilken är placerad under ett stort



Figur 2.38. Karlstad 1978/79

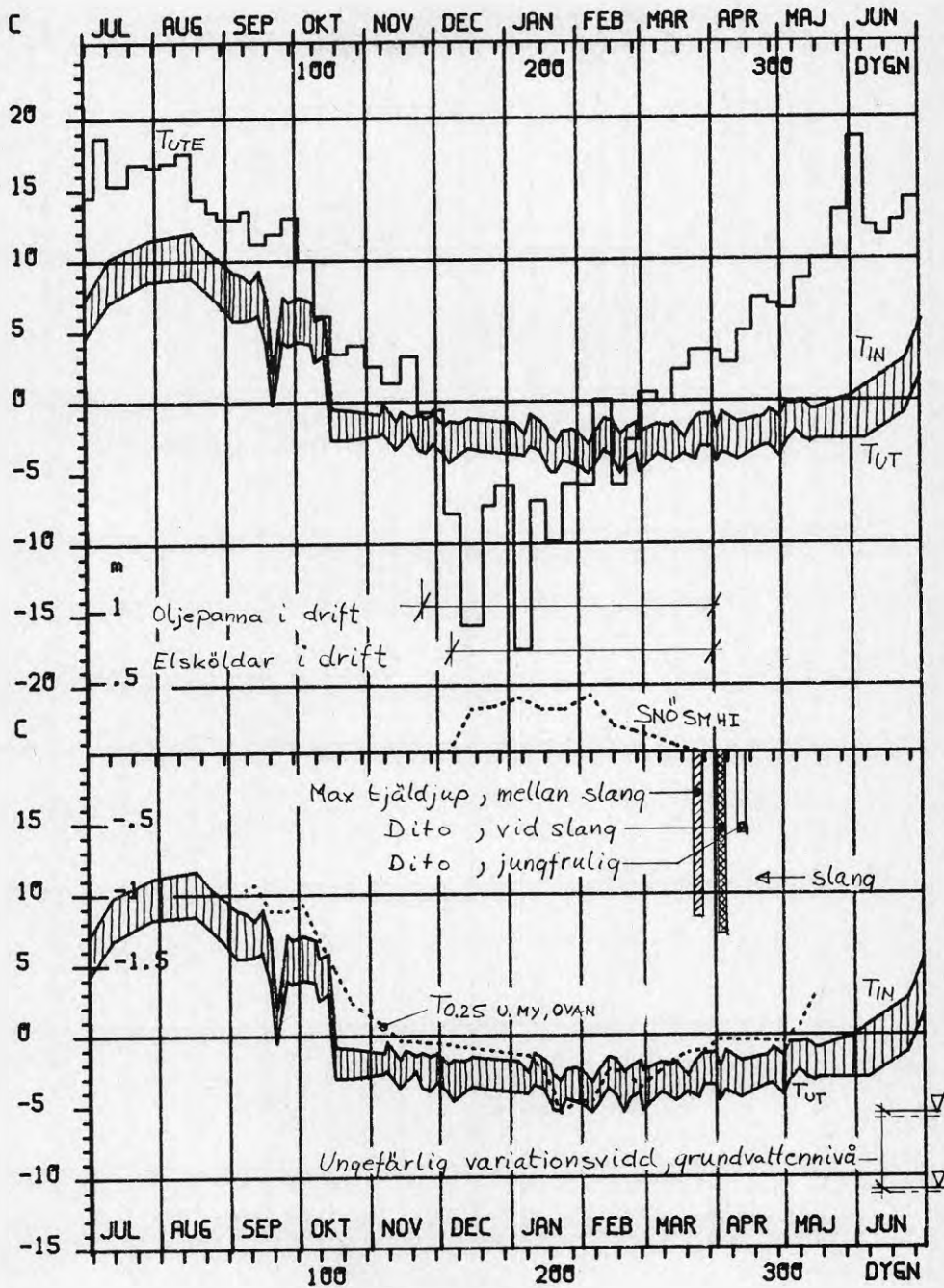


Figur 2.39 . Karlstad 1979/80

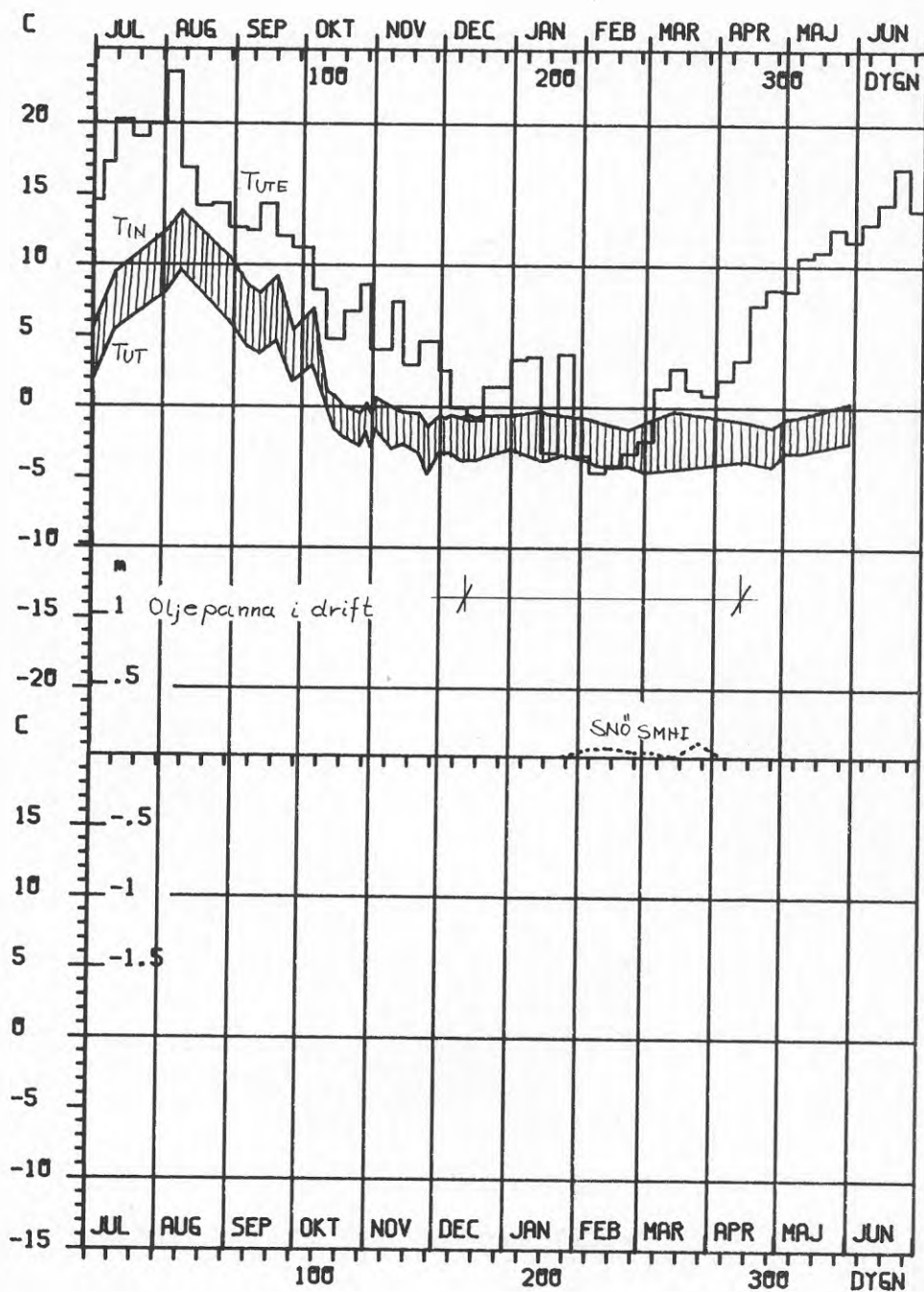


Figur 2.40. Karlstad 1980/81

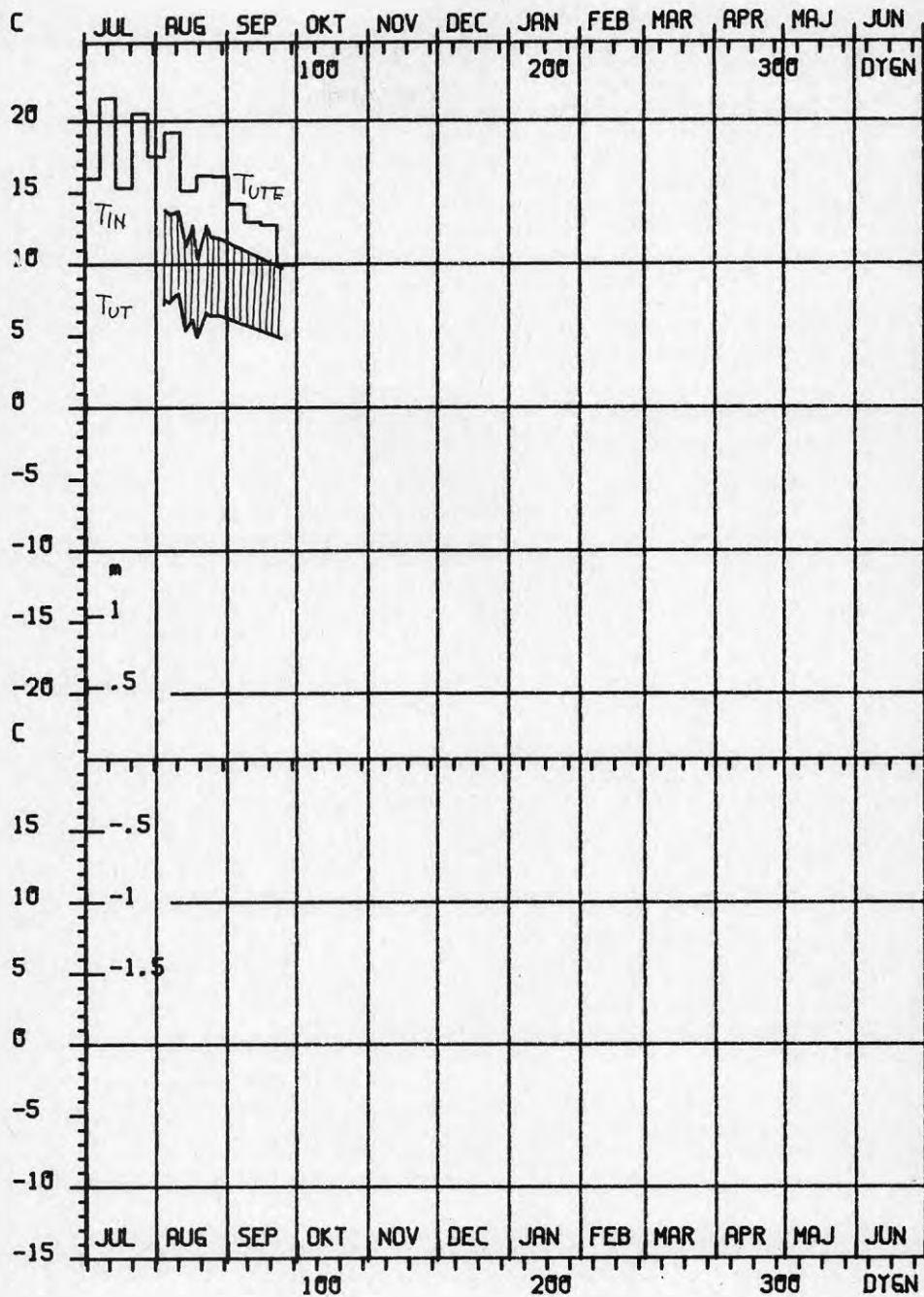




Figur 2.41. Karlstad 1981/82



Figur 2.42. Karlstad 1982/83



Figur 2.43. Karlstad 1983/84

fruktträd. Då ytan för slangkollektorn i stort är fri från träd är tjälgränsmätare 704 och intilliggande temperaturgivares placering ej bra, dock den ende som stod till buds.

I månadsskiftet januari-februari 1981 visar köldbärartemperaturkurvan en uppåtgående knyck. Orsaken till denna är emellertid inte skiftet av mätmetod utan beror på att värmepumpen kring den 31 januari minskade sin relativa gångtid från ca 97 % till ca 60 % i samband med en extremt mild period kring månadsskiftet. Under perioden 1981-01-31--02-02 var luftens medeltemperatur + 4,9°C. De två mätmetoderna förefaller istället att stämma väl överens. 1981-02-01 registrerades för  $T_{IN} - 2,2^{\circ}C$  med den indirekta metoden och 1981-02-03  $-1,9^{\circ}C$  vid direkt avläsning på instickstermometern. Se figur 2.40.

Vad beträffar marktemperaturen kan följande noteras. Temperaturen på 0,90 m djup i obelastad mark " $T_{BREDVID}; OBELASTAD$ " underskrider under 1979/80  $\pm 0^{\circ}C$ , vilket inte riktigt överensstämmer med motsvarande tjälgränsmätare (nr 704) som maximalt indikerar tjälener till 0,78 m djup. Se figur 2.39.

Vidare kan noteras att på 0,25 m djup temperaturen ovan slang är lägre än motsvarande temperatur på obelastad mark. Detta gäller även efter tjälperioden på våren, vilket kanske kan vara av intresse för växter med rotmassa på detta djup. Och detta trots att givaren på obelastad mark är skuggigt placerad under ett fruktträd. Just vid passage av temperaturen  $0^{\circ}C$  är temperaturskillnaden liten, vilket förefaller rimligt. Då marken håller på att tina utgöres skillnaden i energiinnehållet till stor del av latent energi som inte ger sig uttryck som någon temperaturskillnad.

1981-09-20 inträffar en markant "dip" i köldbärartemperaturen. Någon tillfredsställande förklaring härtill har vi ej funnit. Ej heller till det plötsliga temperaturfallet 1981-10-16. Se figur 2.41.

Se även kommentar under avsnitt 2.3.

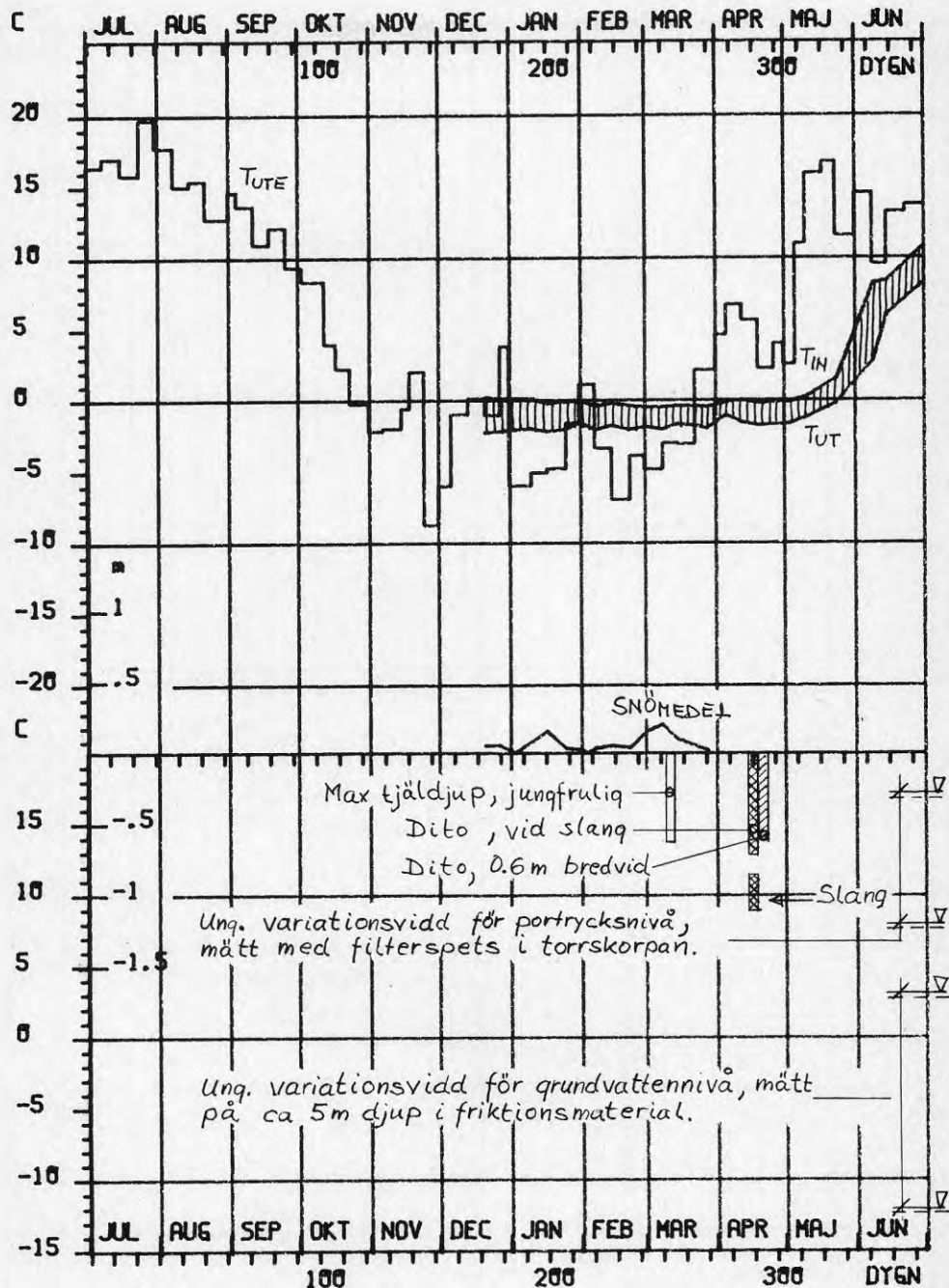
#### 2.4.4 Arvikaanläggningen

Se figurerna 2.44 t.o.m. 2.47 samt bilagorna 2.62 t.o.m. 2.93.

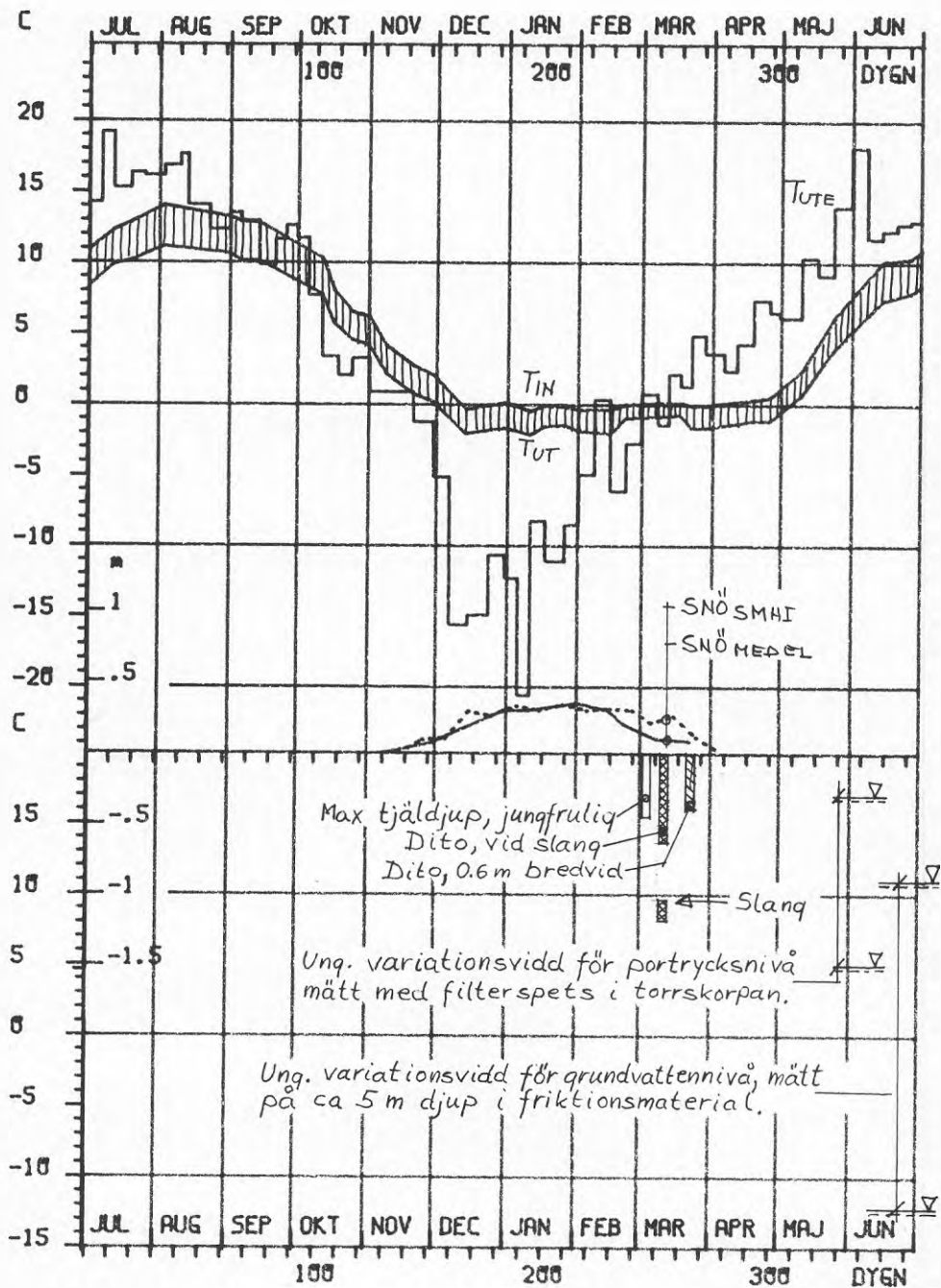
En för denna anläggning speciell beteckning är

$T_{IN}$ BGM	=	Inkommande köldbärartemperatur för en så gott som identiskt grannanläggning, dock med en slanglängd i mark om endast ca 208 m, mätt med stavtermometer av precisionstyp.
--------------	---	--

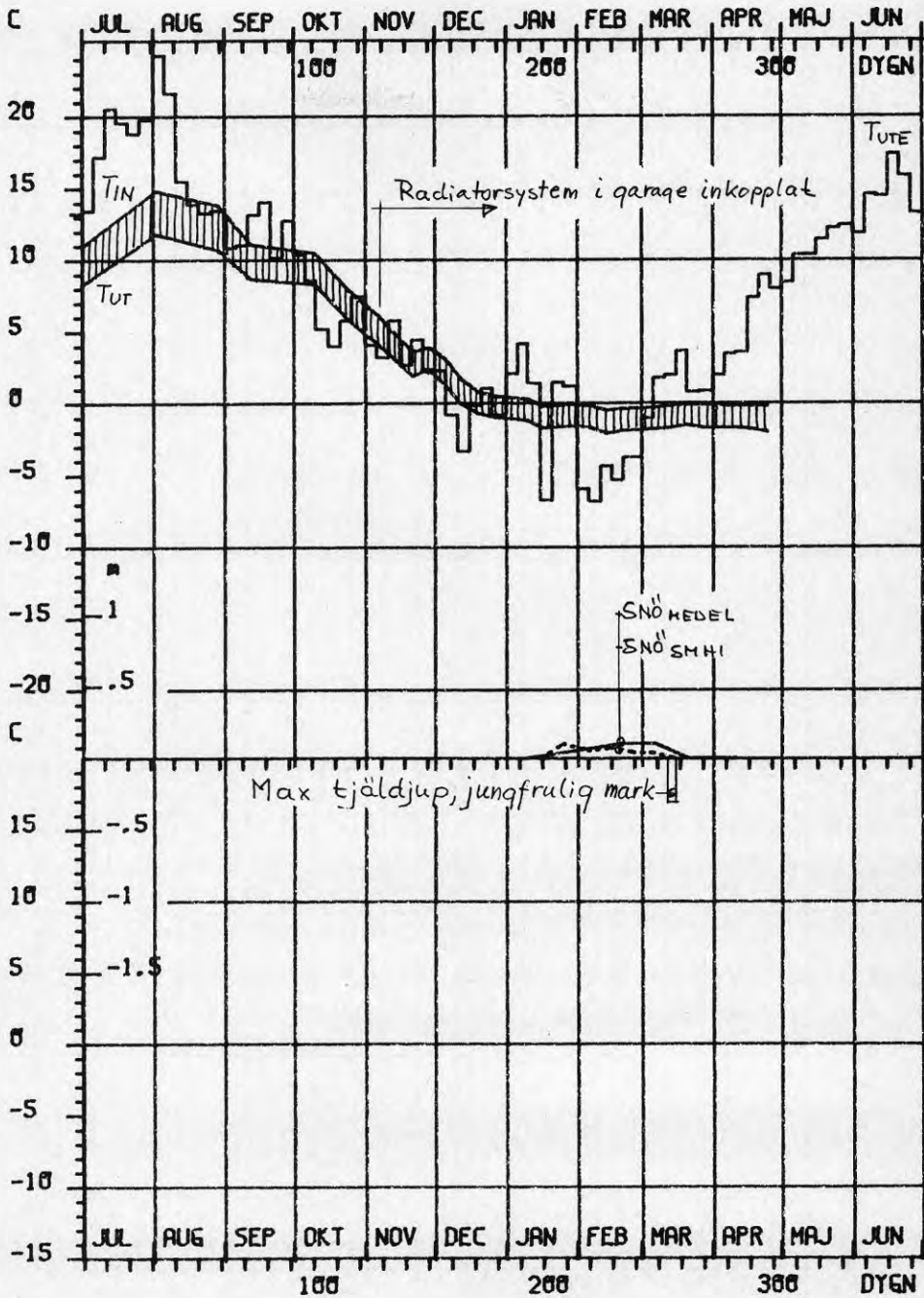
Något förvånande är att anläggningen med kort slanglängd har så gott som samma inkommande köldbärartemperatur som den "normala" anläggningen, (319 m). Se bilagorna 2.65 t.o.m. 2.69. En möjlig förklaring är att belastningen för båda anläggningarna är så låg att tjälning inte uppstår i slutet av slingan, vilket i stort torde vara fallet, i alla fall av den höga inkommande köldbärartemperaturen och den ringa tjälmängden kring mitten



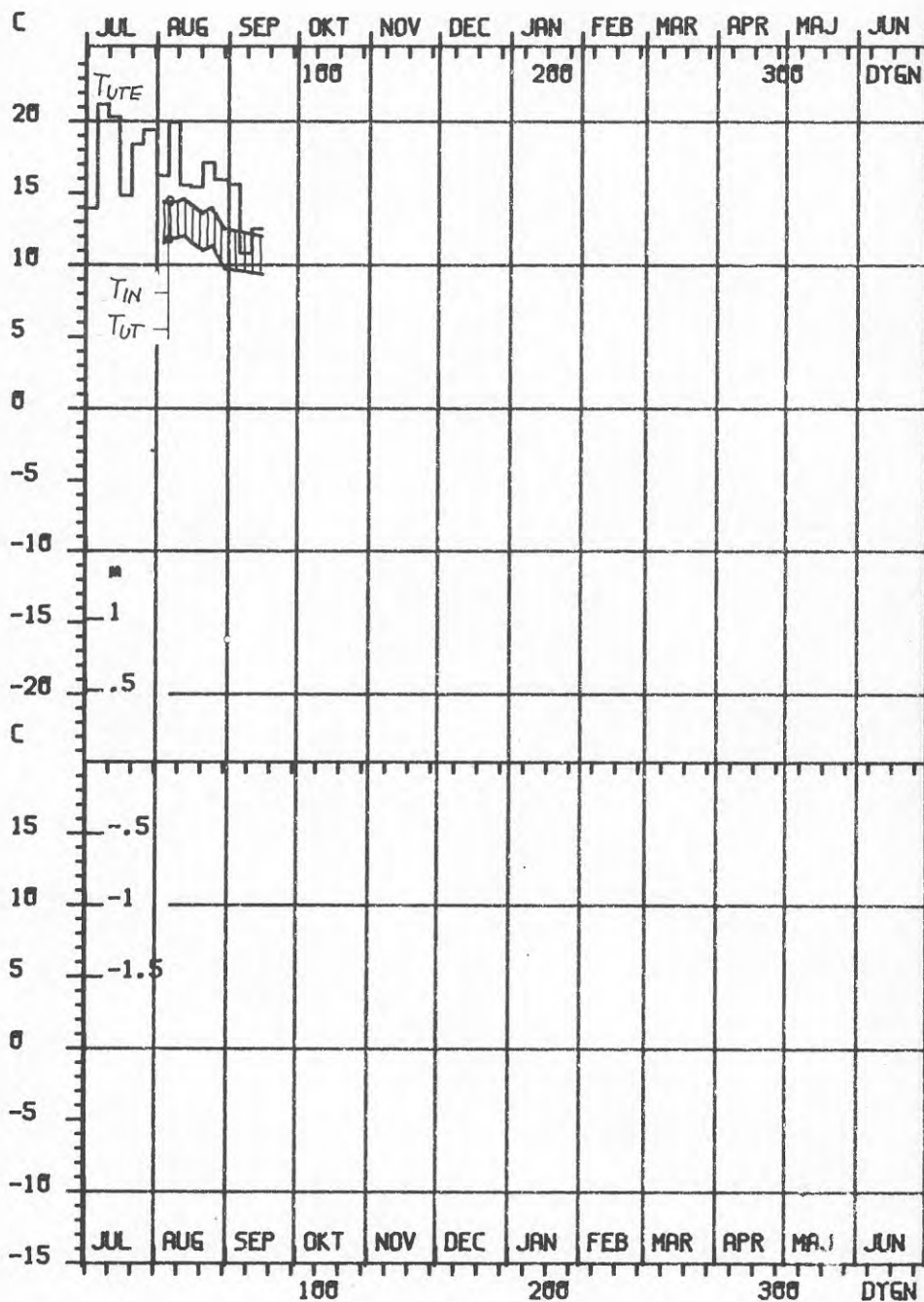
Figur 2.44 Arvika 1980/81



Figur 2.45 Arvika 1981/82

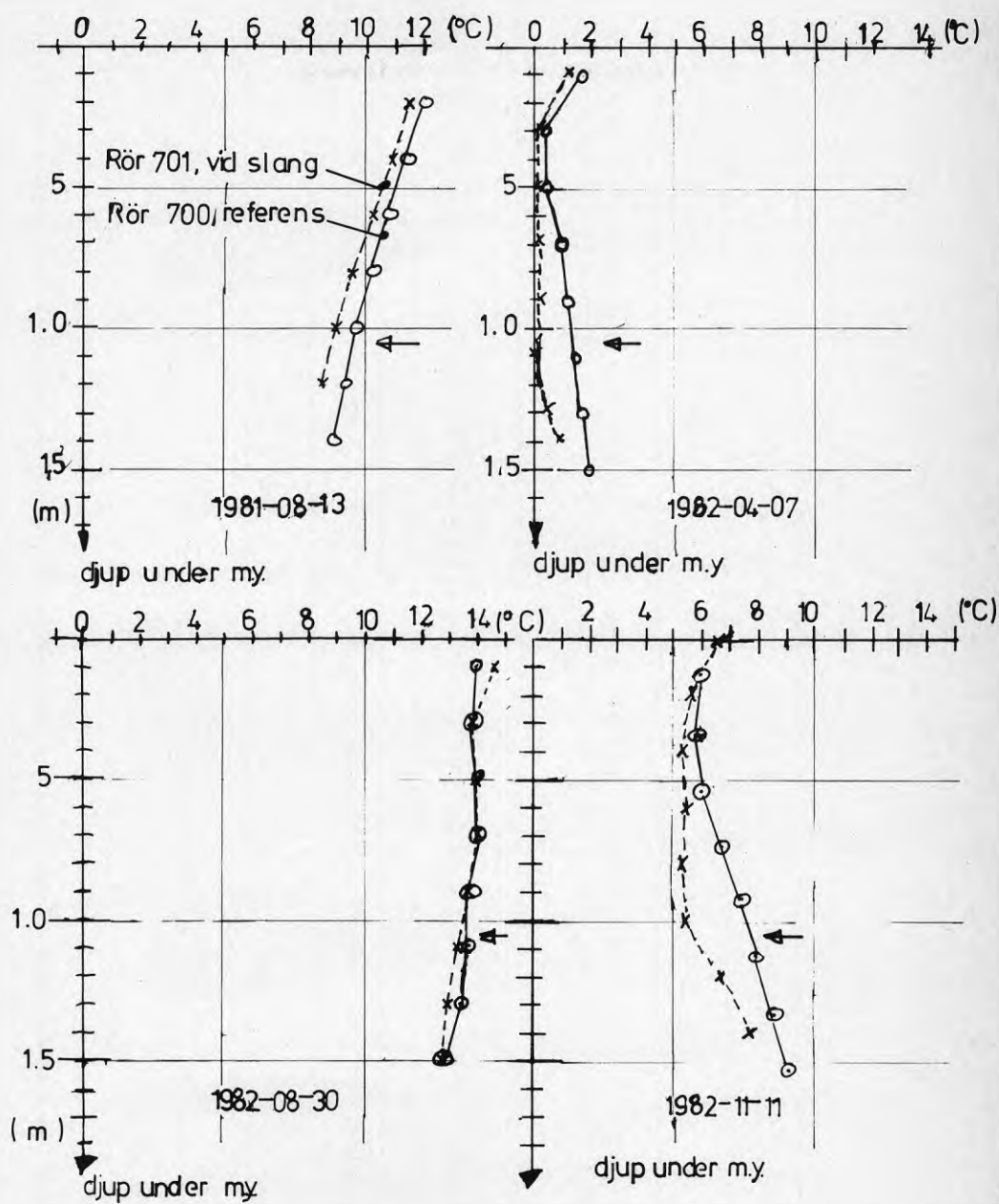


Figur 2.46 Arvika 1982/83

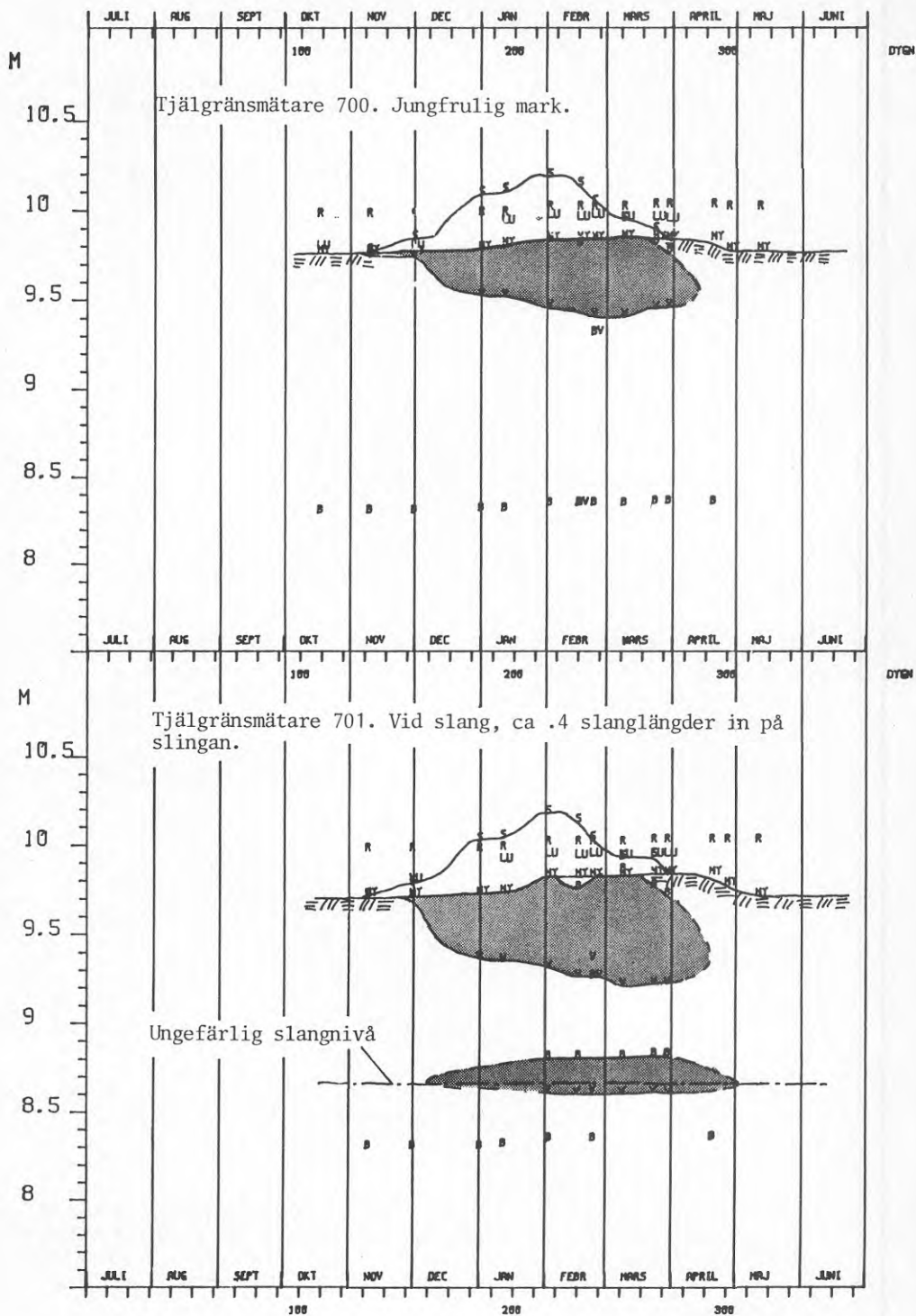


Figur 2.47 Arvika 1983/84





Figur 2.48. Arvika. Temperaturmätning i tjälgränsmätarrör. Pil markerar slangnivå.



Figur 2.49. Arvika 1981/82. Tjäle, snödjup och markrörelser.

av slinga att döma. Se bilagorna 2.89 och 2.90. Här framgår också att tjälen kring slingan inte växer ihop med tjälen under markytan.

Den temperaturmässigt relativt normala men snöfattiga vintern 1980/81 ger mer tjäle och senare tjällossning än den kalla men snörika vintern 1981/82. Se figur 2.44 och 2.45 samt bilagorna 2.89 och 2.90. Den senare tjällossningen för vintern 1981/82 ger sig också tillkänna som en senareläggning av köldbärar-temperaturens stegring på våren. Någon skillnad i köldbärar-temperatur mellan de två åren har däremot knappast iakttagits. Skillnaden för tjällossningstidpunkten mellan de två vintrarna kan möjligen också bero på att mer nederbörd föll i form av regn under mars - april under 1981/82. Se bilaga 2.67 och 2.78.

Resultat från temperaturmätning i tjälgränsmätarrören visas i figur 2.48.

För att studera tjälrörelserna avvägdes under 1981/82 anläggningarna i Eda och Arvika extra frekvent. För anläggningarna i Eda, som ligger på sandjord var rörelserna försumbara, vilket de inte var i den tjälaktiva silten i Arvika. Se figur 2.49 (identisk med bilaga 2.90). Tjälrörelserna mellan slangar är mindre (se bilaga 2.93) än ovan slang, vilket resulterat i en vågig gräsmatta, speciellt under våren.

Se även kommentarer under avsnitt 2.3.

#### 2.4.5 Edaanläggningen

Se figurerna 2.50 t.o.m. 2.54 samt bilagorna 2.94 t.o.m. 2.126.

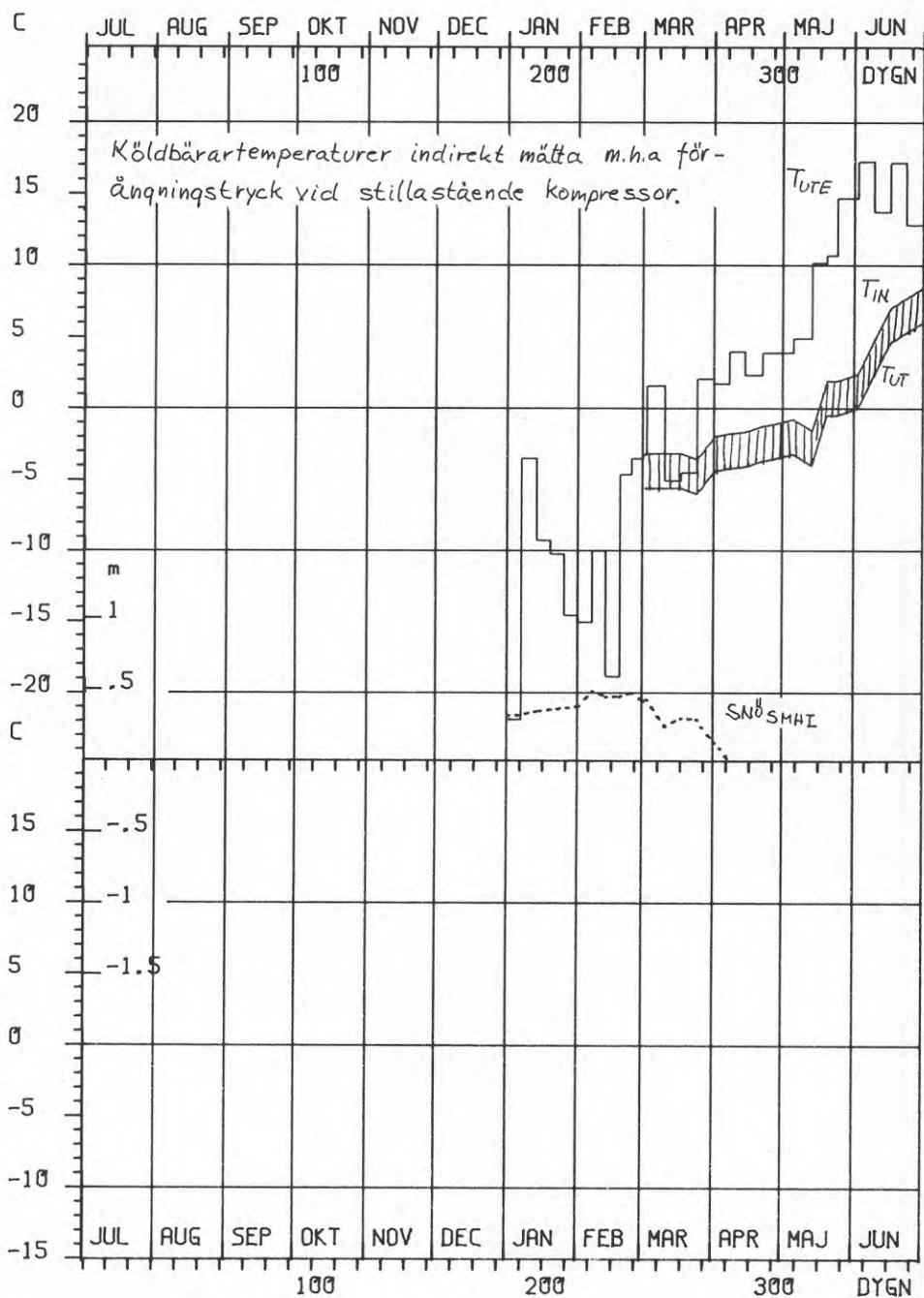
Vad beträffar mätstorheterna avser utetemperaturerna,  $T_{UTE}$  och  $T_{UTE N}$  temperaturerna i Hångstad, Skillingmark som ligger 18 km väster om Eda.

Temperaturlinjen TZ avser Karlstad.

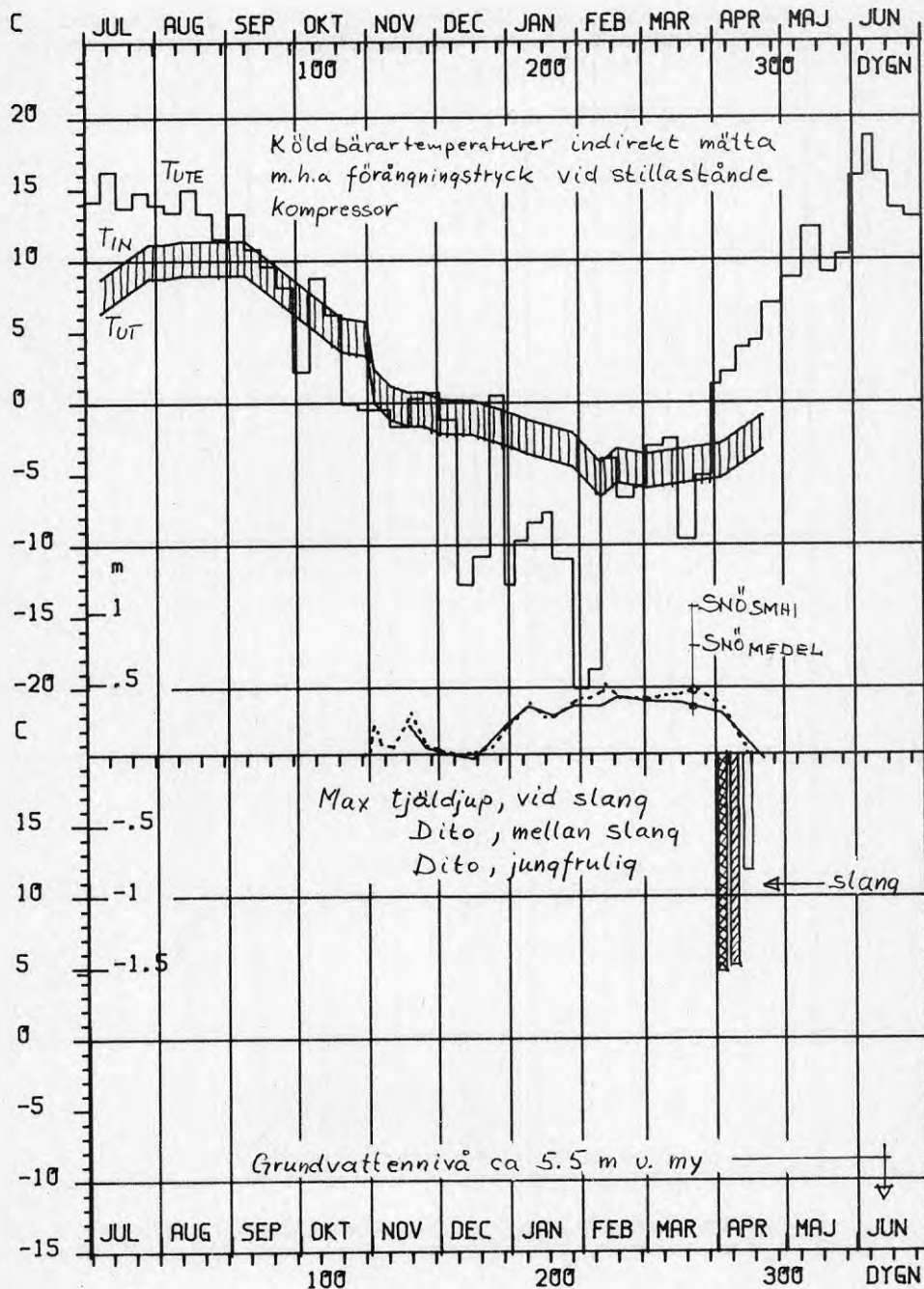
De torra markförhållandena medför förutom låga köldbärar-temperaturer, stora tjäldjup, både vid slangar och i jungfrulig mark. I kollektorområdet får vi en sammanhängande tjäle ner till ca 1,5 m djup.

I likhet med vad som iakttagits vid Arvikaanläggningen var den temperaturmässigt ganska normala men snöfattiga vintern 1980/81 ut värmeuttagssynpunkt besvärligare än den kalla men snörika vintern 1981/82. I Eda resulterade vintern 1980/81 inte bara i mycket tjäle och sen stegring av köldbärar-temperaturen under våren utan även i låga köldbärar-temperaturer. Se figur 2.52 och 2.53.

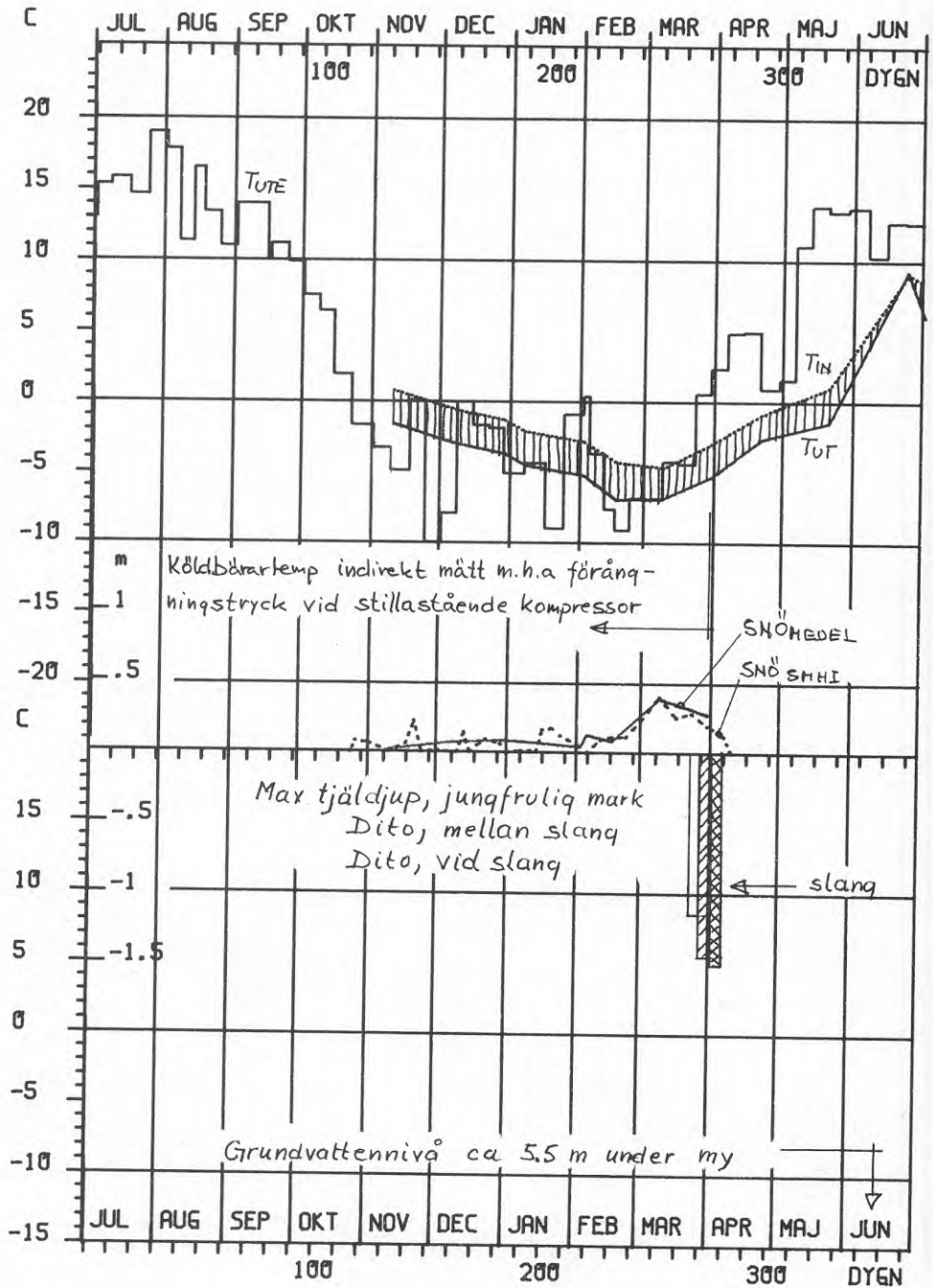
Resultatet från temperaturmätningar i tjälgränsmätarrören redovisas i figur 2.55 och 2.56. Som framgår av dessa figurer är temperaturen i referensröret (nr 704) vid både majmätningen och augustimätningarna klart lägre än i rören vid tjälgränsmätarna. Detta har förmodligen sin förklaring i referensrörets placering. Det är placerat utanför själva tomtens i den omgivande glesa tallskogen, som är bevuxen med lingonris och



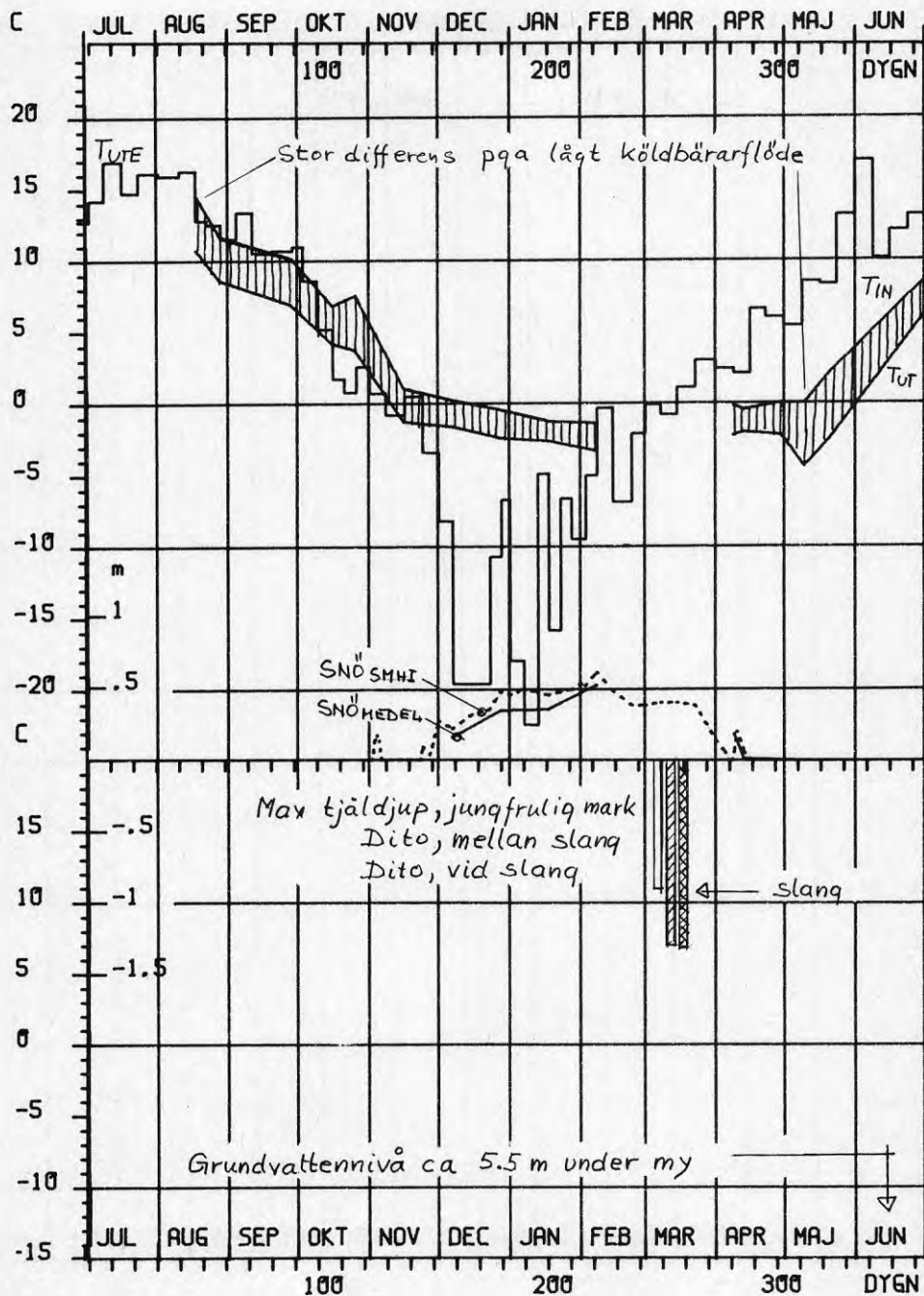
Figur 2.50. Eda 1978/79



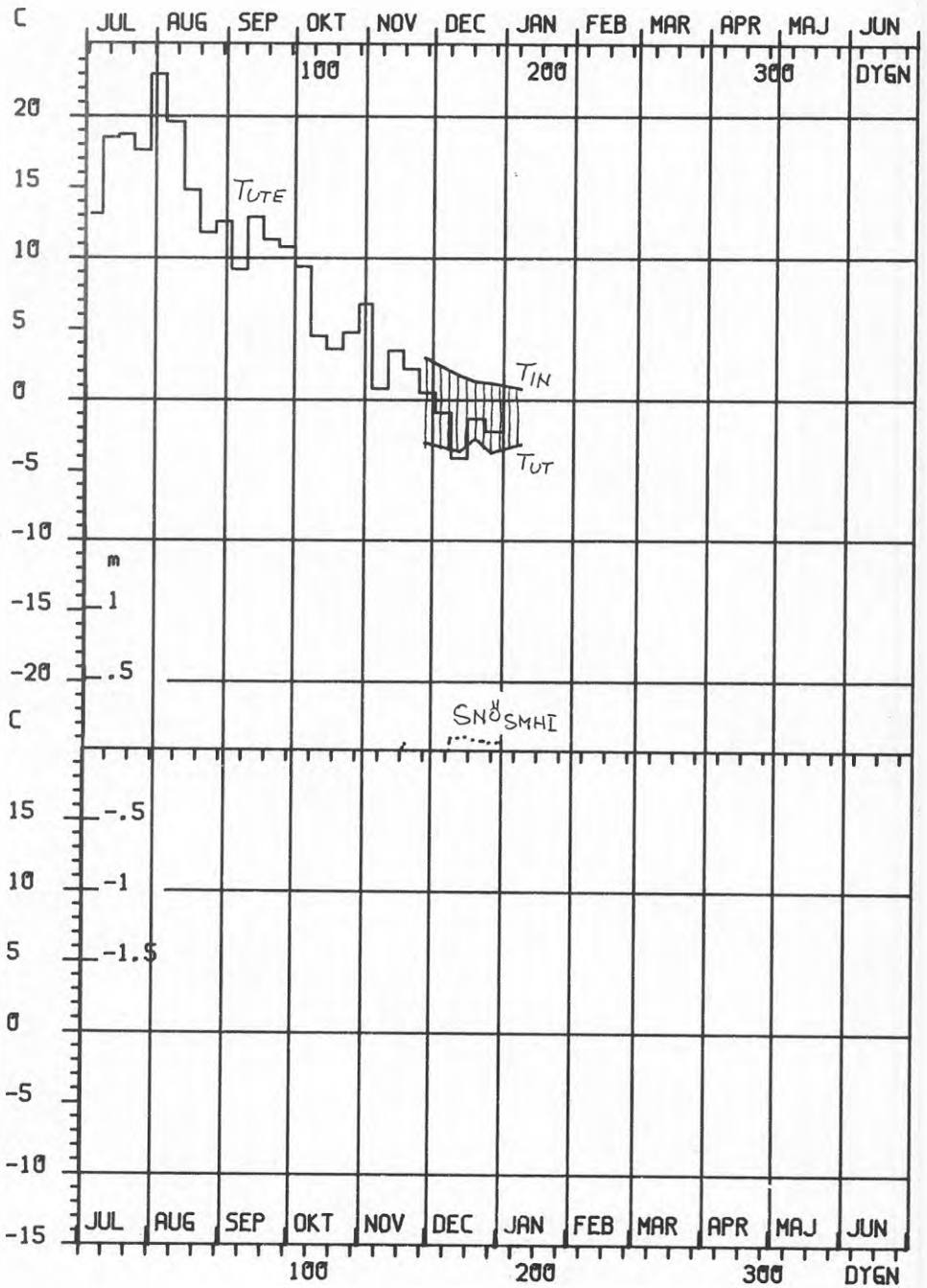
Figur 2.51. Eda 1979/80



Figur 2.52. Eda 1980/81



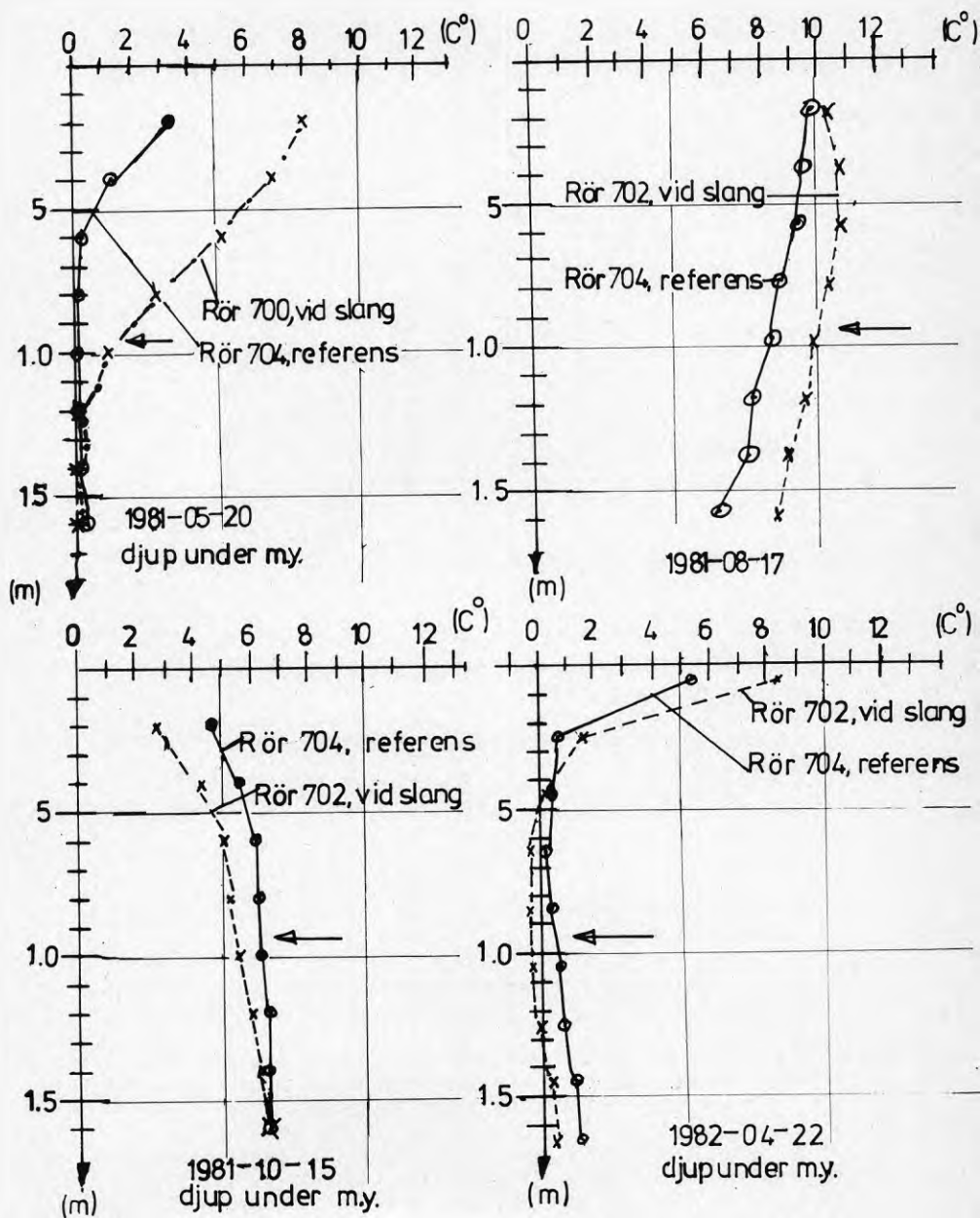
Figur 2.53. Eda 1981/82



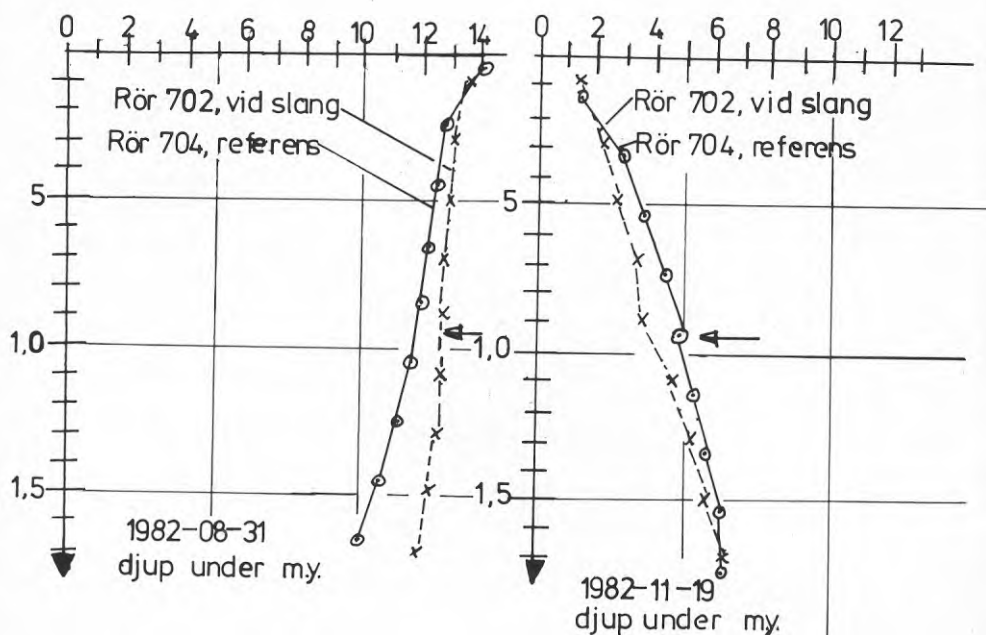
Figur 2.54. Eda 1982/83



ljung. På området för markkollektorn är den marknära vegetationen mer sparsam och endast enstaka tallar förekommer.



Figur 2.55 Eda. Temperaturmätning i tjälgränsmätarrör  
Pil markerar slangnivå.



Figur 2.56. Eda. Temperaturmätning i tjälgränsmätarrör. Pil markerar slangnivå.

Se även kommentar under avsnitten 2.25 och 2.3

#### 2.4.6 Umeåanläggningen

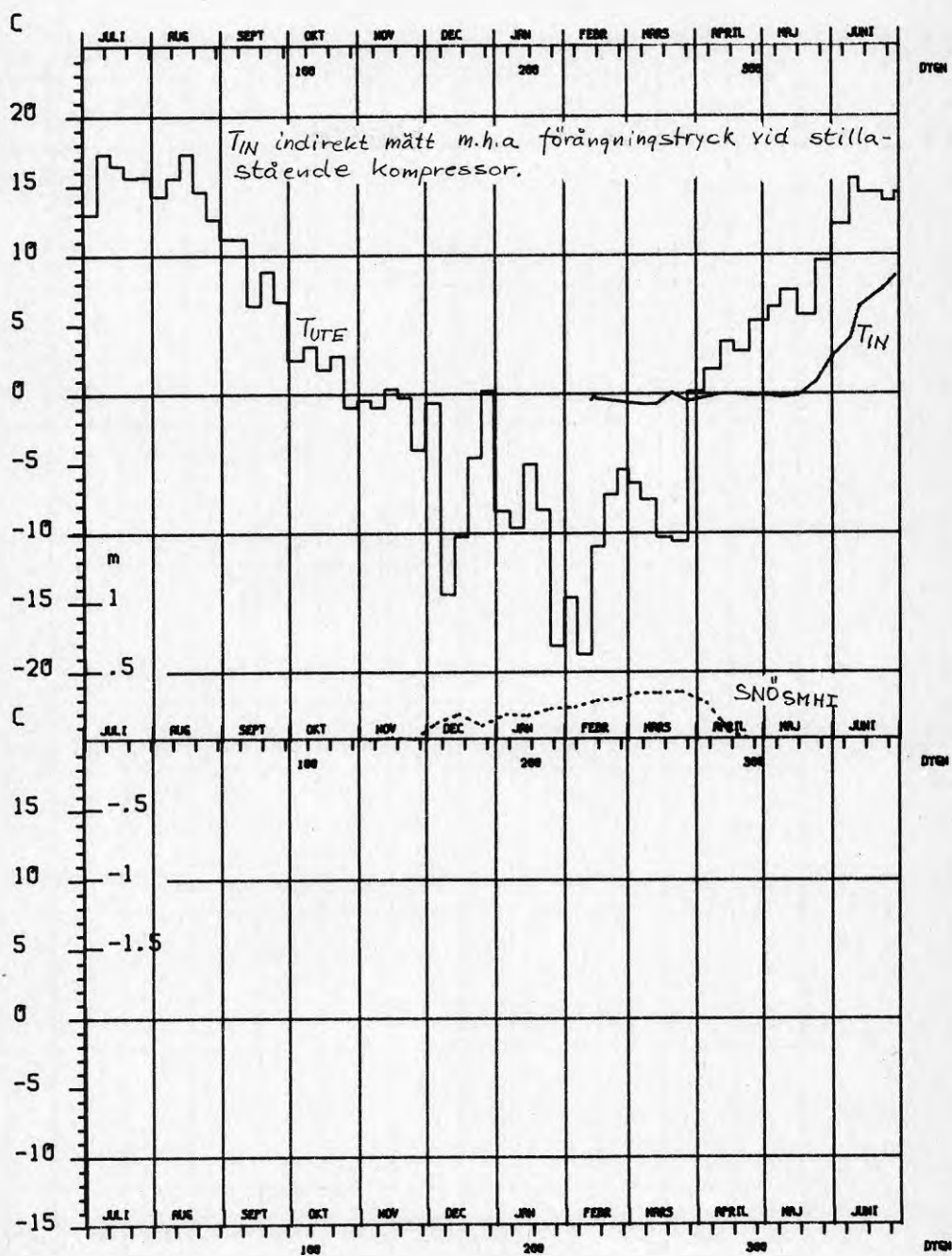
Se figurerna 2.57 t.o.m. 2.61.

Köldbärartemperaturen är vintertid hög och stabil. Ingen tjäle indikeras kring slang.

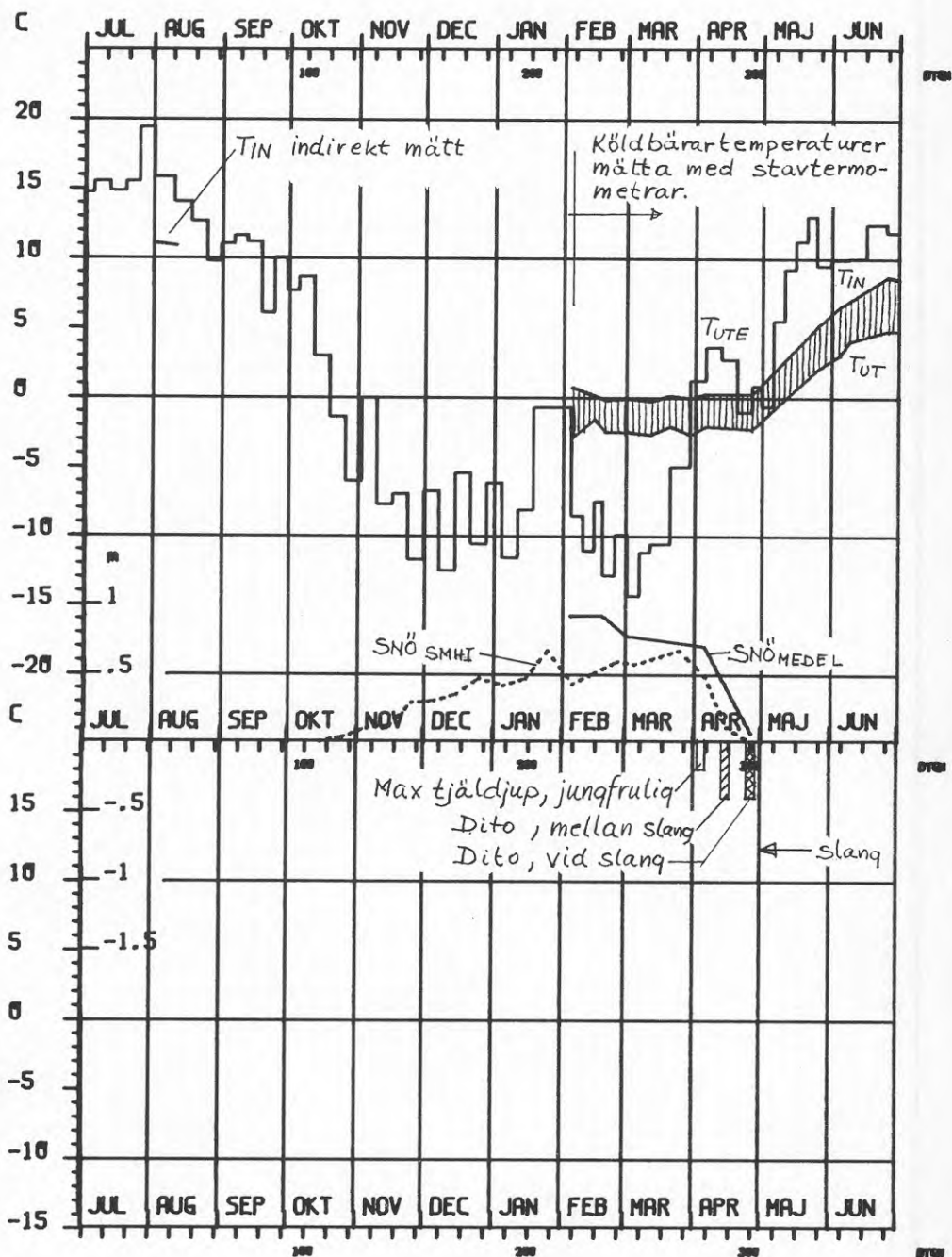
Då små tjäldjupen konfirmerar tidigare antaganden att vi har en vattenrik jord med högt latent och sensibelt energiinnehåll.

I kollektorns östra delar, som utgöres av torvmark, ligger enligt enstaka observationer grundvattennivån närmare markytan än vad som redovisas i figur 2.59.

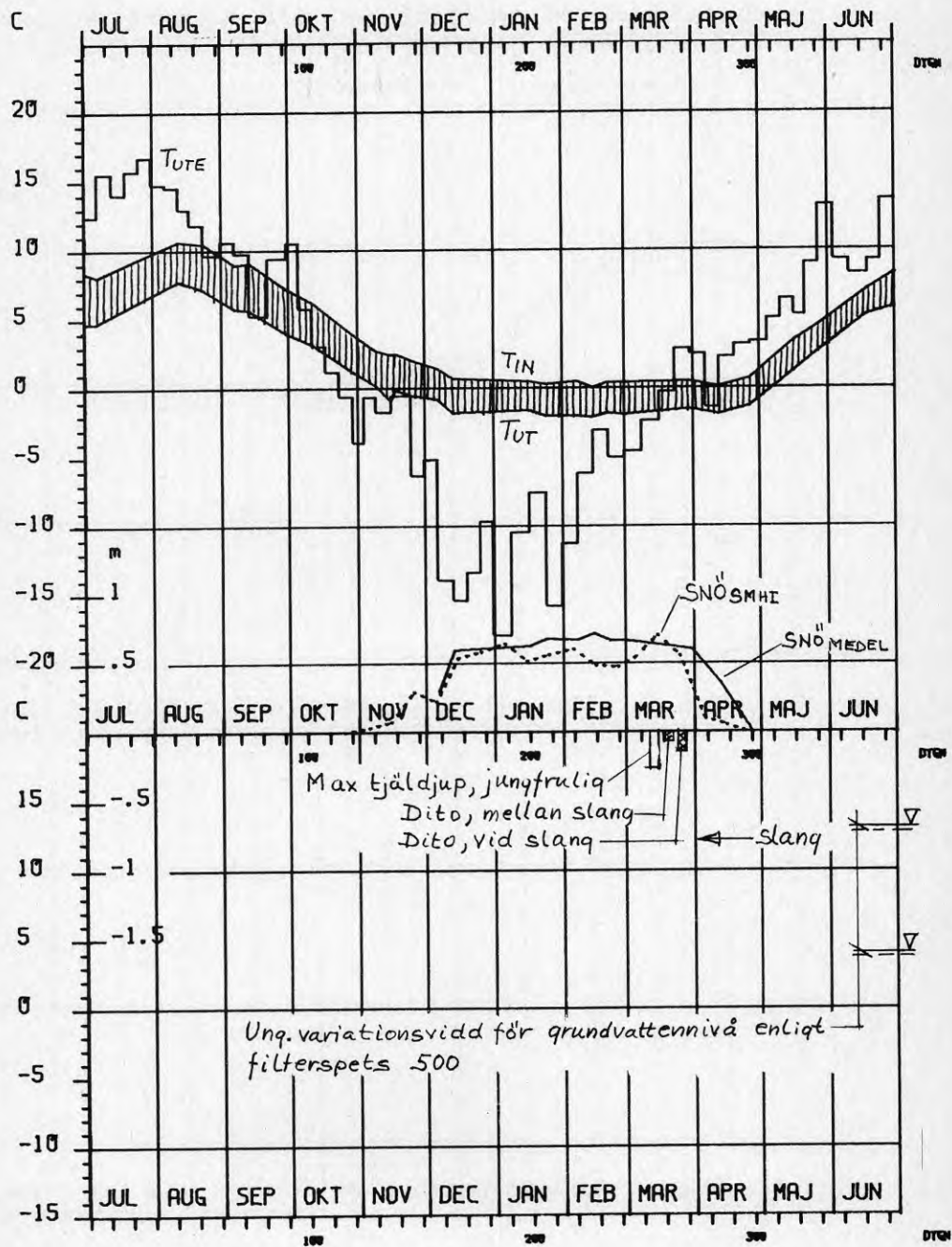
Vintern 1981/82 indikerar den i jungfrulig mark placerade tjälgränsmätaren djupare tjäle än tjälgränsmätarna i kollektorområdet. Så är inte fallet vintern 1980/81. Vidare visar marktemperaturmätningarna i slutet av maj, högre temperatur vid slang än i referensröret. Se figur 2.62. En förklaring till dessa iakttagelser kan vara att markförhållandena är något olika vid de två mätställena. Vidare är referensmätstället (nr 700) något skuggigare placerat. Snötäcket här är också i allmänhet ca 1 dm mindre. Ovanstående pekar på att lokala



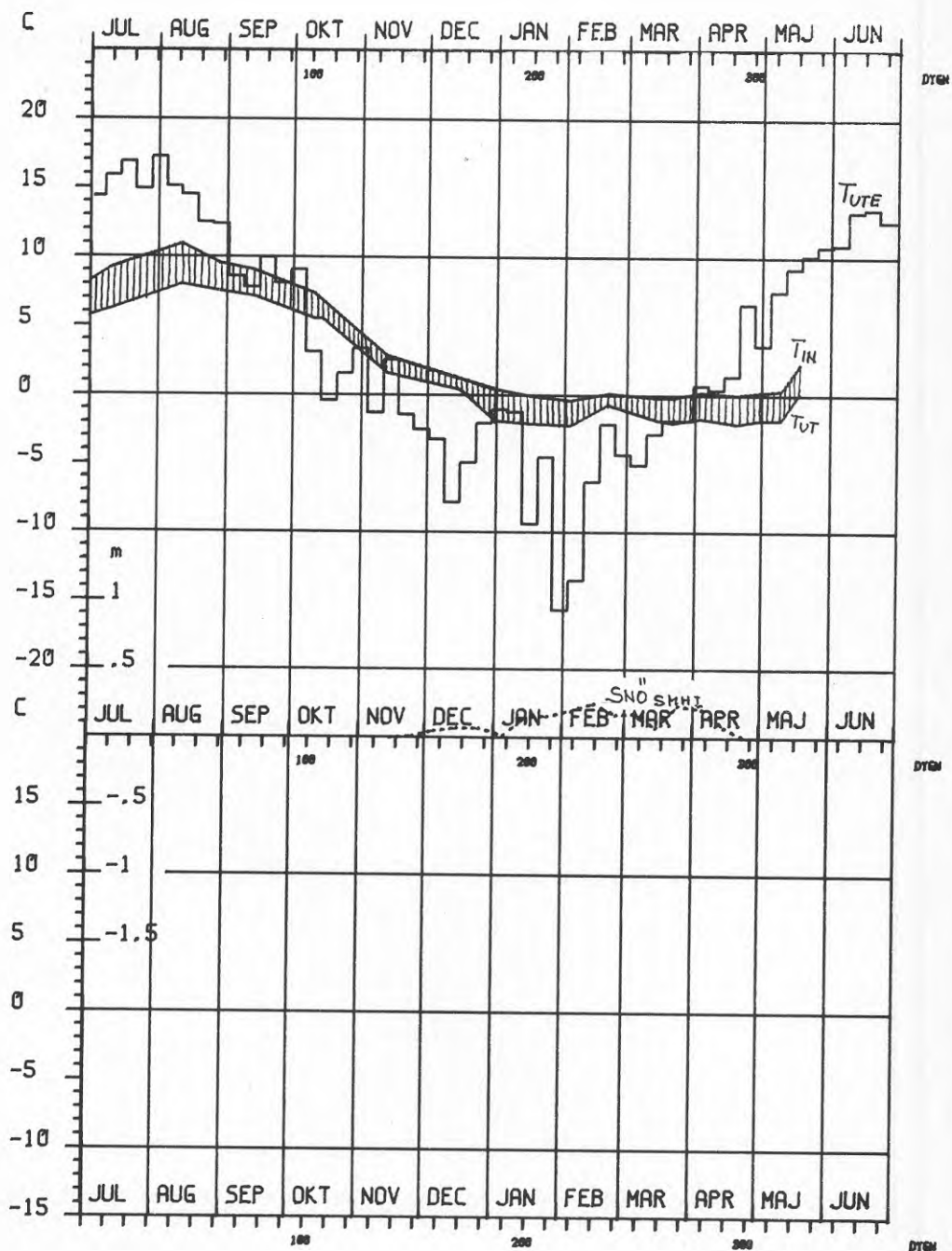
Figur 2.57. Umeå 1979/80



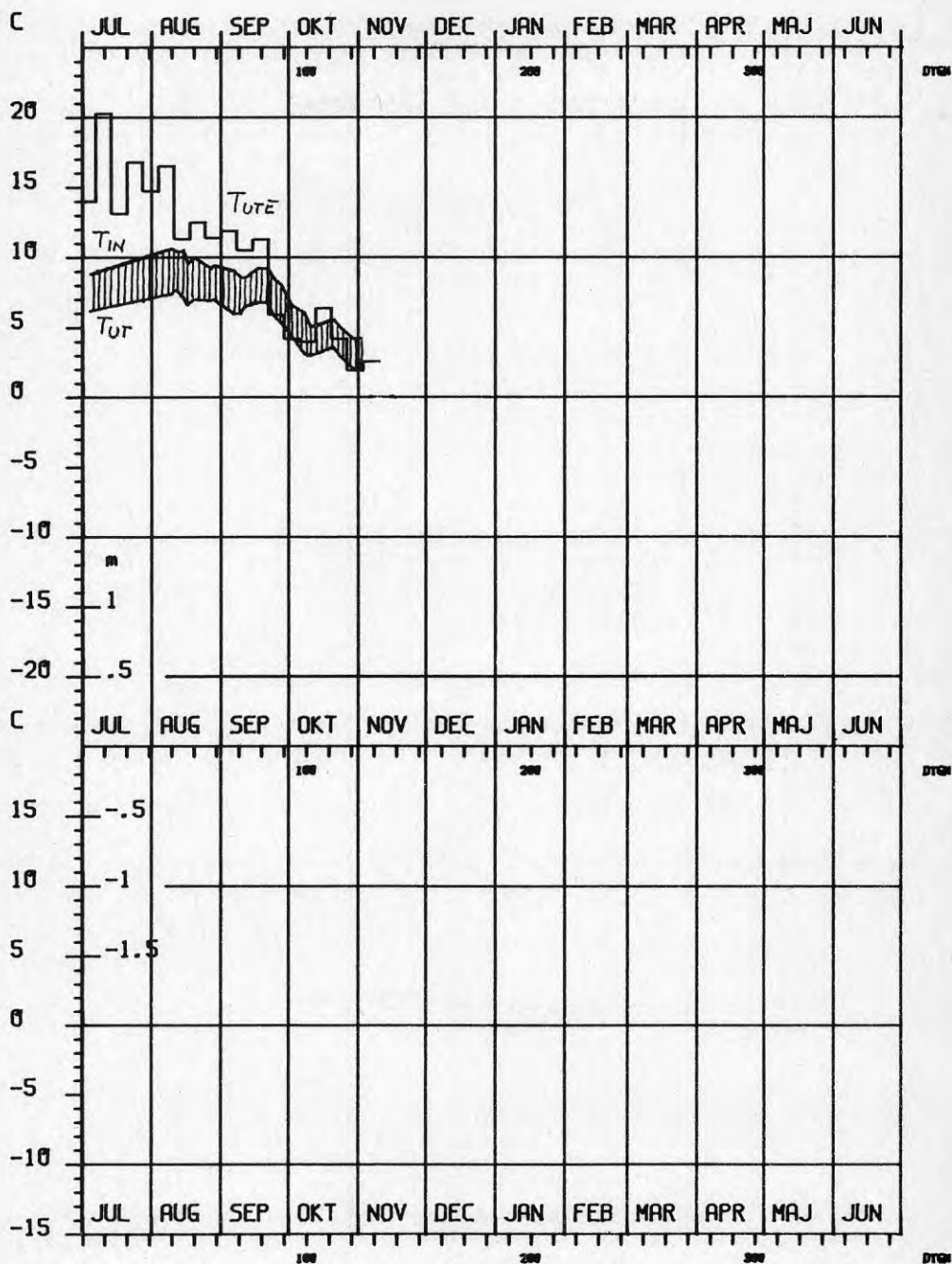
Figur 2.58. Umeå 1980/81



Figur 2.59. Umeå 1981/82



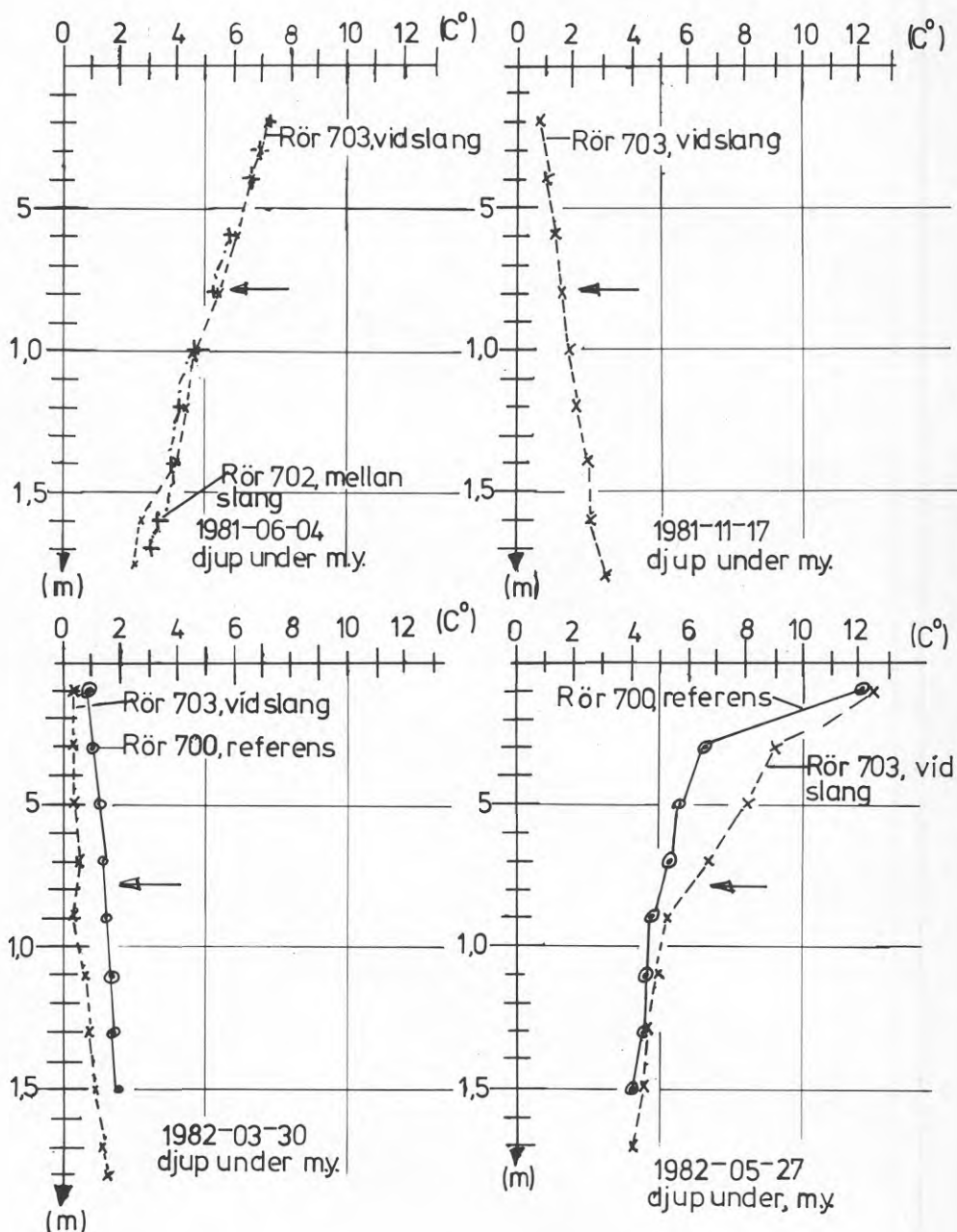
Figur 2.60. Umeå 1982/83



Figur 2.61. Umeå 1983/84

variationer på en tomt kan ha lika stor betydelse för energi-balansen i marken som ett värmeuttag till en värmepump kan ha.

Se även kommentar under avsnitt 2.3.



Figur 2.62. Umeå. Temperaturmätning i tjälgränsmätarrör. Pilen markerar slangnivå.



## 2.4.7 Luleåanläggningen

För denna anläggning speciella beteckningar är

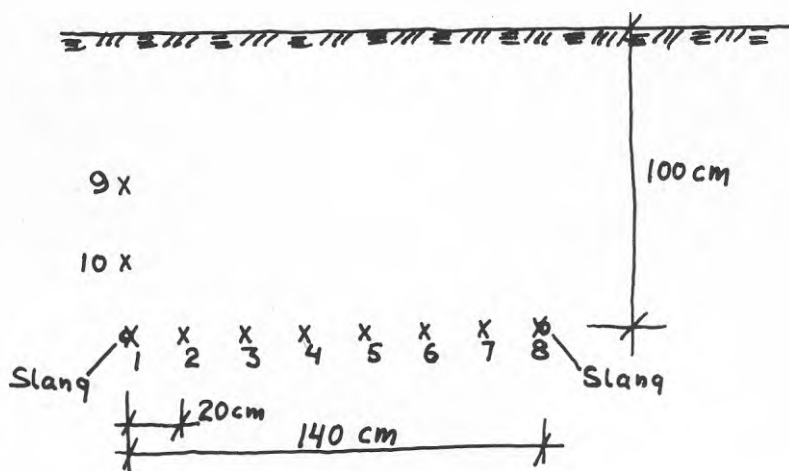
$E_{KASS}$	=	Till elkassett förd energi
$E_{AGGR} + E_{KASS}$	=	Till värmepumpsaggregat och separat elkassett förd energi
$T_{RAF FS}$	=	Framledningstemperatur till radiatorer, mätt före shuntventil
$T_{RAF ES}$	=	Framledningstemperatur till radiatorer, mätt efter shuntventil
$T_{.25 OVAN}$	=	Marktemperatur 0,25 m ovan slang, mätt ca 3 min efter start. Temperaturgivare 10 i figur 2.63.
$T_{.5 OVAN}$	=	Dito, frånsett att temperaturen 0,5 m ovan slang avses. Temperaturgivare 9 i figur 2.63.
$T_{VID SLANG}$	=	Dito, frånsett att temperaturen vid slang avses. Temperaturgivare 1 i figur 2.63.
$T_{.2 BREDVID}$	=	Dito, frånsett att temperaturen 0,2 m bredvid slang avses. Medelvärde av mätresultat för givare 2 och 7 i figur 2.63.
$T_{.6 BREDVID}$	=	Dito frånsett att temperaturen 0,6 m bredvid slang avses. Medelvärdet av mätresultat för givare 4 och 5 i figur 2.63.
$SNÖ_{550}$	=	Snödjup enligt snödjupsmätare 550
$SNÖ_{551}$	=	Snödjup enligt snödjupsmätare 551.

Marktemperaturgivarna var placerade ungefär mitt på slingan vid tomtgränsen. Se figur 2.11 och figur 2.63.

Mätresultaten presenteras i figurerna 2.64 t.o.m. 2.67 samt i bilagorna 2.127 t.o.m. 2.146.

Förutom kommentarerna i avsnitt 2.3 kan följande nämnas.

Under de tre uppföljda vintrarna förefaller marken att ha varit frusen mellan markytan och slangerna. Nedre frostgränsen tycks ungefär ligga i plan genom slangarna. Under säsongerna 1980/81 och 1982/83 har marken förmodligen varit helt frusen i planet mellan slangarna. Det senare är mer tveksamt för vintern 1981/82. Se figur 2.64 t.o.m. 2.66.



Figur 2.63. Luleå. Placering av markttemperaturgivare. Efter A Jacobsson, Högskolan i Luleå.

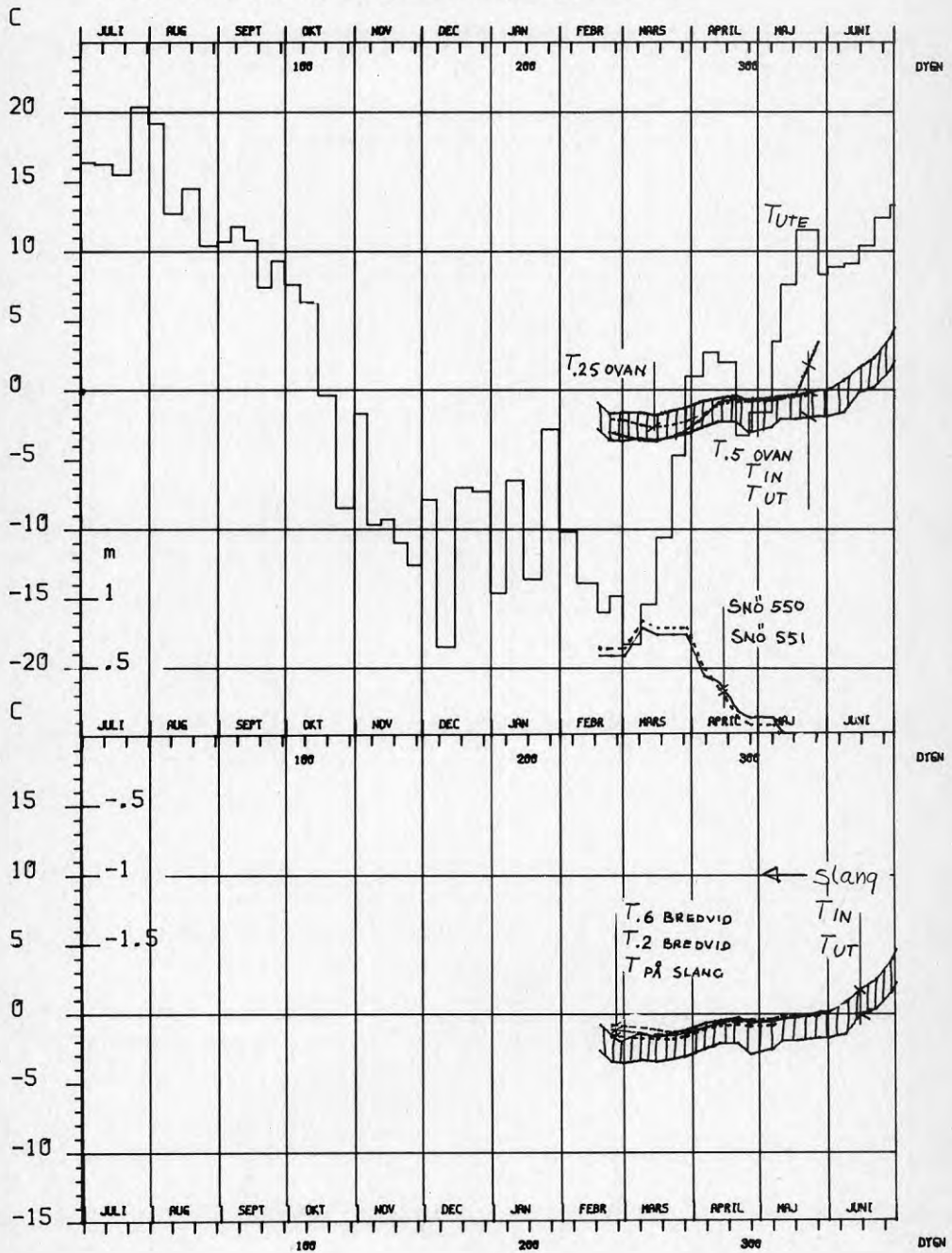
I dessa figurer framgår också att temperaturen skiljer mycket lite mellan de olika mätpunkterna i marken. Speciellt gäller detta i sidled, se nedre delen av figurerna, men även i vertikalled uppåt. Jämför med exempelvis markttemperaturerna vid Kungälvanläggningen, figur 2.22 eller markttemperaturerna vid Karlstadanläggningen, figurerna 2.39 t.o.m. 2.41.

Den låga temperaturgradienten i sidled tyder på att värme-flödet i denna riktning är lågt. En tänkbar förklaring härtill är att huvuddelen av energiuttaget sker i början av, dvs den kallaste delen av, slangan. Ifall nedre tjälfronten ligger relativt plant i eller strax under slangplanet kommer även detta, av geometriska skäl, att bidra till ett relativt lågt värmefflöde i sidled.

Vid jämförelse med Kungälvanläggningen måste vi också beakta skillnaden i värmeledningstal kring slangan. Den ofrusna leran i Kungälv torde ha ett värmeledningstal kring  $1.2 \text{ W/mK}$  medan den frusna sanden i Luleå med en förmodad vattenmättningsgrad kring 70 % torde ha ungefär dubbelt så högt värmeledningstal.

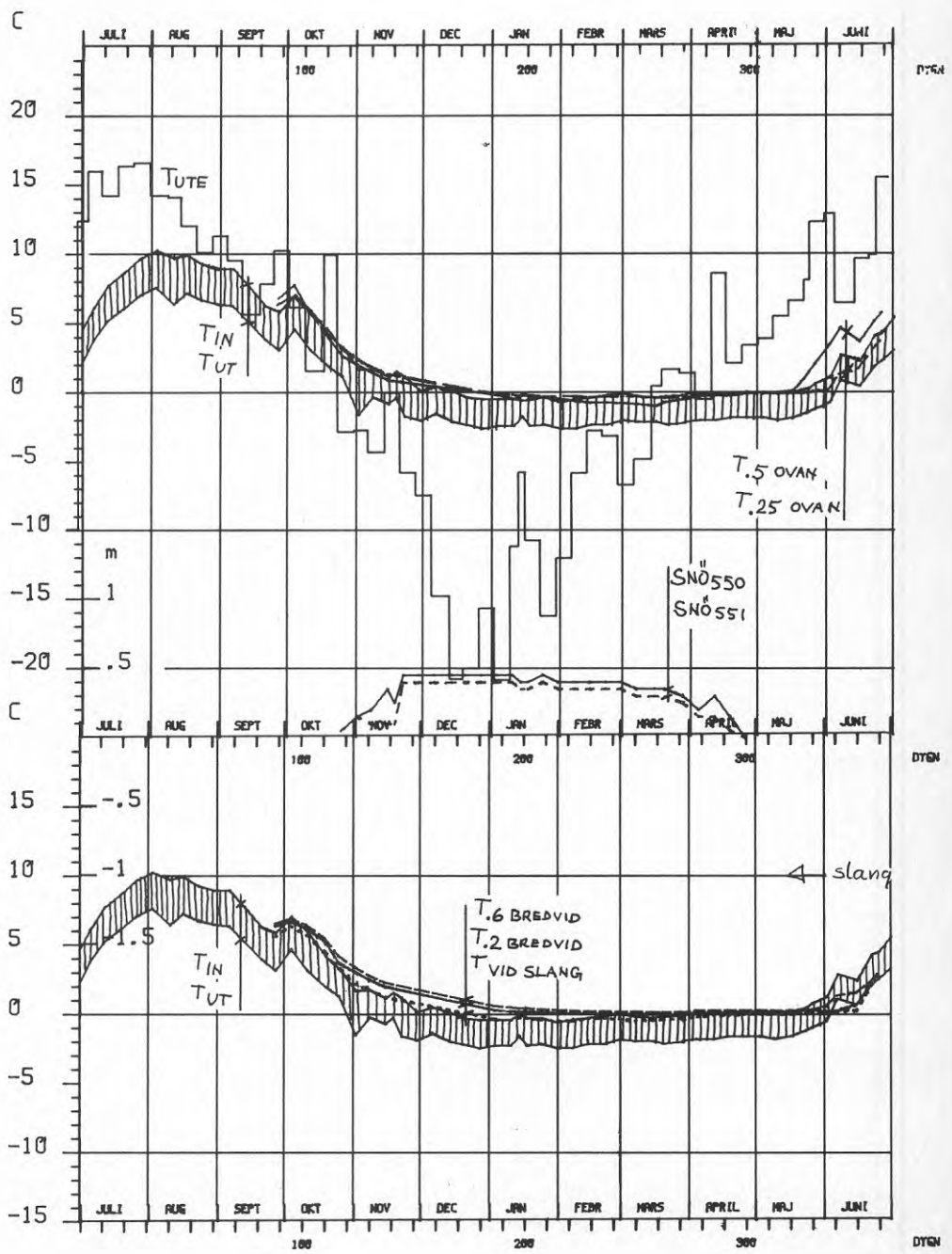
Under juni är köldbärartemperaturen hög i förhållande till markttemperaturen bredvid slangan, se figurerna 2.65 och 2.66. Någon bra förklaring härtill återstår att finna. Att mätfehlen skulle vara så stora att detta vore förklaringen förefaller inte troligt.

## Marktemperaturer enl Jacobsson, Högskolan i Luleå



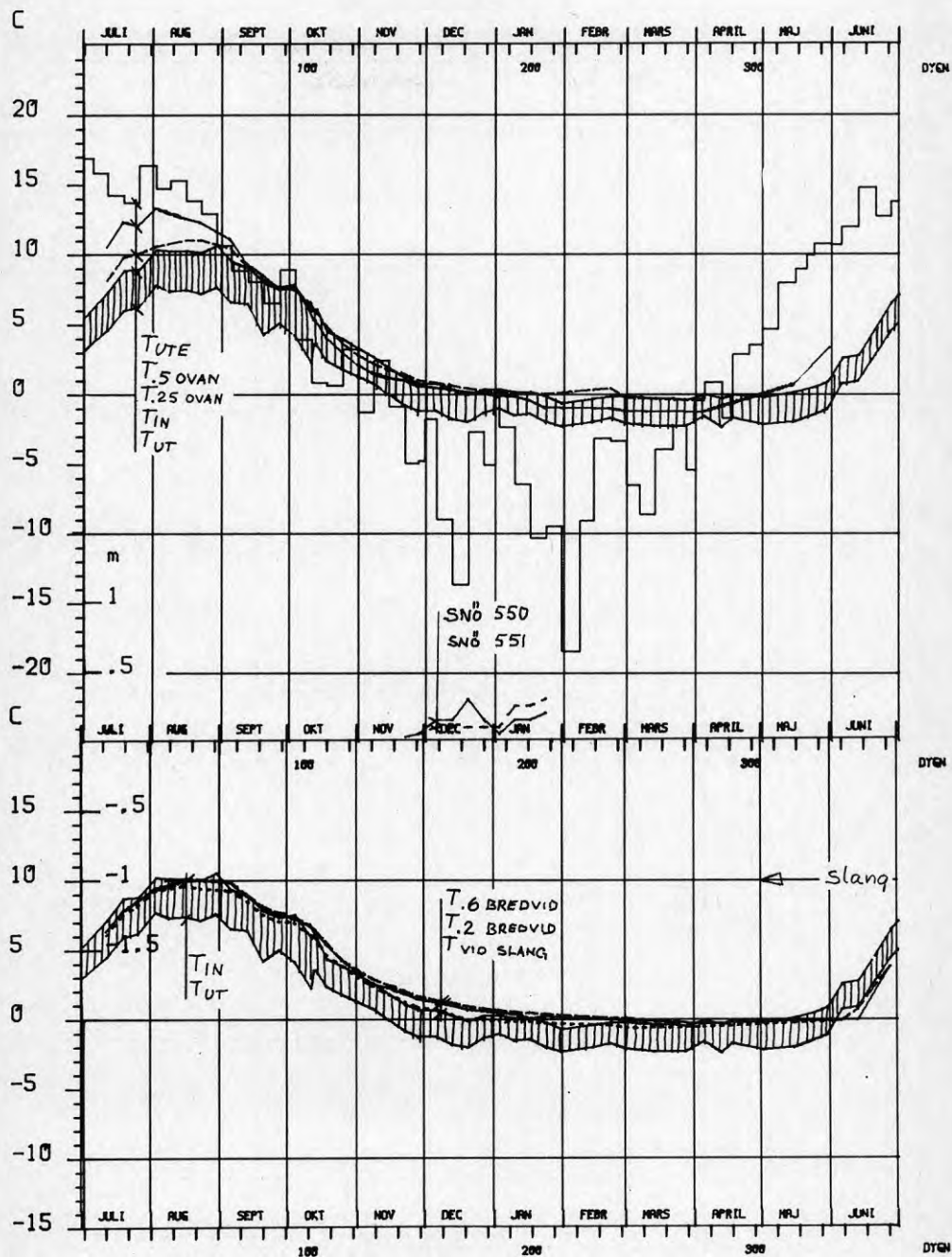
Figur 2.64. Luleå 1980/81

Marktemperaturer enl Jacobsson, Högskolan i Luleå



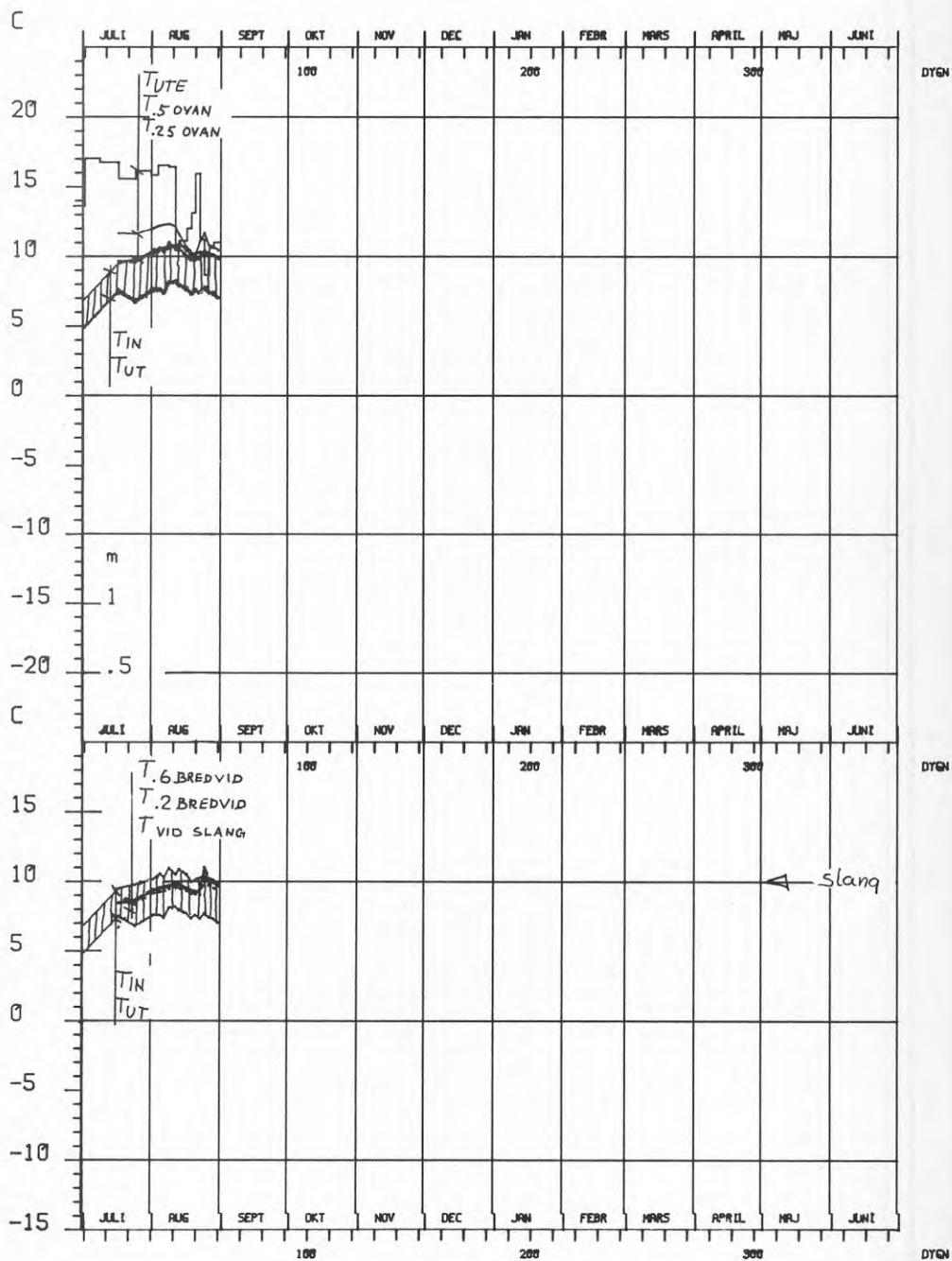
Figur 2.65. Luleå 1981/82

## Marktemperaturer enl Jacobsson, Höskolan i Luleå



Figur 2.66. Luleå 1982/83

## Marktemperaturer enl Jacobsson, Högskolan i Luleå



Figur 2.67. Luleå 1983/84

## 2.5 Övergripande kommentarer till mätresultaten

Diagrammen för köldbärartemperaturerna indikerar knappast att dessa långsiktigt skulle förändras. De variationer som förekommer mellan de olika åren kan i de flesta fall förklaras av variationer av framför allt utetemperatur, värmeuttag och snödjup. Det har stundtals framförts farhågor att värmeuttaget skulle orsaka förändringar av markens fysikaliska egenskaper i sådan omfattning att köldbärartemperaturen på sikt märkbart skulle påverkas, i värsta fall åt det negativa hållet. Mätresultaten ger inget stöd för denna farhåga. Mätresultaten tyder istället på att det insvängningsförlopp som erhöletts vid datorsimuleringar är en god beskrivning av verkligheten. Datorsimuleringar resulterar i köldbärartemperaturer som efter ett par tre identiska uppvärmningssäsonger praktiskt taget har nått sitt asymptotiska gränsvärde.

Ett tjockt snötäcke, speciellt om det lägger sig tidigt, förefaller att ha en klart positiv betydelse för energibalansen i jorden. Tjaldjupen minskar, tjälsäsongen blir kortare och köldbärartemperaturen ökar. Se kommentarer till Djursholm, Arvika och Edaanläggningarna, avsnitt 2.4.2, 2.4.4 resp 2.4.5.

De två anläggningarna i Arvika och Umeå har mycket stabila köldbärartemperaturer under vintrarna. Även variationer mellan de olika vintrarna är liten, figur 2.15 och figur 2.13. Förklaringen härtill är förmodligen att marken utanför den varmare (inkommande) delen av slingan i huvudsak är otjälad. Vid ett ökat energiuttag finns således fortfarande latent energi att tillgå. Att tjälens kring de tjälade partierna av slangen dessutom inte är sammanväxt med den uppifrån kommande tjälens medför att området kring slangen blir mindre känslig för fluktuationer i utetemperatur och snödjup.

Luleåanläggningen uppvisar också relativt stabila köldbärartemperaturer, dock ej så stabila som vid anläggningarna i Arvika och Umeå. Förmodligen har vi i Luleå en sammanhängande tjälkropp från markytan ner till ett plan ungefär i slangnivå. I slangens djupare partier och vid den varmare änden i slangen finns förmodligen latent värme att tillgå.

Av betydelse för en värmepumps årsmedelvärmefaktor, SPF, är bl a den, med hänsyn till drivenergin viktade köldbärartemperaturen,  $T_{BR SPF}$ . Denna har här beräknats som

$$T_{BR SPF} = \int (T_{KB} dE_{AGGR}) / \int dE_{AGGR}$$

där integrationen sker över en uppvärmningssäsong. Den är beräknad och redovisad i diagrambilagorna för Djursholm-, Arvika-, Eda- och Luleåanläggningarna, se exempelvis bilaga 2.29 - 2.32. För uppvärmningssäsongen 1981/82 erhöletts  $T_{BR SPF}$  värdet  $-0,7^{\circ}\text{C}$  för Djursholmanläggningen,  $+1,1^{\circ}\text{C}$  för Arvikaanläggningen,  $+0,8^{\circ}\text{C}$  för Edaanläggningen och  $+0,2^{\circ}\text{C}$  för Luleåanläggningen.

Något observationsprogram för studium av vegetationens utveckling har inte ingått i uppföljningen. Dock, kan konstateras att det inte finns någon sporadiska observationer som pekar på att vegetationens utveckling påtagligt skulle påverkas av värmeuttaget. Tvärtom uppges för Kungälvsanläggningen att man inte kan iaktta någon påverkan på grödan i den åker där slangen ligger. De två anläggningarna i Arvika misstänks ha viss negativ påverkan på etablering och utveckling av frukt- och prydnadssträd. Inte vid någon anläggning har det bedrivits någon med omfattande odling av trädgårdsväxter ovan markkollektorn.

Vad beträffar tjälskador finns i huvudsak också endast sporadiska observationer.

Tjälpåverkan i form av vågig och sprickig markyta har rapporterats från anläggningarna i Arvika och Djursholm. Att påverkan skulle uppstå i Arvika var väntat med tanke på de klart tjälaktiva markförhållandena, se avsnitt 2.4.4. Under 1981/82 var den maximala hävningen i slutet av mars, drygt 12 cm ovan slang och ca 7 cm på jungfrulig mark. I Djursholm förefaller rörelserna har varit någon mindre och sprickorna något större än i Arvika. Dock har variationen längs slangen här varit stor. Intressant är att Djursholmsanläggningen visar de största sprickorna, ca 5 cm, våren/sommaren 1986 dvs nio säsonger efter det att anläggningen togs idrift.

Under provperioden har säsongerna 1976/77 t.o.m. 1981/82 haft större uppvärmningsbehov än normalt. Speciellt gäller detta säsongen 1978/79, 1979/80 och 1981/82 vilka haft ca 10% större uppvärmningsbehov än normal säsong (1931--1960). Säsongen 1982/83 hade däremot drygt 5% mindre uppvärmningsbehov än normalt.

## 2.6 Mätutrustning och mätfel

Mätdata har registrerats ungefär en gång i veckan genom att husägaren avläst installerade instrument. Mätvärdena har antecknats i protokoll vilka ett par gånger om året samlats in. Värdena har härefter förts över till datordiskett och bearbetats, i huvudsak vid Göteborgs Datacentral.

Tillförd elenergi har mätts med konventionella elenergimätare, vilka uppges ha ett fel om maximalt  $\pm 0,2\%$ .

Gångtidsmätarnas och startantalräknarnas fel torde vara försumbara.

Köldbärartemperaturerna har genomgående mätts med precisions-termometrar, graderade i 10-dels grader. Värmeledande pasta har applicerats mellan dykrör och termometerspets. Mätfel bedöms ligga inom  $\pm 0,3^{\circ}\text{C}$ .

Radiator- och varmvattentemperaturer har i allmänhet mätts med konventionella stavtermometrar i VVS-utförande. Mätfelet bedöms ligga inom  $\pm 2^{\circ}\text{C}$ .



Störst problem har det varit att mäta värmeuttaget ur marken. Mätarna härför, värmemängdsmätarna, består av 2 temperaturgivare, en volymmätare och ett integreringsverk. Temperaturgivaren mäter temperaturen hos in- och utgående köldbärare. På grund av den lilla temperaturdifferensen häremellan, ett par tre grader, blir mätfelet lätt stora. Då temperaturgivaren sitter kallt monterade fås ofta kondens i kopplingshuset. Även beläggningar, förmodligen någon form av oxid, har ofta kunnat iakttas i kopplingshusen. Även volymmätaren och integreringsverket har vid ett par tillfällen vållat problem. Alla dessa felorsaker sammantaget medför att vi har få mätsäsonger under vilken värmemängdsmätningen fungerat. För flertalet säsonger har den uttagna värmemängden i efterhand fått räknas ut ur gångtider och elenergiförbrukning hos värmepumpen. De i tabell 2.1 angivna markenergiuttagen under normalår bedöms ha ett fel som ligger inom drygt + 12%. De i bilagorna redovisade energiuttagen från mark, vilka utgör för kända systematiska fel korrigerade värden enligt värmemängdsmätaren, bedöms ha ett fel som ligger inom + 6% vad avser årsenergiuttaget.

Utrustningar för mätning av marktemperaturer uppges i Luleå ha ett fel inom  $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ . Utrustningen var av fabrikat Pentronic och hade Pt 100 givare i 4-ledarkoppling. Utrustningen i Karlstad var av enklare utformning och bedöms ge ett något större felintervall, kanske  $\pm 0,8^{\circ}\text{C}$ . Mätsystemet i Kungälv skulle ge ett mätfel inom  $\pm 0,2^{\circ}\text{C}$ . Tyvärr blev givarna 3-ledarkopplade istället för 4-ledarkopplade. Ledningsresistanserna mättes därför upp och beaktades vid bearbetningen av mätdata. Detta har medfört att mätfelet blivit något större, uppskattningsvis inom  $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ . De temperaturmätningar i tjälgränsmätarrör som redovisas bedöms ha ett mätfel om  $\pm 0,8^{\circ}\text{C}$ . En stor del av detta fel är dock systematiskt eftersom vi använde oss av en och samma givare och instrument.

De ovan angivna felintervallen för köldbärartemperatur, radiatorvattentemperatur, varmvattentemperatur, värmemängd och temperatur i tjälgränsmätarrör är av författaren bedömda 95%-iga konfidensintervall för "samma" värdet. Bedömningen är självfallet subjektiv, dock grundad på överslagsberäkningar, överbäganden och en del erfarenhet.

Tjälgränsmätaren som använts är av den typ som utvecklats av Gandahl, se Gandahl (1957). Mätarna består av två stycken koncentriska plaströr, det yttre med ytterdiameter 15 mm. Mellanrummet mellan rören är fyllt med en metylenblåttlösning. Lösningen är i ofruset tillstånd blå och i fruset tillstånd ofärgad varför  $0^{\circ}\text{C}$ -isotermerna lätt kan avläsas. Tillsatsen av metylen blått är så liten att vätskans fryspunktsnedsättning är helt försumbar. Mätaren indikerar närmast  $0^{\circ}\text{C}$ -isotermen, varför vid jordar med fryspunktsnedsättning av viss diskrepans uppstår mellan indikerat frostdjup och verkligt tjäldjup.

Mätaren är framtagen för mätning av naturliga tjäldjup för vilket ändamål den fungerar bra. Vid mätning kring ytjordvärme-slangar har den emellertid visat sig fungera mindre bra under början av tjälsäsongen. Vi har då i allmänhet tjäle närmast markytan samt tjäle kring slangen. Jorden här emellan är varmare och otjälad. Tjälen närmast markytan förefaller indikeras riktigt men ingen indikering erhålls för tjälen kring slangen förrän efter 1 eller 2 månader, då vi plötsligt erhåller ett kraftigt utslag.

Detta beror förmodligen på att vi från slangen och uppåt har en ökande temperatur som förorsaker självkonvektion i mätaren vilken förhindrar frysning.

### 3. JÄMFÖRELSE MED BERÄKNINGSMODELLER

#### 3.1 Storskalig modell för värmeuttag ur mark.

Till grund för Thermias dimensioneringsregler ligger ett avancerat simuleringsprogram "YJSIMUL", Mogensen (1979a). Detta program simulerar det tvådimensionella temperatur- och tjälfältet kring ett antal slangstråk förlagda på visst djup och med viss delning. Slangstråken kan innehålla en eller flera värmeupptagande slangar. Modellen tar hänsyn till varierande klimat, solstrålning och snötäcke samt föreskrivna variationer i markens fukthalt. Markens termiska egenskaper ges som ett samband mellan kvartshalt, torr-densitet och vattenmättnadsgrad enligt Johansen (1973). Marken kan ha olika egenskaper i olika skikt, varvid kvartshalt och torr-densitet ges som tidsberoende värden, medan däremot fukthalten varierar på föreskrivet sätt i tiden. Beräkningarna genomförs strikt tvådimensionellt, dvs slangstråken förutsätts sakna ändeffekter. Modellen simulerar förhållandena ned till 20 m djup där temperaturen antas vara lika med markmedeltemperaturen. På så sätt erhålles en anpassning till tredimensionella förhållanden. För en normalstor ytjordvärmekollektor (25x25m) har temperaturstörningen nämligen i stort sett upphört på detta djup.

Simuleringarna genomfördes normalt så att markytans värmeöverföringsegenskaper fintrimmades genom att simulera ett stort antal år utan ytjordvärmeuttag. Parametrar med ett visst osäkerhetsintervall, såsom värmeöverföringskoefficienter i markytan och fukthaltsvariationen, justerades därvid så att marktemperaturer och tjäldjup överensstämde med kända förhållanden. Samtidigt erhöles startvärden för marktemperaturen för simulering av förhållandena vid markvärmeuttag. Vid dessa bestämdes köldbärartemperaturens tidsförlopp samt temperatur- och tjälfält för lämpliga tidpunkter. Simuleringen genomfördes först ett antal år med normala klimatdata, varefter ett extremår lades in. Extremåret kunde då kännetecknas av snöfrihet, sträng kyla mm.

De viktigaste uppgifterna från simuleringsmodellen var lägsta köldbärartemperatur och största tjälutbredning. Liksom för andra modeller ger även YJSIMUL en förenklad bild av verkligheten.

Bland införda förenklingar kan nämnas:

-	Isoterm slang	-
-	Kontinuerlig drift	-
-	Inget kontaktmotstånd slang/jord	-
-	Markvattnet rör sig utan att medföra värme	+
-	Fuktvandring mot slangen förekommer ej	+
-	Från ändeffekter bortses	++

Med + eller - betecknas om förenklingen innebär att temperaturen i verkligheten förmodas ligga över eller under simulerat värde. Några av ovanstående punkter berörs närmare i det följande.

Modellen förutsätter att köldbärartemperaturen är densamma samtidigt i alla delar av slangen. I verkligheten stiger temperaturen gradvis, alltefter som köldbäraren rör sig framåt genom slangen. Detta betyder att värmeuttaget blir större vid utloppet från värmepumpen än vad det är vid inloppet till denna. Typiska värden på köldbärartemperaturen kan vara  $-4^{\circ}\text{C}$  utgående och  $-2^{\circ}\text{C}$  till  $-1^{\circ}\text{C}$  ingående.

Eftersom en stor del av värmeuttaget erhålles vid markens frysning, inses att tjälområdet blir större kring slangen där köldbäraren är kallare.

Modellen förutsätter också att värmeuttaget är kontinuerligt och moduleras i proportion till behovet. De flesta värmepumpar regleras emellertid genom till/från-drift och slangtemperaturen kommer därför att uppvisa en cykliskt varierande temperatur i takt med värmepumpens driftperioder. Genom den långa omloppstiden för köldbäraren, som typiskt kan vara 5-15 min, erhålles dock en kraftigt utjämnande effekt, eftersom cykeltiderna ofta är av samma storleksordning. Mycket förenklat kan man då säga att under driftperioden fylls slagen med kall köldbärare som sedan under stilleståndsperioden värms upp av den omkringliggande marken, varefter cykeln upprepas. Till denna utjämnande effekt bidrar också att värmepumpen i allmänhet har ett högre effektuttag omedelbart efter start. Se även avsnitt 3.2.

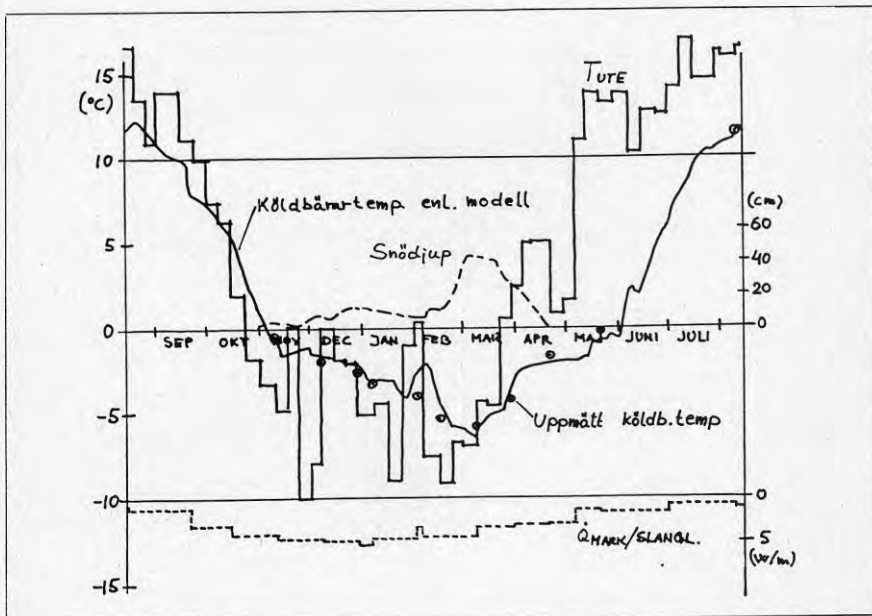
I modellen är kontaktmotståndet mellan slangen och marken satt till noll. Det vore i och för sig enkelt att införa ett dylikt, men inga resultat pekar på att ett sådant motstånd skulle föreligga i det praktiska fallet. Vissa forskare anser sig dock ha konstaterat existensen av ett ej försumbart kontaktmotstånd. Detta skulle framförallt kunna uppträda i grovkorniga jordarter, men uppvägs då sannolikt av fuktvandringen mot den kalla slangen, som kan förväntas vara störst i dessa marktyper.

En annan tänkbar orsak till kontaktmotstånd föreligger vid återfyllningen kring slangen, åtminstone om den ligger i kohesionsjord. I synnerhet styva leror kan vid låg fukthalt bilda gryn och klumpar, som gör det praktiskt omöjligt att undvika hålrum vid återfyllningen, även om den görs mycket omsorgsfullt. Ej heller från sådana fall visar dock praktiska erfarenheter på annat än försumbara kontaktmotstånd. Förklaringen ligger säkert i den markbearbetning som uppstår vid tjälningen och anrikningen av fukt i hålrummen kring slangen.

Modellen arbetar med tidsvariabel fukthalt, som normalt ges som en årsperiodisk funktion med högsta fukthalt på senhösten och lägsta fukthalt på försommaren. Variationen antas avta mot djupet för att under 1-2 m nivå bli konstant strax ovanför och i den mättade zonen. Dessa data grundar sig på mätningar av Andersson och Wiklert (1959) och (1972) samt Frodell och Lindberg (1970). Utöver denna årsperiodiska variation finns det, på samma sätt som för temperaturen, tillfälliga fluktuationer orsakade av nederbörd och andra faktorer. Dessa slumpmässiga variationer kan naturligtvis inte inkluderas i prediktiva beräkningar. Den ovan beskrivna variationen i markvattenhalt antas ske utan att markvattnet medför motsvarande mängder energi. Ett sådant hänsynstagande i modellen skulle leda till en avsevärd komplikation och kraftigt förlänga räknetiderna. Jansson och Lundin (1984) har studerat betydelsen av markvattnets energitransport i en endimensionell markmodell i samband med ytjordvärmeuttag. De fann därvid att markvattnets energitransport och ackumulering i den frysta zonen på slangnivå är betydelsefull, i synnerhet i grovkorniga jordarter. En modell som kopplar markvattnets rörelser och energinnehåll till temperaturfältet ger, som väntat, gynnsammare temperaturnivåer hos markvärmekollektorn.

Ändeffekterna gör att en praktisk kollektor kommer att vara mer effektiv än vad modellen förutsäger. Fuktvandring och ändeffekter har av oss bedömts kunna mer än väl kompensera andra negativa effekter och modellen som helhet förväntas sålunda ge något pessimistiska värden.

Rent allmänt kan sägas att anläggningar som dimensionerats med nuvarande dimensioneringsregler fungerar tillfredsställande och arbetar med köldbärartemperaturer som ej underskrider föreskrivet värde (medeltemperatur in/ut skall ej underskrida  $-5^{\circ}\text{C}$ ).

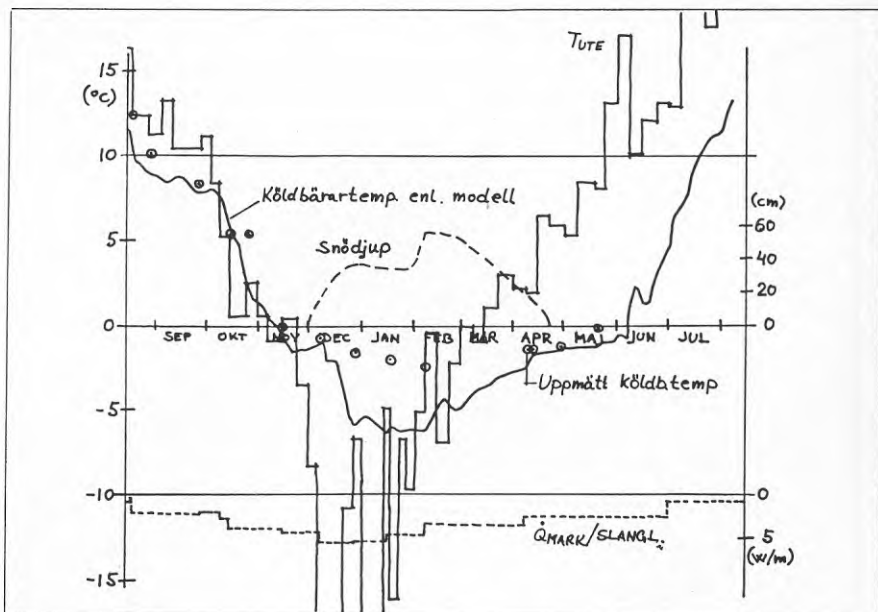


Figur 3.1. Eda 1980/81. Jämförelse mellan uppmätta och simulerade köldbärartemperatur. Uppmätta köldbärartemperaturer avser medelvärdet av inkommande och utgående temperatur.

Få noggranna jämförelser mellan YJSIMUL och verkliga anläggningar har utförts. Det finns huvudsakligen två skäl till detta. För det första fordras det att kollektorn ligger i ett homogent markområde och har en väl definierad geometri. Idealfallet är således en kvadratisk aggangerad kollektor på ett plant fält av ensartad jord eller med likformig skiktning. För det andra måste modellen vid en jämförelse köras med de drivande variabler som verkligen varit förhanden. Det innebär att aktuella klimatdata, snödjup och värmeuttag måste vara kända och kunna matas in i modellen.

Endast ett fåtal anläggningar uppfyller dessa kriterier. Anläggningen i Eda har ansetts uppfylla dessa förutsättningar och har simulerats med verkliga klimatdata och värmeuttag. Marken består här av sand. Se figurerna 3.1 och 3.2. För vintern 1980/81 stämmer simulerande och mätta köldbärartemperaturer väl överens.

För vintern 1981/82 är däremot de verkliga köldbärartemperaturerna klart högre. En tänkbar förklaring är att snötäckets isolerande förmåga underskattas av modellen. Även beträffande tjäldjupen finns samma tendens. Under vintern 1980/81 stämmer de mycket väl överens. Vintern 1981/81 har i verkligheten något mindre tjäldjup, se figurerna 2.51 och 2.52, medan modellen ger något större tjäldjup.



Figur 3.2. Eda 1981/82. Jämförelse mellan uppmätta och simulerande köldbärartemperatur. Uppmätta temperaturer avser medelvärdet av inkommande och utgående temperatur.

Möjligen kan också markvattentransport till slangnivån bidra till att förklara skillnaden mellan mätta och simulerande data. Denna vattentransport innebär dels en transport av energi till slangnivån och dels en höjning av vattenkvoten här, två effekter som modellen bortser ifrån.

En annan jämförelse mellan verkliga och simulerade data har gjorts för Djursholmanläggningen, (Mogensen 1979b). Marken består här av lera, ställvis underlagrad av berg och är ej homogen. Simuleringen har gjorts med klimatdata för normalår (ej aktuell säsong), men eldningssäsongens gradtimtal var nära det normala. Resultatet, figur 3.3 visar ett markant avvikelser för maj - juni som också här kan förklaras av markvattnets (regn) energitransport till kollektornivån.

### 3.2 Modell för detaljstudier längs ytjordvärmeslang

Det detaljerade temperaturförloppet längs en ytjordvärmeslang kan vara av intresse för att bedöma värmeuttagets fördelning längs slangen, köldbärartemperaturens variation under en driftcykel mm. För att kunna studera dessa förlopp gjordes under 1983 en numerisk simuleringsmodell för detta ändamål. Avsikten med modellen var att den skulle kunna köras på bordsdator typ Metric-85. När modellen var framtagen visade det sig emellertid att räknetiderna blev fruktansvärt långa och beräkningarna därför lämpligen borde göras på en stor dator. Programmet har under 1986 översatts till FORTRAN och implementerats på Stockholms Datacentral, QZ. Tillgängliga resurser har endast medgivet några enstaka körningar.

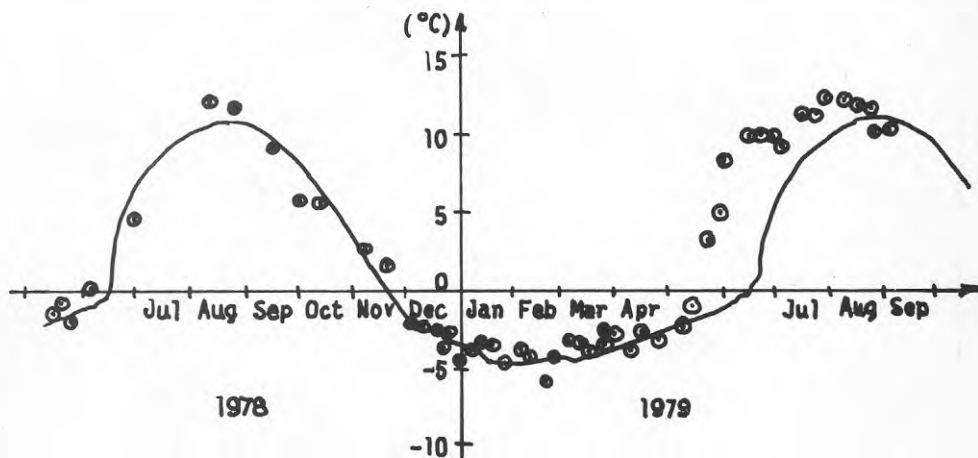
#### 3.2.1 Simuleringsfall

Simuleringarna har utförts med Edaanläggningen som förebild och med neanstående data.

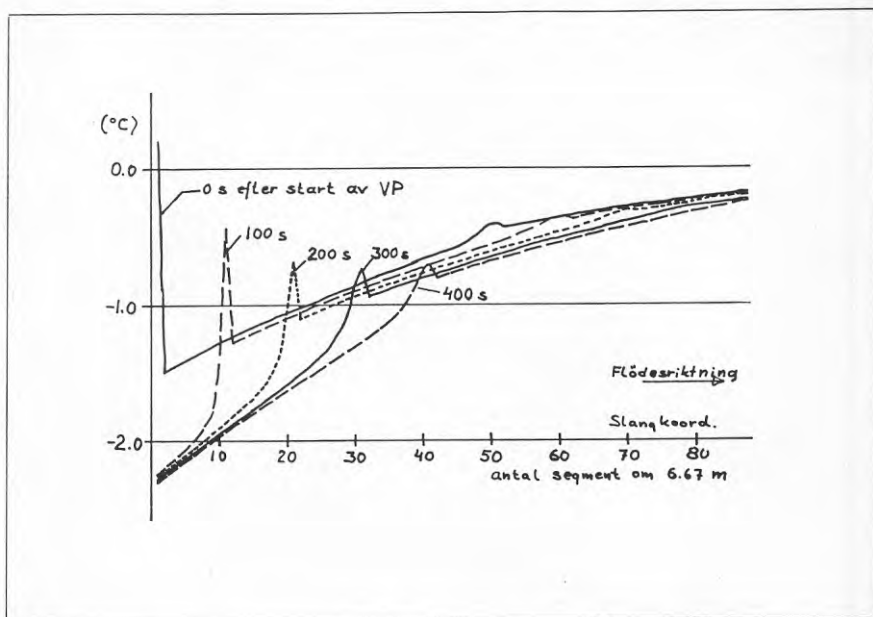
Data för kollektorslangen		
Innerdiameter	Di (mm)	35.000
Ytterdiameter	Dy (mm)	40.000
Slanglängd	(m)	586.903
Värmeledning	(W/Km)	0.350
Värmeövergångstal	(W/Km <sup>2</sup> )	1000.000
Specifik värmekapacitet	(MJ/Km <sup>3</sup> )	2.000
Köldbärardata		
Specifik värmekapacitet	(MJ/Km <sup>3</sup> )	3.800
Volymflöde	(l/min)	38.500
Markdata		
Lokal värmeledning	(W/Km)	1.600
D:o frusen värmeledning	(W/Km)	2.500
Specifik värmekapacitet	(MJ/Km <sup>3</sup> )	1.620
Frusen värmekapacitet	(MJ/Km <sup>3</sup> )	1.450
Specifikt frysvärme	(MJ/m <sup>3</sup> )	27.060
Ostörd marktemperatur	(degC)	0.000
Värmepumpdata		
Kyleffekt VP vid 0 deg	(kW)	5.100
Värmemotst slang-inomluft	(K/W)	0.075
Cykeltid	(sek)	1010.000
Vilotid	(sek)	500.000
Tidssteg	10.00(s)	
Körlängd	10000.00(s)	

Simuleringarna sker i en zon med radien 300 mm runt slangen. Största möjliga tidssteg bestäms av beräkningscellernas dimensioner och blev i detta fall 10 s. I längsled avpassas celllängden till att bli lika med vätskans förflyttning under ett tidssteg; i detta fall 6,67 m. Vätskan antas röra sig som en stel plugg. Den givna slanglängden innehåller 88 st segment med längden 6,67 m, vart och ett innehållande ett antal koncentrisk celler. Omloppstiden för vätskan blir  $88 \times 10 \text{ s} = 880 \text{ s}$ .

Den ostörda marktemperaturen har valts till  $0^{\circ}\text{C}$  för att snabbt erhålla en tjälkorv runt slangen vid simuleringskörningarna som av kostnadsskäl måste hållas korta. Cykeltiden valdes till 1010 s med drifttiden 510 s och vilotiden 500 s.

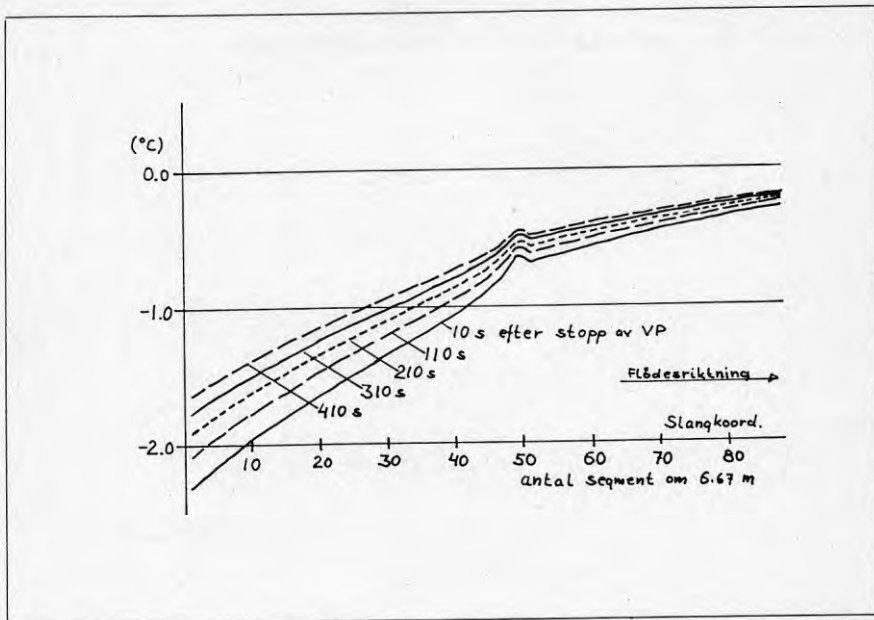


Figur 3.3. Djursholm. Jämförelse mellan uppmätta (punkter) och simulerade köldbärartemperaturer (heldragen kurva)



Figur 3.4. Köldbärartemperatur längs slang under drift.





Figur 3.5. Köldbärartemperatur längs slang under stillestånd.

För att komma över den första uppstartfasen kördes först en anläggning med 10-delen så mycket slang under sammanlagt 30 000 s med varierande belastning. Det resulterande temperatur- och tjälfältet runt denna slang sträcktes sedan ut till full längd.

Med jämna mellanrum tabuleras hela temperatur- och tjälfältet runt slangen. Köldbärartemperaturen i marken närmast inloppet till huset avläses vid varje tidssteg. Slutligen sparas temperaturprofilen längs slangen med jämna mellanrum.

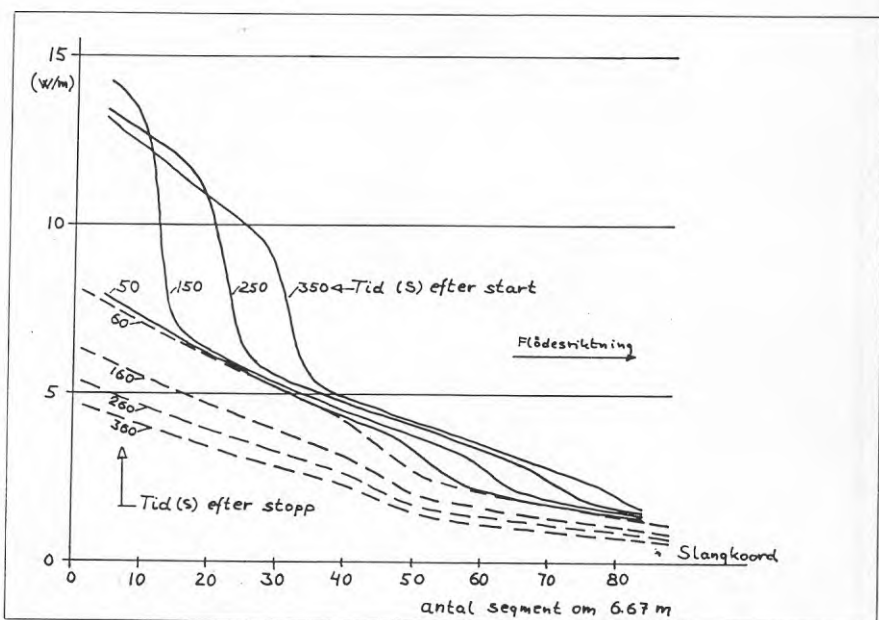
### 3.2.2 Temperaturprofil längs slang.

Köldbärarens temperaturprofil längs slangen vid olika tidpunkter visas i figur 3.4 under drift och i figur 3.5 under stillestånd.

### 3.2.3 Effektuttag längs slang

Effektuttaget längs slangen varierar beroende på var i driftcykeln anläggningen befinner sig. När värmepumpen startar kommer köldbärarens temperatur att sjunka språngartat. Värmeeffekten i och närmast efter denna front kommer att vara stor. Mot slutet av slangen har dock fronten plattats ut och värmeuttagningen sker mera likformigt, figur 3.6.

När värmepumpen stannar och köldbärarcirkulationen upphör, ökar snabbt värmeövergångsmotståndet vid slangväggens insida och är efter 500 s endast ca  $100 \text{ W/Km}^2$ . Under drift är värmeövergångstalet ca 10 gånger större. Det sjunkande värmeövergångstalet i kombination med att vätskans temperatur stiger, gör att effekt-tillförseln till köldbäraren blir relativt låg efter några minuter, figur 3.6.



Figur 3.6. Värmeupptagning längs slangen under drift respektive under stillestånd.

Den integrerade värmeupptagningen längs slangen visas i figur 3.7.

### 3.2.4 Ingående köldbärartemperatur

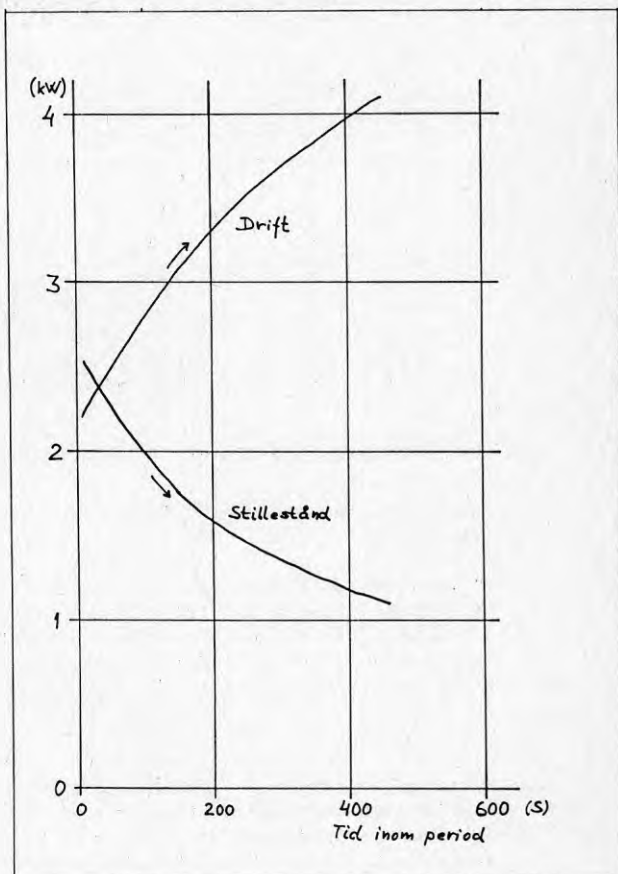
Den ingående köldbärartemperaturen (i marken) vid denna simulering finns avbildad i figur 3.8. Som framgår av diagrammet är variationsområdet för ingående brinetemperatur ej större än  $0,11 \text{ K}$  under en cykel. Förklaringen ligger dels i det sjunkande värmeövergångstalet vid stillestånd, dels i att slangen är så lång att köldbäraren i detta fall ej hinner fullborda ett varv under en gångperiod.

### 3.2.5 Diskussion

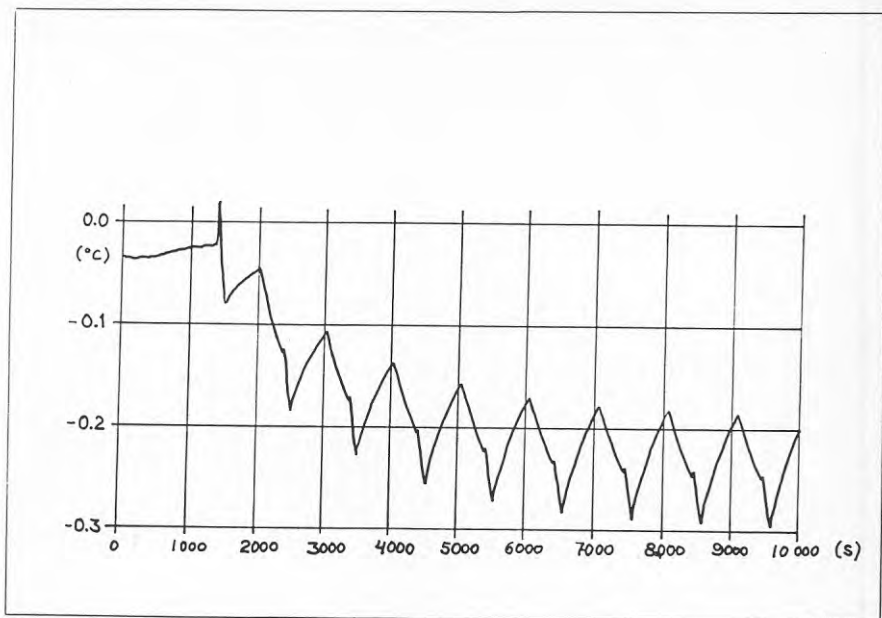
Simuleringarna för detta driftfall visar tydligt att effektuttaget, både under drift och under stillestånd, är högre närmast utloppet från värmepumpen. Vi bör därför förvänta oss en kraftigare tjälkorrh närmast utloppet. Vid de tyvärr mycket korta simuleringar

som utförts blir dock skillnaden i tjälkorvens dimensioner förbluffande liten mellan inlopp och utlopp. Förklaringen ligger förmodligen i att energileveransen p.g.a. frysvärme ökar med kvadraten av radien. I alla händelser kräver en rättvisande simulering av tjälkorvstillväxten att simuleringarna körs för en hel uppvärmingssäsong med varierande cykeltid och utnyttjningsfaktor.

Figur 3.7. Det totala effektuttagetets variation med tiden under drift resp under stillestånd. Medel-effektuttag under en drift- och vilocykel = 2.45 kW.



Variationerna i den ingående köldbärartemperaturen är oväntat små. En enkel kontroll med hjälp av köldbärarens värmekapacitet, vilotid mm visar emellertid att något räknefel inte föreligger. Från mätningar på anläggningar förefaller emellertid variationerna vara mycket större. Två förklaringar finns till detta. För det första sitter mätpunkten i allmänhet inomhus, vilket gör att värmeläckage från aggregatrummet påverkar temperaturen under stilleståndsperioden. För det andra kommer köldbäraren i många anläggningar att hinna tillrygga mer än ett varv under en driftperiod. Temperaturvariationen blir då större, vilket också antyds i temperaturprofilerna längs slangen vid olika tidpunkter under drift, figurerna 3.4, 3.5 och 3.8



Figur 3.8. Inkommande köldbärartemperatur (i marken) under simuleringen.

Variationer blir dock inte större än att den vid fältuppföljningen tillämpade metoden för temperaturmätning, avläsning efter 3 till 4 minuters drift, ger värde på köldbärartemperaturen som med högst ett par 10-delar skiljer sig från köldbärartemperaturen vid en tänkt kontinuerlig drift.

i kurvan över inkommande köldbärare. figur 3.8 finns en kraftig topp efter 1400 s. Denna topp orsakas av att simuleringsprogrammet håller ett segment av köldbärarkretsen inomhus. När programmet startar har detta segment en temperatur av  $16^{\circ}\text{C}$ . Under driftcykel nr 2 återvänder detta segment till värmepumpen. På motsvarande plats i de följande cyklarna återkommer det segment som stått inomhus under näst närmast föregående stilleståndsperiod. Segmentets uppvärmning under stilleståndsperioden är emellertid förhållandevis liten och denna puls blir därför mycket låg. Pulsen markerar samtidigt början på en ny uttagspuls.

## BILAGEFÖRTECKNING

Bilagorna utges som separat publikation "SJU YTJORDVÄRME-ANLÄGGNINGAR, del II. Bilagor".

Bilaga 2.1		Kungälv, plan
"	2.2	Kungälv, sektion A-A
"	2.3	Karlstad, Jordprovtabell
"	2.4	Arvika, Jordprovtabell
"	2.5	Arvika, Jordprovtabell forts.
"	2.6	Eda, Jordprovtabell
"	2.7	Eda, Jordprovtabell forts.
"	2.8 - 2.61	Djursholm, Diagram över mätresultat för säsongerna 1977/78 t o m 1983/84
"	2.62 - 2.93	Arvika. Diagram över mätresultat för säsongerna 1978/79 t o m 1983/84
"	2.94 - 2.126	Eda. Diagram över mätresultat för säsongerna 1978/79 t o m 1982/83
"	2.127 - 2.146	Luleå. Diagram över mätresultat för säsongerna 1980/81 t o m 1983/84



## LITTERATURREFERENSER

Ahlkrona, D, 1979, Fältuppföljning av ytjordvärmeanläggningar. Delrapport I från Thermia AB till Statens Planverk. Opublicerad.

Andersson Sigvard, P. Wiklert, 1959, Markfysikaliska undersökningar i odlad jord, del XI, Studier av några markprofiler på Ultuna egendom. Kungl. Lantbrukshögskolan. Grundförbättring, spec nr 3, Årg 12, p. 1-195 Uppsala.

Andersson Sigvard, P. Wiklert, 1972, Markfysikaliska undersökningar i odlad jord, del XXIII, Om de vattenhållande egenskaper hos svenska jordarter. (Kungl. Lantbrukshögskolan). Grundförbättring, nr 2-3, Årg 25, p 53-143, Uppsala.

Eklund, S-A, 1981. Protokoll, Mätprogram för fullskaleförsök med mindre elmotordrivna värmepumpar. (VVS-tekniska föreningen). Opublicerad.

Eklund, S-A, 1984. Mätprogram för fullskaleförsök med mindre elmotordrivna värmepumpar. (Statens Råd för byggnadsforskning). Stockholm.

Frodell Bo, U. Lindberg, 1970, Statistiska bearbetningar av markvattendata. (KTH, Inst för Kulturteknik). Opublicerad.

Gandahl, R, 1957. Bestämning av tjälgräns i mark med enkel typ av tjälgränsmätare. (Staten väginstitut) Rapport 30, Stockholm.

Jansson Per-Erik, L-C Lundin, 1984. Fysikaliska effekter av ytjorduttag. (Statens råd för byggnadsforskning) R50:1984. Stockholm.

Johansen Øisten, 1973. Beregningsmetode for varmeledningsevnen av fuktige og frosne jordarter, Del II, Frost i Jord no 10. (Utvalg for permafrost). Oslo.

Lindquist, T, 1980. Mätssystem för Thermia Verkens markvärmsystem i Kungälv. (Institutionen för byggnadskonstruktion, CTH). Opublicerad.

Mogensen Palne, 1979(a), The Ground as a Heat Source for Heat Pumps, Performance and Reactions. (The XVth International Congress of Refrigeration) Volum IV, Venezia.

Mogensen Palne, 1979(b), Experiences from Earth Heat Pumps in Sweden, (Nordic Symposium on Earth Heat Pump Systems, CTH, Oct.15-16). Gothenburg.

Månadsöversikt över väderlek och vattentillgång  
1976--1981. (Sveriges meteorologiska och hydrologiska  
institut). Årg. 58--63, Norrköping.

Månadsöversikt, väder och vattentillgång, 1982--1983.  
(Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut).  
Norrköping.

Sundberg, J, 1986, Värmeöverförande egenskaper  
i svenska jordarter. Värmekonduktivitet, specifik  
värmekapacitet och latent värme. (Statens råd för  
byggnadsforskning)R104:1986.

VVS, 1977--1982. (Förlags AB VVS). Årg 48--53. Stockholm.







**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 811692-7  
från Statens råd för byggnadsforskning till Thermia AB, Arvika**

**R81: 1987**

**ISBN 91-540-4778-1**

**Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm**

**Art.nr: 6707081**

**Abonnemangsgrupp:  
Ingår ej i abonnemang**

**Distribution:  
Svensk Byggtjänst, Box 7853  
103 99 Stockholm**

**Cirka pris: 45 kr exkl moms**