



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

R43:1979

A 973

**Tryckavloppsledningars
frostskydd**

Lars-Eric Janson

Byggforskningen

TEKNISKA HOGSKOLAN I LUND
SEKTIONEN FOR VÄG- OCH VATTEN
BIBLIOTEKET

R43:1979

TRYCKAVLOPPSLEDNINGARS FROSTSKYDD

Lars-Eric Janson

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag
750505-2 från Statens råd för byggnadsforskning
till Platzer Bygg AB, Stockholm

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

R43:79

ISBN 91-540-3010-2
Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

LiberTryck Stockholm 1979 952986

INNEHÅLL

1	BAKGRUND	5
2	FÖRSÖKSANLÄGGNINGEN	6
3	MÄTNINGAR	8
3.1	Klimatförhållanden	9
3.2	Temperaturmätningar i mark	11
3.3	Temperaturmätningar på vatten- och tryckavloppsledningar	13
3.4	Övriga undersökningar	17
4	UTVÄRDERING	18
4.1	Tjäldjup	18
4.2	Värmeavgivning från va-ledningarna	19
4.3	Inverkan från värmekulvert	26
4.4	Dimensionering	26
5	SAMMANFATTNING	30
6	SUMMARY	31
BILAGA 1	Referenser	33
BILAGA 2	Temperaturmätningar	34
TEXTPLANSCHER		39

UNDERSÖKNING AV TRYCKAVLOPPSSYSTEM
BETRÄFFANDE ERFORDERLIGT FROSTSKYDD

(Härtill 2 Bilagor och 25 Textplanscher)

1. Bakgrund

År 1976 erhöill Platzer Bygg ett forskningsanslag från BFR för studium av frysrisker i tryckavloppsledningarna ingående i det s.k. LPS-Systemet (Low Pressure Sewage System). Projektledare har varit prof. Lars-Eric Janson, VBB.

Eftersom tryckavloppssystemet inte som fallet är för gravitationsledningar är beroende av källardjup och givna minsta lutningar kan tryckavloppsledningarna tillåtas följa markytans topografiska förändringar. Härigenom kan väsentliga besparingar i jordarbetena åstadkommas, speciellt om avloppsledningen tillsammans med vattenledningen läggs ovanför tjälgränsen. Speciella frostskyddande åtgärder måste emellertid i så fall vidtagas. Flera olika metoder kan ifrågakomma och det är för att studera några av dessa och för att skapa generella dimensioneringsregler som en försöksstation har anlagts. Den allmänna problemställningen presenteras i /1/, Bilaga 1. Till grund för studierna och för den teoretiska ansatsen ligger /2/, /3/, /4/ och /5/.

2. Försöksanläggningen

I kvarteret Borgen i Saltsjöbaden, Nacka kommun, finns ett antal tomter för vilka sedan länge rått byggnadsförbud på grund av att avloppsvattenproblemet inte kunnat ges en tillfredsställande lösning. Detta sammanhänger med att de topografiska förhållandena är sådana att området skiljs från kommunen i övrigt genom en vattendelande högplatå. Genom introduktion av LPS-Systemet har det varit möjligt att finna en tillfredsställande teknisk-ekonomisk lösning på avloppsvattenproblematiken. Byggnadsförbudet har därmed kunnat hävas, och en plan för utbyggnad av kvarteret med LPS-Systemet upprättats.

Eftersom området innehåller sparsamt med lösa jordlager och till största delen består av berg i dagen, var det lämpligt att söka minska anläggningskostnaden genom att lägga ledningarna nära markytan och ovanför tjälgränsen. Området kom därmed att utgöra ett naturligt studieobjekt för va-ledningarnas frostskydd och frysrisk. På Textpl. 1 beskrivs områdets utbyggnadsplan med försöksområdet markerat. På Textpl. 2 visas sektioner genom de olika observationssträckorna med mätpunkter för temperatur markerade. Som tryckavloppsledning (TA) används \varnothing 63 mm PEH och för vattenledning (V) \varnothing 50 mm PEL.

Inom området finns tre mätsträckor om vardera 10 m längd. Läggningsdjupet för ledningarna, såväl tryckavlopps- som vattenledningarna, ligger mellan 0,8 och 0,9 m räknat som avståndet mellan markytan och ledningarnas centrum. Samtliga rörgravar har återfyllts med grusig sand. På Textpl. 3 visas några fotografier av installationsarbetet.

På sträcka A som ligger i berg har ledningarna läggningsdjupet 0,80 m och ledningarna har här kringfyllts

med löst utfylld Leca enligt vad som framgår på tvärsektionen. Elektrisk värmekabel följer båda ledningarna med en reglerbar effekt av 0-10 W/m kabel.

På sträcka B som ligger i fyllning är läggningsdjupet 0,91 m. Ledningarna är här oisolerade så när som på vattenledningen som omges av 5 cm rörskålar av mineralull, som fuktskyddas av ett yttre korrugerat PEH-rör. Värmetillförseln till rörgraven säkerställs i detta fall från två centralt belägna värmekablar, som simulerar en värmekulverts fram- och återledning. Den installerade effekten är 0-15 W/m kabel. Vattenledningen har isolerats för att minska uppvärmningen av dricksvattnet under sommarhalvåret. Risken för otillräcklig värmetillförsel till vattenledningen under vintern elimineras samtidigt genom att en elkabel installerats längs vattenledningen med en reglerbar effekt av 0-10 W/m kabel.

På sträcka C, som också ligger i fyllning och där läggningsdjupet är 0,89 m, är vatten- och avloppsledningen var för sig isolerad med 5 cm mineralullsskålar omgivna av korrugerade PEH-rör. Längs båda ledningarna löper elkablar med en installerad reglerbar effekt av 0-10 W/m kabel.

Inom mätområdet har också installerats temperaturgivare i naturlig mark dels i berg och dels i lös jord, Textpl. 4.

För uppmätning av lufttemperatur och luftfuktighet inom området finns en meteorologisk bur (typ SMHI) innehållande en termohygrograf med veckoregistrering samt max- och mintermometrar.

Temperaturen i jorden samt längs ledningarna mäts med åldringsbeständiga resistiva givare av koppar med ett

motstånd vid 0°C av ca 35 ohm. Mätkroppen är speciellt utformad för installation i vatten och jord och har en diameter av 8 mm och en längd av 70 mm. Mätkroppen är försedd med 6-8 m långa gummiisolerade anslutningskablar, vars motstånd är kända. Motståndet i givarna mäts med en motståndsmätbrygga av Wheastone-typ. Samtliga givare är individuellt kalibrerade vid 0°C i bad av smältande is i destillerat vatten, Textpl. 5. Korrektion görs även för anslutningskablarnas motstånd som dock är mycket litet i förhållande till givarnas. Temperaturen kan sålunda mätas med ett största fel av $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$. Såväl givare som mätbrygga är av fabrikat SWEMA (Svenska Mätapparater AB).

3. Mätningar

Mätningar har utförts från november 1976 till juni 1978. Under den första mätsäsongen 1976-77 var endast Hus I (Textpl. 1) anslutet till tryckavloppssystemet. Hus II var under uppförande och anslöts till va-systemet först under sommaren 1977. Till följd av pågående byggnadsverksamhet för Hus II har vissa störningar i mätningarna inte kunnat undvikas under första mätsäsongen. Framför allt har gatumarken ovanför mätsträckorna under vissa tider måst tjäna som upplag för byggnadsmaterial. Snöröjningen har dessutom stundtals varit bristfällig eftersom gatuområdet under den första vintern ännu saknade trafik. Under den andra vintern 1977-78 kunde mätningarna ske ostört, så när som vad gäller temperaturmätningarna i naturlig lös jord, där mätningarna fick avbrytas till följd av att ett inte planerat garagebygge kom att inkräkta på mätområdet.

Försöksanläggningen byggdes färdig under sommaren och hösten 1976. Mätningarna påbörjades 1976-11-02 med avläsning av temperaturgivarna i marken en gång per vecka. Veckoavläsning utfördes fram till 1977-03-30, varefter avläsning gjordes en gång per månad under

sommarhalvåret 1977. Veckoavläsning påbörjades ånyo i november 1977 och fortgick fram till april 1978. Sista avläsningen gjordes 1978-06-08.

Under vintrarna har mätningar även utförts av vatten- och avloppsvattentemperaturen samt av flödet i ledningarna. Under hela mätperioden har värmeläckaget från en värmekulvert simulerats i provsträcka B genom en konstant effektbelastning av 11 W/m kabel motsvarande 22 W/m ledning.

3.1 Klimatförhållanden

Bestämmande klimatdata för värmebalansen och tjäl djupet i marken är främst ortens årsmedeltemperatur, vinterns köldmängd samt snötäckets tjocklek och varaktighet.

Årsmedeltemperaturen för en ort undergår endast små variationer under längre tid och kan i detta sammanhang betraktas som konstant. För Saltsjöbaden kan den sättas till + 6°C.

Köldmängden är ett mått på hur kall vintern är vad beträffar lufttemperaturens tjälframkallande inverkan på det övre marklagret. Sålunda mäts köldmängden som produkten av lufttemperatur under 0°C och den tid som denna temperatur rått. Enheten är gradtimmar (h°C) eller graddagar (d°C). Medelköldmängden såsom den definieras i /6/ är för Stockholms innerskärgård ca 200 d°C och maximiköldmängden (50 årsvärdet) ca 1 000 d°C.

Lufttemperaturen inom försöksområdet har registrerats med termo-hygrograf samt högsta och lägsta registreringerna kontrollerats med max- och mintermometer.

Dessa mätningar har jämförts med SMHIs mätningar för station Stockholm, varvid konstaterats anmärkningsvärt god överensstämmelse. Endast mycket kortvariga extremtemperaturer skiljer sålunda observationerna åt. För beräkning av markens värmebalans kan man bortse från dessa skiljaktigheter i föreliggande arbete. SMHIs mätningar som är mer fullständiga har därför använts i det följande för beskrivning av luftens medeltemperatur inom försöksområdet. På Textpl. 6 redovisas dygnsmedeltemperaturens variation närmast före och under mätperioden 1976-77. Med utgångspunkt från de dagliga temperaturobservationerna har den för tjäl- nedträngningen bestämmande köldmängden för vintern 1976-77 beräknats till 250 d^oC. Den aktuella vintern kan således ur köldmängdssynpunkt betraktas som praktiskt taget normal.

På Textpl. 6 har även inlagts det naturliga snötäckets utbredning. Under hela januari och februari fanns ett sammanhängande snötäcke med en medeltjocklek av 0,3 m, vilket är betydligt mer än normalt. Vintern får således betraktas som snörik, innebärande mycket ringa tjäldjup i naturlig snötäckt mark. Genom otillräckligt snöröjningsarbete under främst januari månad kan snödjupet över ledningssträckorna uppskattas ha uppgått till i medeltal 0,1 m och i övrigt utanför ledningsområdet där tjälmätning utförs i berg till 0,15 m räknat som ekvivalent mått för hela tjälningssperioden.

På Textpl. 7 har inlagts luftens dygnsmedeltemperatur under vintern 1977-78. Den för tjäl- nedträngningen bestämmande effektiva köldmängden har beräknats till 235 d^oC, vilket endast obetydligt skiljer sig från köldmängden under den första vinterperioden. Skillnaden mellan vintrarna framträder blott i det förhållandet att den för tjäl- nedträngningen bestämmande

köldmängden uppträder mer jämnt fördelat under den första vintern än under den andra, då köldmängden uppträder koncentrerat huvudsakligen under februari 1978. Resultatet härav framgår också senare av Textpl. 13 och 19, som visar en tämligen konstant tjälningshastighet under den första vintern, medan en plötsligt kraftig tjälningshastighet uppkommer under februari den andra vintern.

På Textpl. 7 har även markerats det naturliga snötäckets utbredning. Varaktigt snötäcke upp mot 15 cm förekom som framgår endast under den kalla månaden februari. Vintern som helhet kan således bedömas som snöfattig även om i naturlig mark den myckna snön som just föll under den kalla månaden februari kom att få stor betydelse som tjältskydd. Genom ofullständig snöröjning även denna vinter kan man räkna med ett i viss mån tjältskyddande hårt packat snölager över mätsträckorna av ca 0,05 m. Utanför ledningsområdet där temperaturmätning utförs i berg kan man räkna med ca 0,1 m ekvivalent snödjup under den kallaste tjälningssperioden.

3.2 Temperaturmätningar i mark

Observationerna från de i marken installerade temperaturgivarna har bearbetats och resultatet redovisas i diagramform på Textpl. 8-14 för vintern 1976-77 och på Textpl. 15-20 för vintern 1977-78. Sålunda återfinns på Textpl. 8-12 respektive Textpl. 15-18 tautokrona (= liktidiga) temperaturkurvor i marken från de olika mätsektionerna. Härvid har i ledningsgarvarna de givare som ligger ovanför, 200 mm vid sidan av, respektive under ledningspaketet, använts. Med undantag för mätsträcka B, inom vilken värmeläckage från värmekulvert simulerats, visar därmed de tautokrona kurvorna temperaturfördelningen i ledningsgraven utanför det egentliga influensområdet för ledningarnas egenvärme. I markområdet mellan markytan och den högst upp instal-

lerade givaren har temperaturkurvornas lägen uppskattats genom interpolering. Som stöd för interpoleringen har utnyttjats luftens och markytans tidsberoende temperaturförändring och den därav bestämda riktningen för värmeströmmen genom markytan. Med ledning av dessa temperaturkurvor har också tjälgränsens utbredning uppskattats på Textpl. 13 och 19 för mätsträcka C, som till följd av att va-ledningarna är isolerade med rörskålar och hela rörgraven är återfylld med homogen sand, närmast kan jämföras med en naturlig sandig grusig mark. På Textpl. 14 och 20 har på motsvarande sätt tjälgränsens utbredning uppskattats för mätsektionen i berg utanför ledningsområdet.

Av textplanscherna framgår att det maximala tjäldjupet i mätsektionerna under den första vintern legat mellan ca 0,65 och 0,75 m. Ett undantag utgör mätsträcka B, i vilken värmekulvertens inverkan simulerats. Sålunda startades värmetillförseln längs sträcka B 1977-01-07. Fram till detta datum hade tjälgränsen trängt ned 0,4 m under markytan, dvs. till samma djup som gällde för sträcka A och C. Därefter medförde värmeläckaget i ledningsgraven, motsvarande 22 W/m ledning, att tjälgränsen under resten av vintern kom att tvingas uppåt och ligga mellan 0,1 och 0,3 m under markytan.

Under den andra vintern uppgick det maximala tjäldjupet till ca 0,8 m i samtliga observerade sektioner. Även i detta fall utgör emellertid mätsträcka B ett undantag, eftersom den simulerade värmekulverten drevs utan avbrott under hela mätperioden. Sålunda begränsades här tjäldjupet till 0,4 m.

Beträffande mätsträcka B framgår av Textpl. 9 respektive Textpl. 16 att marktemperaturen på ledningens nivå 200 mm vid sidan av den yttersta vattenledningen är lägre än marktemperaturen ovanför och under rörpaketet.

Som jämförelse har därför även inlagts den kurva som visar temperaturen på tryckavloppsledningen.

I nedanstående Tabell 3.2 har en sammanställning gjorts av de maximala tjäldjup, som uppmätts under vintrarna 1976-77 och 1977-78.

Tabell 3.2

Mätsektion	Frostskydd	Lägg- nings- djup (m)	Ekvivalent snödjup		Max. tjäldjup	
			(m)	(m)	(m)	(m)
			1976-77	1977-78	1976-77	1977-78
A	Leca	0,80	0,1	0,05	0,75	0,8
B	Värme- kulvert	0,91	0,1	0,05	0,3	0,4
C	Rörskålar	0,89	0,1	0,05	0,75	0,75
Berg	-	-	0,15	0,1	0,7	0,8
Jord	-	-	0,15	-	0,65	-

3.3 Temperaturmätningar på vatten- och tryckavloppsledningar

Resultatet av temperaturmätningarna som utförts på vatten- och avloppsledningarna har redovisats för hela mätperioden på Textpl. 21 (Mätsträcka A), Textpl. 22 (Mätsträcka B) och på Textpl. 23 (Mätsträcka C). I samtliga diagram har också inlagts en kurva visande månadsmedeltemperaturen i luften. I Bilaga 2 redovisas i tabellform samtliga temperaturmätningar.

På mätsträcka A där ledningarna ligger inbäddade i Leca är mätsonderna tejpade med anliggning mot de båda plaströrens utsida enligt Textpl. 2. Mitt emellan rören finns dessutom en mätsond liggande i isoleringsmaterialet.

Som framgår av Textpl. 8 och 15 kom tjälnedträngningen vid sidan av va-ledningarna aldrig att understiga ledningarnas läggningsdjup. Eftersom den på vattenledningen fixerade termostaten för värmekablarnas tillslag inställts på $+ 1^{\circ}\text{C}$ och temperaturen här aldrig kom att understiga $+ 2^{\circ}\text{C}$ under den första vintern och $+ 3^{\circ}\text{C}$ under den andra vintern enligt Textpl. 21, behövde värmekablarna aldrig utnyttjas som frostskydd.

Vattnets temperatur i vattenledningen har vid ett flertal tillfällen uppmätts vid långvarig spolning i tappkranar. Vattentemperaturen har under båda vintrarna legat mellan $+ 3,5^{\circ}\text{C}$ och $+ 4,5^{\circ}\text{C}$. Under somrarna 1977 och 1978 låg den vid maximalt ca $+ 15^{\circ}\text{C}$. Avloppsvattnets temperaturfall räknat från pumpkammare till utlopp i självfallsledningen har likaså uppmätts. På hela sträckan från Hus I till utloppet i självfallsledningen är ledningarna lagda i Leca med samma utformning som i mätsträcka A. Temperaturen i pumpkammaren har under den första vintern legat vid ca $+ 8^{\circ}\text{C}$ och under den andra vid ca $+ 10^{\circ}\text{C}$. Motsvarande temperatur vid utloppet till självfallsledningen var ca $+ 4^{\circ}\text{C}$ respektive $+ 5^{\circ}$ ä 6°C under de båda vintrarna. Vattenflödets dygnsmedelvärde har samtidigt legat vid ca $0,6 \text{ m}^3/\text{d}$ från Hus I. Under den andra vintern tillkom ca $0,5 \text{ m}^3/\text{d}$ från Hus II. Detta tillskott i flöde berör dock endast mätsträcka A och mätsträcka C.

Som framgår av Textpl. 21 ligger temperaturen på tryckavloppsledningen under den första vintern vid i medeltal $+ 3,5^{\circ}\text{C}$. Att temperaturen varierar tämligen kraftigt beror på att vid vissa mättillfällen avloppspumpen just varit igång, och vid andra kan vattnet ha stått stilla under lång tid. Vid värmebalansberäkningar måste därför medelvärdet av observationerna användas.

Under sommaren stiger avloppsledningens temperatur till maximalt + 18°C och vattenledningens temperatur till maximalt + 15°C.

Under påföljande vinter ligger avloppsledningens temperatur högre än under den första vintern, eller vid ca + 7°C som medelvärde. Detta förklaras dels av att en viss höjning av avloppsvattnets temperatur skett i Hus I och dels av att tämligen varmt avloppsvatten tillkommit från Hus II.

Detta framgår också av temperaturopobservationerna på mätsträcka C (Textpl. 23) som i likhet med mätsträcka A berörs av det från Hus I och II gemensamma avloppsvattenflödet. Sålunda ligger avloppsledningens temperatur under vintern 1978 vid i medeltal ca + 9°C, medan den vintern innan låg vid endast ca + 3,5°C. Vattenledningens temperatur (under rörskålen) på mätsträcka C följer mycket nära motsvarande temperatur på mätsträcka A. Den första vintern är den sålunda lägst + 2°C och den andra vintern lägst + 3°C i båda fallen. Under sommaren är den på båda mätsträckorna maximalt + 15°C i slutet av augusti.

Av Textpl. 23 framgår vidare temperaturskillnaden mellan rörisoleringens in- och utsida, vilket möjliggör värmebalansberäkningar. Man finner exempelvis att temperaturskillnaden genom tryckavloppsledningens isolering den andra vintern är ungefär dubbelt så stor som under den första vintern. Temperaturfallet genom vattenledningens isolering är däremot som väntat nära lika under de båda vintrarna.

Mätsträcka B (Textpl. 22) skiljer sig markant från A och C genom att värmeläckage från värmekulvert simulerats under hela mätperioden, dvs även under sommaren. Vidare influeras mätsträcka B ej av avloppsvatten från Hus II, varför flödet är detsamma under den första och

den andra vintern. På Textpl. 22 har också inlagts medeltemperaturen på de båda värmekablar som simulerar värmekulverten. När värmekablarna inkopplades i början av januari 1977 höjdes således kablarnas temperatur språngartat från ca + 3°C till ca + 12°C. Såväl under den första som under den andra vintern låg värmekablarnas temperatur vid ca + 12°C. Under sommaren gick den upp till maximalt ca + 25°C under augusti.

Som framgår av Textpl. 22 är avloppsledningens temperatur under den första vintern i medeltal ca + 7°C medan den under den andra vintern stigit till ca + 10°C. Motsvarande temperaturhöjning som troligtvis beror på någon förändring i brukarvanorna i Hus I, styrks också av temperaturmätningarna i husets pumpbrunn.

Av speciellt intresse är vattenledningens temperatur under isoleringsskålen som under de båda vintrarna ligger vid ca + 3°C respektive + 4°C. Dessa temperaturer är ca 1°C högre än vad som uppmätts på sträcka A och C. Vidare kan konstateras att vattenledningens temperatur under sommaren går upp till maximalt + 16,5°C, vilket tack vare rörisoleringen endast obetydligt överstiger temperaturen på vattenledningarna i mätsektion A och C. Skulle däremot isolering saknats hade ledningens temperatur närmast sig den som gäller för isoleringens utsida, eller ca + 18°C. Temperaturen på vattenledningen skulle dessutom varit över + 15°C under hela sommaren, dvs under väsentligt längre tid än om den isoleras, då ju i sistnämnda fall endast kortvarig temperaturhöjning upp till + 16,5°C sker.

3.4 Övriga undersökningar

En betydelsefull faktor vid studium av värmebalansen i jorden är de olika kring va-ledningarna liggande materialens värmeledningsförmåga. När det gäller isoleringsmaterialen Leca och mineralull har inga speciella mätningar utförts. För dessa material har i beräkningarna använts de som rekommenderas i litteraturen såsom praktiskt tillämpbara. Sålunda har för Leca antagits ett värmeledningstal av $0,13 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$ och för mineralull $0,05 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$.

För återfyllningsmaterialet, vars kornkurva visas på Textpl. 24, har undersökts densitet, värmeledningsförmåga och vattenkvarhållande förmåga vid fri dränering. Den torra volymvikten har uppmätts i samband med återfyllnings- och packningsarbetet till $1\,800 \text{ kg/m}^3$. Den vattenkvarhållande förmågan vid fri dränering har bestämts till 8 vikts-% räknat på den torra volymvikten. Värmeledningstalet har bestämts i laboratorium med den instationära värmeinflödesmetoden beskriven i /2/. Verifiering av där redovisat samband mellan densitet, fukthalt och värmeledningstal gällande för moig sand i ofruset tillstånd har ernåtts. Det kan på goda grunder antas att sambanden som redovisas för fruset material därmed också gäller i detta fall. Sålunda har värmeledningstalet i ofruset tillstånd bestämts till $1,8 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$. I fruset tillstånd blir därmed värmeledningstalet $2,3 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$.

Vid varje observationstillfälle i fält har avlästs volt- och amperemätare samt kilowattimmätare för värmekablarna som simulerar värmekulverten längs mätsträcka B. Det har därmed kunnat verifieras att kabeleffekten legat konstant vid $2 \times 11 \text{ W/m}$ under hela mätperioden.

4. Utvärdering

4.1 Tjäldjup

De uppmätta tjäldjupen som redovisats i Tabell 3.2 har kontrollberäknats med metod angiven i /2/. De jordartskonstanter som bestämts för återfyllningsmaterialet stämmer väl med de som använts för konstruktion av Fig. 5.3.2 i /2/.

För ett vattenfritt homogent material som berg, kan tjäldjupet ξ beräknas enligt /7/ med ekvationen

$$\xi = \sqrt{\frac{\lambda T}{\pi c \gamma}} \ln \frac{\vartheta_{om} + |\vartheta_{oe}|}{\vartheta_{om}} \quad (1)$$

där

ϑ_{om} = luftens årsmedeltemperatur

ϑ_{oe} = lägsta månadsmedeltemperatur

λ = värmeledningstal för jordmaterialet

T = årsperiod

c = värmekapacitet

γ = densitet

Sambandet mellan ϑ_{oe} , ϑ_{om} och köldmängden F framgår av Fig. 5.2.1 i /2/.

Snöns reducerande inverkan kan beräknas enligt ekv.

(4.3.1) i /2/. De effektiva värmeledningstal som här kan komma till användning diskuteras likaså i /2/.

I snötäckt mark används värmeledningstalet $0,2 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$ och för packat snölager på vägbana $0,6 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$. De ekvivalenta medelsnödjupen framgår av Tabell 3.2.

Som tidigare redovisats är köldmängden för vintern

1976-77 $250 \text{ d}^{\circ}\text{C}$, vilket vid $\vartheta_{om} = +6^{\circ}$ motsvarar

$\vartheta_{oe} = -3,8^{\circ}\text{C}$. För vintern 1977-78 är köldmängden

$235 \text{ d}^{\circ}\text{C}$, vilket vid samma årsmedeltemperatur mot-

svarar $\vartheta_{oe} = -3,5^{\circ}\text{C}$.

Med ovanstående konstanter erhålls de i Tabell 4.1 angivna tjäldjupen i snöfri respektive i snöröjd och i snötäckt mark.

Tabell 4.1

Mätsektion	Vinter	Beräknat tjäldjup (m) i			Uppmätt tjäldjup (m)
		snöfri mark	snöröjd mark	snötäckt mark	
C	1976-77	1,0	0,7 (0,1)	-	0,75
C	1977-78	0,9	0,7 (0,05)	-	0,75
Berg	1976-77	1,7	-	0,7 (0,15)	0,7
Berg	1977-78	1,6	-	0,8 (0,1)	0,8

Inom parentes anges de ekvivalenta medelsjäldjupen under respektive vinter i m.

Som framgår av tabellens tre sista kolumner är överensstämmelsen mellan beräknade och uppmätta tjäldjup god, trots att homogena jord- och värmeströmningsförhållanden inte råder vare sig i vertikal- eller horisontal-led. Beräkningsmetoden är således inte speciellt känslig för smärre variationer i markförhållandena, eller för ojämnheter till följd av den till gatumarken anslutande terrängens utformning och uppbyggnad.

4.2 Värmeavgivning från va-ledningarna

De i /2/ och /3/ presenterade formlerna för värme-strömning från en i jorden installerad cirkulär värmekälla har tidigare experimentellt verifierats. Dessa undersökningar har utförts på va-ledningar under normal drift och som regel förlagda på frostfritt djup, /2/. Vidare har undersökningar gjorts i en pilotanläggning med isolerad respektive oisolerad vattenledning förlagd ovanför tjälgränsen, /4/. Det finns mot denna bakgrund anledning förmoda att motsvarande verifikation skall kunna åstadkommas i förevarande fall. Ekvationerna är emellertid uppbyggda att gälla för separata ledningar med cirkulär isolering. Efter-som ekvationerna är mycket enkla och lätta att använda

vore det av värde om det kunde påvisas att de med inte alltför grov approximation skulle kunna användas även i fall med Leca runt ledningen såsom på mätsträcka A.

Från en oisolerad ledning med den utvändiga temperaturen ϑ_u , utvändiga rörradien r_u och läggingsdjupet h är värmeförlusten under stationärt förhållande

$$q = \frac{2\pi\lambda (\vartheta_u - \vartheta_n)}{\ln 2 h/r_u} \quad (2)$$

Kringfyllningens värmeledningstal är λ .

I detta fall antas att temperaturen är densamma på ledningens in- och utsida. För en med cirkulära rörskålar isolerad ledning bestäms sambandet mellan temperaturen på ledningens insida, ϑ_i och temperaturen på isoleringens utsida, ϑ_u av

$$q = 2\pi\lambda' \frac{\vartheta_i - \vartheta_u}{\ln r_u/r_i} \quad (3)$$

där r_u och r_i är isoleringens utvändiga respektive invändiga radie. Isoleringens värmeledningstal är λ' .

Slutligen kan värmeförlusten från ledningen förenklat tecknas

$$q = Q'C (\vartheta_{be} - \vartheta_{en})/L \quad (4)$$

där ϑ_{be} och ϑ_{en} är vattentemperaturen i ledningens inlopp respektive utlopp, L är ledningslängden, C är vattnets specifika värme och Q' är vattenflödet.

Med utgångspunkt från ovanstående ekvationer och med användning av den logaritmiska medeltemperaturdifferensen på ledningssträckan såsom styrande värmeavgivningen från ledningen erhålls det i /3/ presenterade uttrycket

$$Q'/L = \frac{6,3 A}{C \ln \frac{\vartheta_{be} - \vartheta_h}{\vartheta_{en} - \vartheta_h}} \quad (5)$$

$$\text{där } A = \lambda / \ln(2h/r_u) \quad (6)$$

Konstanten i ekv. (5) skiljer sig från den i /3/ angivna, eftersom i föreliggande arbete SI-systemets enheter används. Sålunda är enheten för specifika värmets $\text{Ws/kg}^\circ\text{C}$, för värmeledningstalet $\text{W/m}^\circ\text{C}$, för Q' kg/s och för L m .

Är röret isolerat med cirkulär isolering utbyts A i ekv. (5) mot $B/(1+B/A)$ där

$$B = \lambda' / \ln(r_u/r_i) \quad (7)$$

I detta fall är r_u och r_i isoleringens utvändiga respektive invändiga radie i både uttrycket för A och B .

Mest renodlat kan de teoretiska ansatserna tillämpas bäst på mätsträcka C , där ledningarna är isolerade med 5 cm cirkulära, fuktskyddade mineralullsskålar, med värmeledningstalet $0,05 \text{ W/m}^\circ\text{C}$. Vattenledningen och avloppsledningen behandlas härvid enligt superpositionsprincipen som två av varandra oberoende värmealstrande system.

Utförda mätningar kan därmed användas för ett beräkningsmässigt studium av värmebalansen kring ledningarna. Det är då att beakta att temperaturen på vattenledningarnas utsida alltid utförts under dagtid, då det huvudsakliga vattenflödet sker. De beräkningar som kan utföras av värmeförlusterna från ledningarna ger således inte dygnsmedelvärden utan anger förhållandena enbart under de driftsbetingelser som råder vid mätningstillfället.

Man finner därmed att värmeförlusten från avloppsledningen enligt ekv. (3) blir 0,83 W/m, varvid enligt Textpl. 23 antagits $\vartheta_i = + 3,5^{\circ}\text{C}$ och $\vartheta_u = + 1^{\circ}\text{C}$ för den kallaste perioden under den första vintern. Motsvarande värmeförlust från vattenledningen, i vilken vattenströmmen är omvänd den i avloppsledningen, blir med $\vartheta_i = + 2^{\circ}$ och $\vartheta_u = + 1^{\circ}$ enligt Textpl. 23 beräkningsmässigt 0,29 W/m. Beräkningen kan kontrolleras med ekv. (2). Enligt Textpl. 10 är $\vartheta_h = + 0,8^{\circ}\text{C}$. Ekv. (2) ger därmed en värmeförlust från avloppsledningen av 0,93 W/m, vilket är av samma storleksordning som erhålls med ekv. (3).

Under den andra vintern är enligt Textpl. 23 för avloppsledningen $\vartheta_i \simeq + 9^{\circ}\text{C}$ och $\vartheta_u = + 2,5^{\circ}\text{C}$. Enligt Textpl. 17 är $\vartheta_h = + 2^{\circ}\text{C}$. Ekv. (3) ger därmed en värmeförlust från avloppsledningen av 2,16 W/m medan ekv. (2) ger 2,33 W/m; dvs återigen ger de båda beräkningsmetoderna likartade resultat.

Det kan nu vara av intresse att beräkna värmeförlusten från mätsträcka A där isolering utförts med Leca. Härvid betraktas approximativt Leca-lagret som ekvivalent med en cirkulär isolering runt ledningen med ytterdiametern $0,5(200+140) = 170$ mm (jfr Textpl. 2). Enligt Textpl. 21 är för den första vintern $\vartheta_i = + 3^{\circ}\text{C}$ och enligt Textpl. 8 $\vartheta_u \simeq + 1^{\circ}\text{C}$. Värmeförlusten från avloppsledningen kan därmed, om värmeledningstalet sätts till $0,13 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$, beräknas enligt ekv. (3) till 0,97 W/m. Samma resultat erhålls om ekv. (2) används och rörgraven antas återfylld med ett isoleringsmaterial med ett ekvivalent värmeledningstal $0,2 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$. I detta fall antages $\vartheta_h \cong 0^{\circ}\text{C}$. Med samma antagande blir värmeförlusten från avloppsledningen den andra vintern 2,24 W/m.

Man finner således att de olika beräkningsmetoderna ger ungefär samma resultat oberoende av vilken vinter som betraktas och oberoende av om beräkning utförs för

mätsträcka A eller C. Det sistnämnda innebär, att frostskyddet är ungefärligen detsamma på de båda mätsträckorna A och C, dvs Leca-lagret runt ledningen ger i stort sett samma grad av värmeisolering som skålarerna av mineralull.

En verifikation på att så är fallet kan erhållas om enligt ekv. (4) eller (5) temperaturförlusten längs ledningen studeras. Hela ledningssträckan utanför mätsträckorna från Hus I till utloppet i självfallsledningen, en sträcka på ca 150 m, är frostskyddad med Leca enligt samma princip som använts på mätsträcka A. Samma värmeförlust per längdenhet kan således antas ske från ledningen i sin helhet som från mätsträckorna A och C respektive. Denna värmeförlust medför att avloppsvattnets temperatur sjunker från inlopp till utlopp. Den beräkningsbara temperatursänkningen enligt ekv. (4) eller (5) bör således stämma med den som uppmätts som medelvärde under dygnet från pumpkammaren i Hus I till avloppsbrunnen där självfallsledningen börjar. Emellertid måste då hänsyn tas till att en uppvärmning sker av vattnet vid dess passage av mätsträcka B, där den simulerade värmekulvertens värmeläckage höjer temperaturen i jorden närmast avloppsledningen till lägst ca + 6°C under den första vintern och till lägst + 7°C under den andra vintern, (jfr Textpl. 22; temperaturen på tryckavloppsledningen). Med dygnsmedelflödet 0,6 m³/d genom mätsträcka B under såväl den första som den andra vintern, blir den beräkningsmässiga temperaturhöjningen av avloppsvattnet vid passage av mätsträcka B enligt ekv. (5) 1,8°C under den första och 2,0°C under den andra vintern.

Betraktas nu hela ledningssträckan blir temperaturfallet under den första vintern utan inverkan av mätsträcka B 5,7°C enligt ekv. (5). Avloppsvattnet i Hus I har som tidigare nämnts uppmätts till ca + 8°C,

vilket skulle ge en utloppstemperatur vid självfallsledningens början av $+ 2,3^{\circ}\text{C}$. Till detta skall läggas temperaturhöjningen på mätsträcka B uppgående till $1,8^{\circ}\text{C}$. Utloppstemperaturen blir då beräkningsmässigt $+ 4,1^{\circ}\text{C}$, vilket stämmer väl med de uppmätta värdena, som ligger vid ca $+ 4^{\circ}\text{C}$.

Betraktas den andra vintern, måste beaktas att det till mätsträcka C inkommer ett tillskott av avloppsvatten på $0,5 \text{ m}^3/\text{d}$ med medeltemperaturen ca $+ 8^{\circ}\text{C}$ från Hus II. Inloppstemperaturen vid Hus I är enligt uppmätningar ca $+ 10^{\circ}\text{C}$. Beräkningsmässigt blir då temperaturen vid utloppet i självfallsledningen $+ 2,7^{\circ}\text{C}$. Till detta skall läggas temperaturhöjningen 2°C vid vattnets passage genom mätsträcka B samt ytterligare $1,1^{\circ}\text{C}$ till följd av det kolorimetriska blandningsförloppet som uppkommer genom tillförsel av avloppsvatten från Hus II. Avloppsvattnets utloppstemperatur blir därmed $+ 5,8^{\circ}\text{C}$, vilket stämmer väl med de uppmätta värdena som ligger mellan 5° och 6°C .

En tillfredsställande verifikation av beräkningsmetodens giltighet kan därmed anses ha erhållits, och någon modifierad beräkningsform synes inte erforderlig för de ledningskombinationer som använts i föreliggande undersökning.

Som framhållits var ingen av de båda vintrarna som studerats tillräckligt kalla för att förorsaka frysrisk för ledningarna. Tvärtom har det under både den första och den andra vintern rått övertemperaturer (temperatur över 0°C) på både vatten- och avloppsledningen. Med utgångspunkt från dessa observerade övertemperaturer kan man beräkna de verkliga tjäldjup som ledningarna skulle ha kunnat klara utan risk för frysning, dvs utan att de frostskyddande värmekablarna skulle behöva träda i funktion. Förutsättningen är

givetvis att dygnsflödet upprätthålls och att inga långa driftsuppehåll görs. Betraktas exempelvis tryckavloppsledningen som den enda i rörgraven förekommande ledningen, skulle under den första vintern enligt Textpl. 21 en jordtemperatur på ledningens nivå av $\vartheta_h = -3^\circ\text{C}$ kunna tillåtas, varvid samtidigt temperaturen på ledningens utsida inte får understiga 0°C . Sambandet mellan ϑ_h , tjäldjupet ξ , läggningsdjupet h och temperaturgradienten G' i jorden har experimentellt bestämts för olika jordar i /2/ och /3/. Sålunda anges det rätlinjiga sambandet

$$\vartheta_h = -G'(\xi-h) \quad (8)$$

För sand har temperaturgradienten bestämts till $G' = 4^\circ\text{C}/\text{m}$. Därmed kan i förevarande fall för ledningslängden 150 m tillåtet värde på $(\xi-h)$ beräknas till 0,75 m. Detta betyder således att tryckavloppsledningens frostskyddande kabel inte skulle behöva träda i funktion förrän tjäldjupet nått ca 1,6 m. Detta tjäldjup uppträder högst en gång på 10 år i Stockholm. Det maximala tjäldjupet i sand som uppträder en gång på 100 år är 2,1 m, medan normaltjäldjupet, som statistiskt uppträder vartannat år, är 1,3 m.

Eftersom emellertid den något kallare vattenledningen finns med i rörgraven i detta fall kommer dess frostskyddande elkabel att behöva träda i funktion oftare än avloppsledningens. På motsvarande sätt som ovan kan man finna av mätningarna (Textpl. 21) att jordtemperaturen på ledningens nivå kan sjunka till -2°C utan att frysning behöver befaras. Enligt ekv. (8) kan därmed $(\xi-h)$ bestämmas till 0,5 m. Vattenledningens frostskyddande kabel skulle således inte behöva träda i funktion förrän tjäldjupet nått ca 1,3 m, något som inträffar högst var \quad år.

4.3 Inverkan från värmekulvert

Som nämnts utfördes ett speciellt studium av den inverkan på temperaturfördelningen kring va-ledningarna, som blir följderna av värmeläckaget från en simulerad värmekulvert. Det kan härvid konstateras att värmeläckaget 22 W/m är tillräckligt stort för att hålla ledningarna frostfria under vintern. Det kan enkelt påvisas att även vid maximalt tjäldjup i Stockholm, va-ledningarna skulle ha förblivit frostfria, även med beaktande av att vattenledningen isolerats som skydd mot uppvärmning under sommaren.

När det gäller vattentemperaturen under sommaren kan värmekulverten, som befarats, skapa vissa problem. Emellertid är dessa som framgår av Textpl. 22 i detta fall tämligen obetydliga eftersom isoleringen håller vattenledningens temperatur nere vid + 16,5°C mot + 15°C, där värmekulvert saknas. Skulle isolering ej utförts hade dock vattenledningens temperatur höjts till + 18°C. Temperaturen skulle dessutom varit över + 15°C under betydligt längre tid än om ledningen isoleras.

Det är således viktigt att vattenledning som installeras tillsammans med värmekulvert, isoleras väl, så att onödig vattenspolning i syfte att få "kallt" vatten förhindras.

4.4 Dimensionering

För dimensionering av tryckavloppssystemet kan, enligt vad som påvisats, samma beräkningsprinciper användas som tidigare verifierats i /2/ och /4/. Härvid dimensioneras vatten- och tryckavloppsledningen var för sig som två av varandra oberoende värmealstrande enheter.

Som framkommit är värmeavgivningen från tryckavloppssystemet under drift i många fall tillräckligt för att frostfrihet skall ernås. Emellertid måste artificiellt frostskydd ordnas för det fall att ledningarna läggs ovanför djupaste tjälgränsen och samtidigt långvariga driftuppehåll uppstår under de med hänsyn till frysriskerna kritiska vintrarna.

Eftersom således vattenflödet inte alltid kan påräknas som värmeavgivande ur frostskyddssynpunkt måste ledningarna förses med elektriska värmekablar med en installerad effekt bestämd enligt ekv. (2) och (3). Ekvationssystemet (2), (3) och (8) ger.

$$q = \frac{2\pi G'}{1/A + 1/B} (\xi - h) \quad (9)$$

där A och B erhålls ur ekv. (6) och (7).

Ekv. (9) kan således användas generellt för vardera av ledningarna separat. Temperaturgradienten i jorden anges i /3/ till 4°C/m i sand, 5°C/m i silt och till 10°C/m i lera. Värdet på tjäldjupet ξ för olika orter i Sverige såväl i snöfri som snötäckt mark kan likaså fås från /3/. Jordens värmeledningstal λ bör vara det som gäller för kringfyllningens jordart i fruset tillstånd, eftersom värmekabeln träder i funktion först när tjälen trängt ned till ledningarnas nivå eller därunder. Värmeledningstalet för kringfyllningen, som antas vara grusig sand, kan sättas till 2,3 W/m°C i fruset tillstånd.

Som isolering kan förekomma både Leca och skålar av mineralull eller cellplast. Enligt föreliggande undersökning kan 5 cm mineralullsskålar ur isoleringssynpunkt bedömas ekvivalent med en Leca-fyllning med en täckning över rören av minst 10 cm. Värmeledningstalen för mineralull och Leca har därvid antagits vara

0,05 W/m^{°C} respektive 0,13 W/m^{°C}. Med hänsyn till eventuell framtida fuktanrikning i isoleringen bör som säkerhet användas högre värden än ovanstående, och för mineralull förslagsvis 0,1 W/m^{°C}.

Med denna utgångspunkt har ekv. (9) åskådliggjorts grafiskt på Textpl. 25 för jordarten sand med $G = 4^{\circ}\text{C}/\text{m}$ och för rördiameterarna 25, 50, 63 och 90 mm. Tjockleken hos mineralullsisoleringen har anpassats till förekommande standarddimensioner för skyddsörret, innebärande följande utvändiga isoleringsdiametrar respektive: 80, 140, 160 och 160 mm. Diagrammet kan överslagsmässigt användas även för det fall att isoleringen åstadkommes med Leca. Beräkningen gäller för läggningsdjupet 0,6 m, men ned till läggningsdjupet 1,0 m kan diagrammet användas utan betydelsefull korrigering.

Erforderlig installerad effekt för frostskydd kan således avläsas i diagrammet som funktion av ortens maximala tjäldjup. Om exempelvis en vattenledning $\varnothing 50/140$ och en tryckavloppsledning $\varnothing 63/160$ installeras i samma rörgrav och maximala tjäldjupet är 2 m, visar diagrammet att erforderlig effekt under den kallaste vintern uppgår till maximalt 3,1 W/m för vattenledningen och 3,3 W/m för tryckavloppsledningen.

Än lägre erforderlig effekt kan givetvis ernås om tjockare eller mer fuktsäker isolering används. För exempelvis cellplast, såsom expanderad polystyren med slutna porer, bör ett värmeledningstal av 0,05 W/m^{°C} vara praktiskt användbart. Erforderliga effekter blir därmed nästan bara hälften av de som erhålls ur Textpl. 25.

Beträffande erforderlig drifttid för kablarna är denna givetvis helt beroende av dygnsmedelflöde och ledningslängd. Som visats i föreliggande undersökning skulle exempelvis med den ledningslängd som här förekommer, den frostskyddande kabeln på tryckav-

loppsledningen behöva inkopplas endast var 10:e vinter i Stockholmstrakten. Och även under en dylik kall vinter är det bara under en kortare tid, eller totalt under ca en månad som kabeln behöver vara i drift.

Man kan således genom val av lämpliga läggningsdjup beroende på geografisk belägenhet för orten i fråga och beroende på storleken av och antalet fastigheter, ledningslängder, etc., alltid finna ett optimalt ledningssystem, för vilket genom lämplig termostattstyrning eldriftskostnaden är försumbar. I sådant fall kan kabeln betraktas som endast en försäkring mot frysning under ogynnsamma betingelser.

Inverkan på ledningarna av tjällyftning har inte kunnat studeras i denna undersökning främst till följd av att naturligt tjälskjutande jordar saknas inom försöksområdet. Det kan emellertid framhållas att tjäldjupet i kraftigt tjällyftande jordar är mindre än hälften av det som råder i sand. Detta betyder att ledningarna i mellersta och södra Sverige praktiskt taget alltid blir opåverkade av tjällyftning om de läggs på 0,6-1,0 m djup. I Norrland kan man i tjälfarlig jord på motsvarande djup räkna med inte obetydliga tjälrörelser. Den stora flexibilitet och brottöjning som kännetecknar plaströr av polyeten medför dock att rören med stor sannolikhet kan klara förekommande tjälrörelser utan att ledningarnas funktion äventyras.

5. Sammanfattning

Genom transport av avloppsvatten medelst pumpning, öppnas möjligheter att låta avloppsledningarna, i högre grad än vad fallet är för självfallsledningar, följa markytans topografiska förändringar. Man är heller inte beroende av djupa källare vid bestämning av läggningsdjupet, utan kan välja detta efter andra och mer ekonomiska kriterier. Stora besparingar kan göras om ledningarna kan läggas nära markytan, men den begränsande faktorn blir då frysrisk under kalla vintrar. Denna frysrisk och hur frostskydd kan erhållas har studerats teoretiskt och experimentellt i föreliggande BFR-rapport.

Som frostskydd för vatten- och avloppsledningarna har undersökts mineralullsisolering, Leca-fyllning och värmeläckage från värmekulvert.

Tidigare i /2/ och /4/ (Bilaga 1) framtagna och verifierade beräkningsmetoder för dimensionering av frostskydd har visat sig användbara för de båda tryckledningarna betraktade som två av varandra oberoende värmealstrande system. Sålunda kan erforderlig frostskyddande elkabeleffekt för olika typer av isolering beräknas som funktion av skillnaden mellan ortens största tjäldjup och valt läggningsdjup enligt ekv. (9). Genom lämplig avvägning mellan läggningsdjup och isoleringsgrad kan driftskostnaderna för de frostskyddande elkablarna göras praktiskt försumbara. Detta sammanhänger med att den naturliga värmeavgivningen från tryckavloppsledningarna under drift i en tät gruppbebyggelse är tillräckligt stor för att hålla de isolerade ledningarna frostfria de flesta vintrar, om läggningsdjupet väljs i storleksordning lika med halva det normala läggningsdjupet för orten. De frostskyddande elkablarna bör i dylika fall endast ses som en försäkringsåtgärd mot långvariga driftsstopp och/eller onormalt kalla och snöfattiga vintrar.

Ledningar som installeras i samma ledningsgrav som en värmekulvert behöver överhuvudtaget inte förses med något frostskydd. Däremot bör vattenledningen isoleras så att vattentemperaturen under sommaren inte blir högre än normalt.

6. Summary

Transporting of sewage by pumping in the so-called "Low Pressure Sewage System" opens up the possibility of making the water and sewage networks conform more closely to the topographical changes of the ground surface, than is the case when gravity systems are used. Furthermore, deep cellars will not affect the laying depth of the pipes. Consequently other and more economic criteria can be used for determining the laying depth. Thus, large savings of costs can be achieved if the pipes could be installed close to the ground surface. However, the limiting factor is the risk of freezing during cold winters. This risk of freezing and methods of frost protection have been theoretically and experimentally studied in the present report, sponsored by the Swedish Council for Building Research.

As frost protection for the water distribution pipes and the sewers, both of polyethylene (LDPE and HDPE), a study has been made of mineral wool, expanded clay (Leca) and also waste heat from a simulated central heating pipe system.

In previous papers /2/ and /4/ (Appendix 1) presented and verified calculation methods for designing the frost protection system have also been verified for this case, provided that the two parallel pipes are treated as two mutually independent heat generating systems. Thus necessary frost protecting heating cable effects (q) can be calculated for various types

of insulation as a function of the difference between the maximum frost penetration depth of the local area (ξ) and the chosen laying depth (h) according to eq. (9). In the equation G' is the temperature gradient in the soil during the coldest part of the winter period and A and B are determined according to eq. (6) and (7). In these equations λ' stands for the thermal conductivity of the frozen soil refilled around the pipes and λ stands for the thermal conductivity of the insulation material. The symbol of the radius of the pipe is r_i and of the insulation r_u . See also Fig. 25 which exemplifies the use of eq. (9).

By feasible balance between laying depth and insulation method the operation costs for the frost protecting electrical heating cables can be kept to an insignificant level. This is due to the fact that the natural heat loss from the sewers in a dense housing area during operation is sufficient to keep the insulated pipes frost-free most winters, provided that the laying depth is in the order of magnitude of half the maximum frost penetration depth of the local area. Thus, the frost protecting heating cables should in these cases only be looked upon as an insurance against long-term operation break down and/or extremely cold winters or winters with very little snow.

Water pipes and sewers which are installed in the same trench and at the same level as a heating distribution system do not need any special frost protection at all. However, the water pipeline should be insulated as to prevent the water temperature from rising above normal during the summer.

REFERENSER

- /1/. Janson, L-E. 1975. Tryckavloppsystemet
- Ett bidrag till optimal va-hantering.
- Stadsbyggnad 9/1975.
- /2/. Janson, L-E, 1968. Tjälldjupet i Sverige.
- Statens Naturvårdsverk V4 1968.
- /3/. Läggningsdjup för va-ledningar i jord
med hänsyn till tjäle. Publikation VAV
P14, dec 1969.
- Svenska Vatten- och Avloppsverks-
föreningen.
- /4/. Janson, L-E. 1974. Undersökning av frys-
risken för vattenledningar ovanför
tjälgränsen.
- Frost i Jord nr 14/1974.
- /5/. Janson, L-E. 1977. Friktionsvärmets som
frostskydd för vätskeförande ledning i
mark.
- Stadsbyggnad 5-6, 1977.
- /6/. Fellenius, B., Rengmark, F. 1959.
Köldmängdskartor över Sverige.
- Kgl Järnvägsstyrelsens Geotekniska
avdelning nr 6 1959.
- /7/. Janson, L-E. 1972. Cellplast som isolering
mot tjäle.
- Stadsbyggnad 4/1972.

Temperaturmätningar i mark på mätsträcka A

Datum för avläsn.	Temperatur °C på mätsond no.							Mark
	3	31	32	33	34	35	36	
1976-11-02	9.4	6.6	8.5	6.1	6.4	3.9	6.4	
10	9.2	7.8	8.1	7.1	8.1	6.4	7.8	
12-02	7.2	5.7	6.2	4.4	5.4	2.9	6.5	
21	6.2	4.2	5.7	3.6	4.1	1.5	3.8	
1977-01-08	5.6	4.3	4.7	2.8	4.1	1.2	4.2	
14	5.0	4.6	4.6	3.0	3.8	1.0	5.2	
21	4.9	2.7	3.9	1.9	2.9	1.0	2.4	
28	4.6	2.6	3.8	1.9	2.6	0.7	2.4	
02-04	4.5	3.8	4.0	2.6	3.3	1.1	4.4	- 0.1
11	4.6	4.0	3.8	2.8	3.2	0.9	4.3	- 4.1
18	4.0	2.9	3.2	1.8	2.3	- 0.2	3.3	- 5.0
25	3.7	2.6	2.8	1.4	2.3	- 0.3	3.0	- 3.5
03-04	3.4	2.5	2.7	1.0	2.0	- 0.8	2.6	0.7
11	3.2	4.0	2.9	1.8	2.6	- 0.3	5.4	4.7
17	3.2	4.5	3.1	2.9	3.9	2.3	5.7	4.4
30	4.0	4.6	4.1	4.2	3.9	2.6	4.8	5.2
05-04	5.5	8.7	6.4	8.8	8.3	10.0	9.1	
06-09	9.2	12.3	10.7	13.4	11.0	15.0	13.7	12.5
07-22	11.8	13.7	12.7	14.2	12.7	14.8	14.5	16.9
08-26	13.1	15.6	14.3	16.0	15.1	16.7	16.1	16.1
09-27	11.8	13.2	12.2	12.3	11.5	11.4	18.1	14.6
11-02	10.0	11.1	10.4	10.2	9.6	9.3	13.4	9.0
23	8.7	8.2	8.1	6.0	7.1	3.7	10.6	1.0
12-01	7.8	8.2	7.2	5.3	6.3	2.7	11.1	0.5
14	6.8	7.8	6.0	4.2	4.9	2.0	11.7	2.5
28	6.4	6.2	5.8	4.8	5.1	2.4	6.2	- 1.7
1978-01-11	5.2	6.5	4.8	3.2	3.9	1.6	4.4	- 2.4
18	4.8	8.4	4.0	3.6	4.1	0.9	5.8	0.3
02-08	4.3	7.1	4.4	4.1	4.1	1.1	8.9	- 5.9
15	4.2	6.6	4.2	3.0	3.9	- 0.7	9.2	-14.2
22	3.8	5.0	3.3	0.6	3.0	- 3.0	5.4	- 6.0
03-08	3.6	6.6	3.4	3.1	3.4	1.0	10.7	0.2
22	3.8	6.1	3.9	2.6	3.7	1.2	8.5	- 8.9
29	3.7	5.4	3.7	3.4	3.7	1.4	7.0	6.9
04-26	6.0	9.9	8.6	8.6	6.3	8.7	16.0	3.5
06-07	11.4	16.6	13.8	21.0	14.1	24.0	19.7	23.3

Temperaturmätningar i mark på mätsträcka B

Datum för avläsning	Temperatur °C på mätsond no.										Mark
	2	12	13	14	18	19	20	21	22	23	
1976-11-02	8.7	6.0	4.7	6.1	5.9	6.0	7.3	6.0	5.8	6.0	
10	7.9	7.2	6.8	7.4	7.2	6.9	7.4	7.2	6.7	7.8	
12-02	6.1	4.2	3.7	4.8	5.0	3.8	5.2	4.9	3.5	5.6	
21	5.8	3.6	2.7	3.3	4.3	3.6	4.9	3.8	3.2	5.4	
1977-01-07	4.3	2.2	1.8	3.6	2.6	2.6	3.1	2.6	2.4	3.8	
08	4.3	3.0	3.8	5.6	10.6	3.4	4.3	9.6	2.7	3.8	
14	4.8	4.0	5.2	6.8	12.0	4.4	5.9	11.1	3.6	4.7	
21	5.2	4.5	5.4	7.8	12.4		6.3	11.6	4.1	4.7	
28	5.2	4.5	5.0	7.3	11.7	5.0	6.3	10.8	4.0	4.7	
02-04	5.5	4.5	5.8	6.8	11.9	5.0	6.1	11.0	4.1	4.4	- 0.1
11	5.8	4.2	5.2	9.9	11.4	4.6	6.0	11.0	(5.4)	4.6	- 4.2
18	4.6	3.0	3.1	6.9	10.1	3.4	5.1	9.8	2.6	3.5	- 4.5
25	4.2	3.0	4.1	6.2	11.0	3.8	5.4	10.0	2.6	3.4	- 1.9
03-04	4.0	2.5	3.2	5.9	10.4	3.2	4.5	9.4	2.2	3.3	0.9
17	4.5	5.6	7.0	7.8	13.3	4.8	6.5	15.4	4.6	4.0	4.7
30	5.5	5.6	6.1	7.0	13.1	6.3	6.9	11.6	5.2	4.6	2.5
05-04	7.4	11.2	13.1	14.1	18.9	10.8	11.1	17.9	10.0	10.1	
06-09	15.8	16.2	17.4	17.5	23.2	15.1	11.9	22.1	13.8	11.7	20.5
07-22	16.4	16.2	17.2	16.4	23.3	15.7	14.1	21.8	14.9	13.2	20.8
08-26	19.0	19.3	20.2	20.7	26.0	18.0	16.2	25.2	17.6	16.4	17.9
09-27	15.5	14.3	15.0	16.4	21.9	14.2	13.2	21.3	13.2	12.4	14.3
11-02	11.2	12.0	13.0	16.8	19.9	11.8	12.9	19.1	10.9	10.3	9.0
23	9.4	7.7	8.4	14.2	15.0	8.2	10.4	15.0	7.2	8.4	1.0
12-01	8.3	10.1	6.8	10.1	13.9	6.8	8.8	13.3	6.0	7.0	- 0.3
14	7.3	6.2	6.8	9.5	13.4	6.1	7.8	13.4	5.4	6.0	2.5
28	6.8	6.2	6.9	12.0	13.3	6.4	8.1	12.4	5.2	5.6	- 1.7
1978-01-11	6.0	5.6	5.6	11.8	12.6	6.4	7.5	12.1	4.2	5.0	- 1.8
18	5.9	4.7	6.2	10.1	13.5	5.7	7.4	12.2	6.1	6.3	0.6
02-08	5.7	7.0	6.6	12.7	12.4	9.9	7.3	12.6	4.1	4.4	- 4.2
15	5.0	4.5	5.3	11.9	11.8	5.0	7.0	11.5	5.4	4.4	-11.8
22	4.4	2.4	3.3	7.0	10.6	3.8	5.3	10.4	3.2	3.5	- 4.4
03-08	4.7	5.1	6.2	8.5	12.0	5.2	7.4	11.5	4.2	4.6	2.5
22	4.8	4.7	5.4	12.0	11.4	5.0	6.2	11.2	4.0	4.0	- 6.2
29	4.9	5.0	6.5	9.3	12.3	5.4	6.7	11.5	4.4	4.4	7.8
04-26	7.6	10.5	11.4	14.2	17.6	10.1	12.0	17.2	9.2	7.4	3.5
06-07	15.0	23.1	25.2	22.8	29.3	21.6	20.4	28.0	21.2	14.9	23.3

Temperaturmätningar i mark på mätsträcka C

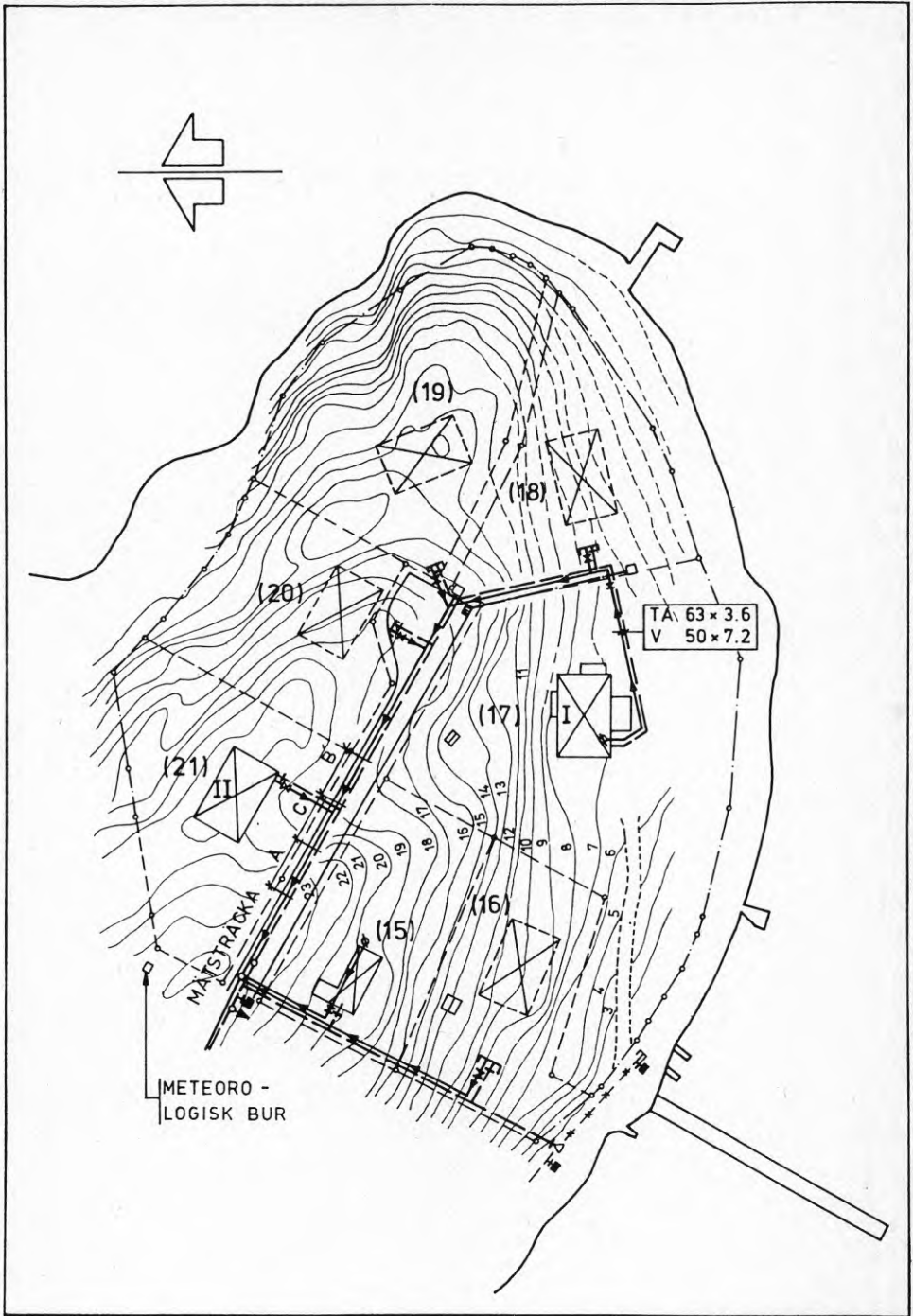
Datum för avläsning	Temperatur °C på mätsond no.									
	1	17	24	25	26	27	28	29	30	Mark
1976-11-02	8.6	4.8	7.4	6.3	6.8	6.0	5.9	6.2	6.6	
10	7.8	5.6	7.2	6.8	7.7	7.2	6.8	6.8	7.0	
12-02	5.7	3.2	4.6	4.0	6.2	4.7	3.4	3.7	4.2	
21	5.3	2.5	4.2	3.7		4.0	3.2	3.2	3.9	
1977-01-08	4.4	1.9	3.4	2.8	3.9	4.2	2.7	2.5	3.0	
14	3.9	1.7	3.3	2.7	3.4	5.0	2.8	2.4	2.7	
21	3.8	1.7	3.0	2.2	3.4	2.0	2.1	2.1	2.7	
28	3.7	1.5	2.8	2.0	2.9	2.0	2.3	2.2	2.7	
02-04	3.8	1.9	3.0	2.6	3.4	5.1	2.4	2.4	2.6	- 0.4
11	4.0	1.4	2.8	2.3	3.0	4.3	2.1	2.2	2.6	- 5.8
18	3.2	+ 0	1.9	1.2	2.9	4.2	1.0	1.0	1.4	- 5.3
25	2.6	- 0.2	2.0	1.0	2.6	3.6	0.9	0.8	1.0	- 1.9
03-04	2.5	- 0.2	1.4	0.6	2.1	2.8	0.8	0.5	1.0	0.5
11	2.2	- 0.2	1.4	0.7	2.0	5.2	0.7	0.4	1.0	4.0
17	2.8	2.6	2.7	2.7	2.8	5.6	2.9	2.5	2.5	4.4
30	3.7	2.7	3.6	3.5	3.3	5.0	3.6	3.6	3.2	2.3
05-04	5.9	8.9	7.3	8.0	7.1	9.8	8.4	8.4	7.8	
06-09	9.8	14.1	11.6	12.6	11.0	14.1	13.2	14.4	12.3	15.5
07-22	12.2	14.3	13.0	13.2	13.2	14.1	13.4	13.8	12.9	18.5
08-26	13.9	15.6	14.6	15.3	15.0	17.6	15.7	15.4	15.0	16.1
09-27	11.6	11.2	11.6	11.4	11.2	17.6	11.5	11.5	11.5	14.6
11-02	9.7	8.8	9.5	9.6	9.6	18.6	9.5	9.2	9.2	9.0
23	7.7	4.8	6.4	5.7	7.5	14.1	5.8	5.3	5.8	1.0
12-01	7.2	4.4	5.6	4.8	6.8	9.4	4.8	4.2	5.0	- 0.5
14	5.8	2.6	4.3	3.6	5.1	8.2	4.1	3.3	3.8	2.0
28	5.2	3.1	4.2	3.6	6.4	6.3	3.6	3.2	3.7	- 1.8
1978-01-11	4.2	1.8	3.1	2.5	4.6	13.4	2.7	2.0	2.4	- 2.5
18	3.8	2.0	3.0	2.2	4.2	5.0	2.1	2.7	3.2	0.2
02-08	3.5	1.4	2.8	2.7	5.9	12.4	4.2	3.8	2.4	- 5.0
15	3.5	0.9	2.6	2.1	6.2	11.8	2.3	2.4	2.6	-13.6
22	3.1	- 0.8	1.8	1.0	3.2	8.5	0.7	2.2	1.4	- 6.0
03-08	2.8	- 0.4	2.8	1.9	3.1	13.0	2.0	1.2	2.0	0.2
22	3.0	1.8	2.6	2.4	3.7	7.2	2.4	2.7	3.0	- 8.4
29	4.7	1.3	2.4	2.0	3.2	6.7	2.2	2.5	2.3	3.8
04-26	6.1	7.0	6.6	6.9	6.4	13.5	8.2	8.1	6.6	2.5
06-07	13.0	24.5	16.0	17.7	13.0	17.7	18.9	19.5	17.0	23.3

Temperaturmätningar i berg

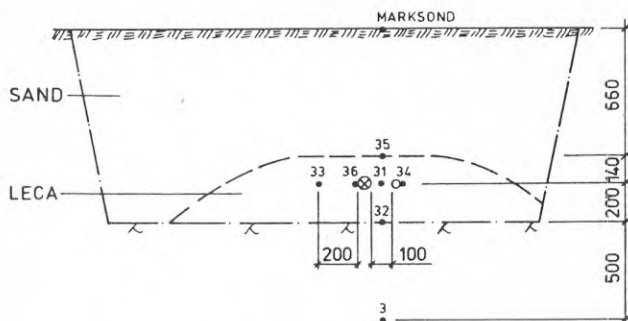
Datum för avläsning	Temperatur °C på mätsond no.					Mark
	7	8	9	10	16	
1976-11-02	6.6	8.8	10.6	10.2	1.8	
10	7.2	8.2	10.5	9.6		
12-02	3.9	5.6	8.9	7.4	2.0	
21	3.2	4.9	7.8	6.6	0.9	
1977-01-08	2.5	4.0	7.0	5.6	0.2	
14	2.1	3.6	6.3	5.1	0.4	
21	2.0	3.4	6.1	4.7	0.8	
02-11	1.4	2.8	5.4		- 1.8	
18	1.6	2.5	5.2	4.1	- 3.8	- 4.2
03-04	1.1	2.2	5.1	3.6	- 0.4	0.6
17	1.7	2.2	4.5	3.4	2.8	5.0
30	2.4	3.2	4.6	3.9	- 1.0	1.2
05-04	7.0	5.1	4.7	4.5	11.5	
06-09	12.3	10.1	7.6	8.5	15.4	19.5
07-22	14.4	13.2	10.7	12.3	16.6	24.2
08-26	15.6	14.4	11.9	13.4	15.8	18.7
09-26	10.5	11.4	11.7	11.9	10.3	12.0
11-02	8.4	9.0	10.1	9.7	8.4	9.0
23	5.0	7.2	9.4	9.3	3.0	1.0
12-01	4.0	6.2	8.9	7.8	1.0	+ 0
14	2.7	4.4	7.8	6.4	2.0	- 2.2
28	2.4	4.4	7.1	5.6	0.8	- 2.0
1978-01-11	1.5	3.2	6.3	5.0	0.4	- 1.5
18	1.1	2.7	5.9	4.4	0.1	0.6
02-08	1.2	2.3	5.1	3.8	- 0.4	- 4.8
15	0.8	2.2	4.9	3.6	- 2.1	-14.4
22	0.5	2.1	5.1	3.7	- 2.7	- 5.5
03-08	1.4	2.1	4.7	3.4	0.9	1.0
22	1.3	2.2	4.5	3.3	- 1.3	- 8.8
29	1.5	2.1	4.4	3.3	2.2	6.0
04-26	5.6	5.0	4.9	4.7	3.6	3.0
06-07	15.6	11.3	7.4	9.2	20.8	23.3

Temperaturmätningar i jord

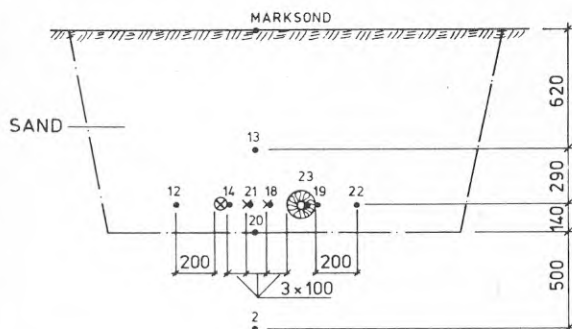
Datum för avläsning	Temperatur °C på mätsond no.		
	6	15	Mark
1976-11-02		4.3	
11		6.4	
12-02	4.9	3.2	
21	4.2	2.6	
1977-01-08	3.4	2.2	
14	2.8	1.8	
21	2.8	2.0	
28	2.6	1.4	
02-04	2.6	1.6	
11	2.7	2.6	- 4.7
18	2.2	1.2	- 5.0
25	2.0	2.0	
03-04	1.8	0.8	0.6
17	1.8	0.7	5.0
30	3.3	2.9	1.1
05-04	6.9	8.1	
06-09	12.4	13.7	21.0
07-22	14.5	15.0	26.2



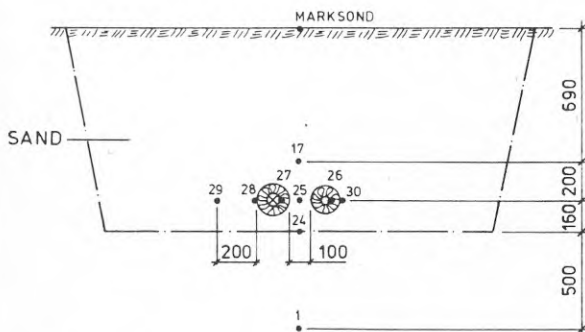
T 1
KV. BORGEN



SEKTION MÄTSTRÄCKA A



SEKTION MÄTSTRÄCKA B



SEKTION MÄTSTRÄCKA C

FÖRKLARINGAR

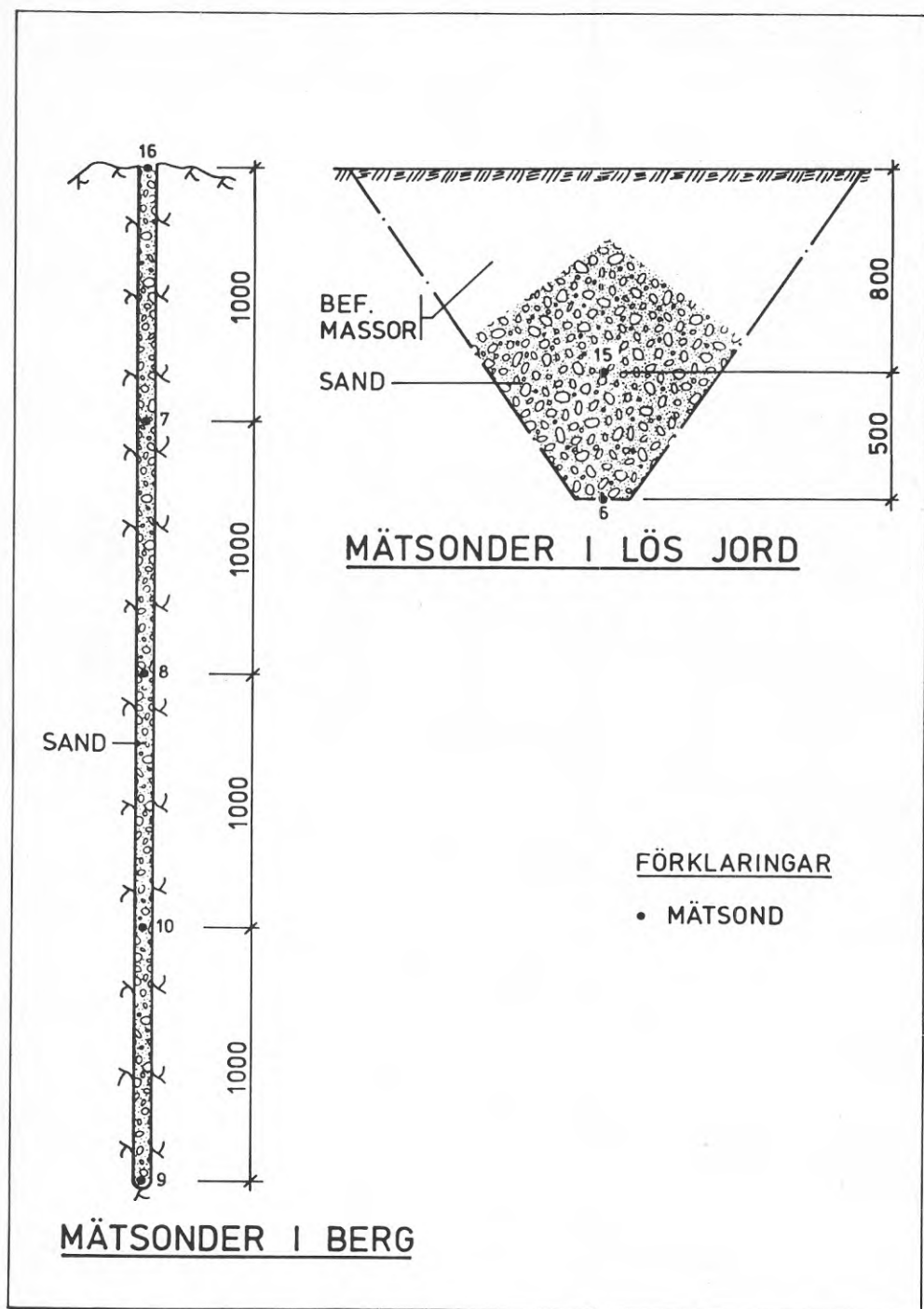
- MÄTSOND
- VATTENLEDNING
Ø 50 PE1
- ⊗ ISOLERAD
VATTENLEDNING
- ⊗ TRYCKAVLOPPS-
LEDNING Ø 63 PE8
- ⊗ ISOLERAD TRYCK-
AVLOPPSLEDNING
- × VÄRMEKABEL
SIMULERANDE
VÄRMEKULVERT

T2

SEKTIONER GENOM MÄT-
STRÄCKA A, B OCH C

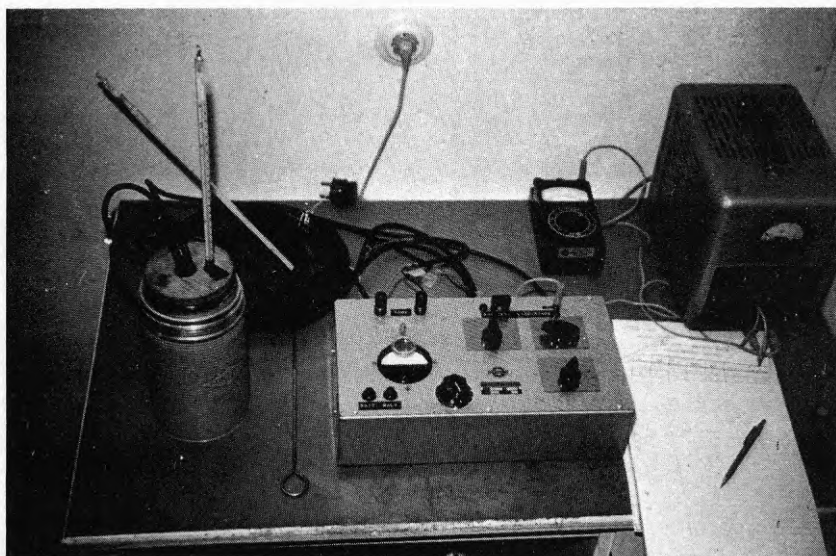


T3
INSTALLATION AV
VA - LEDNINGAR

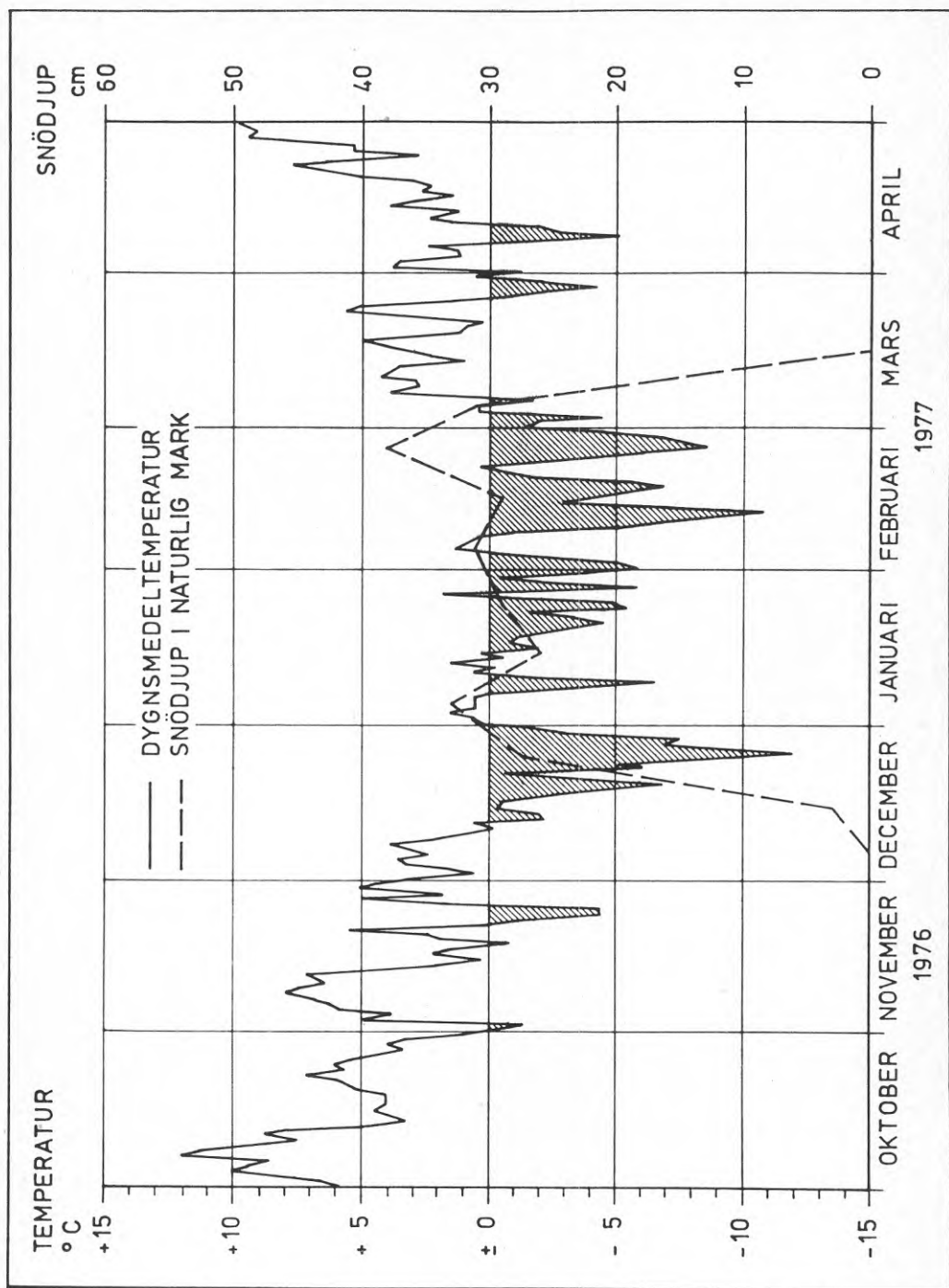


T 4

MÄTSONDER I BERG
OCH LÖS JORD

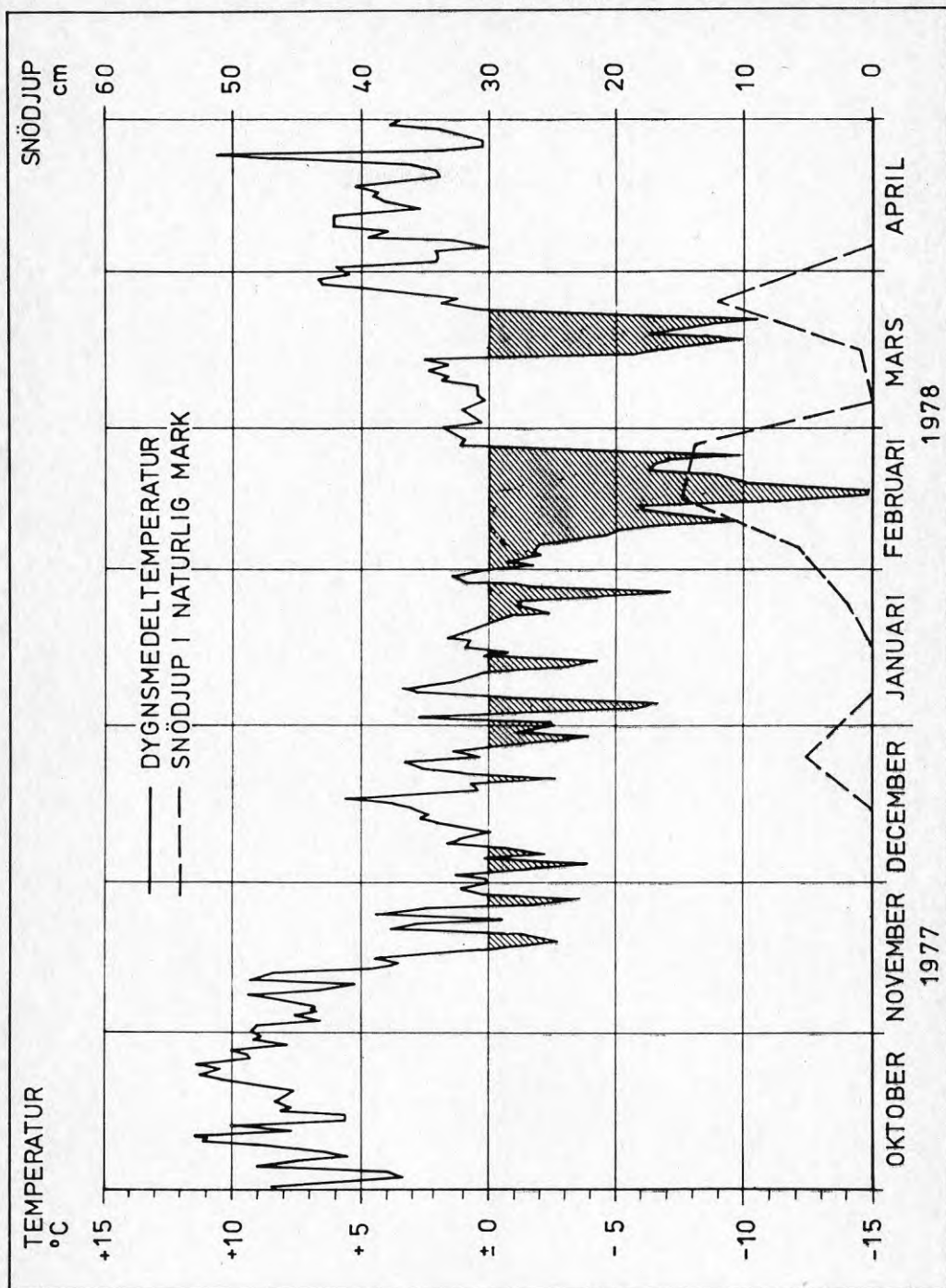


T5
KALIBRERING AV
GIVARE



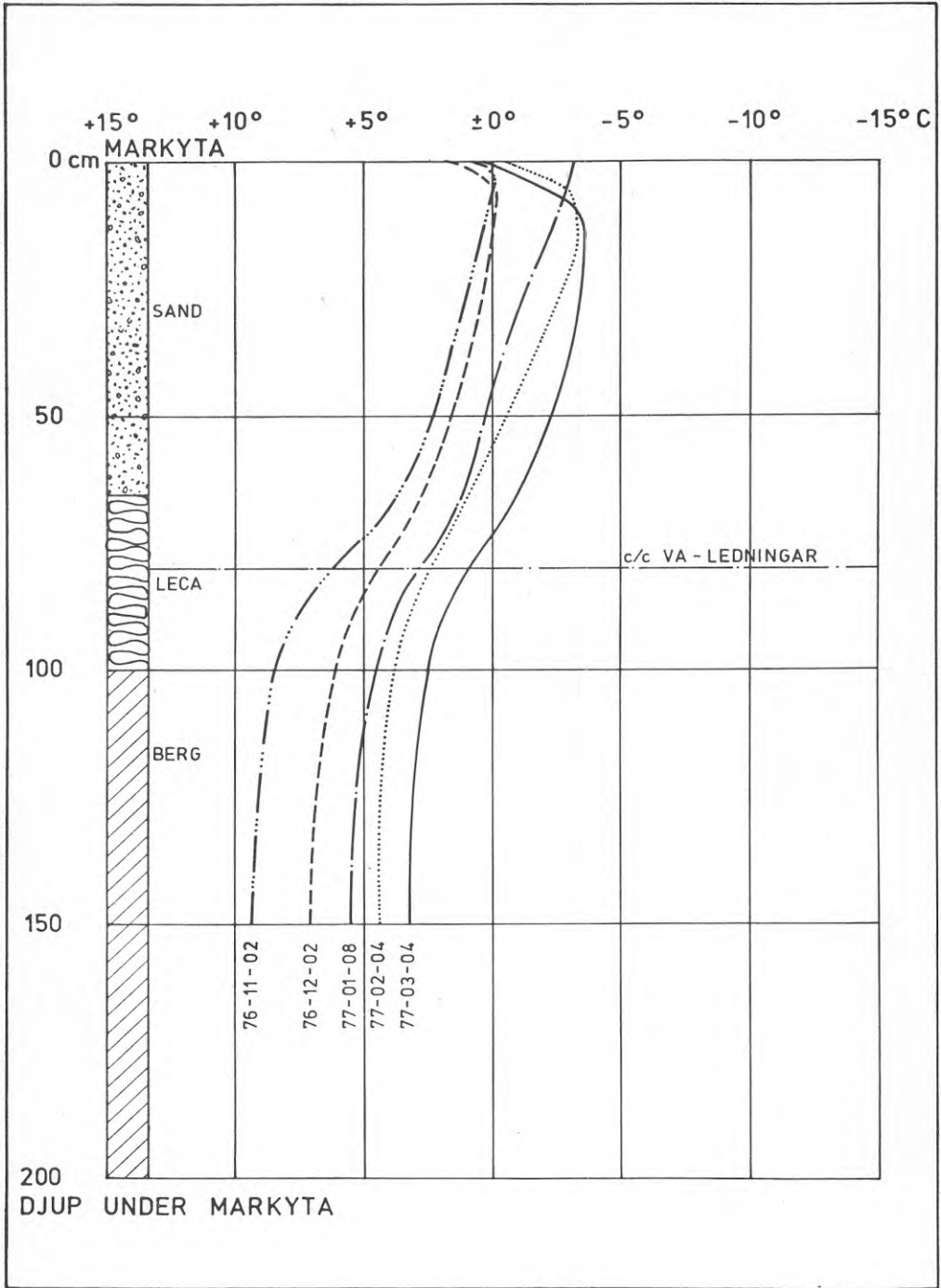
T 6

LUFTENS DYGNMEDELTEMPERATUR
 OCH SNÖDJUP I NATURLIG MARK



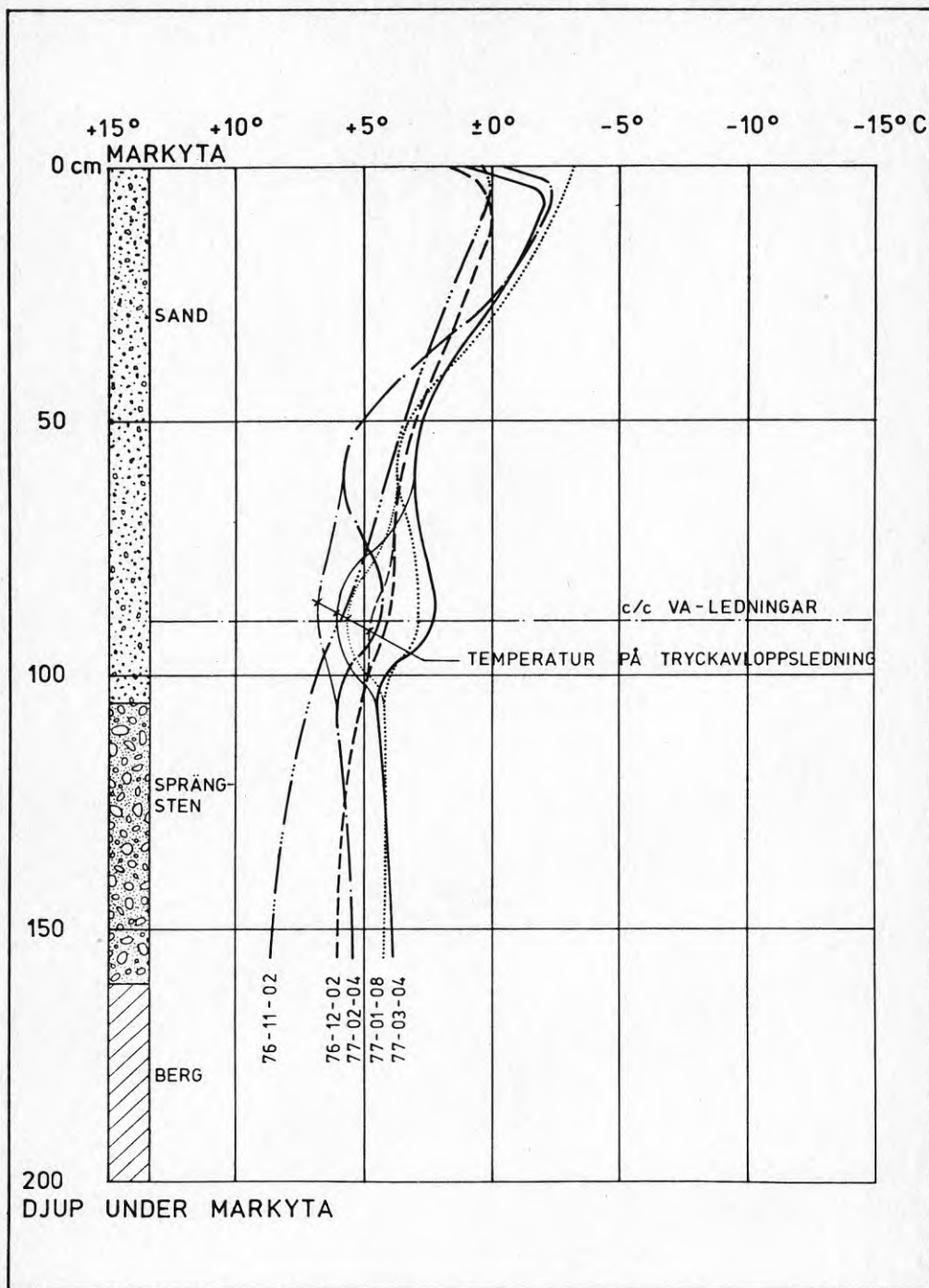
T7

LUFTENS DYGNMEDELTEMPERATUR
 OCH SNÖDJUP I NATURLIG MARK



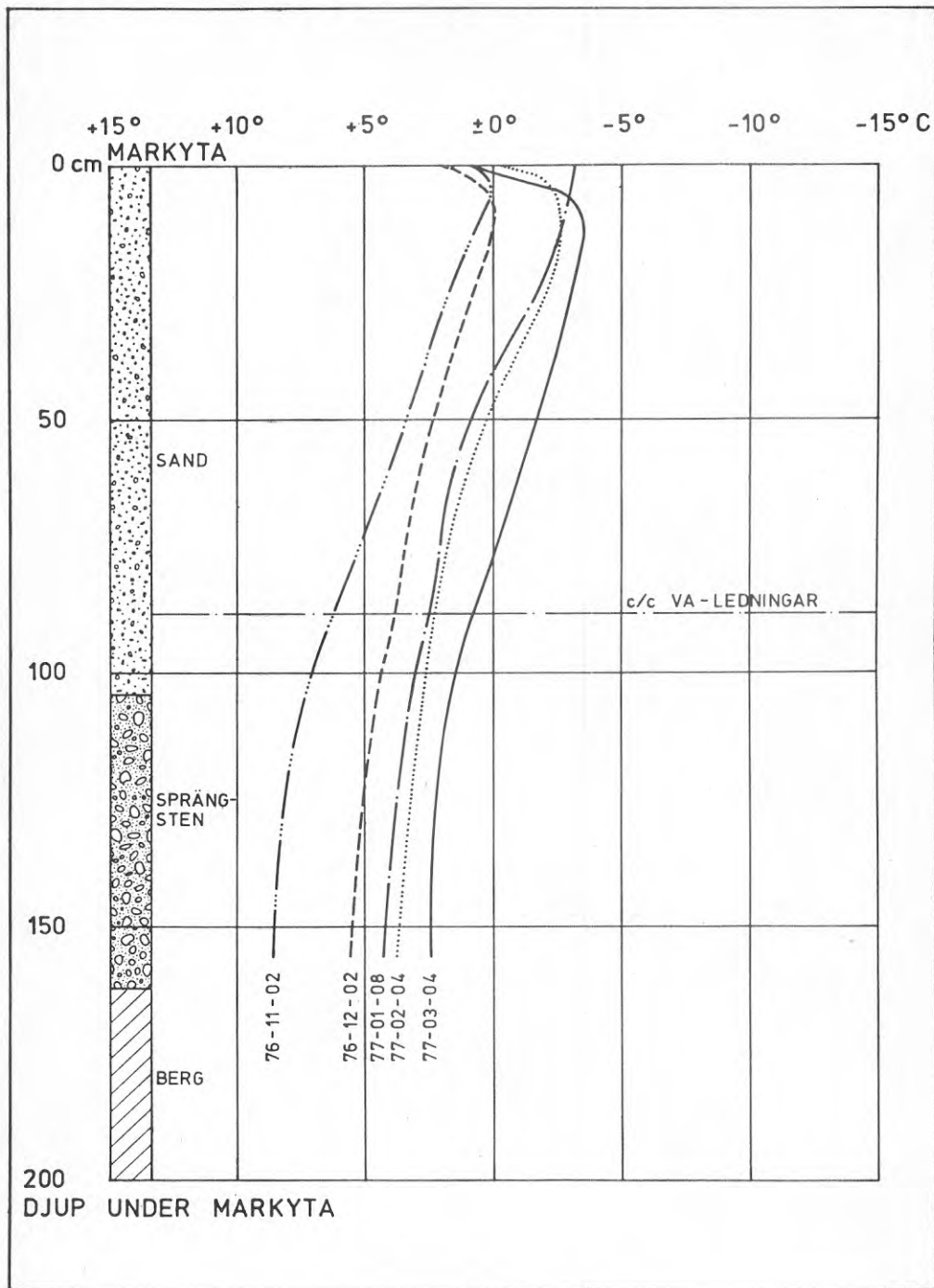
T 8

TAUTOKRONER
MÄTSTRÄCKA A



T9

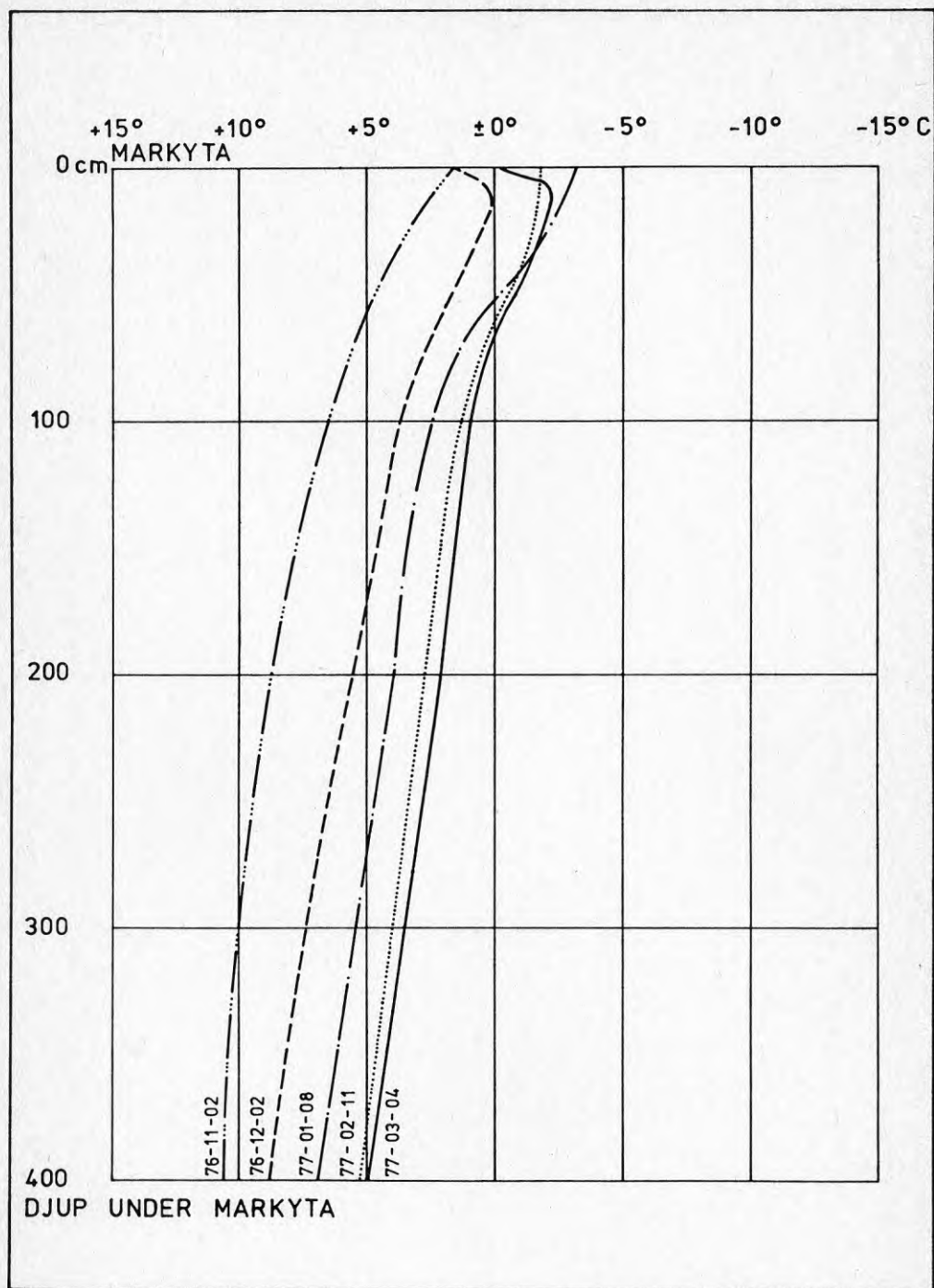
TAUTOKRONER
MÄTSTRÄCKA B



T 10

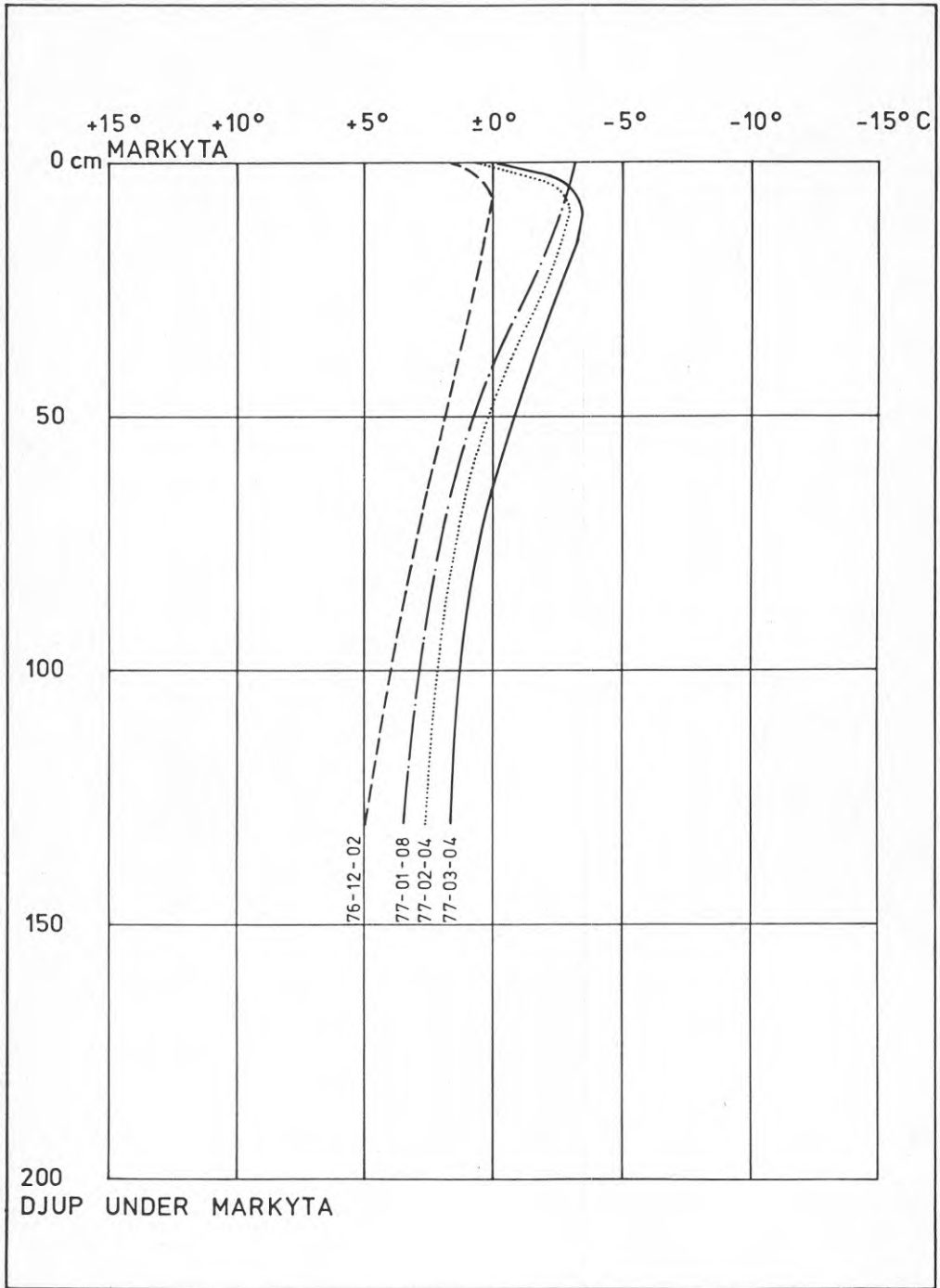
TAUTOKRONER

MÄTSTRÄCKA C



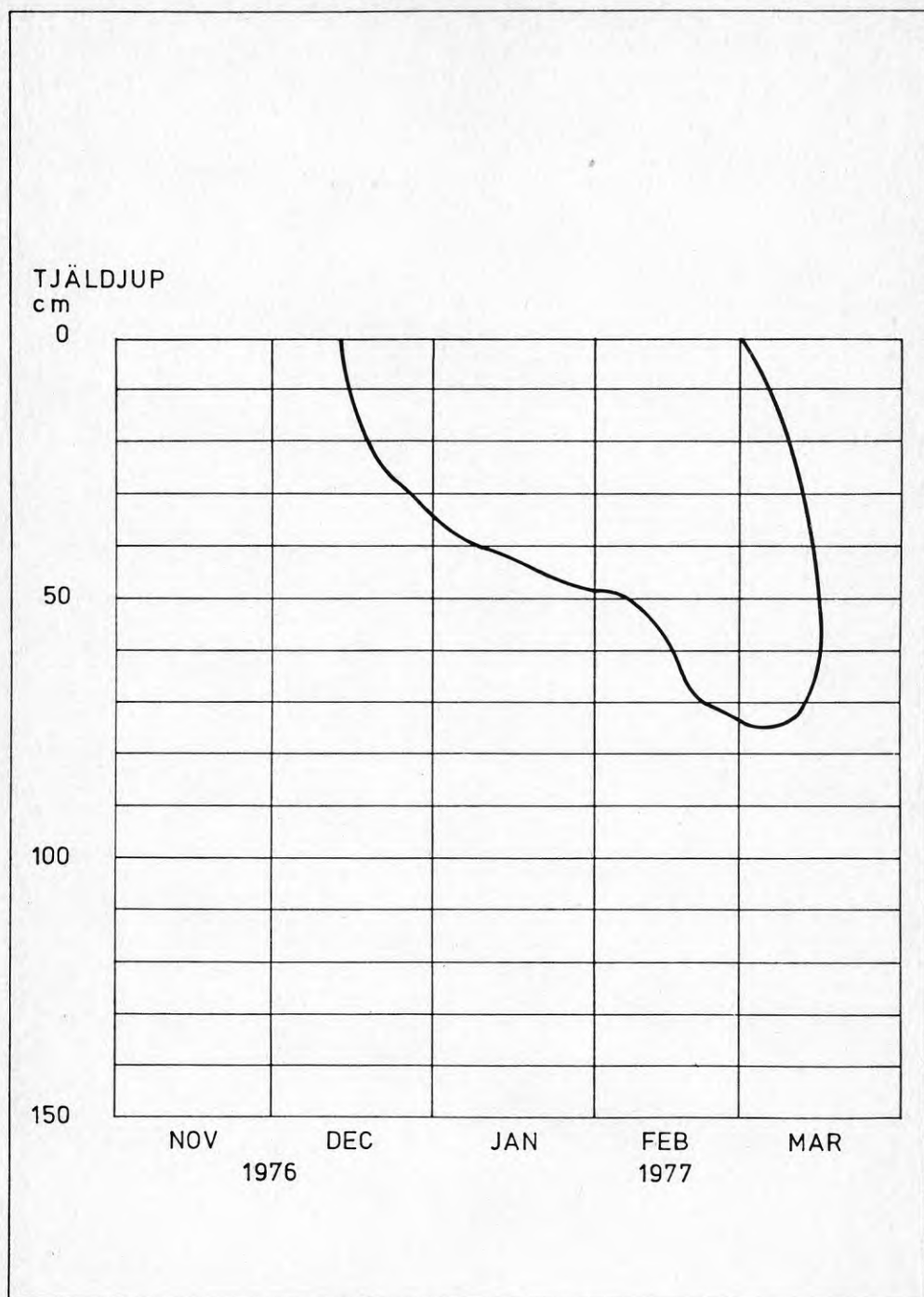
T 11

TAUTOKRONER
BERG



T 12

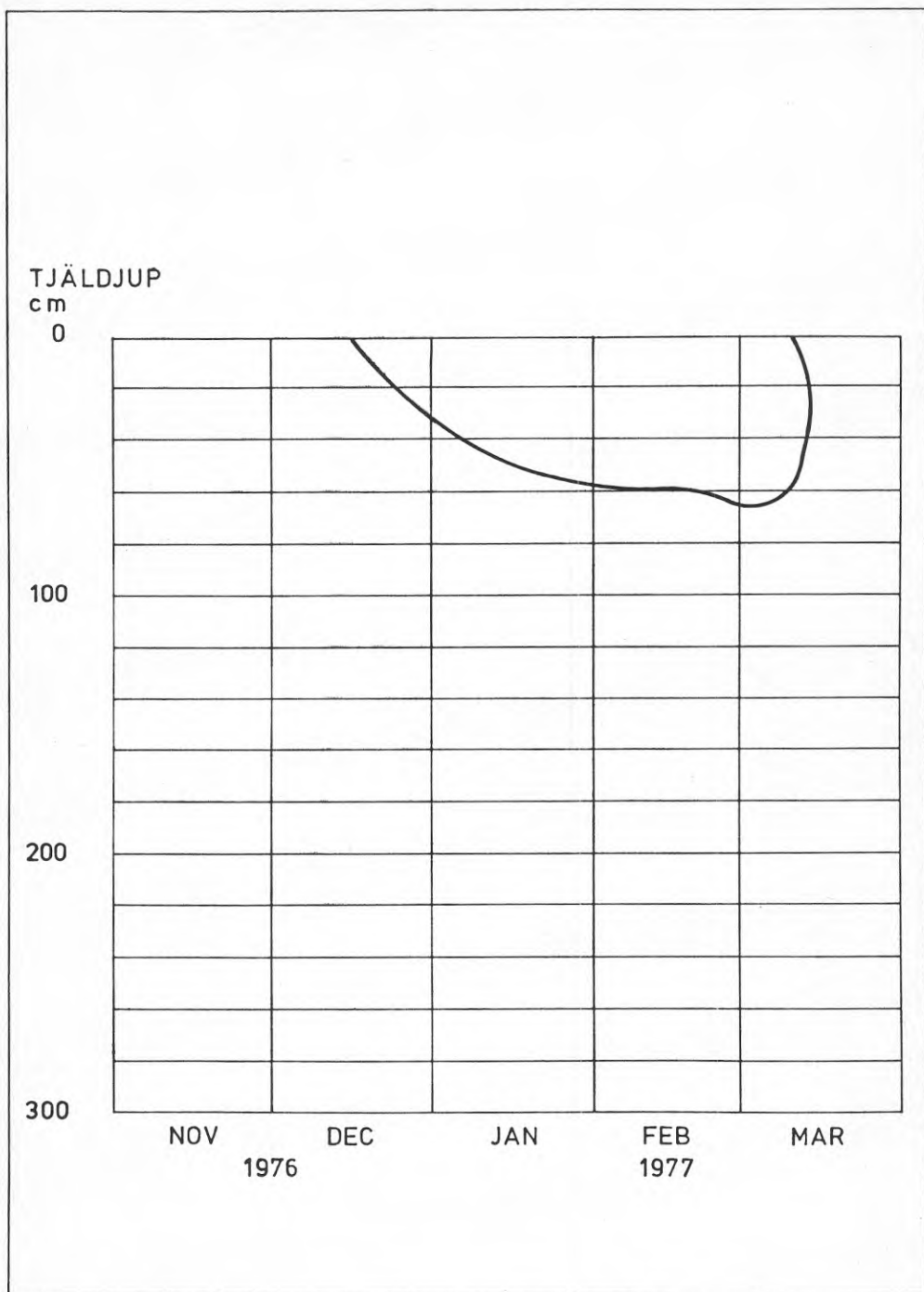
TAUTOKRONER
FYLLNING



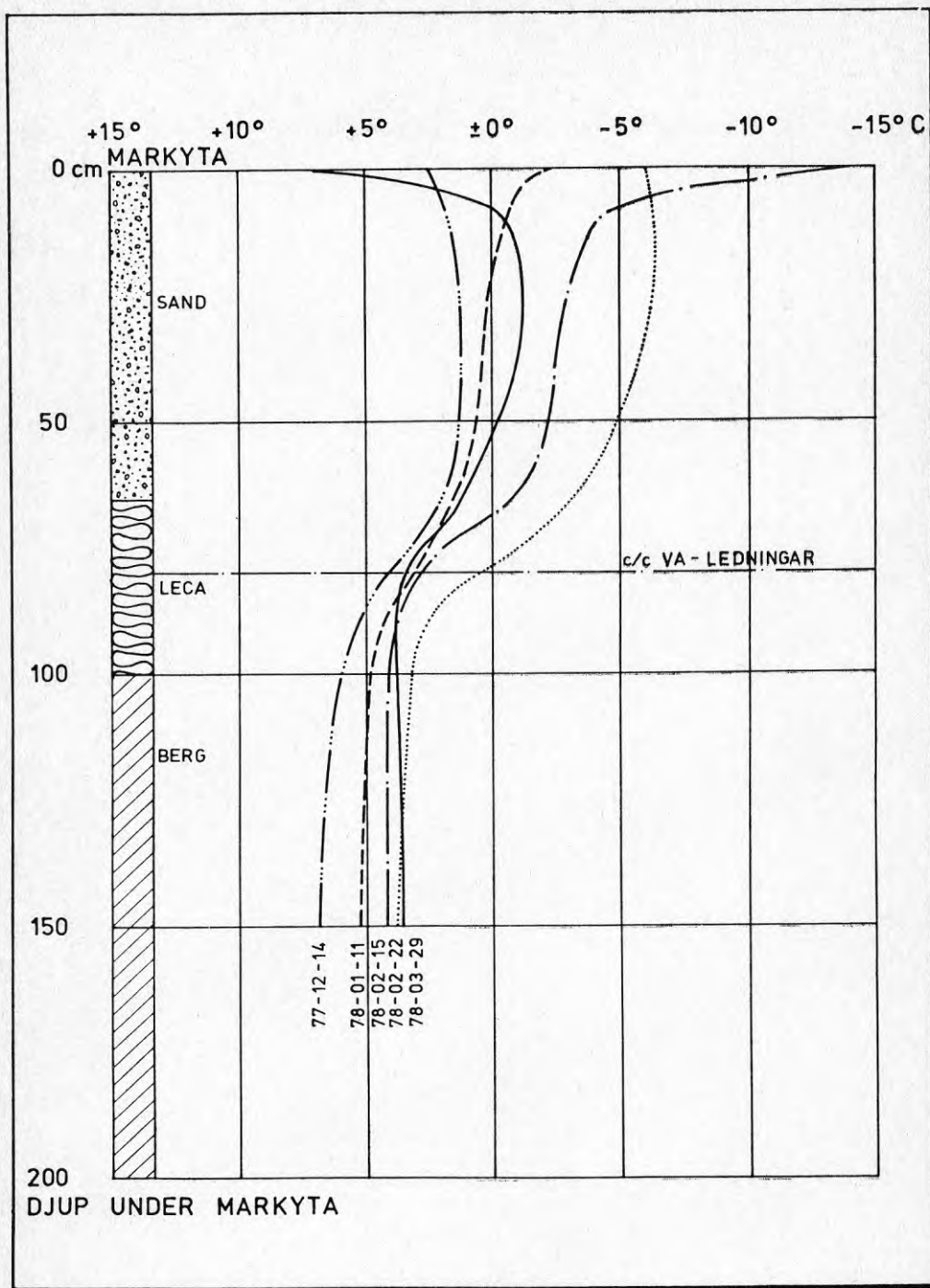
T 13

TJÄLDJUP I

LEDNINGSGRAV C



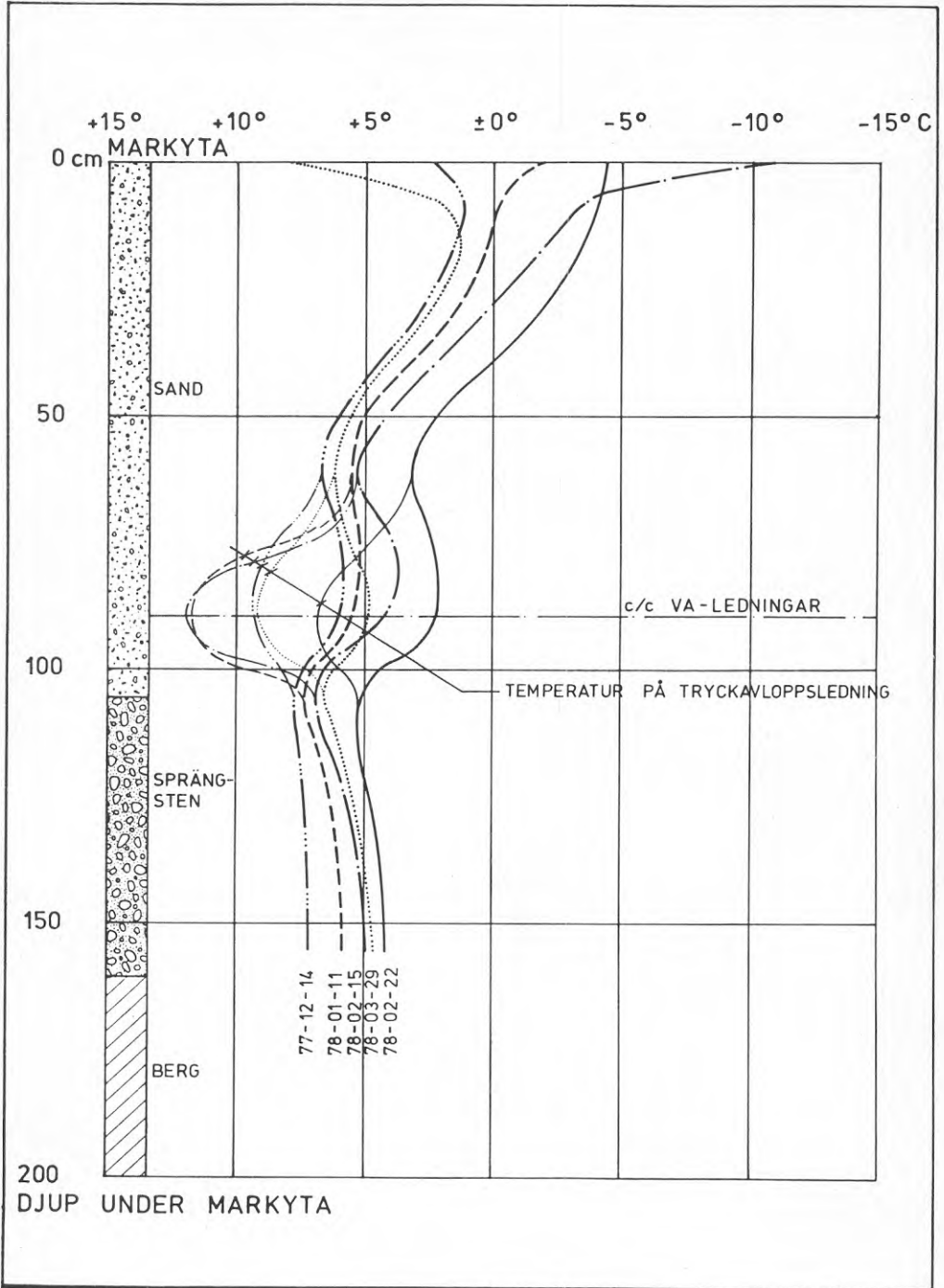
T 14
TJÄLDJUP I
BERG



T 15

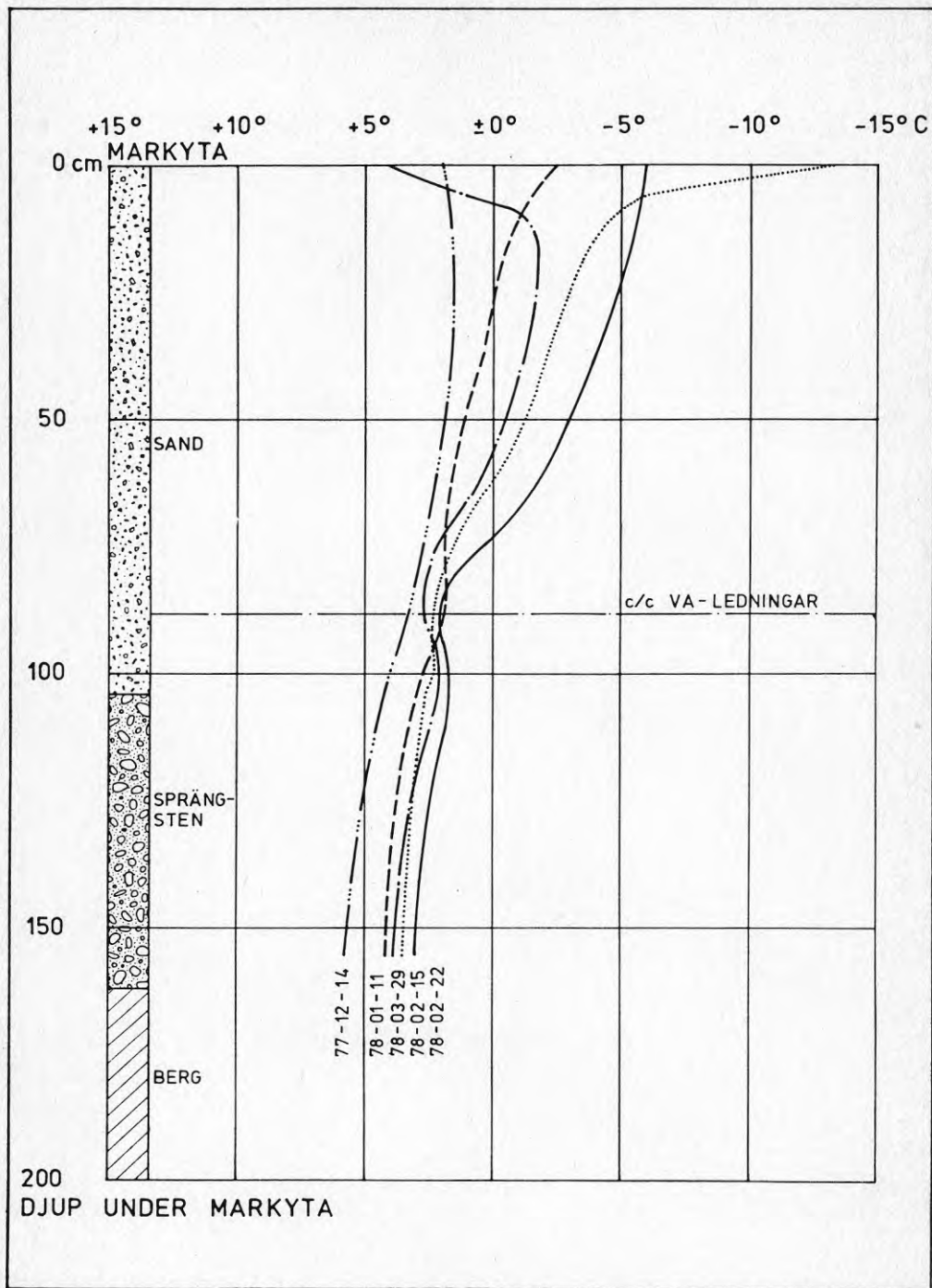
TAUTOKRONER

MÄTSTRÄCKA A



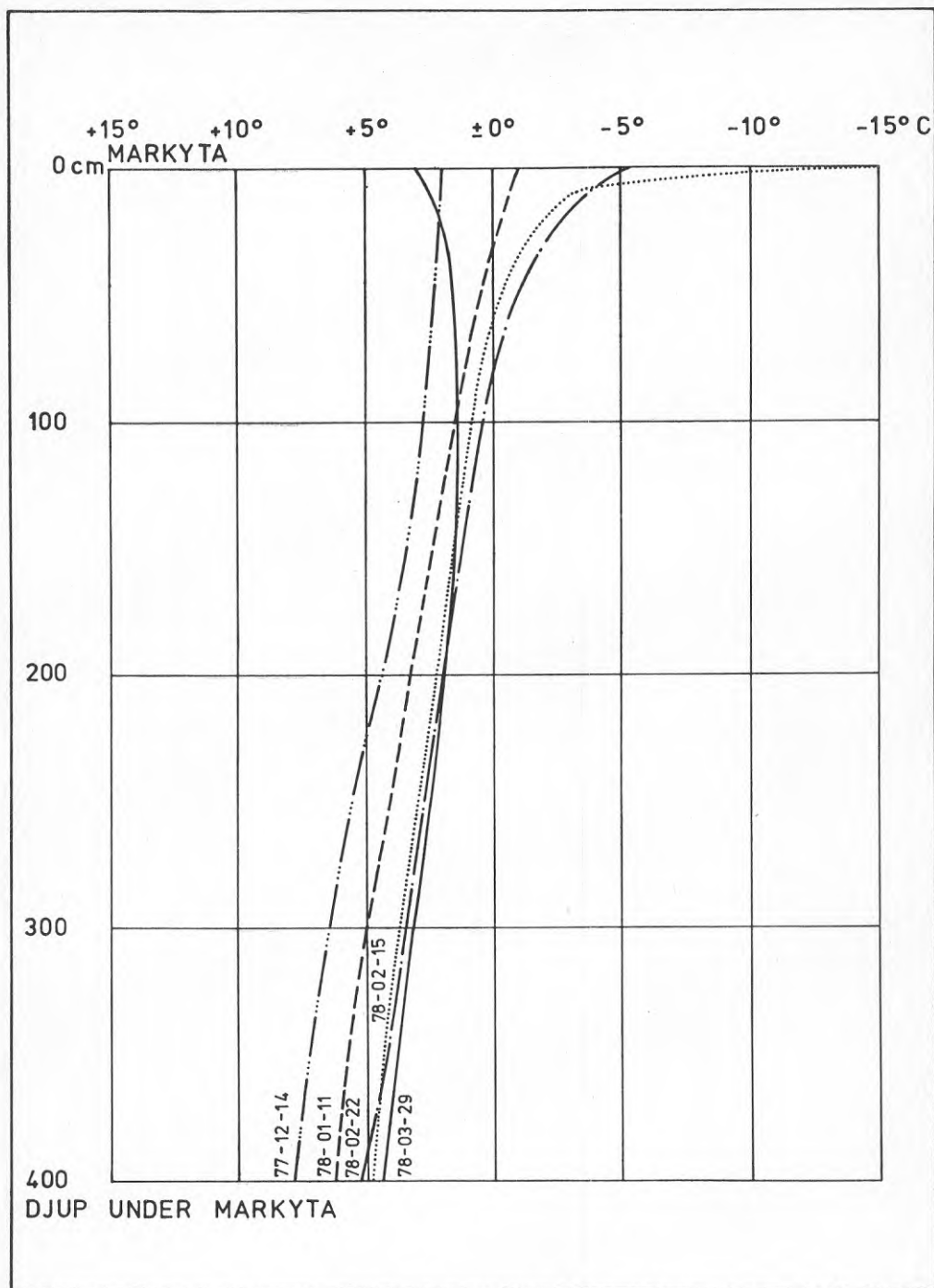
T 16

TAUTOKRONER
MÄTSTRÄCKA B

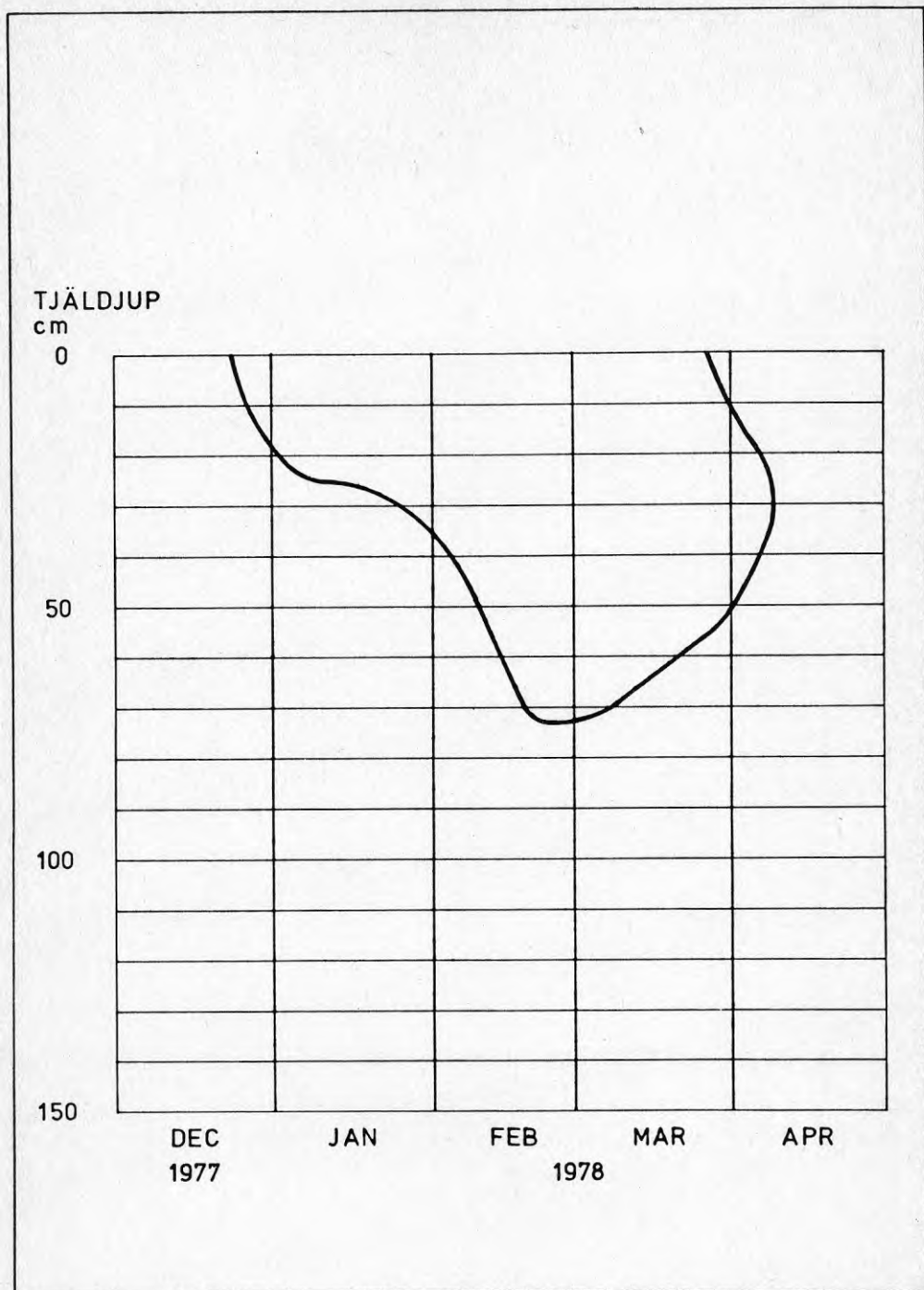


T 17

 TAUTOKRONER
 MÄTSTRÄCKA C



T 18
TAUTOKRONER
BERG



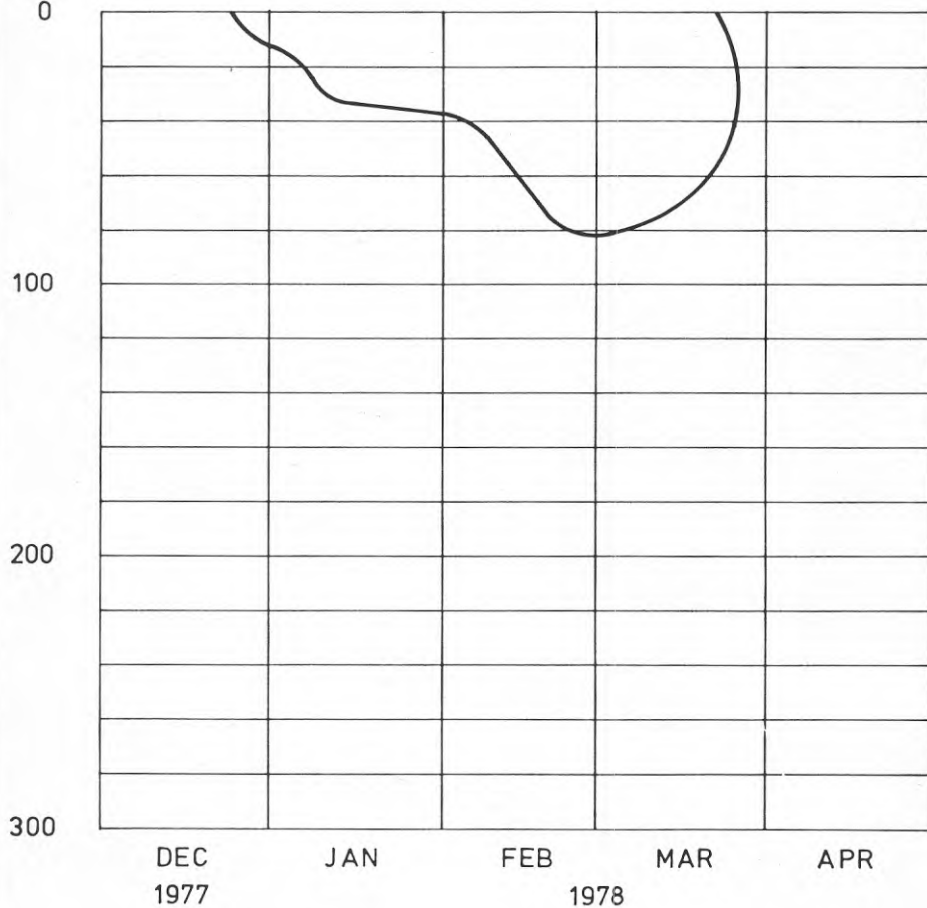
T 19

TJÄLDJUP I
LEDNINGSGRAV C

TJÄLDJUP

cm

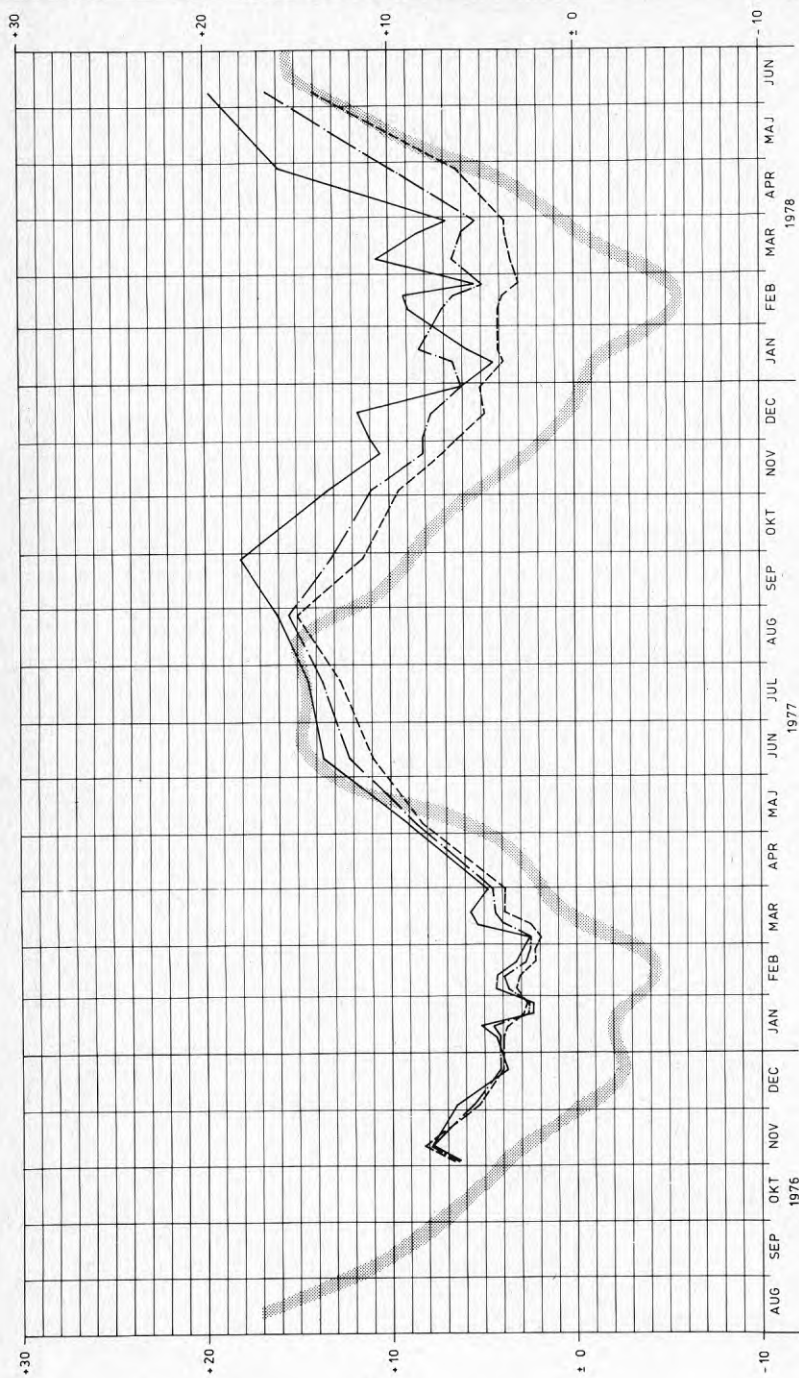
0



T 20

TJÄLDJUP I

BERG

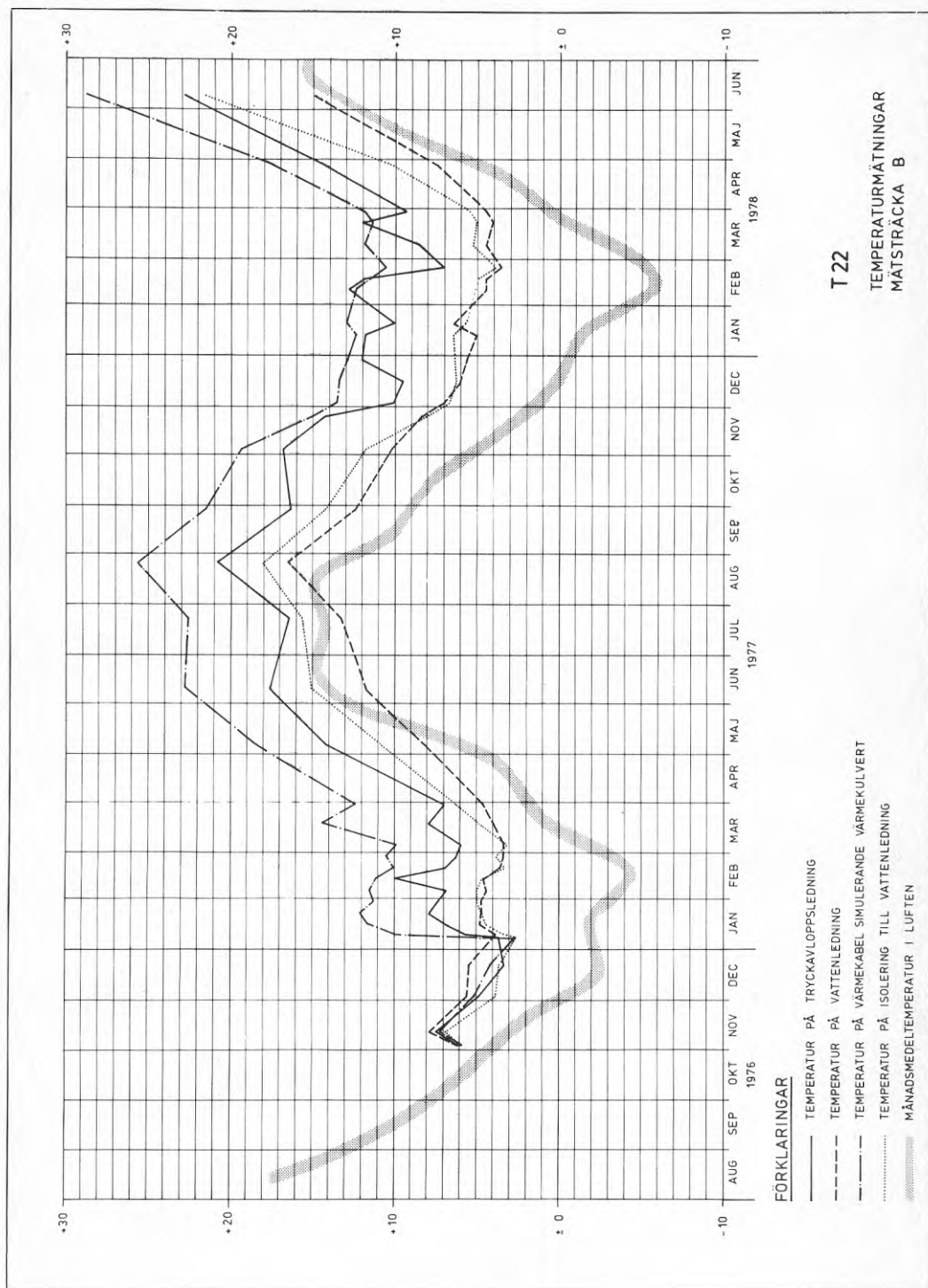


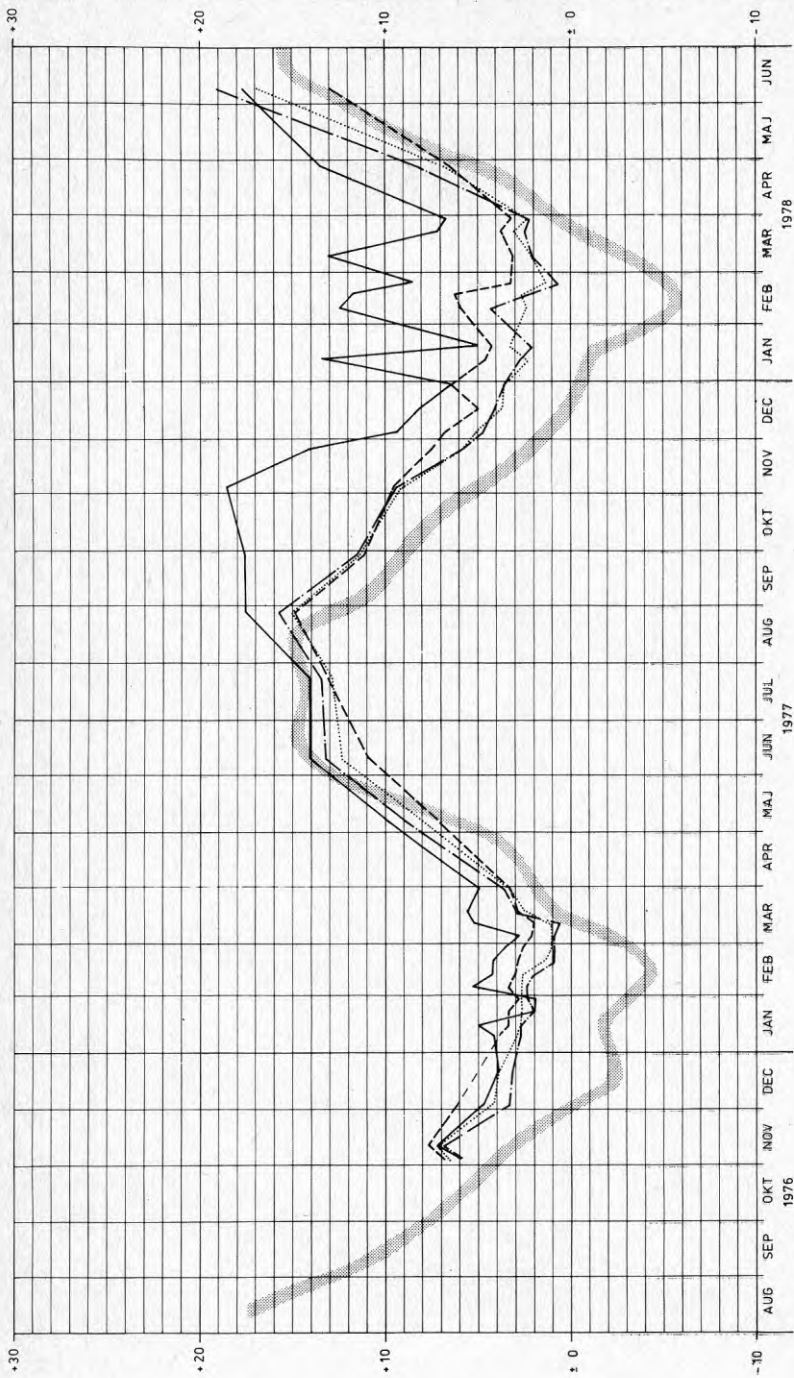
FÖRKLARINGAR

- TEMPERATUR PÅ TRYCKAVLOPPSLEDNING
- - - TEMPERATUR PÅ VATTENLEDNING
- · - · TEMPERATUR MELLAN TRYCKAVLOPPSLEDNING OCH VATTENLEDNING
- MÅNADSMEDELTEMPERATUR I LÜFTEN

T 21

TEMPERATURMÄTNINGAR
MÄTSTRÄCKA A





FÖRKLARINGAR

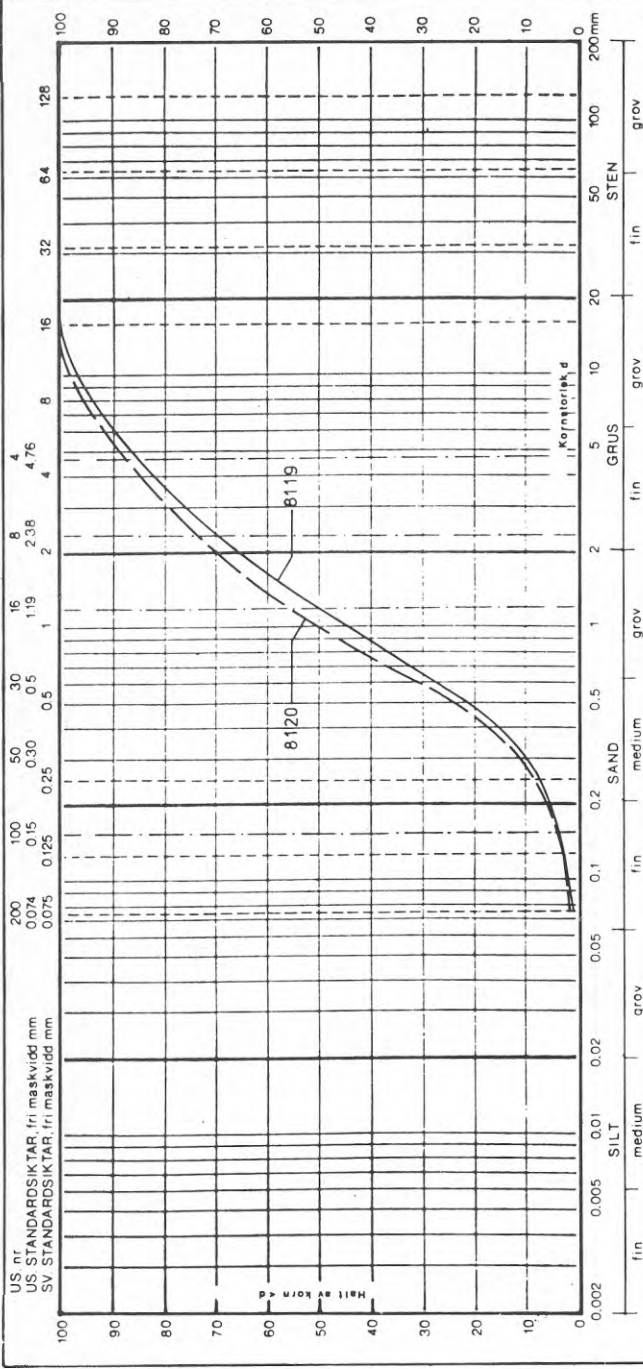
- TEMPERATUR PÅ TRYCKAVLOPPSLEDNING
- - - TEMPERATUR PÅ VATTENLEDNING
- · - · TEMPERATUR PÅ ISOLERING TILL TRYCKAVLOPPSLEDNING
- TEMPERATUR PÅ ISOLERING TILL VATTENLEDNING
- ████████ MÅNADSMEDELTEMPERATUR I LUFTEN

ANM

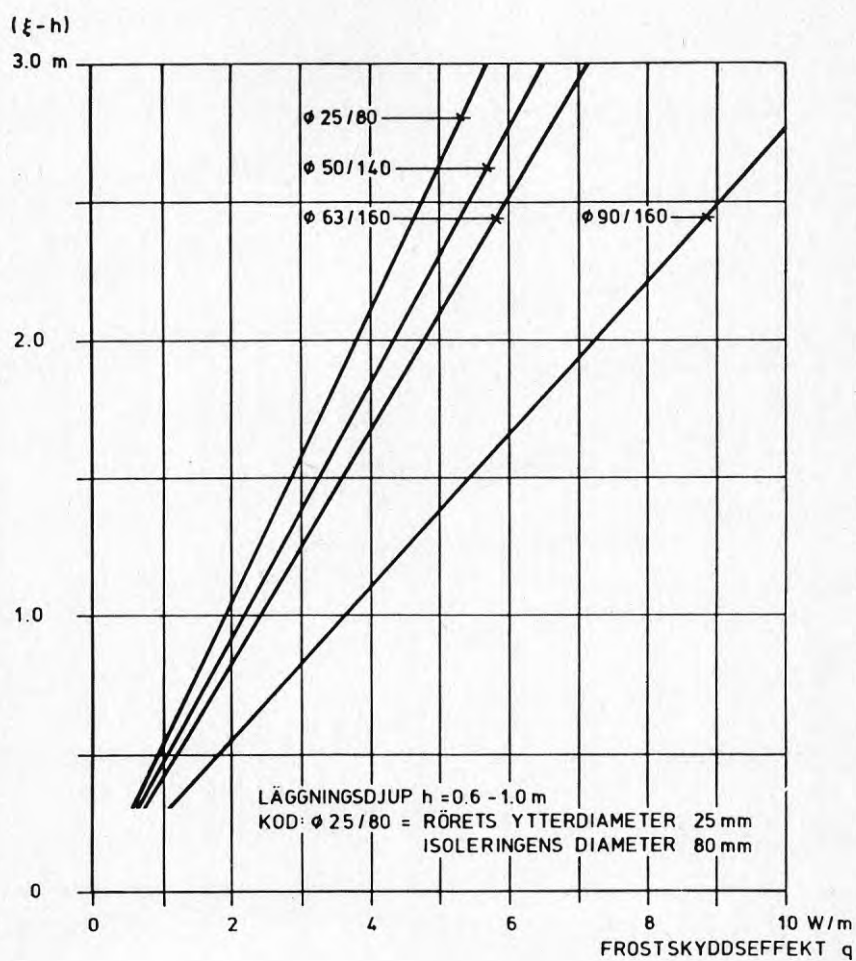
TEMPERATUREN PÅ MÅTSONDEN MELLAN TRYCKAVLOPPS- OCH VATTENLEDNINGEN ANSLUTER MYCKET NÄRA TILL TEMPERATUREN PÅ UTSIDAN AV TRYCKAVLOPPS- RESP. VATTENLEDNINGENS ISOLERING

T23

TEMPERATURMÄTNINGAR
MÅTSTRÄCKA C



Provrnr	Provtagningsplats och märkning	Geoteknisk benämning	Permeabilitetsbestämning
8119	KRINGFYLLNINGSMATERIAL	GRUSIG SAND	
8120	KRINGFYLLNINGSMATERIAL	GRUSIG SAND	
STOCKHOLM, den 20 / 9 / 19 78. Sign.		Anm.	Första- volyvikt, t/m ³
			Permea- abilitet k, (-10log k)
			Första- volyvikt, t/m ³
			Permea- abilitet k, (-10log k)



ERFORDERLIG FROSTSKYDDSEFFEKT SOM FUNKTION AV SKILLNADEN MELLAN MAXIMALT TJÄLDJUP ξ OCH LÄGGNINGSDJUP h FÖR PLASTRÖR MED MINERALULLS-ISOLERING.

T 25

FROSTSKYDDSEFFEKT

**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 750505-2 från
Statens råd för byggnadsforskning till Platzer Bygg AB,
Stockholm**

R43:79

**ISBN 91-540-3010-2
Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm**

Art.nr: 6600943

**Abonnemangsgrupp:
W. Installationer**

**Distribution:
Svensk Byggtjänst, Box 1403
111 84 Stockholm**

Cirkapris: 30 kr exkl moms