



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

R80:1978

**Sättningar orsakade av
vegetation**

**Fallstudie i Enskededalen,
Stockholm**

Roland Palm

Byggforskningen

R80:1978

SÄTTNINGAR ORSAKADE AV VEGETATION
Fallstudie i Enskededalen, Stockholm

Roland Palm

V-Biblioteket Bygg
Lunds Tekniska Högskola
Box 118, 221 00 LUND

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag
740222-6 från Statens råd för byggnadsforskning till
Tyréns företagsgrupp AB, Stockholm.

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

Nyckelord:
bostadsområden
småhus
mark
vegetation
träd
vattenbalans
sättningar
skador

UDK 624.131.54
712.4:711.58

R80:1978

ISBN 91-540-2910-4
Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

LiberTryck Stockholm 1978 857607

INNEHÅLL

1	BAKGRUND	7
1.1	Allmänt	7
1.2	Forskningsprogrammet	7
1.3	Modell för jordprofilens uppbyggnad	10
2	HYPOTESER	13
2.1	Ställda hypoteser	13
2.2	Sammanfattning av resultat	14
3	MÄTMETODER	17
3.1	Markvattenmätningar	17
3.2	Sättningsmätningar - mätning av horisontella markrörelser	17
3.3	Volymviktsbestämning	19
3.4	Geotekniska undersökningar	19
3.5	Övrig datainsamling	20
4	BESKRIVNING AV FÖRSÖKSOMRÅDET OCH DESS OMGIVNINGAR	21
4.1	Allmänt	21
4.2	Geologi	21
4.3	Hydrologi	21
4.3.1	Allmänt	21
4.3.2	Markvatten	21
4.3.3	Grundvattentryck	23
4.4	Geotekniska förhållanden	26
4.5	Bebyggelse	29
4.5.1	Allmänt	29
4.5.2	Bärande stomme	29
4.5.3	Grundläggning	29
4.5.4	Vägar och ledningssystem	35
4.6	Vegetation	36
5	TEORIER OM VEGETATION OCH VATTEN	39
5.1	Allmänt	39
5.2	Vattnets rörelse	39
5.2.1	Allmänt	39
5.2.2	Vattnets rörelse i jorden	39
5.2.3	Vattnets rörelse till roten	41
5.2.4	Vattnets rörelser i växterna	45
5.3	Transpiration	46
5.3.1	Allmänt	46
5.3.2	Klyvöppningsmekanismen	46
5.3.3	Transpirationens årsrytm	49
5.3.4	Transpirationen och trädets ålder	49
5.3.5	Transpiration och vattenhalt i jorden	49
5.3.6	Transpiration för olika träslag	51

6	MÄTRESULTAT OCH BERÄKNINGAR	55
6.1	Vattenhalts-mätningar	55
6.1.1	Allmänt	55
6.1.2	Vattenhalter och vatteninnehållets förändring	55
6.1.3	Vattnets rörelser	61
6.1.4	Luftinnehåll	65
6.2	Densitetsmätningar	69
6.2.1	Allmänt	69
6.2.2	Mätningarna 1974	69
6.2.3	Mätningarna 1975	69
6.2.4	Mätningarna 1976	73
6.2.5	Jämförelse mellan 1974, 1975 och 1976 års mätningar	73
6.3	Beräkning av porvolym	75
6.3.1	Allmänt	75
6.3.2	Porvolymdiagram	77
6.4	Sättningsmätningar	77
6.4.1	Allmänt	77
6.4.2	Sättningarnas tidsvariation	80
6.4.3	Sättningar i och under torrskorpan	83
6.4.4	Sättningar i torrskorpan och torrskorpans vatteninnehåll	86
6.5	Geotekniska undersökningar	86
6.5.1	Allmänt	86
6.5.2	Resultat av provtagningen våren 1976	89
7	ÖVRIGA UNDERSÖKNINGAR OCH BERÄKNINGAR	
	M M	91
7.1	Allmänt	91
7.2	Litteraturreferat m m och träd och sättningar	91
7.3	Sättningsberäkningar	97
7.3.1	Allmänt	97
7.3.2	Relativ skillnad i sättning mellan rör på gräsmatta och rör vid träd	97
7.3.3	Sättningsens storlek på olika nivåer	100
7.3.4	Sättningar i mark och hus	105
7.3.5	Avvägning av fasadbeklädnadens underkant	108
7.3.6	Avvägning av det distinkta sandlagrets underkant	108
7.3.7	Diskussion	111
7.4	Bevattning av träd	111
7.4.1	Allmänt	111
7.4.2	Bevattningen 1974	111
7.4.3	Resultat 1974	114
7.4.4	Portrycksförändringar	115
7.4.5	Bevattning 1975	116
7.4.6	Resultat 1975	116
7.5	Träd tillväxt	118
7.5.1	Allmänt	118
7.5.2	Mätresultat	118
7.5.3	Diskussion	119
7.6	Fritt vatten i marken	121
7.6.1	Allmänt	121
7.6.2	Tolkning av vattenhaltskurvor	123

7.6.3	Tolkning av (n-w _a)-diagram	123
7.6.4	Mätning i rör med filterspets	123
7.6.5	Mätning i spadborrade hål	126
7.6.6	Vad mäter man i rör och borrarade hål?	126
7.6.7	Slutsatser	126
7.7	Teorier för torrskorpebildning	129
7.8	Vattenbalansberäkningar	140
7.8.1	Allmänt	140
7.8.2	Takvärde för vattenföring i mätprofilen	140
7.8.3	Potentiell evapotranspiration enligt C.W. Thornthwaite	142
7.8.4	Mätt avdunstning i Stockholm	147
7.8.5	Bedömning av transpirationens storlek	147
7.8.6	Jämförelse "vid träd" och "på gräsmatta" 1974 och 1975	150
7.8.7	Jämförelse år "med träd" och år "utan träd"	151
7.8.8	Sammanfattning av trädens inverkan på vattenbalansen	152
7.9	Jämförelse mellan laboratoriebestämd vattenhalt och vattenhalt enligt neutronmetod	152
7.9.1	Allmänt	152
7.9.2	Mätningarna i maj 1974	153
7.9.3	Mätningarna maj 1976	155
7.9.4	Slutsatser	155
8	SAMMANVÄGNING AV OLIKA DATA	157
8.1	Allmänt	157
8.2	Förändringar i trädens omgivning	157
8.3	Vattenbalansen inom området	158
8.4	Jordprofilen inom området	160
8.5	Träds påverkan av sättningar och husskador	162
8.6	Trädens rotsystem	164
8.7	Beslut om fällning av träden	165
9	RESULTAT	169
9.1	Allmänt	169
9.2	Genomgång av hypoteser	169
9.3	Ny hypotes	172
9.4	Bedömning av vissa undersökningsmetoder	173
9.5	Sammanfattning	175
	FIGURFÖRTECKNING	177
	LITTERATUR	187
	SAMMANFATTNING	193

BILAGA 1		
Vattenhalter 1974 och 1975 och 1976.		199
BILAGA 2		
w_a -topoisopleter, 1974 och 1975 och 1976.		229
BILAGA 3		
w_a -snitt A - A och B - B, 1974 och 1975.		255
BILAGA 4		
Förändring av vatteninnehåll i skikt om 0,5m i rören 1 - 10, 1974 och 1975.		263
BILAGA 5		
Vattenförändringar i snitten 0 - 0,5m , 0,5 - 1,0m och 1,0 - 2,5m för samtliga rör, 1974 och 1975.		285
BILAGA 6		
Topoisopleter för $(n - w_a)$, 1974 och 1975.		293
BILAGA 7		
n- och γ_t -diagram, 1974 års mätningar.		315
BILAGA 8		
n- och γ_t -diagram, 1975 och 1976 års mätningar.		329
BILAGA 9		
Sättningsskillnader mellan peglarna i pegelpa- ren (Δs) och förändringarna i vatteninnehållet (Δw) i jorden mellan peglarna i näraliggande markvattenrör.		345

1 BAKGRUND

1.1 Allmänt

Ett villaområde i Enskede i södra Stockholm, byggt på 1920-talet, fick kraftigt ökade skador i samband med att en dagvattentunnel sprängdes till området. Man fann att skadorna var särskilt stora på hus nära stora träd. Det var bl a mycket stora skillnader längs en gata med en ensidig almallé. Nästan samtliga hus längs den sidan där träden stod var skadade men bara något enstaka hus på den trädfräa gatusidan. Kunde det finnas ett samband mellan de större skadorna och närvaron av träd?

I utländsk litteratur har ett flertal skadefall beskrivits, där träd ansetts vara den direkta orsaken till skador på hus. Även på flera håll i Sverige har träd ansetts medverka till skador på hus.

I samband med en utredning om orsaker och orsakssammanhang, som gjordes för det sättningsskadade villaområdet i Enskede, ansågs frågan om träds medverkan i skadeförloppet vara otillfredsställande belyst (Sven Tyrén AB (1974) "Sättningsskadat villaområde i Enskede" (Stockholms kommun, stencil)).

Detta forskningsprojekt påbörjades därför för att belysa frågan. Avsikten var också att testa vissa mätmetoder.

Våren 1976 fälldes träden längs gatan där mätningarna utfördes. Man ansåg att risken för fortsatta skador på husen var så stor, att man inte kunde låta träden stå kvar. Sedan träden fällts har sättningarna på mark och hus varit mycket små.

1.2 Forskningsprogrammet

I programmet för detta projekt (1974-04-01) skisserades ett tänkbart händelseförlopp för hur träden kunde skada husen inom försöksområdet. Tankegångarna byggde på de teorier, som vi då hade. Kunskaper som vi fått genom detta projekt har i vissa delar gjort att dessa teorier har fått omprövas.

"År 1925 var träden små och klarade sin vattenförsörjning i en begränsad jordvolym. Man kan anta att torrskorpan på den tiden var ganska grund. Området hade förmodligen under hela året en grundvattenvåning i torrskorpans spricksystem.

I och med att bebyggelsen fortsatte och gator asfalterades samt ledningsgravar grävdes minskade mängden fritt vatten i torrskorpan. Inom området har också vid ett par tillfällen särskilda dräneringsledningar lagts ner för att leda bort det

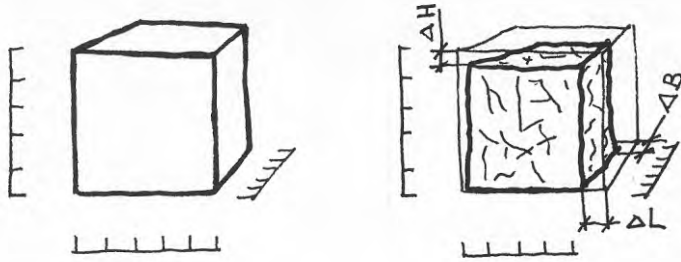


FIG. 1. Modell av krympning av lera genom upptorkning.

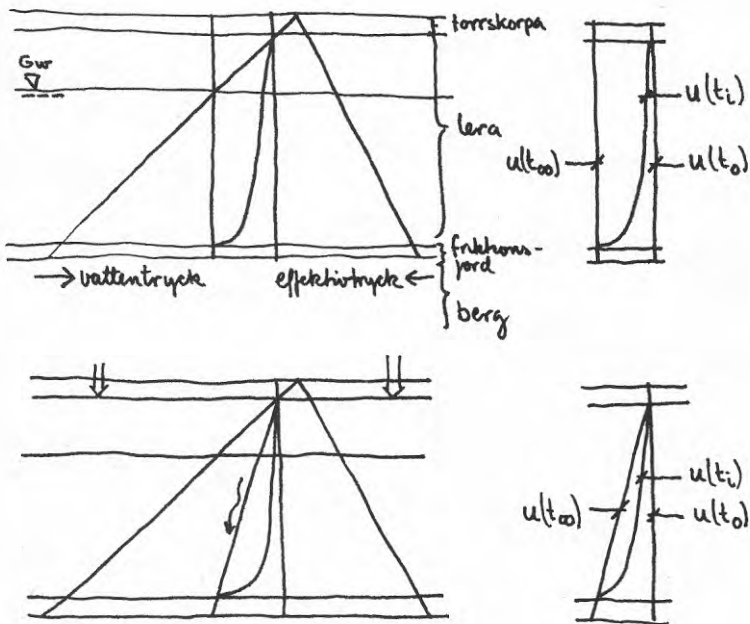


FIG. 2. Modeller för förändringar i belastningar vid grundvattentrycksänkning med och utan fritt markvatten.

tidvis ganska rikliga markvattnet.

Träden blev med tiden större och deras rotsystem måste genomväva en allt större jordvolym för att kunna suga upp tillräckligt med vatten. Nerträngningen på djupet hindrades av den icke upptorkade leran under torrskorpan. Rötternas möjlighet att penetrera tät lera var liten. Det fordras en spricka på ca 0,2 mm för att rötterna skall kunna tränga ner. I horisontell riktning däremot fanns inga mekaniska hinder. Dessutom fanns där både vatten och luft. Den horisontella tillväxten var betydligt större än den vertikala.

Så länge det fanns gott om lätt växttillgängligt vatten i torrskorpan kunde växterna inte fördjupa denna. Men av olika anledningar minskade tillförseln av vatten så mycket att en upptorkning kunde ske "ovanifrån" av leran under torrskorpan. Genom denna upptorkning krympte leran och sprickor bildades. Rötterna kunde då växa ner i dessa sprickor och "suga ur" leran även "från sidan".

Denna process har sedan fortgått år efter år. Den kan fortsätta tills rotzonen under träden är ca 2,5 m. Mycket djupare kan inte rotzonen bli eftersom bristen på syre i marken på denna nivå hämmar rotutvecklingen.

Rötternas horisontella utbredning skedde i takt med trädens tillväxt. När rötterna nådde fram till husen fann de där bättre förhållanden för rotutveckling i kringfyllningen än i torrskorpan. Det mekaniska motståndet var lägre och tillgången på luft bättre. Rötterna kom att växa ner genom kringfyllningen ner till dräneringslagret och in under husen. Där fanns i det närmaste ideala förhållanden för rötterna. Rikligt med luft men på samma gång gott om lättillgängligt vatten.

När vattnet av någon anledning "tog slut" i dräneringslagret började rötterna ovanifrån suga av leran under grundläggningen. De senaste torra somrarna har troligen varit en bidragande orsak till att det skett en upptagning av vatten från leran under husen."

Sättningsens orsaker beskrevs på följande sätt:

"När lera under torrskorpan blir av med vatten kommer den att krympa. Krympningen motsvarar inte volymen av den borttagna vattenmängden eftersom den delvis ersätts med luft. Men krympningen kan medföra en volymminskning på 10-15 % av vattenmättad volym.

Denna krympning genom bl a trädens vattenupptagning måste vara en av orsakerna till de sättningar som observerats i Enskededalen.

Vi har redan nu konstaterat att det skett en i ett par fall ganska kraftig rotinväxning under hus där reparationsarbeten påbörjats.

Hela sättningsskiktet kan inte förklaras av krympning i samband med torrskorpans fördjupning. Det måste också ha skett en konsolideringssättning i leran under torrskorpan. Genom området byggdes 1970-72 en dagvattentunnel. Denna har medfört ett minskat grundvattentryck i friktionsmaterialet under leran. Det är möjligt att träden även kan ha påverkat denna konsolideringssättning.

Genom att grundvattentrycket, som i viss mån bär upp marken minskar, kommer denna att bli i motsvarande grad tyngre. Den ökade lasten medför att vatten pressas ut ur leran. Det sker då en volymminskning. Marken sätter sig (primär konsolideringssättning). De enskilda partiklarna i leran kommer därvid att utsättas för ökat tryck mot varandra. Detta resulterar i en långsam omlagring av dem, vilket också medför en volymminskning (sekundär konsolideringssättning). Om leran kontinuerligt tillförs vatten ovanifrån förhindras en fullständig utjämning av det uppkomna porvattenövertrycket i leran över grundvattentryckytan. I sådana fall blir sättningen mindre än om inget vatten tillförs.

Frågan är alltså om träden kan ha orsakat att det lokalt blir "upptorkande" förhållanden, medan det i övrigt sker en tillförsel av vatten till leran under torrskorpan."

1.3 Modell för jordprofilens uppbyggnad

Antagandena om hur träd påverkar sättningarna byggde på en modell för hur jordprofilen i ett lerområde ser ut.

Jorden i ett lerområde består överst av en uppsprucken torrskorpa. I dennas undre del finns normalt ett magasin av fritt vatten. Under torrskorpan är leran homogen och vattenfylld. Den homogena lerans extremt låga genomsläpplighet hindrar det fria vattnet i det djupare spricksystemet att sjunka vidare neråt.

I torrskorpan ovanför den vattenfyllda zonen kvarhålls vatten av jordpartiklarnas och porsystemets adhesions- och kapillärkrafter. Mängden vatten som kan hållas kvar på en viss nivå beror på jordens sammansättning och struktur och på avståndet till den fria vattenytan (eller 0-tryckytan).

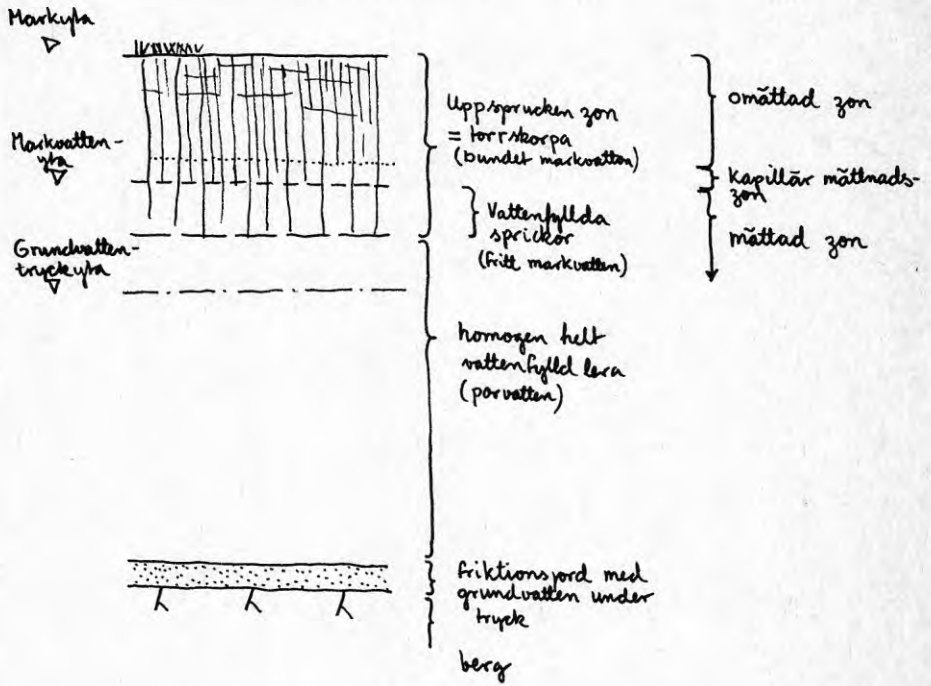


FIG. 3. Modell av ett lerområdes uppbyggnad med tanke på förekomst av vatten.

2 HYPOTESER

2.1 Ställda hypoteser

I forskningsprogrammet framförs teorin att skillnader i sättningar kan bero på skillnader i vattenupptagning på olika avstånd från träd. Teorin preciserades i tre hypoteser. Ett mätprogram lades därefter upp för att testa dessa.

Utgångsresonemanget var:

Träd har stor vattenförbrukning. Vattenupptagningen är större närmare ett träd än på längre avstånd ifrån det. Under en lång följd av år har vattenupptagningen varit större närmare träd, vilket gjort att torrskorpan är djupare vid träd än på större avstånd därifrån. Fördjupning av torrskorpan har skett i samband med att magasinet fritt vatten i torrskorpan tagit slut. Områden närmare träd saknar fritt vatten oftare och under längre perioder än områden på längre avstånd. Marksättningarna blir därigenom också större närmare träd. Skador på hus beror på att marksättningarna är olika under olika delar av husets grundläggning, vilka ligger olika långt från träd. Marksättningarna är störst under delar av huset som ligger närmast ett träd.

Detta gav följande hypoteser:

1. Torrskorpans tjocklek avtar med ökat avstånd från träd.
2. Torrskorpebildning medför sättningar genom att
 - a) leran i och omkring torrskorpegränsen krymper
 - b) leran under torrskorpan utsätts för högre belastning än i områden med fritt vatten. Detta ger konsolideringssättning.
3. Observerade sättningar på hus orsakas av olika torrskorpebildning under husets olika delar beroende på olika avstånd till träd.

Projektet har testat dessa hypoteser genom att under tre vegetationsperioder mäta markvattenhalter och marksättningar samt kombinerat dessa mätningar med andra fakta om det sättningsskadade området.

Markvattenobservationsrör och pglar sattes ut för jämförelse av förhållandena "vid träd" och "på gräsmatta". Observationsrören sattes så att det skulle gå att undersöka om det fanns en gradient i vattenupptagning med avseende på avståndet till träd. Dessutom sattes rör vid ett sättningsskadat hus för att undersöka om upptorkningen kring huset varierade med avseende på avståndet till träd.

Våren 1976 fälldes träden vid försöksområdet. De två första årens mätserier (1974 och 1975) var "med träd" och år 1976 "utan träd".

2.2 Sammanfattning av resultat

Mätresultaten från försöksområdet visar att sambanden mellan vattenbalans, trädsvullupptagning och sättningar på mark respektive hus är mycket mera komplicerade än den modell projektet utgick ifrån. Mätningarna visar också att den modell för jordprofilens uppbyggnad som utnyttjats, inte är fullt tillämpbar. Se vidare kap 9.

Hypotes 1 (torrskorpans tjocklek)

Den geotekniskt bestämda torrskorpan ("fri sjunkning" med viktsond) varierar mellan ca 2-2,5 m "vid träd" och ca 1 m "på gräsmatta".

Okulär bestämning av torrskorpan som "uppsprucken zon" gjord i upptagna helprofiler visade att torrskorpan "vid träd" var ca 2,0 m och "på gräsmatta" ca 1,85 m.

Bestämning av torrskorpa som "zon innehållande luft" gjordes i samband med vattenhaltsmätningarna. Dessa visar att det under vissa tider på året finns luft i jorden avsevärt djupare ner än 2 å 3 m både "vid träd" och "på gräsmatta".

Begreppet torrskorpa är tydligen inte så klart definerat att det går att entydigt mäta. Klart är dock att "torrskorpan" är betydligt fastare "vid träd" än på gräsmatta. Detta visar också densitetsmätningarna.

Hypotes 2

Under 1974 och 1975, när träden fanns inom området, var de totala marksättningarna (mätt på 0,3 m djup under markytan) ungefär lika "vid träd" och "på gräsmatta". År 1974, som var ett regnrikt år, var storleksordningen på den maximala sättningsrörelsen 10-20 mm. Den torra sommaren 1975 var storleksordningen 40-60 mm. Sedan träden fällts är totalsättningen större "på gräsmatta" än "vid träd". Under den torra sommaren 1976 var sättningen ca 25 mm "på gräsmatta" mot mellan 5 och 10 mm "vid träd".

Ser man däremot på sättningarna under den geotekniskt bestämda torrskorpan, dvs på de undre peglarna i pegelparen, är sättningarna genomgående mindre "vid träd" än "på gräsmatta" både år med träd och utan träd. "Vid träd" är sättningen större på den pegel som sitter på 1,8 m än på den som sitter på 2,6 m.

"På gräsmattan" sitter pegeln på 0,9 m. Troligen är resultatet av sättningsmätningarna "i torrskorpans underkant" mer beroende av hur djupt pegeln sitter än av avståndet till träd.

Nedsågningen av träden har haft en tydlig effekt på "totalsättningarna". Om sättningsmätningarna även minskat "under torrskorpan" går inte att särskilja ur mätserierna. För detta ändamål är både peglarna inom projektet och inom området i övrigt "fel" placerade. Mätningar skulle behövas på flera nivåer i och under "torrskorpan".

Hypotes 3 (sättningsmätningar och skador på hus)

Mätningarna av torrvolymvikter och vattenhalter i tre rör kring det skadade huset inom försöksområdet ger inga belägg för att skillnader i mätvärden mellan rören skulle vara direkt beroende av avståndet mellan hushörn och träd. Någon avsevärt större uttorkning har ej gått att konstatera vid hörnen närmast träd i förhållande till hörnet mot trädgårdssidan. En läckande serviceledning har påverkat förhållandena mot gatan.

Det är möjligt att den använda mätmetoden inte har tillräckligt stor upplösningsförmåga. Det kan ha skett en upptorkning i ett tunt skikt närmast under grundsulan, som inte har registrerats vid mätningarna. Direktobservationer vid uppschaktning kring det skadade huset visar att jorden krympt. Det fanns en ca 25 mm stor spricka mellan jord och grundmur under hushörnen mot gatan. Under huset fanns trädrötter. Jorden var betydligt fastare under grundsulorna än inne under källargolvet.

3 MÄTMETODER

3.1 Markvattenmätningar

Mängden vatten i jordens övre skikt har mätts med neutronsond. Mätningarna har utförts av fil lic Erik Skoglund (1974-05-10 - 1975-08-15), av civ ing Torsten Allvar (1975-08-15 - 1976-07-30) och av civ ing Kjell Svensson (1976-08-01 - 1976-11-10), Institutionen för Kulturteknik, KTH.

Metoden bygger i korthet på att snabba neutroner reflekteras som långsamma neutroner av de vätekärnor som finns i jorden. Väte finns nästan uteslutande i form av vatten i jorden. Tiden det tar för att få tillbaka ett visst antal långsamma neutroner är ett mått på vatteninnehållet i jorden.

Vattenhaltsmätningar har utförts i 5 st 3 m långa och 5 st 4 m långa 1,5" galvaniserade rör med tät botten. Fem av rören har placerats radiellt ut från ett träd ut mot en gräsmatta. Två rör har som kontroll placerats vid ett annat träd. Resterande tre rör finns kring det sättningsskadade huset. Två rör står vid gatusidans knutar och ett vid den östra trädgårsknuten. FIGUR 4 visar hur rören är placerade. Ett av kontrollrören skadades vid trädfällningen 1976 och har inte kunnat mätas under 1976.

Vattenhalten har mätts på var 10:e cm ner till 2,0 m under markytan. Därunder och ner till rörets botten på var 20:e cm. Mätningarna har gjorts ungefär med en månads mellanrum mellan maj och november månad.

Under år 1974 och fram till augusti 1975 samt efter augusti 1976 har mätningarna gjorts med en utrustning (Basc) och under perioden augusti 1975 - augusti 1976 med en annan utrustning (Wallingford). Tolkingen av vattenhaltkurvorna har därigenom försvarats på grund av risk för kalibreringsfel. Spridningen kring kalibreringskurvan, upprättad vid samtidig mätning, tycks dock ligga inom mätmetodens felgränser ± 1 %.

3.2 Sättningsmätningar - mätning av horisontella markrörelser

Tre pegelpar har placerats ut för att mäta marksättningar. Två pegelpar finns vid träd och ett ute på gräsmattan (FIGUR 4). Kommunen har dessutom en sockelpegel på ett angränsande hus (pegel 105) och en markpegel på ca 1,6 m djup ca 5 m från ett träd ungefär 40 m från mätområdet.

Peglarna är s k stångpegel (FIGUR 5). De består av en stång nerslagen till fast botten kring vilken ett rör med en bottenplatta ca 300 x 300 mm glider. Bottenplattan läggs på en finschaktad nivå i en provgrop,

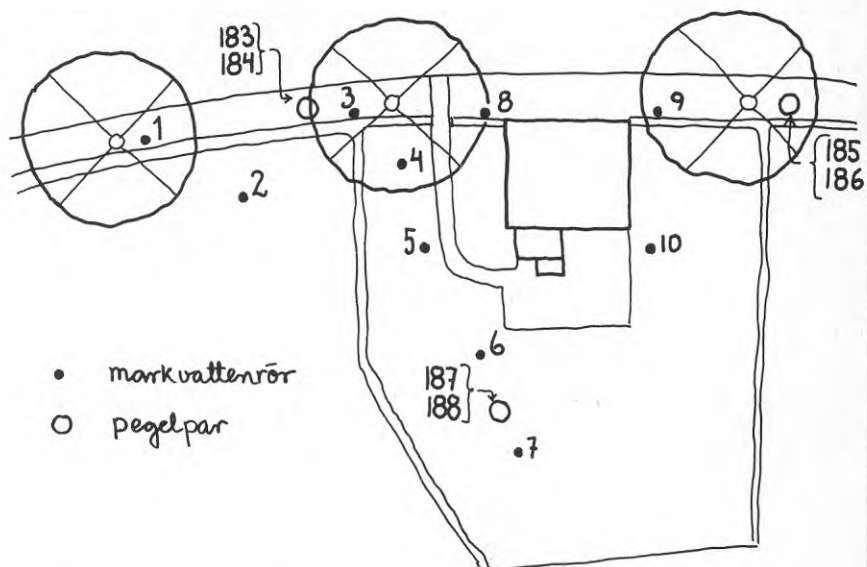


FIG. 4. Placering av observationsrör och pegelpar.

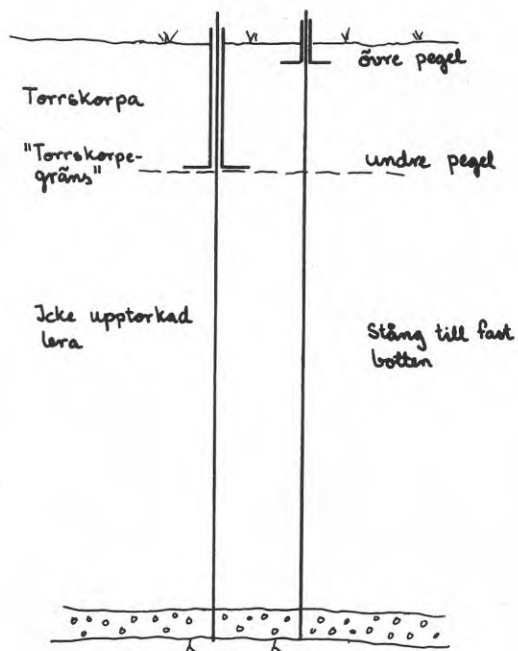


FIG. 5. Stängpegelpar.

varefter provgropen återfylls. Markrörelsen mäts med mätklocka mellan stångens och rörets överytter. Mätningarna görs på 1/10 mm när och utförs av Stockholms kommun.

Den ena pegeln i de tre pegelparen är placerad 0,30 m under markytan, den andra i den geotekniska "torrskorpans" underkant. Denna senare nivå bestämdes före utsättning genom viktsondering.

Avsikten med denna placering är att den undre pegeln skall mäta rörelsen i den inte upptorkade leran under "torrskorpan" och den övre rörelsen i hela jordvolymen. Skillnaden i rörelse mellan peglarna visar rörelsen i "torrskorpan".

Sättningarna har mätts kontinuerligt från 1974-05-10 ca en gång per månad.

3.3 Volymviktsbestämning

Den våta volymvikten (våtdensiteten) har mätts med gammasond i de tio markvattenrören. Mätningarna har utförts av Erik Skoglund (1974) och Torsten Allvar (1975 och 1976).

Våtdensiteten har mätts på var 10:e cm ner till två meter och därefter på var 20:e cm. Resultaten har räknats om till torr volymvikt (torrdensitet) genom att räkna ifrån den aktuella vattenhalten vid mätstillfället.

Avsikten var att jämföra torrdensiteten från olika år på samma nivå för att därigenom utröna var man haft sättningar. En ökning av torrdensiteten betyder att jordpartiklarna pressats samman till en mindre volym, en minskning att jordpartiklarna spridits till en större volym.

Tyvärr kunde mätningarna 1974, 1975 och 1976 inte utföras med samma utrustning. Det har därför varit omöjligt att med någon säkerhet kunna göra denna jämförelse. Jämförande kalibreringsmätning har gjorts av de två utrustningarna. Resultaten visar en klar tendens på kompaktning, även om mätningarnas absolutvärden inte är helt tillförlitliga.

3.4 Geotekniska undersökningar

Våren 1974 gjordes i samband med utsättning av markpeglar ett antal viktsonderingar och två kolvbörprover. Arbetet utfördes av Stockholms kommun.

Viktsondering gjordes för att bestämma djup till fast botten och torrskorpans tjocklek. Kolvbörprov togs med en halv meters avstånd ner till 4 m djup på grasmattan och vid pegel 184 vid gatan. Störda prover

analyserades för jorden närmast markytan. På jordproverna bestämdes vattenkvot (vikts-% vatten) och glödförlust samt kornstorleksfördelning.

Våren 1976 gjordes en geoteknisk undersökning för att studera jordlagerföljden mera i detalj inom området från markytan ner till friktionslagret under leran. Tio helprofilprov togs upp med en jalusi-provtagare typ U-balk. Jordlagerföljden dokumenterades fotografiskt. Undersökningen utfördes av geolog Agne Minsér, Bjurströms Geotekniska Byrå AB.

3.5 Övrig datainsamling

Sammanställning har gjorts av det fakturaunderlag som berör försöksområdet ur geotekniska undersökningar, markvatten- och grundvattentryckmätningar utförda för Stockholms kommuns utredningar om området.

Efter nedsågning av träden i april - maj 1976 har samtliga träs tillväxt studerats.

4 BESKRIVNING AV FÖRSÖKSOMRÅDET OCH DESS OMGIVNINGAR

4.1 Allmänt

Försöksområdet ligger i den centrala delen av stadsdelen Enskededalen i södra Stockholm, FIGUR 6.

Stadsdelen är byggd i en flack dalgång som är omgiven av mindre bergshöjder i norr, öster och söder. I väster ansluter dalen till en gren av Stockholmsåsen, på vilken Skogskyrkogården ligger. Markytan i dalgången ligger på ungefär +33 m. Omgivande höjder når upp till nivåer mellan +45 och +50.

4.2 Geologi

Dalgången är fylld med lera som underlagras av grövre material. Lerdjupet är vanligen mellan 5,0 och 7,5 m.

Leran är varvig upp till någon meter under markytan och innehåller markanta skikt av grövre material (mo, mjäla), FIGUR 7. Under den varviga leran finns på flera ställen lager av mo. Molagret är överst något lerigt och i botten sandigt. Närmast berget ligger vanligen ett tunt lager morän. Detta lager är i områdets centrala del ca 0,5 m tjockt. Över den varviga leran finns postglacial lera. Genom utsvallning från Stockholmsåsen har också grövre material spolats ut över tidigare avsatt lera. På ett djup av ungefär 0,5 m finns ett tunt sandlager. Vid försöksområdet ligger det på ca 0,6 m djup.

Bergspartierna i norr, syd och ost är delvis täckta av tunna lager morän. Mindre partier med djupare morän finns nedanför bergspartierna.

4.3 Hydrologi

4.3.1 Allmänt

Dalgången ingår i ett ca 1,5 km² stort nederbördsområde. Infiltration till grundvattnet i friktionslagret under leran sker inom ett infiltrationsområde som är ca 1,0 km² stort. Grundvattnet under leran tillförs vatten från grundvattenmagasin öster om dalgången. Grundvattenströmning sker mot Stockholmsåsen.

4.3.2 Markvatten

Stora delar av dalgången har till ganska sen tid varit sankmark. Lerområdet saknar tydlig naturlig ytvattenavrinning. Upptorkningen av sankmarken har påskyndats genom dikning. På äldre kartor syns ett tätt



FIG. 6. Försöksområdets läge i stadsdelen Enskededalen söder om Stockholms centrum.

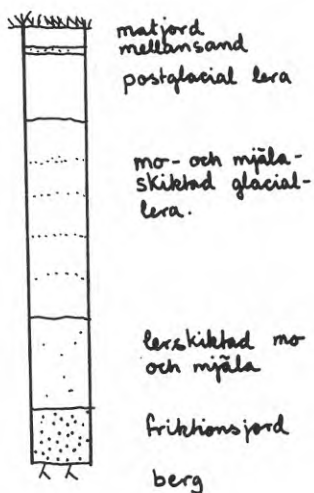


FIG. 7. Allmän jordlagerföljd inom dalgångens centrala delar.

dikessystem. Ett dike mot Skarpnäcksfältet söder om dalgången måste ha ingått i ett ganska omfattande dräneringsföretag. Nivåskillnaden mellan den genombrutna vattendelaren och markytan i dalgången är ca 4 m. När detta dikningsföretag gjordes har inte kunnat utrönas. Det ringa avståndet mellan dikena på kartor från 1920-talet tyder på att det i stora delar av dalgången fanns behov av att ta hand om stora mängder vatten (fritt markvatten, sjunkvatten) ännu när området bebyggdes.

Innan området bebyggdes dränerades det fria vattnet i torrskorpan av till dikessystemet. För att möjliggöra odling bör dikena ha varit ca 1,0 m djupa. På våren låg förmodligen markvattenytan mellan 0,5 m och 1,0 m under markytan. På hösten låg den på grund av de odlade växternas vattenupptagning troligen ca 0,5 m djupare. Maximal upptorkning kan antas ha skett till något djupare än 1,5 m under markytan mellan dikena och kanske några decimeter djupare vid dikena.

Idag är torrskorpans tjocklek, vilken kan sägas avspegla den maximala upptorkningen, olika inom olika delar av området, FIGUR 8. Inne på tomterna har torrskorpan ökat obetydligt. I anslutning till träd, djupa ledningsgravar, hus, gator och dräneringsledningar är torrskorpan idag vanligen tjockare än för angränsande ytor. Viktsonderingar tyder på att torrskorpan allmänt är mellan 1,5 - 2,0 m i den östra delen, 1,5 - 2,5 i den centrala och 2,0 - 3,0 m i den västra delen av lerområdet. Inom försöksområdet bedömdes torrskorpans tjocklek genom sondering till 0,9 m inne på tomtmarken och 2,6 respektive 1,8 väster och öster om huset.

Markvattenytans variation 1974 till 1976 i tre rör nära undersökningsområdet visas i FIGUR 9.

4.3.3 Grundvattentryck

Innan området byggdes ut låg grundvattentrycket förmodligen i den dåvarande torrskorpans underkant. Genom att en stor del av dalgångens infiltrationsområden har bebyggts har grundvattenbildningen genom nederbörd minskat med ca 1/4-del. Tillrinningen från högre liggande grundvattenbassänger har också minskat kraftigt. Totalt har grundvattenbildningen minskat från uppskattningsvis 105.000 m³/år till 70.000 m³/år. Minskningen av grundvattenbildningen har sannolikt givit en grundvattentrycksänkning på ca 1,0 m vid försöksområdet.

Grundvattentrycket vid försöksområdet sänktes ytterligare ca 1,0 m i samband med att en dagvattentunnel sprängdes ut under dalgången under 1971-1972.

Grundvattentryckets variation mellan 1973 och 1976 visas i FIGUR 10 för de rör som ligger närmast försöks-

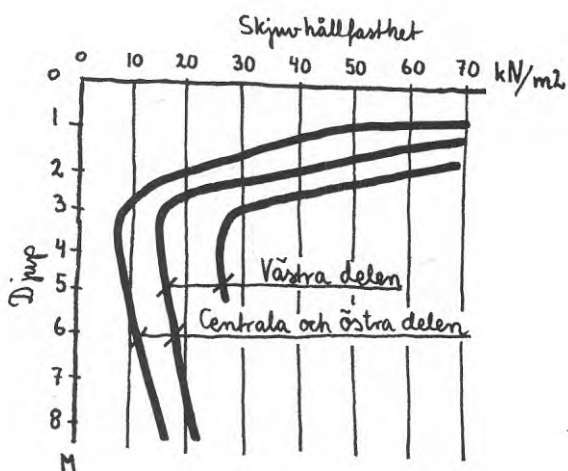


FIG. 8. Skjuvhållfastheten som mätt på torrskorpans tjocklek inom olika delar av lerområdet. (Sven Tyrén AB 1974).

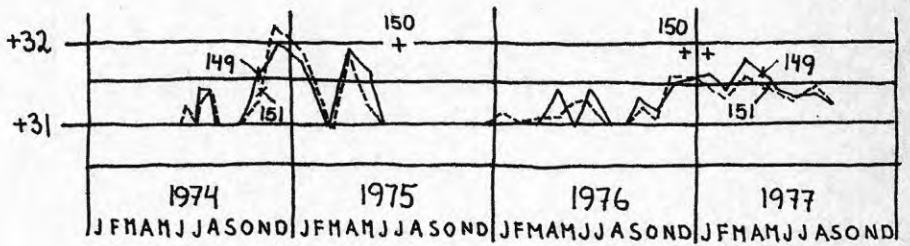


FIG. 9. Markvattnets variation i tre öppna markvatten-observationsrör längs Tistelvägen.

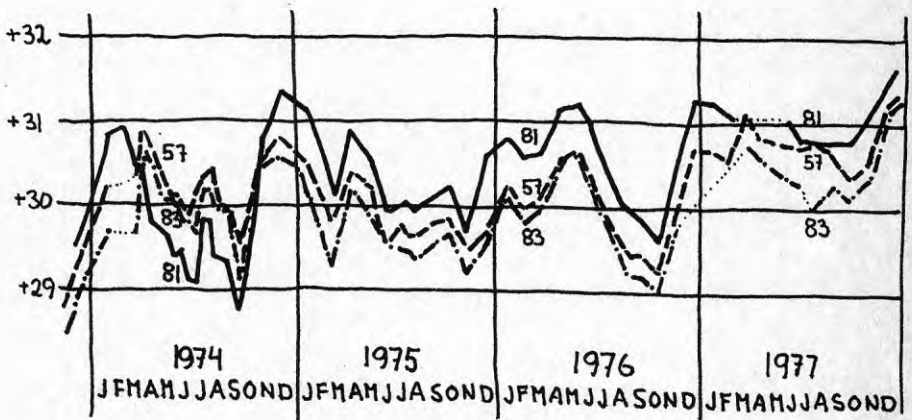


FIG. 10. Grundvattentryckets variation i rör kring försöksområdet.

området. Rörens placering framgår av FIGUR 11.

Under 1973 var grundvattentrycket exceptionellt lågt. Den varma och relativt nederbördsfattiga vintern och våren 1972-73 gjorde att det inte blev någon tjälbildning. En magasinering av vatten som snö uteblev och infiltration och perkolation kunde ske hela vinterperioden. Det blev ingen markant vårflod som fyllde på grundvattenmagasinet. Ymniga vårregn saknades. Avtappning av grundvattenmagasinet startade därför på lägre nivå och betydligt tidigare än normalt. Den låga sommarnederbörden gjorde också att det dröjde längre på hösten innan grundvattenbildningen kom igång. Avtappningen utan tillskott genom grundvattenbildning varade därför ovanligt länge. Detta har medfört ett ca 0,4 m lägre grundvattentryck än ett "normalt" torrår.

1974 var tjälbildning och snöackumulation också ringa. Sommaren var däremot regnrik. Det blev en tillfällig grundvattentryckhöjning under juli och augusti. 1975 var grundvattentrycken 10 m högre än de lägsta värdena 1974 trots att sommaren var avsevärt torrare än året innan. Man har en svag höjning av grundvattentrycket i samband med en regnig period i mitten och slutet av augusti. Höjningen av grundvattentrycket startar sent 1975, först i november månad, eftersom hösten var torr och det behövdes mycket vatten för att mätta den av växterna upptorkade zonen innan grundvattenbildningen kom igång. Grundvattentrycket varierade under 1976 ungefär på samma sätt som 1975, dock saknas den svaga höjningen av trycket i augusti-september. Detta gör att grundvattentrycket i oktober månad blev något lägre än 1975. Sambandet mellan markvattenmagasin, avdunstning, infiltration och grundvattenbildning visas schematiskt i FIGUR 12.

I juli 1975 vattenfylldes en del av tunneln mellan två betongskärmar. Tunneln fungerar genom att två täta rör lagts in mellan skärmarna. Vattentrycket i tunneln kring rören hålls uppe genom att vatten fylls på ända upp i stigorna. Vattenfyllningen hindrar vidare inläckning till tunneln. Efter denna åtgärd har grundvattentryckets medelnivå höjts inom området.

4.4 Geotekniska förhållanden

Leran har ett fast ytlager (skjuvhållfasthet $\tau \approx 50$ kN/m² = 5 Mp/m²) vars tjocklek varierar mellan ca 1,0 och 2,5 m. Under detta lager avtar fastheten ner till ca 3 - 4 m djup, där leran är att beteckna som lös till mycket lös. Skjuvhållfastheter på som lägst 9 kN/m² (0,9 Mp/m²) har uppmätts. Under ca 4 m djup ökar lerans fasthet åter något. Jordlagren under leran har i allmänhet normal till fast lagring.

En geoteknisk profil i gatan förbi försöksområdet, FIGUR 13, visar att bergytan är starkt bruten och att "torrskorpans" tjocklek liksom friktionslagrets tjocklek varierar ganska mycket.

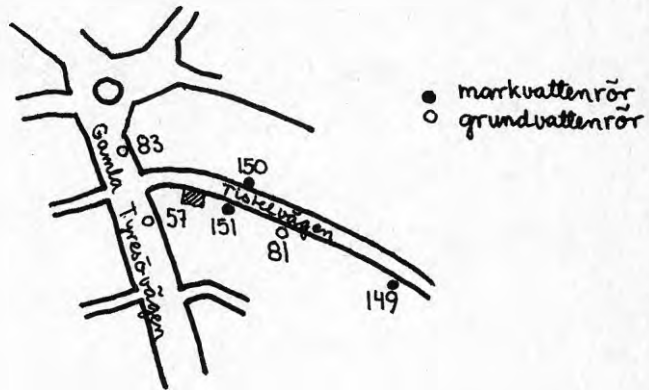


FIG. 11. Grundvattenrören och markvattenrörens lägen kring försöksområdet.

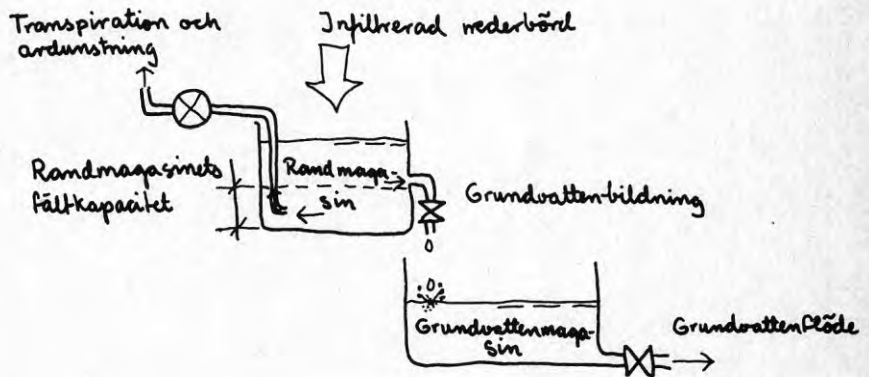


FIG. 12. Schematisk modell av grundvattenbildning m m.

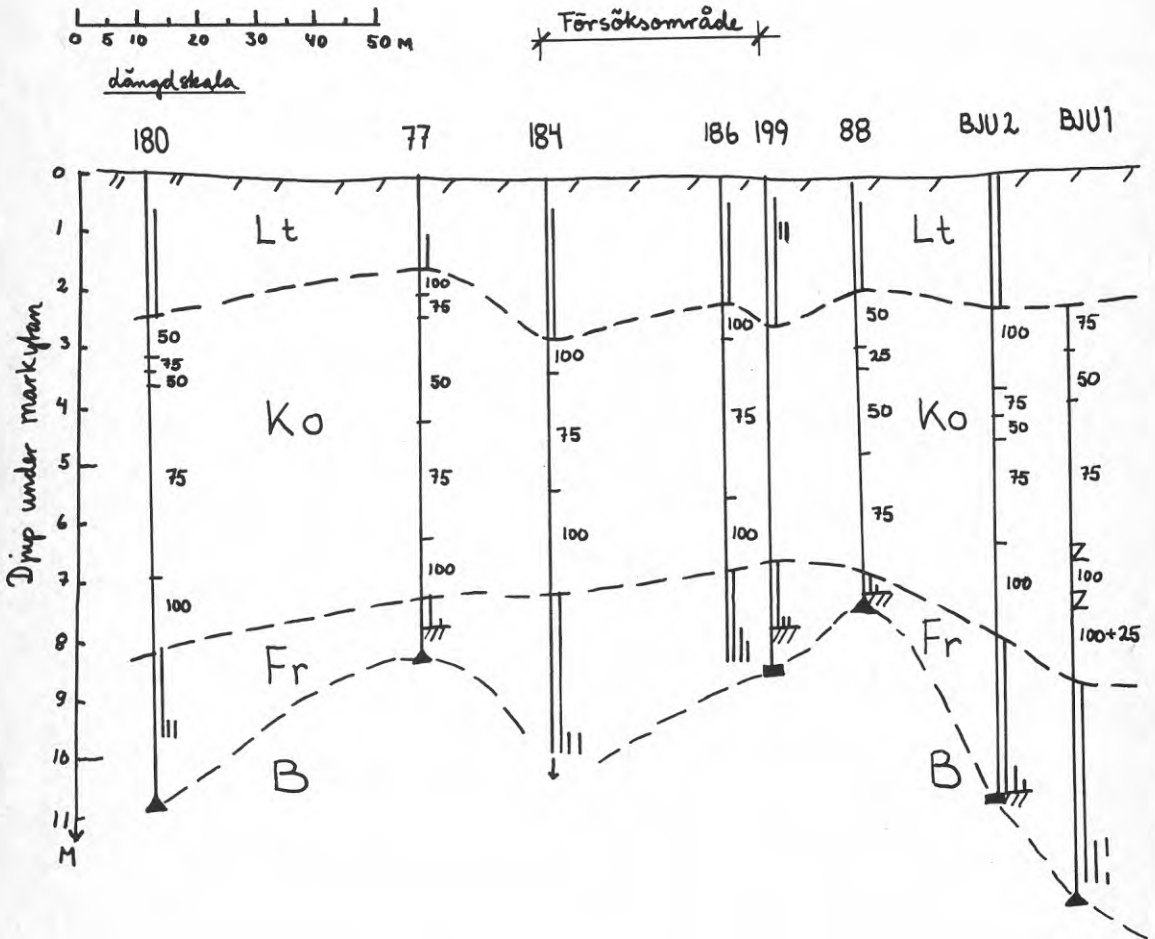


FIG. 13. Geoteknisk profil genom Tistelvägen, förbi försöksområdet.

När området byggdes får leran antas ha varit konsoliderad för grundvattenförhållanden under då normalt förekommande torrår. Under 1974-1976 har leran tidvis varit underkonsoliderad för uppmätta grundvattenstryck. FIGUR 14.

Själva leran visar för mellansvenska leror normala värden på kompressionsindex ($\epsilon_2 = 6 - 12 \%$ med medeltal kring 9%). Eftersom leran är skiktad och mellanlagras av mo/mjåla går avvattningen av leran snabbare än som normalt brukar vara fallet. Sättningshastigheten blir därigenom förhållandevis stor. Portrycksutjämning sker snabbare än i mer homogena jordar med samma kompressionsegenskaper när pålagda belastningar överskrider förkonsolideringstrycket. Därför kan sättningar uppkomma redan av kortvariga grundvattenstrycksänkningar.

4.5 Bebyggelse

4.5.1 Allmänt

Utbyggnad av den tidigare jordbruksmarken i Enskedalen startade omkring 1920. Huset i försöksområdet uppfördes 1923-24. Det har 1 1/2 plan med källare. Huset har sadeltak med 45° taklutning och förhöjd vägganslutning.

4.5.2 Bärande stomme

Husets källarväggar är uppförda i sparbetong (cement + grus + sparsten) utan armering. Väggtjockleken är ca 300 mm. Golvet i källaren består av oarmerad betong på en sten-grus-avjämning på lera.

Övervåningarnas väggar består av spontad plank med 50 - 75 mm tjocklek som är klädda med glespanel och revetering samt senare (1961) utförd fasadinklädnad av asbestcementplattor. Bjälklagen, förutom källargolvet, är utförda av trä med tung fyllning mellan bjälkarna. Bjälkarna bär mellan hjärtvägg och fasadväggar. Takkonstruktionen är utförd med sparrar av trä med dim 75 x 175-200 mm. Taket är täckt med tegel.

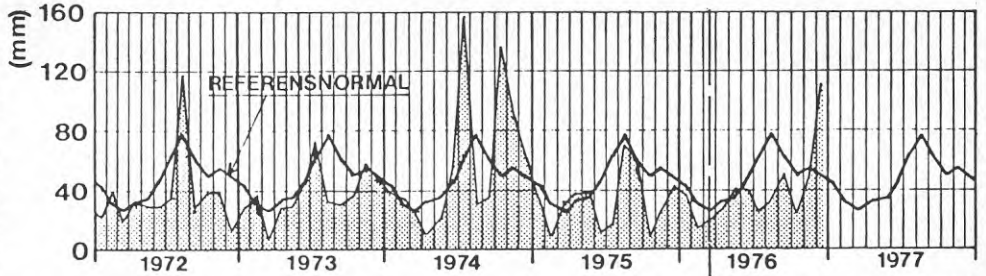
Takstolsstabiliteten åstadkoms genom en hanbjälke som tillika tjänar som vindsbjälklag samt väggband i anslutning till den förhöjda vägganslutningen.

Planer och snitt genom huset visas i FIGUR 15.

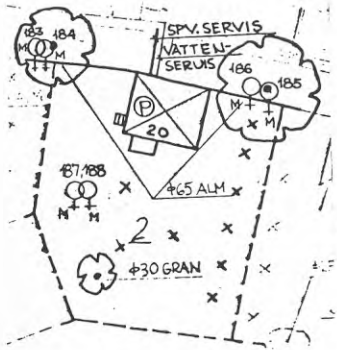
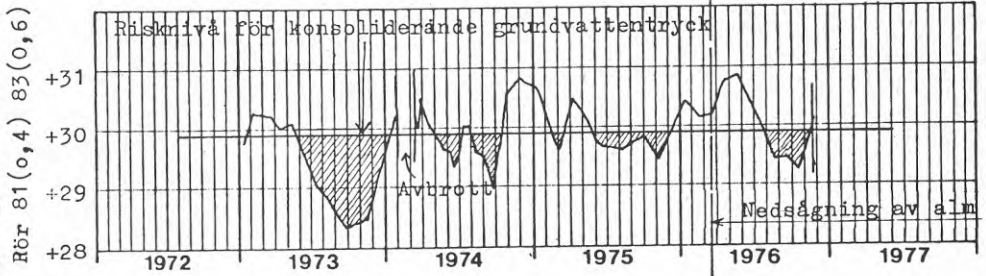
4.5.3 Grundläggning

Huset är grundlagt med en sula av sparbetong direkt på lera eller möjligen delvis på en utbottning av

NEDERBÖRD STOCKHOLM



GRUNDVATTEN



184	Tistelvägen 20	Mark	2,6m u my
183	Tistelvägen 20	Mark	0,3m u my
185	Tistelvägen 20	Mark	0,3m u my
186	Tistelvägen 20	Mark	1,8m u my
187	Tistelvägen 20	Mark	0,9 m u my
188	Tistelvägen 20	Mark	0,3 m u my

SÄTTNINGSMÄTARE

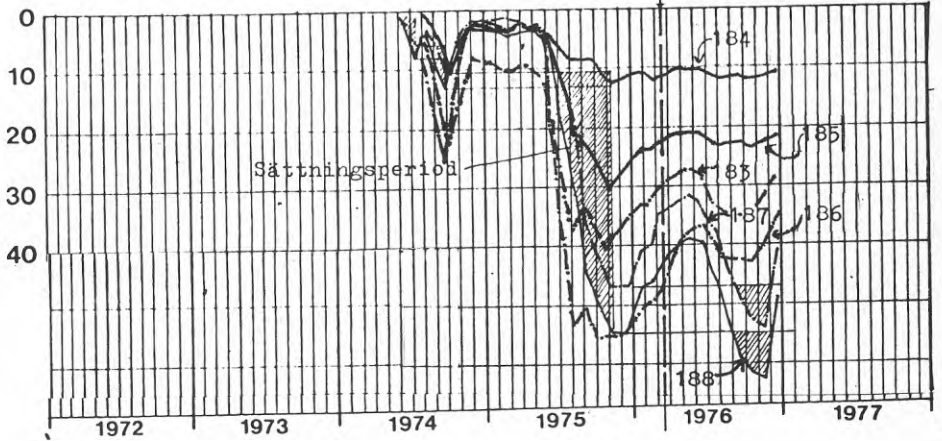
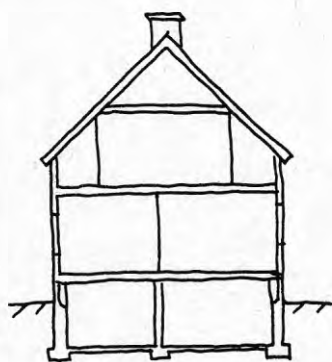
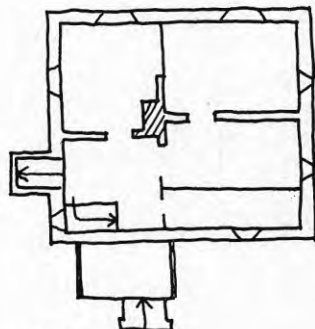


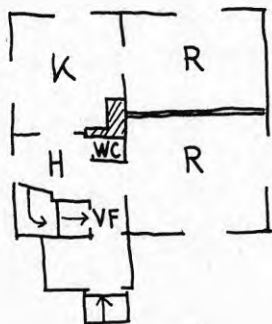
FIG. 14. Sambandet mellan nederbörd, grundvattentryck och sättningar inom försöksområdet.



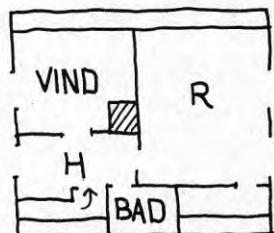
Snitt



Källare



Nedre plan



Övre plan

FIG. 15. Snitt och planer över det hus som finns inom försöksområdet.

sten. Schaktbotten för grunden är ca 1,9 m under nuvarande markyta.

Den använda grundläggningsmetoden medför bl a att man genom urgrävning avlastade jorden med något mer än husets vikt. Man fick också ett källarutrymme under mark. FIGUR 16.

När man schaktade för husen minskade spänningarna i jorden. Mitt i schakten (punkt I) blev avlastningen störst. Längs schaktens kanter (punkt II och IV) blev den mindre och i hörnen (punkt III) blev den allra minst, FIGUR 17.

När sedan huset byggdes belastades jorden åter. Under skorstenen (I) överskreds förkonsolideringen ner till 1,1 m under källargolv, mitt under fasaderna ner till 1,5 m, vid hushörnen ner till 2,1 m. Detta gav små sättningar i huset alldeles efter det var byggt. Skillnaden mellan den påförda belastningen (huset) och jordens förkonsolidering djupare ner i jorden blev också mindre vid husets ytterkanter och hörn än inne under huset. Belastningen på olika delar av en sula var också olika stor, varför denna effekt förstärktes.

Grundvattentrycket har sjunkit sedan 1920-talet. Förkonsolideringstrycket har därigenom överskridits allt djupare ner i jorden. Konsolideringssättningar började vid olika tidpunkt under olika delar av huset. Detta har medfört att huset fått ojämna sättningar. Eftersom det var husets hörn som har minst "marginal" mellan påförd huslast och jordens förkonsolideringstryck kom dessa att vilja sätta sig först. Detta medförde också en omfördelning av laster till delar av grundläggningen som hade bättre bärförmåga samtidigt som det skedde en uppsprickning av grundmurarna.

För att försöka förhindra att huset ytterligare skadades gjordes våren 1971 en grundförstärkning. En ca 750 mm bred och 600 mm tjock betongsula göts fast och förankrades i den befintliga grundmuren med inborrade armeringsstänger, FIGUR 18.

Konstruktionen har medfört att huslasten kom att fördelas på en större yta. Den jord som vilar på utsticket kan dock tillsammans med betongens egenvikt ge upphov till ett vridmoment på grundmuren. Vid rörelser i jorden kan därför grundmurens krön vridas utåt.

Hösten 1975 hade grundmurarna åter satt sig så mycket att man blev tvungen kila upp huset. Överstommen lyftes med domkrafter och kilar slogs in mellan grundmurar och bottenbjälklag. För att nå en slutlig lösning grundförstärktes huset till fast botten med slanka stålplåtar i augusti 1976.

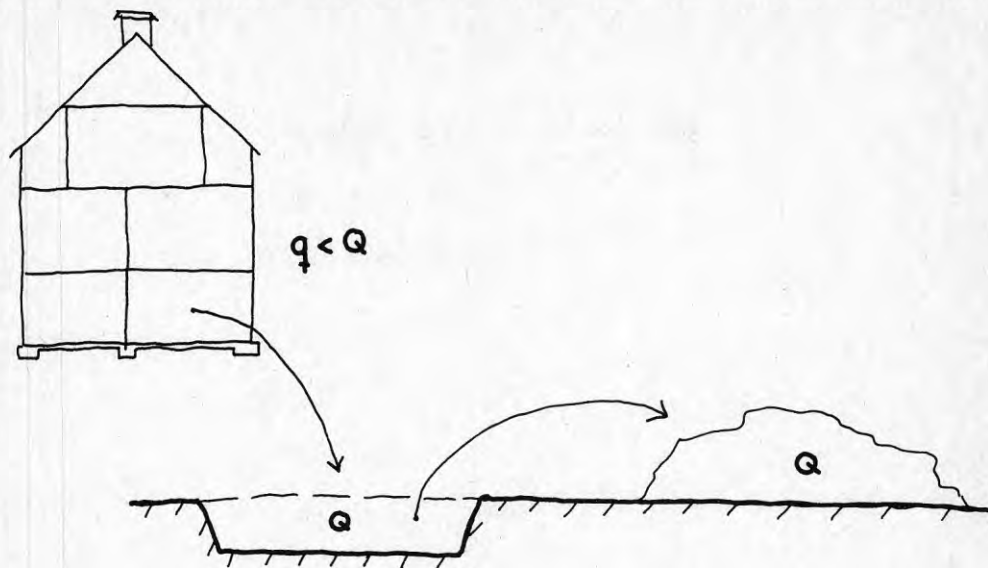


FIG: 16. Princip för grundläggningsmetoden.

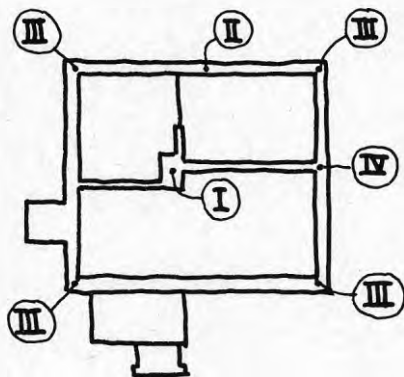


FIG. 17. Läget av de punkter där belastningen före och efter husets uppbyggnad studerats.

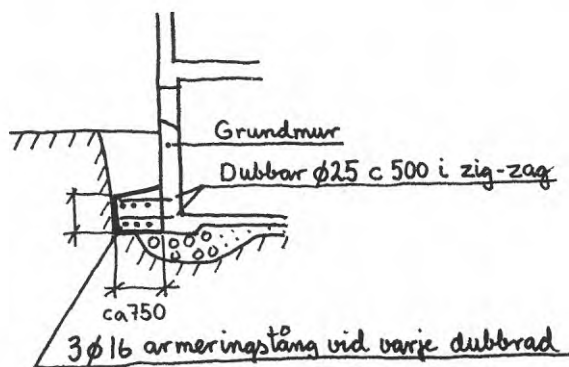


FIG. 18. Principen för grundförstärkningen på Tistelvägen 20.

4.5.4 Vägar och ledningssystem

Vägsystemet inom stadsdelen är uppbyggt kring två större vägar, Sockenvägen och Gamla Tyresövägen. Dessa vägar är mellan 20 och 30 m breda med en 1 - 1,5 m bred trädplanterad skyddsremsa mellan vägbana och gångbana.

Övriga vägar är, liksom den som går förbi försöksområdet, mellan 7 och 11 m breda.

Vägsystemet hade från början ett slitlager av grus.

Väggroppen var troligen uppbyggd med 20 - 25 cm stenblandad åsgrus direkt på leran. Ytavvattning saknades. Regn- och smältvatten från vägbanan infiltrerades i marken vid sidan av vägen. Vägarna asfalterades förmodligen någon gång på 1940-talet. I samband därmed utfördes troligen också den idag fungerande ytavvattningen. Rännstensbrunnarna kopplades till det kombinerade regn- och spillvattennätet. I början av 1960-talet har rännstensbrunnarna kopplats till ett separat system för dagvatten.

Asfalteringen av vägarna tycks av vad som framkommit vid uppgrävningar inte ha medfört att vägnas underbyggnad väsentligt förbättrats. Den gamla väggroppen har troligen bara jämnats till innan beläggningen utfördes.

Ett kombinerat spill- och dagvattennät lades ner i samband med att området byggdes ut. Vatten och gas drogs också fram i området vid samma tidpunkt.

Det kombinerade spill- och dagvattennätet ligger vanligen i gatans mittlinje. Vattengången vid försöksområdet ligger på ungefär +30,25, dvs 3 m under markytan. Ledningssystemet består av 225 mm rör. Det är anslutet till en "huvudstam" som är en kulvertledning med dimensioner mellan \emptyset 300 och 800 x 1200.

Avloppssystemet avbördas västerut till ett kulvertsystem på västra sidan om Stockholmsåsen. Från början mynnade detta ut i Årstaviken. Idag är det kopplat till reningsverket vid Henriksdal.

Avloppssystemet har litet fall och bitvis klena ledningar. Huvudstammen har ca 3 m fall på mer än 600 m sträckning. Det motsvarar ett genomsnittligt fall på ca 1:200. Igenslamningar och igensättningar av ledningar med trädrotter har inträffat. Områdets ojämna sättningar påverkar även ledningarna. Därför har man inom området haft problem med översvämningar i källaren vid kraftiga regnväder.

I början av 1960-talet började man lägga om det kombinerade avloppssystemet. Särskilda dagvattenledningar las ner 1962 i gatan vid försöksområdet norr om den gamla avloppsledningen. Vattengången ligger på ca +31.70 vid passage av försöksområdet, dvs något

mer än 1,5 m under markytan. Ledningssystemet vid huset visas i FIGUR 19.

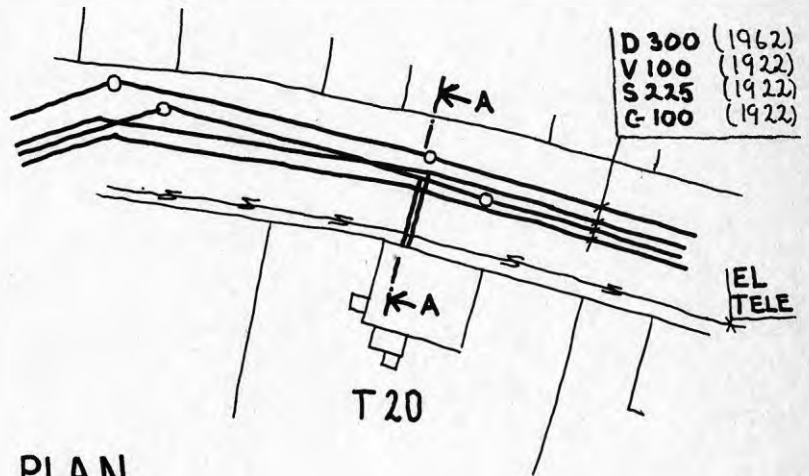
Dagvattenledningarna kopplades till det kombinerade systemets huvudkylvertar.

För att nå en slutlig lösning på separeringen av dag- och spillvatten sprängdes en dagvattentunnel fram till området. Tunneln sprängdes ut under tiden maj 1971 till mars 1972. Den ligger i berg ca 25 m under markytan.

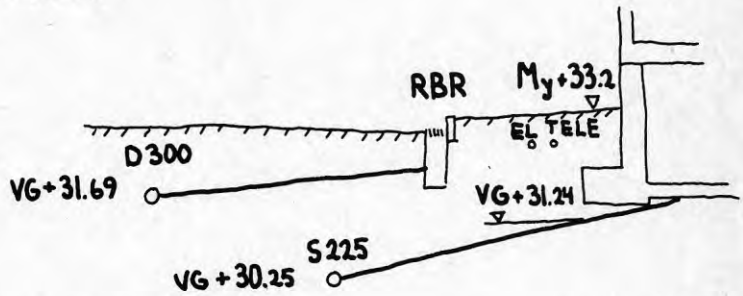
4.6 Vegetation

Innan området bebyggdes var marken odlad. På gamla grundkartor redovisas ingen vegetation i dalgångens lerområden. Vegetation fanns upp mot fastmarken kring dalgången. Om det under tidigare tidsperioder funnits trädvegetation i dalgångens centrala delar bör den ha varit av typ lövkärr. Dalgången saknade naturligt avlopp för ytvatten, vilket måste ha medfört att området var vattensjukt. Detta tänkta äldre trädbestånd kan inte ha medfört någon djupare torrskorpebildning.

Idag finns det gott om högre vegetation inom dalgången. Vid försöksområdet fanns till maj 1976 den omtalade ensidiga almallén. Träden var 20 - 25 m höga och hade en brösthöjdsdiameter på 0,6 - 0,7 m. De var troligen planterade omkring 1930. Inne på tomten finns ett stort antal fruktträd och prydnadsbuskar. Längst in mot nästa tomt finns en ca 20 m hög gran. Vegetationen inom försöksområdet fram till våren 1976 visas på FIGUR 20.



PLAN



SNITT A-A

FIG. 19. Ledningar kring Tistelvägen 20.

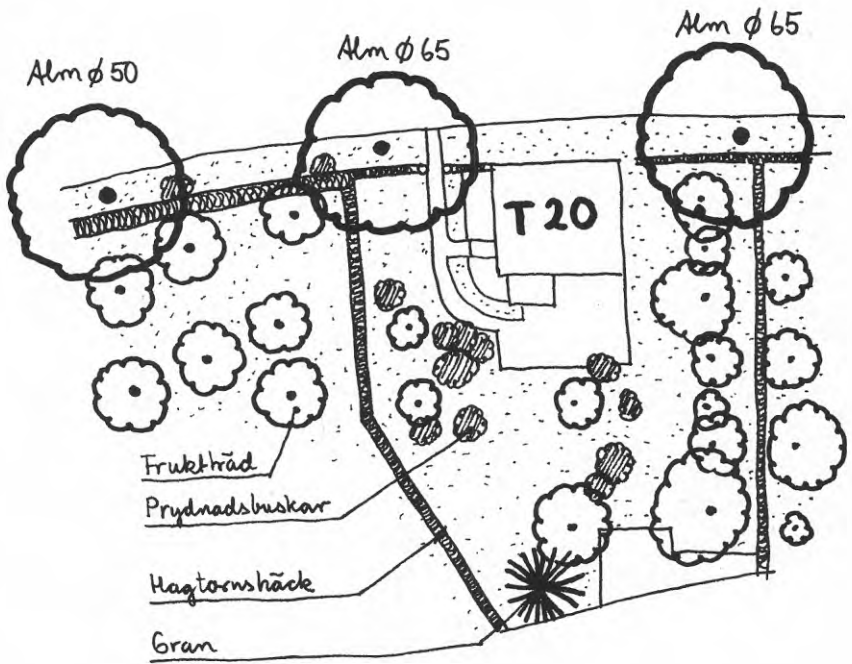


FIG. 20. Vegetation inom försöksområdet.

5 TEORIER OM VEGETATION OCH VATTEN

5.1 Allmänt

Vegetationen tar upp vatten från jorden, utnyttjar en del för tillväxt och fotosyntes men låter största delen avdunsta till atmosfären. Många har försökt att mäta mängden vatten som vegetation omsätter. Resultaten är svåra att jämföra, eftersom mätmetoder, terminologi och omgivningsfaktorer är så olika. I sin bok "Vegetation and hydrology" (1963) beskriver H.L. Penman problemen kring vegetationens påverkan av den hydrologiska cykeln. Han anser att studiet av upptagning av vatten vid rötterna, transport genom stammen och avdunstning till atmosfären vid bladen omges av "ett kaos av observationer, gissningar, jämförelser och dogmatiska modeller. Dessa har sedan tryckts som 'fakta' ... I många standardverk om hydrologi finner man data om växternas vattenförbrukning, där felaktigheter blandats med riktiga slutsatser på ett sådant sätt att man inte har en aning om vad som är vad."

Ett exempel på detta är uppgifterna om träds transpiration. I litteraturen finner man siffror som varierar mellan ca 800 l/dygn och 40 l/dygn. Eftersom mängden vatten som tas upp av växterna har avgörande betydelse för tolkningen av vegetationens del i skadande sättningar, är det på sin plats att ge en kort teoretisk bakgrund till vattnets rörelse i mark och växt.

5.2 Vattnets rörelse

5.2.1 Allmänt

Vattnet rör sig i mark och i växter beroende på skillnader i vattnets fria energi per viktsenhet. Ibland kallas det också specifik fri energi eller potential. I fortsättningen används det senare begreppet.

I ett system där det finns skillnader i vattnets potential rör sig vatten från punkter i systemet med högre potential till punkter med lägre potential. Skillnader i potential beror bl a på skillnader i hydrostatiskt tryck, skillnader i läge (tyngdkraftskillnader), skillnader i markvattnets osmotiska tryck och skillnader i jordens bindningstryck beroende på adsorptions- och kapillärkrafter. Schematiskt visas en modell av några av vattnets olika delpotentialer i FIGUR 21.

5.2.2 Vattnets rörelse i jorden

Vattenrörelsen i omättad jord sker främst på grund

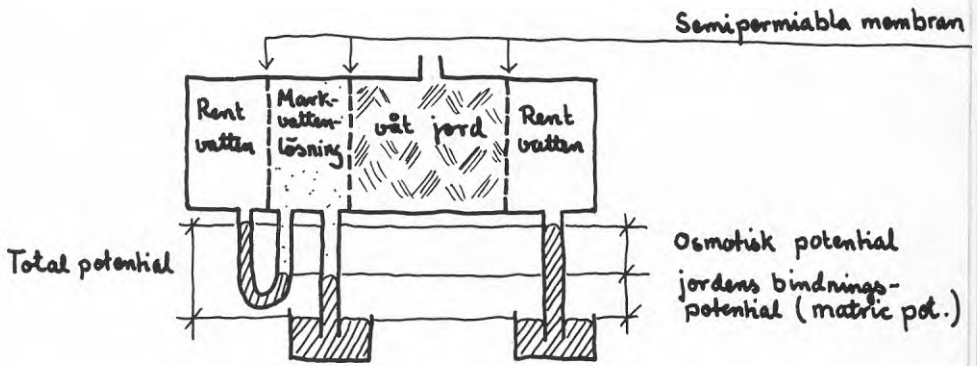


FIG. 21. Schematisk bild av vattnets olika potentialer på en och samma nivå i jorden (Richards 1965).

av skillnader i jordmaterialets bindningstryck och skillnader i tyngd på olika nivåer.

Jordmaterialets bindningstryck är beroende av jordens sammansättning och av vattenhalten. Skillnaden i bindningstryck för jordar med olika lerhalt för olika vattenhalter visas i FIGUR 22. Vid samma bindningstryck innehåller en mer lerhaltig jord avsevärt mycket mer vatten än en lerfattig. Detta har stor betydelse för tolkning av mätningar av vattenhalter i skiktad jord. Vatten kan röra sig t ex från skikt med lägre vattenhalt till skikt med högre vattenhalt om skillnaden i bindningspotential är större än skillnaden i lägespotential.

Ett sätt att illustrera inverkan av den hydrostatiska lägespotentialen för ett och samma jordmaterial är de s k dräneringsjämviktsdiagrammen. Ett sådant diagram visar vattenhalten vid fri dränering på olika avstånd från en fri grundvattenyta, dvs nivåer med olika lägespotential, FIGUR 23. Potentialen är högre ju längre man kommer från grundvattenytan. Jordmaterialets bindningstryck kan då kvarhålla mindre vatten på allt längre avstånd från vattenytan. Tillförs jorden mer vatten än som motsvarar dräneringsjämvikten kommer fritt vatten att strömma neråt på grund av tyngdkraften.

Rörelserna av vatten i marken påverkas också i hög grad av jordmaterialets genomsläpplighet (k-värde). Eftersom genomsläppligheten är liten i lerjord bildas det lätt "sjunkvattenvåningar" i den omättade zonen. Dessa sjunkvattenvåningar eller våtfronter rör sig neråt i jorden med en hastighet som är avsevärt lägre än vad k-värdet skulle medge. I omättad jord är genomsläppligheten beroende av vattenhalten. Ju mer upptorkad jorden är desto lägre är genomströmningshastigheten, FIGUR 24. Danska försök i en djup sandavlagring med en grundvattenyta 22 m under markytan visar att våtfronterna sjunker med 3 - 3,5 m/månad (Andersen, Seval 1973). Denna rörelse är dock "skenbar". I samma försök mättes den "verkliga" rörelsen till ca 4,5 m/år för den enskilda vattenmolekylen.

5.2.3 Vattnets rörelse till roten

Växterna tar upp vatten inom en ganska begränsad zon av sina rötter. Vattenupptagningen upphör i det närmaste 0,10 - 0,15 m från rotspetsen. Uptagningen sker inom den del av rötterna där det finns aktiva rothål, FIGUR 25 och 26.

Vattenupptagning till rotcellerna beror på skillnader i osmotiskt tryck mellan markvätskan och cellsaften. Teoretiskt har visats (Andersson 1972) att gradienten avtar mycket snabbt utanför roten. På ett avstånd av 9 mm från rotytan skulle gradienten i

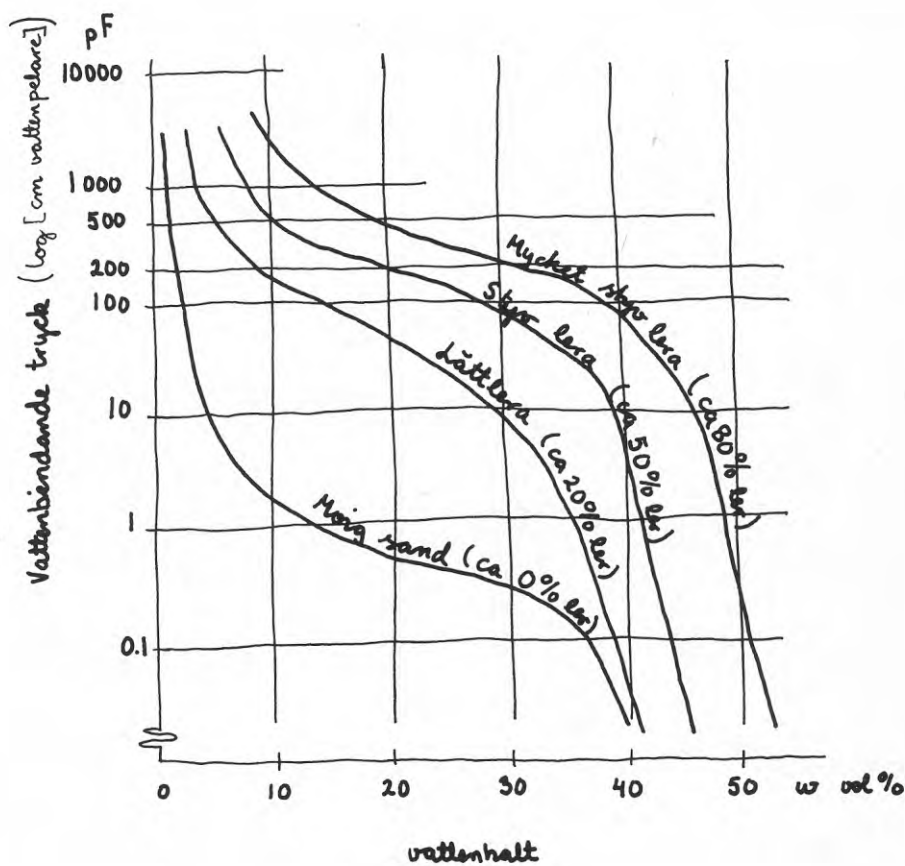


FIG. 22. Vattenbindande tryck vid olika vattenhalt för jordar med olika lerhalt (Andersson 1974).

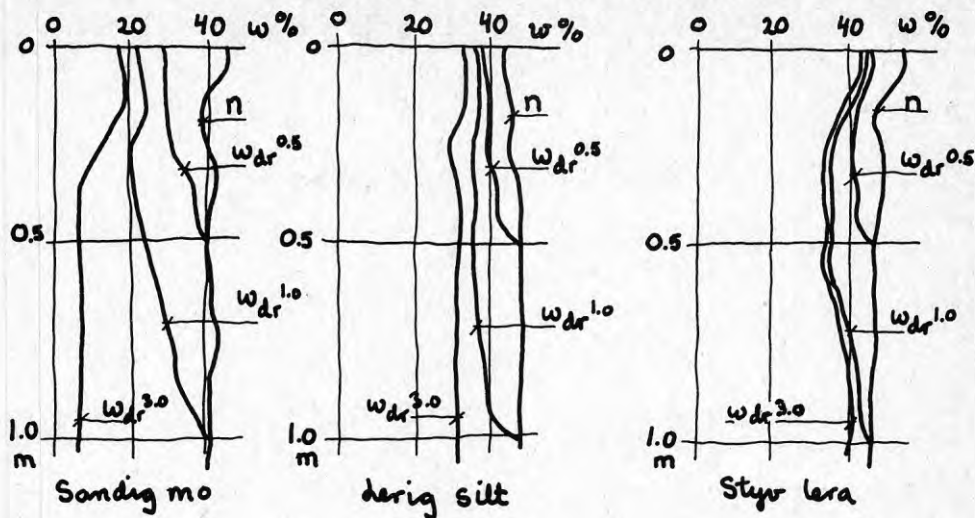


FIG. 23. Vattenhalten vid olika djup grundvattenytan vid dräneringsjämvikt (Johansson 1974).

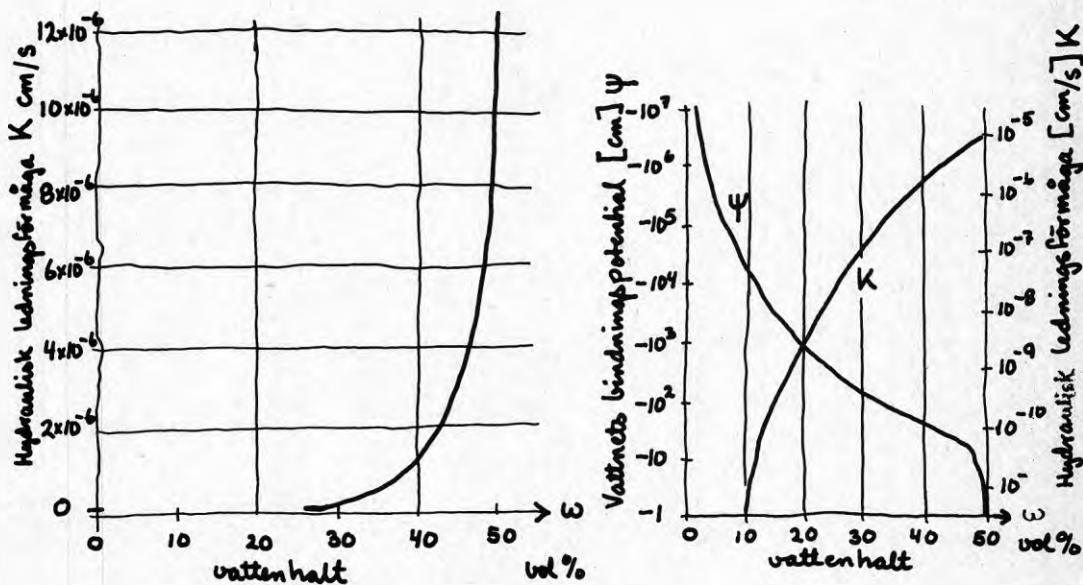


FIG. 24. En jords ledningsförmåga är beroende av vattenhalten (Moore 1939) och vattnets potential ψ och den hydrauliska ledningsförmågan (K) som funktion av vattenhalten (ω) i en lättlera (Philip 1957).

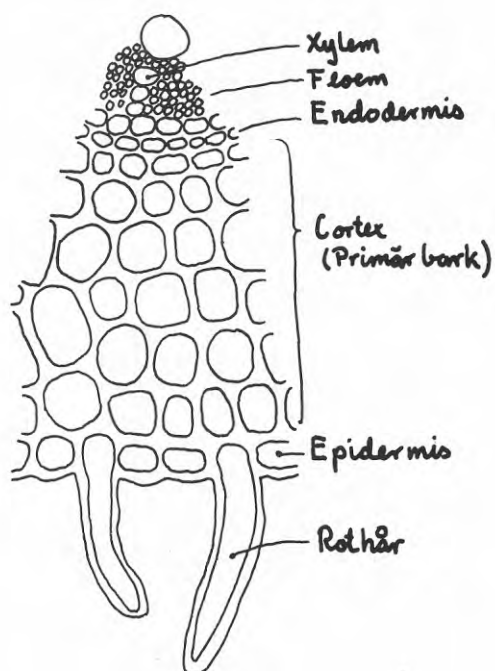


FIG. 25. Schematiskt tvärsnitt genom en rot.

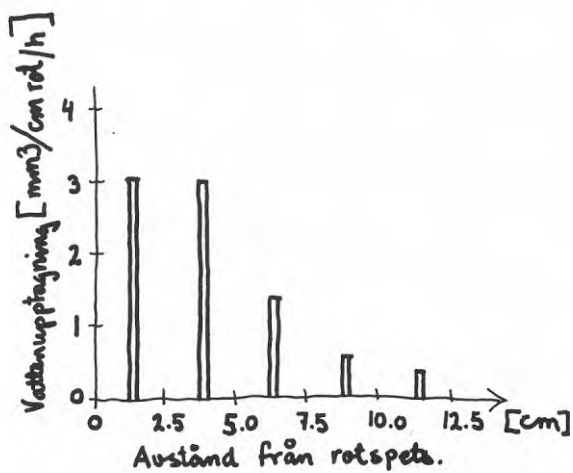


FIG. 26. Vattenupptagning i olika zoner i en bönrot vid konstant vattenpotentialskillnad (ΔP 1.3 bar) (Brouwer 1954).

i helt vattenmättad jord vara enbart 1/10 av gradienten vid rotytan. I omättad jord förstärks denna effekt därför att de grövre porerna närmast rotytan först töms och blir luftfyllda. Ledningsförmågan i jorden närmast roten sjunker då mycket snabbt. Dessutom ökar vattnets bindningstryck till jordpartiklarna i närheten av rotytan. Detta betyder att strömningen av vatten till roten vid rotens vattenupptagning sker från en mycket begränsad zon. Skillnader i aktuell vattenhalt kring rotcyllindern kan ge en kapillär strömning mot roten. Den begränsas av den låga kapillära transportförmågan i omättad jord.

Eftersom strömningen av vatten till rötterna är begränsad syns vanligen rotzonens utbredning tydligt i vattenhaltsmätningar. Den upptorkade rotzonen avgränsas genom en tydlig ökning av vattenhalten vid maximalt rotdjup (Mitscherlich 1971).

I många jordar växer rötterna snabbare till vattnet än vattnet rör sig i växtroten (Mitscherlich 1971).

5.2.4 Vattnets rörelser i växterna

Stora delar av växterna består av vatten. Gröna växt-delar kan bestå av ca 90 % vatten. T o m torra frön innehåller ca 15 % vatten. Mängden vatten som passerar genom en växt är emellertid större än den mängd som finns där vid ett särskilt tillfälle (Galston 1964).

Vattnet rör sig genom växten på grund av skillnader i osmotiskt tryck mellan cellerna i växtens ledningsbanor. Enligt den s k transpiration - kohesion - tensions-teorin (t ex Galston 1964) medför avdunstningen vid bladen att det blir en sugkraft som osmotiskt överförs från cell till cell till ledningsbanorna (Xylemet). Sugkraften medför att vatten transporteras uppåt i växten. Vattenpelaren i stammen kommer att stå under negativt tryck. Kohesionen mellan vattenmolekylerna i de smala kapillärkärlen är väsentligt högre än friktionen mot cellväggarna och vattnets tyngdkraft.

Vid hög transpiration kommer undertrycket i ledningsbanorna också att medföra en sammandragning av stammen (tension).

Vattenströmmen uppåt i växten medför att det osmotiska trycket i de aktiva rotcellerna ökar. Vatten börjar då tas upp från markvätskan. Rottryckets storlek regleras av transpirationsströmmens storlek.

Transpirationsströmmen börjar i kronan på morgonen och sprider sig sedan neråt i stammen. Mot slutet av eftermiddagen upphör strömningen i kronan men fortsätter till långt in på natten i växternas lägre delar (Mitscherlich 1971).

Transpirationsströmmen går enbart i stammens yttre del och snabbast i de yttre årsringarnas vårved. Inre delen av en trädstam består av "döda" vedceller som inte har någon transportförmåga.

Transporthastigheten är beroende av trädslag. Den största uppmätta transporthastigheten för ek är 44 m/h, för alm 6 m/h och för tall 0,5 m/h (Mitscherlich 1971).

5.3 Transpiration

5.3.1 Allmänt

Övervägande delen av det vatten som tas upp från marken avdunstar till atmosfären. Denna avdunstning, transpiration, sker dels genom (1) diffusion av vattenånga från den fuktighetsmättade intercellularluftens genom klyvöppningarna (stomatär transpiration), dels genom (2) avdunstning genom bladens yttre cellskikt (kutikulär transpiration).

För träd är den stomatära transpirationen den avsevärt viktigaste. Endast några få procent av avdunstningen sker genom kutikulan (Galston 1964). Den kutikulära avdunstningen är störst alldeles när bladen slagit ut och avtar snabbt i och med att cellväggarna i det yttersta cellskiktet (epidermiscellerna) blir tjockare och överdras med ett skyddande vaxlager.

5.3.2 Klyvöppningsmekanismen

Avdunstningen vid klyvöppningarna styrs genom att klyvöppningarna öppnas och sluts, FIGUR 27, 28 och 29. Trots att öppningsytan endast upptar ca 2 % av totala bladytan är avdunstningen avsevärt mycket större än från en fri vattenyta. Avdunstningen från t ex ett björkblad med fullt öppna klyvöppningar var ca 65 % högre än från en fuktad pappersyta per ytenhet. Avdunstningen från små ytor är inte proportionell mot ytan utan mot omkretsen. Diffusionen av vattenånga sker snabbare vid kanten av en yta än för ytan i övrigt. Vattenångans koncentrationsgradient är störst längs kanten (Växtfysiologiska Inst, LHS 1961).

Detta gör att transpirationen kommer att påverkas mycket radikalt av öppning respektive stängning av klyvöppningarna. Om vattenavdunstningen en varm dag är stark och vatten inte hinner transporteras fram till de s k slutceller som omger klyvöppningen minskar saftspänningen (turgorn) i dessa celler och klyvöppningen sluts, se FIGUR 29. Denna mekanism medför att transpirationen vanligen är relativt låg under den varmaste tiden på sommaren. Vatten hinner inte

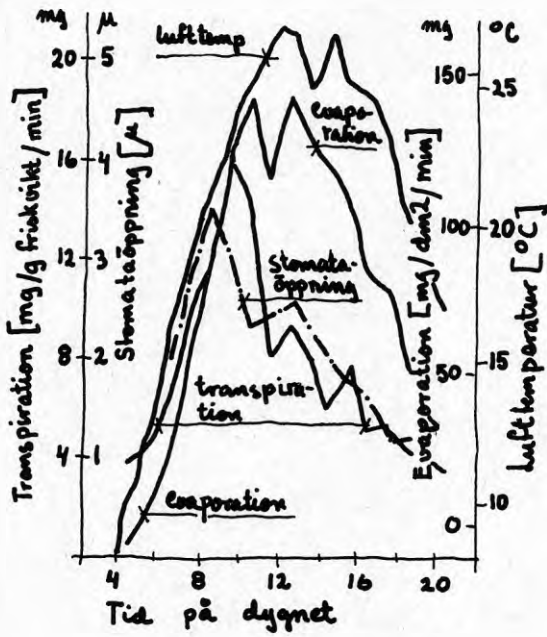


FIG. 27. Transpiration, stomataöppning, lufttemperatur och evaporation under en varm junidag (*Cynoglossum officinale*) (Willis, Jefferies 1963).

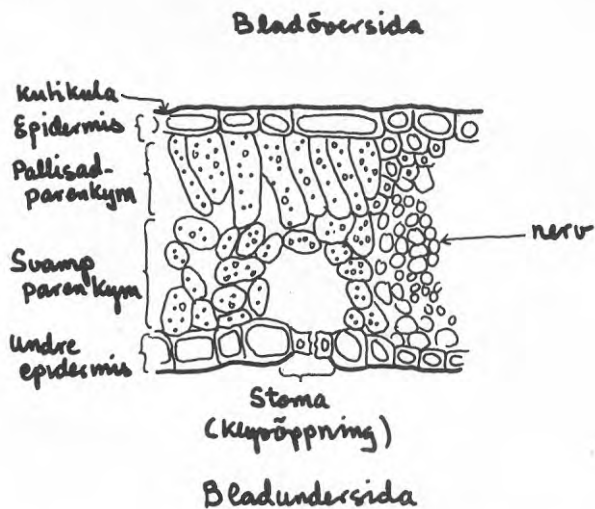


FIG. 28. Tvärsnitt av ett blad (Meyer, Andersson 1952).

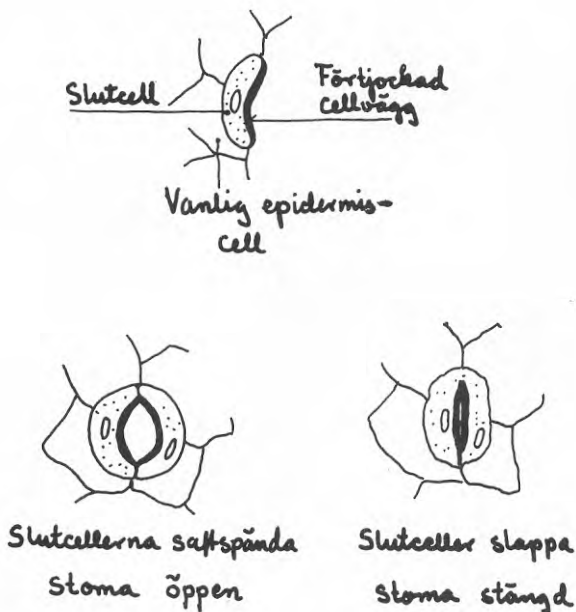


FIG. 29. Principen för klyvöppningarnas öppnande och slutande (Freeman 1952).

fram till bladen. För att inte helt torka ut sluts alltså klyvöppningarna även om det finns gott om vatten att tillgå i marken (FIGUR 27).

Klyvöppningsmekanismen reglerar också transpirationen i de fall då vattentillgången i jorden är begränsad.

När klyvöppningarna sluts stängs vägen för diffusion av CO₂ från ytterluften in till bladet. Fotosyntesen störs därigenom. För att motverka detta kommer klyvöppningarna efter en tid att öppnas genom att osmotiska trycket ökar på grund av att sönderdelning av bl a stärkelse sker till mindre molekyler. Denna process fordrar ljus. I mörker återbildas stärkelsen, varvid osmotiska trycket sjunker och klyvöppningarna åter sluts.

5.3.3 Transpirationens årsrytm

Eftersom transpirationen är den "drivande kraften" i vegetationens vattenupptagning kommer transpirationen att vara hög under perioder när vattenförbrukningen för uppbyggnad av nya vävnader är stor. Vattnet är transportmedel för de närsalter som behövs för tillväxten. Transpirationen ökar mycket snabbt på våren i och med lövsprickningen och når sitt maximivärde i juni. Därefter avtar transpirationen och är i augusti mellan 30 och 60 % av max-värdet (Mitscherlich 1971). Transpirationen avtar sedan ytterligare och upphör i och med bladfallet i slutet av september - början av oktober, FIGUR 30.

Vattenupptagningen är något större än transpirationen. Mängden vatten som utnyttjas vid uppbyggnad av nya celler och för fotosyntesen är dock liten jämfört med transpirationsmängden.

5.3.4 Transpirationen och trädets ålder

Transpirationen hos unga träd är totalt sett liten, men per ytenhet blad stor. Mängden vatten trädets tar upp ökar när bladytan ökar år från år. Efter 40 - 80 år, beroende på träds slag, avtar tillväxttakten markant. Trädet är då i det närmaste fullt utvecklat. Höjdtillväxten är ringa. En viss tillväxt sker dock i t ex grovlek av stam och grenar. Behovet av vatten minskar och ökningen i transpiration byts i en successiv minskning. FIGUR 31 visar ett exempel på hur vattenkonsumtionen varierar med trädets ålder.

5.3.5 Transpiration och vattenhalt i jorden

Genom bl a klyvöppningsmekanismen kan växterna reglera transpirationen. När det finns gott om lättillgängligt vatten i rotzonen tar växterna upp betyd-

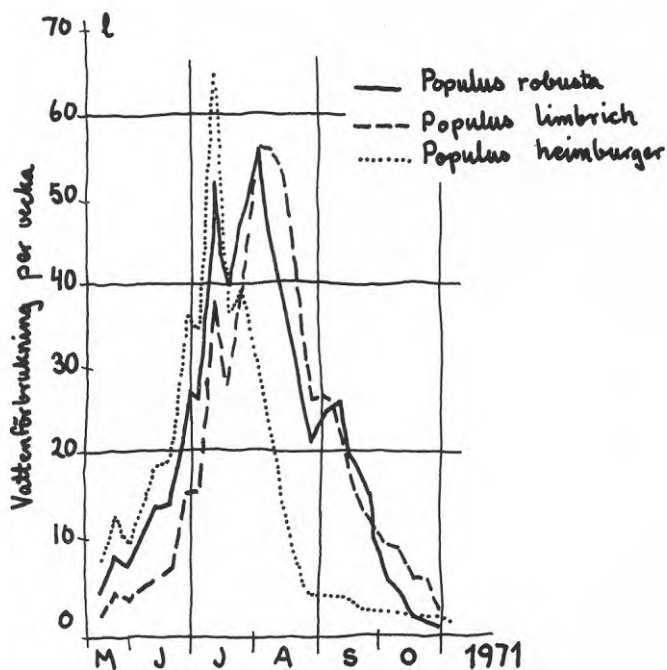


FIG. 30. Vattenförbrukningen per vecka för unga poppelträd under en vegetationsperiod i Freiburg i Tyskland (Schmidt 1972).

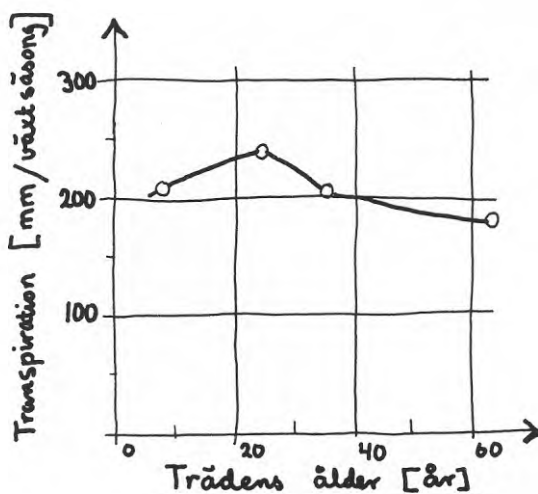


FIG. 31. Transpirationens storlek för olika gamla träd (aspar) (Ryssland) (Smirnow, Odínokova 1954).

ligt mer vatten än de skulle behöva för att tillgodose sina livsprocesser. Det sker en "lyxkonsumtion" av vatten (Mitscherlich 1971).

När jordens vattenhalt sedan sjunker kommer vattenupptagningen att försvåras. Allt större osmotiskt tryck behövs i rotcellerna för att ta upp kvarvarande vatten. Flera modeller har satts upp för att illustrera hur vattenupptagningen varierar med den aktuella vattenhalten i jorden. Flertalet mätserier antyder att det inte är ett rätlinjigt förhållande. Det tycks vara så att mellan fältkapacitet (vattenhalten vid fri dränering) och ca 3/4 av fältkapaciteten påverkas transpirationshastigheten endast i liten grad av vattenhalten i jorden. Därefter sker en snabb minskning med minskande aktuell vattenhalt. Transpirationen når så småningom åter en konstant men låg nivå i närheten av vissningsgränsen (vattenhalten vid ca 15 atö bindningstryck).

Minskningen av transpirationen är störst under perioder med t ex varm väderlek (hög potentiell transpiration). Vid lägre temperatur är minskningen avsevärt lägre och börjar först vid lägre aktuell vattenhalt, FIGUR 32 (Slatyer 1967). Det kan därför hända att ett trädets vattenupptagning är större en regnig sommar än en torr och varm.

5.3.6 Transpiration för olika trädslag

Fastän man studerat problemet på många håll i världen under mer än ett halvsekel så kan man inte med säkerhet ange skillnaden i vattenförbrukning mellan olika trädarter (Mitscherlich 1971, Douglass 1967).

Orsaken här till är att metoderna för att fastställa vattenförbrukningen inte är tillräckligt noggranna och inte jämförbara. Inte heller är de enskilda träden inom samma art eller inom arter som skall jämföras identiska. Dessutom varierar de förhållanden under vilka mätningarna sker.

Här skall bara påpekas några sådana svårigheter som anges i litteraturen.

Ett trädets utveckling beror bl a på näringstillgången i jorden. Är tillgången på näring god, blir tillväxten god och därmed utvecklas krona och rötter väl. Skillnaden i näringstillgång kan ge olika utveckling på samma trädart och därmed skillnader i vattenförbrukning.

Rotutvecklingen hos ett träd både i sida och djup påverkas av bl a jorddjup, markvattenytans läge, konkurrens från andra växter och hinder för rotutveckling. Ju större jordvolym som rötterna kan genomväva desto mer vatten finns tillgängligt för av-

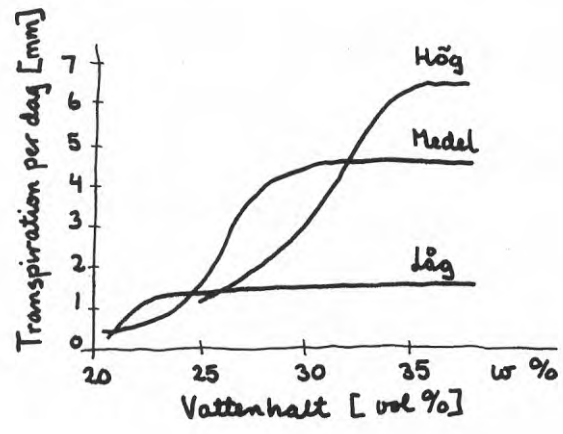


FIG. 32. Effekten av minskande vattenhalt i jorden vid hög, medelhög och låg potentiell transpiration (Denmead, Shaw 1962).

dunstning. Eftersom möjligheterna att genomrota jorden är olika för olika trädarter blir skillnaderna stora mellan trädens möjligheter att utnyttja det tillgängliga vattenmagasinet.

Markfloras vattenförbrukning beaktas ibland men inte alltid, vilket försvårar jämförelse mellan olika undersökningsresultat. Denna vattenförbrukning är avsevärt större än vad man vanligen tänker sig. En gräs-örtmatta i skog transpirerar mellan 60 - 130 mm/år och en gräsyta på ett kalhygge ca 280 mm/år (Mitscherlich 1971). Detta senare värde torde motsvara en normal trädgårdsgräsmatta. Möjligen är transpirationen i en gräsmatta ändå större eftersom den vanligen klipps.

Ibland tas hänsyn till perkolationen genom mätzonen, ibland inte. I senare fallet antas hela förändringen av vattenhalterna bero på trädets vattenupptagning. Perkolationen är avhängig av jordens genomsläpplighet och den aktuella vattenhalten före vattentillförseln. Sett över t ex ett år kan perkolationen genom rotzonen vara lika stor som transpirationen och därför helt förvrida resultaten (Mitscherlich 1971).

De försök man trots allt gjort att gradera olika trädslags vattenupptagning brukar vanligen ange att barrträd har lägre vattenupptagning än lövträd. Bland barrträden visar lärk större vattenförbrukning än övriga (fäller barr varje år). För lövträd anges ofta att poppel- och pilarter (*Populus* och *Salix*) skulle vara särskilt stora vattenförbrukare.

6 MÄTRESULTAT OCH BERÄKNINGAR

6.1 Vattenhalts-mätningar

6.1.1 Allmänt

Resultaten av gjorda mätningar, maj 1974 - nov 1974, maj 1975 - nov 1975 och maj 1976 - nov 1976 visas i BILAGA 1. Resultaten av dessa mätningar har bearbetats på flera sätt för att utröna hur träden påverkar vattenhalterna (och därmed också sättningarna). I BILAGA 2 visas en serie diagram där lika vattenhaltslinjer lagts in i plan (topoisopleter för vattenhalterna) på bestämda nivåer. Dessa visar vattenhalternas förändring i ett och samma horisontalplan. Ur dessa topoisopleter har sedan två snitt redovisats, vilka visar vattenhalternas variation med djupet i snittplanen (BILAGA 3).

Vattenhalternas förändring i de enskilda rören har beräknats för 0,5 m skikt (BILAGA 4). Förändringarna för vissa intressanta skikt har sammanställts för samtliga rör (BILAGA 5).

Den vattenhållande förmågan är olika i olika skikt av jorden. Vattenmättnadsgraden är beroende också på vilken porvolym jorden har. Därför har även differensen ($n - w_a$ = luftinnehållet) studerats. I en serie diagram med djupet under markytan på den lodräta axeln och tiden på den vågräta (kronoisopleter) visas luftinnehållets variation i varje rör med avseende på djupet och tiden (BILAGA 6). Porvolymen (n) har beräknats ur mätta värden på jordens volymvikt (densitet) (se KAP 7).

6.1.2 Vattenhalter och vatteninnehållets förändring

BILAGA 1 och 4 - 5

Klimat:

Mätperioderna maj 1974 - nov 1974 och maj 1975 - nov 1975 hade ganska olika klimat. 1974 var våren torr och sommaren våt. 1975 var våren något fuktigare än normalt och perioden juni, juli och början av augusti extremt torr. I mitten och slutet av augusti samt i september föll ganska mycket regn. 1976 var våren och sommaren torra. Under juni och juli kom något mer regn än 1975. Sensommaren var däremot torrare än 1975. Se FIGUR 33.

Vår:

Den torra våren 1974 gjorde att de översta 50-80 cm av jorden i allmänhet var torrare i maj 1974 än i maj 1975. Störst var skillnaden i ytskiktet (10 cm).

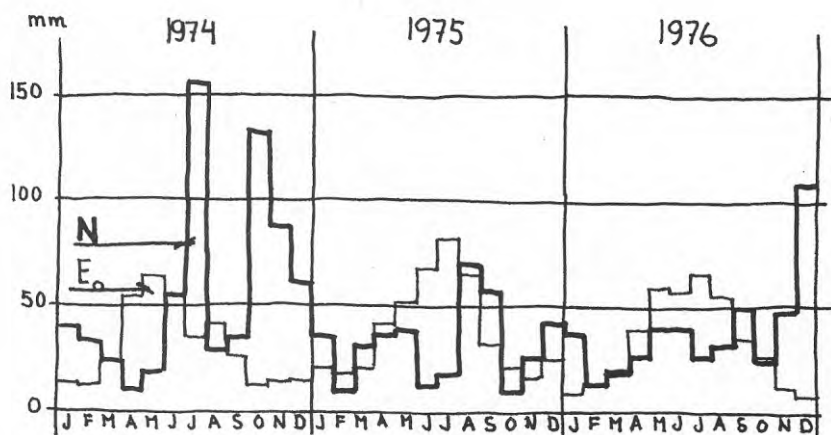


FIG. 33. Månadsnederbörden (N) och den potentiella avdunstningen (E_0) 1974 till 1976 i Stockholm (SMHI).

Två undantag finns; rör 4 har inte så stor skillnad i vattenhalt i ytan som övriga rör och rör 9, som har högre vattenhalt i de tre översta mätpunkterna 1974. När man satte sättningspeglarna användes vatten för att packa jorden vid återfyllningen. Vid detta arbete kan man ha vattnat upp jorden vid rör 9. Första mätningen gjordes för rör 9 efter det att den näraliggande pegeln var satt. I övriga rör gjordes mätningarna innan näraliggande pegel var återfylld.

Sommar:

Under juni och juli och början av augusti minskade vattenhalterna tydligt i den översta metern av jorden, FIGUR 34 till 36. Detta gällde både 1974, 1975 och 1976. Minskningen i de övre 30 cm var tydligast 1975. Under juni, juli 1974 föll det ca 210 mm regn och under samma tid 1975 endast ca 30 mm och 1976 ca 65 mm. I augusti kom 1974 ganska litet regn (ca 30 mm). Över 25 mm av detta kom den 28 augusti, dvs efter augustimätningen. 1975 gjordes två mätningar i augusti. I början av augusti, dvs i slutet av torrperioden, var vattenhalterna något lägre än i juli-mätningen. Mätningen i slutet av augusti efter bl a ett kraftigt regn på nära 40 mm visar ha betydande ökning av vatteninnehållet i den översta halvmetern av jorden. Under ca 0,5 m sker fortfarande en svag minskning av vattenhalten. 1976 var vattenförändringarna i jordens översta meter ungefär av samma storlek som 1975.

I nivåerna djupare än ca 1 m var vattenhalterna 1974 i det närmaste konstanta. År 1975 däremot var det en tydlig minskning av vattenhalterna ner till ca 2-2,5 m. År 1976 var minskningen mindre än 1975 men fullt tydlig.

Höst:

Under hösten 1974 sjönk vattenhalterna i den övre metern i september och steg sedan kraftigt under oktober och november. Under samma tid 1975 steg vattenhalterna under slutet av augusti och september och sjönk sedan i oktober och november. Denna skillnad speglar nederbördsvariation. 1974 var september månad ganska nederbördsfattig (29 mm) och oktober nederbördsrik (135 mm) liksom november (89 mm). 1975 var motsvarande siffror för september 58 mm, oktober 9 mm och november 27 mm.

Under 1 m förändras vattenhalten långsammare än i yt-skiktet, FIGUR 34 till 36. Man ser inte någon återhämtning av infiltration i oktober - november 1974 eller augusti - september 1975. Undantag från detta är rör 8 och rör 10. Dessa rör står ganska nära utkastarna för takvatten. Förmodligen tillförs jorden där mer vatten än som ytskiktet kan hålla. Vidareperkolation sker då till underliggande jord. Båda åren sker en minskning av vattenhalterna från augusti

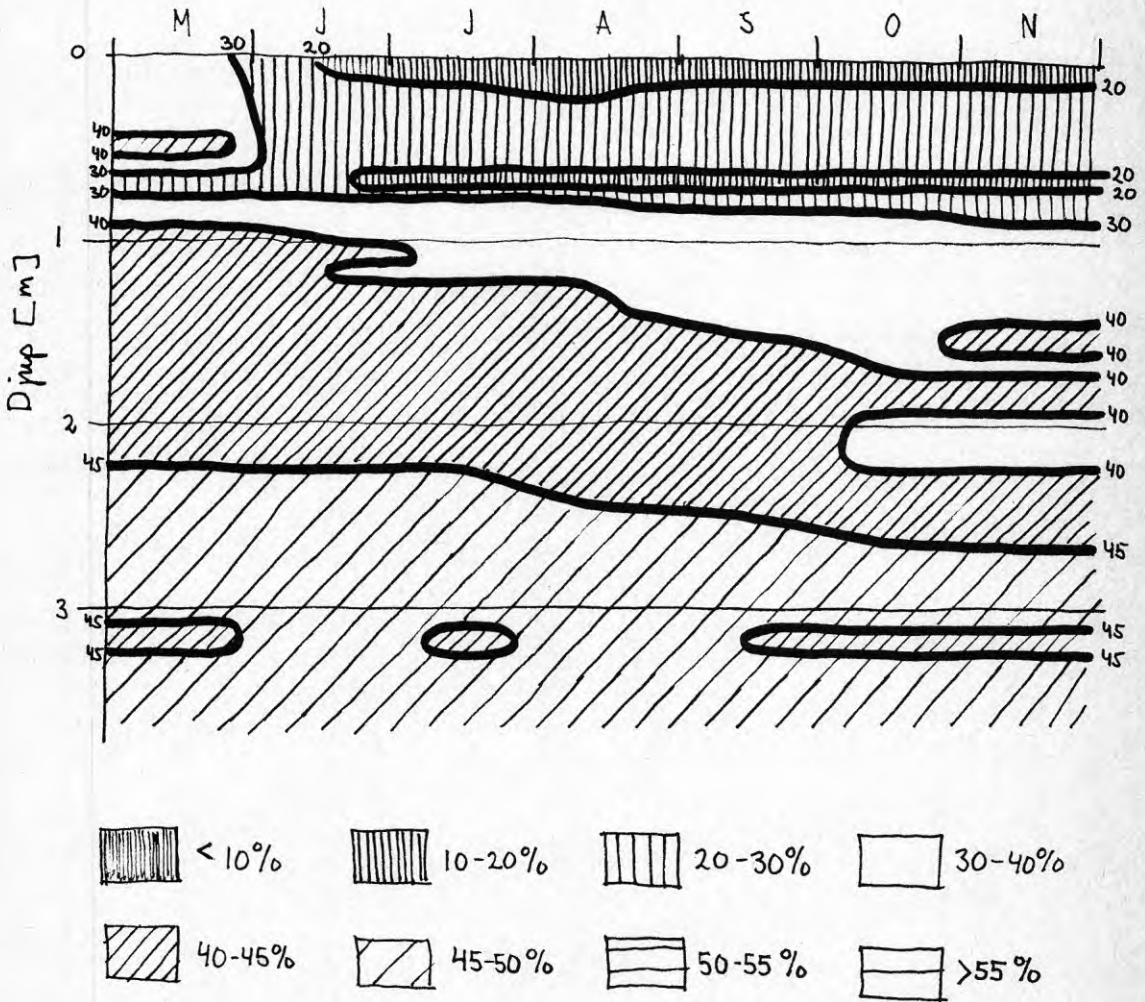


FIG. 35. Vattenhaltens variation i rör 3 under 1975.

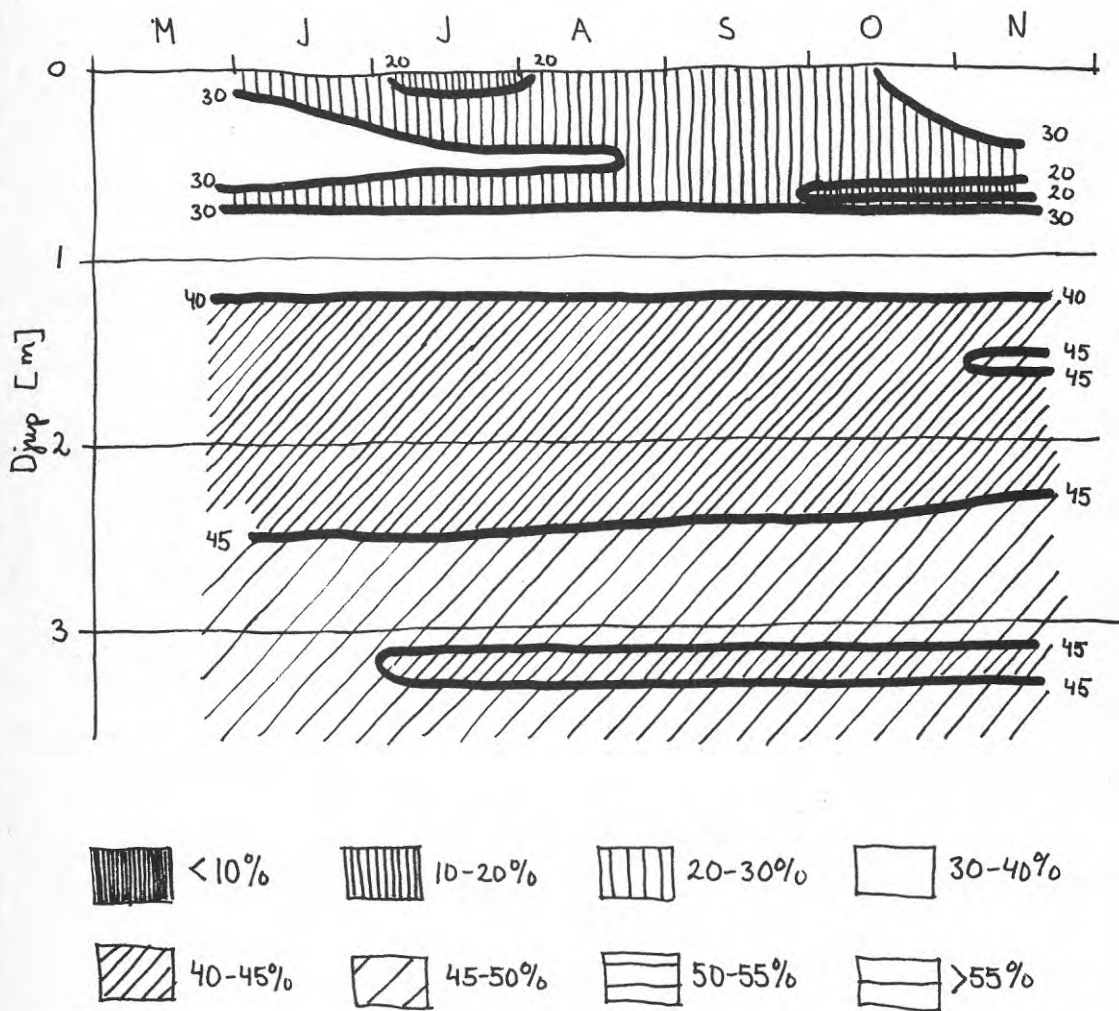


FIG. 36. Vattenhaltens variation i rör 3 under 1976.

till november. Minskningen är särskilt uttalad 1975.

Även 1976 sker en minskning av vatteninnehållet på nivåerna under 2,5 m. Mellan 1,5 och 2,5 sker en liten "uppvätning".

Att notera:

Mätningarna visar att vattenhalterna minskar under perioden maj - mitten augusti både ett år med mycket nederbörd och ett med liten nederbörd. Minskningen under sommaren 1974 var 20 - 40 mm för skiktet 0 - 0,5 m, 10 - 30 mm för skiktet 0,5 - 1,0 m och 15 - 40 mm för skiktet 1,0 - 2,5 m. Motsvarande värden 1975 var 50 - 80 mm (0 - 0,5 m), 20 - 50 mm (0,5 - 1,0 m) och 40 - 80 mm (1,0 - 2,5 m). Någon tendens att det vid rör närmare träd skulle vara större vattenhaltsförändring än vid rör på längre avstånd från träd kan inte spåras. Möjligen utgör rör 7 ett undantag. Rör 6 visar en förvånansvärt stor vattenhaltsförändring på samtliga nivåer.

Efter mitten av augusti följer vattenhalterna i den övre metern i huvudsak nederbördens variationer medan vattenhalterna djupare ner i profilen gradvis stabiliseras och senare ökar.

Vattenhalterna under 1 m djup minskar tydligt under hela mätperioden, särskilt tydligt är detta 1975. Minskningen fortsätter efter det att höstregnen börjat fylla vattenmagasinet i den övre delen av marken och efter det att vegetationen slutat transpirera vatten (fällt sina blad).

Vattenhalterna i rör 4 är genomgående lägre än i övriga rör. Ritats en profil genom rören 3 - 7 med avseende på avståndet till trädet i t ex maj och november 1974 framgår denna skillnad mycket tydligt, FIGUR 37 och 38.

Jämförs vattenhaltsvärdena i rören 8, 9 och 10 kring huset med den uppritade profilen, visar det sig att rören kring huset har högre vattenhalter än jorden på motsvarande avstånd från träd längs profillinjen, rör 3 - 7. Skillnaden mellan rören närmast träd vid huset (rör 8 och 9) och längre ifrån träd (rör 10) är inte särskilt stor.

Det totala innehållet av vatten i 0,5 m-skikt (FIGUR 39) visar en markant minskning under ca 2,5 m-nivån även sedan träden fällts.

6.1.3 Vattnets rörelser

Allmänt:

Vattnet rör sig i jorden på grund av potentialskillnader (se KAP 5.2). Vi gör nu det mycket grova anta-

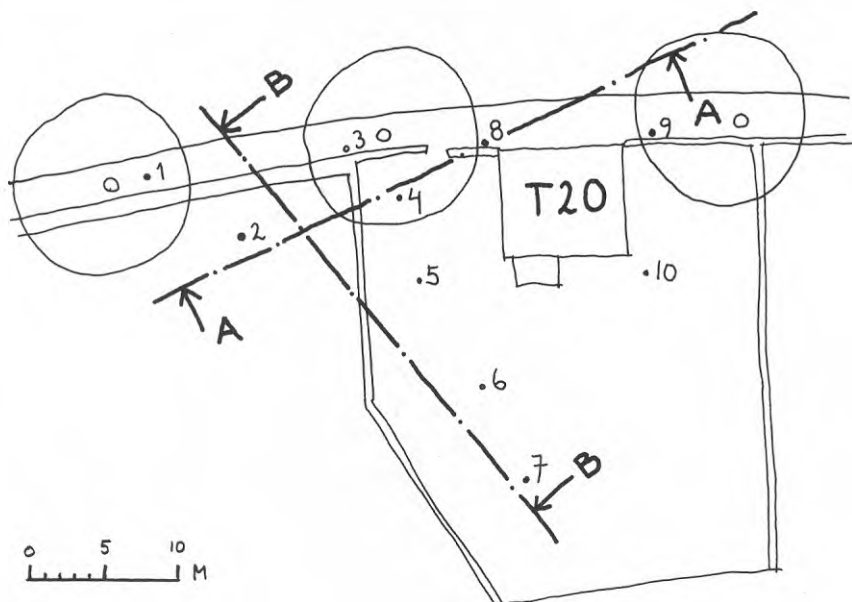


FIG. 38. Läget av snitt A-A och B-B, för vilka vattenhaltarna ritats upp i BILAGA 3.

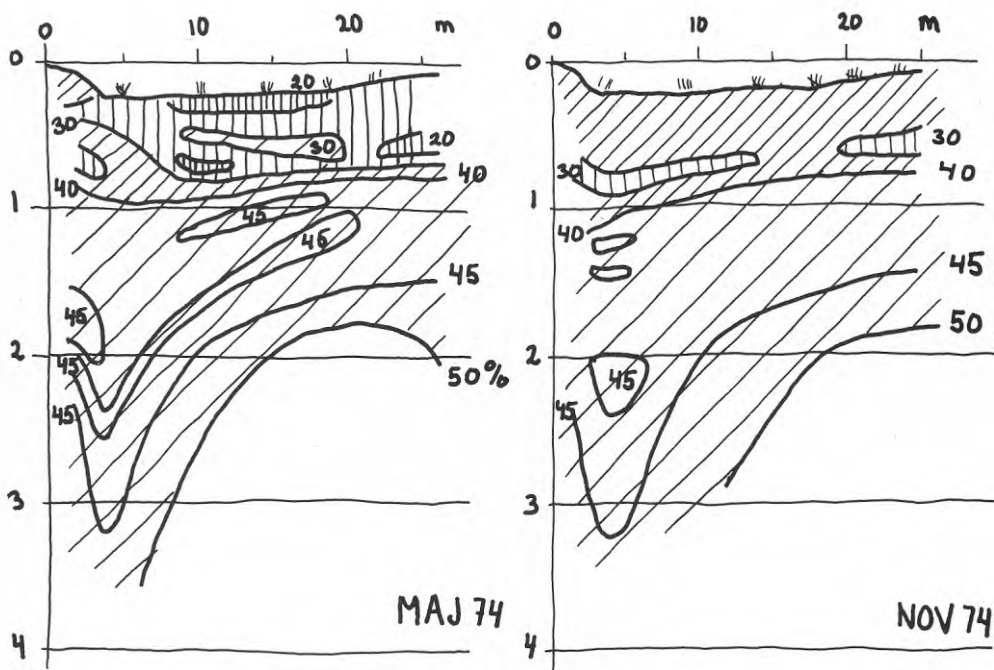


FIG. 37. Vattenhaltens variation (volymprocent vatten) mot djupet på olika avstånd från träd längs linjen rör 3 - rör 7 i maj och november 1974.

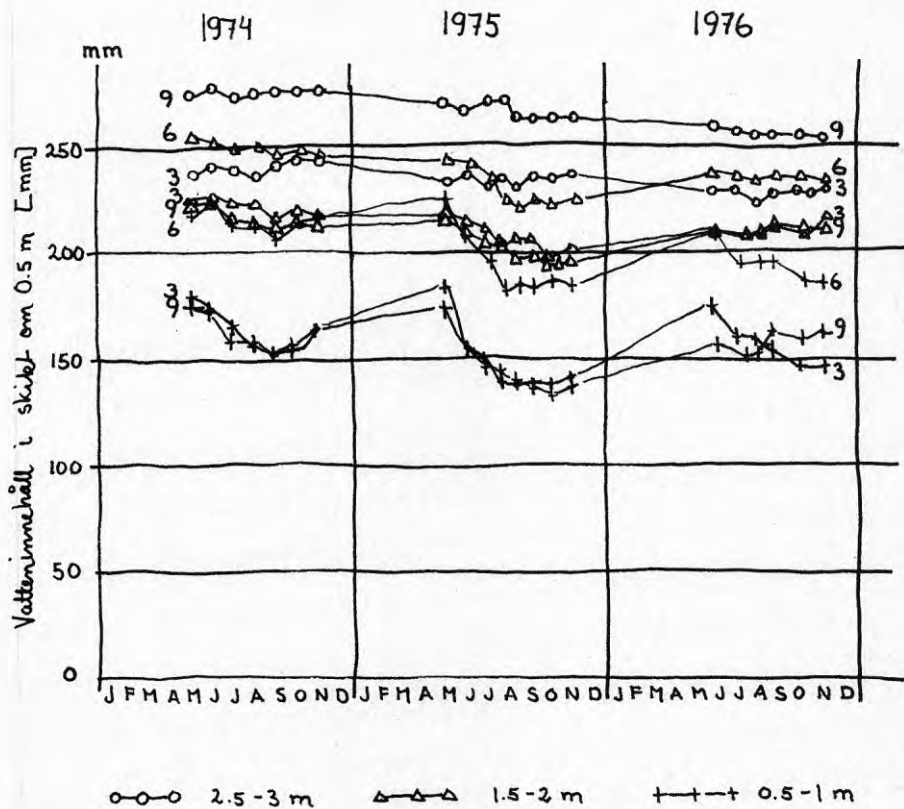


FIG. 39. Vatteninnehållets förändring med tiden i rör 3, 6 och 9 för olika skikt om 0.5 m.

gandet att jorden har samma vattenbindande förmåga i alla mätpunkter på samma nivå. Tyngdkraftpotentialen är också densamma. Skillnader i vattenhalt kan då antas i stort spegla vattnets strömning på den undersökta nivån.

Vattenhalterna på nivåerna +33,0, +32,5, +32,0, +31,5, +31,0 och +30,5 har studerats i plan. Lika vattenhaltslinjer har tagits fram för dessa nivåer för maj, juli och september 1974 och 1975 samt för juli och oktober 1976.

Topoisopleter:
BILAGA 2

Strömningsmönstret på de två översta nivåerna har en något annan strömningsbild än de övriga. Skillnaden är särskilt markerad på den översta nivån. På nivån +33 finns en strömning mot områden där marlytan antingen är starkt solbelyst eller där det finns kraftiga buskage (vid rör 5, 6, 7 och 10).

På nivån +32,5 finns dessutom en tydlig strömning från mätområdet och mot rör 1 och mot NV. Denna strömningsriktning finns också på den översta nivån i maj 1975 och september 1974 och 1975.

På djupare nivåer (från +31,5) syns en tydlig strömning från området vid rör 8. Skillnaden i vattenhalt är stor. Vatten tillförs troligen någonstans vid rör 8. En förklaring är att avloppsservisen från huset läcker. Detta kan vara en förklaring till att vattenhalterna i rören 8, 9 och 10 har betydligt högre vattenhalter än rör på längre avstånd från huset (se KAP 6.12).

På nivåerna +31,5 och +31,0 finns en tydlig strömning mot rör 2, medan det på nivåerna +32,0 och +30,5 strömmar mot rör 4. I vissa fall (t ex juli -75 och september -75) har området vid rör 4 en markerad "brunnseffekt".

Snitt:
BILAGA 3

För att studera den minskande vattenhalten kring rören 4 och 2 ritades två snitt upp för de tidpunkter som studerats i topoisopleterna. Ett snitt las i "dräneringslinjen" (snitt A-A) och ett ungefär vinkelrätt däremot (snitt B-B) in mot gräsmattan, FIGUR 38.

I snitten syns den tidigare omtalade tvådelningen av jordprofilen. Ett ytlager på ca 1 m tjocklek med ganska stora förändringar och jorden därunder med mindre förändringar.

Snitten visar att vattenhalterna under +32,0 är högre vid huset än längre till vänster i snitt A-A. Snitt

B-B visar att zonen med lägre vattenhalt är ganska smal. Det är vanligen bara ca 5 m mellan 45 %-kurvor-
nas skärning med nivån +30,55. I september 1975 var zonen dock avsevärt bredare.

Att notera:

Det är en skillnad i vattnets strömning mellan jordens översta lager och underliggande jord.

I ytan tycks strömningen främst bero på ytupptorkning genom olika solexponering, olika vegetation och olika nivå på det ytliga sandskiktet.

Under 1 m djup tycks strömningen ske mot en zon som går utmed gatan, något längre från gatan ju längre från rör 8 man kommer.

I snitten från olika tidpunkter 1974 och 1975 syns hur vattenhalterna mer och mer minskar mot denna zon allteftersom tiden går. 1974 har mindre minskning än 1975. Att det över huvud taget sker en dylik förändring 1974, när nederbörden var så riklig, kan tyda på att det finns en strömning av vatten från omgivande jord mot ett "dränerande" snitt och sedan vidare ner i jordprofilen.

6.1.4 Luftinnehåll

Kronoisopleter:

Se BILAGA 6

Jorden på olika nivåer kan hålla olika mycket vatten beroende på att porvolymen är olika. Skillnaden mellan beräknad porvolym (se KAP 6.3) och aktuell vattenhalt har därför tagits fram för åren 1974 och 1975. Detta värde visar hur "vattenmättad" jorden är, dvs hur stor volymprocent luft jorden innehåller. Luftinnehållet har lagts in i diagram med djupet under markytan på vertikala axeln och tiden på den horisontella axeln (kronoisopleter).

I diagrammen syns att det finns en zon ner till ca 1 m djup som innehåller betydligt mer luft än jorden på djupare nivåer. Djupare än 1 m är luftinnehållet vanligen mindre än 5 %. I enstaka fall finns luftinnehåll på 10 %.

1974 var jorden i det "undre skiktet" mer vattenfylld än 1975. Båda åren syns en tydlig tendens att fuktiga områden förflyttas neråt i profilen (t ex rör 3 och 4 1974 och 1975).

I flera diagram syns ett smalt skikt med högt luftinnehåll på ca 0,5 - 0,7 m djup. Luftinnehållet är mindre på båda sidor om skiktet. Det är det tidigare omtalade sandskiktet (KAP 4.2) som avspeglas på detta sätt.

Luftinnehållet minskar mycket snabbt under detta skikt, vanligen ca 20 % på 10 cm (se t ex rör 1). Gradienten kan vara ändå större någonstans mellan våra mätpunkter.

Att notera:

Uppritningarna visar tydligt att det finns ett övre skikt med snabba och stora förändringar i vatten- respektive luftinnehåll. Under detta skikt, som vanligen är mindre än en meter tjockt, är förändringarna små och sker vanligen ganska långsamt.

Förändringarna i det övre skiktet följer variationer i nederbörd och transpiration. I jorden på djupare nivåer tycks förändringarna ske ganska oberoende av dessa faktorer. Det är en långtidstrend med en ökning av luftinnehållet från våren och fram till hösten. Ökningen är snabbast under maj, juni och juli och avtar sedan. Perkolation av vatten från ytskiktet och ner i profilen i så stor mängd att detta minskar luftinnehållet sker troligen under snösmältningen på våren.

Pordiagram:

Ett annat sätt att redovisa luftinnehållet i jorden visas i FIGUR 40 och 41. Här har luftinnehållet, vatteninnehållet och mängden fast massa avsatts symmetriskt kring nollaxeln. Figurerna illustrerar en modell där alla sprickor i jorden samlats till en spricka. Figurerna visar att sprickan är avsevärt bredare i rör 7 än i rör 4. Jorden i rör 4 har komprimerats. Det får därigenom "plats" mindre vatten i jorden. Vattnet vid rör 4 bör vara hårdare bundet än vid rör 7. Den komprimerade jordstrukturen ger en tätare jord med finare kapillärer och sprickor.

I figuren syns också hur jorden innehåller ganska mycket luft i sin översta del. Luftinnehållet avtar på ett visst djup drastiskt och är därunder bara några procent.

Hur djupt ner jorden innehåller luftfyllda sprickor och var den helt homogena leran börjar gå inte att se i mätningarna. Mätmetoden har ett standardfel i mätningarna på 1 % vatten. Dessutom har beräkningarna av porvolym ett bedömt fel av samma storleksordning. Geotekniska undersökningar visar okulärt att uppsprickningen (= torrskorpan) är ca 2,5 m och att den är någon decimeter djupare mot gatan och träd än på gräsmattan.

Att notera:

Pordiagrammet visar att jorden är mer sammanpressad vid rör 4 än på gräsmattan. Jorden kan därför magasinera mindre vatten och blir därför snabbt "mättad" vid infiltration. Genom att porsystemet är samman-

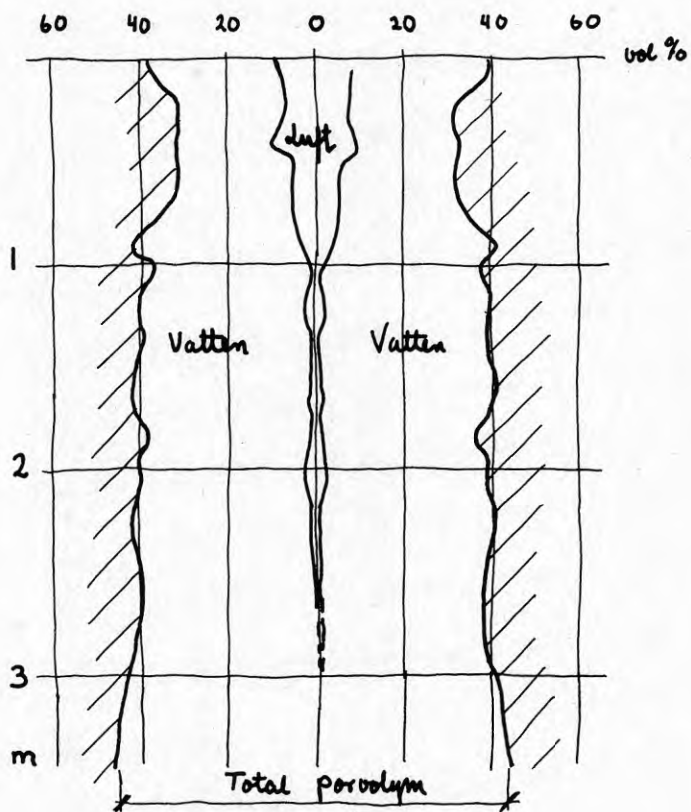


FIG. 41. Porvolymens fördelning i rör 4.

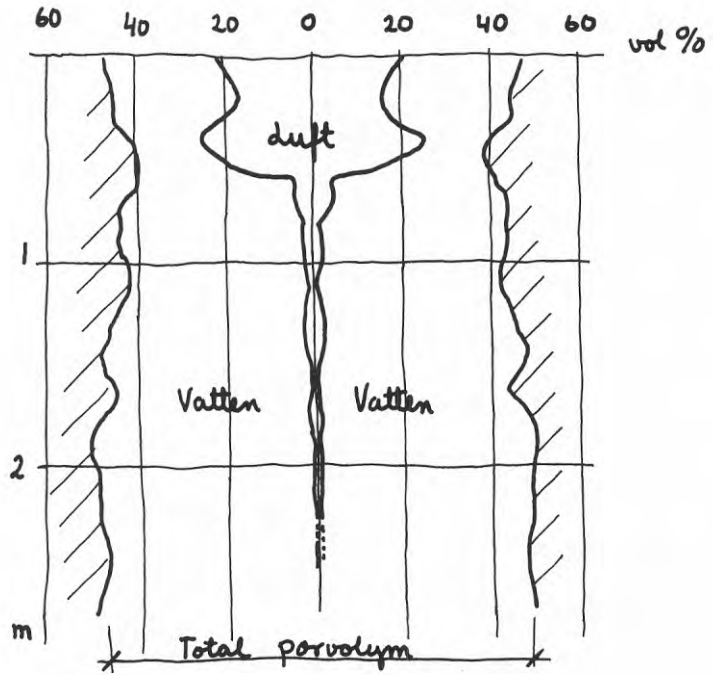


FIG. 40. Porvolymens fördelning i rör 7.

pressat är förmodligen porstorleksfördelningen förskjuten mot större andel finare porer. Jordens bindningspotential ökar därigenom. Detta gör att det kan vara svårare för växter att avvattna jorden än inom områden med mindre komprimerad jord om texturen i jorden var densamma. Komprimeringen av jorden bör också försvåra vidare genomrotning av jorden. Om det vatten som infiltreras inte dräneras av kommer växternas rötter också att få svårt med rotandningen. Detta kan i sin tur försvåra vattenupptagningen.

6.2 Densitetsmätningar

6.2.1 Allmänt

Volymvikter (densiteter) har mätts 1974, 1975 och 1976. Värdena går inte att direkt jämföra i absoluta tal. De har mätts med olika apparatur, som inte fullständigt kunnat kalibreras inbördes. Slutsatser kan till viss del ändå dras av mätresultaten genom relativa jämförelser.

6.2.2 Mätningarna 1974 BILAGA 7

Mätningarna 1974 visar att rör nära träd hade högre torrvolymvikter än rör på gräsmattan (FIGUR 42). Rören kring huset hade torra volymvikter som var högre än värdena på gräsmattan men lägre än på "motsvarande" avstånd från träd längs linjen rör 3 - 7. Den inbördes skillnaden mellan rören på gata-trädsidan av huset (rör 8 och 9) och på dettas trädgårdssida (rör 10) är inte så stor att den ensam kan motivera inträffade sättningar av hushörnen längs gatusidan (FIGUR 43).

Om densitetsmätningarna läggs in i samma snitt som vattenhalterna enligt KAP 6.1.3 erhåller man en bild som visas i FIGUR 44. Det finns en tydlig och väl avgränsad zon mellan +33 och +32,5 med hög torrvolymvikt och det finns en kompakt zon genom hela profilen vid snittens skärningspunkt. Zonen går snett upp åt vänster i snitt A-A, snett åt höger mellan +31,0 och 30,5 i snitt B-B.

6.2.3 Mätningarna 1975 BILAGA 8

Mätningarna utfördes i november 1975. Tanken var att skillnaden i torrvolymvikt mellan 1974 och 1975 års mätningar skulle ha speglat var uppmätta sättningar hade inträffat i profilen. På grund av att olika mätutrustning nyttjats kan en sådan tolkning inte göras utan stora reservationer.

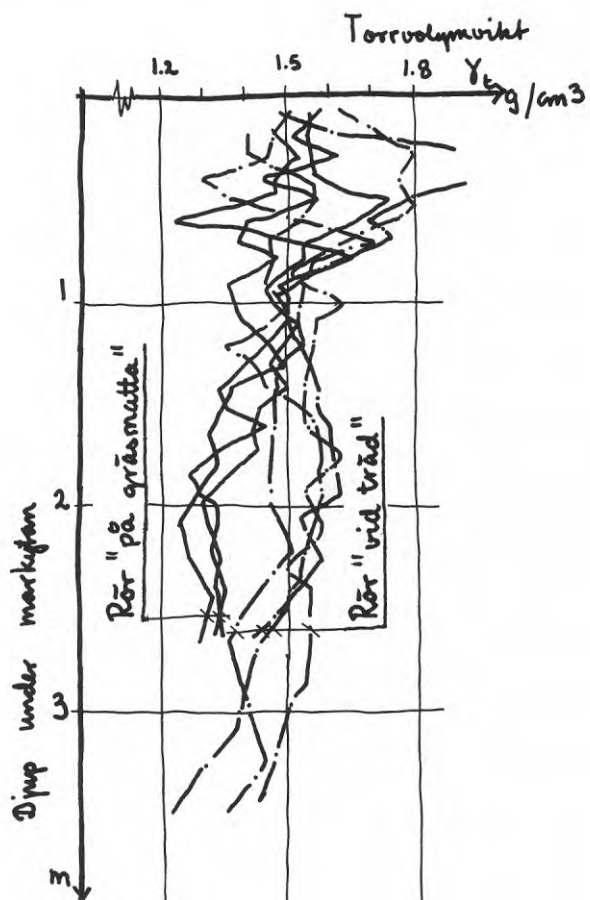


FIG. 42. Torrvolymvikter på olika djup under markytan i rören 1 - 7 (1974).

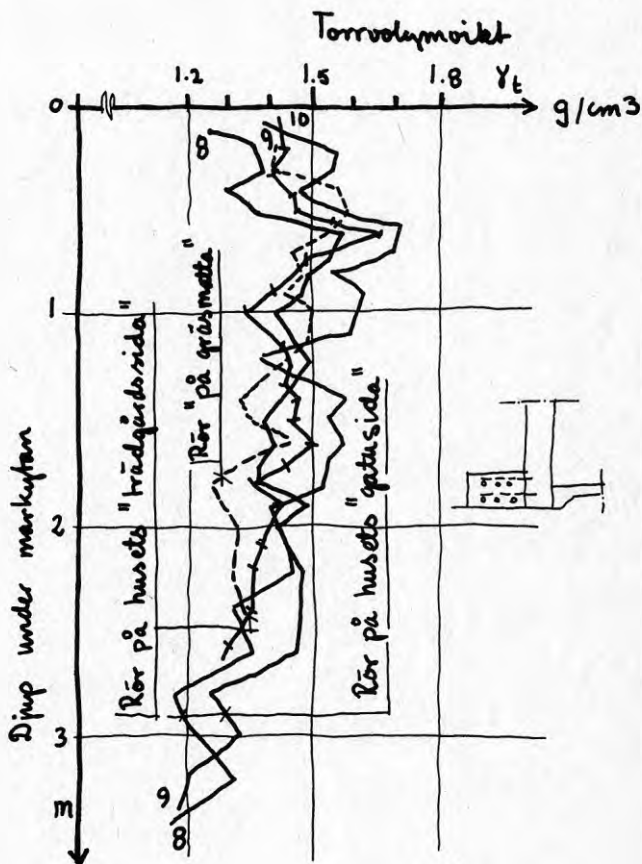


FIG. 43. Torrvolymvikter på olika djup under markytan i rören 7 ("på gräsmatta") 8 och 9 ("på gatusidan") samt 10 ("på trädgårdssidan") av huset (1974).

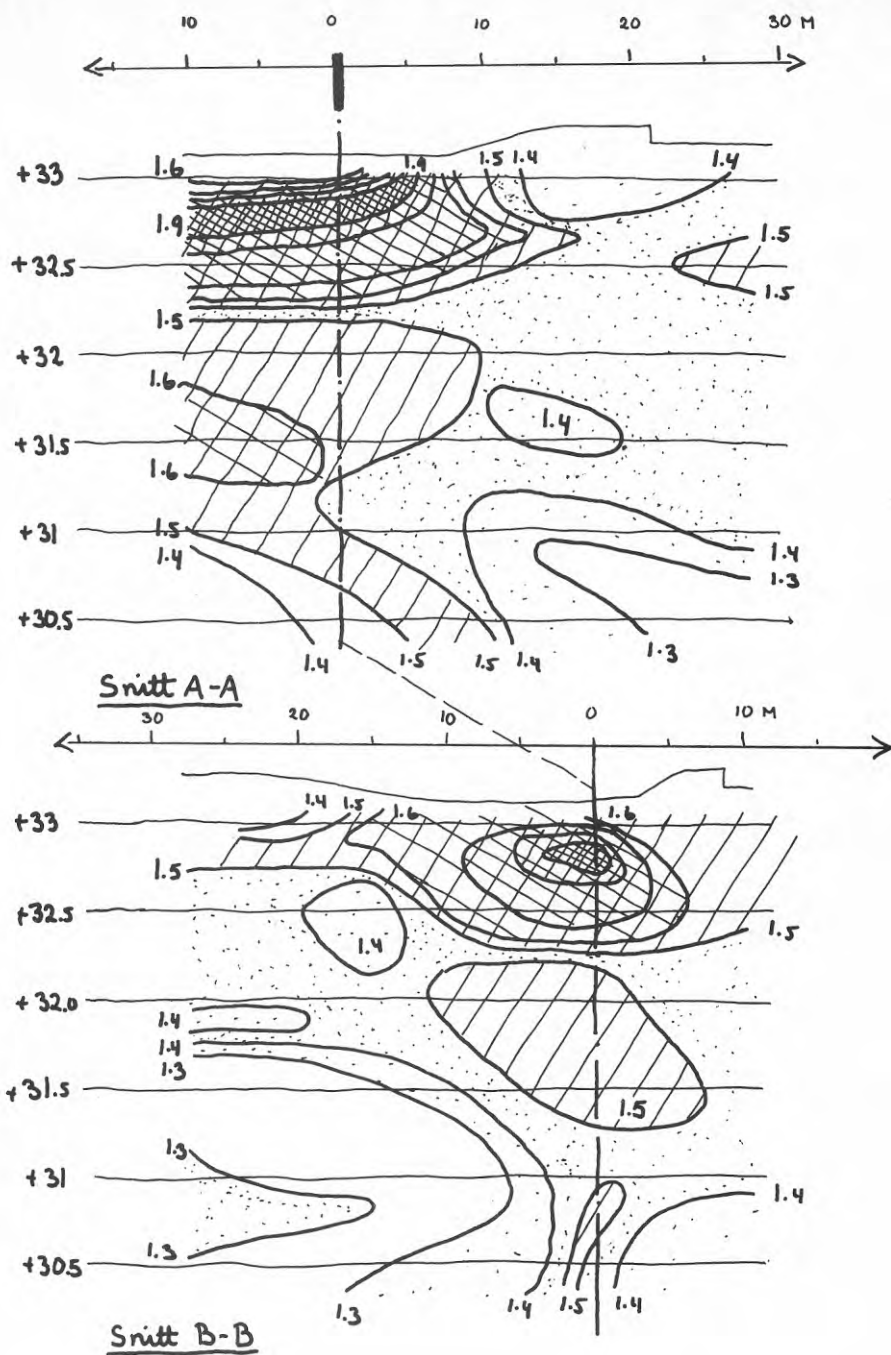


FIG. 44. Torrvolymvikter på olika djup under markytan i snitten A-A och B-B.

Mätresultaten från 1975 (FIGUR 45) visar samma tendens som 1974: Rören vid träd visar att jorden är mer sammanpressad (har högre torrvolymvikt) mellan ca 1,5 m och 2,5 m. Tendensen har understrukits något genom att rör 3 kommit närmare rör 2 - 4. Skillnaden mellan rör "vid träd" och rör "på gräsmatta" har dock minskat något.

6.2.4 Mätningarna 1976

Mätningarna utfördes i slutet av augusti med båda de utrustningar som nyttjats tidigare. Mätningarna med den utrustning som nyttjades 1975 ger resultat som är av samma storleksordning som tidigare mätningar. Där emot blir de absolutvärden, som beräknats för den utrustning som också nyttjades 1974, ca 0,3 g/cm³ högre än för den andra utrustningen.

Det finns fortfarande en skillnad i torrdensitet mellan rören "vid träd" (rör 2, 3 och 4) och rören "på gräsmatta" (rör 5, 6 och 7). Skillnaden är emellertid mindre än tidigare år.

6.2.5 Jämförelse mellan 1974, 1975 och 1976 års mätningar

Som nämndes i inledningen till detta avsnitt har två olika utrustningar nyttjats. Det har varit omöjligt att göra en absolut kalibrering mellan dessa. En exakt jämförelse av absolutvärden går därför tyvärr inte att göra. Tendenser och trender ger dock viktiga upplysningar.

Låt oss utgå från rör 2. Samtliga densitetsmätningar för detta rör ger resultat som har mycket små skillnader år från år. Skillnaderna i torrdensiteter kan mycket väl bero på att både mätningarna av våtdensitet och av vattenhalt har en viss osäkerhet ($\pm 1\%$). Likaså kan skillnader på några cm i exakt mätnivå påverka mätresultatet. Om man nu antar att det vid rör 2 inte skett några sättningar (= någon densitetsökning) under mätperioden så kan man tolka resterande rör relativt rör 2.

Vid samtliga övriga rör har det skett en ökning av torrvolymvikterna mellan 1974 och 1976. Ökningen var klart större mellan 1974 och 1975 än mellan 1975 och 1976 utom i rören 4, 5 och 8.

I rören 3, 4, 6, 7 finns en tydlig ökning av torrdensiteten mellan 1974 och 1975 på djup större än 1 m. I rör 9 finns en skillnad mellan ca 1,8 och 2,5, dvs alldeles under grundläggningsnivån. Under sensommaren 1975 skedde en ganska kraftig sättning vid hushörnet närmast detta rör. Sättningen medförde kraftiga sprickor i grundmuren.

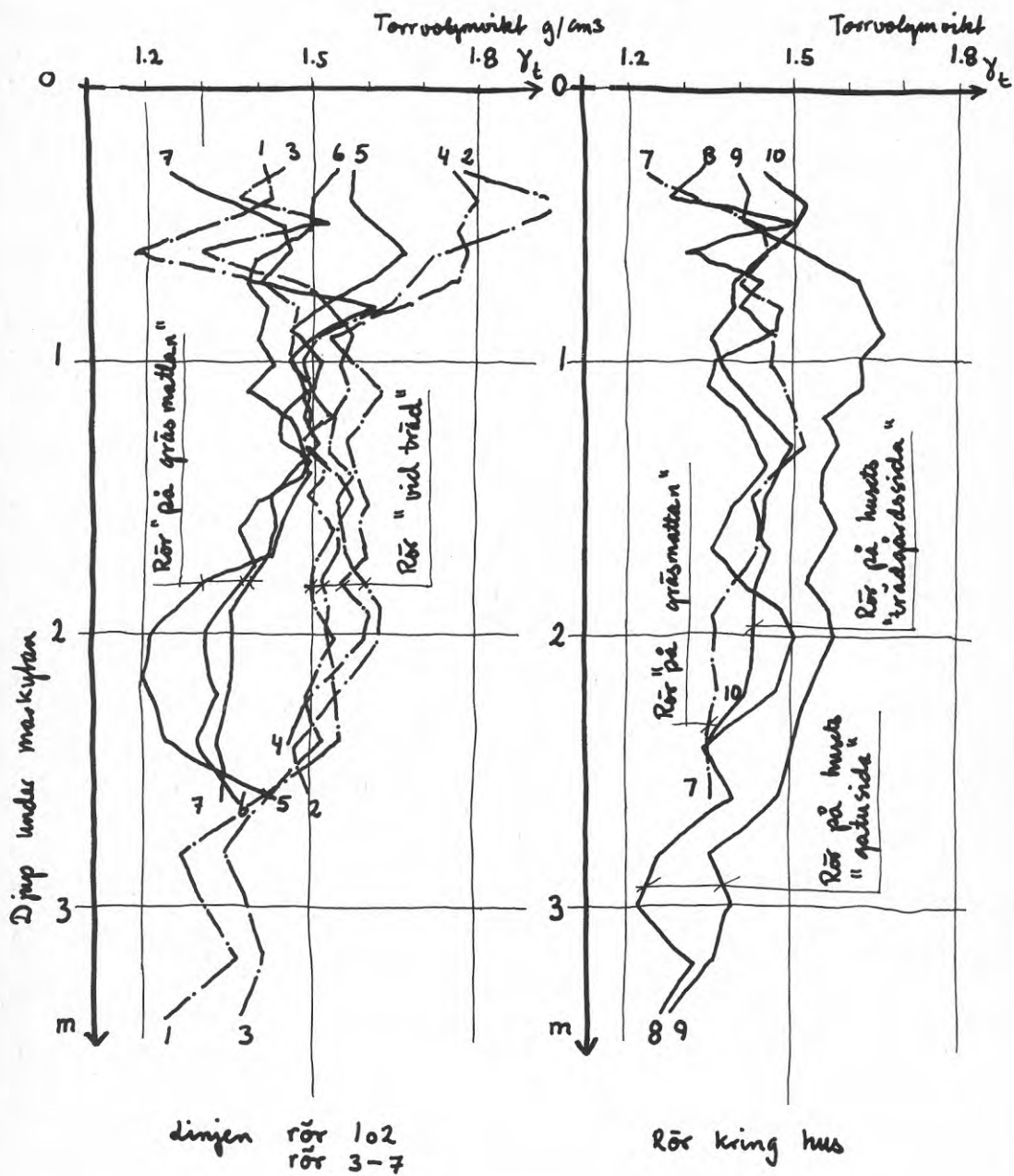


FIG. 45. Torrvolymvikter på olika avstånd från träd och kring huset på olika djup under markytan (1975).

Anmärkningsvärt är att "gräsmatterören" 6 och 7 har en så stor ökning av torrdensiteter jämfört med rören "vid träd". Särskilt stor var ökningen mellan 1,5 till 2,5 m under markytan.

Rör 5 visar en relativt stor "minskning" av den torra volymvikten på nivåerna 1,8 - 2,6. 1974 fanns en viss tendens till samma form på γ_t -kurvan på nivåerna 1,8 - 2,2. Jämför man volymviktsdiagrammet med t ex luftinnehållsdiagrammet visar det sig att jorden mellan nivåerna 1,8 - 2,2 innehåller mer än 10 % luft.

Mätningarna 1976 visar åter en betydande ökning av torrdensiteten.

Skillnader i torrdensiteter mellan 1975 och 1976 finns vid samtliga rör utom rör 2. Skillnaderna finns på djupare nivåer än mellan 1974 och 1975. Mellan 1 och 2 m under markytan är torrdensiteterna ungefär lika 1975 och 1976. Djupare än ca 2 m har det skett en ökning av torrdensiteterna.

En schematisk sammanställning av förändringarna mellan respektive år visas i FIGUR 46.

6.3 Beräkning av porvolym

6.3.1 Allmänt

Porvolymen i jorden har beräknats med formeln

$$n = 100 \left(1 - \frac{\gamma_t}{\gamma_s} \right)$$

där n = porvolym, γ_t = torra volymvikten och γ_s = den fasta massans kompaktdensitet. γ_s har antagits till 2,65 g/cm³, vilket vanligen används i geotekniska sammanhang. Litteraturstudier under 1976 visar att man för leror kanske borde använt värdet 2,70 (Andersson, Wiklert, 1975). Detta skulle ha gett ungefär en volymprocent högre porvolym. Skillnaden är dock så liten att den kan jämföras med mätmetodens osäkerhet.

Osäkerheten i beräkning av porvolym, dels genom gamma-stråle-metodens osäkerhet, dels genom osäkerheten vid val av kompaktdensitet, gör att det inte går att utnyttja vattenhaltsmätningarna för att konstatera var en eventuell övre grundvattenyta finns i profilen. Inte ens 1974, då det borde funnits en fri vattenyta i jorden, gick det av pordiagrammet att utläsa en nivå under vilken jorden var 100 %-igt vattenfylld.

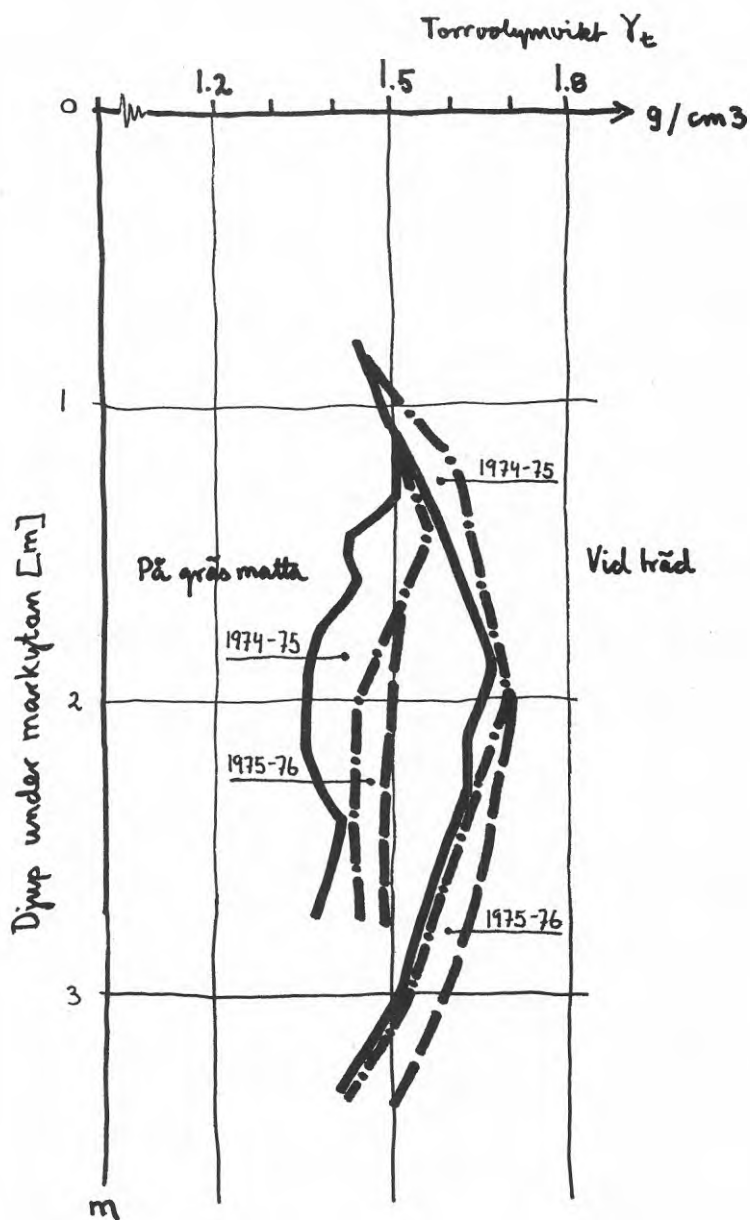


FIG. 46. Torrvolymvikternas förändring mellan 1974 och 1975 och mellan 1975 och 1976 redovisat genom medeltalet av torrvolymvikterna i rör "på gräsmatta" och rör "vid träd".

6.3.2 Porvolymdiagram BILAGA 7 och 8

Porvolymen i den övre metern varierar starkt både mellan olika rör och för olika nivåer i enskilda rör. Detta beror säkert på olikheter i jordprofilen, t ex läget på sandskiktet och på olikheter i genomrotning av jorden. Eftersom mätmetoden inte tar hänsyn till omgivande rötter kan närvaron av en mängd grova rötter på en mätnivå påverka mätvärdet så att porvolymen blir "för stor".

Under den översta metern är porvolymen först vanligen relativt konstant, varefter porvolymen sakta ökar något. Av laboratorieprov tagna på större djup framgår att porvolymen minskar under den nivå som mätts med gamma- och neutronsond.

Zonen med i det närmaste konstant porvolymin är vanligen större "vid träd" än "på gräsmatta". Porvolymen i denna zon är "vid träd" 40 - 45 % och "på gräsmatta" ca 50 %.

6.4 Sättningsmätningar

6.4.1 Allmänt

Avsikten med placeringen av peglarna var att studera om trädens vattenupptagning påverkade sättningarna i och under torrskorpan (se vidare KAP 3.2). Den undre pegeln i pegelparen placerades på en nivå, som genom viktsondering bedömts vara den "geotekniska torrskorpegränsen". Den övre pegeln i paren sattes 0,3 m under markytan. Pegelparen "vid träden" skulle sedan jämföras med pegelparet "på gräsmattan".

Kandensiska byggforskningen (National Research Council, Canada) har under en lång följd av år mätt sättningar och "grundvattenstånd" vid en almallé i Ottawa. I ett diagram (FIGUR 47) redovisas sättningarnas (vertikal markrörelse) största belopp under en extremt torr säsong (1955) som funktion av djupet under markytan och avståndet från träd. Skillnaden mellan nederbörd plus i jorden ackumulerat vatten och beräknad avdunstning (= "soil moisture depletion") var vid detta tillfälle ca 390 mm.

Ritar man på motsvarande sätt upp de största sättningarna vid pegelmätningarna 1974, 1975 och 1976 erhåller man mer svårtolkade diagram. 1974 stämmer bilden ganska väl med de kanadensiska mätningarna, medan 1975 års värden inte ger någon direkt trend vad gäller inverkan av avståndet från träd. Antalet mätpunkter är alltför litet för att göra en mer ingående analys av mätvärdena på detta sätt, FIGUR 48 - 50. (Största "Soil moisture depletion" var 1974 76 mm, 1975 192 mm och 1976 192 mm.)

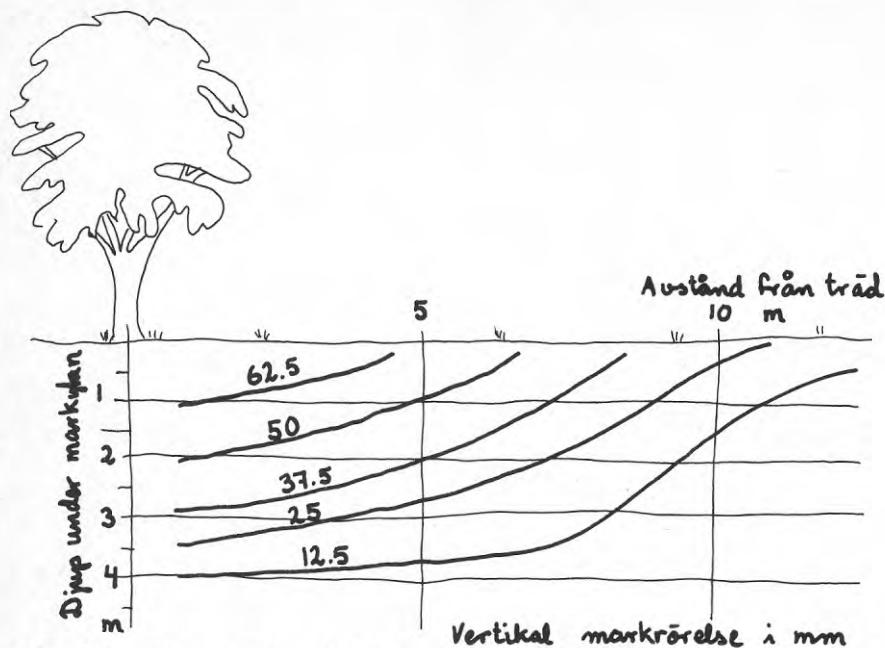


FIG. 47. Vertikala rörelser i "Leda clay" längs en linje ut från en almällé år 1955. Soil moisture depletion = 15.5 inches \approx 394 mm (Bozozuk, Burn 1969).

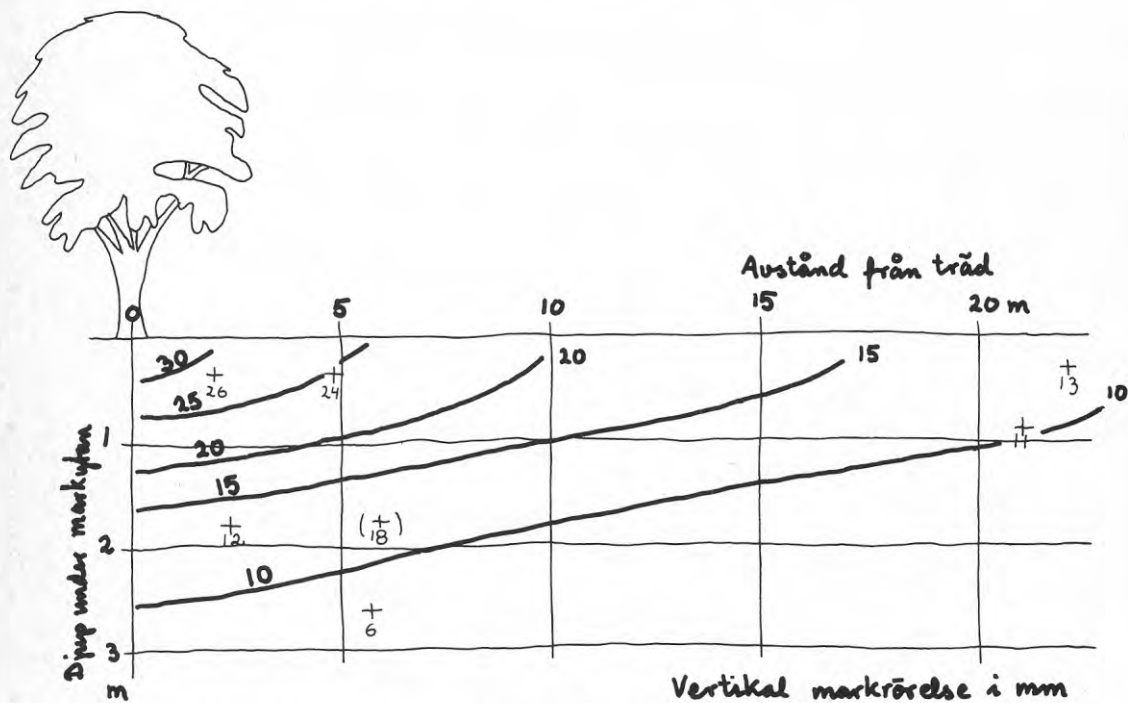


FIG. 48. Vertikala rörelser vid träd på olika avstånd och djup under markytan (1974). Soil moisture depletion = 76 mm.

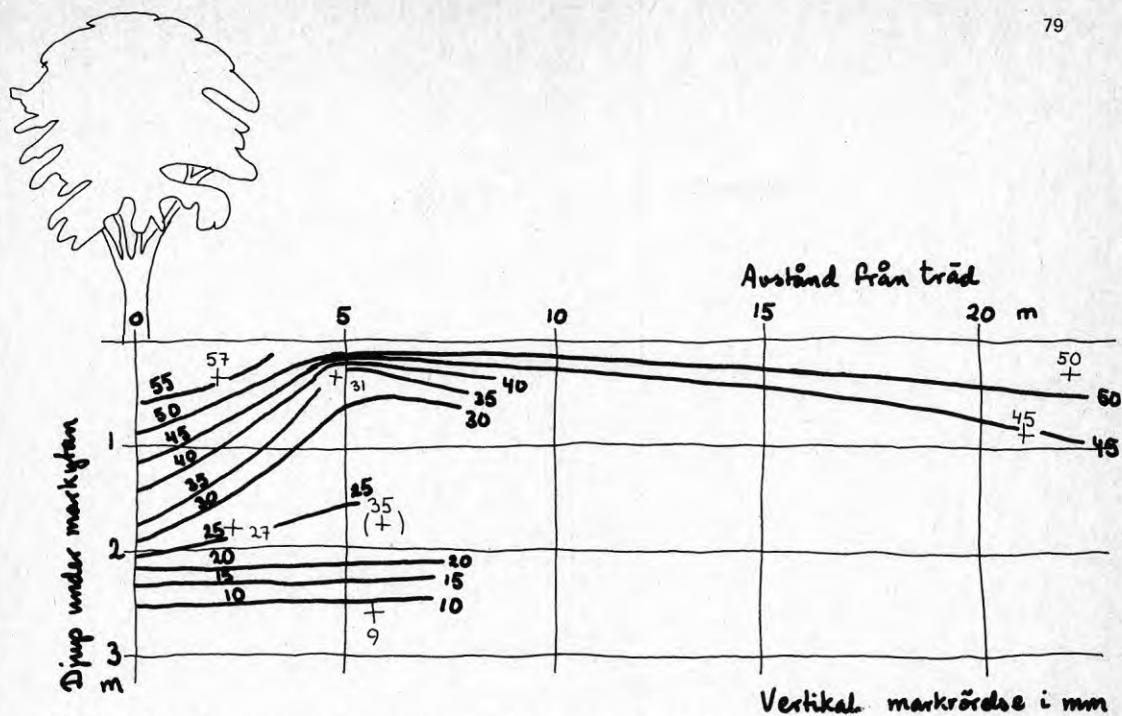


FIG. 49. Vertikala rörelser vid träd på olika avstånd och djup under markytan (1975). Soil moisture depletion = 192 mm.

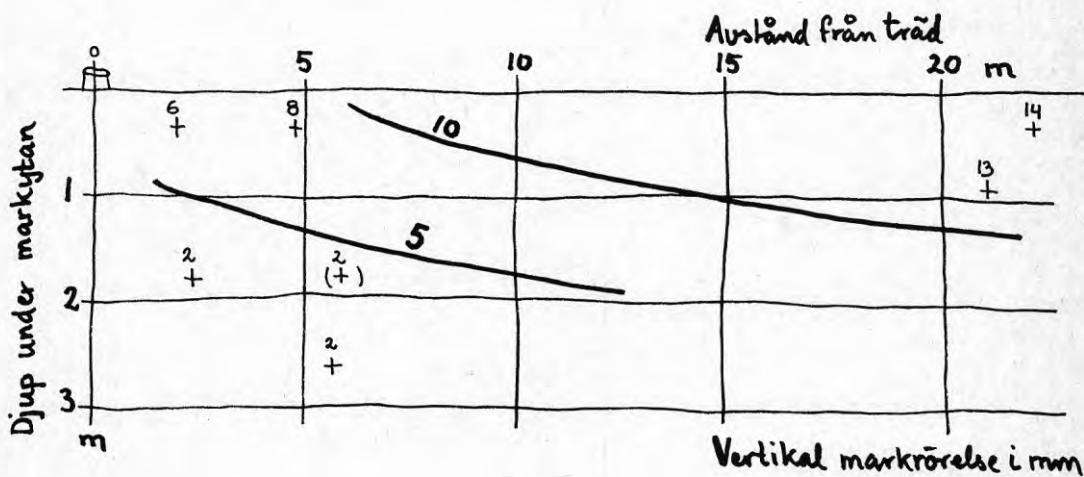


FIG. 50. Vertikala markrörelser på olika avstånd från nedhugget träd på olika djup under markytan (1976). Soil moisture depletion = 192 mm.

Bozozuk och Burn (1969) anser att markrörelserna vid de kanadensiska mätningarna började när "Soil moisture depletion" var 7 tum - 178 mm.

6.4.2 Sättningarnas tidsvariation

Samtliga pglar har en tydlig tidsvariation, FIGUR 51. Peglarna sattes ut omkring den 10 maj 1974. De visar omedelbart att en sättnig pågår. Under sommaren 1974 sätter sig de övre peglarna vid träden (183 och 185) ca 25 mm och på gräsmattan (188) något mer än 10 mm. De undre peglarna sätter sig under sommaren betydligt mindre än de övre vid träden. Där "torrskorpan" är djupast (pegel 184 på 2,6 m) är sättnigen ca 6 mm och där "torrskorpan" är något grundare (pegel 186 på 1,8 m) 12 mm. På gräsmattan är sättnigen för undre och övre pegel i det närmaste lika.

I slutet av juli sker det ett par mm svällning i jorden i samband med kraftiga nederbörds mängder. Mellan oktober och november 1974 sväller jorden rätt avsevärt. En stor del av sommaren sättnig återhämtas. Under vintern är sättnigstendensen mycket låg, några få mm. Observeras bör dock att tendensen i absoluta tal är lika för både övre och undre pegel. Det kan tolkas som om sättnigen sker i jorden under undre pegeln.

År 1975 är sättnigarna större än 1974 vid samtliga pegelpar. Störst är skillnaden på gräsmattan. Pegelparet 183-184 vid träd visar en ganska obetydlig skillnad.

Sättnigarna är markanta under maj - augusti vid samtliga pglar. Därefter får man vid träden en höjning av peglarna under augusti i samband med riklig nederbörd. Denna höjning inmätts inte på gräsmattan.

Under vintern höjs peglarna med ungefär samma värden som under hösten 1974.

Sommaren 1976 är sättnigarna små vid pegelparen vid träd/gata. Träden hade fällts i maj 1976. De undre peglarna i pegelparen sätter sig bara några få mm trots att sommaren endast är obetydligt fuktigare än torrsommaren 1975. Peglarna strax under markytan sätter sig mellan 5 och 10 mm. Pegelparet "på gräsmattan" sätter sig något mindre än under 1975. Sättnigarna är ungefär lika på båda peglarna. De är flera gånger större än vid de nedsågade träden.

En sammanställning av absolutvärden visas i TABELL 6:1.

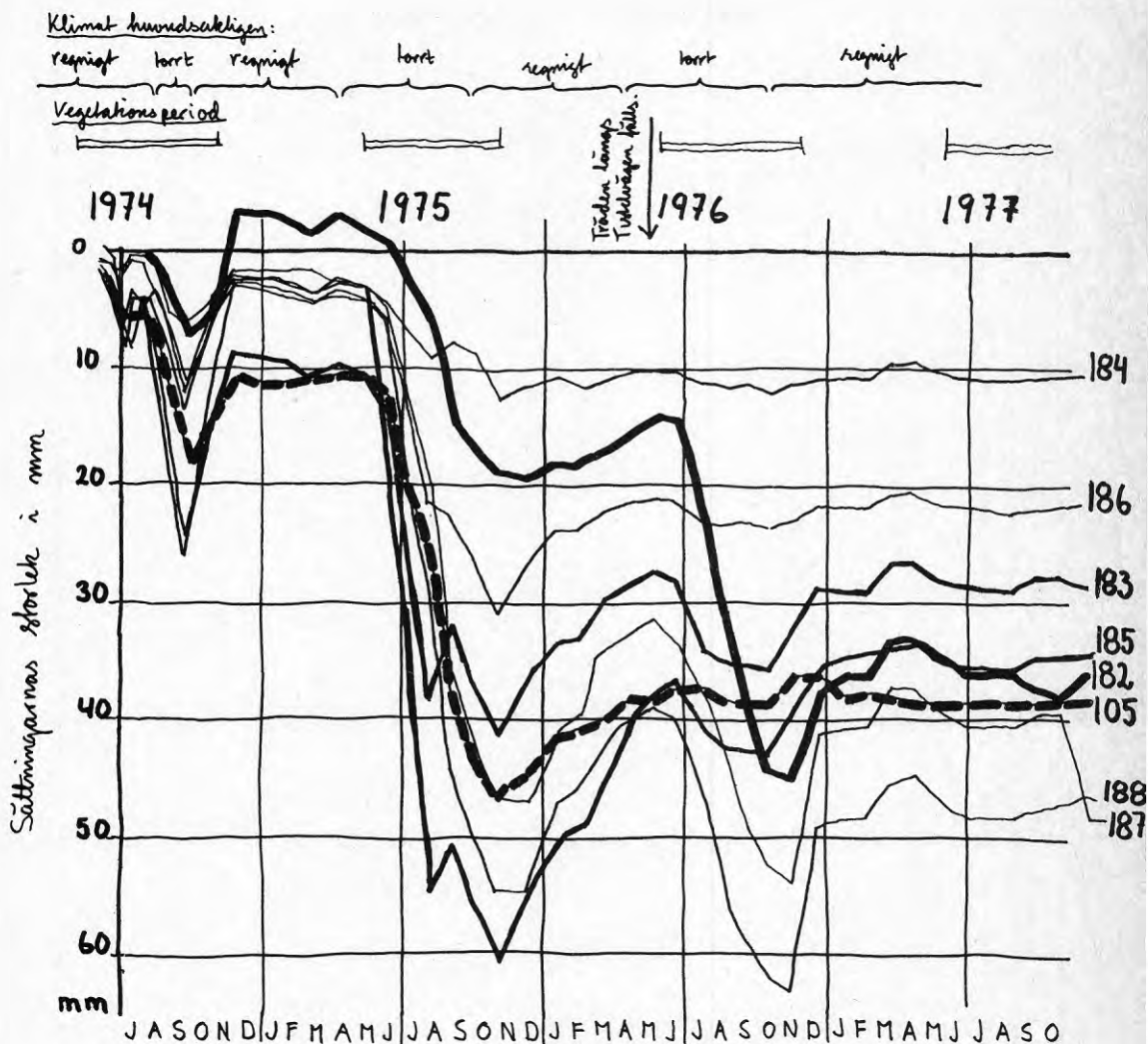


FIG. 51. Rörelser vid peglar vid träd som fälldes i maj 1976 (183 och 185 övre pegel, 184 och 186 undre pegel), på gräsmatta (187 undre och 188 övre pegel), vid träd strax intill som inte fällts (182) och på ett intilliggande hus (105).

	1974			1975			1976			1977		
	maj- -okt	okt- -nov	nov- -maj	maj- -aug	aug	sept- -nov	nov- -maj	maj- -aug	aug- -nov	nov- -maj		
183 ö	-24	+15	-2	-28	+6	-9	+14	-7	-1	+9		
	-11		-7	-31		-17	-11	-8		+1	±1	
184 u	-6	+3	-1	-6	+2	-5	+3	-1	-1	+2		
	-4			-9		-6		-2		±0		
185 ö	-26	+23	+0	-51	+3	-10	+22	-5	+3	+6		
	-3		+1	-58		-36	-18	-2		+4	±4	
186 u	-12	+9,5	-1,5	-18	-2	-7	+10	-2	±0	+2		
	-4			-27		-17		-2		±0		
188 ö	-13	+10	-2	-40	-5	-5	+15	-15	-9	+18		
	-5		±0	-50		-35	-5	-24		-6	±0	
187 u	-11	+8	-2	-35	-5	-5	+15	-12	-11	+17		
	-5			-45		-30		-23		-6		

TABELL 6:1

Sättningarnas storlek i m m under olika tidsperioder 1974 och 1975

6.4.3 Sättningar i och under torrskorpan

Mätningarna visar att det sker stora rörelser både i jorden mellan peglarna i pegelparen (torrskorpan) och i jorden under den undre pegeln.

Sättningskillnaden mellan peglarna i varje pegelpar, dvs sättningsrörelsen i "torrskorpan" visas i TABELL 6:2 - 4. Sambandet mellan rörelserna i torrskorpan och vatteninnehållet mellan peglarna visas i BILAGA 9. Diagrammen ger något missvisande bild av sättningsförloppet under respektive år. 1974 skedde "återhämtningen" tidigt och var i stort sett avslutad i november månad. 1975 var hösten torrare och svällningen i jorden kom inte förrän senare på vintern. Den totala svällningen är i stort sett densamma 1974-75 som 1975-76 för samtliga peglar.

TABELL 6:2 Pegelavläsningar samt skillnader mellan peglar i pegelparen 1974

1974	7.6	19.6	3.7	15.7	30.7	13.8	5.9	26.9	30.10	29.11	15.12
183	1.72	4.04	8.21	4.06	4.20	7.79	-	24.15	24.42	8.65	9.18
184	0.60	1.04	1.73	0.46	0.45	1.78	5.39	6.37	4.61	2.24	2.51
▲	1.12	3.00	6.48	3.60	3.85	6.01	-	17.78	9.81	6.41	7.67
185	4.37	5.43	10.94	8.41	9.85	15.95	24.15	31.26	16.74	7.26	7.47
186	0.92	1.15	2.23	0.72	0.97	2.93	6.56	11.91	5.85	2.75	3.33
▲	3.45	4.28	8.71	7.69	8.88	13.02	17.59	19.35	10.89	4.51	4.14
187	1.07	2.05	5.59	6.12	4.87	3.41	6.89	11.22	4.50	1.63	1.96
188	1.13	3.03	7.01	8.61	4.04	4.26	8.89	13.52	5.89	2.65	3.06
▲	0.06	0.98	1.42	2.49	0.83	0.85	2.00	2.30	1.39	1.02	1.10
105	1.25	3.35	7.34	5.31	5.09	6.55	12.57	18.28	13.67	10.66	11.16

TABELL 6:3 Pegelavläsningar samt skillnader mellan peglar i pegelparen 1975

1975	6.3	9.4	14.5	13.6	10.7	7.8	4.9	1.10	4.11	9.12
183	10.41	9.81	10.50	13.67	28.03	28.31	31.86	36.23	43.12	36.44
184	3.75	2.96	3.35	4.43	7.22	9.27	7.91	8.80	12.54	11.54
	△ 6.66	6.85	7.15	9.24	20.81	39.04	23.95	27.43	30.58	24.40
185	8.61	7.37	8.02	17.43	38.14	54.24	50.25	55.11	60.11	54.44
186	4.35	3.18	3.78	5.59	13.27	21.11	22.29	25.80	30.94	26.82
	△ 4.26	4.19	5.24	11.84	24.87	33.13	27.96	29.31	29.17	27.62
187	1.78	2.86	3.05	4.78	13.04	19.73	36.14	41.26	46.77	46.76
188	4.60	3.83	4.18	5.62	17.84	28.61	44.29	49.38	54.49	54.59
	△ 2.82	0.97	1.13	0.84	4.80	8.88	8.15	8.12	7.72	7.83
105	10.77	10.45	10.62	12.37	20.71	26.45	37.82	42.74	46.82	44.85

TABELL 6:4 Pegelavläsningar samt skillnader mellan peglar i pegelparen 1976

1976	15.1	17.2	18.3	22.4	17.5	22.6	27.7	24.8	20.9	18.10	16.11	20.12
183	33.24	32.96	29.89	28.26	27.20	28.12	33.82	34.80	35.10	35.59	32.13	28.41
184	11.36	11.85	10.99	10.35	10.13	10.03	11.29	11.58	11.36	12.08	11.36	10.68
	△ 21.88	21.11	18.40	17.91	17.07	18.09	22.53	23.22	23.74	23.51	20.77	17.73
185	50.04	49.07	44.35	39.78	37.49	36.73	40.32	42.27	42.35	42.91	39.49	35.21
186	23.95	23.83	22.11	21.49	21.18	21.40	22.61	23.16	22.85	23.63	22.55	21.66
	△ 26.09	25.24	22.24	18.29	16.31	16.33	17.71	19.11	19.50	19.28	16.94	13.55
187	41.09	39.47	34.60	32.43	31.19	32.68	37.60	43.32	49.04	52.43	53.90	41.19
188	47.09	45.97	41.95	39.78	38.79	39.84	46.47	53.99	58.99	61.71	62.69	48.90
	△ 6.00	6.50	7.35	7.35	7.60	7.16	8.87	10.67	9.95	9.28	8.79	7.71
105	41.22	40.53	39.46	38.02	37.79	37.36	37.24	38.61	38.27	38.99	36.06	35.78
182	17.95	17.91	16.99	15.34	13.96	14.43	23.13	31.04	39.61	44.18	44.64	37.21

Om man ser sättningarna över en hel säsong får man följande bild av sättningarna:

TAB 6: 5 Sättningarnas storlek i och under torrskorpan från maj till maj åren 1974, 1975 och 1976

Pegelpar	På gräsmatta			Vid träd					
	187 + 188			185 + 186			183 + 184		
	1974	1975	1976	1974	1975	1976 ^{x)}	1974	1975	1976 ^{x)}
"Markytans" sättning	5	35	6	3	36	+4	11	17	+1
Sättning i "torrskorpan"	0	5	0	+1	18	+4	7	11	+1
Sättning i underlagrande jord	5	30	5	4	17	0	4	6	0
Djup på undre pegel i m	0,9			1,8			2,6		
Avstånd från träd	21			2			5		

x) trädet fällt

"Markytans" sättning:

Markytans sättning varierar ganska mycket år till år. 1974 var rörelsen liten och 1975 relativt stor. 1976 var det en relativt liten sättning på gräsmattan och en liten "svällning" vid de övriga två pegelparen.

Sättning i underlagrande jord:

År 1975 var sättningen ungefär samma på gräsmatta och vid träd. 1975 var sättningen avsevärt mycket större på gräsmatta än vid träd. Sättningarna har snarare samband med djupet under markytan på pegeln än med avståndet till träd. 1976 var sättningsskillnaden under året noll vid gatan (träden nedsågade). På gräsmattan var sättningen av samma storleksordning som 1974.

Det är svårt att uttala sig om "sättningen under torrskorpan" härrör från en konsolidering av den tidigare icke upptorkade leran eller från krympning av lera omedelbart under den tidigare "torrskorpan" (torrskorpebildning).

Sättning i torrskorpan:

Sättningarna i torrskorpan har varit ganska små på gräsmattan och avsevärt mindre än sättningsarna under torrskorpan. Vid träden var sättningsarna 1974 och 1975 av samma storleksordning i och under torrskorpan. 1976 skedde en svällning av torrskorpan.

6.4.4 Sättningar i torrskorpan och torrskorpans vatteninnehåll

BILAGA 9

Skillnaden i vatteninnehåll och i sättningsar har 1974 och 1975 ett grafiskt likartat förlopp. Detaljskillnader i tidsförlopp kan bero på olika mätpunkter eller på att det tar tid för vatten som infiltreras att sugas upp från det grövre spricksystemet till aggregaten och orsaka svällning. 1976 är det inget samband mellan vatteninnehållsskillnader och sättningsar. Det är stora skillnader mellan de olika pegelparen. "Vid träd" har sättningsar i torrskorpan ett likartat förlopp vid de båda pegelparen. Trots detta är det mycket stora skillnader mellan vatteninnehållets förändring i rören 3 och 9. Vatteninnehållet i rör 9 ökar redan från augusti medan det i rör 3 fortsätter att sjunka hela mätperioden. Även röret och pegelparet på gräsmattan har stora skillnader mellan tidsförloppet för sättningsar och vatteninnehåll. Något entydigt matematiskt samband går inte att finna mellan skillnader i vatteninnehåll och sättningsar i torrskorpan. En minskning av vatteninnehållet med 3 - 10 mm fordras för att ge en sättningsar på 1 mm

6.5 Geotekniska undersökningar

6.5.1 Allmänt

Geotekniska undersökningar har speciellt för projektet gjorts i samband med utsättning av peglar och vattenobservationsrör. Därvid gjordes två standardprovtagningar med kolvborr till 4 m djup med kornfördelningsanalys. Dessutom gjordes tre viktsonderingar vid pegellägena.

Kornfördelningen har sammanställts för samtliga nivåer, FIGUR 52 och 53.

Jordens allmänna textur tycks vara likartad "på gräsmattan" och "vid träd". Under matjordslagret (ca 0,30 m) finns en postglacial lera med ca 10 % ler. På ca 0,60 m djup återfinns ett ca 0,1 m tjockt lager av nästan ren mellansand. Under sandlagret är lerhalten mer än 50 %. Lerhalten ökar ner till ca 3 m under markytan. Högsta lerhalt är vid provplatsen vid gata/träd något över 70 % och vid gräsmattan nästan 80 %. Under 3 m avtar åter lerhalten.

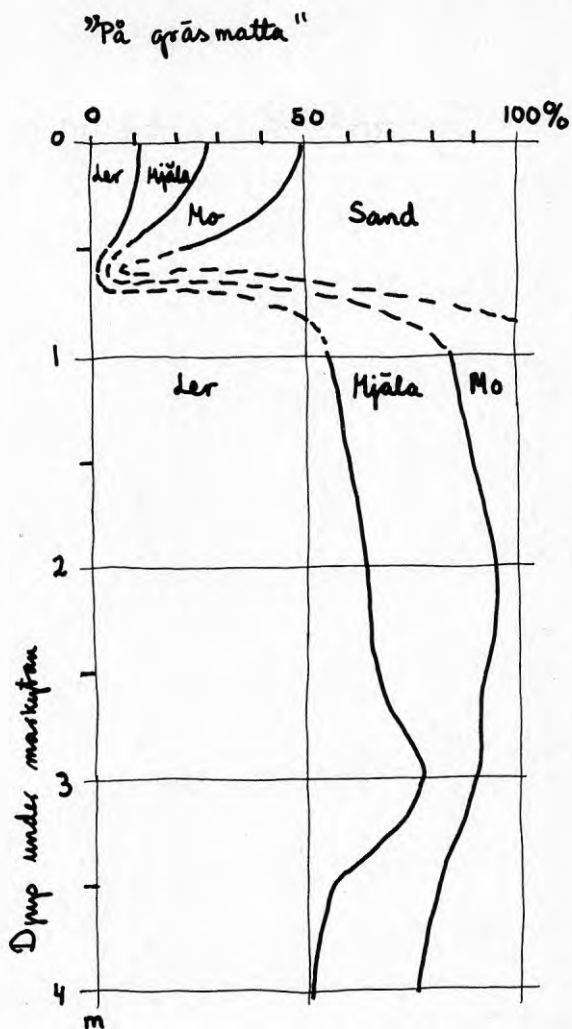


FIG. 52. Kornstorleksfördelning i "gräsmatta" på olika djup under markytan.

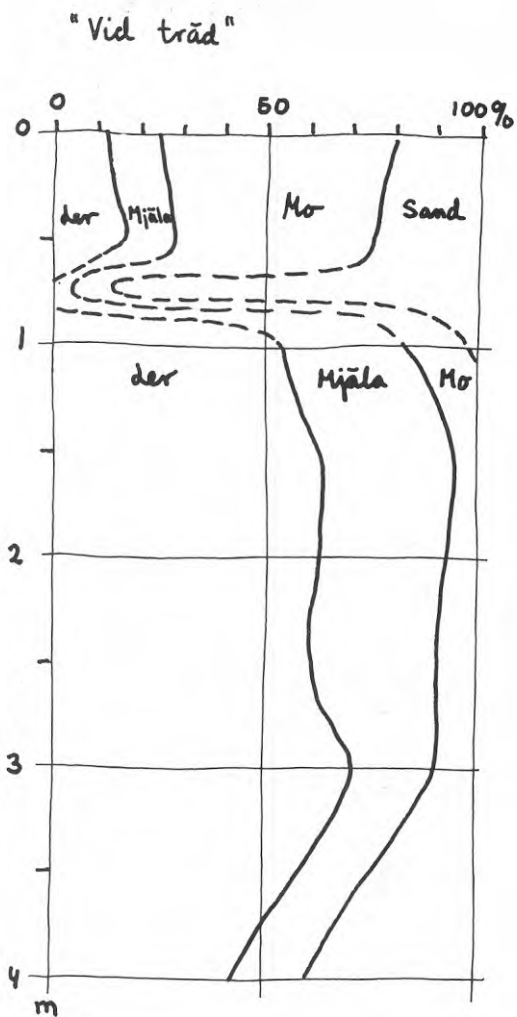


FIG. 53. Kornstorleksfördelning vid "träd" på olika djup under markytan.

I maj 1976 utfördes en geoteknisk undersökning med jalusiborr för att mer noggrant jämföra hela och kontinuerliga profiler med varandra. I tio provtagningspunkter togs prover upp med en jalusiprovtagare.

6.5.2 Resultat av provtagningen våren 1976

Den generella uppbyggnaden av jordlagren är likartad i samtliga provtagningspunkter. Under matjordsskiktet (0,1 - 0,2 m) finns överst en torrskorpa med ett vertikalt spricksystem ner till 0,5 - 0,8 m. Där påträffades det ovan omtalade sandskiktet. Under detta är leran homogenerare men fortfarande fast och överkon-soliderad (ned till 1,8 - 2,1 m u my). Detta skikt har benämnts sekundär torrskorpa. Därefter följer lager med lösare grå, till största delen glacial le-ra med tunnare och tjockare skikt av silt.

I tre punkter har enstaka rottrådar påträffats under sandskiktet (på 2,5, 2,7 och 3,3 m djup). Dessa punkter ligger spridda i försöksområdet. Djupaste rotträden hittades 9 m från närmaste alm. Vid huset, förmodligen vid servisledningarna hittades rötter på 2,7 m djup och inne på gräsmattan 3 m från rör 7 på 2,5 m.

Vatten erhöles i alla spadborrade hål utom två. Vat-tenytan mättes till mellan 1,7 och 2,0 m under mark-ytan. Sammanställs nivåerna erhåller man en bild som i stort motsvarar den som redovisas i kap 6.1.3.

Strömning sker mot en zon nästan parallell med Tis-telvägen 18. De hål som inte uppvisat någon fri vat-tenyta ligger nära servisledningsgravarna till Tis-telvägen 20 och 22.

Siltskikten i leran under sandlagret kan inte följas från provtagningspunkt till provtagningspunkt. Nivå-erna på och avstånden mellan siltskikten varierar markant i de olika borrhålen.

Öster om huset Tistelvägen 20 har vad som troligen är en äldre markyta ca 0,5 m under nuvarande markyta påträffats. I denna punkt är också sanden i sandskik-tet alldeles under denna nivå mer humushaltig än på övriga ställen.

7 ÖVRIGA UNDERSÖKNINGAR OCH BERÄKNINGAR M M

7.1 Allmänt

Under projektets gång har vi på olika sätt försökt komma åt, beräkna och sammanställa data från olika håll, som skulle kunna belysa problematiken träd - sättningar. Vi har gjort en genomgång av den litteratur vi funnit om träd och sättningar. Sättningsberäkningar har gjorts på flera olika sätt och resultaten av dessa har jämförts med pegelrörelser och andra informationer. Rörelser i olika delar av huset inom försöksområdet har mätts. Ett försök har gjorts att undersöka om skillnaden i nivå på det distinkta sandlagret på ca 0,6 m djup kan användas för att beskriva sättningsförloppet inom området. Effekten av bevattning av träd har studerats vad avser vattenhalter och sättningar. Vi har också undersökt trädens tjocklekstillväxt och sökt kombinera dessa resultat med klimatvariationerna. Vi har på olika sätt försökt bestämma en fri vattenyta i torrskorpan. De olika sätten har kritiskt granskats. Vi har också försökt att jämföra en modell för torrskorpebildning med uppmätta värden på volymvikt och porvolym på olika djup i jordprofilen. Vi har försökt att ur våra mätdata utröna vegetationens effekt på vattenbalansen inom området. Slutligen presenterar vi resultatet av en diskussion om orsaken till vissa skillnader mellan laboratoriebestämda och i fält mätta värden på vattenhalt och volymvikt.

7.2 Litteraturreferat m m och träd och sättningar

En litteratursammanställning har gjorts av tidningsartiklar och rapporter, som bl a behandlar hur trädsvällning påverkar krympning och svällning i leror. Vissa artiklar tar även upp sambandet mellan sättningar och trädets höjd och avstånd från träd. Åtgärder för att minska riskerna för sättningskadorna på hus orsakade av träd behandlas också. Någon bedömning av sakuppgifterna i artiklarna har inte gjorts. Referaten speglar alltså respektive författares uppfattning.

Vilka träd?

Grahame (1973) anser att träd kan indelas i barrträd, lövträd och popplar med avseende på deras skaderisk. Barrträden är den grupp som orsakar minst skador. Lövträden har en större vattenomsättning än barrträden och kan därför orsaka större skador, främst på lerjordar. Almar har fått särskilt dåligt rykte. Popplar anses utgöra den största skaderisken. Speciellt farliga är pelarformade popplar på grund av att de ofta placeras tätt och nära byggnader.

Även Penner (1975) och Jaffa (197?) pekar på att de största skadorna fås vid snabbväxande träd och vid träd med utbrett ytligt rotsystem (popplar, pilar, almar). Träd med pålrot som tall och ek anses mindre skadegörande. Buskar och mindre träd, som står tätt intill väggarna, kan ha samma uttorkande effekt som stora träd, Jaffa (197?).

Var orsakas skador av vegetation?

I friktionsjordar är skaderiskerna från träd små. (Grahame (1973a)) Skador som uppkommer orsakas av fysiskt tryck från trädet på byggnaden. I lerjordar orsakas skadorna huvudsakligen av krympning av leran vid uttorkning och av svällning vid vattentillförsel. Skador orsakade av krympning uppstår på byggnader när en uttorkning genom rotaktivitet sker under grundläggningen. Leran måste vara "krympbenägen" för att rötternas vattenupptagning skall orsaka krympning av leran (Grahame (1973b), Building Research Advisory Service (1972), Burn och Penner (1975) m fl).

När får man skador?

Plötsliga skador kan uppkomma om husen är byggda på krympbenägen lera. Trädens rötter orsakar i sådana fall en uttorkning under grundsulan, vilket gör att sättningar kan uppkomma på kort tid. Speciellt allvarliga och snabba kan förändringarna bli i samband med längre torrperioder.

Burn (1973) anser att träd kan vara orsak till sättningar på hus under tre förutsättningar. Alla tre måste gälla samtidigt:

1. Underliggande jord volymförändras när vatteninnehållet ändras.
2. Närvaro av vissa trädarter.
3. Otillräcklig nederbörd för att tillgodose trädens behov under vegetationsperioden.

Soil Mechanics Section vid Division of Building Research, National Research Council of Canada började ett program 1975 i avsikt att mäta vertikala markrörelser inom en radie 3 x trädhöjden vid stora träd i Ottawa, Canada.

Markpegelar sattes ut på varierande avstånd från träd och djup under markytan. Väderrapporter insamlades. Upprättning gjordes av data för att visa variationen i markrörelse med djupet och med avstånd till träd och rörelsens relation till vattenhaltsvariationerna. En ekvation har utvecklats som relaterar markrörelser till markvattenförhållanden inom området.

Området där studien gjordes är dränerat och gräsbe-

vuxet. Den underliggande leran (Leda Clay) har stort vatteninnehåll och hög krymppotential. Utrustningen bestod av 32 peglar för markrörelser, ett set teleskoppeglar och tre grundvattenrör.

Man har räknat fram markvattenförhållandena från väderobservationer för att korrelera dessa med markrörelserna. Vattenhalter har mätts för att jämföra tillfört vatten genom nederbörd med vattenförlust genom evapotranspirationen. Vanligen blir förlusterna genom evapotranspirationen större än vattentillförseln från i början av maj. Skillnaden mellan förlust och tillförsel anges i tum vatten. Värdet ackumuleras under vegetationsperioden och är ett mått på vattenförhållandet. Värdet kallas "Soil moisture depletion".

Markrörelser uppstår när marken börjar förlora fuktighet och når maximivärde vid största värde för "Soil moisture depletion". Markrörelserna blir tydliga när värdet överstiger 7 inches (≈ 178 mm) (Bozozuk, Burn 1969).

Byggande av ledningar och sänkning av grundvattenytan kan också vara bidragande orsak till att träd, som inte tidigare orsakat problem, måste utvidga sitt rot-system och därmed orsaka skador (K N Burn 1973).

En jord kan dräneras genom en avloppstunnel eller ledning. Träd, som tidigare tillförts detta vatten, tvingas då att leta sig ner till lägre nivåer för att tillgodose sitt vattenbehov. Detta kan orsaka vertikala markrörelser, om vattenuttaget görs i en krympbenägen lera.

Denna skadebild har man fått på två hus i Ottawa, där en huvudavloppsledning lagts ned på 5 meters djup och 10 m från husen. Inga tecken på markrörelser orsakade av en rad höga popplar i tomtgränsen mellan husen hade tidigare setts. Två år efter nedläggningen uppkom stora sättningar på husen, som låg 2,5 respektive 10 m från poppelraden. Övriga hus längs ledningen, som inte har träd i närheten, fick inga sättningar.

Skadorna orsakades uppenbarligen av träd, vars tidigare jämvikt med sin omgivning hade störts (K N Burn i brev från 1975 till författaren).

Var sker sättningarna?

Mätningar av vertikala markrörelser vid träd i samband med torrperioder visar att rörelserna är störst i markytan intill träd. Även 12 m från träd är sättningar mätbara. Viktigare är dock att icke tolerabla sättningar uppmätts på 1,5 - 1,8 m djup upp till 10,5 m från träd. Vatteninnehållet i jorden och grundvattennivån varierar också i överensstämmelse med observerade rörelser i marken (K N Burn 1973).

Rotintensiteten är ojämnt fördelad i marken och vatt-
net tas därför ut olikartat. Sättningarna blir också
olikformiga inom det område som påverkas av trädet.

Sättningarna blir störst i markytan närmast trädet
och avtar med avståndet från trädet och djupet under
markytan.

En tumregel är att marken påverkas lika långt från
trädet som det är högt. Snabbväxande arter skall där-
för inte placeras närmare hus än avstånd som motsva-
rar trädets höjd vid full utveckling. Grupper och
rader av träd tar upp mer vatten än individuella
träd och påverkar därför en större yta (Burn, Penner
1975).

Från undersökningen i Ottawa (se ovan) redovisar Bozo-
zuk och Burn:

Markrörelsernas variation med djup och avstånd från
träd visar att inom ett horisontalt avstånd av ca 7 m
var rörelsen för markytan mycket stor. Rörelsen mins-
kade snabbt till avstånd upp till ca 14 m. De minska-
de också på djupet, men på ett djup av drygt 3 m och
7 m från trädet uppmättes rörelser på ca 15 mm. Des-
sa observationer gjordes 1955, då "Soil moisture
depletion" var 15,5 inches (\approx 394 mm).

Vilka åtgärder bör vidtagas?

Nästan samtliga författare, som skrivit i denna frå-
ga, anser att träd som anses ha gett skador bör fäl-
las. Så här skriver t ex Burn och Penner (1975):

"Den enda säkra metoden att motverka ytterligare ska-
dor, som uppstått vid trädets vattenupptagning på lera
med högt vatteninnehåll och hög krymppotential, är
att fälla trädet."

När rötterna efter en fällning slutar ta upp vatten,
kan leran återta sitt vattenunderskott och åter sväl-
la.

Svällningsprocessen kan ta lång tid, åtminstone två
vintrar (Grahame (1973b)).

Lagning av huset bör inte ske förrän åtminstone efter
en våt årstid. Annars kan nya sprickor uppstå genom
svällningen i leran som sker vid vattenupptagningen.

Svällningen kan påskyndas genom vattning, men risk
finns då att leran sväller ojämnt. Innan en fällning
av ett träd görs, måste en bedömning göras om åtgär-
den kommer att förhindra framtida skador eller om ska-
dan förvärras genom svällning (Grahame 1973b).

Svällning av leran kan åstadkommas genom att diken
runt grundläggningen hålls vattenfyllda några veckor
(Burn, Penner 1975).

Skador genom svällning kan också uppstå på en byggnad som grundläggs direkt på lera om denna tidigare varit uttorkad genom trädrötter och träden måste fällas vid byggandet (Grahame 1973a).

För att eliminera skaderisker har rothuggning prövats, vilket gav liten effekt. Är borttagande av ett skadegörande träd aktuellt, är det viktigt att beakta riskerna med svällning som kan uppkomma. För att minska den risken rekommenderas ett långsamt dödande av trädet genom ringbarkning, så att jorden långsamt kan rätta sig efter den ökande vattentillgången (Jaffa, 197?).

En metod som föreslagits att förhindra skador genom svällning efter avverkning av stora träd är att plantera små träd och buskar. Metoden är dock oprövad.

Det vanligaste sättet att motverka inväxning av nya rötter under grundläggningen är att göra en fysisk barriär av plåt, plast eller betong mellan byggnaden och trädet (Grahame 1973a).

Vad kan sägas om trädens rotsystem?

Ett trädets rotsystem är genetiskt bundet under ideala förhållanden. I verkligheten påverkas rötternas utbredning av en rad faktorer, t ex jordens textur, struktur och djup; tillgängligt vatten och dettas läge i förhållande till trädet; konkurrens från andra växter; närhet till vägar, byggnader och ledningar. Det är därför av litet värde att veta hur rotsystemet på ett eller två träd av en art ser ut, om generella bedömningar skall göras (Cutler 1973).

Rotsystemet utvecklas mycket oregelbundet. Utökningen av rötter sker i zonen ovanför markvattenytan. Rötterna tillväxer främst när vattentillgången är liten. Vid en specialstudie av rotsystem på snabbväxande träd fann man att 97,3 % av rotmassan fanns över 1,2 m. De djupaste hade gått ner till 3 m. Rotsystemets utbredning i plan påverkas av en rad faktorer, men som tumregel kan sägas att maximal rotlängd motsvarar 1,3 x trädhöjd (Jaffa 197?).

När en skada på en byggnad uppstått genom inväxning av trädrötter, bör man identifiera rötterna man finner under grunden.

Identifieringen görs i mikroskop på tunna tvärsnitt av rötterna. Identifiering till "familjenivå", t ex Rosacea, Salicacea osv är ganska enkel. "Släktnivå", t ex Salix (vide, pil) eller Populus (poppel) är betydligt svårare att identifiera. Artbestämning, t ex Populus tremula (asp) kan mycket sällan göras (Cutler 1973).

Om de mängder vatten som träd kan ta upp ur marken skriver olika författare.

Burn och Penner (1975):

Vissa snabbväxande trädarter, såsom popplar och sälgar kan ta upp så mycket vatten som 450 l/dag på försommaren. Under torra perioder måste stora mängder vatten tas ut ur jordens vattenmagasin och träden tvingas utöka sitt rotsystem till djupare nivåer.

Jaffa (197?):

Unga träd av popplar, pilar, askar växer mycket fort och konsumerar därigenom stora mängder vatten. De kan ta upp ca 300 l/dag.

Burn (1973):

Ca 95 % av det upptagna vattnet transpirerar åter till atmosfären. Den mängd vatten som träd transpirerar är beroende av bl a jordförhållanden, konkurrens och klimat. Vissa träd kan transpirera 225-450 l/dag på försommaren, då vattenförbrukningen är som störst (Kramer & Kozlowski, 1960).

Sammanfattande synpunkter

Stora pengar läggs årligen ned på att reparera skador, som indirekt eller direkt orsakats av träd. Det är ofta oklart vem som skall betala skadan. I vissa fall överstiger kostnaderna för att utreda ersättningsfrågan kostnaderna för att reparera huset (Grahame 1973b).

Samme författare anser att man vid byggande bör vidta följande åtgärder:

- Vidta alla tillgängliga åtgärder för att undvika byggande på olämplig grund. Hit räknas även lera, som kan svälla efter fällning av träd.
- Plantering av träd som kan medföra risk för byggnaderna skall undvikas.
- Sker plantering så risk för skador föreligger konstrueras byggnaden så att risken elimineras eller så görs en fysisk barriär i marken mellan träden och huset.

Burn och Penner (1975) sammanfattar riskerna för skador:

- Stora träd - stora vattenbehov - stora sättningsrisker.
- Snabbväxande träd - stort vattenbehov - stora sättningsrisker.
- Grupper - rader av träd - stort vattenbehov - stora sättningsrisker.

Slutligen:

Människans tillvaro i urbaniserad miljö har gjorts mer angenäm genom närvaron av träd. De är även betydelsefulla och önskvärda av många andra anledningar. Problemen med träd på leror med hög krympbenägenhet kan undvikas genom en förständig planering och plantering av långsamväxande arter (Burn 1973).

7.3 Sättningsberäkningar

7.3.1 Allmänt

Sättningar kan uppkomma av ett flertal olika anledningar. Några sådana är upptorkning i jordlagrets översta del (torrskorpebildning), omlagring av jordpartiklar genom vibrationer i marken och utpressning eller uppsugning av vatten från helt vattenfylld lera under torrskorpan (konsolidering). Varje sådan anledning kan i sin tur ha många olika orsaker.

Konsolideringssättningarna blir olika om det finns fritt markvatten i torrskorpan eller om sådant skulle saknas. FIGUR 54 visar det sättningsbildande trycket när fritt markvatten finns i torrskorpan och FIGUR 55 när det inte finns något fritt markvatten. I det första fallet får man ett teoretiskt sett gynnsammare belastningsfall, dvs sättningarna blir mindre vid t ex samma grundvattentrycksänkning.

Båda belastningsfallen (grundvattentrycksänkning med eller utan markvatten) kan förekomma på samma plats under olika årstider. Sättningar inträffar varje gång grundvattentrycket och markvattentillgången är sådana att tidigare uppnådd konsolidering överskrids, FIGUR 56.

Vår hypotes (se KAP 2) om hur träd påverkar sättningarnas storlek utgår från denna teori. Det har tyvärr varit svårt att konstatera om och under vilka tider det funnits fritt vatten i torrskorpan (se KAP 7.6).

7.3.2 Relativ skillnad i sättning mellan rör på gräsmatta och rör vid träd

Rör 6 och 7 har de lägsta torrvolymvikterna inom försöksområdet. Om man antar att rören 6 och 7 representerar de minst påverkade förhållandena sedan området bebyggdes så borde skillnader i uppmätta torrvolymvikter mellan dessa och andra rör kunna ge en upplysning om hur stor sättningsskillnaden varit mellan punkterna.

Om man också antar att förhållandena i jorden inom provområdet varit likartade kan man beräkna sättningsskillnaden enligt nedan.

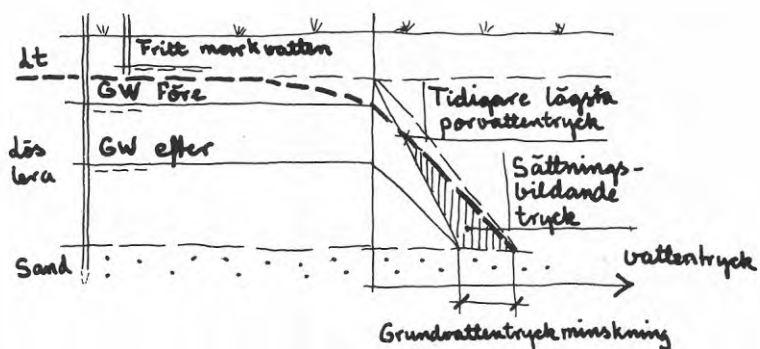


FIG. 54. Teoretisk tryckfördelning på olika djup under markytan före och efter en grundvattentrycksänkning om det finns fritt vatten i torrskorpan.

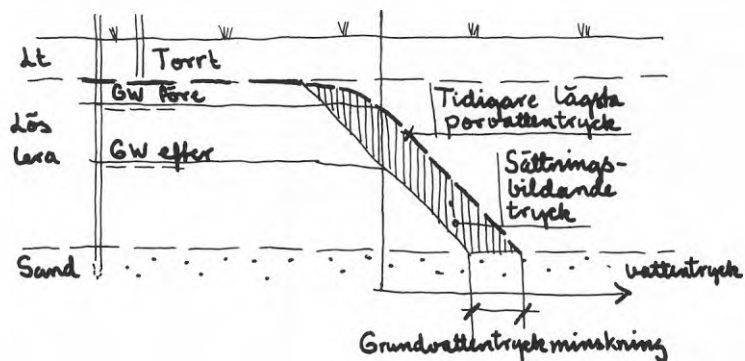


FIG. 55. Teoretisk tryckfördelning på olika djup under markytan före och efter en grundvattentrycksänkning om det inte finns fritt vatten i torrskorpan.

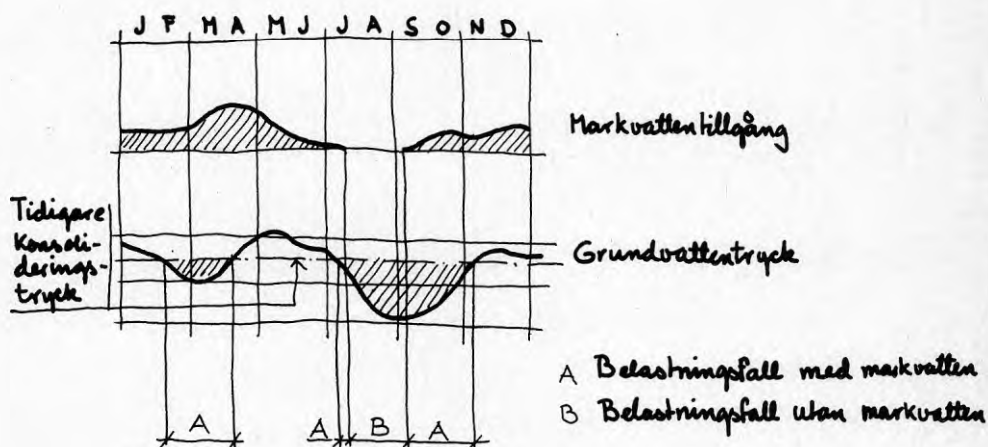


FIG. 56. Olika typ av sättningförlopp kan inträffa under olika delar av året i samma punkt (Sven Tyrén AB 1974).

Vikt I $G \left\{ \begin{array}{c} \gamma_{t_1} \\ \hline \end{array} \right\} V$ 1925	Volym 	Vikt II $G \left\{ \begin{array}{c} \gamma_{t_2} \\ \hline \end{array} \right\} V$ 1974	Volym 	I: $G = V \cdot \gamma_{t_1}$ II: $G = (V - v) \gamma_{t_2}$ $\therefore v = \frac{V \cdot (\gamma_{t_2} - \gamma_{t_1})}{\gamma_{t_2}}$
--	-----------	---	-----------	--

Eftersom volymerna V och v har samma bottenyta kommer således v att motsvara en sättning i det studerade jordlagret. Ingen utpressning av jorden i sidled antas ha förekommit.

Beräkning av den relativa sättningskillnaden har utförts på två sätt. För det första har den procentuella förändringen av torrvolymvikten för olika snitt beräknats. Denna förändring gånger lagertjockleken i snittet ger ett mått på sättningskillnaden (FIGUR 57). För det andra har den sammanlagda vikten av en jordpelare med tvärsnittet \square 0,01 m beräknats. Skillnaden i djup vid en bestämd vikt anger sättningsmättet ner till det djupet (FIGUR 58). I båda fallen har sättningsberäkningarna utförts på jorden under det distinkta sandlagret.

I den första beräkningen erhöles sättningen 0,314 m ner till 3,2 m djup. Vid den andra 0,34 m vid 3 m djup. Skillnaden under denna nivå är liten.

7.3.3 Sättnings storlek på olika nivåer

Pegelmätningarna visar att det är en skillnad i sättnings storlek på olika djup under markytan. Sättningen är störst närmast markytan och avtar mot djupet. Eftersom vi endast mäter på två nivåer i varje punkt går det inte att därur sluta sig till på vilken nivå sättningarna sker.

Försök har gjorts att ur skillnader i torrvolymvikter mellan olika punkter se var i jordprofilen man har haft sättningar. Beräkningarna har utförts på flera olika sätt, men resultatet är i samtliga fall likartat. Ett exempel visas i FIGUR 59. I detta fall har förändringen av torrvolymvikten beräknats för skikt med samma avstånd från markytan. Beräkning har också gjorts för skikt på samma nivå (+höjd), FIGUR 60, och för skikt där nivån korrigerats med beräknad sättning. I samtliga dessa beräkningar har torrvolymvikterna i rör 6 använts som utgångsvärde. Beräkningar har också gjorts där porvolymen i olika skikt jämförts. Resultatet har lagts in i ett diagram med avstånd från träd på horisontell axel och djup under markytan på vertikal axel.

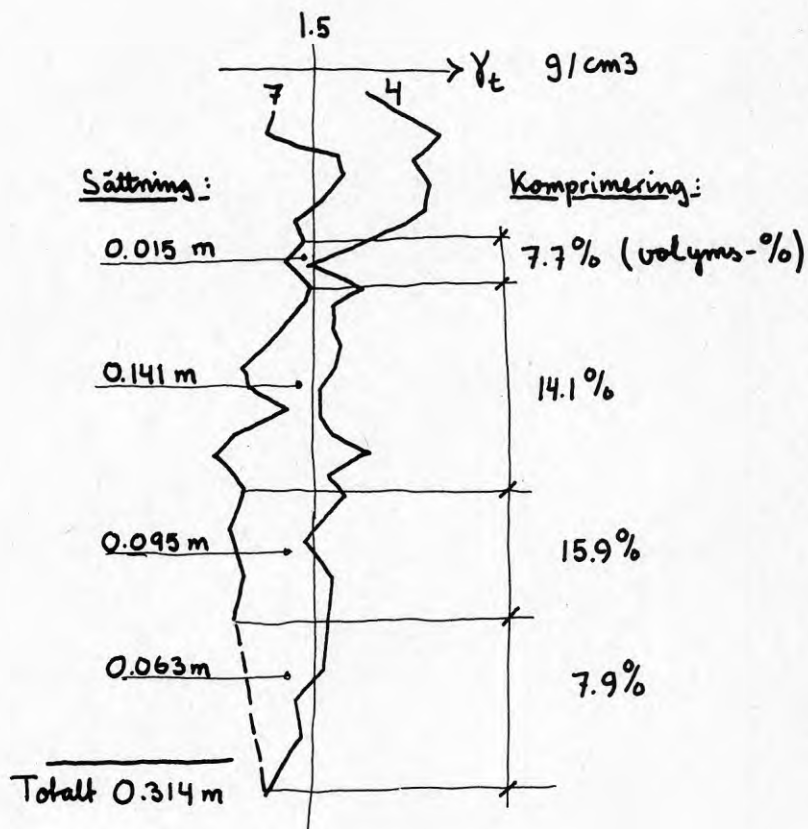


FIG. 57. Beräkning av sättning mellan rör 7 och 4 genom jämförelse av torrvolymvikter på olika nivå.

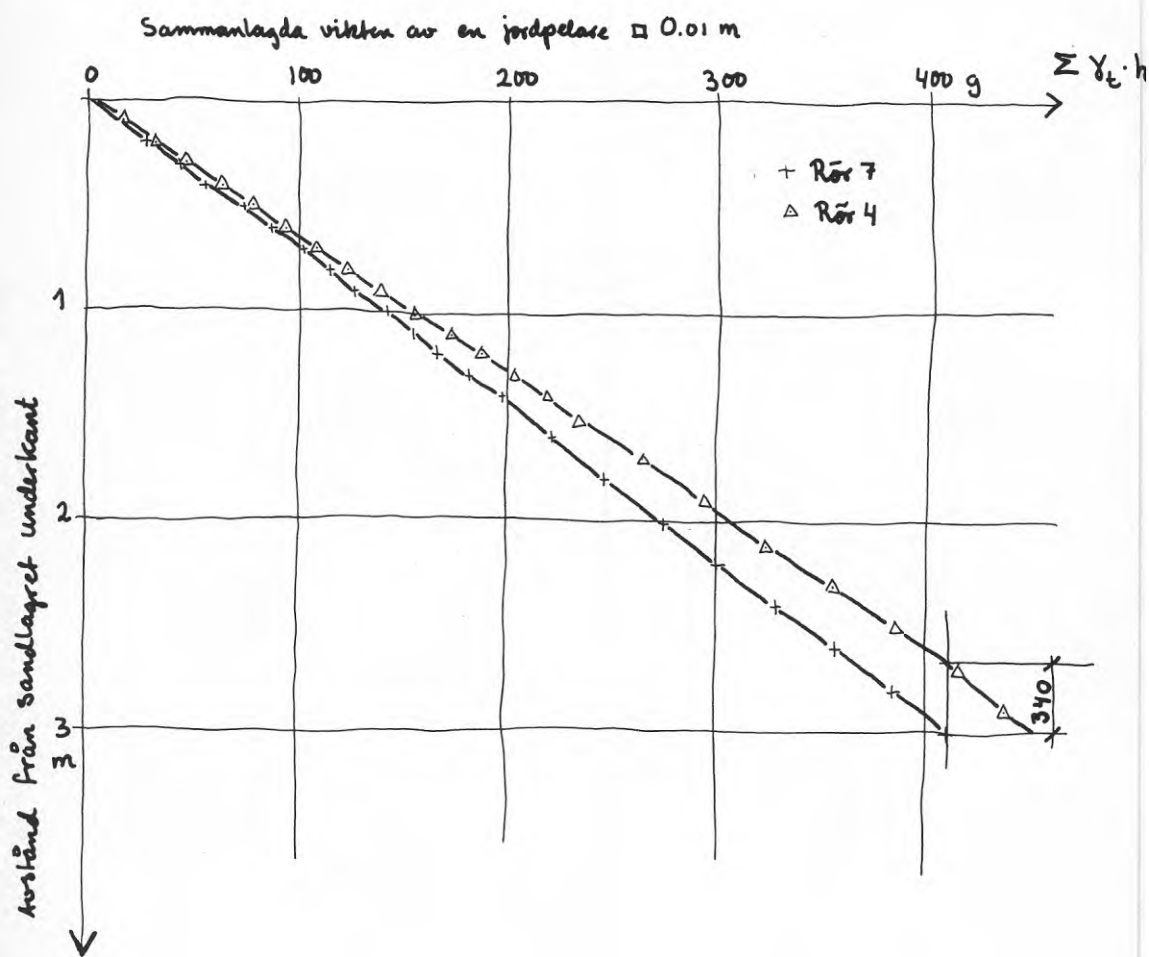


FIG. 58. Beräkning av sättningsskillnad mellan rör 4 och rör 7 genom jämförelse av en jordpelares tyngd.

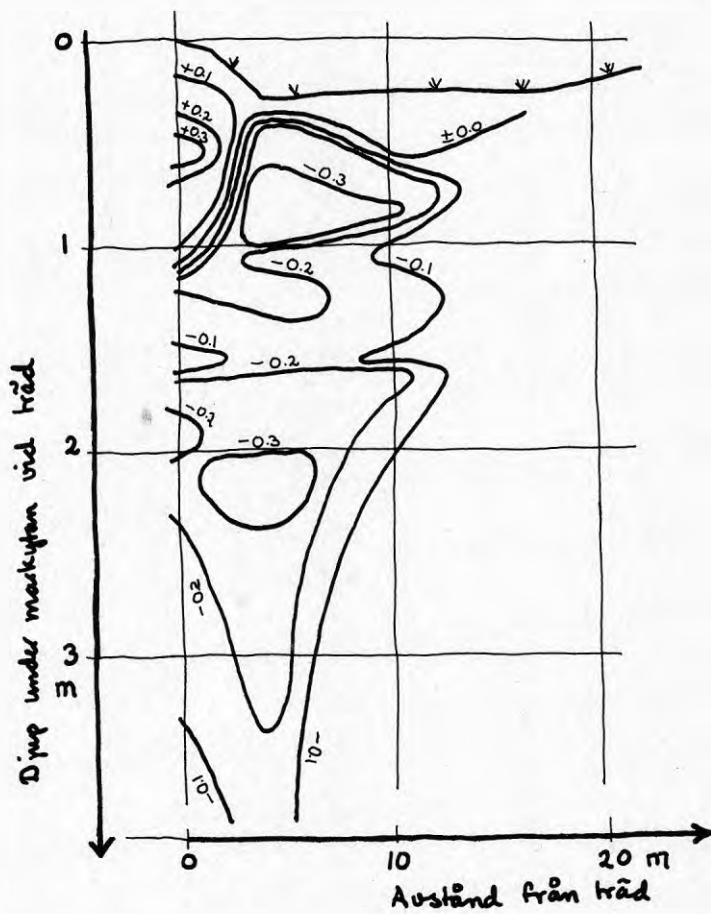


FIG. 59. Skillnaden mellan Y_t i rör 6 och Y_t i rör närmare träd i absoluta tal. Jämförelsen är gjord på snitt parallella med markytan.

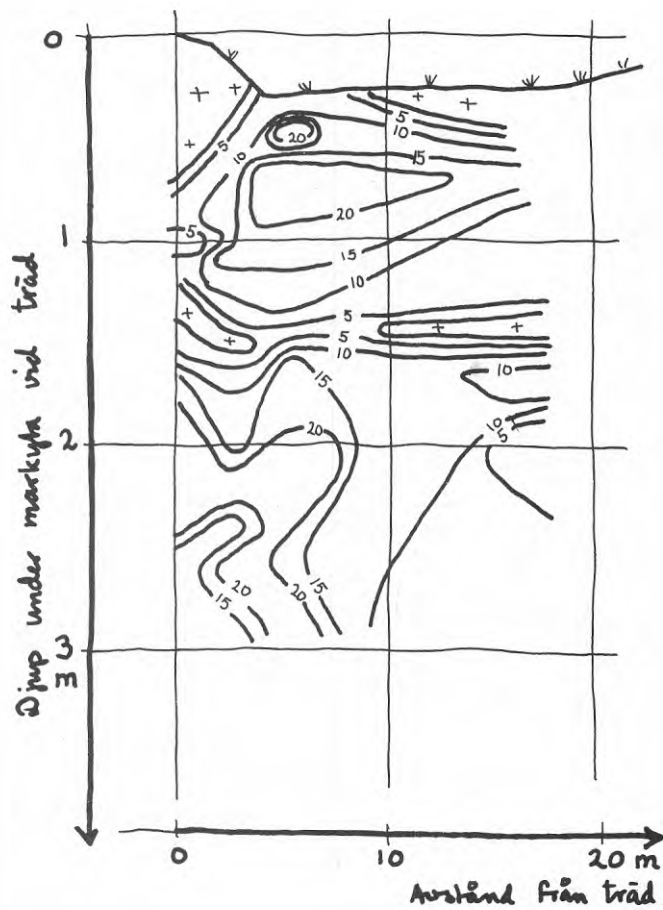


FIG. 60. Skillnaden i procent mellan Y_t i rör, 6 och rör närmare träd. Jämförelsen gjord på snitt med samma +höjd (nivå).

Man ser en klar zonindelning mot djupet. Överst mot markytan finns en zon där torrvolymvikterna är lägre närmare trädet än på gräsmattan. Denna zon är närmast trädet ca 0,8 m djup och vid rör 4 (4 m från trädet) ganska obetydlig men ökar sedan åter till 0,4 å 0,5 m. Under denna zon har det skett en komprimering av jorden med upp till 20 %. Sammanpressningen har varit störst 4 - 6 m från trädet. Den kompakterade zonen sträcker sig ner till ca 1,5 m djup. Därunder följer en tunn zon där det inte skett någon kompaktering och där det i vissa beräkningar har skett en minskning av torrvolymvikten. Under denna zon finns en kompakteringszon där isolinjerna kilformigt närmar sig varandra mot djupet kring rör 4.

Ett annat sätt att redovisa denna zonuppdelning visas i FIGUR 61. Här har längden av en jordpelare med konstant bottenyta (1 cm²) och konstant vikt (1 g) ritats upp för mätta torrvolymvikter i rören 4 och 6. Sammanpressningens storlek på olika nivå representeras av skillnaden mellan kurvorna. Även i detta diagram syns att det på ca 1,5 m djup är en mycket liten skillnad mellan kurvorna. Denna midja finns på den nivå där luftinnehållet i jorden markant avtar mot noll.

En förklaring till denna zonindelning av volymviktsförändringarna är att det skett en markant rotutveckling vid trädet närmast markytan som medfört att man fått en minskning av torrvolymvikten (trädrötter har lägre torrvolymvikt än jord). I zonen ner till 1,5 m djup (den primära torrskorpan) har det sedan skett krympning av jorden på grund av direkt vattenupptagning av växtrötter. Under den primära torrskorpan har en sekundär torrskorpebildning skett genom kapillärkrafter (läskapperseffekt).

7.3.4 Sättningar i mark och hus

En av de hypoteser som detta forskningsprojekt skulle testa var att träden orsakade en olika upptorkning av jorden under olika delar av husets grundläggning. Snedsättningen i husen skulle till stor del bero på att jorden var olika upptorkad (KAP 2).

Mätningarna visar att det inte är någon så markant skillnad mellan rör "nära träd" och rör "långt från träd" kring huset, FIGUR 43 och 45. Skillnader i torrvolymvikter alldeles under grundläggningsnivån kan endast förklara en del av sättningsskillnaderna mellan husets olika delar. Skillnaden mellan torrvolymvikter alldeles under grundläggningsnivån (ca 1,8 m) och motsvarande nivåer "på gräsmattan" motsvarar en sättning på ca 30 mm. Den ökade belastningen på jorden på grund av husets vikt bör ha medfört en initialsättning på ett par cm alldeles under grundläggningsnivån och givit volymviktsskillnader av samma storleksordning. Jfr KAP 4.5.3.

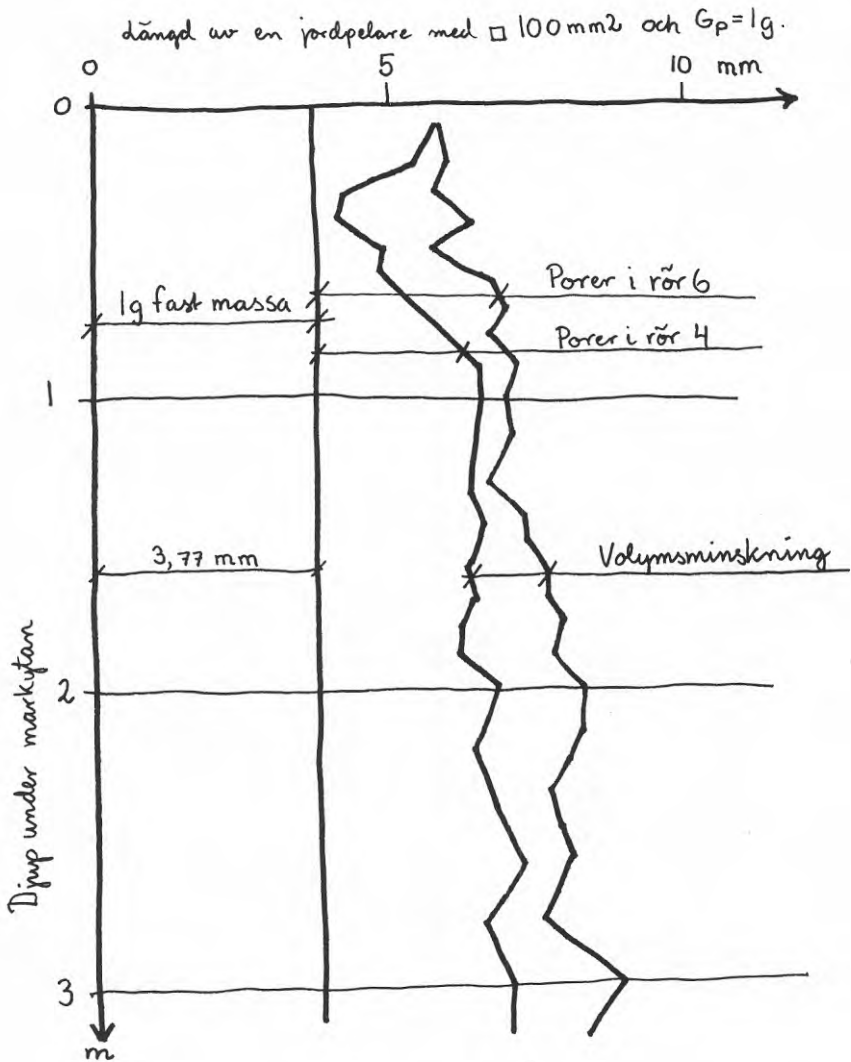


FIG. 61. Jämförelse av längden av en jordpelare med bottenytan 100 mm^2 och fast massa med vikten 1 g vid rör 4 och rör 6.

Huset har trots dessa små skillnader i vattenhalten och torrvolymvikten sättningskillnader på mellan 50 och 100 mm.

Skillnaderna i sättning mellan husets olika delar kan ges några hypotetiska förklaringar.

1. Det har varit högre vattenhalter och lägre torrvolymvikter på den plats där huset byggdes än på gräsmattan eller mellan olika delar av jordgrunden under huset. Dessa skillnader har på grund av trädens vattenupptagning utjämnats.
2. Sättningen har skett i jorden under vår lägsta mätpunkt (3,6 m under markytan).
3. Det har skett sidopressning av lera.

Något stöd för någon av dessa förklaringar får man inte av gjorda mätningar. I viss mån talar resultaten av laboratoriebestämda vattenkvoter på 2-4 m djup våren 1976 mot förklaring 2. Även pegelmätningarna kring huset talar mot denna förklaring. Det är lägre vattenhalter djupare ner i profilen inom området kring huset som inte visat tendens till sättning. Möjligen kan detta leda till att förklaring 1 kan vara riktig. Området vid "trädgårdssidan" av huset kan ha varit mer konsoliderat än området "mot gatan" redan innan huset byggdes. Det finns dock tecken som kan tyda på att det förekommer jordförflyttning i sidled inom försöksområdet. Det har skett en ganska stor volymviktsminskning (= porvolymökning) på ca 2,5 m djup i rör 5 samtidigt som vattenhalten minskat kraftigt. Dessutom har rör 4 troligen knäckts en aning på ungefär samma nivå. (Mätsonden för gammastrålning går inte längre att skjuta ner mer än till ca 2,4 m djup. Sedan fastnar den. Neutronsonden, som har något större "glapp" mellan rör och sond, går ner ända till rörets botten.)

Sensommaren 1975 satte sig det nordöstra hörnet av huset (hörnet närmast rör 9). En ganska tydlig ökning av torrvolymvikterna finns alldeles under grundläggningsnivån. Ökningen motsvarar en sättning på ca 40 mm mellan 1,8 och 2,6 m under markytan. Under nivån 2,6 m under mark är ökningen av torrdensiteten ungefär lika stor för samtliga rör vid huset.

Mätningarna 1976 visar att jordens torrvolymvikt minskat alldeles under grundläggningsnivån (1,8-2,2) i rör 8 och 9 (utmed gatan). Under denna zon på 0,3 - 0,4 m ökar åter torrvolymvikterna. Vid röret 10 (på trädgårdssidan) ökar torrvolymvikterna ända från grundläggningsnivån.

7.3.5 Avvägning av fasadbeklädnadens underkant

Vid två tillfällen (1974-08-20 och 1975-10-06) har underkanten av husets fasadbeklädnad (asbestcementplattor) avvägts. Resultatet av avvägningarna framgår av FIGUR 62.

Avvägningarna ger en bild av hur överstommen i huset lutar och hur lutningen förändrats mellan mätningarna. De visar i och för sig inte hur stora sättningarna i grunden är, men ger ett begrepp om hur dessa sättningar påverkat våningsplanen i huset. Det var 1974 en tydlig springa (några cm) mellan bjälklagssyll och grundmur vid det västra hörnet mot gatan. Under sensommaren 1975 "ramlade" även det östra hörnet mot gatan ner.

Överstommen har till viss del följt med sättningen av grundmuren i västra gatuhörnet. Sättningskillnaden mellan de båda hörnen mot gatan var 1974 ca 40 mm och 1975 ca 55 mm. I det östra hörnet mot gatan bär överstommen fortfarande. Det är en springa mellan grundmur och bjälklagssyll.

Av FIGUR 62 framgår också att det skett en allmän "sättning" av hela huset på ca 15 mm under 1974-75. Störst är "sättningen" längs husets västra fasad och västra delen av trädgårdsfasaden (inklusive verandan). Här är "sättningen" mellan 30 och 40 mm.

Det kan möjligen vara så att den observerade skillnaden i överstommens "sättning" beror på att den har "tippat" över åt sydväst. Stommen följer grundmuren längs detta fasadavsnitt och "lättar" då genom sin inbyggda styvhet från det östra gatuhörnet.

7.3.6 Avvägning av det distinkta sandlagrets underkant

Det i det närmaste rena mellansandslager som finns inom försöksområdet på ca 0,60 m djup är av en sådan typ att man måste anta att det avsatts i vatten genom utsvallning från Stockholmsåsen. Man kan också anta att havsbotten i detta läge nära dalgångens centrum bör ha varit i det närmaste horisontell. Om man nu utgår från dessa antaganden så borde variationer i sandlagrets underyta indikera sättningskillnader i jorden under sandskiktet.

En jämförelse mellan avvägda nivåer på sandlagrets underyta visar att den ligger på ungefär samma nivå i hela området väster om huset. Största skillnaden är ca 30 mm. I området mellan Tistelvägen 20 och Tistelvägen 22 är skillnaderna däremot ca 200 mm (FIGUR 63).

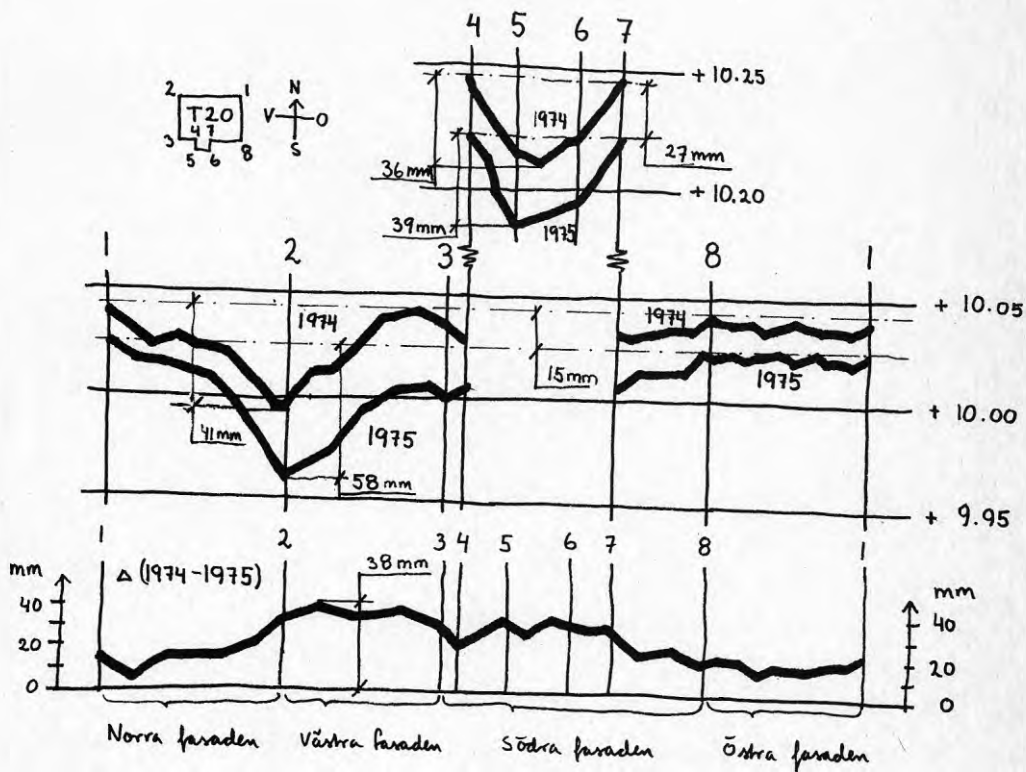


FIG. 62. Nivåer på fasadbeklädnadens underkant uppmätt hösten 1974 och 1975 samt i absolut skillnad mellan mätningarna.

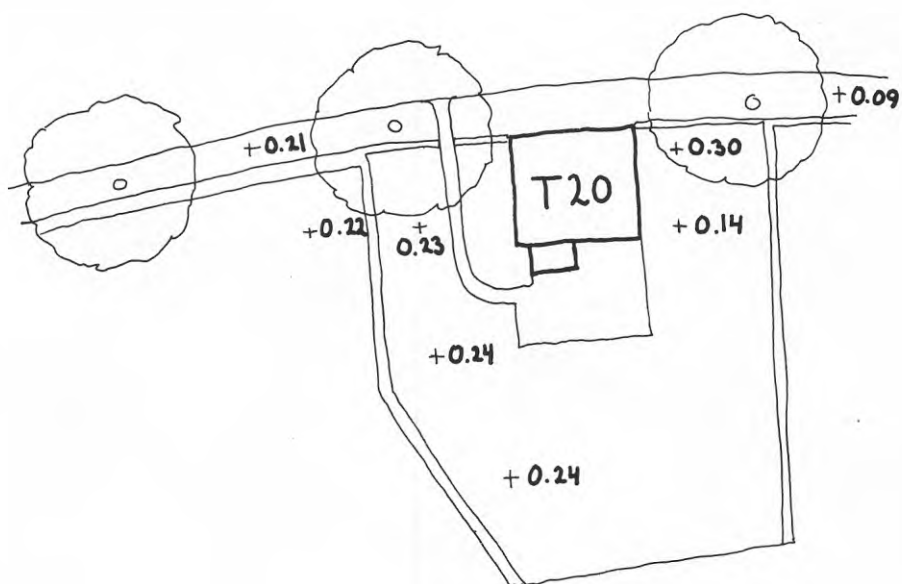


FIG. 63. Nivån på det distinkta sandlagrets underkant.
(Relativ nivå!!).

7.3.7 Diskussion

Sammanställer man data från pegelmätningar och olika typer av beräkningar är det svårt att få en klar bild över vad som hänt inom området.

- Att det skulle varit en sättningskillnad på i runt tal 0,3 m mellan "gräsmatta" och "träd/gata" strider mot det faktum att sandlagret i de båda punkterna ligger på ungefär samma nivå.
- Att huset satt sig ca 50 mm mer längs gatufasaden strider mot uppmätta/skillnader i volymvikter och vattenhalter.
- Sättningarna vid det träd som bevattnas är större än vid det träd som inte bevattnas både "i markytan", "i torrskorpan" och "under torrskorpan".
- Det finns tecken som kan tolkas som sidoförflyttning av jord (rör 4 och 5).

Dessa vid första påseendet motstridiga fakta kan tyda på att vårt antagande att jorden inom området är att betrakta som likformig är fel. Olikheter i jordprofilen inom olika delar av området kan vara en förklaring till de stora beräknade sättningarna. Framförallt med tanke på att sandlagret i jordens ytlager är i det närmaste horisontellt. Det kan ha skett omlagringar och konsolideringar innan sanden avsattes. De omlagrade zonerna kan senare ha inverkat dränerande på omgivande lera, vilket i sin tur ytterligare förstärkt skillnaderna i konsolidering.

7.4 Bevattning av träd

7.4.1 Allmänt

Under försommaren 1974 och sommaren och hösten 1975 bevattnades flertalet träd längs Tistelvägen. Avsikten var att man därigenom skulle minska risken för skadande sättningar.

Tanken bakom bevattningen var inte att tillföra träden vatten för transpiration utan att tillföra marken så mycket vatten att en fri markvattenyta kunde upprätthållas i jorden vid träden. Därigenom skulle man försäkra sig om gynnsammaste belastningsfall (se KAP 7.3).

7.4.2 Bevattningen 1974

1974 bevattnades träden (även de som ingår i mätserien) med sammanlagt ca 3 m³/träd vid tre tillfällen under slutet av juni månad. Den 16-17 juni tillfördes i genomsnitt 1,4 m³, den 24 juni ca 1,2 m³ och

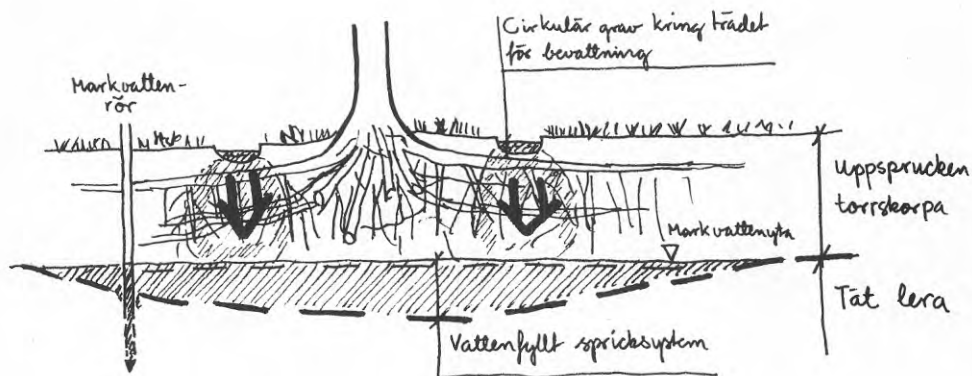


FIG. 64. Modell för torrskorpebildning som användes som underlag för bevattningsförsök 1974.

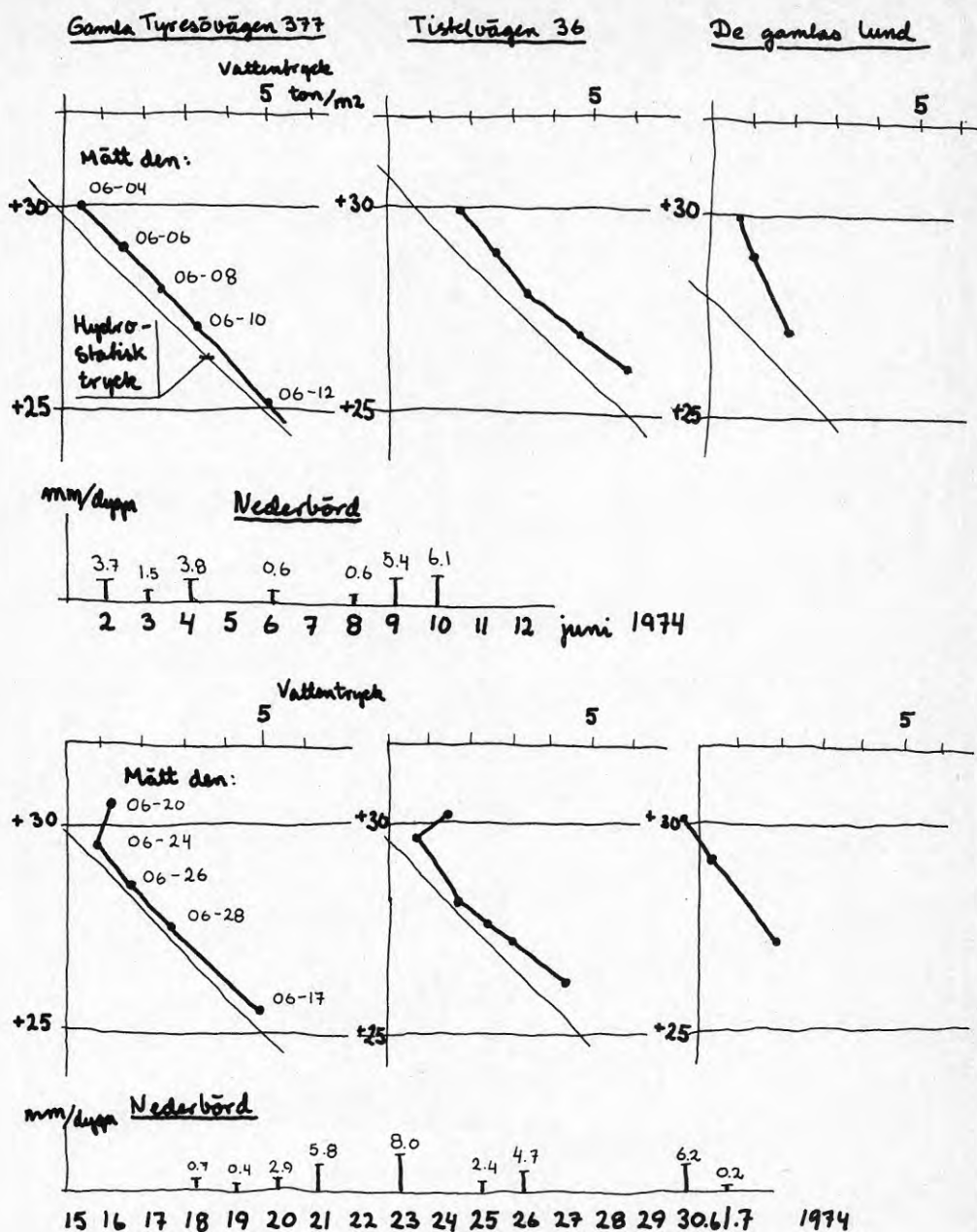


FIG. 65. Provvattentrycket på tre punkter i Enskededalen den 4.6 - 12.6 och 17.6 - 1.7 1974.

den 28 juni ca 0,5 m³ per träd.

Idén var att "fylla upp" vatten i den "grop" i leran som den större torrskorpan vid träd utgjorde. Vi hade den uppfattningen att torrskorpebildningen vid träd skulle ha medfört att jorden spruckit upp djupare närmare trädet än på längre avstånd från det. Man skulle alltså enkelt kunna fylla upp detta sprick-system med vatten och sedan med enkla medel kunna hålla en "konstant" vattenyta. FIGUR 64.

Vattningen skedde i en grund bevattningsgrav runt trädstammarna.

I samband med bevattningen sattes tre markvattenobservationsrör med filterspets för att mäta när man erhållit en fri vattenyta i torrskorpan. Tanken var att bevattning av träden skulle ske innan markvattenet "tog slut" i rören. Trots de stora vattenmängder som tillfördes kunde fritt vatten endast observeras i ett av rören (151). I detta rör uppehölls en vattenyta under den tid då bevattningen pågick, men redan ca en vecka efter sista bevattningen (07-03) var röret åter torrt.

Bevattningen avbröts efter de tre bevattningstillfällena eftersom sommaren sedan blev regnig.

7.4.3 Resultat 1974

Vilken effekt hade då bevattningen? Vad gäller den fria vattenytan i torrskorpan kan man, som framgår ovan, tydligen inte lokalt uppehålla en sådan, inte ens med så stor vattenmängd som 3 m³ på 12 dagar. Detta trots att den "fria" porvolymen [totalvolym - (volym fast massa + volym vatten)] på de djup där en fri vattenyta senare under mätperioden utbildas är mindre än 5 % (vanligen ca 1 %). Tre m³ vatten borde således kunna höja den fria vattenytan 1 m inom en area av betydligt mer än 60 m² (1 % motsvarar 300 m²).

Någon stor magasinering av vatten i jorden i torrskorpan kan inte observeras i mätningarna av markvattenhalter. Mätningar gjordes före (06-06) och efter (07-04) bevattningarna. I rören 1 och 3, som står nära bevattnade träd, ligger vattenhalterna efter bevattningen lägre än före bevattningen genom hela mätprofilen ner till ca 3,6 m.

Vid bevattningstillfället var jorden under själva ytlagret ganska vattenmättad. Den kan därför inte ha bundit särskilt mycket vatten inom fältkapaciteten. Trädens vattenupptagning mellan bevattningen och mätningen 07-04 kan inte ha varit så stor att hela vattenmängden transpirerats bort. Det troligaste är därför att största delen av tillfört vatten runnit bort som markvattenflöde.

7.4.4 Portrycksförändringar

Visst stöd för denna teori får man när man studerar resultatet av porvattentryckmätningar som av en händelse pågick samtidigt inom området. Två av mätpunkterna vid denna mätning ligger i närheten av bevattnade träd (10 och 45 m från träden), den tredje inom en helt annan del av bebyggelseområdet.

Porvattentryckmätningarna utfördes med mätare typ svängande sträng. Avläsning och beräkning av porvattentryck gjordes efter ca två dagar på varje nivå. Portryckmätningar utfördes alldeles innan bevattningen gjordes (06-04 till 06-12). Av FIGUR 65 ser man att portrycket vid första mätningen vid samtliga tre mätpunkter ligger på en i det närmaste rät linje, vilken skär nolltryck-axeln mellan det hydrostatiska tryckets nollpunkt och markytan. Hydrostatiska trycket representeras av ett interpolerat värde för grundvattentrycket i friktionsjorden under leran. Interpolering har gjorts mellan närliggande grundvattenobservationsrör.

Porvattentryckkurvans utseende antyder att det vid mättillfället fanns ett magasin av fritt vatten i torrskorpan.

Vid den senare mätperioden visar porvattentrycket en markant påverkan i mätpunkterna i närheten av träd (1 och 2). Främst på den översta mätnivån, men även på den andra från markytan räknat har portrycket ökat. Undre delen av kurvorna för punkterna 1 och 2 har "vridits in" mot den hydrostatiska trycklinjen. Kurvan från mätpunkten utanför bevattningsområdet (3) har i hela sin längd denna senare tendens.

Mätresultaten kan tolkas så, att det under tiden mellan mättillfällena har skett en utarmning av magasinet fritt markvatten i torrskorpan, men att det 06-20 vid mätpunkterna 1 och 2 åter tillförts så mycket vatten i torrskorpan att portrycket på de två översta mätnivåerna påverkats.

Nederbörden strax innan 06-20 var inte så stor att den skulle kunna medföra en så markant höjning av porvattentrycket i den översta delen av leran. Eftersom inte heller mätpunkt 3 visar någon porvattentryckhöjning är den troligaste förklaringen den att bevattningsvattnet runnit ut i en våg från bevattningspunkterna och brett ut sig inom ett stort område. Jordens horisontella genomsläpplighet i den uppspruckna torrskorpan är avsevärt mycket större än den vertikala i jorden under. Jordens skiktning med sand- och moskikt i leran ger också en större horisontell genomsläpplighet än vertikal djupare ner i profilen.

7.4.5 Bevattning 1975

Resultaten av bevattningsförsöket 1974 ledde till en diskussion med Stockholms kommuns parkavdelning om hur bevattningen borde utföras för att tillfört vatten skulle få avsedd effekt.

Vi var eniga om att en bevattning med stora kvantiteter med långa tidsintervaller inte var någon bra lösning. Bevattningen borde i stället utföras så att porvatten tillfördes med små tidsintervall. Därigenom borde en vattenströmning kunna upprätthållas så att man inte fick "sämre" belastningsfall vid de hörn av husen som står nära träd och vid de hörn som står på längre avstånd därifrån.

Mätningarna av torrvolymvikter hösten 1974 hade visat att den modell som vi använt vid 1974 års bevattningsförsök var felaktig. Det finns ingen "grop" i torrskorpan orsakad av träden. Snarare är jorden tätare nära träd än mitt på gräsmattan. Jorden har därför mindre magasin för fritt vatten och lägre genomsläpplighet vid träd. Tillförs stora mängder vatten kommer detta "att rinna av" den förtätade "kulle" som torrskorpebildningen medfört. Den horisontella avrinningen underlättas också av genomsläppliga skikt, t ex sandlagret på ca 0,6 m djup, FIGUR 66.

Bevattningen utformades så att tre hål borrades med jordborr ner till ca 1,5 m djup vid varje träd. I hålen skulle sedan ett plaströr föras ner, varefter rören skulle fyllas med singel. Rören skulle leda ner vattnet under det markerade sandskiktet på ca 0,6 m djup. Varje träd skulle sedan tillföras ca 100 - 200 l vatten/dygn i lugn takt. Detta skulle göras 2 - 3 gånger per vecka under sommaren.

Tyvärre sattes inga rör ner utan hålen fylldes direkt med singel. Inte heller kunde samtliga träd bevattnas på detta sätt. Vid tre träd "kom man inte ner" med jordborren. Dessa träd bevattnades sedan inte heller. Övriga fick mellan 600 l och 70 l per dygn. Bevattningen startade omkring 15 juni med 2-3 gånger per vecka. Fr o m mitten av juli gjordes bevattningen varje arbetsdag på grund av den intensiva torkan. I mitten av augusti drogs vattningen åter ner till 2-3 gånger per vecka. Vattningen upphörde helt i slutet av september.

7.4.6 Resultat 1975

Några tydliga resultat av 1975 års bevattning kan inte utläsas av mätresultat eller direktobservationer i området. Sättningar och skador på hus har förekommit. Man kan dock inte vara säker på att dessa skador inte skulle varit ännu större om inte bevattningen utförts.

Det är svårt att ur mätningarna finna belägg för att

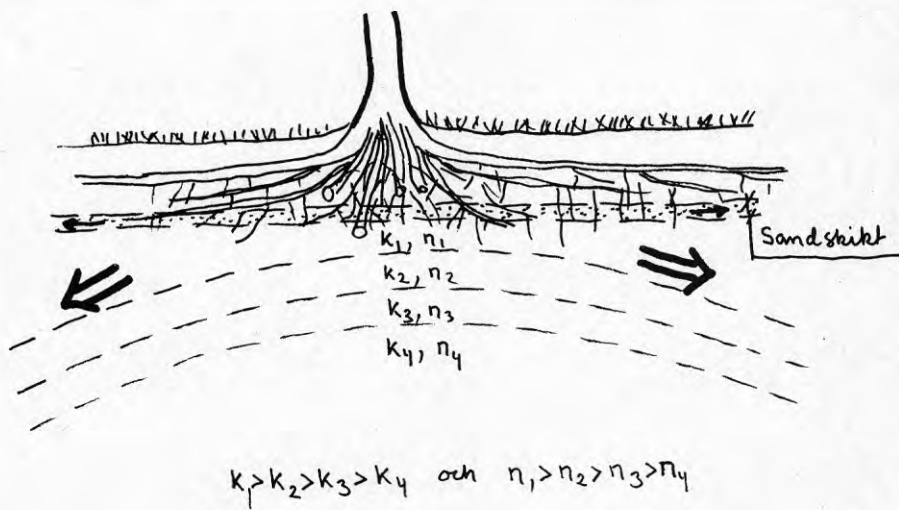


FIG. 66. Reviderad modell använd för 1975 års bevattningsförsök.

bevattningen med ca 180 l per gång vid trädet vid rör 9 haft någon avgörande effekt. Sättningarna vid pegelparet vid detta träd är större både i och under "torrskorpan" än vid pegelparet vid andra sidan huset Tistelvägen 20, vilket inte bevattnats. Förändringen i vattenhalter är likartad eller större i rör 9 (närmast bevattnat träd) än i t ex rör 1 och 3 vid träd som inte bevattnats. Ett undantag finns; på nivåerna mellan 0,5 och 1,0 m har vattenförändringen 1975 varit betydligt mindre i rör 9 än i rör 1 och 3. 1974 var förändringarna på motsvarande nivåer likartade eller t o m något större i rör 9 än i de båda andra rören.

Det tycks således som om vattnet efter bevattningen "stannat kvar" på nivåerna dit det förts genom de borrhålen. Vidare perkolation i jordprofilen tycks ha varit svag, eftersom vattenhalterna på djupare nivåer sjunkit på samma sätt som i rör vid träd som inte bevattnats.

Resultatet av bevattningen 1975 var inte så bra att man från kommunens sida såg det möjligt att på detta sätt motverka fortsatta skador på hus. Bevattning av träd kunde inte ses som ett alternativ till en fällning av dem. Träden fälldes därför i början av maj 1976, se KAP 8.7.

7.5 Trädtekt

7.5.1 Allmänt

Almarna som stod längs Tistelvägen har efter fällningen i maj 1976 åldersbestämts. Den årsvisa tillväxten har uppmätts.

Uppmätningarna har gjorts på samtliga 12 träd som stod i gräsytan mellan husen och vägbanan på vägens södra sida. Träden har numrerats från 1-12 med början från öster. Träd nr 1 stod i hörnet mot Skattmästarvägen och träd nr 12 i hörnet mot Gamla Tyresövägen. Tillväxten har studerats på snitt av de nersågade träden, taget ca 1 m ovan markytan.

7.5.2 Mätresultat

Trädens ålder varierar något. På samtliga träd kan årsringarna följas till 1930 eller åren däromkring. Träden planterades förmodligen ut i området 1931 - 1932, vilket kan tolkas genom att tillväxten avstannat i ett par år efter 1932. Det är mycket vanligt att växter reagerar på detta sätt för den "chock" som de utsätts för när de flyttas från plantskolan till den nya växtplatsen.

Under de ca 45 år som träden växt vid Tistelvägen har

de enskilda individerna tillväxt olika. Stamomfånget i brösthöjd varierade mellan 140 cm och 220 cm. Variationen i höjdtillväxt var inte så stor. Samtliga träd var ca 20 m höga. Alla träd har utsatts för liknande beskärningar, vilka främst bestått av grengallringar. Krondiametern var 7-10 m.

De enskilda individernas tillväxt följer ett någorlunda likartat mönster. FIGUR 67. De har en mycket svag tillväxt 3 - 4 år efter planteringen. Därefter ökar tillväxten markant. Under 1940-talet, när träden är 10 - 25 år, var tillväxten störst. Årsringarna är upp till 15 mm breda under den perioden. Tillväxten minskar sedan under 1950- och 1960-talen till en relativt konstant nivå. I slutet av 1960-talet sker en ny tillväxtökning hos vissa träd.

7.5.3 Diskussion

Under samtliga mer homogena tillväxtperioder förekommer "plus-år" och "minus-år" orsakade av klimatiska faktorer. Vid en jämförelse mellan temperatur - nederbörd och tillväxten per år finner man att högsta procenten "plus-år" uppträder när både medeltemperaturen och medelnederbörden är högre än normalt. I övrigt tycks hög temperatur under vegetationsperioden ha större betydelse för stor tillväxt än en hög nederbörd. Eftersommaren och hösten har stor betydelse för nästkommande års tillväxt. En varm höst gynnar knoppsättning och avmognad. Tillförs jorden också rikligt med vatten under hösten - vintern, så har vegetationsperiodens nederbörd mindre betydelse. Finns inte detta samband och nederbörden blir under normalmedeltalet och temperaturen hög, så avspeglas detta ofta i år med liten tillväxt. 1956 var ett markant dåligt tillväxtår. Detta år var både temperaturen och nederbörden under normalvärdena. Sommaren innan hade dessutom varit mycket torr och varm, medan hösten var normal. De dåliga betingelserna under vegetationsperioden 1956 förstärktes troligen av torkan under 1955.

Förutom klimatiska faktorer kan andra faktorer som påverkar vattenbalansen i jorden tänkas inverka på trädens tillväxt. De faktorer av denna typ, vilka kan tänkas ha spelat någon roll vid Tistelvägen är bl a asfaltering av gator och bortledning av ytvattnet samt nedläggning av dagvattenledning i Tistelvägen.

Asfaltering av gatorna gjordes under 1940-talet och samtidigt ordnades med bortledning av ytvattnet. Det är mycket osäkert om den tillväxtminskning som sker i slutet av 1940-talet och början av 1950-talet är en reaktion på den minskade mängd vatten som tillförs träden genom asfalteringen och bortledning av ytvattnet. Det kan också vara en naturlig reaktion eller vara betingat av andra faktorer.

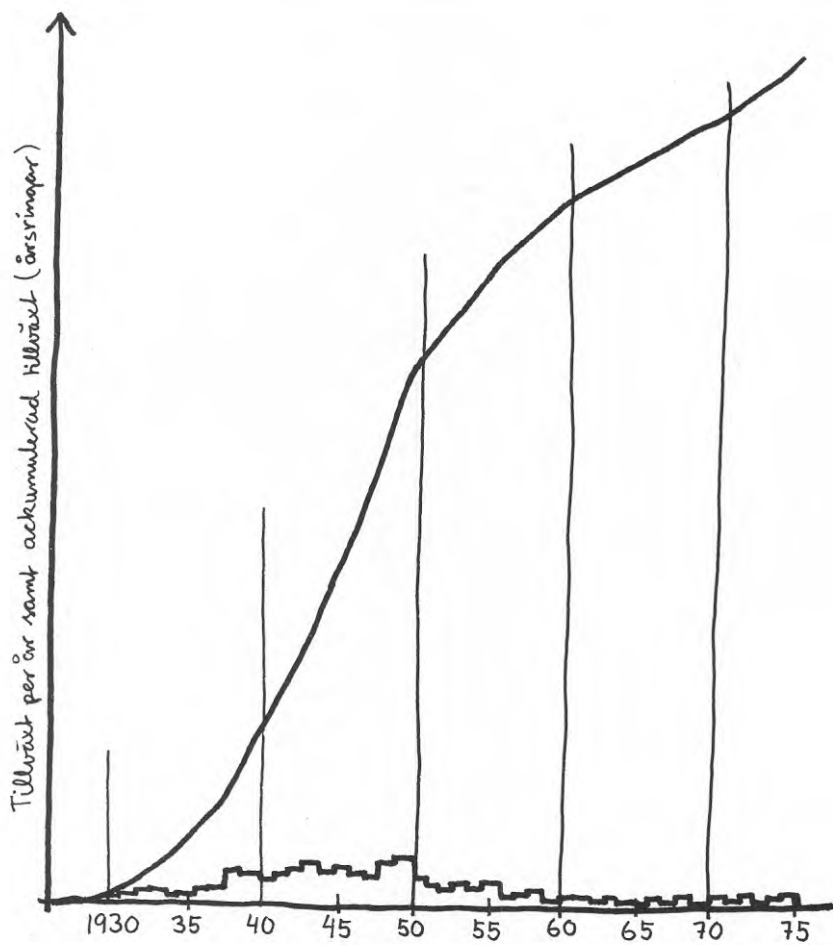


FIG. 67. Tillväxt per år och ackumulerad tillväxt för träd 11 vid Tistelvägen 20.

I början på 1960-talet lades en dagvattenledning ner i Tistelvägen. Denna åtgärd har troligen medfört att jorden under den nivå där träden tar upp vatten avdränerats. Träden kan då tänkas reagera så att de ökar i tillväxt därför att större jordvolym kan genomrotas när vattenmättade lager dräneras. Detta kan motverkas av skador på rotsystemet vid grävningssarbena. Inga entydiga förändringar i tillväxten i samband med dagvattenledningens nedläggande har kunnat konstateras, men jämfört med 1950-talet och 1970-talet är tillväxten under 1960-talet lägre.

Orsaken till den tillväxtökning som sker hos vissa träd under slutet av 1960-talet har inte heller kunnat fastslås. Det har varit en något högre medeltemperatur, men samtidigt har nederbörden legat under normalmedeltalet. Möjligen kan de ovan omtalade dräneringseffekterna ha spelat en viss roll.

Träden kan kanske ha utökat sitt rotsystem till delar av jordprofilen där de tidigare inte hämtat sitt vatten för att kompensera den låga nederbörden. Förhållandena i rotzonen har förbättrats genom dräneringen, vilket gör att vatten- och näringsupptagning underlättas.

I litteraturen (Mitscherlich, 1971) anges att det efter en dränering av jorden eller en sänkning av grundvattnet vanligen dröjer några år innan en ökning av tillväxten börjar. Först måste rötterna anpassa och utveckla sig till de nya omgivningsförhållandena. Ibland sker också en mindre tillväxtminskning alldeles efter ett dräneringsföretag genom att rötter skadas. FIGUR 68 visar den årliga tillväxten (årsringsbredden) för tallar före och efter ett dräneringsföretag. Ökningen varade 5 - 7 år, varefter tillväxten stabiliserades.

Om klimatets påverkan av tillväxten det enskilda året skriver samme författare att det är främst temperaturen på våren (maj - juni) som i kombination med värme i augusti året innan leder till hög tillväxt.

Högt grundvattenstånd anges också minska tillväxten. FIGUR 69 visar hur avståndet från ett dräneringsdike påverkar tillväxten. Andra undersökningar visar att denna tendens är allt mer påtalad ju magrare jorden är på växtplatsen.

7.6 Fritt vatten i marken

7.6.1 Allmänt

En av utgångspunkterna för detta forskningsprojekt var att undersöka hypotesen att trädens vattenupptagning påverkar mängden fritt vatten i torrskorpan (hypotes 2 b, KAP 2), så att man under vissa tider

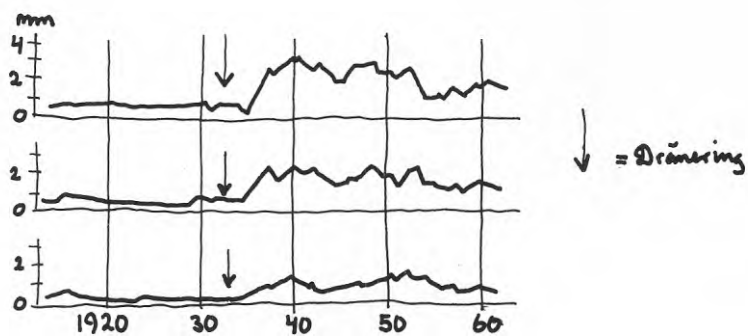


FIG. 68. Tillväxt (årsringar) före och efter dränering av tallbestånd i Norge (Haveraaen 1969).

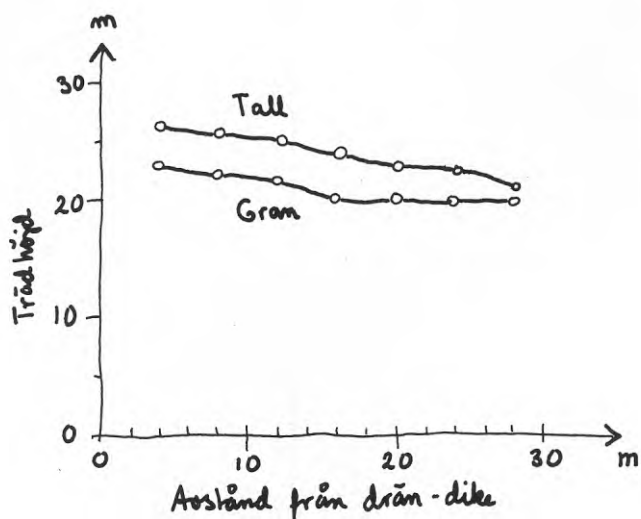


FIG. 69. Höjden på 80-åriga bestånd av gran och tall på olika avstånd från dräneringsdiken (Tyskland) (Künstle 1962).

får olika sättningförlopp vid träd (utan fritt vatten) och i områden utan träd (med fritt markvatten). Den teoretiska bakgrunden till detta resonemang finns i KAP 7.3.2.

7.6.2 Tolkning av vattenhaltskurvor

Att utröna om det finns fritt vatten i jorden är ett viktigt mätproblem för att testa den uppställda hypotesen. När detta projekt planerades utgick vi från att detta skulle kunna ske genom jämförelse av vattenhaltskurvor från olika tidpunkter. "Grundvattenytans" läge skulle kunna tas fram genom studium av porvolym och aktuell vattenhalt (jämför t ex Andersson 1972). FIGUR 70.

Mätningarna visade att detta inte gick. Jorden var inte helt vattenfylld under en nivå som kunde betecknas som "tät" lera. T o m så djupt som 3,6 m under markytan visade mätningarna att jorden inte var helt vattenfylld under hela mätperioden. Denna nivå ligger i den zon som geotekniskt betecknas som "lös lera", dvs lera under torrskorpan. Enligt den modell vi arbetat efter borde jorden (leran består av mer än 70 % ler) här ha varit 100 %-igt mättad (FIGUR 71). Det borde enbart funnits fast substans och till detta material bundet porvatten (jfr Wiklander 1963). Att mätmetoden har ett fel på ± 1 % i volymsbestämningen kan inte förklara hela denna skillnad.

7.6.3 Tolkning av $(n-w_a)$ -diagram

Studiet av jordens luftinnehåll $(n-w_a)$ visar att områden eller zoner med full vattenmättnad avlöses av zoner som innehåller luft (eller gas). De vattenmättade zonerna rör sig neråt i profilen. Någon yta (nivå) som med säkerhet kan betecknas som övre grundvattenyta (markvattenyta, sprickvattenyta) kan inte urskiljas. Snarare får man känslan av att ett antal "sjunkvattenvåningar" perkolerar genom jorden. Troligen är vattenrörelserna inte enbart vertikala. Fritt markvatten rör sig också i horisontell riktning. Jfr KAP 6.1.3.

7.6.4 Mätning i rör med filterspets

I samband med bevattningsförsöket 1974 sattes tre rör med filterspets. Rörspetsarna sattes ca 2 m under markytan i underkant av den del av jorden som betecknas som torrskorpan.

Resultatet av mätningarna visas i TABELL 7:1 (se också FIGUR 9). Man ser att det efter och under perioder med regn finns en mätbar vattenyta i rören. Toppen i juni 1974 för rör 151 beror på bevattningen. I rör 150 har inte observerats något vatten under de tider

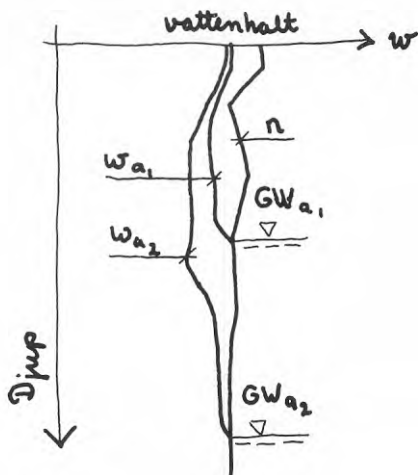


FIG. 70. Exempel på diagram där "grundvattenytan" anges som skärningspunkten mellan kurvorna för porositet (n) och aktuell vattenhalt vid två tidpunkter (w_{a1} och w_{a2}).

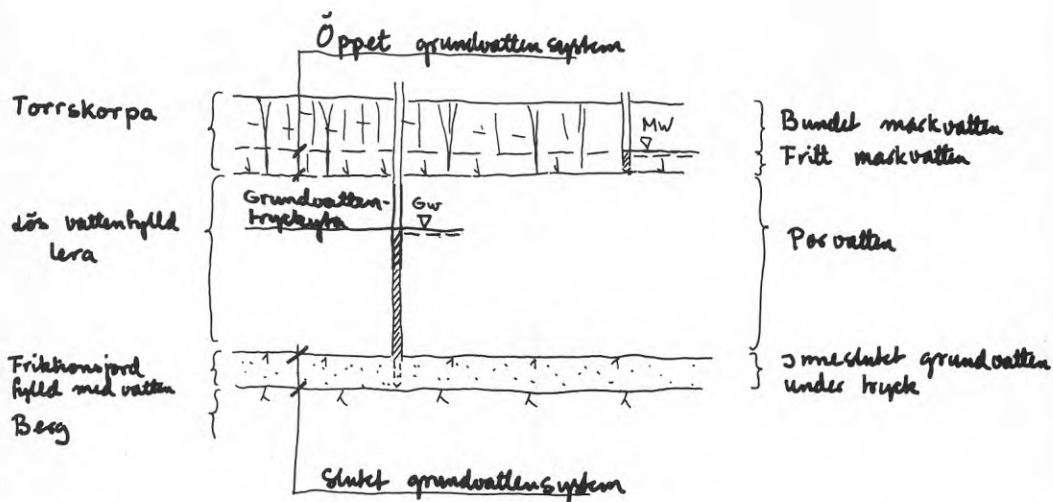


FIG. 71. Modell av ett lerområdes uppbyggnad med avscende på vatteninnehåll.

då de andra rören visat fritt vatten. Endast ett par värden har helt omotiverat uppmätts i juli 1975, i november 1976 samt i januari 1977. Frånvaron av vatten under februari och mars 1975 kan vara en effekt av ringa nederbörd. Vattnet kan vara tjälat och därför mindre rörligt.

TABELL 7:1 Markvattenobservationer i öppna rör.

Datum	Rör 149		Rör 150		Rör 151	
	Markyta					
	Torrskorpa	+ 33.19	+ 33.32	+ 33.16		
	Rörspets	2.30	2.40	2.30		
		+ 31.00	+ 31.10	+ 31.01		
74-06-14	T	>2.19 ^{x)}	T	>2.22 ^{x)}	T	>2.15 ^{x)}
-06-19	T	"	T	"	+ 31.23	1.93
-06-24	T	"	T	"	+ 31.12	2.04
-06-26	T	"	T	"	+ 31.28	1.88
-07-03	T	"	T	"	T	2.15
-07-15	+ 31.42	1.77	T	"	+ 31.32	1.84
-07-30	+ 31.41	1.78	T	"	+ 31.41	1.75
-08-13	T	>2.19	T	"	T	>2.15
-09-15	T	"	T	"	T	"
-09-26	T	"	T	"	T	"
-10-30	+ 31.59	1.60	T	"	+ 31.37	1.79
-11-29	+ 31.96	1.23	T	"	+ 32.17	0.99
75-01-15	+ 31.81	1.38	T	"	+ 31.89	1.27
-03-06	T	2.19	T	"	T	2.15
-04-09	+ 31.91	1.28	T	"	+ 31.86	1.30
-05-15	+ 31.61	1.58	T	"	+ 31.26	1.90
-06-13	T	>2.19	T	"	T	>2.15
-07-11	T	"	+ 31.99	1.33	T	"
-08-06	T	"	T	>2.22	T	"
-09-04	T	"	T	"	T	"
-10-01	T	"	T	"	T	"
-11-04	T	"	T	"	T	"
-12-09	T	"	T	"	T	"
76-01-15	T	"	T	"	+ 31.15	2.01
-03-18	T	"	T	"	+ 31.02	2.14
-04-22	+ 31.41	1.78	T	"	+ 31.13	2.03
-05-17	T	>2.19	T	"	+ 31.28	1.88
-06-22	+ 31.43	1.76	T	"	+ 31.30	1.86
-07-27	T	>2.19	T	>2.22	T	>2.15
-08-27	T	"	T	"	T	"
-09-20	+ 31.30	1.89	T	"	+ 31.25	1.91
-10-18	T	~2.19	T	"	T	>2.15
-11-16	+ 31.49	1.70	+ 32.00	1.32	+ 31.60	1.56
-12-20	+ 31.59	1.60	T	>2.22	+ 31.58	1.58
77-01-19	+ 31.58	1.61	+ 32.01	1.31	+ 31.50	1.66
-02-22	+ 31.47	1.72	T	>2.22	+ 31.35	1.81
-03-24	+ 31.77	1.42	T	"	+ 31.60	1.56
-04-26	+ 31.62	1.57	T	"	+ 31.52	1.64
-05-27	+ 31.43	1.76	T	"	+ 31.41	1.75
-06-22	+ 31.31	1.88	T	"	+ 31.35	1.81
-07-29	+ 31.43	1.76	T	"	+ 31.46	1.70
-08-24	+ 31.29	1.90	T	"	+ 31.32	1.84

T = röret är torrt, x) = markvattenytans läge under markytan

7.6.5 Mätning i spadborrade hål

I samband med den geotekniska undersökningen i maj 1976 gjordes observation av "grundvattenytans" läge.

Vattennivån förändrades under de tre dagar observationen pågick. Först steg vattnet snabbt 0,2 - 0,3 m över den nivå där vattnet först påträffades. Därefter skedde långsammare förändringar. I vissa hål sjönk vattenytan, i andra steg den. Tillförsel av vatten till hålen skedde främst från moskikten på 1,8 - 2,2 m djup.

Sammanställer man de "grundvattenytor" som uppmätts i maj 1976 erhåller man en svårtolkad bild (FIGUR 72). På mycket korta avstånd fanns det skillnader på mer än en meter! Det som uppmätts kan knappast vara den "markvattenyta" som vi i våra teorier har avsett.

7.6.6 Vad mäter man i rör och borrarade hål?

Den vattenyta som man mäter i ett öppet rör eller i ett spadborrat hål kan knappast vara lika med "nivån under vilken jorden är 100 %-igt vattenmättad", dvs "markvattenytan". Åtminstone är det så i en jord med stora skillnader i horisontell och vertikal genomsläpplighet. Det man mäter är troligen någon form av jämnviktsnivå, där tillströmmande vatten i vissa skikt balanseras av bortströmmande vatten i andra, under hänsynstagande av "brunnseffekten". Storleken av hålet/röret gör att det fordras en relativt sett stor vattenmängd för att hålla det fyllt.

Mängden "fritt och dränerbart vatten" i en tät lerjord är begränsad. Den uppmätta ytan kommer säkert att ligga lägre än motsvarande "markvattenyta" i en uppsprucken torrskorpa (FIGUR 73). I en jord med stora skillnader i genomsläpplighet mellan olika lager kommer säkert vattentrycket eller vattenflödet i det mest vattenförande skiktet att bli bestämmande för vattenytans läge, särskilt om det inte finns några större "dränerande" skikt på större djup (FIGUR 74).

7.6.7 Slutsatser

I projektet provade metoder är inte tillfyllest för att fastställa nivån på en fri markvattenyta enligt gjorda teoretiska antaganden. Både beräkningar av luftinnehåll och direkta mätningar ger en antydning om att jorden inom försöksområdet inte är helt vattenfylld under "torrskorpan". Inom området har enstaka rötter hittats på stora djup (>3,3 m). Även detta tyder på att jorden måste vara uppsprucken och innehålla luft (syre) på betydligt större djup än vad som betecknas som "torrskorpa" ur geoteknisk och

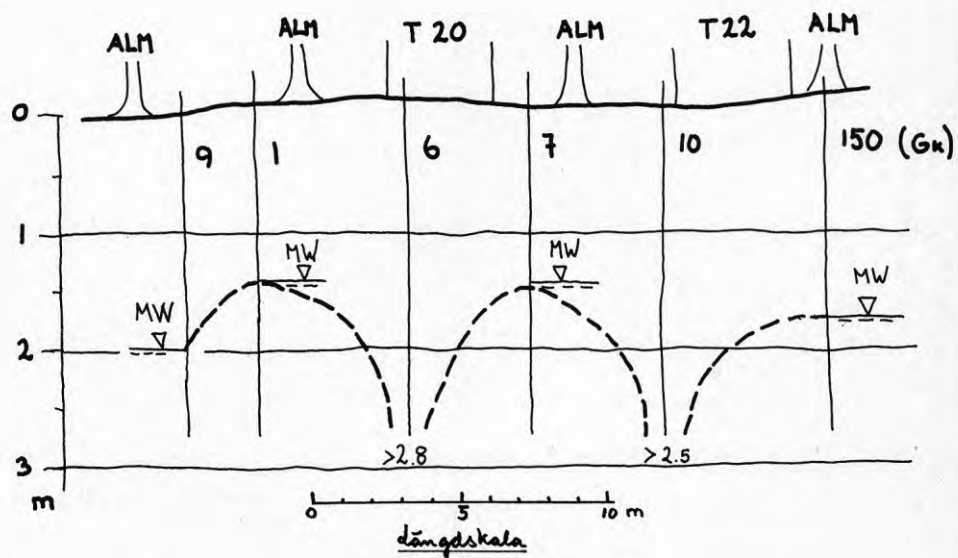


FIG. 72. Fria vattenytans läge i maj 1976 längs Tistelvägen i spadborrade hål (BGB) och öppet grundvattenrör (Gk).

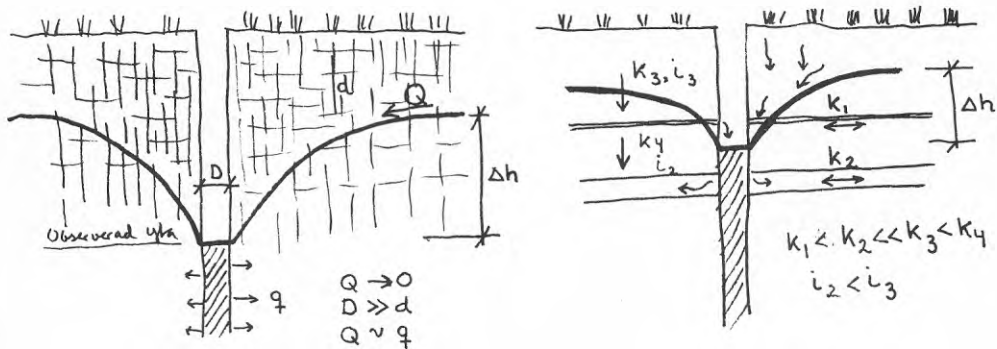


FIG. 73. "Brunnseffekt" kring spadborrat hål i homogent lagrad lera. Små mängder dränerbart vatten i torrskorpans spricksystem dräneras av till det avsevärt större spadborrhålet. Skiktning i jorden med olika genomsläpplighet kan även ge dessa effekter.

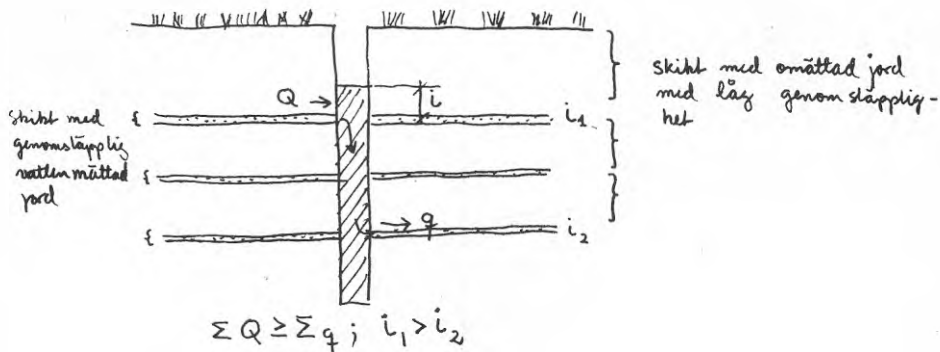


FIG. 74. Inströmning av vatten till och från spadborrat hål från lager med större genomsläpplighet (=vattenföring) i skiktad lera. Vattentytan blir beroende av de vattenförande skiktens tryckhöjder.

geologisk synvinkel. Under den starkt uppspruckna och luftrika "torrskorpan" finns en zon med ett ganska litet luftinnehåll. Denna zon är troligen mer än 3 å 4 m. Genom denna zon passerar "sjunkvattenvåningar". Sjunkhastigheten styrs i hög grad av skillnader i horisontell och vertikal genomsläpplighet. I moskikten är en större del av vattnet "fritt rörligt" än i mellanliggande homogena lerlager.

För att studera vattnets rörelse i zonen under den tydligt uppspruckna "torrskorpan" fordras en annan mätutrustning än den som vi utnyttjat i detta projekt. Studien bör inriktas på uppmätning av vattnets potential på olika nivåer i jordprofilen.

7.7 Teorier för torrskorpebildning

I utredningen om "Sättningssskadat villaområde i Enskede" finns en modell för torrskorpebildningen. När torrskorpan fördjupas (se FIGUR 75) kommer jorden under den ursprungliga torrskorpan att pressas samman. Först sker en kapillär uppsugning av vatten. Leran avvattnas så långt att sprickor uppkommer. Rötter kan då växa in i dessa sprickor och direkt suga upp vatten. Vid denna upptorkning spricker jorden ytterligare sönder. Leran upphör att vara homogen och blir uppdelad genom horisontella och vertikala sprickor.

Denna modell kan sägas beskriva det som i den geologiska undersökningen våren 1976 benämns som "torrskorpa" och "sekundär torrskorpa". Torrskorpan har ett utpräglat vertikalt spricksystem. Leran alldeles under "torrskorpan" som kallas för "sekundär torrskorpa" är fast och överkonsoliderad utan synliga spricksystem.

Ser man litet mer i detalj på modellen skulle den betyda att krympning av jorden bara skulle ske i en begränsad zon under den gamla "torrskorpegränsen". Detta antagande måste vara fel. Krympning och svällning försiggår som en naturlig process också i själva "torrskorpan". Danfors (1974) har t ex visat att jorden i torrskorpan sväller och krymper i takt med vattenhalt och temperatur. På våren och försommaren är rörelserna störst i den översta halvmetern. På sommaren är rörelsen störst mellan 0,50 och 0,80 m. FIGUR 76.

Jämför man de porvolymsdiagram som visas i KAP 6.3.2 med varandra ser man att hela jordvolymen, även den "uppspruckna delen av torrskorpan" har pressats samman där den geotekniska torrskorpan bedömts vara djupare. Man kan inte se någon skillnad i spricksystemets djup. Det är snarare så att spricksystemet djupare nere i profilen också har pressats samman vid "torrskorpebildningen".

Modellen av torrskorpebildning enbart som en process

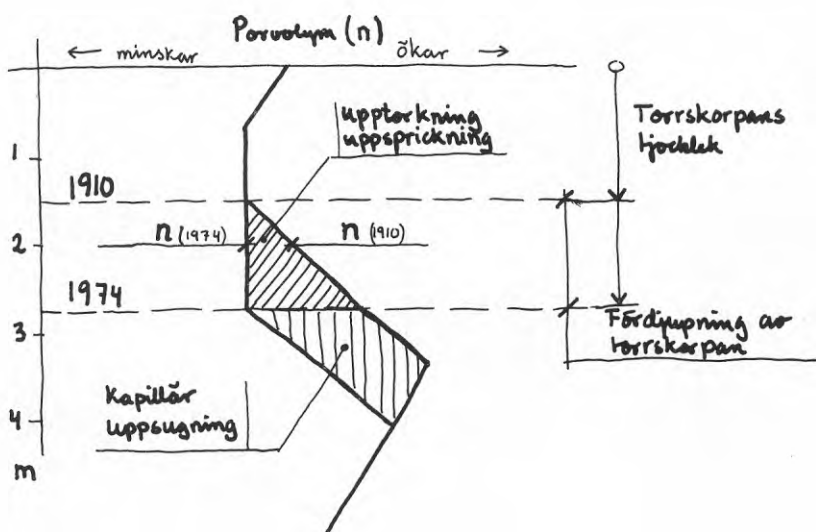


FIG. 75. Modell för torrskorpetillväxt (Sven Tyrén AB 1974).

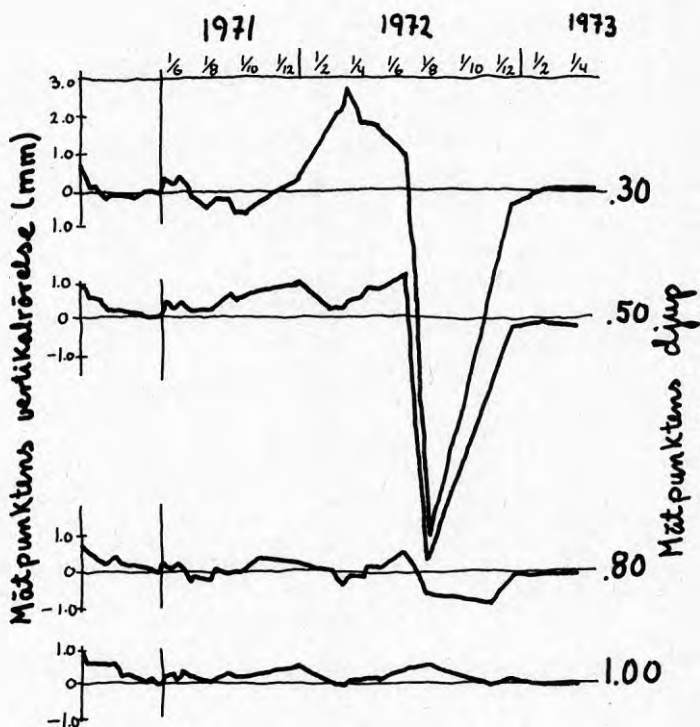


FIG. 76. Rörelser i mätpunkter under 20 månader efter ett belastningsförsök på olika djup under markytan relativt fast botten på en åker (Danfors 1974).

orsakad av krympning på grund av förlust av vatten ger. inte tillräckligt god överensstämmelse med verkligheten. Även skillnader i tryck och belastning i jorden måste spela in. En modell som bygger på geoteknikens betraktelsesätt av tryck och belastningar har därför tagits fram.

I FIGUR 77a visas de tryck som finns i jorden i ett antaget jungfruligt tillstånd. Till vänster illustreras trycket på grund av jordens egenvikt och till höger vattentrycket. I figuren har en tänkt grundvattenyta lagts in och något högre en "fri markvattenyta". Man kan anta att det råder ett stabilt jämviktsläge med en strömning av vatten från den högre markvattenytan ner igenom leran (hydrodynamiskt förlopp). I FIGUR 77b visas det antagna portrycket i jorden under de antagna förhållandena.

FIGUR 78a visar vad som händer när det inte finns något fritt vatten i torrskorpan. Portrycket tenderar då att utjämnas mot det hydrostatiska trycket (grundvattentrycket) i leran. Eftersom denna process pågått varje gång markvatten saknats alltsedan landet höjde sig ur havet, kan man anta att hela eller nästan hela portrycksutjämnningen har skett. FIGUR 78b visar detta utjämnade portryck.

Samtidigt som det fria markvattnet försvinner från jorden börjar en "kapillär" upptransport av vatten från leran under torrskorpan. Växterna tar upp vatten ur torrskorpan. Det blir en potentialskillnad mellan de torrare zonerna i torrskorpan och de fuktigare under. En "kapillärkraft" bildas och medför att ett negativt tryck läggs på jorden. Kraften har sin angreppspunkt i lerans underkant.

Om "kapillärkraften" fick verka en oändligt lång tid utan avbrott skulle det betyda att trycket utvecklades rätlinjigt från botten av leran och till torrskorpans underkant. Eftersom det vår och höst finns fritt vatten i profilen kan man dock anta att trycket normalt bara hinner byggas upp under maximalt tre sommarmånader per gång. Detta medför att portrycket påverkas enligt FIGUR 79a och b.

Man kan anta att portrycksfördelningen 1923, när området byggdes, såg ut på detta sätt.

I och med byggandet i och omkring dalgången antas grundvattentrycket ha sänkts. Detta medförde en totaltrycksökning enligt FIGUR 80a. Eftersom tiden denna grundvattensänkning verkat på jorden är lång, kan man anta att en stor del av porvattenövertrycket utjämnats (FIGUR 80b).

Figuren torde motsvara förhållandena "på gräsmatta" alldeles innan dagvattentunneln sprängdes.

På grund av inläckning till tunneln fick man en

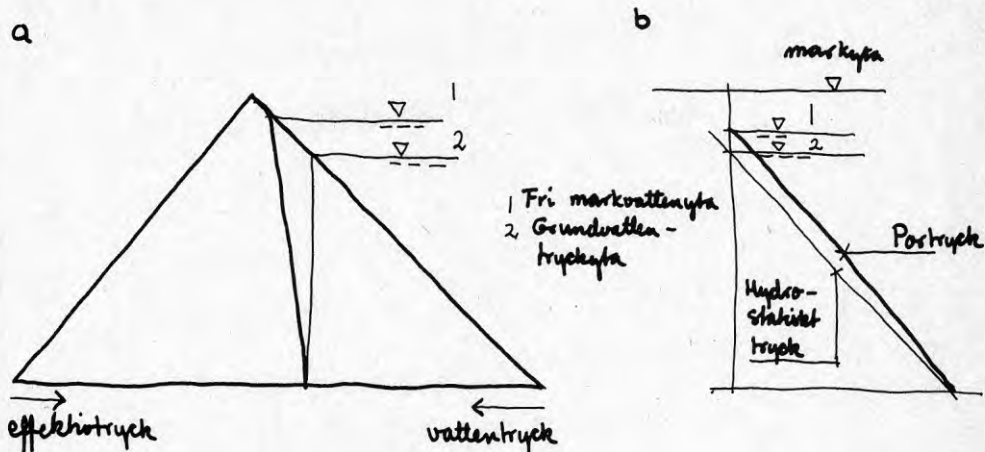


FIG. 77. a) och b) Tryckfördelningen i jorden vid hydrodynamiskt belastningsfall.

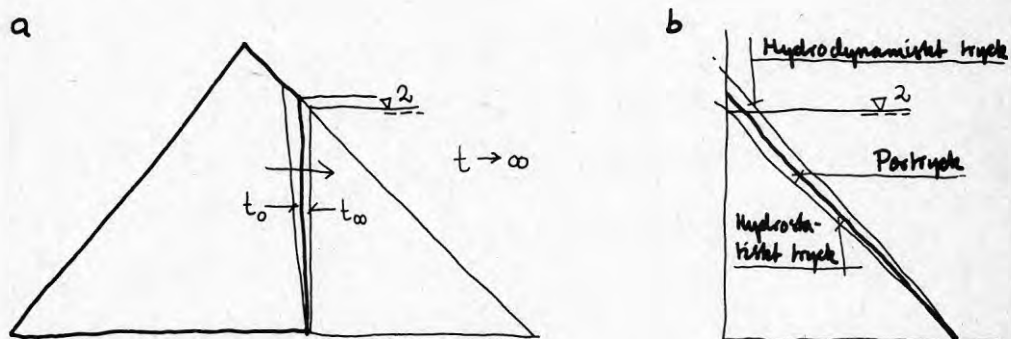


FIG. 78. a) och b) Tryckfördelningen i jorden efter upprepade tillfällen med hydrostatisk belastning ($t \rightarrow \infty$).

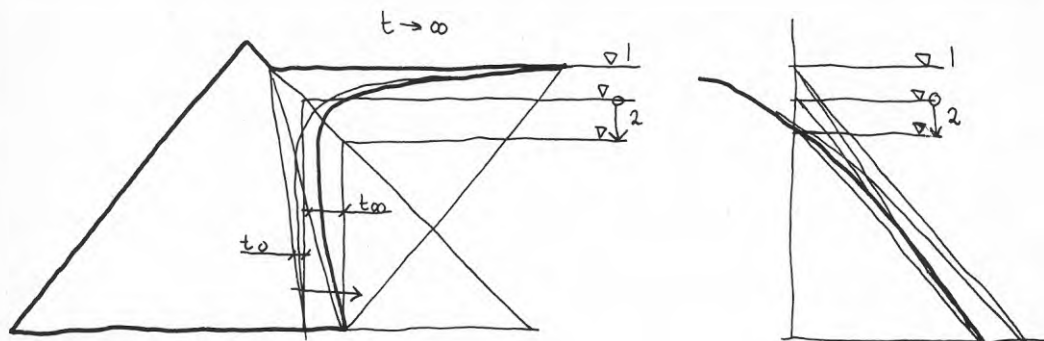


FIG. 80. a) och b) Tryckfördelningen i jorden efter en grundvattentrycksänkning. Belastningen torde i princip motsvara förhållandena "på gräsmatta" innan dagvattentunneln sprängdes.

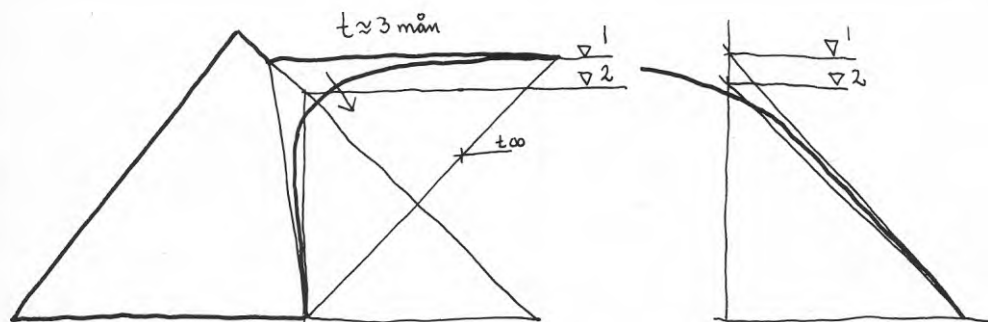


FIG. 79. a) och b) Tryckfördelningen i jorden när kapillär sugkraft verkar under max 3 månader varje gång "hydrostatiskt belastningsfall" inträffar. Belastningen torde i princip motsvara förhållandena i Enskededalen innan området bebyggdes 1923.

ytterligare grundvattentrycksänkning. Tiden under vilken provattenövertrycksutjämning har skett är kort. Endast en liten del av övertrycket har därför hunnit utjämnas (FIGUR 81a och b).

Figuren torde motsvara de nuvarande förhållandena "på gräsmatta".

Vid de träd som planterades kan man anta att upptorkningen inneburit att "uppsugningsytan" för kapillärkraften sänkts. Dessutom har jorden där träden är planterade dränerats av till ledningssystemet i gatan. Samtidigt har en grundvattentrycksänkning inträffat (FIGUR 82a). Porvattentrycket har i stort utjämnats vad avser grundvattentryckets sänkning (FIGUR 82b).

Figuren torde motsvara förhållandena "vid träd" innan dagvattentunneln sprängdes.

Den grundvattentrycksänkning som skedde på grund av utsprängningen av dagvattentunneln (FIGUR 83a) var vid området knappt en meter. Utjämning av porvattenövertrycket på grund av grundvattensänkningen har endast pågått några år. Endast en del av övertrycket kan därför antas ha hunnit utjämnas (FIGUR 83b).

Figuren torde motsvara de nuvarande förhållandena "vid träd".

Jämförs de olika diagrammen visar detta att det bör ha skett en belastningsökning genom hela jordprofilen. I jordprofilens undre del är skillnaden mellan "på gräsmatta" och "vid träd" liten.

Närmare markytan är förändringen större "vid träd" än "på gräsmatta". Alldeles under "uppsugningsgränsen" (torrskorpan) är skillnaden störst.

Om belastningsökningen sätts i relation till den belastning som rådde innan ökningen kan man se var komprimeringen av jorden är störst. Var belastningen tidigare stor fordras betydligt större belastningsökning för att orsaka en komprimering av jorden än om belastningen innan var liten. I FIGUR 85 visas belastningsökningen i relation till tidigare belastning. Det framgår där mycket tydligt att det alldeles under uppsugningsytan måste ske en avsevärd kompaktering av jorden.

I FIGUR 86 redovisas ett porvolymdiagram mot bakgrund av detta resonemang. Det utgår från en antagen porvolymsfördelning i "obebyggt stadium". Porvolymen "på gräsmatta" borde då ligga något till vänster om denna genom hela profilen. Störst borde skillnaden vara i zonen (1 - 3,5 m) och i botten av lerlagret. Där nere borde kurvan "vid träd" ligga på samma värde som "på gräsmatta". I den undre delen av profilen borde porvolymen "vid träd" vara något lägre och under "avsug-

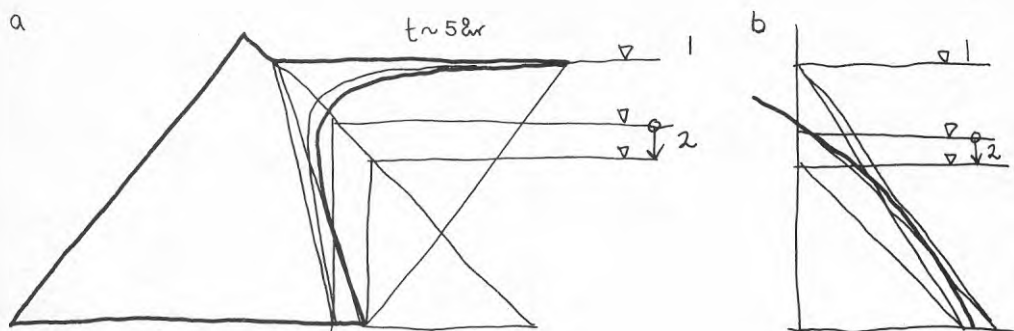


FIG. 81. a) och b) Tryckfördelningen i jorden efter ytterligare grundvattensänkning. Belastningen torde i princip motsvara förhållandena "på gräsmatta" efter det att dagvattentunneln sprängts.

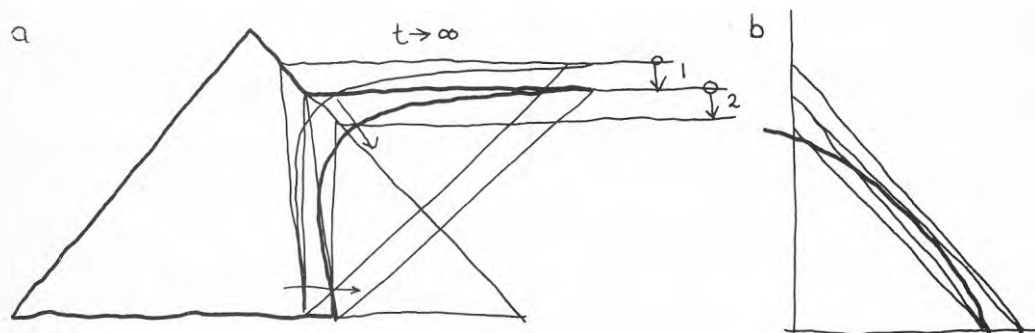


FIG. 82. a) och b) Tryckfördelningen i jorden efter en samtidig sänkning av "kapillära avsugningsytan" och grundvattentrycket under en lång tid ($t \rightarrow \infty$). Belastningen torde motsvara i princip förhållandena "vid träd" innan tunneln sprängdes.

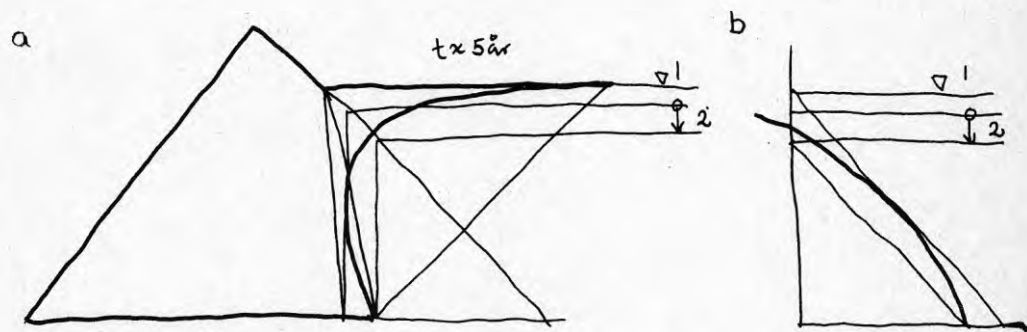


FIG. 83. a) och b) Tryckfördelningen i jorden vid träden efter ytterligare grundvattentrycksänkning. Torde i princip motsvara förhållandena "vid träd" efter det att tunneln sprängts.

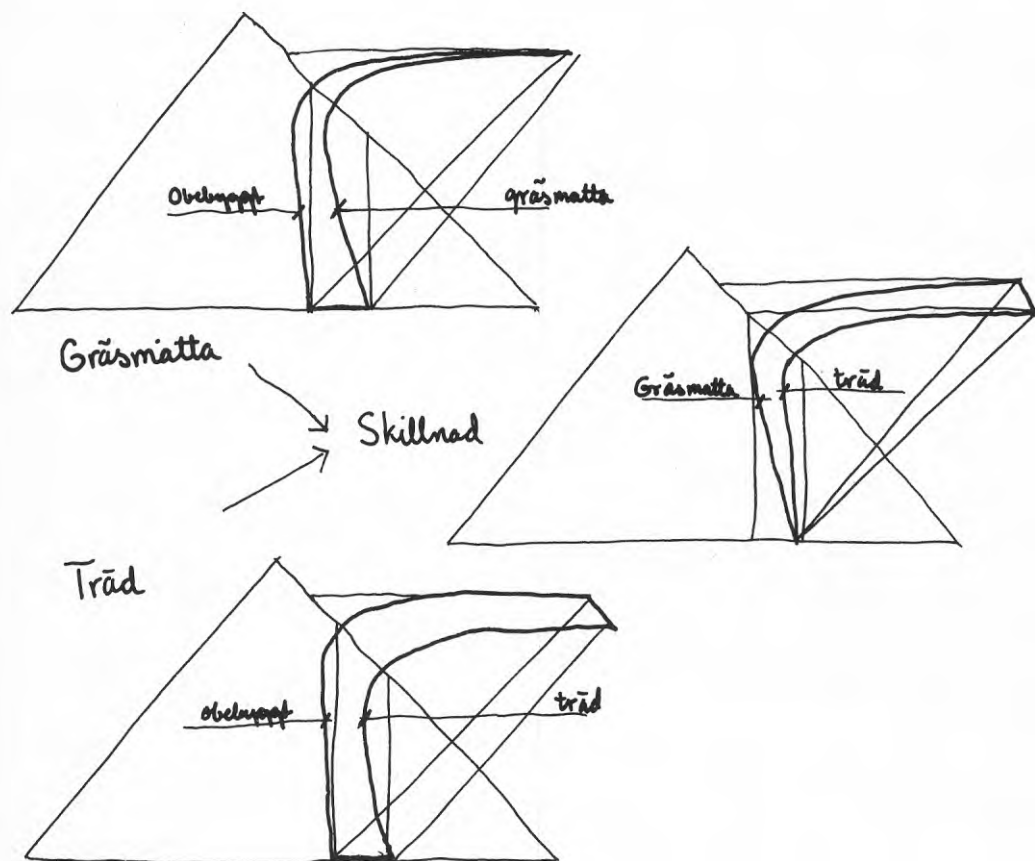


FIG. 84. Skillnaden i tryckfördelning mellan träd och gräsmatta och mellan dessa och obebyggt stadium.

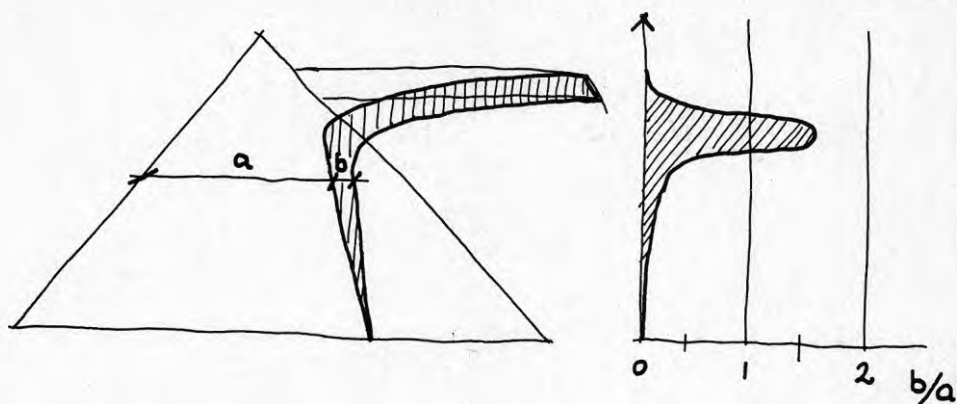


FIG. 85. Belastningsökningen (träd - gräsmatta) som funktion av totaltrycket på respektive nivå.

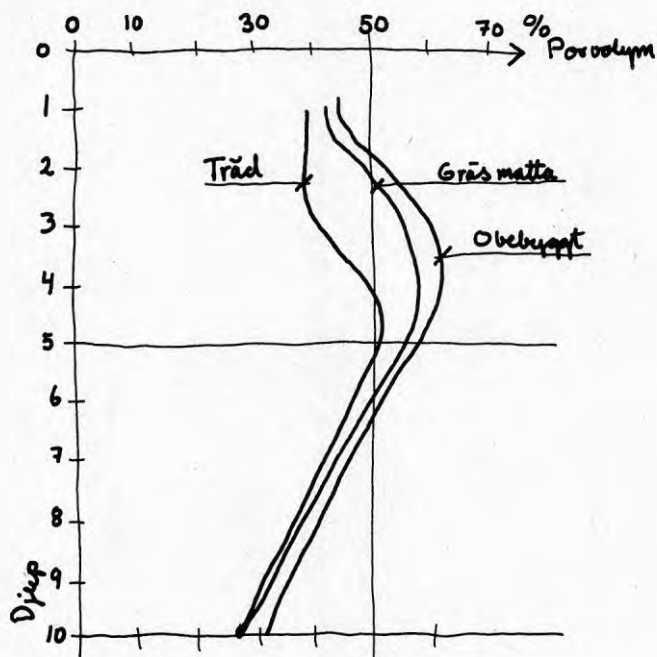


FIG. 86. Teoretisk porvolymfördelning motsvarande "vid träd", "på gräsmatta" och "obebyggt stadium".

ningsytan" avsevärt lägre än "på gräsmatta".

Denna modell stämmer ganska väl i sin övre del med porvolymfördelningen som mättes 1974.

7.8 Vattenbalansberäkningar

7.8.1 Allmänt

I KAP 5.1 omtalades att det i litteraturen förekommer en mängd uppgifter om hur mycket vatten ett träd kan transpirera per dygn. Variationen i dessa uppgifters storlek är avsevärd. Det finns uppgifter från 25 l/dygn upp till 7 à 800 l/dygn.

Att från de mätvärden vi fått fram i detta projekt försöka finna ett värde på trädens vattenförbrukning har visat sig vara svårt. Mätserien är inte upplagd riktigt för detta ändamål. Vi saknar främst uppgift om ytavrinning, ytavdunstning och perkolation (genomrinning av mätprofilen). De uppskattningar vi gjort kan ändå vara värda att beakta vid fortsatt diskussion om träds vattenförbrukning.

7.8.2 Takvärde för vattenföring i mätprofilen

Om man summerar vattenförändringarna genom hela mätprofilen och nederbörden mellan två mättillfällen erhåller man ett takvärde mot vilket vegetationens och klimatets inverkan på vattenbalansen kan diskuteras (TABELL 7:2). Tabellen visar förändringen i mm/dygn.

De största förändringarna finns under perioder med hög nederbörd. Detta är naturligt, eftersom en stor del av den mätta nederbörden aldrig kommer ner i jorden. Nederbördsvattnet avdunstar till atmosfären från vegetationens blad eller från markytan i samband med eller alldeles efter ett regn. En del av regnet som binds i det absoluta ytskiktet avdunstar också snabbt till atmosfären utan att passera några växter. Hur stor del av regnet som "kommer jorden till del" är svårt att uppskatta. Det beror i hög grad på hur regnet kommer. En serie små, lätta regn tillför jorden synnerligen litet vatten. Det behövs förmodligen mer än 2 à 3 mm regn för att "mätta" bladytor och ytskikt och förmodligen åtskilligt mer för att påverka vattenhalten i jorden djupare än 0,5 m.

Detta har gjort att den beräknade summan ofta är större den regniga sommaren 1974 än den torra och varma 1975. Höga värden erhöles också under en regnperiod i augusti 1975.

TABELL 7:2 Mätt förändring i vattenmängd i hela mätprofilen uttryckt i mm per dag. Förändringen har beräknats ur summan av vattenhaltsförändring och nederbörd mellan två mättillfällen. Dessutom anges nederbörden per dygn (N/d) och avdunstningen från fri vattenyta vid Stockholms observatorium (E/d).

	\bar{E} mm/d										N/d	E/d	
	Rör	1	2	3	4	5	6	7	8	9			10
<u>1974</u>													
M		1.23	1.28	1.53	1.56	1.29	1.17	1.41	0.96	1.41	1.16	0.97	2.00
J		3.11	3.00	2.86	3.12	2.22	2.79	2.81	2.65	3.52	2.62	1.73	1.78
J		4.41	3.64	4.03	3.75	4.05	3.25	2.75	3.98	4.13	2.96	4.08	1.21
A		2.42	2.66	2.63	2.81	2.38	2.90	3.07	2.86	2.62	2.81	1.61	1.10
S		+0.14	1.63	0.41	1.74	1.75	1.31	1.06	0.44	0.90	1.40	2.53	0.59
O		2.87	2.40	2.51	2.71	2.70	2.69	2.68	3.00	2.21	2.78	3.15	0.46
N													
Medel		2.32	2.43	2.33	2.50	2.40	2.22	2.30	2.32	2.32	1.79	2.34	1.19
<u>1975</u>													
M		3.21	0.18	3.16	2.14	2.39	2.33	2.33	3.11	2.82	2.60	0.54	1.98
J		1.56	0.81	1.90	2.85	2.77	2.23	1.49	2.93	2.10	2.45	0.34	2.86
J		1.35	0.95	2.24	2.47	2.32	2.29	1.11	1.71	1.44	0.85	0.57	2.57
A		3.38	4.04	2.84	2.53	0.74	2.98	2.15	+2.13	3.90	2.16	3.76	2.20
S		2.18	2.34	1.76	1.20	1.55	1.15	1.32	2.68	1.73	1.50	1.41	1.13
S		2.44	1.27	1.22	1.09	1.35	1.07	1.61	3.76	2.25	1.50	0.91	0.86
O		2.67	0.89	0.60	-	0.63	0.68	0.73	0.63	0.11	0.13	0.55	0.51
N													
Medel		2.39	1.50	1.96	2.05	1.68	1.82	1.90	1.81	2.05	1.60	1.15	1.73

En annan sak som kan påverka att förändringarna är störst under och strax efter regniga mätperioder är att transpirationen är störst när rötterna har tillgång på stora mängder vatten (lyxkonsumtion, se KAP 5.1). Detta i kombination med att perkolation då kan förekomma är en förklaring till skillnaden i "takvärden" mellan första mätperioden (maj - juni) 1974 och 1975. Mätperioden 1974 föregicks av en lång torrperiod, 1975 av en relativt våt period. Mätperioden 1974 ligger också något tidigare (10 maj - 6 juni) än 1975 (15 maj - 24 juni). Om transpirationen normalt ökar i maj och har sin kulmen i juli kan detta också vara en förklaring till skillnaden.

Att observera är också den relativt lilla skillnaden i förändring mellan rör "vid träd" (1, 2, 3 och 4) och "på gräsmatta" (6 och 7). Under vissa tidsperioder, t ex juli - augusti 1975, är förändringen i rören "på gräsmatta" (6 och 7) större än för rör "vid träd" (t ex rör 2).

Under vegetationsperioden maj - november var nederbörden plus förändringen av i jorden magasinerad mängd vatten i genomsnitt ca 2,5 mm/dygn 1974, ca 2 mm/dygn 1975 och ca 1,75 mm per dygn 1976 (mellan juni och augusti). Totalt rör det sig om ca 450 mm 1974, 350 mm 1975 och 275 mm 1976. Värdet för 1976 skall dock ökas med nederbörden och vattenhaltsförändringen maj - juni som är minst 50 mm för att värdena skall bli jämförbara.

7.8.3 Potentiell evapotranspiration enligt C.W. Thornthwaite

En uträkning har gjorts av den potentiella avdunstningen, dvs den avdunstning som skulle ske om "tillräckligt med vatten" fanns. Beräkningen har utförts enligt en metod utarbetad av amerikanen C.W. Thornthwaite.

Vid beräkningen utnyttjas följande samband för den månatliga avdunstningen:

$$e = 1,6 (10t/I)^a$$

där t = månadsmedeltemperaturen och I och a är funktioner bestämda enligt följande:

$$I = \sum i$$

$$i = (t/5)^{1.514}$$

$$a = 0,675 \cdot 10^{-5} \cdot I^3 - 0,771 \cdot 10^{-3} I^2 + 0,01792 I + 0,49239$$

Funktionerna i och a finns tabellerade för olika t respektive I .

Det framräknade värdet på e korrigeras månadsvis enligt en tabell beroende på månadens längd och "solskenstid" (e').

Värdet på potentiell avdunstning har beräknats för åren 1974, 1975 och 1976 samt för ett "medelår" (ur månadsmedeltemperaturen för perioden 1931 - 1960).
TABELL 7:3.

TABELL 7:3 Beräknade värden på potentiell avdunstning enligt C W Thornthwaite, 1974, 1975, 1976 och medeltalet 1931-60.

1974 Månad	t	i	e	e'	P	1976 Månad	t	i	e	e'	P
J	1.0	1.09	6	4	38.8	J	-4.5	0	0	0	37
F	1.4	0.15	7	5	33.9	F	-1.2	0	0	0	13
M	1.6	0.18	8	8	24.1	M	-2.0	0	0	0	19
A	6.2	1.39	35	40	10.5	A	4.2	0.77	22	25	27
M	9.4	2.60	50	57	18.6	M	10.9	3.25	57	76	40
J	15.1	5.33	80	101	55.5	J	14.8	5.17	78	106	40
J	15.4	5.55	82	112	156.5	J	17.4	6.61	90	123	26
A	16.4	6.04	87	109	29.1	A	17.3	6.55	89	111	51
S	13.2	4.35	70	74	34.8	S	10.4	3.03	55	50	50
O	6.2	1.35	34	31	153.0	O	6.1	1.35	34	31	24
N	3.8	0.66	22	17	89.4	N	2.9	0.44	16	12	49
D	1.8	0.21	10	17	61.5	D	-2.0	0	0	0	109
Året		I=27,9		595	685,5	Året		I= 27.17		542	465

1975 Månad	t	i	e	e'	P	Månad	\bar{t}	\bar{i}	\bar{e}	\bar{e}'	\bar{p}
J	3.8	0.66	13	9	34.6	J	-2,7	0	0	0	43.1
F	2.3	0.31	5	4	8.6	F	-3.1	0	0	0	30.0
M	1.8	0.21	4	4	30.6	M	-0.7	0	0	0	25.4
A	4.7	0.91	16	18	37.1	A	4.5	0.85	24	28	30.9
M	11.6	3.62	48	64	39.1	M	10.4	3.03	53	70	33.8
J	15.2	5.38	69	97	11.9	J	14.8	5.17	78	106	44.9
J	19.4	7.79	93	127	16.8	J	17.8	6.84	96	131	60.9
A	19.6	7.91	95	119	69.9	A	16.5	6.10	87	108	76.6
S	14.2	4.86	62	67	58.2	S	12.7	4.10	68	72	60.0
O	7.8	1.96	28	26	8.9	O	7.1	1.70	40	37	48.0
N	3.8	0.66	12	9	26.5	N	2.7	0.39	15	11	52.9
D	1.3	0.13	3	2	41.5	D	-0.2	0	0	0	47.9
Året		I=34.40		624	383,7	Året		I=28.18		563	554,9

De beräknade värdena samt månadsnederbörden för de aktuella åren redovisas i FIGUR 87, 76a och 77. I figurerna har också lagts in bedömningar enligt Thornthwaite om klimatet. Modellen är framtagen för att beskriva klimatet i termer som humitt (fuktigt) till aritt (torrt).

1974 (FIGUR 87)

Under januari - mars överskrider nederbörden den potentiella evaporationen med 79,8 mm. Därefter ökar evaporationen och är fram till juli större än nederbörden. Först avdunstar 100 mm som magasineras i jorden. (Enligt Thornthwaite's modell. I verkligheten utnyttjas troligen mer än 100 mm för evaporation.) Resterande 23,6 mm betecknas som underskott. I juli är nederbörden 43,5 mm större än evaporationen. Detta överskott avdunstar i augusti - september tillsammans med ytterligare 75,6 mm. Under oktober, november och december är nederbörden större än avdunstningen. Först fylls markmagasinet upp (100 mm). Återstående 128,7 mm kan tillsammans med vinteröverskottet 79,8 mm ge grundvattenbildning.

1975 (FIGUR 88)

Under sommarmånaderna är vattenunderskottet 192,2 mm efter det att markvattenmagasinet 100 mm är utnyttjat. Under hösten hinner endast 68,0 mm att tillföras markvattenmagasinet. Resterande 32,0 mm infiltreras under senvintern. Årsöverskottet är så litet som 43,9 mm.

1976 (FIGUR 89)

Under sommarhalvåret var vattenunderskottet 192 mm sedan 100 mm av markvattenmagasinet utnyttjats. På hösten tillförs markvattenmagasinet 52 mm utöver de 100 mm som behövs för att fylla markvattenmagasinet.

Medelår (FIGUR 90)

Under januari till april överstiger nederbörden avdunstningen med 100,9 mm. Sommarmånaderna har en avdunstning som är 207,9 mm större än nederbörden. 100 mm tas från markmagasinet och 107,9 mm utgör vattenunderskott. Markvattenmagasinet återfylls på hösten och nederbörden ger ytterligare 0,8 mm till grundvattenbildning.

Jämförelse: År 1974 var sommarens vattenunderskott ungefär hälften (99,2 mm) av 1975 års underskott (192,2 mm). Påfyllning av markvattenmagasinen började 1974 redan i slutet av september och hösten det året gav ett stort vattenöverskott. År 1975 var hösten

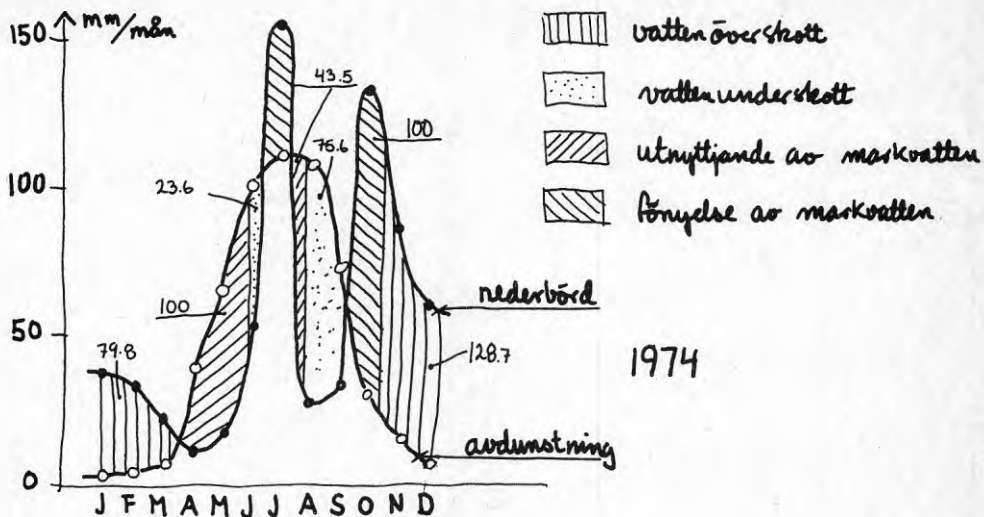


FIG. 87. Förhållandet mellan potentiell avdunstning och nederbörd 1974 (enligt Thornthwaite).

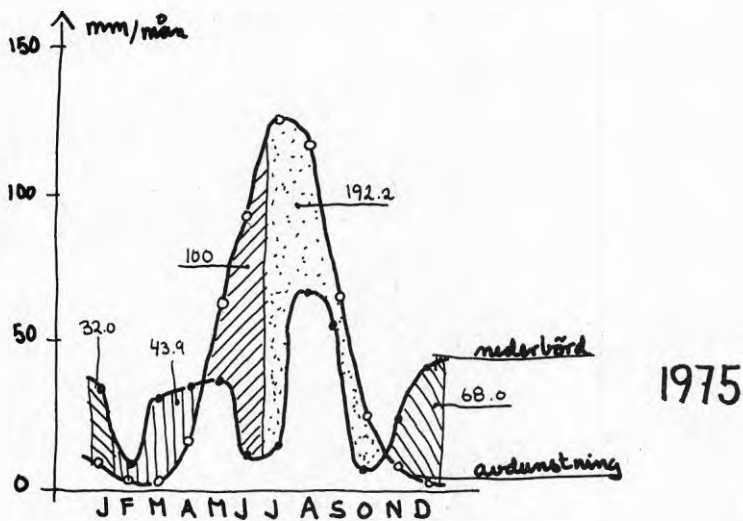


FIG. 88. Förhållandet mellan potentiell avdunstning och nederbörd 1975 (enligt Thornthwaite).

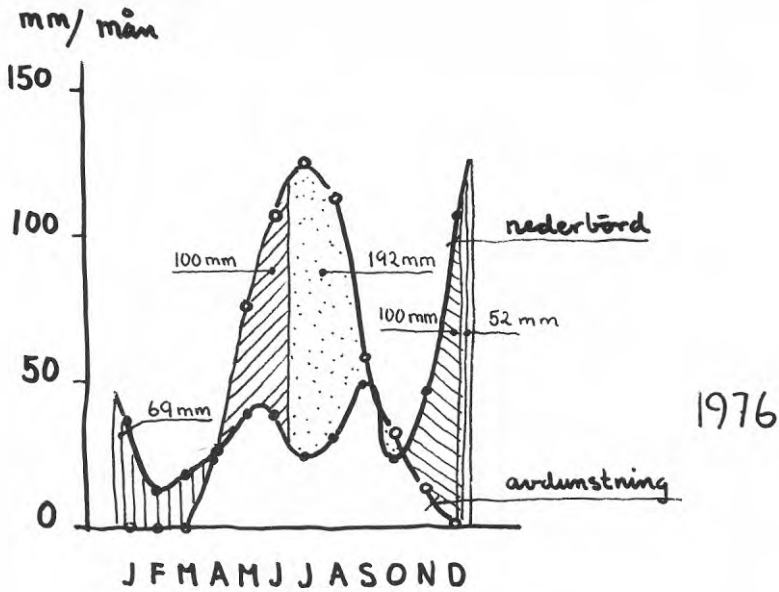


FIG. 89. Förhållandet mellan potentiell avdunstning och nederbörd 1976 (Thornthwaite).

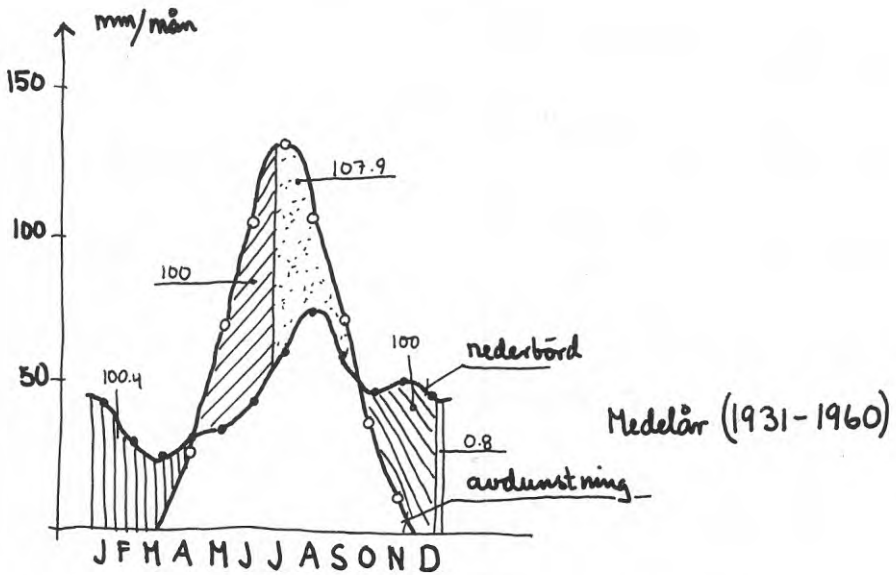


FIG. 90. Förhållandet mellan potentiell avdunstning och nederbörden ett medelår (1931 - 1960). (enligt Thornthwaite).

torrare och påfyllningen började inte förrän i november. Ett underskott i markvattenmagasinet överfördes till följande vår.

Detta underskott fylldes upp av de 69 mm som fanns i överskott 1976 under januari till april månad. Sommaren 1976 visade ett lika stort underskott mellan nederbörd och potentiell avdunstning som sommaren 1975. Skillnaden mellan åren låg i att 1975 var nederbörden liten i juni och juli och ganska hög i augusti medan den 1976 var något mera jämnt fördelad under sommarmånaderna.

7.8.4 Mätt avdunstning i Stockholm

Avdunstningen mäts varje dag vid Observatoriekullen i Stockholm. Evaporometern mäter avdunstningen från en fri vattenyta.

I FIGUR 91 jämförs den mätta månatliga avdunstningen med den beräknade potentiella avdunstningen enligt Thornthwaite och förändringarna (takvärdena) i rören 4 och 6 i Enskededalen. År 1974 följer förändringarna under sommarmånaderna i stort den potentiella avdunstningen, medan det 1975 är en god överensstämmelse mellan mätt avdunstning och observerad förändring (takvärdet i främst rör 4). Takvärdena för 1976 skiljer sig både från de beräknade och mätta värdena på potentiell avdunstning.

7.8.5 Bedömning av transpirationens storlek

Den verkliga avdunstningen och transpirationen är lägre än den potentiella. Flera modeller har konstruerats för att beräkna sambandet mellan dessa. En modell som ofta förekommer i litteraturen är

$$e_a = e \cdot \ln \frac{w_a}{w_m}$$

där e_a = den aktuella, verkliga avdunstningen, e = den potentiella avdunstningen, w_a = aktuell vattenhalt i jorden och w_m = vattenhalten vid fältkapacitet.

I den hydrologiska grundekvationen i formeln

$$N = A + E + \Delta M + \Delta G$$

är N = nederbörd, A = avrinning, E = avdunstning, ΔM = förändring av markvattenmagasinet och ΔG = förändring av grundvattenmagasinet.

Om följande förenklade antaganden görs:

$$\begin{aligned} A &= 0 \\ \Delta G &= 0 \end{aligned}$$

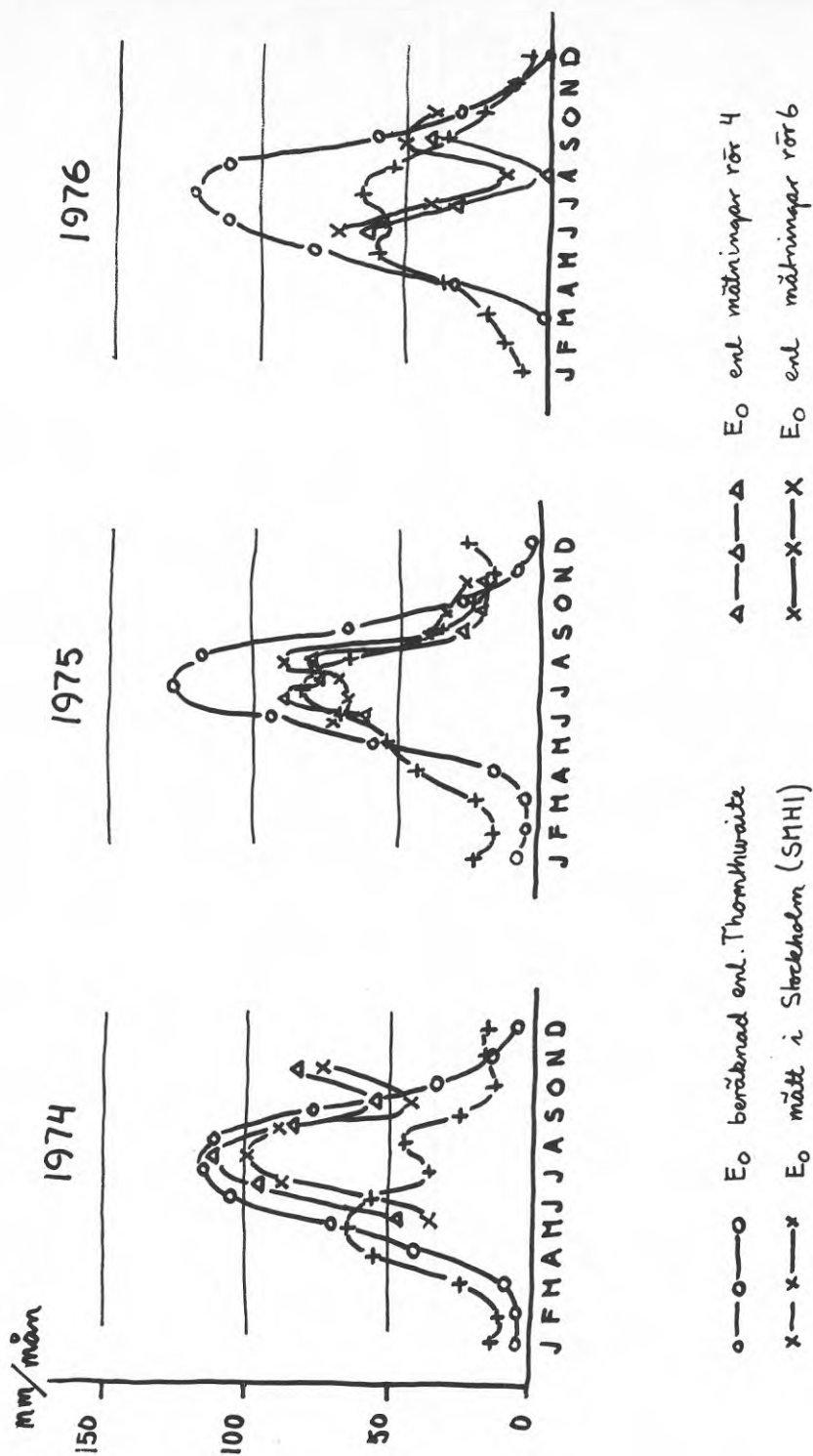


FIG. 91. Jämförelse mellan beräknad och mätt evaporation samt förändringar i rör 4 och 6 i Enskededalen.

erhåller man formeln:

$$E = N - \Delta M,$$

vilket är lika med det beräknade "takvärdet" enligt KAP 7.8.2.

Men evaporationen (E) består av flera komponenter, bl a trädens transpiration (t_t), markvegetationens transpiration (t_m), avdunstningen från markytan direkt till atmosfären (a) och avdunstningen av vatten efter regn från vegetationens yta, s k interception (i), dvs

$$E = t_t + t_m + a + i$$

eller för vårt vidkommande

$$t_t = E - (t_m + a + i).$$

Den genomsnittliga skillnaden mellan jordprofilens vatteninnehåll i maj och november 1975 för rören 1, 2, 3 och 4 är 156,8 mm. Under mätperioden föll 189,6 mm regn. E är således maximalt 346,4 mm under den tidsperioden.

Mitscherlich, G (1971) anger i "Wald, Wachstum und Umwelt 2. Band" att:

- Interceptionsförlusten för träd är vanligen mellan 20 - 30 % av totala nederbörden. Procentsiffran är högre vid små regn än vid stora.
- Ca 2 mm regn "fastnar" på markvegetationen.
- Endast ca 70 % av nederbörden som når markytan passerar igenom markytans humuslager.
- Daglig vattenförbrukning för gräs under trädbestånd har uppmätts till 0,3 - 0,5 mm (juli) och ca 0,2 mm (augusti).
- Evapotranspirationen från mark och marktäcke är ca 15 % av nederbörden.
- Perkolation kan vara lika stor genom en profil som den totala transpirationen.

Detta ger följande antaganden:

- Summan av t_m och a antas vara 15 % av nederbörden.
- Interceptionen (i) är lika med summan av interceptionen på trädet (25 % av nederbörden) och markskiktets interception (30 % av den nederbörd som når markytan).

Om perkolationen sätts till 0 får man ett värde som kan vara trädets maximala transpiration, dvs

$$t_t = 346,4 - \left(\frac{15 \cdot 189,6}{100} + \frac{25 \cdot 189,6}{100} + \frac{30(189,6 - \frac{25 \cdot 189,6}{100})}{100} \right)$$

$$t_t = 346,4 - 118,5$$

$$t_t = 227,9 \text{ (mm)}$$

Denna summa är större än den verkliga transpirationen eftersom ingen hänsyn har tagits till bl a

- ytavrinning
- perkolation genom markprofilen

Ytavrinningen är troligen, sett över den yta vi mäter på, ganska liten. Däremot är troligen perkolationen genom jordprofilen avsevärd.

7.8.6 Jämförelse "vid träd" och "på gräsmatta" 1974 och 1975

En tanke med att sätta ut rör både "vid träd" och "på gräsmatta" var att ett värde för trädets transpiration skulle erhållas om man minskade vattenhaltsförändringen "vid träd" med vattenhaltsförändringen "på gräsmatta".

Skillnaden mellan högsta och lägsta vatteninnehåll för 1975 års mätperiod mellan 0 och 2,5 m var "vid träd" och "på gräsmatta"

$$\overline{\Delta M} \text{ för rör 1, 2, 3 och 4} = 153 \text{ mm}$$

$$\overline{\Delta M} \text{ för rör 6 och 7} = \underline{132 \text{ ''}}$$

$$\text{Skillnad} \quad 21 \text{ mm}$$

Förändringarna "på gräsmatta" var alltså 21 mm mindre än förändringarna "vid träd".

I den översta 0,50 var förändringarna:

$$\overline{\Delta M} \text{ (träd)} = 52 \text{ mm}$$

$$\overline{\Delta M} \text{ (gräsmatta)} = \underline{74 \text{ mm}}$$

$$\text{Skillnad} \quad - 22 \text{ mm}$$

Förändringarna i den översta 0,5 m var 22 mm större "på gräsmatta" än "vid träd".

Om man bortser från de översta 0,50 m får man

$$\overline{\Delta M} \text{ (träd)} = 101 \text{ mm}$$

$$\overline{\Delta M} \text{ (gräsmatta)} = \underline{58 \text{ mm}}$$

$$\text{Skillnad} \quad 43 \text{ mm}$$

Förändringarna under 0,5 m djup var alltså 43 mm större "vid träd" än "på gräsmatta".

Den uppmätta skillnaden mellan "gräsmatta" och "träd" var dock av en annan storleksordning än det i KAP 7.8.5 beräknade värdet ≈ 230 mm. Det är tveksamt om skillnaden i vatteninnehåll mellan "gräsmatta" och "träd" enbart speglar ett trädets vattenupptagning. Snarare ger skillnaden en uppfattning om hur träd totalt påverkar ett områdes vattenbalans.

Träd minskar t ex mängden vatten som når markytan (interception). Ytavgunstningen minskar genom skuggverkan. Infiltrations- och perkolations-förloppen påverkas genom att jorden påverkats av trädets rot-system. Att det är så liten skillnad i förändringen av vatteninnehåll ett extremt torrt år i den del av jordprofilen som mätts är dock anmärkningsvärt.

7.8.7 Jämförelse år "med träd" och år "utan träd"

Sommaren 1975 och 1976 gav klimatet ungefär samma förutsättningar för avdunstning (se KAP 7.8.3). Om man då jämför vatteninnehållets förändringar dessa båda år borde man kunna få ett värde på hur träden påverkar vatteninnehållet i jorden.

Sommaren 1976 sjönk vatteninnehållet i jorden mellan 0 och 2,5 m djup med maximalt 57 mm (medeltal av rör 2, 3 och 4) under värdena i juni. 1975 sjönk vatteninnehållet med 137 mm. Skillnaden skulle alltså vara 80 mm.

Ser man på skillnaderna under samma tidsperiod i den översta 0,5 m var förändringarna 53 mm 1975 och 29 mm 1976. Förändringen var alltså 24 mm större 1975.

I skiktet 0,5 - 2,5 m var förändringarna 1975 84 mm och 1976 28 mm, dvs en skillnad på 56 mm.

7.8.8 Sammanfattning av trädens inverkan på vattenbalansen

Mätningarna i försöksområdet visar att vattenhaltsförändringarna inom den zon där träden tar upp sitt vatten är betydligt mindre än det teoretiskt beräknade värdet i KAP 7.8.5. Skillnaden mellan "vid träd" och "på gräsyta" 1975 var i hela profilen 21 mm. I den översta halvmeteren var förändringen 22 mm större "på gräsmatta" än "vid träd". Mellan 0,5 och 2,5 m djup var alltså förändringarna 43 mm större "vid träd" än "på gräsmatta".

Jämför man mätningarna 1975 och 1976 så har inte bara vatteninnehållet vid träden förändrats. Även rören på gräsmattan har fått mindre variation. Om nu enbart nedsågningen av träden är orsak till den minskade magasinsförändringen både "vid träd" och "på gräsmatta" så skulle träden under en vegetationssäsong med torrt klimat (som 1975 och 1976) ha en större vattenupptagning än som visas av mätningarna enbart "vid träd". Förändringen "vid träd" är ca 70 mm och "på gräsmatta" ca 60 mm.

Nedsågningen av träden har således också påverkat markvattenströmningen horisontellt inom området. Eftersom trädens vattenupptagning inte längre sänker vattenhalterna vid träden, minskar strömningsgradienten och mindre vatten kommer att strömma från gräsytan till trädens rotzon.

Skillnaden i vatteninnehållet i jordprofilen "vid träd" och "på gräsmatta" är i sig inte så stor att den kan förklara alla de sättningar som förekommer på hus och mark inom försöksområdet. Förklaringar måste sökas i mer detaljerat studium på de nivåer där vattenupptagningen sker och i sambandet mellan vattenupptagning till växtrötter och vattnets strömning i jorden. Mätningarna under de tre vegetationsperioderna 1974-1976 antyder att en viktig del av lösningen till problemet finns att hämta just i övergångszonen mellan den tydligt uppspruckna primära torrskorpan och den mer homogena "högekonsoliderade" sekundära torrskorpan.

7.9 Jämförelse mellan laboratoriebestämd vattenhalt och vattenhalt enligt neutronmetod

7.9.1 Allmänt

Laboratoriebestämning av vattenhalter gjordes vid standardundersökningen av två profiler i maj 1974 och för några nivåer i de 10 profilerna i maj 1976.

Vattenhalten bestäms på laboratorium genom att ta reda på viktsminskningen vid torkning till 105°C av en

Ner till 2,5 å 3 m stämmer värdena relativt väl överens. Därunder visar laborativvärdena avsevärt högre vattenhaltsvärden, trots att vattenhalten inte är justerad med hänsyn till hårt bundet vatten.

Vad dessa skillnader beror på är svårt att exakt ange. Några förklaringar som inte direkt kan uteslutas är:

- 1) Lokala skillnader i vattenhalter i jorden

Laborativprover är tagna i punkter som ligger 2 - 4 m från motsvarande markvattenobservationsrör. Viss osäkerhet finns också om vilken nivå laborativproven exakt representerar. Ett mindre prov tas ur den mellersta av tre 0,17 m höga provtagningscylindrar. Eftersom jorden är skiktad kan skillnaden i vattenhalt vara ganska stor mellan två nära liggande nivåer. Laborativproven gäller en mycket liten volym medan neutronsondsvärdet är ett medeltal för en sfär med ca 0,3 m radie.

- 2) Jorden kan ha sugit upp vatten mellan 1974-05-10 och 1974-05-14

När man återfyllde över peglarna gjordes packning av jorden under bevattning. Peglarna på gräsmattan var satta när markvattenobservationerna gjordes 1974-05-10, medan de i gatan gjordes klara mellan 1974-05-10 och 1974-05-14. Laborativproven togs nära pegelgröparna 1974-05-14. Det kan tänkas att bevattningen medfört att laborativproven därför fått högre vattenhaltsvärden än markvattenobservationsrören, men denna effekt borde inte gå så djupt i profilen (jfr KAP 7.4). Det är troligt att de högre värdena på nivåerna 1,0 och 1,5 m i gatan kan förklaras på detta sätt. Ute på gräsmattan är skillnaderna små ner till 2,0 m. (Bevattningen hade skett före mätning med neutronsond.)

- 3) Felaktigheter i laborativbestämningen

Laborativvärden från nivåer djupare än 2,0 m på gräsmattan tycks vara för höga för att kunna förklaras av en magasinering av "bevattningsvatten". Vattenhalter över 60 volymsprocent ger med uppmätta våta volymvikter (γ_v) höga kompaktdensiteter (γ_s). Beräknade porvolymmer med formeln

$$100 \left(1 - \frac{\gamma_t}{\gamma_s} \right)$$

där γ_s satts till 2,65 ger för låga värden jämfört med beräknad vattenhalt.

Man kan inte helt utesluta att det finns något fel i laborativbestämningen av våt volymvikt (γ_v) eller vattenkvot (w_1).

4) Felaktig kalibrering av neutronsondutröstning

Att ett så stort systematiskt fel skulle ha gjorts i kalibreringen av neutronsondutröstningen verkar vara mindre troligt. Kontrollräkning av framtagna värden visar att det är god överensstämmelse i max uppmätt vattenhalt och ur mätta värden beräknade porvolym. Skillnaderna är avsevärt mindre än för motsvarande laboratorievärden.

7.9.3 Mätningarna maj 1976

Vattenkvoten (w_1) 1976 skiljer sig på flera punkter under 3 m djup väsentligt från motsvarande laboratorievärden 1974. Ibland är värdena högre, ibland lägre. Eftersom proven inte är tagna på exakt samma ställe eller nivå är en jämförelse omöjlig. Iakttagelsen visar bara att jorden och dess vatteninnehåll är starkt varierande både i plan och nivå inom försöksområdet.

7.9.4 Slutsatser

Skillnaderna mellan laboratorievärden och neutronsondvärden är för denna undersökning av underordnad betydelse. Avsikten med detta projekt har varit att studera förändringar i vattenhalter vid olika tidpunkter under vegetationssäsongen. Vid en jämförelse av vattenhalter från samma nivå vid olika tidpunkt är absolutvärdet i vattenhalt mindre intressant.

8 SAMMANVÄGNING AV OLIKA DATA

8.1 Allmänt

Att träd kan påverka sättningarnas storlek och medverka till skador på hus måste anses helt klart. Både den gjorda litteratursökningen och de observationer som gjorts inom det sättningsskadade villaområdet i Enskede, där vårt försöksområde ligger understriker detta. Vid uppgrävning vid och under skadade hus har en stor mängd rötter påträffats. Jorden under grundmurarna är avsevärt mer kompakt än jorden på samma nivå under huset. Sambandet mellan närvaro av träd och allvarliga skador på hus är påfallande. Inte så att alla hus med träd nödvändigtvis måste vara skadade utan mer så att om det finns träd så är skadorna på skadade hus allvarligare än vid närliggande hus utan träd. Det tycks alltså som om träd avsevärt kan försvåra skadorna på hus.

De mätningar som gjorts av vattenhalten på olika avstånd från träd och kring hus ger dock mycket svag ledning för tolkning av orsakssambanden. Tydligt är att en mängd faktorer samverkar till de resultat som man ser resultatet av. Detta projekt har inte kunnat dokumentera ett direkt samband mellan vattenupptagning under vegetationsperioden och husskador. Sambanden är troligen mer komplexa och ingående faktorer verkar också under längre tidsperioder än våra mätperioder.

8.2 Förändringar i trädens omgivning

Ett träd växer normalt upp i balans med de förhållanden som finns på dess växtplats. Rotsystem och krona utvecklas så att rötterna kan förse kronan med tillräckligt med näring och vatten. Är vattentillgången liten och jorden mager blir tillväxten liten och träden blir förhållandevis mindre, även som fullt utväxta exemplar, än om de står på en plats med god tillgång på vatten och närsalter.

I många fall kan rubbningar i främst uppvuxna träds vattenbalans sättas i samband med att träd orsakar kraftiga skador på hus. I litteraturen talar man om t ex hårdgörning av ytor över rotsystemet, nya ledningar som avskär ett markvattenflöde, husbyggande i närheten och plantering av nya träd.

Vid Tistelvägen i Enskede har tillgången på vatten och förmodligen också på näring varit god att döma av trädens kraftiga tillväxt under främst 1940- och 1950-talen.

Tillgången på vatten minskade i samband med att en dagvattenledning las ner i Tistelvägen 1962 (jfr KAP 7.2.9). Träden fick då mindre vatten genom att

en markvattenström från moränkullarna norr om dalgången skars av. (Man hade tidigare problem med översvämningar på tomterna söder om Tistelvägen på våarna. Översvämningarna har upphört sedan ledningen byggdes.) Träden fick också bättre möjlighet att utnyttja vatten djupare ner i jordprofilen genom att "fritt vatten" dränerades av till ledningsgraven. Luftinnehållet i jorden blev då tillräckligt för att tillåta rotandning. Träden hade en krona som fordrade en viss kvantitet vatten. För att kompensera den mängd lätt-tillgängligt vatten som träden gått miste om måste vatten tas från områden som inte tidigare utnyttjats eller så utnyttjades vattenmagasinet i redan genomrotade delar mer än tidigare.

En "tät" modern ledning tillåts enligt täthetsnormerna dränera av ca 1 l/10 min/10 m ledning vid den lutning som dagvattenledningen i Tistelvägen har (Carlstedt 1974). Det betyder mer än 170 l/dygn för en sträcka förbi ett trädskrona (12 m). En gammal ledning inom ett område som varit utsatt för sättningar borde rimligen dränera av ändå mer. Förmodligen dränerar ledningen bort mer vatten under vår och höst än som träden transpirerar (jfr KAP 7.8.5) under hela året.

8.3 Vattenbalansen inom området

Ofta hör man att träd måste orsaka skador därför att de förbrukar så mycket vatten. 500 - 600 - 700 liter per dygn nämns. Under 1974 och 1975 har trädens vattenupptagning troligen varit betydligt lägre.

Mätningarna i detta projekt visar att mängden vatten som omsätts under en vegetationssäsong var ungefär lika 1974 och 1975. Det är inte någon större skillnad mellan "på gräsmatta" och "vid träd". 1974 tillfördes en stor del av den borttranspirerade vattenmängden genom regn. 1975 utnyttjades markvattenmagasinet hårdare.

Skillnaden mellan högsta och lägsta vattenhalt 1974 och 1975 är inte större "vid träd" (rör 2 och 4) än "på gräsmatta" (rör 6 och 7). FIGUR 92a - d.

Skillnaderna mellan 1975 med träd och 1976 utan träd antyder att träden påverkar vattenbalansen vid trädgata med ca 70 mm en nederbördsfattig vegetationssäsong (maj-november). Även områdets totala vattenbalans påverkas. Vatteninnehållet på gräsmattan var ca 60 mm mindre under 1976 än 1975. Troligen beror detta på att markvattenströmningen från gräsytan mot träden/gatan minskat.

Vattenbalansens "takvärde" nederbörd + magasinförändring 1974 var större än 1975. En del av förklaringen ligger i att en relativt stor del av sommarnederbörden aldrig kommer ner i jorden utan avdunstar di-

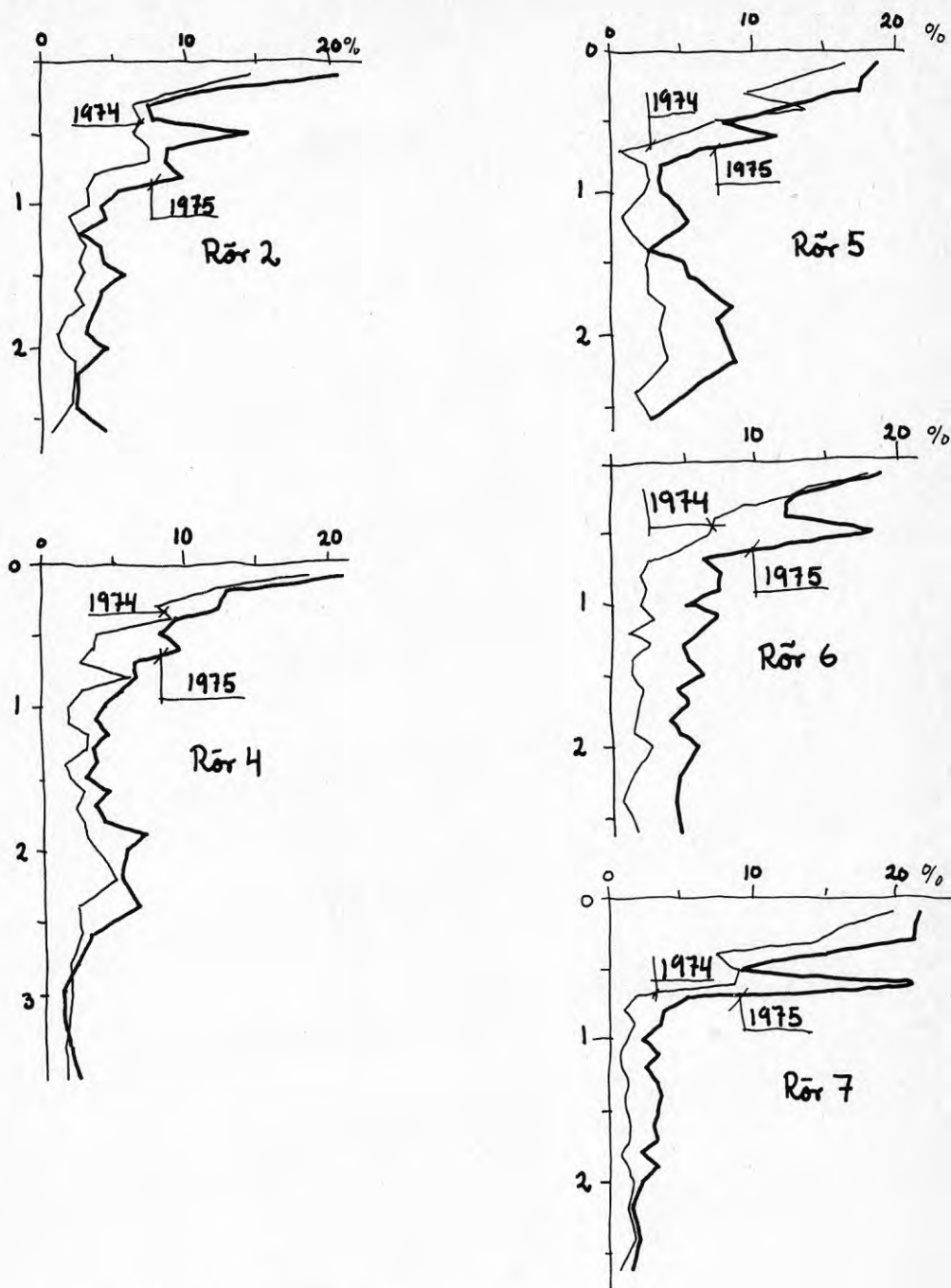


FIG. 92. a) - e) Skillnaden mellan max- och minvärden i vattenhalt 1974 och 1975 för rören 2 och 4 ("vid träd") och 5, 6 och 7 ("på gräsmatta").

rekt från vegetationens blad o d samt från markytan. En annan förklaring till detta är den "lyxkonsumtion" som växter har när de har god tillgång på vatten (se KAP 5 och 6). En tredje förklaring är att en stor del av det infiltrerade vattnet dräneras av.

Det är möjligt att det finns ett "dränerande" stråk innanför tomtgränsen. Många diagram och beräkningar tyder snarare på en nedåtgående vattenrörelse än en uppåtgående.

En annan viktig faktor i vattenbalansen är hur mycket vatten som dräneras av till ledningar och ledningsgravar och hur mycket som tillförs från läckande ledningar. Hur mycket ledningar påverkar områdets vattenhalter går inte att säga, men mätningarna tyder på att åtminstone en läckande avloppsledning måste ha stor betydelse för vattenbalansen. Det är också svårt att uttala sig om hur annan vegetation inom försöksområdet "stör" mätresultaten.

Vegetationen kan endast utnyttja den del av vattnet i jorden som är bundet med mindre undertryck än ca 15 atm (vissningsgräns), FIGUR 93. Mätningarna visar att det i hela profilen finns gott om växttillgängligt vatten även i slutet av torrsommaren 1975. Endast ca 30 % av maximalt möjlig avsugning har skett i den översta metern. I den andra metern är motsvarande summa mindre än 20 %.

8.4 Jordprofilen inom området

I början av detta projekt gjordes två mekaniska analysserier på jorden "vid träd" och "på gräsmatta". Av dessa analyser drog vi den slutsatsen att jorden inom försöksområdet borde vara likartad.

Detta antagande är förmodligen felaktigt. I de tio "helprofiler" som togs upp våren 1976 går det inte att återfinns t ex observerade molager i prov på bara några meters avstånd.

I beskrivningen till den geologiska kartan Stockholm NO står det om den glaciala leran:

"Den starkt brutna berggrundsytan har här gynnat uppkomsten av omfattande skred, vid vilka mäktiga lerpackar glidit ut över tidigare avsatt lera på lägre nivå. Sådana skred har varit vanliga såväl under som efter den glaciala lerans bildningstid. Som exempel kan nämnas att t o m väl bevarade, men helt upp- och nervända metermäktiga partier av varvig lera förekommer inskjutna i primära lagerföljder i dalgången vid Ullna och vid Valla gårde i den stora dalgången vid Enskede."

Vid Tistelvägen finns just den förutsättning som om-

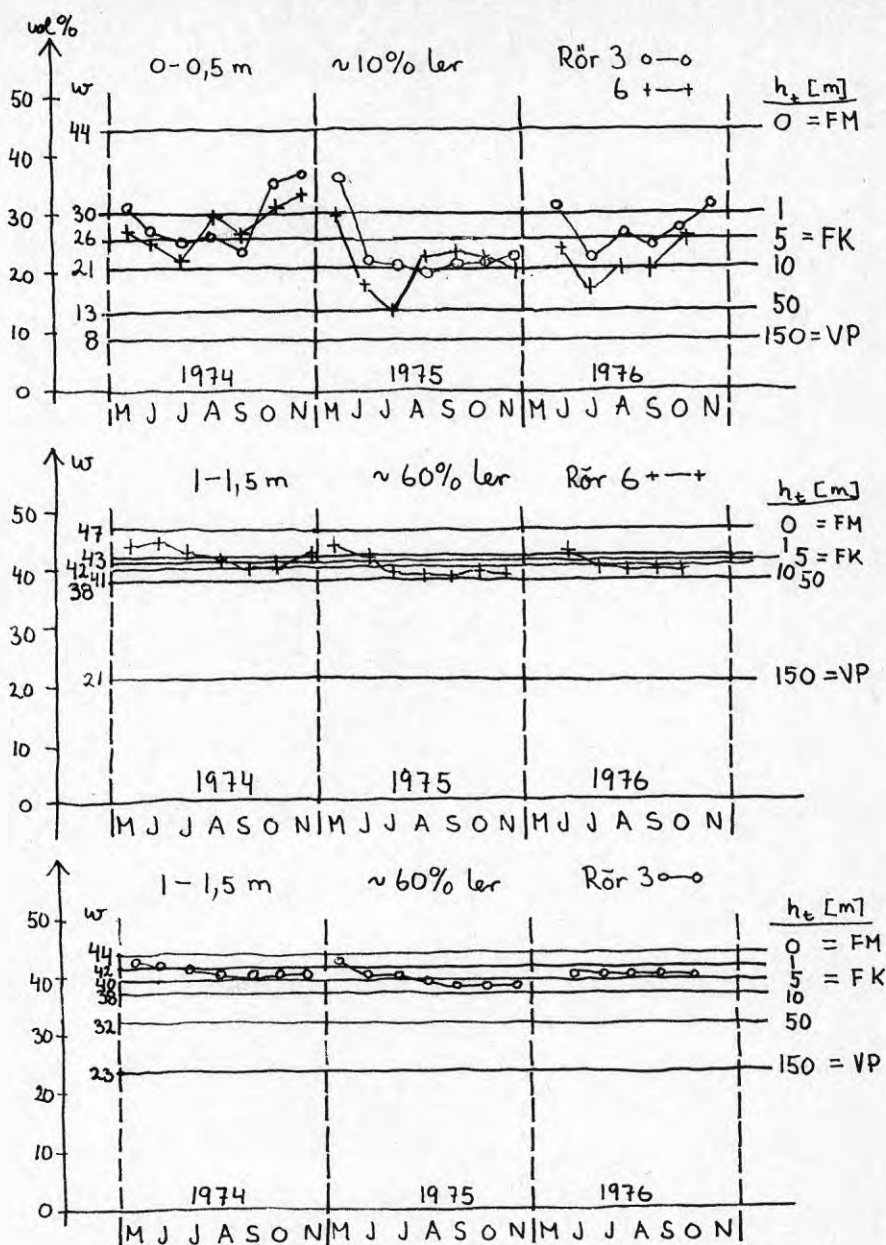


FIG. 93. Vattenhalten i två jordlager 0 - 0,5 och 1 - 1,5 i rören 3 och 6 i förhållande till vattenhalten vid olika avvattningstryck (om vattenpelare = full mättnad = FM, 1 m vp, 5 m vp = Fältkapacitet = FK, 10 m vp, 50 m vp, 150 m vp = vissningspunkt = VP). Vattenhalterna vid olika avvattningstryck har beräknats med avseende på jordens lerhalt i de observerade skikten med hjälp av Andersson, S, Wiklert, P (1972).

nämns i citatet, en starkt bruten berggrund (se FIGUR 94). I kolvborrprov både norr, öster och väster om försöksområdet har påträffats lera, där lerlagren lutar upp till 60° - 70°.

I en punkt där kontinuerlig provtagning med kolvborr gjorts var jorden under ca 4 m djup starkt "störd" i sin lagring. Man fann vågbildningar och kraftiga verkningar av ler och moskikt. I homogena lerpartier fanns "droppar" av grövre material och moskikt var uppblandade med ärtstora lerklumpar.

Eftersom leran innehåller i många fall ganska markerade mo/mjåla-skikt kan dessa, om de lutar, komma att bestämma dräneringen av området. Likaså kan brottzoner i skred under glacial och postglacial tid få större genomsläpplighet än omgivande lera.

Sandskiktet nära ytan vid provområdet är i det närmaste horisontellt inom det område där vi har "vattenhaltsprofilen" (rör 3 - 7) och det trots att det är så stora skillnader i torrvolymvikter och porositet under sandskiktet. Man kan då fråga sig om inte dessa skillnader har orsakats av en komprimering som skett i samband med jordskred innan sandskiktet avsattes, snarare än av trädens påverkan av jorden.

I en jordprofil där lerlagren inte ligger horisontellt utan där lagringen kan ha brutits upp är möjligheten för rötter större att söka sig mot djupet i gränsskikt och sprickor. En utdränering av "överskottsvatten" är en förutsättning för denna fördjupning av rotsystemet. Alm har en stor rotenergi och kan penetrera relativt tät lera om förutsättningar för rotandning finns. Rotinväxning i den dränerade zonen kan öppna spricksystemet och förbättra dräneringen ytterligare.

8.5 Träds påverkan av sättningar och husskador

I litteraturen framförs som viktigaste orsak till sättningar att träd genom sin stora vattenupptagning får jorden att krympa. Om rötter växer in under grundmurarna och där avvattnar jorden skulle denna krympning medföra att huset skadas.

Denna effekt bör vara allt mer uttalad ju grundare grundlagt ett hus är. I den engelska byggforskningens informationsblad (TIL 43 oct 1972) "Damage to buildings on shrinkable clay sites" (Building Research Advisory Service) sägs bl a att det räcker att grundförstärka ett av träd sättningshotat hus genom att gjuta ner ytterväggarna till "minst 1,0 m djup". Bakom denna rekommendation ligger troligen det faktum att huvuddelen av trädets vattenupptagning sker i zonen över denna nivå. 97,3 % av alla rötter finns enligt en engelsk undersökning (Jaffa, 197) i de

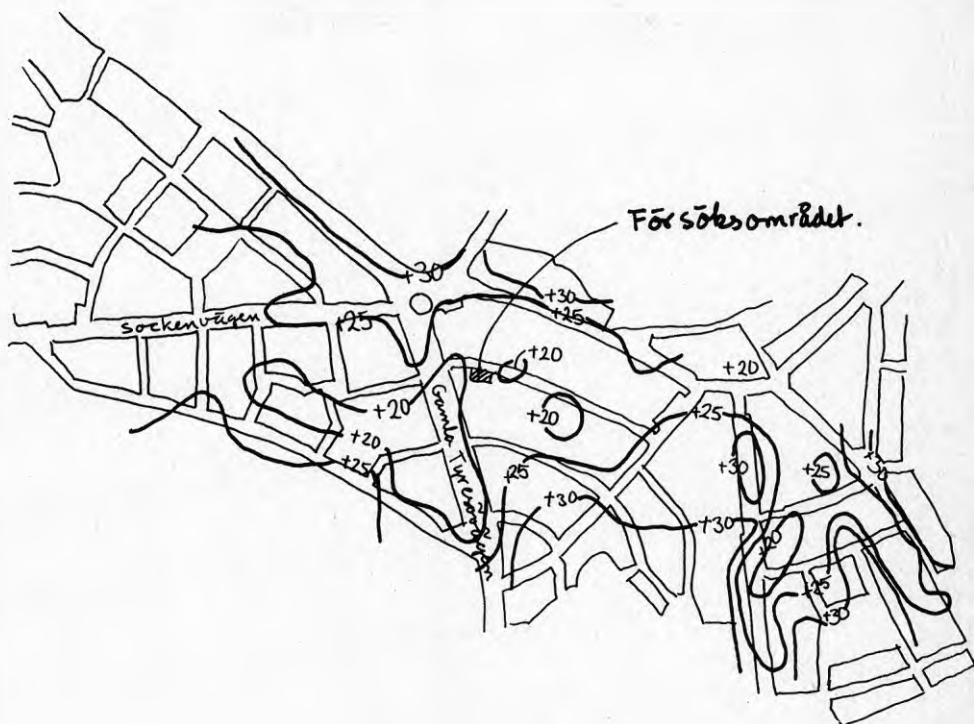


FIG. 94. Nivån på bergytan under leran erhållen genom sammanställning av uppgifter om berg eller förmodat berg i geotekniska borrhypor och sonderingspunkter.

översta 1,2 m (4') och de djupaste på ungefär 3 m (10 1/4').

Detta skulle innebära att de grundläggningsdjup som finns i Enskededalen skulle vara "betryggande". Så är tydligen inte fallet. I augusti 1976 grävdes jorden upp intill flera hus längs Tistelvägen. Husen skulle grundförstärkas. Därför schaktades också gropar upp inne under källargolven. Både i schakten kring husen och i groparna under källargolven fanns både grova och fina rötter. Leran under grundsulorna var fastare än leran på motsvarande nivå under källargolvet. Alldeles under källargolvet (200-300 mm) var leran betydligt fastare än djupare därunder. Det var i den fastare leran man fann rötterna. Leran under hushörnen mot gatan (närmast träden) hade krympt och på ett ställe lämnat grundsulan ca 25 mm.

Träd tar upp vatten i en relativt markerad rotzon nära markytan. Genom denna upptorkning hindras nederbördsvatten att perkolera (lägre genomsläpplighet + insugning av vatten i den upptorkade zonen) och medför dessutom en uppåtriktad vattenström från jord med högre vatteninnehåll. Vattnet strömmar från områden med högre potential till områden med lägre. Även om den kapillära transportförmågan i en lera är låg och inte i någon högre grad kan påverka vattenhalterna, så kan denna uppsugning medföra att en komprimerande kraft påtvingas jorden. Hindras perkolationen genom en upptorkad zon medför detta ett avbrott i "sjunkvattnets" vidare perkolation. På så sätt kan det bli skillnader både i uppåt- och nedåtgående vattenströmningar (potentialskillnader mellan "vid träd och områden "utan träd").

Det är inte någon större skillnad mellan vattenförändringarna "vid träd" och "på gräsmatta" men det finns mindre vattenmagasin "vid träd". En större vattenbindande kraft måste övervinnas "vid träd" för att ta upp samma kvantitet vatten. För att i detalj studera träds påverkan av sättningarna borde man se på potentialskillnader i stället för på vattenhaltsskillnader.

Trädens egenvikt medför en ökad belastning på jorden. Vid stark vind kan också dynamiska laster påföras jorden genom rotsystemet. Dessa effekter har inte studerats i detta projekt.

8.6 Trädens rotsystem

I litteraturen finns olika generella uppgifter om hur stor ett träds rotutbredning kan vara. Ibland hävdas att rotmassan finns i jorden ut till kronperiferin. Största rotutbredning som angetts i studerad litteratur är 1,3 x trädets höjd.

Rotsystemets utbredning är bara till en ringa del

artgenetiskt bundet. Utbredningen påverkas i verkligheten av en mängd olika faktorer som t ex jordens vatteninnehåll, jordens mekaniska motstånd, ytbeklägning och konkurrens från annan vegetation.

Rötternas utbredning mot djupet påverkas av samma faktorer som utbredningen i plan. Nedåt begränsas rot-tillväxten av tillgången på syre för rotandning. En högt liggande grundvattenyta (markvattenyta) hindrar vidare nerträngning av rötter. Rotzonen slutar normalt någon decimeter över normalvattenytan. För att möjliggöra rotandning måste jordluften innehålla mer än 11 % syre (Ruge 1972). Gasutbytet med atmosfären, som har syrehalten 21 %, sker genom diffusion. Möjligheterna till gasutbyte minskar med ökat avstånd från markytan och med minskad "fri" porvolym och ökad vattenhalt. Detta gör att huvuddelen av rotmassan finns nära markytan. Ofta finns det en övre väl genomrotad zon på 0,7 - 1,0 m och under den en zon med enstaka rötter.

Av de vattenhaltsmätningar som gjorts i Enskede går det inte att i detalj utvärdera rotsystemets utbredning för de träd som ingår i mätprogrammet. Mätningarna antyder dock att huvuddelen av trädens vattenuptagning sker i den översta metern av jorden. Någon avgränsning i plan går inte att göra. Upptorkningsförloppet är likartat ända in på gräsmattan.

Rör nr 7 är det enda som har ett avvikande upptorkningsförlopp. Om rotutbredningen är så stor som 1,3 x trädhöjden och almarnas rötter alltså sträcker sig ända in på gräsmattan (ca 20 m) så borde träden i tomtgränsen söder om rör 7 ha sina rötter i jorden vid rör 7. Avståndet mellan rör 7 och närmaste träd är ca 5 m.

I provgropar kan man konstatera att jordens översta 0,50 m är genomvävd av fina rötter från träd, buskar och gräs. På 0,6 - 0,7 m djup ligger almarnas horisontella huvudrötter. Under detta skikt är rötterna åter tunnare. Antalet rötter avtar mot djupet. Under en viss nivå inom området, ca 1,0 - 1,2 m, finns endast enstaka rötter. Se KAP 6.5.2. I schakter vid och under hus har man hittat både fina och grova rötter. Många går godrätt ner längs husgrunden ner under grundläggningsnivån. Under husen har rötter också hittats i leran alldeles under dräneringslagret under betonggolvet.

8.7 Beslut om fällning av träden

Redan innan detta projekt startade hade frågan om fällning av träden tagits upp. Stockholms kommun var dock något tveksam om att göra detta drastiska ingrepp i miljön. Under vintern 1975-76 intensifierades diskussionerna åter, sedan det stod klart att bevattning av träden inte varit en så effektiv åtgärd som man hoppats.

I mars informerades invånarna inom området att kommunen beslutat fälla träden.

Beslutet om fällning grundades på ståndpunkten att träden innebär en uppenbar risk för fortsatta skador på hus. Husen var i många fall redan så skadade att risken för t o m ras var överhängande. Eftersom området fortfarande satte sig på grund av den inträffade grundvattentrycksänkningen och husen inte grundförstärkts med pålar till fast botten ville kommunen inte tillåta att träden kunde förvärra denna sättning och ge ytterligare snedsättning på husen.

Kommunen rekommenderade också att husägarna skulle åtgärda träd och större buskar på tomtmark (FIGUR 95). Rekommendationen var hård och måste ses mot bakgrund av de svårartade förhållandena inom området. Påpekas bör att den endast gäller detta särskilda område och inte får ses som en generell rekommendation.

Sedan träden tagits bort har sättningarna varit små längs Tistelvägen. Sättningarna har fortsatt vid andra näraliggande pegrar vid träd. Att ta ner träden har därför varit en effektiv åtgärd att motverka vidare sättningar.

Under hösten 1976 och våren-sommaren 1977 har flertalet skadade hus längs Tistelvägen grundförstärkts med pålar till fast botten. Nu höjs krav på återplantering av träd för att förbättra miljön.

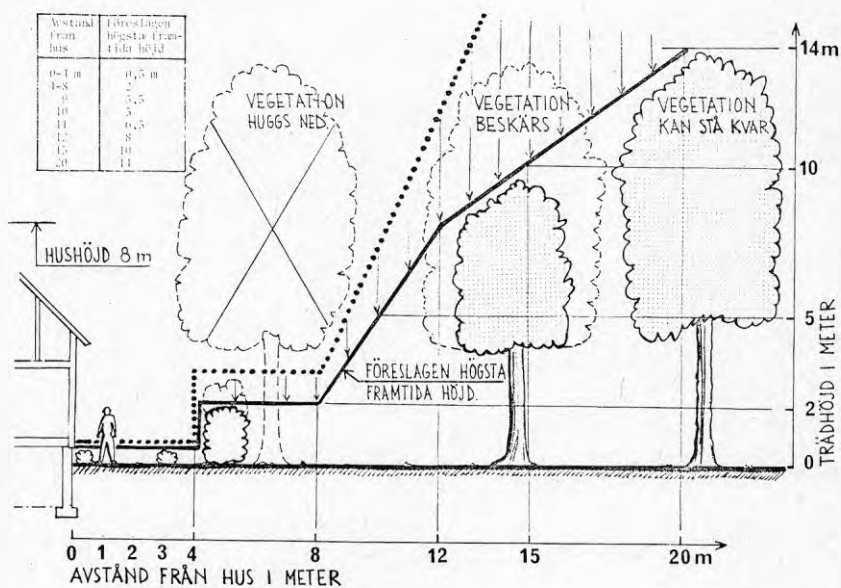


FIG. 95. Rekommenderade högsta höjden på vegetation vid skadade hus i Enskededalen (Sven Tyrén AB, 1976).

9 RESULTAT

9.1 Allmänt

Sammanställningen av delresultat från detta projekt har skett kontinuerligt från och med hösten 1974. Då resultat många gånger varit "motsägande" har nya angreppssätt på problemen hela tiden prövats. Projektet har därför kommit att avvika en hel del från det program som skrevs våren 1974. Under arbetets gång har också nya frågeställningar kommit fram som vi försökt lösa inom projektets ram.

Projektet skisserades som ett pilotprojekt där vi dels ville testa vissa hypoteser (KAP 2), dels testa metoder att undersöka sambandet mellan träd och sättningar.

Sambandet mellan träd och sättningar och mellan mark-sättningar och hussättningar är avsevärt mycket mer komplicerat än som kom till uttryck i vårt första program. Försöksområdet har visat sig vara fullt av störningar som gjort det svårt att entydigt tolka tendenser och trender i undersökningsmaterialet. Här finns äppelträd, häckar och prydnadsbuskar som tar upp vatten. Ledningar och ledningsgravar dränerar ur marken. Läckande avloppsledningar ger ett okänt tillskott på vatten. Förmodligen är det också skillnader i jordprofilen. Allt detta gör att det är svårt att med säkerhet peka på effekter som entydigt beror enbart av träden.

Mätningarna har visat att vissa av de modeller som detta projekt utgått från inte varit helt riktiga. Detta har gjort att det har varit svårt att testa uppställda hypoteser.

Det finns många belägg från området i sin helhet att det finns ett samband mellan närvaron av träd och svåra skador på hus. Med mätningarna går det inte att bevisa att det finns några tydliga direkta samband mellan träds vattenupptagning, torrskorpebildning, sättningar och skador på hus.

9.2 Genomgång av hypoteser

Hypotes 1 (torrskorpans tjocklek)

Våren 1974 bestämdes torrskorpans tjocklek genom viktsondering. Fri sjunkning börjar vid 0,9 m "på gräsmattan" och vid 1,8 och 2,6 m "vid träd".

Vid den geologiska undersökningen våren 1976 bedömdes torrskorpans tjocklek genom okulärbesiktning av upptagna "helprofiler". Jorden var kraftigt uppsprucken och betecknades som "primär torrskorpa" ner till

sandlagret. Under detta lager fanns ett skikt med överkonsoliderad lera som betecknades som "sekundär torrskorpa". Gränsen mellan "sekundär torrskorpa" och lösare lera ligger ungefär lika långt under markytan "vid träd" (2,0 m) som "på gräsmattan" (1,85 m).

Begreppet "torrskorpa" är tydligen inte tillräckligt väl definierat. Den process som vi avsåg att mäta resultatet av tycks i mindre grad ha påverkat kvantiteten än kvaliteten på "torrskorpan".

Mätningarna av vattenhalter visar att det finns luft långt under de nivåer som de undre peglarna i pegelparen placerats. Avsikten var att placera dessa i gränsen mellan torrskorpa och icke uppsprucken och 100 %-igt vattenfylld lera.

Slutsats: Om torrskorpegränsen är gränsen mellan uppsprucken omättad jord och homogen 100 %-igt vattenfylld lera, vilket vår utgångsmodell utgår från, är torrskorpan avsevärt mycket djupare än vad vi antagit i modellen. Torrskorpan är mer komprimerad "vid träd" än "på gräsmattan".

Hypotes 2 (olikheter i sättningar)

Vi antog i forskningsprogrammet att sättningarna skulle vara större "vid träd" än "på gräsmattan", därför att träd har stor vattenupptagning.

Den totala marksättningen (övre pegel) har varit ungefär lika stor "vid träd" som "på gräsmatta". Skillnaden är större mellan peglar vid olika träd än mellan gräsmatta och medelvärdet av trädpegelarna. Sättningarnas absolutvärde var 3 till 10 gånger större 1975 än 1974. Sedan träden fällts har den totala sättningen minskat vid samtliga peglar. Störst var minskningen vid träd.

Sättningen i den undre pegeln (avsåg att mäta konsolideringssättningar i leran under torrskorpan) visar ingen skillnad 1974/75 mellan peglar "vid träd" och pegeln "på gräsmattan". År 1975/76 var sättningen i den undre pegeln avsevärt större "på gräsmatta" (ca 30 mm) än "vid träd" (ca 17 respektive 6 mm). Sättningarna varierar klart med djupet på pegeln, så att pegeln på 0,90 m satte sig 30 mm, den på 1,8 m satte sig 17 mm och den på 2,6 m satte sig 6 mm.

De undre peglarna "vid träd" har i det närmaste stått stilla sedan träden fälldes. Den undre pegeln "på gräsmattan" satte sig ca 6 mm sommaren 1976.

Skillnaden i sättning mellan 1974/75 och 1975/76 är endast 2 mm på nivån 2,6 m (vid träd) och 13 mm på nivån 1,8 m (vid träd) och 25 mm på nivån 0,9 m (på gräsmatta).

Mätningarna har visat att de största markrörelserna (sättning och svällning) sker i jordens översta del. Det finns ett samband mellan vatteninnehållet mellan peglarna och skillnaden i rörelse mellan övre och undre pegel. Men det fordras en minskning av vatteninnehållet med 3 - 5 mm för att ge en sättningskillnad på 1 mm.

Hypotesen har inte kunnat testas i sin helhet. Det har inte varit möjligt att konstatera om eller när det skulle ha funnits fritt vatten i torrskorpan.

Modellen av jordprofilens uppbyggnad, som vårt resonemang har byggt på, har visat sig inte stämma med gjorda mätningar (jfr Hypotes 1). Samtliga undre peglar ligger långt ovanför en "fri vattenyta" under så gott som hela mätperioden. Även rörelserna i de undre peglarna är förmodligen snarare att hänföra till krympning av leran i den omättade zonen än till konsolideringssättningar (utpressning av vatten) i den 100 %-igt vattenmättade leran.

Sättningsberäkningar som utgår från skillnader i torrvolymvikter mellan rör "på gräsmatta" och rör "vid träd" visar att jordens övre tre meter "vid träd" skulle ha satt sig ca 0,30 m. Det är tveksamt om detta helt kan bero på trädens vattenupptagning. Olikheter i jordprofilen kan ha förstärkts av träden.

Slutsats: Resultaten av mätningarna av sättningar, vattenhalter och torrvolymvikter visar att det inte finns något entydigt samband mellan sättningarnas storlek och avståndet till träd inom försöksområdet. Det pågår en allmän sättning av andra orsaker (t ex grundvattentrycksänkning, utdränning till ledningar m m). Klart är dock att trädens vattenupptagning påverkar sättningsförloppen. Nedsågningen av träden har medfört att sättningarna i det närmaste upphört vid träden. De uppmätta sättningarna är mindre än vad man borde förvänta sig av de "allmänna" sättningarna. Det är troligt att jorden vid träden i någon mån åter har tagit upp vatten och svällt. Denna svällning kompenserar en del av den "allmänna sättningen".

Hypotes 3 (sättning och skador på hus)

Mätningar av vattenhalter och torrvolymvikter kan inte fastslå att det skett någon avsevärt större upp-torkning vid hörn som står närmare träd än hörn på längre avstånd från träd. Skillnaden mellan rör "på gräsmatta" och rör "vid hus" är också liten. Alldeles under grundläggningsnivån finns en zon med något lägre vattenhalter. Uttorkningen är dock för liten att helt förklara sättningskillnaderna.

Däremot har vi funnit en mängd rötter under grundläggningsnivån under flera hus inom området. Det har hittats rötter även vid Tistelvägen 20, men dessa har

tydligt inte ens under en så lång torrperiod som sommaren 1975 medfört några särskilt stora skillnader i vattenhalterna i jorden mellan olika delar av husgrunden.

Inte heller visar mätningarna av torrvolymvikter några stora skillnader. Skillnaderna kan inte tolkas som olikheter i sättning på grund av olika "torrskorpebildning" på grund av olika avstånd till träd. Vid det uppgrävda huset kunde man dock tydligt se att jorden krympt under hushörnen. En springa på ca 25 mm uppmättes. Det är möjligt att förhållandena vid Tistelvägen 20 är störda av en läckande avloppsledning. Jorden tillförs kontinuerligt så mycket vatten att trädens vattenupptagning inte påverkar vattenhalterna vid mätrören särskilt mycket.

En förklaring kan vara att krympning på grund av vattenupptagning från leran skett i en så smal zon alldeles under grundsulan att mätmetoden inte fullt ut registrerar den lägre vattenhalten.

Slutsats: Mätningarna kan inte klart visa något direkt samband mellan avståndet till träd och jordens "upptorkning och komprimering".

9.3 Ny hypotes

Under projektets gång har många olika mätresultat och observationer visat att de hypoteser vi ställde upp att testa måste bygga på ofullständiga utgångspunkter. Det är tydligt att vår utgångsmodell var för enkel. Jorden i en jordprofil påverkas på ett mer komplicerat sätt av bl a vegetation än vad vi förutsåg.

Mätningarna visar att för försöksområdet gäller att

- det är små skillnader i vattenupptagning mellan "gräsmatta" och "träd",
- det finns luft djupare ner i jorden än som tidigare antagits,
- det fordras en vattenförändring på 3 - 5 mm för att ge en sättning på 1 mm i "torrskorpan",
- sättningarna under en torrperiod snarare tycks ske i "torrskorpan" undre del än i leran under "torrskorpan".

Bl a detta ger anledning att ställa upp en ny hypotes om vegetationens påverkan av sättningsförloppet.

Mycket talar för att det inte är mängden vatten som tas ut ur en volym jord som bestämmer storleken på sättningen. Det är i stället troligt att sambandet skall sökas mellan förändringar i vattnets potential och sättningar. Samma förändring i vattenhalt kan ge olika påverkan av vattnets potential beroende på vilket "utgångsvärde" potentialen hade innan vattenförändringen.

Skulle man genom att utgå från potentialskillnader finna ett samband mellan sättningar och trädsvattenuptagning skulle detta förklara många dunkla samband. Eftersom många faktorer påverkar "utgångspotentialen" så borde det vara möjligt att förklara t ex varför man inte haft markanta sättningsskador förrän en dagvattenledning byggts och grundvattentrycket sänkts vid Tistelvägen. Träden måste under 40- och 50-talen ha tagit upp minst lika mycket vatten från jorden som under 1970-talet. Utvidgning av rotsystemet kan bara till viss del förklara skadorna. Likaså skulle det gå att förklara varför man har sättningar i den övre delen av jorden under tiden när vegetationens transpiration är liten eller ingen alls.

Sambandet mellan vegetationens vattenuptagning och vattnets potential på olika nivå i jorden under vegetationsperioden borde vara utgångspunkt för nya forskningsprojekt.

Mot bakgrund av rön från ett sådant projekt borde de klassiska konsolideringsteorierna för sättningar kunna omprövas. Ett embryo till teori finns i KAP 7.7. Den utgår från att kapillärkrafterna alldeles under "avsugningszonen" är den viktigaste faktorn vid "torrskorpebildningen".

Hypotes: Vegetationens vattenuptagning påverkar sättningar i lera genom att den förändrar vattnets potential i rotzonen och därigenom åstadkommer en strömning av vatten från mer vattenmättad jord (lägre potential) till den mer upptorkade rotzonen (högre potential). Krympning kan därför ske av jorden både i och under rotzonen.

9.4 Bedömning av vissa undersökningsmetoder

Markvattenmätningar med neutronsond

Resultaten från markvattenmätningarna ger en ganska god bild av fuktighetsförhållandena i jorden. Tyvärr får man bilden något störd, därför att det framtagna värdet utgör medeltalet av en sfär kring mätsonden på den observerade nivån. Tunna skikt med starkt avvikande vattenhalt "slätas" därför ut, så att skikt med högre vattenhalt än omgivningen anges med för lågt värde och skikt med lägre vattenhalt än omgivningen med för högt värde.

Mätmetodens angivna noggrannhet $\pm 1\%$ är i de flesta fall fullt tillräcklig. När det gäller att genom jämförelse av mätta vattenhalter och beräknad porvolym sluta sig till var jorden är 100 %-igt vattenmättad är den emellertid inte tillräckligt god.

Själva mätförfarandet kanske skulle gå att förbättra.

Om sonden sänktes med en låg men konstant hastighet och antalet mottagna pulser registrerades per tidsenhet skulle man kanske lättare kunna registrera tunn skikt med avvikande vattenhalt.

Ett kortare mätintervall än 1 gång per månad skulle ge bättre bild av upptorknings- respektive uppfuktningens förloppen.

Volymviktsbestämning med gamma-sond

Att mäta var sättningar skett genom att studera skillnader i torra volymvikter visade sig medföra svårare problem än vi väntat oss. Även om vi inte kunde utnyttja samma apparatur vid samtliga mättillfällen kan vi konstatera att metoden bara är användbar där det är stora sättningar och där ingen sidopressning av jord förekommer.

Mätmetodens standardavvikelse ger en noggrannhet på 0,02 g/cm³. Detta motsvarar en sättning på i runt tal 1,3 mm för ett 100 mm skikt, eller 13 mm/m. Man kan således inte vara säker på om skillnaden på en enskild mätnivå beror på mätmetodens osäkerhet eller om det skett en komprimering av jorden inom skiktet. Ett antal mätpunkter efter varandra, som visar en klar tendens, kan dock ge en uppfattning om att det hänt något i jorden inom zonen.

Pegelmätningar

Två peggler i en punkt är för litet för att uttala sig om var sättningen inträffat. Det går inte att göra några egentliga jämförelser mellan pegelpar på olika ställen när peggarna sitter på så olika nivåer som i detta projekt.

För att få fram data som går att bearbeta borde man ha samma pegeluppsättning vid alla punkter som skall jämföras. Man borde ha peggler på varje halvmeter genom hela jordprofilen.

Den höga noggrannheten i pegelavläsningarna (på 1/10-ar av mm) går inte att utnyttja. En enklare utrustning för sättningsmätning på många olika nivåer i samma punkt skulle ge bättre resultat.

Jalusi-provtagare typ U-balk

För den geologiska undersökningen våren 1976 användes en typ av jalusi-provtagare som tidigare främst utnyttjats för lösa leror. Den består av en U-balk av aluminium som först skjuts ner i jorden. Därefter skjuts ett "lock" ner för den fria sidan av balken innan hela "paketet" dras upp. Locket dras sedan av och lerytan rensas med en spatel.

I jordar av den typ som finns inom undersökningsområdet blir den yta man får fram för att betrakta med detta förfarande ganska störd. Det är svårt att t ex på fotografier se om färg- och strukturskillnader beror på jorden eller på "rensningsförfarandet".

Metoden borde förbättras dels så att den gick att utföra djupare ner i profilen, dels att provet "renskars" på något sätt. Metoden är relativt billig och kan ge bra resultat när kravet på "ostört prov" inte är absolut. Utveckling bör också ske av enkla metoder att direkt i det upptagna provet bestämma t ex skärhållfasthet genom hela jordprofilen (vingborr, fallkon osv).

9.5 Sammanfattning

Resultaten sammanfattas med följande att-satser;

- att träd måste ha medverkat vid uppkomsten av sättningar,
- att träden troligen inte är den primära orsaken till sättningar och skador inom försöksområdet,
- att träd däremot förstärker skadeeffekter av andra ingrepp i områdets vattenbalans,
- att det av mätningarna inte går att säga på vilket sätt träd påverkat sättningarna inom försöksområdet,
- att tolkningen av insamlade data störts av dränerande ledningar, läckande avloppsledningar, olikheter i jordgrunden m m,
- att de uppmätta sättningarna "vid träd" minskat kraftigt sedan träden huggits ner,
- att även sättningarna "på gräsmattan" minskat. Sättningarna "på gräsmatta" är efter nedsågningen större än "vid träd",
- att torrvolymvikterna ökar (från ca 2 m djup) även sedan träden fällts,
- att vatteninnehållet i jorden under 2,5 m djup minskar även sedan träden fällts,
- att vattnets potential borde vara ett riktigare sätt att se på trädets påverkan av sättningar än vattenhalter,
- att det är en avsevärd vertikal och horisontell rörlighet på vatten i torrskorpan,
- att skillnaden i lägsta vatteninnehåll i jorden

mellan markytan och 2,5 m mellan "vid träd" och "på gräsmatta" ett extremt torrt år (1975) var ca 20 mm. Skillnaden mellan 0,5 och 2,5 m var ca 45 mm. I den översta halvmeteren var lägsta vatteninnehållet ca 20 mm lägre "på gräsmatta" än "vid träd",

- att skillnaden i lägsta vatteninnehåll "vid träd" 1975 (med träd) och 1976 (utan träd) var mellan markytan och 2,5 m ca 80 mm, - mellan 0,5 och 2,5 m ca 60 mm och i den översta halvmetern ca 20 mm,
- att tjockleken på torrskorpan inte är ett bra mått på trädets inverkan på sättningsarna,
- att modellen för sättningsförloppen "med" och "utan" markvatten bör omstuderas mot bakgrund av förändringar i vattnets potential,
- att sättningsskillnaden mellan gatu- och trädgårdssida på Tistelvägen 20 inte enbart har berott på en markerad upptorkning genom trädrotter under grundläggningen,
- att jorden innehåller en mängd rotter under grundläggningen och att det där är stora skillnader i lerans konsistens under grundsulorna och under källargolvet,
- att "övre grundvattenyta" (markvattenyta) inte går att konstruera fram ur mätdata från neutron- och gammasond,
- att luft finns djupt ner i jordprofilen,
- att neutronsondmetoden bör utvecklas så att man kan tolka fram tunna skikt med högre respektive lägre vattenhalt än omgivande jord,
- att mätning av volymvikten vid olika tidpunkter är en trubbig metod för att konstatera var sättningar inom jordprofilen ägt rum,
- att det behövs peglar på flera olika nivåer i samma punkt för att få ett klart begrepp om ett sättningsförlopp,
- att en enkel multi-nivå-spegel bör utvecklas samt
- att jalusi-provtagare typ U-balk är en metod som bör utvecklas vidare.

FIGURFÖRTECKNING

- FIG. 1. Modell av krympning av lera genom upptorkning.
- FIG. 2. Modeller för förändringar i belastningar vid grundvattentrycksänkning med och utan fritt markvatten.
- FIG. 3. Modell av ett lerområdes uppbyggnad med tanke på förekomst av vatten.
- FIG. 4. Placering av observationsrör och pegelpar.
- FIG. 5. Stångpegelpar.
- FIG. 6. Försöksområdets läge i stadsdelen Enskededalen söder om Stockholms centrum.
- FIG. 7. Allmän jordlagerföljd inom dalgångens centrala delar.
- FIG. 8. Skjuvhållfastheten som mått på torrskorpans tjocklek inom olika delar av lerområdet. (Sven Tyrén AB 1974).
- FIG. 9. Markvattnets variation i tre öppna markvattenobservationsrör längs Tistelvägen.
- FIG. 10. Grundvattentryckets variation i rör kring försöksområdet.
- FIG. 11. Grundvattenrören och markvattenrörens lägen kring försöksområdet.
- FIG. 12. Schematisk modell av grundvattenbildning m m.

- FIG. 13. Geoteknisk profil genom Tistelvägen, förbi försöksområdet.
- FIG. 14. Sambandet mellan nederbörd, grundvattentryck och sättningar inom försöksområdet.
- FIG. 15. Snitt och planer över det hus som finns inom försöksområdet.
- FIG: 16. Princip för grundläggningsmetoden.
- FIG. 17. Läget av de punkter där belastningen före och efter husets uppbyggnad studerats.
- FIG. 18. Principen för grundförstärkningen på Tistelvägen 20.
- FIG. 19. Ledningar kring Tistelvägen 20.
- FIG. 20. Vegetation inom försöksområdet.
- FIG. 21. Schematisk bild av vattnets olika potentialer på en och samma nivå i jorden (Richards 1965).
- FIG. 22. Vattenbindande tryck vid olika vattenhalt för jordar med olika lerhalt (Andersson 1974).
- FIG. 23. Vattenhalten vid olika djup grundvattenytan vid dräneringsjämvikt (Johansson 1974).
- FIG. 24. En jords ledningsförmåga är beroende av vattenhalten (Moore 1939) och vattnets potential Ψ och den hydrauliska ledningsförmågan (K) som funktion av vattenhalten (ω) i en lättlera (Philip 1957).
- FIG. 25. Schematiskt tvärsnitt genom en rot.

- FIG. 26. Vattenupptagning i olika zoner i en bönrot vid konstant vattenpotentialskillnad (ΔP 1.3 bar) (Brouwer 1954).
- FIG. 27. Transpiration, stomataöppning, lufttemperatur och evaporation under en varm junidag (Cynoglossum officinale) (Willis, Jefferies 1963).
- FIG. 28. Tvärsnitt av ett blad (Meyer, Andersson 1952).
- FIG. 29. Principen för klyvöppningarnas öppnande och slutande (Freeman 1952).
- FIG. 30. Vattenförbrukningen per vecka för unga poppelträd under en vegetationsperiod i Freiburg i Tyskland (Schmidt 1972).
- FIG. 31. Transpirationens storlek för olika gamla träd (aspar) (Ryssland) (Smirnow, Odinowkova 1954).
- FIG. 32. Effekten av minskande vattenhalt i jorden vid hög, medelhög och låg potentiell transpiration (Denmead, Shaw 1962).
- FIG. 33. Månadsnederbörden (N) och den potentiella avdunstningen (E_0) 1974 till 1976 i Stockholm (SMHI).
- FIG. 34. Vattenhaltens variation i rör 3 under 1974.
- FIG. 35. Vattenhaltens variation i rör 3 under 1975.
- FIG. 36. Vattenhaltens variation i rör 3 under 1976.
- FIG. 37. Vattenhaltens variation (volymprocent vatten) mot djupet på olika avstånd från träd längs linjen rör 3 - rör 7 i maj och november 1974.

- FIG. 38. Läget av snitt A-A och B-B, för vilka vattenhalterna ritats upp i BILAGA 3.
- FIG. 39. Vatteninnehållets förändring med tiden i rör 3, 6 och 9 för olika skikt om 0.5 m.
- FIG. 40. Porvolymens fördelning i rör 7.
- FIG. 41. Porvolymens fördelning i rör 4.
- FIG. 42. Torrvolymvikter på olika djup under markytan i rören 1 - 7 (1974).
- FIG. 43. Torrvolymvikter på olika djup under markytan i rören 7 ("på gräsmatta") 8 och 9 ("på gatusidan") samt 10 ("på trädgårdssidan") av huset (1974).
- FIG. 44. Torrvolymvikter på olika djup under markytan i snitten A-A och B-B.
- FIG. 45. Torrvolymvikter på olika avstånd från träd och kring huset på olika djup under markytan (1975).
- FIG. 46. Torrvolymvikternas förändring mellan 1974 och 1975 och mellan 1975 och 1976 redovisat genom medeltalet av torrvolymvikterna i rör "på gräsmatta" och rör "vid träd".
- FIG. 47. Vertikala rörelser i "Leda clay" längs en linje ut från en almällé år 1955. Soil moisture depletion = 15.5 inches \approx 394 mm (Bozozuk, Burn 1969).
- FIG. 48. Vertikala rörelser vid träd på olika avstånd och djup under markytan (1974). Soil moisture depletion = 76 mm.
- FIG. 49. Vertikala rörelser vid träd på olika avstånd och djup under markytan (1975). Soil moisture depletion = 192 mm.

- FIG. 50. Vertikala markrörelser på olika avstånd från nedhugget träd på olika djup under markytan (1976). Soil moisture depletion = 192 mm.
- FIG. 51. Rörelser vid pglar vid träd som fälldes i maj 1976 (183 och 185 övre pegel, 184 och 186 undre pegel), på gräsmatta (187 undre och 188 övre pegel), vid träd strax intill som inte fällts (182) och på ett intilliggande hus (105).
- FIG. 52. Kornstorleksfördelning i "gräsmatta" på olika djup under markytan.
- FIG. 53. Kornstorleksfördelning vid "träd" på olika djup under markytan.
- FIG. 54. Teoretisk tryckfördelning på olika djup under markytan före och efter en grundvattentrycksänkning om det finns fritt vatten i torrskorpan.
- FIG. 55. Teoretisk tryckfördelning på olika djup under markytan före och efter en grundvattentrycksänkning om det inte finns fritt vatten i torrskorpan.
- FIG. 56. Olika typ av sättningsförlopp kan inträffa under olika delar av året i samma punkt (Sven Tyrén AB 1974).
- FIG. 57. Beräkning av sättning mellan rör 7 och 4 genom jämförelse av torrvolymvikter på olika nivå.
- FIG. 58. Beräkning av sättningsskillnad mellan rör 4 och rör 7 genom jämförelse av en jordpelares tyngd.
- FIG. 59. Skillnaden mellan γ_t i rör 6 och γ_t i rör närmare träd i absoluta tal. Jämförelsen är gjord på snitt parallella med markytan.

- FIG. 60. Skillnaden i procent mellan γ_t i rör 6 och rör närmare träd. Jämförelsen gjord på snitt med samma +höjd (nivå).
- FIG. 61. Jämförelse av längden av en jordpelare med bottenytan 100 mm^2 och fast massa med vikten 1 g vid rör 4 och rör 6.
- FIG. 62. Nivåer på fasadbeklädnadens underkant uppmätt hösten 1974 och 1975 samt i absolut skillnad mellan mätningarna.
- FIG. 63. Nivån på det distinkta sandlagrets underkant. (Relativ nivå!!).
- FIG. 64. Provvattentrycket på tre punkter i Enskededalen den 4.6 - 12.6 och 17.6 - 1.7 1974.
- FIG. 65. Modell för torrskorpebildning som användes som underlag för bevattningsförsök 1974.
- FIG. 66. Reviderad modell använd för 1975 års bevattningsförsök.
- FIG. 67. Tillväxt per år och ackumulerad tillväxt för träd 11 vid Tistelvägen 20.
- FIG. 68. Tillväxt (årsringar) före och efter dränering av tallbestånd i Norge (haveraaen 1969).
- FIG. 69. Höjden på 80-åriga bestånd av gran och tall på olika avstånd från dräneringsdiken (Tyskland) (Künstle 1962).
- FIG. 70. Exempel på diagram för "grundvattenytan" anges som skärningspunkten mellan kurvorna för porositet (n) och aktuell vattenhalt vid två tidpunkter (w_{a1} och w_{a2}).

- FIG. 71. Modell av ett lerområdes uppbyggnad med avseende på vatteninnehåll.
- FIG. 72. Fria vattenytans läge i maj 1976 längs Tistelvägen i spadborrade hål (BGB) och öppet grundvattenrör (Gk).
- FIG. 73. "Brunnseffekt" kring spadborrat hål i homogent lagrad lera. Små mängder dränerbart vatten i torrskorpans spricksystem dräneras av till det avsevärt större spadborrhålet. Skiktning i jorden med olika genomsläpplighet kan även ge dessa effekter.
- FIG. 74. Inströmning av vatten till och från spadborrat hål från lager med större genomsläpplighet (=vattenföring) i skiktad lera. Vattenytan blir beroende av de vattenförande skiktens tryckhöjder.
- FIG. 75. Modell för torrskorpetillväxt (Sven Tyrén AB 1974).
- FIG. 76. Rörelser i mätpunkter under 20 månader efter ett belastningsförsök på olika djup under markytan relativt fast botten på en åker (Danfors 1974).
- FIG. 77. a) och b) Tryckfördelningen i jorden vid hydrodynamiskt belastningsfall.
- FIG. 78. a) och b) Tryckfördelningen i jorden efter upprepade tillfällen med hydrostatisk belastning ($t \rightarrow \infty$).
- FIG. 79. a) och b) Tryckfördelningen i jorden när kapillärsugkraft verkar under max 3 månader varje gång "hydrostatiskt belastningsfall" inträffar. Belastningen torde i princip motsvara förhållandena i Enskededalen innan området bebyggdes 1923.
- FIG. 80. a) och b) Tryckfördelningen i jorden efter en grundvattentrycksänkning. Belastningen torde i princip motsvara förhållandena "på gräsmatta" innan dagvattentunneln sprängdes.

- FIG. 81. a) och b) Tryckfördelningen i jorden efter ytterligare grundvattensänkning. Belastningen torde i princip motsvara förhållandena "på gräsmatta" efter det att dagvattentunneln sprängts.
- FIG. 82. a) och b) Tryckfördelningen i jorden efter en samtidig sänkning av "kapillära avsugningsytan" och grundvattentrycket under en lång tid ($t \rightarrow \infty$). Belastningen torde motsvara i princip förhållandena "vid träd" innan tunneln sprängdes.
- FIG. 83. a) och b) Tryckfördelningen i jorden vid träden efter ytterligare grundvattentrycksänkning. Torde i princip motsvara förhållandena "vid träd" efter det att tunneln sprängts.
- FIG. 84. Skillnaden i tryckfördelning mellan träd och gräsmatta och mellan dessa och obebyggt stadium.
- FIG. 85. Belastningsökningen (träd - gräsmatta) som funktion av totaltrycket på respektive nivå.
- FIG. 86. Teoretisk porvolymfördelning motsvarande "vid träd", "på gräsmatta" och "obebyggt stadium".
- FIG. 87. Förhållandet mellan potentiell avdunstning och nederbörd 1974 (enligt Thornthwaite).
- FIG. 88. Förhållandet mellan potentiell avdunstning och nederbörd 1975 (enligt Thornthwaite).
- FIG. 89. Förhållandet mellan potentiell avdunstning och nederbörd 1976 (Thornthwaite).
- FIG. 90. Förhållandet mellan potentiell avdunstning och nederbörden ett medelår (1931 - 1960). (enligt Thornwaite).
- FIG. 91. Jämförelse mellan beräknad och mätt evaporation samt förändringar i rör 4 och 6 i Enskededalen.

- FIG. 92. a) - e) Skillnaden mellan max- och minvärden i vattenhalt 1974 och 1975 för rören 2 och 4 ("vid träd") och 5, 6 och 7 ("på gräsmatta").
- FIG. 93. Vattenhalten i två jordlager 0 - 0.5 och 1 - 1.5 i rören 3 och 6 i förhållande till vattenhalten vid olika avvattande tryck (om vattenpelare = full mättnad = FM, 1 m vp, 5 m vp = Fältkapacitet = FK, 10 m vp, 50 m vp, 150 m vp = vissningspunkt = VP). Vattenhalterna vid olika avvattande tryck har beräknats med avseende på jordens lerhalt i de observerade skikten med hjälp av Andersson, S, Wiklert, P (1972).
- FIG. 94. Nivån på bergytan under leran erhållen genom sammanställning av uppgifter om berg eller förmodat berg i geotekniska borrhål och sonderingspunkter.
- FIG. 95. Rekommenderade högsta höjden på vegetation vid skadade hus i Enskededalen (Sven Tyrén AB, 1976).

Litteratur

Abrazhko V, I, 1969, The suction power of roots as an indicator of intensity of competition between trees and underground for soil moisture (översättning från ryska, Department of Fisheries and Forestry Library, OOPF TR 61) Ottawa, Canada.

Andersen, L J, Seval T, 1973, Six Years' environmental tritium profiles in the unsaturated and saturated zones, Grønhøj, Denmark (IAEA-SM 182/1).

Andersson, S, 1972, Vattnets strömning till roten. Grundförbättringar 1972:

Andersson, S, 1973, Vattnet i jorden (Lantmannen 22/1973).

Andersson, S, Wiklert P, 1972, Om de vattenhållande egenskaperna hos svenska jordarter. Grundförbättring 1972:2-3).

Bergström, S, 1971, Variationsanalys av markvattenmätningar i Velen-området (SMHI-rapport nr 4, 1971-11-29) stencil.

Blake, G R, 1965, Particle Density (Agronomy nr 9, American Society of Agronomy, Inc) Madison, Wisconsin, USA.

Boersma, L, 1965, Field measurements of Hydraulic Conductivity below a Water Table (Agronomy nr 9, American Society of Agronomy, Inc) Madison, Wisconsin, USA.

Bozozok, M, Burn, K N, 1960, Vertical Ground Movements near Elm Trees (Geotechnique Vol 10, No 1).

Braun, H J von, 1972, Baum und Umwelt (Allg Forst-u J Zgt 144, Jg 3).

Burn, K N, 1973, House Settlement and Trees (Division of Building Research, Research Paper No 606) Ottawa.

Burn, K N, Penner E, 1975, Fast growing Trees can cause House Damage (Geotechnical Section Division of Building Research, No 100) Ottawa.

Carlstedt, B, 1975, Hydrologisk modell. Dränering genom ledningsgravar. (BFR R37:1975).

Christiansen, S Aa, 1974, Vand til det grønne miljø (Landskap 55 årg nr 7/1974).

- Cutler, DF, 1973, The Spread of Tree Root Systems (Faculty of Building, Hertfordshire WD 6, IQQ).
- Cutler, DF, 1974, Tree Root Damage to Building (Journal of the Institute of Wood Science, Volume 6 No 6, December 1974).
- Danfors, B, 1970, Jord- fordon och maskiner. Hjultrycket och risken för skadling packning (Jordbrukstekniska institutet, meddelande 33) Uppsala.
- Danfors, B, 1974, Packning i alven (Jordbrukstekniska institutet, specialmeddelande S 24) Uppsala.
- Danfors, E, 1975, Soil Water Distribution. A state of the Report. Nordic IDH Report No 9), Oslo.
- Davies, D B, 1969, Technique for Determining Soil Structure (National Agr Advisory Service, Cambridge, Rep Welsh Soil Disc Gr 10).
- Eriksson, J, Håkansson, I, Danfors B, 1974, Jordpackning - jordstruktur - gröda (jordbrukstekniska institutet, meddelande nr 354) Uppsala.
- Feddes R A, Bresler E, Neuman S P, 1974, Field test of a Modified Model for Water Uptake by Root Systems (Water Resources Research, Vol 10, No 6, Dec 1974).
- Forsman, A, 1969, Mät- och beräkningsmetoder för bestämning av avdunstning (Statens Naturvetenskapliga Forskningsråd, Report No 4) Stencil.
- Frölich, H-J von, 1974, Wald und Wasser (Allgemeine Fo Zeitschrift, 7. Dezember 1974, 29. Jahrgang).
- Galston, A W, 1964, Gröna växternas liv (Aldus A 93) Stockholm.
- Gardner, W R, 1958, Some steady-state Solutions of the unsaturated Moisture Flow Equation with Application to Evaporation from a Water Table (Soil Science, 85).
- Grahamne, R G, 1973, Trees as a Cause of Foundation Failure (Building technology and management, Aug 1973).
- Grahamne, C R, 1973, The Root of Trouble (Faculty of Building, Hertfordshire WD 6 IQQ) Stencil.
- Meikurainen L, Päivänen, J, 1970, The Effect of Thinning, Clear Cutting and Fertilization on the Hydrology of Peatland Drained for Forestry (Acta Forestalia fennica vol 104) Helsinki.
- Hellgren, A, Skadlig grundvattenändring DK 624. 131.6. S 117-123.

Holtan, H N, Lopez W C, 1970, US DAHL-70, Model of Watershed Hydrology (Technical Bulletin No 1435, Agricultural Research Service, US Dep of Agriculture).

Hooli, J, 1974, Waterbalance Studies in the Lysimeter Field (Helsinki University of Technology, Otaniemi, Finland, Lab for Water Resources Engineering 15.10.1974) Stencil.

Jaffa, G Clay, Trees and Planning (from: Town and Country Planning).

Janschek, M, 1974, Porositätsberechnungen von Schottnerkörpern aus geoelektrischen Tiefensondierungen (Österreichische Wasserwirtschaft, 1974 nr 9/10).

Jensen, H E, 1970, Vandbevegelse i jord (Vannet i Norden 3/1970).

Jensen, H E, 1969, Jord-vand relationer. Jordvandets struktur og energiforhold (Ugeskr Agron 114) S 692-698.

Johansson, W, 1974, Metod för beräkning av vatteninnehåll och vattenomsättning i odlad jord med ledning av meteorologiska data (Grundförbättring 1973/74:2-3).

Klute, A, 1965, Laboratory Measurements of Hydraulic Conductivity of Unsaturated Soil (Agronomy No 9, American Society of Agronomy, Inc) Madison Wisconsin, USA.

Kubilek, M, 1971, Direct methods of Soil Moisture Estimation for Water Balance Purposes (World Meteorological Organization, Report No 14) Geneva.

Lhotzky-Braunschweig, K, 1976, Untersuchung der Messgenaukeit zweier „Gammasonden-Messmethoden“ zur Bestimmung der Bodenfeuchte auf den Felde (Wasser und Boden, 4-1976).

Mitscherlich, G von, 1971, Wald, Wachstum und Umwelt 2. Band Waldklima und wasserhaushalt (J D Sauerländers Verlag) Frankfurt am Main.

O'Neill M W, Merrill, B K, 1976, Consolidation of Root Penetrated Clays: A Case Study (Journal of the Geotechnical Engineering Division, Aug 1976).

Owston, P W et al, 1972, Seasonal Water Movement in Tree Stems (Forest Science vol 18, No 4).

Penman, H L, 1963, Vegetation and Hydrology (Technical Communication No 53, Commonwealth Bureau of Soils).

Philips, J R, 1964, The Gain, Transfer and Loss of Soil Water (Hills (ed): Water Resources, Use and Management). Univ Press, Melbourne

Päivänen, J 1972, The Effect of Fertilization on Throughfall and Ground Water Table in Peatland drained for Forestry (Reprint from Proceedings of the 4th International Peat Congress I-IV Helsinki) Stencil.

Päivänen, J, 1974, Hydrological Effects of Clear Cutting in Peatland Forests (Reprint from the Proceedings of the International Symposium on Forest Drainage 2nd - 6th Sept 1974, Jyväskylä-Oulu, Finland) Stencil.

Richards, L A, Gardner W, 1936, Tensiometers for Measuring the Capillary Tension of Soil Water (Journal of the American Society of Agronomy -28).

Ruge, U, 1972, Ursache des Strassen-baumsterbens und mögliche Gegenmassnahmen (Garten und Landschaft 10/1972).

Salter, R G, 1967, Trees and Buildings in Urban Areas (Quarterly Journal of Forestry).

Schmidt, P, 1972, Zum Wasserverbrauch verschiedener Pappelklone (Allgem Forst - u J Zeitung Jg 3).

Skoglund, E, 1973, Markvattenmagasinets storlek och variationer i olika delar av det mellansvenska landskapet (Inst för kulturteknik, KTH, rapport 3:11), Stockholm.

Statyer, R O, 1967, Plant- Water Relationships (Academic Press) London and New York.

Takahashi, K, 1972, Difference among Species with Respect to Transpiration Ratio in Different Soil Moisture Conditions (, 54(11)' 72).

Tamm, O, Wiklander, L, 1963, Kompendium i marklära (Lantbrukshögskolans kompendienämnd, 3:e upplagan).

Thorntwaite, C W, 1948, An Approach towards a Rational classification of Climate (The Geographical Review 38).

Ward, W H, 1953, Soil Movement and Weather (Reprint from Proceedings of the Third International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Switzerland, 16th - 27th Aug 1953, Vol I session 4).

Wiklert, P, 1960, Studier av rotutvecklingen hos några nyttoväxter med särskild hänsyn till markstrukturen (Grundförbättring 1960:3).

Yaron, P, Danfors E, Vaadia Y, 1969, Irrigation in Arid Zones. Lectures for Scandinavian Water Specialists (Inst för kulturteknik, KTH, Report 3:2b). Bet Degan, Israel.

Zulfacar A, 1975, Vegetation and Urban Environment (Journal of the Urban Planning and Development Division, May 1975).

Building Research Advisory Service: Damage to Buildings on Shrinkable Day Sites (TIL 43, Oct 1972).

SGU, 1964, Beskrivning till geologiska kartbladet Stockholm NO (SGU Serie Ae nr 1).

Sven Tyrén AB, 1974, Sättningsskadat villaområdet i Enskede (Stockholms kommun) Stencil.

Växtfysiologiska institutionen, Lantbrukshögskolan (1961) Kompendium i växtfysiologi.

The Root - is your Building threatened (Building Maintenance Journal 1973).

Building Research Station: Soil and Foundation (Digerst 67 Feb 1966).

SAMMANFATTNING

Bakgrund

Ett villaområde i Enskede i södra Stockholm, byggt på 1920-talet, fick i början av 1970-talet kraftigt ökade skador. Man fann att skadorna var särskilt stora på hus nära stora träd. Det var bl a mycket stora skillnader längs en gata med en ensidig almallé. Nästan samtliga hus längs den sidan där träden stod var skadade men bara något enstaka hus på den träd-fria gatusidan. Kunde det finnas ett samband mellan de större skadorna och närvaron av träd?

I utländsk litteratur har ett flertal skadefall beskrivits, där träd ansetts vara den direkta orsaken till skador på hus. Även på flera håll i Sverige har träd ansetts medverka till skador på hus.

I detta projekt har vi försökt utröna om skillnader i sättningar kan bero på skillnader i vattenupptagning på olika avstånd från träd. Vi utgick från tre hypoteser. Ett mätprogram lades upp för att testa dessa.

Utgångsresonemanget var:

Träd har stor vattenförbrukning. Vattenupptagningen är större närmare ett träd än på längre avstånd ifrån det. Under en lång följd av år har vattenupptagningen varit större närmare träd, vilket gjort att torrskorpan är djupare vid träd än på större avstånd därifrån. Fördjupning av torrskorpan har skett i samband med att magasinet fritt vatten i torrskorpan tagit slut. Områden närmare träd saknar fritt vatten oftare och under längre perioder än områden på längre avstånd. Marksättningarna blir därigenom också större närmare träd. Skador på hus beror på att marksättningarna är olika under olika delar av husets grundläggning, vilka ligger olika långt från träd. Marksättningarna är störst under delar av huset som ligger närmast ett träd.

Detta gav följande hypoteser:

1. Torrskorpans tjocklek avtar med ökat avstånd från träd.
2. Torrskorpebildning medför sättningar genom att
 - a) leran i och omkring torrskorpegränsen krymper
 - b) leran under torrskorpan utsätts för högre belastning än i områden med fritt vatten. Detta ger konsolideringssättning.
3. Observerade sättningar på hus orsakas av olika

torrskorpebildning under husets olika delar beroende på olika avstånd till träd.

Syfte

Projektet har testat dessa hypoteser genom att under tre vegetationsperioder mäta markvattenhalter och marksättningar samt kombinerat dessa mätningar med andra fakta om det sättningsskadade området. Vi har också försökt testa olika undersökningsmetoders tillämpning på dylika problem.

Metod

Markvattenobservationsrör och peglar sattes ut för att jämföra förhållandena "vid träd" och "på gräsmatta". Observationsrören sattes så, att det skulle gå att undersöka om det fanns en gradient i vattenupptagning med avseende på avståndet till träd. Dessutom sattes rör vid ett sättningsskadat hus för att undersöka om upptorkningen kring huset varierade med avseende på avståndet till träd.

Våren 1976 fälldes träden vid försöksområdet. De två första årens mätserier (1974 och 1975) var "med träd" och år 1976 "utan träd".

Mängden vatten i jordens övre skikt har mätts med neutronsond.

Vattenhaltsmätningar har utförts i 5 st 3 m långa och 5 st 4 m långa 1,5" galvaniserade rör med tät botten. Fem av rören har placerats radiellt ut från ett träd, ut mot en gräsmatta. Två rör har som kontroll placerats vid ett annat träd. Resterande tre rör finns kring det sättningsskadade huset. Ett av kontrollrören skadades vid trädfällningen 1976 och har inte mätts under 1976.

Vattenhalten har mätts på var 10:e cm ner till 2,0 m under markytan. Därunder och ner till rörets botten på var 20:e cm. Mätningarna har gjorts ungefär med en månads mellanrum mellan maj och november månad.

Den våta volymvikten (våtdensiteten) har mätts med gammasond i de tio markvattenrören.

Våtdensiteten har mätts på var 10:e cm ner till två meter och därefter på var 20:e cm. Resultaten har räknats om till torr volymvikt (torrdensitet) genom att räkna ifrån den aktuella vattenhalten vid mätillfället.

Avsikten var att jämföra torrdensiteten från olika år på samma nivå för att därigenom utröna var man haft sättningar. En ökning av torrdensiteten betyder att jordpartiklarna pressats samman till en mindre volym, en minskning att jordpartiklarna spridits till en större volym.

Resultat

Mätresultaten från försöksområdet visar att sambanden mellan vattenbalans, trädets vattenupptagning och sättningar på mark resp hus är mycket mera komplicerade än den modell projektet utgick ifrån. Mätningarna visar också att den modell för jordprofilens uppbyggnad, som utnyttjats, inte är fullt tillämpbar för diskussion av erhållna mätresultat.

De hypoteser som ställdes upp för projektet har därför inte gått att testa på det sätt som avsetts.

Resultaten sammanfattas med följande att-satser:

- att träd måste ha medverkat vid uppkomsten av sättningar,
- att träden troligen inte är den primära orsaken till sättningar och skador inom försöksområdet,
- att träd däremot förstärker skadeeffekter av andra ingrepp i områdets vattenbalans,
- att det av mätningarna inte går att säga på vilket sätt träd påverkat sättningarna inom försöksområdet,
- att tolkningen av insamlade data störts av dränerande ledningar, läckande avloppsledningar, olikheter i jordgrunden m m,
- att de uppmätta sättningarna "vid träd" minskat kraftigt sedan träden huggits ner,
- att även sättningarna "på gräsmattan" minskat. Sättningarna "på gräsmatta" är efter nedsågningen större än "vid träd",
- att torrvolymvikterna ökar (från ca 2 m djup) även sedan träden fällts,
- att vatteninnehållet i jorden under 2,5 m djup minskar även sedan träden fällts,
- att vattnets potential borde vara ett riktigare sätt att se på trädets påverkan av sättningar än vattenhalter,
- att det är en avsevärd vertikal och horisontell rörlighet på vatten i torrskorpan,
- att skillnaden i lägsta vatteninnehåll i jorden mellan markytan och 2,5 m mellan "vid träd" och "på gräsmatta" ett extremt torrt år (1975) var ca 20 mm. Skillnaden mellan 0,5 och 2,5 m var ca 45 mm. I den översta halvmeteren var lägsta vatteninnehållet ca 20 mm lägre "på gräsmatta" än "vid träd",

- att skillnaden i lägsta vatteninnehåll "vid träd" 1975 (med träd) och 1976 (utan träd) var mellan markytan och 2,5 m ca 80 mm, - mellan 0,5 och 2,5 m ca 60 mm och i den översta halvmeteren ca 20 mm,
- att tjockleken på torrskorpan inte är ett bra mått på träds inverkan på sättningarna,
- att modellen för sättningsförloppen "med" och "utan" markvatten bör omstuderas mot bakgrund av förändringar i vattnets potential,
- att sättningskillnaden mellan gatu- och trädgårds-sida på Tistelvägen 20 inte enbart har berott på en markerad upptorkning genom trädrötter under grundläggningen,
- att jorden innehåller en mängd rötter under grundläggningen och att det där är stora skillnader i lerans konsistens under grundsulorna och under källargolvet,
- att "övre grundvattenyta" (markvattenyta) inte går att konstruera fram ur mätdata från neutron- och gammasond,
- att luft finns djupt ner i jordprofilen,
- att neutronsondsmetoden bör utvecklas så att man kan tolka fram tunna skikt med högre respektive lägre vattenhalt än omgivande jord,
- att mätning av volymvikten vid olika tidpunkter är en trubbig metod för att konstatera var sättningar inom jordprofilen ägt rum,
- att det behövs pegrar på flera olika nivåer i samma punkt för att få ett klart begrepp om ett sättningsförlopp,
- att en enkel multi-nivå-spegel bör utvecklas samt
- att jalusi-provtagare typ U-balk är en metod som bör utvecklas vidare.

Kommentarer

Resultaten visar att vegetation påverkar den hydrologiska balansen i ett område. Skador kan uppkomma på byggnader och anläggningar genom den torrskorpebildning, som sätts igång när man bygger ut ett lerområde. Vegetationen är dock bara en av många faktorer, som orsakar denna ökade upptorkning av lera med högt vatteninnehåll. I kombination med dränering, grundvattentrycksänkning och minskad infiltration kan vegetationen bli den faktor som till sist utlöser marksättningar.

I litteraturen har från flera håll dokumenterats skador på byggnader och anläggningar vid uppvuxna träd, där ingrepp gjorts i den hydrologiska balansen. Träden har ditintills inte orsakat några skador. Efter ingreppet, t ex en dränerande ledning, en djup huschakt, en asfaltering av trädets rotzon, har skadorna blivit stora.

Detta projekt har pekat på att kunskapen om vattnets strömning i jordens övre lager, vegetationens vattenupptagning och därav orsakade vattentransport m m är ofullständigt kända. Detta betyder också att vi i dag saknar kunskap om vilka åtgärder som bör insättas för att hindra att vegetation på sikt eller vid olika ingrepp medverkar till skador på byggnader och anläggningar. Problemområdet bör studeras vidare både teoretiskt och genom praktiska försök för att hindra kapitalförstöring i sättningskänsliga områden utan att behöva rasera den miljö, som en uppvuxen vegetation innebär.

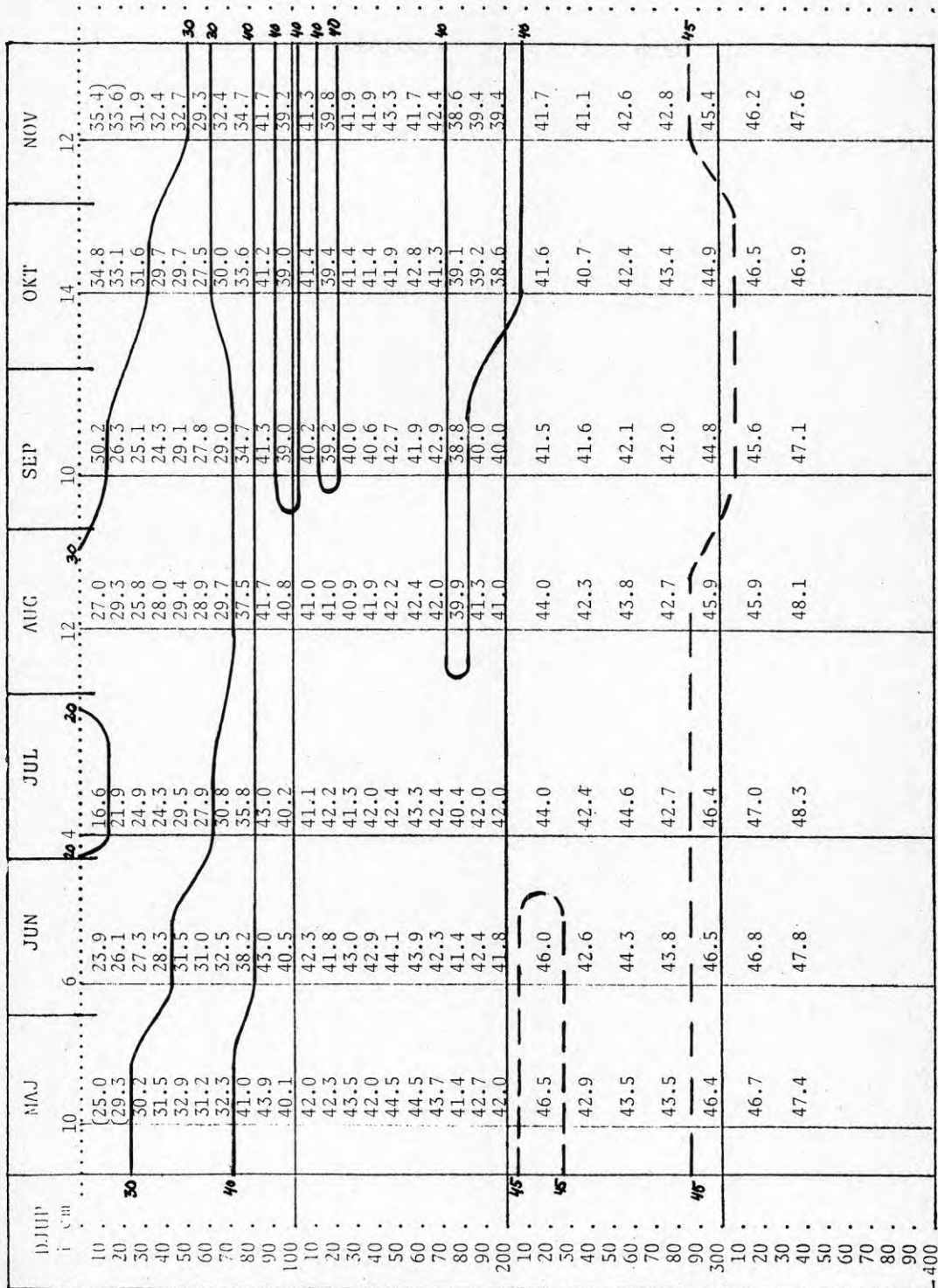
Vattenhalter 1974 och 1975 och 1976

D. JUP i cm	MAJ		JUN		JUL		AUG		SEP		OKT		NOV	
	10	30	6	30	4	30	12	30	10	30	14	30	12	30
10	30.5	25.7	19.4	21.5	18.9	23.6	36.5	38.7						
20	35.6	30.7	26.9	28.1	23.6	37.4	38.1							
30	28.0	28.0	25.2	29.1	27.1	35.1	40.0							
40	30.9	29.9	28.2	27.2	26.4	36.8	39.5							
50	32.1	31.9	29.5	28.8	28.2	38.5	39.4							
60	26.5	26.7	22.8	24.5	25.5	28.0	29.9							
70	27.7	22.2	21.0	18.3	17.1	17.6	21.0							
80	40.8	39.1	37.8	33.5	31.6	33.5	34.7							
90	42.0	42.0	42.0	38.5	39.0	37.7	38.0							
100	42.5	41.7	40.6	39.2	39.2	39.0	39.4							
10	41.6	41.0	40.4	40.6	40.1	39.6	39.8							
20	42.0	40.7	40.4	39.6	39.4	38.2	38.8							
30	44.6	44.7	44.0	42.6	41.6	42.6	43.0							
40	44.2	43.5	43.9	42.5	41.6	43.0	42.7							
50	45.7	44.0	45.9	44.2	43.0	43.9	43.6							
60	44.9	44.9	44.0	44.2	45.1	44.2	43.7							
70	44.9	44.8	44.6	44.4	42.6	43.1	43.0							
80	45.4	46.4	44.9	44.4	42.5	44.8	44.0							
90	44.0	45.6	45.1	45.4	43.1	43.9	43.1							
200	45.4	44.8	44.6	44.2	45.1	44.0	44.5							
10	43.3	44.4	43.5	43.2	43.0	43.3	43.5							
20	47.9	47.6	48.3	46.8	45.5	45.3	45.5							
30	47.9	49.2	48.0	49.0	48.0	47.4	48.4							
40	49.4	48.7	49.0	48.4	48.4	49.0	48.2							
50	46.8	47.6	47.8	47.6	46.8	47.6	47.1							
10	45.6	45.7	45.7	45.4	46.0	47.0	46.5							
20	49.2	49.7	49.2	49.0	49.0	49.0	49.4							

VATTENHALTER w_a

1974

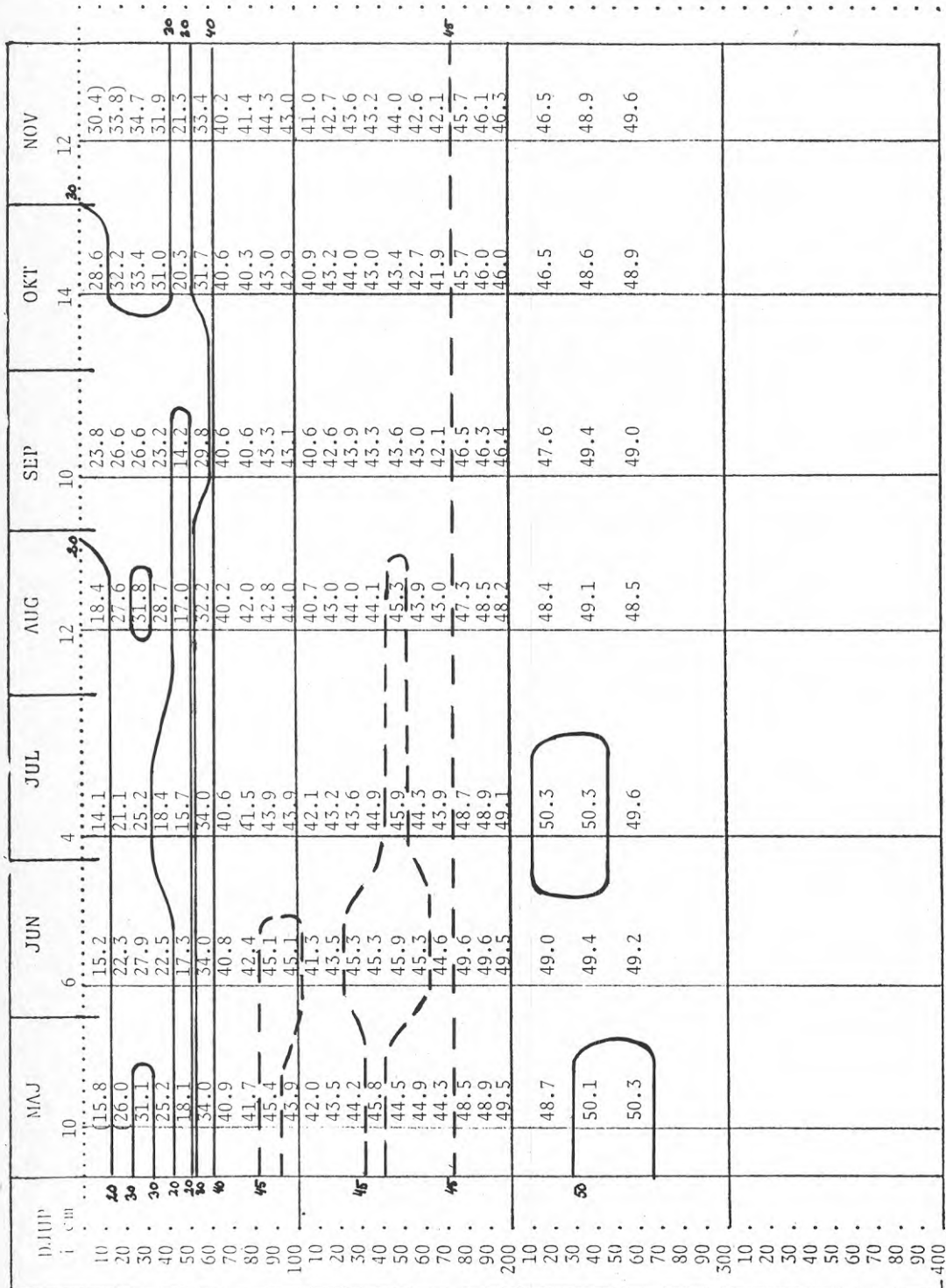
RÖR 4

Vegetation och
sättningar i lera
BFR

VATTENHALTER w_a

1974

RÖR 5

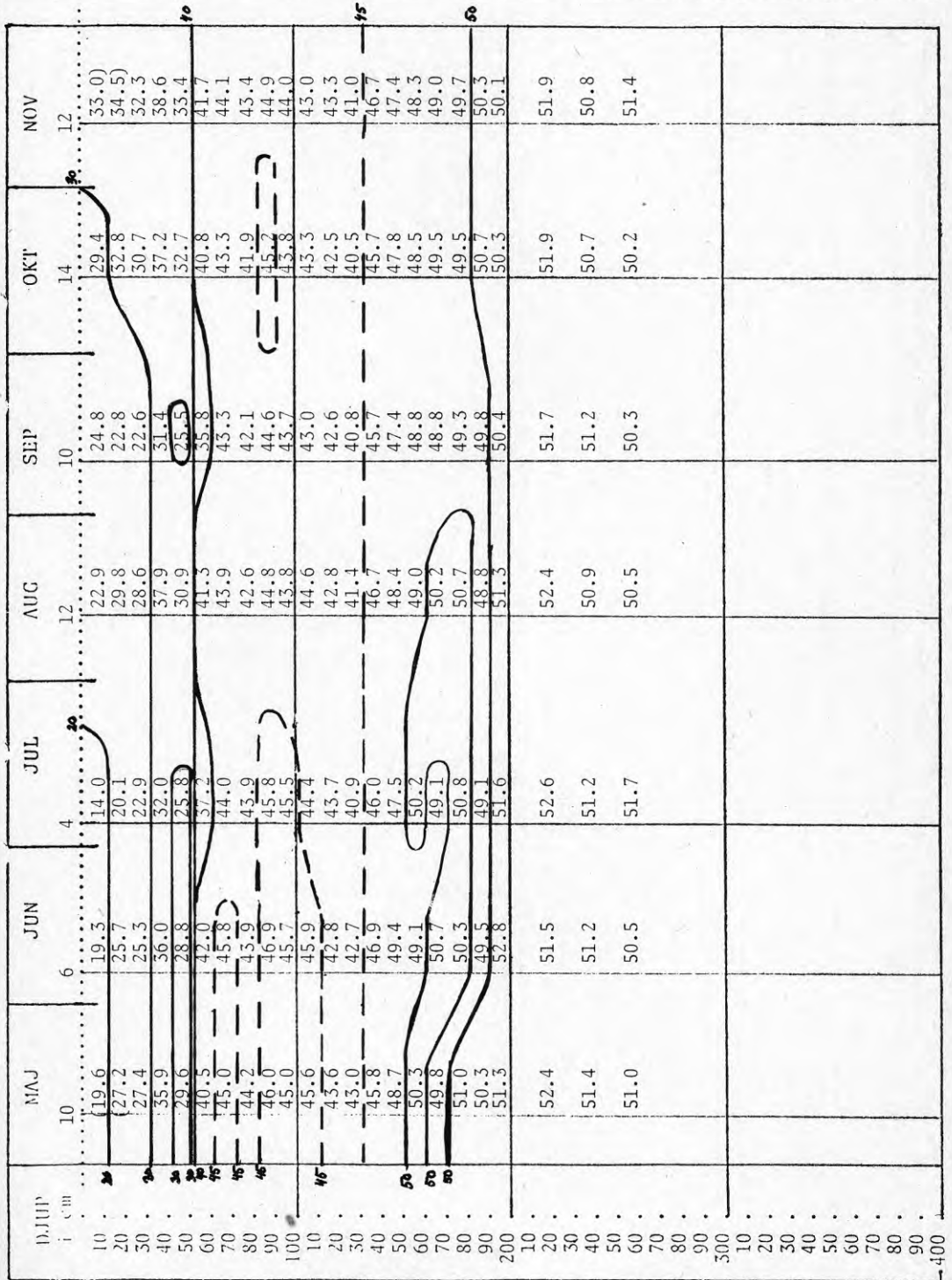
Vegetation och
sättningar i lera
BFR

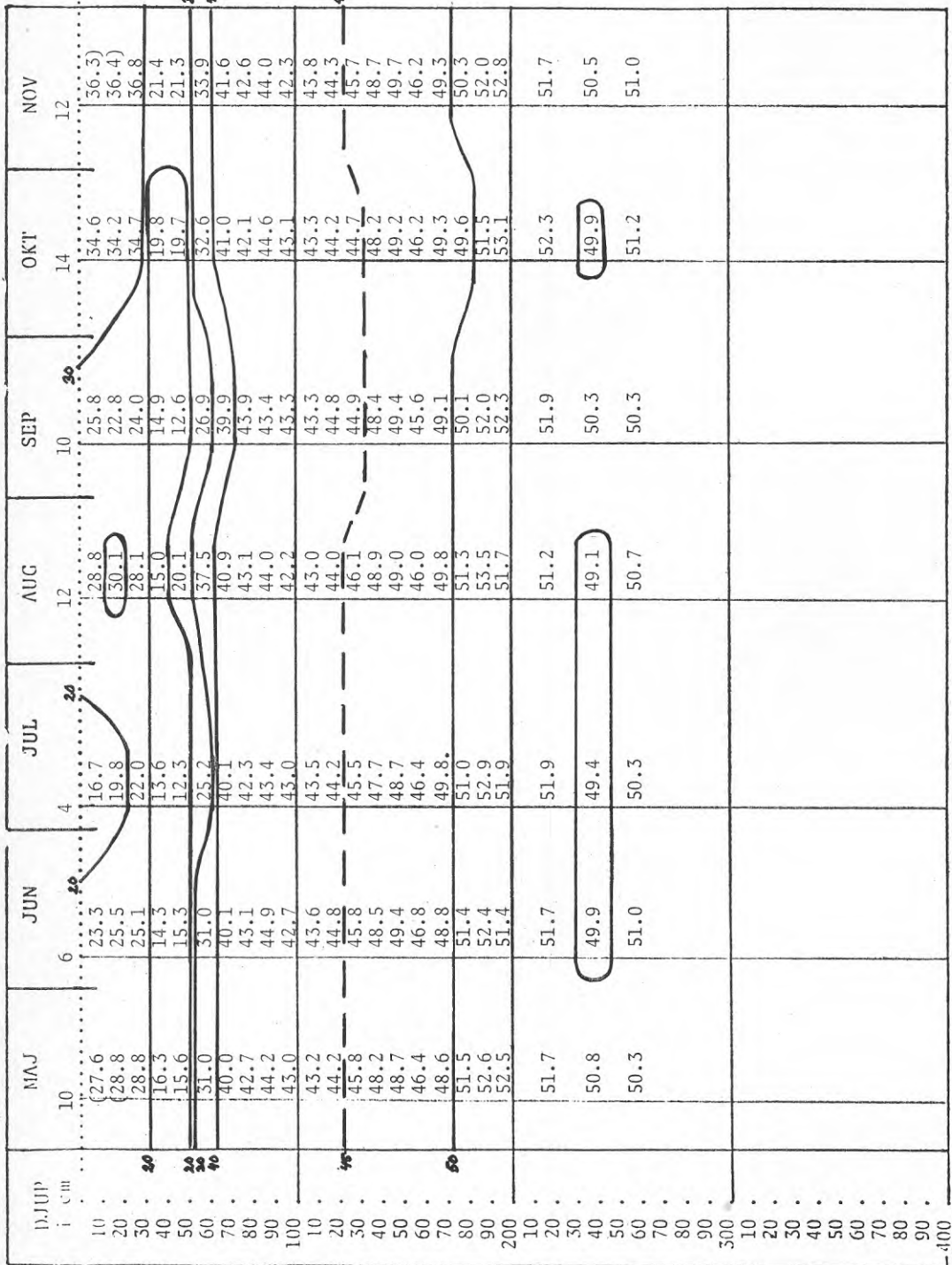
VATTENHALTER w_d

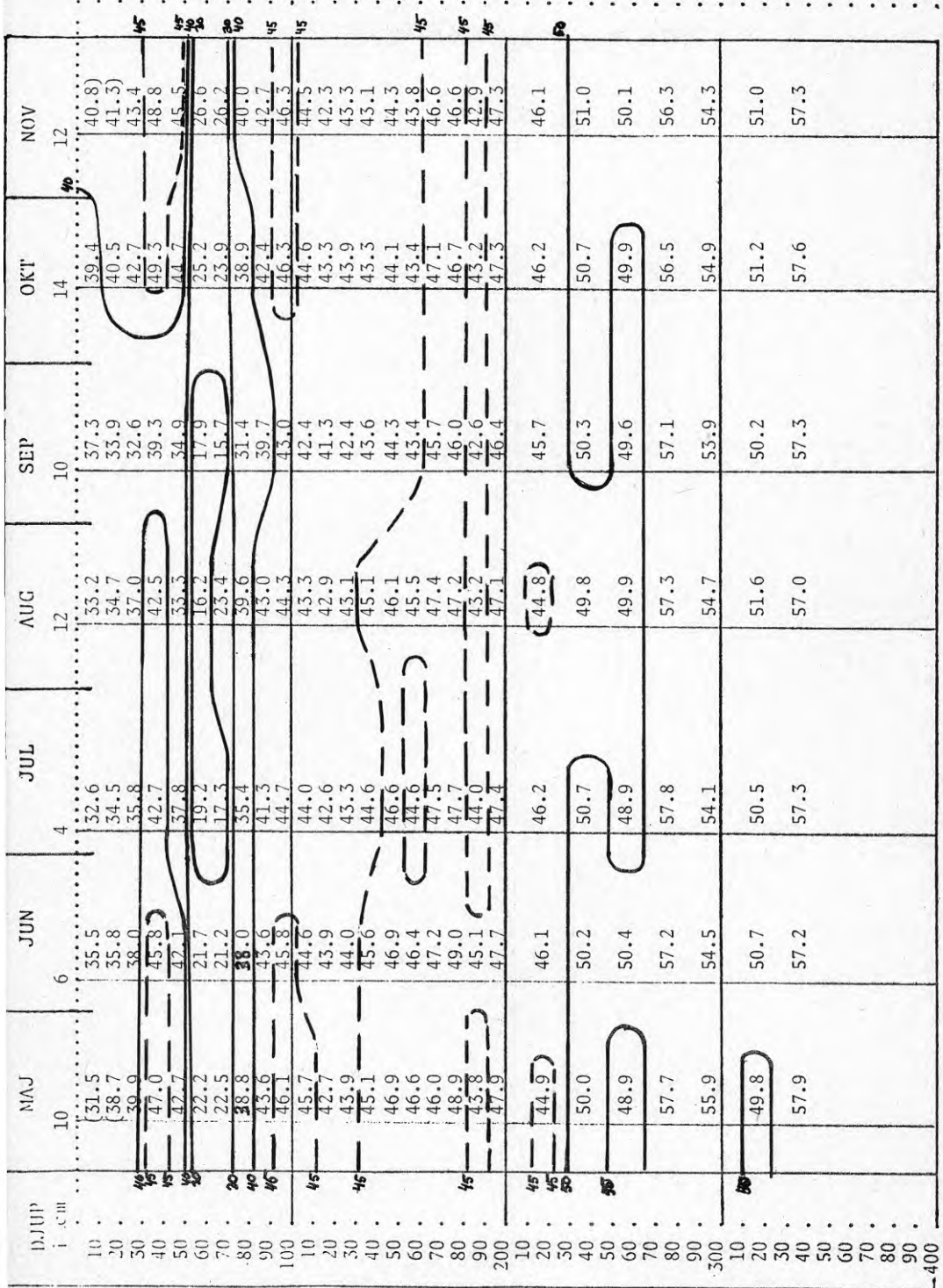
1974

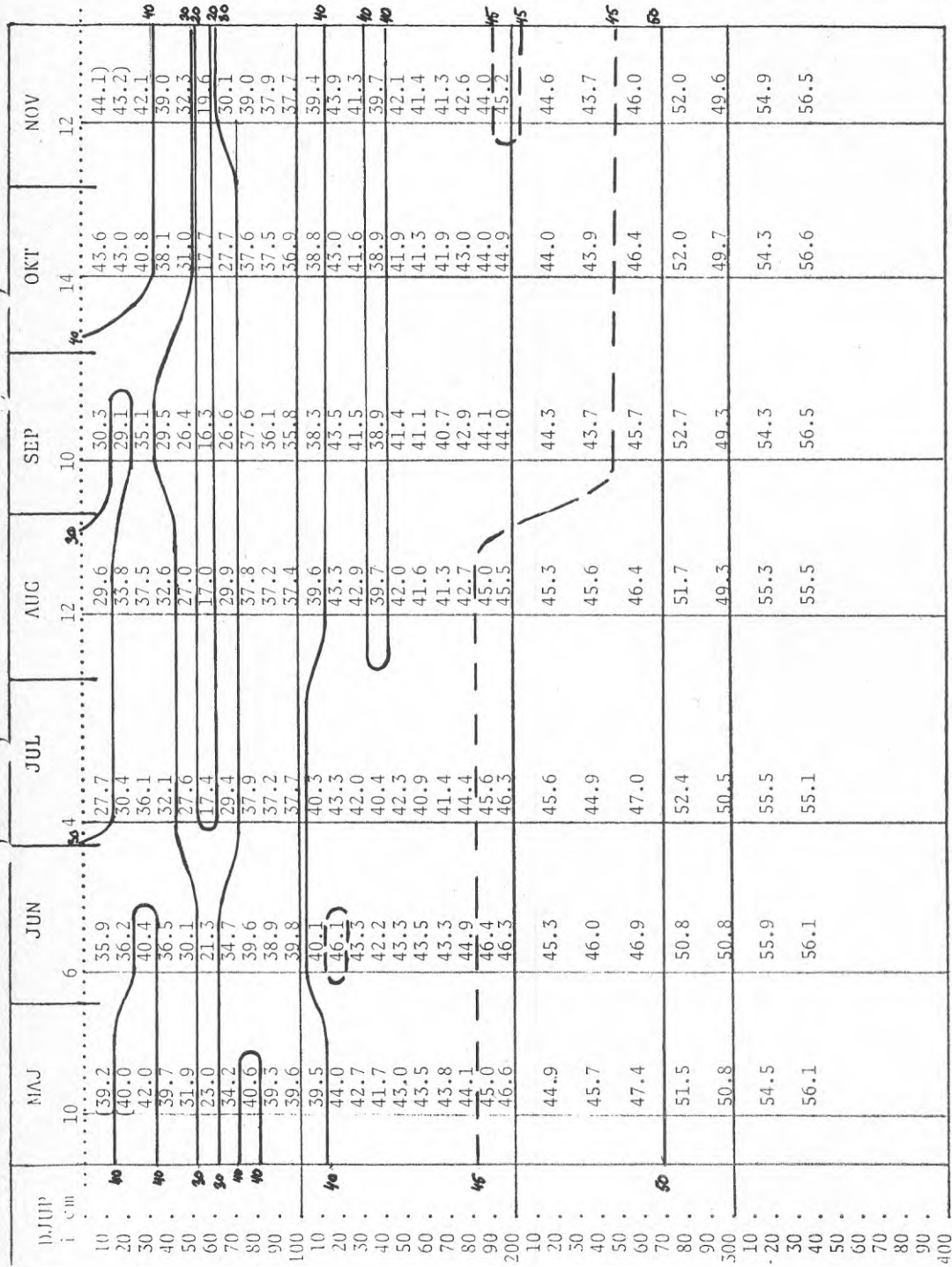
RÖR 6

Vegetation och
sättningar i lera
BFR





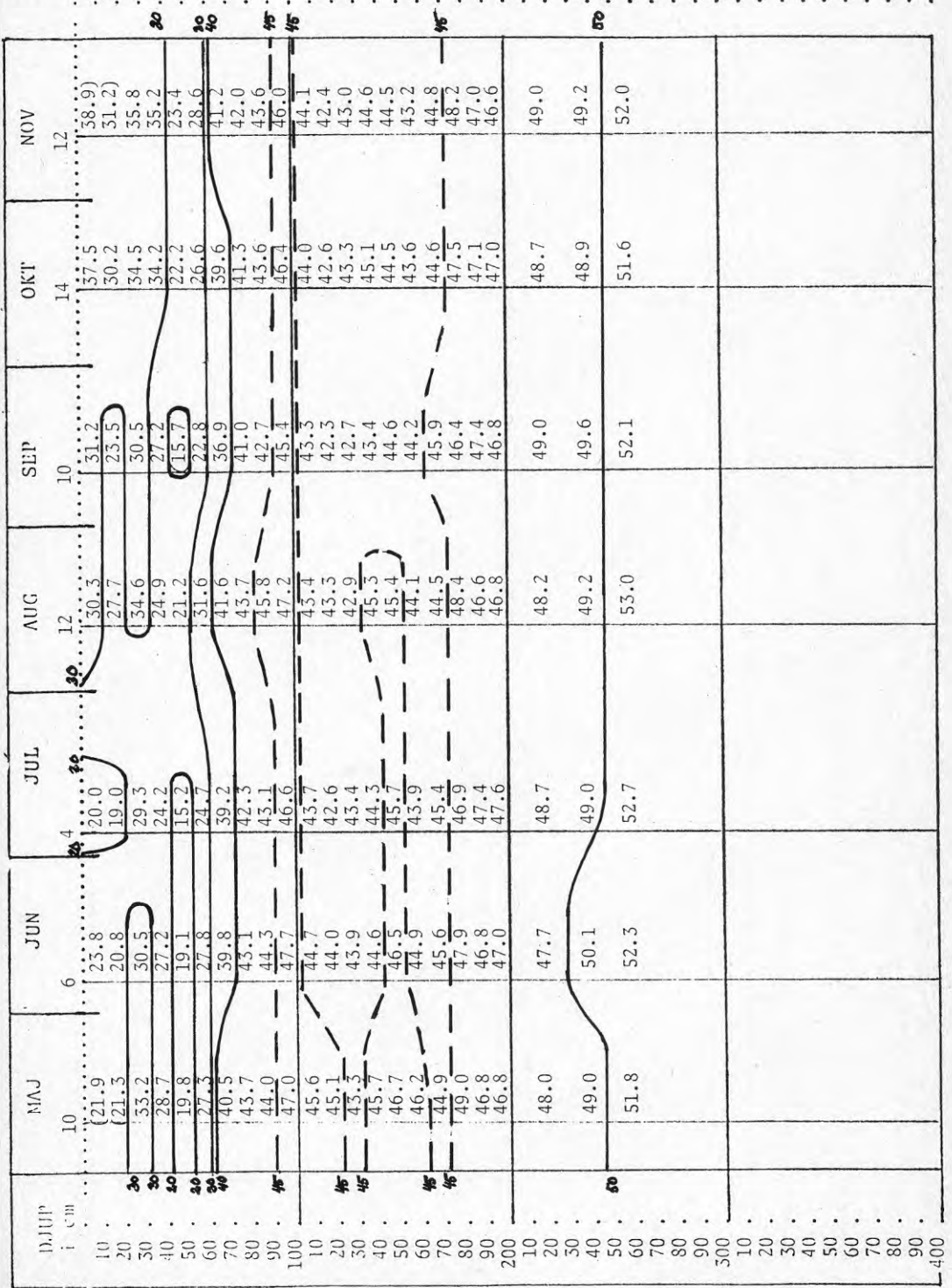


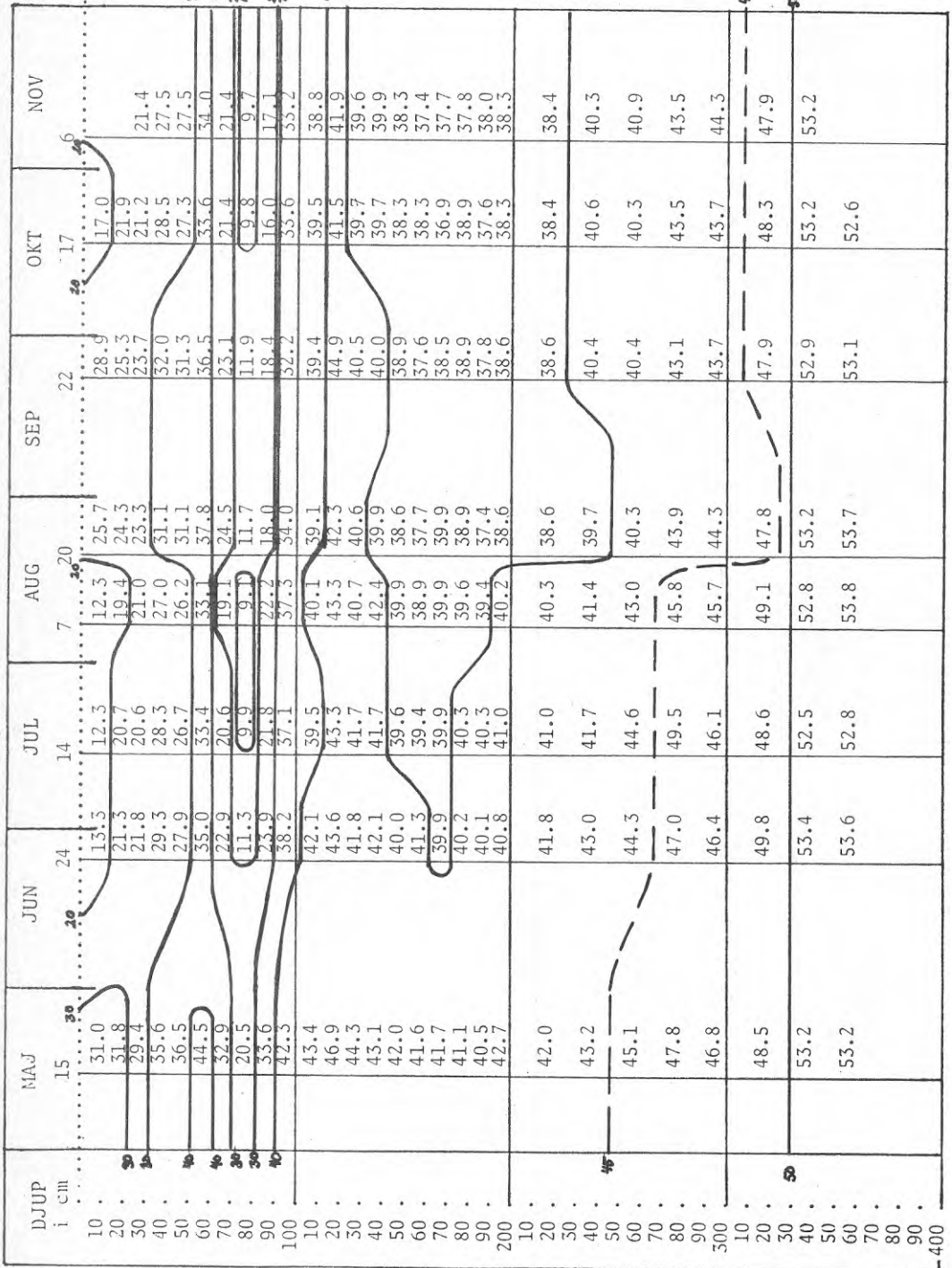


VATTENHALTER w_d
RÖR 10

1974

Vegetation och
sättningar i lera
BFR



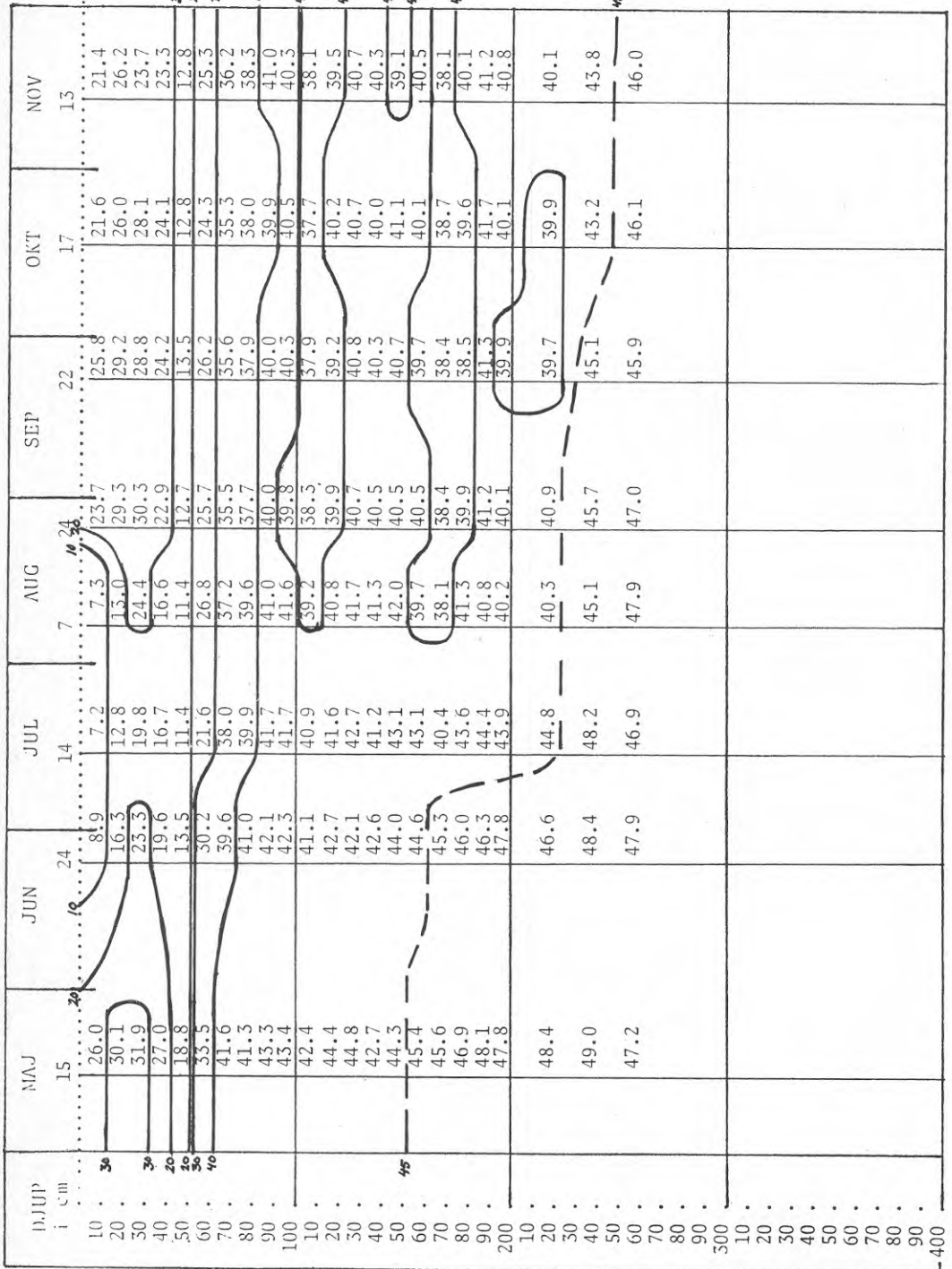


VATTENIALTER w_a
RÖR 4

1975

Vegetation och
sättningar i lera
BFR

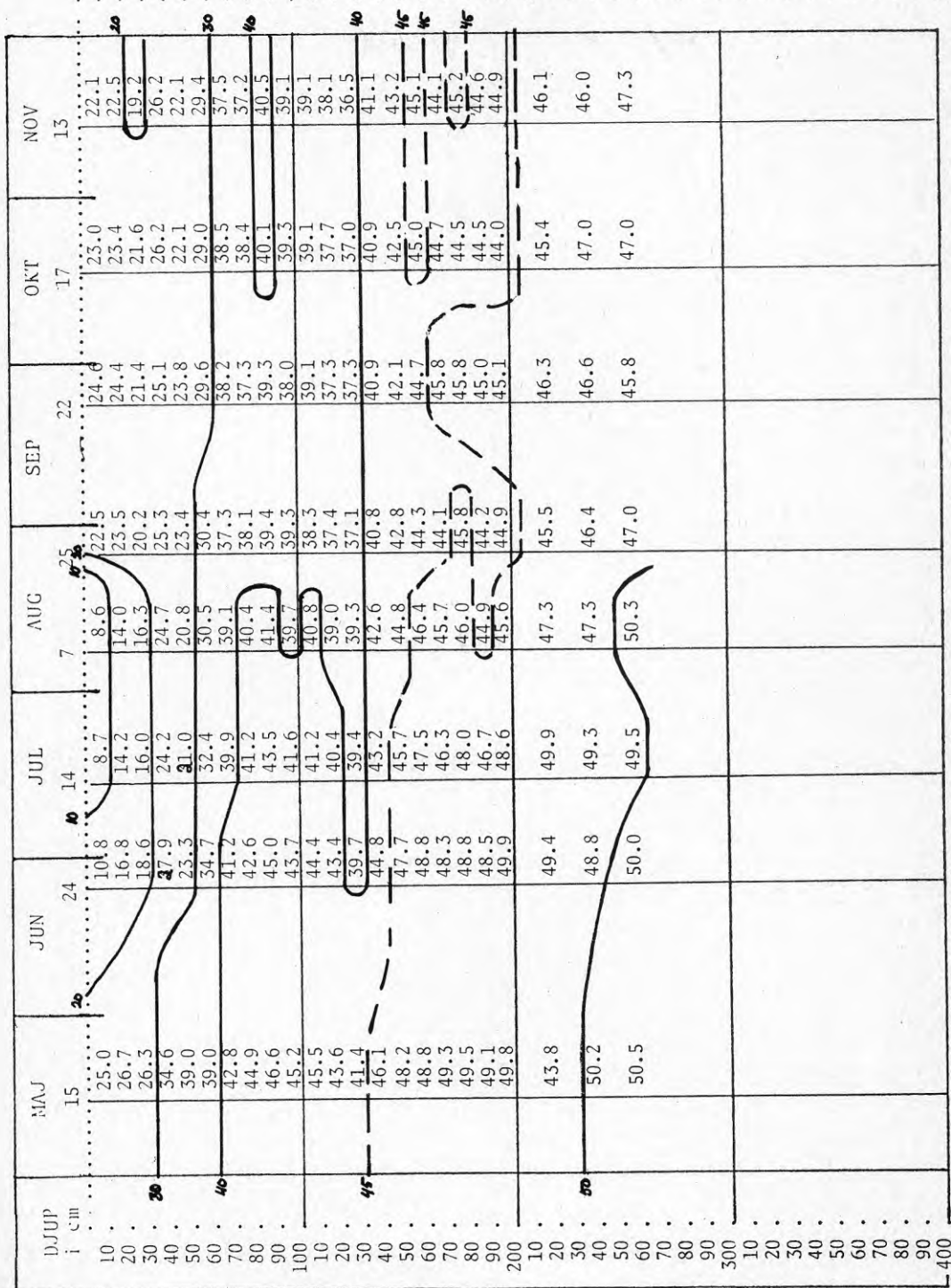
	MAJ 15	JUN 24	JUL 14	AUG 7	SEP 22	OKT 17	NOV 10
DJUP i cm							
10	32.9	16.3	14.0	11.8	27.2	27.2	26.1
20	30.3	20.6	19.1	17.3	26.2	26.1	25.0
30	29.7	31.9	21.3	21.4	22.7	25.1	24.6
40	29.4	24.0	21.8	21.6	20.7	21.6	22.2
50	31.3	28.6	26.0	25.8	24.5	24.5	24.5
60	31.4	27.6	25.4	24.5	23.3	23.7	24.1
70	31.6	29.4	27.7	27.4	25.2	25.8	25.6
80	36.9	36.1	33.9	31.8	30.6	30.8	30.4
90	43.2	40.8	39.3	39.7	38.1	37.9	37.7
100	39.5	38.0	37.3	37.8	35.3	35.8	35.5
10	41.0	40.0	38.7	38.6	37.3	37.2	37.5
20	41.6	40.0	39.9	38.3	37.2	37.1	38.1
30	41.1	41.4	39.8	39.6	37.5	38.2	38.5
40	41.7	41.4	39.6	39.6	38.5	37.9	39.3
50	42.3	42.0	41.2	41.3	39.5	39.6	39.3
60	43.8	43.2	42.4	41.0	39.5	40.0	39.3
70	41.7	41.3	39.1	38.8	38.1	38.5	38.3
80	40.5	38.8	37.8	38.0	36.3	36.9	38.3
90	44.4	40.2	38.6	38.6	37.5	37.8	37.3
200	42.3	41.4	47.3	37.2	36.4	36.6	36.9
10	43.6	42.3	40.2	40.5	38.5	38.1	38.7
20	44.4	41.7	39.8	38.6	38.9	38.3	37.7
30	44.4	41.7	39.8	38.6	38.9	38.3	37.7
40	44.4	41.7	39.8	38.6	38.9	38.3	37.7
50	43.0	42.1	42.0	40.3	40.6	39.8	39.8
60	42.3	41.3	41.3	41.6	40.7	40.5	40.5
70	42.3	41.3	41.3	41.6	40.8	40.5	40.5
80	42.3	41.3	41.3	41.6	40.8	40.5	40.5
90	45.1	44.6	45.2	44.6	43.7	44.1	44.0
300	45.1	44.6	45.2	44.6	43.7	44.1	44.0
10	44.9	45.1	45.7	44.9	45.3	44.8	44.6
20	44.9	45.1	45.7	44.9	45.3	44.8	44.6
30	46.9	47.8	47.4	47.1	46.1	45.9	45.9
40	46.9	47.8	47.4	47.1	46.1	45.9	45.9
50	46.8	46.9	46.1	46.5	45.1	44.7	44.7
60	46.8	46.9	46.1	46.5	45.1	44.7	44.7
70	46.8	46.9	46.1	46.5	45.1	44.7	44.7
80	46.8	46.9	46.1	46.5	45.1	44.7	44.7
90	46.8	46.9	46.1	46.5	45.1	44.7	44.7
400	46.8	46.9	46.1	46.5	45.1	44.7	44.7



VATTENHALTER w_a
RÖR 6

1975

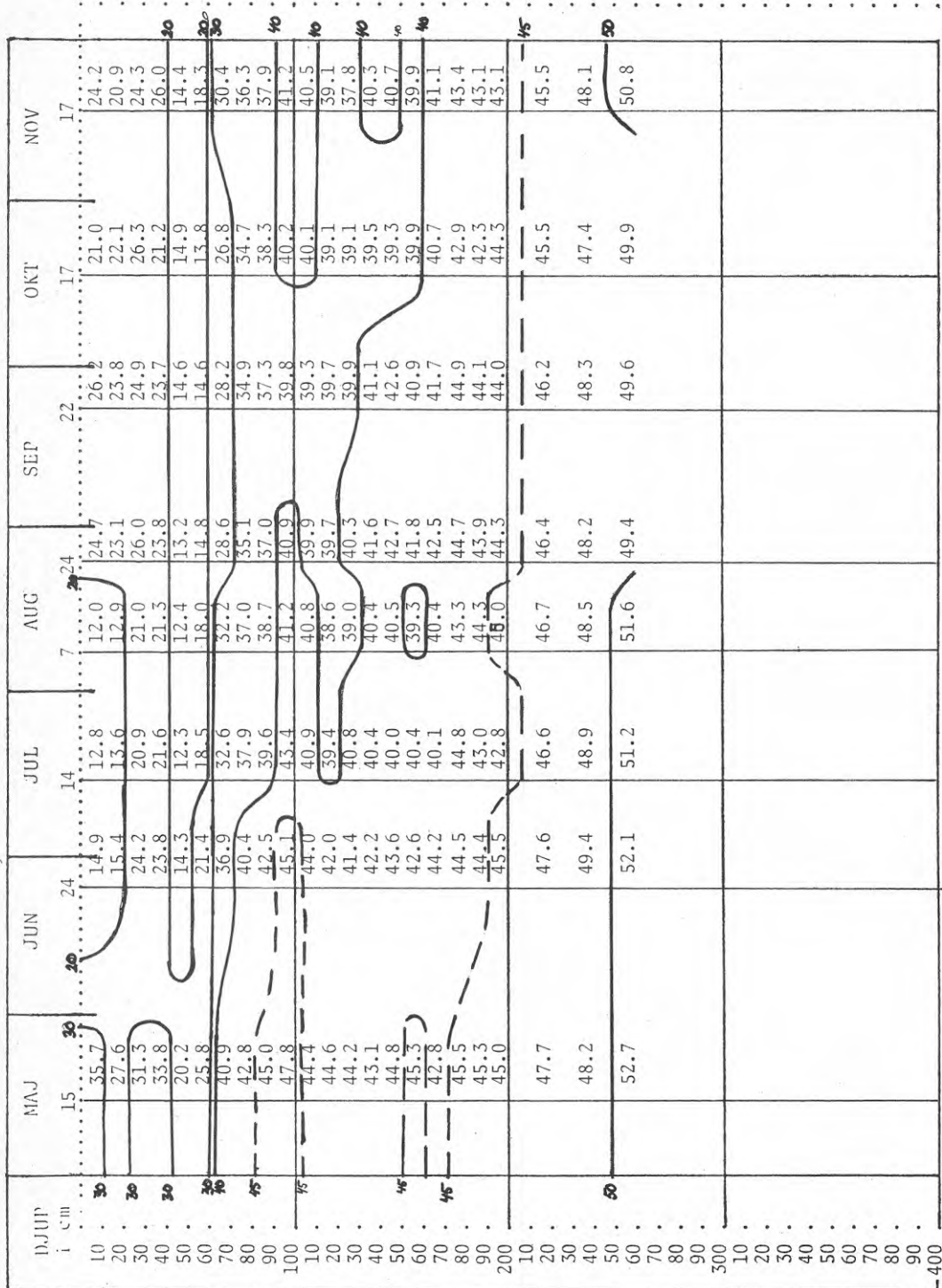
Vegetation och
sättning i lera
BFR



VAITTENIALTER w_a
RÖR 10

1975

Vegetation och
sättningar i lera
BFR



VATTENHALTER w_a

1976

RÖR 2

Vegetation och
sättning i lera
BFR

	MAJ	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV
DJUP i cm							
10	23.6	16.5	14.5	(25) (25)	(25)	25.2	31.2
20	26.5	18.5	18.5	(23) (23)	(23)	23.2	25.7
30	19.1	5.3	5.3	(13) (13)	(13)	13.7	7.7
40	17.4	5.0	5.0	9.4	7.6	6.2	5.9
50	21.7	19.5	19.5	20.5	19.3	12.9	17.7
60	24.2	19.1	19.1	18.8	19.0	18.0	17.6
70	28.4	28.4	28.0	28.4	28.4	25.5	26.3
80	34.8	34.8	34.5	33.9	34.1	32.1	32.5
90	39.7	39.7	39.4	39.1	39.3	38.4	37.6
100	42.2	42.2	40.2	39.4	39.6	39.3	38.7
10	42.2	42.2	40.7	40.9	40.0	39.4	38.7
20	41.1	41.1	39.1	38.8	39.6	39.4	37.7
30	40.8	40.8	41.1	37.6	37.3	38.5	37.6
40	38.7	38.7	41.0	38.8	38.6	37.6	37.7
50	39.7	39.7	40.6	38.8	39.9	38.3	37.4
60	39.9	39.9	39.6	38.4	39.3	38.4	38.1
70	40.1	40.1	39.2	37.6	37.4	37.4	37.4
80	38.5	38.5	38.5	37.1	36.7	37.0	35.6
90	37.1	37.1	37.9	37.6	37.6	38.4	37.5
200	41.6	41.6	41.2	40.0	40.9	39.0	40.1
10	41.6	41.6	41.4	40.9	40.0	40.0	38.8
20	39.1	39.1	41.4	41.7	42.0	40.0	40
30	39.1	39.1	42.8	43.2	43.5	42.2	42.0
40	41.2	41.2	42.8	42.6	42.9	42.2	44.1
50	41.2	41.2	46.2	42.6	42.9	46.8	44.1
60	44.3	44.3	45	46.2	46.2	46.8	45
70				46.5	46.5	47.6	45
80							
90							
300							
10							
20							
30							
40							
50							
60							
70							
80							
90							
400							

VATTENHALTER w_a
RÖR 3

1976

Vegetation och
sättningar i lera
BFR

DJUP i cm	MAY		JUN		JUL		AUG		SEP		OKT		NOV	
	30	3	20	13	20	11	24	24	7	30	28	9	9	
10	30	28.1	14.8	21.8	(28)	(28)	(26)	26.7	28.3	34.4	35.7	34.4	35.7	
20		30.8	21.8	(26)	(26)	(24)	24.7	25.3	25.3	30.6	36.7	30.6	36.7	
30		32.3	24.7	(24)	27.9	26.7	25.5	25.5	25.5	28.1	34.1	28.1	34.1	
40		35.7	28.4	27.9	30.1	29.0	28.3	28.3	28.3	24.7	31.8	24.7	31.8	
50		34.6	33.2	30.1	22.0	22.1	23.4	23.4	23.4	26.7	29.3	26.7	29.3	
60	30	36.1	29.0	22.0	23.6	21.1	17.6	17.6	17.6	23.8	23.8	23.8	23.8	
70	30	29.6	20.6	23.6	23.6	22.1	17.1	17.1	17.1	17.1	17.1	17.1	17.1	
80		35.6	37.0	37.1	36.4	36.4	31.9	31.9	31.9	31.0	32.7	31.0	32.7	
90		38.2	38.4	38.6	38.6	38.6	38.3	38.3	38.3	37.5	37.7	37.5	37.7	
100		38.3	39.2	39.2	39.2	39.2	38.3	38.3	38.3	39.5	39.5	39.5	39.5	
10		39.2	39.1	39.2	39.2	39.2	38.2	38.2	38.2	39.1	39.1	39.1	39.1	
20	40	39.0	38.5	38.6	38.6	38.6	37.8	37.8	37.8	37.7	38.5	37.7	38.5	
30		41.5	40.9	41.2	41.2	41.2	41.2	41.2	41.2	40.8	41.7	40.8	41.7	
40		42.5	41.4	41.7	41.7	41.7	41.3	41.3	41.3	41.3	41.7	41.3	41.7	
50		41.9	42.7	41.7	41.7	41.7	42.0	42.0	42.0	40.7	42.2	40.7	42.2	
60		42.8	41.8	41.2	41.2	41.2	41.7	41.7	41.7	42.2	42.2	41.9	42.2	
70		42.7	41.8	41.8	42.0	41.5	41.5	41.5	41.5	41.9	41.9	41.6	41.9	
80		42.5	42.5	42.5	43.1	42.7	42.7	42.7	42.7	41.6	43.5	41.6	43.5	
90		42.3	42.8	42.0	43.1	42.7	42.7	42.7	42.2	41.6	43.2	41.6	43.2	
200		41.7	41.6	42.4	42.9	42.9	42.9	42.9	42.0	42.2	42.6	42.2	42.6	
10			41.8	41.9	42.3	42.3	42.3	42.3	41.0	40.7	42.6	40.7	42.6	
20			42.0	42.0	41.5	41.5	41.5	41.5	41.0	40.7	42.6	40.7	42.6	
30			42.6	42.6	41.5	41.5	41.5	41.5	41.0	40.7	42.6	40.7	42.6	
40			44.3	44.3	44.0	44.0	44.0	44.0	43.9	44.3	45.1	44.3	45.1	
50			46.0	46.0	45.2	45.2	45.2	45.2	43.9	44.3	45.1	44.3	45.1	
60			47.3	47.3	47.6	47.6	47.6	47.6	47.2	45.6	47.5	45.6	47.5	
70			47.3	47.3	48.5	48.5	48.5	48.5	47.1	47.1	47.1	47.1	47.1	
80			46.5	46.5	46.5	46.5	46.5	46.5	47.1	47.1	47.1	47.1	47.1	
90			44.8	44.8	44.8	44.8	44.8	44.8	47.3	46.0	46.7	46.0	46.7	
300			45.3	45.3	45.5	45.5	45.5	45.5	44.7	44.8	44.9	44.8	44.9	
10			46.8	46.8	47.0	47.0	47.0	47.0	47.0	47.0	48.3	47.0	48.3	
20			47.0	47.0	47.7	47.7	47.7	47.7	47.0	47.0	48.3	47.0	48.3	
30			48.2	48.2	48.5	48.5	48.5	48.5	50.0	48.6	49.5	48.6	49.5	
40														
50														
60														
70														
80														
90														

VATTENHALTER w_a

1976

RÖR 4

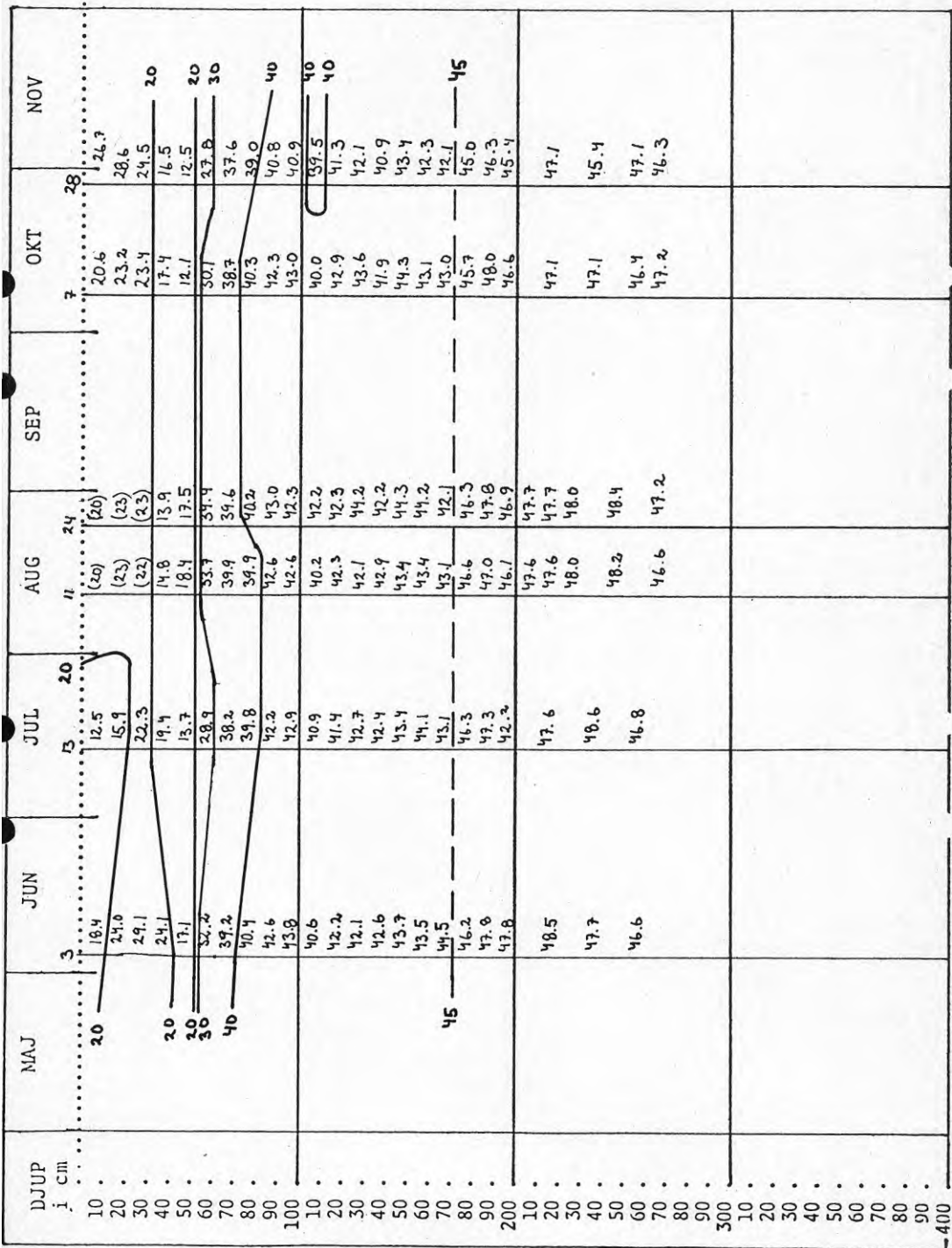
Vegetation och
sättningar i lera
BFR

DJUP i cm	MAJ	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV
10		26.5	19.2	(27)		27.8	
20		26.7	19.7	(25)		25.8	
30		26.8	20.4	(21)		27.8	
40		27.7	22.3	22.4		21.8	
50	30	29.8	25.9	28.3		26.4	
60		30.1	25.7	25.2		25.2	
70		30.6	29.0	26.8		27.5	
80	40	36.8	35.1	35.9		34.9	30
90	40	41.4	40.6	40.6		39.1	
100		38.6	38.2	38.3		37.6	
10		39.4	39.7	39.9		38.5	
20		39.8	39.6	40.2		38.9	
30	40	40.1	40.3	40.2		40.3	40
40		40.6	40.7	41.0		41.7	
50		41.2	41.3	41.5		41.4	
60		41.3	42.3	43.5		42.0	
70	40	40.6	40.1	40.0		41.1	
80		39.0	38.7	38.3		38.0	40
90		39.4	40.5	40.2		41.4	40
100	40	39.9	39.4	39.9		39.9	40
10				40.2		42.4	
20		42.5	42.1	42.3			
30				42.5		41.7	
40		41.0	40.6	40.4		40.0	
50			41.4	41.7			
60		40.7		40.2		42.3	
70			40.7	41.1		43.1	
80			43.7	41.1			
90				43.1			
300				44.5			
10			44.8	44.9		45.7	45
20				44.6			
30			45.8	45.8		46.1	
40				47.3		45.2	
50			44.9				
60				45.8			
70			44.9				
80							
90							
400							

VATTENHALTER w_a
RÖR 5

1976

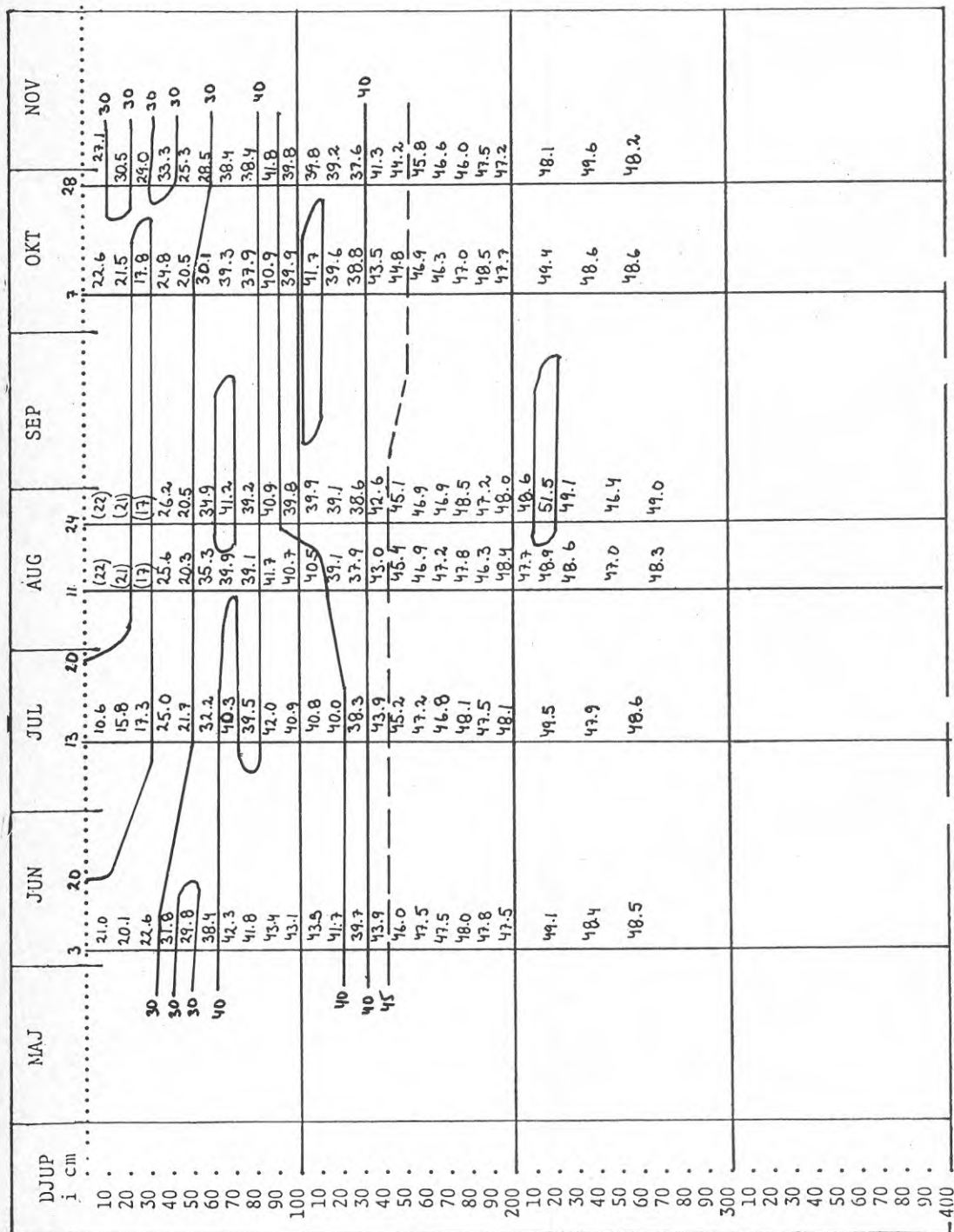
Vegetation och
sättningar i lera
BFR



VATTENHALTER w_a
RÖR 6

1976

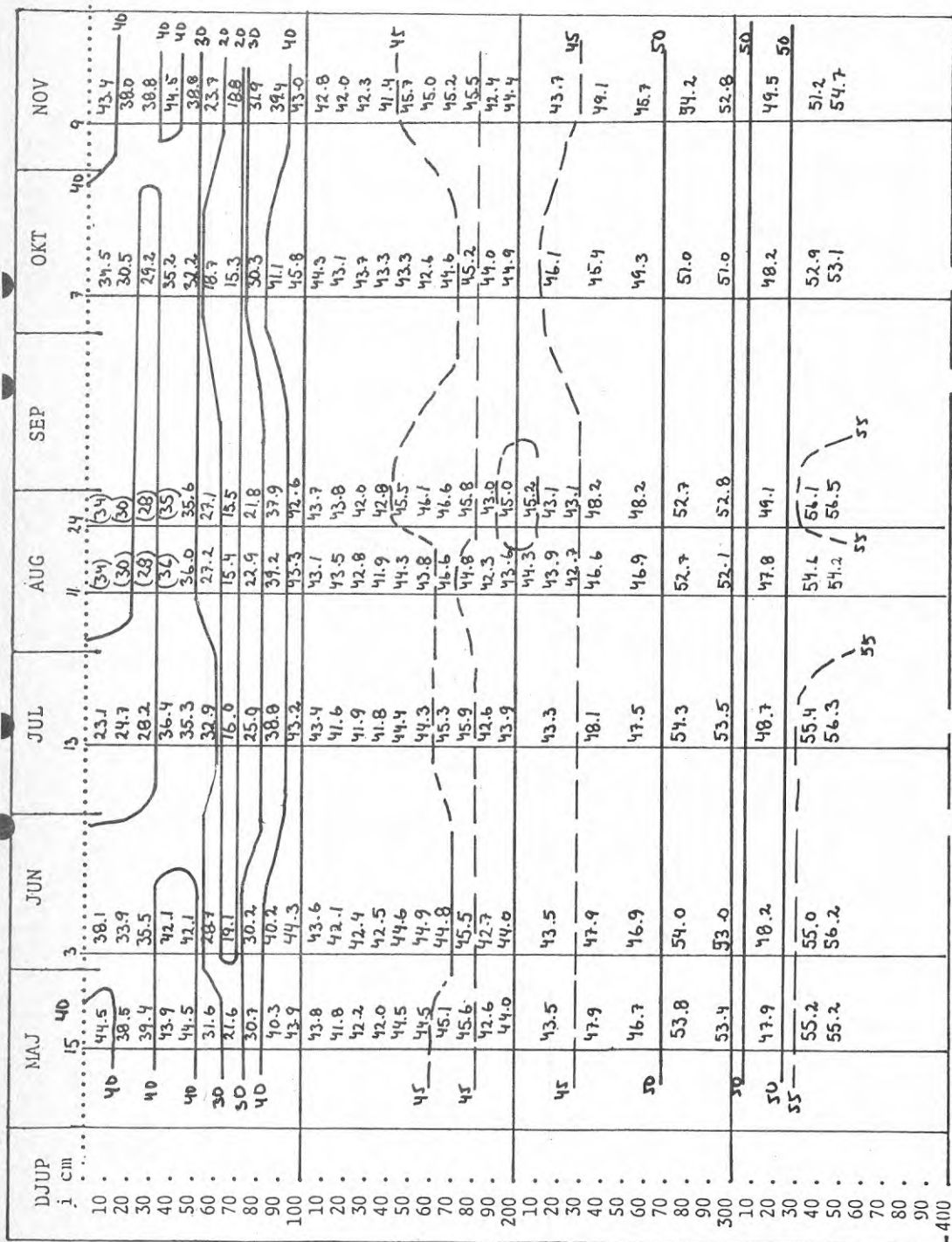
Vegetation och
sättningar i lera
BFR



VATTENHALTER w_a

1976

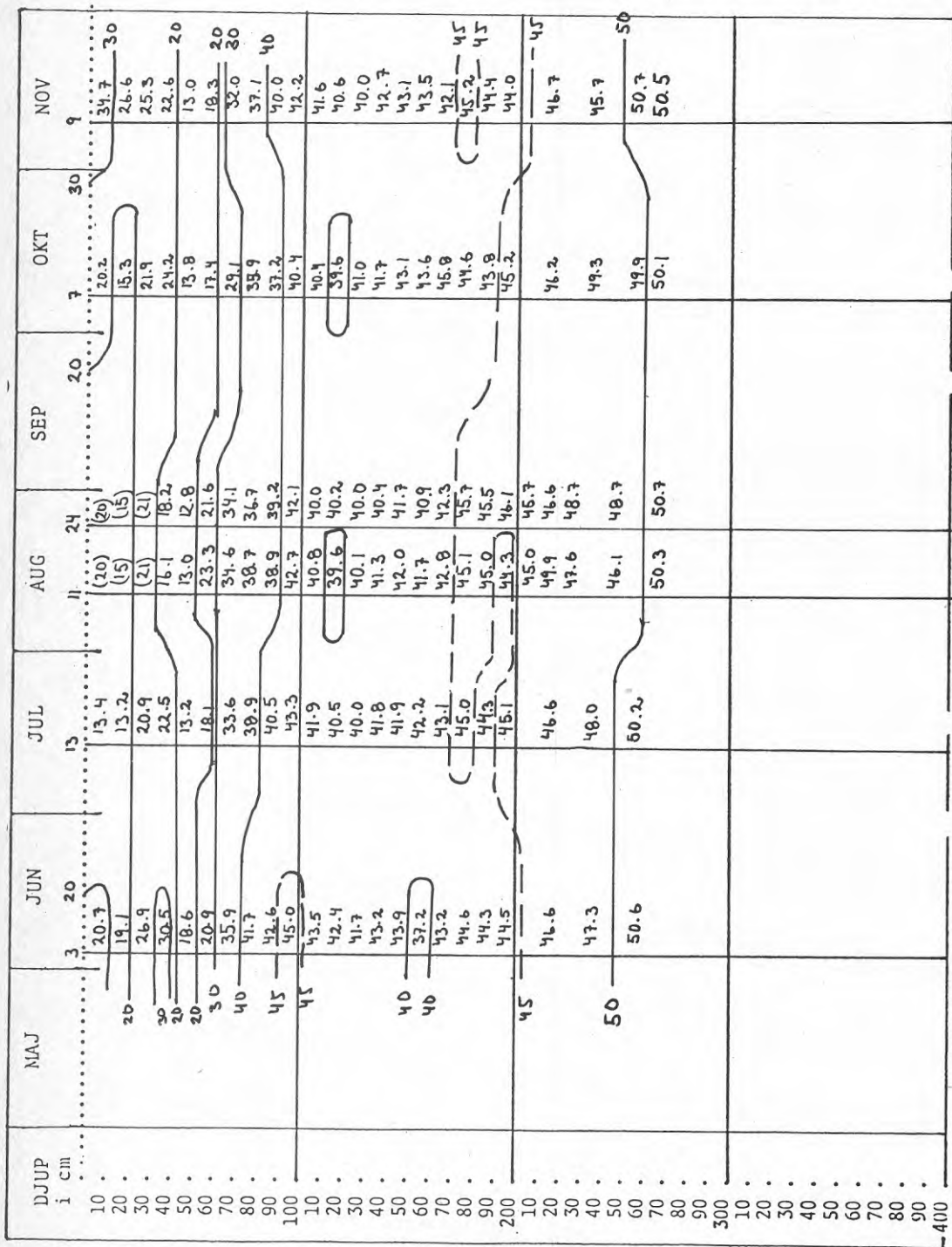
RÖR 8

Vegetation och
sättningar i lera
BFR

VATTENHALTER w_a
RÖR 10

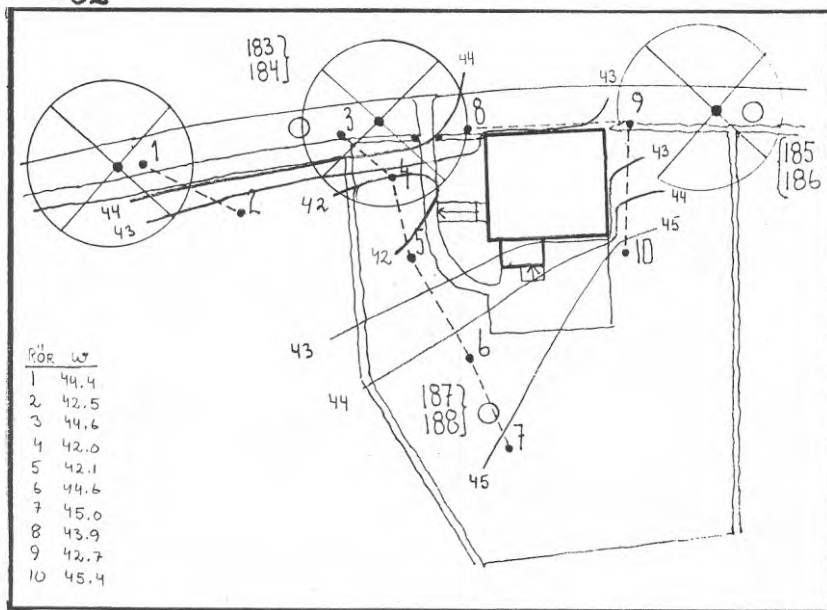
1976

Vegetation och
sättningar i lera
BFR

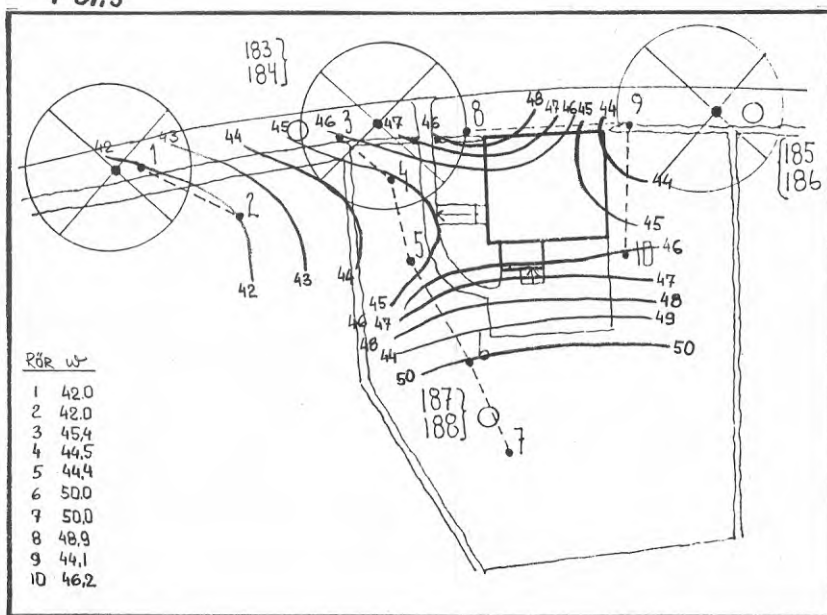


w_a - topoisopleter 1974 och 1975 och 1976

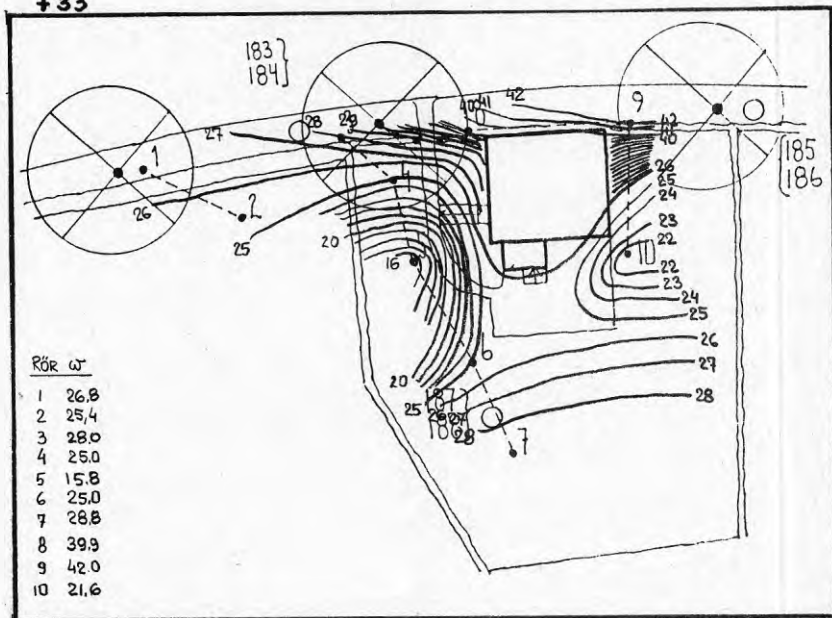
+32



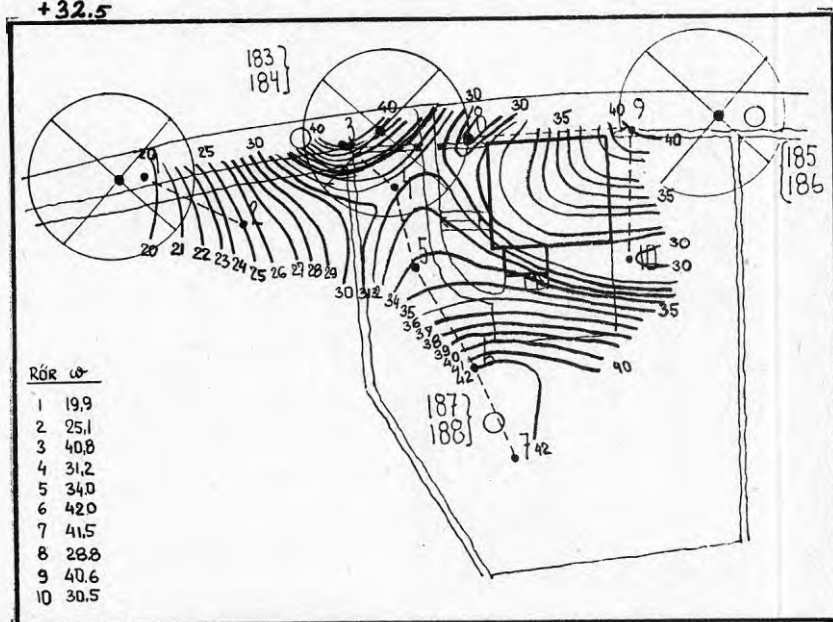
+ 31,5



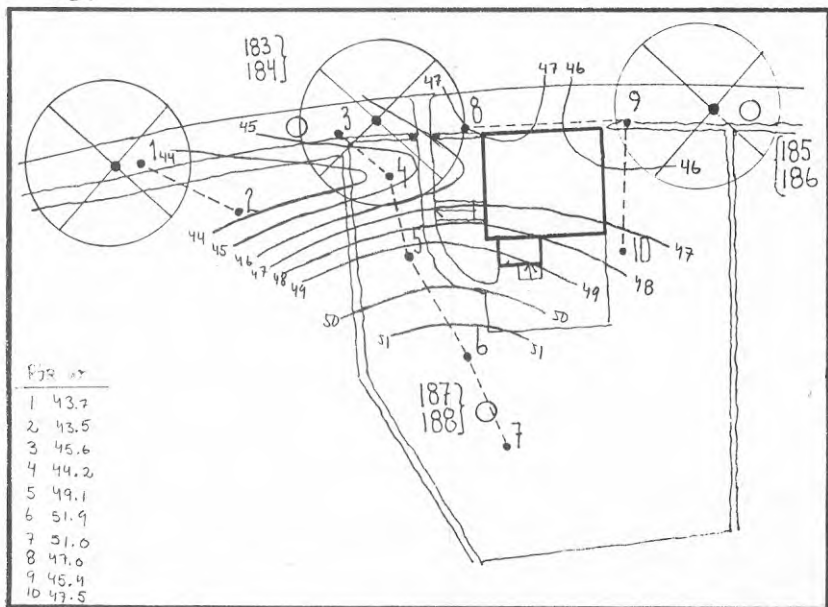
+33



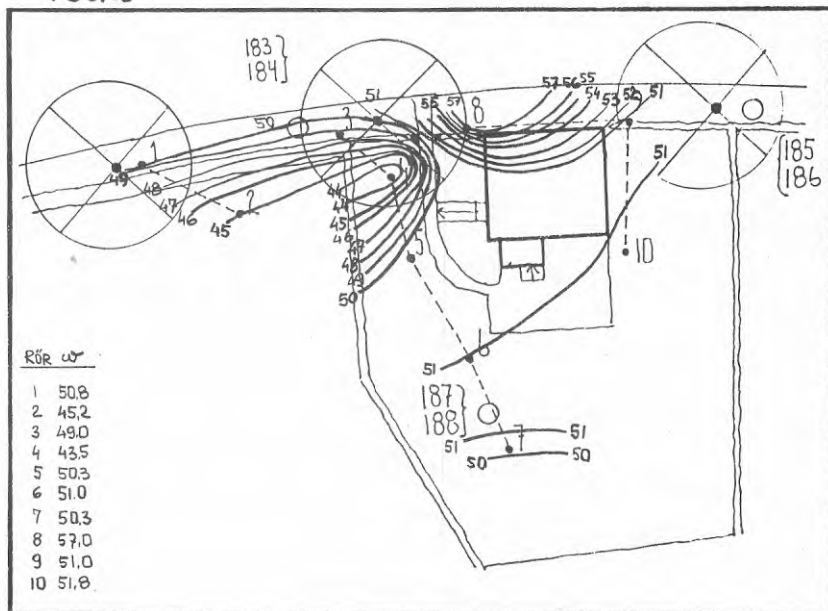
+32.5



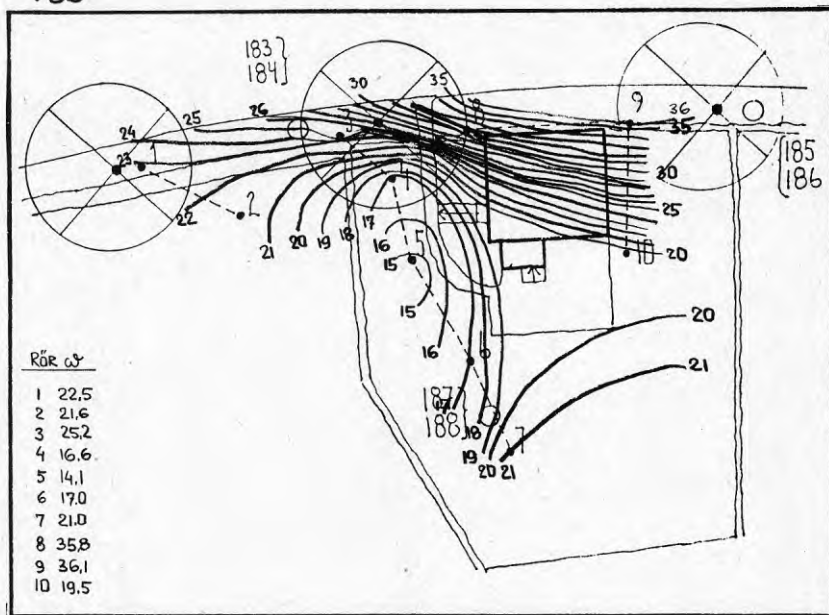
+31



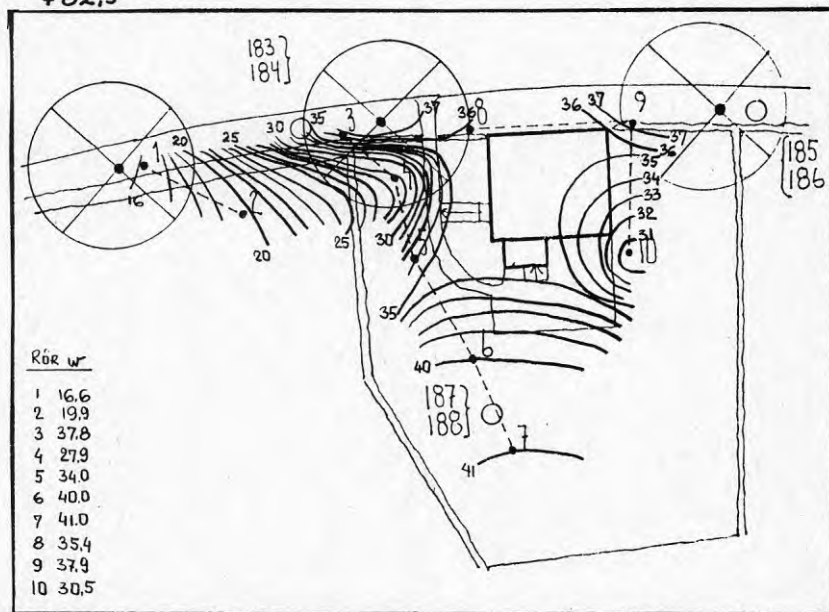
+30.55



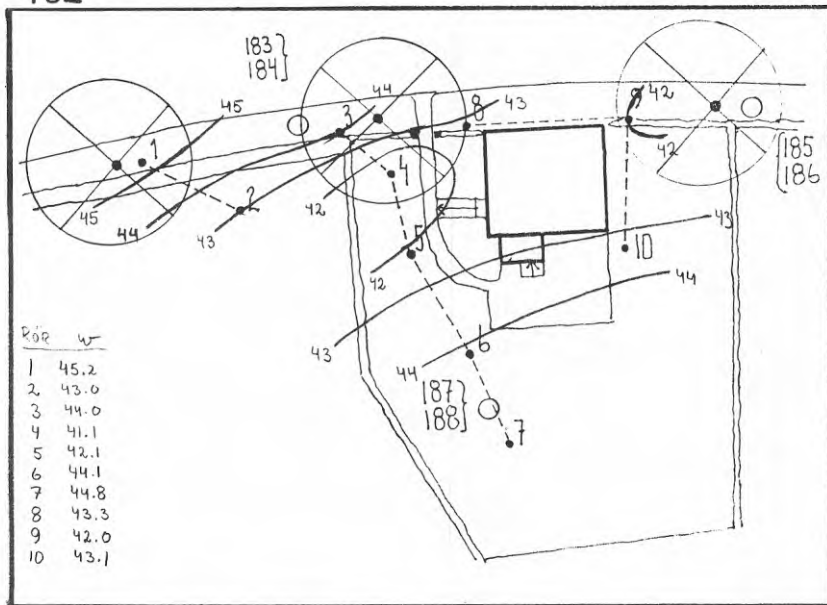
+33



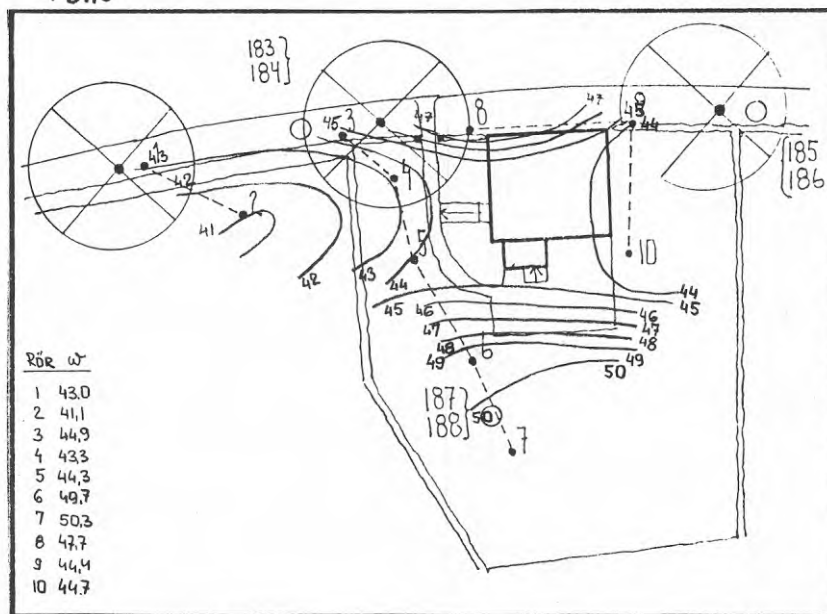
+32,5



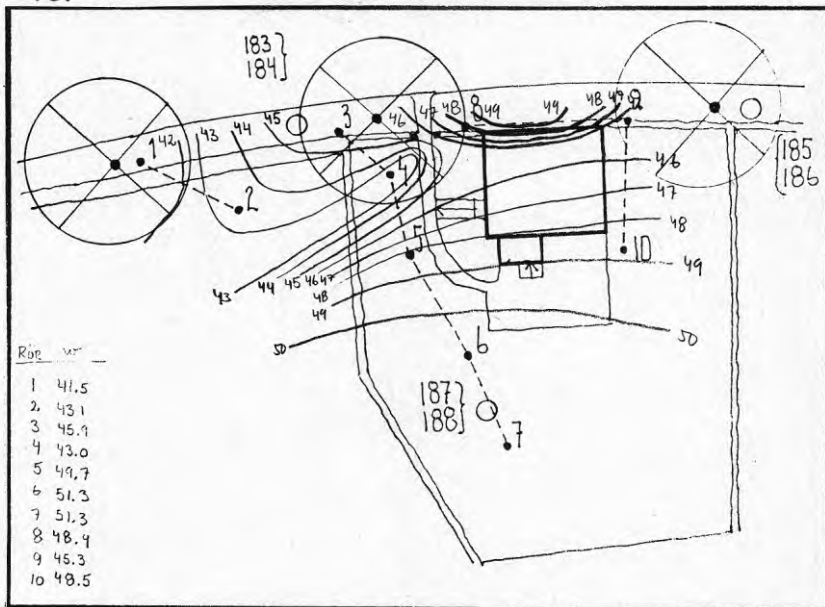
+32



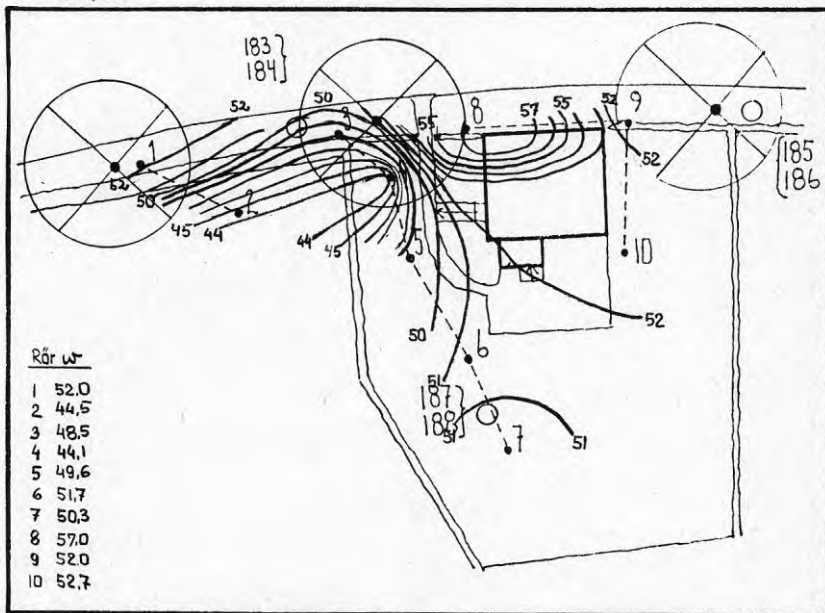
+31.5



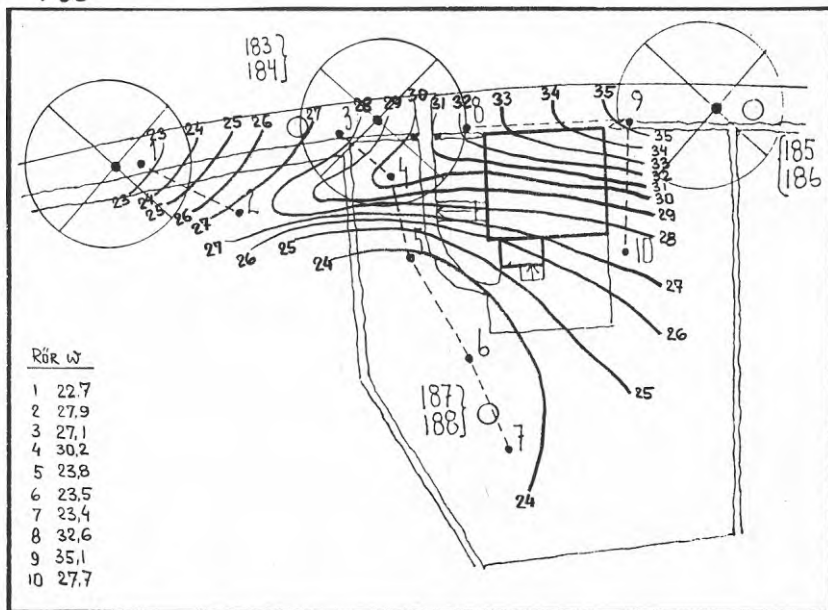
+31



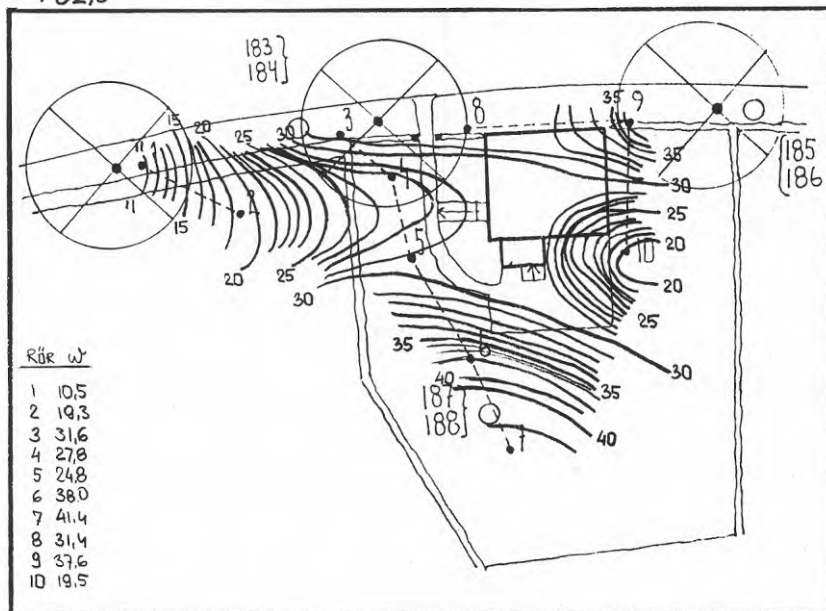
+ 30,55



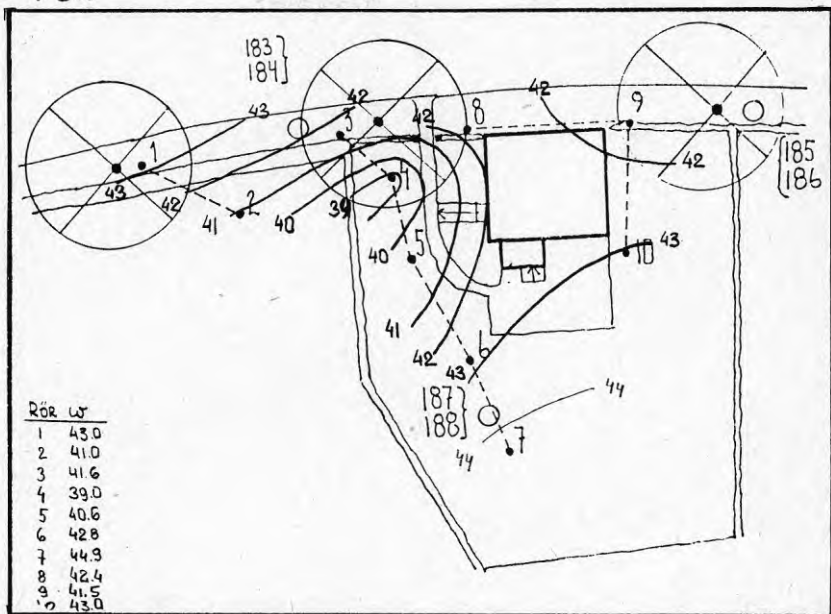
+ 33



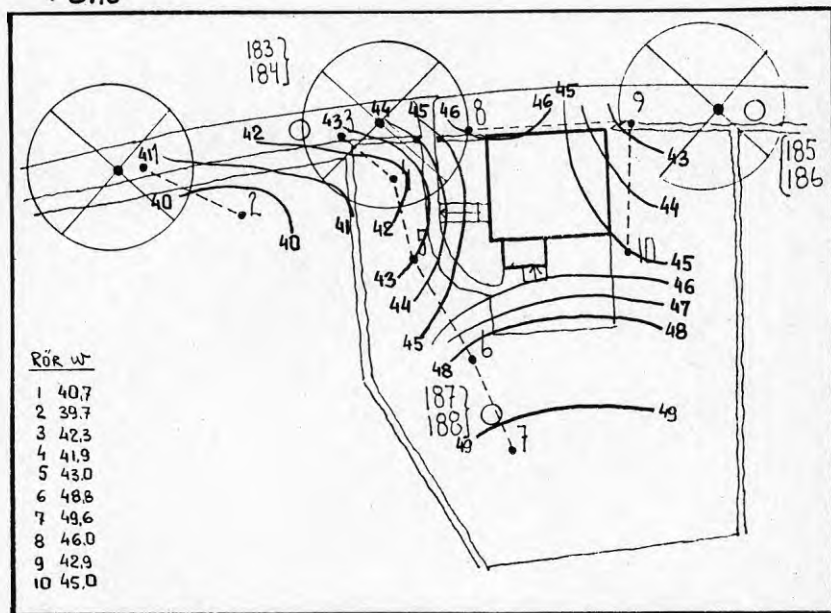
+ 32,5



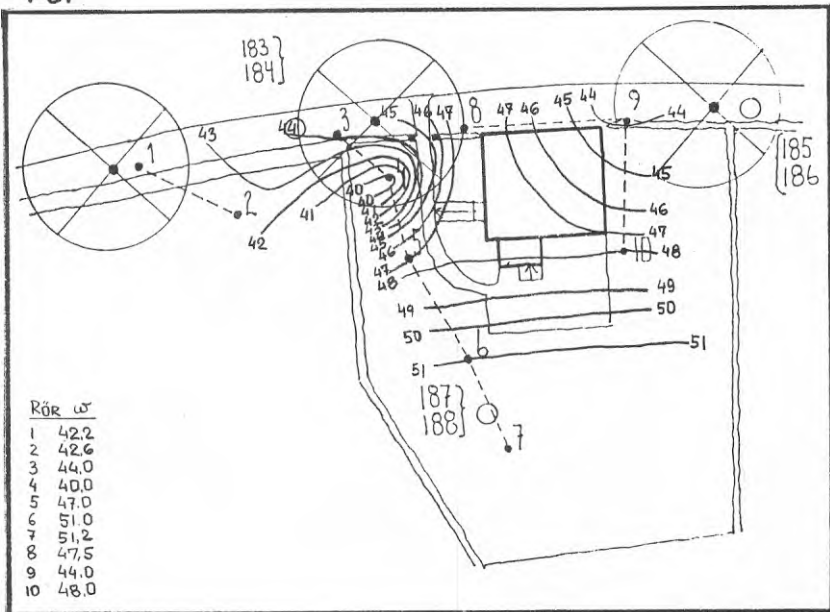
+ 32



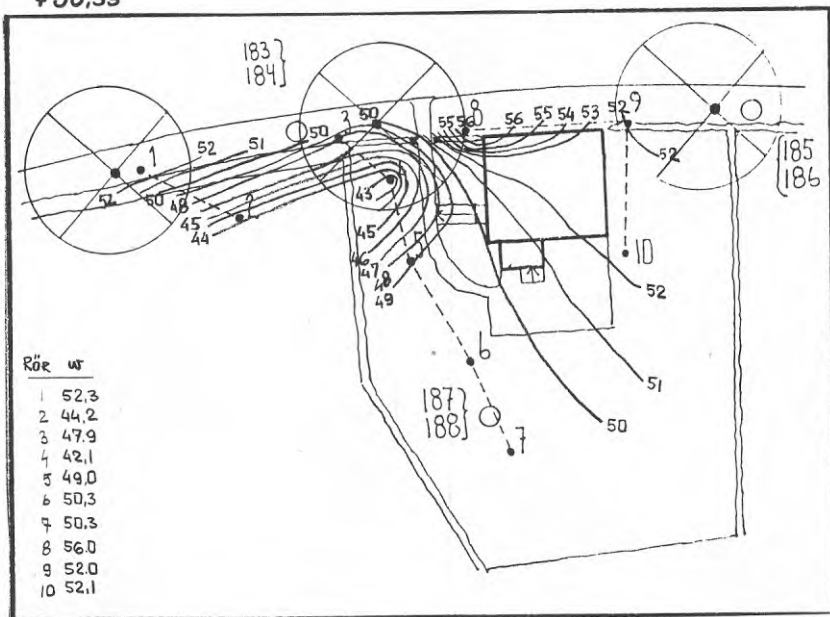
+ 31.5



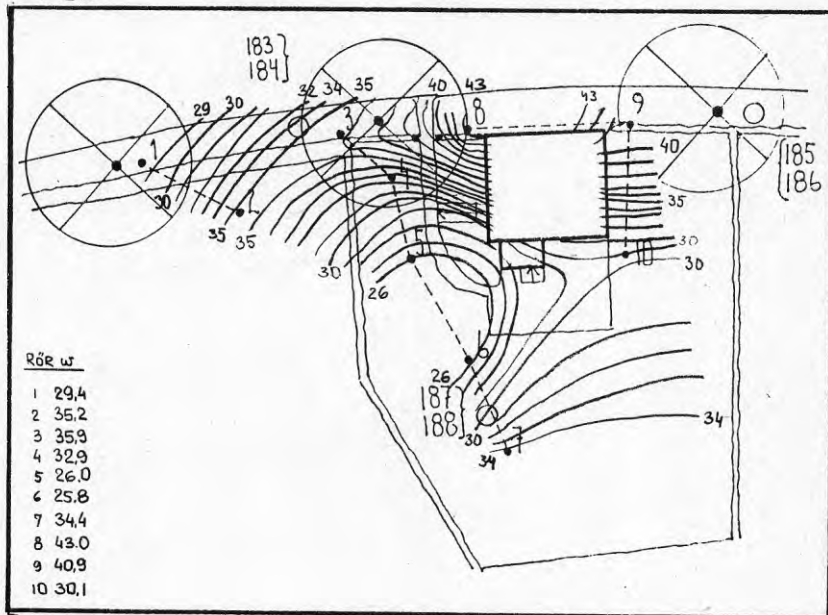
+ 31



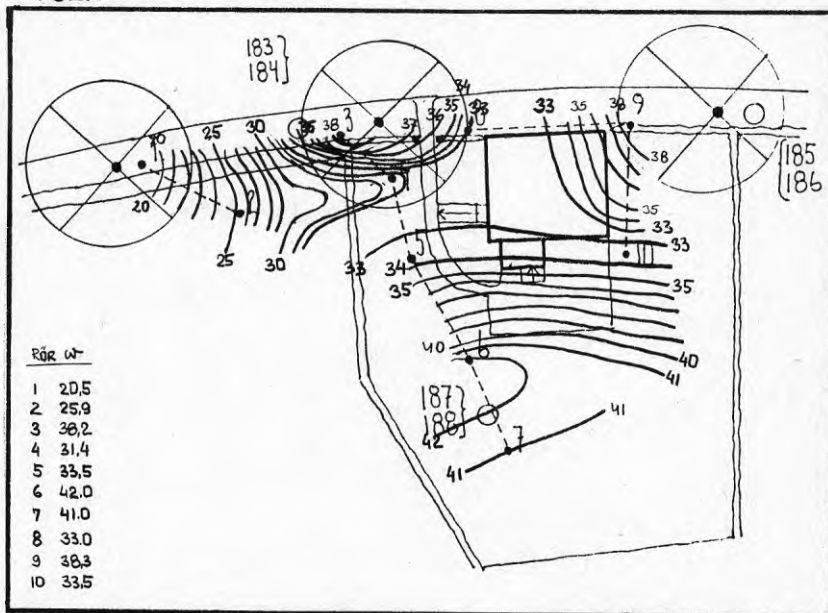
+ 30,55



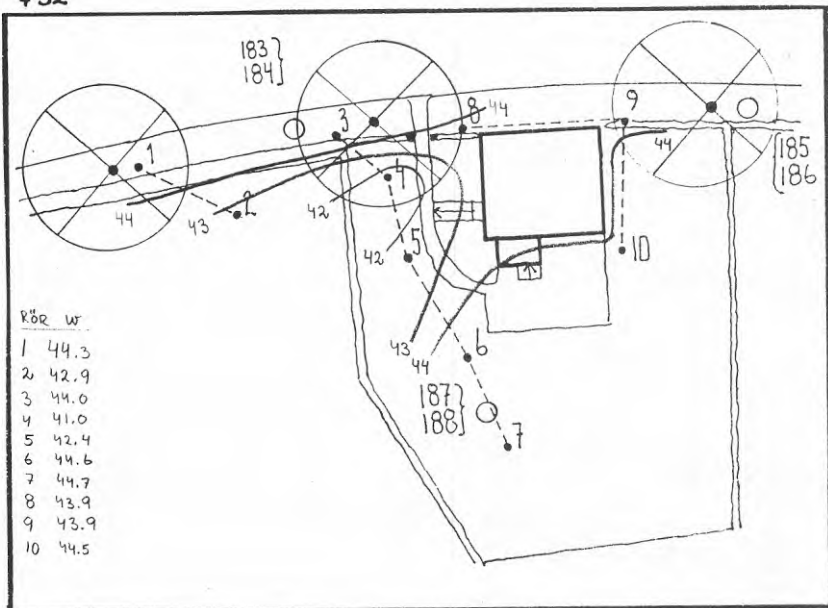
+ 33



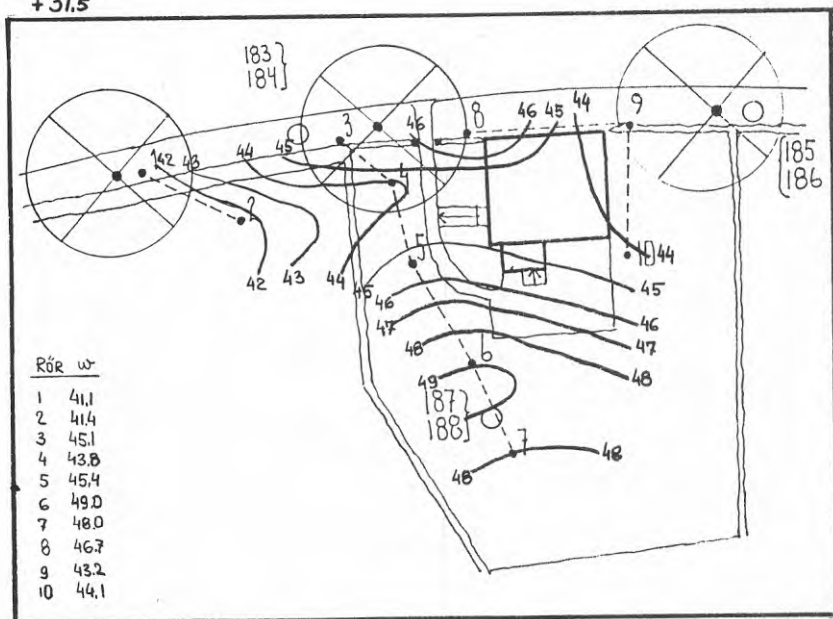
+32.5



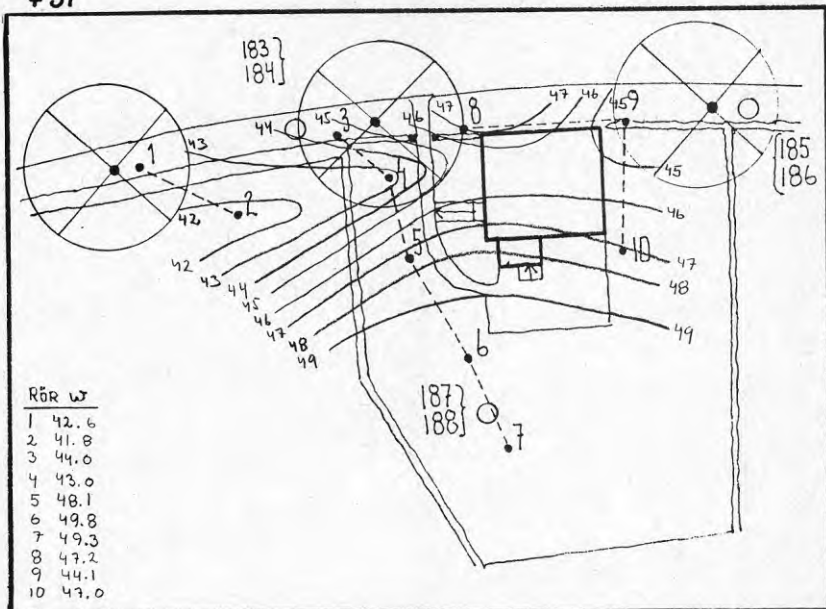
+ 32



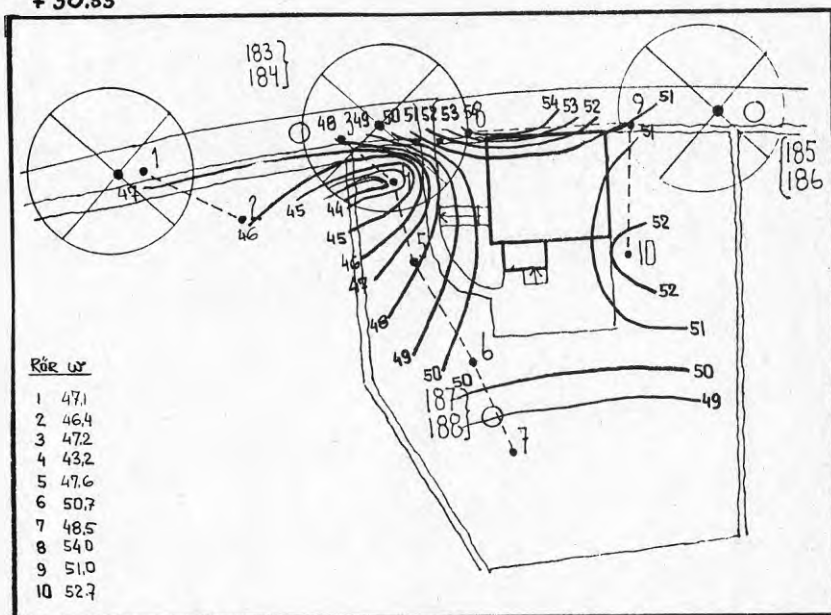
+ 31,5



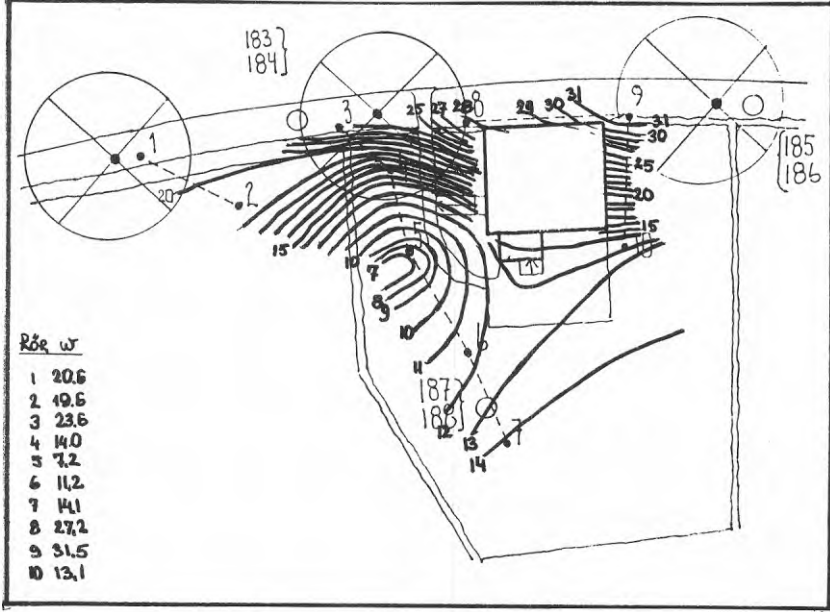
+ 31



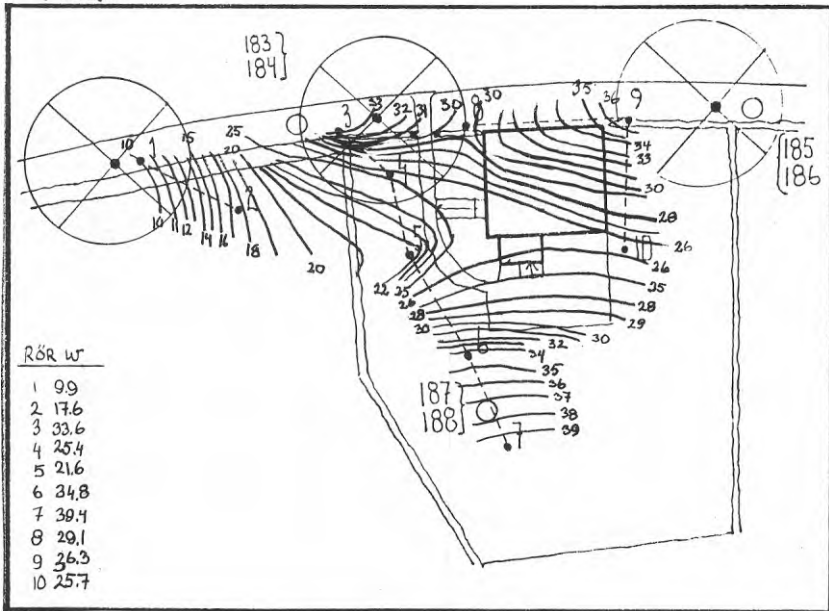
+ 30.55



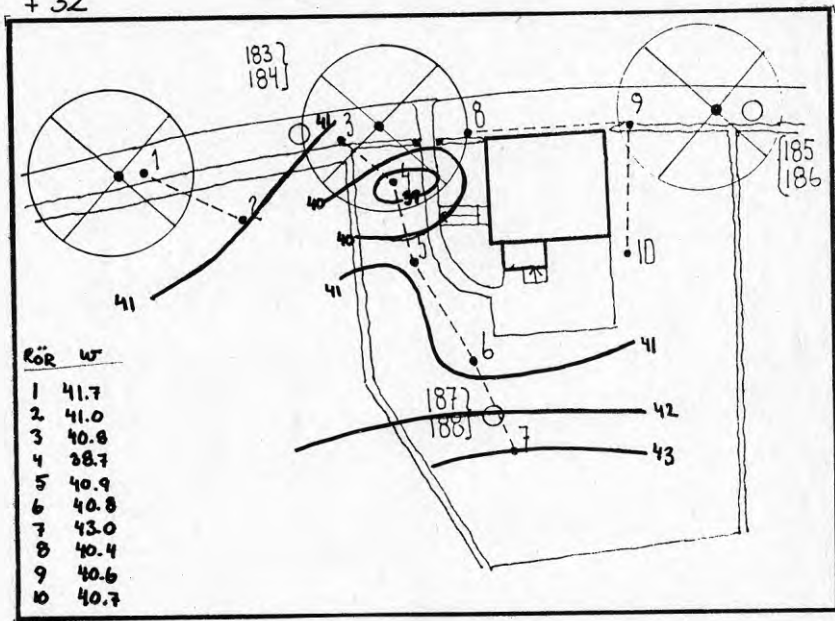
+ 33



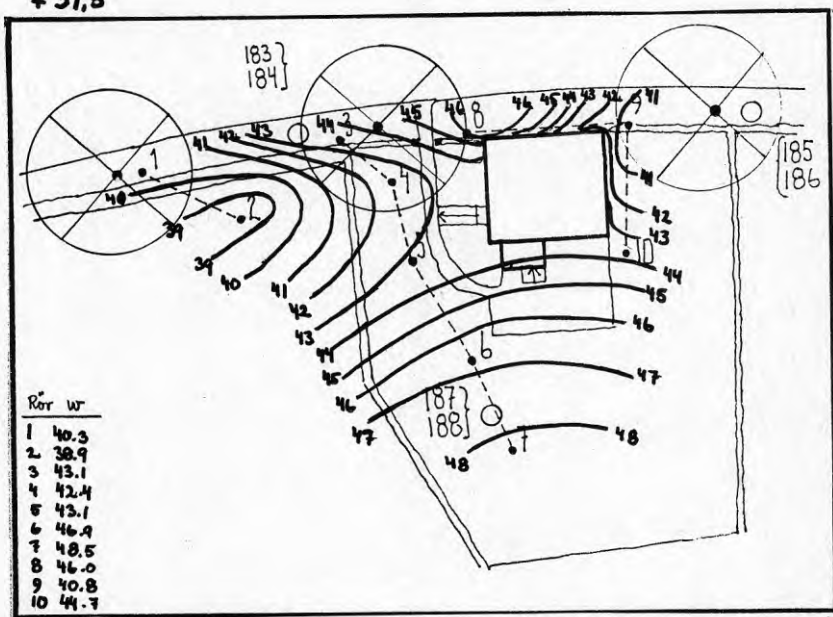
+ 32,5



+ 32



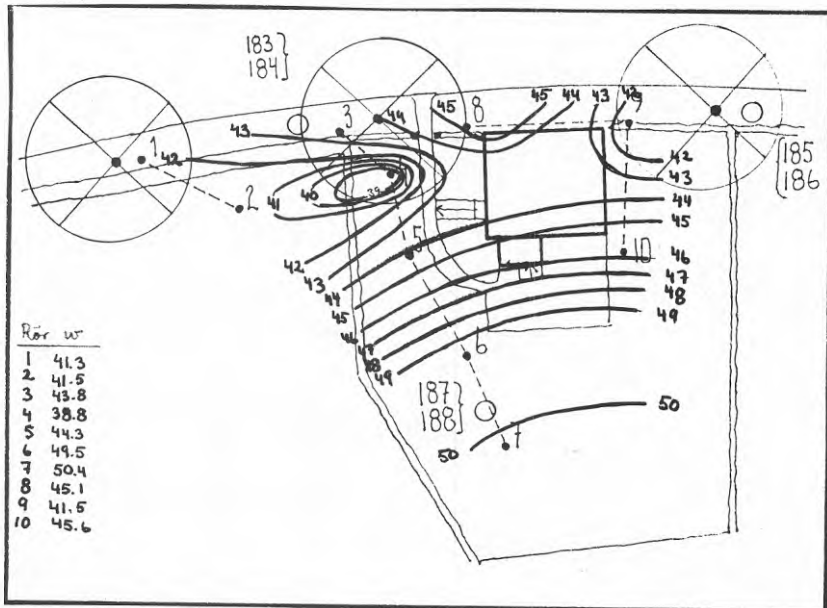
+ 31,5



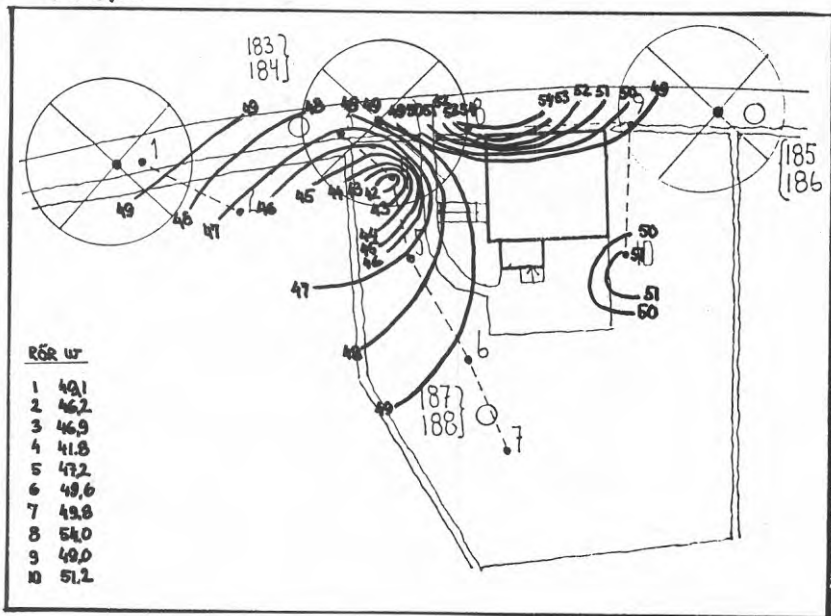
Wa - TOPOISOPLET 1975 - 07

VEGETATION OCH
SÄTTNINGAR I LERA
B F R

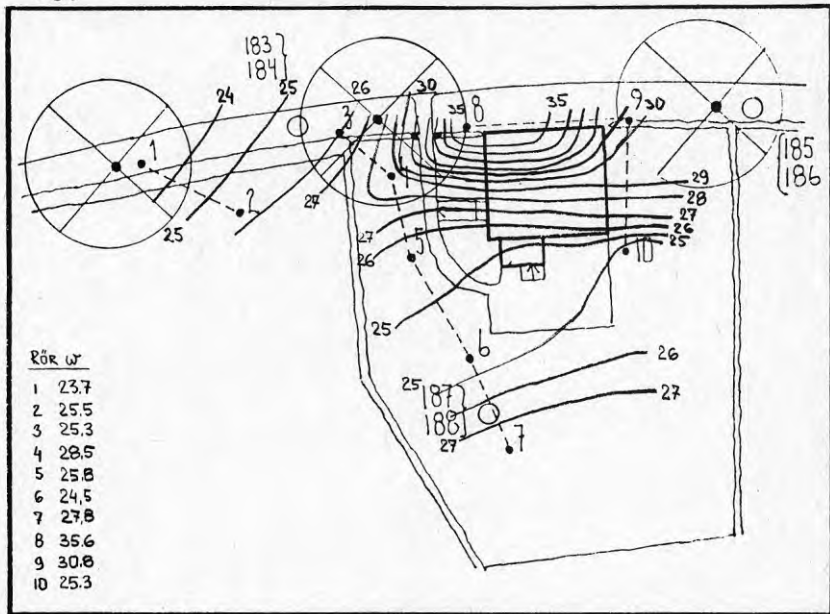
+ 31



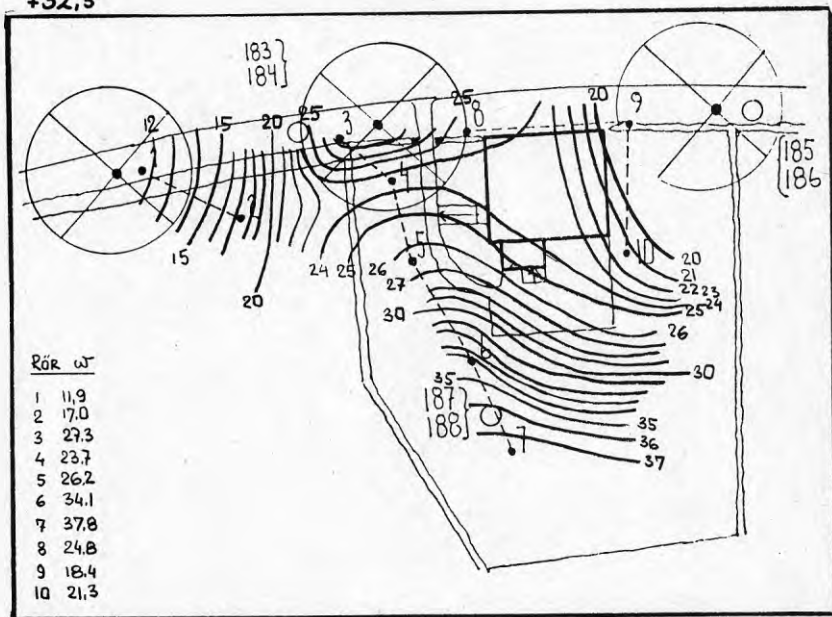
+ 30,55



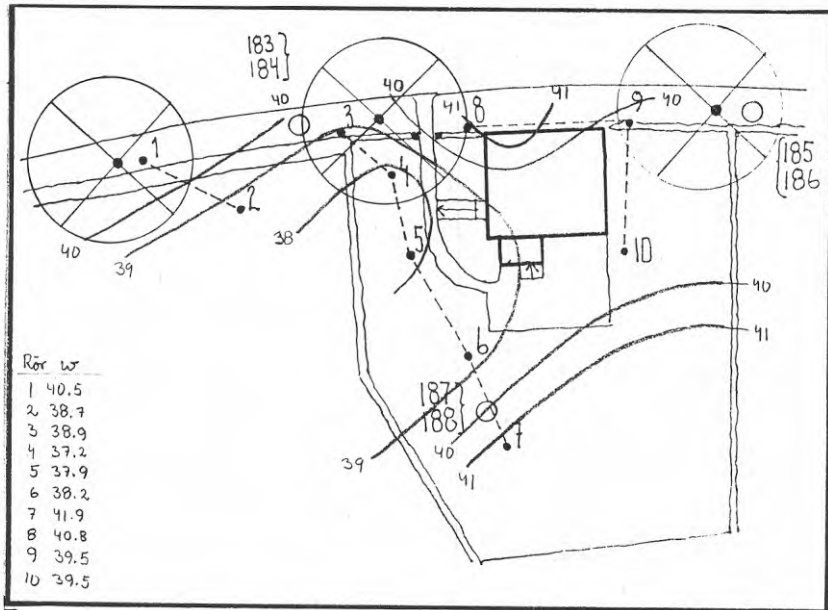
+33



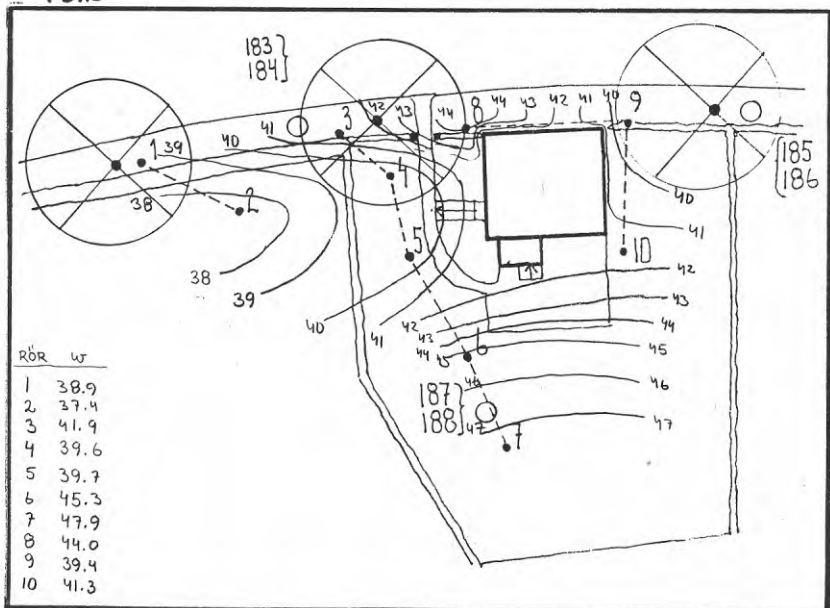
+32,5



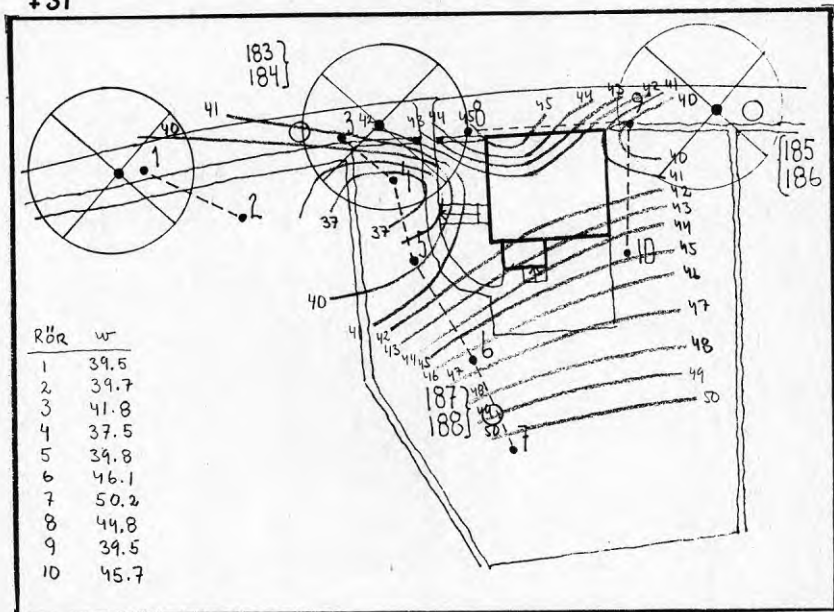
+ 32



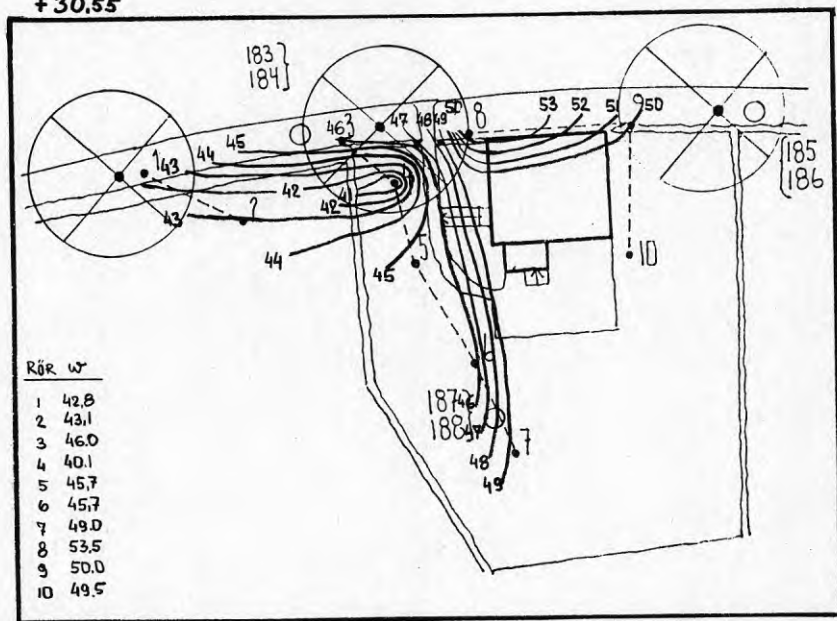
+ 31.5



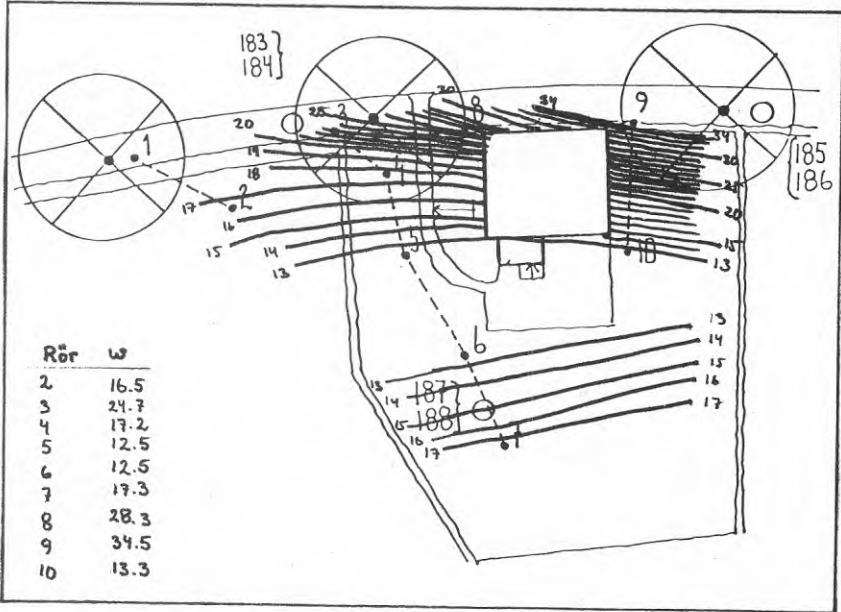
+31



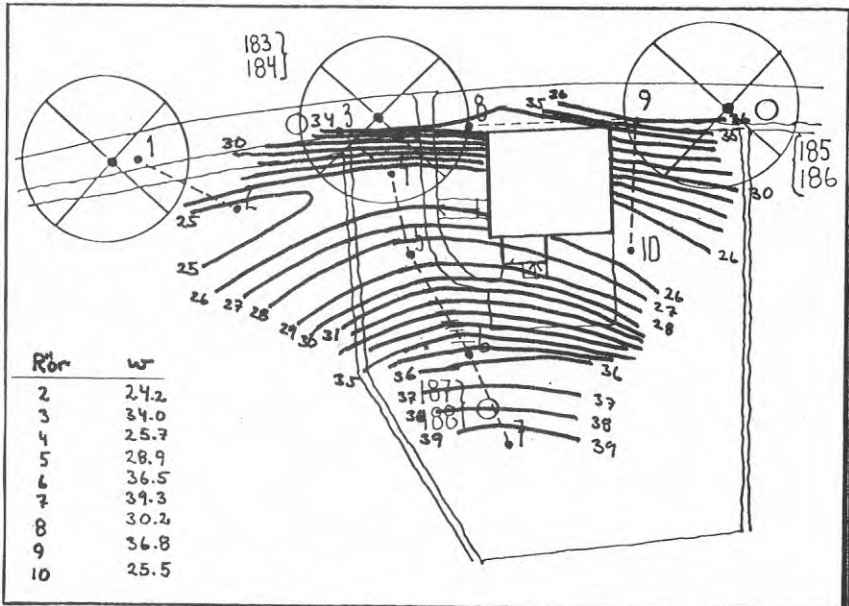
+30.55



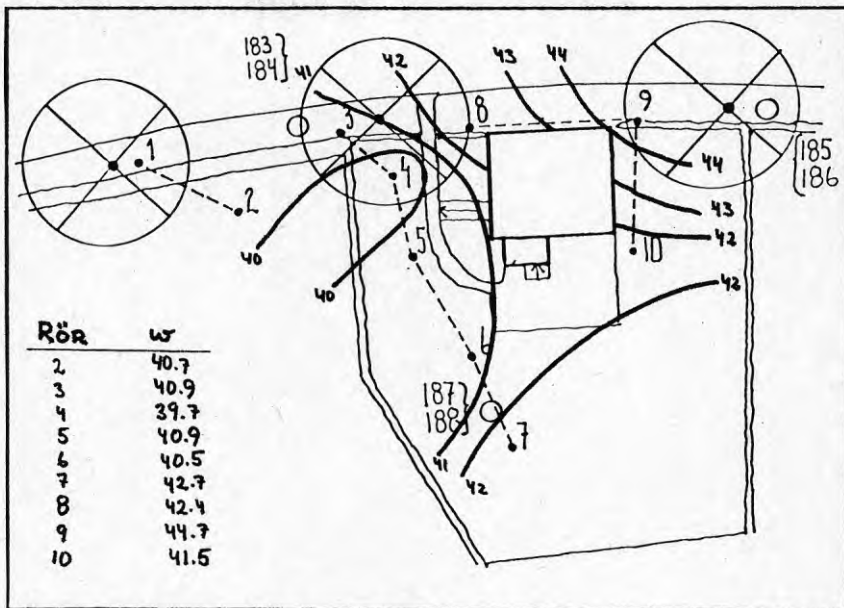
+ 33.0



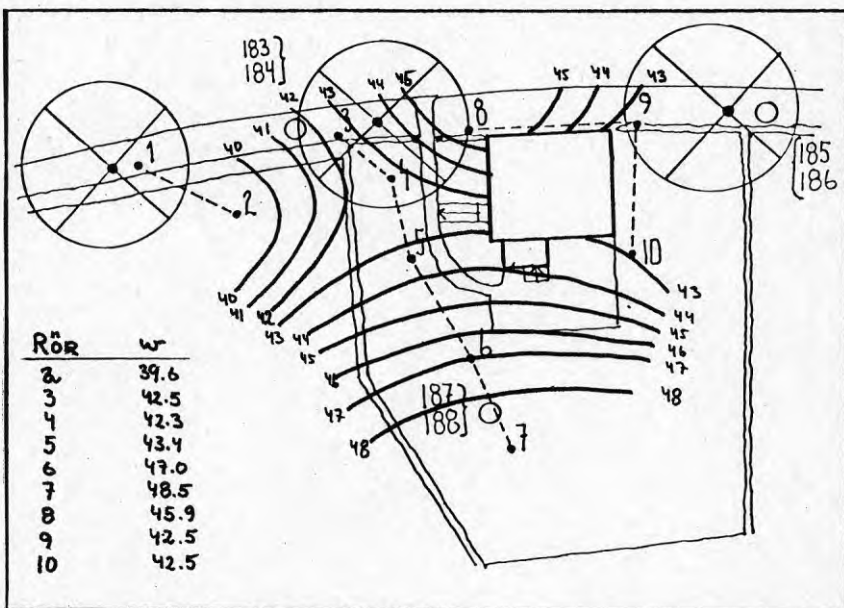
+ 32.5



+ 32.0



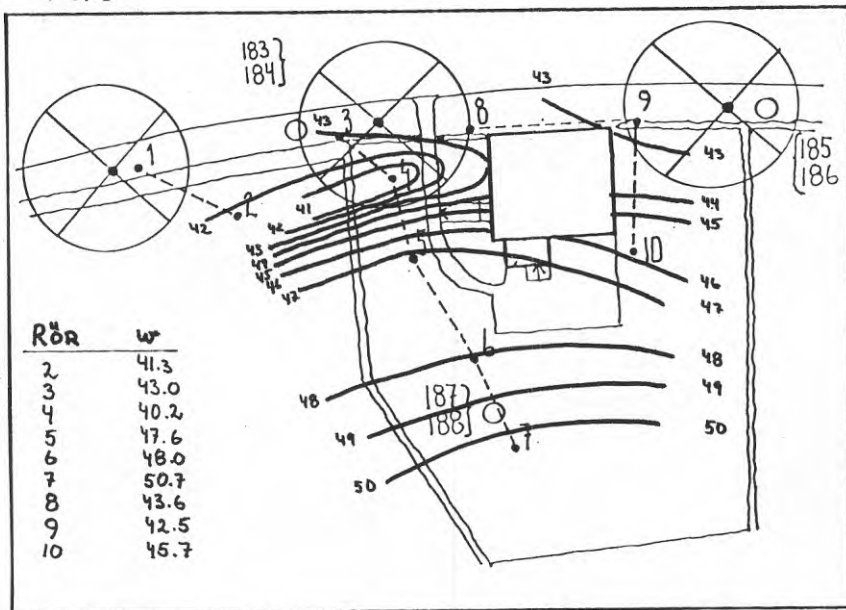
+ 31.5



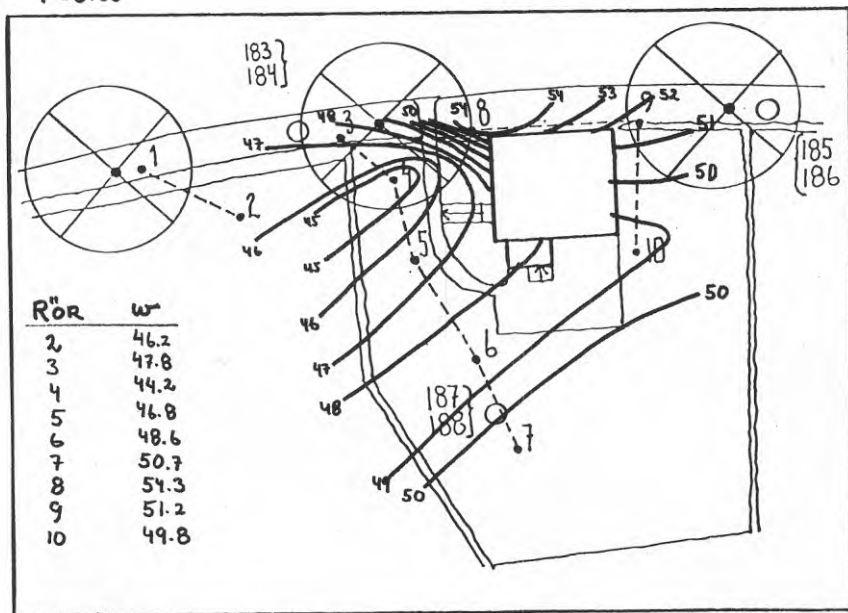
Wa-TOPOISOPLET 1976-07

VEGETATION OCH
SÄTTNINGAR I LERA
B F R

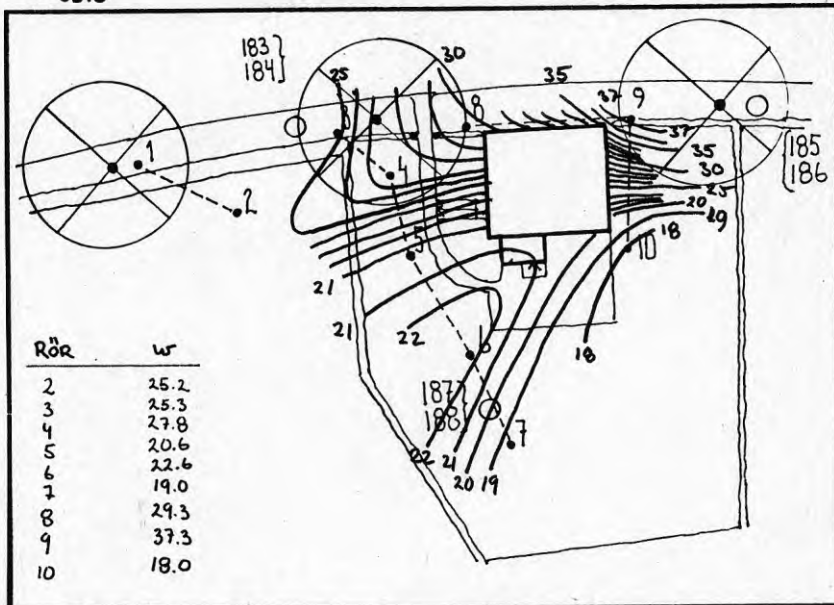
+ 31.0



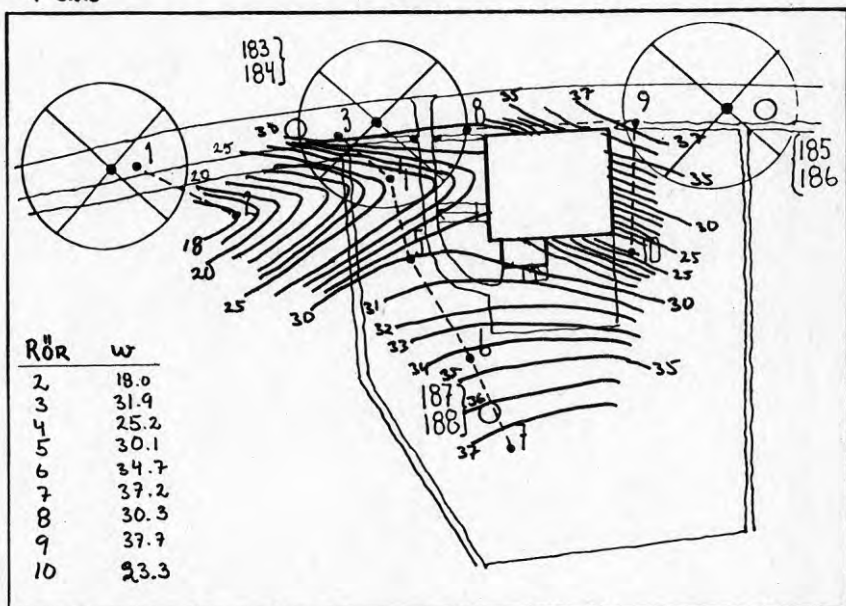
+ 30.55



+ 33.0



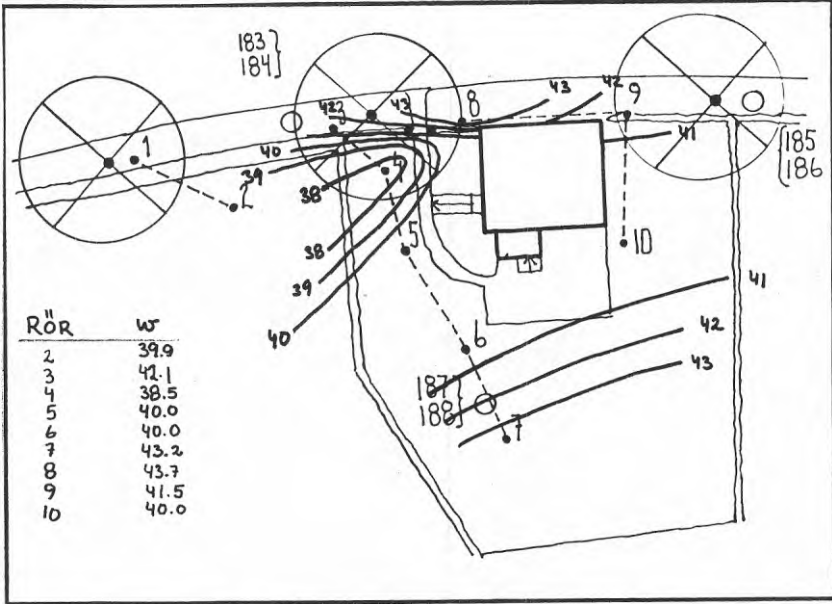
+ 32.5



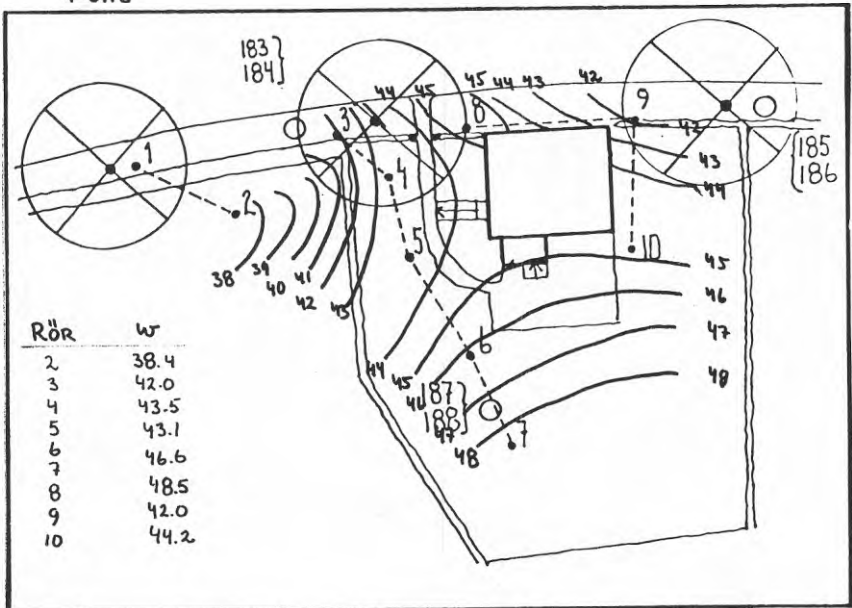
Wa - TOPOISOPLET 1976 -10

VEGETATION OCH
SÄTTNINGAR I LERA
B F R

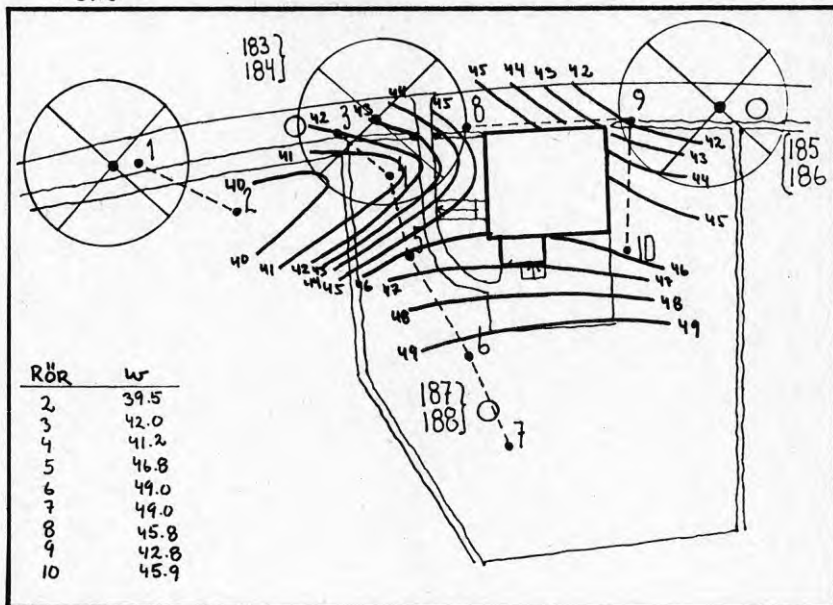
+ 32.0



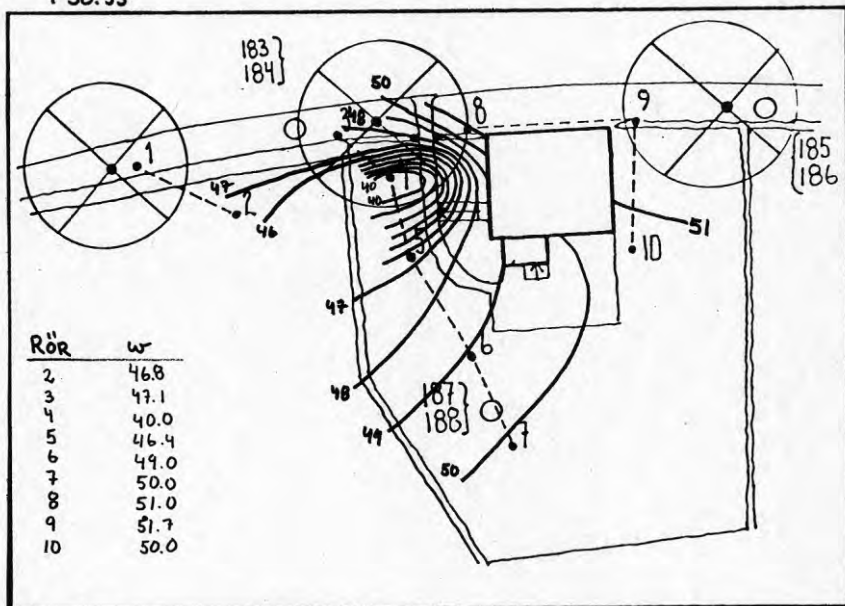
+ 31.5



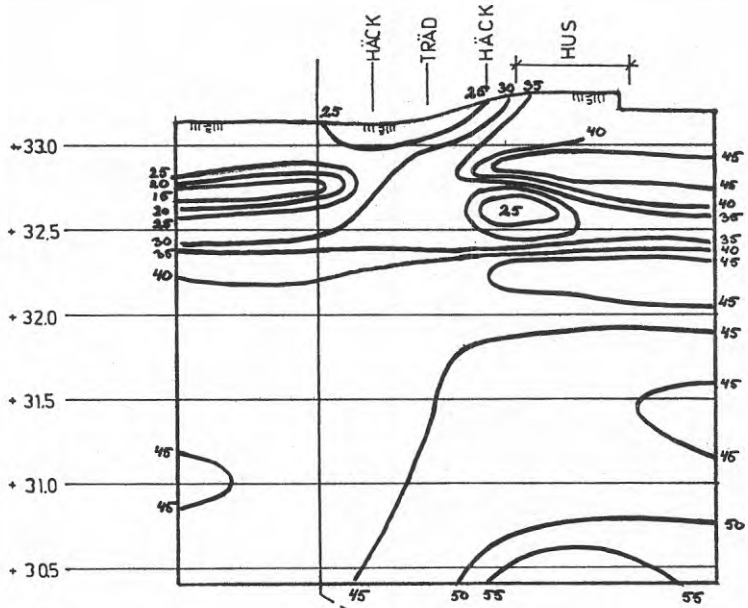
+ 31.0



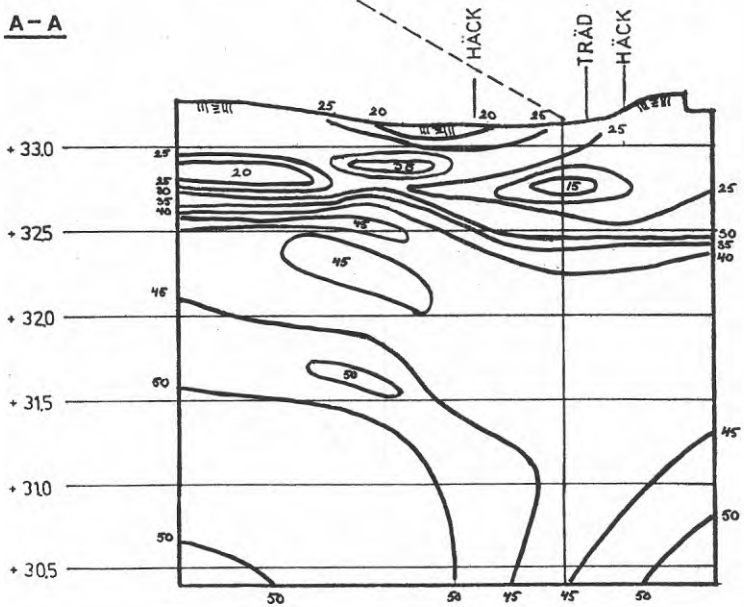
+ 30.55



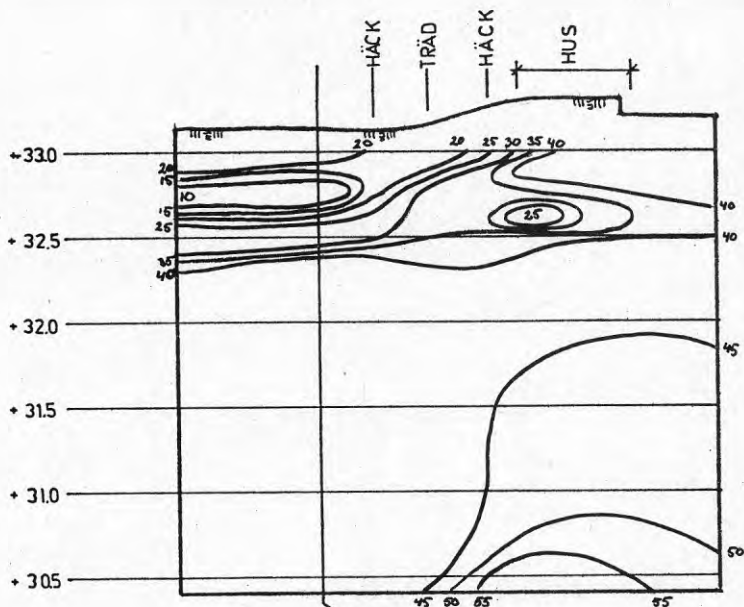
w_a - snitt A-A och B-B 1974 och 1975



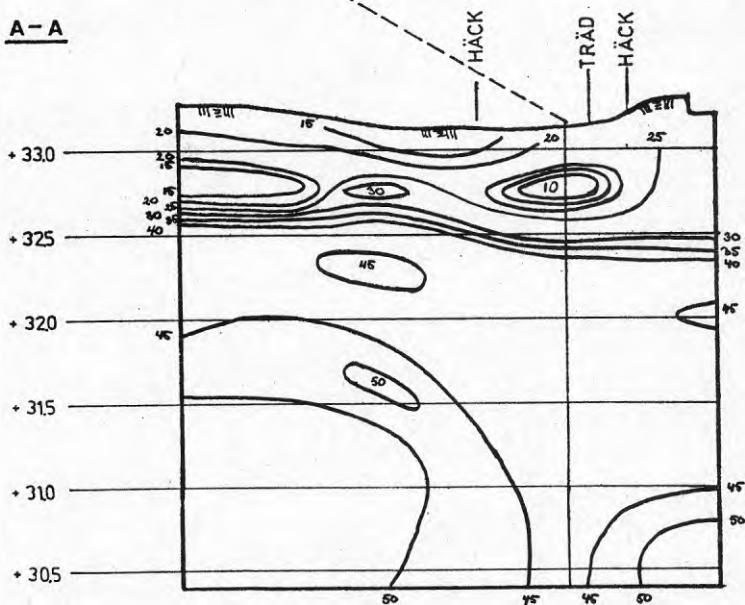
A - A



B - B



A - A

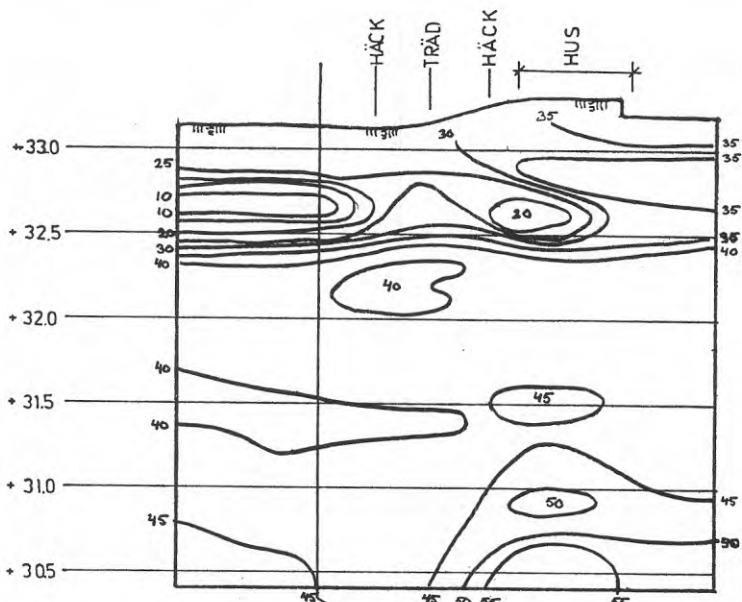


B - B

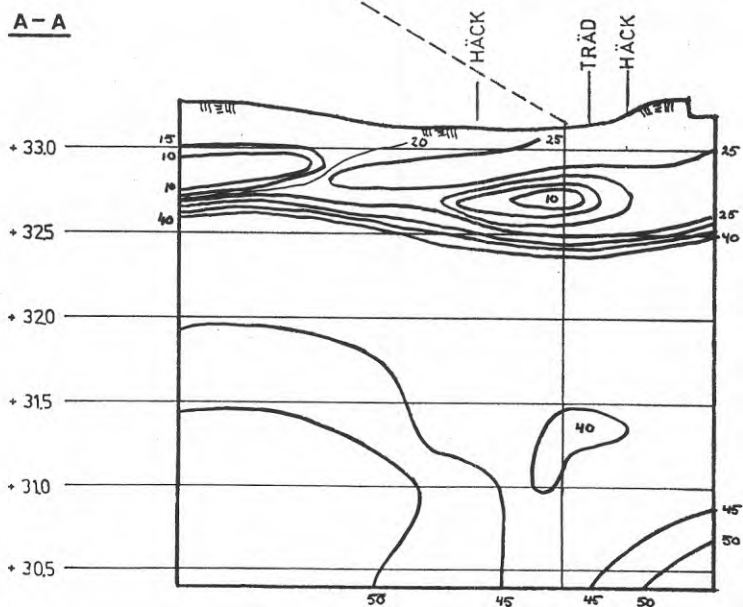
Wa SNITT A-A, B-B

1974-09

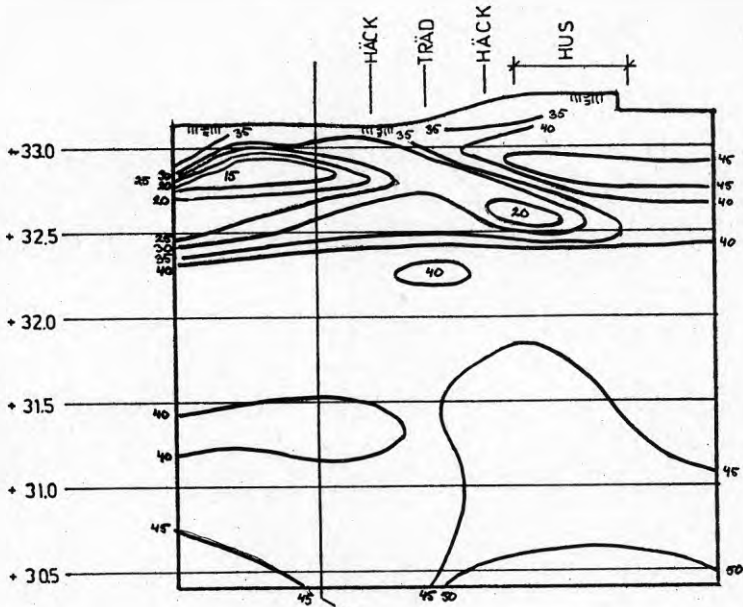
VEGETATION OCH
SÄTTNINGAR I LERA
B F R



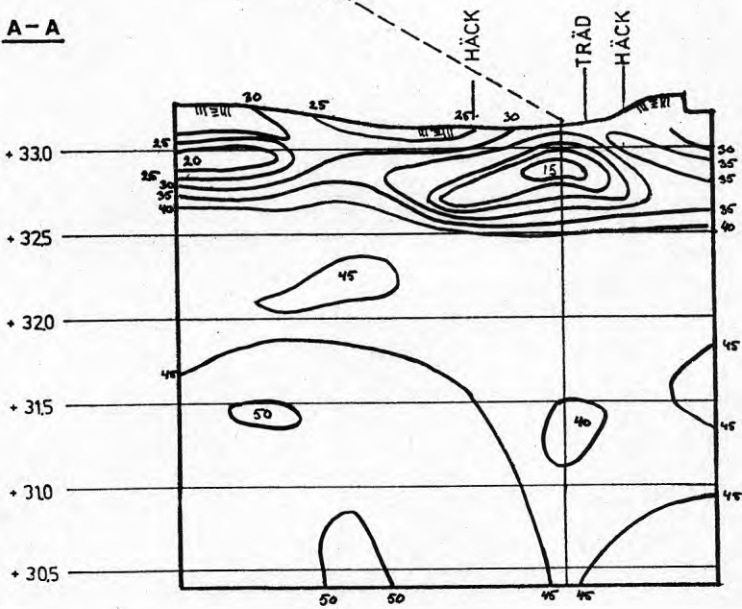
A - A



B - B



A-A

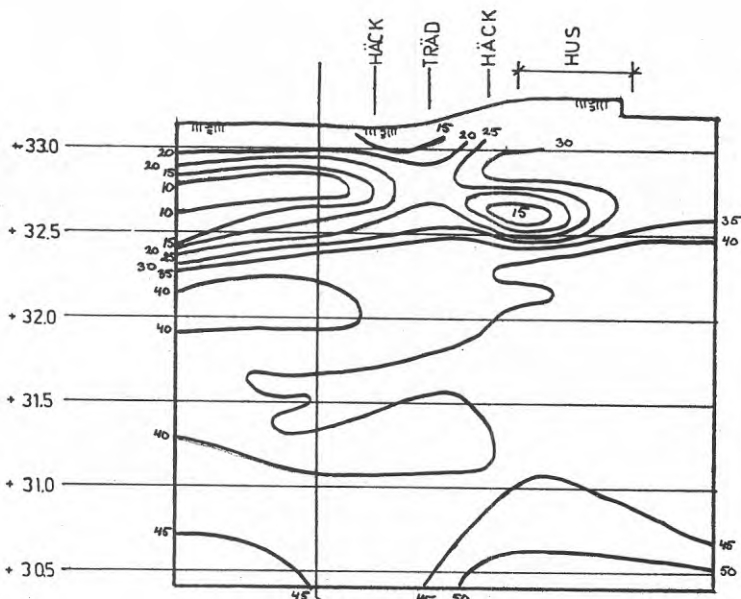


B-B

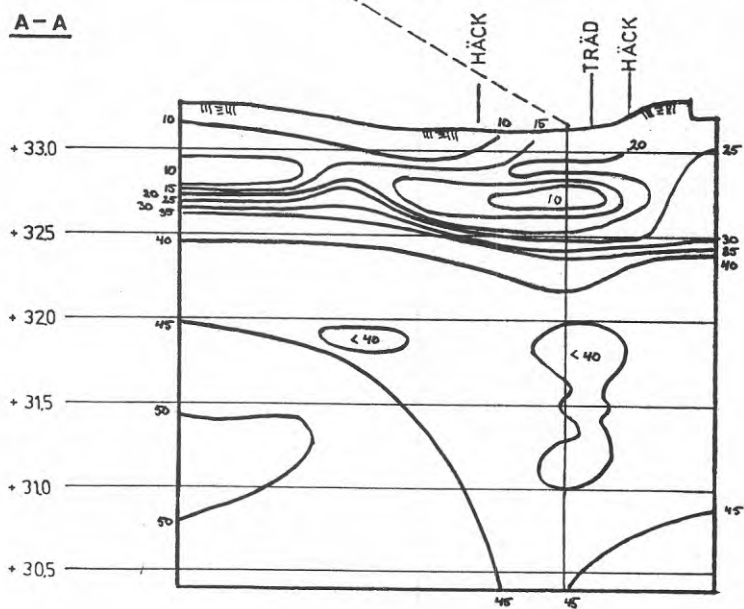
Wa SNITT A-A , B-B

1975-07

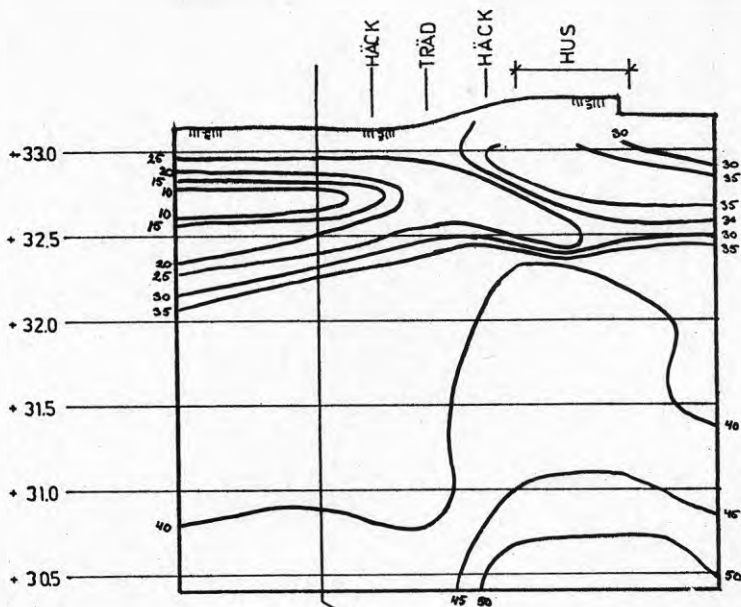
VEGETATION OCH
SÄTTNINGAR I LERA
B F R



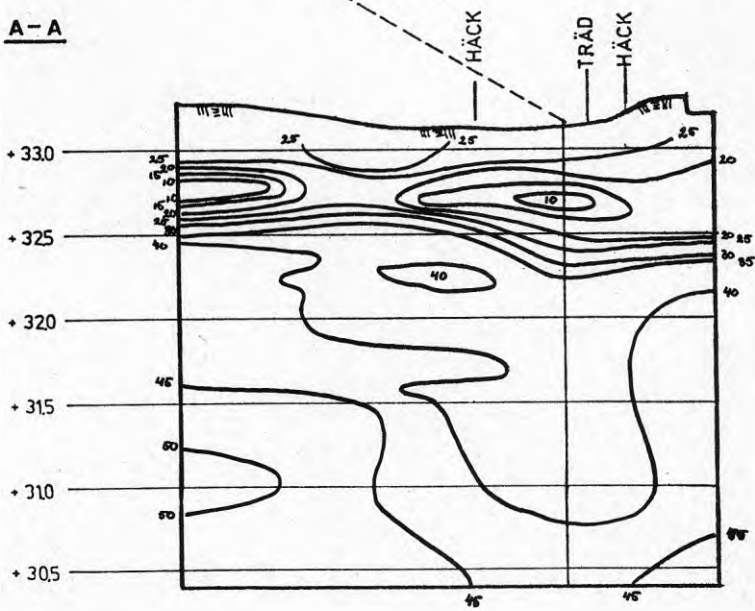
A - A



B - B



A - A

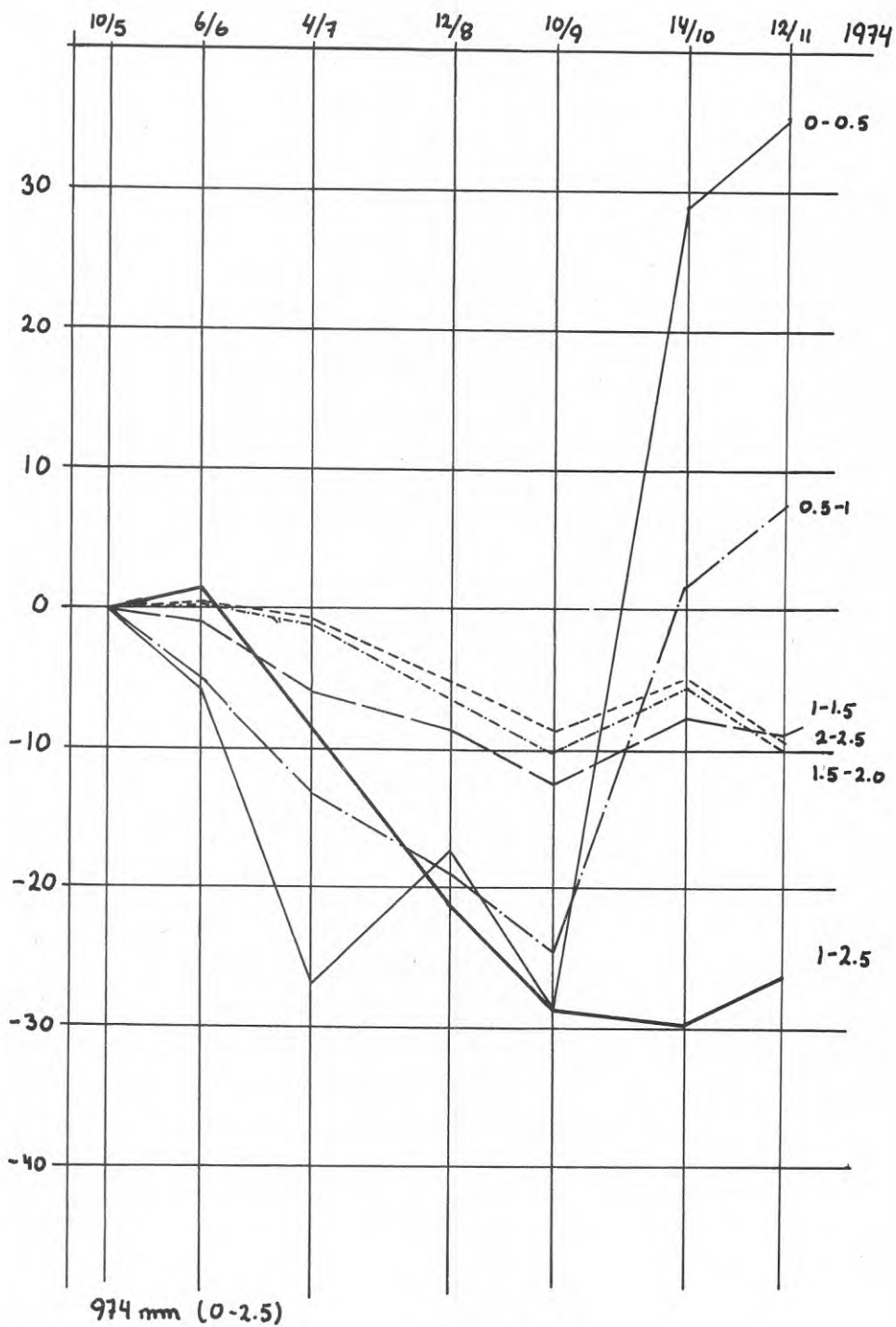


B - B

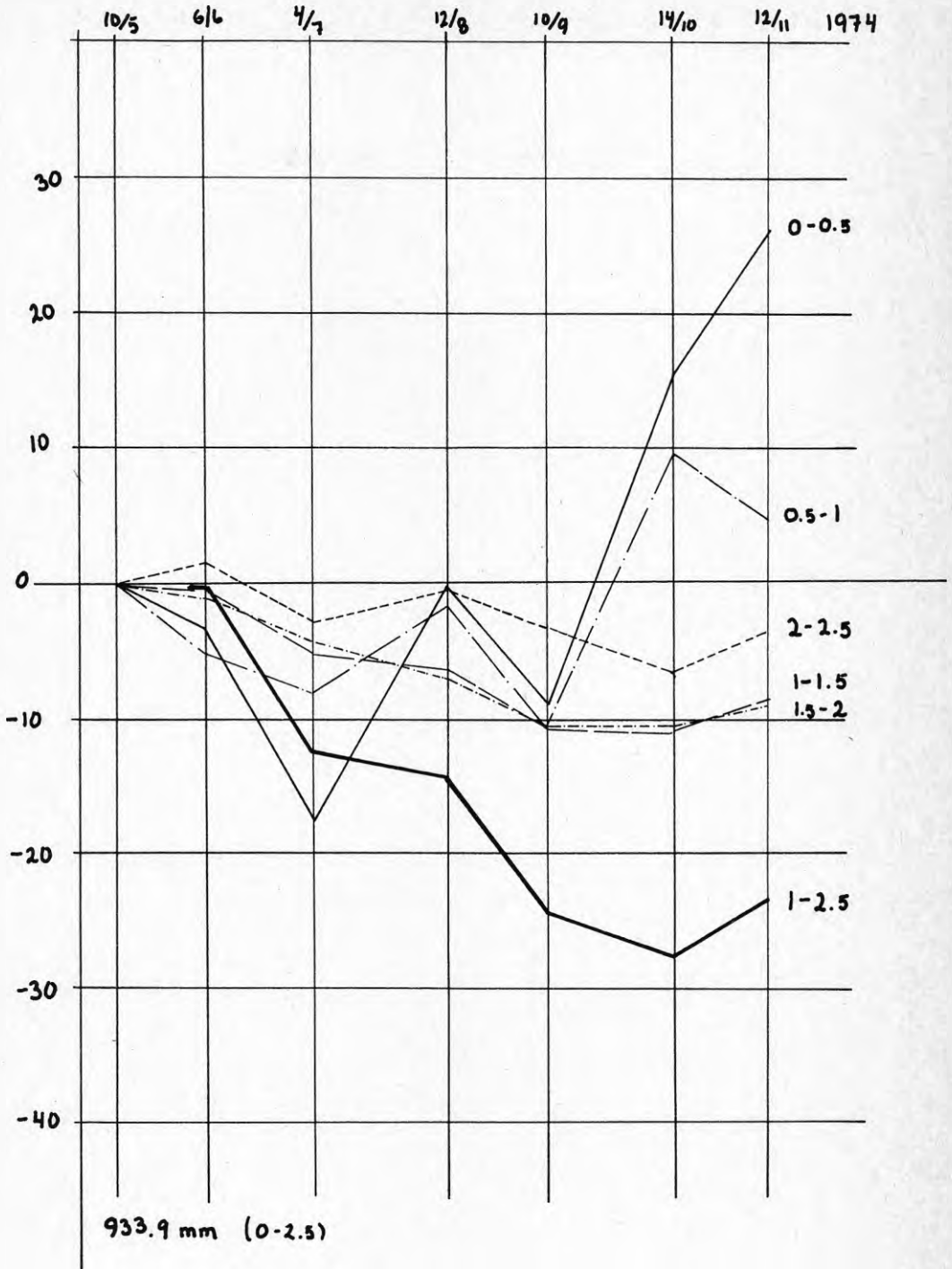
Förändring av vatteninnehåll i skikt om
0,5 m i rören 1-10, 1974 och 1975.

Förändring i vatteninnehåll, skikt om 50 cm; 0-250 m

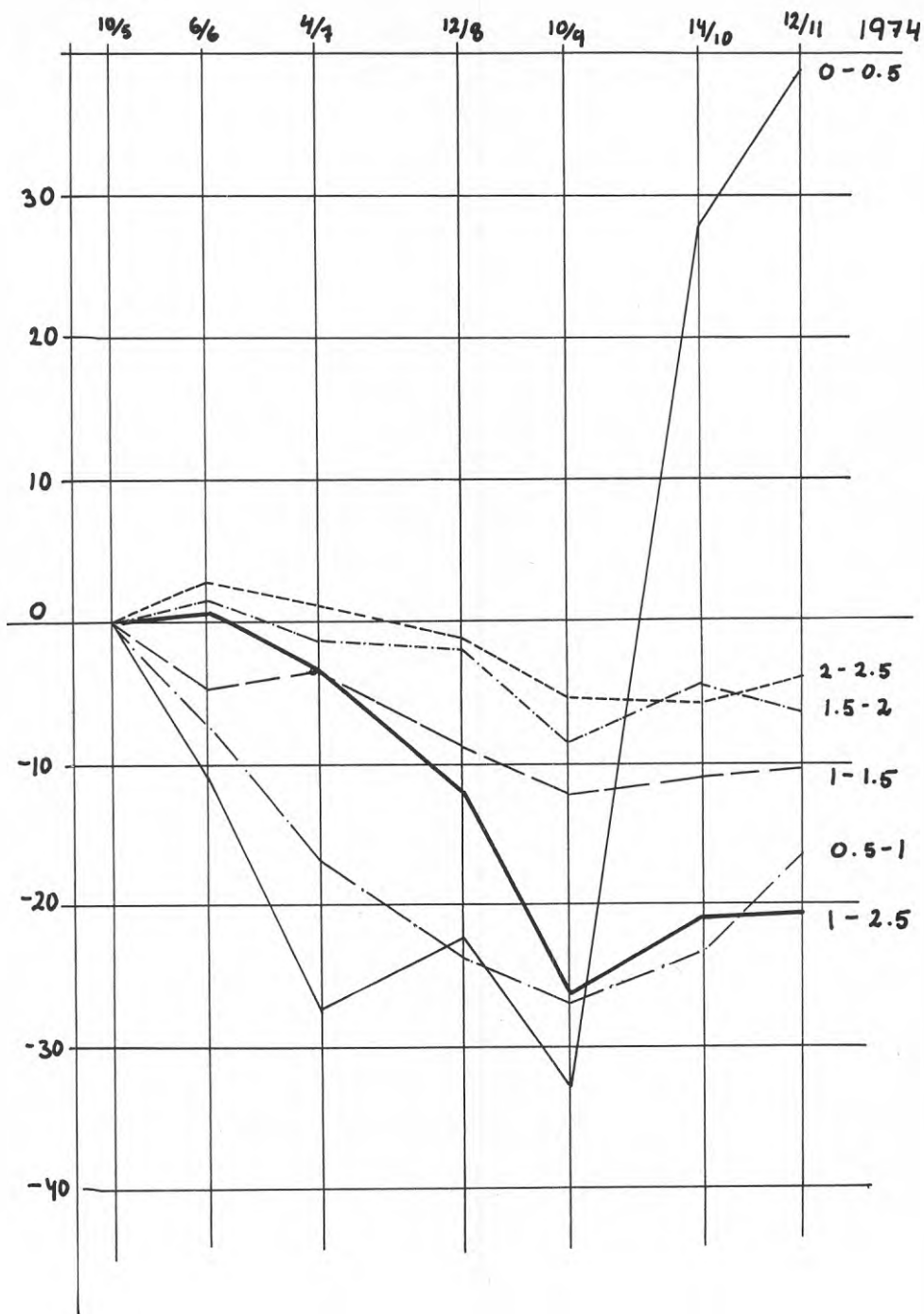
Rör 1



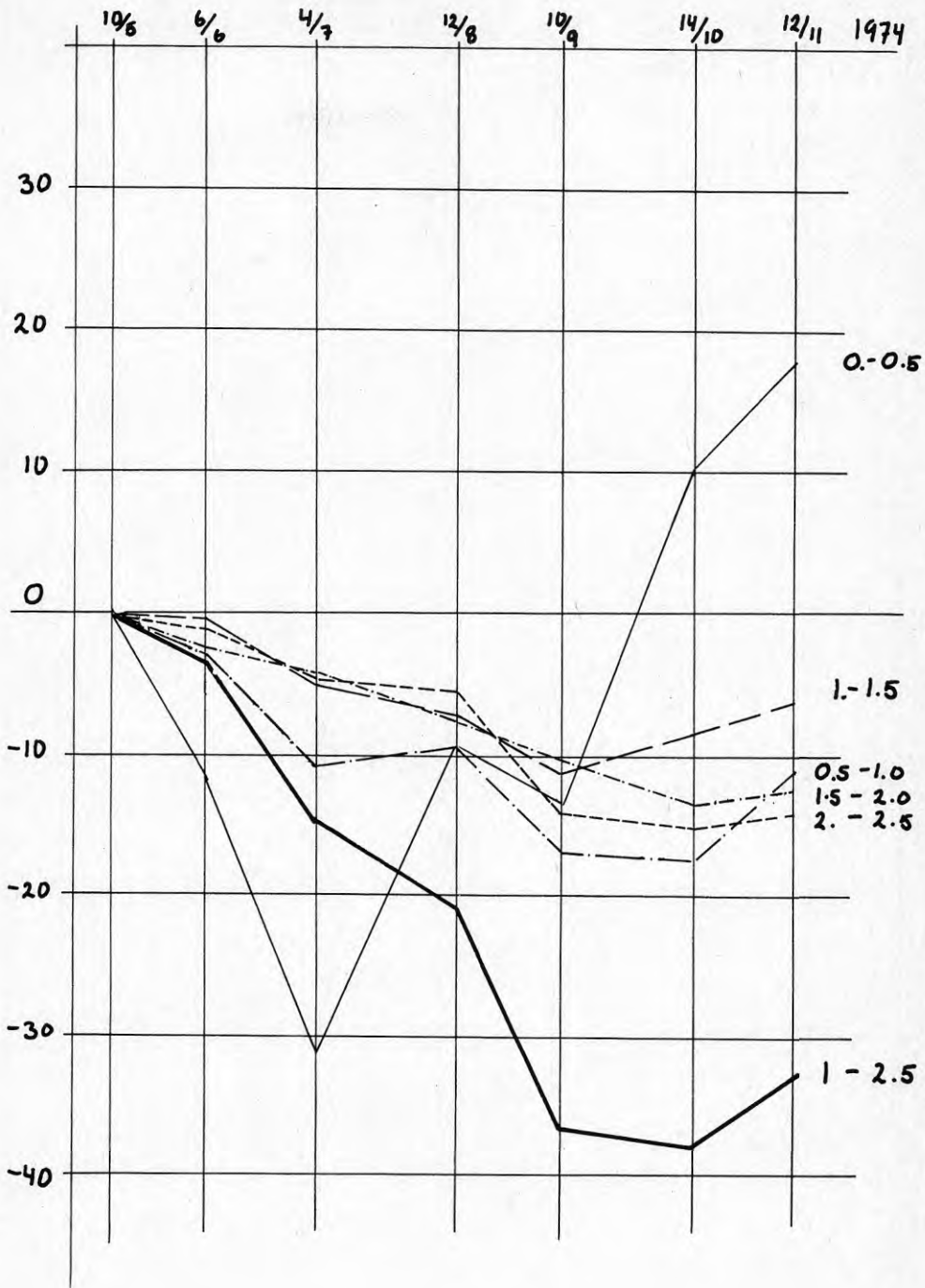
Rör 2



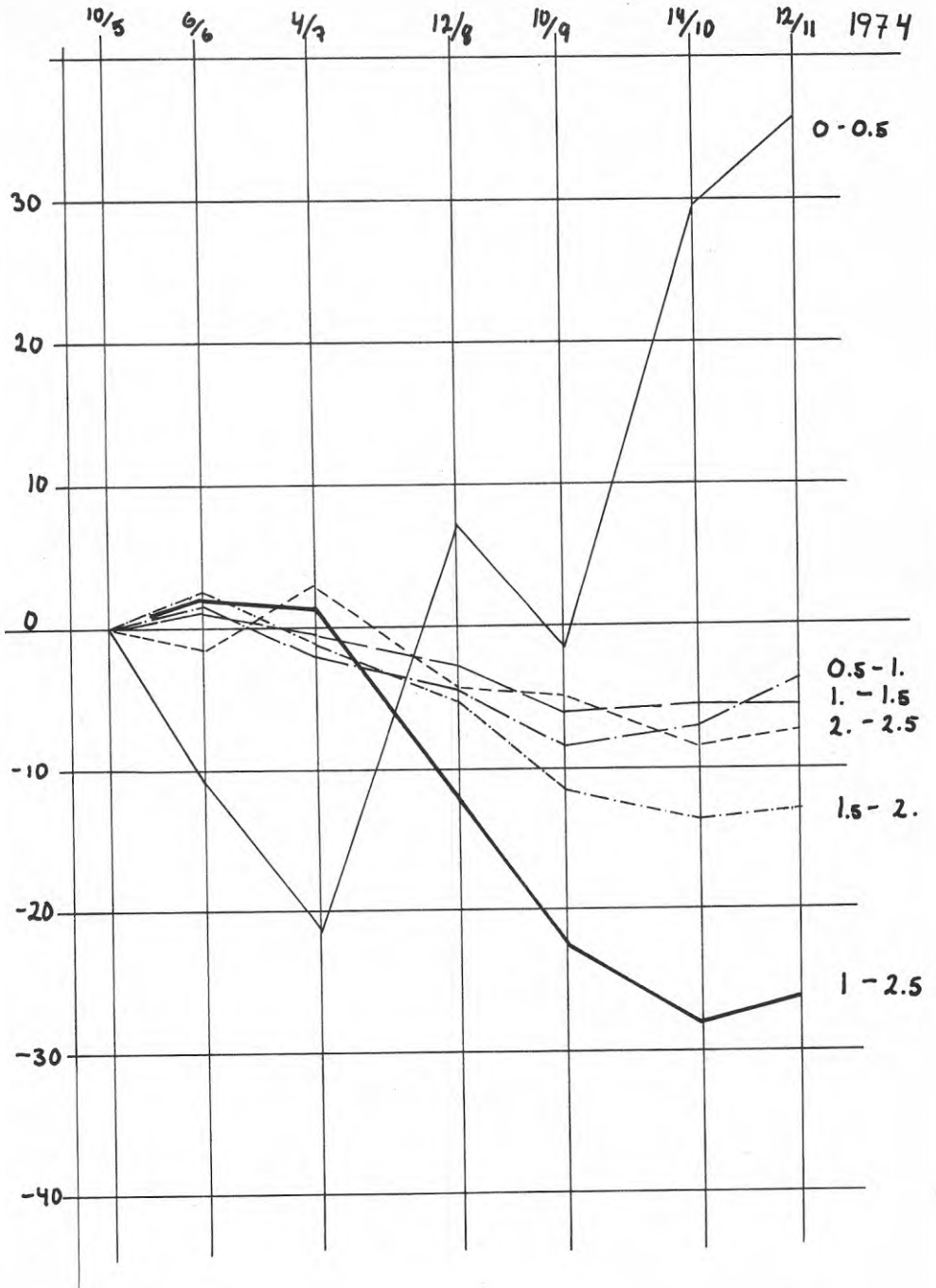
Rör 3



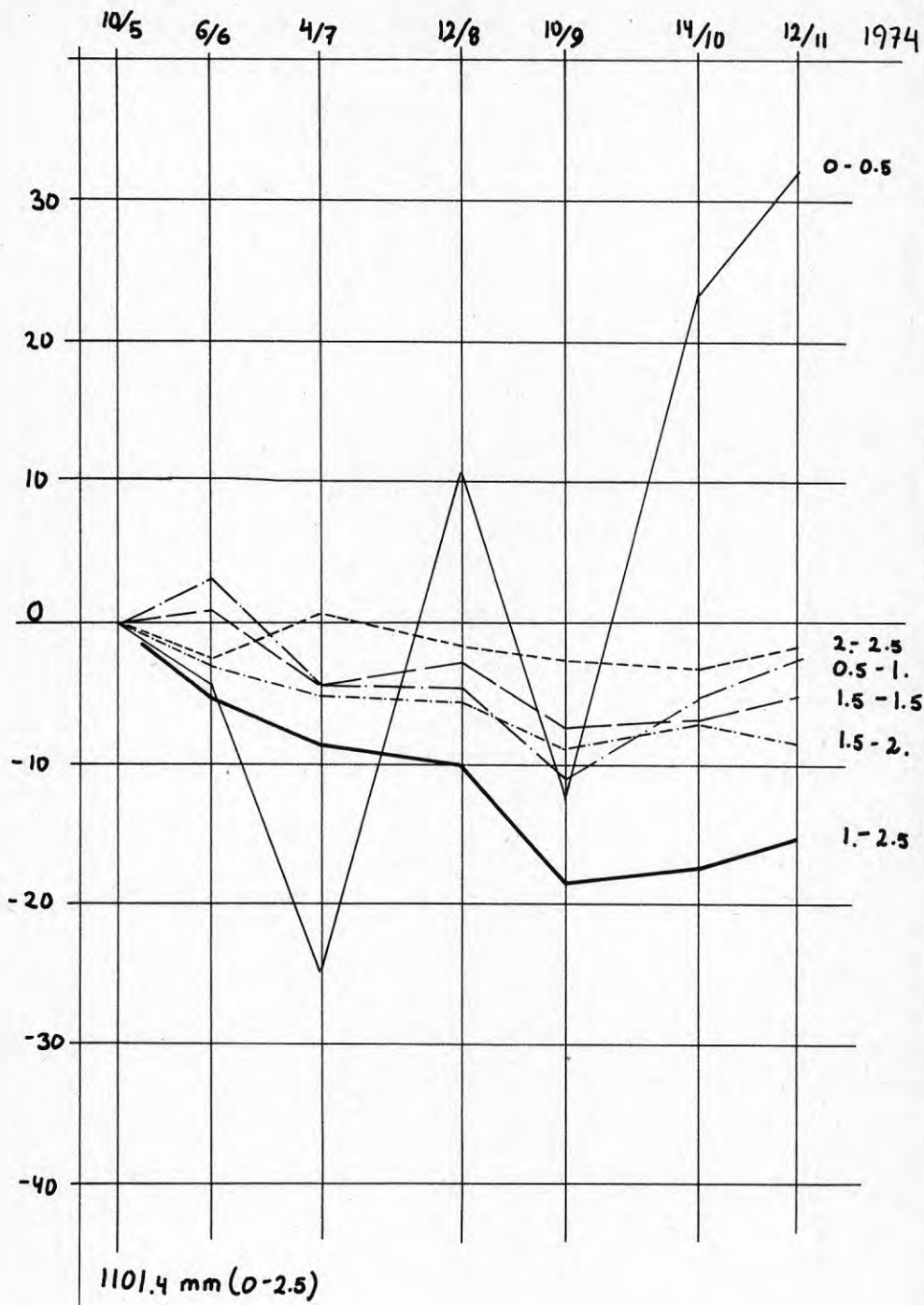
Rör 4



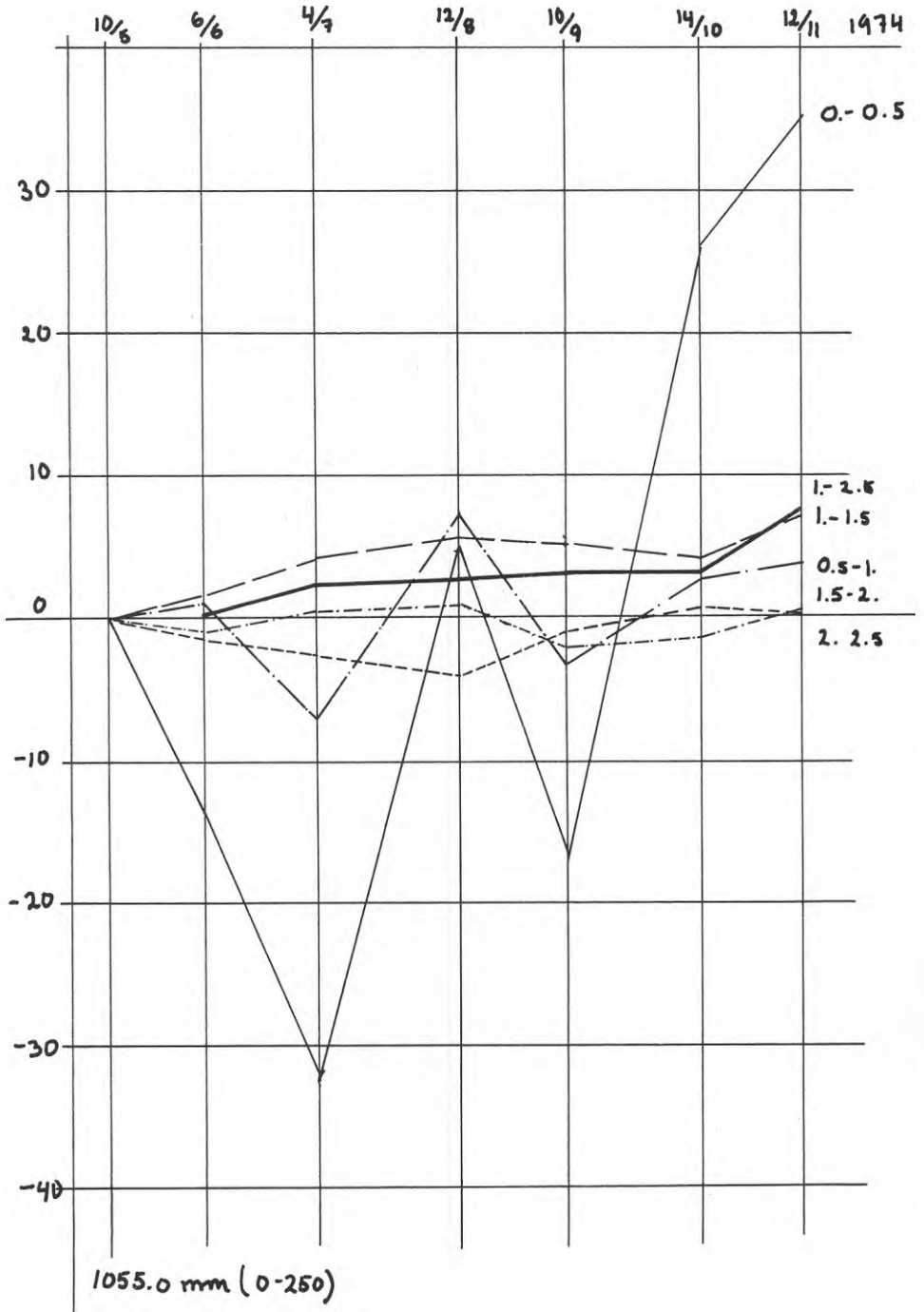
Rör 5



Rör 6



Rör 7



Rör 8

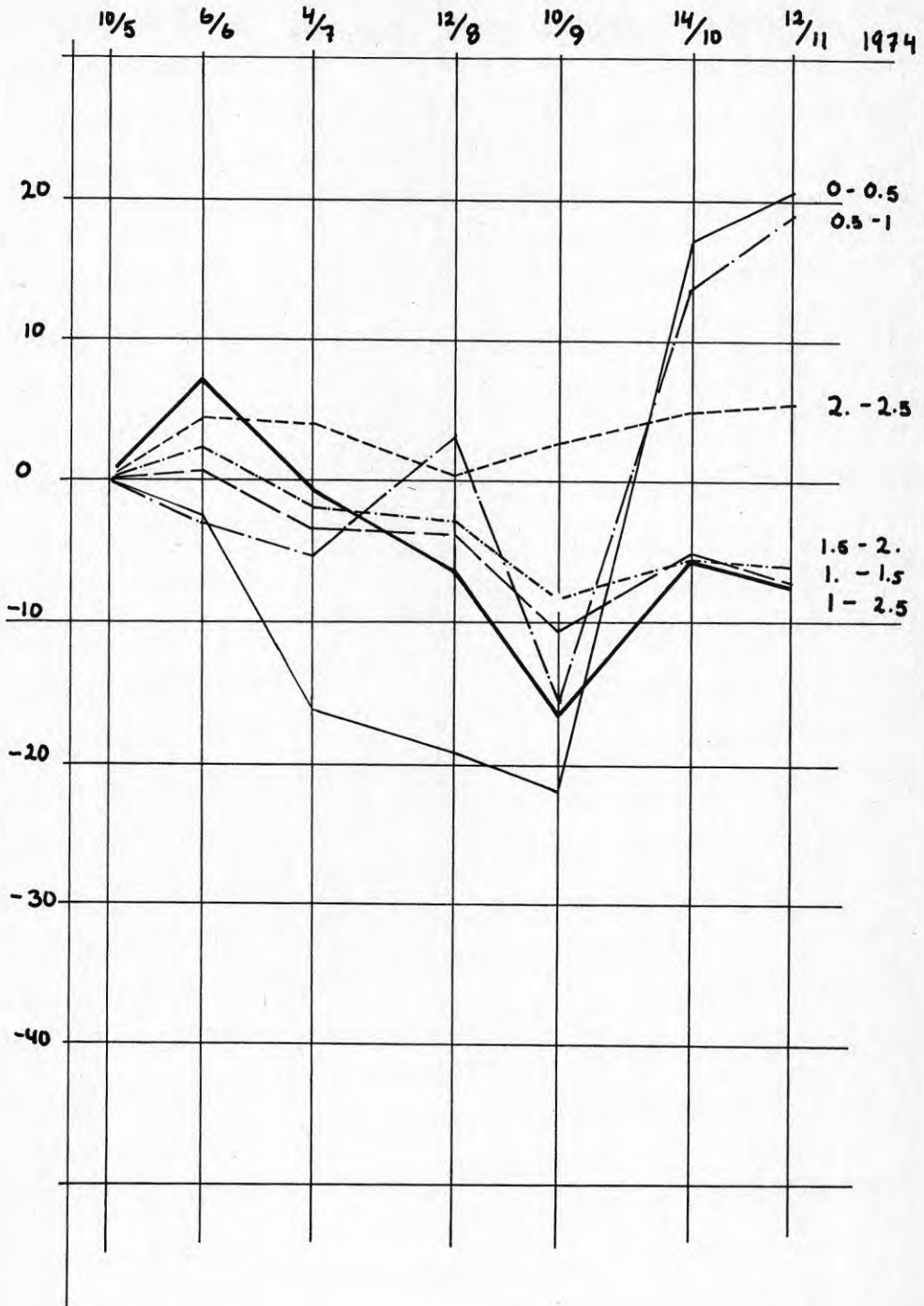
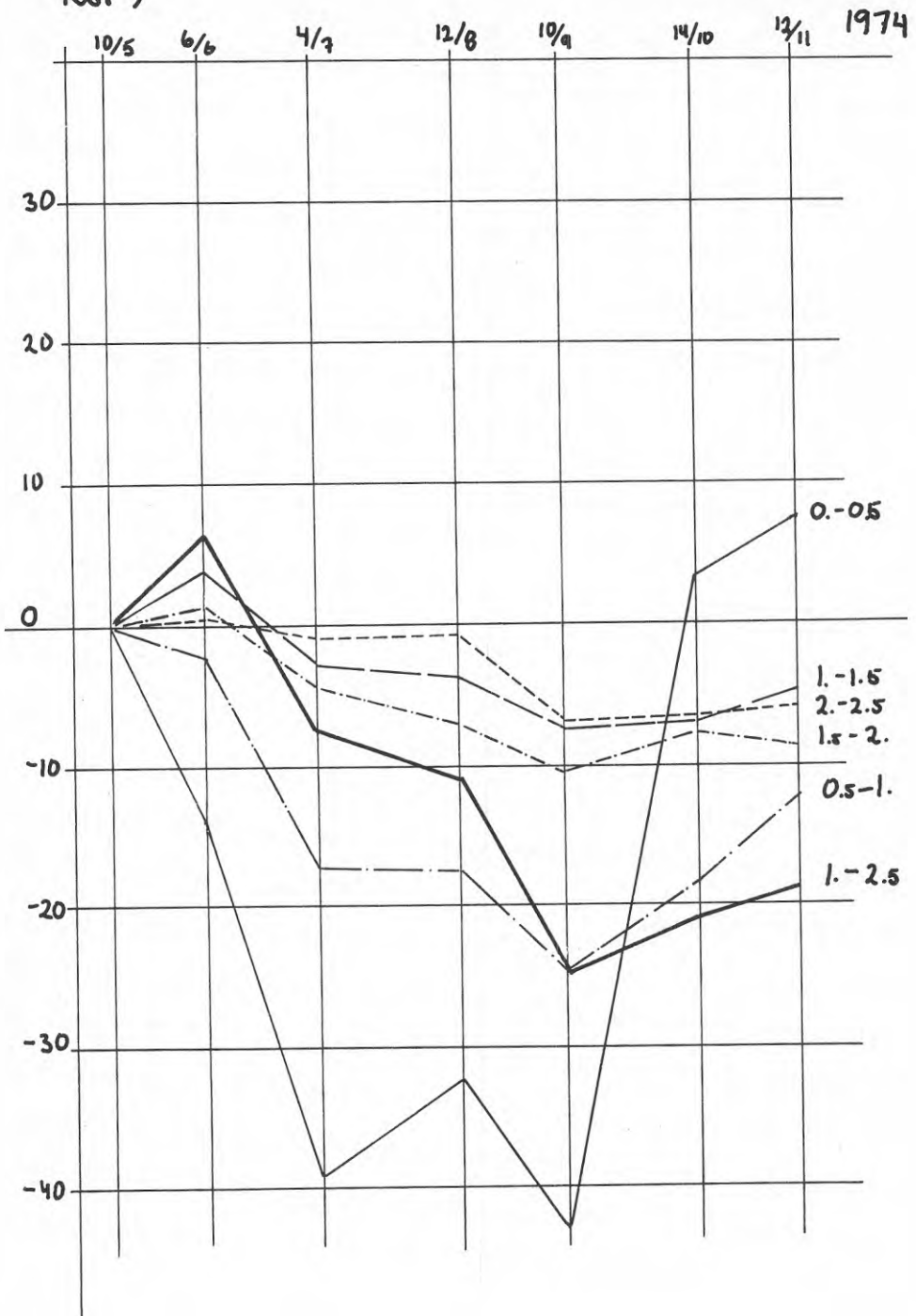
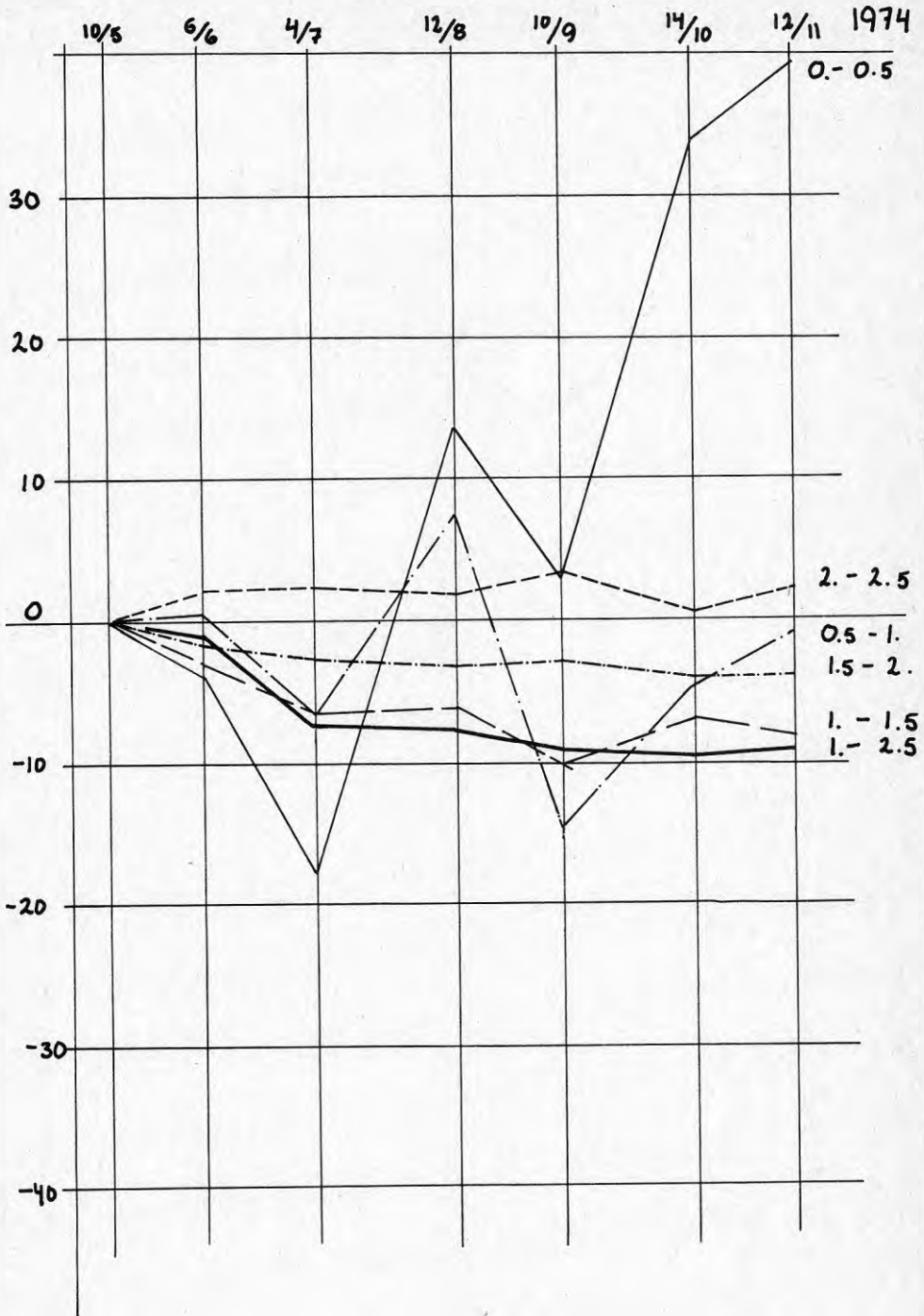


Рис 9

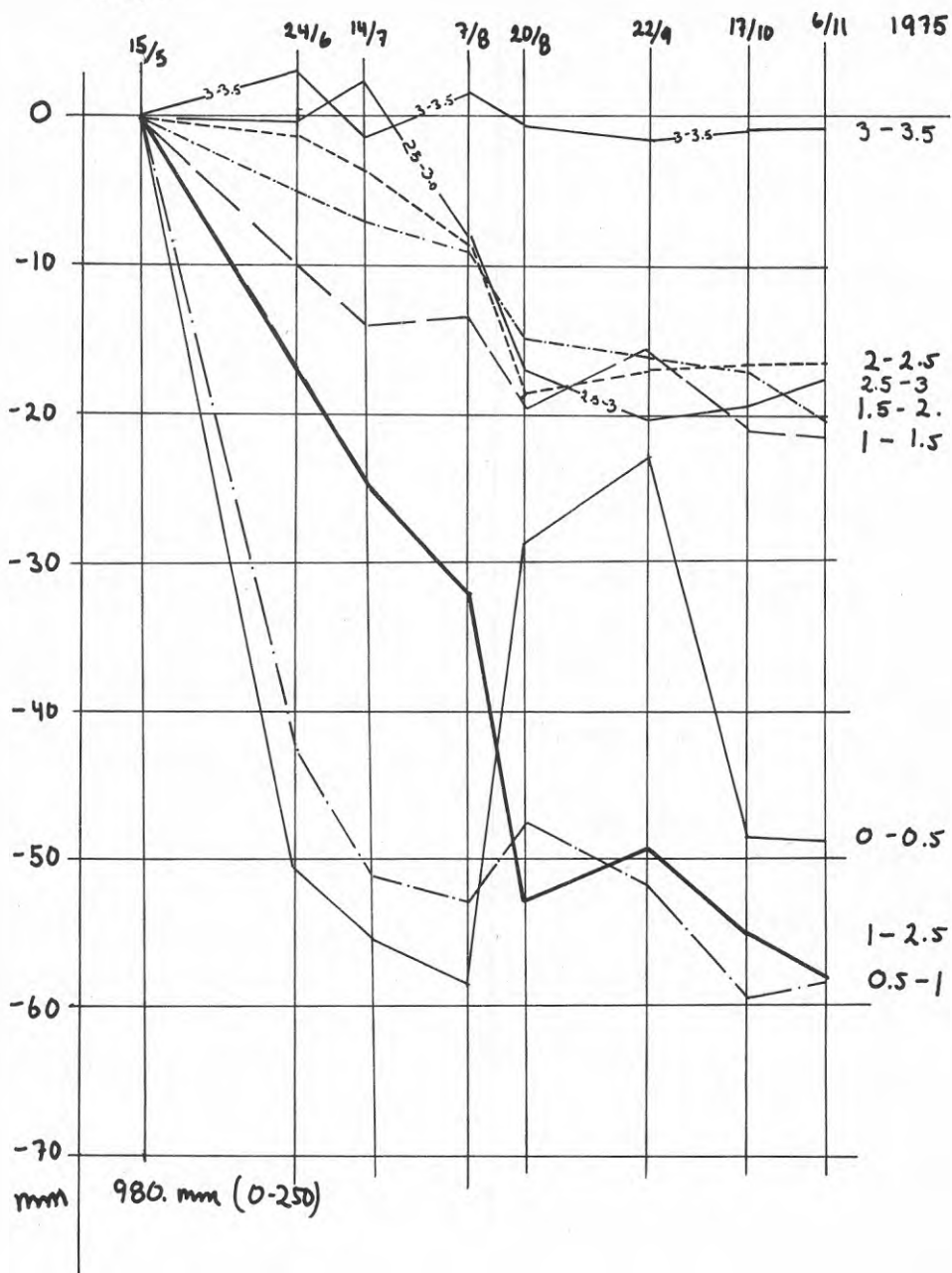


Rör 10

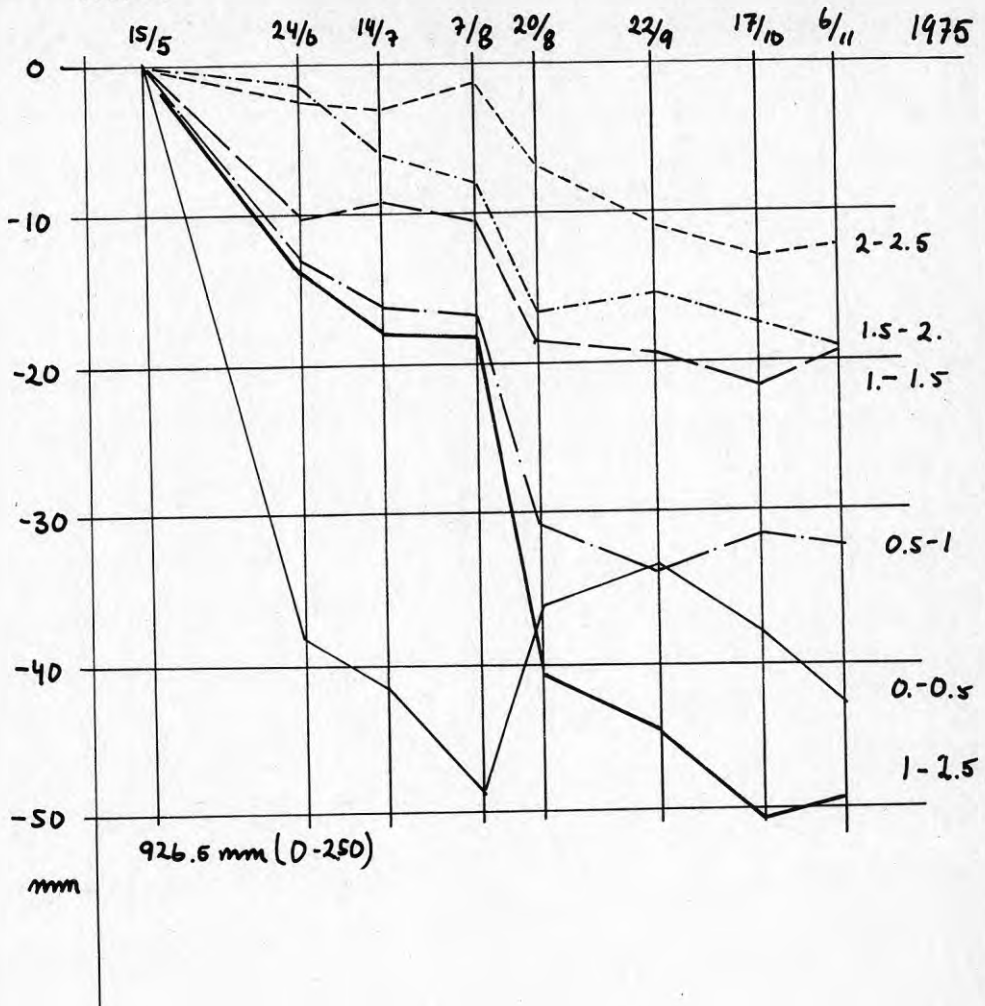


Förändring i vatteninnehåll, skikt om 50 cm.

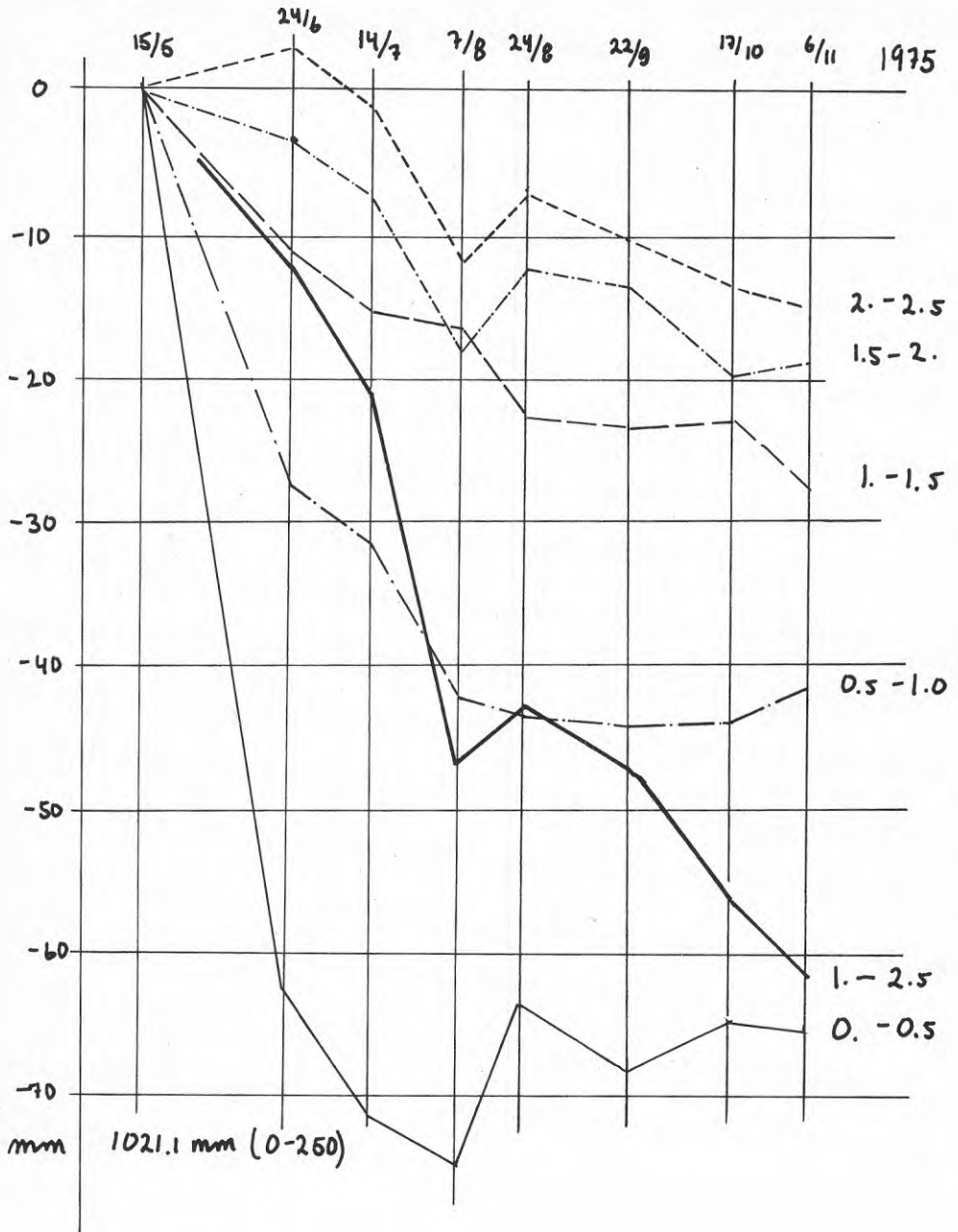
Rör 1



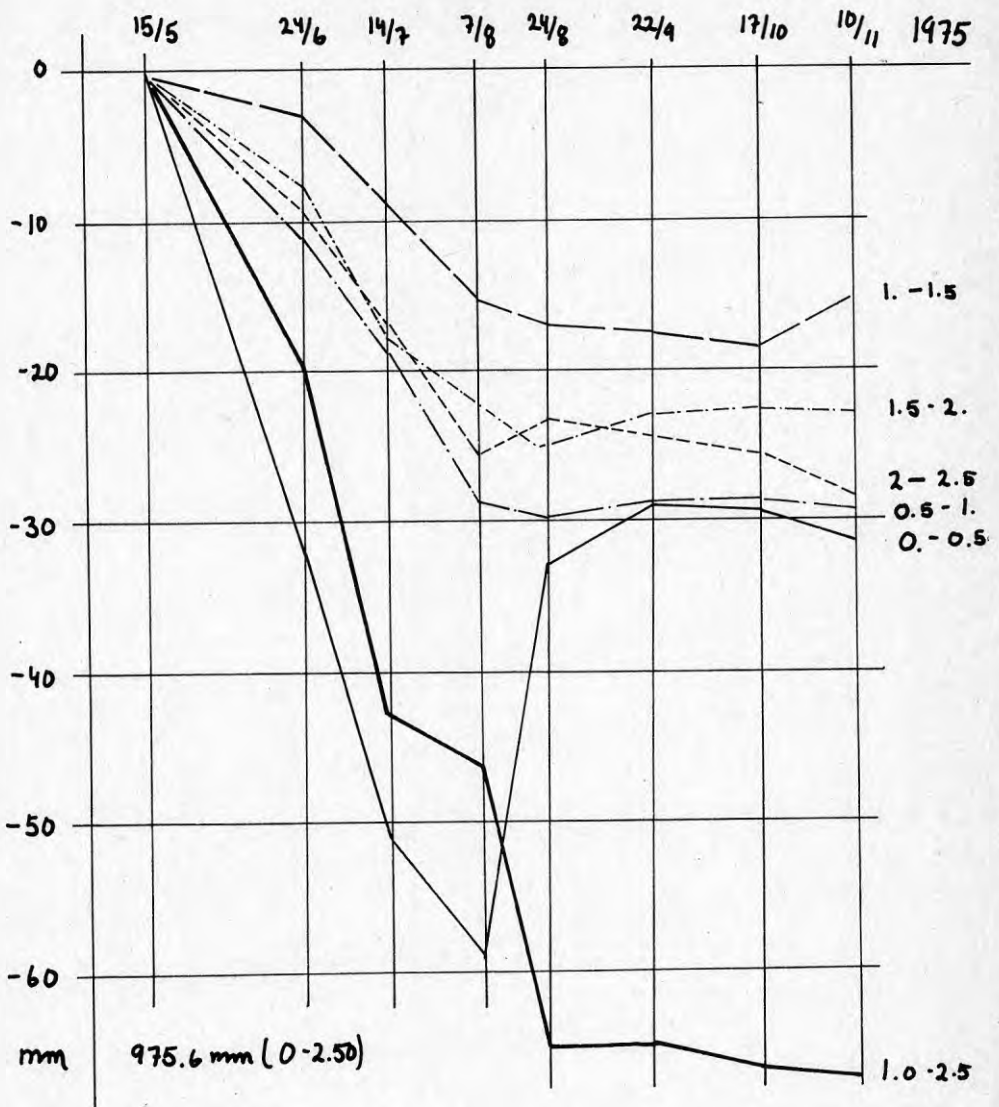
Rör 2



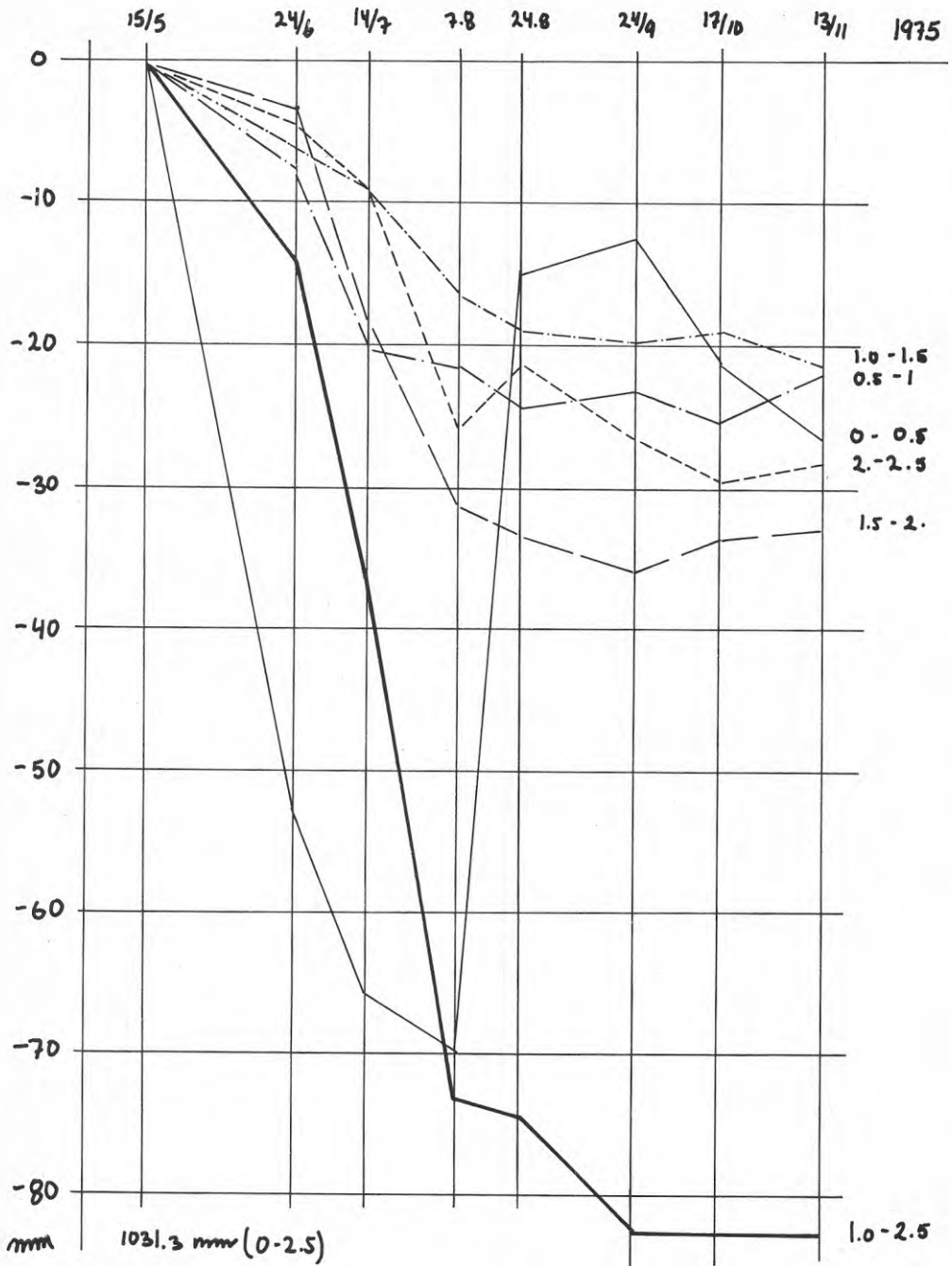
Rör 3



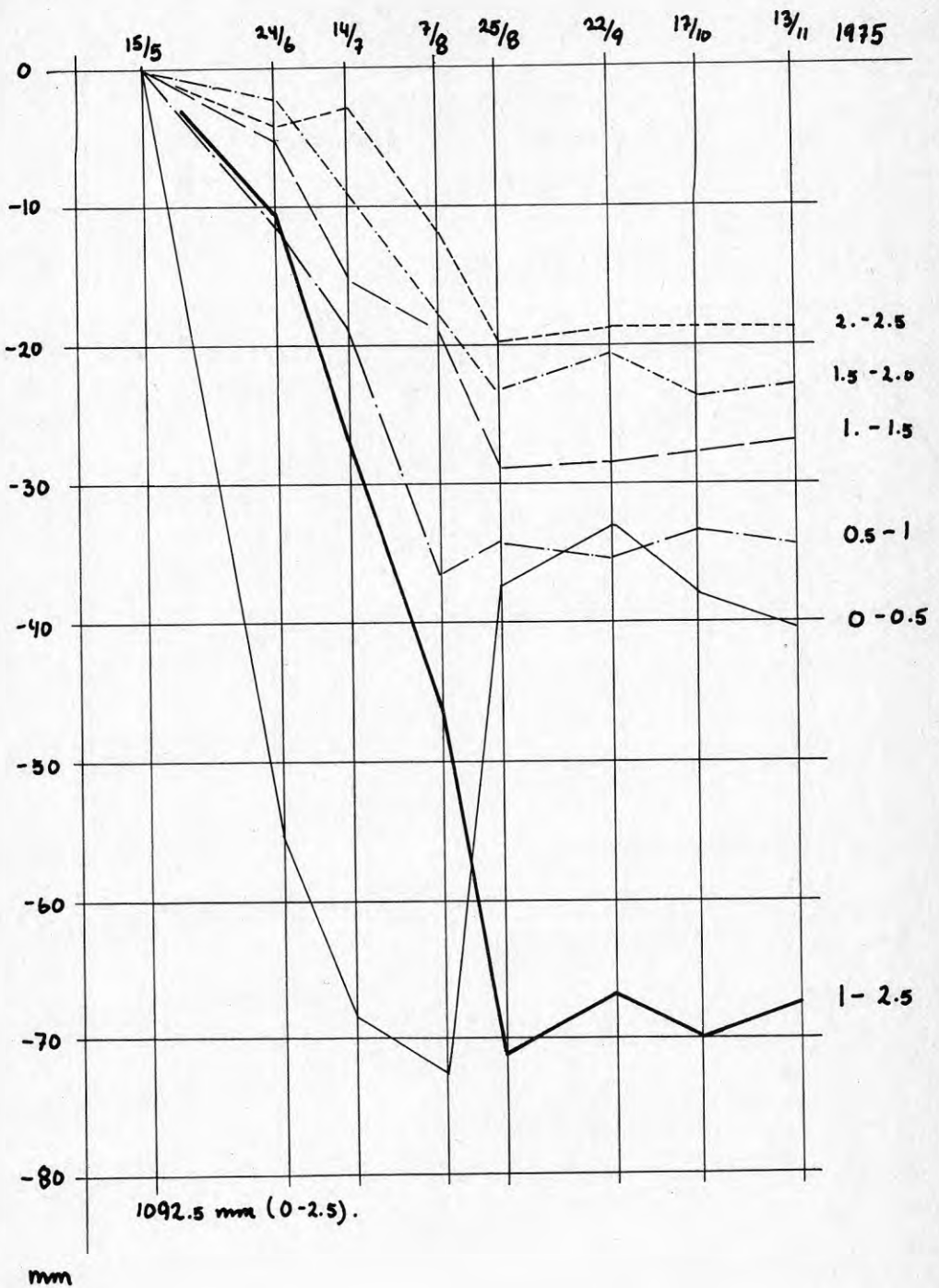
Rör 4



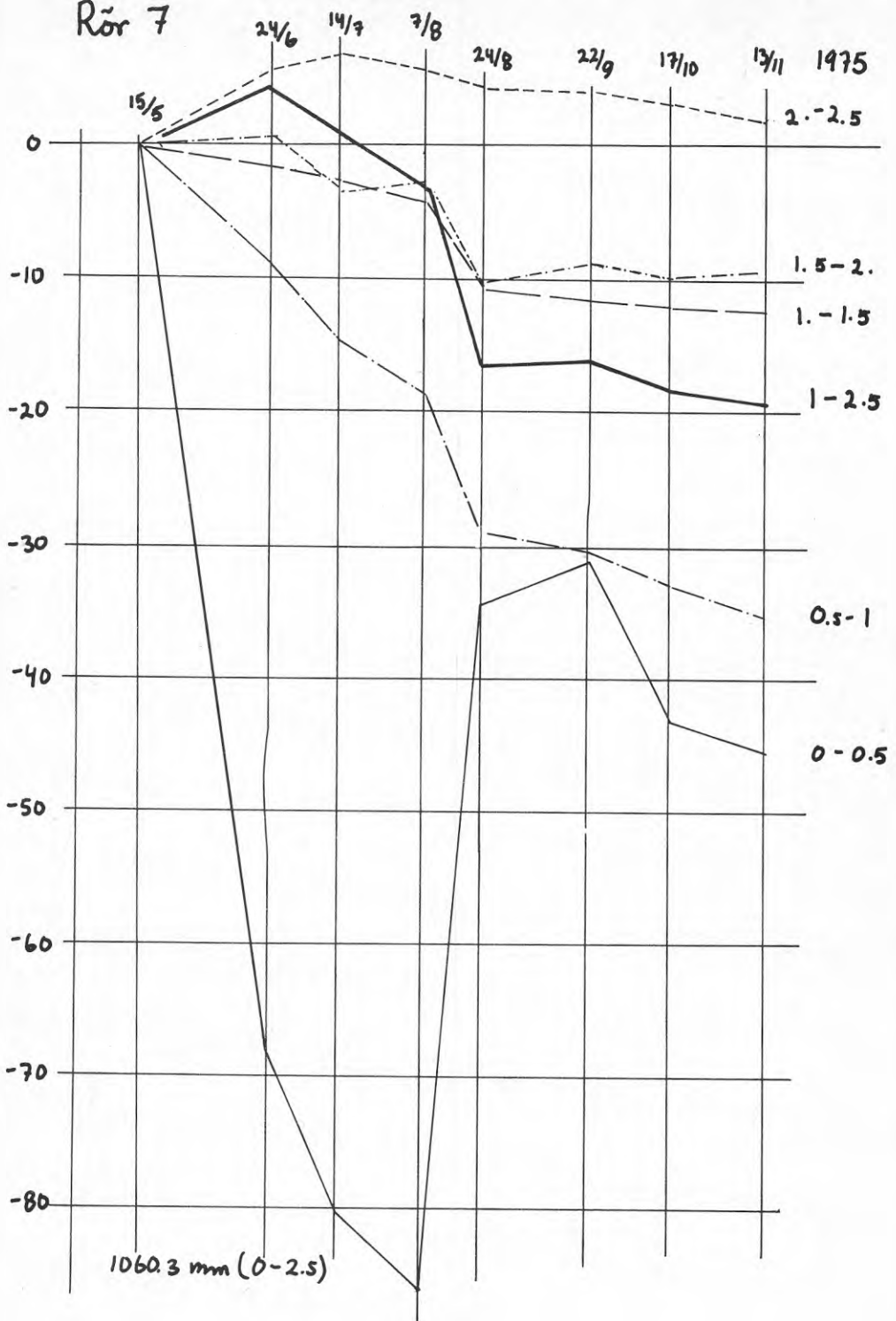
Rör 5



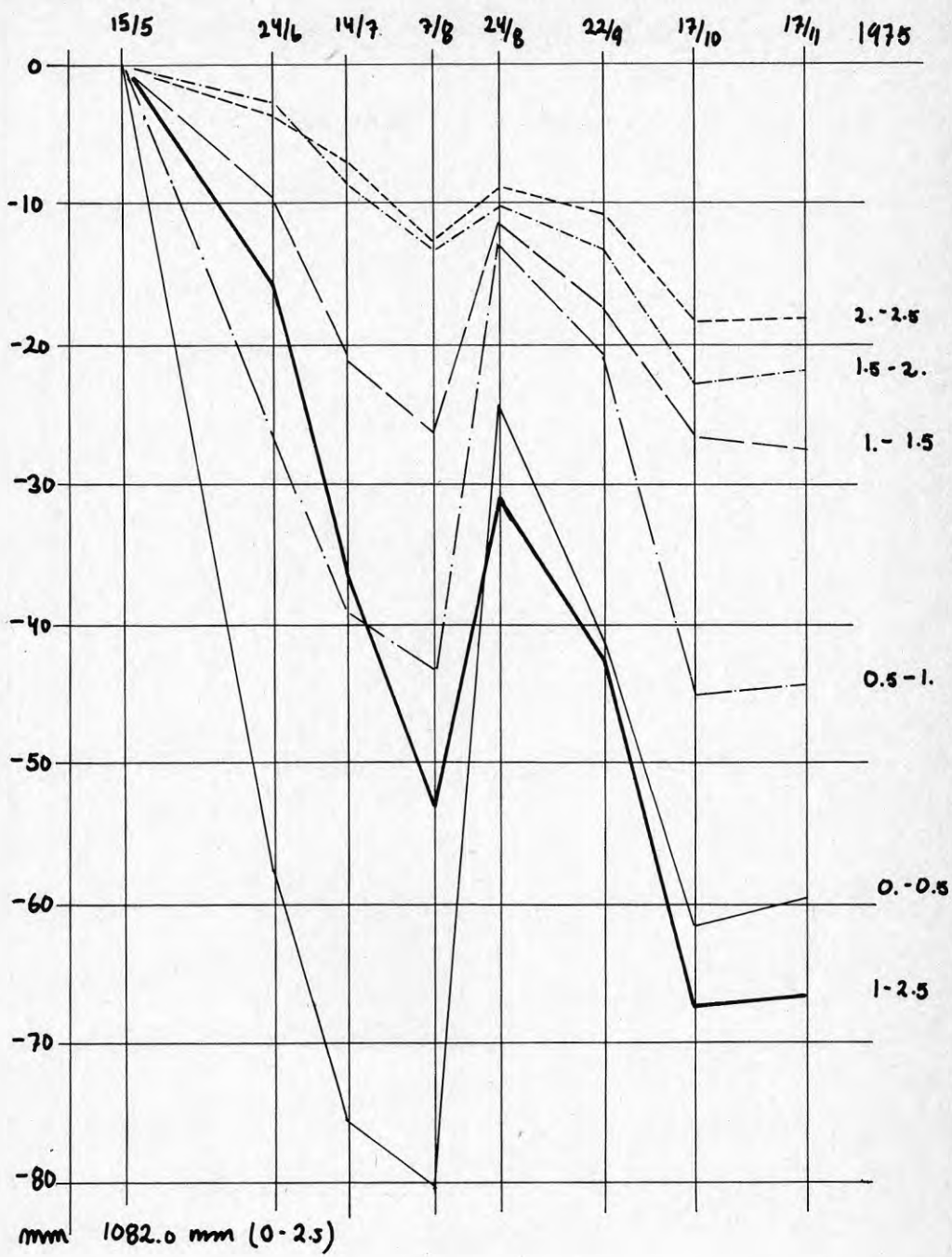
Rör 6



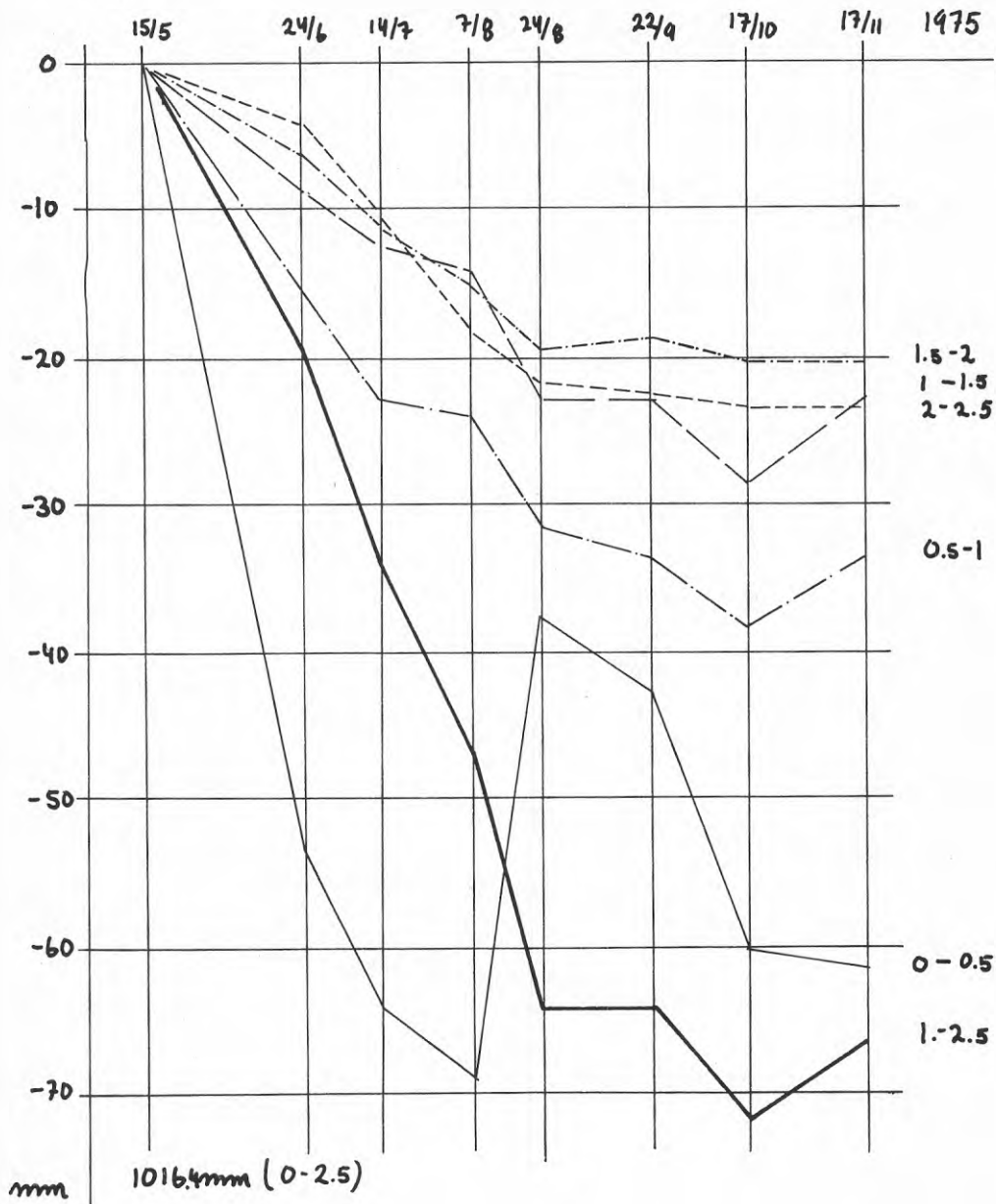
Rör 7



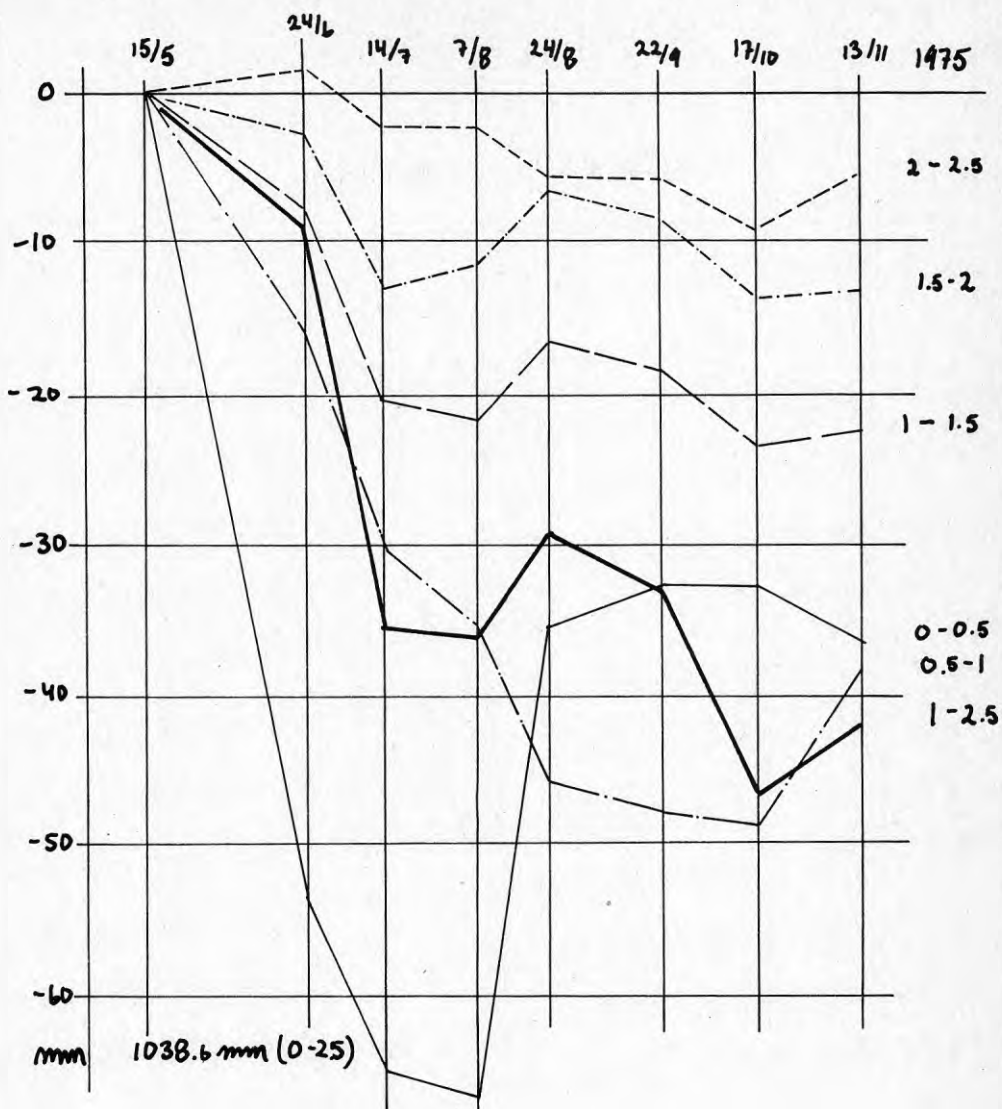
Rör 8



Rör 9



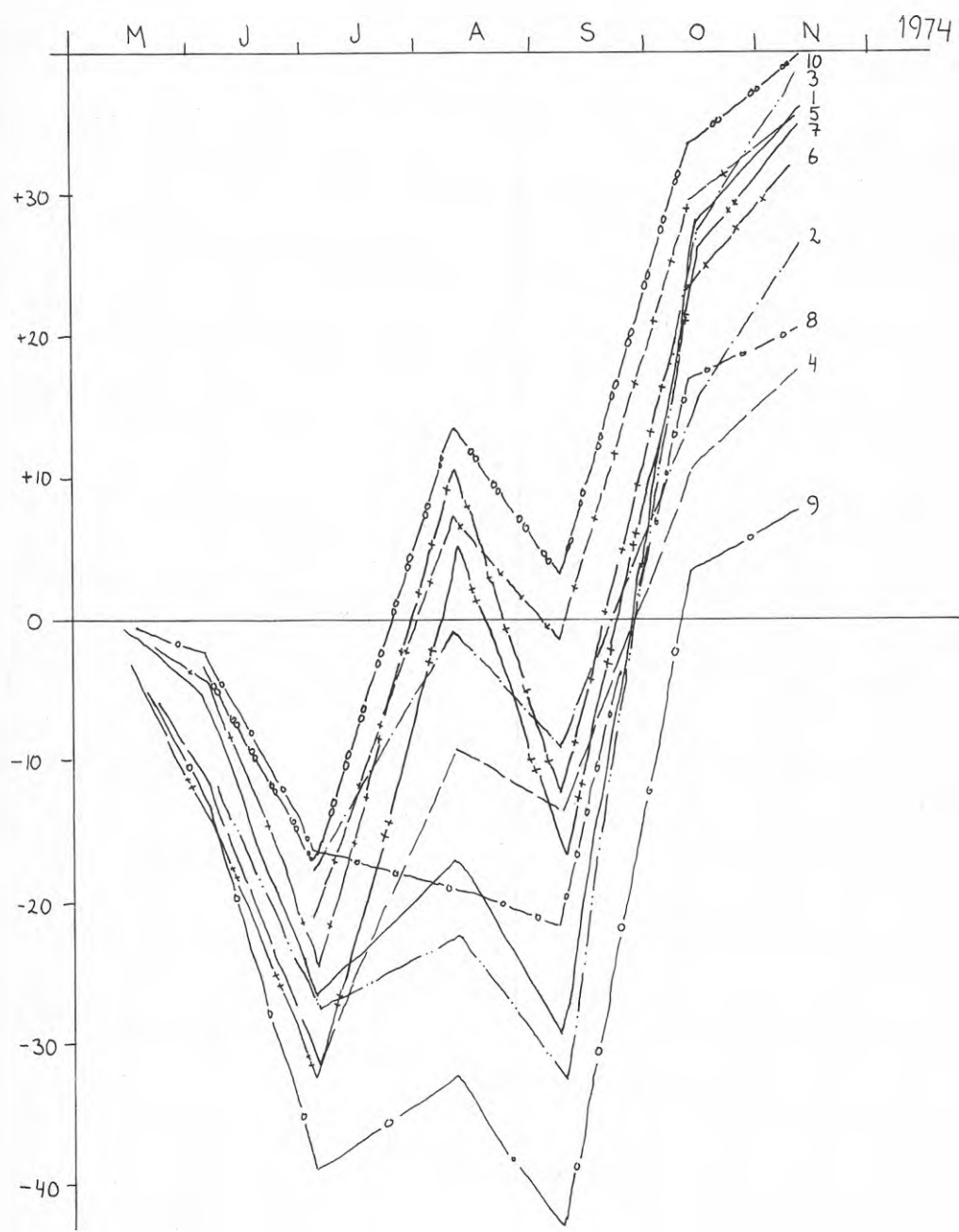
Rör 10



Vattenförändring i snitten 0 - 0,5 m,
0,5 - 1,0 m och 1,0 - 2,5 m för samtliga
rör. 1974 och 1975

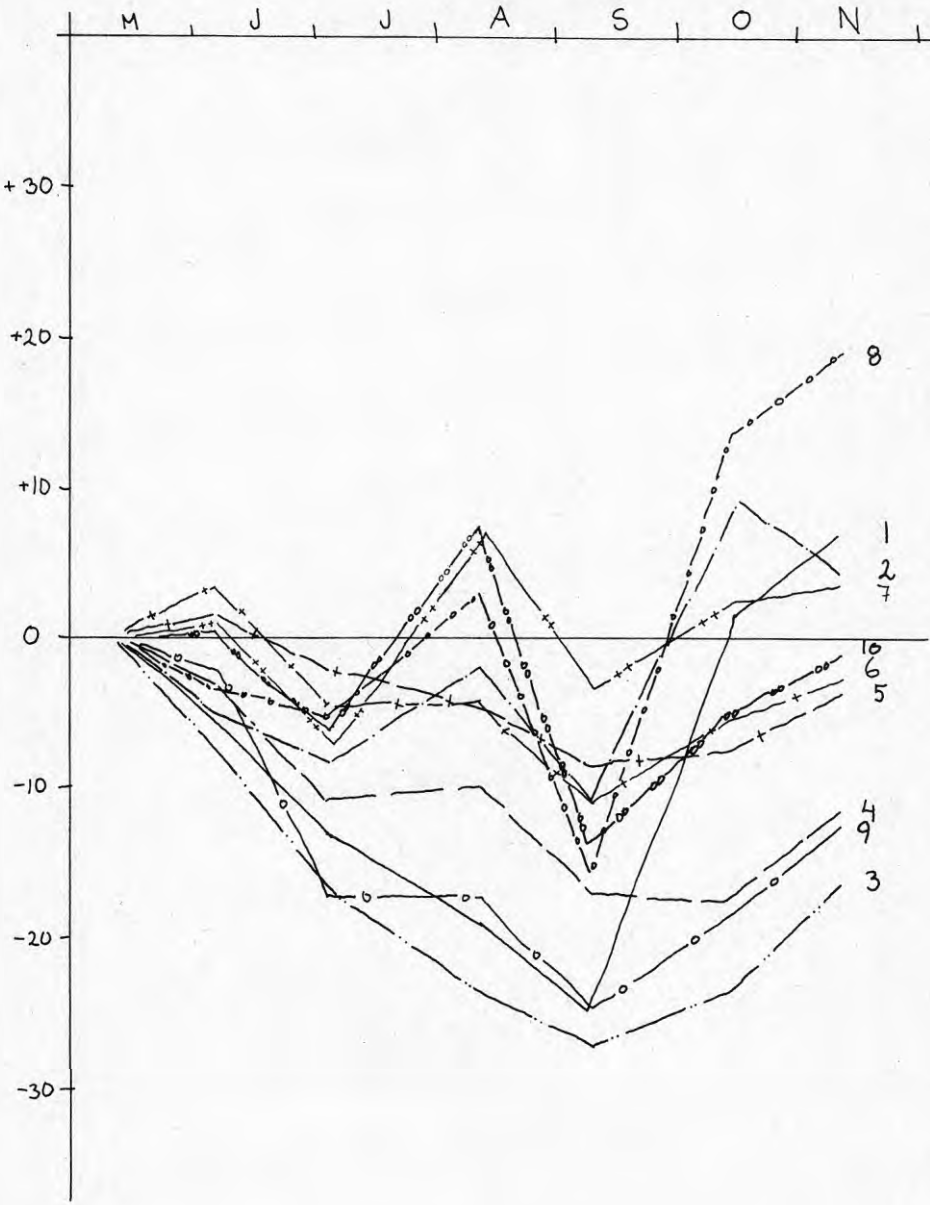
Förändring i vatteninnehåll för Rör 1-10

0.0 - 0.5



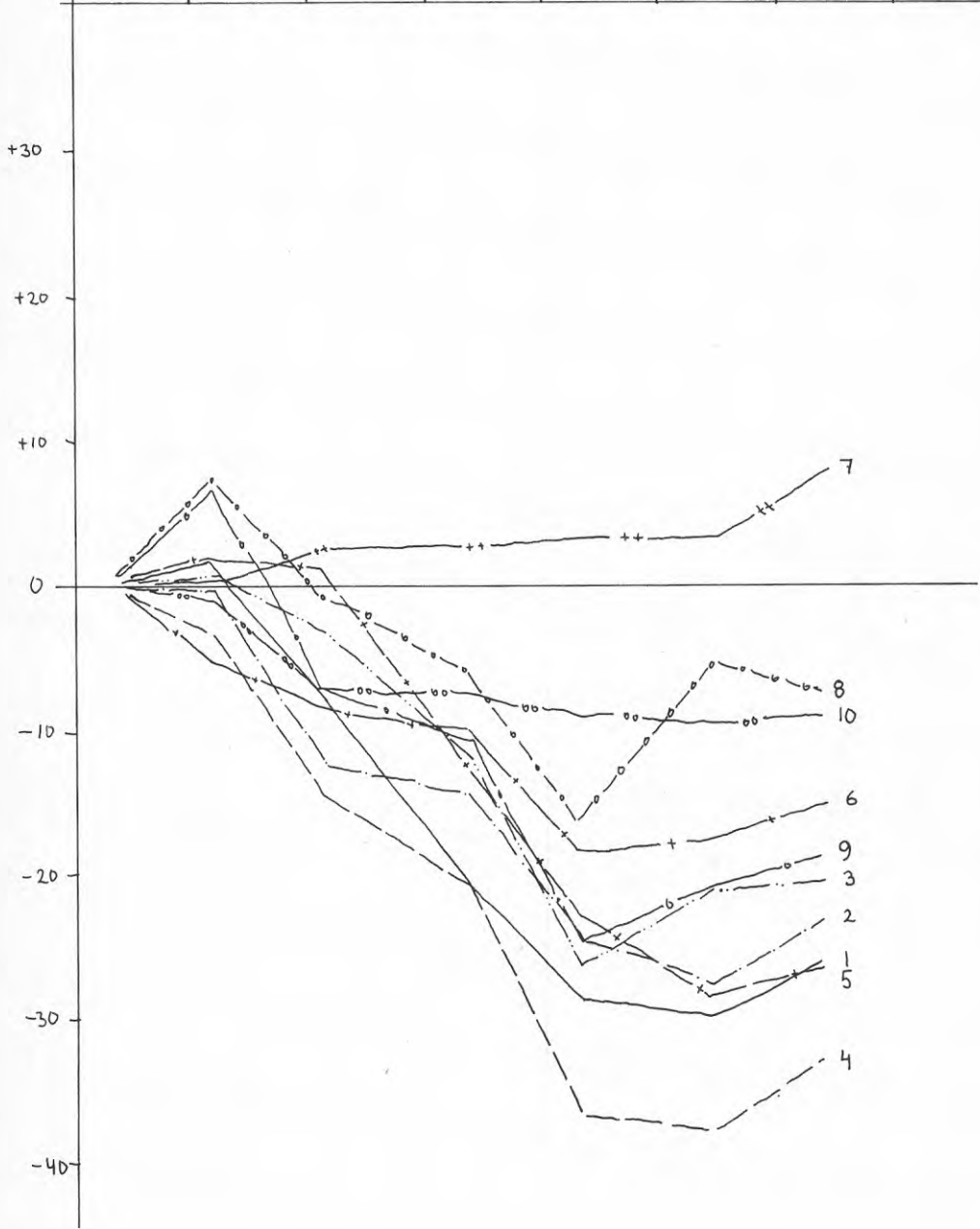
0.5-1.0

1974

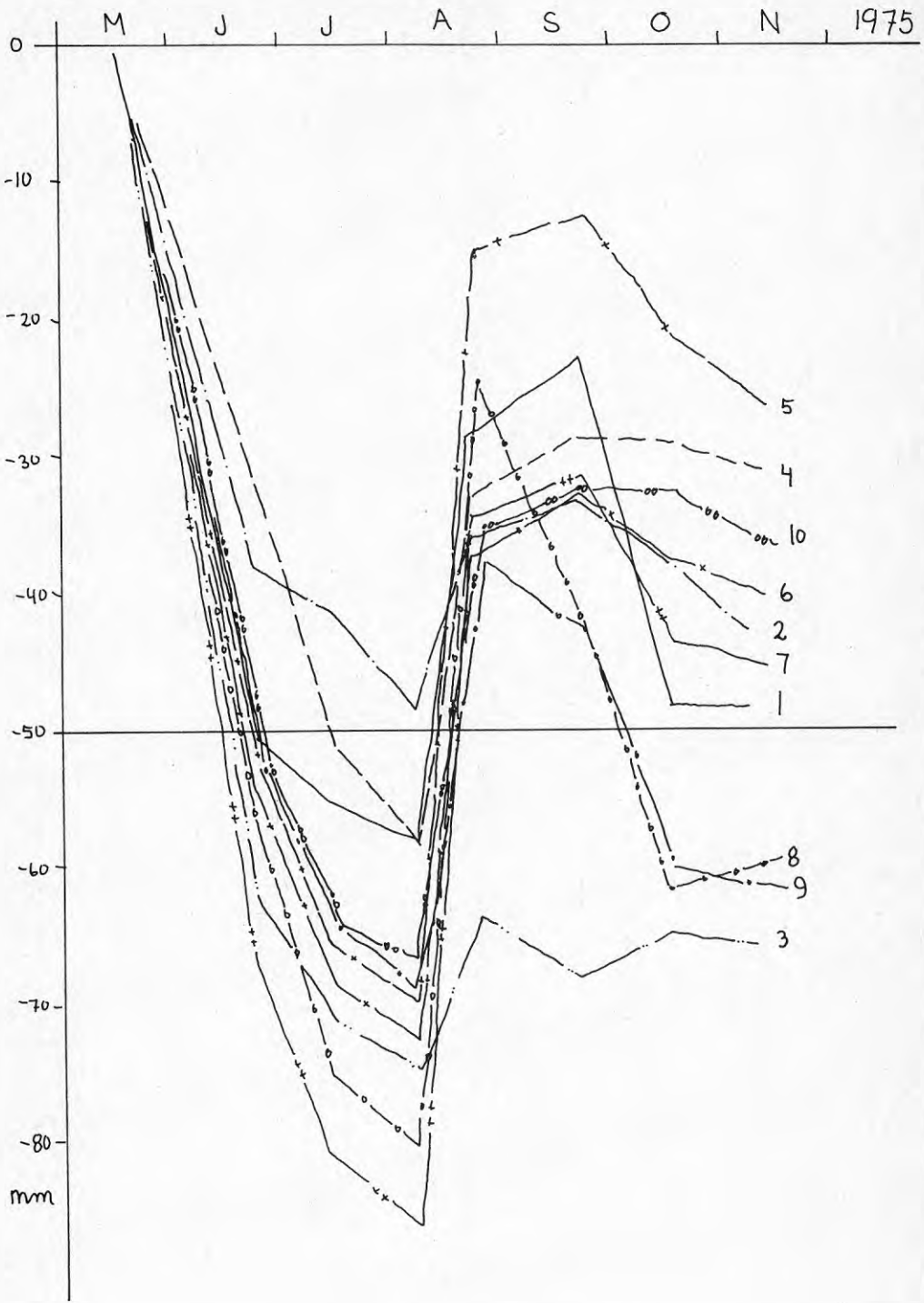


1.0-2.5

M J J A S O N 1974

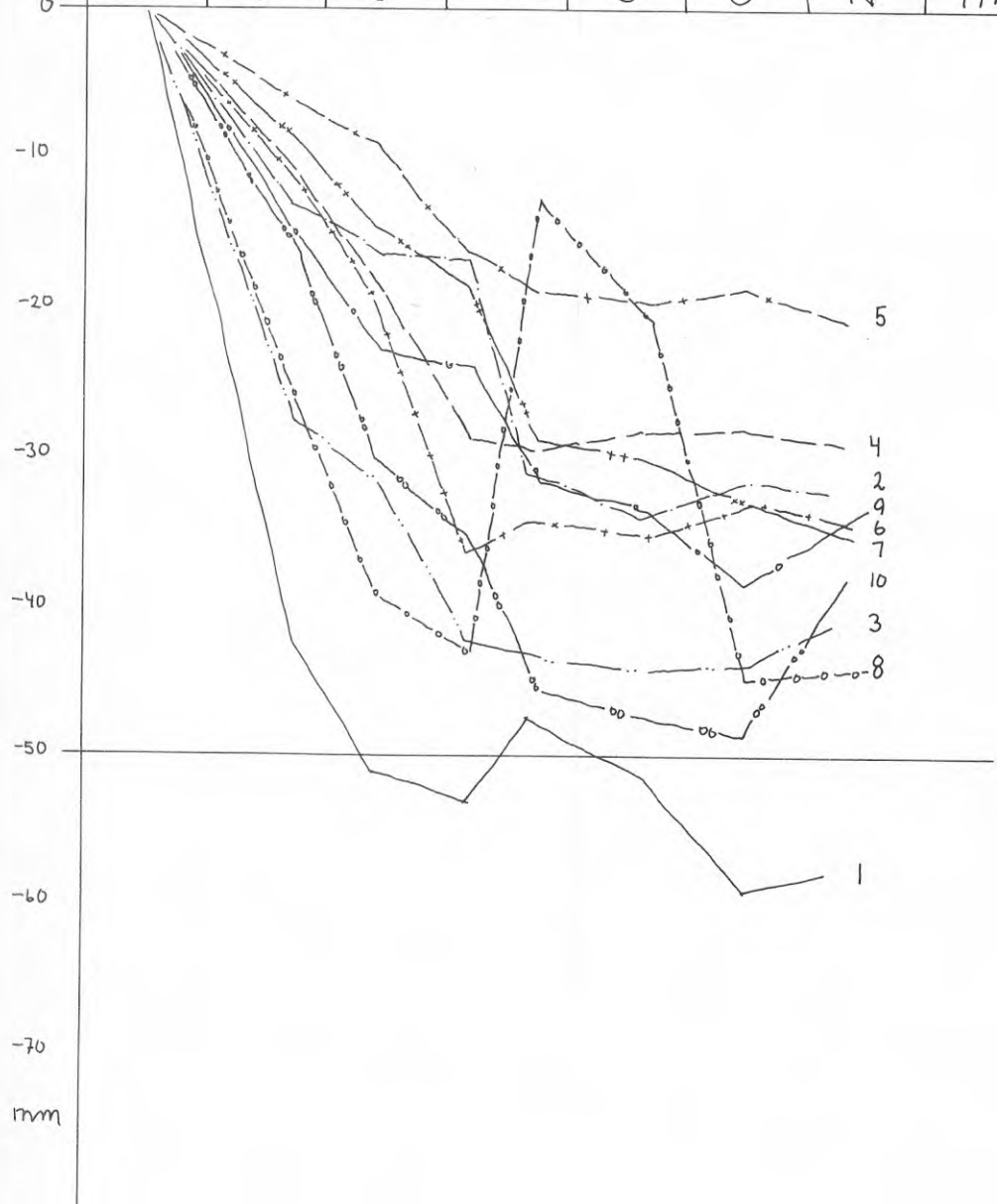


0 - 0.5

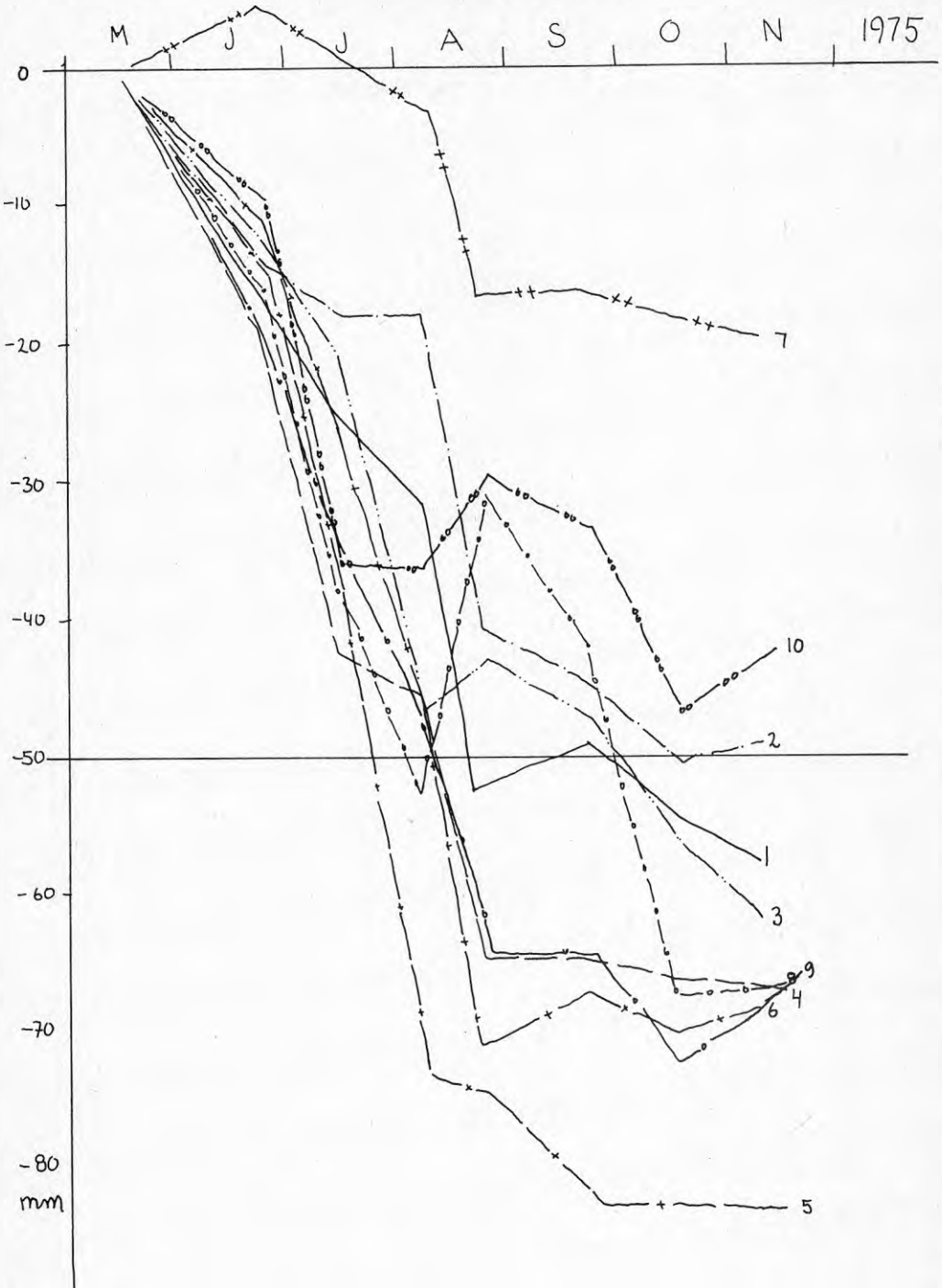


0.5-1.0

M | J | J | A | S | O | N | 1975



1-2.5



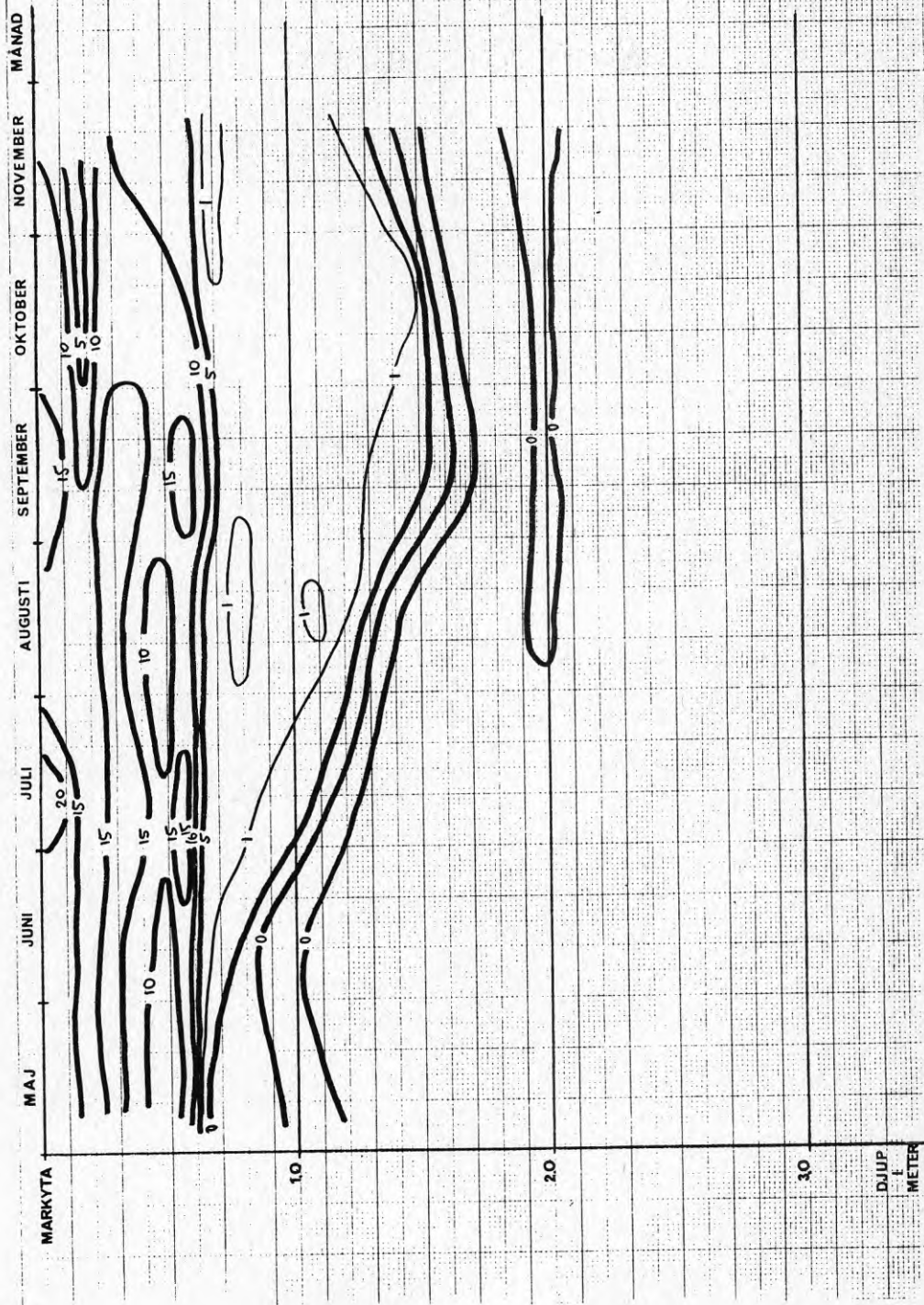
Kronoisopleter för $(n - w_a)$ 1974 och 1975.

n - w_a

RÖR 2

1974

VEGETATION OCH
SÄTTNINGAR I LERA
BFR

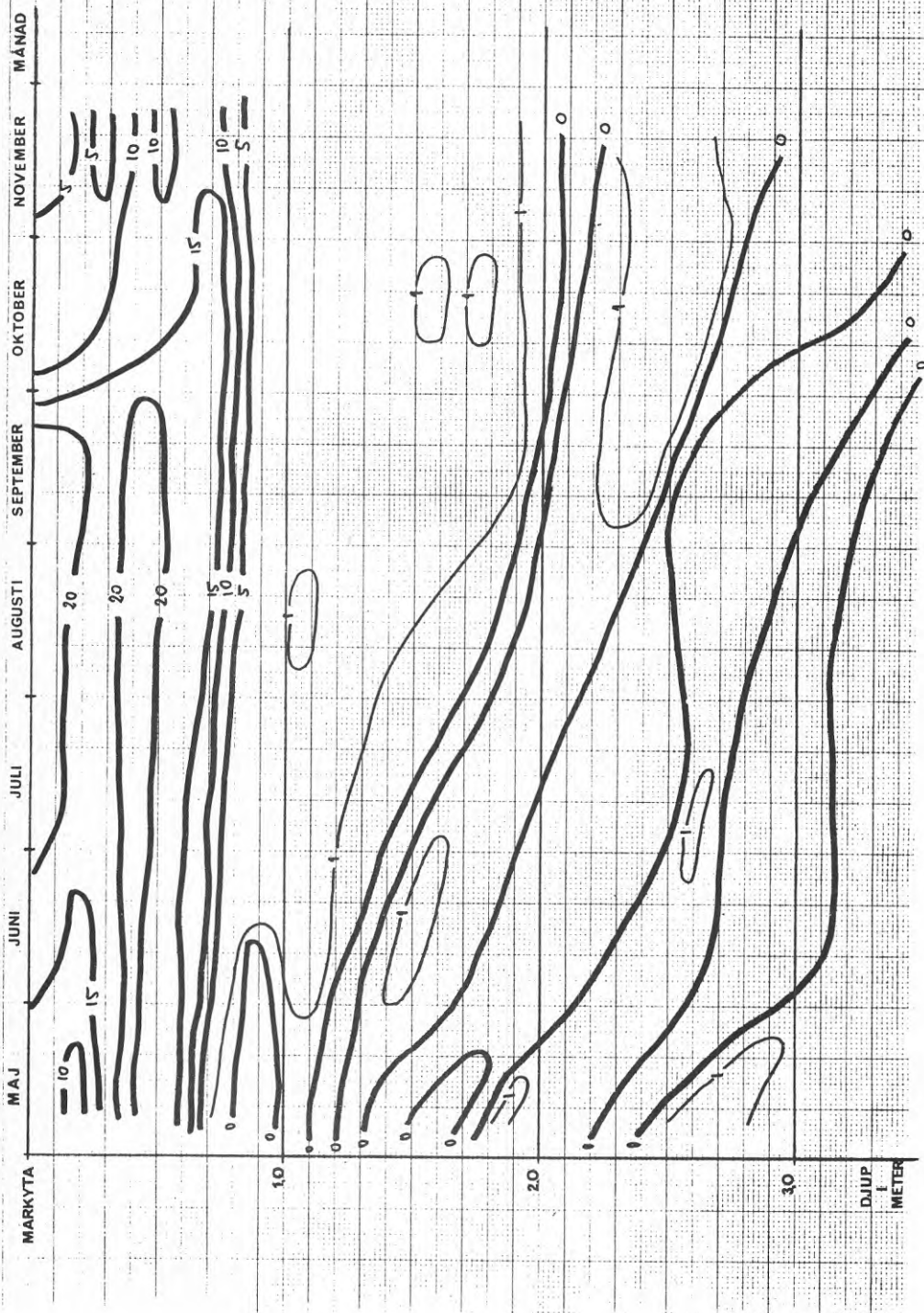


n - w_a

RÖR 3

1974

VEGETATION OCH
SÄTTNINGAR I LERA
BFR

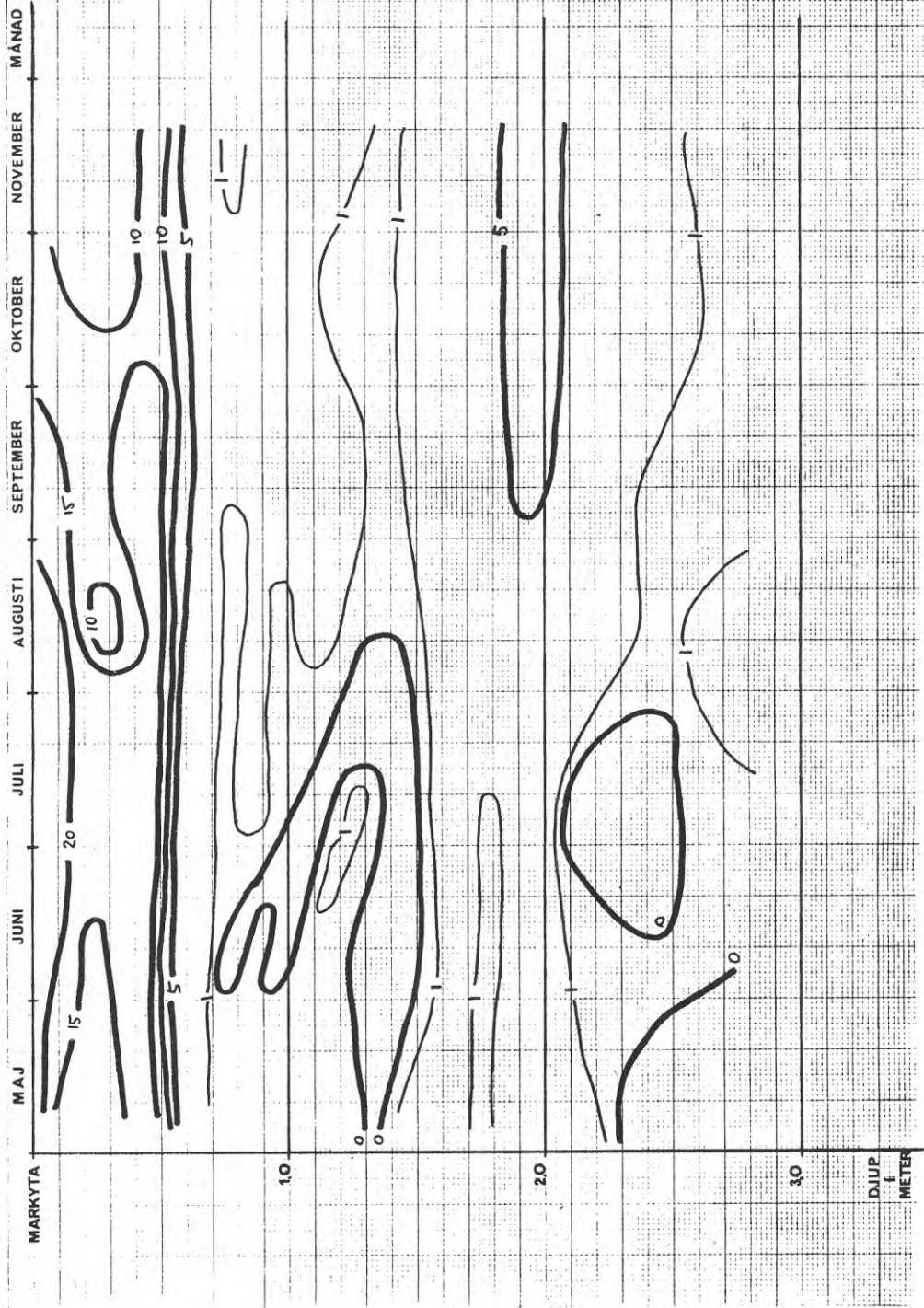


n - w_a

RÖR 5

1974

VEGETATION OCH
SÄTTNINGAR I LERA
BFR

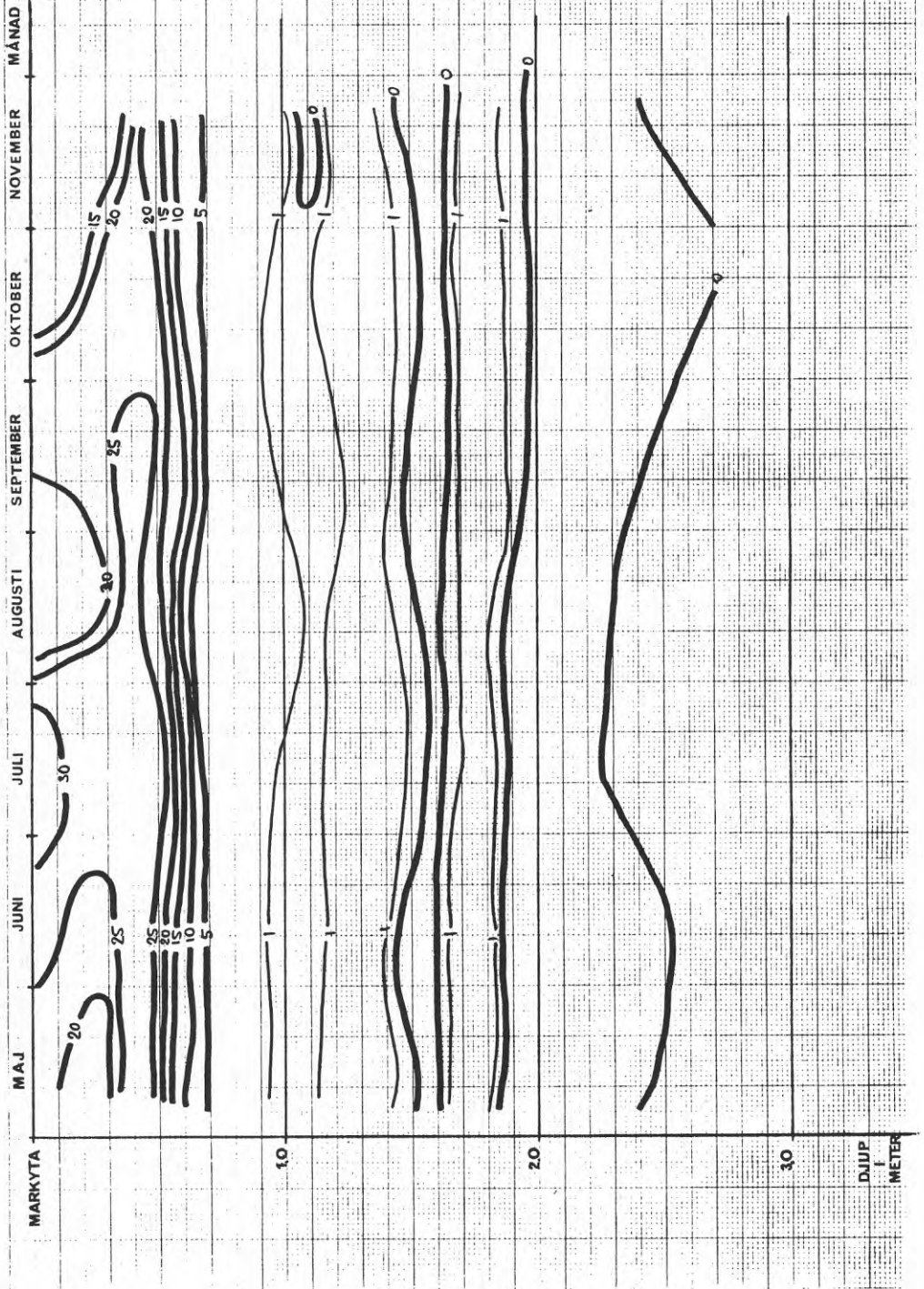


n - w_a

RÖR 7

1974

VEGETATION OCH
SÄTTNINGAR I LERA
BFR

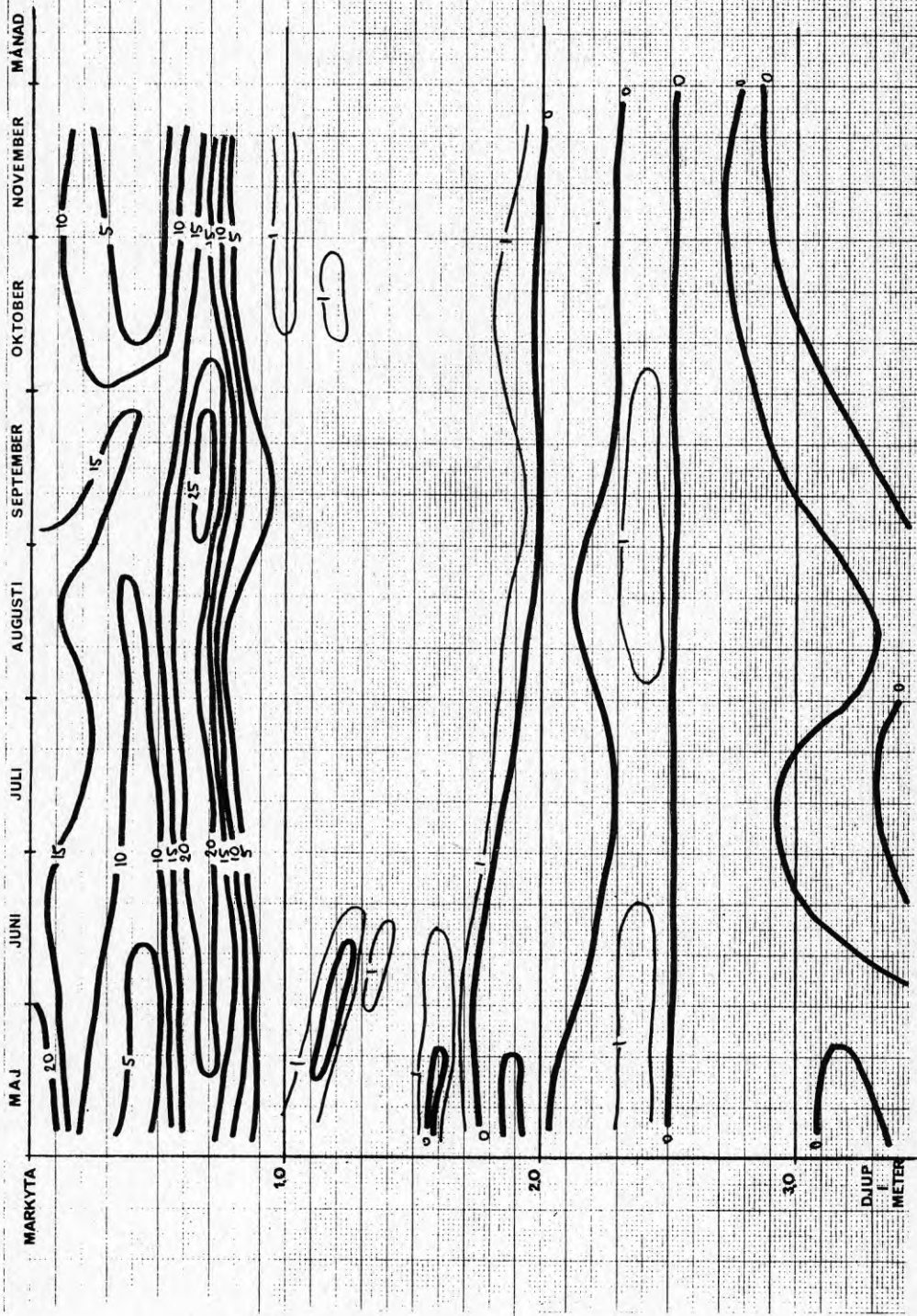


n - W_a

RÖR 8

1974

VEGETATION OCH
SÄTTNINGAR I LERA
BFR

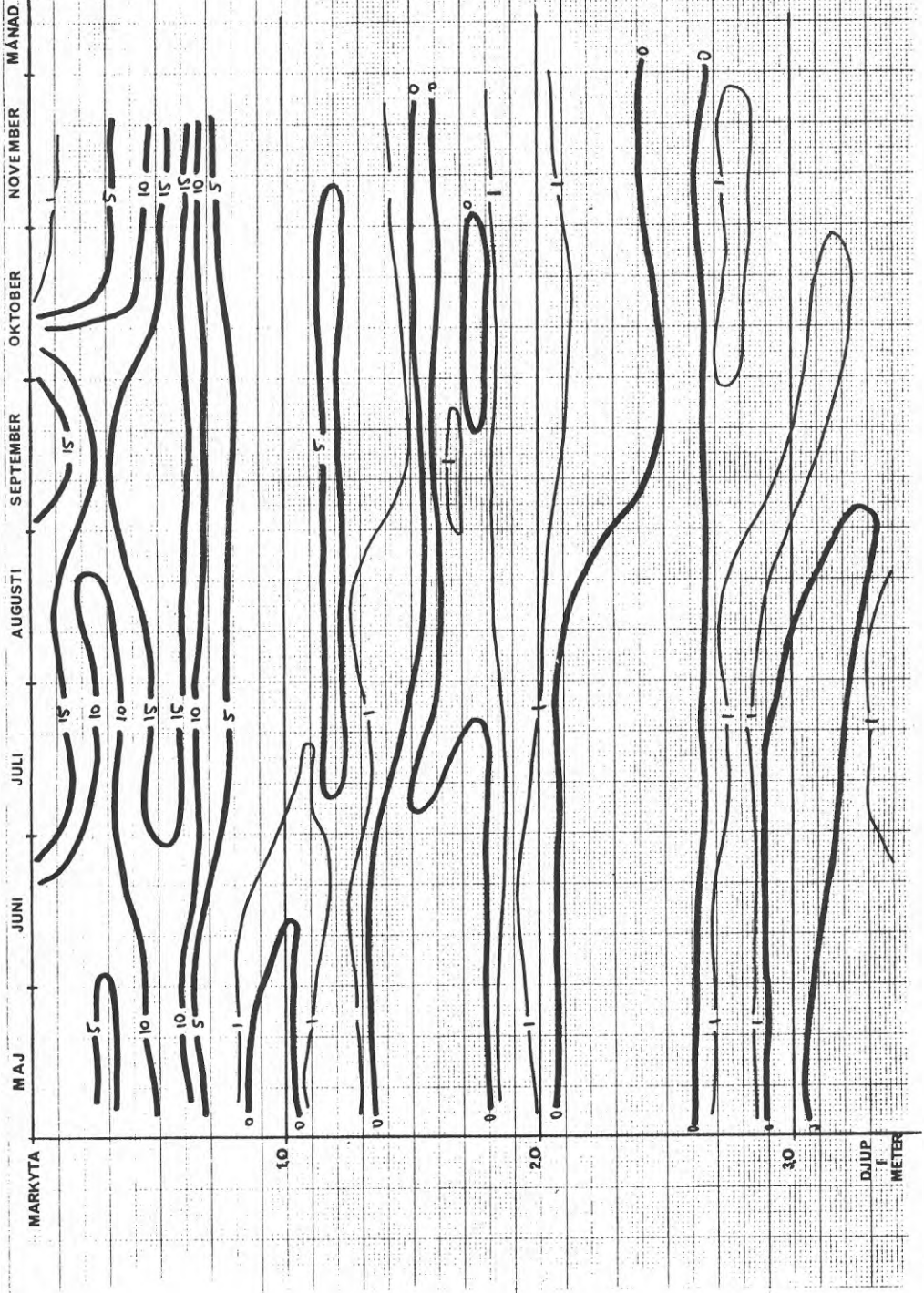


n - W_a

RÖR 9

1974

VEGETATION OCH
SÄTTNINGAR I LERA
BFR

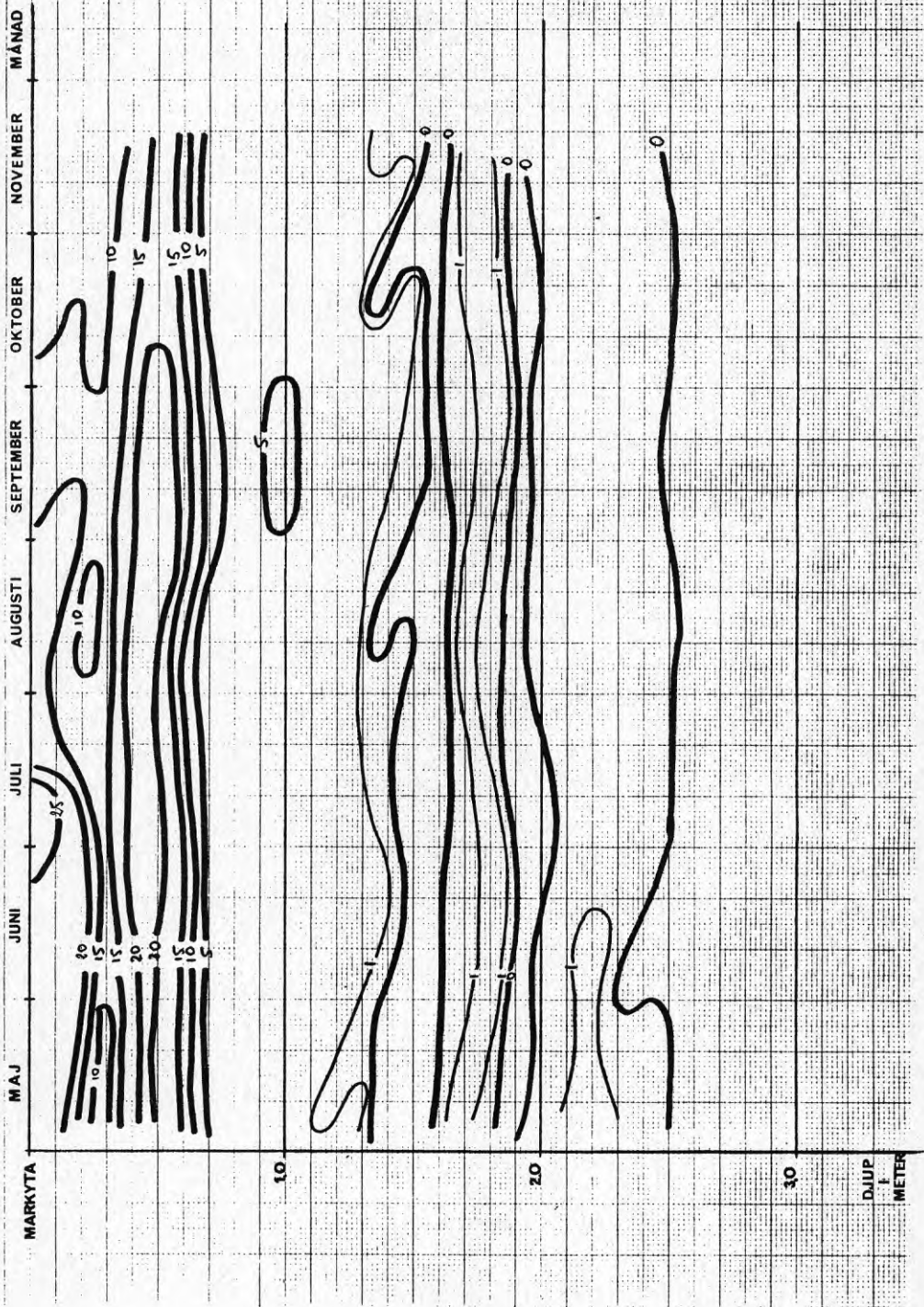


n - W_a

RÖR 10

1974

VEGETATION OCH
SÄTTNINGAR I LERA
BFR



n - w_a

RÖR 1

1975

VEGETATION OCH
SÄTTNINGAR I LERA
BFR

MÅNAD

NOVEMBER

OKTOBER

SEPTEMBER

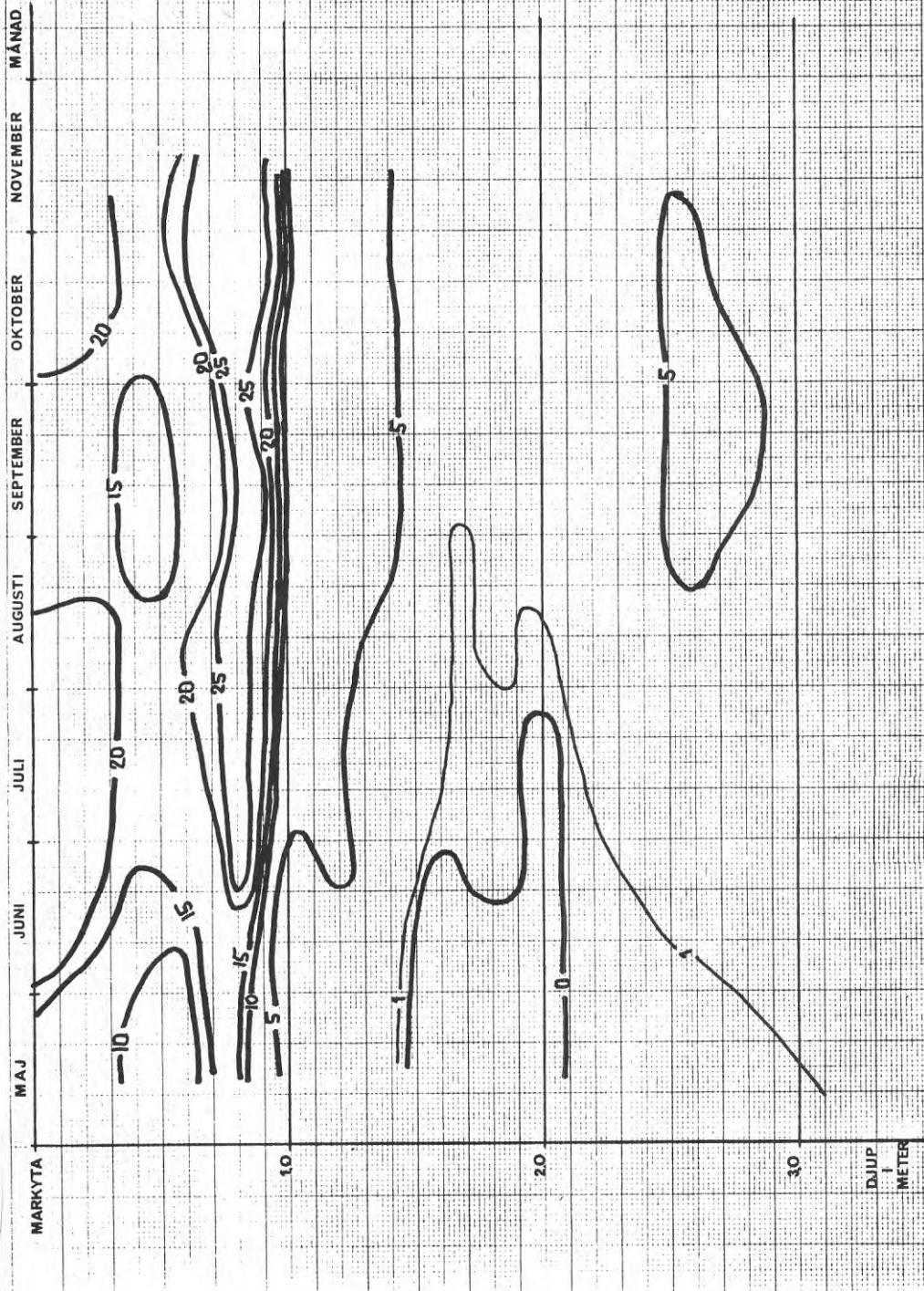
AUGUSTI

JULI

JUNI

MAJ

MARKYTA



10

20

30

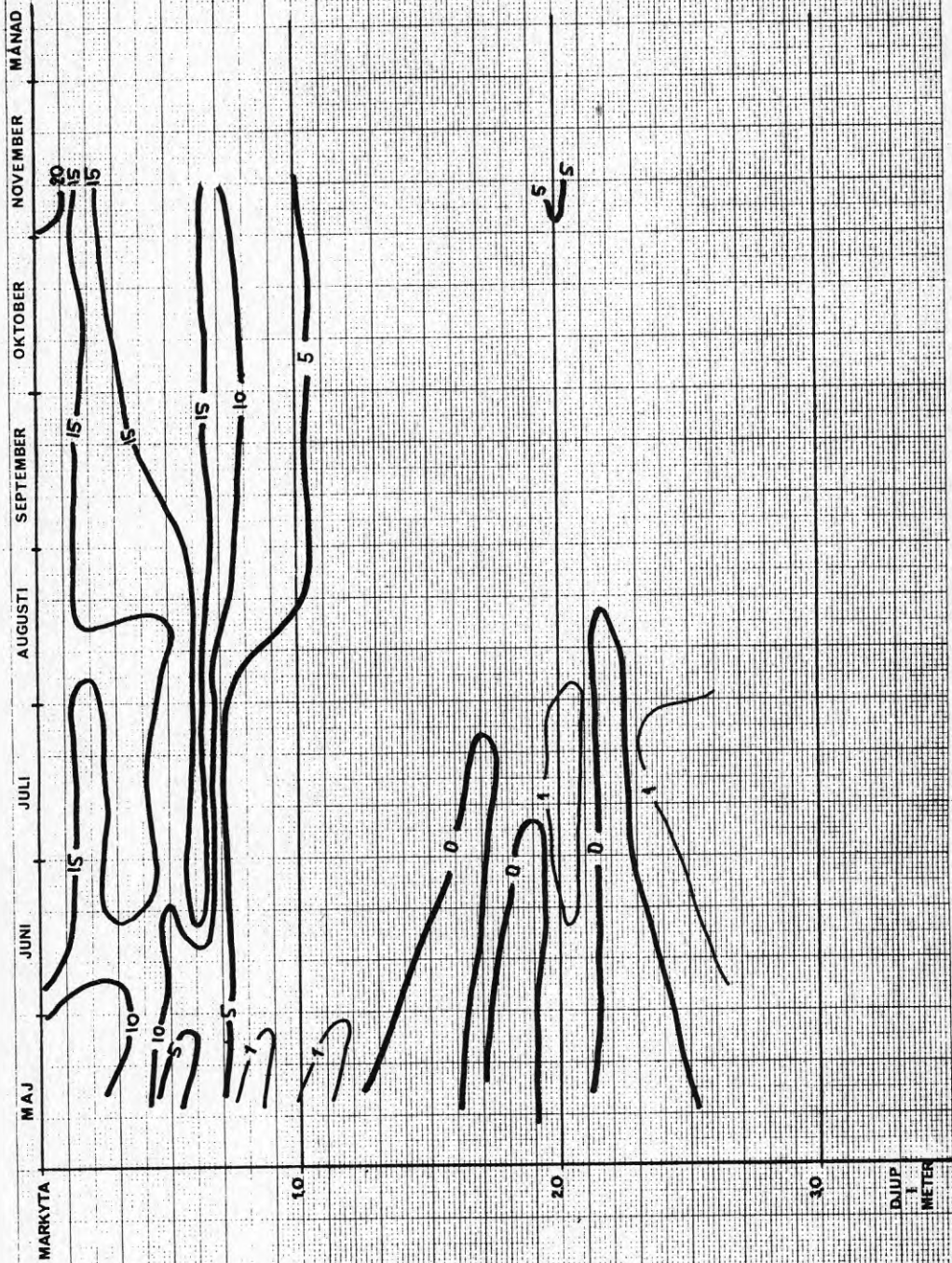
DJUP
I
METER

n - w_a

RÖR 2

1975

VEGETATION OCH
SÄTTNINGAR I LERA
BFR

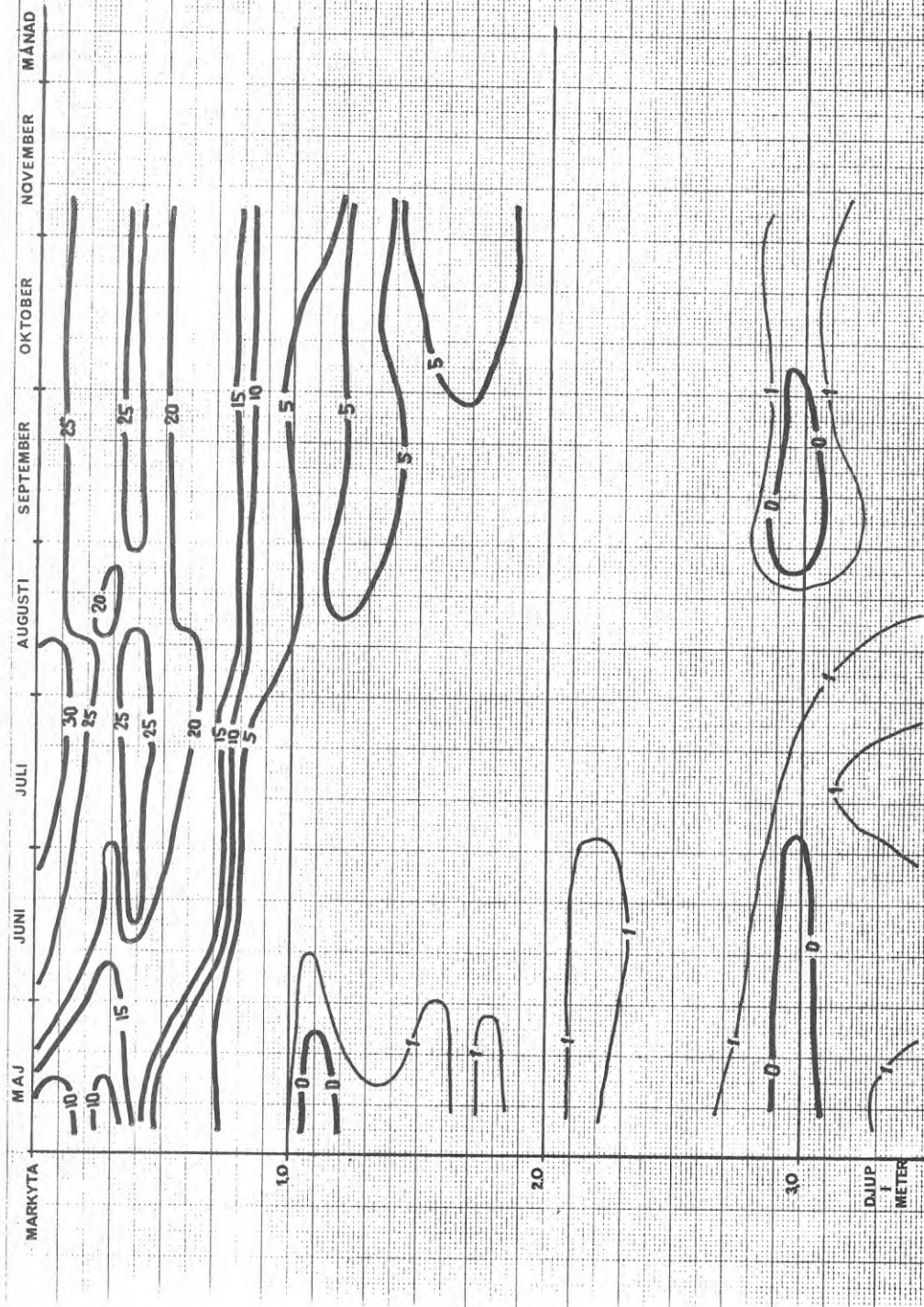


n - w_a

RÖR 3

1975

VEGETATION OCH
SÄTTNINGAR I LERA
BFR



n - w_a

RÖR 4

1975

VEGETATION OCH
SÄTTNINGAR I LERA

BFR

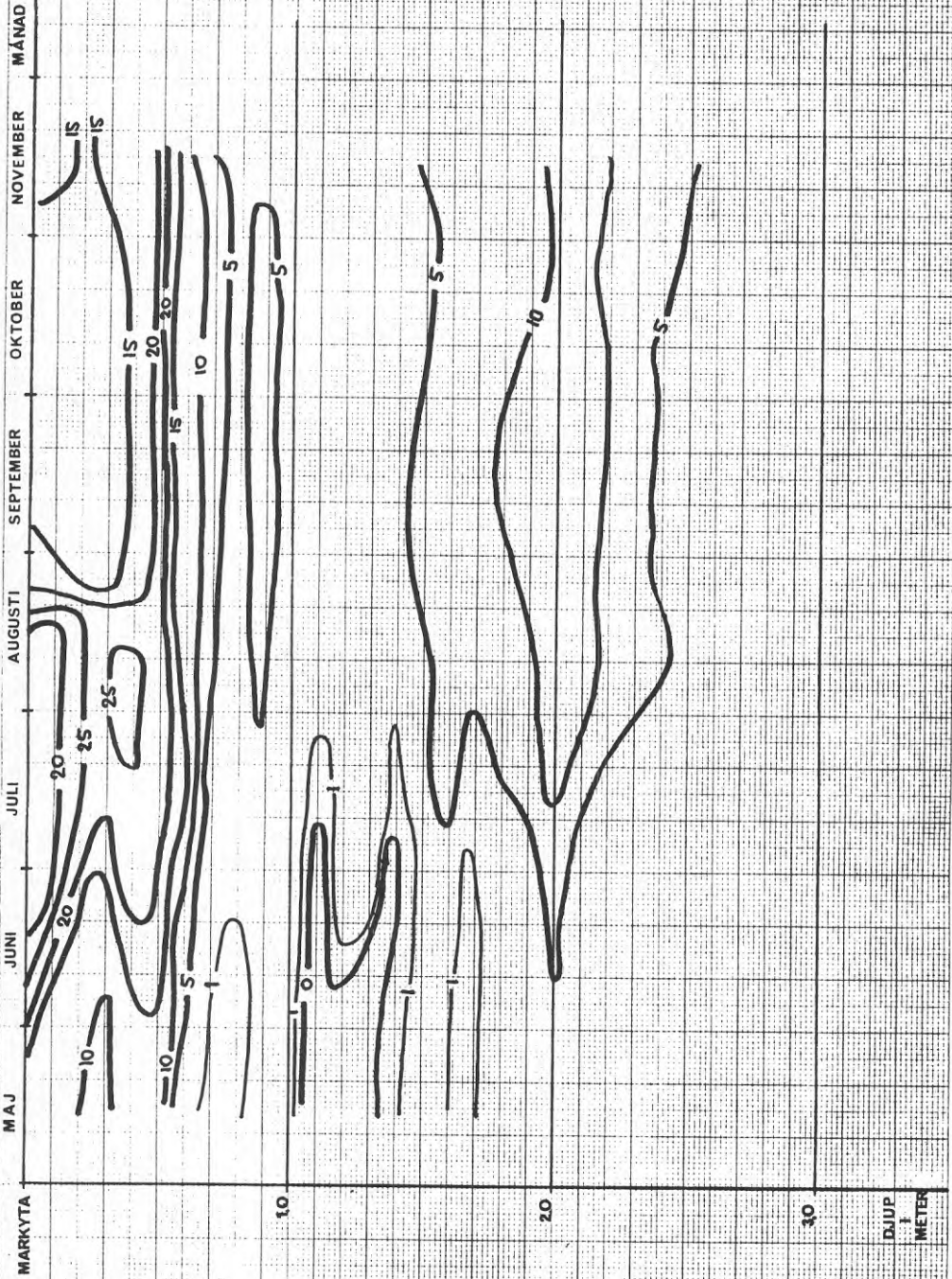


n - W_a

RÖR 5

1975

VEGETATION OCH
SÄTTNINGAR I LERA
BFR

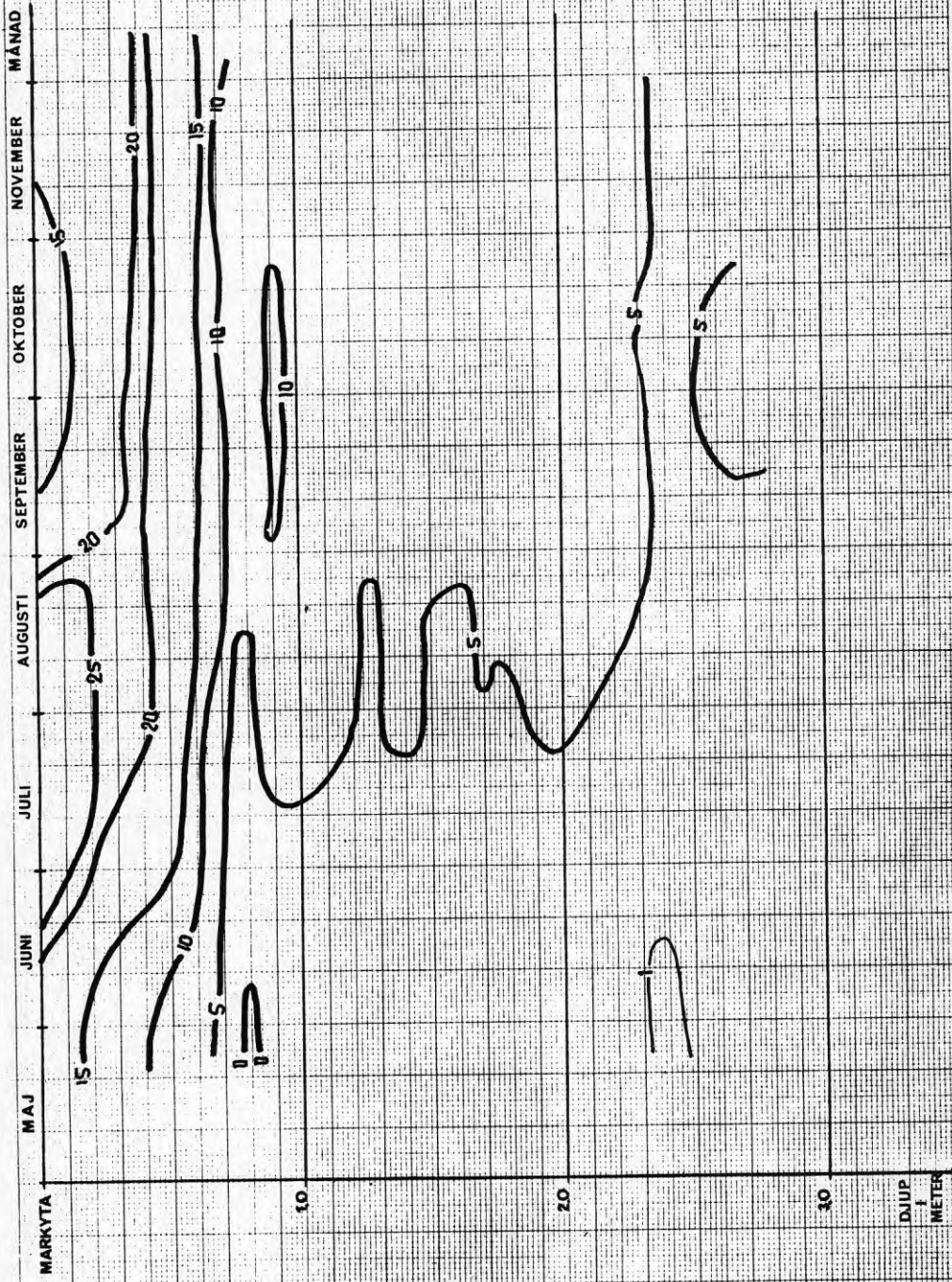


n - W_a

RÖR 6

1975

VEGETATION OCH
SÄTTNINGAR I LERA
BFR

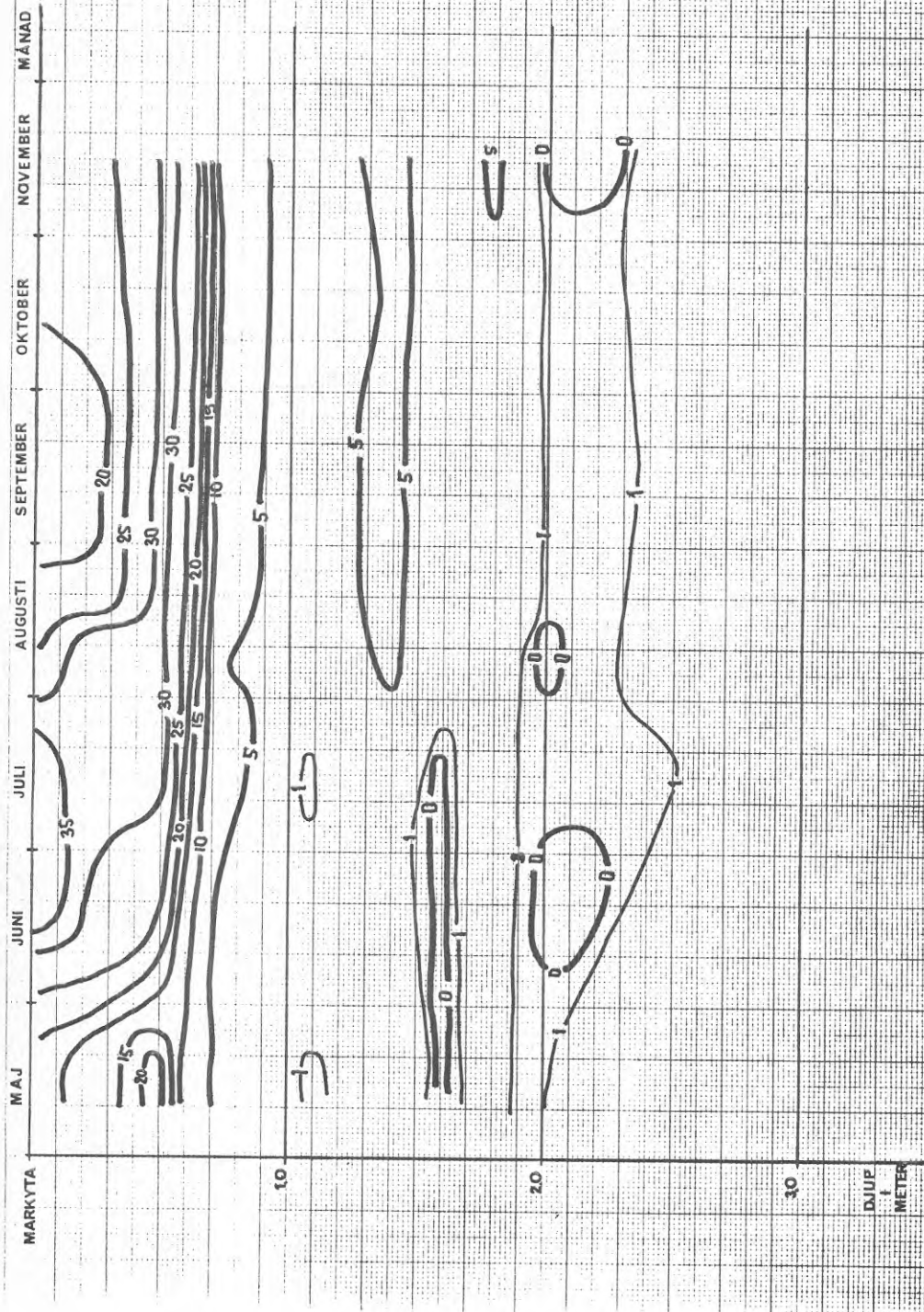


n - W_a

RÖR 7

1975

VEGETATION OCH
SÄTTNINGAR I LERA
BFR

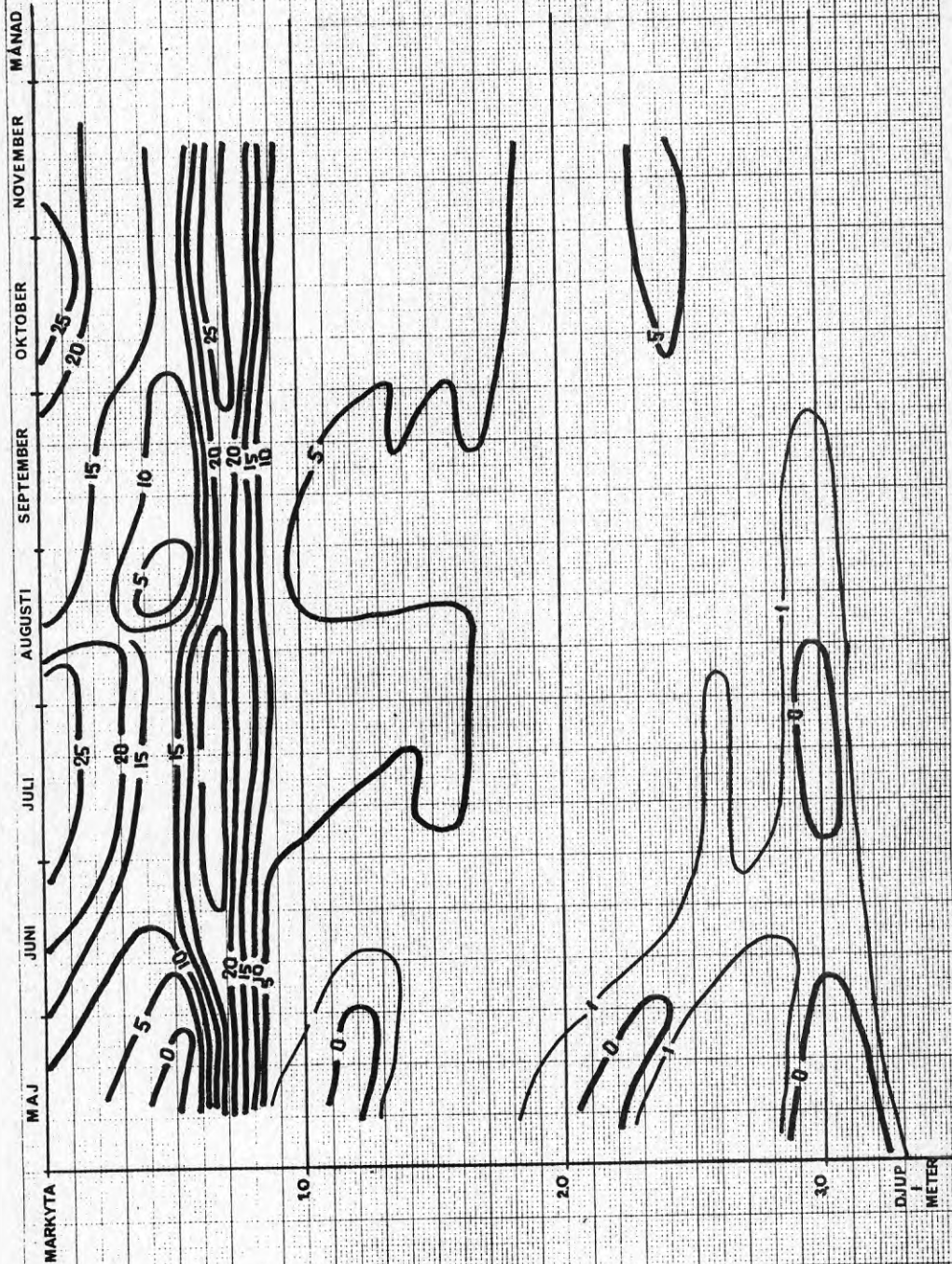


n - w_a

RÖR 8

1975

VEGETATION OCH
SÄTTNINGAR I LERA
BFR

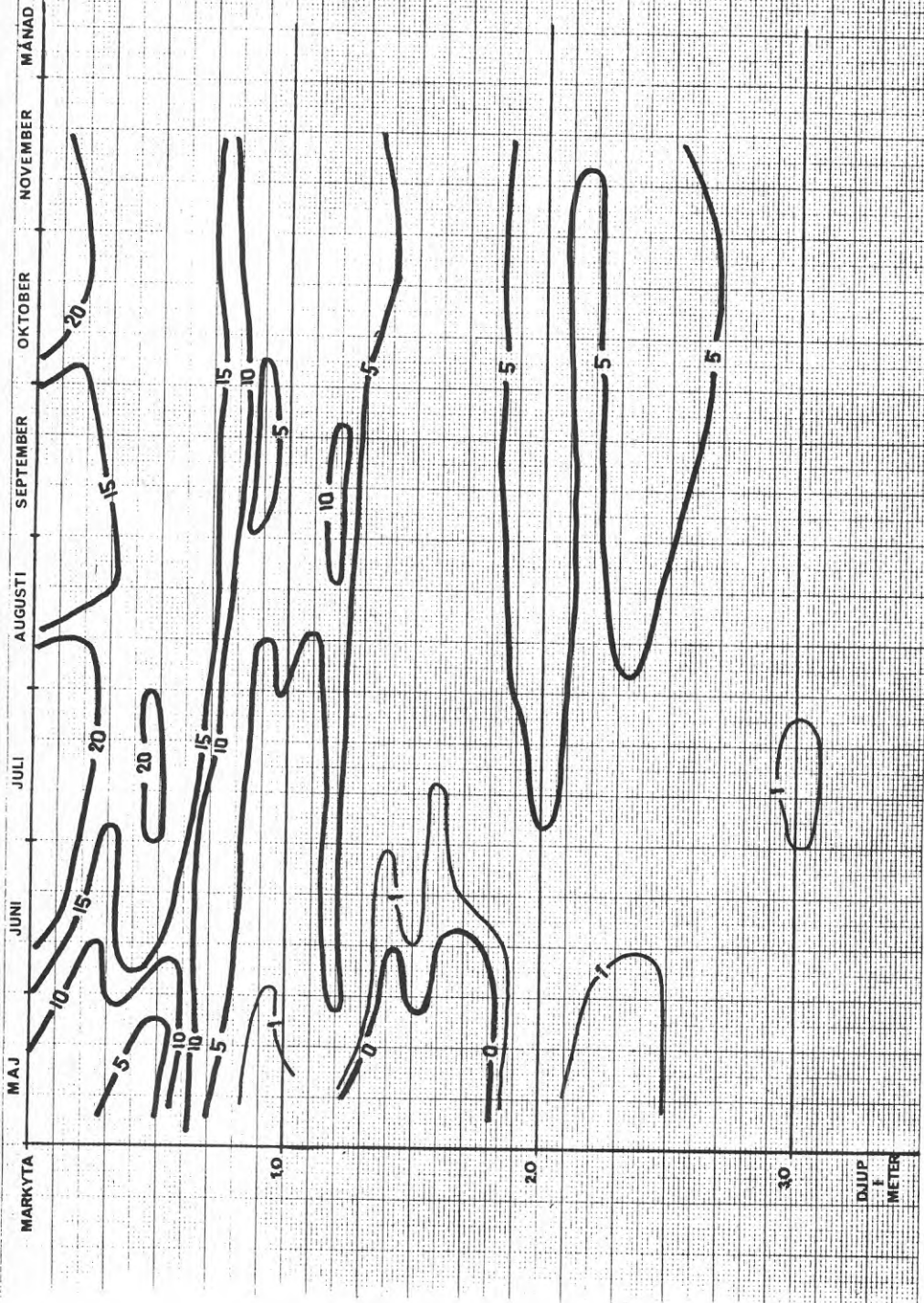


n - w_a

RÖR 9

1975

VEGETATION OCH
SÄTTNINGAR I LERA
BFR



n - w_a

RÖR 10

1975

VEGETATION OCH
SÄTTNINGAR I LERA
BFR

MÅNAD

NOVEMBER

OKTOBER

SEPTEMBER

AUGUSTI

JULI

JUNI

MAJ

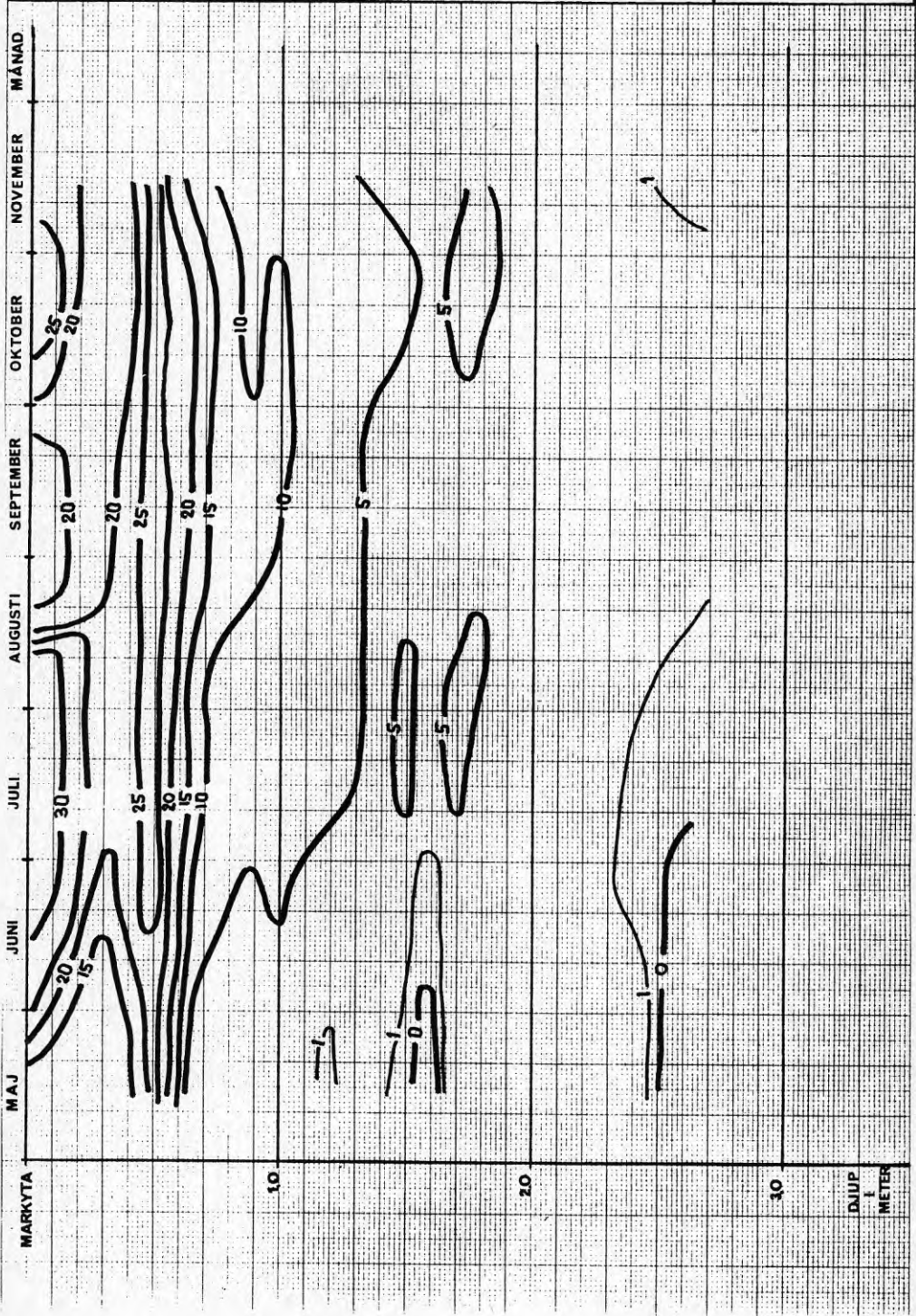
MARKYTA

10

20

30

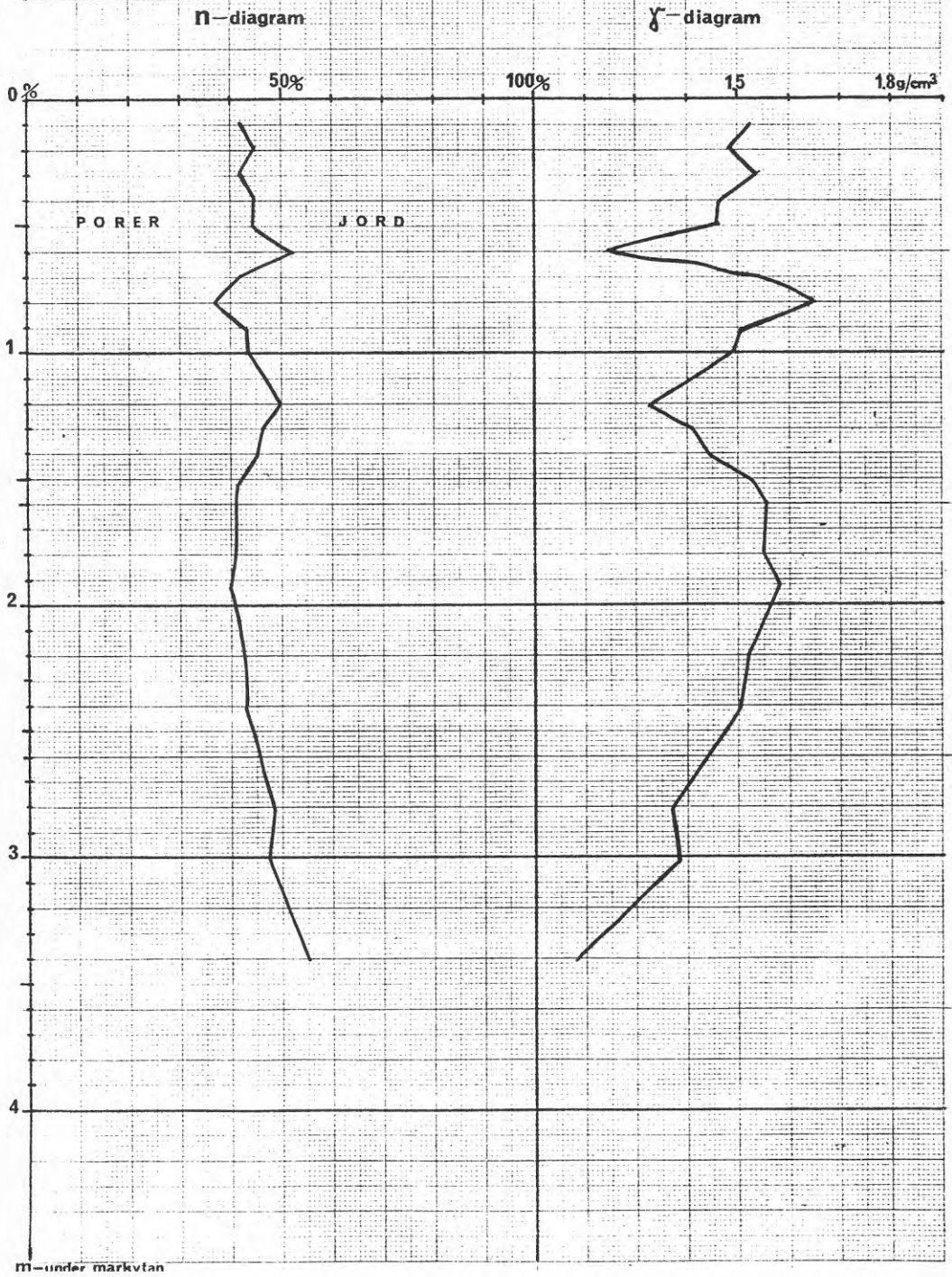
DJUP
I
METER



n- och γ_t - diagram 1974 års mätning.

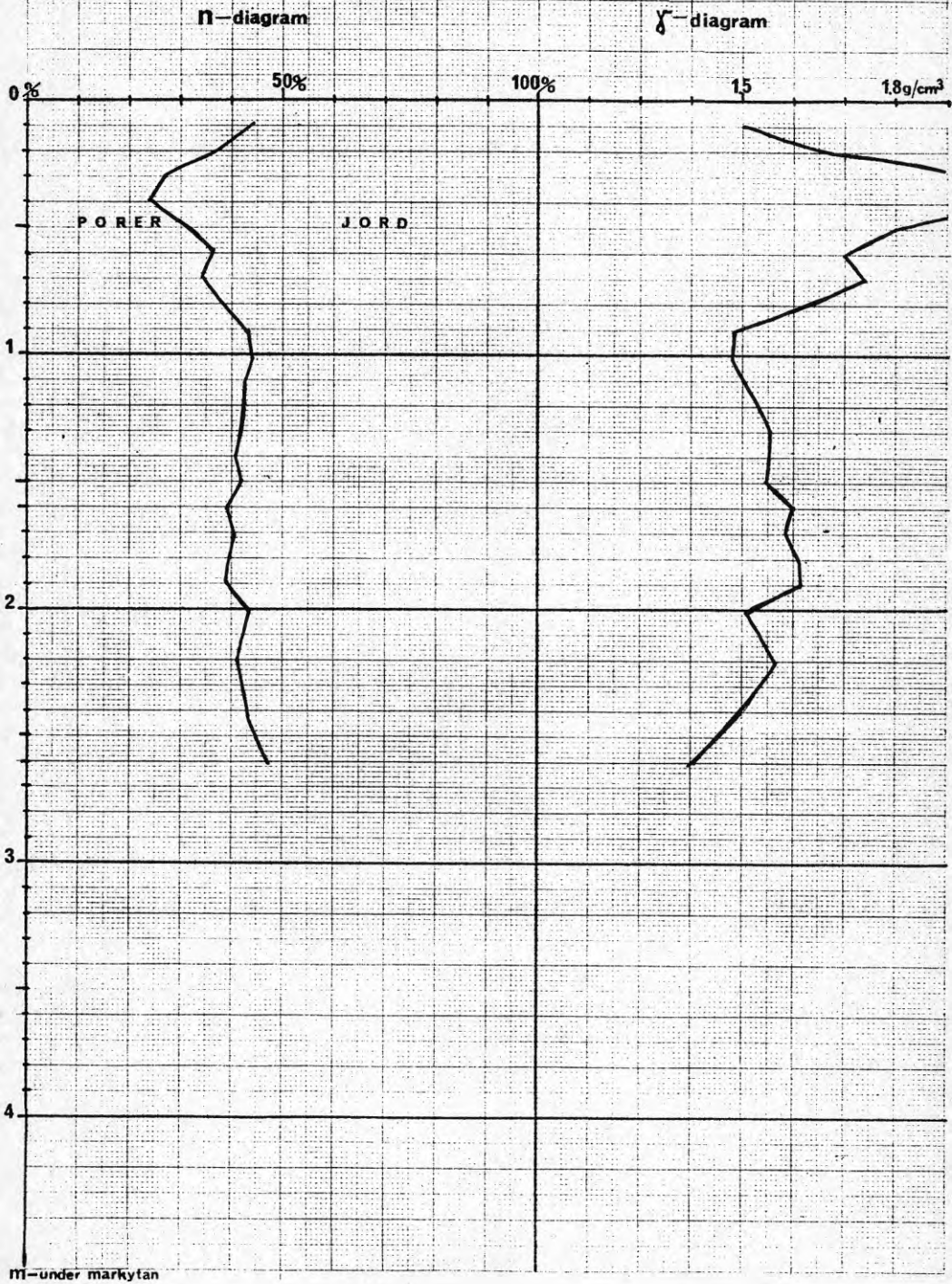
n och γ_t RÖR 1 1974

VEGETATION OCH
SÄTTNINGAR I LERA
BFR



n och γ_t RÖR 2 1974

VEGETATION OCH
SÄTTNINGAR I LERA
BFR



MI-under märkytan

n och γ_t

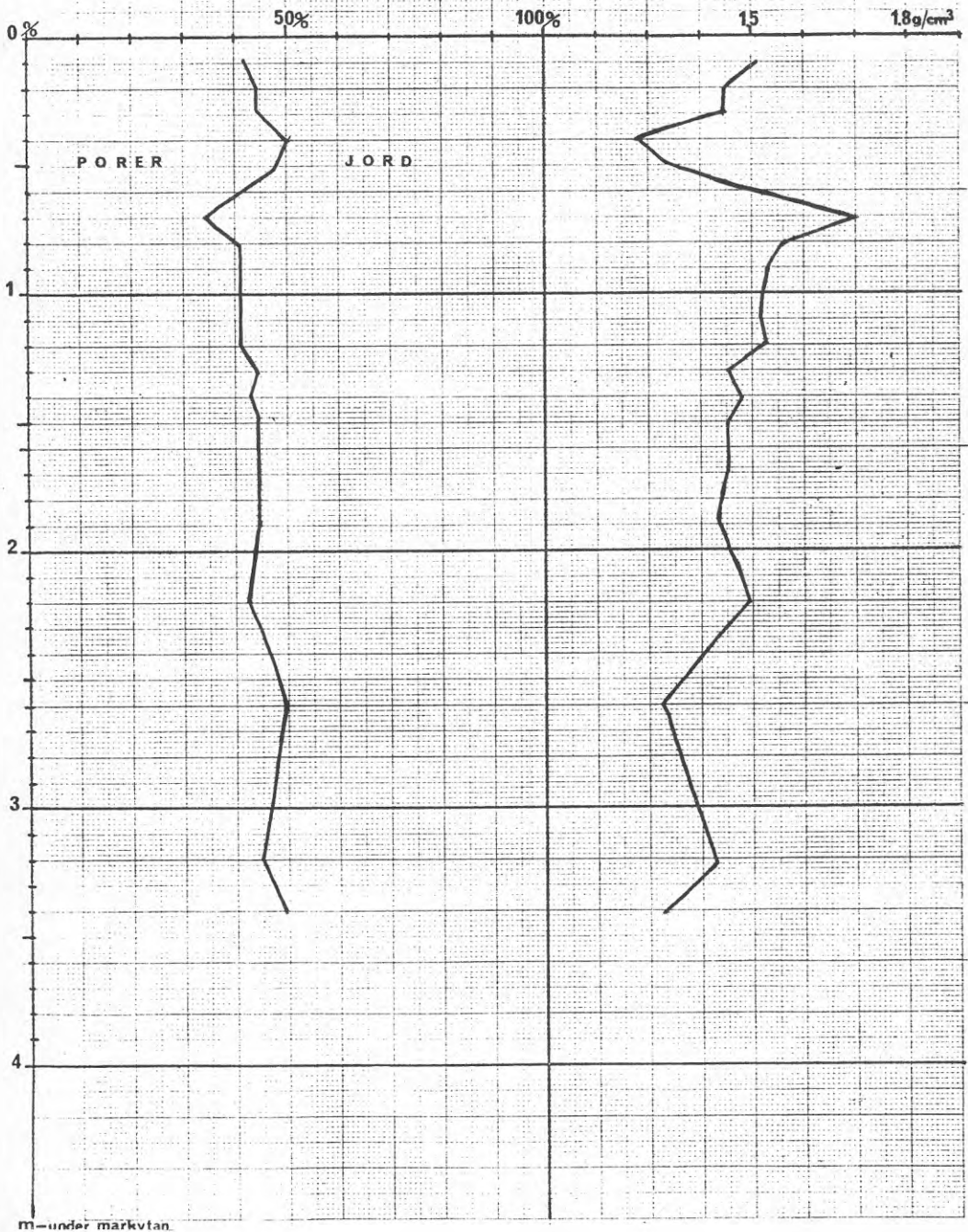
RÖR 3

1974

VEGETATION OCH
SÄTTNINGAR I LERA
BFR

n -diagram

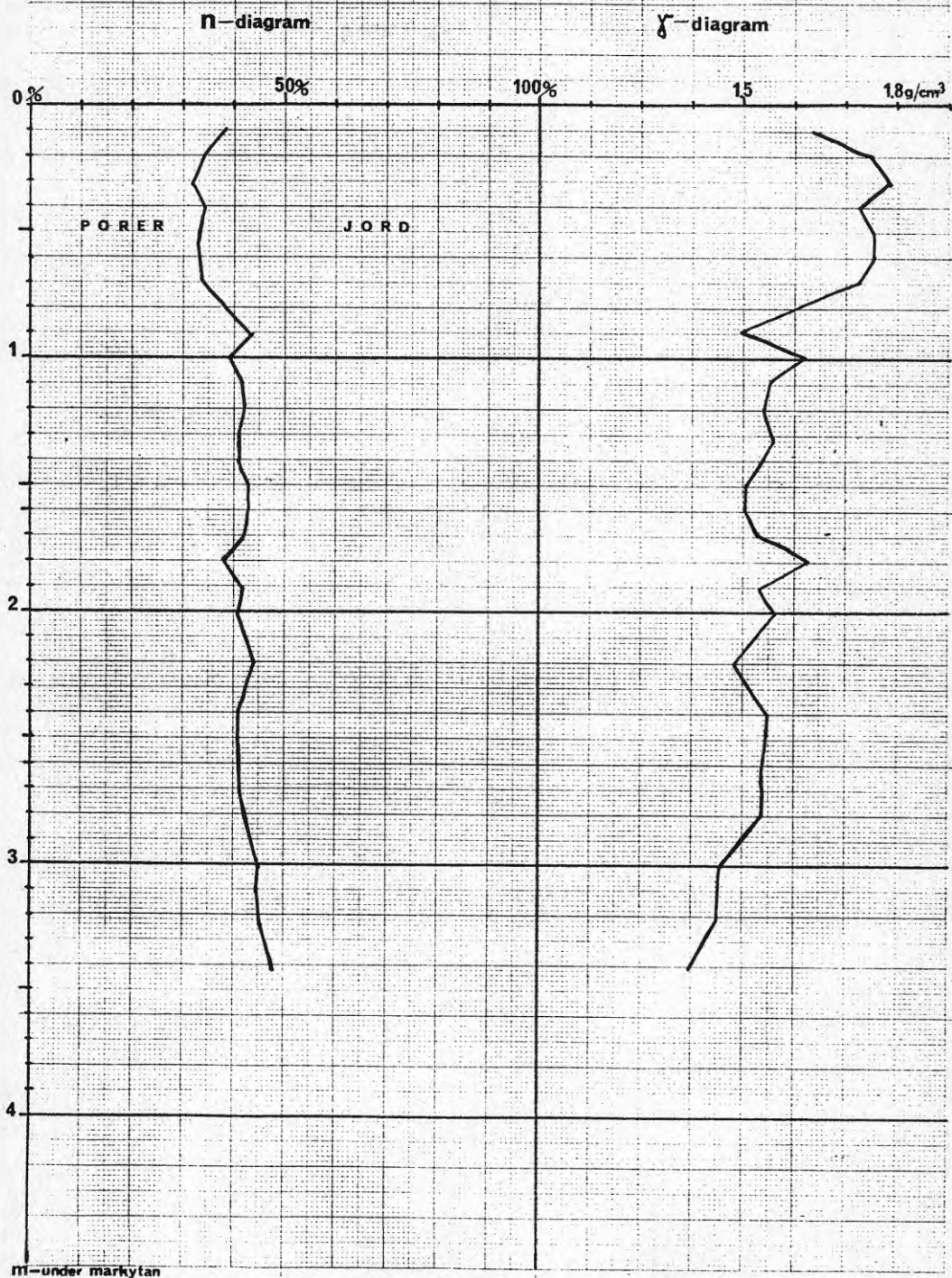
γ_t -diagram



m-under markytan

n och γ_i RÖR 4 1974

VEGETATION OCH
SÄTTNINGAR I LERA
BFR



n och γ_t

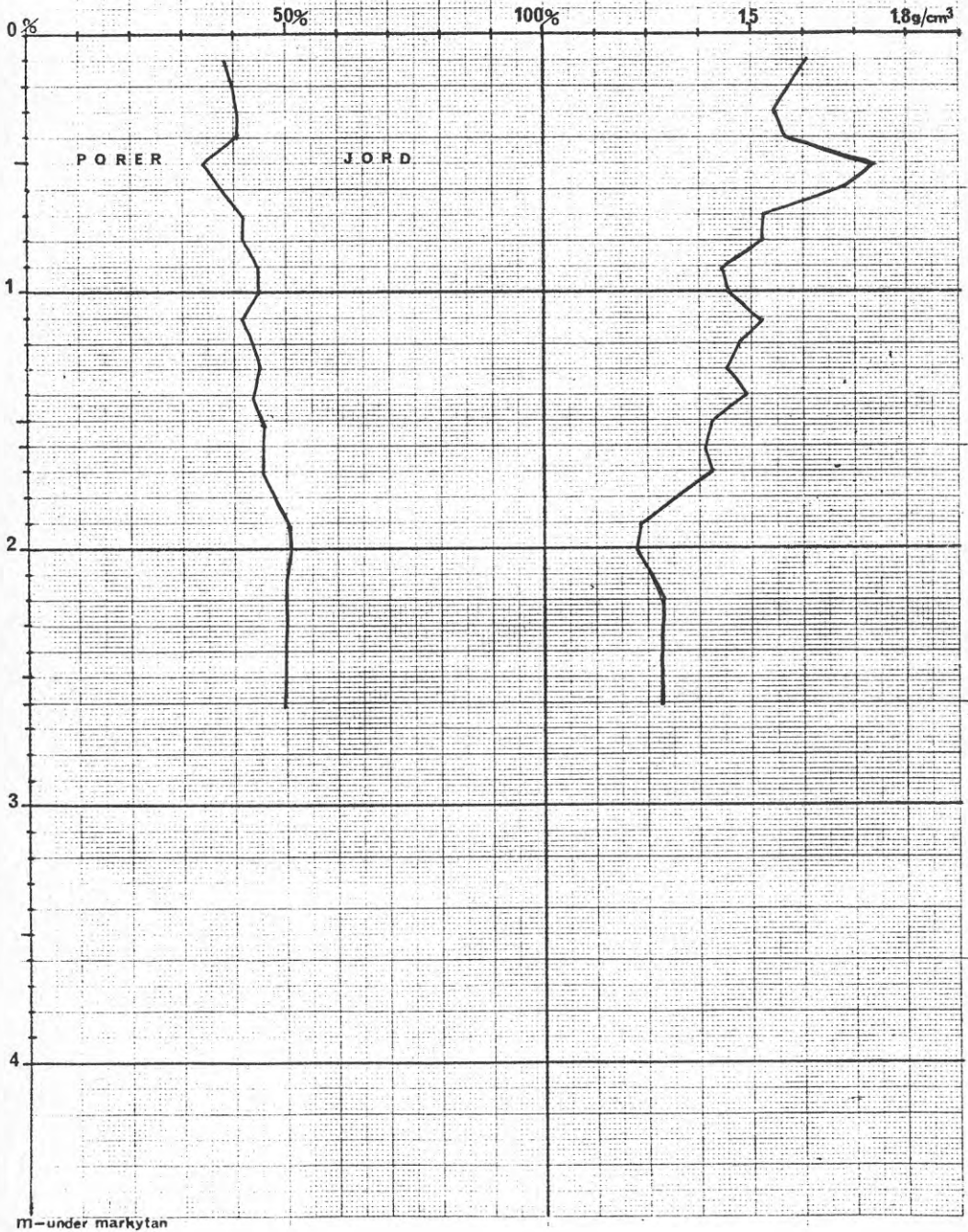
RÖR 5

1974

VEGETATION OCH
SÄTTNINGAR I LERA
BFR

n -diagram

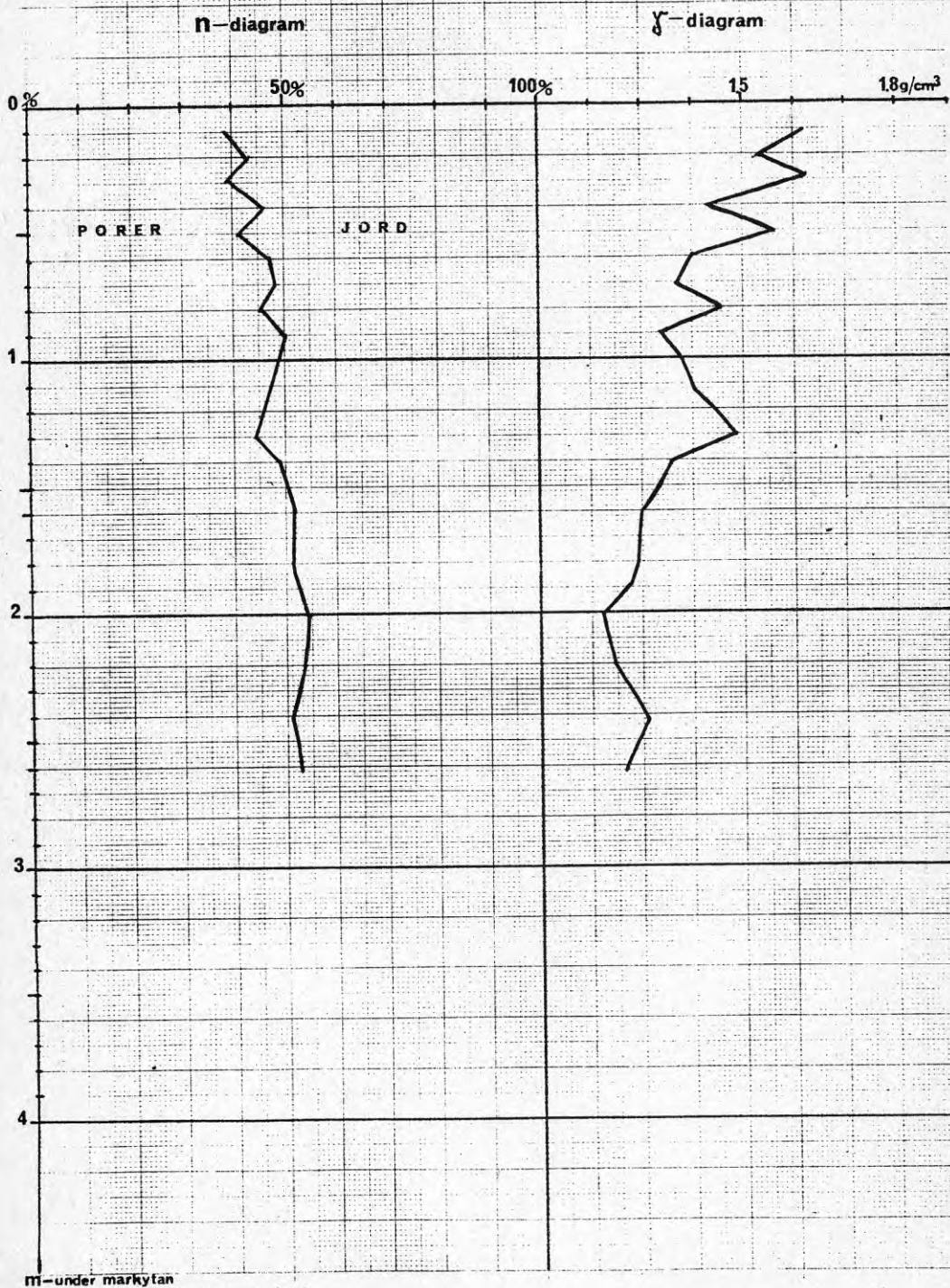
γ_t -diagram



n och γ_t RÖR 6

1974

VEGETATION OCH
SÄTTNINGAR I LERA
BFR

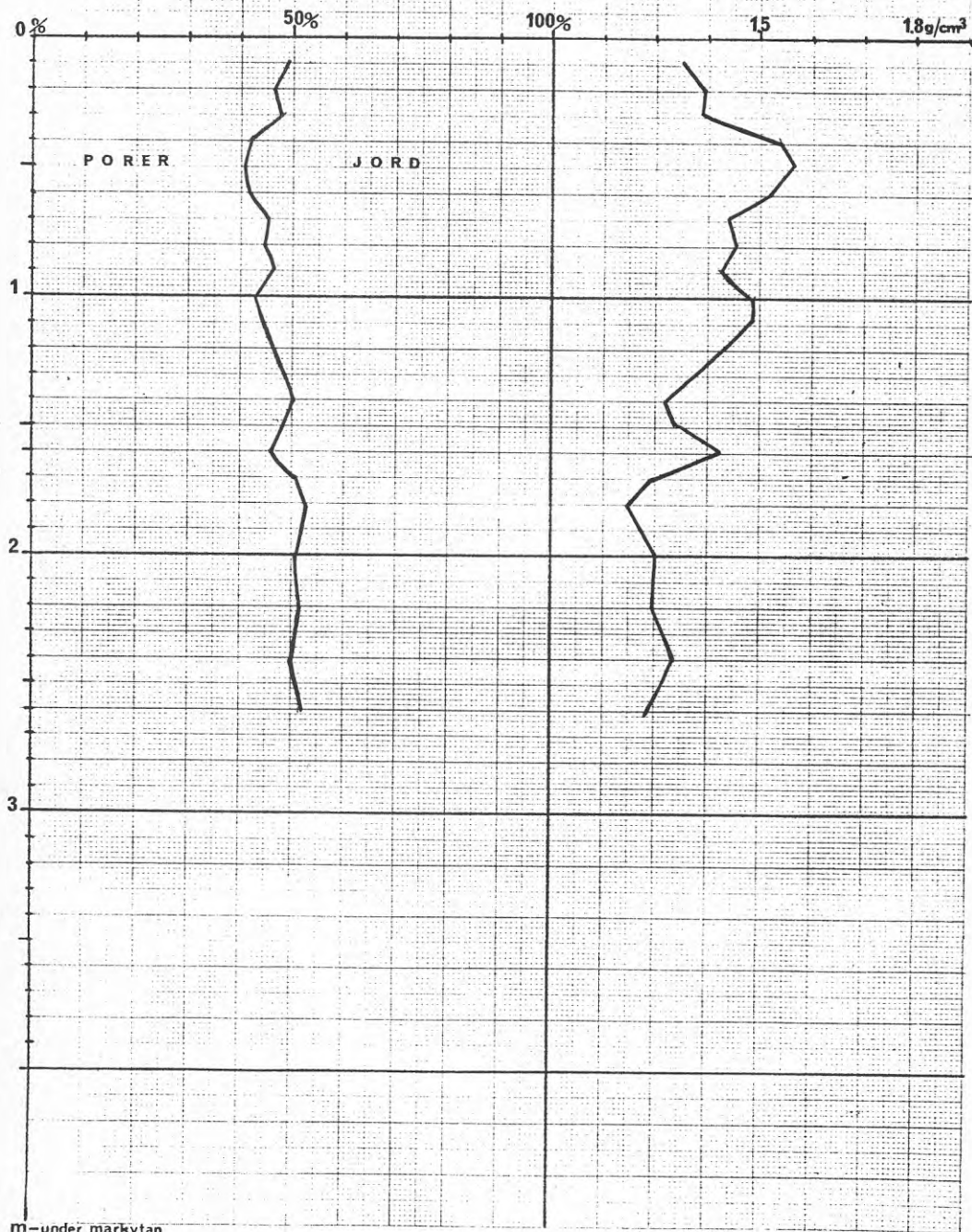


n och γ_i RÖR 7 1974

VEGETATION OCH
SÄTTNINGAR I LERA
BFR

n-diagram

γ_i -diagram



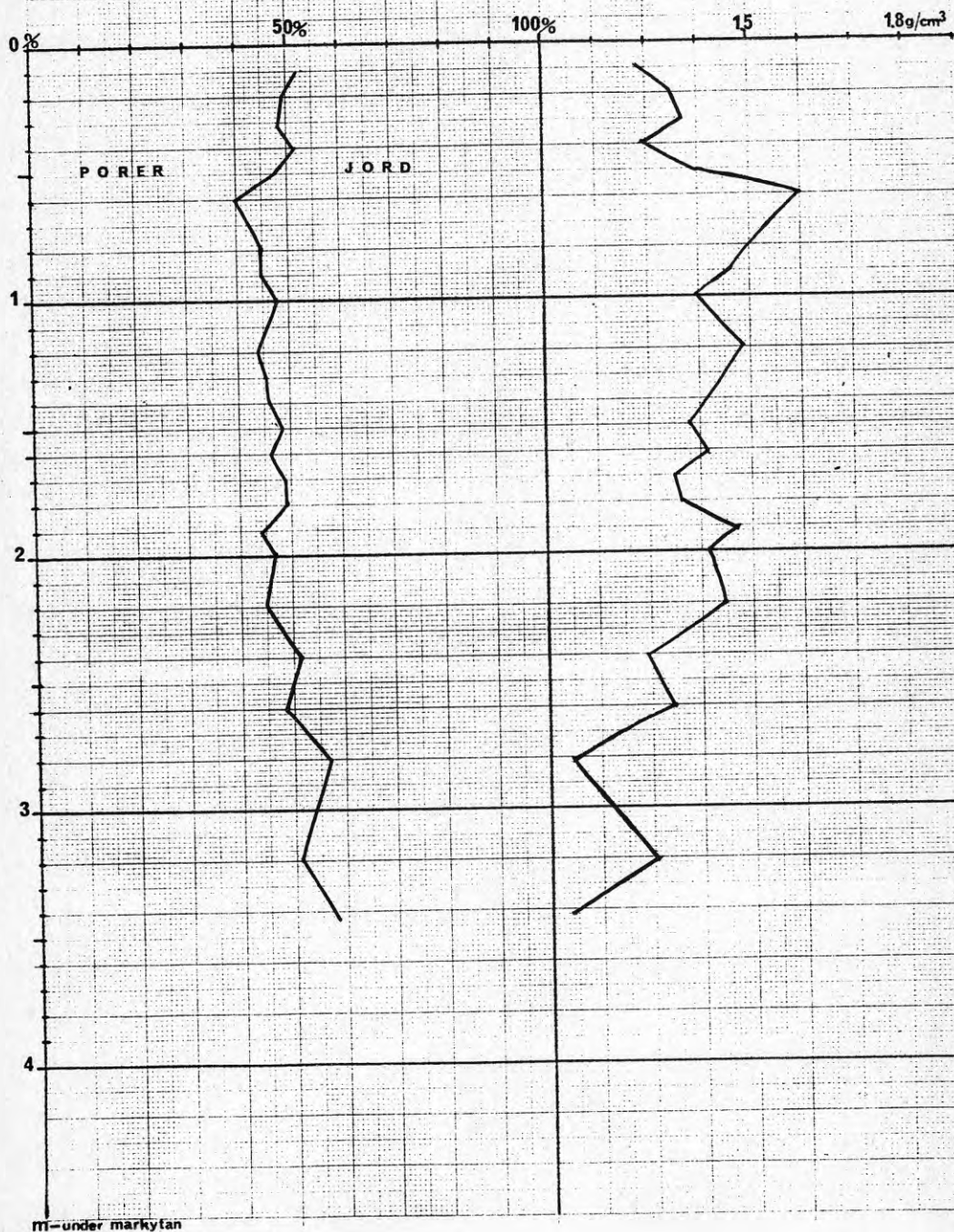
m- under märkytan

n och γ_t RÖR 8 1974

VEGETATION OCH
SÄTTNINGAR I LERA
BFR

n-diagram

γ_t -diagram



M- under märkytan

n och γ_t

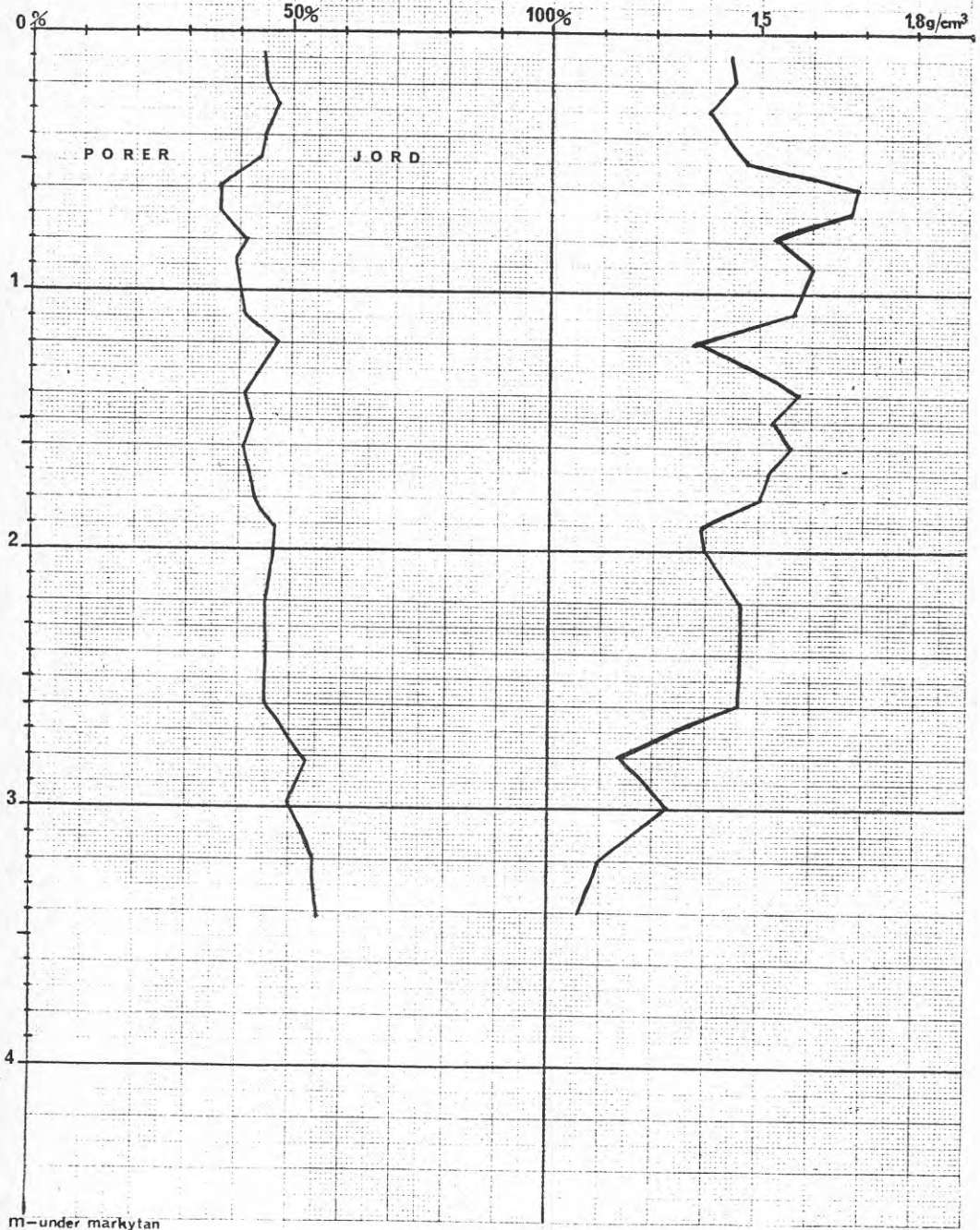
RÖR 9

1974

VEGETATION OCH
SÄTTNINGAR I LERA
BFR

n -diagram

γ_t -diagram



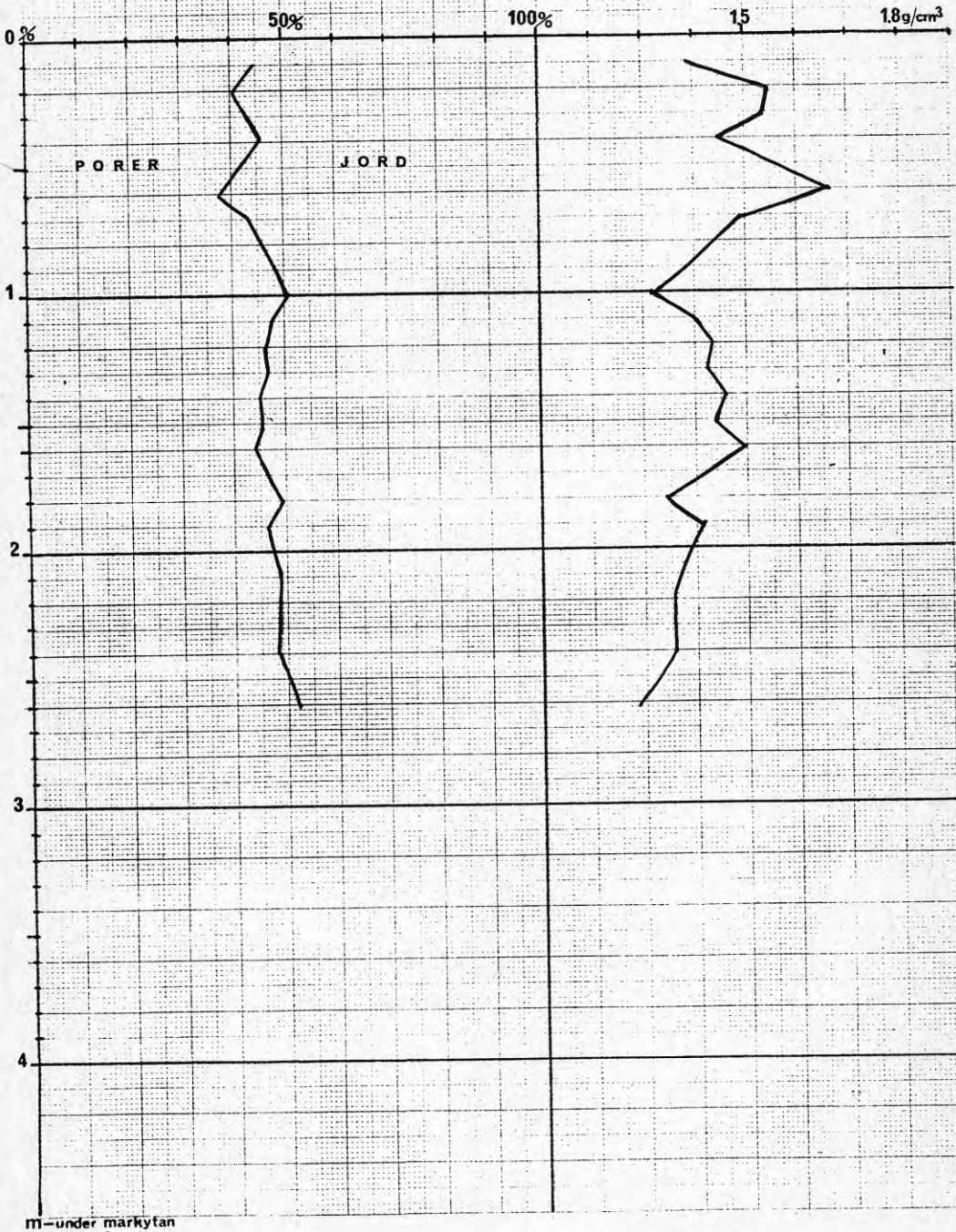
m-under märkytan

n och γ_t RÖR 10 1974

VEGETATION OCH
SÄTTNINGAR I LERA
BFR

n-diagram

γ_t -diagram

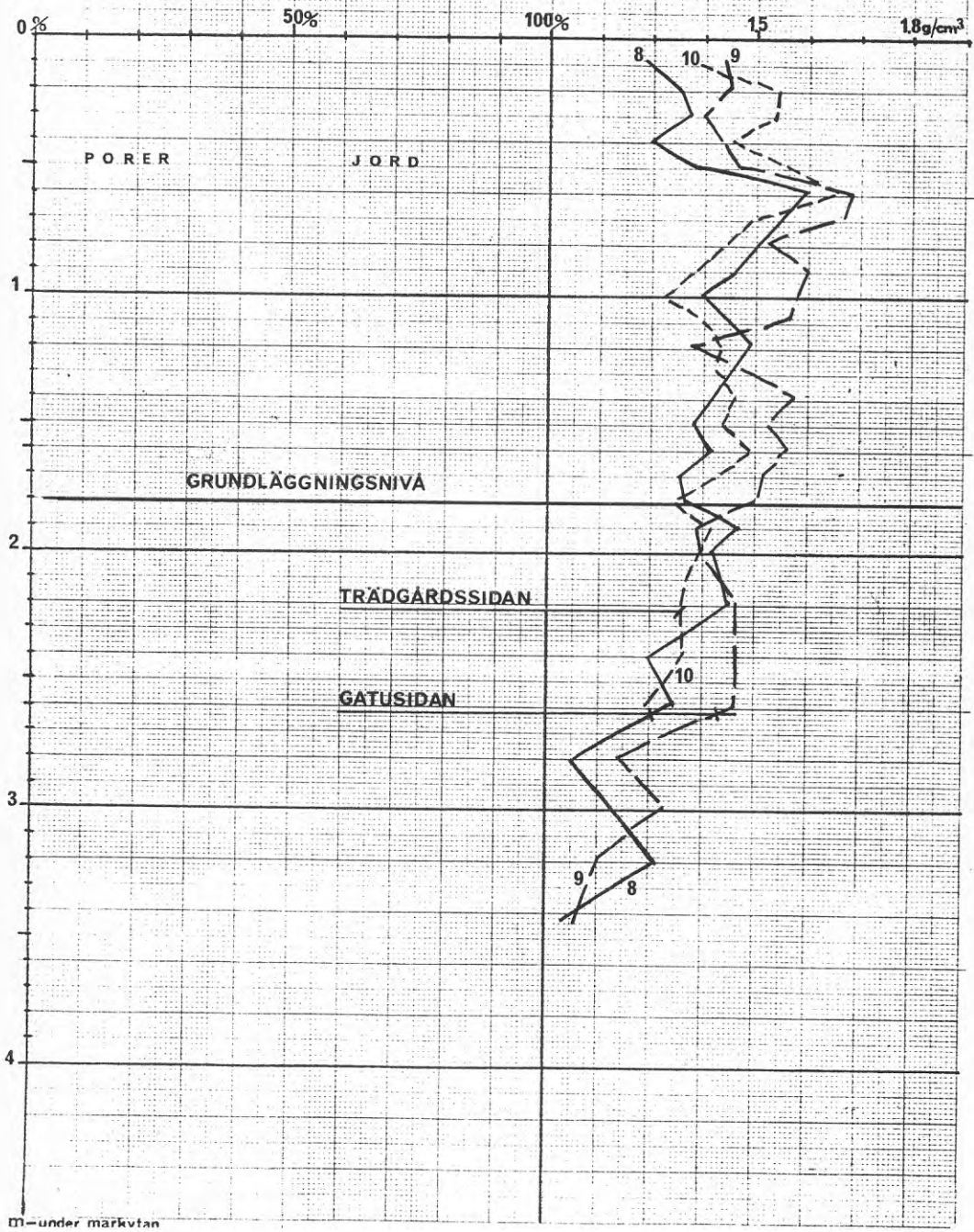


γ_t RÖR 8-10 1974
KRING HUSET

VEGETATION OCH
SÄTTNINGAR I LERA
BFR

n-diagram

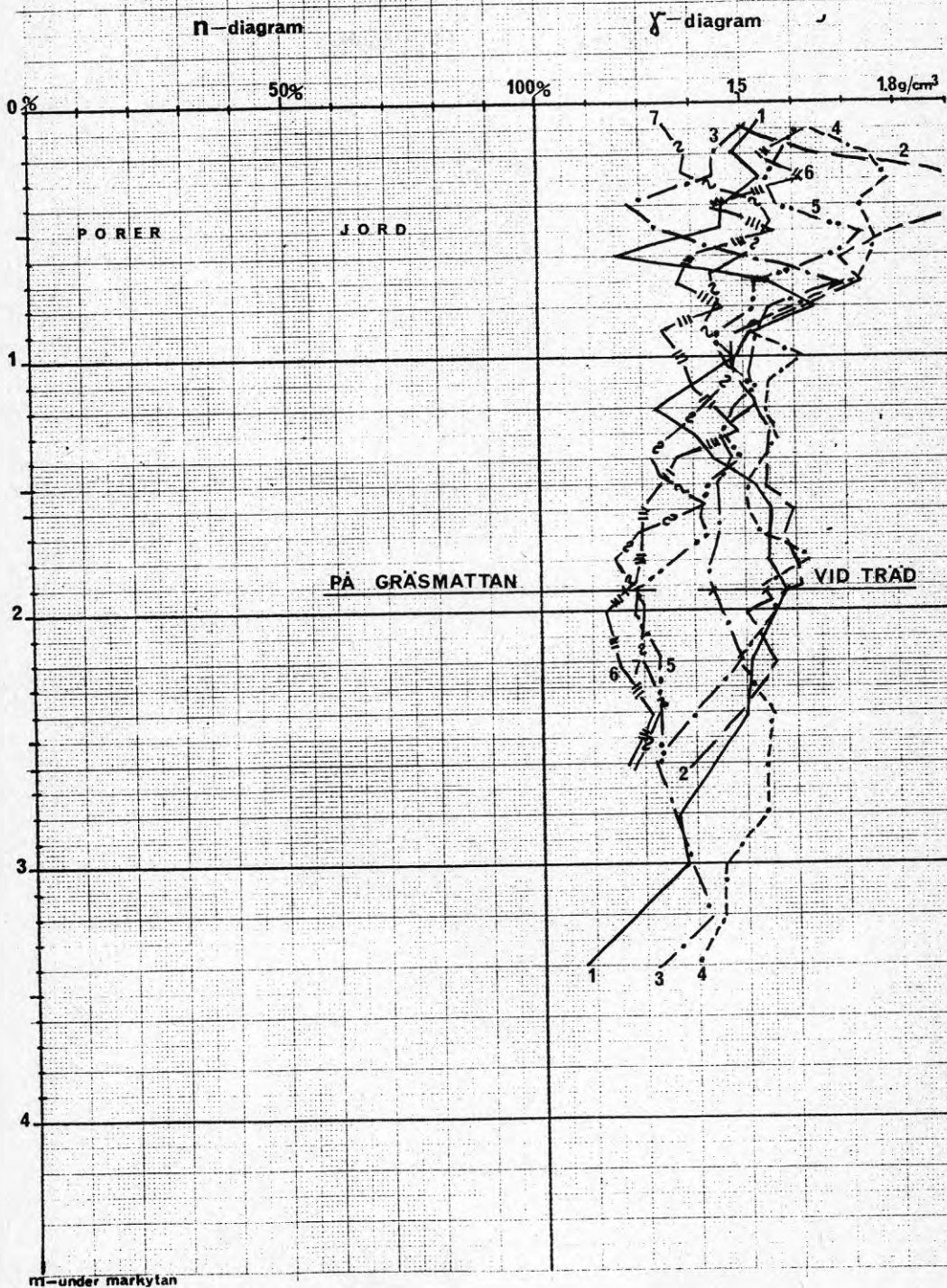
γ -diagram



m- under märkvatan

γ_i RÖR 1-7 1974
LINJEN TRÄD - GRÄSMATTA

VEGETATION OCH
SÄTTNINGAR I LERA
BFR



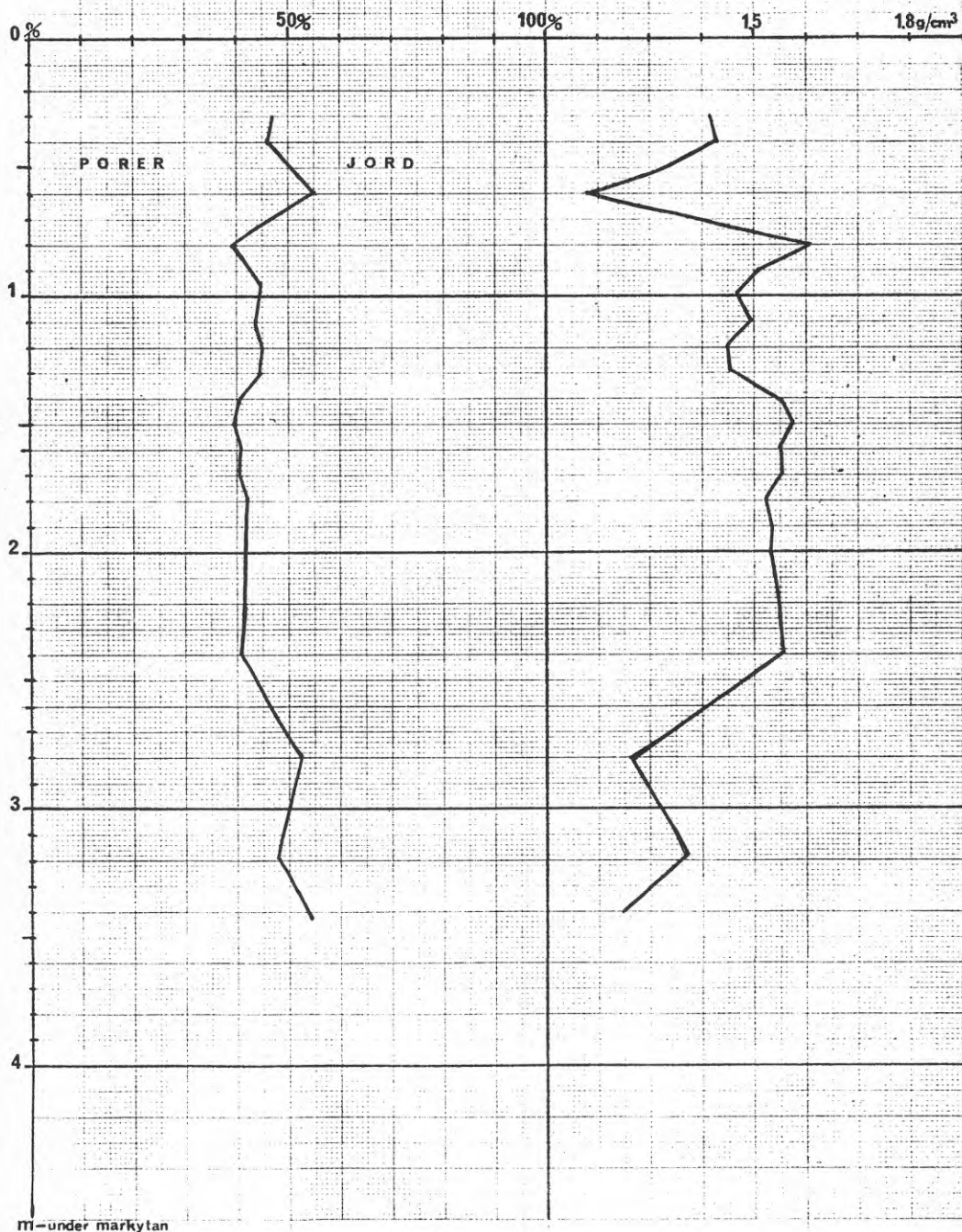
n- och γ_t - diagram 1975 och 1976 års mätningar

n och γ_t RÖR 1 1975

VEGETATION OCH
SÄTTNINGAR I LERA
BFR

n -diagram

γ -diagram

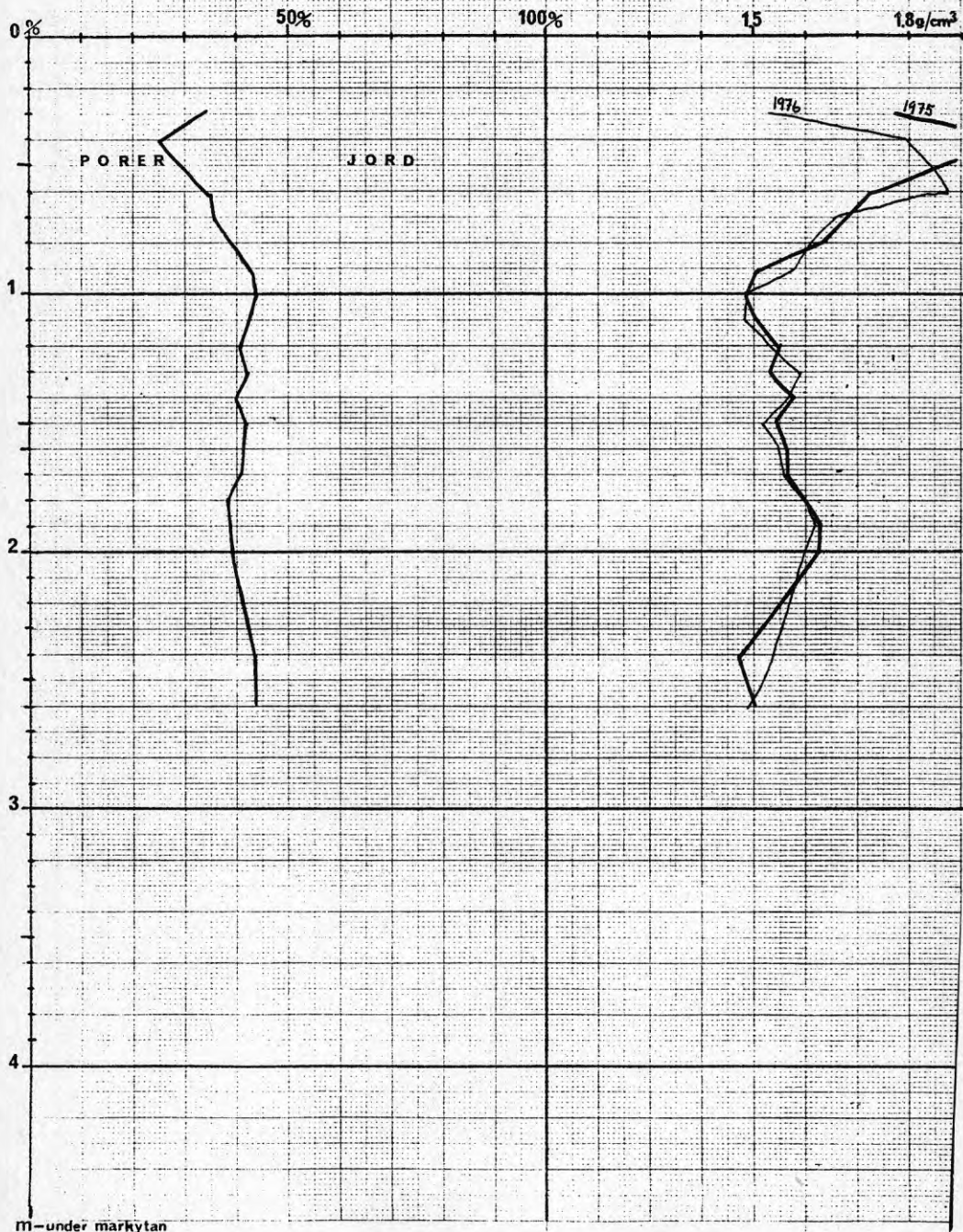


VEGETATION OCH
SÄTTNINGAR I LERA
BFR

n och γ_t RÖR 2 1975
1976

n -diagram

γ -diagram



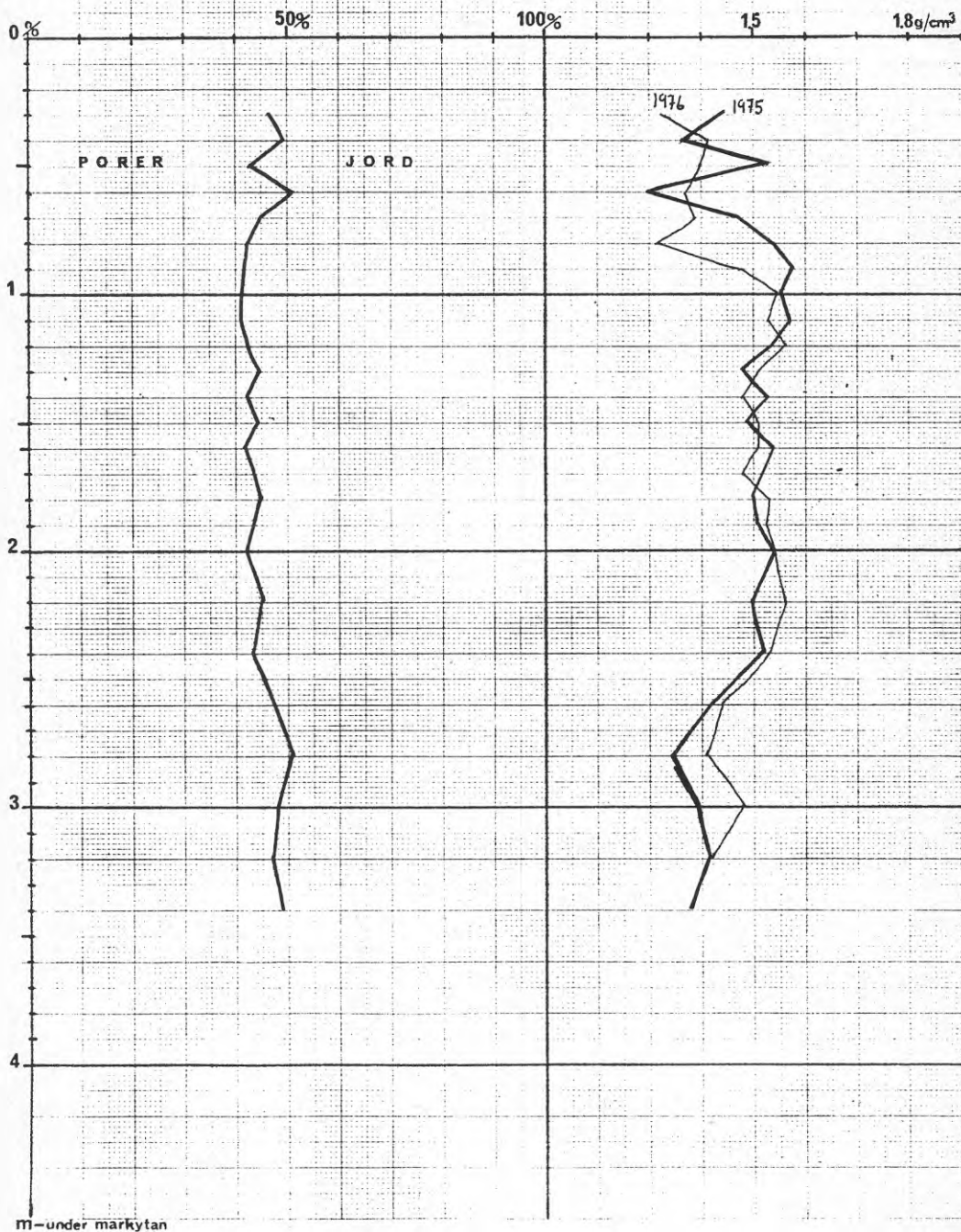
n och γ_t RÖR 3

1975
1976

VEGETATION OCH
SÄTTNINGAR I LERA
BFR

n-diagram

γ_t -diagram



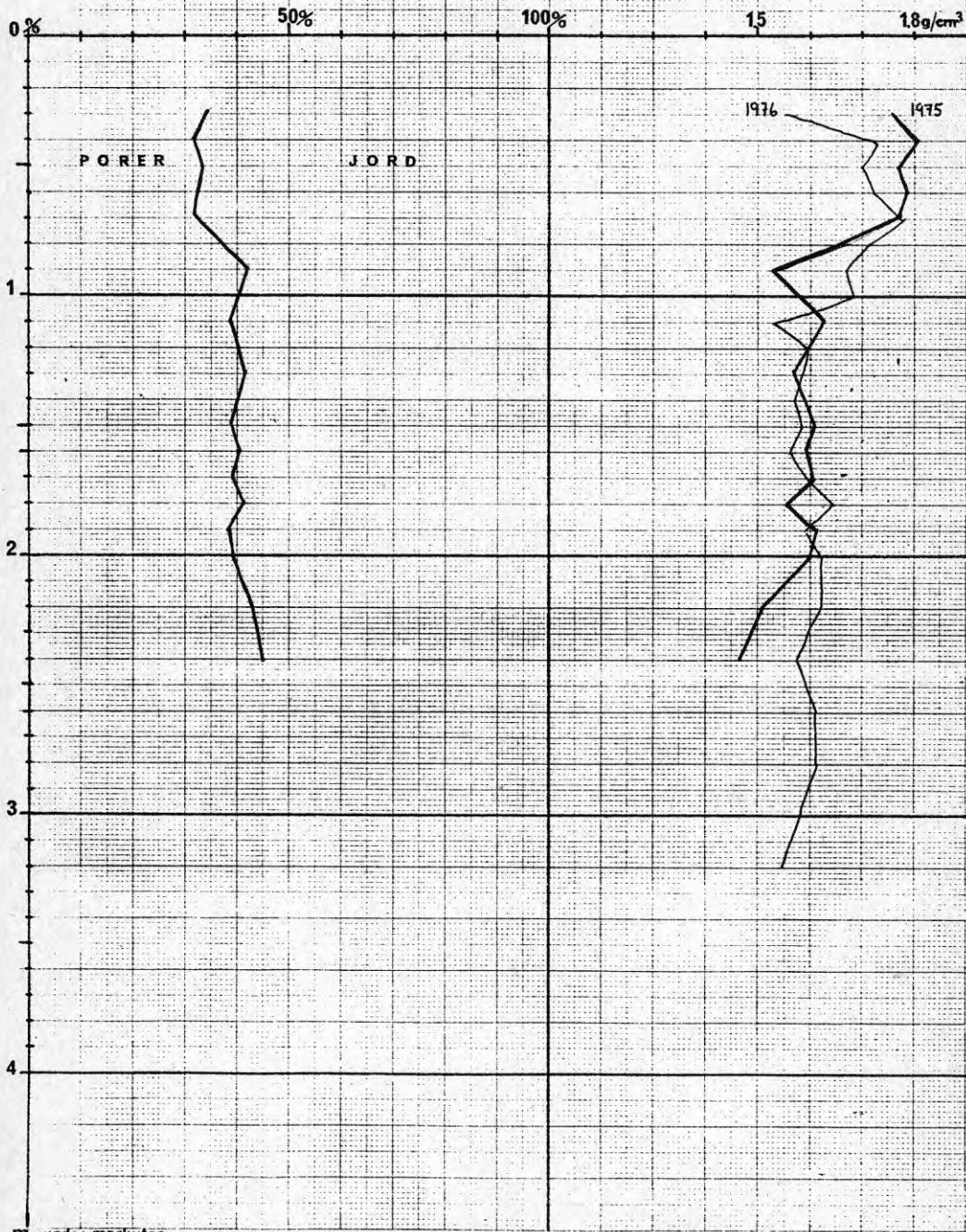
n och γ_t RÖR 4

1975
1976

VEGETATION OCH
SÄTTNINGAR I LERA
BFR

n-diagram

γ_t -diagram



m-under märkytan

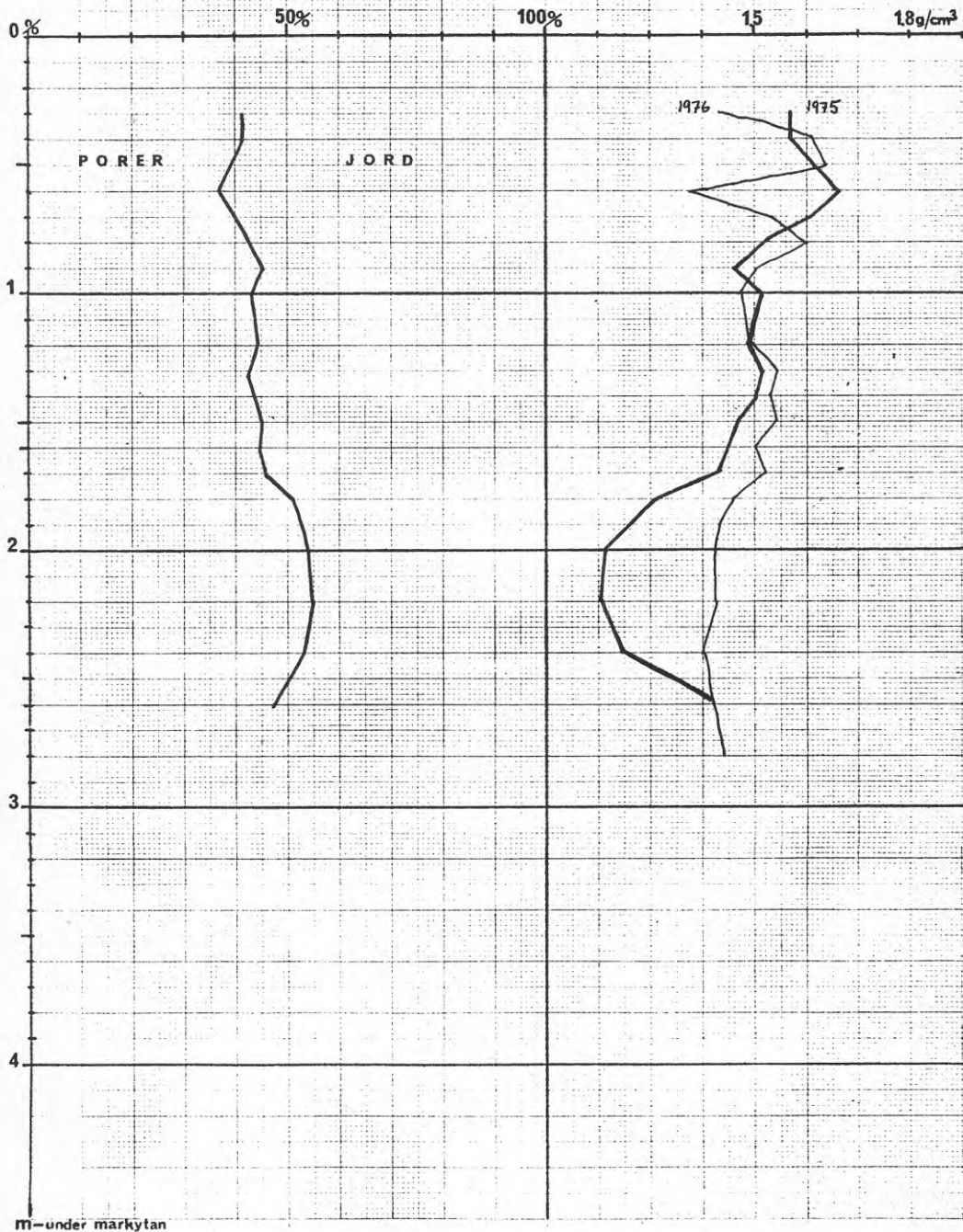
n och γ_t RÖR 5

1975
1976

VEGETATION OCH
SÄTTNINGAR I LERA
BFR

n-diagram

γ_t -diagram



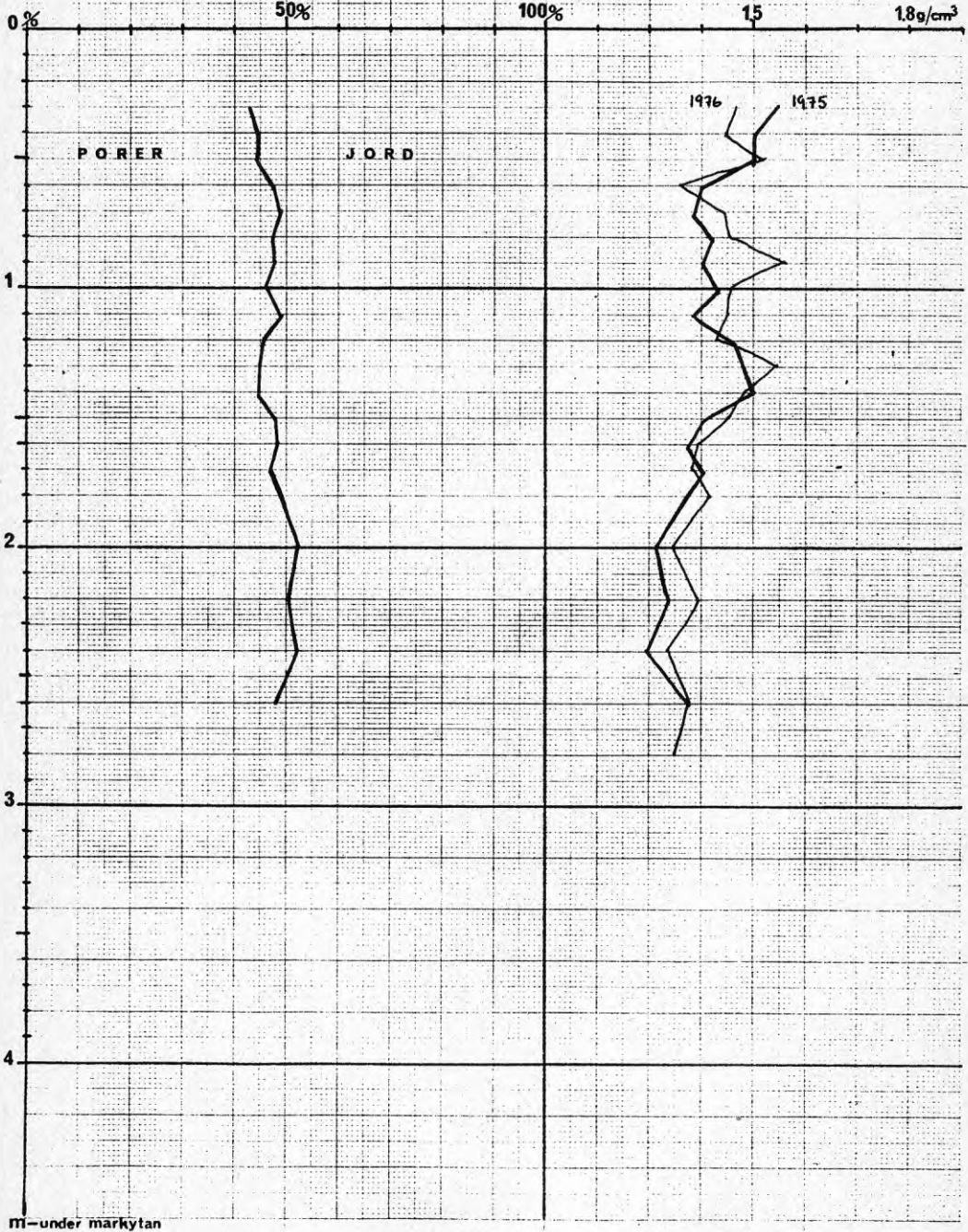
n och γ_t RÖR 6

1975
1976

VEGETATION OCH
SÄTTNINGAR I LERA
BFR

n-diagram

γ_t -diagram



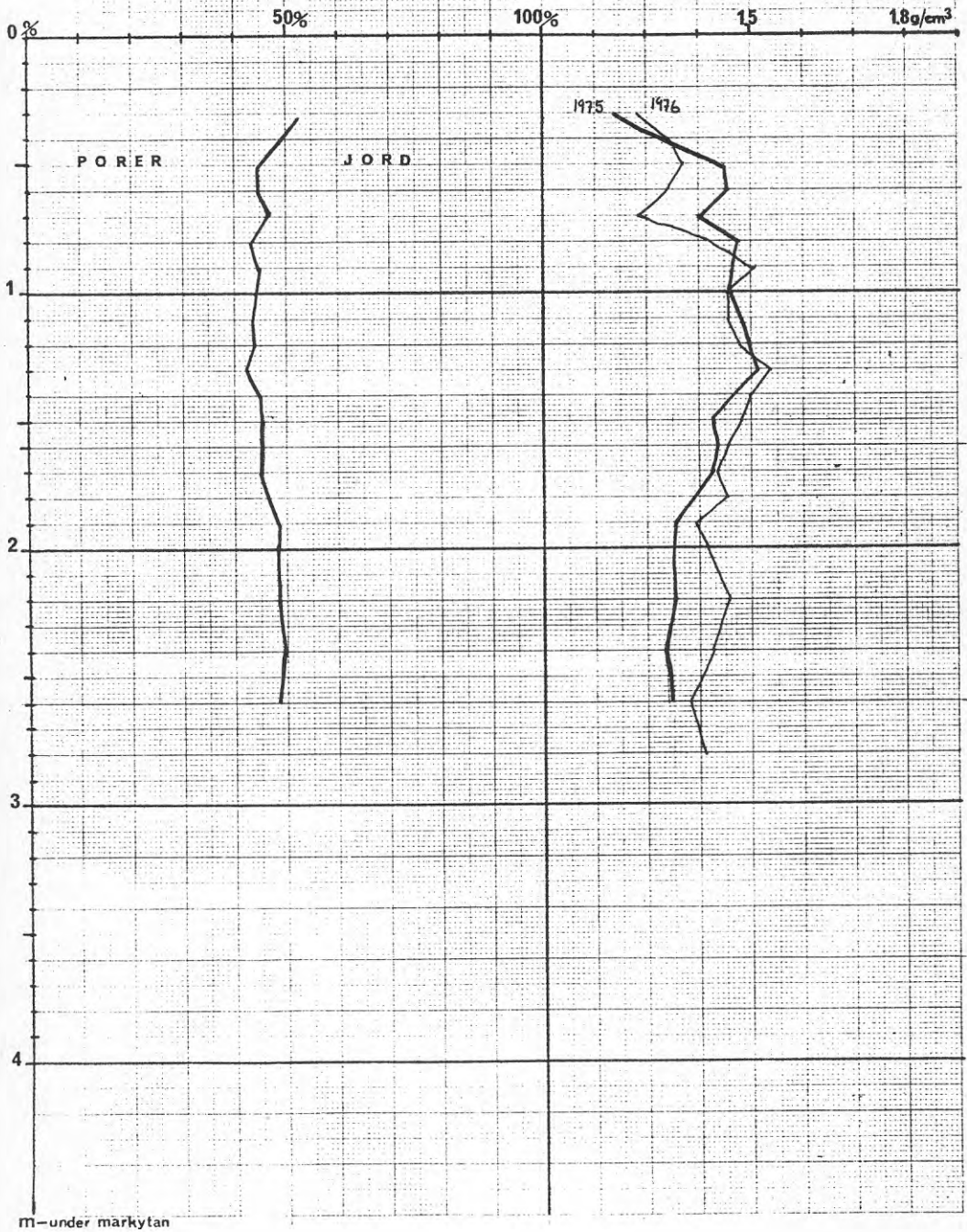
n och γ_t RÖR 7

1975
1976

VEGETATION OCH
SÄTTNINGAR I LERA
BFR

n -diagram

γ_t -diagram



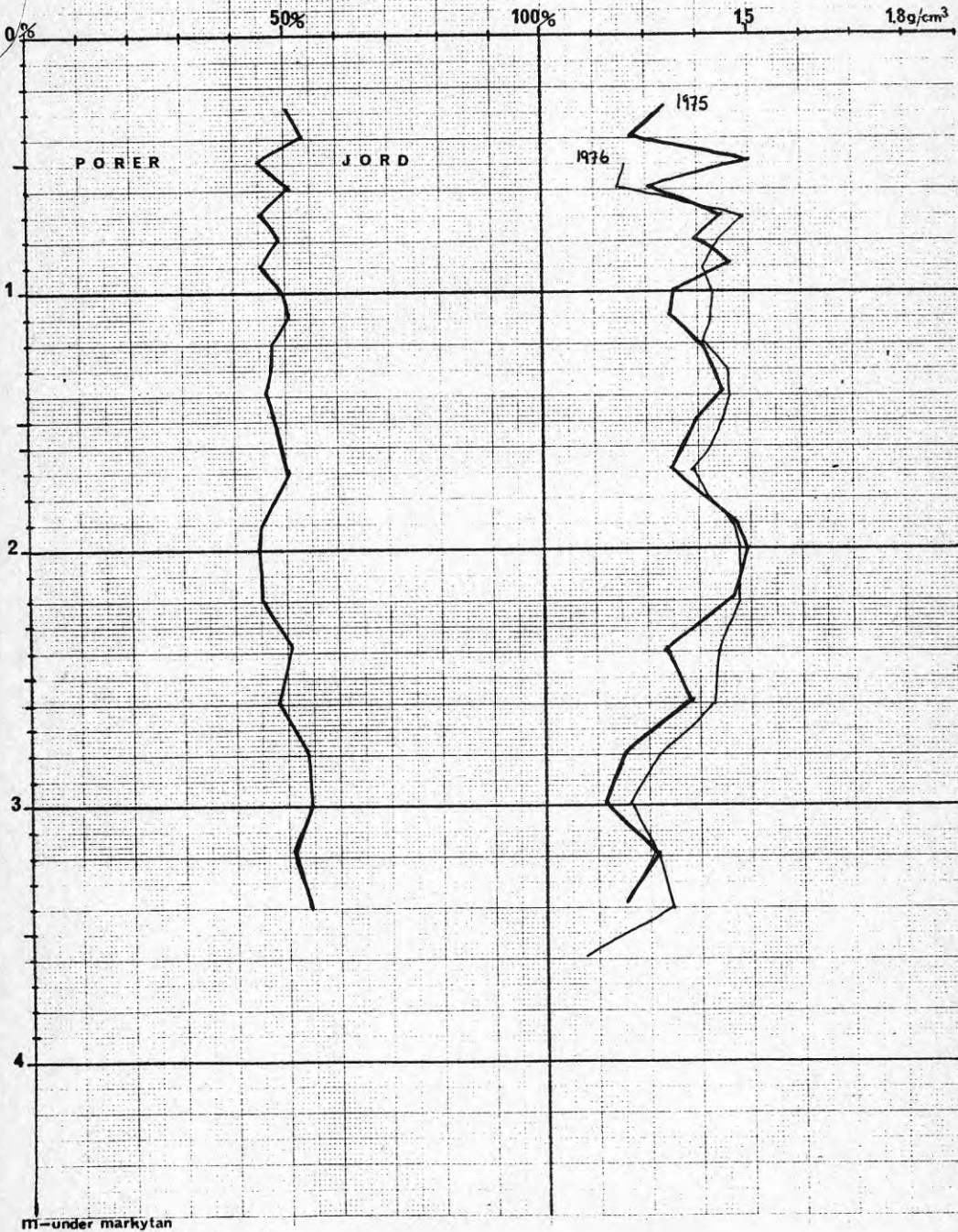
n och γ_t RÖR 8

1975
1976

VEGETATION OCH
SÄTTNINGAR I LERA
BFR

n-diagram

γ -diagram



n och γ_t

RÖR 9

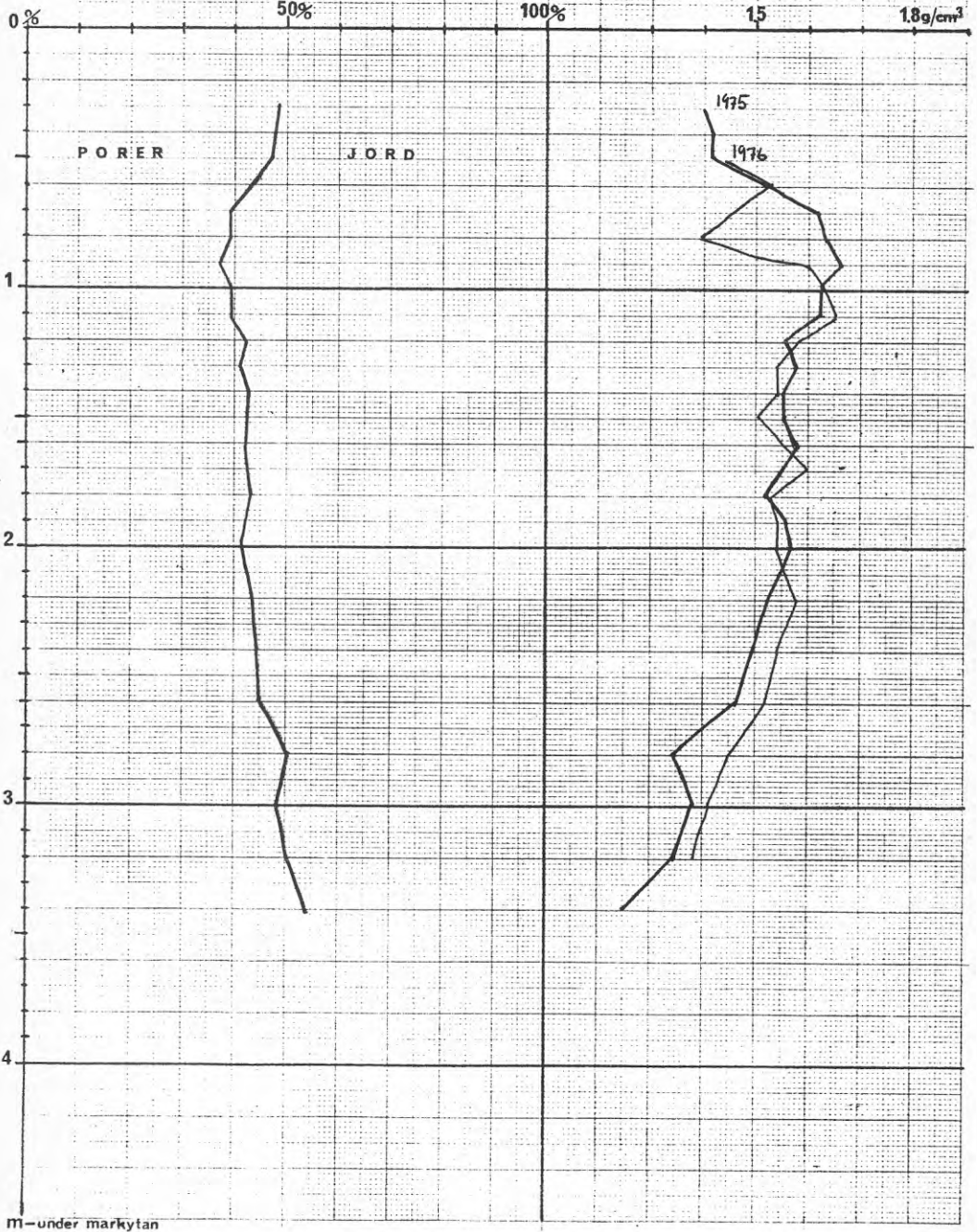
1975

1976

VEGETATION OCH
SÄTTNINGAR I LERA
BFR

n-diagram

γ_t -diagram



n och γ_t

RÖR 10

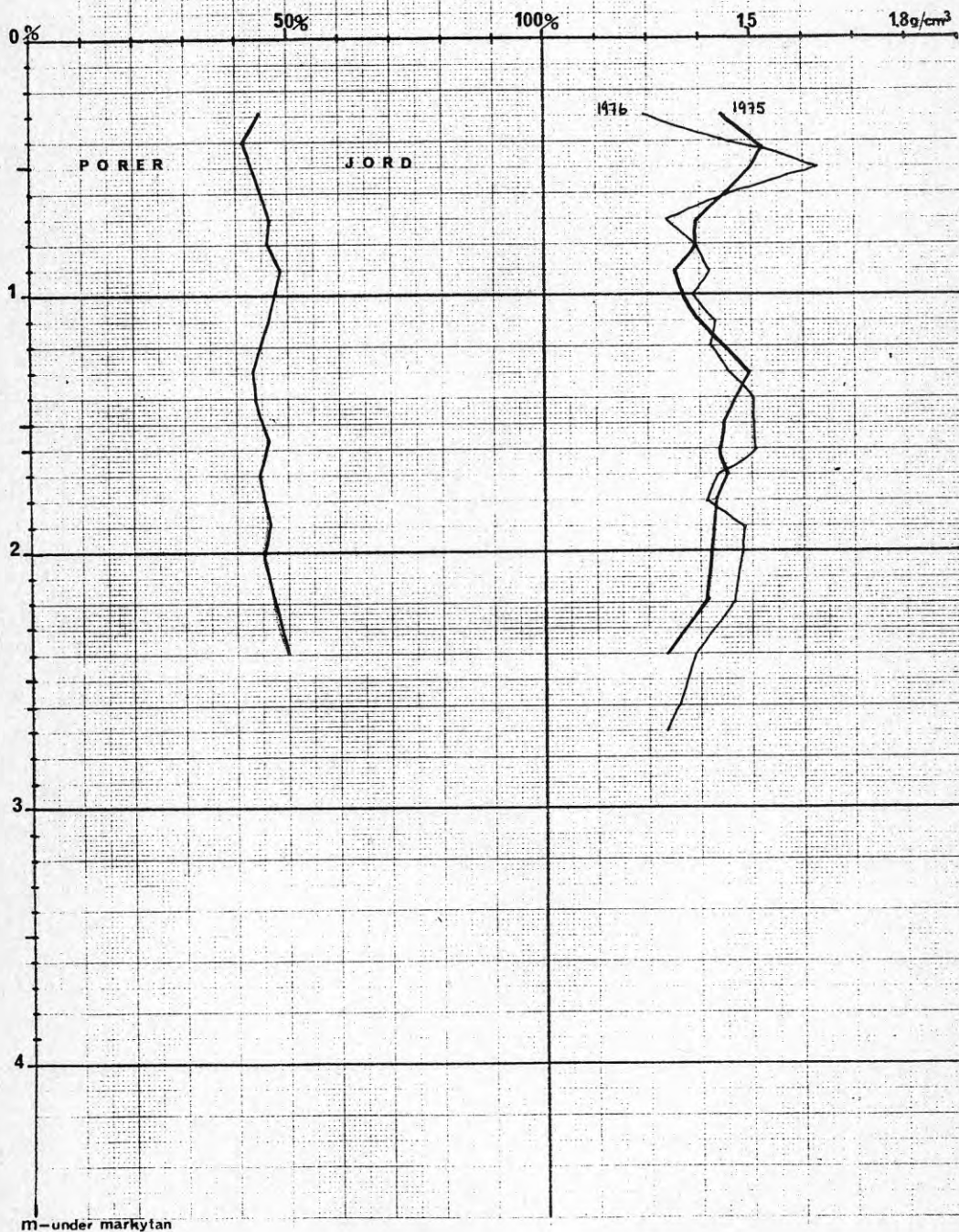
1975

1976

VEGETATION OCH
SÄTTNINGAR I LERA
BFR

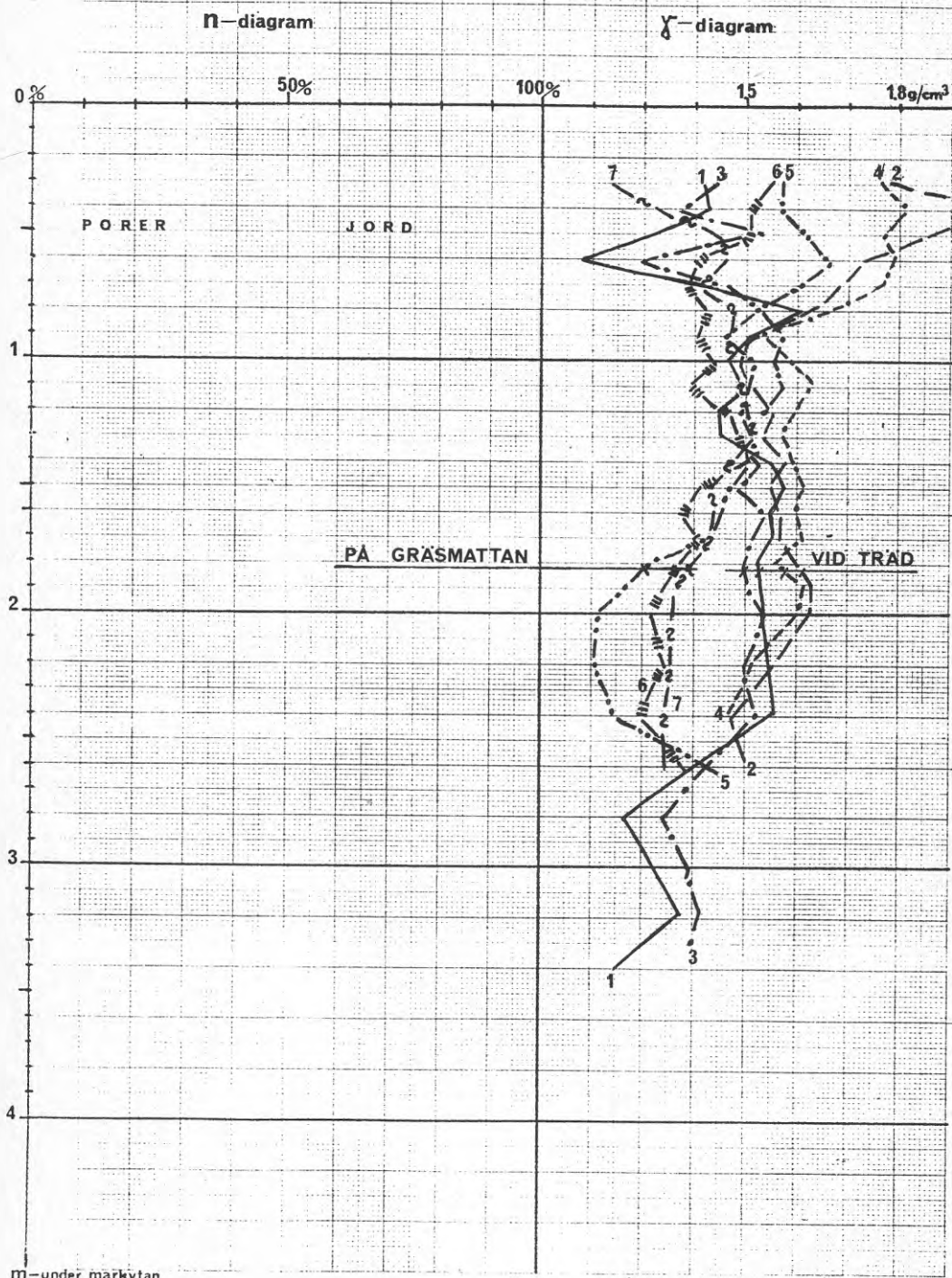
n-diagram

γ_t -diagram



γ_t RÖR 1-7 1975
LINJEN TRÄD - GRÄSMATTA

VEGETATION OCH
SÄTTNINGAR I LERA
BFR

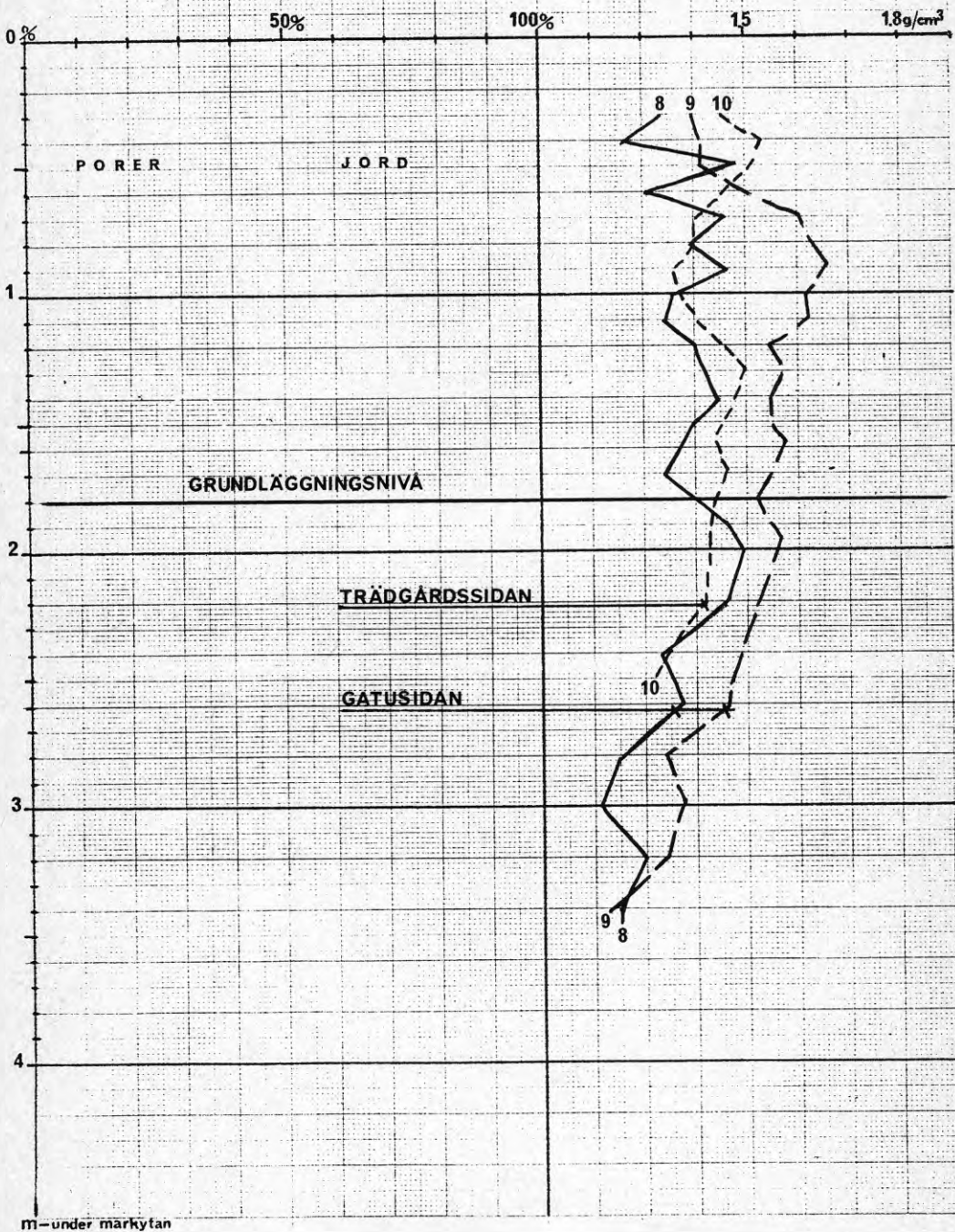


γ_t RÖR 8-10 1975
KRING HUSET

VEGETATION OCH
SÄTTNINGAR I LERA
B FR

n-diagram

γ -diagram

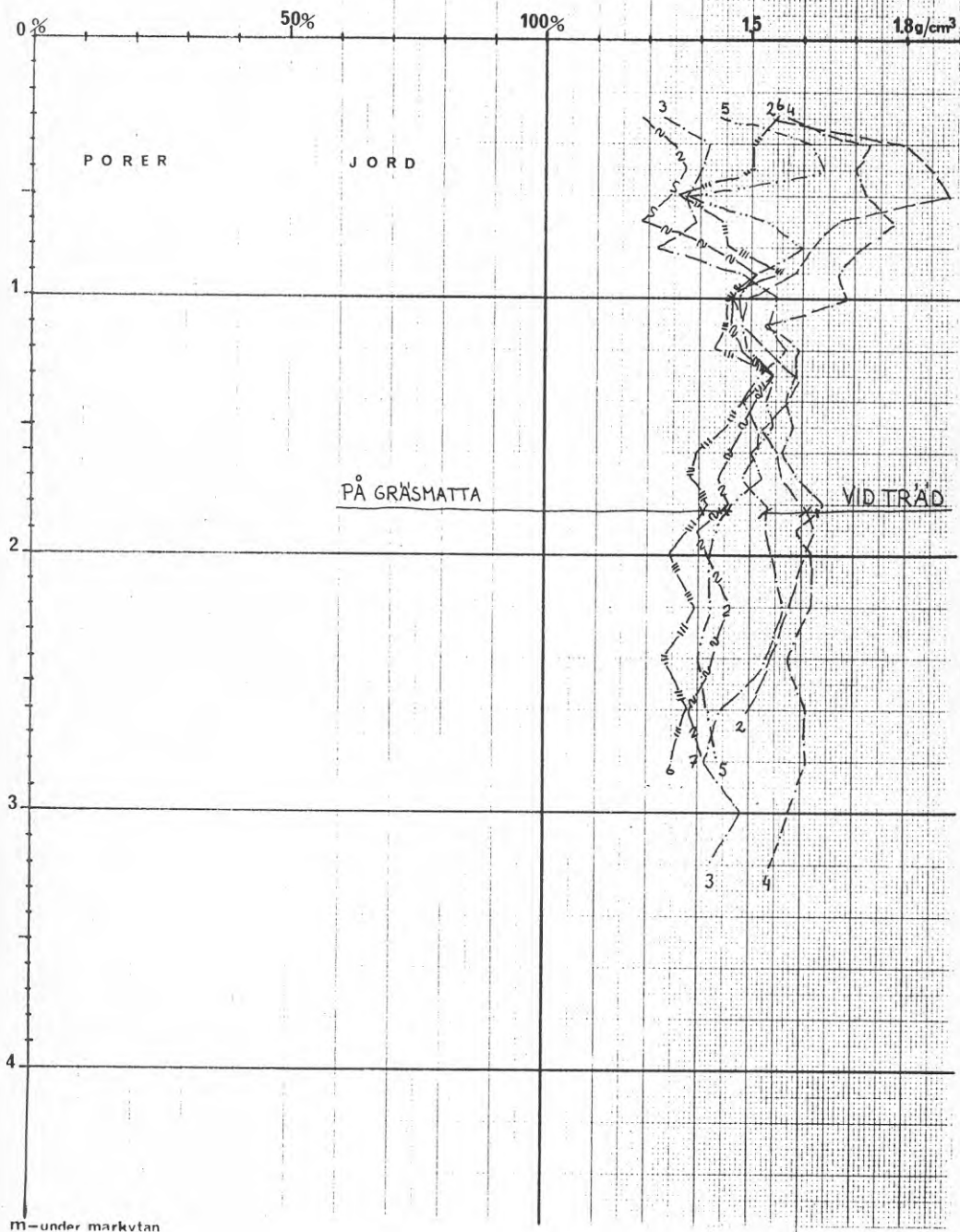


γ RÖR 2-7 1976
LINJEN TRÄD-GRÄSMATTA

VEGETATION OCH
SÄTTNINGAR I LERA
BFR

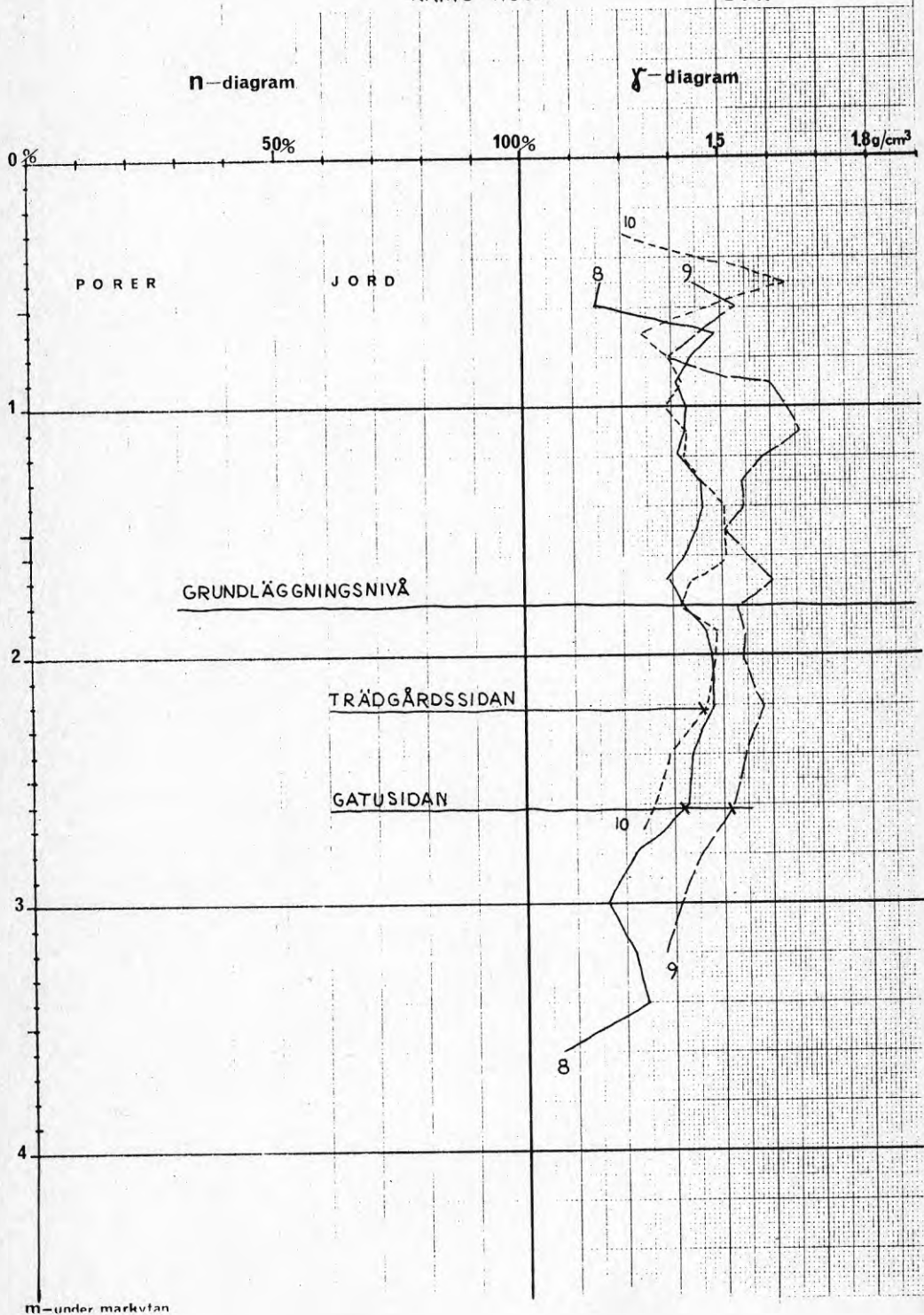
n-diagram

γ -diagram



γ_t RÖR 8-10 1976
KRING HUSET

VEGETATION OCH
SÄTTNINGAR I LERA
BFR



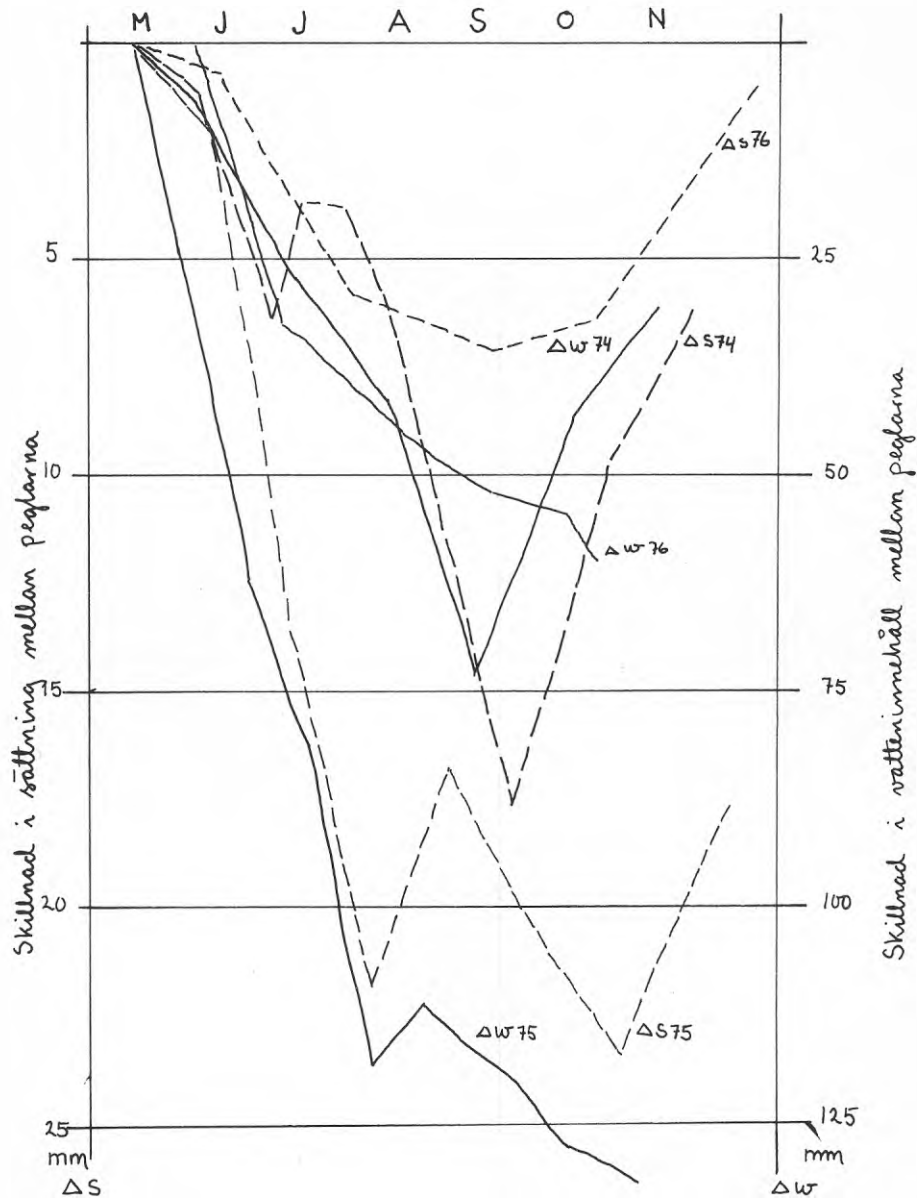
m - under markytan

Sättningskillnaden mellan peglarna i pegelparen (s) och förändringen av vatteninnehållet (w) i jorden mellan peglarna i näraliggande markvattenrör.

Pegelpar 183+184

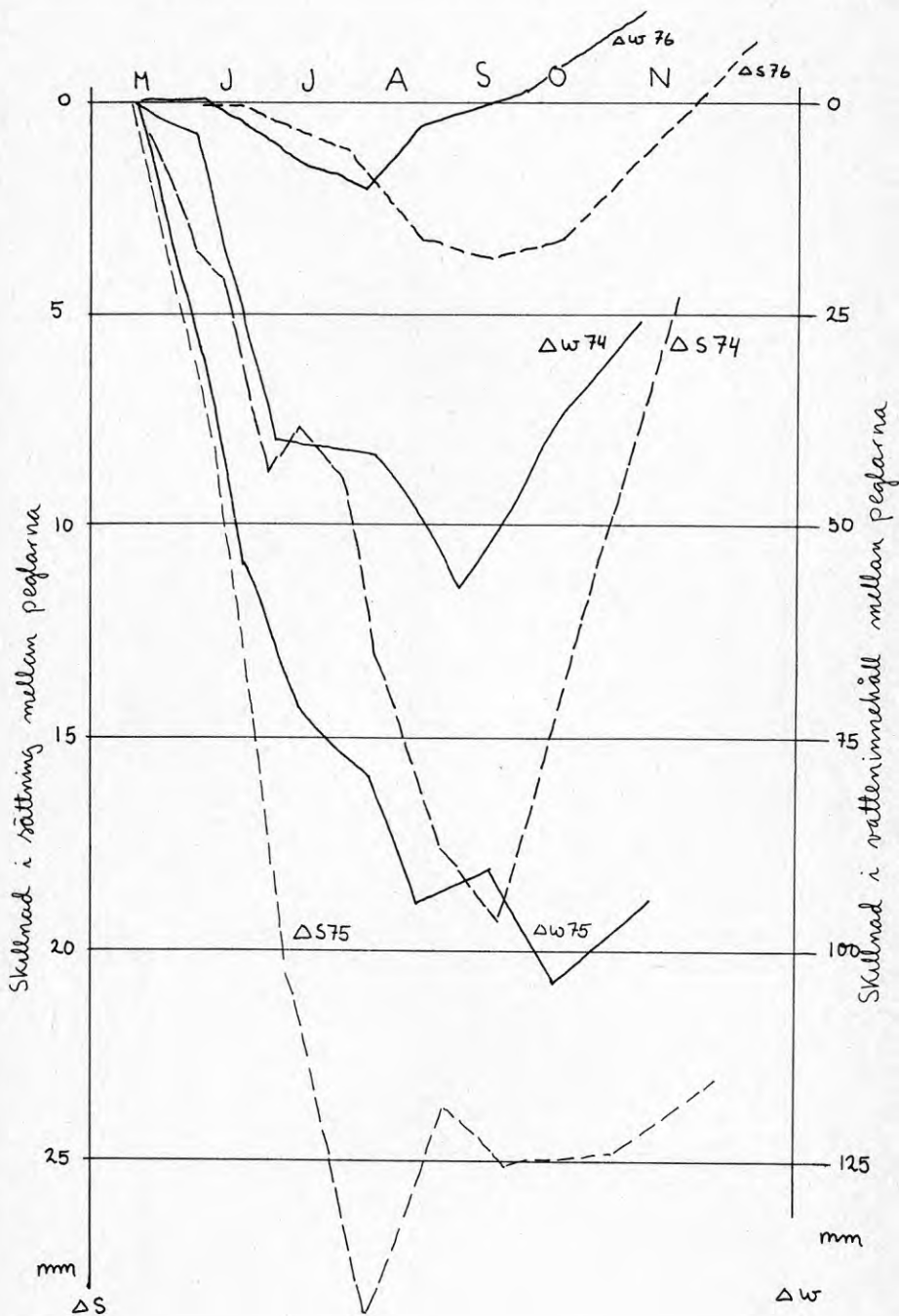
Rör 3

"Vid träd"



Pegelpar 185+186
Rör 9

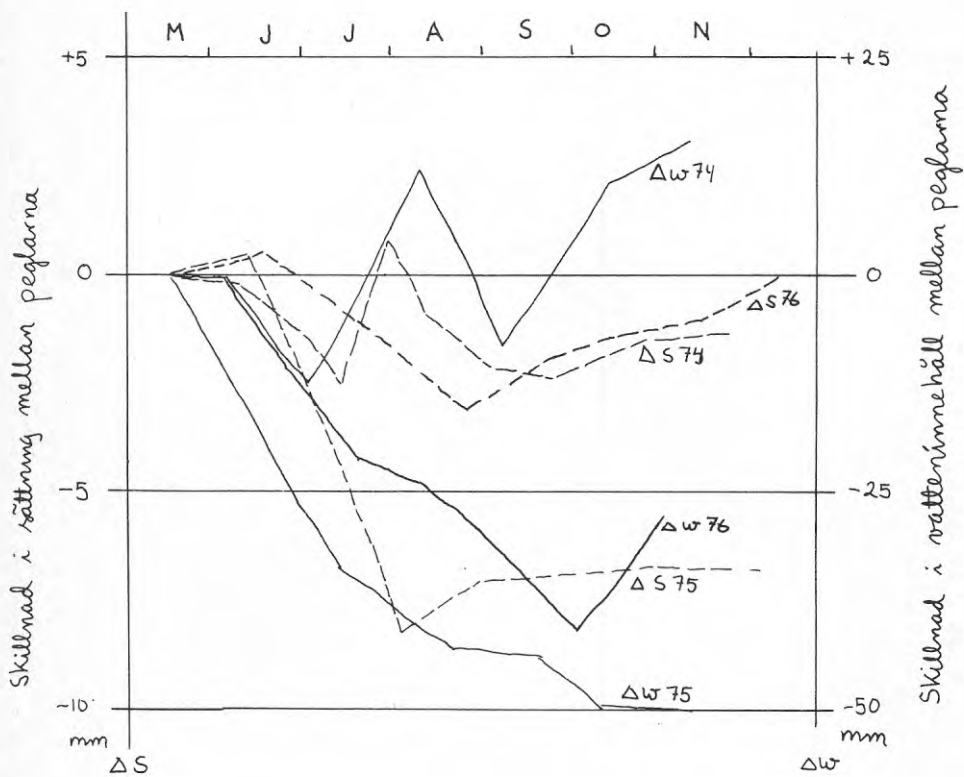
"Vid träd"



Pegelpar 187+188

Rör 7

"På gräsmatta"



**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 740222-6 från
Statens råd för byggnadsforskning till Tyréns företagsgrupp AB,
Stockholm.**

R80:1978

ISBN 91-540-2910-4

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Art.nr: 6600780

**Abonnemangsgrupp:
Ingår ej i abonnemang**

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

Cirka pris: 40 kr exkl moms