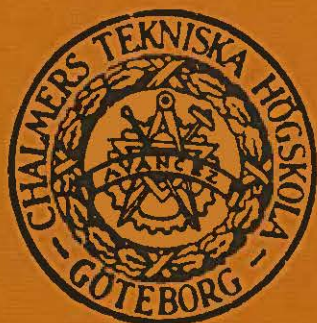


CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA



## GEOHYDROLOGISKA FORSKNINGSGRUPPEN

Institutionerna för:

Geologi

Geoteknik med grundläggning

Vattenbyggnad

Vattenförsörjnings- och avloppsteknik

GEOL. INST.  
PUBL. A 7

## MARKVATTENUNDERSÖKNINGAR I ETT URBANT OMRÅDE

OLOV HOLMSTRAND  
PER O WEDEL

K

Chalmers Tekniska Högskola

GEOHYDROLOGISKA FORSKNINGSGRUPPEN

Institutionerna för:

GEOLOGI

GEOTEKNIK MED GRUNDLÄGGNING

VATTENBYGGNAD

VATTENFÖRSÖRJNINGS- OCH AVLOPPSTEKNIK

Fack

402 20 GÖTEBORG

Olov Holmstrand

Per O Wedel

## MARKVATTENUNDERSÖKNINGAR I ETT URBANT OMRÅDE

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag P 75 från Statens råd för byggnadsforskning till Geologiska institutionen, CTH, Göteborg.

# INNEHÅLL

## FÖRORD

|     |                                                             |    |
|-----|-------------------------------------------------------------|----|
| 1   | ALLMÄN ORIENTERING                                          | 1  |
| 1.1 | Organisatorisk bakgrund                                     | 1  |
| 1.2 | Terminologi                                                 | 2  |
| 1.3 | Problemställning                                            | 3  |
| 1.4 | Målsättning                                                 | 4  |
| 2   | TEORETISK BAKGRUND                                          | 5  |
| 2.1 | Vattnets kretslopp                                          | 5  |
| 2.2 | Den omättade zonen                                          | 6  |
| 2.3 | Vattnets bindning i jorden                                  | 7  |
| 2.4 | Infiltration                                                | 10 |
| 3   | BESTÄMNING AV INFILTRATIONS-<br>KAPACITET                   | 12 |
| 3.1 | Inledning                                                   | 12 |
| 3.2 | Nederbördens förhållande till infiltra-<br>tionskapaciteten | 12 |
| 3.3 | Infiltrationens tidsförlopp                                 | 13 |
| 3.4 | Metoder för bestämning av infiltra-<br>tionskapacitet       | 17 |
| 3.5 | Infiltrationskapacitetens storlek i<br>olika jordarter      | 21 |
| 4   | UNDERSÖKNINGSOMRÅDET I BERG-<br>SJÖN                        | 23 |
| 4.1 | Områdets belägenhet                                         | 23 |
| 4.2 | Geologisk orientering                                       | 23 |
| 4.3 | Kartläggning av området                                     | 25 |
| 4.4 | Berggrund                                                   | 29 |
| 4.5 | Ursprungliga jordlager                                      | 30 |
| 4.6 | Nuvarande jordlagerförhållanden                             | 30 |

|     |                                    |    |
|-----|------------------------------------|----|
| 5   | GENOMFÖRDA UNDERSÖKNINGAR          | 32 |
| 5.1 | Infiltrometermätningar             | 32 |
| 5.2 | Provtagning med cylinderprovtagare | 33 |
| 5.3 | Mätning med radiometrisk ytsond    | 33 |
| 5.4 | Rördrivning                        | 34 |
| 5.5 | Mätning med radiometrisk djupsond  | 35 |
| 5.6 | Markvattenmagasinets variationer   | 35 |
| 5.7 | Grundvattenobservationer           | 36 |
| 5.8 | Infraröd fotografering             | 36 |
| 6   | SAMMANFATTNING                     | 38 |
| 7   | LITTERATUR                         | 39 |

## BILAGOR

|          |                                            |     |
|----------|--------------------------------------------|-----|
| Bilaga 1 | Infiltrometermätning                       | 44  |
| Bilaga 2 | Markvattenmätning med radiometrisk<br>sond | 62  |
| Bilaga 3 | Mätning med radiometrisk ytsond            | 69  |
| Bilaga 4 | Mätning med radiometrisk djupsond          | 79  |
| Bilaga 5 | Infraröd fotografering                     | 120 |



## FÖRORD

Detta projekt har genomförts inom ramen för geohydrologiska forskningsgruppens vid CTH verksamhet. Det påbörjades 1973 då frågan om markvattenmagasinets betydelse för avrinningen hade aktualiserats genom ett projekt benämnt "Dagvattenstudier i Göteborg". Markvattenundersökningarna kopplades därför till detta projekt med ett gemensamt undersökningsområde i stadsdelen Bergsjön. Även för projektet "Grundvattenbildning - Grundvattenbalans, speciellt samspelet berg - jord" har markvattenstudierna utgjort ett komplement.

Markvattenproblematiken har sedan länge varit föremål för forskning speciellt med anknytning till odling. Även IHD:s verksamhet har till en del omfattat detta forskningsområde. Den aktuella uppgiften inom geohydrologiska forskningsgruppens verksamhet tar däremot i första hand sikte på att lösa markvattenfrågor i samband med avrinning och infiltration i anslutning till bebyggelse. Den terminologi som använts i föreliggande rapport är lånad från jordarts- och jordmånsläran. I detta sammanhang är det geotekniska språkbruket ej ändamålsenligt.

Vid projektets genomförande har flera forskare och tekniker medverkat. Olov Holmstrand har drivit fältarbetet och gjort föreliggande sammanställning samt svarat för forskningsuppgiftens genomförande tillsammans med projektledaren. Rutinarbetet i fält har utförts av Leif Cliffordsson, Mats Engdal, Lars Ericsson och Åke Myrberg. Laboratoriearbetet har anförtratts Lena Carlsson och Johanni Reinikainen. Möjligheten att utnyttja fotografering har bearbetats av Stig Hård. Dessutom har samarbetet med Sven Lyngfelt och Viktor Arnell som initierat undersökningen varit mycket givande.

Utformningen av föreliggande rapport skall ses mot bakgrund av att det befunnits angeläget att dokumentera erfarenheterna av projektets genomförande. Avsikten med detta är i hög grad att vid personalförändringar snabbt kunna sätta in nya forskare och tekniker på projektet. Det fortsatta arbetet på detta problem-

område har nu också till stor del tagits över av nya medarbetare.

Statens råd för byggnadsforskning (BFR) har genom anslag finansierat projektet.

Göteborg i april 1976

Per O Wedel

Olov Holmstrand

## 1 ALLMÄN ORIENTERING

### 1.1 Organisatorisk bakgrund

Markexploatering i samband med byggande har kommit att medföra alltmer omfattande ingrepp i den naturliga miljön. Speciellt i större tätorter med begränsad tillgång till markarealer med goda grundförhållanden har utbyggnaden gradvis kommit att förläggas till från bebyggelsesynpunkt känsliga och svårbemästrade områden. Som följd härav har på många håll uppstått problem förorsakade av att de hydrologiska förhållandena förändrats. En vanlig orsak till skador på byggnader och anläggningar är sänkning av grundvattenytan. Den fortgående urbaniseringsprocessen med markutnyttjande i både yt- och djupled har medfört behov av säkrare information om såväl ytvattnets som grundvattnets funktion och betydelse i urbana områden.

I avsikt att bedriva forskning kring urbaniseringsprocessens inverkan på ytvattenavrinning och grundvattenbildning bildades vid Chalmers tekniska högskola 1972 en geohydrologisk forskningsgrupp av institutionerna geologi, geoteknik, vattenbyggnad och VA-teknik. Forskningsarbetet bedrevs som en integrerad undersökning inom ramen för de fyra institutionernas normala forskningsverksamhet. Organisatoriskt var arbetet uppdelat på ett antal delprojekt samt en central projektsamordning. Verksamheten bekostades till största delen med anslag från Statens råd för byggnadsforskning (BFR).

Bland geohydrologiska forskningsgruppens delprojekt ingick bland annat "Dagvattenstudier i Göteborg" och "Grundvattenbildning - grundvattenbalans". Det förra behandlade dagvattenavrinningen och det senare grundvattenförhållandena i urbana områden. Av stor betydelse för såväl dagvattenavrinning som grundvattenbildning är förhållandena i den vattenomättade zonen i marken mellan markytan och grundvattenytan. Det ansågs därför angeläget att inom geohydrologiska forskningsgruppens vid CTH verksamhet även inordna markvattenstudier. Som försöksområde valdes en del av stadsdelen Bergsjön i Göteborg. Orsaken härtill var att arbetet skulle syfta till att tillhandahålla delinformation

för projektet "Dagvattenstudier i Göteborg", vilket liksom projektet "Dagvattnets sammansättning" bedrivits inom samma område i Bergsjön.

Till skillnad från övriga delprojekt inom geohydrologiska forskningsgruppen har markvattenstudierna endast bedrivits i två år. Projektets resurser har varit jämförelsevis små. Undersökningarna i Bergsjön har därför närmast fått karaktären av en pilotstudie. Resultaten utgörs främst av värdefulla erfarenheter vad beträffar utveckling och val av undersökningsmetoder. Erhållna mätserier måste i allmänhet anses vara alltför begränsade när det gäller att draga mera generella slutsatser.

## 1.2 Terminologi

Den terminologi som tillämpas i föreliggande redogörelse, överensstämmer i allmänhet med gängse geologiska, geotekniska och hydrogeologiska beteckningar. Vissa av de centrala begrepp som används här torde dock fordra förklaringar och kommentarer.

Med markvattenmagasin avses här hela vattenmängden i markens vattenomättade zon mellan markytan och grundvattenytan. Markvatten är sålunda vatten i markens vattenomättade zon. Denna definition överensstämmer med den terminologi som tillämpats inom Internationella Hydrologiska Dekadens (IHD) verksamhet i Sverige.

Med vattenhalt avses här en jordvolyms vatteninnehåll uttryckt i volymprocent. Detta uttryckssätt är det vanliga i litteratur som behandlar markfysik. IHD och Landbrukshögskolan (prof. Sigvard Andersson) kan nämnas som exempel.

Jordartsbenämningarna följer konsekvent den geologiska terminologi, som tillämpas av exempelvis Sveriges Geologiska Undersökning (SGU). Detta innebär att begreppen mjäla och finmo används istället för den geotekniska benämningen silt.

### 1.3 Problemställning

Det nederbördsvatten som faller inom ett område, fördelas i stort på ytavrinning, grundvattenbildning och avdunstning (evapotranspiration). Förhållandena i markens vattenomättade zon över grundvattenytan har avgörande betydelse för tidsförlopp och fördelning av vattenmängder. Markvattenmagasinet utgör sålunda en viktig buffert mellan de tre ovan angivna möjligheterna för fördelning av nederbördsvattnet.

Förhållandena i den omättade zonen och därmed markvattenförhållandena förändras när ett område urbaniseras. De påtagligaste effekterna får man härvid inom sådana delar som mest kommer att avvika från den ursprungliga geologiska miljön.

Urbana områden karakteriseras bl a av att betydande arealer mer eller mindre effektivt hårdgjorts, varvid nederbörden förhindras att infiltrera i marken. Den del av nederbörden, som avrinner från ett urbant område brukar benämnas dagvatten. Dagvattnet består dels av ytvatten, som kommer via rännstensbrunnar och dylikt, dels av markvatten och grundvatten, som kommer via dräneringsledningar inom området. Ytvattenavrinningens storlek beror av den utjämning av nederbördsintensiteten som sker genom tillfällig magasinering i markytans ojämnheter och i de översta jordlagren. Beroende på markytans struktur samt markvattenzonens genomtränglighet (hydrauliska konduktivitet) och tidigare vattenhalt, stannar större eller mindre vattenmängder kvar i markvattenzonen medan en del sjunker ned (perkolerar) och avrinner antingen som grundvatten eller via dräneringsledningar ut i dagvattensystemet.

Vid nederbördstillfällen kommer dagvattnets flödestoppar att utjämnas i jämförelse med maximala nederbördsintensiteter. Hur stor del av vattenmängden som rinner av på ytan respektive stannar kvar temporärt i markytans håligheter eller infiltrerar beror på nederbördsintensitet, markytans ojämnheter, infiltrationskapacitet och rådande markvattenhalt. För hårdgjorda ytor spelar infiltrationen mindre roll medan magasinering i

ythåligheter har större betydelse. Samverkan mellan delytor med olika egenskaper ifråga om ytvattenavrinning och markvattenförhållanden inom ett område är ett problem med stor betydelse såväl vid behandlingen av dagvattenfrågor som grundvattenfrågor.

Förhållandena i markvattenzonen har sålunda betydelse för såväl dagvattenavrinning som grundvattenbildning vad gäller de tids- och kvantitetsmässiga förloppen vid nederbördens fördelning på kategorierna dagvatten, markvatten och grundvatten inom ett område.

#### 1.4 Målsättning

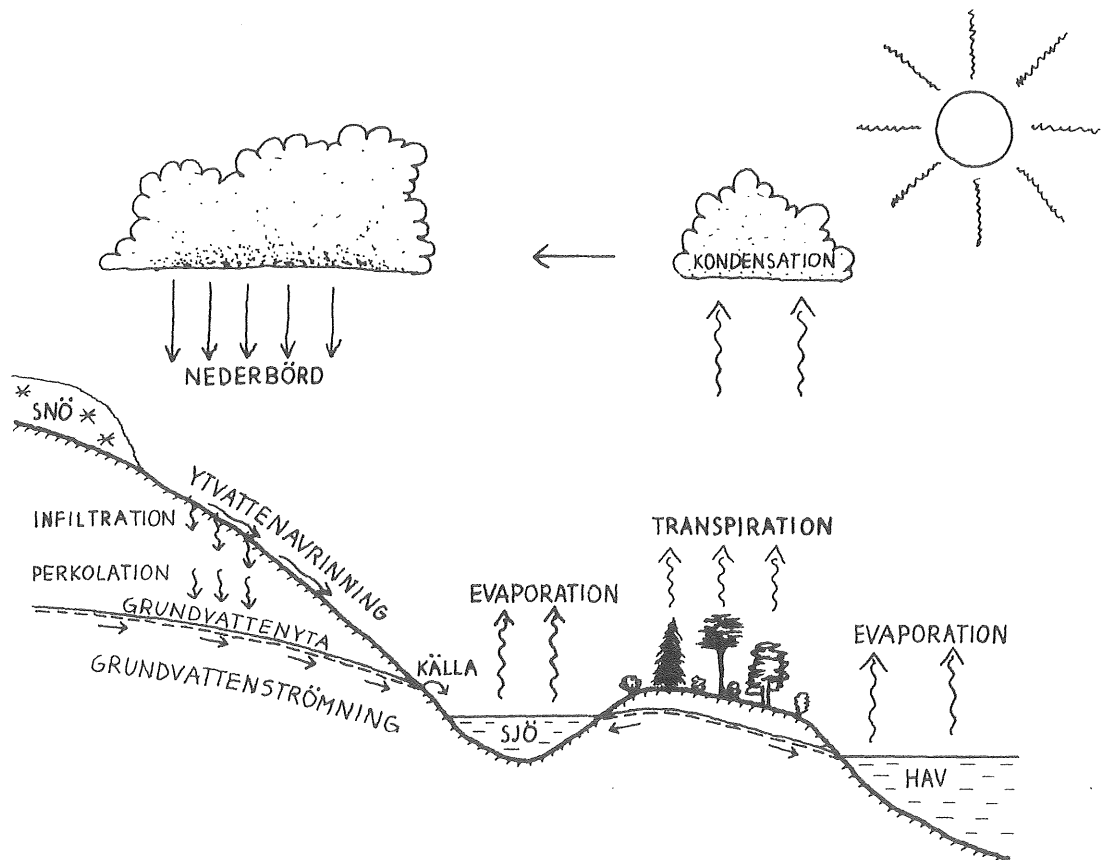
Projektets målsättning kan kortfattat uttryckas vara att studera markvattenförhållandena i ett urbant område. Resultaten skall tjäna som underlag för beräkning av ytvattenavrinning. Ett viktigt delmoment i målsättningen är att studera och prova olika typer av utrustning för de praktiska mätningarna. Det gäller därefter att insamla data i en sådan mängd att framför allt markvattenmagasinets och infiltrationskapacitetens storlek och variationer kan bedömas. Med hjälp av sådana data kan de tids- och kvantitetsmässiga förloppen vid nederbördstillfällen studeras. Av stor betydelse är även att bedöma hur och i vilken utsträckning markvattenförhållandena förändras vid ett områdes urbanisering.

Som ovan nämnts har projektets resurser varit små, varför det närmast fått karaktären av en pilotstudie. Undersökningen har därför fått inskränkas till att i huvudsak omfatta studier av och prov med olika typer av utrustning. Insamlade data kan emellertid redan nu i viss mån användas för att göra en del inledande bedömningar av markvattenförhållandena i ett utpräglat urbant område som det studerade i stadsdelen Bergsjön, Göteborg.

## 2 TEORETISK BAKGRUND

### 2.1 Vattnets kretslopp

Vattnet i naturen genomgår ett ständigt kretslopp. I vårt humida klimat kan detta kretslopp förenklat redovisas som i Figur 1. Den pådrivande kraften i systemet utgörs av instrålad värme från solen. Instrålningen förorsakar avdunstning från vattenytor, markyta och växtlighet; evaporation och transpiration eller med gemensam beteckning evapotranspiration. Vattenångan stiger upp i atmosfären och kondenserar så småningom, varvid moln bildas. Från molnen faller nederbörd till jordytan. En mindre del av nederbörden avrinner direkt som ytvatten till sjöar och vattendrag medan den största delen infiltreras i marken. Det infiltrerade vattnet kan antingen direkt upptagas av växtligheten eller perkolera vidare genom den omättade zonen till grundvattnet. I den omättade zonen sker sålunda en fördelning av det infiltrerade vattnet varför förhållandena i denna zon är av stort intresse när det gäller att bedöma vattenbalansen inom ett visst område.

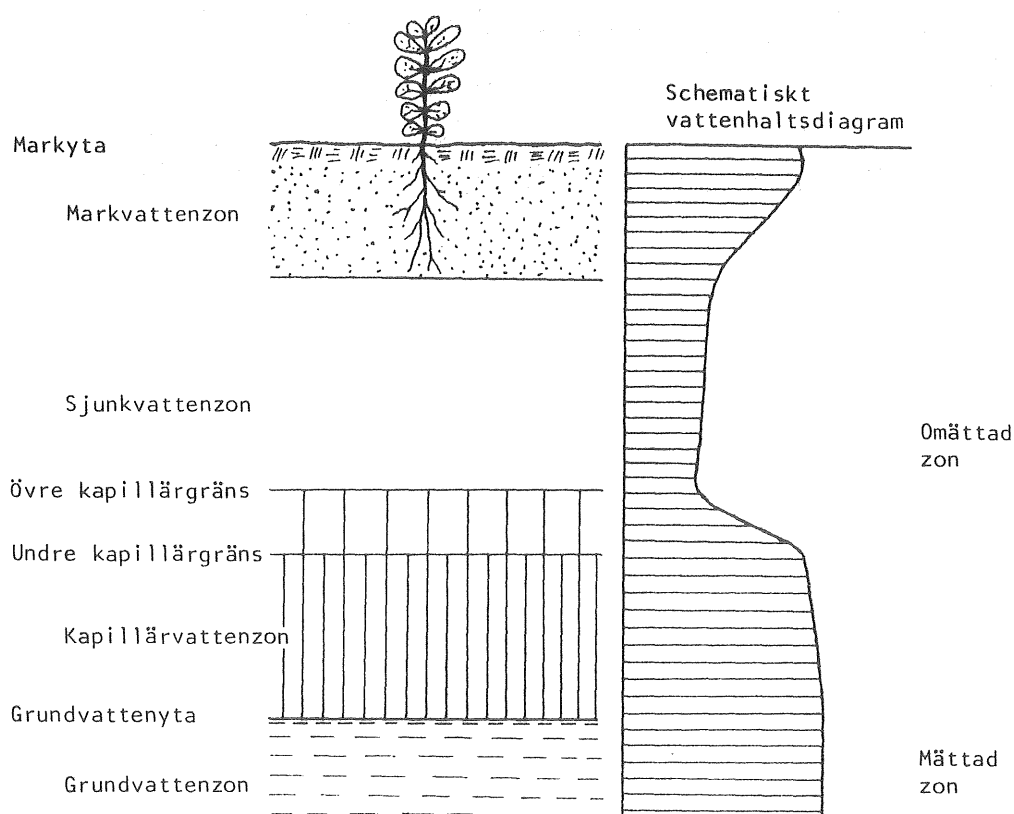


Figur 1. Vattnets kretslopp. Efter Todd (1959).



## 2.2 Den omättade zonen

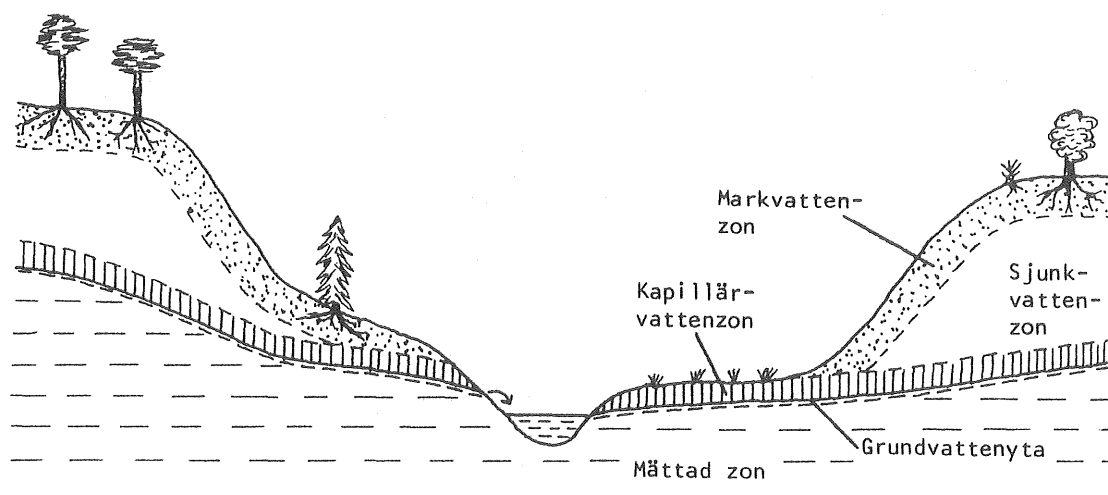
Den omättade zonen i marken kan uppdelas på ett antal delzoner. Den vanliga indelningen av dessa framgår av Figur 2. Markvattenzonen begränsas uppåt av markytan och nedåt av växternas undre rotzon. Vattenmängden i markvattenzonen varierar kraftigt under året och kan uppgå till halva årsnederbörden eller mera. Sjunkvattenzonen eller den s k intermediära zonen omfattar delen mellan markvattenzonen och kapillärvattenzonen. Det s k sjunkvattenet rör sig nedåt främst i form av sjunkande kapillärvatten samt som sjunkande fritt vatten. Kapillärvattenzonen sträcker sig från nivån för vattnets största kapillära stigning i materialet ifråga till grundvattenytan. Upp till den undre kapillära gränsen är vattenhalten nästan densamma som i grundvattenzonen. Däröver avtar vattenhalten successivt uppåt, tills den övre kapillära gränsen nås. Vattenhalten är däröver i sjunkvattenzonen åter tämligen konstant (Ward, 1967) som framgår av det schematiska diagrammet i Figur 2.



Figur 2. Zonindelning av vattnets förekomst under markytan samt schematiskt vattenhaltsdiagram. Vattenhalten i markvattenzonen varierar kraftigt. Den redovisade bilden tänkes motsvara förhållandet strax efter ett nederbördstillfälle.

I denna utredning har allt vatten i den omättade zonen från markytan till grundvattenytan betecknats som markvatten, ett begrepp som inte får förväxlas med den ovan nämnda markvattenzonen.

Beroende på lokala förutsättningar utbildas ovan nämnda delzoner av den omättade zonen mer eller mindre fullständigt. Som framgår av Figur 3 kan en eller flera delzoner saknas när grundvattenytan ligger nära markytan. Alla delzoner blir fullständigt utbildade först när grundvattenytan ligger tillräckligt djupt.

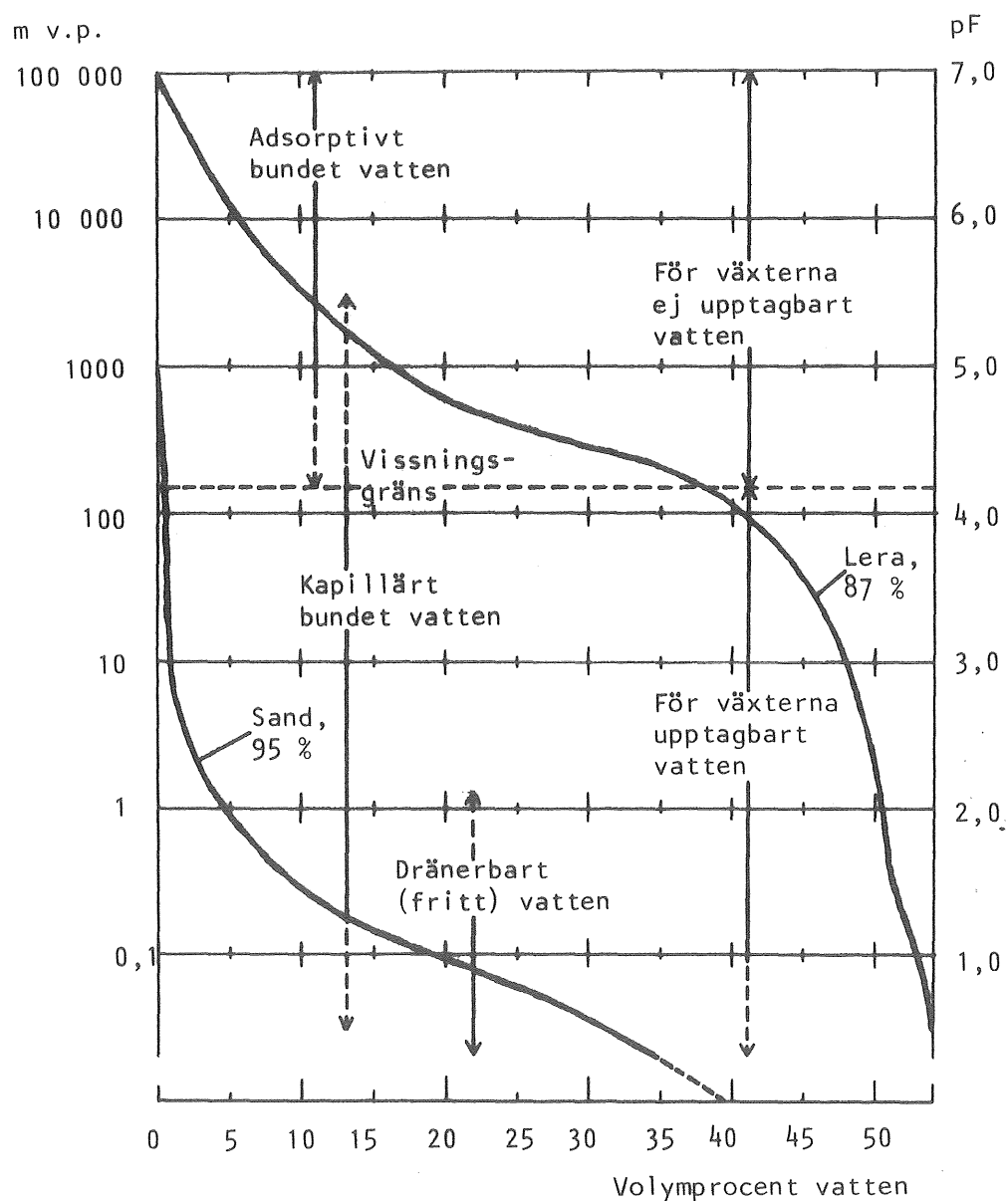


Figur 3. Den omättade zonens uppdelning samt lokala variationer. Efter Ward (1967).

### 2.3 Vattnets bindning i jorden

Vattnet i ett poröst material som jord är olika hårt bundet. Man uttrycker vattnets bindning genom ett potentialbegrepp. Vanligen uttrycks denna potential (bindningstrycket) som 10-logaritmen ( $pF$ ) för undertrycket uttryckt i cm vattenpelare. Sambandet mellan vattenhalt och undertryck kan åskådliggöras i ett diagram i form av en bindningskaraktäristika. Kurvan, vilken brukar kallas  $pF$ -kurva visar hur bindningstrycket beror av vattenhalten i materialet. I Figur 4 redovisas ett bindningsdiagram med  $pF$ -kurvor inlagda för två extrema material. Bindningstrycket redovisas uttryckt i både  $pF$  och meter vattenpelare.

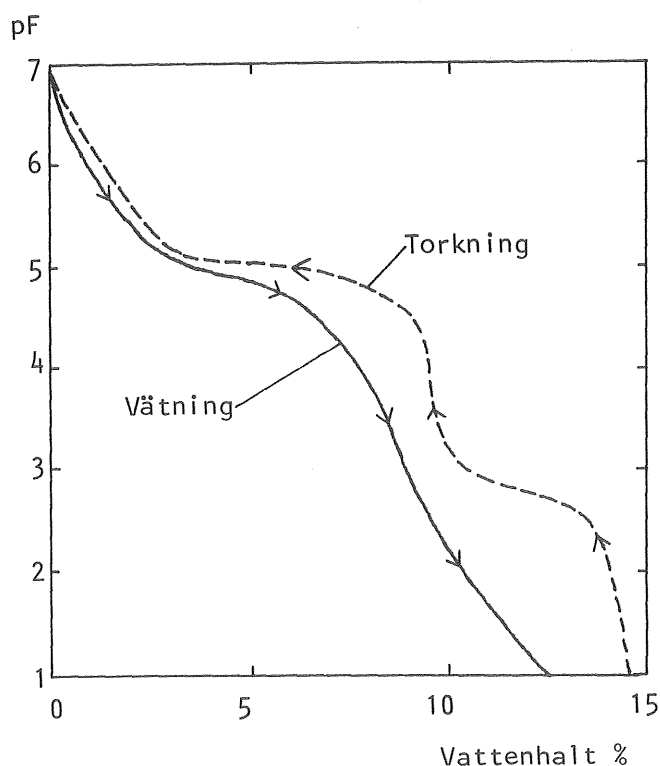
Vatten i jord kan indelas med hänsyn till bindningsform. I Figur 4 har de olika bindningsformerna markerats. Hårdast bundet är det adsorberade vattnet. Detta vatten, vilket även benämns hygroskopiskt, kvarhålls som en tunn film på jordpartiklarnas yta. Osmotiska krafter bidrar även i viss mån till att binda vatten i jord, speciellt gäller detta saltrika jordar. Större delen av vattnet i jorden binds vanligen som kapillärt vatten, vilket kvarhålls i jordens porer genom ytspänning. Övrigt vatten i jorden är så löst bundet att det kan dränera genom gravitationen. Sådant vatten benämns dränerbart eller fritt vatten.



Figur 4. Vattnets bindningsformer och pF-kurva för två extrema material. Växterna kan tillgodogöra sig vatten upp till den s k vissningsgränsen vid pF ca 4,2. Efter Andersson & Wiklert (1972).

Man brukar urskilja vissa specifika gränsvärden för jords vattenhalt. Några av dessa är :

1. Maximal vattenkapacitet. Materialet är då helt vattenmättat.
2. Fältkapacitet. Den vattenmängd som binds i ett material efter fri dränering.
3. Vissningsgräns. Vattenhalt vid det tryck som utgör nedre gränsen vid vilken det är möjligt för växterna att taga upp vatten. Denna gräns ligger ungefär vid pF 4,2 (150 meter vattenpelare).
4. Hygroskopicitet. Den vattenmängd som jord adsorberar vid kontakt med atmosfären. Hygroskopiciteten bestäms på laboratorium under standardiserade förhållanden, i vårt land vanligen 96% rel. luftfuktighet vid + 20°C under 1 vecka.



Figur 5. pF-diagram för en mjällig lera med effekten av hysteres. Efter Ward (1967).

Vatteninnehållet i jord vid ett och samma undertryck varierar något beroende av om jorden är under uttorkning eller vätning. Detta effekt benämns hysteres och exemplifieras i Figur 5. Under uttorkning innehåller jorden mer vatten än under vätning för samma undertryck. Skillnaden i vatteninnehåll varierar emellertid beroende på hur långt mot vissningsgränsen jorden varit uttorkad respektive hur långt mot fältkapaciteten den varit fuktad.

## 2.4 Infiltration

Med infiltration i inskränkt bemärkelse menas vattnets genomträngande av markytan. Den vidare transporten nedåt genom omätade zonen brukar benämnas perkolation. Infiltration används särskilt i tekniska sammanhang även för att beteckna andra förlopp men i denna redogörelse menas med infiltration bara genomträngandet av markytan.

Den infiltrerade vattenmängdens storlek och tidsförloppet beror på ett flertal faktorer, vilka kortfattat beskrivs nedan huvudsakligen med utgångspunkt från motsvarande redovisning i Ward (1967). Det är svårt att ange storleksordningen av de olika faktorernas inverkan. Sannolikt varierar också graden av inverkan av en viss faktor beroende på samspelet mellan geologisk uppbyggnad, platsens läge etc. Allmänt kan dock sägas att jordens sammanställning och strukturen i de översta jordlagren har stor betydelse för infiltrationen.

1. Regnkaraktistik. Av väsentlig betydelse är självfallet om regnintensiteten understiger eller överstiger infiltrationskapaciteten, d v s den vattenmängd jorden kan taga upp per tidsenhet. Beroende av hur häftigt regnet är kan det också bidra till packning av markens ytskikt och igensättning av porerna genom nedsköljning av finmaterial. I båda fallen minskas infiltrationskapaciteten.

2. Det ytliga jordlagrets tillstånd. Förhållandena i själva markytan varierar kraftigt beroende på en rad faktorer. Som ovan nämnts har packningen och eventuell nedsköljning av finpartiklar i porerna betydelse. Andra faktorer som har stor betydelse är eventuella

torksprickor och olika former av markbearbetning vid odling. När markytan är frusen sjunker infiltrationskapaciteten till så gott som noll. Viss effekt har även markytans lutning och vattendjupet i tillfälliga vattensamlingar på markytan.

3. Markytans tillstånd. Markytan kan täckas på olika sätt av material, som inte direkt kan räknas till själva marken. En viktig faktor här är givetvis vegetationen, vare sig den är naturlig eller består av olika typer av odlade grödor. Speciellt i skogsmark har nedfallna, döda växtrester betydelse. Dessa multnar så småningom och kommer genom humusbildningen att ingå i markprofilen, som närmare redovisas i följande punkt. En speciell typ av marktäckning är snö. Marken under ett snötäcke är ofta ej frusen och kan därför fortfarande infiltrera vatten. I urbana områden slutligen förekommer en rad olika typer av artificiella marktäckningar, som ofta medför en kraftig nedsättning av den naturliga infiltrationskapaciteten.

4. Jordmaterialets vattengenomtränglighet. Vatten kan inte genomtränga markytan i större mängd än som kan transporteras nedåt genom de underliggande jordlagren. Vattengenomträngligheten, speciellt i de översta jordlagren, har därför stor betydelse för infiltrationskapaciteten. Vattengenomträngligheten beror bland annat på jordens mekaniska sammansättning, eventuell aggregatstruktur, packning och typ av jordmånsprofil. Vattengenomträngligheten varierar även med vattenhalten i marken.

5. Det infiltrerade vattnet. Den infiltrerade vattenmängden påverkas med avseende på vattnets beskaffenhet av dess temperatur, som avgör hur hög vattnets viskositet blir. Vattnets sammansättning (salthalt m m) inverkar också. Speciellt gäller detta i starkt alkaliska jordar, där lösta salter påverkar vattnets viskositet och kolloidsvällningen i marken.

### 3 BESTÄMNING AV INFILTRATIONSKAPACITET

#### 3.1 Inledning

Markens förmåga att taga upp och släppa igenom vatten uppmätt i volym per tidsenhet vid markytan brukar benämnas infiltrationskapacitet. Kännedom om infiltrationskapaciteten fordras bland annat vid bedömning av dagvattenavrinning och grundvattenbildning i ett område.

Som beskrivits i föregående kapitel varierar infiltrationskapaciteten beroende av en rad olika faktorer, såsom markytans beskaffenhet, jordmaterial och nederbördsvattnets mängd och egenskaper. Beroende på dessa faktorer kan infiltrationskapaciteten variera mycket kraftigt. Karakteristiskt är vidare att mycket stora variationer kan uppträda även inom små ytor. Vid naturliga förhållanden med vegetationstäckt mark torde man i allmänhet kunna räkna med att infiltrationskapaciteten ligger någonstans i intervallet 10-10000 mm/tim.

Infiltrationsförloppet har behandlats teoretiskt, exempelvis av Philip (1957 a-e). Sådana beräkningar måste dock för att de skall vara möjliga att utföra förutsätta idealiserade förhållanden, såsom homogen jord och likformig markbehandling. Med hänsyn till att inhomogeniteterna för båda dessa faktorer vanligen är mycket stora, inskränks tillämpbarheten av de teoretiska modellerna starkt.

#### 3.2 Nederbördens förhållande till infiltrationskapaciteten

Vid nederbördstillfällen kan i princip två fall uppträda:

1. Regnintensiteten ligger vid eller över aktuell infiltrationskapacitet.
2. Regnintensiteten ligger under aktuell infiltrationskapacitet.

Fall 1 innebär att jordlagren i första hand mätas till fältkapacitet. Därefter perkolerar det infiltrerade vattnet ned till grund-

vattenytan. Det vatten som inte infiltrerar avrinner som ytvatten.

Fall 2 innebär att hela regnmängden infiltrerar och att jordlagren uppifrån mättas till fältkapacitet, varefter det infiltrerade vattenet perkolerar till grundvattenytan. Som framgår av nedanstående kan under mättnaden till fältkapacitet infiltrationskapaciteten sjunka under regnintensiteten, varefter ytvattenavrinning eventuellt börjar uppträda.

### 3.3 Infiltrationens tidsförlopp

Infiltrationskapaciteten är initiiellt hög i torr jord och avtar sedan. Eventuellt kan i helt uttorkad jord inledningsvis uppträda en viss hydrofoberingseffekt, d v s marken är så torr att den är vattenavstötande, men man kan i allmänhet bortse från detta. Infiltrationskapacitetens startvärde beror på initialfuktigheten i jorden. Avtagandet sker asymptotiskt mot ett slutvärde som för en viss jord är lika oavsett utgångsvärdet.

Ett flertal algebraiska ekvationer har ställts upp för infiltrationsförloppet, t ex:

$$f = c n t^{n-1} \quad (\text{Kostiakov})$$

$$F = f_c + (f_o - f_c)e^{-kt} \quad (\text{Horton})$$

$$f = \frac{30 S}{\sqrt{t}} + A \quad (\text{Philip})$$

där

$t$  = tid

$f$  = infiltrationskapacitet vid tiden  $t$

$f_c$  = infiltrationskapacitet när  $t \rightarrow \infty$

$f_o$  = infiltrationskapacitet här  $t = 0$

$c$  = koefficient

$n$  = koefficient

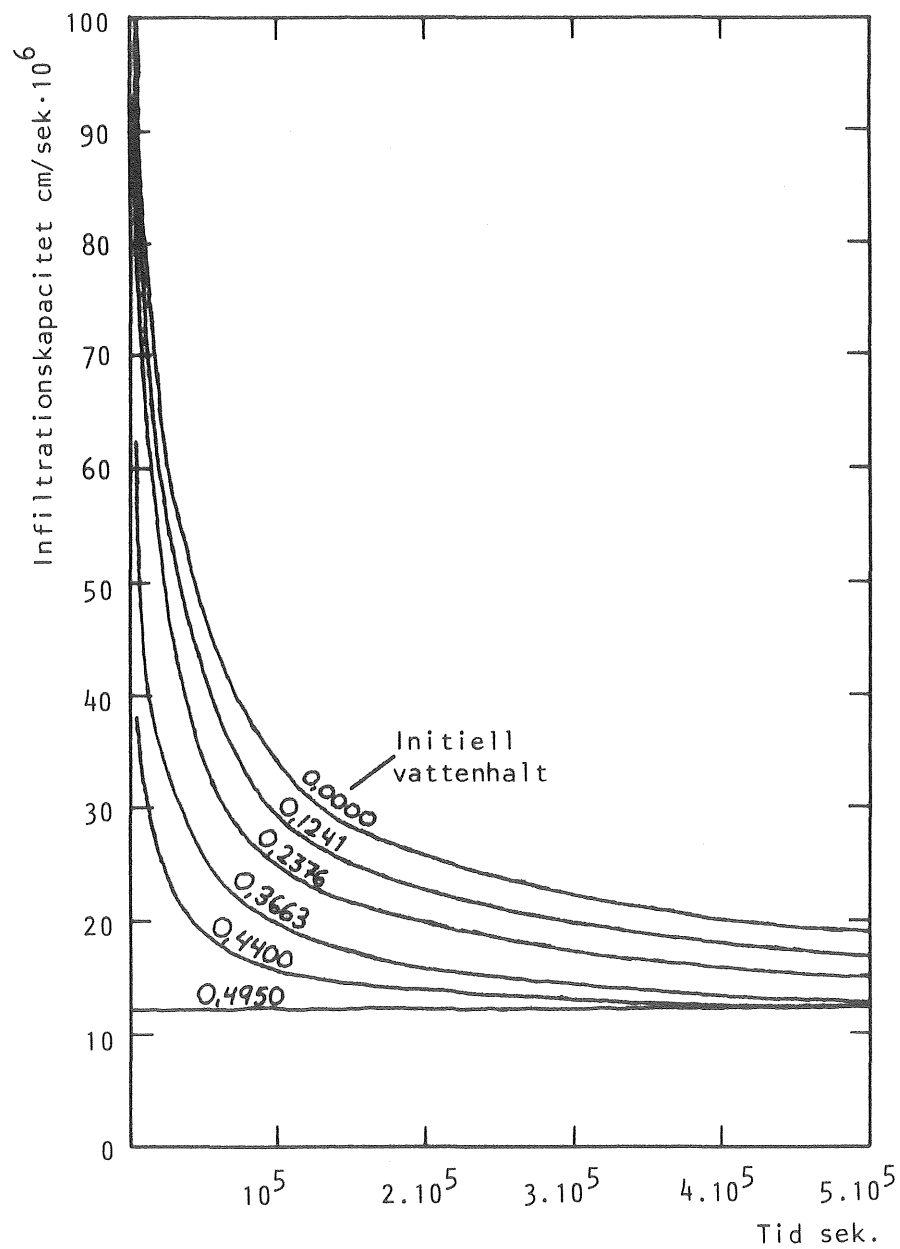
$k$  = avklingningsfaktor

$S$  = kapillär upptagningsförmåga (sorptivity)

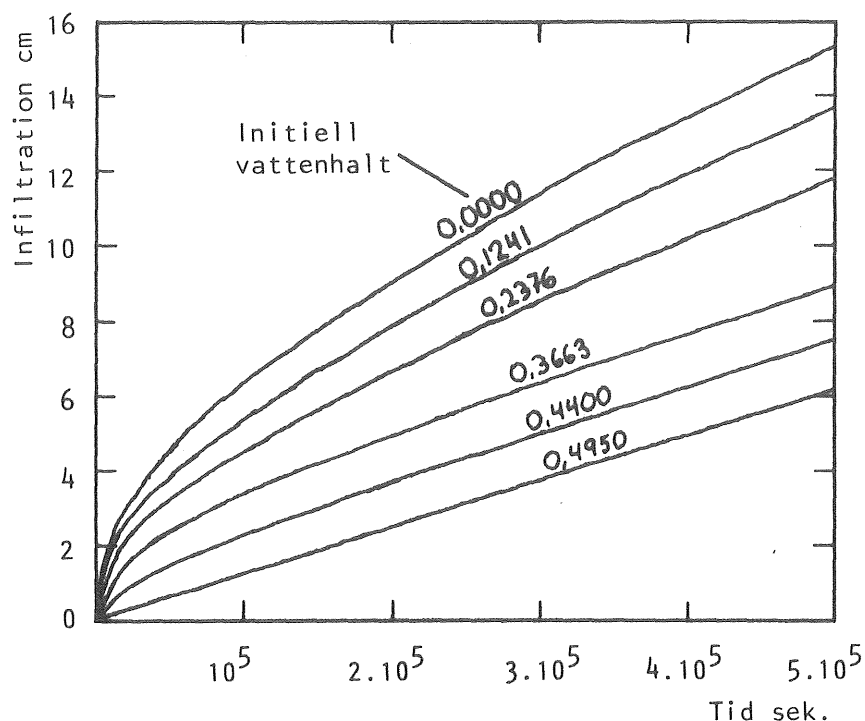
$A$  = konstant



Hortons ekvation är den som vanligen brukar användas i praktiska sammanhang. Gemensamt för dessa ekvationer är emellertid att de avspeglar en initieellt hög infiltrationskapacitet som avtar asymptotiskt mot ett konstant värde.

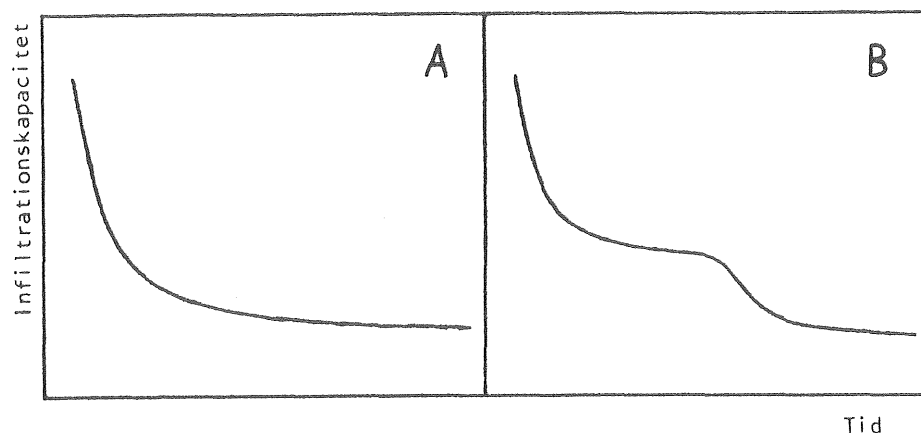


Figur 6. Beräknad inverkan av initiell vattenhalt på infiltrationsförloppet för "Yolo Light Clay". Efter Philip (1957e).



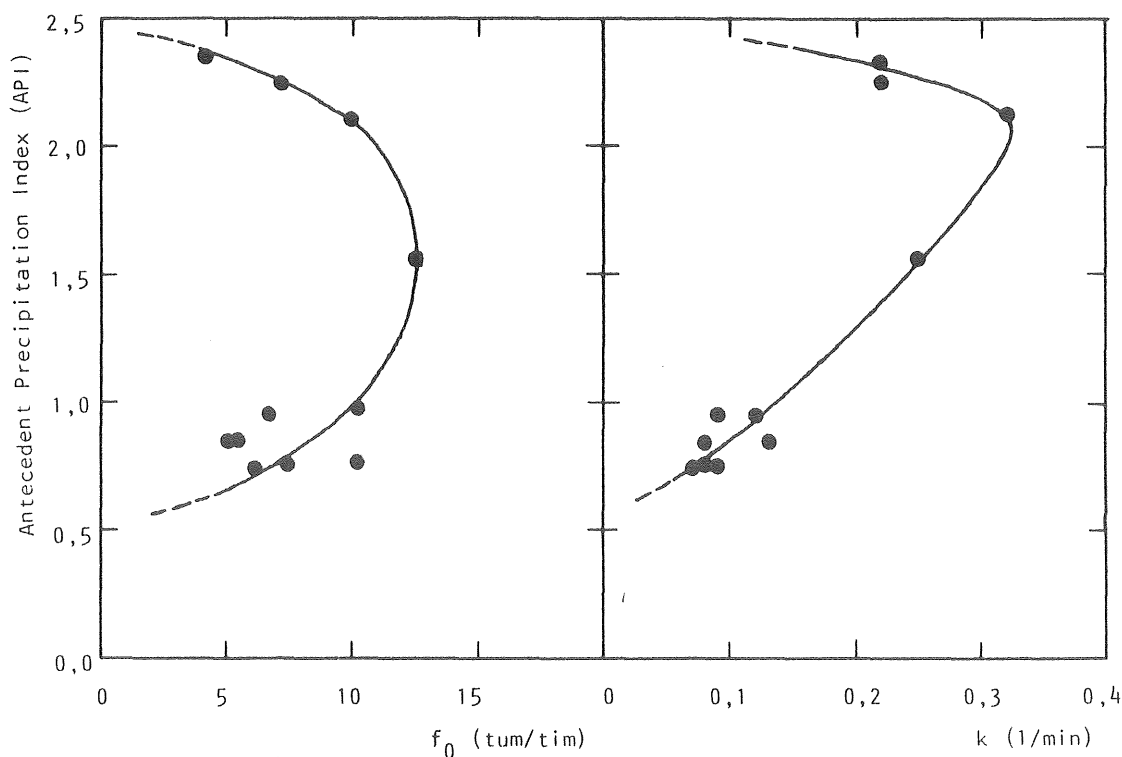
Figur 7. Beräknad inverkan av initiell vattenhalt på kumulativa infiltrationsmängden för "Yolo Light Clay", Efter Philip (1957e).

Det principiella förloppet framgår av Figur 6 och 7, som är hämtade ur Philip (1957e). När jorden redan från början har en fuktighet som motsvarar minst fältkapacitet är infiltrationskapaciteten konstant. Den initieellt högre kapaciteten när jorden har en fuktighet mindre än fältkapaciteten åtgår till att mätta jorden till fältkapacitet. Om jorden är inhomogen (exempelvis skiktad) uppnås den slutliga infiltrationskapaciteten så snart de skikt, som vid fältkapacitet har lägst infiltrationskapacitet, har mättats. I sådana fall kan man för infiltrationskapacitetens beroende av tiden få en trappstegsformad kurva som framgår av Figur 8. Vid jordarter med relativt stor vattengenomtränglighet kan det ytliga humuslagret ofta ha den lägsta infiltrationskapaciteten. Under sådana förhållanden uppnås den slutliga infiltrationskapaciteten mycket snabbt och den krökta delen av kurvan enligt Figur 6-8 kan så gott som helt saknas. Tydligast krökning på kurvan erhålls i finkorniga jordarter som lera.



Figur 8. Infiltrationskapacitetens förändring med tiden i A) homogen jord, B) skiktad jord. Efter Ward (1967).

För beräkning av  $f_0$  och  $k$  i Hortons ekvation kan API (Antecedent Precipitation Index) användas. API är ett mått på markens uppfukttningsgrad och ökar momentant vid regn, varefter det med hänsyn till dränering och evapotranspiration minskar med en viss procentsats per dag. Kurvor för sambandet mellan API och  $f_0$  respektive  $k$  kan konstrueras som framgår av Figur 9 ur Papadakis & Preul (1973).



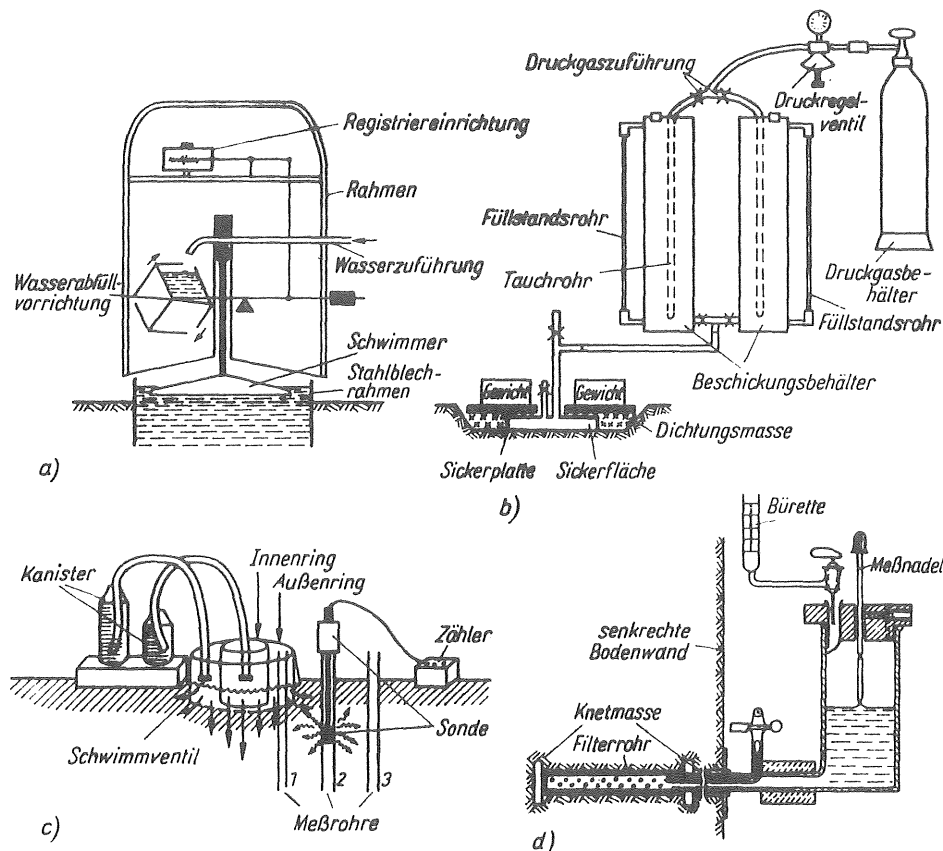
Figur 9. Sambanden mellan API och uppmätta värden på  $f_0$  respektive  $k$  i Hortons formel. Efter Papadakis & Preul (1973).

### 3.4 Metoder för bestämning av infiltrationskapacitet

Infiltrationskapacitet bestäms huvudsakligen med två metoder, hydrografanalys och infiltrometerförsök. Oberoende av vilken metod som används blir emellertid resultatet mycket osäkert. Den förstnämnda metoden medför svårigheter att separera inverkan av olika delprocesser. På grund av de enligt ovan ofta stora lokala variationerna ger infiltrometerförsök i huvudsak endast kvalitativ information. Det är sålunda svårt att med utgångspunkt från infiltrometerförsök bestämma exempelvis den kvantitativa effekten av infiltration på avrinningen från ett visst avrinningsområde (Ward 1967).

Hydrografanalys innebär att kurvor för nederbörd och ytavrinning för ett visst avrinningsområde jämförs. Metoden fungerar sålunda endast under den tid nederbördsintensiteten överskrider infiltrationskapaciteten, vilket åtminstone i Sverige endast undantagsvis inträffar och i de flesta områden inte alls. Skillnaden mellan nederbördsmängd och avrinnande vattenmängd anses ha infiltrerat och ger sålunda ett mått på infiltrationskapaciteten under en viss tid. Metoden ger säkrast resultat för små områden, där tidsfördröjningen mellan nederbörd och avrinning ej är alltför stor. Eftersom de flesta områden är inhomogena kommer erhållna värden på infiltrationskapaciteten att bli medelvärden, vilka ej kan tillämpas på enskilda delområden. En ytterligare felkälla är att nederbördsintensiteten speciellt under häftiga regn kan variera starkt över mycket små områden, vilket gör att regnmängden kan vara svår att uppskatta korrekt.

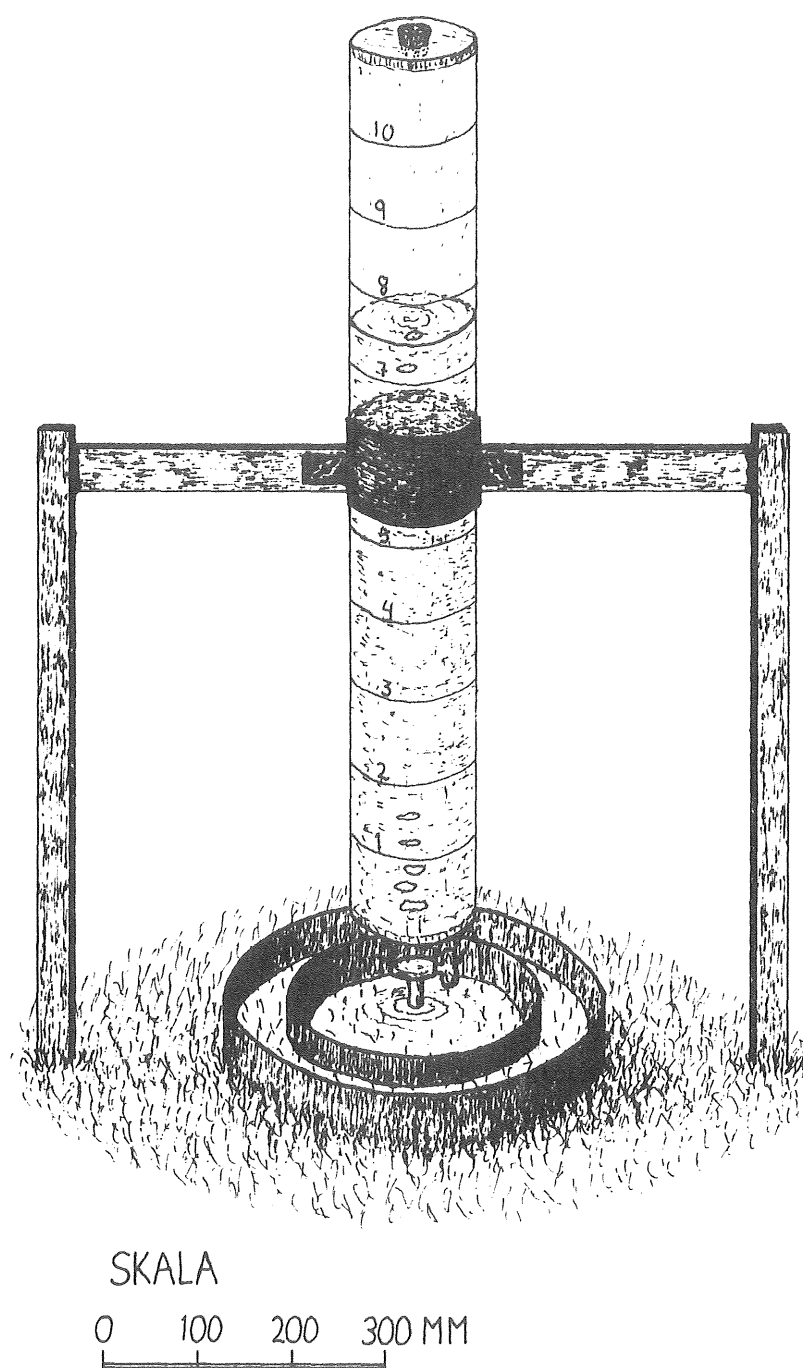
Den vanligaste metoden att bestämma infiltrationskapacitet i jord är att använda någon typ av infiltrometer. Detta kan utformas på olika sätt. Några typer framgår av Figur 10, som hämtats ur Busch & Luckner (1974). Vid svenska undersökningar under senare tid har huvudsakligen använts ringinfiltrometrar av dubbelrings-typ, exempelvis den konstruktion som tagits fram på institutionen för kulturteknik vid KTH. En sådan infiltrometer framgår av Figur 11.



Figur 10. Några olika typer av infiltrometrar. Efter Busch & Luckner (1974).

- a) Enkelringsmetod enligt Fauser med vattentillförsel enligt Kunze.
- b) Infiltrrometer enligt Beyer & Schweiger (enkelring)
- c) Dubbelringsinfiltrrometer med neutronsondsmätning av vattenhalten (infiltrationsfrontens framskridande).
- d) Infiltrrometer enligt Janert & Knoll.

En ringinfiltrrometer är enkelt uttryckt ett litet markområde som begränsats genom att en cylinder slagits ned i marken. Inom cylindern tillföres så mycket vatten som jorden kan ta upp. Denna upptagningsförmåga benämns infiltrationskapacitet och uttrycks vanligen i mm per tidsenhet. I allmänhet används dubbelringsinfiltrometrar. Orsaken härtil är att vattentillförseln i den yttre ringen skall förhindra sidospridning av det vatten som infiltreras i den inre ringen. En sammanställning av nordiska försök att fastställa infiltrationskapaciteten i jord har gjorts av Lundberg

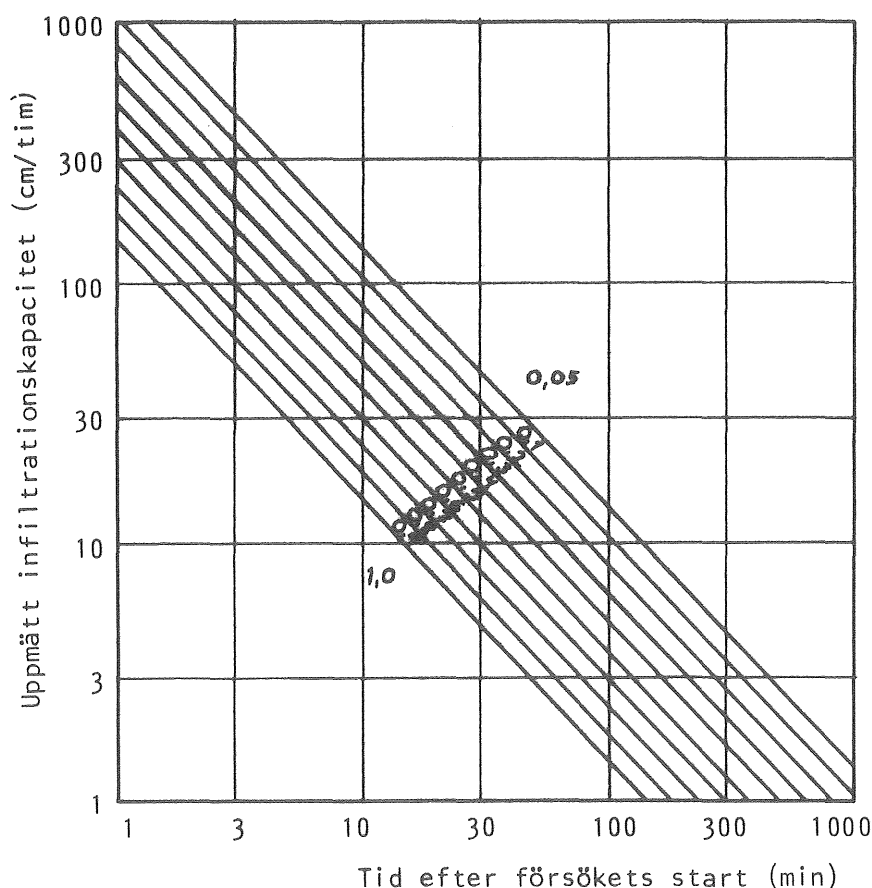


Figur 11. Dubbelringsinfiltrometer med mariotteflaska.

(1974). Enligt Lundberg hävdar man i de flesta arbeten med dubbelringsinfiltrometer med hänvisning till Burgy & Luthin (1956) att man genom att hålla vattenytan på ungefär samma nivå i de bägge ringarna kan undvika vattenströmning längs den inre metallringen och tvinga det infiltrerade vattnet nedåt i jorden samt minska risken för kortslutningsströmmar mellan mätningen och den fria vattenytan. Burgy & Luthin fann emellertid vid sina försök på homogen

finmo-mjåla ingen skillnad mellan enkel- och dubbelringsinfiltrometrar. Andra författares konstaterande av sådana skillnader antar Burgy & Luthin kan bero på att deras försök kan ha utförts på inhomogen mark uppbyggd av lager med varierande permeabilitet. Med hänsyn till att resultaten av infiltrationsförsök av andra orsaker kan uppvisa mycket stora variationer ligger det nära till hands att anta att skillnaden mellan enkel- och dubbelringsinfiltrometrar i varje fall är av underordnad betydelse.

Vid utvärderingen av försök med ringinfiltrometrar tycks man i allmänhet godta det erhållna värdet utan vidare. Med hänsyn till en undersökning genomförd av Hills (1971) måste detta anses som tveksamt. Genom laborieförsök har Hills visat att i homogen, torr jord utbreder sig vattnet under en ringinfiltrometer i stort sett som en sfär, oavsett permeabilitetens storlek.



Figur 12. Nomogram för korrigering av uppmätt infiltrationskapacitet med hänsyn till sidospridning. Efter Hills (1971).

Med hjälp av ett antal försök med varierande jordarter kunde Hills ställa upp ett nomogram, Figur 12, för korrigering av den infiltrerade vattenmängden med hänsyn till den mängd som sjunker vertikalt. Det kan konstateras att korrektionen kan bli upp till en 10-potens. Infiltrationsvattnet utbreder sig emellertid eventuellt inte som en sfär i fuktig jord. Laboratorieförsök utförda av Smith (1969) med infiltration i fuktig sand visar att vattnet rör sig nedåt ungefär i form av en kon. Dessutom framgår av Smith's undersökning att vattnet i torr sand kan röra sig rakt nedåt så gott som helt utan sidespridning. Det bör observeras att de refererade försöken helt hänför sig till homogen jord. Vid bedömning av inverkan av sidespridningen kanske man rent allmänt kan antaga att den är av underordnad betydelse jämfört med de stora variationerna i infiltrationskapacitet av andra orsaker.

### 3.5 Infiltrationskapacitetens storlek i olika jordarter.

Som ovan nämnts har en sammanställning av bestämmningar av infiltrationskapacitet i Norden utförts av Lundberg (1974). Av speciellt intresse med hänsyn till föreliggande undersökningar i Bergsjön är främst redovisade resultat från infiltrometerförsök. De refererade försöken har huvudsakligen grupperats och kommenterats med avseende på jordart. Som framgår av tabell 1 uppvisar försöksvärdena mycket stora variationer även inom samma jordart. Variationerna är så stora att det är föga meningsfullt att försöka ange ett för viss jordart karakteristiskt värde på infiltrationskapaciteten. Det torde vara uppenbart att jordens lokala strukturförhållanden, vegetation och andra lokala faktorer har väl så stor betydelse som jordarten. I en sammanfattande kommentar till Lundbergs sammanställning har Erik Eriksson angivit att ytvattenavrinning vid stark nederbörd och vattenmättad mark kan äga rum på leriga eller mjäliga jordarter. På sorterade jordarter grövre än mo är däremot infiltrationskapaciteten "tillräcklig för att förhindra ytavrinning även under för nordiska förhållanden extrem nederbördsintensitet". Även moräner (exkl. moränleror) har i allmänhet mycket hög infiltrationskapacitet.



Tabell 1. Sammanställning av infiltrationskapacitet i olika jordlager enligt infiltrometerförsök på grundval av värden angivna av Lundberg (1974).

| Jordart                  | Ungefärliga extremvärden mm/tim | "Normalvärde" mm/tim |
|--------------------------|---------------------------------|----------------------|
| Lera                     | 2 - 300                         | 50 - 150             |
| Finmo och lerig mo       | 2 - 400                         | 5 - 50               |
| Sand och mo              | 50 - 800                        | 100 - 300            |
| Morän                    | 35 - 5 500                      | 50 - 400             |
| Råhumus på morän         | 1 - 900                         | -                    |
| Torv (laboratorieförsök) | 2 - 20 000                      | -                    |

En stor del av de refererade försöken har utförts på mark där vegetation och humustäcke tagits bort. Humustäckets inverkan har dock behandlats vid försök utförda av Sahlström (1913) samt Låg & Einevoll (1954). Sahlström (1913) kom fram till att infiltrationskapaciteten blev lägre om mylla och vegetation borttagits, något som delvis kunde bero på metodiska fel. Låg & Einevoll (1954) fick mycket varierande resultat vid försök på råhumus. I vissa fall (t ex ljungmarker) tycks råhumustäcket medföra en kraftig sänkning av infiltrationskapaciteten. De refererade undersökningarna visar sålunda att vegetation och humustäcke ej entydigt påverkar infiltrationskapaciteten.

Undersökningar av infiltrationskapaciteten i urbant påverkad mark tycks ej ha förekommit i Norden. Av ovan redovisade resultat framgår att andra faktorer än jordartens kornstorlekssammansättning har stor betydelse för infiltrationskapaciteten. Markbehandlingen inom urbana områden bör sålunda kunna påverka förhållandena högst väsentligt. Det kan exempelvis förutsättas att packning av ytlagren genom överfarter med fordon eller kraftig påverkan genom tilltrampning på gräsbevuxna lekplaner och liknande inverkar negativt på infiltrationskapaciteten.

## 4      UNDERSÖKNINGSOMRÅDET I BERGSJÖN

### 4.1    Områdets belägenhet

De praktiska undersökningarna har genomförts kring Komettorget i stadsdelen Bergsjön i nordvästra delen av Göteborg. Försöksområdet består av ett 18 ha stort avrinningsområde. Det geografiska läget framgår närmare av översiktskartan, Figur 13.

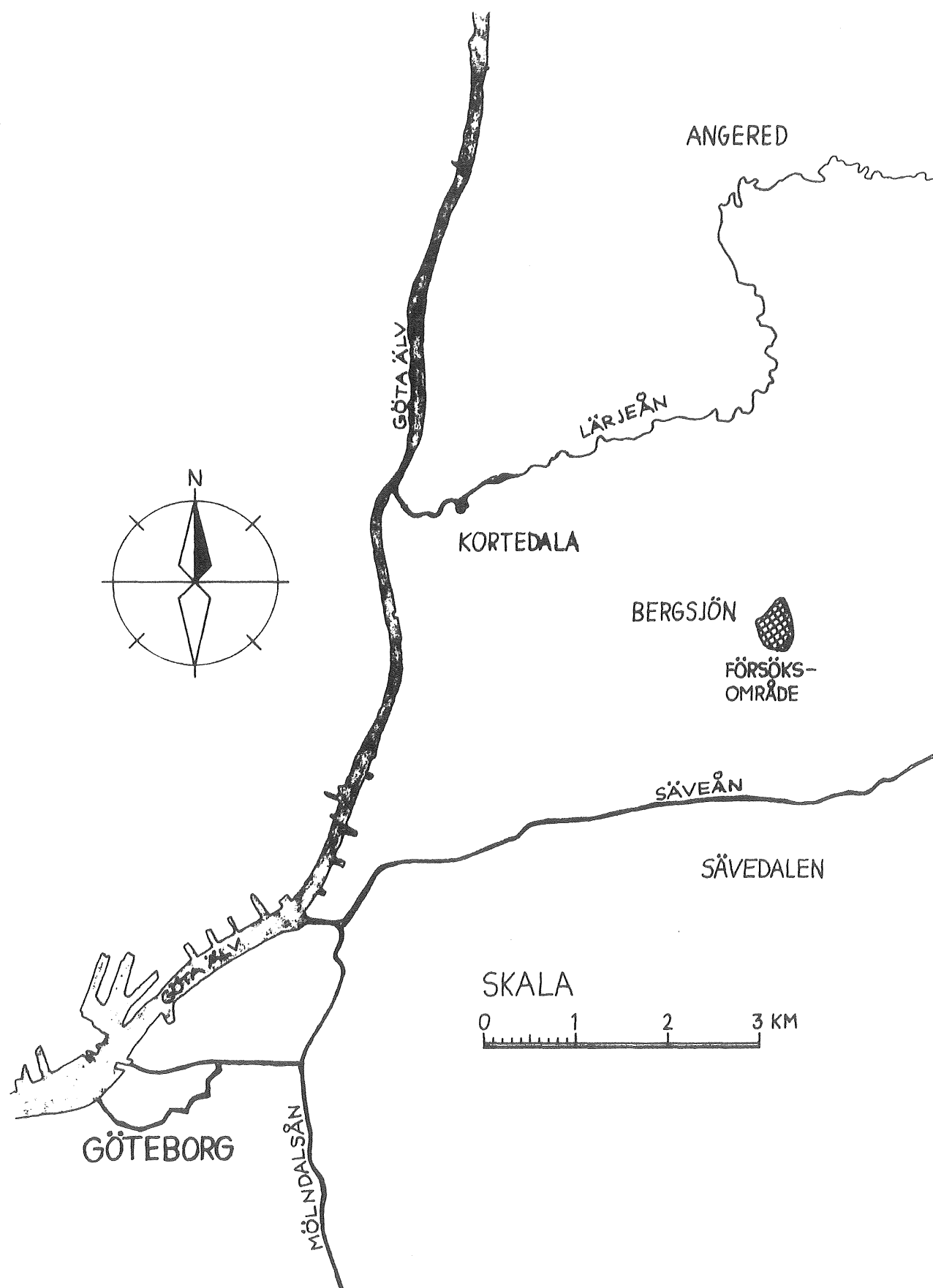
Området exploaterades år 1966. Bebyggelsen består av flerfamiljshus med fyra till sex våningar. Dessutom finns ett enplans affärscentrum och två stora parkeringsdäck. En spårvagnslinje har ändhållsplats med vändslinga inom området.

Området kan i grova drag sägas begränsas av bergssluttningar i norr och väster. I söder och öster utgörs begränsningen av trafikleden Bergsjövägen, som halvcirkelformigt omsluter området.

### 4.2    Geologisk orientering

Göteborgstrakten kan karakteriseras som ett landskap av sprickdalar och mellanliggande bergsplatåer. Nivåskillnaderna är inom vissa områden mycket stora. Stadsdelen Bergsjön ligger på en bergsplatå belägen mellan Göta älvs, Säveåns och Lärjeåns dalgångar. Försöksområdet kring Komettorget utgörs av en nästan sluten sänka i bergsplatån. Sänkan omges av mindre bergsryggar med undantag av ett kort avbrott i öster genom vilket området dräneras.

Området tillhör en jordartsregion som benämns Västkustens berg- och lerområde. Kalt berg dominerar helt och upptar 55 % av landarealen, medan lera upptar 20 % samt sand och morän vardera 10 %. Leran uppträder huvudsakligen i dalgångarna. Moränens i jämförelse med andra regioner ringa utbredning beror sannolikt till största delen på att landisen primärt avsatt små moränmängder, medan havets svallning anses ha haft mindre be-



Figur 13. Översiktskarta.

tydelse. Även ovanför marina gränsen är sålunda moräntäcket på bergsplatåerna tunt och osammanhängande.

Marina gränsen ligger i trakten av Bergsjön minst 100 m ö h. Områdets högsta delar i nordväst når upp till eller något över denna nivå. I praktiken kan emellertid hela området anses ha påverkats av havets svallning.

#### 4.3 Kartläggning av området

Försöksområdet är i hög grad urbant påverkat. Markarealen upptas till stor del av bostadshus, parkeringsdäck, vägar, spårväg osv. Till följd härav kom kartläggningen av geologin att medföra svårigheter som normalt ej uppstår. Det är sålunda knappast möjligt att i ett så urbant präglat område genomföra geologisk kartering av jordarter i vanlig bemärkelse.

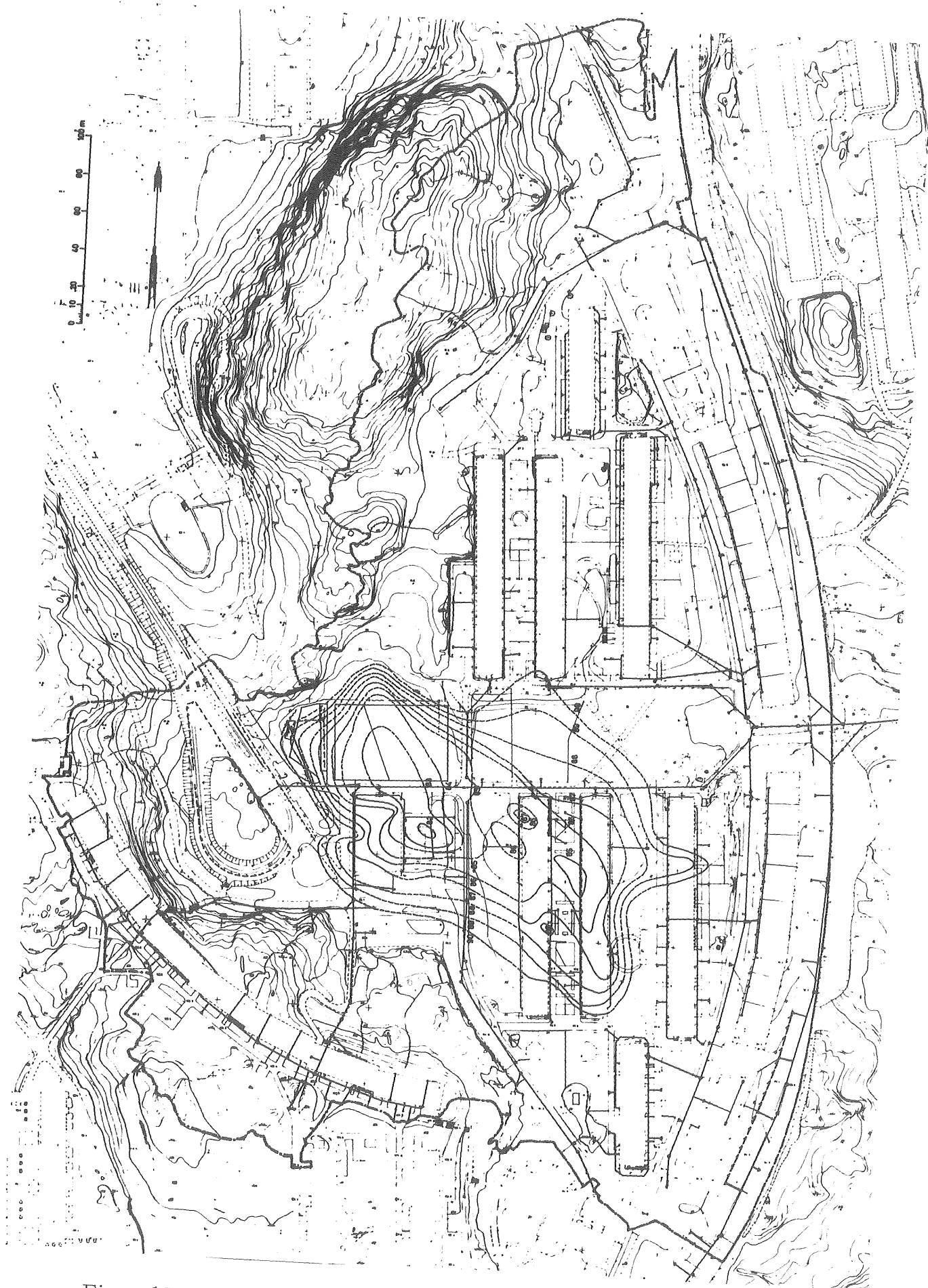
De ursprungliga jordlagerförhållandena är av intresse när det gäller att bedöma exempelvis underlaget till utfyllnader. Inledningsvis anskaffades därför kartmaterial, flygbilder, grundundersökningsutlåtanden m m över området, såväl före som efter exploateringen. Eftersom det för närvarande saknas någon central instans som lagrar uppgifter av detta slag var insamlingsarbetet besvärligt och tidskrävande. Sannolikt existerar eller har existerat ytterligare grundmaterial, men det anskaffade bedömdes vara tillräckligt för föreliggande ändamål.

Med hjälp av flygbildstolkning på flygbilder tagna före områdets exploatering samt utförda grundundersökningar upprättades en förenklad jordartskarta, Figur 14. I det stora, centralt belägna kärret hade ett så stort antal borrhningar utförts att en karta över bergytans nivå kunde upprättas, Figur 15. Omfattningen av schakt- och utfyllnadsarbeten har åskådliggjorts på en särskild karta, Figur 16. Denna karta har upprättats på grundval av jämförelser mellan nivåkurvkartor över området före respektive efter exploateringen.

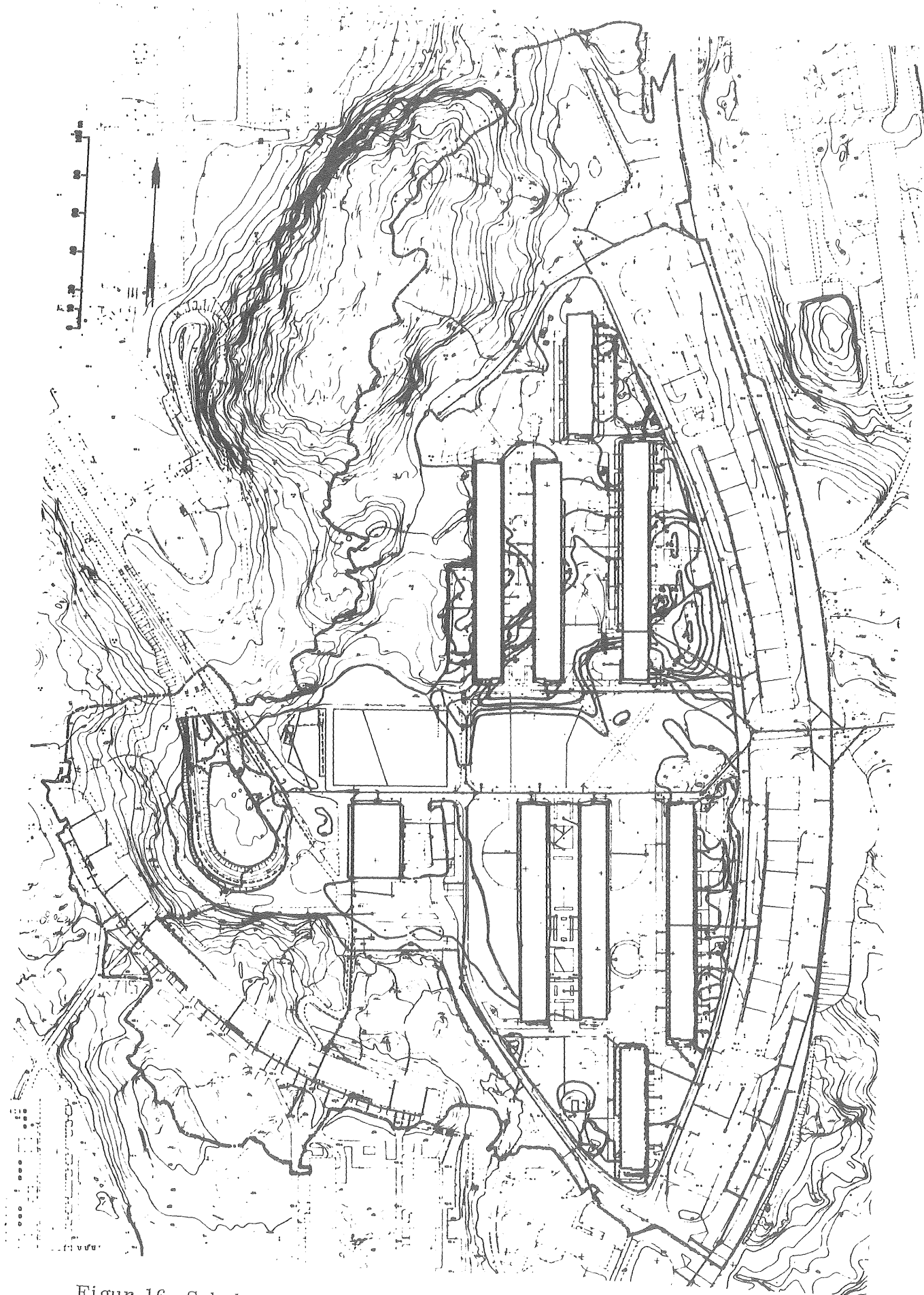
En kartering av markbeskaffenheten med hänsyn till olika typer av



Figur 14 Översiktlig jordartskarta före exploatering.



Figur 15 Bergnivåkarta över området kring komettorget.



Figur 16 Schakt- och utfyllnadskarta.

markbehandling har genomförts inom geohydrologiska forskningsgruppens delprojekt. "Dagvattenstudier i Göteborg". Denna karta har använts för valet av observationspunkter och planeringen av olika typer av fältundersökningar.

#### 4.4 Berggrund

Områdets berggrund har ej detaljundersökts. För att ge en fullständig bild av de geologiska förhållandena har emellertid följande kortfattade orientering, grundad på iakttagelser av tillgängliga hållar och skärningar, sammanställts.

Berggrunden inom området utgörs av gnejser med i allmänhet flackt stupande förskiffringsplan. Såväl strykning som stupning varierar ganska kraftigt. Linjärstruktur (stänglighet) har även konstaterats på några ställen. Gnejsens ursprung lär vara ytbergarter, vilka senare omvandlats.

I områdets södra och sydvästra del dominerar rödgrå gnejs, vilken är uppdelad i tydliga mörka och ljusa band. Utmed Bergsjövägens östsida vid områdets sydöstra hörn finns exempelvis en skärning i rödgrå gnejs med nästan horisontellt liggande band och dessutom insprängda, mäktigare linser av en mörk, basisk bergart. Vertikalt genom hela skärningen går ljusa pegmatitgångar. Smärre gångar och linser av pegmatit förekommer för övrigt tämligen allmänt.

Nordvästligaste delen av området domineras av grå gnejs. Övergången mot den rödgrå typen tycks vara succesiv. Bäst kan den grå gnejsen studeras i en lång skärning utmed Bergsjövägens östsida. Gnejsen är där tydligt uppdelad i horisontella, något vågiga band.

Berggrundens tektoniska förhållanden har ej undersökts. Det kan dock i detta sammanhang vara av intresse att nämna att områdets vattenförsörjning under byggnadstiden ordnades med hjälp av bergborrade brunnar. Två brunnar utfördes i norra delen av området och gav enligt uppgift storleksordningen 200 l/tim. Vattnet var järnhaltigt. Borrhålen har sedan fyllts igen.



#### 4.5 Ursprungliga jordlager

Som framgår av Figur 14 upptogs ursprungligen en stor del av området med undantag av de centrala delarna av berg i dagen eller berg med tunt jordtäckte, vilket huvudsakligen var samlat i sprickor och sänkor. Jordlagren utgjordes av sandig- moig morän, som var mer eller mindre svallad. I de mindre dalgångarna fanns något mäktigare ackumulationer av morän och svall-sediment. Av exploateringen opåverkade bergområden finns nu främst i områdets nordvästra del.

En större sänka i områdets centrala del och en mindre i den norra delen upptogs av kärr. I det större kärret fanns även några öppna vattenytor. Av grundundersökningarna framgår att det organiska materialet hade en mäktighet av omkring 2 m. De undre delarna kan antagas ha bestått av gyttja medan de övre sannolikt bestod av kärrtorv. Vaginatortov (tvdun) har sålunda identifierats vid den nuvarande vändslingan för spårvägen. Det organiska materialet underlagrades av finsediment, sannolikt lera. Under leran fanns troligen ett tunt, osammanhängande lager av friktionsmaterial. Av tillgängliga borrhingsuppgifter går ej att utläsa något om friktionsmaterialets eventuella existens och sammansättning. Vid upprättandet av bergnivåkartan, Figur 15, har därför nivån för borrhstopp betraktats som ungefärlig bergyta och jordlagren ovanför som lera. Av kartan framgår att största jorrdjupet var nästan 10 m, uppdelat på cirka 2 m torv och gyttja samt cirka 8 m lera.

#### 4.6 Nuvarande jordlagerförhållanden

Som ovan nämnts har omfattningen av schakt- och utfyllnadsarbeten inom större delen av området åskådliggjorts i Figur 16. Kartan har utnyttjats vid bedömning av de nuvarande jordlagerförhållandena inom området. För detta ändamål har även använts uppgifter från sondering och borrhning vid mätrörens utförande samt uppgifter erhållna vid kontakter med bl a fastighetsägare.

Det stora kärret, som ursprungligen låg i områdets centrala del, var från början så blött att det ej kunde bära några maskiner. För att avrinningen skulle öka fördjupades därför avloppet mot öster och ett dike grävdes genom kärrets centrala delar. Byggnadsarbetena inleddes sedan med att kärret grävdes ur i strängar med hjälp av slängskopa. Urgrävningen omfattade uppenbarligen bara det organiska materialet och sålunda ej den underliggande leran. I de urgrävda strängarna, vilka sammanföll med de blivande gårdarna mellan husen, tippades pirar av sprängsten. Från pirarna grävdes resten av det organiska materialet bort och brunnar schaktades genom leran till berget för de plintar husen skulle grundläggas på. För att bland annat planteringar skulle kunna utföras på gårdarna fylldes matjord över sprängstenen. I ledningsgravarna fylldes sand.

I de delar av kärren som nu upptas av större gräsmattor, lekplaner etc har det organiska materialet sannolikt till största delen schaktats bort. Återfyllning har sedan skett med schaktmassor eller liknande. Sprängsten har enligt uppgift inte använts i någon större utstäckning. Överst har matjord fyllts på. Under trafikytor och parkeringsplatser i anslutning till centrumbyggnaden vid Komettorget har lagts ett förstärkningslager av bitumenindränkt makadam.

Som framgår av Figur 16 har mera omfattande utfyllnader skett i områdets centrala delar. Utfyllnadsmassorna utgjordes åtminstone i den mäktigaste östra delen till stor del av byggavfall, däröver ligger sand och överst ett tunt lager matjord.

I de områden som på Figur 16 redovisas som urschaktade har markytan sänkts huvudsakligen genom bortsprängning av berg.

Noggrannare beskrivningar av jordlagerföljderna vid mätrören M1 - M7 inom området redovisas i bilaga 4, avsnittet "Mätplatser".

## 5. GENOMFÖRDA UNDERSÖKNINGAR

### 5.1 Infiltrometermätningar

I anslutning till geohydrologiska forskningsgruppens delprojekt "Dagvattenstudier i Göteborg" fanns ett behov av att bestämma infiltrationskapaciteten på "mjuka" ytor, d v s gräsmattor, rabatter och liknande. Som inledning till de praktiska undersökningarna genomfördes en begränsad genomgång av litteraturen inom ämnesområdet. Teoretiska förutsättningar för infiltration i jord samt metoder för mätning av infiltrationskapacitet redovisas i kapitlen "Teoretisk bakgrund" och "Bestämning av infiltrationskapacitet". En detaljerad redovisning av infiltrationsmätningarna i Bergsjön lämnas i bilaga 1.

För bestämning av infiltrationskapacitet har använts två olika typer av infiltrometrar. Det största antalet mätningar (34 st) har genomförts med dubbelringsinfiltrometer. Dessutom har några mätningar (4 st) genomförts med en för projektet speciellt konstruerad "ränninfiltrometer". I anslutning till infiltrometermätningarna har rutinmässigt genomförts provtagning med cylinderprovtagare. Proverna har analyserats med avseende på aktuell vattenhalt, fältkapacitet, torrdensitet, mekanisk sammansättning och humushalt.

Uppmätta infiltrationskapaciteter varierar mycket kraftigt från nästan noll till flera hundra mm/tim. Försök har gjorts att korrelera infiltrationskapacitet med de olika data som framtagits genom analys av jordproverna. I stort sett har inga säkra samband kunnat konstateras. Det verkar som om infiltrationskapaciteten i hög grad skulle bero på jordens mikroskopiska och makroskopiska struktur. Den förra innefattar faktorer som aggregatbildning, kornform och porernas samband, den senare sprickor, maskhål, rotkanaler och dylikt. Genom beroendet av jordens struktur kommer resultaten även av mycket nära varandra liggande försök på till synes homogen mark att variera mycket. Infiltrometrar med större arbetsyta, exempelvis den använda ränninfiltrometern, överbryggas i viss mån inho-

mogeniteterna och ger tillförlitligare värden för bedömning av infiltrationskapaciteten inom större områden.

På grundval av uppmätta infiltrationskapaciteter och allmän kännedom om området har ett försök gjorts att redovisa delområden med olika infiltrationskapacitet. Denna karta finns i Figur 24, bilaga 1.

## 5.2 Provtagning med cylinderprovtagare

I anslutning till infiltrometerförsök och mätning med radiometrisk ytsond har rutinmässigt prov tagits med hjälp av en cylinderprovtagare. Provtagaren är av en typ som utvecklats på institutionen för markvetenskap, Landbrukshögskolan. Den beskrivs i bilaga 1. Provtagaren ger tillnärmelsevis ostörda prover i jordarter som har en någorlunda god sammanhållning och ej är alltför steniga. De bästa resultaten erhålls sålunda i sorterade jordarter, finkornigare än mellansand.

Erhållna prover har använts för att bestämma aktuell vattenhalt, fältkapacitet, torrdensitet, mekanisk sammansättning och humushalt. För bestämning av fältkapacitet har tillämpats en metodik som beskrivits av Andersson (1955). Mekanisk sammansättning har bestämts genom siktningsanalys med hydrometer.

## 5.3 Mätning med radiometrisk ytsond

Markvattenmagasinet i de översta delarna av jordlagren har sannolikt betydande inverkan på markens infiltrationskapacitet speciellt under inledningsskedet av ett regn. Konventionell markvattenmätning med radiometrisk djupsond ger normalt inga värden för det översta, 20-25 cm mäktiga lagret. För att undersöka denna del av jordlagren har prövats en radiometrisk ytsond. Principerna för mätning med radiometrisk ytsond redovisas i bilaga 2. En detaljerad redovisning av mätningarna med ytsond finns i bilaga 3.

För att undersöka den radiometriska ytsondens tillförlitlighet har 7 försök genomförts. Samtliga försök har utförts på gräsmatta, där det översta ca 2 cm tjocka lagret skurits bort. På provytorna har mätning med ytsonden först utförts varefter referensprov har tagits med cylinderprovtagare.

Jämförelser mellan sondens värden och provtagningsvärden visar relativt god överensstämmelse vad gäller densitet. Vattenhaltsvärdena blir, bestämda med ytsonden, felaktiga i en sådan grad att erhållna värden måste anses oanvändbara. Sammanfattningsvis kan på grundval av genomförda försök konstateras att den använda radiometriska ytsonden inte är tillämpbar för mätningar under här redovisade förutsättningar, d v s gräsmattor på humushaltiga, finkorniga jordarter ("matjord").

#### 5.4 Rördrivning

För mätning med radiometrisk djupsond samt grundvattenståndsobservationer har 7 mätrör utplacerats i försöksområdet i Bergsjön. En närmare redovisning av val av platser, utförande och markprofil vid respektive rör redovisas i bilaga 4.

Rören består av 50 mm stålrör, skarvade med muffar. I de fall rören når ned under grundvattenytan är de utrustade med sil. Placeringen har om möjligt valts så att ytor med olika typ av ytbeskaffenhet skulle kunna representeras och så att rören skulle få en god spridning i området. Självfallet var det också nödvändigt att ta hänsyn till var rören kunde stå utan att menligt inverka på områdets normala användning.

Markprofilerna från respektive rör visar att jordlagerföljderna i många fall är till avsevärda delar artificiella. Olika typer av fyllning dominerar de övre jordlagren i området. Eftersom någon provtagning på djupare belägna lager i allmänhet inte har kunnat genomföras grundar sig jordartsbedömningarna huvudsakligen på indirekt information, som sonderingar och uppgifter om markbehandling.

### 5.5 Mätning med radiometrisk djupsond

Mätning med radiometrisk djupsond har ingått som en väsentlig del i tidigare genomförda forskningsprojekt på markvattenområdet, t ex inom ramen för Internationella Hydrologiska Dekadens (IHD) verksamhet. Det var därför naturligt att sådana mätningar skulle genomföras i Bergsjön. De förut beskrivna mätrören var främst avsedda för mätning med radiometrisk djupsond. Principerna för sådana mätningar redovisas i bilaga 2. En detaljerad redovisning av mätningarna med djupsond finns i bilaga 4.

Tidigare undersökningar i naturliga områden visar att markvattenmagasinet utgör en väsentlig del i ett områdes vattenbalans. Åtminstone i moränområden med måttliga jorddjup och måttliga djup till grundvattenytan tycks mark- och grundvatten variera som en enhet.

Genomförda mätningar i Bergsjön visar att användbar information endast kan erhållas vad gäller markvattenhaltens variationer. De med hjälp av sonden erhållna absolutvärdena på densitet och vattenhalt bedöms ej vara tillförlitliga.

### 5.6 Markvattenmagasinets variationer

Markvattenmagasinets maximala variation vid de olika rören för perioden 1974-04-01 - 1975-03-31 har beräknats. De mycket oregelbundna markprofilerna gör det svårt att erhålla helt representativa och jämförbara värden. Det måste emellertid anses klarlagt att markvattenmagasinet även i ett starkt urbant påverkat område har stor betydelse för vattenbalansen.

För att åskådliggöra markvattenhaltens variation på olika nivåer har två olika metoder provats, uppritning av markvattenhaltens variation på varje nivå och uppritning av isopletdiagram. Resultaten framgår av Figur 42 till 55 i bilaga 4. Av de båda metoderna bedöms den förstnämnda vara mest informativ.

Vid större nederbörd har markvattenhalten i hela markprofilen stigit, dock med mot djupet minskande belopp. Grundvatten-

nivån har liksom vad gäller för moränmark i naturliga områden reagerat ungefär samtidigt och på samma sätt som markvattenmagasinet.

#### 5.7 Grundvattenobservationer

Fyra av mätrören i området når ned under grundvattenytan. I dessa rör har grundvattennivån regelbundet uppmätts samtidigt som markvattenmätning genomförts, d v s var 10:e till var 14:e dag i genomsnitt. Grundvattenytans variationer redovisas i Figur 43, 46, 47 och 49 i bilaga 4.

Grundvattennivån varierar som förut nämnts på samma sätt som markvattenmagasinet. Någon tidsfördröjning i förhållande till nederbörden eller markvattenmagasinet har ej kunnat konstateras med här utnyttjade mätintervall. Grundvattenytans variationer i de olika rören visar god överensstämmelse och de årstidsmässiga variationer uppvisar inga anmärkningsvärda avvikelser från vad som kunde förväntas.

Tre av rören står i den bassäng, som tidigare upptogs av ett kärr. Grundvattennivåerna i rören kan användas för att mycket överslagsmässigt bedöma grundvattnets strömningsriktning. Grundvattnet strömmar som kunde förväntas österut mot det naturliga avloppet för bassängen.

#### 5.8 Infraröd fotografering

Försök har gjorts att undersöka fuktighetsförhållandena i markytan med infraröd fotografering. Denna undersökning redovisas detaljerat i bilaga 5.

Marken utsänder mer eller mindre infraröd strålning beroende på temperaturen. I allmänhet gäller att fuktigare partier är kallare. Dessa framträder därför tydligt på den infraröda filmen. Inom vegetationstäckta områden kompliceras bilden av att den infraröda filmen närmast avbildar vegetationens kondition. Frisk grönska med mycket klorofyll avbildas sålunda klart röd

på filmen, medan mer eller mindre skadade växter avbildas i bruna nyanser. Det kan vara vanskligt att från vegetationens tillstånd dra slutsatser om vattenhalten i marken, eftersom slitage och andra i detta sammanhang ovidkommande faktorer även kan påverka vegetationen.

Undersökningen visar att infraröd fotografering troligen ger viss information om markens vattenhalt i vegetationsfria områden. I vegetationstäckta områden registreras huvudsakligen endast vegetationens kondition. Infraröd fotografering bedöms därför ej vara generellt användbar vid markvattenundersökningar.



## 6. SAMMANFATTNING

Här redovisade undersökningar har syftat till att utröna markvattenförhållandena i ett starkt urbant påverkat område. Med markvatten avses här allt vatten i markens omättade zon över grundvattenytan. Projektet har haft ganska små ekonomiska resurser och har endast pågått i två år varför det fått karaktären av en pilotstudie.

Under arbetets gång har det visat sig att hittills använda och här tillämpade metoder för markvattenmätningar inte är helt tillfyllest. Det finns sålunda ett stort behov av mera grundläggande studier såväl vad gäller undersökningsapparaturlur som teoretisk behandling av problemen.

Genomförda undersökningar visar att markens infiltrationskapacitet varierar mycket kraftigt och till synes oregelbundet. Huvudsakligen bedöms variationerna bero på strukturella förhållanden i marken. Det är inte möjligt att med rimlig undersökningsinsats ange några snävare gränser för infiltrationens storlek inom enskilda delytor. I bästa fall kan en grov avgränsning i några få storleksklasser göras. I detta avseende bedöms urbana områden vara ännu mera svårbedömbara än naturliga områden.

Markvattenmagasinet i det undersökta området i Bergsjön, Göteborg har varierat ganska mycket under den period av 1 år, som redovisas. Markvattenmagasinet i ett urbant område av denna karaktär bedöms ha ungefär samma betydelse för den totala vattenbalansen som i ett naturligt område. Detta gäller givetvis bara "mjuka" ytor och ej hårdgjorda eller bebyggda ytor.

Vid större nederbörd har såväl markvattenmagasin som grundvattennivå reagerat snabbt. Någon större fördröjning har ej kunnat registreras.

## 7 LITTERATUR

Litteraturen på markvattenområdet är mycket riklig. Speciellt gäller detta de agrikulturella tillämpningarna av markvatteninformation. Följande litteratur har använts vid utarbetandet av föreliggande redogörelse:

Andersson, S, 1955, Markfysikaliska undersökningar i odlad jord VIII. En experimentell metod. Grundförbättring årg. 8 spec. nr 2.

Andersson, S & Wiklert, P, 1959, Markfysikaliska undersökningar i odlad jord XI. Studier av några markprofiler på Ultuna egendom. Grundförbättring, årg. 12, spec. nr 3.

Andersson, S & Wiklert, P, 1972, Markfysikaliska undersökningar i odlad jord XXIII. Om de vattenhållande egenskaperna hos svenska jordarter. Grundförbättring årg. 25, nr 2-3.

Bell, J P & McCulloch, J S G, 1966, Soil Moisture Estimation by the Neutron Scattering Method in Britain, Journal of Hydrology, vol 8, pp 254-263.

Bell, J P & McCulloch, J S G, 1969, Soil Moisture Estimation by the Neutron Method in Britain. A Further Report. Journal of Hydrology, vol 11, pp 415-433.

BFR:s programgrupp för geohydrologisk forskning, 1974, Infiltration av vatten i jord. Seminarierreferat.

von Brömssen, U, 1968, Grundvattenbildning i geologiskt olika terrängavsnitt.

Burgy, R H & Luthin, J N, 1956, A Test of the Single- and Double-Ring Types of Infiltrimeters. American Geophysical Union, Transactions vol 37, nr 2.

Busch, K-F & Luckner, L, 1974, Geohydraulik für Studium und Praxis.

Carlsson, L, 1972, Volymvikts- och vattenhaltsbestämning medelst gamma-neutronstrålning. Stencil. Inst. för VA-teknik, CTH.

Engdahl, M, 1975, Bestämning av infiltrationskapacitet i främst lerjordar inom Angered, Göteborg. Geologiska inst. CTH/GU publ. B 49.

Forsman, A & Milanov, T, 1971, Hydrologiska undersökningar i Velens representativa område. Rapport II: Markvattenstudier, IHD, Report nr 13.

Geohydrologiska forskningsgruppen, CTH, 1973, Urbaniseringsprocessens inverkan på ytvattenavrinning och grundvattenbildning. Lägesrapporter 1972-07-01 - 1973-03-01. Meddelande nr 1.

Geohydrologiska forskningsgruppen, CTH, 1974, Urbaniseringsprocessens inverkan på ytvattenavrinning och grundvattenbildning. Lägesrapporter 1973-03-01 - 1974-02-01. Meddelande nr 6.

Göteborgs VA-verk, 1975, Nederbörden i Göteborg 1974. Årsrapport 1974, årg 2.

Hills, R C, 1971, Lateral flow under Cylinder infiltrometers: A graphical correction procedure. Journal of Hydrology vol 13, pp 153-162.

Isotopteknik inom markfysik och geohydrologi, 1963, Del 1. Radimetriska metoder. Grundförbättring, årg. 16 nr 4.

Knutsson, G, 1969, Stor-Göteborgs grusförsörjning. Sydsvenska Ingenjörbyrå AB.

- Knutsson, G & Morfeldt, C-O, 1973, Vatten i jord och berg.
- Lindh, G & Falk, J 1972, Värpinge - Studium av urbaniseringens inverkan på vattenbalansen. Vannet i Norden, IHD-nytt, årg. 5 nr 1.
- Lundberg, A, 1974, Infiltration och perkolation i det översta markskiktet. En sammanställning av utförda undersökningar i Norden. IHD, Report nr 35.
- Lundegårdh, P H, 1957, Göteborgstraktens berggrund, SGU, ser C, nr 553.
- Lundqvist, G, 1958, Beskrivning till jordartskarta över Sverige, SGU, ser BA, nr 17.
- Låg, J & Einevoll, O, 1954, Preliminary Studies on the water permeability of raw humus in podzol profiles in the western part of Narway. The State Soil Investigation, Agricultural College of Norway.
- Markvann, 1971, Nordisk symposium om markvann. Hurdal, 20-23 april 1971. Den norske komite for Den Internasjonale hydrologiske dekade. Rapport nr 2.
- Milanov, T, 1974, Hydrologiska undersökningar i Kassjöåns representativa område. Rapport II: Markvattenstudier i Kassjöåns område. IHD, Report nr 37.
- Munthe, H, Johansson, H E & Sandegren, R, 1923, Göteborgstraktens geologi. Göteborgstraktens natur.
- Nordisk Elektrisk Apparatfabrik (NEA), 1967, Instruction Manual for BASC, Portable Battery Scaler.
- Nordisk Elektrisk Apparatfabrik (NEA), 1968, Manual for BASC Gamma Probe.

Nordisk Elektrisk Apparatfabrik (NEA), 1968/1973, Manual for  
BASC, Moisture/Density Probe.

Nordisk Elektrisk Apparatfabrik (NEA), 1971, Instruction Manual  
for Miniscaler.

Nordisk Elektrisk Apparatfabrik (NEA), 1972, Instruction Manual  
for Surface Probe.

Nordberg, L & Modig, S, 1973, Försök till bestämning av effektiv  
porositet i morän. IHD-projekt 26, SGU, Rapport.

Papadakis, C N & Preul, H C, 1973, Infiltration and antecedent  
precipitation. ASCE, Journal of the hydraulics division,  
nr 8,

Philip, J R, 1957 a, The theory of infiltration: 1. The infiltration  
equation and its solution. Soil Science, vol 83, nr 5.

Philip, J R, 1957 b, The theory of infiltration: 2. The profile of  
infinity. Soil Science, vol 83, nr 6.

Philip, J R, 1957 c, The theory of infiltration: 3. Moisture pro-  
files and relation to experiment. Soil Science, vol 84,  
nr 2.

Philip, J R, 1957, d, The theory of infiltration: 4. Sorptivity and  
algebraic infiltration equations. Soil Science, vol 84,  
nr 3.

Philip, J R, 1957 e, The theory of infiltration: 5, The influence  
of the initial moisture content. Soil Science, vol 84,  
nr 4.

Sahlström, K E, 1913, Några försök angående jordarternas permea-  
bilitet i naturen. SGU, ser C, nr 245.

Sandegren, R & Johansson, H E, 1931, Beskrivning till kart-  
bladet Göteborg, SGU ser Aa nr 173.

- Skoglund, E, 1973, Markvattenmagasinets storlek och variationer i olika delar av det mellansvenska landskapet, IHD Report nr 32.
- Smith, W O, 1969, Infiltration in sands and its relation to ground-water recharge. IASH/AIHS-Unesco: Water in the unsaturated zone. Proceedings of the Wageningen symposium.
- Tamm, O, 1959, Studier över klimatets humiditet i Sverige, Kungl. Skogshögskolans skrifter, nr 32.
- Thunvik, R, Nilsson, L Y & Kihlmark, K-E, 1972, Hydrological data processing. Computer programs. IHD, Report nr 17.
- Todd, D K, 1959, Ground Water Hydrology.
- Troedsson, T & Nykvist, N, 1973, Marklära och markvård.
- Ward, R C, 1967, Principles of Hydrology.
- Weijman-Hane, G & Hörberg, I, 1969, Samarbetskommitten för Kristianstadsslättens hydrologi. Slutrapport.

SGU = Sveriges Geologiska Undersökning  
IHD = Internationella Hydrologiska Dekaden

## Bilaga 1

### INFILTROMETERMÄTNING

#### Innehåll

1. Inledning
2. Ringinfiltrometer
3. Ränninfiltrometer
4. Provtagning
5. Mätresultat, ringinfiltrometer
6. Mätresultat, ränninfiltrometer
7. Sammanfattning

## Bilaga 1

### INFILTROMETERMÄTNING

#### 1 Inledning

För att bestämma infiltrationskapaciteten har ett antal infiltrometerförsök utförts inom försöksområdet i Bergsjön. Försöken har koncentrerats till områdets nordöstra del, där avrinningsmätningar från små delytor har genomförts inom ramen för de samtidigt pågående dagvattenstudierna. Infiltrometerbestämning av infiltrationskapacitet har därvid tillämpats på "mjuka" ytor, främst gräsmattor, för att utröna om man kan få ytavrinning vid regn. För mätningarnas genomförande har huvudsakligen använts ringinfiltrometer, men dessutom har för mätningar i sluttningar i några fall använts en s k ränninfiltrometer.

De teoretiska förutsättningarna för infiltration i jorden beskrivs närmare i avsnitt 2, "Teoretisk bakgrund". En allmän genomgång av metoder för mätning av infiltrationskapacitet samt synpunkter på utvärderingen av infiltrometerförsök redovisas i avsnitt 3, "Bestämning av infiltrationskapacitet".

#### 2 Ringinfiltrometer

Vid flera på senare tid genomförda undersökningar med dubbelringsinfiltrometer här i landet har använts en apparatur konstruerad av institutionen för kulturteknik, KTH. Med denna konstruktion som förebild har vid geologiska institutionen, CTH tillverkats två infiltrometrar, vars utseende framgår av Figur 11, i avsnitt 3.4, "Metoder för bestämning av infiltrationskapacitet".

Själva infiltrometern består av två järnringar, som slås ned ca 10 cm i marken. Den inre ringen har diametern ca 25 cm och den yttre ca 40 cm. Vattentillförseln i den inre ringen sker med hjälp av en s k mariotte-flaska, som rymmer drygt 10 l. Med en sådan får man jämn vattentillförsel och vattennivån innanför ringen hålls konstant. Med hänsyn till att mät-



ningarna utförts på naturligt ojämna gräsytor går det ej att ange exakt vilken höjd vattenytan har haft över markytan vid försöken. Allmänt kan sägas att ett vattendjup av några cm eftersträfvats. Vattentillförseln i ytterringen sker manuellt och avsikten är därvid att försöka hålla ungefär samma vattennivå som i innerringen.

Vid försöken har nästan alltid använts två infiltrometrar, som placerats ungefär 1 m från varandra. Något som delvis styrt valet av försöksplatser är att ringinfiltrometern fordrar tillnärmelsevis plan och horisontell markyta för att fungera tillfredsställande. Sedan apparaturen iordningställts har Mariotteflaskorna fyllts, varefter vatten så snabbt som möjligt fyllts på i innerringen till flaskans underkant. Först därefter har vattenåtgången kunnat mätas. Det är sålunda ej möjligt att få några värden på infiltrationskapaciteten under de första ca 15 sekunderna. Vattenåtgången kan mätas genom att flaskan är tillverkad av genomskinligt plexiglas och graderad.

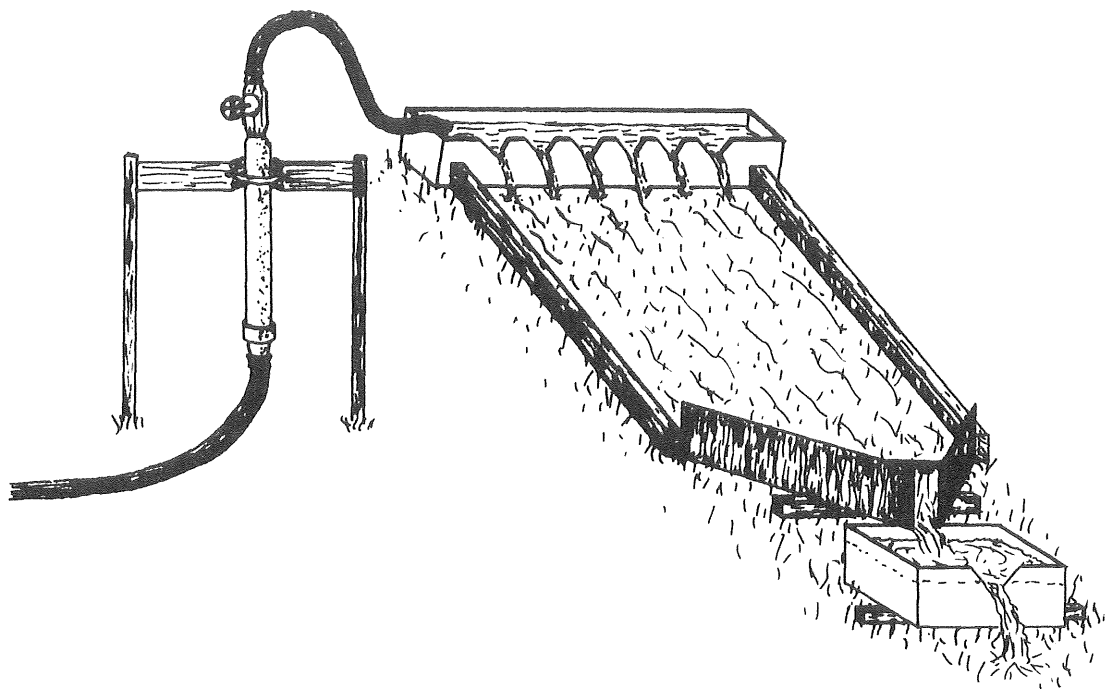
Försöken har i allmänhet drivits 3 - 4 timmar. Denna tid är i och för sig knappast tillräcklig för att helt uppnå den slutliga infiltrationskapaciteten för en viss plats. Avsikten med försöken har emellertid huvudsakligen varit att undersöka infiltrationsförutsättningarna vid häftiga regn. För detta ändamål är 3-4 timmar helt tillfredsställande. Det kan dessutom antagas att under de förhållanden som konstaterats råda i försöksområdet kommer det uppmätta slutvärdet ej att avvika mer än marginellt från det sanna slutvärdet.

Vid bearbetning av försöksvärdena har i första hand uppritats en kurva över den ackumulerade vattenåtgången. Därefter har infiltrationskapaciteten bestämts vid de tidpunkter som ansetts vara av intresse.

### 3 Ränninfiltrometer

Som ovan nämnts kan ringinfiltrometern endast användas på

tillnärmelsevis horisontell mark. Detta inskränker givetvis möjligheterna att bestämma infiltrationskapaciteten inom ett visst område. För mätning av infiltrationskapacitet på lutande mark har därför inom detta projekt konstruerats en apparatur som här benämnes "ränninfiltrometer". Det område som skall undersökas måste ha en viss lutning för att ränninfiltrometern skall fungera .



Figur 17. Ränninfiltrometer.

Ränninfiltrometerns konstruktion framgår av Figur 17. Två ca 160 cm långa plåtar slås ned ca 10 cm i marken, i markens lutningsriktning. Plåtarna, vilka är fasta vid plankor för att underlätta neddrivningen, placeras med ca 100 cm inbördes avstånd. Vid nedre änden av det sålunda avgränsade, rännformiga området placeras en plåt, som skall samla ihop vattnet. Denna plåt är uppbockad till en avsmalnande tratt och är i övre änden försedd med en bockad fals, som slås ned i marken vinkelrätt mot och mellan de ovan nämnda parallella plåtarnas nedre ändar. Den trattformiga uppsamlingsplåten mynnar i en plexiglaslåda med ett mätöverfall (60<sup>o</sup> Thomsonöverfall). Vid övre änden av det avgränsade området placeras

en låda med ett antal små överfall för fördelning av det tillförda vattnet. Vattnet, som tillförs lådan, mäts med en rotameter på ingående ledningen. För att apparaturen skall fungera krävs sålunda kontinuerlig vattentillförsel, vilken i Bergsjön ordnades med en slang från en brandpost.

Vid mätning tillförs en lagom stor vattenmängd genom rotameter till fördelningslådan i rännans övre ände. Vattnet fördelas nedanför överfallen så gott som omedelbart jämnt över ytan om denna består av gräsmatta med stor råhet. Vattentillförseln måste vara så stor att hela den avgränsade markytan ned till uppsamlingsplåten täcks av en sammanhängande vattenfilm. Nedanför uppsamlingsplåten mäts avrinnande vattenmängd i det ovan nämnda mätöverfallet. Infiltrationen uppmäts som skillnaden mellan tillförd och avrinnande vattenmängd. För att erhållet värde på infiltrationskapaciteten skall ha så stor noggrannhet som möjligt bör tillförd vattenmängd, avrinnande vattenmängd och infiltrationskapacitet ha tillnärmelsevis samma storlek.

Ränninfiltrometern är ej försedd med någon ytterring för korrigering av randförhållandena. Dessutom finns viss risk för smärre läckage, främst vid uppsamlingsplåten. Eftersom det för mätning använda området är mycket större än för en ringinfiltrometer (ca  $1,6 \text{ m}^2$  respektive  $0,055 \text{ m}^2$ ) betyder emellertid dessa randeffekter mycket litet, särskilt med hänsyn till vad inhomogeniteter i markförhållandena innebär (se avsnitt 3 "Bestämning av infiltrationskapacitet"). Försöken med ränninfiltrometern har i allmänhet drivits någon timme, eller tills avrinningen vid konstant tillförsel av vatten uppmäts vara så gott som konstant. Under det fåtal mätningar som hittills genomförts har försök ej gjorts att med hjälp av ränninfiltrometern kontrollera infiltrationskapacitetens förändring med tiden. Eventuellt kan detta vålla svårigheter med hänsyn till den jämfört med ringinfiltrometern sämre måtnoggrannheten samt den längre tid som fordras för att justera vattenflödena.

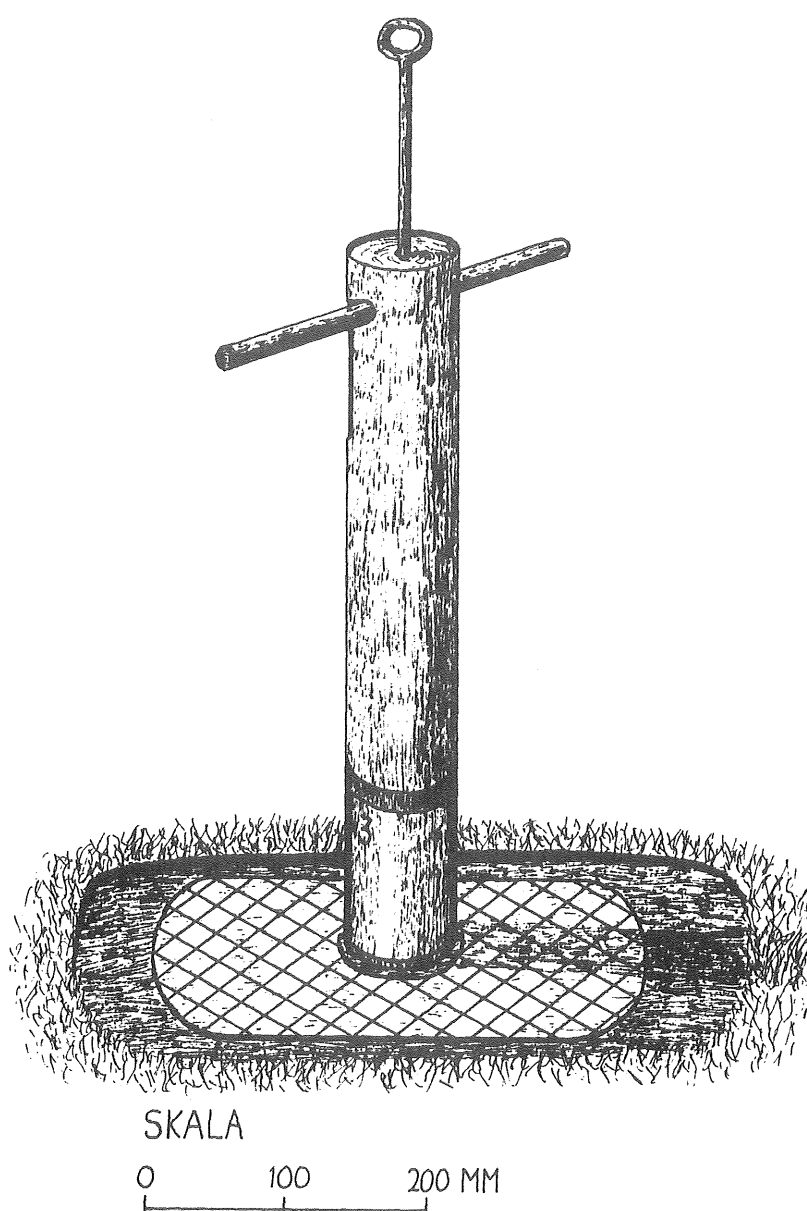
För försöksområdet i Bergsjön tycks emellertid gälla att infiltrationskapaciteten ändras ganska litet med tiden, varför det av denna

anledning kan anses tillfredsställande att få ett karakteristiskt värde sedan försöksförhållandena stabiliserats. Ännu en gång kan dessutom erinras om den stora inverkan på infiltrationskapaciteten av inhomogeniteter i marken.

#### 4 Provtagning

I anslutning till infiltrometerförsöken har rutinmässigt tagits prov på de översta marklagren. För provtagningen har utnyttjats en cylinderprovtagare av den typ som konstruerats av institutionen för markvetenskap, Lantbrukshögskolan, och som finns beskriven av Andersson (1955). Denna provtagare valdes därför att den är lätthanterlig och fanns tillgänglig för inköp. I det nämnda arbetet av Andersson (1955), fanns dessutom det praktiska handhavandet utförligt beskrivet, såväl vad gäller provtagningen i fält som det efterföljande laboratoriearbetet. Bland annat beskrevs en möjlighet att bestämma fältkapacitet, vilket överensstämde med våra önskemål. Kortfattat kan provtagaren sägas bestå av en nedslagningsapparat och provcylindrar avsedda att slås ned i marken. Provtagarens utseende framgår närmare av Figur 18. Provtagningscylindrarna har innerdiametern 72 mm och längden 50 eller 100 mm. För att om möjligt undvika störningar i jorden vid neddrivningen av cylindern är den nedtill försedd med en egg och en smal fals, som minskar friktionen mot omgivande jord. För att inte stämpeln, som driver ned cylindern skall packa provet under neddrivningens slutfas, när cylindern är fylld med jord, är stämpelns nedre del utformad som en rörformad förlängning av provtagningscylindern.

Vid provtagning placeras nedslagningsapparaten på en avjämnad markyta. I detta fall har grästorven, dvs de översta centimetrarna av jordlagren, skalats av med en spade för att skapa en sådan yta. I allmänhet har därefter slagits ned en lång och en kort cylinder vid varje provtagningstillfälle, dvs vid varje par av ringinfiltrometerförsök eller varje ränninfiltrometerförsök. Cylindrarna grävs sedan loss inneslutna i en jordklump och skärs fram med hjälp av en kniv. Speciellt viktigt är härvid att se till att ändarna jäm-



Figur 18. Cylinderprovtagare.

nas av exakt i plan med cylindrarnas kanter och att inget material faller ur cylindrarna. Under transport är ändarna tillslutna med plastlock. Med den här beskrivna provtagningsmetoden får man åtminstone tillnärmelsevis ostörda prover.

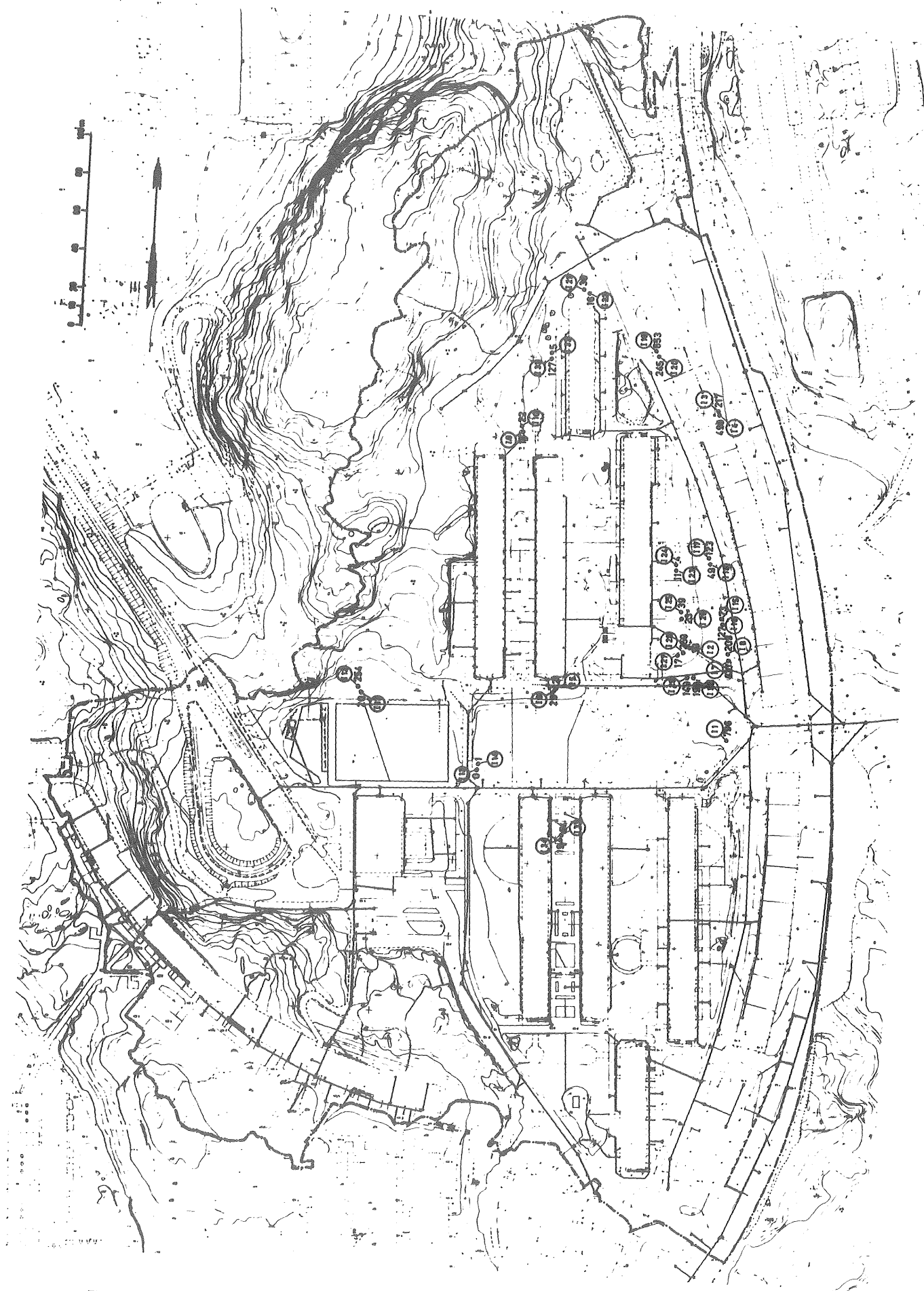
Sedan proverna kommit in till laboratoriet bestäms aktuell vattenhalt, fältkapacitet, torrdensitet, mekanisk sammansättning och humushalt. Fältkapaciteten erhålls på det sätt som beskrivs av Andersson (1955), d v s genom uppsugning av vatten till mättnad åtföljt av fri dränering. Mekanisk sammansättning bestäms genom siktning och hydrometeranalys.

Det jordmaterial som analyserats efter genomförd provtagning kan endast i viss mån sägas direkt representera det material som infiltrationsförsöket avser. Orsaken till detta är delvis den stora inhomogeniteten i de fyllningsjordar som finns i Bergsjön. Inhomogeniteten blir speciellt märkbar på den relativt stora yta som undersökts med ränninfiltrometern. En annan väsentlig orsak till att representativiteten kan ifrågasättas är att provtagningen oftast utförts utanför infiltrationsmeterytan. Detta beror på önskemålet att samtidigt få ett värde på den ursprungliga vattenhalten i jorden och lämna infiltrationsmeterytan oskadad. Alternativet är att taga proverna efter infiltrationsförsökets avslutande, men man kan då inte få något värde på den ursprungliga vattenhalten. I några fall har emellertid den senare metoden tillämpats.

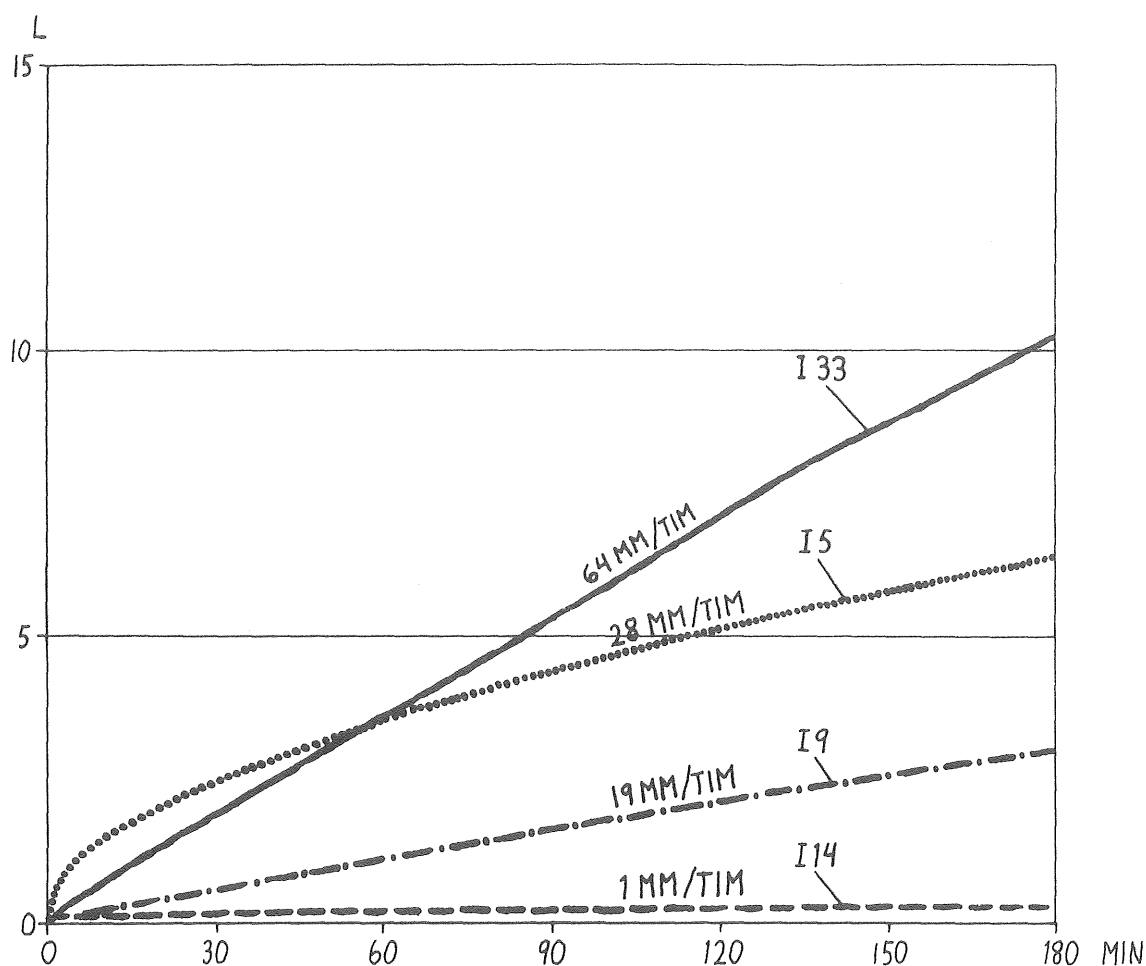
## 5 Mätresultat, ringinfiltrometer

Inom försöksområdet i Bergsjön har 34 försök med ringinfiltrometer genomförts under tiden juli-december 1974. Alla utom de två första har varit parvisa försök varför 18 olika platser kan sägas ha undersökts. Försöksplatsernas lägen framgår av kartan Figur 19. I anslutning till varje försök har uppritats en kurva över den ackumulerade vattenåtgången. Några exempel på sådana kurvor redovisas i Figur 20 och 21. Observera skillnaden i skala mellan de båda figurerna.

Enligt de teoretiska förutsättningar, som gäller för infiltration, och som redovisas i avsnitt 2 "Teoretisk bakgrund", skall infiltrationskapaciteten vara hög inledningsvis och sedan avta asymptotiskt mot ett konstant värde. I Bergsjön har emellertid med ett par undantag infiltrationskapaciteten ändrats ganska betydligt under de 3 à 4 timmar som försöken pågått. Eftersom försöken till stor del utförts under hösten med hög fuktighet i marken kan förklaringen delvis vara att inga större vattenmängder åtgått att vattenmätta marken. Även försök genomförda under torrare perioder uppvisar emellertid små förändringar av infiltrationskapaciteten, varför den huvudsakliga orsaken bör vara att söka i andra faktorer. En förklaring skulle kunna vara att jordlagren i Bergsjön ej är naturliga. De djupare delarna



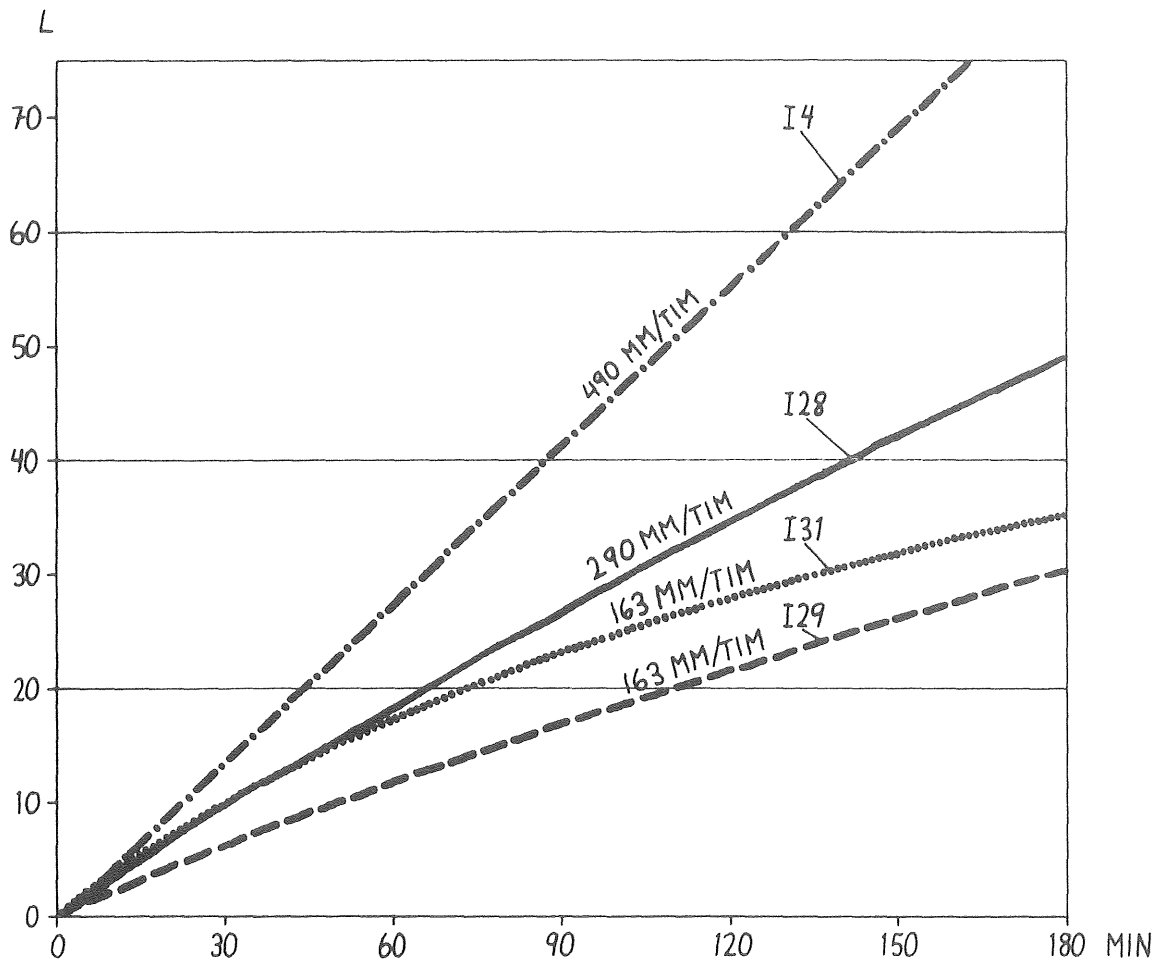
Figur 19 Karta över mätplatser med ringinfiltrometer



Figur 20. Ackumulerad vattenåtgång vid några infiltrationsförsök. Angiven infiltrationskapacitet i mm/tim avser respektive avsnitt av kurvan.

består ofta av sprängsten, byggavfall och annan grov fyllning med åtminstone delvis ganska lucker struktur, vilket sammantaget ger stor vattengenomtränglighet. Ytlagren består av matjord vilken oftast har en mekanisk sammansättning motsvarande lerig mo. Matjorden kan i samband med utspridningen och även senare har packats ganska väl. Sammanfattningsvis bör matjorden normalt ha lägre vattengenomtränglighet än underlaget. I en sådan lagerföljd är det ytlagret som bestämmer infiltrationskapaciteten. Eftersom ytlagret har begränsad mäktighet, vattentäthet, mätas det ganska snabbt i samband med ett infiltrationsförsök och släpper sedan igenom en i stort sett konstant vattenmängd till undergrunden, där vattnet utan svårighet kan transporteras vidare nedåt eller i sidled.



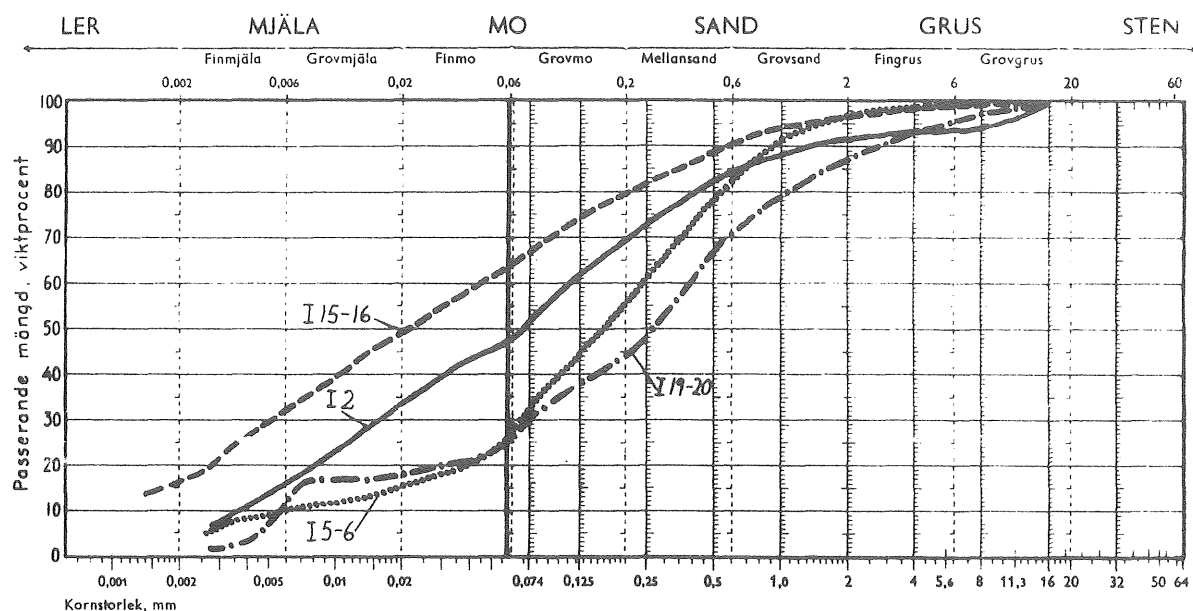


Figur 21. Ackumulerad vattenåtgång vid några infiltrometerförsök. Angiven infiltrationskapacitet i mm/tim avser respektive avsnitt av kurvan.

Infiltrationskapaciteten enligt infiltrometerförsöken varierar mycket kraftigt från så gott som noll till flera hundra mm/tim. På grundval av de 34 bestämningar som genomförts har försök gjorts att korrelera infiltrationskapaciteten med de olika data som tagits fram genom provtagning och analys av jordprov. I stort sett har emellertid inga säkra samband kunnat konstateras. I tabell 2 redovisas en sammanfattning av uppmätta infiltrationskapaciteter och tillhörande data för jordproven. Några för de aktuella materialen karakteristiska kornstorlekskurvor redovisas i Figur 22. De till synes omotiverade "hoppen" i kurvorna beror på att de analyserade proven härör från ett område med jordarter som uppkommit genom blandning av material med olika ur-

Tabell 2 Uppmätta infiltrationskapaciteter med tillhörande data för jordprov. Samtliga prov tagna med 10 cm cylinder utanför infilrometerringarna.

| Prov<br>Nr | Infiltrations-<br>kapacitet.<br>mm/tim | Ojämn-<br>kornighet.<br>$d_{60}/d_{10}$ | Humus-<br>halt.<br>vikt % | Torr-<br>densitet.<br>$g/cm^3$ | Naturlig<br>vattenhalt.<br>vol. % | Vattenhalt<br>vid fältkap.<br>vol. % |
|------------|----------------------------------------|-----------------------------------------|---------------------------|--------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|
| 1          | 796                                    |                                         |                           |                                |                                   |                                      |
| 2          | 39                                     | 31                                      | 9,36                      | 1,11                           | 35                                | 42                                   |
| 3          | 217                                    | 27                                      | 11,31                     | 1,06                           | 13                                | 39                                   |
| 4          | 499                                    |                                         |                           |                                |                                   |                                      |
| 5          | 21                                     | 42                                      | 3,40                      | 1,46                           | 2                                 | 27                                   |
| 6          | 29                                     |                                         |                           |                                |                                   |                                      |
| 7          | 617                                    | 10                                      | 6,37                      | 1,29                           | 12                                | 33                                   |
| 8          | 209                                    |                                         |                           |                                |                                   |                                      |
| 9          | 16                                     | 22                                      | 9,95                      | 1,04                           | 37                                | 44                                   |
| 10         | 22                                     |                                         |                           |                                |                                   |                                      |
| 11         | 20                                     | -                                       | 6,51                      | 1,36                           | 32                                | 24                                   |
| 12         | 253                                    |                                         |                           |                                |                                   |                                      |
| 13         | 0                                      | -                                       | 5,72                      | 1,58                           | 30                                | 28                                   |
| 14         | 1                                      |                                         |                           |                                |                                   |                                      |
| 15         | 73                                     | -                                       | 10,41                     | 0,94                           | 34                                | 40                                   |
| 16         | 127                                    |                                         |                           |                                |                                   |                                      |
| 17         | 123                                    | -                                       | 10,10                     | 0,99                           | 36                                | 43                                   |
| 18         | 49                                     |                                         |                           |                                |                                   |                                      |
| 19         | 653                                    | 67                                      | 6,07                      | 1,20                           | 23                                | 36                                   |
| 20         | 245                                    |                                         |                           |                                |                                   |                                      |
| 21         | 39                                     | -                                       | 7,29                      | 1,24                           | 30                                | 37                                   |
| 22         | 16                                     |                                         |                           |                                |                                   |                                      |
| 23         | 11                                     | 11                                      | 10,67                     | 1,04                           | 36                                | 44                                   |
| 24         | 4                                      |                                         |                           |                                |                                   |                                      |
| 25         | 39                                     | -                                       | 7,78                      | 1,18                           | 35                                | 36                                   |
| 26         | 23                                     |                                         |                           |                                |                                   |                                      |
| 27         | 17                                     | 38                                      | 7,66                      | 1,11                           | 29                                | 43                                   |
| 28         | 259                                    |                                         |                           |                                |                                   |                                      |
| 29         | 149                                    | -                                       | 7,13                      | 1,26                           | 27                                | 37                                   |
| 30         | 199                                    |                                         |                           |                                |                                   |                                      |
| 31         | 127                                    | 72                                      | 9,10                      | 1,16                           | 30                                | 42                                   |
| 32         | 5                                      |                                         |                           |                                |                                   |                                      |
| 33         | 55                                     | -                                       | -                         | 1,45                           | 27                                | 31                                   |
| 34         | 19                                     |                                         |                           |                                |                                   |                                      |

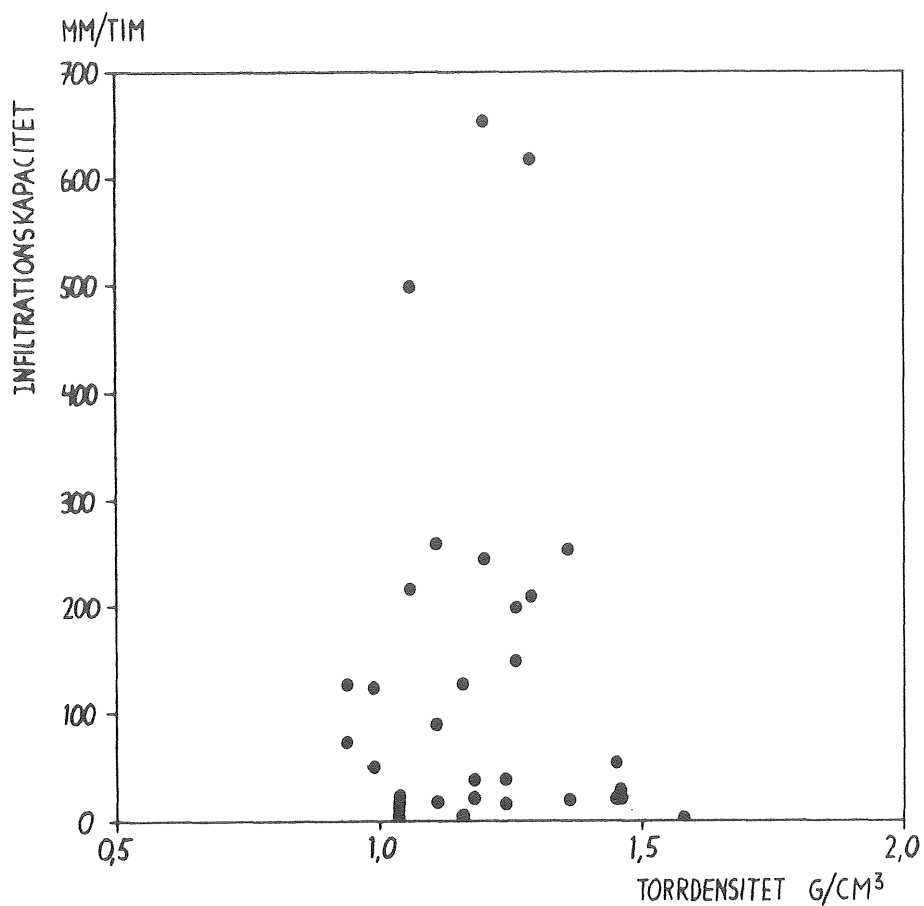


Figur 22. Kornstorlekskurvor för några prov tagna i anslutning till angivna infiltrationsförsök.

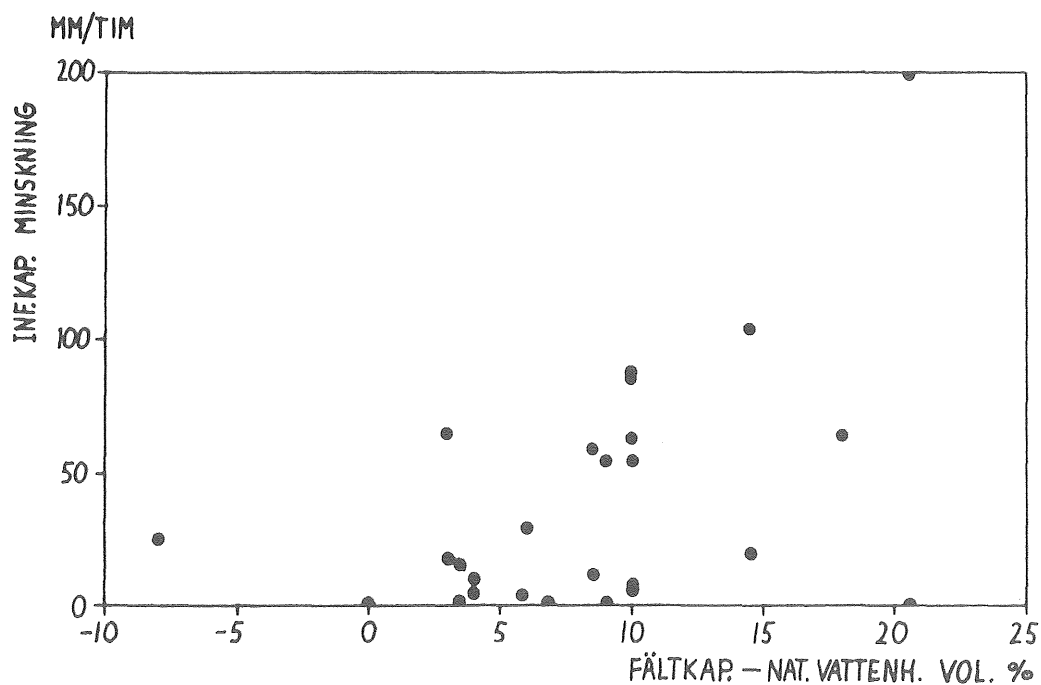
sprung. I Figur 23-25 illustreras några försök till korrelationer. Man kan, som kunde förväntas, möjligen konstatera ett samband mellan ändring i infiltrationskapacitet under försökets gång och jordens upptorkning vid försökets start. Upptorkningen uttrycks som skillnaden mellan fältkapacitet och aktuell vattenhalt. Däremot har det ej lyckats att korrellera till materialets sammanställning, humushalt eller packning uttryckt som torrdensitet. De lägsta infiltrationskapaciteterna noterades emellertid på så gott som ren lera. Sammanfattningsvis verkar det som om infiltrationskapaciteten i hög grad skulle bero på jordens mikroskopiska och makroskopiska struktur. Den förra innefattar faktorer som aggregatbildning, kornform och porernas samband, den senare sprickor, maskhål, rotkanaler och dylikt.

## 6 Mätresultat, ränninfiltrometer

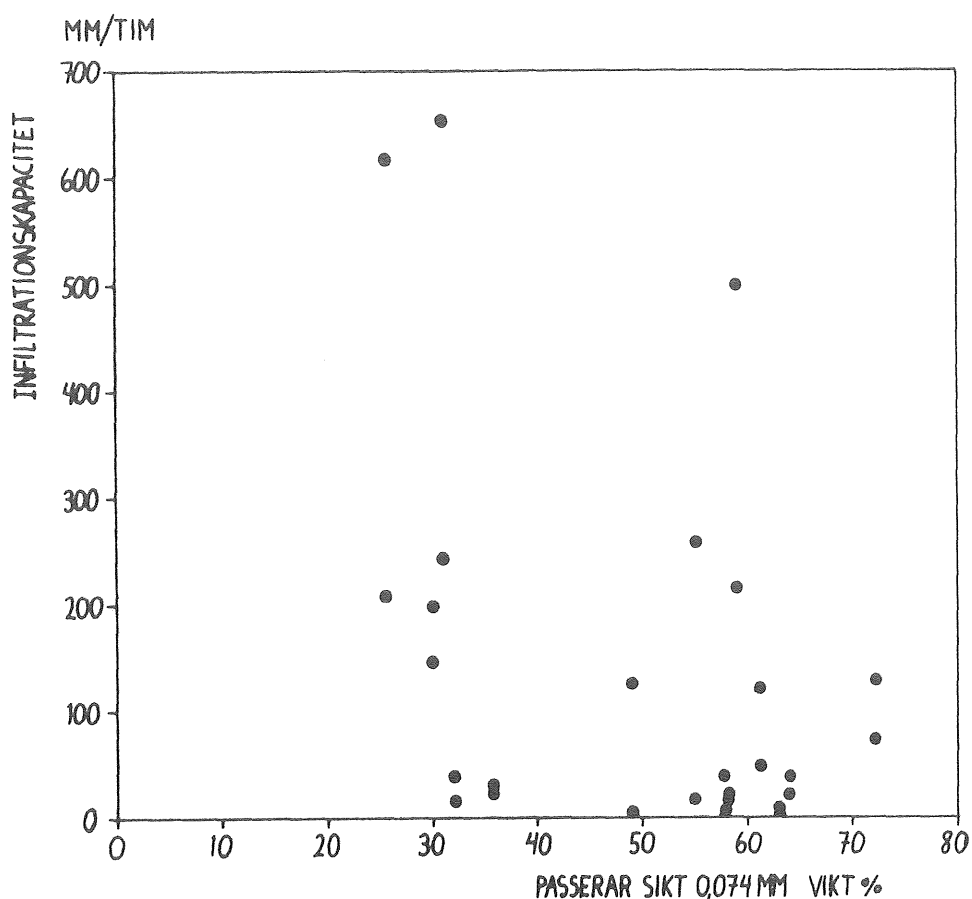
För bestämning av infiltrationskapacitet i sluttningar har som tidigare beskrivits konstruerats en speciell apparatur benämnd ränninfiltrometer.



Figur 23. Samband mellan infiltrationskapacitet i slutet av försöken och torrdensitet i samtidigt tagna prov.



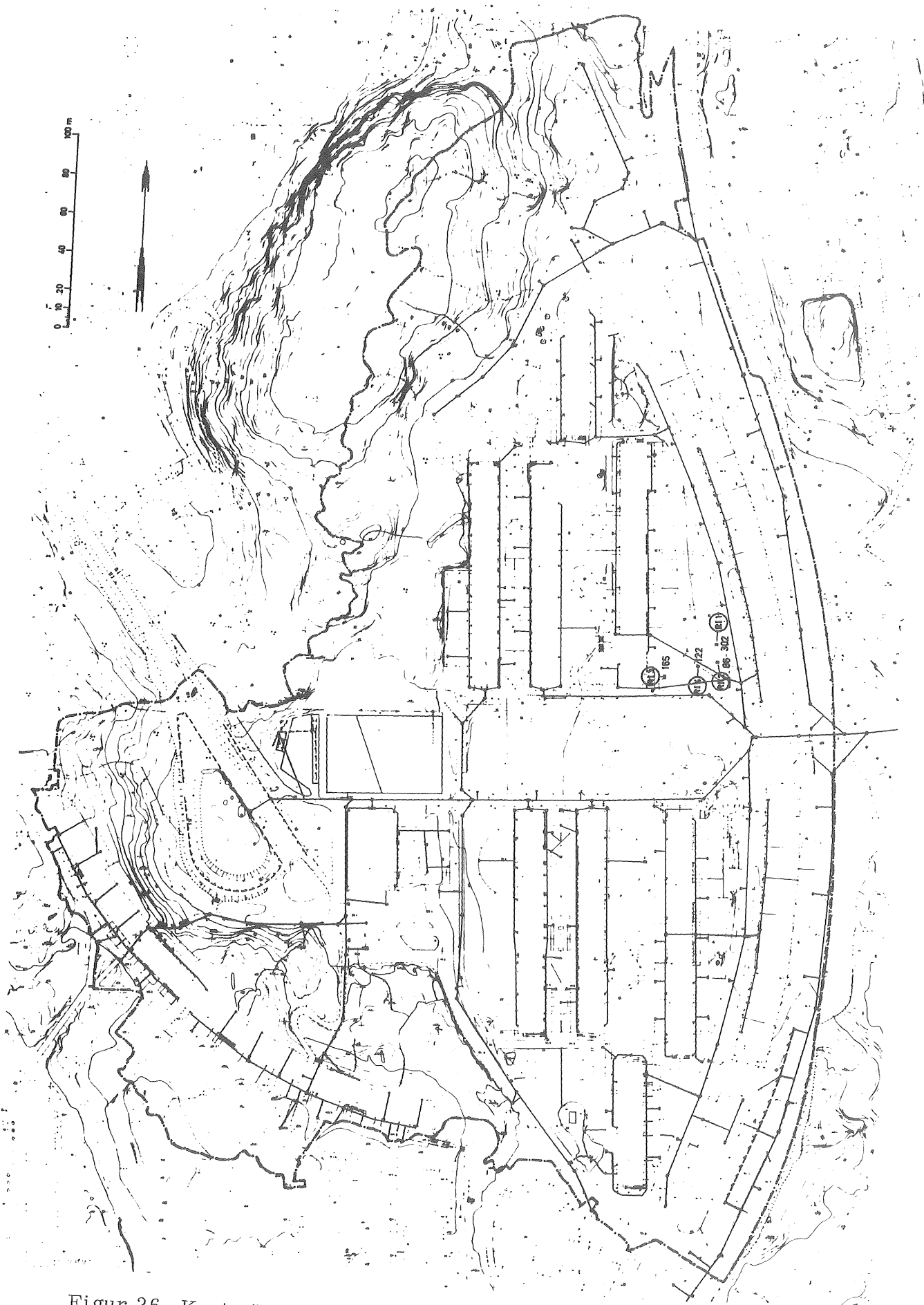
Figur 24. Samband mellan förändring av infiltrationskapacitet under försöken och skillnad mellan fältkapacitet och naturlig vattenhalt i samtidigt tagna prov.



Figur 25. Samband mellan infiltrationskapacitet i slutet av försöken och mängd material passerande sikt 0,074 i samtidigt tagna prov.

Inom projektets ram har endast 4 försök kunnat utföras under tiden september-november 1974. Dessa har koncentrerats till en gräsbevuxen slänt i områdets nordöstra del. Slänten har även undersökts tämligen ingående med ringinfiltrometer, varför vissa jämförelser av resultaten kan göras. Försöksplatsernas lägen framgår av kartan Figur 26. Uppmätta infiltrationskapaciteter har lagts in på samma karta.

Infiltrationskapaciteten har bestämts på grundval av uppmätning av tillförd och avrinnande vattenmängd vid flera tillfällen under samma försök. Den tillförda vattenmängden har även varierats för att eventuell inverkan av tjockare eller tunnare vattenfilm på markytan skulle kunna bedömas.



Figur 26 Karta över mätplatser med ränninfiltrometer.

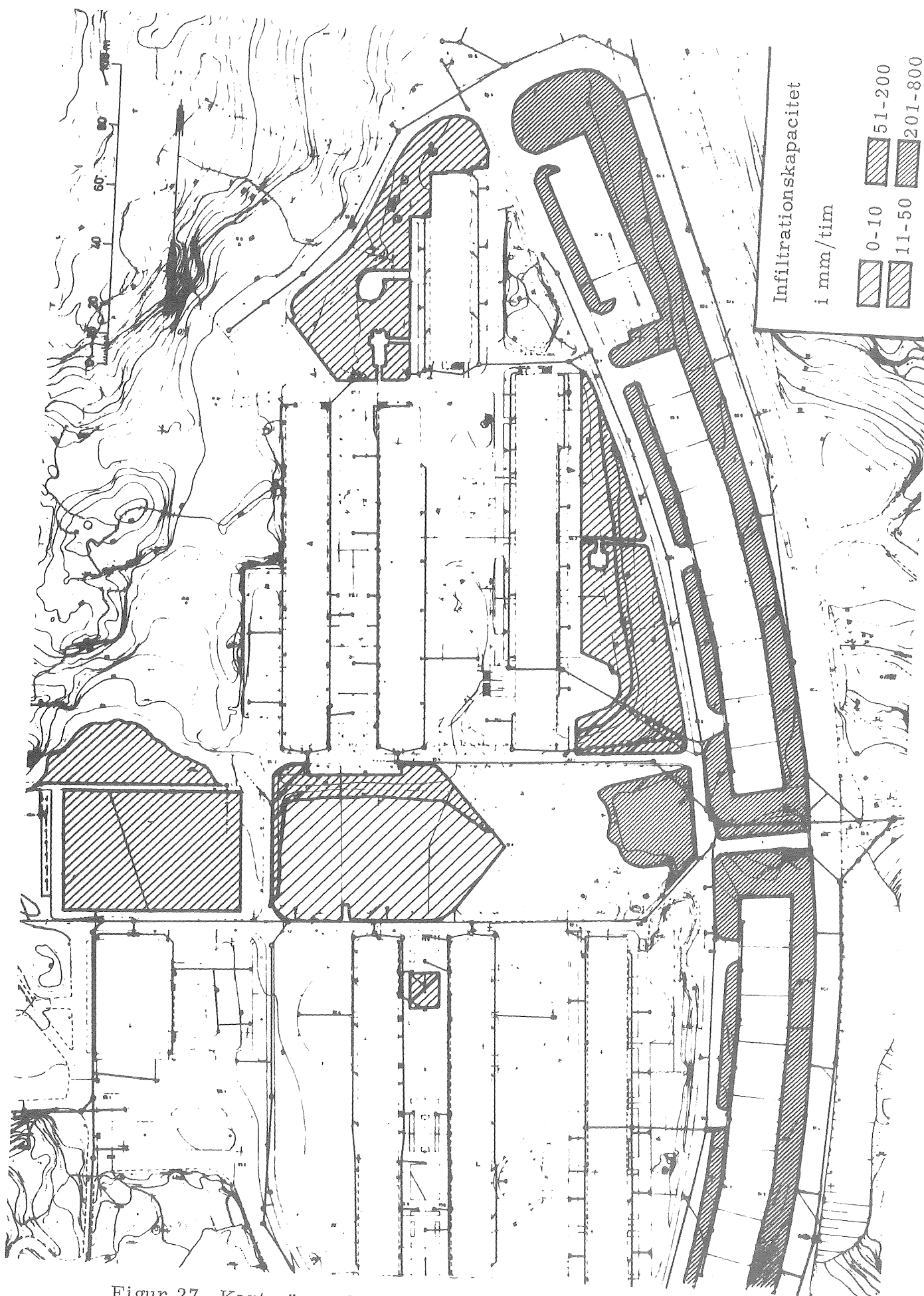
De utförda försöken är för få för att medge mera långtgående slutsatser. Det kan konstateras att uppmätta infiltrationskapaciteter till storlek väl överensstämmer med de i samma område genom ringinfiltrometerförsök konstaterade värdena. Variationerna mellan olika värden fastställda under samma försök är i allmänhet små. De största skillnaderna har uppstått vid små infiltrationskapaciteter. I dessa fall är orsaken med säkerhet bristande noggrannhet. Vattentillförseln får nämligen ej minskas så mycket att markytan blir ofullständigt täckt av vatten. Vid små infiltrationskapaciteter medför detta krav att skillnaden i storlek mellan tillförd och avrinnande vattenmängd respektive infiltrationskapacitet blir för stor för att medge tillräcklig noggrannhet vid bestämning av infiltrationskapaciteten. Infiltrationskapaciteter under storleken 50 mm/tim är sålunda svåra att uppmäta någorlunda noggrant med ränninfiltrometer.

I anslutning till försöken med ränninfiltrometer har provtagning med efterföljande laboratorieanalys genomförts på samma sätt som beträffande ringinfiltrometerförsöken. Eftersom ränninfiltrometern täcker ett betydligt större område än ringinfiltrometern kan emellertid de tagna proverna knappast förväntas vara representativa, varför de ej redovisas här.

En fördel med ränninfiltrometern är att den täcker ett relativt stort område (ca  $1,6 \text{ m}^2$ ). Den kan därför förväntas överbrygga en del av inhomogeniteterna i marken. Speciellt utjämnas sådana lokala företeelser som maskgångar, torksprickor och liknande, vilka i avsevärd grad kan förvränga resultatet från ett ringinfiltrometerförsök. Det bör därför vara betydligt fördelaktigare att när så är möjligt använda ränninfiltrometern för undersökningar som syftar till att utröna infiltrationskapaciteten inom ett visst område.

## 7 Sammanfattning

På grundval av uppmätta infiltrationskapaciteter och allmän kännedom om området har ett försök gjorts att redovisa delområden med olika infiltrationskapacitet, Figur 27. Data-



Figur 27 Karta över delområden med uppskattad infiltrationskapacitet.



materialet är egentligen med hänsyn till områdets inhomogenitet alldeles för litet för en sådan uppdelning. Kartan får därför närmast ses som ett försök att med nuvarande bristfälliga information visa vad som i bästa fall skulle kunna tillgodogöras av en undersökning av den typ som här genomförts. Samtidigt kan det konstateras att för en någorlunda säker uppskattning av infiltrationskapaciteten inom olika delområden krävs ett mycket stort antal försök, troligen så många att en sådan undersökning i de allra flesta fall ställer sig orealistisk. Som framgår av genomgången i avsnitten 2 och 3 "Teoretisk bakgrund" och "Bestämning av infiltrationskapacitet" är de lokala variationerna i infiltrationskapacitet mycket stora redan i naturliga jordlager. Föreliggande undersökning visar att variationerna i ett urbant område som Bergsjön ofta kan vara ännu större. Vad som vidare är påfallande är att infiltrationskapaciteten vanligen är så stor att den väl överstiger förekommande nederbördsintensiteter. Det är i allmänhet de ytligaste jordlagren som bestämmer infiltrationskapaciteten eftersom de djupare lagren ofta består av grövre fyllning med stor vattenomtränglighet.

## Bilaga 2

### MARKVATTENMÄTNING MED RADIOMETRISK SOND

#### Innehåll

1. Inledning
2. Densitetsmätning
3. Vattenhaltsmätning
4. Radiometrisk ytsond
5. Radiometrisk djupsond

## Bilaga 2

### MARKVATTENMÄTNING MED RADIOMETRISK SOND

#### 1. Inledning

Markvattenmagasinet är en betydelsefull faktor vid bedömning av vattenbalansen inom ett område. Undersökningar av markvattenförhållandena inom ett visst område var tidigare tidskrävande med omfattande fältarbeten och efterföljande laboratorieundersökningar. I och med tillkomsten av de radiometriska metoderna, som kan användas direkt på platsen, har undersökningsmetodiken förenklats högst väsentligt. Insamlandet av data i tillräcklig mängd under begränsad tid erbjuder nu inga problem. Något tillspetsat kan problemen sägas ha förskjutits från insamlandet av mätdata till tolkning och behandling av dessa.

Principerna för radiometrisk mätning kommer här endast att redovisas översiktligt för att ge en allmän bakgrund till metoden. För mera ingående teoretiska beskrivningar hänvisas exempelvis till: "Isotopteknik inom markfysik och geohydrologi" (1963), varifrån även nedanstående till stor del har hämtats.

#### 2. Densitetsbestämning

För bestämning av ett materials densitet (volymvikt) kan genomstrålning med gamma-strålar utnyttjas, gamma-strålningen utgörs av en elektromagnetisk vågrörelse av mycket kort våglängd och är av samma karaktär som röntgenstrålning eller ljusstrålning. Vid passage genom materia undergår strålningen en intensitetsminskning, en absorption, varigenom den utträdande intensiteten blir lägre än den infallande. Inom vissa gränser för strålningens energi och den genomstrålade materiens atomnummer är intensitetsnedsättningen proportionell mot absorbatormaterialets densitet och gångvägen i absorbatoren. Detta är bakgrunden till att gamma-strålning kan utnyttjas både för tjockleksmätning på enhetliga material och densitetsbestämning när tjockleken är konstant.

En gamma-strålkälla (exempelvis  $\text{Co}_{60}$  eller  $\text{Cs}_{137}$ ) som är innesluten

i ett medium kommer att omges, förutom av den egna primärstrålningen, av sekundär strålning som uppstått genom  $s\ k$  Compton-spridning i materialet. Härpå grundar sig användningen av gamma-återspridningsmätning för densitetsbestämning. Den sekundära strålningen utsänds nämligen i alla riktningar, och en viss del kommer även att återvända mot strålningens utgångspunkt. Intensiteten hos denna återspridda strålning beror av densiteten och atomnumret hos det omgivande mediet. För de jämförelsevis enhetliga material, som jordlager utgör med avseende på atomnummervariationen, kan man i allmänhet försumma beroendet av atomnumret och anse den återspridda strålningens intensitet vara en funktion enbart av densiteten.

Som detektor kan antingen användas Geiger-Müller-rör eller scintillationsdetektor. Den förstnämnda är enkel och pålitlig men dess verkningsgrad för gamma-strålning är låg, varför den är mindre lämplig. Scintillationsdetektorn däremot har hög verkningsgrad för gamma-strålning. Det strålningskänsliga mediet i detektorn är en kristall, scintillatoren, vanligtvis av natriumjodid, som fluorescerar under den radioaktiva strålningens inverkan. För att förstärka ljusnivån, som är mycket låg, fordras en kraftig förstärkning i en  $s\ k$  fotomultiplikator, vilken enklast kan beskrivas som en fotocell med inbyggd förstärkning.

### 3. Vattenhaltsbestämning

För bestämning av ett materials vattenhalt kan bestålning med snabba neutroner användas. Sådan strålning utlöses genom en kärnreaktion om ett alfa-strålande (alfa-strålar = heliumkärnor) ämne blandas med grundämnet beryllium. Neutronerna utsänds med höga energier. I ett material, som omger det neutronstrålande preparatet kommer neutronerna så småningom att bromsas genom elastiska stötar mot materialets atomkärnor. Olika grundämnen har olika stor förmåga att bromsa neutroner. Enligt mekanikens lagar fördelas en neutrons rörelseenergi vid elastisk stöt mot en atomkärna omvänt proportionellt mot deras respektive massor. Vätekärnan (protonen) har nästan exakt

samma massa som neutronen, varför kollision med en vätekärna medför en halvering av rörelseenergin hos neutronen. Väte är därför den effektivaste bromsen eller moderatorn, som existerar. Efter drygt 20 stötar har energin reducerats till så låga värden att neutronen befinner sig i termisk jämvikt med omgivningen, dvs har samma genomsnittliga hastighet som atomerna i omgivande material. Sådana neutroner är till skillnad från energirika neutroner mycket benägna att initiera kärnreaktioner, och kan exempelvis påvisas med scintillationsdetektor (se ovan).

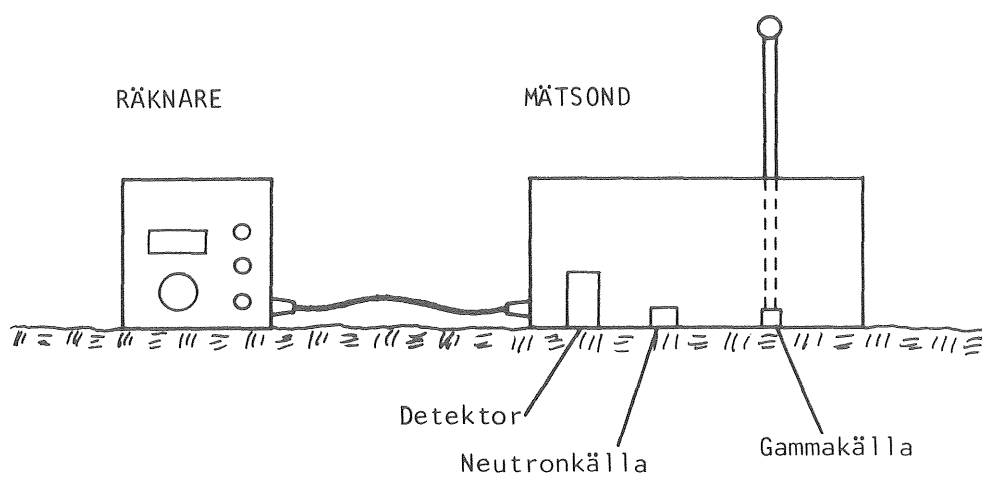
Till vätets gynnsamma egenskaper som neutronbroms bidrar även den omständigheten att väte endast har en svag tendens att absorbera neutroner. Intensiteten av termiska neutroner kommer därför att bli hög kring en neutronkälla nedsänkt i ett material med hög vätehalt.

De i naturliga svenska jordar, och då i synnerhet grus- och sandjordar, förekommande moderatorerna utgörs så gott som uteslutande av väte. I oorganiska jordarter förekommer väte bundet som vatten, varför markens vattenhalt är bestämmande för intensiteten av termiska neutroner kring en nedsänkt neutronkälla. En hög vattenhalt medför sålunda hög intensitet av termiska neutroner och tvärt om. Liksom vid densitetsmätningen gäller att mätvärdet blir ett medelvärde, som representerar sondens närmsta omgivning. En 30 mCi neutronkälla mäter sålunda inom en sfär med en radie av cirka:

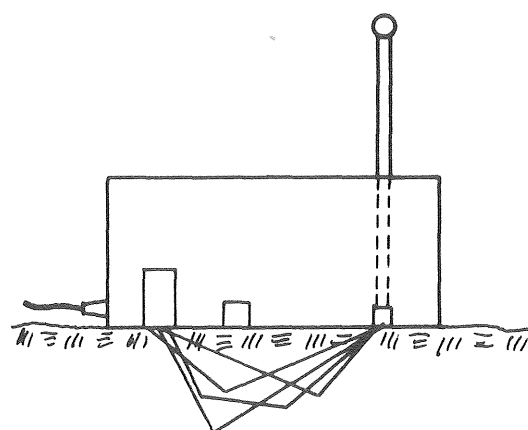
- 10 cm i vatten
- 15 cm i vattenmättad sand
- 20 cm i luft
- 40 cm i torr sand

#### 4 Radiometrisk ytsond

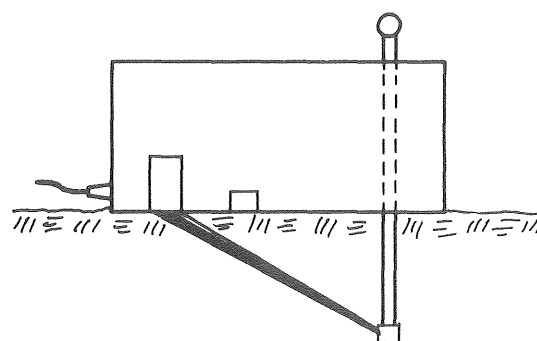
Med radiometrisk ytsond menas här ett instrument avsett att huvudsakligen endast undersöka de översta ca 10 cm av jordlagren. Apparaturen är inbyggd i en låda som placeras på marken.



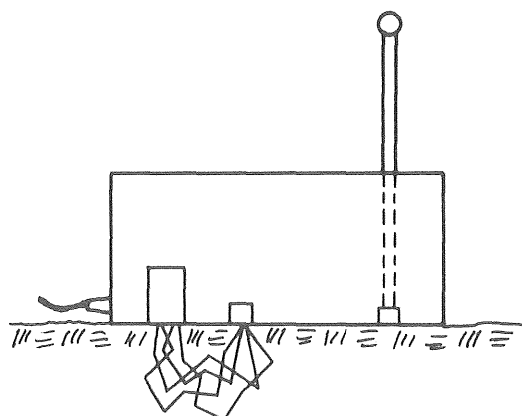
Figur 28. Radiometrisk ytsond.



Densitetsmätning  
(återspridning)



Densitetsmätning  
(transmission)

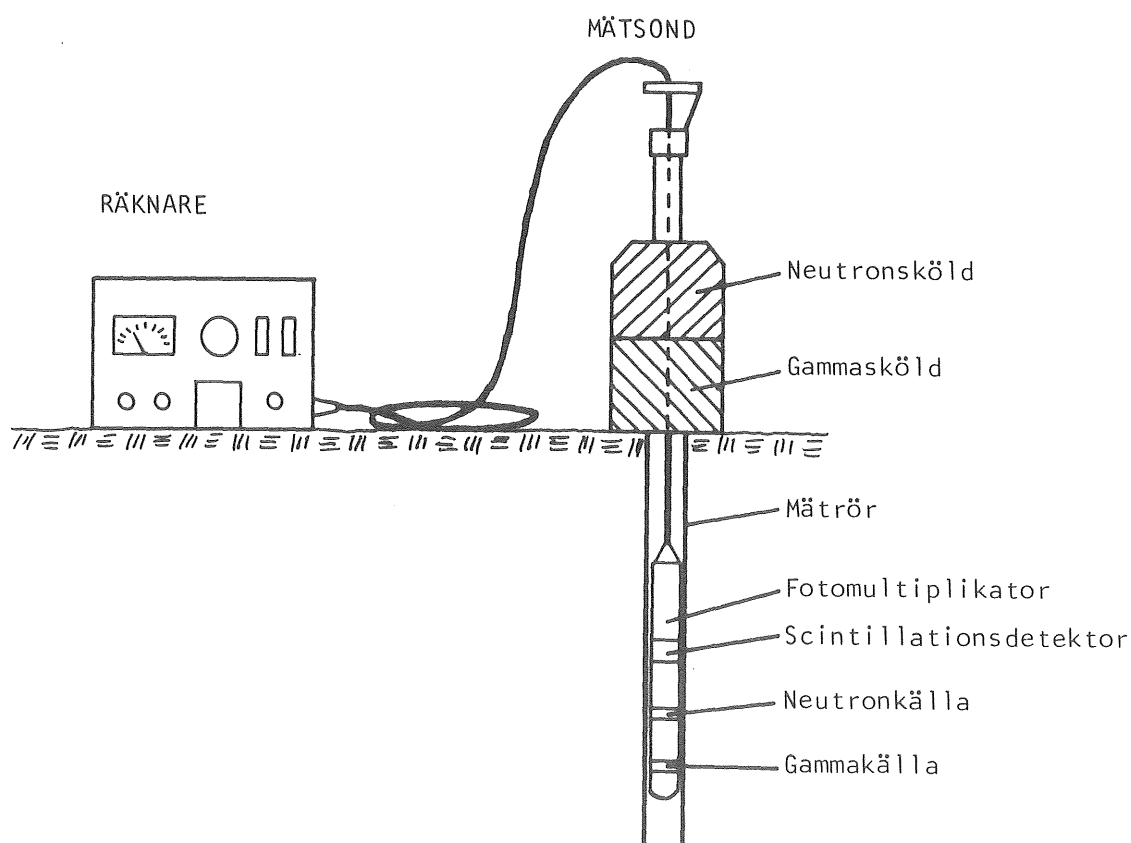


Vattenhaltsmätning  
(återspridning)

Figur 29. Olika möjligheter vid mätning med radiometrisk ytsond.

Störst praktiskt intresse har en sådan utrustning för kontroll av packning i samband med exempelvis väg- och dammbyggen. Ytsonden har härvid den stora fördelen att utan ingrepp i materialet tillåta snabbt utförande av ett stort antal mätningar.

Apparaturens principiella uppbyggnad framgår av Figur 28. Själva sonden består av gammakälla, neutronkälla och detektor. För att registrera mätningarna behövs dessutom ett separat räknarinstrument. Som framgår av Figur 29 utförs vattenhaltsmätningen som återspridningsmätning och densitetsmätningen antingen som återspridningsmätning eller transmissionsmätning. För att det senare skall vara möjligt är gammakällan placerad på ett spett som kan föras ned i jorden.



Figur 30. Radiometrisk djupsond.

## 5 Radiometrisk djupsond

En radiometrisk djupsond är ett instrument som används för att undersöka jordlagren kring ett i marken nedslaget rör. Son- den kan vara kalibrerad för mätning i rör av olika material såsom järn och aluminium. Denna apparat är främst avsedd för mätning av vattenhaltens variationer i den omättade zonen. På grund av randeffekter vid markytan kan i allmänhet ej det översta 20-25 cm mäktiga marklagret kontrolleras utan speciell kalibrering.

Apparaturens principiella uppbyggnad framgår av Figur 30. De båda strålningskällorna och detektorn sitter i en cylinderformad mätkropp, som kan sänkas ned i mätrören. Under transport är mätkroppen innesluten i ett skyddshölje. Av naturliga skäl kan endast åttetspridningsmätning utföras. Liksom till ytsonden krävs ett separat räknarinstrument för registrering av mätningarna.



### Bilaga 3

#### MÄTNING MED RADIOMETRISK YTSOND

##### Innehåll

1. Inledning
2. Använd utrustning
3. Försökens genomförande
4. Resultat
5. Sammanfattning

### Bilaga 3

#### MÄTNING MED RADIOMETRISK YTSOND

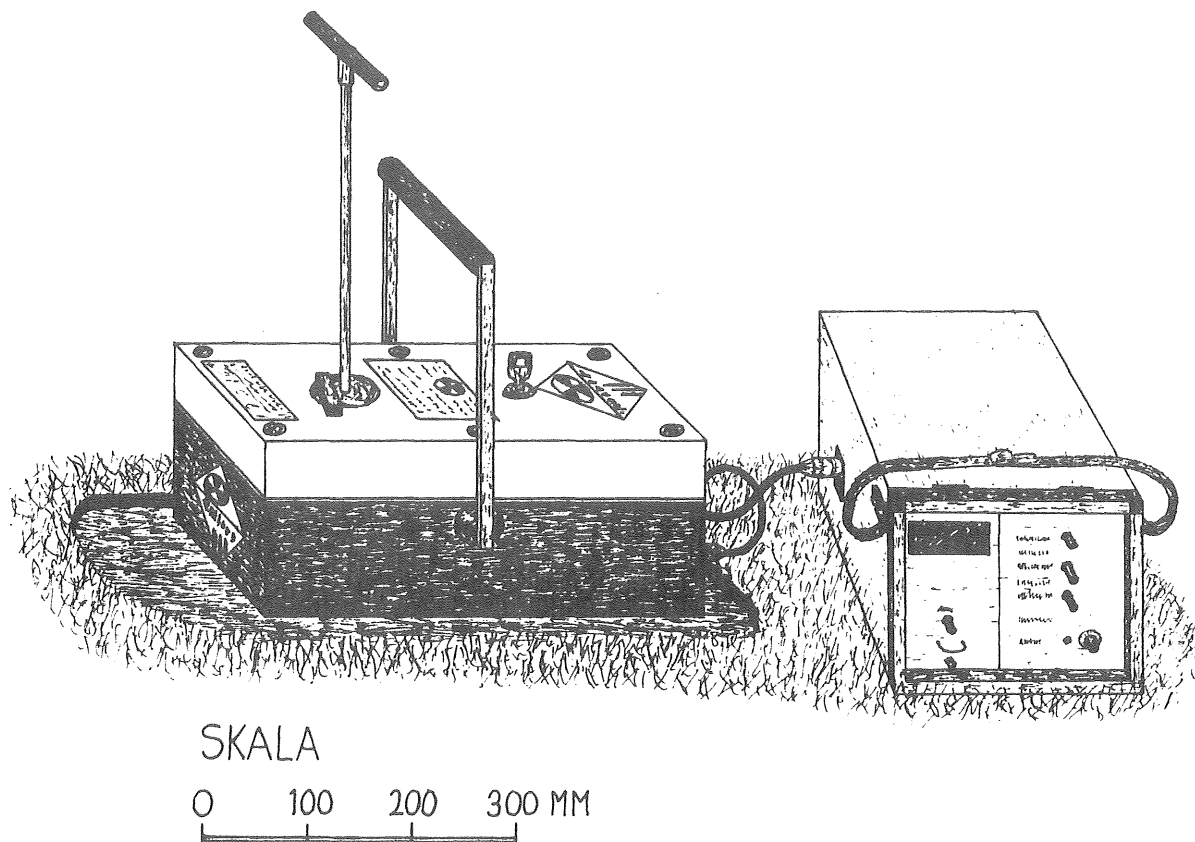
##### 1 Inledning

Markvattenmagasinet i de översta delarna av jordlagren har sannolikt betydande inverkan på markens infiltrationskapacitet speciellt under inledningsskedet av ett regn. Bestämning av markens vattenhalt kan genomföras med hjälp av provtagning. Provtagning med efterföljande laboratorieanalys är emellertid en mödosam metod, som dessutom medför en successiv förstöring av undersökningsområdet vid kontinuerliga undersökningar. Ett annat alternativ för mätning av markens vattenhalt är användning av konventionell radiometrisk djupsond i rör vilka drivits ned i marken. Denna typ av mätning ger i normala fall inga värden för det översta, 20-25 cm mäktiga lagret.

Av ovan angivna skäl har inom undersökningsområdet i Bergsjön provats en radiometrisk ytsond för bestämning av markvattenhalten i jordlagren närmast markytan. Mätningarna har utförts i anslutning till infiltrometerförsök och har kombinerats med samtidig provtagning för att ytsondens mätvärden skulle kunna kontrolleras.

##### 2 Använd utrustning

Den använda radiometriska ytsonden är av NEA:s fabrikat (NEA Surface Probe, type IPR 101), utrustad med en neutronkälla ( $75 \text{ mCi Am}_{241} - \text{Be}$ ), en gammakälla ( $3 \text{ mCi Cs}_{137}$ ) samt en scintillationsdetektor (litiumglaskristall) med fotomultiplikator. Som registreringsinstrument har använts NEA:s Miniscaler, type ISX 101. Beträffande principerna för vattenhalts- och densitetsmätning respektive mätning med radiometrisk ytsond hänvisas till bilaga 2 "Markvattenmätning med radiometrisk sond". Sondens uppbyggnad framgår av Figur 31. Se även principskisser i Figur 28-29, bilaga 2.



Figur 31. Radiometrisk ytsond.

Vattenhaltsmätning kan med denna utrustning endast utföras enligt ytåterspridningsmetoden, vilket innebär att strålningskällan (neutronkällan i detta fall) sitter inne i sondens hölje och att endast "reflekterad" strålning kan mätas.

Densitetsmätning kan dels utföras enligt ytåterspridningsmetoden, dels som transmissionsmätning, varvid strålningskällan (gammakällan i detta fall) föres ned i marken med hjälp av ett spett.

Mätning med ytåterspridning har fördelen av att man inte behöver föra ned någonting i marken, vilken därför kan få innehålla stenar eller andra hinder. Vid transmissionsmätning däremot måste jordlagren tillåta att spettet med strålningskällan förs ner, något som kan vara svårt, exempelvis i stenig jord. En nackdel med ytåterspridningsmätning är att resultatet i relativt hög grad beror av själva markytans struktur och huruvida anliggningen mot sondens undersida är god eller ej. Sådan

mätning ställer därför höga krav på att ytan är väl avjämnad, något som innebär att större eller mindre ingrepp i de naturliga förhållandena måste göras. Transmissionsmätningen däremot är betydligt mindre känslig för markytans utseende.

Sonden är troligen i likhet med NEA:s djupsond kalibrerad för dansk "genomsnittsmorän" vilken får antagas huvudsakligen bestå av normala silikat- och karbonatmineral. I denna jordart antas den enda väsentliga neutronabsorbatorn vara väte i form av vatten. Speciellt vad gäller vattenhaltsmätning kan avvikande kemisk sammansättning i marken förorsaka fel. Detta gäller särskilt vid hög halt av klor (Cl), Bor (B), och järn (Fe). Hög halt av organiskt material (innehållande kolväten) innebär också en felkälla.

Vid mätning enligt ytåterspridningsprincipen kommer erhållna värden att i stort sett representera jordlagrens översta 10 cm. Detta mått varierar något beroende av jordlagrens uppbyggnad och vilket mätläge hos sonden som utnyttjas. Vid transmissionsmätning, som enligt ovan endast kan användas för bestämning av densitet, representerar erhållna värden den genomstrålade jordpackens mäktighet, vilken beror på det inställda mätdjupet. Sonden är kalibrerad för 15 cm och 25 cm varför endast dessa mätdjup kan praktiskt utnyttjas.

Utvärderingen av mätvärdena inleds med bestämning av densitet utgående från speciella kalibreringskurvor. Det finns en kurva för varje mätposition. Vattenhalten bestäms därefter ur ett diagram, som ger något olika vattenhalter för olika densitet, vilket förklarar varför den senare först måste vara känd.

### 3 Försökens genomförande

För provtagning har använts en cylinderprovtagare av den typ som konstruerats av institutionen för markvetenskap vid lantbrukshögskolan. Provtagaren består av en nedslagningsapparat och provtagningscylindrar, avsedda att slås ned i marken. Provtagaren beskrivs närmare i bilaga 1, avsnittet 4, "Provtagning".



Figur 32. Karta över mätplatser med radiometrisk ytsond.

Som ovan nämnts genomfördes försöken i allmänhet i samband med infiltrometermätningar. Provytan valdes i omedelbar anslutning till infiltrometrarna för att erhållna data skulle kunna tjäna som referens för uppmätta infiltrationsvärden. Samtliga försök utfördes på gräsbevuxna ytor (gräsmattor) inom sådana områden, där åtminstone de ytliga jordlagren utgöres av fyllningsmassor. Försöksytornas läge inom området i Bergsjön framgår av Figur 32.

För att möjliggöra såväl provtagning som radiometrisk mätning måste gräset avlägsnas från markytan. Med hjälp av en spade skalades därför det översta cirka 2 cm tjocka lagret bort från markytan på en yta av ungefär 30 x 50 cm. Sedan grästorven avlägsnats avjämnades ytan så noggrant som möjligt. Den radiometriska ytsonden placerades på provytan, som iordningställdes enligt ovan. Därefter genomfördes mätningarna. Samtliga mätningsslägen för densitetsmätning samt vattenhaltsmätning (endast ett läge möjligt) utnyttjades. Densitetsmätning kan genomföras som ytåterspridningsmätning i två lägen och transmissionsmätning i två lägen (45 cm och 25 cm djup enligt ovan). Samtliga mätningar genomfördes på tiden 30 sek.

Sedan ytsonden tagits bort från försöksytan placerades provtagarens nedslagningsapparat på densamma. I allmänhet togs två prover, ett med 50 mm cylinder och ett med 100 mm cylinder.

Efter försöken transporterades proverna till laboratorium för bestämning av densitet och vattenhalt. Förutom dessa för jämförelse med de radiometriska mätningarna nödvändiga data, bestämdes fältkapacitet, humushalt och mekanisk sammansättning i proverna.

#### 4. Resultat

Försöksresultaten har sammanställts i tabell 3.

I kolumn 1 redovisas de värden som erhållits vid laboratorieundersökningar av prover tagna med cylinderprovtagare. Be-

Tabell 3. Redovisning av jämförande försök med radiometrisk  
ytsond och provtagning.

|                               | KOLUMN 1<br>PROVTAGNING |                  | KOLUMN 2<br>RADIOMETRISKA VÄRDEN |        |        |        | KOLUMN 3<br>BERÄKNADE VÄRDEN |                  |
|-------------------------------|-------------------------|------------------|----------------------------------|--------|--------|--------|------------------------------|------------------|
|                               | 10 cm<br>cylinder       | 5 cm<br>cylinder | Läge 1                           | Läge 2 | Läge 3 | Läge 4 | 10 cm<br>cylinder            | 5 cm<br>cylinder |
| PROV I 3-4                    |                         |                  |                                  |        |        |        |                              |                  |
| Humus %                       | 11,31                   | 8,13             |                                  |        |        |        |                              |                  |
| < 0,074 %                     | 59,2                    | 67,0             |                                  |        |        |        |                              |                  |
| Våtdensitet g/cm <sup>3</sup> | 1,19                    | 1,23             | 1,84                             | 1,45   | 1,43   | 1,39   | ( 1,19)                      | ( 1,23)          |
| Vattenhalt vol. %             | 13                      | 9                | 23,8                             | 27,5   | 27,6   | 28,0   | 30,0                         | 29,4             |
| PROV I 5-6                    |                         |                  |                                  |        |        |        |                              |                  |
| Humus %                       | 3,40                    | 3,18             |                                  |        |        |        |                              |                  |
| < 0,074 %                     | 35,9                    | 40,0             |                                  |        |        |        |                              |                  |
| Våtdensitet g/cm <sup>3</sup> | 1,48                    | 1,58             | 1,32                             | -      | 1,62   | 1,68   | ( 1,48)                      | ( 1,58)          |
| Vattenhalt vol. %             | 2                       | 14               | 24,6                             | -      | 21,9   | 21,8   | 23,2                         | 22,4             |
| PROV I 7-8                    |                         |                  |                                  |        |        |        |                              |                  |
| Humus %                       | 6,37                    | 6,30             |                                  |        |        |        |                              |                  |
| < 0,074 %                     | 25,7                    | 27,5             |                                  |        |        |        |                              |                  |
| Våtdensitet g/cm <sup>3</sup> | 1,41                    | 1,52             | 1,45                             | 1,54   | 1,54   | 1,43   | ( 1,41)                      | ( 1,52)          |
| Vattenhalt vol. %             | 12                      | 5                | 23,6                             | 23,0   | 23,0   | 23,8   | 24,1                         | 23,2             |
| PROV I 13-14                  |                         |                  |                                  |        |        |        |                              |                  |
| Humus %                       | 5,72                    | 1,44             |                                  |        |        |        |                              |                  |
| < 0,074 %                     | 58,3                    | 28,5             |                                  |        |        |        |                              |                  |
| Våtdensitet g/cm <sup>3</sup> | 1,88                    | 1,72             | 1,74                             | 1,95   | 2,01   | 2,01   | ( 1,88)                      | ( 1,72)          |
| Vattenhalt vol. %             | 30                      | 21               | 34,6                             | 32,6   | 32,1   | 32,1   | 33,4                         | 35,0             |
| PROV I 17-18                  |                         |                  |                                  |        |        |        |                              |                  |
| Humus %                       | 10,10                   | 10,50            |                                  |        |        |        |                              |                  |
| < 0,074 %                     | 61,3                    | 65,6             |                                  |        |        |        |                              |                  |
| Våtdensitet g/cm <sup>3</sup> | 1,35                    | 1,25             | 1,67                             | 1,54   | -      | 1,76   | ( 1,35)                      | ( 1,25)          |
| Vattenhalt vol. %             | 36                      | 29               | 43,4                             | 45,2   | -      | 42,5   | 48,0                         | 49,8             |
| PROV I 19-20                  |                         |                  |                                  |        |        |        |                              |                  |
| Humus %                       | 6,07                    | 12,75            |                                  |        |        |        |                              |                  |
| < 0,074 %                     | 31,2                    | 63,3             |                                  |        |        |        |                              |                  |
| Våtdensitet g/cm <sup>3</sup> | 1,43                    | 1,27             | 1,41                             | 1,27   | 1,41   | 1,56   | ( 1,43)                      | ( 1,27)          |
| Vattenhalt vol. %             | 23                      | 28               | 38,9                             | 40,6   | 38,9   | 37,1   | 38,6                         | 40,6             |
| PROV I 21-22                  |                         |                  |                                  |        |        |        |                              |                  |
| Humus %                       | 7,29                    | 7,12             |                                  |        |        |        |                              |                  |
| < 0,074 %                     | 31,9                    | 31,7             |                                  |        |        |        |                              |                  |
| Våtdensitet g/cm <sup>3</sup> | 1,54                    | 1,61             | 1,26                             | -      | 1,59   | 1,65   | ( 1,54)                      | ( 1,61)          |
| Vattenhalt vol. %             | 30                      | 27               | 49,6                             | -      | 42,1   | 41,4   | 42,6                         | 41,9             |

nämningen av proverna hänför sig till motsvarande infiltrationsförsök. Vid försöken har använts såväl stor (100 mm lång) som liten (50 mm lång) provcylinder. Mekanisk analys av samtliga prover visar att markmaterialet mestadels kan betecknas som dåligt sorterat. Den mekaniska sammansättningen varierar från lerig mo till moig sand. Några representativa kornstorlekskurvor framgår av Figur 22, bilaga 1. Humushalten varierar ganska kraftigt men är i allmänhet av storleken 5-10 %, d v s jordarten kan betecknas som mullrik mineraljord.

Densitets- och vattenhaltsvärdena uppvisar stora variationer även mellan de två olika proven vid samma försöksplats, vilket sannolikt beror på den inhomogena uppbyggnad marken får i områden bestående av fyllnadsmassor.

I kolumn 2 redovisas de värden som erhållits genom mätning med radiometrisk ytsond. Samtliga fyra möjliga lägen för densitetsmätning har ytnyttjats, varför även fyra olika vattenhaltsvärden erhållits för varje försöksplats. Densitetsvärdena varierar i flera fall kraftigt mellan de olika mätlägena, något som dock kan bero på markens inhomogenitet, vilken enligt ovan påvisats genom provtagningen. Uppmätta densitetsvärden ligger i allmänhet inom samma storleksintervall som de genom provtagning konstaterade värdena. Den radiometriska ytsonden bedöms sålunda ge någorlunda tillförlitliga densitetsvärden. Beräknade vattenhaltsvärden skiljer sig i allmänhet kraftigt från de genom provtagning konstaterade värdena. Skillnaderna är så stora att den radiometriska ytsonden måste anses ge otillfredsställande vattenhaltsvärden.

I kolumn 3 redovisas vattenhaltsvärden beräknade utgående från mätvärden för vattenhalt erhållna med den radiometriska ytsonden samt densitetsvärden bestämda genom provtagning. Eftersom densitetsbestämningar genom provtagning enligt ovan inte skiljer sig avsevärt från motsvarande radiometriska bestämningar, erhålls emellertid även med en sådan beräkning av vattenhalterna otillfredsställande värden.



## 5 Sammanfattning

Radiometrisk ytsond är avsedd att underlätta bestämningar av densitet och vattenhalt i markens ytligaste lager, genom att ett stort antal mätningar kan utföras med ringa tidsåtgång samt att mätområdet inte behöver förstöras. För att mätningarna skall ge någorlunda korrekta värden krävs dock att sonden placeras på en väl avjämnad yta. Detta krav uppfylls sannolikt ej av en gräsmatta, där grästorven troligen måste avlägsnas före mätningen. Ett mätområde bestående av gräsmatta kommer sålunda likväl att delvis förstöras även om grästorven kan läggas tillbaka och eventuellt växa fast igen.

I försöksområdet Bergsjön har genomförts bestämningar av densitet och vattenhalt genom samtidigt utnyttjande av radiometrisk ytsond och provtagning. Densitetsvärdena, som erhållits med hjälp av sonden, uppvisar relativt god överensstämmelse med motsvarande genom provtagning erhållna värden. Vattenhaltsvärdena blir, bestämda med sonden, oavsett hur de beräknas, felaktiga i en sådan grad att erhållna värden måste anses oanvändbara. Orsaken härtill kan åtminstone delvis vara att markmaterialet vid försöksplatserna innehåller relativt mycket humus.

Endast 7 försök har som framgår av tabell 3 genomförts, vilket måste anses vara för litet som grundval för en mera exakt utvärdering. Syftet med försöksserien var emellertid endast att utröna om apparaturen var användbar i det aktuella området. Efter 7 försök bedömdes den genomgående tendensen vara så klar att ytterligare försök ej fordrades.

Sammanfattningsvis bedömes den av oss provade radiometriska ytsonden inte vara tillämpbar för mätningar under här redovisade förutsättningar, dvs gräsmattor på humushaltiga, finkorniga jordarter ("matjord").

## Bilaga 4

### MÄTNING MED RADIOMETRISK DJUPSOND

#### Innehåll

1. Inledning
2. Litteraturstudier
3. Använd utrustning
4. Mätplatser
5. Försökens genomförande
6. Markvattenmagasinets variationer
7. Markvattenhaltens variationer
8. Sammanfattning

## Bilaga 4

### MÄTNING MED RADIOMETRISK DJUPSOND

#### 1 Inledning

Mätningar i naturliga områden tyder på att markvattenmagasinet kan ha avsevärd betydelse för vattenbalansen. Det var därför naturligt att bestämning av markvattenmagasinet skulle ingå som en väsentlig del i föreliggande forskningsprojekt. I tidigare undersökningar bland annat inom ramen för Internationella Hydrologiska Dekadens (IHD) verksamhet har som praktiskt taget standardiserad metod använts radiometriska mätningar i nedslagna rör. Eftersom en sådan apparatur dessutom fanns tillgänglig på CTH valdes därför denna metod för mätningarna. De 7 mätrören utplacerades huvudsakligen på "mjuka" ytor i försöksområdets centrala delar. Mätningar pågick sedan kontinuerligt från våren 1974, till hösten 1975.

De teoretiska förutsättningarna för mätning med radiometrisk sond beskrivs närmare i bilaga 2, "Markvattenmätning med radiometrisk sond". Mätningar med radiometrisk ytsond redovisas i bilaga 3.

#### 2 Litteraturstudier

I samband med att de praktiska mätningarna i Bergsjön planerades ansågs det angeläget att studera tidigare undersökningar med ungefär samma syfte. Eftersom en jämförelse av de resultat som uppnått kunde ge ledning för utvärderingen av här erhållna data gjordes sammanställningar av de studerade undersökningarna. Mera omfattande markvattenundersökningar har i Sverige genomförts av exempelvis Fleetwood (Weijman-Hane & Hörberg 1969), Forsman & Milanov (1971), Nordberg & Modig (1973) samt Skoglund (1973). Kortfattade sammanställningar av dessa undersökningar redovisas nedan.

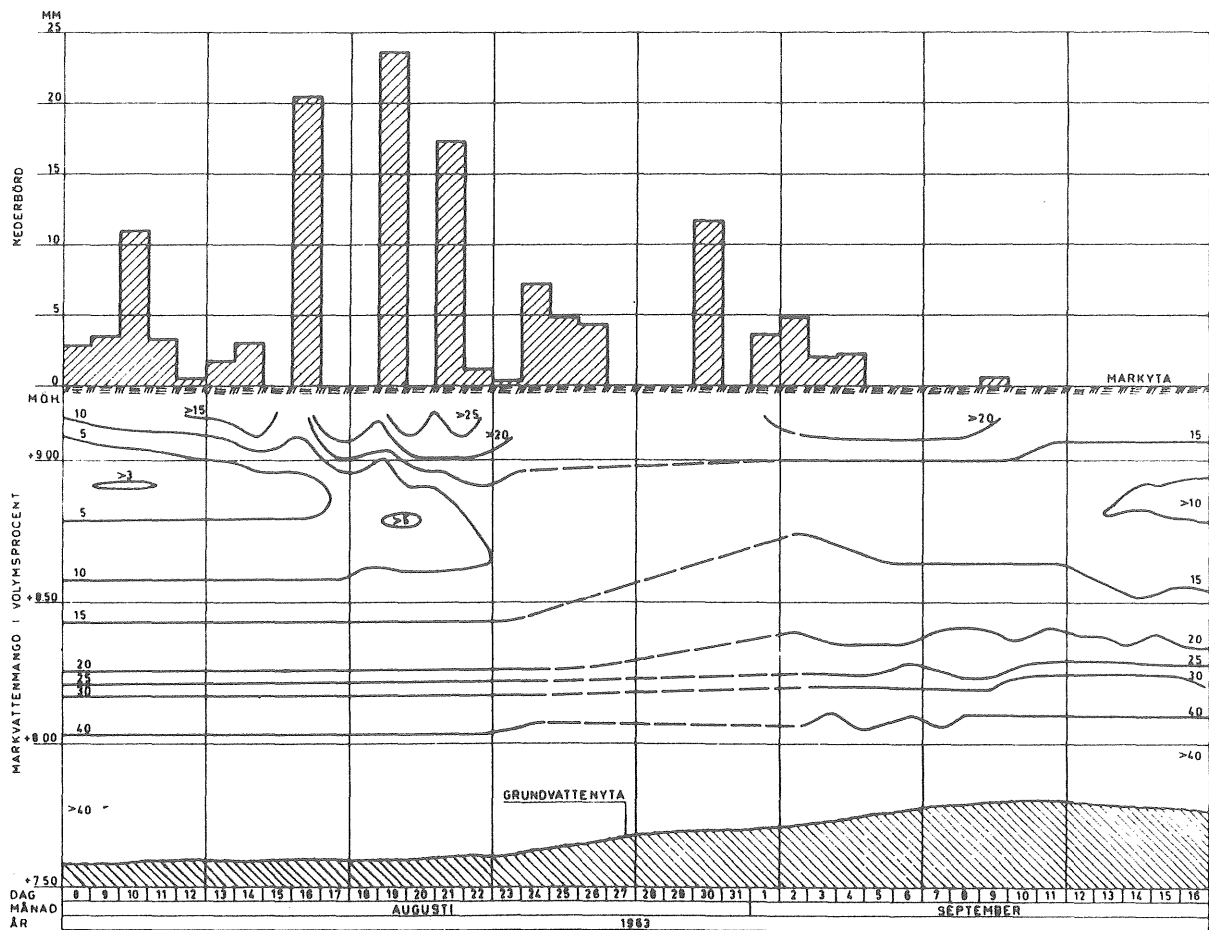
Fleetwood (Weijman-Hane & Hörberg 1969)

Denna undersökning utfördes som ett delmoment i utredningen om Kristianstadsslättens hydrologi. Markmaterialet i det undersökta delområdet bestod av sandig mo. Radiometrisk mätningar utfördes i fyra stycken 2"-rör på var 5:e cm. Mätningens intensitet är ej angiven, men verkar ha varit ca 1 gång/dag. Av en redovisad figur, här återgiven som Figur 33, framgår resultatet av mätningarna under den relativt korta perioden 8 augusti - 16 september 1963. De tillfälliga förändringarna i markvattenhalten till följd av regn når som framgår av figuren bara ner ca 3 dm under markytan trots att jordmaterialet bör ha tämligen god vattengenomtränglighet. På ett djup av ca 1 m under markytan sker knappast några förändringar alls. Markvattenförrådet i den betraktade profilen motsvarade mellan 320 och 520 mm, dvs storleksordningen en halv årsnederbörd. Variationen under 1 år var under hela mätperioden (juli 1963 - april 1965) maximalt av storleksordningen 200 mm.

Forsman & Milanov (1971)

Markvattenförhållandena har studerats som ett delmoment av IHD:s undersökningar inom det sk representativa området Velen i Skaraborgs län.

Jordtäcket består huvudsakligen av morän. Markvattennätet utgöres av sju stationer med flera 1 1/2" mätrör på varje station. På den station, som ligger vid meteorologiska stationen Sjöängen finns sålunda åtta mätrör. De övriga sex stationerna består av tre rör vardera. Av rören vid Sjöängen mättes tre stycken en gång per vecka, de övriga fem en gång per månad. Vid övriga stationer mättes ett rör en gång per månad, övriga fyra gånger per år. Mätningarna utfördes på var 10:e cm till botten av rören. Eftersom avsikten med undersökningarna var vattenbalansstudier mättes även grundvatten, nederbörd, avrinning, avdunstning och snömagasin inom området. De redovisade mätningarna som omfattar en tid



Figur 33. Fördelningen av markvatten, grundvattenytans läge samt nederbörden under perioden 8 augusti - 16 september 1963 för undersökningsplatsen vid Ugerup. Linjerna under markytan, isopleterna, markerar gränser för lika vattenhalt uttryckt i volymsprocent. Efter Weijman-Hane & Hörberg (1969).

av 3 år visar att markvattenhaltens normala årsamplitud i den översta metern, där de största förändringarna äger rum, torde vara omkring 50 mm, dvs ca 7% av årsnederbörden. Vid intensivstudier av vattenomsättningen i ett mindre delområde under snösmältningen konstaterades att markvattenhalten kan stiga mycket snabbt. Under loppet av fyra dagar steg sålunda markvattenhalten med ca 7 mm/dag. Med hjälp av mätningarna har även markfysikaliska konstanter uppskattats. Om den översta metern betraktas erhålles följande medelvärden:

|                   |                            |
|-------------------|----------------------------|
| Vissningsgräns    | 150 mm (ev något för högt) |
| Fältkapacitet     | 290 mm (ev något för högt) |
| Upptagbart vatten | 140 mm                     |

Variansanalys har utförts på markvattenmätningarna inom Velenområdet. Medelfelet i arealmedelvärdet blir med

|              |                                     |
|--------------|-------------------------------------|
| 7 stationer  | $\pm 7$ mm/månad i översta metern   |
| 14 stationer | $\pm 4,7$ mm/månad i översta metern |
| 4 stationer  | $\pm 8,9$ mm/månad i översta metern |

Medelfelet  $\pm 7$  mm/månad är inte acceptabelt för beräkning av avdunstningen med vattenbalansmetod. Markvattenhalt och grundvattenstånd visar i Velenområdet parallella variationer utan nämnvärd tidsförskjutning. Forsman & Milanov drar slutsatsen att i ett område av den typ som här betraktas (moränområde med höga grundvattenstånd) bör mark- och grundvatten betraktas som en enhet. Efter några år av gemensamma mark- och grundvattenmätningar kan möjligen markvattenmätningarna inskränkas till en eller två gånger per sommar till förmån för ett tätare nät av grundvattenobservationsstationer.

#### Nordberg & Modig (1973)

Detta arbete genomfördes liksom det föregående inom IHD:s representativa område Velen i Skaraborgs län. Syftet var att bestämma effektiva porositeten i morän. Av intresse här är främst de mätningar av vattenhalten i marken som genomfördes med hjälp av radiometrisk sond. Effektiva porositeten bestämdes som skillnaden mellan vattenhalten vid full mättnad (genom bevattning) och vid fri dränering efter viss tid. Vattenhalten mättes med hjälp av i marken nedslagna rör med sluten spets. Mätningarna utfördes i allmänhet på var 10:e cm. Efter avslutat försök grävdes ett rör upp. På två nivåer hade erhållits höga vattenhalter, som avvek klart från medelvärdena. Det befanns att på dessa nivåer hade hålrum med en bredd av 0 - 5 cm bildats. Avsevärda störningar i jorden hade åstad-

kommits vid rördrivningen. Hålrummen torde sålunda ha uppstått vid rördrivningen, då rörspetsen träffat block eller större stenar och drivit dessa framför sig ett stycke innan de sköts åt sidan. Mindre hålrum kan ha skapats då rörspetsen nått berggrunden och fortsatt hejning förorsakat svängningar i röret. Ett block och en sten hade tangerats av röret. Dessa syntes dock ha haft mindre inverkan på mätresultaten än hålrummen. Sammanfattningsvis konstaterar Nordberg & Modig att de värden på vattenhalter som erhållits med gamma-neutronmätningar är behäftade med vissa fel. Metodens osäkerhet beträffande mätning av absoluta vattenhalter elimineras dock något genom att undersökningen av effektiva porositeter baserades på differenser mellan vattenhalt vid full vattennämnad och fältkapacitet.

#### Skoglund (1973)

Arbetet inriktades dels på metodstudier rörande radiometriska vattenhaltsbestämningar i jordlager, dels på markvattnets samband med det mellansvenska landskapets geomorfologi. Undersökningarna genomfördes på uppdrag av IHD. Försöksområdet är beläget ca 5 km söder om Uppsala i trakten av Ultuna. Jordartsfördelningen i landskapet följer i stort den topografiska bilden. På högre liggande partier dominerar berg-morän. De lågt liggande partierna upptas av leror. Svallsediment förekommer dels i anslutning till Uppsalaåsen, dels inom branta sluttningar mot syd och sydväst. Under leran påträffas i allmänhet morän och grövre sediment. Mätningarna utfördes med radiometrisk sond i nedslagna rör. Antalet mätplatser var 6 med 3 rör vardera. Mätningarna utfördes vanligen med ett tidsintervall av 10-15 dagar på var 10:e cm ned till 120 cm och därefter var 20:e cm ned till 220 cm. Bearbetningen av mätresultaten utfördes likasom vad gäller Forsman & Milanovs undersökning med hjälp av dator. Program för dessa bearbetningar har utarbetats av IHD:s datagrupp vid Institutionen för kulturteknik, KTH. Programmen finns redovisade i IHD:s report nr 17 (Thunvik, Nilsson & Kihlmark 1972.)

Följande bearbetningar och beräkningar utfördes med utgångspunkt från uppmätta primärdata:

1. Totala vattenmängden i respektive profil (0-200 cm djup).
2. Vattenhalten som funktion av tid och djup, s k isopletdiagram.
3. Det inbördes förhållandet mellan de båda profilerna på en försöksplats vad gäller varje mätnivås medelvattenhalt och standardavvikelse.
4. Markvattenmagasinets storlek i relation till fältkapaciteten.
5. Den växttillgängliga markvattenmängdens tömningsgrad.
6. Tidserieanalys av samtliga profiler med avseende på totalvatteninnehåll.

Av de redovisade resultaten framgår att totala vattenmängden som väntat är störst i lerområden med högt grundvattenstånd, mindre i svallsediment med lågt grundvattenstånd. I lerprofilerna varierar vatteninnehållet 80 - 120 mm och i svallsediment 140 - 300 mm. I allmänhet har markvattenmagasinet maximal fyllnad under snösmältningen och ett minimum under sensommaren-hösten. Isopletdiagrammen visar att i lera sker de huvudsakliga förändringarna i markvattenhalt på mindre än 60 cm djup under markytan. På mera än 1 m djup sker inga förändringar av betydelse. I grövre sediment konstaterades avsevärda förändringar i vattenhalt i hela de uppmätta profilerna (200 cm). Markvattenmagasinets storlek i relation till fältkapacitetsvärdet undersöktes. Det visade sig att övermättnad, sålunda högre vattenhalter än fältkapaciteten, normalt sker under vintern. Största övermagasineringen förekommer i svallsediment och uppgår till ca 50 - 140 mm. I lera är den väsentligt lägre eller mellan 0 och ca 70 mm. Med hänsyn till de processer som dominerar och förorsakar förändringarna i markens vatteninnehåll kan året grovt indelas i följande perioder:



|             |                                   |
|-------------|-----------------------------------|
| 1/1 - 15/4  | övermättnadsskede                 |
| 15/4 - 15/5 | dränerings- och avdunstningsskede |
| 15/5 - 1/9  | avdunstningsskede                 |
| 1/9 - 1/1   | påfyllnadsskede                   |

### 3      Använd utrustning

För mätningarna har använts en radiometrisk sond av NEA:s fabrikat (BASC Depth Moisture/Density Probe). Sonden består av en neutronkälla (30 mCi  $\text{Am}_{241}\text{-Be}$ ), en gammakälla (1mCi  $\text{Cs}_{137}$ ) samt en scintillationsdetektor (litiumglaskristall) med fotomultiplikator. Som registreringsinstrument har använts NEA:s BASC, Portable Battery Scaler. Beträffande principerna för vattenhalts- och densitetsmätning respektive mätning med radiometrisk djupsond hänvisas till bilaga 2 "Markvattenmätning med radiometrisk sond". Sondens uppbyggnad framgår av principskiss i Figur 30, bilaga 2.

Vid den praktiska mätningen sänks sonden ner i mätröret. Djupet kan avläsas på ett räkneverk som är kopplat till en rulle, vilken löper mot den kabel sonden hänger i. Utan speciella åtgärder kan mätning ej utföras högre än 20 à 25 cm under markytan. Beroende på vilken noggrannhet som erfordras kan olika mättider väljas. Noggrannheten blir högre med långa mättider. I detta fall har genomgående använts tiden 30 sek.

Mätvärdena omräknas till densitet respektive vattenhalt med hjälp av kalibreringskurvor, vilka framställs individuellt för varje instrument. Enligt NEA är sonden kalibrerad för dansk "genomsnittsmorän" vilken får antagas huvudsakligen bestå av silikat- och karbonatmineral. I denna jordart antas den väsentliga neutronabsorbatorn vara väte i form av vatten. Speciellt vad gäller vattenhaltsmätning kan avvikande kemisk sammansättning i marken förorsaka fel. Detta gäller särskilt vid hög halt av klor (Cl) Bor (B) och Järn (Fe). Hög halt av organiskt material (innehållande kolväten) innebär också en felkälla.

Densiteten måste bestämmas först eftersom kalibreringskurvorna för vattenhalt är något beroende av variationer i densitet. Vid mätningar i samma punkt, som syftar till att följa vattenhaltens variationer räcker det att bestämma densiteten en gång och därefter endast mäta vattenhalt. För att underlätta utvärderingen av de rutinmässiga vattenhaltsmätningarna inom föreliggande projekt har kalibreringskurvorna för uppmätta densiteter överförts till ett enkelt dataprogram avsett att köras på en minidator av typ HP 9830.

Erhållna densitets- och vattenhaltsvärden representerar en sfär kring sonden. Denna sfär varierar något i storlek beroende på förutsättningarna, som närmare redovisas i bilaga 2, "Markvattenmätning med radiometrisk sond". I allmänhet kan dock sfären sägas ha en radie av 15 à 20 cm. Det är sålunda svårt att få exakt utslag för tunna skikt i jorden och distinkta gränser kommer att framstå som mera diffusa övergångar. Man kan å andra sidan troligen hävda att det är fördelaktigt med en utjämning av småskaliga inhomogeniteter i de urbant tillskapade lagerföljder som det oftast är fråga om i detta fall.

#### 4 Mätplatser

Som ovan nämnts har 7 st mätrör utförts i området. Rörens planläge framgår av kartan, Figur 34. Placeringen bestämdes med utgångspunkt från den i avsnitt 4 "Undersökningsområdet i Bergsjön" beskrivna inventeringen och karteringen. Självfallet var det också nödvändigt att ta hänsyn till var rören kunde stå utan att menligt inverka på områdets normala användning. Det exakta läget bestämdes med ledning av ett antal förberedande sonderingar på varje plats.

Observationsrören består av sömlösa stålrör, s k röda rör, vilka vanligen levererats i 1,5 m längder. Rören är av typ SMS 327 med ytterdiametern 60,8 mm och godstjockleken 4,5 mm. Samtliga rör har drivits med 0,08 m lång slutenspets. Cvanför denna har rörets mantelyta en uppborrad sil med 2,5 mm hål, med inbördes avstånd av 20 mm. Silen är antingen 0,2 m eller 1,0 m lång.

Ovan nämnda förberedande sonderingar genomfördes med slagborrmaskin typ Cobra. Därefter neddrevs rören med hjälp av slägga, slagborrmaskin eller motorbock med frifallshejare. Den sistnämnda metoden är härvid klart att föredraga. Eftersom marklagren flerstädes visade sig innehålla sprängstensblock var det svårt att få ned rören tillräckligt långt och ett par av rören fick efter att ha träffat block i undergrunden en tydlig snedställning.

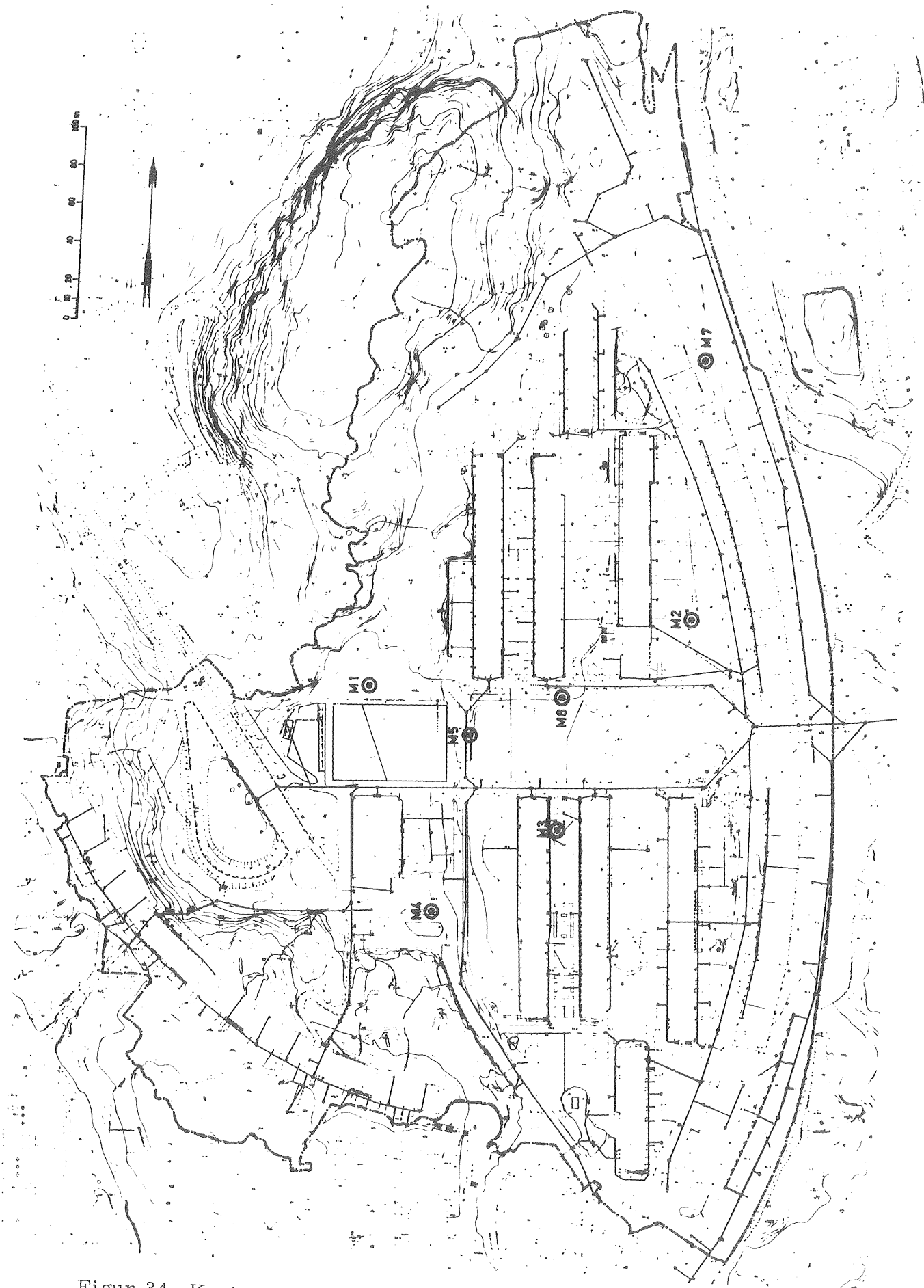
För att åskådliggöra markförhållandena vid varje rör har uppritats profiler på grundval av de informationer som införskaffats. Det bör framhållas att bedömningarna oftast grundar sig på indirekt information som sonderingar och uppgifter om markbehandling, varför felaktigheter ej kan uteslutas. Fyllningsmassorna är dessutom så inhomogena att angivna sammansättningar alltid måste anses som ganska grova generaliseringar.

På profilerna redovisas från vänster räknat en höjdskala, röret med omgivande markprofil, uppskattade drivningsmotstånd, uppmätt densitet samt uppmätt lägsta och högsta markvattenhalt respektive lägsta och högsta grundvattenyta. På röret har markerats muffarnas lägen samt silens längd.

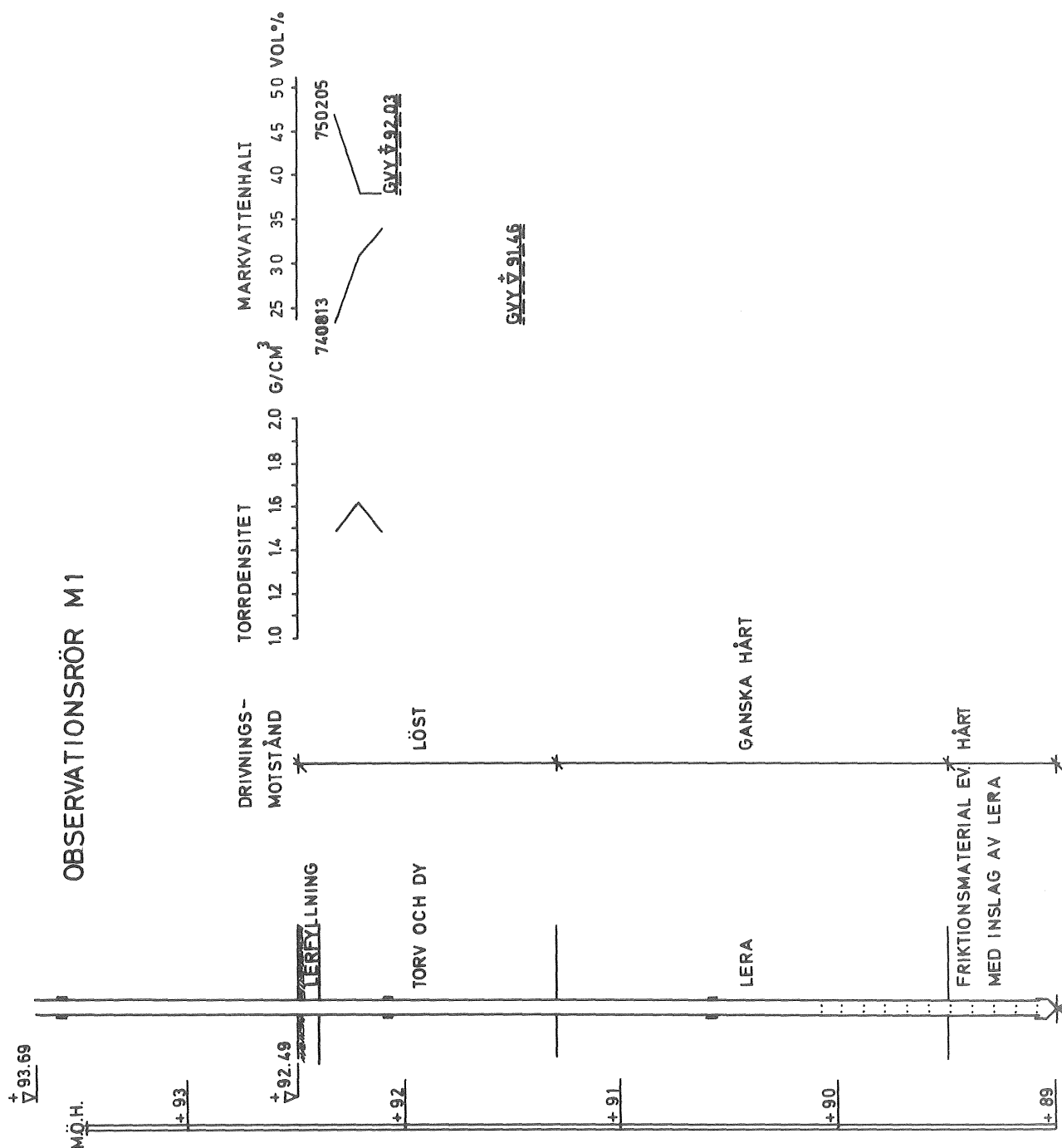
#### Mätrör M1, Figur 35

Röret är placerat i tämligen orörd mark, vilken kan antagas vara den sista resten av det stora kärret i områdets centrala del. Sondering genomfördes till 3,86 m djup och visar jämte tidigare undersökningar att markprofilen har ungefär följande uppbyggnad:

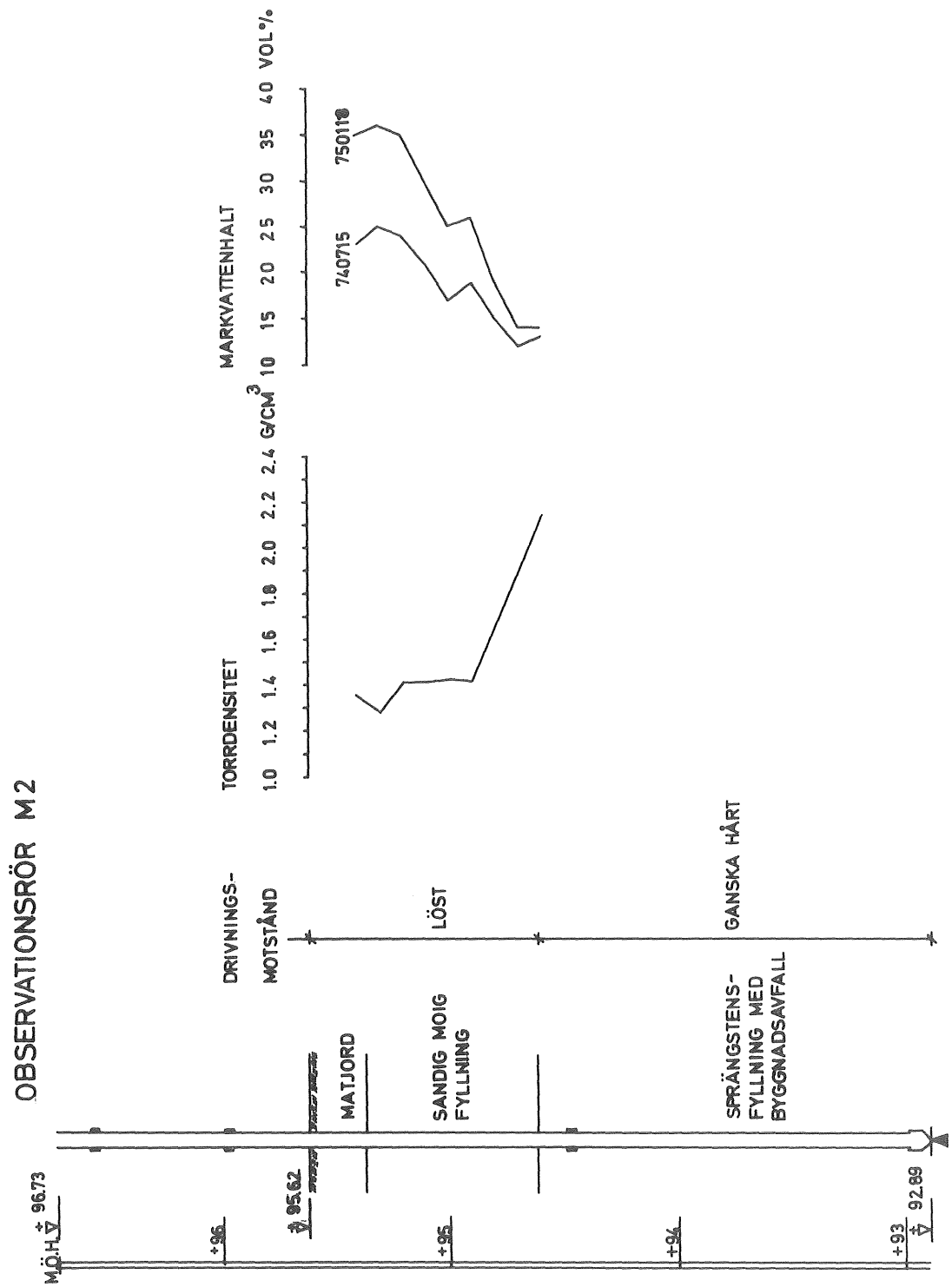
Från markytan till 0,1 m djup finns fyllning i huvudsak bestående av lera. Fyllningen underlagras av ursprunglig torv och dy, vilka har en mäktighet av ca 1,1 m och nedåt övergår i fast lera. Underst bedömes leran ha inslag av friktionsmaterial. Röret drevs till 3,50 m djup, är försett med 1 m lång sil och är till största delen fyllt med grundvatten, varför markvattenmätning endast kan utföras i den översta delen.



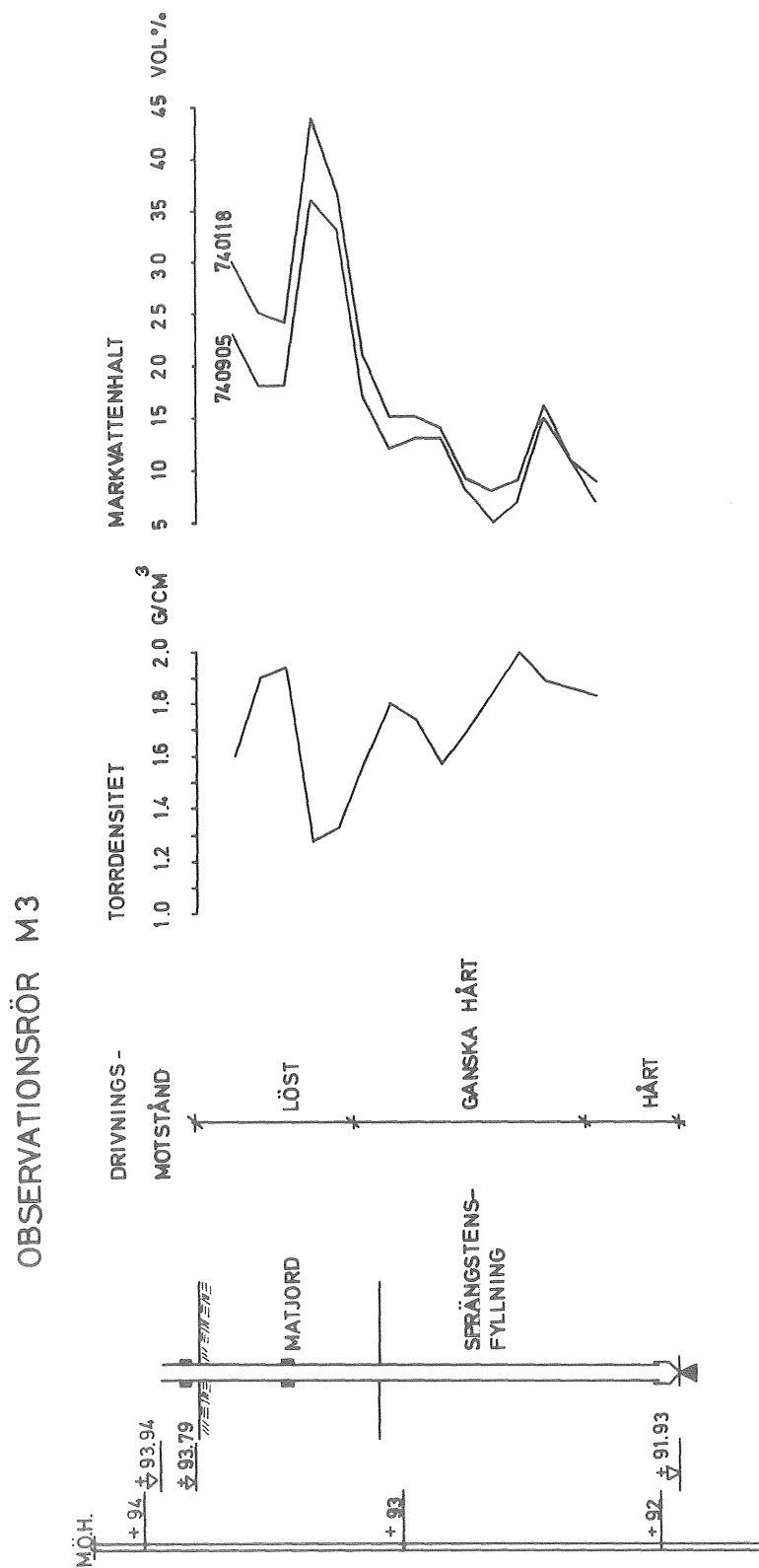
Figur 34 Karta över mätträns placering.



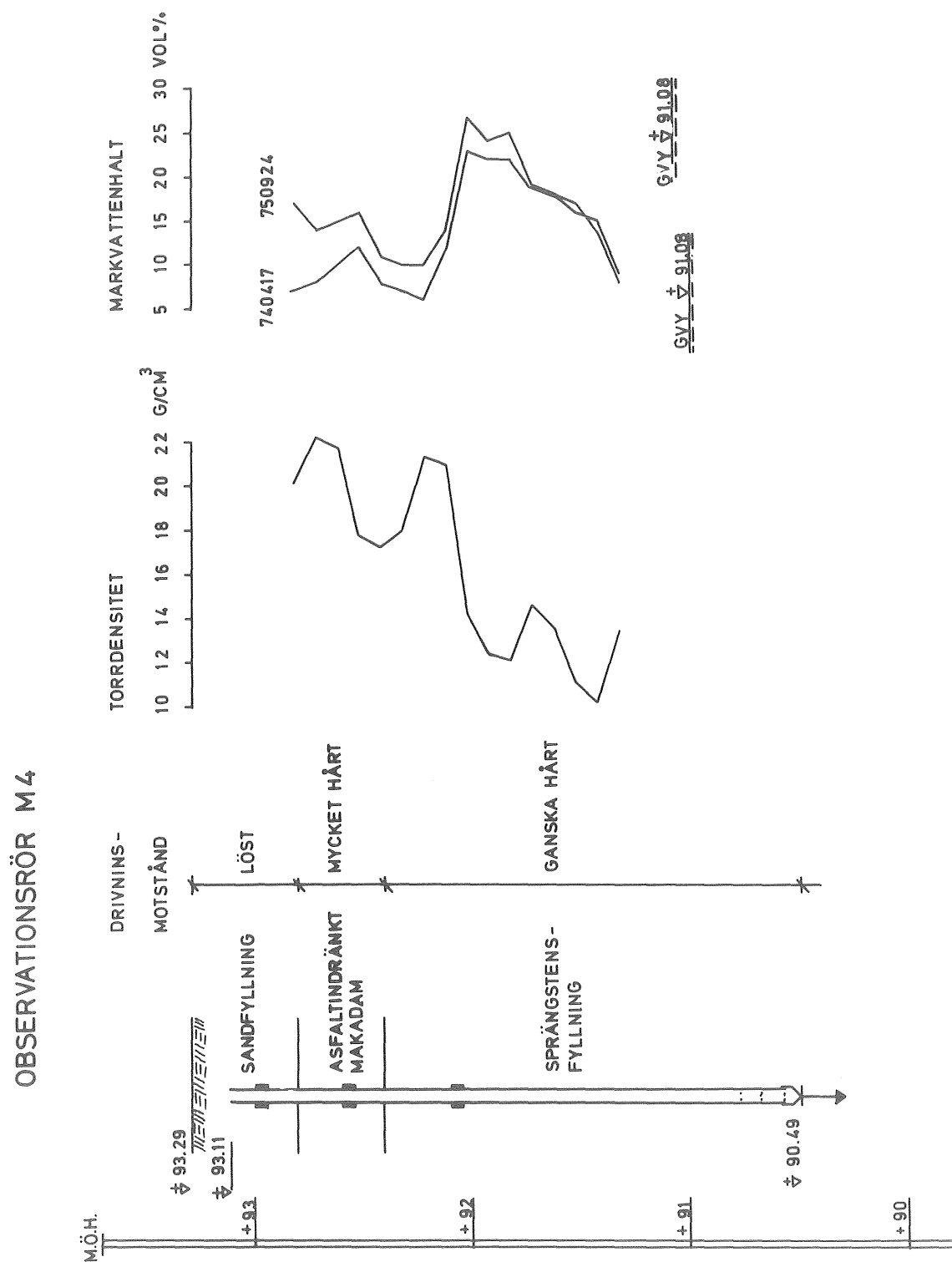
Figur 35. Markprofil vid mätrör M 1.



Figur 36. Markprofil vid mätrör M 2

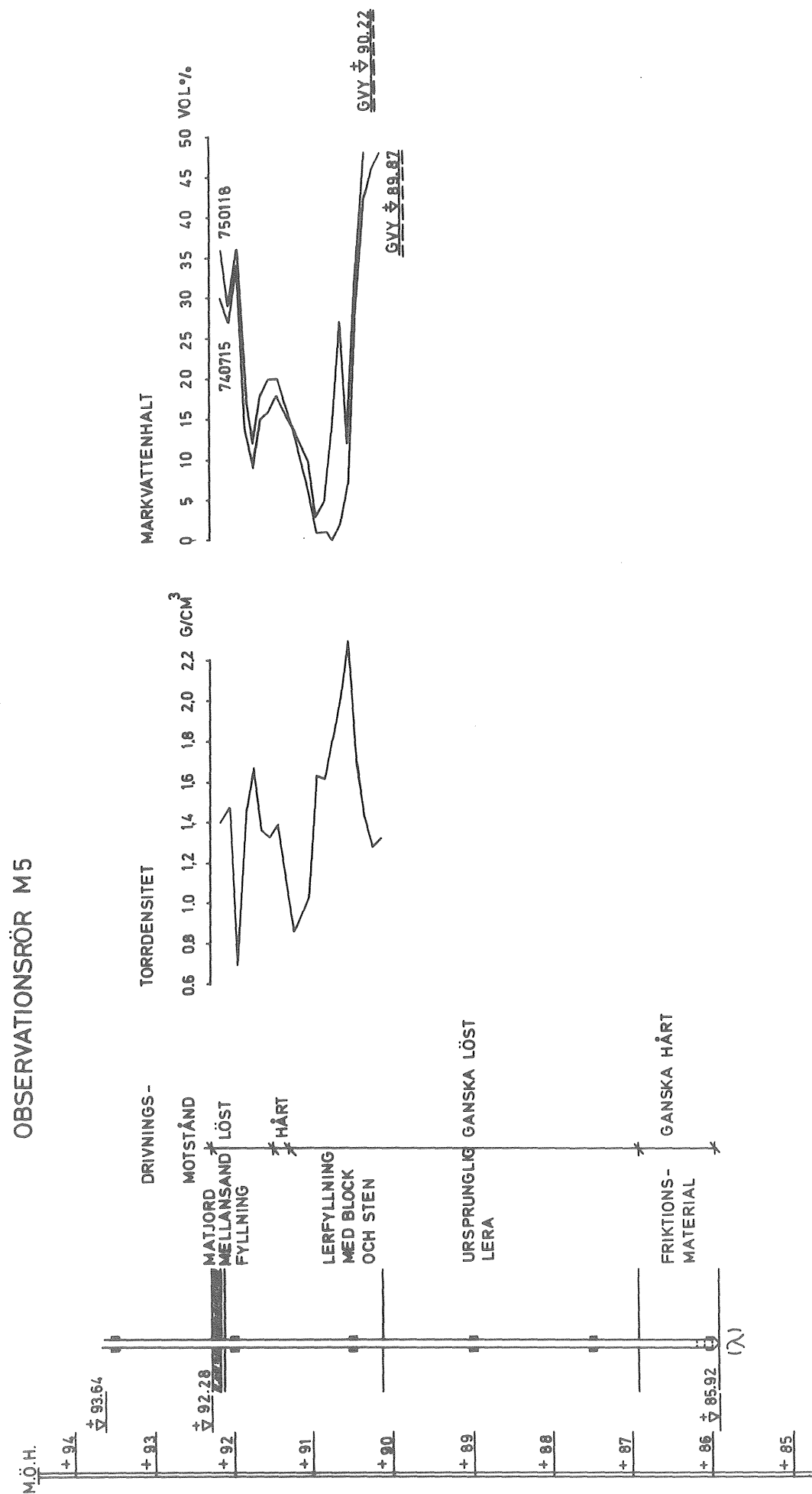


Figur 37. Markprofil vid mätrör M 3.

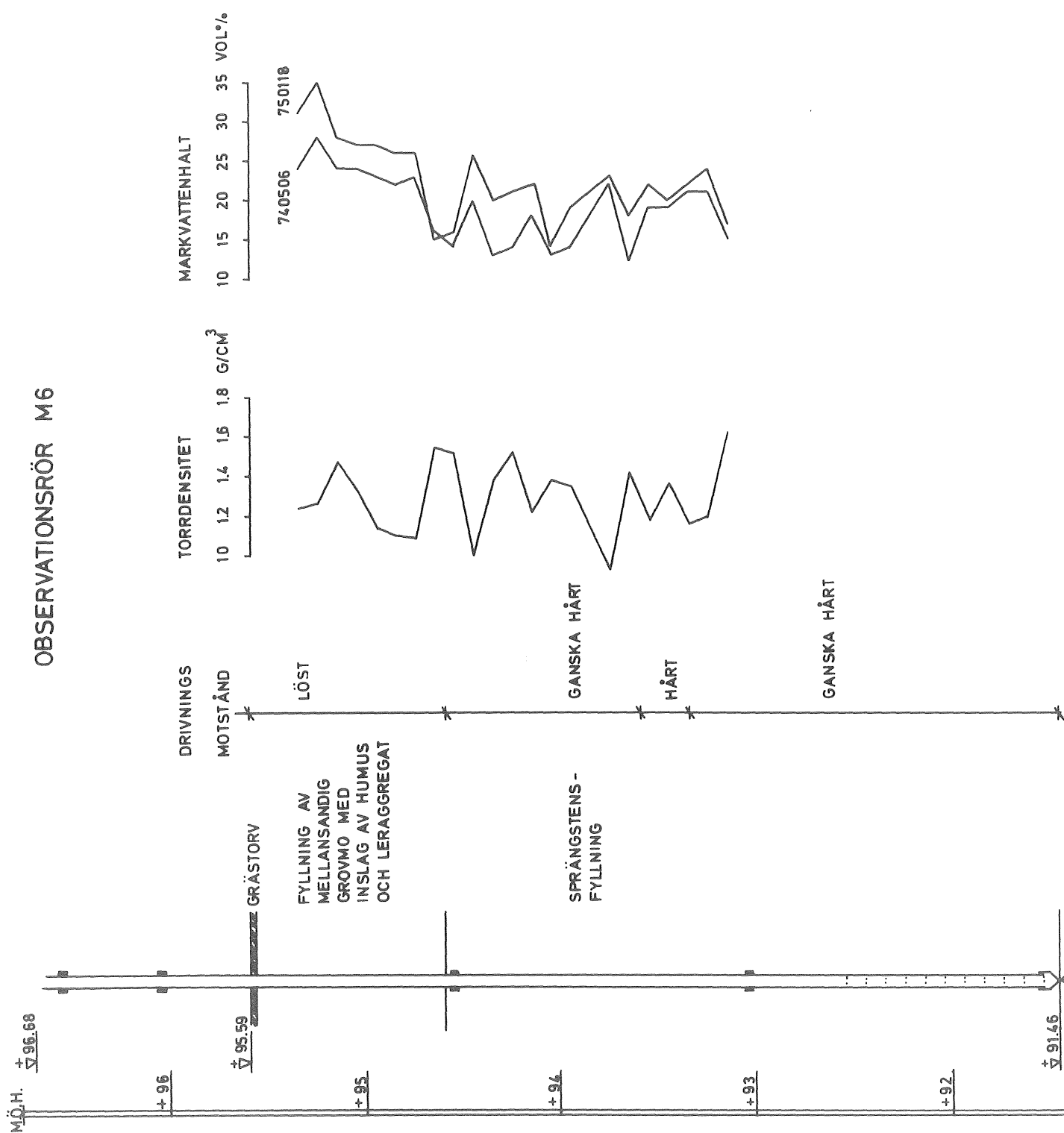


Figur 38. Markprofil vid mätrör M 4.

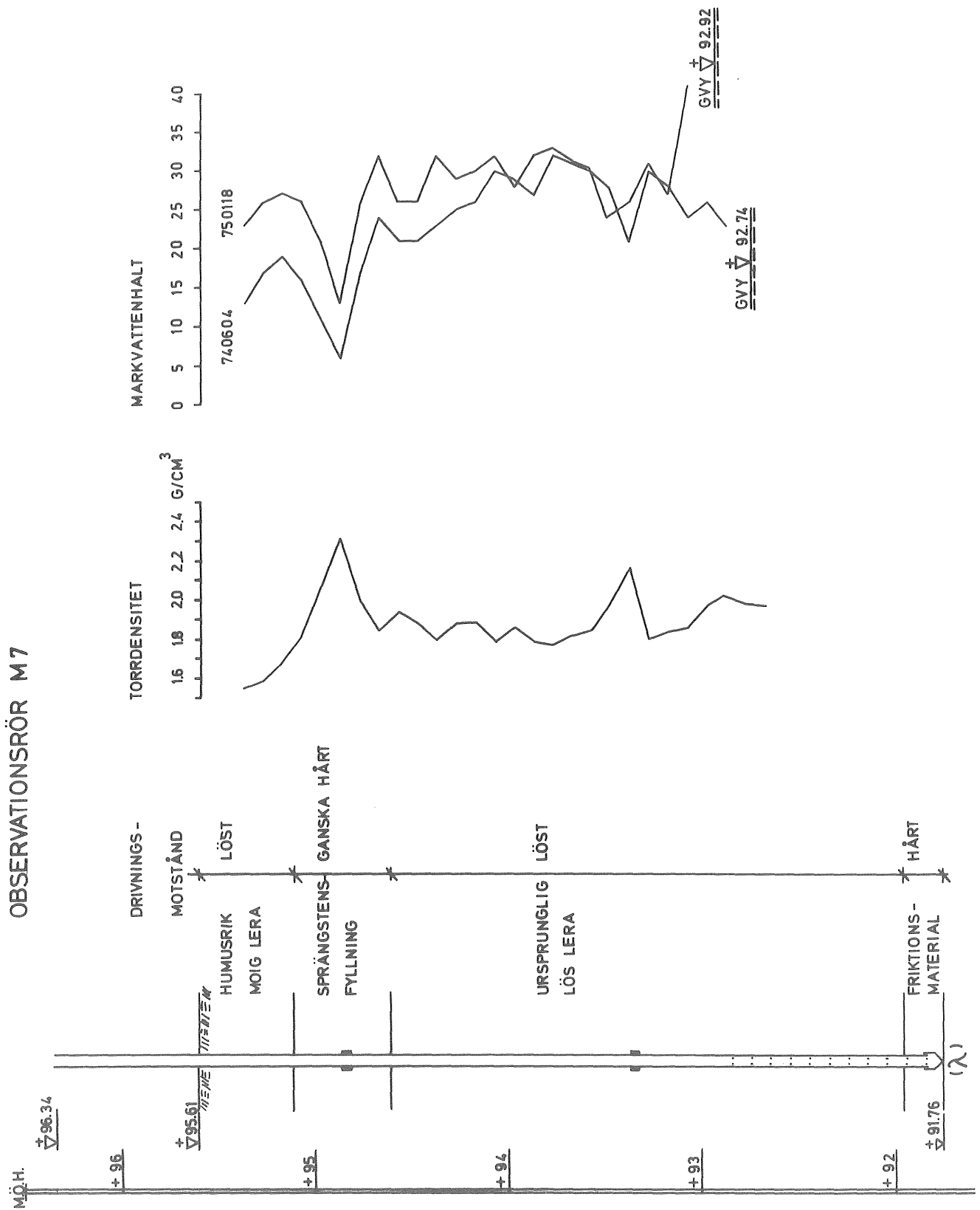




Figur 39. Markprofil vid mätrör M 5.



Figur 40. Markprofil vid mätrör M 6.



Figur 41. Markprofil vid mätrör M 7.

### Mätrör M2, . Figur 36

Röret är placerat på krönet av en slänt som enligt uppgift är uppbyggd av fyllnadsmassor, bl a sprängsten och i relativt stor utsträckning byggavfall. Utfyllnaden har en maximal mäktighet av 7 m. Sondering genomfördes till 3,65 m djup. Jordlagren bedömdes ha följande uppbyggnad:

Matjorden har en mäktighet av ca 0,25 m varefter följer fyllnadsmassor, huvudsakligen bestående av sandig mo till ca 1 m djup. Därunder dominerar troligen sprängsten och byggavfall. Röret drevs till 2,73 m djup. I samband med drivningen konstaterades block på djupen 1,6 m och 2,73 m. Röret har ej någon sil eftersom det står högt ovanför en eventuell grundvattenyta.

### Mätrör M3, Figur 37

Röret är placerat på en gård mellan två hus i det område som tidigare utgjordes av ett större kärr. Röret står i en rabatt, planterad med tämligen låga buskar. Matjorden är bar mellan buskarna. Sondering genomfördes till 2,05 m djup. Matjordslagret är 0,7 m tjockt och underlagras av sprängstensfyllning. Enligt uppgift ligger den genom urgrävning av kärret framkomna lerytan ca 3 m under nuvarande markyta. På grund av den mäktiga sprängstensfyllningen kan man antaga att vissa håligheter finns i markprofilen. Röret drevs till 1,86 m djup och är ej försett med sil.

### Mätrör M4, Figur 38

Röret är placerat i en refug i vändplatsen vid områdets köpcentrum. Sondering genomfördes till 2,27 m djup. Refugen är stensatt med gatsten som ligger på ett sandskikt till 0,5 m djup. Mellan 0,5 och 0,9 m djup finns ett lager asfaltindränkt makadam och därunder följer sprängstensfyllning till lerytan. Leran har, i likhet med vad som gäller för rör M3 enligt ovan troligen frilagts genom urgrävning av kärret innan sprängsten påfördes. Röret drevs till 2,79 m djup och är försett med 0,2 m lång sil, eftersom det når ned under grundvattenytan.

#### Mätrör M5, Figur 39

Röret är placerat i kanten av en stor gräsplan. Gräsplanen övergår vid röret i en slänt bevuxen av buskar, mellan vilka matjorden är bar. Matjordsskiktet vid röret är 0,1 m mäktigt. Sedan följer 0,05 m mellansand och 2 m fyllning huvudsakligen bestående av lera men i den nedre delen med inslag av sten och block. Fyllningen underlagras av den ursprungliga, ganska lösa leran. Den understa metern av jordlagren består troligen av friktionsmaterial. Röret drevs till 6,35 m djup med bedömt stopp mot berg. Röret är försett med 0,2 m lång sil och når ungefär till hälften under grundvattenytan.

#### Mätrör M6, Figur 40

Röret är placerat på krönet av en gräsbevuxen, 4-5 m hög slänt, som sluttar ned mot den stora gräsplanen, vilken nämndes ovan i samband med rör M5. Sondering genomfördes till 3,18 m djup. Gräsmattan på slänten består av pålagd, färdig grästorv med ca 0,03 m tjocklek. Till 1 m djup består jordlagren sedan av mellansandig grovmo med ett visst inslag av humus och små lerklumpar. Därunder följer fyllning som huvudsakligen bedömes bestå av sprängsten. Röret drevs till 4,16 m djup och är försett med 1 m lång sil. Grundvatten har dock inte vid något tillfälle konstaterats i röret.

#### Mätrör M7, Figur 41

Röret är placerat i en måttligt lutande, gräsbevuxen slänt som sträcker sig mellan en asfalterad parkeringsplats och trafikleden Bergsjövägen. Sondering genomfördes till 3,30 m djup. Under gräsmattan, som här på grund av det perifera läget är tämligen opåverkad av slitage, finns en humushaltig, moig lera. Mellan 0,5 och 1 m upptages markprofilen av sprängstensfyllning. Under denna fyllning är jordlagren troligen opåverkade. Förutom ett ca 0,2 m tjockt lager friktionsmaterial underst upptages de genomträngda jordlagren sannolikt av relativt lös lera. Röret är drivet till 3,85 m djup med bedömt stopp mot berg. Det har 1 m lång sil och når ca 1 m under grundvattenytan.

## 5 Försökens genomförande

Sedan försöksområdet karterats och platserna för mätrören valts, genomfördes rördrivningen under tiden februari-mars 1974. Inledningsvis genomfördes sedan parallell mätning av densitet och vattenhalt två gånger i varje rör. Vad beträffar densiteten visade det sig att de båda mätningarna för varje rör skilde sig tämligen obetydligt från varandra, varför den ena mätningen valdes som utgångsvärde för utvärdering av vattenhaltsmätningarna. Vattenhaltsmätning genomfördes regelbundet i alla rören var 10:e till var 14:e dag från det rören utfördes våren 1975 till hösten 1975. Vissa något längre avbrott har inträffat på grund av problem med mätapparaturen och liknande. Grundvattenytans nivå har bestämts samtidigt som mätningarna av densitet och vattenhalt.

Mätpunkterna för sonden ligger i varje rör på var 10:e cm ned till rörets botten eller i förekommande fall till grundvattenytan. Den översta mätpunkten ligger 15-25 cm under markytan utom för rör M4, där den är belägen 47 cm under markytan beroende på att röret sitter i en liten "brunn" under en betäckning. Vid mätningen har på samtliga rör utom M4 avmonterats den översta rörlängden eller huven, som skyddar röret. På rör M4 har i stället påmonterats en rörstump för att röret skall sticka upp ovanför markytan. Den radiometriskä sonden placeras på en platta, som skruvas på röränden.

Den principiella gången vid utvärderingen av mätvärden har beskrivits ovan i avsnittet "Använd utrustning". Som nämnts har ett enkelt dataprogram avsett att köras på en minidator av typ HP 9830, använts för att utvärdera de rutinmässiga vattenhaltsmätningarna. Sedan siffervärdena beräknats har en vattenhaltsprofil ritats upp för varje rör och varje mättillfälle. Vattenhaltens variationer har åskådliggjorts dels i form av kurvor för vattenhalt på de olika mätnivåerna i ett rör vid skilda tidpunkter, dels i form av skisopletdiagram. De senare åskådliggör markvattenhaltens variation i tiden i form av linjer för lika vattenhalt (iso-linjer).

Inledning

Som framgår av ovan refererade tidigare undersökningar har markvattenmagasinet avsevärd betydelse för vattenbalansen i naturliga områden. För att få en uppfattning om förhållandena i det starkt urbant påverkade området i Bergsjön har nedan redovisade beräkningar genomförts.

Beräkningar

Vattenhaltsbestämningar i samtliga mätrör under perioden 1974-04-01 till 1975-03-31 har utgjort underlag för beräkningarna. De mättillfällen då profilen för ett visst rör visat de genomgående lägsta respektive högsta vattenhalterna har valts för vidare beräkningar. Denna urvalsmetod ger kanske inte de absoluta minimi- eller maximivärdena för varje enskild nivå under den betraktade perioden. Markprofilen tänks skiktad i 10 cm tjocka skivor med ytan  $1 \text{ m}^2$ . Uppmätta vattenhaltsvärden för var 10:e cm representerar i beräkningarna vardera en sådan skiva. Som ovan angivits representerar egentligen varje mätvärde en sfär med radien 15 à 20 cm. Mätning med radiometrisk djupsond har ej utförts högre än 20 à 25 cm under markytan. Därför har vattenhalten i profilen mellan högsta mätpunkten och markytan i beräkningarna antagits ha samma värde som för högsta mätpunkten. Denna approximation ger sannolikt ett för litet värde på största magasinvariationen, eftersom de ytliga lagren förmodligen är våtare resp. torrare vid extremfallen än vad som framgår av högsta mätpunkten.

Som undre begränsning för beräknad profil har valts grundvattenytan vid tillfället för den högsta uppmätta vattenhalten. Grundvattenytan ligger naturligt på en lägre nivå under torra perioder, vilket innebär att den omrättade zonen då är mäktigare. Den del av profilen som ligger mellan grundvattenytan vid högsta respektive lägsta markvattenhalt har ej kunnat medtagas i beräkningarna eftersom mätvärden ej kan erhållas under grundvattenytan.

### Mätrör M1, Figur 35

Grundvattennivån i detta mätrör ligger relativt högt varför markvattenmagasinet endast omfattar 0,46 m. Inom denna jordvolym på  $0,46 \text{ m}^3$  har markvattenmagasinet maximalt varierat med  $0,067 \text{ m}^3$ , eller uttryckt som nederbörd 67 mm.

### Mätrör M2, Figur 36

Den betraktade profilen sträcker sig ned till 1,0 m djup. Orsak här till är att under denna nivå vidtar sprängstensfyllning och byggavfall med mycket heterogena förhållanden i den omättade zonen. Markvattenmagasinet har i den översta metern varierat med 91 mm.

### Mätrör M3, Figur 37

Detta mätrör når ej ned under grundvattenytan. På 0,70 m djup under markytan finns sprängstensfyllning. Liksom vad gäller rör M2 har markvattenmagasinet variation beräknats för den översta metern. Av de båda vattenhaltskurvorna framgår att förändringarna i sprängstensfyllningen varit mycket små, varför huvudsakligen endast det översta 0,7 m mäktiga skiktet är verksamt. Markvattenmagasinet har maximalt varierat med 49 mm.

### Mätrör M4, Figur 38

Mätrör M4 är som tidigare beskrivits nedslaget i en refug under vilken markprofilen varierar avsevärt. Eftersom dessutom högsta mätpunkten ligger djupare än normalt, eller 0,42 m under markytan, har det ej ansetts vara möjligt att extrapolera översta mätvärdet till markytan. Beräkningen av markvattenmagasinet har i detta fall skett för profilen från 0,42 m under markytan till högsta grundvattenytan vid 2,21 m under markytan. Den maximala variationen i markvattenmagasinet för denna del av profilen är 43 mm.



### Mätrör M5, Figur 39

I detta rör har det ej ansetts möjligt att beräkna markvattenmagasinets förändring i hela profilen över grundvattenytan. Orsaken härtill är de extremt stora variationer som uppmätts på cirka 1,65 m djup. Vattenhalten har på denna nivå varierat från 2 % till 27 %, vilket kan bero på hålrum i marken kring röret. Beräkningen av magasinförändringen har därför inskränkts till den översta metern, där maximala variationen varit 31 mm.

### Mätrör M6, Figur 40

Den betraktade profilen når från markytan till 2,5 m djup. Något grundvatten har ej registrerats i röret. Från markytan till 1,0 m djup har markvattenmagasinet varierat med maximalt 45 mm och mellan 1,0 m och 2,0 m djup med 42 mm. Totala variationen ned till 2,5 m djup är 97 mm.

### Mätrör M7, Figur 41

Högsta grundvattennivån i detta mätrör ligger 2,69 m under markytan. Profilen är här förhållandevis homogen och avviker troligen i mindre grad än för övriga mätrör från naturliga förhållanden. Från markytan till 1,0 m djup har markvattenmagasinet varierat med maximalt 91 mm och mellan 1,0 m och 2,0 m djup med 34 mm. Totala variationen ned till 2,69 m djup är 157 mm.

### Kommentarer

Vid mätningarna har allmänt konstaterats att de största variationerna i markvattenhalt erhålls från markytan ned till omkring 1,0 m djup. Under denna nivå är vattenhalten tämligen oförändrad och detta förhållande förstärks av den dränerande effekt som sprängstensfyllningen har. Vanligen påträffas nämligen fyllningen på cirka 1 m djup.

Mätrör M1, är placerat i en rest av det ursprungliga kärret. Den höga grundvattennivån gör att profilen endast når ned till

0,46 m djup. Med hänsyn härtill måste den beräknade vattenhaltsvariationen 67 mm anses vara stor.

Markvattenhalten vid mätrör M4 visar en påtagligt mindre variation än vid övriga rör. Gatstenen i refugen och omgivande asfaltytor verkar sannolikt hämmande på såväl infiltration som avdunstning.

Övriga profiler, mätrören M2, M3, M5, M6 och M7, kan mera direkt jämföras åtminstone vad gäller den översta metern. Markvattenmagasinet varierar mellan 0 och 1,0 m djup sträcker sig från 31 mm till 91 mm. Det lägsta värdet hänför sig här från mätrör M5, där lerfyllning med block och sten ligger ovanpå ursprunglig lera. Leran ger förhållandevis små möjligheter till markvattenmagasinsförändringar eftersom det mesta vattnet är hårt adsorptivt bundet, medan den fria porositeten är mycket liten. De material som uppvisat den största magasinvariationen är en sandig, moig fyllning överlagrad av matjord vid mätrör M2 samt en humusrik, moig lera underlagrad av sprängstensfyllning vid mätrör M7.

En meningsfull bedömning av den totala variationen i markvattenmagasinet från markytan till grundvattenytan har endast kunnat göras i mätrör M7. Där har variationen i vattenhalten beräknats till 157 mm, vilket sannolikt är att betrakta som ett lågt värde. Som ovan nämnts är troligen variationen i det översta marklagret större än som antagits med utgångspunkt från översta mätpunkten. Värdet 157 mm bedömes dock kunna användas för att göra jämförelser med nederbörd och evapotranspiration. Nederbörden uppgick under mätperioden 1974-04-01 - 1975-03-31 till 864 mm. Evapotranspirationen i Göteborgsregionen kan uppskattas till cirka 450 mm/år. (Tamm 1959). Cirka 20 % av nederbörden kan alltså magasineras i den omättade zonen. Eftersom ingen ytavrinning i allmänhet kan uppträda antas hela nettonederbörden (ca 400 mm) bilda grundvatten på de "mjuka" ytor som här betraktas. Markvattenmagasinet utgör härvid cirka 40 % av netto-nederbörden. Sammanfattningsvis kan det sålunda konstateras att markvattenmagasinet i de betraktade urbana, "mjuka" ytorna

utgör en väsentlig delmängd i områdets vattenbalans.

7

### Markvattenthaltens variationer

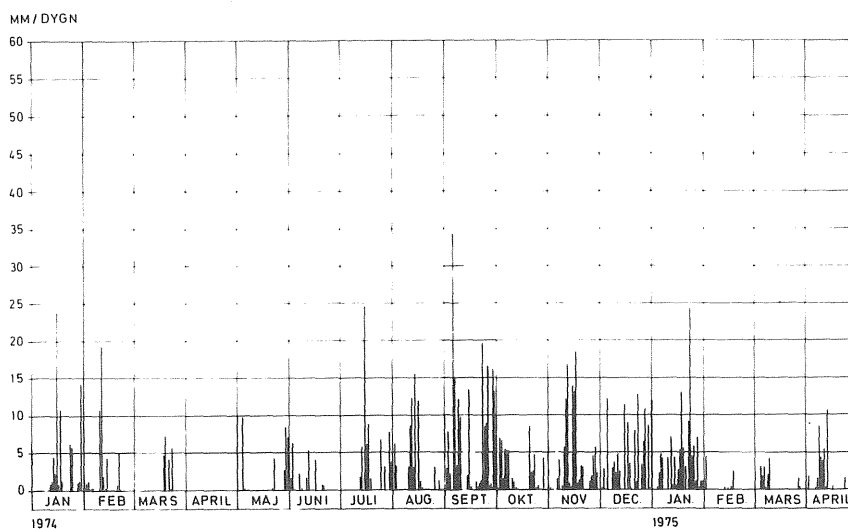
Som förut beskrivits har markvattenhalten bestämts på var 10:e cm i 7 st mätrör, var 10:e till var 14:e dag i drygt 1 år. På detta sätt har en avsevärd informationsmängd inskaffats. För bearbetningen av datamaterialet har tre metoder prövats. I föregående avsnitt har redovisats beräkningar av markvattenmagasinets totala variationer i de olika rören. Nedan kommenteras redovisning av markvattenthaltens variationer på varje mätnivå i de olika rören och redovisning av markvattenthaltens variationer i jordprofilen vid varje rör, s k isopletdiagram.

Vid bedömning av mätresultaten har uppmätta absolutvärden inte utnyttjats, då de inte kan anses helt tillförlitliga. Orsaken här-till är dels de inhomogena fyllningsjordarna dels att sondens kalibrering inte är exakt. Det senare har provats i ett naturligt område i Angered, Göteborg. Jämförelser med värden erhållna med provtagning visar att sondens värden avviker såväl oregelbundet som i viss mån systematiskt (Engdahl 1975).

Uppmätta variationer i markvattenhalt på varje mätnivå i de olika rören redovisas i Figur 42 - 48. Som framgår av diagrammen reagerar markvattenhalten tydligt och till synes omedelbart på större nederbörd exempelvis i september 1974 och januari 1975. Tidsförloppet vid vattnets nedträngning i marken kan dock ej studeras med den använda mättingsintensiteten. Ökningar i markvattenhalt tycks slå igenom hela profilerna dock i allmänhet med en mot djupet allt mindre amplitud. Speciellt i rör M5 förekommer stora, oregelbundna variationer på vissa nivåer. Detta kan vara orsakat av hålrum i marken runt mätröret. Grundvattennivån tycks variera helt i takt med markvattenmagasinet, något som väl överensstämmer med Forsman & Mila-novs (1971) iakttagelser i Velenområdet. Sannolikt gäller sådana förhållanden generellt för små mark- och grundvattenmagasin i någorlunda vattengenomträngliga jordlager. Slutligen kan konstateras att varken markvattenmagasinet eller grundvattennivån

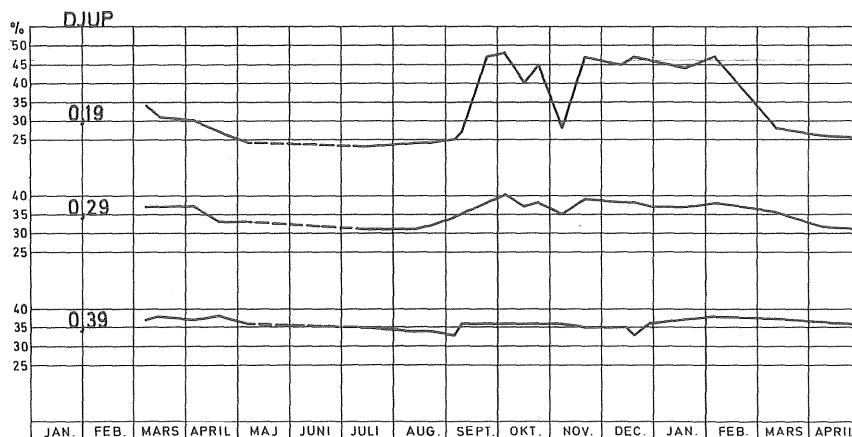
## BERGSJÖN RÖR M1

## DYGNSNEDERBÖRD

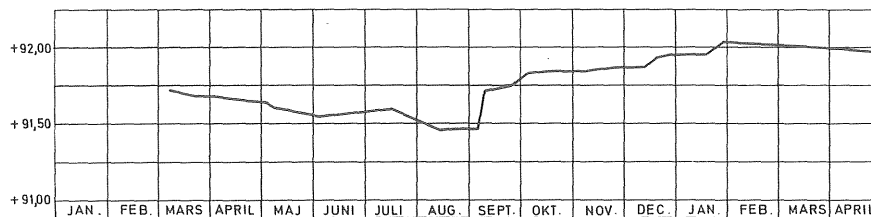


## MARKVATTENHALT VID OLIKA MARKDJUP

(MARKYTA: 92.49)



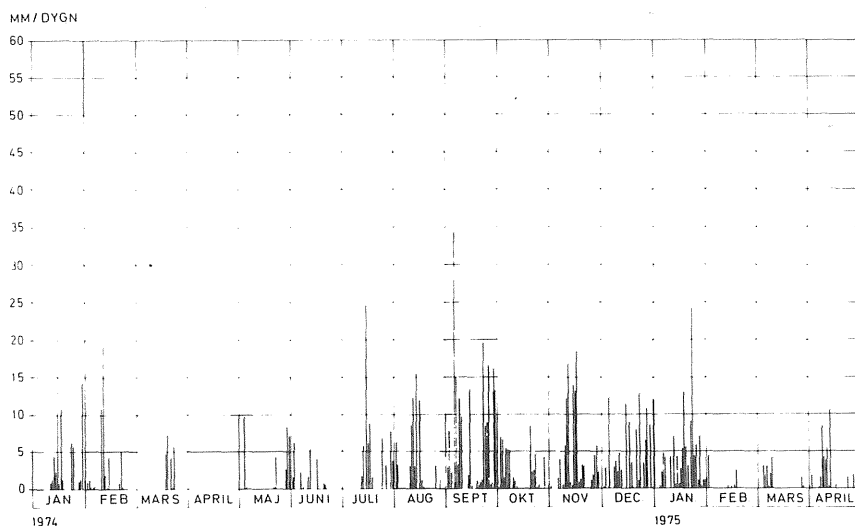
## GRUNDVATTENNIVÅ



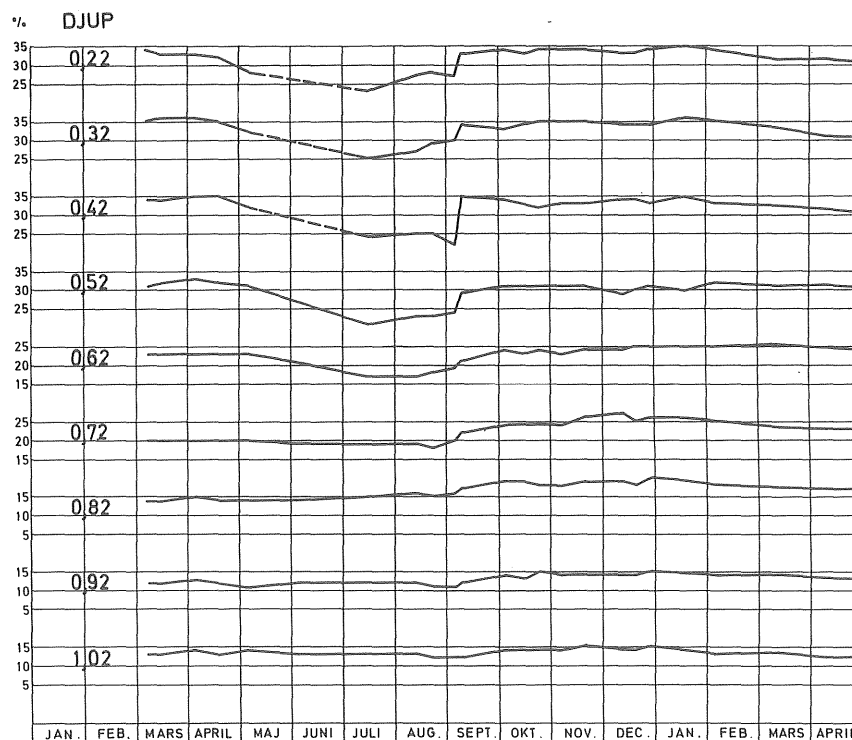
Figur 42 Markvattenhaltens variationer på olika nivåer i mät-rör M 1.

## BERGSJÖN RÖR M2

## DYGNSNEDERBÖRD



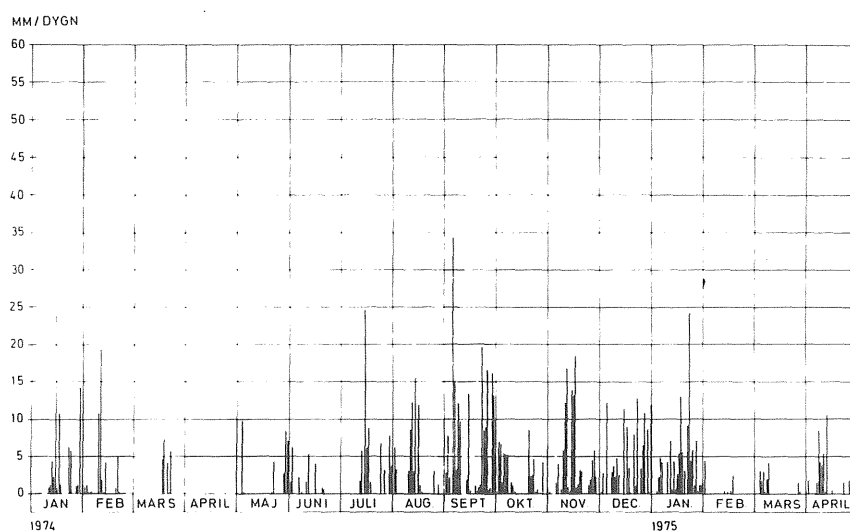
## MARKVATTENHALT VID OLIKA MARKDJUP (MARKYTA : 95,62)



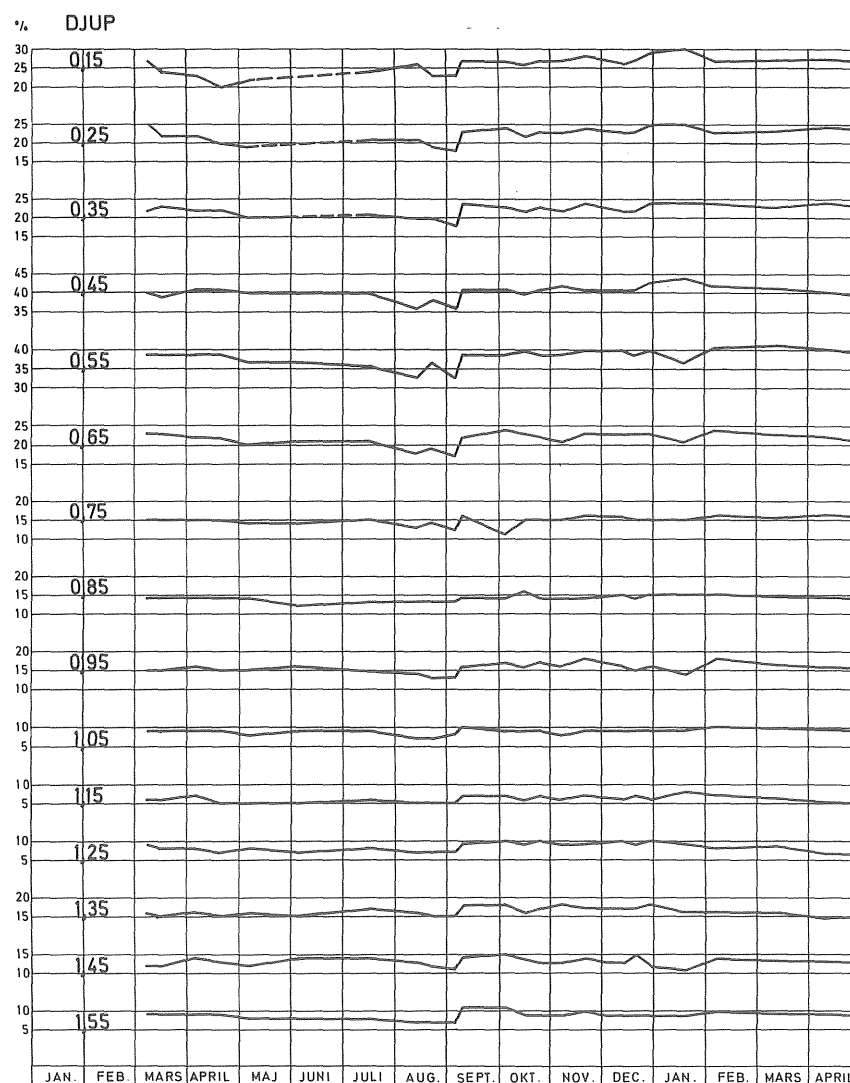
Figur 43 Markvattenhaltens variationer på olika nivåer i mät-rör M 2.

## BERGSJÖN RÖR M3

## DYGNSNEDERBÖRD



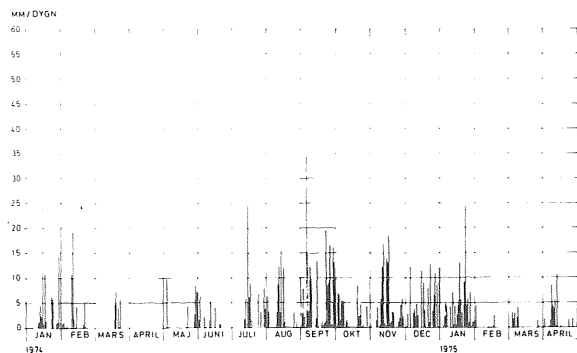
## MARKVATTENHALT VID OLIKA MARKDJUP (MARKYTA : 93,79)



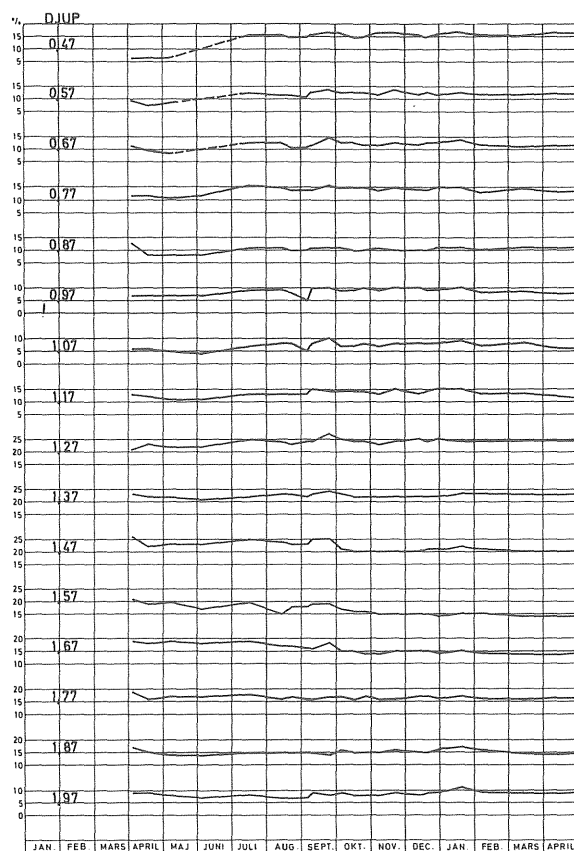
Figur 44 Markvattenhaltens variationer på olika nivåer i mät-rör M 3.

## BERGSJÖN RÖR M4

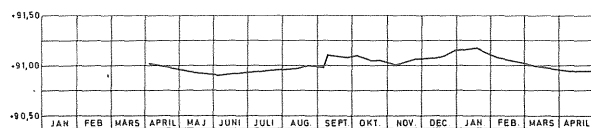
## DYGNSNEDERBÖRD



## MARKVATTENHALT VID OLIKA MARKDJUP (MARKYTA: 93,26)



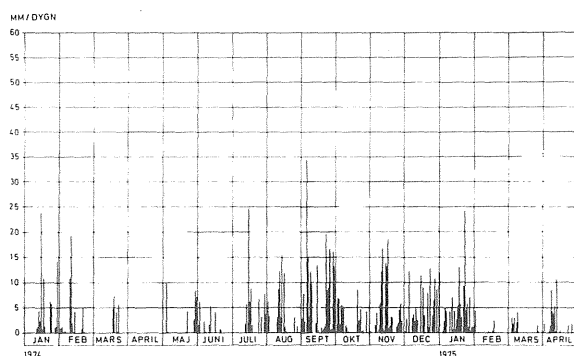
## GRUNDVATTENNIVÅ



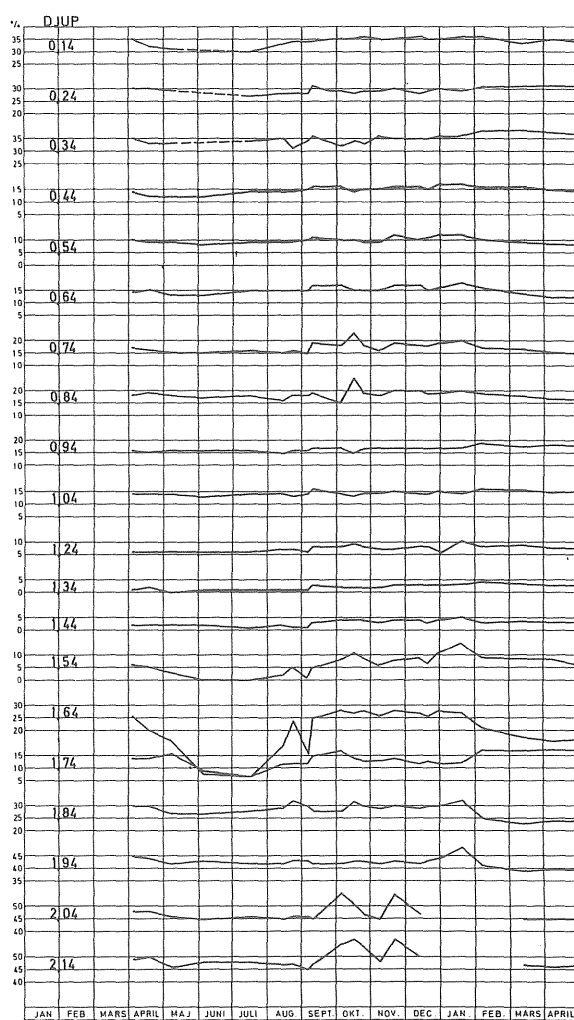
Figur 45 Markvattenhaltens variationer på olika nivåer i mät-rör M 4.

## BERGSJÖN RÖR M5

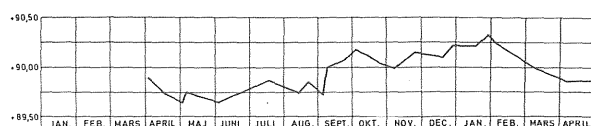
## DYGNSNEDERBÖRD



## MARKVATTENHALT VID OLIKA MARKDJUP (MARKYTA: 92,28)



## GRUNDVATTENNIVÅ

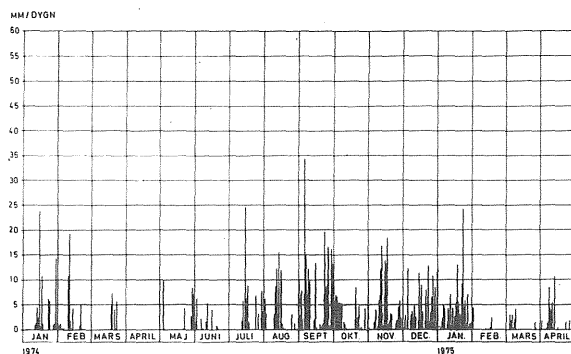


Figur 46 Markvattenhaltens variationer på olika nivåer i mät-rör M 5.

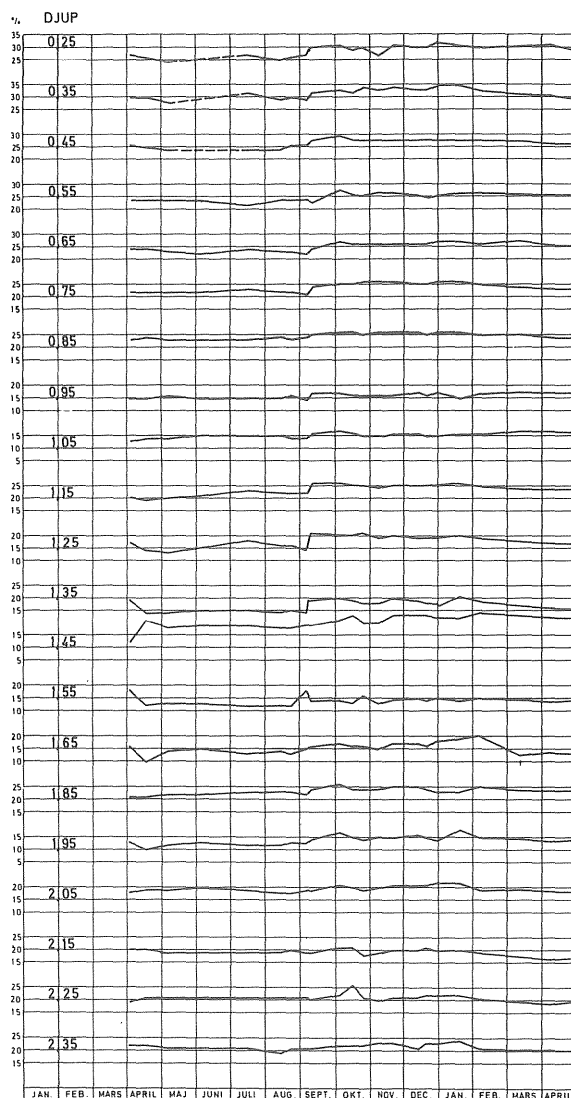


## BERGSJÖN RÖR M6

## DYGNSNEDERBÖRD



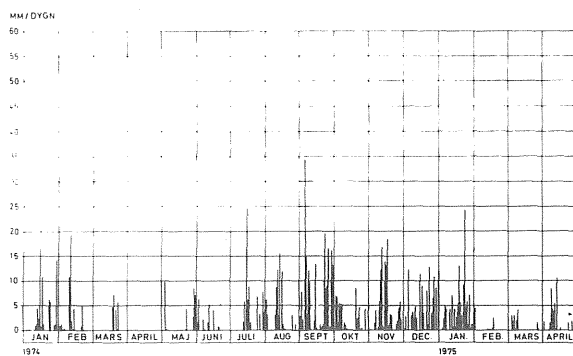
## MARKVATTENHALT VID OLIKA MARKDJUP (MARKYTA: 95,50)



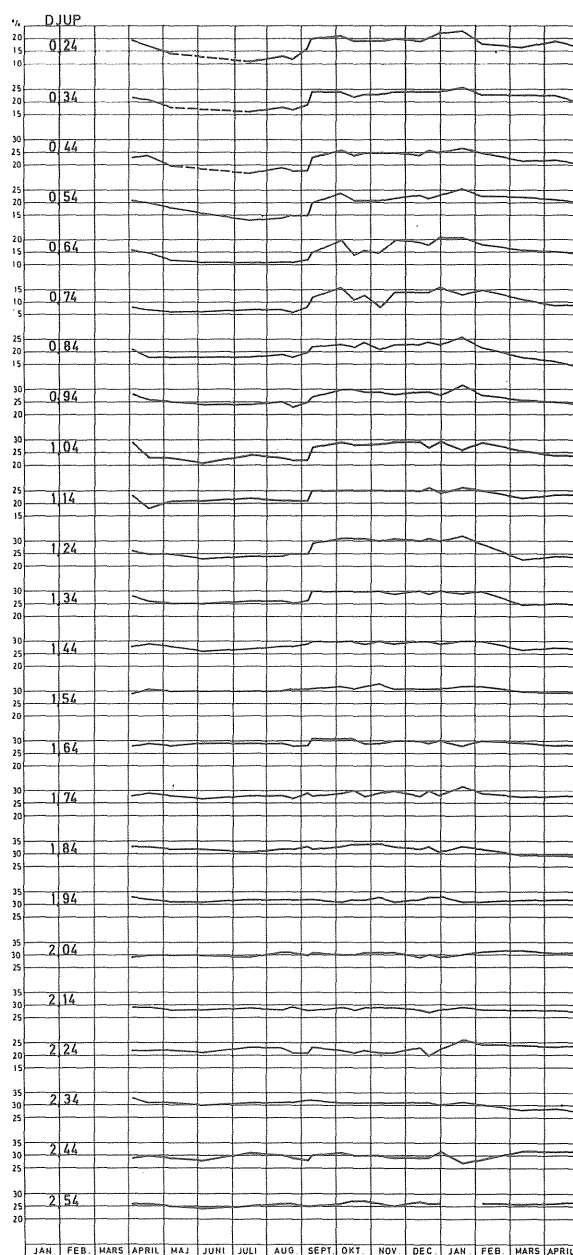
Figur 47 Markvattenhaltens variationer på olika nivåer i mät-rör M 6.

## BERGSJÖN RÖR M7

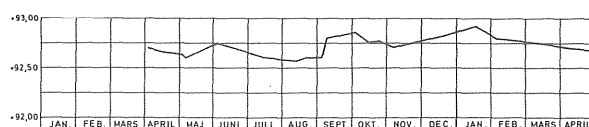
## DYGNSNEDERBÖRD



## MARKVATTENHALT VID OLIKA MARKDJUP (MARKYTA: 95,61)



## GRUNDVATTENNIVÅ

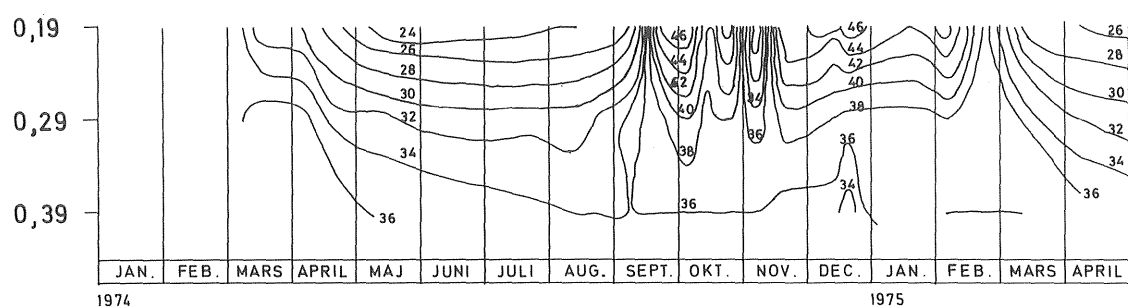


Figur 48 Markvattenhaltens variationer på olika nivåer i mät-rör M 7.

MARKVATTENHALTENS VARIATION I VOL. %  
MED DJUP OCH TID (ISOPLETDIAGRAM)  
RÖR M1

MÄTPUNKT  
DJUP UNDER  
MARKYTÄ

MARKYTÄ

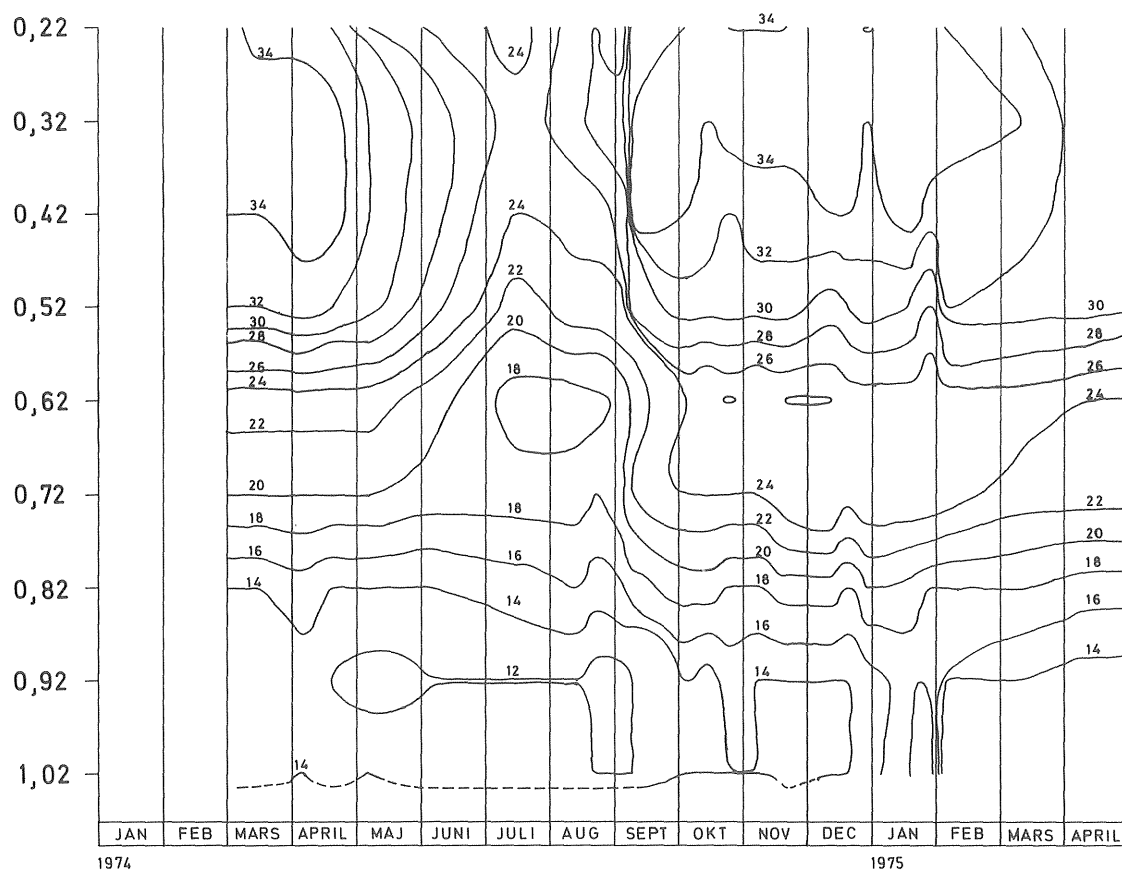


Figur 49 Isoplethdiagram för markvattenhalten i mätrör M 1.

MARKVATTENHALTENS VARIATION I VOL. %  
MED DJUP OCH TID (ISOPLETDIAGRAM)  
RÖR M 2

MÄTPUNKT  
DJUP UNDER  
MARKYTAN

MARKYTAN

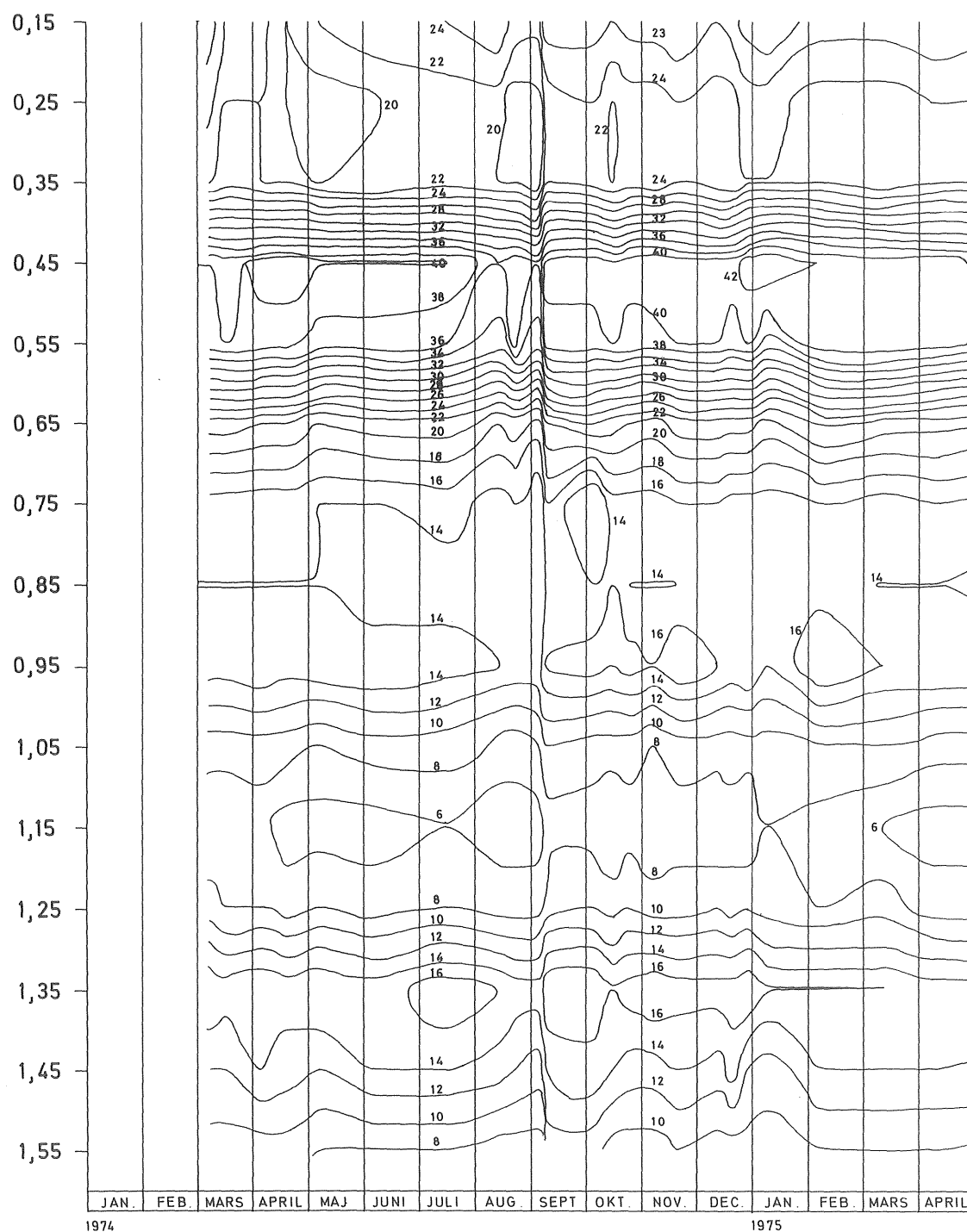


Figur 50 Isoplethdiagram för markvattenhalten i mättrör M 2.

MARKVATTENHALTENS VARIATION I VOL. %  
MED DJUP OCH TID (ISOPLETDIAGRAM)  
RÖR M3

MÄTPUNKT  
DJUP UNDER  
MARKYTA

MARKYTA

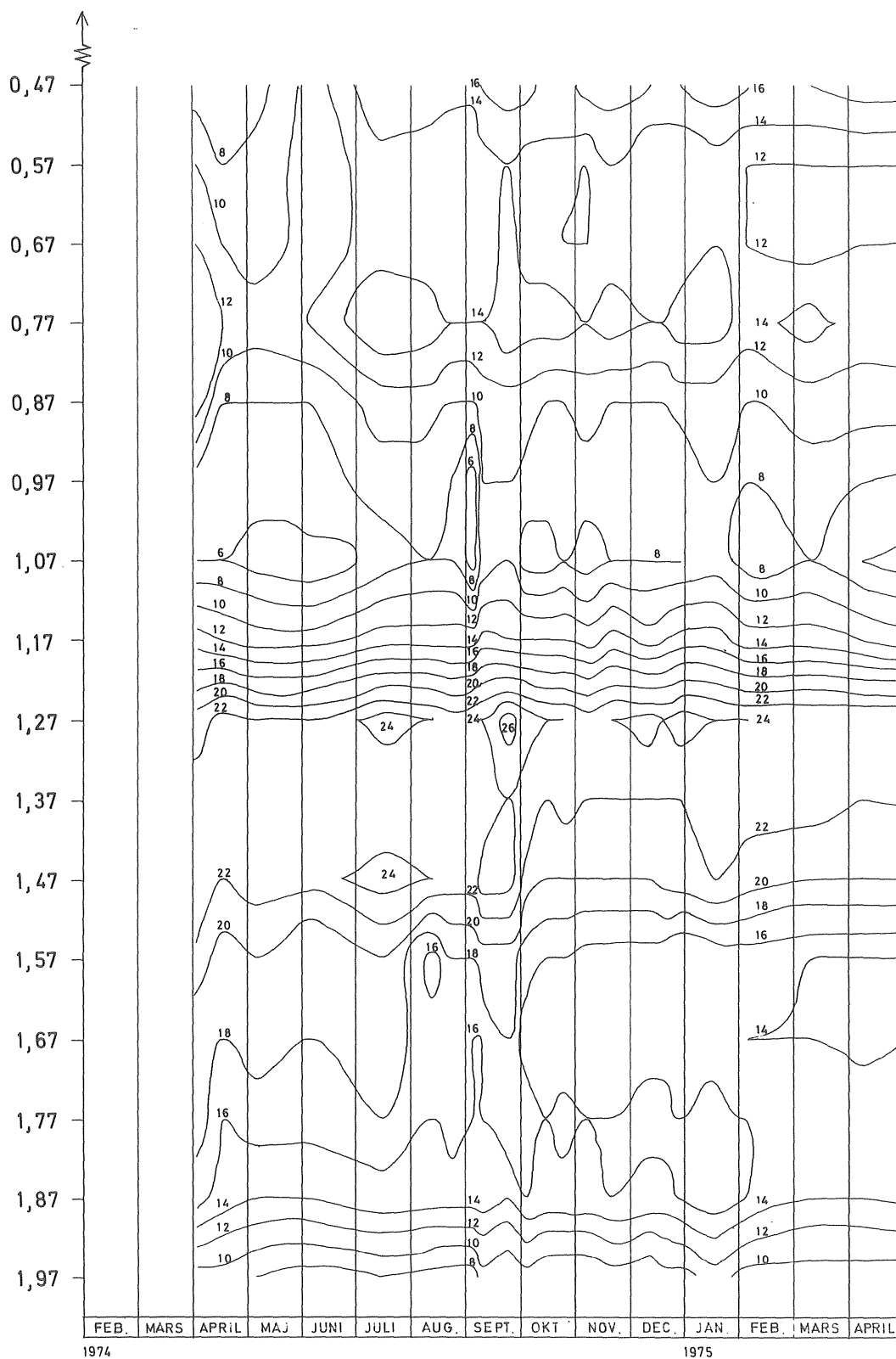


Figur 51 Isoplethdiagram för markvattenhalten i mätrör M 3.

MARKVATTENHALTENS VARIATION I VOL. %  
MED DJUP OCH TID (ISOPLETDIAGRAM)  
RÖR M4

MÄTPUNKT  
DJUP UNDER  
MARKYTA

MARKYTA

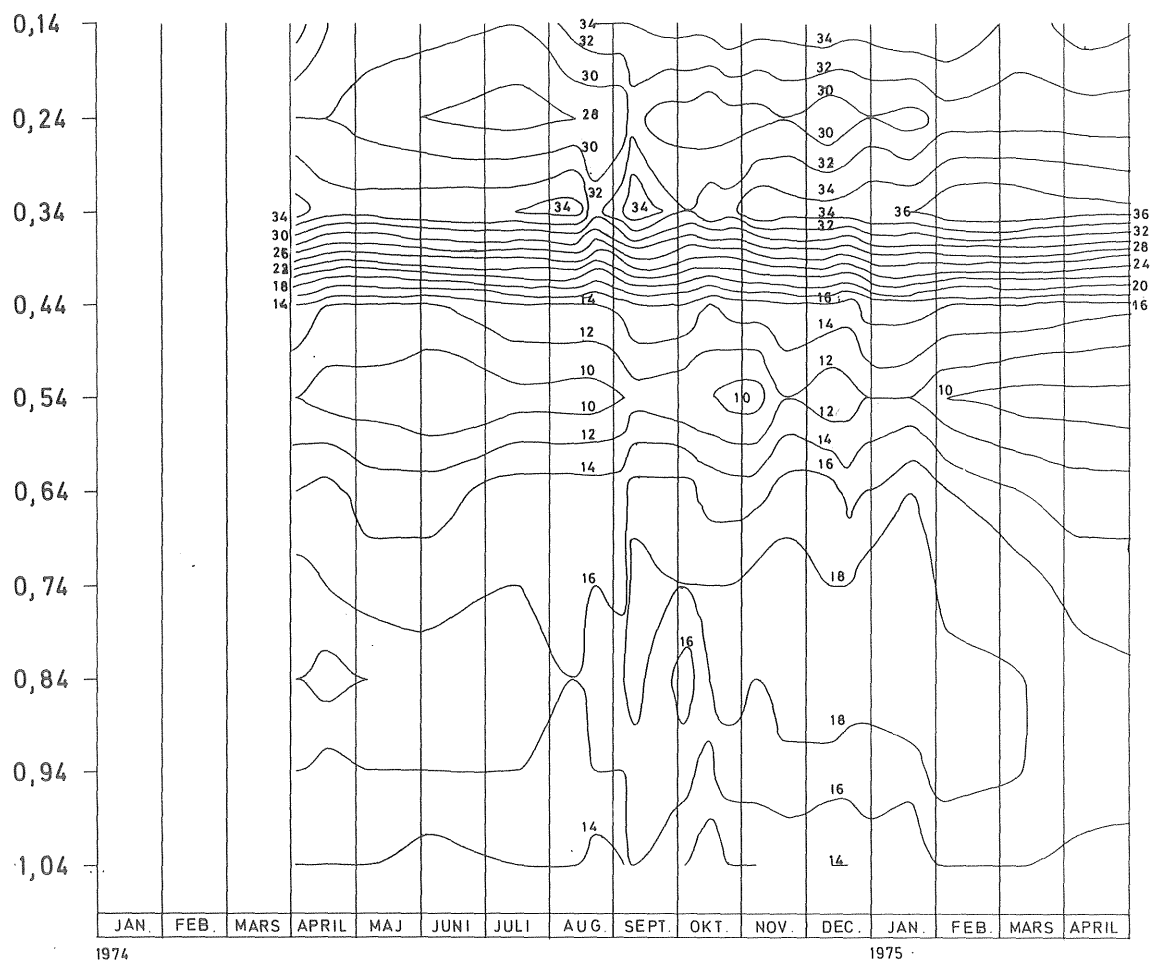


Figur 52 Isoplethdiagram för markvattenhalten i mätrör M 4.

MARKVATTENHALTENS VARIATION I VOL. %  
MED DJUP OCH TID (ISOPLETDIAGRAM)  
RÖR M5

MÄTPUNKT  
DJUP UNDER  
MARKYTA

MARKYTA

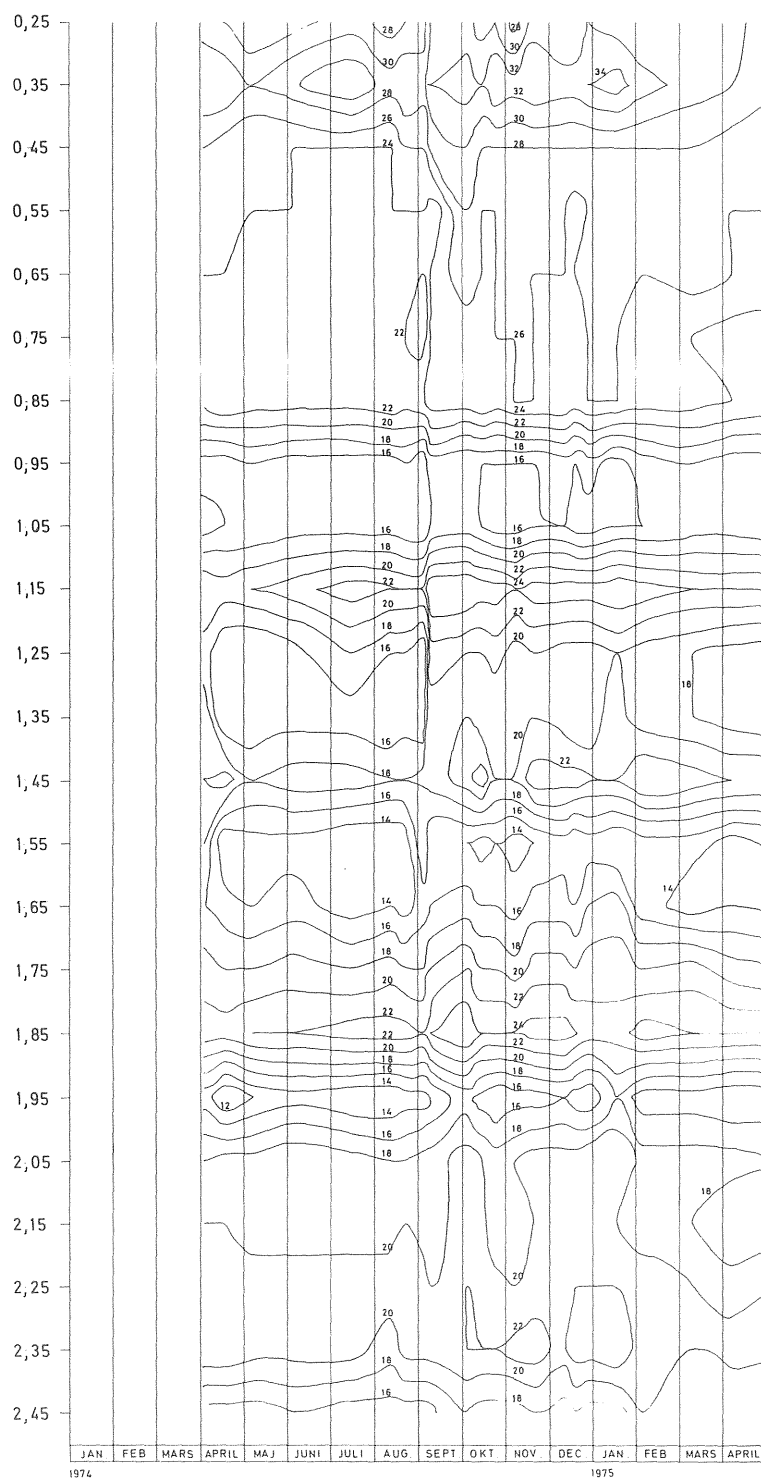


Figur 53 Isoplethdiagram för markvattenhalten i mätrör M 5.

MARKVATTENHALTENS VARIATION I VOL. %  
MED DJUP OCH TID (ISOPLETDIAGRAM)  
RÖR M6

MÄTPUNKT  
DJUP UNDER  
MARKYTA

MARKYTA



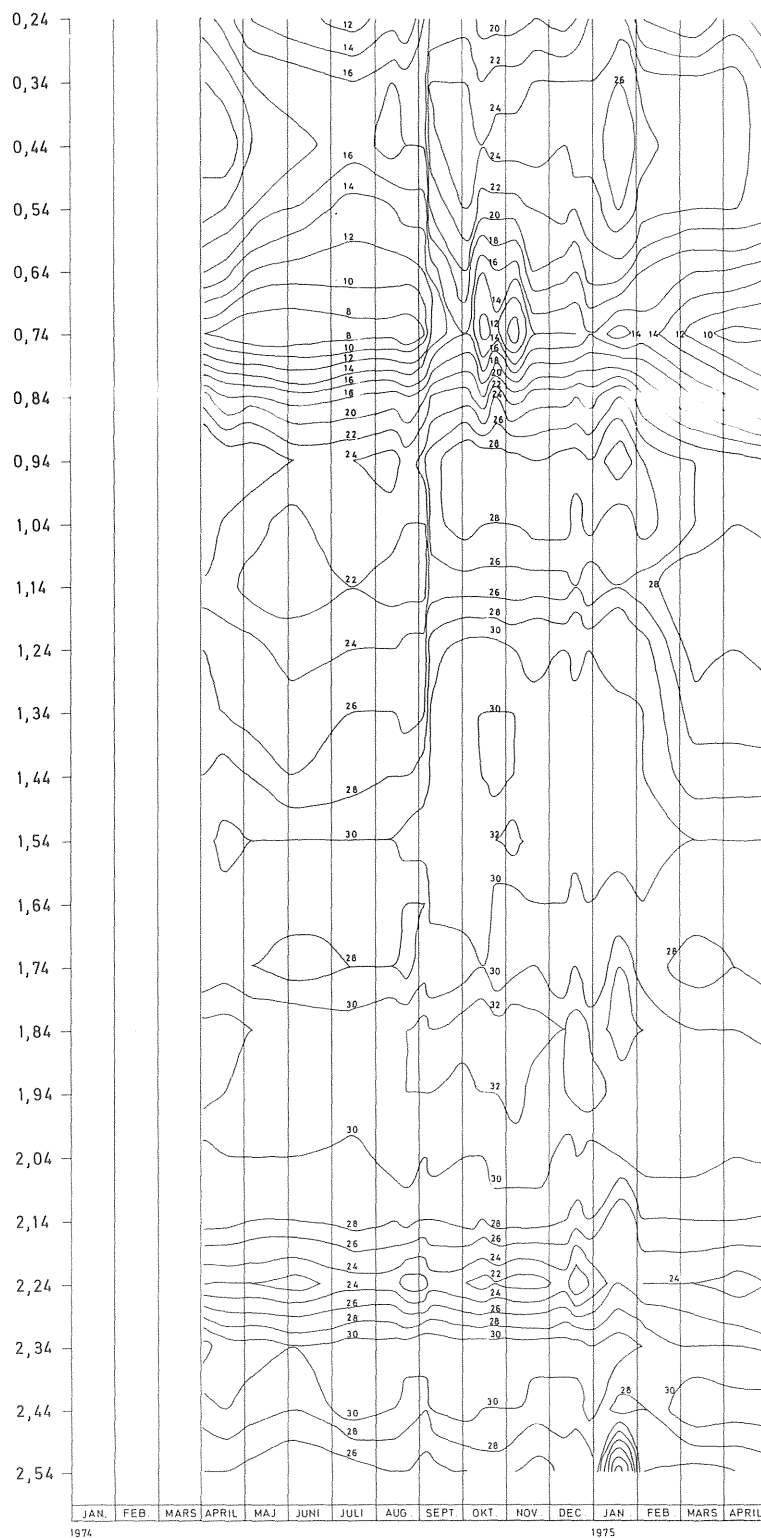
Figur 54 Isoplethdiagram för markvattenhalten i mät rör M 6.



MARKVATTENHALTENS VARIATION I VOL. %  
MED DJUP OCH TID (ISOPLETDIAGRAM)  
RÖR M7

MÄTPUNKT  
DJUP UNDER  
MARKYTA

MARKYTA



Figur 55 Isoplethdiagram för markvattenhalten i mätrör M 7.

tycks uppvisa några större olikheter i variationsmönstret mellan de olika rören. Möjligen kan markvattenvariationerna i rör M1 anses vara stora, men detta beror på att marken där består av organiskt material (torv).

Ett alternativt sätt att grafiskt redovisa markvattenmagasinets variationer är med hjälp av s k isopletdiagram. Det kan invändas mot sådana diagram att de är relativt svårlästa och att absolutvärdena får större betydelse. Som förut nämnts bör absolutvärdena inte användas som bedömningsunderlag. Det har dock ansetts värdefullt att prova redovisning med isopletdiagram eftersom tekniken använts tidigare exempelvis av Skoglund (1973). Isopletdiagram för mätrören i Bergsjön framgår av Figur 49 - 55. Markvattenhaltens variation på olika nivåer vid en viss tidpunkt kan utläsas ur isopletdiagrammen, men måste anses framgå klarare i diagrammen på Figur 42 - 48. Vad som i första hand synes framgå tydligt i isopletdiagrammen är skiktgränser i jordlagren. Om två angränsande skikt har olika vattenhållande förmåga får man nämligen en ansamling av isolinjer i skiktgränsen. Se exempelvis rör M3 och M5.

## 8 Sammanfattning

Tidigare genomförda markvattenundersökningar i naturliga områden visar att markvattenmagasinet utgör en väsentlig del i ett områdes vattenbalans. Mätningarna i Bergsjön visar att så är fallet även i ett utpräglat urbant område med i hög utsträckning artificiella jordlagerföljder.

Markvattenmätning i nedslagna stålrör med radiometrisk djupsond tycks endast ge användbar information vad gäller markvattenhaltens variationer. Uppmätta absolutvärden bör sannolikt ej utnyttjas. För redovisningen har provats tre olika metoder, uppritning av största och minsta markvattenhalt i profilen, uppritning av markvattenhaltens variation på varje nivå samt uppritning av s k isopletdiagram. Av dessa metoder bedömes den sistnämnda förordra större insats för redovisning och utläsande utan att därför ge påtagligt ökad information.

Vid större nederbörd har markvattenhalten i hela markprofilerna stigit dock med mot djupet minskande amplitud. Grundvattennivån har reagerat ungefär samtidigt och på samma sätt som markvattenmagasinet.

Bilaga 5

## INFRARÖD FOTOGRAFERING

Fil kand Stig Hård

Innehåll

1. Inledning
2. Avsikt
3. Teori
4. Arbetets uppläggning
5. Områdesbeskrivning
6. Geologi
7. Fotograferingsutrustning
8. Fotografering
9. Resultat
10. Referenser

## Bilaga 5

### INFRARÖD FOTOGRAFERING

Fil kand Stig Hård

#### 1 Inledning

Infraröd fotografering har ingått som en mindre, separat del av markvattenprojektet inom geohydrologiska forskningsgruppens vid CTH verksamhet.

Under arbetets inledning erhöles råd, anvisningar och litteraturhänvisning från enskilda personer och institutioner. Kodak AB, Hasselblads AB, byrådirektör Tore Bäck - Kartverket, Anders Bergman - Kartverket, Hans Elm - Kodak AB, Leif Wastensson, assistent Arnborg - Stockholms Universitet och ing Abrahamsson - Hasselblads AB har därvid varit till stor hjälp vid arbetets utförande.

#### 2 Avsikt

Avsikten med arbetet var att med hjälp av en infraröd färgfotografering utröna fuktighetsförhållandena i markytan inom större arealer. Fotograferingsresultaten skulle senare jämföras med de resultat som framkommit vid infiltrationsförsök som har utförts inom samma område.

#### 3 Teori

Vatten avbildas på en infraröd färgfilm helt svart (Strandberg 1967). En fuktig markyta borde på en infraröd färgfilm avbildas i mörkare nyanser än en torr markyta. Genom att fotografera samma markyta både med en infraröd färgfilm och en vanlig färgfilm borde en tolkning av fuktighetsförhållandena i markytan kunna utföras.

En vanlig färgfilm består av tre lager vilka är känsliga för blå, grön och röd strålning, dvs synligt ljus. Den infraröda färgfilmen består också av tre lager, men där är det blåkänsliga lagret utbytt mot ett lager, som är känsligt för infraröd strålning. Den infraröda färgfilmen får därmed en modifierad färgbalans.

Genom att anbringa ett gulfilter (Kodak Wratten filter nr. 12) framför linsen erhålls biologisk färgbalans. Biologisk färgbalans innebär att frisk växtlighet, t ex gräs, avbildas i röda nyanser medan skadad eller död växtlighet avbildas i bruna nyanser. Detta beror på att den synliga strålningen och den infraröda strålningen reflekteras och transmittas helt olika av ämnet klorofyll. Klorofyll absorberar stora mängder av synligt ljus men transmittar huvuddelen av den infraröda strålningen. På den infraröda färgfilmen framträder sålunda friskt gräs i klart röda färgnyanser, medan död växtlighet eller växtlighet som p g a vattenbrist ej är frisk avbildas i bruna nyanser. Den infraröda färgfilmen skulle därmed indirekt kunna återspegla markytans fuktighet genom gräsets frodighet. Gräsets klorofyllinnehåll skulle då vid måttligt vatteninnehåll i markytan vara en indikator på skilda fuktighetsförhållanden i marken. Denna metod kan dock vara vanskelig att använda eftersom växtligheten ej enbart kräver vatten för sitt välbefinnande. Stora mängder vatten påverkar växtligheten negativt. Jordens kornstorleks fördelning, porvolym, kalkhalt och humushalt är exempel på ytterligare faktorer som påverkar växtligheten.

Infraröd fotografering kan ej ge några kvantitativa värden på vattenhalten i markytan eftersom metoden enbart bygger på färgvariationer.

#### 4 Arbetets uppläggning

Arbetet inleddes med en allmän studie av infraröd fotografering. En separat sammanställning av det studerade materialet har gjorts. (Hård. Infraröd fotografering). Tonvikten har vid denna inledande studie lagts på allmän infraröd fotografering. I sammanställningen ingår allmän infraröd fotografering, referenser och litteraturhänvisningar.

Efter de inledande studierna utfördes en kort rekognosering och fältstudie av fotograferingsområdet. Därvid visade det sig lämpligast att fotografera området från runt om området liggande bostadshus samt ett parkeringsdäck. Tillstånd för tillträde till

hustaken införskaffades av fastighetsägarna.

Fotograferingsutrustningen tillhandahölls av Geologiska institutionen, CTH/GU Göteborg.

Film och filter har anskaffats från Hasselblads Foto AB i Göteborg.

Fotograferingen utfördes den 11, 12 och 13 november 1974.

## 5 Områdesbeskrivning

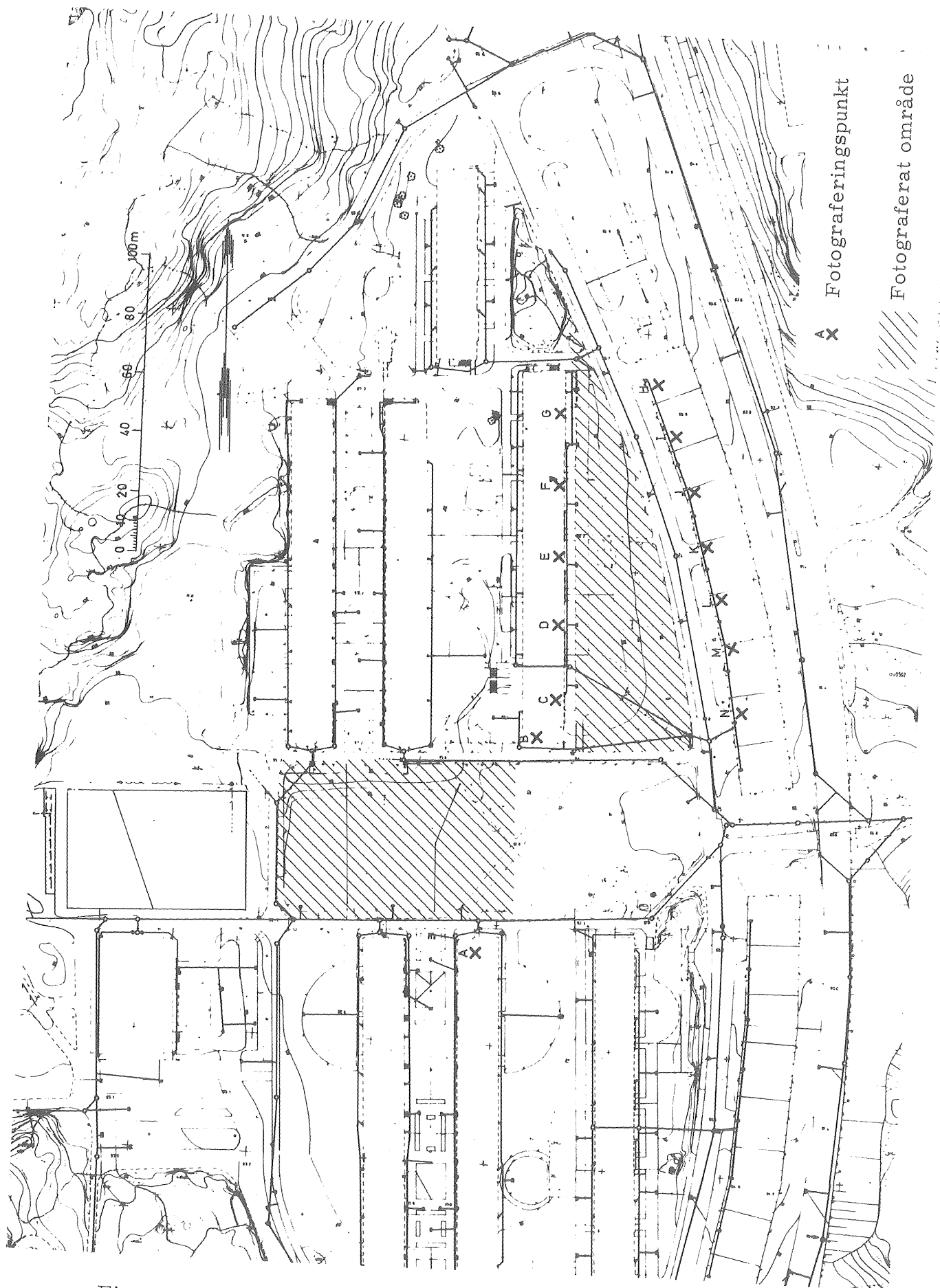
Fotograferingen har utförts inom ett bostadsområde vid Meteor-gatan i Bergsjön. Två skilda delområden, som ur infiltrationssynpunkt syntes intressanta, har fotograferats. Det ena utgörs av en i stort sett jämn gräsplan. Gräsplanen ligger på en nivå av 92,5 m ö h. Mot norr höjer sej en gräsbevuxen slänt 3,5 m över planens yta. Det andra området utgörs av en gräsbevuxen slänt som stupar mot öster och sydost. Slänten avgränsas i väster av en asfalterad gångväg som ligger i direkt anslutning till ett bostadshus. Åt öster avgränsas släntens av en asfalterad gata med trottoarer. Släntens överyta ligger 96 m ö h. Dess lägsta del ligger i sydost 90,5 m ö h. Se kartan över undersökningsområdet Figur 56.

## 6 Geologi

Några naturliga geologiska förhållanden kan knappast sägas råda inom undersökningsområdet. De båda för fotografering utvalda delområdena utgörs till största del av fyllnadsmassor. Gräsplanen ligger på en moig, lerig fyllning. Över fyllningen har man brett ut ett ca 15 cm tjockt sandlager. Grässlänten utgörs av en liknande fyllning men utan täckande sandlager. Mindre sättningar med små håligheter har utbildats i den ganska ojämna släntytan.

## 7 Fotograferingsutrustning

Vid fotograferingen användes två stycken småbildskameror med



Figur 56. Fotograferingspunkter och områden fotograferade med infraröd film.



negativformatet 24 x 36 mm. Båda kamerorna var utrustade med normalobjektiv med brännvidden 50 mm. Kamerornas inbyggda exponeringsmätare samt två stycken fristående ljusmätare utnyttjades vid fotograferingen. Vid fotograferingen användes dels en vanlig positiv diafilm Ektachrom - X, 64 ASA, och dels en infraröd färgfilm kodak Ektachrome infrared film. För att erhålla biologisk färgbalans anbringades ett gulfilter, Kodak Wratten filter nr.12, framför linsen på den kamera som var laddad med infraröd film.

## 8 Fotografering

Fotograferingen utfördes dels från ett parkeringsdäck och dels från hustaken som ligger runt om det studerade området. Fotograferingspunkterna framgår av kartan Figur 56. På varje fotograferingspunkt har fotografering skett med både vanlig färgfilm och infraröd film. För att få samma bildsnitt har bildsökarens mittpunkt riktats mot exakt samma punkt med de båda kamerorna. För att få en riktigt exponerad bild har mellan 2 och 4 stycken bilder tagits med varje kamera från varje fotograferingspunkt. Från samma fotograferingspunkt har ibland flera bilder med olika fotograferingsriktning tagits. Detta har gjorts för att täcka ett så stort område som möjligt. Bildmaterial samt tabeller över fotograferingspunkter och fotograferingsriktningar finns arkiverade på Geologiska institutionen, CTH, Göteborg.

## 9 Resultat

Vatten som täcker markytan i form av vattensamlingar framgår i stort sett lika bra på de båda filmerna. Mindre mängder av vatten som ligger dolt under vegetationen, i detta fall gräs, framträder betydligt bättre på den infraröda filmen. På denna framträder vattnet i blå, mörka nyanser i skarp kontrast till gräset, som framträder i mer eller mindre röda eller bruna nyanser. Avgränsning mellan områden med olika vattenhalt torde i viss mån kunna utföras. Här blir det dock inte frågan om fuktigheten i markytan utan en avgränsning av områden som helt eller

delvis täcks av vatten. Vattenhalten i markytan blir i detta fall helt beroende på den mängd vatten som för tillfället finns på markytan. Avsikten med den infraröda fotograferingen var att försöka avgränsa områden med varierande fuktighet då markytan var fri från täckande vatten. Med infraröd fotografering torde detta endast kunna göras på en bar markyta utan täckande vegetation. Inom det fotograferade området finns en sandplan (fotbollsplan) och inom denna framgår fuktighetsförhållandena ganska väl på den infraröda färgfilmen. Färgnyanserna varierar från ljusblått till nästan svart. De ljusare partierna är relativt torra. Fuktigheten ökar sedan inom de mörkare partierna.

På den vegetationstäckta marken inom det studerade området kan olika blå färgnyanser urskiljas där vegetationen ej är så tät. Dessa färgvariationer återspeglar säkerligen skilda fuktighetsförhållanden i markytan. En objektiv gränsdragning mellan dessa områden med olika fuktighet torde dock bli svår att genomföra.

En indirekt bedömning av vattenhalten i markytan genom växternas klorofyllinnehåll medför troligen allt för stora fel för att kunna genomföras. Växternas välbefinnande är beroenda av så många faktorer förutom vattentillgången i marken att en studie av detta torde bli alltför komplicerad att genomföra.

Markytans topografi framgår tydligare på den infraröda filmen än på den vanliga färgfilmen. Även strukturer i jorden och växtligheten framgår tydligare på den infraröda filmen.

Några jämförelser mellan fotostudien och infiltrationsförsöken som utförts inom området har ej gjorts. Detta beror till största delen på att områden med olika fuktighet ej kunnat urskiljas med den genomförda undersökningen.

Infiltrationsförsöken visar att infiltrationskapaciteten inom ett begränsat område kan skilja på upp till en tiopotens. Några klara samband har ej heller kunnat fastslås mellan de olika infiltrationsförsöken. En jämförelse mellan de båda undersökningarna förefaller därför vansklighetsfull att göra.

För att klarare belägga olika fuktighetsförhållanden i markytan skulle en termovisionsundersökning kunna genomföras. Termovision (thermal recording) möjliggör detektering av den icke synliga strålningen, dvs värmestrålningen. Den detekterbara våglängden ligger mellan 8 och 14 micrometer. Avdunstningen varierar mellan områden med olika fuktighet. Därmed uppstår temperaturskillnader. Genom att registrera temperaturskillnaderna i markytan skulle markfuktigheten kunna beräknas. De termovisionsutrustningar som för närvarande finns tillgängliga i marknaden mäter temperaturskillnaden på  $0,1^{\circ}\text{C}$ .

## 10     Referenser

Hård, S, Infraröd fotografering (i manuskript).

Jones, B G, 1957, Lowwater photography in Cobscook Bay, Maine. Photogram. Eng. 23.

Kodak Publication No. 14-28, 1972, Applied infrared photography.

Norton, C L, 1964, The use of colour and infrared filmphotography, Photogram, Eng.30.

Rhoads, D C & Stanley, D J, 1966, Transmitted infrared radiation: a simple method for studying sedimentary structures, Jour, Sedimentary Petrol, 36.

Strandberg, C H, 1966, Water quality analysis Photogram, Eng, 32.

Strandberg, C H, 1967 a, Aerial discovery manual. New York; John Wiley and Sons, Inc.

Strandberg, C H, 1967 b, Photoarchaeology. Photogram.Eng.33.