



CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

GEOHYDROLOGISKA FORSKNINGSGRUPPEN

Geologi

Geoteknik med grundläggning

Vattenbyggnad

Vattenförsörjnings - och avloppsteknik

ISSN 0347 - 8165

PORTRYCKFÖRÄNDRINGAR OCH MARKRÖRELSER  
ORSAKADE AV TRÄDVEGETATION



JAN A BERNTSON



CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

GEOHYDROLOGISKA FORSKNINGSGRUPPEN

Geologi

Geoteknik med grundläggning

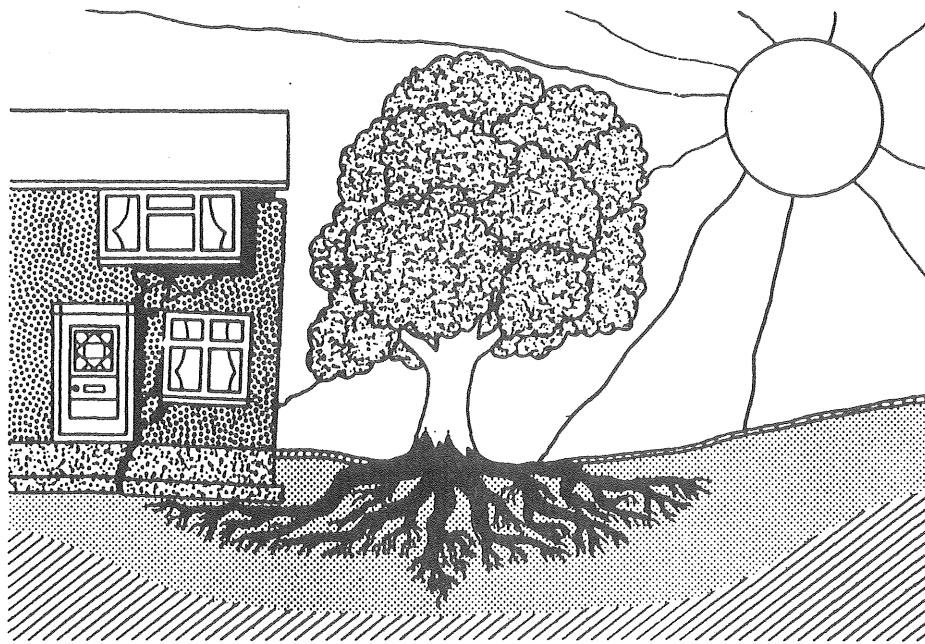
Vattenbyggnad

Vattenförsörjnings - och avloppsteknik

ISSN 0347 - 8165

---

# PORTRYCKFÖRÄNDRINGAR OCH MARKRÖRELSER ORSAKADE AV TRÄDVEGETATION



JAN A BERNTSON

## FÖRORD

Detta projekt har finansierats genom anslag från Byggforskningsrådet - BFR 761019-1. Projektet har utförts av Institutionen för geoteknik med grundläggning, Chalmers tekniska högskola, Göteborg. Arbetet har i tillämpliga delar samordnats med forskningen inom geohydrologiska forskningsgruppen vid Chalmers.

Det insamlade observationsmaterialet är mycket omfattande, varför redovisningen sker i två enheter med en första utvärderande del samt ett appendix med insamlade data.

Projektledare har varit professor Sven Hansbo och forskare ing.-geolog Jan Berntsson.

Fältarbetet har utförts av ing Kjell Nätterdahl samt civ ing Lennart Svensson och civ ing Johnny Remåker i samband med ett examensarbete. Den botaniska karteringen samt bestämningen av rotbiomassa har utförts av fil kand Sonja Carlberg och fil kand Sven Jonasson, botaniska institutionen vid Göteborgs universitet. Handledare för dessa arbetsinsatser samt rådgivare för botaniska frågor såväl under projektets planering som under genomförandet har varit docent Stig Falk vid samma institution.

Värdefulla synpunkter och kommentarer har lämnats under projektets gång av tekn dr Göran Sällfors vid Institutionen för geoteknik med grundläggning, Chalmers tekniska högskola.

Till ovanstående personer och institutioner framföres ett varmt tack för värdefulla insatser.

Göteborg i november 1980

Jan Berntson

# PORTRYCKFÖRÄNDRINGAR OCH MARKRÖRELSER ORSAKADE AV TRÄDVEGETATION

## FÖRORD

## INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1. SAMMANFATTNING
2. BAKGRUND
3. GRUNDLÄGGANDE TEORI-HYPOTESER-MÅLSÄTTNING
  - 3.1 Allmänt
  - 3.2 Geotekniska effekter av vegetationens vattenupptagning
    - 3.2.1 Torrskorpezonen- övre grundvattenzonen
    - 3.2.2 Porvattenzonen
  - 3.3 Markrörelser
4. PROJEKTETS UPPLÄGGNING
5. LITTERATURÖVERSIKT
6. BESKRIVNING AV FÖRSÖKSOMRÅDE
7. FÄLTARBETEN
8. NEDERBÖRDSMÄTNINGAR
  - 8.1 Allmänt
  - 8.2 Nederbörd i Mölndalsåns dalgång
    - 8.2.1 Statistisk beräkning av nederbörden
    - 8.2.2 Utvärdering av nederbördsförhållanden
    - 8.2.3 Sammanfattning
9. GEOLOGI - GEOTEKNIK - GRUNDVATTENGEOTEKNIK
10. BOTANISKA FÖRHÅLLANDEN
  - 10.1 Allmänt
  - 10.2 Vegetationsbeskrivning
  - 10.3 Bestämningar av rotbiomassa i jordprover
    - 10.3.1 Metodik
    - 10.3.2 Resultat
11. RESULTAT
  - 11.1 Översiktlig beskrivning av grundvattengeotekniska mätresultat
    - 11.1.1 Grundvattenzonen
    - 11.1.2 Porvattenzonen
  - 11.2 Grundvattengeotekniska variationer som funktion av trädens påverkan
    - 11.2.1 Grundvattenzonen under leran
    - 11.2.2 Porvattenzonen
  - 11.3 Vertikala markrörelser
    - 11.3.1 Översiktlig beskrivning av vertikala markrörelser
    - 11.3.2 Markrörelser som funktion av naturliga porvattenstryckförändringar resp trädens inverkan

- 11.4 Försök med studier av samband mellan trädens vatten-  
uppsugning och vattenkvotsförändringar
  
- 12. FALLSTUDIER
  - 12.1 Fallstudie I
  - 12.2 Fallstudie II
  - 12.3 Fallstudie III
  
- 13. SLUTSATS
  
- 14. APPENDIX
  
- 15. REFERENSER



## SAMMANFATTNING

Utbyggnaden av våra tätorter ger i regel upphov till en rubbning av den naturliga vattenbalansen förorsakade av t ex minskad infiltration genom hårdgöring av ytor, bortledning av dagvatten, inläckage i bergtunnlar etc. Sådana grundvattensänkningar förändrar portrycksprofilen vilket kan innebära svårbestämda följdverkningar i form av marksättningar.

Under senare år har man inom geotekniken börjat uppmärksamma andra grundvattensänkande faktorer varvid allt större intresse riktats mot vegetationen och då företrädesvis träds inverkan. Träden orsakar vid sin vattenuppsugning ett undertryck i vattenfasen som kan leda till konsolideringssättningar och/eller krympning.

Ett flertal fall har rapporterats i litteraturen där skador erhållits på byggnader och där växtlighet i olika former anses ha spelat en betydande roll. Uppföljningen av samband mellan vegetationens vattenuppsugning och markrörelser har tidigare företrädesvis skett utomlands. Utförda undersökningar har oftast omfattat mätningar av vertikala markrörelser (sättningar) och vattenkvotsbestämningar på skilda nivåer.

Inom detta projekt har målsättningen varit att försöka klarlägga om träds vattenuppsugning ger upphov till marksättningar och om dessa faktorer kan registreras med hjälp av grundvatten- och portryckmätningar samt bälgsättningsmätare. Avsikten har också varit att beskriva trädens ariella påverkan samt variationer under årstider, vegetations- och viloperioder etc.

Resultaten från utförda fältundersökningar under 1977-1979 i anslutning till träd visar klart att träds vattenuppsugning är en orsakande faktor till marksättningar i kohesionsjordar och förändringar av portryck till varierande djup. Av undersökningen framgår att metoder med mätning av portryck i lera är en framkomlig väg för beskrivning av träds och övrig vegetations påverkan av marken ur grundvattengeoteknisk synpunkt. Mätningarna har utförts under perioder som ur klimatologisk synpunkt kan betraktas som "våtperioder". Under perioder med torrare klimatologiska förhållanden torde förändringarna bli ännu mer accentuerade vilket också framgår av resultaten från tre praktikfall som följts upp inom detta projekt. Speciellt hastig och omfattande förändring kan därvid också uppstå om ett område där träd växer utsätts för en störning i en naturlig grundvatten- och portryckbalans exempelvis genom utförande av VA-ledningar, hårdgöring av markytor och bortledning av dagvatten etc.

## 2. BAKGRUND

I samband med urbanisering av ett jungfruligt område erhålles ofta grundvattensänkningar förorsakade av tex minskad infiltration genom hårdgöring av ytor, bortledning av dagvatten, inläckage i bergtunnlar etc. Sådana förändringar kan leda till svårbemästrade följdverkningar. Grundvattensänkningar förändrar portrycksprofilen och kan därmed ge upphov till sättningar. (Beträffande använd grundvattengeoteknisk nomenklatur hänvisas till Appendix A).

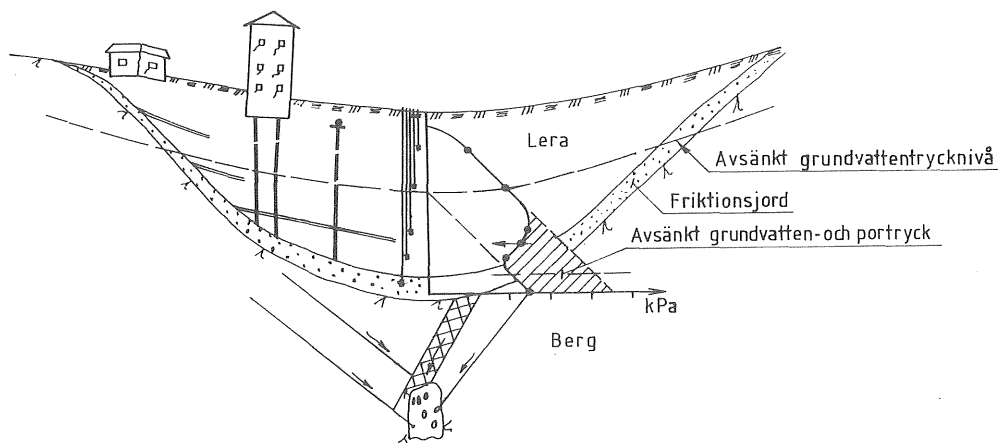


Fig. 1. Effekter av en grundvattentrycksänkning i en sedimentfylld dalgång.

Under senare år har man inom geotekniken börjat uppmärksamma också andra faktorer, som direkt eller indirekt påverkar portryckprofilen i kohesionsjordar. Härvid har allt större intresse riktats mot vegetationens inverkan och då företrädesvis träd. Träden orsakar vid sin vattenuppsugning ett undertryck i vattenfasen, som kan leda till konsolideringssättningar och/eller krympning.

I utländsk litteratur har rapporterats ett flertal fall, där skador erhållits på ytligt grundlagda byggnader och där växtlighet i olika former anses ha spelat en avgörande roll. Vegetationen torde i många sådana fall inte ensidigt vara den orsakande faktorn men kan genom en rubbad, naturlig vattenbalans bli den utlösande faktorn till de skadliga sättningarna.

I Sverige har tidigare bl a utförts en uppföljning av sätt-

ningsskadade hus i anslutning till träd i Enskededalen (Palm, 1978, Arnborg et al, 1979). Se vidare pkt 5.

Frågeställningarna kring träds roll i sammanhanget är många. Hur djupt och hur långt bort från träd sträcker sig en eventuell inverkan? Från vilka parametrar kan man utläsa i vilken grad och hur långt ut i omgivningen ett träd ger påverkan?

Hur skiljer sig förhållandena under vilo- och vegetationsperioderna? Är registrering av portrycksförändringar ett sätt att beskriva denna problematik? Vilken förändring erhålls i en portrycksprofil efter en eventuell trädavverkning? Detta var några frågor, som vi före projektets start sökte få besvarade. Vi fann att i princip hade tidigare ej några studier utförts med sådan inriktning att några svar kunde erhållas.



### 3. GRUNDLÄGGANDE TEORI - HYPOTESER - MÅLSÄTTNING

#### 3.1 Allmänt

Till grund för projektet har bland annat legat just de frågeställningar, som angetts under pkt 2. Vilka teoretiska samband och synbara effekter kan då förväntas gälla för trädens vattenuppsugning?

Det är känt att träd har stor vattenförbrukning, så kan t ex björk förbruka 300-500 l/dygn. Vattenupptagningen är störst närmast trädet, där den största mängden rotbiomassa förekommer. Det uppsugna vattnet ur lerjordar torde kunna hänföras till i princip två typer.

1. Under nederbördsrikare perioder och vid tillfällen med så hög vattentillgång att ett grundvattenmagasin förekommer i spricksystemen i torrskorpan (som fritt vatten) tillvaratar träden i första hand detta fria vatten. - fig. 2a.
2. Om fritt vatten ej finns tillgängligt pga längre perioder utan nederbörd eller om vattnet dränerats bort på naturlig eller artificiell väg, kommer rötterna att suga åt sig det närmast minst bundna vattnet i jorden. Sådant vatten kan då vara porvatten under en tidigare lägsta nollportrycksnivå och/eller kapillärt bundet vatten i torrskorpezonen fig. 2b.

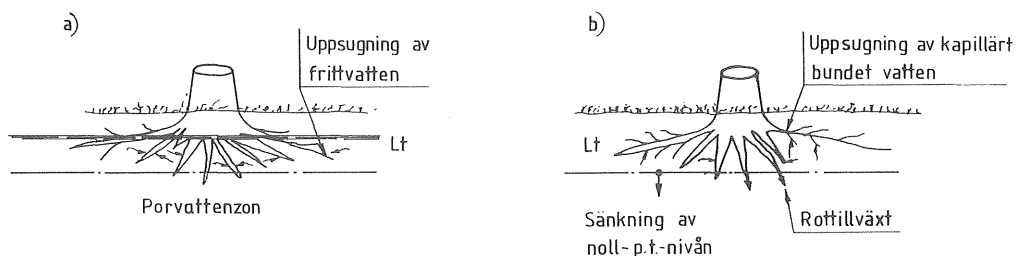


Fig. 2. Två fall av tillgängligt vatten i jord för växter.

Uppsugningen av dessa vattenförekomster i fall 2 torde oftast ske i kombination. Vanligen har rotsystemet en utbredning enbart i torrskorpan, varför rotsystemet måste växa ytterligare för att kunna suga vatten från porvattenzonen. Härvid erhålles då en sänkning av nollportrycknivå och därmed en ny torrskorpebildning. Framhållas bör härvid att själva torrskorpebildningen ej enbart är beroende av en ytterligare sänkning av en tidigare lägsta nollportrycknivå. Ett flertal andra processer förekommer också, vilka dock ej behandlas i detta sammanhang.

Om fritt vatten ej kan nås i porvattenzonen, sker enbart upptagning av kapillärt bundet vatten. Tillgången på sådant vatten är beroende av flera faktorer såsom jordens partikelfördelning, lerhalt, jordens bindningstryck ( $pF$ -enhet), skillnader i potential, vattenhalter, etc.

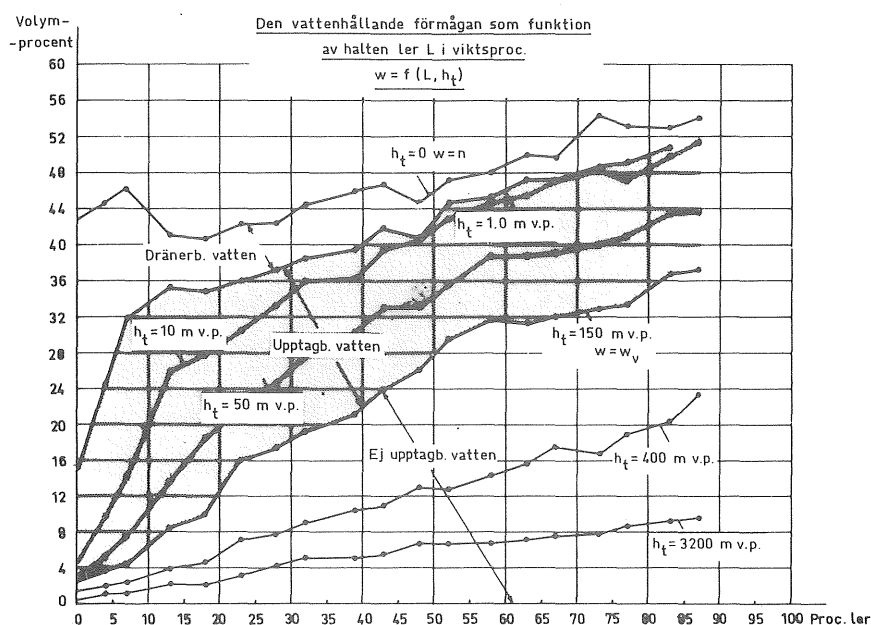


Fig. 3. Vattenbindande tryck vid olika vattenhalt för jordar med olika lerhalt efter Andersson, Wiklert, 1972.

### 3.2. Geotekniska effekter av vegetationens vattenupptagning

#### 3.2.1 Torrskorpezonen - Övre grundvattenzonen

Om allt fritt vatten sugas upp ur torrskorpezonen och fortsatt upptagning sker av kapillärt bundet vatten kommer jorden att krympa. Storleken på denna krympning är beroende av jordens känslighet för uttorkning eller med andra ord dess känslighet för effektivspänningsökningar ( $\Delta\sigma_0$ ). Detta förlopp har tidi-

gare beskrivits med en parameter benämnd krympindex, vilket dock ej visat sig helt täcka detta problemkomplex. Det maximala bindningstryck som växterna kan övervinna brukar anges till 15 atm (4,2 pF). se fig. 4. Mätning av sådana potentialförändringar är svåra att utföra i fält och har tidigare bl a utförts med sk tensiometer, vars maximala mätkapacitet torde ligga på 0,8 - 0,9 atm undertryck.

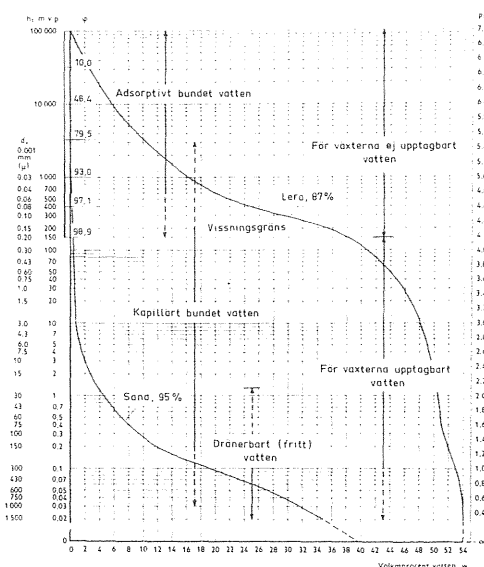


Fig. 4. Bindningstryck  $h_t$  m.v.p. (pF-diagram) som visar sambandet mellan vattenkvot och vattnets bindingsenergi (tryck) efter Andersson, Wiklert (1972).

#### Hypotes - Målsättning

På vilket annat sätt skulle sådana tryckförändringar kunna mätas?

Ett förslag har varit att kunna utföra sådana bestämningar med en sluten portryckmätare med möjlighet att registrera undertryck på 4-5 atm (40-50 m vattenpelare). Man kan vänta sig att portrycket genom trädens vattenupptagning förändras från övertryck t ex ca 10 kPa på 1 m djup när fria vattenytan sammanfaller med m. y. till avsevärda undertryck. Spänningsförändringar i denna zon av jordprofilen förorsakade av grund- och porvattentryckförändringar kan tänkas ske enligt fig. 5. Så länge effektivspänningen ( $\sigma'$ ) understiger förkonsolideringsspänningen ( $\sigma'_c$ ) sker en relativt liten sättning här kallad krympning. När effektivspänningarna överstiger  $\sigma'_c$  blir sättningarna däremot markanta.

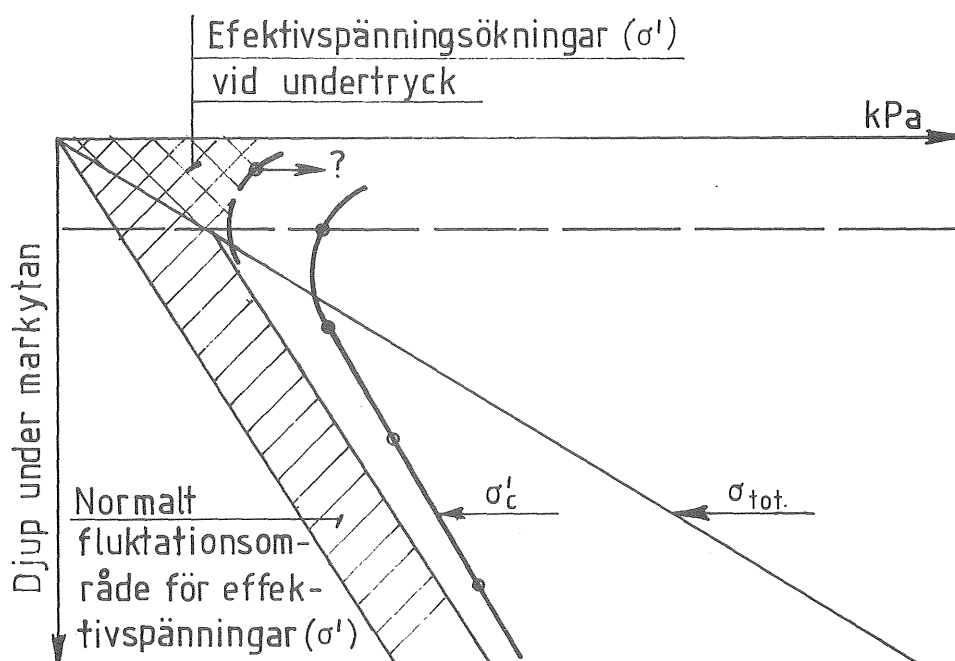


Fig. 5. Principiella spänningsförhållanden i en jordprofil vid sjunkande portryck.

### 3.2.2. Porvattenzon

Om rotsystemet på grund av brist på vatten tillväxer ner i porvattenzonen sänks nollportrycknivån successivt. Jorden kommer därmed också att utsättas för ett successivt högre tryck som leder till ökande deformationer. Vid effektivspänningsökningar upp till förkonsolideringsspanningen blir sättningarna även här förhållandevis små (elastisk deformation). Om vegetationens vattenuptagning och nollportrycksänkning är så omfattande att effektivspänningarna inom denna zon överstiger förkonsolideringsspanningen blir sättningarna avsevärda. Konsolideringssättningar kommer då att utbildas, vilkas storlek är beroende på konsolideringsegenskaperna för den aktuella leran.

#### Hypotes - Målsättning

En sänkning av nollportrycknivån genom ex träds vattenuppsugning studeras medelst en sluten portryckmätare. Tryckförändringen består i att ett från början rådande övertryck först ombildas till ett nolltryck (atm-trycket) och därefter till ett begränsat undertryck. Undertryckets storlek är avhängigt av hur långt nollportrycknivån förskjuts under den aktuella mätnivån. Effektivspänningskurvan förväntas bli enligt fig. 6.

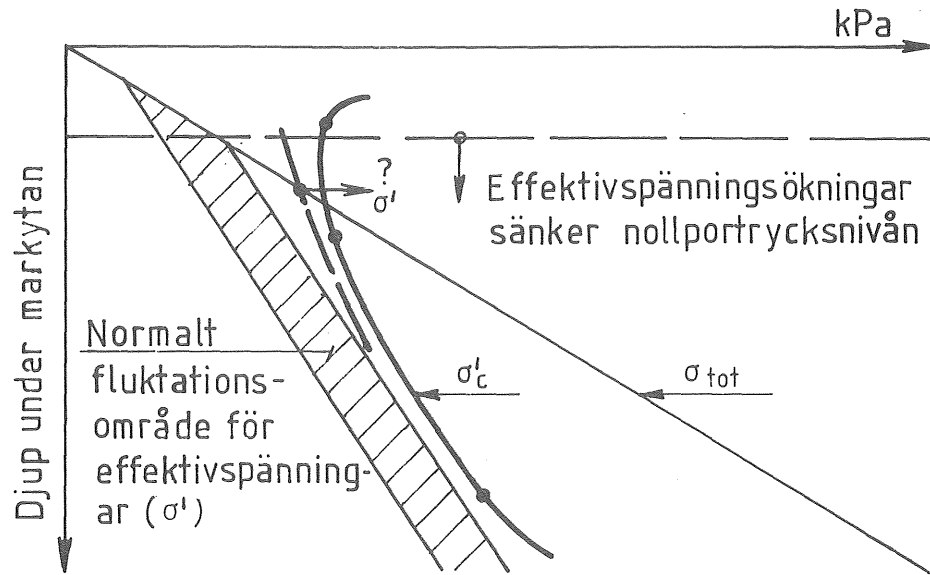


Fig. 6. Principiell spänningsförändring vid sänkning av nollportrycksnivån

Portryckprofilen kan efter en avsänkning antas få det utseende som redovisas enligt fig. 7. Under nollportrycksnivån förväntas portrycken relativt snabbt stiga till en viss portryckprofil, vilken är reglerad av de i detta fall rådande artesiska trycken.

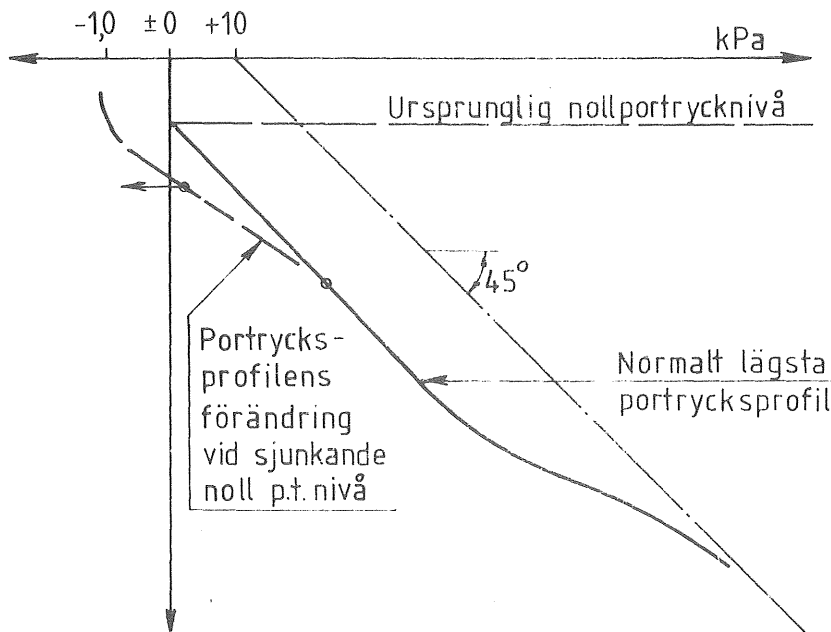


Fig. 7. Principiell förändring av portryckprofilen vid sjunkande portryck i ytliga jordlager.

### 3.3. Markrörelser

Träds vattenuppsugning och därmed följande portryckförändringar leder till markrörelser. Storleken av dessa markrörelser är beroende på om de är betingade av krympning, elastisk

deformation eller konsolidering.

Hypotes - Målsättning

Markrörelserna kan bäst registreras genom mätningar på olika nivåer med hjälp av pegerar och bälgsättningsmätare. Om storleken på uppmätta rörelser jämföres med rådande spänningsförhållanden torde erhållas en grundval för analys av orsakssammanhangen till markrörelserna.

#### 4. PROJEKTETS UPPLÄGGNING

Projektet var från början planerat att omfatta en fullständig geoteknisk och botanisk analys av problemkomplexet. Projektet avsåg härvid att innefatta förutom en analys av sambandet mellan vattenuppsugning/portryckförändringar, också en kvantifiering av trädens vattenuppsugningskapacitet, evapotranspirationen etc, Dessa studier skulle ske under två år, varvid träden skulle avverkas inför det andra året. Av denna anledning valdes ett försöksområde där ett motorvägsbygge skulle utföras efter två år, varvid träden skulle komma att avverkas. Efter remissbehandling beslutades dock att den botaniska analysen skulle utgå. Inom projektets ram har dock en begränsad botanisk inventering kunnat utföras.

Genom förändringen av den ursprungliga projektuppläggnings blev igångsättningen något försenad, vilket hade till följd att det första årets "vegetationsperiod" ej kunde täckas in med fältmätningar i sin helhet. Av denna anledning beslöts att avverkning och uppgrävning av trädens rotsystem först skulle ske sedan fältmätningarna hade avslutats våren 1979.

Inom projektets ram har också utförts en uppföljning av tre praktikfall vilka behandlar sättningsskador och grundgeotekniska förhållanden under perioden 1975-1979.



## 5. LITTERATURÖVERSIKT

Skador som har uppkommit på ytligt grundlagda byggnader på grund av krympande och svällande leror har studerats under en följd av år och då speciellt i England och Kanada. Skadefallen har också inspirerat till studier av markrörelsernas beroende av väderlek och växtlighetens inverkan på markrörelser.

Flera författare pekar på skador vilka de anser härör från inverkan av vegetation. Ward (1953) konstaterar att skador på ytligt grundlagda murade hus är allmänt förekommande i södra och östra England. Detta om husen är grundlagda i lera som krymper och sväller beroende på hur vatteninnehållet i den förändras. Ward påstår vidare att all vattenförlust i leran under sommaren beror på växternas transpiration och att stora träd orsakar de största skadorna. Sättnings-skador på vägar och ytligt liggande dräneringsledningar kan ske enbart beroende på grässets transpiration.

Under flera år har undersökningar gjorts på flera håll i syd-östra England, där inverkan av väder och vegetationstyp har kopplats till markrörelser. Markrörelser kopplade till vildvuxet gräs har studerats på tre ställen under åren 1949-1952. Därvid framkom att markrörelser av storleksordningen 20-30 mm uppkom på djupet 0,5 m endast vid torra somrar. Under normala somrar var rörelserna mindre. Stora variationer konstaterades dock från plats till plats. På djupet 1,5 m kunde endast rörelser mindre än 2-3 mm konstateras.

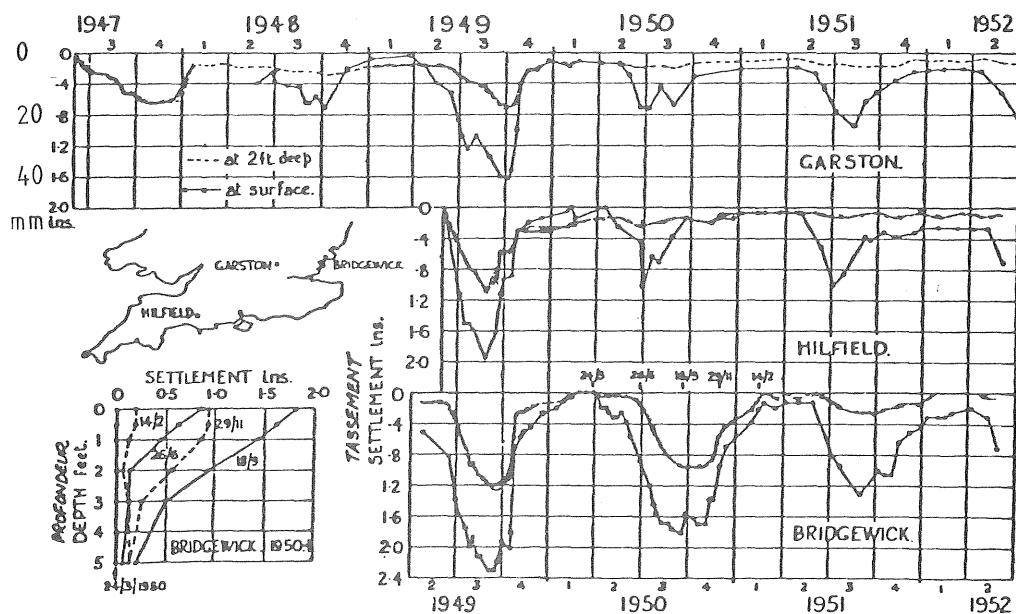


Fig. 8. Markrörelser vid tre platser i England enligt Ward, 1953.

Ward redogör även översiktligt för ett fyrtiotal skadefall där skadorna mätts in i förhållande till avstånd till närmaste träd. Härvid har jämförelse gjorts med den av Coolong (1951) uttalade grova regeln att ytligt grundlagda hus ej bör ligga närmare träd än trädets fullvuxna höjd. Det konstateras att om träden står i rad med belagda ytor runt om bör avståndet utökas till en och en halv gånger trädhöjden. Författaren framhåller, vilket också är viktigt att påpeka att dessa tumregler enbart gäller engelska jordarts- och klimatförhållanden. Speciellt uppmärksammade trädslag är poppel, alm och ek.

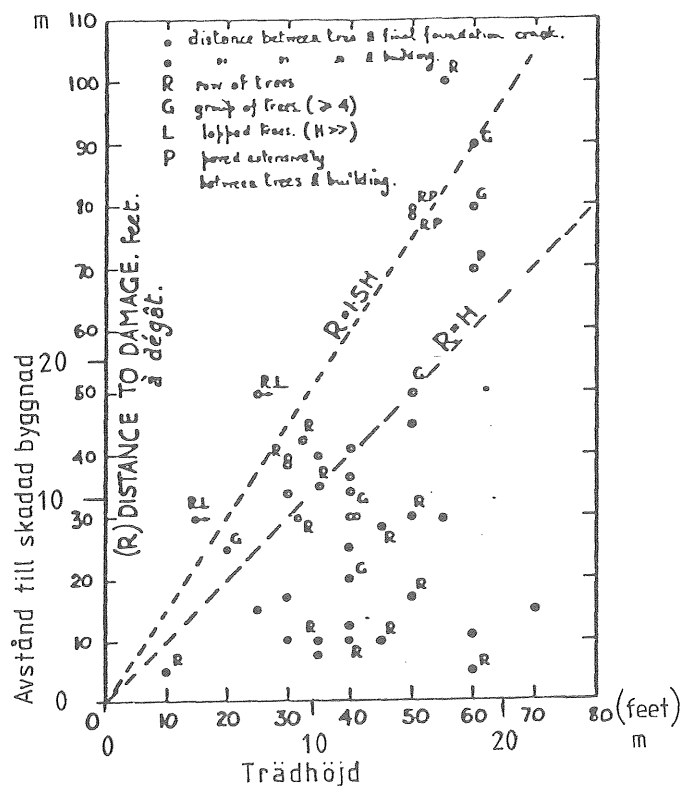


Fig. 9. Förhållande mellan trädhöjd och avstånd till in-träffad skada på hus enligt Ward, 1953.

Baracos och Bozozuk (1957) redogör för att säsongsmässiga markrörelser förekommer inom vitt spridda områden i Kanada. Markrörelser har mätts i Ottawa åren 1951-55. Resultaten visar att de maximala marksättningarna uppnåddes under sommaren när höga temperaturer och evapotranspirationen resulterade i stora fuktförluster. Regn och minskad evapotranspiration mot slutet av september resulterade i ökande jordfuktighet och svällning av markytan. I november hade jorden återfått de förhållanden den hade under våren.

Den totala markrörelsen, bortsett från inverkan av tjäle, uppgick till cirka 38 mm för gräsbevuxen mark under det torra året 1955. Mera nederbördsrika år uppgick rörelserna endast till ca 5 mm. På större djup har konstaterats rörelser om ca 7 mm på djupet 2,5 m medan inga märkbara rörelser konstaterats på djupet 4 m.

De leror som uppvisar stora markrörelser kännetecknas av högt plasticitetsindex och hög flytgräns samt även av deras stora innehåll av aktiva lermineral, särskilt montmorillonit.

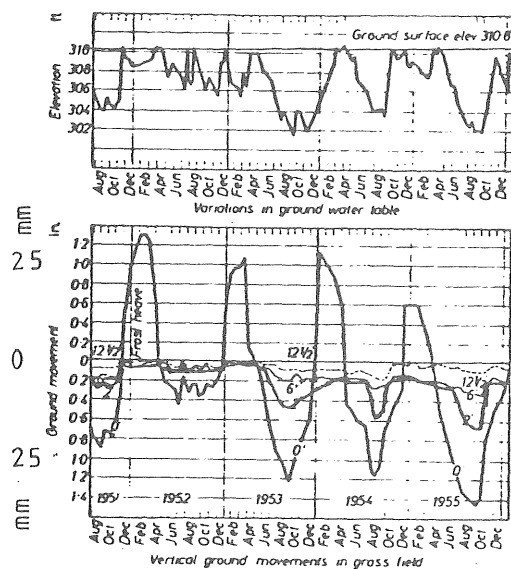


Fig. 10. Markrörelser inom gräsbevuxet område i Kanada enligt Baracos och Bozozuk 1957.

mitt i sommaren under det torra året 1955. Författarna framförde tvivel på att vattenförhållandena i lera kunde mätas på detta sätt vilket är befogat.

Jämförelser mellan markrörelser och årstidsvariationer i väderleken gjordes med hjälp av ett mått kallat "soil moisture depletion". Detta uttryck avser skillnaden mellan nederbörd plus i jorden ackumulerat vatten och beräknad avdunstning. Detta mått representerar ett medelvärde på fuktighetsförhållandena i ett område. Det bör kunna användas för jämförelse mellan olika geografiska orter. Författarna anser att markrörelserna vid de kanadensiska mätningarna började när "Soil moisture depletion" var 7 tum - 178 mm.

Undersökningsåret 1955 visade sig vara det torraste året sedan 1931. Markrörelserna uppgick maximalt till ca 68 mm på avståndet 1,5 m från träden och till ca 16 mm på avståndet 13 m. Dessa rörelser uppmättes på djup av ca 0,3 m. Markrörelserna avtog med djupet. De övriga studerade åren uppgick rörelserna maximalt till ca 35 mm.

Bozozuk och Burn (1960) har utfört mätningar av vertikala markrörelser i närheten av almträd i ett område i Ottawa under åren 1954-57. Undersökningsområdet bestod av ett dränerat gräsområde med en rad av 15-20 m höga almar. Jorden bestod av en marin lera, kallad "Leda Clay".

Vattenförhållandena på platsen studerades i filterbrunnar (well-points) som var 4 m djupa. Härvid konstaterades att vattenytan i rören vår och sent på hösten låg i markytan medan någon vattenyta ej kunde konstateras

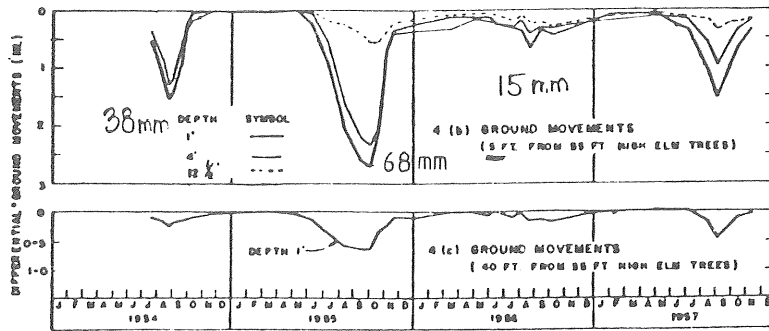


Fig. 11. Årstidsbundna markrörelser i närheten av almar i Ottawa, Kanada enligt Burn och Bozozuk, 1960.

Burn (1973) anser att träd kan orsaka sättningsskador på hus under tre omständigheter. Dessa omständigheter måste alla samtidigt råda.

1. Jorden måste vara sådan att den undergår väsentliga volymförändringar då dess vatteninnehåll ändras.
2. Särskilda trädslag måste finnas på platsen.
3. Nederbörden under vegetationsperioden måste vara otillräcklig för träden.

Burn påtalar också att rörelserna kan ha olika ursprung hos leror beroende på dess uppbyggnad.

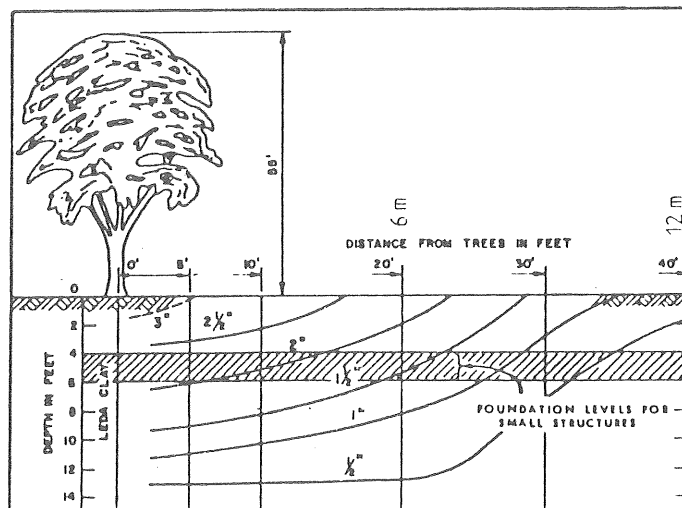


Fig. 12. Markrörelser intill alm i Ottawa, Kanada enligt Burn och Bozozuk, 1960.

Ett flertal skadefall har vidare behandlats i tidskrifter under årens lopp. Här kan nämnas en teaterbyggnad i London beskriven av Skempton (1954) samt ett område bestående av äldre byggnader i Ottawa, beskrivet av Bozozuk (1962). I det sistnämnda fallet har omfattande analyser av vattenkvoter gjorts på upptagna lerprover i ett försök att beskriva olika samband. Bland övriga utländska författare som behandlat denna problematik kan nämnas Burn (1973) samt en nyhetsartikel från Building Research Establishment, London (1976).

Inom Sverige har först på senare tid utförts några mer omfattande uppföljningar av sambanden vegetation - vattenkvotsförändringar - markrörelser.

Halldén (1976) redovisar resultat från mätningar av sättningar hos ett hushörn med popplar planterade mycket nära byggnaden, som närmast 2 m. Jordlagren utgjordes av ett 5-7 m tjockt lerlager med en torrskorpa på ca 1,5 m. På 2,5-3,5 m djup var leran normalt konsoliderad och i övrigt överkonsoliderad. Sättningsrörelser registrerades enl diagrammet i fig. 13. Efter att de stora sättningarna inträffat fram till september 1973 fälldes träden närmast hushörnet var-efter inga ytterliga sättningar registrerades under påföljande år då mätningarna avslutades.

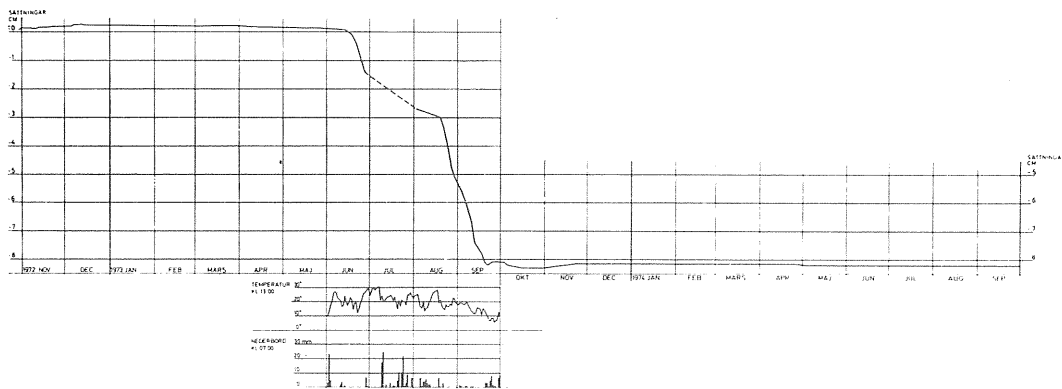


Fig. 13. Uppmätta rörelser på en byggnad under tiden nov 1972 till sept 1974 efter Halldén, 1976.

Sättnings-skador förorsakade av vattenuppsugning till popplar har också kartlagts av Bjurström (1977). Popplarna växte härvid i flera serier längs en gata i Norrköping. Alltefter som popplarna växte uppstod sättningar i gatan mitt för den plats där träden växte. Justeringar av gatan fick utföras regelbundet men först sedan popplarna fällts uppnåddes viss stabilitet.

Studier av vattenkvotsförändringar och markrörelser orsakade av vegetation har i större omfattning utförts av Palm (1978) samt Arnborg et al (1979). Inom Palms utredning har träds betydelse för sättnings-skador studerats inom ett villaområde i Enskededalen.

En redovisning av vertikala rörelserna vid ett tillfälle framgår bl a av fig. 14. Jämför Bosożuk och Burn (1969).

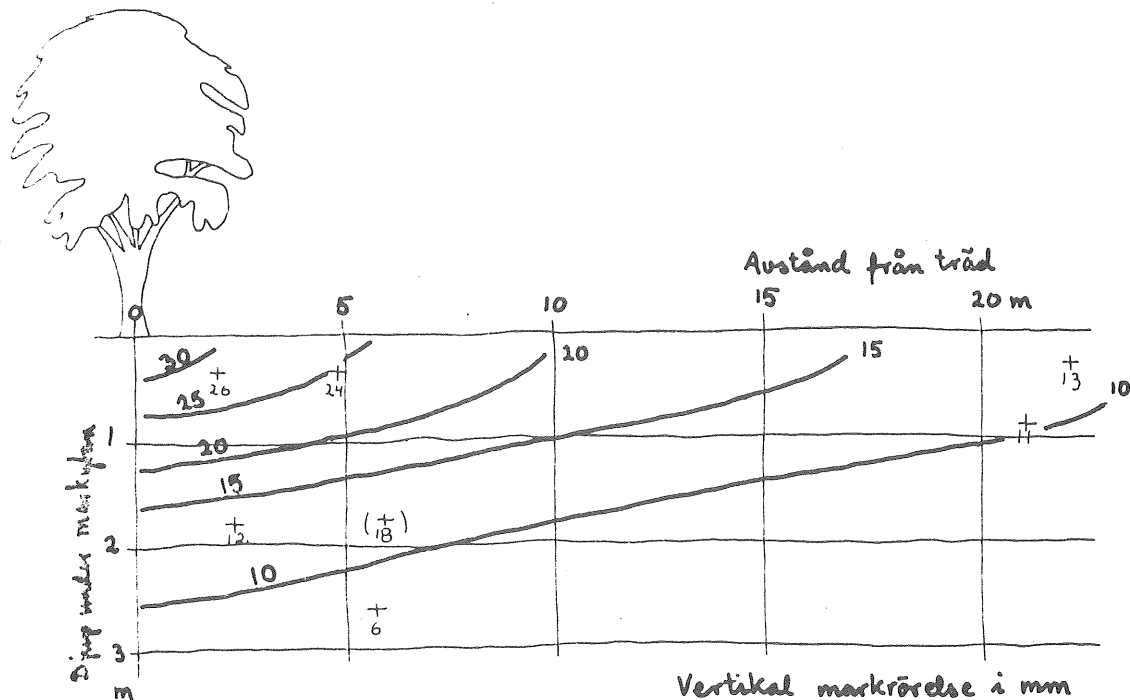


Fig. 14. Vertikala rörelser vid träd 1974 "Soil moisture depletion = 76 mm" efter Palm 1978.

En av utgångspunkterna för Palms projekt var att undersöka hur träden påverkar mängden fritt vatten i jordlagren. Palm utgick från att detta skulle kunna ske genom jämförelser av vattenhaltskurvor från olika tidpunkter. Erfarenheten enligt Palm blev dock att trots omfattande vattenhaltsbestämningar på skilda nivåer och vid skilda tillfällen, inga tillförlitliga beräkningar kunde utföras för att bestämma trädens inverkan. Portrycksmätningar har också utförts men endast i tre stationer och vid två tillfällen. Av resultaten från dessa kunde utläsas att en utförd bevattning av vissa träd hade effekter på portrycken till avsevärt djup.

I utredningen från 1979 (Arnborg, et al) behandlas ett flertal åtgärder för att förhindra att träd påverkar sättningsförloppet i sättningskänsliga områden.

#### Sammanfattning av litteraturoversikt

Sambanden mellan sättningar och vegetation har internationellt studerats i stor omfattning sedan lång tid tillbaka, medan forskningen på detta område här i landet först kommit igång på senare tid. Internationella undersökningar har oftast omfattat mätningar av vertikala markrörelser (sättningar) och

vattenkvotsbestämningar på skilda nivåer. Resultat och erfarenheter från utländska undersökningar kan endast i begränsad omfattning vara tillämpliga på svenska förhållanden. Detta beroende på att i regel råder helt skilda geologiska, geohydrologiska och klimatologiska förhållanden. Inga undersökningar har funnits vid vilka portrycksmätningar utförts i kombination med markrörelsemätningar som en metod att försöka beskriva vegetationens betydelse i sammanhanget.



## 6. BESKRIVNING AV FÖRSÖKSOMRADE

Området inom vilket projektets fältstudier har utförts är beläget i Mölndalsåns dalgång i Mölndals kommun nära gränsen till Göteborg enligt fig. 15.

Försöksområdet valdes ut främst av den anledningen att homogena geologiska förhållanden råder samt de möjligheter som erbjöds till avverkning av träden samt uppgrävning av rot-system. - se vidare Appendix A.

Marken inom själva undersökningsområdet är plan men höjer sig mot öster i en svag sluttning upp mot en brant bergssluttning. Genom området löper ett grunt dike på vars sidor de studerade träden - björk resp poppel - är belägna. Se vidare planen i fig. 15. I försöksområdets västra begränsning fanns en arbetsväg utlagd direkt på mark och bestående av ca 0,5 m sprängsten med tätning i ytan av makadam.

Några meter från björken fanns en 2-3 m djup brunn av betongrör vilken fylldes igen med lera vid mätningarnas början.

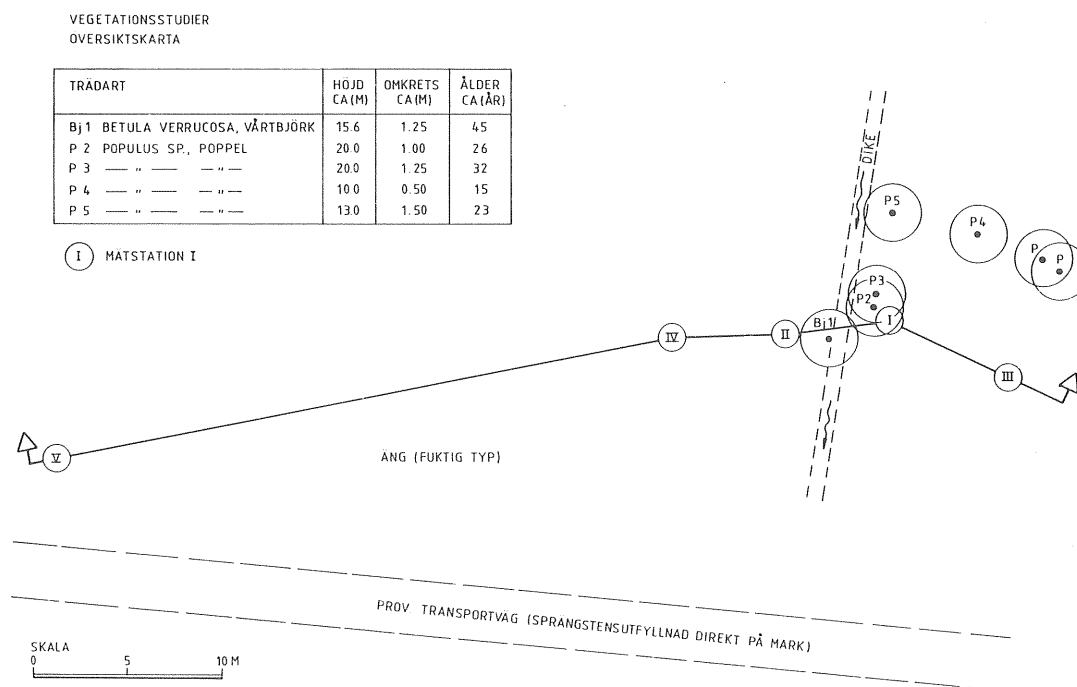


Fig. 15. Översiktskarta av projektets försöksområde. Skala 1:200.

## 7. FÄLTARBETEN

På planen figur 15 visas arbetsområdet med lägen för mätstationer och trädvegetation. Fältarbetena har omfattat geologisk och botanisk kartering, utsättning och avvägning. Installation av mätutrustning såsom grundvattenrör, (öppet rör med perforerad insticksspets), portryckmätare (typ BAT), bälgställningsmätare och markpeglar har utförts inom fem mätstationer. Stationerna I och II är placerade i direkt anslutning till träden - poppel resp björk - medan stn III och stn IV finns ca 8 m från träden. Station V är placerad ca 40 m från träden på den öppna åkermarken och utgör referensstation. Beträffande omfattning på installationer hänvisas till planen figur 15A samt diagram i Appendix A. Avläsning av mätarna har varierat från varannan vecka till en månad.

Ett försök att registrera nederbörden lokalt inom försöksområdet har gjorts genom utplacering av en ackumulerande nederbördsmätare, typ KTH Totalisator. Nederbörden har i princip registrerats en gång per vecka.

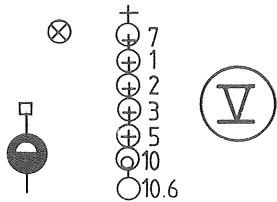
Trycksondering har utförts i samtliga fem mätstationer medan portrycksondering utfördes i två punkter - se Appendix A.

Jordprovtagningar utfördes vid två tillfällen - 77 09 23 och 78 04 15 - med standardkolvborr St. I. Provtagningen i sept 1977 avsåg att utvisa jordens fuktighetstillstånd under den torraste tiden på året medan provtagningen i april 1978 avsåg förhållandena under en blöt period.

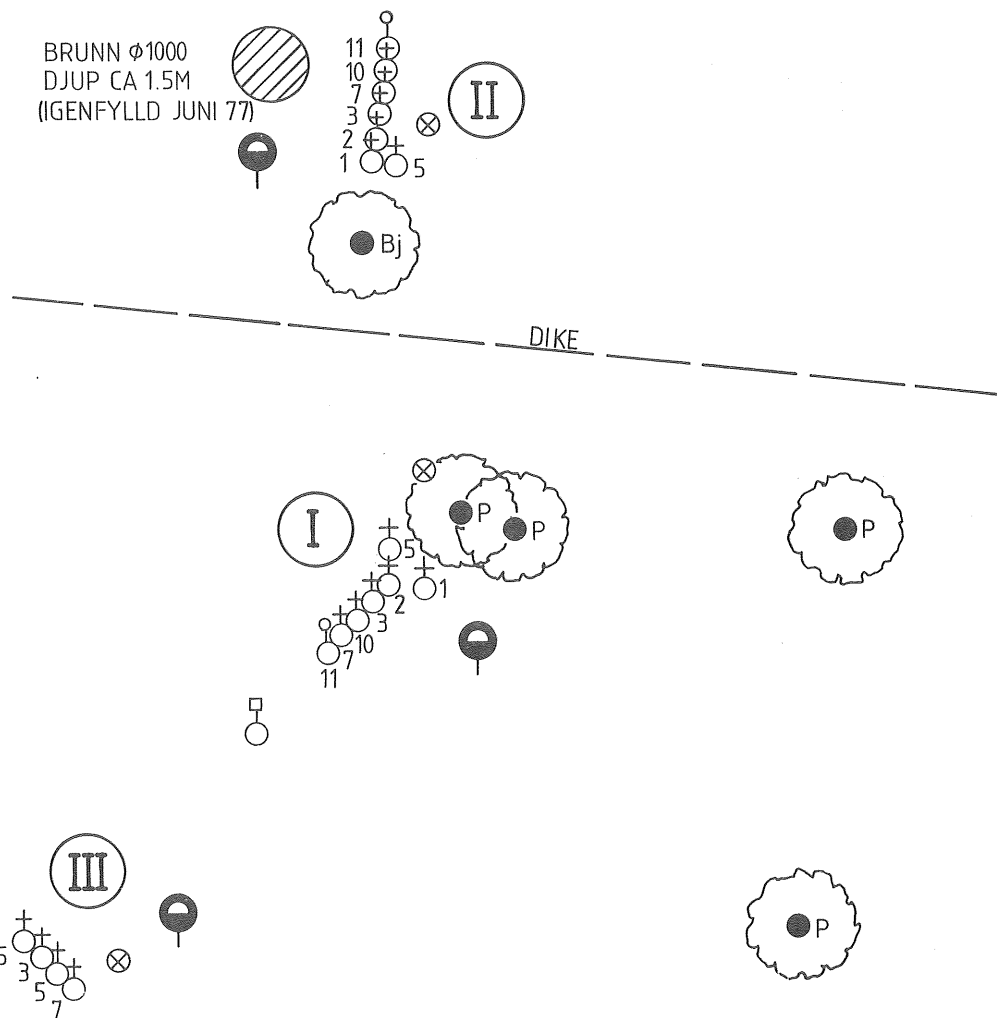
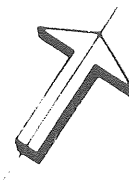
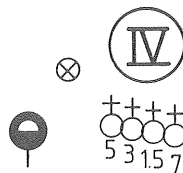
I september 1977 togs jordprover vid alla mätstationerna medan provtagningen på våren 1979 begränsades till mätstationerna I, IV och V.

På upptagna jordprover har utförts bestämningar av skjuvhållfasthet enligt konmetoden, naturlig vattenkvot, konflytgränsdensitet samt ödometerförsök. Resultaten av provtagningen kommenteras under punkt 9. Resultaten av laboratoriearbetet kan studeras i Appendix A.

Under vegetationsperioden 1977 utfördes en speciell studie av portryckmätare typ BAT utrustade med skilda typer av filtersten i spetsen. Den ena spetsstypen var utrustad med en filtersten som hade ca 100 gånger finare porer (porstorlek = ). Av resultaten i Appendix B kan utläsas att inga tryckskillnader erhöles vid registrering av porövertryck. Spetsen med finporigare filtersten registrerar däremot ett lägre tryck (2-3 kPa) vid mätningarna av porundertryck än spetsen av konventionell typ. Om absolutvärdet på porundertrycket härvid är korrekt har inte kunnat kontrollerats.



PLANLÄGE SE FIG. 15



BETECKNINGAR






-  BETECKNING ENL. SVENSKA GEOTEKNISKA FÖRENINGEN
-  PORTRYCKSMÄTARE  
1=SPETSEN PLACERAD 1.0M UNDER MARKYTAN
-  ÖPPET RÖR  
11=SPETSEN PLACERAD 11.0M UNDER MARKYTAN
-  PORTRYCKSONDERING
-  BÄLGSLANGSMÄTAR SAMT MARKPEGLAR PÅ DJUPEN 0.2, 1.0 OCH 1.65M UNDER MARKYTAN
- P POPPEL
- Bj BJÖRK

FIG. 15A  
FÖRSÖKSOMRÅDE MÖLNDAL  
PLAN UTVISANDE INSTALLATIONER OCH BORRNINGAR  
INOM 5 MÄTSTATIONER

SKALA 1:100

## 8. NEDERBÖRDSMÄTNINGAR

### 8.1 Allmänt

Inom försöksområdet installerades nederbördsräknare enligt pkt 7. Nederbörden har i denna räknare registrerats en gång per vecka. Vid utvärderingen har jämförelse gjorts med en av Göteborgs VA-verks mätstationer, varvid har framgått att överensstämmelsen är mycket god. Nederbördsräknningen vid station 105 sker automatiskt 1 ggr/dygn. I redovisningen har därför använts mätresultat från denna station, varvid en mer detaljerad uppföljning har erhållits.

SMHI utför kontinuerlig nederbördsregistrering inom en mätstation (0707) belägen vid Mölndalsån ca 1 km söder om försöksområdet. Överensstämmelsen mellan registreringarna i VA-verkets stn 105 och SMHI stn 0707 är också mycket god. Då insamling av data har skett från stn 0707 sedan 1926 har därför mätvärden under perioden 1926-1979 använts för en statistisk analys enligt nedan.

### 8.2. Nederbörd i Mölndalsåns dalgång

För perioden 1926-1979 har nederbördsdata hämtats från SMHI 0707 Station Mölndal i form av årsvärden och månadsvärden.

Dessa data har statistiskt bearbetats med avseende på medelvärde, standardavvikelse och snedhet samt fördelning med hjälp av datorprogram utarbetade vid VIAK AB.

#### 8.2.1 Statistisk beräkning av nederbörden

För att en statistisk beräkning skall bli korrekt fordras att de enskilda värdena tillhör samma population och att inga förändringar i observationsbetingelserna äger rum.

Ingen tendens till minskning eller ökning av nederbörden har kunnat konstateras så länge nederbördsstudier pågått. Vid mycket långa observationsserier kan anses ofta nederbörden vara normalfördelad. Vid korta observationsserier (ca 30 år) approximeras dess fördelning i allmänhet bäst av Pearsons frekvensfunktion typ III. En fördelning som vanligen används är Weibulls fördelningsfunktion. (Liedholm 1978).

Genom kännedom om vilken fördelning populationen tillhör kan en bedömning göras av sannolikheten för att ett visst värde överskrides eller underskrides. Med hjälp av sannolikheten för en viss händelse kan återkomsttiden beräknas. Den anger med vilken tidsperiod som händelsen återkommer i medeltal. Med hjälp av en binomialfördelning kan sannolikheten beräknas att en viss nederbörd skall inträffa under en speciell tidsperiod. En "torr" resp "våt" period anger att nederbörden under perioden var mindre resp större än normalt (=sannolikhet 0,5). - se fig. 16.

Årsnederbörden i Mölndal har studerats för perioden 1926-1979 (54 värden). Det aritmetiska medelvärdet är 839 mm med en standardavvikelse om 138,3 mm. Den korrigerade snedheten

är  $-0,03$  vilket innebär att populationen approximativt är normalfördelad. Extremvärden under perioden var 1162 mm (1967) och 461 mm (1947).

### 8.2.2 Utvärdering av nederbördsförhållanden

Diagrammen i Appendix D visar sannolikheten för att en viss årsnederbörd underskrides eller överskrides tolkad med Weibulls fördelning samt Pearson typ III-frekvensfunktion inlagd.

Sannolikheten att överskrida 1977 års nederbörd (984 mm) bedöms till 0,16 eller en återkomsttid av 1 ggr per 6,3 år i medeltal. Året kan betraktas som ett "våt-år".

Sannolikheten att underskrida 1978 års nederbörd (729 mm) bedöms till 0,25 eller en återkomsttid av 1 ggr per 4 år. Året i sin helhet kan betraktas som något "våtare" än normalt.

Om jämförelser görs med ett känt torrår som 1976 erhålles stora avvikelser. För årsnederbörden kan dock noteras att 1976 års nederbörd (676 mm) sannolikt underskrides så förhållandevis ofta som 1 ggr på 10 år.

En utvärdering av nederbördsförhållandena under vegetationsperioden och delar av denna har också utförts på samam sätt. Resultaten framgår av fig. 16.

### 8.2.3. Sammanfattning

Under de båda år som mätningar har utförts vid träden - 1977 och 1978 - har klimatologiska observationer utförts kontinuerligt vid två närbelägna mätstationer. Resultaten från dessa visar att i nederbördshänseende har åren i sin helhet varit nederbördsrika. Detta gäller också vegetationsperioderna samt kortare eller längre perioder under dessa. Undantag utgör dock exempelvis augusti 1977 som var nederbördsfattig. Om olika perioder under 1977 och 1978 jämförs med förhållanden under motsvarande perioder under ex "torråret" 1976 är skillnaderna anmärkningsvärda. Att även 1977 och 1978 var nederbördsrika kan också utläsas ur SGU:s kontinuerliga grundvattenobservationer. - Av denna framgår att riklig grundvattenbildning förekom under 1977 och 1978 - se vidare under pkt 11.1.

Period	Sannolikhet för överskridande		Sannolikhet för underskridande	
	relativ frekvens	återkomstid l ggr/antal år	relativ frekvens	återkomstid l ggr/antal år
1976			0,1	10
aug			0,045	22
sept			0,49	2
aug-sept			0,07	14,3
jun-aug			0,018	55
maj-sept			0,035	29
1977	0,14	8,3	0,86	1,16
aug	0,92	1,09	0,08	12,5
sept	0,29	3,5	0,71	1,3
aug-sept	0,8	1,25	0,2	5
jun-jul- aug	0,8	1,25	0,2	5
maj-sept	0,72	1,4	0,28	3,6
1978	0,75	1,33	0,25	4
aug	0,5	2	0,5	2
sept	0,11	9	0,89	1,12
aug-sept	0,2	5	0,8	1,3
jun-aug	0,64	1,6	0,36	2,8
maj-sept	0,55	1,8	0,45	2,2

Fig. 16 Utvärdering av nederbördsförhållanden i Mölndalsåns dalgång 1976-1977-1978.

## 9. GEOLOGI - GEOTEKNIK - GRUNDVATTENGEOTEKNIK

Undersökningsområdet är beläget i en förkastningsdalgång, vilken utgör en sydlig fortsättning på Göta Älvdalen. Strax öster om försöksområdet finns därför en hög förkastningsbrant. Mätstationerna är placerade inom den plana, centrala delen av dalgången. Marken runt de aktuella träden utgörs av åkermark av fuktig typ. Marken hade ej brukats på senare tid, varför den var bevuxen med vildväxande gräs- och örtväxter- se punkt 10.

Jordlagren utgöres av lera på friktionsjord på berg. Trycksonderingar anger att lagret med friktionsjord är mycket begränsat, 0,5 - 1,0 m. Lerans mäktighet är vid Boråsbanan 1,5 - 3 m. för att sedan successivt öka ned mot försöksområdet till 10 å 11 m.

Leran består överst av ett ca 1,5 m tjockt lager av mycket fast lera - torrskorpelera. Därunder är leran mycket lös, svagt gyttjig ned till 2 - 4 m djup under markytan, varefter leran får ett ökat siltinnehåll. Av utförda sonderingar - portrycksonderingar och konventionell trycksondering - framgår att leran endast i sina djupaste delar innehåller markanta silt/sand-skikt.

Lerans vattenkvot är från torrskorpans underkant ned till 5 å 6 m djup mycket hög med värden omkring 120%, medan konflytgränsen har mer normala värden för Göteborgstrakten. Under 5 m-nivån varierar både vattenkvot och konflytgräns mellan 60 - 80%.

Densiteten  $\rho = 1,8-1,9 \text{ t/m}^3$  är i det fasta ytlagret högst varunder den sjunker till knappt  $1,5 \text{ t/m}^3$  inom avsnittet med inslag av organiskt material. Under denna nivå ökar densiteten något till ca  $1,6 \text{ t/m}^3$ .

På upptagna jordprover har också utförts CRS-försök för bestämning av förkonsolideringstryck, kompressionsmodul, konsolideringskoefficient ( $c_v$ ) samt permeabilitet, se Appendix A.

Av erhållna resultat kan ur de redovisade spänningsprofilerna i Appendix A utläsas att under 1977 och 1978 har leran som lägst varit svagt överkonsoliderad. Som framgått av kap 8 har perioden varit nederbördsrik. Under år med lägre grundvattenbildning kan därför förväntas att effektivspänningarna i vissa avsnitt inom profilen stiger upp till förkonsolideringstrycket. Jorden blir under sådana perioder "ytterligt sättningssänslig". Ur spänningsprofilerna kan också noteras att det ytliga, starkt överkonsoliderade lerlagret (till stor del den s k torrskorpan) är mäktigast vid station I.

Grundvattengeotekniskt kan området traditionellt indelas i fyra skilda formationer eller avsnitt med separata karakteristiska parametrar. (- Nomenklatur enligt Appendix A). Överst kan urskiljas zonen med torrskorpelera som med sin uppspruckna struktur kan sägas utgöra en grundvattenzon



(zonen kan snabbt fyllas och vattentrycksförändringar sker mer eller mindre momentant). Under torrskorpan följer den inom området dominerande porvattenzonen som är lågpermeabel - begränsade vattentransporter - men där stora tryckförändringar kan förekomma. Porvattenzonen - lerlagren - utgör i sin tur ett lock till den underlagrande grundvattenzonen i friktionsjorden och berget. Grundvattenzonen i friktionsjorden har endast studerats vad avser grundvattentryckmätningar (artesiskt) men kan på basis av utförda sonderingar förväntas ha de för västsvenska dalgångar vanliga egenskaperna med låga värden på både magasin-koefficient och transmissivitet. Berget kan i dalgången vara starkt uppsrucket och därmed besitta en icke helt obetydlig vattentransporterande kapacitet.

De grundvattengeotekniska förhållandena inom området beskrivs ingående under pkt 11.

## 10. BOTANISKA FÖRHÅLLANDEN

### 10.1 Allmänt

En botanisk inventering har utförts av försöksområdet av botaniska institutionen vid Göteborgs universitet. Inventeringen har omfattat en beskrivning av all vegetation inom området, bestämning av rotbiomassa i upptagna lerprover samt beskrivning av de uppgrävda rotsystemen.

### 10.2 Vegetationsbeskrivning

Arbetsområdet och dess närmaste omgivning utgörs av en sluttande äng, genomskuren av ett trädkantat dike. Ängen är av frisk till fuktig typ, dvs med god vattentillgång. Marken har tidigare varit uppodlad, men täcks nu av gräs- och örtvegetation. De flesta arterna är på grund av jordmån och vattenhalt höga och kraftiga. Några exempel är åkertistel, hundkäk, rallarros, rölleka, hundäxing, knylhavre, kvickrot och timotej (Appendix H).

Som man kan vänta sig av närheten till industribyggnader, järnväg och trafikleder hittar man fröspridda, främmande arter i området. Sådana är t ex kantdunört, stor sötväpling, ryssgubbe och revormstörel.

Ängens övre del (utanför mätområdet) är torrare och uppvisar ett relativt artrikt växtsamhälle. I anslutning till de täta snår av ask, slån och nyponros, vilka utgör gränsen mellan äng och järnvägsbank, växer den vackra, storblommiga blodnävan, vilken kräver en varm, solig, något kalkhaltig växtplats. Andra noterade arter är femfingerört, blodrot, rödklint och rödven.

Diket som skär genom arbetsområdet, var under sommaren torrlagt men avleder vatten om våren. Det kantas av stora träd, huvudsakligen poppel men även björk, ask och rönn. Tillsammans med yngre popplar intill diket bildar träden en några meter bred, fuktig och skuggig zon med en markvegetation, som starkt domineras av kirskaål, nässlor och åkerfräken.

Rotskott från avverkade popplar skjuter raskt upp. Vid dikets nedersta del växer tät sly av poppel.

Med avseende på vattenförbrukningen kan växterna på platsen delas in i två grupper:

- 1 öreter och gräs
- 2 vedväxter (buskar och träd)

I detta sammanhang torde örter och gräs, på grund av att de är påfallande stora och kraftiga, ha en vattenförbrukning som inte helt kan förbises.

Vid de olika mätstationerna uppskattades de dominerande örternas och gräsens relativa bladyta. Detta ger en ungefärlig bild av vilka arter som står för den huvudsakliga transpirationen vid varje station. (Appendix H).

Träden och buskarna förbrukar mycket vatten. Mängden är svår att uppskatta, då vattenomsättningen är beroende av många faktorer i och utanför växten, såsom t ex art, bladyta, förhållande rotmassa/bladmassa, klimat och hydrologi. (För att ge någon uppfattning om storleksordningen, kan följande mätresultat nämnas: Vid en undersökning avgav en medelstor björk 200-500 l vatten per dag under sommaren. En majsplanta - dvs ett kraftigt gräs - avgav 200-300 l vatten totalt under säsongen).

På träden inom eller i omedelbar närhet av mätområdet gjordes en uppskattning av höjd och ålder. (Se fig 15 ).

### 10.3 Bestämningar av rotbiomassa i jordprover

En analys av borrhoprover med avseende på rotbiomassa är utförd och redovisas nedan. Vidare redogöres för studier av rotfördelning in situ inom provtagningsområdet.

#### 10.3.1 Metodik

Rotbiomassan bestämdes genom våt extraktion av borrhoproverna i en sikt med maskstorlek  $200\mu$ . Partiklar  $< 200\mu$  passerade således sikten och uppsamlades i en behållare, medan rötter och partiklar  $> 200\mu$  frånskiljdes. Från denna rest handsorterades all strukturell organisk substans ut och tillvaratogs. Suspensionen i behållaren bringades ytterligare en gång att passera sikten, och eventuell strukturell organisk substans handseparerades. Rotfördelningen in situ studerades vid provtagningslokalen, i samband med att en grävmaskin frilade rot-systemen. Härvid studerades rotfördelningen av gräs och örter, björk i diameterstorlek 30-40 cm samt av en poppel i samma dimension.

#### 10.3.2 Resultat

Borrhoproven från station III på 1,0 m djup innehöll en grovrot (diameter 0,5 mm), som kan förväntas ha varit levande vid provtagningsstillfället. Vidare påträffades en grovrot, som med all sannolikhet varit död vid provtagningsstillfället, i prov taget på 1,0 m djup på station V. I övriga analyserade prover från 1,0-1,5 m nivån påträffades inget strukturellt organiskt material av recent slag. Däremot påträffades fossila finrötter (diameter 0,5 mm) och fossil växtvävnad från icke vedartade delar troligen härrörande från gräsartade växter. I proverna på 2,0 m djup påträffades inget strukturellt organiskt material av vare sig recent eller fossilt ursprung. Eftersom inga recenta rötter påträffades på den andra provtagningsnivån från någon av stationerna, utfördes inga extraktioner av borrhoprover från djupare nivåer.

Fältstudierna av rotfördelningen bekräftade analysresultaten ovan. Rötterna från gräs och örter var fördelade inom det 20-30 cm djupa humuslagret. I den underliggande leravlagringen fanns endast enstaka spridda rötter. Björken utsände grova fäströtter radiellt från stubben till ett avstånd av åtminstone 5-10 m. Från dessa utgick förgreningar med finrötter

av vattenupptagande frunktion. Huvuddelen av de radiellt utgående rötterna låg på gränzonen mellan humus och mineraljord på ett djup av 20-30 cm. Finrötterna trängde endast ned i det allra översta mineraljordslagret. I området under, och allra närmast, den frampreparerade stubben trängde grovrötter med talrika finrotsförgreningar ned vertikalt till ett djup av åtminstone 1,5 m. Denna zon var emellertid begränsad till området inom en radie av ca 1 m från stubbens centrum. En principskiss av björkens rotfördelning ges i fig. 17.

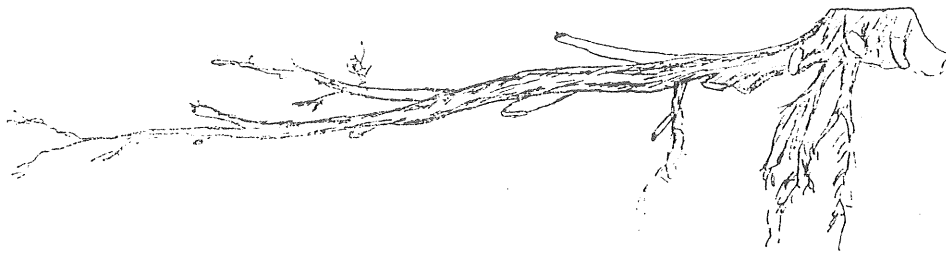


Fig. 17 Principskiss av björkens rotsystem.

Poppelns rötter hade en liknande fördelning. Möjligen antyddes att de vertikalt utgående rötterna var fördelade inom en zon med större radie än björkens. Vidare tycktes vertikala finrötter utgå från de radiella rötterna i större omfattning, och på större avstånd från stubben än hos björken. Dessa finrötters massa, bedömdes dock vara mycket ringa.

## 11 RESULTAT

### 11.1 Översiktlig beskrivning av grundvattengeotekniska förhållanden

Registrering av vattentrycket i jorden har i princip skett i tre zoner. I den övre grundvattenzonen (torrskorpan) samt i porvattenzonen finns slutna portryckmätare medan den undre grundvattenzonen (friktionsjord) har kontrollerats med öppna grundvattenrör. En djupt placerad sluten mätare på ca 10 m djup under markytan utvisar samma tryckförhållanden som grundvattenrören, varför grundvattenzonens övre begränsning ligger på ungefär nivån för denna mätare. Beträffande använd terminologi hänvisas till Appendix A.

Av utförda mätningar kan de stora dragen i fluktuationerna i första hand knytas till förändringar av nederbörden. Förutom vegetationens direkta påverkan kan också vissa fluktuationer betingas av temperaturförändringar vilket dock ej har studerats i detta projekt.

Av den detaljerade redovisningen i appendix A o. B framgår att såväl grundvatten - som portryck har en regelbunden årstidsbunden fluktuation. För utvärdering av uppmätta fluktuationer har som referensmaterial använts mätningar från Sveriges Geologiska Undersökning (SGU) grundvattenkors i Göteborgstrakten station Harestad (SGU 1979).

Av den utvärdering som skett av SGU:s mätningar under perioden 1971 - 1978 - fig. 18 framgår att under åren 1977 och 1978 förekom riklig grundvattenbildning.

#### 11.11 Grundvattenzon

Mätningar inom grundvattenzonen har utförts i samtliga fem mätstationer med mätare enligt ovan. Det öppna grundvattenröret i station I har varit något för kort varför det artesiska trycket har medfört att vatten har runnit över rörkant. En god registrering av grundvattentrycket har dock erhållits här liksom i övriga stationer med hjälp av slutna mätare på 10 m djup. I samtliga stationer ligger trycknivåerna i den undre grundvattenzonen över markytan, alltså artesiska tryckförhållanden råder. Grundvattentrycket har en regelbunden, årstidsbunden fluktuation under hela mätperioden. Amplituden i fluktuationen är så kraftig som 0,6 - 1 m, varvid trycknivåerna ligger 0,5 - 1,5 m över markytan. Inom undersökningsområdet kan ingen speciell gradient och flödesriktning utläsas inom grundvattenzonen. - se Appendix B.

Under mätperioden kan vidare konstateras att fluktuationerna inom grundvattenzonen har varit mycket jämna. Snabba reaktioner på grundvattentrycket på grund av nederbördsrikare perioder registreras vid några tillfällen. Gemensamt för dessa tillfällen är att längre nederbördsrikare perioder har förekommit och således har stor vattenmättnat rått i marken. Vid dessa tillfällen svarar således magasinet mycket snabbt på ökad tillrinning. Uppmätta tryckförändringar och årstids-

bundna fluktuationer överensstämmer mycket väl med SGU:s grundvattenmätningar fig. 18 . Att notera är dock att grundvattentryckförändringarna avsevärt skiljer sig mot tryckförändringarna i porvattenzonen utom för de båda djupast placerade portryckmätarna.

#### 11.12 Porvattenzonen

Observationer inom porvattenzonen har enligt ovan utförts i portrycksprofil med bstämningar av portrycken genom hela lerprofilen.

Inom porvattenzonen uppvisar portrycken på samma sätt som grundvattentrycken regelbundna, årstidsbundna fluktuationer. Amplituden i fluktuationerna är inom porvattenzonen - om man bortser från de ytliga mätare som visat på undertryck - av större storlek. Således varierar amplituden här mellan (sett över hela året) 0,5 och 1,5 m. Fluktuationerna i portryck ner till nivån 5 å 6 m är något större än för delen av porvattenzon under denna nivån.

Vid en bedömning av portrycksprofilens utseende genom jordprofilen noteras genomgående det mycket anmärkningsvärda att profilen är hydrostatisk ned till 5 å 6 m djup, varefter trycken sedan ökar mot djupet. Tryckökningen sker som kraftigast mellan nivåerna 7-10 m under markytan. Några mätare mellan dessa nivåer har inte använts varför inget kan sägas om hur själva övergången sker. Beträffande den hydrostatiska portrycksfördelningen i de övre jordlagren noteras också att fluktuationen under åren på grund av olika förändringar i de klimatologiska förhållandena alltid medför en momentan förändring genom hela zonen.

Med hänsyn till befintlig vegetation kan också noteras att i station I och II förekommer den största spridningen eller avvikelser från den hydrostatiska trycklinjen ned till ovan nämnda djup. Vid station III och IV är spridningen - avvikelserna något mindre, medan man i referensstationen kan konstatera en mycket god samstämmighet i portryckfluktuationer och liten avvikelse från den hydrostatiska trycklinjen. Portrycksprofilen ned till 5 å 6 m är här också så gott som exakt hydrostatisk. Porundertryck har registrerats i en mätare, den ytligast placerade i station I. Mätaren är placerad på 1 m djup och uppvisar ett porundertryck av storleksordningen 4-5 kPa. Detta värde registrerades i slutet av augusti 1977, en mycket nederbördsfattig månad (S för underskridande av nederbörd 1 ggr på 12,5 år). Under det något nederbördsrikare året 1978 blir portrycket icke lika lågt som under 1977. Likaså torde man kunna hävda att portrycksprofilen i samtliga stationer under detta år har en mer exakt hydrostatisk tryckfördelning än under 1977.

Vid snabba klimatologiska förändringar som exempelvis kraftig nederbörd efter en längre torr period kan konstateras att portrycken på skilda nivåer reagerar på olika sätt. Förändringarna kan i viss mån sättas i samband med närvaron av träden. Se vidare nedan.

För de båda mätperioderna kan sammanfattningsvis konstateras att portrycken under våren 1977 har ett högre utgångsläge än under 1978, vilket gäller för samtliga stationer utom referensstationen. Utgångsnivåerna för portrycken är i denna stationen både våren 1977 och 1978 i nivå med markytan. Skillnaden kan bero på vegetationen men kanske också på det närbelägna diket. De kraftigaste förändringarna på nederbördsrikare perioder återfinnes i station V där förändringar både under 1977 och 1978 har en mycket stark genomslagskraft ned till 5 å 6 m djup. Att notera är att förändringarna i station V är klart mycket mer samstämmiga än i övriga stationer. Man kan också av dessa snabbare portrycksförändringar utläsa att trots det dynamiska strömningstillstånd som råder med störning nedifrån och upp så sker tryckförändringar efter kraftiga nederbörd genom infiltration i motsatt riktning. Åter bör framhållas att alla dessa tryckförändringar har uppträtt under tvåårscykler, där nederbörden är att betrakta som rikligare än normalt. Förändringen av portrycksprofilen i station V sker under hösten 1977 liksom under 1978 mycket snabbare än i övriga stationer som har ett mer successivt stigande tryckförlopp. Avsänkingsförloppen går däremot vad avser station I och II klart snabbare än i station V från den period då vegetationssäsongen kan anses starta i månadsskiftet maj-juni.

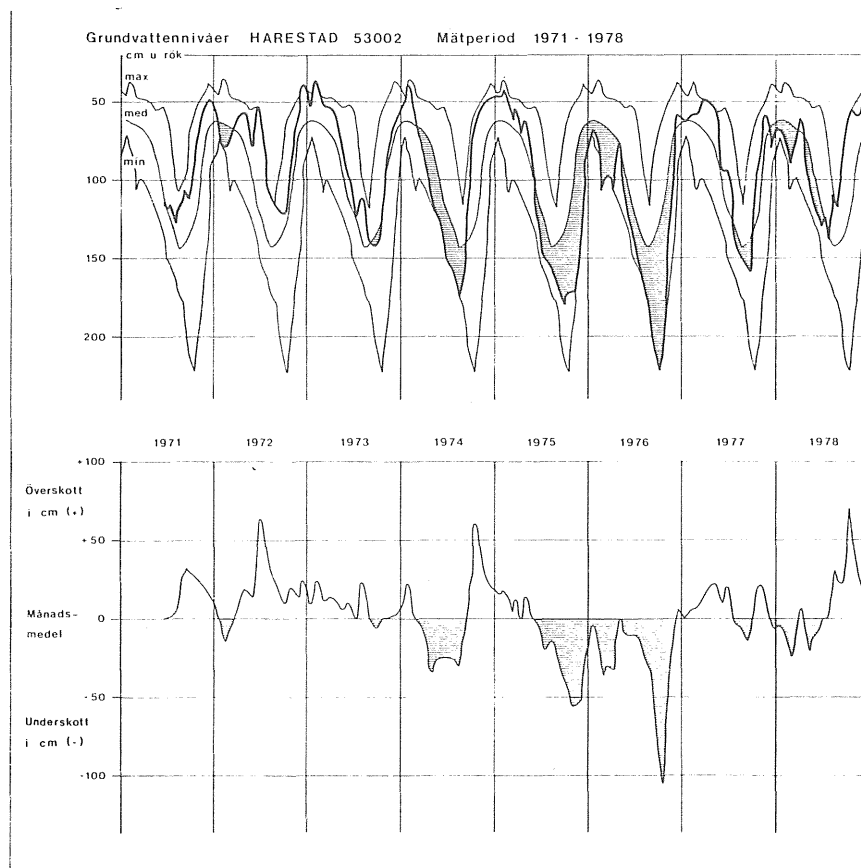


Fig. 18 Grundvattentrycknivåer HARESTAD under perioden 1971 - 1978 efter SGU (1979).



## 11.2 Grundvattengeotekniska variationer som funktion av trädens påverkan

För att försöka fastställa hur träden påverkar grund- och porvattentryck, effektivspänningar och markrörelser var bedömningen att detta skulle kunna ske genom jämförelse av mätningar nära träden med mätningar i en avlägsen mätstation utan närstående träd. Vid en sådan betraktelse kan följande konklusioner göras.

### 11.2.1 Grundvattenzonen under leran

Av Appendix B och E kan utläsas att träden ej har någon inverkan på det kraftigt artesiska grundvattentrycket i friktionsjorden under leran varken under 1977 eller 1978. Trycknivåerna för skilda mättillfällen är ungefär desamma utan någon speciell gradient inom undersökningsområdet.

### 11.2.2. Porvattenzonen

I Appendix B och F har en sammanställning gjorts av trycknivåer för portrycken på djupen 2, 3, 5 och 7 m vid tre mättillfällen under vår och sommar 1977 resp 1978. Redovisningen börjar alltså med höga portryck i april månad varefter förhållandena efter lövsprickning i maj och uppsugning under juni återspeglas i mätvärden från början av juli. Det tredje mättillfället är hämtat från tidpunkten med de allra lägsta uppmätta portrycken i slutet på aug 1977 eller början av sept 1978.

Sammanställningen visar att portrycken på nivåerna 2, 3 och 5 m djup klart visar på lägre portryck i området närmast träden. En likartad effekt kan också spåras i resultaten från mätningarna på 7 m djup. Påverkan av träden är kraftigare under 1977 än 1978.

De låga portrycken i mätstation III under 1978 är förorsakade av en påverkan från motorvägsbygget. I jan 1978 färdigställdes delar av motorvägen så nära som ca 10 m från stationen. Vägkroppen är grundlagd på ett djup 0,6 - 0,8 m under markytan. I underkant av vägkroppen vinnns också dränledningar utlagda. Dessa dränledningar har den effekten att

- i det övre grundvattenmagasinet erhålles ej en högre vattennivå än vattengången i dränledningen. Under 1978 ca 0,4 m lägre.
- portrycken på nivåerna 2, 3 och 5 m djup (ev även 7 m) också sänks på motsvarande sätt under 1978 jämfört med 1977.
- trädens påverkan vid station III under 1978 (med ett lägre utgångsvärde under våren) blir något kraftigare.

Sammanfattningsvis konstateras alltså att träden har en markerad påverkan på portrycken även till ett så stort djup som 5 m under markytan. Påverkan är beroende av de klimatologiska betingelserna. De båda åren 1977 och 1978 var något våtare än normalt. Under ett riktigt torrt år kan därför förväntas att portrycken sjunker ytterligare. Av spänningsprofilerna (Appendix A) kan utläsas att denna ytterligare sänkning endast kan vara av storleken 0 - 5 kPa innan konsoliderings-sättningar börjar utbildas.

### 11.3 Vertikala markrörelser

#### 11.3.1 Översiktlig beskrivning av vertikala markrörelser

Vertikala markrörelser har mätts med peglar och bälgsättningsmätare. I de ytliga jordlagren har mätningar utförts med pegel på djupen 0,2 m, 1,0 m och 1,65 m. Bälgsättningsmätarna är placerade genom hela jordprofilen till fast botten med mätkroppar på nivåer från 2 m djup till i regel 8 m djup. se vidare Appendix C.

Bälgsättningsmätningarna startade i juni 1977 medan pegelmätningarna startade i mars 1978. För bälgsättningsmätningarna under 1977 hade förutsatts att den djupaste placerade mätkroppen skulle vara stilla och varje mättillfälle därför kunna refereras till denna nivå. Vid mätningarna under 1978 har detta frångåtts och absoluthöjder har fastställts även för denna mätkropp. Det har då visat sig att även denna djupt placerade mätkropp visar på några mm regelbundna, årstidsbundna fluktuationer. Detta innebär att redovisade fluktuationer under 1977 har blivit för små.

Som redan antytts visar mätresultaten i alla stationer att inga påvisbara konsoliderings, krympnings eller andra tidsbundna kontinuerliga sättningar pågår i området. Några konsolideringssättningar skall ej heller förekomma enligt redovisade spänningsprofiler. Längsta sammanhängande mätserier utgörs av markpegelarna vilka också utvisar profilens summerade rörelse. Dessa visar på regelbundna, årstidsbundna rörelser med varierande amplitud. I vissa fall kan också utläsas "snabba" reaktioner (hävningar) på omfattande nederbörd. Bälgslangarna visar på att fluktuationer förekommer genom hela profilen. Amplituden på rörelserna är störst för den ytligast placerade pegeln med värden på ca 16 mm i närheten av träden. Storleken på fluktuationerna sjunker sedan snabbt mot djupet så att markpegeln på 1,65 m djup sedan har minskat till halva värdet av rörelserna på den ytliga nivån strax under myllatäcket. Denna storlek på amplituden 7 - 10 mm synes sedan gälla ned genom hela profilen.

En erfarenhet som kan göras beträffande bälgsättningsmätningarna är att en krypning på några mm i bälgslangen ej kan uteslutas på grund av att fullgod kontakt ej erhålles mellan slangen och jorden. I samtliga stationer utom nr I har en sådan begränsad krypning inträffat. Den är störst i de ytliga jordlagren. Detta bör alltså beaktas vid installationen och har på senare tid åtgärdats genom fyllning med ex bentonitblandning mellan slag och foderrör.

Under våren 1978 var de nedåtgående vertikalarörelserna cirka 1 mm/vecka. Rörelserna var ungefär lika stora genom hela jordprofilen. Under försommaren ökade rörelsehastigheten på djupet 0,2 m till cirka 2 mm/vecka, medan den minskade på övriga djup. Under sommaren var markrörelserna mycket måttliga. I mitten av september 1978 började jorden nära markytan att svälla kraftigt, cirka 4 mm/vecka, för att i mitten av oktober bli betydligt måttligare. Vid slutet av november 1978 hade markprofilen i stort sett samma höjdläge som innan rörelserna startade på våren.

Referensstationen (V) var något oroligare än de övriga mätstationerna under sommaren, och markytan började här svälla redan i mitten av augusti 1978. Svällningshastigheten var dock inte lika påtaglig.

### 11.3.2 Markrörelser som funktion av naturliga porvatten-tryckförändringar respektive trädens inverkan.

Under pkt. 11.3.1 har redogjorts för de markrörelser som registrerats vid mätningarna av peglarna resp bälgslangarna. Att härleda de uppmätta rörelserna separat till dels porvattentryckförändringar dels trädens vattenuppsugning är ej möjligt, då dessa faktorer är sammankopplade. Utgående från det som framhållits under pkt 11.2 kan påpekas att registrerade rörelser på större djup än 5 - 6 m är helt betingade av årstidsbundna, naturliga fluktuationer i portrycket. Inom den övre delen av jordprofilen påverkar träden portrycken, vars förändringar ger markrörelser. Dessa är under hela mätperioden regelbundna utan någon tendens till kvarstående sättning. Rörelserna är störst närmast träden. För att ytterligare belysa det nu sagda har en sammanställning gjorts av rörelser i skilda mätstationer från tre mättillfällen under vår och sommar 1978 - se Appendix G.

Sammanställningen visar att sjunkningen på pegeldjupen 0,2, 1,0 samt 1,65 m djup är störst vid träden. Största differensen mellan nivån i april 1978 och nivån i aug/sept 1978 erhålles givetvis i den ytligaste mätaren 0,2 m u my. Skillnaden mellan ref stationen V och träden är också störst för pegeln 0,2 m u my. För de övriga djupen är differensen mellan stationerna begränsade. En entydig tendens till större förändringar vid träden kan genomgående utläsas.

Markens sjunkning uppgår i absoluta värden till ca 16 mm under vegetationsperioden 1978. Det är härvid viktigt att komma ihåg att 1978 i klimatologiskt hänseende var ett mycket "vått" år. Som tidigare framhållits inställer sig härvid frågan: Vad händer då vegetationsperioden blir nederbördsfattig?

Från litteraturen kan härvid bl a framhållas de erfarenheter som Bozozuk och Burn (1960) redovisar från mätningar i Kanada - se också under pkt 5. Författarna konstaterar angående förhållanden nära almträdet att

- sjunkningen hos marken under "torrsommaren" 1955 var så stor som ca 70 mm
- sjunkningen under vintern ersattes med en hävning som var nästan lika stor
- sjunkningen hos markytan under 1956 (vått år) var endast 15 mm
- den stora sjunkningen från 1955 helt hade gått tillbaka under 1957

Från de geotekniska undersökningarna av leran under träd framgår att denna var starkt överkonsoliderad, vilket också markrörelsemätningarna visar på med likartad krympning och svällning.

Motsvarande förlopp torde ej vara att förvänta hos våra normalkonsoliderade leror. Under sådana "torrsomrar" där portrycken sjunker kraftigt, erhålls först en elastisk lerkrympning under den fas där effektivspänningarna ökar upp till förkonsolideringstrycket. Därefter inträffar kraftiga, kvarstående konsolideringssättningar.

#### 11.4      Försök med studier av samband mellan trädens vattenuppsugning och vattenkvotsförändringar

Under punkt 5 finns några författare omnämnda som tidigare försökt studera vegetationens inverkan på vattenkvoten. Palm (1978) har utfört omfattande försök med vattenkvotsmätningar med neutronsond. Palm fastslår härvid att det erhållna värdet utgör ett medelvärde för en sfär kring mätsonden på den observerade nivån. Sammanfattningsvis säger Palm att bestämningar av "porvattnets potential torde vara ett riktigare sätt att se på trädets påverkan av sättningar än vattenhalter".

Inom detta projekt har i samband med jordprovtagningarna gjorts bestämningar av vattenkvoter vid två skilda tillfällen - ett torrt och ett vått. Vattenkvotsbestämningarna har skett på laboratorium efter SGF:s labbkommittés normer på prover från sept 1977 och april 1978. I april 1978 var portrycket i leran ca 8 kPa (0,8 m) högre än vid provtagningstillfället i sept 1977. Bestämningar inom vissa djupintervaller utfördes på prover från var 10:e - 15:e cm. Se fig. 19. Konstateras kan att denna metod klart framstår som osäker då spridningar mellan två närliggande bestämningar kan vara så stor som 20%. Om ett försök görs att utvärdera de erhållna värdena kan möjligen den helt oväntade och oriktiga tendensen erhållas att vattenkvoterna är något högre i september 1977 än i april 1978.



## 12.1 FALLSTUDIE I

### 12.11 Orientering

De av sättningar berörda fastigheterna A och B är belägna i Göteborgs Kommun med inbördes placering enl plan fig. 20 Mellan fastigheterna och på tomten till fastigheten A fanns till slutet av oktober 1976 två ca 20 år gamla hängpilar. Pilarna var kraftigt utbildade. Längs passagen strax norr om fastighet B samt runt tomterna växer 1,0 - 1,5 m höga, tuk-tade häckar. I övrigt förekommer enstaka mindre fruktträd på båda tomterna.

Fastigheterna utgöres av 30-40 år gamla 2-familjshus med källare grundlagda ca 1,5 m under markytan direkt i mark.

### 12.12 Skador på fastigheter

Inga skador på husen hade uppmärksammats före sommaren 1975. Under sommaren samt hösten 1975 hade vissa sättningar iakttagits i grunden i det SV hörnet av fastigheten A. Ett glapp mellan källargrundmuren och 1:a våningens bjälklag erhöles på någon centimeter.

Under påföljande sommar och hösten 1976 (1976 var mycket nederbördsfattig, se kap 8) ökade sättningarna i V hörnet (närmast pilarna) kraftigt. Detta innebar att gapet till bjälklaget ökade till ca 10 cm samt att sprickor erhöles i grundmuren se fig. 21 och 22 . Sättningar på fastigheten fanns endast i västra hörnet.

Under sommaren 1976 började också sättningar och sprickor för-märkas vid fastighet B såväl i marken som i grundmuren i fastighetens norra gavel (närmast pilarna). Fram till slutet av oktober ökade sprickorna successivt samt att den norra grundmuren efterhand "välte" ut mot norr från byggnaden och första våningens bjälklag. I september och oktober uppträdde också efterhand vissa sprickbildningar i västra och östra sidornas grundmurar hos fastigheten B se Appendix I.

När marksättningarna och skadorna på fastigheterna i slutet av oktober hade blivit omfattande utförde ägaren till fastighet A en avverkning av de båda träden.

### 12.13 Fältundersökningar

Inom projektet kom vi i kontakt med detta skadefall vid tidpunkten för pilträdens avverkning. En uppföljning startade omedelbart av rörelser i mark, grundkonstruktioner samt sprickor i grundmurar inom fastighet B. Fältarbetet har därvid omfattat avvägning av mark runt fastighet B samt mellan fastigheterna B och A, utsättning och avvägning av markpegel på 3 platser och avvägningsdubbar på 4 ställen i fastigheten B:s grundmurar, uppsättning och kontinuerlig registrering av mät-klockor över sprickor i invändiga källarväggar. För att försöka beskriva torrskorpans eventuella skiftningar utfördes spadborring och upptagning av störda prover i 3 punkter. På dessa prover utfördes bestämningar av vattenkvoter och konf-lytgränser, se Appendix I.



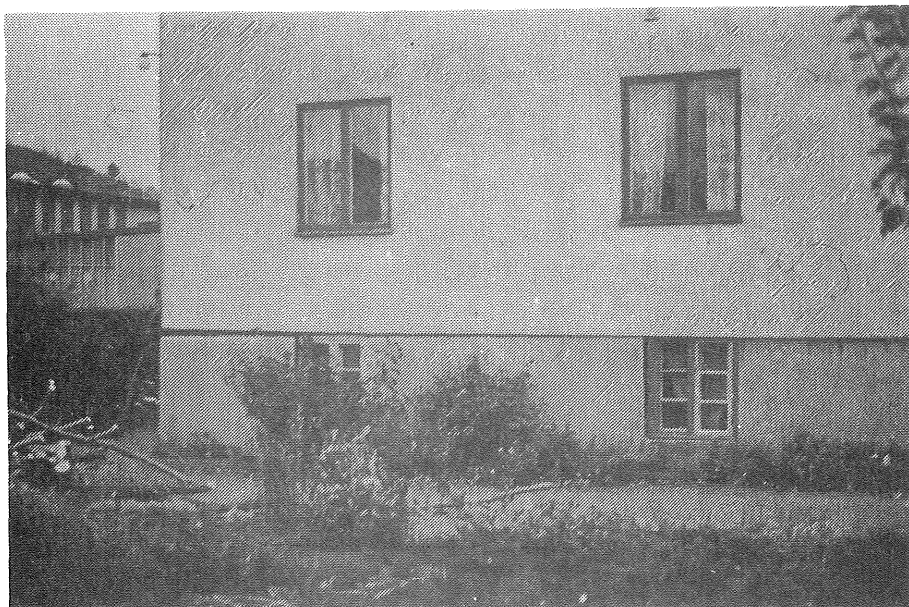


Fig. 21 Sättningar i hushörn. Fastighet A.



Fig. 22 Sättningar i hushörn. Fastighet A.



## 12.14 Resultat av utförda undersökningar

### 12.14.1 Sprickrörelsemätningar

Från mätningars påbörjan i november 1976 registreras för samtliga sprickor en successiv minskning. Denna sammandragning/återgång sker till övervägande del under vintern 1976/1977. Under hela perioden 1977-1979 kvarstår sedan denna sammandragning, och endast mindre årstidsbundna fluktuationer registreras under de fortsatta mätningarna till maj 1979. - Appendix I.

### 12.14.2 Beskrivning av torrskorpans skiftningar

Ur resultaten från utförda bestämningar av vattenkvoter och konflytgränser kan möjligen utläsas en svag differens för vattenkvoter vid träden jämfört med punkter utanför. Vid träden (pkt 3) Appendix I. förekommer en tendens till något lägre vattenkvoter. Avvikelserna är små samt spridningen i laboratoriebestämningarna förhållandevis stora, varför även här kan fastslås att parametern vattenkvot ej är tillförlitlig vid bedömningar om vegetationens eventuella påverkan.

### 12.14.3 Markkartering

Karteringen av marknivåer inom området visar i jämförelse med förhållandena då kartan uppträttades 1972 att en tydlig svacka har utbildats runt träden. Lägsta marknivå vid träden var 1977 ca +20,2 medan marken här tidigare låg på ca +20,5. Den utbildade svackan har helt nått fram till fastighet A, där också de största rörelserna och skadorna kunde iakttagas i grundmuren. se fig. 20.

### 12.14.4 Nivåbestämningar av dubbar i fastighet B samt markpeglar

Dessa mätningar utvisar att området i sin helhet är utsatt för jämna sättningar av storleksordningen 0,5 - 1 cm/år. Denna sättning kan vara förorsakad av konsolidering på grund av rubbad grundvattenbalans inom hela det närbelägna exploateringsområdet.

## 12.15 Sammanfattning

Vid vår första kontakt med detta skadefall hänfördes skadeorsakerna till effekterna av stor vattenupptagning ur jorden till de två mycket stora hängpilarna inom fastighet A. Under de tre år som observationer förekommit av förhållandena runt träden samt inom fastighet B finns inget i resultaten som motsäger en sådan hypotes. Detta styrkes främst av att

- a) stora lokala sättningar har uppstått runt träden
- b) de under sommaren 1976 kontinuerligt förvärrade sprickorna i grundmurarna hos fastigheten B har efter trädfällningen i oktober 1976 successivt gått ihop, varefter sprickorna ej har förändrats under perioden fram till maj 1979.
- c) fastigheten A har utsatts för kraftiga sättningar och skador på den del som ligger närmast träden.

## 12.2 FALLSTUDIE II

### 12.2.1 Orientering

Inom ett område på Hisingen i Göteborg har inträffat sättningar på ett flertal fastigheter längs en gata sedan början av 1970-talet. En uppföljning av sättningsförloppet hos dessa fastigheter startade i januari 1976 genom avvägningar på dubbar i husen samt markpeglar. Vid en av fastigheterna (A) växte 1976 en stor björk och ett körsbärsträd på tomten mellan huset och gatan. Trädet avverkadades i månadsskiftet oktober/november 1976. Redovisat material har hämtats från en utredning utförd av VIAK AB, B.G. Lindh (1979) se Appendix K. Kompletterande portryckmätningar har utförts inom ramen för detta projekt.

### 12.2.2 Sättningar och skador

Av utlåtandet från VIAK framgår att sättningarna längs Ögatan avtar med avståndet till tunneln. Sättningarna var under mätperioden 1976 - 1979 jämna och bedömdes ej ge upphov till några skador på småhusen. Den ovan nämnda fastigheten med träd på gatusidan erhöll dock på sensommaren och hösten 1979 kraftiga sättningsskador.

En närmare analys av sättningsförloppet hos olika delar i denna fastighet har redovisats. Av denna framgår att en kraftig förskjutning erhöles av sättningskurvan för entresidan (närmast träden) på sensommaren 1976.

### 12.2.3 Fältundersökningar, - Geologi - Geoteknik

Förutom ovan nämnda uppföljning av vertikala rörelser i hus och mark har konsulten också utfört geotekniska och grundvattengeotekniska undersökningar. De senare har omfattat mätning av grundvattentryck i bottenlager av friktionsjord i två stationer - I och III samt portrycksmätningar också i två stationer I och II. Station I har placerats nära björken som växte vid fastighet A medan stn II är placerad på en äng ca 25 m från björken.

De geotekniska borrhningarna visar att jordlagren utgöres av lera till drygt 20 m djup varunder följer friktionsjord. Grundvattentrycket i detta bottenlager har under perioden 1976 - 1980 visat på årstidsbundna fluktuationer (amplitud ca 1 m) för ett avsaknt grundvattentryck på 3 - 4 m, (se vidare Appendix K).

### 12.2.4 Resultat av utförda undersökningar

#### 12.2.4.1 Sättningsmätningar

Av redovisade sättningsmätningar har framgått att en kraftig sättningsökning (4-8 cm) inträffade vid träden vid fastighet A under torrperioden på sensommaren. Fastigheten erhöles härvid kraftiga snedsättningar. Vid övriga fastigheter längs gatan kunde också under denna period förmärkas en acceleration av sättningarna men då av storleksordningen 1 - 2 cm.

Efter avverkningen av björken i november 1976 inträffade först en viss återgång/hävning av marken (kan till viss del hänföras till tjälningseffekter) varefter sättningsutvecklingen har följt den allmänna bilden för området - se Appendix K.

#### 12.2.4 Grundvattengeotekniska mätningar

##### Grundvattentryck

Mätningarna av grundvattentryck i friktionsjorden under leran visar att en avsänkning förekommer inom området. Under perioden 1976 - 1980 ligger trycknivåerna 3 - 4 m under markytan medan dess ursprungliga nivå torde ha varit i eller strax ovan markytan. Från mätningarna i station I (vid björken) kan förmärkas en begränsad höjning av grundvattentrycknivån från 1976 - 1980 samtidigt som regelbundna årstidsbundna fluktuationer förekommer.

##### Porvattentryck

Inom station I vid björken har utförts portryckmätningar på tre nivåer (2,1; 8,1; 19,1 m u my) medan mätningarna i station II har skett på en nivå (2,0 m u my.) Portrycksprofilen i station I visar att grundvattensänknningen har påverkat profilen i sin nedre tredjedel vilket är anledningen till de utbredda sättningarna inom området. Vidare framgår att profilen har en ungefär hydrostatisk gradient ned till ca 8 m djup räknat från en nollportrycknivå från 1,5 - 2,0 m under my.

Vid en jämförelse mellan nollportrycksnivåerna vid björken och station II kan en markant skillnad utläsas. Vid björken uppmättes som lägst negativa portryck (2,0 m under markytan) under torrperioden 1976, medan station II på samma nivå och vid samma tillfälle visar portryck på ca 10 kPa (lm.v.p.) Sådana förhållanden har också registrerats vid mätningarna inom detta projekt enl pkt 11.

#### 12.2.5 Sammanfattning

Det av VIAK redovisade praktikfallet visar att träd kan orsaka sättningar. Under ogynnsamma klimatologiska förhållanden visas i detta praktikfall att avsevärda marksättningar kan erhållas vilka har orsakat omfattande skador på en byggnad. Utförda portryckmätningar visar att trädets vattenuppsugning varit så kraftig att portrycket i leran blivit negativt (lägre än atmosfärstryck).

## 12.3 FALLSTUDIE III

### 12.31 Orientering

Inom ett tidigare projekt har författaren utfört portryckmätningar i ytliga jordlager invid VA-ledningar i lera (Berntson 1978). Mätningarna utfördes under perioden 1975 - 1977. Här skall refereras till mätresultat från en av mätstationerna nr 3.

Marken inom detta undersökningsområde utgjordes av tidigare odlad åkermark men sedan några år tillbaka förekom vildväxande gräs och örtarter. På denna del av ledningssträckan utfördes också en speciell kontroll av spillvattenledningens standard bl a med hjälp av filmning. Det visade sig därvid att inläckning förekom till en nedstigningsbrunn genom ett ännu ej inkopplat grenrör. I området för mätstation 3 kunde också misstänkas att ledningsgraven kunde dräneras till en icke alltför avlägsen bäckravin.

### 12.32 Fältinstallationer

De aktuella mätningarna utfördes kring en ledningsgrav där både spill- och regnvattensledningen är grundlagda direkt på en betongplatta. Aterfyllnadsmaterialet i ledningsgraven utgjordes av uppschaktade lermassor. Portryckmätare hade placerats på vardera sidan av ledningsgraven samt strax ovan betongplattan mellan ledningarna.

### 12.33 Resultat av mätningarna

Under 1975 samt fram tom juni/juli 1976 registreras portryck väster om ledningsgrav motsvarande en nivå ungefär i markytan. I ledningsgraven sjunker däremot portrycken periodvis med till en nivå strax ovan vattengången medan mätaren öster om ledningsgraven (installerad våren 1976) visar på trycknivåer strax under markytan. I slutet av juli 1976 sjunker trycken i alla mätarna och fortsätter så under de nederbördsfattiga och mycket torra månaderna augusti och september. Vid observationer i september och oktober registreras undertryck i mätarna vid sidan av ledningsgraven. Undertrycken kunde som mest uppmätas till 14 kPa (1,4 m v p). Resultaten var förvånande varför två nya mätspetsar utplacerades intill de gamla. Dessa visade också på samma resultat. När höstregnen kommer i oktober stiger åter portrycken till tidigare nivåer såväl inom ledningsgraven som utanför. se Appendix L.

Vid mätningar på motsvarande sätt längs andra ledningsavsnitt registrerades aldrig så låga portryck.

### 12.34 Sammanfattning

De lägsta registrerade portrycken i ledningsgraven är beroende av att läckage sker till edningarna samt att visst drainage sker ut från ledningsgraven. Av denna anledning skulle portryck i nivå med vattengången i ledningarna eller bara nolltryck vara att vänta. Att härvid uppmätta undertryck

( $\geq 14$  kPa) i mätare på 2,5 - 3,5 m djup under markytan måste bero på en vattenuppsugning till de på platsen vildväxande gräs- och örtarter. I flera internationella undersökningar framhålles också dessa växtarters betydelse i sammanhanget. Ward (1953) har bl a funnit att sättningskador inträffat på vägar och ytligt liggande dräneringsledningar enbart beroende på gräsets transpiration.

### 13. SLUTSATSER

Resultaten från utförda undersökningar under 1977-1979 i anslutning till träd visar klart att träds vattenuppsugning förorsakar grundvattengeotekniska förändringar som leder till vertikala markrörelser. Av undersökningarna framgår att metoden med mätning av portryck i leran är en framkomlig väg för att beskriva träds och övrig vegetations påverkan av marken ur grundvattengeoteknisk synpunkt. Fältundersökningarna har företrädesvis utförts under åren 1977 och 1978 där båda åren ur klimatologisk synpunkt kan betraktas som "våtår". Trots dessa förhållanden har en klar påverkan kunnat klarläggas varför förändringar i grundvattengeotekniska betingelser torde bli avsevärt mer accentuerade under "torrår". Att så sker vet man från de "torrår" som förekommit på senare tid, då omfattande marksättningar inträffat. Detta bekräftas också i resultaten från uppföljningen av praktikfall med inträffade skador under den nederbördsfattiga sommaren 1976. Resultaten från projektet kan sammanfattningsvis beskrivas enligt följande.

#### Grundvattengeotekniska förhållanden

- Trädvegetationens påverkan av vattenförhållanden i kohesionsjordar kan utläsas genom registrering av portryck.
- Årstidsbundna fluktuationer förekommer i grundvatten- och portryck. Fluktuationer i portryck ned till 5-7 m djup har skett med en större amplitud än fluktuationerna i grundvattentryck. Detta förhållande kan vara förorsakat av träden.
- Portrycksprofilen har en nära hydrostatisk tryckfördelning ned till 5 å 7 m djup. På 10 m djup under markytan har portrycket sedan stigit till samma tryck som grundvattentrycket - en ökning av portrycket med 15-20 kPa.
- Trädens vattenuppsugning synes under två nederbördsrika år haft en inverkan på portrycken i leran till ett avstånd från träden av 1 - 1,5 gånger trädens höjd.
- Störningar av den naturliga vattenbalansen i övre grundvattenmagasinet i torrskorpan (sprickvattenmagasinet) kan få stora konsekvenser, varvid vegetationens vattenupptagning drastiskt kan förändras. Insatser med LOD-konstruktioner (Lokalt omhändertagande av dagvatten) är härvid viktiga.
- Vildväxande buskar och örter torde också påverka portrycken till flera meters djup. Detta framhålles också i vissa utländska undersökningar, ex Ward (1953).

#### Markrörelser

- Markrörelserna är störst i markytan. Rörelserna är årstidsbundna med elastiska, regelbundna fluktuationer, såvida inga yttre störningar eller kraftiga uttorkningar

inträffar så att konsolideringssättningar startar.

- Ett extremt "torrår" torde innebära att sättningarna startar hastigt och pågår tills en klimatologisk förändring inträffar. En sådan plötsligt inträffande sättningsförändring kan innebära att en konstruktion överansträngs. Om en skada ej direkt inträffar under en period med krympning och helt eller delvis återgång/svällning kan dock en förhöjd spänningsnivå erhållas i en konstruktion. Klimatologiska förändringar av större eller mindre omfattning kan därför successivt leda till att en konstruktion skadas.
- Största och snabbaste markrörelserna förekommer ned till 1 å 2 m djup.
- Resultatet av markrörelsemätningarna visar att vid grundläggning direkt i mark kan det vara lämpligt att grundläggningsnivån för plattor, plintar, sulor etc förs ned 0,5 - 1,0 m (Jämför Burn och Bozozuk 1969).

## APPENDIX

### Innehåll

- Appendix A Grundvattengeoteknisk nomenklatur  
Geotekniska förhållanden  
Trycksonddiagram  
Jordprovsdiagram  
Portrycksprofil  
Spänningsprofil  
Portrycksomringningar  
CRS-provning
- Appendix B Grundvatten - och portryckmätningar  
Trycknivåer  
Portryckmätningar med skilda filtertyper
- Appendix C Vertikala markrörelser
- Appendix D Sannolikhetsdiagram för skilda nederbördssituationer
- Appendix E Jämförelser av grundvattentrycknivåer vid skilda tidpunkter
- Appendix F Jämförelse av portrycknivåer vid skilda tidpunkter
- Appendix G Jämförelser av vertikala rörelser vid skilda tidpunkter
- Appendix H Botanisk kartering  
Artlista  
Ört- och gräsarters relativa bladyta
- Appendix I Fallstudie I  
Plan  
Vattenkvoter och konflytgränser  
Vertikala mark- och husrörelser  
Sprickrörelser
- Appendix K Fallstudie II  
Utlåtande från VIAK AB  
Mark- och hussättningar  
Sättningar inom fastigheten A  
Grundvatten- och portrycksmätningar
- Appendix L Fallstudie III  
Portryckmätningar inom och invid en ledningsgrav



## APPENDIX A

Grundvattengeoteknisk nomenklatur

Geotekniska förhållanden

Trycksonddiagram

Jordprovsdiagram

Portrycksprofil

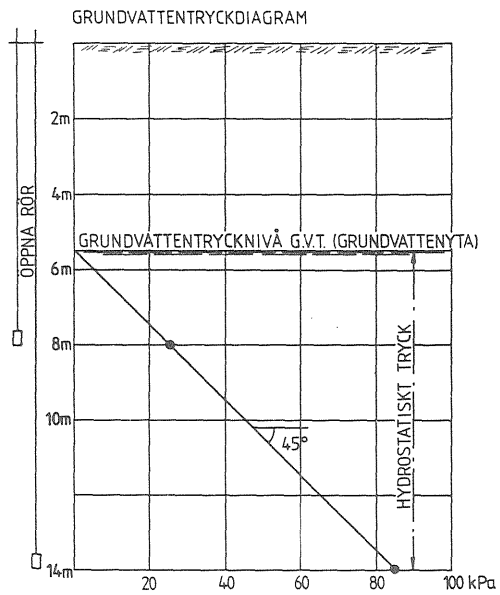
Spänningsprofil

Portrycksondringar

CRS-provning

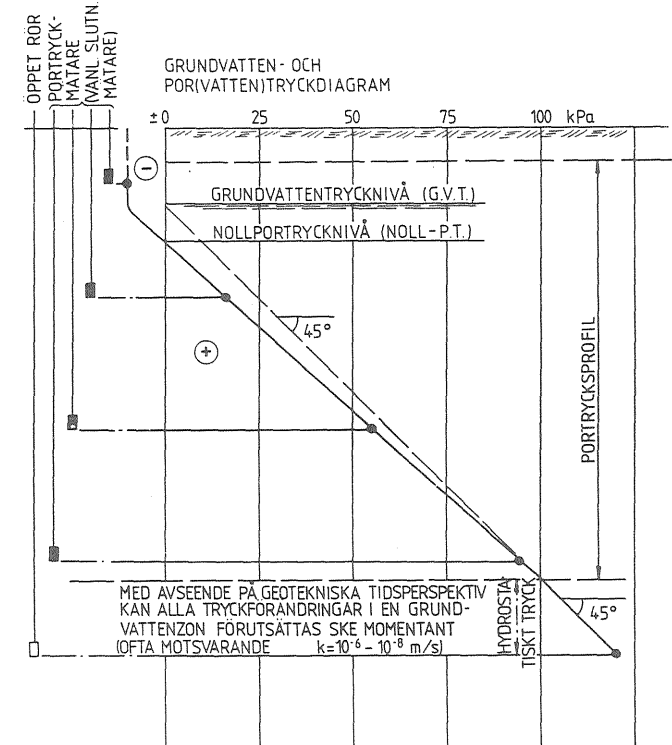
## ÖPPET TRYCKTILLSTÅND

ZON	PERMEABILITET (k)	TYP AV JORD
ICKE VATTENMÄTTAD	MARKVATTEN	HÖG FRIKTIONSJORD (Fr)
	SJUNKVATTEN	
	KAPILLÄRT STIGVATTEN	
GRUNDVATTENZON VATTENMÄTTAD (AKVIFÄR)	GRUNDVATTEN	HÖG



## SLUTET TRYCKTILLSTÅND

ZON	PERMEABILITET (k)	TYP AV JORD
ICKE VATTENMÄTTAD	MARKVATTEN	HÖG
	KAPILLÄRT STIGVATTEN	LÅG
PORVATTENZON VATTENMÄTTAD	PORVATTEN	LÅG
GRUNDVATTENZON (PORVATTENZON) (AKVIFÄR)	GRUNDVATTEN	HÖG

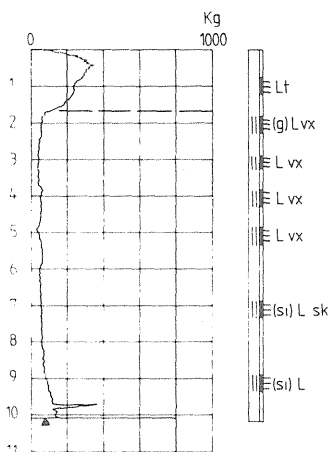


GRUNDVATTENGEOTEKNISK  
NOMEKLATUR

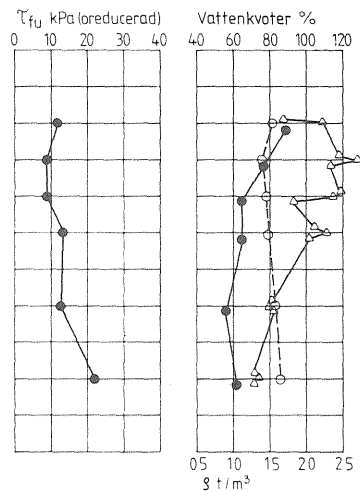
J. BERNTSON 1976; 1978; 1981

# STATION I GEOTEKNISKA FÖRHÅLLANDEN

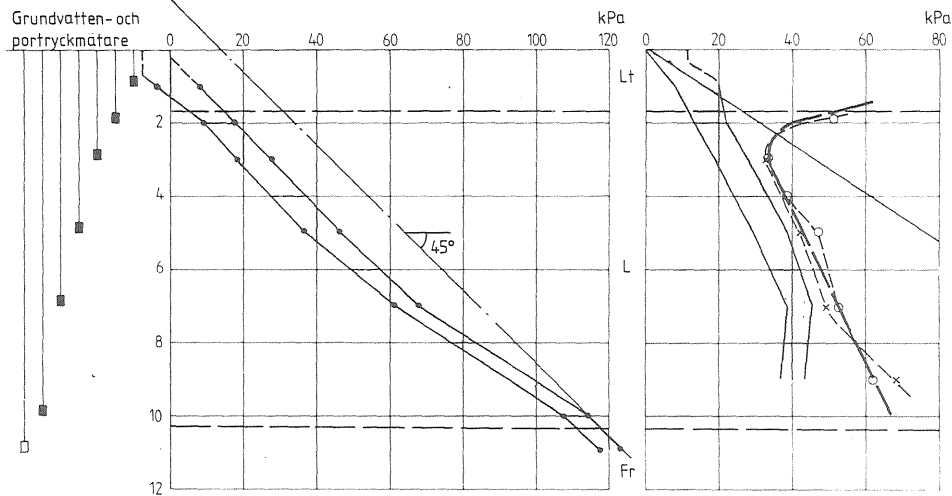
TRYCKSONDDIAGRAM



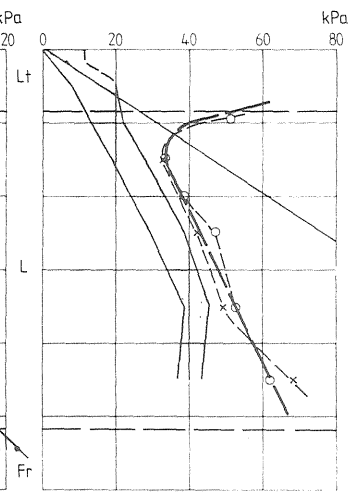
JORDPROVSDIAGRAM



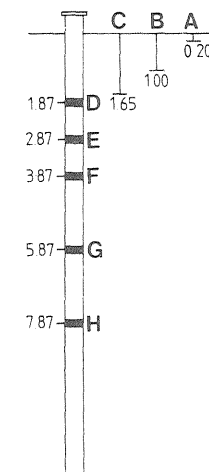
PORTRYCKSPROFIL



SPÄNNINGSPROFIL



MARKRÖRELSEMÄTARE



- ◆ SKJUVHÅLLFASTHET ENL KONMETODEN
- ◆ NATURLIG VATTENKVOT (w)
- ◆ KONFLYTGRANS (w<sub>L</sub>)
- ◆ SKRYMDENSITET (s)

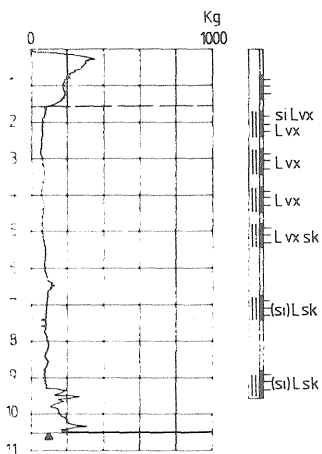
FLUKTUATIONSRÅDE FOR PORTRYCKSPROFLEN (u) OCH GRUNDVATTENTRYCK UNDER 1977 - 1978

FLUKTUATIONSRÅDE FOR EFFEKTIVSPANNINGEN (σ') UNDER 1977 - 1978

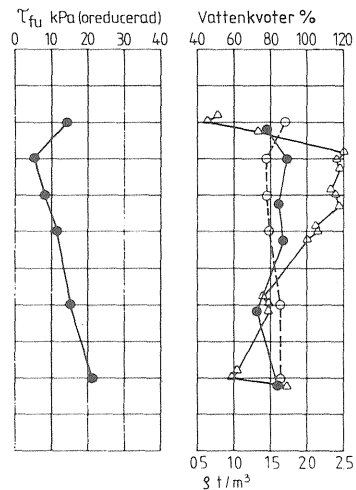
- $\sigma' = g \cdot \rho \cdot Z$
- \*-  $\sigma'_c = \tau_{fU} / 0.45 \cdot w_L$
- $\sigma'_c = \text{ENL CRS-FORSOK}$
- $\sigma'_c = \text{UTVÄRDERAD FÖRKONSOLIDERINGSSPANNING}$

# STATION II GEOTEKNISKA FÖRHÅLLANDEN

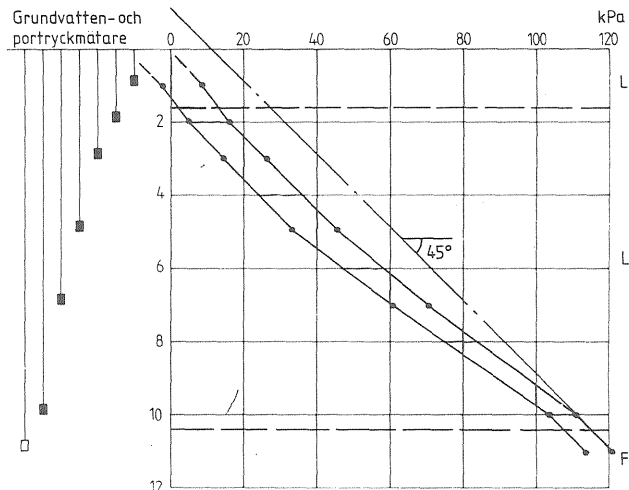
TRYCKSONDDIAGRAM



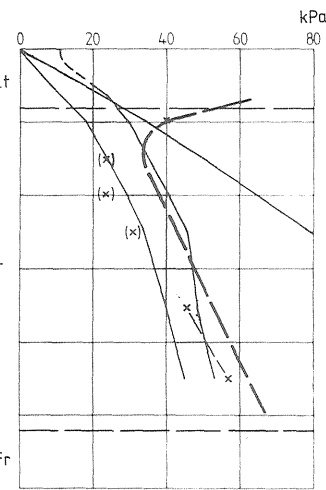
JORDPROVSDIAGRAM



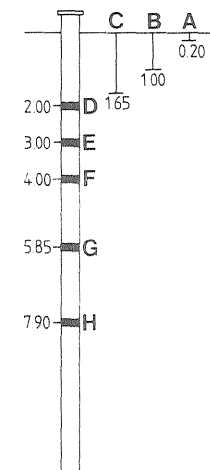
PORTRYCKSPROFIL



SPANNINGSPROFIL



MARKRÖRELSEMÄTARE



- ◆ SKJUVHÅLLFASTHET ENL KONMETODEN
- ◆ NATURLIG VATTENKVOT (w)
- ◆ KONFLYTGRANS (w<sub>L</sub>)
- SKRYMDENSITET (β)

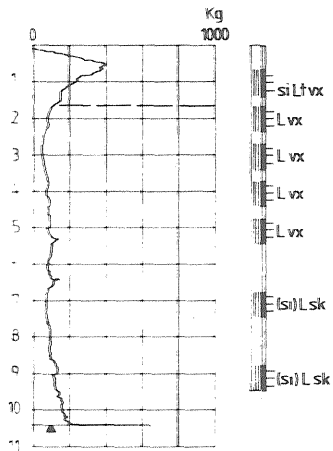
\\ \\ FLUKTUATIONSRÅDE FOR PORTRYCKSPROFLEN (u) OCH GRUNDVATTENTRYCK UNDER 1977-1978

\\ \\ FLUKTUATIONSRÅDE FOR EFFEKTIVSPANNINGEN (σ') UNDER 1977-1978

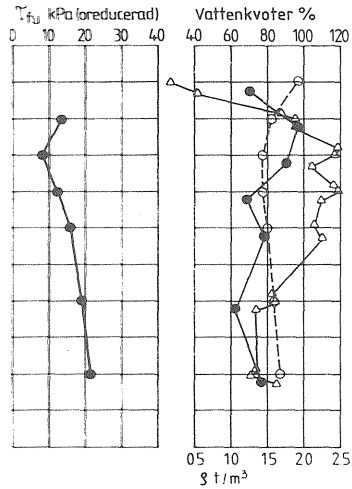
- $\sigma' = g \rho z$
- \*-  $\sigma'_c = \tau_{fu} / 0.45 \cdot w_L$
- $\sigma'_c = \text{ENL CRS-FÖRSÖK}$
- $\sigma'_c = \text{UTVÄRDERAD FÖRKONSOLIDERINGSSPANNING (ENLIGT STATION I)}$

# STATION III GEOTEKNISKA FÖRHÅLLANDEN

TRYCKSONDDIAGRAM

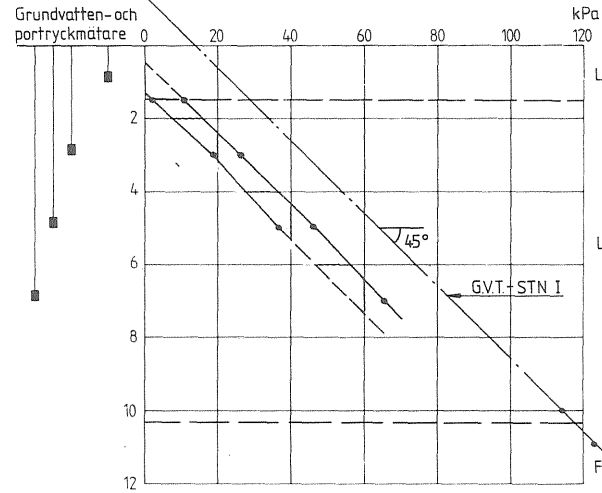


JORDPROVSDIAGRAM



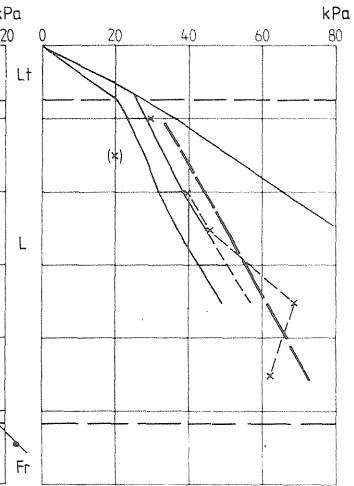
- ◆ SKJUVHÅLLFASTHET ENL KONMETODEN
- ♣ NATURLIG VATTENKVOT (w)
- ♣ KONFLYTGRANS (w<sub>L</sub>)
- ♣ SKRYMDENSITET (s)

PORTRYCKSPROFIL



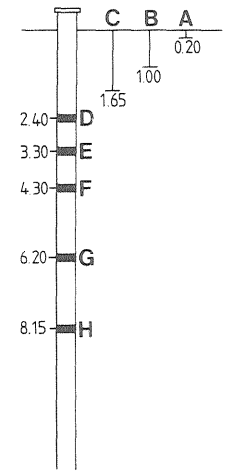
- || FLUKTUATIONSRÅDE FOR PORTRYCKSPROFLEN (u) OCH GRUNDVATTENTRYCK UNDER 1977 - 1978

SPÄNNINGSPROFIL



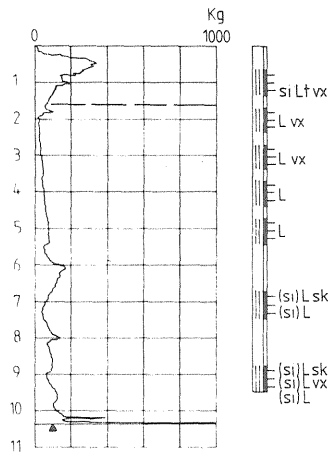
- || FLUKTUATIONSRÅDE FOR EFFEKTIVSPÄNNINGEN (σ') UNDER 1977 - 1978
- $\sigma' = g \cdot \rho \cdot z$
- x-  $\sigma'_c = \tau_{fu} / 0.45 \cdot w_L$
- o-  $\sigma'_c = \text{ENL CRS-FÖRSÖK}$
- UTVARDERAD FÖRKONSOLIDERINGSSPÄNNING ( $\sigma'_c$ ) ENLIGT STATION I

MARKRÖRELSEMÄTARE

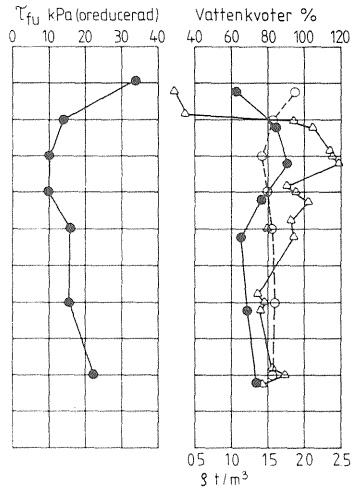


# STATION IV GEOTEKNISKA FÖRHÅLLANDEN

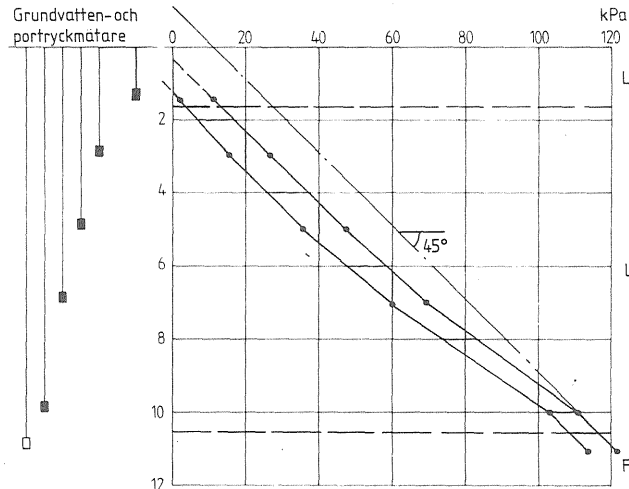
TRYCKSONDDIAGRAM



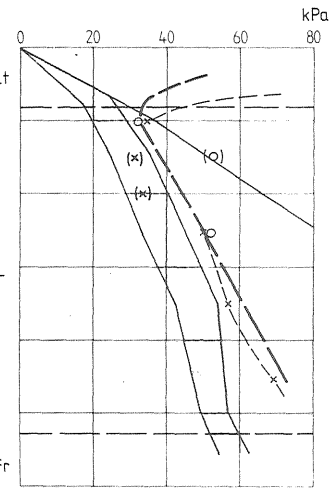
JORDPROVSDIAGRAM



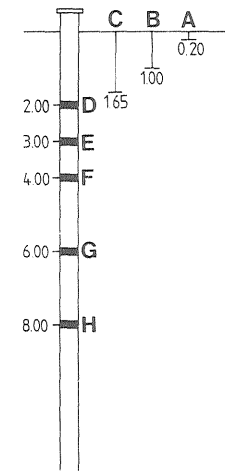
PORTRYCKSPROFIL



SPANNINGSPROFIL



MARKRÖRELSEMÄTARE



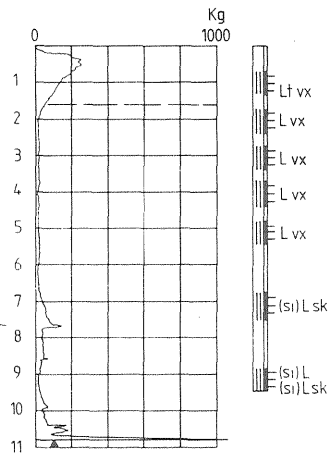
- ◆ SKJUVHÅLLFASTHET ENL KONMETODEN
- ▲ NATURLIG VATTENKVOT (w)
- ◆ KONFLYTGRANS (w<sub>L</sub>)
- ◇ SKRYMDENSITET (s)

- FLUKTUATIONSOMRÅDE FOR PORTRYCKSPROFILIEN (u) OCH GRUNDVATTENTRYCK UNDER 1977 - 1978

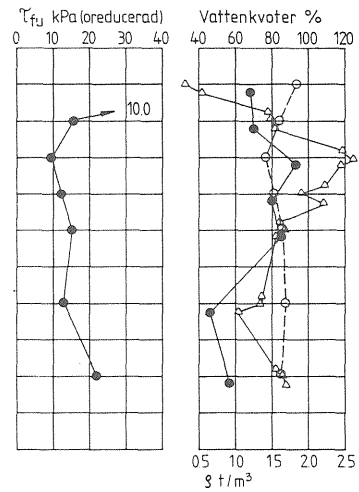
- FLUKTUATIONSOMRÅDE FOR EFFEKTIVSPANNINGEN (sigma') UNDER 1977 - 1978
- $\sigma = \rho \cdot Z$
- \*  $\sigma'_c = \tau_{fu} / 0.45 \cdot w_L$
- ○  $\sigma'_c = \text{ENL CRS-FÖRSÖK}$
- UTVARDERAD FÖRKONSOLIDERINGSSPANNING ( $\sigma'_c$ )

# STATION V GEOTEKNISKA FÖRHÅLLANDEN

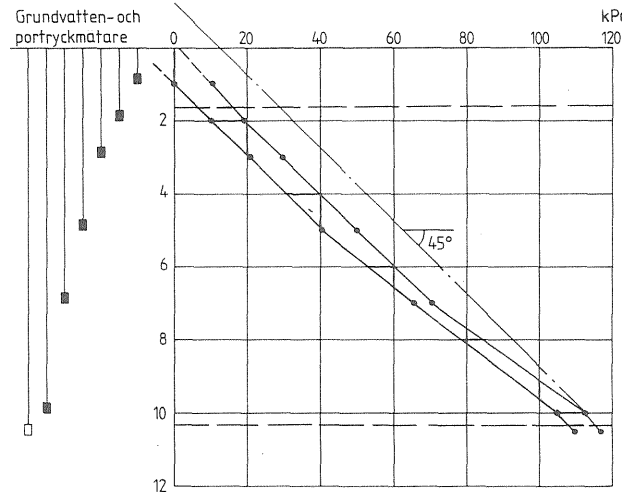
TRYCKSONDDIAGRAM



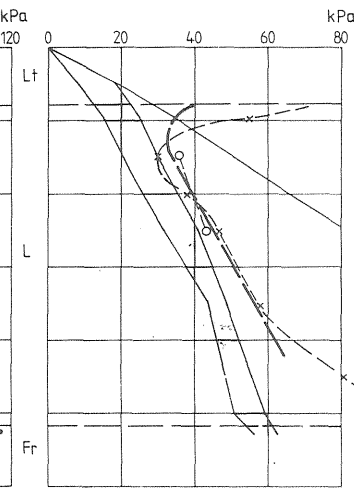
JORDPROVSDIAGRAM



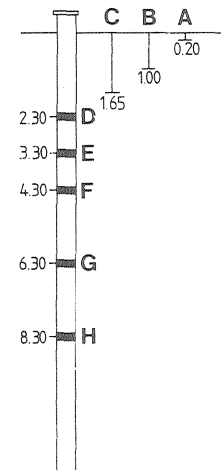
PORTRYCKSPROFIL



SPÄNNINGSPROFIL



MARKRÖRELSEMÄTARE



- ◆ SKJUVHÅLLFASTHET ENL KONMETODEN
- ◇ NATURLIG VATTENKVOT (w)
- ◆ KONFLYTGRANS (w<sub>L</sub>)
- ◇ SKRYMDENSITET (s)

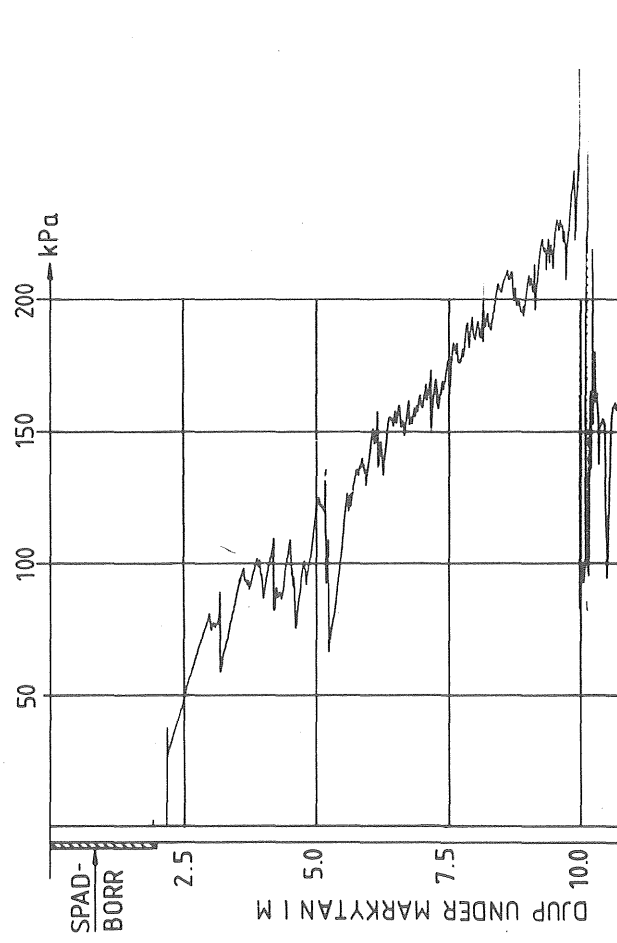
/// FLUKTUATIONSOMRÅDE FOR PORTRYCKSPROFILER (u) OCH GRUNDVATTENTRYCK UNDER 1977-1978

/// FLUKTUATIONSOMRÅDE FOR EFFEKTIVSPANNINGEN (σ') UNDER 1977-1978

- σ = g · z
- - - σ' = τ<sub>f,u</sub> / 0.45 · w<sub>L</sub>
- - ○ - σ' = ENL CRS-FORSOK
- σ' = UTVARDERAD FORKONSOLIDERINGSSPANNING (σ'<sub>c</sub>)

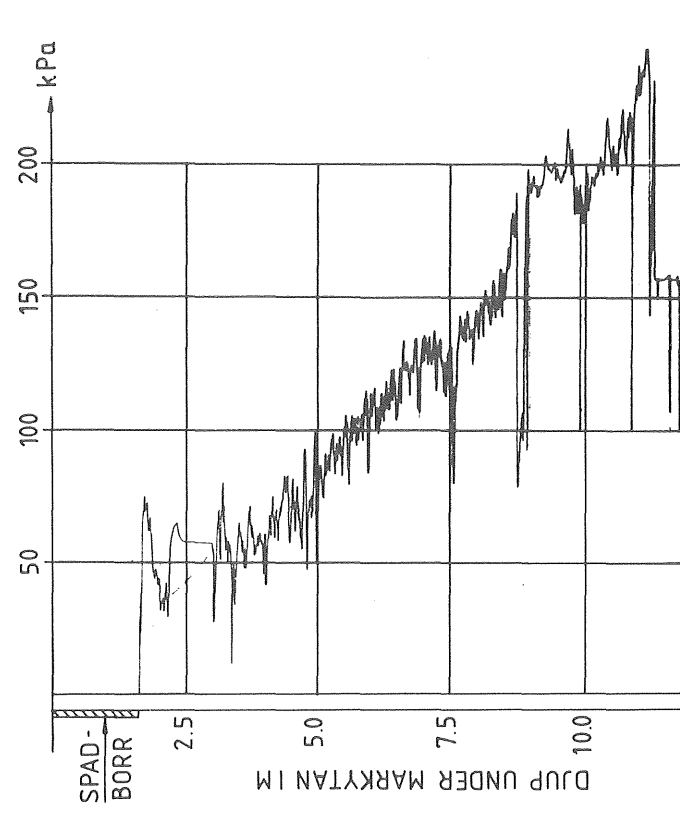
# MÄTSTATION I-III

## PORTRYCKSONDERING

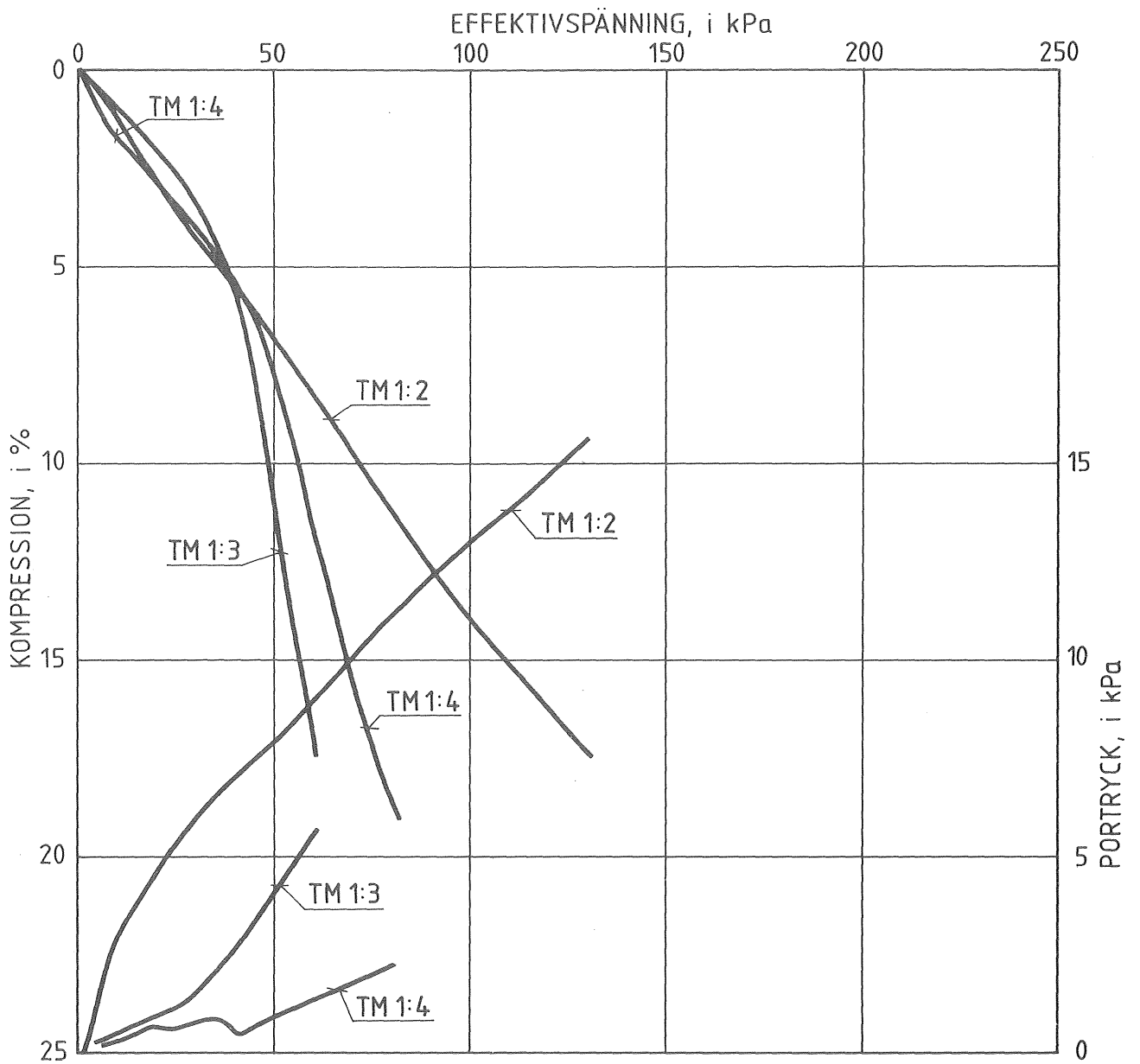


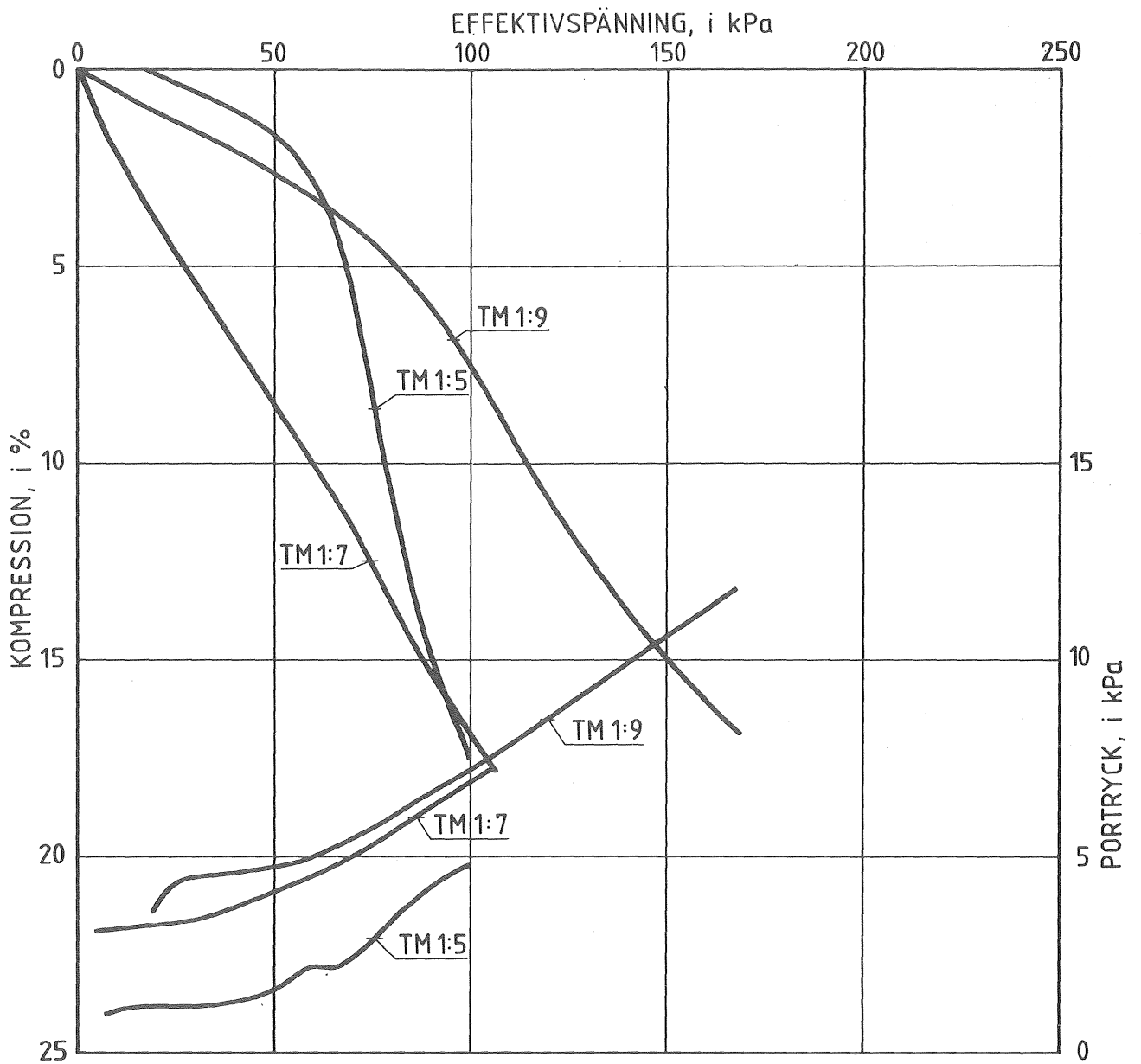
# MÄTSTATION V

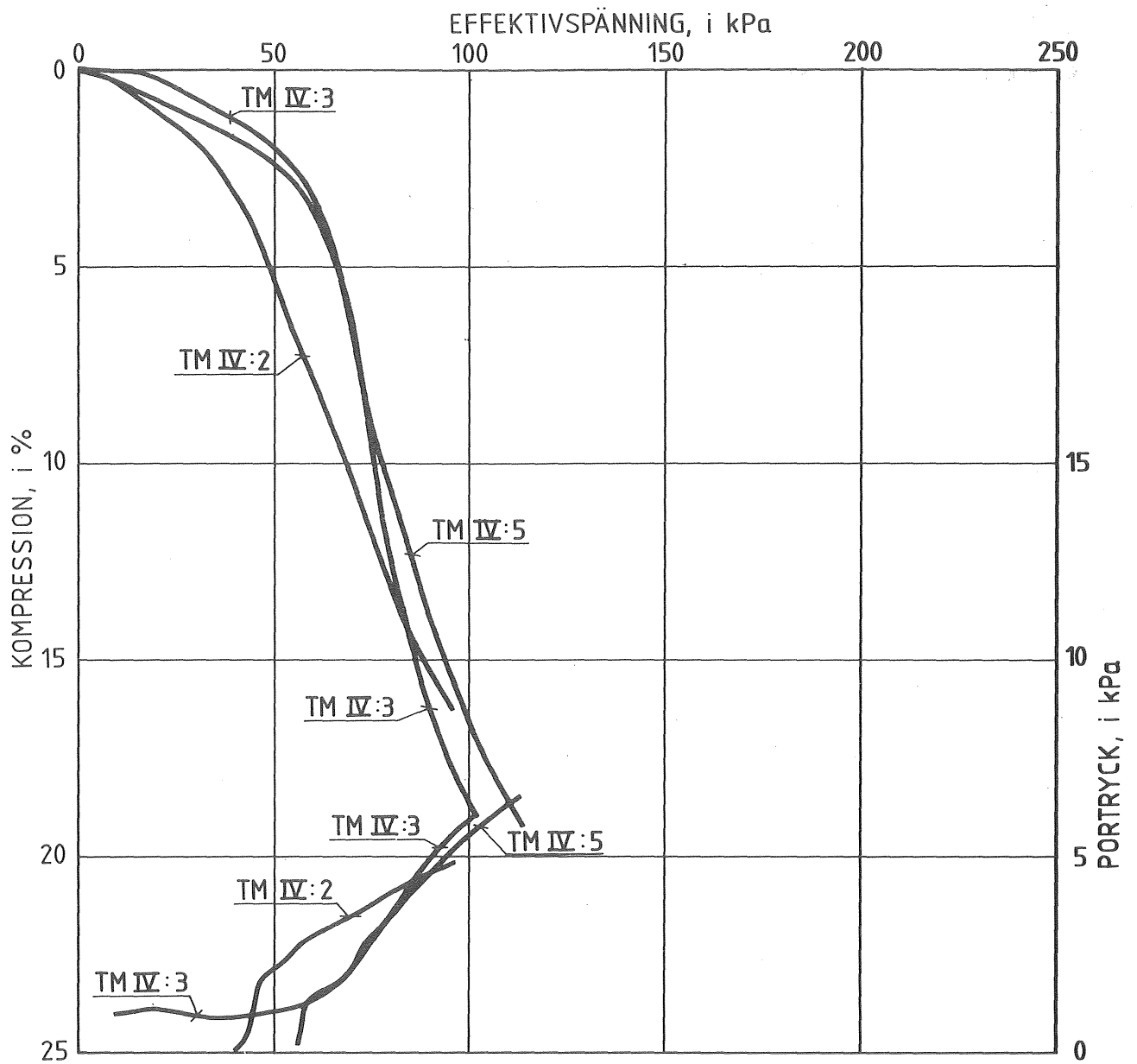
## PORTRYCKSONDERING

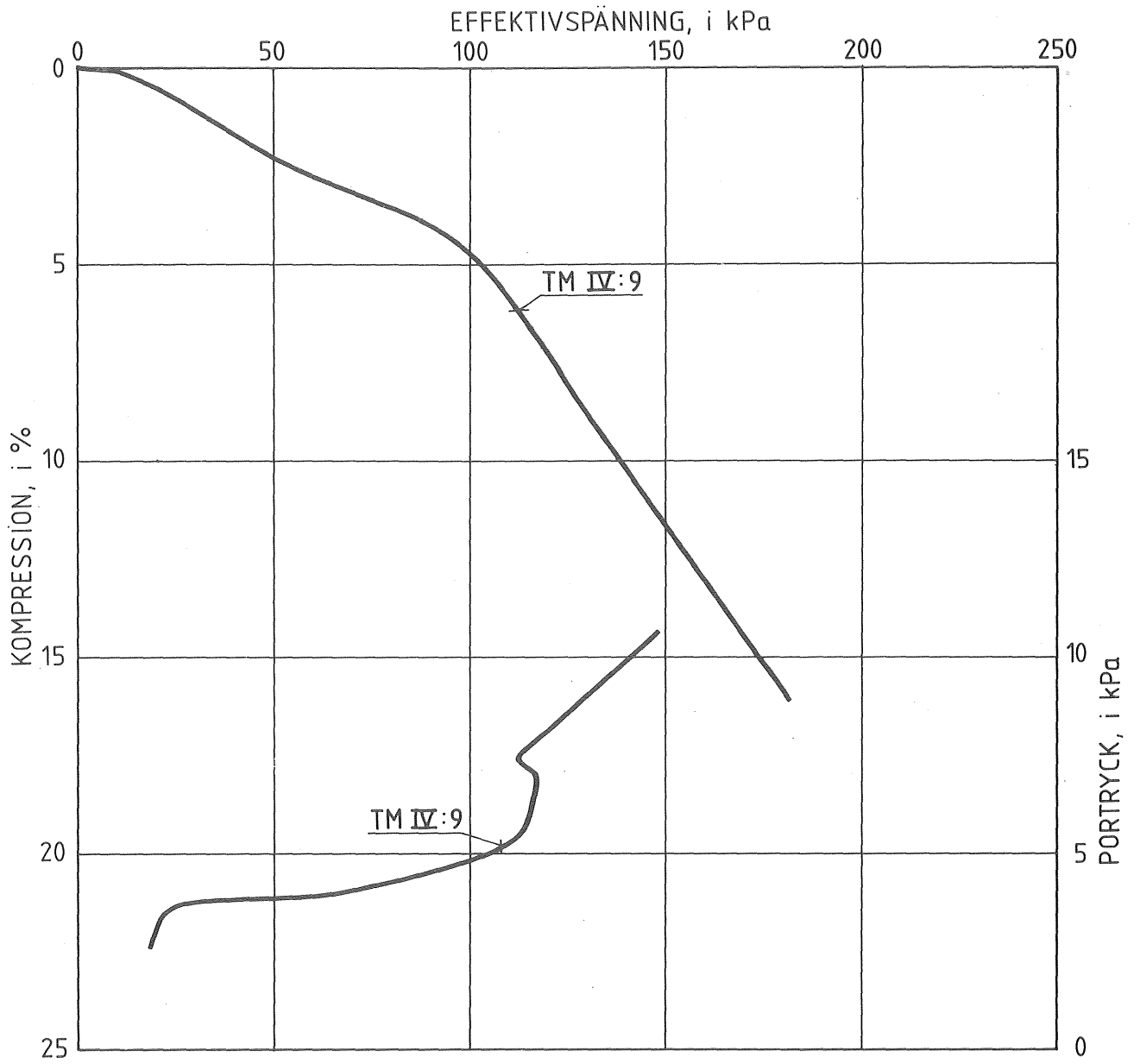


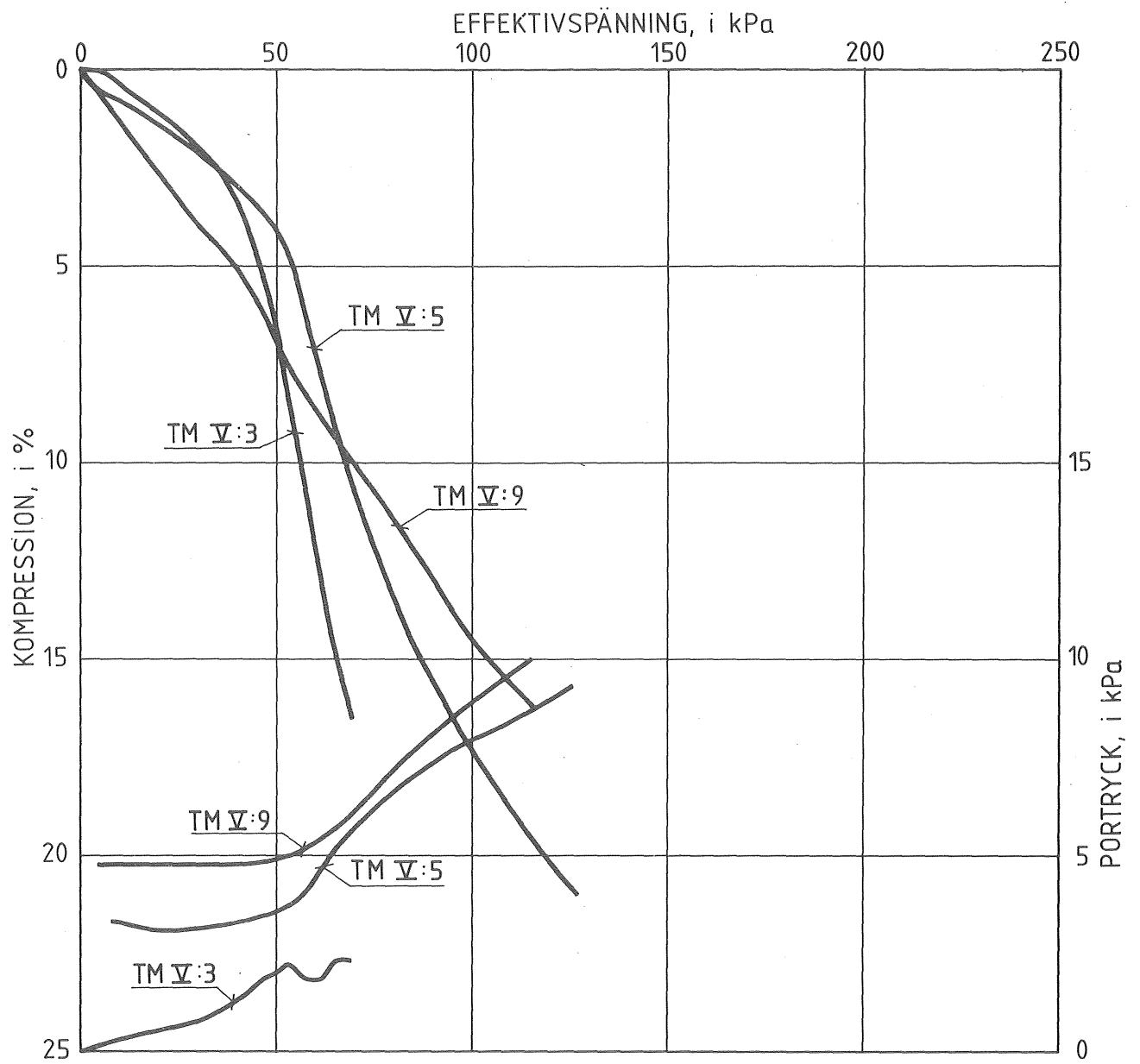












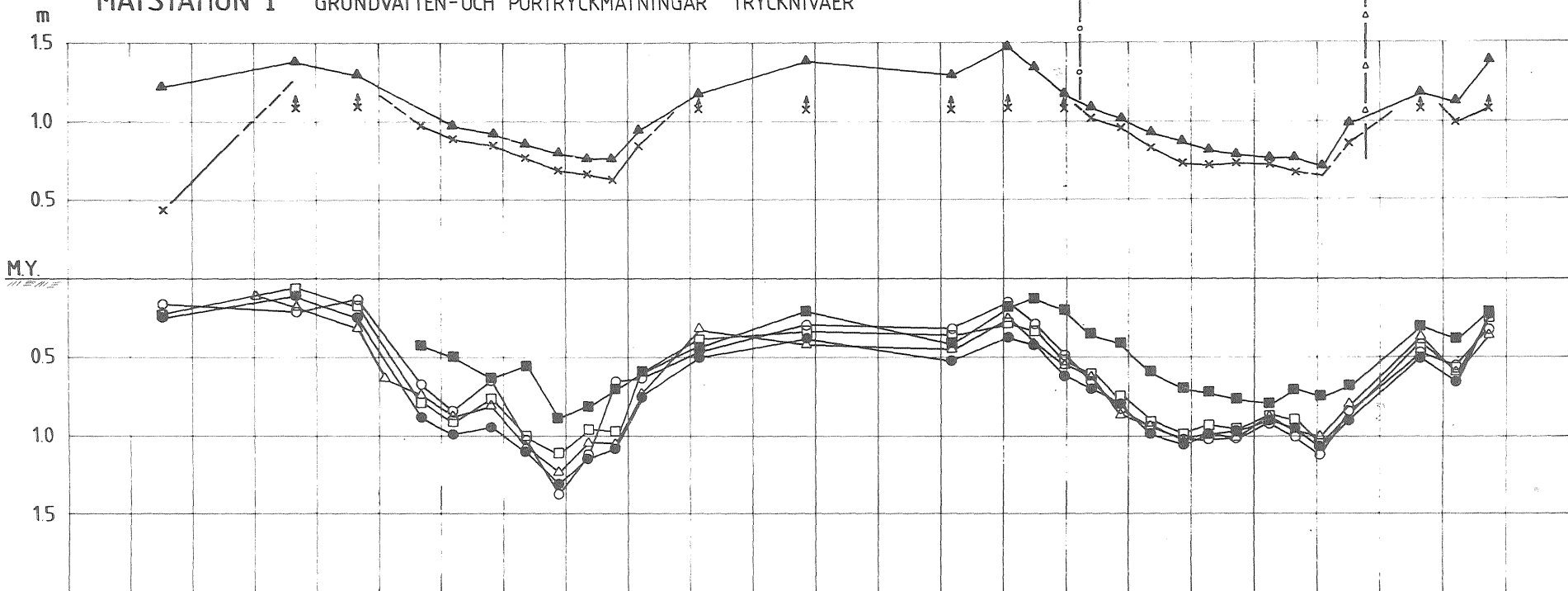
## APPENDIX B

Grundvatten- och portryckmätningar

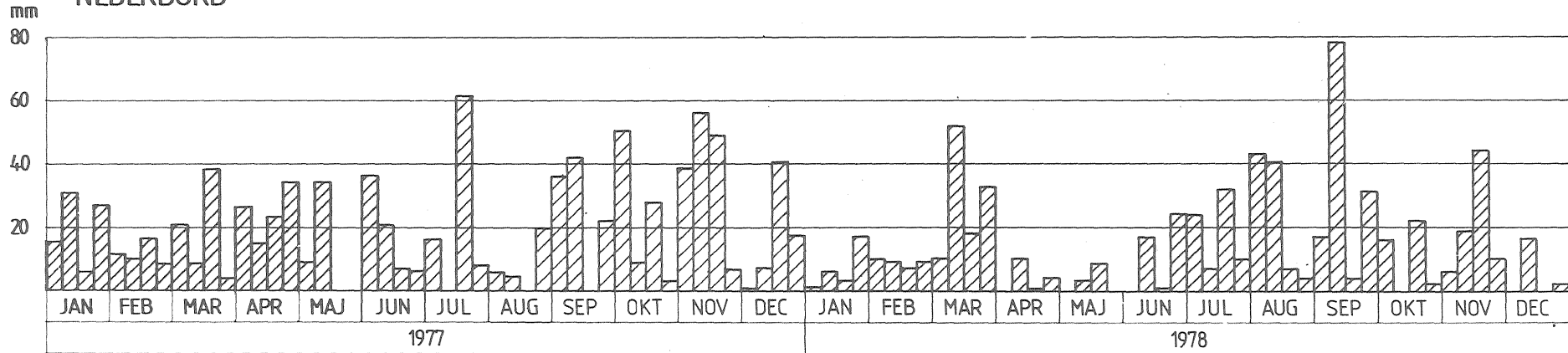
Trycknivåer

Portryckmätningar med skilda filtertyper

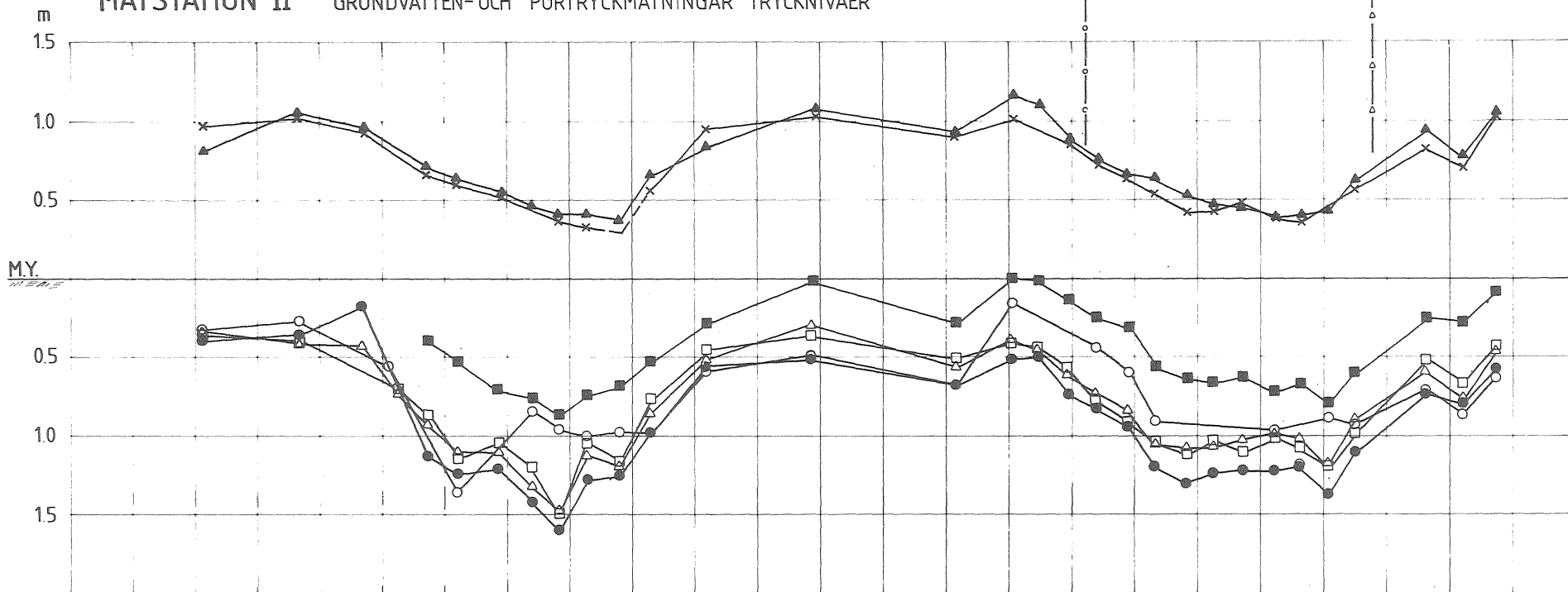
# MÄTSTATION I GRUNDVATTEN- OCH PORTRYCKMÄTNINGAR TRYCKNIVÅER



# NEDERBÖRD

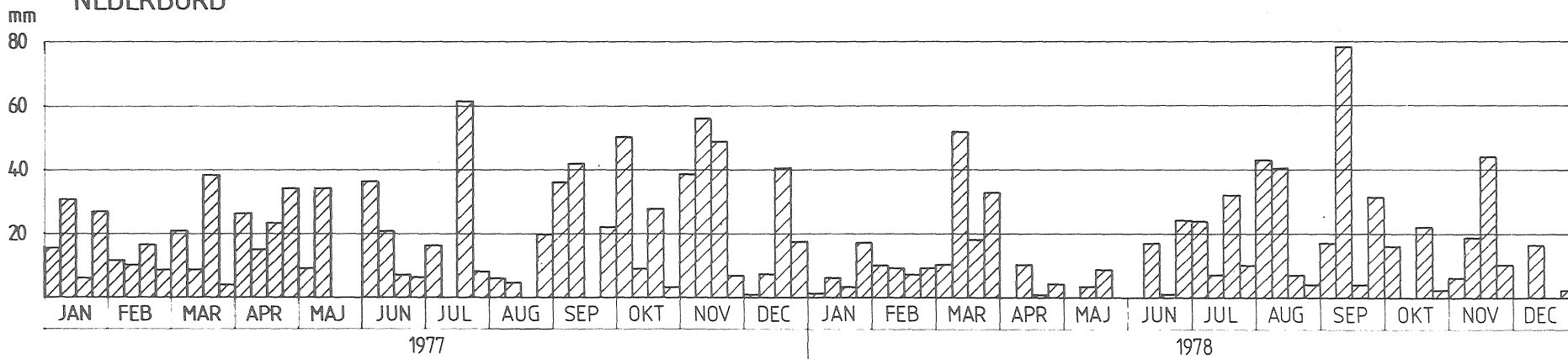


# MÄTSTATION II GRUNDVATTEN- OCH PORTRYCKMÄTNINGAR TRYCKNIVÅER



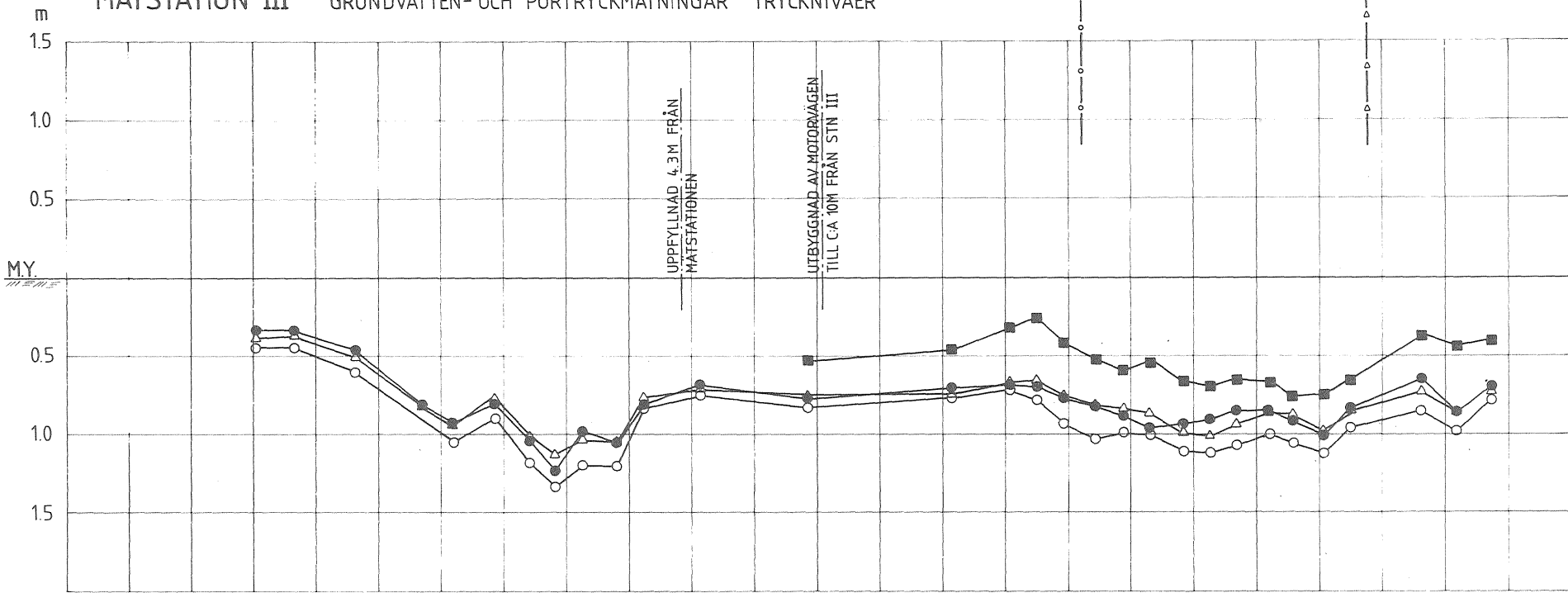
- BETECKNINGAR
- SYMBOLER PORTRYCKSMÄTARE OCH ÖPPET RÖR
- DJUP 1.0 m
  - -- 2.0 m
  - △ -- 3.0 m
  - -- 5.0 m
  - -- 7.0 m
  - ▲ -- 10.0 m
  - × ÖPPET RÖR DJUP ca 11m
  - TIDPUNKT FÖR FÖRSTA LÖVSPRICKNINGEN
  - △— TIDPUNKT VID VILKEN LÖV BÖRJAR VISSNA

## NEDERBÖRD

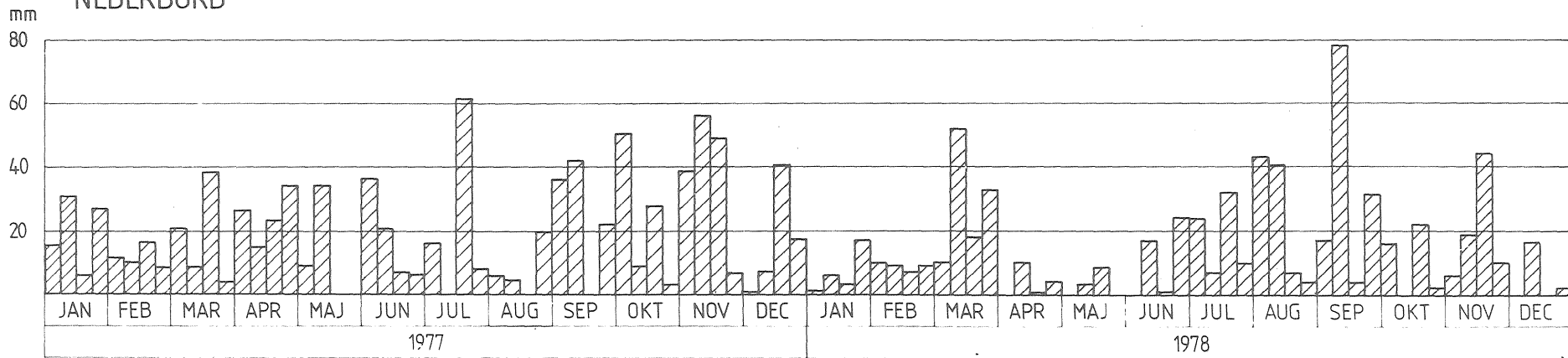




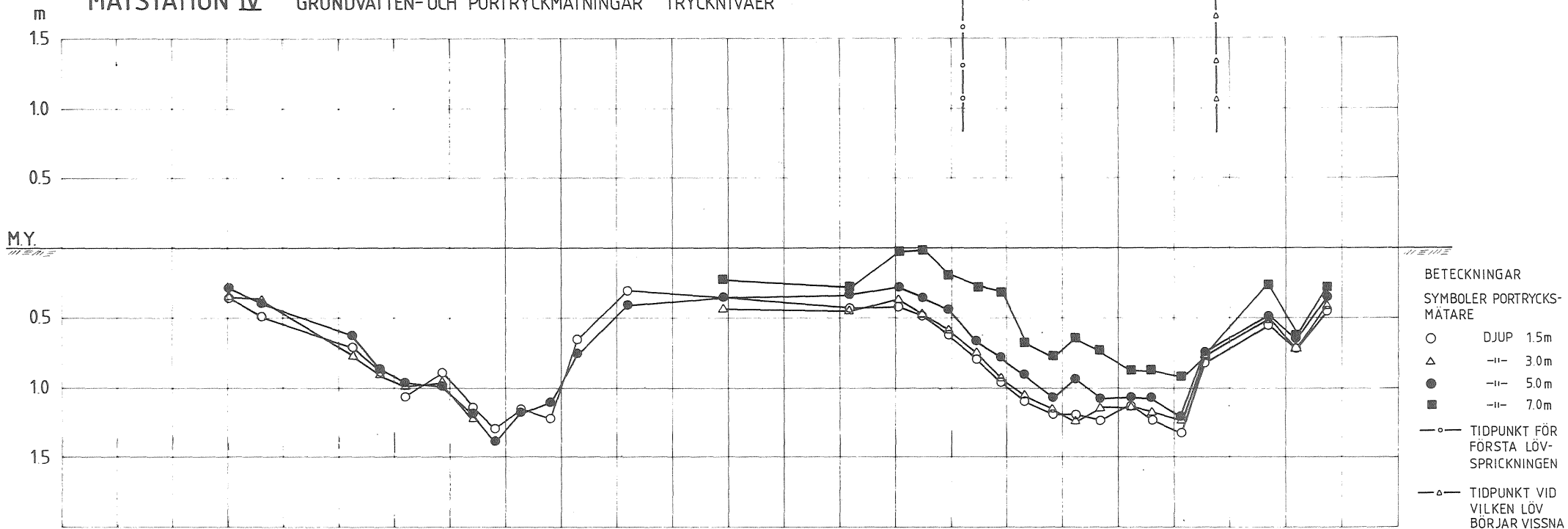
# MÄTSTATION III GRUNDVATTEN- OCH PORTRYCKMÄTNINGAR TRYCKNIVÅER



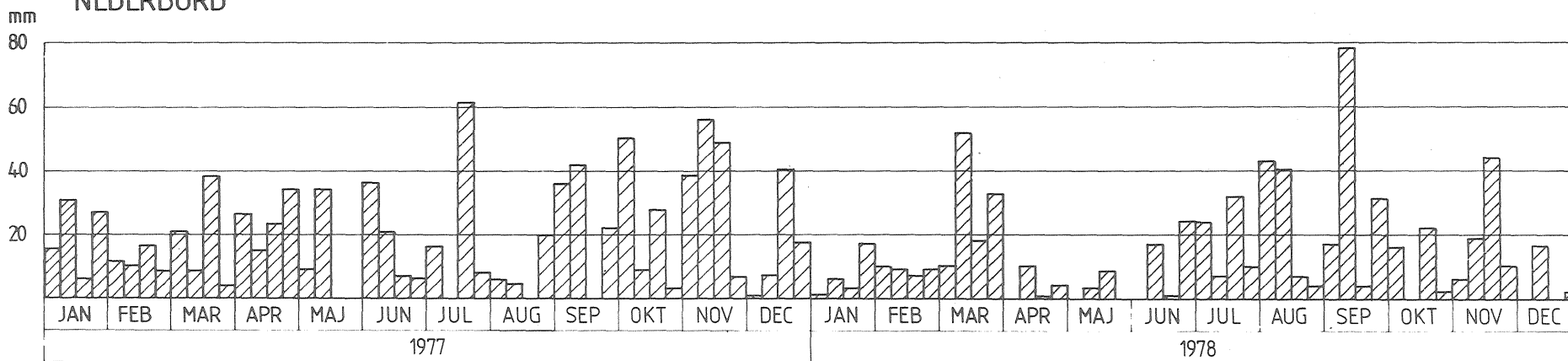
## NEDERBÖRD



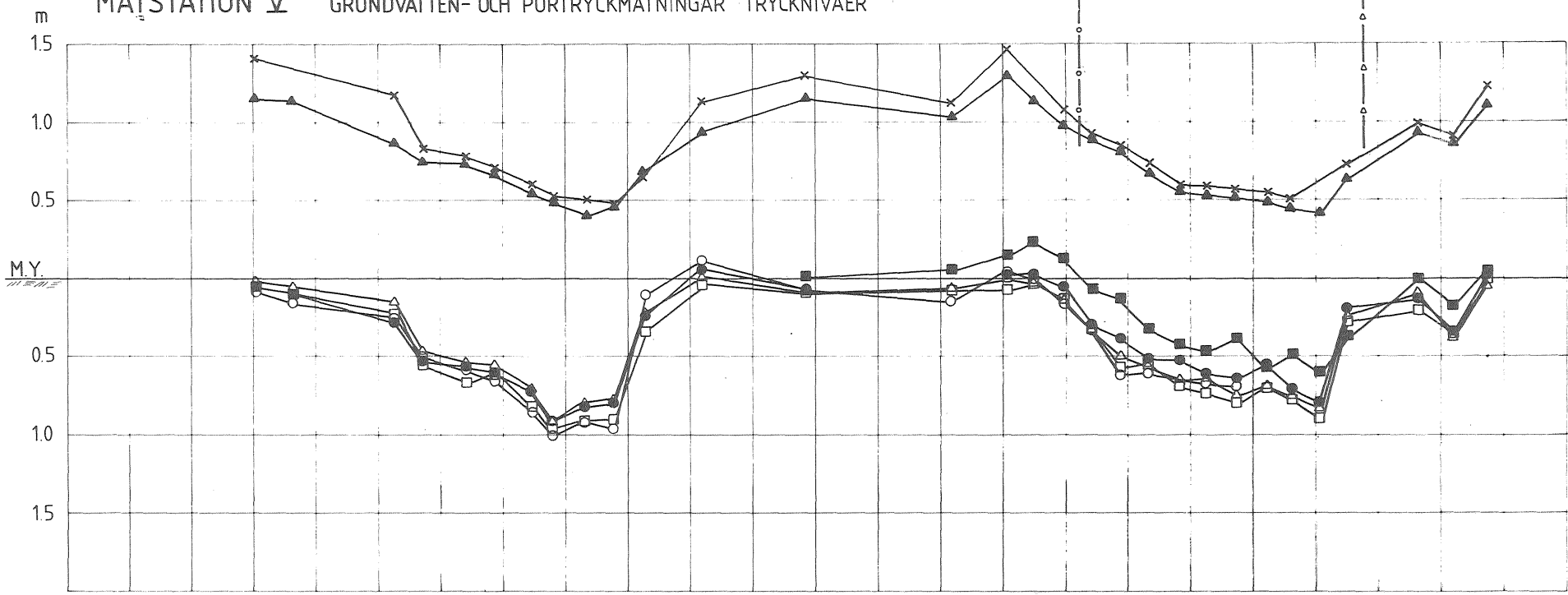
# MÄTSTATION IV GRUNDVATTEN- OCH PORTRYCKMÄTNINGAR TRYCKNIVÅER



## NEDERBÖRD

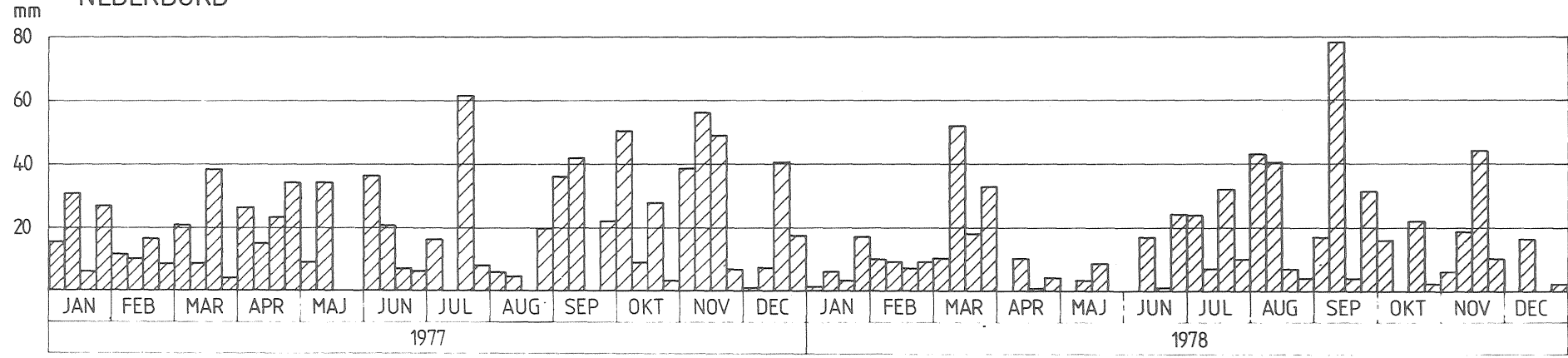


# MÄTSTATION V GRUNDVATTEN- OCH PORTRYCKMÄTNINGAR TRYCKNIVÅER



- BETECKNINGAR  
SYMBOLER PORTRYCKS-  
MÄTARE OCH ÖPPET RÖR
- DJUP 10 m
  - -- 20 m
  - △ -- 30 m
  - -- 5.0 m
  - -- 7.0 m
  - ▲ -- 10.0 m
  - x ÖPPET RÖR  
DJUP ca 11 m
  - TIDPUNKT FÖR  
FÖRSTA LÖV-  
SPRICKNINGEN
  - △— TIDPUNKT VID  
VILKEN LÖV-  
BÖRJAR VISSNA

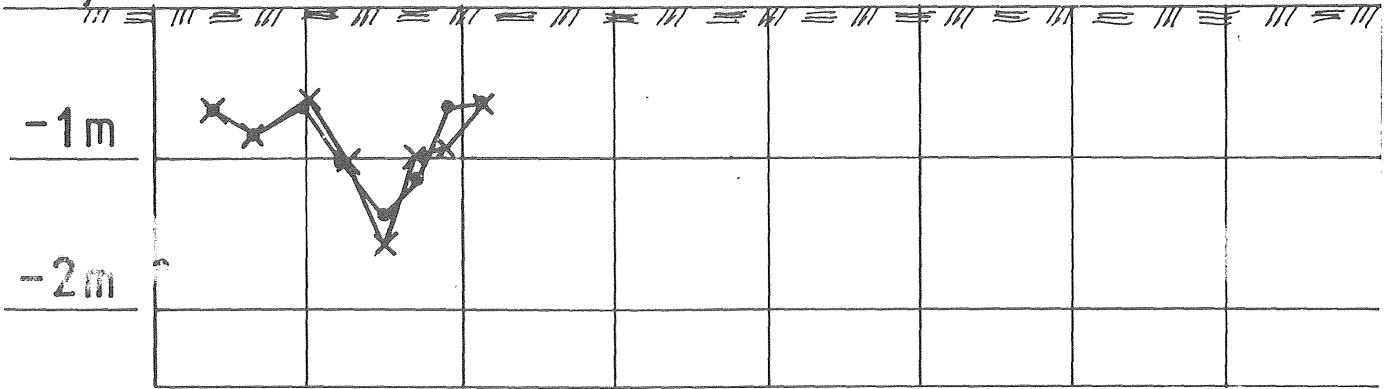
## NEDERBÖRD



# MÖLNDAL TRÄD

## PORTRYCKMÄTNINGAR TRYCKNIVÅER

Djup  
u. my

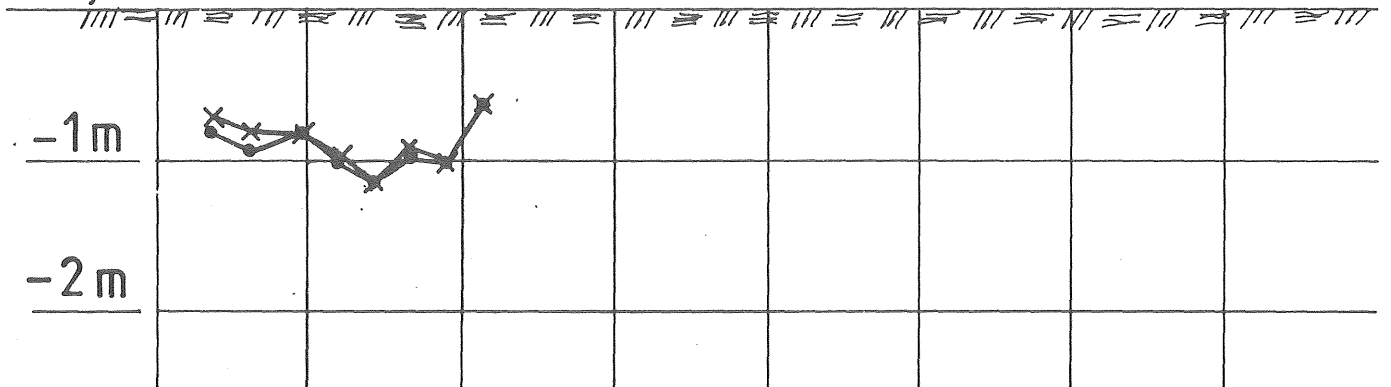


Spetsdjup 1m

●—● Filtersten med porstorlek 20 μ (standard)

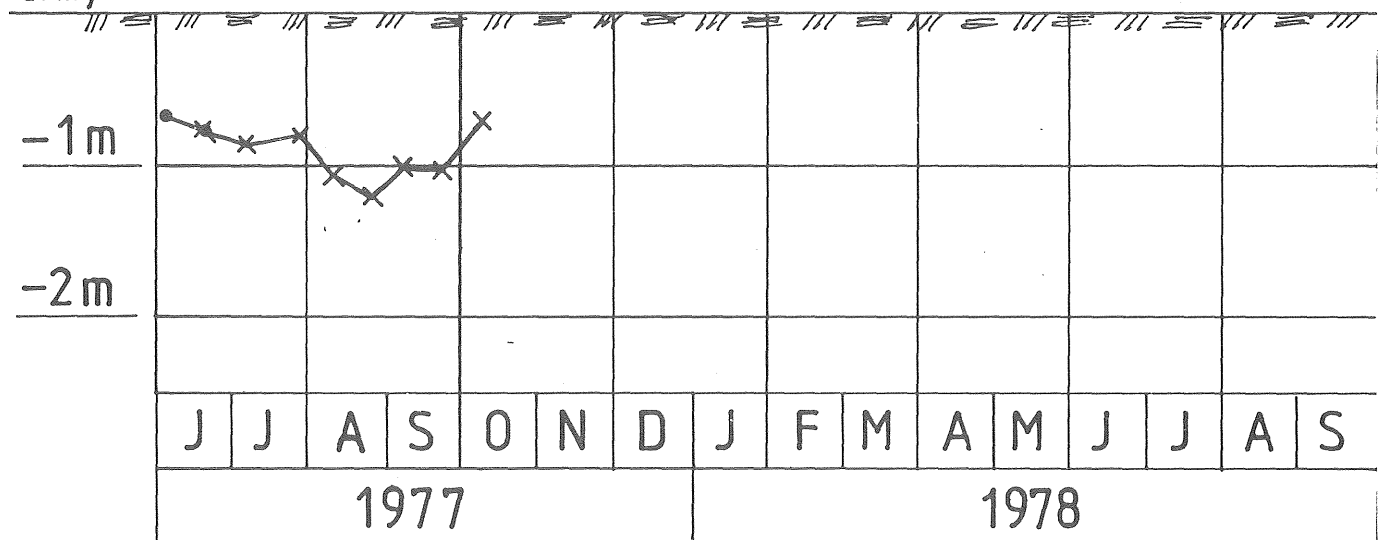
×—× Filtersten med porstorlek 1 μ

Djup  
u. my



Spetsdjup 2,0m

Djup  
u. my

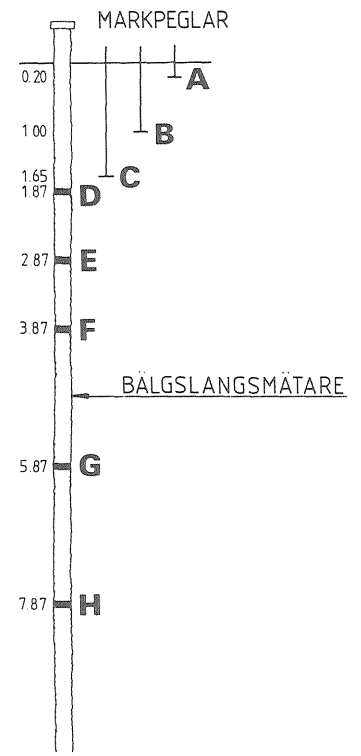
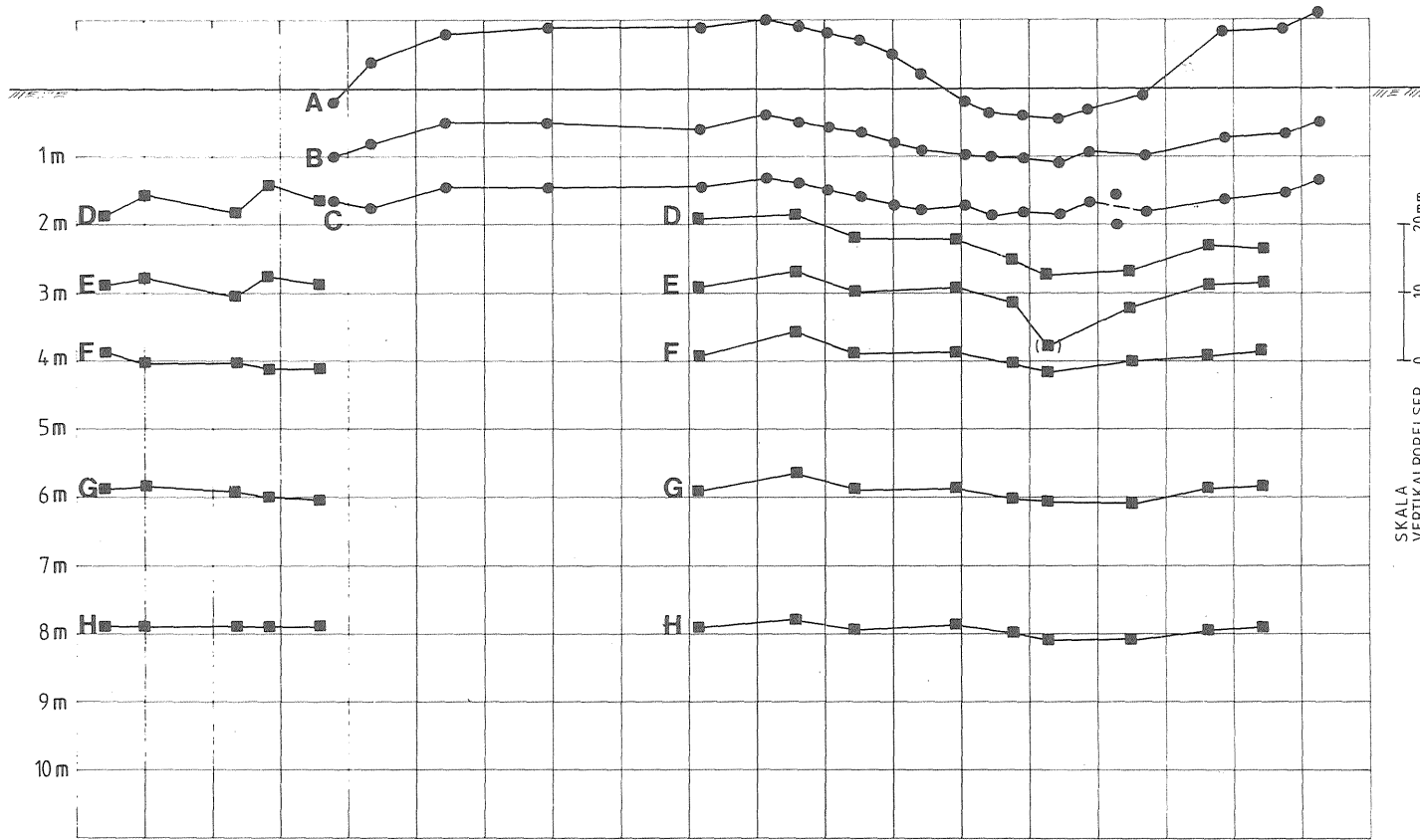


Spetsdjup 3,0m

## APPENDIX C

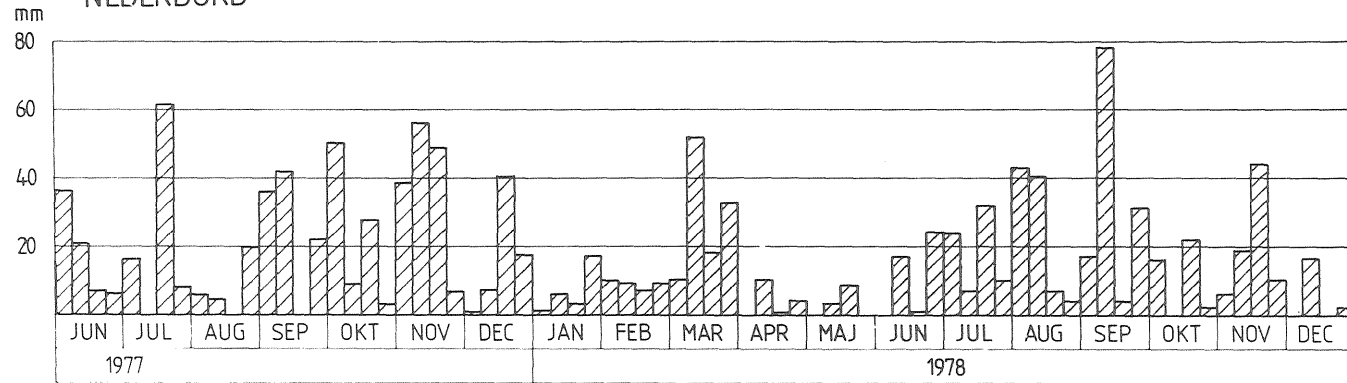
### Vertikala markrörelser

# MÄTSTATION I VERTIKALA MARKRÖRELSER

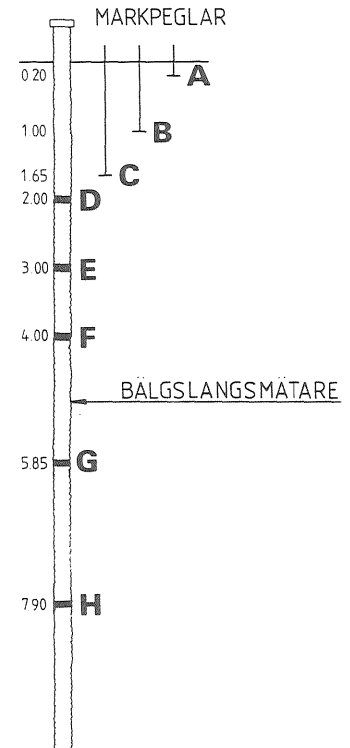
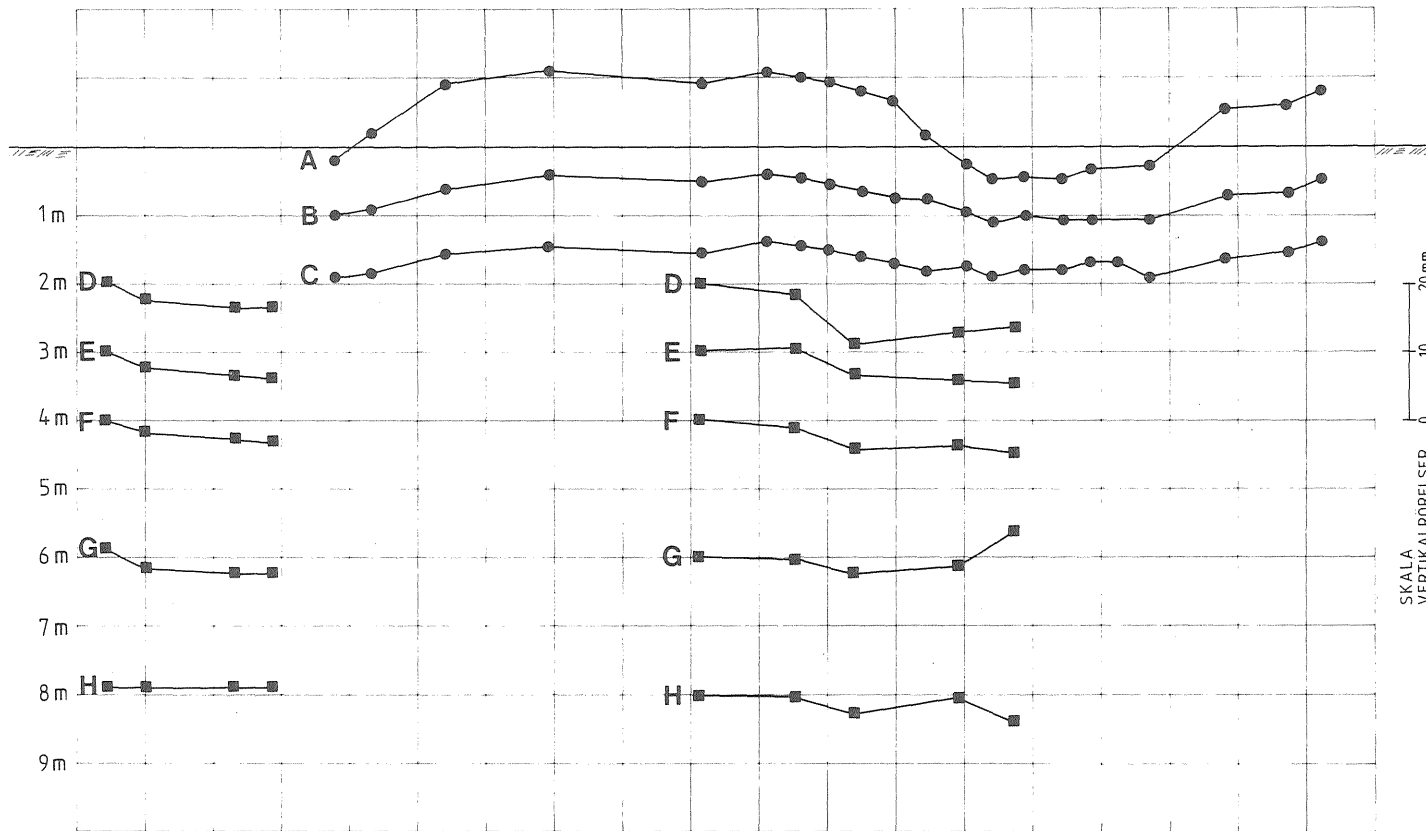


ANM. ALLA NIVÅRÖRELSER ÄR ANGIVNA I FÖRHÅLLANDE TILL ETT FÖRSTA AVLÄSNINGSVÄRDE (REFERENS-VÄRDE) MARKERAT MED RESP. BOKSTAVSBETECKNING EX. E ■

## NEDERBÖRD

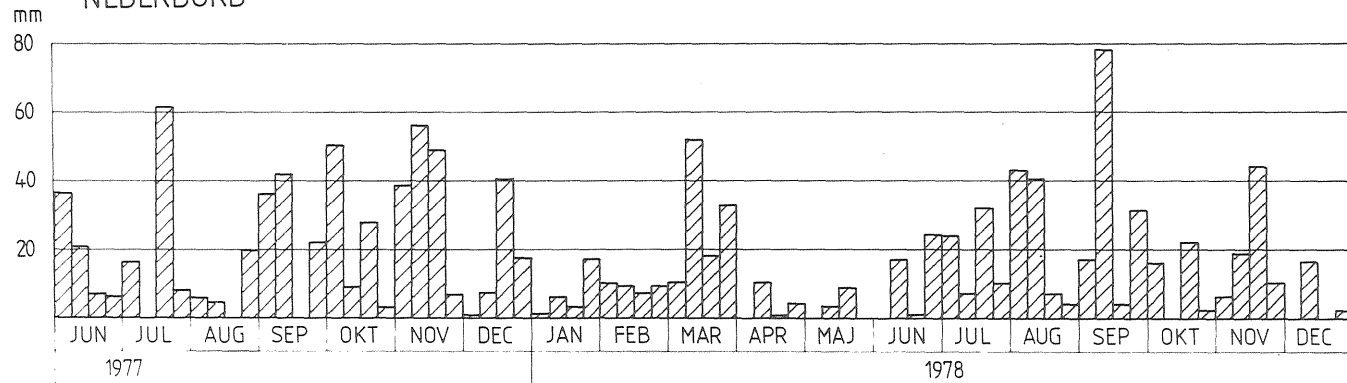


# MÄTSTATION II VERTIKALA MARKRÖRELSER



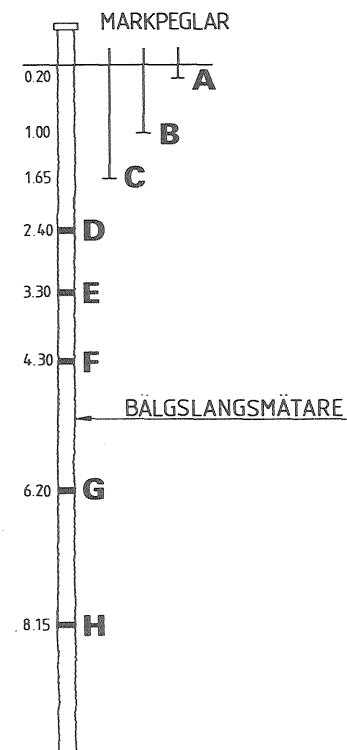
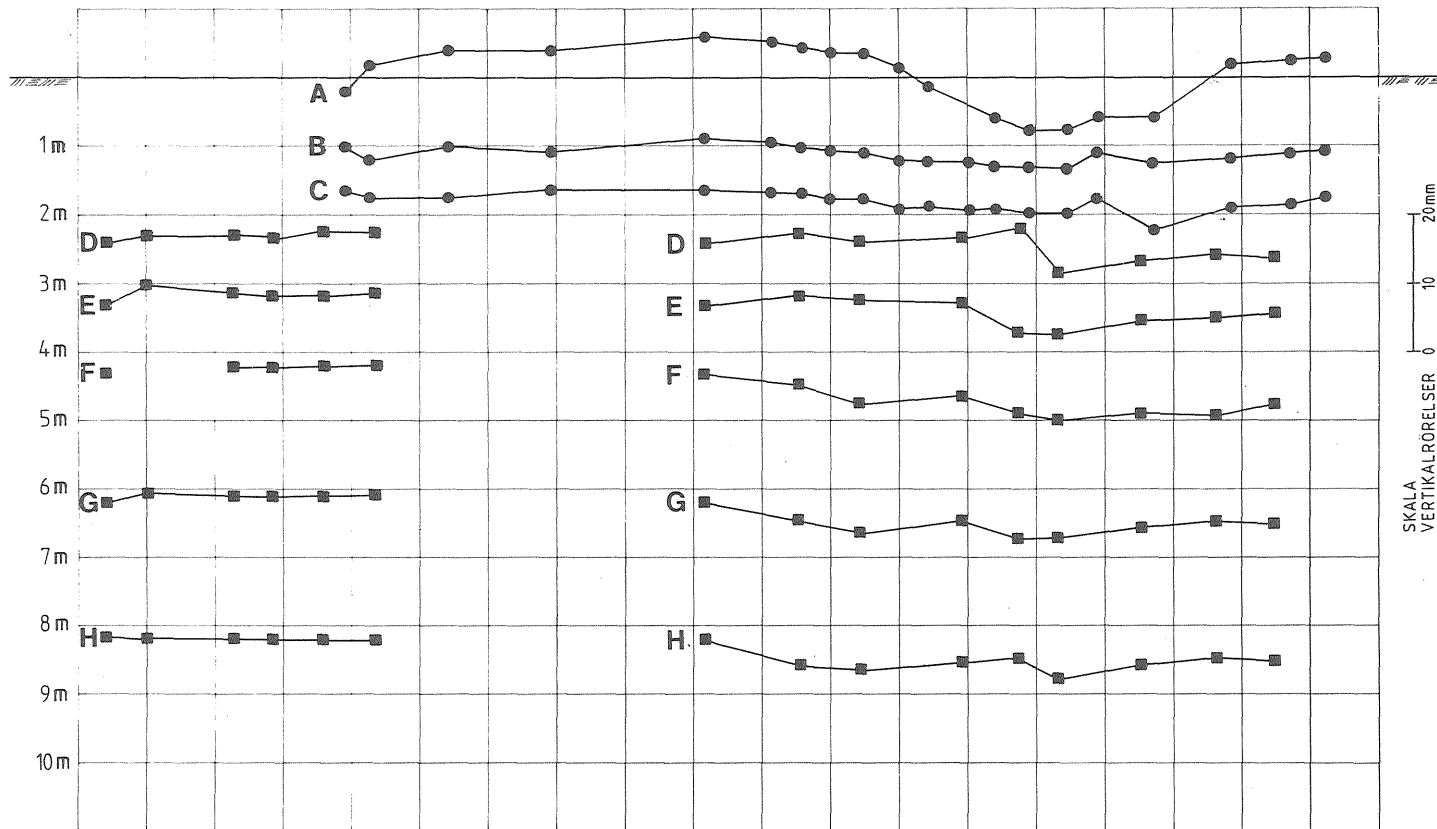
ANM. ALLA NIVÅRELSER AR ANGIVNA I FORHÅLLANDE TILL ETT FORSTA AVLASNINGSVARDE (REFERENSVARDE) MARKERAT MED RESP. BOKSTAVSBETECKNING EX E ■

## NEDERBÖRD



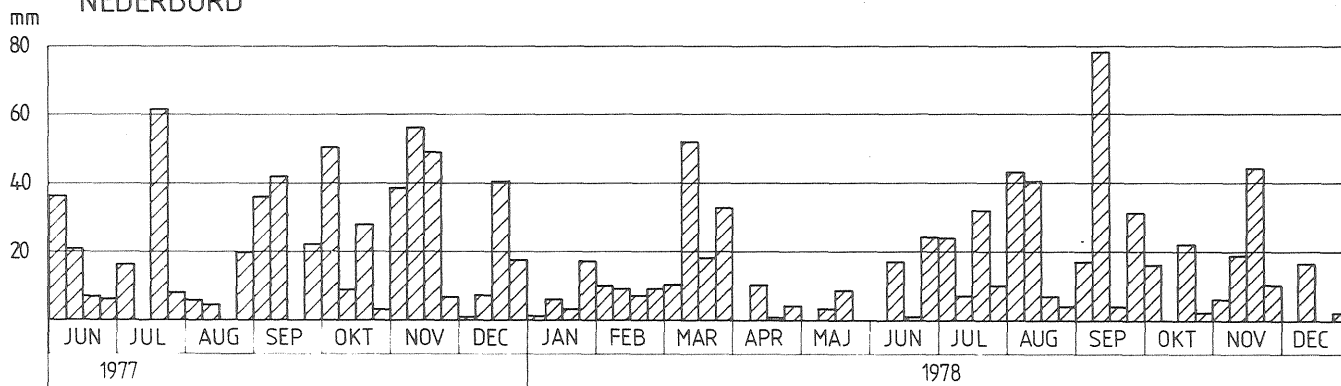
# MATSTATION III

## VERTIKALA MARKRÖRELSER



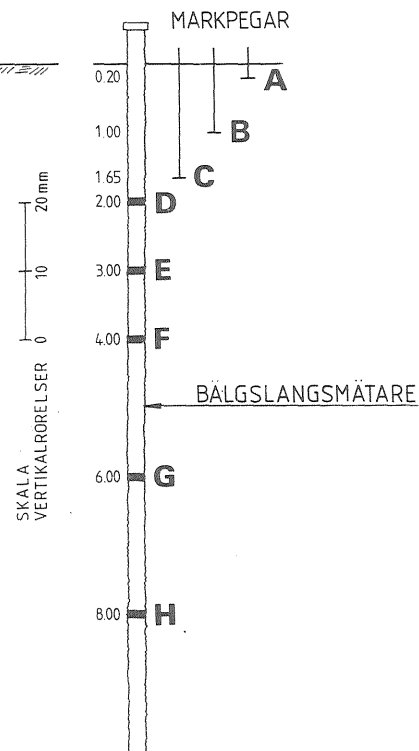
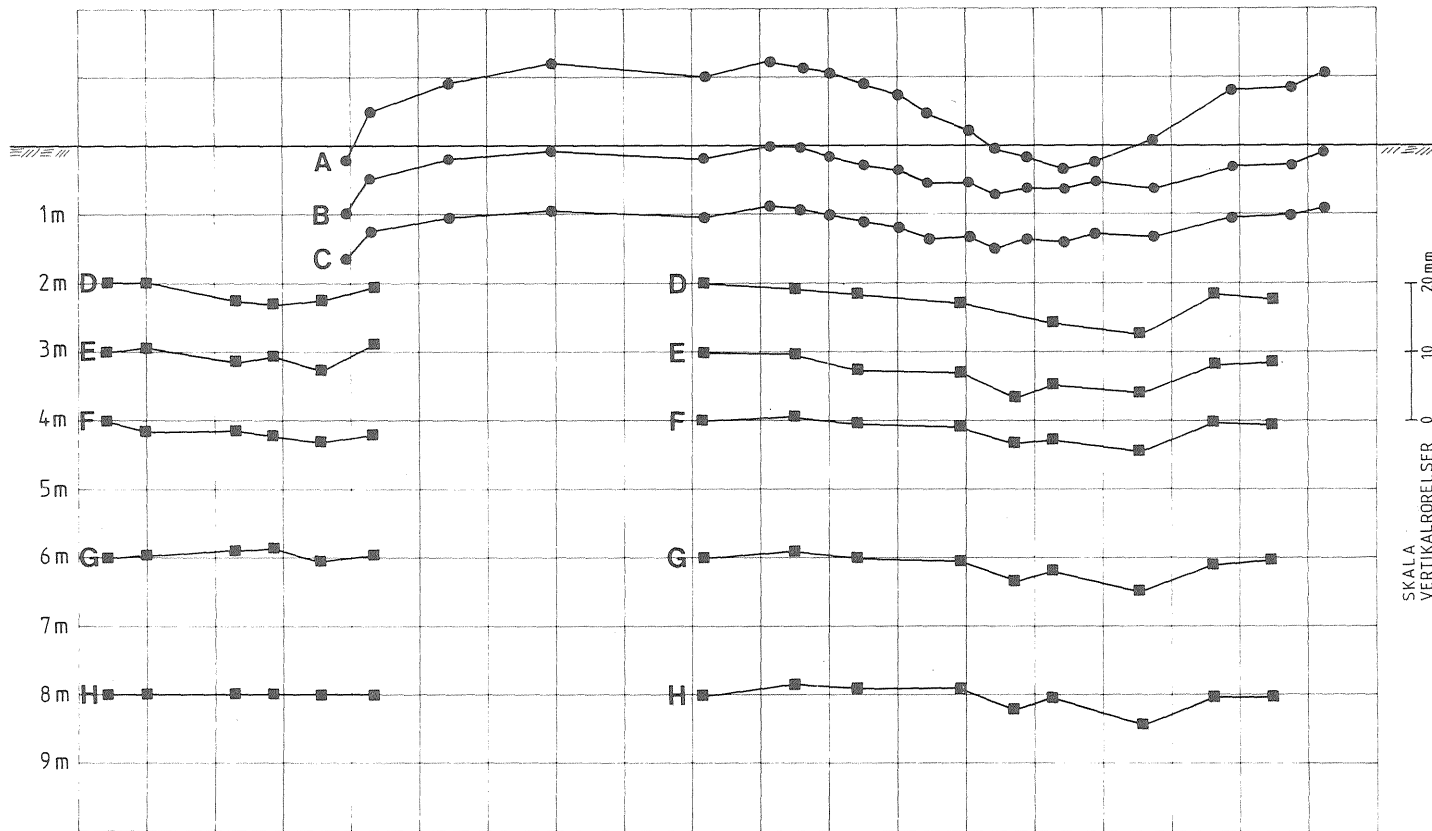
ANM. ALLA NIVÅRÖRELSER ÄR ANGIVNA I FÖRHÅLLANDE TILL ETT FÖRSTA AVLÄSNINGSVÄRDE (REFERENSVÄRDE) MARKERAT MED RESP. BOKSTAVSBETECKNING EX. E ■

## NEDERBÖRD



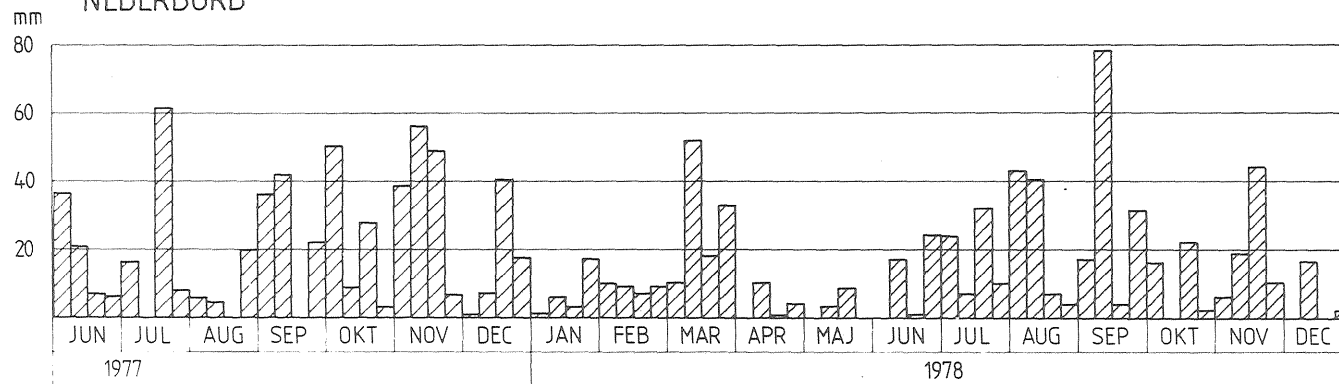


MÄTSTATION IV VERTIKALA MARKRÖRELSER

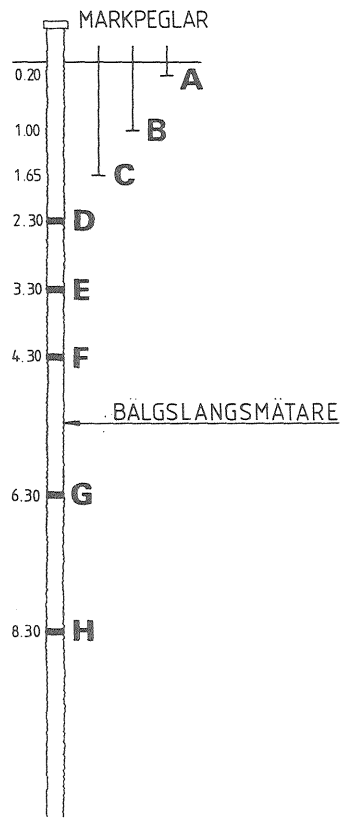
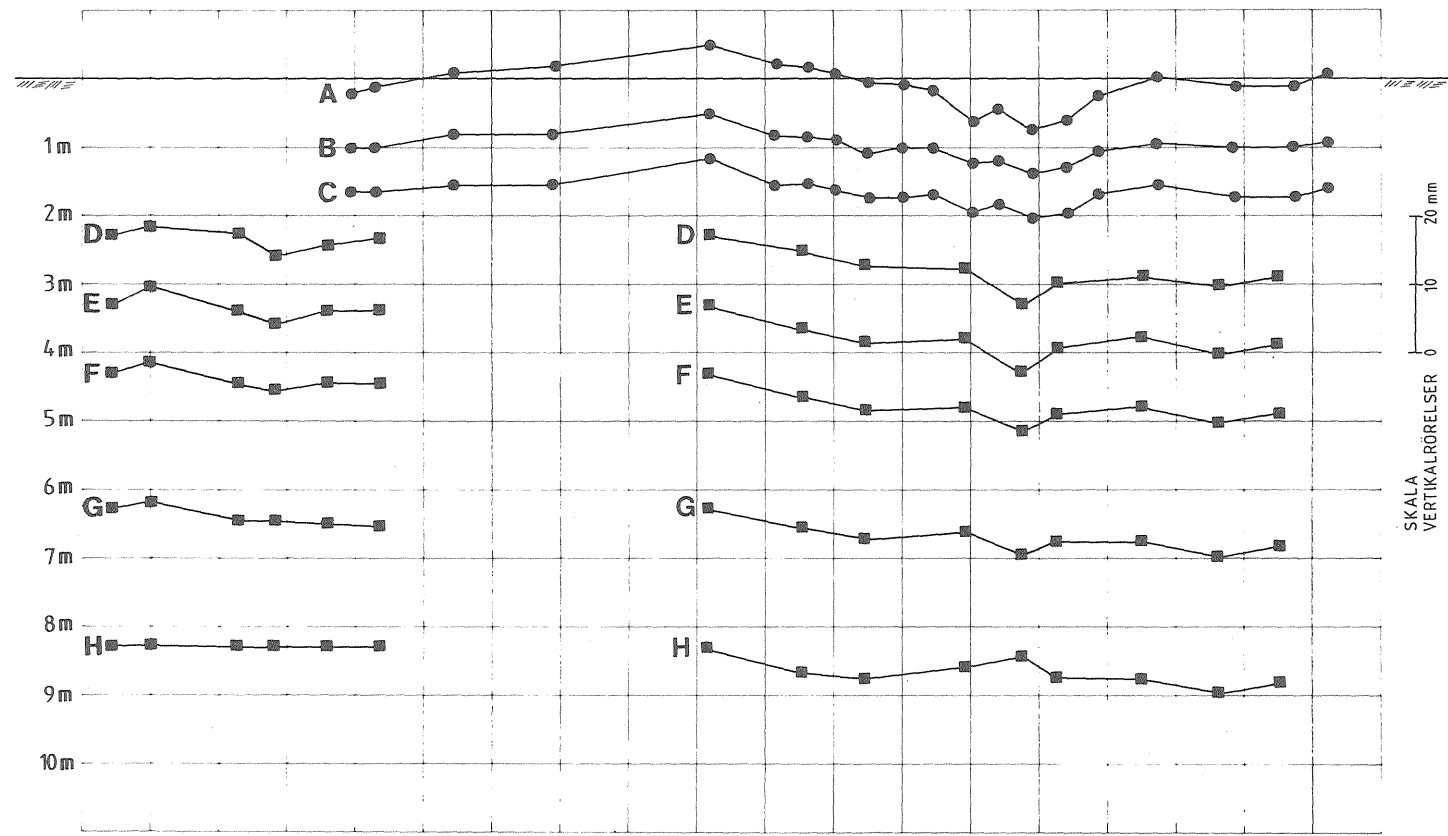


ANM. ALLA NIVÅRÖRELSER ÄR ANGIVNA I FÖRHÅLLANDE TILL ETT FÖRSTA AVLÄSNINGSVÄRDE (REFERENSVÄRDE) MARKERAT MED RESP BOKSTAVSBETECKNING EX. E ■

NEDERBÖRD

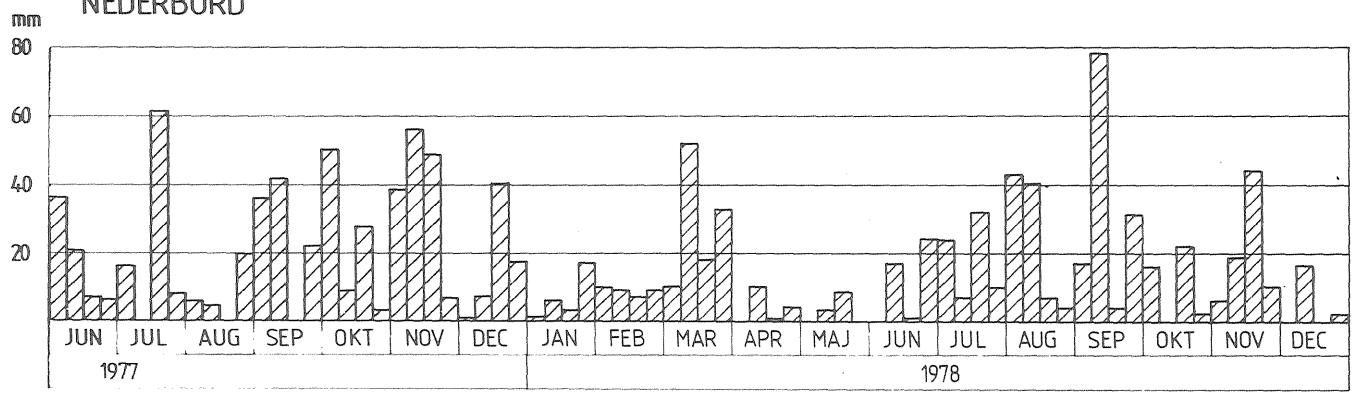


# MÄTSTATION V VERTIKALA MARKRÖRELSER



ANM. ALLA NIVÅRÖRELSER ÄR ANGIVNA I FÖRHÅLLANDE TILL ETT FÖRSTA AVLÄSNINGSVÄRDE (REFERENSVÄRDE) MARKERAT MED RESP. BOKSTAVSBETECKNING EX. E ■

## NEDERBÖRD



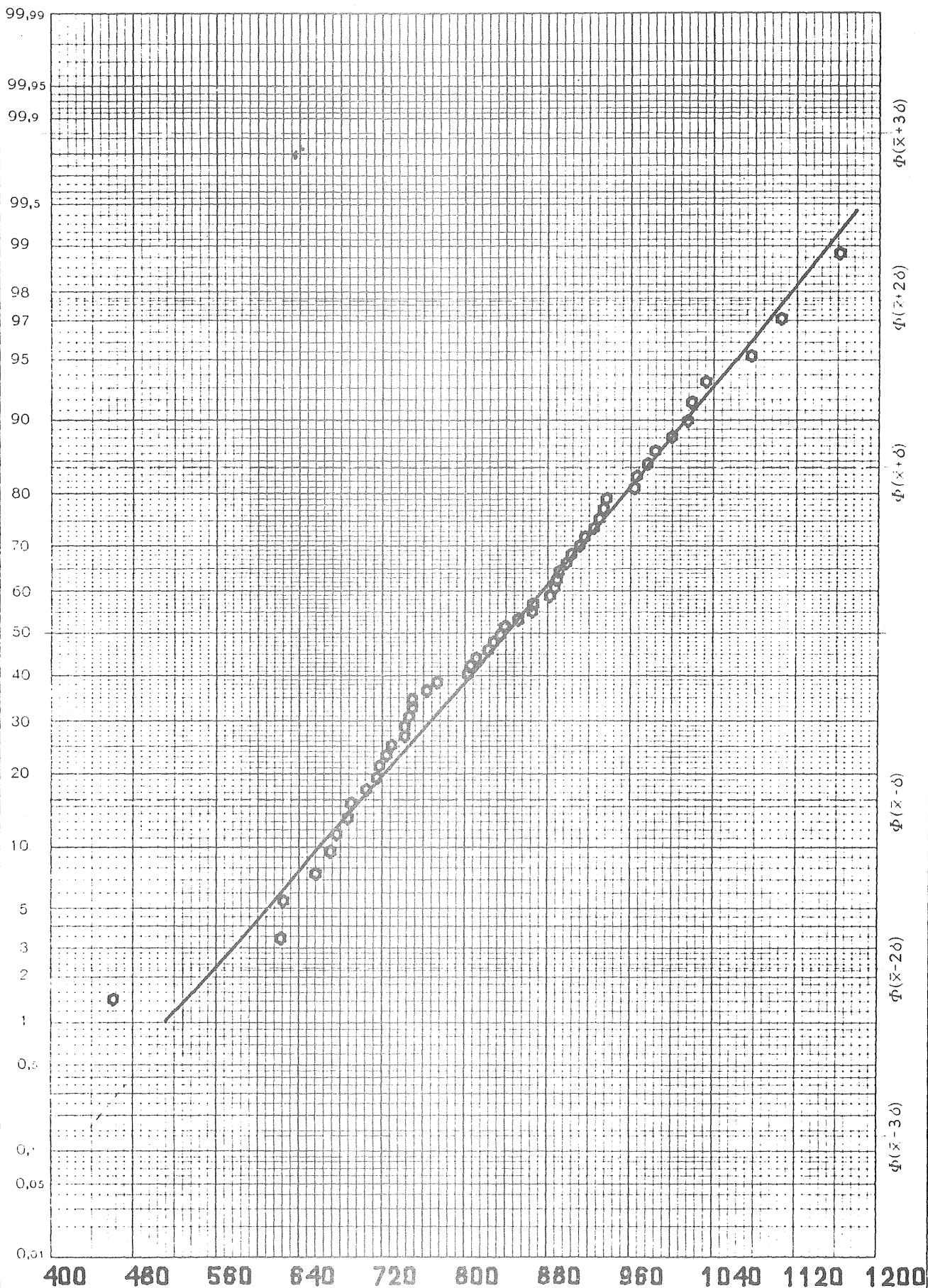
## APPENDIX D

Sannolikhetsdiagram för skilda nederbörds-  
situationer

BFR  
 NEDERBÖRD MOLNDAL 0707  
 1926, 1976 ÅRSNEDERBÖRD

VARDE

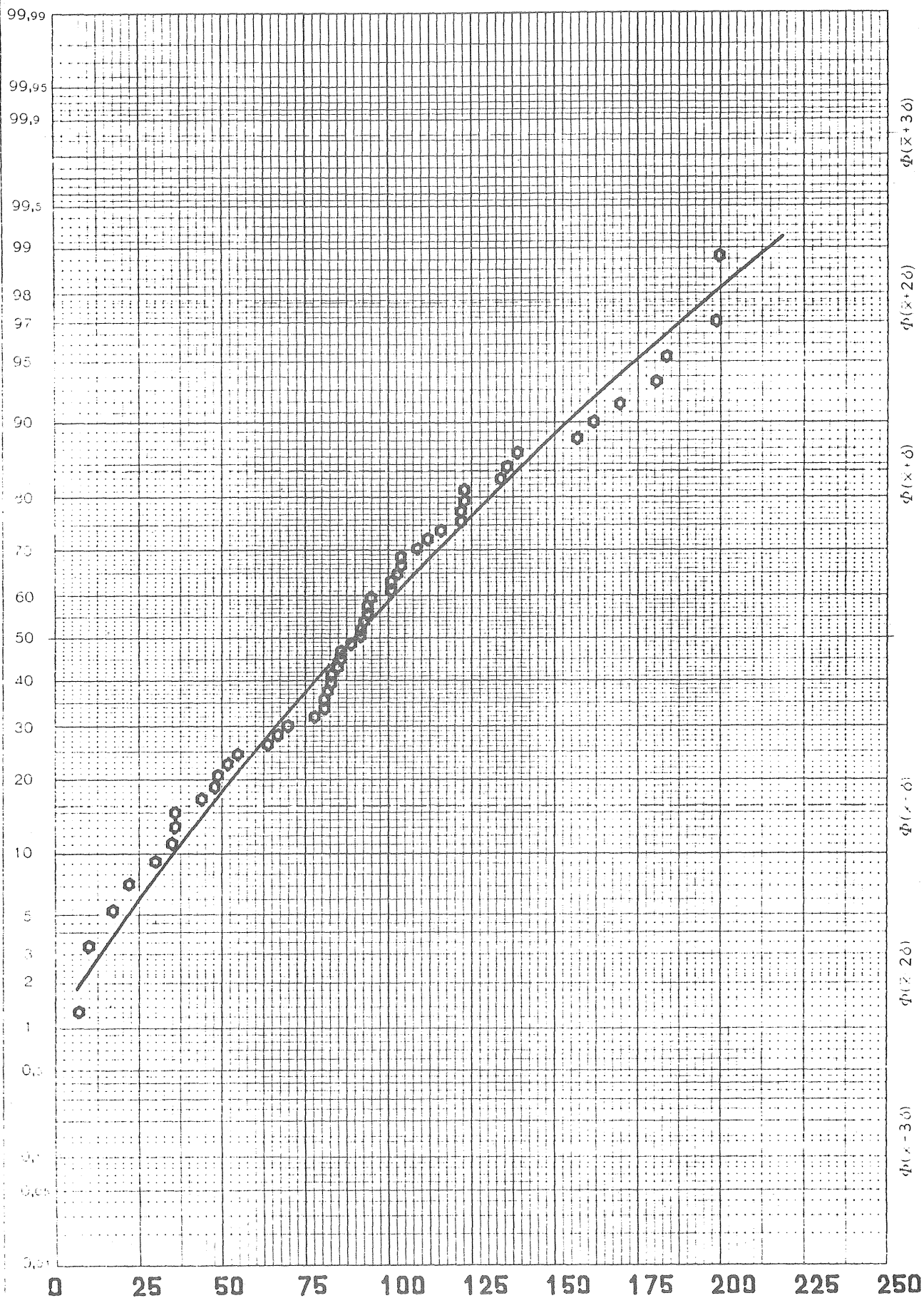
SANNOLIKHET ATT VARDET UNDERSKRIDES



BFA  
 NEDERBÖRD MÖLNDAL 0707  
 1926,1979 MÅNAD AUGUSTI

VARDE

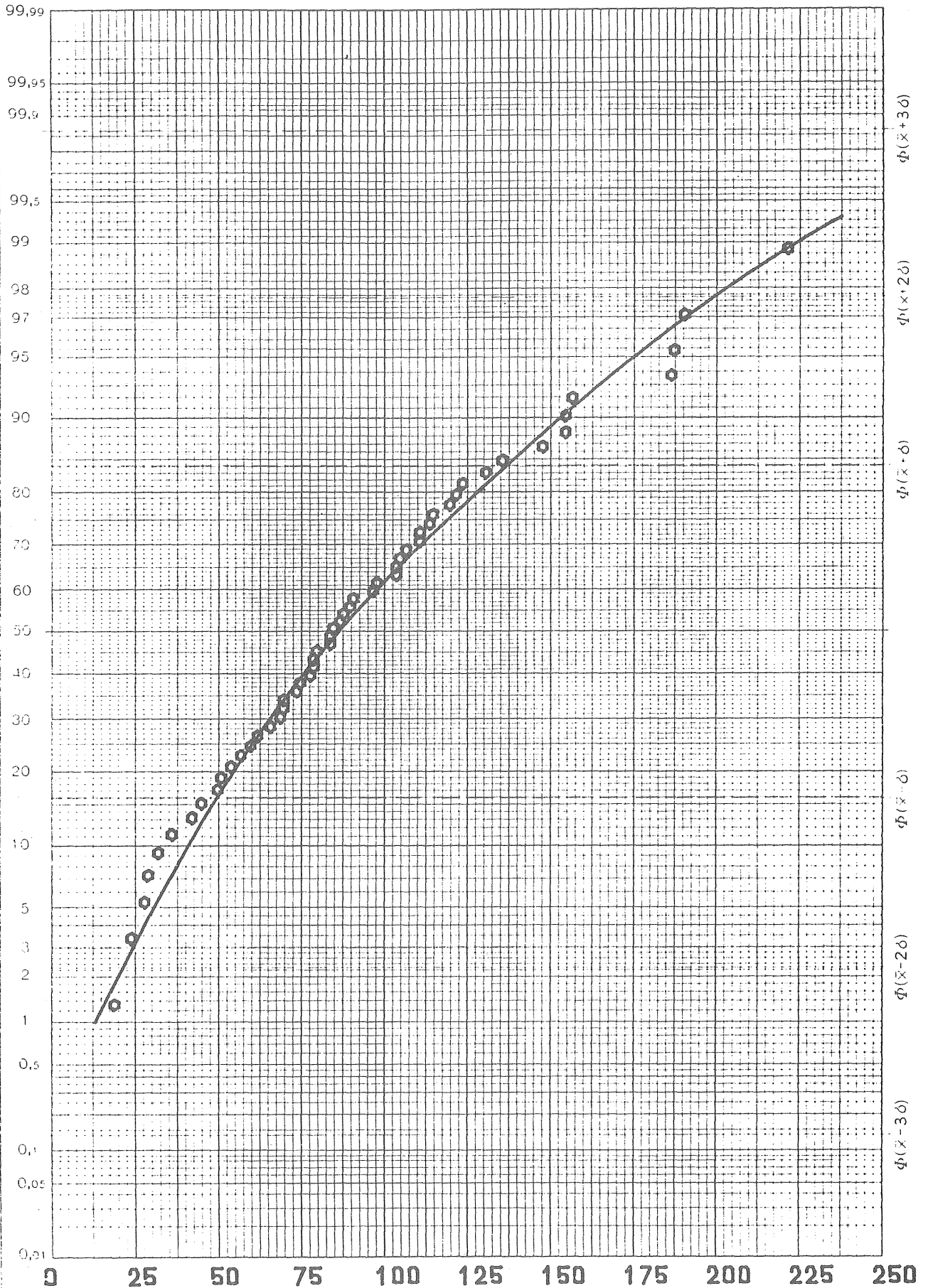
SANNOLIKHET ATT VARDET UNDERSKRIDES



BFR  
 NEDERBÖRD MÖLNDAL 0707  
 1926, 1979 MÅNAD SEPTEMBER

VARDE

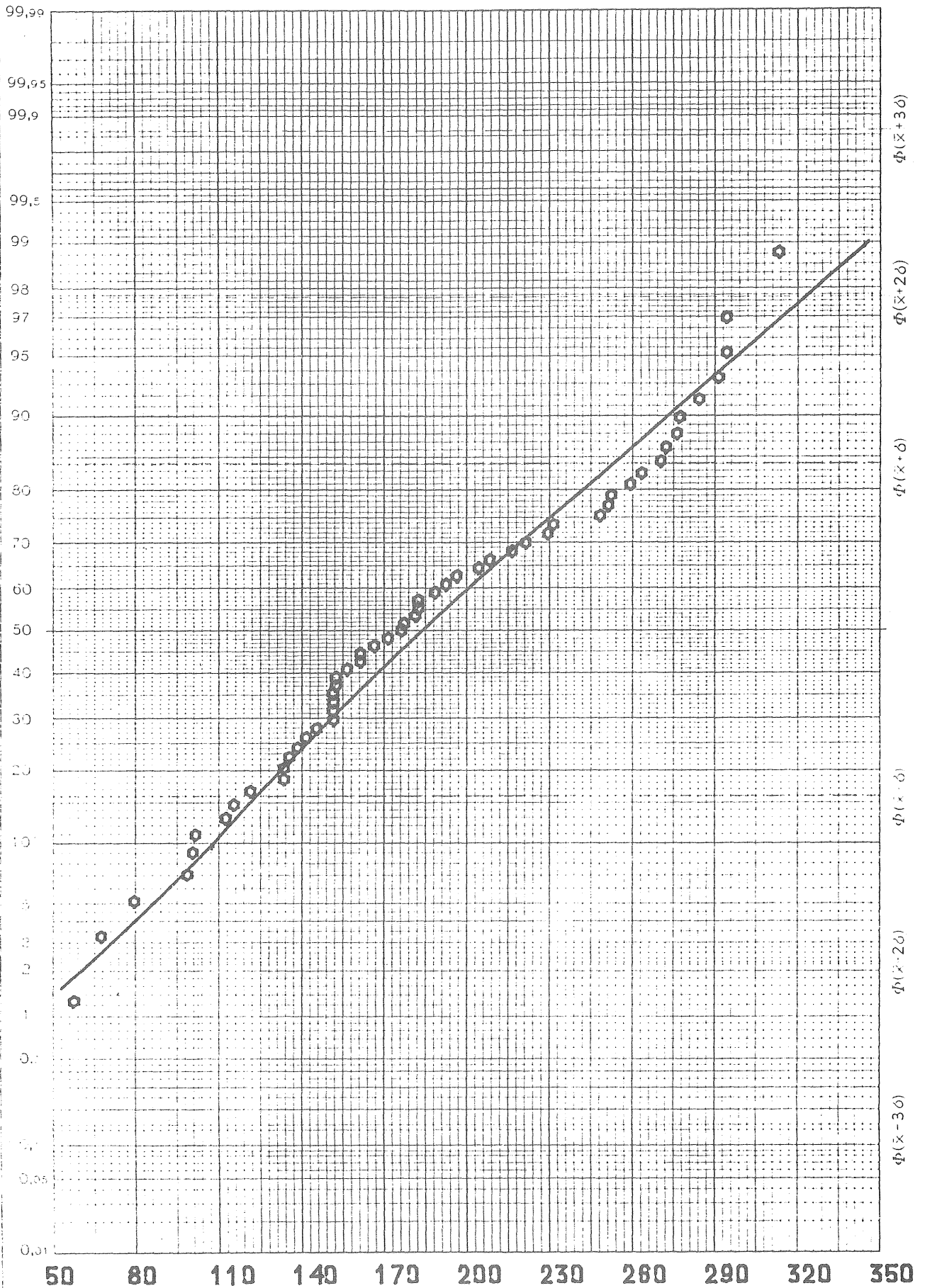
SANNOLIKHET ATT VARDET UNDERSKRIDES



BFR  
 NEDERBÖRD MOLNDAL 0707  
 1926, 1979 AUGUSTI OCH SEPTEMBER

VARDE

SANNOLIKHET ATT VARDET UNDERSKRIDES

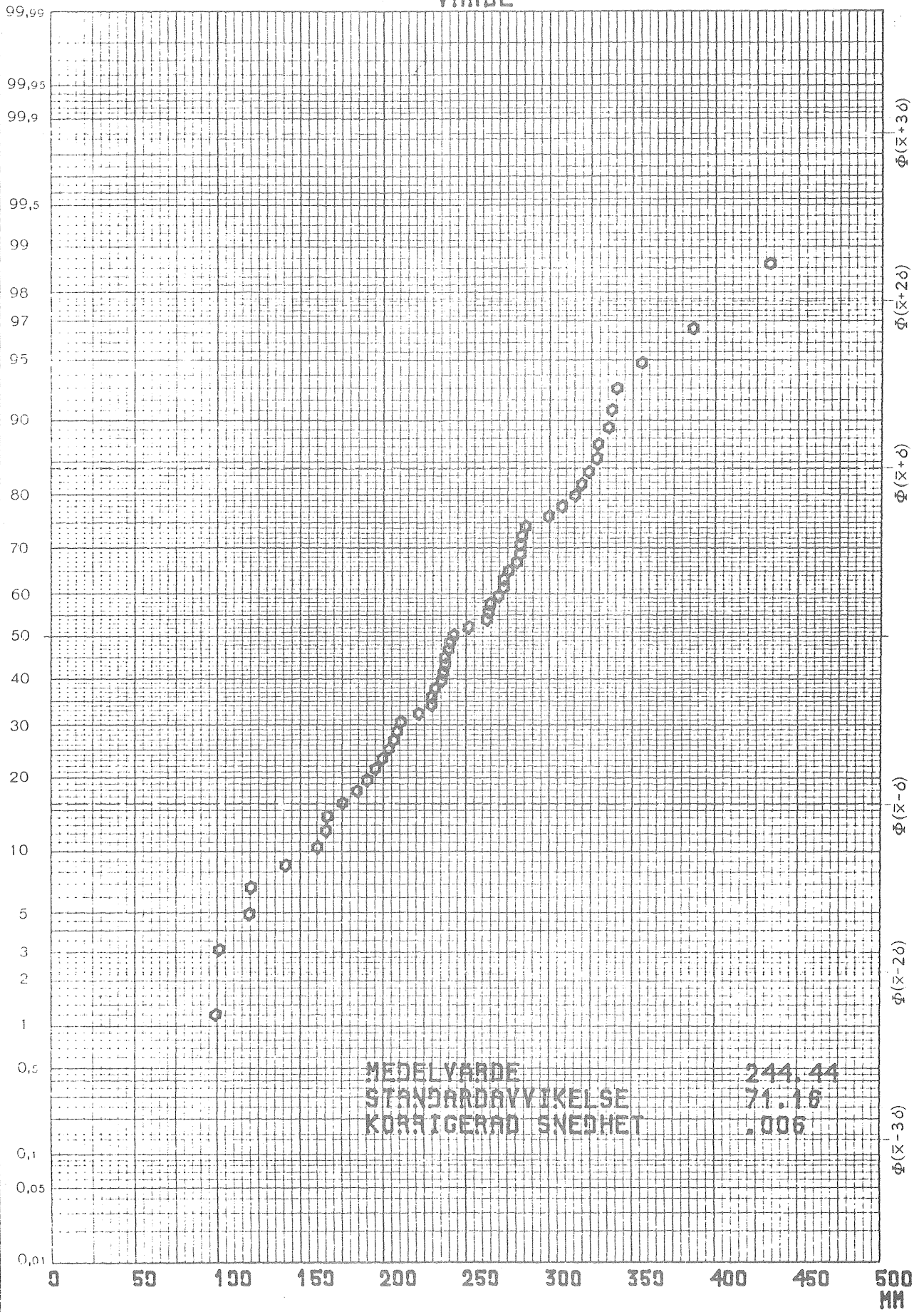




BFR  
 MØLNDAL JUN. AUG  
 1926, 1979

VARDE

SANNOLIKHET ATT VARDET UNDERSKRIDES



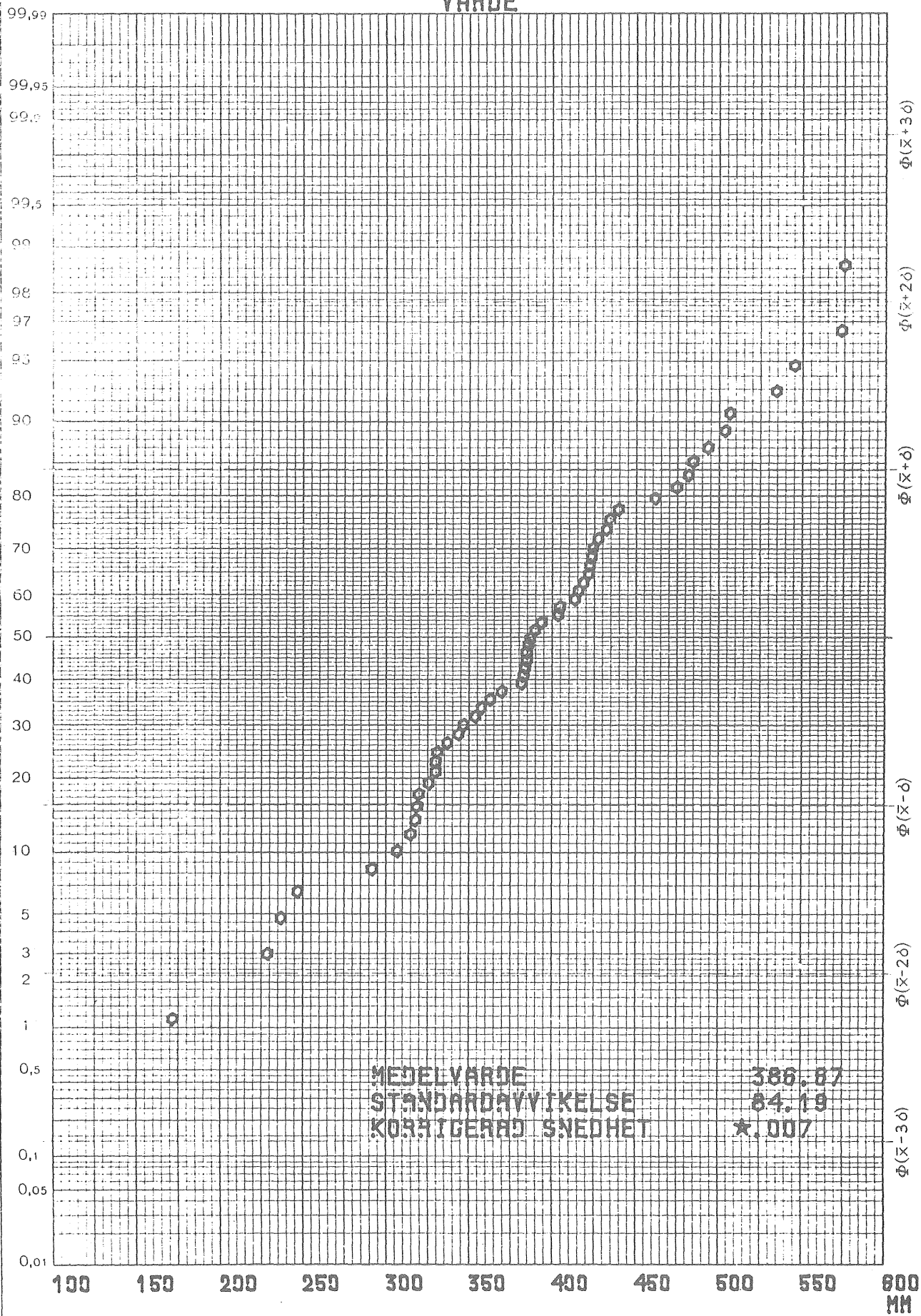
$\Phi(\bar{x}+3\delta)$   
 $\Phi(\bar{x}+2\delta)$   
 $\Phi(\bar{x}+\delta)$   
 $\Phi(\bar{x}-\delta)$   
 $\Phi(\bar{x}-2\delta)$   
 $\Phi(\bar{x}-3\delta)$



BFR  
MÖLNDAL MAJ, SEPT  
1926, 1979

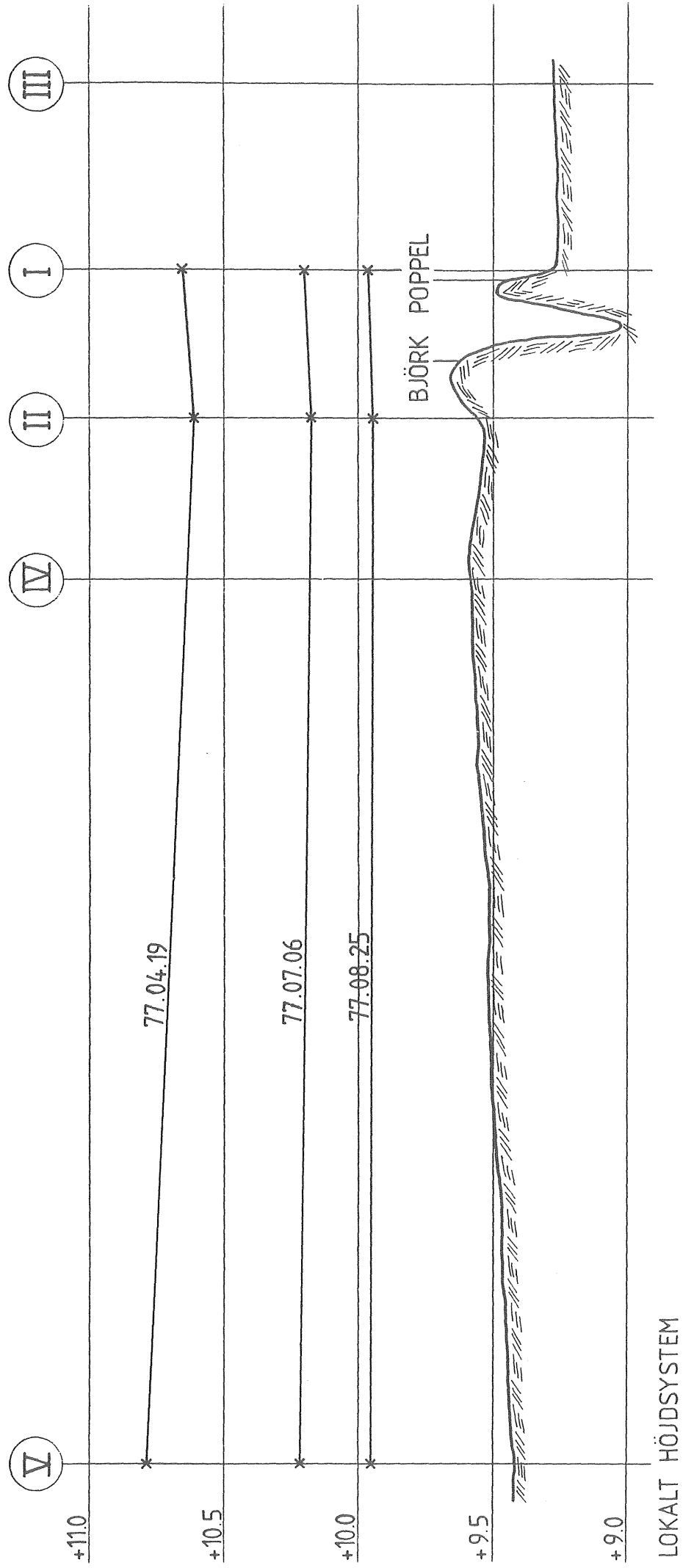
VARDE

SANNOLIKHET ATT VARDET UNDERSKRIDES



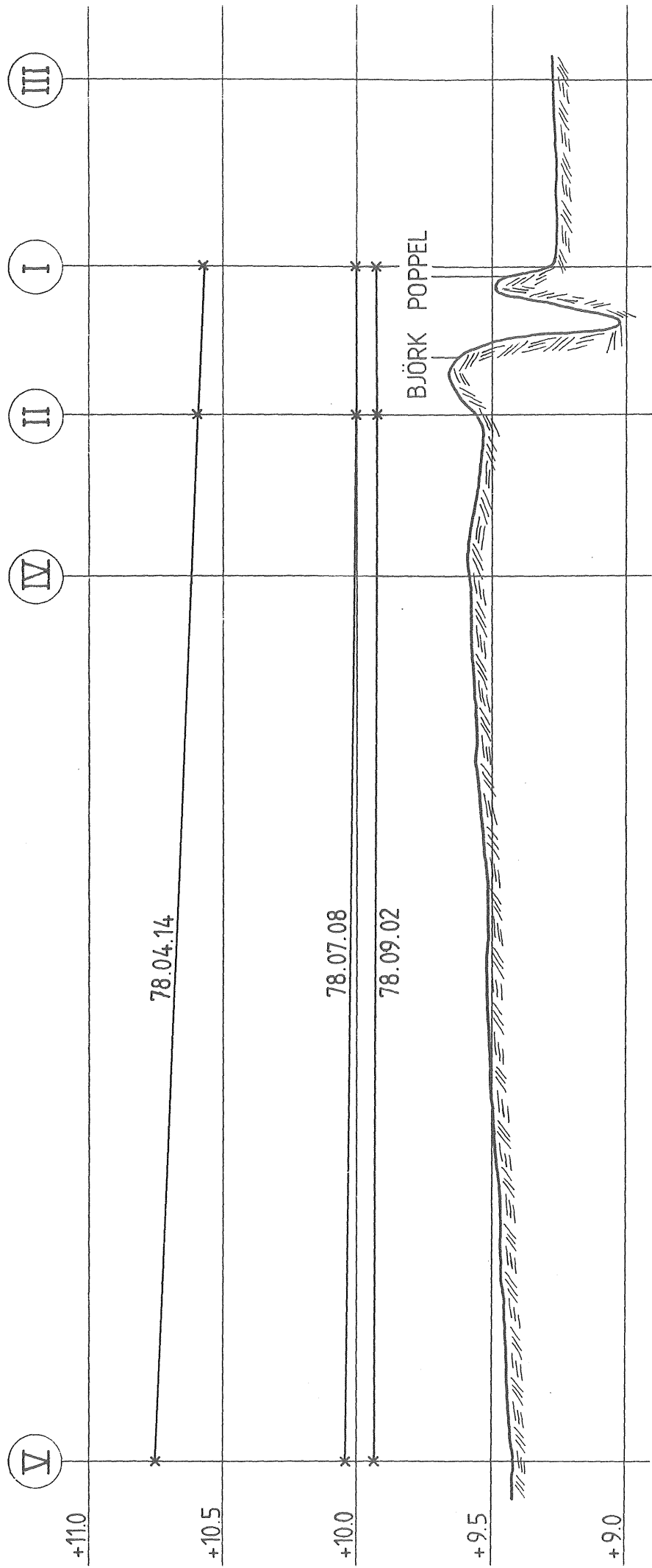
APPENDIX E

Jämförelser av grundvattentrycknivåer  
vid skilda tidpunkter



GRUNDVATTENTRYCKNIVÅER APRIL - SEPTEMBER 1977

SKALA L=1:200  
H=1:20

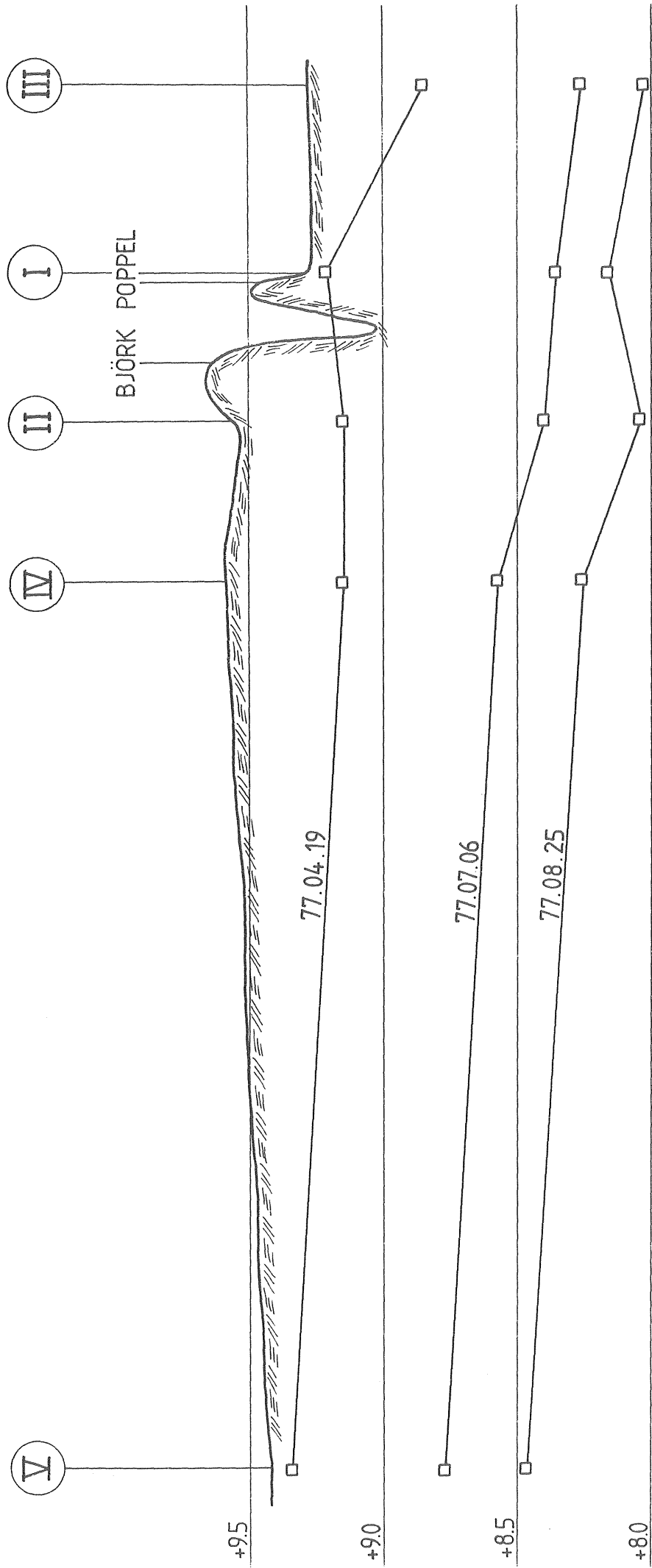


GRUNDVATTENTRYCKNIVÅER APRIL - SEPTEMBER 1978

SKALA L = 1:200  
H = 1:20

## APPENDIX F

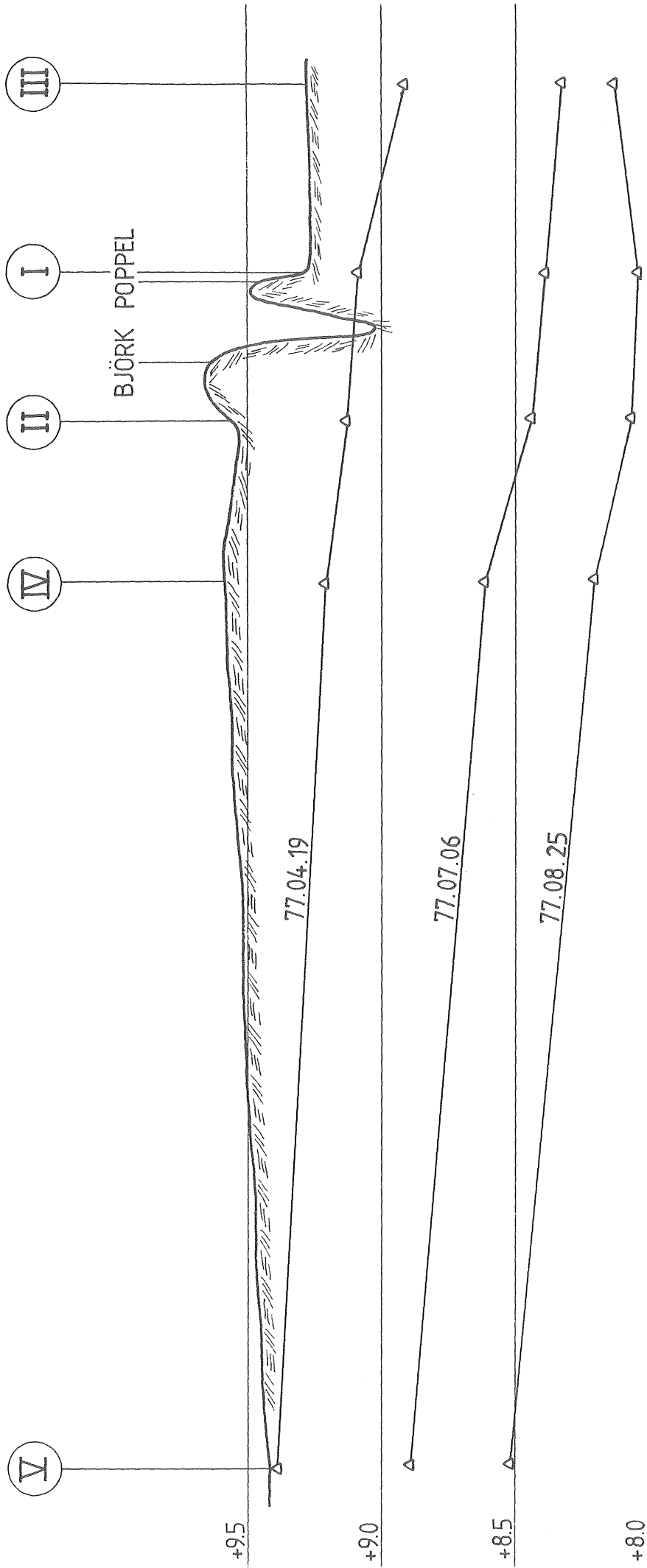
Jämförelse av portrycknivåer vid skilda  
tidpunkter



LOKALT HÖJDSYSTEM

PORTRYCKSNIVÅER PÅ DJUPET 2M  
UNDER VAREN OCH SOMMAREN 1977

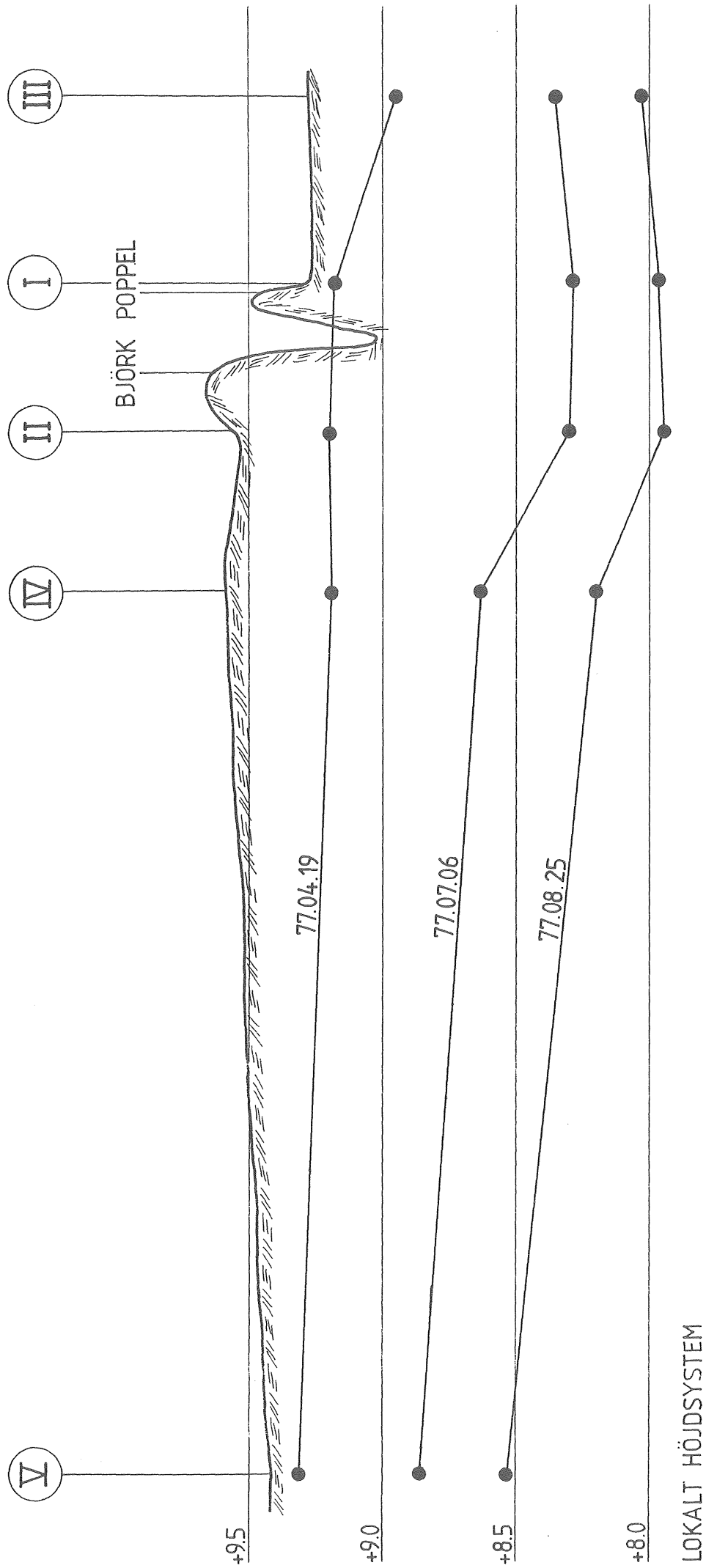
SKALA L = 1:200  
H = 1:20



LOKALT HÖJDSYSTEM

PORTRYCKSNIVÅER PÅ DJUPET 3M  
UNDER VÄREN OCH SOMMAREN 1977

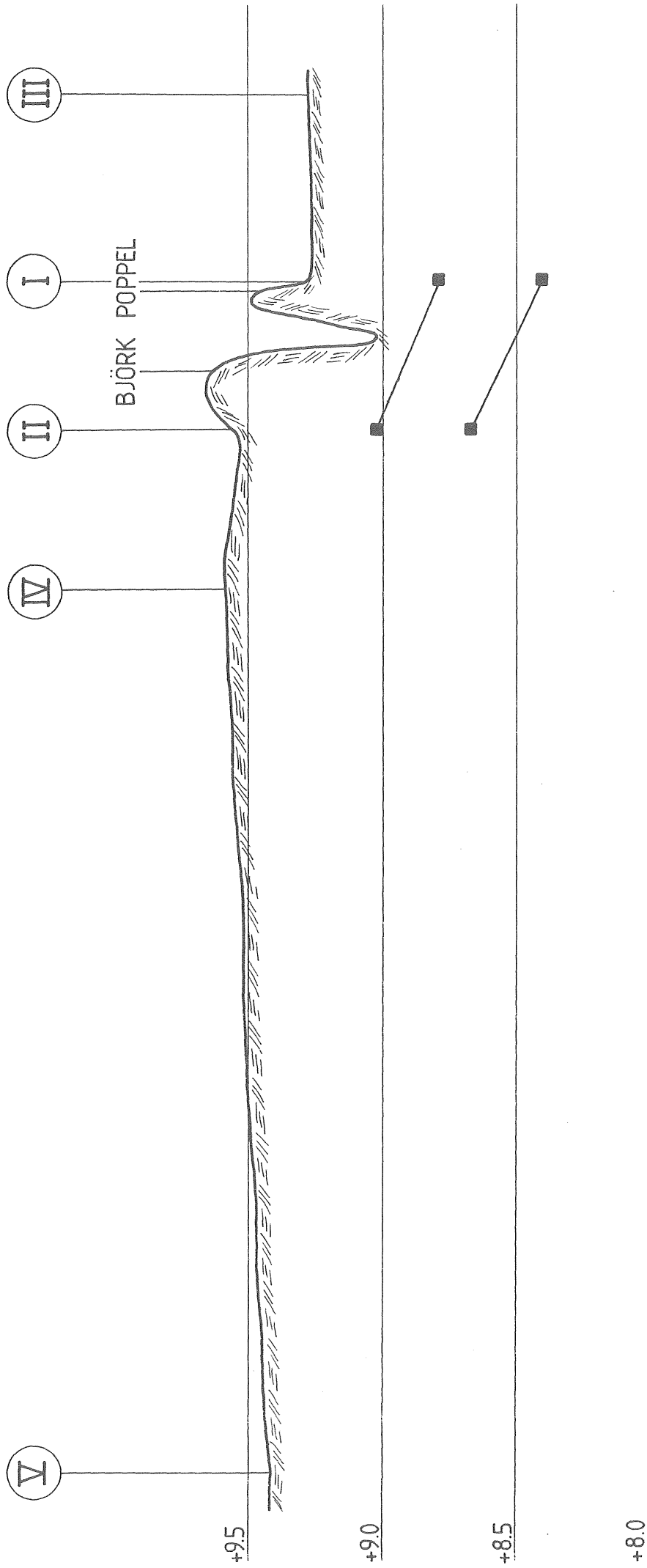
SKALA L = 1:200  
H = 1:20



PORTRYCKSNIVÅER PÅ DJUPET 5M  
UNDER VÅREN OCH SOMMAREN 1977

SKALA L = 1:200  
H = 1:20

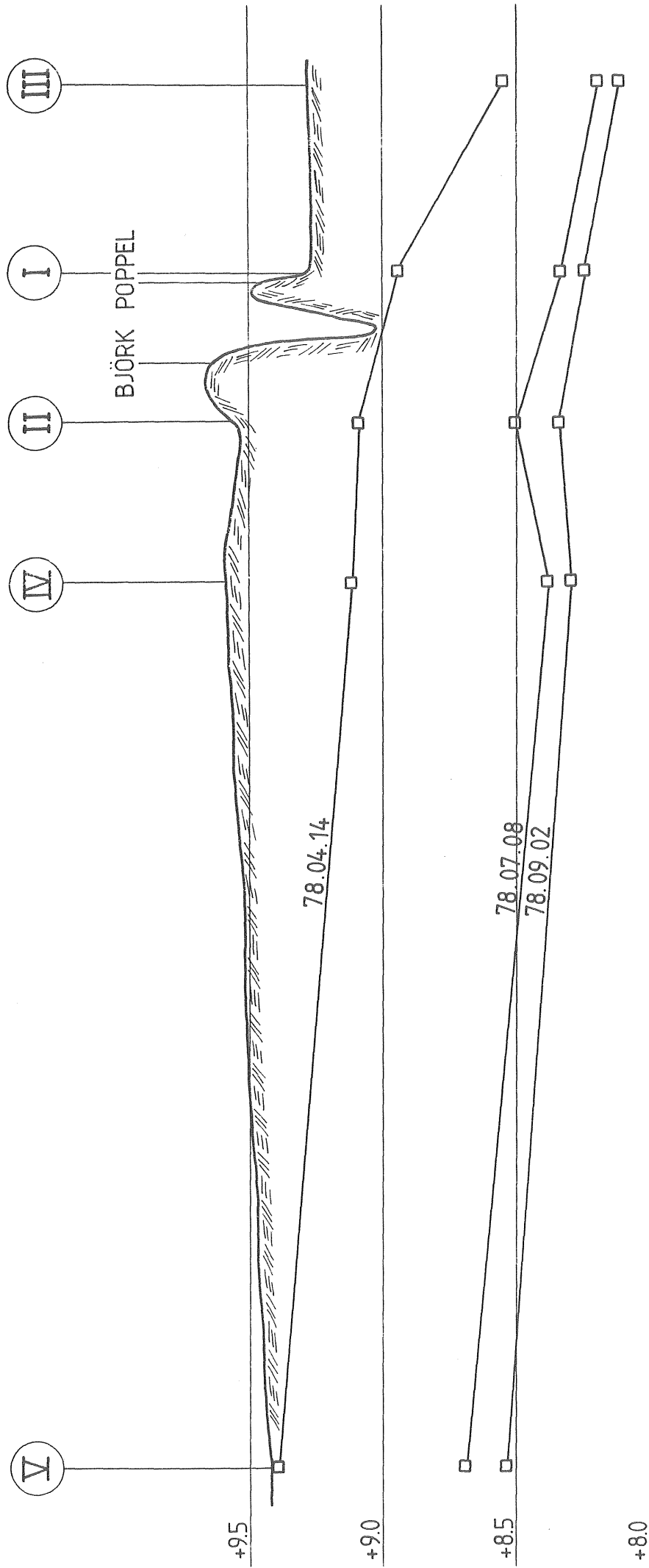




LOKALT HÖJDSYSTEM

PORTRYCKSNIVÅER PÅ DJUPET 7M  
 UNDER VÅREN OCH SOMMAREN 1977

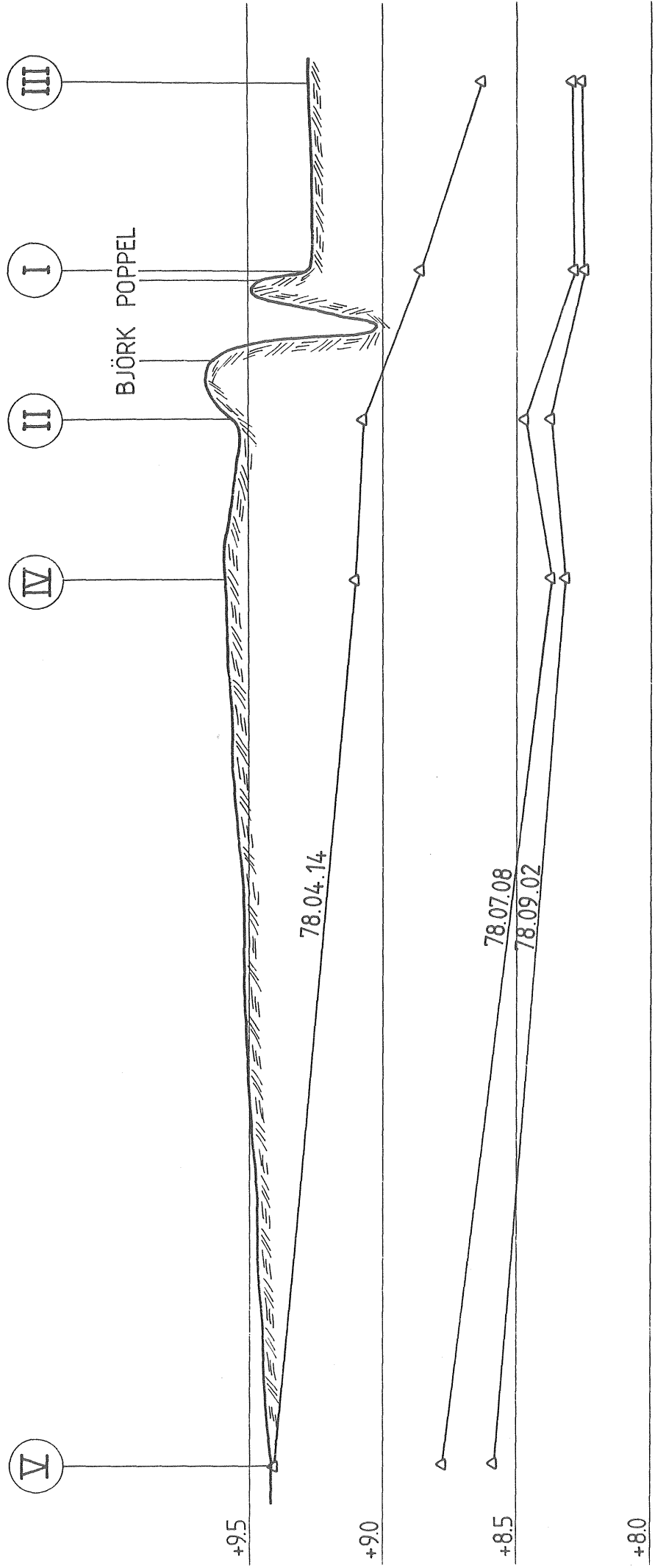
SKALA L=1:200  
 H=1:20



LOKALT HÖJDSYSTEM

PORTRYCKSNIVÅER PÅ DJUPET 2M  
UNDER VÅREN OCH SOMMAREN 1978

SKALA L=1:200  
H=1:20



BJÖRK POPPEL

78.04.14

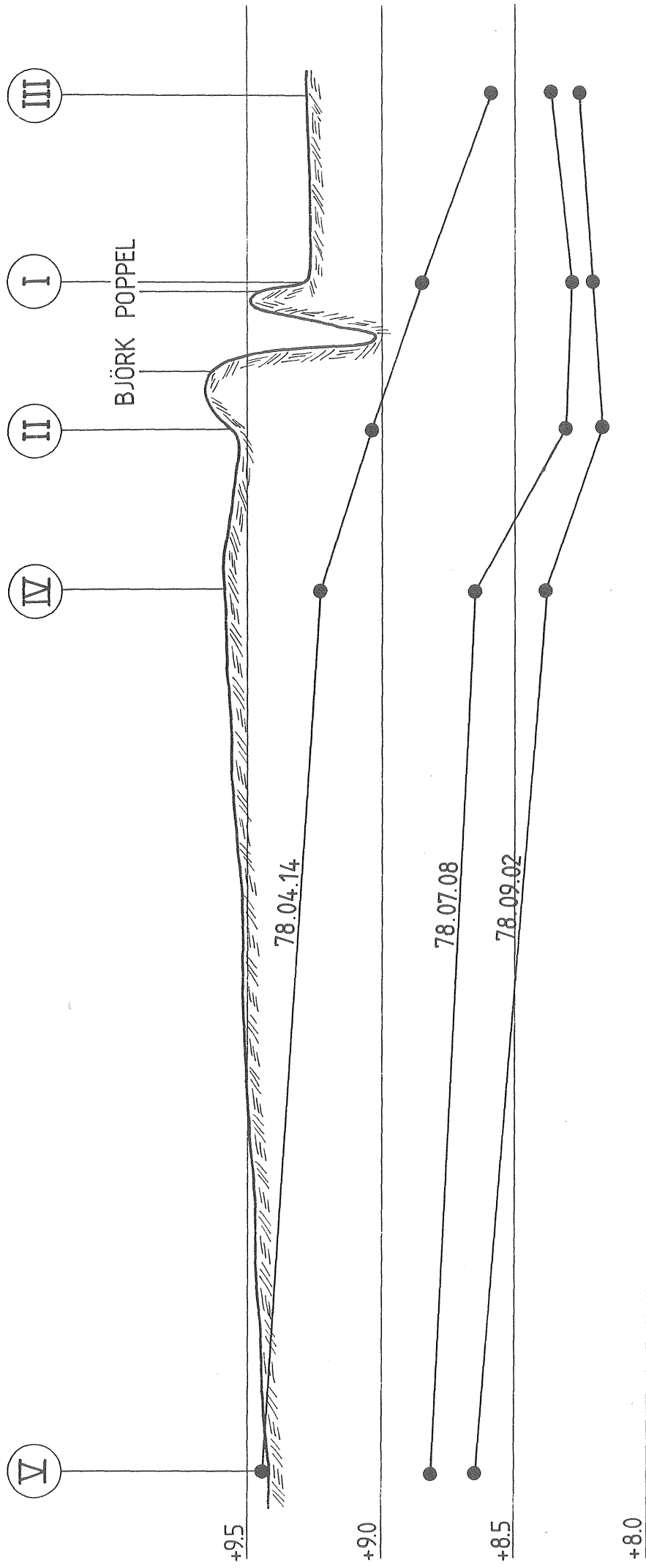
78.07.08

78.09.02

LOKALT HÖJDSYSTEM

PORTRYCKSNIVÅER PÅ DJUPET 3M  
UNDER VÅREN OCH SOMMAREN 1978

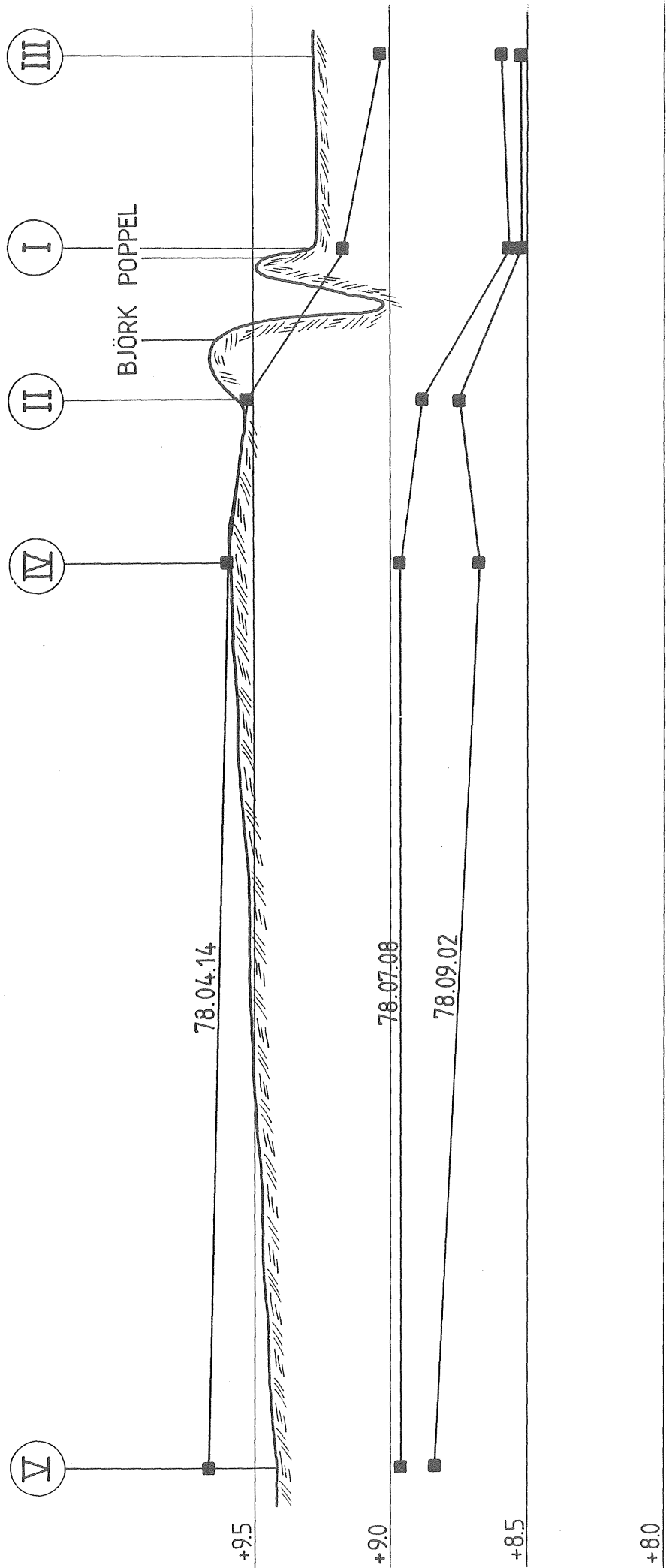
SKALA L = 1:200  
H = 1:20



LOKALT HÖJDSYSTEM

PORTRYCKSNIVÅER PÅ DJUPET 5M  
UNDER VÅREN OCH SOMMAREN 1978

SKALA L = 1:200  
H = 1:20



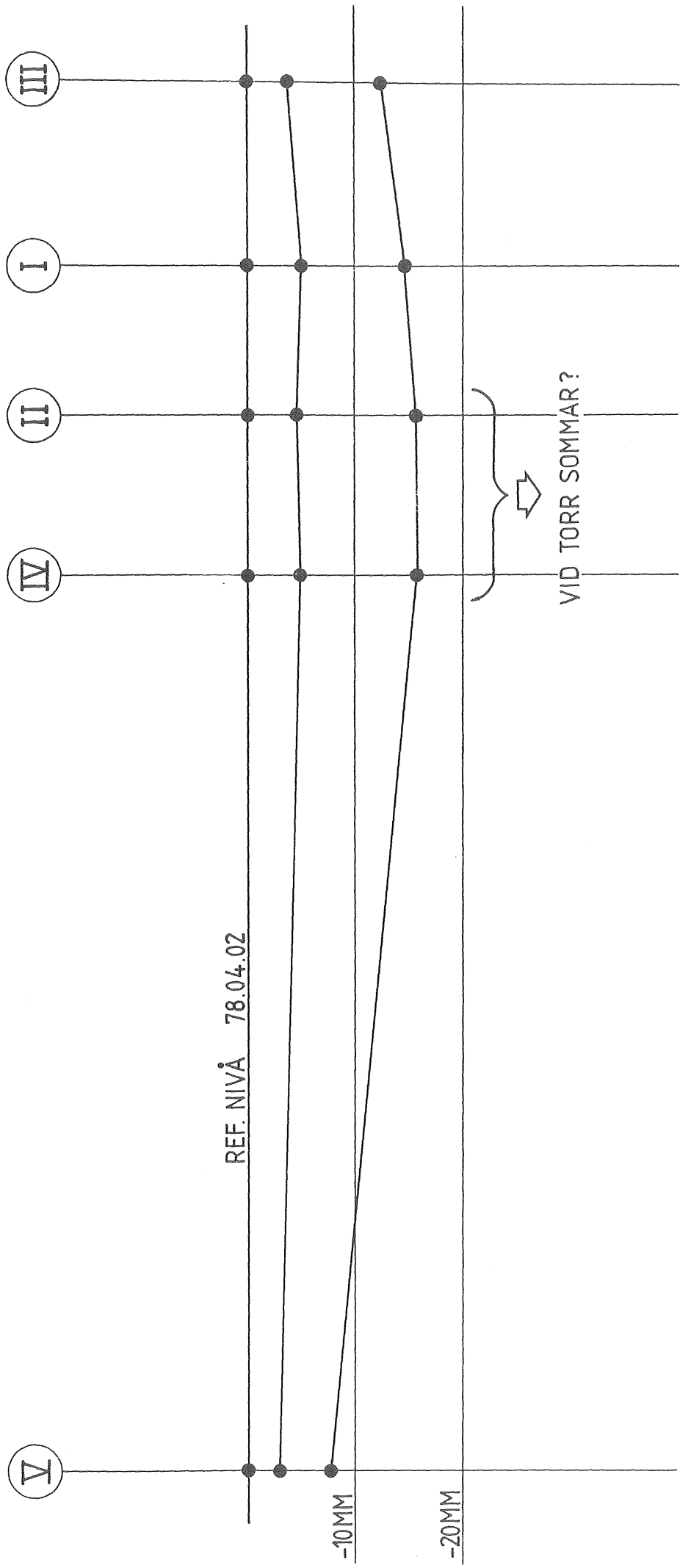
LOKALT HÖJDSYSTEM

PORTRYCKSNIVÅER PÅ DJUPET 7M  
UNDER VÅREN OCH SOMMAREN 1978

SKALA L = 1:200  
H = 1:20

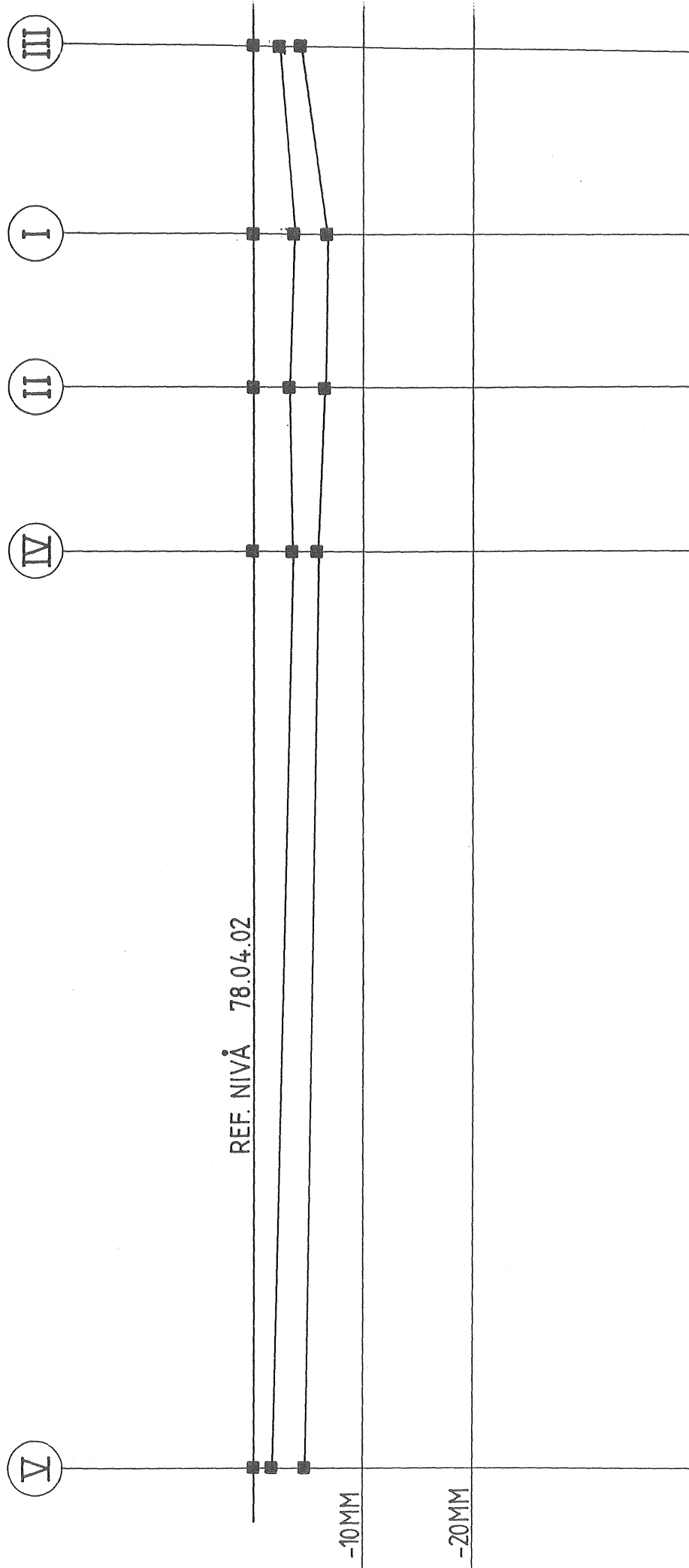
## APPENDIX G

Jämföresler av vertikallrörelser vid skilda  
tidpunkter



JÄMFÖRELSE AV VERTIKALRÖRELSER I PEGEL 0.2 M U. MY  
 UNDER VÅREN OCH SOMMAREN 1978

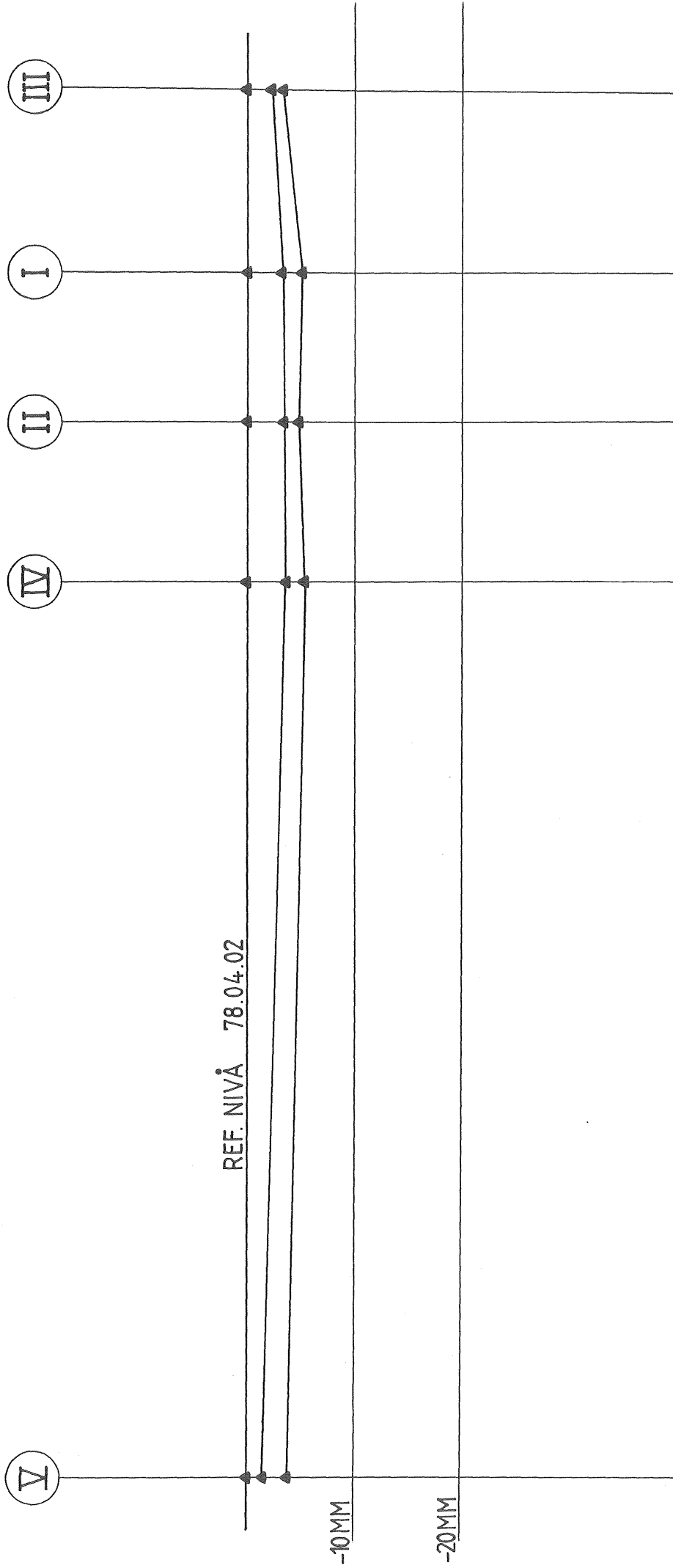
SKALA L= 1:200



JÄMFÖRELSE AV VERTIKALRÖRELSE I PEGEL 1.00 M U. MY  
 UNDER VÅREN OCH SOMMAREN 1978

SKALA L=1:200





JÄMFÖRELSE AV VERTIKALRÖRELSER I PEGEL 1.65M U.M.Y  
 UNDER VÅREN OCH SOMMAREN 1978

SKALA L=1:200

APPENDIX H

Botanisk kartering

Artlista

Ört- och gräsarters relativa bladyta

Artlista över samtliga noterade högre växter

ÄNG

Örter

<i>Achillea millefolium</i>	rölleka
<i>A. ptarmica</i>	nysört
<i>Alchemilla vulgaris</i>	daggkäpa
<i>Anthriscus silvestris</i>	hundkäv
<i>Bunias orientalis</i>	ryssgubbe
<i>Centaurea jacea</i>	rödclint
<i>Chamaenerion angustifolium</i>	rallarros
<i>Chrysanthemum leucanthemum</i>	prästkragen
<i>Cirsium arvense</i>	åkertistel
<i>Convolvulus arvensis</i>	åkerbinda
<i>Epilobium tetragonum</i>	kantdunört
<i>Equisetum arvense</i>	åkerfräken
<i>Euphorbia helioscopia</i>	revormstörel
<i>Galium mollugo</i>	stormåra
<i>Geranium sanguineum</i>	blodnäva
<i>Hypericum maculatum</i>	fyrkantig johannesört
<i>Knautia arvensis</i>	åkervädd
<i>Lathyrus montanus</i>	gökärt
<i>L. pratensis</i>	gulvial
<i>Linaria vulgaris</i>	gulsporre
<i>Matricaria inodora</i>	baldersbrå
<i>Medicago lupulina</i>	humlelucern
<i>Melilotus altissimus</i>	stor sötväppling
<i>Potentilla argentea</i>	femfingerört
<i>P. erecta</i>	blodrot
<i>Rumex acetosa</i>	ängssyra
<i>R. acetosella</i>	bergssyra
<i>R. crispus</i>	krusskräppa
<i>Stellaria graminea</i>	grässtjärnblomma
<i>Taraxacum vulgare</i>	maskros
<i>Trifolium hybridum</i>	alsikeklöver
<i>T. pratense</i>	rödklöver
<i>Tragopodon pratensis</i>	ängshaverrot
<i>Urtica dioica</i>	brännässla
<i>Veronica chamaedrys</i>	teveronika
<i>Vicia cracca</i>	kråkvicker

### Gräs

Agropyron repens	kvickrot
Agrostis tenuis	rödven
Alopecurus pratensis	ängskavle
Avena elatior	knylhavre
Dactylis glomerata	hundäxing
Holcus lanatus	luddtåtel
Phleum pratensis	timotej
Poa annua	vitgröe

### DIKE

### Träd

Betula verrucosa	vårtbjörk
Fraxinus excelsior	ask
Populus sp	poppel
P. tremula	asp
Sorbus aucuparia	rönn

### Buskar

Crataegus sp	hagtorn
Populus sp	poppel
Prunus spinosa	slån
Rosa canina	nyponros
Rubus idaeus	hallon

### Örter

Aegopodium podagraria	kirskål
Anthriscus silvestris	hundkåx
Cirsium arvense	åkertistel
Dryopteris filix-mas	träjon
Epilobium montanum	bergdunört
Equisetum arvense	åkerfräken
Filipendula ulmaria	älgört

Galeopsis tetrahit	pipdån
Geum urbanum	nejlikrot
Hypericum maculatum	fyrkantig johannesört
Polygonum amphibium	vattenpilört
Ranunculus repens	revsmörblomma
Stachys palustris	knölsyska
Urtica dioica	brännässla

Gräs

Agropyron repens	kvickrot
Dactylis glomerata	hundäxing

Ört- och gräsarters relativa bladyta

Mätstn	Art	Bladyta, %
1	kirskål	70
	kvickrot	10
	åkertistel	15
	hallon	
	åkerfräken	
2	kvickrot	30
	åkertistel	30
	hundkåx	15
	åkerfräken	10
	hundäxing	10
3	kirskål	40
	åkertistel	15
	kvickrot	15
	hundäxing	10
	åkerfräken	5
	gulvial	10
	nässla	
hundkåx		
4	åkertistel	30
	hundkåx	20
	kvickrot	20
	hundäxing	10
	mårör	15
	kråkvicker	
ängsgröe		
5	hundkåx	25
	åkertistel	25
	kvickrot	20
	hundäxing	20
	daggkåpa	5
	nässla	

APPENDIX I

Fallstudie I

Plan

Vattenkvoter och konflytgränser

Vertikala mark- och husrörelser

Sprickrörelser

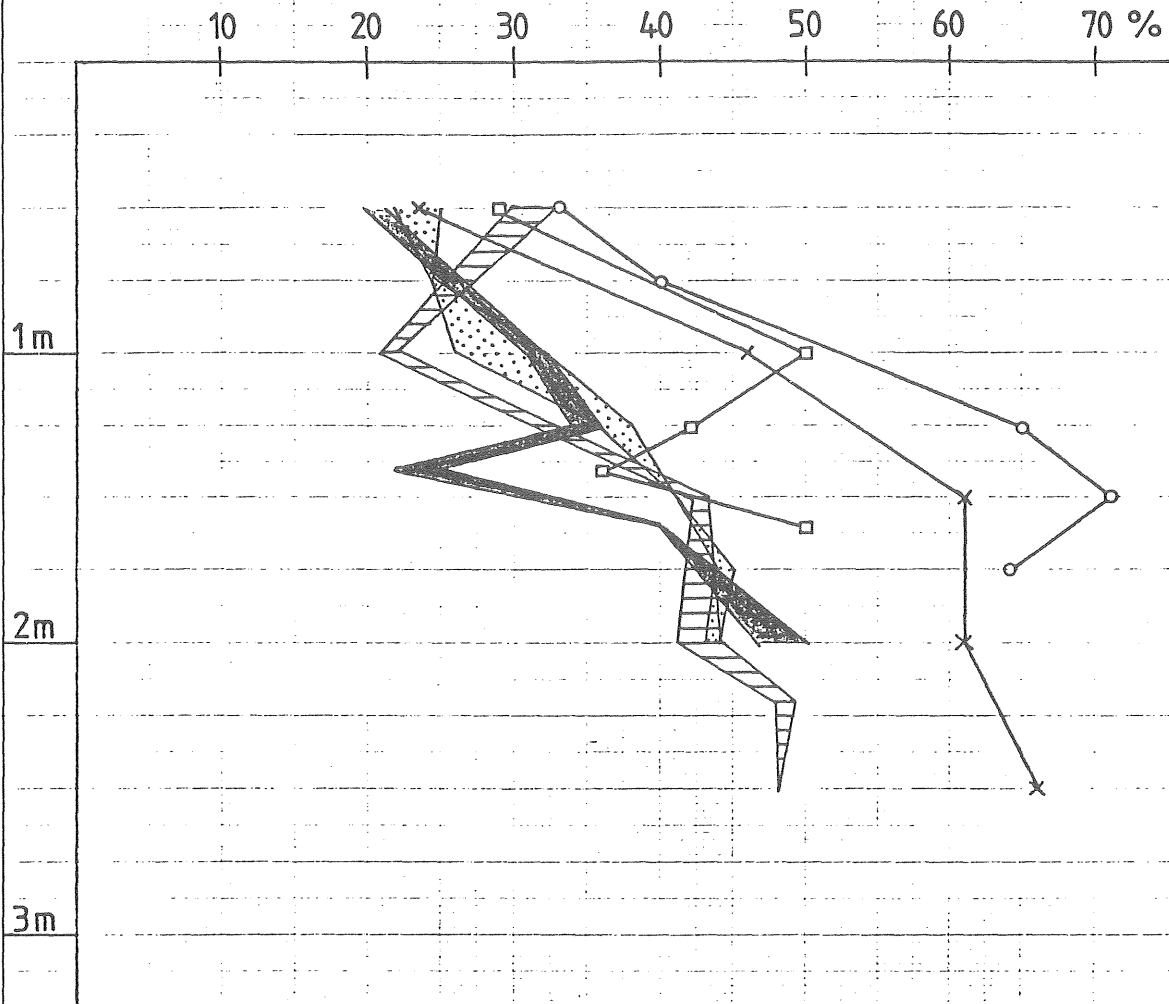










# BORRPUNKT 1, 2 o 3

ANALYSER AV PROVER UPPTAGNA 77.12.19  
VATTENKVOTER OCH KONFLYTGRÄNSER

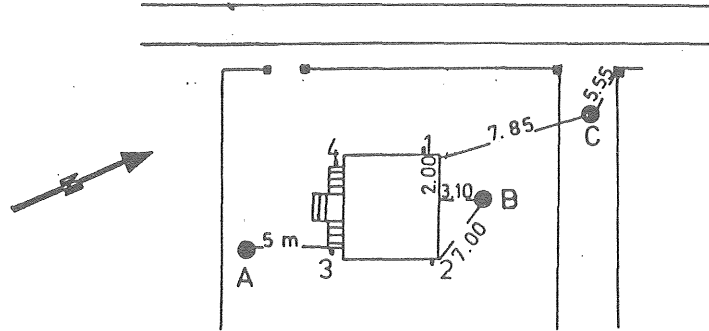
FIG.



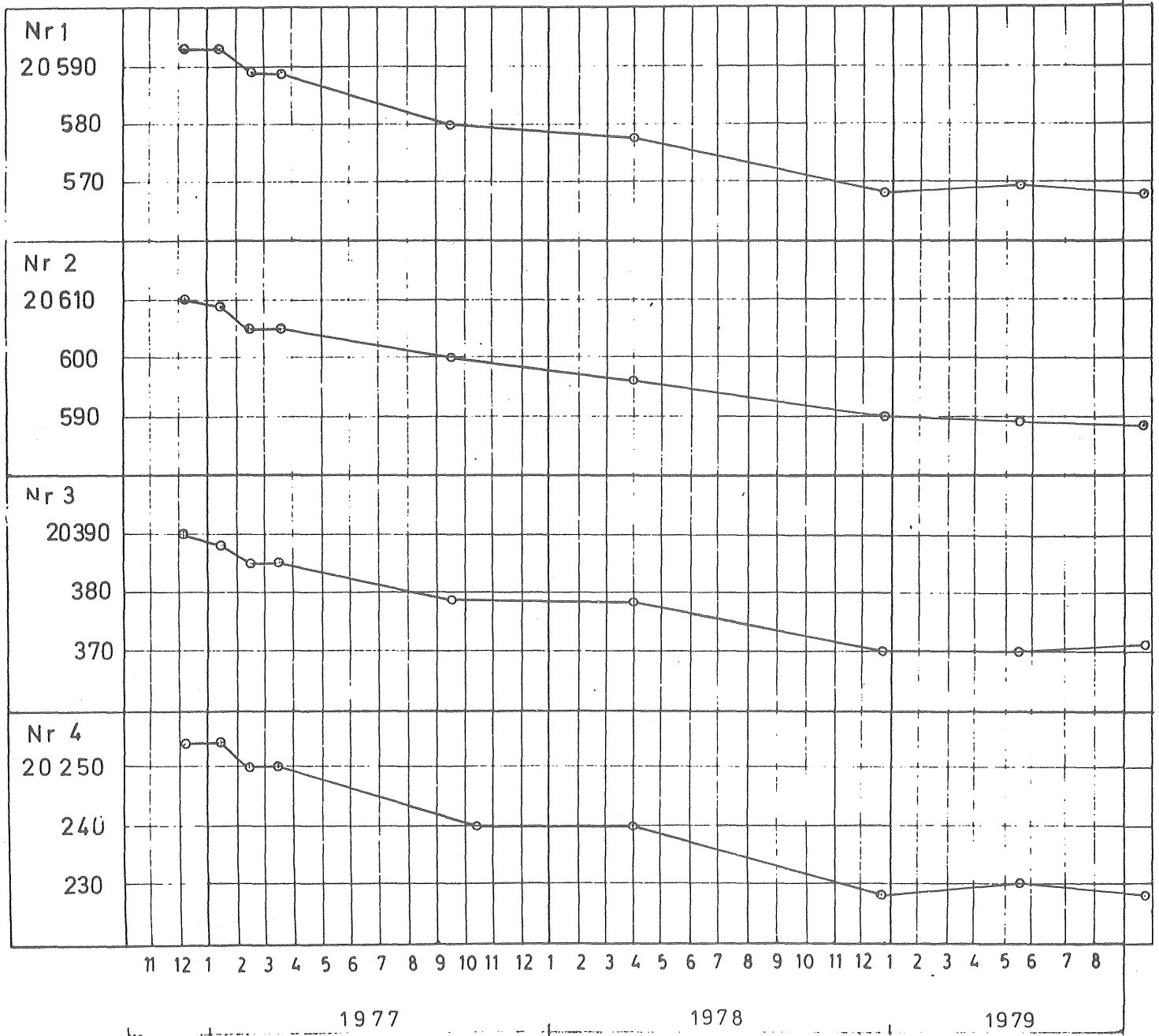
-  VATTENKVOT (w) I BORRPUNKT 1
-  \_\_\_\_\_ || \_\_\_\_\_ 2
-  \_\_\_\_\_ || \_\_\_\_\_ 3
-  KONFLYTGRÄNS (w<sub>L</sub>) I BORRPUNKT 1
-  \_\_\_\_\_ || \_\_\_\_\_ 2
-  \_\_\_\_\_ || \_\_\_\_\_ 3

HÖJDOBSERVATIONER AV FASTIGHETER

Namn: .....  
 Stadsdel: .....  
 Kvarter-Tomt: **FASTIGHET B** .....  
 Stg: .....  
 Adress: .....

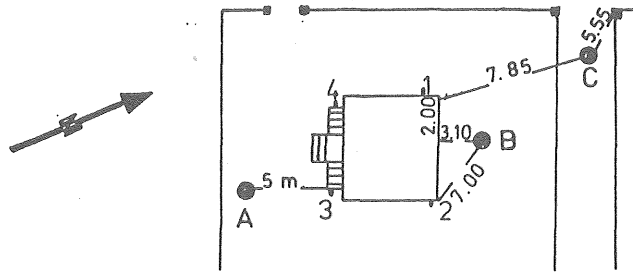


kala 1:1

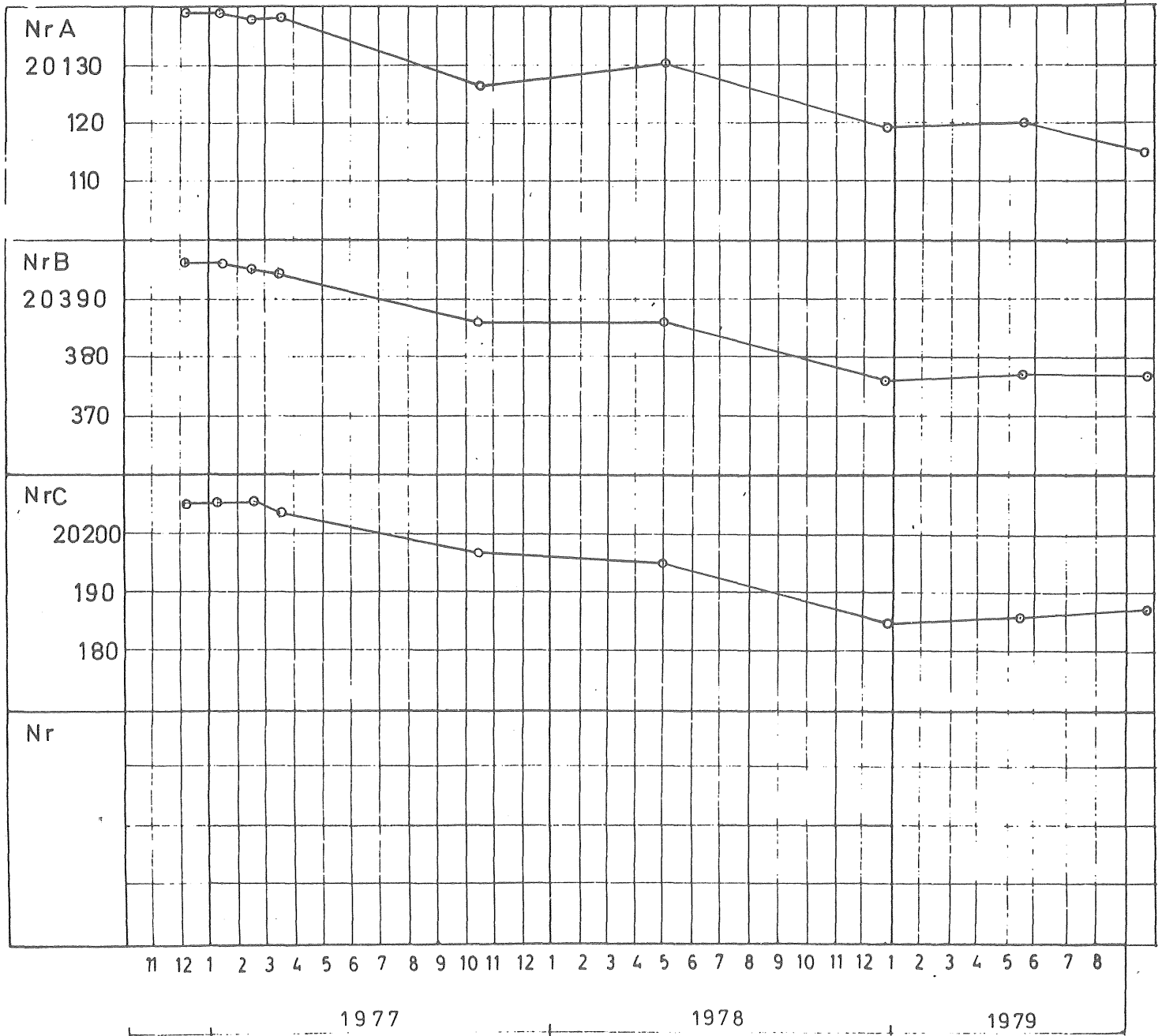


HÖJDOBSERVATIONER AV FASTIGHETER

Namn: .....  
 Stadsdel: .....  
 Kvarter-Tomt: **FASTIGHET B** .....  
 Stg: .....  
 Adress: .....



kala 1:1

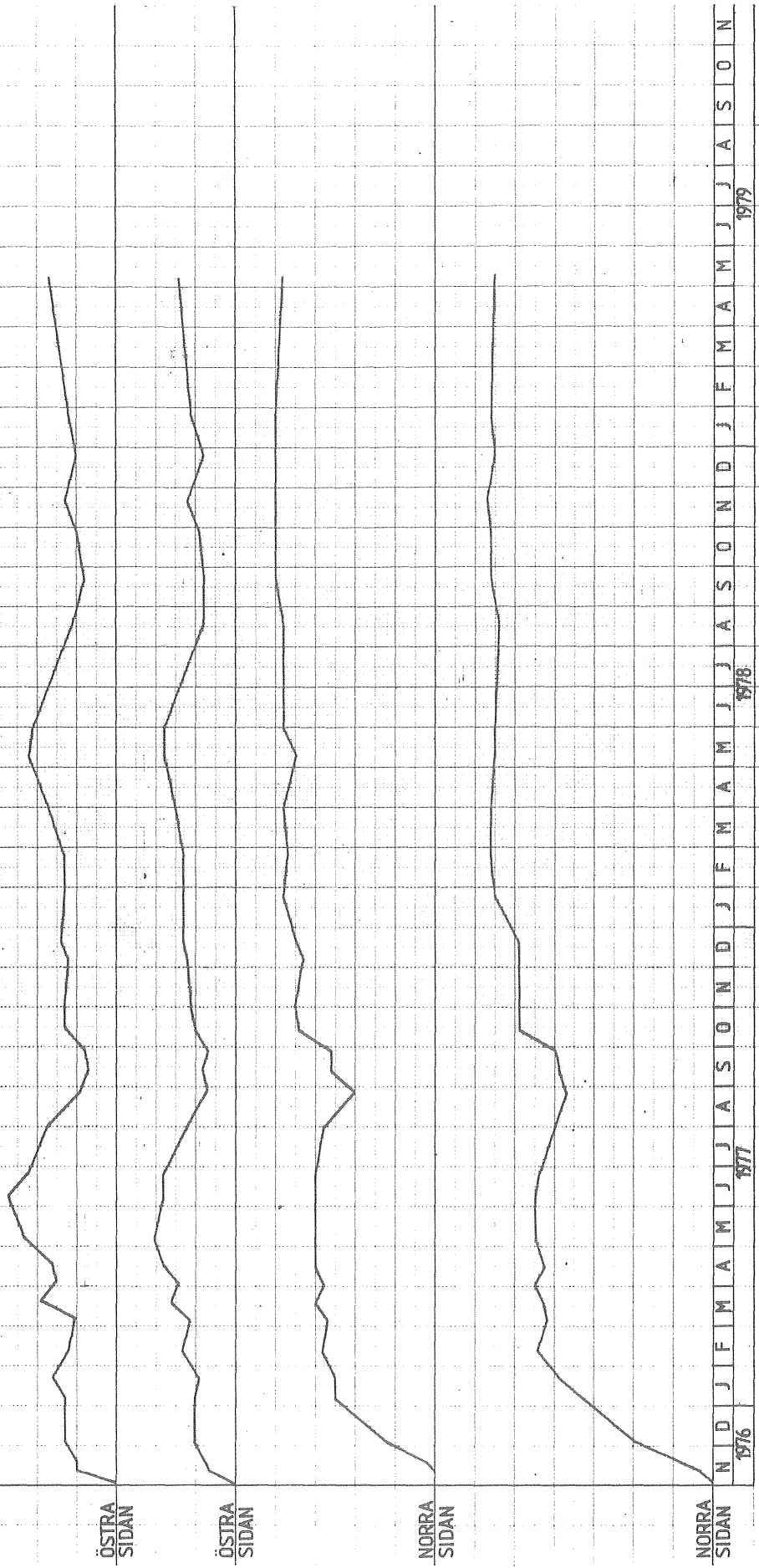


# FASTIGHET B

MÄTNING AV SPRICKRÖRELSER

SKALA H=1:10

SPRICKAN  
↑HOP



NORRA  
SIDAN

SPRICKAN  
↑ISAR

N D J J F M A M J J A S O N D J F M A M J J A S O N  
1976 1977 1978 1979

APPENDIX K

Fallstudie II

Utlåtande från VIAK AB

Mark- och hussättningar

Sättningar inom fastigheten A

Grundvatten- och portrycksmätningar

### Orientering

På Hisingen i Göteborg har bl a en spillvattentunnel byggd 1969 orsakat grundvattensänkningar. Jorden i dalgångarna består oftast av lera med relativt tunna lager av friktionsjord under.

Avsänkningen har på stora delar storleksordningen 5 - 8 m intill tunneln, vilket inneburit att jordens förkonsolideringstryck överskridits och sättningar uppstått.

På en gata kallad Ö-gatan belägen ca 1 km från tunneln har sättningsförloppen mätts sedan början av 1976 genom precisionsavvägning på mässingsdubbar i hussocklarna samt på markpeglar. Orsaken till avvägningarna var att några husägare hävdade att deras hus fått kraftiga skador genom snedsättningar, som de ansåg berodde på en grundvattensänkning förorsakad av tunneln.

### Fältundersökningar

Lerans mäktighet bestämdes genom trycksondering i två punkter. Porvattentrycket och grundvattentrycket registrerades i två mätstationer.

### Resultat av fältundersökningarna

Trycksonderingarna visar att jorden utgörs av kohesionsmaterial till 20 - 25 m djup. Portryckmätningarna visar att grundvattentrycket och porvattentrycket är avsänkt ca 2 m i bottendelarna och att trycket har sjunkit ca 5 m upp i jordprofilen varifrån tryckfördelningen i stort sett är hydrostatiskt till markytan.

### Skador

De flesta småhusen är oskadade längs Ö-gatan men ett hus uppvisar mycket kraftiga sättnings-skador. Entrépartiet har t ex gått ifrån huset och en 10 cm bred spalt har uppstått. Framför huset stod 1975 en stor björk och ett stort körsbärsträd.

### Beräkningar

Sättningsdifferensen p g a husvikten har med hjälp av Newmarks influensnät beräknats uppgå till 1 mm mellan husmitt och husfasad vid lika lerdjup och avsänkning. Sättningsförloppet har beräknats med stöd av avvägningarna under januari 1976 - februari 1979 och antagandet att avsänkningen skedde i mitten av 1969, se bilaga.

Av bilaga framgår hur sättningshastigheten avtar med avståndet till tunneln. Sättningarna är likformiga utanför det skådade huset där en mersättning på 4 cm utbildats under vegetationsperioden 1976. Efter det att trädet huggits ned i oktober 1976 har ingen avvikelse från den teoretiska tid-sättningskurvan erhållits.

### Portryckmätningar

Under vegetationsperioden 1976 uppmättes i portryckmätaren på 2 m djup intill björken negativa portryck alltså tryck lägre än atmosfärstrycket. I portryckmätaren på andra sidan gatan var trycken vid samma tillfälle drygt 1 m v.p. högre på samma nivå.

### Sammanfattning

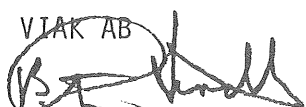
De inom Ö-gateområdet pågående jämna sättningarna bedöms inte ge upphov till skador på småhusen. Däremot har under vegetationsperioden 1976 vattenuppsugning till en björk förorsakat en sättning av storleksordningen 5 cm.

Portryckmätningarna visar att björkens vattenuppsugning varit så kraftig att trycket i jorden varit lägre än atmosfärstrycket.

Sedan björken huggits ned har snedsättningarna upphört.

Göteborg 1979

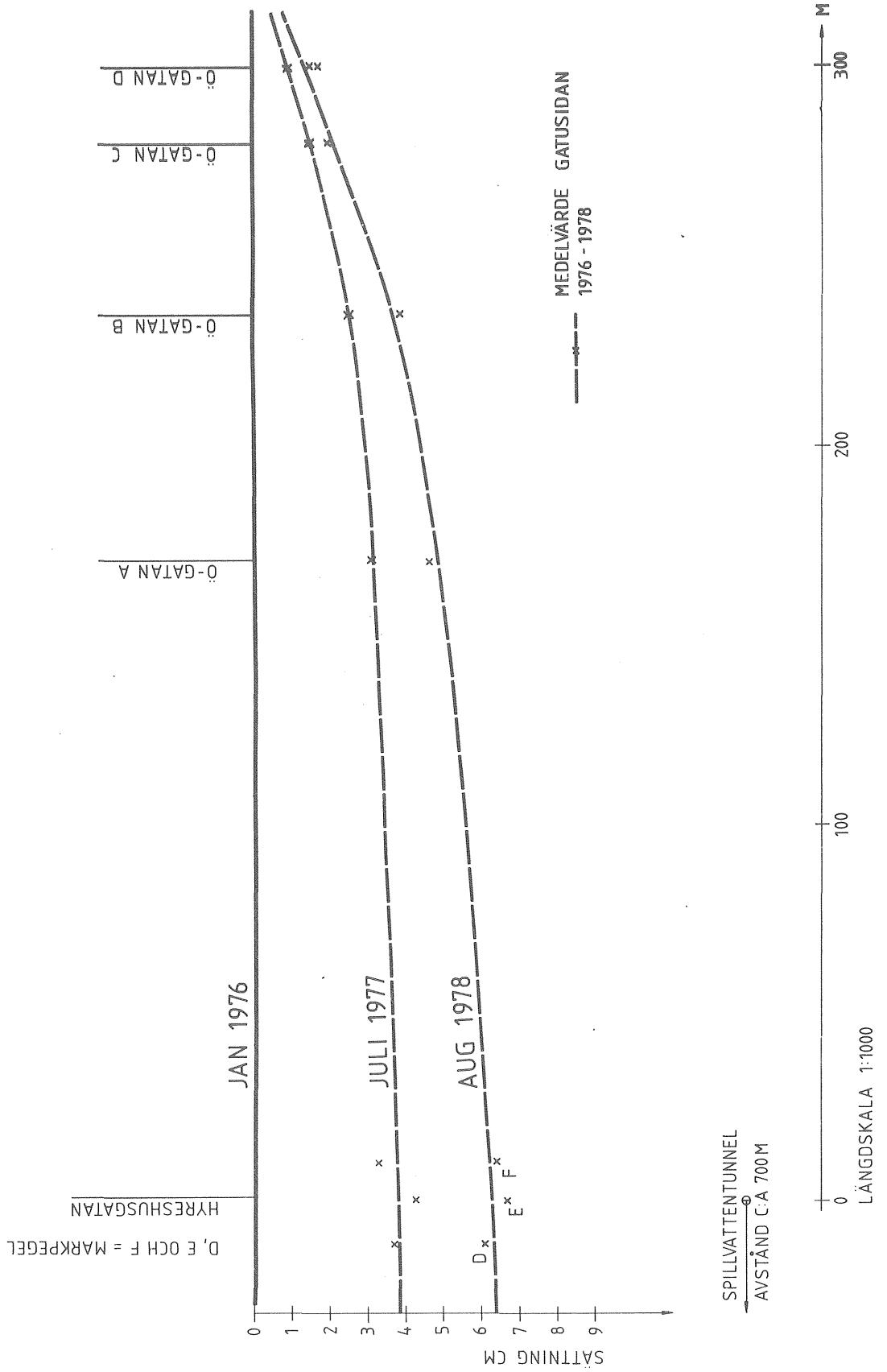
VIAR AB



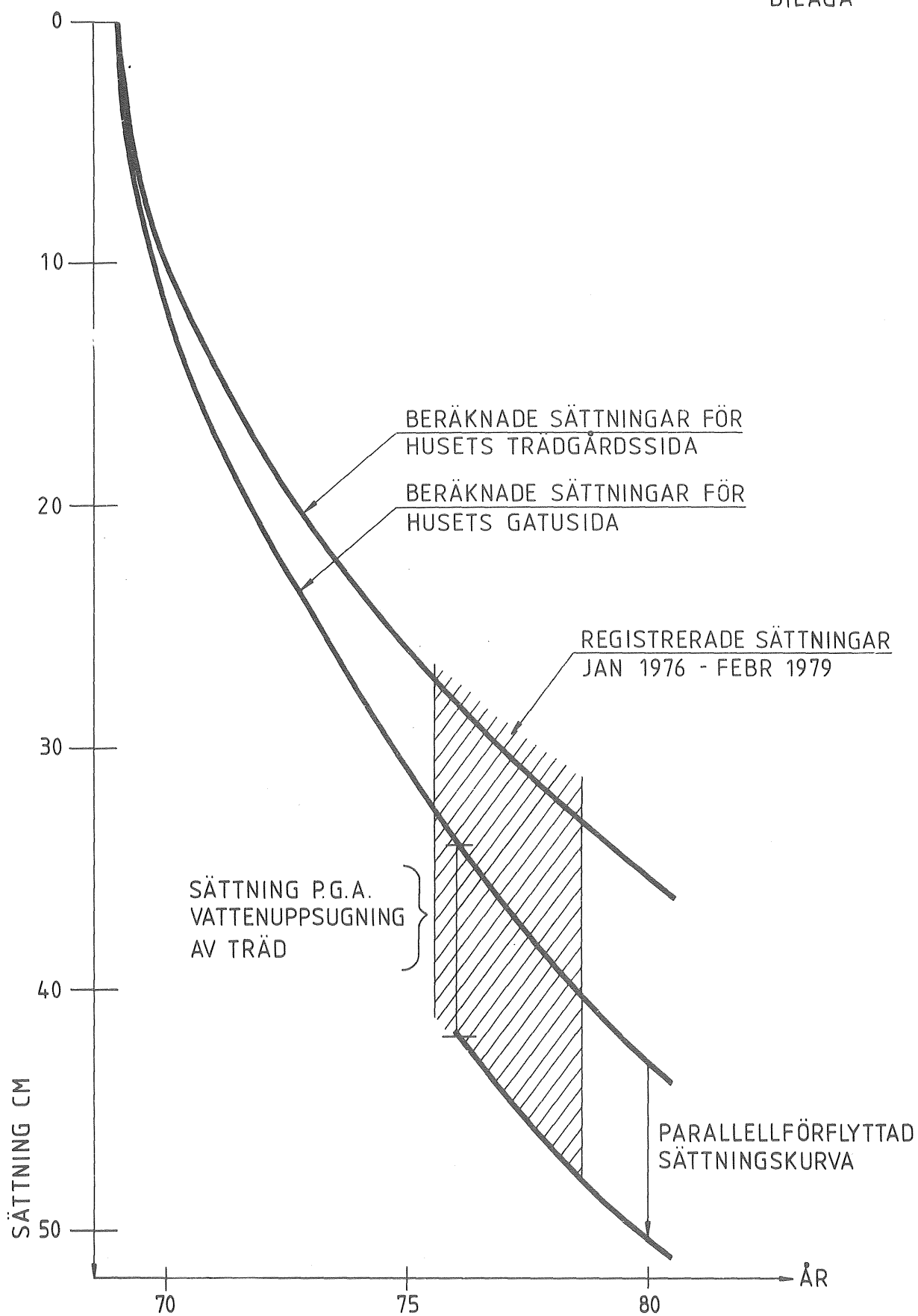
B. Göran Lindh

BILAGA

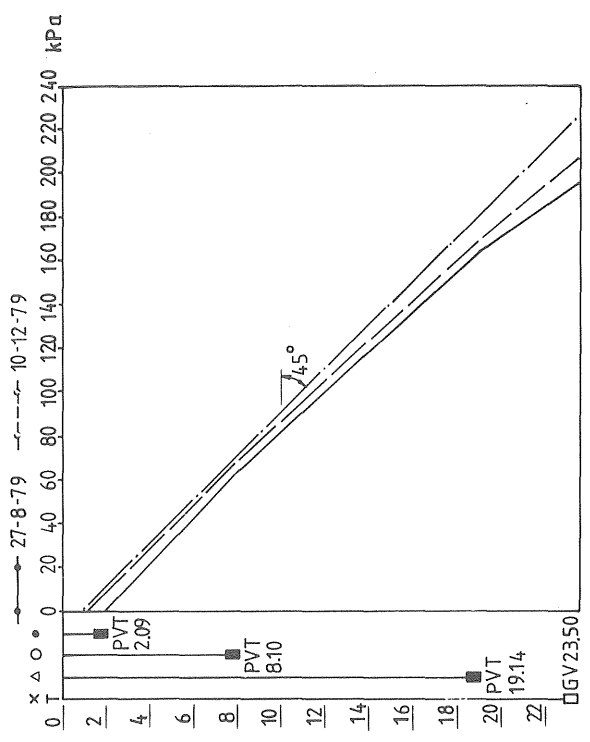
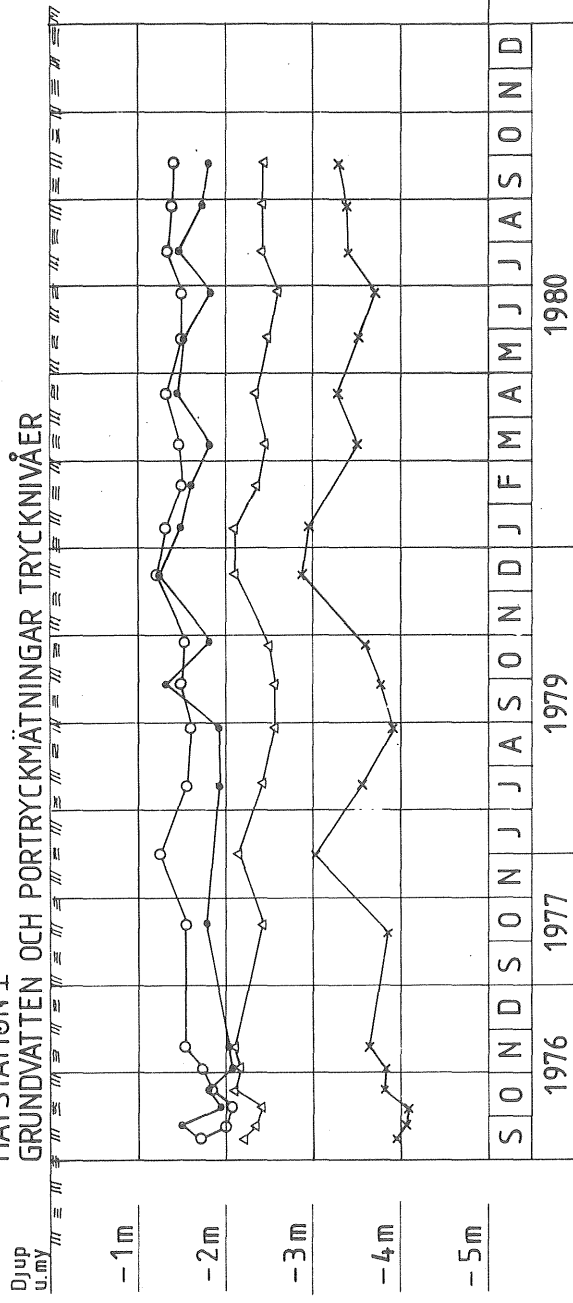
SEKTION GENOM HYRESHUSGATAN  
OCH Ö-GATAN.  
SÄTTNINGAR







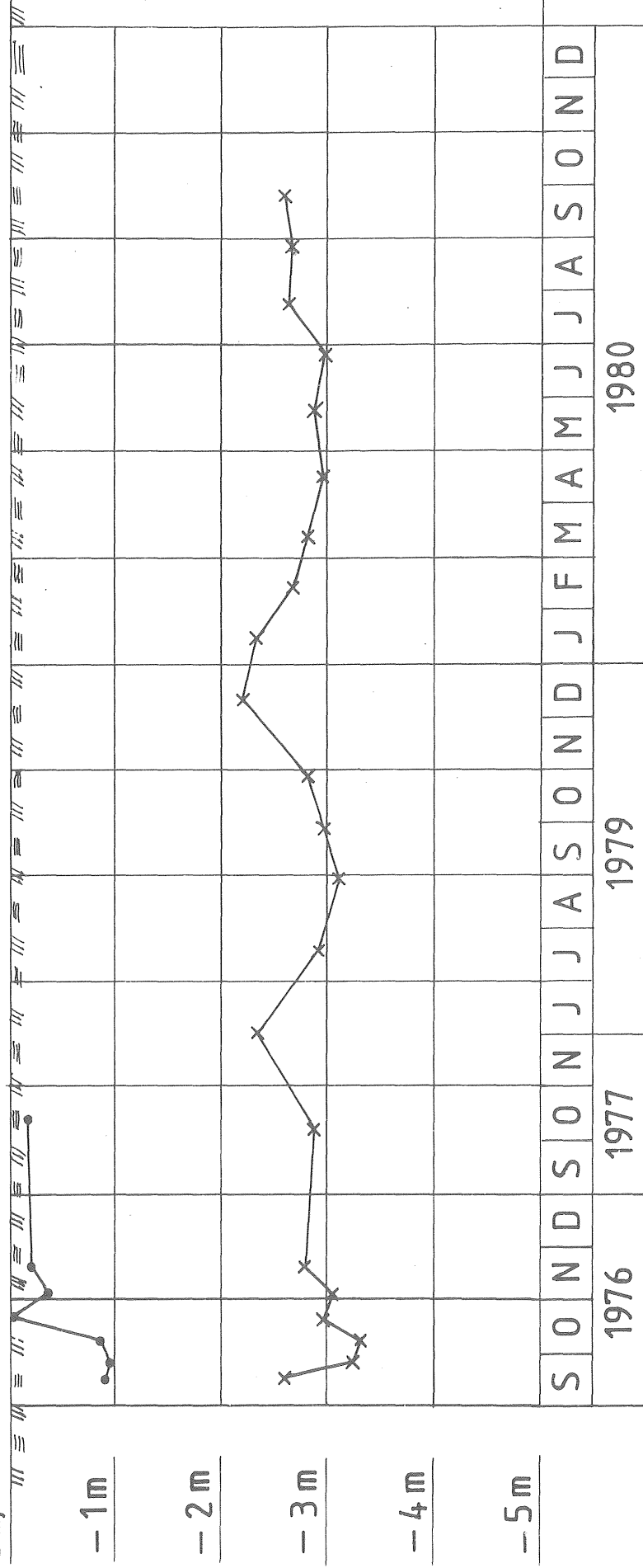
FALLSTUDIE II  
 MÄTSTATION I  
 GRUNDVATTEN OCH PORTRYCKMÄTNINGAR TRYCKKNIVÅER



# FALLSTUDIE II

## MÄTSTATION 2 och 3

Djup  
u. my



—●— Station II djup u my = 2.01 m (Porttryckmätare)

—x— Station III djup u my = 20.9 m (Grundvattenrör)

APPENDIX L

Fallstudie III

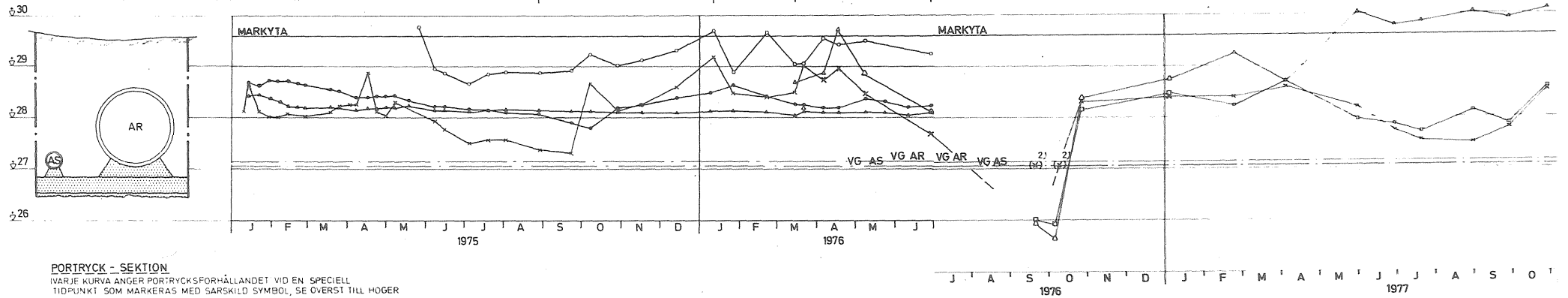
Portryckmätningar inom och invid en ledningsgrav

# GRUNDVATTENGEOTEKNISKA STUDIER INOM KÄRRAOMRÅDET, GÖTEBORG

## STATION 3

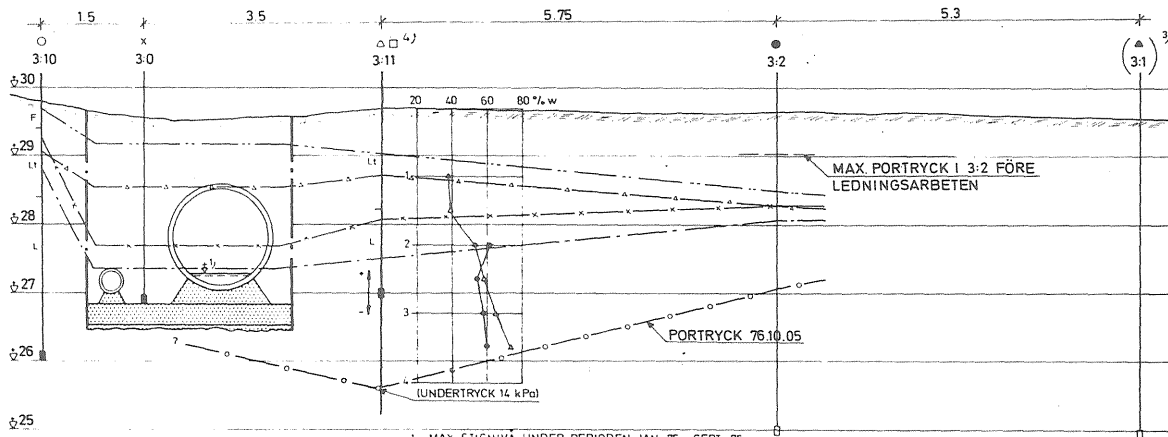
### PORTRYCK - TIDSDIAGRAM

IVARJE KURVA ANGER PORTRYCKSFÖRÄNDR MED TIDEN FÖR EN PORTRYCKSPETS.  
SPETSENS SYMBOL FRAMGÅR AV UNDERDIAGRAMMET



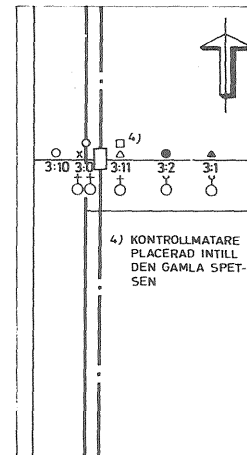
### PORTRYCK - SEKTION

IVARJE KURVA ANGER PORTRYCKSFÖRHÅLLANDET VID EN SPECIELL  
TIDPUNKT SOM MÄRKERAS MED SÄRSKILD SYMBOL, SE ÖVERST TILL HÖGER



ANM  
BET FÖR TYPA1 PORTRYCKMÄTARE SE FIG 5

1 MAX. STIGNIVÅ UNDER PERIODEN JAN -75 - SEPT -75  
2 REG. VÄRDE KAN VÄRA FRÅN INSTÄNGD VÄTTENMÄNGD  
3 MÄTAREN TROLIGEN UR FUNKTION FRÅN JULI -75



## REFERENSER

- Andersson, S, Viklert, P, Markfysikaliska undersökningar i odlad jord. Grundförbättring, 25 (1972).
- Arnborg, B, Palm, R, Sanberg, I, 1979. Träd och marksättningar. Rapport från byggforskningen R 105:1979.
- Baracos, A, Bozozuk, M, Seasonal Movements in Some Canadian Clays. Proceedings of the 4th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, London, Volume 1, pp 264-268.
- Berntson, J, Portryck kring VA-ledningar i lera, Statens råd för byggnadsforskning. Rapport R18:1978.
- Bjurström, G, Grundvattenytans nivåförändringar - konsekvenser från geoteknisk synpunkt, Statens råd för byggnadsforskning, Rapport T2:1977, Stockholm (1977).
- Bozozuk, M, Soil Shrinkage Damages Shallow Foundations at Ottawa, Canada. The Engineering Journal Canada, Volume 45, Number 7, July (1962)pp 33-37.
- Bozozuk, M, Burn, K.N., Vertical Ground Movements near Elm Trees. Géotechnique, The International Journal of Soil Mechanics, Volume X, March (1960), pp 19-32.
- Building Research Establishment. Drought Damage to Buildings. BRE News 38, London, Winter (1976).
- Burn, K,N, House Settlements and Trees. National Conference of Urban Engineering, Terrain Problems 7-8 May (1973). National Research Council, Canada, Technical Memorandum No 109, NRCC 13808, pp 41-65.
- Grahame, R,G, Trees as a Cause of Foundation Failure. Building Technology and Management, August (1973), pp 4-6, 13.
- Göteborgs VA-verk, Nederbörden i Göteborg. Årsrapporter 1977 och 1978, (1979).
- Hamilton, J,J, Volume Changes in Undisturbed Clay Profiles in Western Canada. Canadian Geotechnical Journal, Volume I, Number 1, September (1963), pp 27-42.
- Hamilton, J,J, Effects on Environment on the Performance of Shallow Foundations. Canadian Geotechnical Journal, Volume VI, Number 1, February (1969), pp 68-80.
- Halldén, B, Inverkan av träd på hus grundlagt på lera. Väg och Vattenbyggaren nr 4, 1976.
- Liedholm, M, Statistisk behandling av nederbördsdata, VIAK AB (opubl sencil) (1979).

- Lindh, B,G, Utlåtande angående sättningar hos fastigheter vid Ö-gatan, Göteborg, VIAK AB (opubl stencil) (1979).
- Odéhn, , Lund, , Fältkapacitet i relation till kapillär potential, gradient och ledningsförmåga. Grundförbättring Nr 3, Årg 12, Uppsala (1959).
- Palm, R, Sättningar orsakade av vegetation. Fallstudie i Enskededalen, Stockholm. Byggeforskningen R80:1978.
- Skempton, A,W, A Foundation Failure Due to Clay Shrinkage Caused by Poplar Trees. Proceedings of the Institution of Civil Engineers, London, Part I, Volume 3, January (1954), Number 1, pp 66-83..
- Sveriges Geologiska Undersökning, Grundvattentillgångar i Sverige (1980).
- The Design of Foundation on Swelling and Shrinking Clays. Canadian Manual on Foundation Engineering 1975, pp 237-263.
- Ward, W,H, Soil Movement and Weather. Proceedings of the 3rd International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Switzerland, (1953), Volume 4, pp 477-482.