Information
11

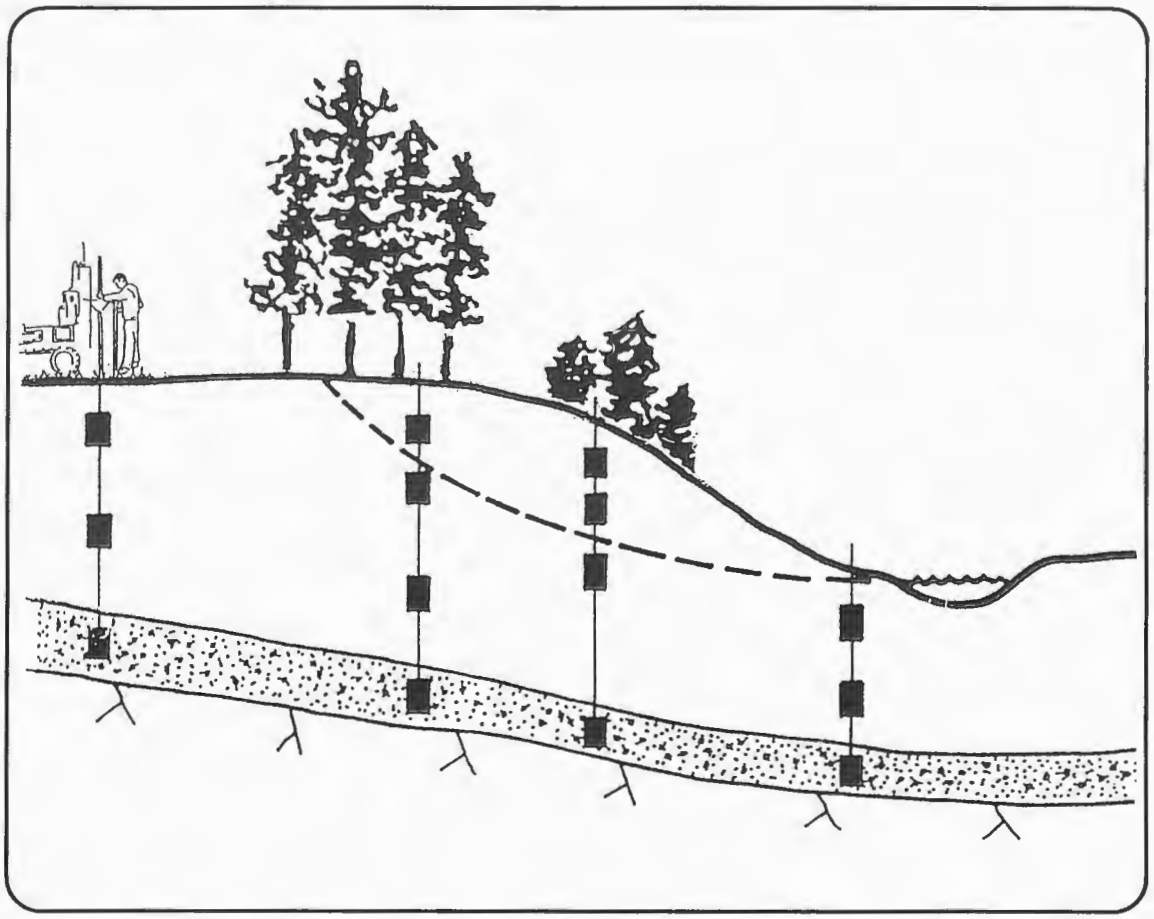
Mätning av grundvattennivå och portryck

Marius Tremblay

Vägverket - VBg
Statens geotekniska institut

Mätning av grundvattennivå och portryck

Marius Tremblay



Vägverket - VBg
Statens geotekniska institut

ISSN 0281 -7578

FÖRORD

Geotekniska undersökningar används för att bestämma parametrar och jordegenskaper som behövs för utvärdering och lösning av olika geotekniska problem. Förståelse för grundvattenförhållandena är ofta nödvändigt för denna utvärdering. Under senare år har geoteknikern blivit mer medveten om grundvattnets betydelse, och behovet av en skrift om observationer av grundvattennivå och portrycksmätning har därmed ökat.

Denna **handbok syftar** till att öka kunskapen om olika mätmetoder och ge stöd för planering och utförande av grundvattenobservation och portrycksmätning. Handboken behandlar dock inte bestämning av grundvattenflöde och kvalitetsundersökning av vatten.

Målgruppen för handboken är all geoteknisk personal (handläggare och fältpersonal) som planerar och utför mätningar av grundvattennivå och portryck. Handboken är indelad i följande avsnitt:

- Allmänt om grundvatten
- Planering av grundvattenundersökning
- Beskrivning av olika mätsystem med för- och nackdelar samt tillämpningsområde
- Val av lämpliga mätsystem och mätpunkter beroende av problemets natur och omfattning
- Installation och mätning
- Utvärdering och redovisning av mätresultat

Dessutom innehåller handboken **checklistor** för installation av och mätning med olika mätsystem, några exempel på **fältprotokoll** samt ett antal **produktblad** som beskriver olika utrustningar (spetsar och mätinstrument) tillgängliga på den svenska marknaden.

Arbetet med att ta fram handboken har finansierats med forskningsmedel från Vägverket. Handboken är också utgiven av Vägverket, med publikationsnummer 1990:41. Värdefulla synpunkter har under arbetets gång lämnats av bland andra kollegor från Vägverket, Svenska geotekniska föreningens Fältkommitté och Statens geotekniska institut.

Linköping i augusti 1990

Marius Tremblay

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1. INLEDNING

Grundvattenförhållandena har betydelse för många olika problem som geoteknikern måste hantera dagligen: stabilitet, sättningar, bärighet, erosion, dränering, avvattning, tjäle, osv. Trots att grundvattnet i många fall är en styrande faktor, behandlas det ofta som en mindre viktig parameter.

Enligt nuvarande praxis klarläggs grundvattenförhållandena ofta endast genom mätning av grundvattennivån i borrhål eller öppna rör nedförda till friktionsjord under förekommande lera. Normalt förutsätts också en hydrostatisk portrycksfördelning i jorden under den uppmätta nivån. Denna praxis kan tillämpas för stabila förhållanden i friktionsjord, men är otillförlitlig i kohesionsjord eller vid växlande jordlagerföljd.

Många faktorer påverkar grundvattenförhållandena: geologi, stratigrafi, klimat, mänskliga ingrepp, m m. Detta innebär att **hydrostatisk portrycksfördelning kan betraktas mer som undantag än regel.**

Att portrycksfördelningen skiljer sig från den förutsatta hydrostatiska fördelningen kan leda till följande felbedömningar:

- **underskattning** av vissa geotekniska problem - kan resultera i instabila konstruktioner eller sättningsskador;

- **överskattning** av vissa geotekniska problem - kan medföra onödigt dyra konstruktioner.

Hydrostatisk portrycksfördelning och odränerade förhållande måste betraktas som undantag från den generella regeln i geoteknik varför aktuellt portryck och effektiva parametrar bör bestämmas.

En stor andel av de geotekniska undersökningsinsatserna både i fält och på laboratorium ligger i bestämning av olika jordegenskaper som t ex förkonsolideringsspänning, deformationsmodul, skjuvhållfasthet, vattenkvot, osv. Dessa parametrar används sedan i olika geotekniska beräkningar samt i bedömning av jordens beteende. Eftersom grundvattenförhållandena i hög grad påverkar detta beteende, är det ologiskt att göra en för grov uppskattning av portrycksfördelningen i jorden. Därför bör portrycket - som andra jordparametrar - mätas i olika punkter med lämplig metod i hela jordprofilen.

I denna **handbok** presenteras därför ett omfattande underlag som geotekniker kan behöva för planering och genomförande av grundvattenobservationer och portrycksmätning.

2. ALLMÄNT OM GRUNDVATTEN

2.1 Grundvattenbildning och förekomst

Vattnets kretslopp i naturen utgör en så kallad hydrologisk cykel, som innehåller olika moment (**Fig 1**). Vattnet kommer till jordytan i form av nederbörd, infiltreras genom eller rinner över markytan för att sedan transporteras till ytvattendrag eller fångas av växtligheten. Vattnet återförs sedan till atmosfären genom transpiration (växter) eller avdunstning (vattendrag och markyta), och avslutar kretsloppet genom att återkomma till jordytan i form av nederbörd.

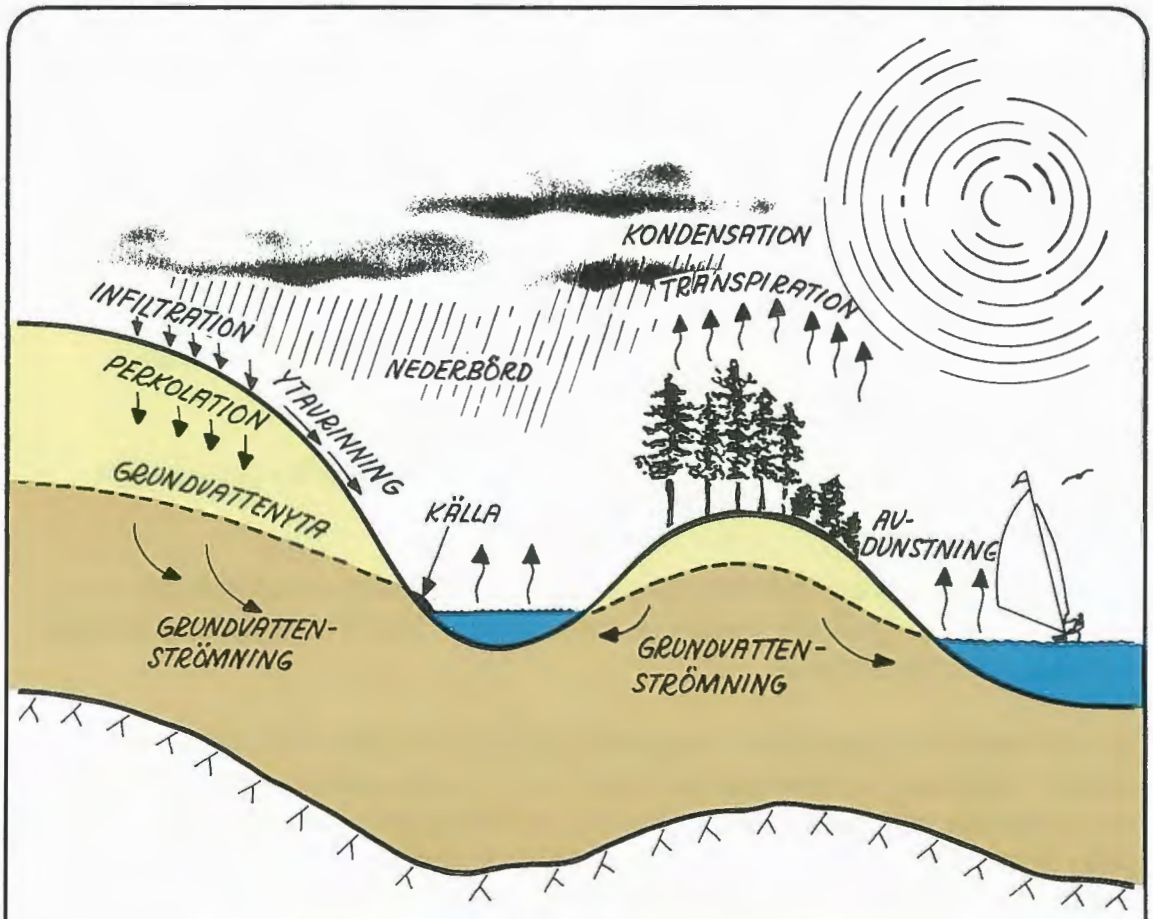
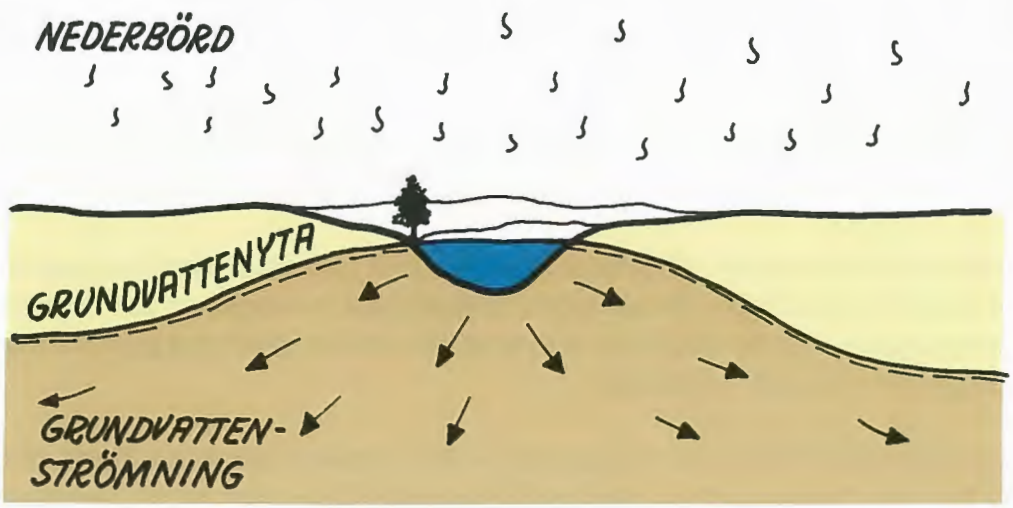


Fig. 1. Vattnets kretslopp i naturen (efter Todd, 1959).

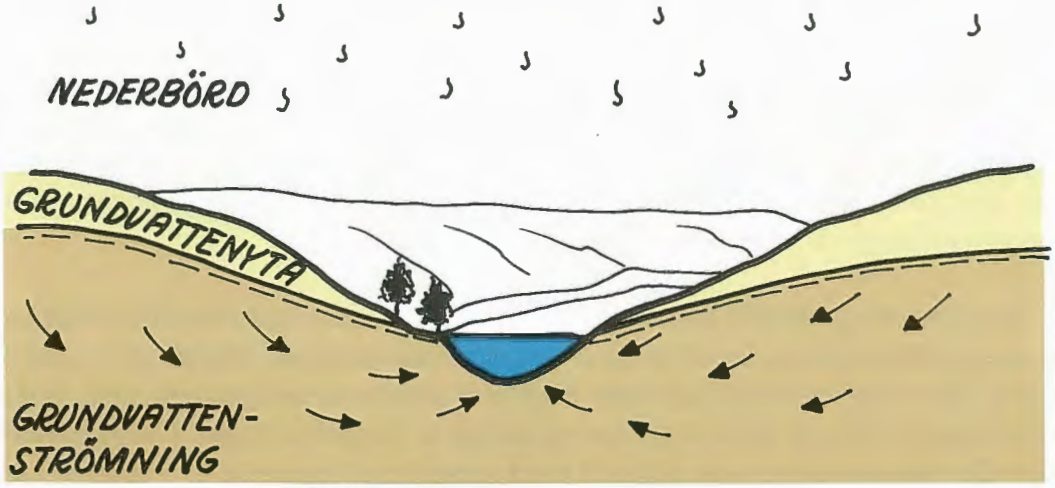
Grundvattnet utgör den underjordiska delen av vattnets kretslopp i naturen och bildas genom infiltration av ytvatten från nederbörd eller från ytvattendrag. Grundvattenförhållandena är sålunda beroende av geologiska, topografiska, hydrologiska och klimatologiska faktorer.

Infiltration från ytvattendrag svarar för den väsentliga grundvattenbildningen i områden med arid klimattyp (**Fig 2a**). I områden med humid klimattyp som i Sverige består den

huvudsakliga grundvattenbildningen av nederbördsinfiltration, och ytvattendragen fungerar oftast som dräneringskanaler (**Fig 2b**).



a) arid klimattyp



b) humid klimattyp

Fig 2. Grundvattenförhållande kring ytvattendrag (efter Geological Survey of Canada, 1967).

Växtrötter tar upp en stor del av den infiltrerade vattenmängden, vilken därefter återgår till atmosfären genom transpiration. Den del som inte tas upp av vegetationen kan åtgå till bildning av bundet vatten i uttorkad jord. Resten av vattenmängden som infiltreras bildar grundvatten.

Grundvatten förekommer i olika former och olika mängder i marken. **Fig 3** visar hur marken kan delas upp i olika zoner:

- **omättad zon** (eller luftzon) som ligger över grundvattenytan; denna zon kan delas upp i ytterligare tre zoner:
  - markvattenzon
  - sjunkvattenzon
  - kapillärvattenzon

- **mättad zon** (eller grundvattenzon) som ligger under grundvattenytan.

Grundvatten förekommer i all terräng, men djupet till grundvattenytan varierar beroende av klimat och geologiska förhållanden. Lagerföljden, mäktigheten och kontinuiteten hos en avlagring samt de olika lagrens hydrauliska konduktivitet styr grundvattnets bildning och förekomst i ett område.

Grundvattenståndet fluktuerar på grund av de förut nämnda faktorerna. Dessa fluktuationer kan vara kortvariga (t ex efter kraftig nederbörd) eller sträcka sig över längre perioder (årstidsvariationer). Fluktuationernas storlek beror i första hand på nederbördens storlek, jordlagrens genomtränglighet samt grundvattenmagasinets storlek. Som regel varierar grundvattennivån med liten amplitud i genomträngligt material medan amplituden ökar när hydrauliska konduktiviteten minskar (**Fig 4**).

Grundvattenståndets årstidsvariationer beror också på nederbördens art och infiltrationsförhållanden, och kan därför anta olika mönster i olika områden (**Fig 5**). I norra Sverige är grundvattennivån lägst på senvintern, på grund av den långvariga tjälen som hindrar tillförsel av vatten till jorden. I mellersta Sverige förekommer två perioder med högt grundvattenstånd, på våren efter tjällossning och snösmältning samt på senhösten efter sommarens och förhöstens regn. I södra Sverige förekommer den högsta grundvattennivån tidigt på våren och den lägsta på sensommaren.

En vattenförande geologisk bildning som kan betraktas som en hydraulisk enhet kallas för ett grundvattenmagasin. Olika typer av grundvattenmagasin förekommer i naturen (**Fig 6**). Om ett ogenomträngligt lager begränsar grundvattenmagasinet uppåt, bildas ett slutet magasin. När en sådan begränsning saknas är magasinet öppet. I enstaka fall kan isolerade grundvattenmagasin bildas. I vissa avlagringar bestående av jordlager med olika genomtränglighet kan flera grundvattenmagasin förekomma.

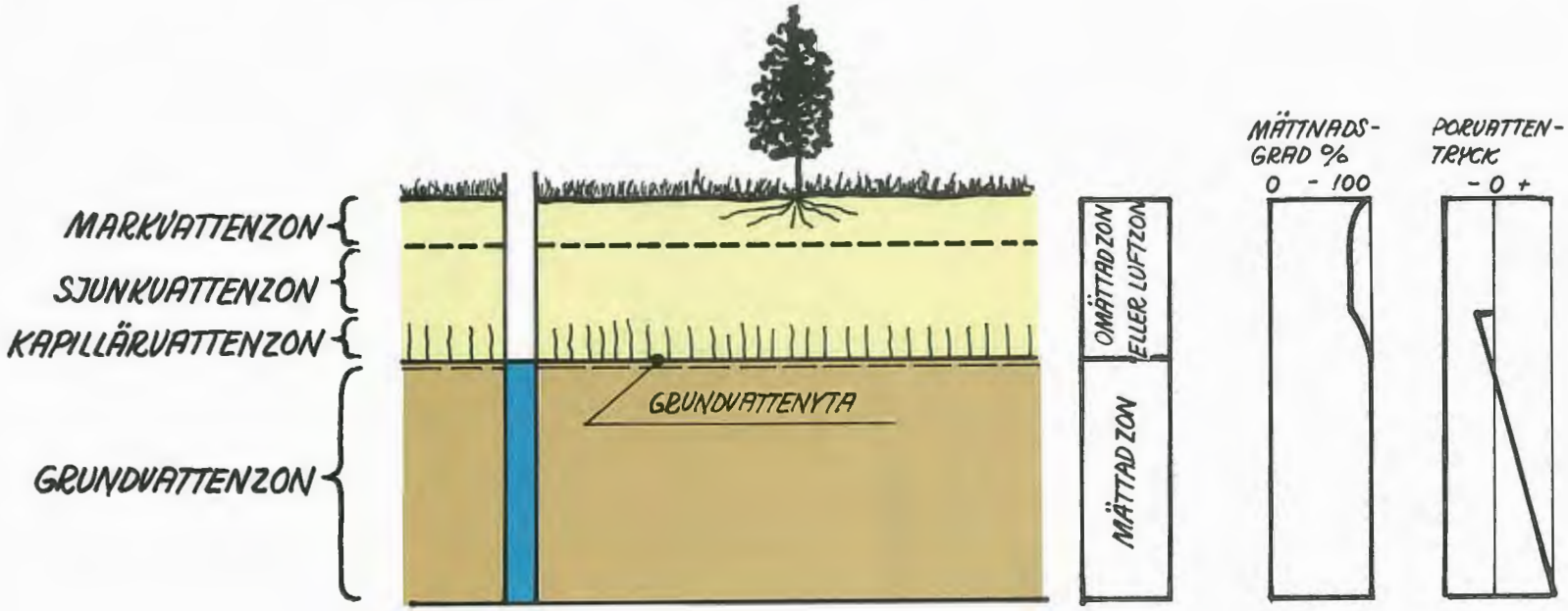
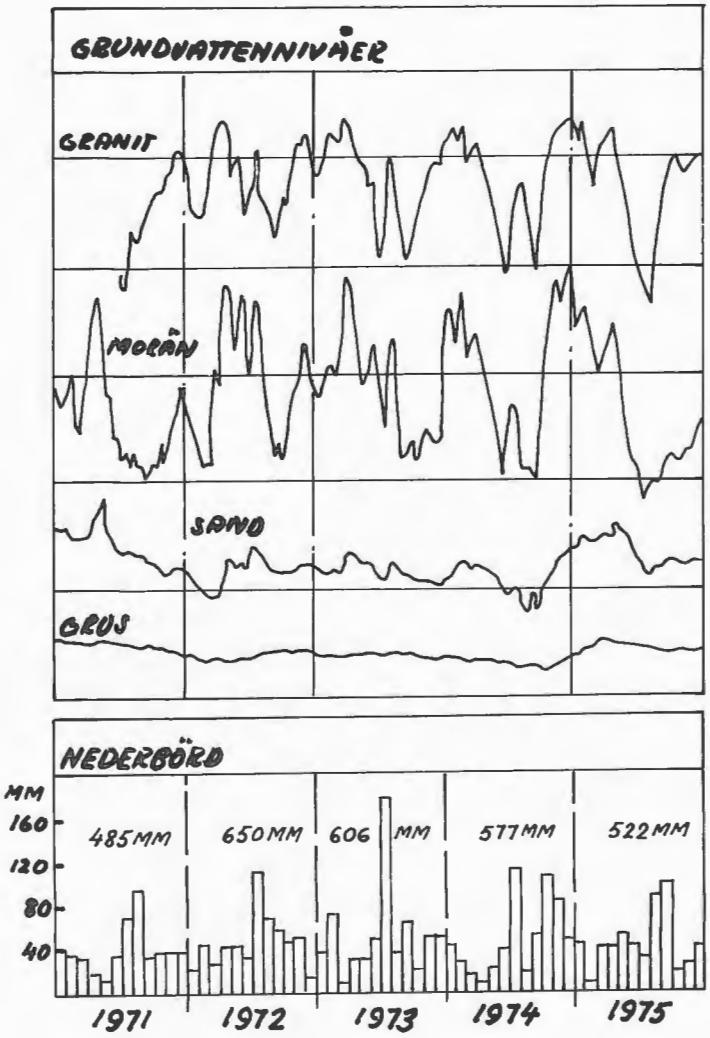


Fig. 3. Zonindelning av vattnets förekomst under markytan.



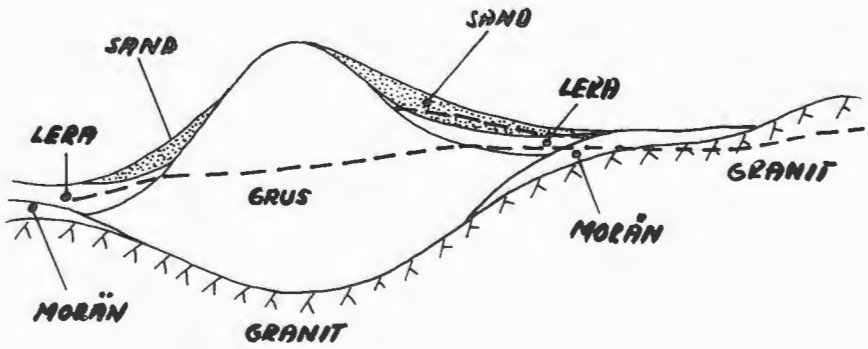


Fig. 4. Grundvattenståndets fluktuationer i olika jordarter (efter Knutsson och Fagerlind, 1977).

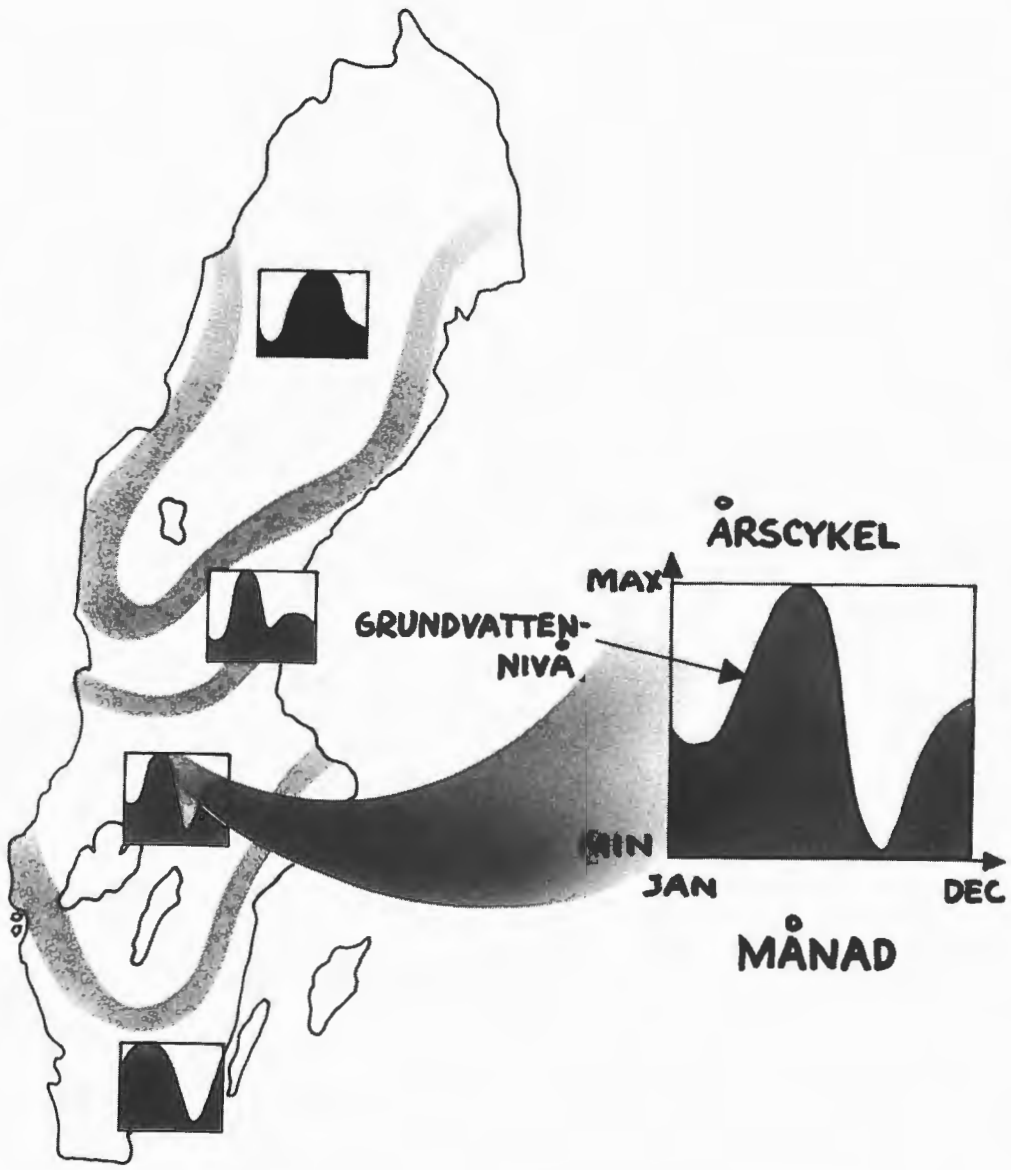


Fig. 5. Regionala mönster i grundvattenståndets fluktuationer i Sverige (efter Knutsson och Fagerlind, 1977).

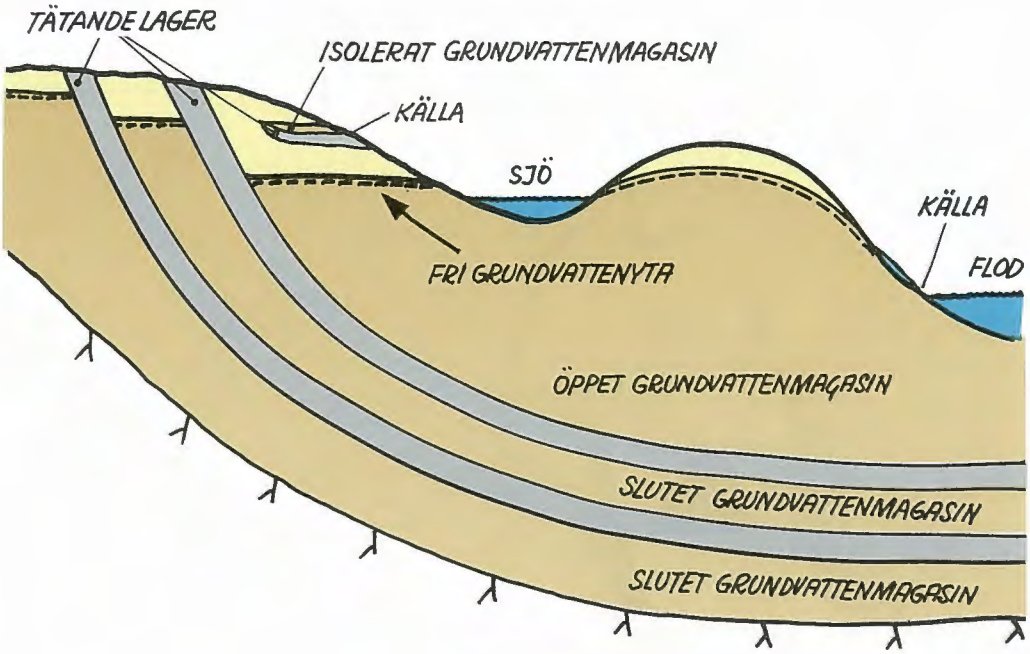


Fig. 6. Olika typer av grundvattenmagasin.

2.2 Portrycksfördelning

Portrycket fördelas i jorden enligt olika mönster beroende på många faktorer. Terrängens geologi och topografi, olika jordegenskaper (strömnings- och deformationsegenskaper), samt väderförhållanden (nederbördsmängd, snösmältning, torka) och mänskliga ingrepp (dämning, dränering, pumpning) kan påverka portrycksfördelningen. Eftersom alla dessa faktorer kan variera i både djup, plan och med tiden, kan portrycksfördelningen anta åtskilliga mönster. Därför är det nästan omöjligt att förutse portrycksfördelningen utan att utföra ett antal mätningar på olika nivåer i jorden. Portrycksfördelningen som bestäms med hjälp av mätningar gäller för perioden då mätningarna utfördes men förändras med tiden på grund av ändringar hos en eller flera av de nämnda faktorerna.

Den enklaste portrycksfördelning som påträffas i naturen kallas för hydrostatisk portrycksfördelning, och förekommer när det hydrostatiska trycket på alla nivåer under markytan är lika med trycket som enbart orsakas av vattnets egen tyngd. Lufttrycket eller dess variation har ingen påverkan på portrycksfördelningen eftersom det inverkar på hela profilen (**Fig 7a**). När hydrostatisk portrycksfördelning förekommer är tryckhöjden som uppmäts på en viss nivå under markytan lika med avståndet mellan denna nivå och grundvattenytan (**Fig 7b**). Hydrostatisk portrycksfördelning inträffar bara då grundvattenströmning ej förekommer eller då den enbart är horisontell, dvs utan vertikal komponent.

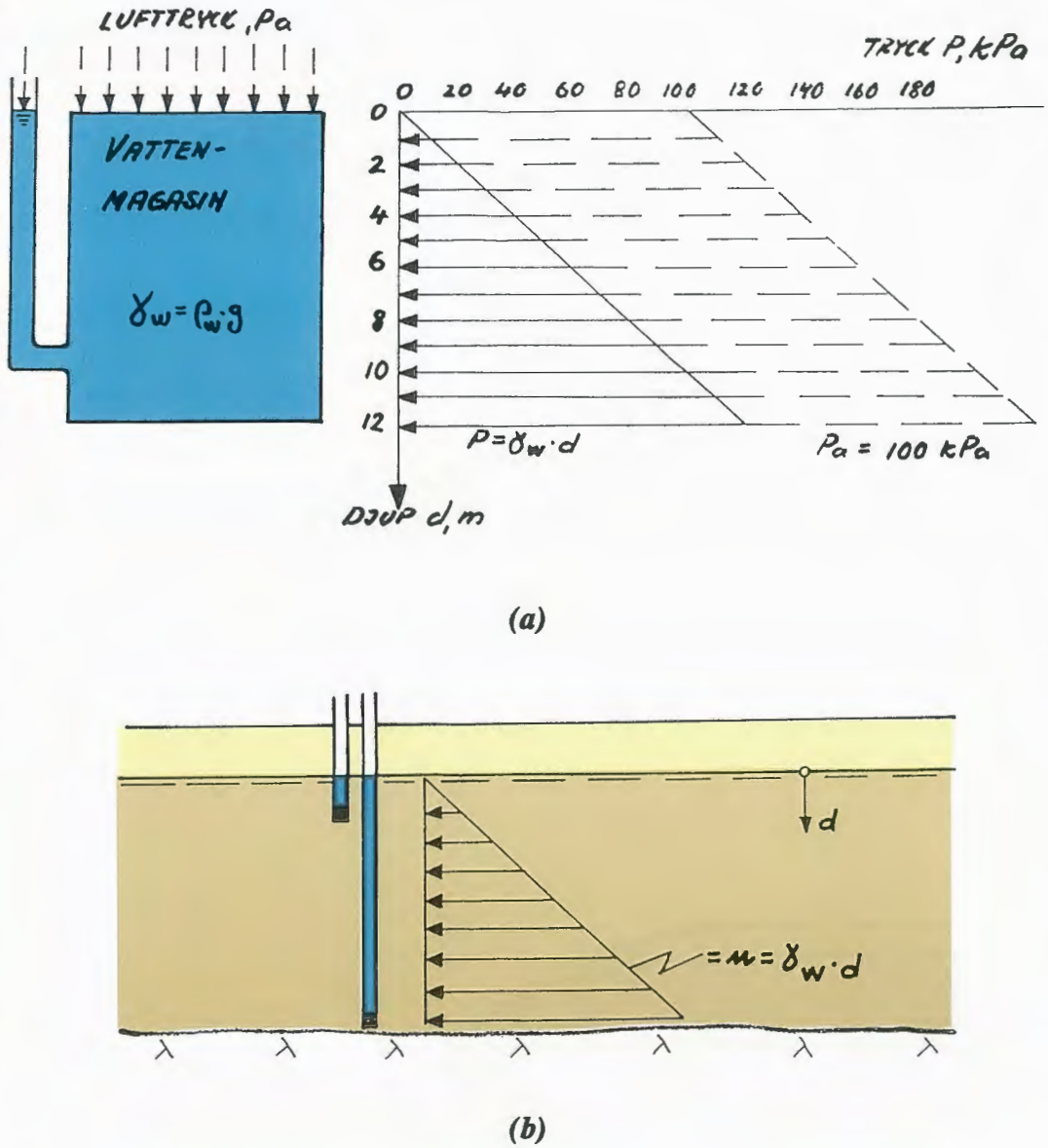
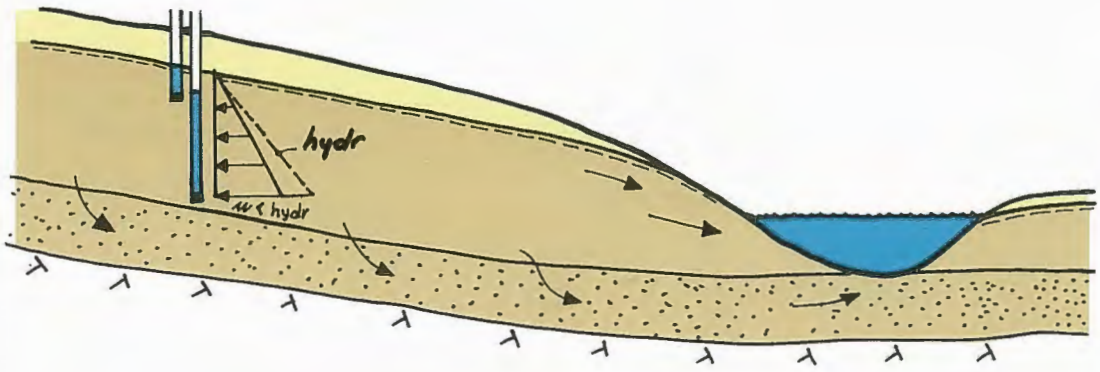


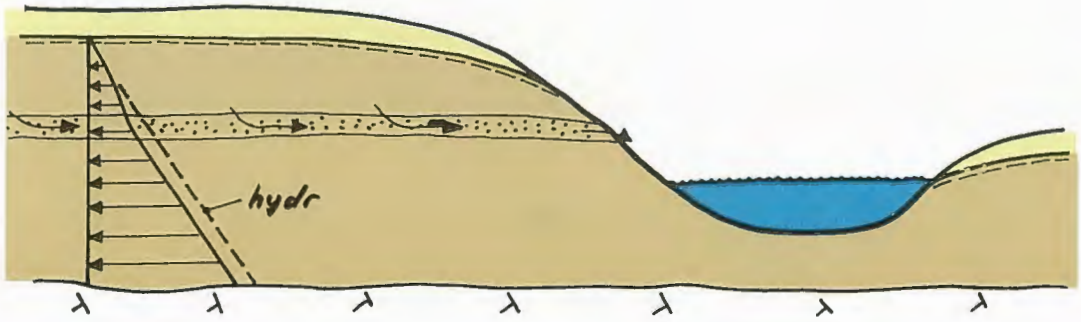
Fig. 7. Hydrostatisk portrycksfördelning.

Hydrostatisk portrycksfördelning förekommer vanligen i jordar med hög vattengenomtränglighet, såsom friktionsjord (grus, sand och finsand). Den kan även påträffas i tätare material som silt och lera, om grundvattenförhållandena stabiliserats utan påverkan från omgivningen.

Avvikelse från hydrostatisk portrycksfördelning inträffar vanligen när vattenförande lager inverkar på en avlagring bestående av finkornig jord och när strömning förkommer. Om lagret fungerar som **dränerande lager för närliggande jord** t ex för utströmning till ett vattendrag är portrycket lägre än den hydrostatiska. Det dränerande lagret kan bestå av friktionsjord avlagrad under finkorniga sediment (**Fig 8a**), eller kan förekomma som ett lager med större genomtränglighet bland finkorniga lager (**Fig 8b**).



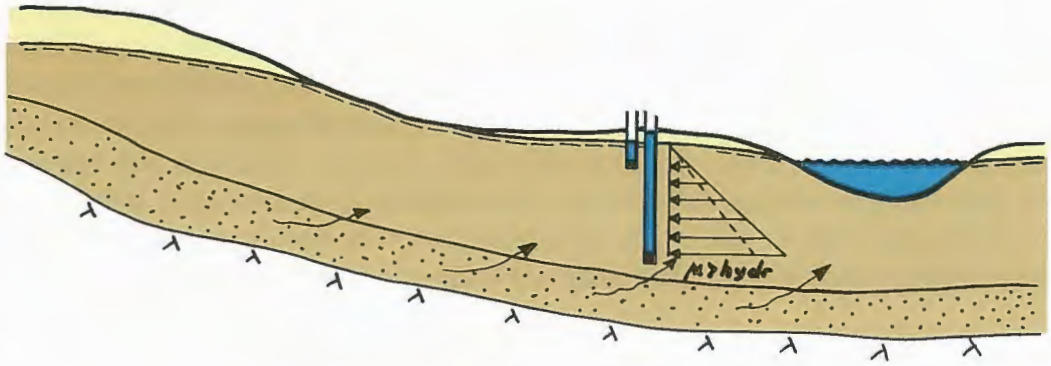
(a)



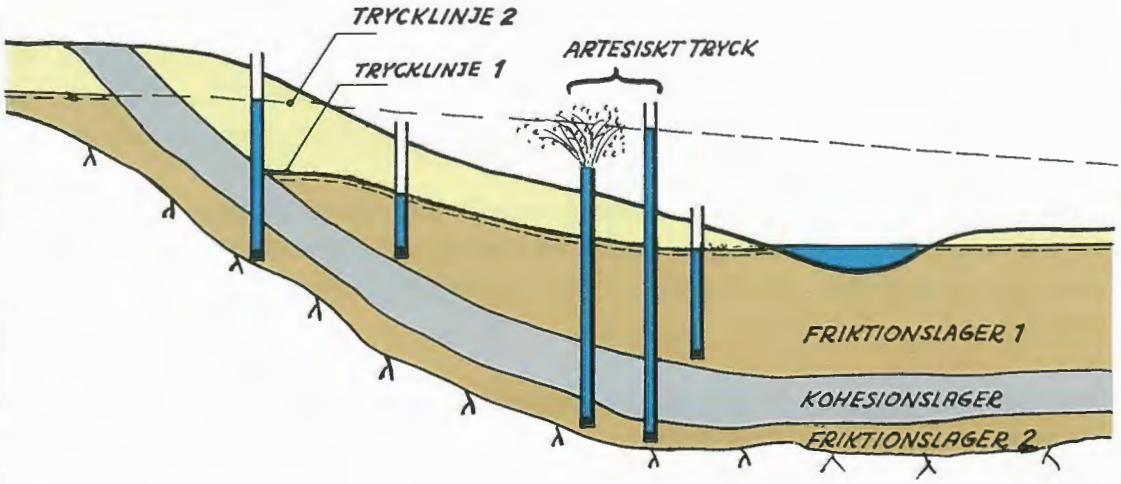
(b)

Fig.8. Icke-hydrostatisk portrycksfördelning på grund av dränerande lager.

Det vattenförande lagret kan också fungera som **kanal för inströmmande vatten** från t ex en närbelägen bergformation. I detta fall blir portrycket högre än det hydrostatiska (**Fig 9a**). Detta lager med högre genomtränglighet överlagras ofta av finsediment som avskiljer lagret från atmosfären och därmed kontrollerar portrycksfördelningen nedåt. I detta fall står det bundna vattnet under inverkan av grundvattenförhållandena i omgivningen och kan därför utsättas för större tryck än det ovanförliggande lagret. Om det täta lagret perforeras stiger grundvattnet över omgivande grundvattenyta, och ibland även över markytan (artesiskt tryck) (**Fig 9b**). Ibland kan jordlagerföljden leda till flera grundvattenmagasin med olika trycknivåer (**Fig 9b**).



(a)



(b)

Fig. 9. Icke-hydrostatisk portrycksfördelning på grund av inströmmande vatten.

3. PLANERING AV GRUNDVATTEN-OBSERVATION ELLER PORTRYCKS-MÄTNING

En grundvattenundersökning måste planeras på ett noggrant och genomtänkt sätt om den ska ge avsett resultat. Den första delen av planeringsarbetet måste leda till klarläggning av problemställningen och bedömning av ev behov av en grundvattenundersökning. Därefter måste olika faktorer som påverkar val av mätsystem studeras. Vid denna genomgång måste ett beslut fattas angående vem(vilka) som skall vara ansvarig(a) för olika moment: anskaffning, kalibrering och installation av utrustningar, skötsel av mätsystem, utförande av mätningar, utvärdering och redovisning av mätresultat. Planeringen avslutas med att fastställa tidplan och budget för hela undersökningen.

3.1 Behov av grundvattenundersökning

För att kunna bedöma behovet av information om grundvattenförhållandena - och i så fall vilken information som behövs - måste man gå igenom projektet steg för steg och försöka förutse vilka geotekniska problem som kan uppstå. Genom att ställa hypoteser och planera åtgärder för dessa problem kan man klargöra vilka parametrar som saknas.

Eftersom all fältundersökning kräver stora resurser bör man aldrig besluta om mätning av grundvattennivå eller portryck utan att ha klarlagt vilka geotekniska frågor dessa mätningar skall ge svar på. Om det inte finns någon fråga erfordras inte någon undersökning!

Olika faktorer som projektets natur och omfattning, lokalisering av byggnader, brunnar, vattentäkter och andra anläggningar i omgivningen måste klarläggas på ett tidigt skede. Samtidigt måste all information som påverkar de geotekniska förutsättningarna sammanställas: topografi, jordlagerföljd, jordegenskaper, osv. Information om planerade byggmetoder samt tidplan för projektet måste också samlas.

3.2 Val av mätsystem

Den viktigaste faktorn att beakta vid val av mätsystem är tillförlitligheten som innefattar både noggrannhet och kontrollmöjlighet, och är beroende av bl a jordförhållandena. Andra faktorer som måste beaktas är bl a tillgång till fältpersonal och dess kompetens, eventuella störningar på arbetsplatsen och förhållandena kring mätsystemet.

Enbart kostnaden får aldrig styra valet av mätsystem. Å andra sidan bör invecklade (dyra) mätsystem inte väljas i onödan. Komplicerade mätutrustningar skall endast användas när enklare alternativ inte kan klara de krav som ställs på mätresultatet.

Mätsytemet kan väljas efter det att man har klarlagt syftet med mätningarna, vilka parametrar som skall mätas och vilka krav som skall ställas på mätvärdena.

Mätningarna används för att uppfylla ett - i vissa fall flera - av följande syften:

- **observation** för klarläggande av grundvattenförhållanden;
- **bevakning** för kontroll av grundvattenförhållanden och beslut om eventuella åtgärder under projektets gång;
- **uppföljning** efter arbetets slut.

Beroende på syftet med mätningarna, jordlagerföljd och vissa jordegenskaper, som t ex hydraulisk konduktivitet, kan olika parametrar mätas för att klarlägga grundvattenförhållandena:

- **grundvattennivå** vid viss tidpunkt
- **portryck** (portrycksfördelning) vid viss tidpunkt
- **variationer** i grundvattennivå eller portryck.

I många fall måste även grundvattenflödet bestämmas, t ex vid schaktarbete som kräver länshållning genom pumpning i gropar eller grundvattensänkning med wellpointmetoden. I dessa fall måste provpumpning utföras. Denna typ av undersökning beskrivs dock inte i denna handbok, och skrifter som behandlar problemet med grundvattenflöde finns angivna i litteraturlistan, bl a Carlsson och Gustafsson (1984) och SGI (1985).

I ett sista steg bestäms under vilken period mätningarna skall utföras och med vilket tidsintervall. Därefter kan man med hjälp av hypoteser och prognoser som gjorts tidigare förutse vilka minimi- och maximivärden de olika parametrarna kan anta under mätperioden. Vidare bestäms vilka krav som skall ställas på mätvärdena vad gäller noggrannhet och tillförlitlighet.

3.3 Val av mätpunkter

För att välja var mätutrustningar skall installeras måste man gå tillbaka till problemställningen och syftet med mätningarna. Lokalisering av mätpunkter väljs bl a med hänsyn till topografi, stratigrafi och vissa jordegenskaper.

Några av mätpunkterna kan sluta fungera under mätperioden pga att utrustningen blir defekt eller förstörs. Därför måste flera instrument än vad som anses absolut nödvändigt installeras om det inte finns möjlighet för komplettering i efterhand. Lokaliseringen av mätpunkterna bör också ha en viss flexibilitet så att vissa mätpunkter kan flyttas, eller ytterligare instrument installeras, allteftersom information kommer in under mätperioden.

3.4 Val av ansvariga för olika moment

Detta är ett av de viktigaste stegen i planeringen och det är ofta vid val av ansvariga som det avgörs i vilken grad syftet med mätningarna uppnås. För varje moment av undersökningen måste det finnas någon som har och känner ansvar för att arbetsuppgifterna utförs i tid och med önskad kvalitet. Det är också viktigt att alla berörda vet vem som är ansvarig för olika moment så att rätt person kan kontaktas vid behov.

Hänsyn måste tas till följande moment:

- anskaffning och kalibrering av utrustning
- installation av utrustning
- regelbunden kontroll av mätsystem
- utförande av mätningar
- utvärdering och redovisning av mätresultat
- åtgärder under mätperioden.

Om det inom projektet saknas personal för vissa funktioner bör utförandet anpassas därefter. Om t ex ingen kan åka regelbundet till det instrumenterade området för att utföra mätningarna kan man välja att installera ett automatiskt registreringssystem som endast behöver kontrolleras vid ett fåtal tillfällen. Ett enklare mätsystem kan också väljas för att kunna utnyttja personal som finns till hands på mätplatsen; detta alternativ bör dock aldrig väljas på bekostnad av mätvärdenas kvalitet.

Om mätningarna används för bevakning av en arbetsplats eller bevakning av ett större område måste ansvarskedjan leda direkt till en person som snabbt och självständigt kan fatta beslut och vidta åtgärder som föranleds av mätresultatet. Man måste även utse ersättare för personer som utgör viktiga länkar i ansvarskedjan när dessa personer är frånvarande.

3.5 Planering av fältarbete

I det första steget av planering av fältarbetet måste leveranstiden för valda mätutrustningar erhållas. Därefter kan erfordeliga kontroll-och kalibreringsrutiner efter leveransen bestämmas.

Planering av installation och efterföljande kontroll görs tillsammans med fältpersonal. Planeringen skall leda till en detaljerad beskrivning av installationen och en preliminär tidplan. Under detta steg tas också hänsyn till projektets tidplan samt tillgängliga resurser (personal och maskiner) under aktuella perioder.

En preliminär tidplan bör också tas fram som täcker hela mätperioden. I denna tidplan måste ingå en period för stabilisering av utrustningarna efter installation samt alla mät- och kontrolltillfällen. Tidplanen bör upprättas i samråd med personal som skall utföra mätningar och kontroller. Observera att kontroller normalt utförs i samband med mättillfällen.

Alla kritiska tidpunkter där behov av mätresultat förekommer måste också framgå av tidplanen, så att ingen viktig information utelämnas. Om de första kritiska tidpunkterna kommer för tidigt för att systemet skall kunna installeras och stabiliseras bör leverans- och installationsdatum tidigareläggas eller möjlighet att använda ett mätsystem med kortare leveranstid och/eller stabiliseringsperiod övervägas.

3.6 Utvärderings- och redovisningsmetod

För att undvika felaktig eller försenad framtagning av mätresultat bör man redan vid planeringen bestämma hur dessa värden skall utvärderas och redovisas. Olika utvärderingsmetoder kan kräva olika information från mätinstallationen (nivåer, tid, lufttryck, temperatur, osv). Därför bör fältpersonalen vara väl informerad om vad som skall mätas vid installation och vid varje mättillfälle.

Redovisningen kan ske på olika sätt beroende av skede. En direkt redovisning kan planeras så att resultatet kommer utan dröjsmål till den som skall fatta beslut baserade på detta. Utöver denna snabba redovisning kan en annan slutredovisning väljas, som omfattar en viss period eller ett större geografiskt område.

3.7 Tidplan och budget

Som ett sista steg i planeringen fastställs tidplanen - som innehåller alla moment från beställning av utrustning till slutlig redovisning. I tidplanen ingår tid för:

- leverans
- kontroll och kalibrering
- installation
- stabilisering
- mätning
- utvärdering
- redovisning.

Samtidigt tas en budget fram i vilken ingår kostnader för alla moment i tidplanen samt kostnader för inköp eller hyra av utrustning, regelbundna kontroller av mätsystemet och ev andra åtgärder som kan förväntas under mätperioden.

4. MÄTMETODER OCH MÄTSYSTEM

4.1 Grundprinciper

Det finns många olika typer av utrustningar och mätsystem som kan användas för mätning av grundvattennivå och portryck. Alla mätsystem - utom observationsborrhål - består av **två huvuddelar**:

- en **vattenkammare** som är i kontakt med jorden, i de flesta fall genom ett filter;
- en **tryckavkänningsdel**, med vilken trycket i kammaren kan mätas.

Mätsystemen kan delas upp i två grupper beroende på mätprincipen: öppna och slutna system (**Fig 10**).

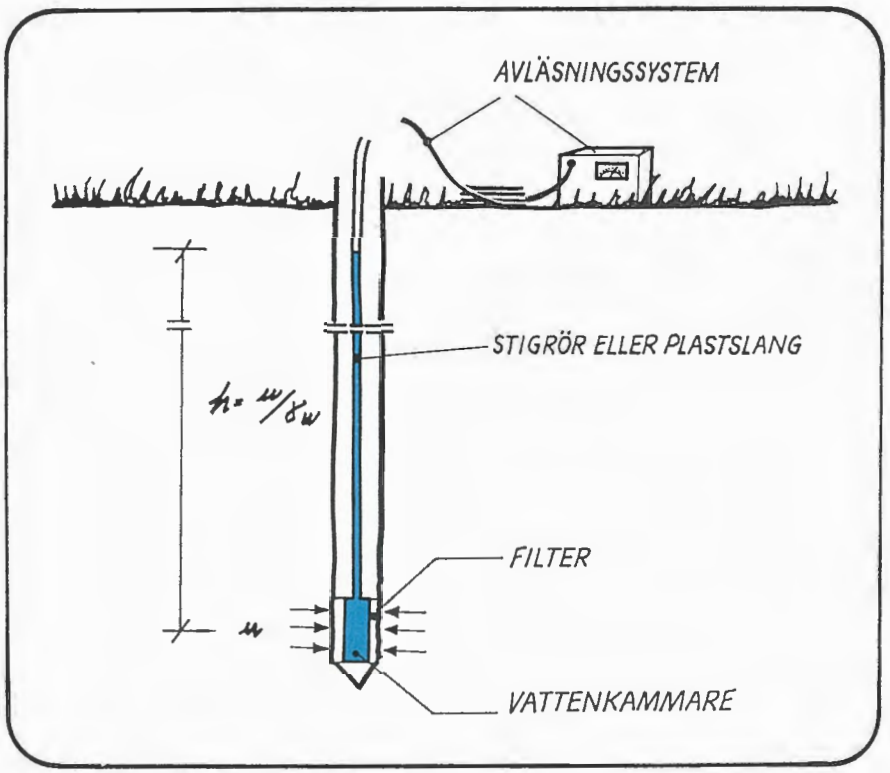
I **öppna system** utförs mätningarna genom att vattenkammaren står i direkt kontakt med lufttrycket vid markytan, t ex genom ett rör. Vattennivån stiger i röret tills den motsvarar porvattentrycket vid filtret. I praktiken förekommer tre olika typer av öppna system:

- **observationsborrhål**, som används med eller utan foderrör;
- **öppna perforerade rör**, vars perforerade del invändigt fylls med grovt material eller utvändigt täcks av en geotextil;
- **filterspetsar** på vilka kopplas en plastslang som sträcker sig till markytan.

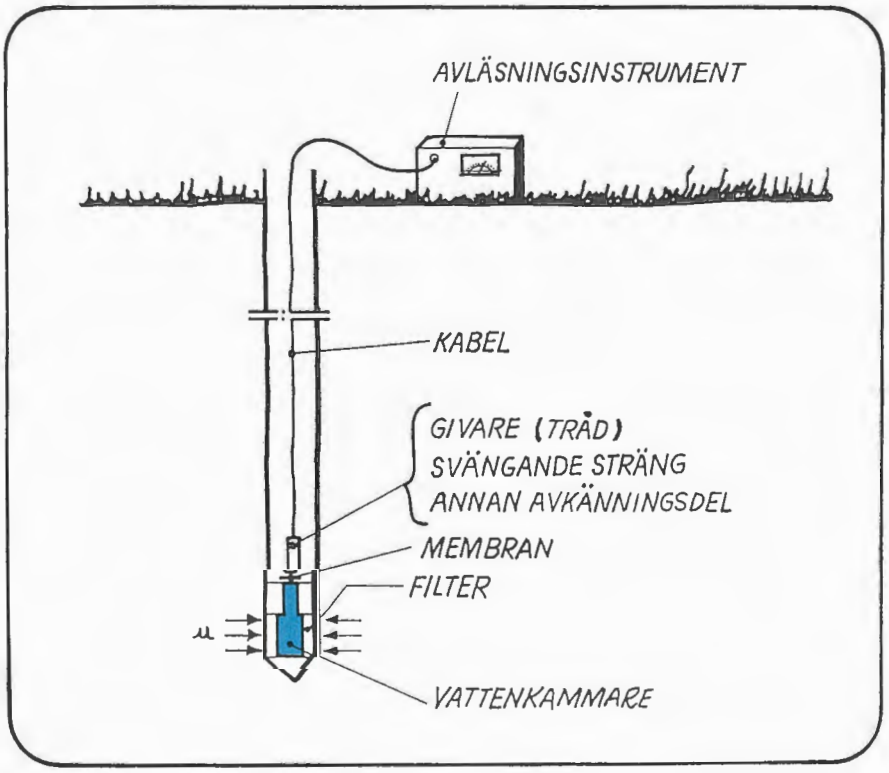
Registrering av en tryckförändring i jorden med öppna system kräver strömning av en förhållandevis stor vattenvolym genom filtret. Detta innebär att dessa system inte är användbara i jordar med låg hydraulisk konduktivitet om snabba förändringar skall mätas.

Det finns flera typer av **slutna system**, också kallade portrycksmätare. Alla bygger på grundprincipen att trycket i vattenkammaren mäts direkt i systemet utan stora vattenrörelser. Mätprincipen varierar mellan olika portrycksmätare och mätsystemet kan vara en del av spetsen eller kan kopplas till spetsen när mätning utförs. De slutna systemen kan indelas i fyra grupper:

- **hydrauliska portrycksmätare**, där trycket i systemet mäts vid markytan med en manometer eller en tryckgivare kopplad till en vattenfylld plastslang;
- **pneumatiska portrycksmätare**, där trycket mäts med ett mottryck påfört från markytan på ett membran placerat i övre delen av vattenkammaren;



a) öppet system



b) slutet system

Fig. 10. Princip för olika mätsystem.

- **elektriska portrycksmätare**, där trycket bestäms genom att mäta membranets deformation med ett elektriskt system, antingen svängande sträng eller trådtöjningsgivare.

- **BAT-portrycksmätare**, som är en variant av elektrisk portrycksmätare i vilken tryckgivaren enbart behöver anslutas vid mättillfällena.

Alla portrycksmätare innehåller delar som behöver kalibreras. Därför bör en kontrollmöjlighet finnas om mätutrustningarna skall användas under en lång period. Slutna system har en snabbare reaktion på tryckförändringar än öppna system och kan användas för svårtillgängliga mätpunkter. Dessa system har ett bredare tillämpningsområde och kan användas i jord med låg hydraulisk konduktivitet samt för registrering av snabba variationer. De slutna mätsystemen kan dessutom användas för automatisk avläsning och registrering.

4.2 Öppna system

• Observationsborrhål

Nivåbestämning av vattenytan i borrhål är ett av de vanligaste sätten att bedöma grundvattennivån (**Fig 11**). För att förhindra att borrhålet sätter igen sig kan det förses med ett foderrör.

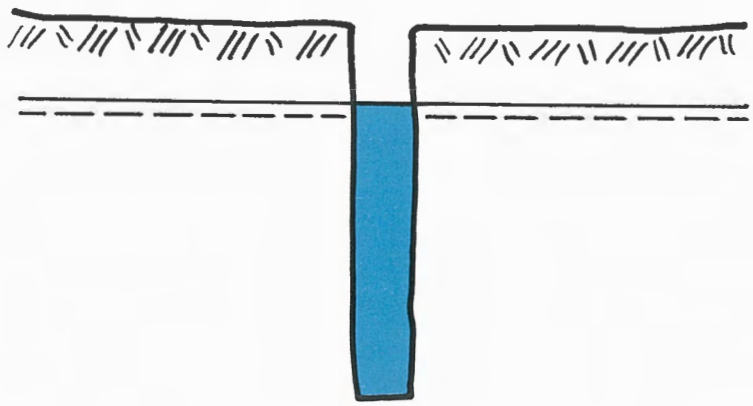


Fig. 11. Observationsborrhål.

Observationsborrhål ger endast en riktig bestämning av grundvattennivån i homogen jord med hög hydraulisk konduktivitet, t ex grovsand och grus, och måste användas med försiktighet om det förekommer variationer i grundvattenståndet. I sådana fall kan en lång tidsfördröjning uppstå innan vattenytan stabiliseras i borrhålet. Observationsborrhål kan inte användas i skiktad jord där grundvattentrycket kan skilja i olika lager. I detta fall kommer enbart ett medelvärde av trycket i profilen att mätas. Observationsborrhål påverkas också av vatten i spricksystemet i de översta jordlagren samt ytvatten från regn eller snösmältning.

• Öppna rör

Öppna rör är ett öppet mätsystem som kan användas i genomtränglig jord som grus och sand (**Fig 12**). Utrustningen består av ett rör som är perforerat på en viss sträcka. Vanligen används ett vattenledningsrör eller ett plaströr (Ø=25 mm) perforerat i nederänden med små hål på en sträcka av ca 0,2 m. Den perforerade delen fylls med grov sand eller annat filtermaterial. I vissa fall täcks den perforerade delen av en geotextil.

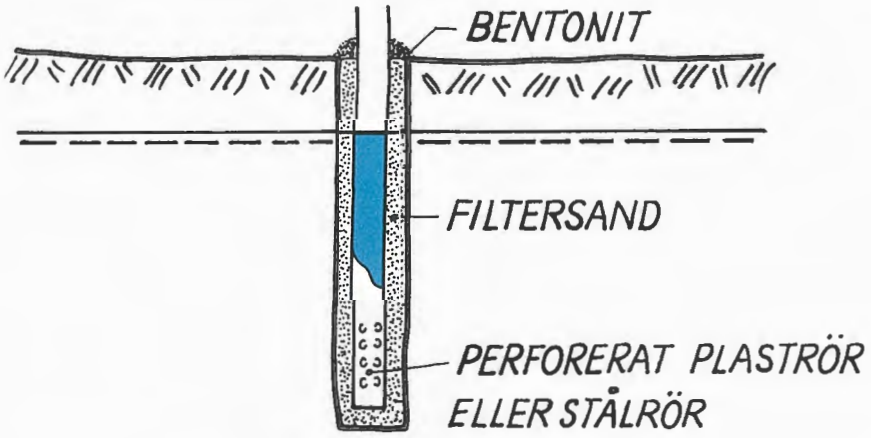


Fig. 12. Öppet rör.

Röret kan sättas i förborrade hål och omges med filtersand eller slås ned utan förborrning. Efter nedsättning av röret måste man kontrollera att filtret inte har tätats under installationen genom att fylla röret med vatten och låta det rinna ut i omgivande jord.

Vattennivån i öppna rör mäts vanligtvis med ett lod med skålad undersida, som ger ett klockljud när det når vattennytan, eller med en graderad slang i vilken man blåser för att lokalisera vattenytan. Avläsningen kan i vissa fall utföras med en dubbelledare kopplad till ett elektriskt mätinstrument.

Öppna rör är lämpliga i genomtränglig jord. Systemet är enkelt och har en låg kostnad men kräver en viss stabiliseringsperiod efter varje tryckförändring. Om mätningar skall utföras under vinterförhållanden skall vattnet ersättas med en köldblandning vars densitet är lika med vattnets (se **Tabell 3**, Kapitel 7 för köldblandningens sammansättning).

• Filterspetsar

Filterspetsen är ett förbättrat alternativ till perforerade öppna rör, på grund av att den har en kortare responstid tack vare att en plastslang med liten diameter kopplats till filtret (**Fig 13**). Oftast trycks filterspetsen ned med hjälp av stålrör eller vattenledningsrör och vissa typer kan slås ned. Plastslangens diameter kan variera från 4 mm upp till 10 mm och väljs beroende av olika faktorer som bl a jordens genomtränglighet. Genom att slangens diameter är mindre än det öppna rörets minskar tidsfördröjningen vid mätning av portrycksvariationer. Därför kan filterspetsar användas i tätare jord som finsand och grovsilt och även i lera vid långsamma förlopp.

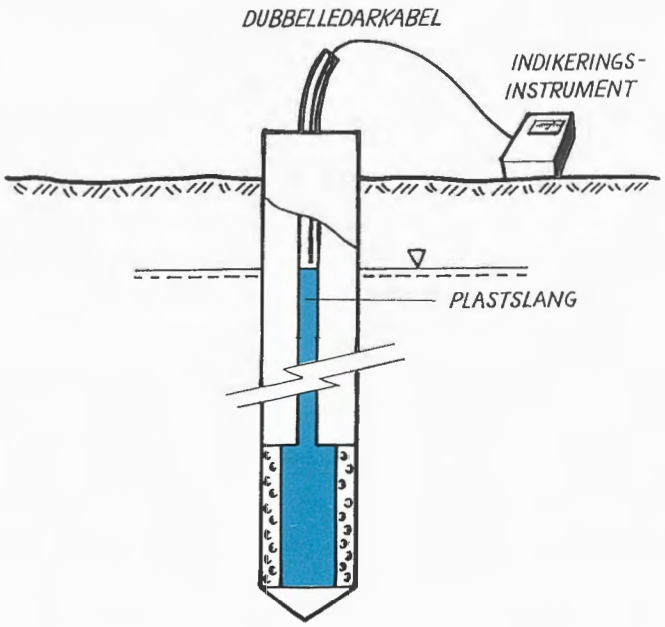


Fig. 13. Filterspets.

Det finns olika varianter av filterspetsar med olika filterelement. I den vanligaste modellen används ett stålrör perforerat med stora hål och fyllt med en blandning av sand och plast. Spetsen kan användas som engångsspets, dvs att borrstängerna dras upp efter neddrivningen och endast filterspetsen med förlängningsrör och plastslang lämnas kvar. Förlängningsröret som lämnas över filterspetsen måste ha samma diameter som denna för att förhindra kontakt mellan filtret och vattnet i borrhålet ovanför. Andra modeller av filterspetsar använder ett poröst material (brons, keramik, polyeten) som filterelement. Dessa typer av filterspetsar trycks ned från markytan med borrstänger eller vattenledningsrör.

Avläsning av vattennivån i plastslangen utförs med en dubbelledare kopplad till ett elektriskt avläsningsinstrument (amperemeter, ljus-eller ljudsignal). Dubbelledaren sänks ner i slangen och ger utslag på instrumentet när den når vattenytan. Kondensationsdroppar kan förekomma på insidan av slangen och bör beaktas, så att inte fel nivå registreras.

Genom att välja mindre diameter för plastslangen kan responstiden minskas. Å andra sidan, eftersom gas eller luft i systemet påverkar mätningarna bör plastslangens diameter väljas så att bubblor kan komma upp utan att fastna på insidan. Detta innebär att slangdiametern inte bör understiga 8 mm när spetsen installeras i jordar där gas- eller luftbubblor kan förkomma, t ex i organisk jord.

Filterspetsar har en låg kostnad och är relativt enkla att installera och använda. Emellertid har de, som alla öppna system, en förhållandevis lång responstid och är inte lämpliga för registrering av snabba portrycksvariationer. Däremot kan filterspetsar användas även i jordar med låg hydraulisk konduktivitet, om enbart långsamma variationer förekommer (t ex årstidsvariationer). I detta fall kan vattnet röra sig tillräckligt snabbt mellan spetsen och jorden så att vattennivån i plastslangen hela tiden motsvarar rådande tryck vid filtret.

4.3 Slutna system

• Hydrauliska portrycksmätare

För att minska tidsfördröjningen som uppstår vid portrycksmätning i filterspetsar kan systemet förvandlas till ett slutet system genom att plastslangen fylles med vatten och avslutas med en kran (**Fig 14**). Denna typ av utrustning kallas för hydraulisk portrycksmätare. Avläsning av trycket i systemet görs vanligen med en manometer eller en tryckgivare som kopplas till plastslangen. Vissa hydrauliska portrycksmätare använder ett oljefyllt mätsystem, t ex en version som utvecklats vid SGI och som består av oljefyllda kopparrör och Bourdonmanometer (se Bergdahl, 1984). Eftersom mätningarna som utförs med hydrauliska mätsystem påverkas av luft i vattnet måste det finnas möjlighet att spola bort luftbubblor som kan tränga in i mätsystemet. Hydrauliska portrycksmätare är därför oftast försedda med en dubbelslang så att spolning kan ske under mätperioden.

När hydrauliska portrycksmätare andvänds kan mätutrustningen installeras i mätbrunnar eller mätstationer på stora avstånd från spetsarna. Detta kan dock leda till problem om dubbelslangen blir för lång, i vilket fall en vätskevolymförändring i ledningarna kan ge utslag på mätsystemet och tolkas som en tryckförändring. Därför måste alla ledningar isoleras om systemet skall kunna användas vid varierande temperaturer. Ledningarna måste också grävas ned eller isoleras när hydrauliska mätare används vintertid så att vattnet i slangarna inte fryser.

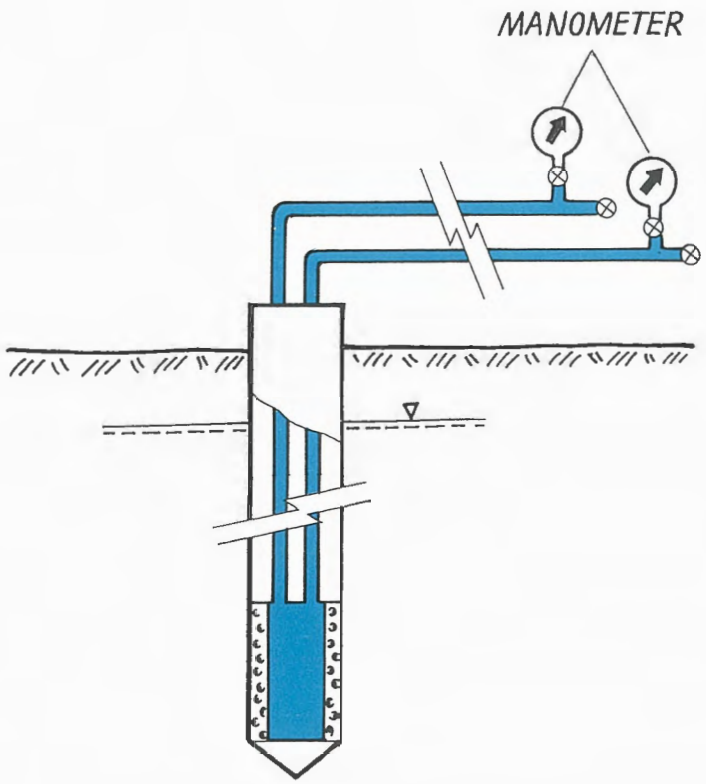


Fig. 14. Hydraulisk portrycksmätare.

Hydrauliska portrycksmätare har en kortare responstid än öppna system och kan användas i mera krävande situationer. Man bör dock vara försiktig vid mätning av snabba variationer i jordar med låg hydraulisk konduktivitet. Hydrauliska portrycksmätare är mycket stabila eftersom systemet inte innehåller några rörliga delar under marken. De kan därför användas för långtidsmätningar och kräver enbart regelbunden vattenspolning.

• Pneumatiska portrycksmätare

En pneumatisk portrycksmätare består av ett membran i övre delen av filterspetsens vattenkammare, två slangar för luft- eller gastransport (injektions- och returslang) och en mätutrustning som påför ett mottryck på membranet.

I den enklaste versionen av pneumatisk portrycksmätare ligger returslangen i ett vattenbad och torr gas pumpas till membranet genom injektionsslangen (**Fig 15**). När mottrycket blir större än trycket i spetsen pressas membranet in och därmed börjar en gascirkulation som kan observeras vid markytan genom att bubblor uppkommer i vattenbadet. När bubblorna kommer upp regelbundet och med en jämn låg hastighet avläses trycket i injektionsslangen som då motsvarar portrycket mot membranet.

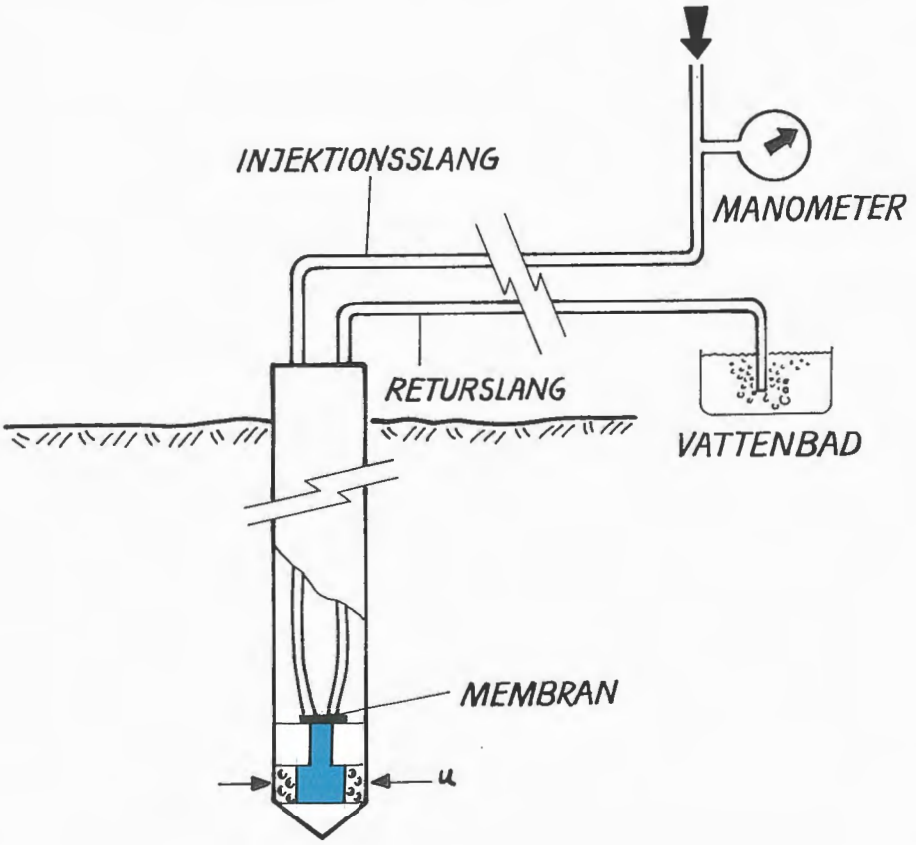


Fig. 15. Pneumatisk portrycksmätare med vattenbad.

En annan version av pneumatisk portrycksmätare är försedd med en flödesregulator som kontrollerar att ett konstant flöde injekteras under mätningen (**Fig 16**). Detta system kan användas för kontinuerlig mätning av portrycksvariationer.

Pneumatiska portrycksmätare kan installeras i svårtillgänglig terräng eftersom mätningen kan utföras på långt avstånd från spetsen. I motsats till hydrauliska portrycksmätare har det pneumatiska systemet ingen vätska i slangarna och är därför inte utsatt för problem med temperaturändringar eller undertryck i ledningarna. Däremot förekommer en viss strömningsförlust i ledningarna under mätmomentet och systemet måste kalibreras med den aktuella slanglängden för att eliminera denna felkälla. Deformationen av membranet vid avläsning kan generera övertryck som måste stabiliseras före tryckavläsning.

Pneumatiska portrycksmätare har en kort responstid och kan uppfylla kraven på tillförlitlighet vid mätning av snabba variationer i olika jordarter. Systemet innehåller rörliga delar i spetsen som är oåtkomliga efter installation varför ingen kontroll kan utföras under mätperioden. Eftersom mätresultatets tillförlitlighet beror på dessa delar är detta system mindre pålitligt för långtidsmätningar än hydrauliska portrycksmätare. Mätningsmomentet är förhållandevis tidskrävande och fordrar speciella instrument.

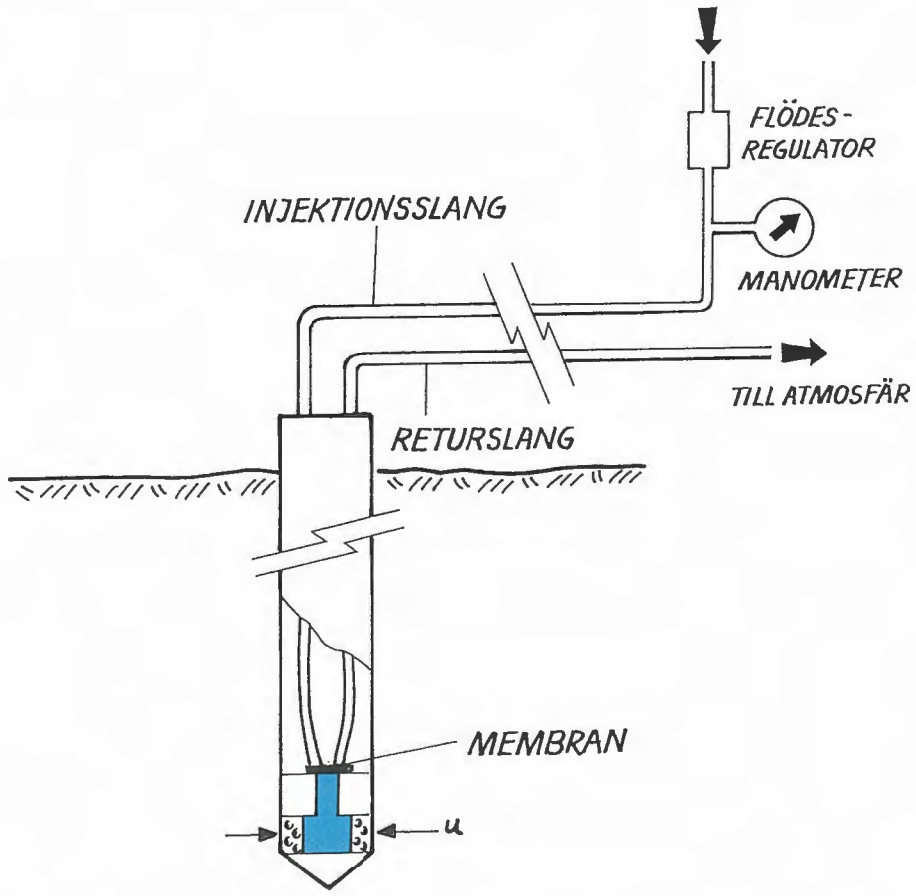


Fig. 16. Pneumatisk portrycksmätare med flödesregulator.

• Elektriska portrycksmätare

Elektriska portrycksmätare har en avkänningsdel som består av ett membran i övre delen av vattenkammaren, en elkabel för överföring av signaler och ett elektriskt system för mätning av membranets deformation. Det finns två typer av elektriska portrycksmätare - svängande sträng och trådtöjningsgivare.

Grundprincipen i portrycksmätare med svängande sträng är att en sträng vibrerar vid olika frekvenser beroende av sin längd. Strängen kopplas till baksidan av membranet (**Fig 17**), och när portrycket i vattenkammaren tvingar membranet att deformera sig, ändras strängens längd och därmed dess vibrationsfrekvens. Denna kan mätas med en frekvensmätare som får signaler från elektromagneter placerade på ömse sidor av strängen. Vibrationen startas genom en strömstöt i dessa magneter. Genom att kalibrera portrycksmätaren före installation kan man klarlägga vilket tryck som motsvarar olika frekvenser. Portrycket kan därmed registreras genom mätning av vibrationsfrekvensen.

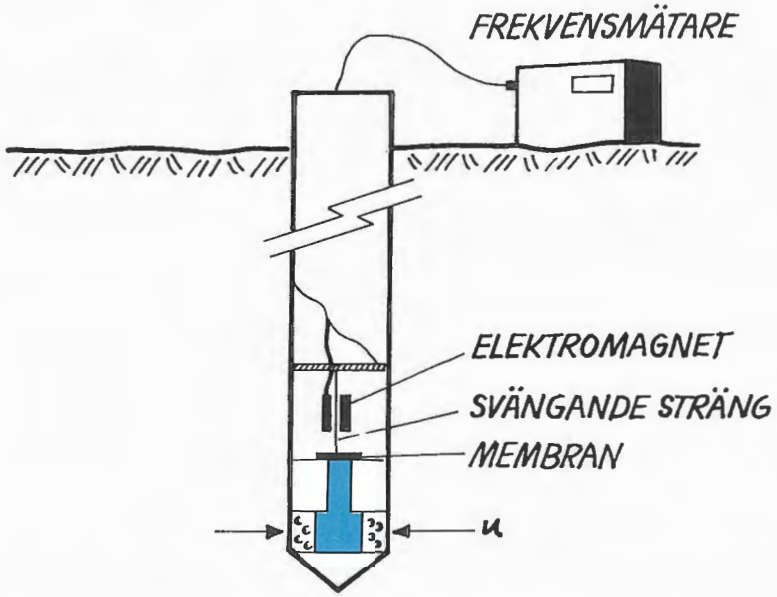


Fig. 17. Elektrisk portrycksmätare (svängande sträng).

Mätsystemet i en elektrisk portrycksmätare med trådtöjningsgivare använder en tråd som klistras på baksidan av membranet och som följer membranets deformationer när det utsätts för tryckändringar i vattenkammaren (**Fig 18**). När tråden deformeras ändras dess elektriska motstånd. Mätningarna utförs genom att en signal sänds till tråden och det elektriska motståndet mäts. Kalibrering av systemet före installation möjliggör en direkt registrering av portrycket i meter vattenpelare (mvp) eller i kPa.

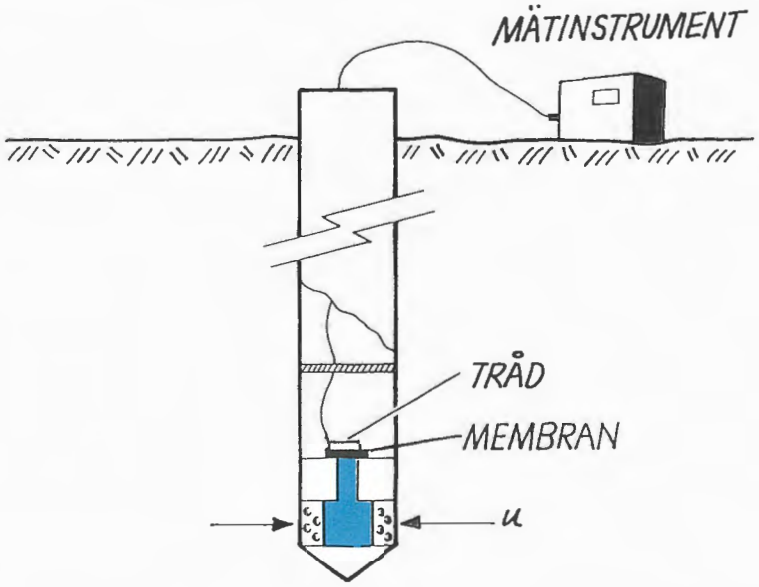


Fig. 18. Elektrisk portrycksmätare (trådtöjningsgivare).

Elektriska portrycksmätare kan registrera trycket relativt rådande lufttryck vid markytan om membranet är i kontakt med atmosfären, eller absoluttrycket om vakuum råder i kammaren bakom membranet. Vid användning av den senare typen måste lufttrycket registreras både vid kalibrering och mätning. Kalibrering bör ske vid den rådande temperaturen i marken för att undvika avvikelser på grund av temperaturkänslighet hos mätsystemet, även om denna numera kompenseras automatiskt hos de flesta system.

Elektriska portrycksmätare har en mycket kort responstid och kan därmed användas i stort sett i alla jordarter. Mätningarna utförs snabbt och på ett enkelt sätt. För dynamiska förlopp kan dock endast spetsar med trådtöjningsgivare användas. Vissa typer av elektriska portrycksmätare är försedda med en möjlighet till nollpunktskontroll och kan därmed användas för långtidsmätningar. Även mätare som inte har denna kontrollmöjlighet kan användas i dessa sammanhang, eftersom de ofta är konstruerade med stabila mätdelar, men detta bör kontrolleras noggrant vid anskaffning. Den största nackdelen med elektriska portrycksmätare är deras relativt höga kostnad jämfört med andra utrustningar. Deras känslighet mot stötar måste också beaktas under transport och vid installation. Om spetsarna installeras genom nedpressning från markytan måste porövertrycket kontrolleras under neddrivningen så att mätsystemet inte förstörs genom överbelastning.

• BAT-portrycksmätare

I BAT-systemet skiljer man spetsen och mätsystemet. Spetsen är gjord av plast eller rostfritt stål, med ett filter av keramik eller polyeten, och ett munstycke med gummimembran (**Fig 19**). Mätkroppen består av en elektrisk tryckgivare (trådtöjningsgivare) till vilken en injektionsnål ansluts. På platsen installeras endast en mätspets med förlängningsrör (galvaniserat vattenledningsrör).

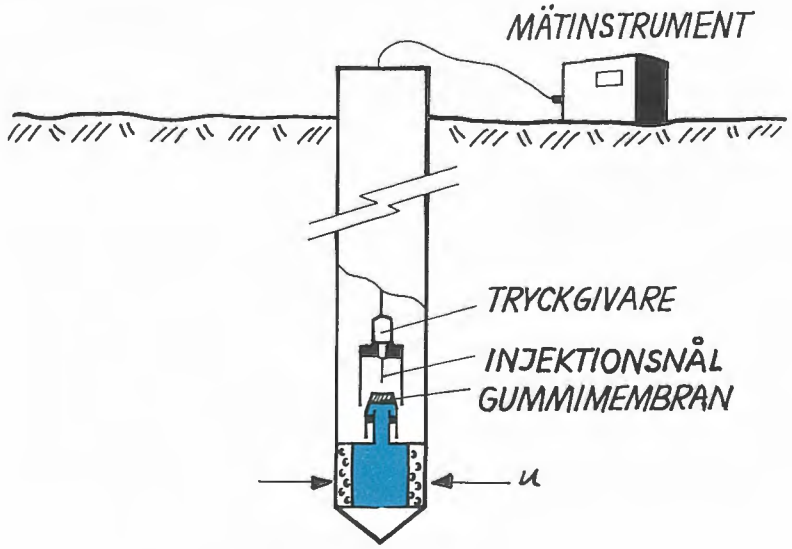


Fig. 19. BAT-portrycksmätare.

Vid mättillfället sänks mätkroppen ner på spetsen så att injektionsnålen tränger genom gummimembranet och kommer in i vattenkammaren. Därigenom kommer den elektriska tryckgivaren i kontakt med porvattnet via injektionsnålen och portrycket kan avläsas. Efter avläsningen kan mätkroppen tas upp igen. Samma mätkropp kan på detta sätt användas för att avläsa ett stort antal spetsar.

BAT-portrycksmätare använder samma mätprincip som elektriska systemen. Därmed har de också en mycket kort responstid och kan användas i alla jordarter. För avläsning av BAT-portrycksmätare behövs bara en tryckgivare oberoende av antalet spetsar, och därmed kan installationskostnaden minskas. Kalibrering av givaren kan också utföras oftare och på ett enklare sätt. Däremot tar avläsning av detta system längre tid och kräver större försiktighet än de andra systemen. Portrycket störs vid avläsning när injektiosnålen penetrerar gummimembranet, varför en viss väntetid erfordras innan ett stabilt portryck kan avläsas. BAT-systemet kan användas för automatisk avläsning och registrering, varvid kostnaden ökar eftersom detta kräver att en mätkropp installeras på varje spets. En stor fördel med detta mätsystem är att givaren enkelt kan kalibreras och/eller bytas ut.

5. VAL AV MÄTSYSTEM

5.1 Geotekniska krav på systemets egenskaper

Det finns som ovan redovisats ett stort antal system som kan användas för mätning av grundvattennivå eller portryck. För att kunna välja rätt system måste följande fyra huvudfrågor ställas och besvaras:

- vad är syftet med mätningarna?
- vilka parametrar skall mätas?
- hur skall mätarna anskaffas och installeras?
- hur skall mätningarna utföras (under vilka omständigheter)?

Med denna information kan sedan lämpligt mätsystem, dvs ett system som uppfyller kraven på mätningarna, väljas.

Vad är syftet med mätningarna?

Mätning av grundvattenförhållanden kan behövas för olika ändamål i olika skeden av ett projekt:

• **Observation** (projekteringsskede)

Syfte:
- ta hänsyn till grundvattenförhållandena vid planering av olika byggetapper;
- ta hänsyn till grundvattenförhållandena i olika geotekniska beräkningar (stabilitet, sättningar,...) och vid val av grundläggningssätt;
- dimensionera olika konstruktioner och anläggningar som skall användas under byggskedet (sponter, pumpinsatser,...).

• **Kontroll/Övervakning** (byggskede)

Syfte:
- bekräfta beräkningsförutsättningar som använts vid projektering;
- kontrollera att grundvattenförhållandena är stabila och inte förändras;
- kontrollera att olika parametrar inte överstiger eller underskrider vissa kritiska värden som framkommit av geotekniska beräkningar (grundvattensänkning i omgivning, portrycksökning i samband med pålningsarbete, portrycksökning vid belastning,...).

• **Uppföljning** (driftskede)

Syfte: - kontrollera att grundvattenförhållandena återgå till de normala efter byggarbetet (efter pålning, belastning, tillfällig grundvattensänkning,...);

- kontrollera att planerade permanenta ingrepp fungerar enligt projektering (permanent grundvattensänkning,...);

- registrera långtidsvariationer i ett område (vid grundvattentäkter, slänter,...).

Vilka parametrar måste mätas?

När syftet med mätningarna har klarlagts kan man bedöma vilka parametrar som behöver mätas för att uppnå detta syfte. Vad som skall mätas bestäms inte enbart av mätningarnas syfte utan även av faktorer som jordlagerföljd och jordens hydrauliska konduktivitet.

• **Grundvattennivå**

Grundvattennivån kan ibland vara den enda parameter som behöver mätas för ett projekt, t ex för planering av undervattensarbete (schaktning, gjutning,...), eller utvärdering av omfattningen av en eventuell grundvattensänkning och dess påverkan på omgivningen.

I friktionsjord kan mätning av grundvattennivån, kombinerad med en förutsatt hydrostatisk portrycksfördelning, vara acceptabel för att ta hänsyn till vattnets inverkan i olika geotekniska beräkningar.

• **Portrycksfördelning**

För markarbeten i kohesionsjordar är förutsättningen att hydrostatisk tryckfördelning råder ofta felaktig. Därför måste bestämning av grundvattennivån i genomträngliga bottenlager kompletteras med portrycksmätning på olika nivåer för att klarlägga tryckfördelningen i jorden.

• **Variationer i grundvattennivå eller portryck**

Under bygg- och driftskeden, eller vid övervakning av slänter och anläggningar, finns ofta behov av information angående ändringar i grundvattenförhållandena.

Variationer i grundvattennivå eller portryck kan behöva mätas vid t ex grundvattensänkning i samband med schaktningsarbete eller under stabiliseringsperioden efter dränering eller belastning.

Mätning av portrycksvariationer är ofta nödvändig, såväl i friktions- som i kohesionsjord, för t ex kontroll av stabilitet under olika byggskeden (belastning, pålning, schaktning,...) eller vid släntstabilitetsövervakning.

Kunskap om variationer i grundvattenförhållandena behövs också för att man skall kunna välja dimensionerande värden i projekteringsskedet.

Hur skall mätarna anskaffas och installeras?

Begränsningar angående leveranstider för olika system och installationsförhållandena måste beaktas vid val av mätsystem.

- **Anskaffning** Vilka utrustningar finns tillgängliga? Vad kan man uppbringa inom aktuell tid? Leveranstid?
- **Installation** Hur skall mätarna installeras? Hur fast är jorden vid installationsplatsen (behov av slagning)?
- **Stabilisering** Hur länge efter installation får det dröja innan systemet anger ett värde som ligger nära det rådande värdet?

Hur skall mätningarna utföras?

Många faktorer som inverkar på mätningsmomentet samt olika krav på mätresultatet kan spela en avgörande roll vid val av mätsystem:

- **Noggrannhet** Med vilken precision måste de valda parametrarna mätas?
- **Responstid** Hur länge efter tryckändring får det dröja innan systemet anger ett värde som ligger nära det rådande värdet?
- **Mättillfälle** När måste man mäta? Finns det vissa tidpunkter som är viktigare än andra? Skall man mäta under vinterperioden?
- **Intervall** Hur ofta måste man mäta? Intermittent eller kontinuerligt? Korta eller långa intervaller?
- **Mätperiod** Hur länge skall mätningarna utföras? En månad? Ett år? Flera år?
- **Avläsning** Kan man läsa manuellt eller måste man använda automatisk registrering?
- **Personal** Vem finns på arbetsplatsen för att sköta systemet och ev utföra mätningarna? Har personalen som finns till hands tillräcklig kompetens för att sköta ett tekniskt avancerat mätsystem?
- **Kontroll** Har man möjlighet att nå mätsystemet för eventuella kontroller?

5.2 Tillförlitlighet vid mätning av variationer

Med tillförlitlighet hos ett system menas systemets förmåga att ange mätvärde med önskad precision under olika förhållanden. Tillförlitlighet bedöms med hänsyn till jordens egenskaper samt problemets natur och omfattning.

Om grundvattenförhållandena är stabila (inga variationer), är systemets tillförlitlighet efter stabilisering lika med dess noggrannhet.

Om det sker variationer i grundvattenförhållandena måste en viss vattenvolym förflyttas mellan jorden och spetsen för att variationerna skall kunna registreras. Detta innebär att det tar en viss tid efter en tryckändring innan portrycksmätaren visar rätt värde. Tidsfördröjningen beror på jordens hydrauliska konduktivitet, givarens mätprincip samt storleken och formen på filtrets kontaktyta mot jorden.

De olika systemen kan jämföras med hjälp av två faktorer:

- **volymfaktorn (V)** som är vattenvolymen som behöver vara i rörelse för att möjliggöra registrering av en tryckändring;
- **formfaktorn (F)** som representerar filtrets kontaktyta med jorden.

Eftersom allt vatten som är i rörelse för att aktivera mätsystemet passerar genom filtret, måste volymfaktorn och formfaktorn studeras tillsammans. Tidsfördröjningen, eller responstiden, beror på en kombination av dessa två faktorer och det finns därmed tre olika sätt att **minska responstiden** vid mätning:

- behålla samma filterelement men välja en annan mätprincip med mindre volymfaktor;
- behålla samma mätprincip men välja ett annat filterelement med större formfaktor;
- byta både mätprincip och filterelement för att minska värdet på V/F.

Några värden för volymfaktorn och formfaktorn hos olika mätsystem respektive olika filterelement presenteras i **BILAGA C**. Som framgår av bilagan är volymfaktorn större hos de öppna systemen än hos de slutna systemen eftersom de förstnämda kräver in- eller utsrömning av en större vattenvolym för registrering av en tryckändring. Bilagan visar också att variationer i volymfaktorn är betydligt större än variationer i formfaktorn. Detta innebär att det ger bättre effekt om man väljer ett system med en annan mätprincip (annan volymfaktor) än om man enbart byter filterelement (annan formfaktor).

För att kunna bedöma olika systems lämplighet bör man klarlägga vilka krav som skall ställas på mätningarnas noggrannhet. Detta görs genom att bestämma hur snabbt systemet måste uppnå en viss stabilisering, dvs hur länge får det dröja innan systemet registrerar ett värde som ligger inom ett visst intervall kring det riktiga värdet. Därefter kan

olika system utvärderas och ett av dem som fyller kraven väljas. I **BILAGA C** presenteras en metod för beräkning av responstiden med hänsyn till bl a mätsystemet och stabiliseringsgraden.

5.3 Tillförlitlighet vid långtidsmätningar

Tillförlitligheten hos olika mätsystem avseende långtidsmätningar beror på två faktorer: enkelhet i mätprincipen och kontrollmöjligheten i systemet. Lämpliga system för långtidsmätningar är de system som innehåller få rörliga delar samt de system som har dessa delar åtkomliga för eventuell kontroll.

Öppna system är ofta tillförlitliga över långa perioder om man kan kontrollera filtrets funktion så att igensättning inte förekommer. Hydrauliska portrycksmätare och BAT-portrycksmätare anses också tillförlitliga för långtidsmätningar, eftersom de kalibreringsbara delarna kan kopplas bort och kontrolleras.

Elektriska portrycksmätare tillverkas idag med stabila mätsystem och vissa typer förses med en inbyggd möjlighet till nollpunktskontroll som gör systemet relativt säkert för långtidsmätningar. Trots detta kvarstår en viss osäkerhet vid långa mätperioder, eftersom mätsystemets funktion och kalibreringsparametrarna inte kan kontrolleras under mätperioden.

5.4 För- och nackdelar med olika mätsystem

Noggrannhet och responstid är de viktigaste faktorerna att beakta vid val av ett mätsystem. Om det finns flera system som kan klara kraven för dessa två faktorer kan andra faktorer utvärderas för att göra ett slutligt val.

Varje mätsystem har sina för- och nackdelar avseende allmänna egenskaper (installations- och mätningssvårigheter, kostnad,...) och tekniska prestanda (noggrannhet, responstid, tillförlitlighet,...).

Tabell 1 sammanfattar de viktigaste för- och nackdelarna för systemen som presenterats i Kapitel 4. Tabellen kan användas som ett första steg i utvärdering av olika mätsystem, men flera av dessa faktorer bör studeras i detalj innan beslut kan tas om vilket system som skall användas.

Tabell 1. För- och nackdelar hos olika mätsystem

MÄTSYSTEM	FÖRDELAR	NACKDELAR
Observationsborrhål	Lätt att utföra Låg kostnad	Lång responstid Påverkas av yt- och sjunkvatten Påverkas av lager med olika trycknivåer Begränsat användningsområde
Öppet rör	Lätt att installera Låg kostnad Möjlighet att kontrollera filtrets funktion	Lång responstid Icke-användbar vid snabba variationer Igensättning av filtret Störande på byggplatsen Begränsat användningsområde
Filterspets	Låg kostnad Tillförlitlig Möjlighet att ändra responstid Möjlighet att kontrollera filtrets funktion Självavluftning om tillräckligt stor slang-diameter (>8mm)	Lång responstid Icke-användbar vid snabba variationer Igensättning av filtret Störande på byggplatsen Begränsat användningsområde
Hydraulisk portrycksmätare	Enkel avläsning Inga oåtkomliga rörliga delar Möjlighet att avlufta systemet Tillförlitlig för långtidsmätningar	Komplicerad mätstation Temperaturkänslig Måsta avluftas regelbundet
Pneumatisk portrycksmätare	Kort responstid Kalibreringsbara delar tillgängliga Möjlighet att minska störningar på byggplatsen	Komplicerad mätstation Komplicerad avläsningsrutin Oåtkomliga rörliga delar i spetsen Osäker vid långtidsmätningar
Elektrisk portrycksmätare	Enkel avläsning Kort responstid Inga störningar på byggplatsen Kan mäta undertryck Kan användas för automatisk avläsning ovh registrering	Känslig för stötar och slag Osäker vid långtidsmätningar Omöjligt att kontrollera kalibrering under mätperioden Hög kostnad Kan överbelastas vid nedtryckning
BAT-portrycksmätare	Kort responstid Kan mäta undertryck Möjlighet att kalibrera tryckgivaren Tillförlitlig för långtidsmätningar Kan användas för automatisk avläsning och registrering Enbart en givare behövs för flera spetsar (gäller ej vid automatisk registrering)	Komplicerad avläsningsrutin Störande på byggplatsen (kan avhjälpas vid automatisk registrering) Hög kostnad vid automatisk registrering

5.5 Tillämpningsområde för olika mätsystem

Det finns inga klara och bestämda regler när det gäller att välja vilket mätsystem som skall användas inom ett visst projekt. Varje problem är unikt och många faktorer kommer att påverka valet, ofta på motsägande sätt.

Genom att svara på frågorna som presenteras i **Avsnitt 5.1** kan de styrande faktorerna klarläggas och därefter ett antal tänkbara system väljas. Ett systems lämplighet bedöms med hänsyn till tekniska och ekonomiska krav men framför allt med hänsyn till systemets förmåga att klara de krav som ställs på mätresultatet (noggrannhet, tillförlitlighet).

Tabell 2 presenterar olika systems lämplighet i olika situationer. Tabellen tar enbart hänsyn till mätresultatet, medan andra faktorers inverkan måste bedömas därutöver. Därmed kan lämpliga/acceptabla mätsystem uteslutas av andra skäl än kraven på mätresultatet. Däremot bör man aldrig bortse från kraven på mätresultatet och acceptera ett icke lämpligt system på grund av andra faktorer, t ex av ekonomiska skäl.

Tabell 2. Olika systems lämplighet.

MÄTUPPDRAG	GRUS, GROVSAND	FINSAND, GROVSILT	FINSILT,LERA, TÄT MORÄN
Mätning av grundvattennivå	Observationsborrhål Öppet rör Filterspets	Öppet rör Filterspets	Filterspets Hydraulisk Pneum/Elekt/BAT
Mätning av portryck	Öppet rör Filterspets	Filterspets Hydraulisk Pneum/Elekt/BAT	Filterspets Hydraulisk Pneum/Elekt/BAT
Mätning av normala variationer av grundvattennivå, t ex • årstidsvariationer • grundvattensänkning • ...	Observationsborrhål Öppet rör Filterspets	Öppet rör Filterspets Hydraulisk Pneum/Elekt/BAT	Filterspets Hydraulisk Pneum/Elekt/BAT
Mätning av normala variationer av portryck, t ex • årstidsvariationer • pumpning (pumpförsök) • schaktningsarbete • på- eller avlastning • långtidsstabilisering efter t ex pålning • ...	Filterspets Hydraulisk Pneum/Elekt/BAT	Filterspets Hydraulisk Pneum/Elekt/BAT	Hydraulisk Pneum/Elekt/BAT
Mätning av snabba variationer av portryck, t ex • pålningsarbete • spontslagning • släntbevakning • ...	Pneum/Elekt/BAT	Pneum/Elekt/BAT	Pneum/Elekt/BAT

6. VAL AV MÄTPUNKTER

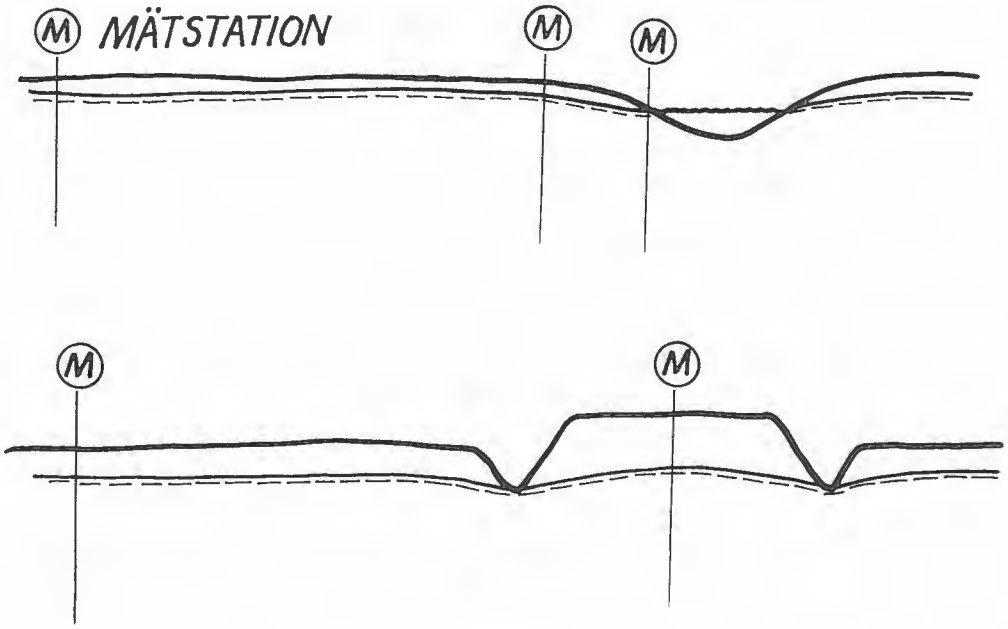
Efter val av lämpligt mätsystem måste antalet mätpunkter som skall instrumenteras samt deras lokalisering bestämmas. Topografi och geologi är givetvis styrande faktorer som ligger till grund för beslutet men även problemets natur och omfattning påverkar lokaliseringen. I ett första steg bestäms var i plan mätning av grundvattennivå eller portryck skall utföras. Efter lokalisering av dessa områden, kallade mätstationer, kan positionen av mätpunkter i djupled bestämmas. En mätstation kan bestå av en eller flera mätpunkter, dvs flera rör eller mätspetsar installerade på olika nivåer, normalt efter en lodlinje.

6.1 Lokalisering av mätstationer

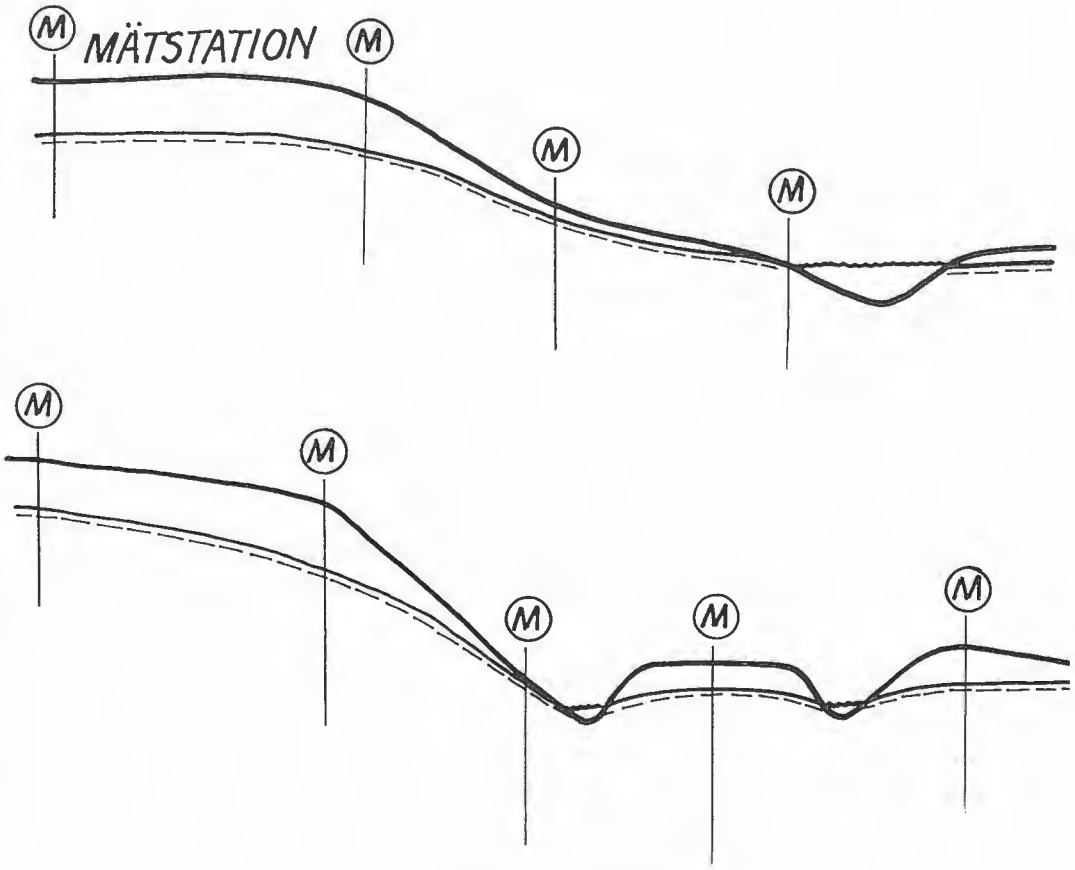
I regel skall mätstationerna placeras så att en rimlig interpolation kan göras mellan dem. Detta innebär att i horisontell eller svagt lutande terräng kan avståndet mellan mätstationer vara relativt stort (**Fig 20a**). I kuperad terräng bör de däremot sättas närmare varandra och en mätstation bör installeras vid varje betydelsefull ändring i terrängens lutning (**Fig 20b**). Vid ingrepp i naturen i form av belastning eller avschaktning måste mätstationerna placeras med hänsyn till mätningarnas syfte.

Om observationer enbart skall utföras för att klarlägga grundvattenförhållandena inför projekterings- och byggskeden gäller samma regler som ovan. Om man däremot vill studera ett ingrepps inverkan på grundvattnet i omgivningen måste installationen planeras så att mätstationerna inte enbart kan användas för observationer före ingreppet utan även under och framför allt efter arbetet. I många fall måste dock ett antal stationer installeras efter ingreppet.

När mätningarna syftar till att bevaka grundvattenförhållandena i ett visst område skall en referensmätstation alltid planeras i närheten av området. Ändamålet med referensmätstationen är att kunna observera naturliga variationer i grundvattenförhållandena så att hänsyn till dessa variationer kan tas vid utvärderingen av utförda mätningar i området. Referensmätstationen måste därför installeras utanför det område som förväntas bli påverkat av ett ingrepp, dock i samma geologiska formation som mätningarna utförs (**Fig 21a, b och c**).

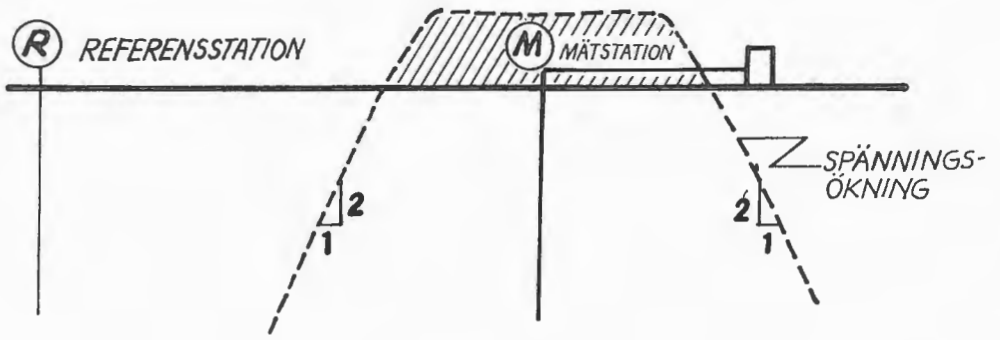


a) svagt lutande terräng

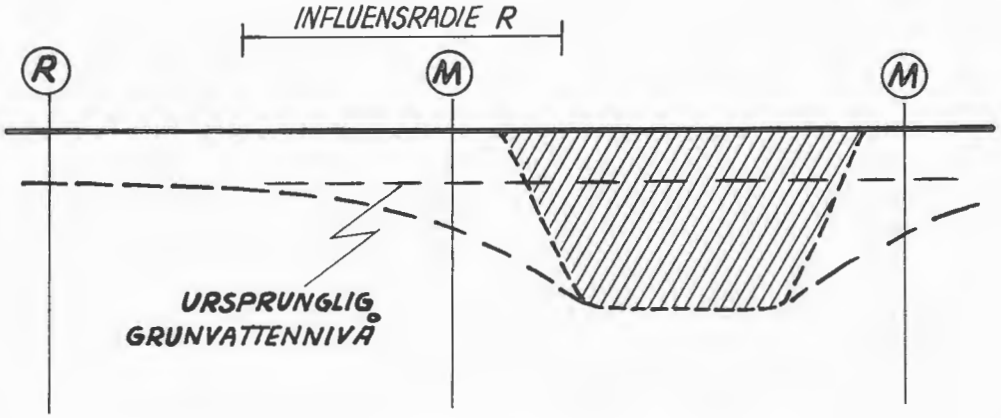


b) kuperad terräng

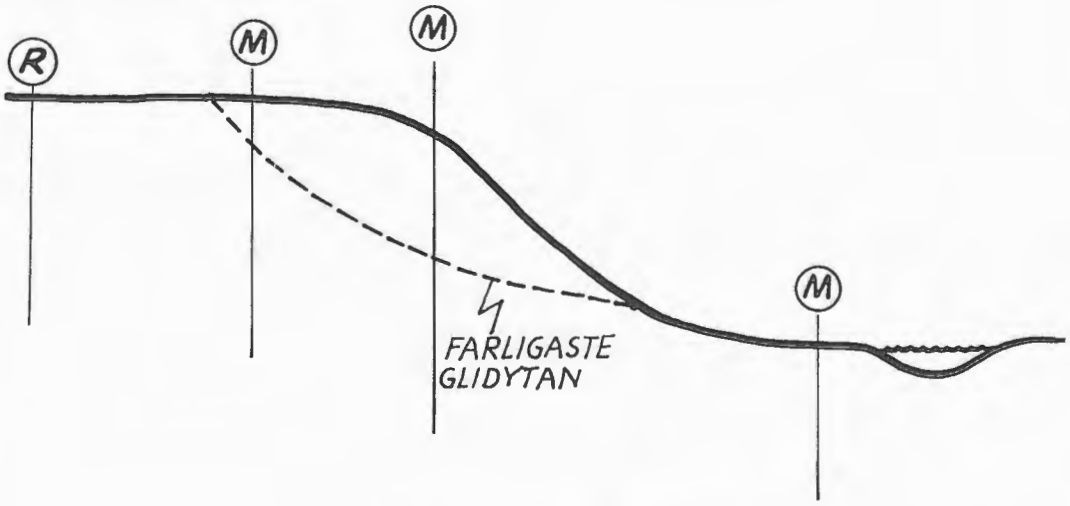
Fig. 20. Exempel på placering av mätstationer.



a) vid belastning

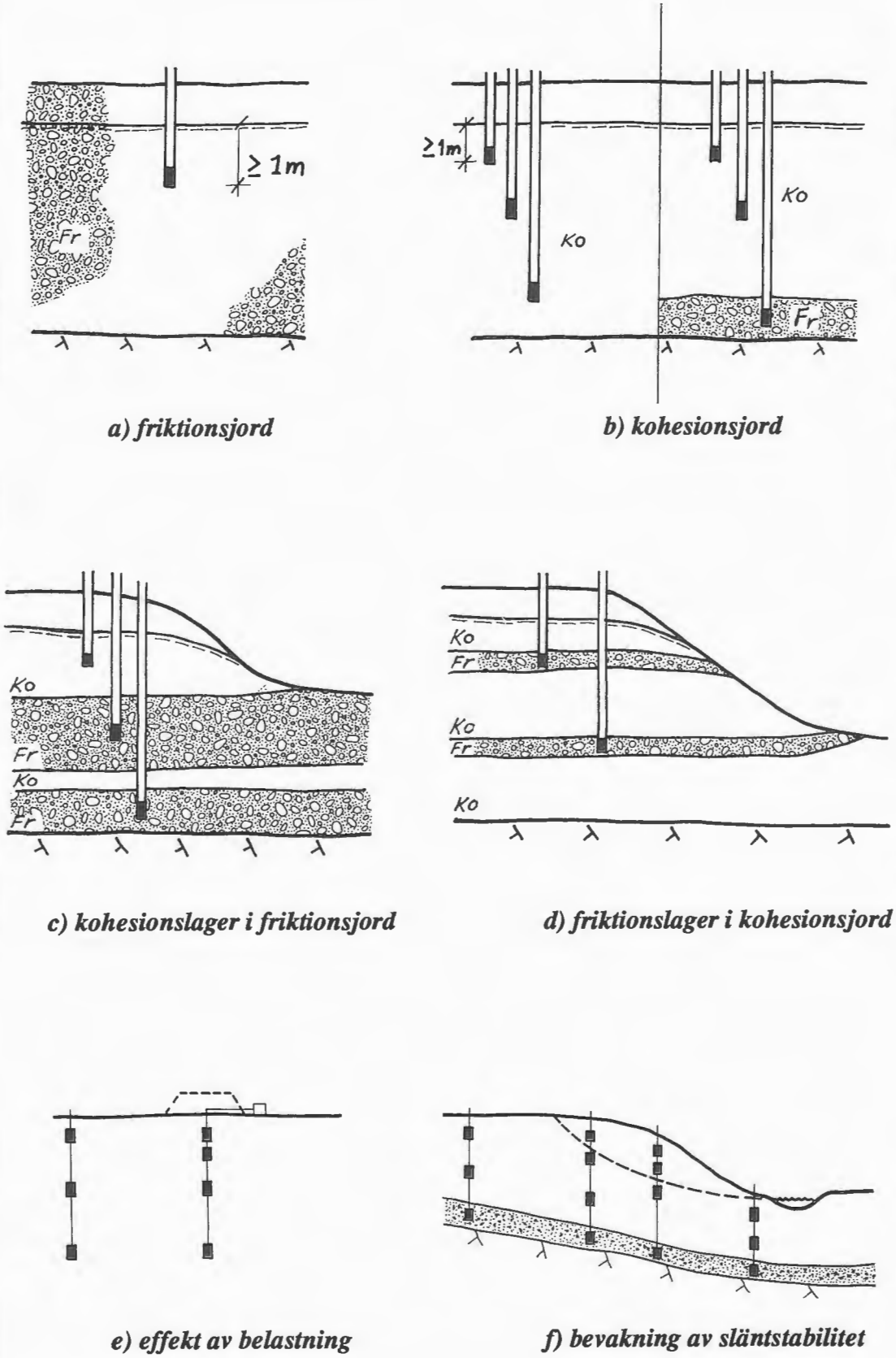


b) vid schaktning med grundvattensänkning



c) vid bevakning av släntstabilitet

Fig. 21. Exempel på placering av mätstationer inklusive referensmätstationer.



a) friktionsjord

b) kohesionsjord

c) kohesionslager i friktionsjord

d) friktionslager i kohesionsjord

e) effekt av belastning

f) bevakning av släntstabilitet

Fig. 22. Installationsdjup för portrycksmätning vid olka jordlagerföljder och problemställningar.

6.2 Val av installationsdjup

Erforderligt antal spetsar vid varje mätstation beror på jordens stratigrafi samt på vilken parameter som skall mätas (grundvattennivå eller portrycksfördelning). Jordlagerföljden måste klarläggas genom sondering och provtagning så att representativa mätnivåer kan väljas. Noggranna sonderingsmetoder som portryckssondering och kombinerad spetstryck-/portrycksondering bör t ex användas i en lerprofil som innehåller tunna skikt av friktionsjord.

Vid observation av grundvattenytan i friktionsjord behövs **endast en** mätpunkt i varje mätstation. Spetsen bör installeras minst en meter under den lägsta grundvattennivån som förväntas förekomma under mätperioden (**Fig 22a**).

Vid mätning av portrycksprofiler måste **minst tre** spetsar installeras i varje mätstation. Den översta spetsen bör installeras minst en meter under lägsta grundvattennivån under mätperioden. Om jordprofilen består av friktionsjord överlagrad av kohesionsjord bör den nedersta spetsen installeras i friktionsjorden eftersom vattentrycket kan variera snabbare i detta lager (**Fig 22b**).

Om en avlagring av friktionsjord innehåller skikt av tätare jord kan flera grundvattenmagasin med olika grundvattentryck förekomma. Vid sådana förhållanden bör ett grundvattenrör eller en portrycksmätare installeras i varje lager av friktionsjord som begränsas av kohesionsjord (**Fig 22c**).

När portrycksfördelning skall studeras i en jordlagerföljd som innehåller flera lager av kohesions- eller friktionsjord bör en spets installeras i varje betydelsefullt skikt. Notera att tunna skikt av siltigt eller sandigt material kan vara av stor betydelse för grundvattenförhållandena genom att bl a styra in/utströmning av vatten från/till närliggande lager. Dessa tunna skikt måste därför beaktas när snabba variationer förväntas, t ex vid pålslagning (**Fig 22d**).

Problemets natur kan också styra val av installationsdjup. Vid uppföljning av belastning kan mätspetsar installeras i första hand i de översta lagren där portrycksökningen blir störst (**Fig 22e**). Vid bevakning av släntstabilitet kan man välja att lokalisera mätpunkter i den farligaste zonen enligt utförda stabilitetsberäkningar (**Fig 22f**). Vid bevakning av spontade schakter måste mätpunkterna lokaliseras i de lager som kan drabbas av stora och snabba portrycksändringar och som kan orsaka bottenupptryckning.

7. INSTALLATION

7.1 Neddrivning

Neddrivning är ofta den enklaste metoden för installation av mätspetsen till rätt nivå i jorden (**Fig 23a**). Neddrivningen kan utföras manuellt, med hydraulisk eller mekanisk tryckkraft eller eventuellt med slagning. För att behålla utrustningen vattenmättad måste installationen ske efter det att man har förborrat till grundvattenytan. Det förborrade hålet kan sedan tätas med bentonit eller dylikt efter installation.

Om friktionen längs rör eller borrstänger blir för stor vid installation till stora djup kan förborrningen utföras till några meter över önskad installationsnivå. Därefter kan spetsen tryckas eller slås ned och hålet kan återfyllas och tätas.

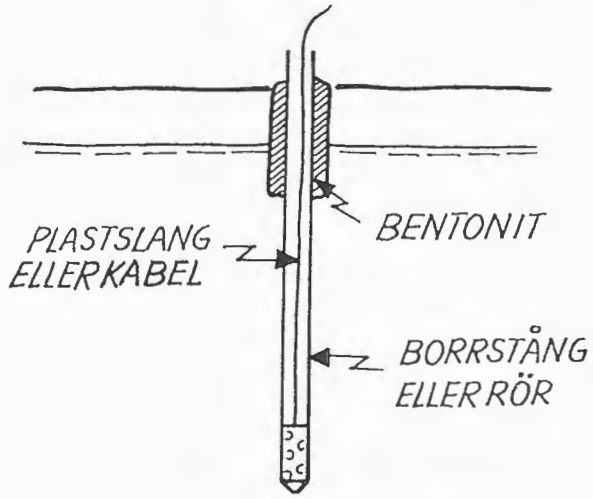
Om neddrivning används som installationsmetod i lös kohesionsjord, t ex lös lera, och röret har samma diameter hela vägen kommer installationen att tätas automatiskt genom återkonsolidering av jorden längs röret. Detta innebär att portrycket som registreras i neddrivna spetsar i lös lera, vanligtvist är representativt för trycket vid spetsens nivå utan påverkan av portrycket i överliggande lager. Om röret eller borrstängerna har mindre diameter än mätspetsen måste ett tätrör kopplas direkt över spetsen. Tätröret skall ha samma diameter som spetsen och vara 1-2 m lång. Rör eller borrstång med mindre diameter kan sedan kopplas på tätröret för neddrivning. Om borrstängerna skall tas upp efter installation (Geotech filterspets) lämnas tätröret kvar i jorden.

Neddrivning med slag används i fast jord och kräver mätspetsar som är okänsliga för stötar. Denna installationsmetod bör därför undvikas för spetsar med inbyggt mätsystem (elektriska spetsar) eller med plastspetsar (vissa typer av BAT-spetsar).

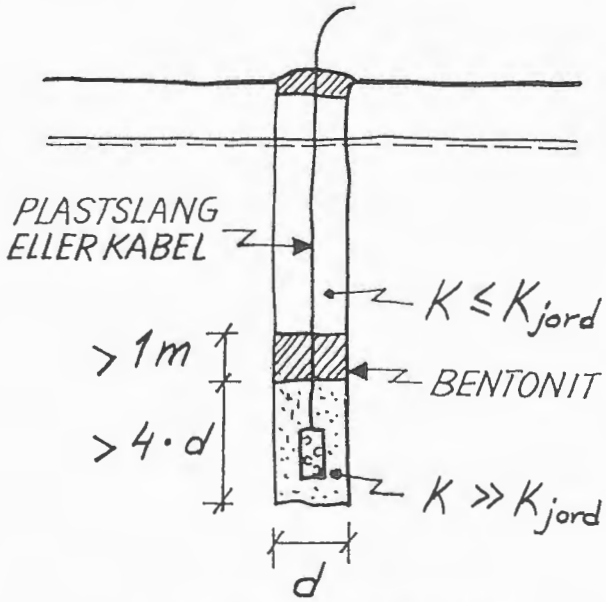
Nedtryckning av en spets i kohesionsjord genererar porövertryck som kan motsvara upp till 3 à 5 ggr jordens skjuvhållfasthet. Vid neddrivning av portrycksmätare försedda med tryckmembran kan överbelastning förekomma. Detta beaktas genom att mätinstrumentet kopplas in och kontinuerlig avläsning utförs under neddrivning. Om porövertrycket når upp till givarens kapacitet måste neddrivningen stoppas och installation bör ske i ett borrhål (**se Avsnitt 7.2**). För att undvika höga porövertryck kan ett hål borras i förväg med en spets med mindre diameter än mätspetsen. Även om trycket då blir mindre, bör det följas upp med inkopplat mätinstrument under neddrivningen.

7.2 Installation i borrhål

När jordens fasthet och utrustningens kapacitet omöjliggör neddrivning av mätspetsen med tryckkraft eller slagning måste installationen utföras i borrhål (**Fig 23b**). Installation utförs genom att ett borrhål tas upp till önskad nivå och delvis fylls med grovt material i vilket spetsen installeras. Längden på filterzonen kan variera, men rekommenderas vara minst fyra gånger borrhålets diameter. Över filterzonen skall borrhålet



a) installation med neddrivning



b) installation i borrhål

Fig. 23. Installationsmetoder.

tätas med bentonit eller dylikt. Tätningen bör vara minst 1,0 m. Om borrhålet sträcker sig djupare än installationsnivån bör även den undre delen tätas på samma sätt. Tätningen måste utföras med stor omsorg så att inget vatten kan rinna till spetsen från ovanförliggande lager. För att förhindra kontakt mellan olika lager via borrhålet och undvika störningar av grundvattenförhållandena kring installationen bör borrhålet fyllas upp till markytan med ett material med lägre genomtränglighet än omgivningens ($K < K_{jord}$).

Genomträngligheten hos materialet som används som filter måste vara mycket högre än den omgivande jordens ($K > 100 \cdot K_{jord}$), så att vattnet kan röra sig i båda riktningar mellan jorden och spetsen.

7.3 Installation - utförande och kontroll

Installationens utförande är avgörande för mätsystemets funktion. I den följande texten samt i **Fig 24** beskrivs de olika moment som är nödvändiga för en tillförlitlig installation. En mer omfattande och detaljerad beskrivning av dessa moment för olika mätsystem presenteras i **BILAGA D**.

Det första steget i installationen innebär en kontroll av alla filterelements funktion, så att vattnet kan röra sig fritt i båda riktningar genom filtret. Om mätspetsen innehåller kalibreringsbara delar måste kalibreringen kontrolleras och ev förnyas.

Luft eller gas i mätsystemet påverkar både mätvärde och responstid (se **Avsnitt 7.4**). För att undvika senare problem med mätningarna måste alla delar som är i kontakt med porvattnet vattenmättas. Detta gäller främst filtret, spetsens vattenkammaren samt eventuella slangar. För att vattenmätta filtret kan man lägga det i vatten och därefter avlufta vatten och filter med kokning eller vakuumpump. Sedan alla delar vattenmättats måste de hållas i vatten under alla moment av förberedelserna tills dess att installationen utförts.

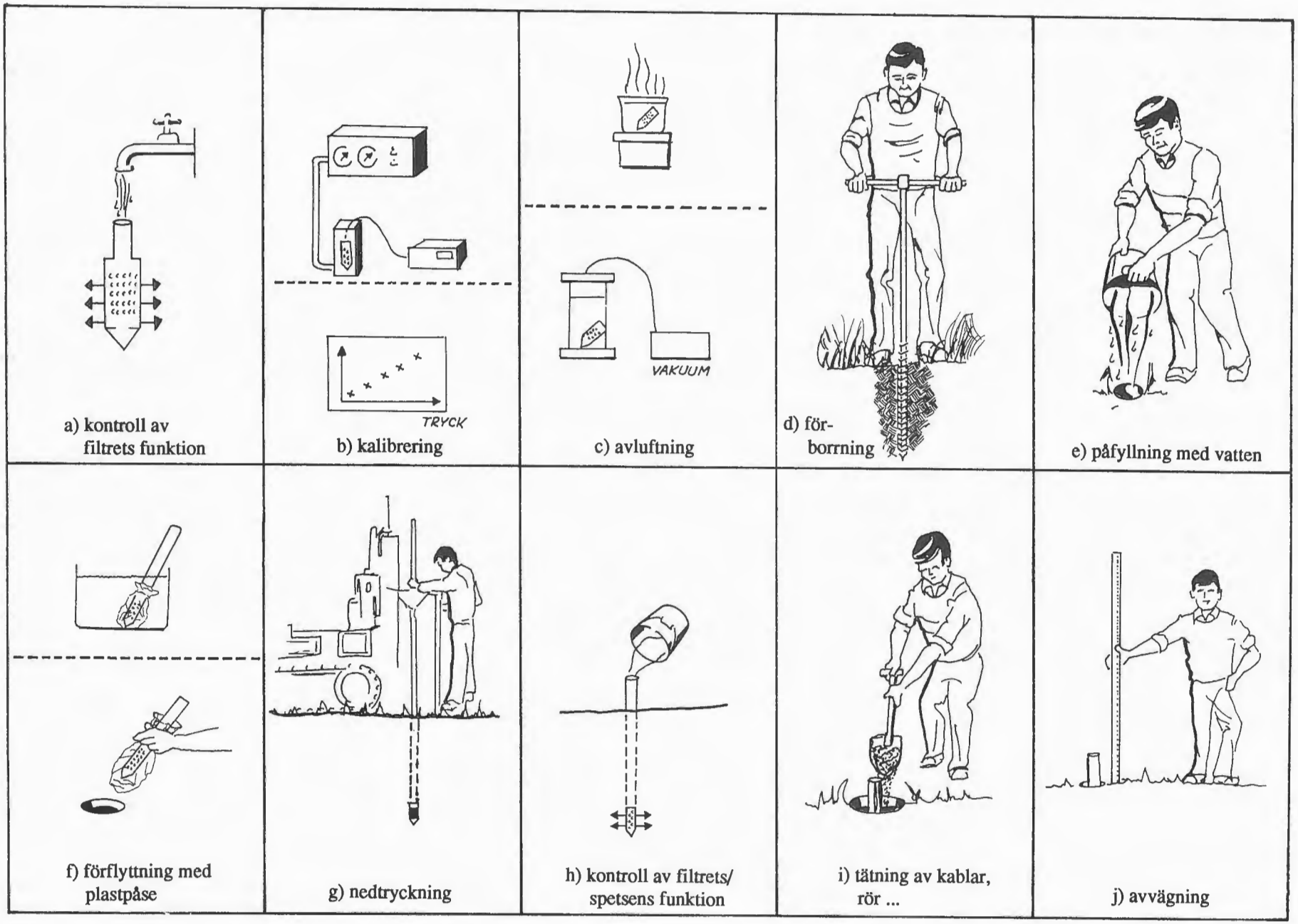
Om spetsen skall installeras med neddrivning måste ett hål förborras till grundvattenytan. Detta hål fylls sedan före installationen med vatten upp till markytan så att spetsen kan hållas under vatten när den sänks ned i det förborrade hålet. Om det översta lagret är genomträngligt och släpper vattnet kan ett foderrör användas för att höja vattennivån i hålet till markytan. Samma procedur gäller när spetsen skall placeras i borrhål dvs att borrhålet, eventuellt med foderrör, först måste fyllas med vatten till markytan innan spetsen installeras.

För att hålla filterelementet vattenmättat kan en vattenfylld plastpåse användas runt spetsen när den flyttas till borrhålet. Spetsen med plastpåsen sänks i det vattenfyllda hålet varefter påsen kan tas bort eller perforeras när spetsen trycks ned.

Spetsen trycks ned till önskad nivå med hydraulisk kraft eller med annan metod. Den kan eventuellt slås ned om jordens fasthet är hög och mätspetsen tål uppkommande tryck. Spetsen måste då också tåla de mekaniska påfrestningarna.

Vid installation av **portrycksmätare med inbyggt mätsystem** måste porövertrycket under neddrivning kontrolleras så att mätsystemets kapacitet inte överskrids. Detta gäller främst elektriska portrycksmätare, men även hydrauliska system med permanent installerad manometer kan skadas. Om trycket blir för högt under installationen måste neddrivningen avbrytas och installationssätt ändras till placering i borrhål alt förborrning med en klenare spets före neddrivning.

För att undvika igensättning av **filterspetsar** under neddrivning kan man fylla plastslangen med vatten och tillsluta änden. Detta förhindrar inströmning av vatten till spetsen och minskar därmed risken att små partiklar trycks fast på filtret. Efter installation kan pluggen tas bort och filtrets kondition kontrolleras genom att observera om vattnet i plastslangen rinner ut i jorden via spetsen.



a) kontroll av filtrets funktion

b) kalibrering

c) avluftning

d) för-borrning

e) påfyllning med vatten

f) förflyttning med plastpåse

g) nedtryckning

h) kontroll av filtrets/ spetsens funktion

i) tätning av kablar, rör ...

j) avvägning

Fig. 24. Installation - utförande och kontroll

Efter nedsättning av **öppna rör** fylls röret med vatten för att kontrollera att vattnet kan rinna ut i omgivande jord. Skulle röret ha tätats kan man sätta vattnet under tryck för att eventuellt rensa perforeringen.

För att minska ytspänningen och därmed underlätta att luftbubblor kommer upp i slangar eller rör som utgör **öppna system**, kan några droppar diskmedel blandas in i vattnet. Om ett elektriskt mätinstrument skall användas för mätning kan dessutom lite salt tillsättas för att förbättra vätskans elektriska konduktivitet. Vid användning av öppna system under vinterförhållanden måste en köldblandning användas. Blandningens densitet bör vara samma som vattnets för att unvika problem med utvärdering av mätresultatet, **Tabell 3**.

Tabell 3. Sammansättning av köldblandning med samma densitet som vatten.

5,5 liter glycerin (glykol)	
5,5 liter denaturerad sprit (rödsprit)	
10 liter vatten	
	(efter J&W, 1973)

Efter installation bör alla rör, kablar samt förborrade hål tätas med bentonit eller dylikt. Därefter måste en skyddsanordning utföras kring slangar och kablar som kommer upp över markytan. Om utrustningen riskerar att bli förstörd av t ex trafik på byggplatsen, måste den markeras och skyddas ytterligare med t ex rödmålade träreglar och påkörningsskydd. Spetsens position måste bestämmas och spetsens, markytans samt rörets nivåer måste avvägas. Denna information måste sedan protokollföras tillsammans med annan information som bl a installationsdatum. I **BILAGA E** presenteras några exempel på fältprotokoll som kan användas vid installation och mätning.

7.4 Fällor och fel vid installation

Den vanligaste felkällan vid grundvattennivå- eller portrycksmätning är **förekomst av gas- eller luftbubblor i systemet**. Eftersom detta påverkar mätningarna i både öppna och slutna system, är det viktigt att alla delar av systemet är vattenmättade vid installation. Alla vattenmättade delar måste hållas i vatten under olika moment (transport, förberedelse, installation). Installationen skall ske efter det att man har förborrat ned till grundvattenytan och fyllt hålet med vatten.

Vid nedsättning av en spets kan olika fenomen inträffa som förorsakar **igensättning av filtret**. Om det bildas stora övertryck under nedpressningen kan vatten strömma från jorden till spetsen och transportera små partiklar som fastnar i filtret. Detta problem förekommer främst i öppna system och kan undvikas genom att med proppade vattenfyllda slangar åstadkomma ett mottryck under installationen.

Å andra sidan kan ibland stora undertryck uppstå under nedtryckningen, framför allt när torrskorpan eller fasta lager passeras och jorden expanderar. Detta orsakar en strömning

av vatten och gasbubblor ut och in genom filtret, allteftersom trycket växlar. När spetsen sedan passerar ett lager av finkornig jord, kan små partiklar sugas in och sätta igen filtret. Detta problem förekommer främst vid installation av slutna system och kan undvikas genom förborrning när dessa lager finns nära markytan (t ex torrskorpa). När djupa fasta lager passeras undviks problemet genom sänkt nedpressningshastighet eller förborrning med klenare spets.

I skiktad jord med vattenförande lager med olika trycknivåer kan **vatten pressas längs förlängningsrören** och påverka portrycket vid spetsens nivån. I dessa fall måste spetsen isoleras från ovanförliggande lager. I lös jord med låg hydraulisk konduktivitet, t ex lösa leror, kan spetsen tryckas ned i jorden eftersom återkonsolideringen av jorden kring rören hindrar vattenrörelse mellan olika lager. I andra fall bör spetsen installeras i ett förborrat hål som efter installation tätas med t ex bentonit eller dylikt.

Alla kablar, rör och förborrade hål måste tätas vid markytan för att förhindra att **ytvatten rinner ner till spetsen** och påverkar mätningarna. Denna tätning är speciellt viktig vid ytlig placering av spetsar.

Utrustningar som är känsliga för **slag och stötar** kan förstöras vid lagerhållning, transport och installation. Sådana utrustningar bör alltid behandlas varsamt under dessa moment.

8. MÄTNING

8.1 Stabiliseringsperiod

När en mätspets installerats i jorden förändras portrycket i omgivningen och strax efter installationen avviker trycket i mätsystemet från trycket i jorden. Därför måste en stabilisering ske innan rättvisande värden kan erhållas. Stabiliseringsperioden beror på jordens hydrauliska konduktivitet samt systemets konstruktion och kan variera mellan några timmar till några dagar (upp till två veckor i lera). Utrustningarna måste därför installeras i så god tid före önskad mätperiod att portrycket i jorden hinner stabiliseras och anpassa sig till omgivningen. Det kan dock vara en fördel att påbörja mätningarna omedelbart efter installation eftersom man då får en uppfattning om stabiliseringsperiodens längd.

Om syftet med mätningarna är att studera inverkan av ett ingrepp i grundvattenförhållandena måste de naturliga förhållandena före ingreppet klarläggas. Stabiliseringsperioden bör därför ingå i planeringen, så att installationen kan ske tillräckligt långt i förväg för att åtstadkomma en tillförlitlig referensmätning. Finns ingen sådan bör man antingen senarelägga ingreppet tills referensmätning erhållits eller avstå från att mäta inverkan av ingreppet.

8.2 Mättillfällen och mätperiod

Val av lämpliga mättillfällen beror i första hand på mätningarnas syfte. Vissa projekt kräver mätning vid bestämda tidpunkter, som t ex strax före eller efter vissa arbetsinsatser. I andra fall kan mätningar behövas med regelbundna intervaller, t ex observation av naturliga variationer i grundvattennivån.

Intervallens längd bör väljas med hänsyn till hur snabba fluktuationer som skall kunna utläsas. Vid observation av **långtidsvariationer** kan mätningarna utföras regelbundet med förhållandevis långa intervaller. Planering av mätprogrammet kan göras med hänsyn till olika kända parametrar som t ex årstidsvariationsmönster. Om **snabba variationer** skall följas upp, t ex vid pålslagning, måste mätningarna utföras med korta intervall. I dessa fall kan användning av automatiska avläsnings- och registreringssystem vara nödvändigt.

Regn, snösmältning och torka påverkar grundvattenförhållandena och bör därför beaktas. Eftersom dessa fenomen inte helt kan förutses är det omöjligt att planera mätningarna i förväg med hänsyn härtill. Därför bör dessa faktorer följas upp regelbundet under mätperioden om deras inverkan på grundvattensitutationen förväntas vara av betydelse.

8.3 Mätning - utförande och kontroll

Det är av stor betydelse att den personal som skall utföra mätning och kontroll är väl förtrogen med aktuella utrustningar och mätrutiner så att mätningarna utförs på ett riktigt sätt med rätt utrustning och aktuell kalibrering. I den följande texten samt i **Fig 25** beskrivs de olika moment som är nödvändiga för en tillförlitlig mätning. En mer omfattande och detaljerad beskrivning av dessa moment för olika mätsystem presenteras i **BILAGA D.**

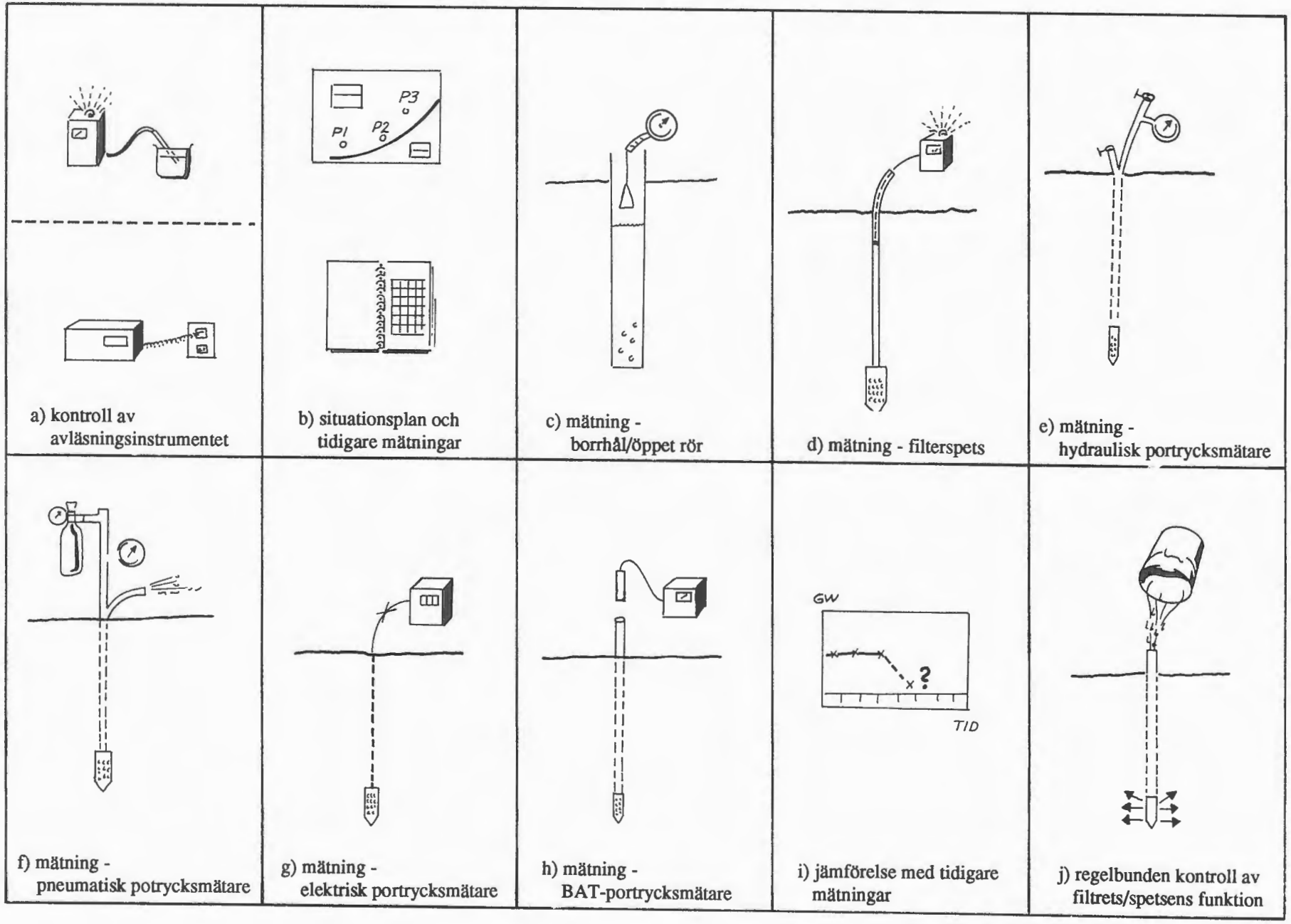
Oavsett vilket mätsystem som används måste mätvärdena kontrolleras innan platsen lämnas. Om mätningar utförts tidigare bör fältpersonalen jämföra dessa med de nya värdena. Om inga tidigare mätningar finns görs jämförelse med sannolika mätvärden. Om det förekommer stora avvikelser mellan nya och tidigare uppmätta eller uppskattade värden, bör mätningen kontrolleras och ev upprepas. Om avvikelsen kvarstår måste man försöka finna logiska förklaringar och kontakta ansvarig handläggare.

Parametrar som registreras vid mätning beror på vilket mätsystem som används (se fältprotokoll, **BILAGA E**). För öppna system mäts vattennivån relativt rörets eller slangens överkant och relateras sedan till markytan eller en referensnivå. För slutna system mäts trycket vid spetsen, som sedan relateras till spetsens nivå eller en referensnivå. Förutom mätvärden bör man protokollföra andra faktorer som temperatur, väder och ändringar i omgivningen.

För avläsning i **observationsborrhål** och **grövre öppna rör** kan ett klucklod som fästs vid ett måttband användas. Lodet, som är skålformat undertill, ger ett kluckljud när det träffar vattenytan. Man kan också använda en graderad slang i vilken man blåser. När den lodförsedda änden når vattenytan hörs tydligt att det bubblar. Vid stora djup eller i bullrande miljö (tätorter, byggplatser) kan ett elektriskt instrument användas där en graderad dubbelledare utgör måttbandet. På de två ledarna läggs en elektrisk spänning via en amperemeter. När kabelns nederände når vattenytan sluts stömkretsen och mätaren ger utslag. Filtrets funktion kontrolleras regelbundet genom att röret fylls med vatten som kan rinna ut i omgivande jord. Om röret tätats kan det sättas under tryck för rensning.

För **mindre öppna rör** och **filterspetsar med klena plastslangar** används elektriska mätsystem med dubbelledare. I detta fall kan problem med kondensvatten uppstå på grund av den klena slangen. Kabelns nederände måste därför utformas så att instrumentet inte reagerar om det passerar kondensvatten på rörväggen. Efter mätning skall man kontrollera att utslaget på amperemetern är kontinuerligt när kablen förs ytterligare nedåt. Kontroll av filtrets funktion hos filterspetsar skall utföras på samma sätt som för grövre öppna rör.

För **hydrauliska portrycksmätare** används ofta manometer eller tryckgivare som är permanent kopplade, eller som kopplas vid varje mättillfälle. Mätproceduren är därför relativt enkel eftersom den endast består av avläsning av mätinstrumentet. Före mätning skall man kontrollera att de vattenfyllda slangarna inte innehåller luft. När instrumentet kopplas in vid mättillfälle skall avläsning göras enbart efter det att trycket stabiliserats. Även då spolning utförts skall trycket i systemet stabiliseras innan mätvärdet avläses.



a) kontroll av avläsningsinstrumentet

b) situationsplan och tidigare mätningar

c) mätning - borrhål/öppet rör

d) mätning - filterspets

e) mätning - hydraulisk portrycksmätare

f) mätning - pneumatisk potrycksmätare

g) mätning - elektrisk portrycksmätare

h) mätning - BAT-portrycksmätare

i) jämförelse med tidigare mätningar

j) regelbunden kontroll av filtrets/spetsens funktion

Fig. 25. Mätning - utförande och kontroll.

Mätning i **pneumatiska portrycksmätare** utförs genom att till injektionsslangen koppla en cylinder med komprimerad gas för att åstadkomma en långsam cirkulation. Därefter skiljer sig mätproceduren beroende på vilken typ av flödeskontroll som används. Om kontrollen utförs med vattenbad i änden av retursslangen måste strömmen av luft- eller gasbubblor i badet beaktas. När bubblorna kommer upp regelbundet och med en given hastighet kan trycket avläsas på manometern. Används däremot en flödesregulator kan trycket ökas tills man märker att gasen cirkulerar genom returslangen och därefter läses trycket av på mätinstrumentet. I lös vattenmättad lera, kan deformation i mätsystemet generera ett porövertryck som måste stabiliseras före tryckavläsning. För att undvika problem med kondensvatten i slangarna används torra gaser som koldioxid eller kväve. Om komprimerad luft används bör man aldrig koppla behållaren direkt till slangen utan via behållare med torkmedel.

Elektriska portycksmätare har den enklaste mätproceduren av alla mätsystem. Mätinstrumentet kopplas till spetsen och en elektrisk signal sänds till mätdelarna. Därefter registreras det elektriska motståndet eller vibrationsfrekvensen beroende på om man har ett system med trådtöjningsgivare eller svängande sträng. Värdet som visas på mätinstrumentet är i vanliga fall översatt direkt till användbara tryckvärden (i m vattenpelare eller kPa). Vissa utrustningar kräver dock en utvärdering med hjälp av en kalibreringskurva som är unik för varje kombinationen givare/mätinstrument. Vid användning av absoluttryckmätare måste även lufttrycket avläsas.

För **BAT-portrycksmätare** installeras tryckgivaren normalt på spetsen vid varje mättillfälle. Detta utförs genom att sänka den speciellt utformade mätkroppen ner över munstycket på spetsen. I ett första steg vattenmättas mätkroppen med bl a givare och injektionsnål. Därefter sänks mätkroppen ned på spetsen och när injektionsnålen tränger igenom gummimembranet kommer tryckgivaren i kontakt med porvattnet i spetsen. Trycket registreras kontinuerligt på ett mätinstrument kopplat till givaren. Eftersom det uppstår en liten tryckändring när injektionsnålen tränger igenom membranet måste man vänta tills trycket mot givaren stabiliserats. Denna väntetid kan vara upp till 20 minuter men kan minskas om spetsen förses med ett poröst spjäll i munstycket. När trycket har stabiliserats avslutas mätningen och mätkroppen dras upp. Hålet i membranet försluts av sig själv när injektionsnålen dragits ut.

8.4 Fällor och fel vid mätning

Förekomst av **gas- eller luftbubblor i systemet** påverkar mätningarna på olika sätt. Detta problem är störst i organisk jord där gasbildning förekommer, i den kapillära omättade zonen i vilken råder undertryck eller när spetsen under installation passerar lager av dilatant jord. I öppna system höjs vattennivån i röret eller slangen på grund av att bubblorna tar en viss volym utan att medverka i tryckjämvikten i systemet. I slutna system kan felaktigt tryck registreras och responstiden öka om gas- eller luftbubblor förekommer i mätsystemet. Möjlighet för avluftning bör finnas på system där mätningarna kan påverkas av luft i vattnet. För filterspetsar utan avluftningsmöjlighet bör grövre plastslangar användas, så att luftbubblor kan komma upp utan att fastna i slangen. Man bör också undvika användning av spetsar som innehåller metaller som kan orsaka gasbildning efter reaktion med vatten. Mätning av portryck i den kapillära

omättade zonen kan skapa problem med luft i systemet på grund av det rådande undertrycket i marken som suger ut vatten från filtret. I icke-vattenmättad jord bör man därför använda ett filter med små porer och därmed stort luftinträngningsmotstånd ("high air entry value filter").

Igensättning av filtret, som påverkar systemets funktion genom ökad responstid, kan inträffa lång tid efter installationen. Detta beror på att varje tryckförändring i jorden medför en vattenströmning in eller ut genom filtret. I finkornig jord kan därvid finare partiklar transporteras till filtret och blockera dess porer. Risken för igensättningen ökar med användningsperioden och ibland blir spetsen oanvändbar. Problemet kan kontrolleras i öppna system genom att röret eller slangen fylls med vatten som får rinna ut i jorden. Vatten som pumpas ner under ett visst tryck kan ibland rensa ett igensatt filter. I hydrauliska portrycksmätare och i BAT-system kan filtret vid behov genomspolas med vatten.

Mätningarna kan påverkas av **temperaturförändringar** i jorden eller i luften. Hydrauliska portrycksmätare som använder vattenfyllda slangar påverkas av temperaturändringar när delar av slangarna når över markytan. Ändringar i lufttemperaturen kan förorsaka volymändringar i vattnet som ger utslag på mätsystemet och som felaktigt kan bedömas som portrycksvariationer. Elektriska mätare påverkas endast av temperaturförändring i jorden, som kan orsaka ändringar av givarnas nollvärde och kalibreringsfaktorer. Kalibreringen, som ofta sker under en konstant temperatur, bör innefatta ett antal försök som täcker temperaturintervallet inom vilket givarna kommer att användas. Utvärdering av mätningarna skall därefter utföras med kalibreringsfaktorer som gäller för rådande temperatur kring spetsen.

Under den **kalla årstiden** kan olika problem förekomma. I öppna system kan vatten i slangen - och även kondensvatten i övre delen av slangen - frysa och förhindra mätning i spetsen. Användning av en köldblandning (**se Tabell 3, Avsnitt 7.3**) kan minska detta problem. Vattenfyllda slangar som används i hydrauliska portrycksmätningssystem måste isoleras mot kylan, eller grävas ned till tjällfritt djup. Dessutom kan isproppar förhindra användning av elektriska portrycksmätare med relativ tryckgivare, genom att blockera den klena slangen som används som förbindelse med markytan och atmosfärtrycket.

Det finns även andra faktorer som kan orsaka felaktiga mätningar av grundvattennivå eller portryck. **Ändring av kalibreringsfaktorerna** är en vanligt förekommande felkälla som kan undvikas genom att regelbundet kalibrera mätinstrumentet. **Korrosion** av spetsen kan också leda till problem därför bör korrosionsbeständiga spetsar användas. Korrosion av förlängningsrören som används i BAT-systemet kan orsaka problem med partiklar som ramlar ner på spetsen. Detta problem kan minskas genom användning av galvaniserade vattenledningsrör, dock tillsammans med en isolerande ring vid användning av spetsar av rostfritt stål.

Slutligen, måste även den mänskliga faktorn räknas som en felkälla, där **felaktig avläsning** av mätinstrument, **felaktig bedömning av givarens position** i förhållande till filtret och även **förväxling av spetsar och nivåer** i ett mätområde kan förekomma.

9. UTVÄRDERING OCH REDOVISNING

9.1 Utvärdering av mätvärden

För att mätresultatet skall kunna utvärderas och användas måste det relateras till omgivningen. Spetsens och filtrets läge måste därför alltid både höjd- och positionsbestämmas.

Resultatet efter utvärdering kan anges på tre olika sätt:

- tryckhöjd relaterad till spetsens nivå (m v p)
- grundvattenstånd eller trycknivå (± 00,00 m)
- portryck på en viss nivå eller visst djup (kPa).

Utvärdering av mätningarna utförs på olika sätt beroende på systemet och mätprincipen. Mätningar utförda i observationsborrhål utan foderrör ger avståndet från markytan till grundvattenytan (**Fig 26a**) och resultatet kan presenteras som en grundvattennivå. I andra öppna system, dvs observationsborrhål med foderrrör, öppna rör och filterspetsar, mäts avståndet mellan grundvattenytan och rörets (eller slangens) överkant. För att kunna redovisa resultatet mot en referensnivå måste nivån på rörets (eller slangens) överkant bestämmas, **Fig 26b**.

Utvärdering av mätvärden från hydrauliska portrycksmätare (**Fig 26c**) utförs med hjälp av följande ekvation:

$$u = p + h_2 \cdot \gamma_w \qquad (1)$$

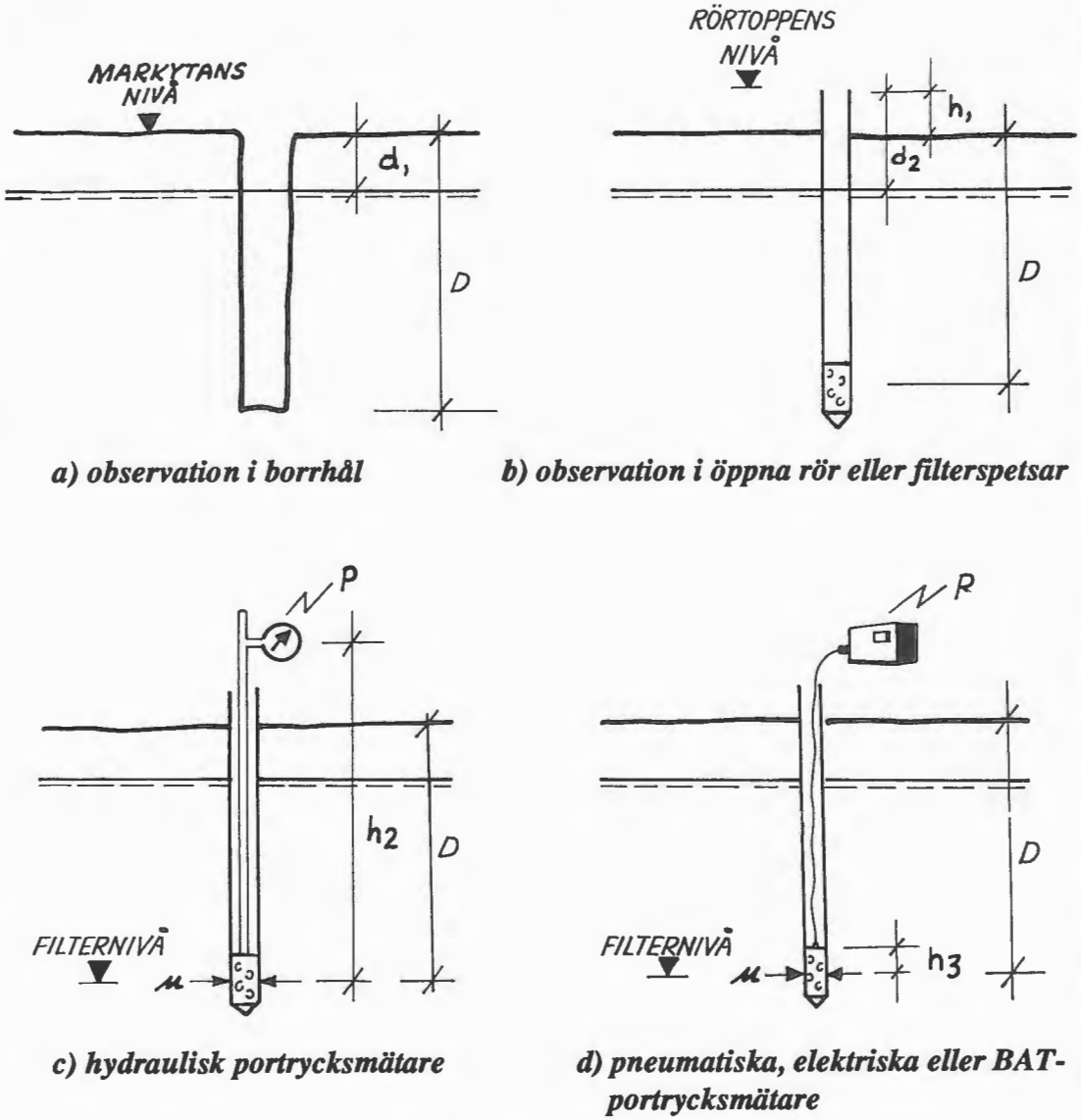
där u = portryck vid spetsen, kPa
p = tryck uppmätt med mätinstrument (kan vara negativt), kPa
h_2 = höjdskillnad mellan spetsen och mätinstrumentet, m
γ_w = vattnets tunghet, kN/m^3

Som framgår av ekvationen måste spetsens och mätinstrumentets läge vara kända för att man skall kunna utvärdera mätvärdena.

Trycket i pneumatiska, elektriska och BAT portrycksmätare mäts normalt något över filtret vilket skiljer dessa mot hydrauliska mätsystem. Detta innebär att korrektionen av mätvärdena blir annorlunda eftersom värdena korrigeras enbart för avståndet mellan filtret och membranet (**Fig 26d**). Därefter kan samma ekvationsform användas:

$$u = p + h_3 \cdot \gamma_w \qquad (2)$$

där h_3 = höjdskillnad mellan filtrets centrum och membranet, m.



a) observation i borrhål

b) observation i öppna rör eller filterspetsar

c) hydraulisk portrycksmätare

d) pneumatiska, elektriska eller BAT-portrycksmätare

Fig. 26. Utvärdering.

Vid användning av absoluttryckgivare, måste hänsyn tas till lufttrycket på följande sätt:

$$u = p + h_3 \cdot \gamma_w + l_k - l_m \qquad (3)$$

där l_k = lufttryck vid kalibrering, kPa
l_m = lufttryck vid mätning, kPa.

Tryckhöjden över spetsen kan beräknas från uppmätt portryck med hjälp av följande ekvation:

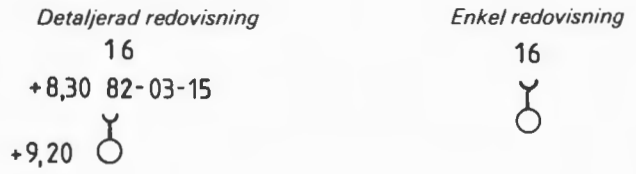
$$h = u / \gamma_w \qquad (4)$$

där **h** = tryckhöjd över spetsens nivå, m v p.

9.2 Redovisning av mätpunkter i plan

Olika insatser för grundvattenundersökning redovisas i plan enligt SGF's Beteckningsblad 1, **Fig 27a**. Dessa symboler kan kombineras med en förklarande text när mätstationer består av flera mätpunkter på olika djup, **Fig 27b**. I texten kan t ex anges installationsdjup för de olika mätpunkterna och installationsdatum ellerobservationsperiod. Typ av använd utrustning anges på borrplanen.

(a)



16	undersökningspunktens nummer
+ 8,30	grundvattennivå
82-03-15	observationsdatum vid bestämning av grundvattennivå
+ 9,20	markytans nivå (eller annan utgångsnivå för djupangivelse)

(b)

Fig. 27. Redovisning - plan (efter SGF:s Beteckningsblad 1).

9.3 Redovisning av mätpunkter i sektion

När mätningar utförts i en eller flera enskilda mätpunkter redovisas resultatet i sektion enligt SGF's Beteckningsblad 4. Observationsborrhål utan foderrör skall redovisas som i **Fig 28a** med samma beteckning som en provgrop (Pg). Om ett foderrör installerats i borrhålet, eller om öppet rör använts, skall redovisningen ske som i **Fig 28b** med beteckning Rö (öppet rör, foderrör). Filterspetsar bör redovisas på samma sätt som öppna rör, men med en annan beteckning (Rf = rör med filter). När portrycksmätare använts bör redovisningen ske enligt **Fig 28c**. Typ av använd utrustning anges på borrplanen.

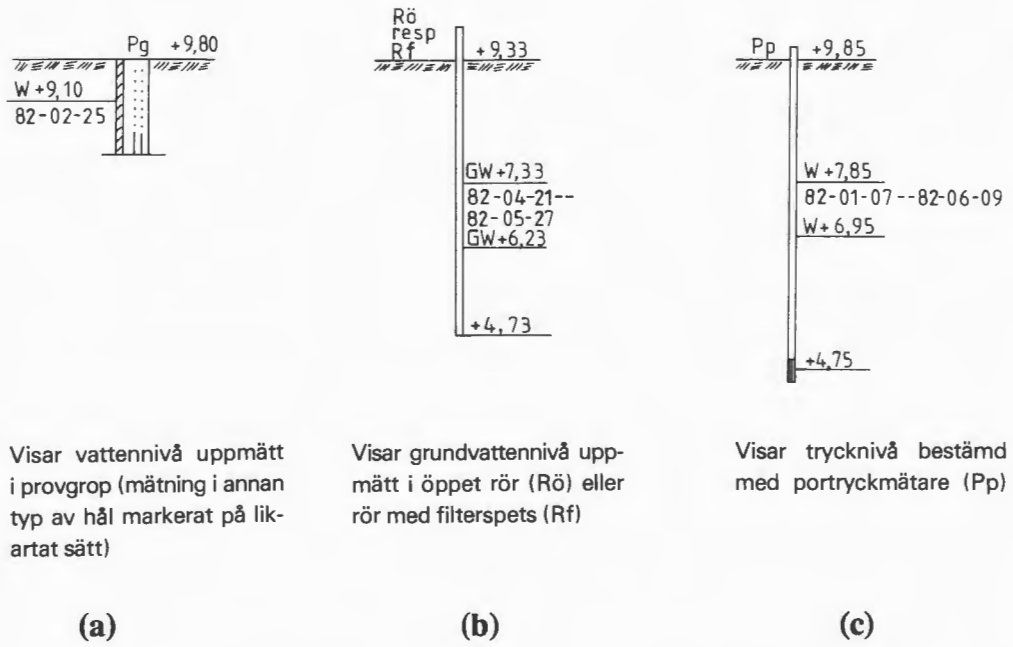


Fig. 28. Redovisning - sektion (efter SGF:s Beteckningsblad 4).

Redovisning av enstaka mätningar görs genom att den uppmätta vattennivån (eller trycknivån) samt observationsdatum anges. Om flera mätningar har utförts i samma mätpunkt bör det högsta och det lägsta värdet samt observationsperiod anges. Har inte grundvatten påträffas, bör ordet "torrt" skrivas på den lägsta kontrollerade nivån tillsammans med observationsdatum.

9.4 Redovisning av mätstationer med flera mätpunkter

När flera mätpunkter installeras på olika djup vid samma mätstation bör redovisningen av varje mätpunkt på sektionsritningar utföras i princip enligt **Fig 28** även om det kan medföra vissa utrymmesproblem.

För att resultaten skall kunna användas för bedömningar och beräkningar kan redovisningen behöva ske även på annat sätt. Exempel på en sådan redovisning från en mätstation med ett antal mätpunkter visas i **Fig 29**, där trycket redovisas mot djupet under markytan. Vid den vertikala axeln bör installationsdjup för de olika mätspetsarna anges. Enstaka mätomgångar kan redovisas som en punkt vid respektive omgång (**Fig 29a**). Detta är att föredra om antalet mätningar ej är för stort eftersom man vid bedömningar behöver se samhörande värden för att kunna bestämma strömningsriktningar.

Om flera mätningar skall redovisas kan detta också ske i form av fluktuationsområde med angivelse av högsta och lägsta värde för varje djup (**Fig 29b och c**). En kombination av de olika redovisningssätten kan användas, där t ex fluktuationsområde under en viss period anges tillsammans med mätvärden från en viss mätomgång (**Fig 29d**).

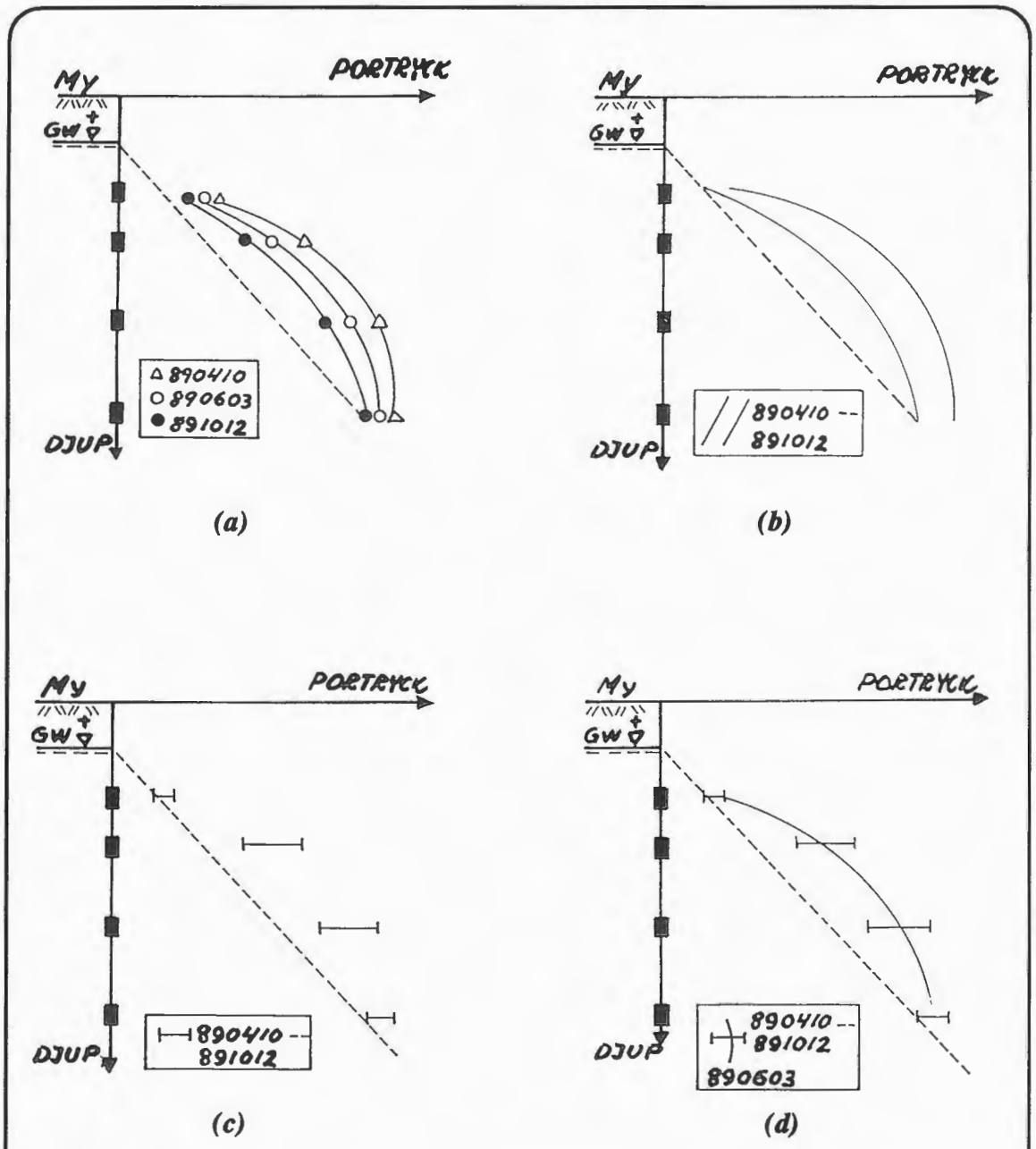


Fig. 29. Redovisning - exempel på sammanställning från mätstation.

9.5 Redovisning av sektioner med flera mätstationer

För att man skall få en bild av grundvatten- eller portrycksstituationen i t ex en slänt eller en skärning behövs flera mätpunkter och mätstationer (Kap. 6). Vid redovisningen anges då grundvattennivån eller portrycksfördelning i hela området. Några exempel för en sådan redovisning med flera mätpunkter i sektioner visas i **Fig 30**.

Om varje mätstation består av enbart en mätpunkt kan mätningarna redovisas i sektion som enskilda mätpunkter, **Fig 30a and b**.

När flera mätpunkter installeras i varje mätstation blir redovisningen svårare att göra sektionsvis. Om mätstationerna består av ett fåtal mätpunkter kan redovisningen fortfarande ske som enskilda mätpunkter, **Fig 30c**.

När flera mätpunkter har installerats i varje mätstation kan redovisning utföras enligt **Avsnitt 9.4**, dvs med portryck mot djup under markytan, **Fig 30d, e och f**.

9.6 Redovisning av långa mätserier

Redovisning av mätningar utförda under långa perioder bör också göras på annat sätt än vad som anges i tidigare avsnitt så att man kan bedöma årstidsvariationer eller inverkan av annan tidsbunden påverkan t ex belastning eller pumpning. Eftersom tiden är en styrande parameter för redovisningen måste mätningarna presenteras på en tidsaxel i form av djup till grundvattennytan, trycknivå eller portryck (**Fig 31a, b resp c**). I denna redovisning kan andra parametrar som t ex nederbörden och temperaturen presenteras tillsammans med grundvattensituation.

Om man vill studera årstidsvariationer noggrannare och göra jämförelser mellan olika år, kan redovisning av långa mätserier utföras årsvis enligt **Fig 32**.

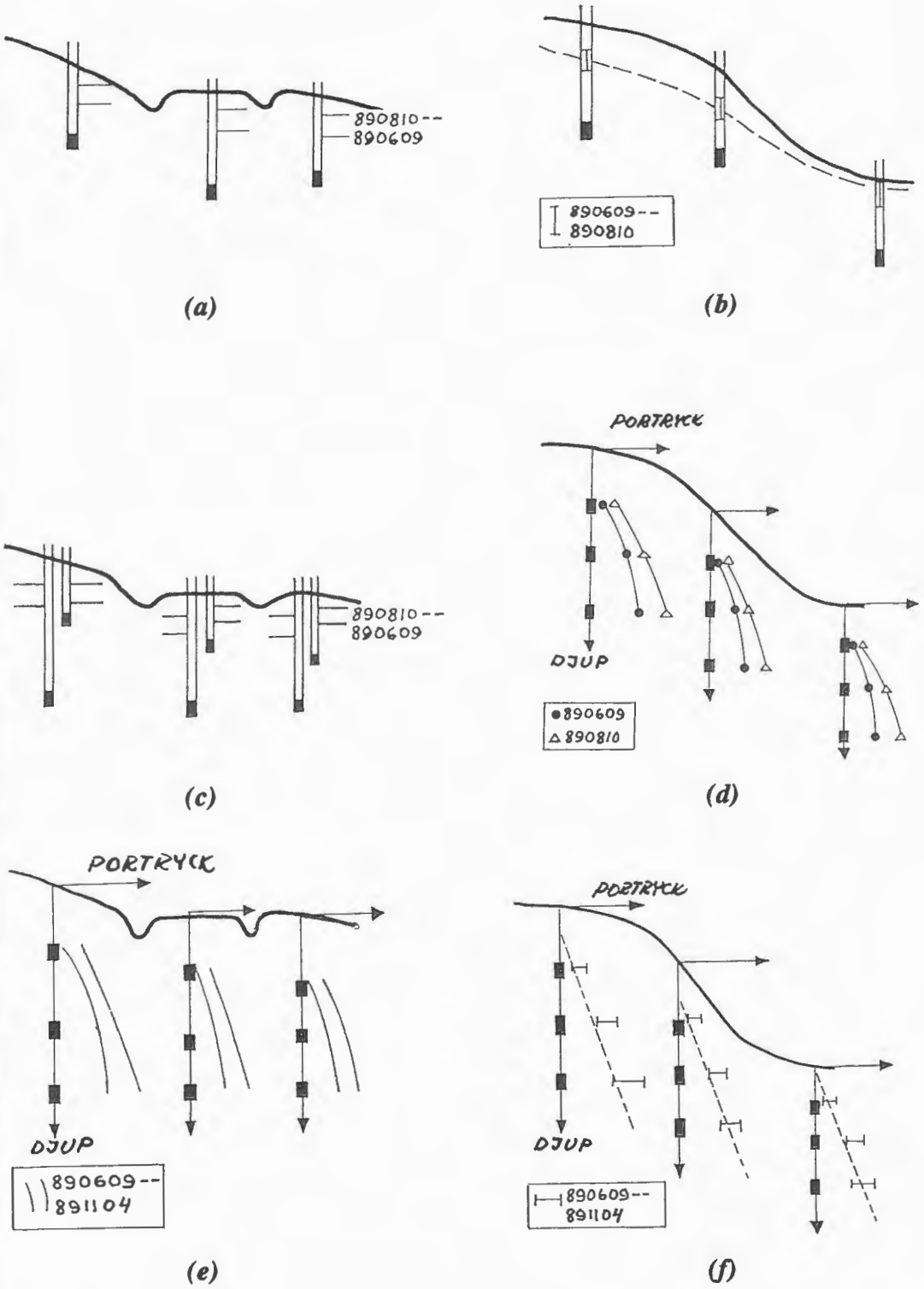


Fig. 30. Redovisning - exempel på sammanställning från sektion med flera mätstationer.

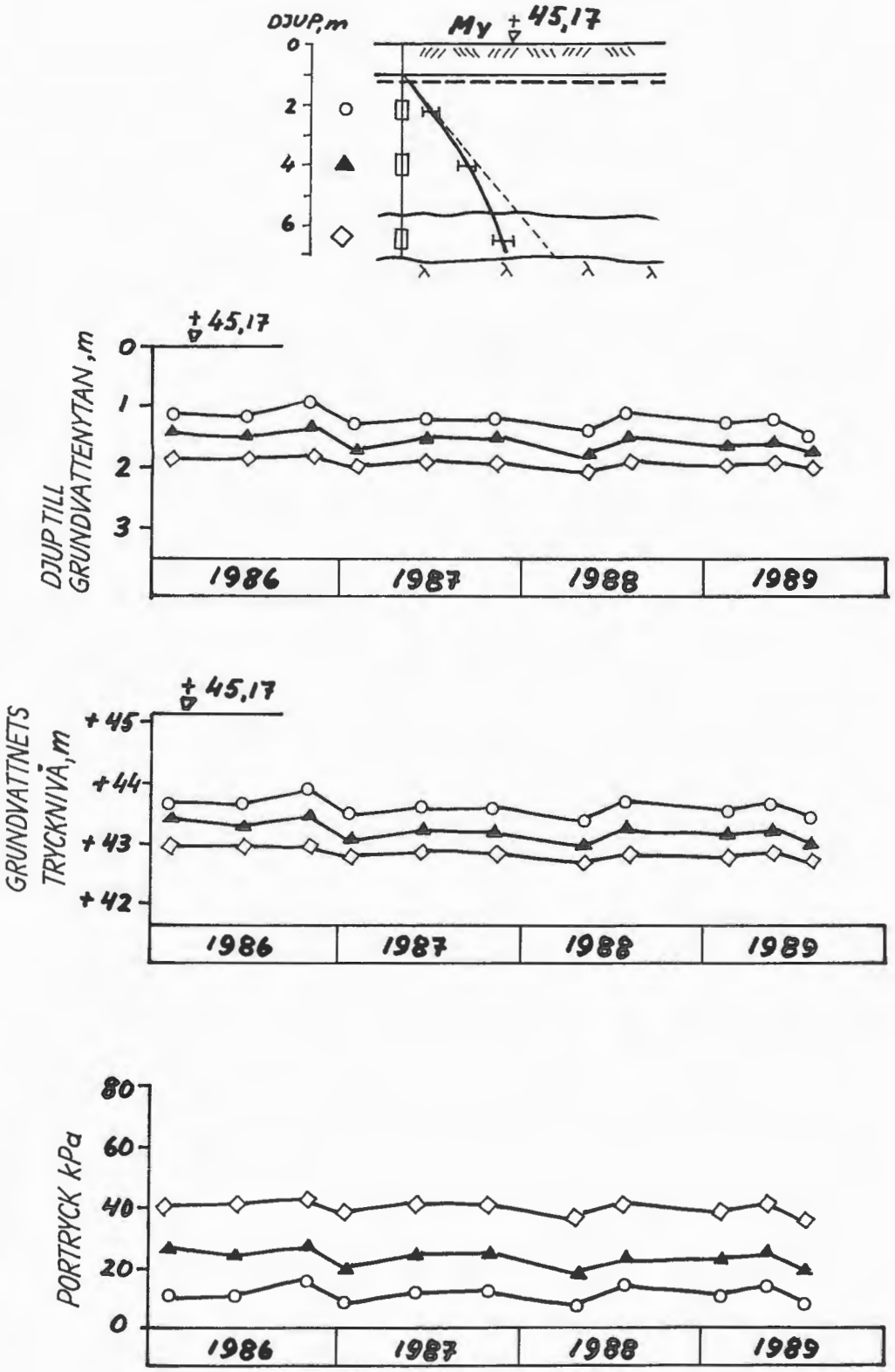


Fig. 31. Redovisning - långa mätserier.

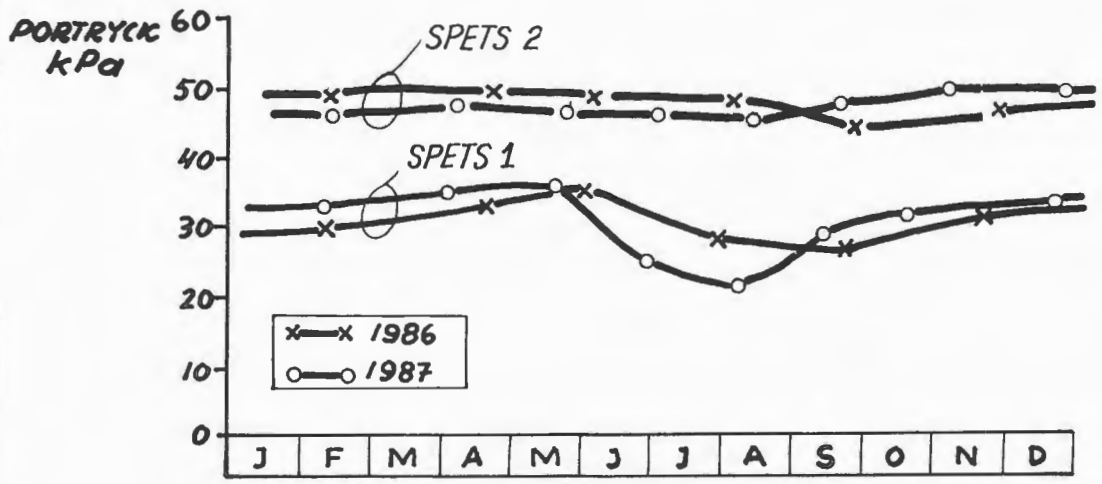


Fig. 32. Redovisning - årsfluktuationer.

BILAGA A - LITTERATURLISTA

BAT (1985). BAT Groundwater Monitoring System. Stockholm.

Bergdahl, U (1984). Geotekniska Undersökningar i Fält. Statens Geotekniska Institut. Information 2. Linköping.

Canadian Standards Association (CSA) (1971). Selection and installation of piezometers. CSA Special Publication A119.7.

Carlsson, L och Gustafsson, G (1984). Provpumpning som geohydrologisk undersökningsmetodik. Byggforskningsrådet. Rapport R41. Stockholm.

Dunnicliff, J (1988). Geotechnical Instrumentation for Monitoring Field Performance. John Wiley & Sons.

Finlands Geotekniska Föreningen (1987). Pohjavedenpinnan ja huokosvedenpaineen mittaaminen. Helsingfors.

Geological Survey of Canada (1967). Groundwater in Canada. Geological Survey of Canada. Economic Geology Report Nr 24. Ottawa.

Handboken BYGG (1984). Band G (Geoteknik). Liber Förlag. Stockholm.

Hvorslev, MJ (1951). Time Lag and Soil Permeability in Groundwater Observations. US Army Waterways Experiment Station, Vicksburg, Mississippi. Bulletin 36.

Jacobson & Widmark AB (1973). Geoteknisk Fälthandbok. Lindingö.

Kallstenius, T and Wallgren, A (1956). Pore Pressure Measurement in Field Investigations. Statens Geotekniska Institut. SGI Proc. nr 13.

Knutsson, G och Fagerlind, T (1977). Grundvattentillgångar i Sverige. SGU. Rapporter och meddelanden Nr 9. Stockholm.

Knutsson, G och Morfeldt, CO (1973). Vatten i Jord och Berg. Ingenjörsförlaget. Stockholm.

Norska Geotekniska Föreningen (1982). Veiledning för målning av grundvattenstand og poretrykk. Oslo.

Statens Geotekniska Institut (SGI) (1985). Länshållning vid schaktningsarbeten. Statens Geotekniska Institut. Linköping.

Svenska Geotekniska Föreningen (SGF) (1987). Beteckningar vid Geotekniska Undersökningar. Blad 1-4.

Tekniska Nomenklaturcentralen (TNC) (1970). Vattenordlista 2. TNC 45. Stockholm.

Tekniska Nomenklaturcentralen (TNC) (1975). Geoteknisk ordlista. TNC 59. Stockholm.

Tekniska Nomenklaturcentralen (TNC) (1988). Geologisk ordlista. TNC 86. Stockholm

Todd, DK (1959). Ground water hydrology. John Wiley. New-York.

Tremblay, M (1988a). Portrycksmätning - olika typer av mätare, konstruktion, för- och nackdelar, fälterfarenheter. Svenska Geotekniska Föreningen. Temadag. Stockholm.

Tremblay, M (1988b). Mätsystem, installation, tillförlitlighet. Svenska Geotekniska Föreningen. Grundläggningsdag. Stockholm

BILAGA B - DEFINITIONER

artesiskt grundvatten: bundet grundvatten under så högt tryck att det stiger över markytan vid genombrytning av ovanliggande täta marklager.

bentonit: typ av lera med stor vattenupptagande förmåga; bentonit får tätande egenskaper när den blandas med vatten.

formfaktor: faktor som är beroende av filtrets kontakyta med jorden; formfaktorn är unik för varje filterelement och beräknas med hänsyn till dess form och storlek.

genomtränglig: (eller permeabel) (icke: genomsläpplig) som kan genomträngas av vätskor eller gas

grundvatten: vatten som fyller hålrummen i jorden och vars hydrostatiska tryck är större än eller lika med atmosfärtrycket.

grundvattenmagasin: avgränsat grundvattenförande lager med relativt stor mäktighet och som kan betraktas som hydrologisk enhet; grundvattenmagasin anses vara bundet när det begränsas uppåt av ett ogenomträngligt lager och öppet när inget sådant lager förekommer.

grundvattennivå: (eller grundvattenstånd) nivå i eller ovanför jorden vid vilken grundvattnets portryck är lika med rådande atmosfärtryck.

grundvattenstånd: se grundvattennivå

grundvattenyta: det fria grundvattnets övre gränsyta.

hydraulisk konduktivitet: en vätskas hastighet genom jorden med hänsynstagande till jordens permeabilitet och vätskans viskositet (jfr permeabilitet); hydraulisk konduktivitet anges i m/s.

kapillär stighöjd: avstånd från grundvattenytan till högsta nivå för kapillärvatten.

kapillärvatten: vatten som kvarhålls eller transporteras i hålrummen i grunden och vars hydrostatiska tryck är mindre än atmosfärtrycket.

mätpunkt: lokalisering i jorden där en mätare har installerats.

mätstation: begränsat område där en eller flera mätare har installerats på olika nivåer; en mätstation består av en eller flera mätpunkter.

permeabel: se genomtränglig.

permeabilitet: jordens materialspecifika förmåga att släppa igenom vätskor eller gas (jfr hydraulisk konduktivitet); permeabilitet anges i m^2.

portryck: (eller porvattentryck) tryck hos porvattnet (grund- eller kapillärvatten) i en angiven nivå.

portrycksmätare: instrument för mätning av portryck.

porvattentryck: se portryck.

responstid: fördröjningsperiod mellan en tryckändring och registrering av det korrekta trycket med ett mätsystem; responstiden beror på systemets och jordens egenskaper.

tryckhöjd: höjd hos en vattenpelare som motsvarar hydrostatiskt tryck i grundvattnet på en angiven nivå.

volymfaktor: faktor som representerar den vattenvolym som är i rörelse för att ett system skall kunna registrera en tryckändring; volymfaktorn är unik för varje mätsystem och beror på dess mätprincip.

viskositet: inre friktion hos vätska eller gas.

BILAGA C - VOLYMFAKTOR, FORMFAKTOR OCH RESPONSTID

C1. Volymfaktor hos olika mätsystem

Volymfaktorn hos ett mätsystem är ett mått på vattenvolymen som behöver vara i rörelse för att systemet skall kunna registrera en tryckändring. Volymfaktorn kan beräknas med följande ekvation:

$$V = \frac{\text{vattenvolym i rörelse}}{\text{tryckändring}} \qquad [m^3/kPa]$$

I öppna system måste grundvattennivån i registreringsdelen (borrhål, rör eller plastslang) stiga 0,1 m för att registrera en tryckändring av 1 kPa, vilket innebär att volymfaktorn kan beräknas med följande ekvation:

$$V = 0{,}1 \frac{\pi \cdot d^2}{4} \qquad [m^3/kPa]$$

där **d** är stigrörets diameter i m (**Fig. C1**).

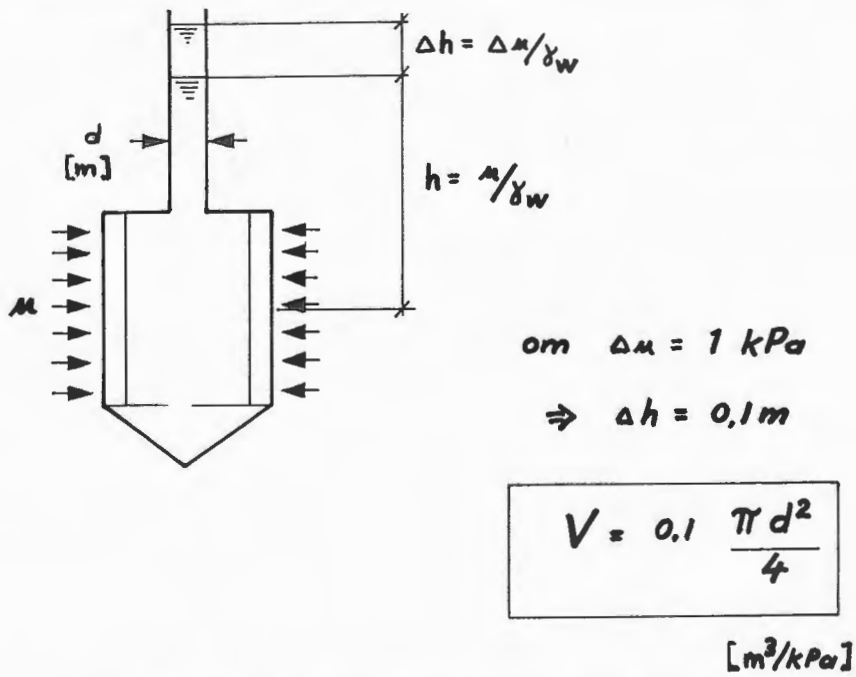


Fig. C1. Volymfaktor hos öppna system.

Hos slutna system kan volymfaktorn inte beräknas på liknande sätt, eftersom den beror på styvheten hos olika delar av mätsystemet (slangar, manometer, membran, osv). I vanliga fall anges denna faktor av tillverkaren. **Tabell C1** visar några värden för volymfaktorn hos olika mätsystem.

Tabell C1. Volymfaktor hos olika mätsystem

MÄTSYSTEM	$V = \frac{dv}{dp}$ (m³/kPa)
Elektrisk tryckgivare	$1 \cdot 10^{-11}$
Manometer "Bourdon"	$2{,}5 \cdot 10^{-9}$
Öppet rör, diameter = 8 mm	$5 \cdot 10^{-6}$
diameter = 30 mm	$7 \cdot 10^{-5}$

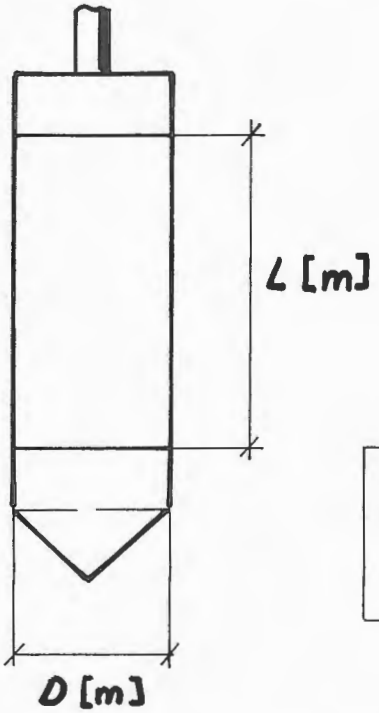
C2. Formfaktor hos olika filterelement

Formfaktorn är representativ för filtrets kontaktyta med jorden och är relaterad till filtrets form och storlek. Hvorslev (1951) anger approximativa ekvationer för beräkning av formfaktorn hos olika filter. För ett vanligt cylindriskt filterelement, kan formfaktorn approximeras med följande ekvation:

$$F = \frac{2 \pi L}{\ln \{ (L/D) + \sqrt{1 + (L/D)^2} \}} \qquad [m]$$

där **L** och **D** är filtrets längd respektive diameter i m (**Fig. C2**).

I **Tabell C2** anges olika värden för denna faktor hos filterelement med olika form.



$$F = \frac{2\pi L}{\ln\left[L/D + \sqrt{1 + (L/D)^2}\right]} \quad [m]$$

Fig. C2. Formfaktor hos cylindriskt filterelement.

Tabell C2. Formfaktor hos olika filterelement.

FILTERELEMENTETS FORM	FORMFAKTOR (m)
Sfär, diameter = 30 mm	0,19
Flat disk, diameter = 30 mm	0,08
Cylinder,	
diam = 30 mm, längd = 200 mm	0,48
diam = 40 mm, längd = 80 mm	0,35

C3. Responstid vid olika förhållanden

Tidsfördröjningen mellan en tryckändring och dess korrekta registrering med ett mätsystem styrs av jordens hydrauliska konduktivitet och systemets volym- och formfaktorer.

Kraven på mätvärden, dvs hur stor avvikelse man kan acceptera mellan det rådande och det uppmätta värdet, styr vilken stabiliseringsgrad (U) som skall uppnås i mätsystemet:

$$U = \frac{P_0 - P}{P_0} \cdot 100\ (\%)$$

där P_0 = tryckskillnad vid t=0
P = tryckskillnad vid $t=t_u$

Om man t ex vill att den uppmätta variationen skall ligga på mindre än 10% avvikelse från det aktuella värdet, måste minst 90% stabilisering uppnås.

Följande ekvation visar hur alla ovannämda faktorer inverkar på responstiden:

$$t_u = Z_u \left\{ \frac{V\ \gamma_w}{F\ \ k} \right\} \qquad [s]$$

(efter CSA, 1971)

där t_u = responstid för stabiliseringsgrad U, sek
Z_u = konstant bereonde av stabiliseringsgrad U (**se Tabell C3**)
V = volymfaktor, m^3/kPa (eller m^5/kN)
F = formfaktor, m
γ_w = vattnets tunghet, kN/m^3
k = jordens hydrauliska konduktivitet, m/s.

Tabell C3. Konstant Z_u.

U(%)	10	30	50	70	90	95	99	99.9	99.99
Z_u	0.11	0.36	0.69	1.20	2.30	3.00	4.60	6.91	9.21

Ovanstående ekvationen kan användas antingen för att beräkna responstiden som krävs för att nå en viss stabiliseringsgrad i det valda mätsystemet, eller för att bestämma vilka systemegenskaper (V och F) som krävs för att uppnå en viss stabilisering (U) inom en angiven tid (t_u).

Med hjälp av denna ekvation kan ett diagram tas fram som innefattar alla faktorer som skall beaktas vid utvärdering av responstiden för olika mätsystem i olika sammanhang. Diagrammet kan sedan användas för bestämning av en viss parameter när alla andra faktorer är kända eller angivna, **Fig C3**. Två responstidsdiagram presenteras i **Fig C4** och **Fig C5** för 50 respektive 90% stabilisering.

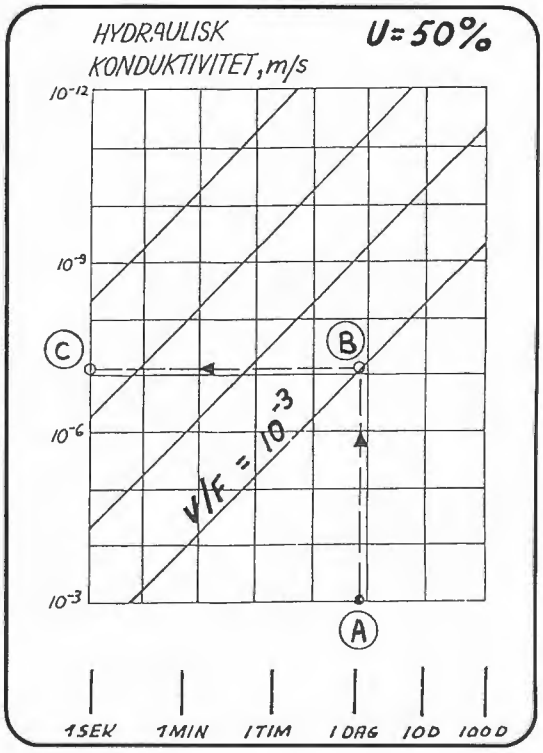
a) EXEMPEL 1

I vilka jordar kan ett öppet rör användas om kravet på mätningarna är att minst 50% av tryckändringen skall registreras inom ett dygn?

(A) *50% stabilisering inom ett dygn*

(B) *öppet rör medför att* $V/F = 10^{-3}\ m^2/kPa$

Svar: *Öppna rör kan användas när hyd.kond.* $\geq 9 \cdot 10^{-8}\ m/s$ (C)



b) EXEMPEL 2

En tryckändring skall registreras i en lerprofil. Vilka egenskaper skall det finnas hos mätsystemet för att minst 50% stabilisering skall uppnås inom ett dygn?

(A) *50% stabilisering inom ett dygn*

(B) *lera medför en hyd.kond.* $= 10^{-9}\ m/s$

Svar: *Systemet måste ha följande egenskaper:*

$V/F \leq 10^{-5}\ m^2/kPa$ (C)

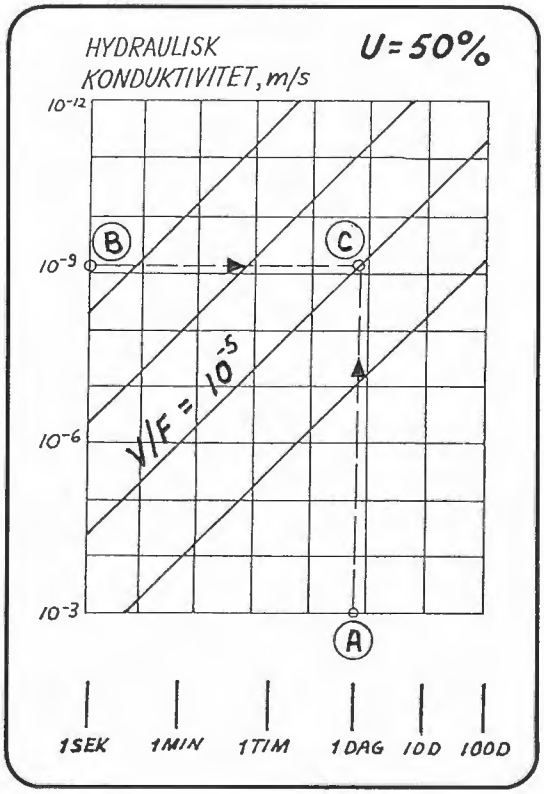


Fig. C3. Exempel på användning av responstidsdiagram.

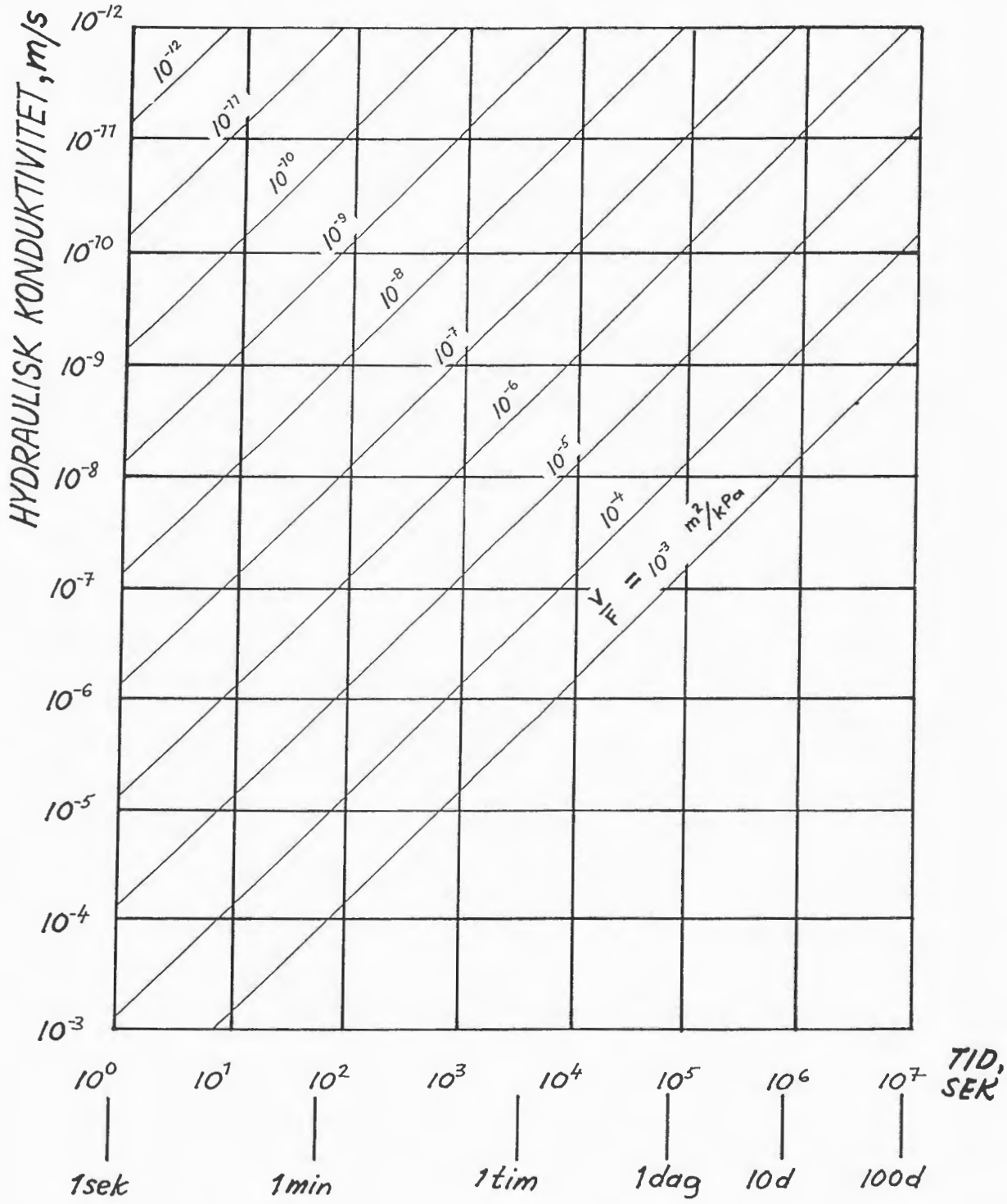


Fig. C4. Diagram för responstid hos olika mätsystem för att uppnå 50% stabilisering (efter CSA, 1971).

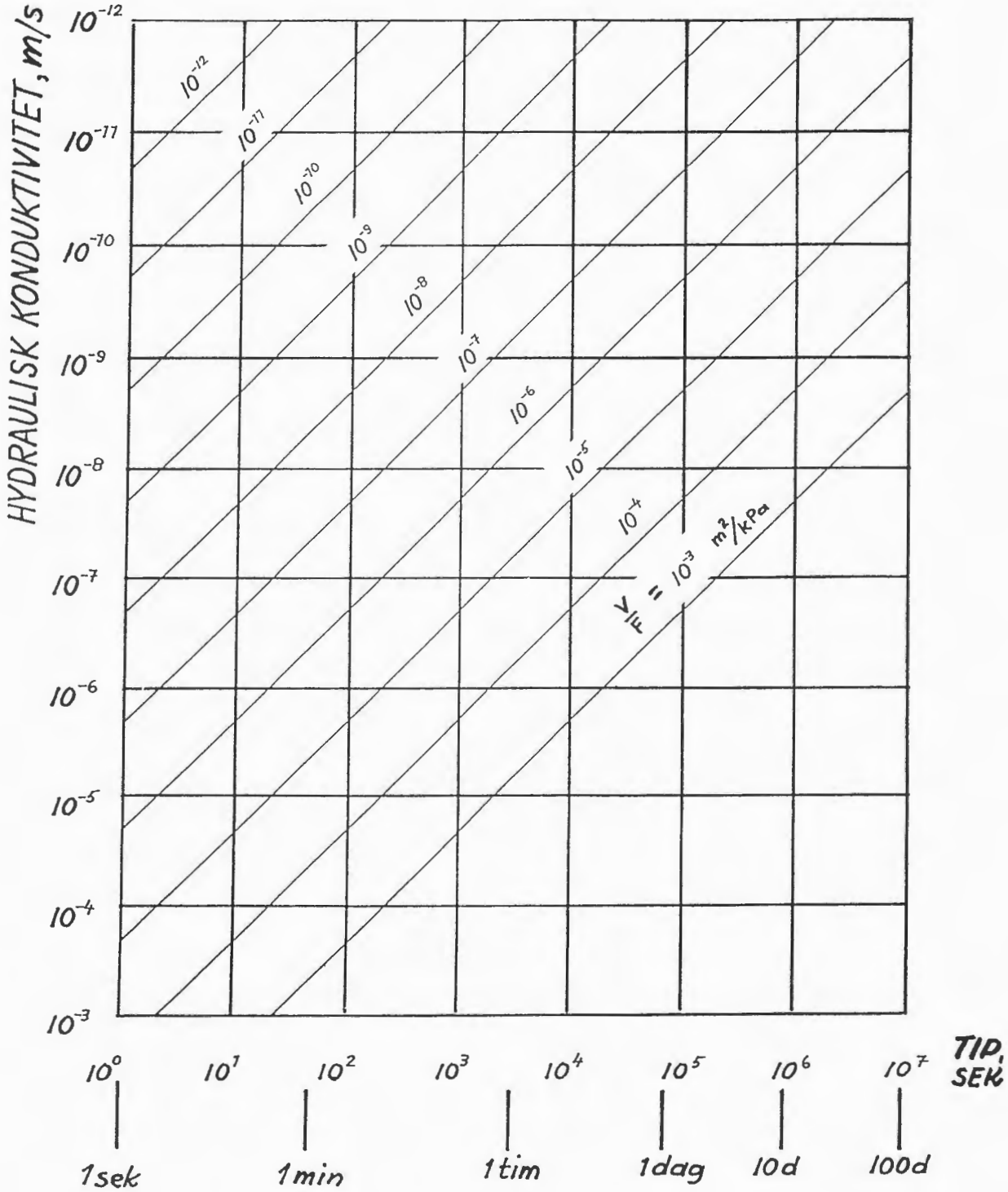


Fig. C5. Diagram för responstid hos olika mätsystem för att uppnå 90% stabilisering (efter CSA, 1971).

BILAGA D - CHECKLISTOR FÖR INSTALLATION OCH MÄTNING

D1 - Öppna rör

D2 - Filterspetsar

D3 - Hydrauliska portrycksmätare

D4 - Pneumatiska portrycksmätare

D5 - Elektriska portrycksmätare

D6 - BAT-portrycksmätare

D1. Öppna rör

INSTALLATION

1. Kontrollera filtrets funktion

2. Tryck ned röret till önskad nivå.
   OBS!! Fyll på vatten under neddrivning av röret.

3. Kontrollera att vattnet rinner ut i omgivande jord.
   OBS!! Om filtret har tätats, sätt på tryck för att rensa det.

4. Täta runt röret med bentonit eller dylikt.

5. Avväg rörtoppens och markytans nivå.

6. Beräkna rörspetsens nivå.

7. Mät in rörets position.

D1. Öppna rör

MÄTNING

1. Kontrollera mätinstrumentets funktion innan du åker ut i fält (gäller för elektriska instrument).

2. Ta med plan över installationen.

3. Ta med en kopia av tidigare mätningar i fält.
   OBS!! Vid första mätomgången, försök bedöma inom vilka gränser mätvärdena bör befinna sig.

4. Sänk klucklodet eller kabeln i röret tills du hör ett kluckljud alternativt tills mätaren registrerar ett utslag.

5. Läs på måttbandet avståndet mellan klucklodet - alternativt kabeländen - och rörtopppen.
   OBS!! Om en icke-graderad kabel används, skall rörtoppens nivå markeras på kabeln och avståndet mätas med ett måttband.

6. Kontrollera mätvärdet med tidigare utförda mätningar, alternativt bedömt värde.

7. Kontrollera regelbundet filtrets funktion genom att fylla på röret med vatten och notera hur vattnet rinner ut i omgivande jord (sjunkning mot tiden).

D2. Filterspetsar

INSTALLATION

1. Kontrollera filtrets funktion.

2. Avlufta spetsen (kokning eller vakuum) ca 30 min.

3. Mät och kapa slangen (ca 2 m längre än installationsdjup).

4. Fyll slangen med vatten (eller köldblandning).

5. Ansluta slangen till spetsen under vatten.
   OBS!! Kontrollera att slangen är vattenfylld även efter kopplingen.

6. Plugga slangens ände.
   OBS!! Pluggen måste passera genom borrstänger och skarvar.

7. Förborra till vattenmättad jord.

8. Fyll borrhålet med vatten till markytan.
   OBS!! Använd ett foderrör för att hålla vattennivån vid markytan om det översta lagret är genomträngligt.

9. Skruva första borrstången eller vattenledningsröret på spetsen under vatten.

10. Sätt en plastpåse kring filterelementet under vatten.

11. Flytta spetsen i plastpåsen till det förborrade hålet.

12. Tryck ned spetsen till önskad nivå (skruva på nya borrstänger eller vattenledningsrör efter behov).

12a. <u>För Geotech filterspetsar</u>: dra upp borrstängerna.

13. Ta bort pluggen från slangen.

14. Kontrollera att filterspetsen inte har tätas genom att se om vattnet i slangen försvinner i omgivande jord
    OBS!! Denna kontroll kan utföras endast om spetsen installerats i genomträngligt material

13. Gör i ordning slangen över markytan:
    - kapa den till bekväm nivå
    - se till att den är vertikal
    - fäst slangens ände till t ex en träpåle.

14. Täta det förborrade hålet och kring slangen med bentonit eller dylikt.

15. Avväg slangändens och markytans nivå.

16. Mät in spetsens position och beräkna dess nivå.

D2. Filterspetsar

MÄTNING

1. Kontrollera det elektriska mätinstrumentets funktion innan du åker ut i fält.

2. Ta med en plan över installationen.

3. Ta med en kopia av tidigare mätningar i fält.
   OBS!! Vid första mätomgången, försök bedöma inom vilka gränser mätvärdena bör befinna sig.

4. Sänk kabeln i plastslangen tills mätaren registrerar ett utslag.

5. Läs på måttbandet avståndet mellan kabelns ände och rörtopppen.
   OBS!! Om en icke-graderad kabel används, skall rörtoppens nivå markeras på kabeln och avståndet mätas med ett måttband.

6. Kontrollera mätvärdet med tidigare utförda mätningar, alternativt bedömt värde.

7. Sänk ner kabeln på nytt i plastslangen för att kontrollera att det tidigare mätvärdet ej beror på ett utslag från kondensvatten.

8. Kontrollera regelbundet att det inte förekommer gas eller luft i slangen och spola eventuellt vattnet underifrån med en mindre slang som sänks inuti plastslangen.

9. Kontrollera regelbundet filtrets funktion genom att fylla på platslangen med vatten och notera hur vattnet rinner ut i omgivande jord (sjunkning mot tiden).

D3. Hydrauliska portrycksmätare

INSTALLATION

1. Kontrollera filtrets funktion

2. Avlufta spetsen (vakuum eller kokning) ca 30 min.

3. Mät och kapa slangen.
   OBS!! Tänk på eventuellt horisontellt avstånd mellan spetsen och mätstationen.

4. Fyll slangen med vatten

5. Koppla slangen till spetsen under vatten.
   OBS!! Kontrollera att slangen är vattenfylld även efter kopplingen.

6. Plugga slangens ände.
   OBS!! Pluggen måste passera genom borrstänger och skarvar.

7. Förborra till vattenmättad jord.

8. Fyll borrhålet med vatten till markytan.
   OBS!! Använd ett foderrör för att hålla vattennivån vid markytan om det översta lagret är genomträngligt.

9. Skruva första borrstången eller vattenledningsröret på spetsen under vatten.

10. Sätt en plastpåse kring filterelementet under vatten.

11. Flytta spetsen i plastpåsen till det förborrade hålet.

12. Tryck ned spetsen till önskad nivå (skruva på nya borrstänger eller vattenledningsrör efter behov).

13. Kontrollera att ingen luft finns i de vattenfyllda platslangarna och spola eventuellt bort luften genom att låta vatten cirkulera.

14. Gör i ordning mätstationen.

15. Täta det förborrade hålet och slangarna med bentonit elle dylikt.

16. Avväg mätinstrumentets och markytans nivå.

17. Mät in spetsens position och beräkna dess nivå.

D3. Hydrauliska portrycksmätare

MÄTNING

1. Kontrollera mätinstrumentets (manometer eller tryckgivare) funktion och kalibrering innan du åker ut i fält.
   OBS!! Gäller inte när mätinstrumentet är permanent kopplat på slangen.

2. Ta med en plan över installationen.

3. Ta med en kopia av tidigare mätningar i fält.
   OBS!! Vid första mätomgång, försök bedöma inom vilka gränser mätvärdena bör befinna sig.

4. Kontrollera att ingen luft finns i de vattenfyllda platslangarna och spola eventuellt bort luften genom att låta vatten cirkulera.
   OBS!! Om spolning utförs måste du vänta med avläsningen tills trycket i systemet stabiliserats.

5. Koppla på mätinstrumentet och vänta med avläsning tills trycket stabiliserats (avsätt gärna mätvärden i ett diagram mot tiden för att bedöma stabilisering).

6. Kontrollera mätvärdet mot tidigare utförda mätningar, alternativt bedömt värde.

D4. Pneumatiska portrycksmätare

INSTALLATION

1. Kontrollera filtrets funktion

2. Avlufta filtret (kokning eller vakuum) ca 30 min.

3. Kontrollera slangarnas längd.
   OBS!! Tänka på eventuellt horisontellt avstånd mellan spetsen och mätstationen.

4. Skruva ihop filtret och de andra delarna av spetsen under vatten.

5. Förborra till vattenmättad jord.

6. Fyll borrhålet med vatten till markytan.
   OBS!! Använd ett foderrör för att hålla vattennivån vid markytan om det översta lagret är genomträngligt.

7. Skruva första borrstången eller vattenledningsröret på spetsen under vatten.

8. Sätt en plastpåse kring filterelementet under vatten.

9. Flytta spetsen i plastpåsen till det förborrade hålet.

10. Tryck ned spetsen till önskad nivå (skruva på nya borrstånger eller vattenledningsrör efter behov).

11. Gör i ordning mätstationen.

12. Täta det förborrade hålet och kring slangarna med bentonit eller dylikt.

13. Avväg markytans nivå.

14. Mät in spetsens position och beräkna dess nivå.

D4. Pneumatiska portrycksmätare

MÄTNING

1. Kontrollera mätinstrumentets (manometer eller tryckgivare) funktion och kalibrering innan du åker ut i fält.

2. Ta med en plan över installationen.

3. Ta med en kopia av tidigare mätningar i fält.
   OBS!! Vid första mätomgången, försök bedöma inom vilka gränser mätvärdena bör befinna sig.

4. Ansluta gasflaskan med komprimerad gas, tryckregulatorn och mätinstrumentet till injektionslangen.
   OBS!! Om ingen tryckregulator används måste du stoppa returslangen i ett vattenbad för att observera gascirkulationen.

5. Utför avläsningar regelbundet tills trycket stabiliserats så att samma mätvärde erhålls under några minuter (3-5 min.)
   (avsätt gärna mätvärden i ett diagram mot tiden för att bedöma stabilisering).

6. Kontrollera mätvärdet med tidigare utförda mätningar, alternativt bedömt värde.

D5. Elektriska portrycksmätare

INSTALLATION

1. Kontrollera filtrets funktion.

2. Avlufta filtret (kokning eller vakuum) ca 30 min.

3. Kalibrera den inbyggda tryckgivaren.

4. Kontrollera kabelns längd.
   OBS!! Tänk på eventuellt horisontellt avstånd mellan spetsen och mätstationen.

5. Skruva ihop filtret och de andra delarna av spetsen under vatten.

6. Förborra till vattenmättad jord.

7. Fyll borrhålet med vatten till markytan.
   OBS!! Använd ett foderrör för att hålla vattennivån vid markytan om det översta lagret är genomträngligt.

8. Skruva första borrstången eller vattenledningsröret på spetsen under vatten.

9. Sätt en plastpåse kring filterelementet under vatten.

10. Flytta spetsen i plastpåsen till det förborrade hålet.

11. Tryck ned spetsen till önskad nivå (skruva på nya borrstänger eller vattenledningsrör efter behov).
    OBS!! Koppla in mätinstrumentet och kontrollera att givaren inte blir överbelastad under nedtryckning.

12. Gör i ordning mätstationen.

13. Täta det förborrade hålet och kring kabeln med bentonit eller dylikt.

14. Avväg markytans nivå.

15. Mät in spetsens position och beräkna dess nivå.

D5. Elektriska portrycksmätare

MÄTNING

1. Kontrollera avläsningsinstrumentets funktion och laddning innan du åker ut i fält.

2. Ta med en plan över installationen.

3. Ta med en kopia av tidigare mätningar i fält.
   OBS!! Vid första mätomgången, försök bedöma inom vilka gränser mätvärdena bör befinna sig.

4. Ansluta mätinstrumentet och gör avläsningar regelbundet tills trycket stabiliserats (avsätt gärna mätvärden i ett diagram mot tiden för att bedöma stabilisering).

5. Kontrollera mätvärdet med tidigare utförda mätningar, alternativt bedömt värde.

D6. BAT-portrycksmätare

INSTALLATION

1. Kontrollera filtrets funktion.

2. Avlufta filtret (kokning eller vakuum) ca 30 min.

3. Skruva ihop filtret och de andra delarna av spetsen under vatten.

4. Förborra till grundvattenytan.

5. Fyll borrhålet med vatten till markytan.
   OBS!! Använd ett foderrör för att hålla vattennivån vid markytan om det översta lagret är genomträngligt.

6. Skruva förlängningsröret och ev ett vattenledningsrör på spetsen under vatten.
   OBS!! Täta rörskarven med gängtejp.

7. Sätt en plastpåse kring filterelementet under vatten.

8. Flytta spetsen i plastpåsen till det förborrade hålet.

9. Tryck ned spetsen till önskad nivå (skruva på nya vattenledningsrör efter behov).
   OBS!!
   - Kontrollera alltid rören invändigt.
   - Täta rörskarvarna med gängtejp.
   - Skruva alltid ett lock på röret vid neddrivning för att hindra föremål att ramla ned i röret.

10. Täta det förborrade hålet med bentonit eller dylikt.

11. Avväg rörtoppens och markytans nivå.

12. Mät in spetsens position och beräkna dess nivå.

13. Skruva ett lock på röret

D6. BAT-portrycksmätare

MÄTNING

1. Kontrollera mätinstrumentets funktion och kalibrering innan du åker ut i fält.

2. Ta med en plan över installationen.

3. Ta med en kopia av tidigare mätningar i fält.
   OBS!! Vid första mätomgång, försök bedöma inom vilka gränser mätvärdena bör befinna sig.

4. Fyll mätkroppen med vatten - eller köldblandning - och skruva på injektionsnålen.

5. Ta av locket från röret och sänk mätdonet ca 1 m över spetsen och vänta några minuter för temperaturdrift hos tryckgivaren innan nollställning.

6. Nollställ givaren i röret dock ovanför eventuellt vatten i nedre delen av röret.

7. Sänk mätdonet på spetsen tills koppling uppstår och tryckgivaren får kontakt med porvattnet i spetsen.
   OBS!! Om kontakt inte fås på grund av ett visst motstånd kan några vikter sättas över givaren.

8. Gör avläsningar regelbundet tills trycket stabiliserats (avsätt gärna mätvärden i ett diagram mot tiden för att bedöma stabilisering).

9. Dra upp mätdonet och kontrollera nollställningen (se punkt 6).

10. Kontrollera mätvärdet med tidigare utförda mätningar, alternativt bedömt värde.

11. Sätt tillbaka locket på röret.

BILAGA E - FÄLTPROTOKOLL

E1 - OBSERVATIONBORRHÅL

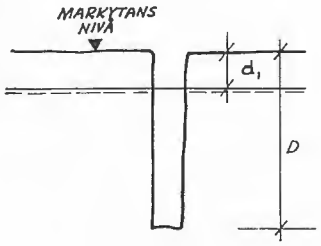
E2 - ÖPPET RÖR

E3 - FILTERSPETS

E4 - HYDRAULISK PORTRYCKSMÄTARE

E5 - SLUTNA SYSTEM MED MEMBRAN
PNEUMATISK PORTRYCKSMÄTARE
ELEKTRISK PORTRYCKSMÄTARE
BAT-PORTRYCKSMÄTARE

(Företag)	**MÄTNING AV GRUNDVATTENNIVÅ** **Observationsborrhål**
PLATS	BORRHÅLSDJUP (D) = m
UPPDRAG	MARKYTANS NIVÅ (my) = m
BORRHÅL	
INST.DATUM	SIGN

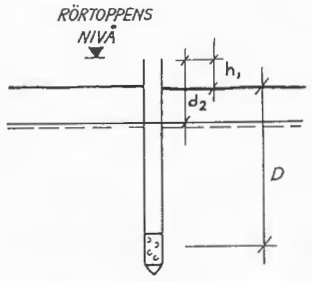


d_1 = uppmätt djup från markytan till vattenytan i hålet, m

GW = my - d_1

DATUM	AVLÄSNING d_1, m	GRUNDVATTENIVÅ GW, m	ANMÄRKNINGAR	SIGN

(Företag)	**MÄTNING AV GRUNDVATTENNIVÅ** **Öppet rör**
PLATS	SPETSDJUP UNDER MY (D) = m
UPPDRAG	MARKYTANS NIVÅ (my) = m
BORRHÅL	NIVÅ ÖK - RÖR (ök) = m
INST.DATUM	SIGN



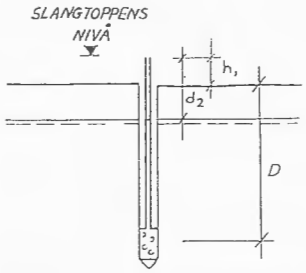
h_1 = avstånd från ök-rör till my, m

d_2 = uppmätt djup från markytan till vattenytan i hålet, m

GW = ök - d_2

DATUM	AVLÄSNING d_2, m	GRUNDVATTENIVÅ GW, m	ANMÄRKNINGAR	SIGN

(Företag)	**MÄTNING AV GRUNDVATTENNIVÅ** **Filterspets**
PLATS	SPETSDJUP UNDER MY (D) = m
UPPDRAG	MARKYTANS NIVÅ (my) = m
BORRHÅL	NIVÅ ÖK-SLANG (ök) = m
INST.DATUM	SIGN

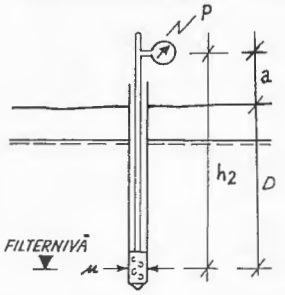


h_1= avstånd från ök-slang till my, m
d_2= uppmätt djup från markytan till vattenytan i hålet, m

GW= ök - d_2

DATUM	AVLÄSNING d_2, m	GRUNDVATTENIVÅ GW, m	ANMÄRKNINGAR	SIGN

(Företag)	**MÄTNING AV PORTRYCK** **Hydraulisk portrycksmätare**
PLATS	SPETSDJUP UNDER MY (D) = m
UPPDRAG	MARKYTANS NIVÅ (my) = m
BORRHÅL	SPETSENS NIVÅ (spn) = m
INST.DATUM	SIGN



h_2 = avstånd från manometer till filtret (D+a), m
p = uppmätt tryck, kPa
u = portryck vid filtret, kPa

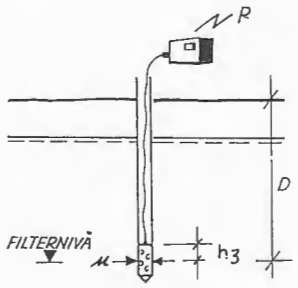
$$u = p + h_2 \cdot \gamma_w$$

$$W = spn + u/\gamma_w$$

DATUM	AVLÄSNING p, kPa	PORTRYCK u, kPa	TRYCKNIVÅ W, m	ANM	SIGN

(Företag)	**MÄTNING AV PORTRYCK** **Slutna system med membran** ☐ PNEUMATISK PORTRYCKSMÄTARE ☐ ELEKTRISK PORTRYCKSMÄTARE ☐ BAT- PORTRYCKSMÄTARE

PLATS	SPETSDJUP UNDER MY (D) = m
UPPDRAG	MARKYTANS NIVÅ (my) = m
BORRHÅL	SPETSENS NIVÅ (spn) = m
INST.DATUM	SIGN



h_3 = avstånd från filter till membran, m
p = uppmätt tryck, kPa
u = portryck vid filtret, kPa

$$u = p + h_3 \cdot \gamma_w$$

$$W = spn + u/\gamma_w$$

DATUM	AVLÄSNING p, kPa	PORTRYCK u, kPa	TRYCKNIVÅ W, m	ANM	SIGN

BILAGA F - PRODUKTBLAD

F1 - Öppet rör
F2 - -”-

F3 - Filterspets
F4 - -”-
F5 - -”-
F6 - -”-
F7 - -”-

F8 - Elektrisk portrycksmätare
F9 - -”-
F10 - -”-
F11 - -”-

F12 - BAT-portrycksmätare
F13 - -”-

F14 - Mätinstrument (öppna system)
F15 - -”-

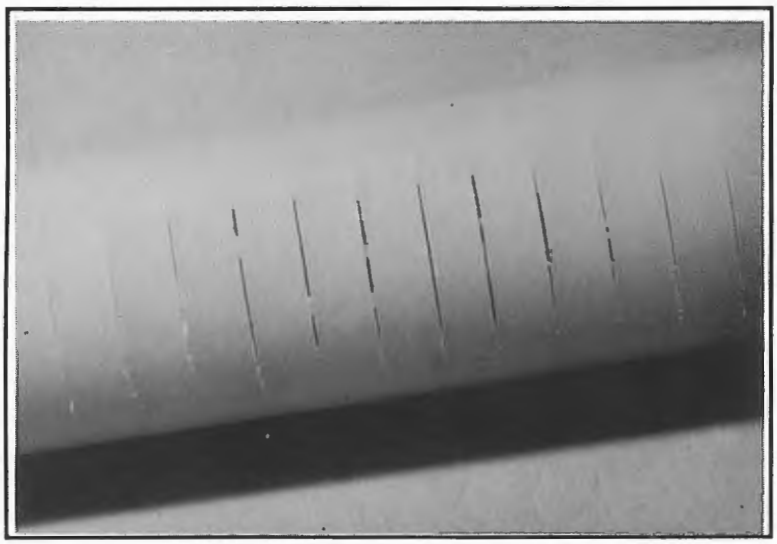
F16 - Mätinstrument (elektr. system)
F17 - -”-
F18 - -”-

F19 - Mätinstrument (BAT-system)

F1 - PVC (öppet rör)

NAMN/BETECKNING		PVC
TYP		öppet rör
TILLV/SÄLJARE		GEONOR/Geotech
UNDERTRYCK		nej
RÖR:	MATERIAL	PVC (plastmaterial)
	DIAMETER	25-50 mm
	LÄNGD	0,70 m
FILTER:	MATERIAL	kvarts
	DIAMETER	32-60 mm (Y.D.)
	LÄNGD	0,45 m
STÅNGANSLUTNING		förlängningsrör (2,0 m) med samma diameter som filterröret
VIKT		700 g
ANMÄRKNING		med eller utan filter, filter invändigt eller utvändigt

F2 - PEH (öppet rör)

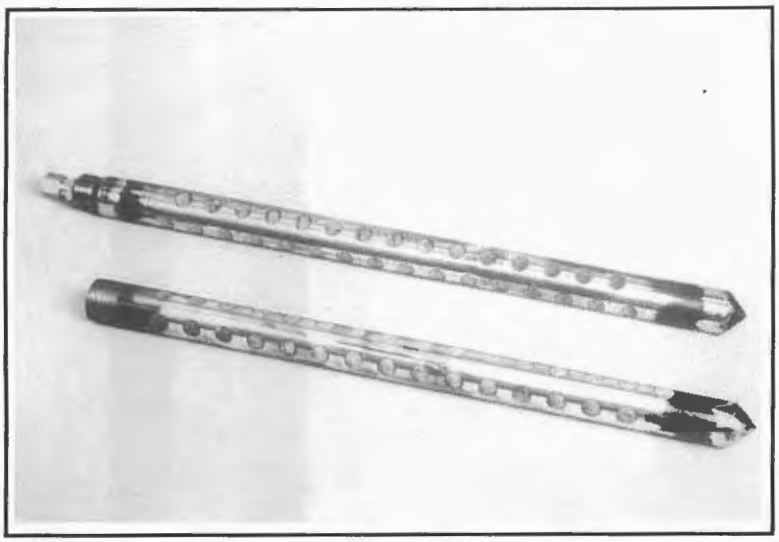


NAMN/BETECKNING		PEH
TYP		öppet rör
TILLV/SÄLJARE		GEONOR/Geotech
UNDERTRYCK		nej
RÖR:	MATERIAL	PEH (plastmaterial)
	DIAMETER	30-60 mm
	LÄNGD	1,0 m
FILTER:	DIAMETER	rördiameter
	LÄNGD	0,80 m
STÅNGANSLUTNING		förlängningsrör (2,0 m) med samma diameter som filterröret
VIKT		500 g

F3 - Spets 25 (filterspets)

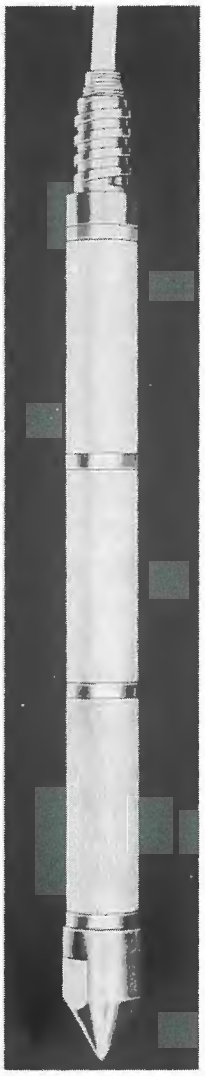
NAMN/BETECKNING		spets 25
TYP		filterspets
TILLV/SÄLJARE		Geotech
UNDERTRYCK		nej
SLANGDIAMETER		4-10 mm
SPETS:	MATERIAL	stål
	DIAMETER	25 mm
	LÄNGD	300 mm
FILTER:	MATERIAL	sand/epoxy
	DIAMETER	25 mm
	LÄNGD	210 mm
STÅNGANSLUTNING		ø 25 mm
VIKT		500 g
ANMÄRKNING		kan slås ned, engångspets

F4 - Spets 33 (filterspets)



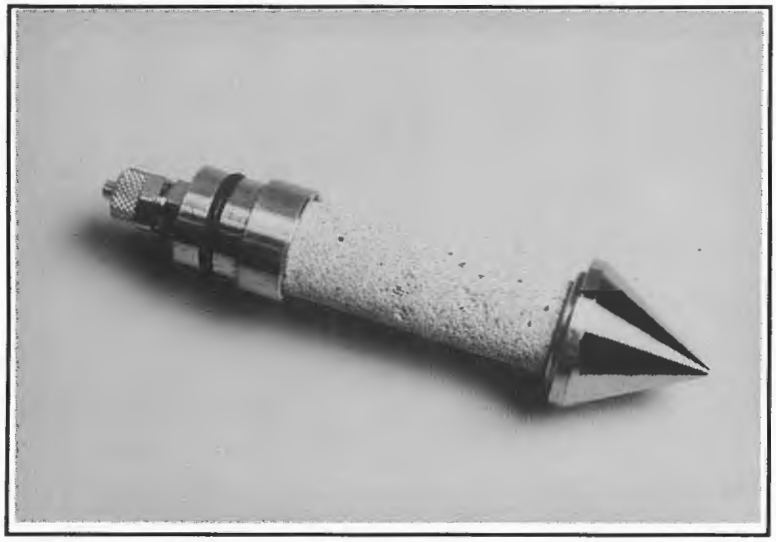
NAMN/BETECKNING		spets 33
TYP		filterspets
TILLV/SÄLJARE		Geotech
UNDERTRYCK		nej
SLANGDIAMETER		10 mm
SPETS:	MATERIAL	stål
	DIAMETER	33 mm
	LÄNGD	0,5 m
FILTER:	MATERIAL	sand/epoxy
	DIAMETER	33 mm
	LÄNGD	0,4 m
STÅNGANSLUTNING		ø 32 mm
VIKT		1,7 kg
ANMÄRKNING		kan slås ned

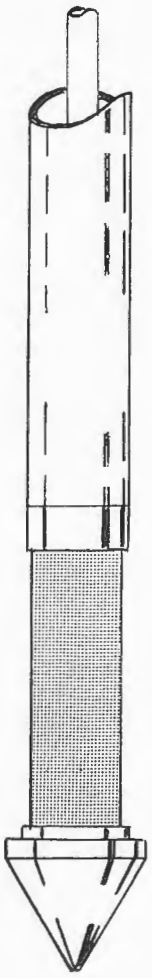
F5 - M-206 (filterspets)



NAMN/BETECKNING		M-206
TYP		filterspets
TILLV/SÄLJARE		GEONOR
UNDERTRYCK		nej
SLANGDIAMETER		6-9 (in-ut)
SPETS:	MATERIAL	mässing
	DIAMETER	32 mm
	LÄNGD	430 mm
FILTER:	MATERIAL	brons/epoxy
	DIAMETER	30 mm
	LÄNGD	270 mm
STÅNGANSLUTNING		ø 32 mm

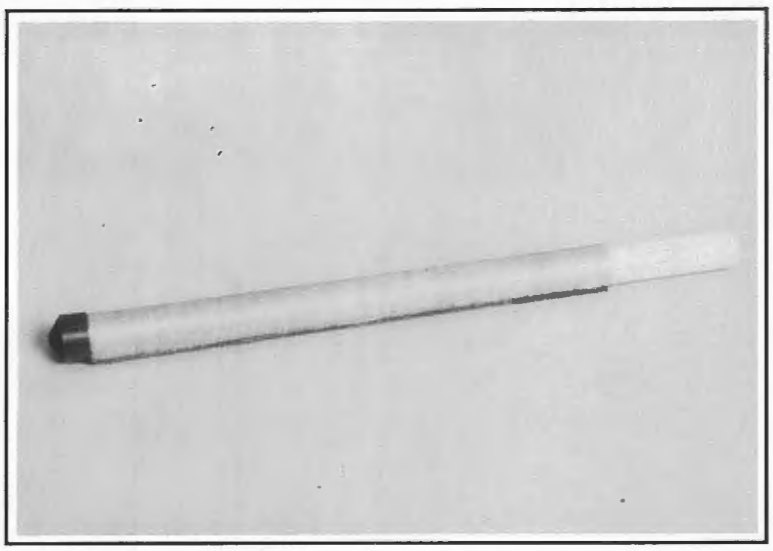
F6 - 7545KPL (filterspets)





NAMN/BETECKNING		7545KPL
TYP		filterspets
TILLV/SÄLJARE		Borro AB
UNDERTRYCK		nej
SLANGDIAMETER		4/6 mm (in/ut)
SPETS:	MATERIAL	stål
	DIAMETER	25 mm
	LÄNGD	1,0 m
FILTER:	MATERIAL	keramik
	DIAMETER	20 mm
	LÄNGD	60 mm
STÅNGANSLUTNING		ø 25 mm
ANMÄRKNING		filterskydd, kan slås ned

F7 - Spets KADO (filterspets)

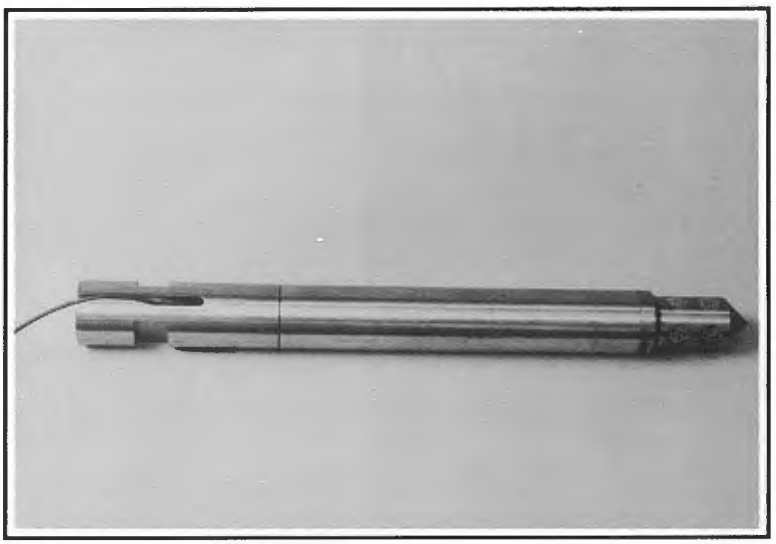


NAMN/BETECKNING		spets KADO
TYP		filterspets
TILLV/SÄLJARE		Ingenjörsfirma KADO
UNDERTRYCK		nej
SLANGDIAMETER		4-13 mm (in)
SPETS:	MATERIAL	plast
	DIAMETER	16 mm
	LÄNGD	270 mm
FILTER:	MATERIAL	geotextil
	DIAMETER	16 mm
	LÄNGD	200 mm
STÅNGANSLUTNING		plaströr ø 15 mm
VIKT		30 g
ANMÄRKNING		kan ändras till slutet system (Wallgren)

F8 - PZ4 (elektrisk portrycksmätare)

NAMN/BETECKNING		PZ4
TYP		elektrisk (svängande sträng)
TILLV/SÄLJARE		Geotech
MÄTOMRÅDE		0-40, 0-100 m vattenpelare
MAXIMALTTRYCK		1,4 x mätområde
MÄTNOGGRANNHET		0,5% full skala
TEMPERATUROMRÅDE		-5,+50
UPPLÖSNING		0,05-0,1 m vattenpelare
UNDERTRYCK		ja
KABELLÄNGD		efter önskemål
SPETS:	MATERIAL	rostfritt stål
	DIAMETER	34 mm
	LÄNGD	280 mm
FILTER:	MATERIAL	sand/plast
	DIAMETER	30 mm
	LÄNGD	40 mm
STÅNGANSLUTNING		ø 36 mm
VIKT		1,2 kg
ANMÄRKNING		absoluttryckmätare avläsningsinstrument GH410

F9 - PZ100 (elektrisk portrycksmätare)



NAMN/BETECKNING		PZ100
TYP		elektrisk (trådtöjningsgivare)
TILLV/SÄLJARE		Geotech
MÄTOMRÅDE		1000 kPa
MAXIMALTTRYCK		1400 kPa
MÄTNOGGRANNHET		0,4% full skala
TEMPERATUROMRÅDE		-5,+50
UPPLÖSNING		0,1 kPa
OLINJÄRITET		0,25%
UNDERTRYCK		ja
KABELLÄNGD		efter önskemål
SPETS:	MATERIAL	rostfritt stål
	DIAMETER	32 mm
	LÄNGD	330 mm
FILTER:	MATERIAL	sand/plast
	DIAMETER	25 mm
	LÄNGD	30 mm
STÅNGANSLUTNING		M16x2mm - ø 22 mm
VIKT		1,2 kg
ANMÄRKNING		absoluttryckmätare avläsningsinstument GH4100

F10 - M-600 (elektrisk portrycksmätare)

NAMN/BETECKNING		M-600
TYP		elektrisk (svängande sträng)
TILLV/SÄLJARE		GEONOR
MÄTOMRÅDE		2,4,6,10,16,20 bar
MAXIMALTTRYCK		1,5 x mätområde
MÄTNOGGRANNHET		0,1% full skala
TEMPERATUROMRÅDE		-20,+60
UPPLÖSNING		1% (0,5%)
UNDERTRYCK		ja
KABELLÄNGD		efter önskemål
SPETS:	MATERIAL	ferromangan/brons
	DIAMETER	32 mm
	LÄNGD	305 mm
FILTER:	MATERIAL	sintrad brons
	DIAMETER	32 mm
	LÄNGD	22 mm
STÅNGANSLUTNING		ø 32 mm
VIKT		1,3 kg
ANMÄRKNING		relativtryckmätare avläsningsinstrument P520H

F11 - M-603 (elektrisk portrycksmätare)

NAMN/BETECKNING		M-603
TYP		elektrisk (svängande sträng)
TILLV/SÄLJARE		GEONOR
MÄTOMRÅDE		2,4,6 bar
MAXIMALTTRYCK		1,5 x mätområde
MÄTNOGGRANNHET		0,1% full skala
TEMPERATUROMRÅDE		-20,+60
UPPLÖSNING		1% (0,5%)
UNDERTRYCK		nej
KABELLÄNGD		efter önskemål
SPETS:	MATERIAL	ferromangan/brons
	DIAMETER	32 mm
	LÄNGD	305 mm
FILTER:	MATERIAL	sintrad brons
	DIAMETER	32 mm
	LÄNGD	22 mm
STÅNGANSLUTNING		ø 32 mm
VIKT		1,3 kg
ANMÄRKNING		relativtryckmätare med nollpunktkontroll avläsningsinstrument P520H

F12 - 4-111 (BAT)

NAMN/BETECKNING		4-111
TYP		BAT
TILLV/SÄLJARE		BAT Envitech AB
MÄTOMRÅDE MAXIMALTTRYCK MÄTNOGGRANNHET		Beroende av givare och mätinstrument
UNDERTRYCK		ja
SPETS:	MATERIAL	termoplast
	DIAMETER	32 mm
	LÄNGD	220 mm
FILTER:	MATERIAL	HD-polyeten
	DIAMETER	30 mm
	LÄNGD	40 mm
STÅNGANSLUTNING		rör 1"
VIKT		240 g

F13 - 4-132 (BAT)

NAMN/BETECKNING		4-132
TYP		BAT
TILLV/SÄLJARE		BAT Envitech AB
MÄTOMRÅDE MAXIMALTTRYCK MÄTNOGGRANNHET		Beroende av givare och mätinstrument
UNDERTRYCK		ja
SPETS:	MATERIAL	rostfritt stål
	DIAMETER	32 mm
	LÄNGD	220 mm
FILTER:	MATERIAL	HD-polyeten
	DIAMETER	30 mm
	LÄNGD	40 mm
STÅNGANSLUTNING		rör 1"
VIKT		560 g
ANMÄRKNING		kan slås ned

F14 - Koaxialkabel

NAMN/BETECKNING	koaxialkabel
BATTERI	9V alkalisk
UTSIGNAL	elektrisk ström
INDIKATOR	visare, ljud, lampa, m m
MÄTNOGGRANNHET	10 - 20 mm
STORLEK	varierande
VIKT	varierande
ANMÄRKNING	flera system med liknande princip

F15 - Klucklod

NAMN/BETECKNING	klucklod
UTSIGNAL	kluckljud
INDIKATOR	ingen
MÄTNOGGRANNHET	10 - 20 mm
STORLEK	varierande
VIKT	varierande
ANMÄRKNING	många varianter finns på marknaden

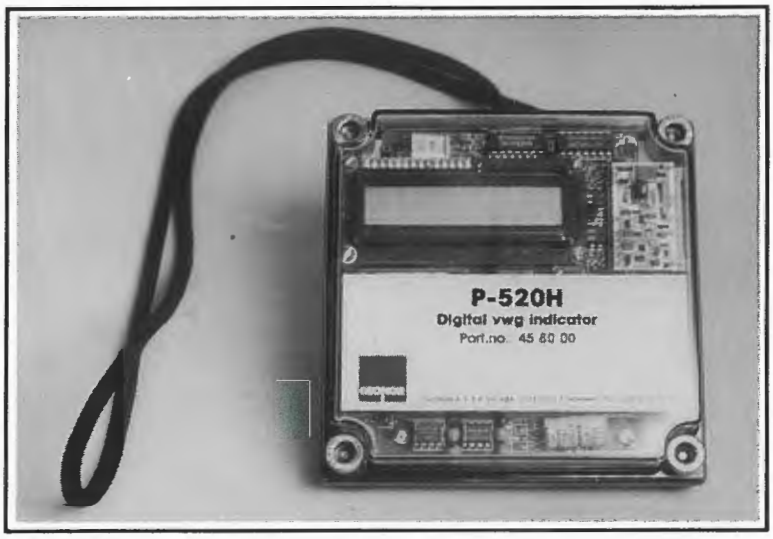
F16 - GH410

NAMN/BETECKNING	GH410
TILLV/SÄLJARE	Geotech
UTSIGNAL	frekvensmätare
BATTERI	8 st alkaliska 1,5V
INDIKATOR	numerisk
UPPLÖSNING	0,05 - 0,1 kPa eller motsvarande
STORLEK	185 x 107 x 40 mm
VIKT	700 g
ANMÄRKNING	används för avläsning av portrycks-mätare PZ4

F17 - GH4100

NAMN/BETECKNING	GH4100
TILLV/SÄLJARE	Geotech
UTSIGNAL	omvandlad till mvp, kPa eller psi
BATTERI	8 st alkaliska 1,5V
INDIKATOR	LCD - 16 tecken
UPPLÖSNING	0,1 kPa eller motsvarande
STORLEK	176 x 80 x 50 mm
VIKT	750 g
ANMÄRKNING	används för avläsning av portrycks-mätare PZ100

F18 - P520H



NAMN/BETECKNING	P520H
TILLV/SÄLJARE	GEONOR
UTSIGNAL	frekvensmätare, signalen omvandlas till ingenjörsmässiga enheter
BATTERI	Lithium laddningsbara
INDIKATOR	LCD - 2x16 tecken
UPPLÖSNING	0,1 Hz
STORLEK	123 x 123 x 35 mm
VIKT	720 g
ANMÄRKNING	används för avläsning av portrycks-mätare M600 och M603

F19 - PI-200

NAMN/BETECKNING	PI-200
TILLV/SÄLJARE	BAT
UTSIGNAL	omvandlad till mvp
BATTERI	9V alkalisk
INDIKATOR	LCD - 7 tecken
UPPLÖSNING	0,01 mvp (0,1 kPa)
STORLEK	155 x 93 x 33 mm
VIKT	350 g
ANMÄRKNING	används för avläsning i BAT-spetsar (4-111 och 4-132) säljs med givare DRUCK - PDCR 800 (se ovan)

SGI INFORMATION

1. JORDS EGENSKAPER (48 sid) 1982/1986/1990
   Rolf Larsson

2. GEOTEKNISKA UNDERSÖKNINGAR I FÄLT (72 sid) 1984
   Ulf Bergdahl

3. UTVÄRDERING AV SKJUVHÅLLFASTHET I KOHESIONSJORD (28 sid) 1985
   Rolf Larsson, Ulf Bergdahl, Leif Eriksson

3. EVALUATION OF SHEAR STRENGTH IN COHESIVE SOILS WITH SPECIAL REFERENCE TO SWEDISH PRACTICE AND EXPERIENCE (32 sid) 1985
   Rolf Larsson, Ulf Bergdahl, Leif Eriksson

4. GEOTEKNISKA UTREDNINGAR FÖR STABILITETSANALYSER ALLMÄNNA RÅD FÖR OMFATTNING OCH KVALITET (20 sid) 1988
   Per Ahlberg, Ulf Bergdahl, Bo Berggren, Lars Johansson, Jan Schälin

5. NYARE IN SITU METODER FÖR BEDÖMNING AV LAGERFÖLJD OCH EGENSKAPER I JORD (64 sid) 1988
   Rolf Larsson, Göran Sällfors

6. TORV - GEOTEKNISKA EGENSKAPER OCH BYGGMETODER (34 sid) 1988
   Peter Carlsten

7. REPORT OF THE ISSMFE TECHNICAL COMMITTEE ON PENETRATION TESTING OF SOILS - TC 16 WITH REFERENCE TEST PROCEDURES CPT - SPT - DP - WST (50 sid, på engelska och franska) 1989

8. HÅLLFASTHET I FRIKTIONSJORD (50 sid) 1989
   Rolf Larsson

9. OLJE- OCH KEMIKALIEUTSLÄPP I JORD (40 sid) 1989
   Lisa Ledskog, Tom Lundgren

10. DILATOMETERFÖRSÖK - EN IN-SITU METOD FÖR BESTÄMNING AV LAGERFÖLJD OCH EGENSKAPER I JORD. UTFÖRANDE OCH UTVÄRDERING (50 sid) 1990
    Rolf Larsson

Geoteknik är bl a grundläggningsteknik, jordförstärkning, markvärme och miljövård.

SGI bedriver forskning, information och konsultation inom geoteknikområdet.

• **Forskningen**
har stark praktisk anknytning, t ex att utveckla undersökningsmetoder och förbättra kontrollen av skredfarliga områden.

• **Informationen**
SGI förmedlar kunskap till olika målgrupper, både inom och utom landet. Den datoriserade litteraturtjänsten har mer än 80.000 geotekniska dokument.

• **Konsultationen**
omfattar bl a rådgivning, geotekniska undersökningar, grundläggningskontroll och mättekniska uppdrag. Vi arbetar åt såväl offentliga som privata beställare.

Statens geotekniska institut

Besöksadress: Olaus Magnus Väg 35
Postadress: 581 01 Linköping
Telefon: 013-11 51 00
Telex: 50125 (VTISGI S) Telefax: 013-13 16 96

Tryck-Center AB, Linköping 1990