



# STATENS GEOTEKNISKA INSTITUT SWEDISH GEOTECHNICAL INSTITUTE

## RAPPORT REPORT No16

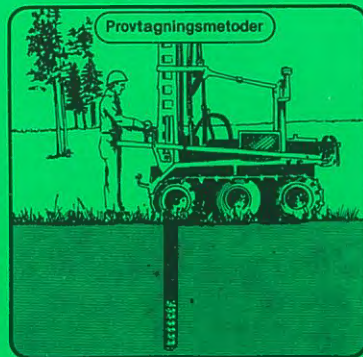
Geofysiska metoder



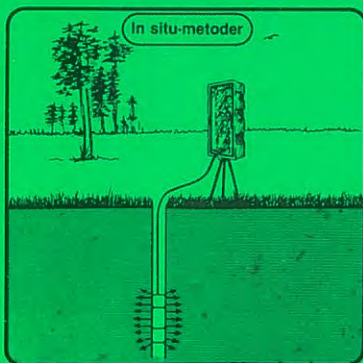
Sonderingsmetoder



Provtagningsmetoder



In situ-metoder



Geohydrologiska metoder



Metoder för kontroll och uppföljning



## Geotekniska fältundersökningar Metoder Erfarenheter FoU-behov

ELVIN OTTOSSON (RED.)

LINKÖPING 1982





# STATENS GEOTEKNISKA INSTITUT SWEDISH GEOTECHNICAL INSTITUTE

## RAPPORT REPORT      No 16

Fältundersökningskommitténs medlemmar:

Jan Hartlén (ordf)	SGI
Bo Alte	Bo Alte AB
Olof Andersson	VIK
Ulf Bergdahl	SGI
Bengt-Arne Torstensson	Bengt-Arne Torstensson AB
Elvin Ottosson (sekr)	SGI

Rapporten har delvis finansierats genom anslag från Statens råd för byggnadsforskning (BFR) nr 770587-2 och anslag från Styrelsen för teknisk utveckling (STU) nr 77-5219.

## Geotekniska fältundersökningar Metoder Erfarenheter FoU-behov

ELVIN OTTOSSON (RED.)

LINKÖPING 1982

**ISSN 0348-0755**

TRYCK-CENTER AB Linköping 1982

## FÖRORD

SGF:s Fältundersökningskommitté tillsattes 1977. Kommitténs målsättning är att sprida information om dagens samlade kunskap inom området geotekniska fältundersökningar samt initiera erforderlig forskning och utveckling.

Föreliggande rapport behandlar befintliga metoder, nuvarande användning och kunskapsnivå samt FoU-behov inom följande ämnesområden:

- Geofysiska metoder
- Sonderingsmetoder
- Provtagningsmetoder
- Metoder för in situ-mätningar
- Geohydrologiska metoder
- Metoder för kontroll och uppföljning

Lägensrapporten syftar främst till att ge en samlad bild av erforderlig forskning och utveckling inom fältundersökningsområdet. En prioritering av forskning och utveckling inom de olika ämnesområdena lämnas.

Värdefulla synpunkter på innehållet erhöles under Fältundersökningsdagen 81-03-17 där bl a ett utkast till föreliggande rapport presenterades. Vidare har via ett remissförfarande en grupp på ca 50 personer, verksamma inom skilda geotekniska intresseområden, beretts möjlighet att lämna synpunkter på ett utkast till rapporten. Härigenom har många värdefulla synpunkter och förslag erhållits som i stor utsträckning har inarbetats i föreliggande rapport.

Till alla som bidragit med remissvar, synpunkter och förslag riktas ett varmt tack.

Rapporten har delvis finansierats genom BFR-anslag nr 770587-2 och STU-anslag nr 77-5219. Dessutom har kommittémedlemmarnas respektive företag och SGI bidragit till rapportens framtagande.

Linköping i februari 1982

Fältundersökningskommittén



## INNEHÅLLSFÖRTECKNING

	sid
SAMMANFATTNING AV FoU-PRIORITERING	7
1. FÄLTUNDERSÖKNINGSKOMMITTÉN	9
1.1 Bakgrund	9
1.2 Mål och arbetsuppgifter	9
1.3 Organisation och arbetsformer	11
2. KOMMITTÉNS ÄMNESOMRÅDEN	13
2.1 Geofysiska metoder	13
2.1.1 Befintliga metoder	13
2.1.2 Nuvarande användning och kunskapsnivå	15
2.1.3 FoU-behov	21
2.1.4 Referenser	23
2.2 Sonderingsmetoder	25
2.2.1 Befintliga metoder	25
2.2.2 Nuvarande användning och kunskapsnivå	27
2.2.3 FoU-behov	36
2.2.4 Referenser	39
2.3 Provtagningsmetoder	41
2.3.1 Befintliga metoder	41
2.3.2 Nuvarande användning och kunskapsnivå	43
2.3.3 FoU-behov	47
2.3.4 Referenser	48
2.4 In situ-metoder	51
2.4.1 Befintliga metoder	51
2.4.2 Nuvarande användning och kunskapsnivå	57
2.4.3 FoU-behov	61
2.4.4 Referenser	63
2.5 Geohydrologiska metoder	67
2.5.1 Befintliga metoder	67
2.5.2 Nuvarande användning och kunskapsnivå	67
2.5.3 FoU-behov	70
2.5.4 Referenser	71
2.6 Metoder för kontroll och uppföljning	73
2.6.1 Befintliga metoder	73
2.6.2 Nuvarande användning och kunskapsnivå	78
2.6.3 FoU-behov	81
2.6.4 Referenser	84
3. FoU-PRIORITERING	87
3.1 Allmänt	87
3.2 Förslag till FoU-prioritering	87





## SAMMANFATTNING AV FoU-PRIORITERING

För de olika fältundersökningsmetoderna kan kommitténs förslag till FoU-prioritering sammanfattas enligt följande:

Geofysiska metoder: Det är idag svårt att prioritera vilken eller vilka metoder som i första hand bör utvecklas och tillämpas inom geotekniken. Härtill är befintlig kunskap om de olika metodernas tillämpning inom det geotekniska området alltför begränsad. Kommittén föreslår därför att en sammanställning och utvärdering av vad som pågår inom FoU på detta område görs innan något handlingsprogram upprättas. Ett påtagligt intresse för att få fram metoder för bestämning av blockhalt, stora block, fyllandsmassor, gamla husgrunder m m föreligger dock i nuläget. Utveckling av sådan metodik bör därför påskyndas.

Sonderingsmetoder: Behov av FoU-insatser finns både på instrumentutvecklingssidan och på utvärderings- och tolkningssidan. Totaltrycksondering, spetstrycksondering, portrycksondering och dynamisk portrycksondering bedöms vara de mest angelägna metoderna för fortsatt FoU-verksamhet. Vidare föreslås utveckling av akustisk penetrometer och automatiska registreringsmetoder för jordbergsondering samt fortsatt utveckling av hejarsonden.

Provtagningsmetoder: Föreslagna FoU-insatser ligger huvudsakligen inom utrustningsutveckling och rationalisering/mekanisering. Hög prioritet tillmäts FoU-satsning på utveckling av provtagare för fast jord. Vidare föreslås bl a att utländska erfarenheter studeras och utvärderas samt utveckling av provgrovsgrävningstekniken.

In situ-metoder: FoU-behov föreligger främst inom instrumentutveckling, tolkning och utvärderingsteknik samt fält-rutiner. Hög prioritet tillmäts FoU-satsningar på pressometern, dynamiska metoder, jordtrycksmätning och i viss mån vingsonden.

Geohydrologiska metoder: Inom detta område behövs forskningsinsatser främst på instrumentutvecklings- och mätmetodiksidan. Mest angeläget bedöms vara projekt inom områdena portrycksmätning, provpumpning och permeabilitetsbestämning.

Metoder för kontroll och uppföljning: Rörelsemätning (såväl horisontalrörelser som vertikalrörelser) och metoder för skredindikering bedöms vara de mest angelägna områdena för FoU-insatser. Behovet av automatisk registrering är stort både inom skredindikering och de olika metoderna för rörelsemätning.

Kommitténs förslag till FoU-prioritering innebär en satsning på fältmetoder som i huvudsak äger tillämpning inom följande geotekniska problemlösningsområden:

- stabilitetsfrågor/skredövervakning (angelägna FoU-projekt: metoder för skredindikering, rörelsemätning, spetsstrycksondering, portrycksondering, jordtrycksmätning, portrycksmätning)
- grundläggningsfrågor (angelägna FoU-projekt: totaltrycksondering, spetsstrycksondering, portrycksondering, pressometermätning, portrycksmätning, dynamisk portrycksond)
- byggskedesgeoteknik (angelägna FoU-projekt: rörelsemätning, portrycksmätning, packningskontroll)

## 1. FÄLTUNDERSÖKNINGSKOMMITTÉN

### 1.1 Bakgrund

Det har under en lång följd av år stått klart att kvalitetsutvecklande arbete på den geotekniska fältundersökningssidan halkat efter utvecklingen på laboratoriesidan och den teoretiska delen av geotekniken. Detta kan delvis antas bero på att man inte haft något samordnande organ för verksamheten inom hela fältundersökningssidan. Man kan här jämföra med utvecklingen av standardkolvprovtagaren under Provtagningskommittén och utvecklingen på sonderingssidan under Sonderingskommittén. För att råda bot på denna brist tillsatte SGF 1977 en Fältundersökningskommitté (FUK). Det fanns då flera skäl för bildandet av kommittén som framgår av följande punkter:

- Utvecklingen på beräkningssidan har accentuerat ökade krav på fältundersökningssidan
- Ökade krav på de geotekniska utredningarna
- Ökat ansvar för konsulterna enligt ABK 76, vilket medför krav på riktlinjer för utförande och tolkning av geotekniska undersökningar
- Inför en utveckling av grundläggningsnormerna krävs förbättrade metoder för bestämning av jordars hållfasthets- och deformationsegenskaper
- Initiering och samordning av FoU-arbetet på fältundersökningssidan
- Utprovning och standardisering av andra undersöknings- och mätmetoder än sonderingsmetoder är nödvändiga
- I Finland och Norge finns redan kommittéer, som har hela fältundersökningssidan som ansvarsområde

### 1.2 Mål och arbetsuppgifter

Mål för kommittéarbetet är:

- att öka kunskaperna om tillgängliga fältundersökningsmetoder

- att kvalitetsförbättra och utveckla metoder för fältundersökningar
- att klarlägga och förbättra tolknings- och utvärderings-sätt för använda fältundersökningsmetoder

De viktigaste arbetsuppgifterna för kommittén är:

- att följa utvecklingen samt kartlägga behovet av forskning och utveckling inom området geotekniska fältundersökningar
- att initiera forsknings- och utvecklingsarbete
- att verka för ett utökat nordiskt samarbete
- att bedriva information till olika avnämargrupper
- att verka för att de geotekniska fältundersökningarna får en utformning och omfattning som är samhällsekonomiskt rätt avvägd
- att medverka vid upprättande av rekommendationer, anvisningar och normer
- att vara remissorgan och medverka vid tillsättning av arbetsgrupper

Här avses med området geotekniska fältundersökningar följande ämnesområden:

- geofysiska metoder
- sonderingsmetoder
- provtagningsmetoder
- metoder för in situ-mätningar
- geohydrologiska metoder
- metoder för kontroll och uppföljning

De olika metoderna används i en del fall även för andra ändamål än geotekniska fältundersökningar. Här avses dock enbart metodernas användning för geotekniskt bruk.

Verksamheten inom FUK begränsas i nuläget till förhållanden och metoder i Sverige, senare inkluderas eventuellt även en del utländska metoder. I ett pågående BFR-projekt "Att arbeta i jord och berg utomlands" behandlas utlandsgeoteknik och en del utländska undersökningsmetoder.

Tyngdpunkten läggs på undersökningar i jord. Undersökningar i berg behandlas endast i några fall. Vidare utelämnas karterande metoder (geobildtolkning och likvärdigt) och kontroll av konstruktioner i jord (pålar, sponter etc).

### 1.3 Organisation och arbetsformer

I kommittén finns representanter för både forskare och avnämare och består av:

Jan Hartlén (ordf)	Statens geotekniska institut
Bo Alte	Bo Alte AB
Olof Andersson	VIAK AB
Ulf Bergdahl	Statens geotekniska institut
Bengt-Arne Torstensson	Bengt-Arne Torstensson AB
Elvin Ottosson (sekr)	Statens geotekniska institut

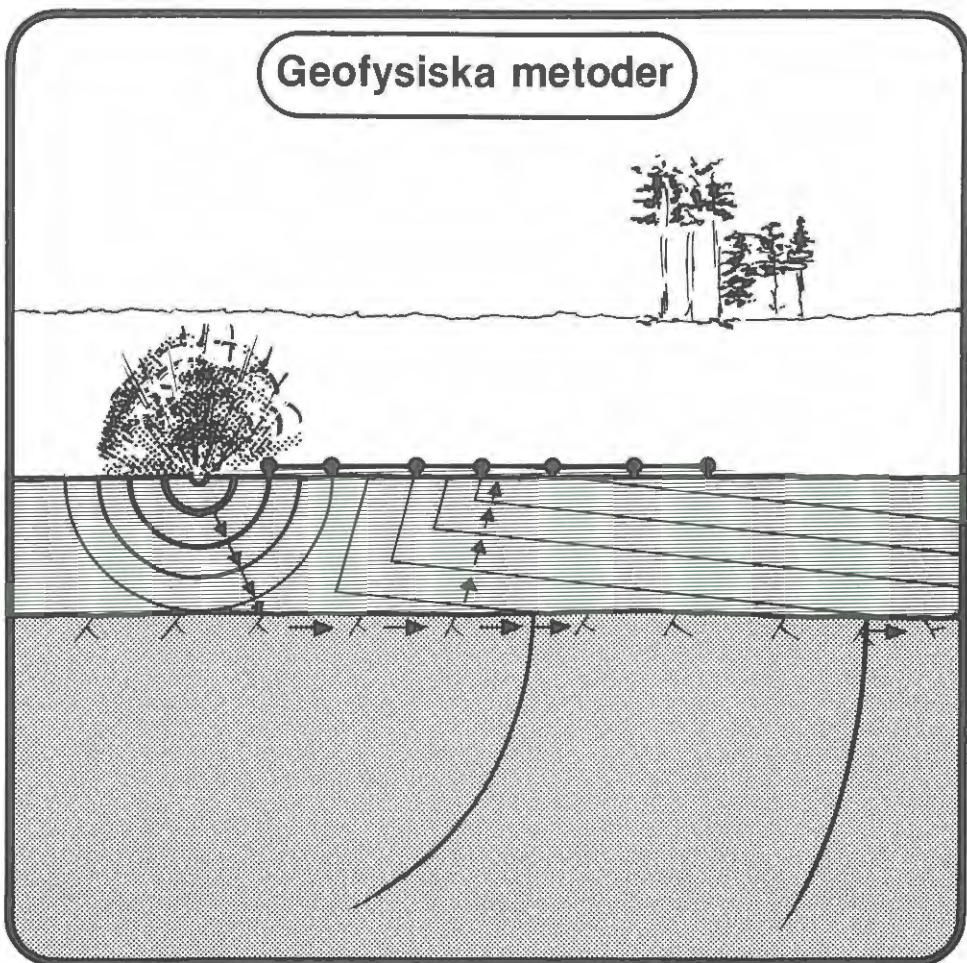
Kommitténs arbetsformer utgörs av:

- kommittésammanträden
- fältundersökningsdagar
- gemensamma nordiska FUK-möten

För lösande av speciella arbets- eller FoU-uppgifter tillsätts särskilda kortvariga projektgrupper. För FoU-projekt föreslår kommittén i samråd med institutioner och forskare medlemmar till en referensgrupp.



# Geofysiska metoder







## 2. KOMMITTÉNS ÄMNESOMRÅDEN

### 2.1 Geofysiska metoder

#### 2.1.1 Befintliga metoder

Olika jord- och bergarter reagerar olika för fysikalisk påverkan. Genom att mäta relativa variationer i det elektriska motståndet, en stötvågs gånghastighet, tyngdkraftsanomalier etc kan typ av jord- och bergart utvärderas liksom ibland även deras egenskaper. Metodiken att mäta jord- och berglagrens reagens gentemot en fysikalisk kraft brukar benämnas geofysiska mätmetoder. Den fysikaliska kraften kan antingen vara konstgjort anbringad vid mättillfället eller också naturligt förekommande.

Man skiljer vanligen mellan två former av geofysiska metoder:

- Ytmetoder, vilket innebär att instrumentering och mätning sker på eller ovan mark
- Loggningsmetoder, vilket innebär att instrument anbringas i borrhål, schakt eller dylikt. Vanligen används termen "borrhålsloggning"

Till FUKs verksamhetsområde hör främst de ytmetoder som kan användas för översiktlig geologisk/geoteknisk kartläggning med tonvikt på detektering av lagergränser, exempelvis jord/berg. Utrymme ges också åt sambandet mellan jordlageruppbyggnad (inkl egenskaper) och geofysiska mätvärden.

Inom området loggningsmetoder hör till FUKs verksamhet den borrhålsloggning som kan användas för bestämning av vissa lagergränser i jordlager samt gränsen jordlager/berg. Intressant är också att med hjälp av sådan loggning bestämma vissa jordparametrar såsom densitet, porositet och dynamisk E-modul.

Kommersiellt utförs geofysiska mätningar vanligen som komplement till andra fältundersökningar, exempelvis sondering och provtagning.

Traditionellt indelas de geofysiska ytmetoderna i

- Seismik
  - refraktions (stötvågs gånghastighet)
  - reflexions (stötvågs gånghastighet och reflexion)
- Geoelektrik (elektriskt motstånd)
- Gravimetri (tyngdkraftsavvikelser)
- Magnetometri (magnetfältsavvikelser)

De två förstnämnda kan betecknas som aktiva metoder i den meningen att en kraft anbringas vid mättillfället. Gravimetrin och magnetimetrin är däremot passiva i den meningen att befintliga kraftfält utnyttjas.

Borrhålsloggningen har huvudsakligen utvecklats inom oljeprospekteringen, där det idag finns ett 20-tal loggningsmetoder i bruk. De vanligaste är:

- Temperatur (borrhålsvätskans temperatur)
- Kaliper (borrhålsgeometri)
- Elektriska
  - SP (självpotential)
  - RE (resistivitet)
- Radiaktiva
  - Neutron (porositet)
  - Gamma/gamma (densitet)
  - Gamma-Ray (naturlig radioaktivitet)
- Akustik (ljudvågs gånghastighet och reflexion)

Under senare år har de geofysiska metoderna utvecklats avsevärt och nya, utöver ovan angivna, har kommit till. Väsentliga sådan är:

- Georadarn, som med högfrekventa elektromagnetiska vågor mäter skiktjocklek, djup och läge för enskilda lagerenheter, främst i jord
- Högfrekventa ljudvågor som mäter skiktjocklek, djup och läge ("sonar")
- VLF, lågfrekventa radiovågor (Very Low Frequency) med vars hjälp sprickor och sprickzoner i berg kan lokaliseras

- Mikroseismik ("knäppmätning") som mäter ljudnivåer vilka uppkommer vid plastiska deformationer i såväl jord som berg
- Cross-hole-seismik, som innebär mätning av seismisk gånghastighet mellan borrhål

De två sistnämnda metoderna används för att bestämma dynamiska parametrar liksom exempelvis fallviktsmetoden och hänförs därför till in situ-metoder och behandlas under avsnitt 2.4.

### 2.1.2 Nuvarande användning och kunskapsnivå

De geofysiska metoderna har utvecklats inom prospekteringstekniken. Det är också här som metoderna idag har sin största tillämpning, främst inom olje/gas/kol samt malm/mineralprospekteringen.

Under de sista 20 å 30 åren har några av metoderna (bl a refraktionsseismik och geoelektrik) funnit viss tillämpning inom grundvattenprospekteringen.

Geoelektrisk motståndsmätning används idag också i syfte att klargöra en jords korrosivitet.

Inom det geotekniska ämnesområdet har, med undantag för refraktionsseismik, användningen av geofysiska metoder hittills varit begränsad. Detta gäller både geofysiska ytmetoder och borrhålsloggning.

#### 2.1.2.1 Refraktionsseismik

Refraktionsseismiken har ofta kommit till bruk för översiktliga undersökningar, för grustäktsinventering m m, liksom i samband med projektering av berganläggningar som tunnlar och berggrum, för jorrdjupsbestämning men också för bergkvalitetsbedömning. Den används också för att lokalisera större kross- och sprickzoner i berg.

Erfarenheterna av metoden pekar på en rad problem som gjort att användningen under de senaste åren tenderat

minska. En ingående studie av metodens tillförlitlighet och kartläggning av dess brister har utförts av Statens vägverk. Följande punkter sammanfattar det väsentligaste av vad man fann:

- jorddjupet tenderar att underskattas, främst av mättekniska och tolkningsmässiga orsaker
- lutande lager orsakar ofta felaktiga resultat. Starkt lutande lager blir utflackade, djupa raviner förvrängs till grunda sänkor osv
- grundförutsättning för ett riktigt resultat är att lagringstätheten tilltar mot djupet. Skikt med lägre gånghastighet än ett överliggande "försvinner"
- tjälad jord försvårar, till följd av sin höga gånghastighet, registrering av mätsignaler från underliggande lager
- andra omständigheter som i hög grad stör mätningarna och försvårar tolkningen är förekomst av mäktigare organiska ytlager samt blockig jord
- yttre företeelser som trafik, industri, stark vind m m ger upphov till vibrationer som stör mätningarna
- slutligen är instrumentoperatörens erfarenhet och skicklighet av avgörande betydelse vid registrering och tolkning av seismogrammen

Vägverket fann emellertid, trots ovan angivna problem, att seismiken är användbar bl a för bestämning av jordparametrar i relativ mening. Bl a fann man vissa empiriska samband mellan den seismiska vågens gånghastighet och schaktbarhet i grovkorniga jordar - minskad gånghastighet ger bättre schaktbarhet.

Betraktat som en dynamisk undersökningsmetod, där mätsignalerna analyseras inte enbart avseende primärvågens gånghastighet utan också andra signalparametrar som våg-amplitud, vågfrekvens, vågfronts/topphastigheter m m, har flera undersökningar visat på samband mellan seismisk

signal och jordmekaniska egenskaper. Exempelvis finns samband mellan

- frekvens och ett jordmaterials blockhalt
- E-modul ( $E_{dyn}$ ) beräknad på våghastighet och ett jordmaterials packningsgrad eller lagringstäthet

Den pågående forskningen (70-talet) har främst koncentrerats kring att hitta just denna typ av samband.

#### 2.1.2.2 Geoelektrik

Den geoelektriska metoden används mycket sparsamt på den geotekniska sidan. En variant på tillämpning av metoden är emellertid bestämning av en jords korrosivitet med jord-resistivitetsmätning.

Med jordresistiviteten menas jordens specifika motstånd mot att leda elektrisk ström. Det har visat sig att en av de viktigaste faktorerna som bestämmer korrosions-hastigheten i jord är jordresistiviteten. Därför har jordresistiviteten kommit att utnyttjas som ett mått på jordens korrosivitet. Andra faktorer är jordens pH och redox-potential.

Det skall dock påpekas att man vid t ex läggning av ledningar i jord ändrar dräneringsförhållanden och jordlagerföljd, dvs jorden rörs om, vilket medför att resistiviteten ändras. Genom ingreppen ändras också förutsättningarna för bildandet av luftningsceller.

Vidare skall framhållas att resistiviteten inte påverkar bildandet av en korrosionscell. Den påverkar däremot korrosionshastigheten när en korrosionscell redan har bildats.

Jordresistivitet kan bestämmas i fält och på laboratorium.

I fält finns två huvudförfaranden, dels in situ-mätning med Wenners 4-elektrometod eller med Wenners stavelektrod,

dels mätning enligt Box-metoden i upptaget jordprov. Vid fältmätningar är Wenners 4-elektrodmätning den vanligaste, men även Box-metoden är vanlig.

I övrigt kan sägas om den geoelektriska metoden då den används för lagerdetektering att den under gynnsamma förhållanden ger en god kvalitativ bild av lagringsförhållandena. Metodens mest påfallande nackdelar är att den alltid måste kombineras med sondering och provtagning (det måste alltså finnas ett facit). Vidare spelar porvattnets kemiska sammansättning en så stor roll att olika lager kan suddas ut på grund av skiftande vattenbeskaffenhet. Sålunda kan stora skillnader i resistivitet uppmätas i lera med i övrigt lika tekniska egenskaper beroende på olikheten i salthalt. Det förutsätts, slutligen, att inga skikt i lagerföljden har en resistivitet som faller mellan värdet av två omgivande, vilket i så fall "försvinner".

Bland pågående forskning och utveckling inom geoelektrisk mätningsteknik skall nämnas utveckling av geoelektriska mätare vid Tekniska Högskolan i Luleå. Den metod som utvecklas här innebär att impedansen i jorden mäts med hjälp av en liten mätcell. Mätvärdena återspeglar förändringar i jordmaterialets vattenmättnadsgrad.

En fortgående forskning äger också rum inom ramen för Korrosionsinstitutets verksamhet, vilken syftar till att finna metoder för att mäta jordmaterialets korrosionsbenägenhet.

### 2.1.2.3 Gravimetri och magnetometri

De två andra konventionella ytmetoderna, gravimetrin och magnetometrin har båda en sådan låg detaljnoggrannhet med dagens instrument att de knappast är aktuella för annat än mycket översiktliga rekognoseringsarbeten.

Magnetometrin har hittills bara använts för att lokalisera malmkroppar och i viss mån diabasgångar, vilka på grund av hög järnhalt ger mätbara anomalier av det magnetiska kraftfältet. En tillämpning inom geotekniken begränsas sannolikt till mycket speciella fall.

Gravimetrin har därvidlag något större förutsättningar. Med nya förfinade instrument som medger mätning av mycket små tyngdkraftsanomalier, kan exempelvis en större grusås under lera lokaliseras, liksom jordfyllda djupa svackor i berg.

På FoU-området pågår (senare hälften av 70-talet) en viss verksamhet med att hitta tillämpningsområden med moderna gravimetriska instrument, bl a på LTH och Chalmers.

#### 2.1.2.4 Radiovågor (VLF och Georadar)

Att använda elektromagnetiskt alstrade radiovågor för att detektera inhomogeniteter i jord och berg är en relativt sen utveckling inom geofysiken.

De lågfrekventa vågorna, VLF utsänds från ett antal fasta stationer världen över och uppfångas med antenner vid måttillfället. Erfarenheterna hittills pekar på att metoden är begränsad till berg, men att den där är ett utmärkt instrument för att exempelvis lokalisera vertikala vattenförande sprickzoner. FoU-verksamhet för introduktion av VLF-tillämpningar pågår bl a på SGU, främst för malm- och vattenletning.

På VIAK pågår försök att utvärdera metoden i samband med bergprojektering för att leta "vertikala ledare", bl a vattenförande sprickor under lera.

Med den s k georadarn kan geoelektriskt alstrade högfrekventa elektromagnetiska vågor penetrera och återreflekteras på jorddjup uppemot 50 m (organisk jord). Nedträngningsdjupet avtar med ökande halt finjord. I lera

begränsas djupet till någon meter. Reflexionerna ger, liksom reflexionsseismiken, uppgifter om lagerförhållanden utan större förutsättningar för kvalitetsbestämning. Georadarn bör därför tillsvidare betraktas som en sonderingsmetod med tillämpning i såväl organiska som mine-rogena jordar. FoU-verksamheten är förlagd till LTH. Några av deras forskningspunkter upptar instrumentutveckling för nivåmätning, impulsmottagare (antennor) samt framtagning av prototyp för vattenhaltsbestämning som in situ-metod i lösa jordlager.

Vid Boliden sker för prospekteringsändamål utveckling av utrustningen inriktad mot borrhålsmätning.

#### 2.1.2.5 Ljudvågor

Sedan länge har man använt s k ekolod för att kartera exempelvis bottenpogografien i en sjö. Under senare år har man genom att använda högfrekventa ljudvågor också kunnat penetrera och få reflexer från botten-sedimenten. Erfarenheter finns bl a från karteringsarbeten i centrala Östersjön där såväl botten-sedimentens struktur och sammansättning som dess mäktighet nöjaktigt kunnat kartläggas. Även förkastningar i det underliggande berget och dess lagringsstruktur i övrigt har i flera fall gått att utröna.

Ett annat exempel där akustiska vågor använts i marin miljö är Öresund, där bl a denna metod nyttjades för att kartlägga sundets sand- och grusförekomster. FoU inom området bedrivs främst vid Stockholms Universitet och SGU för prospektering av grus och sandförekomster.

#### 2.1.2.6 Borrhålsloggning

Som ett komplement till de ofta bristfälliga resultat som fås under ett borrhningstillfälle (kärnborrhning undantaget) har det från sekelskiftet utvecklats en rad sonder som förs ned i borrhålet och som vanligen registrerar inhomogeniteter i borrhålsväggen. I Sverige har vi än så



länge inga eller mycket begränsade erfarenheter av metoderna. Trots att vi i landet utför en stor mängd undersökningsbörningar i samband med större anläggningsarbeten, mineral- och vattenprospektering etc har endast sporadiska försök gjorts att använda loggningsmetoder.

De metoder som i första hand skulle kunna komma till användning inom det geotekniska fältet är:

- temperaturloggning som bl a kan visa gräns jord/berg och flödande grundvatten i porösa formationer
- kaliperloggning som i öppna borrhål visar hålväggens geometri, vilken bl a återspeglar lagergränser och förekomst av (svällande) lera
- sonic loggning för bestämning av porositet och dynamiska egenskaper
- dipmeterloggning för bestämning av lagerstrukturens geometri (strykning och stupning)
- elektrisk loggning som bl a ger möjlighet att urskilja sand- och lerformationer i växellagring
- gammaloggning för att dels identifiera lerförande formationer (anrikat på radioaktiva isotoper), men också för relativ densitetsbestämning (gamma-gamma)
- neutronloggning som ger god uppfattning om lagerföljens porositets- och vattenhaltsförändringar

För närvarande (fr o m 1979) pågår FoU-verksamhet med fältprövningar av olika loggningsmetoder på bl a Chalmers och LTH. En viss tillämpning och instrumentutveckling har också skett vid SGU i samband med lokalisering av kärnbränsleupplag. På den privata sidan märks Geophysical Micro Log AB som introducerar och utvecklar borrhålsloggning på kommersiella grunder i Sverige.

### 2.1.3 FoU-behov

Forskningen inom den geotekniska sektorn har de sista ca 15 åren koncentrerats till den refraktionsseismiska metodens möjligheter för bestämning av jordars dynamiska

egenskaper och materialförhållanden. Denna forskning är i stort sett bara påbörjad och en fortsatt FoU-verksamhet bör vara motiverad med följande inriktning:

- fortsatt genomgång av teoretiska samband mellan signalparametrar och olika jordars dynamiska och mekaniska egenskaper
- tillämpade försöksserier i olika jordlager för bestämning av storheter som packningsgrad, schaktbarhet, deformationsegenskaper etc med hjälp av tryck- och skjuvvågornas hastigheter
- generella sambandsstudier med registrering av transient och stationär vågutbredning i olika material. Analys avseende hastighet, frekvens, våglängd, adsorption av tryck- och skjuvvåg ställs mot materialegenskaper som kornfördelning, vattenhalt, lagringstäthet, packningsgrad etc

Vad gäller övriga geofysiska metoder ligger FoU-verksamheten förlagd till prospekteringssidan. Metoderna finns således och är dessutom väl utvecklade för tillämpningar för prospekteringsändamål. Vad som fordras för en bredare användning inom geotekniken är i första hand en målmedveten introduktion och anpassning av mättekniken. I samband härmed uppstår naturligtvis en överföringsprocess med problem som måste lösas med en likaledes målmedveten satsning på FoU-sidan.

Ur geoteknisk synvinkel bör forskningen inriktas mot att klarlägga följande punkter:

- olika metoders tillämpbarhet vid bestämning av exempelvis jordlagrens textur, struktur, vattenkvot, lagringstäthet, korrosiva egenskaper, blockhalt och dynamiska parametrar samt vid lokalisering av stora block, övertäckta fyllnadsmassor och gamla husgrunder
- hur olika geofysiska metoder lämpligen kombineras för erhållande av tillförlitliga resultat

- tolkning, utvärdering och tillförlitlighet av geofysiska mätdata
- förutsättningar för införande och utveckling av borrhålsloggning vid geotekniska undersökningar

Det är idag svårt att prioritera vilken eller vilka geofysiska metoder som i första hand bör utvecklas och tillämpas inom geotekniken. Härtill är våra kunskaper om de olika metodernas tillämpbarhet alltför begränsade. Inledningsvis bör därför en djupgående sammanställning av vad som pågår inom FOU på detta område göras, innan något handlingsprogram kan upprättas. Samtidigt bör FUK redan nu se till att vissa försökslokaler görs gemensamma för olika projekt för att medge jämförelse mellan metoderna.

Det skall slutligen noteras att det inom prospekterings- sidan redan pågår ett flertal utvecklingsprojekt i dessa syften.

#### 2.1.4 Referenser

- BFR (1976), Seismiska mätmetoder. Från Byggeforskningen, Vol 18 nr 3.
- Bjelm, L et al (1980). System för torvmarksundersökning med radar. NE-proj 3062-281, LTH.
- Broms, B et al (1979). Jord- och bergdynamik. IVA medd 225, Stockholm.
- Camitz, G (1980). Anvisningar för bestämning av jords resistivitet. Korrosionsinstitutets bulletin nr 88.
- Carré, G (1977). Jordkorrosion - orsaker och mätmetoder. Korrosionsinstitutets bulletin nr 83.
- Flodén, T (1975). Modern teknik inom maringeologin. IVA meddelande nr 191, Stockholm.
- Persson, P-G (1980). En introduktion av loggningsteknik. (Dupl), LTH.
- Svedinger, B (1979). Dynamiska parametrar och samband med andra materialegenskaper. BFR R135:1979.

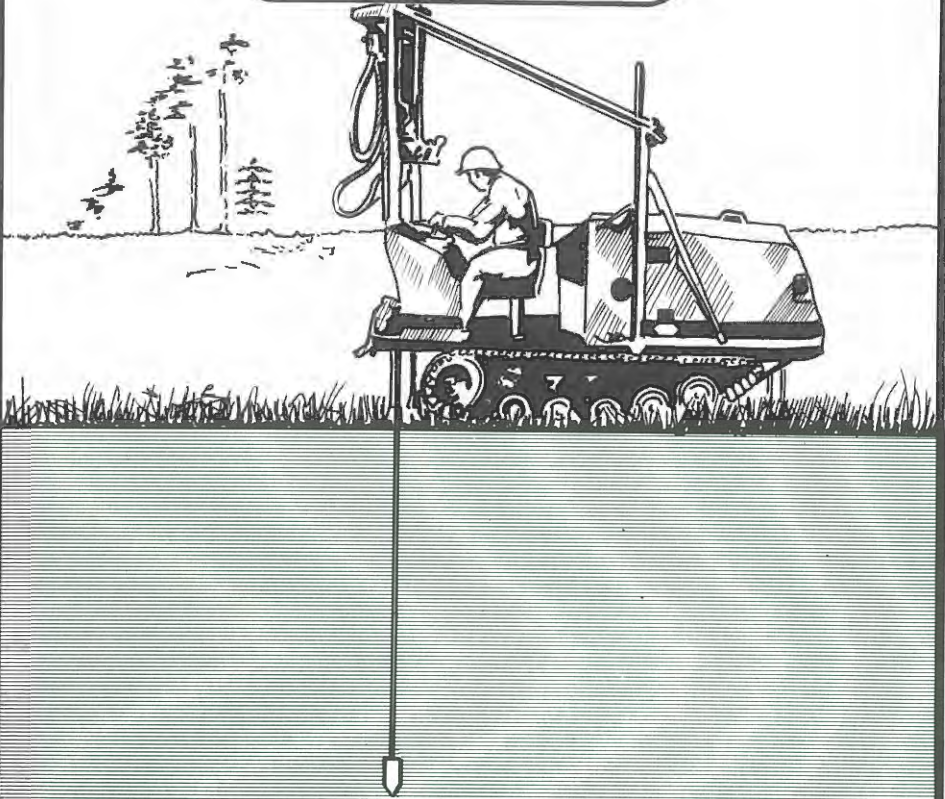
Turner, H (1980). Seismik, en grundundersökningsmetod. Byggforskningsrådet T20:1980, Stockholm.

Turner, H (1976). Seismisk mätmetodik-vibrationer. Geodynamik AB, Stockholm.

Turner, H et al (1977). Övervakning av mikroseismer-fältmätningar. Geodynamik AB, Stockholm.

Vägverket (1976). Utredning angående seismiska undersökningar vid vägprojektering. Stockholm.

## Sonderingsmetoder





## 2.2 Sonderingsmetoder

### 2.2.1 Befintliga metoder

Med sondering avses i detta sammanhang att man på ett eller annat sätt driver ned en med spets försedd sondstång i jorden varunder motståndet mot neddrivningen registreras kontinuerligt eller diskontinuerligt. Resultatet av sonderingen ger ett relativt mått på jordens fasthet. Mera sällan använder man i Sverige sonderingen till att utläsa ett värde på en jordparameter.

Sonderingsmetoderna har en lång tradition i Sverige alltsedan Statens Järnvägars geotekniska kommission utarbetade viktsonderingen med detaljerade föreskrifter för dimensioner och handhavande 1917. För att kunna tränga ned till större djup i fast jord utvecklades senare hejarsonderingsmetoden. Därefter har flera metoder utvecklats bl a i samband med att enkla hydrauliska tryck- och vridmaskiner infördes på marknaden. För närvarande befinner vi oss i ännu en utvecklingsvåg genom elektronikens landvinningar. Denna kan ge oss ökad mätnoggrannhet och en förenklad redovisningsteknik med uppritningar av resultaten direkt i fält.

Det man vid sonderingen mäter kan vara

- den totala neddrivningskraften
- vertikalkraften vid spetsen
- vertikal mantelkraft för hela eller del av stångens mantelyta
- vridmoment, totalt eller enbart vid spetsen
- antal halvvarv per 0,2 m neddrivning
- antal slag per 0,2 m neddrivning
- tiden för 0,2 m neddrivning
- porvattentrycket vid spetsen
- elektriskt ledningsmotstånd vid spetsen, jfr kap 2.1
- akustiska signaler

Mätningen av dessa parametrar kan om så önskas ske samtidigt i vissa kombinationer.

Sonderingsmetoderna brukar ofta indelas i statiska och dynamiska metoder, där man med statisk metod avser att borrhången nedpressas med en vertikal kraft (med eller utan vridning) och med dynamisk metod att sondstången slås ned med fallhejare eller slagborrmaskin.

Man kan idag knappt tekniskt gradera de olika sonderingsmetoderna eftersom de har olika användningsområden. De statiska mätmetoderna ger dock oftast en mer detaljerad upplysning om fasthetsvariationerna i jorden än de dynamiska. Denna större upplösningsförmåga är särskilt viktig i lös jord.

De utrustningsfaktorer som påverkar det totala sonderingsmotståndet är främst:

- stångdiametern
- spetsens utformning
- arbetshastighet vid neddrivning och vridning
- hejarens och slagdynans utformning, slagfrekvens, luft-vattenspolningens kapacitet m m

Trots att sonderingsmetoderna är så vanligt förekommande i Sverige, har vi få jämförande undersökningar, som belyser hur de olika faktorerna påverkar resultatet. Att vi ändå kunnat använda metoderna torde bero på att sonderingsresultatet oftast syftat till att skilja på olika jordlagars relativa fasthet. Detta har ofta varit möjligt, även om sonderingen inte alltid utförts med samma metod eller på exakt samma sätt med en och samma metod.

Flera av sonderingsmetoderna har efterhand standardiserats. Vid den senaste revideringen av sonderingsstandarden 1979-09-25 antogs standard för: viktsondering, spetstrycksondering, hejarsondering enligt metod HfA och DPB samt SPT-försök (SPT = Standard Penetration Test). Där emot har den mekaniska trycksonden eller totaltrycksonden



ännu ej standardiserats. En orsak till att tiden ännu ej varit mogen för standardisering av denna utrustning är att sonderingsutrustningens bärighet har varit i ständig utveckling, vad gäller mekanisering, styrka, terränggående. Just utrustningens mekaniska utformning kommer att ha stor betydelse för sonderingsmetodernas användning i framtiden.

För en viss undersökning väljer man idag, med hänsyn till syftet med undersökningen och de geologiska förhållandena, en lämplig metod. Det normala användningsområdet för våra vanligaste metoder har sammanställts i Tabell 2.2.1. Tyvärr innebär denna användning ofta att man börjar med en metod men sedan man misslyckats med att komma ned går på nästa metod osv. Detta blir naturligtvis dyrt, varför kombinationer av metoder bör eftersträvas. Ett exempel härpå är kombinationen viktsondering, motorslagsondering, som ofta används.

### 2.2.2 Nuvarande användning och kunskapsnivå

Vid praktiskt taget alla geotekniska fältundersökningar, som utförs i Sverige, använder man någon eller några typer av sondering.

Nedan ges en sammanfattande beskrivning av de sonderingsmetoder som används i Sverige, varvid för respektive metod gjorts en uppdelning avseende

- typ och utförande
- användning och kunskap

#### 2.2.2.1 Viktsondering (Vi, Vim)

##### Typ och utförande

Statisk lätt sonderingsmetod. Metoden är sedan länge standardiserad i Sverige och Norden och har nu senast (1977) även blivit antagen som europeisk standard. Senaste utgåva av den svenska standarden är daterad 79-09-03, antagen av SGF 79-09-25.

Undersökningens syfte	Geologiska förutsättningar					
	Berg	Fast morän och vittrat berg	Grov frik- tionsjord	Sand och silt	Fast lera	Lös lera
Bestämning av djup till fast botten *	-	-	HfA, Slb	Vi, TrT, HfA, Slb	(Vi), HfA, TrT	Vi, TrT
" " " " berg	-	Jb	Jb, (HfA)	Jb, (HfA), (Slb)	Jb, (HfA), (Slb)	Jb, (HfA), (Slb)
Skilja mellan lösa och fasta skikt	Jb	HfA, (Jb)	HfA, (Slb)	Vi, TrT, TrS, TrP	TrT, TrS, TrP	Vi, TrT, TrP
Bedömning av jordlagerföljd	-	HfA, (Jb)	HfA, (TrT)	TrT, TrS, TrP	TrT, TrS, TrP	Vi, TrT, TrP
Bestämning av relativ fasthet	Jb	HfA	HfA, (TrT)	TrS, (HfA), (TrT) TrP	TrS, (TrT)	Vi, TrT, TrP
Bestämning av jordparametrar	-	-	HfA	TrS, TrP, (HfA)	TrS, TrP	TrP

Vi = Viktsondering

TrT = Totaltrycksondering

TrS = Spetstrycksondering med eller utan lokal mantelfriktionsmätning

TrP = Portrycksondering

HfA = Hejarsondering enligt metod A\*\*

Slb = Motorslagsondering

Jb = Jordbergsondering

\* OBS. att t ex fast botten mätt med viktsond kan ofta skilja sig från fast botten mätt med hejarsond

\*\* Vid direkt mätning av stångfriktionen kan användningen öka för denna metod

TABELL 2.2.1 Användningsområde för olika sonderingsmetoder med hänsyn till undersökningens syfte och de geologiska förutsättningarna.

Under denna rubrik kan även nämnas sticksondering, som inte sällan utförs med viktsonderingsutrustning men utan någon registrering av sonderingsmotstånd.

#### Användning och kunskap

Viktsonderingar har använts sedan 1920 och torde vara den mest använda sonderingsmetoden i Sverige. En minskad användning kan dock spåras bl a beroende på en otillräcklig nedträngningsförmåga. Viktsonderingen kommer förmodligen att användas i stor utsträckning även i fortsättningen beroende på sin lätthanterlighet och låga kostnad. En bidragande orsak härtill är också att såväl Svensk Byggnorm som Bronormerna beträffande plattgrundläggning baseras på viktsonderingsresultat.

En ytterligare anledning till att viktsonderingen använts så mycket är givetvis att mätresultatet är förhållandevis gott. Man kan oftast särskilja olika jordlager, även om förekomst av sensitiva leror, lös siltjord, jämnkornig friktionsjord o dyl kan försvåra tolkningen.

Man ser ibland i litteraturen samband mellan sonderingsmotstånd och jordegenskaper såsom packningsgrad, skjuvhållfasthet m m. Sådana vedertagna relationer saknas dock trots den långvariga erfarenheten för viktsondering.

Viktsonderingen används enbart i lösa eller mycket lösa jordlager såsom ler-, silt-, sand- och grussediment. Nedträngningsförmågan i fastare jordlager är begränsad, men kan förbättras något med hjälp av slagborrmaskin (Slb) enligt nedan. Erfarenheterna visar vidare att man i t ex siltig jord och grus med viss stenhalt ofta får mycket höga viktsonderingsmotstånd. Jämförelser med provbelastning av pålar och spetstrycksondering visar att dessa höga motstånd ej alltid motsvaras av bättre hållfasthets- och deformationsegenskaper.

### 2.2.2.2 Totaltrycksondering (TrT)

#### Typ och utförande

När totaltrycksondering (typ Nilcon) började användas omkring 1960 var det en strävan att mekanisera viktsonderingen och samtidigt få större nedträngningsförmåga och grafisk redovisning. Under 1950-talet utvecklades vid SGI en mekanisk trycksonderingsutrustning med kontinuerligt roterande stång och på den en lagrad konisk spets (Kallstenius 1961).

Till en början använde man samma sondstång som vid viktsondering och en pyramidformad spets med  $10 \text{ cm}^2$  tvärsnittsytta. Vertikaltrycket kunde uppgå till max 10 kN. Om nedträngningsförmågan vid detta vertikaltryck var otillräcklig kunde man vrida stång och spets för att öka nedträngningsförmågan. Under årens lopp har olika rutiner tillämpats beträffande stång och spets samt även beträffande den grafiska redovisningen. Idag är det sålunda vanligt med  $\phi 25$  mm stänger och en nedpressningskraft på upp till 20 kN. Som spets används härvid antingen den tidigare nämnda pyramidformade spetsen med glappkoppling eller en fast viktsondspets.

Totaltrycksonderingen är snabbare och därmed billigare än t ex viktsondering. Speciellt gäller detta vid arbeten till stort djup och av stor omfattning. Den grafiska redovisningen, som ger en detaljerad bild av jordlagrens fasthetsvariation, är praktiskt värdefull och kan lätt anpassas till redovisning med dator.

I Norge har under 70-talet börjat användas en kraftigare totaltrycksonderingsmetod med borrhör  $\phi 36$  mm, varvid max vertikaltryck är 20 å 30 kN. Härvid används en konstant rotationshastighet på sondstången och en spets  $\phi 40$  mm som är stunt förbunden med stången. Spetsen har, för att kunna tränga igenom fast jord och fyllning, försetts med strängar av hårdmetall (Senneset 1974).

### Användning och kunskap

Totaltryckssondering med såväl den lätta som den tunga utrustningen, har idag stor användning i Sverige och användningen kommer säkerligen att öka ytterligare.

Det är därför beklagligt att vår kunskap om sonderingsmetoden är så begränsad. Det sonderingsdiagram som erhålls innehåller många detaljer, som skulle kunna vara möjligt att närmare analysera. Med ledning av kurvans form kan man få en indikation på vilken jord som spetsen tränger igenom (Kallstenius 1961). Likaså kan tillväxten i mantelfriktion på stängen ge upplysning härom. Tyvärr har det dock visat sig att den använda glappkopplingen måste skötas noga för att man skall kunna skilja mellan spetsmotstånd och mantelfriktion på stängen. Vidare saknas idag verdertagna metoder för att utvärdera jordens fasthet från dessa resultat på motsvarande sätt som för viktsonden. Klart är dock att spetsmotståndet mätt med den mekaniska trycksonden typ Nilcon kan skilja sig från vad man mäter med spetstrycksonden (Bergdahl 1975). Dessutom är nedträngningsförmågan för den pyramidformade spetsen och viktsondspetsen olika.

Ett förslag till standardisering av totaltryckssondering vore önskvärd så att olika leverantörer och användare utförde sonderingen på samma sätt.

#### 2.2.2.3 Spetstrycksond (TrS)

##### Typ och utförande

Den holländska trycksonden har använts på kontinenten under många år och har successivt utvecklats så att den fått större nedträngningsförmåga och samtidigt blivit känsligare. Utvecklingen har här gått mot sonder med direkt mätning av spetsmotstånd och lokalt vid spetsen också mantelfriktionen på stängen (en friktionshylsa). Denna metod ingår också i den europeiska standarden för sondering. Motsvarande metod standardiserades av Svenska Geotekniska Föreningen 1979.

Mätningen sker vid spetsen med en elektrisk kraftgivare vars information överförs med kabel eller ljud genom borrhöret till en skrivande utrustning på marken. Dels registreras vertikaltrycket på en rund konisk spets med tvärsnittsarean  $10 \text{ cm}^2$  och dels mantelmotståndet på friktionshylsan som är placerad omedelbart över spetsen och är  $150 \text{ cm}^2$ .

#### Användning och kunskap

I Sverige har spetstrycksondering använts i begränsad omfattning men under senare år har en ökad användning kunnat märkas.

Metoden används främst för att finna tunna skikt av lera, silt eller sand som kan ha stor betydelse för stabilitets- eller sättningsberäkning. I utlandet utvärderas ofta olika egenskaper ( $E, \phi$ ) hos jordlagren direkt ur spetstrycksonderingens resultat eller används resultaten direkt för t ex sättningsberäkning (Schmertmann et al 1978). I Sverige arbetar man på SGI tillsammans med Vägverket på att söka beräkna plattors sättning vid grundläggning i fast jord med bl a denna metod. Förhållandet mellan den lokala mantelfriktionen och spetsmotståndet (friction ratio) anses ge en indikation på vilken jord som penetreras (Begemann 1965). Erfarenheten härav är dock begränsad i Sverige.

Beroende på att spetsen är förhållandevis dyr och risken att tappa spetsen är stor, kommer troligen spetsmanteltrycksonderingen att förbli en sonderingsmetod för mera noggranna undersökningar.

#### 2.2.2.4 Portrycksondering (TrP)

##### Typ och utförande

Portrycksonden är en relativt ny utrustning för tolkning av jordlagerföljder. Principen bygger på att det genereras ett portryck, när en sond neddrivs i jorden. Portrycksondering utförs med en konstant neddrivningshastighet, samma som vid spetstrycksondering,  $20 \text{ mm/s}$ . Sonden

har en konisk spets och däröver en cylindrisk del med  $\phi 15$  mm diameter. På den cylindriska delen har placerats ett cylindriskt filter. Portrycksmätningen sker vid spetsen med en elektrisk givare och informationen överförs till en skrivande utrustning på marken.

#### Användning och kunskap

I Sverige har under senare år portrycksondering främst kommit till användning för att finna genomsläppliga skikt i lösa lerlager. Det genererade portrycket ger en uppfattning om den penetrerade jordens egenskaper. Vid sondering i lera bildas t ex stora övertryck, medan endast små övertryck bildas vid penetrering i mer permeabel jord som silt och sand. I dilatant jord kan negativa portryck bildas. Tunna lerlager i ex.vis sand eller silt registreras således som en topp på portryckskurvan vid sonderingen.

Genom att tolka utjämningsförloppet sedan nedpressningen av sonden avbrutits fås en uppfattning om jordens permeabilitet. Inom området portrycksondering bedrivs FoU av bl a Bengt-Arne Torstensson (1977).

#### 2.2.2.5 Hejarsondering (Hf)

##### Typ och utförande

Metoden utarbetades i Sverige under 1940-talet. Under senare år har metoden standardiserats i Sverige. (Jfr SGF:s standard 79-09-03). Normalmetoden kallas HfA men standarden innehåller även en metod kallad DPB, som är i överensstämmelse med den europeiska sonderingsstandard. Till skillnad från äldre hejarsonderingsmetod (HfB) innehåller HfA-metoden krav på frifallshejare, fast slagdyna med mellanlägg samt vridning av sondstången under sonderingens gång.

##### Användning och kunskap

Ett viktigt syfte med denna undersökningsmetod har varit att bestämma sannolik pålstoppnivå. Metoden används även för bestämning av jordens fasthet i t ex fast sedimenterad friktionsjord, morän och vittrat berg. Registrering sker

genom att redovisa antalet slag per 0,2 m neddrivning enligt standard och redovisas enligt SGF:s beteckningsblad.

Hejarsondering är förhållandevis långsam och därmed dyrbar. Registreringen ger ofta dålig indikation på olika fasthet hos lösa jordlager. En stor fördel har dock hejarsonden genom sin relativt goda nedträngningsförmåga. Genom att separera spets- och mantelmotstånd erhåller man också betydligt större upplösning, när det gäller att skilja olika jordlager från varandra.

Inte heller för hejarsonderingsmetoden finns några vedertagna regler för hur jordar kan indelas med hänsyn till fastheten. Ett försök till jämförelser med den internationellt vanliga SPT-metoden har dock gjorts av Bergdahl (1974). I grusig jord bedöms hejarsonden ge den mer verklighetsnära bilden av jordens fasthet, medan man i siltig jord under grundvattenytan ofta får för höga motstånd med hejarsonden.

#### 2.2.2.6 Dynamisk sondering med slagborrmaskin (Slb)

##### Typ och utförande

Metoden tillhör de dynamiska sonderingsmetoderna. I princip används samma utrustning som vid viktsondering. Ibland byts dock skruvspetsen ut mot en slät eller förtjockad spets med cirkulärt eller kvadratisk tvärsnitt. Normalt används numer  $\phi 25$  mm sondstänger. Neddrivningen utförs med en handhållen slagborrmaskin. Registrering sker genom angivande av tiden per 0,2 m neddrivning. Metoden har ej standardiserats.

##### Användning och kunskap

Denna sondering började användas på 50-talet för att underlätta det manuella arbetet vid sondering i fast jord. Man erhåller också en större nedträngningsförmåga än vid viktsondering. Metoden är lätt och billig och har stor användning för bestämning av djupet till "fast botten"



eller berg. Metoden används därför i vissa fall för pållängdsbestämning. Härvid skall dock observeras att man med denna metod löper större risk än med t ex hejarsond att få stopp mot sten eller block på högre nivå än pålstopp. I t ex fast lera erhålls ofta stor friktion på sondstången, varför nedträngningsförmågan minskar väsentligt. Metoden används vidare i stor utsträckning för att vid ledningsprojektering bestämma s k bergfritt djup. Registreringen ger otillräckligt besked om fastheten hos de jordlager som genomborras. Resultaten av undersökningar med denna metod måste med ledning av vad som ovan sagts bedömas med stor försiktighet.

Intressant är att komplettera slagsonderingen med en mikrofon placerad i angränsande berg (bergindikering), varvid man genom ljudets karaktär kan avgöra om borrarspetsen stannat på berg eller block.

#### 2.2.2.7 Jord-bergsondering (Jb)

##### Typ och utförande

Metoden är dynamisk och vid redovisningen anges den tid som åtgår för 0,2 m neddrivning. Utrustningen är i princip densamma som används vid bergborringar i bl a bergrum, tunnlar o dyl. Metoden har inte standardiserats men ett förslag till klassning av utrustningarna i lätt, medeltung och tung utrustning har gjorts av en arbetsgrupp inom Svenska geotekniska föreningens Sonderingskommitté.

Utrustningen, främst slagborrmaskinerna, varierar avsevärt i styrka och egenskaper. Borrstången har oftast dimensionen 32 mm ( $1\frac{1}{4}$  tum) eller 38 mm ( $1\frac{1}{2}$  tum). Spolning genom borkronan måste alltid utföras med luft eller vatten (ev bentonitblandat vatten). För geotekniska undersökningar skall, enligt SGF:s beteckningsblad, användas s k fyrskärskrona men s k stiftkronor, som har större avverkning, används ändå i stor utsträckning. Möjligen kan översättningstal mellan sonderingsmotstånden för dessa kronor utarbetas.

### Användning och kunskap

Det hittills viktigaste användningsområdet för jordbergsondering har varit att bestämma djupet till berg (normalt urberg), varvid man valt att borra 3-5 m ned i berget för att med säkerhet kunna skilja mellan större block och berg. Vid sedimentärt berg och rösberg eller mycket sprickigt berg kan det vara svårt att skilja mellan överliggande jord och "berg".

Flera andra användningsområden finns också, t ex bedömning av blockförekomst, ungefärlig fasthet hos fasta jordlager och berg samt ungefärlig uppfattning om sprickförekomst i berg. Vid jordbergsonderingen kan man också göra en grov bergartsbestämning baserad på uppspolat borrkax.

Försök har gjorts av bl a Hagconsult AB att i samband med jordbergsondering grafiskt registrera borrhastighet, spolningskapacitet och dylikt.

Jordbergsondering har använts allt oftare under senare år och torde även i framtiden få ökad användning. En fördel är att borrhutrustningen tillverkas för bergsprängningsindustrin, där avsevärt större utvecklingsarbete sker än som är möjligt för enbart geotekniska och geologiska arbeten.

#### 2.2.3 FoU-behov

Det är viktigt för kvalitet och ekonomi vid geotekniska undersökningar att sonderingsmetoderna utvecklas ytterligare. Man bör inrikta sig på följande

- a) säkrare utvärdering av resultatet dels den relativa utvärderingen av jordlagerföljden, dels den absoluta mätningen för jordparameterbestämning, t ex jordens hållfasthet och kompressionsegenskaper
- b) kombination av 2, 3 eller 4 olika sonderingsmetoder, som täcker ett tillräckligt stort arbetsområde

- c) mekanisering av borrhagnar, elektronisk mätutrustning, grafisk redovisning med möjlighet till data-behandling
- d) akustisk indikering - identifiering av penetrerade jordlager kan underlättas genom kontinuerlig registrering av akustiska emissioner under sonderingen. Metoden möjliggör bestämning av tunnare jordlager eller skikt och är oberoende av grundvattenförhållanden (jfr portrycksondering).

I första hand bör forskningen inriktas på en förbättrad utvärdering av sonderingsresultaten, eftersom detta är ett villkor för en ökad användning av sonderingsmetoderna. Härvid bör man närmare studera förekommande utländska metoder för dimensionering av grundkonstruktioner och sättningsberäkningar, som baseras på resultat av sonderingar; statiska eller dynamiska. I samband härmed kan sonderingsmetoderna utvecklas på den praktiska sidan, dvs ett tekniskt ekonomiskt avvägt urval av sonderingsmetoder anpassas till lämplig borrhavn. Framtagning av ett par, tre sådana olika typer borde täcka vårt behov av orienterande sondering för olika ändamål och olika geologiska förutsättningar.

Parallellt bör löpa forskning och utveckling av sådana sonderingsmetoder, som har förutsättning att ge absoluta värden för de jordlager som penetreras.

Några synpunkter på FoU-behovet ges nedan för de olika sonderingsmetoderna.

#### Spetstrycksondering

FoU-arbete på denna metod bör omfatta jämförande sonderingar i svenska jordlager, så att utländska erfarenheter kan prövas. Vissa undersökningar, som gjorts vid SGI, tyder på att den standardiserade neddrivningshastigheten 20 mm/s är för hög vid bestämning av jordegenskaper i silt. Detta förhållande bör närmare undersökas, eftersom spetstrycksonden torde vara den bästa sonderingsmetoden för närmare undersökning av fastheten i

silt, sand och fint grus. Kombination av spetstrycks- och portrycks-sond är intressant och FoU pågår bl a av Bengt-Arne Torstensson.

#### Totaltrycks-sondering

Denna metod torde kvantitativt bli mest använd inom den närmaste framtiden. Det finns därför stor anledning att också höja kvaliteten genom en FoU-insats. Ett sådant projekt pågår på Bo Alte AB och redovisas i Byggforsknings-rapport under 1982. Bl a bör trycks-sonderingen kombineras med hejar-sondering, så att erhållna stoppnivåer kan kontrolleras, utan att ny sondering görs. Det är önskvärt att snart standardisera en eller två typer av totaltryck-sondering.

#### Portrycks-sondering

Inom området portrycks-sondering pågår sedan några år forsknings- och instrumentutveckling, men förutom ett större erfarenhetsunderlag erfordras enligt försök som utförts av SGI (Eskilson, Andréasson 1979) en bättre teoretisk modell för tolkningen av utjämningsförloppet sedan nedpressningen upphört om permeabilitetsvärden för jorden skall kunna bestämmas. Till den pågående forskningen kan i övrigt noteras från LTH framtagande av prototyp för in situ-mätning av permeabilitet i lösa jordlager.

Angelägen FoU-insats är utveckling av instrument och metodik för portrycks-sondering. Särskild vikt läggs vid tolkning och teoretisk analys av erhållna mätdata.

För bestämning av jordens egenskaper vid påslagning erfordras en s k dynamisk portrycks-sond.

#### Hejar-sondering

Beroende på att metoden är förhållandevis långsam bör den helst kombineras med annan metod, t ex trycks-sond enligt ovan. Vid SGI har man utvecklat en glappkoppling

med vilken det är möjligt att separera spetsmotstånd och mantelfriktion på sondstängen. Härigenom förbättras möjligheterna att bedöma jordens fasthet, speciellt på stort djup under markytan. För att göra det möjligt att även i fast jord få en mer detaljerad bild av jordens egenskaper har man vid SGf även utvecklat en hejarsond med lös uttryckbar kon med vilken det är möjligt att intermittent göra ett tryckförsök i jorden. Härigenom kan en last-sättningskurva erhållas för jorden på valda nivåer. Jfr Bergdahl, Möller 1980. En fortsatt utveckling av denna provningsteknik bedöms som önskvärd och jämförelser bör göras med andra in situ-metoder som pressometer och skruvplatta.

För kontroll av packade fyllningar erfordras också en mindre hejarsond t ex något motsvarande den lätta tyska hejarsonden, som nu avses bli europeisk standard. För detta erfordras vissa undersökningar om samband mellan jordens fasthet och sonderingsmotstånd.

#### Jord-bergsondering

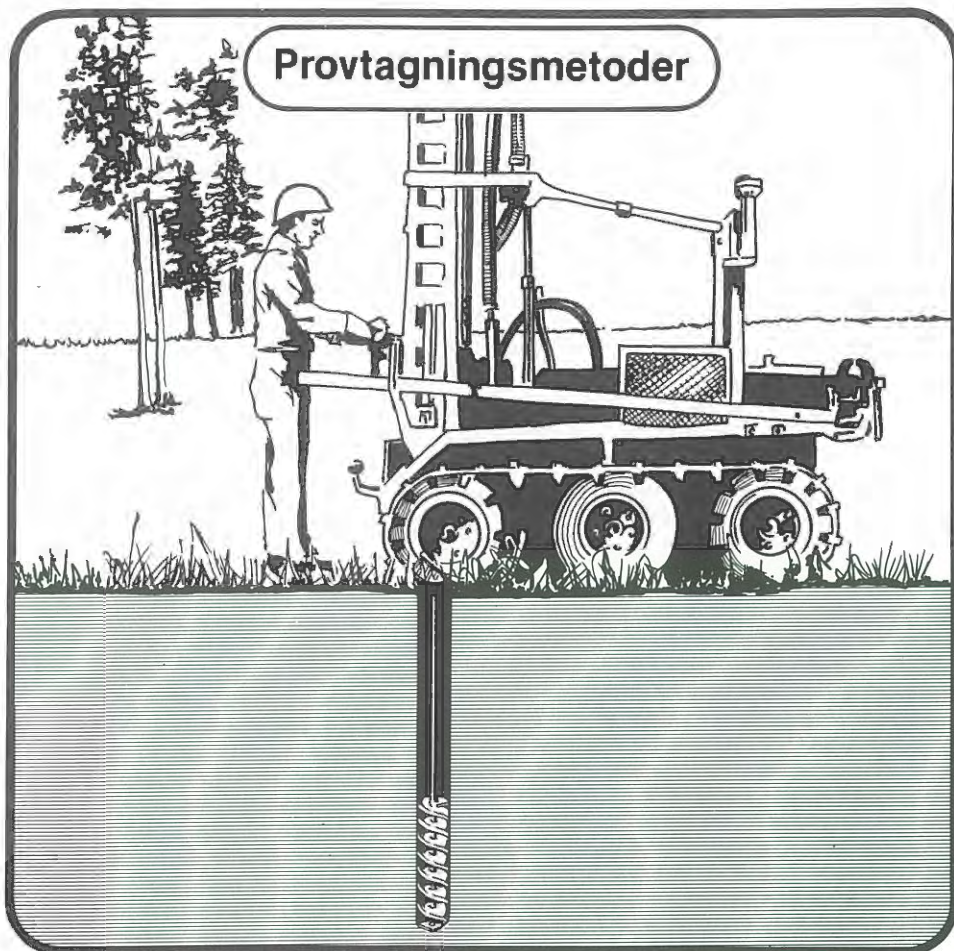
En trolig ökad användning motiverar utveckling av automatiska registreringsmetoder. Eftersom borrarutrustningen tillverkas för bergborrning finns inom detta område stora ekonomiska intressen i att utveckla såväl utrustningen som registreringen. Man bör följa denna utveckling och göra de ändringar eller tillägg som motiveras av att vi använder metoden även vid borrning i jord. Här finns även behov av att i likhet med vad som provats på motorslagsondering prova olika slags dämparutrustning eller annan slagutrustning för att öka känsligheten i jord och löst berg.

#### 2.2.4 Referenser

Alte, B, Johansson, B-O (1982). Geotekniskt fältarbete. Undersökningsmetod med borrar 36 mm och tung borrarutrustning. Byggforskningsrapport.

- Begemann, H.K.S. Ph (1965). The friction jacket cone as an aid in determining the soil profile. Proc, 6th Int. Conf. on Soil Mech. Found. Eng., Montreal.
- Bergdahl, U (1975). Standard för trycksondering. Statens geotekniska institut. Särtryck och preliminära rapporter nr 58. Trycksondering 1973, Stockholm.
- Bergdahl, U (1974). Penetration test in cohesionless soils in Sweden. Borros AB, Solna.
- Bergdahl, U, Möller, B (1980). Hejarsond för jordparameterbestämning - Resultat av ett utvecklingsprojekt. Statens geotekniska institut, Varia.
- Dahlberg, R (1974). Penetration testing in Sweden. Proc. Europ. Symp. on Penetr. Testing, Stockholm.
- Eskilson, S, Andréasson, L (1979). Fältbestämningar av konsolideringskoefficienten med portrycksmätare. Statens geotekniska institut, Varia nr 9.
- Kallstenius, T (1961). Development of two modern Continuous Sounding Methods, Proc. 5th Int. Conf. on Soil Mech. and Found. Eng., Paris.
- Schmertmann, J, Hartman, J P, Brown, P (1978). Improved strain influence factor diagram, ASCE, GT8.
- Senneset, K (1974). Penetration testing in Norway, Proc. Europ. Symp. on Penetr. Testing, Stockholm.
- Svenska geotekniska föreningen, SGF (1979). Rekommenderad standard för sondering, daterad 79-09-03, antagen av SGF 79-09-25.
- Torstensson, B-A (1977). The pore pressure probe. Fjellsprengningsteknikk, Bergmekanikk/Geoteknikk, Tapir.

## Provtagningsmetoder







## 2.3 Provtagningsmetoder

### 2.3.1 Befintliga metoder

Provtagningsmetoder inom FUK:s verksamhetsområde avgränsas till att gälla metoder för provtagning i jord. Provtagning i berg eller av grundvatten behandlas således ej.

För provtagning i jord läggs tyngdpunkten på metoder som normalt används i Sverige, övriga provtagningsmetoder behandlas perifert eller inte alls. \*

De tidigare redovisade sonderingsmetoderna (kap 2.2) ger en ungefärlig bild av jordlagerföljden. För att få en säkrare bild av jordlagerföljden och säkrare parameterbestämning måste provtagning och laboratorieundersökning tillgripas.

Kvalitetsmässigt kan provtagningsmetoderna indelas i ostörd, störd och omrörd provtagning.

Sammanfattningsvis kan följande definitioner anses gälla för en kvalitetsmässig indelning av provtagningsmetoder:

Ostörd: orörd jordlagerföljd och bibehållna mekaniska egenskaper

Störd: orörd jordlagerföljd men förändrade mekaniska egenskaper

Omrörd: förändrad jordlagerföljd och förändrade mekaniska egenskaper

Ett flertal olika metoder och utrustningar för provtagning i jord har genom åren utvecklats. En del av dessa metoder har framtagits med tanke på speciella projekt eller för provtagning under speciella förhållanden utan att metoderna senare fått någon större spridning eller användning. Här nämns huvudsakligen provtagningsmetoder som i dag används för geotekniska undersökningar. Dessa metoder redovisas nedan med den beskrivna kvalitetsmässiga indelningen som grund.

Ostörd provtagning:

- Kolvprovtagare (Kv) enligt SGF standard typ St I och St II,  $\phi$ 50 mm (Kallstenius et al 1963)
- Folieprovtagare (Fo),  $\phi$ 38 och  $\phi$ 68 mm (Kjellman et al 1959)
- Provgrop (blockprov)

Störd provtagning:

- Provtagningspets (Ps)  $\phi$ 25 mm för slagborrningsutrustning,  $\phi$ 34 mm och  $\phi$ 50 mm för hejarsondutröstning
- Provgropsgrävning (Pg)
- Standard Penetration Test (SPT)-provtagare
- Skruvprovtagare (Skr)  $\phi$ 36-150 mm
- Tubkärnborr
- Vibrolod (Haamer, 1975)

Omrörd provtagning:

- Spadprovtagare (Sp)  $\phi$ 75-170 mm
- Jalousiprovtagare (Js)/Sektionsprovtagare
- Gruskännbör (Grk)  $\phi$ 50 mm
- Kannprovtagare (K)

I fast jord används i en del fall håltagning med hjälp av olika foderrörborrningsmetoder för provtagning genom foderröret.

Borrning med ringkrona (OD, JB, Nya Asphalt m fl):

Vid borrning i jord borrar ett foderrör försett med ringbörnkrona och borrstål samtidigt till önskat djup. Borrstålen dras upp och provtagning kan utföras genom foderröret. Med lämplig provtagare kan härigenom störda prover erhållas, men proverna måste utvärderas noggrant, särskilt vid provtagning under grundvattenytan. Omrörda prover (kaxprover) kan även erhållas under själva borringen.

Borrning med excenterkrona (ODEX, EXLER, TILTEX m fl):

Foderrör av tunnväggiga stålrör, som ej roteras, följer efter en excentrisk borkkrona som borrar ett hål något större än rördiametern. Borkkronan fälls in vid omvänd rotation och dras upp med borkrstålen genom foderröret.

Foderrörnsdimensioner vid ODEX-borrning:  $\phi_i = 77$  mm,  
 $\phi_y = 84$  mm (för topphammare) och  $\phi_i = 128-132$  mm,  
 $\phi_y = 138-142$  mm (för sänkhammare).

2.3.2 Nuvarande användning och kunskapsnivå

Ostörda jordprover kan tas med kolvprovtagare i kohesionsjord och silt ibland också i sand speciellt om sanden innehåller sammanbindande lera eller organisk jord. I silt och sand erhålls förutom spänningsförändring i provet även en viss deformation av provet närmast provhylsan. Detta behöver dock ej innebära att proven är oanvändbara för laboratoriebestämning av jordens hållfasthets- och kompressionsegenskaper, jämförelse bör dock göras med fältmetod. Svårighet att ta ostörda prover föreligger också vid provtagning i fast lera, siltig gyttja och torvjord.

Ostörd provtagning utförs i Sverige normalt med kolvprovtagare enligt SGF standard typ St I eller St II. Båda typerna används flitigt, dock kan sägas att St I är olämplig vid provtagning på öppet vatten (fixering i höjddled, vid utstansning av provet, sker vid ytan).

För att erhålla tillfredsställande provkvalitet krävs förutom en väl underhållen utrustning också erfaren fältpersonal. Vid användning av St II är det för provkvaliteten viktigt att raka stänger används, annars störs provet vid utstansningen. Bra provkvalitet förutsätter också tillräckligt långsam utstansning av provet (2 m/min). Detta kan vara svårt att åstadkomma vid manuell drivning av St I men är lättare vid St II.

Provtagning med kolvbork är i Sverige den helt dominerande metoden för upptagning av ostörda jordprover. Vid fall

där det krävs en hel sammanhängande jordkärna (normalt  $\leq 10$  m) utförs dock folieprovtagning.

Såväl kolv- som folieprovtagare har en begränsning genom sin ringa provdiameter, som framgår vid en internationell jämförelse. Vid studier i lera har man dock funnit denna provdiameter tillräcklig (Holm et al 1977). En större provdiameter skulle i främst silt och sand kunna ge en minskad störning inför laboratorieprovning, om trimning av provet utförs.

För ostörd provtagning i ytliga torvlager har SGI framtagit en prototyp till torvprovtagare. Denna består av ett skärande verktyg monterat på plaströr  $\phi_1 = 110$  mm. Provtagaren trycks/"sågas" ner i torven, och sammanhängande prov  $\phi = 110$  mm kan tas. Vunna erfarenheter visar att störningen blir mindre än för provtagning med kolvprovtagare.

Störda eller omrörda jordprover kan normalt tas i alla jordarter.

Vid grundare provtagning är grävning av provgropar bland de enklare formerna för provtagning. I gropen kan lagerföljd, blockhalt och grundvattenförhållanden studeras, vidare erhålls god information om jordens beteende vid schaktning. Provgropsgrävning används ofta vid små provtagningsdjup samt i blockiga eller steniga jordar där andra provtagningsmetoder är svåra eller omöjliga att utföra eller i fall där mycket stor provvolym önskas. Begränsande faktor för metoden är främst möjligt djup med hänsyn till arbetarskyddet. Schaktdjupet kan dock i sådana fall ökas med t ex en teleskopspons. Vidare är inläckande grundvatten ofta en begränsning.

I relativt lös jord är skruvprovtagning det enklaste sättet att ta störda prover och metoden har en utbredd användning för provtagning i såväl kohesions- som friktionsjord. Skruvprovtagaren, som finns i ett flertal

dimensioner, har i huvudsak ersatt den tidigare så flitigt använda spadprovtagaren. Med ökande diameter på skruven erhålls större provmängd, vilket ger en bättre/säkrare jordartsbedömning.

Skruvprovtagarens användning begränsas dock av att provtagning endast är möjlig i relativt stenfri jord. En annan begränsande faktor för användning av skruvprovtagaren är att vid provtagning i sandig friktionsjord under grundvattenytan har provet en benägenhet att flyta ut och gå förlorat. Risken att förlora hela provmängden minskar med ökande skruvdimension. Bättre provkvalitet och minde risk att förlora provet fås vidare genom att vid uppdragningen pumpa bentonit genom provtagaren och därigenom reducera uppkommande undertryck. För att reducera risken att förlora provet har försök också utförts med skruvprovtagning inom foderrör och med tätande skydds-rör som slagits/roterats ner över skruven på provtagningsnivån.

Vid provtagning under grundvattenytan måste i andra fall normalt slutna provtagare av typ gruskannborr eller provtagningsspets användas. Vid nedslagning av gruskannborr har man funnit att viss nedkrossning sker av jorden närmast provtagaren (grus blir morän?). Den konventionella gruskannborren finns även i större dimensioner ( $\phi_y$  126 mm,  $\phi_i$  56 mm), gruskannborr typ SJ. Denna borr neddrivs m h a sponthammare och prover tas med en inre hämtare.

Provtagare av typ kannprovtagare finns även för tagning av störda prover i torv, dy, gyttja samt lös lera (mosskannborr). För provtagning i nämnda jordar används också i relativt stor utsträckning Hiller-provtagare (Thomas, 1964) och ryssborr (Belopokytov/Baresnevich, 1955). Dessa både provtagare är båda varianter av kannprovtagare. Hillerprovtagaren fungerar som en konventionell mosskannborr kompletterad med lösa insatsrännor för själva jordprovet. Den utstansade "kärnan" förs in i insatsrännan

varvid mindre strukturella och mekaniska störningar uppkommer.

Ryssborret däremot skär ut en kärna som utan att flyttas direkt innesluts i provkammaren genom att denna kan roteras. Provkvalitén blir därför hög och kan möjligen betecknas som ostörd provtagning.

I fastare lagrade friktionsjordar, exempelvis morän, kan provtagning med skruvprovtagare oftast ej utföras. Provtagning med provtagningsspets används ofta i dessa fall. Genom den ringa provdiametern begränsas möjligheten att ta upp prov i grovkorniga jordarter speciellt av steninnehållet.

Jalusi- och sektionsprovtagare är andra utrustningar för provtagning i främst friktionsjord. I likhet med flertalet andra provtagningsredskap har de en stark begränsning genom att t o m mindre stenar försvårar eller förhindrar inmatning av jord i provtagaren. Oftast får man heller ej med sten i provtagaren. Enstaka lerskikt kan också missas i provtagningen.

Vid provtagning till stort djup i friktionsjord eller vid sprängstensfyllningar och mycket blockrik jord kan forderrörborrningsmetoder tillgripas. Gemensamt för dessa metoder är att provtagning utförs med provtagare genom foderröret (med de för- och nackdelar som finns för använd provtagare) eller genom uppspolning av jord i samband med borrhningen. Risk föreligger för urspolning av finjord framför foderröret vid neddrivningen, speciellt vid höga matningstryck.

För provtagning av bottensediment och för prospektering av fyndigheter på havsbotten används huvudsakligen vibrolodet. Vibrolodet är en vibrationsborr som arbetar från fartyg och som möjliggör provtagning till 6 m djup under havsbotten.

SPT-försök (Standard Penetration Test) är samtidigt en provtagning och kan ha ett visst intresse speciellt i samband med utlandsjobb, då metoden används flitigt i ett flertal länder. I Sverige har metoden liten betydelse och används vanligtvis inte.

### 2.3.3 FoU-behov

Provtagning i lös till fast kohesionsjord kan utföras utan större problem och med god provkvalitet. I friktionsjord är däremot provtagningen ofta problemfylld. Med s k tung borrarutrustning kan provtagning alltid utföras, men då till förhållandevis stora kostnader. Med tanke på kostnaderna ersätts sådana provtagningar i regel med billigare och kanske inte alltid tillförlitliga provtagningsmetoder, eller underlåts helt.

De potentiella FoU-behoven är störst för provtagning i fast jord. Utveckling av tillförlitlig metod för tagning av representativa prover i friktionsjord inklusive morän är angeläget. Befintlig utrustning kan säkert förbättras genom effektivare slutarsystem så att prov lättare (oftare) kan tas upp. Provtagare för moränjordar saknas idag men är under utveckling.

Vidare bedöms FoU-insatser vara angelägna inom följande områden:

- Studier och ev utprovning av utländska provtagningsmetoder, främst rotationsborrningsteknik och användning av tung borrhätska
- Provgropsgrävningsteknik till större djup
- Rationalisering/mekanisering av bef provtagningsutrustning (koppling till bandvagn/mobil borrarutrustning)
- Borrhålsstabilisering med ex.vis bentonit - kombinerad med skruvprovtagning/ostörd provtagning i hålets botten

- Behövs provtagare med större dimensioner? (närmare studier av störningsgrader vid olika kolvprovtagardimensioner och för olika jordar samt jämförelse mellan St I och St II)

Bland pågående forskning inom provtagningsområdet kan nämnas:

- Utveckling av provtagare för störd provtagning i friktionsjordar inklusive morän.

Projektet syftar till utveckling av en provtagare för mer eller mindre sorterade friktionsjordar inklusive morän. I projektet deltar SGU, VTI, Vattenfall, Borros och SGI. Prototyp av provtagaren har framställts av Borros AB.

- Kolvprovtagare med ny slutarmekanism.

Kolvprovtagare, typ St I, har försetts med ny slutarmekanism bestående av en roterbar hålförsedd kula.

Projektledare: L G Eriksson, LuH

- Kaxprovtagning vid tung borrhning.

Inom projektet testas och tillförlitlighetsbedöms kaxprovtagning vid tung borrhning (rotationsborrhning med spolning, hammarborrhning samt rördrivning).

Projektledare: O Andersson, VIAK, Malmö.

- Utveckling av kolvprovtagare för provtagning i fast jord på större djup (exempelvis sand under lera).

Projektet utförs på LTH av L Bjelm och P Ulriksen.

#### 2.3.4 Referenser

Belokopytov, I E, Beresnevich, U V (1955). Giktorf's pent borers. Torf. Prom 8, 9-10.

Haamer, J (1975). Lätt utrustning sänker kostnaden för provtagning under vatten. Vibro Teknik 1975:11.

Handboken BYGG (1972). Allmänna Grunder, 1B, kap 178.

Holm, G, Holtz, R D (1977). A study of large diameter piston samplers. Proc. 9th Int. Conf. on Soil Mech. Found. Eng., Sp. Session 2, Soil Sampling, Tokyo.



Hvorslev, M J (1949). Subsurface exploration and sampling of soils for civil engineering purposes. Waterways experiment station, Vicksburg, Mississippi.

Kallstenius, T (1963). Studies on clay samples taken with standard piston sampler. Swedish geotechnical institute, Proceedings No 21, Stockholm.

Kallstenius, T, Hallén, A (1963). Anvisningar för Geotekniska Institutets fältundersökningar. Del 2. Provtagning med standardkolvborr St I. Statens geotekniska institut, Meddelande nr 6, Stockholm.

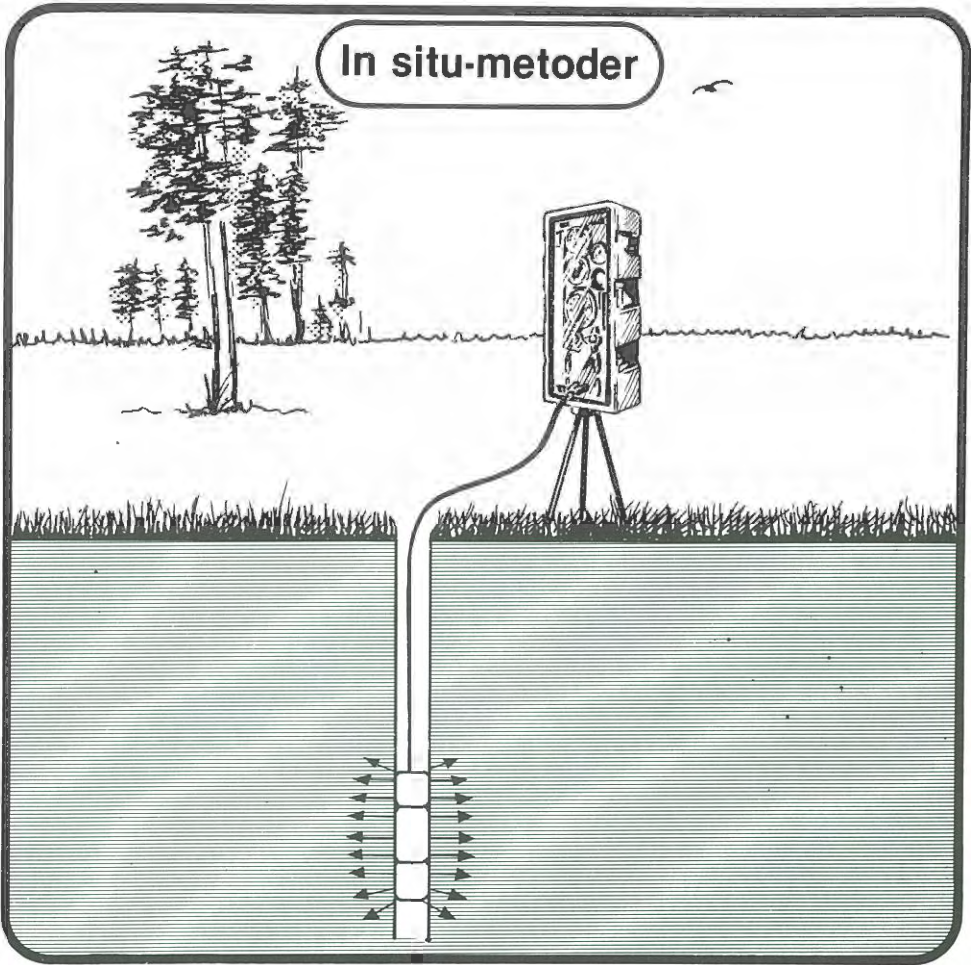
Kjellman, W, Kallstenius, T, Wager, O (1960). Soil sampler with metal foils. Device for taking undisturbed samples of very great length. Swedish geotechnical institute, Proceedings No 1, Stockholm.

Swedish Committee on Piston Sampling (1961). Standard piston sampling. Swedish geotechnical institute, Proceedings No 19, Stockholm.

Thomas, K W (1964). A new design for a peat sampler. New Phytol. 63, 422-425.



In situ-metoder





## 2.4 In situ-metoder

### 2.4.1 Befintliga metoder

De in situ-metoder som behandlas här avser mätning av följande jordegenskaper:

- a) kompressibilitet
- b) spännings-deformationssamband
- c) skjuvhållfasthet
- d) jords dynamiska egenskaper

Härutöver skall också behandlas metoder för mätning av spänningstillstånd i jord.

Under senare år har behovet av noggrann spänningsmätning i jord kraftigt accentuerats. Den främsta orsaken härtill är utan tvekan den snabba utvecklingen av förfinade numeriska beräkningsmetoder för förutsägelse av spänningsändringar och deformationer i jord. Spänningsmätning i jord är också av stor betydelse vid analys av naturliga slänters stabilitet. I denna redogörelse skall endast medtas metoder för bestämning av horisontalspänningar i lös lera och silt.

#### Jordegenskap - metod/teknik

I tabell 2.4.1 har de aktuella in situ-metoderna sammanställts i relation till jordegenskap och jordart.

Skruvplattan: Metoden har beskrivits av Janbu och Senneset (1973). En detaljerad undersökning av metodens användbarhet i sand har gjorts av Dahlberg (1975).

Skruvplattan har i standardutförande en diameter av 162 mm och en tvärsnittsarea av  $2 \cdot 10^4 \text{ mm}^2$ . Skruvens stigning är 45 mm.

Vid utförandet av ett försök skruvas plattan ned till önskat djup. Plattan belastas med hjälp av en hydraulisk kolv som är inbyggd i första borrhöret. Belastningen påförs

stegvis. Reaktionskraften mobiliseras med hjälp av en anordning som förankrats med jordskrivar. Skruvplattans sättning mäts med en indikatorklocka vid markytan.

Skruvplattan ger i första hand information om en jords kompressibilitet och last-deformationsegenskaper. Genom att man för varje laststeg avläser skruvplattans sättning vid olika tidsintervall kan också uppgift erhållas om den provade jordartens konsolideringsegenskaper.

Ytliga plattförsök används i en del fall för empiriska bedömningar och sättningar och brottlast i friktionsjord.

Pressometer: Pressometermetoden gjordes allmänt känd genom L Menard redan under slutet av 50-talet. Menards pressometer består av tre cylindriska celler: en mätcell som på var sida omges av en s k styrcell. Avsikten med styrcellerna är att dessa skall medverka till att skapa ett plant, radiellt deformationstillstånd i jorden runtom mätcellen.

I standardutförande finns mätceller med tre olika diametrar: 32, 44 och 60 mm. Samtliga mätceller rymmer en volym av ca  $5 \cdot 10^5 \text{ mm}^3$  i obelastat tillstånd. Mätcellen kan expanderas, motsvarande en volymökning av  $7 \cdot 10^5 \text{ mm}^3$ .

Pressometern sänks ned i ett förborrat hål. Vid ett försök ökas trycket i mätcellen och styrcellerna stegvis. Varje belastningssteg har en varaktighet av en minut. För varje laststeg mäts volymförändringen i mätcellen, dels alldeles efter belastningens påförande, dels strax före påförandet av följande laststeg.

Under senare år har en ny typ av pressometer utvecklats; den s k självborrhande pressometern. Denna pressometer kan vanligen installeras med betydligt mindre störning av den omgivande jorden än vid Menards pressometer. Användningen av den självborrhande pressometern är begränsad till lera samt silt- och sandjordar. Den självborrhande

pressometern är ännu på experimentstadiet. Därför kommer i den fortsatta redogörelsen endast Menards pressometer att närmare behandlas.

"Flat dilatometer": Den platta dilatometern är en ny utrustning för in situ-bestämning av jords spännings-/ deformationsegenskaper samt för mätning av horisontal-spänningar i jord (Marchetti 1980). Den platta dilatometern består av en spadformad kropp som på ena sidan är utrustad med ett flexibelt, cirkulärt stålmembran med diametern 60 mm. Dilatometern pressas ned i jorden t ex med hjälp av en sonderingsutrustning. Under nedpressningsfasen ligger det flexibla stålmembranet infällt i den spadformade kroppen. Nedpressningen stoppas t ex varje 200 mm för att utföra en mätning. Mätningen tillgår så att membranet pressas mot jorden med hjälp av tryckluft. Då membranet förskjutits en sträcka av 1,0 mm avläses motsvarande expansionsstryck. Med hjälp av det avlästa expansionsstrycket kan man beräkna ett "materialindex"  $I_D$  som gäller för jorden på provningsnivån. Med ledning av  $I_D$  kan man beräkna två parametrar som benämns "horisontal-spänningsindex"  $K_D$  och "dilatometermodulen"  $E_D$ . Med ledning av nämnda tre moduler kan man enligt Marchetti (1980) både klassificera jordarten och bestämma jordens kompressionsmodul  $M$ . Dilatometern påstås även kunna användas för att bestämma konsolideringstillståndet i sandjordar, dvs den kan användas för att avgöra om en sand är normal- eller överkonsoliderad.

Vingsond: Den nuvarande vingsonden för bestämning av skjuvhållfasthet i lös lera utvecklades i Sverige under slutet av 40-talet (Cadling & Odenstad 1950). Metoden blev snabbt mycket populär och har i många år varit en standardmetod vid in situ-undersökning av lös lera i Sverige, Norge och Finland. Vingsondens popularitet bottenar dels i att försöksutförandet är enkelt samt att den i hög grad har visat sig ge reproducerbara resultat. Genom att införa korrektionsfaktorer, som baseras på

lerans flytgräns, har geoteknikern på ett nöjaktigt sätt kunnat bedöma stabiliteten hos slänter, schakter, sponter m m samt bärförmågan hos kohesionspålar.

I Sverige används två typer av vingsondutrustningar, typ SGI och typ Geotech. SGI-vingsonden kännetecknas av att vingen är infälld i ett skyddsror när den förs ned i jorden medan Geotech-vingen installeras utan skyddsror. Erfarenheten från standardprovningar i normalsensitiva leror har visat att SGI-vingen mestadels ger något högre hållfasthetsvärden än Geotech-vingen. Möjligen förklaras detta förhållande av att SGI-vingen har en mindre areakvot (=kvoten mellan vingens tvärsnittsarea och arean hos den omskrivna cirkeln) än Geotech-vingen.

Dynamiska metoder. Vid de dynamiska metoderna mäter man jords egenskaper vid snabba förlopp och vid mycket små deformationer. En beskrivning av aktuella metoder för in situ-mätning av jords dynamiska egenskaper har gjorts dels i IVA:s Meddelande nr 225, "Jord- och bergdynamik" dels av Andréasson (1980) och Thurner 1980. Avsikten bakom IVA:s projekt har bl a varit att initiera forskning och utvecklingsarbete inom aktuellt ämnesområde. Den följande redogörelsen består av valda utdrag ur nämnda skrifter.

De dynamiska metoder som används för in situ-undersökningar baseras antingen på studium av elastisk vågrörelse eller på studium av deformationer vid dynamisk belastning.

#### In situ-mätning av elastisk vågrörelse

En jords skjuvmodul  $G$  vid små deformationer bestäms genom att mäta skjuv vågens utbredningshastighet. Genom att också mäta tryck vågens utbredningshastighet kan förutom skjuvmodulen följande parametrar beräknas

Young's modul  $E$

Poisson's tal  $\nu$

Tryckmodulen  $K$



Ytvågsmetoden - (citat ur IVA:s meddelande 225): "En snabb metod att översiktligt bestämma undergrundens dynamiska egenskaper är den sk ytvågsmetoden. Ytvågens utbredningshastighet kan för praktiskt bruk sättas lika med skjuvvågshastigheten. Genom att mäta ytvågens hastighet kan man således bestämma en genomsnittlig skjuvmodul hos det ytliga skiktet".

Borrhålsmetoder - En mer tillförlitlig metod att mäta våghastigheter i fält är att använda sig av CH (cross-hole) - eller DH (down-hole)-metoderna. Vid ett CH-försök alstras en vågrörelse på en viss nivå i undergrunden. I olika borrhål på samma nivå finns ett antal, minst två, givare och signalerna från dessa registreras på en skrivare eller oscilloskop. Ur registreringarna kan man bestämma tryck- och skjuvvågens utbredningshastighet på olika nivåer om avståndet mellan borrhålen är kända. DH-metoden är en variant på CH-metoden. Man mäter våghastigheten mellan två under varandra liggande punkter i samma borrhål. Olika utrustning användes för excitering, antingen på markytan eller i borrhålet. Mätning och registrering görs på samma sätt som vid CH-metoden.

Dynamiska plattförsök - Dynamiska plattförsök har utvecklats under senare år. Dessa försök kan användas för att bedöma jords deformationsegenskaper (skjuvmodul) och materialdämpning (Andréasson, 1979). Metoden har goda potentiella användningsmöjligheter inom skilda områden av jorddynamiken. Med hjälp av dynamiska plattförsök kan t ex jordens skjuvmodul bestämmas över ett brett deformationsområde ( $10^{-5}$  till  $10^{-1}$  % skjuvdeformation).

Fallvikt - Fallviktsmetoden baseras på mätning av en vikts retardation under stötförloppet. Ur den registrerade signalen kan ett last-deformationssamband beräknas (Eresund 1972, Hansbo & Andréasson 1977).

Jordegenskap	Metod/teknik	Användningsområde				
		Grov friktionsjord & morän	Sand	Silt	Fast lera	Lös lera
a) kompressibilitet	pressometer skruvplatta	x	x x	x x	x x	
b) spänningsdeformationssamband	pressometer skruvplatta	x	x x	x x	x x	(x) x*
c) skjuvhållfasthet	vingsond			(x)	(x)	x
d) dynamiska parametrar	"down-hole" "cross-hole" fallvikt	x	x	x	x	(x)

\*) förutsätter att en "stor" platta används

TABELL 2.4.1 Sammanställning av aktuella in situ-metoder vs metod/teknik och jordart.

### Spänningstillstånd i jord, jordtrycksmätning

Under 70-talet har ett flertal undersökningar utförts med syfte att bestämma in situ-spänningar i jord. Bland de metoder som använts för att mäta horisontalspänningar i jord kan nämnas:

"Hydraulic fracturing" - Denna metod finns beskriven av Bjerrum och Andersen (1972). Vid denna metod används en portrycksmätare som pressas ned i jorden. Då störningen från installeringen har avklingat pressas vatten in i den omgivande jorden med hjälp av en kolv som manövreras vid markytan. En spricka(-or) utbildas härvid i jorden invid portrycksmätaren. Om horisontalspänningen är mindre än det vertikala överlagringstrycket skall teoretiskt sprickan ha en vertikal orientering. Horisontalspänningen bestäms sedan som det tryck vid vilket den uppkomna sprickan går ihop.

Självborrande pressometer, se t ex Baguelin et al (1978). Vid denna metod bestäms horisontalspänningen i jorden genom att registrera både totaltrycket och portrycket med mätceller som monterats i pressometerens mantelyta.

Jordtryckscell - Metod och utrustning har beskrivits av Massarsch (1975). Metoden baseras på en mätcell för totaltrycksmätning av typ Glötzl. Mätcellen installeras genom att den pressas ned i jorden till önskat djup. Vid installeringen är cellen infälld i en uppstyvad "gaffel". Strax ovanför mätnivån stoppas nedpressningen och mätcellen trycks ut ur "gaffeln" och installeras i jorden. För att kunna bestämma horisontalspänningen i jorden fordras också att man förutom mätning av totaltrycket också gör en separat bestämning av portrycket.

#### 2.4.2 Nuvarande användning och kunskapsnivå

Skruvplattan - Janbu och Senneset (1973) anger formler för beräkning av sättningar och sättningars tidsförlopp med hjälp av data från skruvplatteförsök.

Dahlberg (1975) har genomfört en omfattande studie av skruvplattans användbarhet för sandjordar. Ett speciellt problem i Dahlbergs undersökning var bestämningen av sandens förkonsolideringstryck. Vid sidan av skruvplattan gjordes även försök med pressometer och spetsstrycksondering. Dahlberg fann att av de undersökta metoderna var skruvplattan det instrument som gav den mest nöjaktiga informationen om sandens förkonsolideringstryck.

Användningen av metoden är begränsad till fast lera, silt och sand. Förekomsten av sten kan givetvis i hög grad försvåra neddrivningen av skruvplattan. Även i fastare sand, silt och fast lera har det visat sig svårt att installera skruvplattan. I Sverige har skruvplattan hittills nästan uteslutande använts i samband med olika forskningsprojekt. Detta torde till en del förklaras av att metoden fortfarande är på prototypstadiet, dvs försöken är omständliga och kostnadskrävande att genomföra.

Pressometer - Metoden kan användas inom ett stort spektrum av jordarter - från fast lera till grovkornig friktionsjord inkl morän. Pressometer kan också användas i lösa sedimentära bergarter. Menard har på basis av data från pressometerförsök utvecklat semiempiriska tidsförlopp, bärförmåga hos fundament och pålar m m. Menards pressometer har genom årens lopp med framgång använts i ett stort antal olika byggnadsprojekt runtom i världen, inte minst i Frankrike. Metodens styrka ligger i att man, liksom vid skruvplattan, utför belastningsförsök på olika nivåer i den jord som studeras. Kvalitén på erhållna mätdata står och faller givetvis med kvalitén hos det förborrade hålet i jorden. Det är därför av stor vikt att pressometerförsöken utförs av personal som är väl förtrogen med kvalitetskraven på förborringen. Av stor betydelse är också att genomgående samma försöksutförande används (standardförfarande). Borrtekniken måste givetvis från fall till fall anpassas till den aktuella jordarten.

I Sverige har pressometermetoden främst kommit till användning vid grundläggning på friktionsjord och morän. Den har också i några fall använts för att beräkna sättningar och bärförmåga hos pålar i friktionsjord. Speciella problem vid användningen av pressometern i grov friktionsjord och morän är dels förborrningen som är svår, dels den otillräckliga hållfastheten hos pressometercellen, vilket resulterar i att den ofta punkteras. Vid pressometerförsök i svenska moränjordar måste man oftast använda sk slitsrör för att skydda pressometercellen. Detta försöksutförande medför dock problem vid utvärderingen av försöksresultaten.

Trots att Menards pressometer framgångsrikt varit i bruk i mer än tjugio år har själva försöksutförandet fortfarande en del brister. Det fordras t ex en ganska stor fingerfärdighet och "känsla" hos den person som skall utföra ett försök.

Vingsond - På senare år har vissa tidsberoende effekter i vingsondförsöket närmare studerats (Torstensson 1977; Wiesel 1973). Dessa effekter är dels inverkan av väntetiden mellan vingens installation och provningen, dels inverkan av deformationshastigheten. Torstenssons undersökningar begränsades till två högplastiska leror. Resultaten av denna undersökning visade att såväl väntetiden mellan vingens installation och provningen som deformationshastigheten hade en stor inverkan på uppmätta skjuvhållfasthetsvärden. Sammantaget visade Torstenssons undersökning att hållfasthetsvärdena vid en mycket långsam deformationshastighet (tid till brott ca 10 dygn) stämde väl med den reducerade skjuvhållfasthet som på konventionellt sätt kan beräknas på basis av vedertagna korrektionsfaktorer. På senare tid har undersökningar av hållfasthetens tidsberoende även gjorts i kvickleror. Resultaten från dessa försök visar att skjuvhållfastheten har ett utpräglat hastighetsberoende i kvicklera. Vidare har väntetiden mellan vingens installation och provningen en anmärkningsvärt stor inverkan på uppmätta hållfasthetsvärden.

Dynamiska parametrar - De dynamiska metoderna utvecklades främst för att kunna analysera problemställningar, som har anknytning till jordbävningsgeotekniken. Under senare år har betydelsen av de dynamiska problemställningarna alltmer uppmärksammats inom andra områden såsom dynamiskt belastade fundament, trafikvibrationer, vibrationsströmningar från byggnadsverksamhet, sprängning etc. Som nämnts kan de dynamiska fältmetoderna användas för bestämning av främst skjuvmodulen som ingår som en fundamental parameter i alla dynamiska analyser.

De dynamiska jordparametrarna kan också användas vid analyser av konventionella geotekniska problem, t ex för bestämning av elasticitetsmodulen i olika jordlager, för mätning av jordlagers fasthet och packningsgrad. Överföringen av de dynamiskt bestämda parametrarna till statiska parametrar görs med hjälp av empiriskt bestämda korrektionsfaktorer. Erfarenhetsunderlaget för dessa korrektionsfaktorer är ännu litet varför stor osäkerhet föreligger vid valet av faktorernas storlek.

Spänningsmätning i jord - De mätningar av horisontaltryck i jord som gjorts i Sverige har nästan uteslutande utförts i lös lera och med användande av en modifierad version av Glötzl-cellen. I många fall har denna mätcell givit ett till synes tillfredsställande resultat (Massarsch et al 1975). För denna typ av cell, som pressas ned i jorden, bör följande kriterier vara uppfyllda:

$$t < 1/8 b$$

$$\delta < 1/5000 b$$

där  $t$  = tjocklek hos mätcellen

$b$  = mätcellens bredd eller diameter

$\delta$  = membranets nedböjning då cellen utsätts för tryck

Det är viktigt att cellen görs så tunn som möjligt, så att störningen av den omgivande jorden minimeras vid installeringen. Det är givetvis svårt att förena detta

krav med önskemålet om en hög styvhet i mätcellens eget plan. Förutom kraven på mätcellens geometriska utformning är det givetvis av största vikt att cellen installeras med lämpligt redskap och med riktigt förfarande för att undvika: (i) onödig störning; (ii) dränering längs borrhålet; (iii) böjpåkänningar i mätcellen; (iv) framtida differensrörelser mellan cellen och den omgivande jorden; (v) att mätcellen får en lutning mot vertikalen.

Massarsch et al (1975) genomförde också jämförande  $K_0$ -mätningar med användande av "hydraulic fracturing"-metoden. Man kunde konstatera att denna metod gav dålig överensstämmelse med jordtryckscellen. Allvarliga felkällor vid "hydraulic-fracturing"-metoden är bl a (i) att antalet sprickor runt piezometern och dessas riktning ej är känt(-d); (ii) att jorden runt piezometern har befunnit sig i brottillstånd före själva försöket.

På basis av gjorda erfarenheter med olika metoder för  $K_0$ -mätning synes det idag mest sannolikt att jordtryckscellen blir den metod som i framtiden kommer att finna den största användningen.

#### 2.4.3 FoU-behov

Skruvplattan - Med nuvarande försöksteknik är metoden omständlig och försöken är dyrbara att genomföra. För att underlätta försöksutförandet samt för att förbättra mätnoggrannheten skulle följande forsknings- och utvecklingsinsatser vara tänkbara:

- Utveckling av robustare utrustning samt kraftigare vridaggregat
- Anordning för att förankra skruvplattan i närheten
  - dock ej alltför nära - av provningsnivån; t ex en tvillingskruv varvid den ena skruven svarar för förankringen

- Automatisk registrering av mätdata med skrivare, kombinerat med ett försöksutförande av typ "konstant deformationshastighet"
- Studium av störningseffekter vid installeringen av skruvplattan

På KTH pågår utveckling av skruvplattan med elektronisk styrning för att kunna utföra försök med såväl kontrollerad deformation som kontrollerad spänning.

Pressometer - I vårt land utförs det stora flertalet pressometerprovningar i friktionsjord och morän. Av denna anledning finns följande angelägna forsknings- och utvecklingsbehov:

- Konstruktion av en robust pressometercell för grovkornig friktionsjord och morän
- Förbättring av förborrningstekniken för grovkornig friktionsjord och morän
- Studie av störningseffekter vid installeringen av pressometern

Vidare bör följande utvecklingsbehov beaktas:

- Tryckmätningen bör utföras med en elektronisk givare som monteras i själva mätcellen
- Försöket bör rationaliseras medelst automatisk datainsamling (t ex skrivare), kombinerat med ett försöksutförande av typen "konstant deformationshastighet"
- Jämförande undersökningar bör utföras mellan pressometer av typ Menard "tre-cell" respektive av typ "en-cell". Den senare pressometertypen torde möjliggöra ett förenklat försöksutförande
- Jämförelse mellan Menards pressometer och självborrande pressometer
- Utvärderingsteknik av försöket för svenska förhållanden



Vingsond - Följande forsknings- och utvecklingsbehov bedöms föreligga:

- För att ytterligare klarlägga skjuvhållfasthetens tidsberoende vid vingborrförsök bör forskningen inriktas på en studie av flera olika lertyper inkl sulfidjord
- Systematisk studie av skillnader i försöksresultat för vingsond av typ SGI och typ Geotech
- Utveckling av förfinad vingsond med mätning av moment och vridningsvinkel vid vingen

Dynamiska metoder - Följande utvecklingsbehov föreligger:

- Standardisering av redovisning från dynamiska undersökningar
- Standardisering av utrustning och utförande
- Utveckling av en dynamisk skruvplatta alternativt dynamisk pressometer
- En vidareutveckling av en dynamisk skruvplatta bedöms vara av stor betydelse för lösningen av skilda geodynamiska problem

Spänningsmätning i jord - På basis av gjorda erfarenheter från mätning av horisontalspänningar i jord med jordtryckceller torde följande utvecklingsbehov/forskningsinsatser vara aktuella:

- Utveckling av "tunna" mätceller, som är okänsliga för böjspänningar
- Utveckling av en mätcell för samtidig mätning av totaltryck och portryck
- Studie av inverkan av mätcellens tjocklek och av installationsmetoden på erhållna mätvärden

#### 2.4.4 Referenser

Andréasson (1979). Deformation characteristics of soft, high-plastic clays under dynamic loading conditions. Chalmers tekniska högskola, doktorsavhandling, institutionen för geoteknik, 1979, Göteborg

Baguelin et al (1978). The Pressuremeter and Foundation Engineering. Trans. Tech, Publications Aedermansdorf, Schweiz

Bjerrum & Andersen (1972). In situ measurement of lateral pressure in clay. Proc. 5th European Conf. on SMFE, Madrid, Vol.1, pp. 11-20

Dahlberg (1975). Settlement characteristics of preconsolidated sands. D.Sc. Thesis. Swed. Council for Bldng Research, Report D1:1975, Stockholm

Eresund (1972). Sättningar hos cirkulära, stela fundament på friktionsjord. Byggeforskningen, Rapport R41-1972, Stockholm

Hansbo & Andréasson (1977). Compaction control by dynamic methods. Väg- och vattenbyggaren nr 8-9, 1977

IVA, Meddelande 225. Jord- och bergdynamik. Information från IVA:s kommitté för vibrationsfrågor. Arbetsgrupp 4.

Janbu & Senneset (1973). Field-Compressometer. Principles and Applications. Proc. 8th Int. Conf. on SMFE. Vol.1.1, 9. 191-198, Moscow, USSR.

Marchetti (1980). In situ tests by flat dilatometer. ASCE Jnl GED, 106, GT3:299-321

Massarsch et al (1975). Measurement of horizontal in situ stresses. Proc. ASCE Conf, on In Situ Measurement of soil properties. Vol.1. Raleigh, USA

Torstensson (1977). Time dependent effects in the field-vane test. Proc. Int. Symp. on Soft Clay. AIT. Bangkok, Thailand

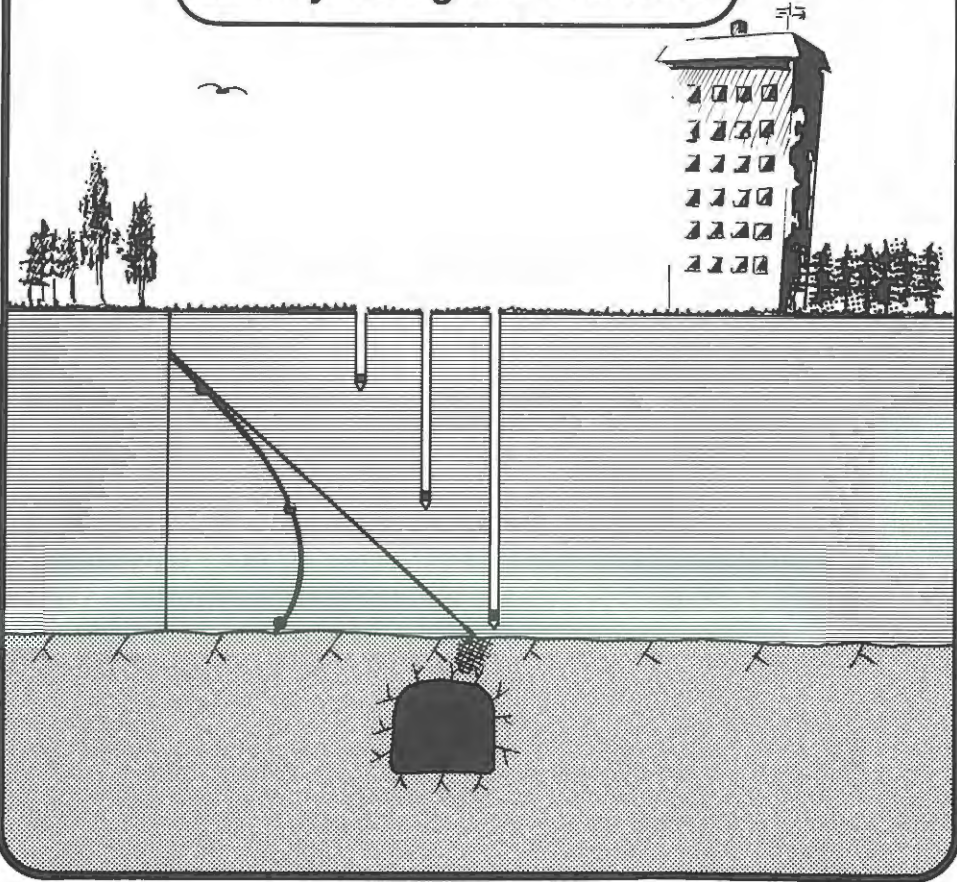
Turner (1980). Seismik, en grundundersökningsmetod. Byggeforskningsrådet T20:1980, Stockholm

Wiesel (1973). Some factors influencing in situ vane test results. Proc. VIII Int. Conf. on SMFE. Vol.1, Moscow, USSR

Wroth & Hughes (1973). An instrument for the in situ measurement of the properties of soft clays. Proc. VIII Int.Conf on SMFE, Vol.1.2. pp. 487-494, Moskva



# Geohydrologiska metoder





## 2.5 Geohydrologiska metoder

### 2.5.1 Befintliga metoder

Jordlagrens och i viss mån berglagrens geohydrologiska egenskaper spelar en stor och ibland avgörande roll vid grundläggnings- och schaktningsarbeten. Det är därför viktigt att dessa egenskaper beaktas i både projekterings- och anläggningskedan såväl regionalt som lokalt.

Inom FUKs verksamhetsområde hör de metoder som är tillämpbara dels vid översiktliga kartläggningar och dels vid projekterings- och byggnadsskede.

De metoder som svarar mot FUKs intresseområde är i första hand

#### för översiktliga geotekniska kartläggningar

- geologisk fältrekognosering
- brunnsinventering
- registrering av meteorologiska data
- registrering av portryck

#### för detalprojektering och byggande tillkommer

- seismiska eller andra geofysiiska ytmetoder
- borrhning och provtagning
- borrhålsloggning
- vattenkemisk provtagning
- provpumpning med hydraulisk analys
- portrycksmätning
- portrycksondering
- permeabilitetsmätning med portrycksmätare (-sond) och pressopermeameter

### 2.5.2 Nuvarande användning och kunskapsnivå

Av ovan angivna metoder är geologisk kartläggningsteknik, teknik för borrhning och provtagning, provpumpningsteknik samt meteorologisk mätteknik relativt väl utvecklade. De geofysiska mätmetoderna inklusive borrhålsloggning är däremot sämre utvecklade (se avsnitt 2.1). Även tekniken

vid porvattentrycksmätning i jordar med låg permeabilitet behöver vidareutvecklas.

#### 2.5.2.1 Metoder vid översiktlig kartläggning

Översiktliga geotekniska kartläggningar förekommer främst i samband med upprättande av regionplaner och liknande. Av grundläggande betydelse för planeringsresultatet är grundvattnets roll inom området. För att få grepp om detta fordras, förutom en allmän kunskap över områdets geologiska uppbyggnad, en inventering av brunnar med registrering av bl a grundvattennivåer. Eftersom grundvattnets nivå och omsättningshastighet också beror av klimatologiska data krävs också en registrering av främst nederbördens storlek (och årstidsfördelning). I de fall det i området finns leror är det en fördel och ibland en nödvändighet att redan i ett översiktligt skede registrera portryckprofiler.

Med undantag av allmän geologisk rekognosering (oftast flygbildtolkning) och registrering av portryck används övriga metoder knappast inom geotekniken. Ett införande av dessa kan emellertid knappast ses som ett FoU-område utan snarare ett sätt att medelst etablerad metodik förhöja de översiktliga utredningarnas substans- och kvalitetsvärde, vilket i och för sig är önskvärt.

#### 2.5.2.2 Metoder vid detaljplaner, projektering och byggande

Under denna rubrik kan lämpligen skiljas på redan etablerade geotekniska metoder och potentiella geotekniska metoder (hämtade från bl a grundvattenprospekteringen).

Till de förra hör observationer av vattenytor i vattendrag, brunnar, borrhål och provgropar samt portrycksmätning och i någon mån portryckssondering. Portrycket mäts med många olika typer av utrustning. En del är endast lämpliga för vissa jordar medan andra är allmänt användbara. Den avgörande skillnaden mellan de olika utrustningarna är storleken på den vattenmängd som måste strömma in



genom filtret för att en viss tryckändring skall kunna registreras. De öppna systemen används i jordar med stor genomsläpplighet. Försök att utvidga deras användningsområden genom att minska slangdimensionen pågår bl a vid SGI. De slutna systemen vilka endast kräver liten vattentillströmning är avsevärt dyrare att använda. Mätning av portryck utförs idag i alltför få punkter avseende både tid och rum.

Även om provpumpning och magasinsanalys till viss del används inom geotekniken kan den knappast betecknas som en etablerad metod. Detsamma måste sägas gälla användandet av de flesta geofysiska ytmetoderna, borrhålsloggning (se avsnitt 2.1), tung borrhning med provtagning (se avsnitt 2.3) samt vattenkemiska parametrar. Av dessa är främst provpumpningstekniken väl framme också mätt i internationella mått. En provpumpning, rätt utförd och framför allt rätt analyserad, ger redan idag ingående information om de geologiska lagrens hydrauliska villkor som inte går att uppnå med någon annan metod. Metodiken är under kontinuerlig utveckling. Bland pågående forskning kan nämnas ett samarbetsprojekt mellan Chalmers och VIAK omfattande bl a utveckling av prognosmodeller med finita-element-metoden.

Vattenkemiska parametrar är ur teknisk synvinkel av störst betydelse för bedömning av korrosions- och utfällningsproblem i vattentäkter, vattenverk och ledningar. Kunskaper om grundvattnets kemi, vad som styr de vattenkemiska processerna, verkningarna av desamma osv är i Sverige dåligt spridda. En informationsinsats erfordras för att sprida de kunskaper som samlats vid Korrosionsinstitutet, IVA:s påkommission och SJ till hela geoteknikerkåren samt angränsande discipliner.

En speciell kemisk påverkan kan fås om spillvatten infiltrerar jorden. Hypoteser finns att detta skulle kunna medföra kvicklerebildning.

### 2.5.3 FOU-behov

På initiativ av BFR och SGI bildades 1977 "Samordningsgruppen för forskning inom grundvattengeoteknik". Gruppen skulle bl a samordna och strukturera forskning inom grundvattengeoteknik. Härmed togs ett väsentligt steg i en utveckling som syftar till att sammanföra geohydrologi och geoteknik.

I maj 1979 utgav gruppen en skrift "Grundvattengeoteknisk forskning", vari finns bl a "förteckning över pågående projekt" samt "förslag till forskningsuppgifter".

Av sammanställningen framgår att forskning för närvarande pågår och att behov finns inom områdena

1. Analys av geohydrologiska förhållanden, särskilt inverkan av och på byggnadsverk och anläggningar.

Huvuddelen av här anförd verksamhet är analytisk och berör endast fältmetodsidan indirekt. Några lösryckta men talande rubriker som berör fältsidan är:

- samband portryck/markrörelser
- portrycksvariationer i jordprofiler
- portrycksfördelning till följd av byggnation
- prognos av höga portrycksvärden
- studier av naturliga grundvattenvariationer

2. Metoder för undersökning, uppföljning och redovisning av geohydrologiska förhållanden.

Motsvarande rubrikurval ger:

- bestämning av sprickvattentryck i berg
- datainsamling för grundvattennivå och portryck
- provpumpning och djupinfiltration
- bestämning av odränerad skjuvhållfasthet och konsolideringskoefficient med hjälp av portryckssondering
- fältförsök permeabilitet tunna skikt
- insamling av brunnndata
- grundvatten i berg

Mot bakgrund av bl a denna redovisning blir FUKs förslag till forskningsuppgifter:

- utveckling av instrument och metodik för kontinuerlig registrering av portryck under lång tid (bl a med syfte på portrycksbaserade skredvarningssystem)
- portryckets fortplantning i kohesionsjord med hänsyn till hydrostatiska förändringar i underliggande akviferer (mät- och kunskapsutveckling)
- jämförelse mellan olika mätsystem och mätning av portryck, relativt eller absolut, med hänsyn till lufttrycksvariationer
- mätningssystematik av portryck i delvis vattenmättad jord ("negativt portryck")
- förutsättningar för användande av provpumpning och magasinanalys vid geotekniska undersökningar
- permeabilitetsbestämning enligt "falling head"-metoden i öppna rör

#### 2.5.4 Referenser

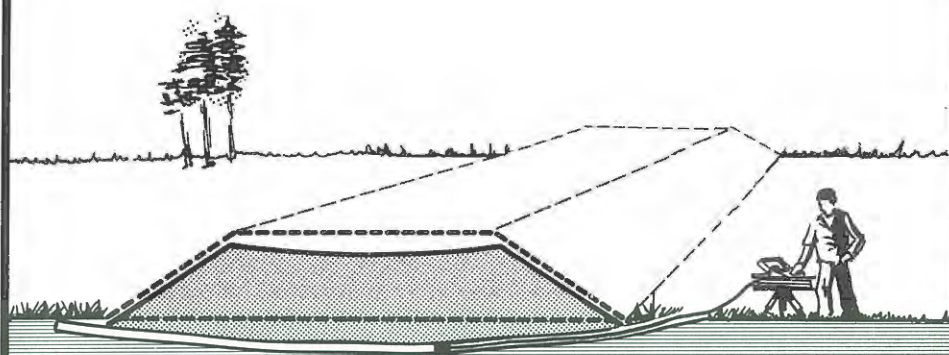
BFR (1980). Djupinfiltration. En metod att upprätthålla grundvattentrycket i slutna akviferer. BFR R166:1980

BFR (1980). Grundvattengeoteknisk forskning. Samordningsgruppen för forskning inom grundvattenteknik, BFR GR:1980

BFR (1980). Grundvattnet i Botkyrka 1972-1976. STEGA-rapport, BFR T:16/1978.



## Metoder för kontroll och uppföljning





## 2.6 Metoder för kontroll och uppföljning

### 2.6.1 Befintliga metoder

I detta avsnitt behandlas sådana metoder som används för att kontrollera eller följa upp vad som händer vid olika byggnadsaktiviteter i jord eller vad som händer med redan färdigställda byggnadsverk eller t ex naturliga slänter. Dessa metoder behandlas nedan under rubrikerna:

- rörelsemätning
- packningskontroll
- vibrationskontroll
- metoder för skredindikering

I avsnittet behandlas ej metoder för kontroll och uppföljning av bergkvalitet eller slagning av pålar och sponter. Vidare tas inte in situ-metoder för spänningsmätning i jord upp. Detta avsnitt behandlas i kap 2.4. Metoder för kontroll av schakt- och fyllnadsmassors mängd och kvalitet har också bedömts ligga utanför detta avsnitts område.

#### 2.6.1.1 Rörelsemätning

Med rörelsemätning avses här såväl horisontal- som vertikallrörelsemätning. Mätning av horisontalrörelser i jord och byggnader delas upp i ytlig mätning, dvs mätning ovan markytan och mätning under markytan.

#### Mätning av ytliga horisontalrörelser i jord och byggnader

För mätning av horisontalrörelser ovan markytan finns ett flertal metoder och instrument, Bågevik (1979). Nedan ges en lista på aktuella metoder. Tillvägagångssättet framgår oftast av metodnamnet.

- Elektro-optiska avståndsmätningssinstrument t ex laser-avståndsinstrument
- Rörelsemätning genom stereofotografering
- Rörelsemätning med metalltråd, band eller stång
- Rörelsemätning med teodolit

Gemensamt för dessa metoder är att mätning utförs från en fast stillaliggande referenspunkt till en punkt som antas röra sig. Horisontalrörelsen ansätts normalt som differensen mellan sådana avståndsmätningar. Noggrannheten för dessa metoder anges ofta som en funktion av det mätta avståndet men elektro-optiska instrument och laser har även ett s k instrumentfel. Noggrannheten för samtliga ovan nämnda metoder anges till mellan ca  $\pm 10$  mm och  $\pm 0,02$  mm på en mätsträcka om 20 m.

En annan typ av mätningar är töjningsmätningar. Dessa utförs ofta på eller i byggnader där olikformiga rörelser sker. Vanligtvis används metoderna så att en övergipsning sker av en spricka och den fortsatta rörelsen mäts med nedan angivna metoder

- spricklupp eller sprickmikroskop
- mikrometerskruv
- elektriska extensiometrar och indikatorklockor
- extensiometrar

Noggrannheten hos dessa metoder är stor och anges till som bäst  $\pm 0,01$  mm.

Motsvarande metod används även vid mätning av jordrörelser i skredriskområden där sprickor i jorden ofta uppstår.

#### Mätning av horisontalrörelser i jord under mark

För mätning av horisontalrörelser i jord används olika typer av inklinometrar, Kallstenius (1961). Dessa består i huvudsak av en pendel med olika typer av givareanordningar inneslutna i ett vattentätt hölje. Inklinometern sänks ned i nära vertikala rör oftast av plast. Rörets lutning avläses normalt varje 1 å 2 m under markytan. Genom förnyad mätning vid olika tidpunkter kan lutningsförändringar i det vertikala röret registreras och därmed storleken av jordens horisontala rörelse beräknas.



Den s k Geosonden är ett annat instrument som används för att mäta horisontalrörelser i jord. Den består av ett mätrör ( $\phi 90$  mm) som installeras i jorden. Rörets formändring mäts med en sond bestående av två diametralt monterade stänger som formar sig efter rörets krökning. Differensen mellan stängernas ändar vid rörets topp är mått på rörets krökning. Geosonden kan också användas för att mäta vertikalrörelser.

En variant på den ovan angivna inklinometern där pendelutslag mäts är att pendeln hålls vertikal med hjälp av ett magnetfält varvid den ström som åtgår för detta är ett mått på lutningen. Utrustningen är vanlig i utlandet och möjliggör automatisk registrering av rörelseförloppet om den hålls fixerad på viss nivå.

Vid LuH har utvecklats en inklinometer, med stor noggrannhet, där vinkeln mot horisontalplanet mäts med en accelerometer.

#### Mätning av vertikalrörelser

Ett klassiskt geotekniskt mätproblem är att mäta vertikalarörelser (sättningar) som uppkommer p g a byggnation eller urbanisering. I dag kan rörelser mätas såväl vid markytan som på olika nivåer därunder. Nedan följer en uppräknig av de i dag mest vanliga metoderna.

- Precisionsavvägningsinstrument
- Pegel med indikatorklocka
- Slangsättningsmätare
- Bälgsättningsmätare, typ Wager
- Sättningsmätare, typ Allard

De två förstnämnda används till att mäta sättningar i markytan eller hos tillgängliga konstruktioner. Slangsättningsmätare används för mätning av sättningar längs en horisontal sträcka längs eller under markytan. De två sistnämnda används för sättningsmätning på flera olika nivåer i en punkt.

### 2.6.1.2 Packningskontroll

Metoder för kontroll av fyllningars packning kan delas in i tre grupper enligt nedan. Metoderna används också för schaktbottenkontroll, dvs i naturlig jord i schaktbottnar före grundläggning.

#### A. Belastningsförsök

Plattförsök

Pressometer

Skruvplatta

#### B. Relativa metoder

Volymetermetoden

Comprimeter

Viktsond

Trycksond

Hejarsond

#### C. Dynamiska metoder

Fallvikt

Compactometer

(Crosshole)

(Downhole)

Beträffande plattförsök, pressometer, skruvplatta, fallvikt, Crosshole och Downhole hänvisas till avsnitt 2.4. Beträffande sonderingsmetoder hänvisas till avsnitt 2.2. Med volymetermetoden mäts volymen av ett upptaget jordprov (= gropens volym) varefter fyllningens densitet kan bestämmas, Cadling, L (1965). Olika metoder för volymsbestämningen finns, t ex sand-, vatten- och cylindervolymetrar. Med comprimeteren fås ett mått på uppnådd packning genom att en stång trycks ner vertikalt i den packade jorden och svällningen härvid mäts, Eggestad. Compactometeren består i princip av en accelerometer som monteras på en vibrationsvält. Med compactometeren erhålls mätvärden (mätning sker kontinuerligt under vältens förflyttning) som indikerar undergrundens dynamiska egenskaper. Jfr vidare Hellman, P et al (1979).

### 2.6.1.3 Vibrationsmätning

För mätning och analys av dynamiska förlopp har speciellt under senare år en mängd olika mätinstrument och analyser utvecklats. Det är inte möjligt att här ge en heltäckande beskrivning av olika möjligheter eller att behandla de aspekter som måste beaktas vid vibrationsmätning eller kontroll. I stället görs ett försök att beskriva vissa principer.

Ett generellt mät- och analyssystem består av följande komponenter:

- givare
- förstärkare
- observationsenhet
- registreringsutrustning
- analysator/dator

Redovisningen av resultat från dynamiska undersökningar är ej standardiserad utan ett flertal olika förfaranden tillämpas. Vanligtvis presenteras en tabelluppställning av vissa intressanta parametrar såsom amplituder och dominerande frekvenser samt diagram med intressanta tidsförlopp och frekvensanalyser. Resultat från utvärderingen kan också sammanställas på plan-, sektions- och profilritningar med angivande av jordlagerindelning, utbredningshastighet för olika vågtyper samt beräknade moduler.

Val av lämplig utrustning avgörs av det dynamiska förloppets karaktär, frekvensinnehåll och amplitud samt noggrannhetskrav. Av betydelse är också vilka parametrar som skall mätas och hur resultaten skall utvärderas och redovisas. Konsulter och tillverkare av utrustning har ofta utvecklat speciella system för rutinmässiga undersökningar av olika slag.

### 2.6.1.4 Metoder för skredindikering

Ett flertal olika metoder används för skredindikering. Metoderna kan i princip delas in i tre grupper enligt följande:

#### A. Rörelsemätning

- vertikal- och horisontalrörelsemätning med metoder enligt 2.6.1.1
- kabelvarningssystem (tråd avslits vid jordrörelse)
- lutningsändringsmätning med mätare typ SGI (pendelprincip) och vattenpass med fotodiod
- shear-strips (Automatiskt brottövervakningssystem med brottindikator (givare), logger med mikrodator (registrering) och alarm. Brottindikatorn är uppbyggd av 1 m långa kretskortslaminat som seriekopplats till en sammanhängande strömkrets. Indikatorn gjuts in i borrhål. Brott och rörelse registreras då kretskortets strömkrets bryts.)

#### B. Tryckmätning

- jordtryck- och portrycksmätning enligt 2.4 resp 2.5

#### C. Vibrationsmätning eller indikering av spänningsomlagring i jord (2.6.1.3)

- akustiska emissioner (inre ljud, knäppar, som ett material avger under vissa spänningsförhållanden)

Indikation på skredrisk kan också fås genom att observera/sammanställa händelser som: brott på kablar och ledningar, sprickor i gator, lutande stolpar etc.

### 2.6.2 Nuvarande användning och kunskapsnivå

#### 2.6.2.1 Rörelsemätning

#### Mätning av ytliga horisontalrörelser i jord och byggnader

Gemensamt för de flesta mätmetoder, som redovisas i kap 2.6.1.1, är att de är utvecklade i huvudsak för andra ändamål men även är beprövade för ytlig mätning av horisontalrörelse i jord och byggnader, även om omfattningen hitintills har varit blygsam. Anledningen till detta är bl a att det är relativt kostsamt med upp-

följning av rörelser under lång tid och att metoden får anpassas från objekt till objekt. Dessutom blir de mera känsliga för störningar från omgivningen vid ökade krav på noggrannhet hos mätinstrumenten.

#### Mätning av horisontalrörelser i jord

Inklinometrarna, som är beskrivna i kap 2.6.1.1, används i dag i produktionsmätning vid bl a övervakning av slänter i skredbenägna områden och vid schaktningsarbete. Den utrustning som finns i dag ställer stora krav på installation av mätrör och noggrannhet vid mätning, vilket innebär att det oftast är specialutbildad personal som utför arbetena. Utrustningen har en mätnoggrannhet av som bäst 6 mm/20 m i vertikala rör.

#### Mätning av vertikalarörelser i jord

Sättningsmätning används i dag för kontinuerlig uppföljning av sättningar och dess tidsförlopp i samband med byggande och urbanisering. Metoderna kanske inte används i önskvärd utsträckning p g a att de är relativt kostsamma och att mätningarna ofta behöver utföras under långa tidsperioder. Mätnoggrannheten är tillräcklig för de flesta ändamål, åtminstone i kohesionsjord.

#### 2.6.2.2 Packningskontroll

Vid kontroll av fyllning används oftast vattenvolymeterbestämning (godtagen metod i SBN-80). Det har visat sig att metoden är svår eller omöjlig att kalibrera mot fyllningens funktionskrav såsom bärförmåga och kompressibilitet. Dessutom erhålls ofta en relativt stor spridning i resultatet med denna metod. Ett ökat intresse för användning av dynamiska metoder t ex compactometer och fallvikt har kunnat noteras på senare tid. Metoderna är under utveckling och svårigheter finns i kopplingen mellan jords dynamiska egenskaper och de ovan nämnda funktionskraven. Vad gäller sonderingsmetoder har framför allt trycksonden visat sig lämplig, även om metoden är relativ så finns empiriska samband mellan trycksondresultat och en fyllnings funktionskrav.

Vid val av metod för packningskontroll måste hänsyn tas till fyllningsmaterialet samt vilket underlag fyllningen vilar på.

### 2.6.2.3 Vibrationskontroll

I dag används vibrationsmätning som kontroll vid en hel rad olika tillämpningsområden, nämligen

- vibrationer som miljöfaktor
  - trafik
  - byggverksamhet
  - tunga maskiner
- jordbävningar
  - kartläggning av markoro
  - kartering av vissa områden med hänsyn till jordbävningensrisk
  - övervakning av jordbävningensaktiviteter
  - teoretiska studier och laboratorieförsök
- vibrationsövervakning ur säkerhetssynpunkt
  - dynamiska förundersökningar för och övervakning av kärnkraftverk
  - övervakning av smällberg-fenomen i gruvor
  - övervakning av akustiska emissioner från interkristallina omlagringar i berg eller i slänter
  - övervakning av rörelser omkring bergum
- infraljud

Vibrationsmätning är i dag relativt kostsam, åtminstone om kontinuerlig mätning erfordras, vilket innebär att dyrbar mät- och registreringsutrustning binds för lång tid och ibland behöver skraddarsys.

### 2.6.2.4 Metoder för skredindikering

Metoder som i dag används för skredindikering är i huvudsak följande:

- inklinometermätning
- porttrycksmätning

- sättningsmätning (bälgslangmetoden och system K Allard)
- lutningsändringsmätare
- shear-strips

Lutningsändringsmätare används företrädesvis för hus och sponter medan övriga metoder är vanligast för slänter.

Statens järnvägar använder ett kabelvarningssystem (i jorden nedgrävd kabel) vid platser där skredrisk bedöms föreligga. Detta ger besked när ett skred inträffat genom stoppsignaler för trafiken. Systemet varnar alltså efterföljande trafik sedan skredet skett. Kabelvarningssystem kan således ej fungera som varningssystem vid t ex bebyggelse i skredriskområden.

Utomlands har registrering av akustiska emissioner, även kallat mikroseismer eller "knäppningar" använts för övervakning av jordrörelser i dammar och naturliga slänter. För närvarande pågår flera forskningsprojekt för att studera denna teknik för släntstabilitetsövervakning. Hittills i Sverige genomförda undersökningar tyder på att metoden även kan vara lämplig för i Sverige förekommande lösa sensitiva leror.

Ett flertal mätmetoder finns således, däremot saknas kriterier för bedömning av mätresultaten m h t skredrisknivå. Först när dessa kriterier finns kan automatiska larmsystem som bygger på mätmetoder enligt ovan brukas.

### 2.6.3 FoU-behov

För de flesta kontrollmetoder gäller att våra mätsystem är avpassade för intermittent avläsning vid besök på mätplatsen. Framledes är det nödvändigt att utveckla automatiskt registrerande system för såväl tryck av olika slag som rörelser och vibrationer samt eventuellt koppla dessa till olika överföringssystem. För att kunna använda mätsystemen för övervakning av olika förlopp måste man också med omfattande mätserier söka klarlägga de naturliga variationerna under ett antal år i t ex portryck, jordtryck m m.

### 2.6.3.1 Rörelsemätning

#### Mätning av ytliga horisontalrörelser i jord och byggnader

Inget känt utvecklingsarbete bedrivs med dylika mätmetoder anpassade direkt för ytliga horisontalrörelsemätningar i jord och byggnader. Däremot sker en ständig utveckling av instrumenttillverkare, främst beträffande mätnoggrannhet, enklare hantering och förenklade mätförfaranden.

Önskvärd FoU torde vara att finna enkla, robusta mät-system som är anpassade för ändamålet. Vidare borde utvecklingsarbete satsas på automatisk registrering av dylika förlopp.

#### Mätning av horisontalrörelser i jord

I dag pågår en utveckling av lutningsändringsmätare i Sverige. Anledningen är den intensiva forskningen kring skredfarliga områden och en ökad förståelse för horisontalrörelsernas betydelse vid byggnads- och anläggningsarbeten.

I dag är lutningsändringsmätning en förhållandevis dyr metod varför den tillgrips endast vid mycket angelägna objekt. Därför är ett utvecklingsarbete i syfte att åstadkomma billigare och mer lätthanterliga system angeläget. I detta ingår problematiken om vilken mätnoggrannhet dagens system har och vilken noggrannhet som är önskvärd vid olika typer av applikationer. Noggrannheten är ju en funktion av kostnaden. Andra problemområden som kräver en FoU-insats är automatisk registrering av såväl horisontalrörelser som riktning.

#### Mätning av vertikalarörelser i jord

Ett område där FoU-insatser bedöms behövas är att finna billigare system t ex genom att automatisera registreringen av i dag befintliga mätmetoder som ovan nämnts. Ett annat problemområde som kräver FoU-insatser är sättningmätning i friktionsjord. Problemen här är dels den



ökade precision som krävs och dels den störning av jorden som uppstår vid installation av mätsystemet och därmed kan förändra friktionsjordens egenskaper.

#### 2.6.3.2 Packningskontroll

I BFR-skriften "Kontroll av packad friktionsjord" (P Hellman m fl, 1979) har en metodstudie utförts beträffande de i kapitel 2.6.1.2 angivna kontrollmetoderna. Försöken är utförda på fyllningar med tre olika jordar, nämligen siltig sand, sand och grusig sand. Försöken har bl a visat att en fyllnings deformations- och bärighets-egenskaper bäst bestäms genom belastningsförsök (fullskaleförsök, plattförsök, pressometerförsök och skruvplatta). Vidare har visats att den översiktliga informationen från compactometern kombinerad med trycksondering och pressometermätning ger den ur praktisk, teknisk och ekonomisk synpunkt bästa informationen.

En vidare statistisk bearbetning av försöksresultaten från nämnda undersökning har utförts vid LTH, B s Malmberg (1980).

FoU-verksamhet inom området jordpackning bör inriktas på att få bort "packningsgradtänkandet" och i stället få in ett funktionskravstänkande.

De metoder som FoU bör inriktas på är:

- Geofysiska metoder
- Pressometer
- Trycksondering
- Plattförsök

Man bör också särskilja relativa och absoluta metoder. Vidare bör provningsmetod och antal provningar kopplas till aktuella funktionskrav. Dvs ett partialsäkerhetskoefficienttänkande bör införas.

Framtagande av anvisningar för utförande och bedömning av packningskontroll bedöms likaledes vara angeläget. Olika krav och kontrollmetoder erfordras för olika jordar.

#### 2.6.3.3 Vibrationskontroll

Som framgår av kapitel 2.6.1.3 och 2.6.2.3 pågår en ständigt FoU-verksamhet på såväl apparatsidan som applikations- sidan.

I dag bedöms FoU-behovet främst ligga på utvärderings- och tolkningssidan. Exempel på frågeställningar är om man utifrån geotekniska parametrar kan bedöma effekten av en vibrationskälla på dess omgivning.

#### 2.6.3.4 Metoder för skredindikering

Inom detta område bör FoU-verksamhet inriktas på framtagande av bedömningskriterier för befintliga metoder. Vidare är det angeläget att utveckla skredvarningssystem för bebyggda skredriskområden. Dessa kan bygga på i dag kända mätprinciper eller sådana som i dag ej provats i Sverige t ex akustisk emission eller liknande. Det saknas i dag information om vilken parameter (rörelse, lutningsändring, vibration, portryck, jordtryck etc) som ett tillförlitligt system kan byggas på. Vidare erfordras automatiska registrerings- och överföringssystem för data inom skredriskområden.

#### 2.6.4 Referenser

Bågevik, K (1979). Inventering av mätmetoder för rörelser i hus och mark. Byggforskningen. Rapport R88:1979. Stockholm.

Cadling, L (1965). Grundläggning på packad jordfyllning. Sv. Riksbyggen, Tekn. utredn, nr 13.

Eggestad, A. New Method for compaction control of sand. NGI.

Hellman, P, Pramborg, B O, Svensson, G (1979). Kontroll av packad friktionsjord. Kontrollmetoder för bestämning av deformations- och brottbärighetsegenskaper. Byggforskningen, Rapport R102:1979. Stockholm.

Jord- och bergdynamik (1979). Information från IVA's kommitté för vibrationsfrågor. Arbetsgrupp 4: Jord- och bergdynamik. IVA Meddelande nr 225. Stockholm.

Kallstenius, T et al (1961). In Situ Deformation of Horizontal Ground Movements. Proc. Fourth Int. Conf. on Soil Mech. and Found. Eng. Paris.

Malmberg, B s (1980). Fyllning med finkornig jord. Delrapport 2. Tekniska högskolan i Lund, Avd för geoteknik, TVGT-3016, Lund.

Turner, H F (1976). Seismisk mätmetodik - vibrationer. Svenska byggnadsentreprenörföreningen. Rapport nr 15. Stockholm.



### 3. FoU-PRIORITERING

#### 3.1 Allmänt

Det i kap 2.1-2.6 redovisade FoU-behovet har prioriterats av gruppen. Vid prioriteringen har största möjliga hänsyn tagits till den samlade bilden av inkomna remiss-svar. FoU-prioriteringen har främst gjorts med tanke på kvalitetsförbättringar och standardisering. FoU-projek-ten har, efter angelägenhetsgrad, indelats i tre grupper enligt följande:

1. Mycket angeläget
2. Angeläget
3. Mindre angeläget

#### 3.2 Förslag till FoU-prioritering

Förslag till FoU-prioritering inom de olika fältundersök-ningsområdena redovisas nedan i tabellform enligt föl-jande:

<u>Tabell nr</u>	<u>Ämnesområde</u>
3.1	geofysiska metoder
3.2	sonderingsmetoder
3.3	provtagningsmetoder
3.4	in situ-metoder
3.5	geohydrologiska metoder
3.6	metoder för kontroll och uppföljning

Utöver FoU-satsning på de speciella projekten inom de olika ämnesområdena (Tabell 3.1-3-6) är kraftfulla sats-ningar även nödvändiga på frågeställningar som ej är direkt hänförliga till något enskilt ämnesområde.

Till dessa övergripande frågor hör främst utbildnings-frågor. Enligt kommitténs uppfattning föreligger stora utbildningsbehov både på det direkta fältarbetet och på utvärderings- och tolkningsfrågor. En lärobok inom området geotekniska fältundersökningsmetoder bedöms fylla ett stort behov.

För tester av olika fältundersökningsmetoder föreslår kommittén att ett antal referensprovfält med olika jordlagerföljder upprättas.

Ett växande behov bedöms föreligga av utrustning för geotekniska undersökningar i trånga utrymmen (s k källarborrtrrustning). Kommittén rekommenderar en kraftfull satsning på framtagande av sådan utrustning vilket även ingångsattes av STU:s insatsområde "Grundläggning i tätort".

Vidare stöder kommittén satsning på följande frågor:

- lämplig omfattning av geotekniska undersökningar
- problemorienterat val av metod/metodkombination
- olika undersökningsmetoders tillförlitlighet för olika frågeställningar
- anpassning av fältresultat till ett för datorbearbetning lämpligt sätt
- minimering av antal dimensioner och typer av borrhästar
- värdering av nya fält- och mätmetoder

GEOFYSISKA METODER

ANGELÄGENHETSGRAD		
1. Mycket angeläget	2. Angeläget	3. Mindre angeläget
<ul style="list-style-type: none"> <li>- sammanställning och utvärdering av pågående FoU</li> <li>- metoder för bestämning av blockhalt, stora block, övertäckta fyllningsmassor och gamla husgrunder</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- refraktionsseismik: tillämpade försöksserier i olika jordlager för bestämning av storheter som packningsgrad, schaktbarhet, deformationsegenskaper etc med hjälp av tryck- och skjuvvågor</li> <li>- olika metoders tillämpbarhet vid bestämning av exempelvis jordlagrens textur, struktur, vattenkvot lagringstäthet, korrosiva egenskaper och dynamiska parametrar</li> <li>- tolkning, utvärdering och tillförlitlighet av geofysiska mätdata</li> <li>- borrhålsloggning vid geotekniska undersökningar</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- refraktionsseismik: fortsatt genomgång av teoretiska samband mellan signalparametrar och olika jordars dynamiska och mekaniska egenskaper</li> <li>- refraktionsseismik: generella sambandsstudier med registrering av transient och stationär vågutbredning i olika material</li> <li>- hur olika geofysiska metoder lämpligen kombineras för erhållande av tillförlitliga resultat</li> </ul>

TABELL 3.1 Förslag till FoU-prioritering - geofysiska metoder

SONDERINGSMETODER

ANGELÄGENHETSGRAD		
1. Mycket angeläget	2. Angeläget	3. Mindre angeläget
<ul style="list-style-type: none"> <li>- spetstrycksondering: jämförande sonderingar i svenska jordlager så att utländska erfarenheter kan prövas, studium av neddrivningshastighetens inverkan på sonderingsresultatet (spec i silt)</li> <li>- portrycksondering: utveckling av instrument och metodik, tolkning och teoretisk analys av erhållna mätdata</li> <li>- dynamisk portrycksondering: utveckling av instrument och metodik</li> <li>- utveckling och standardisering av totaltrycksondering</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- hejarsondering: fortsatt utveckling av kombination HfA-glappkoppling (för separation av spetsmotstånd och mantelfriktion) och HfA-lös, uttryckbar spets (för intermittenta tryckförsök), jämförelse med andra in situ-metoder</li> <li>- jord-bergsondering: utveckling av automatiska registreringsmetoder</li> <li>- utveckling av akustisk penetrometer för identifiering av tunna skikt (t ex sandskikt i lera)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- mindre hejarsond (motsvarande den lätta tyska hejarsonden) för kontroll av packade fyllningar</li> </ul>

Tabell 3.2 Förslag till FoU-prioritering - sonderingsmetoder



PROVTAGNINGSMETODER

ANGELÄGENHETSGRAD		
1. Mycket angeläget	2. Angeläget	3. Mindre angeläget
<ul style="list-style-type: none"> <li>- utveckling av tillförlitlig metod för provtagning i fast jord inklusive morän, förbättring genom effektivare slutarsystem</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- studier av utländska provtagningsmetoder, främst rotationsborrningsteknik, användning av tung borrvätska</li> <li>- provgropsgrävningsteknik till större djup</li> <li>- rationalisering/mekanisering av bef provtagningsutrustning</li> <li>- borrhålsstabilisering med ex.vis bentonit-kombinerad med skruvprovtagning /ostörd provtagning i hålets botten</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- behövs provtagare med större dimensioner? (närmare studier av störningsgrader vid olika kolvprovtagningsdimensioner för olika jordar samt jämförelse mellan St I och ST II)</li> </ul>

TABELL 3.3 Förslag till FoU-prioritering - provtagningsmetoder

IN SITU-METODER

ANGELÄGENHETSGRAD		
1. Mycket angeläget	2. Angeläget	3. Mindre angeläget
<ul style="list-style-type: none"> <li>- förbättring av förborrningstekniken för pressometermätning i grovkornig friktionsjord &amp; morän</li> <li>- pressometerutvärderingsteknik för svenska förhållanden</li> <li>- dynamiska metoder: standardisering av utrustning, utförande och redovisning</li> <li>- utveckling och provning av mätcell för jordtrycksmätning</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- konstruktion av robust pressometercell för grovkornig friktionsjord och morän</li> <li>- studie av störningseffekter vid installering av pressometer</li> <li>- rationalisering av pressometerförsök/automatisk datainsamling</li> <li>- jfr mellan Menard-pressometer (trecell) och pressometer av typ "encell"</li> <li>- utveckling av förfinad vingsond med mätning av moment och vridningsvinkel vid vingen</li> <li>- studie av vingsondförsök i flera olika lertyper inkl svartmocka för klarläggande av skjuvhållfasthetens tidsberoende</li> <li>- systematisk studie av skillnader i försöksresultat för vingsond av typ SGI och typ Geotech</li> <li>- utveckling av dynamisk skruvplatta</li> <li>- <math>K_0</math>-mätning: studie av inverkan av mätcellens tjocklek och installationsmetod på erhållna mätvärden</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- skruvplattan: utveckling av robustare utrustning samt kraftigare vridaggregat, utveckling av förankringsanordning, automatisk registrering av mätdata, försöksutförande av typ "konstant deformationshastighet", studium av störningseffekter vid installeringen</li> <li>- utveckling av dynamisk pressometer</li> <li>- tryckmätning i pressometercell med elektronisk givare i själva mätcellen</li> <li>- självborrande pressometer</li> </ul>

TABELL 3.4 Förslag till FoU-prioritering - in situ-metoder

### GEOHYDROLOGISKA METODER

1. Mycket angeläget	2. Angeläget	3. Mindre angeläget
<ul style="list-style-type: none"><li>- utveckling av instrument och metodik för portrycksmätning, kontinuerlig registrering av portryck under lång tid (bl a med sikte på portrycksbaserade skredvarningssystem)</li><li>- förutsättningar för användning av provpumpning och magasinanalys vid geotekniska undersökningar</li><li>- permeabilitetsbestämning enligt "falling head"-metoden i öppna rör</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- jämförelse mellan olika mätsystem och mätning av portryck, relativt eller absolut m h t lufttrycksvariationer</li><li>- mätning av portryck i delvis vattenmättad jord ("negativt portryck")</li></ul>	

TABELL 3.5 Förslag till FoU-prioritering - geohydrologiska metoder

ANGELÄGENHETSGRAD		
1. Mycket angeläget	2. Angeläget	3. Mindre angeläget
<ul style="list-style-type: none"> <li>- mätning av horisontalrörelser i jord: utvecklingsarbete i syfte att åstadkomma billigare och mer lätthanterliga system, studie av mätnoggrannheter, automatisk registrering</li> <li>- mätning av vertikalrörelse i jord: automatiska registreringsystem, utveckling av system med hög precision för sättningsmätning i friktionsjord samt studier av installationsmetoder</li> <li>- metoder för skredindikering: framtagande av bedömningskriterier för befintliga metoder, utveckling av skredvarningssystem för bebyggda områden, automatisk registrering</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- mätning av ytliga horisontalrörelser i jord och byggnader: utveckling av enkla, robusta mätsystem som är anpassade för ändamålet, automatisk registrering</li> <li>- packningskontroll: utförande och bedömning av packningsresultat</li> <li>- vidareutveckling av knäppmätningstekniken, tillämpning på olika problemområden</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- vibrationskontroll: utvärdering och tolkning</li> </ul>

TABELL 3.6 Förslag till FoU-prioritering - metoder för kontroll och uppföljning

STATENS GEOTEKNISKA INSTITUT  
Swedish Geotechnical Institute  
S-581 01 Linköping  
Tel: 013/11 51 00

Serien "Rapport" ersätter våra tidigare serier: "Proceedings" (27 nr), "Särtryck och Preliminära rapporter" (60 nr) samt "Meddelanden" (10 nr).

The series "Report" supersedes the previous series: "Proceedings" (27 Nos), "Reprints and Preliminary Reports" (60 Nos) and "Meddelanden" (10 Nos).

RAPPORT/REPORT

No.		År	Pris kr (Sw.crs)
1.	Grundvattensänkning till följd av tunnelsprängning. <i>P. Ahlberg, T Lundgren</i>	1977	50:-
2.	Påhängskrafter på långa betongpålar. <i>L. Bjerin</i>	1977	50:-
3.	Methods for reducing undrained shear strength of soft clay. <i>K.V. Helenelund</i>	1977	30:-
4.	Basic behaviour of Scandinavian soft clays. <i>R. Larsson</i>	1977	40:-
5.	Snabba ödometerförsök. <i>R. Karlsson, L. Viberg</i>	1978	25:-
6.	Skredriskbedömningar med hjälp av elektromagnetisk fältstyrkemätning - provning av ny metod. <i>J. Inganäs</i>	1978	40:-
7.	Förebyggande av sättningar i ledningsgravar - en förstudie. <i>U. Bergdahl, R. Fogelström K.-G. Larsson, P. Liljekvist</i>	1979	40:-
8.	Grundläggningens kostnadernas fördelning <i>B. Carlsson</i>	1979	25:-
9.	Horisontalarmerade fyllningar på lös jord. <i>J. Belfrage</i>	1981	50:-

## RAPPORT/REPORT

No.	År	Pris kr (Sw.crs)
10. Tuveskredet 1977-11-30. Inlägg om skredets orsaker.	1981	50:-
11a. Tuveskredet geoteknik.	1981	
11b. Tuveskredet geologi.	1981	50:-
11c. Tuveskredet hydrogeologi.	1981	40:-
12. Drained behaviour of Swedish clays. <i>R. Larsson</i>	1981	50:-
13. Long term consolidation beneath the test fills at Väsby, Sweden. <i>Y.C.E. Chang</i>	1981	100:-
14. Bentonittätning mot lakvatten. <i>T. Lundgren, L. Karlqvist, U. Qvarfort</i>	1982	60:-
15. Kartering och klassificering av lerområdets stabilitetsförut- sättningar. <i>L. Våberg</i>	1982	80:-
16. Geotekniska fältundersökningar. Metoder - Erfarenheter - FoU-behov. <i>E. Ottosson (red.)</i>	1982	60:-



**STATENS GEOTEKNISKA INSTITUT**

Besöksadr.: Olaus Magnus väg 35, LINKÖPING

Postadr.: 581 01 LINKÖPING, tel 013-115100