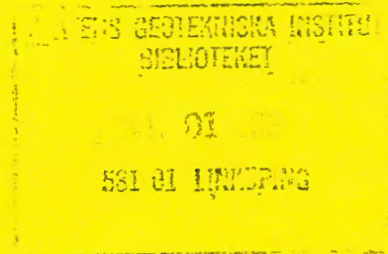




# STATENS GEOTEKNISKA INSTITUT

## SGI VARIA 30



Bedömning av lerors sensitivitet ur vikt- och trycksondresultat

Linköping 1980

## INNEHÅLLSFÖRTECKNING

	sid
Bakgrund	1
Viktsondering - sensitivitet	1
Metodik	1
Resultat	3
Slutsatser	5
Trycksondering - sensitivitet	6
Metodik	6
Resultat	7
Slutsatser	13
Sammanfattning	14
Litteratur	15

BEDÖMNING AV LERORS SENSITIVITET UR  
VIKT- OCH TRYCKSONDRESULTAT

Björn Möller, Statens geotekniska institut,  
Enheten för mät- och undersökningsverksamhet

BAKGRUND

I forskningsprogrammet kring skredfarliga områden vid Statens geotekniska institut ingår bl a att försöka lokalisera områden där stabiliteten är otillfredsställande. Speciellt riskfyllda bedöms områden där undergrunden består av sensitiv lera vara, beroende på att eventuella skred där förväntas få betydande omfattning. I detta lokaliseringsarbete ingår dels att inventera äldre geotekniska undersökningar, dels att utföra nya undersökningar. I dessa undersökningar ingår ett stort antal sonderingar, främst vikt- och trycksonderingar. Resultaten av dessa används normalt ej för bedömning av jordens sensitivitet men vissa indikationer tyder på att en större användning av sonderingsresultaten i detta avseende skulle kunna erhållas.

Syftet med denna undersökning har varit att närmare försöka klarlägga eventuella samband mellan sonderingsresultat-undergrundens sensitivitet. Härigenom skulle äldre och nyare sonderingar i skredfarliga områden kunna minska behovet av omfattande provtagning och laboratorieprovning.

VIKTSONDERING - SENSITIVITET

Metodik

Som grund för utredningen användes befintliga undersökningar från geoprojektering av väg E6, delen Åskloster - Frillesås i Hallands län och från skredområdena Intagan, Vesten och St Flaskskredet i Göta-älvdalen. I en första utvärderingsomgång användes ca

200 observationer vilka utökades till ca 300 och i slutskedet nästan 400. Totalt representerar datamängden ca 60 borrhål med både sondering och provtagning.

I varje observation fanns sju variabler, nämligen djup, densitet, vattenkvot, finlekstal, sensitivitet, skjuvhållfasthet enligt konmetoden samt viktsondvärde. Variabler är förutom djup och viktsondvärde laboratoriebestämda.

Multipelregressionsanalys utfördes på datamängden för att klarlägga om några direkta samband finns mellan sensitivitet och övriga variabler. Inledningsvis testades två datorprogram, nämligen MURE och STEPR, ingående i Väg- och Trafikinstitutets (VTI) statistikpaket. Dessa program visade sig inte kunna uppfylla kraven på selektering i datamängden samt transformering och nybildning av variabler. Dessutom var programmen dyrbara att använda. Ett program som visade sig vara lämpligt för ändamålet är GARPSTAT som har utvecklats vid Skogshögskolan i Garpenberg och som också finns inlagt på VTI:s dator.

Resultaten från multipelregressionsanalyserna användes sedan för att utvälja några samband för plottning. Plottning utfördes av datorn varvid ett program, IPLOTT, ur VTI:s statistikpaket användes.

Vid bearbetning av materialet gjordes några olika selekteringar. Den första delade in datamängden i de fyra olika grupperna som anger graden av sensitivitet i jorden (Tabell 1). Gruppindelningen hänför sig till vanligen förekommande sensitivitetsgränser.

TABELL 1. Indelning av datamängden efter sensitivitet.

SENSITIVITET	BENÄMNING	ANTAL OBSERVATIONER
<10	lågsensitiv	34
10-30	medelsensitiv	164
30-50	högsensitiv	86
>50	kvicklera	111

Vidare delades datamängden i två klasser beroende av sonderingsmotstånd: En med viktsondvärde mindre eller lika med 1 kN (100 kg) och en med viktsondvärde 1 kN och vridning. Denna sista indelning utfördes endast ur praktisk synvinkel enär det inte går att direkt översätta antal halvvarv till en belastning i kN. Ändock har beräkningar gjorts på hela datamängden där 1 hv satts lika med 0,1 kN.

#### Resultat

Olika samband mellan variablerna har testats med s k multipelkorrelationsanalys. Resultatet från dessa tester blev att inga direkta enkla (entydiga) samband finns som kan indikera sensitiviteten utifrån viktsonderingsresultat. Detta innebär att man inte utifrån enbart ett viktsonderingsmotstånd kan ange jordens sensitivitet.

I stället för att söka mer komplexa samband mellan sonderingsmotstånd och sensitivitet inriktades den fortsatta undersökningen på att hitta samband som innehåller de direkta parametrarna viktsonderingsmotstånd och djup. Härför utfördes en medelvärdesberäkning med datamängden uppdelad i de olika sensitivitetssklasserna. Resultatet framgår av Tabell 2.

TABELL 2. Medelvärde för några variabler i olika sensitivitetsskisser.

SENSITIVI- TETS KLASS	ANTAL OB- SERVATIO- NER	DJUP (m)	SKJUVHÅLL- FASTHET (kPa)	SENSITI- VITET	VIKTSOND kN
0-10	12	4,8	23	8	0,74 <sup>1)</sup>
	22	6,9	68	4	11 hv <sup>2)</sup>
10-30	106	5,0	23	20	0,68 <sup>1)</sup>
	58	13,8	35,5	19	10 hv <sup>2)</sup>
30-50	72	7,5	22	40	0,75 <sup>1)</sup>
	14	12,0	29	37	7 hv <sup>2)</sup>
>50	102	7,9	21	100	0,63 <sup>1)</sup>
	9	10,6	35 <sup>3)</sup>	239	5 hv <sup>2)3)</sup>
Alla	292	6,6	22	52	0,69 <sup>1)</sup>
	103	11,8	41	37	10 hv <sup>2)</sup>

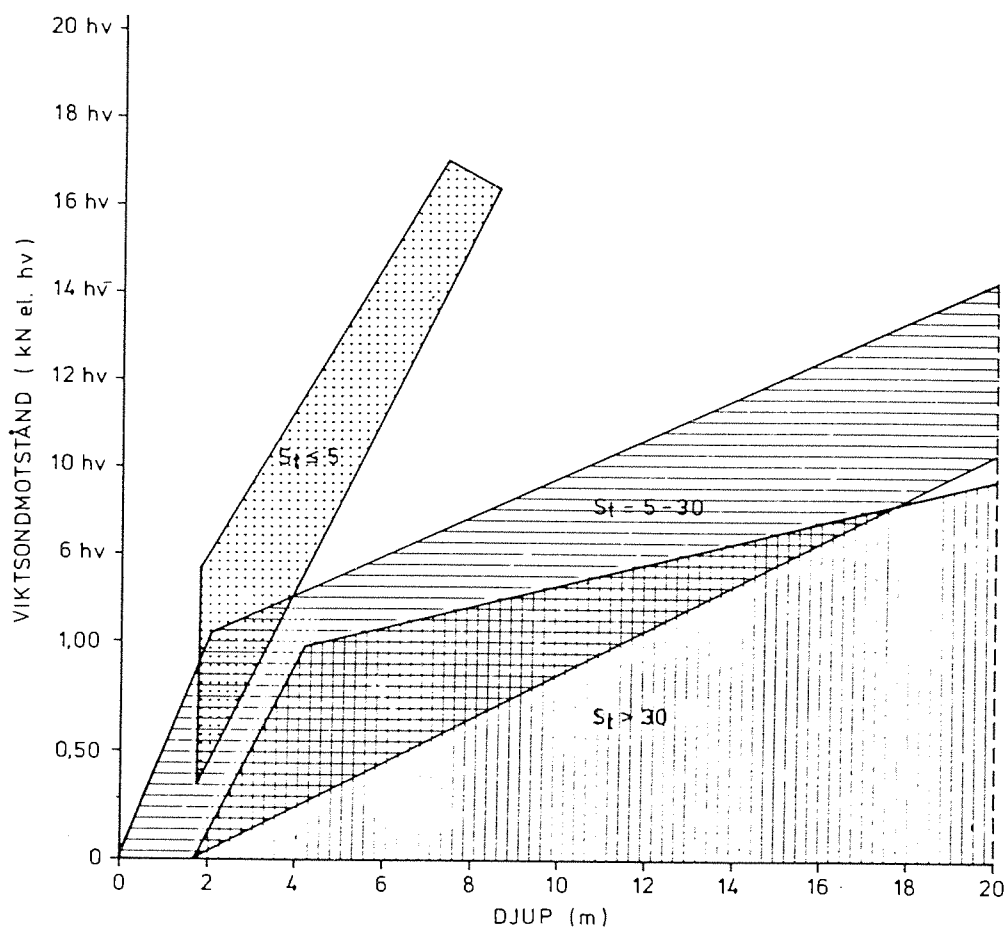
<sup>1)</sup> viktsondvärde mindre än eller lika med 1 kN

<sup>2)</sup> viktsondvärde större än 1 kN med vridning

<sup>3)</sup> endast 9 observationer

Tabell 2 visar att viktsondvärdet är avtagande vid ökande sensitivitet och att medelskjuvhållfastheten är nära densamma över alla sensitivitetsskisser när viktsondvärdet är mindre eller lika med 1 kN. Däremot visar vid viktsondvärden större än 1 kN med vridning medelskjuvhållfastheten en avtagande tendens med ökande sensitivitet. Vidare är medeldjupen mindre vid viktsondvärden mindre eller lika med 1 kN än vid viktsondvärden över 1 kN med vridning.

En plottning av viktsondmotstånd med djup i de olika sensitivitetsskisserna utfördes. Resultatet från denna visar att datamängden grupperar sig olika beroende på sensitivitetsskisser. Figur 1 visar dessa olika grupper och att en viss skillnad föreligger trots att grupperna överlappar varandra.



FIGUR 1. Viktsonderingsmotståndet som funktion av djupet under markytan i olika sensitivitetsskisser.

### Slutsatser

Redovisningen ovan visar att vissa skillnader förekommer mellan viktsöndvärde, djup och olika sensitivitetsskisser. Spridningen är stor och därför bör materialet användas med en viss försiktighet och bör endast användas för grova skattningar av sensitiviteten. Modellen är säkrare vad gäller bedömningen av låga sensitiviteter. Sammanfattningsvis kan man påstå:

- Lågt viktsondvärde vid stora djup kan bero på hög sensitivitet
- Högt viktsondvärde vid antagen normal skjuvhållfasthet kan bero på låg sensitivitet.

## TRYCKSONDERING - SENSITIVITET

### Metodik

Som grund för undersökningen användes i detta fall i huvudsak resultat från geo-projekteringar utförda av Göteborgs förorter inom de kommuner som berörs av SGI:s skredverksamhet. De kommuner eller kommundelar som är representerade i datamängden är Mölndal, Ale Eka, Ale Rished, Lilla Edet, Göteborg och Lerum.

Datamängden består av ca 170 observationer från 22 borrhål. Varje observation består av 6 variabler nämligen djup, jordartstyp, skjuvhållfasthet enligt konmetoden, sensitivitet enligt konmetoden, totalmotstånd från trycksonden samt tillväxten av totalmotståndet mätt som vinkeln mellan trycksonderingskurvan och vertikalplanet. Vinkeln är medellutningen på trycksonddiagrammet mätt mellan 1,0 m över och 1,0 m under aktuell nivå (vid höjdskala 1:100 och kraftskala 10 mm = 1,0 kN).

Vidare bör påpekas att ingen indelning av datamängden har utförts beträffande överkonsolideringsgrad. Erfarenheter visar dock att en lera med hög överkonsolideringsgrad och hög sensitivitet kan ge samma trycksonderingsresultat som en normalkonsoliderad lera med låg sensitivitet.

Den trycksonderingsmetod som har använts vid undersökningarna är mekanisk sondering typ Nilcon med fast spets (viktsondspets).



Analysförfarandet har varit detsamma som ovan beskrivits för viktsondering, dvs multipelregressionsanalys har utförts på datamängden.

Vid bearbetning av datamängden har några olika selekteringar gjorts beträffande sensitiviteten. Datamängden har indelats i grupper enligt Tabell 3.

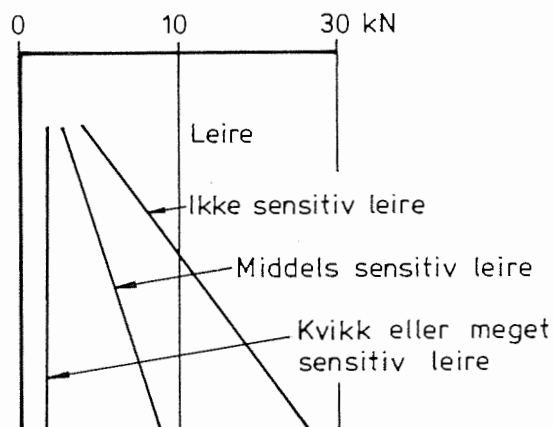
TABELL 3. Indelning av datamängden efter sensitivitet vid trycksonderingsundersökningar.

SENSITIVITET	ANTAL OBSERVATIONER
0-20	51
20-40	39
40-60	24
60-100	22
>100	34

Dessutom utfördes samma indelning som för viktsonden enligt Tabell 1. Emellertid visade det sig att klassindelning enligt Tabell 3 fungerade bättre på denna datamängd.

#### Resultat

I litteraturen finns några undersökningar redovisade beträffande trycksondering-sensitivitet. Ladanyi har genomfört teoretiska studier, laboratorieförsök och fältförsök med spetstrycksond. Han har bl a påvisat att i sensitiva jordar är bärighetsfaktorn lägre än i motsvarande icke sensitiva jordar. Vidare har NGI i sin internrapport nr 816 redovisat följande principfigur.



FIGUR 2. Principfigur trycksondering - sensitivitet enligt NGI.

Medelvärden för några variabler i de olika sensitivitetssklasserna framgår av Tabell 4.

TABELL 4. Medelvärde för några olika variabler med olika sensitivitetssklasser.

SENSITIVITETSKLASS	DJUP (m)	SKJUVHÅLLFASTHET (kPa)	TRYCKSOND TOTALMOTSTÅND (kN)	TRYCKSOND TILLVÄXT ( $^{\circ}$ )
0-20	6,8	22	2,2	10,1
20-40	6,7	22	1,2	5,2
40-60	8,8	23	1,3	4,9
60-100	8,8	21	0,95	2,3
>100	7,5	20	0,75	0,51
Alla	7,6	22	1,4	5,3

Av Tabell 4 framgår att datamängden är relativt homogen, dvs medelvärdena för djup och skjuvhållfasthet är nära nog lika i alla sensitivitetssklasser. Samtidigt är trycksondmotståndet och tillväxten av detta avtagande vid ökande sensitivitet. Detta torde innebära att vid högre sensitivitet erhålls en lägre bärighetsfaktor. Detta påstående testades med s k multipelregressionsanalys på ett samband av typen

$$q_{tot} = a + b \cdot \tau_{fu} + c \cdot z$$

där

$q_{tot}$  = totalmotståndet

$z$  = djupet

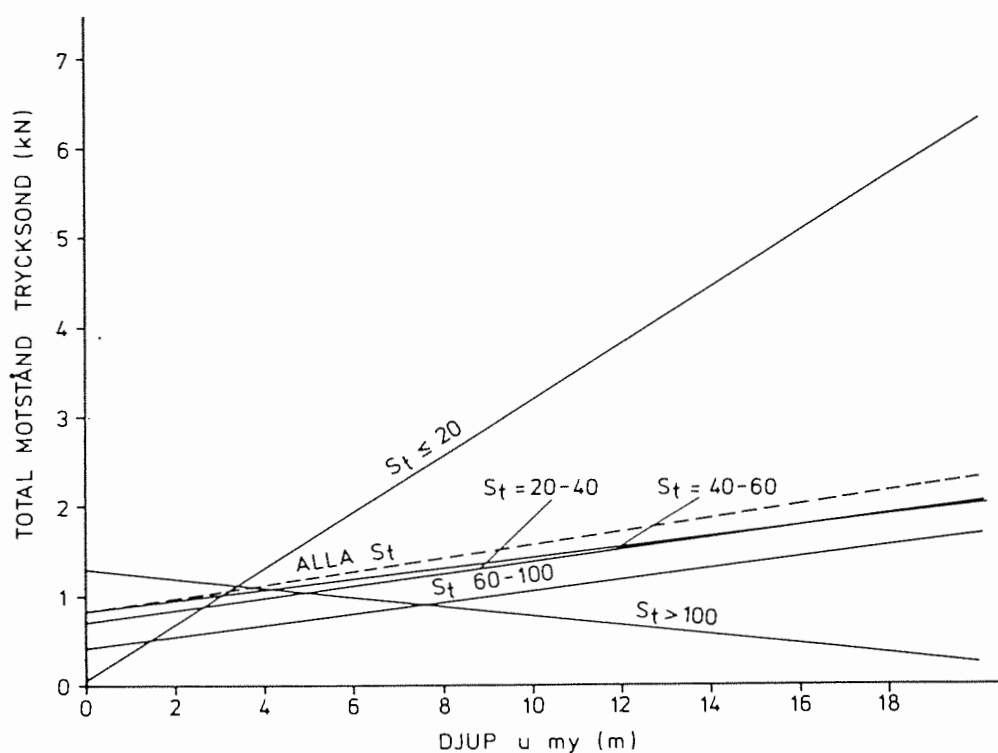
$a, b, c$  = konstanter

Resultatet av denna analys gav följande medellinjer.

TABELL 5. Ekvationer för totalmotståndets beroende av skjuvhållfasthet och djup vid olika sensitivitetsklasser.

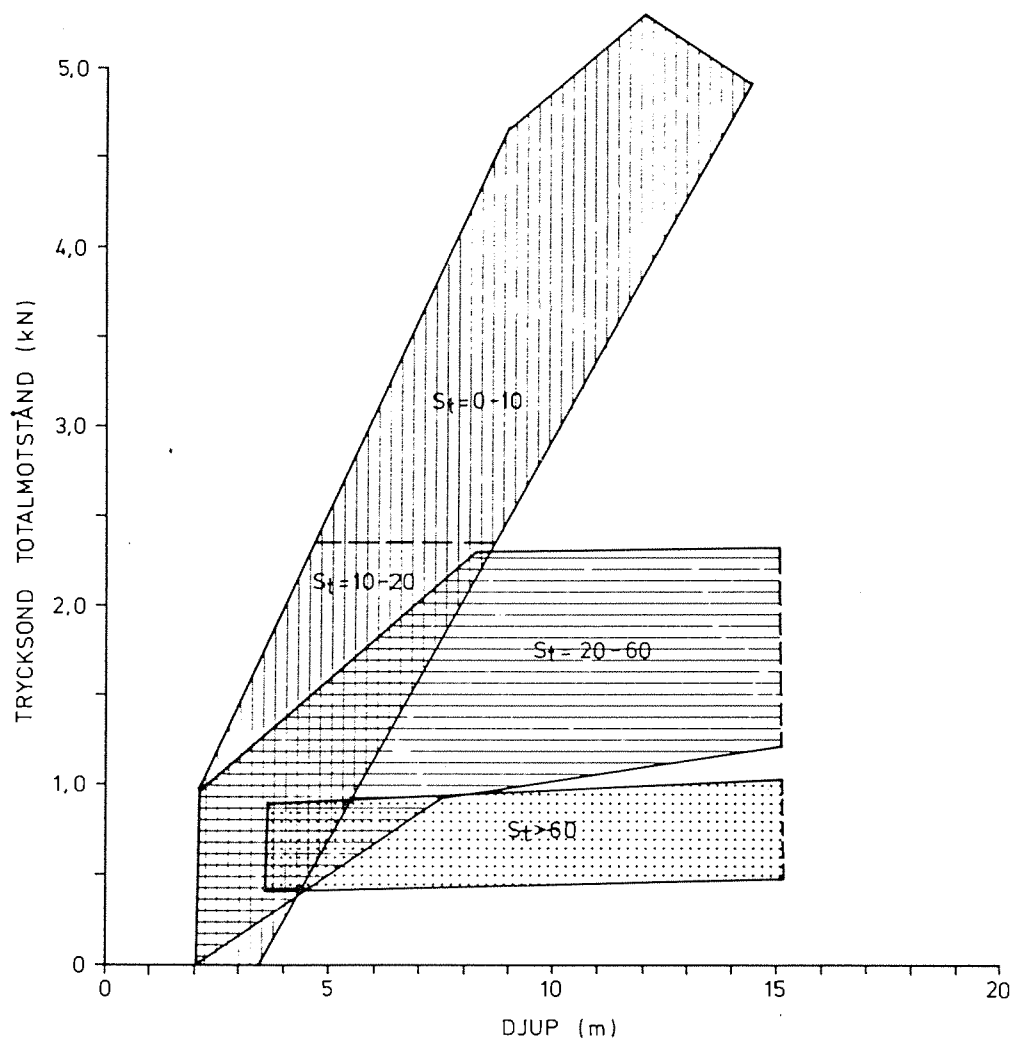
SENSITIVITET	UTTRYCK	KORRELATION
0-20	$q_{tot} = -1,84 + 0,0877 \tau_{fu} + 0,311 z$	0,94
20-40	$= -0,35 + 0,0485 \tau_{fu} + 0,068 z$	0,68
40-60	$= -0,94 + 0,0774 \tau_{fu} + 0,060 z$	0,87
60-100	$= -0,38 + 0,0348 \tau_{fu} + 0,065 z$	0,83
>100	$= 0,71 + 0,0336 \tau_{fu} - 0,081 z$	0,71
Alla	$= -1,09 + 0,0890 \tau_{fu} + 0,072 z$	0,63

Ekvationerna enligt Tabell 5 är inlagda i Figur 3 med respektive medelskjuvhållfasthet införd i ekvationen. Det framgår att vid  $S_t < 20$  får linjen en annan lutning än i de andra sensitivitetsklasserna. Detta tyder på att bärighetsfaktorn är lägre för sensitiva jordar än för icke sensitiva.



FIGUR 3. Regressionslinjer visande trycksonderingsmotstånd som funktion av djupet vid olika sensitivitetsskisser.

En plottning av samtliga observationer i varje sensitivitetsskiss enligt Tabell 3 utfördes. Resultatet av detta användes till att avgränsa giltighetsområden i ett diagram över totaltrycksonderingsmotstånd och djup för de olika sensitivitetsskisserna. Dessa områden är redovisade i Figur 4. Resultatet visar att de olika giltighetsområdena skiljer sig från varandra när djupet överstiger 4 m och vid djup  $> 8$  helt skiljer sig från varandra. Dessutom har giltighetsområdet för sensitivitetsskissen 0-20 delats upp i två delar, nämligen 0-10 och 10-20 eftersom man tydligt kunde urskilja en gräns demellan.

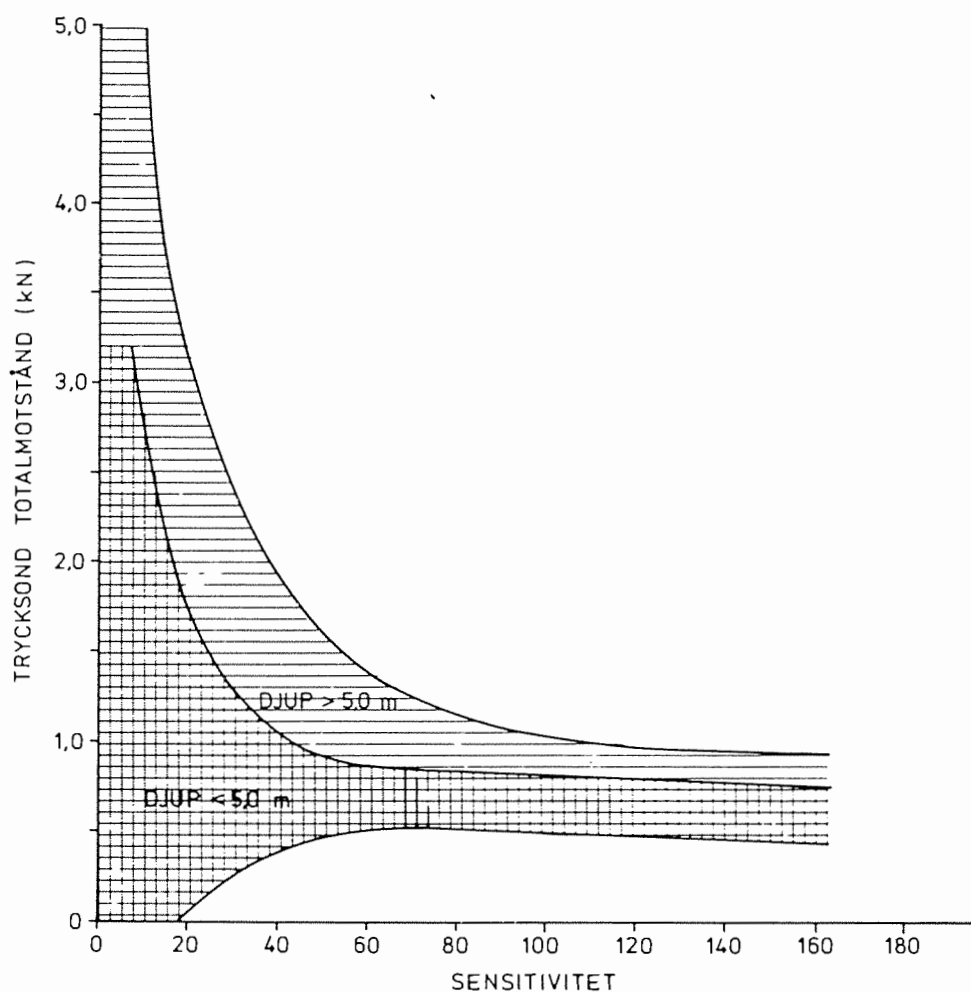


FIGUR 4. Trycksondmotstånd som funktion av djupet vid olika sensitivitetsskisser.

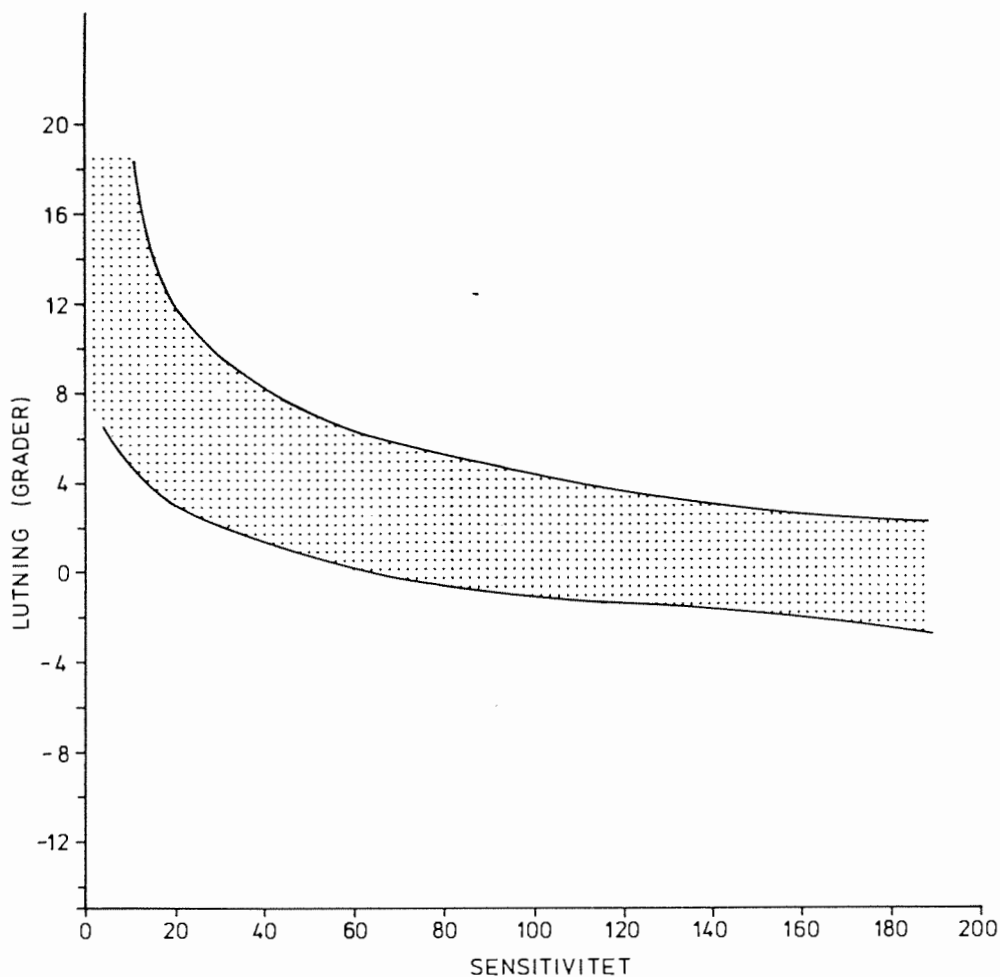
På motsvarande sätt gjordes en plottning av trycksonderingsdiagrammets lutning mot djupet. Även om medelvärdena på lutningen i respektive sensitivitetsskisser visar mindre lutning vid högre sensitivitet så visar plottningen av alla observationer att spridningen är stor inom respektive klass. Dock kan man utläsa att om lutningen är mindre än  $5^{\circ}$  så är sensitiviteten med hög sannolikhet större än 60.

En direkt uppritning av förhållandet totalmotståndsensitivitet och lutning-sensitivitet är redovisat

i Figur 5 och 6. Figur 5 visar giltighetsområden för sambandet mellan totalmotstånd och sensitivitet vid djup  $\leq 5$  m respektive  $\geq 5$  m. Figur 6 visar giltighetsområdena för sambandet mellan lutning och sensitivitet.



FIGUR 5. Trycksondmotstånd som funktion av sensitiviteten vid olika djup.



FIGUR 6. Trycksonderingsmotståndets tillväxt (lutning) som funktion av sensitiviteten.

### Slutsatser

Redovisningen ovan visar att trycksonderingsdiagram kan användas till att grovt uppskatta sensitiviteten på olika djup i ett lerlager. Således kan man ange med relativt stor sannolikhet i vilket intervall, 0-20, 20-60 och större än 60, lerans sensitivitet ligger. Man erhåller större säkerhet i bedömningen av sensitiviteten om den är låg än om den är hög.

## SAMMANFATTNING

Den utförda statistiska bearbetningen av sonderingsresultat visar att man ur sonderingsdata åtminstone från trycksonden kan uppskatta jordens sensitivitet.

Viktsonden visade sig vara för okänslig för att få en bra skattning av sensitivitetsklass. Ändå kan metoden ge en grov uppskattning av sensitiviteten framför allt på större djup under markytan.

Resultat från trycksondering ger däremot en relativt god skattning av jordens sensitivitet och att bedömningen är säkrare för lågsensitiva jordar än för högsensitiva.

Vid användande av den här framtagna statistiska modellen bör det observeras att i strikt mening gäller modellen endast för de i denna undersökning ingående lerområdena. Dock kan modell med försiktighet, och helt med komplettering av data, användas på andra liknande områden.



## LITTERATUR

Trycksonderingsdag 1973, Symposium anordnat av Svenska Geotekniska Föreningen den 5 februari 1973, Särtryck och preliminära rapporter nr 58, Statens geotekniska institut.

Rygg, N, Drejetrykksondering: tolkning av sonderingsresultater. Vegdirektoratet, Veglaboratoriet, Internrapport nr 816, Oslo 1978.

Ladanyi, B, Deep punching of sensitive clays. Proc. Caracas vol 1 1967.

Ladanyi, B, Use of the deep penetration test in sensitive clays. Proc. Mexico City 1969.

Ladanyi, B, Bearing capacity of deep foundations in sensitive clays. Proc. Moscow 1973.