



Det här verket har digitaliserats vid Göteborgs universitetsbibliotek och är fritt att använda. Alla tryckta texter är OCR-tolkade till maskinläsbar text. Det betyder att du kan söka och kopiera texten från dokumentet. Vissa äldre dokument med dåligt tryck kan vara svåra att OCR-tolka korrekt vilket medför att den OCR-tolkade texten kan innehålla fel och därför bör man visuellt jämföra med verkets bilder för att avgöra vad som är riktigt.

This work has been digitized at Gothenburg University Library and is free to use. All printed texts have been OCR-processed and converted to machine readable text. This means that you can search and copy text from the document. Some early printed books are hard to OCR-process correctly and the text may contain errors, so one should always visually compare it with the images to determine what is correct.



Rapport

R130:1985

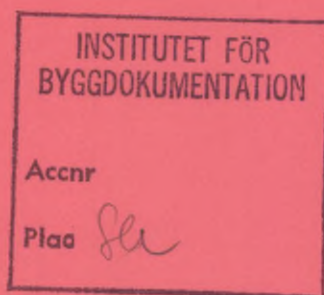
Schaktbarhet

Klassificeringssystem -85

Ove Magnusson

Bo Orre

R
A111



Byggeforskningsrådet

R130:1985

SCHAKTBARHET

Klassificeringssystem -85

Ove Magnusson
Bo Orre

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 830806-4
från Statens råd för byggnadsforskning till SKANSKA AB,
Danderyd.

I Byggeforskningsrådets rapportserie redovisar forskaren sitt anslagsprojekt. Publiceringen innebär inte att rådet tagit ställning till åsikter, slutsatser och resultat.

R130:1985

ISBN 91-540-4484-7
Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm
Liber Tryck AB Stockholm 1985

INNEHÅLL

	SID
FÖRORD	4
BEGREPP OCH DEFINITIONER	5
SAMMANFATTNING	11
1 SYFTE	12
2 RESULTAT	13
2.1 Nytt klassificeringssystem -85	
2.2 Losstagningsmotstånd, rivbarhet	
2.3 Vägverkets klassificeringsnycklar (rev)	
3 BAKGRUND	23
3.1 Allmänt	
3.2 Undersökningsmetoder vid klassificering	
3.3 Ny jordartsindelning och benämning	
3.4 Ny fasthetsklassificering	
3.5 Mark AMA 83	
3.6 Ny schaktbarhetsklassificering i Finland	
3.7 Bearbetbarhet. Vägverkets projekt 2.7, 1976	
3.8 Jordars schaktbarhet. BFR R51:1973	
3.9 Seismik. Vägverkets projekt 2.51, 1970	
3.10 Klassificeringssystem i andra länder	
3.101 Allmänt	
3.102 Västtyskland	
3.103 Östtyskland	
3.104 Sydafrika	
4 UTVECKLING	59
BILAGOR	61
1 Klassificeringssystem -85	
2 Normal kornfördelning hos block- och stenmoräner	
3 Normal kornfördelning hos grovkorniga moräner	
4 Normal kornfördelning hos blandkorniga moräner	
5 Normal kornfördelning hos finkorniga moräner	
6 Normal kornfördelning hos finkornig morän: siltmorän	
7 Normal kornfördelning hos finkornig morän: lermorän	
LITTERATUR	68

FÖRORD

Ett system för klassificering av jordars schaktbarhet har sedan länge varit ett önskemål. Flera projekt har behandlat problemet utan att nå något praktiskt tillämpligt system. Geotekniken behandlar i huvudsak statiska problem. Jordens dynamiska egenskaper har betydelse i samband med t ex sprängning, slagning av pålar, dynamiskt belastade fundament och packning av jord. Växelspelet mellan maskin och jord vid maskinella jordförflyttningar har inte undersökts annat än vid kapacitetsstudier. Alla de försök som gjorts att uttrycka schaktbarhet, bearbetbarhet, bärighet i konkreta system vittnar om att det är ett komplicerat problemområde.

1981 antogs i Sverige ett nytt, internationellt anpassat system för indelning och benämning av jordarter. Systemet har införts i Mark AMA 83 varför det har blivit än mer angeläget att utarbeta ett klassificeringssystem för schaktbarhet.

Projektet har kunnat genomföras inom tids- och kostnadsramar genom medverkan och andra insatser från flera håll. Britt-Louise Qvarnström har tålmodigt ordbehandlat en mängd koncept och manuskript.

Vägverket har välvilligt ställt ett omfattande material från tidigare interna projekt till vårt förfogande. Representanter för Vägverket har dessutom under projektarbetet lämnat värdefulla synpunkter.

Jacobson & Widmark, Marksektionen har i projektets inledning bidragit finansiellt.

Ett speciellt problem - "översättning" av jordartsbenämningar från gammalt till nytt system - har kunnat lösas tack vare medverkan av Carl-Eric Wiesel, Statens geotekniska institut.

Tauno Hailikari och Sven-Ake Blomberg vid Väg- och vattenbyggnadsstyrelsen i Finland har kommenterat det finska klassificeringssystemet och utvecklingen av detta, vilket varit till stor nytta för vårt arbete.

Vi riktar ett varmt tack till alla medverkande.

Stockholm 1985-06-06

Ove Magnusson

Bo Orre

BEGREPP OCH DEFINITIONER

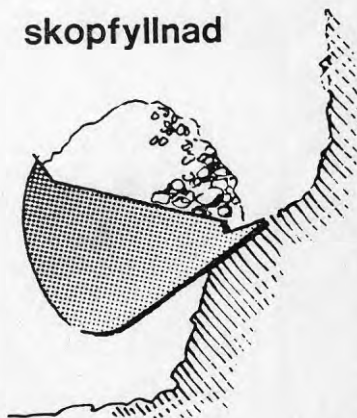
Schaktbarhet

Med schaktbarhet avses ett jordmaterials kapacitetspåverkande egenskaper vid anpassning och lastning. Schaktbarheten bestäms av jordmaterialets motstånd mot losstagnation och inverkan på skopfyllnad enligt illustration nedan. (VVs Bearbetbarhet).

motstånd mot losstagnation

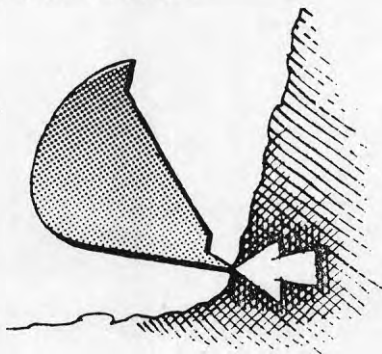


skopfyllnad



Losstagningsmotstånd

Jordmaterialets "motstånd mot losstagnation" påverkar en schaktmaskins (skopa, blad eller rivartand) möjlighet att tränga in i och sönderdela jordmaterialet.



Motstånd mot losstagnation är betingat av materialets

- lagringstäthet
- kornstorleksfördelning
- kohesion och cementering
- (tjäle)

Losstagningsmotstånd motsvaras i finskt schaktbarhetsklassificeringssystem av gräv motstånd.

Grävning

Lossgöring av jord och berg.

Rivning

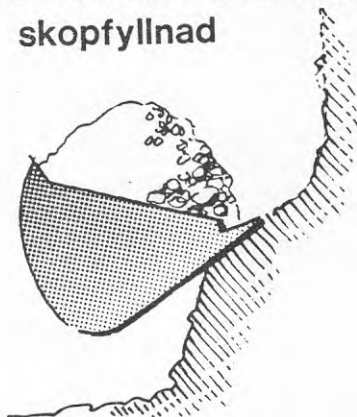
Lossgöring av fast lagrad jord och vittrat berg med hjälp av t ex rivartand.

Anpassning

Separat åtgärd (t ex rivning), som fordras i jordmaterial med stort eller mycket stort losstagningsmotstånd innan skopa kan - delvis eller helt - fyllas med materialet.

Skopfyllnad

Med skopfyllnad menas utlastad fast volym per skopa. Skopfyllnadsgraden är förhållandet mellan skopfyllnad och skopvolym SAE. Skopfyllnadsgraden är således avhängig materialets volymförändring från fast till löst tillstånd och möjligheten att fylla skopan.



Skopfyllnadsgraden beror av jordmaterialets

- lagringstäthet
- kornstorleksfördelning
- blockstorlek i förhållande till skopvolym
- rasvinkel, kohesion och vattenhalt som påverkar "råge"
- klubbighet och påfrysning som medför att material kan kvarstanna i skopan
- schaktets geometriska form.

Schaktbarhetsklasser

Schaktbarheten klassificeras i en skala 1-5 där

- 1 = litet motstånd mot losstagning och hög skopfyllnadsgrad.
- 5 = stort motstånd mot losstagning och liten skopfyllnadsgrad.

Lagringstäthet

Lagringstätheten definieras av

$$I_D = (e_L - e) / (e_L - e_F)$$

(uttrycks vanligen i %)

e_L = portalet i lösaste lagring
 e_F = portalet i fastaste lagring

$$\text{Graderingstal } (C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}})$$

Vattenkvot

Förhållandet mellan vattnets massa och fasta fasens massa.

(Utdrag ur Geotekniska laboratorieanvisningar, del 2 BFR, T21:-
 REV 1984)

Berg - del av jordskorpan som kännetecknas av stor hårdhet och låg porositet. (Berg kan normalt ej lossgöras genom grävning).

Jord - del av jordskorpan som bildats av sönderdelat berg eller rester av organismer. Jord kan normalt lossgöras genom grävning.

Mineraljord - jord som består av sönderdelade eller kemiskt omvandlade bergarter.

Fraktion - viss kornstorleksgrupp.

Blockfraktion - kornstorlek större än 600 mm.

Stenfraktion - kornstorlek mellan 600 och 60 mm.

Grusfraktion - kornstorlek mellan 60 och 2 mm.

Sandfraktion - kornstorlek mellan 2 och 0,06 mm.

Siltfraktion - kornstorlek mellan 0,06 och 0,002 mm.

Lerfraktion(ler) - kornstorlek mindre än 0,002 mm.

Grovjord - sammanfattande namn på mineraljordsfraktionerna grus och sand.

Finjord - sammanfattande namn på mineraljordsfraktionerna silt och ler.

Organisk jord - jord som består av olika grad förmultnade växt- och djurrester.

Morän - jord som transporterats av landis och avsatts på platsen vid isens smältning.

Sedimentär jord - jord som sedimenterat i vatten och avsatts på botten (vattensediment) eller som sedimenterat i luft och avsatts på land (vindsediment).

Jordart - jord som genom bildningssättet har en typisk sammansättning och typiska egenskaper.

Mineraljordart - jordart där mineraljorden har dominerande betydelse.

Organisk jordart - jordart där den organiska jorden har dominerande betydelse.

Block- och stenjordart - block- och stenfraktioner ingår med mer än 40 viktprocent av total jordmängd.

Grovkornig jordart - finjordshalt mindre än 15 viktprocent av material mindre än 60 mm samt block- och stenhalt mindre än 40 viktprocent av total jordmängd.

Blandkornig jordart - finjordshalt mellan 15 och 40 viktprocent av material mindre än 60 mm samt block- och stenhalt mindre än 40 viktprocent av total jordmängd.

Finkornig jordart - finjordshalt större än 40 viktprocent av material mindre än 60 mm samt block- och stenhalt mindre än 40 viktprocent av total jordmängd.

Blockjord - block- och stenfraktioner ingår med mer än 40 viktprocent av total jordmängd och blockfraktionen dominerar.

Stenjord - block- och stenfraktioner ingår med mer än 40 viktprocent av total jordmängd och stenfraktionen dominerar.

Grus - grovkornig eller blandkornig jordart där grusfraktionen dominerar.

Sand - grovkornig eller blandkornig jordart där sandfraktionen dominerar.

Silt - finkornig jordart där lerhalten är mindre än 20 viktprocent av material mindre än 0,006 mm.

Lera - finkornig jordart där lerhalten är större än 20 viktprocent av material mindre än 0,06 mm.

Ensgraderad jord - graderingstalet C_U är mindre än 5.

Mellangraderad jord - graderingstalet C_U är 5-15.

Månggraderad jord - graderingstalet C_U är större än 15.

Torv - organisk jordart, bildad sedentärt av mer eller mindre förmultnade växtrester.

Dy - organisk jordart, bildad som sediment i näringsfattigt vatten, består huvudsakligen av utfällda kolloidala humusämnen (dysubstans).

Gyttja - organisk jordart, bildad som sediment i näringsrikt vatten, består huvudsakligen av mer eller mindre omvandlade växtdelar och djurrester (detritus).

Glacial jordart - jordart som bildats av material avsatt direkt av landis eller efter transport av smältvatten från landis.

Postglacial jordart - jordart som bildats efter den senaste landisens avsmältning och som avsatts i icke-glacial miljö.

Friktionsjord - jord vars skjuvhållfasthet till övervägande del beror av friktion mellan kornen.

Kohesionsjord - jord vars skjuvhållfasthet, förutom av friktion också beror av kohesion.

(Utdrag ur MR 83 Mark, Ersättningsregler - markarbeten)

Jordschaktning

Schaktning av jord och berg som kan lossgöras utan sprängning med maskin av den storlek som kontraktsarbetena enligt fackmässigt bedömande kräver.

Bergschaktning

Schaktning av jord och berg som inte kan lossgöras med maskin av den storlek som kontraktsarbetena enligt fackmässigt bedömande kräver, utan måste sprängas.

(Utdrag ur EM 84, Ersättnings- och mättningsbestämmelser för väg- och brobyggnadsarbeten)

Med schaktningsbar lerskiffer och sandsten samt schaktningsbart rösbjerg och kalkberg avses material, som kan rivas med ca 30 tons bandtraktor försedd med rivare eller ca 33 tons grävmaskin med skopvolym ca 1,5 m³.

SAMMANFATTNING

Denna rapport redovisar ett nytt hjälpmedel för bedömning och klassificering av schaktbarhet - klassificeringssystem -85. Hjälpmedlet i form av ett enkelt diagram är anpassat för användning i geo- och markprojektering men ger även indirekt underlag för kalkylering och planering av schaktningsarbeten. För direkt användning i kalkylering och planering behöver det nu utarbetade diagrammet kompletteras med bland annat data om olika maskiners kapacitet. Underlag för sådan komplettering torde finnas i riklig mängd - bland annat inom Vägverket. I ett tänkt fortsättningsprojekt bör man därför tämligen lätt kunna nå slutmålet - ett "tvåsidigt" klassificeringssystem med, å ena sidan, geotekniskt betingade parametrar och ingångsdata och, å andra sidan, möjlighet att från fall till fall bedöma lämpliga maskiner för olika och optimala resurser för schaktningsarbeten.

Schaktbarheten bestäms av ett jordmaterials motstånd mot loss-tagning, som i sin tur är en funktion av i första hand materialets skrymdensitet och innehåll av sten och block. Det är därför angeläget - för att man, främst beträffande moräner och annan svårschaktad jord, skall kunna göra en så realistisk klassificering som möjligt - att densiteten bestäms eller bedöms fackmässigt samt att nu gällande regler för benämning med avseende på sten- och blockhalter tillämpas. Härvidlag bör begreppen blockfattig, normalblockig och rikblockig inte användas.

Andra parametrar, som med vissa naturliga begränsningar kan användas som vägledning vid klassificering är sonderingsmotstånd och seismisk gånghastighet. Diagrammet har dessa parametrar som en av flera "ingångar".

Det nu utarbetade hjälpmedlet för bedömning av schaktbarhet baseras uteslutande på "gammal" kunskap. Härvidlag väger Vägverkets material och det finska klassificeringssystemet tyngst. Det sistnämnda har egentligen - eftersom det baseras på en jordarts-klassificering som överensstämmer till nästan 100% med det i Sverige nu gällande - en särställning som bakgrundsmaterial.

Projektet syftar till ett nytt system för klassificering av schaktbarhet. Systemet avses vara anpassat för praktisk användning vid geo- och markprojektering samt vid kalkylering och planering av schaktningsarbeten. Den Mark AMA 83 som nu föreligger och en därmed ökande tillämpning av "ny modell" för redovisning av geoutredningar har aktualiserat behovet av ett klassificeringssystem för schaktbarhet. Anledningen är att geo- och markprojektörer i förfrågningsunderlag bör lämna uppgifter om markförhållanden och förutsättningar samt föreskrifter för schaktning så att de i varje särskilt fall aktuella schaktningsarbetena är kalkylerbara.

Uppgifter som anges i beskrivning och på ritningar i förfrågningsunderlag skall naturligtvis - så långt det är tekniskt/ekonomiskt motiverat - ge en bild av verkliga förhållanden och förutsättningar. Anbudsgivares bedömningar av bland annat erforderliga maskinresurser och andra arbetsinsatser kan då bli realistiska. Detta ger i sin tur möjlighet till kalkyler och anbud med förhållandevis liten osäkerhet, dvs skillnaden mellan verkliga och kalkylerade kostnader blir minsta möjliga.

Slutmålet är ett "tvåsidigt" klassificeringssystem för schaktbarhet. Systemet skall vara ett hjälpmedel för

* geo- och markprojektörer att på basis av undersökningsresultat eller annan information om markförhållanden bedöma och ange schaktbarhetsklass eller -klasser samt för

* kalkylatorer och andra på "byggsidan" så att de kan bedöma erforderliga maskinresurser, tider och kostnader för schaktningsarbeten.

Det tänkta slutliga systemet ger således, å ena sidan, projekteringsmässiga möjligheter till - från gång till annan - fackmässigt likvärdiga bedömningar och uppgifter om schaktbarhet. Å andra sidan avses systemet samtidigt ge - genom exempel på normalt tillämpliga manuella och maskinella arbetsinsatser - direkt användbar information för att kalkylera och planera schaktningsarbeten. Målet för det nu genomförda projektet är den första delen av det slutliga "tvåsidiga" systemet.

Projektets mål innebär att man även måste studera de undersökningsmetoder som kan användas vid schaktbarhetsbedömningar. Ett flertal metoder såsom olika typer av sonderingar, provgrovsgrävning, isotopmätning och seismik kan vara lämpliga i sammanhanget.

2 RESULTAT

2.1 Klassificeringssystem -85

Det nya hjälpmedlet för bedömning och klassificering av jordars schaktbarhet är ett lättanvänt diagram, fig 2.1 samt bilaga 1.

Fältet snett över diagrammet representerar relativt losstagningsmotstånd i olika jordar enligt tidigare utförda försök i Sverige och Finland, fig 2:2. Skalan för losstagningsmotståndet avspeglar de största krafter som behöver ansättas i en jord för dess losstagnning, vilket innebär att fältet egentligen representerar "dimensionerande" relativt losstagningsmotstånd. Eftersom losstagningsmotståndet normalt inte kan mätas är skalan endast en illustration av motståndets variation mellan ytterlighetsfallen "lättschaktad" jord och "mycket svårachaktad" jord.

"Dimensionerande" relativt losstagningsmotstånd är i hög grad beroende av ett jordmaterials skrymdensitet och dess innehåll av sten och block. Båda dessa faktorer kan - och bör - därför bestämmas eller bedömas.

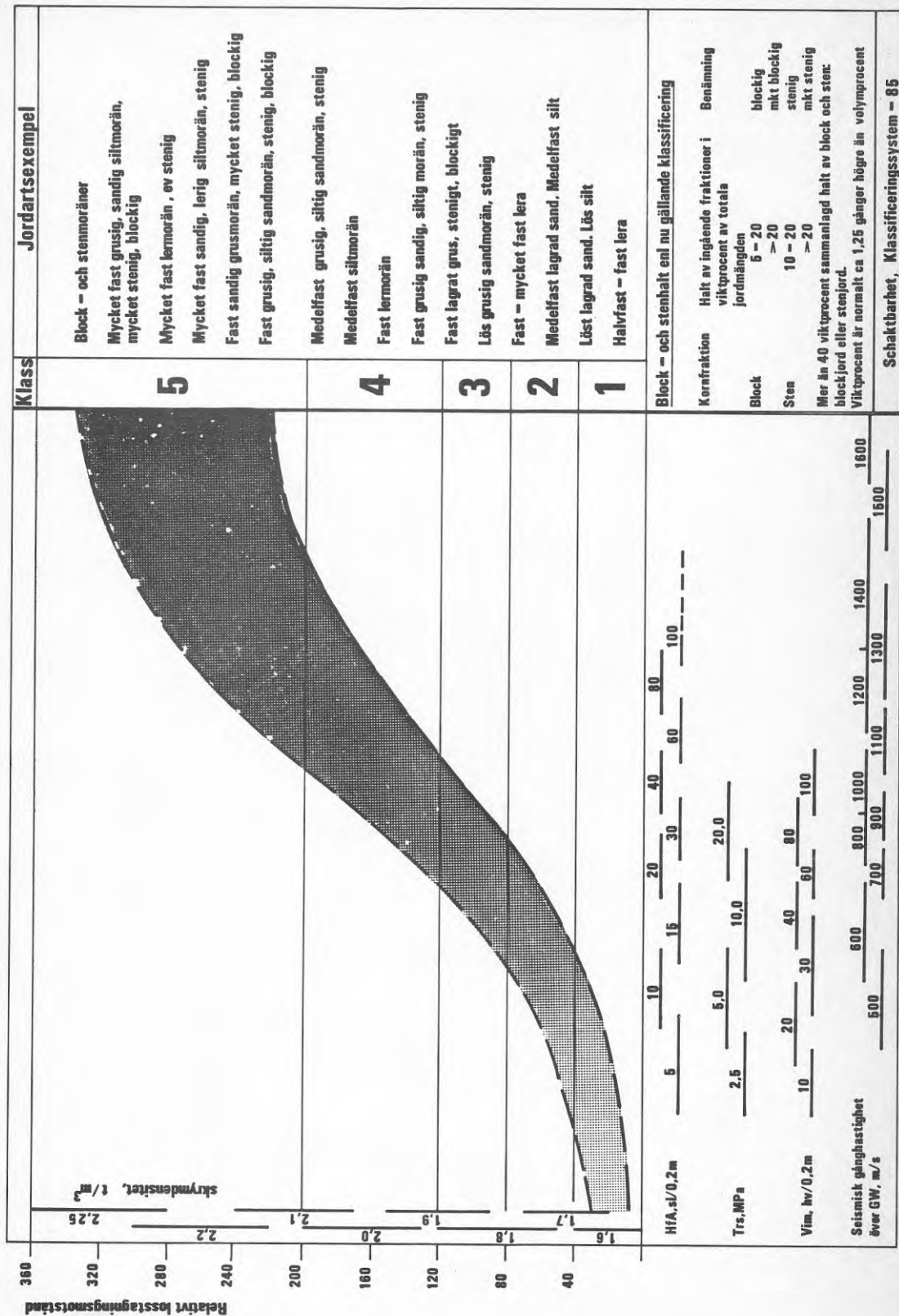
Beträffande fraktionerna sten och block skall det särskilt uppmärksammas, att jordartsbenämningar och -klassificeringar utgår från fraktionsgränserna 200-600 mm för sten och > 600 mm för block. Detta föranleder i sin tur en bestämd avrådan från att använda begreppen blockfattig (<10%), normalblockig (10-20 å 25%) och rikblockig (>20 å 25%) i geoteknisk klassificering i allmänhet och i schaktbarhetsklassificering i synnerhet. Begreppen avser volymprocent material >200 mm (tidigare gräns mellan sten och block) i markytan.

Även begreppet storblockig avser förhållanden i markytan men definitionen - talrika block >1,0 m³ - gör begreppet inte bara användbart utan t o m rekommendabelt eftersom gränsen 1,0 m³ har stor betydelse mät- och ersättningsmässigt. (Jfr kod B5.82 i RA 83 Mark och MR 83 Mark).

Jords relativa fasthet bestäms normalt med sonderingar. Sålunda finns det i jordar mellan "lättachaktade" och "svårachaktade" vanligen resultat av sonderingar av något slag. För bedömning av schaktbarhet finns därför - med naturliga osäkerhetsmarginaler - parametern sonderingsmotstånd för hejarsondering, trycksondering och viktsondering.

Slutligen kan schaktbarhet bedömas med ledning av uppmätt seismisk gånghastighet.

Sammantaget är således det nya diagrammet ett koncentrat av nu känd kunskap om jordars schaktbarhet och de egenskaper som i varierande utsträckning inverkar på schaktbarheten. Därmed är det möjligt, att bedöma och ange schaktbarhet i en 5-gradig skala. Självfallet finns det inte klara gränser mellan klasserna, vilket betyder att man i många fall måste ange t ex "schaktbarhetsklass 3-4". Diagrammet beaktar inte vattens inverkan. Härvidlag får användare av diagrammet själv bedöma om - och i så fall på vilket sätt - vatten i marken eller regn skall beaktas.



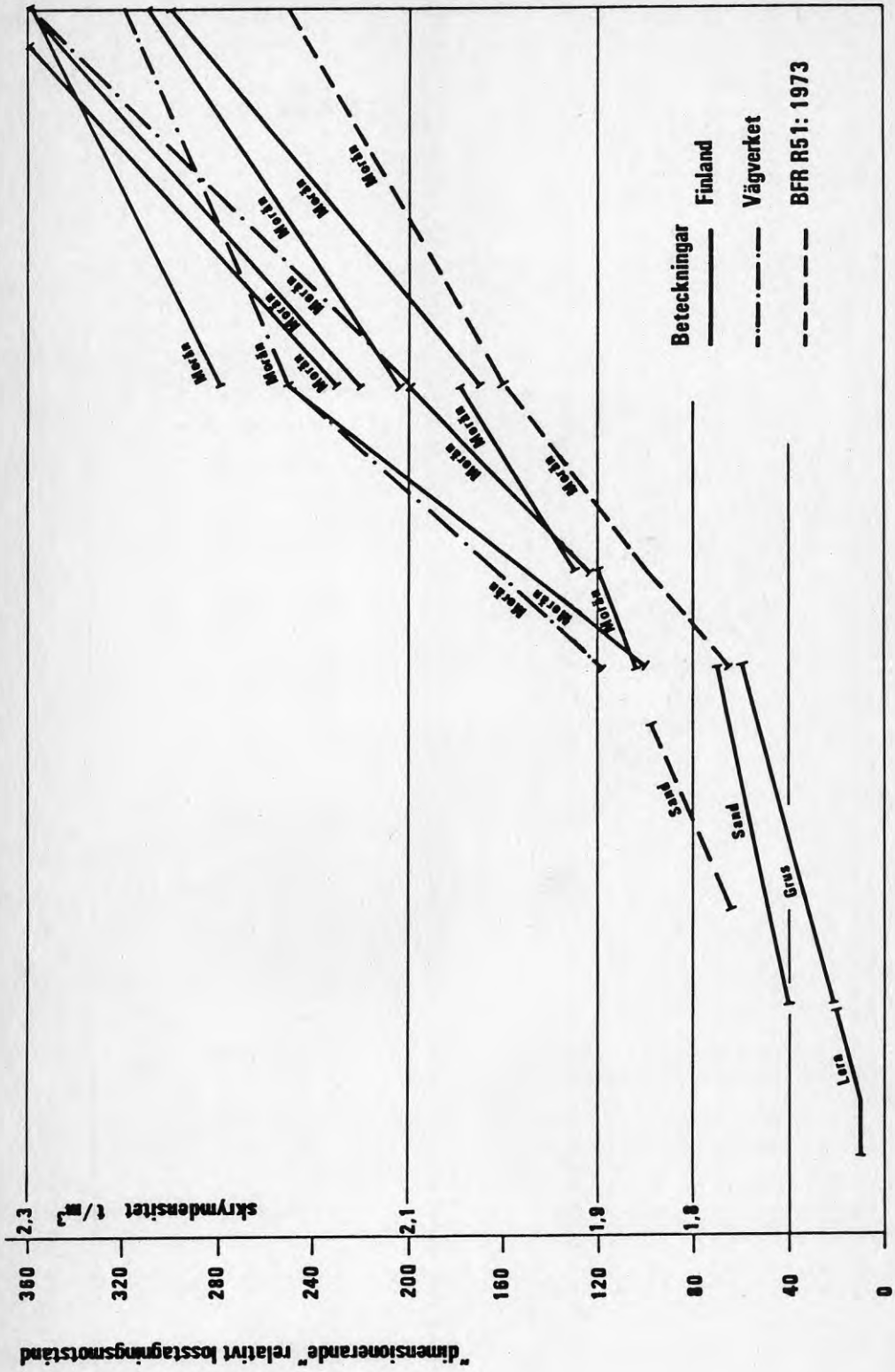
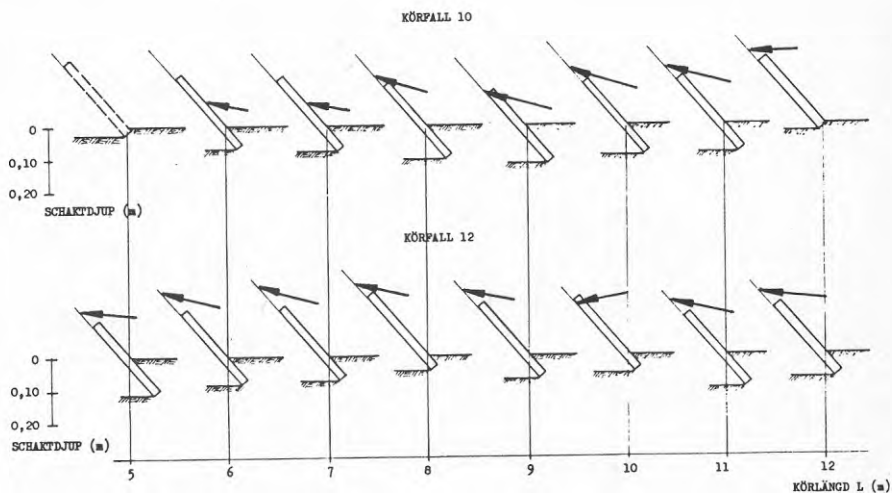


Fig. 2.2 Exempel på relativt losstagningsmotstånd i olika jordar

2.2 Losstagningsmotstånd, rivbarhet

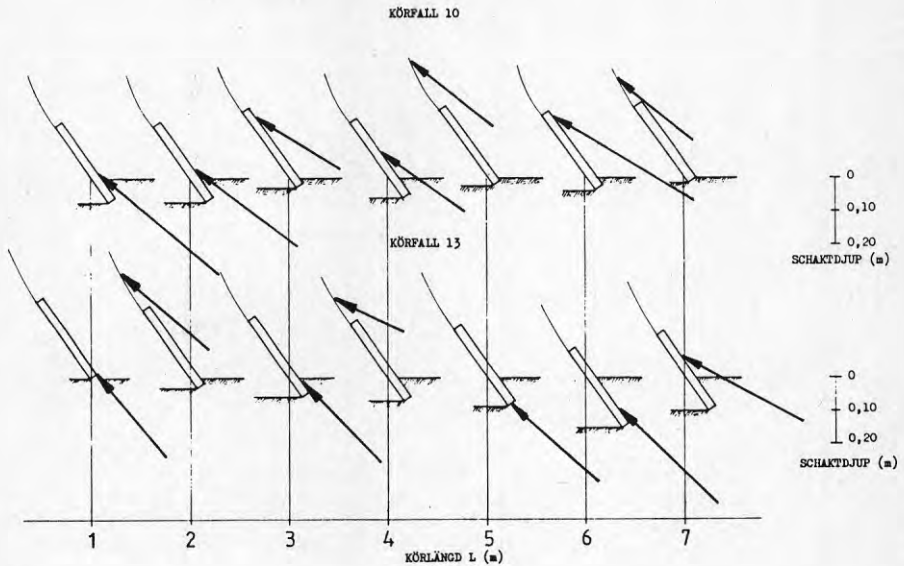
Ett system för klassificering av schaktbarhet måste även beakta att jord med tiden kan övergå i berg och vice versa. (Sedimentärt berg upptar nära 75% av landytan på jordklotet). En morän (bottenmorän) kan vara så fast till följd av inlandsisens tryck att den kan liknas vid berg. En kalksandsten kan ha så låg hållfasthet att den kan jämföras närmast med en lerig sand. I vissa områden, t ex i Saudi-Arabien, kan jordarna också vara saltarrikade i ytlagren, vilket innebär stora svårigheter vid schaktning.

Vid de schaktförsök som utfördes i Bofors 1969 med en schaktbladstraktor BS 19 framkom att den totala schaktkraften har olika angreppspunkter på schaktbladet beroende på losstagningsmotståndet. Vid körning i sand ligger den totala schaktkraften i stort sett horisontellt och ett stycke ovanför markytan. En mindre del av schaktkraften fordras för att bryta loss jorden medan huvuddelen krävs för att skjuta den lossbrutna jorden framför schaktbladet, fig 2.3.



Figur 2.3 Körfallen 10 och 12. Storlek, lutning och läge för totala schaktkraften i sand.

Vid schaktning i morän visade det sig att totala schaktkraften i huvudsak är riktad längs med schaktbladet, med angreppspunkten vid schaktbladets kant. Huvuddelen av schaktkraften går här åt för att bryta upp jorden, fig 2.4.



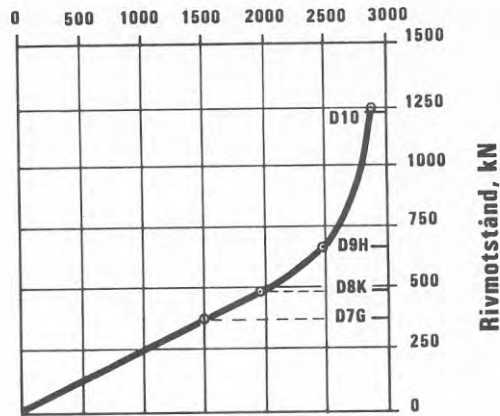
Figur 2.4 Körfallen nr 10 och 13. Storlek, lutning och läge för totala schaktkraften i morän.

I morän påverkar sten- och blockhalten schaktmotståndet och man ser i fig 2.4 var schaktbladet träffar på sten eller block.

När det gäller vissa bottenmoräner och vittrat berg måste loss- tagningen ske med rivare, som är anbringad på en bandtraktor.

Ett hjälpmedel för bedömning av rivbarheten har sedan länge varit baserat på seismisk gånghastighet. Orsaken till detta är att Caterpillar i sin handbok har angivit seismiska gånghastigheter för jordar som är rivbara, måttligt rivbara eller icke rivbara för olika typer av bandschaktare, fig 2.5.

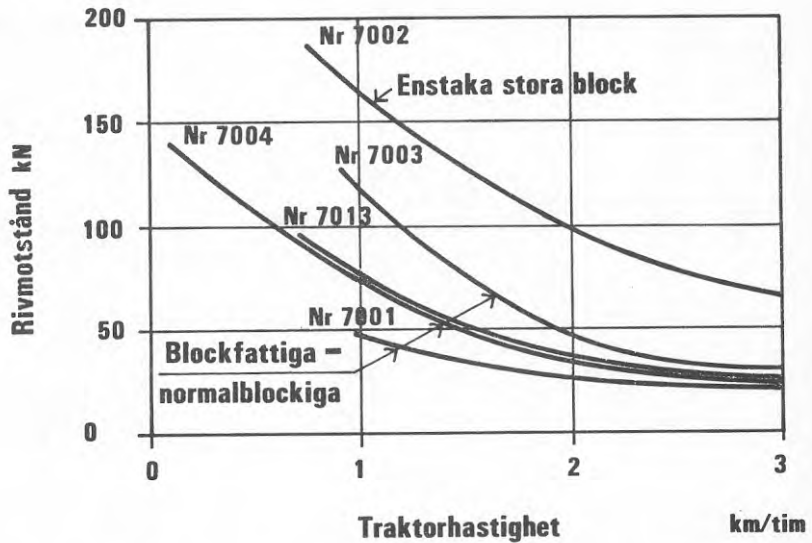
Seismisk gånghastighet, m/s



Figur 2.5 Samband mellan rivmotstånd och seismisk (Caterpillar handbook).

I Vägverkets projekt "Metoder för bestämning av jordarters schaktbarhet" ingick även försök med rivare. Försöken utfördes med en Caterpillar D8H, som var utrustad med instrument för mätning av rivmotståndet mot själva tanden, samt traktorns och bandens hastighet.

Försök utfördes bland annat i sandig morän med vattenkvoter mellan 7-12%, rivdjupet 0,6 m och seismisk gånghastighet 500-600 m/s, fig 2.5.



Figur 2.6 Seismisk gånghastighet och rivmotstånd i sandig morän

Man ser att sten- och blockhalten påverkar resultatet som vid schaktförsöken. Med angiven seismisk gånghastighet på 500-600 m/s skulle materialet tillhöra schaktbarhetsklass 2 dvs det skulle vara relativt lättschaktat. Vägverket konstaterar "att något säkert samband mellan rivmotstånd och seismisk gånghastighet inte kunnat utläsas beroende på blockhaltens inverkan".

I flera länder försöker man finna direkta samband mellan seismiska parametrar och schaktmaskiners kapacitet vid lossgöring av jord och (vittrat) berg. Ofta har seismiska undersökningar blivit aktuella för bedömning av motståndet mot rivning.

I vissa fall kan rivning vara ett alternativ till sprängning, främst då i sedimentärt berg. Det är diskontinuiteter i berget i form av sprickor, släppor och sedimenteringsplan som kan ge rivartanden möjlighet till losstagning. Det är därför viktigt att svaghetsplan och dylikt registreras vid projektering.

Om den seismiska gånghastigheten i sprickigt berg är över ca 2500 m/s kan sprickornas riktning och omfattning vara helt avgörande om berget är rivbart eller ej. Vid gånghastigheter mellan ca 1000 och 2500 m/s kan man grovt bedöma kapaciteten vid rivning. Vid gånghastigheter omkring 1000 m/s och därunder är rivmotståndet huvudsakligen beroende av blockhalten.

På senare tid har sk hydraulspett kommit i bruk vid losstagning av sprickigt berg. Maskinerna har en slagenergi på 5-8 kJ och frekvenser på 350-600 slag/min.

I berg med en sprickfrekvens av 20-40 sprickor/m³ har man lyckats att bryta upp ca 100 m³/h vid maximal uttagning. Normalt får man räkna med ca 60 m³/h.

Lämpligt är att hydraulspettet arbetar ihop med en grävmaskin i pallar om ca 5 m.

Kostnaden för losstagning är i stort densamma som vid sprängning.

2.3 Vägverkets klassificeringsnycklar

De nycklar för klassificering av schaktbarhet som Vägverket tidigare utarbetat och som utgör ett väsentligt bakgrundsmaterial i detta projekt, redovisas med diverse kommentarer i avsnitt 3.7.

Med hänsyn till dels det betydande utvecklingsarbete som ligger bakom nycklarna, dels att nycklarna är en av utgångspunkterna i Vägverkets "bygg-data" har vi i detta projekt ansett det vara motiverat att försöka revidera nycklarna. Revidering är motiverad främst med avseende på den nya jordartsindelningen - med bland annat nya fraktionsgränser för sten och block - som Vägverket avser att börja tillämpa inom kort.

Vårt försök till revidering omfattar två steg. I det första, som redovisas på sid 21, görs enbart en översättning till det nya systemet för indelning och benämning av jordarter. Detta innebär att nycklarna kommer att innehålla flera egendomligheter. I ett andra steg har de två nycklarna sammanslagits till en, samtidigt som parametrarna sonderingsmotstånd, seismisk gånghastighet samt sten- och blockhalter anpassats till det nya "klassificerings-system -85". Det finns anledning påpeka, att anpassningen gjorts tämligen grov samt att den innehållit vissa subjektiva bedömningar. Resultatet bör därför betraktas som ett förslag för vidare bearbetning inom Vägverket. Med det rikhaltiga material och de omfattande erfarenheter från området som finns inom Vägverket bör en sådan bearbetning ganska snabbt kunna leda fram till revideringsunderlag för "byggdata". Därmed vinns den mycket väsentliga fördelen, att schaktbarhetsklassificering fortsättningsvis baseras på endast ett system.

Tabell 2.1 - Vägverkets klassificeringsnycklar efter översättning till det nya systemet för indelning och benämning av jordarter

Grovkorniga jordar (materialgrupp A, B och C)

Schakt- barhet	Hejarsond sl/0,2 m	Seismik m/s (p-våg)		Stenhalt 60-600 mm vikt%	Blockhalt > 600 mm vikt%	Jordarts- exempel
		öGW	uGW			
1	≤ 5	400	1400	0	0	Sand
2	10	500	1500	0	0	Sand Grus
3	50	700	1700	25	7	Mycket stenigt, blockigt grus (eg stenjord)
4	150	1000	2000	35	15	Eg stenjord, blockig
5		1300	2400	40	20	Eg stenjord, blockig eller mycket blockig

Finkorniga jordar (materialgrupp D)

Schakt- barhet	Vikt- sond hv/ 0,2 m	Hejar- sond sl/ 0,2 m	Seismik m/s (p-våg)		Stenhalt 60-600 mm vikt%	Blockhalt > 600 mm vikt%	Jordarts- exempel
			öGW	uGW			
1	≤ 5	≤ 5	-	-	0	0	Lera
2	10	10	600	1400	0	0	Lera, silt
3	> 25	50	900	1600	0	0	Lera
					20	5	Sandig siltmorän
4		150	1200	1800	25	5	Lermorän Lerig siltmorän
5			1500	2200	35	5-10	Sandig grusmorän Mycket stenig, blockig (eg sten- jord)

Tabell 2.2 - Vägverkets klassificeringsnycklar avseende grovkorniga och finkorniga jordar sammanslagna till en tabell med samtidig justering och anpassning till klassificeringssystem -85.

Schakt- barhets- klass	Vikt- sond hv/ 0,2 m	Hejar- sond sl/ 0,2 m	Spets- tryck- sond MPa	Seismik gånghast. ÖGW m/s	Stenhalt 60-600 mm vikt%	Blockhalt > 600 mm vikt%	Jordarts- exempel
1	< 20	< 10	5	400-500			Lera Silt Sand
2	10-60	5-20	5-15	500-700	10		Lera Silt Sand
3	30-100	15-40	10-20	600-900	10-20	5	Grus, stenigt Sandig silmorän, stenig Grusig sandmorän, stenig
4	> 60	30-120	20	700-1300	20-30	5-10	Sandig grusmorän, mycket stenig, blockig Siltmorän, mycket stenig, blockig Lermorän Grusig siltig sandmorän, mycket stenig, blockig
5		> 80		1100-1600	30-40	10-20	Grusig sandig siltmorän, mycket stenig, blockig (stenjord) Sandig grusmorän, mycket stenig, blockig (stenjord) Block- och sten- moräner

3 BAKGRUND

3.1 Allmänt

Det system som tidigare använts i Sverige för klassificering av schaktbarhet i jord upprättades då man huvudsakligen använde handredskap vid schaktningsarbeten. I brist på annan och bättre indelning träffar man än idag på systemet, som upprättades av Svenska Teknologföreningen 1959.

Enligt det systemet anges schaktbarheten i direkt relation till vissa handverktyg som skyffel, spade, korp, kil varvid jordarna indelas i följande fyra grupper:

- Klass A Lös jord: Jord, schaktbar med skyffel. Hit hänförs bl a humusjord (dy, gyttja, matjord och dylikt), lös lera, lös mjäla, lös sand, fint grus.
- Klass B Fast jord; Jord, som måste löstas med spade eller stålslunga. Hit hänförs bl a fast lera, fast mjäla, fast sand, grovt grus, lös pinnmo.
- Klass C Hård jord; Jord, som måste löstas med korp eller spett. Hit hänförs bl a hård lera, grus med mycken eller stor sten, hård pinnmo.
- Klass D Mycket hård jord: Jord som måste löstas medelst kilning eller sprängning. Hit hänförs mycket hård pinnmo och liknande jordarter.

Under Ingenjörsvetenskapsakademien (IVA) sorterar transportforskningskommissionen (TFK) som i sin regi bedriver utredningsarbete i fråga om transporter vid större anläggningsarbeten. En anledning till TFKs utrednings- och utvecklingsarbete är att maskinsidan har utvecklats och alltjämt utvecklas snabbt - traktorer i den tunga klassen väger nu nästan dubbelt så mycket som för 10 år sedan och motorstyrkan har på samma tid fördubblats.

I en rapport från TFK, "Jordartsklassificering och maskinell schaktning" (1966), skisseras ett förslag till forskning på detta område och hur ett tänkt klassificeringssystem skulle gälla schaktning i vidare bemärkelse. Där står bl a

"Ett allmänt accepterat klassificeringssystem i avseende på schaktbarhet är enligt arbetsgruppens åsikt av stor betydelse för all schaktningsverksamhet och skulle eliminera mycken osäkerhet vid entreprenadarbeten samt möjliggöra omedelbar insättning av rätt arbetsutrustning vid påbörjandet av schaktarbeten. Dessutom skulle det underlätta utvecklingen av mer effektiva maskiner och därvid nedbringa schaktningskostnaderna".

Vid denna tid var AB Bofors i färd med att utveckla en schaktbladstraktor, BS 19, på basis av rön och erfarenheter från arbetet med stridsvagn S. Institutionen för geoteknik vid KTH fick 1968 ett anslag från BFR för att kunna delta i och bistå Bofors i de fältförsök i full skala som planerats.

Avsikten var att med en instrumenterad schaktbladstraktor av typ Bofors BS 19 utföra schaktförsök i olika jordar. En utförlig geoteknisk undersökning hade utförts på provfälten. Genom laborieförsök och kompletterande försök i fält kunde de vid schaktningen ingående parametrarna bestämmas.

Ur uppgifter om schaktkraftens storlek kunde ett samband ställas upp mellan de olika jordarna.

Ett förslag till schaktbarhetsklassificering baserat på viktsondering, hejarsondering och seismisk gånghastighet upprättades. Se vidare 3.8.

Samtidigt pågick i Finland ett liknande arbete med att skapa ett klassificeringssystem. Vid försök i fält använde man sig av en instrumenterad hydraulgrävare. Se vidare 3.6.

1969 tillsatte dåvarande Statens Vägverk en arbetsgrupp som skulle utreda möjligheterna att klassificera de jordegenskaper, som påverkar massförflyttningsprocessen. Se vidare 3.7.

Man brukar skilja mellan olika schakttyper och maskininsatser enligt nedanstående tabell, Thurner (1971).

Tabell 3.1 - Avgörande faktorer vid olika schakt- och maskintyper

Schakttyp	Maskintyp	Avgörande faktorer
Öppen schakt	Motorschaktvagn Bandtraktor - dragen schaktvagn Hjulschaktare Bandschaktare Hjullastare Grävmaskin	Bärighet Motstånd mot losstagning - lagringstäthet - blockhalt Transportvägar
Schakt med begränsat utrymme	Grävmaskin med djupgrävningsaggregat gripskopa hydropellaggregat	Motstånd mot losstagning - stenhalt - blockhalt Utrymme
Undervattenschakt	Grävmaskin Dragline Mudderverk med paternosterverk enkelskopa gripskopa sugkutter Sandsugningsfartyg	Motstånd mot losstagning - stenhalt - blockhalt - lerskikt Utrymme

Som synes finns i Sverige idag flera icke entydiga klassificeringssystem vilka har sådana brister att de blir svåra att använda. Ett nytt samordnat och objektivt klassificeringssystem skulle göra det möjligt för olika parter att inte bara entydigt bedöma schaktbarheten utan även kunna kommunicera om schaktbarhet i jord.

I Finland blev behovet av ett nytt klassificeringssystem påtagligt i och med att man utarbetade en ny "geoteknisk jordartsklassificering". Även i Sverige har man nu övergått från en gammal jordartsinledning (Jordartskommittén, 1953) till en ny, upprättad av Svenska geotekniska föreningens (SGF) laboratoriekommitté 1981. De tidigare systemen för schaktbarhetsklassificering var uppgjord efter den gamla jordartsindelningen och är därför inte användbara.

Det är därför naturligt att en ny schaktbarhetsklassificering baseras på den nya jordartsindelningen, som är internationellt anpassad. Efter en tids "inkörning" i Sverige kan klassificeringen även användas vid bedömningen av förutsättningarna för schaktningsarbeten utomlands.

3.2 Undersökningsmetoder vid klassificering

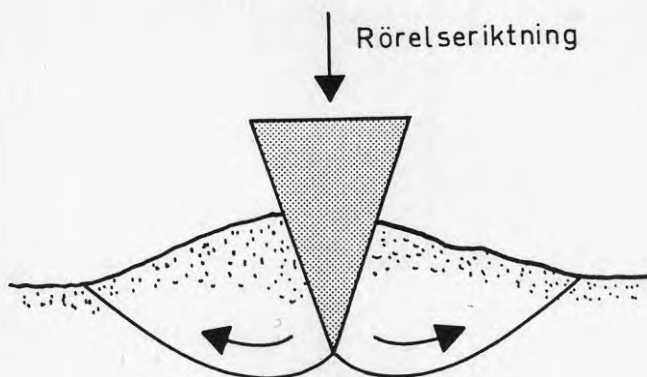
När man skall bygga hus, vägar, konstbyggnader, kraftverk m m utför man geotekniska undersökningar vilka ger uppgifter om bl a jordlagerföljd, konsistens hos leror och lagringstäthet hos friktionsjordar. Vanligen - men förhoppningsvis i avtagande takt - anpassar man inte undersökningarna till att vara underlag för bedömning av förutsättningar för schaktning, pålning, spontslagning m m dvs undersökningarna anpassas inte till produktionstekniska "problem".

Däremot inriktas undersökningar mestadels och huvudsakligen på att bestämma lämpligaste grundläggningssätt. Svårigheter i form av förekomst av block, flytbenägna jordar får därför ofta "tolkas" ur resultat från icke anpassade undersökningar.

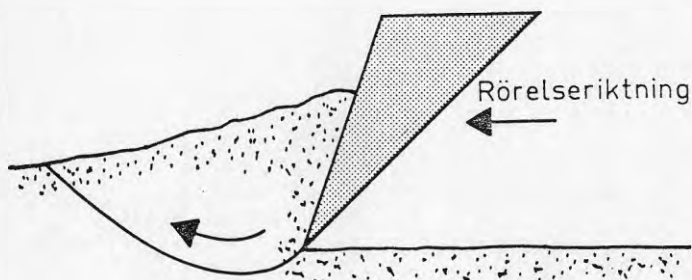
De olika undersökningsmetoder som kan vara aktuella är:

- | | | |
|---|-----------------------|---|
| 1 | Geologisk kartering: | Jord- och bergarter, bildnings-sätt, sten- och blockhalt i dagen, vattenytor |
| 2 | Geobildtolkning: | Jord- och bergarter samt sten- och blockhalt i markytan |
| 3 | Geofysiska mätningar: | Seismik, resistivitet |
| 4 | Sondering: | Viktsond, spetstrycksond, hejarsond, motorslagsond, jord-bergsond |
| 5 | In-situ mätningar: | Pressometer, dilatometer, skruvplatteförsök, vingsond |
| 6 | Provtagning: | Gruskannborr, skruvprovtagare, kolvprovtagare, moränprovtagare, provtagningspetsar |
| 7 | Provgropsgrävning: | Bestämning av jordlagerföljd, sten- och blockhalt, grundvattentans och bergytans läge |

Ingen av ovanstående metoder är lämplig för direkt bestämning av schaktbarhet. Däremot skulle en kil som pressas ner i jorden eller som tvingar fram ett skjuvbrott med hjälp av en sidokraft kunna avspegla motståndet i jorden vid schakt, fig 3.1 och 3.2.



Figur 3.1 Penetration (grävmaskin, rivning)



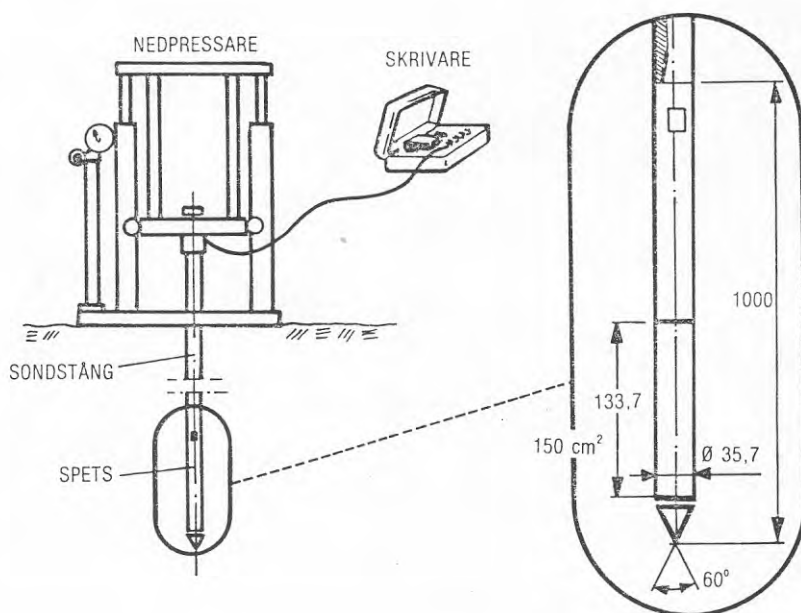
Figur 3.2 Skrapning (schaktblad)

Utvecklingsarbeten under årtionden i många länder har syftat till att finna en metod, speciellt lämplig för schaktbarhetsklassificering. Det har visat att någon sådan metod inte finns. Man tvingas till att använda resultat av gängse geotekniska undersökningsmetoder och då främst sonderingsmetoder, seismik och provgrovsgrävning.

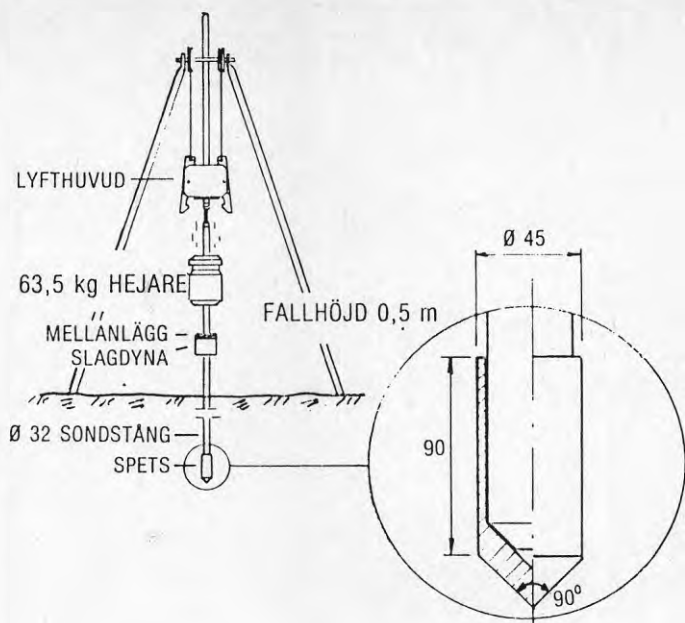
Sonderingsmetoderna är vanliga både i Sverige och utomlands. Flera av dem är standardiserade såsom viktsondering, spetstrycksondering, hejarsondering enligt metod Hfa samt SPT-försök (SPT = Standard Penetration Test).

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

De statiska mätmetoderna ger ofta en mer detaljrik upplysning om fasthetsvariationerna i jorden än de dynamiska. Det kan därför vara lämpligt att använda spetstrycksondering i lös jord och hejarsondering i fast jord, fig 3.3 och 3.4.

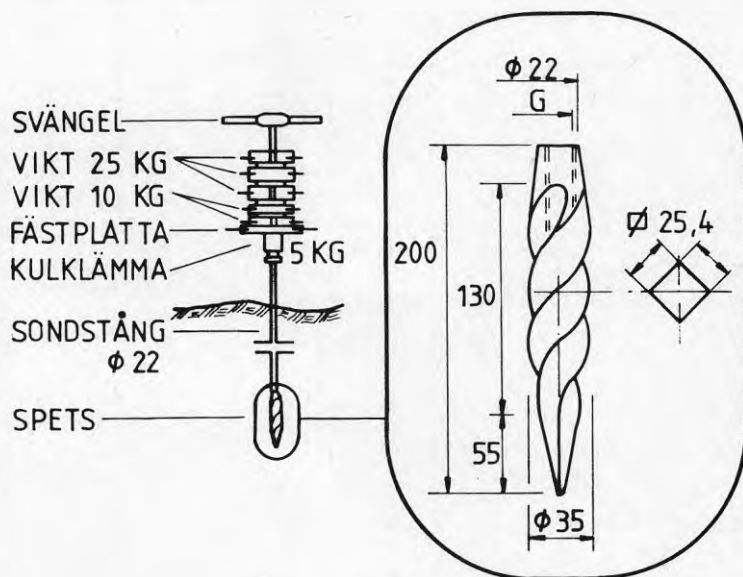


Figur 3.3 Standard för spetstrycksondering (TrS)



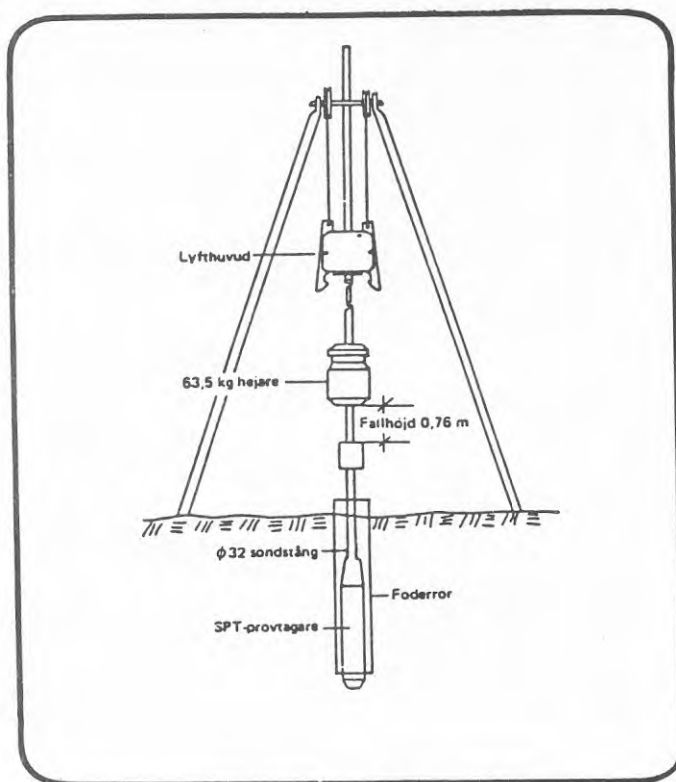
Figur 3.4 Standard för hejarsondering (HfA)

Eftersom viktsondering har använts sedan 1920 och kommer att användas i stor utsträckning även i framtiden är det rimligt att ett klassificeringssystem omfattar viktsond, spetstrycksond och hejarsond, fig 3.5.



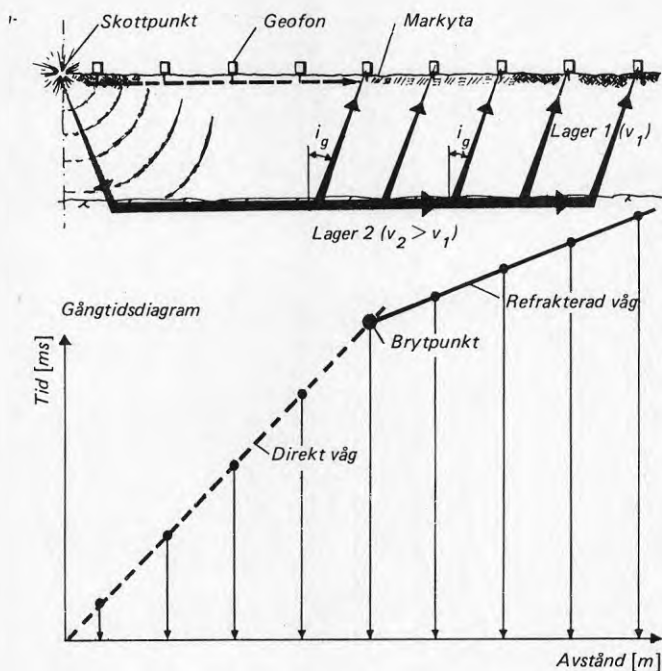
Figur 3.5 Standard för viktsondering (Vi, Vim)

Med tanke på att kunna jämföra klassificeringar för schaktbarhet, gjorda utomlands, baserade på SPT bör även denna metod tas med bland sonderingarna, fig 3.6. Man måste dock gå via tabellen för hejarsondering på sid 42.



Figur 3.6 Standard för SPT-sondering

Vid seismisk mätning kan man bedöma undergrundens sammansättning utan att behöva penetrera jord eller berg. Mätresultatet möjliggör en bedömning av även djupt liggande lagars egenskaper i ostört tillstånd (in situ). Dessutom ger redovisningen - i form av hastighetslager - en kvantitativ bedömning av undergrundens sammansättning och i viss mån även av de olika lagrens egenskaper, fig 3.7.



Figur 3.7 Seismisk mätprincip för två planparallella lager

Seismiska mätningar kompletteras lämpligen med någon form av geoteknisk undersökning. Bästa resultatet uppnås med provgrovar, som placeras så att de geotekniska parametrarna för varje gånghastighetsskikt kan bestämmas.

Provgrävning är en metod som används i stenig och blockig jord till maximalt ca 5 m djup. Vid grävningen får man möjlighet att bedöma schaktbarheten med utgångspunkt från aktuell maskin, sten- och blockhalt, grundvatteninströmning m m.

3.3 Ny jordartsindelning och benämning

Svenska geotekniska föreningens laboratoriekommitté har efter omfattande utredningsarbete lagt fram förslag till ny indelning och benämning av jordarter.

Det nya klassificeringssystemet har till vissa delar varit i praktisk tillämpning i flera år men har slutgiltigt godkänts och antagits av Svenska geotekniska föreningen (SGF) 1981. Följande redovisning är ett kortfattat sammandrag av de från schaktbarhetssynpunkt väsentliga indelningsgrunderna för jordarter.

3.31 Indelning efter sammansättning

Den nya indelningen av mineraljordarter vad avser kornfraktioner är:

Tabell 3.2

Huvudgrupper	Kornstorlek, mm	Undergrupper	Kornstorlek, mm
Block- och stenfraktioner			
Block	> 600	Grovblock	> 2000
Sten	600-60	Grovsten	600-200
		Mellansten	200-60
Grovjordsfraktioner			
Grus	60-2	Grovgrus	60-20
		Mellangrus	20-6
		Fingrus	6-2
Sand	2-0,06	Grovsand	2-0,6
		Mellansand	0,6-0,2
		Finsand	0,2-0,06
Finjordsfraktioner			
Silt	0,06-0,002	Grovsilt	0,06-0,02
		Mellansilt	0,02-0,006
		Finsilt	0,006-0,002
Ler	0,002	Finler	0,0006

För indelning av mineraljordarter efter halt av ingående kornfraktioner gäller följande riktvärden:

Tabell 3.3

Kornfraktion	Halt av ingående fraktioner i viktprocent av totala jordmängden	Halt av ingående fraktioner i viktprocent av grovjord + finjord (d ≤ 60 mm)	Halt av ler i viktprocent av finjorden (d ≤ 0,06 mm)	Jordartsbenämning tilläggsord huvudord	
Block	5-20 > 20			blockig mkt blockig	
Sten	10-20 > 20			stenig mkt stenig	
Grus		20-40 > 40 20-40 > 40		grusig sandig	grus grus
Silt + ler (finjord)		(5-15) 15-40 40	(< 20) (≥ 20) < 20 ≥ 20 < 10 10-20 20-40 > 40	(något siltig) (något siltig) siltig lerig lerig siltig	silt silt lera lera

Jordartsgrupper

Med avseende på block- och stenhalt respektive finjordshalt indelas mineraljordarbetena i fyra huvudgrupper:

block- och stenjordarter	- jordarter som till väsentlig del består av block och sten
grovkorniga jordarter	- grus- och sandjordarter
blandkorniga jordarter	- siltiga eller leriga grus- och sandjordarter
finkorniga jordarter	- silt- och lerjordarter

För indelning i huvudgrupperna gäller följande riktvärden för halt av block + sten respektive halt av finjord:

Tabell 3.4

Benämning	Halt av block + sten i viktprocent av totala jordmängden*	Halt av finjord i viktprocent av material ≤ 60 mm
Block- och stenjordarter	> 40	-
Grovkorniga jordarter	≤ 40	< 15
Blandkorniga jordarter	≤ 40	15-40
Finkorniga jordarter	≤ 40	> 40

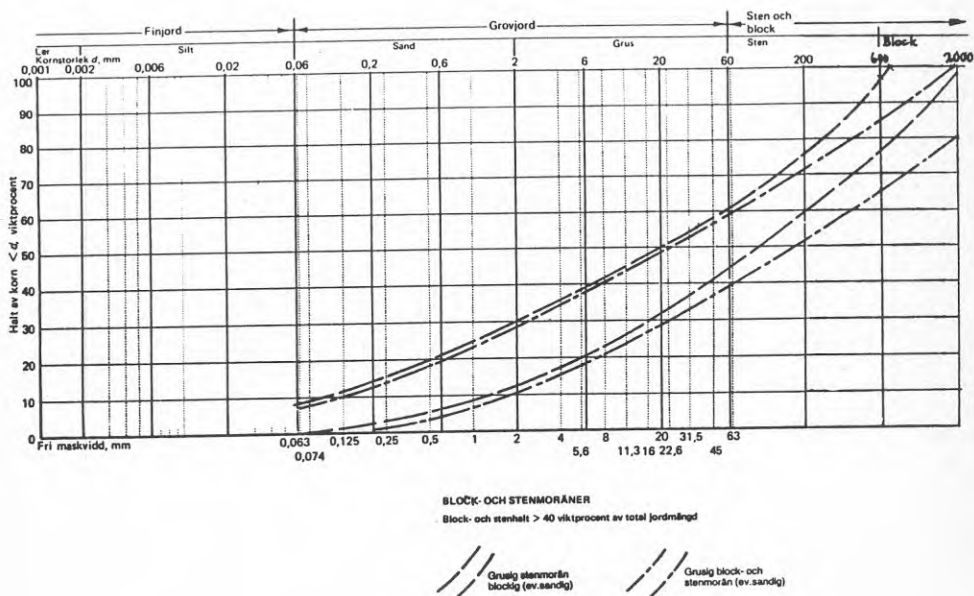
* Värdet 40 viktprocent block + sten motsvarar 30-35 volymprocent för den lagringstäthet som block- och stenjordarter normalt har i naturligt tillstånd.

Moräner

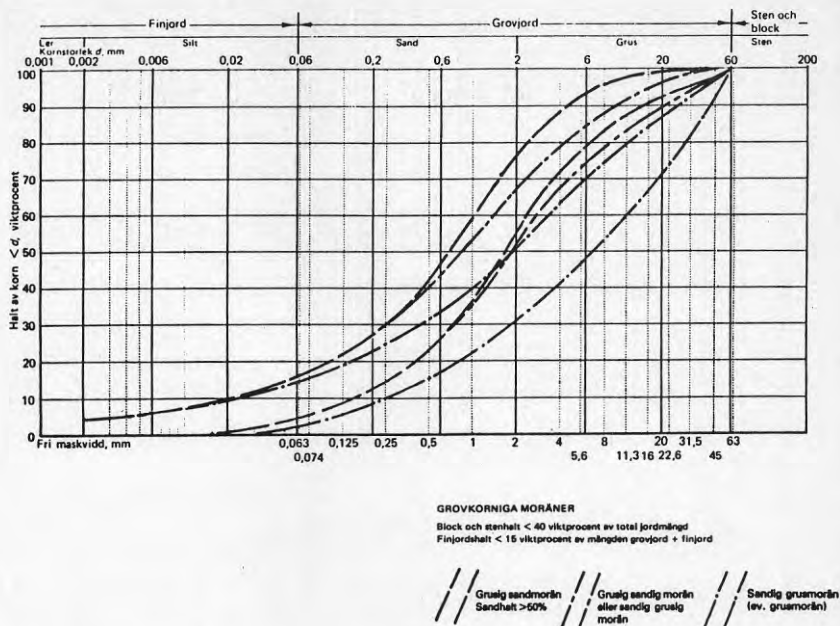
Moräner indelas i:

- Block- och stenmoräner
- Grovkorniga moräner
- Blandkorniga moräner
- Finkorniga moräner

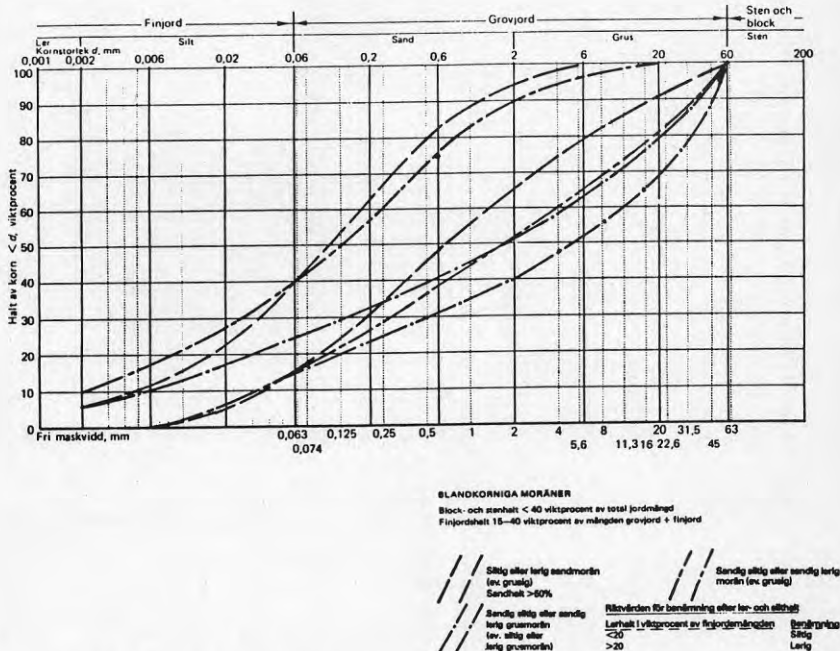
Exempel på frekvent förekommande moräners sammansättning framgår av följande figurer.



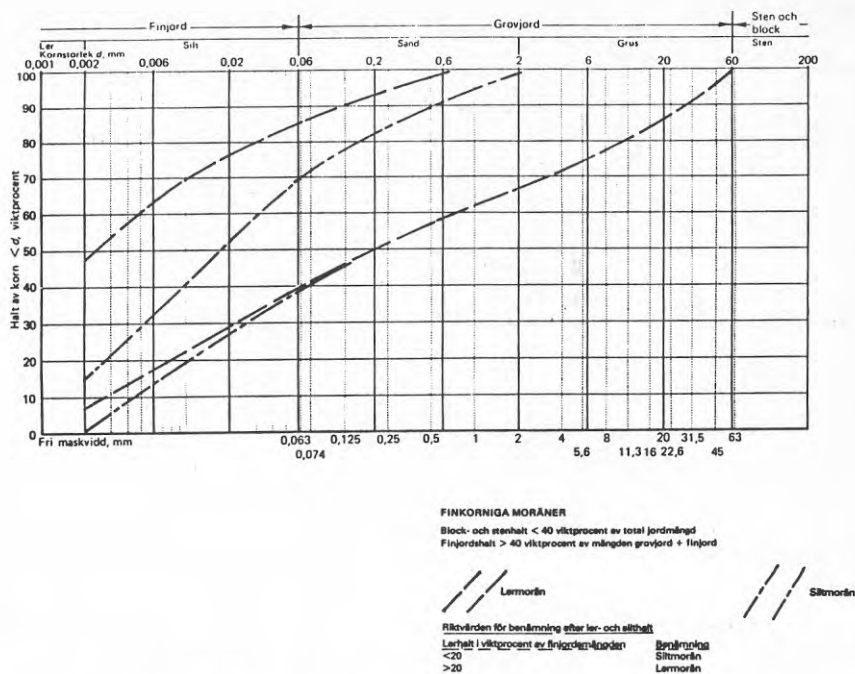
Figur 3.8 Normal kornfördelning hos block- och stenmoräner. (Se även förstoring, Bilaga 2).



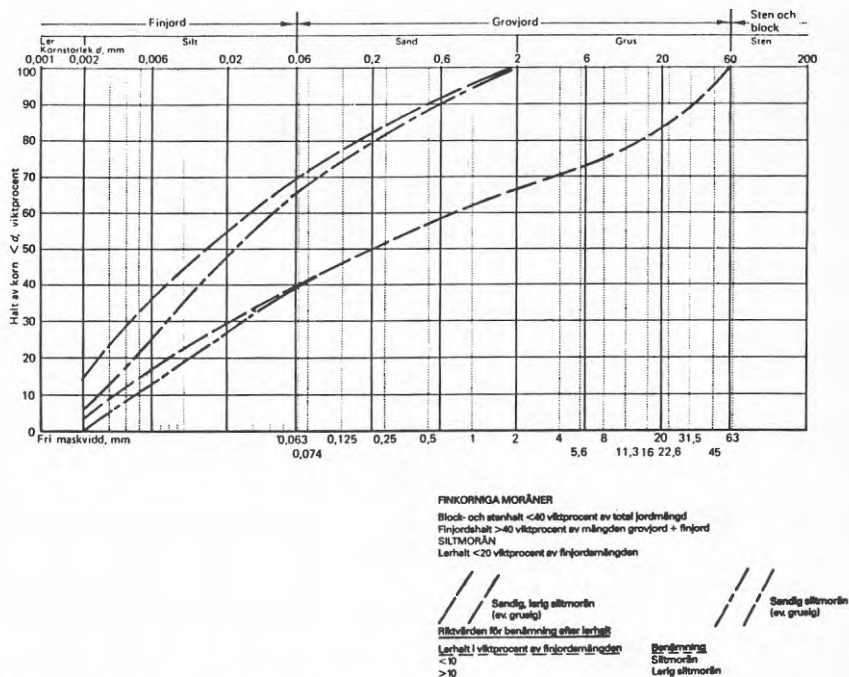
Figur 3.9 Normal kornfördelning hos grovkorniga moräner. (Se även förstoring, Bilaga 3).



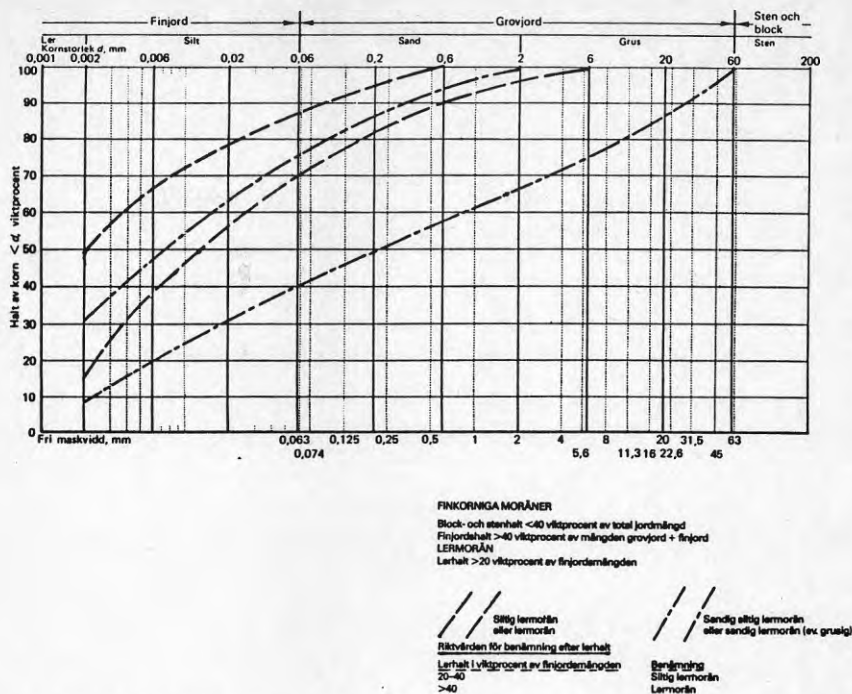
Figur 3.10 Normal kornfördelning hos blandkorniga moräner. (Se även förstoring, Bilaga 4).



Figur 3.11 Normal kornfördelning hos finkorniga moräner. (Se även förstoring, Bilaga 5).



Figur 3.12 Normal kornfördelning hos finkornig morän: siltmorän. (Se även förstoring, Bilaga 6).



Figur 3.13 Normal kornfördelning hos finkornig morän: lermorän.
 (Se även förstoring, Bilaga 7).

Korngradering

De grovkorniga och blandkorniga jordarterna indelas i tre grupper:

- Ensgraderade jordarter
- Mellangraderade jordarter
- Månggraderade jordarter

Indelningsgrunden är storleken av graderingstalet, som i stort sett representerar kornfördelningskurvas lutning.

Riktvärden för indelning av mineraljordarter efter korngradering är:

Benämning	Graderingstal $C_U = \frac{d}{d_{10}}$
Ensgraderad	< 5
Mellangraderad	5-15
Månggraderad	> 15

Med d_{60} avses korndiametern vid vikt mängden 60% på kornfördelningskurvan och med d_{10} korndiametern vid vikt mängden 10% på kornfördelningskurvan.

3.32 Indelning efter geotekniska egenskaper

Hållfasthetsegenskaper

Förenklat indelas jordarterna med avseende på hållfasthetsegenskaperna i två huvudgrupper; friktionsjordarter och kohesionsjordarter.

Friktionsjordarterna kännetecknas av att skjuvhållfastheten i huvudsak byggs upp av friktionen mellan kornen samt att permeabiliteten är relativt hög. Hit räknas de grovkorniga jordarterna samt block- och stenjordarterna.

Skjuvhållfastheten hos friktionsjordarterna påverkas inte sällan av cementering mellan kornen, vilken ger upphov till en skenbar kohesion. Icke cementerad friktionsjord kan i vattenmättat eller helt torrt tillstånd inte ta upp dragspänningar.

Kohesionsjordarterna kännetecknas av att skjuvhållfastheten förutom av viss friktion byggs upp huvudsakligen av kohesion i materialet samt att permeabiliteten är mycket låg. Hit räknas lera samt gyttja, dy och högförmultnad torv.

Silt och blandkorniga jordarter (jfr 2.2) utgör i hållfasthetsavseende en mellanform mellan friktions- och kohesionsjord.

Lagringstäthet

Grovkorniga jordarter indelas vad avser lagringstäthet enligt skalan:

Benämning	Graderingstal I_p
Lös lagring	< 0,3
Medelfast lagring	0,3-0,8
Fast lagring	> 0,8

Odränerad skjuvhållfasthet

Kohesionsjordarterna indelas hållfasthetsmässigt enligt följande:

Benämning	Odränerad skjuvhållfasthet, T_{fu} kPa
Mycket lös	< 12,5
Lös	12,5-25
Halvfast	25-50
Fast	50-100
Mycket fast	> 100

3.33 Samband med andra klassificeringssystem

Det nya systemet för indelning och benämning av jordarter är bl a en anpassning till internationella system. Nu överensstämmer sålunda gällande fraktionsgränser med vad som tillämpas i de andra nordiska länderna. Därmed är det också möjligt att tillgodogöra sig erfarenheter från bl a Finland vad avser ett där sedan 1975 använt system för klassificering av schaktbarhet.

3.34 Det nya systemets tillämpning

Det nya systemet har delvis varit i praktiskt bruk i flera år. T ex har benämning silt används för jord med fraktionsgränserna 0,002-0,06 m m i stället för mjäla (0,002-0,02) och finmo (0,02-0,06).

Kornfraktionsgränserna m m i det nya systemet är intagna i Mark AMA 83. Detta betyder att i den mån en beskrivning i ett förfrågningsunderlag är upprättad "i anslutning till Mark AMA 83" så gäller de nya kornfraktionsgränserna för projektet ifråga. Tillämpningen av det nya systemet i markbyggandet kommer således att öka i samma takt som koder och rubriker i Mark AMA 83 återopas i förfrågningsunderlag eller motsvarande handlingar.

I liknande handlingar upprättade enligt BYA 84 tillämpas däremot det äldre systemet med jordartsbenämningar och fraktionsgränser enligt TNC 59, Geoteknisk ordlista, utgiven år 1975. Detta innebär, att begreppet silt används men att gränserna mellan grus och sten samt mellan sten och block är 20 mm respektive 200 mm.

Vägverket uppger i början av 1985, att man har för avsikt att övergå till det nya klassificeringssystemet inom kort.

3.4 Ny fasthetsklassificering

I Sverige har vi sedan lång tid tillbaka använt begrepp som lös, medelfast eller fast lagring för en friktionsjord. När man skall beräkna en plattas bärförmåga (tillåten grundpåkänning) har man därvid utgått från resultat från viktsondering.

Olika myndigheter tillämpar olika värden vid bedömningen av fasthet. Planverket (Svensk Byggnorm 1980), Vägverket (Bronormerna 1976) samt Statens järnvägar har sålunda gränser enligt viktsonderingsresultat (hv/0,2 m):

Lagringstäthet	Svensk Byggnorm	Bronorm	SJ-norm
Låg	1-15		
Medel		> 10	> 20
Hög	> 15	> 30	

Statens geotekniska institut har i samarbete med Vägverket och Planverket jämfört resultat från olika sonderingsmetoder. Jämförelser har även gjorts med i litteraturen redovisade samband mellan olika sonderingsresultat. Som ett resultat av dessa jämförelser har ett förslag till ny klassificering av friktionsjords fasthet utarbetats, Bergdahl & Ottosson (1984).

Svenska och utländska erfarenheter från beräkningar av plattors bärförmåga och sättningar ur sonderingsmotstånd har även studerats.

Resultat från jämförande undersökningar från ett stort antal försöksplatser i Sverige har bearbetats och sammanställts med hjälp av dator. I följande avsnitt behandlas endast de resultat som har betydelse för schaktbarhetsklassificering.

Sonderingsresultaten har utvärderats och sammanställts för lagertjockleken 1,0 m varvid ett medelvärde har beräknats. Uppenbara extremvärden orsakade av t ex stenar har inte tagits med. Vidare har värden för djup mindre än 1,5 m under markytan och från 0,5 m över till 0,5 m under grundvattenytan inte medtagits eftersom man där ofta har en förändring av undersökningsresultaten som ej enbart kan hänföras till jordens egenskaper.

Totalt har 19 variabler sammanställts för varje försöksplats. Följande sonderingsmotstånd har utvärderats och angetts:

TrS (spetstrycksondering enligt europeisk standard) - q_c (MPa)

Vim (viktsondering enligt europeisk standard) - N_{WST} (hv/0,2 m)

HfA (hejarsondering enligt svensk geoteknisk standard) - N_{20}
(sl/0,2 m)

SPT (Standard Penetration Test enligt europeisk standard) - N_{30}
(sl/0,3 m)

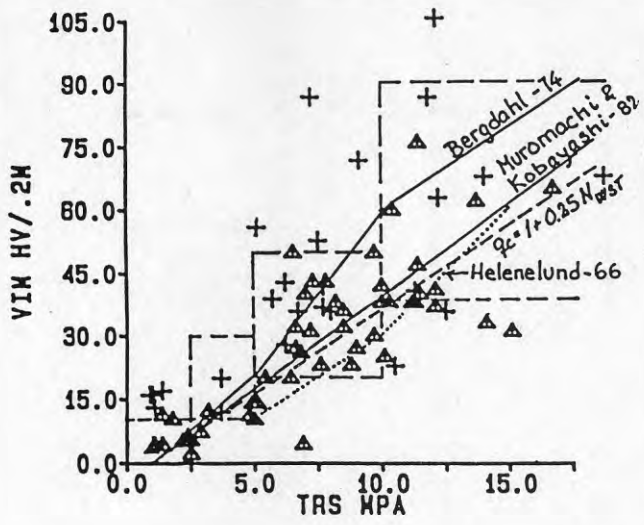
Vid hejarsonderingen redovisas bruttomotståndet dvs totala motståndet utan reduktion för stångfriktion.

Genom att bearbeta resultaten i en dator kan man jämföra olika parametrar och sonderingsresultat och rita upp dem i diagram. I följande diagram har det sammanställda undersökningsmaterialet markerats:

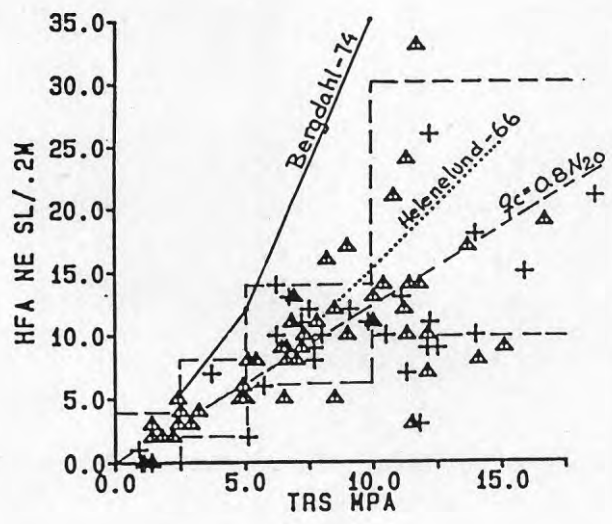
- ▲ sand/grusig sand
- + silt/siltig sand

Samband angivna av andra författare redovisas med linjer eller kurvor. Ett förslag till indelning i fasthetsgrupper har på vissa figurer lagts in som streckade begränsningar.

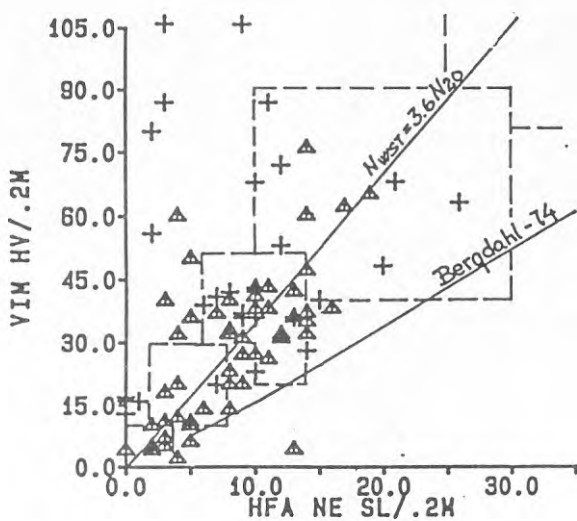
Det skall betonas att de angivna sambanden främst gäller för sand och att de resultat som ligger spridda utanför angivna samband oftast hänför sig till sonderingsmotstånd i siltjordar.



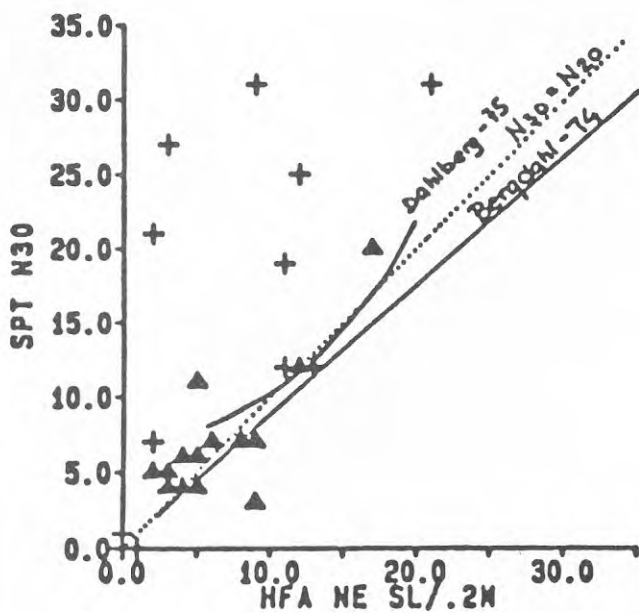
Figur 3.14 Jämförelse mellan vikt- och spetstrycksonderingsresultat Vim respektive TrS



Figur 3.15 Jämförelse mellan spetstrycksonderingsmotstånd (TrS) och spetsmotståndet vid hejarsondering (Hfa Ne).



Figur 3.16 Jämförelse mellan resultat av viktsondering (Vim) och spetsmotstånd vid hejarsondering (Hfa Ne).



Figur 3.17 Jämförelse mellan resultat av SPT-försök och spetsmotstånd vid hejarsondering (Hfa Ne).

3.5 Mark AMA 83

Mark AMA, som står för "allmän material- och arbetsbeskrivning för markarbeten", behandlar bl a schaktningsarbeten. I kapitel B5 och B6 finns det generellt gällande föreskrifter och krav, vilka görs giltiga - helt eller delvis - för ett enskilt projekt genom att aktuell kod och rubrik åberopas i beskrivning ingående i förfrågningsunderlag eller motsvarande. (T ex "bygghandling" enligt Vägverkets nomenklatur).

En av de förutsättningar som varierar från plats till plats och därmed från projekt till projekt är typ av jord samt dess sammansättning och fasthet. Detta innebär, att man i projektering bör överväga att följa rådet "Ange schaktbarhet" i RA 83 mark (råd och anvisningar till projektörer som upprättar förfrågningsunderlag med hjälp av Mark AMA). Branschens parter har således, eftersom AMA och RA är avsedda som hjälpmedel för framställning av fullständiga, likformiga, entydiga och kalkylerbara handlingar med sikte på en korrekt upphandling av ett entreprenadåtagande innefattande bl a jordschakt, ansett rådet vara motiverat.

Den projekterande avgör själv från fall till fall både om det finns anledning att följa rådet och - om så blir fallet - hur rådet skall följas. Härvidlag finns det alltid möjlighet att lämna uppgifter om typ av jord, jordens sammansättning och fasthet samt grundvattenförhållande m fl uppgifter som har betydelse för anbudsgivares bedömning av förhållanden och förutsättningar med avseende på schaktningsarbeten.

Beträffande jords sammansättning skall här observeras, att Mark AMA 83 förutsätter det nya klassificeringssystemet för jordarternas indelning och benämning. (Se 3.3). Eftersom jords innehåll av sten och block har avgörande betydelse för schaktbarheten är det således mycket anlägget att det nya systemets gränser mellan grus, sten och block uppmärksammas och beaktas. Sålunda kan t ex en jord som i tidigare indelningssystem hade viss blockhalt (material större än 200 mm) benämningssmässigt nu vara blockfri (material större än 600 mm).

3.6 Ny schaktbarhetsklassificering i Finland

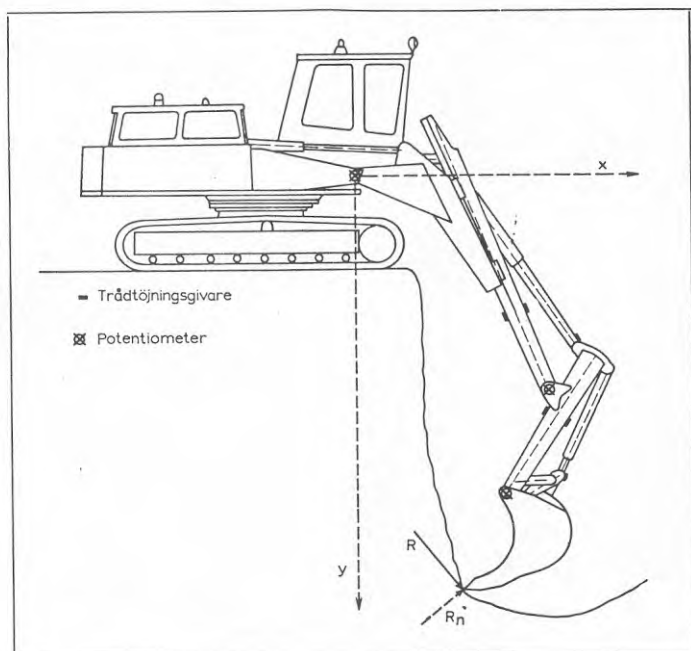
Statens tekniska forskningsanstalt i Finland började 1968 med att utarbeta ett nytt system för klassificering av jordars schaktbarhet. Vid försöken strävade man i första hand efter att bestämma grävmodståndet hos jordarna med hjälp av instrumenterade maskiner, bland annat schaktningsprov med hydrauliska grävmaskiner, typ Lokomo och Fiskars AB, Korhonen et al (1971).

Vid planering och kalkylering av jordarbeten inom hus- och anläggningssektorn hade det visat sig att det befintliga klassificeringssystemet var opraktiskt och föga använt. Vissa brister i systemet för jordartsklassificering och en dålig anpassning till internationella system var andra skäl som gjorde en ny schaktbarhetsklassificering angelägen.

Grävnotståndet mättes vid grävning av provgrovar till 3 m djup och med en uppgrävd volym på ca 30 m³. I omedelbar närhet av provgrovarna hade man utfört sonderingar med vikt- och hejarsond. Viktsonderingen utfördes med svensk viktsond och hejarsonderingen med finsk hejarsond.

Prover togs av den uppgrävda jorden för bestämning av vattenkvot och kornstorleksfördelning. Jordens densitet bestämdes på platsen. Sten- och blockhalten undersöktes genom en mekanisk analys i fält.

Trådtöjningsgivare var fastsatta på grävmaskinens arm och skopa för att mäta ytspänningarna i materialet vid grävning. Potentiometrar var anbringade så att skopans rörelsemönster kunde följas och registreras, fig 3.18.



Figur 3.18 Trådtöjningsgivare och potentiometerns placering på en grävmaskin av typ Lokomo.

En databearbetning av mätresultaten gav därefter ett uttryck för grävnotståndet.

Det visade sig lämpligt att göra upp ett system för schaktbarhetsklassificering på basis av jordarter med likartat bildnings-sätt och geotekniska egenskaper. Dessa jordar hänfördes till samma klass.

Tabell 3.5 - Geoteknisk jordartsklassificering. Naturlig gruppering av jordarter. De minerogena jordarterna grupperas efter material med kornstorlek < 60(64) mm

Jordartsgrupp	Egenskaper
E. Organiska jordarter	Jorden består huvudsakligen av organiskt material
H. Finkorniga jordarter	Sorterade, finkorniga jordarter. Finmaterialhalt (< 0,06 mm) \geq 50%
K. Grovkorniga jordarter	Sorterade, grovkorniga jordarter. Finmaterialhalt < 50%
M. Moräner	Osorterade, blandkorniga jordarter (moräner)

Man fick härigenom en uppdelning i fyra huvudgrupper, vilka betecknades med en bokstav och en siffra enligt nedanstående tabell.

Tabell 3.6 - Naturliga jordarters schaktbarhetsklasser samt avgörande klassificeringsgrunder

Jord- arts- grupp	Schakt- bärhets- klass	Avgörande klassificeringsgrunder				
		Jordarter	Ved- halt Pu %	Sten- halt Ki %	Block- halt Lo %	Torr- volymvikt γ'_d MP/m ³
E	E1	Gyttja, dy	-			
	E2	Torv	< 30			
	E3	Torv	> 30			
H	H1	Leror				
	H2	Siltjordar				
	H3	Torrskorpor				
K	K1	Sand				
	K2	Grus		< 30		
	K3	Rullsten		30-50		
		Stenjord		> 50		
M	M1	Löst packade, stenfria eller steniga moräner		< 30	< 10	< 1,9
		Medeltäta, sten- fria eller steniga moräner		< 30	< 10	1,9-2,1
	M3	Täta moräner				> 2,1
		Stenrika moräner		> 30	< 10	
		Blockiga och block- rika moräner			10-50	
		Blockmark			> 50	

Om man av något skäl inte önskar eller inte klart kan avgöra en enstaka schaktbarhetsklass kan man kombinera klasser som står intill varandra.

I de finkorniga jordarna har man för enkelhetens skull ansett att kornstorleksfördelning och odränerad skjuvhållfasthet skall vara bestämmande klassificeringsgrunder. Lerorna har förts till klass H1 och siltjordarna till klass H2, se Tabell 3.6. Torrskorpa, som är bildad av dessa jordarter, med minst 1 m mäktighet och med en lägsta odränerad skjuvhållfasthet av 50 kPa förs till klass H3. Skälet till att dela upp lera och siltjord i två klasser är att bärigheten kan avvika.

I de grovkorniga jordarna har man ansett att kornstorleksfördelningen och stenhalten är de bestämmande faktorerna. Beroende på stenhalten indelar man de grovkorniga jordarna och moränerna i tre grupper:

Stenhalt, vikts-% (60 - 600 mm)	Benämning
0 - 10	Stenfri
10 - 30	Stenig
> 30	Stenrik

Sand och grus har olika användningsområden och har trots likartade schaktningsegenskaper delats upp i två klasser K1 och K2.

Moränerna har delats in i tre klasser M1, M2 och M3. I detta fall har man funnit att kornstorleksfördelningen (d_{60} mm) inte påtagligt inverkar på grävotståndet. Man har för moränerna ansett att densitet samt sten- och blockhalt har avgörande betydelse för grävotståndet. Lösa, stenfria eller steniga moräner med enstaka block förs därför till schaktbarhetsklass M1. Till klass M2 hör de medeltäta, stenfria eller steniga moränerna - även de med enstaka block.

Till den sista gruppen M3 för man:

- * Tätt kittade moräner oberoende av sten- och blockhalt.
- * Blockiga och blockrika moräner oberoende av densitet.
- * Stenrika moräner med en stenhalt av 40-50%.

Blockhalten och densiteten anger man därvid på följande sätt:

Blockhalt, vikts-% (d > 600 mm)	Benämning
0 - 10	Blockfri
10 - 30	Blockig
> 30	Blockrik

Torrtdensitet (kN/m ³)	Benämning
< 19	Lös
19 - 21	Mellantät
> 21	Tät

På grund av moränernas heterogena sammansättning inom samma skärning användes i flera fall symbolerna M1-M2 eller M2-M3.

Vid klassificeringen har man även provat att använda sonderingsresultat och seismisk gånghastighet. Fortsatta undersökningar och försök skall senare komplettera de approximativa resultat som anges i Tabell 3.7.

Tabell 3.7 - Viktsonderings- och hejarborrningsmotstånd samt seismisk gånghastighet i olika schaktbarhetsklasser

Jord- arts- grupp	Schakt- barhets- klass	Jordarter	Vikt- sonde- rings- motst. hv/0,2 m	Hejar- sonde- rings- motst. sl/0,2 m	Seismisk gånghastig- het över grundvatten- ytan m/s	Seismisk gånghastig- het under grundvatten- ytan m/s
E	E1	Gyttja, dy	< 0,5 kN			
	E2	Torv	< 0,5 kN			
	E3	Torv	< 0,5 kN			
H	H1	Leror	< 1,0 kN			1100-1500
	H2	Siltjordar	< 30			1100-1500
	H3	Torrskorpor	> 2		< 300	
K	K1	Sand	> 10	> 10	200- 500	1200-1600
	K2	Grus	> 10	> 10	400- 800	1500-1800
	K3	Rullsten, stenjord	-	-	500-1100	1600-1900
M	M1	Löst packade, stenfria eller steniga moräner	-	< 60	700-1000	1600-1900
	M2	Medeltäta, sten- fria eller steniga moräner	-	60-140	800-1400	1800-200
	M3	Täta moräner Stenrika moräner Blockiga och block- rika moräner Blockmark	- - - -	> 140 (> 80) -	1200-1600 1200-1600 1200-1600	2000-2300 2000-2300 2000-2300

Det är nu ca 15 år sedan det finska förslaget till schaktbarhetsklassificering gjordes upp. I den publikation där förslaget redovisades gav man även anvisningar om hur de olika jordarna kunde klassificeras. Systemet som i huvudsak är uppbyggt kring jordarter med likartat bildningssätt och geotekniska egenskaper blir på detta sätt indelat i 19 klasser.

Det visar sig nu att systemet används i ringa omfattning. En orsak kan vara - som i många andra fall - dålig information om systemets existens och dess användning. En annan orsak kan vara att systemet upplevs vara för detaljerat och finessrikt. Indelningen i 19 olika schaktklasser är för flertalet tänkbara användare mer besvärlig än nödvändigt.

Väg- och vattenbyggnadsstyrelsen i Finland använder dock schaktbarhetsklassificeringen och har dessutom utarbetat motsvarigheten till Vägverkets "byggdata" på basis därav. En serie diagram där man behandlar hela cykeln lossgöring-lastning-förädling föreligger (på finska). Olika tabeller finns för sommar- och vinterarbeten, vilka bygger på tidstuderade fältförsök sedan 1960-talet. I takt med att maskinparken moderniseras följer man upp med nya försök. Den senast uppgjorda diagramserien är från 1978.

Man använder ofta maskinvikten vid klassificeringen. Kapaciteten hos en maskin med känd vikt kan sålunda grovt uppskattas för arbete i olika jordar, sommar- eller vintertid.

Seismiska undersökningar används inte så ofta för bestämning av schaktbarheten.

Eftersom både den finska och svenska jordartsklassificeringen numera överensstämmer nästan helt - och dessutom är internationellt anpassade - skulle en översättning och uppföljning av de finska kapacitetsdiagrammen vara till nytta för de svenska.

3.7 Bearbetbarhet för olika jordar

Vägverket har i utvecklingsprojekt 2.7 med bland annat omfattande prov- och försöksverksamhet undersökt "jordmaterialegenskaper som väsentligt påverkar kapaciteten vid massförflyttning". Projektets slutrapport (1976) redovisar ett förslag till systematiserad och byggnadpassad arbetsrutin vid utvärdering och redovisning av erhållna markundersökningsresultat.

Jordmaterials bearbetbarhet klassificeras genom en bedömning av schaktbarhet och bärighet för olika jordlager. Med schaktbarhet avses därvid ett jordmaterials kapacitetspåverkande egenskaper vid anpassning och lastning. Schaktbarheten bestäms av jordmaterialets motstånd mot losstagning och inverkan på skopfyllnad. Med bärighet avses ett jordmaterials förmåga att bära arbetsmaskiner.

Rapporten sammanfattar utvecklingsprojektet och parallellbedrivna prov- och försöksverksamhet sålunda:

- * Det finns inte någon undersökningsmetod som ensam kan ge svar på schaktbarhet och bärighet.

- * En geoteknisk undersökning (som bland annat skall ta fram underlag för bedömning av bearbetbarhet) bör därför omfatta en lämplig kombination av undersökningsmetoder.
- * De för (våg) projektering erforderliga och normalt förekommande undersökningsmetoderna ger resultat som i de flesta fall och med tillräcklig noggrannhet kan användas för bearbetbarhetsklassificering.
- * Som hjälpmedel för sådan klassificering redovisas "nycklar".

Schaktbarhet

Enligt rapporten visar genomförda undersökningar, att man vid normala vattenhalter (numera vattenkvot) kan klassificera schaktbarheten med tillräcklig noggrannhet utgående från jordmaterialets lagringstäthet och kornstorleksfördelning. Vid extrema vattenhalter måste dock hänsyn tas till jordmaterialets speciella inverkan på skopfyllnaden. (Anm. Med lagringstäthet avses även fasthet).

Rapporten föreslår, att schaktbarheten bedöms och klassificeras objektivt i en femgradig skala med hjälp av en geoteknisk klassificeringsnyckel och/eller subjektivt i samband med grävning av provgrop. Klassificeringsnyckeln anges vara så upprättad att överensstämmelse med nuvarande (1976) jordklassindelning erhållits.

Geotekniska parametrar

Schaktbarheten beror enligt rapporten av:

- lagringstäthet (jfr ovan)
- kornstorleksfördelning
- kohesion och cementering för losstagnation
- kohesion och rasvinkel för skopfyllnad

Lagringstätheten kan beräknas eller bedömas grovt i fält med hjälp av t ex seismik och sondering. Tolkning av resultat från sistnämnda undersökningar kräver dock erfarenhet och kännedom om jordart och vattenförhållanden. Jordens innehåll av sten och block i förhållande till lagringstätheten är normalt avgörande för schaktbarheten.

Kornstorleksfördelningens inverkan på schaktbarheten gäller främst förekomsten av sten (20-200 mm) och block (>200 mm). Mindre block samt sten i större koncentration inverkar speciellt i hårt packad (av inlandsis) morän med viss finkornhalt.

Kohesionen - varmed kemiska bindningar mellan lerpartiklar avspeglas genom skjuvhållfastheten.

Cementering - kemiska bindningar mellan grövre mineralkorn - kan bedömas genom provtagning.

Rasvinkel - i friktionsjord beror i huvudsak på kornfördelning och vattenhalt (vattenkvot).

Klassificeringsnycklar

Som framgår ovan anger rapporten, att "klassificeringsnyckeln är så upprättad att överensstämmelse med nuvarande jordklassindelning erhållits, varför befintliga kapacitetsdiagram kan användas". Avsedd jordklassindelning (med hänsyn till schaktbarhet) är:

Tabell 3.8

Jordklass	Material, benämning
1	<ul style="list-style-type: none"> - Matjord (utan rötter av buskar och träd) - Lös sand (" -) - Såplera (" -) - Dy (" -) - Gyttja (" -)
2	<ul style="list-style-type: none"> - Mjåla - Finmo - Grovmo - Sand - Grus - Grusig sand - Sandigt grus - Lera (beroende bl a på vattenhalt samt torrskorpans tjocklek)
3	<ul style="list-style-type: none"> - Blockfattiga moräner <ul style="list-style-type: none"> = grusig morän = sandig morän = sandig - moig morän - Lera (beroende bl a på vattenhalt samt torrskorpans tjocklek)
4	<ul style="list-style-type: none"> - Blockfattiga eller normalblockiga moräner <ul style="list-style-type: none"> = normalmorän = lerig morän - Normalblockiga, blockrika eller storblockiga moräner <ul style="list-style-type: none"> = grusig morän = sandig morän = sandig - moig morän - Moränlera - Stenigt grus - Lera (beroende bl a på vattenhalt samt torrskorpans tjocklek)
5	<ul style="list-style-type: none"> - Blockrika eller storblockiga moräner <ul style="list-style-type: none"> = normalmorän = lerig morän

Anmärkning

- Med block förstås stenmaterial > 2 dm.

Verksamhetshandbok (Ao 110:11 kap 1.1.1.00)

Klassificeringsnycklarna avser finkorniga och grovkorniga jordarter. Motivet till uppdelning är dessa jordartsgruppers sinsemellan helt olika geotekniska och produktionstekniska egenskaper. I finkorniga jordar beror schaktbarheten främst på lagringstätheten (eg fastheten). I grovkorniga jordar har blockhalten (eg sten- och blockhalt) stor betydelse.

Med utgångspunkt från att det finns ett konstaterat samband mellan finkornhalt och blockhalt i moräner samt med hänsyn till materialgruppsindelning i BYA rekommenderas följande definition:

- * grovkorniga jordar = materialgrupp A, B och D
- * finkorniga jordar = materialgrupp D

I klassificeringsnycklarna ingår parametrarna

- * stenhalt (60 - 200 mm) (se kommentarer)
- * blockhalt ($\emptyset > 200$ mm)
- * blockhalt ($\emptyset > 600$ mm)
- * seismisk gånghastighet
- * sonderingsmotstånd

Tabell 3.9 - Grovkorniga jordar (materialgrupp A, B och C)

Schaktbarhet	Hejarsond sl/0,2 m	Seismik		Blockhalt $\emptyset > 200$ mm		Blockhalt $\emptyset > 600$ mm		Jordarts- exempel
		m/s öGW	(p-våg) uGW	vol%	vikt%	vol%	vikt%	
1	≤ 5	400	1400	0	0	0	0	lös sand
2	10	500	1500	5	7	3	5	grovmo sand grus
3	50	700	1700	10	15	5	7	stenigt grus sandig morän
4	150	1000	2000	20	30	10	15	blockigt åsgrus grusig morän
5		1300	2400	30	40	15	20	blockrik fast morän rösberg

Tabell 3.10 - Finkorniga jordar (materialgrupp D)

Schakt- barhet	Vikt- sond hv/ 0,2 m	Hejar- sond sl/ 0,2 m	Seismik		Blockhalt Ø > 200 mm		Blockhalt 20-200 mm		Jordarts- exempel
			m/s öGW	(p-våg) uGW	vol%	vikt%	vol%	vikt%	
1	≤ 5	≤ 5	-	-	0	0	0	0	halvfast lera $T_{fu} < 50 \text{ kN/m}^2$
2	10	10	600	1400	3	5	10	15	fast lera mjäla, finmo
3	> 25	50	900	1600	5	7	20	30	mkt fast lera ($T_{fu} > 100 \text{ kN/m}^2$) sandig moig morän
4		150	1200	1800	7	10	30	40	moränlera moig morän
5			1500	2200	10	15	40	55	fast lagrad lerig morän förstenad sedi- ment

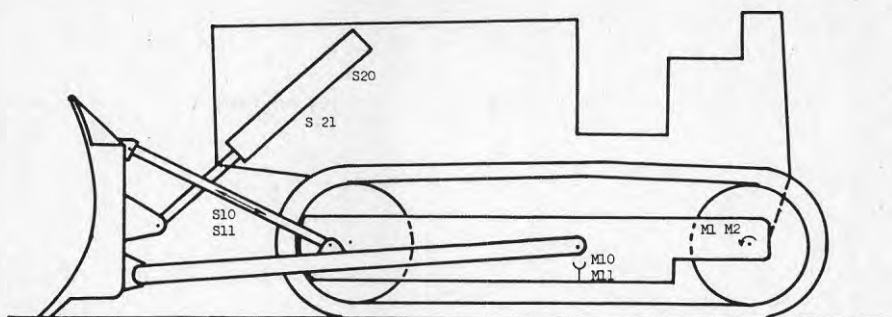
Kommentarer till nycklarna

- * Även om det i rapporten anges, att "redovisade geotekniska parametervärden och jordartsexempel utgör endast riktvärden för klassificering", är angivna relationer mellan sondmotstånd delvis anmärkningsvärda.
- * Det borde ha varit möjligt att i nyckeln för grovkorniga jordar ha med parametern "viktsond, hv/0,2 m" och riktvärden för schaktbarhetsklass 1-3.
- * Det är dålig överensstämmelse mellan uppgiften om parametern "stenhalt (60-200 mm)" och "blockhalt 20-200 mm" i nyckeln för finkorniga jordar. Bortsett från att benämningen "sten" borde ha använts för material med storlek 20-200 mm är det oklart huruvida angivna procentsatser avser material 20-200 mm eller 60-200 mm.
- * Angivna blockhalter i vissa exemplifierade finkorniga jordar är anmärkningsvärda (onaturliga).

3.8 Jordars schaktbarhet, BFR R51:1973

I en rapport från TFK (transportforskningskommission) "Jordarts-klassificering och maskinell schaktning" (1966) tog man upp hur forskning skulle kunna ske inom området.

AB Bofors och institutionen för geoteknik vid KTH beslöt hösten 1968 att i samarbete utföra schaktförsök med en instrumenterad schaktbladstraktor BS 19, fig 3.19.

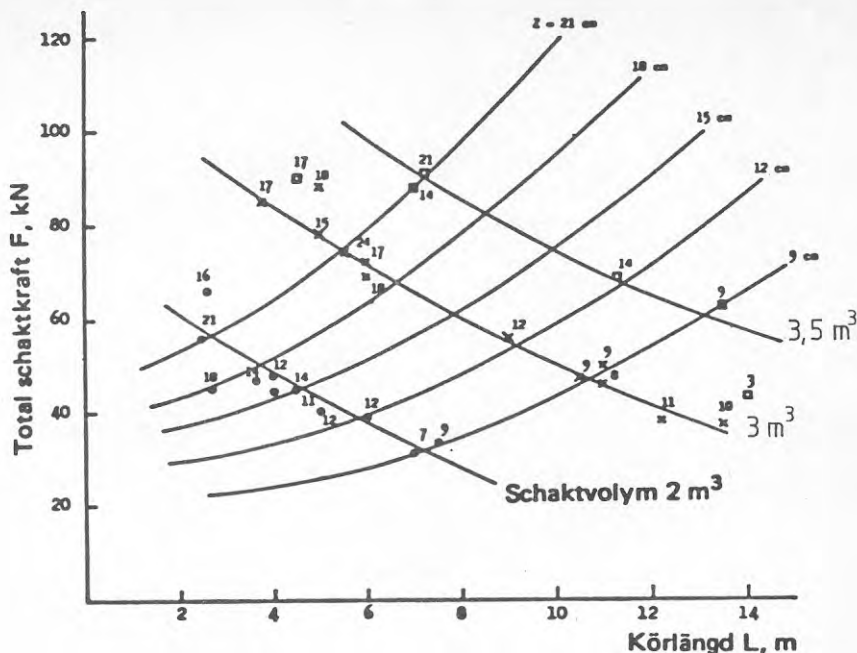


Figur 3.19 Instrumenterad schaktbladstraktor (BS 19).

Fältförsöken utfördes under sommaren 1969 i Bofors och föregicks av en utförlig geoteknisk undersökning av provfälten, som bestod av sand, lera och morän. Avsikten var att utveckla ett klassificeringssystem på basis av olika sonderingsmetoder och seismisk gånghastighet.

Genom laborieförsök som innefattade bl a skjuvförsök, treaxliga försök, packningsförsök kunde de olika jordarnas parametrar bestämmas. Vissa kompletterande försök såsom bestämning av jord-/metallfriktionen, studier av schaktmassornas rörelse framför bladet genom s k spårförsök utfördes även.

Med en instrumenterad schaktbladstraktor utfördes tolv körningar på vardera fältet av sand, lera och morän. Under varje körning registrerades kontinuerligt varvtal, krafter, moment, tryck och hastighet med hjälp av varvtalsmätare och kraft- och trådtöjningsgivare. Signalerna från givarna överfördes via radio eller tråd till en registreringsutrustning, som var placerad i en mätvagn. Parallellt skrevs resultatet ut på en oscillograf. De erhållna mätvärdena bearbetades därefter i en analogmaskin så att totala schaktkraften, som verkade på bladet, erforderlig dragkraft på traktorn samt hastigheten kunde bestämmas. Dessutom mättes schaktdjupet under varje körning. Genom att mäta den uppschaktade jordvolymen vid varje körfall var det möjligt att ställa upp ett samband mellan total schaktkraft och schaktdjup vid en och samma jordvolym för de olika jordarna. Härigenom kunde man få en uppfattning om erforderlig schaktkraft i olika jordar vid körning med en och samma förare och maskin, Magnusson (1973), fig 3.20.



Figur 3.20 Samband mellan total schaktkraft, körlängd, uppschaktad volym och schaktdjup i sand. (Siffror anger schaktdjup i cm).

3.9 Seismik. VVs projekt 2.5.1, 1970

I Vägverkets "Rapport om utredning beträffande seismiska undersökningar vid vägprojektering" (TV 113) redovisas resultat av försöksverksamhet som syftade bland annat till att studera sambandet mellan

- * seismisk gånghastighet och geotekniska parametrar
- * seismisk gånghastighet och kapacitet hos schaktmaskiner (motstånd mot losstagning)

Försöksverksamheten som genomfördes på 12 olika vägprojekt med mycket varierande markförhållanden omfattade förutom en stor mängd seismiska mätningar upptagning av ett 100-tal provgropar samt undersökningar genom sondering. I provgroparna, som var av två typer, utfördes arbetsstudier, provning, densitets- (volymvikts-) bestämning, räkning av block 200-600 mm och block större än 600 mm samt fotografering.

Försöksverksamheten omfattade även seismiska mätningar i externa utredningar.

Resultat från försöksverksamheten visade enligt nämnda rapport, att man kunde ange bland annat "visst samband mellan seismiska och geotekniska parametrar samt mellan seismisk gånghastighet och motstånd mot losstagning".

Seismisk gånghastighet och geotekniska parametrar

Skillnaden mellan teoretiska förutsättningar och naturliga förhållanden innebär, att en seismisk undersökning ger enbart en genomsnittlig bild av undergrundens sammansättning. Detta medför att jämförelser mellan seismisk gånghastighet och geotekniska parametrar kan uppvisa stora differenser. Ett generellt samband synes vara klarlagt nämligen stigande gånghastighet med ökande densitet (volymvikt). Beträffande samband mellan sonderingsmotstånd vid vikt-, tryck- och hejarsondering redovisar rapporten resultat av utländska utredningar, som anger en markant ökning av sondmotståndet vid stigande gånghastighet i blockfattiga jordar. Blockförekomst i jordlager kan enligt rapporten inte påvisas genom seismisk undersökning. Rapporten anger dock att "en mycket detaljerad registrering av mätsignaler och möjlighet till frekvensanalyser kan eventuellt i framtiden ge viss upplysning om blockhalt i jordlager".

Seismisk gånghastighet och losstagningsmotstånd

Försöksverksamhetens resultat tolkades så att grävtiden (där jordens motstånd mot losstagnation ingår som en faktor) är beroende huvudsakligen av antal och storlek hos förekommande block samt gropens geometriska form. Sambandet mellan seismisk gånghastighet och grävtid uppges vara betydligt mindre markant. Trots dessa tolkningar anger rapporten att "den seismiska gånghastigheten, som beror på lagringstäthet och partikelkontakt, möjliggör däremot en avsevärt bättre bedömning av schaktningskapaciteten". (Även i det sistnämnda begreppet ingår faktorn losstagningsmotstånd).

3.10 Klassificeringssystem i andra länder

3.101 Allmänt

Litteratursökning på bland annat Standardiseringskommissionen visar att klassificeringssystem för schaktbarhet saknas i t ex Västtyskland, England, Kanada och USA.

3.102 Västtyskland

För "jordarbeten" har man 1979 givit ut en norm DIN 18 300, som behandlar kapaciteter för maskiner vid schaktning och jordflyttning. God kunskap om kapaciteten hos olika maskiner är en nödvändig förutsättning för att man skall planera och kalkylera jordarbeten på rätt sätt. Det finns dock 5 viktiga faktorer som påverkar ett jordarbete: vädret, människan, maskinen, materialet och kapaciteten. För materialet, jorden, gäller det att känna jordart och jordlagerföljd. Vid klassificering av jorden använder man sig av en norm, DIN 18 196, från 1970 "jordklassifikation för byggnadstekniska ändamål och metoder för bestämning av jordartsgrupper". DIN 18 196 är således egentligen en byggnadsteknisk norm, men används i brist på bättre även vid bedömning av schaktbarheten. (Uppgifter om t ex plasticitet ger även värdefulla upplysningar om materialets klubbighet vid bedömning av skopfyllnadsgraden). Normen avser att sammanfatta jordarter in-

klusive lösberg i grupper med ungefärligt likartat material och likartade geofysiska egenskaper. Inom en grupp kan respektive egenskap - speciellt vid ojämnkorniga och kohesiva jordarter - variera beroende på vattenhalt och lagringstäthet. Normen omfattar såväl kriterierna för klassifikationen som undersökningsmetoderna för jordarters inordning i grupper.

Kriterierna är därvid:

- kornmedeldiameter
- kornstorleksfördelning
- plastiska egenskaper
- organiska beståndsdelar

Följande undersöks

på laboratorium:

kornkurva, Atterbergs konsistensgränser, glödgningsförlust, kalkhalt

i fält:

visuellt: kornstorlek, färg

manuellt: finmaterial- respektive grovmaterialhalt, plasticitet, fasthet.

Vid bedömning av schaktbarhet och maskininsats kompletteras dessa undersökningar med sonderingar och geofysiska mätningar (resistivitet, seismik). Man påpekar dock i Tyskland, att det nuvarande klassifikationssystemet och tillvägagångssättet vid bedömning av schaktbarheten ej är tillfredsställande och snarast möjligt borde förbättras.

Sedan slutet av 1970-talet pågår försök och utredningar angående sambandet mellan sonderingsmotstånd och schaktbarhet. Man använder spetstrycksond och hejarsond med fallvikterna 0,5, 1 och 2 kN, Krämer (1977).

3.103 Östtyskland

I en reviderad norm TGL 11492/01 från 1982 har man för schaktning (eg utvinning) gjort en indelning i 10 klasser, som omfattar jord och berg samt material mellan jord och berg. Jorden omfattar klasserna 1-4, mellan området 5-7 och berget 8-10, enligt tabell 3.11.

Tabell 3.11 Schaktbarhetsklasser för jord och berg

Klass	Exempel på jordart, bergart	Insats som erfordras
1	Vattenmättad finsand, lera	Skyffel
2	Torr eller naturfuktig sand, grus	Skyffel, spade
3	Halvfast lagrad sand, grus	Spade (skyffel)
4	Fast lagrad sand, grus	Hacka (spade)
5	Överkonsoliderad lera	Hacka
6	Överkonsoliderad lera, halvfast-fast	Hacka
7	Dolomit, gips, lersten, gråvacka	Tryckluftverktyg
8	Sandsten, gråvacka, basalt	Sprängning
9	Sandsten, kvartsit, porfyrit, diabas	Sprängning
10	Granit, gnejs	Sprängning

Indelningen görs på basis av bl a jordart, kornstorleksfördelning, lagringstäthet, torr skrymdensitet, Atterbergs gränser. Flertalet parametrar bestäms på laboratoriet och i fält med handverktyg men även manuell sondering och vingsondering förekommer.

3.104 Sydafrika

Tidigare har seismisk gånghastighet utgjort kriteriet för bestämning av schaktbarhet. Följande gränser har då angivits:

Jordens fasthet	Seismisk gånghastighet
Lös	Mindre än 750 m/s
Halvfast	750-1500 m/s
Fast	Större än 1500 m/s

På senare tid har emellertid försök visat att den seismiska gånghastigheten inte kan bestämmas noggrannare än $\pm 20\%$. Man har t o m funnit avvikelser på 1000 m/s i identiskt lika jordar.

Man diskuterar att klassificering grovt skall kunna ske med hjälp av en viss bestämd schaktbladstraktor. Förslaget baseras därvid på olika typer av Caterpillars maskinpark. Förslaget ser ut enligt följande tabell.

Tabell 3.12

Material	Klass	Insats, som erfordras	Maskin (Caterpillar)
Jord	1	Handgrävning (spade)	D3
	2	Handgrävning (spade, hacka)	D4/D5
	3	Schaktmaskin	D6
	4	Lätt rivning	D7
	5	Hård rivning	D8
Berg	6	Mycket hård rivning	D9
	7	Extremt hård rivning eller sprängning	D10
	8	Sprängning	

Indelningen är som synes inriktad på schaktning (rivning) i berg.

För friktionsjordar finns ett förslag där jordens fasthet baseras på SPT-värden, tabell 3.13.

Tabell 3.13 Jordens fasthet

Fasthet	SPT (sl/0,3 m)
Mycket lös	0-4
Lös	4-10
Halvfast	10-30
Fast	30-50
Mycket fast	50-80

Om SPT-värdet i ett friktionsmaterial är större än 80 skall detta räknas som berg.

Många mark- och anläggningsarbeten innehåller betydande massflyttningar. Det är därför viktigt, att kapacitets- och kostnadsberäkningar för olika maskiner och fordon kan leda fram till en optimal lösning, dvs till ett val av maskiner och fordon som totalt sett ger den lägsta kostnaden per schaktad och transporterad volymenhet jord- och bergmassor. Det säger sig självt, att den för närvarande mest vanskliga faktorer i varje sådant optimeringsförsök är schaktkostnaden. Det finns därför all anledning att nu - när det föreligger ett hjälpmedel för bedömning och klassificering av schaktbarhet - fortsätta utvecklingsbetonade arbeten mot slutmålet. Detta har inför det nu genomförda projektet formulerats:

"Slutmålet är ett 'tvåsidigt' klassificeringssystem för schaktbarhet. Systemet skall vara ett hjälpmedel för

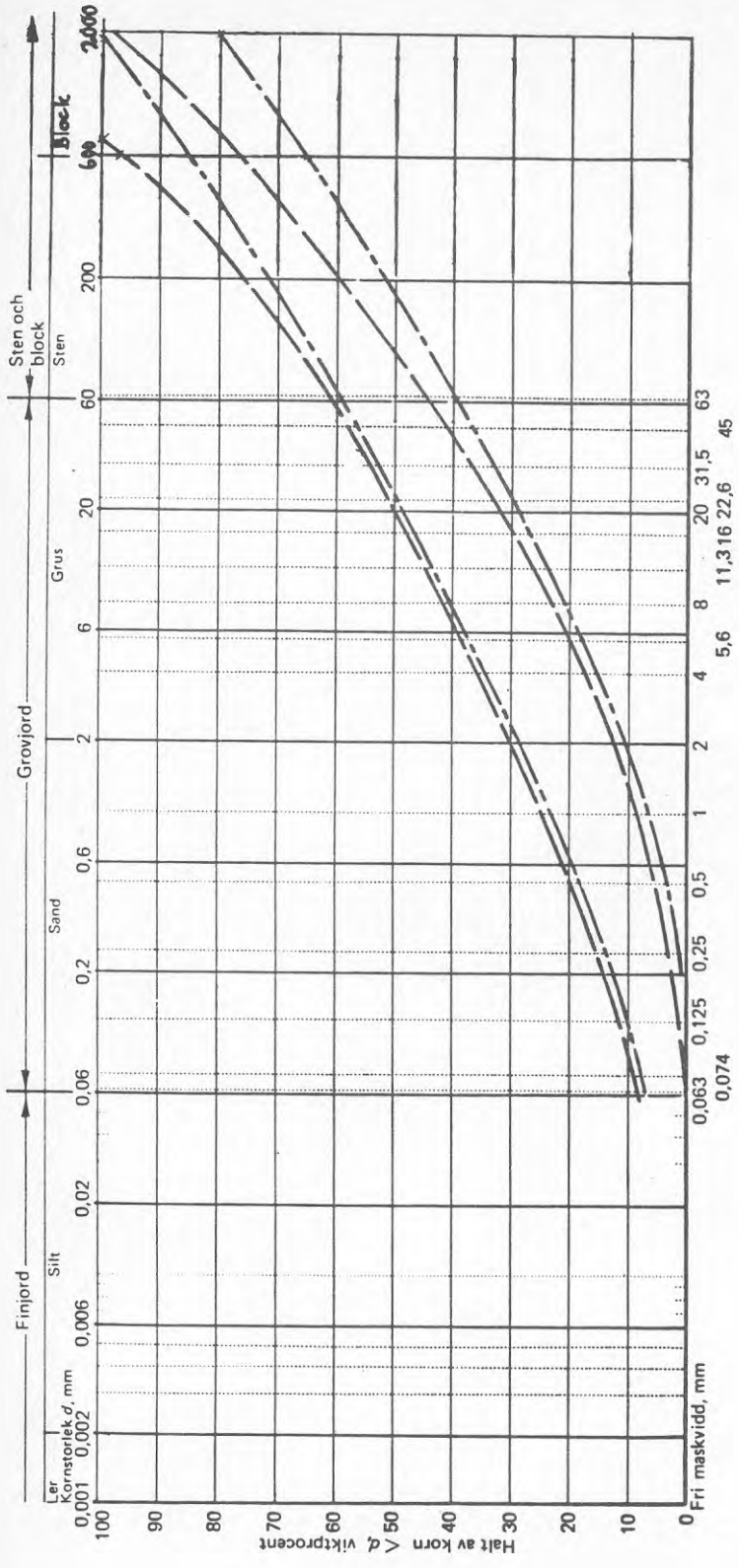
- * geo- och markprojektörer att på basis av undersökningsresultat eller annan information om markförhållanden bedöma och ange schaktbarhetsklass eller -klasser samt för
- * kalkylatorer och andra på 'byggsidan' så att de kan bedöma erforderliga maskinresurser, tider och kostnader för schaktningsarbeten.

Det tänkta slutliga systemet ger således, å ena sidan, projekteringsmässiga möjligheter till - från gång till annan - fackmässigt likvärdiga bedömningar och uppgifter om schaktbarhet. Å andra sidan avses systemet samtidigt ge - genom exempel på normalt tillämpliga manuella och maskinella arbetsinsatser - direkt användbar information för att kalkylera och planera schaktningsarbeten".

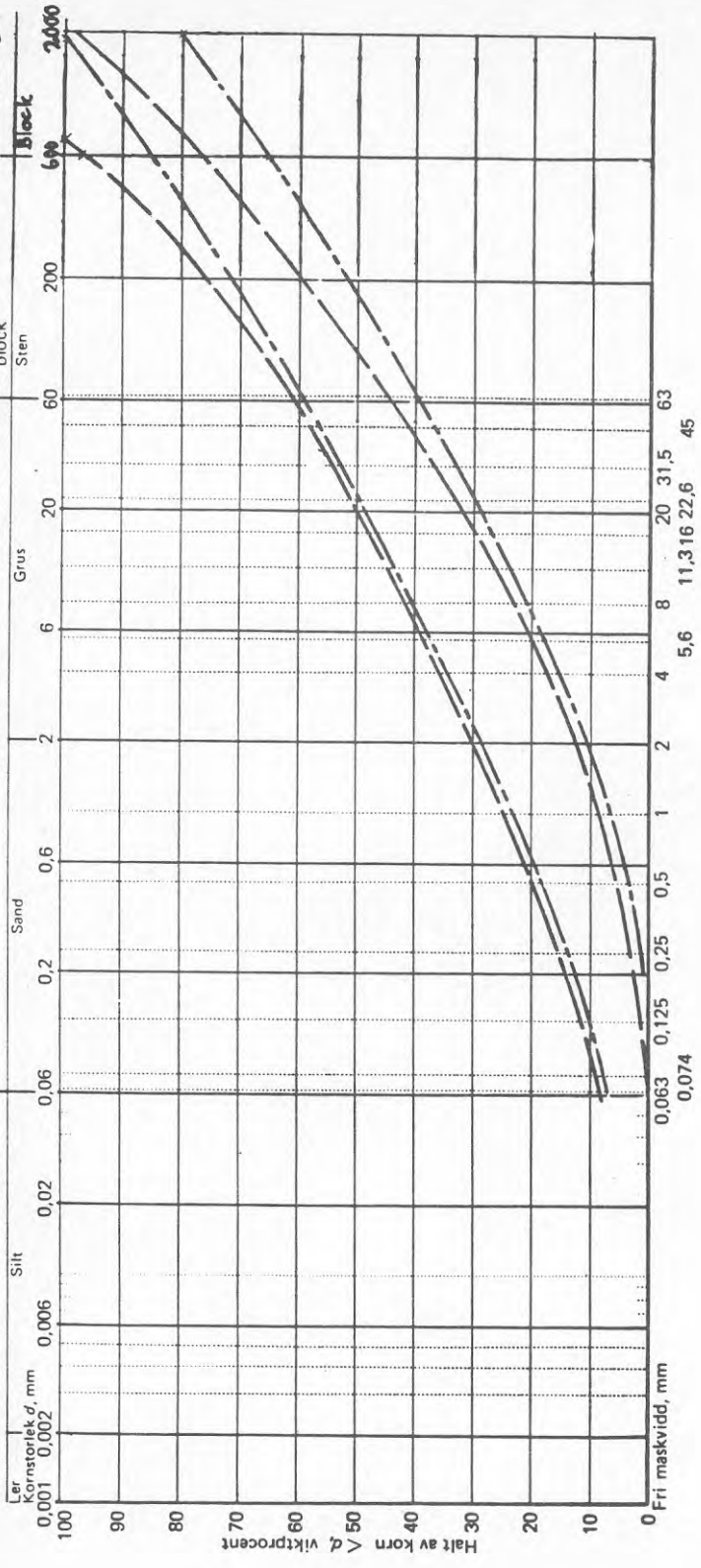
Att fortsatt utveckling mot slutmålet är motiverad belyses av dagssituationen. Den innebär att man ofta sätter in onödigt stora och kostsamma maskiner i schaktarbeten där jordförhållandena inte motiverar detta. Den kostnadsmässiga konsekvensen torde ofta vara även onödigt kostsamma schaktarbeten.

Schaktmaskinparken inom entreprenadsektorn anses av olika skäl komma att minska med ca 25% till slutet av 80-talet. Utveckling av nya maskiner kan på goda grunder antas innehålla många överväganden beträffande prestanda samt tillverknings- och underhållskostnader. Det borde därför vara värdefullt för många berörda parter att man snarast försöker koppla ihop klassificeringssystem -85 (som egentligen inte innehåller något nytt utan fast mer är ett sammandrag av 10-15 år gamla kunskaper och erfarenheter) med den mycket stora erfarenhetsbank som rimligen måste finnas bland "schaktare".

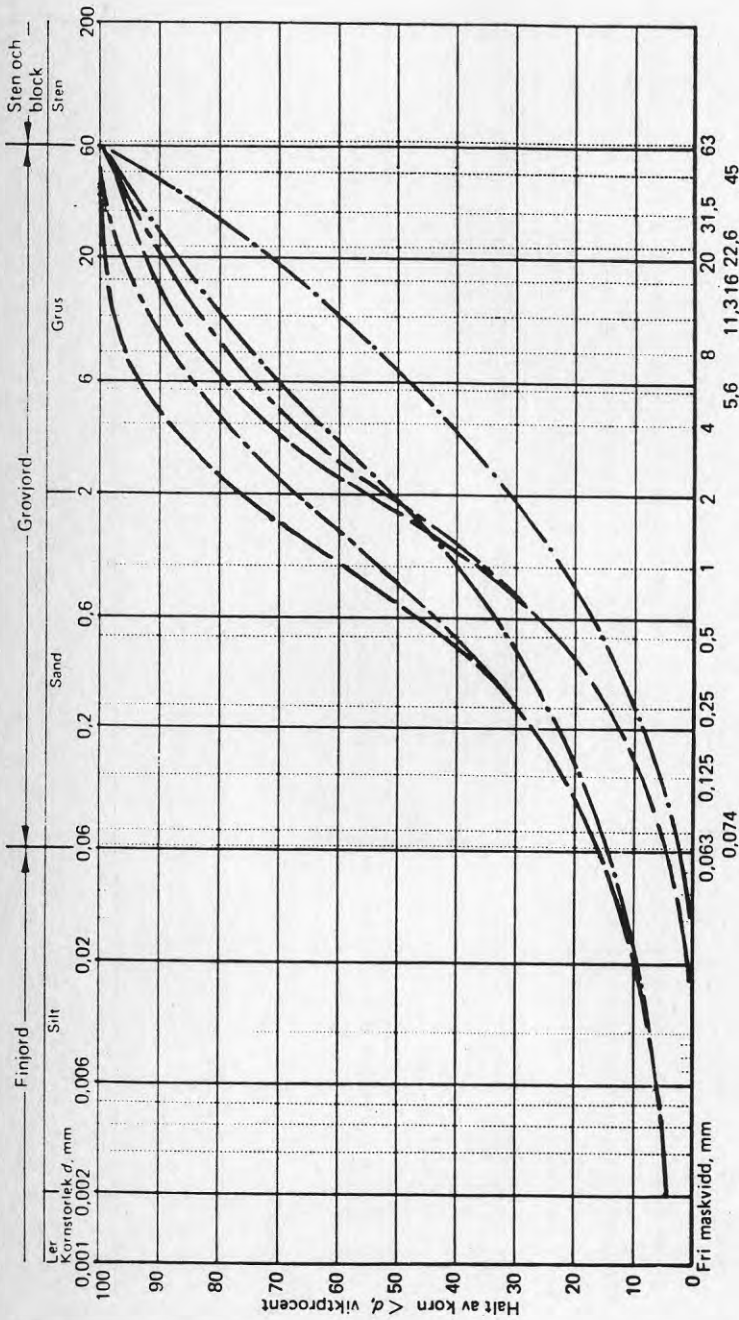
Det är självfallet också angeläget, att system -85 används med förnuft. Bedömning av schaktbarhetsklass eller -klasser samt därpå - och med ledning av redovisade undersökningsresultat - grundade bedömningar av lämpliga maskininsatser och planeringar av schaktarbeten blir inte säkrare och mer ekonomiska än tillförlitligheten i ingångsparametrarna, dvs tillgängliga undersökningsresultat. En i flera avseenden olycklig utveckling skulle vara om schaktbarhetsklassificering kom att baseras på alltför snåla undersökningsinsatser och bedömningar för mycket "på säkra sidan". En önskvärd utveckling är däremot klassificering på basis av från fall till fall rimliga undersökningar och fackmässiga bedömningar.



Finjord: 0,074 - 0,063 mm
 Grovjord: 0,063 - 2000 mm

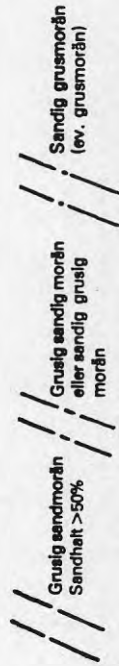


SGFs laboratoriekommitté
Laboratorieanvisningar, del 2 o. 4

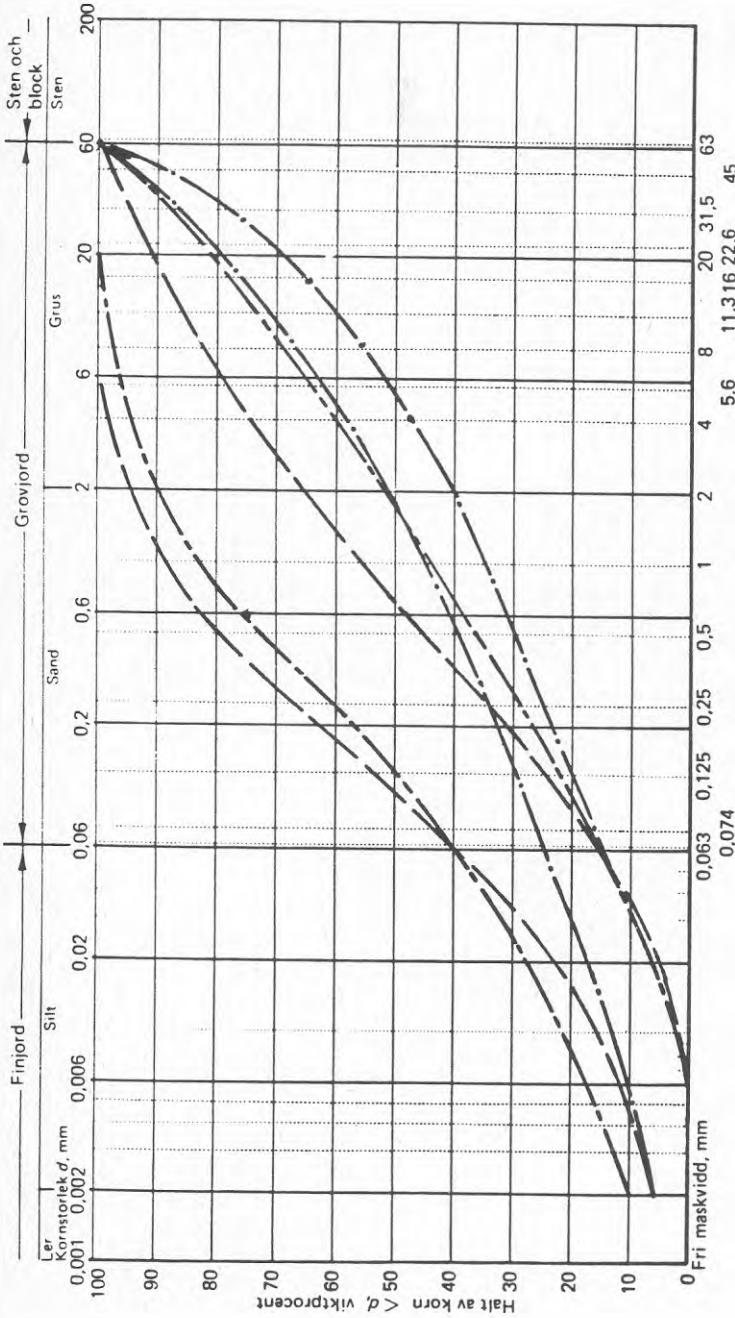


GROVKORNIGA MORÄNER

Block och stenhalt < 40 viktprocent av total jordmängd
Finjordshalt < 15 viktprocent av mängden grovjord + finjord

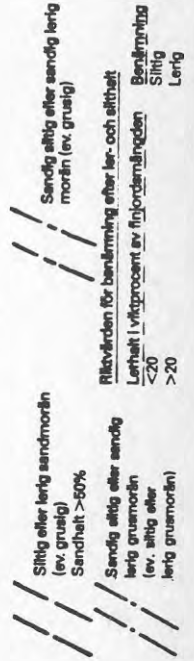


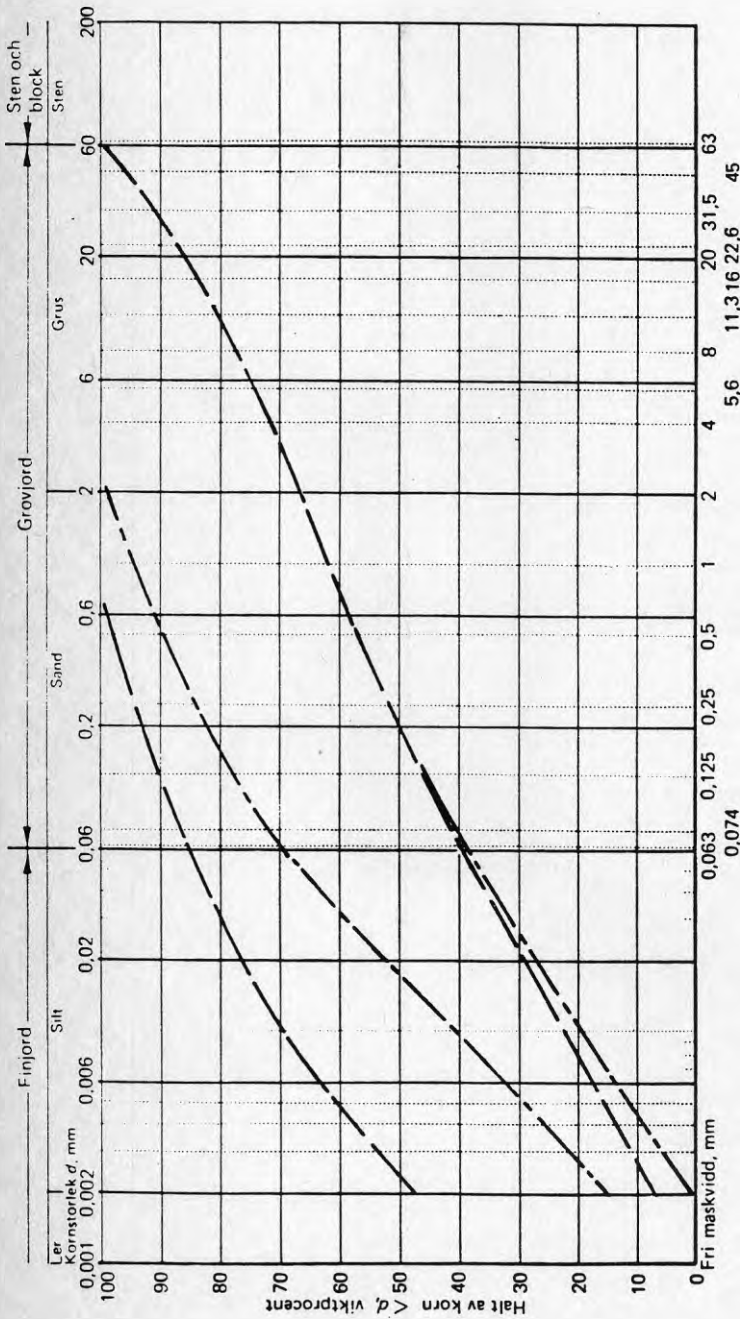
SGFs laboratoriekommitté
Laboratorieanvisningar, del 2 o. 4



BLANKKORNIGA MORÄNER

Block- och stenhalt < 40 viktprocent av total jordmängd
Finjordshalt 15–40 viktprocent av mängden grovjord + finjord





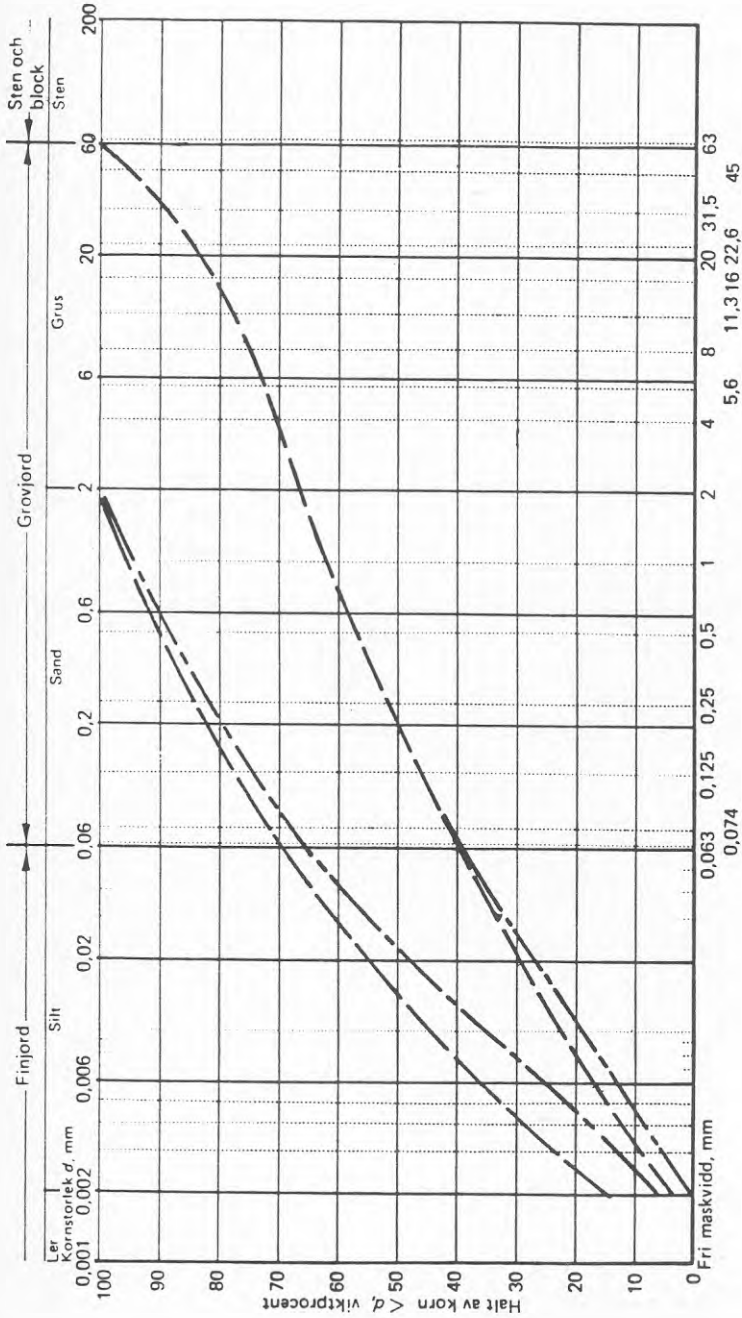
FINKORNIGA MORÄNER

Block- och stenhalt < 40 viktprocent av total jordmängd
Finjordshalt > 40 viktprocent av mängden grovjord + finjord



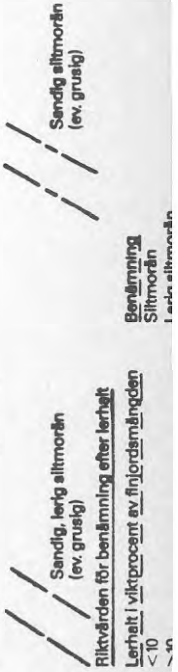
Riktvärden för benämning efter ler- och silthalt

Lerhalt i viktprocent av finjordsmängden	Benämning
< 20	Siltmorän
> 20	Lermorän

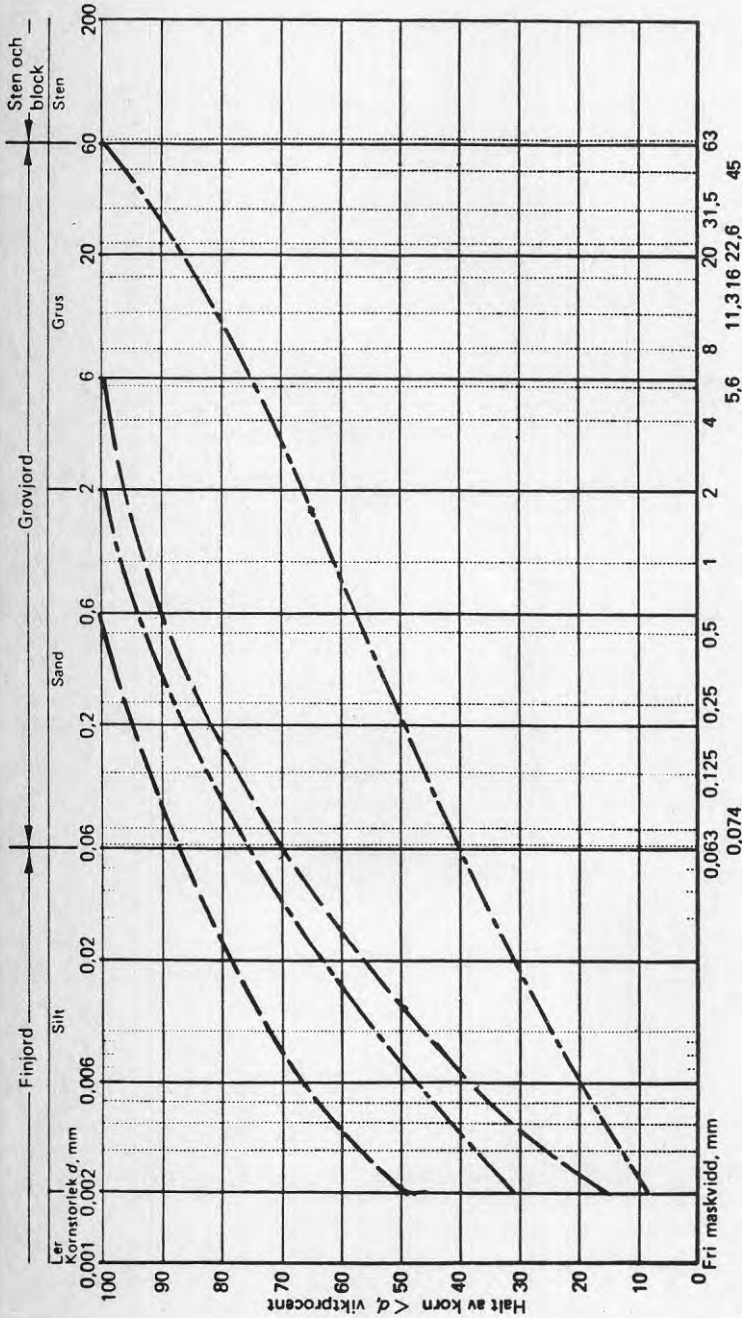


FINKORNIGA MORÄNER

Block- och stenhalt <40 viktprocent av total jordmängd
Finjordshalt >40 viktprocent av mängden grovjord + finjord
SILTMORÄN
Lerhalt <20 viktprocent av finjordsmängden



SGFs laboratoriekommitté
Laboratorieanvisningar, del 2 o. 4



FINKORNIGA MORÄNER

Block- och stenhalt <math>< 40</math> viktprocent av total jordmängd
Finjordshalt >math>> 40</math> viktprocent av mängden grovjord + finjord
LERMORÄN
Lerhalt >math>> 20</math> viktprocent av finjordsmängden

- /// Siltig lermorän eller lermorän
- Sandig siltig lermorän eller sandig lermorän (ev. grusig)
- Benämning Siltig lermorän Lermorän
- /// Siltig lermorän eller lermorän
- Benämning Siltig lermorän Lermorän
- /// Siltig lermorän eller lermorän
- Benämning Siltig lermorän Lermorän
- /// Siltig lermorän eller lermorän
- Benämning Siltig lermorän Lermorän
- /// Siltig lermorän eller lermorän
- Benämning Siltig lermorän Lermorän

LITTERATUR

Bergdahl, U, & Ottosson, E, 1984. Jordegenskaper ur sonderingsresultat - en jämförelse mellan olika undersökningsmetoder i friktionsjord. Nordiska geoteknikermötet. Volym 2. Linköping.

BYGG-data 1984. Statens vägverk. DDa. Borlänge.

Caterpillar Performance Handbook.

Definition av Bearbetbarhet för olika jordar, 1974. Statens vägverk. Slutrapport. Utvecklingsprojekt 2.7.

EM 84, Ersättnings- och mättningsbestämmelser för väg- och brobyggnadsarbeten. 1984. Vägverket.

Geoteknisk ordlista, 1975. TNC 59. Tekniska nomenklaturcentralen. Stockholm.

Jordartsklassificering och maskinell schaktning, 1966 (Ingenjörsvetenskapsakademien, Transportforskningskommissionen). Utredningsrapport nr 20. Stockholm.

Karlsson, R, Hansbo, S, 1984 (Rev) Jordarternas indelning och benämning. Geotekniska anvisningar, del 2. Byggeforskningsrådet. T21. Stockholm.

Korhonen, K-H, Gardemeister, R & Saari, K, 1971, On the diggability of soils. (The state institute for technical research). Publication 163. Helsinki.

Korhonen, K-H, Gardemeister, R, 1972, Ett nytt system för klassificering av schaktbarhet. Väg- och vattenbyggaren nr 3.

Krämer, H-J, 1977. Sondierwiderstand - Grabwiderstand. Baumaschine und Bautechnik, 11.

Magnusson, O, 1973. Jordars schaktbarhet. Byggeforskningsrådet. R51. Stockholm.

Magnusson, O, 1984. Jord- och bergschakter. Handboken Bygg, G18. Stockholm.

Mark AMA 83. Allmän material- och arbetsbeskrivning för markarbeten. Svensk Byggtjänst. 1983. Stockholm.

Massförflyttning vid anläggnings- och byggnadsarbeten, 1979.
(Ingenjörsvetenskapsakademien, Transportforskningskommissionen).
Rapport 1979:4. Stockholm.

MR 83 Mark. Ersättningsregler - markarbeten. 1983. Svensk Byggtjänst. Stockholm.

Normer för upprättande av handlingar för utförande av yttre vatten- och avloppsarbeten, 1959. (Svenska Teknologföreningen). Handbok 67/1956. Norrköping.

Plan- och byggtermer, 1980. TNC 75. Tekniska nomenklaturcentralen. Stockholm.

RA 83 Mark. Råd och anvisningar till Mark AMA 83. 1983. Svensk Byggtjänst. Stockholm.

Rapport om utredning beträffande seismiska undersökningar vid vägprojektering, 1971. Statens vägverk. Utvecklingsprojekt 2.5.1. Stockholm.

Teknisk rapport, 1970, Schaktprov med BS 19. Mätresultat. Bofors.

Turner, H, 1971. Schaktning och schaktbarhet. Svenska Teknologföreningen. Ingenjörsutbildning. Stockholm.

Turner, H, 1980. Seismik - en grundundersökningsmetod. Byggeforskningsrådet. T20. Stockholm.



**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 830806-4
från Statens råd för bygnadsforskning till SKANSKA AB,
Danderyd.**

R130: 1985

ISBN 91-540-4484-7

Statens råd för bygnadsforskning, Stockholm

Art.nr: 6705130

**Abonnemangsgrupp:
V. Anläggningsteknik**

**Distribution:
Svensk Byggtjänst, Box 7853
103 99 Stockholm**

Cirka pris: 35 kr exkl moms