



Svenska Geotekniska Föreningen
Swedish Geotechnical Society



**STATENS
GEOTEKNISKA
INSTITUT**

Rapport 1:2023

Provtagning av silt, sand, grus och morän

Beskrivning av provtagningsmetoder
och erfarenheter av dessa



Svenska Geotekniska Föreningen
Swedish Geotechnical Society



**STATENS
GEOTEKNISKA
INSTITUT**

SGF Rapport 1:2023

Provtagning av silt, sand, grus och morän

Beskrivning av provtagningsmetoder
och erfarenheter av dessa

Linköping 2023

SGF Rapport	Svenska Geotekniska Föreningen E-post: info@sgf.net
Beställning	Svenska Geotekniska Föreningen c/o Ermax Design AB Sveaborgsvägen 16 439 37 Fjärås Tel: 070-813 77 73 E-post: info@sgf.net
ISSN	1103-7237
ISRN	SGF-R-23/1-SE
Upplaga	Digital utgåva
Tryckeri	www.sgf.net

Förord

Under 2021–2023 har ett projekt utförts vid Statens geotekniska institut avseende metoder för provtagning av jordar med huvudordet silt, sand, grus och morän. Syftet med projektet har varit att utvärdera möjligheten att använda olika typer av provtagningsmetoder i dessa jordar för att erhålla tillräckligt ostörda och sammanhållna kärnprover för att kunna utföra kvalificerade geotekniska laboratorieundersökningar på proverna. För att underlätta läsningen av rapporten används ordet friktionsjord som sammanfattande benämning av dessa jordar. Uppdraget har finansierats av Svenska Geotekniska Föreningen och Statens geotekniska institut.

Författare till rapporten är Björn Dehlbom, Karin Lundström och Mattias Andersson, samtliga SGI.

Följande personer har bidragit med värdefulla kunskaper om och erfarenheter från användning av de olika provtagningsmetoderna och till dessa riktas ett stort tack.

Benny Mohlin (Sweco), Kristoffer Kåsin (NGI), Luke Chapman (Sweco), Henrik Möller (Henrik Möller Geokonsult), Andreas Durnell (Miljöanalys), Andreas Löfström (Miljöanalys), Ingvar Ekström (Sweco), Rodrigo Jr Embile (Boliden), Jenny Bramsäter (Sweco), Anders Torefeldt (AFRY och SGF AG fält), Thomas André (Geofound och SGF AG fält) Pär Axelsson (AFRY), Aleftin Barliaev (Sweco), Carolina Ersson (SGI), Håkan Garin (Geoverkstan), Ulf Hedberg (Boliden), Kjell Hidsjö (Miljögeo), Jill Holmberg (Sweco), Anders Höglin (Sweco), Isabel Jantzer (Ramböll), Malin Montelius (SGI), Erik Månsson (Boliden, tidigare på Sweco), Lena Mören (Tyréns) och Ted Sandberg (Sandberg Miljögeo).

Rapporten har granskats av Håkan Garin, Geoverkstan och Thomas Andréén, Geofound, som representanter för Svenska Geotekniska Föreningen, och Helene Kennedy, SGI, samt de personer som bidragit med erfarenheter och kunskaper (namngivna ovan).

Författarna hoppas att rapporten ska öka kunskaperna om de olika metoderna, deras möjligheter och begränsningar och ge uppslag till utveckling, och ett ökat användande, av dessa. I framtiden kan det leda till ökad kunskap om friktionsjordars tekniska egenskaper som är viktig information vid projektering och dimensionering av geokonstruktioner på och i friktionsjordar.

Svenska Geotekniska Föreningen och Statens geotekniska institut

Linköping i maj 2023

Innehåll

1. Sammanfattning.....	1
2. Inledning.....	5
3. Syfte.....	6
4. Provtagningsmetoder enligt svensk standard.....	7
5. Skär och borrhonor	16
6. Provtagare med öppna rör	21
7. Kärnprovtagare med trippelrör	33
8. Kärnprovtagning med sonicborrning	59
9. Kärnprovtagning med omslutande gel.....	83
10. Provtagning med hammarborrning - typ mullvaden	100
11. Erfarenheter av störningseffekt vid provtagning i olika jordar	107
12. Diskussion.....	122
13. Förslag på fortsatt utveckling	136
14. Referenser	144

Kapitel 1.

Sammanfattning

I föreliggande rapport beskrivs olika metoder för provtagning av jordar som benämns med huvudordet silt, sand, grus och morän. För att underlätta läsningen av rapporten används ordet friktionsjord som sammanfattande benämning av dessa jordar. Denna benämning är inte korrekt enligt gällande geoteknisk klassificering (SGF Rapport 1:2016), men används i rapporten eftersom hållfasthet i jordar som benämns med huvudordet silt, sand, grus och morän till stor del byggs upp av friktionskrafter mellan jordkornen, precis som i en friktionsjord. Syftet med projektet har varit att utvärdera möjligheten att använda olika typer av provtagningsmetoder i friktionsjordar för att erhålla tillräckligt ostörda och sammanhållna prover för att, med eller utan vidare utveckling, kunna utföra kvalificerade geotekniska laboratorieundersökningar i laboratorium.

Denna rapport beskriver olika provtagningsmetoder för provtagning i friktionsjord. Provtagningsmetoder delas enligt europastandarden för geoteknisk undersökning och provning, SS-EN ISO 22475–1:2021, in i provtagning med provtagare (exempelvis öppna rörprovtagare, kolvprovtagare), provtagning genom borring (exempelvis kärnprovtagare, rotonic), och blockprovtagning (exempelvis SGI blockprovtagare, Laval provtagare, NGI:s miniblockprovtagare).

I kapitel 4 redovisas en sammanställning av den information som framgår av SS-EN ISO 22475-1:2021 avseende provtagning av jord. Det som anges i standarden avseende förväntad störning vid användning av de olika provtagningsmetoderna, kvalitetsklasser och kategorier för provtagning beskrivs. I kapitel 11 diskuteras erfarenheter avseende störning av prover för olika provtagningsmetoder och möjligheter att använda proverna för olika typer av analyser och laboratorieundersökningar. Om kärnprover från friktionsjordar ska kunna användas för kvalificerade laboratorieundersökningar, exempelvis triaxialprovning, är en viktig aspekt vilken provkvalitet som erhålls det vill säga vilken störningsgrad som proverna uppvisar vid användning av de olika metoderna.

I Kapitel 5 beskrivs kortfattat olika kronor och slutare/kärnfångare. Vid provtagning med provtagare är provtagarens nedre del svarvad till en egg medan provtagning genom borrhning utförs med en borrhkrona. I båda kategorierna kan man använda en slutare eller kärnfångare i syfte att minska risken att förlora provet vid upptagning av detta.

I Kapitel 6 beskrivs metoder för provtagning med öppna tunnväggiga rör. Provtagare med öppna rör avser stålrör som drivs ned med hjälp av tryck (tunnväggiga) och slag (tjockväggiga). De utförs normalt i kombination med foderrörborrning, det vill säga foderrör borrar ned till en nivå strax över aktuell provtagningsnivå. Ett exempel är Shelbyprovtagare som är en 45 cm lång provtagningshylsa med diameter mellan 7 och 15 cm. Provtagaren är försedd med en kulbackventil för att minska risken för kärnförluster. Proverna trycks vanligen ut ur röret på laboratorium där de kan analyseras och trimmas ner till rätt diameter för vidare laboratorieförsök.

I Kapitel 7 beskrivs kärnprovtagare med trippelkärnrör av typen S-Geobor. S-Geobor är en kärnprovtagare med ett wire-linesystem med trippelkärnrör. Det inre röret, kärnröret, är försett med ett foder i form av ett PVC-rör. Till utrustningen finns olika borrhkronor som kan väljas beroende på vilken typ av jord och/eller berg borrhningen skall utföras i. Under borrhningen regleras matningskraft, rotationshastighet och spolflöde så att borren skär sig ned i ett jämnt förlopp utan att röra om materialet och utan att finmaterial spolas ur. Efter varje intervall förs fångstanordningen ned och kärnröret vinschas upp med wiren. Prover av jord kan tas ut och benämnas på plats, men om de skall undersökas i laboratoriet förvaras de normalt inuti PVC-röret vars ändar förseglas innan rören transporteras till laboratoriet. Metoden S-Geobor har bland annat testats vid provtagning av lermorän i Skåne, för Ostlänkenprojektet och vid provtagning för järnvägsbanken vid Stora Helvetet, väster om Åre.

I Kapitel 8 beskrivs kärnprovtagare av typen sonicborrning. Provtagning med sonicborrning utförs med ett roterande och/eller vibrerande borrhuvud för att ta upp borrhkärnor i jord och berg. Metoden benämns ibland sonicborrning då enbart vibration används och rosonicborrning då rotation och vibration används. Oscillatorn i borrhuvudet genererar en upp till 150 Hz resonansenergi som riktas ner i borrhstången. Under borrhningen kombineras resonansenergin med rotations-

rörelsen. Borroperatören kan styra mängden vibration och frekvens som borrhuvudet genererar för att matcha den kraft som behövs för att tränga in i jord och berg. Metoden utförs med två rör. Ett yttre foderrör och ett rör för att ta upp borrhävar. I Sverige har metoden i huvudsak använts för upptagning av prover i samband med miljögeotekniska undersökningar och undersökningar av befintliga dammkonstruktioner.

I Kapitel 9 beskrivs kärnprovtagning med omslutande gel. Provtagare med omslutande gel (gelprovtagare) har utvecklats av det japanska konsultföretaget Kiso-Jiban i samarbete med Yokohama National University (<https://www.kisojiban.com/>). Provtagaren kan ta jordprover i siltiga, sandiga och grusiga jordar. Provtagaren är utrustad med en polymerlösning som används som borrhävar i syfte att minska friktionen mellan provröret och provet under provtagning. Därigenom minskar den störning som orsakas av provet vid provtagningen och vid urtagningen av provet. Polymeren tillförs provets mantelyta under provtagningen och hjälper även till att hålla ihop provet under upptagning och transport till laboratoriet. För de enklaste modellerna av gelprovtagare, GP-R och GP-D, trycks jordprovet in i provtagningsröret, utan inre kolvtober. Det som skiljer de båda modellerna åt är att GP-D har en slutare, vilket GP-R saknar. Enligt tillverkaren är dessa modeller avsedda för sandigt grus, lerig sand, fyllnadsmaterial och uppsprucket berg. GP-Tr (rotary triple tube sampler) består av ett yttre och ett inre rör samt ett provtagningsrör av plast. Provtagaren liknar andra system med trippelkärnrör, men det som skiljer är den omslutande gelen. Enligt tillverkaren är denna modell avsedd för att ta upp ostörda kärnprover i fast lagrad silt, lera och sandjordar. GP-S (stationary piston sampler) är en typ av kolvprovtagare som enligt tillverkaren är avsedd för löst lagrade silt- och lerjordar. NGI har en provtagare av varje sort (GP-Tr och GP-S) och har använt Geotech 607 borrhävar och sonic borrhävar för provtagningarna.

I Kapitel 10 beskrivs provtagning med hammarborrning (typ mullvaden). Provtagare typ mullvaden är en kärnprovtagare som består av ett ytterrör och innerrör där innerröret är delbart. Metoden används för provtagning av friktionsjord. På ytterröret är en ringborrkrona monterad. Provtagaren slås och roteras ned. Normalt används foderrörborrning vid provtagningen. När foderröret borrats till avsedd nivå dras borrkronan upp och provhämtaren sätts på. Provhämtaren består av ett öppet rör med en överdel som är utformad så att röret kan slås ned

med hjälp av antingen en sänkhämmare, som verkar direkt på provhämtarens överdel, eller en topphämmare som slår på förlängningsstängerna vid markytan.

I kapitel 6 till 10 redovisas följande:

- En beskrivning av metoderna. I rapporten redovisas inte någon detaljerad utförandebeskrivning av metoderna, då syftet med rapporten är att sammanställa erfarenheter från användning av olika metoder för provtagning i friktionsjordar. Utförandebeskrivningar redovisas i SGF:s Geotekniska fälthandbok (SGF, 2013) och i Europastandarden SS/EN ISO 22475-1, för de flesta av metoderna.
- En litteratursökning avseende internationella erfarenheter från användning av metoderna.
- Dokumentation av erfarenheter från utförda provtagningar av utförare av provtagningarna samt konsulter och beställare till provtagningarna.
- Författarnas erfarenheter från deltagande vid provtagning med metoderna.

I projektet har det konstaterats att det är fullt möjligt att erhålla ostörda och sammanhållna prover för kvalificerad laboratorieundersökning för vissa jordar. För flera av metoderna är dock operatörernas erfarenhet en nyckelfaktor för lyckad provtagning och det saknas för de flesta av metoderna tydliga vägledningar för utförandet. För provtagning i vissa jordar och metoder erfordras fortsatt utvecklingsarbete för att möjliggöra upptagning av prover som kan användas för kvalificerade laboratorieundersökningar, se kapitel 12 och 13. Det arbete som erfordras skiljer sig åt beroende av jordart och provtagningsmetod. Det bör dock påpekas att förutom som användning för kvalificerad laboratorieundersökning har metoderna även ett stort värde när det gäller kontinuerlig provtagning för jordartsklassificering, installation av grundvattenrör med mera, som ger underlag för en bättre bestämning av jordartsprofiler i friktionsjordar jämfört med dagens praxis. Genom fortsatt utvecklingsarbete och framtagning av lämpliga vägledningar är det författarnas bedömning att metoderna framledes bör kunna användas för upptagning av prover vid framtida geotekniska forskningsprojekt och projekteringsuppdrag i naturliga friktionsjordar samt i befintliga bankar. Metoderna kan även användas för provtagning i olika typer av jordförstärkningar, exempelvis kalkcementpelare.

Kapitel 2.

Inledning

Praxis vid provtagning av friktionsjord är att störda prover tas upp från provgröpar eller genom skruvprovtagning, vilket innebär att jordens hållfasthets- och deformationsegenskaper inte kan undersökas i laboratorium. Vid skruvprovtagning i friktionsjord finns en risk att jord rasar ner i borrhålet vid upptagning av provtagare och på så sätt blandas in vid provtagningen från nästa nivå. Hållfasthets- och deformationsegenskaper bestäms normalt genom indirekta empiriska relationer, baserade på sondering. Framför allt används resultat från tryck-, CPT- och hejarsondering, men försök har även utförts med jord-bergsondering. De tabellvärden som tillämpas vid dimensionering av konstruktioner på friktionsjordar är många gånger på säkra sidan, vilket innebär att konstruktionerna överdimensioneras. Användning av tabellvärden hämmar även möjligheten till geoteknisk utveckling avseende friktionsjordars egenskaper.

Det har funnits ett behov av en detaljerad beskrivning av olika metoder för provtagning i silt, sand, grus och morän och av en gemensam sammanställning av erfarenheter från användning av dem. I föreliggande rapport används friktionsjord som sammanfattande benämning av dessa jordar. Med friktionsjord menar författarna silt, sand, grus och morän, vars hållfasthet till stor del byggs upp av friktionskrafter mellan jordkornen.

Avsikten med rapporten är att beskriva möjliga provtagningsmetoder i de jordar där det inte är möjligt att använda kolvprovtagning. Metoder som beskrivs är sådana som skulle kunna användas för att få upp sammanhållna prover på vilka det kan utföras laboratorieundersökningar, exempelvis bestämning av kompressibilitet och hållfasthet. Det bör påpekas att det är fullt möjligt att ta upp ostörda prover i silt med mycket låg relativ fasthet även med kolvprovtagning.

Det finns flera metoder för upptagning av borrhärlor i friktionsjordar, exempelvis olika typer av öppna rör, kärnprovtagning med trippelkärnrör, sonicborrning, provtagning med omslutande gel och hammarborrning med mullvaden.

.

Kapitel 3.

Syfte

Syftet med projektet har varit att utvärdera möjligheten att använda olika typer av provtagningsmetoder i friktionsjordar för att erhålla tillräckligt ostörda och sammanhållna prover för att kunna utföra kvalificerade geotekniska laboratorieundersökningar. Syftet har även varit att översiktligt beskriva metoderna och sammanställa de erfarenheter som finns från användning av metoderna, huvudsakligen i Sverige, men även i utlandet. Vid arbetet har även framkommit att det finns behov och möjligheter till utveckling av metoderna, varför även detta ingår i rapporten.

De provtagningsmetoder som redovisas i rapporten är provtagning med öppna rör, kärnprovtagare med trippelkärnrör, kärnprovtagning genom sonicborring, provtagning med omslutande gel samt provtagning med hammarborring med mullvaden.

Kapitel 4.

Provtagningsmetoder enligt svensk standard

4.1 INLEDNING

I den svenska standarden för geoteknisk undersökning och provning, SS-EN ISO 22475-1:2021, beskrivs och indelas provtagningsmetoder i jord i

- a. provtagning genom borrhning (exempelvis kärnprovtagare med trippelrör, skruvprovtagare, sonicborrning, hammarborrning)
- b. provtagning med provtagare (exempelvis öppna rörprovtagare, kolvprovtagare)
- c. blockprovtagning (exempelvis SGI blockprovtagare, Laval provtagare, NGI:s miniblockprovtagare).

I detta kapitel beskrivs det som anges i standarden avseende förväntad störning vid användning av de olika provtagningsmetoderna, kvalitetsklasser och kategorier för provtagning. I kapitel 6 till 10 beskrivs metoderna och erfarenheter från användning av dessa.

Nedanstående text är en sammanställning av det som framgår av SS-EN ISO 22475-1:2021, *Geoteknisk undersökning och provning – Provtagning genom borrhnings- och utgrävningsmetoder och grundvattenmätningar–Del 1: Tekniskt utförande*.

4.2 PROVTAGNINGSKATEGORIER

Det finns fem kategorier för provtagningsmetoder i jord: A, B, C, D och E. Vid givna jordförhållanden är provtagningskategorierna relaterade till bästa möjliga laboratoriekvalitetsklass som går att få, definierad i SS-EN ISO 22475-1:2021. Laboratoriekvalitetsklass 1 motsvarar högst provkvalitet. De olika provtagningskategorierna är (se även Tabell 1):

- provtagningsmetoder i kategori A: prover med laboratoriekvalitetsklass 1 till 5 kan erhållas;

- provtagningsmetoder i kategori B: prover med laboratoriekvalitetsklass 2 till 5 kan erhållas;
- provtagningsmetoder i kategori C: prover med laboratoriekvalitetsklass 3 till 5 kan erhållas;
- provtagningsmetoder i kategori D: prover med laboratoriekvalitetsklass 4 till 5 kan erhållas;
- provtagningsmetoder i kategori E: endast prover av laboratoriekvalitetsklass 5 kan erhållas.

Tabell 1 Kvalitetsklasser för jordprover att användas vid laboratorieprov (laboratoriekvalitetsklass) samt provtagningskategorier (efter SS-EN ISO 22475-1:2021).

Jordegenskaper	Kvalitetsklasser på jordprov för laboratorieförsök				
	1	2	3	4	5
Provtagningskategorier	A				
		B			
			C		
				D	
					E

Provtagningsmetoder i kategori A

Avsikten med kategori A är att få fram prover där strukturen, texturen, konsistensen och in-situspänningarna är oförändrade. Detta möjliggör laboratorieprovning av hållfasthet, kompressibilitet och styvhet. Ur praktisk synpunkt bör det påpekas att inget jordprov kan provtas från undergrunden och vara i ett helt ostört tillstånd.

Provtagningsmetoder i kategori B

Avsikten med kategori B är att få fram prover där strukturen, texturen och konsistensen är oförändrade. Detta möjliggör laboratorieprovning av hydraulisk konduktivitet, porositet och densitet av finkorniga jordar samt analys av jordlagergränser.

Provtagningsmetoder i kategori C

Avsikten med kategori C är att få fram prover där strukturen och texturen är oförändrade. Detta möjliggör laboratorieprovning av vattenkvot.

Provtagningsmetoder i kategori D

Avsikten med kategori D är att få fram prover där strukturen är oförändrad. Detta möjliggör laboratorieprovning av kornfördelning, Atterbergs konsistensgränser och organisk halt. Enligt Garin och André (2023) pågår arbete för att även vattenkvotsbestämning av kohesionsjord ska omfattas av provtagningsmetoder i kategori D, dvs skruvprovtagning. Provtagningsmetoder i kategori D kan, enligt standarden, i gynnsamma fall ingå i kategori C som omfattar laboratorieprovning av vattenkvot.

Provtagningsmetoder i kategori E

Kategori E omfattar prover där alla jordegenskaper har förändrats helt eller delvis på grund av utförandet av borrhningen. Exempelvis finns inte finjorden med i provet. Endast en översiktlig bedömning kan göras av jordart och tjocklek.

I avsnitten 4.5 till 4.9 behandlas olika metoder mer i detalj. I avsnitt 4.10 diskuteras provtagning i sand, grus och morän.

4.3 LABORATORIEKVALITETSKLASSER

Olika störning av prov kan förväntas vid användning av olika provtagningsmetoder. Kvaliteten på ett prov taget med samma provtagare kan variera beroende på exempelvis typ av jord, förekomst av grundvatten, provtagningens utförande och hanteringen av prover till och på laboratorium. Följande störningar kan orsakas av borrhnings- och provtagningsmetoder:

- Mekanisk störning av provet på grund av sammantryckning, skjuvning, spolning eller vibrationer under borrhning eller utstansning.
- Störning av provet på grund av att man släpper på in situ-spänningarna med tillhörande återfjädring.
- Förändring i material och kemiska beståndsdelar såsom vattenkvot och gaser.

I SS-EN ISO 22475-1:2021 redovisas de egenskaper som kan bestämmas för olika laboratorie kvalitetsklass, se Tabell 2. Laboratorie kvalitetsklass 1 motsvarar högst provkvalitet och laboratorie kvalitetsklass 5 lägst provkvalitet. Av ta-

bellen framgår att jordprov i laboratoriekvalitetsklass 1 erfordras för att kunna bestämma kompressibilitet och skjuvhållfasthet.

Tabell 2 Kvalitetsklasser för jordprover att användas vid laboratorieprov (laboratoriekvalitetsklass) (efter SS-EN ISO 22475-1:2021).

Jordegenskaper	Kvalitetsklasser på jordprov för laboratorieförsök				
	1	2	3	4	5
Oförändrade egenskaper					
jordart	•	•	•	•	•
kornstorlek	•	•	•	•	
vattenkvot	•	•	•		
densitet, densitetsindex, hydraulisk konduktivitet	•	•			
kompressibilitet, skjuvhållfasthet	•				
Egenskaper som kan bestämmas					
lagerföljd	•	•	•	•	•
skiktjocklek - grov	•	•	•	•	
skiktjocklek – tunn	•	•			
Atterbergs konsistensgränser, korndensitet, organisk halt	•	•	•	•	
vattenkvot	•	•	•		
densitet, densitetsindex, porositet, hydraulisk konduktivitet	•	•			
kompressibilitet, skjuvhållfasthet	•				

4.4 BEDÖMNING AV PROVQUALITET VID LOGGNING AV PROVER

I standarden redovisas ett klassificeringssystem för klassificering av kvaliteten på prover från rörprovtagare i samband med loggning av proverna, se Tabell 3. Det redovisas även en kort sammanställning av indikatorer och metoder för utvärdering av provkvalitet i standarden (redovisas inte i föreliggande rapport).

I standarden redovisas även ett klassificeringssystem kallat ”Core Quality Index” (CQI) för klassificering av kvaliteten på borrhärnor i samband med loggning av proverna. CQI-systemet visas i Tabell 4. Se även Tabell 6 i avsnitt 7.2.2.

Bedömning av störningseffekt vid provtagning i olika jordar diskuteras vidare i kapitel 11.

Tabell 3 Bedömning av kvalitet på prover från rörprovtagare, som ska göras vid tidpunkten för loggning (efter SS-EN ISO 22475-1:2021).

Tube sample quality index (TSQI)	Tube sample condition descriptor	Soil appearance/TSQI criteria	Probably quality class ^a
1	Very poor	Soil shows severe disturbance to matrix caused by driving of the sampler. Coarser particles have clearly been driven through finer matrix. General appearance is disturbed and altered. Bedding or fissures showing extreme disturbance, particularly at margins of sample. Alternatively, evidence of overuse of water in borehole leading to softening of sample; or extreme drying out of sample, with indicative shrinkage and cracking of soil fabric.	3/4
2	Poor	Soil shows evidence of significant disturbance caused by driving of sampler. Some evidence of coarser particles having been driven through finer matrix. Bedding or fissures showing some disturbance, mainly confined to margins of sample. Alternatively, evidence of overuse of water in borehole leading to some softening of sample; or drying out of sample, with indicative shrinkage and cracking of soil fabric.	3
3	Average	Soil shows some evidence of disturbance caused by driving of sampler. Localised evidence of coarser particles having been driven through finer matrix. Bedding or fissures showing localised disturbance, but mainly confined to margins of sample. Alternatively, evidence of overuse of water in borehole leading to localised softening of sample, particularly at sample ends; or drying out of sample, with indicative localised shrinkage and/or cracking of soil fabric.	2/3
4	Good	Soil shows no obvious signs of sampling disturbance. Bedding or fissures showing no particular disturbance, but with very localised "turning downwards" of bedding at margins of sample. No obvious signs of overuse of water during sampling but ends of sample slightly softened. No obvious signs of drying out of sample.	1/2
5	Excellent	Soil shows no signs of sampling disturbance and no evidence of softening. Bedding or fissures (where present), show no signs of disturbance. No evidence of softening or drying out of sample.	1
<p>NOTE This table is intended primarily for assessing the condition of soil samples obtained in tube samplers by a variety of intrusive techniques. It is not intended for use with those dynamic sampling techniques that produce a windowless sample within a plastic liner, as these will always be classed as "disturbed".</p> <p>^a The assessed probable quality class should be related to the original class of specified sample. Quality classes can only reduce following sampling and so for example a class 2 sample can never increase to a class 1 sample. A nominally specified class 1 sample can however "deteriorate" to a class 2 sample (or worse), depending on various factors including appropriateness of sampler to the ground conditions, sample storage and transport.</p>			

Tabell 4 Bedömning av borrhärnors kvalitet, som ska göras vid tidpunkten för loggning (efter SS-EN ISO 22475-1:2021).

Core quality index (CQI)	Core condition descriptor	Core appearance/CQI criteria	Probably quality class ^a
1	Very poor	Core shows severe disturbance to matrix and/or washing out of matrix leaving mainly coarser particulates. General appearance is disturbed and altered. Alternatively, core may be severely dried out, with shrinking and cracking evident.	3/4
2	Poor	Core shows evidence of significant disturbance caused by drilling. Scouring of core surface with removal/disturbance of gravel particles. Excess water on surface of core, or within matrix near surface. Requires removal of softened near surface material. Alternatively, core may show obvious signs of drying with some shrinkage and/or cracking.	3
3	Average	Core shows definite evidence of drilling disturbance with some scour of core surface. Some water on/softening of core surface evident. Alternatively, core may exhibit slight drying out within sections of core and/or at ends of core runs/cut sections.	2/3
4	Good	Core shows no obvious signs of drilling disturbance. Slight water on/softening of core surface is evident. No obvious signs of drying out within core and only occasional evidence of drying at ends of core runs/cut sections.	1/2
5	Excellent	Core shows no signs of drilling disturbance and no evidence of water on/softening of core surface. No evidence of drying out of core.	1

NOTE This table is intended primarily for assessing the condition of cores obtained in soils by rotary drilling techniques. It can also be used in certain circumstances for assessing core obtained from weak rocks as mudstones and in weak siltstones and sandstones.

^a The assessed probable quality class should be related to the original class of specified sample. Quality classes can only reduce following sampling and so for example a class 2 sample can never increase to a class 1 sample. A nominal class 1 sample can however deteriorate to a class 2 sample (or worse), depending on various factors including appropriateness of core diameter, drill bit and flush in relation to ground conditions, sample storage and transport.

4.5 BLOCKPROVTAGNING OCH KOLVPROVTAGNING I LERA, SILT OCH ORGANISK JORD

Enligt standarden motsvarar en så kallad *blockprovtagare eller stor provtagare* (i standarden ges exempel på provtagare typ Sherbrooke, Laval och Deltares, men det kan förutsättas att blockprovtagare typ SGI och NGI:s miniblockprovtagare också ingår i den här kategorin) och *kolvprovtagare* som trycks ned (motsvarar svensk kolvprovtagare StII) provtagningsmetod *kategori A och laboratriekvalitetsklass 1* för ostörd provtagning i *lera, silt och organisk jord*. Då standardens beskrivning av utrustning och utförande av svensk kolvprovtagning inte är tillräcklig för att åstadkomma den kvalitet som eftersträvas enligt svensk

praxis, tog Svenska Geotekniska Föreningen under början på 2000-talet fram en metodbeskrivning för provtagning med standardkolvprovtagare (SGF, 2009). Den svenska torvprovtagaren, se Geoteknisk Fälthandbok (SGF, 2013), som i Sverige anses vara den bästa metoden för att ta upp ostörda prover i torv, saknas i europastandarden. Provtagning med gelprovtagare (typ GP-S), som beskrivs i avsnitt 9.1.3, finns beskriven under stor provtagare i standarden, men kan antas motsvara en kolvprovtagare, där provet omsluts av en gel.

4.6 PROVTAGNING MED ÖPPEN TUNNVÄGGIG RÖRPROVTAGARE SOM TRYCKS NED I LERA, SILT OCH ORGANISK JORD

De tunnväggiga rörprovtagaren ska, enligt standarden, uppfylla krav avseende eggens vinkel och areaförhållande mellan eggens inner- och ytterdiameter.

Provtagaren beskrivs i standarden och en mer detaljerad redovisning av metoden görs i avsnitt 6.2. I avsnitt 6.3 och 6.4 beskrivs även svenska provtagare typ Tyréns och amerikanerrör, som är tunnväggiga rörprovtagare som trycks ned.

Enligt standarden motsvarar en *öppen tunnväggig rörprovtagare som trycks ned*, provtagningsmetod *kategori A och laboratorie kvalitetsklass 1* för ostörd provtagning i *lera, silt och organisk jord*.

4.7 PROVTAGNING MED ÖPPEN TUNNVÄGGIG RÖRPROVTAGARE SOM SLÅS NED I LERA OCH SILT

Enligt standarden motsvarar en *öppen tunnväggig rörprovtagare som slås ned*, provtagningsmetod *kategori A eller B och laboratorie kvalitetsklass 1 eller 2* för provtagning i *lera*.

Exempel på öppna tunnväggiga provtagare som slås ned är Akkermanprovtagaren, som beskrivs i avsnitt 6.5, samt andra öppna tunnväggiga rörprovtagare som också kan slås ned om det blir för hårt för att trycka ned provtagaren.

4.8 PROVTAGNING MED ÖPPEN TJOCKVÄGGIG RÖRPROVTAGARE I LERA OCH SILT

Enligt standarden motsvarar en *öppen tjockväggig rörprovtagare som slås ned*, provtagningsmetod *kategori B till C och laboratorie kvalitetsklass 2 till 3* för provtagning i *lera och silt*.

Provtagaren Aqua lock (Eijkelkamp, 2022) är en slags variant av tjockväggig, öppen rörprovtagare som trycks ned med hjälp av sonicborrning. Metoden beskrivs kortfattat i avsnitt 6.6.

4.9 PROVTAGNING GENOM KÄRNBORRNING I JORD

I föreliggande rapport behandlas fyra metoder för provtagning genom rotationsborrning i jord:

- Kärnprovtagning med trippelrör.
- Sonicborrning.
- Gelprovtagare.
- Hammarborrning med mullvaden.

Kärnprovtagning med trippelrör, exempelvis S-Geobor (Atlas Copco / Epiroc / Terraroc), det kinesiska systemet CSK146 /SK6l 146 och provtagare av typen Christensen, som beskrivs i kapitel 7, tillhör, enligt standarden, kategorin kärnborrning/rotationsborrning med spolning som utförs med trippelrör. Användning av en gel/polymer som spolmedium kan även användas med hjälp av system för kärnprovtagning med trippelrör.

Provtagning genom *sonicborrning* eller *rotosonicborrning*, som beskrivs i kapitel 8, kan antas tillhöra kategorin vibrationsborrning/resonansborrning enligt standarden. I sediment används normalt inte vibrationer vid borrning, och metoden kan då anses tillhöra kategorin kärnborrning/rotationsborrning utan spolning som utförs med enkelrör enligt standarden.

Provtagning med gelprovtagare (typ *GP-Tr rotary triple tube sampler*), som beskrivs i kapitel 9, kan antas tillhöra metoden kärnborrning/rotationsborrning med spolning som utförs med trippelrör, med tillägget att provet omsluts av en gel. Provtagning med gelprovtagare, typ *GP-R och GP-D (rotary singel tube sampler)* kan anses tillhöra kategorin kärnborrning/rotationsborrning utan spolning som utförs med enkelrör enligt standarden, med tillägget att provet omsluts av en gel.

Provtagning med *mullvaden*, som beskrivs i kapitel 10, kan antas tillhöra metoden hammarborrning med rotation med enkelrör eller dubbelrör, dock utan spolning.

ning alternativt slagborrning/sänkhammarborrning med rörprovtagare enligt standarden.

Enligt standarden är det endast kategorin kärnborrning /rotationsborrning med spolning som utförs med trippelrör, som motsvarar provtagningskategori A och laboratoriekvalitetsklass 1, dock endast i lera samt leriga och cementerade sammansatta jordar. Med ett inre provtagningsrör anges att kärnborrning/rotationsborrning som utförs med dubbelrör och trippelrör i gynnsamma fall kan motsvara provtagningskategori A även för silt.

4.10 PROVTAGNING I SAND, GRUS OCH MORÄN

Som framgår av avsnitt 4.9 är det vid standardförfarande endast möjligt att erhålla ostörda prover för provning av kompressibilitet och hållfasthet i lera och silt enligt SS-EN ISO 22475-1:2021. Det är inte möjligt att erhålla prover motsvarande laboratorieklass 1 för sand och grus. Morän, som innehåller samtliga kornstorlekar, från lera till block, behandlas inte i standarden.

Friktionsjord innehåller både grova kornfraktioner och finjord. Andelen ler- och siltfraktioner kan i vissa moräner vara betydande. Vid gynnsamma förutsättningar bör det således vara möjligt att erhålla tillräckligt ostörda och sammanhållna prover som skulle kunna användas för mer kvalificerad laboratorieprovning även i friktionsjord. I de följande kapitlen beskrivs olika provtagningsmetoder och erfarenheter från användning av dessa i friktionsjordar. Avslutningsvis diskuteras framtida utvecklingsbehov och utvecklingsmöjligheter för metoderna.

Kapitel 5.

Skär och borrhkronor

5.1 INLEDNING

Vid all provtagning av jord används någon form av skär eller borrhkrona och ofta en slutare.

Vid provtagning med öppna rör är den nedersta delen av provtagaren svarvad/fasad till ett skär (egg) på utsidan av provtagarens nedre del.

Vid kärnprovtagning används en kärnborrhkrona (ringborrhkrona) monterad på provtagarens nedre ände. Borrhkronor finns för provtagning i berg eller i jord. Olika profiler finns dessutom för kärnborrhkronorna, exempelvis W-profil (vanlig för impregnerade kronor), sågtandad profil, slät profil och konkav profil.

Vid borring för neddrivning av foderrör och för bergborring används ofta en pilotborrhkrona.

5.2 BORRKRONOR VID KÄRNPROVTAGNING

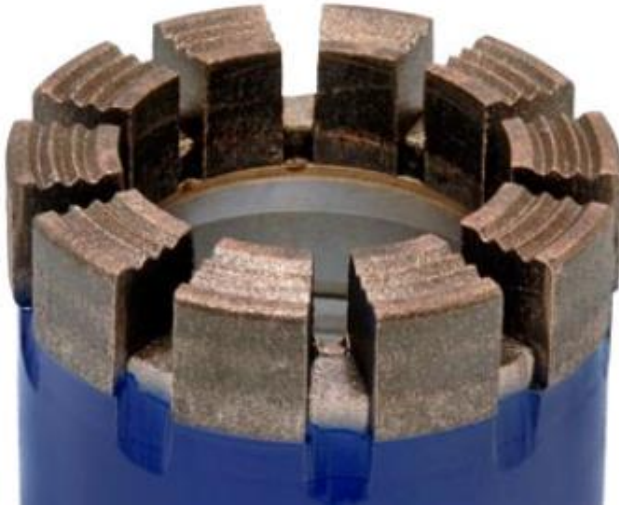
Vid *kärnprovtagning* används en kärnborrhkrona. Det finns många olika typer och dessa kan delas in i fyra typer enligt följande avsnitt.



Figur 1 Exempel på borrhkronor (Atlas Copco produktblad, 2022).

5.2.1 *Diamantimpregnerade borrhonor*

Diamantimpregnerade borrhonor har små diamanter inbäddade i en infiltrerad eller sintrad (sintra är ett sätt att sammanfoga objekt) matris. Matrisen eroderas bort samtidigt som diamanterna blir slitna och rundas. På så sätt exponeras nya vassa diamanter som fortsätter att skära genom jorden. Vanligtvis används syntetiska diamanter. Exempel på en diamantimpregnerad borrhona ses i Figur 2.



Figur 2 Exempel på en diamantimpregnerad borrhona med W-profil (Atlas Copco, produktbroschyr, 2022).

5.2.2 *Ytsatta diamantborrhonor*

Ytsatta diamantborrhonor är borrhonor där diamanter placeras på ytan på kronan i olika mönster beroende på det material som man ska borra i. Diamanterna som används är inbäddade i en hård matris som är motståndskraftig mot erosion. Exempel på en ytsatt borrhona ses i Figur 3.



Figur 3 Exempel på en ytsatt diamantborrhona (Atlas Copco, produktbroschyr, 2022).

5.2.3 Hårdmetallkronor (TC)

Hårdmetallkronor är kronor av hårdmetall, exempelvis tungsten/volfram och de används vanligen för kärnborrning i mjuka bergformationer, jordborrning och rensning av borrhål.

5.2.4 Kronor med polykristallin diamantkomposit (PDC)

Kronor med en *polykristallin diamantkomposit* (polycrystalline diamond composite, PDC) är kronor med syntetiska diamanter. Polykristallin diamant är ett material som har genomgått två syntesprocesser. Syntetiska diamantpartiklar skapas genom en behandling under högt tryck och hög temperatur. Dessa sammanfogas med ett bindemedel och genomgår en ny behandling under högt tryck och hög temperatur. Kronorna är ett alternativ till hårdmetallborrkronor och yt-satta diamantborrkronor.

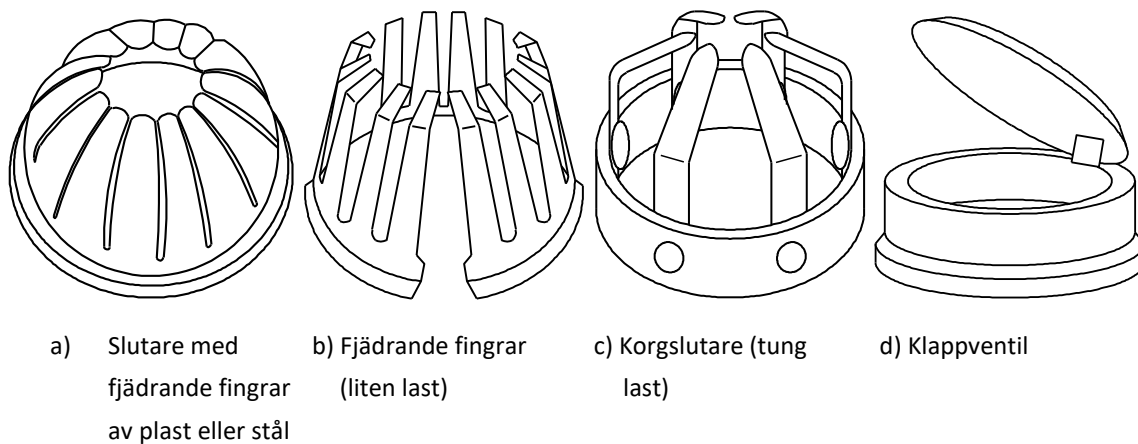
5.3 SLUTARE OCH FÅNGARE

Vid kärnprovtagning används ofta någon form av slutare eller kärnfångare i syfte att behålla jordprovet i provtagningsröret när provtagaren dras upp till markytan.

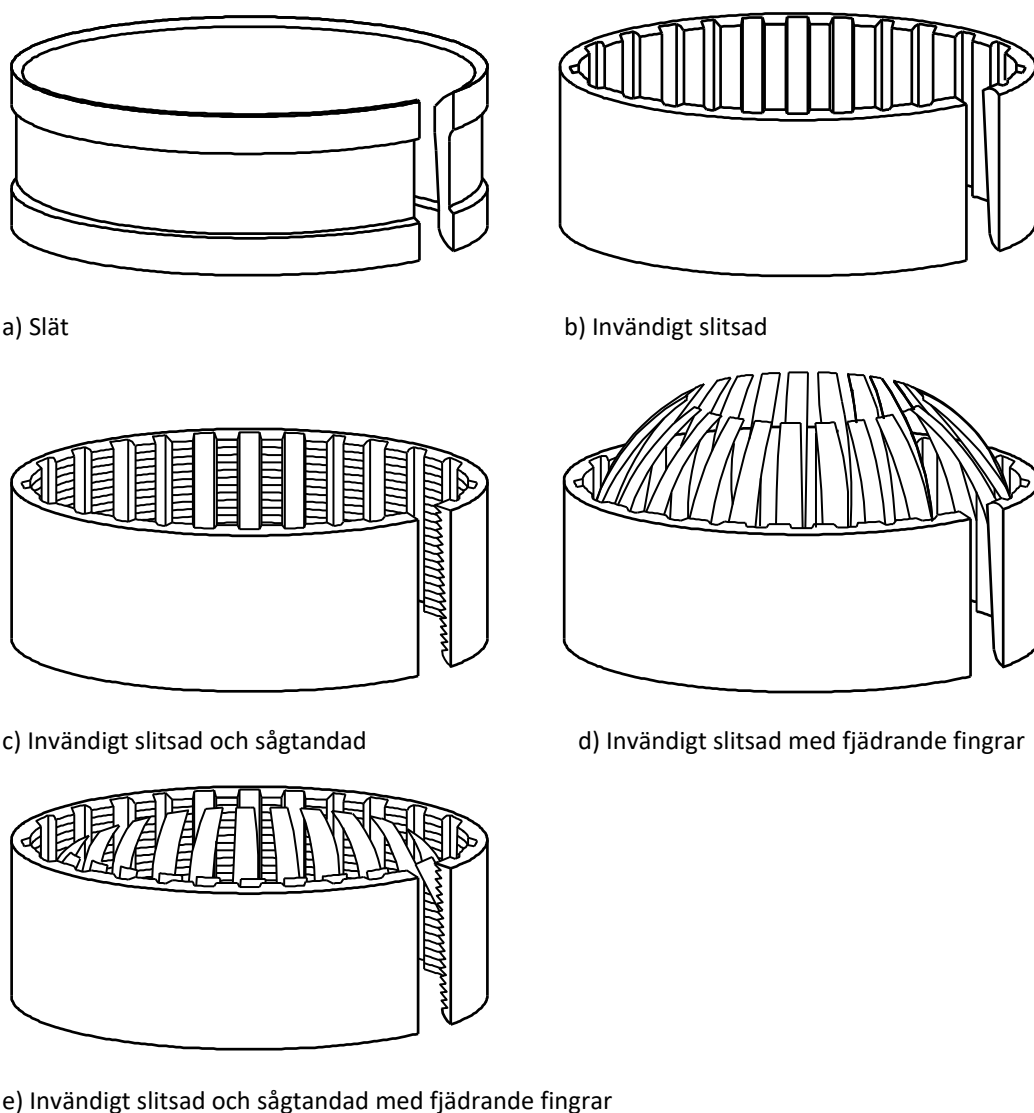
En slutare är en relativt tunn ring med vanligtvis fjädrande fingrar men kan även ha mer styva sådana som kallas korgslutare. Det finns även en typ som kallas klappventil där ringen är försedd med ett lock som slår igen vid uppdragning.

En kärnfångare är formad som en öppen ring som kan vara slitsad och eller såg-tandad på insidan i syfte att öka friktionen och vara försedd med fjädrande fingrar av olika utförande och dimensioner. Syftet med en öppen ring är att den vid uppdragning av provtagaren ska dras åt runt provet. Detta sker eftersom provtagarens inre diameter är mindre längst ner, jämfört med högre upp. Kärnfångare har som syfte både att hålla kvar provet vid uppdragning och att bryta av provet vid slutet av kärnlängden.

I SS-EN ISO 22475-1:2021 visas några exempel på slutare, se Figur 4 och kärnfångare, se Figur 5.



Figur 4 Typiska slutare (efter SS-EN ISO 22475-1:2021).



Figur 5 Typiska kärnfångare för kärnprovtagare (efter SS-EN ISO 22475-1:2021).

5.4 VAL AV BORRKRONA

För kärnprovtagning i berg finns råd och anvisningar för val av lämplig borrkrona. Detta saknas för provtagning i jord och därför är det borrarpersonalen som med sin erfarenhet, kunskaper och eventuella försök i aktuella jordprofil som idag avgör valet. Då det har visat sig att val av krona är högst väsentligt för hur framgångsrik provtagningen blir (se Kapitel 7 och 8), finns det ett stort behov av en vägledning för detta.

Kapitel 6.

Provtagare med öppna rör

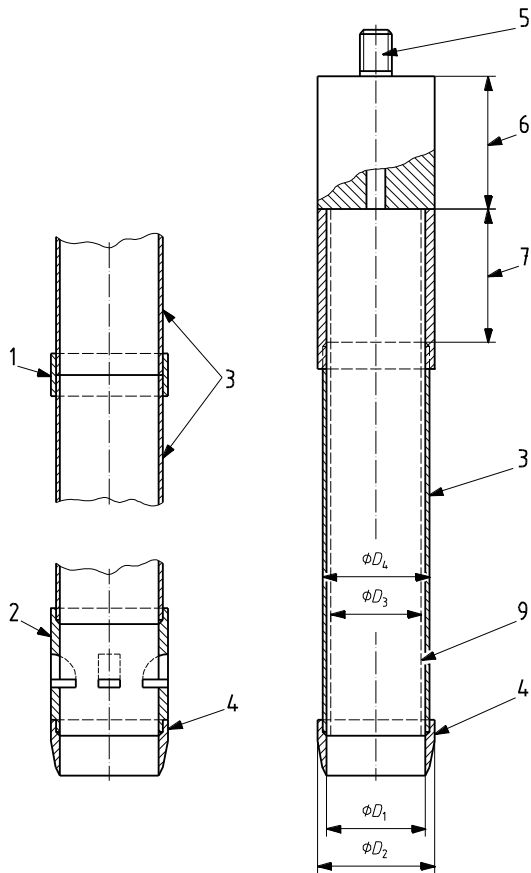
6.1 INLEDNING

Provtagning med öppna tunnväggiga rörprovtagare betraktas vanligen som kategori A- eller B-provtagningsmetoder, beroende på jordförhållandena (se Tabell 5).

Tabell 5 Provtagning i jord med provtagare (efter SS-EN ISO 22475-1:2021).

Kolumn	1	2	3	4	5	6	7
Rad	Typ av provtagare	Bästa provdimensioner		Använd teknik	Tillämpningar och begränsningar		Provtagningskategori för jordar enligt kolumn 6 ^a
		Diament mm	Längd mm		Olämplig för	Rekommenderad för användning i	
1	tunnväggig (OS-T/W)	70 till 120	250 till 1 000	statisk eller dynamisk drivning	grus, lös sand under vattenytan, fast kohesiv jord, jord med stora partiklar	lös eller fast kohesiv eller organisk jord (medel-) fast sand under vattenytan fast kohesiv eller organisk jord	A C (B) B (A)
2	tjockväggig ^b (OS-TK/W)	>75	250 till 1 000	dynamisk drivning	grus, sand under vattenytan, lös och fast kohesiv eller organisk jord, jordar innehållande stora partiklar	lös till fast kohesiv eller organisk jord, inklusive stora partiklar	C (B)
3	tunnväggig (PS-T/W)	50 till 100	600 till 1000	statisk drivning	grus, mycket lös och fast sand, halvfast och fast kohesionsjord eller organisk jord, jord med grova partiklar	lös eller fast kohesionsjord eller organisk jord samt sensitiv jord sand över grundvattenytan	A C
4	tjockväggig (PS-TK/W)	50 till 100	600 till 1 000	statisk drivning	grus, sand under vattenytan, lös och fast kohesionsjord eller organisk jord, jord med stora partiklar	lös till fast kohesionsjord och sensitiv jord	B (A)
5	cylinder (LS)	250	350	statisk eller roterande drivning	sand	lera, silt	A
6	cylinder (S-SPT)	35	450	dynamisk drivning	grovt grus, block	sand, silt, lera	D
7	kannprovtagare	44 till 120	500 eller 2 000	statisk eller dynamisk drivning	sand, grus	silt, lera	D (C)
OS-T/W	öppen rörprovtagare, tunnväggig			OS-TK/W	öppen rörprovtagare, tjockväggig		
PS-T/W	kolvprovtagare, tunnväggig			PS-TK/W	kolvprovtagare, tjockväggig		
LS	stor provtagare			S-SPT	SPT (standard penetration test) provtagare		
a	Provtagningskategorier, som anges i parenteser kan endast uppnås vid speciellt gynnsamma jordförhållanden, som skall ska förklaras i sådana fall.						
b)	Inkluderar kannprovtagare.						

Provtagning med öppna rör avser provtagning med ett tunnväggigt stålrör som är öppet i den nedre delen och som trycks ned från botten av ett foderrörsborrat hål, se Figur 6.



Schematisk skiss på öppen tunnväggig rörprovtagare

- D₁ eggens inre diameter
- D₂ eggens största yttre diameter
- D₃ inre diameter på provtagare eller provhylsa
- D₄ yttre diameter på rörprovtagaren
- 1 gängad hylsa
- 2 slutare
- 3 provtagningsrör
- 4 egg
- 5 koppling till borrstänger eller rörlig hejare
- 6 envägsventil
- 7 extra utrymme
- 8 ventil
- 9 provhylsa (tillval)

Figur 6 Exempel på öppen provtagare för att ta prover från borrhål (efter SS-EN ISO 22475-1:2021).

Provtagaren är vanligen inte försedd med något inre rör, utan hela provtagaren tas med in till laboratorium alternativt att provet trycks ut i fält för inspektion

och benämning. Den nedre änden på röret svarvas vanligen till en egg för bättre styrning av provet in i provtagaren. Rören bör vara sömlösa. Provingen utförs med foderrörsborring till provtagningsnivå. Det finns även provtagare som är försedda med en konformad spets nedtill som används vid drivning till provtagningsnivån. Därefter tas spetsen upp varvid det öppna röret drivs vidare för själva provtagningen (se vidare i avsnitt 6.2). Provtagaren monteras på sondstänger, vanligen stänger avsedda för jord-bergsondering. För provtagning under grundvattenytan är det lämpligt med ett extra utrymme i övre delen av provtagaren samt en adapter med en kulventil eller annan anordning så att luft och vatten inuti röret kan avgå vid nedpressningen och sluta tätt vid uppdragningen så att ett vakuum skapas över jordprovet.

Vanliga dimensioner på de öppna rören är en diameter på 70 till 100 mm och med längder från några decimeter till en meter. Enligt SS-EN ISO 22475-1:2021 bör längden på provtagningsröret helst inte vara större än 10 gånger provdiametern. En effektiv provtagningslängd på 0,45 till 1,00 m bedöms tillräcklig för vanliga jordundersökningar. Kåsin (2023) menar dock att även vid kortare provlängder erhålls prover som ger värdefull geoteknisk information. För att uppfylla standarden bör tunnväggiga rörprovtagare ha mått angivna i SS-EN ISO 22475-1:2021.

6.2 ÖPPEN TUNNVÄGGIG RÖRPROVTAGARE

6.2.1 Beskrivning av metoden

En öppen tunnväggig rörprovtagare är ett tunnväggigt, öppet provtagningsrör vanligen med ytterdiametern 75, 100 eller 150 mm som är svarvat till en egg i ena änden, se Figur 7. Vanligen har den en längd av 0,7 meter men de finns även i längre längder. Provtagaren trycks ned från botten av ett foderrörsborrat hål. Provtagare kan vara tillverkad av ett helt rostfritt provtagningsrör utan löstagbart skär, se Figur 8 och Figur 9.

En öppen tunnväggig rörprovtagare har inget slutarbleck men kan i övre delen vara försedd med en kulbackventil. Denna fungerar så att under neddrivningen är ventilen öppen vilket medför att luft och vatten kan strömma ut ur provtagaren och när provtagaren dras upp sluter ventilen tätt och orsakar ett vakuum som bidrar till att hålla kvar jorden i provtagaren, se Figur 8. För att ytterligare öka

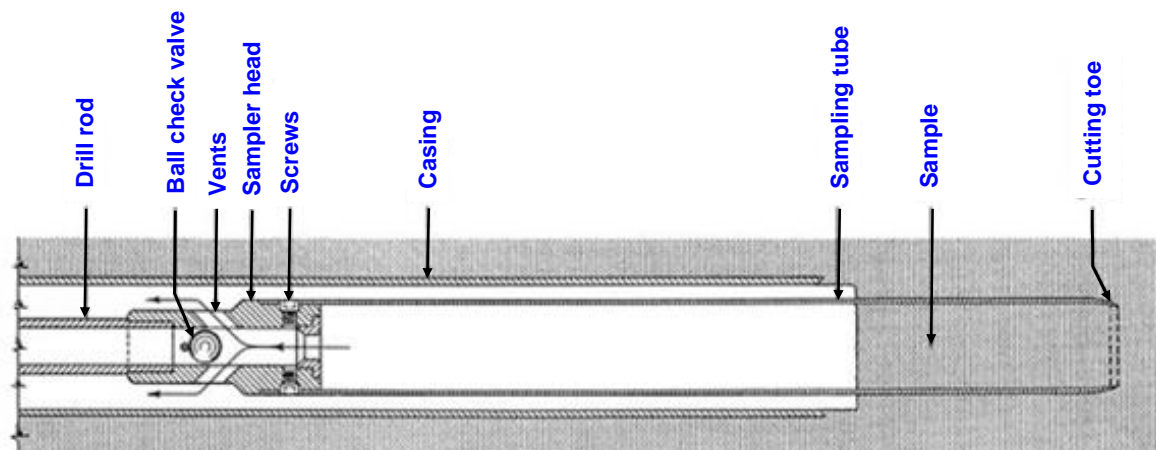
möjligheten att få med jordprovet upp, bör man vänta en stund (minst 10 minuter) innan provtagaren dras upp.

Provröret förseglas med plasthattar och förvaras i kylrum tills de ska analyseras.

Det finns även provtagare som är försedda med en konformad spets nedtill som används vid drivning till provtagningsnivå. Därefter tas spetsen upp varvid det öppna röret drivs vidare för själva provtagningen, se Figur 9.



Figur 7 Öppen tunnväggig rörprovtagare. Övre bilden visar provtagaren isärplockad och nedre bilden ihopsatt (Foto: SGI).



Figur 8 Provtagare av typen öppen, tunnväggig rörprovtagare med kulbackventilen markerad i övre delen (Lim med flera, 2018).



Figur 9 Provtagare med konformad spets för neddrivning till provtagningsnivå (efter <https://www.youtube.com/watch?v=MpNP1cFDqOM>).

6.2.2 Erfarenheter av metoden

Öppen tunnväggig rörprovtagning är en standardmetod som används flitigt utomlands, exempelvis i Danmark, Storbritannien och Nederländerna.

Det danska företaget Geo har använt metoden både på land och på havsbotten för att ta prover av lera, silt, lermorän och mjukt kalkberg. Vid en provtagning som företaget utförde på Kriegers Flak Offshore vindkraftpark (GEO, 2013) togs ostörda prover i lera och lermorän. På upptagna prover gjordes bestämning av bland annat odränerad skjuvhållfasthet.

SGI har använt en öppen tunnväggig rörprovtagare vid två tillfällen för provtagning i silt med en relativ fasthet som överstiger låg (definierad enligt Bergdahl med flera, 1993). Anledning till val av denna metod var att försök med kolvprovtagaren hade misslyckats. Vid försök med kolvprovtagaren gick det antingen

inte att driva ned provtagaren eller så gick det inte att fylla samtliga tre kolvburkar med jord. Trots att jordlagren var starkt skiktade lyckades provtagning med öppen tunnväggig rörprovtagare bra. I laboratoriet gick de flesta proverna att trycka ut ur provtagaren men i ett fall misslyckades det och provtagaren fick sågas isär. På upptagna prover utfördes sedimentationsförsök, rutinförsök och triaxialförsök, se Lundström med flera (2019) och Thorén med flera (2022). I Figur 10 visas exempel på siltprover tagna med öppen tunnväggig rörprovtagare längs Ångermanälven. Enligt Kåsin (2023) är det möjligt att en annan, större typ av kolvprovtagare (exempelvis NGI 72 mm eller Geonor K100/K200 (54 mm/72 mm) också skulle ha fungerat.

I en sektion efter Ångermanälven utfördes provtagning på sju nivåer i silt med mycket låg till låg relativ fasthet med både kolvprovtagare och öppen, tunnväggig rörprovtagare varvid jämförelser kunde göras mellan metoderna baserat på resultat från konsoliderade, aktiva dränerade triaxialförsök, se vidare avsnitt 11.2. Se också diskussion i avsnitt 12.2.





Figur 10 Exempel på siltprover tagna med öppen, tunnväggig rörprovtagare längs Ångermanälven (Foto: SGI).

6.3 PROVTAGARE TYP TYRÉNS

6.3.1 Beskrivning av metoden

Provtagare typ Tyréns är en öppen, tunnväggig rörprovtagare och består av rostfria rör med slipad egg och har en innerdiameter av 70 mm, se Figur 11. Provtagaren är försedd med en backventil kopplad till provtagarens övre del i syfte att luft och vatten ska kunna strömma ut ur provtagaren och när provtagaren dras upp ska ventilen sluta tätt och orsakar ett vakuum som bidrar till att hålla kvar jorden i provtagaren.



Figur 11 Provtagare typ Tyréns. (SGF, 2013)

6.3.2 Erfarenheter av metoden

Tyréns har använt provtagaren exempelvis vid undersökningar av lermorän inför bygget av Citytunneln i Malmö. På upptagna prover utfördes ödometerförsök och triaxialförsök med bra resultat (Möller, 2022). Även vid undersökningar inför bygget av ESS i Lund användes provtagaren men då erhöles missvisande resultat vid ödometerförsök, vilket antogs kunna bero på dålig hantering av de upptagna proverna (Möller, 2022).

6.4 PROVTAGARE TYP AMERIKANERRÖR

6.4.1 Beskrivning av metoden

Amerikanerrör är hemmagjorda provtagare bestående av tunnväggiga (2 mm), rostfria sömlösa ämnesrör med 70 mm innerdiameter med en längd av 60–70 cm. Den ena änden svarvas till en egg med utseende som kolvborreggens och i den andra änden borras två hål för fästbultar. På toppen sätts en platta vars nederdel har en diameter om 60–70 mm och ett o-ringsspår samt gängade hål för fästbultarna. På plattans topp borras ett gängat hål för lämplig sondstång och ett genomgående hål på vars topp en backventil sätts fast. En kulbackventil kopplas till provtagarens övre del i syfte att luft och vatten ska kunna strömma ut ur provtagaren och när provtagaren dras upp ska ventilen sluta tätt och orsaka ett vakuum som bidrar till att hålla kvar jorden i provtagaren. Förborrning krävs till provtagningsnivån. På laboratorium trycks proverna ut ur provtagaren.



Figur 12 Provtagare typ amerikanerrör (till höger om den stora jordskruven) (SGF, 2013).

6.4.2 Erfarenheter av metoden

Provtagaren har i Sverige använts bland annat i lermorän.

Larsson (2001) utförde provtagning i lermorän vid provfältet Tornhill norr om Lund. Provtagningen utfördes ned till 6 meters djup. Han skriver att det var förhållandevis enkelt att driva ned provtagaren tills ett block påträffades. Då drogs provtagaren upp och förborrning fick utföras ned förbi blocket. Ofta blev eggen bucklig och flera provtagare fick därför senare i laboratoriet kapas och skäras till på nytt. På proverna (se Figur 13) utfördes bland annat rutinförsök, ödometerförsök och triaxialförsök.



Figur 13 Exempel på prover av lermorän tagna med amerikanerrör (efter Larsson, 2001).

Även i andra uppdrag i Skåne, bland annat Citytunneln och ESS (The European Spallation Source i Lund), har amerikanerrör använts på lermorän med generellt

bra resultat vid triaxialförsök och ödometerförsök (Möller, 2022). Dock påpekar Möller att hantering av prover är viktigt och att lermorän sväller, vilket har stor betydelse för ödometerförsök.

6.5 PROVTAGARE TYP AKKERMANN

6.5.1 Beskrivning av metoden

Akkerman är en provtagare utvecklad av Eijkelkamp i Nederländerna som slås ned manuellt eller med fallvikt, vilket därmed innebär att metoden inte uppfyller standarden för ostörd provtagning, se avsnitt 4.6. Provtagaren har en provdiameter om 67 mm och längd om 400 mm och kan utföras med eller utan ett inre provtagningsrör och slutarbleck. Det inre röret måste knackas eller dras manuellt ut ur det yttre röret. Förborring krävs till provtagningsnivån.



Figur 14 Provtagare typ Akkerman (Efter <https://www.royaleijkelkamp.com/>)

6.5.2 Erfarenheter av metoden

Ingen erfarenhet av metoden finns i Sverige.

Hocombe med flera (2015) använde metoden för provtagning i lera och fast lagrad sand inför en ombyggnad av en bro i Utrecht, Nederländerna. Prover togs till 35 meters djup och på proverna utfördes rutinförsök.

6.6 AQUA LOCK

6.6.1 Beskrivning av metoden

Aqua lock är en provtagare avsedd för neddrivning med vibrationer, exempelvis sonicborrning.

Före provtagningen fylls provtagaren med vatten, vilket låser kolven i provtagarens nedre del. Under neddrivningen med vibrationer förblir provtagaren tom tills nivån för provtagning nås. En ventil på toppen av provtagaren öppnas med hjälp av borrstänger, så att provtagaren kan röra sig fritt och ta ett prov. Efter provtagning stängs ventilen, vilket skapar ett vakuum som hjälper till att hålla kvar provet i provtagaren under uppdragningen. Provet trycks ut ur provtagaren med hjälp av högt vattentryck i fält. Kolven förhindrar kontakt mellan provet och vattnet.

6.6.2 Erfarenheter av metoden

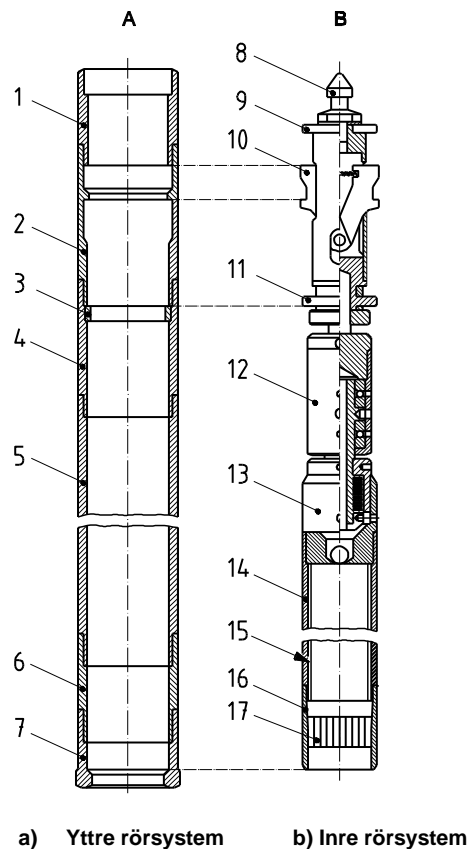
Metoden har använts sparsamt i Sverige. Enligt Kåsin (2023) är det en stor nackdel att proverna måste tryckas ut ur provtagaren i fält. Därmed kan inga sammanhållna prover transporteras till laboratorium. Med användning av en version med en inre provcylinder skulle metoden vara mer användbar.

Kapitel 7.

Kärnprovtagare med trippelrör

7.1 BESKRIVNING AV METODEN

Provtagningsmetoden tillhör kategorin kärnbörning/rotationsbörning med spolning som utförs med trippelrör och ett wirelinesystem enligt SS-EN ISO 22475-1:2021, se Figur 15. Det huvudsakliga användningsområdet är kärnprovtagning i berg. Exempel på provtagare i denna kategori är S-Geobor (tillverkare Atlas Copco/Epiroc/Terraroc), den kinesiska provtagaren CSK146/SK61 146 eller provtagaren Christensen.

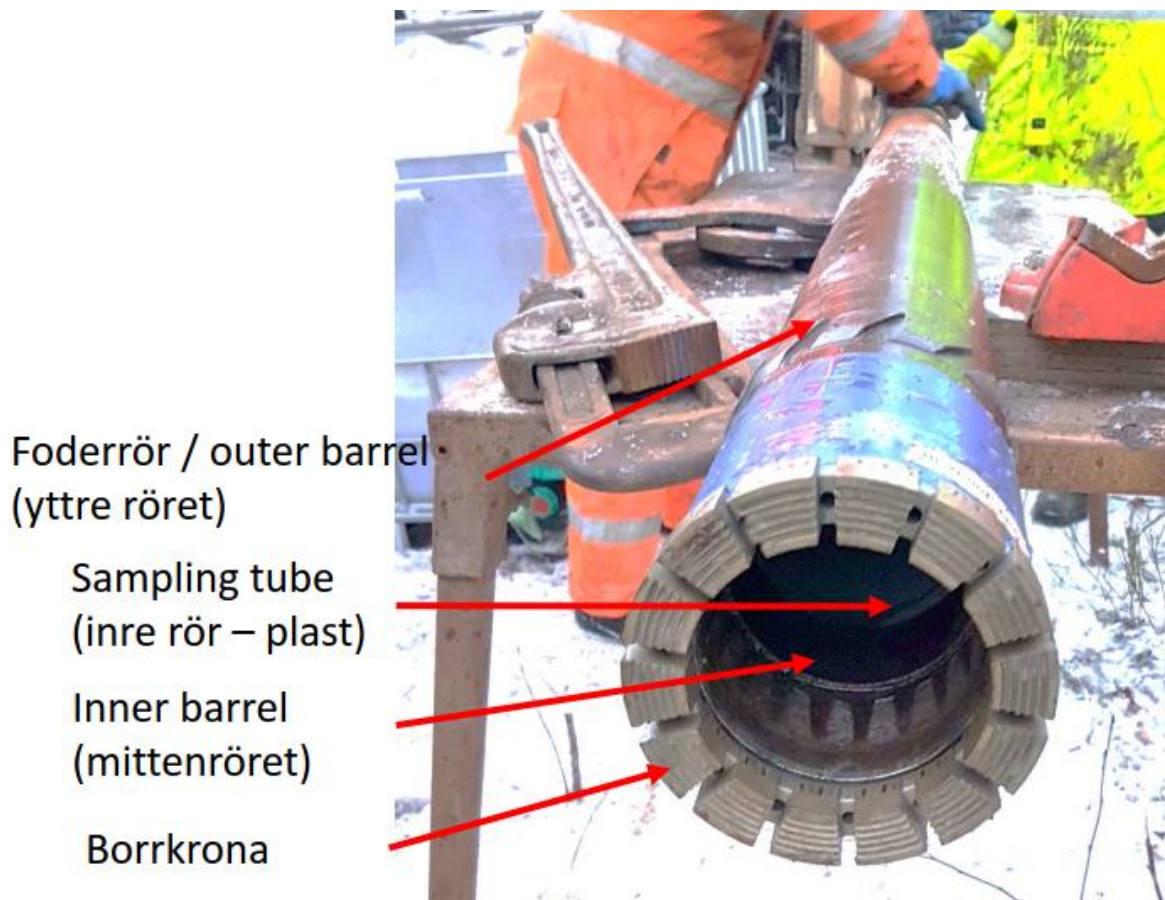


Förklaring

1 borrar med koppling	7 kärnborkrona (ej visad)	13 hållare för inre rörsystem
2 låskoppling	8 lyftspets	14 ytterrör
3 mottagarring	9 övre styrning	15 kärnborkhylsor av plast
4 anslutningskoppling	10 spärrhakar	16 kärnlyftarhylsa
5 ytterrör	11 nedre styrning	17 kärnlyftare
6 rymmare	12 bärande system	

Figur 15 Geoteknisk kärnprovtagare typ wireline (inre och yttre rörsystem) (efter SS-EN ISO 22475-1:2021).

Provtagningsutrustningen består av ett yterrör med borrhkrona monterad i änden och ett innerrör (provtagare) med ett provtagningsrör i plast eller stål (Chapman med flera, 2019). Provtagningsutrustningen visas i Figur 16.



Figur 16 Kärnprovtagare med trippelrör av typen S-Geobor (Foto från Axelson och Chapman, 2019).

Yterröret fungerar som ett foderrör, med ytterdiameter 146 mm, som roteras och pressas ner (utan slag, det vill säga ingen hammare används) vid samtidig vattenspolning under provtagningen. Vattnet spolas ned i hålrummet mellan mittenröret och yttersta röret och sedan ut ur hål i borrhkronan. Vattnet inklusive borrhkax pressas sedan upp mot markytan i hålrummet mellan yttersta foderröret och jorden, se Figur 17. Som spolmedium kan även luft, skum och olika typer av slurries, så som suspension av bentonit eller polymer användas, vilket kan påverka kärnåtervinningen (Kåsin, 2023). Om jorden är mycket permeabel kan vattnet i stället pressas ut i jorden runt borrhkronan, vilket kan minskas om polymer används istället för vatten.



Figur 17 Vatten och borrhax som pressas upp till markytan efter det yttre foderröret till vänster. Borrkrona med hål där vatten spolas ut till höger (Foto: B Dehlbom, SGI).

Provet fångas upp i ett innerrör (provtagare) som är 1,5 eller 3 m långt med innerdiameter 102 mm, vilket inte roteras under borrhningen utan enbart trycks nedåt. I innerröret finns ytterligare ett provtagningsrör där provet fångas upp och skyddas från störning när det tas ut. Provtagningsröret kan vara av stål eller plast (PVC-rör). Antingen består detta rör av ett rör som delats i två halvor längs med röret eller också används ett helt rör, där provet får tryckas ut från röret på laboratorium eller i fält. Ett helt provtagningsrör i plast visas i Figur 18.



Figur 18 Helt provtagningsrör av plast till höger. Innerrör av stål (provtagare) till vänster (Foto: B Dehlbom, SGI).

Wire line-utrustningen gör att proverna kan tas upp utan att ta upp det yttre röret, som därmed håller hålet intakt. Innerröret sänks och lyfts med hjälp av en kärnhämtare monterad på en vajer kopplad till ett vajer spel, se Figur 19.



Figur 19 Kärnhämtare med vajer spel (Foto: B Dehlbom, SGI).

När innerröret sänkts ned till botten av foderröret kopplas det ihop med foderröret och följer med ner vid fortsatt borring utan att rotera då foderröret roteras (genom en koppling som gör att övre delen av kopplingen roterar, men inte undre delen som är kopplad till provtagaren, se Figur 20). När utrustningen har borrats ned samma längd som provtagningsröret (1,5 m) tas innerröret upp och töms.



Figur 20 Koppling mellan innerrör (provtagare) och yttre foderrör (Foto: B Dehlbom, SGI).

Provtagaren kan utrustas med olika typer av borrkrona, vilka väljs efter typ av jord eller berg som borringen utförs i. Enligt Kåsin (2022) är det väldigt viktigt att välja rätt krona med hänsyn till de jordlagerförhållanden som det ska provtas

i. Kåsin menar vidare att man bör värdera val av hårdhet på de impregnerade kronorna, förekomst av block och stora stenar, typ av sten och block med mera. Användning av fel borrkrona kan leda till att hela eller delar av borrkärnorna inte kommer med upp, medan rätt val av krona kan ge en nästan 100-procentig kärnåtervinning.

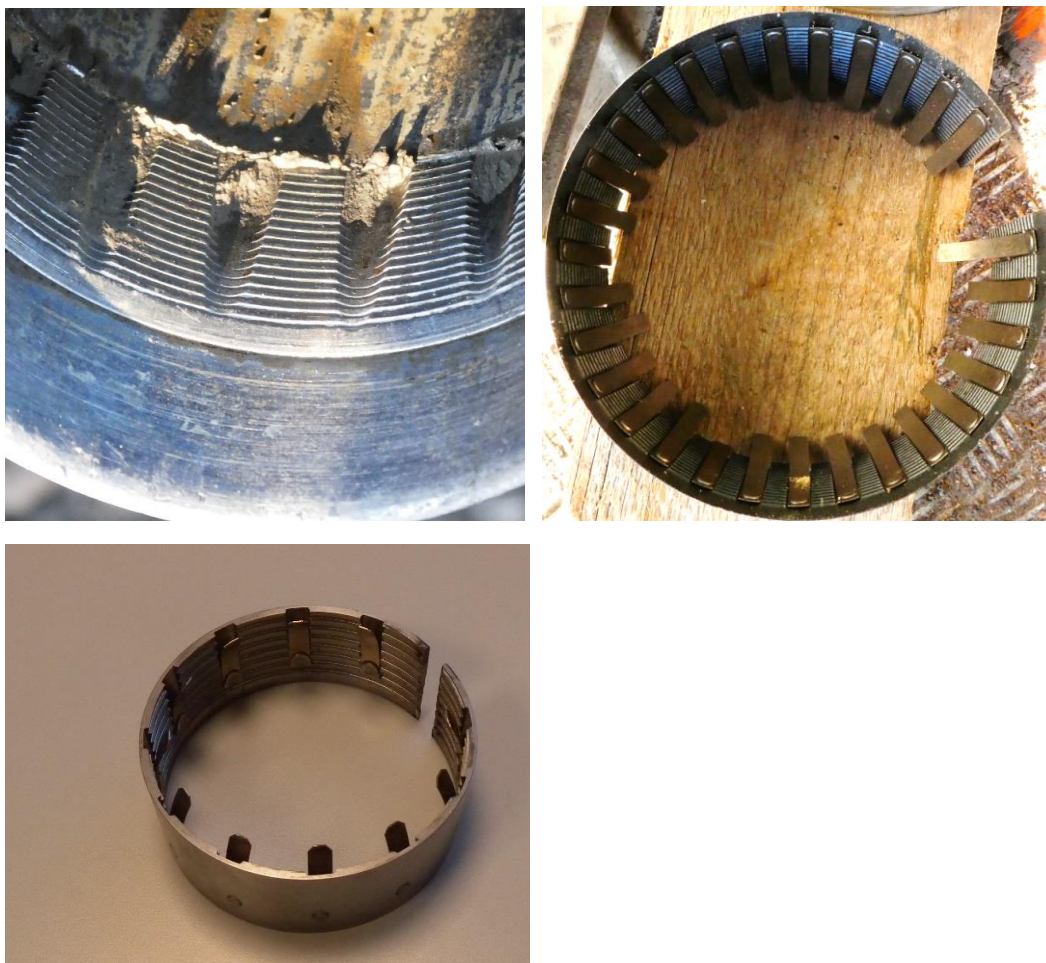
Invändigt borrkronan finns ett konformat förlängningsskär samt en kärnfångare. Kärnfångaren har ett glapp som gör att diametern minskas när den trycks ihop från sidan och därmed klämmer om provet längst ner och håller detta på plats när provtagaren dras upp. Fångaren kan vara tandad på insidan för att få bra friktion och kan även förses med fjädrande fingrar, se Figur 21.

Vid borrningen kan bland annat matningskraft, vridkraft, rotationshastighet, spoltryck och spolflöde varieras.

Vilken kärnutvinningsgrad, provkvalitet och borrkapacitet som erhålls vid en specifik borrning i jord eller berg är, förutom av val av typ av borrkrona, därför beroende av operatörens erfarenhet av borrning i aktuellt jordmaterial samt vilket spolmedium som används.

Kärnprovtagning med wireline kan kombineras med provtagning med en öppen tunnväggig rörprovtagare. Kärnprovtagaren används då som foderrör och provtagning görs med rörprovtagaren från botten av det foderrörborrade hålet. Utomlands är det vanligt att kärnprovtagning med wireline kombineras med SPT-sondering (Chapman, 2023).





Figur 21 Olika typer av kärnfångare till S-Geobor (Foto: B Dehlbom och M Andersson, SGI).

7.2 ERFARENHETER AV METODEN

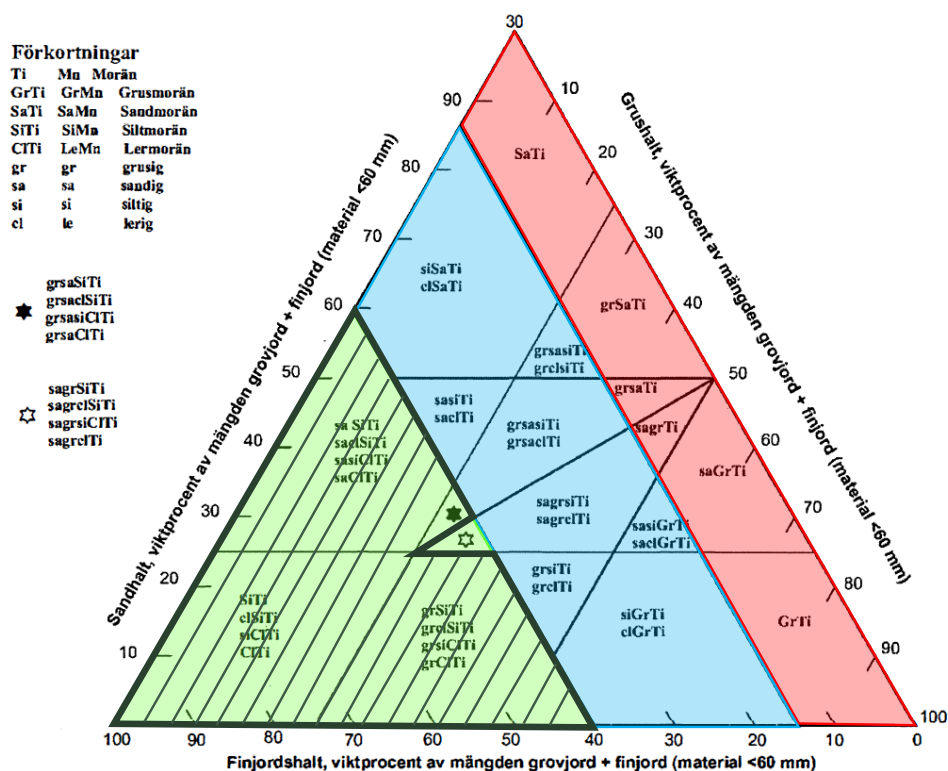
7.2.1 Undersökning av lermorän i Skåne

Provtagning med S-Geobor har utförts i stor omfattning i lermorän i södra Sverige, bland annat vid undersökningar för Citytunneln och Öresundsförbindelsen (Möller, 2022). Metoden används även i stor omfattning i Danmark.

Larsson (2001) beskriver resultaten från de omfattande undersökningar som utfördes av lermorän vid provfältet Tornhill, norr om Lund, där bland annat provtagning utfördes med S-Geobor med innerrör av på längden delade plaströr. Vid provtagningarna erhöles nästan inga kärnförluster. Provtagning genom 15 meter lermorän och 1 meter i berg tog 2 arbetsdagar. Jordartsprofilen vid provfältet bestod överst av baltisk lermorän som har sitt ursprung i sedimentära bergarter följt av ett lager med en blandning av baltisk lermorän, nordostlermorän och silt- och sandsediment underlagrade av nordostlermorän som har sitt ursprung i

kristallina bergarter följt av berg bestående av lerskiffer. Jordartsklassificeringarna för lermoränen visade varierande lager med lermorän; siltig lermorän; sandig, siltig lermorän; sandig lermorän; grusig, sandig, siltig lermorän; grusig, sandig lermorän och grusig, siltig lermorän. I Figur 22 visas ovanstående jordartsklassificeringar inlagda i ett morännomogram.

Kvaliteten på borrkärnorna varierade. Inom den översta 1,5 metern, där lermoränen var löst lagrad, borrades inte stenarna igenom, varför stenarna drogs loss och mixades med övrig jord. Inom den övriga delen av baltisk lermorän var kvaliteten bra. I det mixade lagret, med lager och fickor av grövre material, orsakade vattenspolningen erosion och hålrum i proverna. I nordostlermoränen var kvaliteten god. Ett problem var att det nästan var omöjligt att helt undvika att det 1,5 meter långa plaströret utsattes för böjning vid urtagning ur provröret, detta på grund av borrkärnans vikt. I Figur 23 visas en borrkärna från lager med sandig, siltig lermorän.



Figur 22 Morän-nomogram visande grovkornig (röd), blandkornig (blå) och finkornig (grön) morän. Lermorän från Tornhill inom område med streckade svarta linjer.



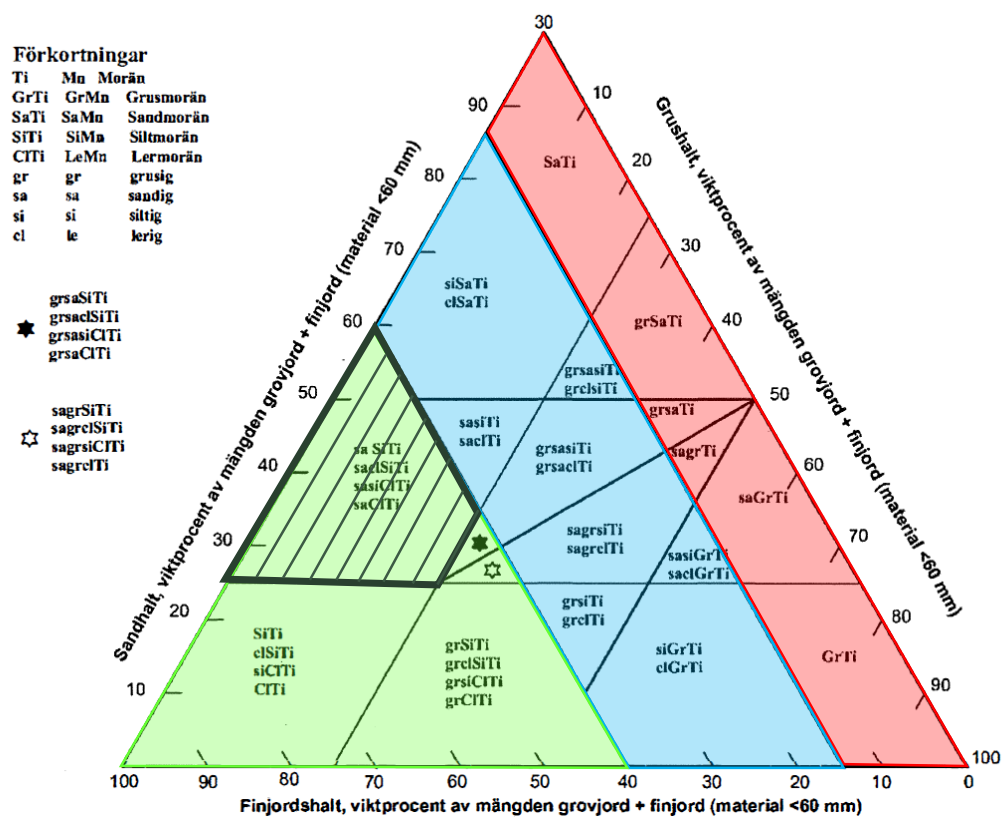
Figur 23 Borrkärna från 7,5 till 9,0 meters djup med sandig, siltig nordostlermorän med inslag av grus (Larsson, 2001).

I det översta lagret med baltisk lermorän erhöles högre förkonsolideringstryck för prover upptagna med amerikanerrör jämfört med prover tagna med S-Geobor. Triaxialförsök utfördes i huvudsak på prover upptagna med amerikanerrör från den övre delen av jordprofilen, då kvaliteten på dessa prover var bättre än proverna från S-Geobor. I den undre delen av jordprofilen utfördes triaxialförsök på prover upptagna med S-Geobor, då det var bra kvalitet på dessa jordprover.

Larsson (2000) menar att borrarparametrarna behöver regleras mer eller mindre kontinuerligt under borrhningens gång allteftersom jordens sammansättning varierar. Larsson menar också att det visat sig att man på detta vis kan erhålla prover av mycket god kvalitet även i komplexa jordprofiler. Samtidigt innebär detta att det krävs stor erfarenhet hos operatören. Dueck (1997) har visat att vattenspolningen vid borrhningen kan ge en viss risk för vattenuppsugning i provet. Prover från provfältet i Tornhill erhöles en förhöjd vattenkvot inom en zon varierande mellan 10 och 20 mm från provytans nedre del (10 mm erhöles för nordostmorän och 20 mm för baltisk lermorän). Detta undersöktes i samband med att proverna trimmades för utförande av ödometerförsök. Finjordshalten, som var cirka 40 % för nordostmoränen (si sa LeMn och gr sa le Mn) och cirka 60 – 80% för den baltiska lermoränen (LeMn och saLeMn), verkar ha haft betydelse på uppsugning/inträngning av vatten. Man har funnit att val av borrkrona är viktigt. För att borra igenom flintbitar i kalkberg erfordras en borrkrona av typen impregnerad diamantborrkrona medan ytsatta kronor ger högre provkvalitet i lermorän, speciellt om denna innehåller lager med friktionsjord (Jonsson med flera, 1995).

7.2.2 Undersökning av lermorän i Skottland

McLeod med flera (2015) redovisar erfarenheter från provtagning i laboratorie-kvalitetsklass 1 som utförts på skotsk glacial morän. Moränen kan översiktligt beskrivas som stenig, sandig lermorän, med ursprung i sandsten. I Figur 24 visas ovanstående jordartsklassificering inlagt i ett morännomogram. Nomogrammet visar korn med diameter <60 mm, varför stenhalten inte ingår.



Figur 24 Morän-nomogram visande grovkornig (röd), blandkornig (blå) och finkornig (grön) morän. Lermorän från Skottland inom område med streckade svarta linjer.

Provtagning utfördes med kärnprovtagare typ S-Geobor, UT100 (öppen tunnväggig rörprovtagare) och U100 (öppen tjockväggig rörprovtagare). Som inledning på fältarbetena testades olika typer av borrhävar och kärnfångare så att kvaliteten på borrhävar kunde jämföras. Högst kvalitet på borrhävarna erhöles med en ytsatt borrhävar tillsammans med en kärnfångare med korta, fjädrande fingrar. Som spolmedium användes vatten med tillsats av polymerer, vilket minskade störningseffekterna vid borrhävar. Spolmediets viskositet kontrollerades regelbundet. Innerrör av plast med 1 mm godstjocklek testades, men rören böjde sig vid uttagning av proverna från provtagaren på grund av jordens egenvikt. För att minimera denna störningseffekt på proverna användes

istället plaströr med 3 mm godstjocklek. Under fältundersökningen observerades ett stort slitage på borrkronan i lager med stor andel grovgrus, sten och block. I dessa fall visade det sig att en krona av typen PDC (polykristallin diamantkomposit) gav minst slitage. Det konstaterades också att operatörens erfarenhet och kompetens är avgörande för kvaliteten på provtagningen.

I huvudsak erhöles borrkärnor av god kvalitet med liten kärnförlust. En mindre del av proverna erhöill störningseffekter i form av yterosion på grund av vattenspolning i zoner och fickor med grövre material. Det noterades också att störningseffekterna normalt inträffade i den övre delen av borrkärnorna. I projektet fann de att det finns ett behov av en visuell kvalitetsklassificering av borrkärnorna avseende borrhningsinducerad störning, som underlag för planering av laboratorieundersökningarna. I projektet togs därför ett klassificeringssystem fram kallat ”Soil Core Quality Index” (CQI). CQI-systemet visas i Tabell 6. Se även Tabell 4 som visar klassificeringssystem för bedömning av borrkärnors kvalitet enligt SS-EN ISO 22475-1:2021. CQI-systemet ledde till ett konsekvent tillvägagångssätt. Registrering av kvalitet och störningseffekter på borrkärnorna inkluderades som standardförfarande i entreprenörens borrhålsloggar.

Tabell 6 Metod för visuell kvalitetsklassificering av borrkärnor (CQI-systemet) (efter McLeod med flera, 2015).

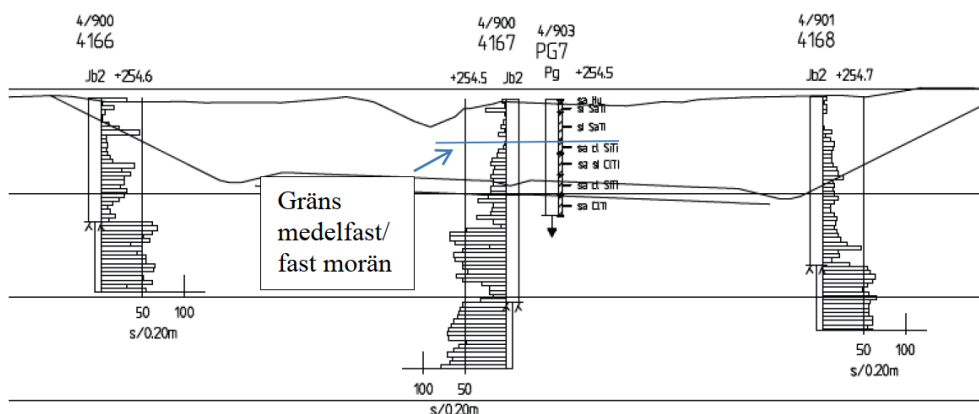
Soil Core Quality Index	Soil Core Condition Descriptor	Soil Core Appearance / CQI Criteria
1	Very poor	Soil core shows evidence of out of soil matrix leaving predominantly gravel particulates. Core turbed and altered state.
2	Poor	Soil core shows evidence of substantial drilling disturbance e.g. heavy scoring on surface of core and dislodgement gravel particulates. Excess moisture on surface of core has reduced shear strength and can only be managed by surface wiping and scraping to remove softened soil.
3	Average	Soil core shows evidence of drilling disturbance e.g. scoring on surface core. Slight moisture/ softening on core surface which can be managed by surface wiping of core.
4	Good	Soil core shows no evidence of drilling disturbance. Slight moisture/ softening on core surface which can be managed by surface wiping of core.
5	Excellent	Soil core shows no evidence of drilling disturbance or moisture/ softening on core surface.

Totalt utfördes 143 okonsoliderade, odränerade triaxialförsök på prover av lermoränen upptagna med S-Geobor, UT100 (öppen tunnväggig rörprovtagare) och U100 (öppen tjockväggig rörprovtagare). Resultaten från prover tagna med

UT100 och U100 är likvärdiga och båda ger betydligt lägre odränerad skjuvhållfasthet och friktionsvinkel än prover tagna med S-Geobor. McLeod med flera (2015) skriver att det normalt används öppna tjockväggiga och tunnväggiga provtagare som slås ned, vid undersökning av glacial morän i Skottland. Problemen har ofta varit att grövre material har stört proverna, vilket innebär att de ofta inte uppnår laboratoriekvalitetsklass 1. Författarnas (McLeod med flera, 2015) slutsatser från undersökningarna är att störningseffekten vid provtagning av lermorän i Skottland, är mindre vid provtagning med S-Geobor än genom provtagning med öppna tunnväggiga och tjockväggiga rörprovtagare som slås ned, vilket påvisas genom högre utvärderad skjuvhållfasthet för prover upptagna med S-Geobor. Se också diskussion i avsnitt 12.2.

7.2.3 Undersökning av siltmorän i Västergötland

I samband med genomförande av ett projekt för förbättrad utvärdering av resultat från jord-bergsondering/MWD utfördes provtagning i morän med kärnprovtagare av typen S-Geobor strax utanför Ulricehamn (SGF, 2015). I Figur 25 visas en tvärsnitt med undersökningar utförda för bygghandlingen.



Figur 25 Sektion 4/900 med undersökningar utförda för bygghandling, väg 40 (SGF, 2015).

Provtagningen utfördes ned till 6,6 meters djup. Då hade borrhöjningen (typ av borrhöjning framgår inte av rapporten) slitits ned helt och provtagningen avslutades. En annan typ av krona skulle kanske ha fungerat men det testades inte.

Jorden vid testplatsen bestod av sand och grus ned till 1,7 meters djup följt av morän. Siktning har utförts på material från mycket fast morän på 3,75-3,85 meters djup. Provet klassificerades som sandig lerig siltmorän, med en

Borrkärnor från olika djup visas i Figur 28.



Figur 28 Jordprov tagna med S-Geobor på olika djup i punkt P7-7 (SGF, 2015).

7.2.4 Undersökning av blandkornig morän för järnvägsskäring i Östergötland

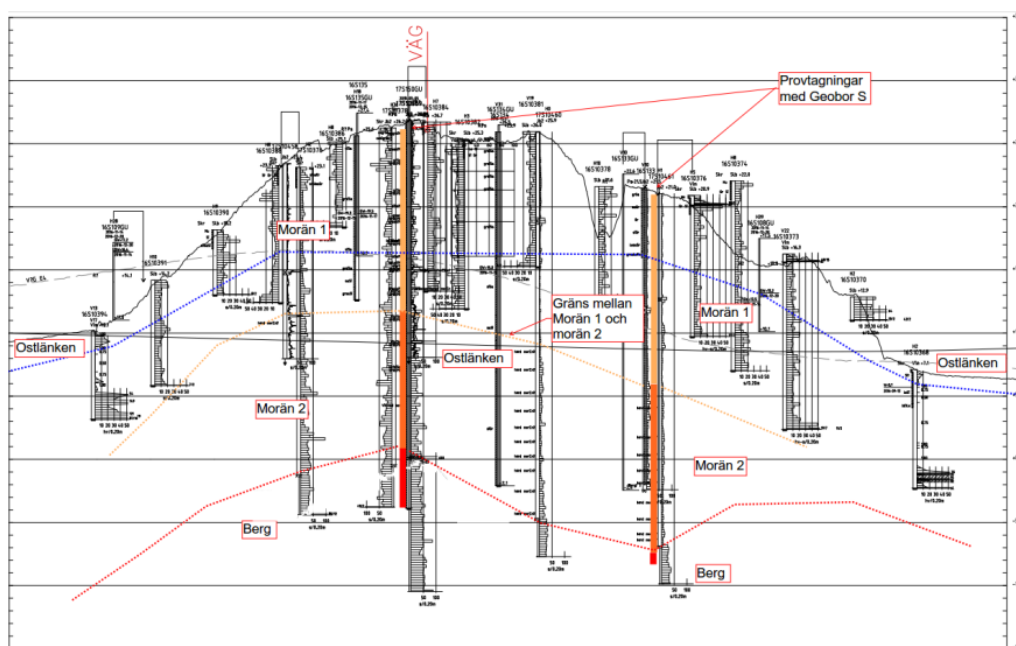
Ostlänken är den första planerade sträckan av Sveriges nya stambana för höghastighetståg. Sträckan är cirka 154 km och går mellan Järna och Linköping. Ostlänken planeras skära igenom en moränrygg på ett djup av max 18 m från

omgivande markyta ned till rälsöverkant, vid Åby strax norr om Norrköping (Chapman med flera, 2019).

I ett tidigare projekteringsskede hade sondering utförts med bland annat jordbergsondering. Det bedömdes att kärnprovtagning med S-Geobor erfordrades som underlag för att exempelvis bedöma nivå på bergets överyta samt moränens blockighet, hållfasthetsegenskaper, siltinnehåll, hydraulisk konduktivitet, bärrighet och frostkänslighet.

Kärnprovtagning med S-Geobor utfördes i två punkter. Borring utfördes i ett undre bottenmoränlager från cirka 15 m djup och några meter ned i berg. I ett övre moränlager utfördes skruvprovtagning med foderrör.

Baserat på utförda undersökningar bedömdes moränen bestå av ett övre moränlager ned till ungefär 15 m djup följt av ett undre bottenmoränlager ned djup varierande mellan 25 och 30 m, se Figur 29.



Figur 29 Tolkad profil vid Åby, Norrköping (Chapman med flera, 2019).

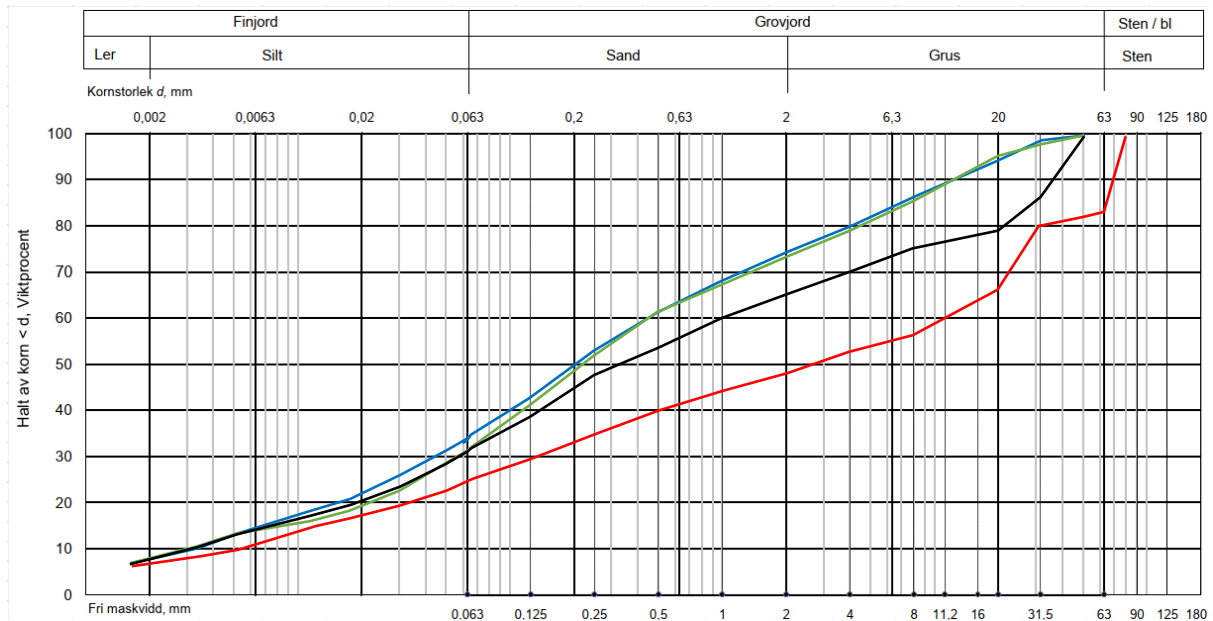
För det övre moränlagret varierar jordartsklassificeringarna mellan:

- grusig, sandig siltig morän
- något siltig, grusig sandmorän
- sandig, lerig siltmorän
- sandig, siltig grusmorän.

För den undre bottenmoränen, som är mycket fast lagrad, varierar jordartsklassificeringarna mellan:

- grusig, sandig, lerig morän
- lerig sandmorän
- sandig grusig morän, stenig.

I Figur 30 visas fyra siktkurvor för den undre bottenmoränen.

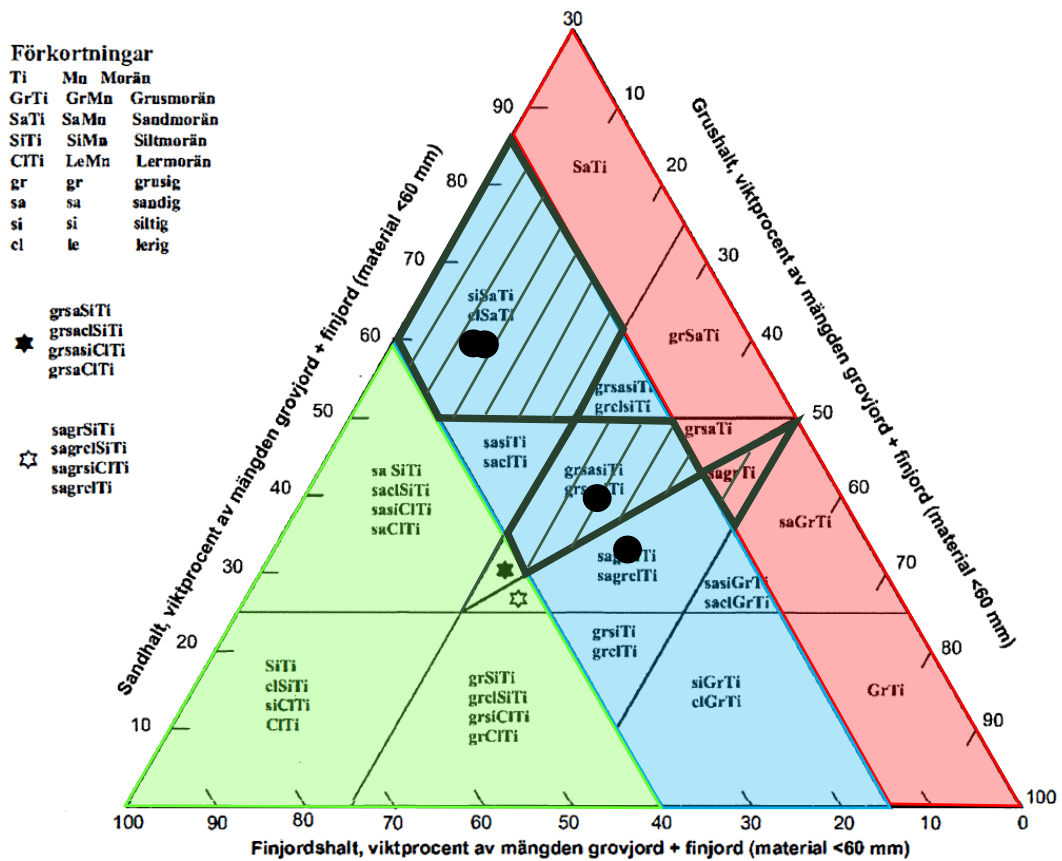


Figur 30 Kornfördelningskurvor för fyra prover av undre bottenmorän (efter Chapman med flera, 2019).

I Figur 31 visas generella jordartsklassificeringar och resultat från siktning i ett morännomogram. Bottenmoränen kan i huvudsak klassificeras som en blandkornig morän, delvis grovkornig. Nomogrammet visar korn med diameter <60 mm, varför stenhalten inte ingår.

I ovanstående klassificeringar har inte sten- och blockhalt tagits med. Då sten- och blockhalten enligt Chapman med flera (2019) bedömts som hög är det inte osannolikt att det i moränryggen finns lager av morän som ska klassificeras som steniga och blockiga eller som sten- eller blockmorän.

Borrkärnor från olika djup visas i Figur 32. Kärnåtervinningsgraden var 75 % eller högre.



Figur 31 Morän-nomogram visande grovkornig (röd), blandkornig (blå) och finkornig (grön) morän. Undre bottenmorän från Norrköping redovisas inom område med streckade svarta linjer. Resultat från siktning redovisas med svarta punkter.



Undre bottenmorän med sten och block genomborrade. Punkt 17S10459, djup cirka 16-17 m.



Block av olika bergarter varvat med morän. Punkt 17S10459, djup cirka 22-23 m.



Undre bottenmorän i punkt 17S10461, djup 21 – 22,5 m.



Undre bottenmorän med ett siltigt sandlager. Punkt 17S10461, djup 22,5-23,1 m.

Figur 32 Borrkärnor från tagna med S-Geobor från punkt 17S10459 och 17S10461 (Chapman med flera, 2019).

Eftersom ett antal kärnprover av bottenmoränen var intakta utfördes 3 triaxialförsök på NGI. Borrkärnornas diameter behövde inte trimmas på bredden då borrkärnorna och triaxialapparaten hade samma diameter. NGI har triaxialceller för de flesta vanliga provtagningsdimensioner och kan bygga om dessa till önskad storlek på ändplattorna (Kåsin, 2023). Kravet var att proverna skulle vara till synes ostörda, hålla ihop för att kunna trimmas på längden till cirka 200 mm höjd och inte innehålla några större stenar. Syftet med triaxialförsöken var

att uppskatta moduler samt möjligen hållfasthet inför analyser och dimensionering. I Figur 33 visas prov 459-5 före och efter skjuvning.



Före skjuvning



Efter skjuvning

Figur 33 Prov 459-5 före och efter skjuvning vid triaxialförsök (Chapman med flera, 2019).

Kärnprovtagning är en metod som används utomlands i friktionsjordar och i berg. På Nya Zeeland används normalt trippelrör och innerröret utgörs vanligtvis av ett på längden delat rör i stål. Enligt Chapman (2022) är det lätt att ta ut proverna från ett delat rör, men ett helt plaströr ger mer ostörda prover.

Chapman (2022) menar att i exempelvis Nya Zeeland, är det vanligast att använda kärnprovtagning med trippelrör i sedimentärt berg samt leriga och cementserade jordarter, vilket ger bra kvalitet på borrhämnarna. Chapman med flera (2019) skriver att en orsak till att man vid kärnprovtagningen efter Ostlänken lyckades få upp moränprover med bra kvalitet och mycket hög återvinning troligen varit att materialet var mycket fast lagrat och sammanhållet beroende på högt innehåll av silt/lera.

Vid fältundersökningarna för Ostlänken uppkom kapacitetsproblem på grund av låg utetemperatur och att borrhjulen inte var anpassad för vinterförhållanden. När provtagningen nådde ned i berget visade det sig också att berget var vittrat och att det troligen smulades sönder till sand av borrhjulen. Sanden fastnade mellan ytter- och innerröret vilket ledde till att det inte var möjligt att dra upp innerröret med vajern. Detta innebar att både ytterrör och innerröret måste tas upp (Chapman med flera, 2019). Kapaciteten minskar också vid en stor andel sten och block i morän (Chapman, 2022). Enligt Chapman (2023) är det viktigt att denna information, tillsammans med uppgifter om returnerat spolvatten, samlas under borrhjulen eftersom det ger information vid tolkning av jordlagerföljden. Det är även viktigt med kommunikation mellan fält och handläggare och man bör överväga att ha den som utför karteringen/handläggaren på plats under utförandet. Chapman (2022) menar att operatörens erfarenhet av borrhjulen i olika jordarter och handhavande är viktigt för ett lyckat resultat.

7.2.5 Undersökning av järnvägsbank i Jämtland

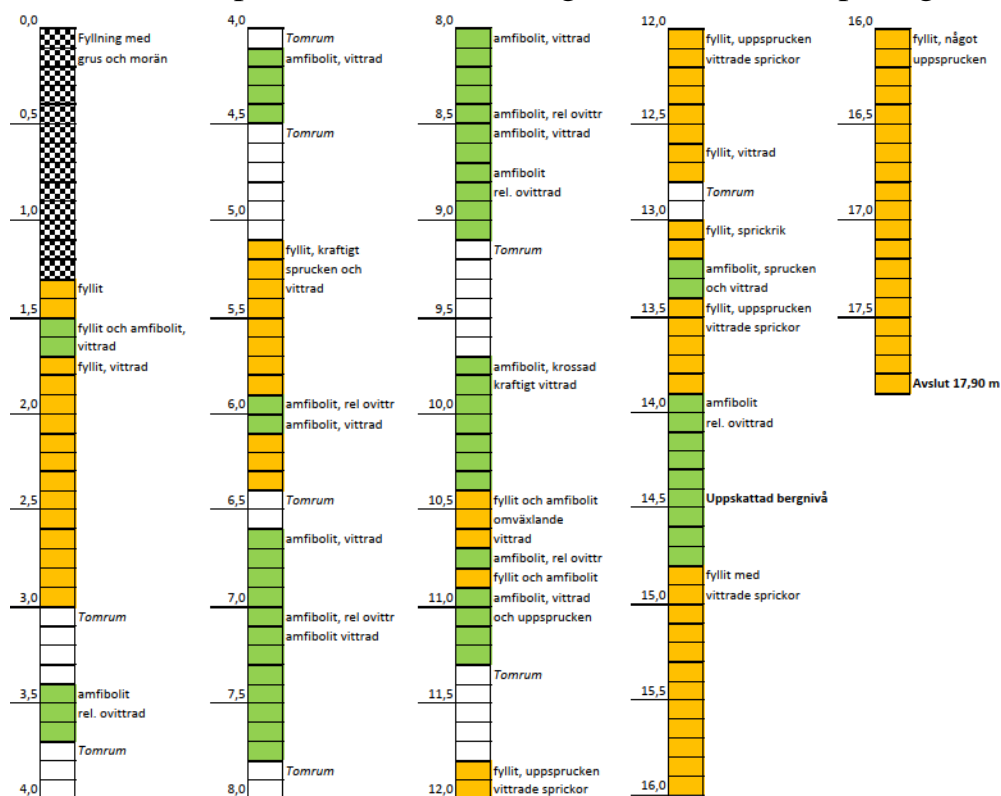
2013 beslutade Trafikverket att tillsätta en expertgrupp för att värdera bankstabiliteten för en järnvägsbank vid Stora Helvetet, i närheten av Storlien i Jämtland (Trafikverket, 2014). Bankfyllningen består, innanför ett ytligt lager av glaci, av lagda stenar/block av glimmerskiffer (fyllit och amfibolit).

Som underlag för analyser av bankstabiliteten utfördes omfattande mätningar och geotekniska fältundersökningar. Fältundersökningarna omfattade bland annat kärnprovtagning med S-Geobor i fyra punkter. Provtagningen utfördes

inte i syfte att erhålla borrkärnor för hållfasthetsprovning i laboratorium, utan för att få en uppfattning om jordlagerföljden i banken samt information om håligheter, löst material och mängden block. Nedan redovisas kartering av två borrhål. Undersökningen ger en bild av vilket provmaterial som är möjligt att erhålla i grov jord. I två av borrhålen utfördes även provtagning av moränlager under banken.

Kärnprovtagning i 751+560 H

Översta delen på banken ner till cirka 1,3 m djup består av ballast och finjord. Det finns block med tomrum/löst material emellan blocken ner till cirka 13,5 m djup, sedan är det mer homogent. De från borrhprotokollen tolkade tomrummen har tjocklek mellan 0,1 och 0,2 m. Berg har observerats från 14,5 m djup. Grundvattenytan påträffas i berget på 15,6 m djup. En kärnutvinningsgrad (recovery¹) av 0 – 113 % erhöles. I Figur 34 visas resultat av en kartering av borrkärnorna i punkt 751+560H. I Figur 35 visas foton på några utvalda djup.



Figur 34 Karterade borrhål i punkt 751+560H (underlag till Trafikverket, 2014).

¹ Med Recovery menas upptagen längd på kärnan i relation till borrhålslängd dvs. kärnutvinningsgrad. Om Recovery är 100% är kärnförlusten 0%. Om man missar att få upp någon kärndel är Recovery 0%. Om man får Recovery större än 100% innebär detta att man troligen fått med en del av kärnan från tidigare provtagning.



2,03 – 3,00 m
Vittrad fyllit



4,94 – 5,81 m
Kraftig sprucken och vittrad fyllit



8,00 – 9,54 m
Vittrad och ovittrad amfibolit



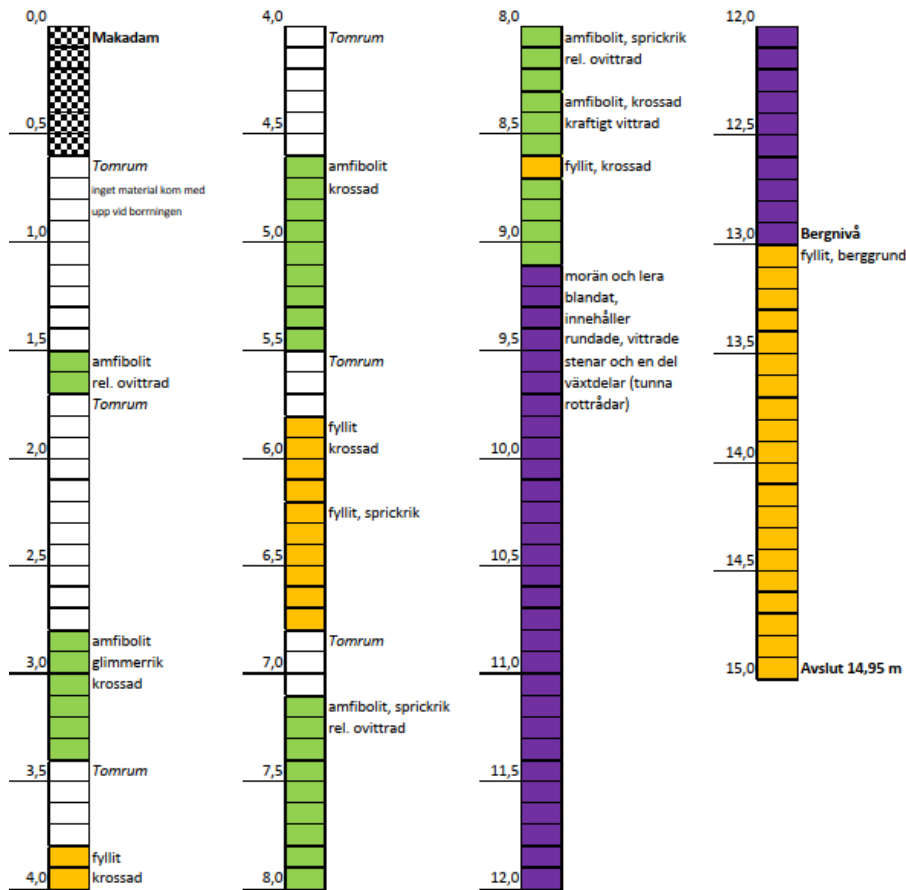
14,46 – 15,64 m
Berg – fyllit med vittrade sprickor

Figur 35 Foton på några borrhäror i punkt 751+560H (underlag till Trafikverket, 2014).

Kärnprovtagning i 751+615 V

Det finns makadam ned till 0,6 m djup. Inget material i provtagaren erhöles ned till cirka 1,5 m djup. Banken består till största delen av uppsprucket/vittrat material. Tomrum/frisjunkning erhöles mellan 1,7 och 2,7 m djup. De från borrhprotokollen tolkade tomrummen har tjocklek mellan 0,1 och 1,0 m. Större block påträffades mellan 7,6 och 8,3 m djup. Morän observerades från 8,3 till 13,1 m djup. Berg påträffades från 13,1 m djup. En kärnutvinningsgrad (recovery) av 0 – 105 % erhöles.

I Figur 36 visas resultat av en kartering av borrhäror. Foton på borrhäror från olika djup visas i Figur 37.



Figur 36 Karterade borrhäror i punkt 751+615V (underlag till Trafikverket, 2014).



2,93 – 3,90 m
Amfibolit, glimmerrik, krossad



9,82 – 10,85 m
*Morän och lera blandat**



10,85 – 11,91 m

*Morän och lera blandat**

11,91 – 12,99 m

*Morän och lera blandat**

* Innehåller rundade, vittrade stenar och en del växtdelar (tunna rottrådar)

Figur 37 Foton på några borrhäror i punkt 751+615V (underlag till Trafikverket, 2014).

7.2.6 Norska erfarenheter

NGI i Norge har utrustning för utförande av kärnprovtagning med trippelrör, typ S-Geobor (Kåsin, 2021 och 2022). Det huvudsakliga användningsområdet för S-Geobor är att ta borrhäror i berg. NGI har dock en del erfarenhet av användning av metoden även i jord. Följande information har lämnats vid samtal med Kåsin (2021 och 2022):

- En förutsättning för att erhålla prover av bästa möjliga kvalitet är att använda kärnprovtagare med trippelrör (det vill säga en provtagare med tre rör).
- Vid användning i sand har man spolat bort mycket material. För att minska bortspolningen användes ett konformat förlängningsskär invändigt borrhönan samt en slutarring. Slutarringen är inte hel utan det finns ett glapp som gör att diametern minskar när den trycks ihop från sidan och därmed klämmer om provet längst ner och håller detta på plats när provtagaren dras upp. Ringen kan även vara räfflad på insidan för bra friktion. Denna slutarring kan användas på alla typer av jordar.

Det finns många olika typer av borrhönan. NGI byter dessa beroende av typ av berg och typ av jord. Kåsin menar att om en borrhöna slits ned i sandig jord, se avsnitt 7.2.3, har man använt fel borrhöna. För morän och stabiliserat jordmaterial (KC-pelare) har NGI provat en PDC-krona (poly-crystalline Diamond Composite) av typen CBT-DPX-FD med framgång.

- NGI har använt S-Geobor i fast lera i ett forskningsprojekt i vilket utformning av olika borrkronor och provtagare testades. En erfarenhet var att det blev stora kärnförluster, som bedöms bero på användning av fel typ av borrkrona. Tillräckligt med prov har dock erhållits för att kunna utföra laboratorieundersökningar (dessa var vid denna rapport utgivning inte klara). NGI har för avsikt att göra nya provningar med andra borrkronor.
- Generellt använder NGI provtagning med rotonic i jord och övergår till kärnprovtagning med trippelrör i berg. Dock menar Kåsin (2023) att om jorden är fast lagrad eller/och har tillräcklig kohesion kan kärnprovtagning med trippelrör ge prover med högre kvalitet.

7.2.7 Provtagning i kalkcementpelare

Under november 2022 utförde Sandberg Miljö AB på uppdrag av SGI kärnprovtagning med S-Geobor i kalkcementpelare installerade under början 1990-talet utanför Sätinge i Kungsbacka, se Figur 38.



Figur 38 Provtagning med S-Geobor i Sätinge (Foto: B Dehlbom, SGI).

Provtagningen utfördes med en rotationshastighet på cirka 6 cm/min och spolflöde cirka 40 l/min. En ”allroundprovtagare” med en kombination av hårdmetall och diamantimpregnerad krona, användes, se Figur 39.

Provtagningen utfördes med hela plaströr, se Figur 40. Inga kärnförluster erhöles vid provtagningen.



Figur 39 Borrkrona vid provtagning av kalkcementpelare i Sätinge (Foto: B Dehlbom, SGI).



Figur 40 Provtagningsrör (Foto: B Dehlbom, SGI).

I Figur 41 visas exempel på prov uttagna ur rör i laboratorium. Provet i bilden är från 1,5-3 m djup under markytan.



Figur 41 Kalkcementpelarprov från Sätinge (Foto: M Andersson, SGI).

Kapitel 8.

Kärnprovtagning med sonicborrning

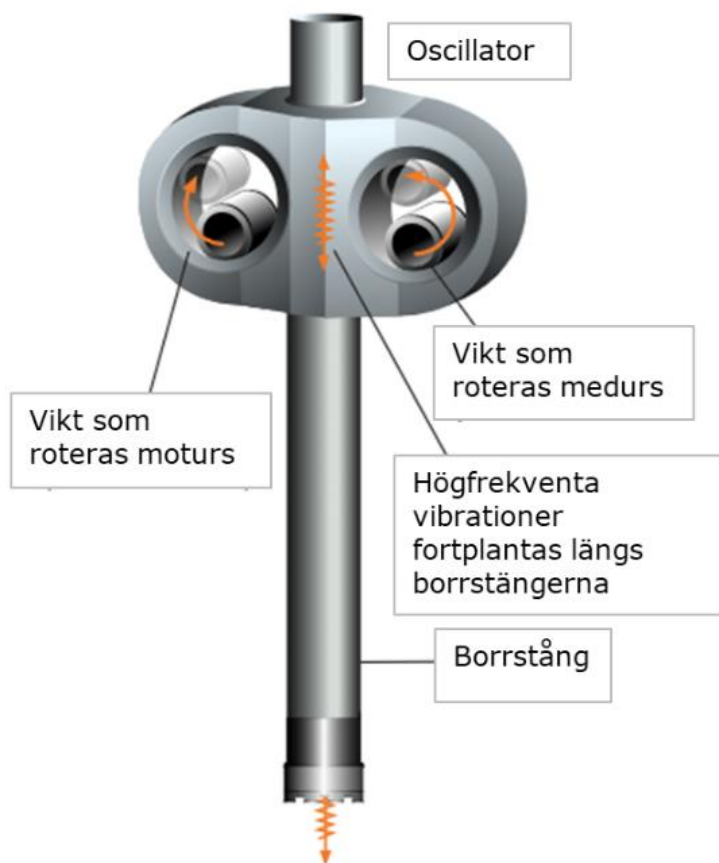
8.1 BESKRIVNING AV METODEN

Sonicborrning är en provtagningsmetod i vilken friktionen längs borrhägar och provtagare minskas genom att borrhägar och borrhägar vibreras vid en relativt hög frekvens. Vibrationen får strukturen i ett tunt lager av jorden närmast stänger och krona, att kollapsa (liquefaction) varvid mantelfriktionen minskar. Vibrationerna under neddrivning har även den positiva effekten att stängerna lättare hålls vertikala under neddrivningen, jämfört med vanlig sondering. Metoden utvecklades under 1980-talet av företaget Sonic drill i Kanada (Brenton och Condron, 2019).

Vanligen används en vibrationsfrekvens av mellan 30 och 150 Hz och en rotation av stängerna av 100–140 varv per minut. Vibrationerna alstras i en sonic-oscillator inuti i ett så kallat sonichuvud. Sonichuvudet är monterat på borrhägarerna. I oscillatoren finns två vikter där den ena roteras medurs och den andra moturs och därigenom orsakas en vibration, se Figur 42. Ett pneumatiskt system inne i oscillatoren hindrar energin från att fortplantas till borrhägarerna. Då vibrationerna överensstämmer med stängernas egenfrekvens orsakas resonans och maximal energi fortplantas längs stängerna. Frekvensen justeras efter varje ökning av förlängningsstängerna för att uppnå resonans.

Provtagningen kan utföras med eller utan samtidig rotation och spolning med vatten, luft eller en suspension (en polymer). Spolningen utförs normalt nedåtriktad men kan även utföras uppåtriktad i syfte att minska påverkan på jorden som ska provtas (Ekström, 2023). Metoden kan användas i alla typer av jordar och i mjukt berg. Med en kraftig borrhägar har även kärnor kunnat tas i kristallint berg (Kåsin, 2023).

Metoden benämns ibland sonicborrning då enbart vibration används och rotsonicborrning då både rotation och vibration används.



Figur 42 Oscillator för resonsansborrning (efter <https://www.boartlongyear.com>).

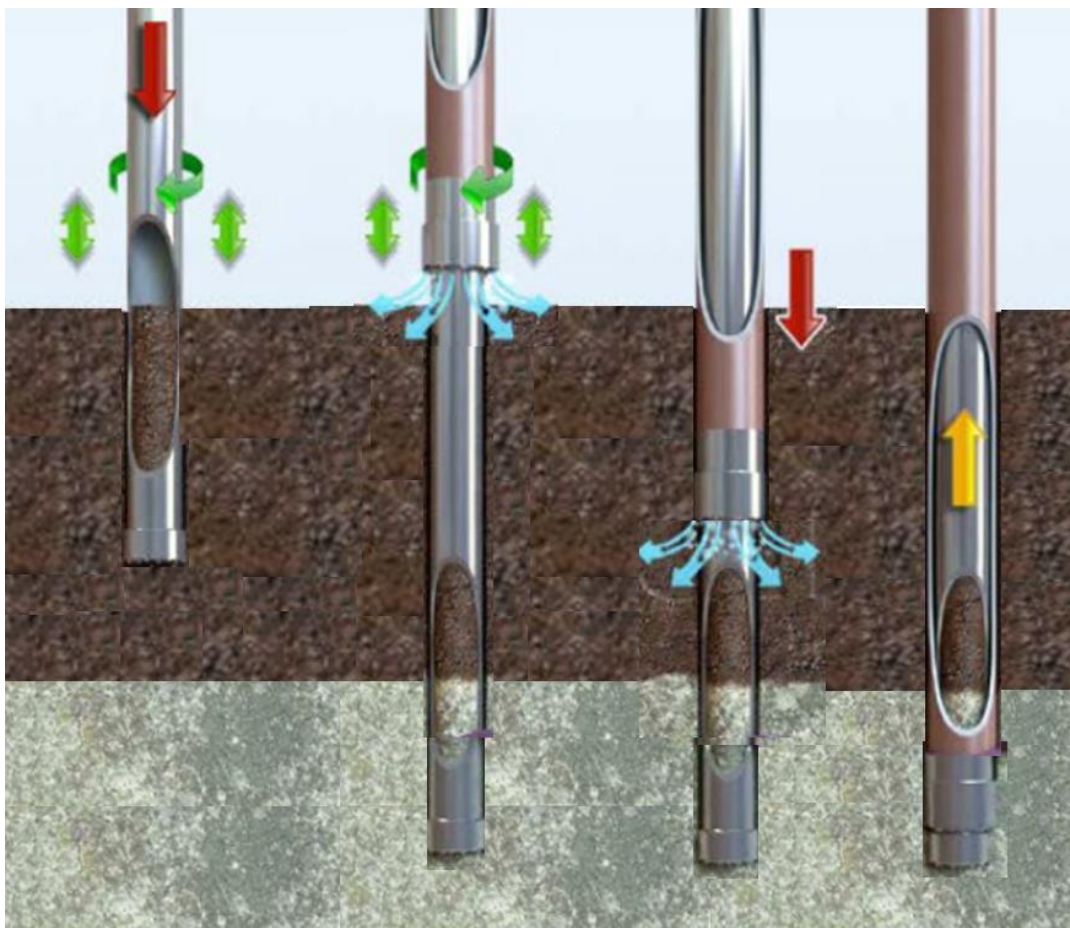
Borrstången har två gängor med olika dimensioner vid anslutning till provtagare och foderrör, se Figur 43. Både provtagare (själva borrhöret) och foderrör är försedda med borrhöret, se Figur 44. Provtagningen inleds med att själva provtagaren drivs ned, och därefter drivs foderröret ned utanpå provtagaren. Därefter lyfts provtagaren med hjälp av borrstängerna till markytan. Foderröret hindrar hålet från att falla in då provtagaren dras upp. De olika momenten illustreras grafiskt i Figur 45. Vid neddrivning av provtagaren används i första hand rotation och tryck. När det inte räcker för att driva provtagaren nedåt, startas vibratorn. Metoden utförs utan spolning men vid neddrivning av provtagare och foderrör i block eller mycket fast lagrade, grovkorniga jordar kan spolning med vatten eller luft krävas. Spolningen bör då utföras vid provtagningsnivån i rör likande de som används vid S-Geobor. Alla operatörer har inte sådana rör idag, utan spolning sker från toppen av provtagaren. I dessa fall måste provtagaren först tömmas och sedan drivas ned igen.



Figur 43 Borrstång försedd med olika gängor; (1) gänga för foderröret, (2) gänga för provtagaren och (3) gänga för drivningsröret. Gängorna är gängade åt olika håll (Foto: K Lundström, SGI).



Figur 44 Foderrör med ytsatt kärnborkrona (Foto: B Dehlbom, SGI).



Figur 45 Illustration av de olika momenten vid resonansborrning. Först (1) drivs provtagaren ned, därefter foderröret (2) och (3) varefter provtagaren lyfts upp (4) (omarbetad efter Eijkelkamp (2022)). (<https://www.youtube.com/watch?v=C81PRO5GkXE>)

Kontinuerlig provtagning med upp till 3 meter långa kärnor kan utföras och i Sverige är 3 meter vanligast. Provtagare finns med en ytterdiameter mellan 76 och 250 mm (3 och 10 tum) och i Sverige används vanligen 100 mm (4,75 tum). Provtagare kan förses med slutare med fingrar i plast eller metall (se Figur 46). Det finns även slutare med en klappventil som slås igen vid uppdragning av provtagaren.



Figur 46 Slutare i plast i inre provtagningsrör av halvårsmodell överst (Foto: H Branzén, SGI) och nederst slutare med fingrar i metall (www.geoprobe.com).

När provtagaren förts upp till markytan vinklas stängerna ut från masten och jordprovet får glida ut ur provtagaren med hjälp av tyngdkraften, genom att stängerna vibreras eller genom vattenspolning. Provet kan fångas upp i plastpåsar eller i halvror och därefter överförs till en provlåda, se Figur 47 och Figur 48. Vattenspolning bör dock undvikas då det riskerar att spola ur föroreningar och finjord.

Det finns även provtagare med ett inre provtagarrör, vanligen i plast, som i nedre ändan kan förses med en slutare. Det inre röret trycks efter upptagning till markytan ut ur det yttre röret, förses med gummilock och transporteras till laboratorium, se Figur 49. Plaströret kan även bestå av två halvor som delas efter det har tryckts ut från det yttre röret.



Figur 47 Jordprov vibreras ut ur provtagaren till halvrör (överst) och överförs därefter till en provlåda (nederst). Provtagning av anriknings-sand i Bolidens nedlagda gruva i Saxdalen (Foto: K Lundström, SGI).



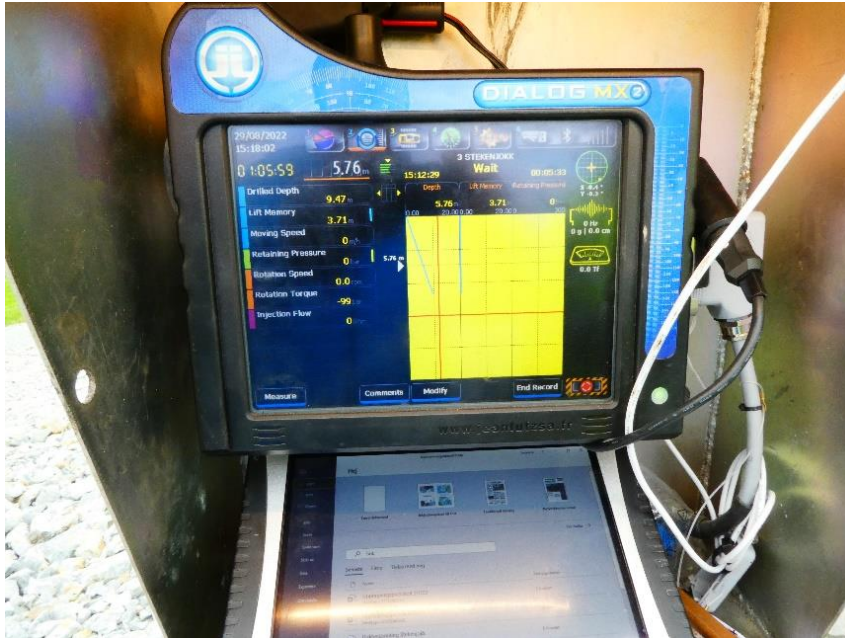
Figur 48 Uppsamling av jordprov i plastpåse (Foto: Miljöanalys).



Figur 49 Inre provtagare försedd med plastlock (Foto: H Branzén, SGI).

Vid provtagning med sonicborring krävs normalt en anpassad kraftigare borrhvagn än de geotekniska borrhvagnarna i Sverige eller en borrhigg monterad på lastbil/traktor. Några av företaget Eijkelkamps SRS riggar är dock inte större än

vanliga, exempelvis Geotech, borrhigar. Det finns flera tillverkare av borrhigar för provtagning med sonicborrning på marknaden, bland andra Eijkelkamp, Boart Longyear och Talpa sonic drilling products. Automatisk registrering av exempelvis vibrationer och rotation finns på vissa riggar (se Figur 50).



Figur 50 Logger monterad på borrhigg för automatisk registrering av bland annat djup, tryck, vibration och spolning (Foto: B Dehlbom, SGI).

I jord är det främst storleken på stenar i förhållanden till provtagaren som avgör vilka fraktioner som kan tas upp. Om provtagare och stenarna är av ungefär samma storlek finns risk att stenarna kilar fast i provtagaren och hindrar ytterligare material att komma in i provtagaren. Det är därför viktigt att den faktiska provlängden jämförs med förväntad provlängd (SGF, 2022). Det kan även finnas en risk att jorden kompakteras under provtagningen, vilket även framgår om längderna jämförs. Vidare bör det tydligt markeras vad som är upp och ner på borrhärnan.

Möjligheten att använda metoden i olika geologiska formationer beror även på vilken borrhigg och krona som använts och av vilken erfarenhet operatören har. Provtagning med sonicborrning kan utföras i sedimentärt berg men för det krävs en rigg med stor kraft.

Med riggen anpassad för provtagning med sonicborrning kan man även utföra exempelvis provtagning med öppna rör och CPT-sondering. Dessutom kan grundvattenrör installeras i borrhålen, vilket har gjort metoden populär i miljö-geotekniska sammanhang.

8.2 ERFARENHETER AV METODEN

Provtagning med sonicborring har använts i många länder i världen framför allt för att bestämma jordlagerföljd och förekomst av föroreningar i jord. I Sverige har metoden använts i drygt 15 år, inom främst miljögeoteknik och inom gruv- och vattenkraftsbranschen.

Inom miljögeoteknik har metoden använts vid exempelvis studier av föroreningsspridningar kring nedlagda fabriker och anläggningar. I dessa sammanhang har fokus varit att få upp jordprover inom vilka eventuella föroreningar finns kvar och att jordproverna inte blandas ihop med jord från andra nivåer. Installation av grundvattenrör har också varit ett syfte.

I gruvsammanhang utförs provtagning med sonicborring exempelvis i syfte att undersöka föroreningsspridning kring dammar med anrikningssand samt jordlagerföljd och grundvattenflöden kring gruvdammar.

Metoden har även använts för att ta prover i fyllningsdammar (kraftverksdammar). Syftet med dessa provtagningar är att bestämma kornstorleksfördelning, hydraulisk gradient samt att upptäcka eventuella håligheter. Axelsson med flera (2023) beskriver några olika metoder för geoteknisk provtagning i fyllningsdammar och vilka som är lämpliga i dammarnas olika delar.

I geotekniska sammanhang har inte metoden använts i Sverige. NGI har två borrhjor för provtagning med sonicborring som de hittills mest använt i miljögeotekniska sammanhang. Under de senaste åren har NGI dock även testat metoden för provtagning i lera, moränlera och sand, bland annat vid provfältet i Drammen.

Nedan följer en sammanställning av de erfarenheter vad gäller användning av metoden för olika ändamål som vi fått ta del av under detta arbete.

8.2.1 Miljögeoteknik

Även om syftet med provtagning med sonicborring inom miljögeoteknik inte är att ta upp ostörda prover för undersökning av jordens tekniska egenskaper, kan ändå lärdomar dras från utförda borrhjor avseende möjligheter med metoden inom geoteknik. Här ges några exempel.

Vid miljögeotekniska undersökningar uppges ett problem vara den höga värme som genereras vid vibrering med sonicborring. Värmen bidrar till gasavgång av

flyktiga föroreningar. Enligt SGF (2022) bör spolmedel användas för att förhindra flyktiga föroreningar att förångas. Mätning av temperaturen på den upptagna provkärnan bör utföras i syfte att upptäcka problemet. I geotekniska sammanhang bör man således vara observant på att den naturliga vattenkvoten kan påverkas av värmeutvecklingen. Värmen kan även vara ett problem vid användning av inre provtagningsrör (se vidare nedan).

Vid efterbehandlingsarbetet i Teckomatorp användes provtagning med sonicborrning som ett tillägg till tidigare utförda undersökningar med bland annat skruvborrning och Jb-sondering (se Styrelsen för BT Kemi Efterbehandling, 2017 samt Tyréns, 2017). De använde en Compact roto-sonic borrrigg med provtagare som var 1,5 meter långa och med en diameter av 100 mm utan inre provtagningsrör. Man såg, baserat på resultaten från provtagningen att den tidigare framtagna geologiska modellen inte riktigt stämde. En mycket hård packad undre morän påträffades vid provtagningen på drygt tio meters djup, vilken från Jb-sonderingen hade tolkats som berg. Sonicborrning med den använda riggen visade sig inte fungera för provtagning i fyllnadsmassorna eller i berget och det var förenat med svårigheter i områdets hårda moränlager. Berggrunden i området utgörs av sedimentärt berg (lersten, siltsten och slamsten). I övriga jordlager (lera, silt, sand, grus, lermorän) fick man dock värdefull information. De skriver vidare att även om provtagning med sonicborrning är dyrare än skruvborrning hade det med stor sannolikhet varit både kostnads- och tidseffektivt om provtagning med sonicborrning hade gjorts redan i första provtagningsomgången.

Inför sanering av området kring tidigare kemtvätten i Hagfors utförde Niras provtagning av jorden med bland annat sonicborrning (se Larsson, 2015). De konstaterade bland annat att den enda metoden som kunde användas för provtagning genom hela jordvolymen, ned till 25 meter under markytan, var sonicborrning. De konstaterade vidare att hanteringen och dokumentationen på plats är viktig och att felaktig information eller att viktig information kan gå förlorad om detta inte utförs korrekt.

Sonicborrning i miljögeotekniska sammanhang har i Sverige även använts av exempelvis Golder (2018, 2019) och SGU (Niras, 2019, Vikberg med flera 2022).

8.2.2 NGI

Följande information har erhållits vid möte med NGI (Kåsin, 2021).

NGI har sedan 2017 två borrhuggar från Eijkelkamp som de mest använt för miljögeotekniska utredningar men som nu även testats för att ta ”ostörda” prover i jord. De har använt utrustningen i flera hundra uppdrag. Vid tre provfält som ingår i norska forskningsuppdraget Norwegian Geo-test sites, NTGS i Onsøy (utanför Drammen), Halden och Øysand (utanför Trondheim) har NGI utfört provtagning med sonicborrning bland annat i fast lagrad sand och grus, silt och lermorän. I lokalerna Halden och Øysand har man även använt kolvprovtagning (Geonor 54 mm), Sherbrooke blockprovtagare (250 mm), mini-blockprovtagare (160 mm) och gelprovtagare (71 mm).

De har även använt metoden i en fyllningsdamm där det fanns misstankar om lera och har tagit upp prover i skifferberg. I ett pågående utvecklingsprojekt ska de testa olika provtagningsmetoder, inklusive sonicborrning, i fast lera med en odränerad skjuvhållfasthet kring 200–300 kPa. På upptagna prover har de bland annat utfört triaxialförsök i laboratorium.

NGI har använt provtagning med sonicborrning både med och utan inre provtagare. Som inre provtagaren har de använt plaströr och stålrör. Problem med värmebildning från vibrationen vid borrning har uppstått vid borrning i fast lagrad jord och i berg. Vid användning av plaströr i fast lagrad jord och grovkornig jord har de upplevt att plaströret kan smälta av värmen. Vid användning av stålrör i samma typ av jordar kan i stället värmen orsaka att stålröret kallsvetsas fast vid det yttre provröret. Därför anser de att det är bättre att utföra borrning i jord med hög relativ fasthet, utan inre provrör.

Vid provtagning med sonicborrning tycker de att det är lättare att installera foderrör jämfört med konventionell teknik, vilket gör att man mer sällan kör sönder borrhugg och foderrör. Detta beror på möjligheten att vibrera ned foderröret. Det krävs dock vaksamhet för att undvika att tappa foderröret.

NGI använder normalt foderrör med dimensionerna 142 mm och 182 mm samt provtagare med dimensionerna 76 eller 101 mm (finns även 50 mm) diameter. Det största foderröret som de kan använda är 273 mm, men det är sällan som det används.

Borrkronor som de använt har liknat de kronor som används vid Jb-sondering. De menar att det är viktigt att anpassa borrkrona till rådande förhållanden och vilken typ av jord eller berg som ska undersökas.

NGI:s erfarenhet är att provtagning med sonicborrning fungerar bra i sedimentärt berg men sämre i kristallin berggrund. Vidare har de sett att provtagning med sonicborrning är snabbare än kärnprovtagning med S-Geobor ned till 60–70 meters djup. Vid större djup är dock S-Geobor snabbare på grund av att provtagaren vinschas upp med wireline-system, medan sonicborrning använder stängerna för att ta upp provtagaren. De har borrarat 21 hål med sonicborrning på en dag till djup varierande mellan 1,5 och 4,5 meter.

NGI anser att metoden är bra för att ta upp prover genom hela jordprofiler och att proverna inte nödvändigtvis blir ostörda.

8.2.3 Gruvindustrin

Inom gruvindustrin har provtagning med sonicborrning använts framför allt för att ta prover av anrikningssand men även i själva dammkroppen (fyllningsdammar). Erfarenheter från fyllningsdammar beskrivs i avsnitt 8.2.4.

Boliden har använt sonicborrning för provtagning och installation av grundvattnrör kring flera av sina dammar med anrikningssand. Vanligen är informationen om jordlagerföljden i fyllningsdammarna bristfällig varför undersökningar med sonicborrning även har börjat utföras för dessa syften.

Följande beskrivning är från ett studiebesök *i Saxdalen* hösten 2021 där Miljöanalys (2021) utförde provtagning av anrikningssand vid Bolidens nedlagda gruva.

I Saxdalen använde Miljöanalys en Eijkelkamp borrutrustning, se Figur 51, utan slutare och slutarbleck monterad på provtagaren och foderrör med en dimension av 6” (cirka 15 cm) och provtagaren 4,75” (cirka 12 cm).



Figur 51 Utrustning som användes i Saxdalen (Foto: K Lundström, SGI).

Provtagningen startade i markytan och det togs ett 3 meter långt prov. De roterade borrhöret och provtagaren så länge det gick och använde vibrationer endast då det behövdes. Provtagaren lyftes upp och borrhöret vinklades ut från masten, så att provet kunde tryckas ut (med vattentryck). Provet fångades upp i halvörret och därefter sköts provet över i en låda. På riggen som användes fanns ingen logger varför olika data, så som vibration och spolning, noterades manuellt.

Prover på anrikningssanden var i den övre delen grovkornigt och torrt, se Figur 52. Längre ner var finjordshalten högre och delar av proven satt ihop i upp till 1 dm långa bitar, se Figur 53.



Figur 52 Torrt material från de översta 3 metrarna trycks ut med vibration och vattentryck till halvörret (Foto: K Lundström, SGI).



Figur 53 Jordprover i provlåda. Den övre delen av jordprofilen (längst bort i bild) var grovkornig och torr medan den längre ner i profilen (närmast kameran) var finkornigare och fuktigare (Foto: K Lundström, SGI).

Även i *Bolidens gruva i Aitik* har provtagning av morän nedströms dammar med anrikningssand utförs med sonicborring. Följande är erfarenheter från provtagningarna förmedlat av Roberto Embile och Ulf Hedberg på Boliden (Embile och Hedberg, 2021).

För att få en bra framdrift och få upp bra prover krävs en erfaren operatör. Vibrationerna vid provtagning gör att det alstras värme. I morän blir temperaturerna inte så höga men vid provtagning i berg kan provkropparna krympa.

De hade en del kärnförluster som man tror berodde på utspolning av material vid provtagning i högpermeabel jord under grundvattenytan. Nedre delen av provta-

garen kan också sakna material då detta lätt halkar ur. De menar att proverna även komprimeras vid urtagningen från provtagaren på grund av vibrationer. Provlådorna som de använde var 1 m långa och hade en mindre diameter än provtagarens diameter, vilket gjorde att proverna fick pressas ned i lådorna, se Figur 54. Det regnade vid provtagningstillfället vilket orsakade uppblötning av proverna innan de kom under tak. Vissa prover släpptes ned i smala plastpåsar, se Figur 55.

Block och många stenar gör att det går långsammare att borra. Exempel på prover i berg och i grovkornigt material, se Figur 56. Kapacitet i finkornig morän var cirka 1 prov om en meters längd per timme eller 8 prov per dag. I anrikningssand är kapaciteten högre och borrhastigheten är då cirka 30 m per dag.



Figur 54 Jordprover vid Aitik. Övre delen av bilden - problem med provlådor som har mindre diameter jämfört med provtagaren (Foto: Boliden).



Figur 55 Kärnförluster vid provtagning i Aitik (Foto: Boliden).



Figur 56 Prover på berg och grovkornigt material i Aitik (Foto: Boliden).

Vid ***Bolidens gruva i Garpenberg*** har också provtagning med sonicborrning använts i syfte att installera grundvattenrör, inklinometrar och att kontrollera grundläggningsdjupet på en befintlig damm. Följande är information från dessa förmedlade av Jenny Bramsäter och Erik Månsson, Sweco (Bramsäter och Månsson, 2021).

Provtagningen utfördes med en av Sialtechs stora riggar och en provtagare som var 3 meter lång och hade en diameter om 154 mm. Provtagning utfördes i anrikningssand, gyttja, torv och i isälvsmaterial.

De konstaterade att den stora riggen har problem att ta sig fram i kuperad terräng. Vid stillestånd under neddrivningen av foderrör kan röret sugas fast och vara svårt att få loss. Detta är speciellt känsligt i löst lagrad jord, som anrikningssand. Spolning kan bli nödvändig vid provtagning genom grova material och fast lagrad sand. Om polymer används som spolmedel reduceras risken för friktion mellan jord och foderrör väsentligt (Kåsin, 2023). De fick upp fina prover av gyttja och anrikningssand, se Figur 57 och Figur 58, samt av torv. På prover av dyig gyttja utfördes i laboratorium klassificering av organisk halt, konsistensgränser och kornstorleksfördelning. Dessutom utfördes en serie direkta skjuvförsök och ödometerförsök. Resultaten från dessa bedömdes som något osäkra på grund av störningseffekter vid provtagningen (Barliaev, 2022).



Figur 57 Provtagning av gyttja (Foto: Sweco).



Figur 58 Provtagning av anrikningssand (Foto: Sweco).

8.2.4 Kraftverksdammar/fyllningsdammar

Vid *Vattenfalls vattenkraftsdamm i Messaure*, Stora Luleälven, utfördes 2018 provtagning med sonicborrning på uppströmssidan av stödfyllningen. Arbetena finns beskrivna av Ekström med flera (2018) och följande information är hämtad från dem och från Ekström (2022).

Syftet med provtagningen var att undersöka materialet i uppströmsfyllningen och ta prover för att utföra laborietester för ytterligare geoteknisk karakterisering av materialet. Jordmaterialet i dammen består av sten, grus och sand av hårda bergarter och det krävdes en modifiering av borrarutrustningen för att klara provtagningen. De prövade först med en av Eijkelkamps vanliga sonicriggar men fick byta till en betydligt större rigg för att komma ner i fyllnadsmaterialet. De använde en provtagare med en diameter på 178 mm och en längd av 3 meter. En ny mer robust slutare fick konstrueras för att klara påfrestningar vid neddrivning av provtagaren, se Figur 59. De hade inga problem med att stora stenar som fastnar i provtagaren, vilket troligen var tack vare provtagarens stora dimension (178 mm).

De använde vattenspolning som var bakåt/uppåtriktad för att kunna driva ned foderrör och provtagare. De tyckte att de fick upp finjord som förväntat och hade kärnförluster kring 30%. En liten förlust av jordmaterial kunde för vissa nivåer ses i nedersta delen av provtagaren, men i allmänhet var jordmaterialets fördelning liknande över hela provtagarröret i alla borrhål. När de gick på block flyttade de provtagaren och utförde ett nytt hål. Detta eftersom det hårda bergmaterialet (gnejs och granit) slet på borrhälskronorna. Provbörning i de underliggande hårda bergarterna (gnejs och granit) tog även det lång tid och borrhälskronor slets sönder. De fick byta borrhälskronan efter varje hål (efter 40–50 meter). Stora stockmattor användes för att fördela trycket från riggen och det krävdes förankring av riggen med ankarplattor och jordankare. De fick hävning av botten i ett borrhål vid stillestånd under natten. Detta löstes med fyllning av vatten i borrhålet.

De hade ett krav att borrningen skulle utföras med en lutning i förhållande till vertikalen. Före varje upptagning av prov utfördes lasermätning i borrhålet för att se att det inte avvek från tänkt lutning. De upplevde inga problem med lutningsavvikelse men det berodde kanske på provtagarens stora dimension (178 mm) och att de inte borrarde igenom block.

I och med att det borrhålades på uppströmssidan och att de hade en provtagare med stor diameter, var det inget problem med värmeutveckling. Vid en provtagning vid en annan damms nedströmssida kände Ekström (2022) till att de fått problem med värmeutveckling.

De vibrerade ut proverna till provlådor. I laboratorium utfördes siktning och på packade prover utfördes bestämning av hållfasthet med triaxialförsök och direkta skjuvförsök.

Provtagningen tog 3 veckor och omfattade 200 meter fördelade på 5 borrhål. Andelen block i fyllningen var mycket liten vilket gjorde att provtagningen gick förhållandevis fort.

Författarna menar att projektet visar att provtagning med sonicbörning har potential för storskalig provtagning av delar av dammarna som ofta är svåra att undersöka under drift. Vidare skriver de att värdefulla lärdomar drögs om metodens användbarhet i grovkorniga jordar.



Figur 59 Slutarbleck framtaget för provtagning av stödfyllning i Messauredammen (efter Ekström med flera, 2018).

Vid *Bolidens fyllningsdamm för anrikningssand i Stekenjokk* utfördes provtagning med sonicborrning sommaren 2022. Syftet med undersökningarna var att klarlägga uppbyggnaden av dammen och att instrumentera portrycksmätare i tatkärnan där man antog att det fanns ett lager med silt. Följande information har fått vid besök på platsen och diskussion med Benny Mohlin, Sweco (Mohlin, 2022).

Vid provtagningen användes två olika borrhjor. En monterad på en bandvagn och den andra monterad på grävmaskin försedd med en lång arm. Fördelen med detta är att man slipper bygga ramper för maskinen att köra fram till och stå på vid sluttande provtagningspunkter. Provtagaren var i det närmaste vertikal vid uttagning av jordproverna (se Figur 60), vilket försvårade uppfångandet av dessa och en del material ramlade vid sidan av halvröret. Detta problem uppstår då slänten lutar brant nedåt/bortåt (Mohlin, 2023).

Vid provtagningen användes ett provtagarrör med en diameter om 100 mm och en längd av 3 meter. Som borrhjora användes en stiftkrona med stift av hårdmetall (wolframkarbid). Ingen slutare användes.



Figur 60 Överföring av provtagen jord från provtagaren till halvrör (Foto: B Dehlbom, SGI).

De använde vibrationer för neddrivning av provtagare och foderrör genom hela profilen. Om provtagaren stannade på ett block försökte man vibrera ned den genom blocket med olika frekvenser. Om det misslyckas startade man vattenpolning. I de rör som användes kan spolning endast göras i toppen av provtagaren. Då operatören inte tömde röret på provmaterial före spolningen spolades en del av finmaterial ut från de i provtagaren redan infångade materialet. Det redan provtagna materialet blev därmed uppblött. Detta syntes tydligt på det översta jordmaterialet från ett upptaget prov där ett block påträffats i nedre delen av sonderingsdjupet, se Figur 61.

Uttagning av jordproverna utfördes genom långsam vibrering. Enligt Mohlin var kärnförlusterna mellan 10 och 20% beroende på vilket material som genomborades. Om stora förluster inträffar beror det oftast på att ingångshålet till provtagaren blir igentäppt av stenar vars dimension är lika som provtagaren eller när man provtar i genomsläppligt material under grundvattenytan. Därför bör slutare användas eller en utrustning med kulbackventil utvecklas. Om man använder en provtagare med en dimension större än stenarna så undviks problemet med fastkilade stenar i ingångshålet (Kåsin, 2023).

I jordlager av sandigt siltigt grus under grundvattenytan har Mohlin erfarenhet av att provtagning med vibrationer kan orsaka transporter av finjord ut till periferin av provtagaren. Ifall det är mycket vatten i provet kan materialet vid uppdrag-

ning istället bli sorterat i längdled. Det gäller att vara uppmärksam på detta, annars kan man tro att provet är från en nivå som egentligen blir felande. Det är därför vid jordartsbenämning av sådana prover viktigt att skära genom hela provet och inte bara studera ytan. Detta kan även orsaka problem med att få upp bra prover till avancerade undersökningar i detta material.

Vid borring vintertid kan problem uppstå med isbildning på den höga masten. Vattentankar för spolningen finns i maskinen och de är därmed uppvärmda. Då maskinen är tung bör den ha hyfsat bra underlag att larva på, annars finns risk att den kör fast. Generellt bör uppställning av tunga maskiner utföras enligt anvisningar redovisade av Rankka med flera (2022).

Mohlin menar att man med metoden, trots en del kärnförluster och problem som kan uppstå, får upp bra prover om syftet med provtagningen är att erhålla prover genom hela jordprofilen för klassificering och permeabilitetsbedömningar. Det är dock viktigt att tänka på syftet med borringen.



Figur 61 Spår av vattenspolning i övre delen (vänster i mittenlådan) av provtaget material. Vattenspolning hade startats då block påträffats i nedre delen av provtagningsnivån (Foto: B Dehlbom, SGI).

Till Stekenjokk hade Miljöanalys även med ett inre provtagningsrör i plast med skär och vakuumlöck som de visade. Detta har de för avsikt att testa vid provtagning i lös jord, se Figur 62.



Figur 62 Inre provtagningsrör i plast med vakuumventil, avsedd för sonicborrning, diameter 100 mm (Foto: B Dehlbom, SGI).

8.2.5 Storbritannien

Metoden kom till Storbritannien i början av 2000-talet (Brenton och Condron, 2019). Sonicborrning växte i popularitet under de följande åren och 2012 infördes tekniken i den brittiska specifikationen för markundersökningar (kallad ICE - Institution of Civil Engineers specifikation).

Brenton och Condron (2019) beskriver en provtagning med sonicborrning vid Olympic Park i London. I området hade tidigare provtagningsförsök med lin-stötborrhningsverktyg och rotationsborrning haft stora problem med bland annat långsam framdrift, svårighet att borra ned foderrör och stora kärnförluster. Geologin i området är komplex med svämsediment av siltig lera, delaterrasser av sand och grus samt lager av lera, silt, sand och grus över siltig sand.

Prover med grovkornig jord togs ut från provtagaren med vibrationer och fångades upp i plastpåsar. Ostörda prover togs i jord med finkornigt innehåll med hjälp av inre plaströr med en längd av 1,5 m och en diameter av 86 mm. Dessa

vibrerades också ut ur själva provtagaren. Nästan kontinuerliga prover av hög kvalitet togs igenom hela profilen, som djupast ned till 70 m. På proverna utfördes bland annat triaxialförsök och ödometerförsök. Totalt 36 hål för geotekniska undersökningar gjordes. Man hade en genomsnittlig framdrift av 15 meter per dag.

I syfte att undersöka påverkan på provkvaliteten vid sonicborrningen i Olympic Park gjorde författarna en del analyser. De fann att sonicborrningen inte gav någon påverkan på den naturliga vattenkvoten i jämförelse med resultat från prover tagna med linstötborrningsmaskin. De fann vidare att odränerad skjuvhållfasthet bestämd på prover tagna med de två metoderna gav liknande värden samt att inte heller någon skillnad i kompressionskoefficient ($m_v = \Delta e / \Delta p$) vid ödometerförsök kunde ses.

8.2.6 Kanada

Wride med flera (2000) utförde bland annat provtagning av sand med sonicborrning vid sex provfält inom projektet Canlex i Kanada. De använde en provtagare av 108 mm diameter och en längd av 3 respektive 6 meter. Provtagning utfördes till mellan 20 och 48 meters djup. Jordmaterialet togs ut ur provtagaren genom vibration och fick glida ner i plastpåsar. De skriver att prover blev störda vid provtagningen men att det ändå var användbara resultat vid tolkning av stratigrafin och för detaljerad korrelation med CPT-sondering.

Kapitel 9.

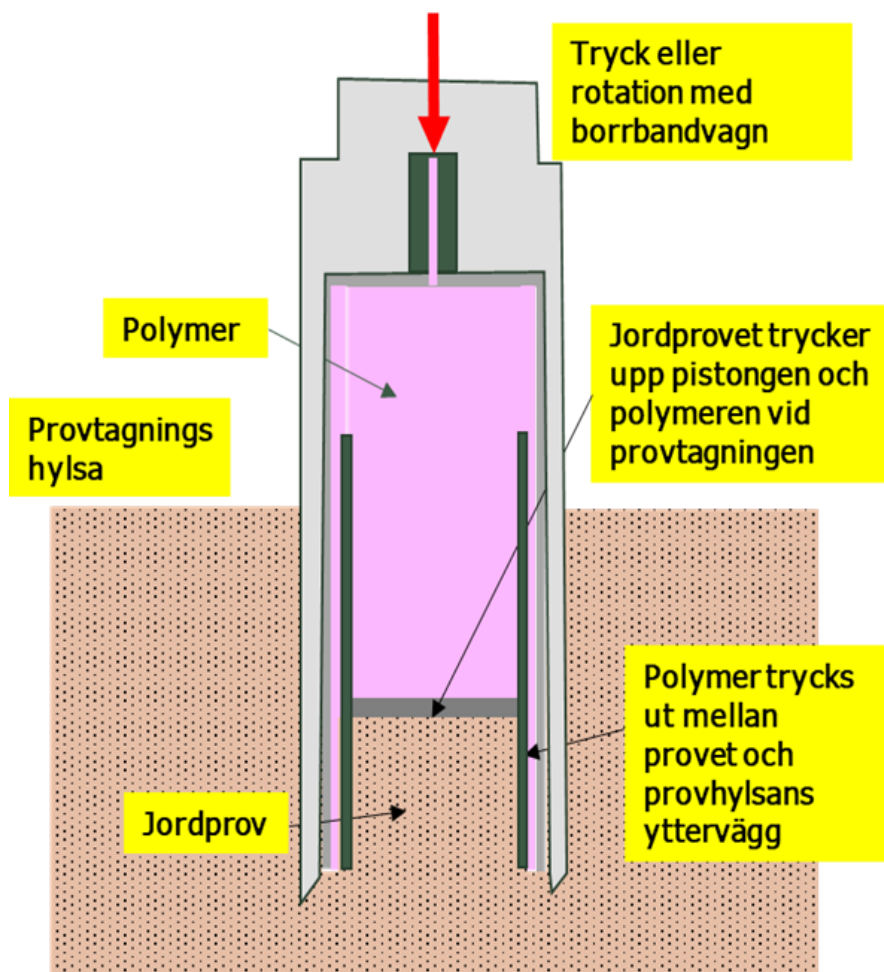
Kärnprovtagning med omslutande gel

9.1 BESKRIVNING AV METODEN

Gelprovtagaren (GP-provtagare) har utvecklats av det japanska konsultföretaget Kiso-Jiban i samarbete med Yokohama National University (<https://www.kisojiban.com/>). Provtagaren kan, enligt tillverkaren, ta högkvalitativa jordprover i siltiga, sandiga och grusiga jordar. Den är framförallt tänkt som en ersättare till metoden att frysa jorden före provtagningen. Enligt Mori och Sakai (2016) har GP-provtagare visat sig fungera bra för provtagning i olika typer av geologiska formationer (från löst lagrad silt/sand till sedimentärt berg) där provtagning med andra konventionella metoder inte varit möjliga eller har misslyckats.

Provtagaren är utrustad med en polymerlösning som används som borrhätska i syfte att minska friktionen mellan provröret och provet under provtagning. Gelen minskar även den störning som orsakas av provet vid provtagningen och vid urtagningen samt hjälper även till att hålla ihop provet under upptagning och transport till laboratoriet. En principiell skiss över provtagaren visas i Figur 63.

Den polymerlösning som används vid provtagning består av en polymer med en tillsatt växtbaserad olja. Oljan tillsätts i syfte att underlätta uppblandningen med vatten. Polymerlösningen blandas före användning med vatten (blandningsförhållande 1:9), exempelvis maskinellt med en mixerstav för flytspackel. Vid inblandning med vatten och omrörning bildas långa polymerkedjor (kolkedjor) som är smörjande och som omsluter provet vid provtagning, se Figur 64. Polymeren, som är en petroleumprodukt, klassas i EU som cancerogen (vilket den inte gör i Japan). Produkten bör behandlas därefter och vid användning kan det finnas behov av att behöva räkna på koncentrationer och mängden som eventuellt släpps ut i naturen (den del som blir kvar i borrhålet). Enligt de säkerhetsdatablad som används inom EU är produkten skadlig vid inandning, förtäring och hudkontakt. Hantering bör därför ske med handskar och vid god ventilation.



Figur 63 Principiell skiss över provtagare med omslutande gel (skiss, SGI).

Polymeren skrapas bort från mantelytan innan försök utförs på laboratorium. Hur långt polymeren tränger in i provet beror bland annat på provmaterialets kornstorleksfördelning och lagringstäthet. Polymeren som har använts i Japan är en delvis hydrolyserad polyakrylamid, en så kallad PHP polymer (Mori och Sakai, 2016).



Figur 64 Illustration av blandningsprocessen och egenskaperna för gelen som används i GP-provtagarna. En liten del polymerlösning blandas med vatten (blandningsförhållande cirka 1:9) och vid omrörning bildas långa polymerkedjor som är smörjande och som omsluter provet vid provtagning (Foto: M Andersson, SGI).

GP-provtagaren finns i fyra olika utföranden och i Tabell 7 redovisas dessa och deras olika utrustning och förutsättningar. Modellerna GP-R, GP-D och GP-Tr är samtliga avsedda för att roteras och tryckas nedåt vid provtagning, medan modellen GP-S endast trycks nedåt under provtagning. Modell väljs med hänsyn till vilken jord och till vilket djup som provtagningen ska utföras. Principerna för de olika modellerna beskrivs kortfattat i följande avsnitt.

Tabell 7 Sammanställning och information om samtliga GP provtagare (efter Mori och Sakai 2016).

	GP-R	GP-D	GP-Tr	GP-S
Sampler configuration	Single core barrel	Single core barrel	Modified triple tube sampler	Modified Osterberg sampler
Bit type or shoe	Impregnated diamond bit	Impregnated diamond bit	Shoe with metal bit for overcoring	Shoe
Function of polymer	Noncirculating drilling fluid for carrying cuttings, cooling the bit and protecting the cored sample.	Noncirculating drilling fluid for carrying cuttings, cooling the bit and protecting the cored sample.	Reducing friction between the cored sample and sampler wall.	Reducing friction between the cored sample and sampler wall.
Special features	Electric motor is used for coring.	Electric motor is used for coring. Fitted with core lifter.	Polymer dispensing ring is fitted.	Core catcher dispenses the polymer and retains cored sample.
Ground suited for sampling	Dense sand, gravel, and sedimentary rock.	Dense sand, gravel, and sedimentary rock.	Medium to dense sand and sand with gravel.	Silt, silty sand, and loose sand.
Typical core diameter (mm)	100, 150, 200 and 300	100, 150 and 200	83	75
Maximum Sample length	1 m	1 m	1 m	1 m

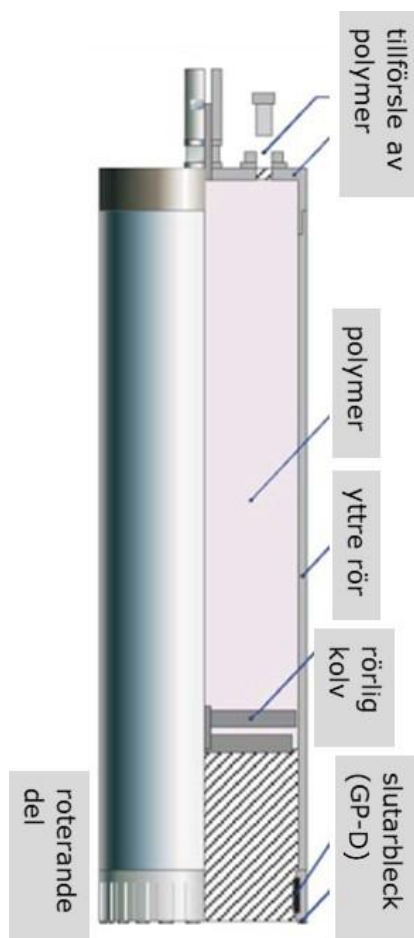
9.1.1 GP-R och GP-D (rotary single tube sampler)

GP-R och GP-D är de enklaste modellerna i vilka jordprovet roteras och trycks in i provtagningsröret, utan inre provtagningsrör, se Figur 65 och Figur 66. Det som skiljer de båda modellerna åt är att GP-D har en slutare, vilket GP-R saknar. Enligt tillverkaren är dessa modeller avsedda för sand, grus och fyllnadsmaterial och eventuellt uppsprucket berg. Möjliga provtagningsdiametrar för GP-R är 100–300 mm och 100–200 mm för GP-D. Provtagarna är drygt 1 meter långa,

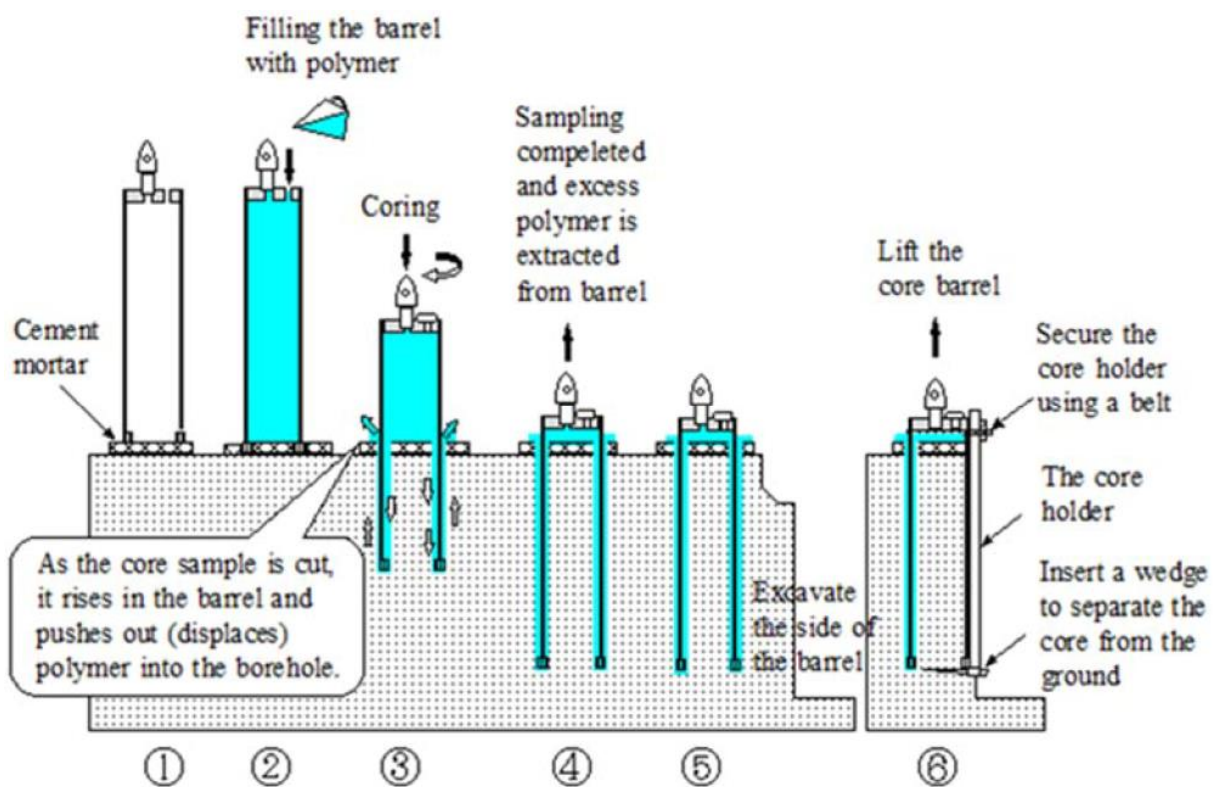
vilket gör att möjlig längd på borrhävar är knappt 1 meter. GP-R är avsedd för yttlig provtagning från markytan eller en schaktbotten. GP-D kan användas på liknande sätt men är främst utvecklad för att användas från botten av förborrade hål.

I dessa modeller fylls gelen på genom den övre delen av provtagaren, se Figur 65 och Figur 66. Provtagaren roteras med en hastighet mellan ca 300 till 800 varv per minut och trycks ner med hjälp av borrhjellen hela sin längd varvid den fylls med ett jordprov och omsluts av den tillförda polymeren. Provtagare GP-R måste schaktas fram och provet skärs av undertill. Provet hålls på plats med en platta efter uppgrävning för att förhindra att det glider ur då provet lyfts upp för vidare hantering.

I Figur 65 visas en principskiss för båda provtagarna. Den borrhjellen (en typ av diamantborrhjellen) som används på modellen GP-D visas i Figur 67. I Figur 68 visas ett exempel på ett prov på grus och finjord provtaget med GP-R.

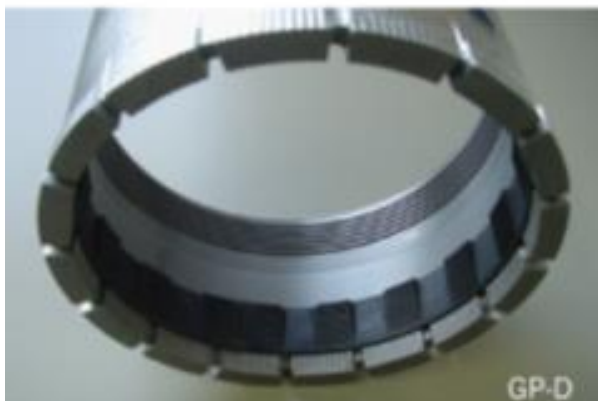


Figur 65 GP-provtagare modell GP-D och GP-R (efter www.kisojiban.com).



Figur 66 Principiell skiss för de olika arbetsmomenten vid provtagning med GP-R från markytan/schaktbotten (Mori och Sakai, 2016).

ROTARY SINGLE TUBE



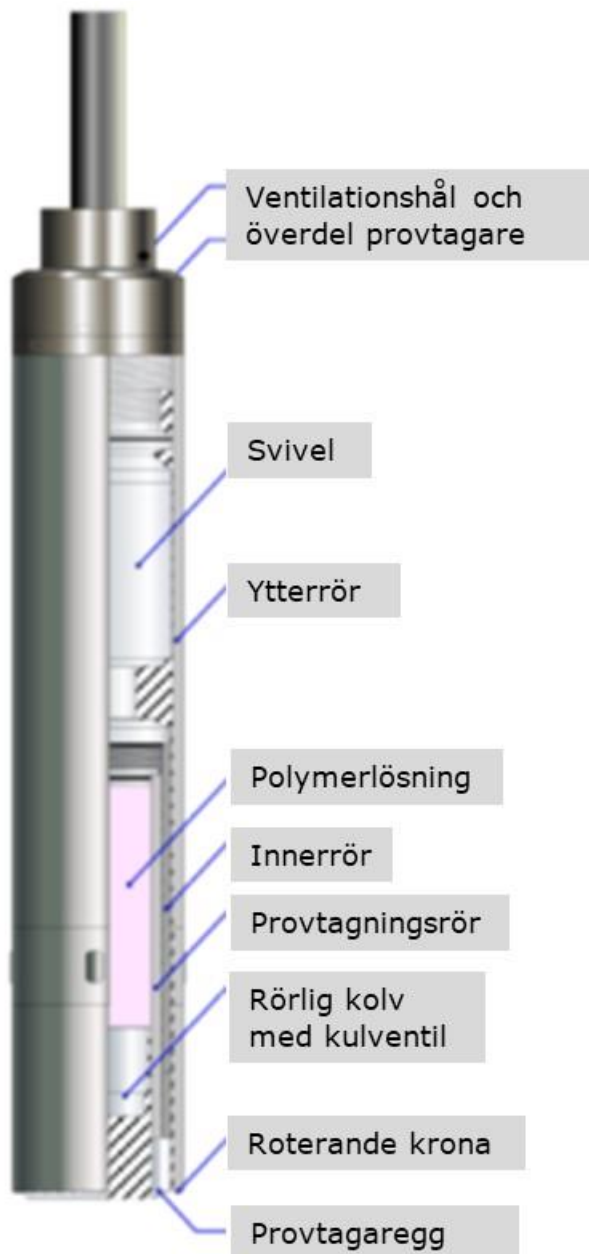
Figur 67 Borrkrona GP-D (efter www.kisojiban.com).



Figur 68 Jordprov (grus och finjord) upptaget med GP-R (diameter 300 mm) (efter www.kisojiban.com).

9.1.2 GP-Tr (rotary triple tube sampler)

Enligt tillverkaren är denna modell, GP-Tr, avsedd för att ta upp ostörda kärnprover i fast lagrade silt-, ler- och sandjordar. Provtagarens yttre diameter är 114 mm och längden är mellan 1,8 och 1,9 meter beroende på olika utrustningsdetaljer. Med GP-Tr är det möjligt att ta upp prover med en diameter mellan 73,5 och 83 mm och en längd av maximalt cirka 85 cm. Det finns några olika versioner av GP-Tr men i grunden består den av ett yttre och ett inre rör samt ett provtagningsrör av plast (används i de flesta fall men det skulle även vara möjligt med stål). Provtagaren liknar andra system med "triple tube" lösningar men det som framför allt skiljer är den omslutande gelen. I Figur 69 visas en principskiss på provtagaren GP-Tr.



Figur 69 Principskiss GP-Tr (efter Kisojiban, 2022).

Följande beskrivning bygger på information från NGI (Kåsin, 2022).

Utförandet av provtagningen börjar med att provtagaren fylls på med den viskösa gelen genom att provtagaren ställs med öppningen och skäret vertikalt och uppåt. Därefter monteras i provtagningsröret en rörlig kolv med en kulventil som ser till så att gelen bibehålls i provtagaren och inte rinner ut när den vänds åt rätt håll. I provtagarens nedre del monteras ett skär som finns i tre olika mått på den inre diametern och tre olika längder. Vilken variant som används beror på jordart som ska provtas.

Det yttre röret förses med en borrhkrona. När provtagaren trycks ned drivs kulventilen uppåt och pressar därmed gelen uppåt och ut genom övre delen av provtagaren där det finns ett hål. Hålet täcks för när gelen hålls i provtagaren och tas bort innan provtagningen startar. Från övre delen av provtagningsröret strömmar gelen utmed kanaler i det mellersta röret ner mot där provet pressas in i provtagaren. Överflödigt gel som inte hamnar på provets mantelyta i provtagaren fortsätter ut i borrhålet.

Provtagaren drivs ned till cirka 30 cm över provtagningsnivån. Därefter drivs provtagaren ned till provtagningsnivån med samtidig vattencirkulation i syfte att rensa skär och jordpartiklar i hålet före själva provtagningen. På provtagningsnivån roteras provtagaren med en hastighet av 30 till 50 varv per minut och trycks sakta ner i jorden med en hastighet av ungefär 3 till 5 min per 10 cm, under kontinuerlig vattenspolning. När provtagaren är fylld och provtagningen ska avslutas lyfts den sakta för att ”lossa” provet i underkant på provtagaren. Provet hålls kvar i tuben med hjälp av vakuüm vid kulbackventilen. Borrhålet fylls med vatten för att skapa mottryck på provet vilket hjälper till att förhindra att provet glider ur provtagaren under upptagning. GP-Tr har inget slutarbleck.

Efter upptagning läggs provtagaren horisontellt, borrhkronan samt en förlängningsdel på mellanröret monteras av. På så sätt går provtagningsröret fritt och kan dras ut för hand. Det är viktigt att locken sätts på direkt samt att provtagningsröret hålls horisontellt så att inte provet glider ur röret. Därefter sker transport till laboratorium i specialbyggda isolerade boxar.

Många olika borrhkronor kan användas och det är viktigt att man väljer rätt med hänsyn till den jord som ska provtas. I Figur 70 visas en borrhkrona med bits i wolfram karbid (tungsten) vilken NGI har erfarenheter av att ha fungerat bra i bland annat sand.

Provtagning kan ske kontinuerligt med start från markytan men det är även möjligt att hoppa över vissa nivåer genom att borra sig neråt med skruv eller foderrör och rensa borrhålet på material genom spolning. Det viktigaste är att borrhålet är stabiliserat och inte rasar igen. Stabilisering utan foderrör kan ske på traditionellt vis med vatten eller en bentonitsuspension.

GP-Tr går att använda med en normalstor geotekniska borrhbandvagn (till exempel en Geotech georigg 605) med en masthöjd på cirka 2,5 m. Dimensioner på

borrstänger för geoteknisk borrhning är olika i Japan och EU. NGI använder oftast CPT-stänger (32 mm) eller stänger till sonicborrning och har till dessa tillverkat egna gängkopplingar mellan dessa och provtagaren.



Figur 70 Borrkrona GP-Tr med bits av wolfram carbid (Foto: M Andersson, SGI).





Figur 71 GP-Tr provtagare, Ytterrör, mellanrör och ett inre provtagningsrör. På nedre bilden syns även borrkrona, skär och rörlig kolv med kulbackventil (Foto: M Andersson, SGI).



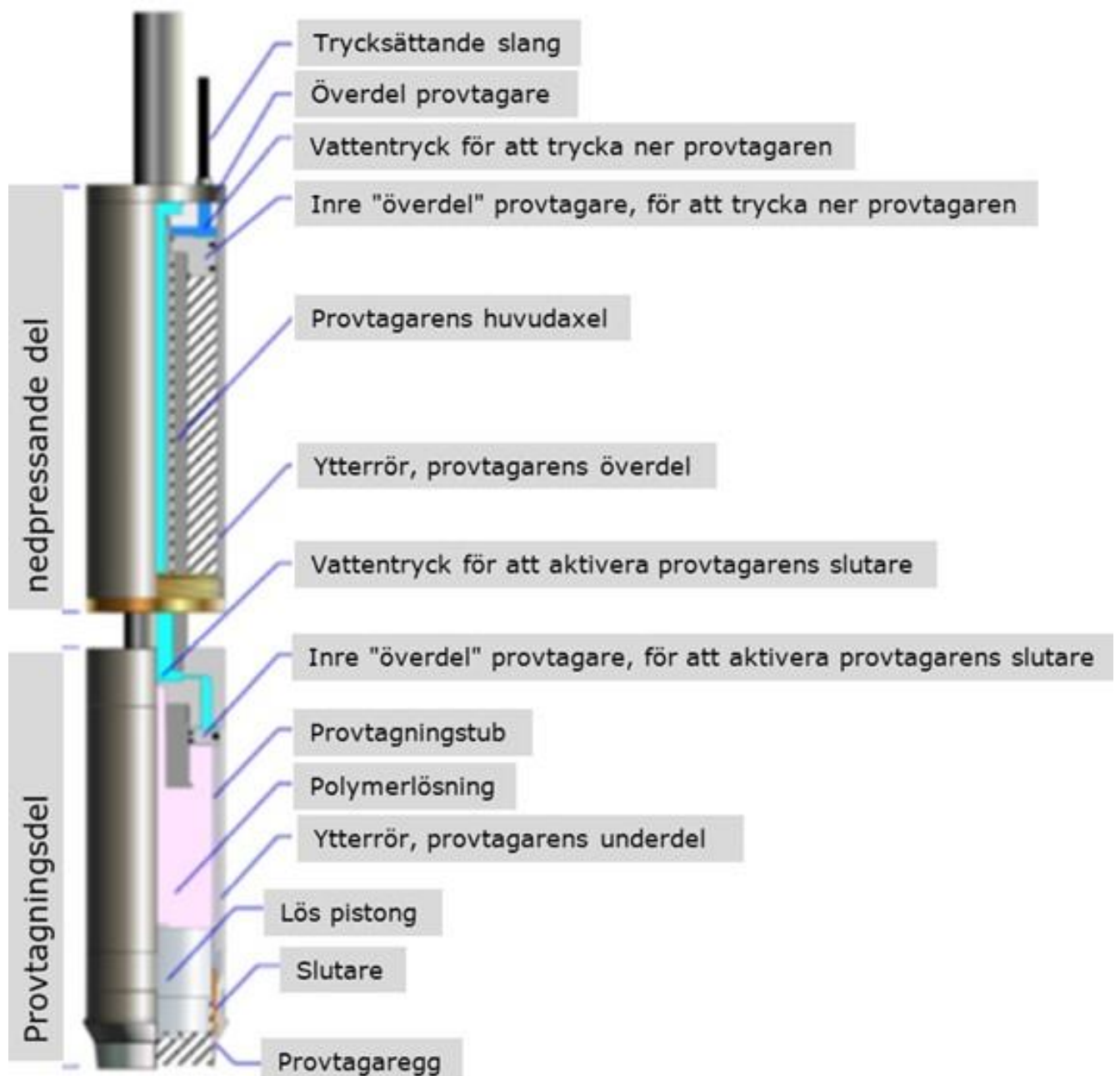
Figur 72 GP-Tr provtagaren hopmonterad (Foto: M Andersson, SGI).

9.1.3 GP-S (stationary piston sampler)

Enligt tillverkaren är denna modell avsedd för löst lagrade silt- och lerjordar. Provtagaren, som trycks ned med ett vattentryck, har en yttre diameter om 90 mm och en total längd av cirka 4 meter. Med GP-S kan man ta upp prover med en ungefärlig diameter på 70 mm (beroende på val av skär) och en längd på

maximalt 1 meter (Viana da Fonseca med flera, 2019). I Figur 73 visas en principskiss på provtagaren GP-S. I Figur 75 visas borrhönan med skäret på modellen GP-S inklusive den speciella slutaren som används för att hålla kvar provet i provtagningsröret vid uppdragning.

GP-S har två olika delar som sitter ihop med en kolv (se Figur 73 och Figur 74). Den övre delen är till för att trycksätta kolven (vattentryck) vid neddrivning av den undre delen där själva provtagningsröret finns. GP-S provtagaren har ett skarpt skär och en slutare. Hela provtagaren är cirka 4 meter lång.



Figur 73 Principskiss GP-S (skiss SGI).

GP-S går att använda med en normalstor geoteknisk borrhandsvagn (till exempel Geotech georigg 605). Eftersom provtagaren är lång krävs dock vid användande av en vanlig bandvagn att provtagaren delas vid upptagning. Provtagaren som i utlöst läge är cirka 3,5 m innebär att en maskin med högre masthöjd är en fördel. NGI har använt "sonic" maskiner för provtagning med GP-S där en tillräcklig masthöjd kan uppnås.

Till skillnad från en konventionell hydrauliskt aktiverad kolvstång, har GP-S två kolvstänger: den stationära kolvstången och provtagningsrörets neddrivande kolvstång. Den första kolven är fixerad medan den andra är rörlig. Det yttre röret säkrar borrhålet och håller neddrivningskolven och provtagningskolven fixerade i linje med varandra under neddrivningen. Provtagaren har två huvuddelar, en nedpressande del och en provtagningsdel, se Figur 74. Den neddrivande kolven säkerställer systemets nedåtgående rörelse och aktiverar provtagarens slutare. Provtagarkolven fångar provet inuti ett foderrör i metall. Den totala längden på provtagaren vid neddrivning är cirka 2,5 m och vid upptagning (utlöst läge) cirka 3,5 m. Metoden kan även utföras med foderrör.

Utförandet av provtagningen sker i olika steg, först förbereds provtagaren med att den viskösa gelen hålls i provtagaren på liknande sätt som för GP-Tr, det vill säga den undre delen ställs vertikalt med öppningen uppåt och gelen hålls i provtagaren och hålls sedan på plats med en lös kolv med kulventil.

Borrhålet där provet ska tas upp bör vara förborrat till en diameter om 100 mm antingen med foderrörsborrning eller med skruvborrning. Det förborrade hålet ska vara stabilt, vilket i ett skruvborrhål kan lösas på traditionellt vis med vatten eller en bentonitsuspension.

Botten vid den aktuella provtagningsnivån bör rensas före nedpressning av provtagaren. Nedpressningen av neddrivningskolven sker med hjälp av ett vattentryck (förs ned till provtagaren via en slang) och med en penetrationshastighet vanligen om 1 meter per minut. Att nedpressning skett till fullt djup kan kontrolleras genom att mäta mängden tillfört vatten som aktiverar neddrivningskolven. Det krävs cirka 5 liter vatten för att provtagaren ska nå ändläget. När ändläget har uppnåtts aktiveras provtagarens slutare (se Figur 75) med hjälp av ett vattentryck som förs ned med slang till provtagaren och aktiveringskolven. Ventilen för detta är en annan än den som användes för neddrivningen. Aktiveringskolven pressar ned provtagningsröret cirka 1 cm i en konformad del, vilket då trycker

på den ringformade, fingerliknande slutaren som pressas ihop och får en mindre diameter, vilket gör att provet hålls kvar inuti provtagaren under uppdragningen, se Figur 75. Slutaren blir förbrukad efter en användning.

Efter upptagning av provtagaren delas provtagaren i två delar, den ”nedpressande delen” och ”provtagningsdelen”, se Figur 74. Om masthöjden på bandvagnen är mindre än 4 m måste delning ske under själva upptagningen. På provtagningsdelen monteras skär och slutare av, varefter provtagningsröret kan dras ut manuellt. Provtagningsröret förseglas i båda ändar före vidare transport till laboratorium i specialbyggda isolerade boxar.



Figur 74 GP-S provtagarens två huvuddelar, t.v. den övre delen som används för att trycksätta kolven (vattentryck) vid neddrivning och t.h. den undre delen med provtagningsrör, skär och slutare (Foto: M Andersson, SGI).



Figur 75 GP-S provtagarens nedre del med skär och slutaren (Foto t.v. (<https://www.kisojiban.com/>), Foto t.h. M Andersson, SGI).

9.2 ERFARENHETER AV METODEN

9.2.1 Erfarenheter i internationell litteratur

Provtagning i friktionsjordar är normalt svårt att utföra med en provtagningsutrustning som enbart pressas ned på grund av den höga friktionen. En studie (Huang med flera (2008)) i södra Taiwan har visat att det är möjligt med GP-S, då gelen förutom att fungera som en omslutning av provet, även fungerar som ett smörjmedel för att röret ska kunna pressas ned. Proverna som togs upp trimmades ned till en diameter 70 mm innan utförandet av laboratorieförsök. Trimning av cirka 2 mm på mantelytan var tillräckligt för att erhålla ett prov som var opåverkat av gelen. Författarna menar att det med GP-S-provtagaren är möjligt att ta upp högkvalitativa prover i siltig sand under förhållanden liknande de i södra Taiwan. Studien visade även att GP-S-provtagaren var en kostnadseffektiv metod i jämförelse med en Laval provtagare (blockprovtagare).

En studie i Portugal utförd av Molina-Gómez med flera (2021) visar att det är möjligt att ta upp bra och högkvalitativa jordprover med GP-S. De jordar som provtogs var känsliga för "liquefaction", det vill säga grovsand, finsand, siltig sand, silt och även leriga jordar. Provtagaren fungerade dock inte när stenar påträffades eller när jorden var fast lagrad (spetsstrycket vid sondering högre än cirka 8 MPa). En viktig observation från studien var att transporten av de upptagna proverna från fält till laboratorium är helt avgörande om bra provkvalitet skulle uppnås eller inte. Specialgjorda transportlådor användes som klarade att behålla provet i upprätt position, isolerade för att motverka vibrationer och ordentligt fixerade ändar på provtagningsrören för att motverka svällning av proverna.

Stringer med flera (2016) har testat provtagarna GP-S och GP-Tr i silt och sandjordar i Nya Zeeland. De rekommenderar att använda GP-S provtagaren när spetsmotståndet (q_c) från CPT-sondering är mindre än 5 MPa. Vid större spetsmotstånd bör GP-Tr provtagaren användas. Samma författare skriver att båda dessa provtagare har potential att ta bra prover men att det krävs en stor kunskap om metoden, erfarenhet och noggrannhet av fältgeotekniker både vid själva provtagningen och vid hanteringen av upptagna jordprover. Försöken i Nya Zeeland blev lyckade när det gäller provtagaren GP-S, där högkvalitativa prover kunde tas upp i silt och siltig sand. Med GP-Tr lyckades de inte att ta upp hög-

kvalitativa prover i sand men de skriver att det antagligen är möjligt i andra jordtyper.

9.2.2 Erfarenheter NGI

NGI har två modeller gelprovtagare (GP-Tr och GP-S) och följande beskrivning avser samlade erfarenheter från deras provtagningar förmedlade av Kåsin (2021).

GP-S-provtagaren har fungerat bra i lera, silt och lös sand. Den fungerade dock inte i fast lagrad sand. Detta då den inte gick att pressa ner i jordlagret och slutarringen, som används för att hålla kvar provet vid upptagning, gick sönder. Kapaciteten för provtagning med GP-S är cirka 3 prov per dag vid kontinuerlig provtagning i ett borrhål. Till det får läggas tid för etablering och förberedelser.

Försök med GP-Tr har fungerat mycket bra i KC-pelare och i morän. I Figur 76 visas ett prov upptaget med denna metod i en KC-pelarförstärkning.



Figur 76 Provtagning med GP-Tr i KC-pelare, t.v. provtagarens nedre del direkt efter upptagning och t.h. visas upptaget prov uttryckt ur provtagningsröret (Foto: K Kåsin, NGI).

NGI:s uppfattning är att GP-Tr ger en bättre provkvalitet i dessa typer av jordar jämfört med kärnprovtagning med trippelrör. GP-Tr har använts ned till cirka 15 - 20 m djup och kapaciteten är cirka 8 prover per dag i jord med en hållfasthet

runt 200–300 kPa och 3 prov per dag i jord med en hållfasthet runt 1 MPa (exklusive etablering och förberedelser).

Den japanska polymeren (gel) som används vid provtagning tränger in någon eller några mm i provkroppen. Polymeren är ”mjölkvit” och syns därmed relativt tydligt. NGI:s erfarenhet är att det enkelt går att skrapa bort polymeren på laboratoriet och att inträngningen i jordmaterialet har varit marginell. Miljömässigt finns en del frågetecken angående den polymer som används.

NGI har bland annat använt GP-S-provtagaren på silt vid Haldens provfält ned till knappt 14 meters djup (se Blaker med flera, 2019 och Blaker med flera, 2020). De använde en GP-S med en diameter av 71 mm. Resultaten från dessa provtagningar visar att provkvalitet på prover tagna med GP-S-provtagaren var bättre än för prover tagna med NGI:s 54 mm standardkolvprovtagare och med blockprovtagare.

En nackdel med gelprovtagaren är att det är en japansk tillverkare som ogärna säljer provtagare.

Kapitel 10.

Provtagning med hammarborrning - typ mullvaden

10.1 BESKRIVNING AV METODEN

Provtagning med provtagare typ mullvaden görs genom roterande borrning och slagning. På provtagaren finns en ringborrkrona monterad. Provtagning kan utföras med eller utan ett på längden delat innerrör. Vid behov kan ett styvt slutarbleck användas, exempelvis vid provtagning i finkornigt material. Provtagningen utförs inom foderrör.

För provtagning med geoteknisk borrbandvagn finns provtagare med innerdiameter/provdiameter 44 mm, ytterdiameter 70 mm och diameter på borrkrona 76 mm, se Figur 77. Provtagaren har 1 m längd med provlängd av cirka 70 cm.

Provtagaren används för provtagning i fyllning och naturliga jordar av exempelvis torr silt och grovkornig jord.



Figur 77 Provtagare typ mullvaden, med innerrör och yttre provdiameter 44 mm (efter SGF, 2013).

Vid provtagning i morän används normalt en brunnsborrningsmaskin och en provtagare med innerdiameter/provdiameter cirka 75 mm, yttre diameter 89 mm och diameter på borrkrona cirka 100 mm, se Figur 78. Provtagaren kan ha 2 meters längd med provlängd cirka 1,5 meter eller provtagarlängd 1,5 meter med provlängd cirka 1 meter.



Figur 78 Provtagare typ mullvaden med yttre provdiameter cirka 75 mm och längd 2 m (provlängd 1,5 m) (Foto: B Dehlbom, SGI).

10.2 ERFARENHETER AV METODEN

Vid provtagning i morän i Västernorrlands län med mullvad med cirka 75 mm innerdiameter tillämpades nedanstående metodik. Informationen har erhållits under ett möte i fält med Höglin (2022).

Principen för provtagning i morän är att förborring först utförs med en pilotkrona (centrumkrona, typ Elmex) till provtagningsnivån varvid foderröret följer med. Foderröret roteras inte. Borrningen utförs med luftspolning. I undantagsfall, om lufthålen sätts igen av finmaterial kan vattenspolning erfordras. Pilotkronan har uppåtgående spår med hål åt sidan och endast små hål nedåt, vilket

gör att lufttrycket inte riktas direkt mot jorden som ska provtas, vilket minskar störningen av jorden. Borrstålen tas upp och provtagaren fästs på borrstålen. Provtagaren förs ned till provtagningsnivån. Provtagning utfördes i denna lokal utan delbart innerrör. Provtagning utförs genom att rotera borrstången/ringborrkronan och samtidigt knacka ned provtagaren med en sänkhammare. En 2-metersprovtagare förs ned 1,5 meter och en 1,5-metersprovtagare 1 meter. Detta görs för att skapa ett tomrum i vilket en eventuell svällning av materialet kan ske. Provtagaren/borrstångerna tas upp. Provtagaren hålls vertikalt och töms genom att knacka på provtagaren med en hammare. Proven läggs i ett halvrör och ytan skärs av med kniv för att möjliggöra okulärklassificering. Därefter överförs representativa delar till plastpåsar för transport till laboratorium. I laboratorium görs normalt okulärklassificering och siktning av utvalda prover. Man fortsätter med nästa provtagningsnivå, det vill säga borrhning utförs med pilotkronan till underkant tidigare provtagning. Sedan fortsätter proceduren till avsett provtagningsdjup.

Moränen överlagrades i aktuell lokal av lerig silt/siltig lera av torrskorpekaraktär, lerig/siltig lera och lager med finsand/siltig finsand.

I Figur 79 visas foton på lerig silt/siltig lera av torrskorpekaraktär. Ytan på provet är ”slipad” av provtagaren varför ytan skrapas, så att okulärklassificering ska kunna utföras.



Figur 79 Foto på borrkärna med lerig silt/siltig lera av torrskorpekaraktär. Till vänster: Borrkärnan efter att ha tagits ur provtagaren. Till höger: borrkärna med avskrapad yta (Foto: B Dehlbom, SGI).

I Figur 80 visas foto på finsand/siltig finsand som inte hänger ihop i en hel borrkärna. I Figur 81 visas foto på morän (sannolikt grusig, sandig siltmorän).



Figur 80 Foto på borrkärna med finsand/siltig finsand som inte hänger ihop (Foto: B Dehlbom, SGI).



Figur 81 Foto på borrkärna med morän (sannolikt sandig, grusig siltmorän) (Foto: B Dehlbom, SGI).

Enligt Höglin (2022) har man haft problem med att använda halvror vid prov-

tagning i morän, då rören har någon millimeters glapp. Grus och sten som bor-rats in i provtagaren kan kila fast i glappen vilket gör att halvorna "så att säga sprängs fast mot provtagarens insida" och de kan vara nästan omöjliga att få ut.

En möjlig lösning om man vill ha mer ostörda prover skulle vara att använda ett helt plaströr som efter upptagning till markytan, kapas i halvmetersdelar. Erfarenheten är också att borrhörnorna inte hänger ihop vid för stor andel av sten och grovgrus. Att provtagaren är helt tom är ovanligt, men inträffar emellanåt, exempelvis om det är mycket vatten på provtagningsnivån (således grov jord som är vattenförande).

Enligt Mohlin (2022) fungerar mullvaden i huvudsak bra i grus, sand och finkornig morän. Mullvaden kan utrustas med en hel provtagningshylsa istället för halvhylsorna, vilket Mohlin anser fungera bättre. Mohlin (2022) föreslog att man kombinerar sonicborrning och mullvad. Med sonicborrning installeras foderrör igenom jordlager som inte går att provta med mullvaden, exempelvis grovt krossmaterial. Det med sonicborrning installerade foderröret kan nyttjas för att med mullvaden ta upp prover i underliggande jordlager.

Enligt Torefeldt (2022) har mullvaden använts i både fyllningsmaterial och naturliga jordavlagringar. Han anser att mullvaden är en bra metod för provtagning av silt över grundvattenytan, grovt material upp till morän eller svallat jordmaterial som överlagras av en fyllning. Om provtagning ska utföras i exempelvis fyllningsdammar eller morän krävs dock enligt Torefeldt (2022) att en större borrhög (typ brunnsborrmaskin) används. Enligt Höglin (2023) har Sweco testat att använda brunnsborrningsriggar och sett att det oftast är omöjligt att borra i berg/ större block utan spolmedium. Det blir dessutom lätt en plugg av det urborrade berget inuti provtagaren, eller alternativt så blir en utborrad bergplugg kvar i hålet och om jorden ovanför är grovkornig finns risk att materialet rasar ur provtagaren vid upptagandet. Därför menar Höglin att det är bättre att avbryta provtagningen med mullvaden om man tror det är berg eller block. Ta upp provtagaren och gå ner med pilotborrkrona och fortsätta foderrörsborra för att kontrollera om det är ett större block eller berg. Är det ett block kan provtagning med mullvaden fortsätta under blocket.

Metoden är enligt Torefeldt (2022) inte testad i berg. Det finns olika borrhörnor till mullvaden, antingen med stiftkrona eller med skärkrona. Vid provtagning i finkornig jord kan det behövas en slutare (ett plåtbleck). Foderrör används nor-

malt vid provtagning med mullvaden för att borrhålet inte ska rasa igen. Men om provtagaren monteras på hålade stänger, exempelvis stänger avsedda för jordberg-sondering, kan eventuellt i borrhålet inrasat jordmaterial spolas bort med luftspolning genom stängerna och provtagaren (Mohlin, 2023). Före provtagning stängs luftspolningen av.

Korn större än 44 mm kan förstöra en hel provtagningsnivå vid användning av provtagare 44 mm, då de riskerar att täppa igen provtagaren. I Figur 82 visas ett exempel på jordprov (svallat material, grus/sand) upptaget med en provtagare om 44 mm på 23 m djup under markytan.



Figur 82 Jordprov upptaget med mullvad med yttre diameter om 44 mm på 23 m djup under markytan (Foto: A Torefeldt, AFRY).

I Figur 83 visas ytterligare exempel på jordprover upptagna med mullvad med yttre diameter om 44 mm. Provtagningen är utförd i en jorrdamm och jordmaterialet utgörs av en morän med ett sandskikt beläget precis ovanför bergövertytan.



Figur 83 Jordprov upptaget med mullvad med yttre diameter om 44 mm i en jorddamm (Foto: T Andrén, Geofound).

Kapitel 11.

Erfarenheter av störningseffekt vid provtagning i olika jordar

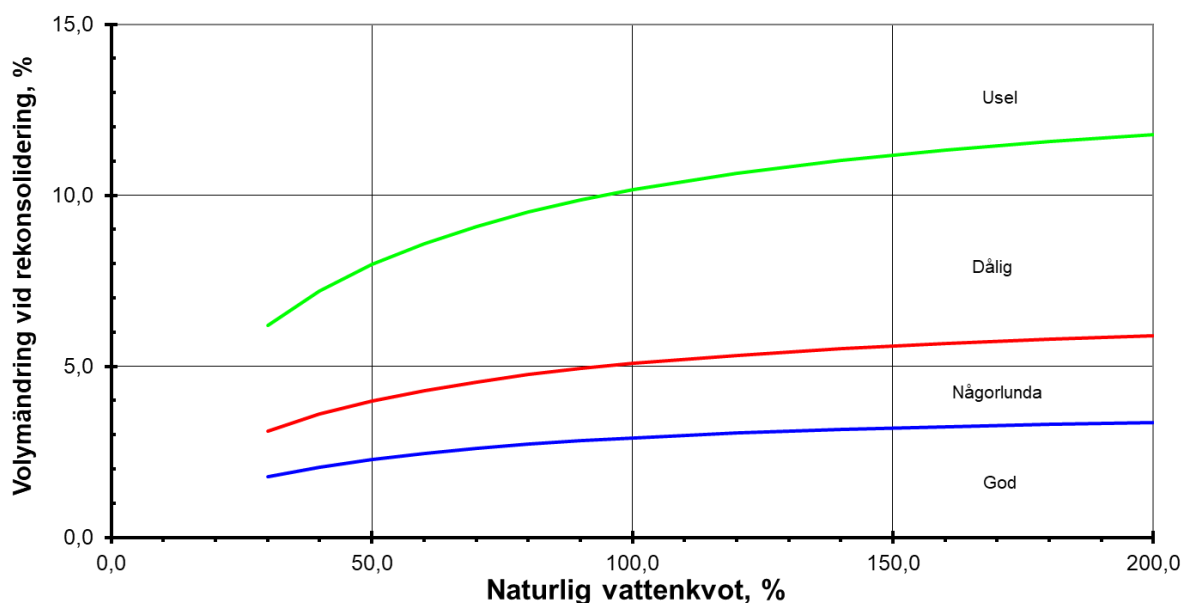
Alla jordar påverkas vid provtagning. Olika jordar påverkas dock på olika sätt och beroende av provtagningsmetod.

Det är viktigt att tänka på att det inte enbart är vid själva provtagningen som störningseffekter uppstår utan även vid transport, förvaring, uttagning ur provrör och hantering av prov till laboratorieutrustning.

11.1 LERA

Föreliggande rapport behandlar inte provtagning i lera men då den mesta erfarenheten vad gäller störningseffekter vid provtagning finns just för lera, har vi valt att här presentera några metoder för sådan bedömning.

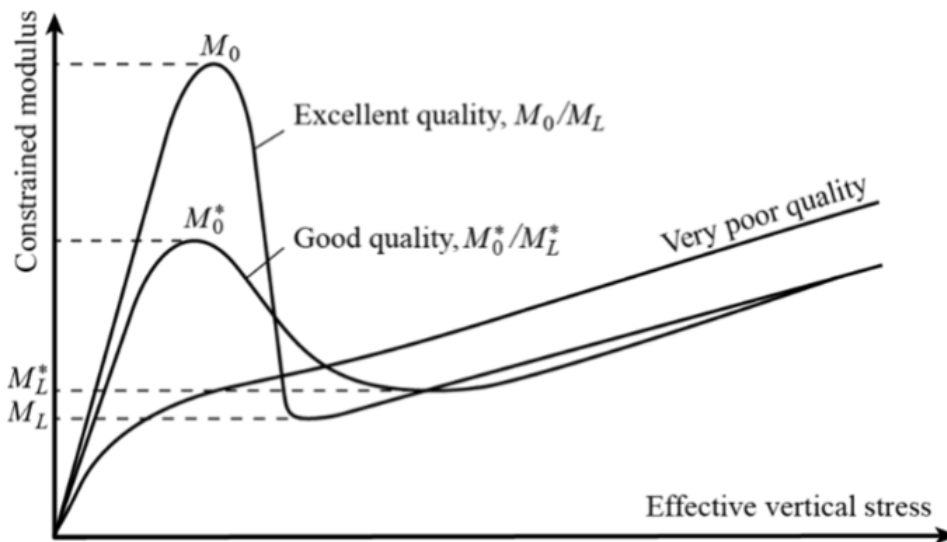
För lera finns flera metoder framtagna för att kontrollera provtagningskvaliteten. Den i Sverige vanligen använda metoden innebär att man mäter den volymändring som sker vid rekonsolidering av proverna i laboratoriet. Volymändringen, ϵ_{vol} , plottas mot naturlig vattenkvot, w_n , och resultatet ritas in och tolkas enligt diagram i Figur 84. Metoden utvecklades ursprungligen av Lunne med flera (1997). Studier gjorda av effekten av dålig kvalitet visar att förkonsolideringstryck, styvhet och hållfasthet kan bli lägre jämfört med prover av hög kvalitet (se exempelvis La Rochelle and Lefebvre, 1971, och Lunne med flera, 2006).



Figur 84 Metod för bedömning av lerprovers kvalitet, volymändring vid rekonsolidering av jordprover på laboratorium plottat mot provets vattenkvot, se exempelvis Lunne med flera (1999).

Laboratorieförsök på ostörda lerprover av god kvalitet är av yttersta vikt för att kompressions- och hållfasthetsparametrar ska kunna bestämmas på ett tillförlitligt sätt och i slutändan ge ett bra underlag för dimensionering av geotekniska konstruktioner. Erfarenheter från Norge visar att de lågplastiska, finkorniga och sensitiva leror som finns i Norge är känsliga för störning vid provtagning och särskilt vid användning av kolvprovtagning (Amundsen med flera, 2015).

Det har i Norge tagits fram en alternativ metod till Lunne med flera (1999) för att utvärdera provkvalitet. Karlsrud and Hernandez-Martinez (2013) föreslog utvärdering av provkvalitet med ödometerförsök genom att analysera förhållandet mellan M_0 och M_L , där M_0 är kompressionsmodul för låga spänningar under förkonsolideringstrycket och M_L är kompressionsmodul för spänningar strax över förkonsolideringstrycket. Baserat på formen av ödometerkurvan (se Figur 85) har Karlsrud och Hernandez-Martinez (2013) föreslagit en indelning av provkvalitet i 4 klasser, se Tabell 8.



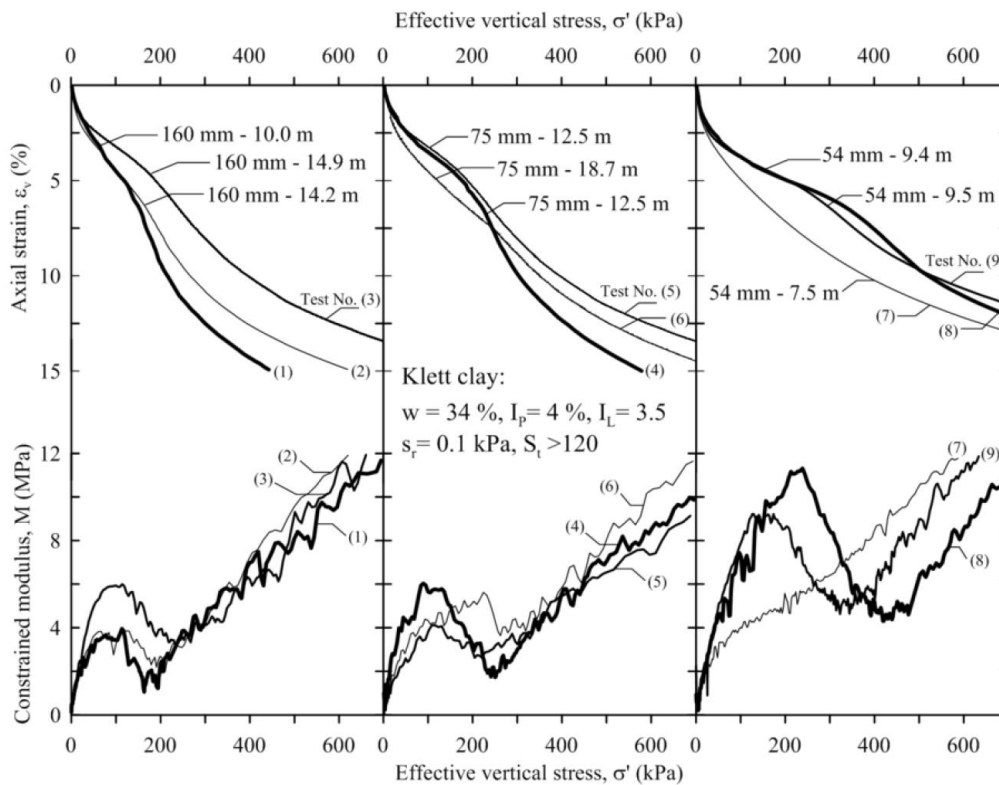
Figur 85 Definition av modulkurvornas utseende (från ödometerförsök) för prover med hög kvalitet respektive låg kvalitet (Amundsen med flera, 2015).

Tabell 8 Provkvalitet baserat på förhållandet mellan M_0 och M_L utvärderade vid ödometerförsök (Karlsruh och Hernandez-Martinez, 2013).

Kvalitetsklass	Provkvalitet	Förhållande mellan modulerna M_0/M_L
1	Mycket god till utmärkt	>2
2	God	1,5 - 2
3	Dålig	1 - 1,5
4	Mycket dålig	<1

Amundsen med flera (2015) utförde CRS ödometerförsök på lera där prover hade tagits upp med miniblockprovtagare, diameter 160 mm (modifierad Sherbrook) och två olika kolvprovtagare med diameter 75 mm och 54 mm. Leran som testades var från en lokal nordväst om Trondheim (Klett) med ett mäktigt lager med saltvattenavsatt lera. Leran i Klett är normalkonsoliderad till svagt överkonsoliderad, sensitiv och med ett högt siltinnehåll. Resultaten från försöken i Figur 86 visar tydligt att effektivspänningsvägen i ödometerförsöket beror både på provtagningsutrustning och från vilket djup provet har tagits upp. När kvoten mellan M_0 och M_L studeras för de 9 försök som redovisas i Figur 86, visar det för blockproverna en kvalitet från god till mycket god/utmärkt enligt skalan i Tabell 8. För de prover som har tagits upp med de två kolvarna varierar

kvaliteten från mycket dålig till mycket god/utmärkt. NGI menar därför att provkvalitet värderad genom kvoten M_0/M_L är den mest pålitliga (Kåsin, 2023).



Figur 86 Ödometerförsök på blockprover (160 mm) och kolvprover (54 och 75 mm) från testområde Klett (nordväst om Trondheim) (Amundsen med flera, 2015).

Metoden att analysera förhållandet mellan kompressionsmodulerna M_0 och M_L har ännu inte tillämpats nämnvärt i Sverige. I ett pågående forskningsprojekt (Egenskapsförändringar i lös lera efter 60 års belastning med provbankar) på SGI har ödometerförsök utförts och provkvaliteten har tolkats enligt Karlsrud and Hernandez-Martinez (2013) modell. Resultaten visar att för de i Sverige mer högplastiska lerorna bör kvoten mellan modulerna sättas något högre för att det ska vara en tillämpbar metod för att utvärdera provkvaliteten.

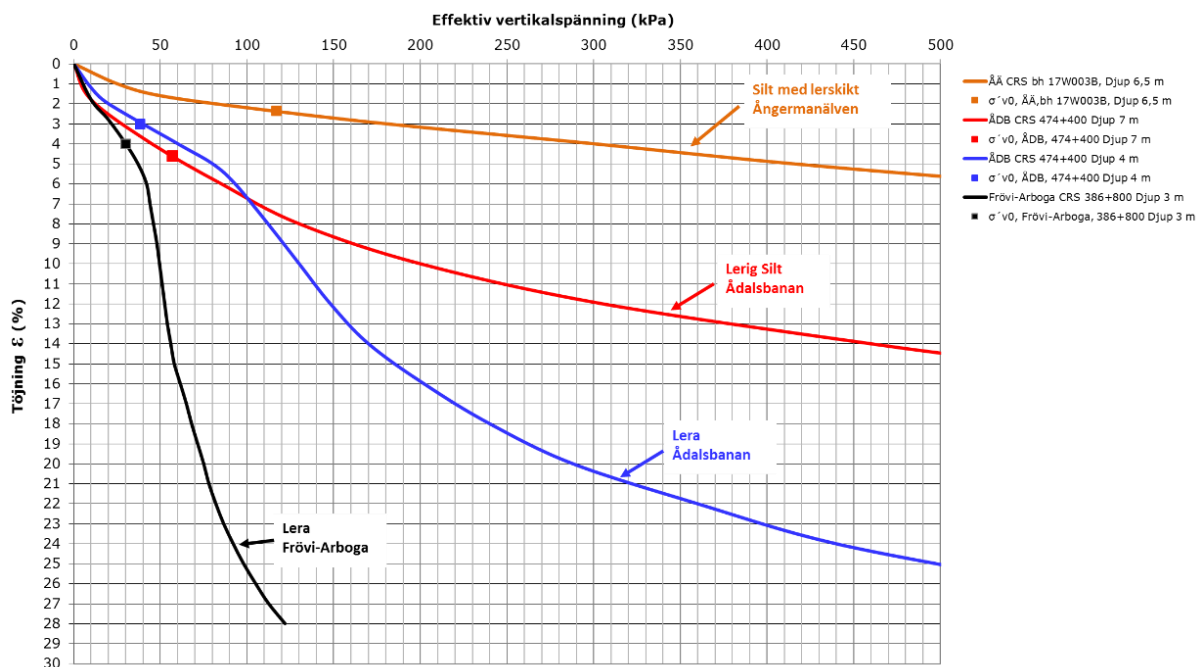
11.2 SILT

Det finns ingen praxis för bestämning av siltprovers kvalitet, varken i Sverige eller internationellt, se exempelvis Carroll och Long (2017). Kåsin (2023) menar dock att man skulle kunna bestämma den fasta fasens volym (V_s) i fält och jämföra med den uppmätta i laboratorium. I många svenska vägledningar och internationella artiklar har det antagits att kolvprovtagning i silt kan ge störda prover, dock utan några verifikationer att så är fallet. Det har också antagits att svårig-

heten att utvärdera förkonsolideringstryck för siltprover skulle tyda på störningseffekter. Den metodik som tillämpas för bedömning av störningseffekter på lera har visats inte fungera för silt, se exempelvis Blaker (2020). Silt beter sig på ett helt annat sätt än lera vid belastningsförändringar och är betydligt fastare än lera med normalt dränerande eller delvis dränerande egenskaper.

Vid de triaxialförsök som utfördes på silt tagna längs Ångermanälven (Lundström med flera, 2019) uppvisade de flesta proven ett tydligt dilatant beteende vid dränerad skjuvning, genom den volymmökning som sker efter den initiala ”elastiska” volymminskningen, vilket är en typisk respons för siltprover med litet lerinnehåll. Vid odränerad skjuvning visar proven från Ångermanälven ett tydligt dilatant beteende genom den portrycksminskning som sker efter den initiala portrycksökningen. För några av proverna erhöles en kontraktant respons, det vill säga en volymminskning, vid dränerad skjuvning och en portrycksökning vid odränerad skjuvning. Detta är en typisk respons för en lera, vilket innebär att dessa prover hade en hög lerhalt och kunde klassificeras som lerig silt eller siltig lera.

Som exempel på skillnad i beteende mellan silt och lera visas i Figur 87, jämförelser mellan lera, lerig silt och silt från CRS-försök.



Figur 87 Resultat från CRS-försök på silt med lerskikt från Ångermanälven, lerig silt från Ådalsbanan, lera från Ådalsbanan och lera från järnvägssträckan mellan Frövi och Arboga. Effektivspänning mot töjning (Vesterberg med flera, 2020).

Vesterberg med flera (2020) beskriver resultat från olika svenska och internationella undersökningar där ödometerförsök utförts på prover utförda med olika provtagningsmetoder och skriver följande:

” Erfarenheter visar generellt att för spännings-töjningskurvor från stegvisa ödometerförsök och CRS-ödometerförsök (och andra varianter av ödometerförsök) på silt, går det inte att identifiera ett förkonsolideringstryck. Det finns dock exempel då förkonsolideringstryck har identifierats från ödometerförsök, sannolikt i de flesta fall kopplat till att proverna har en relativt stor andel lera. Identifiering av förkonsolideringstryck bör (ska) verifieras genom redovisning av spänning även i linjär skala. Störning av prover i samband med provtagning och efterföljande hantering före laborieförsök, framförs ofta som huvudorsak till att förkonsolideringstryck inte kan identifieras. Huruvida störning generellt är orsaken eller inte till fallen då förkonsolideringstryck inte identifieras för silt har veterligen inte verifierats i forskningen. Frågan är vidare om förkonsolideringstrycket är ett relevant begrepp för alla kornstorlekar av siltmaterial.”

Eftersom vattenmättad lera med siltlager befarades vara en situation där stor inverkan kan erhållas vid cyklisk tågbelastning, utfördes cykliska triaxialförsök i projektet *Tåglastens inverkan vid stabilitetsanalyser* (se Zackrisson med flera, 1998 och Höeg med flera, 1995). Försöken utfördes för att studera silts beteende vid kombinerade statiska och cykliska spänningar motsvarande en tågpassage. Provingar utfördes både på laboriepackade prover och på ostörda prover vid NGI. Silt provtagen utanför Vägverkets huvudkontor i Borlänge, användes med följande kornfördelning:

- 8 – 11 % lera
- 11 – 12 % finsilt
- 30 – 40 % mellansilt
- 30 – 45 % grovsilt

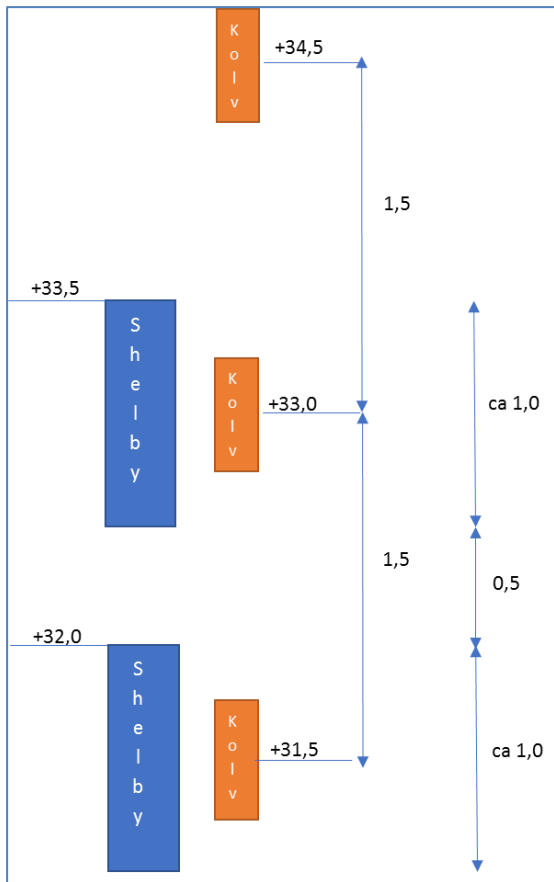
Laboriepackade prover uppvisade kontraktant och sprött beteende och betydligt lägre hållfasthet vid statiska triaxialförsök jämfört med resultat på ostörda naturliga prover, som uppvisade dilatant beteende. Hållfastheten bestämd på ostörda naturliga prover var i storleksordningen 5 till 30 gånger högre än hållfastheten för laboriepackade prover (Höeg med flera, 1995).

Statiska, dränerade triaxialförsök utförda på ostörda naturliga prover, uppvisade dilatant beteende och en utvärderad friktionsvinkel på 37 grader. Provning utfördes för en cyklisk belastning motsvarande tåglasten för aktuellt djup (3,5 kPa) samt med belastning motsvarande 2 gånger den cykliska tåglasten (7 kPa) och tre gånger den cykliska tåglasten (10,5 kPa). Proverna belastades med 5000 cykler. Tre olika frekvenser (sinusformad belastning) användes i försöken, motsvarande 0,1, 1,4 och 5 Hz. Efter 5000 cykliska belastningar utfördes statiska, dränerade triaxialförsök på proverna. Samtliga prover uppvisade dilatant beteende och effektivspänningarna följde en brottlinje med friktionsvinkel på 37 grader. Någon förändring av siltens friktionsvinkel hade således inte skett på grund av den cykliska belastningen.

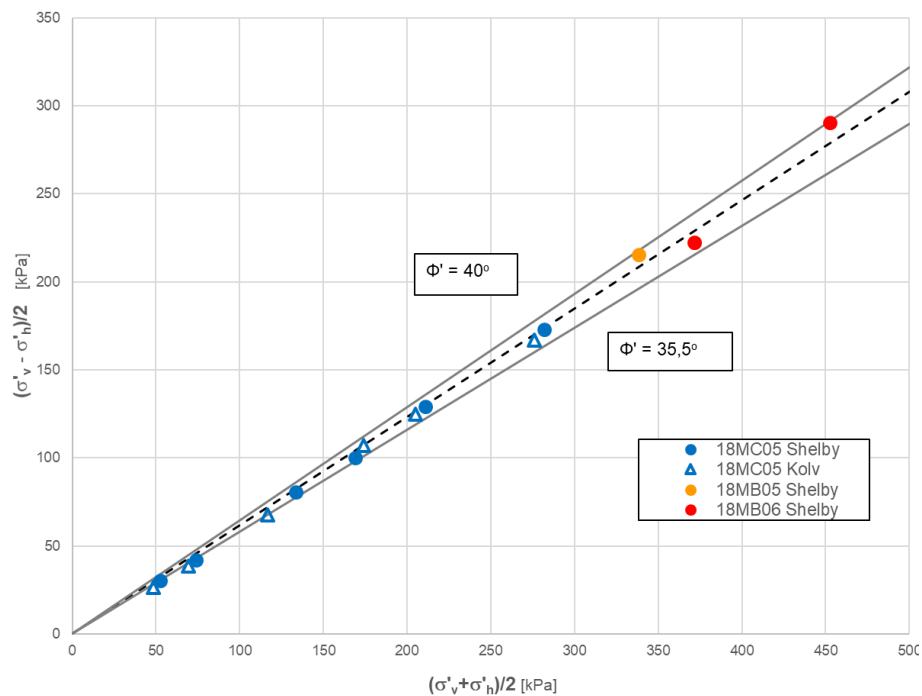
I en sektion efter Ångermanälven (Lundström med flera, 2019) utfördes provtagning på sju nivåer i silt med mycket låg till låg relativ fasthet med både kolvprovtagare och öppen tunnväggig rörprovtagare placerade enligt skissen i Figur 88. I Figur 89 visas resultat från utförda triaxialförsök på prover tagna med kolvprovtagare och öppen tunnväggig rörprovtagare. Två begränsningslinjer har dragits, som inkluderar samtliga brottvärden på de undersökta siltmaterialen.

I Figur 90 visas jämförelser mellan resultat från kolvprover och prover upptagna med rörprovtagare från triaxialförsök.

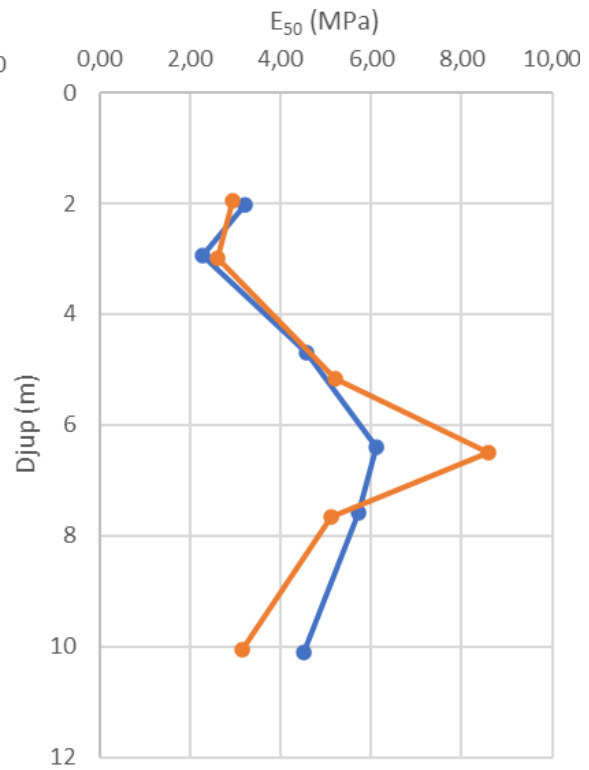
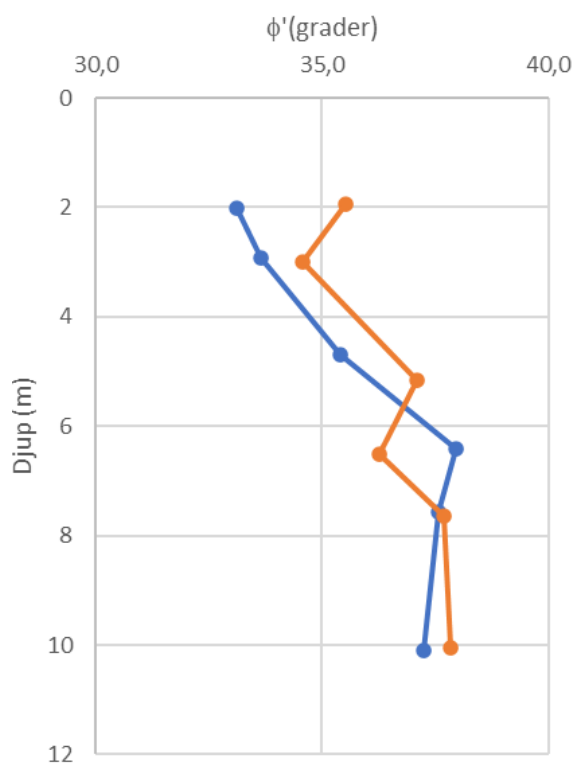
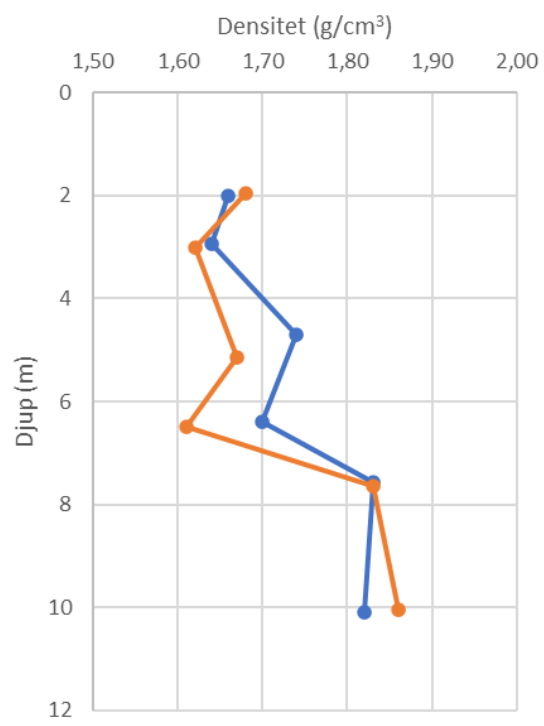
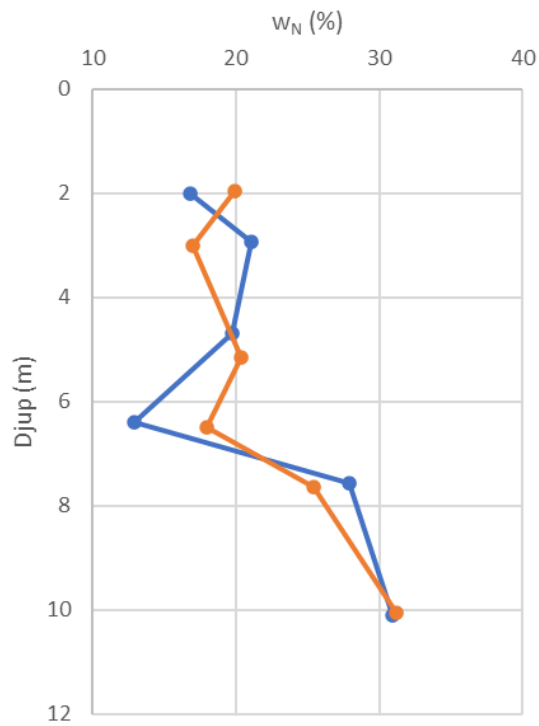
Av figurerna framgår att båda provtagningsmetoderna gav likvärdiga resultat avseende friktionsvinkeln i laboratorium.

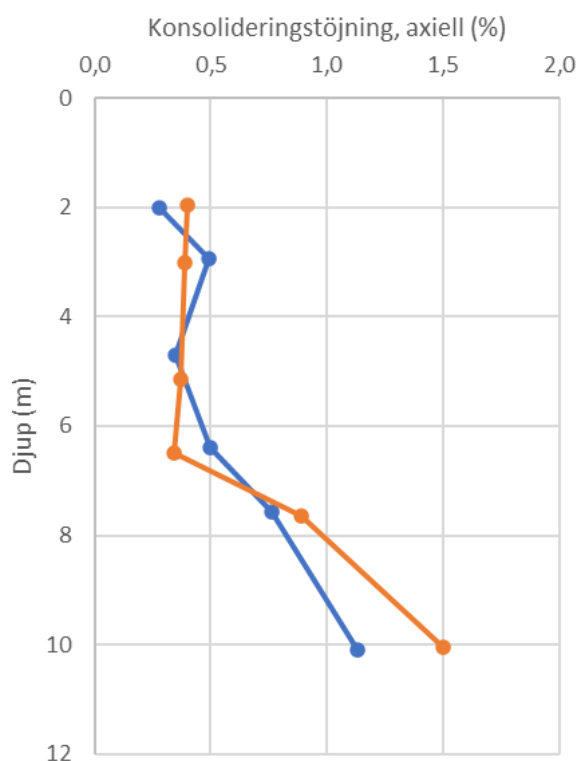


Figur 88 Definition av provtagningsnivå (Lundström med flera, 2019).



Figur 89 Brottspänningar och utvärderade brottlinjer (övre, nedre, tolkad) och intervall för utvärdering av friktionsvinkel (Lundström med flera, 2019).





Figur 90 Jämförelse mellan egenskaper bestämda på silt för prover tagna med öppen tunnväggig rörprovtagare (orange) och kolvprovtagning (blå) på silt längs Ångermanälven (borrpunkt 18MC05). I ordning med start uppifrån till vänster: naturlig vattenkvot, densitet, friktionsvinkel (aktiva triaxialförsök), E-modul (triaxialförsök) och konsolideringstjnjning till brott för aktiva triaxialförsök (underlagsmaterial till Lundström med flera, 2019).

Thorén med flera (2022) redovisar en sammanställning av skjuvbrottvärden från cirka 80 aktiva, konsoliderade dränerade triaxialförsök utförda på silt längs Ångermanälven, Dalälven, Norsälven och Halden, se vidare diskussion i avsnitt 12.2. Resultat från triaxialförsöken från de olika lokalerna uppvisar låg spridning, med en variationskoefficient på 7,5 %.

Caroll och Long (2017) studerade provtagningskvaliteten för siltprover tagna med blockprovtagare (Sherbrooke, block utskurna ”för hand”) samt kolvprovtagare med 72 och 100 mm diameter. Fyra provplatser studerades med lerig silt, siltig lera och finsandig silt. Avsikten var att studera ”förstyvning/packning” av silten på grund av axiella spänningar i jorden vid provtagning. Så kallade tjnjningsskadetest utfördes i triaxialapparat, vilket innebar att olika odränerade axiella spänningar påfördes före rekonsolidering och skjuvning. Försöken visade att en ökning av den odränerade skjuvhållfastheten erhöles vid ökad axiell ”skadepänning”, det vill säga motsatsen till beteendet hos lera. Det visade sig att den

odränerade skjuvhållfastheten utvärderad från triaxialförsök utförda på blockprover och kolvprover gav närmast identiska resultat. Den dränerade skjuvhållfastheten, det vill säga friktionsvinkeln, påverkades inte av olika axiella ”skadespänningar”, utan låg på cirka 40° för samtliga försök. Det bör här påpekas att vid den skredriskkartering som utfördes längs Ångermanälven, se exempelvis SGI Vägledning 5-3a (2022), var erfarenheten att det vid stabilitetsberäkningar normalt är den dränerade skjuvhållfastheten som är dimensionerande för silt.

Caroll och Long (2017) spekulerade också om att det för en av provplatserna med finsandig silt erhöles ”förstyvning/packning” av jorden vid provtagning. Denna slutsats baserades på att den finsandiga silten uppvisade högre styvhet och skjuvhållfasthet än för övriga provplatser och att uppmätt skrymdensitet var högre än skrymdensiteten beräknad med en empirisk formel baserat på CPT. Det är dock tveksamt om detta kan betraktas som en vetenskaplig verifiering av en eventuell förstyvningseffekt.

Att silt skulle kunna erhålla oacceptabla störningseffekter vid ostörd provtagning med exempelvis kolvprovtagare eller öppen tunnväggig rörprovtagare har veterligen ännu inte påvisats i forskningen. Enligt SS-EN ISO 22475-1:2021 erhålls prover i laboratoriekvalitetsklass 1 vid provtagning av silt med kolvprovtagare och öppen tunnväggig rörprovtagare.

11.3 SAND

För ensgraderad sand kan det inte bortses från att det kan ske en viss omlagring av kornen vid provtagning.

Hight (1993) granskade effekterna av provtagning i sand och påpekade att både skjuvtöjningar och volymetriska töjningar kommer att uppstå vid provtagning. Detta eftersom provtagningsprocessen görs under dränerade förhållanden. Författaren skriver att löst lagrad sand kommer att komprimeras och att fast lagrad sand kommer att expandera på grund av dilatans. Hight (1993) konstaterar vidare att även provtagning med roterande provtagare leder till volymförändringar och att storleken på dessa beror av jordens ursprungliga relativa densitet.

Yoshimin med flera (1989) jämförde relativa densiteter² bestämda på prover tagna både med och utan frysning in situ, se Tabell 9. Av resultaten framgår att

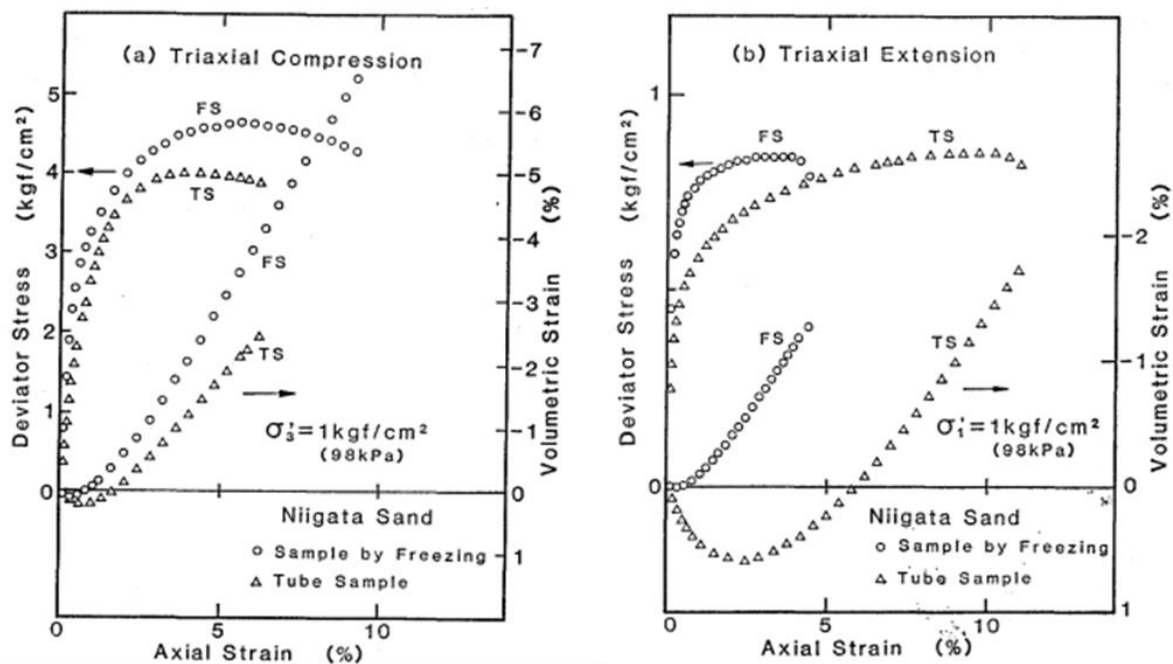
² relativ densitet= densitet för materialet/densitet för vatten

både lägre och högre densiteter bestämdes för prover tagna utan frysning jämfört med prover med frysning.

Tabell 9 Jämförelser av densiteter (relativa) uppmätta på sandprover frusna in situ och på prover utan frysning (efter Yoshimin med flera, 1989).

Relativ densitet (%)	
Jord frusen in situ	Prover utan frysning
55	78
78	83
87	72

Tokimatsu och Hosaka (1986) utförde aktiva och passiva triaxialförsök på sandprover tagna med och utan att först frysa jorden in situ. De konstaterade att skillnaderna i resultat var små för de aktiva försöken men för de passiva försöken syntes en viss skillnad i volymförändring till brott, se Figur 91. Det, konstaterar författarna vidare, bör ha en inverkan på cyklisk respons.



Figur 91 Effekt av störning vid provtagning för sandprover från Niigata i Japan (efter Tokimatsu och Hosaka, 1986). Till vänster aktiva triaxialförsök och till höger passiva.

Wride med flera (2000) jämförde portal bestämda på sand från provtagning med öppna rör med prover tagna genom att frysa jorden in situ. De konstaterade att prover av löst lagrad sand som inte var frusna hade högre densitet än de som frusits. Detta, skriver författarna, överensstämmer med tidigare forskning som

dessutom visat att densiteten för fast lagrad sand minskar vid konventionell provtagning. Författarna rekommenderar att konventionella provtagningsmetoder inte används på löst lagrad, icke vattenmättad sand. I syfte att få högkvalitativa prover på löst lagrad vattenmättad sand rekommenderar de försiktig provtagning med efterföljande frysning av upptagna prover.

Shogaki (2017) undersökte hur störda sandprover blev vid provtagning i laboratorium med en enkel provtagare och mätningar av portryck, portal och rörelser av enskilda sandkorn. Provtagaren med diameter 35, 45 och 75 mm användes och med skäre ggens vinkel 6 respektive 90 grader. Rörelser uppmättes via lägesgivaren som hade placerats inne i sanden vid packning av provet i laboratoriet. Vid penetration av provtagaren registrerades givarnas rörelser. Samtliga givare rörde sig men rörelsemönstret var inte likformigt och både förtätning och uppluckring av strukturen skedde. Den vertikala rörelsen var med brant egg cirka 0–0,4 cm medan det med flackare egg mättes vertikala rörelser upp till 1 cm. Alltså ger ett brantare egg mindre störning än provtagare med flackare egg. Zonen med störning på grund av väggfriktionen var liten, cirka 2 mm. Portrycksförändringar på mellan -3,5 och +1,2 kPa uppmättes, vilket borde ge liten störningseffekt enligt författaren.

Chiaro med flera (2015) jämförde densiteter på sandjordar upptagna med kärnprovtagare (triple tube) och GP-provtagare. Det fann att GP-provtagaren gav prover med något mindre störningar och således mer lämplig för analyser av exempelvis flytjordsfenomen, jämfört med de som erhålls med kärnprovtagaren. Samtidigt skriver de att underlaget för slutsatsen var litet.

Sammanfattningsvis ger provtagning i sand en viss störning i hela provvolymen. Storleken på störningen beror på den sandens naturliga lagringstäthet och på provtagningsutrustningen (metod, storlek och eggens utformning).

11.4 MORÄN

Moränprover kan tas upp med öppen tunnväggig rörprovtagare (lermorän) som trycks eller slås ned och olika metoder med roterande borring. Problemet med rörprovtagare är att eggen förstörs om provtagaren går på sten, vilket är högst sannolikt i en moränjord. I vissa undersökningar har provtagning med öppna rörprovtagare gett högre kvalitet på lermoränprover än vid roterande borring

(Larsson, 2001) och vid andra undersökningar har det varit tvärtom (McLeod med flera, 2015).

Upptagning av borrhärlor med roterande borrhning kan utföras med olika metoder som alla kan ge störningseffekter. Vid kärnprovtagning med trippelrör används roterande borrhning och vatten som spolmedium. Vattenspolningen kan orsaka ytlig erosion av borrhärlan vid inslag av sand och grus. Metoderna sonicborrhning och mullvaden använder varken vatten eller luft vid provtagningen. Vid provtagning med sonicborrhning i morän används roterande borrhning och vibrationer och vid provtagning med mullvaden används roterande borrhning och slag (hammarborrhning). Det är inte osannolikt att proverna erhåller viss störning av denna hantering. Även hanteringen av proverna efter att provtagaren tagits upp till markytan kan ge störningseffekter. Detta diskuteras vidare under avsnitt 12.2.

När det gäller provtagning i morän för att erhålla prover för hållfasthetsprovning bör målsättningen vara att erhålla sammanhållna prover utan sprickor, utan bortspolning av finmaterial och yterosion. Att man ska kunna erhålla en hel 1 – 1,5 m borrhärla som uppfyller dessa kriterier är antagligen inte möjligt. Däremot bör det gå att plocka ut delar av en borrhärla som kan användas för hållfasthetsprovning, se exempelvis foto på prov från järnvägsprojektet Ostlänken (Chapman med flera, 2019) i Figur 92.



Figur 92 Bilden visar prov med diameter cirka 102 mm av bottenmorän upptaget i punkt 17S10459 med S-Geobor (Chapman med flera, 2019).

Bestämning av moduler och hållfasthet bör utföras med triaxialförsök, där proverna rekonsolideras innan skjuvning. En viss återställning av eventuella störningseffekter kan då erhållas. I de provningar som utfördes av Chapman med

flera (2019) antogs att bottenmoränen historiskt utsatts för belastning från inlandsisen vilket medför en mycket stor ”överkonsolidering”. På grund av detta valde man att konsolidera proverna till en spänning mycket högre än den beräknade effektivspänningen i marken vid provtagningsnivån, varefter skjuvningen utfördes med spänningar motsvarande dagens in-situspänningar. Man antog då att konsolideringen av proven till ett högre tryck skulle kunna ”läka” en del av störningen i provet. Det är viktigt att provdiametern överensstämmer med triaxialapparatens dimension, då det är svårt att trimma moränprovernas diameter utan att störa proverna på grund moränens innehåll av grus och sten.

Det bör också beaktas att vid provtagning med roterande borrar i morän är huvudsyftet normalt inte att erhålla prover för provning i triaxialapparat. Vid roterande borrar är provtagningen kontinuerlig och proverna används i huvudsak för jordartsklassificering inklusive siktning (beräkning av hydraulisk konduktivitet, materialanvändning etc.). Information erhålls även om block- och steninnehåll i moränen, bergnivåer och eventuellt vittrat berg vid övergången jord/berg. Se exempelvis de motiv som redovisas för provtagningarna efter Ostlänken i avsnitt 7.2.4 och diskussionen i avsnitt 12.1.

Dock finns det behov av att även kunna fastställa hållfasthets- och deformationsegenskaper för morän, varför det finns behov av att få fram metoder som kan ge tillräckligt ostörda prover.

För att erhålla en sammanhållen borrhärna erfordras ett visst finjordsinnehåll. Enligt SS-EN ISO 22475-1:2021 kan prover i laboratorie kvalitetsklass 1 endast erhållas i lera samt leriga och cementerade sammansatta jordar. Att erhålla sammanhållna borrhärnor har dock påvisats kunna erhållas i lermorän (se exempelvis Larsson, 2001; McLeod med flera, 2015; Möller, 2022), siltmorän (SGF, 2015) och även hårt packad grusig, sandig, lerig morän/lerig sandmorän (Chapman med flera, 2019). Det är dock inte möjligt att erhålla en sammanhållen borrhärna om provet innehåller för stor andel grova kornfraktioner.

Kapitel 12.

Diskussion

12.1 SYFTE MED PROVTAGNING I FRIKTIONSJORDAR

Syftet med föreliggande rapport har varit att utreda vilka möjligheter som finns att erhålla sammanhållna prover i friktionsjordar på vilka det kan utföras avancerade laboratorieförsök. Normalt är denna frågeställning endast en del av motivet till varför undersökningar utförs. Förutom information om jordens hållfasthet och deformationsmoduler är det väsentligt att få information om exempelvis:

- jordlagerföljd i en borrhål eller sektion (kontinuerlig jordartsprofil)
- finjordsinnehåll och lerhalt
- vattenförande lager
- hydraulisk konduktivitet
- bärighet
- tjälfarlighet
- bergnivå
- information om övergångszoner mellan jord och berg.

Ofta krävs det att provtagning utförs med flera metoder i närliggande borrhål eller att olika metoder kombineras i en foderrörsborrad punkt.

Inom miljögeoteknik är syftet att lokalisera förekomst och utbredning av olika typer av föroreningar och att genom mätning av grundvatten och hydraulisk konduktivitet, studera och beräkna transport av föroreningar. För olika typer av dammanläggningar är uppbyggnaden av dammen och undergrunden, bergytans läge, hydraulisk konduktivitet och grundvattenströmning huvudsakliga syften med provtagningar.

Det finns anledning att dra nytta av lärdomar från olika branscher, att utnyttja resultat från utförda provtagningar samt att kombinera metoder och undersökningstillfällen i syfte att arbeta fram en provtagningsmetodik för friktionsjordar.

Även om störda prover erhålls med de provtagningsmetoder som beskrivs i föreliggande rapport innebär dessa en kvalitetshöjning jämfört med dagens traditionella provtagningsmetoder för störd provtagning (exempelvis skruvprovtagning och provgrop). Det gäller framför allt information om jordarters förekomst, utbredning och djup till berg som underlag för projektering och byggande. Vid arbete i blockig och stenig jord är användning av roterande borrhingsmetoder en förutsättning för att erhålla grundläggande information om jordlagerföljder mot djupet (det vill säga undersökningar djupare än vad en provgrop är möjlig att utföra). Om en borrhärla eller en del av en borrhärla är sammanhållen och vid loggningen bedömts ha hög kvalitet kan denna användas för bestämning av hållfasthet och deformationsmoduler, vilket ger ytterligare information som underlag för dimensionering av geokonstruktioner.

Det finns också ett behov av att vidareutveckla de empiriska samband som används för bestämning av hållfasthet och moduler i friktionsjord baserat på sonderingar (se vidare diskussion i avsnitt 12.2).

12.2 BEHOV AV KUNSKAP OM HÅLLFASTHET OCH DEFORMATIONSEGENSKAPER I FRIKTIONSJORDAR

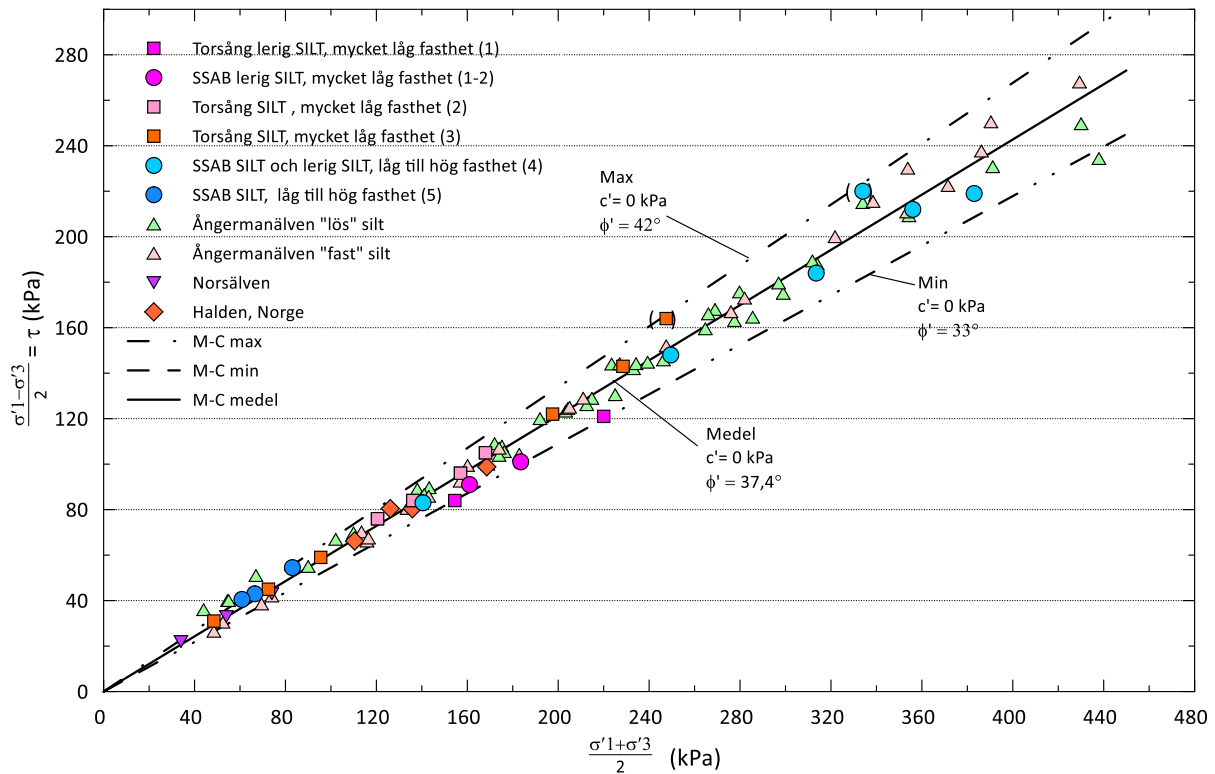
Hållfasthet i friktionsjord uppskattas vanligen genom empiriska samband från sonderingsresultat. En av orsakerna till detta har varit svårigheten att ta upp tillräckligt ostörda prover, på vilka det kan utföras avancerade laboratorieförsök.

I friktionsjord utan innehåll av sten och block används idag vanligtvis CPT-sondering, alternativt viktsondering och trycksondering. Utvärdering av hållfasthet och deformationsmoduler görs med hjälp av olika empiriska samband. De senaste årens forskning har visat att utvärderade friktionsvinklar för silt baserat på empiriska samband är på säkra sidan (låga), när jämförelse görs med resultat från aktiva, dränerade triaxialförsök. Det finns således möjlighet till stora kvalitetsvinster och ekonomiska vinster om avancerade laboratorieförsök utförs på ostörda prover. I grovkorniga jordar med innehåll av grus, sten och block används i Sverige normalt hejarsondering, där utvärdering av hållfasthet och deformationsmoduler görs med ledning av empiriska samband. Även utvärdering av parametrar baserat på indata från jord-bergsondering har testats (se Nilsson och Löfroth, 2009). Internationellt används även tyngre hejarsonderingsutrustning och SPT. Det har i föreliggande rapport visats exempel på att det är fullt möjligt att erhålla prover av finkorniga moräner med tillräcklig kvalitet för att

utföra avancerade laboratorieförsök, vilket innebär att det finns goda möjligheter att utveckla kunskapen om grova jordars egenskaper.

Kunskap om friktionsjordars tekniska egenskaper är väsentlig vid beräkning av exempelvis släntstabilitet, bärförmåga och sättningar. Då kunskaperna är begränsade, krävs bland annat utveckling av metoder för provtagning, av lämpliga sätt att överföra proverna till laboratorieutrustning, att utföra själva försöken samt att baserat på detta vidareutveckla de befintliga empiriska sambanden. I föreliggande rapport redovisas några provtagningsmetoder som, med en del utveckling, är intressanta att studera vidare för dessa ändamål. Nedan presenteras resultat från några olika projekt där avancerade laboratorieförsök använts på prover av friktionsjord.

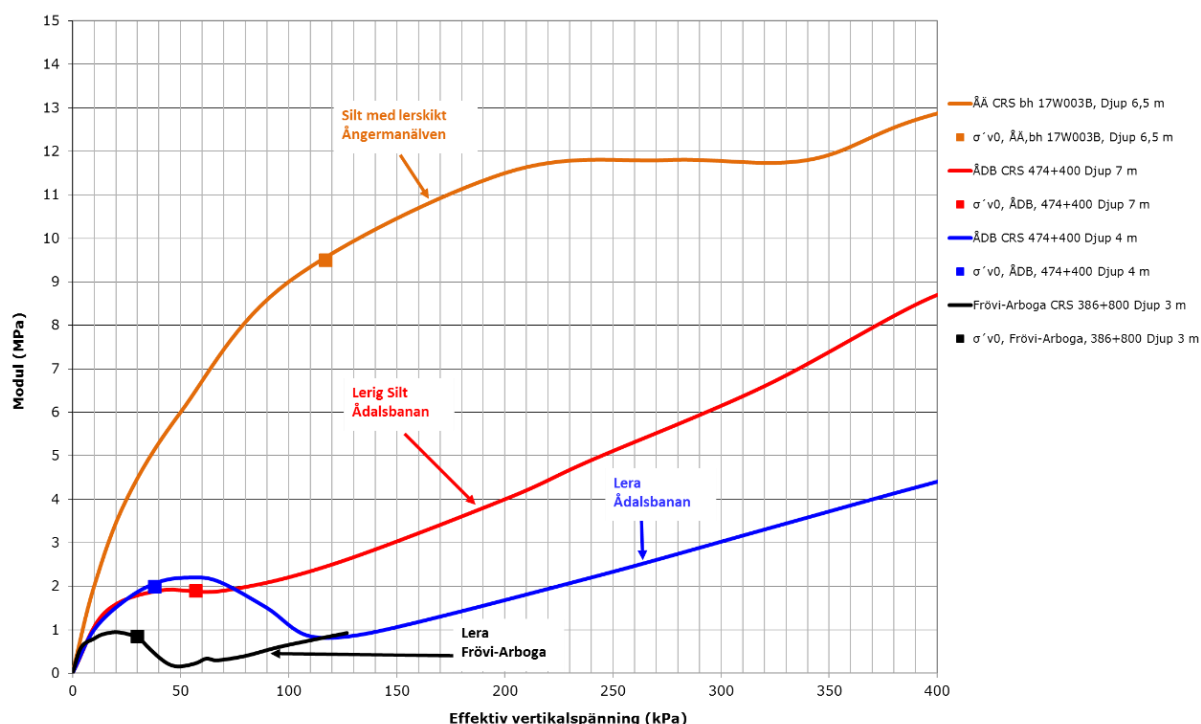
I de utvecklingsprojekt som genomförts längs Ångermanälven (Lundström med flera, 2019) och Dalälven (Thorén med flera, 2022) har visats att CPT och de empiriska tabeller, se exempelvis Bergdahl med flera (1993) eller TRVINFRA-00230 (Trafikverket, 2022), som används för utvärdering av friktionsvinklar för silt är konservativa. Det har även påvisats att siltjordars lerhalt påverkar friktionsvinkeln, varför korrekta jordartsklassificeringar baserade på sedimentationsanalys är viktigt vid undersökning av siltjordar. I Figur 93 redovisas en sammanställning av skjuvbrottvärden från aktiva dränerade triaxialförsök utförda längs Ångermanälven, Dalälven, Norsälven och Halden. Ett max- och minvärde för friktionsvinkeln om 42 respektive 33 grader har lagts in i figuren och dessa värden omfattar de flesta utförda bestämningarna. För att underlätta jämförbarheten har max- och minvärdena utvärderats utan kohesionsintercept för samtliga lokaler. Laboratorieförsöken har utförts på ostörda prover från kolvprovtagning och provtagning med öppen tunnväggig rörprovtagare.



Figur 93 Sammanställning av aktiva, dränerade triaxialförsök på silt från Dalälven, Ångermanälven, Norsälven samt Halden (Norge). I figuren redovisas utvärderade begränsningslinjer för max och min av de samlade provningarna (punkt- och dubbelpunktstreckade linjer). Utifrån max- och minvärdet har ett medelvärde beräknats (heldragen linje). Efter Thorén med flera (2022).

Vesterberg med flera (2020) har sammanställt befintlig kunskap och erfarenheter avseende metoder för bestämning av egenskaper och metoder för att beräkna sättningar i silt. Erfarenheter av att använda CRS-försök på ostörda siltprover är begränsad i Sverige. Det är dock viktigt att beakta att silt uppvisar en stor skillnad i beteende jämfört med lera. Ett exempel på skillnader mellan silt och lera visas i Figur 94.

Det erfordras forskning avseende bestämning av silts deformationsegenskaper samt framtagning av en erfarenhetsdatabas avseende deformationsegenskaper på samma sätt som utförts för silts hållfasthetsegenskaper och att resultaten jämförs med de empiriska samband som används för att utvärdera deformationsmoduler från CPT.

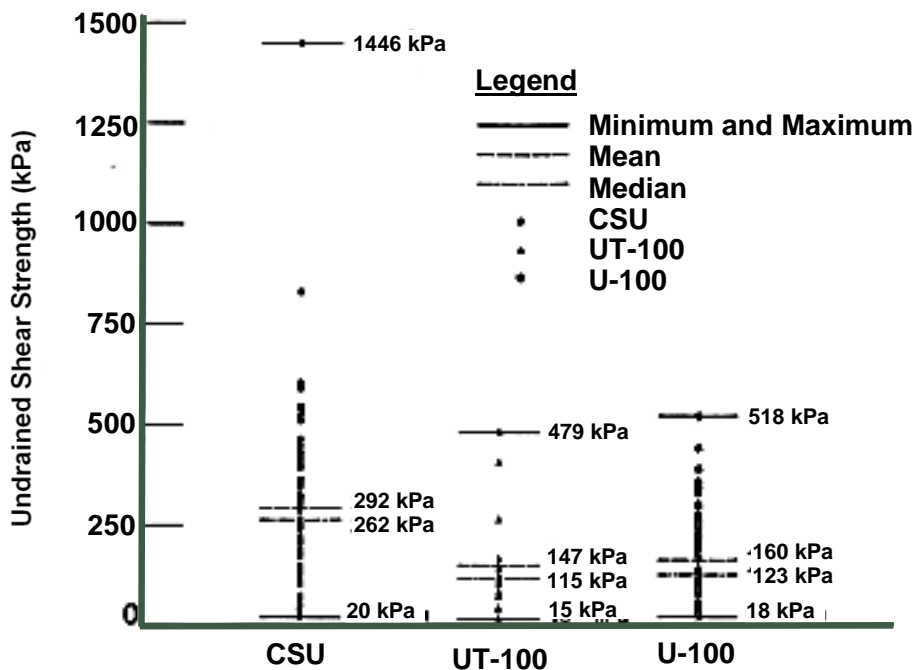


Figur 94 Resultat från CRS-försök på silt med lerskikt från Ångermanälven, lerig silt från Ådalsbanan, lera från Ådalsbanan och lera från järnvägssträckan mellan Frövi och Arboga. Effektivspänning mot sättningens modul (Vesterberg med flera, 2020).

Nilsson och Löfroth (2009) visade genom undersökningar i två lokaler med sand, att det fanns en god överensstämmelse mellan normaliserat spetstryck från CPT och J_b -totalsondering. Därmed, menar författarna, att J_b -sondering skulle kunna användas för utvärdering av jordens egenskaper liknande den från andra sonderingsmetoder. Men för detta krävs kalibrering mot avancerade laboratoriemetoder.

I lermorän har prover med tillräckligt bra kvalitet kunnat tas med både kärnprovtagare med trippelrör och öppna rörprovtagare för utförande av aktiva dränerade triaxialförsök. Larsson (2001), se avsnitt 7.2.1, beskriver resultaten från de omfattande undersökningar som utfördes av lermorän vid provfältet Tornhill, norr om Lund, där bland annat provtagning utfördes med kärnprovtagare typ S-Geobor. Både aktiva, dränerade triaxialförsök och ödometerförsök utfördes på proverna. Kärnprovtagning med trippelrör och avancerade laboratorieförsök har utförts i stor omfattning i lermorän i södra Sverige, bland annat vid undersökningar för Citytunneln och Öresundsförbindelsen (Möller, 2022).

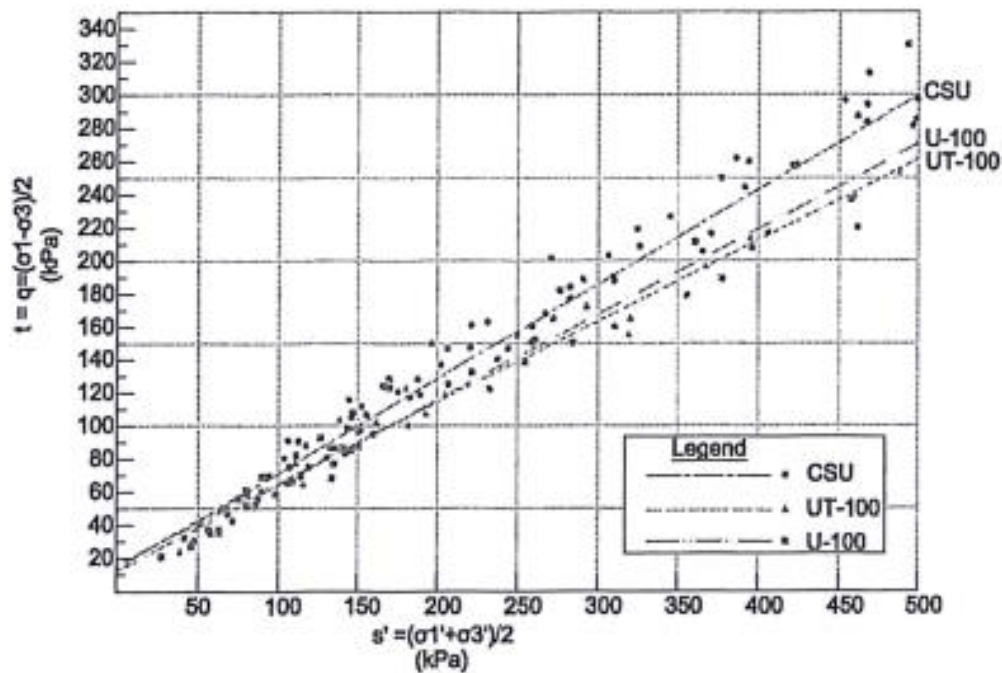
McLeod med flera (2015), se avsnitt 7.2.2, redovisar ostörd provtagning i laboratoriekvalitetsklass 1 som utförts på skotsk glacial morän. Provtagning utfördes med kärnprovtagare typ S-Geobor, UT100 (öppen tunnväggig rörprovtagare) och U100 (öppen tjockväggig rörprovtagare). Moränen kan översiktligt beskrivas som stenig, sandig lermorän, med ursprung i sandsten. Totalt utfördes 143 okonsoliderade, odränerade triaxialförsök på prover av lermoränen upptagna med S-Geobor, UT100 (öppen tunnväggig rörprovtagare) och U100 (öppen tjockväggig rörprovtagare). I Figur 95 visas den odränerade skjuvhållfasthetens variation, medianvärde och medelvärde från försöken. Resultaten från prover tagna med UT100 och U100 är likvärdiga och båda ger betydligt lägre skjuvhållfasthet än prover tagna med S-Geobor.



Figur 95 Odränerad skjuvhållfasthet för lermorän. CSU= S-Geobor, UT100= öppen tunnväggig rörprovtagare och U100= öppen tjockväggig rörprovtagare (McLeod med flera, 2015).

Konsoliderade, odränerade triaxialförsök med ett eller flera provningssteg utfördes på prover av lermoränen upptagna med S-Geobor, UT100 (öppen tunnväggig rörprovtagare) och U100 (öppen tjockväggig rörprovtagare). I Figur 96 visas resultaten i ett effektivspänningsdiagram. För varje metod visas den linje som gett bäst passning av punktsvärmen genom linjär regression. Resultaten från prover tagna med UT100 och U100 är likvärdiga och båda ger betydligt lägre friktionsvinkel än prover tagna med S-Geobor. Utvärderade

värden för kohasionsintercept och friktionsvinkel för de olika provtagningsmetoderna visas i Tabell 10.



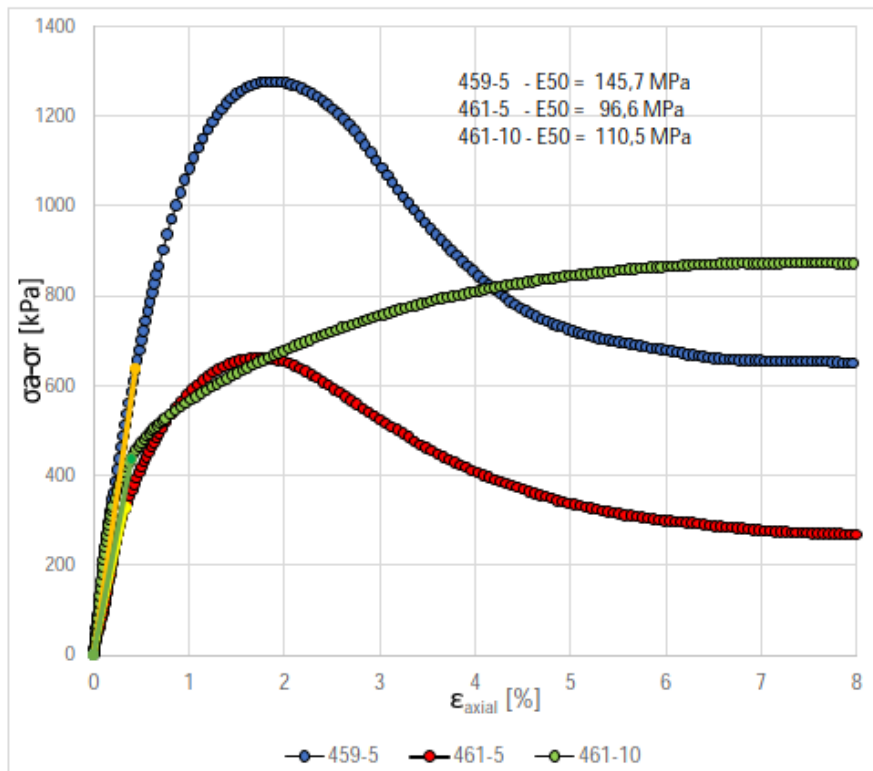
Figur 96 Effektivspänningsdiagram (medeleffektivspänning, s' och skjuvspänning, t) för glacial lermorän (McLeod med flera, 2015).

Tabell 10 Utvärderade hållfasthetsparametrar för glacial lermorän. CSU= S-Geobor, UT100= öppen tunnväggig rörprovtagare och U100= öppen tjockväggig rörprovtagare (McLeod med flera (2015)).

Sample type	c' (kPa)	Φ' (°)
CSU	17,3	34,7
UT100	18,8	29,2
U100	14,4	31,0

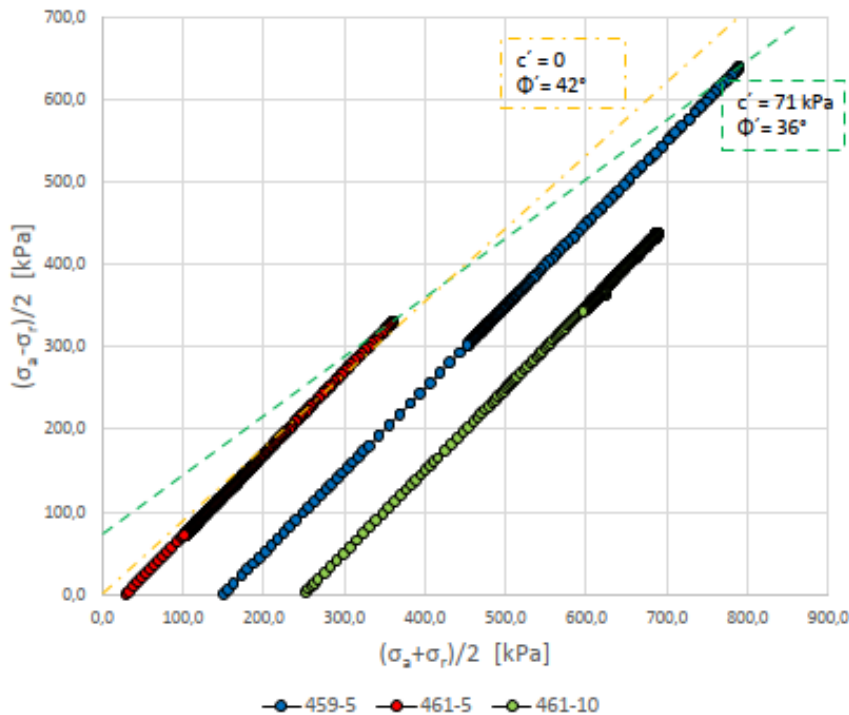
Några resultat från avancerade laborieförsök på siltmorän har inte hittats i litteraturen. Chapman med flera (2019) redovisar däremot erfarenheter från provtagning med S-Geobor av blandkornig morän för Ostlänken, vid Åby strax norr om Norrköping. Eftersom ett antal kärnprover av bottenmoränen var intakta utfördes 3 triaxialförsök på NGI. Borrkärnornas diameter behövde inte trimmas då borrkärnorna och triaxialapparaten hade samma diameter. Kravet var att proverna skulle vara till synes ostörda, hålla ihop för att kunna trimmas till cirka 200 mm höjd och inte innehålla några större stenar. Syftet med triaxialförsöken

var att uppskatta moduler samt möjligen hållfasthet inför analyser och dimensionering. I Figur 97 visas resultatet av skjuvning vid de tre triaxialförsöken i form av spännings - töjningsdiagram (Chapman med flera, 2019). Proverna var klassificerade som grusig, sandig, lerig morän, lerig sandmorän och sandig grusig morän, stenig. Axialtöjning vid brott för två av proverna är cirka 1,5 till 2 %.



Figur 97 Resultat från triaxialförsök på morän efter Ostlänken (Chapman med flera, 2019).

Chapman med flera (2019) redovisar en utvärdering av friktionsvinkel från utförda triaxialförsök, där resultat från prov 461–10, som uppvisar ett avvikande beteende inte tagits med. Friktionsvinkeln, ϕ' , har utvärderats till cirka 36 grader med ett högt kohesionsintercept, c' , på cirka 70 kPa, se Figur 98. Baserat på hejarsonderingar på ungefär motsvarande nivå som triaxialförsöken, kan friktionsvinkeln empiriskt utvärderas till cirka 42 grader (utan kohesionsintercept).



Figur 98 Triaxialförsök med exempel på utvärdering av friktionsvinkel från prov 459-5 och 461-5 samt friktionsvinkel tolkad utifrån hejarsonde-ring och TR Geo 13 (Chapman med flera, 2019).

Brenton och Condron (2019) beskriver en provtagning med sonicborring vid Olympic Park i London. Ostörda prover togs i jord med finkornigt innehåll med hjälp av inre plaströr med en längd av 1,5 m och en diameter av 86 mm. På proverna utfördes bland annat triaxialförsök och ödometerförsök.

Huang med flera (2008), Molina-Gómez med flera (2021) och Stringer med flera (2016) har visat att det är möjligt att ta upp högkvalitativa prover i av grov sand, finsand, siltig sand, silt och även leriga jordar med gelprovtagaren (GP-S). Huang med flera (2008) och Molina-Gómez med flera (2021) utförde triaxialförsök på de upptagna proverna med gelprovtagaren med bra resultat, dessutom testades i triaxialcellen provets skjuvvågshastighet med ”bender element” utrustning.

NGI:s erfarenhet av GP-S (stationary piston sampler) är att provtagaren fungerat bra i lera, silt och lös sand. Provtagaren GP-Tr (rotary triple tube sampler) har fungerat bra i KC-pelare och i morän. Blaker (2020) redovisar CRS-försök samt dränerade och odränerade triaxialförsök på prover upptagna med GP-S provtagaren, vilka i artikeln jämförs med prover från blockprovtagare (Sherbrooke) och traditionell kolvprovtagare.

Ovanstående exempel visar att det är möjligt att utföra provtagning av friktionsjord som har tillräcklig hög kvalitet för att kunna utföra avancerade laboratorieförsök. Det visar också att det finns behov av att utföra forskningsinsatser för att utöka kunskapen om friktionsjordars egenskaper som kan användas som underlag för att vidareutveckla empiriska ekvationer för att utvärdera egenskaperna från olika sonderingsmetoder.

12.3 PROVERS STÖRNING I OLIKA JORDAR PROVTA GNA MED OLIKA PROVTA GNINGSMETODER

Det finns erfarenheter vad gäller störning av prover med olika provtagningsmetoder för olika typer av friktionsjord, men dessa är relativt begränsade.

Vid flera olika projekt och i olika länder har det visats att det går att erhålla ostörda prover tagna med kolvprovtagare eller öppen tunnväggig rörprovtagare i siltjordar, se avsnitt 11.2. Enligt SS-EN ISO 22475–1:2021 motsvarar en öppen tunnväggig rörprovtagare och kolvprovtagare som trycks ned, provtagningsmetod kategori A och laboratriekvalitetsklass 1 för ostörd provtagning i lera, silt och organisk jord. Möjligheten att lyckas med provtagning i silt beror framför allt på jordlagrens fasthet och på grundvattenförhållanden. Vid silt med hög relativ fasthet går kolvprovtagaren inte att driva ned utan att riskera att orsaka skada på utrustningen eller så fylls inte provtagaren med jord. Vid användning av öppna rör under grundvattenytan finns risk att jordprover tappas. Vid provtagning i sand visas i avsnitt 11.3 erfarenheter från olika artikelförfattare vad gäller risk för omlagring av kornen vid provtagning (komprimering eller expansion) för olika provtagningsmetoder. Lovande resultat har dock erhållits med en av gelprovtagningsmetoderna (GP-S), se avsnitt 9.2.2 och 11.3. Det finns ett behov av att undersöka möjligheterna att erhålla tillräckligt ostörda prover i sand och siltig sand med olika metoder, speciellt gelprovtagningsmetoden GP-S. Det bör även undersökas var gränsen går för möjligheter att erhålla tillräckligt ostörda prover för jord med kolvprovtagning och öppen tunnväggig rörprovtagare i gränslandet mellan silt och sand dvs. finsandig silt och siltig finsand.

Det redovisas i avsnitt 7.2 en hel del exempel på provtagning i lermorän där tillräckligt sammanhållna prover erhållits med kärnprovtagare med trippelrör, för att kunna utföra avancerade laboratorieförsök. Öppna tunnväggiga rörprovtagare har också visat sig fungera i lermorän. Det finns dock olika erfarenheter när det gäller störning av proverna i jämförelse med kärnprovtagning med trippelrör, se

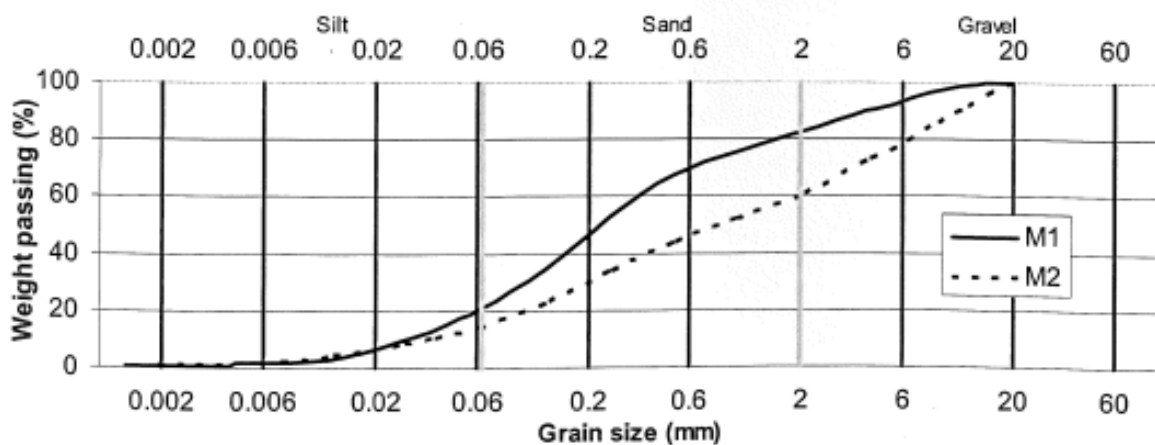
avsnitt 7.2.1 och 7.2.2. Erfarenheten är också att provtagarna skadas av block och sten i jorden, vilket innebär att provtagarens egg måste repareras efter slagning på block. NGI har goda erfarenheter av gelprovtagningsmetoden GP-Tr (rotary triple tube sampler) i morän. Sonicborrning och provtagning med mullvaden har i huvudsak använts för att erhålla kontinuerliga jordlagerprofiler kombinerat med installation av porttrycksmätare eller för miljögeoteknisk provtagning. För andra syften som att ta upp prover för avancerade laboratorieförsök är metoderna relativt oprövade. I avsnitt 8.2 och 10.2 visas dock exempel på att sammanhållna prover kan erhållas med metoderna för vissa jordar. För båda metoderna gäller dock att det erfordras tester och utveckling av provtagningsmetodiken dvs. att stålrör eller plaströr (hela rör eller två halva rör) används vid provtagningen istället för att knacka eller vibrera ut proverna ur provtagaren för att lägga i en provlåda eller i plastpåsar. Brenton och Condron (2019) skriver att ytterligare arbete krävs vad gäller störning av prover vid sonicborrning. Fallstudien i Olympic Park har visat att provkvaliteten vid sonicborrning inte skiljer sig avsevärt från traditionella metoder. De fallstudier som presenterats tyder på att en laboratoriekvalitetsklass 1, provtagningskategori A skulle kunna uppnås i vissa kohesiva jordar och provtagningskategori B, laboratoriekvalitetsklass 3 i grovkorniga jordar. Olika typer av störning kan erhållas med olika roterande borrhningsmetoder. För kategorin kärnborrning/rotationsborrning med trippelrör och spolning kan påverkan erhållas från spolvattnet, från sonicborrning kan påverkan erhållas från vibrationer och vid provtagning med mullvaden kan påverkan erhållas från slagningen. Det finns således ett behov av att testa störning av olika jordarter vid användning av olika rotationsborrhningsmetoder. Även effektiviteten av olika typer av borrhkronor för olika jordar inklusive påverkan på jordproverna bör testas. Generellt bör vid provtagning med rotationsborrhning kvalitetsklassning utföras enligt SS-EN ISO 22475-1:2021, se Tabell 4.

När det gäller siltmorän och blandkornig morän finns i rapporten redovisat några exempel där sammanhållna prover erhållits med rotationsborrhning. Det krävs dock ytterligare tester för att erhålla erfarenhetsunderlag vad gäller möjligheterna att erhålla sammanhållna prover i siltmorän och blandkornig morän. Sannolikt finns en gräns som beror av finjordshalt och/eller lerhalt.

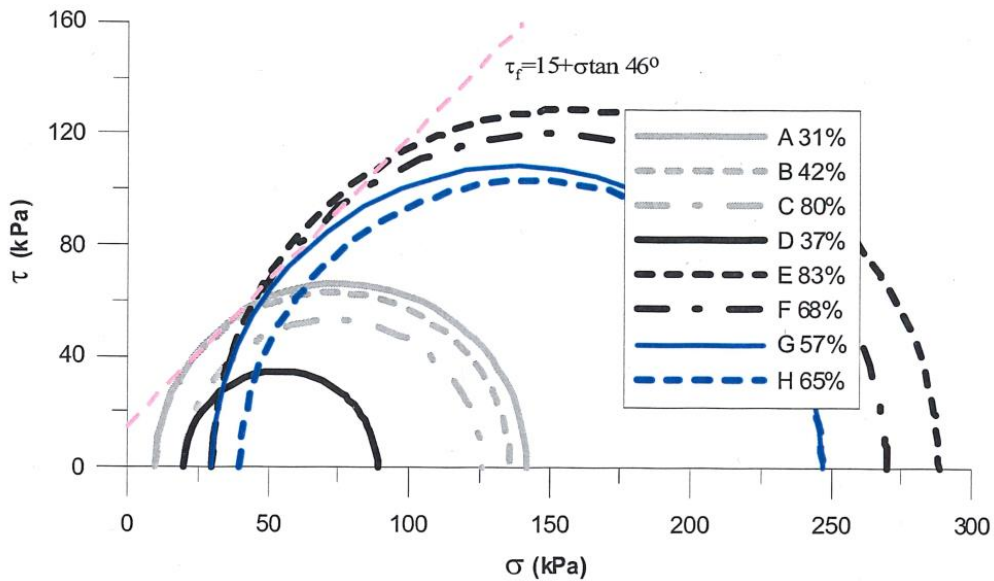
I rapporten redovisas exempel på att steninnehållet i jorden har stor betydelse när det gäller möjligheten att erhålla sammanhållna kärnprover. Speciellt stenar

med ungefär samma storlek som provtagarens diameter som täpper igen provtagaren. Även vattenförande jordlager med grovkornig jord är svår att provta. För grusiga, steniga och blockiga jordar med litet finjordsinnehåll är det endast möjligt att erhålla störda prover för jordartsklassificering och beräkning av hydraulisk konduktivitet baserat på kornfördelningen. Det bör dock påpekas att även detta är viktig information som underlag för geoteknisk projektering.

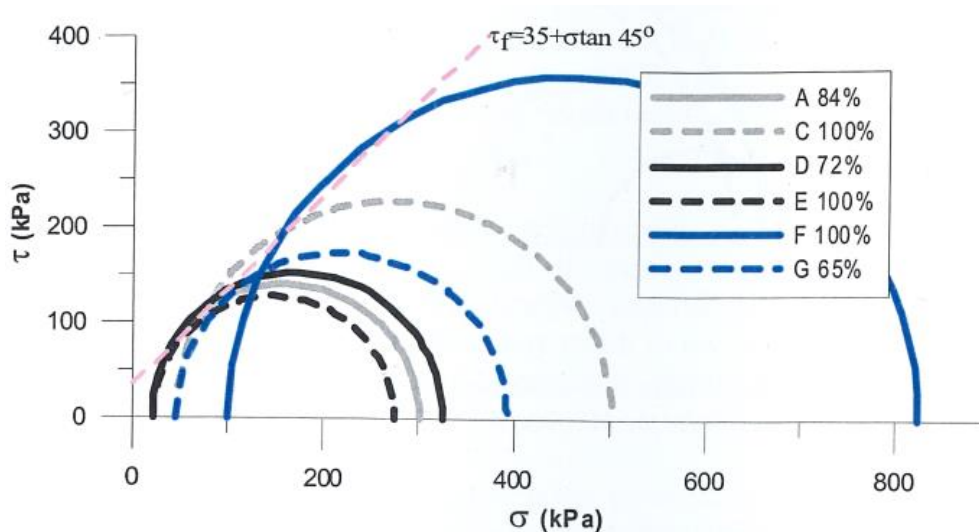
De störda proverna kan även packas i laboratorium (proctor) till olika packningsgrad, vilket exempelvis görs idag på prover från provgrovsgrävning, och på dessa packade prover är det möjligt att utföra både avancerade laboratorieförsök och bestämning av hydraulisk konduktivitet. Kennedy (2007) undersökte bland annat de mekaniska egenskaperna av blandkorniga moränmaterial genom laboratorieförsök med standardmetoder för materialklassificering, statiska och dynamiska triaxialförsök samt fältmätningar av bärighet, densitet och vattenkvot. Hållfasthetsegenskaper för siltig sandmorän och grusig, sandig morän, se Figur 99, med finjordsandel varierande mellan 13 och 21% utvärderades baserat på dränerade triaxialförsök på laboratoriepackade prover. Moränmaterialens hållfasthetsegenskaper sammanfattades med $\phi = 45\text{-}46^\circ$ och $c' = 15\text{-}35$ kPa, se Figur 100.



Figur 99 Kornfördelningskurvor för testade moränmaterial (Kennedy, 2007).



a) Material M1 (siltig sandmorän)



b) Material M2 (grusig, sandig morän)

Figur 100 Brottspänningar och brottlinje för material med olika vattenmättnadsgrad. a) material M1 (siltig sandmorän) och b) material M2 (grusig, sandig morän) (Kennedy, 2007).

Som en del i ovanstående projekt utförde Bergman och Genberg (2005) dränerade triaxialförsök på laboratoriepackad siltig sandmorän, med cirka 20 % finjordsinnehåll, cirka 20 % grus och resten sand, för olika vattenkvoter och packningsarbete, se Tabell 11.

Tabell 11 Friktionsvinklar och kohesionsintercept samt torrdensitet för siltig sandmorän som packats med olika packningsarbete och vatteninnehåll (Bergman och Genberg, 2005).

Vattenkvot (%)	Packningsarbete (MJ/m ³)	Kohesion (kPa)	Friktionsvinkel (°)	Torrdensitet (t/m ³)
4	2,4	18	51	2,14
6	2,4	25	46	2,15
8	2,4	22	47	2,14
6	1,2	13	44	2,05

Ovanstående projekt visar att även för moränprover som inte erhåller erforderlig kvalitet för att kunna utföra avancerade laboratorieförsök, finns möjlighet att utföra avancerade laboratorieförsök genom laboratoriepackning av materialet. För silt är dock erfarenheten att laboratoriepackning av prover inte fungerar. Höeg med flera (1995) redovisar att vid statiska triaxialförsök uppvisar laboratoriepackade prover kontraktant och sprött beteende och betydligt lägre hållfasthet jämfört med resultat på ostörda naturliga prover, som uppvisade dilatant beteende.

I föreliggande rapport visas också exempel på att roterande bormningsmetoder fungerar utmärkt för provtagning av kontinuerliga prover i kalkcementpelare.

Kapitel 13.

Förslag på fortsatt utveckling

13.1 UTVECKLING AV PROVTAGNINGSMETODIK

Det finns både svenska och internationella erfarenheter från de i denna rapport beskrivna provtagningsmetoderna, men för de flesta finns behov av ytterligare användning, uppföljning och utveckling för att svenska anvisningar för utförande i syfte att ta ostörda prover, ska kunna tas fram. Flera metoder är lämpliga att utföra kombinerat med varandra och detta behöver utredas vidare och råd för det arbetas fram.

Det finns behov av metod- och kravbeskrivningar för samtliga provtagningsmetoder beskrivna i denna rapport. Det finns behov av att beskriva exempelvis val av krona, spolmedel, typ av metod vid olika geotekniska förhållanden och framtagning av krav gällande exempelvis utförande, utrustning i olika jordar och vid olika förhållanden samt registrering och dokumentation av parametrar under borrhningen/provtagningen.

Kurstillfällen bör genomföras med vissa intervall i syfte att öka operatörernas kunskaper om metoderna och vilka krav som ställs. Därmed minimeras risken att resultaten från provtagningen blir operatörsberoende.

Då flera av de beskrivna metoderna kräver specialutrustning i form av borrhkronor, provtagningsutrustning och borrhbandvagn krävs även att det skapas en efterfrågan på dessa metoder för att företagare ska investera och utveckla metoderna vidare.

Det bör också påpekas att flera av de metoder som beskrivs i rapporten kan kombineras. Vid användning av roterande borrhningsmetoder kan dessa exempelvis kombineras med kolvprovtagning och provtagning med öppna rör. Provtagning i ett tjockt fyllningslager kan då utföras med en roterande borrhningsmetod och provtagning i ett sedimentlager under fyllningen kan utföras med kolvprovtagning eller med öppna tunnväggiga rör.

Möjligheten att erhålla sammanhållna prover för avancerade laboratorieförsök är sannolikt beroende av finjordshalten och/eller lerhalten. Kunskapen om var

denna gräns går behöver dokumenteras genom sammanställning av erfarenheter från utförda provtagningar.

13.1.1 Provtagning med öppna tunnväggiga rör

Provtagning med öppna tunnväggiga rör är lämpligt att använda i sedimentjordar som silt och fast lera. Ett problem vid provtagning med öppna rör är risken att tappa prover. Därför finns behov av att testa olika typer av slutare som kan användas vid komplicerade geotekniska förhållanden eller att vid behov utveckla nya och bättre slutare eller annan anordning.

13.1.2 Provtagning med kärnprovtagare med trippelrör

Provtagning med kärnprovtagare med trippelrör är lämpligt att använda i fasta jordar, exempelvis morän och vid provtagning av kalkcementpelare/jetpelare. NGI:s erfarenhet är att vid användning i sand har mycket material spolats bort. Man har även testat metoden i fast lera, med stora kärnförluster. Orsaken till detta och möjligheten att minska bortspolning och kärnförluster, bör utredas vidare.

En viktig parameter att testa och utreda är vilken typ av borrhkrona som passar till vilken typ av jord eller berg.

Vattenspolningen kan göra att vatten sugas in i nedre delen av provtagaren. Därmed är det av vikt att detta uppmärksammas och att dessa delar av provet väljs bort. Erfarenheter av spolflöde för olika jordar är också viktigt att dokumentera för att minimera störning av prover.

Svårigheter kan uppstå med hantering av provtagningsrör i plast som lätt kan böjas på grund av sin stora längd och tyngd. Det finns därför behov av att ta fram mer böjstyva plaströr eller att enbart stålrör används.

För kärnprovtagning med trippelrör krävs att operatören har goda kunskaper om metoden och lång erfarenhet. Det finns därför behov av framtagning av exempelvis en handledning med rekommendationer avseende handhavande, val av borrhparametrar, borrhkrona och slutare för olika jordar.

Registrering av borrhparametrar bör standardiseras och vara obligatorisk vid provtagning. Även hur dokumentation av jord i provtagare ska redovisas baserat på kvalitetsklassningssystem enligt SS-EN ISO 22475–1:2021.

13.1.3 Provtagning med sonicborrning

Prover från sonicborrning kan erhållas i olika typer av jord. Det finns dock behov av att testa och utveckla möjligheten att erhålla sammanhållna borrhålor inklusive analys av störningseffekter för olika typer av jord.

Möjlighet att använda olika typer av inre provtagningsrör bör studeras. Det bör studeras i vilka jordar och förhållanden som plaströr respektive stålrör fungerar.

Provtagare i olika längder (från 1 till 3 meter) bör vara standard och användas både för att underlätta provtagning i jord med sten och block och för att kunna transportera och hantera proverna i laboratorium.

Metoder för att ta ut de inre provtagningsrören ur provtagaren utan att orsaka störning av provet, att kapa dessa till hanterbara längder och att få ut jordmaterialet på laboratorium bör utvecklas. För att underlätta urtagning av jordprover skulle försök med att smörja insidan av provtagaren kunna utföras.

Vattenspolning behövs vanligen vid borrning genom block. Spolningen görs idag i vissa utrustningar i toppen av provtagaren men det finns även dubbelrör liknande S-Geobor i vilka spolning sker vid provtagningsnivån. Vid spolning i toppen utan att jordprover först tas upp, riskeras urspolning av material. Därför bör dubbelväggiga rör användas och spolning i toppen undvikas. En metodik för hur stopp på block ska hanteras bör tas fram. Exempelvis skulle man då provtagaren kör fast på ett block ta upp provtagaren och byta till en kortare provtagare, 0,5 eller 1 m lång. Den korta används för att borra och spola genom blocket. När detta passerats byter man till en längre provtagare. Detta kräver provtagare och foderrör i flera olika längder, dock måste samma längder användas på provtagare och foderrör.

Sonicborrning har visat sig vara svårt i hårt, kristallint berg. Orsaker till detta bör undersökas.

Olika typer av borrhålor bör testas och anvisningar för i vilka geologiska formationer dessa är lämpliga bör arbetas fram. Idag upplever många operatörer stort slitage av borrhålor vilket skulle minska med ökad kunskap och anvisningar. Detta gäller även olika typer av slutare.

En kombination av sonicborrning och andra provtagningsmetoder i foderrörborrade hål bör även studeras. I en dammanläggning i Sverige har man installerat grova plaströr inne i foderrör ned till bergnivån, installerat med sonicborr-

ning. Syftet är att kärnbörja från bergnivån med S-Geobor eller sondera med Jb-sondering, men detta är inte utfört ännu (Mohlin, 2023). En annan idé kan vara att först köra sonicborring genom en hel jordprofil. Baserat på resultaten från dessa, kan lösa jordlager identifieras och i dessa utföra exempelvis CPT-sondering och provtagning med öppna rör inuti med sonicborring installerat foderrör.

Vid provtagningen i Messauredammen (Ekström, 2022) utfördes provtagning inte vertikalt utan med en viss lutning. För att kontrollera lutning utfördes laser-mätningar. Detta skulle också kunna vara standard vid provtagning.

Värmeutveckling i samband med provtagning ovan grundvattenytan finns behov av att hitta en lösning på.

Registrering av djup, spoltryck, spolning, sjunkningshastighet, vridmoment, temperatur, vibrationsfrekvens, lutning etc. bör standardiseras och vara obligatorisk vid provtagning. Även hur dokumentation av jord i provtagare ska redovisas baserat på kvalitetsklassningssystem enligt SS-EN ISO 22475–1:2021.

13.1.4 Provtagning med omslutande gel

Gelprovtagning med GP-S kan användas i silt och eventuellt även i lös sand. Detta måste dock testas vidare. Provtagning med GP-Tr är lämpligt att använda i fasta jordar, exempelvis morän och vid provtagning av kalkcementpelare/jetpelare. Det behövs dock fler tester för skandinaviska förhållanden med de olika gelprovtagarna för att erhålla dokumenterad erfarenhet.

Polymerens innehåll och påverkan på miljön bör utredas och eventuellt ta fram en annan mer miljövänlig variant.

Provtagning i fast sand med GP-S bör testas vidare då bland annat NGI misslyckats med detta. Ett alternativ är att byta till GP-Tr om jordmaterialet är för hårt/fast lagrat.

Om metoden ska få genomslag krävs att tillverkaren börjar sälja den på marknaden och att manualer med instruktioner tas fram på svenska. Det kommer även att behövas utbildningar på provtagningsmetoden samt enklare handledningar och rekommendationer. För GP-Tr behövs sådan handledning avseende exempelvis val av borrhänsa och skärets utstick, vilket är olika beroende på vilken jordtyp som ska provtas.

Utrustning för att hantera upptagna (meterlånga) prover på laboratorium bör tas fram/utvecklas. Det kommer även att krävas specialbyggda vadderade provlådor för att på ett bra sätt kunna transportera upptagna prover till laboratoriet utan att proverna blir störda.

Registrering av borrhparametrar bör standardiseras och vara obligatorisk vid provtagning. Även hur dokumentation av jord i provtagare ska redovisas baserat på kvalitetsklassningssystem enligt SS-EN ISO 22475–1:2021.

13.1.5 Provtagning med mullvaden

Provtagning med mullvad med diameter 44 mm kan användas för att klarlägga jordlagerföljd för friktionsjord, det vill säga störd provtagning för jordartsklassificering och siktning. Mullvad med diameter cirka 75 mm kan också användas för att klarlägga jordlagerföljd för friktionsjord inklusive morän.

Möjlighet till användning av olika typer av inre provtagningsrör bör studeras vid provtagning i morän. Det bör studeras i vilka jordar och förhållanden som plaströr respektive stålrör fungerar.

Olika typer av borrhkronor bör testas och anvisningar för i vilka geologiska formationer dessa är lämpliga bör arbetas fram.

Registrering av borrhparametrar bör standardiseras och vara obligatorisk vid provtagning. Även hur dokumentation av jord i provtagare ska redovisas baserat på kvalitetsklassningssystem enligt SS-EN ISO 22475–1:2021.

13.2 UNDERSÖKNING AV STÖRNINGSGRAD I OLIKA JORDAR FÖR OLIKA PROVTAGNINGSMETODER

Olika provtagningsmetoder ger olika risk för störning i olika jordar. Det bör därför genomföras en undersökning där olika metoder jämförs, liknande det som NGI genomfört vid provfältet i Halden. Jämförelser mellan metoderna erhålls genom att jämföra resultaten från laboratorieförsöken. Försök enligt följande skulle kunna utföras:

Testserie 1 utförs i lös och fast silt med följande metoder:

- Blockprovtagning.
- Kolvprovtagning.
- Rörprovtagning med öppna tunnväggiga rör.
- Kärnprovtagning med trippelrör.

- Provtagning genom sonicborrning (med och utan vibration).
- Gelprovtagning med GP-S och GP-Tr.
- Provtagning med mullvad med diameter 75 mm.

På prover utförs rutinförsök det vill säga bestämning av skrymdensitet och vattenkvot samt bestämning av kornfördelning genom tvättsiktning och sedimentationsanalys. Ödometerförsök, CRS-försök samt aktiva odränerade och dränerade triaxialförsök utförs.

Orsaken till att blockprovtagning föreslås är att denna metod sannolikt ger minst störning av proverna. Varken kärnprovtagning med trippelrör, gelprovtagningsmetoder, provtagning genom sonicborrning eller provtagning med mullvad kommer att bli standardmetoder för provtagning i silt, eftersom både kolvprovtagning och öppna rör fungerar för denna jord. Testerna kan dock ge en indikation på vilka störningseffekter som kan erhållas i sedimentjord på grund av vattenspolning, vibration och slag vid rotationsborrning.

Testserie 2 utförs i lös och fast sand/siltig sand med följande metoder:

- Provtagning med öppet rör.
- Provtagning genom sonicborrning (med och utan vibration).
- Gelprovtagning med GP-S och GP-Tr.

Jordartsklassificering av kärnor utförs samt kvalitetsklassning av provkvalitet enligt SS-EN ISO 22475–1:2021. På prover utförs rutinförsök det vill säga bestämning av skrymdensitet och vattenkvot samt bestämning av kornfördelning genom tvättsiktning och sedimentationsanalys. Aktiva odränerade och dränerade triaxialförsök utförs.

Testserie 3 utförs i lermorän med följande metoder:

- Kärnprovtagning med trippelrör.
- Provtagning genom sonicborrning.
- Gelprovtagning med GP-Tr.
- Provtagning med mullvad med diameter 75 mm.

Jordartsklassificering av kärnor utförs samt kvalitetsklassning av provkvalitet enligt SS-EN ISO 22475–1:2021. På prover utförs rutinförsök det vill säga bestämning av skrymdensitet och vattenkvot samt bestämning av kornfördelning

genom tvättsiktning och sedimentationsanalys. Ödometerförsök eller kompressometerförsök samt aktiva odränerade och dränerade triaxialförsök utförs.

Testserie 4 utförs i siltmorän och blandkornig morän med hög finjordshalt med följande metoder:

- Kärnprovtagning med trippelrör.
- Provtagning genom sonicborrning.
- Gelprovtagning med GP-Tr.
- Provtagning med mullvad med diameter 75 mm.

Jordartsklassificering av kärnor utförs samt kvalitetsklassning av provkvalitet enligt SS-EN ISO 22475–1:2021. På prover utförs rutinförsök dvs. mätning av skrymdensitet och vattenkvot samt bestämning av kornfördelning genom tvättsiktning och sedimentationsanalys. Ödometerförsök eller kompressometerförsök samt aktiva odränerade och dränerade triaxialförsök utförs.

13.3 VAL AV BORRKRONOR

För kärnprovtagning i berg finns råd och anvisningar för val av lämplig borrkrona. Detta saknas för provtagning i jord och därför är det fältgeoteknikern som med sin erfarenhet, kunskaper och eventuella försök i aktuell jordprofil, som idag avgör valet. Då det har visat sig att val av krona är högst väsentligt för hur framgångsrik provtagningen blir (se Kapitel 7 och 8), finns det ett behov av att det arbetas fram en vägledning för detta. Det arbetet bör göras i samråd med internationella experter. Det finns behov av att upprätta en erfarenhetsbank.

13.4 ERFARENHETSDATABANK AV EGENSKAPER I OLIKA FRIKTIONSJORDAR

För silt har friktionsvinklar och kohesionsintercept från ett stort antal aktiva dränerade triaxialförsök sammanställts, se avsnitt 12.2. Det bör även utföras utvecklingsprojektet för att sammanställa friktionsvinklar och kohesionsintercept från passiva dränerade triaxialförsök. Om exempelvis CRS-försök börjar användas mer frekvent för silt, bör resultat från olika utförda projekt sammanställas i en erfarenhetsdatabank.

Om rotationsborrningsmetoderna som beskrivs i denna rapport får en mer omfattande användning än vad som är fallet idag och även används för att utföra avancerade laborieförsök, bör resultat från olika utförda projekt sammanstäl-

las i en erfarenhetsdatabank. Jämförelser bör också utföras med laboratoriepackade prover.

13.5 EMPIRISKA SAMBAND MED SONDERINGSRESULTAT OCH JORDARS HÅLLFASTHETSEGENSKAPER

De empiriska samband som används för att bedöma jordars hållfasthetsegenskaper baserat på sonderingsresultat behöver arbetas om när ny kunskap om hållfasthetsegenskaper har erhållits.

Det finns potential att använda resultat från Jb-sondering för empiriska relationer och då kan det vara intressant att kombinera provtagning med någon av de beskrivna provtagningsmetoderna till berg och Jb-sondering ned i underliggande berg.

13.6 VÄGLEDNINGAR AVSEENDE METODERNA

För att de metoder som beskrivs i denna rapport ska få större användning erfordras vägledningar både till fältgeotekniker och geotekniker som ska beställa arbetena. SGF Fälthandbok bör därför uppdateras med mer information och krav avseende dessa metoder kopplat till olika jordarter.

Kapitel 14.

Referenser

- Amundsen, H. A., Thakur, V., och Emdal, A. (2015).** Comparison of Two Sample Quality-Assessment Methods Applied to Oedometer Test Results, presented at the Sixth International Symposium on Deformation Characteristics of Geomaterials, Buenos Aires, Argentina, IOS Press, Amsterdam, the Netherlands, pp. 923–930.
- Atlas Copco produktblad (2022).** <https://docplayer.se/36589636-Produktkatalog-for-borrkronor.html> och <http://www.rockdrillsales.com/fullpanel/uploads/files/hobic.pdf>
- Axelsson, M., och Chapman, L. (2019).** Provtagning med S Geobor och triax-försök i fast lagrad morän, Ostlänken. Powerpoint.
- Axelsson, P., Jantzer, I., Mören, L., (2023).** Geotekniska undersökningar av fyllningsdammar, Tillämpning och användande av geotekniska fältmetoder, Energiforsk. <https://energiforsk.se/program/dammsakerhet/rapporter/geotekniska-undersokningsmetoder-av-fyllningsdammar-2022-905/>
- Barliaev, A. (2022).** SWECO, personlig kommunikation.
- Bergdahl, U., Ottoson, E., & Stigson Malmborg, B. (1993).** Plattgrundläggning. Statens geotekniska institut.
- Bergman, E. & Genberg, C. (2005).** Packningsegenskaper och hållfasthet för moränjordar, Examensarbete inom civilingenjörsprogrammet Väg- och vattenbyggnad, Chalmers tekniska högskola, Göteborg.
- Blaker, Ø. (2020).** Characterization of a Natural Clayey Silt and the Effects of Sample Disturbance on Soil Behavior and Engineering Properties. Doctoral Dissertations. 1904. <https://doi.org/10.7275/93q6-5v98> https://scholarworks.umass.edu/dissertations_2/1904.
- Blaker, Ø., DeGroot, D.J. (2020).** Intact, Disturbed, and Reconstituted Undrained Shear Behavior of Low-Plasticity Natural Silt. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering Vol. 146, Issue 8 (August 2020).

- Blaker, Ø., Carroll, R., Paniagua, P., DeGroot, D. J., L'Heureux, J.-S. (2019).** Halden research site: Geotechnical characterization of a post-glacial silt. *AIMS Geosci.* 5 (2): 184–234.
<https://doi.org/10.3934/geosci.2019.2.184>.
- Bramsäter, J. och Månsson, E. (2021).** SWECO, personlig kommunikation.
- Brenton, D and Condron, A. (2019).** Sonic drilling and sample quality on the Olympic Park ground investigation. Technical Paper. Ground engineering.
- Carroll, R. and Long, M. (2017).** Sample disturbance effects in silt. *Journal of Geotechnical geoenvironment.* *Geoenviron. Eng.*
[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)GT.1943-5606.0001749](https://doi.org/10.1061/(ASCE)GT.1943-5606.0001749).
- Chapman, L., Axelsson, M., Larsson, M. (2019).** Provtagning med S Geobor och triaxförsök i fast lagrad morän i samband med planering av Ostlänken, höghastighetjärnväg. Grundläggningdagen 2019. Svenska geotekniska föreningen.
- Chapman, L. (2022 och 2023).** SWECO, personlig kommunikation.
- Dueck, A. (1997).** Egenskaper i lermorän. En laboratoriestudie utförd vid Laboratoriet for Fundering, Aalborgs Universitetscenter. Lund Institute of Technology, Lund University, Department of Geotechnology, LUT-VDG/TVGT-3028-SE.
- Eijkelkamp (2022).** https://www.unosonsampdrill.se/wp-content/uploads/2019/12/0603971_AquaLock.pdf.
- Ekström, I. (2022 och 2023).** SWECO, personlig kommunikation.
- Embile, R. och Hedberg, U. (2021).** Boliden, personlig kommunikation.
- Garin, H., Andréén, T. (2023).** Håkan Garin, Geoverkstan och Thomas Andréén, Geofound, personlig kommunikation.
- GEO (2013).** Kriegers Flak Offshore Wind Farm. *Geo Investigations 2013.* Factual Report – Seabed CPTs and Geotechnical Boreholes. GEO project no 36642, Report 1, 2013-10-30.
- Golder (2018).** Miljöteknisk markundersökning Inför detaljplaneläggning av Skärholmsdalen. Framställd för Stockholm Stad, Exploateringskontoret.
- Golder (2019).** Förstudie Eslövs fd gasverk. Framställd för Martin Enström, Eslövs kommun.
- Hight, D.W. (1993).** A review of sampling effects in clays and sands. *Offshore Site Investigations and Foundation Behaviour*, 28:115–146.

- Hocombe, T., Moore, P., te Boekhorst, C., Gittens, R., den Blanken, S. (2015).** Screw grout injection piled foundations for major bridge strengthening in Utrecht. Geotechnical Engineering for Infrastructure and Development.
- Huang, A.B., Tai, Y.Y., Lee, W.F. och Ishihara, K. (2008).** Sampling and field characterization of the silty sand in central and southern Taiwan. Geotechnical and Geophysical Site Characterization - Huang & Mayne (eds), Taylor & Francis Group, London.
- Höeg, K., Dyvik, R. (1995).** Deformations and stability of soil foundations subjected to combined static and cyclic loads. Norwegian Geotechnical Institute.
- Höglin, A. (2022 och 2023).** SWECO, personlig kommunikation.
- Jonsson, A., Andersson, B. och von Strokirch, C. (1995).** A method study of Geobor S - a triple tube wire line coring system, performed in limestone and clay till. Lunds tekniska högskola, Avdelningen för teknisk geologi, Lund.
- Karlsruud, K. and Hernandez-Martinez, F.G. (2013).** Strength and deformation properties of Norwegian clays from laboratory tests on high-quality block samples. Can. Geotech. J. 50(12) (2013), 1273-1293.
- Kennedy, H. (2007).** Mixed-Grained Till in Pavement Structures - A Field and Laboratory Study. Lic - Department of Civil and Environmental Engineering, Division of GeoEngineering, Geotechnical Engineering, Chalmers University of Technology: 2007:2.
- Kisojiban (2022).** <https://www.kisojiban.com> (2022-02-18).
- Kåsin, K. (2021, 2022, 2023).** NGI, personlig kommunikation.
- La Rochelle, P., and Lefebvre, G. (1971).** Sample disturbance in Champlain clays. Sampling in Soil and Rock, ASTM, West Conshohocken, PA, 143-163.
- Larsson, N. (2015).** Hagforstvädden, undersökningsmetoder och behandlingsförsök. <https://docplayer.se/110415398-Hagforstvattnen-undersokningsmetoder-och-behandlingsforsok.html>.
- Larsson, R. (2000).** Lermorän – en litteraturstudie. Förekomst och geotekniska egenskaper. Varia 480. Statens geotekniska institut. Linköping.
- Larsson, R. (2001).** Investigations and Load Tests in Clay Till. SGI Report 59. Linköping.

- Lim, G., T., Pineda, J., Boukpeti, N., Carraro, J., A., H., Fourie, A. (2018).** Effects of sampling disturbance in geotechnical design, Article in Canadian Geotechnical Journal, June 2018.
- Lundström, K., Dehlbom, B., Vesterberg, B., Isacsson, U., Lindvall, R., Holmén, M., & Blomén, H. (2019).** Siltslänter längs Ångermanälven. Metodik för parameterbestämning som underlag för stabilitetsberäkning. Statens geotekniska institut. <http://swedgeo.diva-portal.org/smash/get/diva2:1379669/FULLTEXT01.pdf>.
- Lunne, T., Berre, T., and Strandvik, S. (1997).** “Sample disturbance in soft low plasticity Norwegian clay.” Symp. on Recent Developments in Soil and Pavement Mechanics, A. Almeida, ed., A.A. Balkema, Rotterdam, Netherland, 81–92.
- Lunne, T., Berre, T., Strandvik, S. (1999).** Sample disturbance effects in soft low plastic Norwegian clay. Norwegian Geotechnical Institute, NGI. Publication No 204. Oslo.
- Lunne, T., Berre, T., Andersen, K.H., Strandvik, S. and Sjørnsen, M. (2006)** Effects of sample disturbance and consolidation procedures on measured shear strength of soft marine Norwegian clays. Canadian Geotechnical Journal, Published on the NRC Research Press Web site 43: 726–750(2006).
- McLeod, D.J., Sullivan, M.D., MacArthur, A.I. (2015).** EX7 Class 1 sampling and testing of Scottish Glacial Till. Proceedings of the XVI ECSMGE. Geotechnical engineering for infrastructure and development.
- Miljöanalys (2021).** Andreas Durnell och Andreas Löfström, personlig kommunikation.
- Miljöanalys (2022).** Andreas Durnell och Andreas Löfström, personlig kommunikation.
- Mohlin, B. (2022 och 2023).** SWECO, personlig kommunikation.
- Molina-Gómez, F., Viana da Fonseca, A., Ferreira, C., Ramos, C., Cordeiro, D. (2021).** Sampling techniques for collecting high-quality samples: Portuguese experience in liquefiable soils. International conference on geotechnical and geophysical site characterisation. 26-29 September 2021. Budapest.
- Mori, K. och Sakai, K. (2016).** The GP sampler: a new innovation in core sampling. Geotechnical and Geophysical Site Characterisation 5 – Lehane, Acosta-Martínez & Kelly (Eds). Australian Geomechanics Society, Sydney, Australia.
- Möller, H. (2022).** Henrik Möller Geokonsult, personlig kommunikation.

- Nilsson, G. och Löfroth, H. (2009).** Jämförande sonderingar, Jb-totalsondering, CPT och Hejarsondering, SGF Notat 1:2009, SGF:s Fältkommitté, Linköping 2009.
- Niras (2019).** Bodentvätten Pilen 6. Metodutveckling morän. Niras Projekt-nummer: 5002204–104.
- Rankka, W., Liedberg, S., Rudebeck, D., Dehlbom, B. (2022).** Säker uppställning av tunga anläggningsmaskiner. Svensk Byggtjänst.
- SGF (2009).** Metodbeskrivning för provtagning med Standardkolvprovtagare, Ostörd provtagning i finkornig jord, SGF Rapport 1:2009, SGF:s Fältkommitté, Svenska Geotekniska Föreningen.
- SGF (2013).** Geoteknisk fälthandbok, SGF Rapport 1:2013, Svenska Geotekniska Föreningen.
- SGF (2015).** Förbättrad utvärdering av resultat från jordbergsondering/MWD, SGF Rapport 1:2015, Svenska Geotekniska Föreningen.
- SGF (2016).** Jordarternas indelning och benämning, SGF Rapport 1:2016, Svenska Geotekniska Föreningen.
- SGF (2022).** Information på webben 2022-09-13.
<https://www.fororenadeomraden.se/index.php/provtagningsmetoder/jord/borrbandvagn/sonic#atttankapa>.
- SIGI (2022).** Skredrisker i ett förändrat klimat - Ångermanälven, Fördjupningsbilaga del 3A: Använd metodik för parameterbestämning och stabilitetsberäkning., SIGI Vägledning SIGI Vägledning 5-3A, Statens geotekniska institut, SIGI, Linköping.
- Shogaki, T. (2017).** Mechanism of sample disturbance caused by tube penetration. Model tests on Toyoura sand. *Soil and Foundations* 57, pp 527-542. Elsevier.
- Svensk Standard SS-EN ISO 22475–1:2021 (2021).** Geoteknisk undersökning och provning – Provtagning genom borrhings- och utgrävningsmetoder och grundvattenmätningar–Del 1: Tekniskt utförande (ISO 22475-1:2021).
- Stringer, M.E., Cubrinovski, M., Haycock, I. (2016).** Experience with gel-push sampling in New Zealand. *Geotechnical and Geophysical Site Characterisation 5* – Lehane, Acosta-Martínez & Kelly (Eds). Australian Geomechanics Society, Sydney.
- Styrelsen för BT Kemi Efterbehandling (2017).** Slutrapport etapp 1. Södra området. Svalövs kommun.

- Thorén, T., Lundström, K., Dehlbom, B. (2022).** Hållfasthetsegenskaper för silt. Bestämningar på silt från undersökningsplatser längs Dalälven. Statens geotekniska institut. Linköping. <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1656273/FULLTEXT01.pdf>.
- Tokimatsu, K., Hosaka, Y., (1986).** Effects of sample disturbance on dynamic properties of sand. *Soils and Foundations* 26 (1), 53–64.
- Torefeldt, A. (2022).** AFRY, personlig kommunikation.
- Trafikverket (2014).** Bank över Örabäcken, Storlien (Stora Helvetet), Expertgruppens utredning, Publikationsnummer: 2014:130, Diarienummer: TRV 2015/766, ISBN: 978-91-7467-656-3, Utgivningsdatum: 2014-10-23, Författare: Claes Alén, Eskander Bashiry, Per-Evert Bengtsson, Stefan Håkansson, Eva-Lotta Olsson, Robert Pettersson, Magnus Ruin och Alexander Smekal.
- Trafikverket (2022).** TRVINFRA-00230, Krav med rådtext, Geokonstruktion, Dimensionering och utformning, Version 1.0, Publiceringsdatum 2022-01-11.
- Tyréns (2017).** Markundersökningsrapport (MUR) omgång 3 och 4. Kompletterande undersökningar. BT kemi – södra området. 2016-03-18.
- Vesterberg, B., Lindvall, R., Dehlbom, B., Lundström, K., With, C., Andersson, M., Holmén, M. (2020).** Sättningar i siltjordar, Litteraturstudie om egenskaper, fältuppföljningar och beräkningsmodeller, Uppdragsrapport, Statens geotekniska institut, SGI, Linköping, 2020-09-30.
- Vikberg Samuelsson, E., Peterson Becher, G., Leroux, V. (2022).** Lidmorännen i Berg och dess potential som grundvattenmagasin. SGU Rapport 2022-07. Uppsala.
- Wride, C.E., Hofmann, B.A., Sego, D.C., Plewes, H.D., Konrad, J.-M., Biggar, K.W., Robertson, P.K., Monahan, P.A. (2000).** Ground sampling program at the Canlex testsites.
- Yoshimi, U., Tokimatsu, K., Hosaka, Y. (1989).** Evaluation of liquefaction resistance of clean sands based on high-quality undisturbed samples. *Soils and foundations* vol 29, no 1, pp 93-104.
- Zackrisson, P., Adolfsson, K., Bengtsson, P-E., Bodare, Høeg, K., Johansson, L., A., Möller, B., Massarsch, R. & Wallmark, G. (1998).** Tåglastens inverkan vid stabilitetsanalyser, Teknisk rapport BB 00:03, FoU-projekt vid Banverket HK Bansystem, Borlänge, Slutrapport.

SGF Rapport/Report

- 1:93 Rekommenderad standard för CPT-sondering.
- 1:93E Recommended Standard for Cone Penetration Tests.
- 2:93 Rekommenderad standard för vingförsök i fält.
- 2:93E Recommended Standard for Field Vane Shear Test.
- 1:95 Rekommenderad standard för dilatometerförsök.
- 1:95E Recommended Standard for Dilatometer Tests.
- 2:95 Några pionjärprofiler i svensk geoteknik. SJ Geotekniska Kommission 1914–1922.
- 3:95 Proceedings of the International Symposium on Cone Penetration Testing, CPT'95.
- 4:95 Kalk- och kalkcementpelare. Vägledning för projektering, utförande och kontroll.
- 4:95E Lime and Lime Cement Columns. Guide for Project Planning, Construction and Inspection.
- 1:96 Geoteknisk fälthandbok. Allmänna råd och metodbeskrivningar.
- 1:99 Tätskikt i mark. Vägledning för beställare, projektörer och entreprenörer.
- 2:99 Metodbeskrivning för Jord-bergsondering.
- 3:99 Metodbeskrivning för Viktsondering.
- 1:2000 Geotekniken i Sverige 1920–1945.
- 2:2000 Kalk- och kalkcementpelare. Vägledning för projektering, utförande och kontroll.
- 1:2001 Fälthandbok – Miljötekniska markundersökningar (ersätts av 1:2004).
- 1:2003 Att bygga med avfall. Miljörättsliga möjligheter och begränsningar för återvinning av avfall i anläggningsändamål
- 1:2004 Fälthandbok – Miljötekniska markundersökningar.
- 2:2004 Armerad jord och fyllning – Nordisk vägledning.
- 3:2004 NGM 2004 – XIV Nordic Geotechnical Meeting. May 19th – 21th 2004.
- 1:2006 Metodbeskrivning för Jb-totalsondering
- 2:2006 Metodbeskrivning för installation av inklinometerrör
- 1:2008 Användning av restprodukter inom EU
- 1:2009 Metodbeskrivning för provtagare med standardkolvprovtagare. - Ostörd provtagning i fikornig jord
- 2:2009 Åtgärds mål vid in-situsanering. Formulering och kontroll av åtgärds mål.
- 1:2010 Förorenade byggnader. Provtagning och riskbedömning.
- 1:2011 Stimulerad reduktiv deklorering. En praktisk handledning
- 2:2011 Klorerade lösningsmedel i mark och grundvatten – Att tänka på inför provtagning och upphandling
- 3:2011 Hantering och analys av prover från förorenade områden - Osäkerheter och felkällor
- 1:2012 EYGEC 2012 - Setting the scene for future European geotechnical research
- 2:2012 Triaxialförsök – en vägledning
- 3:2012 SGF:s dataformat
- 4:2012 Metodbeskrivning för jord- bergsondering

1:2013	Fälthandbok - Geoteknik
1:2014	Riskhantering 1
1:2014E	Risk Management methodology
2:2014	Riskidentifiering 2
1:2016	Jordarternas indelning och benämning
2:2016	Akustisk JB Sondering
2:2016	Akustisk JB Sondering - Bilagor
1:2017	Metodik för bestämning av cu
2:2017	Fältgeoteknik Mät- och ersättningsregler
3:2017	Dynamiska miljöundersökningar
1:2019	Kvalitetskontroller för provtagning
1:2020	Riskstruktureringsverktyg
2:2020	Osäkerheter vid bestämning av organisk halt i jord
1:2021	Introduktion i bergbyggnad för geotekniker
2:2021	Maximal dynamisk modul från laboratiemätningar
3:2021	Handbok - Certifierad provtagning i praktiken
1:2022	Marksanering - Om hälsa och säkerhet vid arbete i förorenade områden
2:2022	Metodbeskrivning – Åsätta subjektiva sannolikheter i geotekniska projekt

Svenska Geotekniska Föreningen (SGF) bildades 1950 och består av drygt 1800 enskilda medlemmar, med minst två års praktisk erfarenhet av geoteknik. Dessutom ingår cirka 10 korporativa medlemmar myndigheter, konsult- och entreprenadföretag samt tillverkare inom det geotekniska området.

SGF har till ändamål att främja utvecklingen inom geoteknik med grundläggning och miljöteknik i ett nationellt och internationellt perspektiv.

Föreningen företräder i Sverige den internationella föreningen, the International Society of Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (ISSMGE).

I SGF:s Rapport- och Notatserie utges föreningens metodbeskrivningar, monografier och dokumentation från konferenser, temadagar m.m.



Svenska Geotekniska Föreningen
Swedish Geotechnical Society

c/o Emax, Sveaborgsvägen 16 439 73 FJÄRÅS Tel: 0708-137773

Internet: www.sgf.net E-post: info@sgf.net