

Manual för geotekniska fälttester och analyser i fältlaboratorium

Martin Östman

Examensarbete för ingenjör (YH)-examen

Utbildningsprogrammet för byggnads- och samhällsteknik

Vasa 2019



EXAMENSARBETE

Författare: Martin Östman
Utbildning och ort: Byggnads- och Samhällsteknik, Vasa
Inriktningsalternativ: Byggnadsproduktion
Handledare: Tom Lipkin, Yrkeshögskolan Novia
Johnny Eliasson, YIT Sverige AB

Titel: Manual för geotekniska fälttester och analyser i fältlaboratorium

Datum 26.4.2019 Sidantal 36

Abstrakt

Syftet med detta examensarbete var att utarbeta en manual för utförande av geotekniska fälttester samt analyser av dessa tester, som görs i ett mobilt fältlaboratorium. Manualen är specifikt utarbetad för ett av beställarens projekt och behandlar endast de provtagningsmetoder som utförts på plats.

Målet var att skriva en manual som kan användas av arbetsledare och laboratoriepersonal under kommande byggnadsår. Manualen beskriver Proctorprover, packningsprover med vattenvolymeter, packningsprover med isotopmätningstrustning och permeabilitetstest med dubbel ringinfiltrometer. Laboratorieanalyser som behandlas är vattenhalt, packningsgrad, kornfördelning och permeabilitet. Material som behandlas i manualen är morän och anrikningssand, som är en restprodukt från malmbrytningen.

Vidare innehåller manualen också exempel på blanketter och mallar samt en detaljerad förklaring hur man framställer resultat med hjälp av Microsoft Excel.

Med denna manual ska en arbetare ha tillräckligt med kunskap för att korrekt kunna utföra fälttester och analyser samt bedöma om gällande materialkrav är uppfyllda.

Beställare av examensarbetet är YIT Sverige AB. Exempel är tagna från ett dammbyggnadsprojekt för gruvindustrin i norra Sverige. Tanken är att manualen ska komma till användning vid liknande projekt i framtiden.

Språk: svenska

Nyckelord: geoteknik, fälttest

OPINNÄYTETYÖ

Tekijä:	Martin Östman
Koulutus ja paikkakunta:	Rakennustekniikka, Vaasa
Suuntautumisvaihtoehto:	Rakennustuotanto
Ohjaajat:	Tom Lipkin, Yrkeshögskolan Novia Johnny Eliasson, YIT Sverige AB

Nimike: Käsikirja geoteknisille kenttätesteille ja analysointiin kenttälaboratoriossa

Päivämäärä 26.4.2019 Sivumäärä 36

Tiivistelmä

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tehdä käsikirja geoteknisille kenttätesteille ja näiden analysointiin. Nämä tehdään kenttälaboratoriossa. Käsikirja on erityisesti tehty tilaajan projektiin, ja käsittelee ainoastaan niitä näytteenottomenetelmiä, joita tehdään paikan päällä.

Tavoite oli kirjoittaa käsikirja, jota sekä työnjohtajat että laboratoriohenkilökunta voivat käyttää tulevana rakennusvuosina. Käsikirja kuvaa Proctor- ja pakkauskokeita vesivolymetrillä, pakkauskokeita isotooppi-mittausjärjestelmällä ja läpäisevyyskokeita kaksoisrengasinfiltrointilaitteilla. Laboratoriokokeet, joita käsitellään ovat vesipitoisuus, pakkausaste, raejakautuma ja läpäisevyys. Materiaalit, joita käsikirjassa käsitellään, ovat moreeni ja rikastushiekka, mikä on malminlouhinnassa syntyvä jäännöstuote. Lisäksi käsikirja sisältää esimerkkejä lomakkeista ja malleista sekä yksityiskohtaisen selvityksen, kuinka tuloksia esitetään Microsoft Excelin avulla.

Tämän käsikirjan avulla työntekijällä on riittävästi tietoa suorittaakseen kenttäkokeita ja analyyskejä oikeaoppisella tavalla sekä arvioidakseen jos voimassaolevat materiaalien vaatimukset täyttyvät.

Opinnäytetyön tilaaja on YIT Sverige AB. Esimerkit ovat otettuja kaivosteollisuuden patorakennusprojektista Pohjois-Ruotsista. Ajatus on, että käsikirjaa voidaan käyttää myös tulevaisuudessa vastaavanlaisissa projekteissa.

Kieli: ruotsi

Avainsanat: geotekniikka, kenttäkoe

BACHELOR'S THESIS

Author: Martin Östman
Degree Programme: Building technology
Specialization: Building production
Supervisors: Tom Lipkin, Yrkeshögskolan Novia
Johnny Eliasson, YIT Sverige AB

Title: Manual for Geotechnical Field Tests and Analyses Conducted in a Field Laboratory

Date 26.4.2019 Number of pages 36

Abstract

The purpose of this bachelor's thesis was to prepare a manual for the execution of geotechnical field tests and analyses of said tests which are done in a mobile field laboratory. The manual is specifically made for one of the client's projects and therefore it only contains those test methods that are vital to the project.

The goal was to write a manual which can be used by foremen and laboratory personnel during the rest of the project. The manual describes Proctor samples, compaction tests with water substitution and radioactive moisture-density gauge and also permeability with double ring infiltrometer. Analyses mentioned are water content, level of compaction, particle size distribution and permeability. Materials mentioned are moraine and tailings, which is a byproduct from the enriching of ore in the mine. The manual also presents examples of sheets and a detailed description how to compile the results in Microsoft Excel.

The long-term goal is that every worker should be able to correctly execute the field tests, analyze the samples and evaluate the results with the help of this manual.

The client of this manual is YIT Sverige AB. Examples are taken from a project in the north of Sweden where the company is building a dam for the mining industry. The idea is that this manual will be used in that project and similar projects in the future.

Language: Swedish Key words: geotechnics, field test

Innehållsförteckning

1	Inledning.....	1
1.1	Bakgrund	1
1.2	Beställare.....	1
2	Mål och begränsningar.....	2
2.1	Arbetets mål och begränsningar	2
2.2	Genomförande	2
2.3	Behovsanalys	3
3	Ordlista.....	4
4	Tester som görs i fält.....	5
4.1	Modified Proctor.....	5
4.1.1	Teori.....	5
4.1.2	Utförande i fält.....	6
4.2	Packningsprover.....	8
4.2.1	Packningsprover med vattenvolymeter	8
4.2.2	Utförande i fält.....	9
4.2.3	Test av packningsgrad med isotopmätningstrustning.....	11
4.2.4	Utförande i fält.....	13
4.3	Permeabilitetstest med dubbel ringinfiltrometer	15
4.3.1	Utförande i fält.....	17
4.3.2	Analys av resultat från fälttestet.....	18
5	Analyser som görs i fältlaboratoriet.....	21
5.1	Vattenkvot.....	21
5.1.1	Utförande	21
5.2	Packningsgrad	22
5.2.1	Utförande	22
5.3	Kornstorleksfördelning – med torrsiktning.....	23
5.3.1	Tvättning och siktning.....	24
5.3.2	Utförande	25
5.3.3	Sammanställning av resultat.....	26
6	Resultat	27
7	Sammanfattning och diskussion.....	28
7.1	Utmaningar	29
7.2	Användning av manualen.....	29
8	Källförteckning.....	30
9	Figurförteckning.....	31

1 Inledning

Detta examensarbete är en manual för geoteknisk provtagning i fält och provanalyser som kan utföras i ett mobilt fältlaboratorium. I detta kapitel kommer jag att redogöra för bakgrund, beställare, objekt och avgränsningar för mitt examensarbete.

1.1 Bakgrund

Jag hade min företagsförlagda utbildning vid YIT Sverige AB under hösten 2018. Min arbetsplats var på ett dammbygge uppe i Aitikgruvan, norra Sverige. Totalt tre dammar med moränkärna kommer att byggas och projektet förväntas ta ca tre år. Min arbetsuppgift var arbetsledare med fokus på kvalitetsgranskning. Förutom att ha ansvaret över provtagningen hade jag ofta kontakt med beställarens kontrollanter och ibland även konstruktören för att se till att vi uppfyllde alla krav som ställts. Konstruktören hade ställt hårda materialkrav och vi fick specifika instruktioner vilka provtagningsmetoder som skulle användas. Eftersom tidigare erfarenhet av dessa metoder i stort sätt saknades inom vår avdelning kom vi överens om att jag skulle skriva en manual för de provtagningsmetoder vi använde samt vilka analyser som gjordes i vårt mobila fältlaboratorium. Detta var något som jag jobbade med varje dag hela hösten så det har underlättat skrivandet.

1.2 Beställare

Beställaren av detta examensarbete är YIT Sverige AB. Dotterbolaget hör till den finska YIT koncernen som grundades 1912. Det ursprungliga namnet var Allmänna Ingenjörbyrå AB (AIB) men senare översattes namnet och bolaget kom att heta Yleinen Insinööritoimisto Oy (YIT). I februari 2018 fusionerades YIT Corporation med Lemminkäinen Corporation och blev då Finlands största byggbolag. YIT har idag verksamhet i 11 olika länder och hade 2017 en omsättning på över 3,8 miljarder euro. I Sverige är YIT verksamma över hela landet och man jobbar främst med grund-, anläggnings, tunnel- samt beläggningsprojekt. (YIT.se, 2019)

2 Mål och begränsningar

Detta kapitel handlar om vad jag strävade efter när jag skrev manualen. Arbetets mål och begränsningar vara klara redan innan jag började skriva.

2.1 Arbetets mål och begränsningar

Målet var att sammanställa en utförlig manual som ska kunna fungera som stöd vid den praktiska delen av provtagning i fält och analyser i fältlaboratorium. Utöver det ska manualen också ge mer kunskap om de metoder som utförs. Det långsiktiga målet med denna manual är att den ska kunna användas av laboratoriepersonal och arbetsledare i fältförhållanden, men också hos de som räknar på projekten så att de får en uppfattning om vilken utrustning som krävs.

Arbetets begränsningar är att det inte finns lättillgänglig information om utförandet av de testmetoder som användes. Det är relativt enkelt att hitta bra källor till teorin, men svårare med själva utförandet av provtagningen. Källorna till detta examensarbete är i första hand internationella standarder men jag hittade också annan information. Alla standarder som jag refererar till kräver användarlicens men jag har tillgång till dessa via beställaren.

2.2 Genomförande

Jag kommer att sammanställa det material jag har jobbat med för att se vilka källor jag kommer att behöva. Efter det kommer jag att ta fram rubrikerna tillsammans med min handledare från YIT samt beställa de standarder jag behöver. Jag har relativt fria händer med utformningen av manualen så länge den uppfyller önskemålen från beställaren. Först började jag jobba med manualen och efter det började jag skriva på examensarbetet. Under skrivandets gång beslöt jag att infoga manualens innehåll i själva examensarbetet. Detta arbete fokuserar mycket på teorin bakom provtagningen och den slutgiltiga manualen fokuserar mera på utförandet.

2.3 Behovsanalys

Personalen på YIT Sverige AB har inte mycket erfarenhet av de omfattande materialkrav och provtagningsmetoder som ingår i projektet. Dessutom jobbar man 7-dagarsskift och byter all personal på projektet en gång i veckan. Det framkom redan i ett tidigt skede att man måste ha klara rutiner för utförande och dokumentation så att även andra än den ansvarige arbetsledaren kan utföra alla provtagningar eller upptäcka brister i dokumentationen. Den ansvariga arbetsledaren på varje skift måste också kunna bedöma de resultat som kommer från laboratoriet för att se så allt har gått rätt till.

3 Ordlista

I detta arbete förekommer en del termer inom geoteknik och markbyggnad

Finjord: Sammanfattande namn för fraktionerna lera och silt. Har korn med kornstorlek mindre än 0,06 mm.

Geoteknik: Läran om jords och bergs tekniska egenskaper samt dess tillämpning vid planering och byggande.

Hydraulisk konduktivitet: Ett mått på hur lätt vatten kan röra sig genom ett materials porer och sprickor.

Kornstorleksfördelning: Fördelning av partiklar i ett material med avseende på kornstorlek. Illustreras ofta grafiskt i ett diagram där x-axeln anger korndiametern i mm och y-axeln anger viktprocenten av partiklarna som är mindre än den angivna diametern. Bestäms oftast med hjälp av siktning.

Morän: Material från äldre jordar och berg som har slitits loss, transporterats och avlagrats av inlandsisen, innehåller en blandning av alla kornstorlekar, från lerpartiklar upp till jättelika block.

Packningsgrad: Förhållandet mellan uppmätt torrdensitet i fält och maximal torrdensitet.

Permeabilitet: Vattengenomsläpplighet. Definieras som kvoten mellan transporthastigheten och den hydrauliska gradienten (k). Anges i m/s.

Siktning: Bestämning av kornstorleksfördelning med hjälp av siktar, dvs. inramade tråddukar av metall där hålen är lika stora. Hålen är vanligtvis kvadratiska.

Täkt: Beteckningen på en plats eller fyndighet som utnyttjas för utvinning, brytning eller insamling av grus, morän, berg, blocksten, lera, sand, etc. i avsikt att använda materialet

4 Tester som görs i fält

I detta kapitel kommer jag att ta upp teorin bakom de tester som görs i fält. För närmare instruktioner om utförande, se bilaga. Flera av dessa tester ska också analyseras i laboratorium men det behandlas närmare i nästa kapitel.

4.1 Modified Proctor

Ett Proctorprov är ett test som utförs i ett laboratorium och det går ut på att man delar in ett material i flera delprover med olika vattenkvot och packar dessa prover för att ta reda på maximal torrdensitet och optimal vattenkvot för materialet. Det finns två olika versioner av proctorprover, Standard och Modified Proctor. Skillnaden mellan dessa metoder är att man använder en större kraft för att packa ihop materialet i en Modified Proctor samt att man siktar bort allt material över 20mm innan instampning. En Standard Proctor använder en 2,5 kg stamp medan en Modified använder 4,5 kg eller 15 kg beroende på material. (SS-EN 13286-2 Test methods for laboratory reference density and water content - Proctor compaction, 2013). I detta arbete behandlas endast Modified Proctor.

4.1.1 Teori

Proctorprover tas så fort som möjligt för att avgöra materialets maximala torrdensitet, som senare kommer att användas som referensvärde vid beräkning av packningsgrad. I samband med proctorprover är det också bra att ta ett extra materialprov för göra en separat kornfördelningsanalys. Om ett proctorprov ger ett oönskat resultat kan man då kolla upp kornfördelningen och se vad felvärdet beror på, t.ex. kan finjordshalten vara för hög eller för låg.

Detta material ska sedan packas i ett laboratorium där man tar reda på materialets maximala torrdensitet och optimala vattenkvot. Detta gör man genom att lägga materialet i en cylindrisk form och sedan låta en vikt falla fritt från en viss höjd. Höjden och antalet slag varierar beroende på materialet som ska packas. Ett grövre material kräver en större form och tyngre hammare, därför krävs också en större provmängd. Sand och morän som inte innehåller partiklar över 16mm packas i de minsta formarna och då räcker det med en

provmängd på 15 kg. Grövre material som t.ex. filtermaterial (som inte behandlas i detta arbete) kräver 40 kg provmängd och har man ett material med partiklar över 63mm behöver man en provmängd på 200 kg.

Vid instampningen delas provet upp i fem eller flera representativa delprover. I varje prov tillför man vatten så att alla prover har olika vattenkvot. Enligt internationell standard måste man ha två värden som ligger över samt under den optimala vattenkvoten. Normalt ska skillnaden mellan vattenkvoterna vara 1–2 % för sandiga eller grusiga material men med mindre skillnader får man ett bättre resultat. Enligt standard måste tre eller fyra värden ligga inom intervallet 0,8–1,2 från den optimala vattenkvoten. (SS-EN 13286-2 Test methods for laboratory reference density and water content - Proctor compaction, 2013)

Efter instampning beräknar man densiteten på materialet genom att ta massan på det representativa provet och dividera det med provets volym. Därefter torkar man provet och väger det en gång till för att ta reda på vattenkvoten och torrdensiteten. Samma procedur upprepas med alla delprover och sedan sammanställer man alla torrdensiteter som en kurva i en graf (se exempel nedan). Genom att identifiera det högsta värdet på kurvan får man fram optimal torrdensitet och vattenkvot för materialet. Torrdensiteten ges i enheten Mg/m^3 .

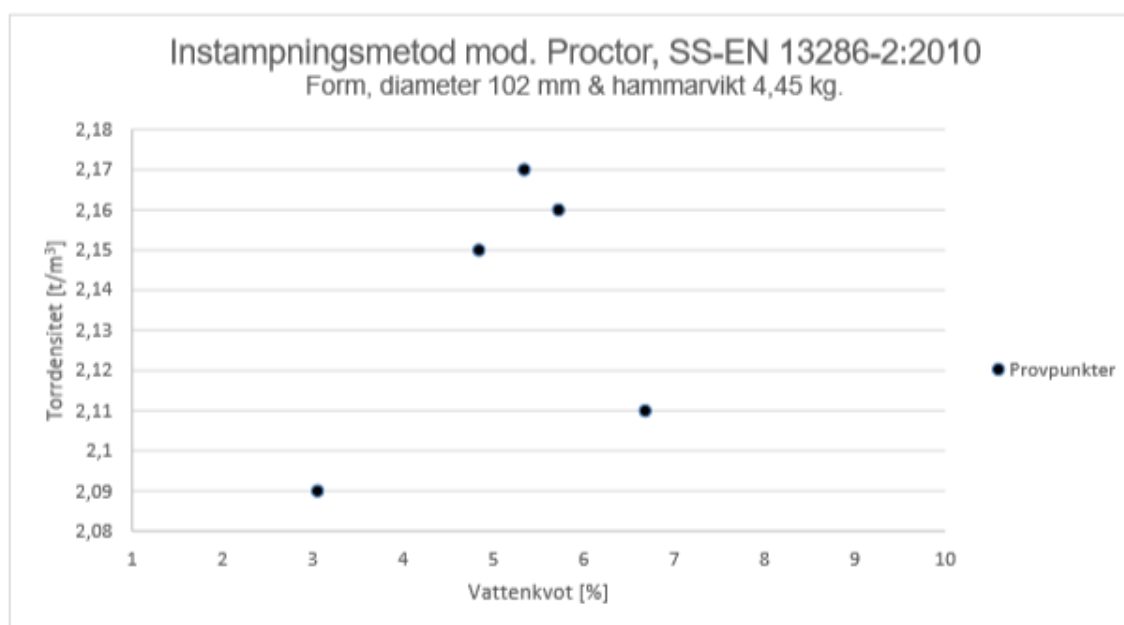
Den optimala vattenkvoten är viktig att hålla ett öga på i produktionen eftersom materialet packas bäst med rätt mängd vatten. Om kvoten är mycket över eller under optimalt (kan räcka med $\pm 3\%$) kan materialet inte packas så att det uppfyller packningskravet som ställts av konstruktören. Optimal vattenkvot beror mycket på finjordshalten i materialet, har man finsand kan det krävas 12–15% vatten för optimal packning medan det räcker med ca. 6 % för morän.

4.1.2 Utförande i fält

Proctorprover kan tas i provgröpar på orörd mark eller i täkt. Viktigt att tänka på när man tar prover i täkt är att gräva ner ca en halv meter under ytan för att säkerställa att man får med alla finpartiklar, dessa sköljs annars lätt bort vid regn. Ett proctorprov omfattar normalt 15-40kg beroende på materialets kornstorlek. Ett grövre material kräver större provmängd för att anses representativt. (SS-EN 13286-2 Test methods for laboratory reference density and water content - Proctor compaction, 2013)

Packningsprotokoll - Proctorpackning	
Projekt Aitik Dammexpansion Söder	Analys utförd av: Petra Söderström
Uppdragsnummer 12704356	Löp-nr: 032.
Uppdragsgivare YIT	Undersökningsdatum: 20181029 - 20181102
Provtagningsdatum 20181025	Provtagningsredskap / Analysmetod Provgrop / Proctorpackning
	Provtagare: Martin Östman

Provnummer / sektion:	SM030 /				
Koordinater provtagning:	X: Y: Z:				
Materialtyp:	Morän				
Vattenkvot, (%)	3,05	4,84	5,34	5,72	6,68
Torrdensitet, (t/m³)	2,09	2,15	2,17	2,16	2,11
Maximal torrdensitet, t/m³	2,17				
Optimal vattenkvot, %:	5,34				



Notering:

Material större än 20 mm har siktats bort.

Figur 1. Exempel på proctorpackning.

4.2 Packningsprover

Packningsprover utförs för att kontrollera materialets packningsgrad innan man börjar bygga nästa pall. På projektet användes två metoder för att bedöma packningsgrad: Provtagning med vattenvolymeter och med isotopmätning. Dessa metoder skiljer sig från varandra med tanke på utförande, men målet är att bedöma materialets torrdensitet och jämföra den med den maximala torrdensiteten som uppnåtts i en laboratoriepackning, (proktorprov) på samma material.

4.2.1 Packningsprover med vattenvolymeter

Vid densitetsbestämning med vattenvolymeter gräver man en grop i materialet och bestämmer dess volym med hjälp av en vattenfylld gummiblåsa, väger det uppgrävda materialet, torkar materialet och väger det igen. Provgropen bör grävas 10-30cm under den befintliga ytan eftersom ytan torkar snabbt, vilket gör att materialet inte är lika hårt packat i ytan och därför är det mera tillförlitligt att testa packningsgraden längre ner mot mitten av pallen.



Figur 2. Provgrop efter test med vattenvolymeter. Figur 3. Vattenvolymeter i fält.

Provgropens volym och det torra materialets vikt ger provets torrdensitet. Storleken på vattenvolymetern har också betydelse. Med en större vattenvolymeter kan man gräva en större grop, vilket ger en större provmängd. Större provmängd ger en mindre felmarginal, speciellt i fråga om vattenkvot. För sand och liknande material som är mera homogena och har relativt liten kornstorlek kan man välja en liten vattenvolymeter. Mindre vattenvolymeter ger mindre provmängder och det gör i sin tur att hanteringen av provet i fältlabbet går betydligt fortare. Om man tar prover på morän är det bra att ha en större vattenvolymeter, upp mot 10 liter, eftersom gropan då kan grävas större om man t.ex. stöter på en sten.

Stenar kan skapa problem vid provtagning med vattenvolymetern. Dels utgör de en fara för den mjuka gummiblåsan och dels bidrar en hög stenhalt till att torrdensiteten blir mycket högre och vattenkvoten kan visa på att materialet är för torrt. Därför kan man vara tvungen att göra flera omprover på morän innan man hittar ett ställe som saknar större stenar. Detta gör att isotopmätningstrustningen är smidigare på morän, men provtagning med vattenvolymeter är också ett alternativ. När det gäller sand är vattenvolymetern väldigt enkel och effektiv.

4.2.2 Utförande i fält

Nedan är ett stycke som är direkt taget ur manualen. Instruktionerna presenteras som en numrerad lista för att underlätta för provtagaren-

Utrustning som krävs: Vattenvolymeter, spade, anteckningsmaterial, liten spade för provgropen, sked och plastpåsar för materialprovet.

1. Anteckna först basinformation som provnummer, material, datum och koordinater för provtagningen.
2. Gräv bort 10–30 cm ytmaterial. Se till att botten blir vågrät, jämn och så pass stor att vattenvolymeterns bottenplatta har plats och inte tippar när man lägger dit den. När man tar löst bottenplattan och skyddsplåten från vattenvolymeterns cylinder kan det vara bra att dra upp handtaget så gummiblåsan åker upp i cylindern och inte hänger ut så den kan hamna i kläm.
3. Då bottenplattan är på plats lyfter man dit volymetern och spänner fast den. Utan skyddsplåten i botten av cylindern kan ballongen nu tränga ut genom det runda hålet i bottenplattan.

4. Nästa steg är att få ett startvärde för volymen. Detta gör man genom att trycka ner handtaget så gummiblåsan spänns ut under vattenvolymetern. Det finns två olika sätt att mäta trycket på vattenvolymetrar, den ena är en vanlig tryckmätare som ger ett resultat i bar och den andra är ett genomskinligt glasrör som vattnet tränger upp i. Har man tryckmätare ska man trycka till 0,3 eller max 0,4 bar. Har man vattenröret ska man trycka tills vattennivån stigit till markeringen som är mitt på röret. Kom ihåg att trycka ner ringen som finns på stängen till handtaget (se figur). Denna ring kommer att lämna på en viss nivå och visar volymen i vattencylindern under provtryckningen.

5. Man gör en volymavläsning med hjälp av nollstrecket på ringen. Vissa vattenvolymetrar har en skala i kubikcentimeter och andra har endast centimeter. Då måste man beräkna volymen med hjälp av vattencylinderns inre diameter. Anteckna startvolymen



Figur 4. Volymmätare på vattenvolymetern.

6. Ta löst volymetern från bottenplattan och gräv försiktigt en grop i materialet. Beroende på vattenvolymeterns storlek kan gropen grävas olika djup men ca 10cm i gropens mitt är passande. Gropens kanter kan finputsas med en sked och allt löst material ska grävas upp. Allt material som grävs upp ska läggas i en plastpåse. Det är viktigt att allt kommer med och att man inte spiller för då kommer man att få fel torrdensitet senare i laboratoriet.

7. Stöter man på en liten sten, (som tumnageln, kanske lite större) kan man gräva upp den och lägga den i påsen tillsammans med resten av provet. Hittar man större stenar som inte är vassa kan man låta dem ligga kvar och gräva runt dem. Stora vassa stenar eller många mindre gör att man är tvungen att gräva en ny provgrop på ett annat ställe. Ett av kraven på projektet var att max 15 % av provets vikt fick utgöras av sten.

8. När man har grävt klart ska man försluta provpåsen noggrant och lägga tillbaka volymetern på bottenplattan. Gör därefter en ny volymavläsning, se till att trycka lika hårt som första gången, och anteckna sen den nya volymen.

9. Efter avslutat fälttest kan man packa ihop utrustningen och föra provpåsen till fältlabbet för torkning och vägning.



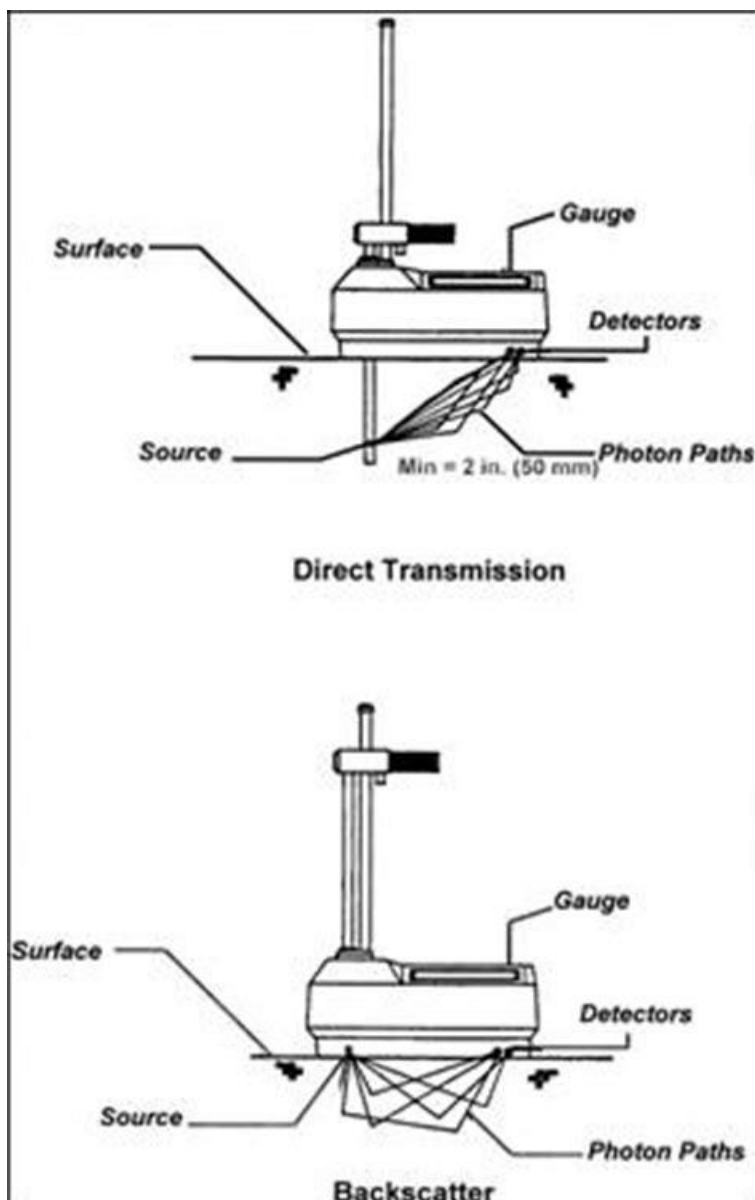
Figur 5. Bottenplatta och färdig provgrop.

4.2.3 Test av packningsgrad med isotopmättningsutrustning

Provtagning med isotopmättningsutrustning (t.ex. Troxler) innebär att man har en radioaktiv strålningskälla som förs ner ca 30cm i marken med hjälp av en sond och sedan mäts strålningen som tränger upp. Strålningen bromsas upp av tätare material, t.ex. sten, och detta gör att troxlern kan beräkna materialets torrdensitet på en minut. Troxlern kan också göra en direktavläsning av fuktkvoten i materialet, men mäter då endast i materialets ytskikt (se figur 4) vilket kan ge ett felaktigt värde. Innan testet görs bör man veta maximal torrdensitet på materialet eftersom detta värde används som referens i Troxlerns beräkningar. Har man en rätt kalibrerad apparat får man fram den exakta torrdensiteten och vattenkvoten direkt, men den är känslig mot större stenar och man bör göra flera test för att säkerställa att materialet uppfyller packningskraven.

Troxlern ska i teorin kunna användas på alla jordbyggnadsmaterial och även asfalt om man kalibrerar den på rätt sätt. En nackdel med troxlern på detta projekt är att den inte är lämpad för industriella biprodukten, som t.ex. anrikningssand från gruvindustrin. Denna sand innehåller varierande mängder malmrester och olika mineraler, vilket stör strålningen och gör att troxlern visar fel värden. På vanlig sand, morän och även grövre material fungerar troxlern utmärkt och dess främsta fördel är att den ger snabba resultat. (Troxler Electronic Laboratories, Inc., 2009)

Troxlern innehåller en strålningskälla och bör därför hanteras varsamt och endast transporteras i den medföljande förvaringslådan. Användning av apparaten kräver också en viss utbildning eftersom den kan orsaka strålningskador vid felaktigt hanterande. Troxlern är i säkert läge när sondens handtag är helt uppdraget (se figur nedan). Trycks handtaget ner öppnas en skyddslucka under troxlern och radioaktiviteten strålar ut neråt. Trycker man mera kommer sonden ut och strålningen går då i alla riktningar. För egen säkerhet ska man alltid se till att sonden är i säkert läge när man inte utför själva fälttestet. Man ska aldrig röra vid spetsen på sonden och endast utbildade tekniker får öppna upp troxlern.



Figur 6. Troxlerns funktion.

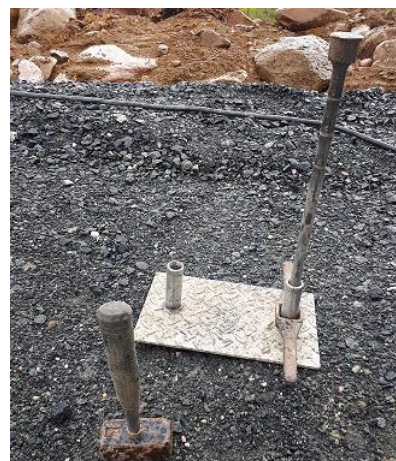
4.2.4 Utförande i fält

Nedan följer noggranna instruktion för utförandet i fält.

Utrustning: Troxlern, handslägga och järnspettet, handtaget, hålplattan och plastblocket som följer med troxlern.

Före fälttestet måste troxlern kalibreras mot bakgrundsstrålningen. Detta gör man genom att placera troxlern på det stora plastblocket som följer med innan man startar den. Vid start kommer troxlern automatiskt att starta kalibreringen och det tar ca 5 min.

1. Anteckna först basinformation som provnummer, material, datum och koordinater för provtagningen.
2. Ställ upp utrustningen enligt bilden. Slå ner järnspettet med handsläggan och använd sedan handtaget för att dra upp spettet igen. Hålplattan är lika stor som botten på troxlern så man kan använda spettet till att rita linjer i marken runt hålplattan. Detta underlättar placeringen av troxlern så man får sonden rakt över hålet.



Figur 7. Förberedelser inför test.

3. Ta bort plattan och lägg dit troxlern. Tryck ner handtaget så att sonden går ända ner i hålet. Man ska inte behöva använda våld för att tryck ner sonden och går det tungt kan det lönas att kolla så sonden är rakt över hålet.
4. Vid mätning av olika material ska man använda olika referensvärden. Referensvärdet lagras i troxlerns minne och man kan välja rätt värde ur en lista. Värdet som ska användas är maximal torrdensitet (uttryckt i kg/m^3) som uppmätts vid proctorprov.
5. När man är säker på att man har rätt referensvärde trycker man på Enter/Start. Troxlern kommer då att fråga efter mätdjup (avstånd mellan sondens spets och troxlerns botten) eller så ska användaren bekräfta mätdjupet om detta räknas ut automatiskt.
6. Tryck på Enter/Start igen så kommer troxlern att fråga efter provtagningstid, den ska vara 60 sekunder. Tryck en gång till för att bekräfta och starta provtagningen.

7. Anteckna de värden som syns på displayen. Förkortningarna står för följande:

%PR = Packningsgrad i procent

DD = Torrdensitet (dry density) i kg/m^3

WD = Våtdensitet (wet density) i kg/m^3

M = Fukt (moist) i kg/m^3

%M = Fuktkvot i procent

8. Om packningsgraden är ovanligt hög (nära eller över 100 %) kan det vara en sten mellan sonden och strålningsmätaren under troxlern. Detta kan man lösa genom att vrida troxlern 90 grader med sonden fortfarande nere i hålet. Starta testet en gång till och anteckna de nya resultaten.
9. Efter avslutat test drar man upp handtaget på troxlern och packar ihop utrustningen i lådan som medföljer. Om troxlern har utsatts för regn ska man ta ut apparaten ur lådan och låta den lufttorka på en skyddad plats.

4.3 Permeabilitetstest med dubbel ringinfiltrometer

En dubbel ringinfiltrometer består av två plåtcylindrar med diametern ca 15cm och ca 30cm samt ett flöte med måttband eller ett liknande system för att mäta vattennivån i den inre ringen. Ringarnas höjd bör vara minst 25 cm. Denna provtagningsmetod härstammar från Nordamerika och går ut på att mäta hur mycket vatten som tränger ner i materialet under ett visst tidsintervall och med den informationen kan man beräkna permeabiliteten för materialet. En dubbel ringinfiltrometer kan användas på de flesta naturliga material förutom fet lera och grovt bergskross. Metoden fungerar bäst på material med en permeabilitet som ligger mellan 10^{-2} och 10^{-5} cm/s (ASTM D3385-18 Standard test method for infiltration rate of soils in field using double-ring infiltrometer, 2018) men går också att använda ända ner till 10^{-8} cm/s



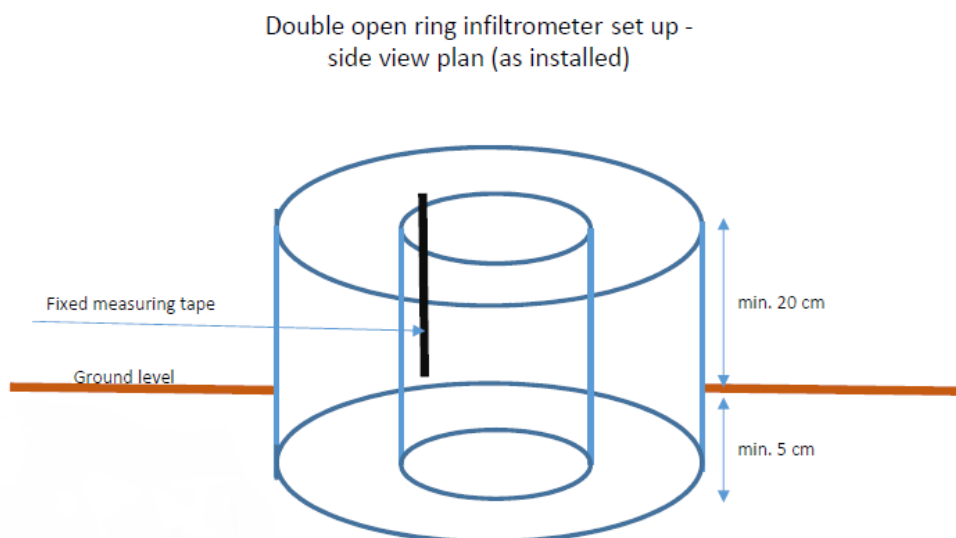
Figur 8. Permeabilitetstest med dubbel ringinfiltrometer.

Orsaken till att det krävs två ringar är att den vattenpelare som mäts ska transportera vattnet rakt ner i materialet och därför krävs det en yttre vattenpelare som styr vattenströmmen. Packningsgraden tenderar att vara något högre en bit under ytan, vilket gör att vattnet inte tränger genom det skiktet lika lätt och utan stödet från den yttre vattenströmmen skulle den inre strömmen inte gå rakt ner utan istället vinkla av och gå längs med ytan av det tätare skiktet.

Testet bör utföras tills en stabil infiltrationshastighet är uppnådd. Tiden för utförandet är varierande beroende på materialets egenskaper. Morän har betydligt lägre permeabilitet än sand på grund av att materialet innehåller allt från sten till lerpartiklar och man kom fram till att 8 timmar räcker på anrikningssand medan moränen kräver 24 timmar innan man kunde säkerställa att den stabila nivån var uppnådd. Denna testmetod är ovanlig i norra Europa och därför var man tvungna att testa sig fram när det gällde utförandetiden.

Enligt standard ska vattennivån i den inre ringen avläsas med 15min intervall den första timmen, 30 min för den andra timmen och efter två timmar ska den kontrolleras en gång per timme. Vid långvariga tester kan man använda andra intervall men det är upp till provtagaren att bedöma och beslutet ska grundas på erfarenhet. (ASTM D3385-18 Standard test method for infiltration rate of soils in field using double-ring infiltrometer, 2018)

Efter att man har avslutat fälttestet ska resultaten analyseras med hjälp av en Excel-mall för att få ut en ämneskonstant för den hydrauliska gradienten och därefter kan permeabiliteten beräknas.



Figur 9. Modell av dubbel ringinfiltrometer.

4.3.1 Utförande i fält

Nedan följer anvisningar hur testet utförs i fält. Utrustningen ska skyddas mot regn och solsken under hela utförandet för att förhindra oönskad avdunstning eller påfyllning av vatten. Temperaturen bör också vara över fryspunkten.

Utrustning: ringarna, verktyg för att slå ner ringarna i marken och någon slags mätutrustning. Under projektet användes en mätstock eller en mätanordning med flöte.

1. Anteckna först basinformation som provnummer, material, datum och koordinater för provtagningen.
2. Man börjar med att trycka/slå ner ringarna minst 5 cm ner i materialet (se bild på föregående sida). Enligt tidigare erfarenheter kan det vara bra att skyffla upp mera material runt den yttre ringen för att ytterligare minska risken för läckage.
3. Ringarna fylls därefter med vatten och hädanefter är det viktigt att vattennivån ska vara ungefär samma i de båda ringarna. Om skillnaden börjar vara flera centimeter ska man fylla på den lägre vattennivån så att den blir samma som den övre. Om vattennivån i de båda ringarna börjar vara under 10 cm från markytan bör man fylla på bägge. Mätning av vattennivå kan göras med tumstock eller med ett flöte.
4. Tidtagningen startar när båda ringarna är fyllda med vatten. Anteckna vattennivå och klockslag. Kontroller görs ofta i början och sedan med längre och längre mellanrum, dock max två timmar. På projektet gjorde man en kontroll efter 1 min, 2 min, 4 min, 8 min, 15 min, 30 min osv. Vid varje kontroll antecknas klockslag och vattennivå.
5. Beroende på material kommer provtagningen att ta 8–24 timmar. På projektet gjorde man sista avläsningen på morän innan man lämnade arbetsplatsen på kvällen och fortsatte följande morgon med samma intervall.
6. Fälttestet kan avslutas när man märker att vattennivån har sjunkit med samma hastighet under de tre eller fyra senaste mätningarna. Då har man nått en jämn infiltration.

4.3.2 Analys av resultat från fälttestet

För att analysera resultaten behöver man en specialgjord Excelmall. Nedan följer anvisningar hur denna mall används. På grund av mallens utformning kan den inte infogas i sin helhet i detta arbete.

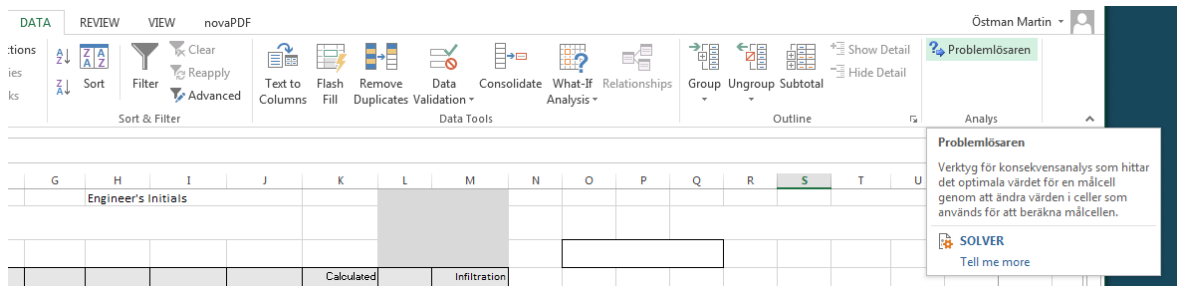
1. Öppna analysmallen för permeabilitet med ringinfiltrometer, fyll sedan i basinformation som t.ex. provnummer, material, datum för fälttest, datum för analys och vem som har analyserat resultatet.
2. Fyll i klockslag för avläsningar i första kolumnen, (se bild) och vattennivån i tredje kolumnen. Om man har fyllt på vattennivån i det inre röret skall den ursprungliga vattennivån vara i kolumn två och den nya nivån i kolumn tre.
3. Nästa steg är att fylla i den fjärde kolumnen hur många minuter som har passerat sedan testet startade. Infiltrationshastigheten beräknas utgående från dessa minuter så de måste vara rätt.
4. Granska kolumn med infiltration, den ska fungera automatiskt men om man fyller på vattnet i den inre ringen måste man kolla så att det blir inräknat, se bilder nedan.

Time (hh:mm:ss)	Before filling the ring	After filling the ring (cm)	Time Cumulative (min)
10:12:00	0	18,5	0
10:13:00		17,8	1
10:14:00		17,4	2
10:18:00		17	4
10:20:00		16,3	8
10:28:00		15,2	16
10:44:00	13,5	18,5	32
11:12:00		15,5	60
12:15:00	9,2	18,7	120
13:45:00	9,5	17,8	210
15:15:00	8,6	15	300
16:26:00	7,8	19,4	371
17:40:00		11,8	445

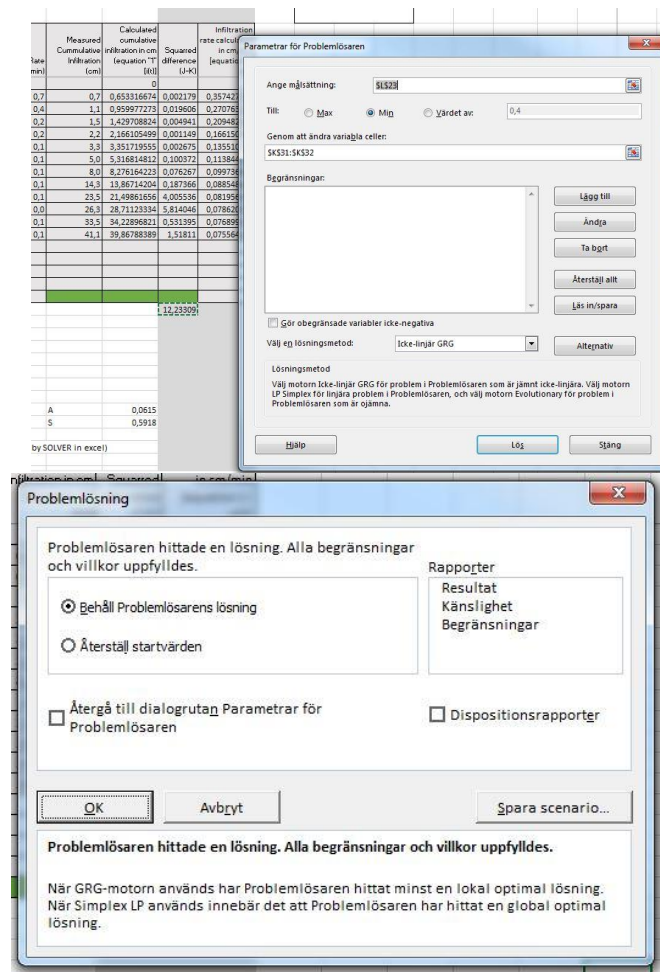
Time (hh:mm:ss)	Before filling the ring	After filling the ring (cm)	Time Cumulative (min)	Time cumulative (numeric) (t)	Time interval (min)	Time interval (min) numeric	Infiltration (cm)	Infiltration Rate (cm/min)
10:12:00	0	18,5	0	0				
10:13:00		17,8	1	1	1,00	1,00	0,7	0,7
10:14:00		17,4	2	2,00	1,00	1,00	0,4	0,4
10:18:00		17	4	4,00	2,00	2,00	0,4	0,2
10:20:00		16,3	8	8,00	4,00	4,00	0,7	0,2
10:28:00		15,2	16	16,00	8,00	8,00	=C9-C10	0,1
10:20:00		16,3	8	8,00	4,00	4,00	0,7	0,2
10:28:00		15,2	16	16,00	8,00	8,00	1,1	0,1
10:44:00	13,5	18,5	32	32,00	16,00	16,00	=C10-B11	0,1
11:12:00		15,5	60	60,00	28,00	28,00	3	0,1

5. Då tabellen är klar ska man kontrollera grafen som finns under tabellen (bild på nästa sida). Den heldragna blå kurvan är infiltrationshastigheten och den kurvan sjunker ofta rejält i början av testet medan infiltrationen stabiliserar sig men har man en hög vattenkvot i materialet sjunker kurvan inte lika mycket. Man analyserar den del av testet där kurvan har planat ut (jämn infiltrationshastighet). I det här exemplet börjar

8. Problemlösaren finns under fliken DATA. Tillägget borde finnas längst till höger i verktygsfältet.



9. Starta problemlösaren, den borde vara färdigt inställd men kolla i alla fall så att följande uppgifter finns. Klicka sen på Lös och Ok.



10. Nu är analysen klar. Resultatet finns längst nere i mallen.

K=	0,09230615 cm/min
	1,5384E-05 m/sec

5 Analyser som görs i fältlaboratoriet

Den person som arbetar i fältlabbet måste vara noggrann och strukturerad. Inkommande prover och utgående resultat ska bokföras i en journal där det bör framgå provtagningsdatum, typ av prov, provnummer, koordinater och provresultat. Om ett prov försvinner eller är underkänt bör detta framkomma i journalen.

5.1 Vattenkvot

För att beräkna vattenkvoten bör man ha ett representativt materialprov som har transporterats i en tät behållare. Detta är speciellt viktigt med morän då vattenkvoten oftast ligger på 5–6 %, vilket betyder att provet snabbt torkar ut om det inte förvaras i en tät behållare. Provmängden varierar beroende på största partikelstorlek på materialet. Enligt standard räcker det med 100g om partikelstorleken är max 2 mm, 500 g om partikelstorleken är max 10 mm och 3 kg om partikelstorleken är max 31,3 mm. (SS-EN ISO 17892-1 Determination of water content, 2014)

För att beräkna vattenkvoten väger man materialet innan torkning. Efter torkningen väger man materialet en gång till för att ta reda på torrvikten. Med hjälp av våtvikten och torrvikten kan man beräkna vikten på vattnet som fanns i materialet. Vattnets vikt dividerat med torrvikten på materialet ger vattenkvoten uttryckt i procent.

5.1.1 Utförande

1. Börja med att väga ett tomt kärl, anteckna vikten och fyll det sedan med material. Väg kärlet en gång till med materialet för att få materialets exakta vikt.
2. Efter vägning läggs kärlet i ugnen så att materialet torkar. Här är det stor skillnad mellan sand och morän hur länge det tar i ugnen. Morän har vanligen en fuktkvot runt 6 % och torkar därför betydligt snabbare än sanden som bör ha ca 15 %. Mängden material har också stor betydelse.
3. Ett bra sätt att kontrollera att materialet är torrt är att ta ut kärlet ur ugnen, låta det svalna tills man kan lyfta kärlet med bara händer och sedan väga det. Lägg sedan in kärlet i ugnen igen i 10–15 min och gör om proceduren. Om kärlet väger lika mycket andra gången betyder det att materialet är torrt.

4. Genom att väga det torra materialet kan man räkna ut hur många gram vatten som materialet innehöll. För att beräkna vattenkvoten på materialet dividerar man vattnets vikt med torrdensiteten och får då svaret i procent.

5.2 Packningsgrad

Packningsgraden beräknas på de materialprover som tas med vattenvolymetern. I samband med packningsgraden är man också intresserad av materialets vattenkvot. Materialprovet torkas och vägs, efter det beräknar man torrdensiteten genom att dividera torrvikten på provet med provgropens volym. Packningsgraden beräknas sedan genom att jämföra torrdensiteten med den optimala torrdensitet som uppmättes vid proktorprovet för samma material.

5.2.1 Utförande

1. Börja med att väga ett tomt kärl, anteckna vikten och fyll det sedan med material. Väg kärlet en gång till med materialet för att få materialets exakta vikt.
2. Efter vägning läggs kärlet i ugnen så att materialet torkar. Här är det stor skillnad mellan sand och morän hur länge det tar i ugnen. Morän har vanligen en fuktkvot runt 6 % och torkar därför betydligt snabbare än sanden som bör ha ca 15 %. Mängden material har också stor betydelse.
3. Ett bra sätt att kontrollera att materialet är torrt är att ta ut kärlet ur ugnen, låta det svalna tills man kan lyfta kärlet med bara händer och sedan väga det. Lägg sedan in kärlet i ugnen igen i 10–15 min och gör om proceduren. Om kärlet väger lika mycket andra gången betyder det att materialet är torrt.
4. Anteckna vattenvolymeterns mätvärden före och efter provgrävningen för att beräkna gropens volym.
5. Beräkna materialets torrdensitet genom att dividera torrvikten med provgropens volym (enhet Mg/m³, kg/dm³ eller g/cm³)
6. Beräkna packningsgraden genom att dividera materialets torrdensitet med den maximala torrdensiteten som uppmätts för samma material i ett proctorprov. Svaret fås i procent

5.3 Kornstorleksfördelning – med torrsiktning

Kornstorleksfördelningen är en av de viktigaste analyserna man gör inom markbyggnad och många geotekniska och geohydrologiska egenskaper är direkt relaterade till kornstorleksfördelningen. Vanliga metoder är siktning och sedimentation. Har man grövre material räcker det ofta med siktning men blandade och finare material kan kräva en kombination av siktning och sedimentering (SS-EN ISO 17892-4 Determination of particle size distribution, 2016). På projektet användes endast torrsiktning.

För att utföra en analys av kornstorleksfördelningen behöver man en representativ provmängd (se tabell nedan). Har man en stor mängd material kan en nerdelning vara aktuell och då bör man använda en provfördelare så att även de minsta partiklarna blir jämnt fördelade mellan delproverna. Enligt standard utgår man från de största partiklarna i materialet när man bestämmer representativ provmängd. Materialet bör också vara torkat eftersom man utgår från torrvikten.

Particle diameter D_{max}^a mm	Recommended minimum masses ^b g
<2,0	100
2,0	100
6,3	300
10	500
20	2 000
37,5	14 000
63	40 000

^a Maximum diameter of soil particles, excluding any discrete coarser particles present.

^b Using a test specimen smaller than the recommended minimum mass indicated requires discretion, although it may be adequate for the purpose of the test.

Figur 10. Tabell för bedömning av representativ provmängd.

För material som innehåller sten (t.ex. morän) kan man separera de största partiklarna med t.ex. en 20mm sikt. Detta gör att man kan utföra analysen med en mindre mängd material, vilket minskar utförandetiden, men de större partiklarna ska ändå tas med i resultatet genom att man beräknar en stenhalt för provet. I detta projekt fick stenhalten vara max 15%, vilket betyder att högst 15% av provets totala massa får utgöras av sten.

5.3.1 Tvättning och siktning

Innan siktningen bör materialet tvättas så att alla partiklar kan siktas. Normalt använder man en tvättsikt med maskor på 0,063mm och en grövre sikt (vanligen 2mm) som läggs ovanpå tvättsikten. Genom att hålla materialet genom den grövre sikten fångar man upp större klumpar och partiklar som kan tvättas först. Det är viktigt att få dessa större partiklar rena så att allt finmaterial kan samlas i tvättsikten. (SS-EN 933-1 Determination of particle size distribution, 2012)



Figur 12. Siktmaskin.



Figur 11. Skaktvätt, underlättar tvättning av materialprover.

Efter tvättningen ska materialet torkas en gång till och vägas eftersom man vill veta hur mycket material som tvättats bort. Efter invägningen håller man materialet i en siktmaskin. Standardsiktar beskrivs närmare i EN 933-2.

Siktarna i siktmaskinen ska var ordnade så att den finaste sikten är i botten och den grövsta sikten i toppen. Efter skakningen börjar man uppifrån och väger det material som fastnat i varje enskild sikt. Resultaten förs in på en blankett eller direkt i beräkningsmallen i Excel.

5.3.2 Utförande

1. Dela upp provmängden som ska tvättas i mindre delprover. Detta underlättar tvättningen.
2. Håll materialet i en tvättsikt och ställ den under rinnande vatten eller lägg den i en skaktvätt. En handdusch är bra att använda när man tvättar materialet. Om man tvättar morän kan man hålla materialet genom en större sikt först för att fånga upp stenar. De stenar som fångas upp ska sköljas av noggrant med vatten så att alla partiklar rinner ner i tvättsikten. De rena stenarna kan sedan läggas direkt i ett torkkärl.
3. Då man har tvättat bort de allra minsta partiklarna kan man hålla över resten i ett torkkärl. Här gäller det att vara noga så man får med alla korn från det ursprungliga provet. Ibland måste man skölja ur tvättsikten bakvägen så att de mindre partiklarna lossnar och åker ner i torkkärlet.
4. Efter tvättningen ska materialet torkas. Och vägas en gång till, detta för att beräkna hur mycket material som tvättats bort.
5. Det torra materialet hålls sedan i en siktserie som ställs på en skakmaskin. Siktserien ska vara ordnad så att största sikten är i toppen och finaste sikten i botten.
6. Efter skakningen tar man en sikt i gången, väger den med material, tömmer den, och väger den igen för att få den exakta vikten på det material som fastnade i sikten. Alla stenar som överskrider 20mm ska vägas skilt om man vill beräkna materialets stenhalt.
7. Alla vikter förs in i en kornfördelningstabell och via Excel får man ut en kornfördelningskurva som bör uppfylla vissa materialkrav, som anges med linjer i Excel-mallen.

5.3.3 Sammanställning av resultat

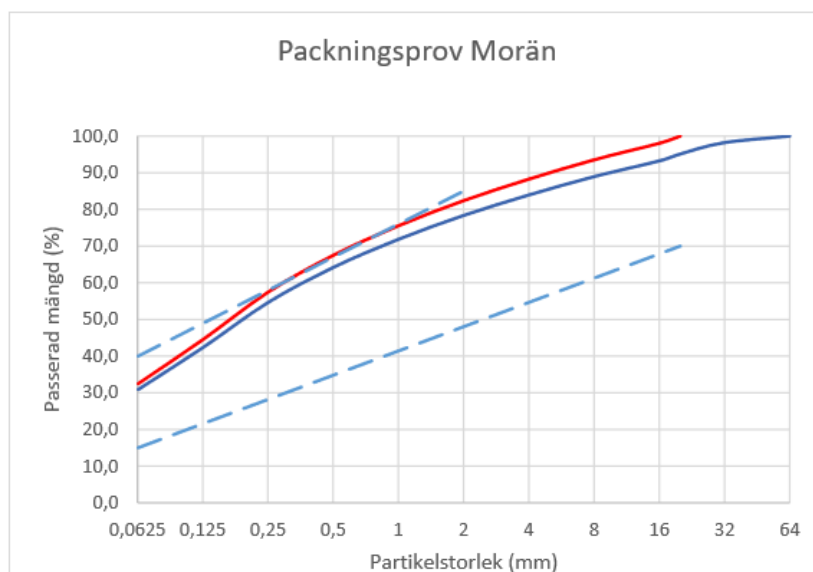
För att få en kornfördelningskurva beräknar man hur mycket material som passerade varje sikt i siktserien (ackumulerad viktprocent). I resultatet bör också framgå hur mycket material som tvättades bort. Finmaterial som faller genom den finaste sikten betecknas som rest och borde egentligen tvättats bort. Här nedan är ett exempel på en resultatmall i Excel. Denna mall beaktar materialets stenhalt genom att beräkna korrigerad torrdensitet och vattenkvot. En högre stenhalt ger ett högre värde på torrdensiteten och en lägre vattenkvot. Man kan konstatera att materialprovet nedan har innehållit en stor mängd finpartiklar som tvättats bort, samt att det också innehöll en del större stenar, vilket gjorde att provet inte kunde delas ned i ett representativt prov.

Packningsprov

Uppgifter	
Provdatum	
Provnummer	
Material	
Punkt-ID	
Provtagare	
Laborant	
Koordinater	
X	
Y	
Z	

Mätvärden	
Före	
Efter	
Volym	1690,2
Total provmängd för fuktkvot	
Våtvikt (g)	3896
Torrsvikt (g)	3636
Representativ mängd	
Torrsvikt (g)	3636
Tvättat och torkat	2545
Sten >20mm	178
Max. Torrdensitet	2,18
Kor. Torrdensitet	2,20
Opt. Vattenkvot	5,7
Kor. Vattenkvot	5,5
Resultat	
Vattenkvot	7,5
Stenhalt	4,9
Torrdensitet	2,15
Packningsgrad	97,7

Siktning						
Sikt	Siktvtikt med material	Siktvtikt	Materialvtikt	Akkumulerat	Akkumulerat viktprocent	Ack. vikt% utan sten
64				3636	100,0	
31,5	762	695	67	3569	98,2	
20	902	791	111	3458	95,1	100,0
16	828	760	68	3390	93,2	98,0
8	885	729	156	3234	88,9	93,5
4	796	614	182	3052	83,9	88,3
2	687	484	203	2849	78,4	82,4
1	697	460	237	2612	71,8	75,5
0,5	703	424	279	2333	64,2	67,5
0,25	736	388	348	1985	54,6	57,4
0,125	825	377	448	1537	42,3	44,4
0,063	784	370	414	1123	30,9	32,5
Rest	449	417	32			
			Materialvtikt	2545		
			Borttvättat	1091		
			Rest + borttvättat	1123		



Figur 13. Exempel på kornkuva och packningsprov för morän.

6 Resultat

Resultatet av detta examensarbete är en manual på 21 sidor som beskriver utförandet av de fälttester och laboratorieanalyser som nämnts i detta arbete. Manualen är uppbyggd så att varje kapitel börjar med en teoridel och avslutas med en punktlista som beskriver utförandet steg för steg. Nedan är en bild av manualens innehållsförteckning.

Innehåll

Inledning	3
Proctorprover.....	4
Packningsprover i fält.....	5
Packningsgrad med vattenvolymeter	5
Utförande.....	6
Packningsgrad med isotopmätningstrustning.....	8
Utförande.....	9
Permeabilitetsprov med dubbel ringinfiltrometer.....	10
Förutsättningar	11
Utförande.....	12
Analys av fältresultat.....	12
Provhantering i fältlabbet	16
Vägning och torkning	16
Tvättning och torrsiktning.....	17
Packningsgrad	18

Figur 14. Innehållsförteckning i manualen.

Manualen innehåller liknande information som detta arbete men den är mera optimerad för arbetsförhållanden och innehåller därför mindre teori. I varje kapitel finns det lite teori och en nummerad lista som beskriver utförandet av fälttestet eller analysen i fältlaboratoriet. Manualen innehåller också bilder och figurer som förklarar utförandet.

7 Sammanfattning och diskussion

Syftet med detta arbete var att ta fram en manual för fälttester och laboratorieanalyser som görs på plats. Manualen skulle vara enkel och ge läsaren en djupare insikt i varför proverna tas, hur man tar proverna, hur man utför analyserna i ett fältlaboratorium och hur man bedömer resultaten man får. Tanken är att vanliga arbetare ska kunna utföra dessa tester med hjälp av manualen samt att arbetsledare på projektet ska få en uppfattning om vad som krävs för kvalitetskontrollen.

Kvalitetskraven är mycket stränga vid dammbyggen eftersom man vill kontrollera vattnets genomströmning i dammkroppen. Vissa dammar kan fungera som filter och ska därför släppa genom en begränsad mängd vatten, medan andra dammar kan byggas med tät dammkärna och ska därför vara vattentäta. Hög packningsgrad med silthaltiga material (t.ex. morän) garanterar att dammen är tät, men om det finns områden med lägre packningsgrad kan det bildas en vattenådra som eroderar bort materialet, vilket sist och slutligen kan leda till en kollaps. (González de Vallejo & Ferrer, 2011)

De testmetoder som tas upp i manualen är endast de som har utförts på plats under projektet. Personligen tycker jag att det hade varit intressant att jämföra olika metoder att mäta packningsgrad, som t.ex. statistiskt plattförsök eller fallviktsmätning. När det gäller tillförlitlighet anser jag att vattenvolymetern ger mest trovärdigt resultat så länge som alla moment är korrekt utförda. Troxlerns största fördel är att den är snabb, men den fungerar bäst på naturmaterial och då är den känslig mot sten.

Under projektet hade vi många problem med ringinfiltrometern och framför allt analysen av fälttestet. Denna metod är som tidigare nämnt ovanlig i norra Europa så vi var tvungna att ta kontakt med experter hos konstruktören och de hjälpte oss att få tag i en amerikansk standard för ringinfiltrometern. Det är synd att alla problem och oklarheter under projektet ledde till att beställaren ansåg att ringinfiltrometern är för känslig mot yttre faktorer, så som väder, temperatur, vibrationer från närliggande maskiner mm, så att resultatet från ett fälttest endast ska tolkas som riktgivande. Jag tror att testmetoden fungerar bäst vid permeabilitetstest på orörd mark, eller som riktgivande fälttest. Vill man utreda permeabiliteten för olika jordbyggnadsbyggnadsmaterial finns det andra testmetoder som t.ex. permeabilitetstest med rör- och nippelpermeameter som utförs i större geotekniska laboratorier.

7.1 Utmaningar

En av de större utmaningarna med detta examensarbete är bristen på lättillgänglig information. All information om utförande av geotekniska tester och analyser finns endast i form av standarder och dessa måste man betala dyra licenser för. Som tur har jag tillgång till dessa via beställaren. Det praktiska arbetet var också utmanande eftersom jag själv saknade tidigare erfarenheter med jordbyggnadsarbete och endast hade läst ett par grundkurser i geoteknik. Omfattningen på projektet och provtagningen var helt ny för mig men jag hade bra medarbetare som jag kunde fråga och diskutera med ifall jag hade problem.

7.2 Användning av manualen

Manualen kommer att börja användas internt redan i slutet av april 2019 då projektet fortsätter efter vinteruppehållet. Vid behov kommer manualen att kompletteras med mera information eller andra provtagningsmetoder om behovet uppkommer.

8 Källförteckning

- ASTM D3385-18 Standard test method for infiltration rate of soils in field using double-ring infiltrometer.* (2018). American Society for Testing and Materials.
- González de Vallejo, L. I., & Ferrer, M. (2011). *Geological Engineering*. London: CRC Press/Balkema.
- SIS-CEN ISO 17892-11 Determination of permeability by constant and falling head.* (2005). Swedish Standards Institute.
- SS-EN 13286-1 Test methods for laboratory reference density and water content - Introduktion, general requirements and sampling.* (2003). Swedish Standards Institute.
- SS-EN 13286-2 Test methods for laboratory reference density and water content - Proctor compaction.* (2013). Swedish Standards Institute.
- SS-EN 933-1 Determination of particle size distribution.* (2012). Comité Européen de Normalisation.
- SS-EN ISO 17892-1 Determination of water content.* (2014). Swedish Standards Institute.
- SS-EN ISO 17892-4 Determination of particle size distribution.* (2016). Swedish Standards Institute.
- Troxler Electronic Laboratories, Inc. (2009). *Manual of Operation and Instruction - Model 3430 Plus & 3440 Plus Surface Moisture-Density Gauge*. Durham, North Carolina, USA.
- YIT.se.* (den 5 Februari 2019). Hämtat från <https://www.yit.se/om-oss>

9 Figurförteckning

Figur 1. Exempel på proctorpackning.....	7
Figur 2. Provgrop efter test med vattenvolymeter.....	8
Figur 3. Vattenvolymeter i fält.....	8
Figur 4. Volymmätare på vattenvolymetern.....	10
Figur 5. Bottenplatta och färdig provgrop.....	11
Figur 6. Troxlerns function.....	12
Figur 7. Förberedelser inför test.....	13
Figur 8. Permeabilitetstest med dubbel ringinfiltrometer.....	15
Figur 9. Modell av dubbel ringinfiltrometer.....	16
Figur 10. Tabell för bedömning av representativ provmängd.....	23
Figur 12. Skaktvätt, underlättar tvättning av materialprover.....	24
Figur 11. Siktmaskin.....	24
Figur 13. Exempel på kornkuva och packningsprov för morän.....	26
Figur 14. Innehållsförteckning i manualen.....	27