

CHALMERS



Undersökning av samband mellan MCV och geotekniska parametrar

Analys utifrån fält- och laboratorieförsök på finkornig jord

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet Byggingenjör

JONAS FREDRIKSSON

Institutionen för bygg- och miljöteknik
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg 2007
Examensarbete 2007:67

Examensarbete 2007:67

Undersökning av samband mellan MCV och geotekniska parametrar

Analys utifrån fält- och laboratorieförsök på finkornig jord

Examensarbete inom högskoleingenjörprogrammet Byggingenjör

JONAS FREDRIKSSON

A study of connections between MCV and geotechnical parameters
Analysis on the basis of field- and laboratory experiments of fine grained soils
JONAS FREDRIKSSON, 1983

© JONAS FREDRIKSSON

Diploma thesis 2007:67
Department of Civil and Environmental Engineering
Chalmers University of Technology
SE-412 96 Göteborg
Sweden
Telephone + 46 (0)31-772 1000

Sammandrag

Att använda finkorniga jordmaterial i vägkonstruktioner innebär att transportsträckorna av material kan minskas betydligt eftersom man oftast har tillgång till materialet på plats. Detta leder i sin tur till stora kostnadsbesparingar. Nackdelen med de finkorniga jordmaterialen är att de kan ge upphov till sättningar om de inte används och packas på rätt sätt. Försök kan göras på de finkorniga jordmaterialen då deras hållfasthets- och deformationsegenskaper kan bestämmas. Eftersom dessa försök oftast tar lång tid och är dyra att utföra har denna undersökning analyserat om det finns några samband mellan MCV (Moisture Condition Value) och geotekniska parametrar. MCV är en enkel och snabb försöksmetod som ger ett värde på jordens packbarhet. Genom fält- och laboratorieförsök har jämförelse gjorts mellan MCV och vattenkvot, skjuvhållfasthet, plasticitetsindex, luftporhalt samt bärighet. Syftet har varit att hitta samband och genom dessa kunna spara både tid och pengar genom att ett mindre antal försök behöver utföras. I de fall MCV-försök har utförts på prover med en specifik jordart finns det ett tydligt samband mellan vattenkvot och MCV. För att avgöra om samband råder mellan MCV och andra geotekniska parametrarna behöver en mer omfattande undersökning utföras med ett större antal provpunkter.

Abstract

Traditional methods of deciding soils strength- and deformation properties often take a long time and are expensive to perform. Therefore, an analysis has been carried out to determine whether there are any connections between MCV (Moisture Condition Value) and geotechnical parameters. MCV is a simple and rapid method that gives a value of how able a soil is for compaction. Through field- and laboratory experiments a comparison have been made between MCV and water ratio, shearing strength, plasticity index, content of air bubbles and the bearing capacity. The purpose has been to find connections and through these save both time and money since fewer experiments need to be performed. When the MCV was compared to the water ratio from one specific soil at different water ratios a clear connection was found. To clarify whether there exist any connections or not between MCV and other geotechnical parameters a more extensive study has to be made with a larger amount of soil samples.

Förord

Detta examensarbete har gjorts i samarbete med Skanska Teknik i Göteborg. Eftersom examensarbetet har varit tidsbegränsat till cirka två månader har inte så utförliga undersökningar som vore önskvärt kunnat utföras. Rapporten ska därför ses som en förstudie av sambanden mellan MCV och de geotekniska parametrarna. Ytterligare utredning behöver utföras med en större mängd mätvärden för att kunna få pålitliga resultat.

Ett särskilt tack tillägnas Pia Andersson, Skanska, som har varit handledare för examensarbetet och Jim Bengtsson, Skanska, som varit handledare för fält- och laboratorieförsöken.

Göteborg i juni 2007

Jonas Fredriksson

Innehållsförteckning

Sammandrag.....	I
Abstract	II
Förord	III
Innehållsförteckning.....	IV
1 Inledning.....	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Syfte	1
1.3 Avgränsning	1
1.4 Metod	2
2 Litteraturstudie	3
2.1 Jordmaterial.....	3
2.1.1 Kornfraktioner.....	3
2.1.2 Packbarhet	4
2.2 Beskrivning av geotekniska parametrar	6
2.2.1 Vattenkvot	6
2.2.2 Plasticitetsgräns	6
2.2.3 Konflytgräns.....	7
2.2.4 Plasticitetsindex.....	8
2.2.5 Skjuvhållfasthet.....	9
2.2.5.1 Fallkonförsök	10
2.2.5.2 Tryckförsök	11
2.2.5.3 Vingförsök i fält	12
2.2.6 MCV (Moisture Condition Value)	14
2.3 Resultatkontroll/utförandekontroll	16
2.3.1 Packningsgrad	16
2.3.2 Luftporhalt.....	18
2.3.3 Statisk bärlighetsbestämning.....	18
2.3.4 Dynamisk bärlighetsbestämning	19
2.3.5 Densitetsbestämning.....	20
2.3.6 Jämförelse mellan densitets- och bärlighetsmätningar.....	21
2.4 Normer och standarder	22
2.4.1 Eurokod	22
2.4.1.1 Klassificering av fyllnadsmaterial.....	22
2.4.1.2 Placering och packning av fyllnadsmaterial.....	23
2.4.1.3 Kontroll av fyllnadsmaterial.....	23
2.4.2 ATB VÄG 2005	24
3. Försöksmetodik	26
3.1 Fältförsök	26
3.1.1 Isotopmätning.....	26
3.1.2 Lätt fallvikt.....	27
3.1.3 Vingförsök.....	28
3.1.4 Provmassor	28
3.2 Laboratorieförsök	28
3.2.1 MCV-försök	28
3.2.2 Tryckförsök	33
3.2.3 Konflytgräns.....	34
3.2.4 Plasticitetsgräns.....	35

4 Analys.....	37
4.1 MCV-vattenkvot.....	37
4.2 MCV-skjuvhållfasthet	38
4.3 MCV-plasticitetsindex	41
4.4 MCV-luftporhalt.....	42
4.5 MCV-Evd.....	43
5. Slutsats	45
Källförteckning	

Bilagor

Bilaga A (Orienteringskarta)

Bilaga B (Halvfast lerhaltig bankfyllning vid sektion ca 3/500)

Bilaga C (fast naturligt lagrad lerhaltig jord i skärning vid sektion ca 6/800)

Bilaga D (Lös lerhaltig bankfyllning vid sektion ca 7/100)

Bilaga E (Resultat från fältförsök vid sektion 3/500)

Bilaga F (Resultat från fältförsök vid sektion 6/800)

Bilaga G (Resultat från fältförsök vid sektion 7/100)

Bilaga H (Sammanställning av MCV-försök vid sektion 3/500)

Bilaga I (Sammanställning av MCV-försök vid sektion 6/800)

Bilaga J (Sammanställning av MCV-försök vid sektion 7/100)

Bilaga K (Protokoll vid MCV-bestämning)

Bilaga L (Sammanställning av pressförsök)

Bilaga M (Resultat vid konflytgränsförsök, km 3/500)

Bilaga N (Resultat vid plasticitetsgränsförsök samt beräkning av plasticitetsindex, km 3/500)

1 Inledning

Samtidigt som bilismen slog igenom på 1920-talet i USA ökade även kraven på vägarna. För att öka kvaliteten på vägarna var packningsarbetet en viktig del. För att bestämma ett lämpligt packningsförfarande och en optimal vattenkvot på jorden började olika packningsmetoder testas samt laboratorieförsök att utföras. År 1929 publicerades det första arbetet som beskrev utrustning och tillvägagångssätt vid packning. Arbetet som gjordes av California Division of Highways blev senare samma år satt som standard för packningsarbeten. I början av 1930-talet publicerades nya packningsmetoder av Kelso i Australien och av Proctor för Bureau of Waterworks and Supply of Los Angeles. Dessa två metoder var främst framtagna till jorddammsbyggen men har allt eftersom nya behov dykt upp vidareutvecklats. (Fagerström m.fl. 1973, s. 3)

Sverige har genom tiderna mest använt sig av grovkorniga material för uppbyggnad av t.ex. vägar. Då det på senare år har blivit svårare att få tag på grovkorniga material utan långa transportsträckor har finkorniga material börjat användas istället. Genom att använda finkorniga material som finns i väglinjen minskar både transportsträckorna och kostnaderna. (Malmberg 1992, s. 1)

1.1 Bakgrund

Eftersom erfarenheten av packning och kontroll av finkorniga jordar inte är lika stor som för grovkorniga jordar i Sverige behövs forskning inom området för att i ett tidigt skede kunna säkerställa att de krav som ställs kommer att uppfyllas. Genom undersökning om det finns några typiska samband mellan MCV och vanliga geotekniska parametrar är förhoppningen att vid bestämningen av en fyllning, huruvida den är lämplig eller inte som konstruktionsmaterial, kan komma att förenklas. MCV, som står för moisture condition value, är en fallviktsmetod som används för att få fram ett värde på packbarheten hos en jord.

1.2 Syfte

Syftet med denna rapport är att klargöra om det råder några generella eller jordartsspecifika samband mellan MCV och geotekniska parametrar för att kunna ta fram en ny enkel metodik, med få och enkla försök, för att i fält kunna avgöra om ett jordmaterial är lämpligt att använda som konstruktionsmaterial i väglinjen.

1.3 Avgränsning

Litteraturstudien har inriktats på hur packning och försök sker på finkorniga material. För att avgöra om samband råder mellan MCV och geotekniska parametrar har undersökningen avgränsats till att behandla följande försök: MCV-försök, enkelt tryckförsök, fallkonförsök, lätt fallvikt, isotopmätning, bestämning av plasticitetsgräns och vattenkvot samt vingförsök i fält. Försöken har utförts på finkorniga lerhaltiga material vid nybyggnationen av väg E20, delen Lundsbrunn-Holmestad, som ligger ca 150 km nordöst om Göteborg.

1.4 Metod

För att avgöra lämpliga metoder för kontroll av samband mellan MCV och geotekniska parametrar har en litteraturstudie gjorts. Från denna har sedan lämpliga fält- och laborieförsök kunnat väljas ut för att klargöra om samband råder.

2 Litteraturstudie

En litteraturstudie har genomförts för att avgöra lämpliga fält- och laboratorieförsök för utredning om det finns några generella samband mellan MCV och geotekniska parametrar för finkorniga jordmaterial och om det går att ta fram en enklare metod för bestämning av finkorniga jordars lämplighet som konstruktionsmaterial.

2.1 Jordmaterial

I detta kapitel beskrivs en jords uppbyggnad och egenskaper. Om inget annat anges bygger beskrivningen på Sällfors, G (2001), *Geoteknik: jordmateriallära, jordmekanik* (3 uppl.), kapitel 2 och 6.

Jord kan ha många olika egenskaper. Egenskaperna bestäms utifrån vilka material som ingår och hur den ingående geometrin ser ut. Jord består vanligtvis av korn, vatten och gas. Kornen, eller partiklarna som de heter om de är mindre än $2 \mu\text{m}$, bildar tillsammans ett kornskelett. Mellan kornen i detta skelett finns det porer som består av vatten, gas eller en blandning av båda.

De fasta beståndsdelarna, kornen, i en jord har stor betydelse för vilka egenskaper jorden har. Kornen och partiklarna i finkorniga material, t.ex. silt och lerfraktioner, är oftast s.k. enkristaller av ett mineralslag medan grovkornigare material oftast utgörs av bergarter som består av flera olika mineralslag.

De flesta lermineralerna är tunna bladformiga partiklar. Alla lermineraler är ytaktiva och omges av ett hölje som består av mer eller mindre fast bundet vatten, s.k. adsorptions-vattenhölje. En ändring av salthalten i detta vatten kan påtagligt ändra jordens egenskaper. Lerpartiklarna är inte i kontakt med varandra men hålls samman med olika typer av bindningar, t.ex. polära bindningar eller van der Waals krafter. När jorden innehåller låga lerhalter så fäster lerpartiklarna på de grövre partiklarna som en hinna. När lerhalten ökar till 15 å 25 % bildar lerpartiklarna en sammanhängande matris och de grövre kornen är då helt åtskilda.

I jordar finns även organisk substans, t.ex. rötter och blad, som påverkar jordens egenskaper. Redan vid små halter av organisk substans påverkas jordens egenskaper påtagligt. Anledningen till detta är att det organiska materialet binds kemiskt till de ytaktiva lermineralerna samt att det organiska materialet ofta har mycket låg densitet, är poröst och därför även mycket deformerbart.

2.1.1 Kornfraktioner

För beskrivning av kornfraktioner har Forssblad, L (2000), *Packning: handbok om packning av jord- och bergmaterial*, kapitel 3 använts.

Jordarter delas in i mineraljordarter och organiska jordarter. De organiska jordarterna används endast som utfyllnadsmassor där det inte finns några krav på bärighet. De mineraliska jordarterna har som krav att de inte får innehålla mer än 2

% av organiska beståndsdelar. Mineraljordarna indelas efter vad de innehåller för fraktioner (se tabell 1).

Tabell 1 Fraktionsgränser. (Forsblad 2000)

Huvudgrupper	Kornstorlek, mm	Undergrupper	Kornstorlek, mm
Block- och stenfraktioner			
Block	>600	Grovblock	>2 000
Sten	600–60	Grovsten	600–200
		Mellansten	200–60
Grovjordsfraktioner			
Grus	60–2	Grovgrus	60–20
		Mellangrus	20–6
		Fingrus	6–2
Sand	2–0,06	Grovsand	2–0,6
		Mellansand	0,6–0,2
		Finsand	0,2–0,06
Finjordsfraktioner			
Silt	0,06–0,002	Grovsilt	0,06–0,02
		Mellansilt	0,02–0,006
		Finsilt	0,006–0,002
Ler	0–0,002	Finler ¹⁾	0–0,0006

¹⁾ Undergruppsindelning används främst i forskningssammanhang.

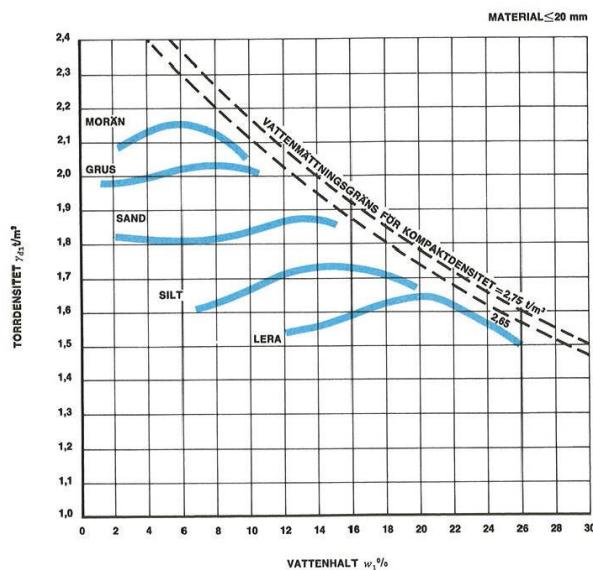
2.1.2 Packbarhet

För beskrivning av packbarhet har i detta kapitel Forsblad, Lars (2000), *Packning*, använts.

De viktigaste parametrarna för hur resultatet ska bli vid jordpackning är framförallt jordart, vattenkvot, packningsmetod och tillfört packningsarbete samt underlagets fasthet. Packning av ett material innebär att man ökar materialets densitet för att förbättra kvalitetsegenskaperna. För alla kornformiga material som t.ex. jord och sten gäller att ökad densitet ger ökad hållfasthet och bärighet men minskad vattengenomsläplighet. Dessa samband är oftast exponentiella. Vid packning av en jord minskas i första hand luftporvolymen. Vid fridränerande material, grovkorniga material med en högsta halt av finjord på 5 à 10 %, kan även vatten pressas ut vid packning.

Vid konstant packningsarbete finns det typiska samband mellan torrdensiteten och vattenhalten för olika jordmaterial som kan fås fram i form av packningskurvor (se figur 1) som erhålls vid normerade laborierpackningsprov. Vid laborierinstampning används en fallvikt med en viss massa som får falla från en specifik höjd ett visst antal gånger på varje lager av materialet som ska packas. På packningskurvorna kan avläsas vid vilken vattenhalt den maximala densiteten uppnås. För finkorniga material erhålls s.k. optimalkurvor vilket innebär att vid

hög densitetsvärden får vattenhalten inte avvika för mycket från vad som är optimalt ur packningssynpunkt.



Figur 1 Packningskurvor för olika jordarter vid tung stampning. (Fagerström 1973)

I finkorniga material som t.ex. lera finns det en stor kohesion som beror på de molekylära krafter som verkar mellan de mycket små partiklarna. Vid hög kohesion krävs ett större packningsarbete samtidigt som lagertjocklekarna måste minska. Vid ökande vattenkvot blir dock de finkorniga materialen mjukare och mera lättpackade. Eftersom de finkorniga jordarna är vattenkänsliga styrs packningen av dessa material till stor del av väderleksförhållandena. Vid beaktande av vattenkvoten och rätt utförd packningsarbete kan dock även finkorniga jordar användas som bärkraftiga fyllningar i t.ex. vägbankar.

Vid låg vattenkvot som hos torrskorpelera krävs högt packningsarbete och tunna lagertjocklekar. Det är därför önskvärt att ha en vattenkvot som ligger över den optimala eftersom detta innebär att leran blir mer plastisk och lättare att packa till en homogen massa samtidigt som lagertjocklekarna kan ökas. Det får dock inte bli för hög vattenkvot då detta kan leda till stora eftersättningar samt att det blir svårt för maskiner att ta sig fram. Den högsta vattenkvoten som rekommenderas är 1,2 ggr plasticitetsgränsen.

Vid användning av finkorniga jordar med hög vattenkvot kan en sandwichkonstruktion användas. Det innebär att det finkorniga materialet varvas med grövre material som fungerar som ett dränerande lager som innebär att konsolideringsförloppet påskyndas.

För att förbättra hållfasthetsegenskaperna hos finkorniga jordar med hög vattenkvot kan även kalkstabilisering användas. Genom att bestämma rätt proportioner av kalk-cement genom laboratorieundersökningar kan detta blandas med det finkorniga materialet med hjälp av en jordfräs.

2.2 Beskrivning av geotekniska parametrar

I detta kapitel kommer geotekniska parametrar, som ofta förekommer då fält- och laboratorieförsök utförs, att beskrivas.

2.2.1 Vattenkvot

Till grund för detta kapitel har Pusch, R (1973), *Densitet, vattenkvot och portal*. Förslag till geotekniska laboratorieanvisningar, del 7, kapitel 7 använts.

För geotekniskt bruk bestäms vattenkvoten genom att jordprovet vägs före och efter torkning. Jordprovet läggs i en torkskål som vägs tom och torr samt med jordprov i innan torkning. Efter torkningen ska torkskålen med provet svalna innan vägning sker då varma prover annars kan störa vågen av de luftströmmar som ett varmt prov kan ge upphov till. Vägningen utförs med en snabbvåg som har en avläsningsnoggrannhet på 0,01 g. Provet torkas oftast vid ca 105 °C i ett torkskåp. Vid denna temperatur torkas fritt och svagt bundet vatten, dock torkas inte det fast bundna vattnet. För fullständig uttorkning av vattnet krävs mycket höga temperaturer. Små jordprover (10-30 g) ska torkas i minst 12 timmar, större prover (ca 300 g) av finjord ska torkas i minst 24 timmar, hela prover tagna med kolvprovtagare bör torkas i minst 48 timmar. Organisk jord bör alltid torkas i minst 24 timmar.

Då vattenkvoten kan variera avsevärt både vid jord som ser homogen ut samt vid små jordprover är det viktigt att ett flertal vattenkvotsbestämningar görs på olika prover för att erhålla ett pålitligare värde på vattenkvoten. Vattenkvoten beräknas enligt ekvation 1. I vissa sammanhang förekommer även begreppet vattenhalt. Vattenhalten är kvoten mellan vattnets massa och den våta jordens massa.

$$w = \frac{m_w}{m_s} = \frac{m_2 - m_3}{m_3 - m_1} \quad (1)$$

m_w = vattnets massa

m_s = torra jordens massa

m_1 = torr och tom torkskål

m_2 = torkskål med fuktigt jordprov

m_3 = torkskål med torkat prov

2.2.2 Plastisitetsgräns

Underlaget för beskrivningen av plastisitetsgränsen i detta kapitel har varit Karlsson, R (1974), *Konsistensgränser*. Förslag till geotekniska laboratorieanvisningar, del 6.

Plastisitetsgränsen är den vattenkvot som ett material har när det övergår från att vara plastiskt till att sönderfalla. Det första som görs vid bestämningen är att jordprovet rörs om noggrant i en skål. För provet tas sedan ca 20 g av det omrörda materialet. Då provet är för klabbigt torkas det ut tills det har en icke klabbande plastisk konsistens. Provet delas sedan i två lika stora bitar varefter det ena provet

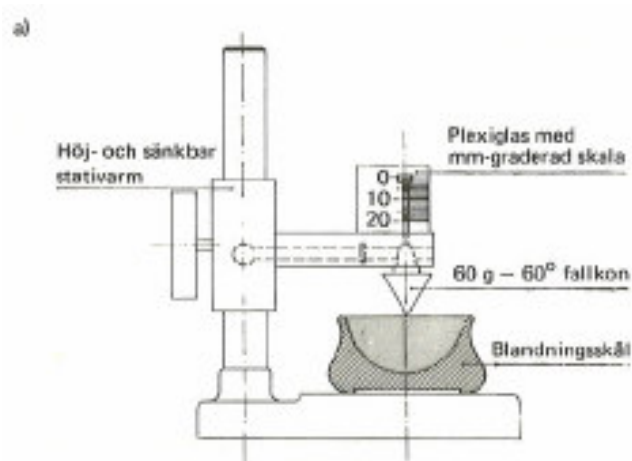
rullas ut, med jämna handrörelser och jämnt tryck, på ett vattenabsorberande papper till en ca 3 mm tjock tråd. Därefter knådas provet ihop till en homogen massa. Provet görs om till det bildas upprepade bristningar efter hela trådens längd. Då detta sker placeras provet i en torkskål och vattenkvoten bestäms genom torkning. Samma procedur utförs med den andra halvan av provet. Plastisitetsgränsen räknas ut som medelvärdet från de två vattenkvoterna, avrundat till närmsta heltal. Plastisitetsgränsen bestäms ofta i samband med att flytgränsen bestäms.

2.2.3 Konflytgräns

I detta kapitel har Karlsson, R (1974), *Konsistensgränser*. Förslag till geotekniska laboratorieanvisningar, del 6, kapitel 4, använts.

Flytgränsen är den vattenkvot då ett material övergår från att vara plastiskt till att vara flytande. Flytgränsen kan bestämmas genom konförsök och stötförsök. Jämförelse mellan de båda metoderna har gjorts och visade att konförsöken gav mindre avvikelse i resultaten. Därav är konmetoden att föredra vid bestämning av flytgränsen.

För bestämning av konflytgränsen behövs en fallkonapparat (se figur 2).



Figur 2 a) fallkonapparat. (Karlsson 1974)

Konflytgränsen kan bestämmas med enpunktsbestämning eller flerpunktsbestämning. Flerpunktbestämningen utförs på samma sätt som enpunktsbestämning med skillnaden att vid flerpunktsbestämningen utförs försöket vid flera olika vattenkvoter hos det omrörda provet.

Vid bestämning fylls en blandningsskål med provet som rörs om noggrant. Om det förekommer grövre partiklar som t.ex. gruskorn eller snäckskal plockas dessa bort så gott det går. Provet stryks därefter av jäms med överkanten på blandningsskålen och placeras därefter under fallkonapparaten. 60g - 60°-konen hängs upp i apparaten varefter den sänks ner tills den tangerar provet. Därefter frigörs konen som gör ett intryck i provet. Intrycket läses av med 0,1 mm noggrannhet. Konintrycket skall vara mellan 7,0-14,9 mm. Om det är mindre eller

större intryck så får vattenkvoten på provet justeras tills intrycket hamnar i rätt intervall. Innan nytt försök utförs ska konen rengöras. När försöket är klart tas ett prov från blandningsskålen på ca 20g som vägs, torkas och vägs igen för bestämning av vattenkvoten. Konflytgränsen bestäms genom ekvation 2 och tabell 2.

$$w_L = M \cdot w_i + N \quad (2)$$

w_L = Konflytgränsen

w_i = Vattenkvoten hos det omrörda provet vid konintrycket i mm.

M = Faktor M enligt tabell 2.

N = Faktor N enligt tabell 2.

Tabell 2 Samband mellan faktorerna M och N samt konintrycket i mm vid 60g - 60° konen. (Karlsson 1974, s. 19)

i mm		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
7,	M	1,21	1,20	1,19	1,18	1,17	1,16	1,15	1,14	1,14	1,13
	N	-3,5	-3,4	-3,2	-3,0	-2,9	-2,7	-2,6	-2,5	-2,3	-2,2
8,	M	1,12	1,11	1,11	1,10	1,10	1,09	1,08	1,07	1,07	1,06
	N	-2,1	-1,9	-1,8	-1,7	-1,6	-1,4	-1,3	-1,2	-1,1	-1,0
9,	M	1,05	1,05	1,04	1,04	1,03	1,03	1,02	1,01	1,01	1,00
	N	-0,9	-0,8	-0,7	-0,6	-0,5	-0,4	-0,3	-0,3	-0,2	-0,1
10,	M	1,00	1,00	0,99	0,99	0,98	0,98	0,97	0,97	0,96	0,96
	N	±0	+0,1	+0,2	+0,2	+0,3	+0,4	+0,5	+0,5	+0,6	+0,7
11,	M	0,96	0,95	0,95	0,94	0,94	0,94	0,93	0,93	0,93	0,92
	N	+0,7	+0,8	+0,9	+0,9	+1,0	+1,1	+1,1	+1,2	+1,3	+1,3
12,	M	0,92	0,92	0,91	0,91	0,91	0,90	0,90	0,90	0,89	0,89
	N	+1,4	+1,4	+1,5	+1,5	+1,6	+1,7	+1,7	+1,8	+1,8	+1,9
13,	M	0,89	0,88	0,88	0,88	0,88	0,87	0,87	0,87	0,87	0,86
	N	+1,9	+2,0	+2,0	+2,1	+2,1	+2,2	+2,2	+2,2	+2,3	+2,3
14,	M	0,86	0,86	0,86	0,85	0,85	0,85	0,85	0,84	0,84	0,84
	N	+2,4	+2,4	+2,5	+2,5	+2,5	+2,6	+2,6	+2,7	+2,7	+2,7

2.2.4 Plasticitetsindex

Till grund för beskrivningen av plasticitetsindex har Karlsson, R (1974), *Konsistensgränser*. Förslag till geotekniska laboratorieanvisningar, del 6 använts om inget annat anges.

Plasticitetsindex I_p som även kallas plasticitetstalet, definieras som skillnaden mellan plasticitetsgränsen w_p och flytgränsen w_L . Plasticitetstalet ger ett mått på jordprovets plasticitet. Lerorna kan beroende vad de har för plasticitetstal eller flytgräns delas in enligt tabell 3.

Tabell 3 Benämning av en lera utifrån plasticitetstalet eller flytgränsen. (Karlsson 1974)

Benämning	Plasticitetstal, I_p	Flytgräns, w_L
	%	%
Lågplastisk	< 10	< 30
Mellanplastisk	10–25	30–50
Högplastisk	> 25	> 50

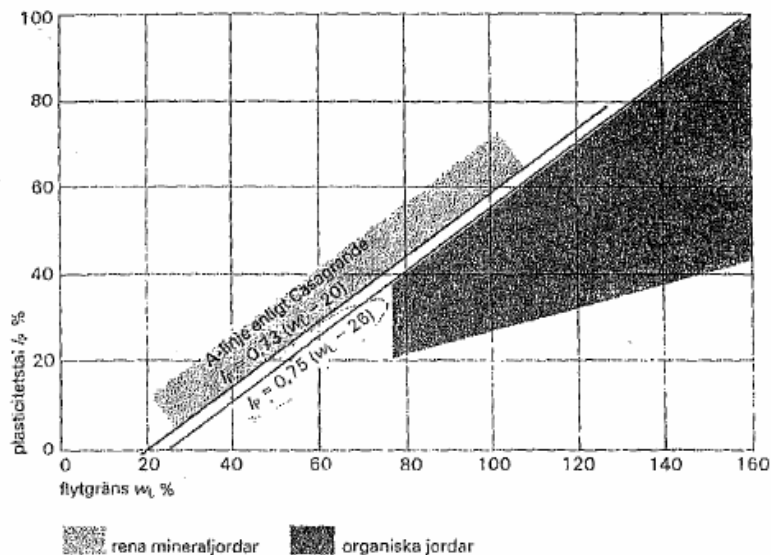
För icke-plastiska jordar är $I_p = 0$.

För att bestämma plasticitetsindex empiriskt kan ekvation 3 eller figur 3 användas. Formelns linje kan betraktas som en undre gräns för svenska mineraljordar (Hansbo 1975).

$$I_p = 0,75(w_L - 26) \quad (3)$$

I_p = Plasticitetsindex [%]

w_L = Flytgräns [%]



Figur 3 Plasticitetsdiagram. (Hansbo 1975)

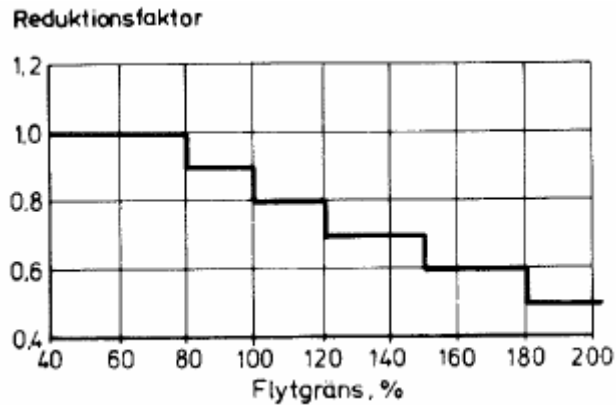
2.2.5 Skjuvhållfasthet

För beskrivning av skjuvhållfastheten hos ett jordmaterial har Broms, B m.fl. (1985), *Skjuvhållfasthet*. Geotekniska laboratorieanvisningar, del 9 (Byggnadsforskningsrådet T2:1985), Statens råd för byggnadsforskning, använts.

Detta kapitel behandlar främst bestämning av skjuvhållfastheten på kohesionsjord på okonsoliderade, odränerade prover genom fallkonförsök, enaxliga tryckförsök och vingförsök i fält.

Det är viktigt att ta reda på skjuvhållfastheten hos en jord för att kunna avgöra vilka förstärkningsåtgärder som behövs samt vilken grundläggningsmetod som ska användas. Vid bestämning av skjuvhållfastheten kan jorden delas in i kohesionsjord, friktionsjord samt blandkornig jord och silt.

Då jordproverna är inhomogena kan enaxliga tryckförsök ge ett mer representativt värde än konförsök då de endast påverkar en liten yta av jordprovet. När flytgränsen w_L överstiger 80 % måste det erhållna skjuvhållfasthetsvärdet vid konförsöket reduceras enligt figur 4.



Figur 4 Reduktionsfaktor μ vid olika värden på flytgränsen w_L . (Broms 1985)

2.2.5.1 Fallkonförsök

För bestämning av skjuvhållfastheten med konförsök används samma fallkonapparat som vid bestämningen av konflytgränsen. Standardkonen vid skjuvhållfasthetsbestämning är 100 g 30° konen. Då konintrycket med den konen blir ≥ 20 mm välj istället 60 g 60° konen. Det är viktigt att kontrollera att konens vinkel stämmer då en avvikelse på denna annars kan leda till stora fel på skjuvhållfasthetsvärdena.

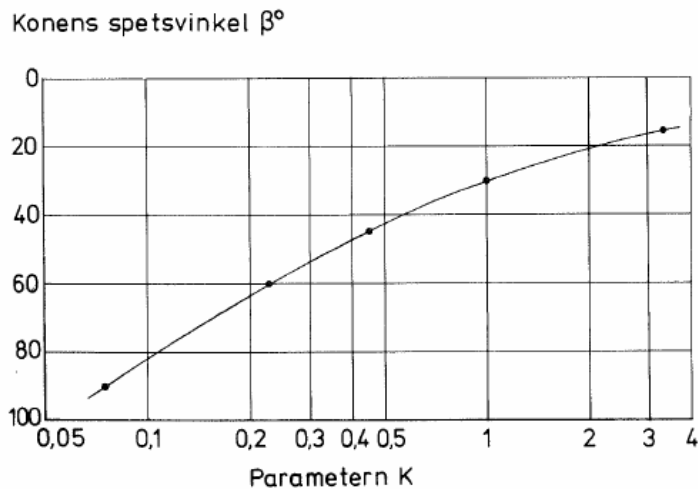
Vid bestämningen av skjuvhållfastheten snittas först bort ca 10-15 mm av det ursprungliga provet taget genom kolvprovtagning. Därefter sänks konen ner mot provet tills det tangerar provets överyta. Sen frigörs konen och avläsning över intrycket görs med 0,1 mm noggrannhet samt antecknas i ett protokoll. Konen höjs sedan upp och torkas av. Provet trycks ut från provhylsan minst 1,5 ggr konintrycket och skärs av med trådavskärare. Försöket görs sedan om i ytterligare två snitt. De prover som använts vid bestämningen används sedan även för bestämning av konflytgränsen.

Ekvation 4, vilken är en halvempirisk ekvation har ställts upp mellan konintryck och skjuvhållfasthet.

$$\tau_{fu} \text{ resp. } \tau_r = Kg \frac{m}{i^2} \left(1 + \frac{a}{i}\right) \quad (4)$$

- τ_{fu} = den odränerade skjuvhållfastheten hos ostörd jord [kPa]
- τ_r = den odränerade skjuvhållfastheten hos omrörd jord [kPa]
- K = Konparameter (se figur 5)
- g = gravitation ($9,81 \text{ m/s}^2$)

- m = konens massa [g]
- i = konintryck [mm]
- a = avstånd från konen till provets överyta [mm]



Figur 5 Parametern K som funktion av konens spetsvinkel β . (Broms 1985, s. 13)

2.2.5.2 Tryckförsök

I detta kapitel har Broms, B m.fl. (1985), *Skjuvhållfasthet*. Geotekniska laboratorieanvisningar, del 9 använts för beskrivning av enaxliga tryckförsök.

Dessa försök utförs på vattenmättad kohesionsjord som inte innehåller synliga sprickor för att bestämma den okonsoliderade, odränerade skjuvhållfastheten. Provet utförs oftast på jordmaterial som är tagna med kolvprovtagare. Höjden på provet är vanligtvis dubbla diametern. Provet belastas axiellt tills brott inträffar.

Enaxliga tryckförsök kan utföras med olika apparater. Försöken kan utföras i t.ex. ödometerstativ, triaxialapparat och i press. I detta kapitel beskrivs främst hur försöken går till där provet belastas till brott i en press.

Provet belastas under konstant deformationshastighet till dess att brott inträffar. Under tiden registreras vertikalkraften som funktion av den vertikala deformationen. Det som behövs för att utföra försöket är en press, kraftgivare, XY-skrivare, provuttryckare och en trådavskärare.

Först pressas provet ut ca 10 mm från provhylsan och skärs av med en trådavskärare. Därefter pressas provet ut ytterligare 100 mm. Om det inte är möjligt godtas en mindre höjd dock ej mindre än 75 mm. Provets höjd noteras. Ändytorna på tryckstämpeln och bottenplattan smörjs in innan provet placeras centrerat på bottenplattan. Tryckstämpeln justeras så den tangerar provets överyta. Därefter väljs en lagom deformationshastighet samt lämplig skala för plottningen på skrivaren. Skrivaren och pressen startas samtidigt och stängs av när brott har inträffat.

Den odränerade skjuvhållfastheten kan utvärderas enligt ekvation 5.

$$\tau_{fu} = \frac{P}{2A} \quad (5)$$

- τ_{fu} = odränerad skjuvhållfasthet [kPa]
 P = axiellasten då brott inträffar [kN]
 A = provets tvärsnittsarea [m^2]

Då provet belastas ökar dess tvärsnittsarea. Detta tas oftast ingen hänsyn till vilket medför att hållfastheten överskattas. För att ta hänsyn till detta antar man att provet har en cylindrisk form vid brott och använder sig sedan av ekvation 6.

$$\tau_{fu} = \frac{P}{2A_0}(1 - \varepsilon) \quad (6)$$

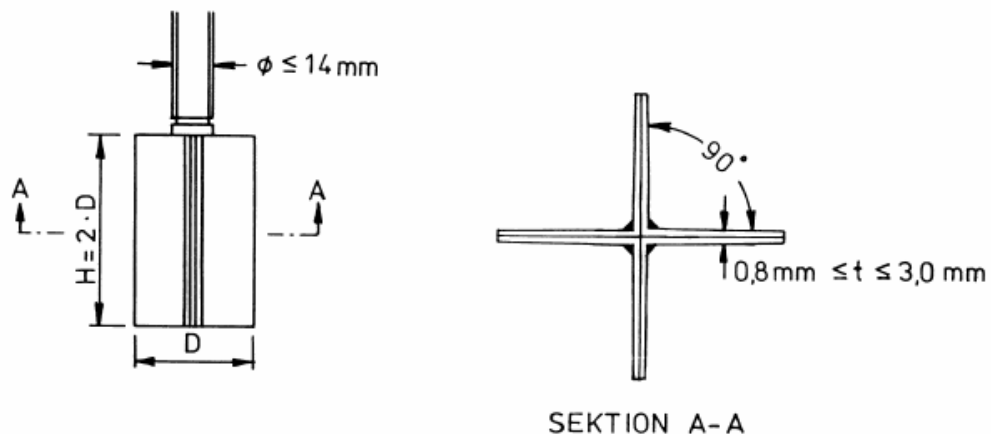
- τ_{fu} = odränerad skjuvhållfasthet
 P = axiellasten då brott inträffar [kN]
 ε = relativ axialdeformation då brott inträffar
 A_0 = provets ursprungliga tvärsnittsarea [m^2]

Vid försök med störda prover eller prover med sprickor blir resultaten av tryckförsöken lägre än vid konförsök. Då jordproverna har bra kvalitet blir skillnaden i resultaten dock ganska liten.

2.2.5.3 Vingförsök i fält

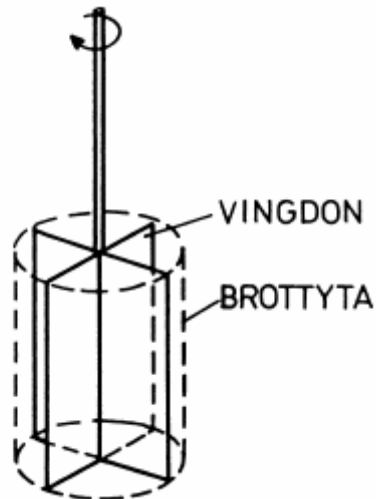
För beskrivning av vingförsök i fält har SGF (1993), *Rekommenderad standard för vingförsök i fält*, använts.

Vingförsök i fält utförs för att bestämma den odränerade skjuvhållfastheten och sensitiviteten. I detta kapitel beskrivs hur den odränerade skjuvhållfastheten bestäms. Försöket utförs med ett vingdon som består av fyra plåtar (se figur 6). Plåtarna är vinkelräta mot varandra och sitter på ett stängsystem som är skarvbart.



Figur 6 Vingdon. (SGF 1993)

Vingdonet pressas ner till önskat djup, utan slag, vibration eller rotation, där det sedan roteras tills brott uppstår. Rotation av vingdonet ska ske så att brott uppstår efter ca 2-4 minuter. Maximalt vridmoment erhålls då brott uppstår i den cylindriska brottyta som omsluter vingdonet (se figur 7).



Figur 7 Vingdonets brottyta. (SGF 1993)

Med det erhållna vridmomentet vid brott kan skjuvhållfastheten i ostört tillstånd räknas ut enligt ekvation 7 om vingdonet ser ut som i figur 6.

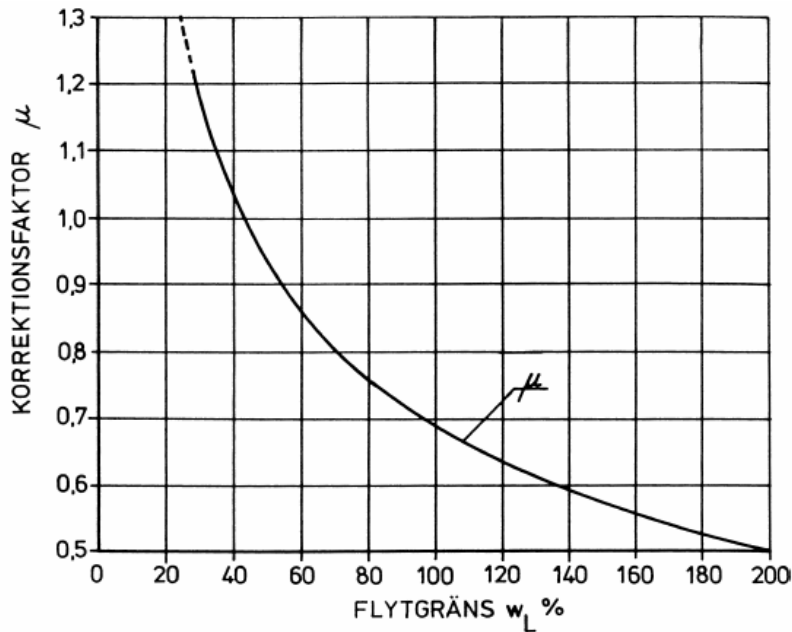
$$\tau_v = \frac{6M_{\max}}{7\pi D^3} \quad (7)$$

τ_v = skjuvhållfasthet i ostört tillstånd

M_{\max} = det maximala vridmomentet för vingen

D = vingdonets diameter

För att få fram den odränerade skjuvhållfastheten måste en korrektion göras med hänsyn till flytgränsen (se figur 8).

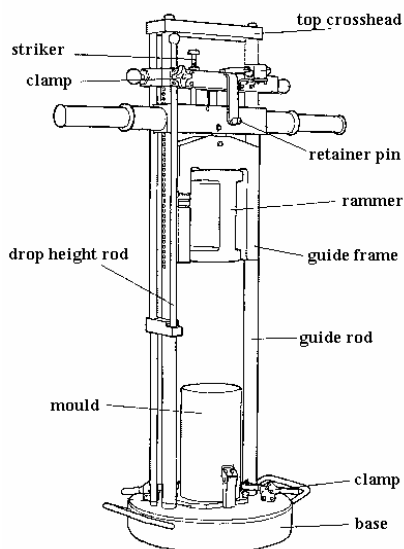


Figur 8 Reduktionsfaktor för skjuvhållfasthetsvärdet i ostört tillstånd. (SGF 1993)

2.2.6 MCV (Moisture Condition Value)

MCV-metoden utvecklades av A W. Parsons på Transportation and Road Research Laboratory (TRRL). Avsikten med MCV(Moisture Condition Value)-metoden var från början att vid fyllningsarbeten på ett snabbt sätt kunna bestämma jordens vattenkvot (Malmborg 1992). MCV är ett mått på arbetet som krävs för att packa en viss jord vid en viss vattenkvot (Forssblad 2000). Detta samband är materialspecifikt och måste därför bestämmas för varje typ av jord (Holmén 2007, *MCV-metoden* [www]).

För bestämning av värdet behövs en apparat (se figur 9) som utför ett fallförsök på ett prov. Denna apparat kallas för MCA som står för moisture condition apparatus (Lindh 2000).



Figur 9 MCA (Moisture Condition Apparatus). (Smith m.fl. 1997, kapitel moisture condition testing)

Ett jordprov som efter siktning eller finfördelning väger 1500 g används. Siktningen sker genom en 20 mm sikt för att ta bort de största partiklarna. Efter siktning placeras provet löst i en cylindrisk form med en inre diameter av 100 mm och minsta höjd 200 mm. Om nödvändigt pressas provet försiktigt ner i formen så att det är ca 5 mm till ovkant på formen. Formen fästs sedan på bottenplattan på apparaten. (BS 1377 1990)

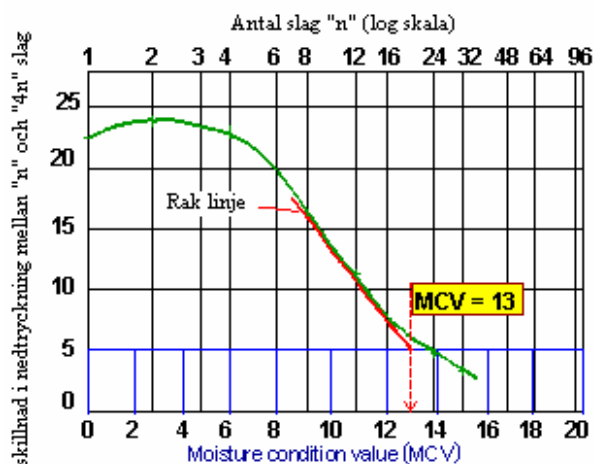
Eftersom fallviktens diameter är 3 mm mindre än formens så placeras en platta ovanpå jordprovet för att förhindra att jorden pressas ut mellan formen och fallvikten. Sedan sänks fallvikten ner på jordprovet och vilar på provet med egentyngheten. Höjden nollställs för att sedan höjas upp så att fallhöjden blir 250 mm. Fallvikten som väger 7 kg frigörs och faller ned på provet, nedtryckningen av provet antecknas med 0.1 mm noggrannhet. Fallvikten höjs åter upp till 250 mm ovanför provet och frigörs. Denna procedur upprepas tills ingen ytterligare nedtryckning sker eller när proceduren har upprepats 256 gånger. Väldigt torra material med högt MCV som kräver mer än 256 slag rapporteras som "MCV högre än 18". (BS 1377 1990)

När försöket är klart skall en tabell fyllas i om inte detta har gjorts samtidigt som försöken. Den ska innehålla antal slag som fallvikten har gjort på provet, vilken nedtryckning den har haft vid de slag som behövs för uträkningen samt skillnaden i nedtryckning mellan "n" slag och "4n" slag. Utifrån denna tabell ska sedan ett diagram ritas (se figur 10). (BS 1377 1990)

Skillnaden i nedtryckning mellan n och 4n slag (t.ex. skillnaden mellan nedtryckningen från 1:a och 4:e slaget) plottas, på en linjär skala, mot det första av dessa slagen (i detta fall slag 1), på en logaritmisk skala. När kurvan är utritad ska den brantast möjliga linje ritas som går genom punkterna precis innan eller igenom 5 mm linjen. MCV kan sedan räknas ut som $10 \cdot \log B$, där B är antal slag när skillnaden i nedtryckning är precis 5 mm, vilket kan läsas av från den raka linjen. Om diagrammet ritas i en noggrann skala kan man läsa av MCV direkt från diagrammet där den raka linjen skär 5 mm skillnad i nedtryckning mellan n och 4n slag. Vid rapportering av försöket ska följande finnas med:

- Rapporten ska intyga att försöket har utförts enligt BS 1377-4:1990
- Metod som användes vid försöket
- MCV på jorden
- Plottning av skillnaden i nedtryckning mot antalet slag
- Andel torr massa av partiklar > 20 mm som avlägsnats från det ursprungliga provet
- Metod för tolkning av testkurvan
- Erforderlig information från 9.1 i BS 1377-1:1990

(BS 1377 1990).



Figur 10 MCV diagram. (Davidson 2000, kapitel Moisture condition value)

2.3 Resultatkontroll/utförandekontroll

Beskrivningen av resultatkontroll och utförandekontroll bygger på Forssblad, L (2000), *Packning: handbok om packning av jord- och bergmaterial*.

Utförandekontroll eller resultatkontroll tillämpas vid packningsarbeten för kontroll av packningen. Vid de flesta omfattande packningsarbeten tillämpas någon form av resultatkontroll. Den vanligaste typen av resultatkontroll är kontroll att det packade materialets densitet uppnått en föreskriven packningsgrad. Kontroll kan även ske genom plattbelastningsprov då de packade ytornas bärighet kontrolleras.

Vid utförandekontroll övervakas att det blir rätt lagertjocklekar samt att dessa blir packade rätt antal gånger med lämplig typ av packningsmaskin. Till grund för utförandekontroll finns metodspefikatorer. I metodspefikatorerna anges maximala lagertjocklekar för olika materialtyper och hur många överfarer som erfordras från olika typer av packningsmaskiner. Tabeller över detta finns i bl.a. Anläggnings AMA och ATB VÄG.

2.3.1 Packningsgrad

I detta kapitel har Fagerström H (1973), *Packningsegenskaper – förslag till geotekniska laboratorieanvisningar del 5*, använts för beskrivning av packningsgrad.

Det vanligaste sättet att ange packningsresultatet är att ange förhållandet mellan uppnådd total torrdensitet i fyllningen och maximal torrdensitet som erhålls vid tung stampning eller vibrering av samma material. Detta förhållande kallas packningsgrad och kan räknas ut genom ekvation 8.

$$R_D = \frac{\rho_{d2}}{\rho_{d2\max}} \quad (8)$$

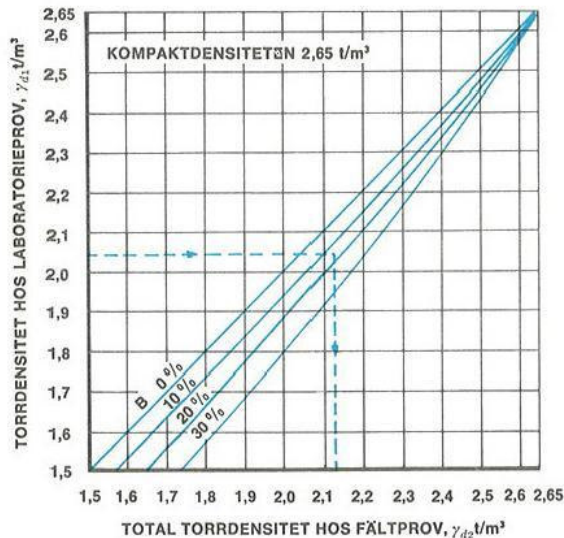
- R_D = packningsgrad
 ρ_{d2} = total torrdensitet $[t/m^3]$
 $\rho_{d2\max}$ = maximal torrdensitet vid tung stampning eller vibrering, korrigerat för att gälla för samma stenhalt som det är i fält.

Maximal torrdensitet, $\rho_{d2\max}$, hänförs endast till de laboriemetoderna som ger högsta densitet. Packningsgraden kan variera från ca 0,5-0,7 vid lös ifyllning av fuktig jord till ca 1,0 vid tung stampning och optimal vattenkvot. Begreppet packningsgrad kan användas både för finkorniga och grovkorniga jordar.

För att korrigera densiteten och vattenkvoten kan ekvation 9 användas. När formeln används skall allt material som har större kornstorlek än laborieprovet betraktas som fast massa med kompaktdensiteten $\rho_s t/m^3$. Med B-värdet avses halt av korn, vilka är större än de vid laboriepackning största tillåtna, uttryckt i förhållande till totala provets torrsvikt. Korrektion enligt formeln underlättas med hjälp av ett nomogram (se figur 11).

$$\rho_{d2} = \frac{1}{\frac{1-B}{\rho_{d1}} + \frac{B}{\rho_s}} = \frac{\rho_s \cdot \rho_{d1}}{\rho_s(1-B) + \rho_{d1} \cdot B} \quad (9)$$

- ρ_{d1} = torrdensitet hos laborieprov $[t/m^3]$
 ρ_{d2} = total torrdensitet, korrigerad att gälla för samma stenhalt som i fält $[t/m^3]$
 ρ_s = kompaktdensitet för stenmaterialet $[t/m^3]$
 B = B-värde [dimensionslöst]



Figur 11 Nomogram för omräkning av torrdensitet hos laboratorieprov till total torrdensitet hos fältmaterial. (Fagerström 1973)

2.3.2 Luftporhalt

För beskrivning av luftporhalt har Berggren, B m.fl. (2007), *Resultatkontroll genom bestämning av luftporhalt och vattenkvot*, använts.

Genom att beräkna luftporhalten kan de framtida sättningförloppen bedömas. Efter packning bör jorden ha en luftporhalt som är mindre än 10 % för att undvika sättningar. Ekvation 10 kan användas för att bestämma luftporhalten.

$$Lp = 100 \cdot \left(1 - \frac{\rho d}{\rho s} \right) - \frac{w \cdot \rho d}{\rho w} \quad (10)$$

Lp = Luftporhalt

ρd = Jordmaterialets torrdensitet, ton/m^3

ρs = Jordmaterialets kompaktensitet, ton/m^3

ρw = Vattnets densitet, $1,0 \text{ ton}/\text{m}^3$

w = Vattenkvot, %

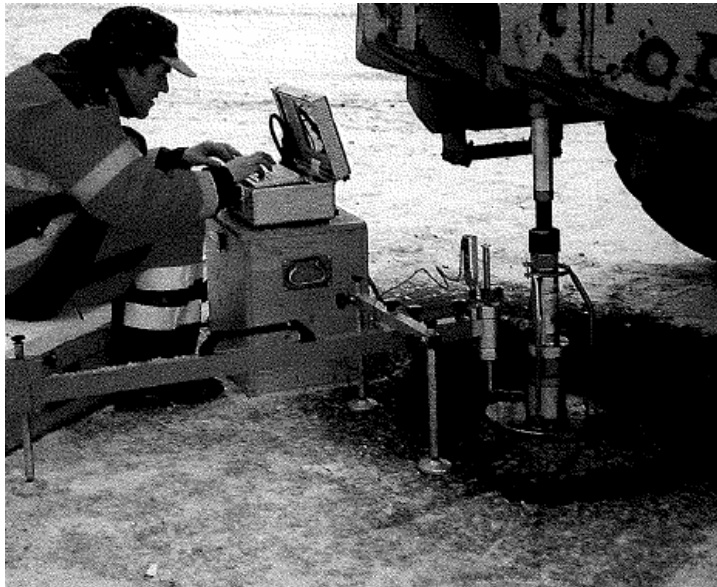
2.3.3 Statisk bärighetsbestämning

För beskrivning av statisk bärighetsbestämning har Vägverket (1993), *Bestämning av bärighetsegenskaper med statisk plattbelastning – Metodbeskrivning 606:1993* [www] legat som grund.

För att bestämma bärigheten på en jord kan statisk plattbelastning användas (se figur 12). Detta är en beprövad metod för bestämning av ett underlags elasticitets- och deformationsegenskaper. Metoden kan användas både vid dimensionering av en påbyggnad samt för att kontrollera att fastheten är acceptabel efter packning.

Metoden kan användas på både grovkorniga, blandkorniga och på finkorniga jordar som är styva och fasta.

Bestämningen sker genom att jorden belastas via en cirkulär platta med hjälp av en hydraulisk tryckutrustning. Jorden belastas två gånger med en mellanliggande avlastning. Den sättning som sker under belastningen registreras. Resultaten av mätningarna redovisas i tryck- sättningsdiagram, värden på deformationsmodulerna från första och andra belastningen samt kvoten mellan deformationsmodulerna.



Figur 12 Statisk plattbelastning. (Forssblad 2000)

2.3.4 Dynamisk bärighetsbestämning

För beskrivning av dynamisk bärighetsbestämning har Berggren, B m.fl. (2004), *Packning och packningskontroll av blandkornig och finkornig jord*, använts

Denna apparat (se figur 13) för att utföra bärighetsbestämningar har utvecklats i Tyskland. Metoden är både snabb och enkel samtidigt som försöken är billiga att utföra. Denna metod för att få fram värden på bärigheten, E_{vd}, är endast godkänd att användas om det går att påvisa att de erhållna värdena ger samma resultat som statisk plattbelastning.

Lastplattan som är längst ner på anordningen och har en diameter av vanligtvis 300 mm träffas av en 10 kg tung fallvikt. Ovanför lastplattan finns ett fjäderelement som tar upp stöten. Fördelen med fjäderelementet är att belastningen verkar under en längre tid jämfört med om stöten skulle ha varit odämpad. Den dynamiska belastningen är ca 7 kN och verkar i 18 ms.



Figur 13 Lätt fallviktsmätare, tysk modell. (Berggren 2004)

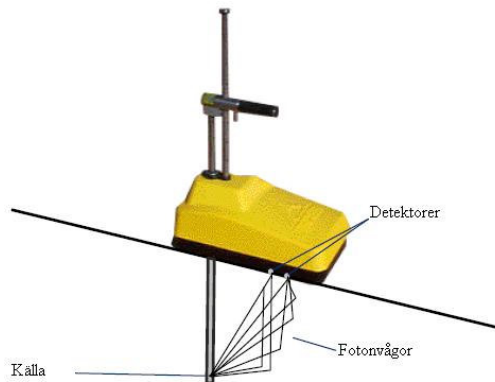
2.3.5 Densitetsbestämning

Om inget annat anges har Vägverket (1993), *Bestämning av densitet och vattenkvot med isotopmätare – Metodbeskrivning 605:1993* [www] legat till grund för detta kapitel.

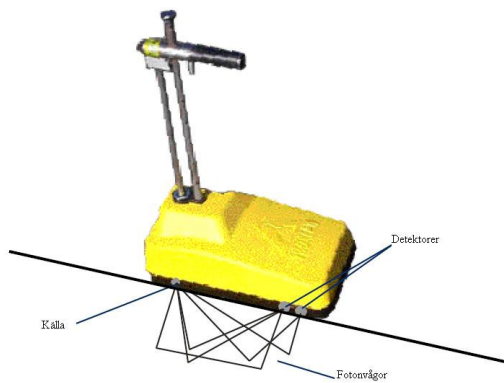
Vid densitetsbestämningar kan isotopmätare användas. Med isotopmätare kan densitet och vatteninnehåll bestämmas i ytlager i jordmaterial och krossat bergmaterial. Materialet som ska mätas måste vara ≤ 125 mm. Den våta densiteten, skrymdensiteten, bestäms vanligtvis med en gammastrålkälla och en gammadetektor som placeras antingen på eller i det material som ska kontrolleras.

Direkt transmissionsmätning (figur 14) innebär att strålkällan eller detektorn eller båda två placeras under ytan av det materialet som ska undersökas. Vid backscattermätning (figur 15) är strålkällan och detektorn placerad ovanför ytan av materialet. Vid mätning på obundna material så ger transmissionsmätningen ett säkrare resultat. Intensiteten på strålningen som registreras är till största delen beroende av vad det undersökta materialet har för densitet. Den registrerade intensiteten kan sedan översättas till våt densitet genom att kalibrering sker mot block med känd densitet.

Vid strålkällan sänds snabba neutroner ut. Dessa neutroner bromsas sedan upp av väteatomer i materialet och registreras. Genom att se hur stor andel av neutronerna som har bromsats upp fås ett värde på vatteninnehållet. Genom att göra mätningar på densiteten och vatteninnehållet samtidigt kan värden på våta densiteten, vattenkvoten och torrdensiteten fås fram i en följd.



Figur 14 Direkt transmissionsmätning. (Troxler 2004, 3451 brochure)

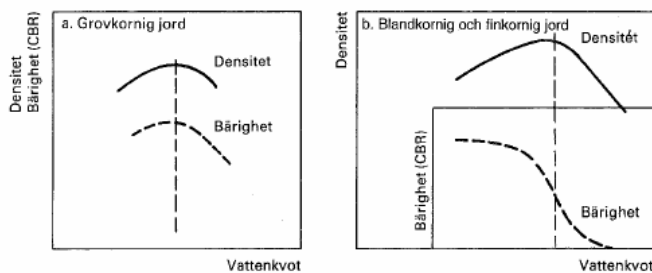


Figur 15 Backscattermätning. (Troxler 2004, 3451 brochure)

2.3.6 Jämförelse mellan densitets- och bärlighetsmätningar

I detta kapitel har Forssblad, L (2000), *Packning: handbok om packning av jord- och bergmaterial*, legat till grund för jämförelsen mellan densitets- och bärlighetsmätningar.

Vid jämförelse av densitet och bärlighet finns det vid grovkorniga jordar ett klart samband. Densiteten och bärligheten stiger upp till en viss vattenkvot för att sedan minska samtidigt (se figur 16). Vid blandkorniga och finkorniga jordar finns inte samma samband. I dessa jordar så minskar bärligheten mycket snabbare än densiteten vid ökad vattenkvot (se figur 16). Detta medför att det är svårare att kontrollera och styra ett packningsarbete av bland- och finkorniga jordar utifrån bärlighetsförsök.



Figur 16 Samband för olika materialslag mellan densitet och vattenkvot samt mellan bärlighet och vattenkvot. (Forssblad 2000)

2.4 Normer och standarder

I dagsläget finns det standarder, normer och beskrivningar som innefattar alla typer av packningsarbeten. Det stora arbetet som nu pågår är att upprätta en internationell standard. I detta kapitel behandlas olika krav och beskrivningar vid packning av lera som ges i olika standarder samt en beskrivning av standarden.

2.4.1 Eurokod

För detta kapitel har Franzén, G (2006), Europastandarder ett onödigt påfund eller en möjlighet, använts för att beskriva eurokod.

Arbetet med att ta fram gemensamma standarder har pågått under en lång tid. År 1974 tog intresseorganisationer inom industri och forskning ett initiativ att försöka ta fram gemensamma regler för dimensionering av konstruktioner och konstruktionsdelar. Året därpå började även EU-kommissionen att arbeta fram gemensamma standarder som i början skulle användas som ett komplement till de nationella standarderna för att på sikt ta över helt.

1989 beslutades att arbetet skulle föras över till CEN (European Committee for Standardization). Fram till år 1998 hade totalt 62 förstandarder publicerats. 1998 bestämdes att dessa förstandarder (ENV) skulle ersättas med fullvärdiga standarder (EN). Dessa fullvärdiga standarder innebar mindre valmöjligheter jämfört med förstandarderna. Målet var att de skulle vara klara år 2005 vilket nästan lyckades. Syftet med att ta fram standarderna var att det skulle bli gemensamma standarder som behandlar dimensionering av konstruktioner. Det huvudsakliga målet med att ta fram de gemensamma standarderna har varit att eliminera tekniska handelshinder. CEN har fortsatt arbetet med att även försöka ta fram materialstandarder och utförandestandarder. Följande kapitel anger vad eurokod har ställer för krav och regler för användande och packning av fyllnadsmaterial.

2.4.1.1 Klassificering av fyllnadsmaterial

I detta kapitel har EN 1997-1:2004 (2004), *Eurocode 7 - Geotechnical design - Part 1: General rules*, använts.

Kriteriet för att kunna klassa ett fyllnadsmaterial som lämpligt är att det uppnår tillräcklig hållfasthet, styvhet, beständighet och permeabilitet efter packning. Hänsyn ska tas till vilket syfte materialet ska ha och vilken typ av konstruktion som materialet ska bära.

När ett fyllnadsmaterial skall klassas ska hänsyn tas till följande aspekter:

- Kornfördelning
- Motstånd mot krossning
- Packbarhet
- Permeabilitet
- Plasticitet
- Hållfasthet på underliggande lager
- Organiskt innehåll

- Kemiska angrepp
- Förorenande effekter
- Upplöslighet
- Känslighet mot volymförändringar
- Känslighet mot låga temperaturer och frost
- Väderbeständighet
- Effekter av schakt, transport och placering
- Möjlighet att cementering uppstår efter placering (t.ex. masugnsslagg)

Om materialet som finns på plats inte är lämpligt som fyllnadsmaterial kan någon av följande åtgärder vara aktuell:

- Justera vattenkvoten
- Blanda med cement, kalk eller andra material
- Krossa, sikta eller tvätta
- Skydda med lämpligt material
- Använda dränerande lager

2.4.1.2 Placering och packning av fyllnadsmaterial

I detta kapitel har EN 1997-1:2004 (2004), *Eurocode 7 - Geotechnical design - Part 1: General rules*, använts.

Packningskriterier för fyllnadsmaterial ska fastställas för varje plats eller lager i relation till dess syfte och krav. Placering och packning av ett fyllnadsmaterial skall specificeras så att stabiliteten är säkerställd under hela konstruktionstiden samt att den naturliga underbyggnaden inte påverkas negativt. Utförandet vid packning av fyllnadsmaterial skall specificeras med hänsyn till packningskriterierna samt följande aspekter:

- Materialets typ och ursprung
- Metod för placering av materialet
- Vattenkvoten och dess möjliga variation vid placeringen
- Den ursprungliga och slutliga lagertjockleken
- De lokala väderleksförhållandena
- Likformigheten vid packning
- Typ av undergrund

För att utforma ett lämpligt packningsförfarande ska en försökspackning utföras på plats med det material och det packningsredskap som ska användas. Vid försöket fastställs bl.a. tjockleken på lagerna vid utläggning och hur många överfarer som behövs för att erhålla rätt bärighet. Vid utläggning av kohesionsmaterial ska lagerna läggas i fall så att tillräcklig vattenavrinning kan ske. Marken där fyllnadsmaterialet ska läggas ut ska vara ostörd och dränerad. För att förhindra att fyllnadsmaterialet blandas med marken ska fiberduk eller annat avskiljande lager användas.

2.4.1.3 Kontroll av fyllnadsmaterial

I detta kapitel har EN 1997-1:2004 (2004), *Eurocode 7 - Geotechnical design - Part 1: General rules*, använts.

Försök ska utföras på fyllnadsmaterialet för att säkerställa att tillräcklig bärighet kan erhållas genom packning. Försök behöver inte utföras på vissa typer av material och packningsförfarande som genom fältförsök eller tidigare erfarenhet har visat sig uppfylla kraven. Försök för att kontrollera packningen ska utföras med en av följande metoder:

- Mätning av den torra densiteten och ev. vatteninnehåll.
- Mätning av egenskaper som t.ex. styvhet. Denna typ av mätning klargör dock inte alltid om tillräcklig packning har skett i kohesionsmaterial.

Den lägsta densiteten för fyllningen ska anges och kontrolleras på plats.

2.4.2 ATB VÄG 2005

I detta kapitel beskrivs vad ATB VÄG 2005 anger för krav vid packning. Beskrivningen bygger på Vägverket (2005), *ATB VÄG 2005*, kapitel E.

ATB VÄG 2005 är en allmän teknisk beskrivning som innehåller Vägverkets krav på byggnad, underhåll och bärighetsförbättring av vägobjekt.

Innan överbyggnaden ska påföras ger ATB följande generella krav på en jordterass:

- den ska ha föreskriven nivå
- den ska ha föreskriven bärighet så att påförda överbyggnadsmassor kan packas till angivna bärighetskrav.
- den ska klara byggtrafik när överbyggnadens lager läggs ut utan att deformeras
- den ska ha sådan lutning att vattensamlingar inte kan bildas på ytan

För att kontrollera att de ställda kraven på terrassen är uppfyllda används ATB VÄG kapitel A avsnitt "kontroll" samt statisk acceptanskontroll. Enligt ATB VÄG 2005 kan andra kontrollmetoder användas under förutsättning att de är validerade. Kontroll får dock inte utföras under tjälade förhållande. Om tjäle har inträffat ska kontrollen skjutas upp till den kan utföras på otjälade förhållande. Kontrollobjekt som blivit underkända i kontrollen ska åtgärdas och sedan på nytt testas enligt statisk acceptanskontroll. I vissa fall kan även en godkänd kontroll behöva göras om, se tabell 4 och 5.

Tabell 4 Krav på förnyad kontroll av accepterad lageryta. (Vägverket 2005, kapitel E)

	Efter mellanliggande tjälningssäsong	Efter trafikering, eller vid misstanke om nedkrossning	Efter justering
Nivå-kontroll	Ja	Ja	Ja
Bärighets-kontroll	Ja	Nej	Nej
Material-kontroll	Nej	Ja	Ja, för bärlager Nej, för övriga material

Tabell 5 Ej tillåtna förändringar inom ett kontrollobjekt. (Vägverket 2005, kapitel E)

Krav på	Otillåten förändring
Bärighet/packning	Byte av konstruktion
Material	Byte av leverantör eller täkt

Kontroll av bärigheten på terrassen delas upp i krav på bärighet vid nybyggnad av flexibel konstruktion samt styv konstruktion. Kontrollen kan ske enligt statisk acceptansk kontroll alternativt yttäckande acceptansk kontroll. Kontroll av bärigheten med statisk acceptansk kontroll utförs med statisk plattbelastning, och kontroll med yttäckande acceptansk kontroll utförs med statisk plattbelastning samt yttäckande packningskontroll. Vid statisk acceptansk kontroll får andra metoder än statisk plattbelastning användas, t.ex. tysk lätt fallvikt, om de ger likvärdiga resultat. ATB anger råd på bärighet på olika avstånd under det obundna bärlagrets överyta. Om dessa råd följs är det större sannolikhet att bärighetskraven längre upp i konstruktionen uppfylls.

För att erhålla bästa möjliga packningsresultat vid packning av blandkorniga och finkorniga jordar bör dessa packas nära den optimala vattenkvoten. Den optimala vattenkvoten kan bestämmas med ”tung instampning”. När det finns risk för frysning av jorden anger ATB att:

- Packning bör utföras så snart som möjligt efter utbredning av massor.
- Tyngre packningsredskap än vad som normalt används bör väljas.
- Massor med hög vattenkvot bör undvikas.

När risk för regn föreligger skall utlagda massor packas omedelbart med slätvals och överytan läggas i lutning. Arbetet skall avbrytas helt då det är regnig väderlek. Innan nya massor påförs ska de som utsatts för regn ges tid att torka.

Vid fyllning av underbyggnad skall stubbar, vegetation och jord med organsikt innehåll med mer än 6 viktprocent avlägsnas till minst 2 m under färdig väg, dock alltid minst 1 m under terrassen och inom en linje som har en lutning 1:1 från vägbankanten. När fyllningsmaterialet läggs ut skall det bästa materialet ur bärighetssynpunkt läggas överst i fyllningen.

3. Försöksmetodik

Provtagningar har utförts på lerhaltiga jordmaterial för att undersöka om det råder några typiska samband mellan MCV och några vanligt förekommande geotekniska parametrar.

Fältförsök har utförts på nybyggnationen av väg E20, delen Lundsbrunn-Holmestad, som ligger ca 150 km nordöst om Göteborg.

Fältförsöken har utförts för att få fram värden på odränerad ostörd skjuvhållfasthet, skrymdensitet, torrdensitet, vattenkvot samt bärighet på jorden. I fält togs även jordmaterial upp som använts vid laboratorieförsöken.

Provpunkterna i fält begränsades till tre sektioner, 3/500, 6/800 och 7/100, och till att ha en yta av ca 1*1 meter.

Laboratorieförsök har utförts på VTC Västs laboratorium i Gunnilse, Skanska Tekniks laboratorium i Göteborg samt Skanska Tekniks laboratorium i Malmö. Försöken har utförts för att få fram värden på MCV, vattenkvot, störd skjuvhållfasthet och plasticitetsindex.

3.1 Fältförsök

Fältförsöken har utförts vid tre olika platser i väglinjen (se bilaga A). På punkt 200-204 vid sektion ca 3/500 utfördes försöken på halvfast lerhaltig bankfyllning (se bilaga B), på punkt 1-9 vid sektion 6/800 utfördes försöken på fast naturligt lagrad lerhaltig jord i skärning (se bilaga C) och på punkt 11-14 vid sektion 7/100 utfördes försöken på lös lerhaltig bankfyllning (se bilaga D).

Försöksmetoderna som använts är isotopmätning, lätt fallvikt samt vingförsök med dansk vinge. Samtliga försök har utförts vid varje provpunkt. Resultaten finns bifogade, sektion 3/500 i bilaga E, sektion 6/800 i bilaga F och sektion 7/100 i bilaga G.

3.1.1 Isotopmätning

Isotopmätning har utförts med isotopmätare CPN MC-3. Mätningen har utförts med direkt transmissionsmätning.

Provpunkten jämnades först till om så behövdes. Därefter gjordes ett hål för strålkällan. Strålkällan fördes sedan ner till ca 25 cm djup (se figur 17). Sedan startades mätningen som pågick i 2 minuter varefter värden på skrymdensiteten, torrdensiteten samt vattenkvoten erhöles enligt kapitel 2.3.5. För att slippa kalibrera isotopmätaren vid varje provpunkt då jordarten varierade mellan provpunkterna har vattenkvoten beräknats genom laboratorieförsök varefter även torrdensiteten kunde räknas ut.



Figur 17 Nedförning av strålkällan.

3.1.2 Lätt fallvikt

Efter mätning med isotopmätaren utfördes försök med tysk lätt fallvikt för att få fram värden på bärligheten, Evd.

Den lätta fallvikten placerades på det plana underlaget och fallviktens dator kopplades in (se figur 18). Först fick fallvikten falla 3 gånger, därefter ytterligare 3 gånger då datorn registrerade nedsjunkningen vid varje fall. Utifrån de registrerade värdena räknade sedan datorn ut bärligheten, Evd.



Figur 18 Tysk lätt fallvikt med inkopplad fältdator.

3.1.3 Vingförsök

Försöken har utförts med dansk vinge, som är en förenklad vingsonderingsmetod för att med handkraft kunna utföra vingförsök i fält. Försöken utfördes på två punkter på ca 0,5 m radie från punkten där försök med lätt fallvikt utförts. Fältvingen fördes ner ca 25 cm djup varefter den roterades med jämn hastighet tills brott inträffade. Roteringen utfördes med hjälp av en momentnyckel som registrerade det högsta momentet. Skjuvhållfastheten kunde sedan räknas ut enligt ekvation 11 som är en framtagen formel som endast gäller för dansk vinge.

$$\tau_v = M_{\max} \cdot 23,8[kPa] \quad (\text{Bengtsson J}) \quad (11)$$

τ_v = den ostörda jordens skjuvhållfasthet

M_{\max} = det maximala momentet registrerat av momentnyckeln.

3.1.4 Provmassor

Efter försöken grävdes ca 10 kg av jordmaterialet upp vid varje provpunkt och plomberades i plastsäckar för senare användning vid laborieförsök.

3.2 Laborieförsök

Laborieförsök har utförts för att få fram värden på MCV, plasticitetsindex, störd skjuvhållfasthet och vattenkvot. Följande utrustning har använts vid försöken.

- MCA (Moisture Condition Apparatus), modell ELE 1080/R01
- Våg med 0,1 g noggrannhet, modell Mettler PM30, kalibrerad 07-04-24
- Ugn, Memmert
- Digitalt skjutmått med 0,01 mm noggrannhet.
- Press
- Kraftgivare

3.2.1 MCV-försök

MCV-försök har utförts på jordmaterial från varje provsektion. Sammanställningar på MCV-resultaten finns bifogat, sektion 3/500 i bilaga H, sektion 6/800 i bilaga I och sektion 7/100 i bilaga J.

Cirka två kilo av jordmaterialet plockades ut från de plomberade säckarna. Materialet delades ner i mindre bitar med hjälp av kniv och därefter finfördelades det ner för hand i en skål för att säkerställa att inga partiklar > 20 mm kom med (se figur 19).



Figur 19 Finfördelning av jordmaterial.

Efter att materialet finfördelats vägdes 1500 g upp i MCV-apparatens provcylinder (se figur 20).



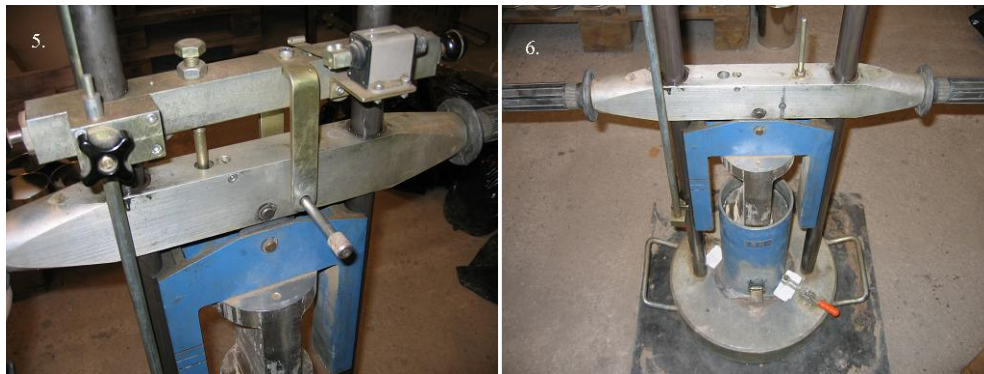
Figur 20 Invägning av jordmaterial till MCV-försök.

Efter invägningen spändes cylindern fast vid MCV-apparatens bottenplatta och en fiberplatta placerades ovanpå jordmaterialet för att förhindra utträngning av materialet mellan provcylindern och fallvikten (se figur 21).



Figur 21 Inspänning av provcylindern samt placering av fiberplattan.

Därefter drogs låssprinten ut och fallvikten släpptes försiktigt ner på provet och fick sedan vila på provet tills den vertikala deformationen avstannat (se figur 22).



Figur 22 Frigörning av låssprinten och vertikal deformation genom egentynghden av fallvikten.

Efter att deformationen avstannat nollställdes räkneverket och fallhöjden justerades till 250 mm (se figur 23). Därefter lyftes fallvikten upp till sitt översta läge där den automatiskt frigjordes och föll ner på provet och avläsning på nedtryckningen kunde göras med hjälp av digitalt skjutmått (se figur 23). Deformationerna antecknades i protokoll enligt bilaga K.



Figur 23 Nollställning av räkneverk (bild 7). Justering av fallhöjd (bild 8-9). Avläsning av nedtryckning (bild 10).

Efter varje fall på provet kontrollerades att fallhöjden var 250 mm. Fallvikten släpptes på provet och avläsning gjordes tills ingen ytterligare deformation inträffade. När deformationerna hade avstannat höjdes fallvikten och låssprinten sattes i. En cylinder för uttryckning av provet ställdes på vågen som nollställdes (se figur 24). Cylindern placerades sedan på MCV-apparatens bottenplatta (se figur 24). Provcylinderns bottenplatta frigjordes och provcylindern placerades därefter ovanpå den andra cylindern (se figur 24). Låssprinten togs bort och fallvikten sänktes ner på provet och därefter trycktes provet ut från provcylindern ner i den undre cylindern. Fiberplattan togs bort från provet och provkroppen vägdes (se figur 24). Efter vägningen plomberas provkroppen i en plastpåse för eventuellt senare försök i press samt siktning.



Figur 24 Nollställning av cylinder för uttryckning av provkropp (bild 11). Placering av cylindern på MCV-apparatens bottenplatta (bild 12). Frigörning av bottenplattan på provcylindern (bild 13). Placering av provcylindern på cylindern för uttryckning (bild 14). Borttagning av fiberplattan på provkroppen (bild 15). Invägning av provkroppen efter försök (bild 16).

För att få en direkt jämförelse mellan MCV och vattenkvoten för en specifik jordart valdes en provpunkt ut som genom okulär bedömning avgjordes som mest homogen. Enligt beskrivning ovan finfördelades ca 7 kg av jordmaterialet. Det första MCV-försöket utfördes vid naturlig vattenkvot. Det resterande jordmaterialet placerades sedan i tunna skikt i plåtformar och fick torka i rumstemperatur (se figur 25) och försök utfördes sedan med ca 2 timmars mellanrum för kontroll av MCV vid olika vattenkvoter för en och samma jordart.



Figur 25 Torkning av jordmaterial i rumstemperatur.

3.2.2 Tryckförsök

Enkelt tryckförsök har utförts på MCV-provkropparna från sektion 6/800 och 7/100. Försöken har utförts av Jim Bengtsson, Skanska, i Malmö för att få fram värden på den störda odränerade skjuvhållfastheten.

MCV-provkropparna placerades i pressen (se figur 26) varefter tryckstämpeln justerades in så att den tangerade provkroppen. Sedan pressades provkroppen av stämpeln med konstant hastighet tills dess att brott inträffade (se figur 27). Vertikalkraften samt den vertikala deformationen registrerades. Den odränerade störda skjuvhållfastheten räknades sedan ut enligt ekvation 5. Resultaten från försöken kan ses i bilaga L.



Figur 26 Press



Figur 27 Brott på MCV-provkroppen.

3.2.3 Konflytgräns

Konflytgränsen har bestämts för jordmaterialet från sektion 3/500. Konflytgränsen behövs för beräkning av plasticitetsindex. Resultaten från försöken finns bifogat i bilaga M.

Ett delprov på ca 100 g togs ut och rördes noggrant om tills det blev en jämn massa. I de fall jordmaterialen var fasta fick destillerat vatten tillsattas för att få rätt konsistens på blandningen. Efter noggrann omrörning i blandningsskålen jämnades provet av jäms med ovankanten på skålen (se figur 28).



Figur 28 Finfördelning och tillsättning av vatten (bild 1). Blandning till en homogen massa i blandningsskålen samt avjämning (bild 2).

Efter avjämning placerades skålen mitt under fallkonapparaten med 60g - 60° - konen. Konen sänktes ner tills den tangerade provet (se figur 29).



Figur 29 Tangering av 60g - 60° -konen med provet.

Därefter frigjordes konen som gjorde ett intryck i provet. Om intrycket inte låg i intervallet 7-14,9 mm justerades vattenkvoten tills intrycket hamnade i rätt intervall. När intrycket låg i rätt intervall rördes provet om på nytt och nytt försök utfördes. Då intrycket var samma vid två försök efter varandra togs ett prov ut från mitten av blandningsskålen. Provet vägdes och vikten antecknades.

Efter torkning av proverna kunde vattenkvoten som provet hade vid konförsöket räknas ut. Enligt formel beskriven i kapitel 2.2.3 kunde sedan konflytgränsen räknas ut.

3.2.4 Plasticitetsgräns

I samband med att konflytgränsen bestämdes togs även ett prov på ca 20 g ut från det omrörda provet för bestämning av plasticitetsgränsen som behövs för beräkning av plasticitetsindex.

Provet delades upp i två lika stora delar på ca 10 g vardera (se figur 30).



Figur 30 Uppdelning av prov för bestämning av plasticitetsgränsen.

Det ena provet knådades ihop till en homogen massa. Om provet hade klibbig konsistens torkades det först i en mikrovågsugn tills det hade icke-klibbig konsistens. Provet rullades sedan ut med jämnt tryck med handflatorna på ett vanligt papper tills dess diameter var 3 mm (se figur 31). Därefter knådades provet åter igen ihop till en homogen klump och rullades ut. Detta återupprepades ungefär fem gånger tills dess att det inte gick att rulla provet till en 3 mm tjock tråd utan att den sprack (se figur 31). När det inträffade samlades provet ihop och vägdes och placerades sedan i ugnen för torkning. Samma procedur upprepades för den andra halvan av provet.

Plasticitetsgränsen kunde sedan bestämmas som medelvärdet på vattenkvoterna som proven hade då de inte gick att rulla dem till en 3 mm tjock tråd.



Figur 31 Utrullning till en 3 mm tjock tråd (bild 1). Söndersprucket prov vid utrullning (bild 2).

Resultaten från plasticitetsgränsförsöken samt beräkning av plasticitetsindex finns bifogat i bilaga N.

4 Analys

Analys har gjorts för att klargöra om det finns några samband mellan MCV och de geotekniska parametrar som har bestämts genom fält- och laborieförsök. Kontroll av samband har utförts mellan MCV-vattenkvot, MCV-skjuvhållfasthet, MCV-plasticitetsindex, MCV-luftporhalt samt mellan MCV-Evd.

4.1 MCV-vattenkvot

Enligt tidigare utförda undersökningar (Malmborg 1992) finns det linjära samband mellan MCV och vattenkvoten för specifika jordarter, där MCV ökar då vattenkvoten minskar. Kontroll utfördes för att se om det fanns generella samband eller om samma samband rådde, även för de i denna undersökning testade jordmaterialen. Först jämfördes MCV med vattenkvoten, oberoende av jordarten, vid alla provpunkter (se diagram 1).

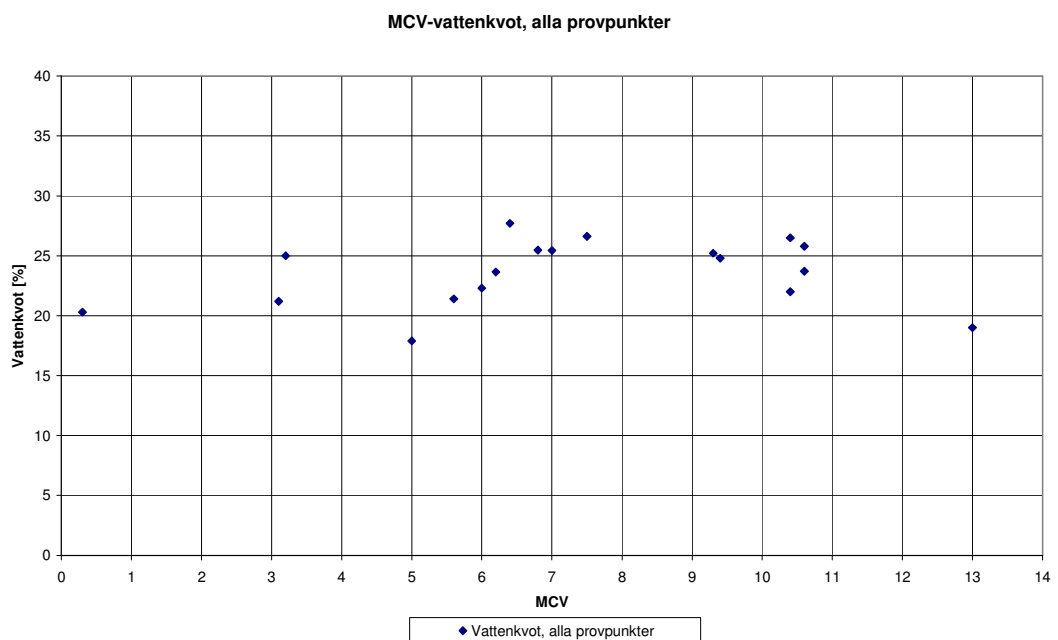


Diagram 1 Jämförelse mellan MCV och vattenkvoten för alla provpunkter.

Som kan ses i diagrammet går det inte att urskilja ett generellt samband. För att avgöra om jordarten är direkt kopplad till MCV även för de jordarter som ingår i denna studie utfördes MCV-försök på jordmaterial från provpunkt 204 vid olika vattenkvoter (se diagram 2). Jordarten i punkt 204 har bestämts okulärt till le si Sa.

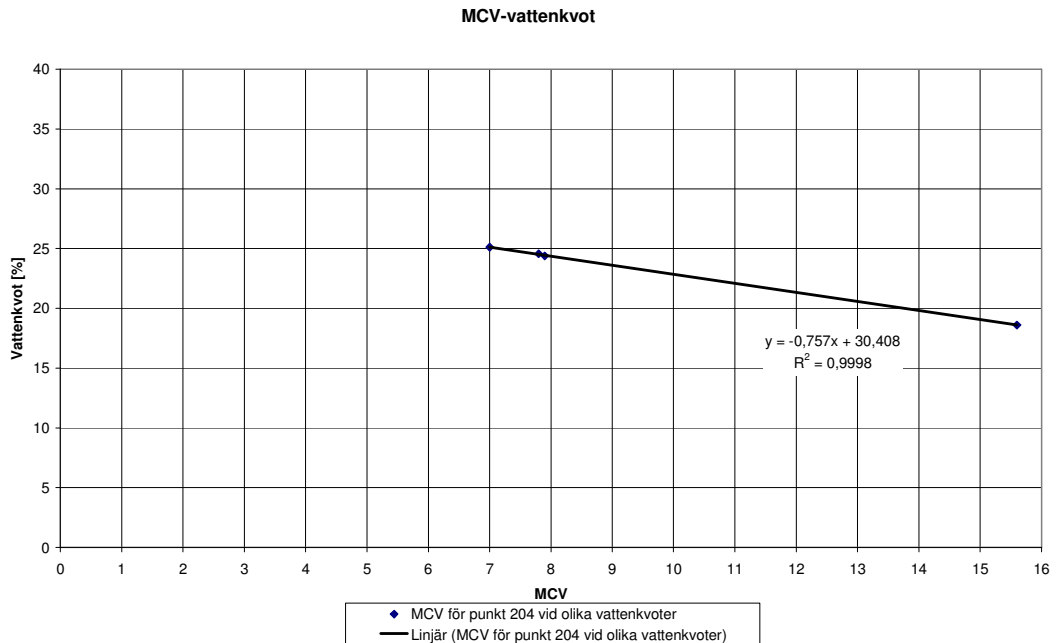


Diagram 2 Jämförelse mellan MCV och vattenkvot för le si Sa.

Här ses ett tydligt linjärt samband mellan MCV och vattenkvoten, helt i linje med vad tidigare undersökningar kommit fram till. Mest troligt är att även de andra jordarterna som ingått i denna studie påvisar linjära samband.

4.2 MCV-skjuvhållfasthet

Jämförelse har gjorts mellan MCV och skjuvhållfastheten, erhållen genom fältförsök med dansk vinge, samt den störda skjuvhållfastheten, erhållen genom enaxliga tryckförsök på MCV-provkroppen. Tidigare undersökningar av samband mellan MCV och den störda skjuvhållfastheten, erhållen genom enaxliga tryckförsök, visar att det finns exponentiella samband, där skjuvhållfastheten ökar exponentiellt då MCV ökar (Holmén 2007). För att kontrollera om det finns generella samband eller om samma samband även finns för de jordarter som ingått i denna studie gjordes först en jämförelse mellan MCV och skjuvhållfasthet, erhållen från dansk vinge, för provpunkter med varierande jordart (se diagram 3).

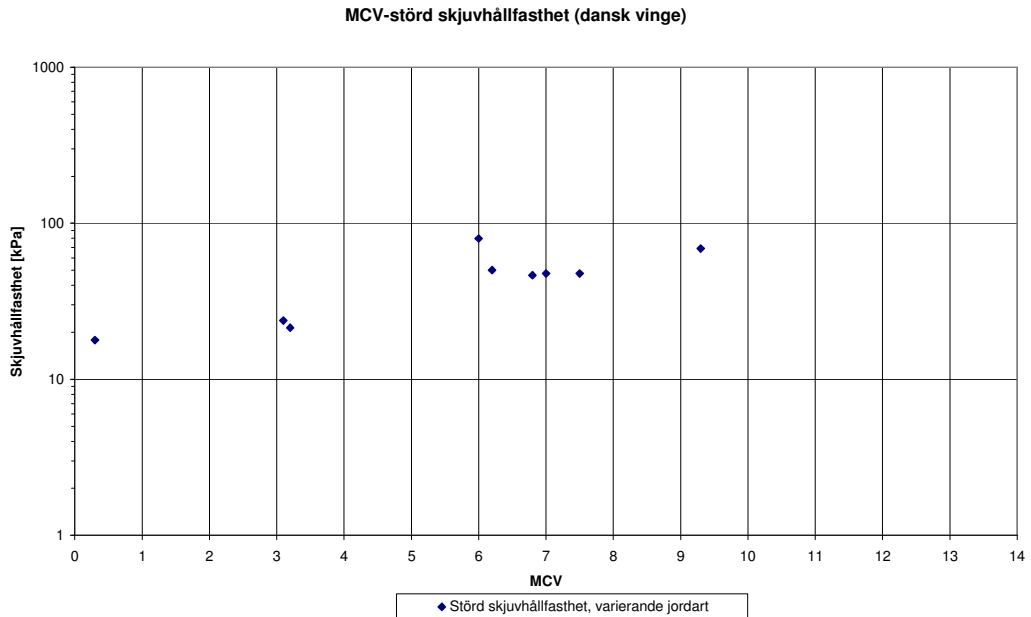


Diagram 3 Jämförelse mellan MCV och störd skjuvhållfasthet, erhållen från dansk vinge, för provpunkter med varierande jordart.

Det finns tendens till ett exponentiellt samband mellan MCV och skjuvhållfastheten erhållen från dansk vinge för punkter med varierande jordart men för att säkert kunna avgöra detta behövs en mer omfattande studie med fler mätvärden. Men mest troligt är att även skjuvhållfastheten från dansk vinge har ett jordartsspecifikt, exponentiellt, samband till MCV. För att kontrollera detta samband gjordes en jämförelse mellan MCV och skjuvhållfastheten erhållen från dansk vinge för punkter med samma jordart (se diagram 4).

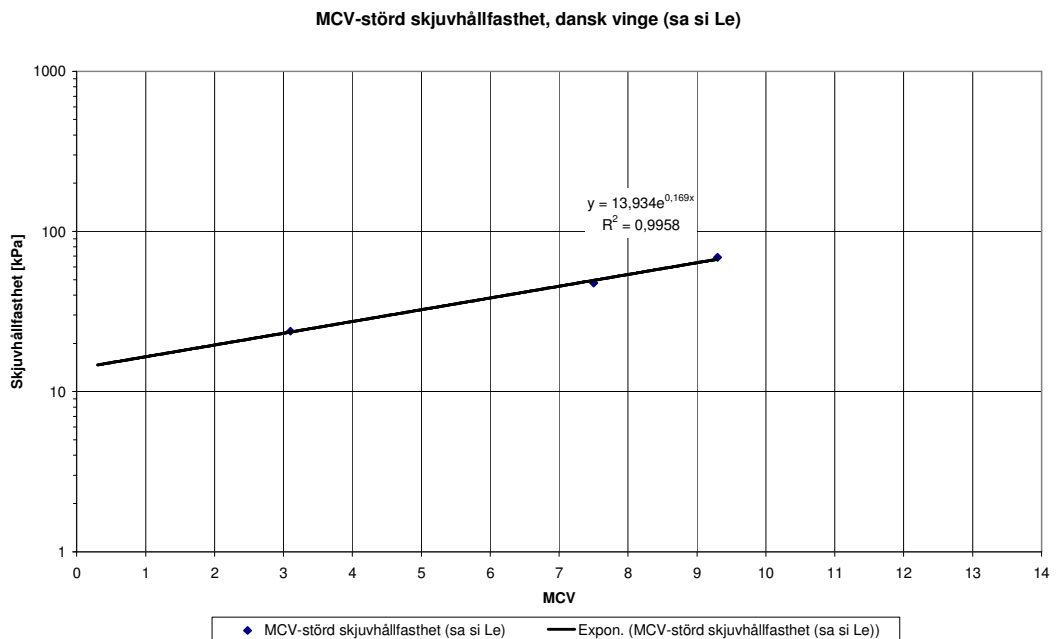


Diagram 4 Jämförelse mellan MCV och ostörd skjuvhållfasthet för sa si Le.

I detta fall finns ett tydligt exponentiellt samband. Detta tyder på att de samband, som i tidigare studier av samband mellan MCV och skjuvhållfasthet erhållen från enaxliga tryckförsök, även finns för skjuvhållfasthet erhållen från dansk vinge.

För att kontrollera om samma samband råder vid jämförelse mellan MCV och den störda skjuvhållfastheten, erhållen från enaxliga tryckförsök på MCV-provkroppen, gjordes först en analys på punkter med varierande jordarter (se diagram 5).

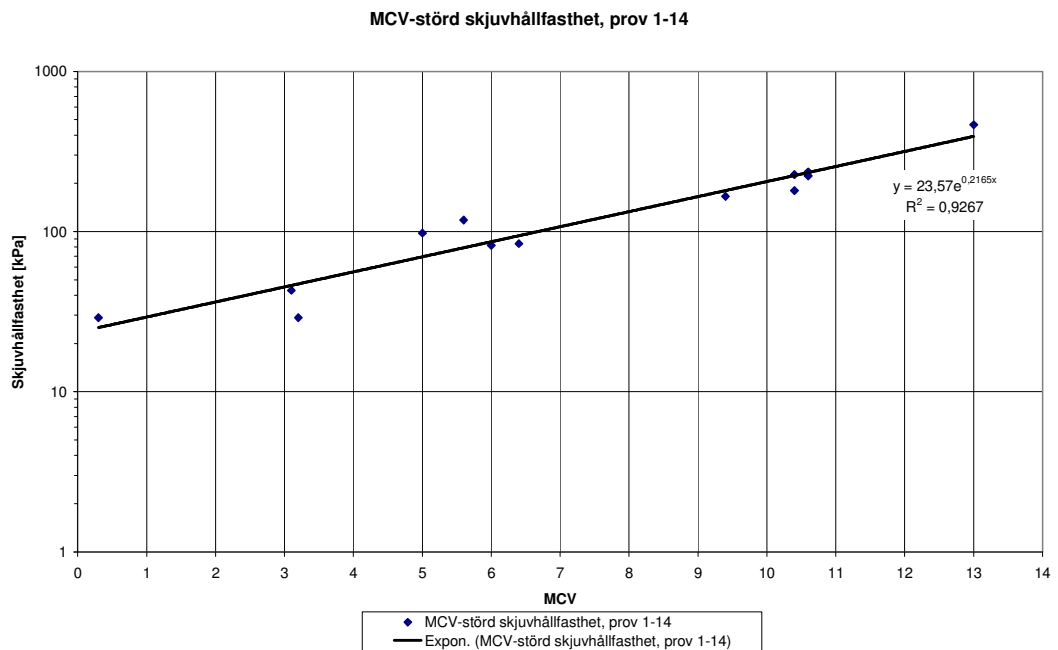


Diagram 5 Jämförelse mellan MCV och störd skjuvhållfasthet för provpunkter med varierande jordart.

Tendens till samband finns mellan MCV och den störda skjuvhållfastheten oberoende av jordarten. För att med säkerhet kunna avgöra om det finns ett samband måste mer omfattande undersökningar utföras. För att avgöra om sambandet är kopplat till jordarten, vilket är mest troligt, har en jämförelse gjorts för punkter med en och samma jordart (se diagram 6).

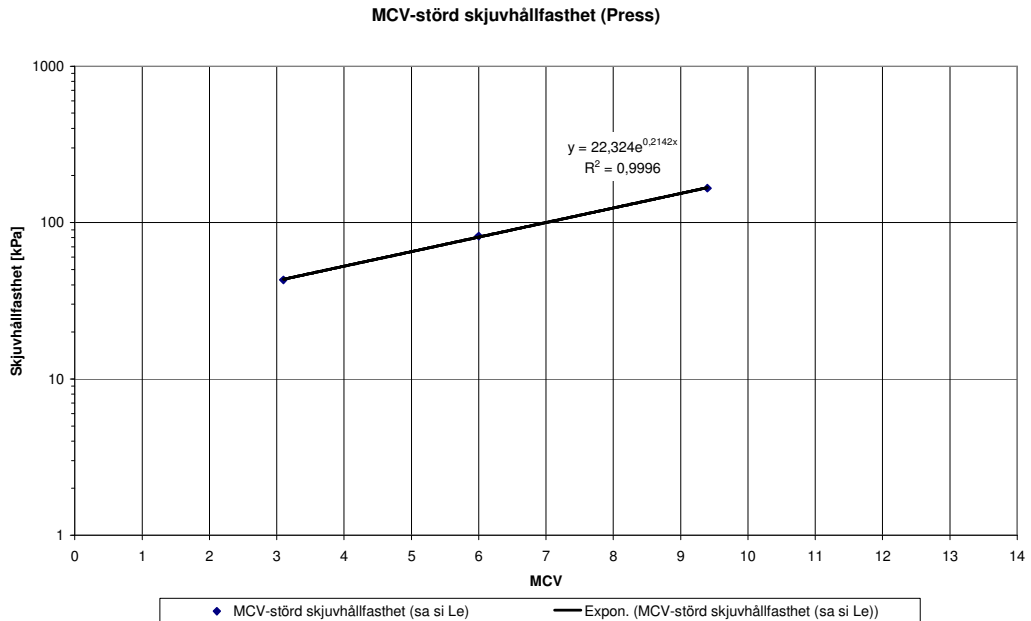


Diagram 6 Jämförelse mellan MCV och störd skjuvhållfasthet för sa si Le.

Här ses ett tydligt exponentiellt samband, vilket även tidigare studier (Holmén 2007) på andra jordarter visat. För att med säkert kunna säga vilka samband som råder behövs dock en utförligare undersökning.

4.3 MCV-plasticitetsindex

En jämförelse har gjorts mellan MCV och plasticitetsindex på jordmaterial från punkt 200-203 vid sektion 3/500 (se diagram 7). Jordarten för dessa punkter har genom okulärbedömning bestämts till sa si Le och si sa Le. Plasticitetsindex har bestämts enligt kapitel 2.2.4.

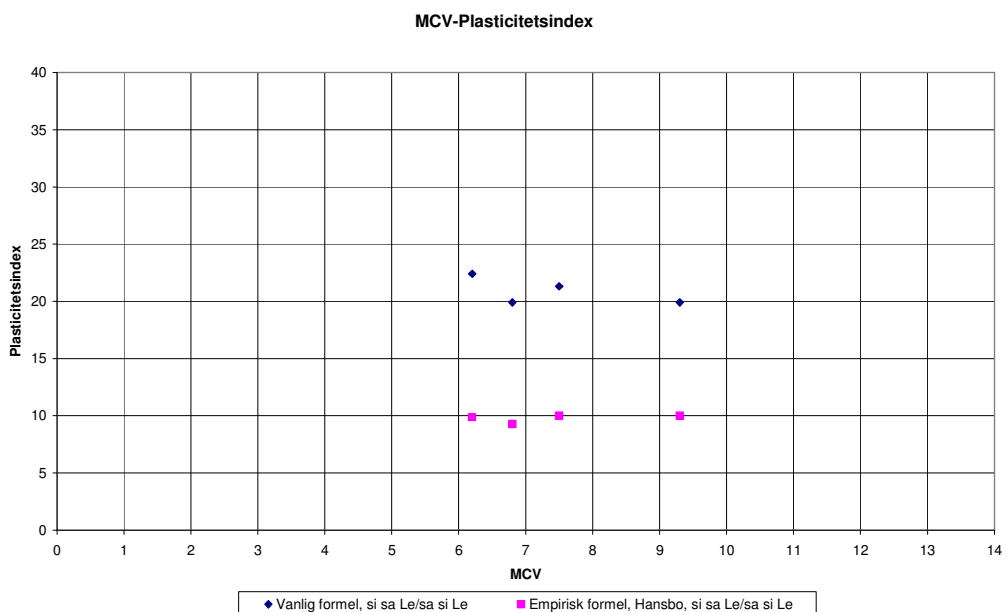


Diagram 7 Jämförelse mellan MCV och plasticitetsindex uträknat från traditionell formel samt empirisk formel enligt Hansbo.

Det går inte att avgöra om något samband råder utan att utföra en mer omfattande undersökning. En trolig orsak till spridningen kan vara att en liten jordmängd används vid bestämning av konflytgränsen och plasticitetsgränsen. Således kan även här variation av jordarten inom hela provtagningsvolymen för provpunkten ha stor inverkan. Som kan ses i diagrammet ger den empiriska formel som använts i denna studie inte överrensstämmande värden med de värden som räknats fram från de erhållna värdena från laborieförsöken.

4.4 MCV-luftporhalt

Sambandet mellan MCV och luftporhalt har analyserats för att undersöka om det råder några generella eller jordartsspecifika samband. Först har en jämförelse gjorts för alla provpunkter (se diagram 8).

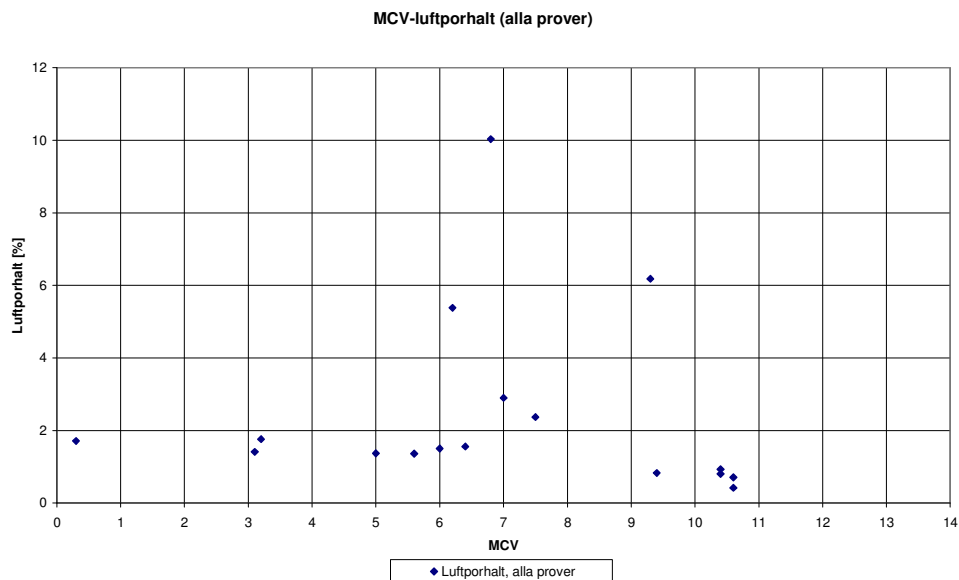


Diagram 8 Jämförelse mellan MCV och luftporhalten för alla proverpunkter.

Det är stor spridning av värdena och inget samband går att utläsa. För att kontrollera om sambandet är kopplat med jordarten har en jämförelse gjorts mellan MCV och luftporhalten på jordmaterial från provpunkter med en och samma jordart (se diagram 9).

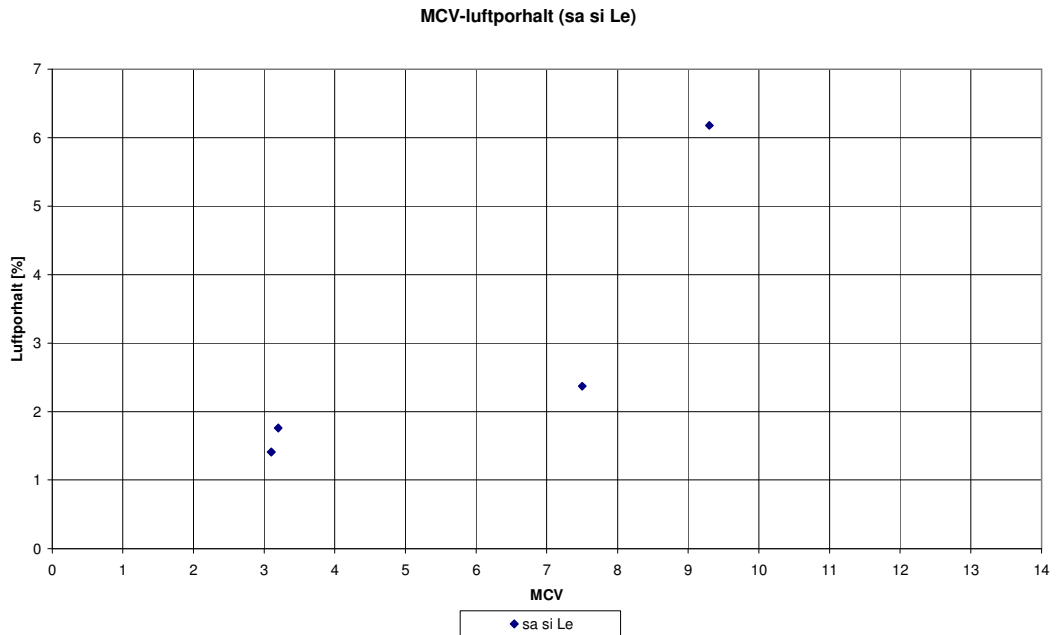


Diagram 9 Jämförelse mellan MCV och luftporhalten för sa si Le.

Det är stor spridning av värdena även i detta fall vilket tyder på att det varken finns något generellt eller jordartsspecifikt samband mellan MCV och luftporhalt. För att med säkerhet kunna avgöra huruvida det råder ett samband eller inte behöver en mer omfattande undersökning utföras där fler provpunkter ingår i studien.

4.5 MCV-Evd

Jämförelse har även gjorts mellan MCV och Evd (se kapitel 2.3.4) för att undersöka om det finns ett generellt samband eller jordartsspecifika samband. Jämförelse gjordes först mellan MCV och Evd för alla provpunkter (se diagram 10).

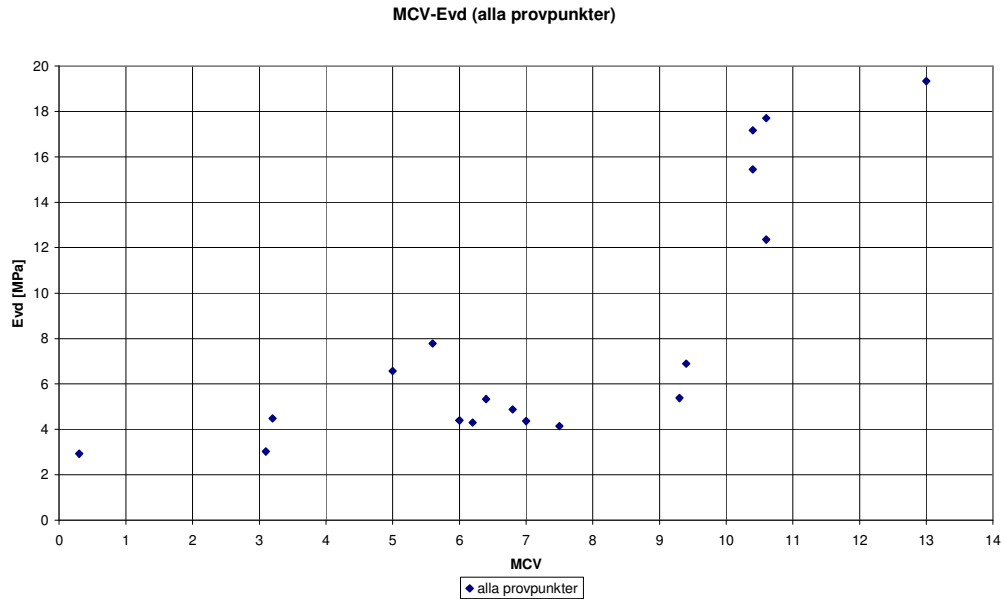


Diagram 10 Jämförelse mellan MCV och Evd för alla provpunkter.

Det är stor spridning på värdena och det går inte att utläsa något linjärt samband. Detta tyder alltså på att det inte finns något generellt samband för alla jordarter. Jämförelse har gjorts mellan MCV och Evd för ett antal punkter med samma jordart för att undersöka om sambandet är jordartsspecifikt (se diagram 11).

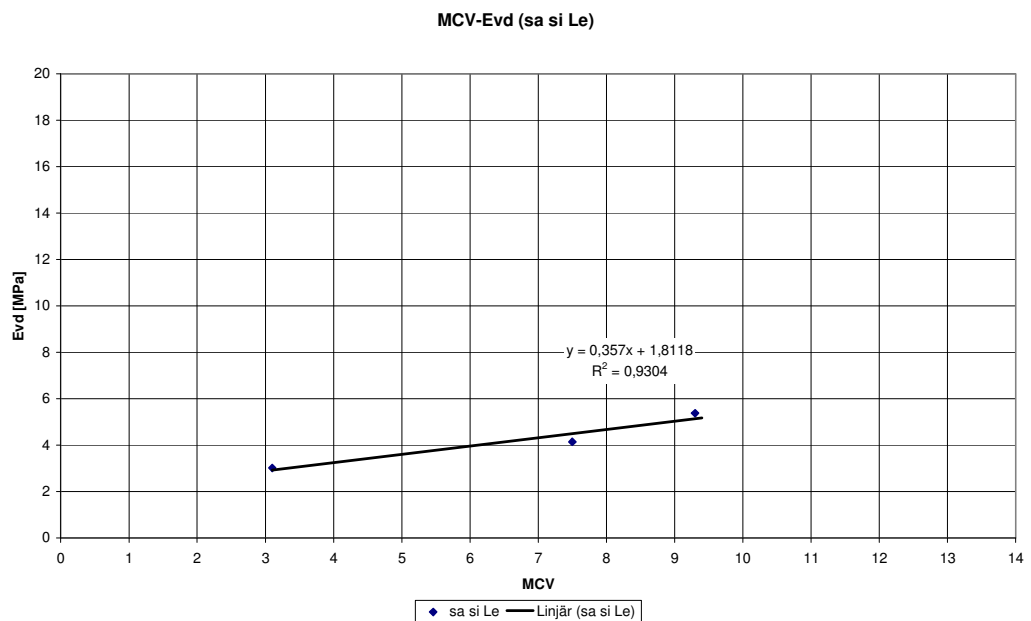


Diagram 11 Jämförelse mellan MCV och Evd för sa si Le.

I detta fall finns en tydlig tendens till att det finns ett jordartsspecifikt linjärt samband. För att med säkerhet kunna säga att samband råder mellan MCV och Evd för varje specifik jordart behövs dock en mer omfattande undersökning med fler mätvärden.

5. Slutsats

Genom analysen har kunnat påvisas att linjära samband råder mellan MCV och vattenkvot. Tydliga tendenser för jordartsspecifika, exponentiella, samband finns mellan MCV och skjuvhållfasthet men det finns även tendenser till att det skulle finnas generella samband. Tendenser för linjära, jordartsspecifika, samband finns mellan MCV och bärigheten, Evd. För att avgöra om samband råder i de fall där tendensen pekar på det, samt om det finns några samband för de övriga geotekniska parametrarna, behöver en utförligare undersökning genomföras med fler mätvärden.

En fortsatt studie bör kontrollera och ta fram samband mellan MCV och geotekniska parametrar för alla jordartstyper. En fortsatt studie bör även kontrollera vilken packningsinsats som krävs i fält för olika värden på MCV samt kontrollera vad olika värden på MCV ger för resultat efter rätt utförd packning. För att kontrollera resultaten efter packning kan försök med lätt fallvikt eller statisk plattbelastning utföras för att få fram vilken bärighet som kan uppnås för de olika värdena på MCV.

Om en fortsatt studie kan påvisa att de finns samband mellan MCV och olika geotekniska parametrar kan man med hjälp av dessa samband underlätta arbetet då ett projekt planeras utifrån en bygghandling. Genom att bygghandlingen anger de geotekniska parametrarna, från en utförd förundersökning, kan dessa direkt kopplas till MCV, som då ger ett värde på packbarheten, och bestämning kan då ske om massorna går att använda eller inte. Det går även att avgöra vilken typ av packningsmaskiner som behöver hyras in samt vilken bärighet som kan uppnås efter rätt utförd packning.

Även arbetet i fält kan komma att underlättas om en fortsatt studie kan påvisa samband. Om de i fält stöter på massor där osäkerhet finns huruvida dessa går att använda eller kommer att uppfylla kraven på bärighet efter packning, så kan enkla försök utföras som ger geotekniska parametrar. Genom att koppla de geotekniska parametrarna till MCV, kan då en bedömning göras huruvida massorna går att använda och om de kommer att uppfylla kraven på bärighet efter rätt utförd packning.

Källförteckning

Bengtsson, J, Skanska Teknik,Handledning 24 april 2007 - 7 juni 2007.

Berggren, B m.fl. (2004), *Packning och packningskontroll av blandkornig och finkornig jord.* (SGF Notat 1:2004). Svenska Geotekniska Föreningen.

Berggren, B m.fl. (2007), *Resultatkontroll genom bestämning av luftporhalt och vattenkvot.* (SGF Notat 2:2007). Svenska Geotekniska Föreningen.

Broms, B m.fl. (1985), *Skjuvhållfasthet.* Geotekniska laboratorieanvisningar, del 9 (Byggforskningsrådet T2:1985), Statens råd för byggnadsforskning.

BS 1377 (1990), *Part 4. Compaction-related tests*, British Standards Institution.

Davidson, L (2000), *Compaction* [www]. Hämtat från <http://environment.uwe.ac.uk>. Hämtat 11 april 2007.

EN 1997-1:2004 (2004), *Eurocode 7 - Geotechnical design - Part 1: General rules*, European Committee for standardization.

Fagerström, H (1973), *Packningsegenskaper.* Förslag till geotekniska laboratorieanvisningar, del 5 (Byggforskningens informationsblad B2:1971 – Reviderad utgåva 1973), Statens institut för byggnadsforskning.

Forssblad, L (2000), *Packning: handbok om packning av jord- och bergmaterial*, AB Svensk Byggtjänst, Stockholm.

Franzén, G (2006), Europastandarder ett onödigt påfund eller en möjlighet. *Bygg & Teknik* (nr 2/06). s. 12-16.

Hansbo, S (1975), *Jordmateriallära*, AWE/Geber, Stockholm.

Holmén, M (2007), *MCV-metoden* [www]. Hämtat från <http://www.swedgeo.se>. Hämtat 11 april 2007.

Karlsson, R (1974), *Konsistensgränser.* Förslag till geotekniska laboratorieanvisningar, del 6 (Byggforskningens informationsblad B11:1974), Statens institut för byggnadsforskning.

Lindh, P (2000), *Soil Stabilisation of Fine-Grained Till Soils.* Lund Institute of Technology.

Malmberg, B (1992), *MCV-metoden för prediktering och kontroll av finkornig jordfyllning*, Tekniska Högskolan i Lund.

Pusch, R (1973), *Densitet, vattenkvot och portal.* Förslag till geotekniska laboratorieanvisningar, del 7 (Byggforskningens informationsblad B5:1973), Statens institut för byggnadsforskning.

SGF (1993), *Rekommenderad standard för vingförsök i fält*, (SGF Rapport 2:93), Svenska Geotekniska Föreningen.

Smith, I.G.N m.fl. (1997), *Field Validation of a Computer Model for Forecasting Mean Weekly in situ Moisture Condition Value* [www]. Electronic journal of geotechnical engineering. Hämtat från <http://www.ejge.com>. Hämtat 11 april 2007.

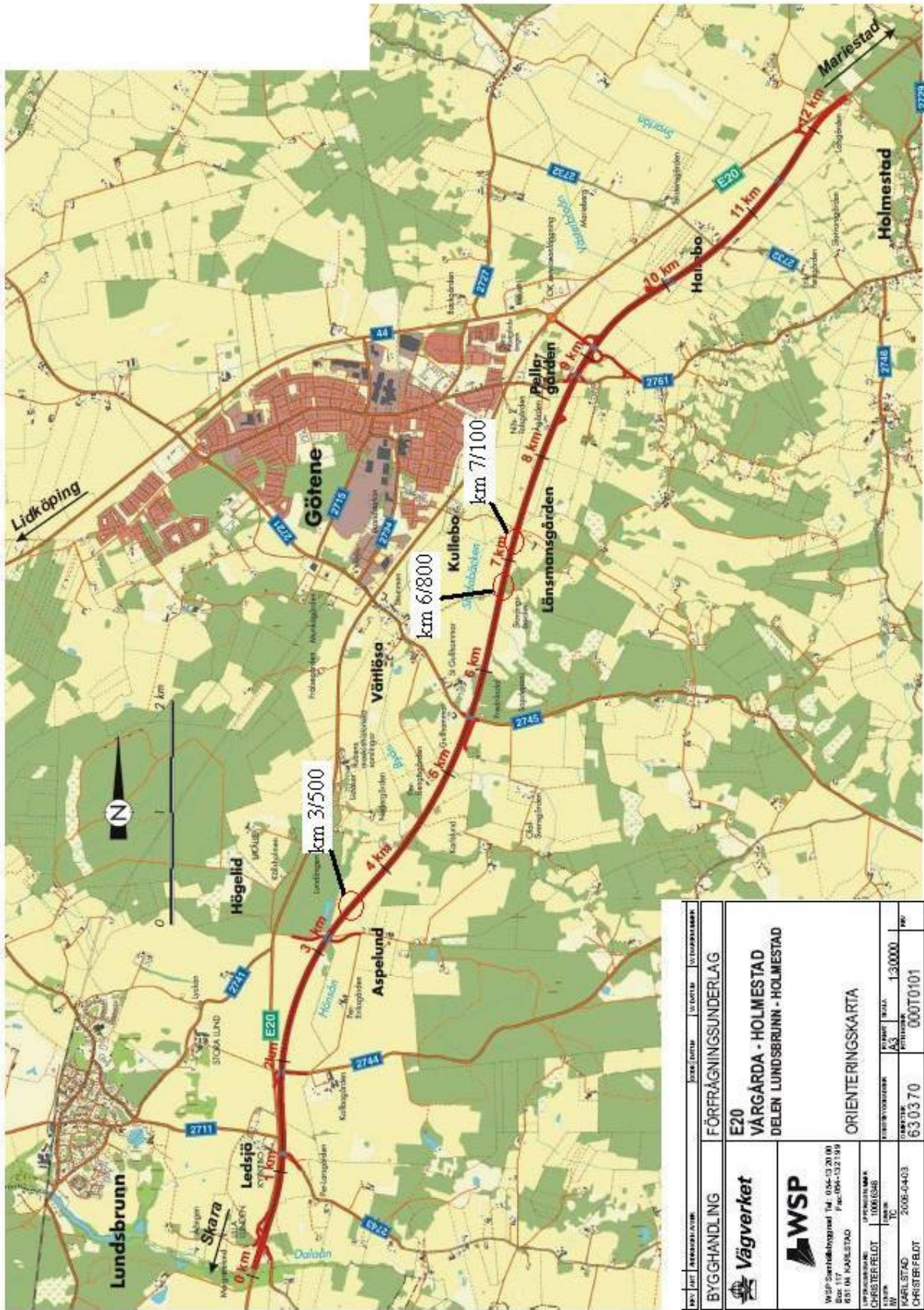
Sällfors, G (2001), *Geoteknik: jordmateriallära, jordmekanik* (3 uppl.). Vasastadens boktryckeri, Göteborg

Troxler (2004), *Enhanced RoadReader Plus, Nuclear Density Gauge – Model 3451* [www]. Hämtat från <http://www.troxlerlabs.com>. Hämtat 10 april 2007.

Vägverket (2005), *ATB VÄG 2005*, (VV Publ. 2005:112), Vägverket.

Vägverket (1993), *Bestämning av bärighetsegenskaper med statisk plattbelastning – Metodbeskrivning 606:1993* [www]. Hämtat från <http://www.vv.se/>. Hämtat 10 april 2007.

Vägverket (1993), *Bestämning av densitet och vattenkvot med isotopmätare – Metodbeskrivning 605:1993* [www]. Hämtat från <http://www.vv.se/>. Hämtat 10 april 2007.



BYGGHANDLING	FÖRFRÅGNINGSUNDERLAG
Vägverket	E20
WSP	VÄRGÅRDA - HOLMESTAD
WSP Sveriges Tekniska Konsult AB Box 117 831 01 MARIESTAD Tel: 0846 32 20 00 Fax: 0846 32 21 00	DELEN LUNDSBRUNN - HOLMESTAD
ORIENTERINGSKARTA	
PROJEKTLEDARE CHRISTER REIJDT 1006 (S28)	
WSP KARLSTAD CHRISTER REIJDT	
2008-04-03	
1:30.000	
63.03 70	000T0101







Fältförsök - E20, Lundsbrunn-Holmestad, km 3/500

Försöksansvarig	Provplats	Utrustning	Datum
Jim Bengtsson, Jonas Fredriksson	Hönsån, ca Km 3/500	Isotopmätare, Lätt fallvikt, Dansk vinge	2007-05-15

Metod	Isotopmätare				Tysk lätt fallvikt		Dansk vinge				Okulärbedömning
	$\rho_{våt}$ [g/cm ³]	w [%]	ρ_{torr} [g/cm ³]	Lp [%]	E_{vd} [MPa]	S [mm]	$M_{max 1}$ [Mkp]	$M_{max 2}$ [Mkp]	$M_{max, medel}$ [Mkp]	$\tau_v = M_{max} \cdot 23,8$ [kPa]	
Provpunkt											Jordart
200	1,92	26,61	1,52	2,37	4,14	5,43	2,0	2,0	2,0	47,6	(sa) si Le
201	1,91	23,64	1,54	5,38	4,29	5,24	1,6	2,6	2,1	50,0	si sa Le
202	1,79	25,47	1,42	10,03	4,87	4,62	2,0	1,9	2,0	46,4	si sa Le
203	1,87	25,22	1,49	6,18	5,38	4,18	3,6	2,2	2,9	69,0	(sa) si Le
204	1,93	25,44	1,54	2,90	4,36	5,16	1,6	2,4	2,0	47,6	le si Sa

Beräkning av den torra densiteten:

$$\rho_{torr} = \frac{\rho_{våt}}{1 + w}$$

ρ_{torr} = torr densitet [g/cm³]

$\rho_{våt}$ = våt densitet, uppmätt i fält [g/cm³]

w = generell vattenkvot

Beräkning av luftporhalten:

$$Lp = 100 \cdot \left(1 - \frac{\rho d}{\rho s} \right) - \frac{w \cdot \rho d}{\rho w}$$

Lp , Luftporhalt

ρd , Jordmaterialets torrdensitet, g/cm³

ρs , Jordmaterialets kompaktdensitet, 2,65 g/cm³

ρw , Vattnets densitet, 1,0 g/cm³

w , Vattenkvot %

Övriga beteckningar:

E_{vd} , Deformationsmodul [MPa]

S , Nedsjunkning [mm]

$M_{max 1}$, Maxmoment första punkten [Mkp]

$M_{max 2}$, Maxmoment andra punkten [Mkp]

$M_{max, medel}$, Medelvärde maxmoment [Mkp]

τ_v , Jordens ostörda skjuvhållfasthet [kPa]

Fältförsök - E20, Lundsbrunn-Holmestad, km 6/800

Försöksansvarig	Provplats	Utrustning	Datum
Jim Bengtsson, Jonas Fredriksson	ca km 6/800	Isotopmätare, Lätt fallvikt, Dansk vinge	2007-05-08

Metod	Isotopmätare				Tysk lätt fallvikt		Dansk vinge				Okulärbedömning
	$\rho_{våt}$ [g/cm ³]	w [%]	ρ_{torr} [g/cm ³]	Lp [%]	E_{vd} [MPa]	S [mm]	$M_{max 1}$ [Mkp]	$M_{max 2}$ [Mkp]	$M_{max, medel}$ [Mkp]	$\tau_v = M_{max} \cdot 23,8 [kPa]$	
Provpunkt											Jordart
1	2,03	22,00	1,66	0,80	15,45	1,46	7,50	6,00	6,75	160,65	si Le, gråbrun
2	1,98	24,80	1,59	0,83	6,89	3,26	3,70	4,20	3,95	94,01	(sa) si Le, grå
3	1,92	27,70	1,50	1,56	5,33	4,06	1,90	3,90	2,90	69,02	si sa Le, gråbrun
4	2,03	21,40	1,67	1,36	7,78	2,89	3,50	3,50	3,50	83,30	si Le, sandskikt gråbrun
5	2,01	23,70	1,62	0,42	17,71	1,27	8,20	5,70	6,95	165,41	Varvig si Le, gråbrun
6	2,11	19,00	1,77	-0,36	19,34	1,16	12,70	11,40	12,05	286,79	Varvig si Le, gråbrun
7	2,09	17,90	1,77	1,37	6,57	3,42	4,40	7,80	6,10	145,18	Sa och Le, grå
8	1,95	26,50	1,54	0,93	17,17	1,31	8,20	5,10	6,65	158,27	Varvig (le) SaMn, mkt fast, grå
9	1,97	25,80	1,56	0,71	12,36	1,82	5,50	3,20	4,35	103,53	(si) Le, mkt fast, grå

Beräkning av den torra densiteten:

$$\rho_{torr} = \frac{\rho_{våt}}{1 + w}$$

ρ_{torr} = torr densitet [g/cm³]
 $\rho_{våt}$ = våt densitet, uppmätt i fält [g/cm³]
 w = vattenkvot från MCV-provkropp

Beräkning av luftporhalten:

$$Lp = 100 \cdot \left(1 - \frac{\rho d}{\rho s} \right) - \frac{w \cdot \rho d}{\rho w}$$

Lp , Luftporhalt
 ρd , Jordmateriallets torrdensitet, g/cm³
 ρs , Jordmateriallets kompaktdensitet, 2,65 g/cm³
 ρw , Vattnets densitet, 1,0 g/cm³
 w , Vattenkvot %

Övriga beteckningar:

E_{vd} , Deformationsmodul [MPa]
 S , Nedsjunkning [mm]
 $M_{max 1}$, Maxmoment första punkten [Mkp]
 $M_{max 2}$, Maxmoment andra punkten [Mkp]
 $M_{max, medel}$, Medelvärde maxmoment [Mkp]
 τ_v , Jordens ostörda skjuvhållfasthet [kPa]

Anmärkning:

Eftersom negativa värden på luftporhalten har erhållits tyder detta på kompaktdensiteten troligen är större än 2,65

Fältförsök - E20, Lundsbrunn-Holmestad, km 7/100

Försöksansvarig	Provplats	Utrustning	Datum
Jim Bengtsson, Jonas Fredriksson	Lösa massor, ca km 7/100	Isotopmätare, Lätt fallvikt, Dansk vinge	2007-05-09

Metod	Isotopmätare				Tysk lätt fallvikt		Dansk vinge				Geosticka	Okulärbedömning
	$\rho_{våt}$ [g/cm ³]	w [%]	ρ_{torr} [g/cm ³]	Lp [%]	E_{vd} [MPa]	S [mm]	$M_{max\ 1}$ [Mkp]	$M_{max\ 2}$ [Mkp]	$M_{max, medel}$ [Mkp]	$\tau_v = M_{max} \cdot 23,8$ [kPa]	Djup till fast lager [m]	Jordart
11	2,01	22,30	1,64	1,50	4,39	5,12	1,90	4,80	3,35	79,73	0,35	sa si Le + sandskikt, lös, grå
12	1,96	25,00	1,57	1,76	4,48	5,01	0,90	0,90	0,90	21,42	0,50	sa si Le, lös, grå
13	2,03	21,20	1,67	1,41	3,02	7,44	1,10	0,90	1,00	23,80	0,40	sa si Le, lös, grå
14	2,04	20,30	1,69	1,71	2,92	7,69	1,00	0,50	0,75	17,85	0,45	si sa Le+ sandskikt, halvfast, gråbrun

Beräkning av den torra densiteten:

$$\rho_{torr} = \frac{\rho_{våt}}{1 + w}$$

ρ_{torr} = torr densitet [g/cm³]
 $\rho_{våt}$ = våt densitet, uppmätt i fält [g/cm³]
 w = vattenkvot från MCV-provkropp

Beräkning av luftporhalten:

$$Lp = 100 \cdot \left(1 - \frac{\rho d}{\rho s} \right) - \frac{w \cdot \rho d}{\rho w}$$

Lp , Luftporhalt
 ρd , Jordmaterialets torrdensitet, g/cm³
 ρs , Jordmaterialets kompaktdensitet, 2,65 g/cm³
 ρw , Vattnets densitet, 1,0 g/cm³
 w , Vattenkvot %

Övriga beteckningar:

E_{vd} , Deformationsmodul [MPa]
 S , Nedsjunkning [mm]
 $M_{max\ 1}$, Maxmoment första punkten [Mkp]
 $M_{max\ 2}$, Maxmoment andra punkten [Mkp]
 $M_{max, medel}$, Medelvärde maxmoment [Mkp]
 τ_v , Jordens ostörda skjuvhållfasthet [kPa]

Sammanställning MCV-försök, km 3/500

Försöksansvarig	Provlokal	Vikt bottenplatta, Nr 1 [g]	Vikt Cylinder, Nr 1 [g]	Vikt fiberplatta, Nr 1 [g]	Total vikt [g]
Jonas Fredriksson	VTC, Gunnilse	1206,1	2695,2	53,7	3955,0
*, Anmärkning		Vikt bottenplatta, Nr 2 [g]	Vikt Cylinder, Nr 2 [g]	Vikt fiberplatta, Nr 2 [g]	Total vikt [g]
Viktminskningen beror på utträngning genom underkant cylinder samt genom sidorna på fiberplattan.		1216,0	2725,6	53,8	3995,4

Prov	Vikt före prov [g]	Vikt efter prov, m_1 [g]	Skillnad före- efter prov [g]	Vikt efter torkning, m_2 [g]	Vattenkvot [%]	MCV	MCV, medel	Nr. bottenplatta, cylinder och	Anmärkning	Okulärbedömning av jordarten
200.1	1499,9	1477,7	22,2		26,61**	7,3	7,5	1	*	(sa) si Le
200.2	1500,0	1478,2	21,8		26,61**	7,6		1	*	(sa) si Le
201.1	1500,1	1471,4	28,7		23,64**	6,5	6,2	2	*	si sa Le
201.2	1500,0	1488,6	11,4		23,64**	5,8		2	*	si sa Le
202.1	1500,1	1478,7	21,4		25,47**	6,8	6,8	1	*	si sa Le
202.2	1499,9	1474,1	25,8		25,47**	6,7		1	*	si sa Le
203.1	1500,0	1488,1	11,9		25,22**	8,6	9,3	2	*	(sa) si Le
203.2	1499,9	1492,0	7,9		25,22**	10,0		2	*	(sa) si Le
204.1	1500,0	1477,6	22,4		25,44**	7,1	7,0	1	*	le si Sa
204.2	1500,0	1481,7	18,3		25,44**	6,9		1	*	le si Sa

204.10	1499,9	1479,6	20,3	1182,6	25,1	7,0		1	*	le si Sa
204.11	1499,9	1482,2	17,7	1191,8	24,4	7,9		1	*	le si Sa
204.12	1500,0	1473,3	26,7	1182,8	24,6	7,8		1	*	le si Sa
204.13	1500,1	1488,9	11,2	1255,4	18,6	15,6		1	*	le si Sa

** , Vattenkvoten ej beräknad på provkropp utan generellt för hela provpunkten

Uträkning vattenkvot:

$$w = \frac{m_w}{m_2} = \frac{m_1 - m_2}{m_2}$$

w , Vattenkvot [%]
 m_w , Vattnets massa [g]
 m_1 , Jordprovets fuktiga vikt [g]
 m_2 , Jordprovets torra vikt [g]

Sammanställning MCV-försök, km 6/800

Försöksansvarig	Provlokal	Vikt bottenplatta, Nr 1 [g]	Vikt Cylinder, Nr 1 [g]	Vikt fiberplatta, Nr 1 [g]	Total vikt [g]
Jonas Fredriksson	VTC, Gunnilse	1206,1	2695,2	53,7	3955,0
*, Anmärkning		Vikt bottenplatta, Nr 2 [g]	Vikt Cylinder, Nr 2 [g]	Vikt fiberplatta, Nr 2 [g]	Total vikt [g]
Viktminskningen beror på utträngning genom underkant cylinder samt genom sidorna på fiberplattan.		1216,0	2725,6	53,8	3995,4

Prov	Vikt före prov [g]	Vikt efter prov [g]	Skillnad före- efter prov [g]	Vikt efter torkning [g]	Vattenkvot [%]	MCV	Nr. bottenplatta, cylinder och	Anmärkning	Okulärbedömning av jordarten
1	1500,0	1466,1	33,9	1201,6	22,0	10,4	1	*	si Le, gråbrun
2	1500,0	1466,3	33,7	1174,6	24,8	9,4	1	*	(sa) si Le, grå
3	1500,1	1450,8	49,3	1136,3	27,7	6,4	1	*	si sa Le, gråbrun
4	1499,9	1470,2	29,7	1210,9	21,4	5,6	1	*	si Le, sandskikt, gråbrun
5	1500,1	1475,0	25,1	1192,7	23,7	10,6	1	*	Varvig si Le, gråbrun
6	1499,9	1480,9	19,0	1244,8	19,0	13,0	1	*	Varvig si Le, gråbrun
7	1500,0	1474,8	25,2	1251,3	17,9	5,0	1	*	Sa och Le, grå
8	1500,0	1473,5	26,5	1164,8	26,5	10,4	1	*	Varvig (le) SaMn, mkt. fast, grå
9	1500,0	1469,2	30,8	1167,6	25,8	10,6	1	*	(si) Le, mkt. fast, grå

Uträkning vattenkvot:

$$w = \frac{m_w}{m_2} = \frac{m_1 - m_2}{m_2}$$

w , Vattenkvot

m_w , Vattnets massa [g]

m_1 , Jordprovets fuktiga vikt [g]

m_2 , Jordprovets torra vikt [g]

Sammanställning MCV-försök, km 7/100

Försöksansvarig	Proviokal	Vikt bottenplatta, Nr 1 [g]	Vikt Cylinder, Nr 1 [g]	Vikt fiberplatta, Nr 1 [g]	Total vikt [g]
Jonas Fredriksson	VTC, Gunnilse	1206,1	2695,2	53,7	3955,0
*, Anmärkning		Vikt bottenplatta, Nr 2 [g]	Vikt Cylinder, Nr 2 [g]	Vikt fiberplatta, Nr 2 [g]	Total vikt [g]
Viktminskningen beror på utträngning genom underkant cylinder samt genom sidorna på fiberplattan.		1216,0	2725,6	53,8	3995,4

Prov	Vikt före prov [g]	Vikt efter prov [g]	Skillnad före- efter prov [g]	Tot. Vikt efter prov [g]	Tot. vikt efter torkning [g]	Vattenkvot [%]	MCV	MCV-medel	Nr. bottenplatta, cylinder och	Anmärkning	Okulärbedömning av jordarten
11.1	1500,0	1475,8	24,2	2954,9	2415,4	22,3	5,5	6,0	1	*	sa si Le + sandskikt, lös, grå
11.2	1499,9	1479,1	20,8				6,5		1	*	
12.1	1500,0	1473,1	26,9	2950,3	2359,6	25,0	2,5	3,2	1	*	sa si Le, lös, grå
12.2	1499,9	1477,2	22,7				3,9		1	*	
13.1	1500,0	1473,9	26,1	2944,3	2430	21,2	2,5	3,1	1	*	sa si Le, lös, grå
13.2	1500,0	1470,4	29,6				3,6		1	*	
14.1	1500,1	1469,7	30,4	2945,1	2447,3	20,3	-	0,3	1	*	si sa Le+sa-skikt, halvfast, gråbrun
14.2	1500,1	1475,4	24,7				0,6		1	*	

Uträkning vattenkvot:

$$w = \frac{m_w}{m_2} = \frac{m_1 - m_2}{m_2}$$

- w , Vattenkvot
 m_w , Vattnets massa [g]
 m_1 , Jordprovets fuktiga vikt [g]
 m_2 , Jordprovets torra vikt [g]

MCV-Bestämning

Försöksansvarig	Datum	Prov	Provlokal
Nummer på cylinder, bottenplatta och fiberplatta samt total vikt [g]			Jordmaterial
Vikt före försök [g]	Vikt efter försök [g]	Vattenhalt [%]	Anmärkning

Antal slag (N)	Avläsning N slag	Avläsning 4N slag	Differens
1			
2			
3			
4			
6			
8			
12			
16			
24			
32			
48			
64			
96			
128			
192			
256			

Sammanställning pressförsök

Försöksansvarig	Provlokal
Jim Bengtsson	Skanska Teknik, Malmö

Prov	Tryckarea [mm ²]	Tryckkraft [N]	Beräknad Skjuvhållf. τ_{fu} [kPa]	Okulärbedömning av jordarten
1	7850	1410	89,8	si Le, gråbrun
2	7850	1300	82,8	(sa) si Le, grå
3	7850	660	42,0	si sa Le, gråbrun
4	7850	930	59,2	si Le, sandskikt, gråbrun
5	7850	1750	111,5	Varvig si Le, gråbrun
6	7850	3640	231,8	Varvig si Le, gråbrun
7	7850	770	49,0	Sa och Le, grå
8	7850	1780	113,4	Varvig (le) SaMn, mkt. fast, grå
9	7850	1850	117,8	(si) Le, mkt. fast, grå
11	7850	640	40,8	sa si Le + sandskikt, lös, grå
12	7850	230	14,6	sa si Le, lös, grå
13	7850	340	21,7	sa si Le, lös, grå
14	7850	230	14,6	si sa Le+sa-skikt, halvfast, gråbrun

Beräkning störd skjuvhållfasthet:

$$\tau_{fu} = \frac{P}{2 \cdot A}$$

τ_{fu} , störd odränerad skjuvhållfasthet [kPa]

P , axiellasten då brott inträffar [kN]

A , provets tvärsnittsarea [m²]

Konflytgräns, km 3/500

Försöksansvarig	Försöksplats	Datum	Utrustning
Jonas Fredriksson	Skanska Laboratorium, Kilsgr. 4	2007-05-23	Falkonapparat, Våg (0,01 g), Ugn (Memmert)

Prov Nr.	1 släpp [mm]	2 släpp [mm]	3 släpp [mm]	Medel	Våt vikt innan konförsök [g]	Torr vikt innan konförsök [g]	Vattenkvot innan konförsök [%]	Våt vikt vid konförsök [g]	Torr vikt vid konförsök [g]	Vattenkvot vid konförsök, w_i [%]	Flytgräns, w_L [%] ($w_L = M \bullet w_i + N$)
200	8,2	8,8	8,9	8,6	48,1	36,8	30,6	47,2	34,6	36,4	39,32
201	8,0	8,8	9,0	8,6	45,0	35,0	28,9	50,0	36,9	35,6	39,17
202	10,5	10,1	10,0	10,2	38,2	30,0	27,4	43,2	31,1	38,7	38,36
203	9,8	9,9	9,6	9,8	61,1	48,2	26,6	42,5	30,6	38,9	39,32
204	8,9	8,7	8,7	8,8	73,7	58,6	25,7	34,7	26,1	33,2	35,51

Prov Nr.	M	w_i	N
200	1,08	36,4	-0,013
201	1,10	35,6	-0,013
202	0,99	38,7	0,002
203	1,01	38,9	-0,002
204	1,07	33,2	-0,011

M och N tagna från tabell 2.

Plasticitetsgräns, km 3/500

Försöksansvarig	Försöksplats	Datum	Utrustning
Jonas Fredriksson	Skanska Laboratorium, Kilsg. 4	2007-05-23	Ugn (Memmert), Mikrovågsugn, Våg (0,01 g)

Prov Nr.	Vikt före torkning [g]	Vikt efter torkning [g]	Vattenkvot [%]	Plasticitetsgräns, w_p , medel mellan första och andra försöket [%]
200.1	11,3	9,6	18,2	18,1
200.2	9,8	8,3	17,9	
201.1	8,8	7,6	16,6	16,8
201.2	8,8	7,5	16,9	
202.1	9,4	7,9	18,6	18,4
202.2	9,2	7,8	18,2	
203.1	9,5	7,9	19,5	19,5
203.2	10,6	8,9	19,4	
204.1	13,9	11,8	17,7	18,1
204.2	16,9	14,3	18,5	

Plasticitetsindex, km 3/500

Prov Nr.	w_L	w_p	$(I_p = \frac{I_p}{w_L - w_p})$	Empirisk formel $I_p = 0,75(w_L - 26)$
200	39,3	18,1	21,2	10,0
201	39,2	16,8	22,4	9,9
202	38,4	18,4	20,0	9,3
203	39,3	19,5	19,8	10,0
204	35,5	18,1	17,4	7,1