



Svensk Djupe Stabilisering
Swedish Deep Stabilization Research Centre

Rapport 14

Stabilisering av torv i laboratorium

- Metodbeskrivning
- Underlagsrapport

Martin Holmén

Svensk Djupstabilisering

Svensk Djupstabilisering (SD) är ett centrum för forskning och utveckling inom djupstabilisering med kalk-cementpelare. Verksamheten syftar till att initiera och bedriva en branschsamordnad forsknings- och utvecklingsverksamhet, som ger säkerhetsmässiga, funktionsmässiga och ekonomiska vinster som tillgodoser svenska intressen hos samhället och industrin. Verksamheten baseras på en FoU-plan för åren 1996 – 2004. Medlemmar är myndigheter, kalk- och cementleverantörer, entreprenörer, konsulter, forskningsinstitut och högskolor.

Verksamheten finansieras av medlemmarna samt genom anslag från Byggforskningsrådet/Formas, Svenska byggbranschens utvecklingsfond och Kommunikationsforskningsberedningen.

Svensk Djupstabilisering har sitt säte vid Statens geotekniska institut (SGI) och leds av en styrgrupp med representanter för medlemmarna.

Ytterligare upplysningar om verksamheten lämnas av SD:s projektledare Göran Holm, tel: 013–20 18 61, 070–521 09 39, fax: 013–20 19 14, e-post: goran.holm@swedgeo.se, internet: www.swedgeo.se.

Swedish Deep Stabilization Research Centre

The Swedish Deep Stabilization Research Centre coordinates research and development activities in deep stabilization of soft soils with lime-cement columns. A joint research programme based on the needs stated by the authorities and the industry is being conducted during the period 1996 – 2004. Members of the Centre include authorities, lime and cement manufacturers, contractors, consultants, research institutes and universities.

The work of the Swedish Deep Stabilization Research Centre is financed by its members and by research grants.

The Swedish Deep Stabilization Research Centre is located at the Swedish Geotechnical Institute and has a Steering Committee with representatives chosen from among its members.

Further information on the Swedish Deep Stabilization Research Centre can be obtained from the Project Manager, Mr G Holm, tel: +46 13 20 18 61, +46 70 521 09 39, fax: +46 13 20 19 14, e-mail: goran.holm@swedgeo.se, internet: www.swedgeo.se.



Svensk Djupstabilisering
Swedish Deep Stabilization Research Centre

Rapport 14

Stabilisering av torv i laboratorium

- Metodbeskrivning
- Underlagsrapport

Martin Holmén

Linköping 2006

Rapport	Svensk Djupstabilisering c/o Statens geotekniska institut 581 93 Linköping
Beställning	Tel: 013-20 18 42 Fax: 013-20 19 14 E-post: birgitta.sahlin@swedgeo.se
ISSN	1402-2036
ISRN	SD-R--06/14--SE

Förord

En fungerande beskrivning av tillvägagångssättet för tillverkning av provkroppar från kemiskt stabiliserad torv har saknats. De beskrivningar som finns, främst EuroSoilStab (2001), är inte tillräckligt detaljerade för att producera provkroppar med tillfredställande spridning i främst uppmätt skjuvhållfasthet från enaxliga tryckförsök.

I ett ringtest som utfördes under år 2002 (Pousette, 2003) på initiativ av Luleå tekniska universitet (LTU), noterades skillnader i uppmätt skjuvhållfasthet mellan de deltagande laboratorier. Ringtesten gick ut på att tillverka provkroppar av stabiliserad torv med hjälp av den referensmetod som är beskriven i ”Design Guide Soft Soil Stabilisation – EuroSoilStab 2001”. Detta visar att metodbeskrivningen inte har en tillräcklig detaljeringsnivå för att ge repeterbara resultat.

Syftet med detta arbete har varit att ta fram en referensmetodbeskrivning för tillverkning av provkroppar från kemiskt stabiliserad torv i laboratoriet. Metodbeskrivningen skall vara tillräckligt detaljerad för att ge likvärdiga provkroppar oberoende av vilket laboratorium som tillverkar dem.

Metodbeskrivningen har tagits fram gemensamt av SGI:s Jordlaboratorium (Martin Holmén, Inga-Maj Kaller och Ola Antehag) och SWECO Geolab (Gunnar Tibblin och Per Carlsson). Martin Holmén, SGI, har varit projektansvarig. Finansieringen har delats av Svensk Djupstabilisering, SD, Statens geotekniska institut, SGI, och SWECO Geolab.

Föreliggande arbete är en fortsättning på tidigare FoU-arbete, som redovisats i SD:s arbetsrapporter 14, 16, 20 och 28.

Metodbeskrivningen är tänkt att kunna hänvisas till både av en beställare av inblandningsförsök på torv och av utförande laboratorium.

Beskrivningen ledsagas av en underlagsrapport, som beskriver hur framtagningen av referensmetoden gått till och redovisar resultat från utförda inblandningsförsök.

En referensgrupp har bestått av Helen Åhnberg, SGI och Peter Carlsten, Ramböll.

Linköping i februari 2006

Innehåll

Förord	3
Metodbeskrivning för inblandning och provkroppstillverkning av stabiliserad torv	7
Omfattning och tillämpningsområde	7
Princip	7
Skyddsåtgärder	7
Utrustning	7
Förberedelser	9
Tillverkning av upp till 4 st. provkroppar åt gången	10
Lagring av prover	10
Underlagsrapport – Stabilisering av torv i laboratoriet	11
Bakgrund	11
Syfte	11
Metod	11
Använd torv	12
Homogenisering och förvaring	12
Inblandning av stabiliseringsmedel	13
Utrustning och generella förutsättningar	14
Metoder för fyllning av provhylsa	15
Ifyllning typ I	15
Ifyllning typ II	16
Ifyllning typ III	16
Ifyllning typ IV	16
Ringtest	20
Blandningsverktygets hastighet	24
Tid mellan blandning och påläggning av kompressionslast	26
Slutsatser	28
Referenser	30
Appendix A	31
Bakgrund	31
Blandningstid	34
Referenser	34

Metodbeskrivning för inblandning och provkroppstillverkning av stabiliserad torv

OMFATTNING OCH TILLÄMPNINGSOMRÅDE

Metoden kan användas för att tillverka upp till fyra stycken provkoppar åt gången med en provkroppsdiаметer på 68 mm. Provkropparna är avsedda att provas i laboratoriet efter en tids lagring. Den vanligaste undersökningsmetoden är enaxliga tryckförsök.

PRINCIP

Torv och olika slags bindemedel blandas mekaniskt i en hushållsassistenta av märket Bosch, se Figur 1. Denna typ av blandare har ett tredelat roterande blandningsverktyg som fästs i botten på en fast blandningsskål. Efter bearbetning fylls blandningen i plasthylsor med en innerdiameter på 68 mm. Till hjälp för att förhindra att luftfickor bildas i provkroppen används en anordning kallad rörhejare, se Figur 2, för att fördela ut blandningen i hylsan. Provkropparna lagras sedan under vatten med en kompressionslast, normalt motsvarande en spänning på 18 kpa. Efter en bestämd tids lagring utförs laboratorieundersökningar på den ur hylsan uttagna provkroppen.

SKYDDSÅTGÄRDER

Vanliga stabiliseringsmedel är starkt alkaliska och levereras oftast i pulverform som kan damma. Detta damm är irriterande och kan orsaka skador på ögon, luftvägar och slemhinnor.

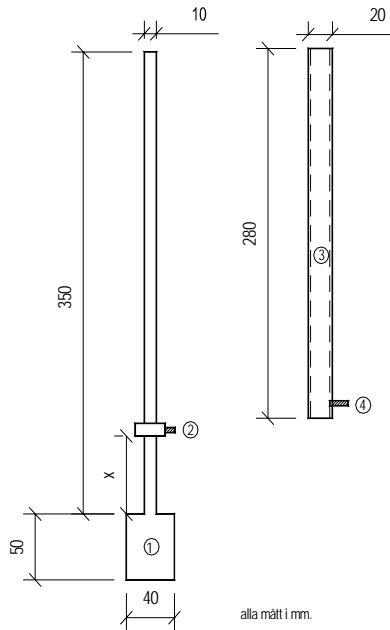
- Inblandning av stabiliseringsmedel skall ske i rum där luftutsug finns.
- Använd handskar, munskydd och skyddsglasögon.
- Ta reda på var närmaste ögonduch finns.

UTRUSTNING

- Torkskåp och skålar för vattenkvotsbestämning enligt SS 027116.
- Våg med 0,01 g avläsningsnoggrannhet.
- Blandare av typ Bosch (hushållsassistenta), se Figur 1.
- Provyllor med innerdiameter 68,6 mm, längd 320 mm och försedd med ett dräneringshål som släpper in vatten från vattenbadet ovanpå provkroppen.



Figur 1. Rekommenderad blandare.



- 1: Stämp 300g ± 10 g
- 2: Höj- och sänkbar stoppring
- 3: Fallviktsrör 290g ± 10 g
- 4: Uppfångarskruv

Figur 2. Rörhejaren som används för att fördela ut torven i provhylsan.

- Filterstenar med en diameter på ca 67 mm och en tjocklek på ca 5 mm.
- Mått som rymmer 0,5 dl.
- En rörhejare med vikt och dimensioner enligt Figur 2, för fördelning av torvblandningen i hylsan. Fallhöjden (x i Figur 2) skall justeras till 35 mm med hjälp av stoppskruven, om inte annat angetts av beställaren.
- Kvadratiska bitar (150 x 150 mm) av finmaskigt flexibelt plastnät, samt fiberförstärkt tejp.
- Cylindriska vikter motsvarande en last på 18 kPa (ca 6 660 g vid diameter 67 mm) som passar i provhylsorna.
- Låda med vatten för lagring av provkroppar. Lådan skall medge ett vattendjup på 270 mm och vara försedd med anordning som fixerar proverna vertikalt under lagring.

FÖRBEREDELSE

Hela torvvolymen som skall användas i det aktuella projektet homogeniseras på följande sätt:

- Bestäm om möjligt torvens densitet enligt SS 027114.
- Ta bort vedrester och större gruspartiklar.
- Blanda torven i en stor degblandare under 5 minuter. (Om stor degblandare saknas kan torven homogeniseras i den mindre blandaren med mindre mängder och sedan i en stor balja för hand.)
- Förvara den homogeniserade torven i spannar med tättslutande lock. Lagringstemperatur ca 7 °C.
- Stabiliseringsmedlet skall förvaras mörkt i en hink med tättslutande lock.
- Torven skall vara kall (ca 7 °C) då bindemedlet blandas in. Varm torv ger en lägre hållfasthet.

Beräkna mängden stabiliseringsmedel, M, i gram per kg torv enligt följande formel:

$$M = Q/\rho$$

Q = Inblandningsmedel, kg/m³ (från beställaren).

ρ = Skrymdensitet, t/m³ (från bestämningen enligt SS 027114)

Om skrymdensiteten inte kunnat bestämmas kan den antas till 1,0 t/m³.

Densitet som har använts skall anges i rapporten.

Fyll på vatten i lagringslådan i god tid så att vattentemperaturen hinner anta rumstemperatur.

TILLVERKNING AV UPP TILL 4 ST. PROVSKROPPAR ÅT GÅNGEN

Förbered erforderligt antal provhylsor genom att tejpa fast ett nät på underdelen av hylsorna och lägg i en vattenmättad filtersten i varje hylsa.

1. Väg provhylsorna med filterstenar och för in vikterna i ett protokoll.
2. Tarera vågen med blandningsskål och blandningsverktyg.
3. Ta ut torven från kylrummet.
4. Väg upp tillräcklig mängd torv i blandarskålen (750 – 800g torv/provskropp).
5. Ställ tillbaka torven i kylrummet.
6. Räkna ut och väg upp rätt mängd bindemedel.
7. Gör en fördjupning i torven och häll i det uppvägda bindemedlet. Bindemedlet ska vara inblandat i den kalla torven inom 15 minuter från det att torven tagits ur kylrummet.
8. Kör blandaren med torv och bindemedel i 5 minuter på hastighetsmarkering 1.
9. Tag en halv deciliter (med ett mått) stabiliserad torv ur blandningsskålen och släpp ner den i provhylsan.
10. Lyft rörhejaren i röret och sätt ner det på torvytan i provhylsan. När staven har kontakt med torven släpps röret ner på staven. Upprepa förfarandet 10 gånger samtidigt som staven flyttas runt längsmed insidan av provhylsan så att torven blir jämt utfylld i hylsan.
11. Upprepa punkt 9 – 10 till dess torvytan befinner sig ca 11 cm från provhylsans överkant.
12. Mät avståndet mellan torvytan och provhylsans överkant och för in måttet i protokollet.
13. Väg provhylsan med torv och för in vikten i protokollet.
14. Lägg på en vattenmättad filtersten på toppen av torven och ställ provhylsan i vattenbadet.
15. Lägg på en vikt motsvarande 18 kPa (ca 6 660 g vid diameter 67 mm) och för in lägesmättet på vikten i protokollet (detta för att registrera kompressionsförloppet).
16. Upprepa förfarandet från punkt nr 9.

LAGRING AV PROVER

Proverna lagras i vattenbad i rumstemperatur (20 ± 3 °C) fram till tidpunkt för provning.

Underlagsrapport

– stabilisering av torv i laboratoriet

BAKGRUND

Ett ringtest utfördes under år 2002 (Pousette, 2003) på initiativ av Luleå tekniska universitet (LTU), där tre laboratorier (LTU, Statens geotekniska institut (SGI) och SCC/Viatek) tillverkade provkroppar av stabiliserad torv. Laboratorierna använde sig av den referensmetod som är beskriven i ”Design Guide Soft Soil Stabilisation – EuroSoilStab 2001”. Resultaten från ringtesten visade att olika höga skjuvhållfastheter uppnåddes på de tillverkade provkropparna. Detta visar att metodbeskrivningen inte har en tillräcklig detaljeringsnivå för att ge repeterbara resultat.

SYFTE

En ny undersökning har nu utförts som syftar till att ta fram en metodbeskrivning till en referensmetod för tillverkning av stabiliserade torvprovkroppar. Undersökningen har finansierats av Svensk Djupstabilisering, SGI och SWECO, och har genomförts av SGI:s Jordlaboratorium i samarbete med SWECO GEOLAB.

METOD

Provkroppstillverkning av stabiliserad torv består av ett antal moment varav flera är svåra att beskriva på ett standardiserat sätt. Som exempel kan nämnas inblandning av stabiliseringsmedel, vilken påverkas av vilken typ av blandningsutrustning som nyttjas samt packning av provkroppar som påverkas både av personen som utför packningen och den utrustning som används. De moment som studerats särskilt är följande:

- Inblandning av stabiliseringsmedel i torven.
Blandningsutrustning, rotationshastighet på blandningsverktyg och tidsfördröjning mellan provkroppstillverkning och påläggning av kompressionslast.
- Provkroppstillverkning.
Packningsutrustning och lagertjocklek.

ANVÄND TORV

De flesta försöken har utförts på en torv från Hummeltorp, söder om Stockholm. För verifiering av metoden har även torv från småländska Grimsås använts med benämningen Nexans. Bägge torvmaterialen har blandats ihop och homogeniserats från ett stort antal delprover, vilket innebär att en exakt klassificering inte varit aktuell. Torvblandningen från Hummeltorp kan beskrivas som en mellantorv, med en vattenkvot på 580 %. Nexanstorven är även den en mellantorv, men med en vattenkvot på 1030 %.

HOMOGENISERING OCH FÖRVARING

De bägge testade torvtyperna homogeniserades på följande sätt:

- Vedrester och större gruspartiklar togs bort i samband med att torven lades i blandningskärlet till en stor degblandare, se Figur 1.
- Torven blandades med hjälp av en krok i degblandaren under 5 minuter.
- Torven från varje blandning fördelades ut på flera plastspannar med tättslutande lock. Detta förfarande upprepades till dess all torv var homogeniserad och blandad. Spannarna med lock förvarades sedan i klimatrum (ca 7 °C).



Figur 1.
Stor degblandare
lämplig för
homogenisering
av torv.

INBLANDNING AV STABILISERINGSMEDEL

Olika typer av blandningsutrustning finns att tillgå som kan användas för inblandning av stabiliseringsmedel i torv. De arbetar efter olika blandningsprinciper och fungerar olika bra på ett material som torv. För att få en enhetlig blandning behöver en metodbeskrivning för stabilisering av torv i laboratoriet specificera vilken typ av utrustning som skall användas.

Kommersiellt tillgänglig småskalig blandningsutrustning kan delas in i tre typer. Den första typen, Hobart/KitchenAid/Kenwood, består av ett excentriskt roterande blandningsverktyg som bearbetar blandningen ovanifrån, se Figur 2.

Figur 2.
Blandningsutrustning av
fabrikat Hobart/KitchenAid
Kenwood.



Denna typ av blandare arbetar efter samma princip som större kommersiella degblandare som används på bagerier. Det blandningsverktyg som är aktuellt för att blanda torv är normalt den spiralvridna degkroken. Problemet med detta verktyg är att det ofta har svårt att nå ut till blandningsskålens vägg, vilket innebär att operatören tvingas stanna maskinen och manuellt skrapa ner material som fastnat på insidan av blandningsskålen. Kroken fungerar däremot optimalt då en tjock och elastisk bröddeg blandas och bearbetas.

Den andra typen av blandare, Elektrolux, består av en fast rulle eller degkrok med en roterande blandningsskål, se Figur 3.

Figur 3.
Blandningsutrustning av
fabrikat Elektrolux.



Denna typ av blandare är även försedd med en skrapa som för ut blandningen mot mitten av skålen. Den fasta degkroken, som är den lämpligaste att använda för torvblandning, kan vinklas ca 30 grader för att uppnå bästa blandningsresultat. Denna typ av blandare fungerar även den bäst på elastiska bröddegar, medan ett jordmaterial tenderar att fastna på degkrok ock skrapa.

Den tredje typen av blandningsutrustning, Bosch, består av en fast blandningsskål med ett blandningsverktyg som fästs centriskt i botten av blandningsskålen, se Figur 4.



Figur 4. Blandningsutrustning av fabrikat Bosch.

Blandningsverktyget består av tre krokar, som bearbetar blandningen, varav en är försedd med en skrapa som flyttar material från insidan av blandningsskålen tillbaka in mot mitten av blandningen. Denna typ av blandare bedömdes efter tester vara den bästa för blandning av stabiliseringsmedel i pulverform med torv. Blandningsskålen på 6,6 liter räcker till för att blanda fyra torvprover åt gången. Blandningen är effektiv och operatören behöver inte stanna maskinen för att skrapa material från skål eller krokar. Fyra provkroppar tar mellan 20 och 30 minuter att tillverka med den framtagna referensmetoden, vilket ligger inom tidsramen för tidigare rekommendationer, (ESS Design Guide, 2001), beträffande maximal tid mellan inblandning av stabiliseringsmedel och färdigställande av provkroppar.

UTRUSTNING OCH GENERELLA FÖRUTSÄTTNINGAR

Förutom en hushållsassistent av typen Bosch har följande utrustning använts vid tillverkning av provkroppar:

- Provhylsor i plast med innerdiameter 68,6 mm, längd 320 mm och försedd med ett dräneringshål som släpper in vatten från vattenbadet ovanpå provkroppen.
- Filterstenar med en diameter på ca 67 mm och en tjocklek på ca 5 mm.
- Kvadratiske bitar (150 x 150 mm) av finmaskigt flexibelt plastnät, samt fiberförstärkt tejp.
- Cylindriska vikter på 6 660 g som passar i provhylsorna (motsvarande en belastning på 18 kPa).

- Låda med vatten för lagring av provkroppar. Lådan skall medge ett vattendjup på 270 mm och vara försedd med anordning som fixerar proverna vertikalt under lagring.

I alla försök som omfattas av undersökningen har bindemedel av typ byggcement använts i en inblandningsmängd motsvarande 200 kg/m³.

Bindemedlet blandas med torven under 5 minuter, vilket erfarenhet visar är mer än nog för att få en jämn fördelning av bindemedlet i den slutliga torvblandningen.

METODER FÖR FYLLNING AV PROVHYLSA

En metod för tillverkning av provkroppar med stabiliserad jord finns beskriven i SGF Rapport 2:2000. Den metoden är framtagen för stabiliserad lera och går inte att använda på stabiliserad torv, främst på grund av torvens stora kompressibilitet och förmåga att släppa ifrån sig vatten vid belastning.

På grund av svårigheterna att fylla provhylsorna med torv har olika metoder växt fram på olika laboratorier. En metod är den som SGI:s Jordlaboratorium har använt med goda resultat genom åren. (I denna rapport kallad ”Traditionell metod SGI”). I SGI:s metod släpps ca 0,5 dl stabiliserad torv ned i provhylsan, varefter torven fördelas ut med ett antal (ca 10 st) lätta stötar av en stav med en diameter på 40 mm. De lätta stötarna motsvarar ett tryck på mellan 5 och 7 kPa enligt en enkel undersökning då ifyllning har gjorts med provhylsan placerad på en elektronisk våg. Proceduren upprepas till dess en erforderlig provhöjd uppnåts. Metoden ger jämna provkroppar, utan större hålrum, och liten spridning i densitet och skjuvhållfasthet. En nackdel även med denna metod är att den innehåller flera moment som är operatörsberoende, till exempel:

- Hur stor torvmängd per lager?
- Hur lätt är en ”lätt stöt”?

För att hitta en operatörsberoende och repeterbar metod utfördes ett antal inledande försök som sammanfattas nedan. För att finna en metod som utjämnar skillnaderna mellan operatörer provades först att utföra en statisk belastning av varje lager efter att operatören fördelat ut torvblandningen. Den statiska belastningen valdes till 9 kPa, vilket är hälften av kompressionslasten som ligger på under lagringen.

Ifyllning typ I:

1 dl torv/lager. Staven med en diameter på 40 mm har använts för att löst trycka till torven för att fylla ut hylsan.

Ifyllning typ II:

1 dl torv/lager. Staven har använts för att hårt trycka till torven för att fylla ut hylsan. En fysisk begränsning blir att staven fastnar i torvblandningen och tar med sig torv upp ur hylsan då för mycket kraft används.

Ifyllning typ III:

1 dl torv/lager. Staven har använts för att löst trycka till torven för att fylla ut hylsan. En vikt motsvarande ett tryck på 9 kPa har lagts på mellan varje lager och fått verka i 10 sekunder.

Ifyllning typ IV:

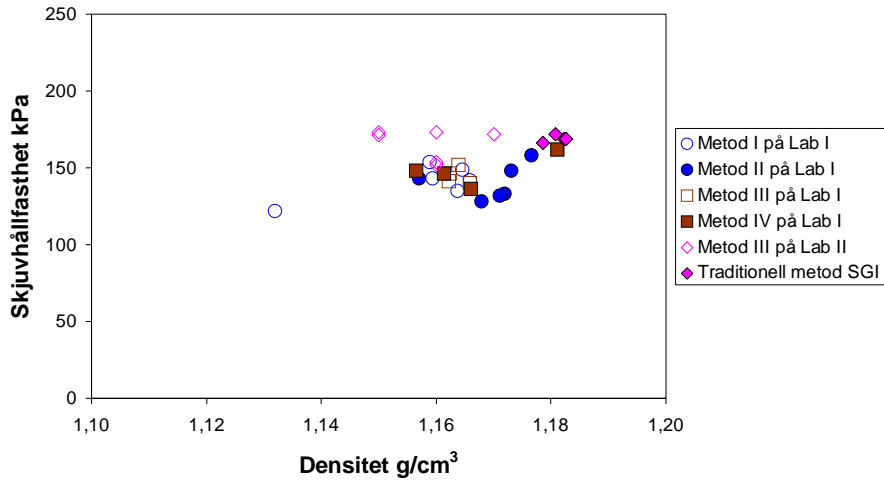
1 dl torv/lager. Staven har använts för att hårt trycka till torven för att fylla ut hylsan. En vikt motsvarande ett tryck på 9 kPa har lagts på mellan varje lager och fått verka i 10 sekunder.

Tabell 1. Sammanställning av resultat från inledande försök.

Hummeltorp, Traditionell metod SGI (4 st prov)			Hummeltorp, Metod I-Lab I (6 st prov)		
	Densitet g/cm ³	Skjuv hållf. kPa		Densitet g/cm ³	Skjuv hållf. kPa
Medelvärde	1,18	169,0	Medelvärde	1,16	140,8
Standardavvikelse	0,002	2,4	Standardavvikelse	0,013	11,3
Varians	3,4E-6	6,0	Varians	1,6E-4	127,0
Hummeltorp, Metod II-Lab I (6 st prov)			Hummeltorp, Metod III-Lab I (4 st prov)		
	Densitet g/cm ³	Skjuv hållf. kPa		Densitet g/cm ³	Skjuv hållf. kPa
Medelvärde	1,17	140,3	Medelvärde	1,16	144,8
Standardavvikelse	0,007	11,4	Standardavvikelse	0,002	5,5
Varians	4,6E-5	130,7	Varians	2,9E-6	30,3
Hummeltorp, Metod III Lab II (6 st prov)			Hummeltorp, Metod IV-Lab I (4 st prov)		
	Densitet g/cm ³	Skjuv hållf. kPa		Densitet g/cm ³	Skjuv hållf. kPa
Medelvärde	1,16	162,5	Medelvärde	1,17	148,0
Standardavvikelse	0,006	11,0	Standardavvikelse	0,011	10,7
Varians	5,7E-5	99,8	Varians	1,1E-4	114,7

Resultaten redovisas även i Figur 5, där provkropparnas skjuvhållfasthet efter 7 dygn redovisas mot provkropparnas densitet vid tryckning. Metod III, där varje lager löst trycktes till och en 9 kPa vikt fick ligga på i 10 sekunder gav jämnast resultat. Dock gav alla metoder provkroppar med relativt stora håligheter, se prov nr 13 i Figur 6. Dessa ojämnheter behöver inte påverka den enaxliga tryckhållfastheten i någon högre grad, men försvårar användningen av provkropparna till andra typer av försök, exempelvis triaxialförsök och permeabilitetsförsök, där håligheter i mantelytan har stor betydelse.

Stabiliserad torv Hummeltorp, 7 dygn



Figur 5. Resultat från enaxliga tryckförsök på stabiliserade torvprover tryckta efter 7 dygn. Provkropparna är tillverkade på fem olika sätt.



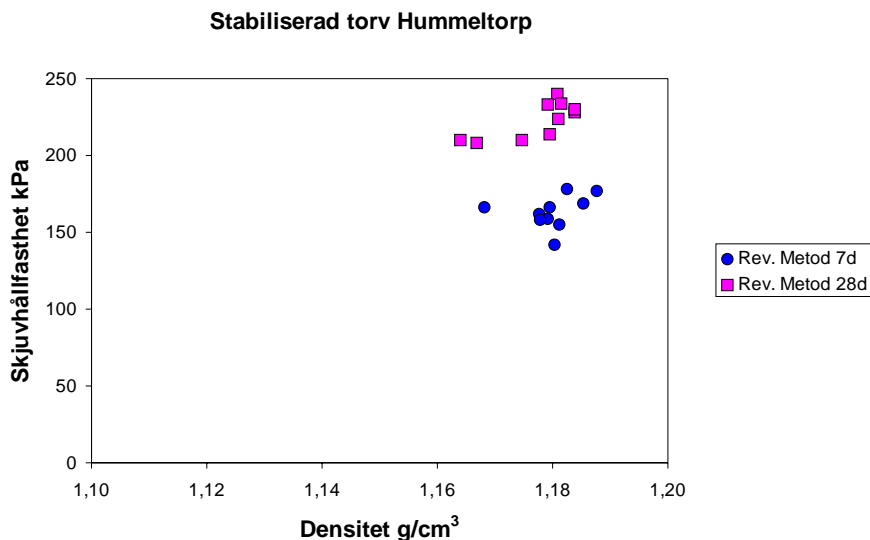
Figur 6. Exempel på provkropparnas utseende. Prov 13 är tillverkad med metod III och prov 34 med den traditionella SGI-metoden.

En provkropp som utsätts för upprepade statiska belastningar, som den pålagda vikten i metod III och IV, löper risk att bli mer packad i den nedre delen av provkroppen. Detta på grund av att de nedre lagren utsätts för fler belastningar och på att de har närmare till fast mothåll och dränage i botten av provcylin- dern. Denna risk för ojämn densitetsfördelning över provkroppens längd samt håligheter i mantelytan ledde till ytterligare en serie försök där en ifyllnings- metod baserad på den traditionella SGI-metoden testades.

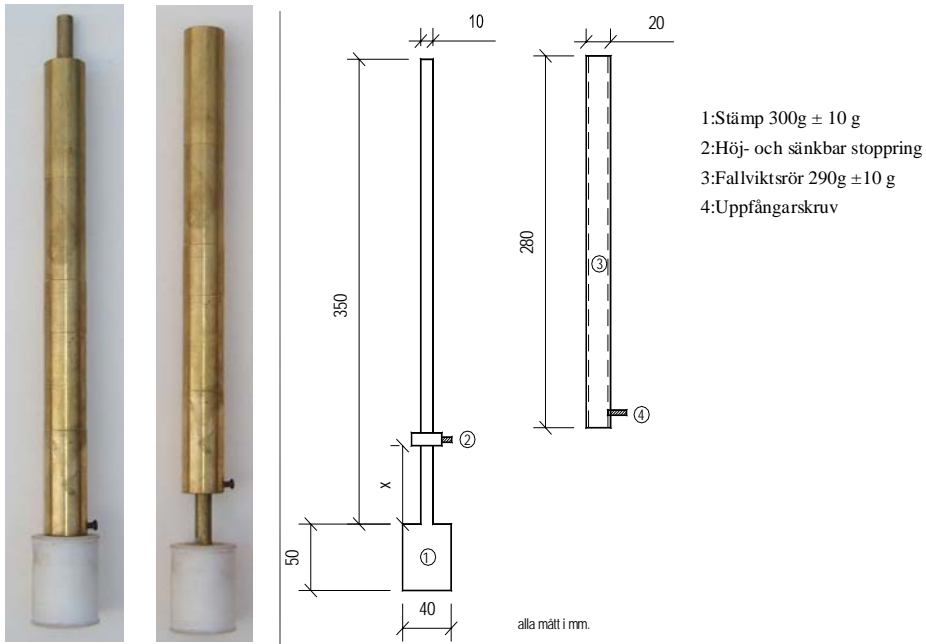
Metoden, här kallad reviderad metod, är tänkt att efterlikna den traditionella metoden att fylla provhylsorna på SGI. I metoden används 0,5 dl torv per lager, taget med ett mått, som sedan jämnas till med 8 – 10 lätta stötar, jämt fördelade över torvytan. En detaljerad steg-för-steg beskrivning togs fram och 5 personer tillverkade 4 provkroppar vardera enligt denna beskrivning. Av dessa personer hade tre ingen större laboratorievana och två var laboratoriepersonal. Hälften av provkropparna provades efter 7 dygn och hälften efter 28 dygn. Resultaten redovisas i Tabell 2 och Figur 7.

Tabell 2. Resultat från provtryckning av provkroppar tillverkade med den reviderade metoden.

Hummeltorp, Reviderad met. 7d (10 st prov)			Hummeltorp, Reviderad met. 28d (10 st prov)		
	Densitet g/cm ³	Skjuv hållf. kPa		Densitet g/cm ³	Skjuv hållf. kPa
Medelvärde	1,18	163,2	Medelvärde	1,18	223,1
Standardavvikelse	0,005	10,7	Standardavvikelse	0,007	11,7
Varians	2,7E-5	113,5	Varians	4,8E-5	136,5



Figur 7. Resultat från provtryckning av provkroppar tillverkade med den reviderade metoden.

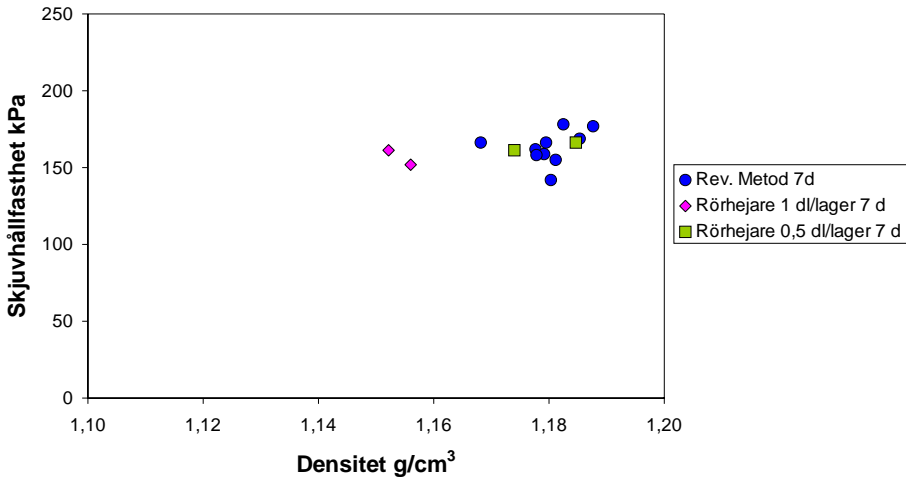


Figur 8. Rörhejare som används för att avlägsna luftfickor ur den stabiliserade torven.

Metodbeskrivningen till den reviderade metoden innehåller följande instruktion: ”Använd staven för att fördela ut torven i hylsan med 8 – 10 lätta stötar, fördelade över ytan”. Denna formulering bedömdes vara alltför oprecis och för att öka kontrollen av överförd mängd energi från operatören utvecklades en packningsutrustning kallad rörhejare, se Figur 8.

Rörhejaren består av ett rör som löper utanpå en stav av samma typ som används i de tidigare beskrivna metoderna för att fylla ut varje torvlager i provhylsan. På staven sitter en stoppring som är justerbar i höjd. Röret har en skruv som hakar i stoppringen så att avståndet mellan stavens nacke och rörets nederdel blir lika stort varje gång röret lyfts. När sedan röret släpps har det samma fallhöjd från gång till gång vilket innebär att samma energimängd överförs till torven vid varje stöt. Fyra provkroppar tillverkades med hjälp av rörhejaren, två försök med 1 dl torv per lager och två försök med 0,5 dl torv per lager, se resultat i Figur 9.

Stabiliserad torv Hummeltorp



Figur 9. Resultat från enaxliga tryckförsök på provkroppar tillverkade med rörhejaren. Två olika mängder torv har använts per lager och data från försök på provkroppar tillverkade med den reviderade metoden finns med som jämförelse.

Resultaten från de enaxliga tryckförsöken på provkropparna tillverkade med rörhejaren, visar på liten skillnad i hållfasthet, men lägre densitet för provkropparna som tillverkats med 1 dl torv per lager. Dessa prover hade också större håligheter och ojämna mantelyta. De två provkropparna som tillverkats med 0,5 dl per torvlager var mycket lika de som tillverkats med den reviderade metoden, vilket också syns på resultaten i Figur 9.

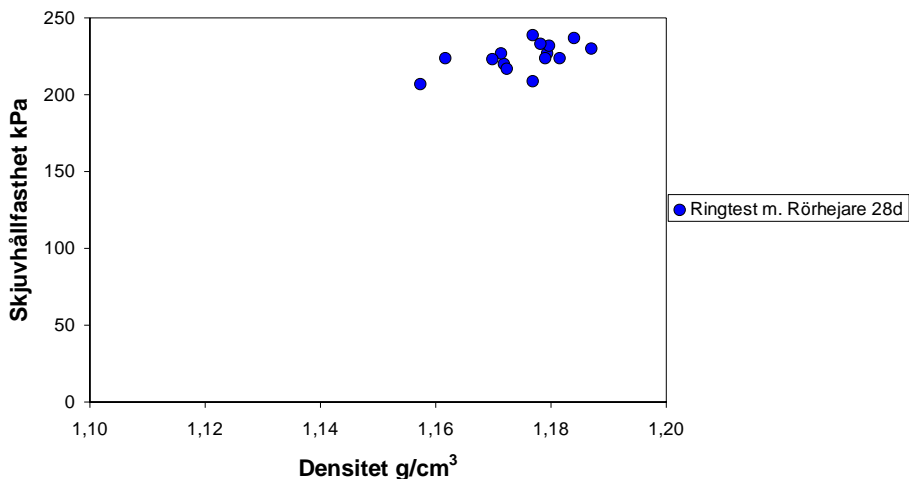
RINGTEST

En metodbeskrivning med rörhejaren som utjämningsverktyg och 0,5 dl torv per lager togs fram och laborariepersonal bjöds in till SGI i Linköping för att testa metoden på två olika typer av torv. I försöket ingick fem personer som tillverkade tre provkroppar vardera per torvtyp, totalt 30 st provkroppar. Försökspersonerna bestod av laborariepersonal från Ramböll, Göteborg (1 person), SWECO GEOLAB (2 personer), SGI:s Jordlaboratorium (1 person) och SGI:s Miljölaboratorium (1 person). Provkropparna tillverkades och lagrades i Linköping med utrustning (blandare och rörhejare) från SGI och SWECO GEOLAB. Provkropparna trycktes sedan i enaxliga tryckförsök i SGI:s Jordlaboratorium. Resultaten redovisas i Tabell 3 samt Figurer 10 och 11.

Tabell 3. Sammanställning av resultat från ringtest på två typer av torv.

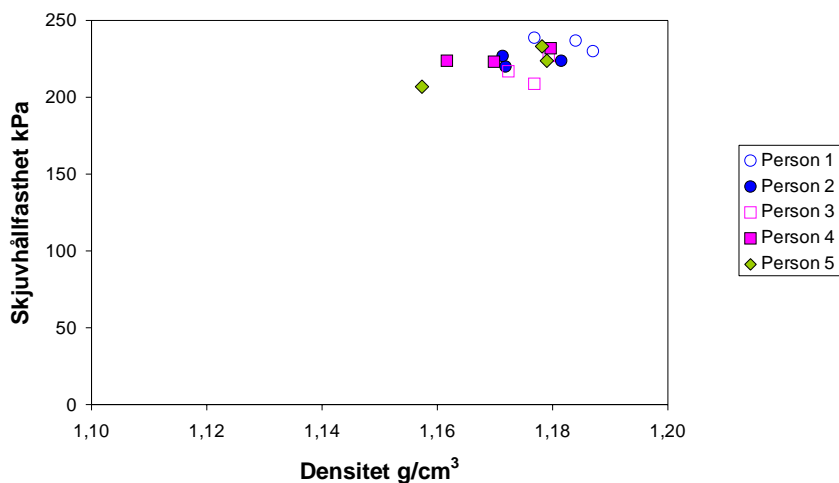
Hummeltorp, Högsta hast. på Lab I, 28d (4 st prov)			Hummeltorp, Högsta hast. på Lab II 28d (8 st prov)		
	Densitet g/cm ³	Skjuv hållf. kPa		Densitet g/cm ³	Skjuv hållf. kPa
Medelvärde	1,17	239,5	Medelvärde	1,18	170,0
Standardavvikelse	0,001	5,4	Standardavvikelse	0,005	41,9
Varians	2,0E-6	29,7	Varians	2,5E-5	1757,7

Stabiliserad torv Hummeltorp



Figur 10. Resultat från enaxliga tryckförsök på provkroppar tillverkade vid ringtesten av torv med beteckningen Hummeltorp.

Stabiliserad torv Hummeltorp



Figur 11. Resultat från enaxliga tryckförsök på provkroppar tillverkade vid ringtesten av torv med beteckningen Hummeltorp. Resultatet är uppdelat på provkroppstillverkare.

I Figur 11 visas resultaten från enaxliga tryckförsöken på Hummeltorpstorven. Resultatet visar att metoden för provkroppstillverkning är relativt operatörsberoende.

I Figur 12 presenteras fotografier av provkroppar som tillverkats under ringtesten. Provkropparna har en del mindre ojämnheter i mantelytan, men i jämförelse med prov nr. 13 i Figur 6 är det en klar förbättring. Hummeltorpstorven är generellt sett en mer svårarbetad torv, som i blandat tillstånd håller ihop bättre än exempelvis Nexanstorven, vars provkroppar blev betydligt jämnare, se Figur 15.

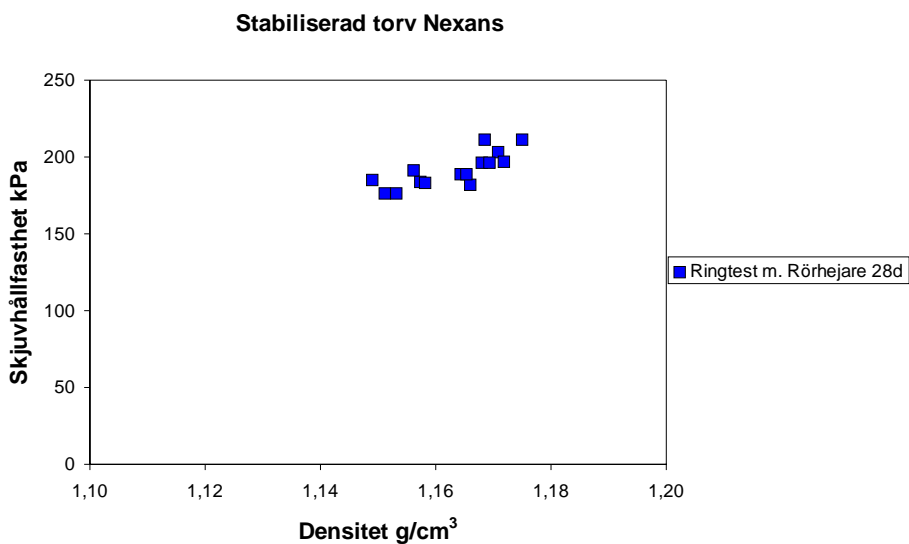
Resultatet från provkropparna som tillverkats av Nexanstorven presenteras i Figur 13. Hållfastheten och densiteten är något lägre än Hummeltorpstorven men spridningen i resultaten är likvärdig.

Även i fallet med Nexanstorven tyder resultatet på att metoden är relativt operatörsberoende, se Figur 14.

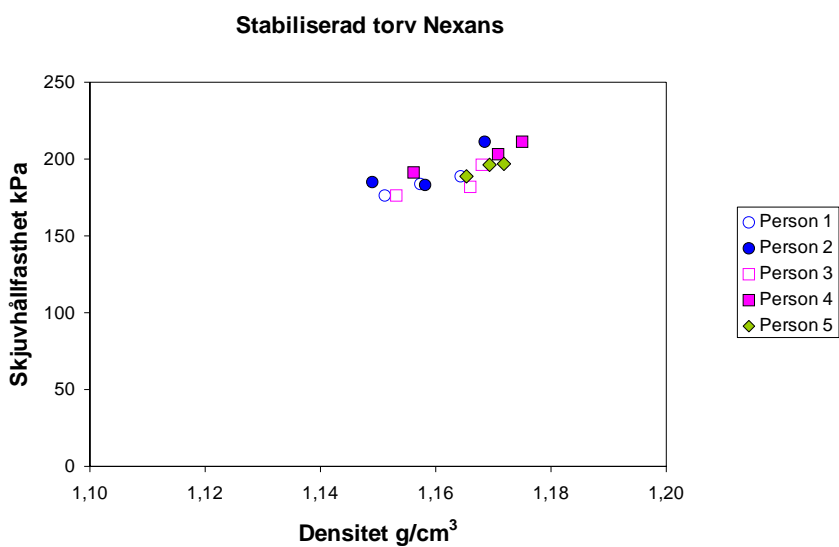
Provkropparna som tillverkats med Nexanstorven blev jämna och utan håligheter i mantelytan, se Figur 15.



Figur 12. Provkroppar tillverkade under ringtesten på Hummeltorpstorv.



Figur 13. Resultat från enaxliga tryckförsök på provkroppar tillverkade vid ringtesten av torv med beteckningen Nexans.



Figur 14. Resultat från enaxliga tryckförsök på provkroppar tillverkade vid ringtesten av torv med beteckningen Nexans. Resultatet är uppdelat på provkroppstillverkare.



Figur 15. Provkroppar tillverkade under ringtesten på Nexanstorv.

BLANDNINGSVÄRKTUGETS HASTIGHET

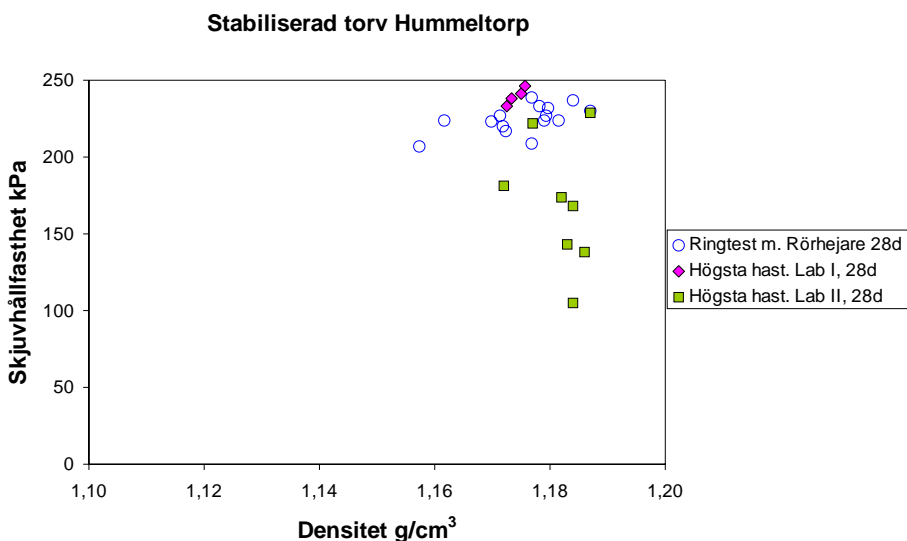
I metodbeskrivningen till referensmetoden anges att blandningsutrustningen skall köras med den lägsta hastigheten (1 på Bosch-blandaren) under inblandningen av stabiliseringsmedel. Denna hastighet innebär att blandningsverktyget i ytterkant rör sig med en hastighet av ca 1,6 m/s i förhållande till blandningsskålen i obelastat tillstånd. Då torv och bindemedel blandas sjunker hastigheten något, beroende på motståndet mot blandningsverktyget. Hur mycket hastigheten sjunker beror på mängden torv, mängden inblandningsmedel samt torvens struktur och vattenkvot. En serie försök utfördes med en högre hastighet på blandningsverktyget för att se hur det påverkade provkropparnas egenskaper. Den högsta hastigheten (3 på Bosch-blandaren) användes vid tillverkningen av ett antal prover av Hummeltorpstorven. Denna hastighet motsvarar att blandningsverktyget rör sig med ca 2,6 m/s i obelastat tillstånd. Resultaten redovisas i Tabell 4 och Figur 16.

Resultaten från Lab II uppvisar en stor spridning i skjuvhållfasthet, som inte kunnat förklaras, se Figur 16.

Motsvarande försök med högsta blandarhastighet utfördes på Nexanstorven. Resultat från dessa försök finns presenterade i Tabell 5 och Figur 17. Antalet försök (4 stycken) är litet men resultatet tyder på att blandarhastigheten har liten eller ingen inverkan på densitet och skjuvhållfasthet.

Tabell 4. Resultat från försök med högsta blandarhastighet på Hummeltorpstov.

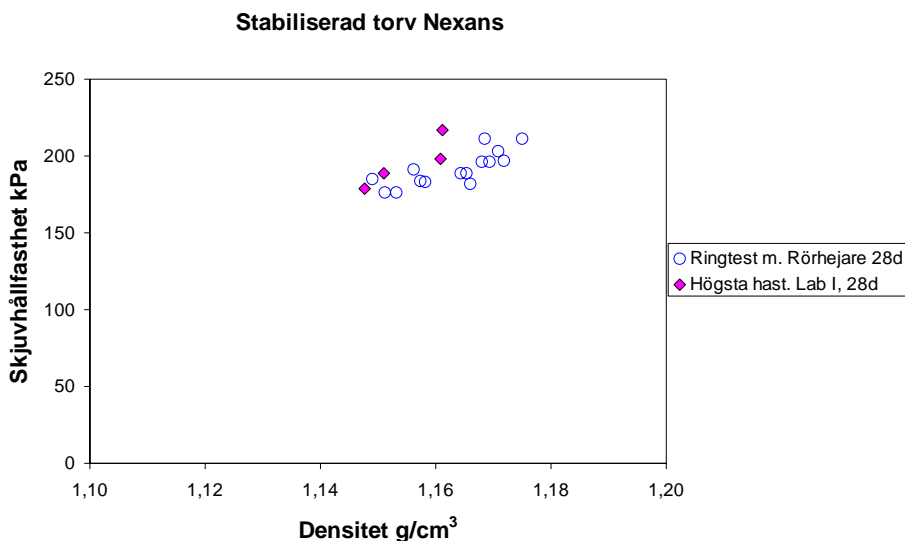
Hummeltop, Högsta hast. på Lab I, 28d (4 st prov)			Hummeltop, Högsta hast. på Lab II 28d (8 st prov)		
	Densitet g/cm ³	Skjuv hållf. kPa		Densitet g/cm ³	Skjuv hållf. kPa
Medelvärde	1,17	239,5	Medelvärde	1,18	170,0
Standardavvikelse	0,001	5,4	Standardavvikelse	0,005	41,9
Varians	2,0E-6	29,7	Varians	2,5E-5	1757,7



Figur 16. Resultat från försök med högsta blandningshastighet på Hummeltopstov. Någon förklaring till den stora spridningen i skjuvhållfasthet i resultaten från Lab II har inte gått att finna. Resultaten från ringtesten är med som referens.

Tabell 5. Resultat från försök med högsta blandarhastighet på Nexanstopstov.

Nexans, Högsta hast. Lab I, 28d (4 st prov)		
	Densitet g/cm ³	Skjuv hållf. kPa
Medelvärde	1,16	195,8
Standardavvikelse	0,007	16,2
Varians	4,7E-5	260,9



Figur 17. Resultat från försök med högsta blandningshastighet på Nexanstorv. Som referens är resultaten från ringtesten inlagda i diagrammet.

TID MELLAN BLANDNING OCH PÅLÄGGNING AV KOMPRESSIÖNSLAST

I referensmetoden läggs en kompressionslast på 18 kPa på varje prov direkt efter det att ifyllningen av torven är klar. Provhylsan placeras sedan i vattenbad för lagring. En serie försök utfördes med en tidsfördröjning på 1 timma mellan provkroppstillverkning och påförande av kompressionslast. Fyra försök utfördes och resultaten från försöken på Hummeltorpstorven redovisas i Tabell 6 och Figur 18.

Resultaten från försöken tyder på att en lägre hållfasthet erhålls då kompressionslasten läggs på med en tidsfördröjning från tillverkningen av provkroppen, se Figur 18. Detta är i överensstämmelse med tidigare erfarenheter, exempelvis Åhnberg et al. (2001).

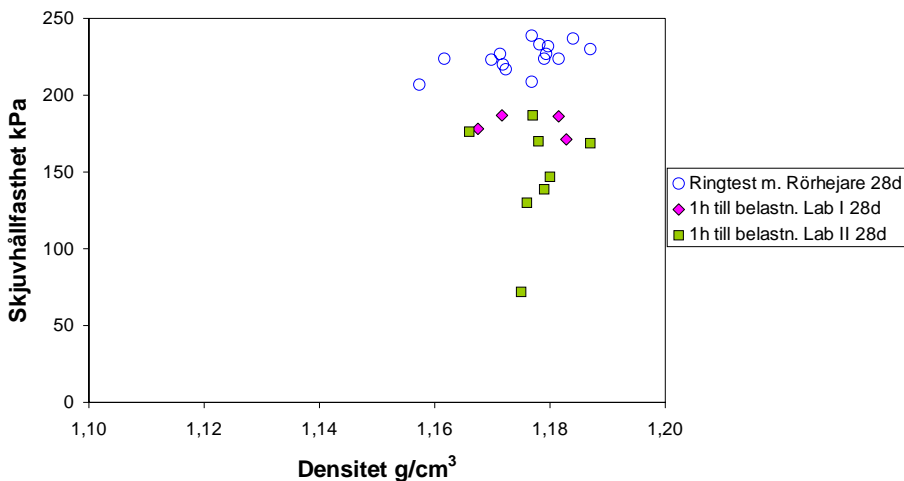
Även dessa försök uppvisar en oförklarligt stor spridning i skjuvhållfasthet på resultaten från Lab II.

En serie utfördes med fördröjd lastpåläggning även på Nexanstorven, se Tabell 7 och Figur 19.

Tabell 6. Resultat från försök med 1 timmas fördröjning till påläggning av kompressionslast på Hummeltorpstörv.

Hummeltorp, 1h till belastning, Lab I 28d (4 st prov)			Hummeltorp, 1h till belastning, Lab II, 28d (8 st prov)		
	Densitet g/cm ³	Skjuv hållf. kPa		Densitet g/cm ³	Skjuv hållf. kPa
Medelvärde	1,18	180,5	Medelvärde	1,18	148,8
Standardavvikelse	0,007	7,5	Standardavvikelse	0,006	36,7
Varians	5,6E-5	56,3	Varians	3,4E-5	1343,9

Stabiliserad törv Hummeltorp

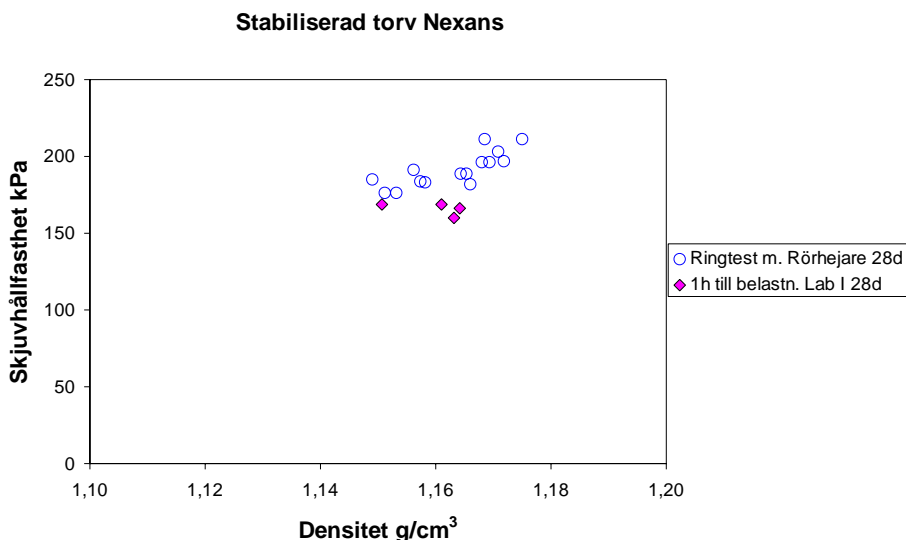


Figur 18. Resultat från försök med 1 timmas fördröjning till påläggning av kompressionslast på Hummeltorpstörv. Som referens är resultaten från ringtesten inlagda i diagrammet.

Även dessa resultat tyder på en lägre hållfasthet då kompressionslasten inte läggs på provet direkt. Skillnaden är dock inte lika tydlig som i försöken på Hummeltorpstörven, se Figur 18.

Tabell 7. Resultat från försök med 1 timmas fördröjning till påläggning av kompressionslast på Nexanstorv.

Nexans, 1 h till belastning Lab I 28d (4 st prov)		
	Densitet g/cm ³	Skjuv hållf. kPa
Medelvärde	1,16	166,0
Standardavvikelse	0,006	4,2
Varians	3,9E-5	18,0



Figur 19. Resultat från försök med 1 timmas fördröjning till påläggning av kompressionslast på Nexanstorv. Som referens är resultaten från ringtesten inlagda i diagrammet.

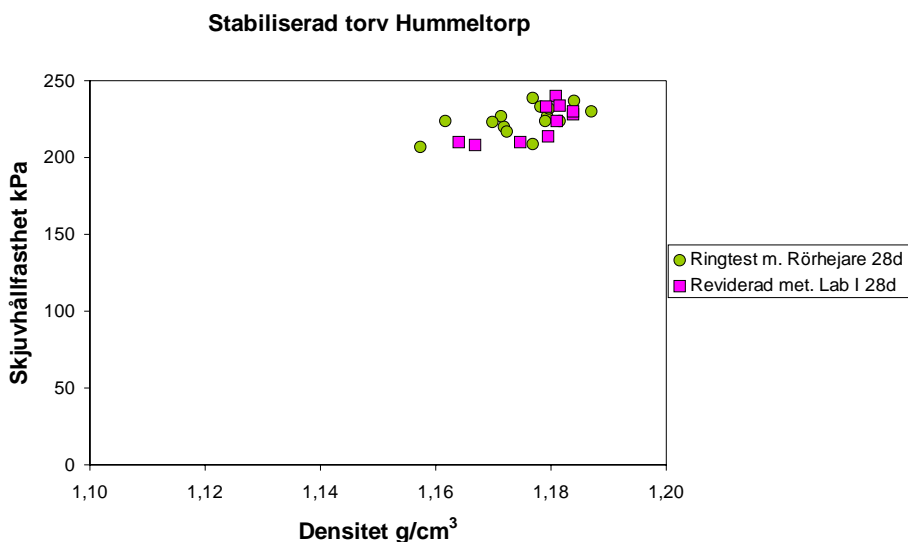
SLUTSATSER

Referensmetoden som tagits fram och testats har visat sig producera provkroppar med rimlig spridning i densitet och hållfasthet. Tester visar att metoden ger likvärdiga provkroppar oberoende av vem som tillverkar dem och att tillverkarens erfarenhet inte är avgörande för att få fram bra provkroppar. Resultaten visar även att metoden fungerar på olika typer av torv, två sorters torv har testats med goda resultat.

Ett antal försök har haft en avvikande skjuvhållfasthet i jämförelse med huvuddelen av resultaten, dessa försök presenteras i Appendix A, tillsammans med en serie kompletterande försök som visar på betydelsen av att inblandningen av stabiliseringsmedel sker på kall torv (ca 7 °C) som förvarats i klimatrum.

Olika metoder för ifyllning av stabiliserad torv i provhylsor har testats och ett verktyg för att avlägsna luftfickor i torven under ifyllning har utvecklats.

Den största enskilda faktorn som påverkar provkropparnas kvalitet verkar vara mängden torv som används per lager, då provhylsan fylls med torv. Vid för stor mängd torv per lager är det svårt att få bort luftfickorna vilket resulterar i ojämna provkroppar med håligheter i mantelytan. Å andra sidan innebär en mindre provmängd per lager, att det tar längre tid att tillverka en provkropp. Detta har både en ekonomisk aspekt – färre provkroppar per tidsenhet – och en teknisk aspekt – det får inte gå för lång tid mellan inblandning av bindemedel och tillverkning av provkroppen. En fungerande lagermängd, för provhylsor med diametern 68 mm, har visat sig vara 0,5 dl. I Figur 20 visas resultatet från provkroppar tillverkade med två olika metoder. Den ena metoden är referensmetoden som användes vid ringtestet och den andra är metoden som kallades för den ”reviderade metoden”. I båda metoderna har 0,5 dl torv per lager använts, men metoden för avlägsnande av luftfickor skiljer sig.

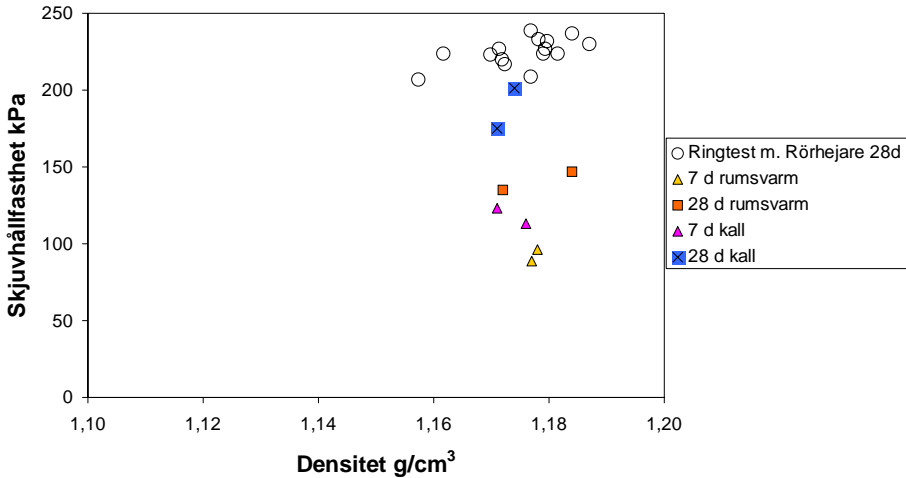


Figur 20. Vid bägge provtillverkningsmetoderna har 0,5 dl torv per lager använts.

REFERENSER

- EuroSoilStab (ESS).** Development of design and construction methods to stabilise soft organic soils. Design guide soft soil stabilisation. CT97-0351. Project No. BE-96-3177
- Pousette, K. (2003).** Stabilisering av torv – ringtest av referensmetod för tillverkning av laboratorieprov. Svensk Djupstabilisering – Arbetsrapport 28.
- SGF (2000).** Kalk- och kalkcementpelare – Vägledning för projektering, utförande och kontroll. Rapport 2:2000.
- Åhnberg, H., Bengtsson P.-E. and Holm, G. (2001).** Effect of initial loading on the strength of stabilised peat. Ground Improvement, vol 5, no 1, pp 35-40.

Stabiliserad torv Hummeltorp

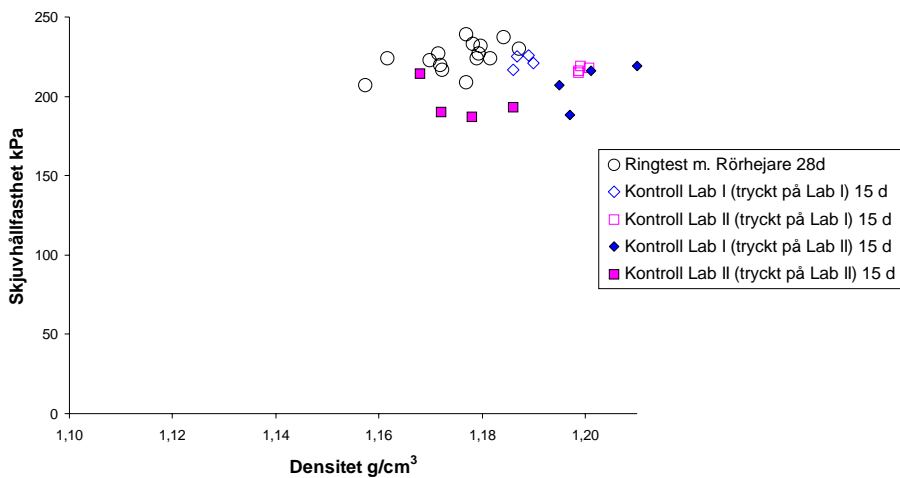


Figur B. Resultat från försöken med inblandning av stabiliseringsmedel i rumsvarm respektive klimatrumskall torv.

För att slutligen kontrollera, efter avslutande tester, att referensmetoden fungerar utfördes en serie kontrollförsök där 8 st. provkroppar vardera tillverkades av Lab I respektive Lab II. Provkropparna tillverkades på torv från samma hink och inblandningen av cement gjordes på torv tagen direkt från klimatrum (7 °C). Fyra av provkropparna som tillverkats av Lab I trycktes på Lab II och fyra av provkropparna som tillverkats på Lab II trycktes på Lab I. Resultatet från provtryckningen efter 15 dygn visar på en god överensstämmelse med resultaten från ringtesten, se Figur C. Detta tyder på att de tidigare avvikande resultaten huvudsakligen beror på att vissa av prover var tillverkade med rumsvarm torv.

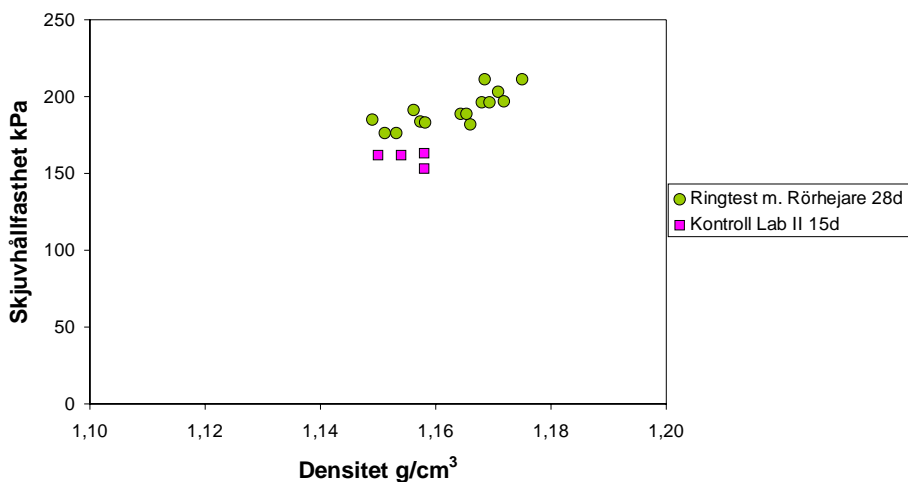
Även på Nexanstorven gjordes en avslutande test för att kontrollera referensmetoden, se Figur D.

Stabiliserad torv Hummeltorp



Figur C. Resultat från kontrollförsök provtryckta efter 15 dygn.
Resultat från ringtesten finns med som referens.

Stabiliserad torv Nexans



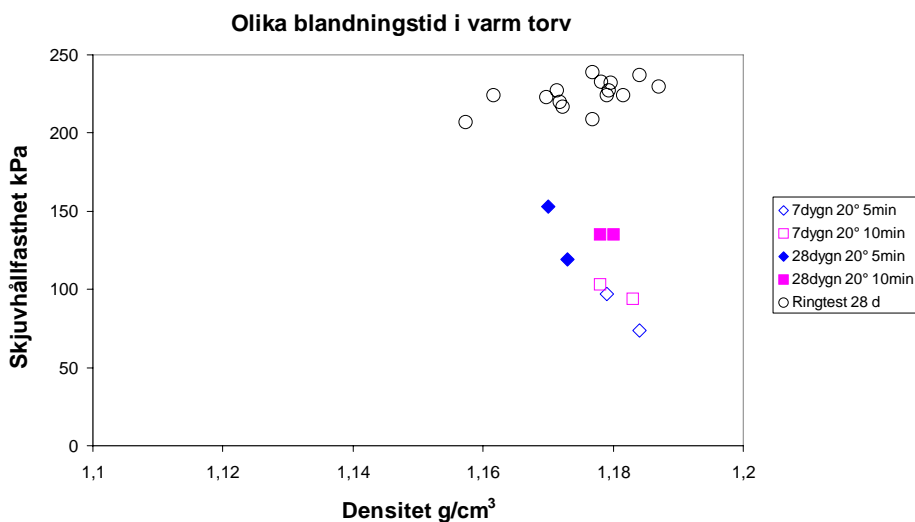
Figur D. Resultat från kontrollförsök med Nexanstorv provtryckta efter 15 dygn.
Resultat från ringtesten finns med som referens.

BLANDNINGSTID

En serie försök utfördes med en längre tid för inblandning av stabiliseringsmedel för att se hur det påverkade provkropparnas egenskaper och i detta fall på varm torv, se Figur E. I alla testblandningar har stabiliseringsmedlet blandats i 5 minuter på hastighet 1. Här testades även 10 minuters inblandning på hastighet 1.

Försöken visar i detta fall att hållfastheten inte blir högre med längre blandningstid. Dock ser man på torven att den blir mer sönderdelad efter 10 minuters blandning istället för 5 minuter.

Tidigare erfarenheter där man tittat på blandningsenergin som tillförts provet, (exempelvis Larsson et al. 2003), visar att vid mer energitillförsel ökar hållfastheten. Därför skall hastigheten på blandningsverktyget vara den lägsta och endast köras i 5 minuter.



Figur E. Resultat från försök med olika blandningstider på Humeltorpstorr. Inblandningen skedde på rumsvarm torr.

REFERENSER

Larsson, S. (2003). Mixing processes for ground improvement by deep mixing. Diss. Royal Institute of Technology. Division of Soil and Rock Mechanics / Kungliga tekniska högskolan. Jord- och bergmekanik. TRITA-JOB PHD 1004.

Rapport

1. **Erfarenhetsbank för kalk-cementpelare.** 1997
Torbjörn Edstam
2. **Kalktypens inverkan på stabiliseringsresultatet. En förstudie.** 1997
Helen Åhnberg & Håkan Pihl
3. **Stabilisering av organisk jord med cement- och puzzolanreaktioner** 2000
Karin Axelsson, Sven-Erik Johansson & Ronny Andersson
4. **Provbanks på kalk/cementpelarförstärkt gyttja och sulfidhaltig lera i Norrala** 1999
Rolf Larsson
5. **Masstabilisering** 2000
Nenad Jelusic
6. **Blandningsmekanismer och blandningsprocesser – med tillämpning på pelarstabilisering** 2000
Stefan Larsson
7. **Deformation Behaviour of Lime/Cement Column Stabilized Clay** 2000
Sadek Baker
8. **Djupstabilisering med kalkcementpelare – metoder för produktionsmässig kvalitetskontroll i fält** 2001
Morgan Axelsson
9. **Olika bindemedels funktion vid djupstabilisering** 2001
Mårten Janz & Sven-Erik Johansson
10. **Mitigation of Track and Ground Vibrations by High Speed Trains at Ledsgård, Sweden** 2002
Göran Holm, Bo Andréasson, Per-Evert Bengtsson, Anders Bodare & Håkan Eriksson
11. **Miljöeffektbedömning (LCA) för markstabilisering** 2003
Tomas Rydberg & Ronny Andersson
12. **Mixing Processes for Ground Improvement by Deep Mixing** 2004
Stefan Larsson
13. **Proceedings of the International Conference on Deep Mixing – Best Practice and Recent Advances, Deep Mixing '05** 2005
Stockholm, May 23 – 25, 2005



Svensk Djupstabilisering
Swedish Deep Stabilization Research Centre
c/o SGI, SE-581 93 Linköping
Phone: +46 13 20 18 61, Fax: +46 13 20 19 14
Internet: www.swedgeo.se/sd