

REFERENCEBLAD FOR KOMPRIMERINGSKONTROL

Dansk Geoteknisk Forenings Feltkomité
November 2017

Indholdsfortegnelse

1.	Indledning	2
2.	Materialekrav	2
2.1	Friktionsmaterialer	3
2.2	Råjord af ler og sand	3
3.	Udførelse	3
4.	Referenceforsøg	4
4.1	Proctorforsøg	4
4.2	Vibrationsforsøg	4
4.3	Relativ lejringsstæthed (Løseste/fasteste)	4
5.	Journal	4
6.	godkendelseskriterier	5
6.1	Friktionsmaterialer	5
6.1.1	Middel-/mindsteværdi	5
6.1.2	Statistisk godkendelse	5
6.1.3	Relativ lejringsstæthed, I_D	6
6.2	Råjord af ler og sand	6
7.	Kvalitetsstyring	6
8.	Øvrige metoder	7
8.1	Pladebelastningsforsøg	7
8.2	Minifaldlodsforsøg	7
8.3	Sand/vand efterfyldning	7
8.4	Let rammesondering	7
8.5	Tryksondering (CPT)	7
9.	Referencer	8
9.1	Standarder	8
9.2	Udbudsforskrifter	8
9.3	Vejledninger, håndbøger og referenceblade	9

Bilag:

1	Eksempel på journal
---	---------------------

1. INDLEDNING

Formålet med dette referenceblad er at sikre at komprimeringskontrol af indbyggede materialer under og omkring konstruktioner udføres som beskrevet i Geotekniknormen afsnit 5.3.4, se ref. /3/, og de tilhørende udførelsesstandarder, som er vist i referencelisten i afsnit 9. Der henvises kun til standarderne på meget specifikke steder, f.eks. glødetab.

Komprimeringskontrollen skal sikre, at materialet er komprimeret tilstrækkeligt til at optage lasterne fra selve bygningskonstruktionen og sikre, at der ikke kommer uønskede deformationer af de indbyggede materialer. Eksempler på konstruktioner kan være

- Funderingsunderlag, dvs. under fundamenter og gulve
- Tilfyldning, f.eks. af kældervægge, broers endevederlag, støttemure o.l.
- Konstruktioner opbygget af jord (dæmninger o.l.)
- Kombinerede bære- og drænlag, f.eks. under boldbaner
- Indfyldning som ballast f.eks. over vindmøllefundamenter

Komprimeringskontrollen udføres normalt med isotopsonde. Endvidere kan statiske pladebelastningsforsøg anvendes, eller der kan anvendes sand-/vandefterfyldning, se ref. /18/, samt ramme- og tryksondering, som beskrevet i ref. /3/, afsnit 5.3.4. I dette referenceblad beskrives kun den førstnævnte metode, mens de øvrige metoder omtales kort.

Referencebladet omfatter kun de naturmaterialer, som er egnet til indbygning, samt knust beton (0-31,5 mm).

Det er den projekterendes ansvar at definere kontrolarbejdets omfang.

Anlæg til jernbaner og vej er ikke omfattet af nærværende referenceblad. Der henvises til Banedanmarks banenormer og Vejdirektoratets udbudsforskrifter.

2. MATERIALEKRAV

Generelt gælder, at materialer, hvis tilstand og karakter umuliggør en forskriftsmæssig indbygning ikke må indbygges, f.eks. opblødt jord, frossen jord, sne, is, affald, trærester, silt, gytje og tørvejord. Ligeledes må materialerne som hovedregel ikke indeholde forurenende stoffer.

Sten og ler- og siltklumper, der er større end halvdelen af den anvendte indbygningslagtykkelse, bør ikke indbygges. Eventuel indbygning af sådanne materialer skal foretages ud fra specielle krav til metode og materiel.

Et materiale kan karakteriseres ved dets kornkurve. Behovet for styring af kornkurven for materialerne kan variere fra projekt til projekt afhængigt af funktionskravene. De angivne værdier for middeldkornstørrelse, uensformighedstal m.m. er således vejledende, og de kan skærpes eller lompes afhængigt af kravet til eksempelvis komprimerbarhed, bæreevne ved indbygning, drænevne, filtervirkning, frostsikkerhed, frostbestandighed m.m.

Afhængigt af det enkelte projekts karakter og finansiering kan der være andre krav, som der skal tages hensyn til, eksempelvis anvendelse af CE mærkede produkter for offentlige byggerier.

Vandindholdet i indbygningsmaterialet skal ved indbygningen være tæt på det optimale. Indbygningsegnetheden, herunder det naturlige vandindhold, kan være meget afhængig af, hvornår på året indbygningen finder sted.

Eventuel brug af forurenede råjord skal følge gældende lovgivning / myndighedskrav.

2.1 Friktionsmaterialer

Materialet bør opfylde kravene til Stabilt grus og bundsikringsmaterialer kvalitet I eller kvalitet II eller knust beton (0/31,5mm) i Vejdirektoratets udbudsforskrifter, AAB for Stabilt grus, ref. /14/, AAB for Bundsikring af sand og grus, ref. /12/, eller AAB for Ubundne bærelag af knust beton og tegl, ref. /15/. Det er den projekterendes ansvar at beskrive de specifikke krav til kornkurve, kornform, finstofindholdet og uensformighedstallet.

2.2 Råjord af ler og sand

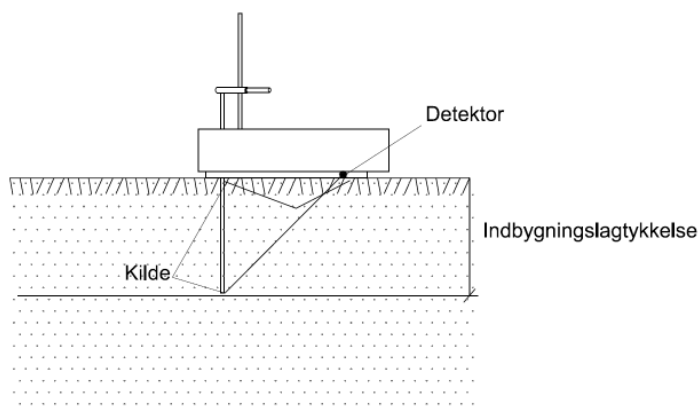
Råjord kan både være friktionsjord (sand/grus) og kohæsionsjord (ler). Indbygningseget råjord må ikke indeholde groft materiale i et omfang, der medfører hulrum (stenrede) og materialetransport gennem den indbyggede råjord, ref. /13/. Glødetab bestemmes iht. prVI 99-9:2010, ref. /20/, og bør erfaringsmæssigt ikke overstige følgende værdier i henhold til ref. /16/:

- Friktionsjord: 1,0 -1,5 %
- Kohæsionsjord: 2,0 – 2,5 %

Ovenstående krav til glødetab kan være anderledes i ret fed og fed ler, hvor det bør overvejes om der skal reduceres for krystalvand.

3. UDFØRELSE

Komprimeringskontrol med isotopsonden, se figur 3.1, kan udføres i de fleste materialer. Dog må materialet ikke være alt for inhomogent eller lagdelt. For en mere detaljeret beskrivelse henvises til Felthåndbogen, ref. /18/ eller VD prVI99-10-2011. Der må ikke udføres forsøg på frosne materialer.



Figur 3.1: Skitse af isotopsondemåler.

Isotopsonden måler jordens vandindhold og våddensitet. Ud fra vandindhold og våddensitet beregnes tørdensiteten. Ved måling i knust beton kombineres måling med isotopsonden med vandindholdsbestemmelse ved ovtørring, idet der skal korrigeres for kemisk bundet vand i materialerne.

Den beregnede tørdensitet sammenholdes med referenceværdien fra proctor- eller vibrationsforsøget. I specielle tilfælde benyttes den relative lejringsstæthed som reference. Referenceforsøgene er beskrevet i afsnit 4.

Det anbefales at byggeriet opdeles i kontrolafsnit af maksimalt 500 m², med en maksimal længde på 100 m og et maksimalt volumen på 300 m³ indbygget, ensartet materiale.

Inden for hvert kontrolafsnit udføres en måleserie bestående af mindst 5 jævnt fordelte målepunkter i hvert niveau. Måleserierne udføres som minimum efter 0,6 m indbygning og herefter som minimum for hver meter indbygget materiale; desuden i funderingsniveau og i det afsluttende lag.

Det er den projekterende som fastlægger det endelig omfang af komprimeringskontrollen.

4. REFERENCEFORSØG

Generelt bør der som minimum udføres 1 referenceforsøg på det materiale som leveres på pladsen. Der udføres mindst 1 stk. referenceforsøg pr. 1000 m³ indbygget materiale for friktionsmaterialer og mindst 1 stk. referenceforsøg pr. 500 m³ indbygget materiale for råjord.

Det er den projekterendes opgave at definere hyppigheden af de krævede referenceforsøg for den aktuelle opgave.

4.1 Proctorforsøg

Proctorforsøget udføres i laboratoriet på hjembragt materiale. Et proctorforsøg består af adskillige delforsøg. Hvert delforsøg svarer til et punkt på proctorkurven. Af kurven kan det optimale vandindhold og den maksimale tørdensitet for materialet aflæses.

Proctorforsøget udføres ved proctorindstampning i henhold til DS/EN 13286-2, ref. /1/ på materialer med mere end 5-10 % finstof (kornstørrelse mindre end 0,063 mm), og med frasortering af sten større end 16 mm.

4.2 Vibrationsforsøg

Vibrationsforsøget udføres i laboratoriet på hjembragt materiale. Et forsøg giver en tørdensitet nær det optimale med et tilhørende vandindhold. Et vibrationsforsøg udføres bedst på materialer med mindre end 12 % finstof (< 0,063 mm) og uden sten større end 80 mm. Vibrationsforsøget udføres i henhold til DS/EN 13286-5, ref. /6/.

4.3 Relativ lejringsstæthed (Løseste/fasteste)

Som alternativ til proctorforsøg og vibrationsforsøg kan relativ lejringsstæthed anvendes. Den relative lejringsstæthed bestemmes i laboratoriet på hjembragt materiale. Ved de to standardiserede forsøg bestemmes hhv. den største og den mindste densitet for materialet.

De to forsøg er beskrevet i detaljer i Laboratoriehåndbogen, ref./19/. Forsøgene udføres kun på friktionsmaterialer med kornstørrelse mindre end 16 mm og finstofindhold mindre end 2-5 % iht. ref. /16/.

5. JOURNAL

Resultaterne præsenteres som regel i skemaform. Et eksempel er vedlagt i bilag 1.

Alle relevante data for det enkelte forsøg skal afrapporteres i en prøvejournal. Journalen bør som minimum indeholde følgende:

- Dato
- Sagsnavn, sagsnr., sted
- Navn på kontrollant

For hvert målepunkt bør endvidere indgå:

- Målepunkt nr.
- Placering, evt. på skitse
- Kote til målepunkt – evt. relativ
- Materiale
- Evt. forhold, der kan have indflydelse på måledata – dybdevirkning (måling i et ”hul”)

6. GODKENDELSESKRITERIER

Godkendelseskriterier for komprimeringskontrol baseres på middelværdi og mindsteværdi af den tidligere beskrevne måleserie, se afsnit 3. Der kan dog også anvendes en statistisk metode baseret på gennemsnit og standardafvigelse. Godkendelseskriterium skal fastholdes for hele indbygningen.

Komprimeringsgraden beregnes som forholdet mellem den i marken målte tørdensitet med isotopsonde og den i laboratoriet bestemte maksimale tørdensitet. Der henvises til et proctorforsøg som f.eks. 98 % SP (Standard Proctor) og til en vibrationsindstampning som f.eks. 95 % VI (vibrationsforsøg).

6.1 Friktionsmaterialer

6.1.1 Middelværdi/mindsteværdi

Ved indbygning af friktionsmaterialer under og omkring konstruktioner bør komprimeringen opfylde de i tabel 6.1 viste krav til godkendelse af én måleserie:

Tabel 6.1: Vejledende komprimeringskrav for sand- og grusfyld samt knust beton.

	Sandfyld (% sten < 10 %)	Sand-/grusfyld (% sten > 10 %)	Knust beton (0/31,5)
	Middelværdi/mindsteværdi	Middelværdi/mindsteværdi	Middelværdi/mindsteværdi
Fundamenter	98/96-97 % SP	95/93-95 % VI	95/93-95 % VI
Gulve	98/95-96 % SP	95/92 % VI	95/92 % VI

Værdierne i ovenstående tabel er et udtryk for feltkomitéens erfaringer. Det er op til den projekterende at fastsætte de endelige godkendelseskriterier.

6.1.2 Statistisk godkendelse

Indbygning af friktionsmaterialer under og omkring konstruktioner kan også godkendes ved statistisk bedømmelse, såfremt der foreligger 5 eller flere målinger.

Ved metoden anses komprimeringskravet for opfyldt i et kontrolafsnit, når følgende ulighed er opfyldt, ref /12/:

$$g - k \cdot s \geq K$$

K = 92 % VI (svarende til mindsteværdien)

g = Gennemsnittet, $\sum x/n$

s = Standardafvigelsen, $\sqrt{\sum(x - g)^2/(n - 1)}$

x = Enkeltmålingerne

n = Antallet af målinger

k = En konstant, der findes i følgende tabel:

n	5	6	7	8	9	10	15	20	25	30	40	50
k	1,96	1,86	1,79	1,74	1,70	1,67	1,58	1,53	1,50	1,47	1,44	1,43

Hvis én måleserie forkastes skal der foretages en vurdering af nødvendige tiltag, som kan være justering af vandindhold, efterkomprimering og/eller vurdering af anvendt materiale og materiel.

6.1.3 Relativ lejringstæthed, I_D

Såfremt krav til måleserie og materialer er opfyldt, se ref. /16/, kan der i det indbyggede friktionsmateriale overslagsmæssigt regnes med en min. relativ lejringstæthed på 0,65/0,55 i middel/mindsteværdi.

Tørdensiteten, som er målt i felten med isotopsonde, omregnes til poretal, $e_{in-situ}$, som herefter relateres til det største og det mindste poretal bestemt i laboratoriet hhv. e_{max} og e_{min} samt nedenstående formel:

$$I_D = \frac{e_{max} - e_{in-situ}}{e_{max} - e_{min}}$$

Herved angives den relative lejringstæthed som f.eks. $I_D = 0,55$.

På baggrund af blandt andet lejringstæthed og det indbyggede friktionsmateriales U-tal kan materialets friktionsvinkel bestemmes.

6.2 Råjord af ler og sand

Ved indbygning af råjord omkring konstruktioner bør komprimeringen opfylde kravene i tabel 6.2 for hver måleserie:

Tabel 6.2: Vejledende komprimeringskrav for råjord.

	Kohæsionsjord (ler)		Friktionsjord (sand og grus)	
	Middelværdi	Mindsteværdi	Middelværdi	Mindsteværdi
Omkring konstruktioner	96 % SP	93 % SP	95 % VI	92 % VI

Værdierne i ovenstående tabel er et udtryk for feltkomitéens erfaringer og svarer til kravene fra ref. /13/. Den projekterende skal fastsætte de endelige godkendelseskriterier.

Indbygning af råjord omkring konstruktioner kan ligeledes godkendes ved statistisk bedømmelse, såfremt der foreligger 5 eller flere målinger.

Hvis én måleserie forkastes, skal der foretages efterkomprimering og eventuelt udtages materialeprøve til nyt referenceforsøg og sigteanalyse.

7. KVALITETSSTYRING

Alt måleudstyr – både felt- og laboratorieudstyr - skal jævnligt kalibreres i henhold til kravene i standarderne for de enkelte forsøgstyper.

Generelt anbefales det at udstyr som minimum kalibreres en gang årligt.

Kravet til kalibrering for referenceforsøgene proctor og vibration er beskrevet i ref. /4/.

8. ØVRIGE METODER

I visse tilfælde kan der med fordel anvendes andre metoder til komprimeringskontrol end isotopsondemåling. De forskellige metoders anvendelighed for det enkelte projekt bør vurderes nøje af projektlederen. I dette afsnit er nogle af de øvrige metoder kort beskrevet og/eller kommenteret.

8.1 Pladebelastningsforsøg

Komprimeringskontrollen kan udføres med statisk pladebelastningsforsøg i henhold til procedure for vejgeotekniske pladebelastningsforsøg II, ref. /17/.

Denne metode giver en bestemmelse af materialets overflademodul E_0 .

Metoden kræver et modhold på pladsen på ca. 8 - 10 tons, f.eks. en tromle eller bagenden af en gravemaskine, og er mere tidskrævende end isotopsonden.

Ved denne form for komprimeringskontrol anbefales det at udføre et forsøg pr. 1.000 m², dog minimum 3 forsøg. Der bør udføres forsøg for hver lagtykkelse på 2x pladediameteren.

8.2 Minifaldlodsforsøg

Såfremt komprimeringskontrollen udføres med minifaldlodsmålinger bestemmes det dynamiske overflademodul E_{vd} , som kan give en indikation af komprimeringen af materialet.

Metoden udføres med håndholdt udstyr.

8.3 Sand/vand efterfyldning

Metoden er især egnet til komprimeringskontrol, hvor isotopsonden generelt ikke kan benyttes, f.eks. ved kontrol af flyveaske og forbrændingsslagge.

Der henvises til Felthåndbogen, ref. /18/ for en mere detaljeret beskrivelse af udførelsen af sandefterfyldningen.

Vandefterfyldningen er beskrevet principielt i ref. ASTM D 5030, ref. /1/.

8.4 Let rammesondering

Komprimeringskontrollen kan udføres med let rammesonde (DPL) i henhold til procedure for rammesondering i ref. /9/ og /10/. Udstyret fås i form af DPL-5 med 5 cm² spids eller DPL med 10 cm² spids. En vurdering af den relative lejringsstæthed kan ske ud fra angivelserne i Beiblatt 1 til DIN4094-2, ref. /2/.

Komprimeringskontrollen af et kontrolafsnit kan afslutningsvis udføres med let rammesonde i tilfyldningens fulde dybde. Herved dokumenteres den udførte komprimering i alle lag samtidig.

8.5 Tryksondering (CPT)

For større lagtykkelser kan CPT anvendes til komprimeringskontrol ved at kontrollere den relative lejringsstæthed. Der henvises til ref. /7/, /8/, /11/ og /21/.

9. REFERENCER

9.1 Standarder

- /1/ ASTM D5030/D5030M -13a ” Standard Test Methods for Density of Soil and Rock in Place by the Water Replacement Method in a Test Pit”
- /2/ DIN 4094 teil 2 ” Baugrund - Felduntersuchungen - Teil 2: Bohrlochrammsondierung ”, 2003-05
- /3/ DS/EN 1997-1 ”Geoteknik – Del 1:Generelle regler”, 2. udgave, 2007-06-22
- /4/ DS/EN 13286-1 ” Vejmaterialer – Ubundne og hydraulisk bundne blandinger – Del 1: Prøvningsmetoder til laboratoriebestemmelse af referencedensitet og vandindhold – Introduktion, generelle krav og prøveudtagning”, 1. udgave, 2003-07-01
- /5/ DS/EN 13286-2 ” Vejmaterialer – Ubundne og hydraulisk bundne blandinger – Del 2: Prøvningsmetoder til laboratoriebestemmelse af referencedensitet og vandindhold – Proctorforsøg”, 2. udgave, 2011-01-12
- /6/ DS/EN 13286-5 ”Vejmaterialer – Ubundne og hydraulisk bundne blandinger – Del 5: Prøvningsmetoder til laboratoriebestemmelse af referencedensitet og vandindhold - Vibrationsbord”, 1. udgave, 2003-07-01
- /7/ DS/EN ISO 22476-1 ”Geoteknisk undersøgelse og prøvning – Driftsprøvning – Del 1: Undersøgelser med CPT/CPTU”, 1. udgave, 2012-11-23
- /8/ DS/EN ISO 22476-1/AC ”Geoteknisk undersøgelse og prøvning – Driftsprøvning – Del 1: Undersøgelser med CPT/CPTU” - rettelsesblad, 1. udgave, 2013-02-19
- /9/ DS/EN ISO 22476-2 ”Geoteknisk undersøgelse og prøvning – Driftsprøvning – Del 2: Dynamic probing”, 1. udgave, 2005-07-18
- /10/ DS/EN ISO 22476-2/A1 ”Geoteknisk undersøgelse og prøvning – Driftsprøvning – Del 2: Dynamic probing” - tillæg, 1. udgave, 2011-12-22
- /11/ prEN ISO 22476-12 ”Geoteknisk undersøgelse og prøvning – Markprøvning – Del 12: Test med mekanisk kegle penetration (CPT)”, draft april 2006

9.2 Udbudsforskrifter

- /12/ Vejdirektoratets udbudsforskrifter, AAB for bundsikring af sand og grus, december 2016
- /13/ Vejdirektoratets udbudsforskrifter, AAB for jordarbejder, april 2016
- /14/ Vejdirektoratets udbudsforskrifter, AAB for stabilt grus, december 2016
- /15/ Vejdirektoratets udbudsforskrifter, AAB for ubundne bærelag af knust beton og tegl, februar 2011

9.3 Vejledninger, håndbøger og referenceblade

- /16/ SBI-anvisning 231. Fundering af mindre bygninger. 2011
- /17/ Referenceblad for statiske pladebelastningsforsøg”, referenceblad 6, DGF’s feltkomite, 2005
- /18/ Felthåndbogen, dgf-Bulletin 14, Dansk Geoteknisk Forening, 1999
- /19/ Laboratoriehåndbogen”, DGF’s laboratoriekomite, dgf-Bulletin 15, december 2001
- /20/ Vejteknisk Institut (2010): Glødetab, prVI 99-9:2010
- /21/ Cone Penetration Testing – in geotechnical practice”, T. Lunne, P.K. Robertson, J.J.M. Powell, 2002

