



**AALBORG UNIVERSITY**  
DENMARK

**Aalborg Universitet**

## **Løs og fast lejrning**

Nielsen, Benjaminn Nordahl; Nielsen, Søren Dam

*Publication date:*  
2019

*Document Version*  
Også kaldet Forlagets PDF

[Link to publication from Aalborg University](#)

*Citation for published version (APA):*

Nielsen, B. N., & Nielsen, S. D. (2019). *Løs og fast lejrning*. Aalborg Universitet, Institut for Byggeri og Anlæg. DCE Lecture notes Nr. 52

### **General rights**

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- ? Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- ? You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- ? You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal ?

### **Take down policy**

If you believe that this document breaches copyright please contact us at [vbn@aub.aau.dk](mailto:vbn@aub.aau.dk) providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.



**INSTITUT FOR BYGGERI OG ANLÆG**  
AALBORG UNIVERSITET

# **Løs og fast lejrning**

**Benjaminn Nordahl Nielsen**  
**Søren Dam Nielsen**

Aalborg Universitet  
Institut for Byggeri og Anlæg  
Sektionen for byggeri og infrastruktur

**DCE Lecture Notes No. 52**

## **Løs og fast lejrning**

Benjaminn Nordahl Nielsen  
Søren Dam Nielsen

2019

© Aalborg Universitet

## Videnskabelige publikationer ved Institut for Byggeri og Anlæg

**Technical Reports** anvendes til endelig afrapportering af forskningsresultater og videnskabeligt arbejde udført ved Institut for Byggeri og Anlæg på Aalborg Universitet. Serien giver mulighed for at fremlægge teori, forsøgsbeskrivelser og resultater i fuldstændig og uforkortet form, hvilket ofte ikke tillades i videnskabelige tidsskrifter.

**Technical Memoranda** udarbejdes til præliminær udgivelse af videnskabeligt arbejde udført af ansatte ved Institut for Byggeri og Anlæg, hvor det skønnes passende. Dokumenter af denne type kan være ufuldstændige, midlertidige versioner eller dele af et større arbejde. Dette skal holdes in mente, når publikationer i serien refereres.

**Contract Reports** benyttes til afrapportering af rekvireret videnskabeligt arbejde. Denne type publikationer rummer fortroligt materiale, som kun vil være tilgængeligt for rekvirenten og Institut for Byggeri og Anlæg. Derfor vil Contract Reports sædvanligvis ikke blive udgivet offentligt.

**Lecture Notes** indeholder undervisningsmateriale udarbejdet af undervisere ansat ved Institut for Byggeri og Anlæg. Dette kan være kursusnoter, lærebøger, opgavekompendier, forsøgsmanualer eller vejledninger til computerprogrammer udviklet ved Institut for Byggeri og Anlæg.

**Theses** er monografier eller artikelsamlinger publiceret til afrapportering af videnskabeligt arbejde udført ved Institut for Byggeri og Anlæg som led i opnåelsen af en ph.d.- eller doktorgrad. Afhandlingerne er offentligt tilgængelige efter succesfuldt forsvar af den akademiske grad.

**Latest News** rummer nyheder om det videnskabelige arbejde udført ved Institut for Byggeri og Anlæg med henblik på at skabe dialog, information og kontakt om igangværende forskning. Dette inkluderer status af forskningsprojekter, udvikling i laboratorier, information om samarbejde og nyeste forskningsresultater.

Udgivet 2019 af  
Aalborg Universitet  
Institut for Byggeri og Anlæg  
Thomas Manns Vej 23  
DK-9220 Aalborg Ø, Danmark

Trykt i Aalborg på Aalborg Universitet

ISSN 1901-7286  
DCE Lecture Notes No. 52

## **Udgivelser i DCE Lecture Note serien**

Nielsen, B.N. og Nielsen, S.D. 2019, Glødetab, DCE Lecture note no. 48, Aalborg Universitet, Institut for byggeri og anlæg, Aalborg.

Nielsen, B.N. og Nielsen, S.D. 2019, Hydrometeranalyse, DCE Lecture note no. 49, Aalborg Universitet, Institut for byggeri og anlæg, Aalborg.

Nielsen, B.N. og Nielsen, S.D. 2019, Konsistensgrænser, DCE Lecture note no. 50, Aalborg Universitet, Institut for byggeri og anlæg, Aalborg.

Nielsen, B.N. og Nielsen, S.D. 2019, Kornvægtfylde, DCE Lecture note no. 51, Aalborg Universitet, Institut for byggeri og anlæg, Aalborg.

Nielsen, B.N. og Nielsen, S.D. 2019, Rumvægt, DCE Lecture note no. 53, Aalborg Universitet, Institut for byggeri og anlæg, Aalborg.

Nielsen, B.N. og Nielsen, S.D. 2019, Sigteanalyse, DCE Lecture note no. 54, Aalborg Universitet, Institut for byggeri og anlæg, Aalborg.

Nielsen, B.N. og Nielsen, S.D. 2019, Vandindhold, DCE Lecture note no. 55, Aalborg Universitet, Institut for byggeri og anlæg, Aalborg.

## Forord

Denne vejledning omhandler bestemmelse af løs og fast lejrning af jordarter.

Vejledningen er en del af en serie, der beskriver udførelsen af geotekniske klassifikationsforsøg som de foretages i laboratoriet for fundering ved Aalborg Universitet.

Vejledningen er opbygget på følgende måde:

- *Tilhørende standarder*
- *Definitioner*
- *Apparatur*
- *Kalibrering af udstyr*
- *Klargøring af prøvemateriale*
- *Forsøgsprocedure*
- *Beregninger*
- *Rapportering*
- *Bemærkninger*
- *Skema til brug for forsøgsudførelse*
- *Evt. bilag*

Det må anbefales brugeren af denne vejledning at læse hele vejledningen igennem inden forsøget påbegyndes.

Nummerering på figurer er i teksten angivet med { }.

Enheder er angivet med [ ], f.eks. [%].



## Tilhørende standard

Til dette forsøg findes ingen national eller international standard.

## Definition

Til karakterisering af jordarterne sand og grus har man indført begrebet den relative lejringstæthed:

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

$e_{\text{in situ}}$  er jordartens naturlige poretal.

En jordarts poretal er givet ved  $e_{\max}$  for den løseste lejring og  $e_{\min}$  for den fasteste lejring som er bestemt ved standardiserede laboratorieforsøg.

$I_D$  er et tal som vokser fra 0 til 1, når lejringstætheden varierer fra den løseste til den fasteste lejring.

Der skelnes mellem 2 typer forsøg som afhænger af den maksimale kornstørrelse  $d_{\max}$ :

$$d_{\max} \leq 5,0 \text{ mm}$$

Lille cylinder: Diameter: 3,57 cm  
Højde: 7,00 cm  
Areal: 10,00 cm<sup>2</sup>  
Volumen: 70,0 cm<sup>3</sup>

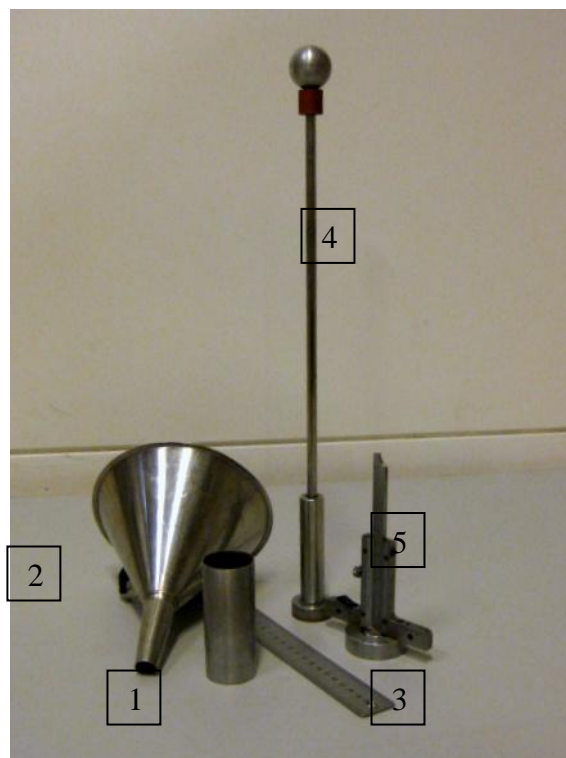
$$5 \text{ mm} < d_{\max} \leq 16,0 \text{ mm}$$

Stor cylinder: Diameter: 7,00 cm  
Højde: 14,40 cm  
Areal: 38,48 cm<sup>2</sup>  
Volumen: 554,00 cm<sup>3</sup>

## Apparaturliste

Apparatur som benyttes i forsøget, numrene henviser til figur 1.

- Cylinder (stor/lille) {1}
- Tragt {2}
- Stållineal {3}
- Stamper passende til valgte cylinder {4}
- Specialskydelære passende til valgte cylinder {5}
- Vægt, vejenøjagtighed 0,01 g
- Sigte med maskevidde på hhv. 5 mm eller 16 mm



Figur 1: Benyttet apparatur til forsøg med lille cylinder. Numrene henviser til apparaturlisten herover.



## **Kalibrering af udstyr**

Udstyret kræver ingen særlig kalibrering. Dimensionerne på cylinderen skal kontrolleres før hvert forsøg. Afviger det målte fra de opgivne mål skal dette noteres, og de målte værdier benyttes.

## **Klargøring af prøvemateriale**

Der udtages en repræsentativ delprøve af jordprøven.

Lille cylinder ca. 300 g tørvægt

Stor cylinder ca. 2500 g tørvægt

Delprøven tørres i tørreskab ved 105°C til konstant vægt. Efter tørring findeles materialet med fingrene eller med gummi-pistil (morter med gummi støder). Til lille cylinder hældes materialet gennem 5 mm sigte. Til stor cylinder hældes materialet gennem 16 mm sigte. Det gennemfaldne materiale anvendes til forsøgene.

## Forsøgsprocedure

### Løs lejring, $e_{\max}$

#### Lille cylinder

- Cylinderen anbringes i en bakke eller på et stykke papir.
- Tragten anbringes i cylinderen.
- Tragten fyldes forsigtigt i mindre portioner, og materialet skal glide på tragten for at undgå tæt lejring i tragttuden, som det kan ses på figur 2. Der ifyldes tilstrækkeligt materiale til fuldstændig fyldning af cylinderen, således at materialet løber over kanten af cylinderen når tragten hæves.



Figur 2: Materiale fyldes i lille cylinder ved at lade det glide forsigtigt ned langs kanten af tragten.

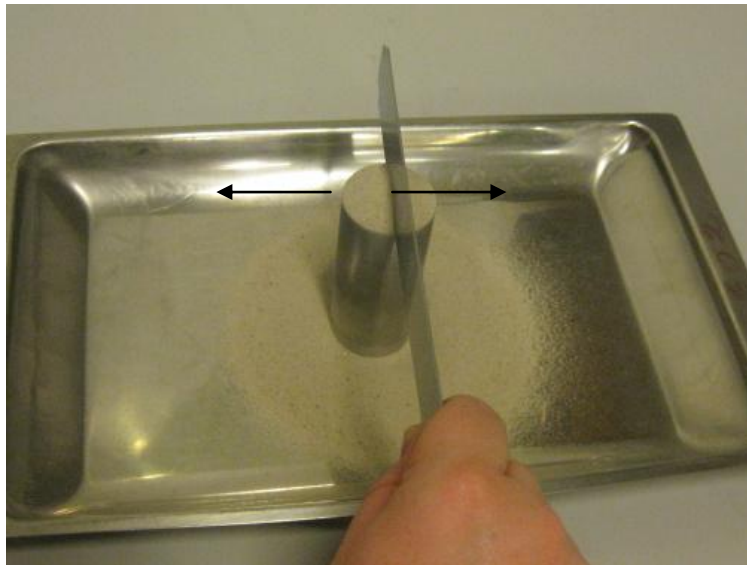
- Tragten hæves nu langsomt op over en periode over ca. 1 min. Tragten skal føres i en ensartet og glidende bevægelse, hvor rystelser og ryk undgås. Udmundingen af tragten skal hele tiden være umiddelbart over materialets overflade og midt i cylinderen.
- Når cylinderen er fyldt op med top på, og materialet løber over, fjernes tragten, illustreret på figur 3.
- Overfladen af materialet afrettes med stållineal langs oversiden af cylinderen, idet linealen bevæges fra midten og ud mod siderne, se figur 4.
- Der slås hårdt to gang i bordet ved siden af cylinderen, således at materialet sætter sig, og man derved undgår at spille, som det kan ses figur 5.

- Materiale på ydersiden af cylinderen børstes væk med en pensel, og cylinderen med materialet vejes,  $Cyl+W_s$ .
- Alt materialet fjernes fra cylinderen, benyt evt. en pensel eller trykluft, og cylinderen vejes,  $Cyl$ .

Forsøget udføres 3 gange, og  $e_{max}$  findes som gennemsnittet af målingerne.



Figur 3: Lille cylinder fyldt med materiale, og overskydende materiale løber over.



Figur 4: Afretning af materialet langs oversiden af cylinderen. Der afrettes fra midten og ud.



Figur 5: Afrettet cylinder, hhv. før og efter der er slået hårdt i bordet.

### ***Stor cylinder***

I stedet for tragt anvendes en ske. Cylinderen holdes skråt, og materialet løber forsigtigt ned i cylinderen. Når cylinderen er fyldt, rettes prøven forsigtigt af som ved lille cylinder.

## Fast lejring, $e_{\min}$

### Lille og stor cylinder

Normalt benyttes samme materiale, som umiddelbart forinden har været brugt til løs lejring.

Materialet ifyldes cylinderen ad 5 lag af samme tykkelse. Og hver lag indstemples med et bestemt antal slag:

Tabel 1: Antal slag der skal bruges til de respektive lag.

Lag	Slag
1	5
2	10
3	20
4	40
5	80

Hver gang der ifyldes et lag, udjævnes overfladen forsigtigt med en stållineal, figur 6, inden stamperen forsigtigt anbringes ned på det afrettede sandlag.



Figur 6: Afretning af overfladen af materialet med en stållineal.

Stamperen holdes lodret, og faldloddet skal for hvert slag føres helt op mod stopklodsen, hvorfra det skal falde frit.



**Figur 7: Faldloddet ført helt op til stopklodsen ved stamning.**

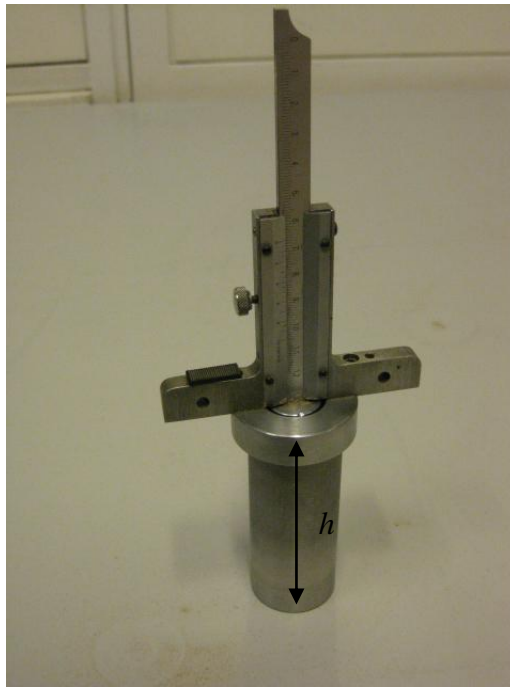
Med mellemrum, for hvert 10 à 20 slag, løftes stamperen lidt for at sikre, at der ikke fastklemmes materiale mellem stamper og cylindervæg. Eventuelt materiale som er presset op på stamperens underside fjernes.

Når sidste lag er indstampet, skal cylinderen være næsten fyldt op. Afstanden fra cylindertop til den indstampede prøves overside skal dog være:

Lille cylinder ca. 0,5 cm

Stor cylinder ca. 1,0 cm

Efter sidste indstampning kontrolleres at der ikke sidder materiale fast på undersiden af stamperen, eventuelt materiale på stamperen børstes forsigtigt tilbage i cylinderen. Specialskydelæren sættes på kanten af cylinderen, og den resulterede prøvehøjde,  $h$ , måles direkte, figur 8, dvs. at det er højden af materialet der måles med specialskydelæren.



**Figur 8: Måling af højden af materialet med specialskydelæren.**

Eventuelt materiale på ydersiden af cylinderen fjernes, og cylinderen med materialet vejes,  $Cyl+W_s$ . Materialet fjernes fra cylinderen, og cylinderen vejes,  $Cyl$ . Materiale der har været benyttet til fast lejringsforsøg må ikke benyttes til lignede eller andre forsøg.

Forsøget udføres 3 gange, og gennemsnittet af de to udregninger er  $e_{\min}$ .

## Beregninger

Poretallet bestemmes for hvert forsøg ved udtrykket:

$$e = \frac{d_s \cdot \rho_w \cdot V}{W_s} - 1$$

$d_s$  er kornvægtfylde [rent tal]

$V$  er volumen af materialet [ $\text{cm}^3$ ]

$\rho_w$  er vands densitet,  $1 \text{ g/cm}^3$

Det naturlige poretal  $e_{\text{in situ}}$  kan bestemmes ved udtrykket

$$e_{\text{in situ}} = (1 + w) \frac{d_s}{\gamma} \cdot \gamma_w - 1$$

$w$  er det naturlige vandindhold [rent tal]

$\gamma$  materialets rumvægt [ $\text{kN/m}^3$ ]

$\gamma_w$  vands rumvægt,  $10 \text{ kN/m}^3$

## Rapportering

Lejringstæthederne bør angives med 2 decimaler.

Rapporten bør indeholde oplysninger om prøvematerialet, samt eventuelle mængde af materiale tilbageholdt på 5 eller 16 mm sigten.

De målte størrelser, poretallene for jordartens henholdsvis løsest og fastest lejring og lejringstæthed angives.

Det opgives om jordkornenes relativ densitet er bestemt ved forsøg eller om den er skønnet.



## **Bemærkninger**

Til udførelse af løs og fast lejrning må ikke benyttes materiale, der har været sigtet, men lejringsforsøg og sigtning foretages på hver sin delprøve.

Løs lejrning skal altid udføres før fast lejrning.

Finkornet materiale vil undertiden ikke falde gennem tragten. I så fald anbringes materialet i cylinderen som beskrevet for stor cylinder.

Den angivne standardmetode for udførelse af lejringsforsøg er ikke international.

Sag			Sag nr.
Undersøgt d.	til	Lab. nr.	Boring nr.
Kontr. d.	Godk. d.	Kote	Bilag nr.

Relativ densitet  $d_s$   målt  skønnet

Poretal 
$$e_{\text{in situ}} = (1 + w) \cdot \frac{d_s}{\gamma} \gamma_w - 1 =$$

## LØS LEJRING

Prøve	Nr					
A (10,0/ 38,48)	cm <sup>2</sup>					
h (7,0/14,4)	Cm					
V (70,0/554,0)	cm <sup>3</sup>					
Cyl. + $W_s$	G					
Cyl.	G					
$W_s$	G					
$e = \frac{d_s \cdot \rho_w \cdot V}{W_s} - 1$						

$e_{\text{max}} =$

## FAST LEJRING

Prøve	Nr					
A (10,0/38,48)	cm <sup>2</sup>					
h	Cm					
V	cm <sup>3</sup>					
Cyl. + $W_s$	G					
Cyl.	G					
$W_s$	G					
$e = \frac{d_s \cdot \rho_w \cdot V}{W_s} - 1$						

$e_{\text{min}} =$

Relativ lejringstæthed

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

