



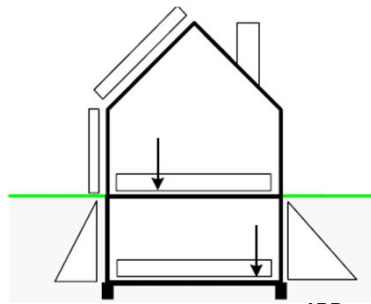
Dagsorden - 17. april 2015

- Intro
 - Jordtyper
- Klassifikationsforsøg
 - Vandindhold
 - Sigteanalyse
 - Kornvægtfylde
 - Løs og fast lejring
- Laboratoriegang
- Styrkeegenskaber
 - Tolkning af forsøgsresultater
 - Beregning af styrkeegenskaber

Intro – Hvad er geoteknik?

Geoteknik betragter jorden som et bygningsmateriale

- Alle bygværker er på en eller anden måde fundereret
- Belastninger overføres hensigtsmæssigt til undergrunden
- Fundament – overgangsled mellem bygværk og undergrund



P2 workshop

AALBORG UNIVERSITET

3

Intro – Hvad er geoteknik?

Jord som byggemateriale

- Jordbundsforhold er ukendte
- Umuligt at se hvad der gemmer sig under jordoverfladen

Parametre for jord er i første omgang ikke kendt

- I modsætning til stål, beton og træ

Store variationer lokalt (dybde og enkelte lag) samt over et område



P2 workshop

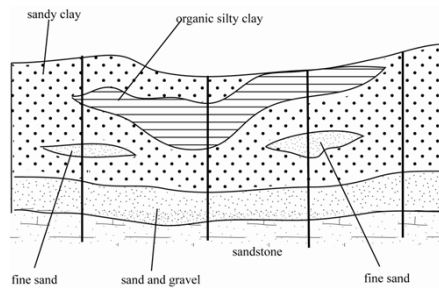
AALBORG UNIVERSITET

4

Intro – Hvad er geoteknik?

Geoteknikkens arbejdsmetoder – Forundersøgelser

- Geoteknisk boring
- Jordlags indbyrdes placering i forhold til hinanden
- Geologisk tolkning af jordlagene; alder, aflejringstype osv.
- Antagelse af jordlags udbredelse



P2 workshop



5

Intro – Hvad er geoteknik?

Geoteknikkens arbejdsmetoder – Forundersøgelser

Egenskaber af jorden

- Styrke-, deformations- og strømningsparametre
 - Dyre og tidskrævende forsøg
- Klassifikationsforsøg kan bruges til at give en estimering af disse parametre
- Relativt store usikkerheder på bestemmelse af parametre og jordbund

P2 workshop



6

Intro – Jordtyper

Vigtige danske hovedgrupper (hovedbetegnelse) af sedimenter/aflejringer er:

Klastiske sedimenter

- Dannet af aflejrede faste partikler (de er eroderet og transporteret)
- Ler, silt, sand, grus, sten, moræneler, morænesand, morænegrus

Organiske sedimenter

- Indeholder findelt plante/dyremateriale, hvilket præger sedimentets overordnede karakter
- Muld, tørv og gytje

Karbonat bjergarter

- Tydelig dominans af karbonat (>85%)
- Kalk

P2 workshop



7

Intro – Hvad er 'Jord'?

Jord betragtes som et tre-fasesystem bestående af:

- Luft (air) ($W_a (= 0)$; V_a)
- Vand (water) (W_w ; V_w)
- Tørstof (solid) (W_s ; V_s)

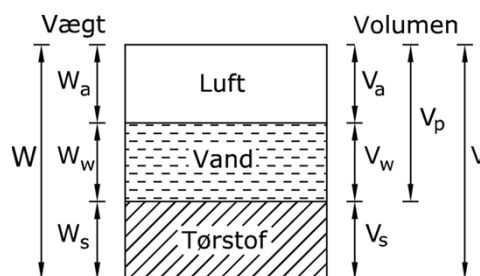
Pore i jorden er enten fyldt med vand eller luft

$$V_p = V_a + V_w$$

- Vandmættet jord

$$V_p = V_w$$

$$W_p = W_w$$



P2 workshop

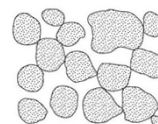


8

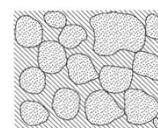
Intro – Hvad er 'Jord'?

Poretal:

- $e = \frac{\text{Porevolumen}}{\text{Kornvolumen}} = \frac{V_p}{V_s}$ oftest mellem 0,35-0,8 for sand
kan blive op til 1,5 for de fleste lerarter

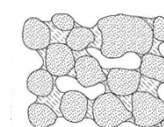
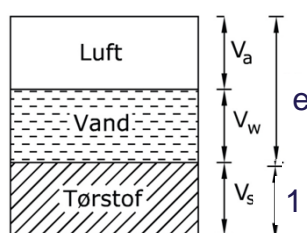


- Lille e = tæt aflejring Stort e = løs aflejring



Hvorfor

- Lejringsstæthed
- Friktionsvinkel



P2 workshop

AALBORG UNIVERSITET

9

Intro – Hvad er 'Jord'?

Kornstørrelse:

Jord inddeles efter kornstørrelse

Flad kornkurve

- Bedre pakningsmuligheder
- Højre friktionsvinkel

Stejl kornkurve

- Ensformigt materiale
- Højt poretal

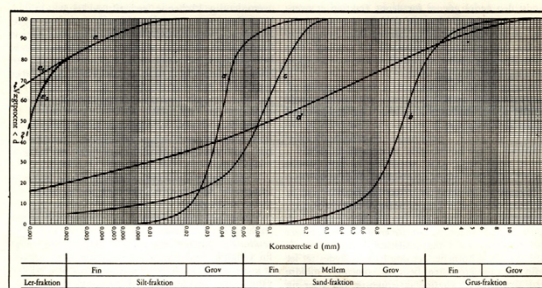


Fig. 1. Forskellige kornkurver.

- a. grovsilt (velsorteret)
- b. grusholdigt, groft sand
- c. finsandrigt silt
- d. sandet moræner
- e₁ siltholdigt, fedt ler
- e₂ siltholdigt, meget fedt ler.

P2 workshop

AALBORG UNIVERSITET

10

Intro – Jordtyper – Sand/grus

Fraktion:

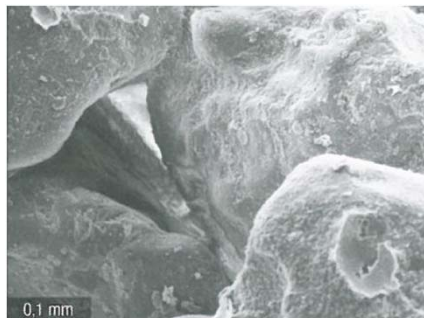
Grus: $60 > d > 2 \text{ mm}$ **Sand:** $2 > d > 0,06 \text{ mm}$ **Silt:** $0,06 > d > 0,002 \text{ mm}$ **Ler:** $0,002 < d$ **Karakteristika:**

Korn let genkendelig

Føles med hånden

Knaser mellem tænderne

Usammenhængende i tør og vandmættet tilstand



P2 workshop



11

Intro – Jordtyper – Sand/grus

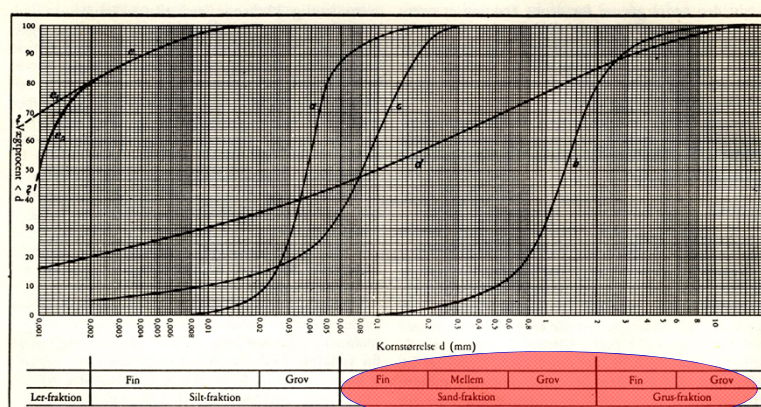


Fig. 1. Forskellige kornkurver.

- a. grovsilt (velsorteret)
- b. grusholdigt, groft sand
- c. finsandrig silt

- d. sandet moræner
- e₁. siltholdigt, fedt ler
- e₂. siltholdigt, meget fedt ler.

P2 workshop



12

Intro – Jordtyper – Sand/grus

Geotekniske egenskaber:

- Friktionsjord
- Definition ud fra kornstørrelse: Fint, mellem, groft eller blandet
- Små deformationer
- Sveller ikke
- Følsom overfor vibrationer, der kan omløje korn
 - F.eks. pælefundering eller ramning af spuns, rystelser og vibrationer
- Meget lidt afhængig af vejrlige forhold
- Ingen særlige funderingstekniske problemer



Løst lejret



Fast lejret

P2 workshop



13

Intro – Jordtyper

Fraktion:

Grus: $60 > d > 2 \text{ mm}$

Sand: $2 > d > 0,06 \text{ mm}$

Silt: $0,06 > d > 0,002 \text{ mm}$

Ler: $0,002 < d$

Karakteristika:

Bliver let opblødt, nærmest levende

Danner let flydejord

Følsom overfor mekaniske påvirkninger, specielt i forbindelse med vand



Videograf: Rikke Holmgaard, Ph.D. studerende ved AAU

P2 workshop



14

Intro – Jordtyper - Silt

Geotekniske egenskaber:

- Både kohæsions- og friktionsjord
 - Afhængigt af ler- og siltindhold
- Middelgode styrkeegenskaber
 - Ødelægges let
- Små deformationer
- Øget funderingsdybde kan være aktuel (1,2 m)
- Meget følsom overfor vejrlig
- Funderingsteknisk vanskelig

Intro – Jordtyper

Fraktion:

Grus: $60 > d > 2 \text{ mm}$

Sand: $2 > d > 0,06 \text{ mm}$

Silt: $0,06 > d > 0,002 \text{ mm}$

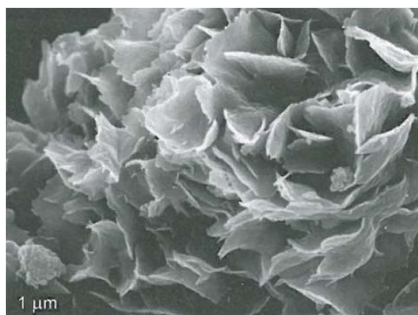
Ler: $0,002 < d$

Karakteristika:

Plastiske egenskaber afhængig af vandindholdet

- Svelning og udtørring / svind

Bliver let opblødt og opæltet



Intro – Jordtyper - Ler

Geotekniske egenskaber:

Ler er kohæsionsjord
Normalt ikke opfrysningsfarligt under danske forhold
Meget vejrlig afhængig
Funderingsteknisk vanskelig
Kan give anledning til store deformationer

P2 workshop



17

Klassifikationsforsøg

Dagens klassifikationsforsøg på Barskapsand, antages at være sandet fra boreprofilerne

- Vandindhold
- Sigteanalyse
- Kornvægtfylde
- Løs og fast lejrning

P2 workshop



18

Klassifikationsforsøg - Vandindhold

Vandindholdet, w , er defineret som jordens vægttab i af tørvægten ved tørring i et varmeskab i en temperatur på 105 °C til konstant vægt (24 timer).

$$w = \frac{\text{Vandvægt}}{\text{Kornvægt}} = \frac{W_w}{W_s} = \frac{W - W_s}{W_s - S_k} \times 100\%$$

Vandindholdet for naturligt forekommende jordarter kan ligge mellem nul og flere hundrede procent.

Vi antager at materialet er tørt i de resterende forsøg
Er det OK?



P2 workshop



19

Klassifikationsforsøg - Vandindhold

Kan være vanskeligt at finde i friktionsmateriale
pga. hurtig dræning (bortledning af vand)

- Bruges f.eks. til at skønne stivhedsparametre
 - Jo mere vand der er, jo større er sætningsmulighederne da mere vand kan bortdrænes
- Bestemmelse af poretallet
 - Man tager højde for at materialet ikke er komplet tørt
- Vurdering af jordtype

P2 workshop



20

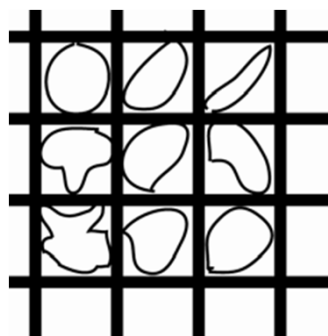
Klassifikationsforsøg - Sigteanalyse

Sigteanalyse benyttes til at bestemme den vægtmæssige fordeling af jordkorn efter korndiameter

Korndiameter er størrelse på den mindste Kvadratiske net jordpartiklen kan passere

Bruges bl.a. til at skønne

- Friktionsvinklen, ϕ
- Sorteringsgrad og pakningsmuligheder
- Hydraulisk ledningsevne, k
- Kapillær stighøjde, h_c
- Frostfarlighed



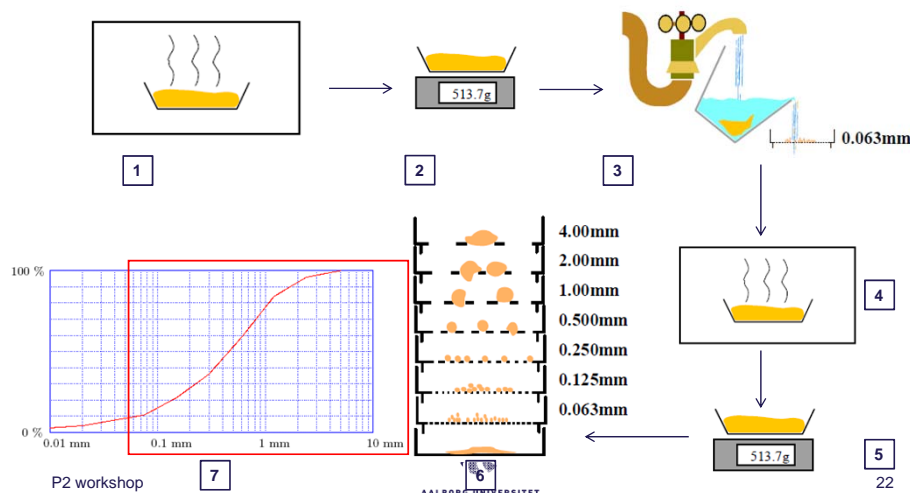
P2 workshop



21

Klassifikationsforsøg - Sigteanalyse

Udførelse, I starter ved nr. 5



P2 workshop



22

Klassifikationsforsøg - Kornvægtfylde

Kornvægtfylden er korn materialets relative densitet, d_s , i forhold til vand:

- $$d_s = \frac{\text{vægten af et bestemt rumfang jordkorn}}{\text{vægten af det samme rumfang destilleret vand ved 4°C}} [-]$$

Kaldes pyknometer forsøg efter det specielle glas forsøget udføres i

Benyttes til

- Vurdering af poretallet, e
- Rumvægt, γ
- Hydrometeranalysen
- Kornkurve for korn med diameter mindre end 0,063 mm

Klassifikationsforsøg - Kornvægtfylde

Efter forstående definition, fås:

- $$d_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} = \frac{\rho_s}{\rho_w} = \frac{W_s}{V_s \cdot \rho_w}$$

- $$d_s = \frac{W_s \cdot \rho_w^t}{(W_s + W_2 - W_1) \cdot \rho_w^{4C}}$$

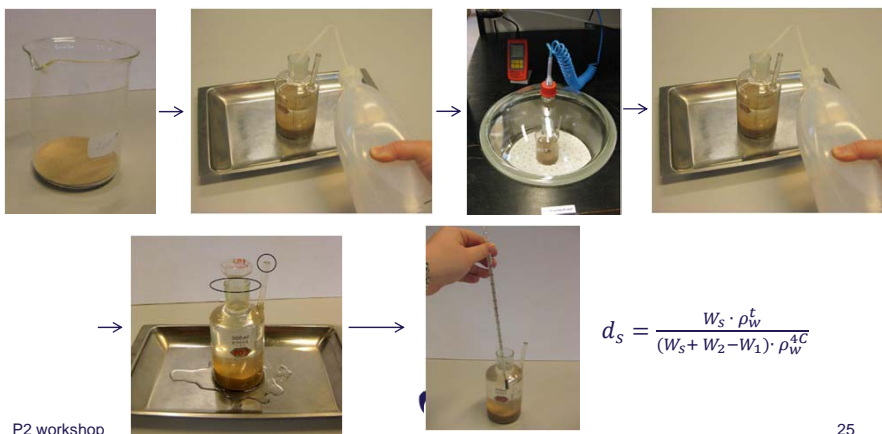
- $\rho_w^{4C} = 1 \text{ g/cm}^3$ (densitet af destilleret vand ved 4 °C)

For jordarter uden organisk indhold kan d_s regnes at variere fra 2,65 for rent kvartsand til 2,85 for visse lerminerale.

Indhold af organisk stof kan reducere d_s helt ned til 1,0.

Klassifikationsforsøg - Kornvægtfylde

Jeres fremgangsmåde



P2 workshop

AALBORG UNIVERSITET

25

$$d_s = \frac{W_s \cdot \rho_w^t}{(W_s + W_2 - W_1) \cdot \rho_w^{4c}}$$

Klassifikationsforsøg – Løs og fast lejrings

Til karakterisering af 'konsistensen' af sand og grus har man indført begrebet den relative lejringsstæthed, I_D :

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

e_{\max}/e_{\min} er poretalet for hhv. løseste og fasteste lejrings

$e_{in situ}$ er det naturlige poretal og kan beregnes ved:

$$e_{in situ} = (1 + w) \times \frac{d_s \cdot \rho_w \cdot V}{W} - 1$$

V og W stammer fra in situ situationen (d=h=70mm, W=421,4g)

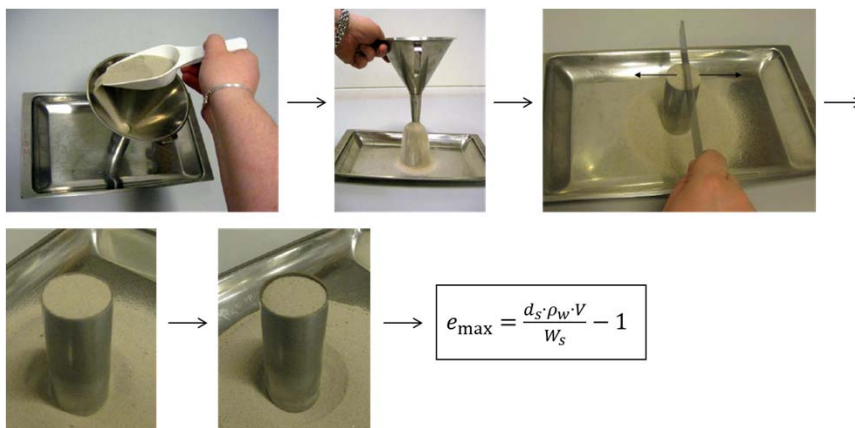
I_D er et tal som vokser fra 0 til 1, når lejringsstætheden varierer fra den løseste til den fasteste lejrings.

P2 workshop

AALBORG UNIVERSITET

26

Klassifikationsforsøg – Løs og fast lejrings

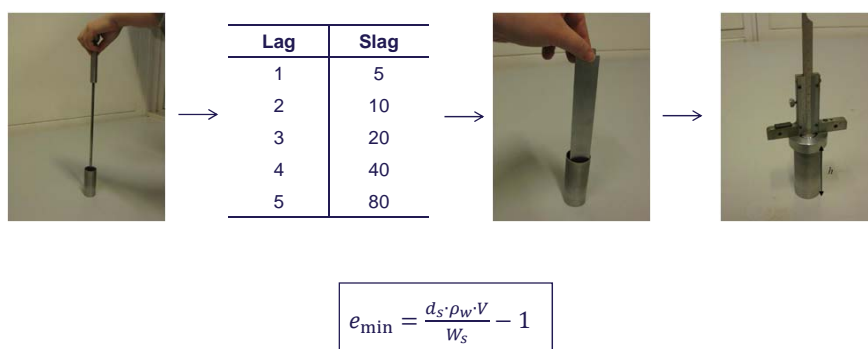


P2 workshop



27

Klassifikationsforsøg – Løs og fast lejrings



P2 workshop



28

Klassifikationsforsøg

Jeres tur!
Bare spørg hvis der er noget

Den tekniske hjælper i laboratoriet hedder Anette

P2 workshop

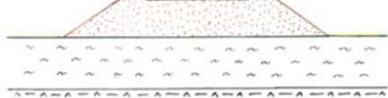


29

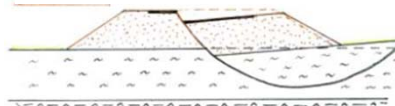
Styrkeegenskaber

Hvorfor?

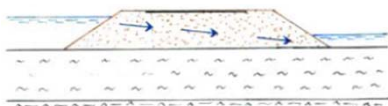
Konstruktion



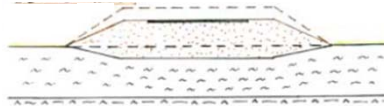
Brudproblem - Styrkeegenskab



Strømningsproblem - Permeabilitet



Sætningsproblem - Konsolideringsmodul



P2 workshop



30

Styrkeegenskaber

Hvorfor?



P2 workshop

31

Styrkeegenskaber

Friktionsjord

- Sand og grus
- Styrke opnås ved friktion kornene imellem
- Fysisk forvitring

Kohæsionsjord

- Ler og silt
- Styrke opnås ved elektro-kemiske bindinger mellem kornene
- Kemisk forvitring

P2 workshop

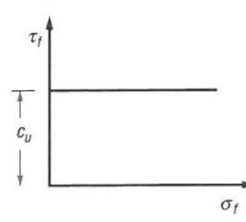
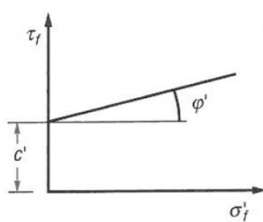
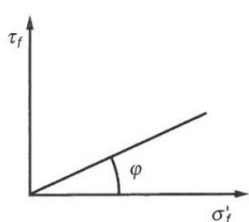
32

Styrkeegenskaber

Sand og grus (Drænet)
Friktionsvinkel, φ
Kohæsion er nul

Ler (Drænet)
Effektiv friktionsvinkel, φ
Effektiv kohæsion, c'

Ler (Udrænet)
Friktionsvinkel er nul
Kohæsion, c_u



Kan findes via avanceret triaxialforsøg eller skønnes via simple klassifikationsforsøg

P2 workshop



33

Tolkning af forsøgsresultater - Vandindhold

Vandindholdet, w , er defineret som jordens vægttab i af tørvægten ved tørring i et varmeskab i en temperatur på 105 °C til konstant vægt (24 timer).

$$w = \frac{\text{Vandvægt}}{\text{Kornvægt}} = \frac{W_w}{W_s} = \frac{(W - Sk) - (W_s - Sk)}{W_s - Sk} \times 100\%$$

Vandindhold fra Baskarpsand skal bruges i flere udregninger

- Kan der godtages at regne det for tørt?



P2 workshop



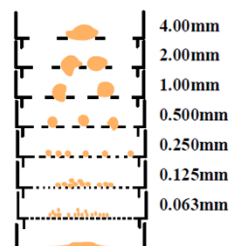
34

Tolkning af forsøgsresultater - Sigteanalyse

Sigteanalyse benyttes til at bestemme den vægtmæssige fordeling af jordkorn efter korndiameter for korn større end 0,063 mm.

- Find tilbageholdt materiale på hver sigte
- Er slut mængde lig start mængde?
- Beregn *gennemfald* af materiale på hver sigte
- Hvad er gennemfaldet i procent?

$$\text{gennemfald (\%)} = \frac{\text{gennemfald}}{\text{Prøve i alt}} \times 100\%$$



P2 workshop



35

Intro – Klassifikationsforsøg - Sigteanalyse

Optegn sigtekurven

- Husk at maskevidden er på logaritmisk akse!
- Hvis ikke er det ikke en kornkurve!

Uensformighedstal, U:

$$U = \frac{d_{60}}{d_{10}}$$

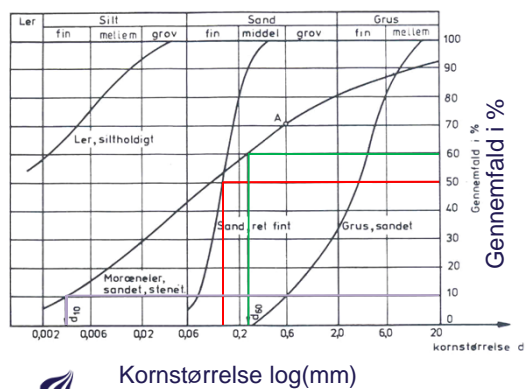
Sorteringsgrad:

Velsorteret $U < 2$

Sorteret $2 < U < 3.5$

Ringe sorteret $3.5 < U < 7$

Usorteret $U > 7$



P2 workshop

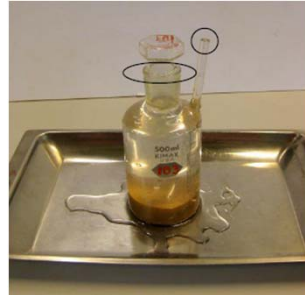


36

Tolkning af forsøgsresultater - Kornvægtfylde

Kornvægtfylden er kornmaterialets relative densitet, d_s , i forhold til vand:
Materialet *uden pores* vægt i forhold til vands vægt

$$d_s = \frac{W_s \cdot \rho_w^t}{(W_s + W_2 - W_1) \cdot \rho_w^4 C}$$



P2 workshop



37

Tolkning af forsøgsresultater – Løs og fast lejrings

Beregning af poretal for løs lejrings

Beregning af poretal for fast lejrings

e_{\max}/e_{\min} er poretallet for hhv. løseste og fasteste lejrings



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



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

P2 workshop



38

Tolkning af forsøgsresultater – Løs og fast lejrings

$e_{in situ}$ er det naturlige poretal og kan beregnes ved:

$$e_{in situ} = (1 + w) \frac{d_s \cdot \rho_w \cdot V}{W_s} - 1$$

V og W_s stammer fra 'intakt' materiale ($d=h=70\text{mm}$, $W=421,4\text{g}$)

Den relative lejringsstæthed, I_D , er graden det intakte materiale er kompakteret

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

P2 workshop



39

Styrkeegenskab

Sands styrke styres af friktionsvinkelen, φ

Skønnes ud fra sigteanalyse samt løs og fast lejrings

Skønsformel baseret på danske forsøg i 1960'erne

$$\varphi_{tr} = 30^\circ - \frac{3}{U} + \left(14 - \frac{4}{U}\right) I_D$$

U : Uensformighedstal

I_D : Relativ lejringsstæthed

Korrektioner:

-2° for 10% silt

-3° for afrundede korn

-5° for meget afrundede korn

+1° for fint grus

P2 workshop

Lejringsstæthed	Løs	Middel	Fast
Gradering			
Enskornet	27°	32°	37°
Middel	29°	35°	41°
Uensskornet	30°	37°	44°
Tillæg for : Fint grus : 1° Groft grus : 2°			
Fradrag for : Afrundede korn : 3° Meget runde korn : 5°			



40

Afrapportering

Opnået forsøgsdata skal medtages i bilag

Behandling og fremgangsmetode skal tydeligt fremgå af opgaven

Opstår der tvivl eller urealistiske resultater skal disse kommenteres på, og evt. mulige fejl skal redegøres for

Medtag urealistiske resultater, men kommenter på dem!

I vurderingen af opgaven bør mulige fejlkilder og usikkerheder fremgå
Betydningen af disse redegøres for

VIGTIGST: Kommenter/argumenter for alle jeres antagelse og resultater