



Statens vegvesen



Tolkning av CPTu

med hjelp av et regneark

Sigurður Már Valsson
sigurdur.mar.valsson@vegvesen.no

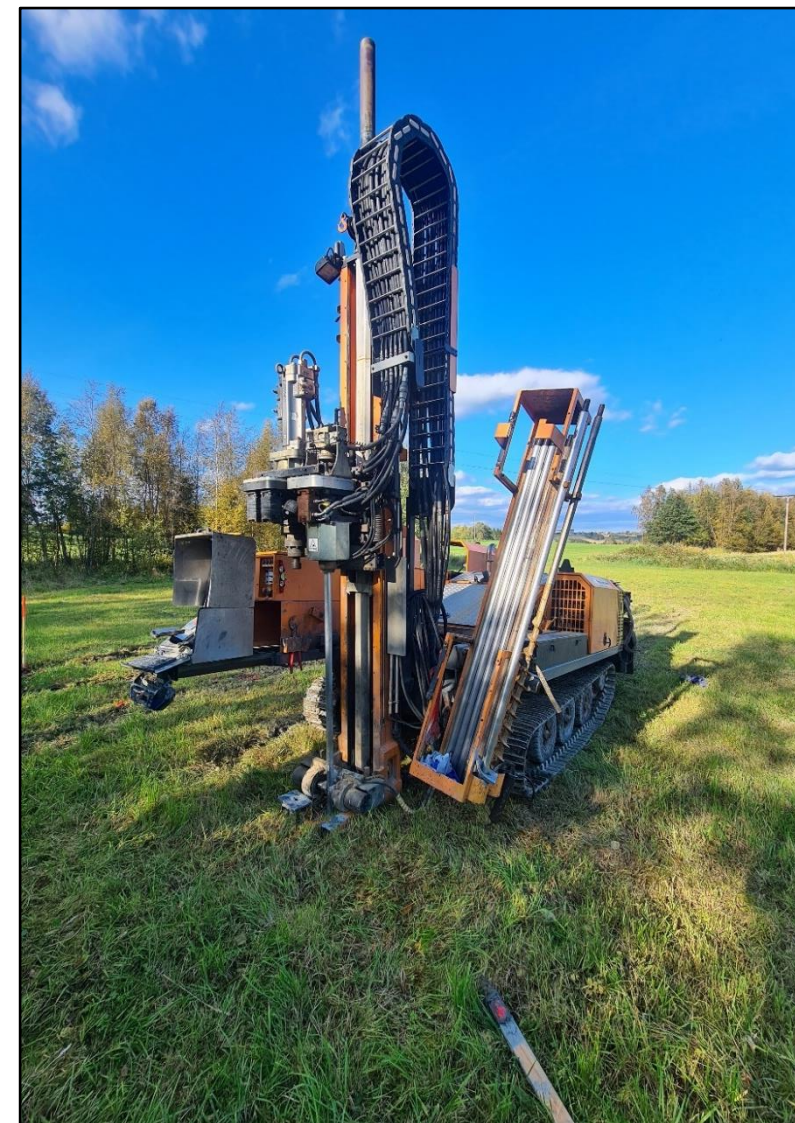


foto: CPTu ved NGTS: Tiller Flotten

Regneark

4

Generelt

2

c_u

12

ϕ

9

Klassifisering

4

... + 3x turer innom regneark

Bekreftelse

1315-1415 – 1:00 – Bolk 4 – Tolkning CPTu

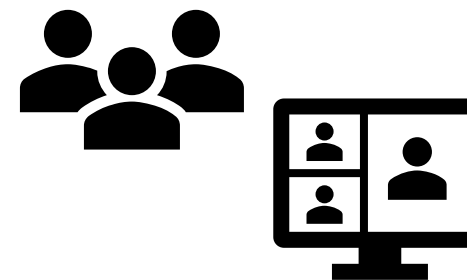
SVV sitt regneark for tolkning av CPTu benyttes i stor grad i dag. Men er alle klar over alt som må tenkes på? Eller lastes det bare opp ei rådatafil, og så plasseres design midt i «skogen av kurver»

- Hva må vi tenkes på?
- CPTu og korrelasjoner mot treaks
- CPTu korrelert mot nasjonal database – utfordringer
- Gyldighetsområder for ulike kurver
- +++++

Foredragsholder: Sigurdur Mar Vallson

1415-1430 – 0:15 – Pause

Samordning



Avtale

Start foredrag (klokkeslett)	Lengde (timer:minutter)	Tema	Foredragsholder
13:15	01:00	Bolk 4 – Tolkning CPTu	Sigurdur Mar Vallson



Tolkning av CPTu

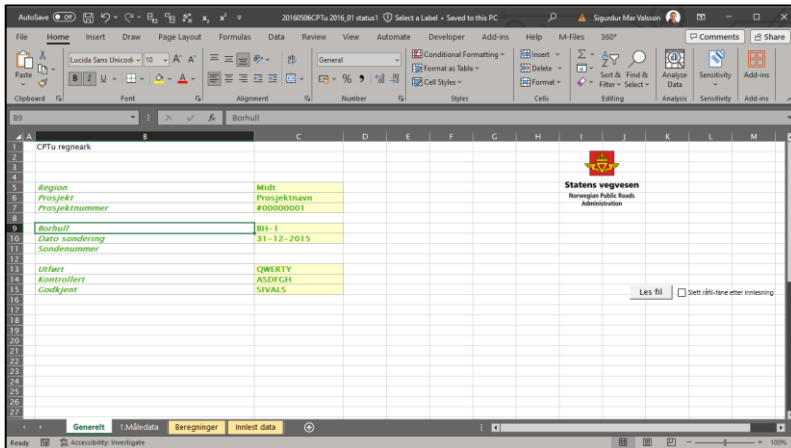
med hjelp av et regneark

det finnes mange...

min første oppgave i SVV å samordne SVV sine (3-4stk)

Arbeidsgruppe		
Sigurdur Már Valsson	Vegdirektoratet	sigurdur.mar.valsson@vegvesen.no
Hermann Bruun	Vegdirektoratet	hermann.bruun@vegvesen.no
Arild Sleipnes	Indira	arild@indira.no
Eigil Haugen	Destia	eigil.haugen@destia.fi
Eivind Juvik	Drift og vedlikehold	eivind.juvik@vegvesen.no
Emil Cederström	Norconsult	emil.cederstrom@norconsult.com
Anteneh Biru Tsegaye	NGI	anteneh.biru.tsegaye@ngi.no

Startet i mai 2016



Her er status etter første uke

Publiserte versjoner

CPTu 2016_01.xltm	03-11-2016 09:11	Microsoft Excel M...	1 301 KB
CPTu 2016_02.xltm	12-01-2017 15:32	Microsoft Excel M...	1 332 KB
CPTu 2017_01.xltm	26-04-2017 15:49	Microsoft Excel M...	1 337 KB
CPTu 2017_02.xltm	19-05-2017 09:08	Microsoft Excel M...	1 371 KB
CPTu 2017_03.xltm	28-11-2017 23:37	Microsoft Excel M...	1 640 KB
CPTu 2018_01.xltm	04-09-2018 09:13	Microsoft Excel M...	1 648 KB
CPTu 2018_02.xltm	26-09-2018 11:58	Microsoft Excel M...	2 015 KB
CPTu 2018_03.xltm	03-12-2018 12:54	Microsoft Excel M...	2 234 KB
CPTu 2019_0X.xltm	29-03-2019 16:14	Microsoft Excel M...	2 262 KB
CPTu 2019_01.xltm	28-01-2019 13:14	Microsoft Excel M...	2 242 KB
CPTu 2019_02.xltm	06-08-2019 10:22	Microsoft Excel M...	2 290 KB
CPTu 2019_03.xltm	23-09-2019 09:18	Microsoft Excel M...	2 292 KB
CPTu 2019_04.xltm	18-11-2019 10:05	Microsoft Excel M...	2 304 KB
CPTu 2019_05.xltm	10-12-2019 09:58	Microsoft Excel M...	2 306 KB
CPTu 2019_06.xltm	19-12-2019 13:19	Microsoft Excel M...	2 300 KB
CPTu 2020_01.xltm	07-08-2020 11:57	Microsoft Excel M...	2 327 KB
CPTu 2020_01_nye_sertifikater.xltm	22-10-2020 14:46	Microsoft Excel M...	2 330 KB
CPTu 2021_01.xltm	26-11-2021 12:58	Microsoft Excel M...	2 497 KB
cptu-2023_01.xltm	02-06-2023 09:50	Microsoft Excel M...	2 502 KB
cptu-2023_02.xltm	12-06-2023 14:49	Microsoft Excel M...	2 504 KB
cptu-2023_03.xltm	10-04-2024 18:11	Microsoft Excel M...	2 509 KB

NLOD lisens → deles eksternt

6 mnd

Kalibreringsark legges til uten at det blir en ny versjon

Organisering av innspill

Systematisert/prioritert i
Trello

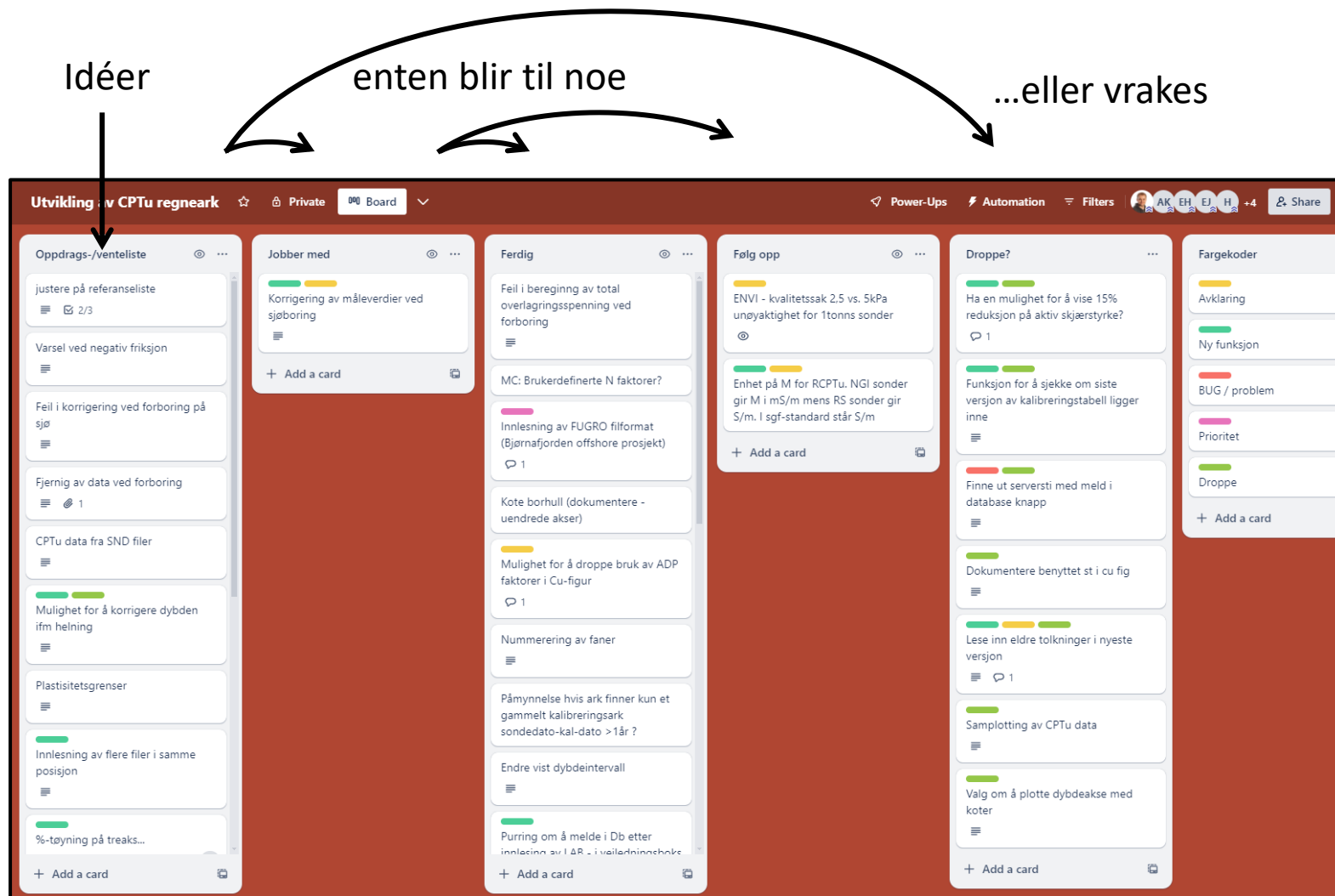
Brukes fortsatt!

Etter deling

1. tips om flere feil
2. utviklings-iéer

Svært bra erfaring av å dele.

Fått rettet opp i mange feil etter tilbakemeldinger. **Tusen takk for hjelpen!**



Få tak i siste versjon?

Arrangementer - Norsk Geoteknikk | Vei, trafikk, kjøretøy og førerforhold

vegvesen.no

Arrangementer - Norsk Geoteknikk | Teknologi | Statens vegvesen

vegvesen.no/fag/teknologi/

Arrangementer - Norsk Geoteknikk | Geofag | Statens vegvesen

vegvesen.no/fag/teknologi/geofag/

Arrangementer - Norsk Geoteknikk | Geoteknikk | Statens vegvesen

vegvesen.no/fag/teknologi/geofag/geoteknikk/

Arrangementer - Norsk Geoteknikk | CPTu | Statens vegvesen

vegvesen.no/fag/teknologi/geofag/geoteknikk/cptu/

grunnundersøkellesmetodene vi bruker i dag.

Metoden gir mulighet for en mer detaljert kartlegging av laggrenser og jordart enn andre metodene, og gir i tillegg grunnlag for tolkning av geotekniske parametere.

Vilkår for bruk hos eksterne brukere er beskrevet i første fane i regnearket.

Det anbefales at regnearket lastes ned på nytt for hvert prosjekt for å få med nyeste funksjoner, kalibreringssertifikater og rettelser av eventuelle feil.

Verktøyet er under kontinuerlig utvikling, ta gjerne kontakt med en fra arbeidsgruppen (se første fane) hvis du finner feil eller ønsker en ny funksjon.

Sist oppdatert: 9. november 2023

samme om du jobber i SVV eller ikke



Oppgaver

1. Last ned [CPTu ark](#)
2. Tilpasse arrangement
 - Åpne opp mal via Excel
 - Tilpass ramme / logo / prosjektinfo
 - Lagre/lukke mal
3. Åpne tilpasset mal fra utforsker
4. Les inn BH-1.cpt (ikke slett rådata)
5. Sett inn GVST=1.0m
6. Bruker standardvalg: $\gamma=19\text{kN}$ fra terreng
7. Inspiser profil
 - juster målestokk q_t & f_s
 - poretrykket OK
 - fall i temperaturkurve
8. Design: Presentasjon / beregninger

filer:

- *tilpassning.xlsx*
- *cpt_consult.png*

Hva skjer ved innlesing?

et OK forsøk?

Table 1.1 The applicability and usefulness of *in situ* tests

Group	Device	Soil Parameters												Ground Type							
		Soil type	Profile	u	ϕ'	s_u	D_r	m_v	c_v	k	G_o	σ_h	OCR	σ - ϵ	Hard rock	Soft rock	Gravel	Sand	Silt	Clay	Peat
Penetrometers	Dynamic	C	B	-	C	C	C	-	-	-	C	-	C	-	-	C	B	A	B	B	B
	Mechanical	B	A/B	-	C	C	B	C	-	-	C	C	C	-	-	C	C	A	A	A	A
	Electric (CPT)	B	A	-	C	B	A/B	C	-	-	B	B/C	B	-	-	C	C	A	A	A	A
	Piezococone (CPTU)	A	A	A	B	A	A	B	A	A	B	B/C	B	C	-	B	B	A	A	A	A
	Seismic (SCPT/SCPTU)	A	A	A	B	A/B	A/B	B	A/B	B	A	B	B	B	-	C	-	A	A	A	A

Oppdatering av Robertson 2012

Group	Device	Soil parameters											Ground type							
		Soil type	Profile	u_0	ϕ'	s_u	D_r - ψ	m_v	c_v	k	G_0	OCR	σ - ϵ	Hard rock	Soft rock	Gravel	Sand	Silt	Clay	
Penetrometers	...																			
	CPTu	A	A	A	B	B→A	AB→A	B	A	A	B	B	C	-	C→B	-→B	A	A	A	A
	...																			

bearbeidet fra Robertson, 2022

Applicability: A = high; B = moderate; C = low; - = none.

* ϕ' = Will depend on soil type; ¹ = Only when pore pressure sensor fitted; ² = Only when displacement sensor fitted.

Soil parameter definitions: u = *in situ* static pore pressure; ϕ' = effective internal friction angle; s_u = undrained shear strength; m_v = constrained modulus; c_v = coefficient of consolidation; k = coefficient of permeability; G_o = shear modulus at small strains; σ_h = horizontal stress; OCR = overconsolidation ratio; σ - ϵ = stress-strain relationship; I_D = density index.

Teoretiske og empiriske tilnærminger for å estimere c_u med CPTu

Teori

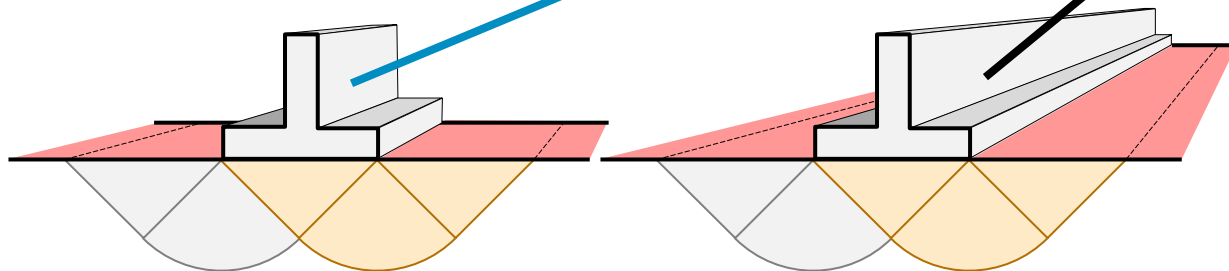
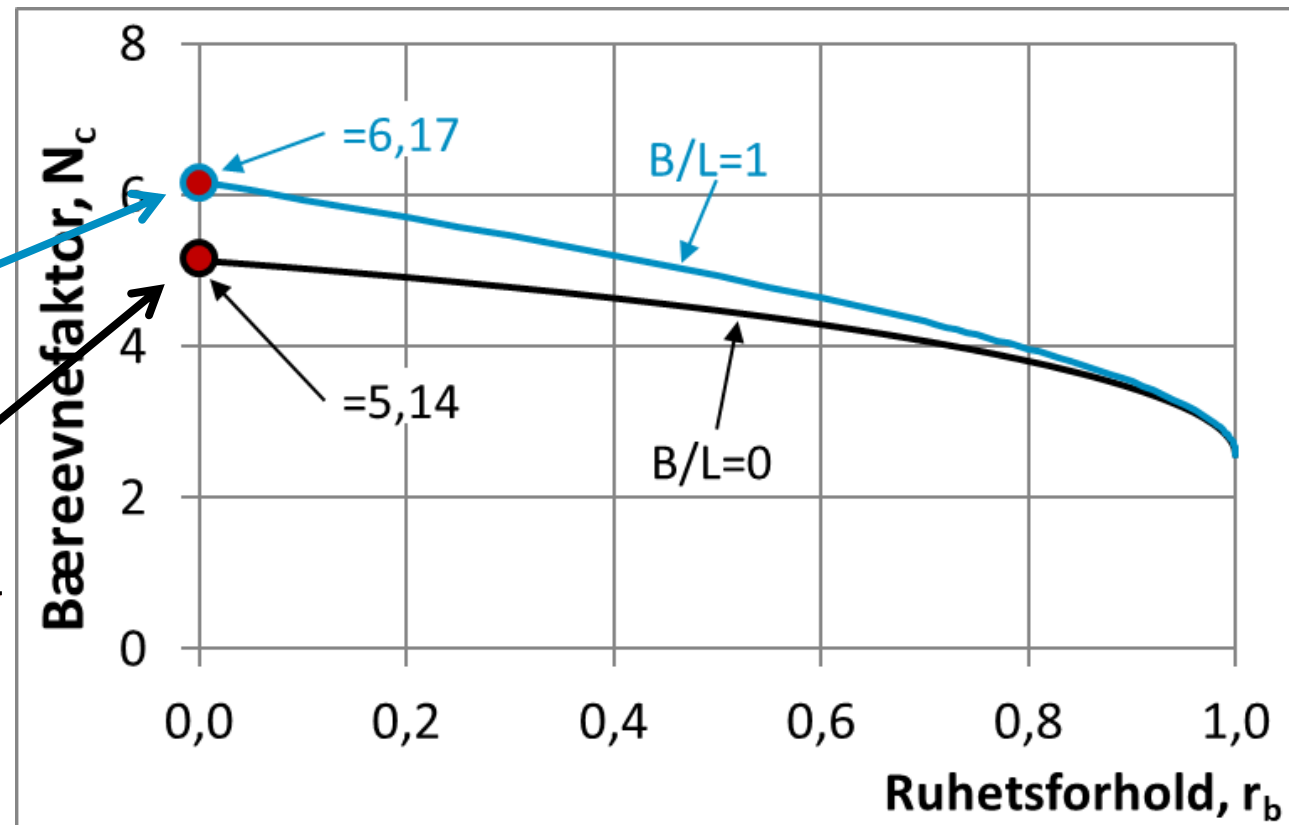
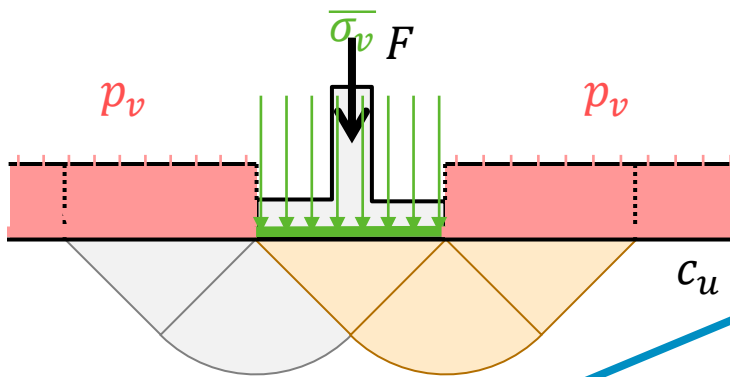
Udrenert bæreevneformel *SVV HB V220:2023*

$$\bar{\sigma}_v = N_c \cdot c_u + p_v$$

$$\bar{\sigma}_v = N_c \cdot \tau_d + p_v$$

$$\tau_d = \frac{\tau_k}{\gamma_M} = \frac{c_u}{\gamma_M}$$

$$\gamma_M = 1 \rightarrow \tau_d = c_u$$



Teoretiske og empiriske tilnærminger for å estimere c_u med CPTu

$$N_k \in [7, 13.3]$$

Stort spenn, avhengig av beregningsforutsetninger

Teori

$$c_u = \frac{\overline{\sigma}_v - p_v}{N_c}$$

— CPTu —>

$$c_u = \frac{q_t - \sigma_{V0}}{N_k}$$

$$\overline{\sigma}_v = N_c \cdot c_u + p_v$$

Table 5.5 Theoretical cone factor for deep circular foundations (modified from Konrad and Law, 1987b)

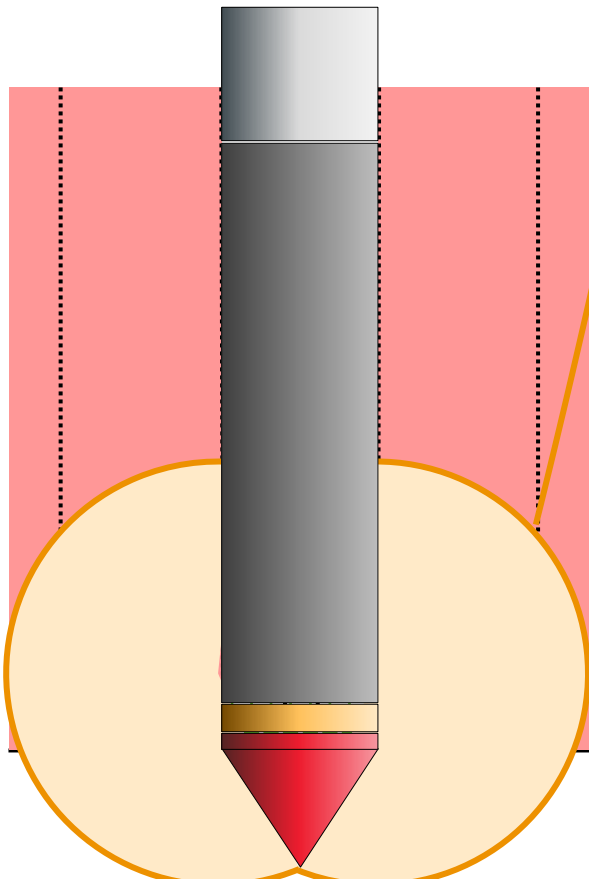
$N_c (\phi = 0)$	σ_i	Solution group	Remarks	Reference
7.41	σ_{vo}	1		Terzaghi (1943)
7.0	σ_{vo}	1		Caquot and Kerisel (1956)
9.34	σ_{vo}	1	Smooth base	Meyerhof (1951)
9.74	σ_{vo}	1	Rough base	
9.94	σ_{vo}	1		de Beer (1977)

Lunne et al., 1997

Model	Type	Reference	N_c	Value	σ_o	Remarks
Bearing capacity	i	Terzaghi (1943)		7.4	σ_{vo}	
Bearing capacity	i	Meyerhof (1951)		9.3	σ_{vo}	smooth base
Bearing capacity	i	Meyerhof (1961)		9.7	σ_{vo}	rough base
Method of Char.	i	Houlsby & Wroth (1982)		11.0	σ_{vo}	smooth cone
Method of Char.	i	Houlsby & Wroth (1982)		13.3	σ_{vo}	rough cone

Sandven, 1990

Finnes andre typer teoretiske modeller.
Sandven, 1990 / Lunne et al., 1997



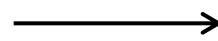
Teoretiske og empiriske tilnærminger for å estimere c_u med CPTu

Empiri

CPTu parametere
in-situ spenninger
estimeres

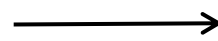


$$c_u = \frac{q_t - \sigma_{v0}}{N_{kt}} = \frac{q_n}{N_{kt}}$$



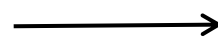
Netto spissmotstand:
udrenert bæreevneformel
 q_t

$$c_u = \frac{q_t - u_2}{N_{ke}} = \frac{q_e}{N_{ke}}$$



«Effektiv» spissmotstand
 q_t og u_2

$$c_u = \frac{u_2 - u_0}{N_{\Delta u}} = \frac{\Delta u}{N_{\Delta u}}$$



Poreovertrykk: teori om
utvidet hulrom (?)
 u_2

In the absence of a generally accepted theoretical solution, the interpretation of undrained shear strength s_u from CPTU data has generally been based on empirical solutions.

Sandven, 1990

$$N_{kt} = \frac{q_t - \sigma_{v0}}{c_u}$$

$$N_{ke} = \frac{q_t - u_2}{c_u}$$

$$N_{\Delta u} = \frac{u_2 - u_0}{c_u}$$

Teoretiske og empiriske tilnærminger for å estimere c_u med CPTu

Empiri: N-faktorer etter Karlsrud et al., 1996
($N_{kt.L} / N_{ke.L} / N_{\Delta u.L}$ i regneark)

$$N = A + B \cdot B_q$$

$$B_q = \frac{u_2 - u_0}{q_t - \sigma_{v0}}$$

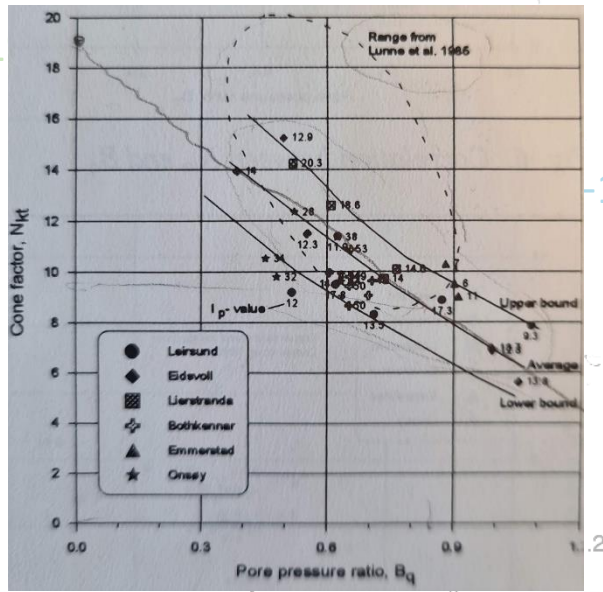
kun et estimat!
åpent for tolkning

«..., the present study has shown rather poor correlation between the above cone factors and OCR ...»

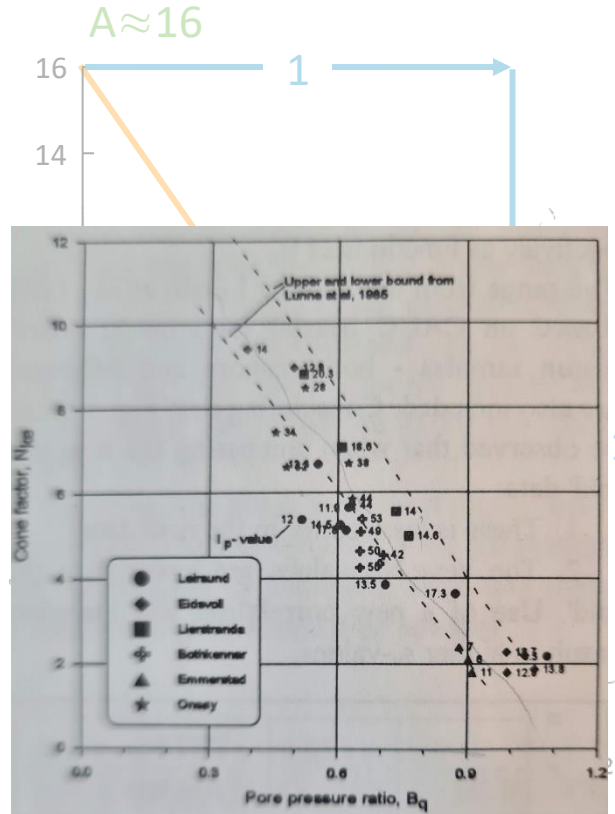
Kurver i figur

<input checked="" type="checkbox"/> Lunne et al Nkt	<input checked="" type="checkbox"/> Larsson	<input type="checkbox"/> LAB Treaks
<input checked="" type="checkbox"/> Lunne et al Nke	<input type="checkbox"/> Egendefinert Nkt	<input type="checkbox"/> LAB Enaks
<input checked="" type="checkbox"/> Lunne et al N Δu	<input type="checkbox"/> Egendefinert Nke	<input type="checkbox"/> LAB Konus
<input checked="" type="checkbox"/> Karlsrud et al Nkt	<input type="checkbox"/> Egendefinert N Δu	<input type="checkbox"/> Vingebor
<input checked="" type="checkbox"/> Karlsrud et al Nke	<input checked="" type="checkbox"/> SHANSEP	<input checked="" type="checkbox"/> Anbefalt kurve
<input checked="" type="checkbox"/> Karlsrud et al N Δu	<input checked="" type="checkbox"/> SHANSEP NC	

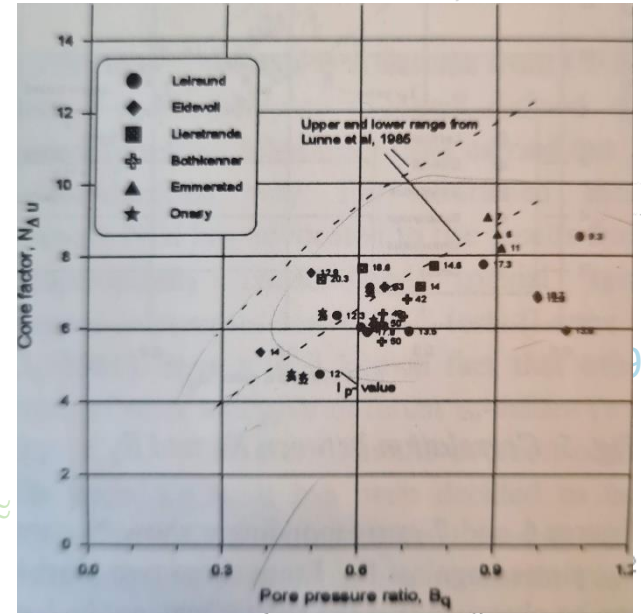
$A \approx 1$



$$N_{kt} = 19 - 12,5 \cdot B_q$$



$$N_{ke} = 16 - 14,5 \cdot B_q$$

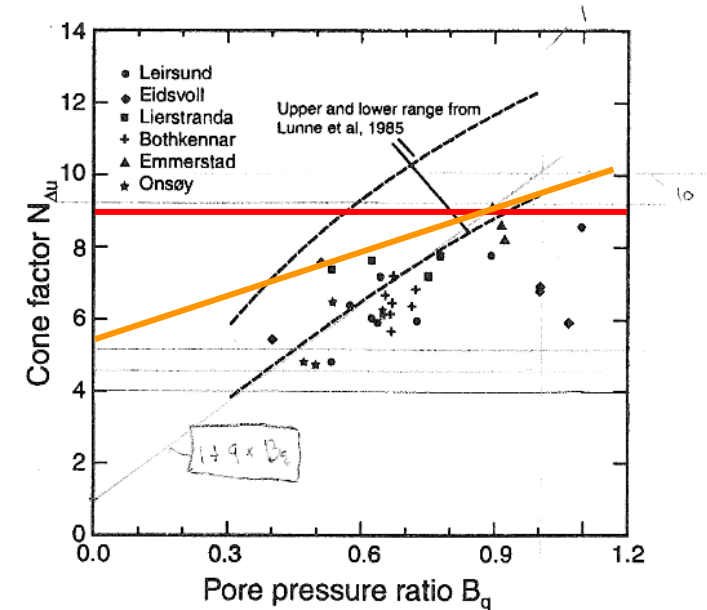
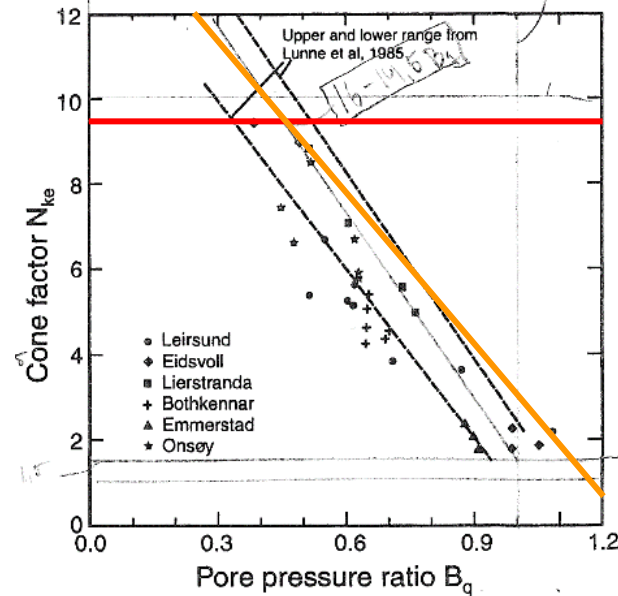
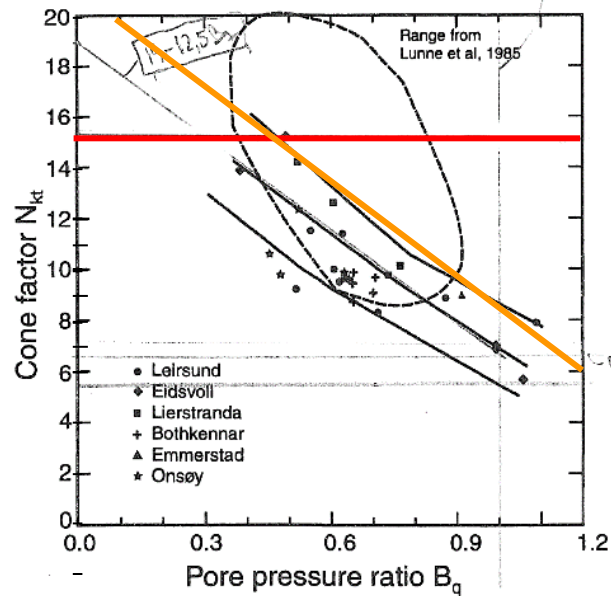


$$N_{\Delta u} = 1 + 9 \cdot B_q$$

Teoretiske og empiriske tilnærminger for å estimere c_u med CPTu

Empiri: N-faktorer etter Karlsrud et al., 1996

($N_{kt}.L / N_{ke}.L / N_{\Delta u}.L$ i regneark)



Artikkelens anbefaling i ukjent område?

$$N_{kt} = 15$$

$$N_{kt} = 21 - 12,5 \cdot B_q$$

$$N_{ke} = 9,5$$

$$N_{ke} = 15 - 12 \cdot B_q$$

$$N_{\Delta u} = 9$$

$$N_{\Delta u} = 5,5 + 4 \cdot B_q$$

diskutert at det å bruke gjennomsnitt av alle 3 kunne
være en måte å øke påliteligheten av s_u tolkningen

} ref. epost slide #2

Empiri: N-fakt. Karlsrud et al.,2005
($N_{kt.K} / N_{ke.K} / N_{\Delta u.K}$ i regneark)

Teoretiske og empiriske tilnærminger for å estimere c_u med CPTu

$$N_{kt} = A + B \cdot B_q + C \cdot \log_{10}(OCR) + D \cdot I_p$$

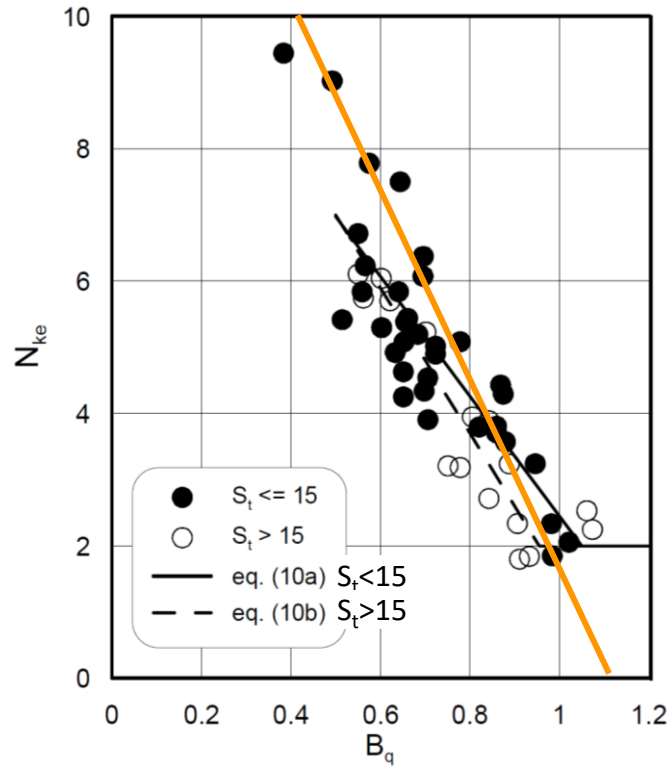
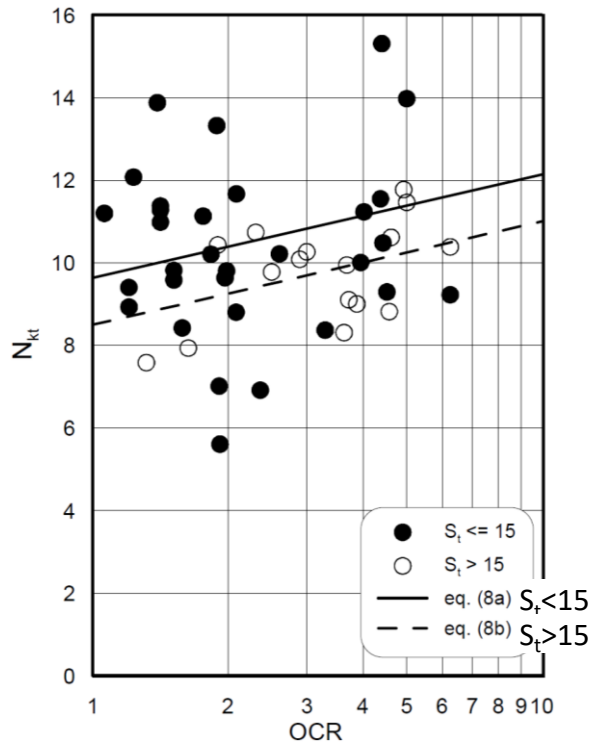
S_t	A	B	C	D
≤ 15	7,8	-	2,5	0,082
> 15	8,5	-	2,5	0,000

$$N_{ke} = A + B \cdot B_q + C \cdot \log_{10}(OCR) + D \cdot I_p \geq 2$$

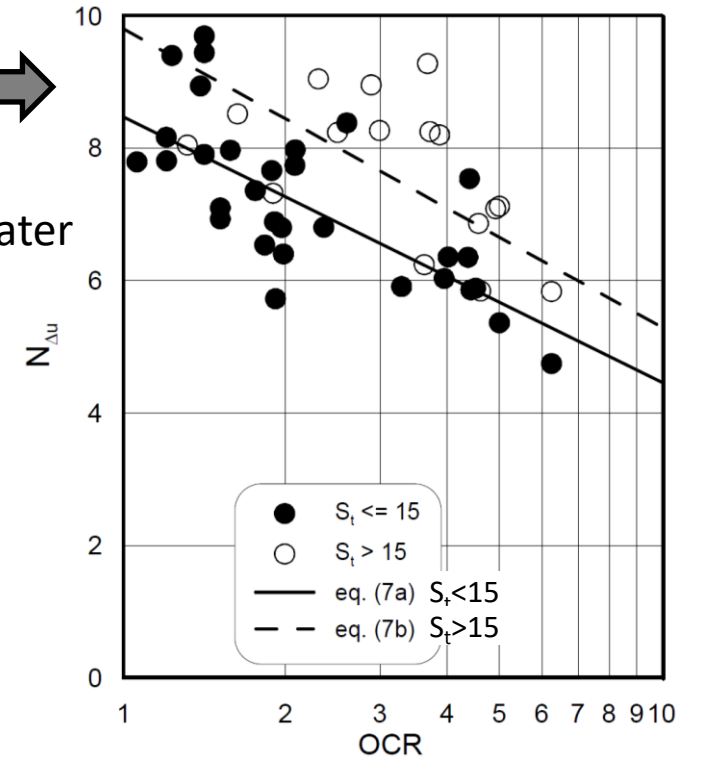
S_t	A	B	C	D
≤ 15	11,5	-9,05	-	-
> 15	12,5	-11,00	-	-

$$N_{\Delta u} = A + B \cdot B_q + C \cdot \log_{10}(OCR) + D \cdot I_p$$

S_t	A	B	C	D
≤ 15	6,9	-	-4,0	0,07
> 15	9,8	-	-4,5	0,00



Best fit til forsøksresultater



Empiri: N-fakt. Karlsrud et al.,2005
($N_{kt.K} / N_{ke.K} / N_{\Delta u.K}$ i regneark)

Teoretiske og empiriske tilnærminger for å estimere c_u med CPTu

$$N_{kt} = A + B \cdot Bq + C \cdot \log_{10}(OCR) + D \cdot I_p$$

S_t	A	B	C	D
≤ 15	7,8	-	2,5	0,082
> 15	8,5	-	2,5	0,000

$$N_{ke} = A + B \cdot Bq + C \cdot \log_{10}(OCR) + D \cdot I_p \geq 2$$

S_t	A	B	C	D
≤ 15	11,5	-9,05	-	-
> 15	12,5	-11,00	-	-

$$N_{\Delta u} = A + B \cdot Bq + C \cdot \log_{10}(OCR) + D \cdot I_p$$

S_t	A	B	C	D
≤ 15	6,9	-	-4,0	0,07
> 15	9,8	-	-4,5	0,00

$$OCR_1 = 10^{\left(\frac{A - Bq}{B}\right)}$$

S_t	A	B
≤ 15	0,88	0,51
> 15	1,15	0,67

$$OCR_2 = 10^{\left(\left(\frac{\Delta u}{\sigma_{v0}} - A\right) / B\right)}$$

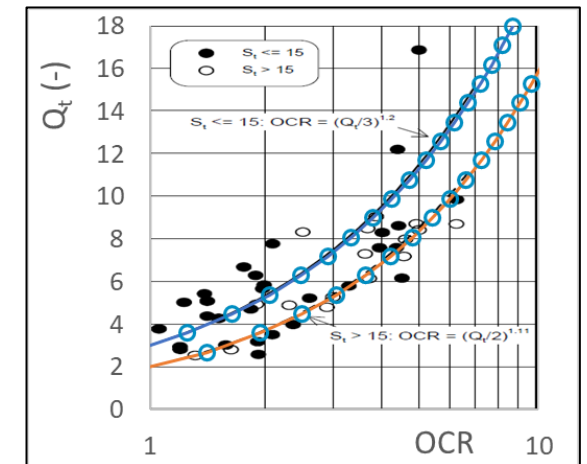
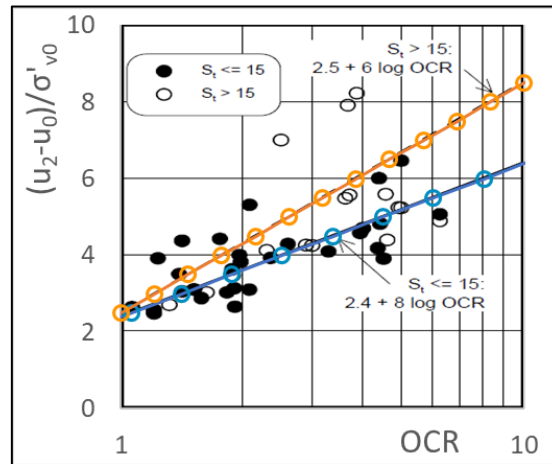
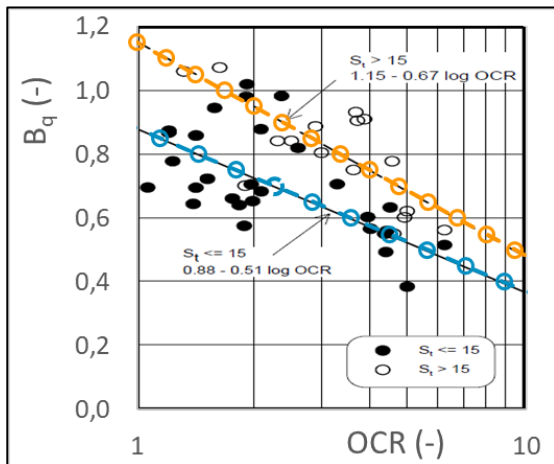
S_t	A	B
≤ 15	2,5	6,0
> 15	2,4	4,0



Best fit til forsøksresultater

$$OCR_3 = \left(\frac{Q_t}{A}\right)^B$$

S_t	A	B
≤ 15	3,0	1,20
> 15	2,0	1,11



Teoretiske og empiriske tilnærminger for å estimere c_u med CPTu

$$N_{kt} = A + B \cdot Bq + C \cdot \log_{10}(OCR) + D \cdot I_p$$

S_t	A	B	C	D
≤ 15	7,8	-	2,5	0,082
> 15	8,5	-	2,5	0,000

$$N_{ke} = A + B \cdot Bq + C \cdot \log_{10}(OCR) + D \cdot I_p \geq 2$$

S_t	A	B	C	D
≤ 15	11,5	-9,05	-	-
> 15	12,5	-11,00	-	-

$$N_{\Delta u} = A + B \cdot Bq + C \cdot \log_{10}(OCR) + D \cdot I_p$$

S_t	A	B	C	D
≤ 15	6,9	-	-4,0	0,07
> 15	9,8	-	-4,5	0,00

Artikkelens anbefaling

1. Bruk korrelasjonen for $N_{\Delta u}$
2. Verifiser med N_{kt} og N_{ke}

Skal gi et bra estimat av $c_u \pm 10\%$

Krever kunnskap om OCR, S_t og I_p i prosjektområdet. Dette innebærer også en bra bestemmelse av in-situ spenninger.

Artikkel presiserer at pålitelig måling av u_2 er forutsatt

Foreslåtte CPTU korrelasjoner for OCR kan brukes

Disse er ikke brukt som grunnlag for de presenterte korrelasjonene for N!

Kurver i figur

<input checked="" type="checkbox"/> Lunne et al Nkt	<input checked="" type="checkbox"/> Larsson
<input checked="" type="checkbox"/> Lunne et al Nke	<input type="checkbox"/> Egendefinert Nkt
<input checked="" type="checkbox"/> Lunne et al N Δu	<input type="checkbox"/> Egendefinert Nke
<input checked="" type="checkbox"/> Karlsrud et al Nkt	<input type="checkbox"/> Egendefinert N Δu
<input checked="" type="checkbox"/> Karlsrud et al Nke	<input checked="" type="checkbox"/> SHANSEP
<input checked="" type="checkbox"/> Karlsrud et al N Δu	<input checked="" type="checkbox"/> SHANSEP NC

Fra slide #3

Group	Device	Soil parameters											
		Soil type	Profile	u_0	ϕ'	s_u	$D_r-\psi$	m_v	c_v	k	G_0	OCR	$\sigma-\epsilon$
Penetrometers	CPTu	A	A	A	B	B \rightarrow A	AB \rightarrow A	B	A	A	B	B	C

bearbeidet fra Robertson, 2022

ansett som middels bra egnet for å bestemme OCR

bra bestemmelse av c_u krever stedsspesifikk informasjon \rightarrow prøver + lab

Teoretiske og empiriske tilnærminger for å estimere c_u med CPTu

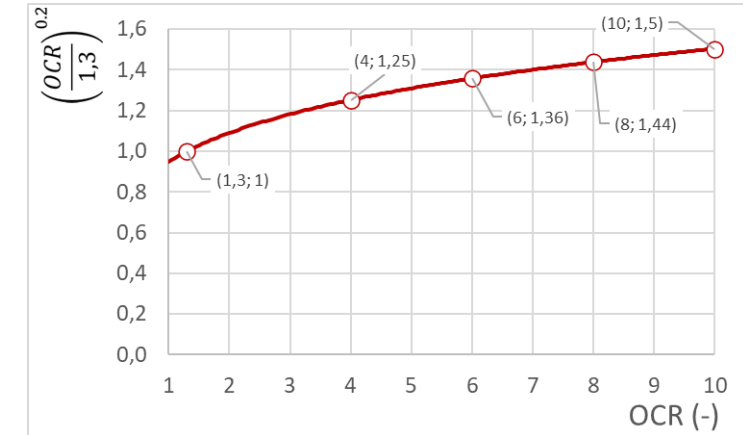
Empiri: korrelasjon etter R. Larsson 2015 (SGI i-15)

$$c_u = \frac{q_t - \sigma_{v0}}{13,4 + 6,65 \cdot w_L} \cdot \left(\frac{OCR}{1,3}\right)^{-0,2}$$

$$c_u = \frac{q_t - \sigma_{v0}}{(13,4 + 6,65 \cdot w_L) \cdot \left(\frac{OCR}{1,3}\right)^{0,2}}$$

$$c_u = \frac{q_t - \sigma_{v0}}{K_{AD} \cdot (13,4 + 6,65 \cdot w_L) \cdot \left(\frac{OCR}{1,3}\right)^{0,2}}$$

$$N_{kt} = (13,4 + 6,65 \cdot w_L) \cdot \left(\frac{OCR}{1,3}\right)^{0,2}$$

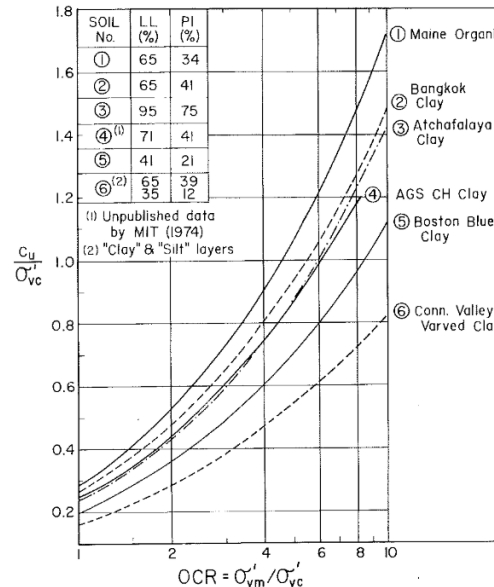


Kurver i figur

- Lunne et al Nkt
- Lunne et al Nke
- Lunne et al NΔu
- Karlsrud et al Nkt
- Karlsrud et al Nke
- Karlsrud et al NΔu
- Larsson
- Egendefinert Nkt
- Egendefinert Nke
- Egendefinert NΔu
- SHANSEP
- SHANSEP NC

SHANSEP: Ladd et al., 1977: labforsøk

$$\frac{\left(\frac{c_u}{\sigma'_{v0}}\right)_{OC}}{\left(\frac{c_u}{\sigma'_{v0}}\right)_{NC}} = OCR^m$$



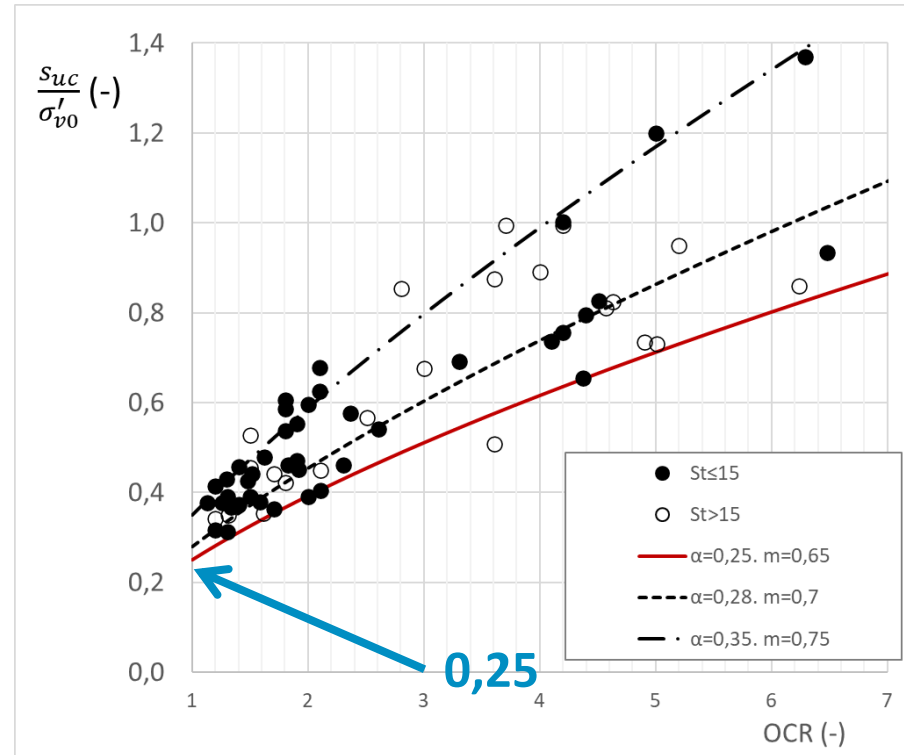
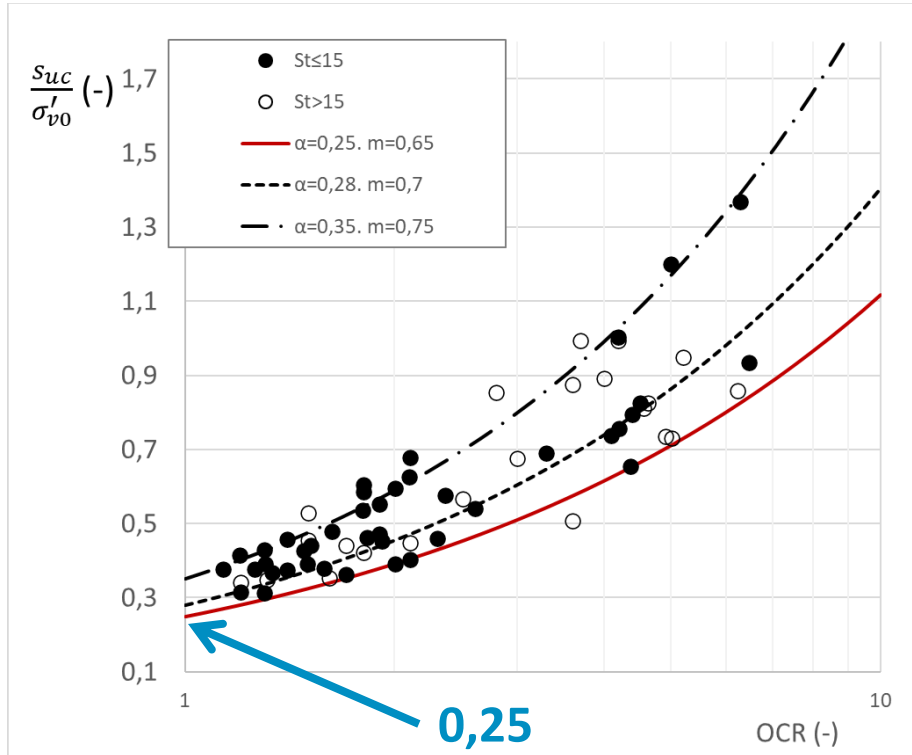
$$\left(\frac{c_u}{\sigma'_{v0}}\right)_{OC} = \left(\frac{c_u}{\sigma'_{v0}}\right)_{NC} \cdot OCR^m$$

$$\frac{c_u}{\sigma'_{v0}} = \alpha \cdot OCR^m$$

$$c_u = \sigma'_{v0} \cdot \alpha \cdot OCR^m$$

Teoretiske og empiriske tilnærminger for å estimere c_u med CPTu

Empiri: SHANSEP og blokkprøvedatabasen.



data fra Karlsruhe, 2014

en lavere grense for norske leirer (OCR=1)

$$c_u = \sigma'_{v0} \cdot (0.27 + 0.1 \cdot w) \cdot OCR^{(0.58 + 0.33 \cdot w)}$$

$$c_{u.NC} = \sigma'_{v0} \cdot 0.25$$

Kurver i figur

- | | |
|---|--|
| <input checked="" type="checkbox"/> Lunne et al Nkt | <input checked="" type="checkbox"/> Larsson |
| <input checked="" type="checkbox"/> Lunne et al Nke | <input type="checkbox"/> Egendefinert Nkt |
| <input checked="" type="checkbox"/> Lunne et al NΔu | <input type="checkbox"/> EgendefinertNke |
| <input checked="" type="checkbox"/> Karlsruhe et al Nkt | <input type="checkbox"/> Egendefinert NΔu |
| <input checked="" type="checkbox"/> Karlsruhe et al Nke | <input checked="" type="checkbox"/> SHANSEP |
| <input checked="" type="checkbox"/> Karlsruhe et al NΔu | <input checked="" type="checkbox"/> SHANSEP NC |

Teoretiske og empiriske tilnærminger for å estimere c_u med CPTu

The authors are of the opinion that for important projects a combination of CPTU tests and block samples will give more reliable design parameters leading to significant cost savings.

Karlsrud et al., 1996

Despite the goodness of the correlations established in this study, the reference dataset is still characterized by high scatter. Therefore, these correlations should be used purely in absence of site-specific data or as a comparison tool when limited data is available.

Paniagua et al., 2019

3. For larger projects, where high-quality field and laboratory data may be available, site-specific correlations should be developed based on appropriate and reliable values of s_u .

Lunne et al., 1997

For larger, moderate to high-risk projects, where high quality field and laboratory data may be available, site-specific correlations should be developed based on appropriate and reliable values of s_u .

Robertson, 2022

different CPTU equipment it is encouraged to verify the applicability of the proposed correlations by similar comparisons between results of block sampling and CPTU results as described herein. Even for large and important projects in Norway it is the authors recommendation to verify the applicability of the correlations in such a manner.

Karlsrud et al., 2005



Naturfareprosjektet Dp. 6 Kvikkleire
Valg av karakteristisk c_{uA} – profil
basert på felt – og
laboratorieundersøkelser

77
2014



R A P P O R T



NATURFARE
INFRASTRUKTUR - FLØM - SPRED

4 Forutsetninger for valg av c_{uA} – profil

4.1 Sammenstilling og valg av karakteristisk c_{uA} – profil

Tolkning av relevante måle- og erfaringsdata vises i et samleplott. En linje c_{uA} legges inn i plottet som det mest sannsynlig opptredende verdi, se eksempel i Figur 4.1. Rangering av måle- og erfaringsdata ved valg av mest sannsynlig opptredende verdi bør gjøres iht følgende:

1. Treaksialforsøk av god kvalitet (kvalitetsklasse 1)
2. CPTU (Anvendelsesklasse 1)
3. Erfaringsverdier (c_{uA}/P_0' , SHANSEP)
4. Konus/Enaks/Vingebor

Det vises normalt ett plott for hvert borpunkt, men det kan iblandt være hensiktsmessig å tolke flere borpunkter i samme plott. Valgt c_{uA} -profil bør normalt ligge mellom den nedre respektive øvre begrensningelinje. Erfaringene, ref. /3/, viser at gir den laveste $c_{uA} \leq 0,25p_0'$ for norske leirer.



Oppgaver

1. Første tolkning av c_u
 - Hvordan legge seg ift. kløfta?
 - Hvordan ligger vi an ift. SHANSEP-NC
2. Lese inn labdata (indeksparametere)
 - c_u (enaks/konus) - kvalitet/ADP
 - γ, S_t, I_p, w
3. Ødometerdata
 - Velge beste OCR modell
 - Egendefinert OCR profil?
 - OCR vs. $\Delta\sigma'_c$
4. Treaksdata i 2 dybder
 - Oppdatere tolkningen
 - Brukerdefinert N
 - Oppdaterte N korrelasjoner

endrer de avanserte
forsøkene tolkningen?

Relativ lagringstetthet, D_r

$$D_r = \frac{e_{max} - e}{e_{max} - e_{min}} \cdot 100 (\%) \quad \text{pr. def. } \in [0\%, 100\%]$$

CPTu korrelasjoner i regneark

$$D_{r1} = A + B \cdot \log(q_c / \sigma'_{v0})^{0,5}$$

$A \in [-110, -84]$ etter kompressibilitet, $B=66$

Dr2 (NC)
Dr3 (OC)
Sand!

$$D_{r2.3} = 1 / C_2 \cdot \ln(q_c / (C_0 \cdot (\sigma'_{v0} / m)^{c1}))$$

NC/OC: $C_0=157/181$ $C_1=0,55$ $C_2=2,41/2,61$

$$D_{r4} = (q_{c1} / (305 \cdot Q_C \cdot OCR^{0,18} \cdot 1,28))^{0,5}$$

$Q_C \in [0.91, 1.09]$ etter kompressibilitet

$$D_{r5} = (26,8 \cdot \ln((q_t / \sigma_{atm}) / (\sigma'_{v0} / \sigma_{atm})^{0,5}) - A)$$

$A \in [-83, -52]$ etter kompressibilitet

$$D_{r6} = (0,4 \cdot \ln(q_c / (22 \cdot (\sigma'_{v0} \cdot \sigma_{atm})^{0,5})))$$

Fra peleveiler

ϕ' via D_r

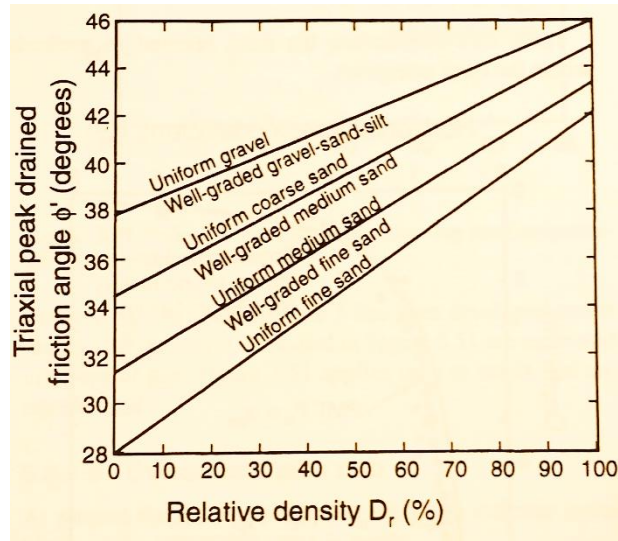
Schmertmann 1978

$$\phi' = b + a \cdot D_r$$

ϕ_0

for $\sigma'_{v0} \approx 150 \text{ kPa}$

ϕ' reduseres ved høyere σ'_{v0}



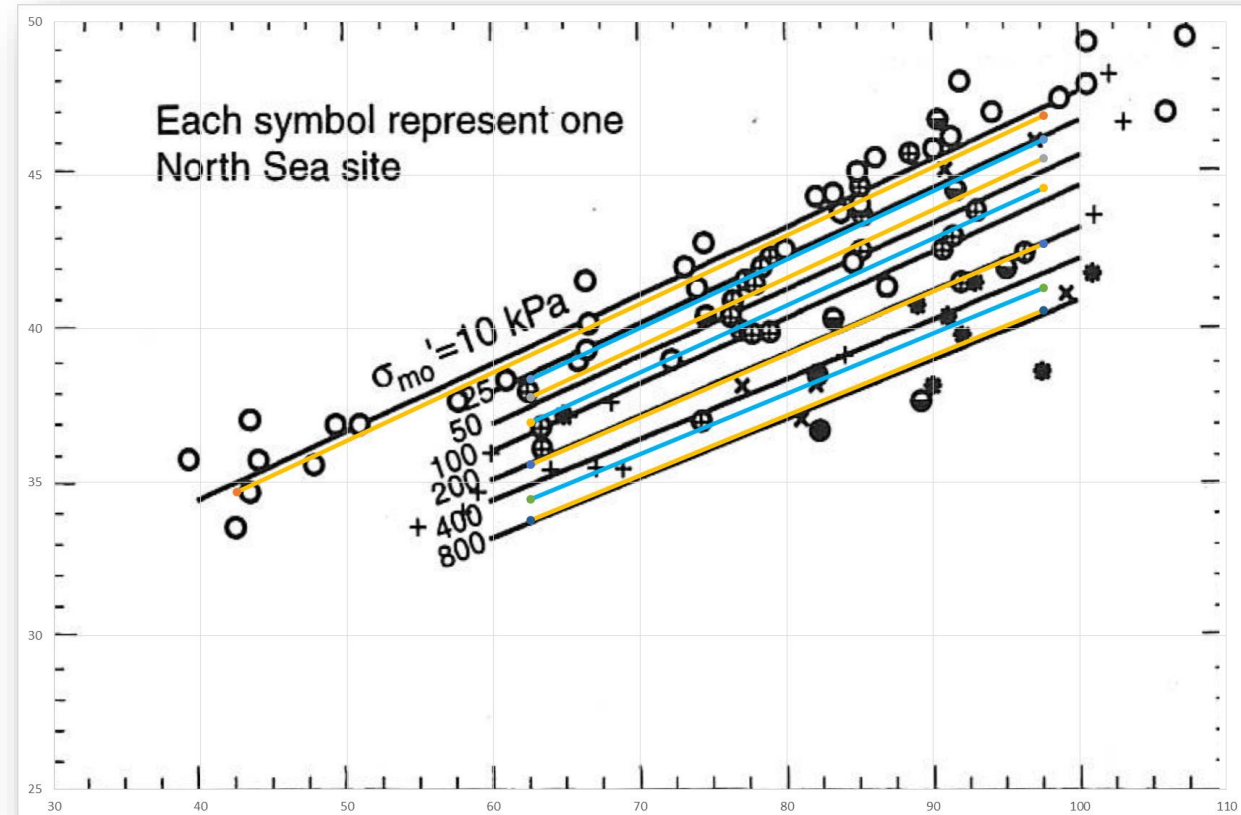
Tilfelle	a	b
Uniform fine sand	0,14	28
Well-graded fine sand - Uniform medium sand	0,12	31,5
Well-graded medium sand - uniform coarse sand	0,105	34,5
Well-graded gravel-sand-silt - Uniform gravel	0,08	38

$$\sigma'_m \approx \sigma'_{v0} \frac{(1 + 2K_0)}{3}$$

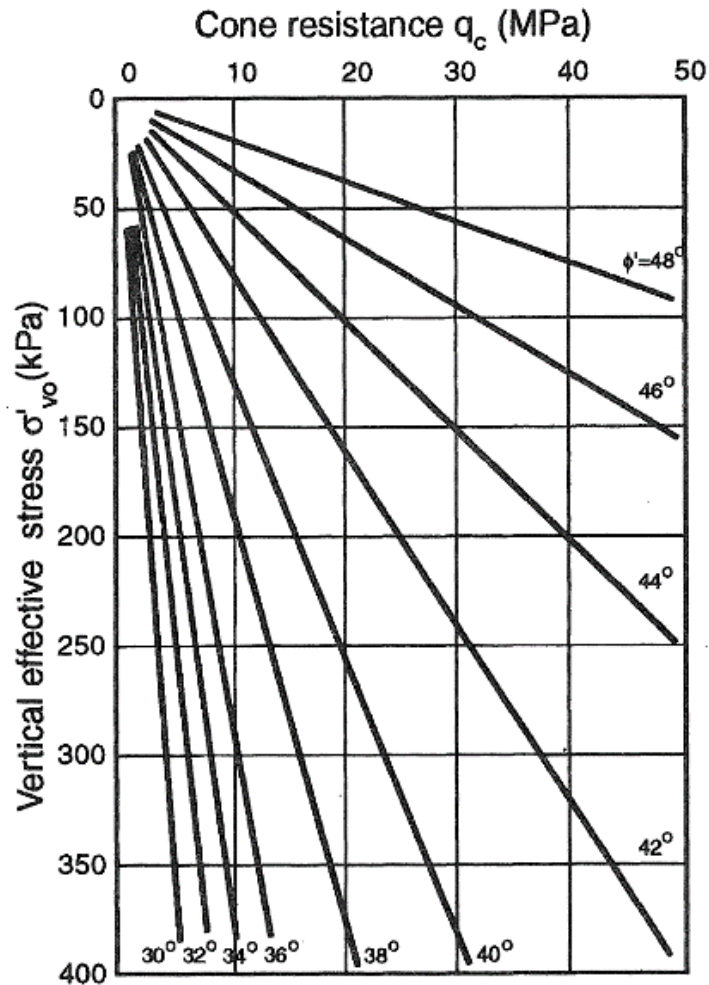
$$\phi = \phi_0 + \alpha \cdot D_r$$

$$\phi' = \phi'_0(\sigma'_m) + \alpha(\sigma'_m) \cdot D_r$$

Kleven et. al 1986



Robertson og Campanella 1983

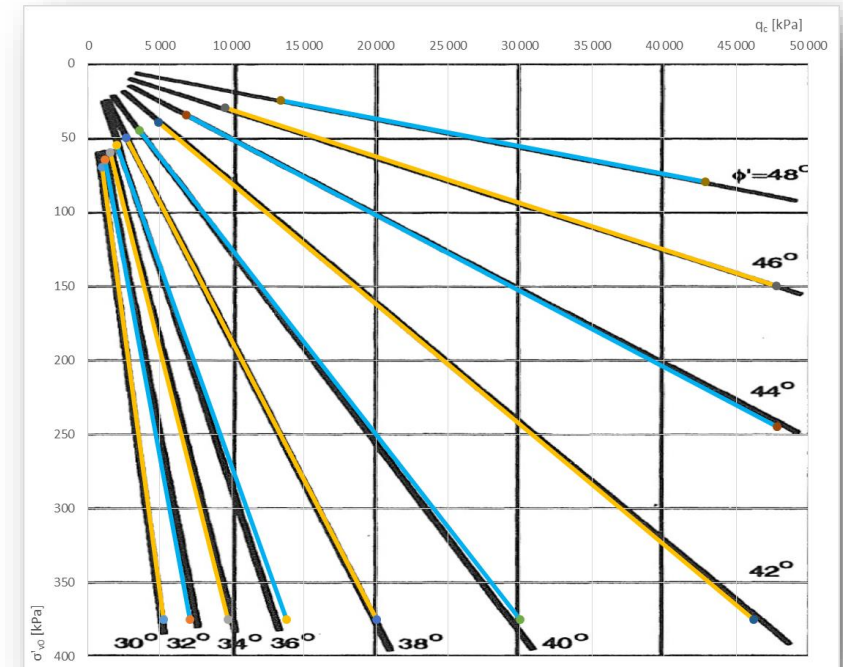


Denne formelen

$$\phi' = e \left(\frac{\ln \left(\frac{a-d}{\ln \left(\frac{q_c}{\sigma'_{vo}} \right) - d} - 1 \right)}{b} + \ln(c) \right)$$

Ser ut til å passe bra til figuren

a	0,8684871
b	2,371393
c	4275,304
d	227592,4



NTH metoden

Janbu & Senneset 1974

1. B_0 liten for CPTu: N_γ fort ubetydelig ift. N_q ledd - **Droppes**

2. Flytte på ledd (+ anta CPTU)

$$q_t + a = N_q \cdot (\sigma'_{v0} + a) + u_0 - N_u \cdot \Delta u_t$$

$$q_t = N_q \cdot (\sigma'_{v0} + a) - N_u \cdot \Delta u_t - a + u_0$$

$$q_t - \sigma_{v0} = N_q \cdot (\sigma'_{v0} + a) - N_u \cdot \Delta u_t - a - \sigma_{v0} + u_0$$

$$q_t - \sigma_{v0} = N_q \cdot (\sigma'_{v0} + a) - N_u \cdot \Delta u_t - a - (\sigma_{v0} - u_0)$$

$$q_t - \sigma_{v0} = N_q \cdot (\sigma'_{v0} + a) - N_u \cdot \Delta u_t - a - \sigma'_{v0}$$

$$q_t - \sigma_{v0} = N_q \cdot (\sigma'_{v0} + a) - N_u \cdot \Delta u_t - (\sigma'_{v0} + a)$$

$$q_t - \sigma_{v0} = (N_q - 1) \cdot (\sigma'_{v0} + a) - N_u \cdot \Delta u_t$$

$$B_q = \frac{u_2 - u_0}{q_t - \sigma_{v0}} \rightarrow \Delta u_2 = B_q \cdot (q_t - \sigma_{v0})$$

3. Bruker definisjonen av B_q

$$q_t - \sigma_{v0} = (N_q - 1) \cdot (\sigma'_{v0} + a) - N_u \cdot B_q \cdot (q_t - \sigma_{v0})$$

$$(q_t - \sigma_{v0}) \cdot (1 + N_u \cdot B_q) = (N_q - 1) \cdot (\sigma'_{v0} + a)$$

$$(q_t - \sigma_{v0}) = \left[\frac{N_q - 1}{1 + N_u \cdot B_q} \right] \cdot (\sigma'_{v0} + a) = N_m \cdot (\sigma'_{v0} + a)$$

Drenert bæreevneformel

8) Midlere vertikal bæreevne ($\bar{\sigma}_v$) beregnes etter formelen:

$$\bar{\sigma}_v = N_q \cdot (p' + a) + 1/2 \cdot N_\gamma \cdot \gamma'_{\text{under}} \cdot B_0 - a$$

SVV HB V220:2023

Generell udrenert bæreevneformel

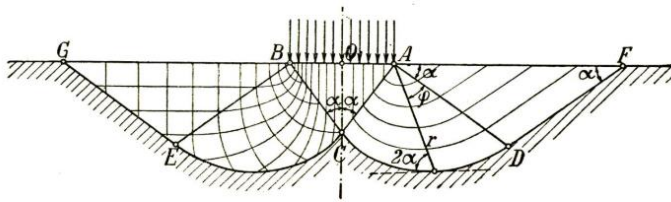
$$q_v + a = N_q (\sigma'_{v0} + a) + u_0 - N_u \cdot \Delta u_b + \frac{1}{2} \cdot N_\gamma \cdot \bar{\gamma} \cdot B_0$$

Sandven, 1990

- u_0 - initielt poretrykk
- Δu_b - poretrykk ved fundament
- N_u - Bæreevnefaktor, poretrykk

NTH metoden

Janbu & Senneset 1974

Bæreevnefaktoren N_q fra stress-felts teori

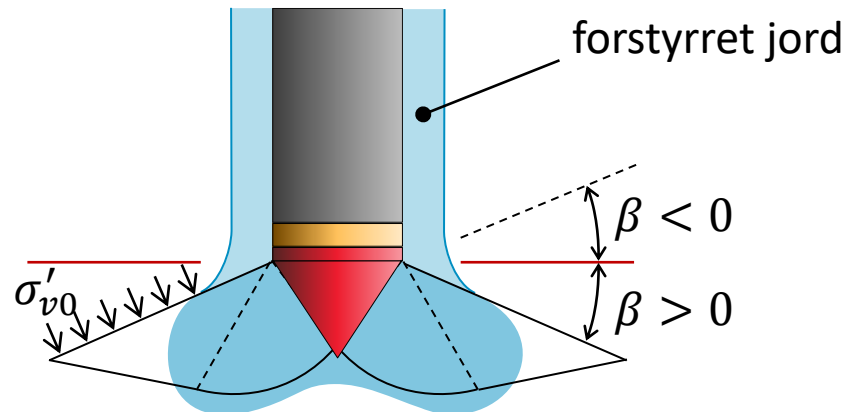
Figur 1.

Figure 4-2. The Prandtl-wedge.

Pradtl, 1920 (ref. Stefan Van Baars, 2016)

Klassisk løsning (plane strain - flatt terreng)

$$N_q = \tan^2 \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2} \right) \cdot e^{\pi \tan \phi}$$



Idealisert geometri

adoptert fra Sandven, 1990

Modifisert løsning (plane strain - variabel åpningsvinkel)

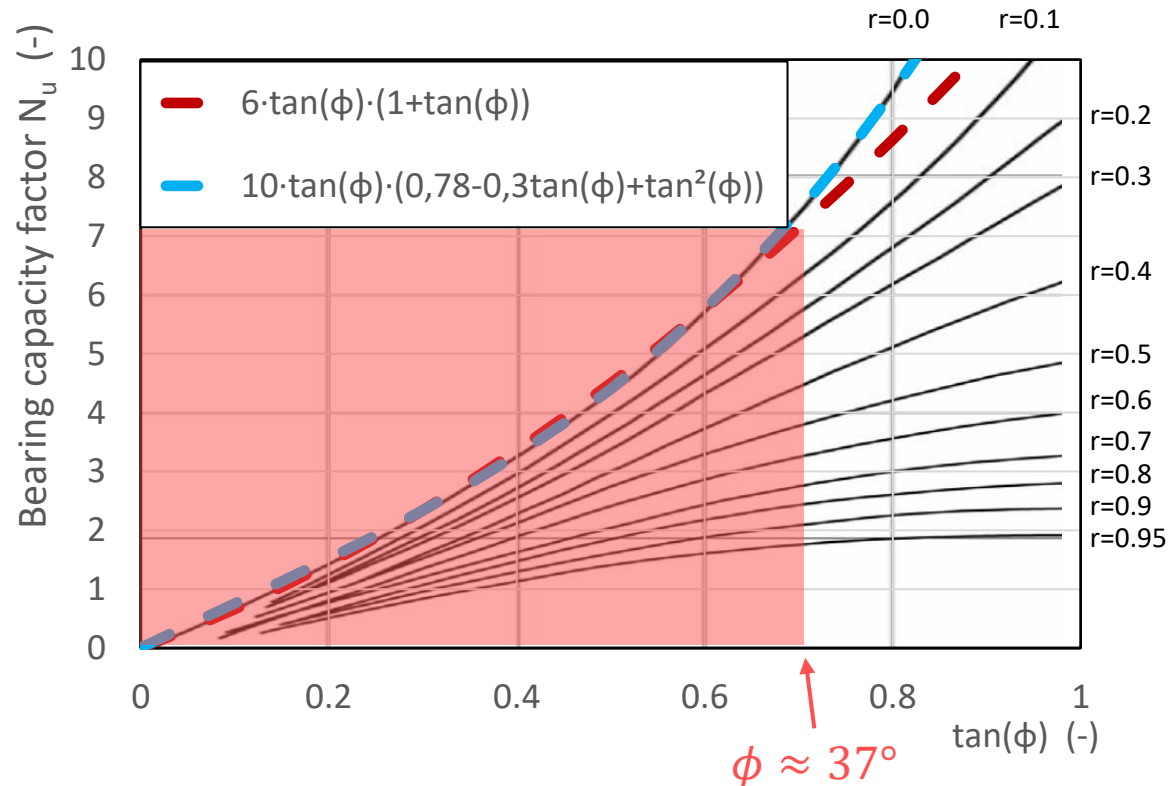
$$N_q = \tan^2 \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2} \right) \cdot e^{(\pi - 2\beta) \tan \phi}$$

NTH metoden

Janbu & Senneset 1974

Bæreevnefaktoren N_u

$$N_u \approx 6 \cdot \tan \phi \cdot (1 + \tan \phi)$$



$$(q_t - \sigma_{v0}) = \left[\frac{N_q - 1}{1 + N_u \cdot B_q} \right] \cdot (\sigma'_{v0} + a) = N_m \cdot (\sigma'_{v0} + a)$$

Vi har nå to uttrykk for N_m

$$N_{m.1} = \frac{(q_t - \sigma_{v0})}{(\sigma'_{v0} + a)}$$

$$N_{m.2} = \frac{\tan^2 \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2} \right) \cdot e^{(\pi - 2\beta) \tan \phi} - 1}{1 + 6 \cdot \tan \phi \cdot (1 + \tan \phi) \cdot B_q}$$

Ingen lukket løsning funnet for ϕ med $N_{m.1} = N_{m.2}$

hittil løst på 4 måter

NTH metoden

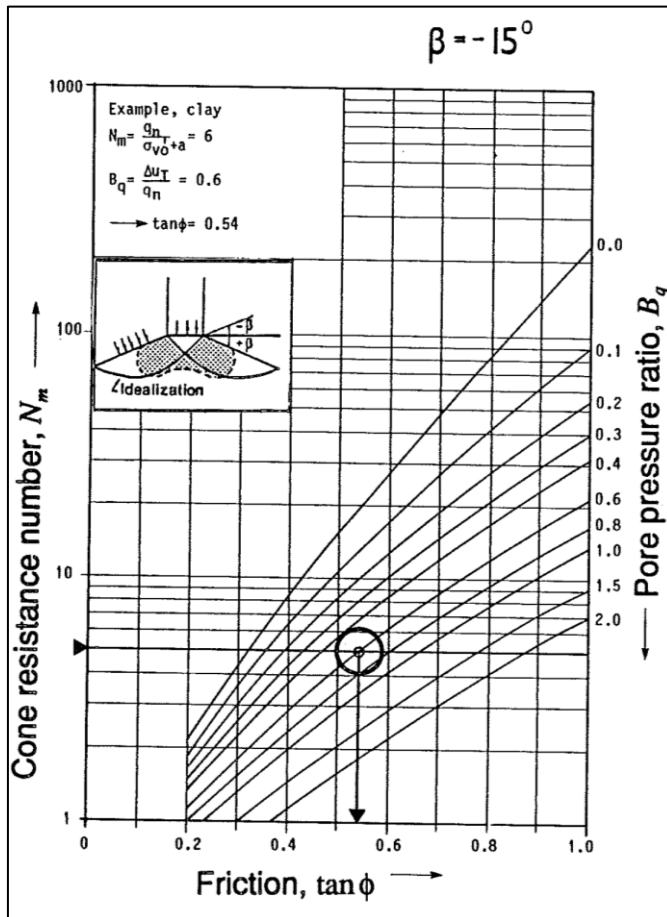
Janbu & Senneset 1974

2. forenkling

$$\phi' \text{ (deg)} = 29.5^\circ \cdot B_q^{0.121} [0.256 + 0.336 \cdot B_q + \log Q_t]$$

Robertson, 2022

1. grafisk



3. Excel goal-seek:

$$N_{m.1} - N_{m.2} = 0$$

effektivt med makro

4.a fixed point iterasjon

Isolere ett uttrykk for $\tan \phi$

$$\frac{(q_t - \sigma_{v0})}{(\sigma'_{v0} + a)} = \frac{\tan^2 \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2} \right) \cdot e^{(\pi - 2\beta) \tan \phi} - 1}{1 + 6 \cdot \tan \phi \cdot (1 + \tan \phi) \cdot B_q}$$

en kunne prøvd

$$\tan \phi_1 = \frac{\ln \left(\frac{(q_t - \sigma_{v0}) \cdot (1 + 6 \cdot \tan \phi_0 \cdot (1 + \tan \phi_0) \cdot B_q)}{(\sigma'_{v0} + a)} + 1 \right)}{\tan^2 \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi_0}{2} \right)} \cdot (\pi - 2\beta)}$$

eller evt.

$$\tan \phi_1 = \frac{\left(\left(\tan^2 \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi_0}{2} \right) \cdot e^{(\pi - 2\beta) \tan \phi_0} - 1 \right) (\sigma'_{v0} + a) \right)}{(q_t - \sigma_{v0}) - 1}}{6 \cdot (1 + \tan \phi_0) \cdot B_q}$$

NTH metoden

Janbu & Senneset 1974

4.b Newtonsmethod - iterasjon

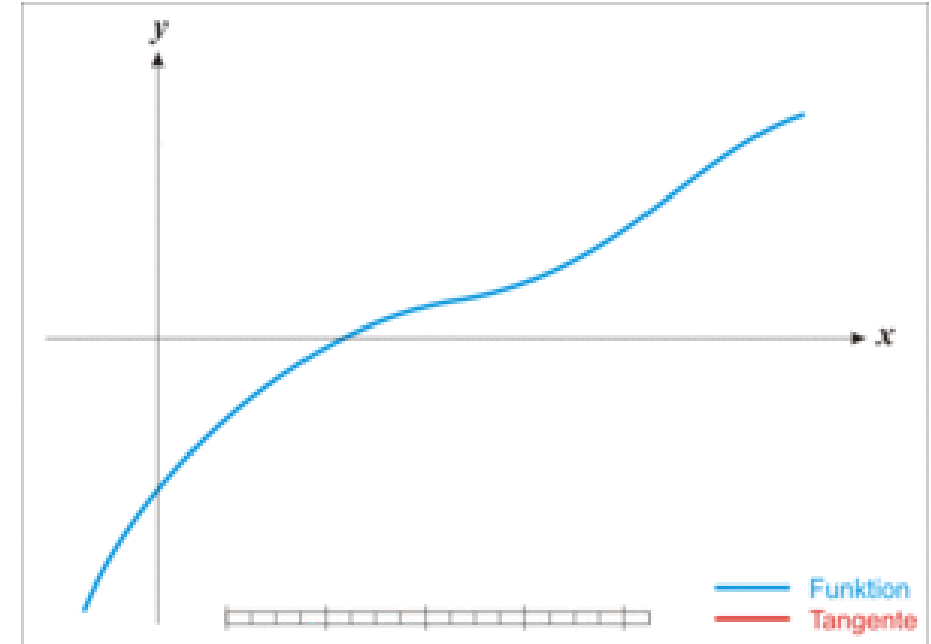
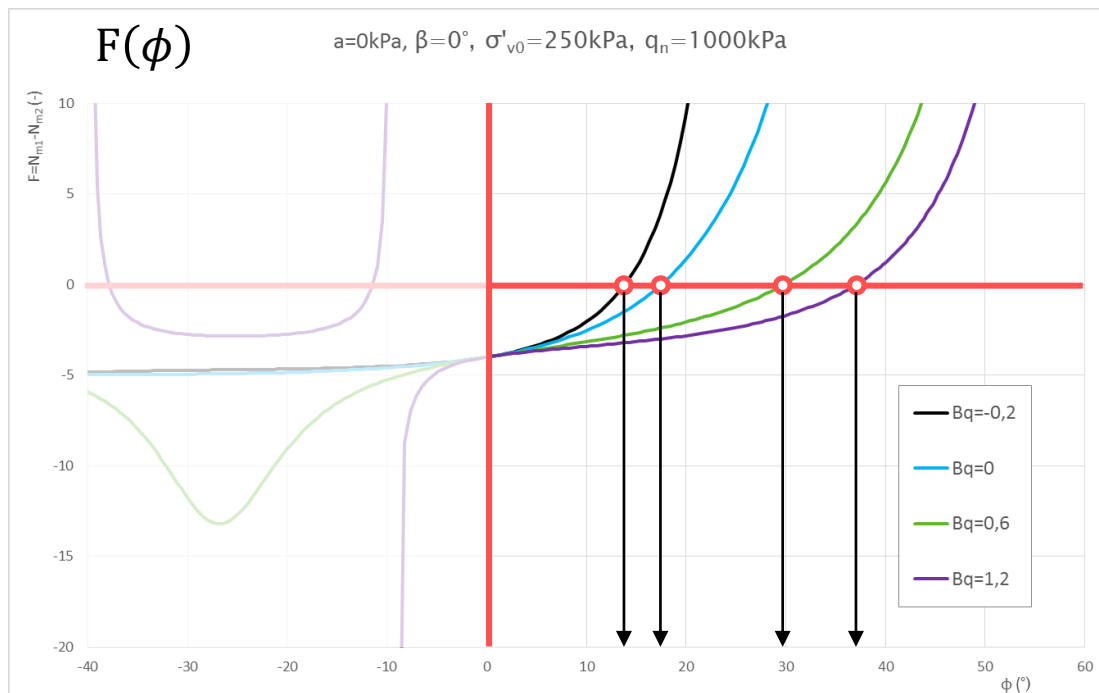
$$F(\phi) = N_{m.2} - N_{m.1} = \frac{\tan^2\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2}\right) \cdot e^{(\pi-2\beta)\tan\phi} - 1}{1 + 6 \cdot \tan\phi \cdot (1 + \tan\phi) \cdot B_q} - \left\{ \frac{(q_t - \sigma_{v0})}{(\sigma'_{v0} + a)} \right\} = 0$$

$$F'(\phi) = \frac{\partial N_{m.2}}{\partial \phi} - \frac{\partial N_{m.1}}{\partial \phi} = \dots$$

numerisk F' fungerer også

$$F' \approx (\phi_n) \frac{F(\phi_n + \Delta\phi) - F(\phi_n)}{\Delta\phi}$$

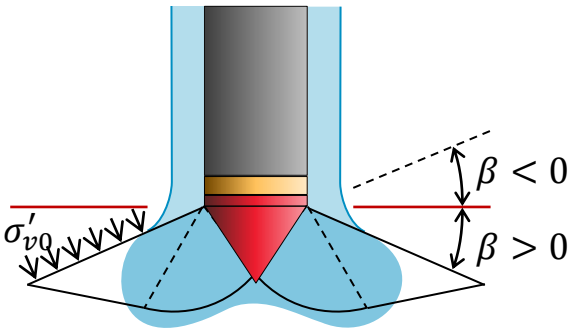
$$\phi_{n+1} = \phi_n - \frac{F(\phi_n)}{F'(\phi_n)}$$

...med liten $\Delta\phi$ 

NTH metoden

Janbu & Senneset 1974

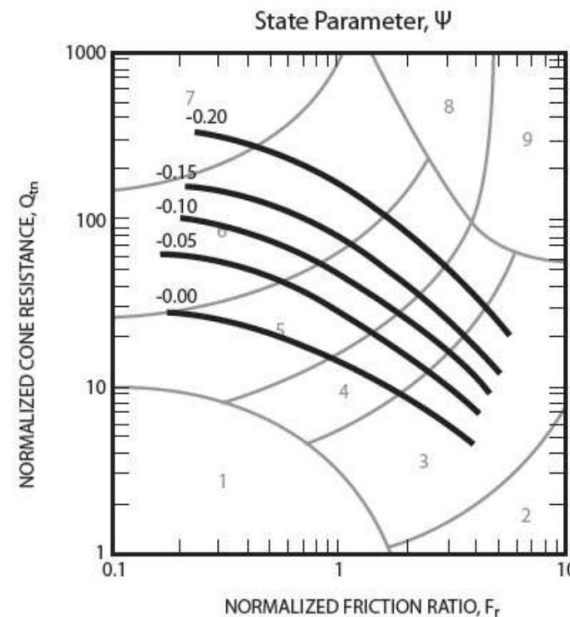
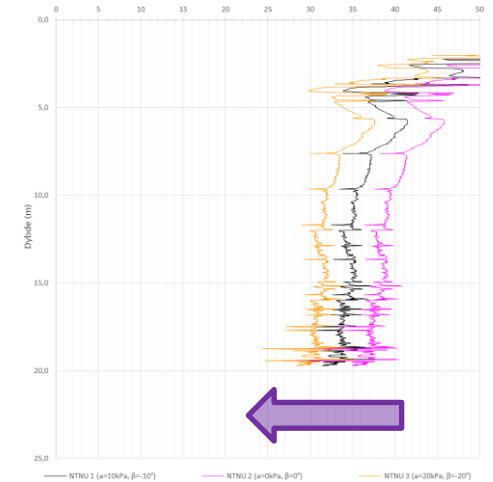
β vinkelen



Mulig kobling mellom state-parameter, ψ , og β .

fra Sandven, 1990

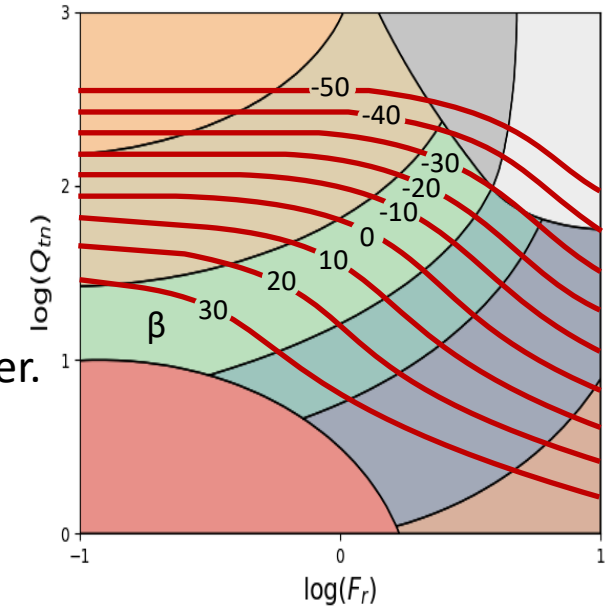
Jordart	Lagringsforhold	a (kPa)		β (°)	
		Nedre	Øvre	Nedre	Øvre
Leire	Sterkt overkonsolidert, lite sensitiv	30	50	-40	-30
	Overkonsolidert	20	30	-30	-20
	Svakt overkonsolidert, middels sensitiv	10	20	-20	-10
	Sensitiv	5	15	-10	10
Silt	overkonsolidert, fast lagret	10	20	-20	-10
	normalkonsolidert, løst lagret	5	10	0	-10
Sand	Fast, sementert	5	15	-40	-15
	Løs	0	5	-10	10



fra Robertson, 2022

Kan sett ut noe i den dur.

I regneark ligger inne β etter klasser. Hvis dette \rightarrow stemmer blir det uinteressant



... ikke publisert



Oppgaver

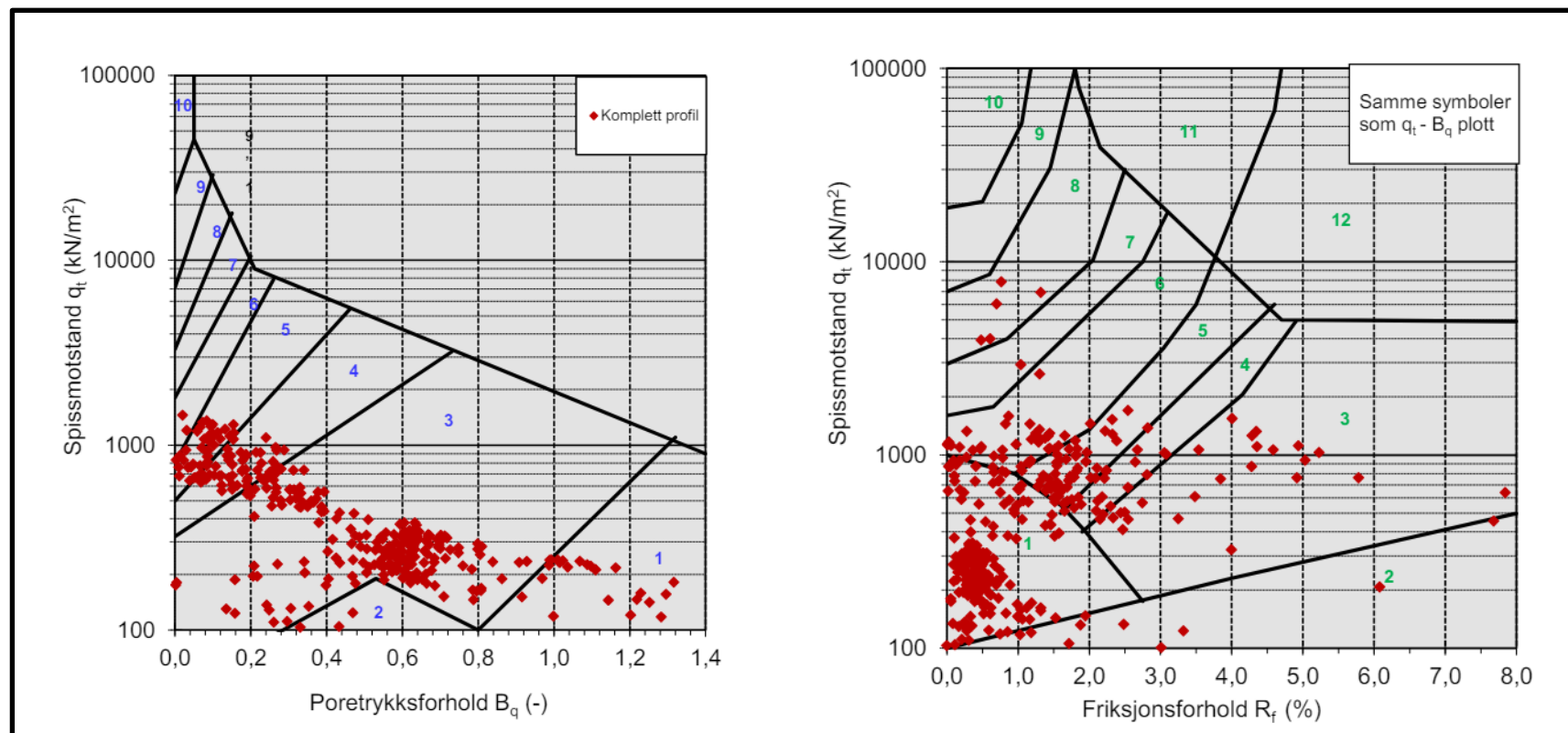
1. Første tolkning av ϕ
 - Leire: hvilke modeller kan vi bruke
 - Kvikkleire dette, hvilke β skulle velges
2. Treaksdata
 - Oppdatere tolkning
 - Skal man skru veldig på parameterne?
3. Ta turen innom 2-3 klassifiseringsdiagram
 - Utfør klassifisering for å generere profil

endrer treaksene den
initielle tolkningen?

Jordartsklassifisering via diagram

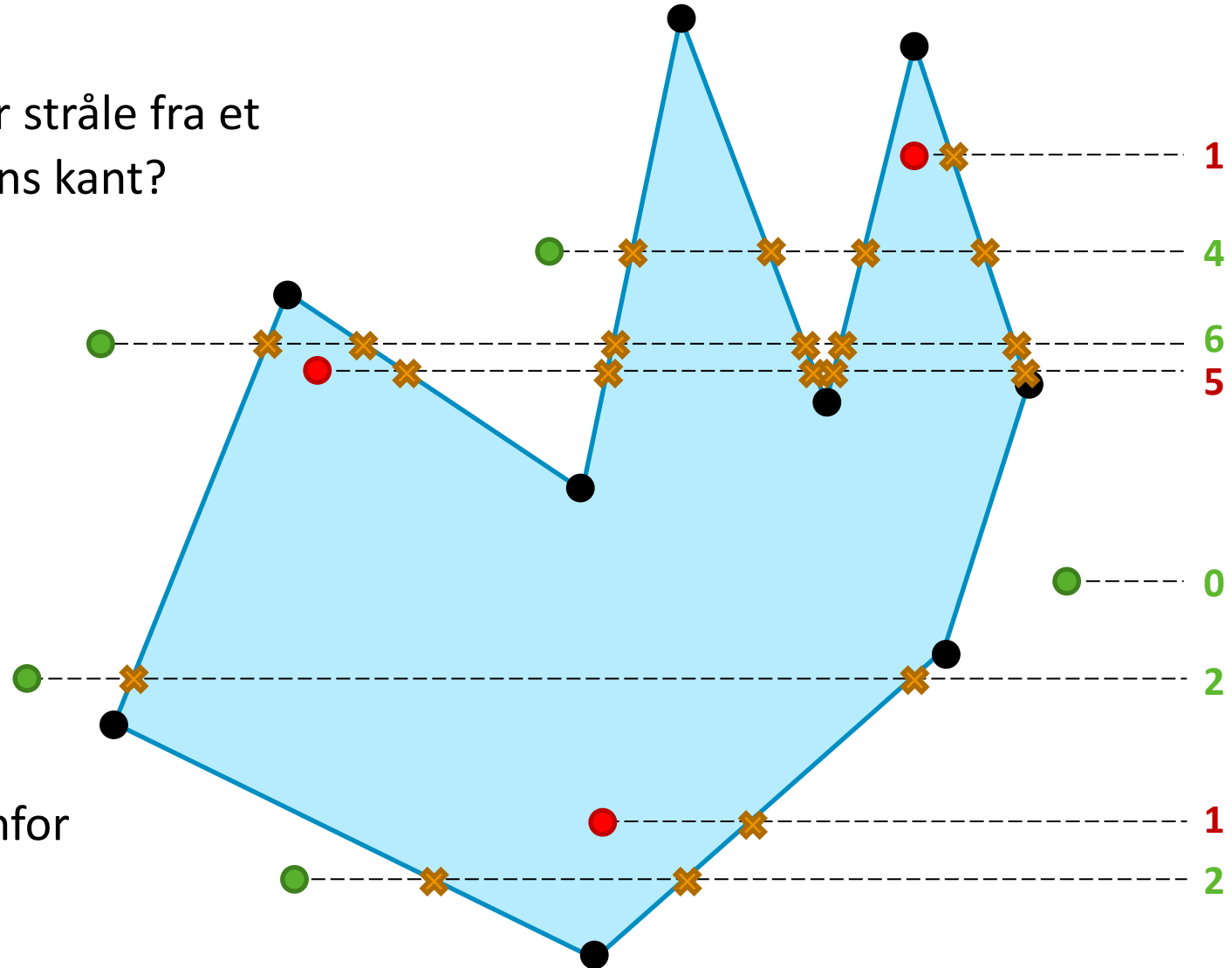
Eksempel på vanlig bruk av klassifiseringsdiagram.

Slik så dette ut i de aller fleste regneark.



Point in polygon algoritmen

Hvor ofte treffer stråle fra et punkt polygonens kant?



Oddetall - innenfor

Parall - utenfor

Point in polygon algoritmen

https://wrfranklin.org/Research/Short_Notes/pnpoly.html

```

1 int pnpoly(int nvert, float *vertex, float *verty, float testx, float testy)
2 {
3     int i, j, c = 0;
4     for (i = 0, j = nvert-1; i < nvert; j = i++) {
5         if ( ((verty[i]>testy) != (verty[j]>testy)) &&
6             (testx < (vertex[j]-vertex[i]) * (testy-verty[i]) / (verty[j]-verty[i]) + vertex[i]) )
7             c = !c;
8     }
9     return c;
10 }
```

```

Private Function xOfyByPoints(ByVal Y As Double, ByVal x1 As Double, ByVal y1 As Double, ByVal x2 As Double, ByVal y2 As Double) As Double
' returns the X for a given Y on a line defined by two points (checks the class for log/lin definitions of each axis)
If (pLogY And Y > 0 And y1 > 0 And y2 > 0) Then
    If (pLogX And x1 > 0 And x2 > 0) Then 'log-log
        xOfyByPoints = 10 ^ ((Log10(Y / y1) * Log10(x1 / x2) / Log10(y1 / y2) + Log10(x1)))
    Else 'lin-log
        xOfyByPoints = Log10(Y / y1) * ((x1 - x2) / Log10(y1 / y2)) + x1
    End If
Else
    If (pLogX And Y > 0 And x1 > 0 And x2 > 0) Then 'log-lin
        xOfyByPoints = 10 ^ ((Y - y1) * Log10(x1 / x2) / (y1 - y2) + Log10(x1))

    Else 'lin-lin (log(n) where n<=0 will also default to here)
        xOfyByPoints = (Y - y1) * ((x1 - x2) / (y1 - y2)) + x1
    End If
End If
```

Point in polygon algoritmen

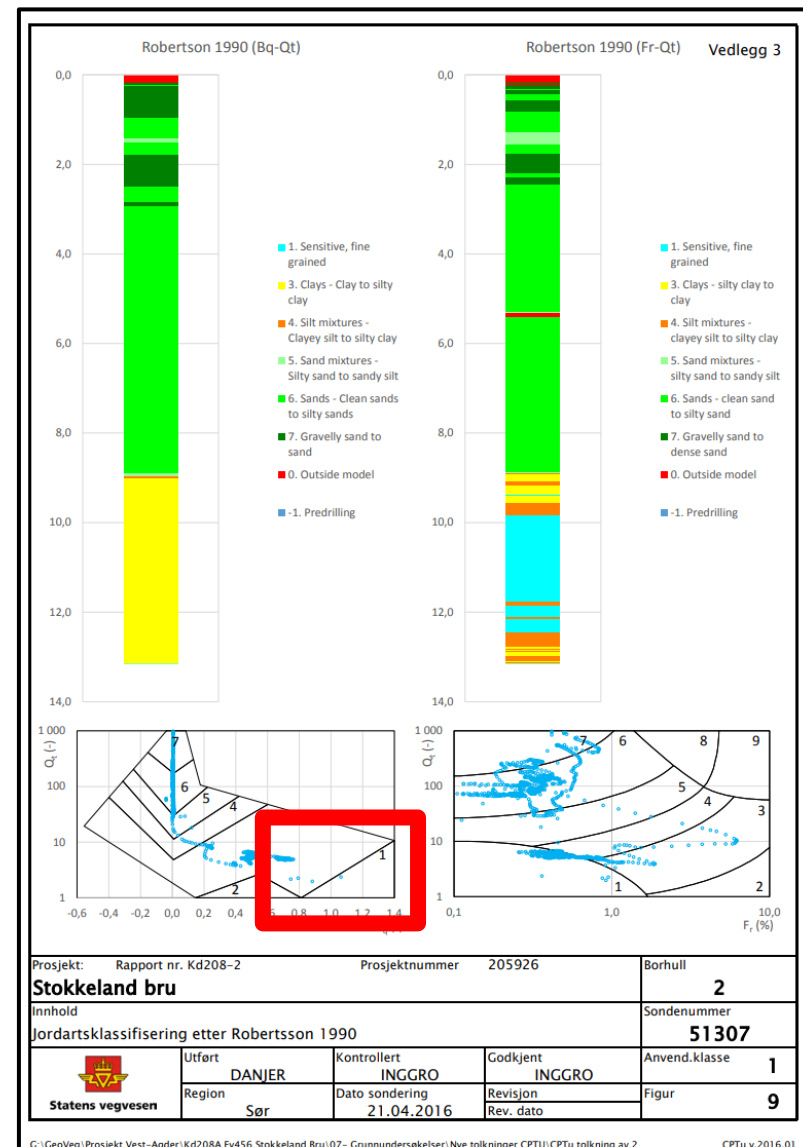
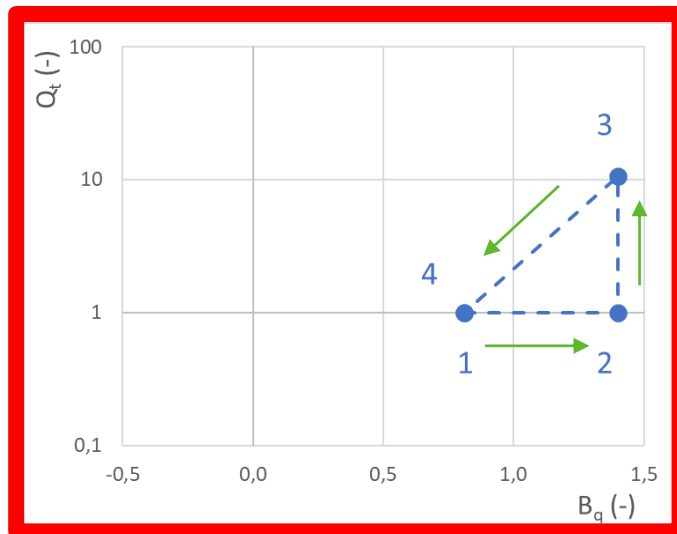
Kode klassifiserer – trenger VBA

Resultatet er “dødt” → må oppdateres etter endringer.
Ingen varslar!

Enkelt å legge til ny modell

Trenger koordinater på områder og om det skal være lin eller log skala

Nr.	X	Y	
#	B_q	Q_t	
	(-)	(-)	
	lin	log	
1	0,812	1,0	1
	1,400	1,0	2
	1,400	10,7	3
	0,812	1,0	4
2	0,146	1,0	



Huskeliste

Det viktigste av alt

1. Skaff kvalitetsdata

- Vær i god kontakt med grunnborere
- Kontroller data så snart de leveres
- Repeter CPTu-er som har problem
- Vurder forboring forbi faste lag

Påvirker alle modeller

2. Bruk tiden som trengs på initialspenninger

- Hvordan er γ mot dybden
- Hva med u_0 , trenger prosjektet poretrykksmålere

Ref. alle kilder!

3. CPTu tolkning skal støttes med lab

- Sammenstill informasjon der det er mulig
- Juster modellparametere for å tilpasse stedlige data

4. Ødometer er noe av det lureste å utføre tidlig!

- Støtte ved tolkning
- Støtte ved bestemmelse av konsolideringsspenninger for ↓

5. Treakser koster, men kan være gull verdt. OBS: 2 treakser i 1 profil gir bedre tolkningsstøtte for CPTu enn 1 treaks i 2 profil. (høyere dokumentert styrke == billigere løsninger)

6. Til slutt: sammenstill alt som finnes har av informasjon i profilet ditt og deretter velg profil DU vil stå for

Referanser

- T. Lunne, P.K. Robertson, J.M.M. Powell (1997): *Cone penetration testing in geotechnical practice*. London, Spon pres. 312p.
- P.K Robertson (2022): *Guide to cone penetration testing. A concise & practical applications guide*. P.K. Robertson consulting. 156p.
- Statens vegvesen (2023): *N-V220 Geoteknikk i vegbygging*. Oslo, Statens vegvesen Vegdirektoratet
- R. Sandven (1990): *Strength and Deformation Properties of Fine-Grained Soils obtained from piezocone tests*. Trondheim, NTH. 304p.
- K. Karlsrud, T. Lunne, K. Bratlien (1996): *Improved CPTU interpretations based on block samples*. Proceedings of the 12th Nordic geotechnical meeting, Reykjavik, pp. 195-201.
- K. Karlsrud (2014): *Strength and deformation properties of Norwegian clays from laboratory tests on high quality block samples*. Bjerrums Foredrag nr. 23. pp. 1-31.
- K. Karlsrud, T. Lunne, D.A. Kort, S. Strandvik (2005): *CPTU Correlations for Clays*. Proceedings of the 16th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Osaka. pp. 693-701.
- P. Paniagua, M. D'Ignazio, J-S. L'Heureux, T. Lunne, K. Karlsrud (2019): *CPTU correlations for Norwegian clays: an update*. AIMS Geosciences 5(2). pp. 82-103.
- R.Larsson (2015): *Information 15. CPT-sondering. Utrustning-utførende-utvärdering. En in-situ metod för bestämning av jordlagerföljd och egenskaper I jord*. Linköping, SGI. 76p.
- C.C. Ladd, R. Foott, K. Ishihara, F. Schlosser, H.G. Poulos (1977): *Stress-Deformation and Strength Characteristics*. State of the arts report of the 9th ICSMFE. Tokyo. pp. 421-494.
- NVE, SVV, Bane NOR (2014): *Valg av karakteristisk cuA – profil basert på felt – og laboratorieundersøkelser*. NIFS Rapport 77:2014. Oslo, NVE.
- Stefan Van Baars (2016): *100 Year Prandtl's Wedge. Intermediate report*. Luxemburg, Stefan Van Baars. 109p.
- Multiconsult (2015): *Langnesbukta. Rapport MC 712598-RIG-RAP-001*. Tromsø, Multiconsult.
- M. Jefferies and K. Been (2006): *Soil Liquefaction. A critical state approach*. Abingdon, Taylor & Francis. 479p.

Det var det

Regneark | Generelt | c_u | ϕ | Klassifisering

Tolkning av CPTu
Med hjelp av et regneark

det finnes mange...

min første oppgave i SVV å samordne SVV sine (3-4stk)

Arbeidsgruppe
Sigrun Mikkelsen Vegdirektoratet sigrun.mikkelsen@vegvesen.no
Hermann Bruan Vegdirektoratet hermann.bruan@vegvesen.no
André Salteveg Vegdirektoratet andre.salteveg@vegvesen.no
Egil Haugen Vegdirektoratet egil.haugen@vegvesen.no
Eivind Auk Vegdirektoratet eivind.auk@vegvesen.no
Egil Eskeland Vegdirektoratet egil.eskeland@vegvesen.no
Anterhvi Bivu Vegvesen anterhvi.bivu@vegvesen.no

6 mnd

Publiserte versjoner

Publiserte versjoner	Dato	Format	Størrelse
CPTu 2016_01.xlsx	03-11-2016 09:11	Microsoft Excel M...	1 301 KB
CPTu 2016_02.xlsx	12-01-2017 15:32	Microsoft Excel M...	1 333 KB
CPTu 2017_01.xlsx	28-04-2017 15:49	Microsoft Excel M...	1 337 KB
CPTu 2017_02.xlsx	19-05-2017 09:08	Microsoft Excel M...	1 371 KB
CPTu 2017_03.xlsx	28-11-2017 23:27	Microsoft Excel M...	1 640 KB
CPTu 2018_01.xlsx	04-09-2018 09:13	Microsoft Excel M...	1 648 KB
CPTu 2018_02.xlsx	26-09-2018 11:58	Microsoft Excel M...	2 015 KB
CPTu 2018_03.xlsx	03-12-2018 12:54	Microsoft Excel M...	2 234 KB
CPTu 2019_0A.xlsx	29-03-2019 16:14	Microsoft Excel M...	2 262 KB
CPTu 2019_01.xlsx	28-01-2019 13:14	Microsoft Excel M...	2 242 KB
CPTu 2019_02.xlsx	06-08-2019 10:22	Microsoft Excel M...	2 290 KB
CPTu 2019_03.xlsx	23-09-2019 09:18	Microsoft Excel M...	2 292 KB
CPTu 2019_04.xlsx	18-11-2019 10:05	Microsoft Excel M...	2 304 KB
CPTu 2019_05.xlsx	10-13-2019 09:58	Microsoft Excel M...	2 306 KB
CPTu 2019_06.xlsx	19-12-2019 13:19	Microsoft Excel M...	2 300 KB
CPTu 2020_01.xlsx	07-08-2020 11:57	Microsoft Excel M...	2 327 KB
CPTu 2020_01_nye_sertifikater.xlsx	22-10-2020 14:46	Microsoft Excel M...	2 330 KB
CPTu 2021_01.xlsx	26-11-2021 12:58	Microsoft Excel M...	2 487 KB
cptu-2023_01.xlsx	02-06-2023 09:50	Microsoft Excel M...	2 502 KB
cptu-2023_02.xlsx	12-06-2023 14:49	Microsoft Excel M...	2 504 KB
cptu-2023_03.xlsx	10-04-2024 18:11	Microsoft Excel M...	2 509 KB

NLOD lisens → deles eksternt

Startet i mai 2016

Her er status etter første uke

Kalibreringsark legges til uten at det blir en ny versjon

Regneark | Generelt | c_u | ϕ | Klassifisering

Table 1.1 The applicability and usefulness of *in situ* tests

Group	Device	Soil Parameters											Ground type							
		Soil type	Profile	γ^*	τ_d	D_r	m_v	k_s	G_0	σ_v	OCR	σ - ϵ	Hard rock	Soft rock	Gravel	Sand	Silt	Clay	Peat	
Penetrometers	Dynamic Mechanical	C	B	-	C	C	C	-	-	C	C	-	-	-	C	B	A	B	B	B
	Electric (CPT)	B	A/B	-	C	B	C	-	-	C	C	-	-	-	C	C	A	A	A	A
Piezometers (CPTU)	Standard (CPTU)	A	A	A	B	A	B	A	A	B	B/C	B	C	-	B	B	A	A	A	A
	Sensitive (CPTUS/CPTLU)	A	A	A	B	A	B	A	B	A	B	A	A	-	B	B	A	A	A	A

Oppdatering av Robertson 2012

Group	Device	Soil parameters											Ground type								
		Soil type	Profile	u_0	ϕ^*	s_v	D_r	ψ	m_v	c_v	k	G_0	OCR	σ - ϵ	Hard rock	Soft rock	Gravel	Sand	Silt	Clay	
Penetrometers	CPTu	A	A	A	B	B	A	A	B	A	A	B	B	C	-	C	B	A	A	A	A

bearbeidet fra Robertson, 2022

Applicability: A = high; B = moderate; C = low; - = none.
* ϕ^* = Will depend on soil type; ψ = Only when pore pressure sensor fitted; τ_d = Only when displacement sensor fitted.
Soil parameter definitions: α = *in situ* static pore pressure; ϕ^* = effective internal friction angle; c_v = undrained shear strength; m_v = constrained modulus; G_0 = coefficient of consolidation; k = coefficient of permeability; C_u = shear modulus at small strains; σ_v = horizontal stress; OCR = overconsolidation ratio; σ - ϵ = stress-strain relationship; ρ_s = density index.

Lunn et al., 1997

Regneark | Generelt | c_u | ϕ | Klassifisering

Teoretiske og empiriske tilnærminger for å estimere c_u med CPTu

Teori

Udrenert bæreevneformel SVV HB V220:2023

$$\bar{\sigma}_v = N_c \cdot c_u + p_v$$

$$\bar{\sigma}_v = N_c \cdot c_u + p_v$$

$$\tau_d = \frac{\tau_k}{YM} = \frac{c_u}{YM}$$

$$YM = 1 \rightarrow \tau_d = c_u$$

Regneark | Generelt | c_u | ϕ | Klassifisering

Relativ lagringstetthet, D_r

$$D_r = \frac{e_{max} - e}{e_{max} - e_{min}} \cdot 100 (\%) \quad \text{pr. def. } \in [0\%, 100\%]$$

CPTu korrelasjoner i regneark

$DR_1 = A+B \cdot \log(q_c/\sigma'_{v0}{}^{0.5})$ A \in [-110,-84] etter kompressibilitet, B=66

$DR_{2,3} = 1/C_2 \cdot \ln(q_c/(C_0 \cdot (\sigma'_{v0}/m)^{c1}))$ NC/OC: $C_0=157/181$ $C_1=0,55$ $C_2=2,41/2,61$

$DR_4 = (q_{c1}/(305 \cdot Q_c \cdot OCR^{0,18} \cdot 1,28))^{0,5}$ $Q_c \in [0,91,1,09]$ etter kompressibilitet

$DR_5 = (26,8 \cdot \ln((q_c/\sigma_{atm})/(\sigma'_{v0}/\sigma_{atm})^{0,5}) - A)$ A \in [-83,-52] etter kompressibilitet

$DR_6 = (0,4 \cdot \ln(q_c/(22 \cdot (\sigma'_{v0} \cdot \sigma_{atm})^{0,5})))$ Fra peleveileder

Regneark | Generelt | c_u | ϕ | Klassifisering

Jordartsklassifisering via diagram

Eksempel på vanlig bruk av klassifiseringsdiagram.

Slik så dette ut i de aller fleste regneark.

Multiconsult, 2015

Regneark | Generelt | c_u | ϕ | Klassifisering

Huskeliste

- Skaff kvalitetsdata
 - Vær i god kontakt med grunnborere
 - Kontroller data så snart de leveres
 - Repetér CPTu-er som har problem
 - Vurder forbering forbi faste lag
- Bruk tiden som trengs på initialspenninger
 - Hvordan er γ mot dybden
 - Hva med u_0 , trenger prosjektet poretrykksmålere
- CPTu tolkning skal støttes med lab
 - Sammenstill informasjon der det er mulig
 - Juster modellparametere for å tilpasse stedlige data
- Ødometer er noe av det lureste å utføre tidlig!
 - Støtte ved tolkning
 - Støtte ved bestemmelse av konsolideringsspenninger for \downarrow
- Treksker koster, men kan være gull verdt. OBS: 2 treksker i 1 profil gir bedre tolkningsstøtte for CPTu enn 1 treksker i 2 profiler. (høyere dokumentert styrke == billigere løsninger)
- Til slutt: sammenstill alt som finnes har av informasjon i profilet ditt og deretter velg profil **DU** vil stå for

Det viktigste av alt

Påvirker alle modeller

Ref. alle kilder!