Statens vegvesen

Túlkun af CPTu

Kynning á CPTu töflureikni

Ýtarefni – hálfþýtt

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

Statens vegvesen

CPTu töflureiknir

Tenging við mæligögn (raw data)

- Tengingum er haldið við — Breytingar skila sér á prent
- Hægt að hliðra mæligögnum — án þess að eiga við mæligögn
- Hægt að slétta mæligögn
- Flytja mælingar á sameiginlegt dýpi — höfum trú á þessu í SVV

Statens vegvesen

CPTu töflureiknir

Uppsetning og rammi

- Rammi sem uppfærist — Stýrist frá fyrstu síðu

ATH: Ekkert skal skrifa beint á einstaka ramma!

- Hafið augað opið fyrir grænum textum — prentast út
- Einnig hægt að breyta yfirskriftum!

hægt að vera kreatífur með innihald rammans ☺

Statens vegvesen

CPTu töflureiknir

Fyrsta síða

Gildi fengin frá CPTu skrám/og stilliskjali

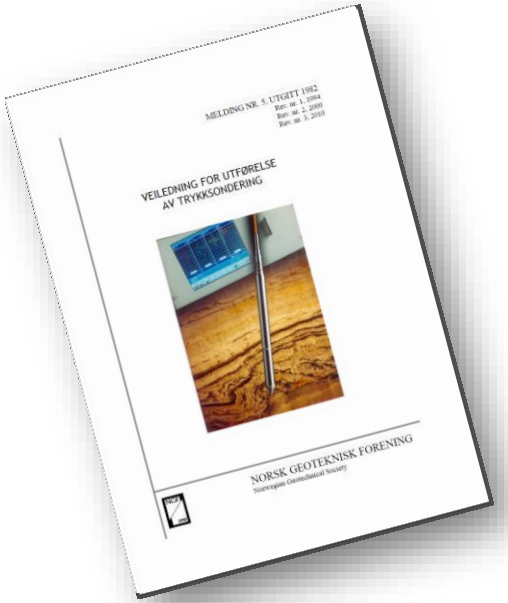
- Haus nr. — mikilvægt — uppfærist ekki sjálfkrafa
- α — 2 reitir mjög mikilvægir
- β
- dagsetning prófs — notuð til að finna rétt kalibreringssertifikat
- boreleder

Annað

- Almennar stillingar fyrir útreikninga — γ_w, σ_a, K_0
- Texti sem fer á framsetningar — Dybde (m), …
- Val — módel fyrir fyrri spennur / dýptarjöfnun /…

CPTu töflureiknir

Klassi



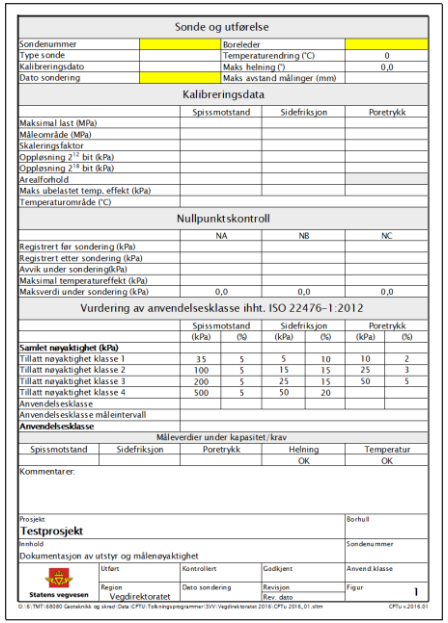
- Verkfæri til að ákvarða gæði/notkunarsvið mælinga
- Skilgreint í ISO22476-1:2012 og NGF melding nr.5
- Krafa um betri heildarnákvæmni enn stærra gildið af
  - Fast gildi
  - % av mælisviði

Þýðir að «betri» niðurstaðan notast til að velja klassa

Ekki ókeypis ókeypis

CPTu töflureiknir

Klassi – hvað er sýnt



Sonde og utførelse

Sondenummer		Boreleder	
Type sonde		Temperaturendring (°C)	0
Kalibreringsdato		Maks helning (°)	0,0
Dato sondering		Maks avstand målinger (mm)	

Kalibreringsdata

	Spissmotstand	Sidefriksjon	Poretrykk
Maksimal last (MPa)			
Måleområde (MPa)			
Skaleringsfaktor			
Oppløsning 2^{16} bit (kPa)			
Oppløsning 2^{24} bit (kPa)			
Arealforhold			
Maks ubelastet temp. effekt (kPa)			
Temperaturområde (°C)			

Nullpunktskontroll

	NA	NB	NC
Registrert før sondering (kPa)			
Registrert etter sondering (kPa)			
Avvik under sondering(kPa)			
Maksimal temperatureffekt (kPa)			
Maksverdi under sondering (kPa)	0,0	0,0	0,0

Vurdering av anvendelsesklasse ihht. ISO 22476-1:2012

	Spissmotstand		Sidefriksjon		Poretrykk	
	(kPa)	(%)	(kPa)	(%)	(kPa)	(%)
Samlet nøyaktighet (kPa)						
Tillatt nøyaktighet klasse 1	35	5	5	10	10	2
Tillatt nøyaktighet klasse 2	100	5	15	15	25	3
Tillatt nøyaktighet klasse 3	200	5	25	15	50	5
Tillatt nøyaktighet klasse 4	500	5	50	20		
Anvendelsesklasse						
Anvendelsesklasse måleintervall						
Anvendelsesklasse						

Måleverdier under kapasitet/krav

Spissmotstand	Sidefriksjon	Poretrykk	Helning	Temperatur
			OK	OK

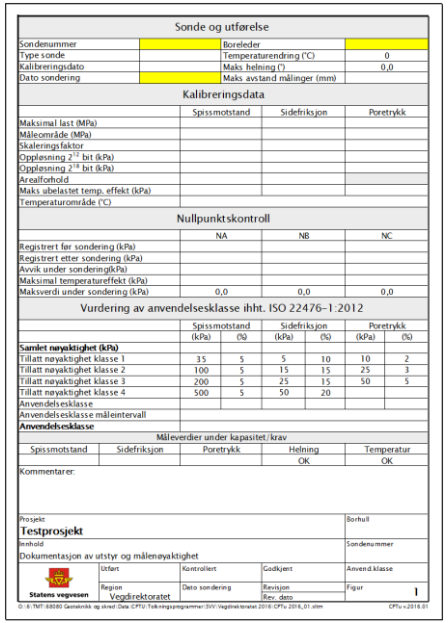
Kommentarer:

Prosjekt: Testprosjekt			Borhull
Innhold: Dokumentasjon av utstyr og målenøyaktighet			Sondenummer
Statens vegvesen	Utført	Kontrollert	Godkjent	Anvend.klasse
	Region: Vegdirektoratet	Dato sondering	Revisjon / Rev. dato	Figur: 1

- Haus og almennt um þetta próf
- Gögn frá *stilliskjali* uppfærist sjálfkrafa
- Núllun/útreikningar
- Útreikningur af klassa ⇒ Sjálf niðurstaðan
- Var farið út fyrir hámarksgildi fyrir hausinn ⇒ grunn til kalibrering?

CPTu töflureiknir

Klassar



Sonde og utførelse			
Sondenummer		Boreleder	
Type sonde		Temperaturendring (°C)	0
Kalibreringsdato		Maks helning (°)	0,0
Dato sondering		Maks avstand målinger (mm)	

Kalibreringsdata	Spissmotstand	Sidefriksjon	Poretrykk
Maksimal last (MPa)			
Måleområde (MPa)			
Skaleringsfaktor			
Oppløsning 2^{12} bit (kPa)			
Oppløsning 2^{18} bit (kPa)			
Arealforhold			
Maks ubelastet temp. effekt (kPa)			
Temperaturområde (°C)			

Nullpunktskontroll	NA	NB	NC
Registrert før sondering (kPa)			
Registrert etter sondering (kPa)			
Avvik under sondering(kPa)			
Maksimal temperatureffekt (kPa)			
Maksverdi under sondering (kPa)	0,0	0,0	0,0

Vurdering av anvendelsesklasse ihht. ISO 22476-1:2012	Spissmotstand		Sidefriksjon		Poretrykk	
	(kPa)	(%)	(kPa)	(%)	(kPa)	(%)
Samlet nøyaktighet (kPa)						
Tillatt nøyaktighet klasse 1	35	5	5	10	10	2
Tillatt nøyaktighet klasse 2	100	5	15	15	25	3
Tillatt nøyaktighet klasse 3	200	5	25	15	50	5
Tillatt nøyaktighet klasse 4	500	5	50	20		
Anvendelsesklasse						
Anvendelsesklasse måleintervall						
Anvendelsesklasse						

Måleverdier under kapasitet/krav				
Spissmotstand	Sidefriksjon	Poretrykk	Helning	Temperatur
			OK	OK

Kommentarer:

Prosjekt **Testprosjekt**				Borhull
Innhold Dokumentasjon av utstyr og målenøyaktighet				Sondenummer
Statens vegvesen	Utført	Kontrollert	Godkjent	Anvend.klasse
	Region Vegdirektoratet	Dato sondering	Revisjon Rev. dato	Figur 1

O:\6-TMT\68080 Geoteknikk og skred\Data\CPTU\Tolkningsprogrammer\SVV\Vegdirektoratet 2016\CPTu 2016_01.xlsm CPTu v.2016.01

Íhugið þetta

- Skjal uppfærist sjálfkrafa — Breytingar í hrágögnum þýða br. hér
- Eru *verre hlutir* en «of lágur» klassi!
  - Haus ekki rétt skrúfaður saman — vondar mæilingar
  - Ekki for-borað nógu djúpt — léleg mettun ⇒ vondar mælingar

Dæmi

Ég hef fengið CPTu skrár með neikvæðu hliðarhrýfi í öllu prófinu samt klassi 1 eftir þessu skjema!

Lesið gögnin inn jafnóðum og þið fáið þau látið endurtaka próf ef það eru stór frávik

Statens vegvesen

CPTu töflureiknir

Skammtíma skerstyrkur

CPTu er **samfellt** próf

hraði 20±5mm/s

Jörðin í **brotástandi** í öllu prófinu

Fræðilegar lausnir fyrir skerstyrk byggjast á **statískri burðarþolsfræði**

þeas. gildir *eiginlega* ekki

En reynslan hefur sýnt að þessar aðferðir gefa oft nothæf gildi

Statens vegvesen

CPTu töflureiknir

Skammtíma skerstyrkur 3x2 +2 aðferðir

Þessa þekkjum við / stólum á

$$c_{u.cptu} = \frac{q_t - \sigma_{v0}}{N_{kt}} - \frac{q_n}{N_{kt}} (= c_{uC})$$

Að mestu leyti

$$c_{u.cptu} = \frac{q_t - u_2}{N_{ke}} - \frac{q_e}{N_{ke}} (= c_{uC})$$

Verkefnið er að meta þessa gaura

$$c_{u.cptu} = \frac{u_2 - u_0}{N_{\Delta u}} - \frac{\Delta u}{N_{\Delta u}} (= c_{uC})$$

Nálgun, hægt að nota önnur gildi!

Statens vegvesen

CPTu töflureiknir

Skammtíma skerstyrkur frá N-gildum

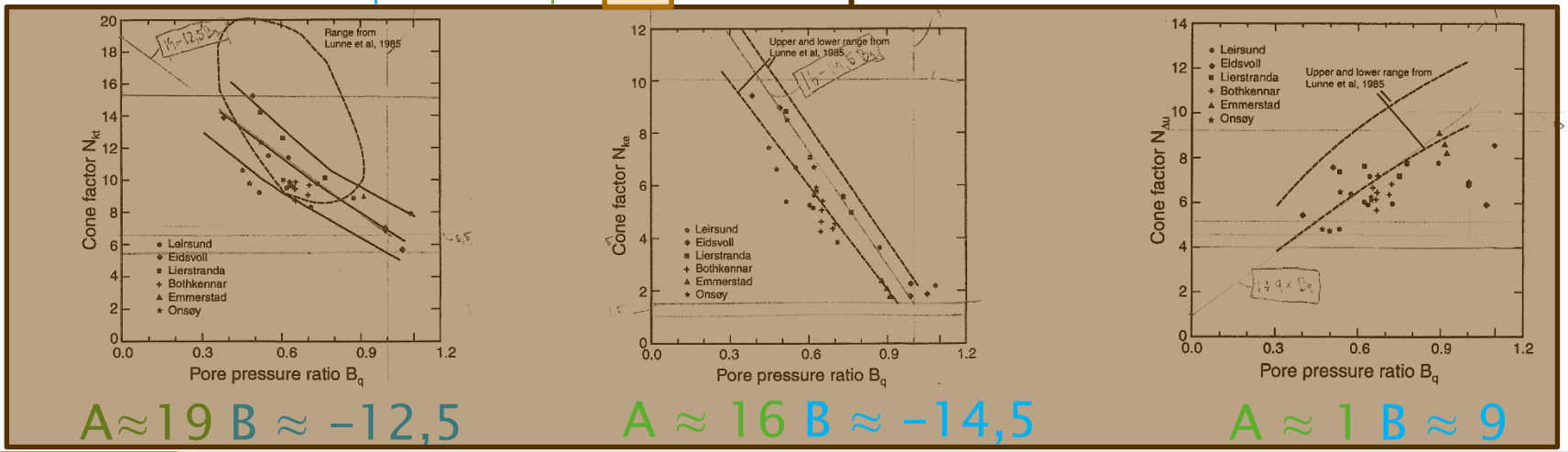
2 aðferðir til að velja N-gildi

Karlsrud m.fl. (NGI) er höfundur beggja

Aðferð 1: Karlsrud m.fl. 1996 (ref. Lunne m.fl.1997, s.66-67)

$N_x = A + B \cdot B_q$ (der $B_q = \Delta u / q_n$)

munið: «næstum stólum á þetta»



Statens vegvesen

CPTu töflureiknir

Skammtíma skerstyrkur frá N-gildum

Aðferð 2: Karlsrud m.fl. 2005 (ref. Proceedings of the 16.th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Osaka 2005. s.693-702)

$$N_{kt} = A - B \cdot \log(OCR_i) + C \cdot I_p$$

St	A	B	C
≤15	7,8	2	0,082
>15	8,5	2,5	0

$$N_{ke} = A + B \cdot B_q \geq 2$$

St	A	B
≤15	11,5	-9,05
>15	12,5	-11,0

$$N_{\Delta u} = A - B \cdot \log(OCR_i) + C \cdot I_p$$

St	A	B	C
≤15	6,9	4,0	0,07
>15	9,8	4,5	0

$Q_t = q_n / \sigma'_{v0}$

$$OCR_1 = 10^{((A - B_q) / B)}$$

$$OCR_2 = 10^{(((\Delta u / \sigma'v0) - A) / B)}$$

$$OCR_3 = (Q_t / A)^B$$

munið: stólum bara næstum á þetta

	S_t	A	B
OCR1	≤15	0,88	0,51
	>15	1,15	0,67

	S_t	A	B
OCR2	≤15	2,4	4,0
	>15	2,5	6,0

	S_t	A	B
OCR3	≤15	3	1,20
	>15	2	1,11

Munið: þetta er líka nálgun, mun flóknari

⇒ ennþá óvissuþættir!

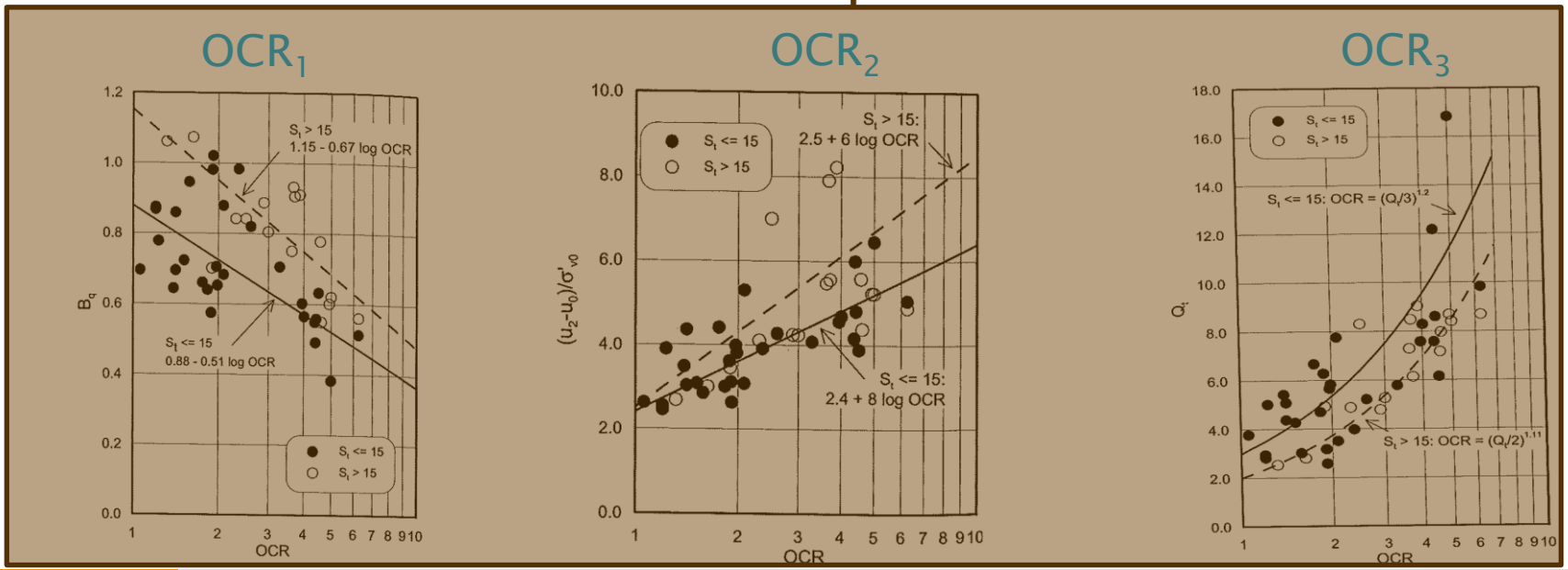
Statens vegvesen

CPTu töflureiknir

Skammtíma skerstyrkur

Aðferð 2 frh.

frá N-gildum



Statens vegvesen

CPTu töflureiknir

Skammtíma skerstyrkur

aðrar aðferðir

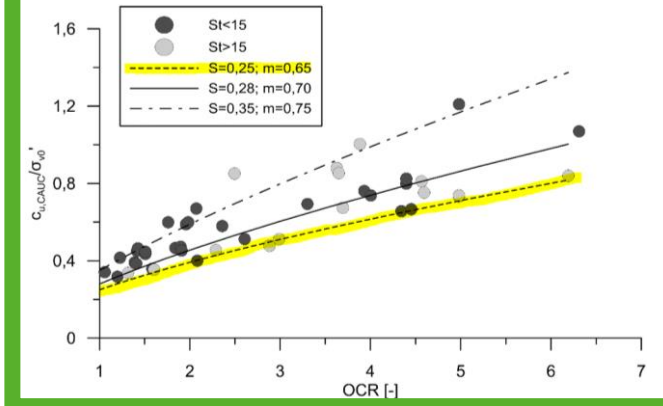
joker

direkte

$$c_{ucptu} = (q_n/(13{,}4+6{,}65 \cdot w_L) \cdot (OCR/1{,}3)^{-0{,}2})/K_{ADP}$$

Larsson 2007 (SGI-i15)

$$c_{uC} = \alpha \cdot OCR^m \cdot \sigma'_{v0} \; (= c_{ucptu})$$



Ladd & Foott (1974)

- Ekki háð CPTu (með eiginskilgreindum OCR)
- Notast við reynslugildi (norsk) milli þríása prófs og ødometerprófs

- NC-lína þar sem OCR=1,0 gefur neðri mörk
- $\alpha \geq 0{,}25$ for norskan leir

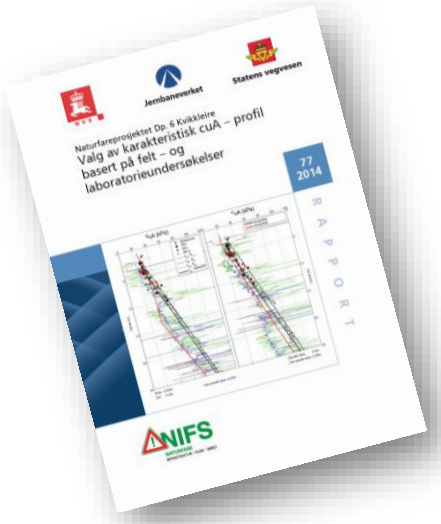
$c_{ucptu} \geq 0{,}25 \cdot \sigma'_{v0}$ þennan er gott að muna!

Statens vegvesen

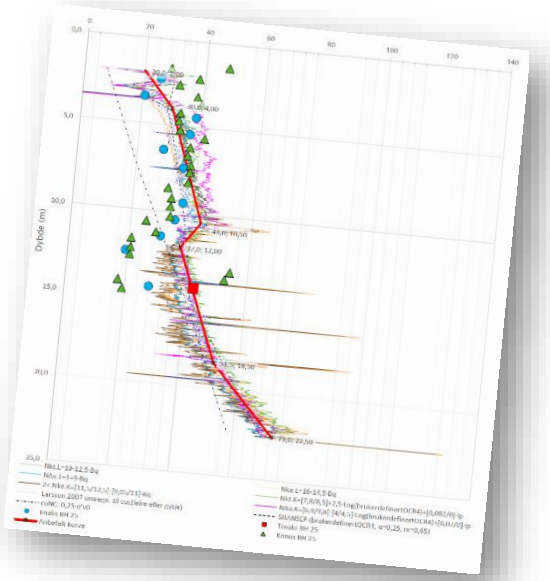
CPTu töflureiknir

Skammtíma skerstyrkur

að túlka gögnin vel



1. Gott þríása próf
2. Góð CPTu gögn
3. Reynslugildi (SHANSEP)
4. Index-próf (einása/ving/konus)



Umferðareglurnar

Alltaf bera saman öll gögn

Velja síðan prófíl sem **þú** getur stólað á

Statens vegvesen

CPTu töflureiknir

Relativ lagringstetthet, D_r

6 metoder

$$D_r = \frac{e_{max} - e}{e_{max} - e_{min}} \cdot 100\ (\%)$$

Parameteren brukes for å beskrive lagrings-tetthet av friksjonsmasser *in-situ*

Kan teoretisk variere mellom 0-100%

CPTu korrelasjoner for Dr i regneark

$Dr1 = A + B \cdot \log(q_c / \sigma'^{0,5}_{v0})$ — A ϵ [-110,-84] etter kompressibilitet, B=66

Dr2 (NC) Dr3 (OC) Sand!

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

$Dr4 = (q_{c1} / (305 \cdot Q_C \cdot OCR^{0,18} \cdot \sim 1,28))^{0,5}$ — Qc ϵ [0.91,1.09] etter kompressibilitet

$Dr5 = (26,8 \cdot \mathrm{Ln}((q_t / \sigma_{atm}) / (\sigma'_{v0} / \sigma_{atm})^{0,5}) - A)$ — A ϵ [-83,-52] etter kompressibilitet

$Dr6 = (0,4 \cdot \mathrm{Ln}(q_c / (22 \cdot (\sigma'_{v0} \cdot \sigma_{atm})^{0,5})))$ — Fra peleveileder

Statens vegvesen

CPTu töflureiknir

Langtíma skerstyrkur / viðnámshorn

4 aðferðir

NTNU/NTH aðferðin

«Sci-fi» aðfeðin *(Prof. Jamiolkowski)*

Allar jaðrvegstýpur!

Bera saman 2 jöfnur fyrir *spissmotstandstallet* N_m

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

$$N_{m.1} = \frac{q_n}{\sigma'_{v0} + a} \qquad N_{m.2} = \frac{N_q - 1}{1 + N_u \cdot B_q} = \frac{\left(tan(\phi) + \sqrt{1 + tan^2(\phi)}\right)^2 \cdot e^{(\pi - 2\beta)\, tan(\phi)} - 1}{1 + 6 \cdot B_q \cdot tan(\phi) \cdot \left(1 + tan(\phi)\right)}$$

Óþekktar stærðir

…enging almenn lasusn fyrir tan(ϕ)

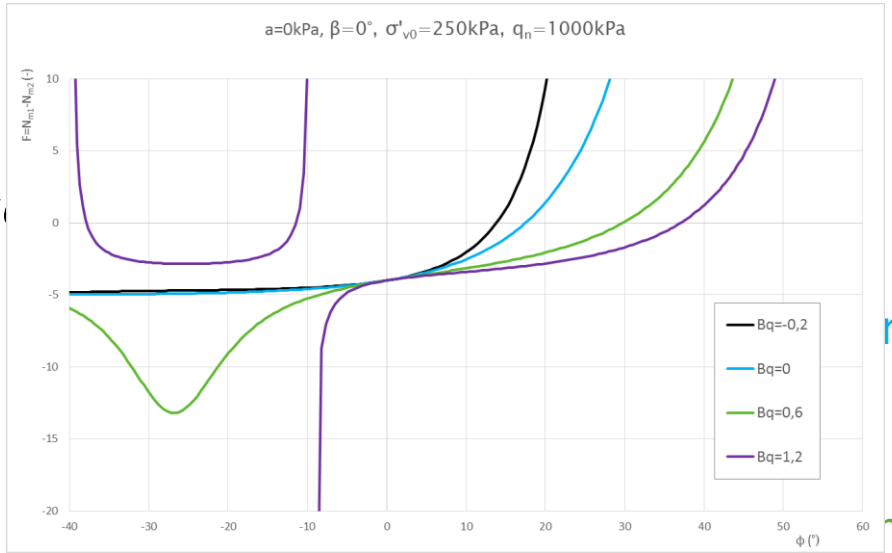
Statens vegvesen

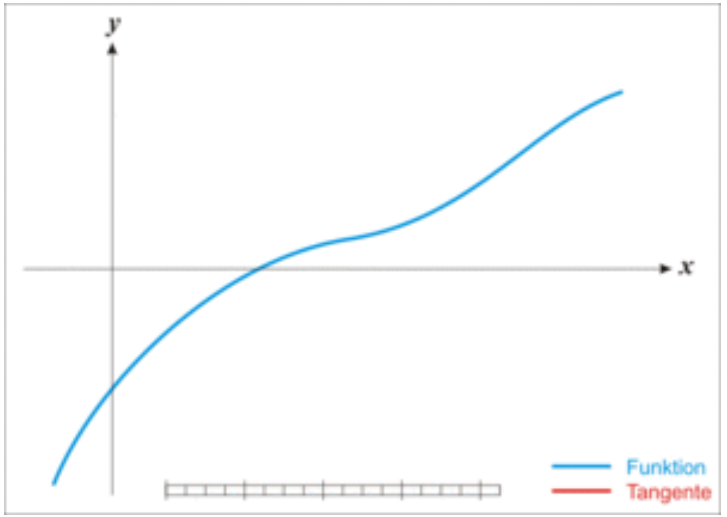
CPTu töflureiknir

Langtíma skerstyrkur / viðnámshorn NTNU aðferð

Leysum $F(\tan(\phi))=N_{m1}-N_{m2}=0$

...með Newton-Raphson aðferð





Takk töluleg greining!

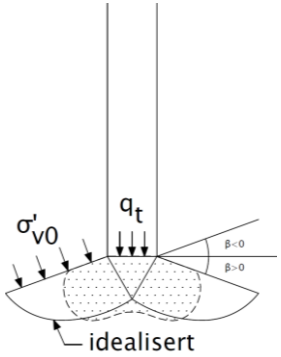
Statens vegvesen

CPTu töflureiknir

Langtíma skerstyrkur / viðnámshornNTNU aðferð

Gildin a og β

stjórnast af jarðvegi og fyrri spennum

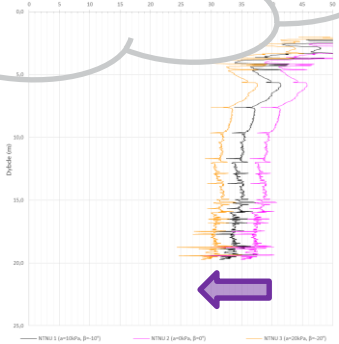


Jordart	Lagringsforhold	a (kPa) Nedre	a (kPa) Øvre	β (°) Nedre	β (°) Øvre
Leire	Sterkt overkonsolidert, lite sensitiv	30	50	-40	-30
	Overkonsolidert	20	30	-30	-20
	Svakt overkonsolidert, middels sensitiv	10	20	-20	-10
	Sensitiv	5	15	-10	0
Silt	overkonsolidert, fast lagret	10	20	-20	-10
	normalkonsolidert,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

hærra a og lægra β þýðir
Lægra viðnámshorn ϕ

varfærnislegu töflugildin

Tillaga frá Sandven 1990



CPTu töflureiknir

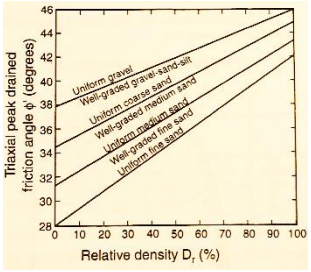
Langtíma skerstyrkur / viðnámshorn

Dr jöfnur

Grús/sandur/gróft silti!

Schmertmann 1978

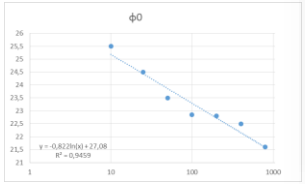
$$\phi = a \cdot D_r + b$$

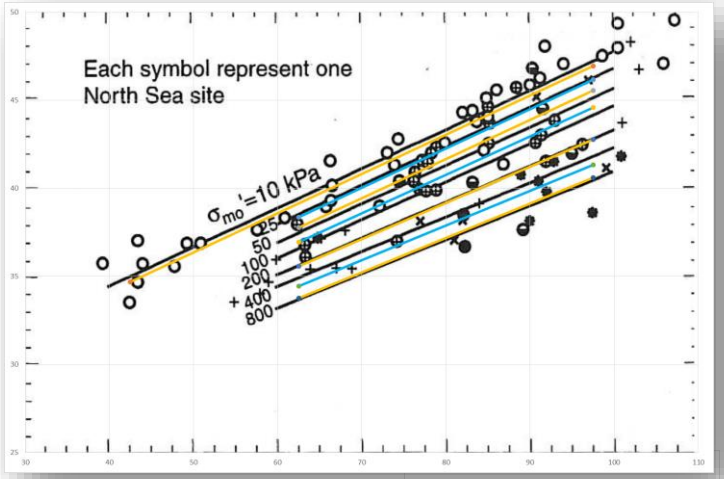


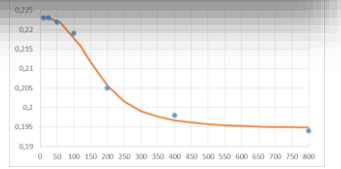
Tilfelle	a	b
Uniform fine sand	0,14	28
Well-graded fine sand – Uniform medium sand	0,12	31,5
Well-graded medium sand – uniform coarse sand	0,105	34,5
Well-graded gravel-sand-silt – Uniform gravel	0,08	38

Kleven et. al

	ϕ_0	α
a	27,08	0,223
b	-0,822	2,994
c		171,977
d		0,19461







$$\phi_0(\sigma'_m) = a + b \cdot \ln(\sigma'_m)$$

$$\alpha(\sigma'_m) = (d + (a-d)/(1+(\sigma'_m/c)^b))$$

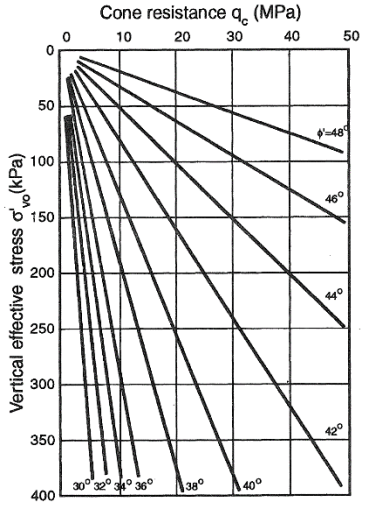
Statens vegvesen

CPTu töflureiknir

Langtíma skerstyrkur / viðnámshorn

Sandur!

Robertson og Campanella 1983

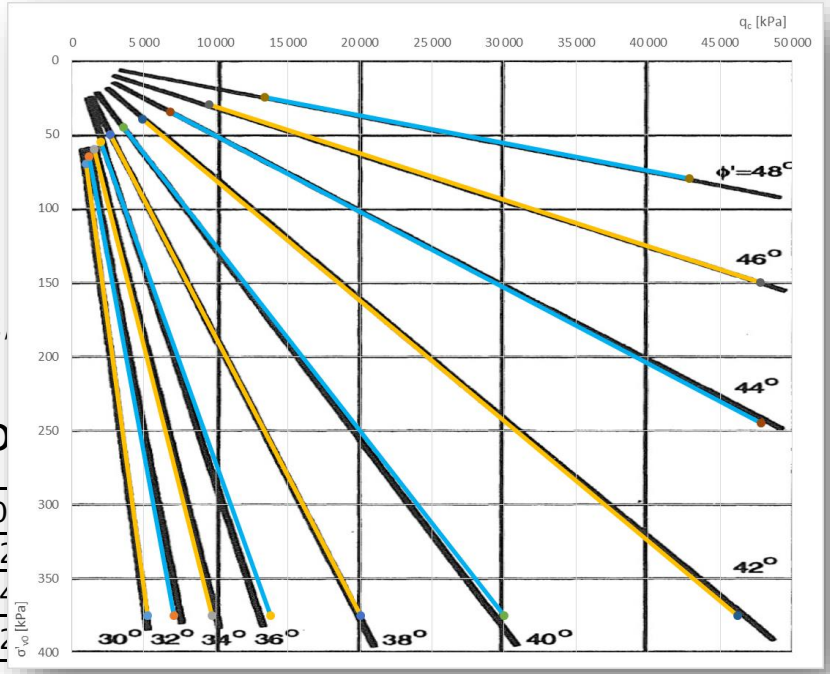


Þessi jafna

$$\phi = e^{(\ln((a-d) / (\ln(qc/}$$

Gefur svipuð gildi o

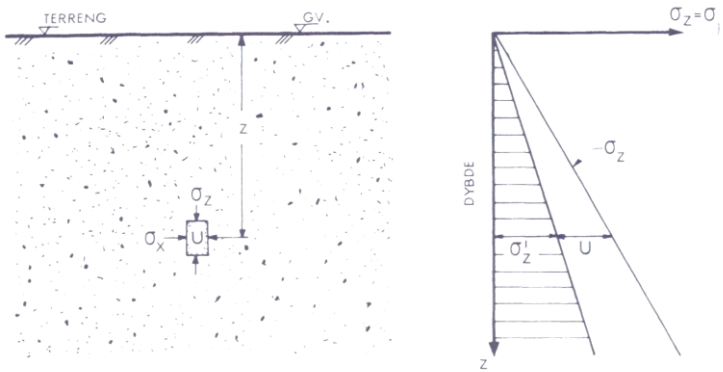
a	0
b	
c	
d	



Statens vegvesen

In-situ vertikalspenning

meget viktig å ha kontroll



Figur fra *Grunnlag i geoteknikk, Janbu 1970*

Temaet har fått egen flik med visuell fremstilling

Poretrykk (u_0) og tyngdetetthet (γ) kan defineres mot dybden. Inter/ekstrapolert for hver dybde for CPTu beregninger.

må evt. legges inn manuelt

Totalspenning beregnes som

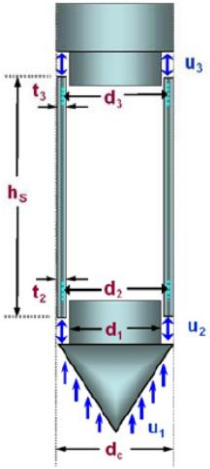
$$\sigma_{v0}(z) = (Q_0 +) \sum_{i=0}^{i=z} (\gamma_i \cdot \Delta z_i)$$

Effektivspenninger regnes siden på vanlig måte som

$$\sigma'_{v0}(z) = \sigma_{v0}(z) - u_0(z)$$

Korrigering av måledata

Poretrykk i grunnen kombinert með sondegeometri gjør et utslag á måleverdier for spissmotstand og sidefriksjon. Rettes slik



Spissmotstand $q_t = q_c + (1 - \alpha) \cdot u_2$

Sidefriksjon #1 $f_t = f_s - \frac{(u_2 \cdot A_{sb} - u_3 \cdot A_{st})}{A_s}$ — u_3 ukjent ikke brukt

Sidefriksjon #2 $f_t \approx f_s - \left[u_2 \cdot \beta + 0.3 \cdot \Delta u \cdot \left(\frac{1-\alpha}{15} - \beta\right)\right]$ — SGI-i15 brukt

Sidefriksjon #3 $f_t \approx f_s - \beta \cdot u_2$ — NGF melding nr. 5 ikke brukt

Statens vegvesen

CPTu töflureiknir

Tolkning av modul

jordartsbaserte modell

Leire

Senneset et al. 1989 $M_x = m_x \cdot q_n$

Empirisk formel $M = \alpha \cdot C_{uC}$

M_i-OC	m_i	10,0	$\sigma' < \sigma'_c$
M_n-NC	m_n	6,0	$\sigma' \sim \sigma'_c$

M-emp	α	150,0
C_{uC} profil	Alle	

Silt, siltig sand og sand

Sandven 1990 $M = m_s \cdot (q_n \cdot q_a)^{0,5}$

Stordal 2005 $M = m_s \cdot (\sigma'_{v0} \cdot q_a)^{0,5}$

M-kvadrat	m_s	30,0

M-kvadrat	m_s	150,0

Sand

Lunne og Christophersen 1983 $M_0 = a \cdot q_c + b$

M-NC			
	q_c	a	b
	(kPa)	(–)	(kPa)
<	10 000	4	0
<	50 000	2	20 000
>		0	120 000
M-OC			
<	50 000	5	0
>		0	250 000

Statens vegvesen

CPTu töflureiknir

Prekonsolidering

2 modell for σ'_c

Mayne 2012 $\quad \sigma'_c = a \cdot q_n^{(1-b/(1+(Ic/c)\wedge d))} \cdot 1$

Larsson 2007 $\quad \sigma'_c = q_n / (a + b \cdot w_L)$

a	0,33
b	0,3
c	2,65
d	25,0

a	1,21
b	4,4

+ σ'_c tilbakeregnet fra OCR

$$OCR = \frac{\sigma'_c}{\sigma'_{v0}}$$

$OCR_1 = 10^{((A - B_q) / B)}$
$OCR_2 = 10^{(((\Delta u/\sigma'v0) - A) / B)}$
$OCR_3 = (Q_t / A)^B$

(dette gir også 2 ekstra modell for OCR)

$\sigma'_{c3} = OCR_1 \cdot \sigma'_{v0}$
$\sigma'_{c4} = OCR_2 \cdot \sigma'_{v0}$
$\sigma'_{c5} = OCR_3 \cdot \sigma'_{v0}$

σ'_{c6} = brukerdefinert profil med absoluttverdi eller relativt til σ'_{v0}

Statens vegvesen

CPTu töflureiknir

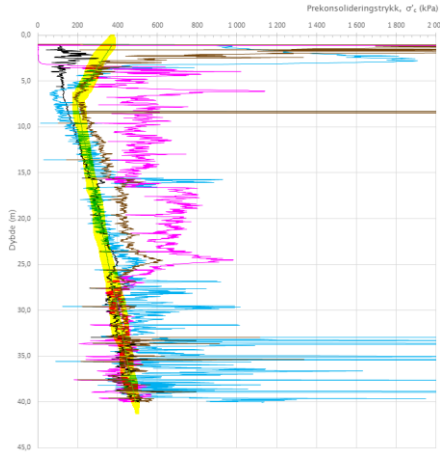
Prekonsolidering

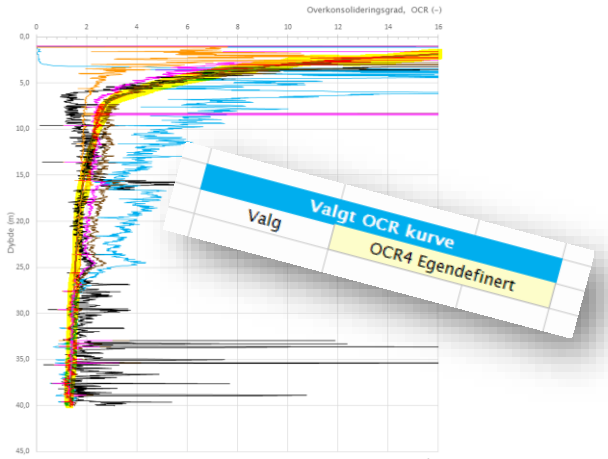
OBS 2 måter å definere <u>egen</u> prekonsolideringsspenning! (OCR eller σ'_c)

OCR benyttes i flere modell

Du kan spesifisere hvilken metode du ønsker å benytte

Sondering generelt		
Sondenummer	4627	
Anvend.klasse		
Arealforhold spissmotstand, α	0,8640	0,864
Arealforhold sidefriksjon, β	0,0010	0,001
Dato sondering	02.05.2016	
Boreleder	R	
Spesifikasjoner		
Tyngdetetthet vann, γ_w	10,0	(kN/m^3)
Atmosfæretrykk, σ_a	101,3	(kPa)
Hviletrykk, K_0	0,6	(-)
Figurtekst dybde	Dybde	(m)
Figurtekst for valgt kurve	Valgt kurve:	
Figurtekst for anbefalt kurve	Anbefalt kurve	
Brukerdefinert over-/prekons.modell	σ'c	
Tekst for brukerdefinert	Brukerdefinert	
Justere referansedybde for måledata	Nei	
Justering av prøvedybder	0,0	(m)





…gir f.eks. mulighet å lage en skreddersydd c_{uC} profil etter SHANSEP!

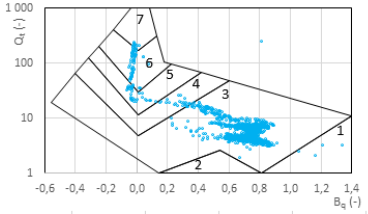
CPTu töflureiknir

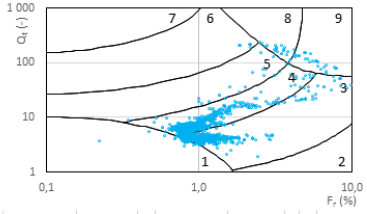
Klassifiseringsdiagram

Enkelt å utvide
har du flere?

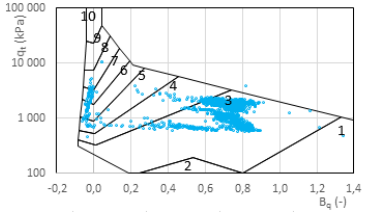
Statens vegvesen

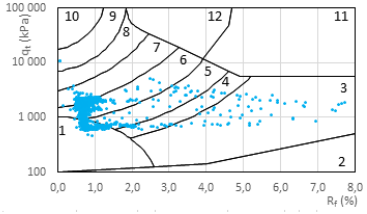
Robertson 1990



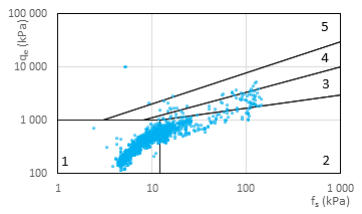


Robertson et. al 1986

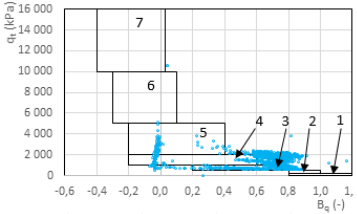




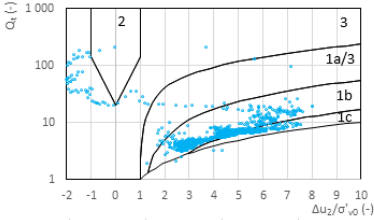
Eslami et. al 2000

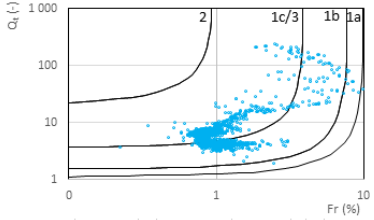


Senneset et. al 1989

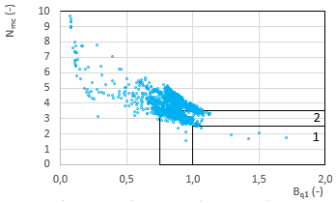


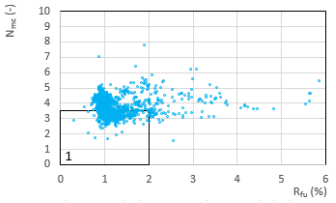
Schneider et. al 2012





NIFS 2015





Metoder definert som lukkede områder/polygoner i fane «Klass-metoder»

Statens vegvesen

CPTu töflureiknir

Bruk av klassifiseringsdiagram

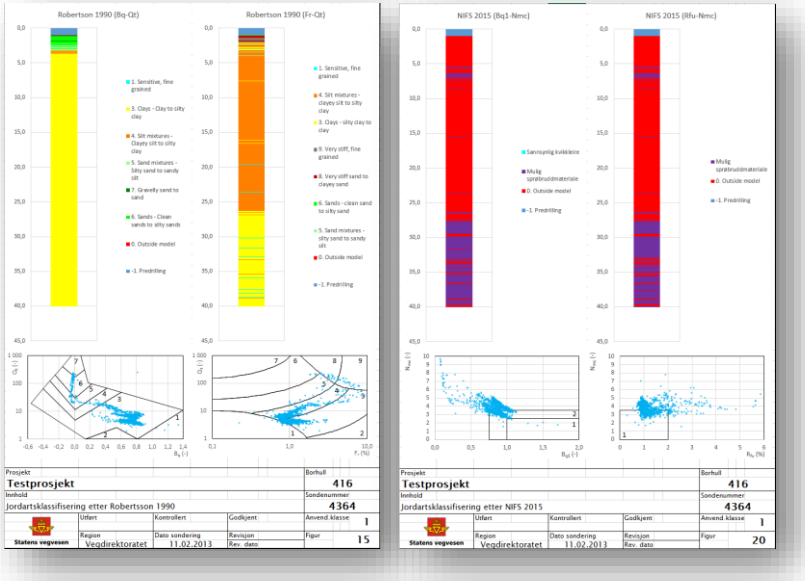
Knappen «Klassifisering» kjører en makro som sjekker innenfor hvilket område hver linje med CPTu data havner

skjer kun når knappen trykkes

Klassifiseringsresultatet oppsummeres i tabell ved siden av hver presentasjon

Til slutt tegnes opp en stolpe for å vise resultatet visuelt. Kan tegnes i AutoCAD også!

Husk å oppdatere klassifiseringen ved endringer



Diverse valg

Noen parametere inngår i andre/flere metoder — krever valg

Param.	Velges hvor
I_p	13. w & Ip
s_t	12. St
w	13. w & Ip
w_L	13. w & Ip
ADP	14. ADP
OCR	8. OCR (+ generelt)
Dr	10. Dr

Dette for å unngå manglende samsvar mellom ulike metoder

I noen tilfeller dokumenteres valget i figurteksten

Statens vegvesen

CPTu töflureiknir

Laboratoriedata

det aller viktigste!

Husk: Cptu modell baseres på korrelasjoner

stedlig data best

ingen fasitsvar

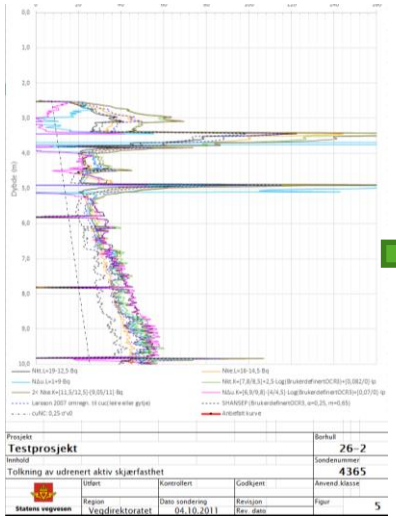
«oftest» tenk kvalitet!

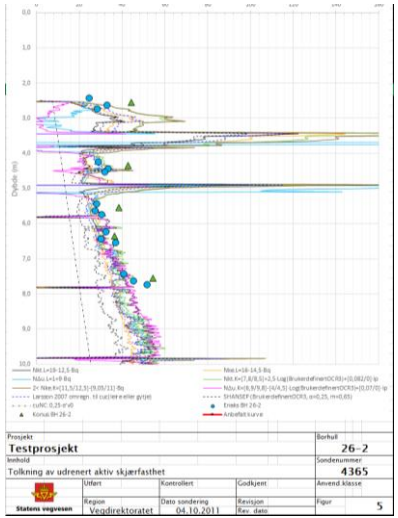
Tastes direkte inn i LAB flik

kan også leses inn via RLA filer

og kanskje senere .prv filer

Må slås på for å vise på figurer





Statens vegvesen

CPTu töflureiknir

Utvidelse

Har du noe annet du ønsker å få med i arket?

Supert! *kontakt en fra arbeidsgruppen*

Har du funnet feil eller mangler?

Supert! *gi beskjed til en i arbeidsgruppen*

Hvordan være sikker på at du har nyeste versjon?

Hent malen alltid på nytt fra Vegveven

VEGVEVEN ➡ VEG ➡ GEOFAG ➡ GEOTEKNIKK ➡ CPTu

CPTu töflureiknir

utvidelse v2017_1?

- Samler punkter
- Tar mange i slengen

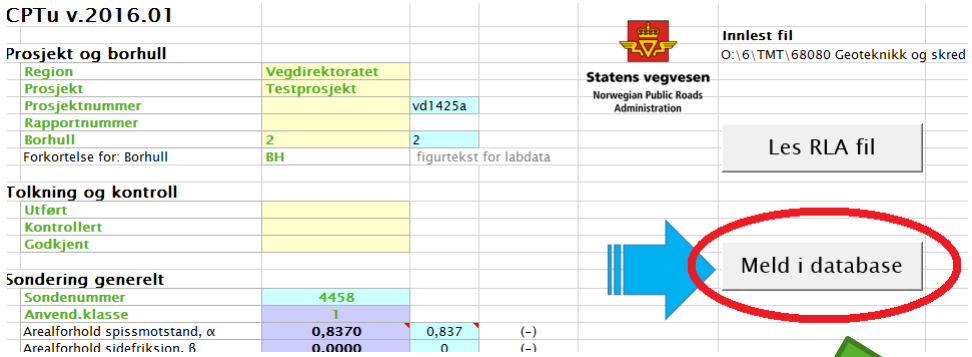
Statens vegvesen

CPTu töflureiknir

Videre studier

Lav terskel…

Har du CPTu + LAB ?



Da bruker du denne knappen

Statens vegvesen

CPTu töflureiknir

Distribusjon

Ikke klart for å sende til eksterne parter slik de kan bruke!

Mangler en ansvarsfraskrivelse

For ikke å ta på oss ansvar for andres prosjektering
…melder ifra på Yammer

CPTu töflureiknir

Statens vegvesen