CPTU-kairauskokeen tarkistus

Juha Selänpää
Tampereen teknillinen yliopisto

18.11.2015

Pohjatutkimuskonsultilta saatavat/tarvittavat tiedot (Geotekniset tutkimukset ja mittaukset Liikenneviraston ohje)

- Koetulokset tulee toimittaa tilaajalle seuraavasti ohjeen Liikennevirasto 602/070/2011 Pohjatutkimusten arkistointi mukaisesti:
  - uusimman **Infra-pohjatutkimusformaatin** mukaisessa muodossa
  - **alkuperäisessä tiedostomuodossa** tallentimesta (suosittelen myös jonkinlaista esimerkkipohjaa raakadatan lukemista varten)
- Sähköisesti luovutettavassa materiaalissa tulee esittää tutkimuksen käyttöluokan mukaiset parametrit ***(esim. q_c, f_s, u_2)*** sekä syvyys (**kaltevuuskorjattu?**) ja syöttönopeus. Lisäksi sähköisessä materiaalissa tulee esittää Infra-formaatissa (tarvittaessa kommenttirivejä käyttäen):
  - **alku ja loppunolla-arvot kilopascaleina**
  - kärjen sallittu kuormitusväli / tyyppi (esim. 1000kg / 5000kg, **varmistetaan, ettei kärki ole ylikuormittunut**)
  - toteutunut tutkimuksen käyttöluokka (**q_c, f_s, u_2 osalta**)
  - kärjen pinta-alakerroin a (sekä b jos erisuuri kuin 0, **mikäli kitkahylsyn ylä- ja alapään pinta-alat erisuuret**)
  - Suodatintyyppi
- Mikäli kokeen aikana on tehty huokospaineen tasaantumiskokeita, tulee ne merkitä koetuloksen kommenttikenttiin.
- Kokeen suorittamisesta tulee täyttää myös koeraportti.
- **Huomioita! Tulevaisuudessa mahdollisesti Tekla-formaatin muuttaminen niin, että kaltevuudella saadaan oma sarake. Käyttöluokituksen tilalle olis parempi merkitä teklaan mittauslaitteiston maksimivirhe per parametri (esim. qc:n arvo eroaa maksimissaan 20 kPa oikeasta arvosta koko mittausvälillä). Tiedon käyttäjä voi luokitella tulokset jälkikäteen.**

Pohjatutkimuskonsultilta saatavat/tarvittavat tiedot

- **Suunnittelijalle toimitettavat tiedostot sisältävät käyttöluokan luokituksen** kokonaisvirheen perusteella
  - Olisi kuitenkin hyvä pyytää myös kairauskoetulosten toimittajalta valmistajan ilmoittamat tiedot kärjen mittaustarkkuudesta omaa tarkistusta varten
    - Tarkkuuden esittämisessä ei ole standardisoitua tapaa (FSO vs. MV)
    - FSO (Full Scale Output) antaa hyvän kuvan laitteiston mittaustarkkuudesta koko mittausasteikolle
    - MV:n (Measured Value) etuna, ettei mittausasteikon alkupään arvot vääristy niin paljoa kuten FSO:lla.
  - Nykyisin markkinoilla olevien kärkien mittausvirhe on **kärkivastuksen** osalta suuruusluokkaa **0,2-0,4 % FSO**, **huokospainemittauksessa 0,2-0,5 % FSO** ja vaippavastuksessa mittausvirheen arvot vaihtelevat enemmän riippuen kärjen rakenteesta ja vaippavastuksen mittaustavasta (**0,2-0,8 % FSO**).

Koeraportti ja valmistajan tiedot mittaustarkkuudesta

KOERAPORTTI

CPTU- / puristinkairauskoe

Päivämäärä	Ilman lämpötila
Pohjatutkimuskonsultti	Päteväksi osoitettu käyttäjä
Toimeksiannon nimi	Työnumero

Käytetty kalusto		
Suodatintyyppi	☐ huokossuodatin ☐ rakosuodatin	Kärjen kalibrointipäivämäärä
Kuvaus kärjen kyllästämistavasta		Kärjen tunniste nro
Kärjen valmistaja ja kalibroitu maksimimittauskapasiteetti qc		

Tutkimuspiste				
Tarkastettava ennen tutkimusta				
Tavoiteltava käyttöluokka	☐ luokka 1 ☐ luokka 2 ☐ luokka 3 ☐ luokka 4	☐ luokka 1 ☐ luokka 2 ☐ luokka 3 ☐ luokka 4	☐ luokka 1 ☐ luokka 2 ☐ luokka 3 ☐ luokka 4	☐ luokka 1 ☐ luokka 2 ☐ luokka 3 ☐ luokka 4
Kairatankojen suoruus	☐ tarkastettu	☐ tarkastettu	☐ tarkastettu	☐ tarkastettu
Kärjen kunto	☐ tarkastettu	☐ tarkastettu	☐ tarkastettu	☐ tarkastettu
Tutkimuksen suoritus				
Alkukairausreikä	☐ kyllä ☐ ei	☐ kyllä ☐ ei	☐ kyllä ☐ ei	☐ kyllä ☐ ei
Maalaji alkukairauksessa				
Avaus porakoneella	☐ huuhtelulla ☐ ei huuhtelua ☐ ei porakoneella	☐ huuhtelulla ☐ ei huuhtelua ☐ ei porakoneella	☐ huuhtelulla ☐ ei huuhtelua ☐ ei porakoneella	☐ huuhtelulla ☐ ei huuhtelua ☐ ei porakoneella
Putkitus	☐ kyllä ☐ ei	☐ kyllä ☐ ei	☐ kyllä ☐ ei	☐ kyllä ☐ ei
Avausrelän syvyys	m	m	m	m
Suodattimen nestetäytto	☐ kyllästetty ☐ ei kyllästetty	☐ kyllästetty ☐ ei kyllästetty	☐ kyllästetty ☐ ei kyllästetty	☐ kyllästetty ☐ ei kyllästetty
Lämpötilatasaus	☐ avausrelässä vedessä ☐ lämpötilan-tasauslaatikossa ☐ ilman lämpötilassa	☐ avausrelässä vedessä ☐ lämpötilan-tasauslaatikossa ☐ ilman lämpötilassa	☐ avausrelässä vedessä ☐ lämpötilan-tasauslaatikossa ☐ ilman lämpötilassa	☐ avausrelässä vedessä ☐ lämpötilan-tasauslaatikossa ☐ ilman lämpötilassa
Alkunollalukemat	qc = fs = u_2 =	qc = fs = u_2 =	qc = fs = u_2 =	qc = fs = u_2 =
Kairavaunun puomin suoruus	☐ tarkastettu	☐ tarkastettu	☐ tarkastettu	☐ tarkastettu
Tutkimuksen syvyys	m	m	m	m
Loppunollalukemat	qc = fs = u_2 =	qc = fs = u_2 =	qc = fs = u_2 =	qc = fs = u_2 =
Tutkimuksen keskeyttämisen / päättämisen syy ja huomiot				

Lähde: Liikenneviraston ohje

VTK 10cm² Digital Cone

Max Tip Force	2.5 Ton	5 Ton	10 Ton
Tip			
Area (cm²)	10	10	10
Range (kn)	22	44	88
Range (lb)	5,000	10,000	20,000
Range (MPa)	22	45	90
Overload Capacity	150%	150%	150%
Accuracy (FSO)	0.5%	0.5%	0.5%
Sleeve			
Area (cm²)	150	150	150
Range (kn)	20	20	20
Range (lb)	4,400	4,400	4,400
Range (MPa)	1.3	1.3	1.3
Overload Capacity	150%	150%	150%
Accuracy (FSO)	0.5%	0.5%	0.5%
Pore Pressure Transducer			
Standard Range (kPa)	6,895	6,895	6,895
Standard Range (psi)	1,000	1,000	1,000
Burst Pressure	200%	200%	200%
Accuracy (FSO)	1%	1%	1%
Inclinometer (Dual Axis)			
Range (degrees)	±15	±15	±15
Resolution (degree)	0.1	0.1	0.1
Seismic			
Tri-axial geophone (G)	±2	±2	±2

Seismic signal is gained downhole by 1, 10, 100, or 1,000 and digitized in the DataPack. No extra wires or analog measurement required.

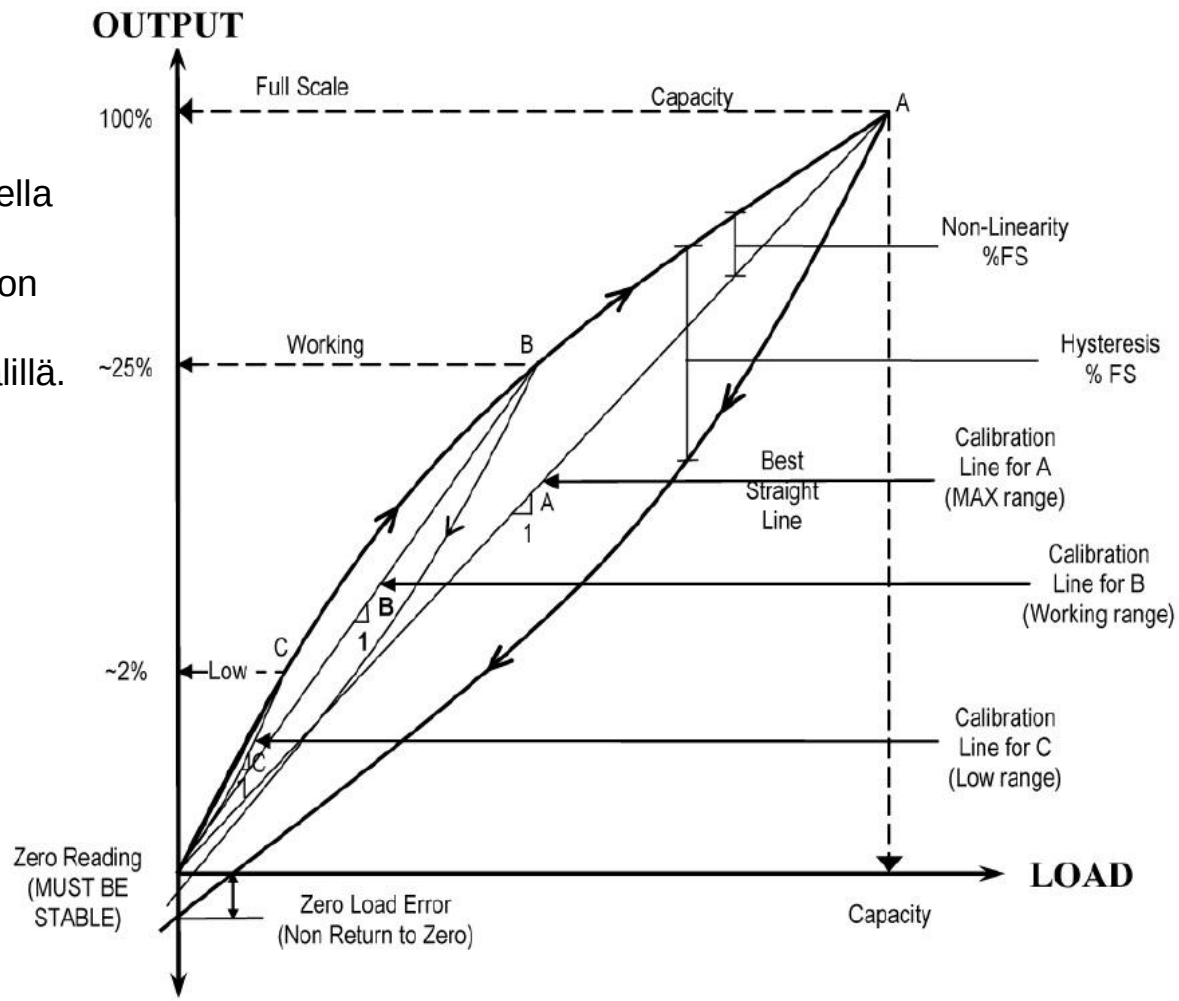
Kuvalähde: Vertek esite

Nollalukemien poikkeama

- Kairauskoetta ennen ja jälkeen **mitataan** mittauslaitteiston näyttämät **nollalukemat**
  - Nollalukemat mitataan kärjen ollessa **kuormittamattomana**
  - **Alkunollalukemat asettavat mittauslaitteiston nollatason** (vastaa laboratoriovaa'an tai vastaavan laitteen nollausta ennen punnitusta, mutta CPTU mittauksessa kuormituksen muutosta verrataan näihin alun näyttämiin alkunollalukemiin)
    - Alkunollalukemat pysyvät lähes samoina, kun kärkeä huolletaan hyvin ja CPTU-kairauskokeen alkuvalmistelut tehdään huolella
  - **Loppunollalukema** mitataan välittömästi kärjen takaisin noston jälkeen (5 minuutin sisällä)
    - Kevyt putsaus sallitaan
    - Kärjen ylösnosto maasta voi aiheuttaa imua kärkeen, mikä voi näkyä negatiivisina huokospaineena kärjessä. Aiemmin suositeltu kärkikartiolle kierteen avausta negatiivisen paineen tasaamiseksi ennen loppunollalukemin tallentamista tai hetken odottelua paineen tasaantumiseksi.
- Nollalukemien erotus eli **poikkeama auttaa arvioimaan kairauskokeen onnistumista**!
  - CPTU-kairauskokeen etuna on, että kairauksen onnistumista voidaan arvioida jälkikäteen!

Nollalukemien poikkeama

- Tyypillinen voima-anturi kuormitus kuvaaja
- Anturin kalibrointi käyrä liioitetulla epälineaarisuudella termien selventämiseksi
- Nollalukeman poikkeama on pystyakselin muutos kuormitus alun ja lopun välillä.



Kuvalähde: Campanella&Howie 2005

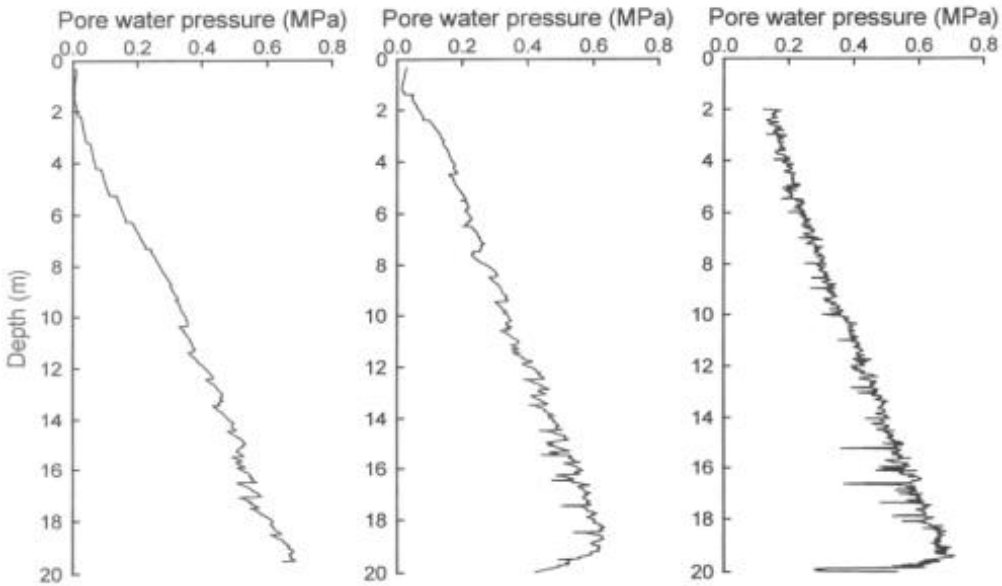
Nollalukemien poikkeama

- **Laitteistosta johtuvat**:
  - Mekaaniset vauriot **ylikuormituksesta** johtuen
    - Kuormitus lähelle sallitua maksimikuormitusta voi myös aiheuttaa ns. hetkellisen nollalukeman poikkeman. Ei kuitenkaan vaadi kärjen tarkistusta kalibroijalla, mikäli seuraavissa CPTU-kairauskokeissa alkunollalukemat ovat taas suunnilleen samat kuin aiemmin.
  - **Elektronisen** järjestelmän **vauriot** järjestelmässä kokeen aikana
  - **Mittauslaitteiston virheet** kuten hystereesi, resoluutio ja ulostulon vakaus
  - Nollalukemiin voi vaikuttaa laitteiston kuluminen ja vauriot tiivisteissä

- **Kairauskokeesta johtuvat**:
  - **Lämpötilamuutos** alkunollalukemien tallentamisen jälkeen
  - Kärkikartion ja huokossuotimen asennus voi aiheuttaa jännityksiä vaippavastukseen
  - Kärjen asennus voi aiheuttaa väliaikaista huokospainetta huokospainekammioon
  - **Kärjen ylös nostaminen voi aiheuttaa imua** huokospainelukemiin
  - Kuorman johtumista vaippahylsyyn tunkeutuneen lian takia

Huokospainemittauksen tarkistaminen

- **Epäonnistunut kärjen kyllästäminen vääristää huokospaine- ja kärkivastusmittausta**
  - Huokospaineen kasvaessa riittävän suureksi mittausjärjestelmään jäänyt ilma puristuu riittävästi kasaan liuokseen, jolloin lukemat vastaavat paremmin oikeita arvoja. Suotimen läpäisevyyden takia ilman puristuminen kasaan kestää jonkin aikaa. Dilataatiosta johtuva negatiivinen huokospaine voi aiheuttaa ilmakuplien ilmaantumista uudelleen kyllästysnesteeseen.
  - Huokossuodattimien huokoskoko 2 µm ... 20 µm, vastaa (10−4...10−5) m/s:n läpäisevyyttä
- Mittauksen onnistumista tarkasteltaessa **tankojen lisäyksistä johtuvat pysähtelyt** auttavat arvioimaan kyllästämisen onnistumista

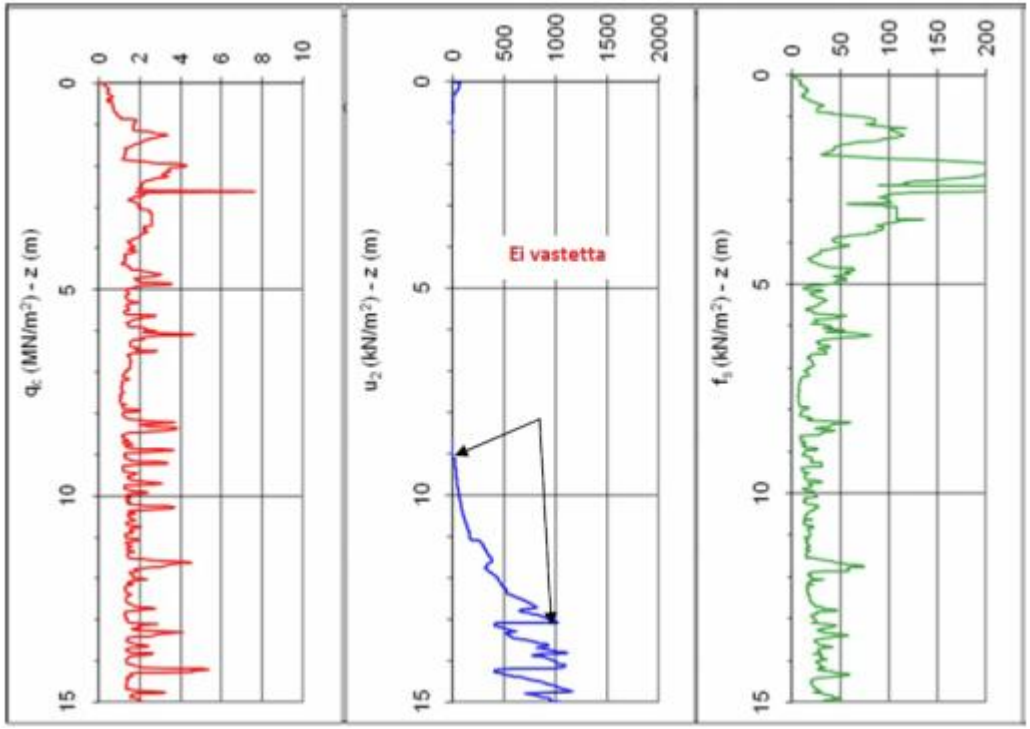


Kuvalähde: Dolva 2010

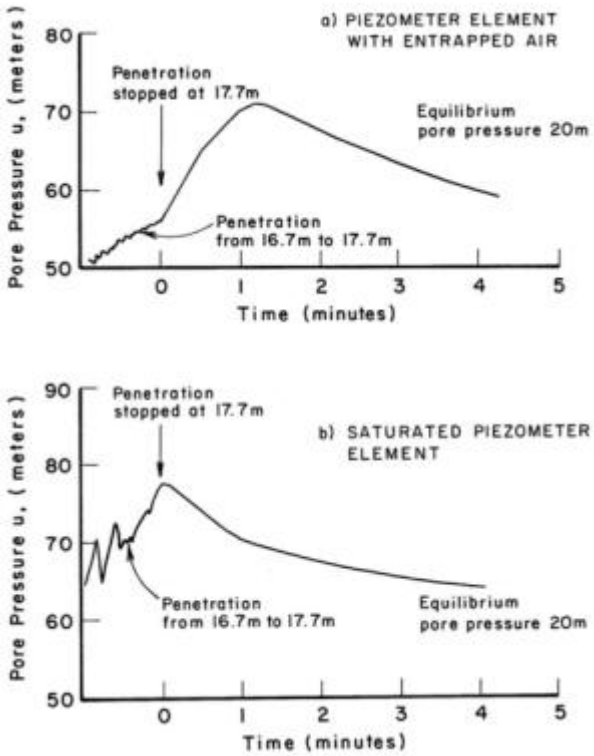
Huokospainemittauksen tarkistaminen

- **Normaalikonsolidoituneessa homogeenisessä maassa** huokospaine alenee lähes välittömästi kärjen pysähtyessä ja puristuksen jatkuessa huokospaineen arvot saavuttavat aiemmat arvot ”välittömästi” (lyhyissä pysähdyksissä)
- **Dilatoivissa homogeenisissä maissa** (esim. tiivis silttinen hiekka, hyvin jäykkä ylikonsolidoitunut savi) huokospaine voi jatkaa kasvua hetken aikaa pysähdyksen jälkeenkin. Puristuksen jatkuessa arvot vastaavat pian aiempia arvoja.
- **Epänormaalia käyttäytymistä** pysähdyksissä homogeenisissä pehmeissä maissa
  - Porrasmaiset askelmat profiilissa
  - Lineaariset kohdat kuvaajassa
- Onnistuneessa mittauksessa huokospaineen arvot vaihtelevat jatkuvasti
  - Huokospainemittaus reagoi pieniinkin huokospaine vaihteluihin (arvot vaihtelevat ylös/alas)
  - Vaihtelu riippuu pehmeissä maissa rakeisuuden mukaan (myös CPTU:n suotimella merkitystä)
    - Savessa vaihteluväli pienempi
    - Siltissä vaihtelu suurempaa
- **Epäonnistumisasteesta** riippuen huokospainemittauksen **käyttöluokitus voi tippua** 3 tai 4 luokkaan.
  - **Koska huokospaineenmittauksella on myös vaikutusta kärkivastuksen todellisiin arvoihin (vaikka luokittelu tehdäänkin korjaamattomille parametreille), tulisi tämän takia myös kärkivastuksen luokitusta tiputtaa luokkaan 2 tai 3 ainakin selkeästi epäonnistuneella huokospainemittausalueella.**

Huokospainemittauksen tarkistaminen

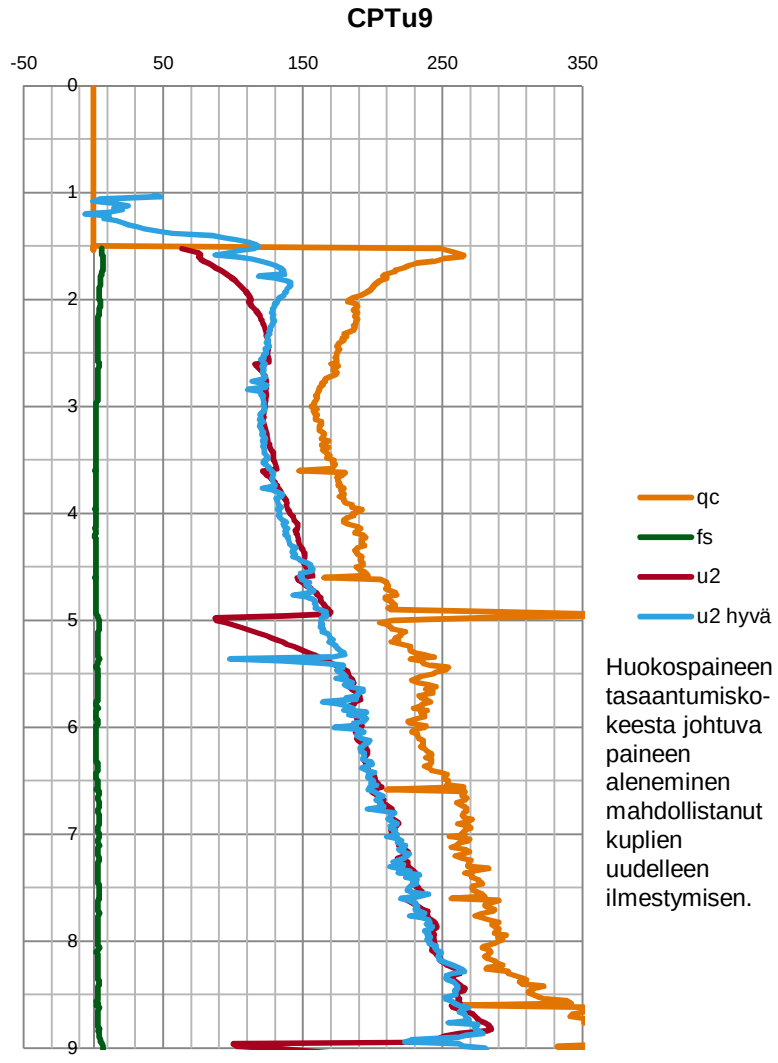


Kuvalähde: Dolva 2010, muokattu

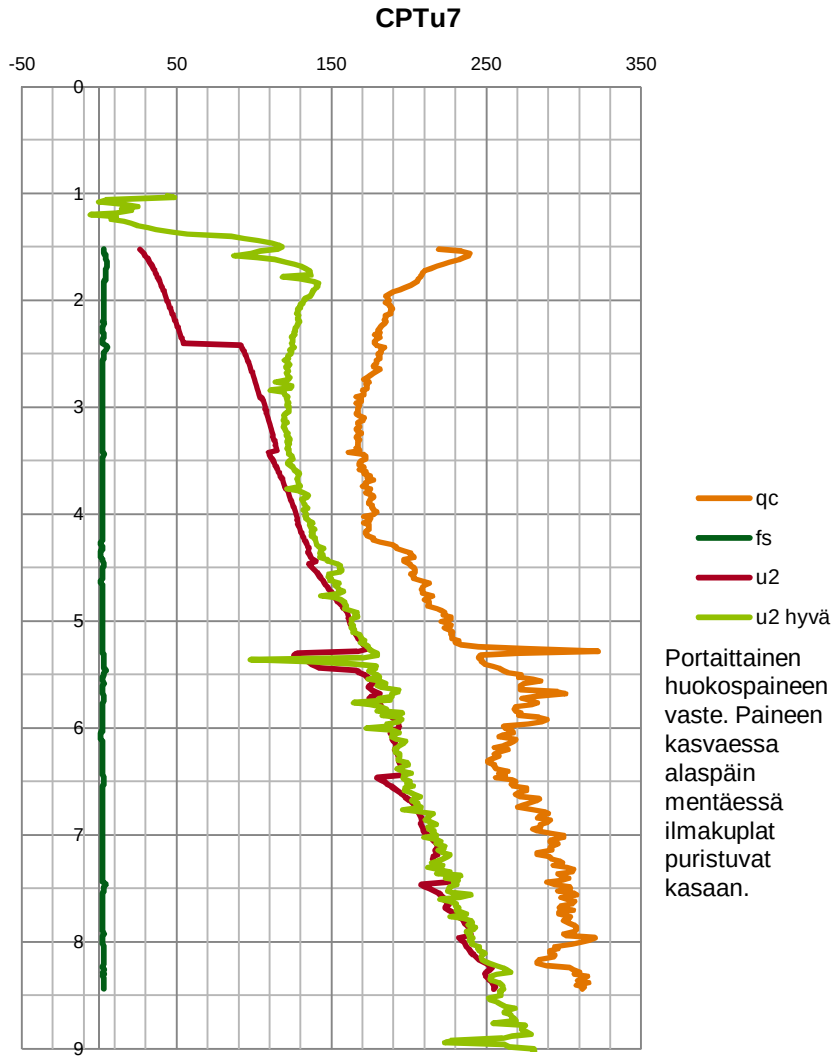


Kuvalähde: Campanella&Howie 2005

Mittausvirheitä



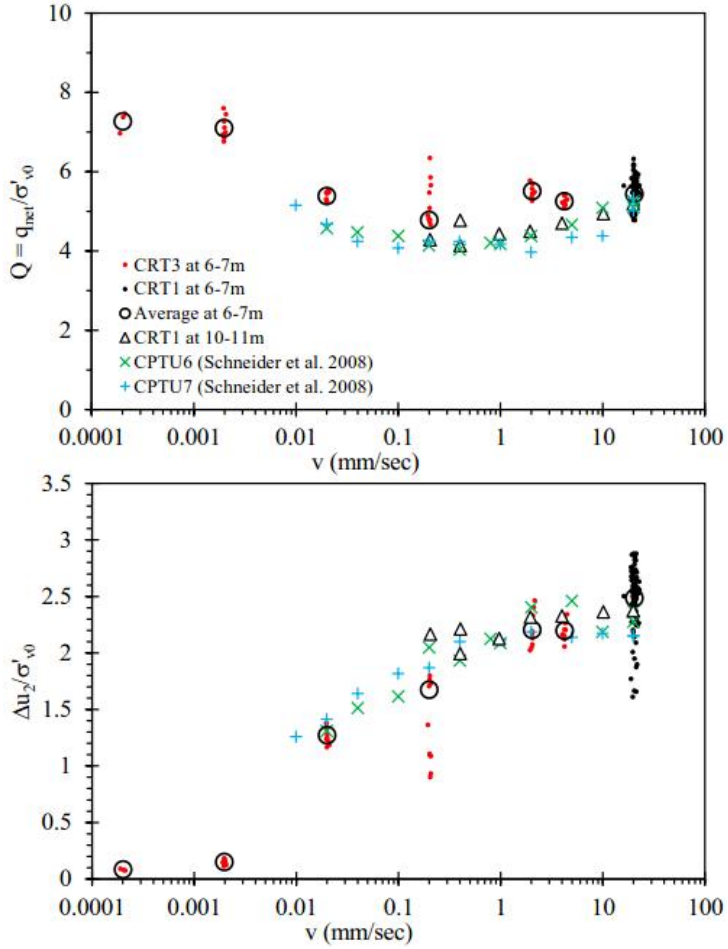
Huokospaineen tasaantumisko-keesta johtuva paineen aleneminen mahdollistanut kuplien uudelleen ilmestymisen.



Portaittainen huokospaineen vaste. Paineen kasvaessa alaspäin mentäessä ilmakuplat puristuvat kasaan.

Syöttönopeuden tarkistus

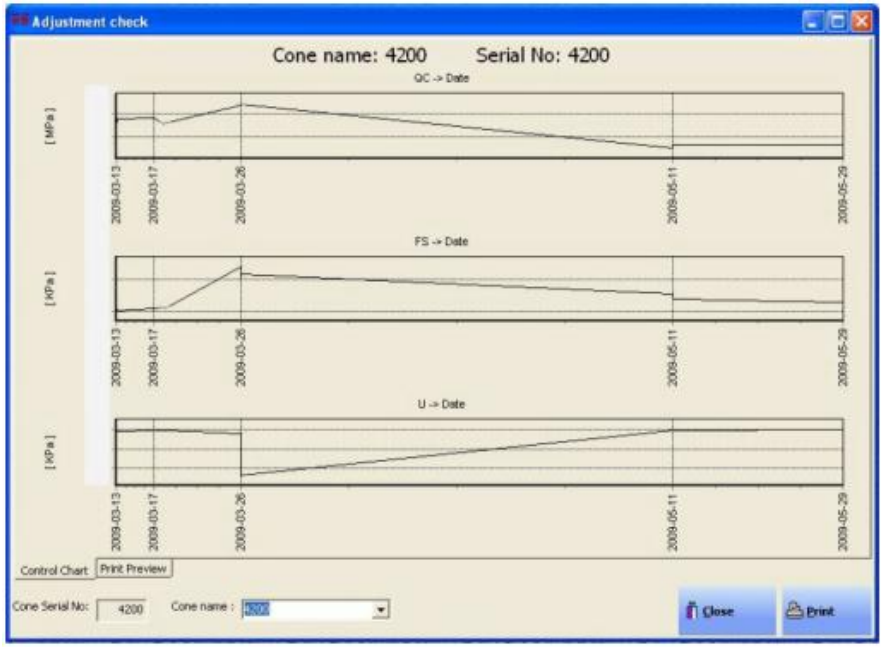
- Syöttönopeudella on merkitys mitattuihin parametreihin, minkä takia syöttönopeudella on määrätty sallittu poikkeama standardinopeudesta (20±5mm/s)
- Syöttönopeus tarkistettava toimitetuista tiedoista
  - Usein ns. raakadataan tallentuu syöttönopeus tai aika



Kuvalähde: Suzuki&Lehane 2014

Kalibroinnin tarkistus

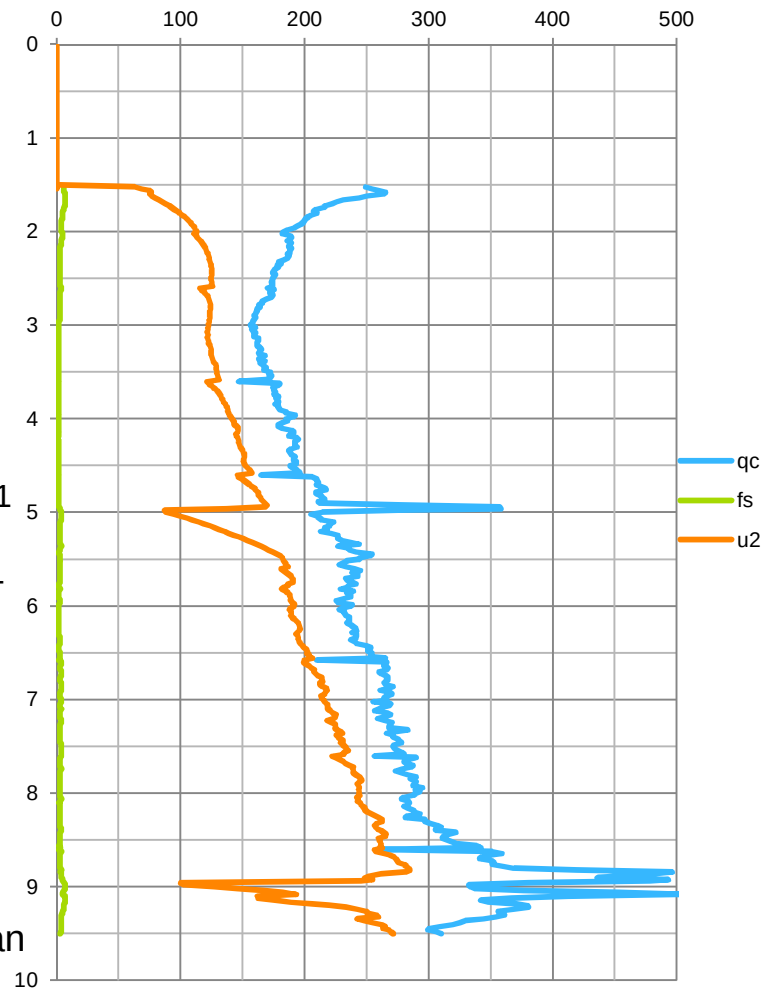
- Kalibrointi tulisi tehdä säännöllisesti vähintään puolen vuoden välein. Jos tallenteista käy ilmi, että tietoihin ei ole kirjautunut merkittäviä poikkeamia, kalibrointien väli voi olla pidempi. Tällaisia poikkeamia voi seurata alkunollalukemien avulla.
  - Kalibroinnin voimassa olon tarkistus ensi sijaisesti pohjatutkimuskonsultin vastuulla
  - Osaan raakadatoista kirjautuu kärjen viimeisin kalibrointipäivä



Kuvalähde: Dolva 2010

Esimerkki kairauksen luokittelusta ja tarkistuksesta

- Tehdään alustava luokittelu tarkastelu kuvan CPTU-kairauskokeelle
  - 5 metrin syvyydessä on suoritettu huokospaineentasaantumiskoe, minkä takia huokospaineen arvot ”romahtaneet”
  - Alkuosassa myös huonompaa vastetta huonosti onnistuneen kyllästämisen takia
  - Yleisprofiilin perusteella voidaan luokitella kairauskoe käyttöluokkiin vastaavasti
    - Vaippavastuksen osalta koko profiilin matkalta käyttöluokkaan 1 (KL1)
    - kärkivastuksen osalta KL2 syvyysvälillä 1,5-5,5m, KL1 5,5-9,5m
    - Huokospaineen osalta KL3 1,5-2m, KL2 2-5m, KL3 5-5,5m, KL1 5,5-9,5m
  - **Huom!** Kuivakuoren alapuolinen jäykkä ylikonsolidoitunut savikerros, missä OCR muuttuu jatkuvasti, ei välttämättä täytä käyttöluokan 1 vaatimuksia tasalaatuisesta pehmeästä maasta. Tämän takia voisi olla parempi luokitella kaikki tulokset KL2:seen ainakin syvyystasolle 2m asti. Myös 8.8m lähtien maassa epätasalaatuisuutta, liian ohuissa kerroksissa ei saada mitattua parametrien täyttä arvoa.



Esimerkki kairauksen luokittelusta ja tarkistuksesta

- CPTU-kairauskoe diagrammin arvot ovat korjaamattomalle kärkivastukselle alle 500 kPa
  - Tällöin suurin sallittu virhe kärkivastukselle on 35 kPa käyttöluokassa 1
  - Käyttöluokassa 2 100 kPa
  - Käyttöluokassa 3 200 kPa
- Kärkivastuksen kasvaessa yli 700 kPa sallitaan virheeksi mitattuarvo kerrottuna 5%
- Huokospaineen arvot maksimissaan 280 kPa.
  - Suurin sallittu virhe maksimissaan KL1:ssa 10 kPa
  - KL2:ssa 25 kPa
  - KL3:ssa 50 kPa
- Vaippavastuksen arvot alle 10 kPa
  - KL1:ssa 5 kPa
  - KL2:ssa 15 kPa
  - KL3:ssa 25 kPa

Käyttöluokka	Kokeen tyyppi	Mitattava parametri	Pienin sallittu tarkkuus[a]	Mittausten välinen enimmäispituus	Käyttö	
					Maa-aines[b]	Tulkinta tai arviointi[c]
1	TE2	Kärkivastus	35 kPa tai 5 %	20 mm	A	G, H
		Vaippakitka	5 kPa tai 10 %			
		Huokospaine	10 kPa tai 2 %			
		Kaltevuuskulma	2°			
		Tunkeutumispituus	0,1 m tai 1 %			
2	TE1 TE2	Kärkivastus	100 kPa tai 5 %	20 mm	A	G, H*
		Vaippakitka	15 kPa tai 15 %		B	G, H
		Huokospaine[d]	25 kPa tai 3 %		C	G, H
		Kaltevuuskulma	2°		D	G, H
		Tunkeutumispituus	0,1 m tai 1 %			
3	TE1 TE2	Kärkivastus	200 kPa tai 5 %	50 mm	A	G
		Vaippakitka	25 kPa tai 15 %		B	G, H*
		Huokospaine[d]	50 kPa tai 5 %		C	G, H
		Kaltevuuskulma	5°		D	G, H
		Tunkeutumispituus	0,2 m tai 2 %			

Kuvalähde: ISO, E. 22476-1

Esimerkki kairauksen luokittelusta ja tarkistuksesta

- Kairauksen raakadatasta löytyy kaikki kairauksessa tallennetut tiedot
  - Raakadatan muoto ja tiedostotyyppi riippuu valmistajasta. Esimerkissä käytetty TTY:n raakadataa

- Raakadatasta riippuen yksiköt voivat vaihdella
- Lasketaan nollalukemien poikkeama kilopascaleissa ja itseisarvona: kärkivastus [(-0.0087-(-0,0238)) *1000]=-15,1 kPa => 15,1 kPa, vaippavastus 0,2 kPa, huokospaine 4,7 kPa
  - Arvot järkevää suuruusluokkaa
- Puristusnopeus ja kaltevuuskulma ok

Date	02/07/2015										
Time	10:01:00										
Job	Pernio2015										
Test	9										
Cone type	5F0p15XYP20-10/I-Conductivity										
Cone number	130712T/130704T										
Area ratio	**0.75**										
Reference point											
Reference level	0										
Remark 1											
Remark 2											
	MPa	**MPa**	**kPa**								
Zero value	**Tip resistance**	**Local friction**	**Pore shoulder**	**Speed**	**conductance**	**Temperature**	**Incl x**	**Incl y**	**Inclination**	**conductivity**	**Time**
Before	-0.0087	0.0013	5.974	-	-	-	**0**	**-0.1**	**0**	-	-
After	-0.0238	0.0015	10.678	-	-	-	**-0.6**	**0.1**	**0**	-	-
Depth	**Tip resistance**	**Local friction**	**Pore shoulder**	**Speed**	**conductance**	**Temperature**	**Incl x**	**Incl y**	**Inclination**	**conductivity**	**Time**
4.92	0.278	0.002	169.74	2	97	5	-0.7	0.9	1.1	88	677
4.94	0.357	0.002	168.12	2	97	5	-0.7	0.9	1.1	89	678
4.96	0.358	0.003	136.6	2	96	5	-0.6	0.8	1	88	679
4.98	0.276	0.003	86.97	2	96	6	-0.6	0.9	1.1	88	680
5	0.214	0.004	87.98	2	95	6	-0.6	0.9	1.1	87	681
5.02	0.205	0.004	94.33	2	96	5	-0.6	0.9	1.1	88	682
5.04	0.21	0.004	99.2	2	98	5	-0.6	0.9	1.1	89	683
5.06	0.212	0.004	105.04	2	99	5	-0.6	0.9	1.1	90	684
5.08	0.214	0.004	109.28	2	99	5	-0.6	0.9	1.1	91	685
5.1	0.223	0.003	114.44	2	96	5	-0.6	0.9	1.1	88	686
5.12	0.22	0.003	118.62	2	94	5	-0.7	0.9	1.1	87	687
5.14	0.22	0.003	123.38	2	92	5	-0.6	0.9	1.1	84	688
5.16	0.216	0.003	127.2	2	92	5	-0.6	0.9	1.1	85	689
5.18	0.218	0.003	131.01	2	93	5	-0.7	0.9	1.1	85	690
5.2	0.213	0.003	135.35	2	97	6	-0.6	0.9	1.1	89	691
5.22	0.221	0.003	138.55	2	99	5	-0.6	0.9	1.1	91	692
5.24	0.227	0.003	142.91	2	100	5	-0.7	0.9	1.1	92	693
5.26	0.227	0.003	146.23	2	100	5	-0.6	0.9	1.1	92	694
5.28	0.227	0.003	150.23	2	99	5	-0.7	0.9	1.1	91	695

Esimerkki kairauksen luokittelusta ja tarkistuksesta

- TTY:n herkän kärjen mittausasteikot ja maksimimittausvirheet:
  - kärkivastus 0…7500kPa 0,2% FSO => mittausvirhe 15kPa
  - vaippavastus 0…150kPa, 0,7% FSO => n. 2kPa
  - huokospaine 0…2000kPa, 0,25% FSO => 5kPa
- **Eurostandardista ” Kun kaikki mahdolliset virhelähteet lasketaan yhteen, tallennettujen mittausten tarkkuuden on oltava parempi kuin suurin taulukossa 2 annetuista arvoista. Mittauksen tarkkuuden analyysissa on otettava huomioon sisäinen kitka, tiedonkeruun virheet, epäkeskinen kuormitus, lämpötilan (ympäristön lämpötilan ja hetkellisen lämpötilan) aiheuttamat vaikutukset ja mittausvirheet.”**
- Kairauskokeen **kokonaisvirhe** on eurostandardin mukaisesti mittauslaitteiston maksimimittausvirheen, nollalukemien poikkeaman sekä muiden virheiden summa!
  - Muut virheet ovat epäonnistuneesta kyllästyksestä johtuvia

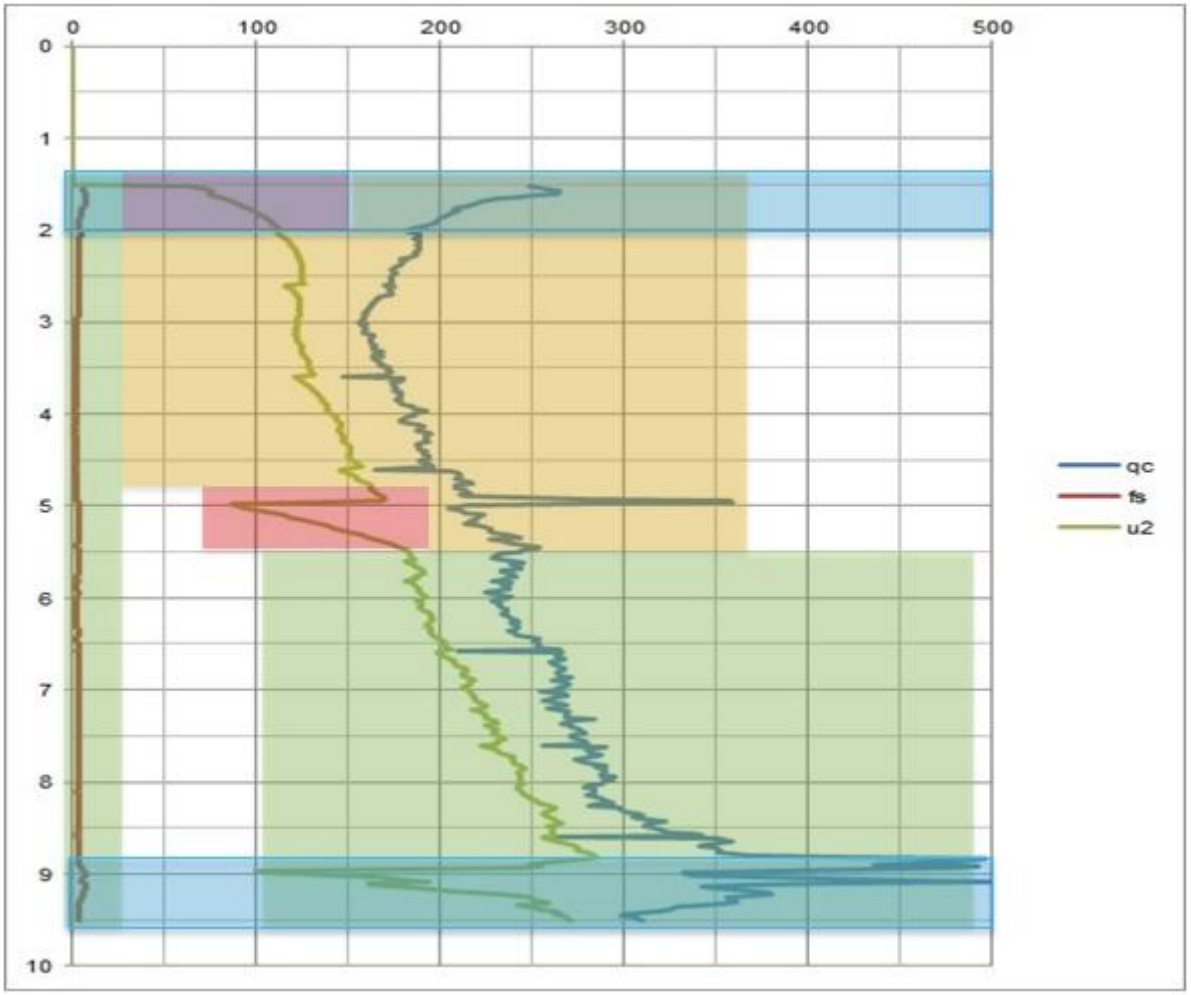
Esimerkki kairauksen luokittelusta ja tarkistuksesta

	Nollalukeman poikkeama, kPa	Mittauslaitteiston mittausvirhe, kPa	Yhteensä	Muut virheet	Käyttöluokitus
Kärkivastus	15,1	15	30,1 (mahdollista täyttää KL1)	Alustavan tarkastelun mukaisesti	KL2 1,5-5,5m KL1 5,5-9,5m
Vaippavastus	0,2	2	2,2 (mahdollista täyttää KL1)	Ok	KL1
Huokospaine	4,7	5	9,7 (mahdollista täyttää KL1)	Alustavan tarkastelun mukaisesti	KL3 1,5-2m KL2 2-5m KL3 5-5,5m KL1 5,5-9,5m

Esimerkki kairauksen luokittelusta ja tarkistuksesta

- Vihreällä alueella merkattu käyttöluokan 1 vaatimukset täyttävä alue
- Keltaisella vastaavasti käyttöluokka 2
- Punaisella käyttöluokka 3

- Sinisellä lisätty alueet, mitkä eivät mielestäni täytä tasalaatuisen maan määritelmää, minkä takia luokitus pitäisi olla KL2



Esimerkki kairauksen luokittelusta ja tarkistuksesta

- Vaippavastuksen arvot täyttävät profiilin koko matkalta riittävän tarkkuuden geoteknisten parametrien tulkintaan
  - Tosin vaippavastuksen arvot yksinään riittämättömiä
- Syvyysväleillä 1-5,5 m kärkivastuksen ja 2-5 m huokospaineen arvoja voidaan käyttää viitteelliseen geoteknisten parametrien määrittämiseen
- Syvyysvälillä 1-2 m ja 5-5,5 m huokospaineen arvot riittäviä vain maan profilointiin ja yksilöintiin
- Syvyysvälillä 5,5-9,5m kaikkia mittausarvoja voidaan käyttää geoteknisten parametrien määrittämiseen.

- **Huokospaineen mittaus hyvin ratkaiseva kairauksen onnistumisen kannalta!**
  - **Huolellisuuteen kannattaa käyttää aikaa!**

Lähteet

- ISO, E. 22476-1.2007. Geotechnical investigation and testing-field testing–part, 1
- Campanella, R.G., Howie, J.A. 2005 Guidelines for the use, interpretation and application of seismic piezocone test data, Geotechnical research group, Department of civil engineering, The university of British Columbia 2005.
- Dolva, B. K. 2010. CPTU-seminar i Vegdirektoratet, Statens vegvesen, Teknologirapport;2595, 26. april 2010. Saatavilla: http://hdl.handle.net/11250/190021
- Vertek esite, saatavilla: http://www.vertekcpt.com/cpt-cones-and-data-acquisition-systems
- Liikenneviraston ohje 10/2015, saatavilla: http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf8/lo_2015-10_geotekniset_tutkimukset_web.pdf
- Suzuki Y, Lehane BM. Field observations of CPT penetration rate effects in Burswood clay. In: Proceedings of the 3rd international symposium on cone penetration testing (CPT14). Las Vegas, Nevada; 2014. p. 403–410.