CPTU-kokeita ennen huomioitavat asiat

Juha Selänpää
Tampereen teknillinen yliopisto

9.5.2016

Tutkimuskohde

- **Alkutiedot vaikuttavat käytettävään kalustoon**
  - Minkä takia tutkitaan? Olosuhteita vai geoteknisiä parametreja?
  - Hieno- vai karkearakeisia maalajeja?
  - Onko aiemmin tutkimuksia tehty?
- **Tutkimuksen vaatimukset? Varmuustaso?**

- **Aiemmista kairauksista tulisi toimittaa myös tieto kairaajalle**
  - Usein tieto jää matkalle tai toimittamatta
  - Toisinaan kairaaja joutuu tekemään alustavan kairauksen laiterikkojen välttämiseksi esim. painokairaus siipitutkimusta varten

Etäisyys muihin pisteisiin

- CPTU-kairauskokeen etäisyys aiempien pohjatutkimusten kaira- tai näytteenottoreikiin tulee olla **vähintään kaksi metriä**.
  - **Ilma- tai vesihuuhtelulla** aiemmin tehtyihin kairauksiin etäisyyden on oltava vähintään viisi metriä.
  - Lisäksi pisteen sijainnissa on huomioitava muu pohjamaata häiritsevä toiminta, kuten **syvästabilointi ja porapaalutus.**

Kuvalähde: ISO, E. 22476-1.2007

Alkukairausreikä

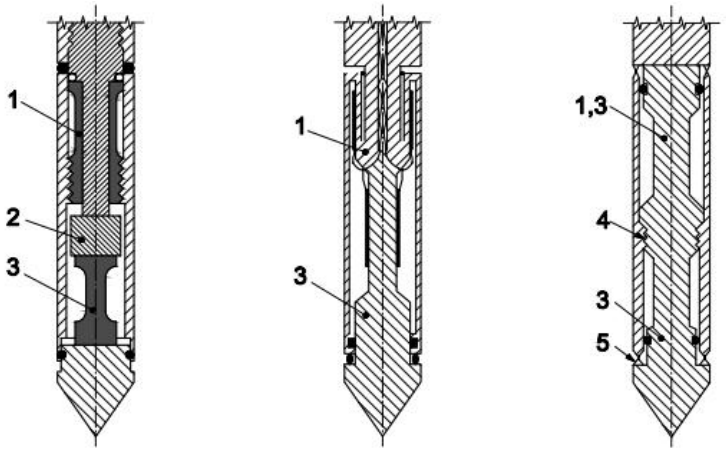
- CPTU-kairauskoe suositellaan alkavaksi **pohjavedenpinnantasolta tai hieman alempaa**, jottei kärjen kyllästäminen vaarannu.
  - Suositeltavaa täyttää vedellä, jolloin alkukairausreikää voidaan käyttää myös kärjen lämpötilantasaukseen
  - Täyttöjen läpäisyssä voidaan tarvita putkitusta reiän auki pitämiseksi

- Alkukairausreikä tulisi tehdä **mahdollisimman vähän maata häiritsevällä menetelmällä**, esim. **kierrekairalla** kuivakuoren läpi
  - Huuhtelumenetelmät häiritsevät maata enemmän
  - Alkukairausreiän maalaji merkattava ylös
- Pohjatutkimusohjelmassa kannattaa mainita suositeltu tapa
  - Kairaajan täyttämässä koeraportissa mainittava alkukairausreiän tekotapa

Kuvalähde: ISO, E. 22476-1.2007

CPTU-kärkien kapasiteetit

- **Suurikapasiteettinen, suuri mittausasteikko** kärkivastuksen ja vaippavastuksen osalta esim. kärkivastus 0…75 MPa, vaippavastus 0…1 MPa
- Suuri mittausasteikko takaa kärjelle **kestävän rakenteen**.
  - Rakenne paksuudet suurempia kuin herkässä kärjessä
  - Runko suunniteltu kestävämmäksi
  - **0…75 MPa** => kärkikartioon sallitaan **7,5t** kuormitusmassa. Lisäksi kärjillä on ylikuormituskapasiteetti yleensä **50…100 %**.
  - Suuri kapasiteettisen kärjen puristaminen lähelle maksimikapasiteettiaan **vaatii kairavaunulta suuren omamassan tai hyvän ankkuroinnin.**



a) kärkivastuksen ja vaippakitkan voima-anturit puristuksessa

b) kärkivastuksen voimamittari puristuksessa ja vaippakitkan voima-anturit vedossa

c) kairan kärkiosa, jolla vaippakitkan arvo saadaan vähentämällä ylemmän anturintuloksesta kärkivoima-anturin antama arvo

Selite

1 kitkavoima-anturi
2 kärkivastuksen ylikuormitussuoja
3 kärkivoima-anturi
4 kierteet
5 tiiviste

Kuvalähde: ISO, E. 22476-1.2007

Suurikapasiteettisen kärjen käyttö

- Suuri kapasiteettisesta kärkeä voidaan käyttää **kitkamaalajien ominaisuuksien arvioimiseen** kärki- ja vaippavastuksesta sekä yleiskuvan saamiseksi **maalajikerroksista**.
- **Huokospaineen mittaus yleensä tarkkuudeltaan samaa luokkaa eri kapasiteetin kärjissä**.
  - Huokospaineet suurimmillaan pehmeissä maissa, joissa molempia kärkiä voidaan käyttää tutkimusvälineenä.
    - TTY:n kärjissä herkän ja suurikapasiteettisen kärjen huokospaineen mittausväli on 0…2 MPa ja mittausvirhe 0,25 %.
- Suurikapasiteettisen kärjen avulla voidaan tulkita suljettua leikkauslujuutta huokosvedenpaineen arvoista normaali- tai lievästi ylikonsolidoituneessa maassa!
  - Varmistuttava kuitenkin huokospaineen mittauksen onnistumisesta kärjen kyllästämisen suhteen

Käyttöesimerkkejä

- **Karkeissa maalajeissa käytetään aina suurikapasiteettista kärkeä** (kärjen kapasiteetti 50 MPa tai suurempi).
  - Voidaan käyttää viitteelliseen parametrien arvioimiseen
- **Alustava tutkimus** maalajikerrosten määrittämiseen suurikapasiteettisella kärjellä
  - Voidaan läpäistä hienojakoisista maista karkeisiin maihin
    - Paitsi jos sora pitoisuus kasvaa liian suureksi tai maa sisältää kiviä
  - Voidaan tehdä huokospaineen tasaantumiskoe vettä johtavassa kerroksessa pohjavedenpinnantason määrittämiseen
  - Tulosten perusteella voidaan määrittää syvyystasot, mihin herkän kärjen kairauskoe ulotetaan
- **Herkän kärjen käyttöä varten määritettävä syvyystasot kokeelle**
  - Voidaan tarvita alustava tutkimus tätä varten esim. painokairaus
- **Herkkää kärkeä käytetään pehmeissä maissa parametrien tarkkaan määrittämiseen, kun tutkimukselta vaaditaan alhaista epävarmuustasoa**
  - Maksimivirhe mahdollisimman pieni
  - Epävarmuustasoa voidaan alentaa lisäämällä muita tutkimusmenetelmiä kohteeseen (siipikaira, häiriintymättömän näytteen koestukset)

Käyttöluokat

- Suunnittelija määrittelee vaatimusten perusteella käyttöluokan kokeelle
  - Huom! Hyvin kerroksellisessa maassa käyttöluokka ei voi olla 1
  - **Tiedä, mitä voit vaatia!**
  - TE2=CPTU ja TE1=CPT
- Käyttöluokassa 1 kärkivastuksen kokonaisvirhe saa olla maksimissaan **35 kPa tai 5 %**. Näistä arvoista sallitaan suurempi eli mittausarvojen ollessa välillä 0…700 kPa virhe maksimissaan 35 kPa ja siittä ylöspäin virhe maksimissaan 5 % mittausarvosta (**käytetään korjaamattomia arvoja**)
- Käyttöluokan valitseminen voi vaikuttaa CPTU-kairauskokeen hintaan (?)
- Aiemmissa tutkimuksissa **huokospainemittaus todettu tarkimmaksi mittausarvoksi**

Taulukko 2 Käyttöluokat

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 B C D	G, H* G, H G, H G, H
		Vaippakitka	15 kPa tai 15 %			
		Huokospaine[d]	25 kPa tai 3 %			
		Kaltevuuskulma	2°			
		Tunkeutumispituus	0,1 m tai 1 %			
3	TE1 TE2	Kärkivastus	200 kPa tai 5 %	50 mm	A B C D	G G, H* G, H G, H
		Vaippakitka	25 kPa tai 15 %			
		Huokospaine[d]	50 kPa tai 5 %			
		Kaltevuuskulma	5°			
		Tunkeutumispituus	0,2 m tai 2 %			
4	TE1	Kärkivastus	500 kPa tai 5 %	50 mm	A B C D	G* G* G* G*
		Vaippakitka	50 kPa tai 20 %			
		Tunkeutumispituus	0,2 m tai 2 %			

HUOM. Erittäin pehmeää maata mitattaessa voidaan tarvita vielä suurempaa tarkkuutta.

[a] Mitatun parametrin pienin sallittava tarkkuus on kahdesta ilmoitetusta arvosta suurempi. Suhteellinen tarkkuus koskee mitattua arvoa eikä mittausaluetta.

[b] Standardin ISO 14688-2 [1] mukaisesti:
- A homogeenisesti kerrostuneet maat, joissa on erittäin pehmeästä jäykkään vaihtelevaa savea ja silttiä (yleensä q_c < 3 MPa)
- B kerrokselliset maat, joissa on pehmeästä jäykkään vaihtelevaa savea (yleensä $q_c \leq 3$ MPa) ja keskitiivistä hiekkaa (yleensä 5 MPa $\leq q_c$ < 10 MPa)
- C kerrokselliset maat, joissa on jäykkää savea (yleensä 1,5 MPa $\leq q_c$ < 3 MPa) ja hyvin tiivistä hiekkaa (yleensä q_c > 20 MPa)
- D hyvin jäykästä kovaan vaihteleva savi (yleensä $q_c \geq 3$ MPa) ja hyvin tiiviit karkeat maat ($q_c \geq 20$ MPa)

[c]
- G profilointi ja materiaalien yksilöinti, joihin liittyy alhainen epävarmuustaso
- G* viitteellinen profilointi ja materiaalien yksilöinti, joihin liittyy korkea epävarmuustaso
- H geoteknisten parametrien tulkinta, johon liittyy alhainen epävarmuustaso
- H* viitteellinen geoteknisten parametrien tulkinta, johon liittyy korkea epävarmuustaso

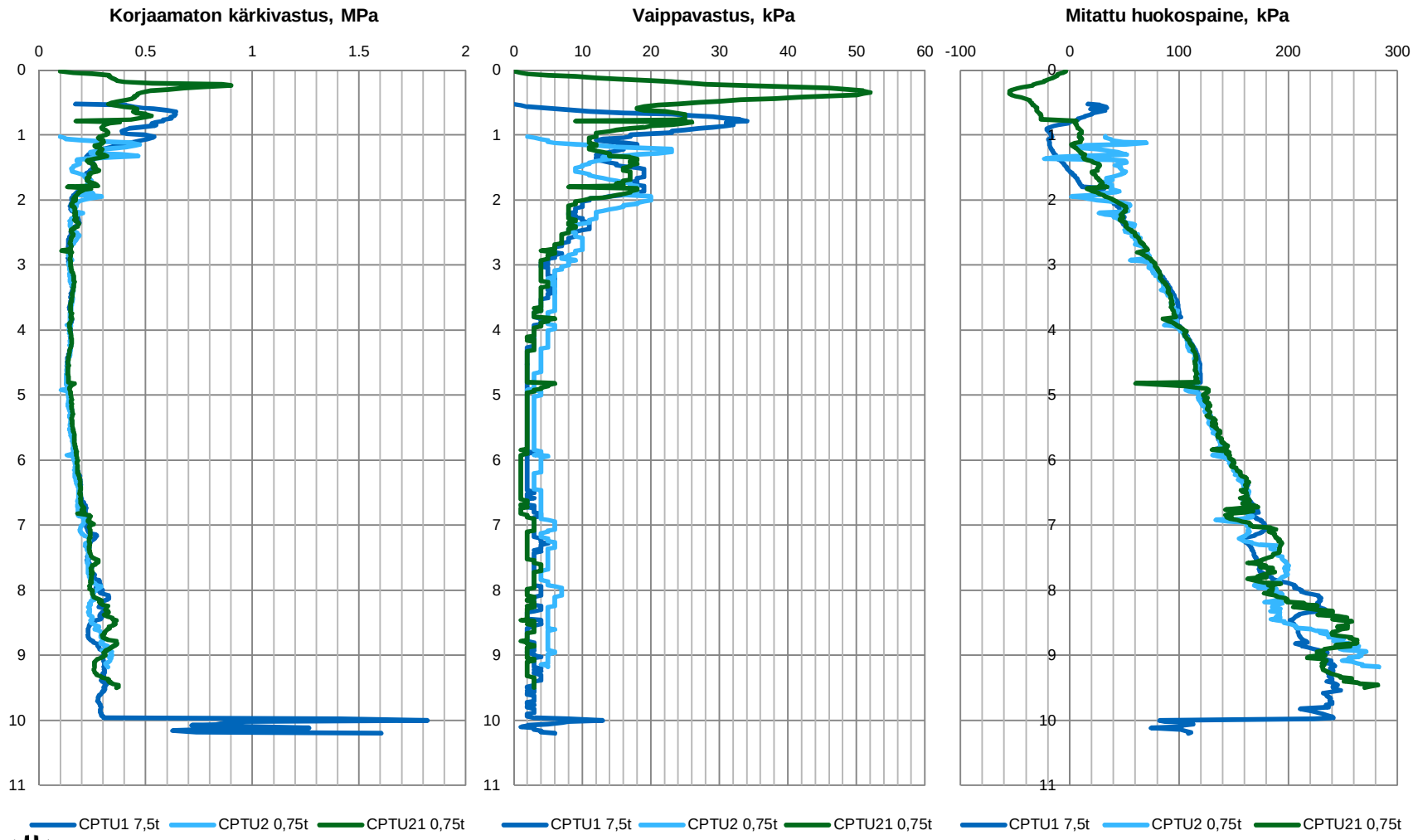
[d] Huokospaine voidaan mitata vain TE2-tyypin menetelmällä.

Kuvalähde: ISO, E. 22476-1.2007

Käyttöluokan 1 saavuttaminen

- **Käyttöluokan 1 vaatimusten täyttäminen** vaatii ns. herkän kärjen (sensitive cone) hyvin pieniä vastuksia mitatessa kärkivastuksen ja vaippavastuksen osalta (ainakin nykyisin markkinoilla olevista)
  - **Suuremman mittausvälin** omaavien kärkien **kokonaismittausvirhe kasvaa liian suureksi vaatimuksiin nähden**
    - Esim. TTY:n CPTU kalustolla suurikapasiteettisen kärjen mittausväli kärkivastukselle **0…75 MPa**. Valmistajan ilmoittava maksimimittausvirhe **0,13%** koko mittausvälille (**=~100kPa**). Käyttöluokan 1 vaatimus ylittyy pienillä arvoilla.
    - Sensitiivisen kärjen mittausväli **0…7,5 MPa**, maksimittausvirhe **0,2 %** (**15 kPa**). Käyttöluokan 1 vaatimus mahdollista alittaa.
    - Tarkasteltava myös samalla lailla vaippavastuksen ja huokospaineen mittauksen arvot.
- **Herkkä kärki sopiva hienorakeisten maalajien tutkimiseen ja parametrien määrittämiseen.**
  - Herkkä kärki riskialttiimpi ylikuormitukselle.
    - Tutkimukset voidaan tehdä **kevyillä kairavaunuilla** tai käyttämällä **puristusvoiman rajoitinta**.

Suurikapasiteettisen kärjen tuloksista helpoin määrittää syvyysväli herkän kärjen tutkimuksille

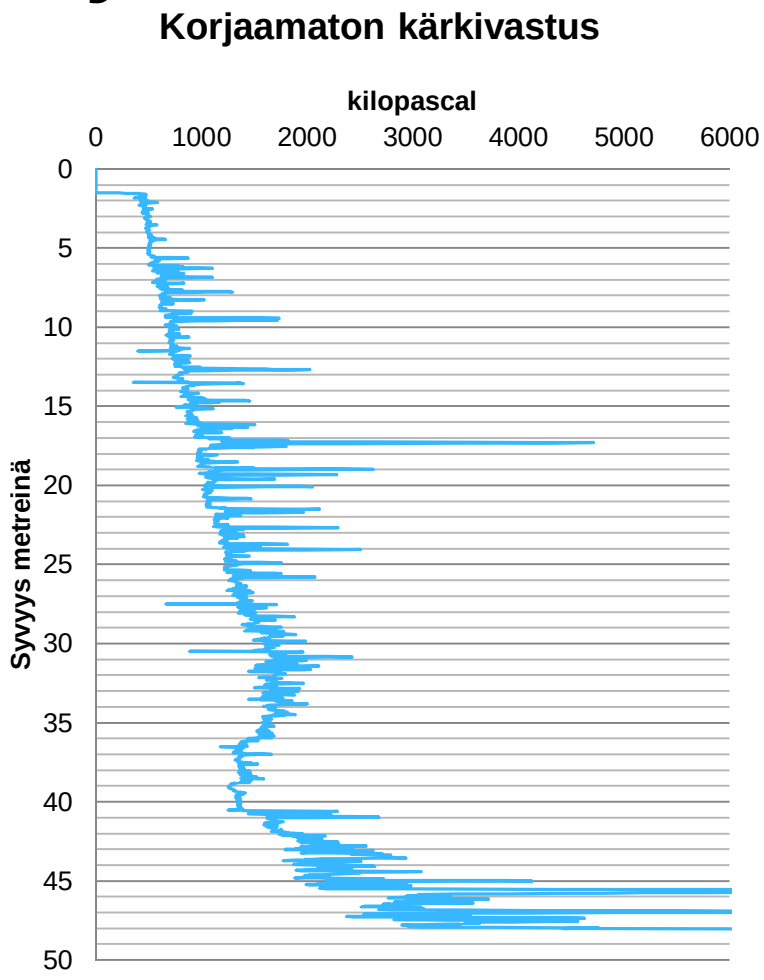


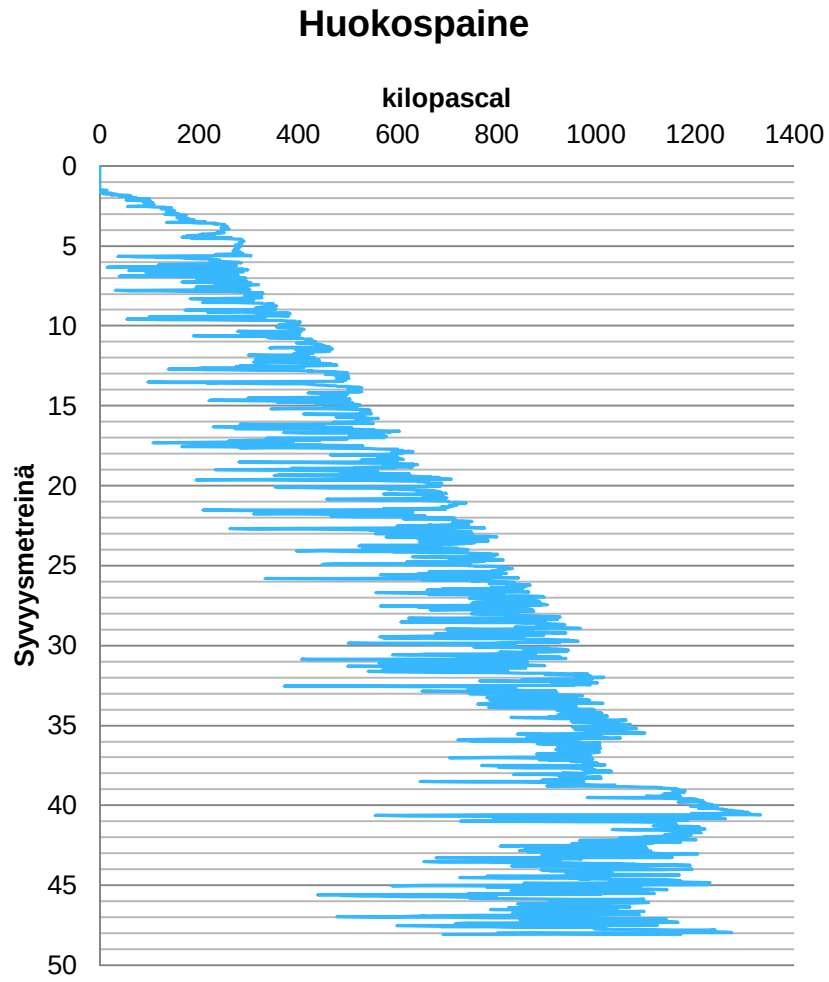
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Suurikapasiteettisen kärjen tuloksista helpoin määrittää syvyysväli herkän kärjen tutkimuksille

- Esimerkissä on tehty 3 kairauskoetta suurikapasiteettisella kärjellä, mutta sama asia voitaisiin tehdä myös kahdella kokeella
  - kairauskoe kuivakuorikerroksen läpi vaatii erityisen hyvin onnistunutta kyllästämistä hyvän huokospainemittauksen onnistumiseksi
- Kärkivastukset pysyvät koko ajan **alle 7,5 MPa**, mikä herkän kärjen maksimimittausarvo
  - Ei olisi kuitenkaan järkevää riskeerata herkkää kärkeä tekemällä samoille syvyystasoille koe herkällä kärjellä
  - **Suurikapasiteettisen kärjen tuloksilla voidaan varmistaa, ettei mitään arvokasta tietoa jää havaitsematta**
- Kuivakuorikerros kannattaa läpäistä 1m syvyydelle, jottei kuivakuoren murtumisesta aiheutuva negatiivinen huokospaine vaaranna kyllästystä (kts. CPTU21:ssa huokospaine negatiivisina 0,8 m asti)
- Suurikapasiteettisen kärjen tuloksista havaitaan, että tiiviimpi maakerros alkaa noin 10 m syvyydestä (ei olisi ollut ongelmaa jatkaa syvemmälle, mutta yläpuolinen homogeeninen kerros mielenkiintoisin FINCONE-tutkimuksen kannalta)
- **Herkän kärjen tutkimukset päätetty uloittaa syvyysvälille 1 – 9,2 m**

Esimerkki liian kerroksellisesta maasta käyttöluokkaan 1





Esimerkki liian kerroksellisesta maasta käyttöluokkaan 1

- **Kerroksellisessa maassa** (ohuita kerroksia) kerrospaksuus ei ole usein riittävä, ettei **ylä- ja alapuolinen maakerros** vaikuttaisi mittaukseen.
  - **Mitataan keskiarvoisesti** maan ominaisuuksia kärjen ympärillä
  - Mittauksessa kyllä havaitaan hyvin ohuetkin kerrokset, mutta ympäröivät kerrokset vääristävät mitattua arvoa todellisesta
  - **Esim. hyvin jäykkä ohut hiekkakerros pehmeiden savikerroksen välissä. Kärjen läpäistäessä hiekkakerroksen, kärki syrjäyttää hiekan pois edeltään. Hiekka pyrkii syrjäytymään sinne, minne se helpoiten ”pääsee” eli osittain pehmeisiin savikerroksiin. Tällöin savikerroksen ominaisuudet vaikuttavat mitattuihin arvoihin.**
- Tämän takia **käyttöluokitus tippuu** automaattisesti **käyttöluokkaan 2**.
  - Käyttöluokka kuitenkin sallii geoteknisten parametrien tulkinnan, mutta tulkinta sisältää suuremman epävarmuuden.

- Siipikairauksellakin siipi voi osua kahteen eri kerrokseen, jolloin mitataan näiden kahden kerroksen yhteisvaikutusta.

Lähteet:

- ISO, E. 22476-1.2007. Geotechnical investigation and testing-field testing–part, 1