

Notkun CPT (Cone Penetration Testing) til þess að meta sig í jarðvegi Frumathugun

Björn Jóhann Björnsson

Stuðull verkfræði og jarðfræðipjónusta

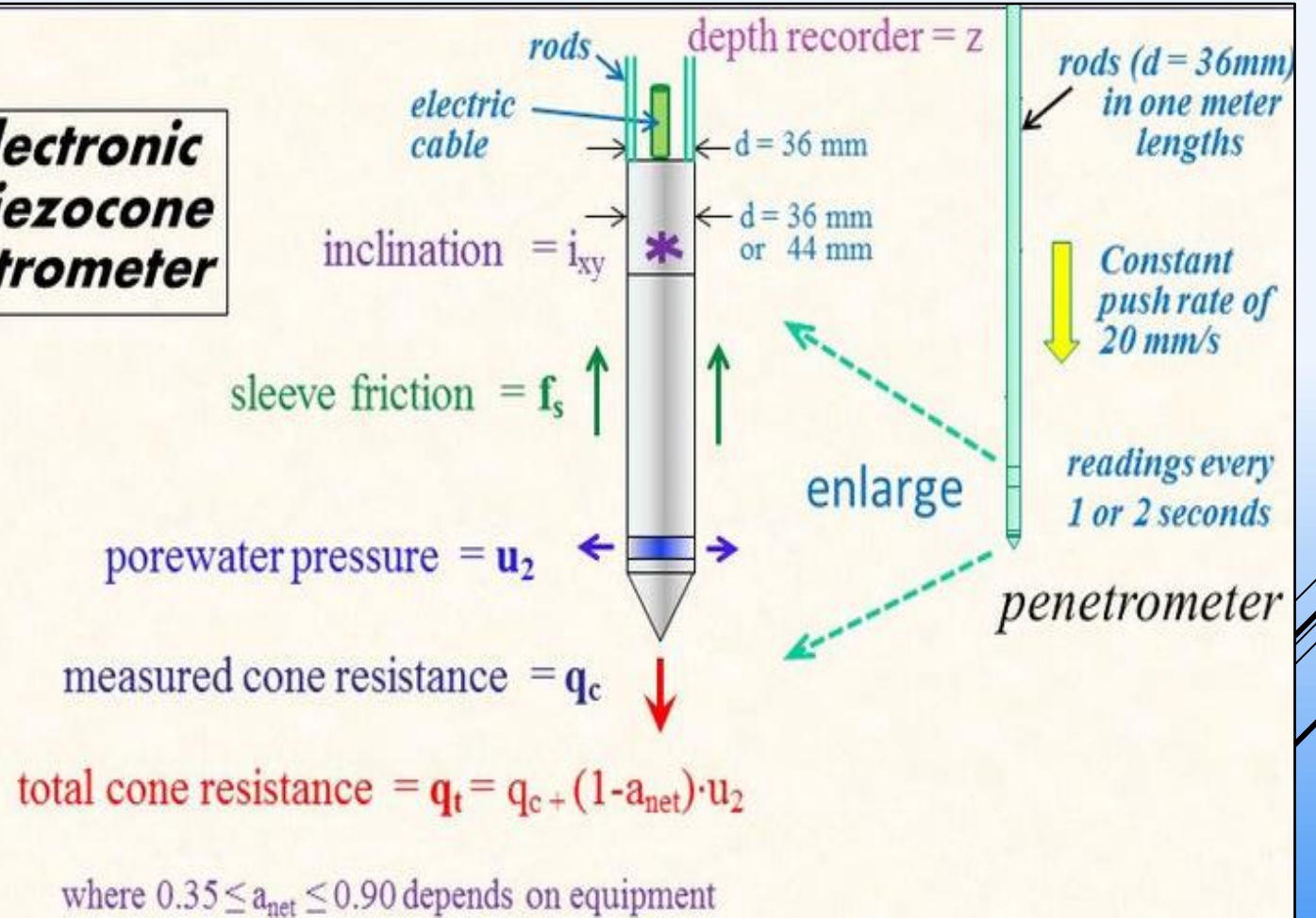
Verkefni styrkt af rannsóknasjóði
Vegagerðarinnar

Jarðtæknifélag Íslands mars 2022

Í CPT prófi er oddi með skynjum
brýst niður í jarðveg með jöfnum
hraða

Við mælum og skráum:
 q : mótstaða á oddi
 u : Vatnsþrýsingur: þórþrýsingu
við odd
 f_s : Viðnám við hulsu.

**electronic
piezocone
penetrometer**



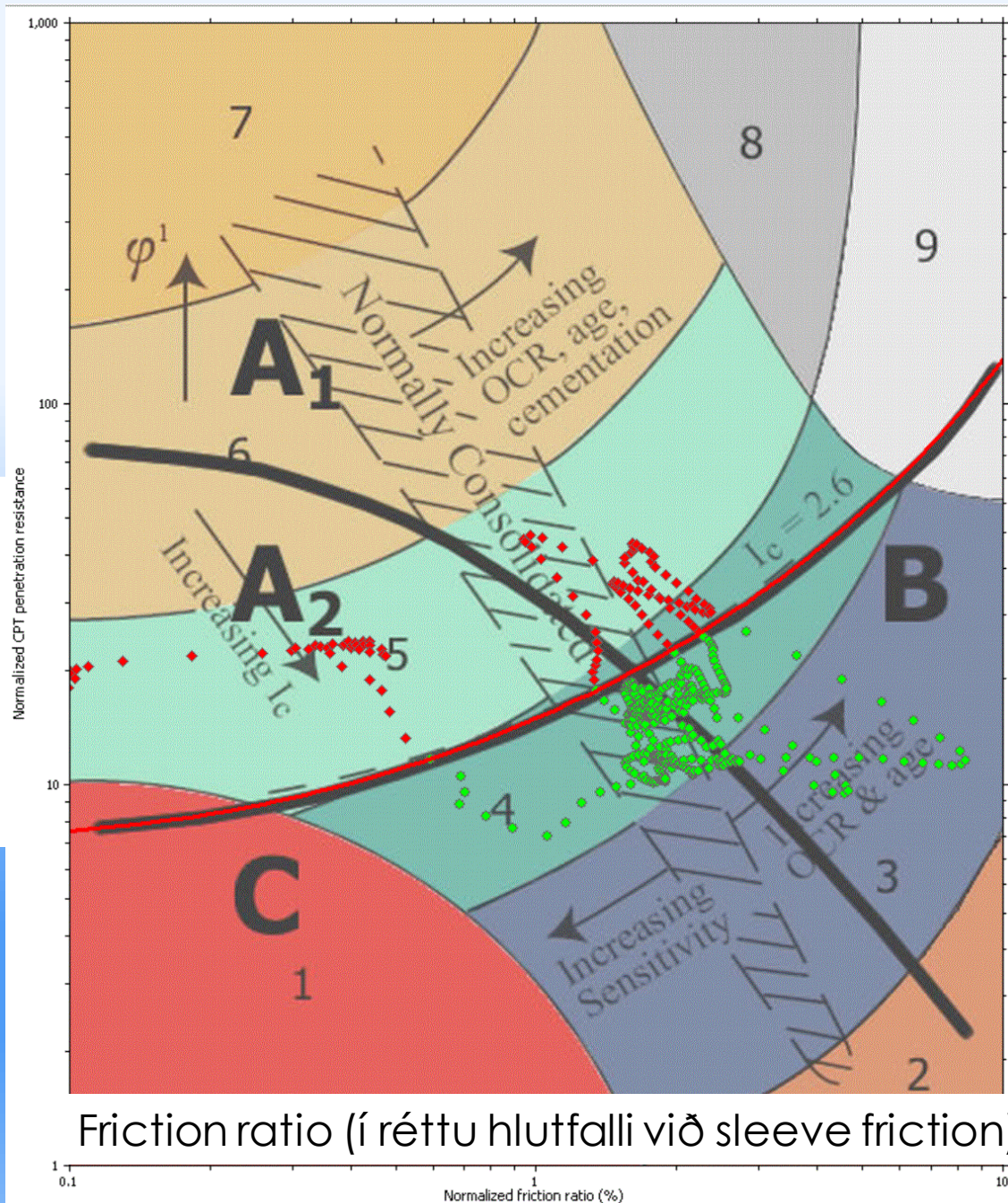
CPT oddur



Við fáum ekki sýni af jarðvegi í CPT prófi. Í staðin eru notuð flokkun byggð á CPT mælingum

CPT mælir gildin með 1 cm millibili

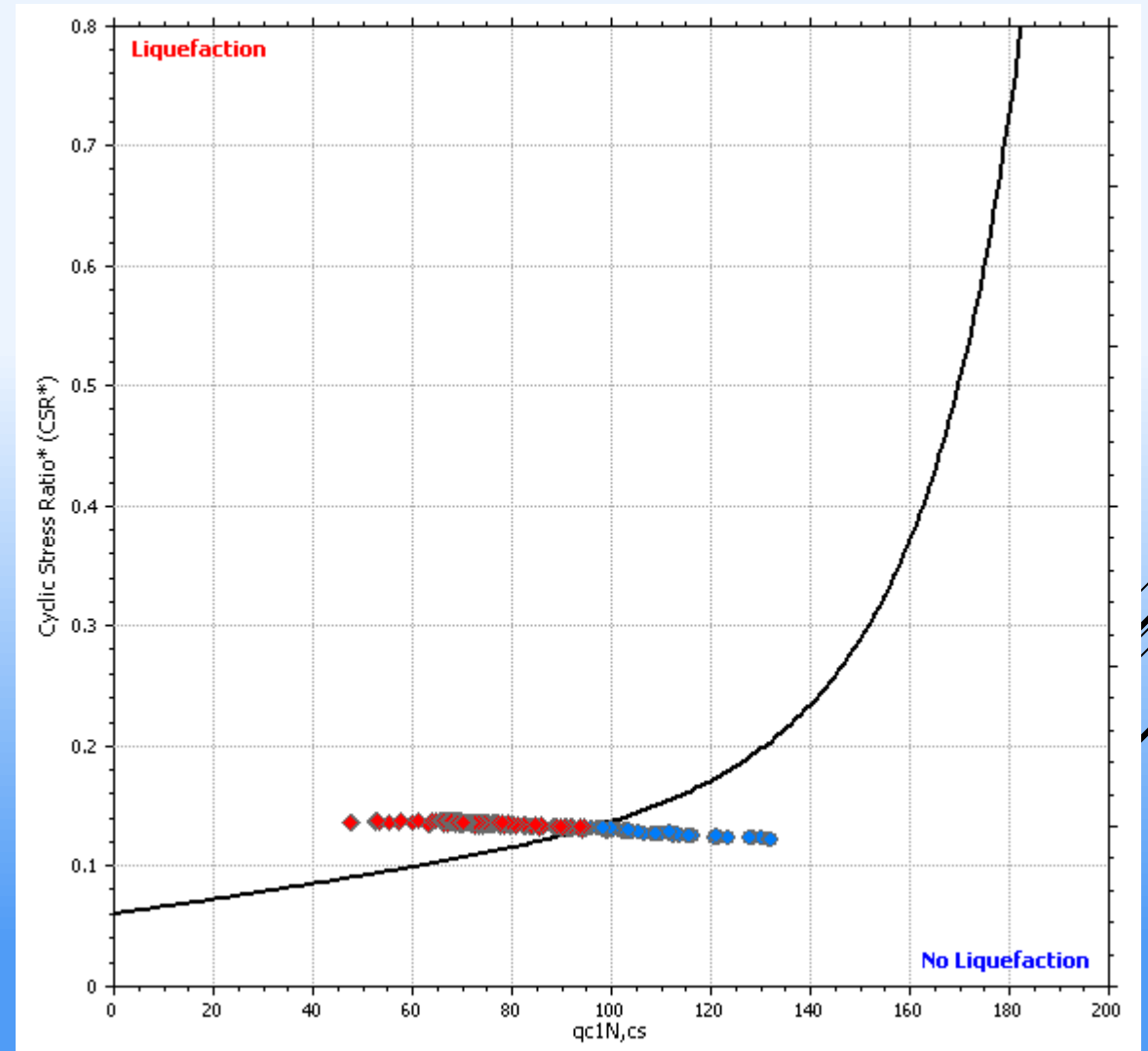
Endamótstaða



- Flokkur 1 fínkornóttast og veikast
- Flokkur 2 Lífrænt efni
- Flokkur 3. Leir og leirblöndur
- Flokkur 4 Silt og siltblöndur
- Flokkur 5 Sandur
- Flokkur 6 grófari sandur

CPT er einnig notað til þess að meta Liquefaction í jarðvegi á sama hátt og SPT prófanir

Hér er dæmi úr sjávarsilti við Reykjavík
Jarðskjálfti er 6,5 MM
Hröðun er 0,15g

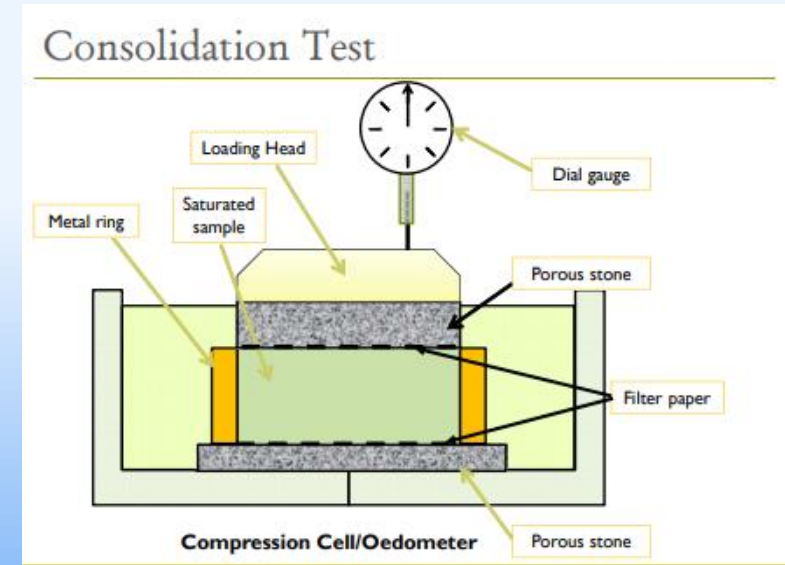


Í venjulegu sigprófi er mældur **Constrained Modulus (M)**
= spennumótstaða á íslensku

$$M = \frac{d\sigma}{d\varepsilon}$$

$d\varepsilon$ = Aflögun (deformation)
 $d\sigma$ = Breyting spennu

Constrained modulus þegar sikhreyfing er
aðeins í lóðrétta stefnu eins og í sigprófi



M er sambærilegt við t.d. Young modulus og E modul í plötuprófi nema í plötuprófi er hreyfing vegna álags bæði lóðrétt og lárétt

$$E_1 = 0.75 * d * \frac{P_2 - P_1}{S_2 - S_1}$$

E gildi í plötuprófi er >100 MPa á þjappaðri fyllingu

M gildi í jarðvegi er oft 100-5000 kPa (skv CPT prófil)

Verkefnið er því að finna samband á milli CPT mæligildis og M stuðuls.

Notum þekkt form á þessu sambandi

$$M = \alpha(q_t - \sigma)$$

σ : Heildar lóðrétt spenna í jarðvegi

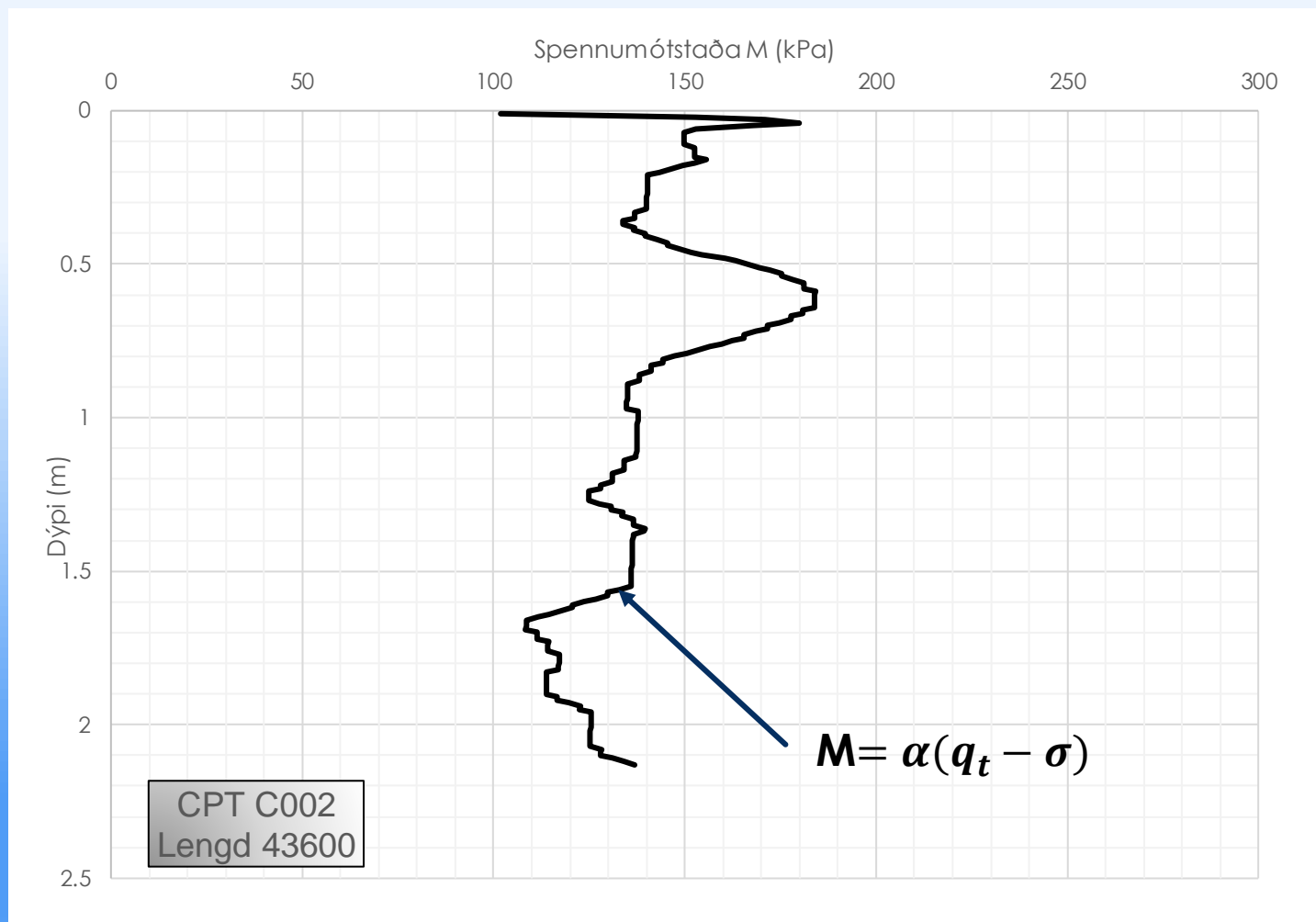
Við reynum að meta α með samanburði við mælt sig eða sigpróf

Þetta er þekkt aðferð. Hér að neðan eru gildi úr Eurocode 7

Soil	q_c	α
Low-plasticity clay	$q_c \leq 0,7 \text{ MPa}$	$3 < \alpha < 8$
	$0,7 < q_c < 2 \text{ MPa}$	$2 < \alpha < 5$
	$q_c \geq 2 \text{ MPa}$	$1 < \alpha < 2,5$
Low-plasticity silt	$q_c < 2 \text{ MPa}$	$3 < \alpha < 6$
	$q_c \geq 2 \text{ MPa}$	$1 < \alpha < 2$
Very plastic clay	$q_c < 2 \text{ MPa}$	$2 < \alpha < 6$
Very plastic silt	$q_c > 2 \text{ MPa}$	$1 < \alpha < 2$
Very organic silt	$q_c < 1,2 \text{ MPa}$	$2 < \alpha < 8$
Peat and very organic clay	$q_c < 0,7 \text{ MPa}$	
	$50 < w \leq 100 (\%)$	$1,5 < \alpha < 4$
	$100 < w \leq 200 (\%)$	$1 < \alpha < 1,5$
	$w > 200 (\%)$	$0,4 < \alpha < 1,0$
Chalks	$2 < q_c \leq 3 \text{ MPa}$	$2 < \alpha < 4$
	$q_c > 3 \text{ MPa}$	$1,5 < \alpha < 3$
Sands	$q_c < 5 \text{ MPa}$	$\alpha = 2$
	$q_c > 10 \text{ MPa}$	$\alpha = 1,5$

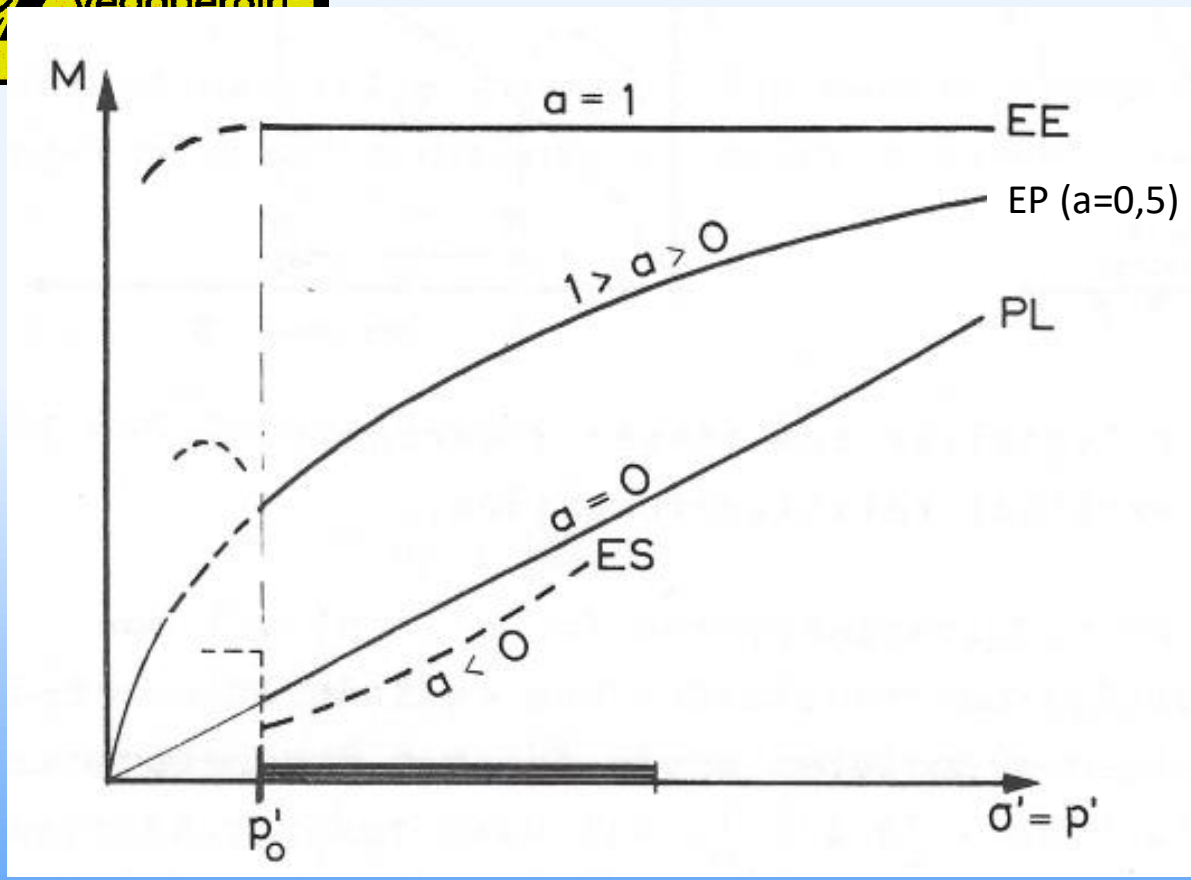
$$M = \alpha(q_t - \sigma)$$

Jarðvegssnið þar sem M er ákveðið miðað við að $\alpha = 0,3$



Suðurlandsvegur á milli Hveragerðis og Selfoss
CPT prófun í votlendi

CPT mælir spennumótstöðuna í jarðveginum eins og hún er en segir ekki til um hvernig M breytist með auknu lóðréttu álagi



CPT mælir spennumótstöðuna í jarðveginum eins og hún er en segir ekki til um hvernig M breytist með auknu lóðréttu álagi.

Til þess að meta þetta eru notuð þekkt líkön frá Janbu hinum norska

$$M = m \times \sigma_a \left(\frac{\sigma'}{\sigma_a} \right)^{1-a}$$

m: spennumótstöðutala
 σ_a : spennugildi til að rétta af einingar
 σ' : virk lóðrétt spenna

a er valið eftir því hvað passar best fyrir jarðvegsgerðina oftast hérlendis:
 a= 0,5 fyrir sand
 a=0 fyrir silt og mýri

Héðan í frá er eingöngu notað m (spennumótstöðutala) Hún
hagar líkt og M spennumótstaða:
þ.e. því hærra sem m er því minna sig

$$M = m \times \sigma_a \left(\frac{\sigma'}{\sigma_a} \right)^{1-a}$$

Við þurfum m til þess að reikna sig skv. siglíkönum Janbu

Vandamálið:

Við þurfum að ákveða α í jöfnunni $M = \alpha(q_t - \sigma)$

Við þurfum að ákveða hvaða siglíkan á að nota með M

$$\alpha(q_t - \sigma) = M = m \times \sigma_a \left(\frac{\sigma'}{\sigma_a} \right)^{1-a}$$

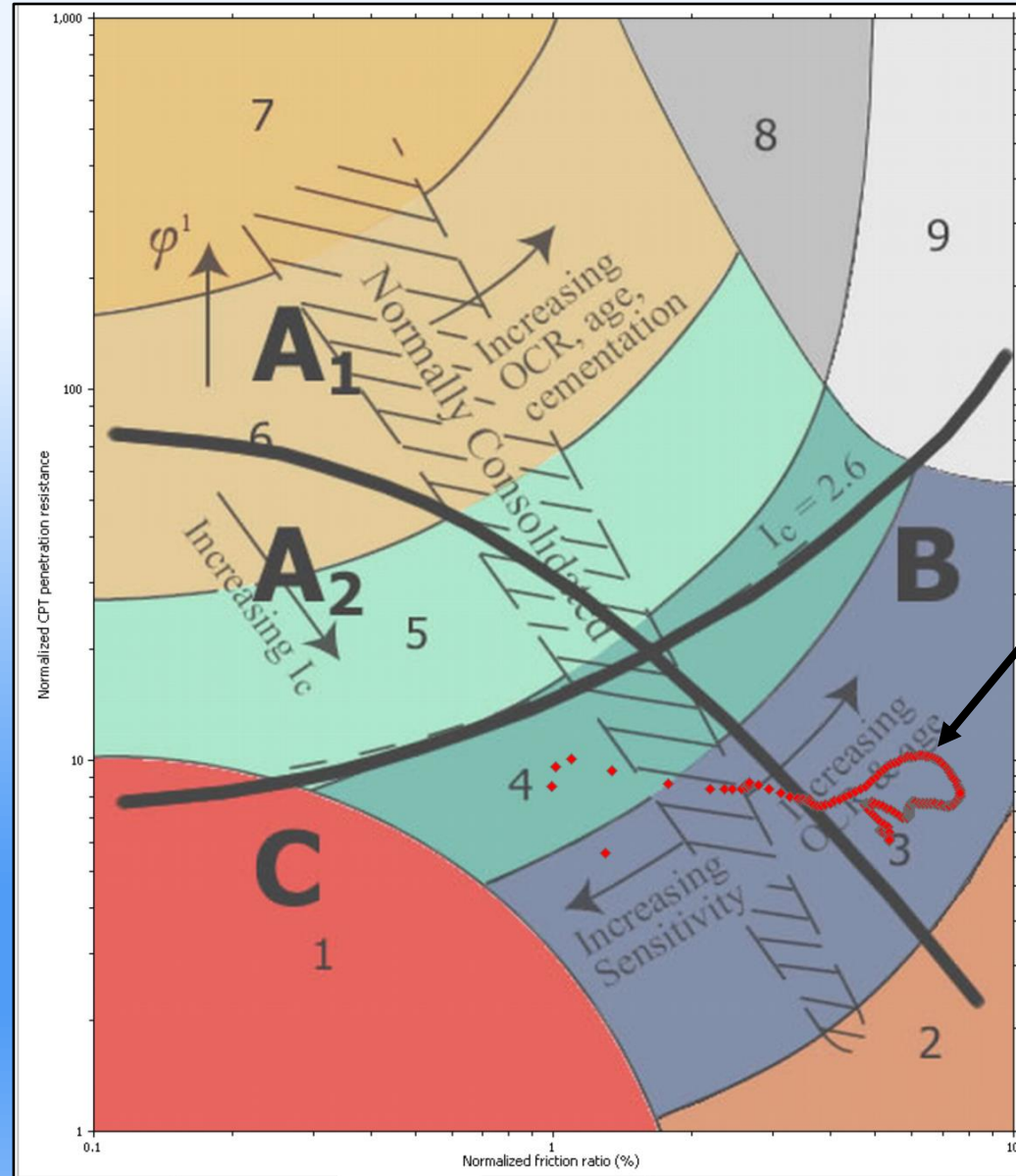
Við eigum fullt af gögnum um m í íslenskum jarðefnum mældum í sigprófi

Stefnt að því að velja α þannig að m passi við íslenskar prófanir og fáum út „rétt sig“

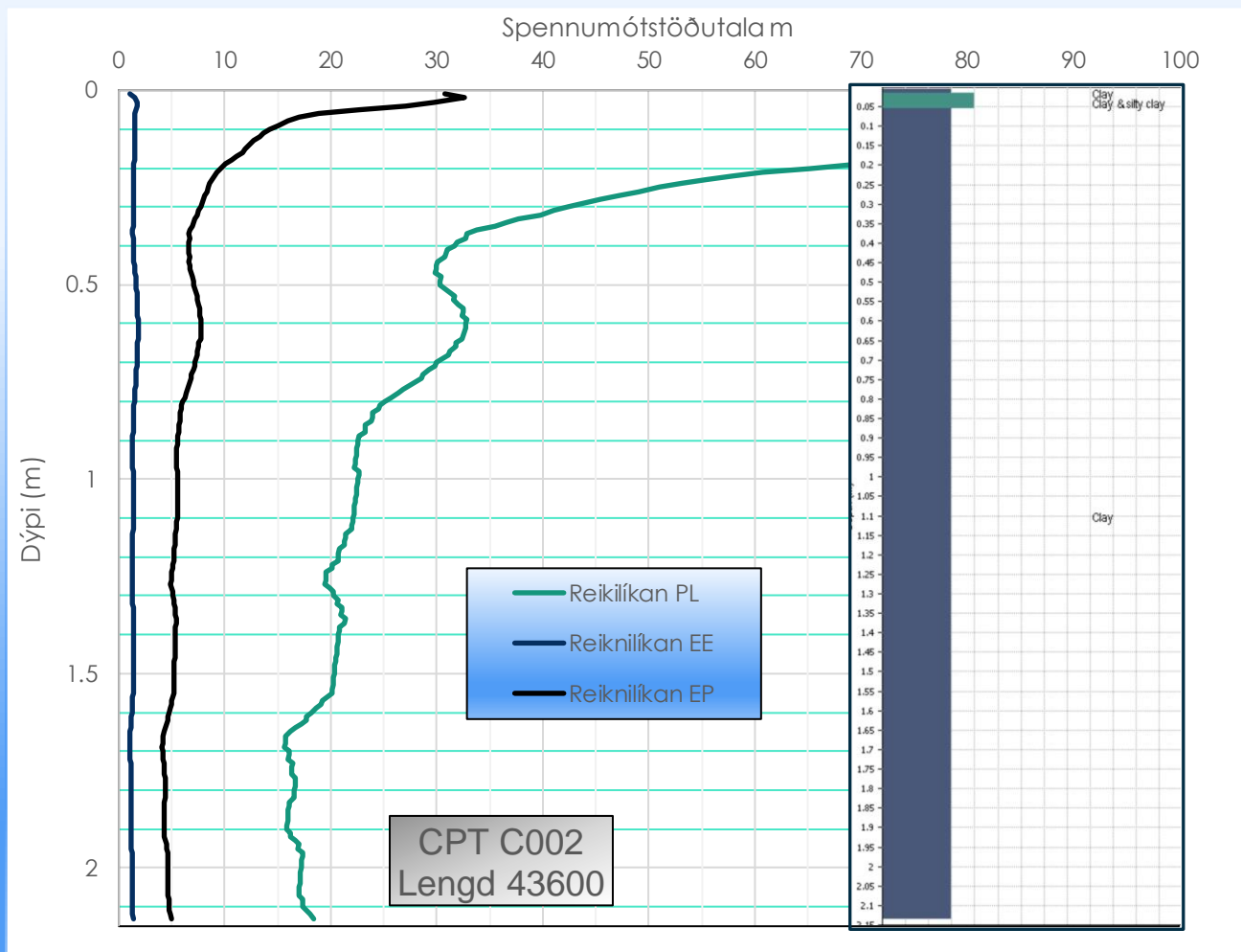
CPT jarðvegssnið í lengd 43600

Gögn frá rannsóknum á hringvegi á milli Hveragerðis og Selfoss notuð til þess að stilla af m gildi og ákveða siglíkan Skoðum gögn frá votlendissvæði við lengd 43600 í vegi. Þarna er jarðvegssnið mjög einsleitt.

Frá rakastigi sýnis frá þessum stað vitum við u.þ.b. hvað m ætti að vera



Prófun á reiknilíkönum og α gildum



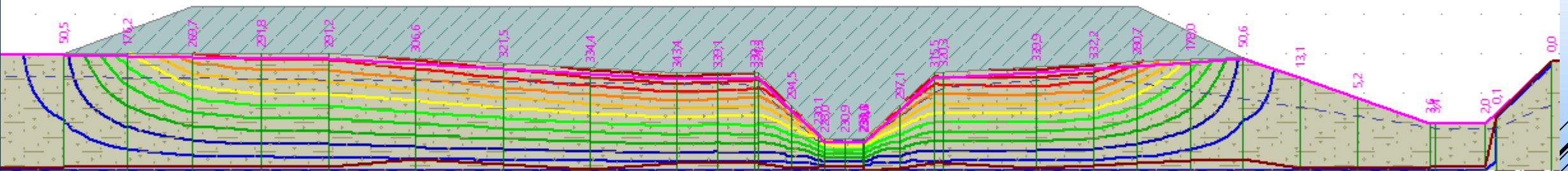
Reiknilíkan EP

α	m	a	Reiknað sig (cm)
0,2	5	0,5	41
0,3	6	0,5	34
0,4	8	0,5	26
0,55	10	0,5	21

Graf sýnir m miðað við $\alpha = 0,3$ í lengd 43600

Frá rakastigi er giskað á að m sé á bilinu 5-10

$$\alpha(q_t - \sigma) = m \times \sigma_a \left(\frac{\sigma'}{\sigma_a} \right)^{0,5}$$



Reikningur á sigi við stöð 43600 í hringvegi

Mælt sig var 26 cm

α	m	a	Reiknað sig (cm)
0,2	5	0,5	41
0,3	6	0,5	34
0,4	8	0,5	26
0,55	10	0,5	21

Niðurstaða: Reiknilíkan EP virðist gefa góða raun ($\alpha=0,5$)

Niðurstöður úr hringvegi milli Selfoss og Hveragerðis

CPT nr.	Merking á frumgögnum	Lengd í vegi	Mæling á sigi ¹	CPT Sigáætlun $\alpha_n=0,3$	Sigspá fyrir framkvæmd
			(cm)	(cm)	(cm)
C002	40021	43600	26,1	34	70
C003	40031	44300	35,6 ²	33	100
C004	40041	45200			
C005	40051	46000			
C006	40061	47600	67,6	77	128
C007	40071	47200	115	159	120
¹ HV vinnuskjal Vegagerðar um mælingu á sigi					
² Sig mælt við 44200					

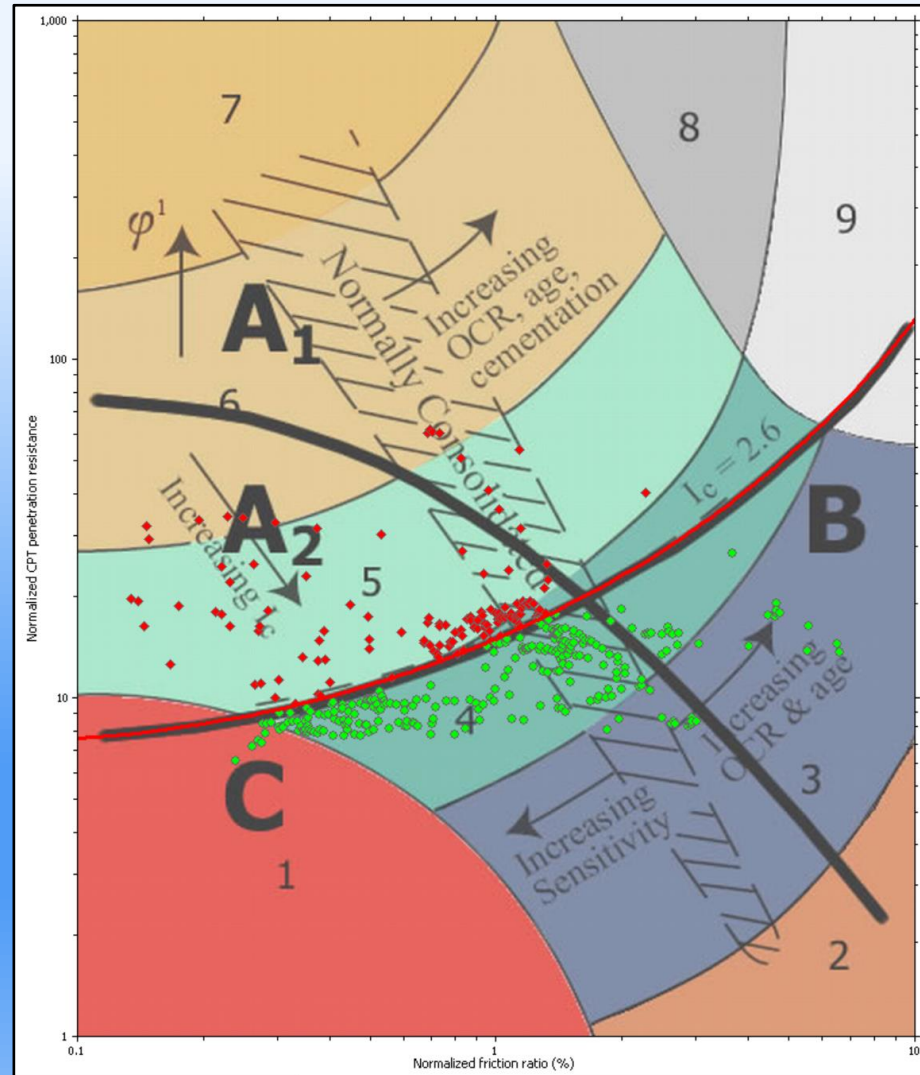
Nota $\alpha = 0,3$ vegna þess að líklegt er að mæling á sigi hafi ekki náð öllu siginu.

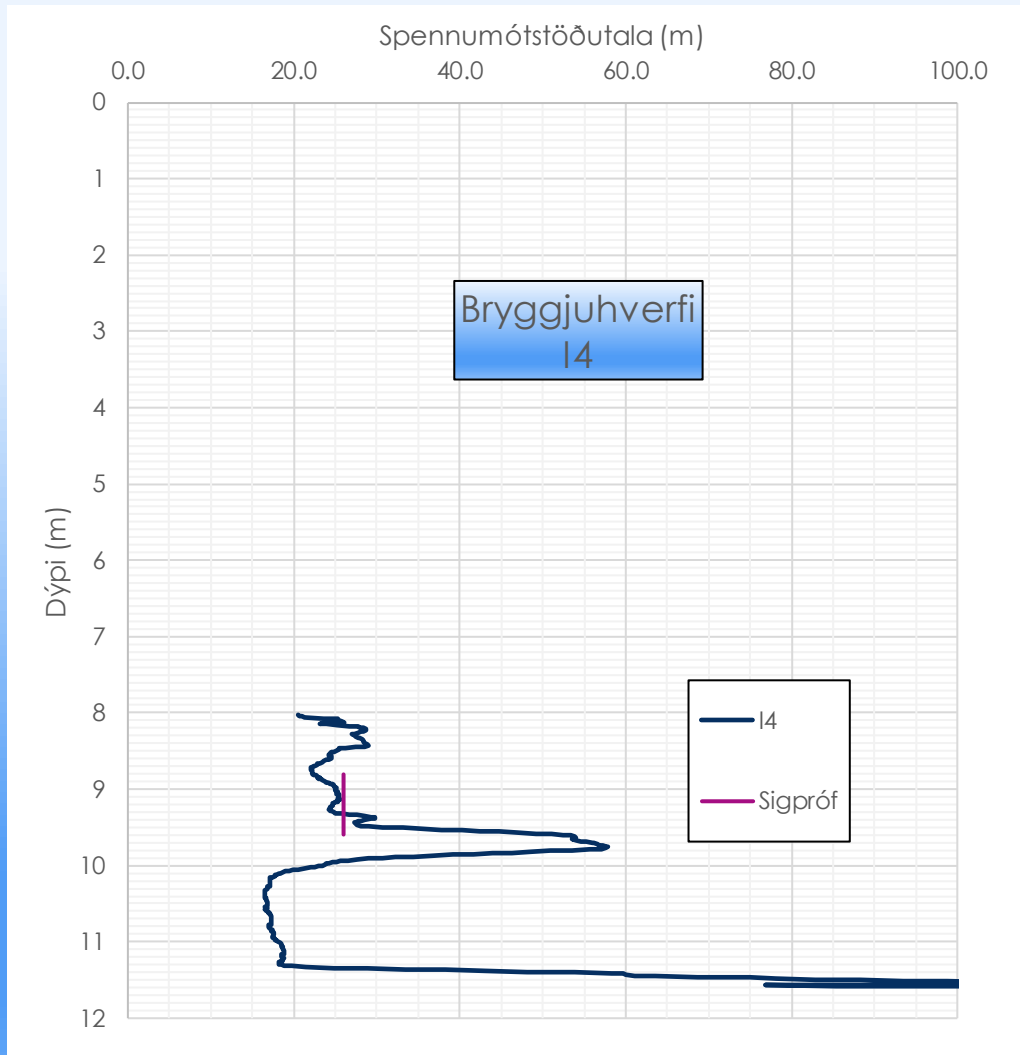
CPT jarðvegsflokkun úr Bryggjuhverfi

Í Bryggjuhverfi eru ekki til sigmælingar en hægt að nota spennumótstöðutölu úr sigprófum í rannsóknastofu til samanburðar og finna líklegt gildi á α

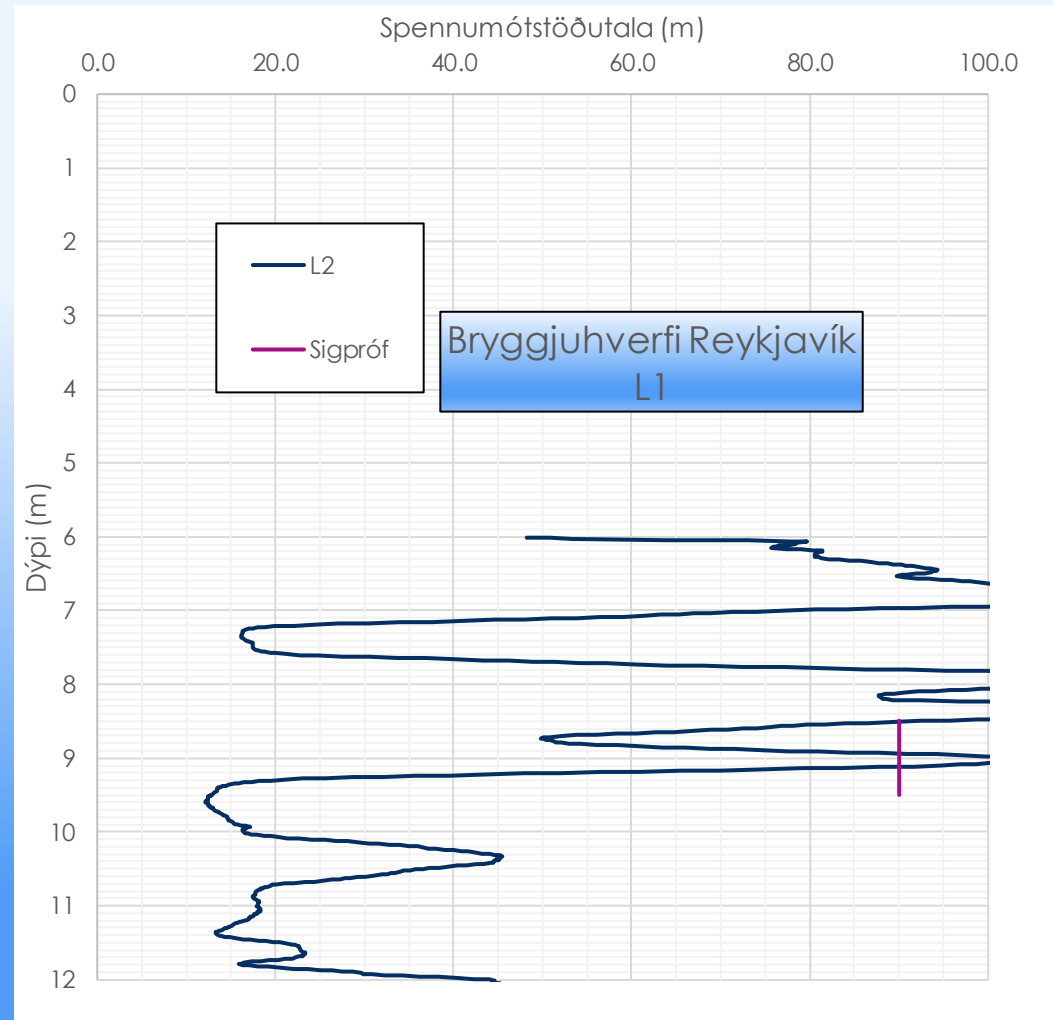
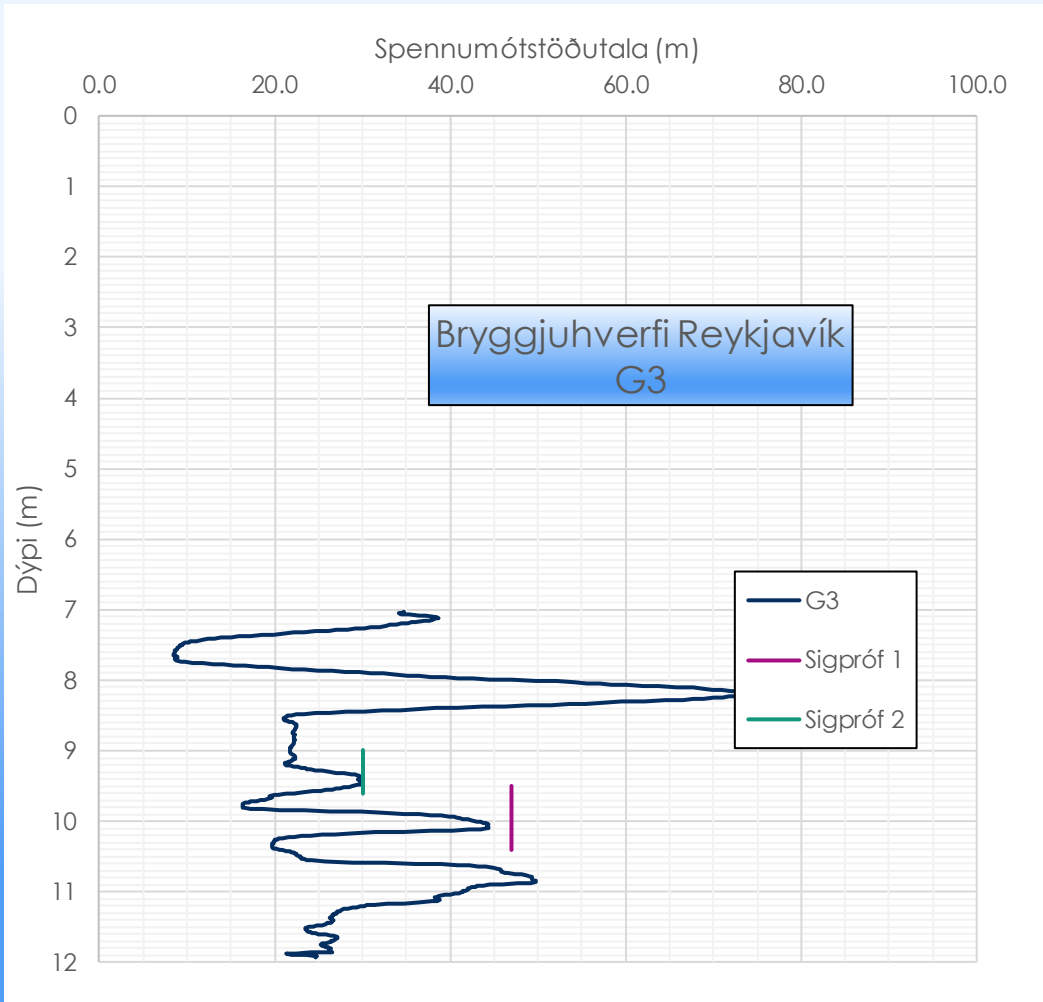
$$M = \alpha(q_t - \sigma)$$

Notað er sama siglíkan og áður þ.e. Janbu líkan EP

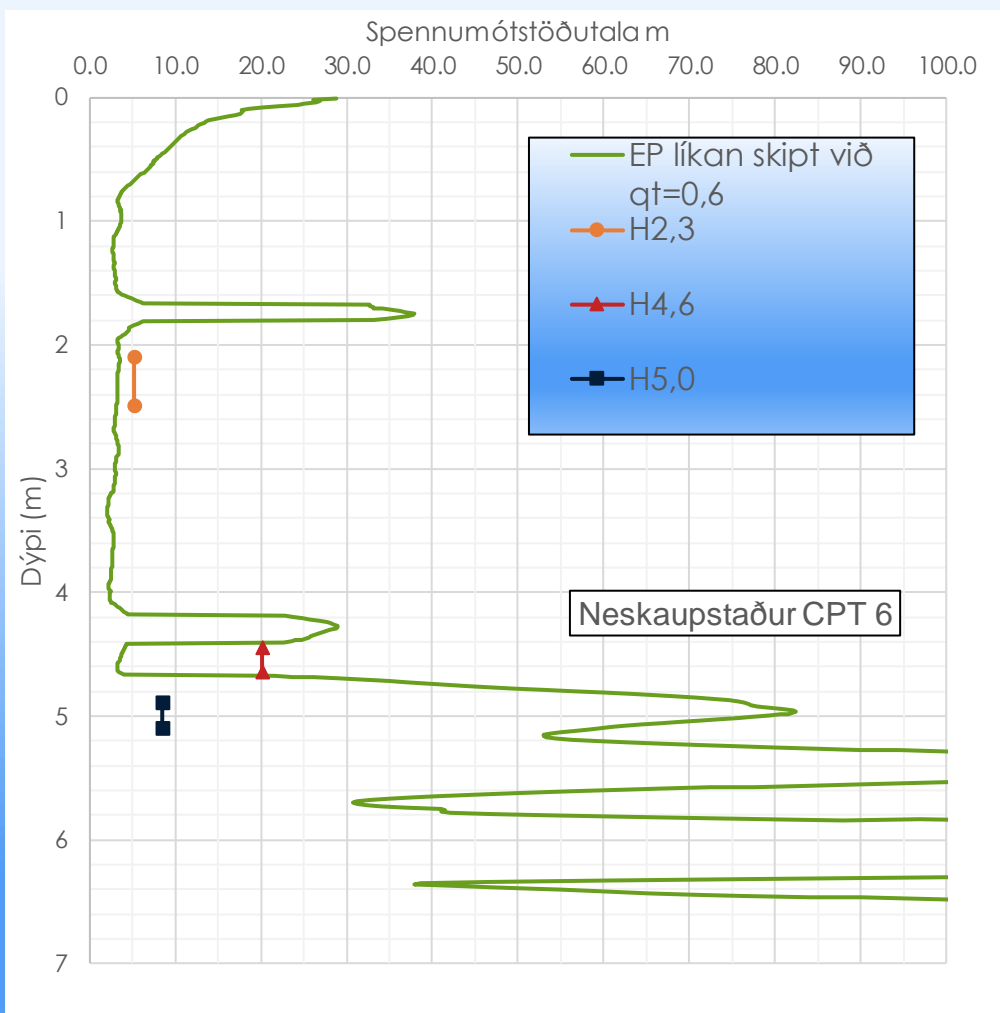
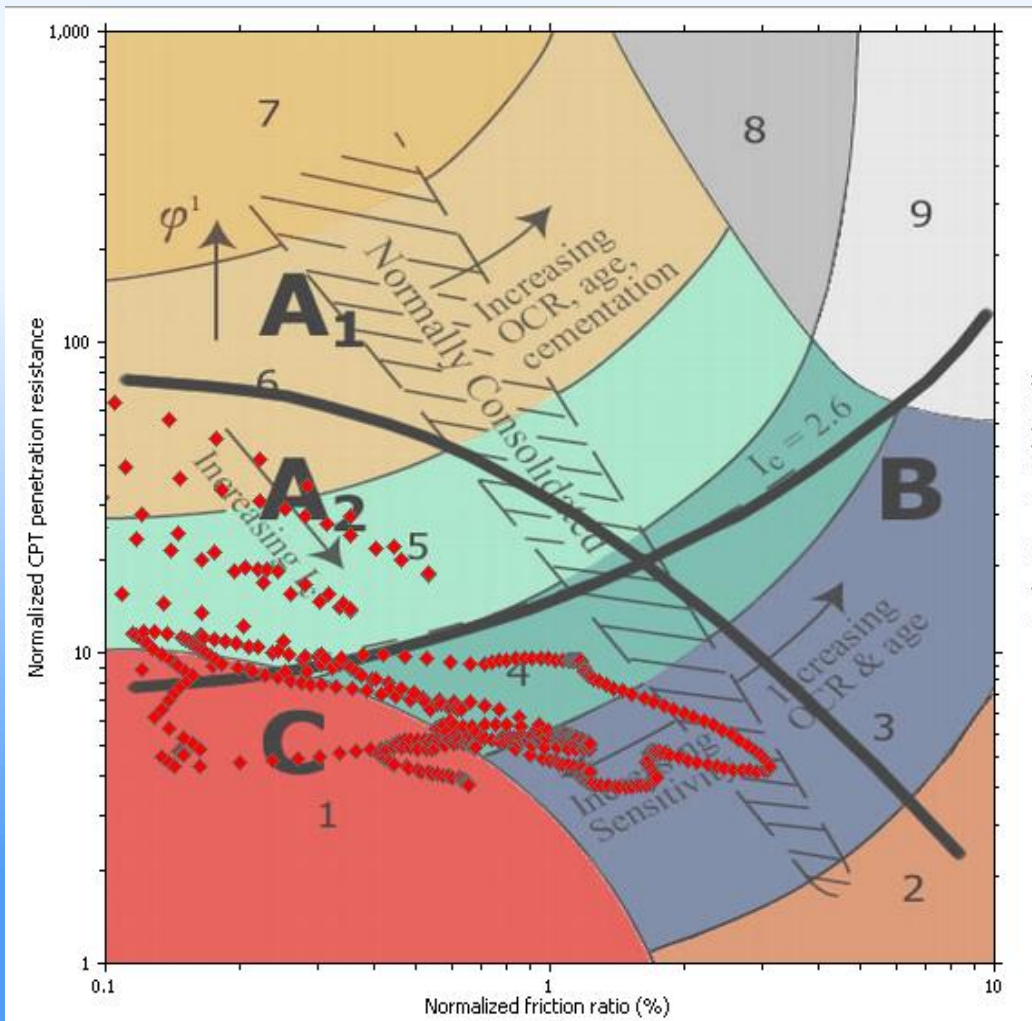


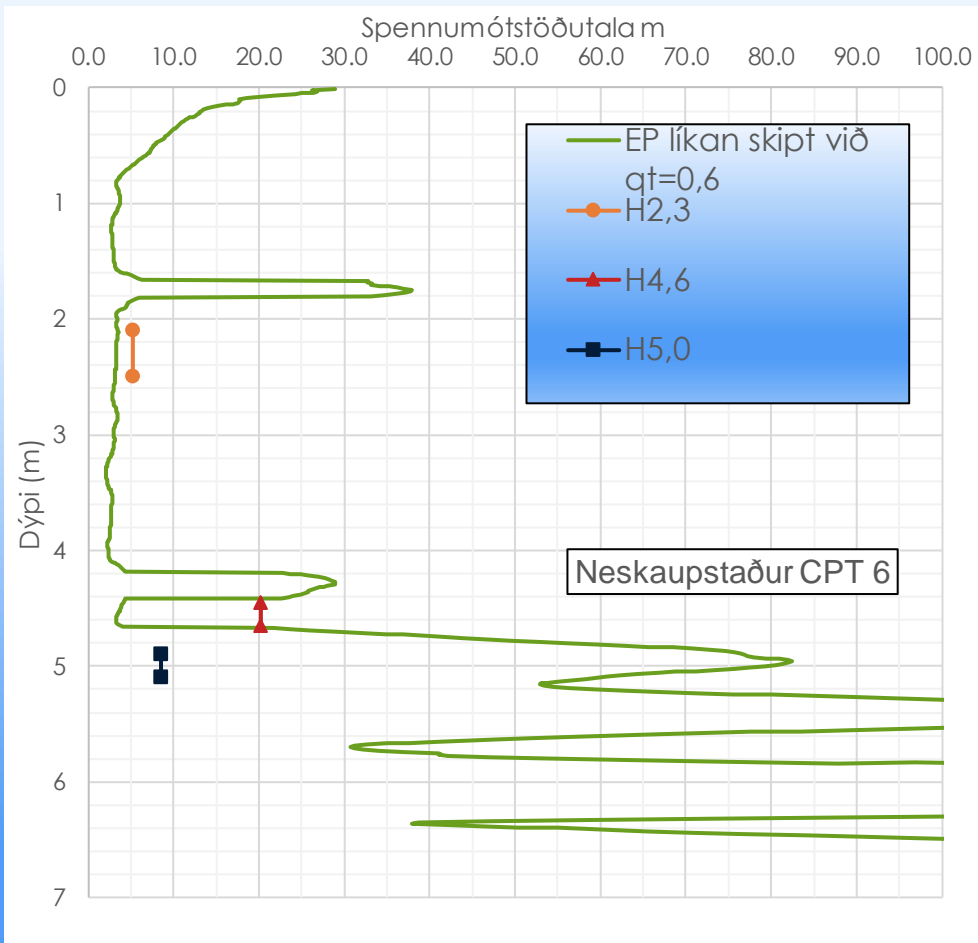


Niðurstaða er að með því að nota siglíkan EP og $\alpha = 2$ fæst góð samsvörun á milli m gildis úr sigprófum og CPT prófum



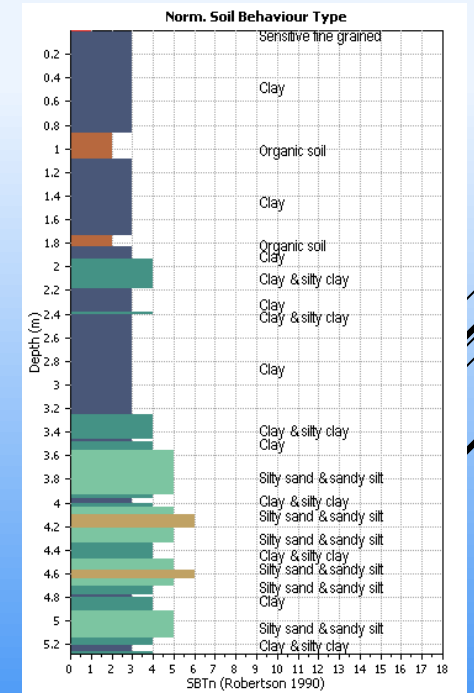
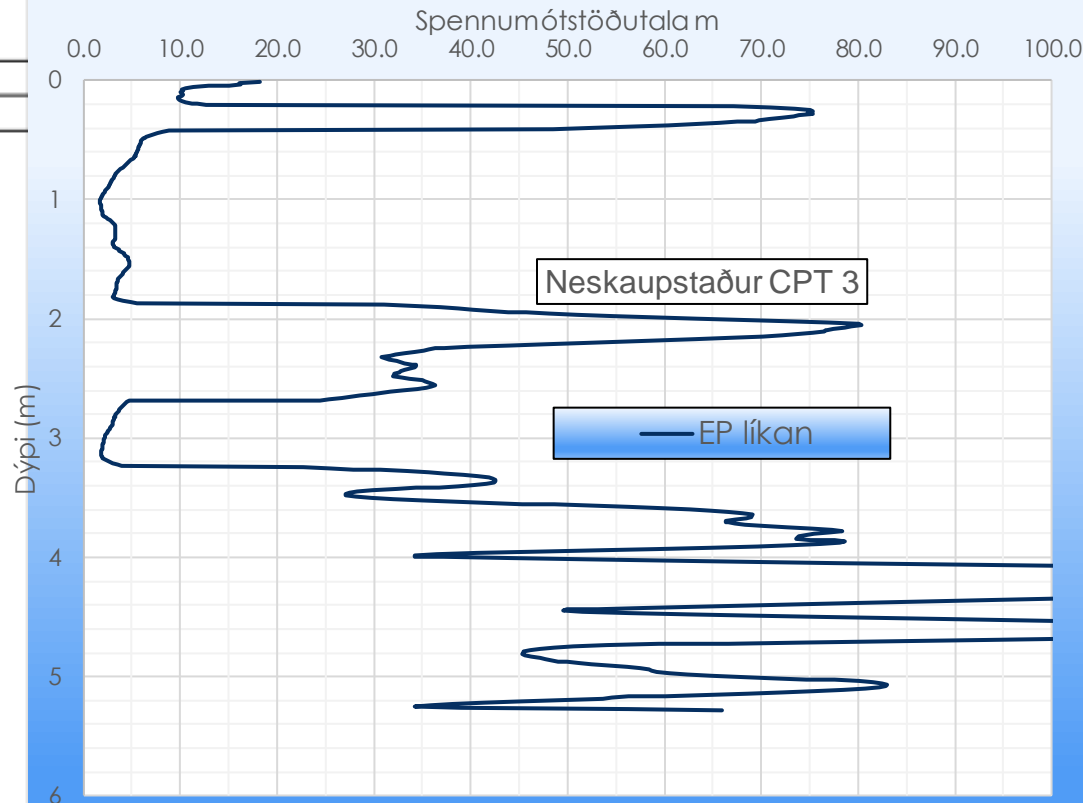
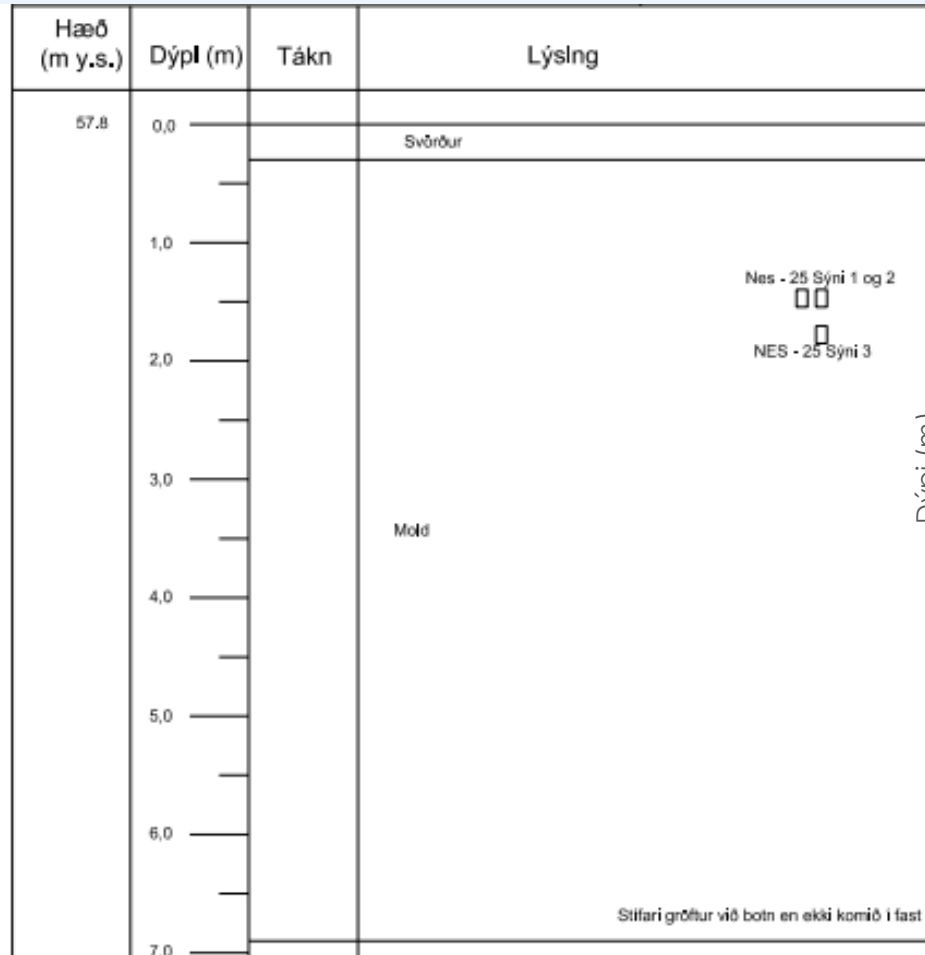
Neskaupstaður CPT -6





CPT sýnir góða samsvörun við sýni

Hvernig ber CPT saman við hefðbundnar könnunargryfjur ?

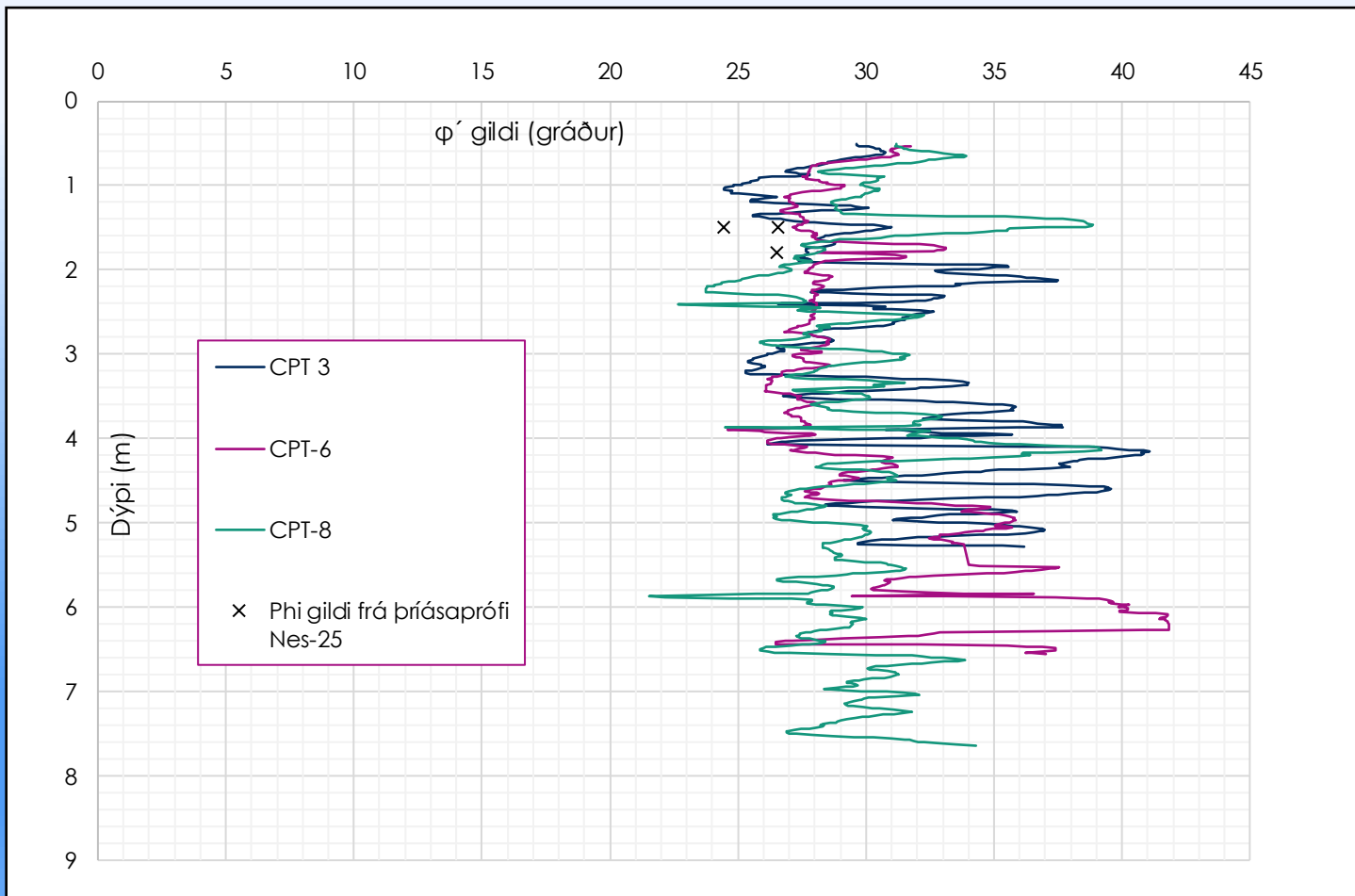


Samanburður á NES-25 og CPT -3

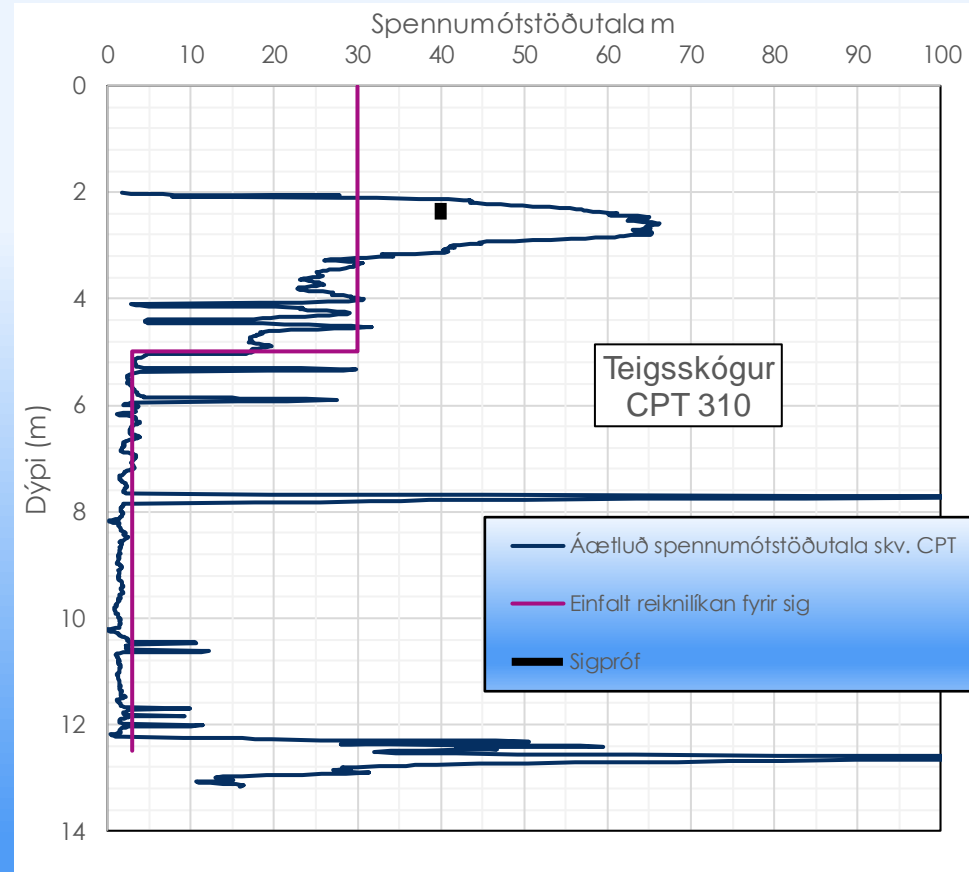
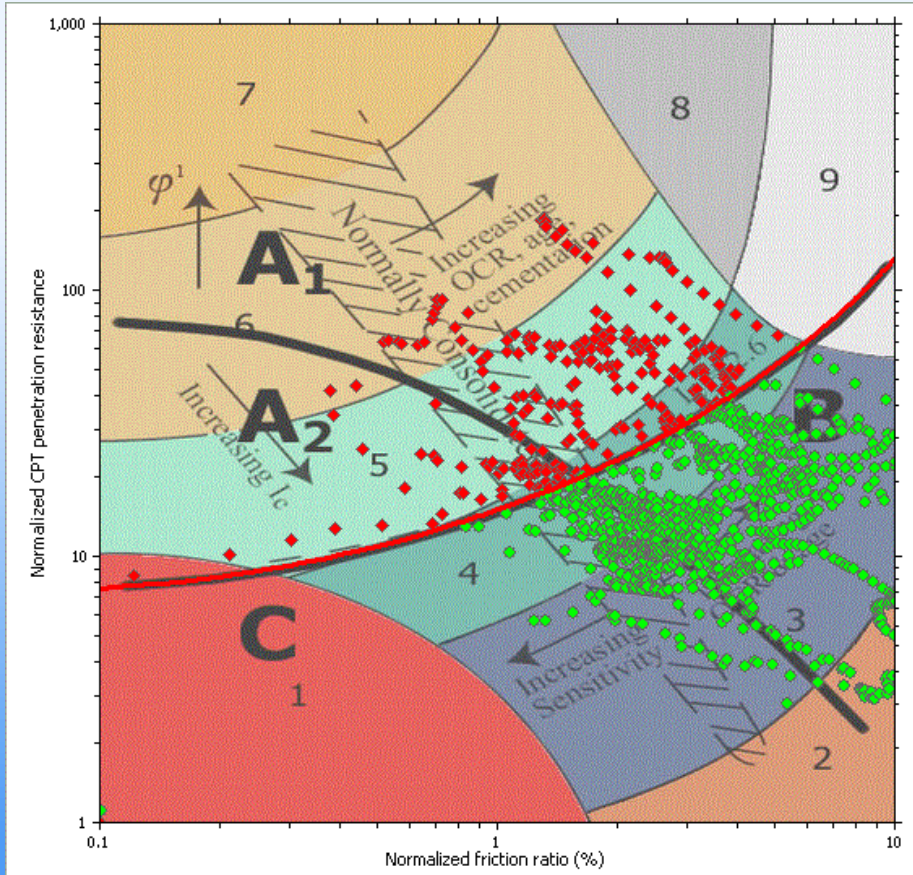
10 m á milli

Sýni voru notuð í þríasapróf

Neskaupstaður Samanburður á skerstyrk í Tx prófi og áætlun frá CPT



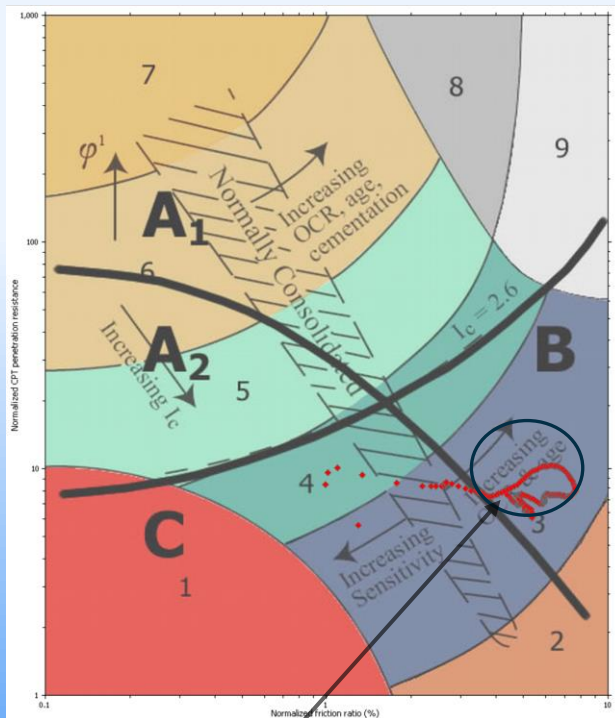
Sýni mundi augljóslega gefa ranga niðurstöðuvarðandi sig



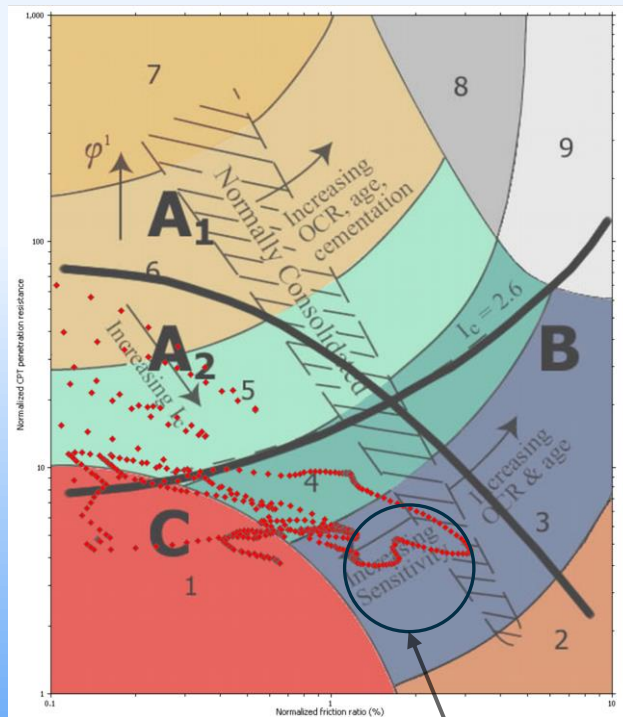
Efni í flokki 3 er normally til yfirstyrkt eins og í Hringveginum:

$$q_t \leq 0,6 \rightarrow \alpha = 0,3 \quad q_t > 0,6 \rightarrow \alpha = 2,0$$

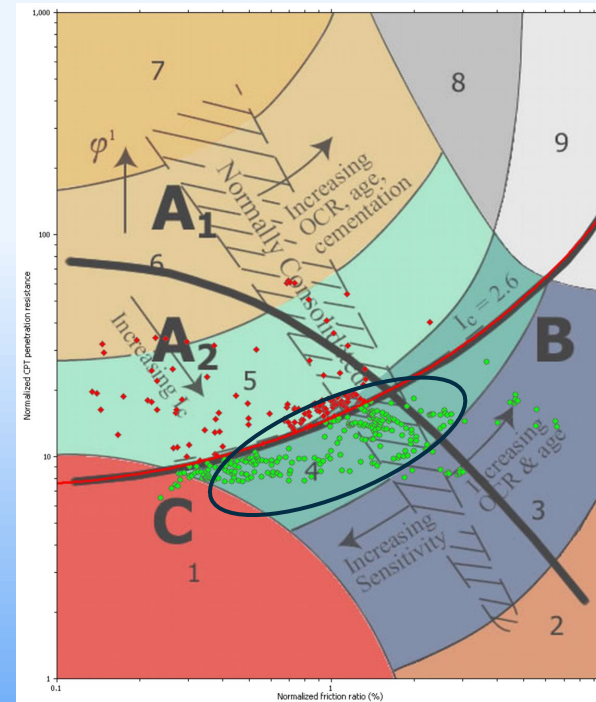
Samanburður á flokkun jarðefna skv. Robertson 1990 og áætluðu gildi á α_n .



Suðurlandsvegur CPT 40021 lengd 43600, $\alpha_n=0,3$



Neskaupstaður CPT 6 $\alpha_n=0,6$ fyrir efni í flokki 3 og $\alpha_n=2,0$ fyrir efni í flokki 4



D4 Bryggjuhverfi $\alpha_n=2,0$ í flokki 4-5

qt (MPa)	α_n
<0,6	0,3-0,6
>0,6	2

Niðurstöður

1. Miðað við takmarkaðar upplýsingar virðist mega nota CPT til þess að áætla sig
2. CPT hjálpar mjög við að túlka hefðbundnar rannsóknir
3. CPT virðist mega nota til þess að áætla aðra eiginleika jarðefna
4. Fullt af vandamálum sem þarf að reyna að leysa t.d. Preconsolidation, val á siglíkani ofl.

Takk fyrir þolímæðina

