



## Notkun CPT prófa til að meta sig í jarðvegi - Frumathugun

---

Verkefnið er styrkt af Rannsóknasjóði Vegagerðarinnar

Mái 2022

## Lykilsíða

| Númer skýrslu/gerð skýrslu  | Fjöldi síðna           | Dagsetning                 | Dreifing |
|---|------------------------|----------------------------|----------|
|   | 34                     | Maí 2022                   | Opin     |
| <b>Heiti skýrslu</b>  |                        |                            |          |
| Tilraun til að nota CPT próf til að áætla sigeiginleika jarðvegs á Íslandi  |                        |                            |          |
| <b>Report Title in English</b>  |                        |                            |          |
| Testing of CPT Data for Predicting Settlement Parameters in Icelandic Soils   |                        |                            |          |
| Höfundur/ar   | Verkefnastjóri         | Tengiliður Vegagerðarinnar |          |
| Björn Jóhann Björnsson  | Leifur Skúlason Kaldal | Þorbjörg Sævarsdóttir      |          |
| Styrktaraðili   | Samvinnuaðilar         |                            |          |
| Rannsóknarsjóður Vegagerðarinnar  | Hnit verkfræðistofa    |                            |          |
| <b>Útdráttur</b>  |                        |                            |          |
| <p>Lýst er fyrstu tilraun til þess að nota gögn sem fást úr Cone Penetration Testing (CPT) til þess að áætla sigeiginleika íslensks jarðvegs. Þetta er gert með því að bera saman mælingar á sigi og gögn úr sigprófum í rannsóknastofu við leiðrétt endaviðnám (<math>q_c</math>) úr CPT prófi á sama jarðvegi. Þannig er M stuðull (Constrained Deformation Modulus) jarðvegsins áætlaður og aðferðir Janbu notaðar til þess að reikna sig. Enda þótt lítið sé til af gögnum þá virðist mega nota CPT upplýsingar til þess að fá upplýsingar um sig í jarðvegi. CPT prófanir gefa þar að auki betri upplýsingar um jarðvegsgerð en fást með venjulegum gryfjugreftri og sýnatöku.</p> |                        |                            |          |
| <b>Abstract in English</b>  |                        |                            |          |
| <p>The report describes first attempts to correlate data obtained by Cone Penetration Testing (CPT) to settlement measurements of road embankments and Oedometer tests of Icelandic soils. The corrected cone resistance (<math>q_c</math>) is used to obtain the Constrained Deformation Modulus by correlation with existing data. Limited data indicates that useful information regarding the estimation of settlement properties may be obtained, using this approach and the procedure of Janbu for calculation of settlements. Furthermore, CPT data gives more accurate information on soil profiles than explorations pits with limited sampling.</p>                          |                        |                            |          |
| <b>Lykilorð</b>   |                        |                            |          |
| CPT, Cone Penetration, sig, sigspá, sigpróf, $q_c$ jarðtækni, deformation modulus   |                        |                            |          |
| Undirskrift verkefnastjóra  | Yfirfarið af           |                            |          |
| <i>Leifur Skúlason Kaldal</i>   | LSK                    |                            |          |

## Efnisyfirlit

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 1     | Inngangur .....   | 3  |
| 2     | Notkun CPT prófana til þess að áætla sig .....            | 4  |
| 3     | Aðferðir í þessari skýrslu .....                          | 8  |
| 4     | Gögn úr Suðurlandsvegi milli Hveragerðis og Selfoss ..... | 9  |
| 4.1   | CPT próf úr Suðurlandsvegi .....                          | 10 |
| 4.2   | Afstilling miðað við CPT 0002 og stöð í vegi 43600 .....  | 11 |
| 4.2.1 | Síglíkan EE í stöð 43600 .....                            | 11 |
| 4.2.2 | Síglíkan PL í stöð 43600 .....                            | 12 |
| 4.2.3 | Síglíkan EP í stöð 43600 .....                            | 12 |
| 4.3   | Stöð 44300 .....  | 13 |
| 4.4   | Stöð 47200 .....  | 14 |
| 4.5   | Stöð 47600 í Suðurlandsvegi .....                         | 16 |
| 4.6   | Niðurstaða fyrir Suðurlandsveg .....                      | 17 |
| 5     | Gögn frá Bryggjuhverfi .....                              | 18 |
| 6     | Gögn frá Neskaupstað .....                                | 21 |
| 6.1   | Sigpróf á „óhreyfðum“ sýnum .....                         | 21 |
| 6.2   | Spennumótstöðutala frá CPT prófum í Neskaupsstað .....    | 22 |
| 7     | Skerstýrkur áætlaður frá CPT prófum í Neskaupsstað .....  | 24 |
| 8     | Teigsskógur vegagerð .....                                | 25 |
| 8.1   | Sigpróf á sýni úr holu 311 .....                          | 25 |
| 8.2   | CPT próf .....  | 27 |
| 9     | Brekkaheiði CPT .....                                     | 29 |
| 10    | Val á spennumótstöðu (M) og síglíkani .....               | 31 |
| 11    | Niðurstöður .....   | 33 |
| 12    | Teikningar .....  | 34 |

## 1 Inngangur

Vegagerðin hefur átt tæki til þess að framkvæma Cone Penetration Test (CPT) í um 25 ár. Þessi tæki hafa verið notuð nokkuð en segja má að CPT prófanir hafi ekki verið notaðar kerfisbundið í rannsóknum vegna veg- eða brúahönnunar. Þess vegna er ekki mikil reynsla til staðar hérlandis til þess að tengja efniseiginleika jarðvegs við niðurstöður úr CPT prófum. Erlendis er þessu víða öðruvísi farið og CPT próf er notað sem megin rannsóknáferð við könnun á lausum jarðlögum og mikil reynslubanki hefur byggst upp varðandi mat á eiginleikum jarðlaga með CPT prófum.

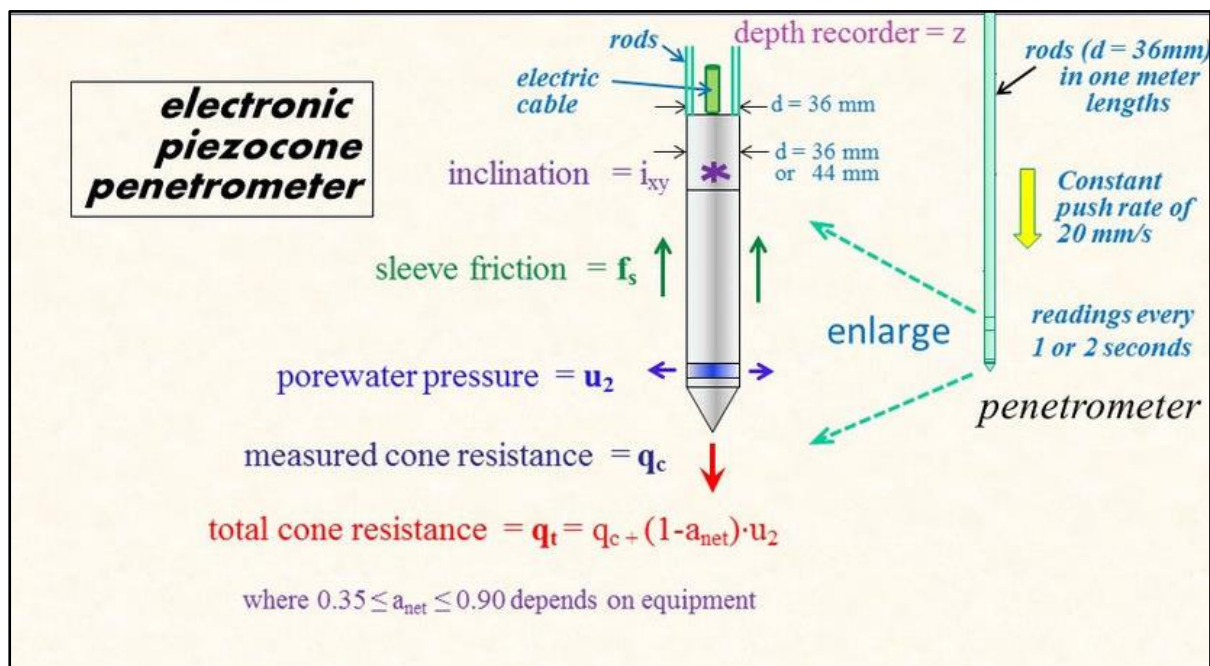
CPT próf er „in situ“ próf og slíkt próf geta haft umtalsverða kosti fram yfir rannsóknir á sýnum sem eru yfirleitt meira eða minna hreyfð.

Mælingar með CPT skynjara eru teknar með 1 cm millibil og gefa þannig mjög mun nákvæmara yfirlit yfir jarðlög í prófunarsniðinu heldur en gryfjurgroftur. CPT prófið er auk þess einfalt í framkvæmd og um það gildir ASTM staðall D5778 og EN ISO 22476-1.

Mæld eru þrjú grunnildi í CPT prófi:

- Viðnám á enda CPT oddsins (cone resistance)  $q_c$
- Viðnám á hlið oddsins (sleeve friction)  $f_s$
- Vatnsþrýsingur fyrir ofan enda oddsins (pore pressure)  $u_2$

Mynd 1.1 sýnir CPT odd og skýrir mæligildin sem safnað er.



Mynd 1.1 Oddur í Cone Penetration Test. (Mynd: Cone Penetration Testing Manual for Highway Geotechnical Engineers MnDOT Manual on CPT)

Þessir þrjú þættir eru síðan meðhöndlaðir á ýmsa vegu og notaðir til þess að áætla gerð jarðlaga og ýmsa eiginleika þeirra, svo sem:

Flokkun jarðefna  
 Yfirstyrkingu (Over Consolidation Ratio)  
 Ódrenaðan skerstyrk  
 Drenaðan skerstyrk  
 Sigeiginleika  
 Rúmþyngd  
 Ysjun

Allt byggir þetta á reynslu og tölfraeðilegu samhengi á milli eiginleika mældra með CPT og prófum í rannsóknastofu eða reynslu.

Höfundar skýrslunnar bera ábyrgð á innihaldi hennar. Niðurstöður hennar ber ekki að túlka sem yfirlýsta stefnu Vegagerðarinnar eða álit þeirra stofnana eða fyrirtækja sem höfundar starfa hjá.

## 2 Notkun CPT prófana til þess að áætla sig

Tilraunir til þess að nota CPT prófanir til þess að áætla sig hafa verið gerðar í áratugi með nokkuð misjöfnum árangri. Þau sambönd sem hafa verið þróuð hafa byggst á því að mæla  $M$  sem er yfirleitt nefnd spennumótstaða (Constrained Modulus) og mældur í venjulegu sigprófi á rannsóknastofu.

Hérlendis hefur aðferð Janbu<sup>1</sup> við athuganir á sigi verið mikið notuð og er því er í þessari athugum lögð áhersla á að finna samband á milli  $M$  eins og stærðin er mæld í sigprófi og CPT mæligagna. Spennumótstöðu má setja fram á eftirfarandi hátt:

$$M = mp_a \left( \frac{\sigma'_v}{p_a} \right)^{1-\alpha}$$

Þau sambönd sem hafa verið þróuð fyrir notkun á CPT mæligildum til þess að áætla  $M$  eru oftast þróuð fyrir áætlanir á sigi í leirefnum. Í þessari greinargerð er ekki tók á að fjalla um allar þær aðferðir og sambönd sem þróuð hafa verið. Gögn varðandi Íslensk jarðefni til viðmiðunar eru af mjög skornum skammti og því ekki eðlilegt að reyna að tengja margar aðferðir við svo takmarkað viðmiðunarmegni. Lunne et al (1992)<sup>2</sup> nefna nokkrar aðferðir til þess að áætla  $M$  með CPT prófum. Sú elsta af þeim er lýst af Sanglerat (1972)<sup>3</sup> og byggir á því að nota endaviðnám mælt í CPT  $q_c$  beint. Skv. þessu verður:

$$M = \alpha \times q_c$$

Þarna er  $\alpha$  stuðull sem liggur á bilinu 3-6 ef  $q_c > 2,0$  en á bilinu 1-3 ef  $q_c < 1-3$ . Fyrir lífrænar mýrar er þessi stuðull talinn vera lægri sbr. töflu 2.1.

<sup>1</sup> Janbu, N. (1970) Grunnlag í Geoteknikk. Tapir forlag Oslo 1970.

<sup>2</sup> Lunne T., Robertson P. K., Powell J. J. M., (1997). Cone Penetration Testing in Geotechnical Practice. Blackie Academic & Professional.

<sup>3</sup> Sanglerat G., (1972). The penetrometer and soil exploration. Elsevier Amsterdam 464 bls.

Tafla 2.1. Stuðull  $\alpha$  og rakastig mýra skv. Sanglerat (1972)

| Rakastig mýrar ( $\zeta$ )<br>(%) | $\alpha$             |
|-----------------------------------|----------------------|
| $50 < \zeta < 100$                | $1,5 < \alpha < 4$   |
| $100 < \zeta < 200$               | $1,0 < \alpha < 1,5$ |
| $\zeta > 200$                     | $0,4 < \alpha < 1,0$ |

Eurocode 7 (EN 1997-2:2007) mælir með að notuð sé jafna Sanglerat. Gildi sem Eurocode gefur fyrir stuðulinn  $\alpha$  eru hin sömu og Sanglerat gaf upp í upphaflegu riti og eru sýnd í töflu 2.2 .

Tafla 2.2. Ráðlögð gildi á  $\alpha$  til notkunar fyrir áætlanir á  $M$  frá CPT prófum

| Soil                       | $q_c$                  | $\alpha$             |
|----------------------------|------------------------|----------------------|
| Low-plasticity clay        | $q_c \leq 0,7$ MPa     | $3 < \alpha < 8$     |
|                            | $0,7 < q_c < 2$ MPa    | $2 < \alpha < 5$     |
|                            | $q_c \geq 2$ MPa       | $1 < \alpha < 2,5$   |
| Low-plasticity silt        | $q_c < 2$ MPa          | $3 < \alpha < 6$     |
|                            | $q_c \geq 2$ MPa       | $1 < \alpha < 2$     |
| Very plastic clay          | $q_c < 2$ MPa          | $2 < \alpha < 6$     |
| Very plastic silt          | $q_c > 2$ MPa          | $1 < \alpha < 2$     |
| Very organic silt          | $q_c < 1,2$ MPa        | $2 < \alpha < 8$     |
| Peat and very organic clay | $q_c < 0,7$ 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                     | $2 < q_c \leq 3$ MPa   | $2 < \alpha < 4$     |
|                            | $q_c > 3$ MPa          | $1,5 < \alpha < 3$   |
| Sands                      | $q_c < 5$ MPa          | $\alpha = 2$         |
|                            | $q_c > 10$ MPa         | $\alpha = 1,5$       |

Senneset et al. (1988)<sup>4</sup> setti fram eftirfarandi samband byggt á  $q_t$ :

$$M = \alpha_n \times q_n = \alpha_n (q_t - \sigma_{vo})$$

Par sem

$M$ : Spennumótstaða við  $\sigma_{vo}$

$q_t$ : Leiðrétt oddviðnám  $q_t = q_c + u_2(1 - a)$

$u_2$ : Þóruþrýstingur mældur við odd

$a$ : Cone area ratio

$\sigma_{vo}$ : Lóðrétt heildarspenna

$\alpha_n$ : Stuðull háður spennusögu, er á bilinu 4 til 8 fyrir normal consolideraðan leir.

Sandven (1990)<sup>5</sup> telur að  $\alpha_n$  fyrir silt með lága eða miðlungs rúmpýngd sé einnig á bilinu 4-8.

<sup>4</sup> Senneset K., Sandven R., Lunne T., (1988). Piezocone test in silty soils. ISOPT-1. Orlando, Balkema 955-699

<sup>5</sup> Sandven R. (1990). Strength and deformation properties of fine grained soils obtained from piezocone test. Norwegian University of Science and Technology (NTNU) Trondheim.

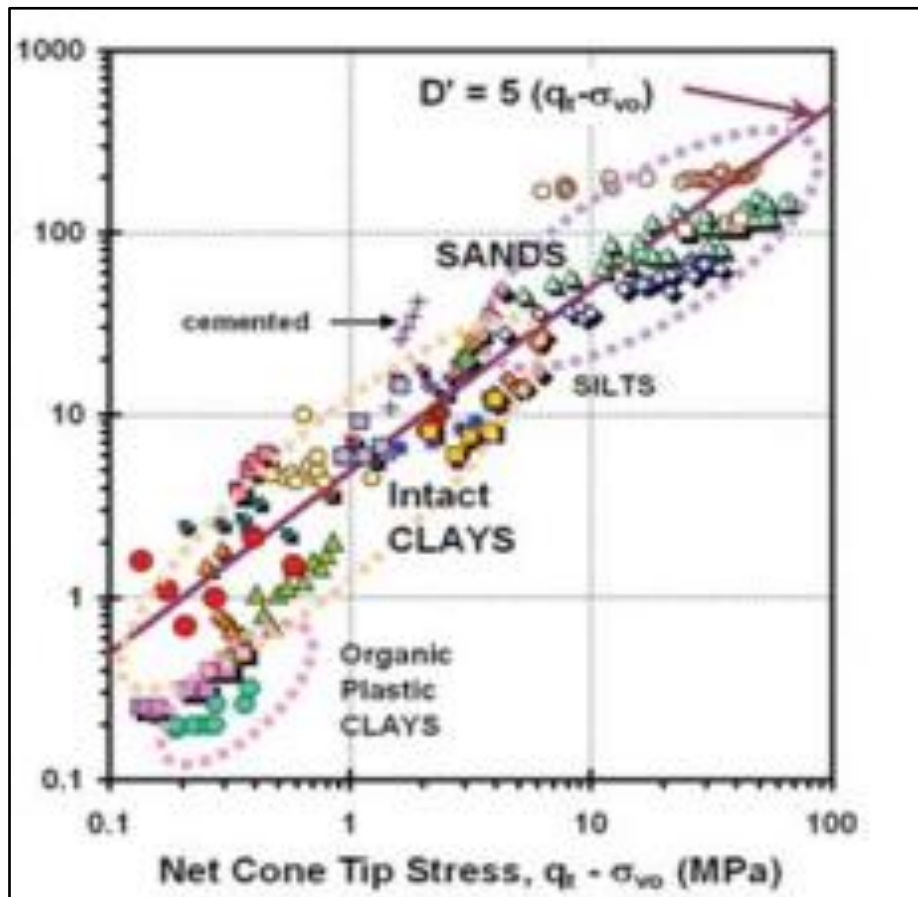
Rannsóknir á pólskum mýrum með  $400 < \zeta < 500$  % (Chmielewska 2021)<sup>6</sup> sýna að  $\alpha_n \approx 0,8$  en upphaflegi stuðullinn  $\alpha = 0,7$ . Mayne (2007)<sup>7</sup> tók saman gögn um stuðulinn  $\alpha_n$  sem sýnd eru á mynd 2.1.

Spennumótstaða er bæði háð virkri spennu og spennusögu í jarðvegi. Til þess að meta sig í jarðvegi þarf að vita hvernig  $M$  breytist með lóðréttri virkri spennu í jarðvegi. Janbu<sup>8</sup> setti fram jöfnu og kerfi til þess að meta þessa þætti. Jafna Janbu er eftirfarandi:

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

þar sem

- $M$ : Spennumótstaða
- $m$ : Spennumótstöðutala
- $\sigma_a$ : Viðmiðunarþrýstingur (100 kPa) gerir jöfnuna einingarlega rétta
- $\sigma'$ : Virk lóðrétt spenna
- 1-a: Veldisvísir



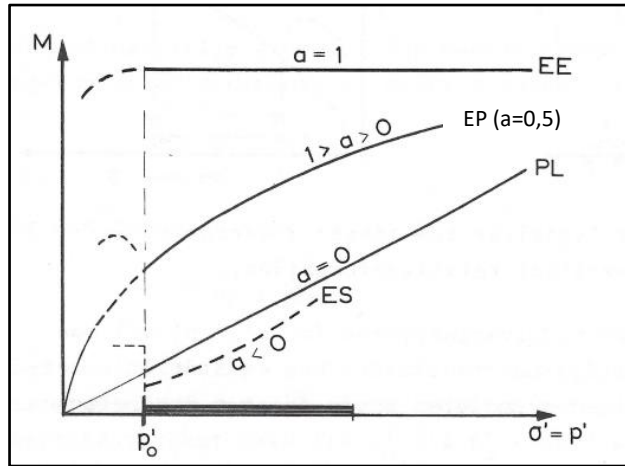
Mynd 2.1 Samband CPT gilda og spennumótstöðu skv. Mayne (2007).

<sup>6</sup> Chmielewska I. 2021. Evaluation of the Organic Soil Compressibility from in-situ and Laboratory Tests for Road Application. The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering 2021/16/2.

<sup>7</sup> Mayne, P.E. (2007). Insitu test calibrations for evaluating soil parameters. Characterization & Engineering Properties of Natural Soils, Vol 3 (Proc. Singapore 2006), Taylor & Francis, London: 1602-1652.

<sup>8</sup> Janbu, N. (1970) Grunnlag i Geoteknikk. Tapir forlag Oslo 1970.

Janbu velur síðan ákveðin gildi fyrir  $a$  til þess að fá fram 4 flokka af siglíkönum. Mynd 2.2 sýnir flokka siglíkana miðað við gildi á  $a$  og tafla 2.3 sýnir siglíkönin. Til þess að áætla sig þarf að ákveða hvaða siglíkan á að nota.



Mynd 2.2 Siglíkón skv. kenningu Janbu.

Tafla 2.3 Siglíkón skv. Janbu

| Líkan | $a$ | $M$                                   | Jafna fyrir sigi  |
|-------|-----|---------------------------------------|---|
| EE    | 1   | $M = m\sigma_a$                       | $\varepsilon = \frac{dP}{M}$  |
| EP    | 0,5 | $M = m\sqrt{\sigma' \times \sigma_a}$ | $\varepsilon = \frac{2}{m} \times \left[ \sqrt{\frac{\sigma'_F}{\sigma_a}} - \sqrt{\frac{\sigma'_0}{\sigma_a}} \right]$ |
| PL    | 0   | $M = m\sigma'$                        | $\varepsilon = \frac{1}{m} \times \frac{\sigma'_F}{\sigma'_0}$  |
| ES    | <0  | Sérstök jafna ekki til                |   |

Af þessum hugleiðingum leiðir að ef reynt er að finna samband á milli  $M$  og gilda sem fást með CPT prófum þarf einnig að ákveða hvaða siglíkan á að nota til þess að meta sig.

Skýrsluhöfundur hefur rekist á eina jöfnu sem metur  $m$  (spennumótstöðutölu) beint út frá CPT mælingum (sjá Massarsch et al. 1997<sup>9</sup>). Jafnan er eftirfarandi:

$$m = a \left( \left( \frac{q_t}{\sigma_a \times \sigma'_{v0}} \right) \times \left( \frac{3}{1 + K_0} \right) \right)^{0,5}$$

þar sem

- $a$ : stuðull sem er háður jarðvegsgerð, liggur á bilinu 7 til 35 fyrir silt og sand
- $K_0 = 1 - \sin\phi$  láréttur hvíluþrýstingur

Jafnvel þó þessi jafna sé notuð þarf að ákveða hvaða siglíkan á að nota til þess að áætla sig.

<sup>9</sup> Massarsch, K.R., Westerberg, E., and Broms, B.B. (1997). Footings supported on settlement-reducing vibrated soil nails. 15th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, ICSMFE, Hamburg 97, Vol. 3, pp. 1533 - 1539.



### 3 Aðferðir í þessari skýrslu

Ákvarða þarf tvær breytur til þess að þróa samband á milli CPT prófs og sigstuðla eða sigs:

1.  $\alpha_n$ : Virðist hafa gildi á bilinu 0,4 til 8,0 sbr. töflu 2.2.
2. Val á siglíkani: Þarna er um a.m.k. þrjú siglíkön að ræða.

Það er því um marga möguleika að velja. Það er því ekki hægt að prófa alla möguleika og samsetningar. Hér verður því leitast við að finna aðferð sem virkar miðað við þau gögn sem til eru og stilla spennumótstöðutölu í samræmi við þann gagnabanka sem til er varðandi spennumótstöðutölu jarðvegs í landinu.

Í þessari greinargerð verður notuð jafna Senneset et al. til þess að gera tilraun til þess að finna samhengi á milli mældra CPT gilda og  $M$  (spennumótstöðu). Valið byggist á því að notkun leiðréttis endaviðnáms þykir eðlilegra en að nota endaviðnámið beint eins Eurocode 7 gerir ráð fyrir. Val á siglíkani byggir á annars vegar flokkun jarðefna skv. Robertson (1990)<sup>10</sup> sjá mynd 3.1 og leiðréttu endaviðnámi  $q_t$ .

Flokkun jarðefna skv. Robertson (1990) byggir á normaliseruðu oddviðnámi (Normalized Cone Resistance)  $Q_{tn}$  og normaliseruðu viðnáms hlutfalli (Normalized Friction Ratio)  $F_r$ . Þessar breytur eru skilgreindar á eftirfarandi hátt:

$$Q_{tn} = \frac{q_t - \sigma_{vo}}{\sigma'_{vo}}$$

$$F_r = \frac{f_s}{q_t - \sigma_{vo}}$$

þar sem

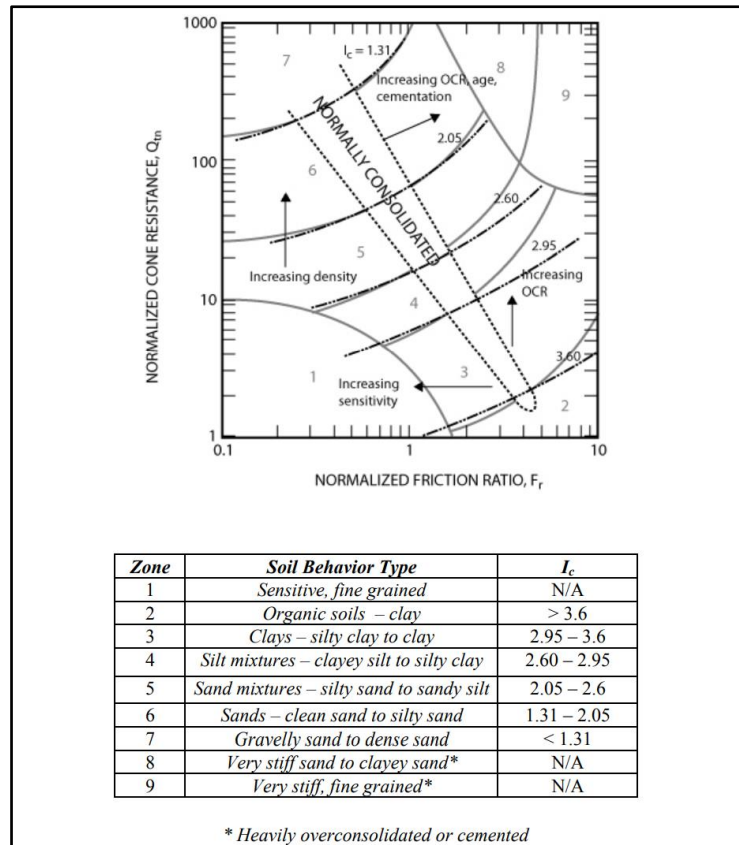
$$q_t = q_c + u_2(1 - a) \text{ leiðrétt oddviðnám}$$

$\sigma_{vo}$ : lóðrétt heildarspenna

$\sigma'_{vo}$ : lóðrétt virk spenna

$f_s$ : mælt viðnám á hlið CPT oddsins (sleeve friction)

<sup>10</sup> Robertson, P.K. (1990). Soil Classification using the Cone Penetration Test. Canadian Geotechnical Journal, 27(1) 151-8.



Mynd 3.1. Flokkun jarðefna skv. Robertson (1990).

#### 4 Gögn úr Suðurlandsvegi milli Hveragerðis og Selfoss<sup>11</sup>.

Vegagerðin gerði sex CPT próf á vegkaflanum frá stöð 43600 að stöð 47600. Þetta eru mýrarsvæði austan við Kotstönd og svæði aðeins austur af námuvegi að Þórustaðanámu. Af þessum sex prófunum eru fjórar prófanir staðsettar þar sem gerð hefur verið mæling á sigi með fergingu á veginum. Tafla 4.1 sýnir hvar þessi próf eru í veginum og mælingu á sigi í viðkomandi sniðum ásamt sigspá sem gerð var fyrir sniðið og byggði á sigprófum í rannsóknastofu. Snið af CPT prófum er að finna í jarðtækniskýrslu.

Tafla 4.1 CPT prófanir og sigmælingar milli Hveragerðis og Selfoss.

| CPT nr. | Merking á frumgögnum                                    | Stöð í vegi | Mæling á sigi <sup>1</sup><br>(cm) | Þykkt á siglagi<br>(m) | Sigspá<br>(cm) |
|---------|---|-------------|------------------------------------|------------------------|----------------|
| C002    | 40021   | 43600       | 26,1                               | 2,15                   | 70             |
| C003    | 40031   | 44300       | 35,6                               | 3,3 <sup>2</sup>       | 100            |
| C004    | 40041   | 45200       |                                    |                        |                |
| C005    | 40051   | 46000       |                                    |                        |                |
| C006    | 40061   | 47600       | 67,6                               | 3,9                    | 128            |
| C007    | 40071   | 47200       | 115                                | 4,5                    | 120            |
|         | <sup>1</sup> HV vinnuskjal Vegagerðar um mælingu á sigi |             |                                    |                        |                |
|         | <sup>2</sup> Sig mælt við 44200                         |             |                                    |                        |                |

<sup>11</sup> HRINGVEGUR HVERAGERÐI-SELFOSS Vegnúmer: 1-d6 VEGAGERÐIN JARÐTÆKNISKÝRSLA GIR OG GDR Mannvit og Vegagerðin, (2018).

Tekin voru þrjú sýni til rannsókna í sigprófi. Þessi sýni voru tekin úr mýrarjarðvegi og voru notuð til þess að áætla sig. Það er áberandi að sigspáin virðist ofáætla sig miðað við mælingar. Það er þó ekki hægt að ætlast til þess að 2 cm þykk sýni gefi nokkuð nema vísbendingu um sig á 2-3 m jarðvegssúlu.

Tafla 4.2 sýnir helstu niðurstöður úr sigprófum. Sýnin voru tekin á sömu stöðum og gerð voru CPT próf. Það er þó ekki gott að bera saman sigprófin við niðurstöður CPT mælinga vegna þess að ekki er hægt að lesa spennumótstöðu út úr niðurstöðum sigprófana beint og mjög mismundi gildi á spennumótstöðu ( $M$ ) fást eftir því hvort notaður er frumferill ( $P > P_c$ ) eða endurbjöppunarferill úr sigprófum. Þess vegna eru við úrvinnslu notaðar sigmælingar á þversniðum í veginum með fargi, sem fengnar voru frá verktaka við vinnu í veginum. Mælt sig í þessum sniðum var síðan notað til þess að bakreikna sigstuðla ( $m$ ) og þetta notað til þess að stemma af niðurstöður CPT prófa.

Tafla 4.2 Sigpróf úr vegstæði á milli Hveragerðis og Selfoss.

|  | Tákn        | Eining               | Gryfjur |       |       |
|--|-------------|----------------------|---------|-------|-------|
|  |             |                      | T0047   | T0053 | T0069 |
| Lengd í vegi   |             | m                    | 43600   | 44300 | 47200 |
| Dýpi   |             | m                    | 1,5     | 2,5   | 1,5   |
| Rök rúmþyngd   | $\gamma_m$  | (kN/m <sup>3</sup> ) | 10,56   | 11,85 | 10,35 |
| Þurr rúmþyngd  | $\gamma_d$  | (kN/m <sup>3</sup> ) | 2,43    | 3,25  | 1,61  |
| Virk lóðrétt spenna <sup>1</sup>                                 | $\sigma'_v$ | (kPa) <sup>1</sup>   | 5,84    | 9,62  | 5,52  |
| Forstyrking (Casagrande)   | $P_o$       | kPa                  | 40      | 40    | 20    |
| Kornarúmþyngd  | $G_s$       |                      | 1,8     | 2,25  | 2     |
| Rúmmál fasts efnis   | $V_s$       | m <sup>3</sup>       | 0,135   | 0,144 | 0,081 |
| Holrýmistala   | $e_o$       |                      | 6,4     | 5,9   | 11,4  |
| Rakastig   | $U_D$       | %                    | 336     | 264   | 545   |
| Compression Index  | $C_c$       |                      | 3,084   | 2,876 | 4,834 |
| Spennumótstaða (frumferils)                                      | $M$         | kPa                  | 32      | 53    | 33    |
| <sup>1</sup> Gert er ráð fyrir að grunnvatnsborð sé á 0,5 m dýpi |             |                      |         |       |       |

Sé tafla 4.2 athuguð kemur í ljós að skv. sigprófum er jarðvegurinn forstyrktur í stöð 43600 og 44300 en í stöð 47200 er forstyrking mun minni. Þetta er í samræmi við niðurstöður CPT prófa.

#### 4.1 CPT próf úr Suðurlandsvegi

CPT prófanir sýna tiltöluleg einsleitt jarðlag á öllum stöðum sem prófað var. Oddmótstaða ( $q_c$ ) er yfirleitt minni en 0,5 MPa og efnið flokkast aðallega í flokk 3 skv. flokkun Robertson frá 1990. Hérlandis hefur sig í mýrum oftast verið áætlað með siglíkani PL sem þýðir að spennumótstaðan er  $M = m\sigma'$ . Það

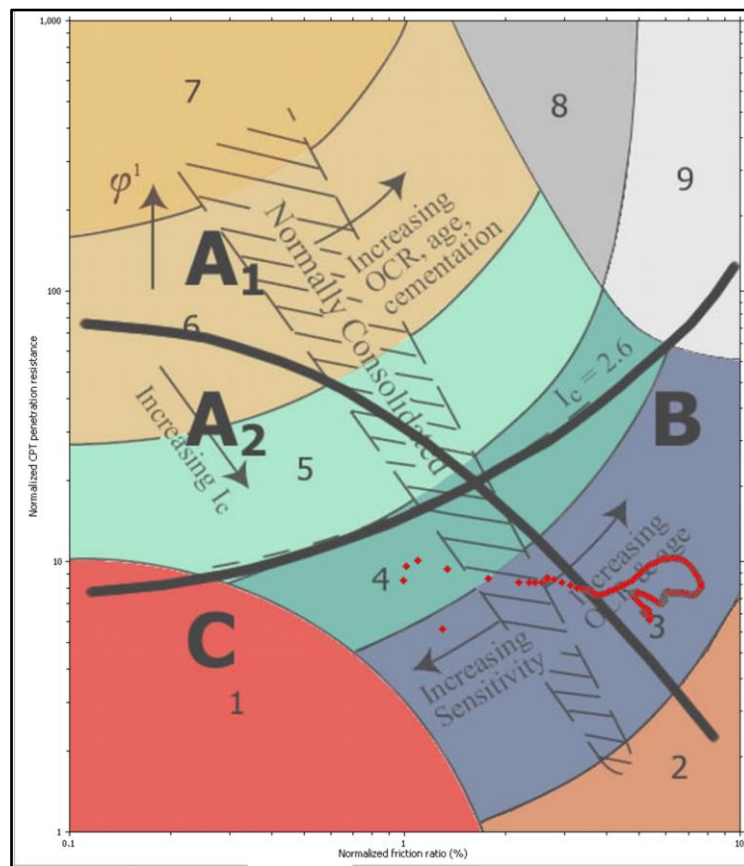
er því eðlilegt að reyna að samræma niðurstöður úr CPT prófum við þetta. Miðað við rakastig efnisins<sup>12</sup> ætti spennumótstöðutala ( $m$ ) að vera um 6. Það er því eðlilegt að stilla spennumótstöðuna frá CPT prófum þannig að  $m$  verði um 6. Notuð er jafnan:

$$m = \frac{M}{\sigma'_v} = \alpha_n (q_t - \sigma_{vo}) / \sigma'_v$$

og  $\alpha_n$  stillt af þannig að  $m \approx 6$  í jarðvegssniðinu og reiknað sig verði svipað og mælt sig.

#### 4.2 Afstilling miðað við CPT 0002 og stöð í vegi 43600

Í stöð 43600 er jarðvegssúlan mjög einsleit og því er valið að nota þetta snið til þess að stilla CPT prófin. Mynd 4.1 sýnir að skv. CPT 0002 er jarðvegur við stöð 43600 einsleitur og flokkast allur sem dálítið yfirstyrktur leir. Val á siglíkani og  $\alpha_n$  byggir því á sniðinu í stöð 43600 og samanburði við mælt sig sem var 26 cm þessu sniði. Niðurstöður úr þessu sniði eru síðan prófaðar miðað við önnur snið í veginum.



Mynd 4.1 CPT 0002. Lengd 43600 Flokkun jarðvegs.

##### 4.2.1 Siglíkan EE í stöð 43600

Vegna þess hve einleitur jarðvegurinn er kæmi til greina að nota siglíkan EE sem gerir ráð fyrir því að  $M$  sé fasti. Þetta líkan er talið virka vel t.d. fyrir yfirstyrktan leir og koma til greina fyrir litla spennuaukningu í lífrænni mýri. Tafla 4.3 sýnir niðurstöður reikninga á sigi miðað við siglíkan EE skv. Janbu og mismunandi gildi á  $\alpha_n$ . Við stöð 43600 mældist 26 cm sig í miðjum vegi.

<sup>12</sup> Jón Skúlason (1978) Rannsóknir á sigeiginleikum efna ákvörðuðum í ödometer. Unnið fyrir Vegagerð ríkisins sept 1978.

Tafla 4.3 Siglíkan PL. Sig við stöð 43600 miðað við  $\alpha_n$ 

| $\alpha_n$ | m   | a | Reiknað sig (cm) |
|------------|-----|---|------------------|
| 0,4        | 1,8 | 1 | 46               |
| 0,6        | 2,8 | 1 | 30               |
| 0,8        | 3,7 | 1 | 22               |
| 1,0        | 4,6 | 1 | 18               |
| 2,0        | 9,2 | 1 | 9                |

Skv. töflu 4.3 kæmi til greina að nota líkan EE með  $\alpha_n = 0,6$ . Spennumótstöðutalan er þó nokkuð lág miðað við það sem tíðkast hefur að nota hérlandis. Þá er heldur ekki víst að EE líkan gildi fyrir spennur í undirstöðu vegarins þegar vegfylling og farg bætast ofan á mýrina.

#### 4.2.2 Siglíkan PL í stöð 43600

Þetta er það siglíkan sem mikið hefur verið notað hefur verið við áætlun á sigi í mýrum hérlandis. Tafla 4.3 sýnir niðurstöður reikninga á sigi miðað við siglíkan PL skv. Janbu og mismunandi  $\alpha_n$ .

Tafla 4.4 Siglíkan PL. Sig við stöð 43600 miðað við  $\alpha_n$ 

| $\alpha_n$ | m  | a | Reiknað sig (cm) |
|------------|----|---|------------------|
| 0,07       | 5  | 0 | 113              |
| 0,15       | 10 | 0 | 56               |
| 0,2        | 15 | 0 | 37               |
| 0,3        | 20 | 0 | 28               |
| 0,4        | 30 | 0 | 19               |

Tafla 4.4 sýnir að miðað við líkan PL og að  $m = 5$  reiknast allt of mikið sig í vegsniðinu. Ef notað er  $\alpha_n$  gildi sem passar við pólskar mýrar (sbr. heimild 6) verður sigið of lítið.

#### 4.2.3 Siglíkan EP í stöð 43600

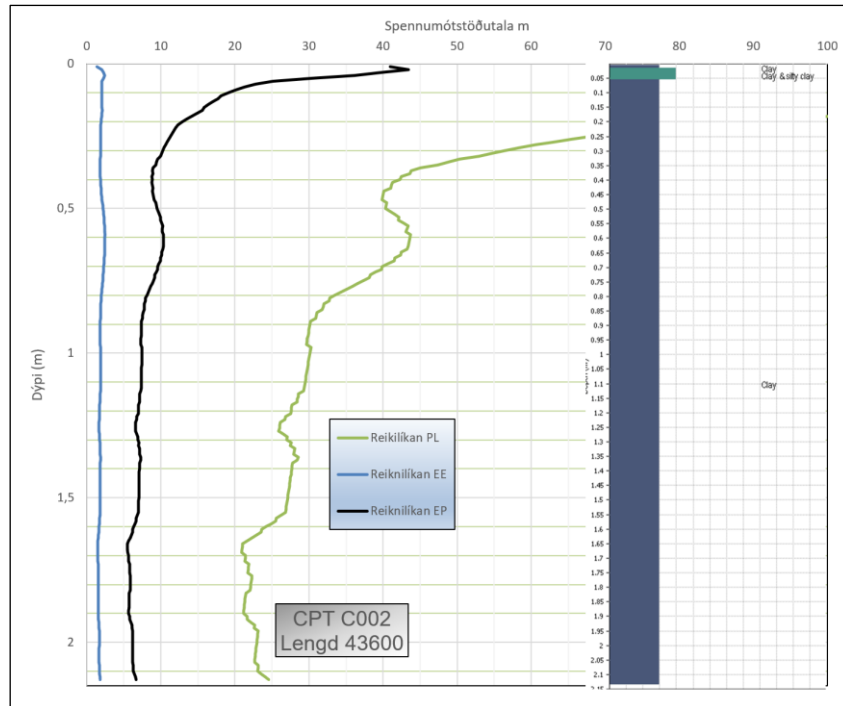
Skv. siglíkani EP er  $M = m \times \sqrt{\sigma' \times \sigma_a}$  þar sem  $\sigma_a$  er viðmiðunargildi til þess að gera sigjöfnuna rétta miðað við einingar. Gerð er sams konar athugun og fyrir siglíkan EE og PL. Niðurstöður eru sýndar í töflu 4.5.

Tafla 4.5 Siglíkan EP. Sig við lengd 43600 miðað við  $\alpha_n$ 

| $\alpha_n$ | 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               |

Skv. þessu gefur  $\alpha_n = 0,4$  eðlilega niðurstöður bæði miðað við mælt sig og gildi á m. Auk þess er  $\alpha_n = 0,4$  í samræmi við töflu 2.2. Þá kæmi einnig til greina að nota  $\alpha_n = 0,3$  og  $m=6$  með tilliti til þess að mælt sig ofan á fargið nær ekki að mæla allt heildarsigið.

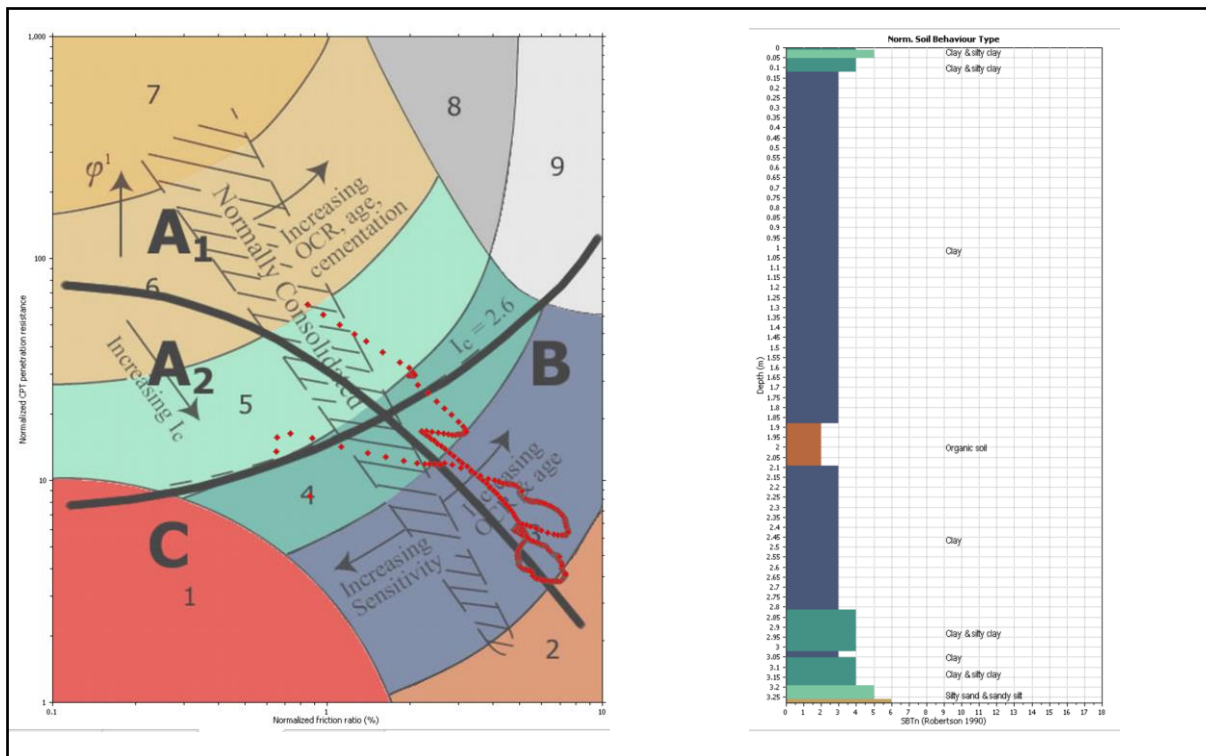
Mynd 4.2 sýnir dýptarsnið skv. CPT 002 þar sem reiknuð hafa verið út m gildi miðað við ofangreind þrjú siglíkön Janbus og  $\alpha_n = 0,4$ .



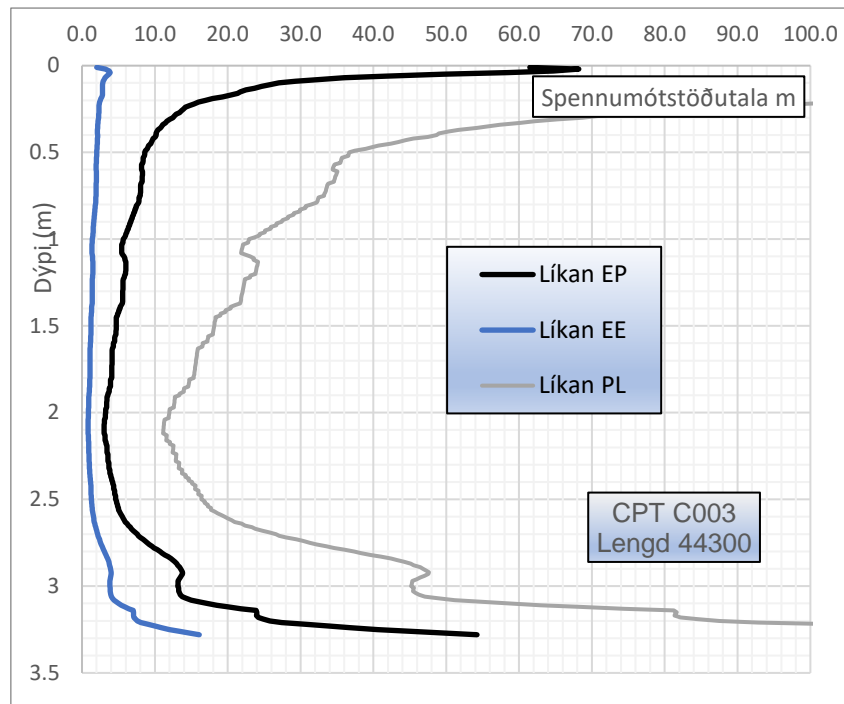
Mynd 4.2 Snið af m gildi við stöð 43600 miðað við  $\alpha_n=0,4$ . „Meðal“ m-gildi er metið 8.

### 4.3 Stöð 44300

Mynd 4.3 sýnir flokkun jarðefna og jarðvegssnið skv. flokkun Robertson (1990) við stöð 44300. Efnið er í aðalatriðum sambærilegt við efnið í stöð 43600 og því eðlilegt að nota sams konar aðferð til þess að meta sig. Efnið er í flokki 3 skv. Robertson (1990). Mynd 4.4 sýnir spennumótstöðutölu miðað við  $\alpha_n=0,4$ . Fyrir sigreikninga var gert ráð fyrir að  $m=6$ . Eins og áður er sig reiknað skv. líkani EP.

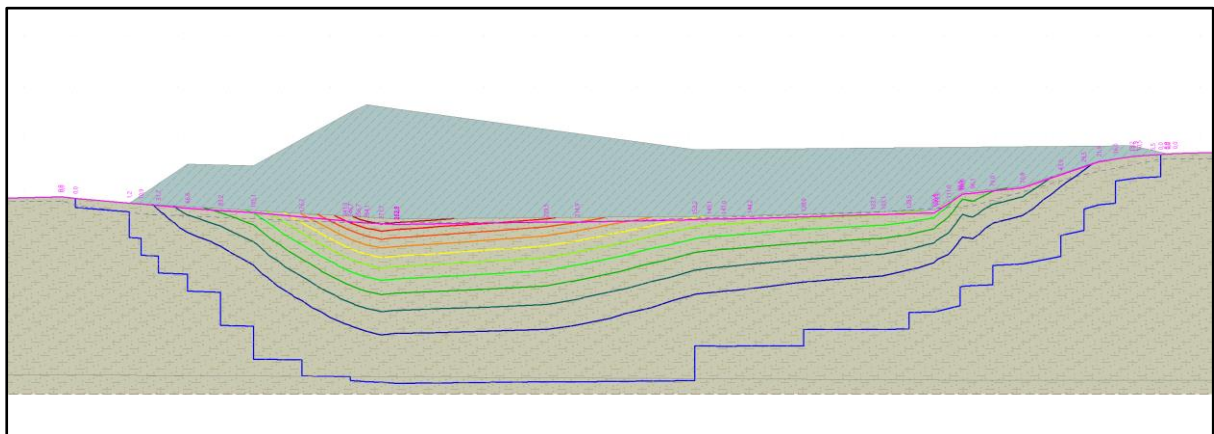


Mynd 4.3 Suðurlandsvegur stöð 44300. Flokkun jarðvegs og jarðvegssnið.



Mynd 4.4 Snið af m gildi við stöð 44300 miðað við  $\alpha_n=0,4$ . „Meðal m-gildi er metið 6.

Ekki eru til sigmælingar á þessum stað þannig að reiknað sig er borið saman við sig 100 m frá sniðinu. Ekki er því að búast við mikilli, samsvörun á milli reiknaðs sig og mældis sigs. Á mynd 4.5 eru sýndir reikningar á sigi miðað við ofangreindar forsendur. Reiknað hámarkssig er 27 cm.

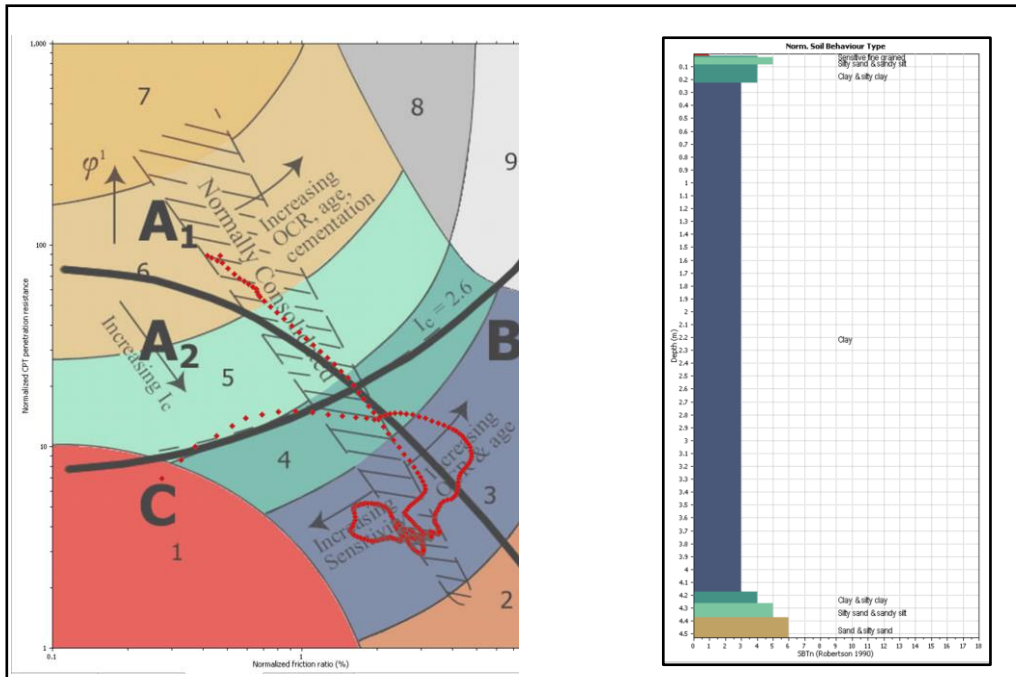


Mynd 4.5 Siglíkan stöð 44300 í Suðurlandsvegi. Mesta sig reiknast 27 cm miðað við  $\alpha_n=0,4$ .

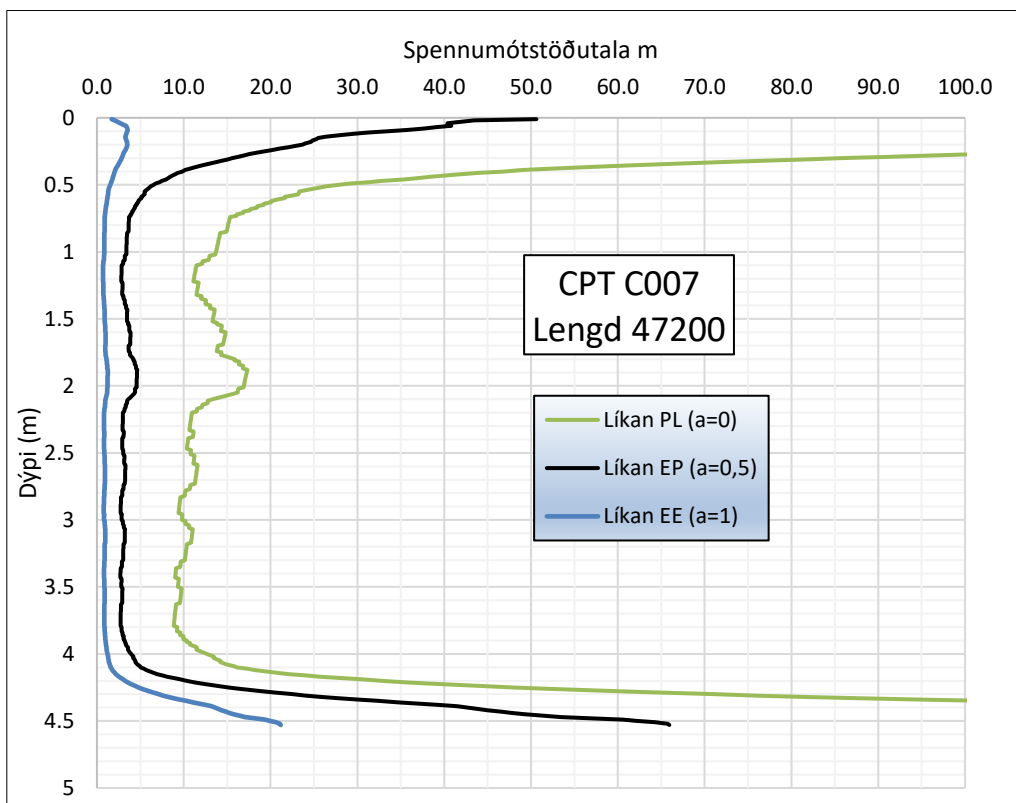
#### 4.4 Stöð 47200

Mynd 4.6 sýnir flokkun jarðvegs og jarðvegssnið skv. Robertson (1990). Um er að ræða einsleitann jarðveg sem heita má að sé lítið sem ekkert yfirstyrktur. Mynd 4.7 sýnir spennumótstöðutölu skv. þremur siglíkönum Janbu og eins og áður er notað siglíkan EP til þess að áætla sig. Spennumótstöðutalan (m) miðað við  $\alpha_n=0,4$  er áætluð 3,5 nema í efsta 0,5 m bilinu þar sem spennumótstöðutalan er áætluð 25.

Mynd 4.8 sýnir niðurstöður sigreikninga fyrir sniðið í stöð 47200. Eins og sést er reiknað sig skv. þessum forsendum 113 cm sem ber vel saman við mælt sig upp á 116 cm.

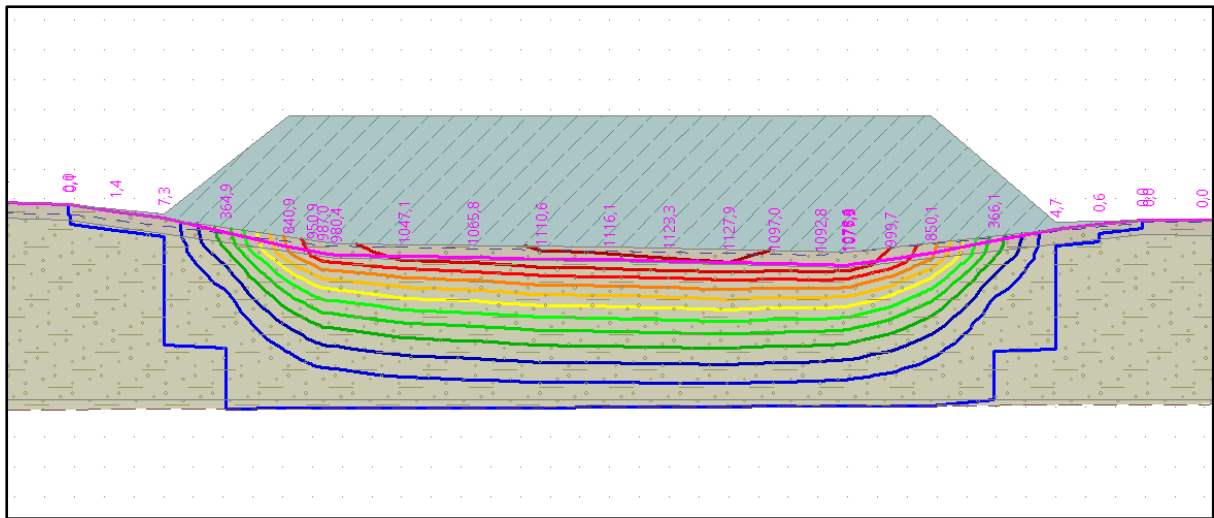


Mynd 4.6 Efnisgerð og jarðvegsnið í stöð 47200.



Mynd 4.7 Spennumótstöðutala í jarðvegssniði við stöð 47200 í Suðurlandsvegi.

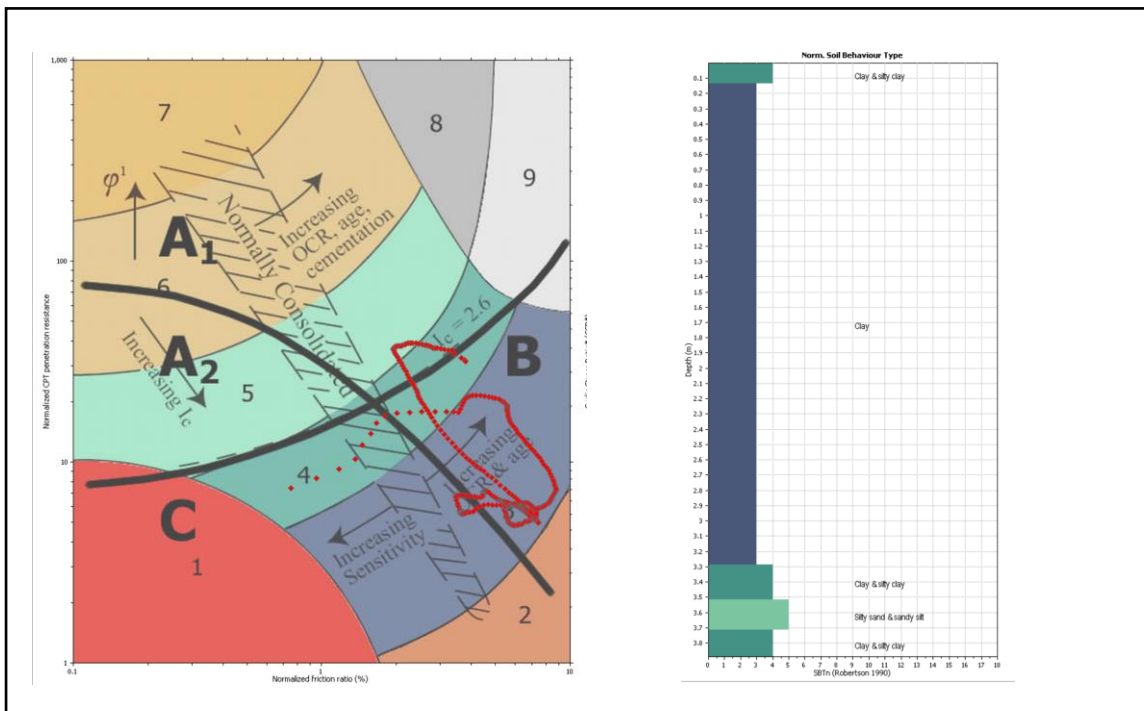




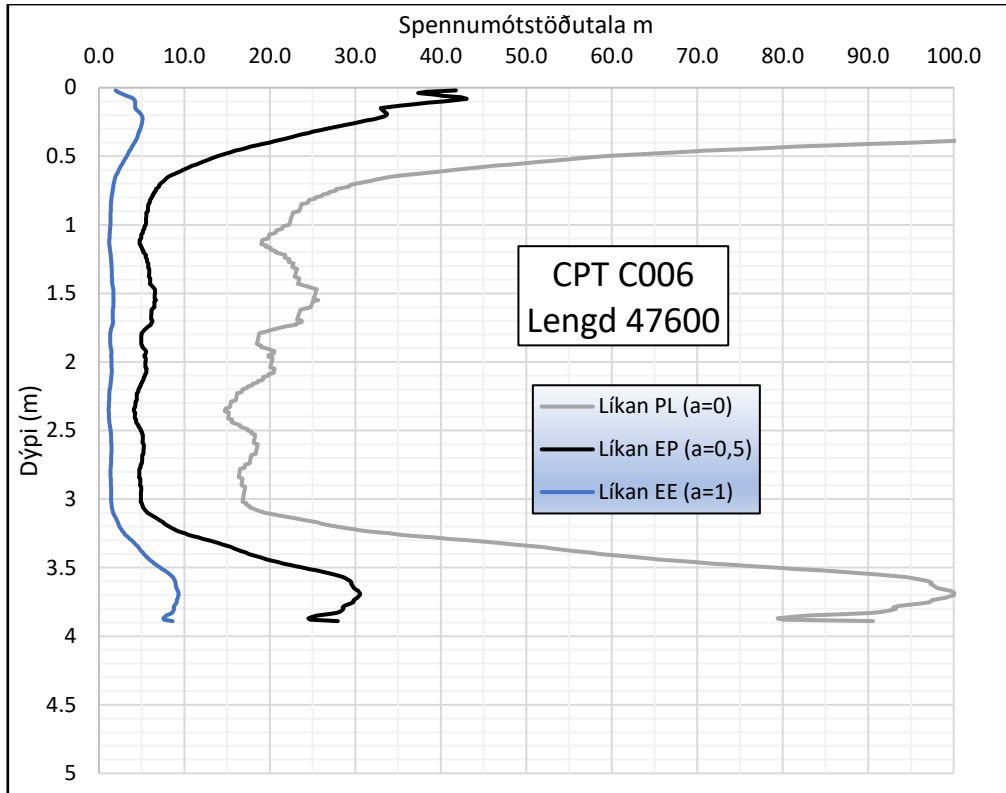
Mynd 4.8 Reikningar á sigi við stöð 47200 í Suðurlandsvegi. Hámarkssig er 112 cm.

#### 4.5 Stöð 47600 í Suðurlandsvegi

Mynd 4.9 sýnir flokkun jarðvegs og jarðvegssnið skv. Robertson (1990). Um er að ræða einsleitan jarðveg með nokkurri yfirstyrkingu. Mynd 4.10 sýnir spennumótstöðutölu skv. þremur siglíkönum Janbu og  $\alpha_n=0,4$ . Eins og áður er notað siglíkan EP til þess að áætla sig.



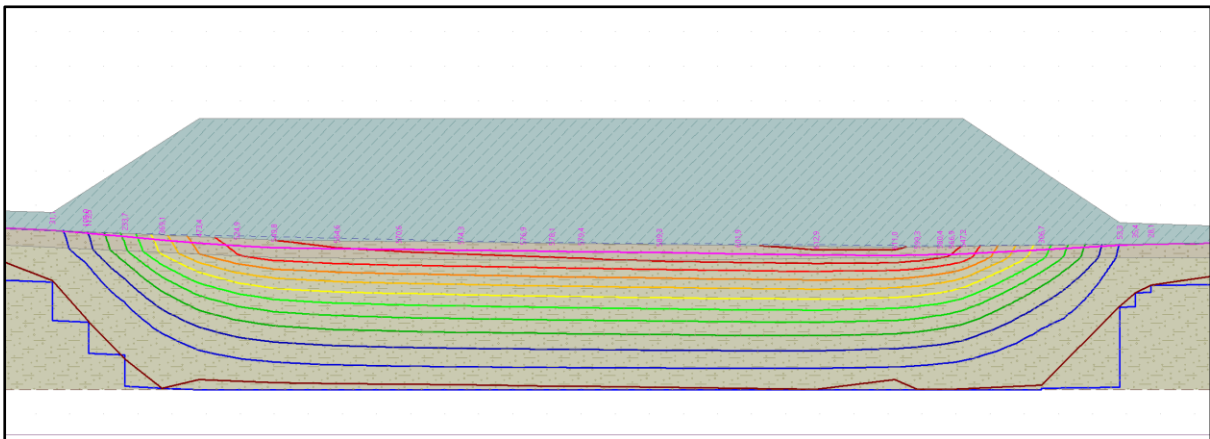
Mynd 4.9 Flokkun jarðefna í jarðvegssniði í stöð 47600.



Mynd 4.10 Spennumótstöðutala við stöð 47600 í Suðurlandsvegi  $\alpha_n=0,4$ .

Með hliðsjón af mynd 4.10 er siglíkan sett upp með tveimur jarðvegslögum. Gert er ráð fyrir að efstu 0,5 m hafi spennumótstöðutölu  $m=20$ . Síðan kemur hluti með  $m=5$ . Gert er ráð fyrir að neðan við 3,5 m sé ekkert sig.

Sigreikningar sbr. ofangreindar forsendur leiða til 61 cm hámarssigs. Mælt sig á sama stað var 68 cm. Mynd 4.11 sýnir siglíkanið. Sé notað  $\alpha_n=0,3$  verður reiknað sig 78 cm.



Mynd 4.11 Siglíkan stöð 47600 í Suðurlandsvegi,  $\alpha_n=0,4$ . Hámarkssig er áætlað 61 cm.

#### 4.6 Niðurstaða fyrir Suðurlandsveg

Tafla 4.5 sýnir samanburð á sigreikningum og mælingum á sigi. Sigáætlun skv. CPT prófum er miðuð við afstillingu í stöð 43600. Siglíkan PL gefur ekki bestu niðurstöður. Notað er siglíkan EP til þess að

reikna sig í stað siglíkans PL sem mikið hefur verið notað hérlendis til þess að reikna sig í votlendi. Í töflu 5.5 eru sýndar niðurstöður reikninga á sigi miðað við  $\alpha_n=0,3$  og  $\alpha_n=0,4$ . Reikningar sem miða við  $\alpha_n=0,4$  stemma betur við mælt sig, en hér er talið að mælt sig sýni ekki heildarsig og því talið að  $\alpha_n=0,3$  gefi trúverðugri niðurstöður fyrir Suðurlandsveg.

Tafla 4.5. Niðurstöður af sigathugunum í Suðurlandsvegi.

| CPT nr.   | Merking á frumgögnum | Lengd í vegi | Mæling á sigi <sup>1</sup> | CPT Sigáætlun $\alpha_n=0,4$ | CPT Sigáætlun $\alpha_n=0,3$ | Sigspá |
|---|----------------------|--------------|----------------------------|------------------------------|------------------------------|--------|
|   |                      |              | (cm)                       | (cm)                         | (cm)                         | (cm)   |
| C002  | 40021                | 43600        | 26,1                       | 26                           | 34                           | 70     |
| C003  | 40031                | 44300        | 35,6 <sup>2</sup>          | 27                           | 33                           | 100    |
| C004  | 40041                | 45200        |                            |                              |                              |        |
| C005  | 40051                | 46000        |                            |                              |                              |        |
| C006  | 40061                | 47600        | 67,6                       | 61                           | 77                           | 128    |
| C007  | 40071                | 47200        | 115                        | 113                          | 159                          | 120    |
| <sup>1</sup> HV vinnuskjal Vegagerðar um mælingu á sigi |                      |              |                            |                              |                              |        |
| <sup>2</sup> Sig mælt við 44200                         |                      |              |                            |                              |                              |        |

## 5 Gögn frá Bryggjuhverfi

Í Bryggjuhverfi voru CPT prófanir gerðar í sjávarsilti sem liggur á um 7-12 m dýpi. Þessar prófanir voru einkum gerðar til þess að meta líkur á ysjun siltisins í jarðskjálfta.

Teikningar 5.1-5.8 sýna helstu niðurstöður þessara prófa ásamt flokkun jarðefna skv. Robertson (1990) Eins og sést á teikningum eru efnin með mun hærrí oddmótstöðu en efnin úr Suðurlandsvegi eða  $q_t$  yfirleitt á bilinu 1-1,5 MPa og staka toppa mun hærrí. Efnin eru flokkuð sem silt og sandblanda og lenda í einkum í flokki 4. Það er því eðlilegt að nota reiknilíkan EP til þess að nálgast spennumótstöðutölu. Reiknilíkan EP er:

$$M = m \times \sqrt{\sigma'_v \times \sigma_a}$$

Hér eru ekki til sigmælingar til þess að bera saman við CPT gildin til þess að stilla af hlutfallið:

$$M = \alpha_n \times q_n = \alpha_n (q_t - \sigma_{vo})$$

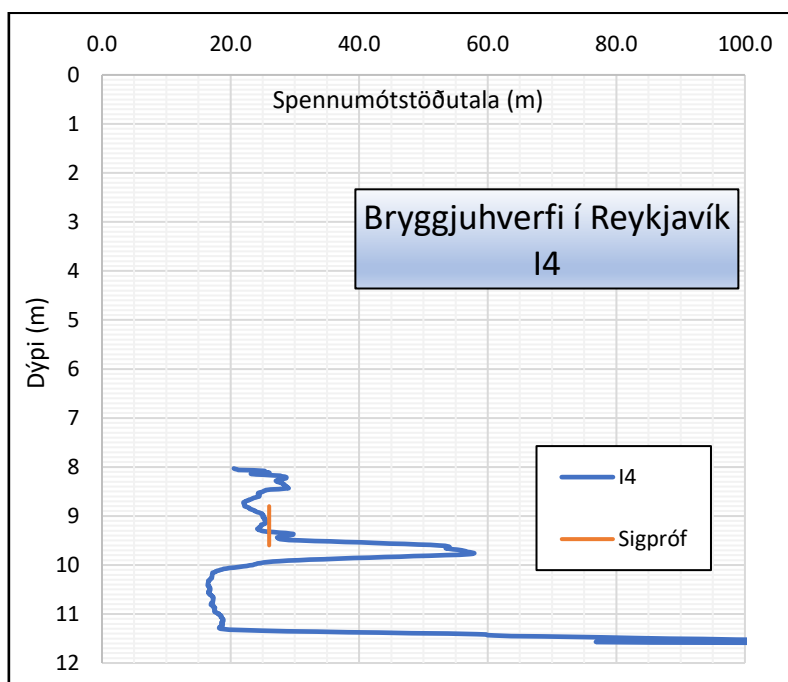
með því að breyta  $\alpha_n$ .

Tekin voru „óhreyfð sýni við hliðina á flestum CPT prófunum og úr þeim valin sýni í sigpróf. Mynd 5.1 sýnir „óhreyft“ sýni G3. Unnið var úr sigprófum á þessum sýnum venjubundin hátt skv. aðferð Janbu. Áætlað voru spennumótstöðutölur (m) byggja á siglíkani EP fyrir þessi sýni. Þessi gögn eru síðan borin saman við CPT prófanir og stuðullinn  $\alpha_n$  stilltur miðað við þetta. Í ljós kemur að  $\alpha_n=2,0$  virðist gefa ágæta samsvörun á milli CPT prófa og sigprófa í rannsóknastofu. Teikningar 5.9 og 5.10 í kafla 12 sýna samanburð á milli CPT prófa og sigprófa í rannsóknastofu en myndir 5.2-5.4 sýna þennan samanburð fyrir þrjú valin próf.



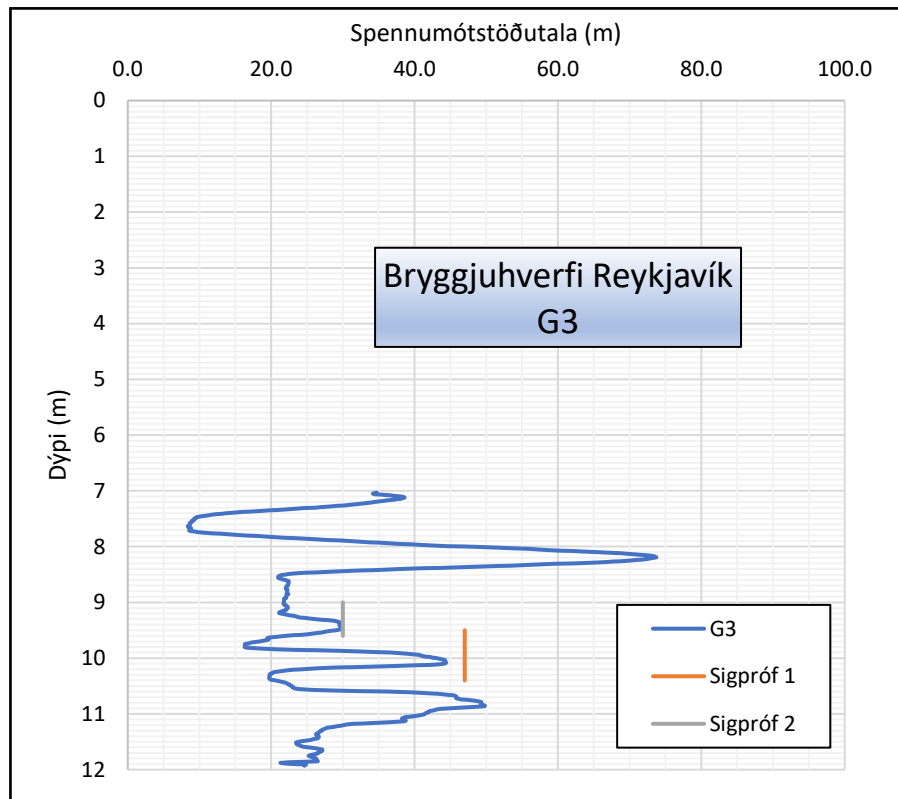
Mynd 5.1. „Óhreyft“ sýni úr sýntökuholu G3.

Ekki er hægt að ákveða dýpi á sigprófum miðað við CPT prófin nákvæmlega. Þetta er vegna þess að 2 m voru á milli sýnatökuholu og CPT prófun þannig að einhver hæðarmunur getur verið á holutoppum og vegna þess að úr 70 cm sýnatökubili fékkst t.d. 10 cm langt sýni sem ekki er vitað nákvæmlega af hvaða dýpi er ættað.

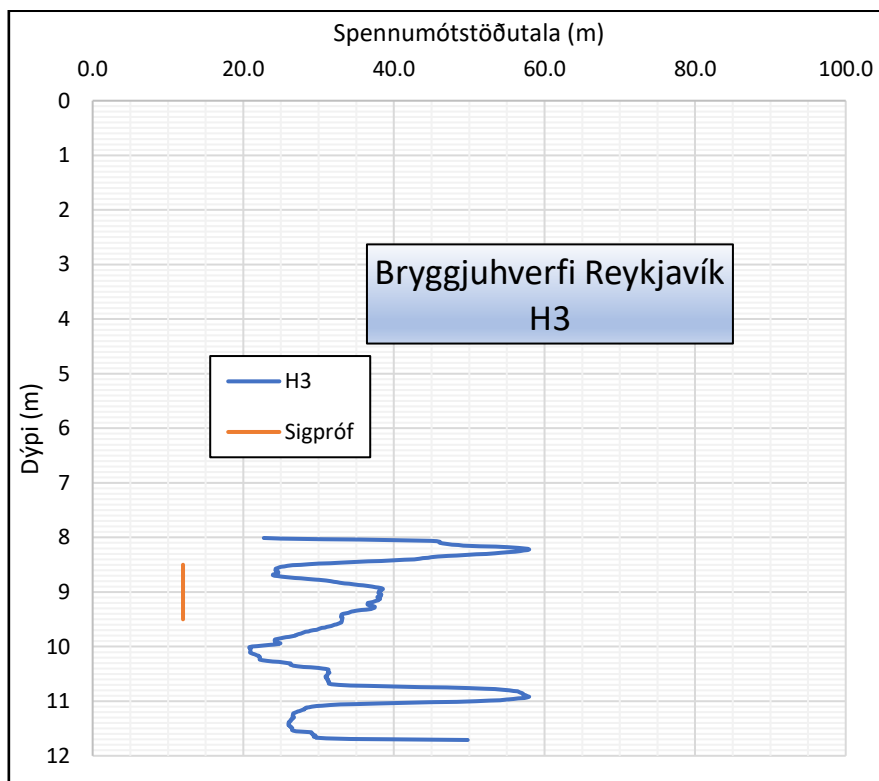


Mynd 5.2 Samanburður á spennumótstöðutölu frá sigprófi og CPT prófi (I4).

Próf í H3 (mynd 5.4) sýnir mesta frávik sem fékkst á svæðinu á milli sigprófs í rannsóknastofu og CPT prófa. Að öðru leyti fæst gott samræmi.



Mynd 5.3 Samanburður á spennumótstöðutölu frá sigprófi og CPT prófi (G3).



Mynd 5.4 Samanburður á spennumótstöðutölu frá sigprófi og CPT prófi (H3).

## 6 Gögn frá Neskaupstað

Vegna hönnunar snjóflóðavarnargarða í Neskaupstað voru sumarið 2021 gerð þrjú CPT próf í votlendissvæði ofan við byggðina. Niðurstöður CPT prófa eru sýndar á teikningum 6.1-6-3.

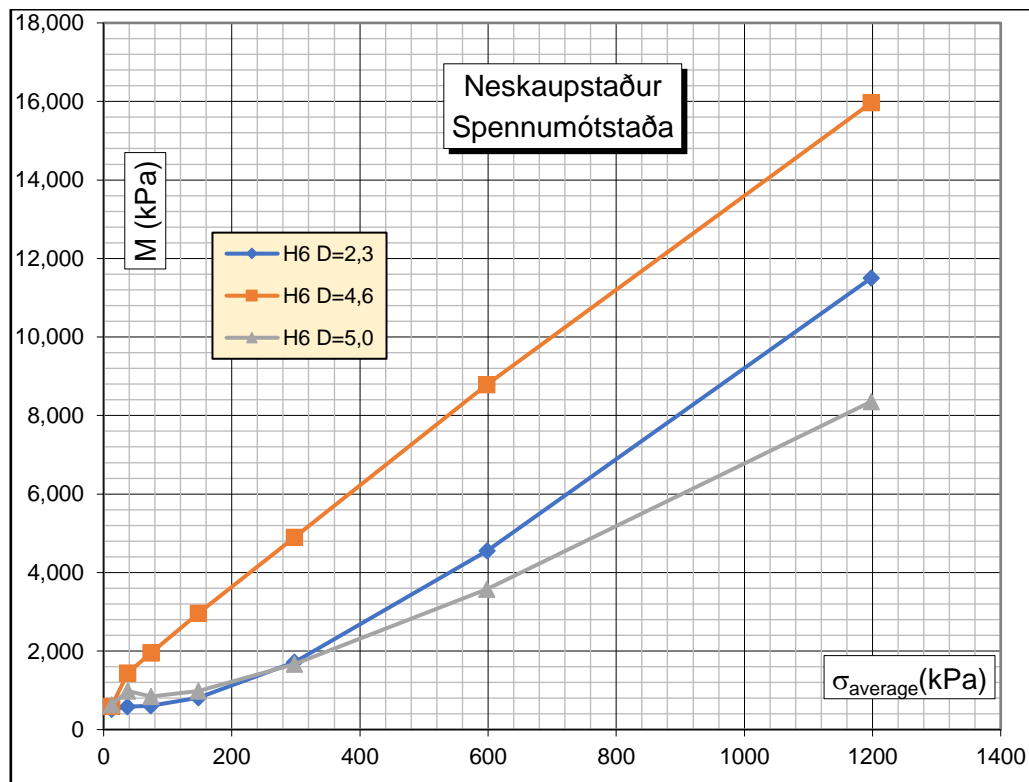
### 6.1 Sigpróf á „óhreyfðum“ sýnum.

Tekin voru „óhreyfð sýni“ með sýnataka við hliðina á CPT-6. Mynd 6.1 sýnir úrvinnslu úr sigprófunum. Tvö sýni eru talsvert yfirstyrkt með  $P_c$  (Preconsolidation spenna) um 150 kPa. Þetta passar illa við niðurstöður CPT prófa sem sýna ekki yfirstyrkingu. Athygli vekur mikill munur í rakastigi og spennumótstöðutölu milli sýna.

Tafla 6.1 sýnir hvernig m gildi til samanburðar við CPT prófanir er fengið. Bæði H6-2,3 og H6-5,0 eru yfirstyrkt með nær fasta spennumótstöðu við spennur  $< P_c$  (Preconcolidation spennu). Því er siglíkan EE notað til þess að áætla spennumótstöðutöluna (m). H6-4,6 sýnir ekki yfirstyrkingu og er siglíkan EP notað til að finna spennumótstöðutölu.

Tafla 6.1. Spennumótstöðutala (m) frá sigprófum í Neskaupstað. Sýnatökuhola H6.

| Sýni   | Lóðrétt virk spenna<br>kPa | Spennumótstaða<br>M<br>kPa | Siglíkan | Spennumótstöðutala<br>m | Rakastig<br>% |
|--------|----------------------------|----------------------------|----------|-------------------------|---------------|
| H6-2,3 | 15                         | 520                        | EE       | 5,2                     | 352           |
| H6-4,6 | 24                         | 990                        | EP       | 20,2                    | 42            |
| H6-5,0 | 26                         | 850                        | EE       | 8,5                     | 138           |



Mynd 6.1 Úrvinnsla úr sigprófum úr sýnatökuholu 6 í Neskaupstað.

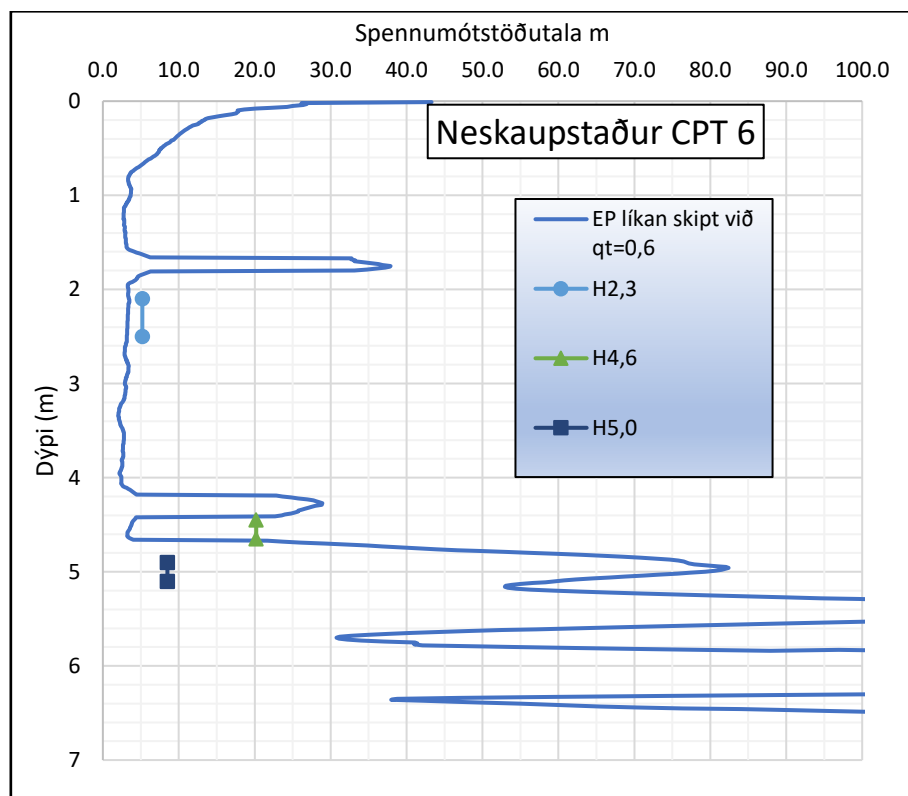
## 6.2 Spennumótstöðutala frá CPT prófum í Neskaupsstað

CPT prófin þrjú eru að sumu leyti keimlík innbyrðis:  $q_t \leq 0,5$  MPa í efstu 3-4 m en eykst síðan neðar í holunum. Flokkun efnanna sýnir mismunandi efni allt frá flokki 3 og upp í flokk 5, skv. Robertson (1990). Próf CPT-3 og CPT-6 eru nokkuð lík innbyrðis enda skammt á milli þeirra. Bæði þessi próf sýna grófkornóttara efni í neðri hluta jarðvegsniðsins. CPT-6 sýnir einsleitari jarðveg en CPT-3. Vegna þessa er ekki eðlilegt að líta á  $\alpha_n$  sem fasta í hverri holu eins og gert hefur verið við úrvinnslu á gögnum frá Bryggjuhverfi í Reykjavík og Suðurlandsvegi. Við úrvinnslu á CPT gögnum frá Neskaupsstað eru notuð sömu gildi á  $\alpha_n$  og fengust á áðurgreindum stöðum, annars vegar fyrir votlendisjarðveg en hins vegar fyrir sendnari jarðveg skv. eftirfarandi töflu 6.2.

Tafla 6.2. Val á  $\alpha_n$  fyrir mat á spennumótstöðu í CPT prófum í Neskaupsstað

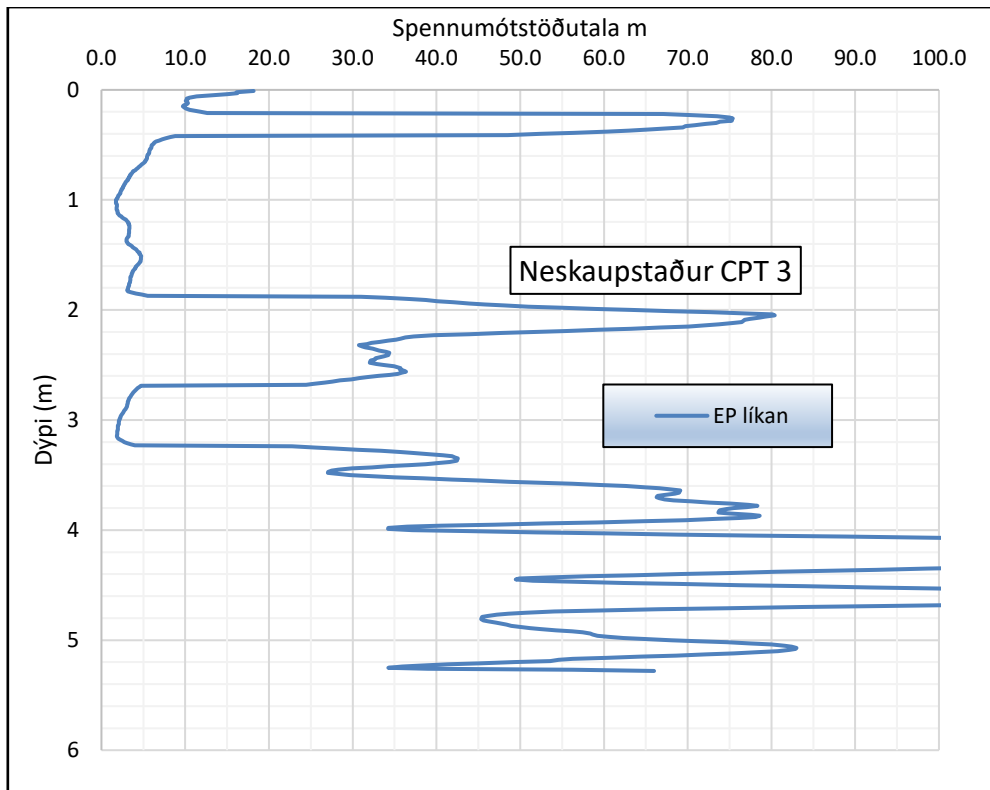
| $q_t$ (kPa) | $\alpha_n$ |
|-------------|------------|
| <0,6 kPa    | 0,4        |
| >0,6 kPa    | 2          |

Mynd 6.2 sýnir niðurstöður reikninga á m gildi frá CPT prófum skv. þessu ásamt niðurstöðum úr sigprófum á rannsóknastofu. Munur á CPT ferli og sýnum H6-4,6 og H6-5,0 gæti hugsanlega skýrst af mismuni í hæð á CPT prófi og sýnatökuholu. Betri samsvörun við H2,3 fæst með því að hækka  $\alpha_n$  í 0,6.

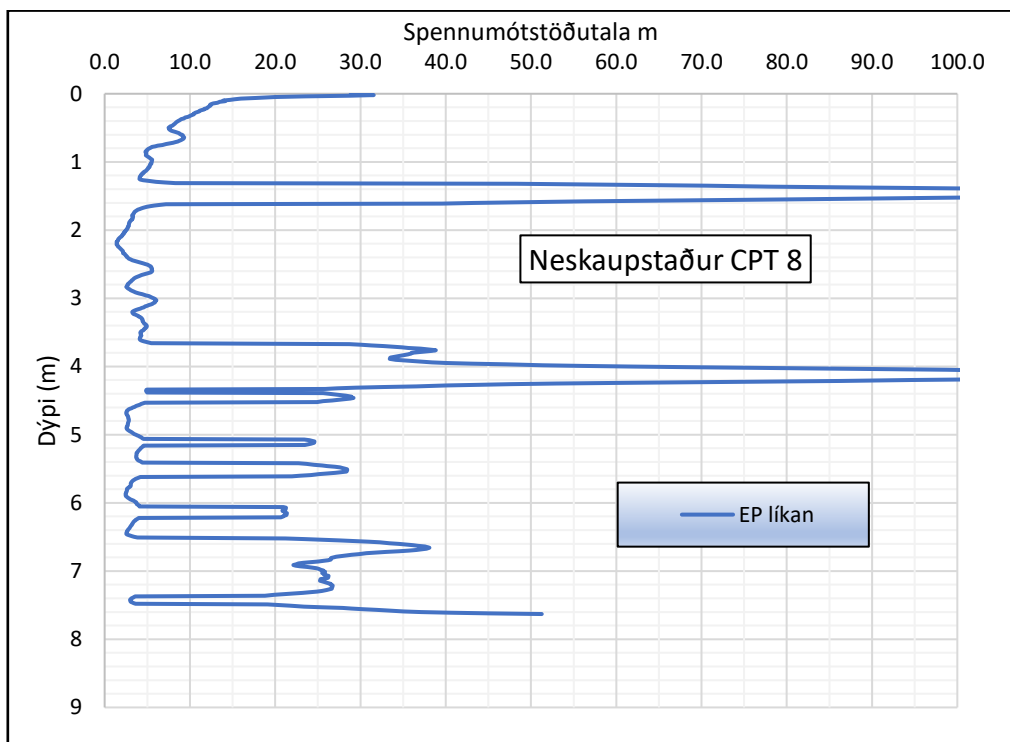


Mynd 6.2 Spennumótstöðutala úr CPT 6 og sýnatökuholu H6 í Neskaupsstað.

Myndir 6.3 og 6.4 sýna niðurstöður CPT prófa CPT 3 og CPT 8 frá Neskaupsstað. Miðað er við sömu forsendur og notaðar voru fyrir CPT 6. Bæði þessi CPT próf sýna óregluleg snið með tilliti til spennumótstöðutölu.



Mynd 6.3 Spennumótstöðutala (m) skv. CPT 3 í Neskaupstað.

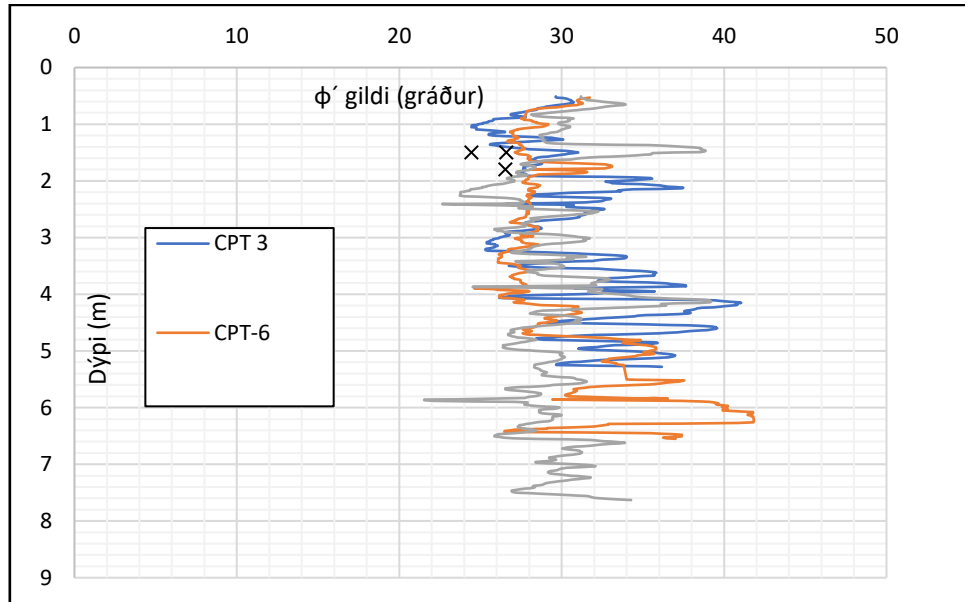


Mynd 6.4 Spennumótstöðutala í CPT 8 Neskaupstað.

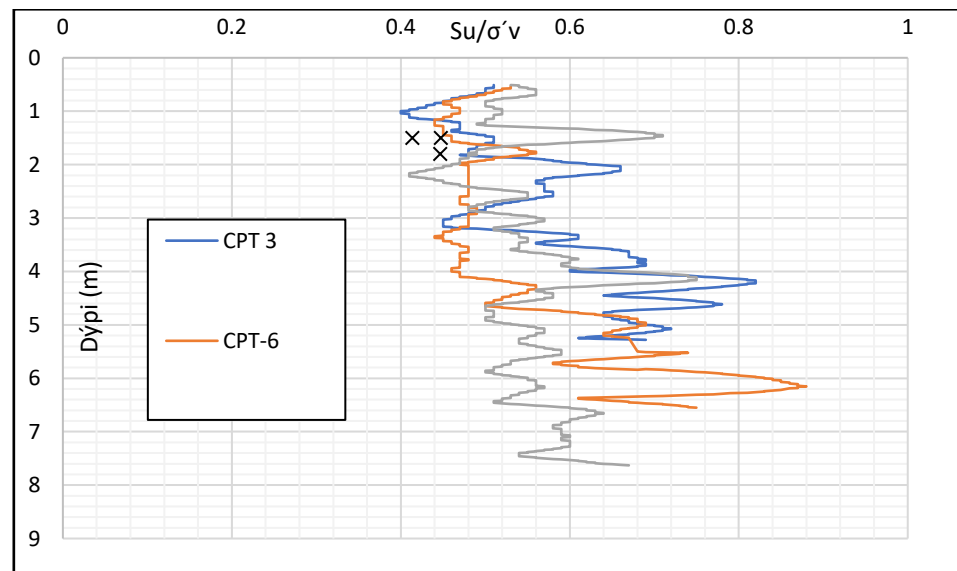


## 7 Skerstyrkur áætlaður frá CPT prófum í Neskaupsstað

Í Neskaupsstað voru tekin óhreyfð sýni af jarðvegi á votlendissvæðinu í gryfju Nes-25 sem er staðsett skammt frá CPT-3. Sýnin voru tekin úr jarðvegi á 1,5 til 2,0 m dýpi. Samanburður við CPT-3 sýnir að sýnin eru tekin úr mjúkum jarðvegi með lágu gildi á  $m$ . Þessi sýni voru prófuð í þríasatæki og mynd 7.1 sýnir samanburð á  $\phi$  gildi úr þríasaprófunum og  $\phi$  gildi fengnu með CPT prófum. Við samanburðinn er notuð vel þekkt aðferð Kulhawy and Mayne (1990)<sup>13</sup> við að áætla gildi skriðhorns frá CPT prófunum. Mynd 7.2 sýnir hlutfallið  $S_u/\sigma'_v$  og samanburð við þríasaprófin.



Mynd 7.1. Drenaður skerstyrkur frá NES-25 og áætlun með CPT prófi.



Mynd 7.2.  $S_u/\sigma'_v$  og samanburður við þríasapróf úr NES-25.

<sup>13</sup> Kulhawy, F.H., Mayne, P.W. (1990), Manual on Estimating Soil Properties for Foundation Design, EPRI EL-6800, Electric Power Research Institute, Palo Alto, CA.

## 8 Teigsskógur vegagerð

Í Teigsskógi á Barðaströnd voru gerð tvö CPT próf í nágrenni við bæinn Gröf í Þorskafríði. Mynd 8.1 sýnir staðsetningu á þessum tveimur prófum merkt 307 og 310. Við CPT próf 310 var einnig gerð sýnatökuhol og tekið eitt sýni merkt Teigsskógur, Hóla 311, 2,2-2,5.



Mynd 8.1 Staðsetning CPT prófa og sýnatöku við Þorskafríð.

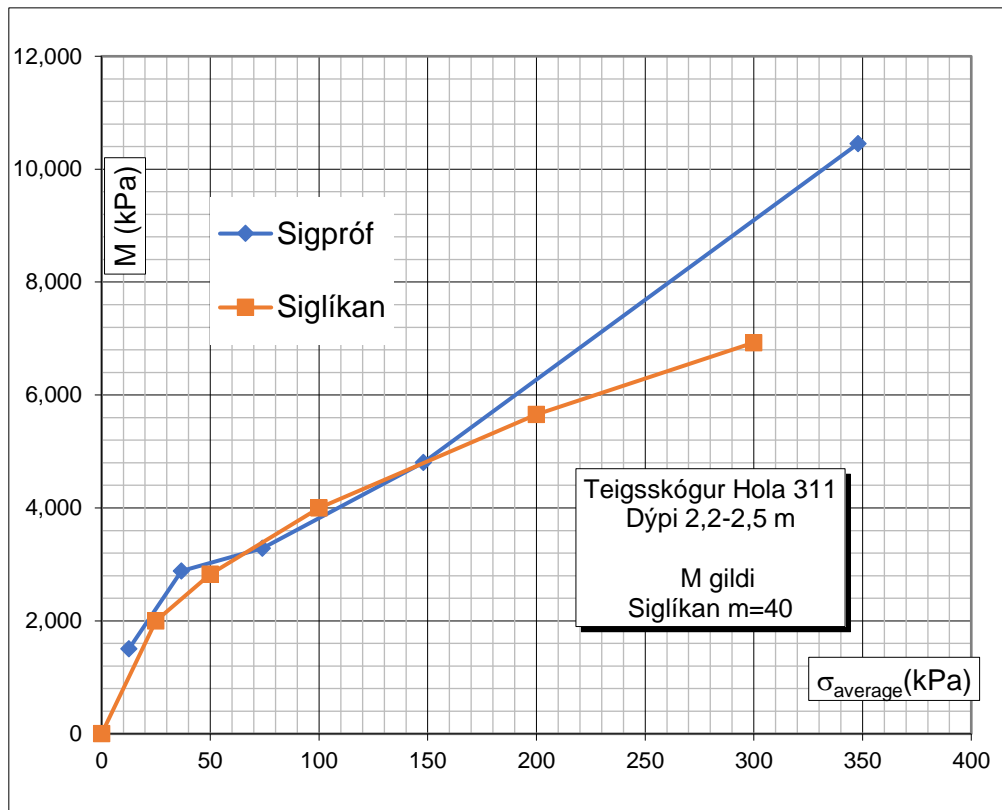
### 8.1 Sigpróf á sýni úr holu 311.

Tafla 8.1 sýnir helstu niðurstöður mælinga á sýni úr holu 311 (við hlið 310) af dýpinu 2,2-2,5 m. Rakastig efnisins bendir til þess að ekki sé um votlendi eða mýri að ræða. Unnið var úr niðurstöðum sigprófs skv. aðferðum Janbu. Niðurstöður eru sýndar á myndum 8.2 og 8.3.

Mynd 8.2 sýnir úrvinnslu úr sigprófinu og siglíkan sem byggir á spennumótstöðutölu  $m = 40$  og siglíkani EP. Þessi úrvinnsla er eingöngu fyrir frumpjöppun en gildir ekki fyrir endurbjöppun sýnis.

Tafla 8.1 Helstu niðurstöður sigprófs ú holu 311 skv. skýrslu rannsóknarstofu<sup>14</sup>.

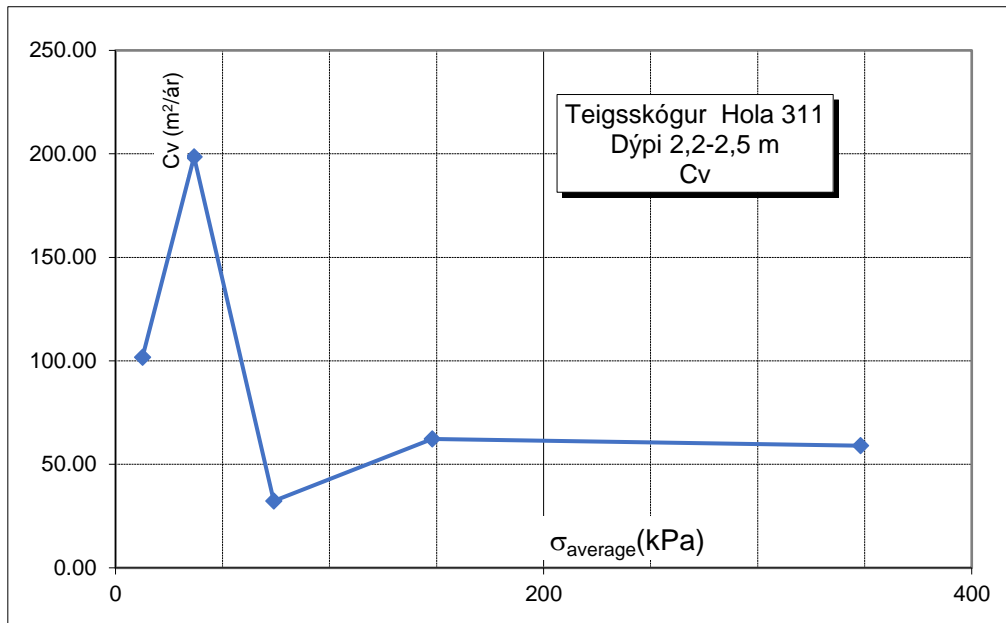
|                                  | Tákn        | Eining               | Gryfja 311 |
|----------------------------------|-------------|----------------------|------------|
| Lengd í vegi                     |             | m                    |            |
| Dýpi (m)                         |             | m                    | 2,2-2,5    |
| Rök rúmpyngd                     | $\gamma_m$  | (kN/m <sup>3</sup> ) | 21,5       |
| Þurr rúmpyngd                    | $\gamma_d$  | (kN/m <sup>3</sup> ) | 17,2       |
| Mettun                           | S           | %                    | 100        |
| Virk lóðrétt spenna <sup>1</sup> | $\sigma'_v$ | (kPa) <sup>1</sup>   |            |
| Forstyrking (Casagrande)         | $P_o$       | kPa                  |            |
| Kornarúmpyngd                    | $G_s$       |                      | 2,99       |
| Rúmmál fasts efnis               | $V_s$       | m <sup>3</sup>       |            |
| Holrýmd                          | $e_o$       |                      | 0,712      |
| Rakastig                         | $\omega$    | %                    | 25,2       |
| Compression Index                | $C_c$       |                      | 0,164      |
| Spennumótstaða (frumferill)      | M           | kPa                  | 8751       |



Mynd 8.2 Spennumótstaða í sýni frá holu 311 í Teigsskógi.

Siglíkan sem miðar við  $m=40$  passar vel við sigferilinn upp að lóðrétttri spennu um 200 kPa. Sýnið er nálægt því að vera normal konsoliderað miðað við rúmpyngdir í töflu 8.1. Mynd 8.3 sýnir áætlað  $C_v$  gildi fyrir sýnið.

<sup>14</sup> Mannvit, rannsóknastofa (2021) Verknúmer SHU-006025S-10.144þ. Teigsskógur Hóla 311, 2,2-2,5. Vegur 60-25.



Mynd 8.3 Áætlað  $C_v$  fyrir sýni úr Holu 311.

## 8.2 CPT próf

Niðurstöður CPT prófanna eru sýndar á teikningum 8.1 og 8.2. Skv. þessum prófunum eru jarðveggsniðin ólík. CPT 307 sýnir mjög lagskipt jarðveggsnið. Efnið flokkast sem normal konsoliderað eða yfirstyrkt efni í flokki 3 og 4 skv. Robertson (1990). CPT 310 sýnir jarðveggsnið sem er mun einsleitara og virðist fínkornóttara en CPT 307.

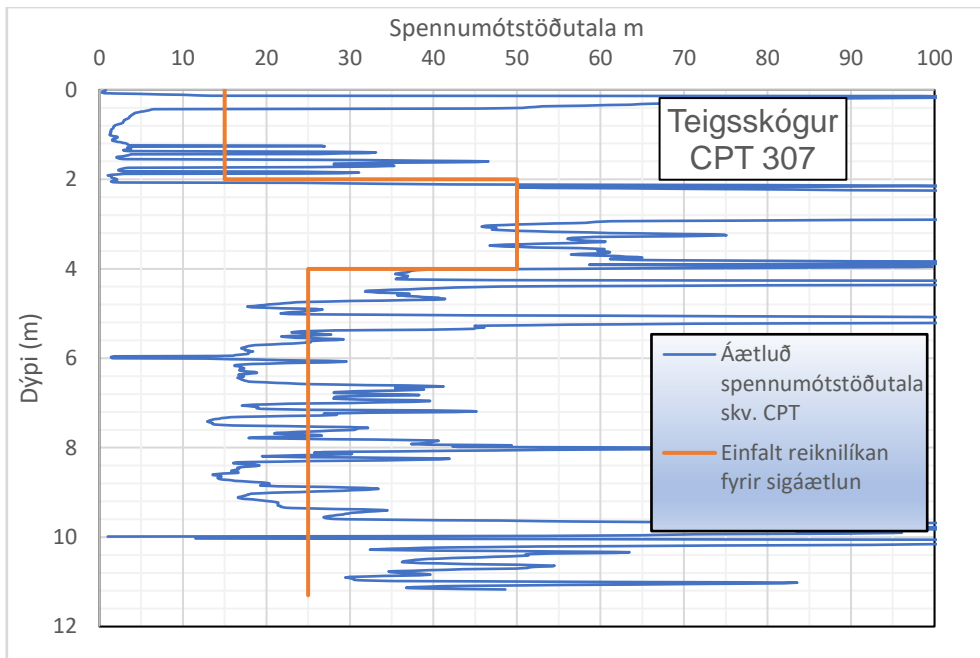
Unnið var úr þessum sniðum í samræmi við aðferðir Janbu. Val á  $\alpha_n$  til þess að ákveða spennumótstöðu er í samræmi við þær niðurstöður sem hafa fengist frá öðrum prófum sjá töflu 8.2

Tafla 8.2 Val á  $\alpha_n$  fyrir jarðveggsnið í Teigsskógi.

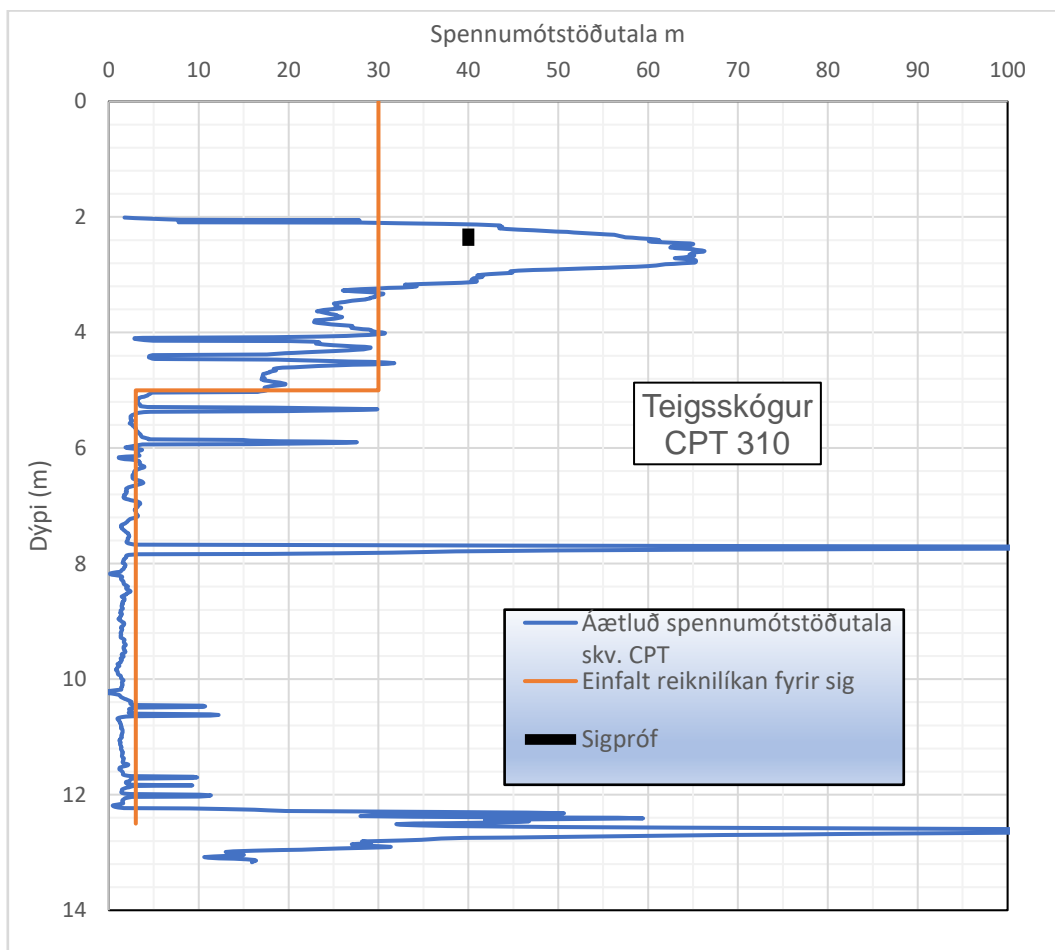
| Próf    | qt (MPa) | $\alpha_n$ |
|---------|----------|------------|
| CPT 307 | <0,6     | 0,3        |
|         | >0,6     | 2          |
| CPT 310 | <0,6     | 0,6        |
|         | >0,6     | 2          |

Eins og áður er notað EP siglíkan til þess að ákveða spennumótstöðutölu. Myndir 8.4 og 8.5 sýna niðurstöður með ásamt tillögu að mjög einföldu siglíkani til reikninga á sigi. Jarðveggsniðið fyrir CPT 307 sýnir miklar breytingar í m gildi með dýpi. Jarðveggsnið fyrir CPT 310 er mun einsleitara en sýnir mjög mjúkt lag undir stífara lagi á dýpinu 2 til 5 m. Gildi fyrir sigpróf er einnig merkt inn á mynd 8.5. CPT gögnin passa vel við niðurstöður sigprófsins.

Það er nokkuð augljóst að sigspá sem byggði á sigprófinu eingöngu mundi vanáætla sig á þessum stað.



Mynd 8.4 Spennumótstöðutala í jarðvegssniði skv. CPT 307 ásamt tillögu að gildum fyrir sigspá.



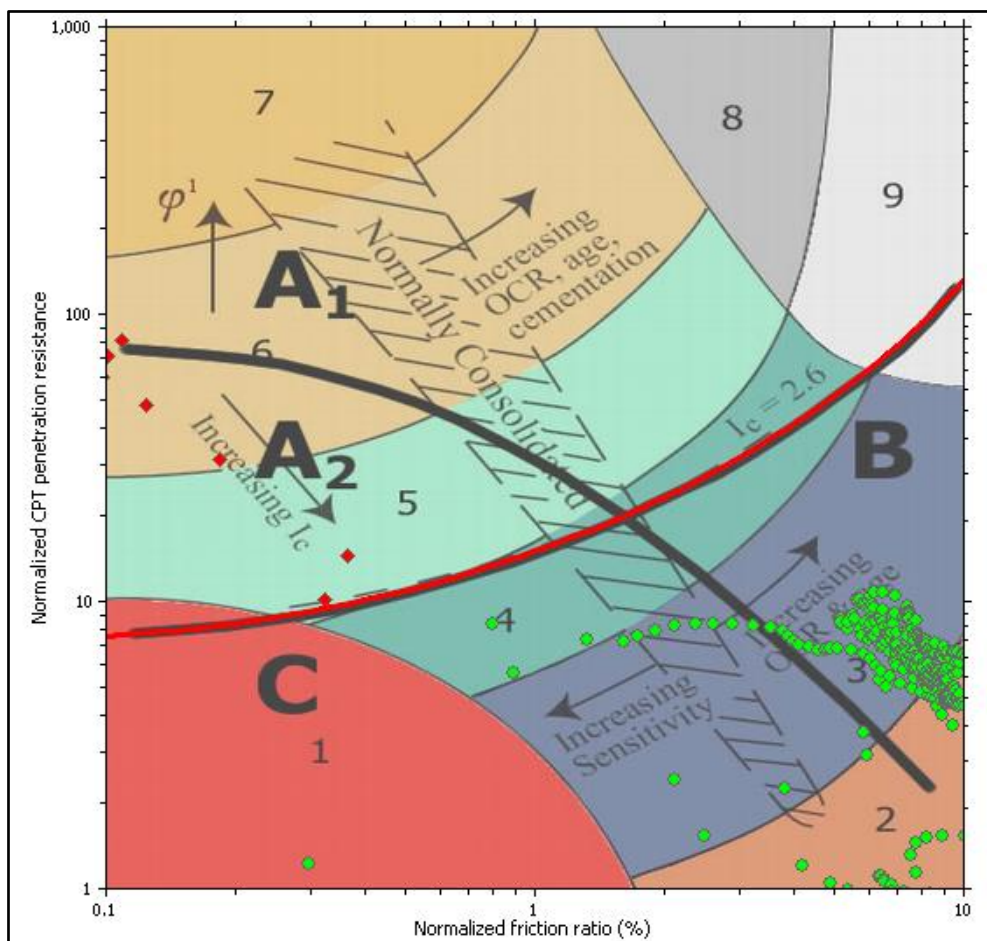
Mynd 8.5 Spennumótstöðutala í jarðvegssniði skv. CPT 310 ásamt tillögu að gildum fyrir sigspá.

## 9 Brekknaheiði CPT

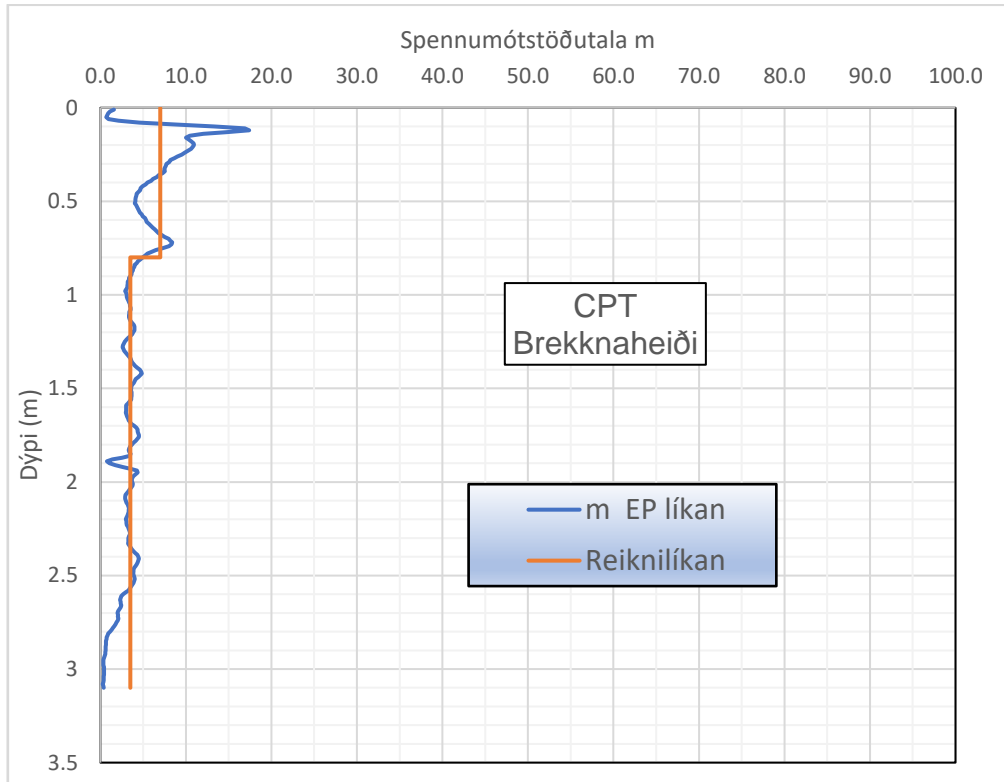
Haustið 2021 var gert eitt CPT próf á Brekknaheiði. Staðsetning í hnitum er ekki þekkt. Ekki heldur dýpi á grunnvatn. Teikning 9.1 sýnir CPT gögnin. Þóruþrýsingur við odd fellur þó mjög skyndilega á 2,4 m dýpi án þess að það sjáist nein sérstök ástæða fyrir því.

Flokkun efnisins skv. Robertson (1990) er sýnd á mynd 9.1. Þar sést að efnið flokkast sem yfirstyrktur leir og lífrænt efni. Gildið  $q_c$  er  $< 0,5$  og skv. CPT prófi er efnið fínefnaríkara en votlendisjarðvegurinn við Suðurlandsveg. Unnið úr gögnum miðað við þetta og gert ráð fyrir að siglíkan EP gildi. Mynd 8.2 sýnir áætlaða spennumótstöðutölu (m) miðað við  $\alpha_n=0,3$ .

Gerð er sigspá miðað við þær forsendur sem koma fram á mynd 9.2. Tafla 9.1 sýnir forsendur og tafla 9.2 sýnir sigspá miðað við mismunandi fyllingarþykkt ofan á jarðveginn. Í sigspánni er jarðvegssniðinu skipt í tvo hluta og meðaltal af spennu og sigeiginleikum áætlaðir.



Mynd 9.1 Brekknaheiði. Flokkun efnis skv. CPT prófi.



Mynd 9.2 Jarðvegssnið og  $m$  gildi frá CPT prófi á Brekknaheiði.

Tafla 9.1 Forsendur fyrir sigreikningi á Brekknaheiði

|                          | Sig efri hluti | Sig neðri hluti |
|--------------------------|----------------|-----------------|
| $m$ (spennumótstöðutala) | 7              | 3,5             |
| Miðja ( $m$ í dýpt)      | 0,4            | 2               |
| $P'_{\sigma}$            | 3,1            | 13,7            |
| Þykkt lags ( $m$ )       | 0,8            | 2,4             |

Tafla 9.2 Áætlað sig skv. CPT prófi á Brekknaheiði.

| Farg<br>(m) | rúmpýngd | $\Delta P$<br>kPa | Sig efri hluti |      | Sig neðri hluti |      | Heildarsig<br>m |
|-------------|----------|-------------------|----------------|------|-----------------|------|-----------------|
|             |          |                   | $\epsilon$     | $m$  | $\epsilon$      | $m$  |                 |
| 0,5         | 16       | 8                 | 0,04           | 0,04 | 0,05            | 0,13 | 0,17            |
| 1           | 16       | 16                | 0,07           | 0,06 | 0,10            | 0,24 | 0,30            |
| 2           | 16       | 32                | 0,12           | 0,10 | 0,17            | 0,42 | 0,51            |
| 3           | 16       | 48                | 0,15           | 0,12 | 0,24            | 0,57 | 0,69            |

## 10 Val á spennumótstöðu (M) og siglíkani

Hér að framan hefur verið gerð tilraun til þess að finna samband spennumótstöðu eins og hún er mæld í sigprófum í rannsóknastofu og gagna sem aflað er með CPT prófi. Notuð hefur verið eftirfarandi jafna og  $\alpha_n$  í jöfnunni breytt til þess að nálgast gildi á M sem fengust í rannsóknastofu.

$$M = \alpha_n \times q_n = \alpha_n (q_t - \sigma_{vo})$$

Með þessu hefur fengist að  $0,3 \leq \alpha_n \leq 2,0$ . Þá er spurning hvernig eigi að velja  $\alpha_n$  ef ekki liggja fyrir önnur gögn en CPT próf. Mynd 9.1 sýnir flokkun jarðefna frá völdum CPT prófum skv. flokkun Robertson (1990). Hér er lagt til að þar til betri gögn fást megi nota eftirfarandi aðferð:

1. Nota siglíkan EP
2. Athuga  $q_t$  með hliðsjón af töflu 10.1
3. Athuga flokkun efnis í samræmi við flokkun Robertson (1990) sjá mynd 10.1.

CPT flokkun í Suðurlandsvegi stöð 43600 sýnir mjög einsleitt efni í flokki 3 (yfirstyrktur leir). Í Suðulandsvegi er talið að  $\alpha_n=0,3$  gefi raunhæfa mynd af sigeiginleikum þrátt fyrir að  $\alpha_n=0,4$  passi betur við mælt sig. CPT próf D4 úr Bryggjuhverfi sýnir einnig tiltölulega einsleitt efni í flokki 4 (silt). Í Bryggjuhverfi virðist reynast best að velja  $\alpha_n=2,0$ . Skv. gögnum úr Bryggjuhverfi virðist  $\alpha_n = 2$  virka vel upp í  $q_t=4-5$ .

Gögn úr CPT-6 frá Neskaupstað flokkast í báða þessa flokka og í flokk 1 að auki og þar virðist eitt sigpróf benda til þess að  $\alpha_n=0,6$  passi fyrir fínkornóttara efnið.

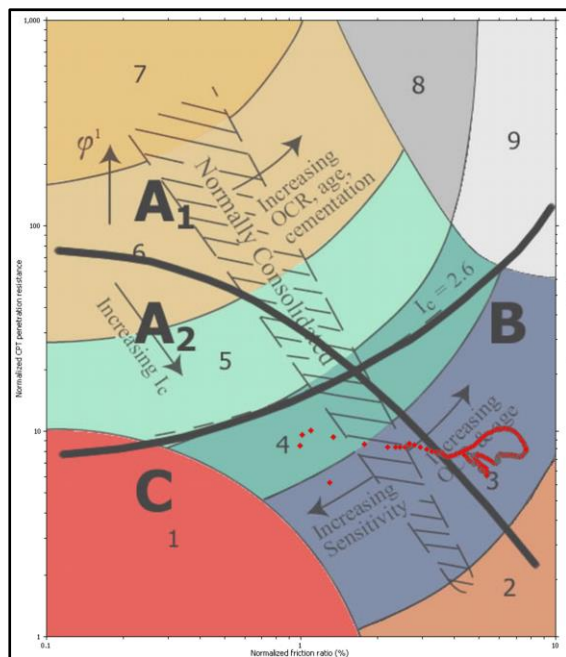
Tafla 10.1 Val á  $\alpha_n$

| $q_t$ (MPa) | $\alpha_n$ |
|-------------|------------|
| <0,6        | 0,3-0,6    |
| >0,6        | 2          |

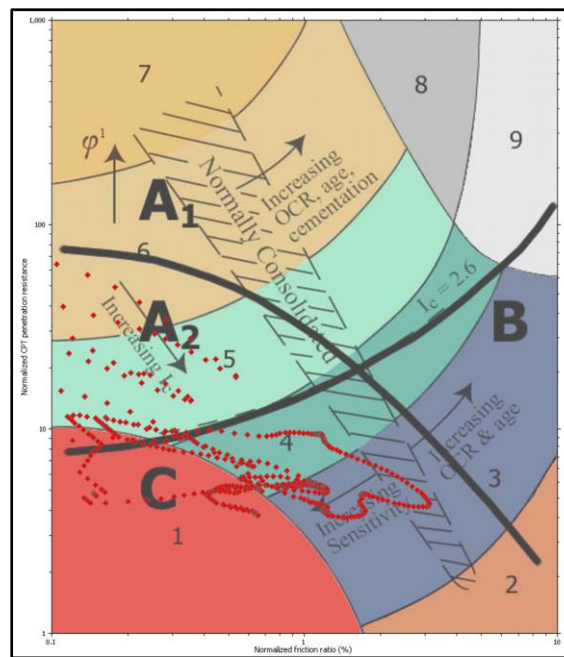
Eins og komið hefur fram virðist sem siglíkan EP ( $a = 0,5$ ) passi best við þau gögn sem fyrir liggja. Það er eðlilegt að nota þetta líkan fyrir jarðefni sem flokkast sem silt eða sandur. Það er óvenjulegt að nota þetta líkan fyrir votlendi þar sem yfirleitt hefur verið talið best að nota PL ( $a=0$ ). Réttlæta mætti að nota  $a = 0,5$  fyrir steinefnaríkar mýrar héraendis.

Sú aðferð sem hér er sett fram er einföld en virðist passa sæmilega við þau gögn sem fyrir liggja. Með CPT gögnum væri einfalt að velja  $m$  gildi fyrir alla punkta í CPT sniðinu með mun flóknari aðferðum. Það er þó ekki talið eðlilegt að ganga lengra en hér er gert nema að hafa fleiri sigpróf eða mælingar á sigi til samanburðar.

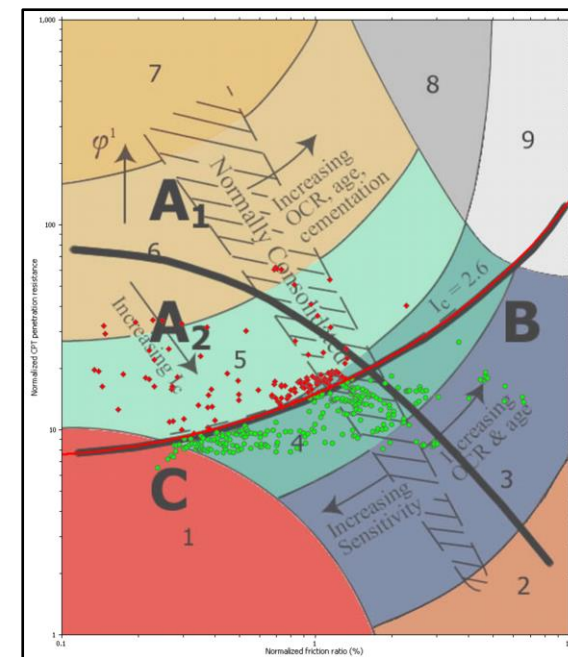




Suðurlandsvegur CPT 40021 stöð 43600,  
 $\alpha_n=0,3$



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

Mynd 10.1 Samanburður á flokkun jarðefna skv. Robertson (1990) og áætluðu gildi á  $\alpha_n$ .

## 11 Niðurstöður

Hér að framan hafa verið teknar saman þær upplýsingar sem til eru og eru aðgengilegar, til þess að bera saman sigeiginleika jarðvegs og gildi mæld í CPT prófi. Þetta eru aðeins gögn frá þremur til fjórum stöðum. Þess vegna er varla hægt að fullyrða að þau sambönd milli CPT prófa og sigprófa eða sigmælinga sem hér koma fram gildi almennt fyrir íslenskan jarðveg. Samt hefur verið sett fram tillaga að aðferðafræði til að meta sig í jarðvegi með CPT prófi. Þessa aðferðafræði, val á siglíkönum og mat á yfirstyrkingu jarðvegs þarf að þróa með meiri gögnum til þess að bæta aðferðina.

CPT prófin gefa nákvæmari jarðtæknilegar upplýsingar um jarðvegssnið en gryfjugröfur með lýsingu og sýnatöku á einum eða fleiri stöðum úr gryfjunni. Þá má fá trúverðugar upplýsingar um skerstyrk jarðefnisins með sama CPT prófinu og notað er til þess að áætla sig. Þetta gerir það að verkum að mjög fýsilegt er að nota CPT sem aðalrannsóknatæki þegar vegfyllingar eru gerðar á mjúkum setlögum og mýrum.

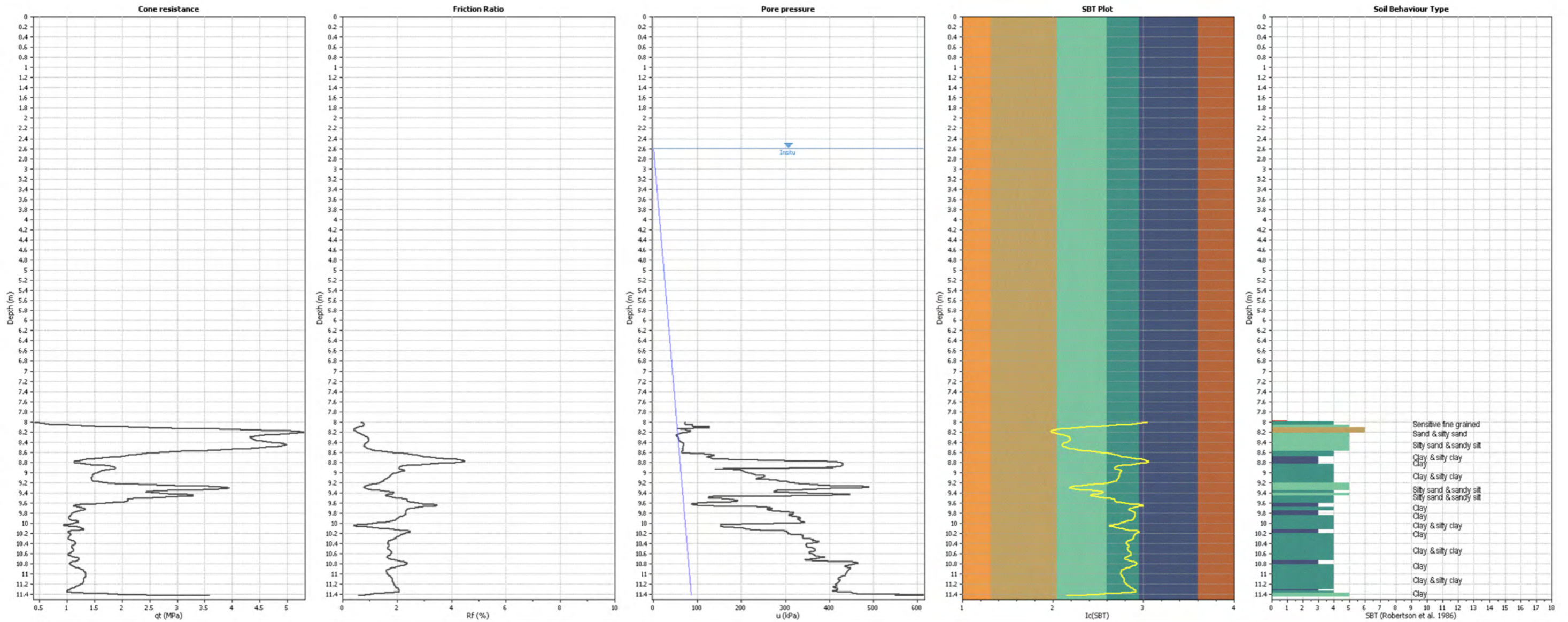
CPT próf auðvelda mjög túlkun á hefðbundnum rannsóknum og sýnatöku með því að mæla „in situ“ eiginleika jarðefna. Þá má vinna úr gögnum úr CPT prófi gróflega og handvirkt með því að áætla meðaltöl út frá línuritum eða í smáatriðum með því t.d. að áætla sig frá CPT gögnum mældum á 1 cm fresti í jarðvegi.

Niðurstaðan er því sú að flest bendir til þess að CPT próf séu vel nothæf til þess áætla sig og raunar aðra eiginleika íslenskra jarðlaga og gefi auk þess yfirburða upplýsingar um jarðvegsgerð sem styðja við hefðbundnar rannsóknir.

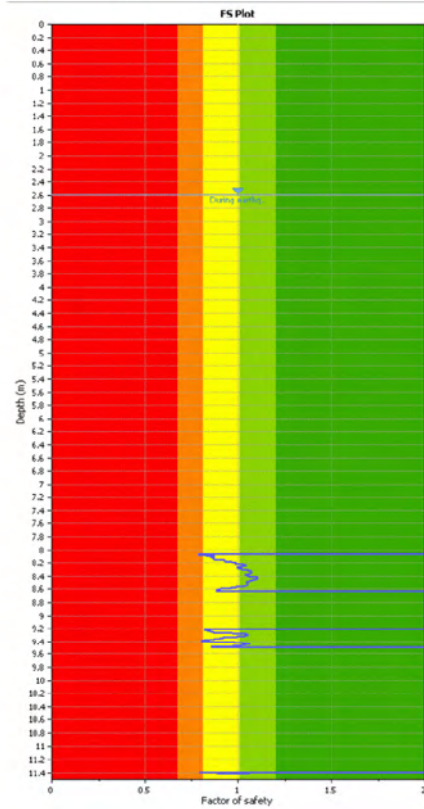
Í framhaldi af þessari athugun væri æskilegt að auka rannsóknir þar sem saman færu sigpróf á rannsóknarstofu, CPT mælingar og sigmælingar á staðnum.

## 12 Teikningar

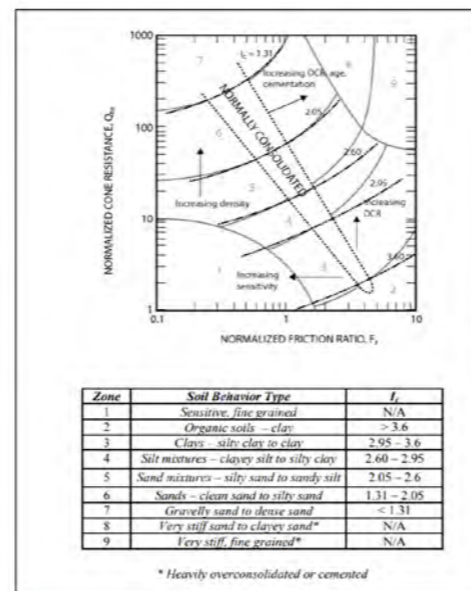
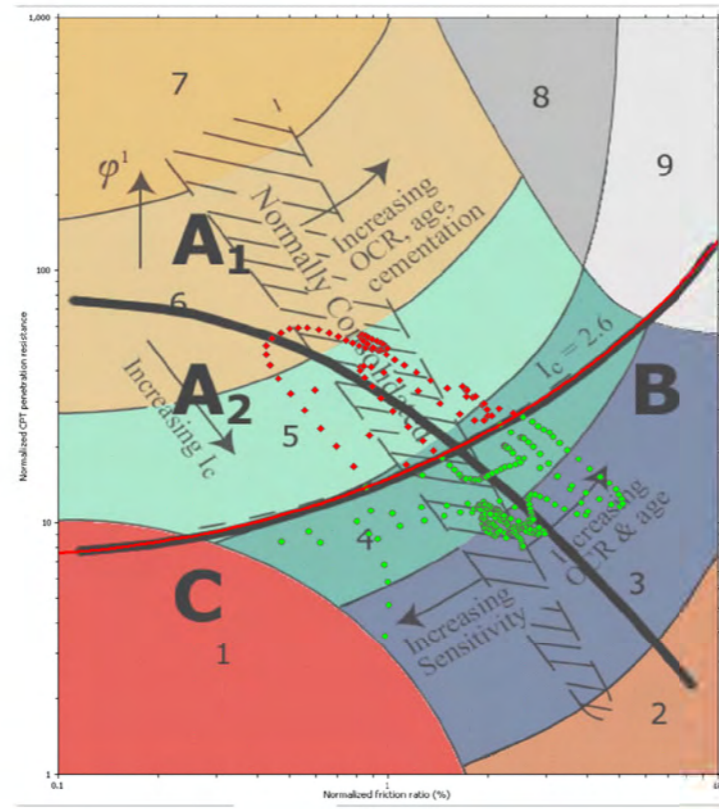
| Teikning nr. | Svæði                   | Nafn                                      |
|--------------|-------------------------|---|
| 5.1          | Bryggjuhverfi Reykjavík | CPT próf C6                               |
| 5.2          | Bryggjuhverfi Reykjavík | CPT próf D4                               |
| 5.3          | Bryggjuhverfi Reykjavík | CPT próf G3                               |
| 5.4          | Bryggjuhverfi Reykjavík | CPT próf H3                               |
| 5.5          | Bryggjuhverfi Reykjavík | CPT próf I4                               |
| 5.6          | Bryggjuhverfi Reykjavík | CPT próf J1                               |
| 5.7          | Bryggjuhverfi Reykjavík | CPT próf K2                               |
| 5.8          | Bryggjuhverfi Reykjavík | CPT próf L1                               |
| 5.9          | Bryggjuhverfi Reykjavík | Samanburður CPT og sigprófa C6, D4, G, H3 |
| 5.10         | Bryggjuhverfi Reykjavík | Samanburður CPT og sigprófa I4, K2, L1    |
|              |                         |   |
| 6.1          | Neskaupstaður           | CPT próf 3                                |
| 6.2          | Neskaupstaður           | CPT próf 6                                |
| 6.3          | Neskaupstaður           | CPT próf 8                                |
|              |                         |   |
| 8.1          | Teigsskógur             | CPT próf 307                              |
| 8.2          | Teigsskógur             | CPT próf 310                              |
|              |                         |   |
| 9.1          | Breknaheiði             | CPT próf                                  |



Öryggisstuðul ysjunar



Robertson (1990) Soil Classification



- A1: Cyclic liquefaction likely depending on size and duration of cyclic loading
- A2: Cyclic liquefaction and strength loss likely depending on loading and ground geometry
- B: Liquefaction and post-earthquake strength loss unlikely, check on cyclic softening
- C: Liquefaction and strength loss possible depending on soil plasticity, brittleness/ sensitivity, strain to peak undrained strength and ground geometry.

Max lærétt jarðskjálftahröðun: 0,15  
Moment magnítude jarðskjálfta: 6,5

| CPT nr. | Staðsetning   | Hæð m y.s. |
|---------|---------------|------------|
| 6       | Austur Norður | Rvk kerfi  |



Bryggjuhverfi vestur. Reykjavík

CPT PRÓFUN C6  
Grunntúlkun, jarðvegsgerð og ysjun

Teikning no.

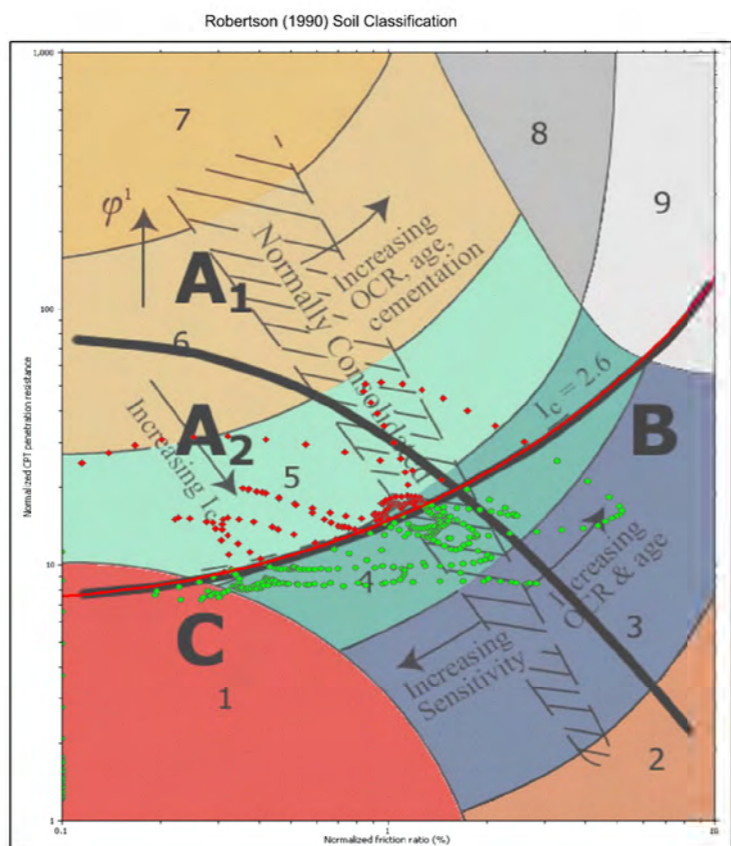
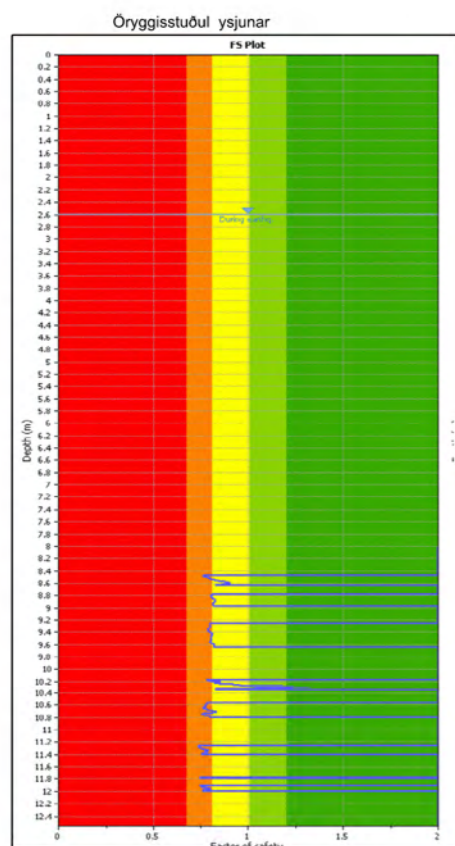
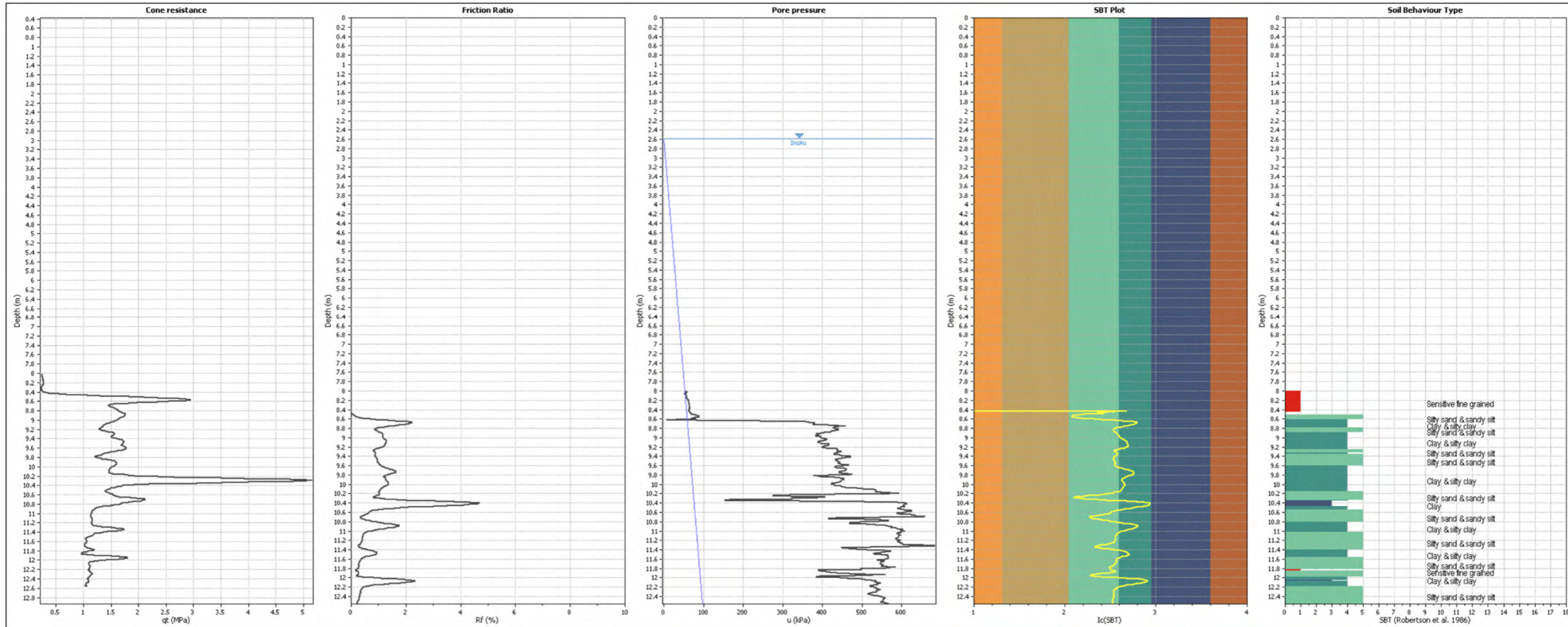
5.1

Dags: Des 2021

Hannað: BJB

Kvarði:

Skrá:

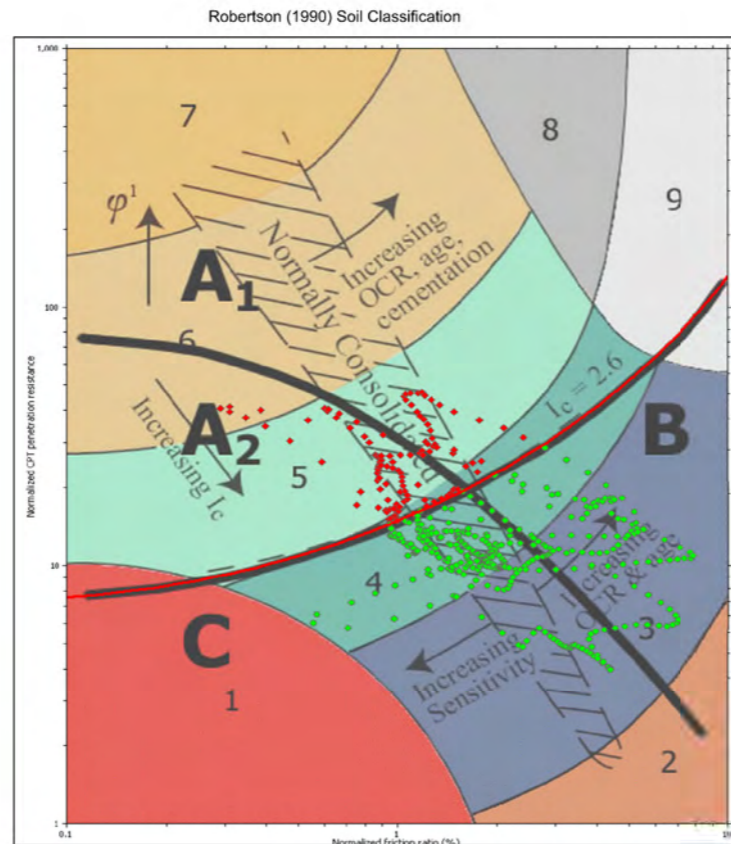
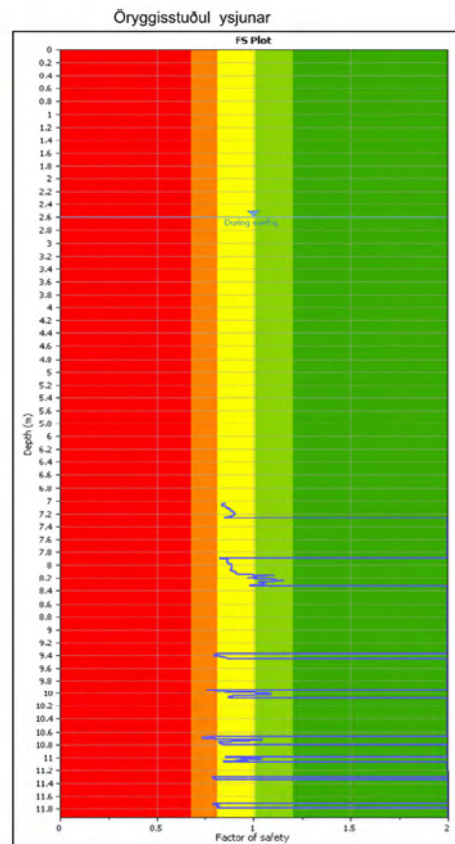
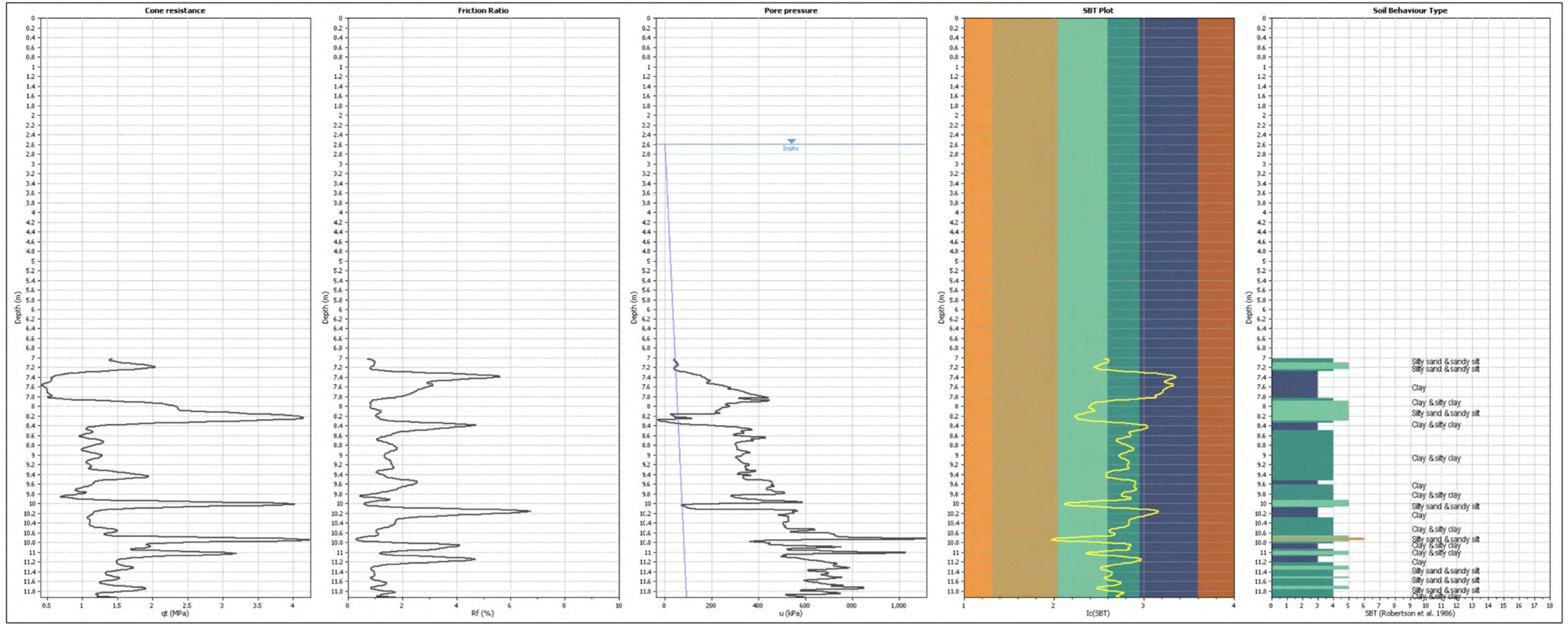


- A1: Cyclic liquefaction likely depending on size and duration of cyclic loading
- A2: Cyclic liquefaction and strength loss likely depending on loading and ground geometry
- B: Liquefaction and post-earthquake strength loss unlikely, check on cyclic softening
- C: Liquefaction and strength loss possible depending on soil plasticity, brittleness/ sensitivity, strain to peak undrained strength and ground geometry.

Max lárétt jarðskjálftahróðun: 0,15  
 Momeni magnitíðe jarðskjálfta: 6,5

| CPT nr. | Staðsetning   | Hæð m y.s. |
|---------|---------------|------------|
| D4      | Austur Norður | Rvk kerfi  |
|         | 362526,9      | 406467,8   |
|         |               | 4,276      |

|                |             |   |       |                            |
|----------------|-------------|---|-------|----------------------------|
|                |             | Bryggjuhverfi vestur. Reykjavík                     |       | Teikning no.<br><b>5.2</b> |
|                |             | CPT PRÓFUN D4<br>Grunntúlkun, jarðvegsgerð og ysjun |       |                            |
| Dags: Des 2021 | Hannað: BJB | Kvarði:   | Skrá: |                            |

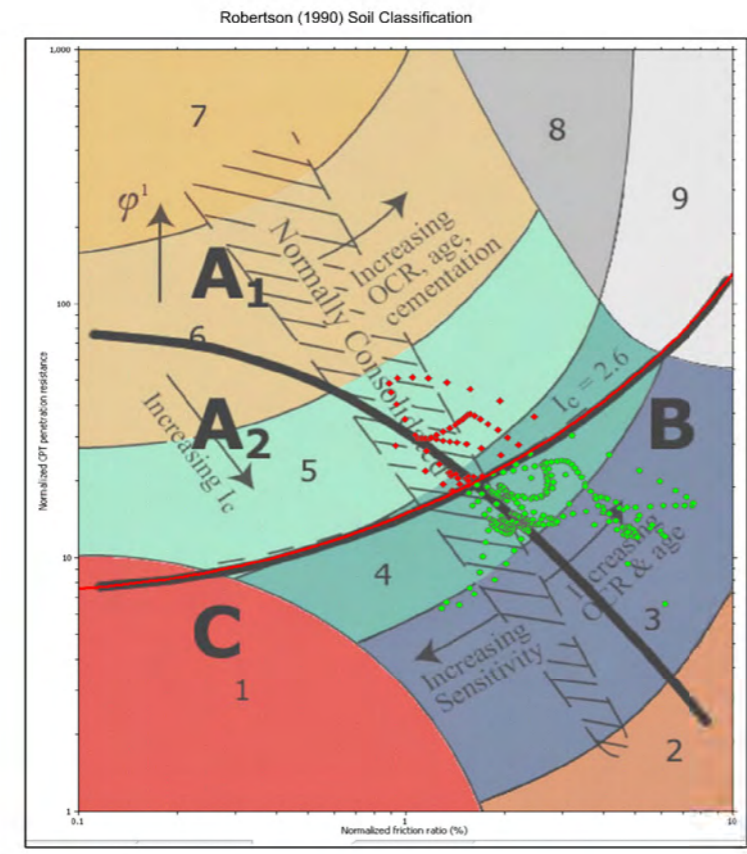
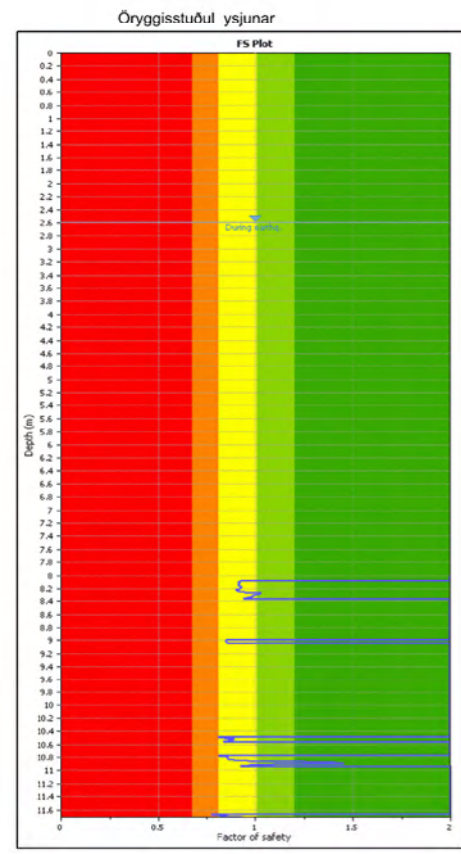
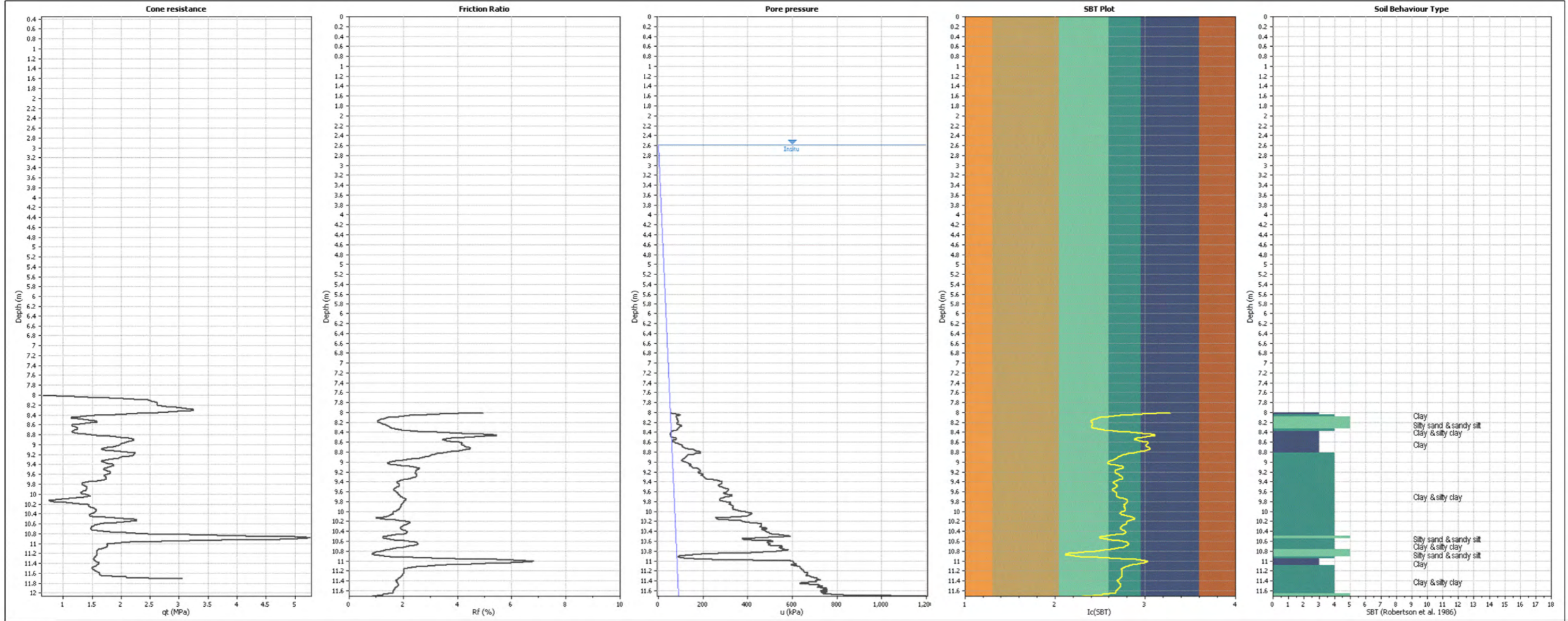


- A1: Cyclic liquefaction likely depending on size and duration of cyclic loading
- A2: Cyclic liquefaction and strength loss likely depending on loading and ground geometry
- B: Liquefaction and post-earthquake strength loss unlikely, check on cyclic softening
- C: Liquefaction and strength loss possible depending on soil plasticity, brittleness/ sensitivity, strain to peak undrained strength and ground geometry.

Max láreiti jarðskjálftahróðun: 0,15  
Moment magnitúde jarðskjálfta: 6,5

| CPT nr. | Staðsetning       | Hæð m y.s.      |
|---------|-------------------|-----------------|
| G3      | 362595,1 406533,2 | Rvk kerfi 4,312 |

|                |             |   |       |                  |
|----------------|-------------|---|-------|------------------|
|                |             | Bryggjuhverfi vestur. Reykjavík                     |       | Teikning no. 5.3 |
|                |             | CPT PRÓFUN G3<br>Grunntúlkun, jarðvegsgerð og ysjun |       |                  |
| Dags: Des 2021 | Hannað: BJB | Kvarði:   | Skrá: |                  |

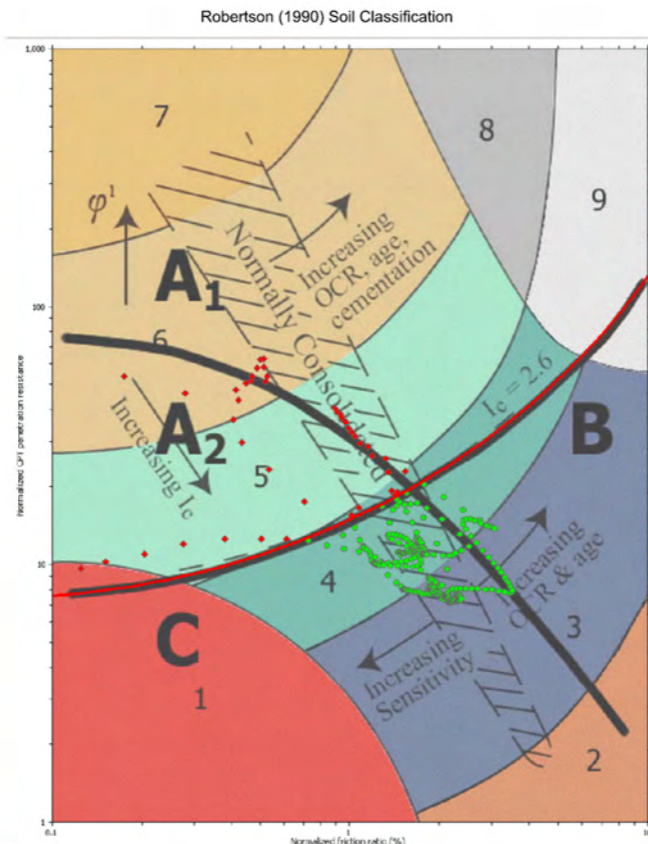
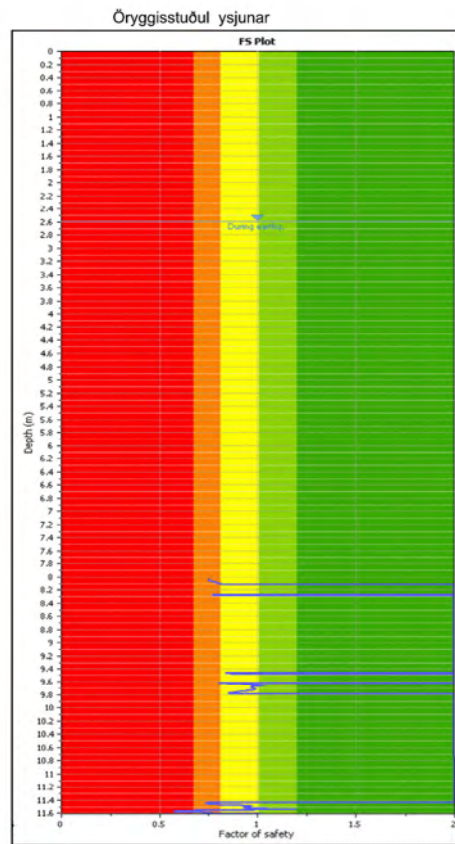
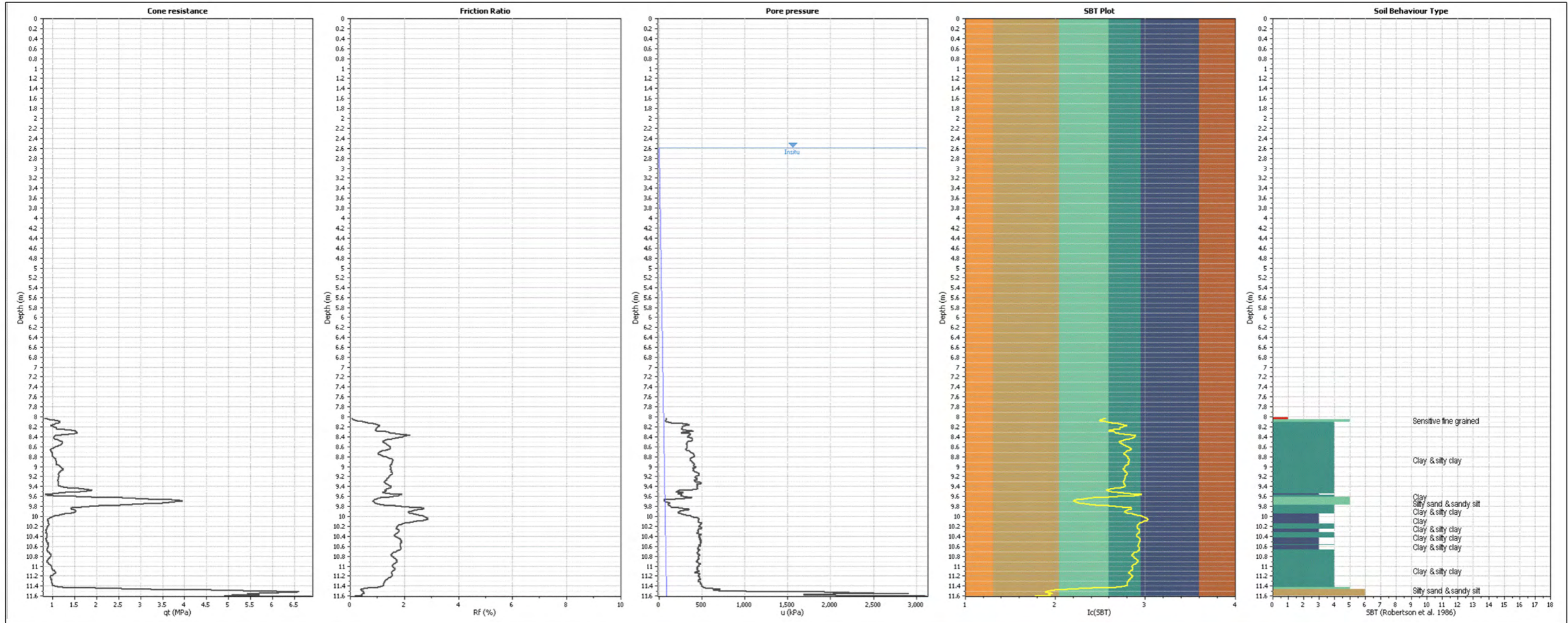


- A1: Cyclic liquefaction likely depending on size and duration of cyclic loading
- A2: Cyclic liquefaction and strength loss likely depending on loading and ground geometry
- B: Liquefaction and post-earthquake strength loss unlikely, check on cyclic softening
- C: Liquefaction and strength loss possible depending on soil plasticity, brittleness/ sensitivity, strain to peak undrained strength and ground geometry.

Max lárétt jarðskjálftahröðun: 0,15  
 Moment magnitúde jarðskjálfta: 6,5

| CPT nr. | Staðsetning             | Hæð m y.s. |
|---------|-------------------------|------------|
| H3      | Austur Norður Rvk kerfi | 4,77       |

|                |             |   |       |                            |
|----------------|-------------|---|-------|----------------------------|
|                |             | Bryggjuhverfi vestur. Reykjavík                     |       | Teikning no.<br><b>5.4</b> |
|                |             | CPT PRÓFUN H3<br>Grunntúlkun, jarðvegsgerð og ysjun |       |                            |
| Dags: Des 2021 | Hannað: BJB | Kvarði:   | Skrá: |                            |



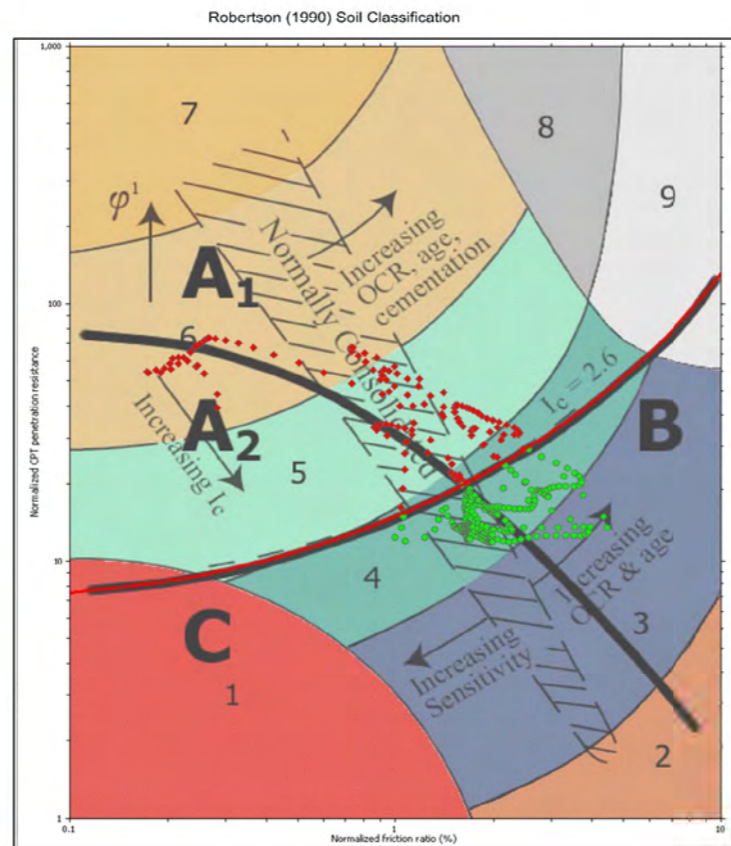
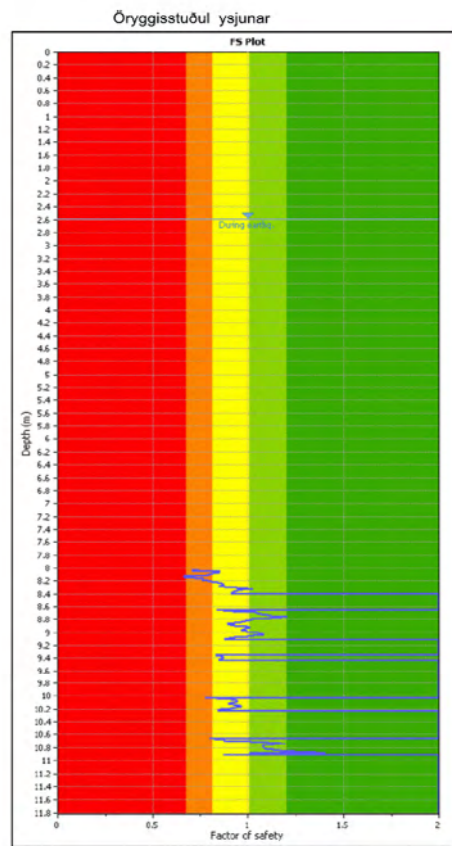
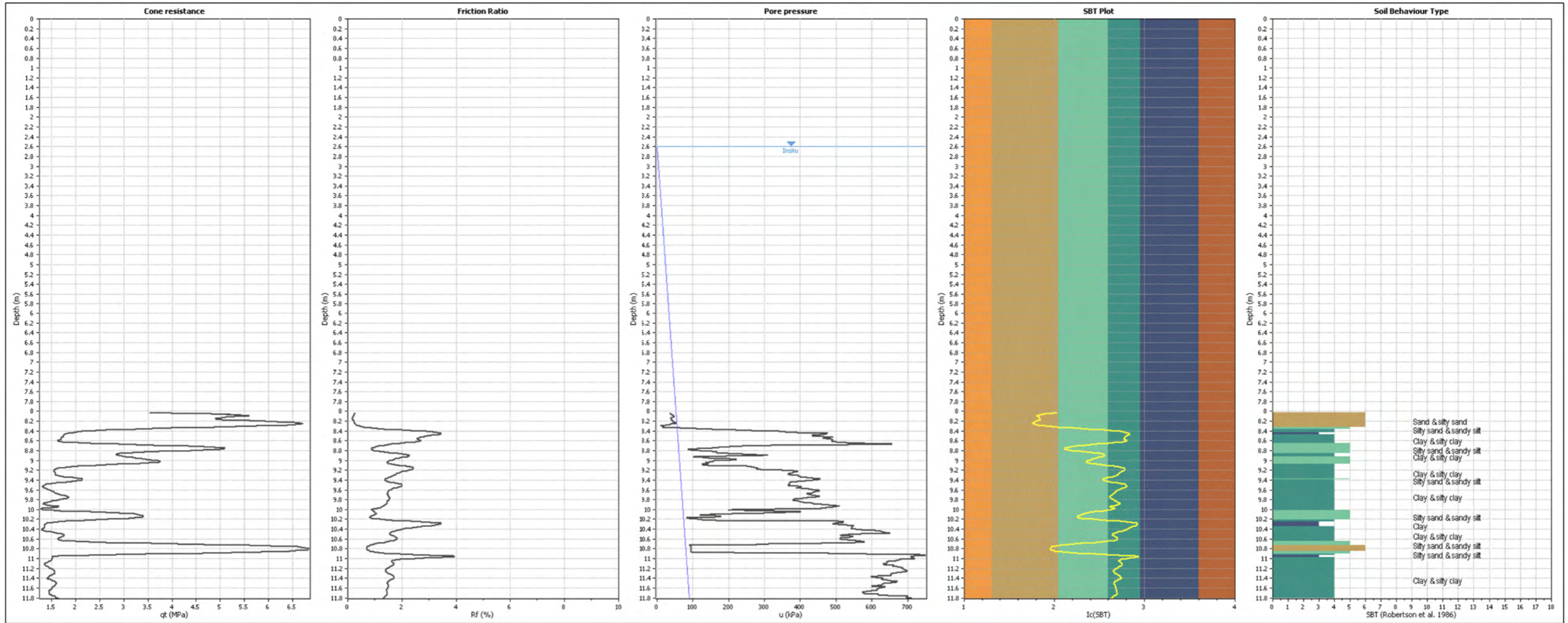
- A1: Cyclic liquefaction likely depending on size and duration of cyclic loading.
- A2: Cyclic liquefaction and strength loss likely depending on loading and ground geometry.
- B: Liquefaction and post-earthquake strength loss unlikely, check on cyclic softening.
- C: Liquefaction and strength loss possible depending on soil plasticity, brittleness/ sensitivity, strain to peak undrained strength and ground geometry.

Max láreitt jarðskjálftahróun: 0,15  
 Moment magnituda jarðskjálfta: 6,5

| CPT nr. | Staðsetning   | Hæð m y.s. |
|---------|---------------|------------|
| I4      | Austur Norður | Rvk kerfi  |
|         | 362405,7      | 406573,9   |
|         |               | 4,028      |

|                |             |   |       |                            |
|----------------|-------------|---|-------|----------------------------|
|                |             | Bryggjuhverfi vestur. Reykjavík                     |       | Teikning no.<br><b>5.5</b> |
|                |             | CPT PRÓFUN I4<br>Grunntúlkun, jarðvegsgerð og ysjun |       |                            |
| Dags: Des 2021 | Hannað: BJB | Kvarði:   | Skrá: |                            |



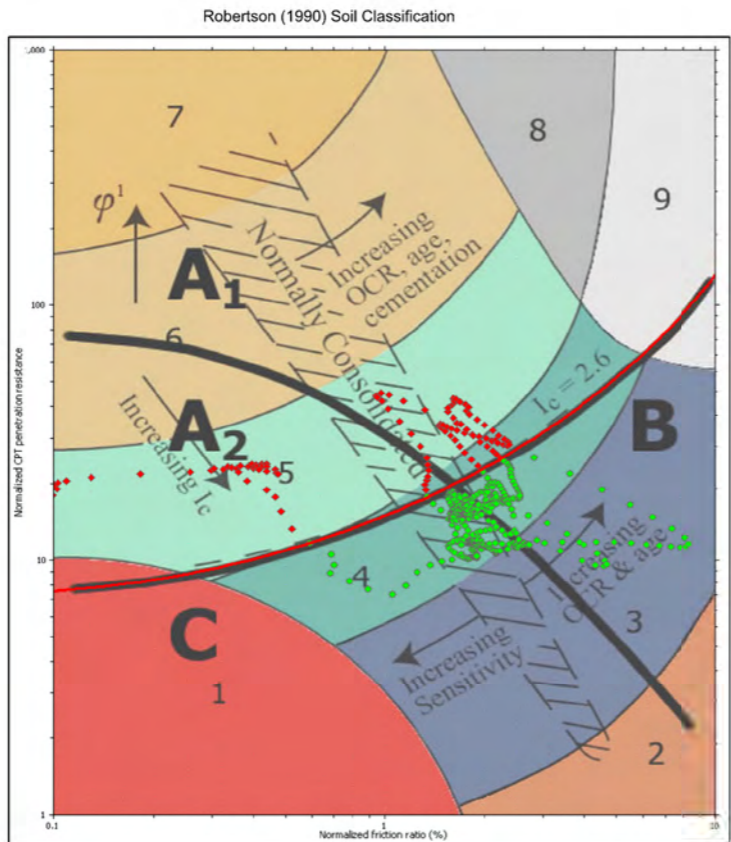
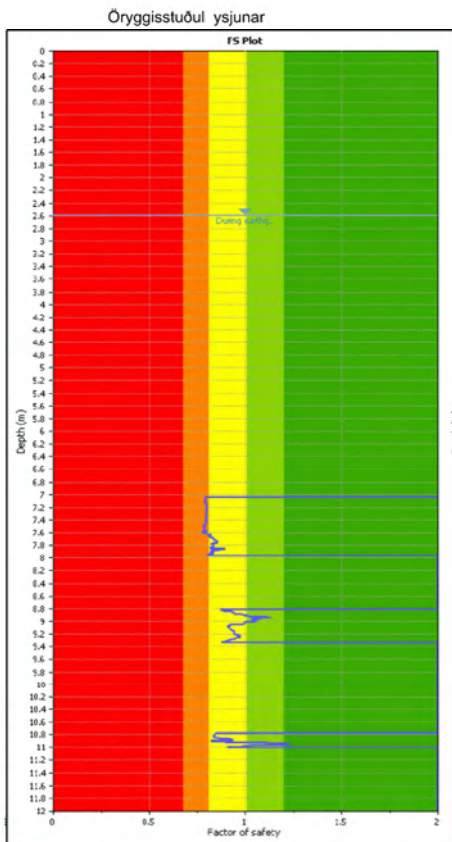
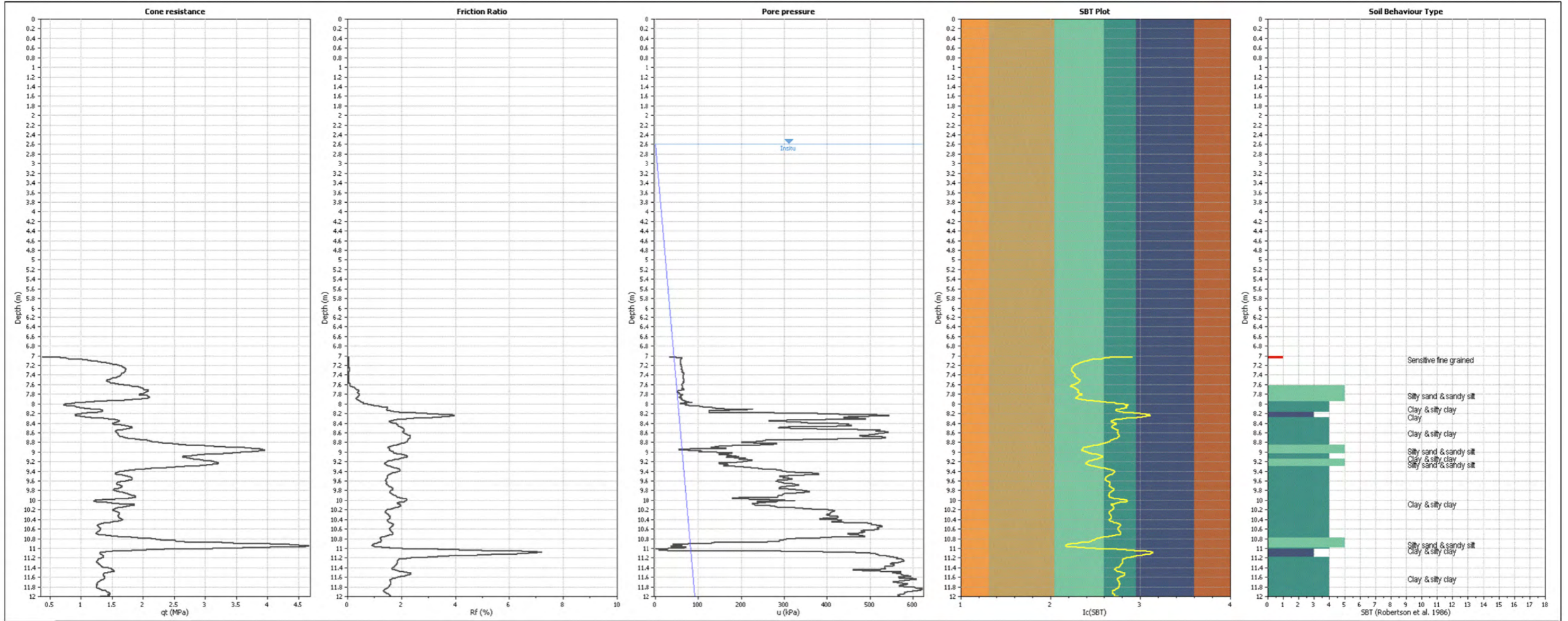


- A1: Cyclic liquefaction likely depending on size and duration of cyclic loading
- A2: Cyclic liquefaction and strength loss likely depending on loading and ground geometry
- B: Liquefaction and post-earthquake strength loss unlikely, check on cyclic softening
- C: Liquefaction and strength loss possible depending on soil plasticity, brittleness/ sensitivity, strain to peak undrained strength and ground geometry.

Max í áreitt jarðskjálftahröðun: 0.15  
 Moment magnitúde jarðskjálfta: 6.5

| CPT nr. | Staðsetning | Hæð m y.s. |           |
|---------|-------------|------------|-----------|
|         | Austur      | Norður     | Rvk kerfi |
| J1      | 362579,3    | 406624,5   | 4.776     |

|                |             |   |       |                  |
|----------------|-------------|---|-------|------------------|
|                |             | Bryggjuhverfi vestur. Reykjavík                     |       | Teikning no. 5.6 |
|                |             | CPT PRÓFUN J1<br>Grunntúlkun, jarðvegsgerð og ysjun |       |                  |
| Dags: Des 2021 | Hannað: BJB | Kvarði:   | Skrá: |                  |

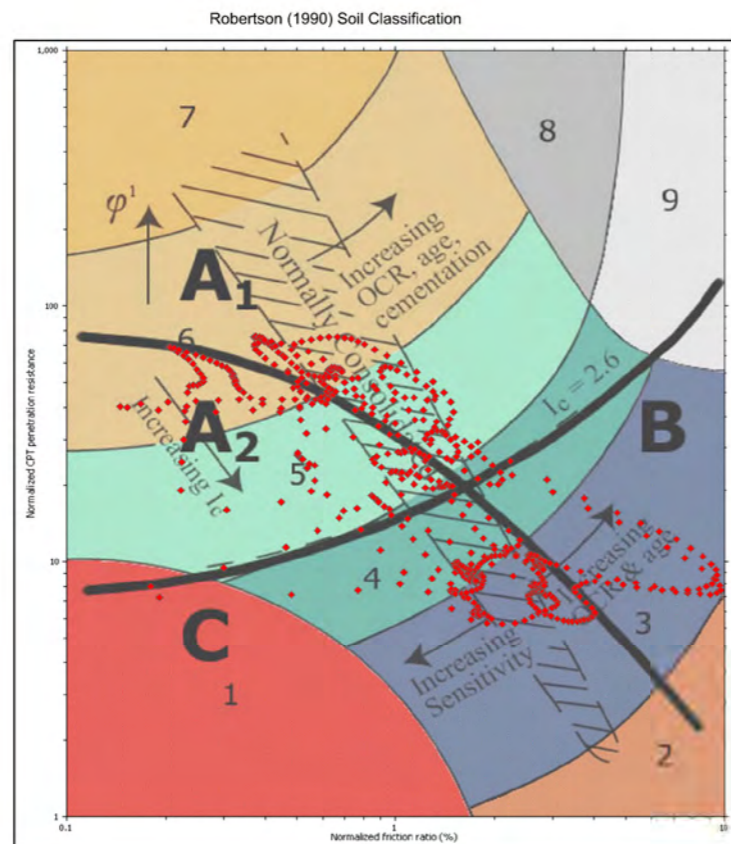
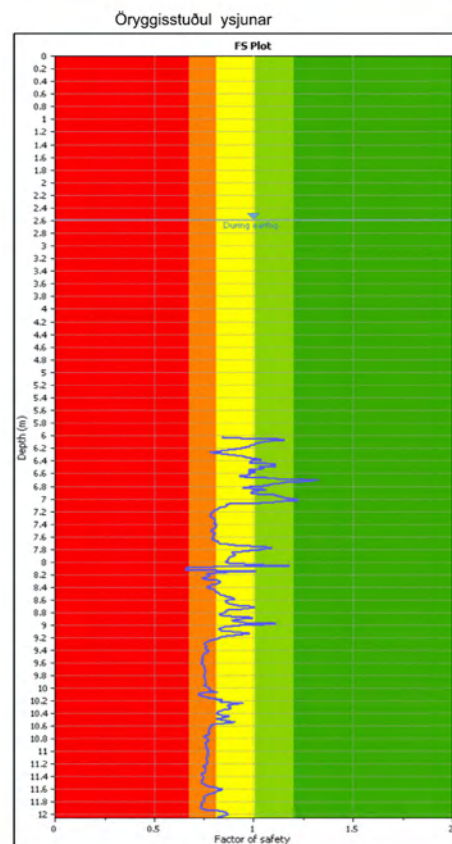
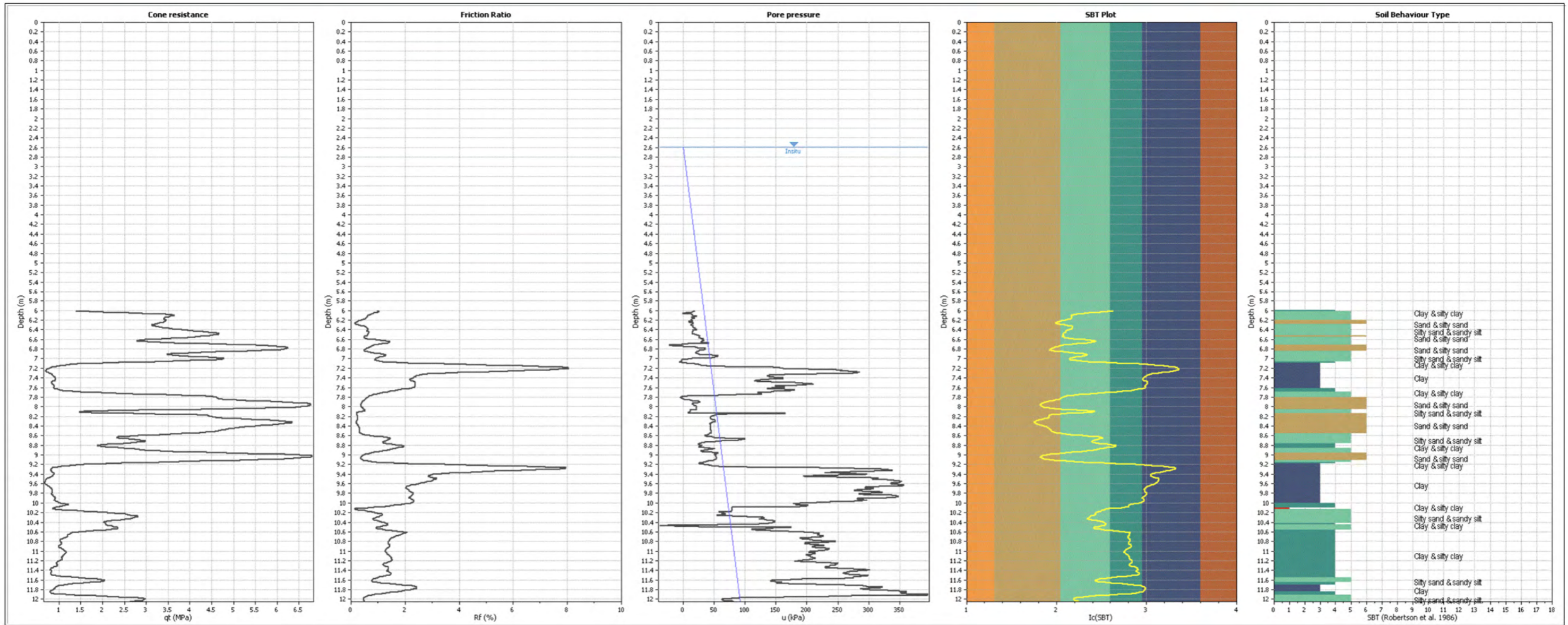


- A1: Cyclic liquefaction likely depending on size and duration of cyclic loading
- A2: Cyclic liquefaction and strength loss likely depending on loading and ground geometry
- B: Liquefaction and post-earthquake strength loss unlikely, check on cyclic softening
- C: Liquefaction and strength loss possible depending on soil plasticity, brittleness/ sensitivity, strain to peak undrained strength and ground geometry.

Max færrit jarðskjálftanröðun: 0,15  
 Moment magnilude jarðskjálfta: 6,5

| CPT nr. | Staðsetning   | Hæð m y.s. |
|---------|---------------|------------|
| K2      | Austur Norður | Rvk kerfi  |
|         | 362550,8      | 406661,4   |
|         |               | 4.682      |

|                |             |   |       |                            |
|----------------|-------------|---|-------|----------------------------|
|                |             | Bryggjuhverfi vestur. Reykjavík                     |       | Teikning no.<br><b>5.7</b> |
|                |             | CPT PRÓFUN K2<br>Grunntúlkun, jarðvegsgerð og ysjun |       |                            |
| Dags: Des 2021 | Hannað: BJB | Kvarði:   | Skrá: |                            |

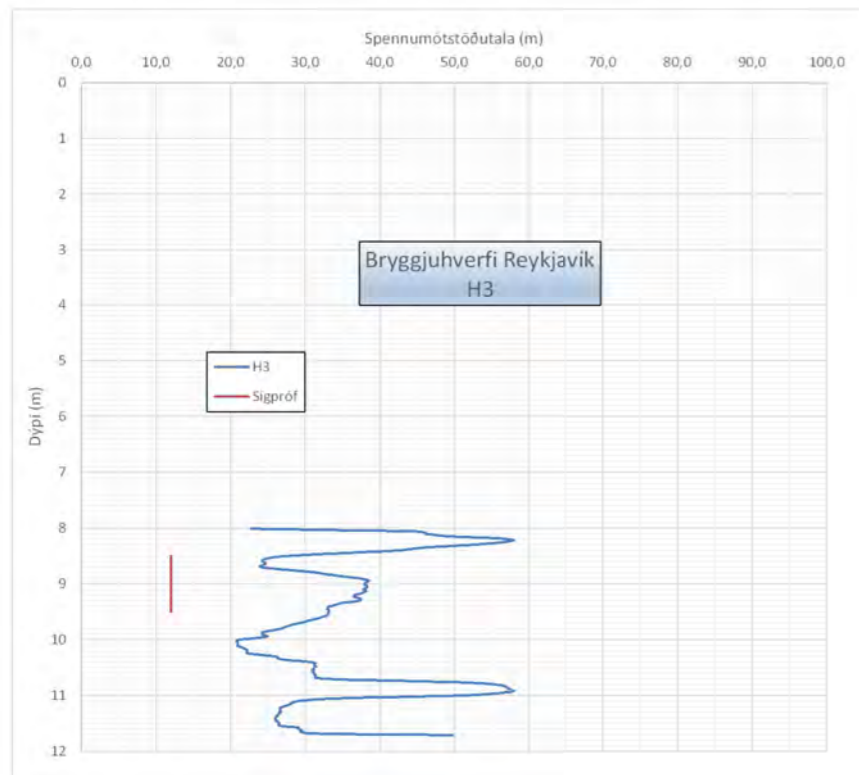
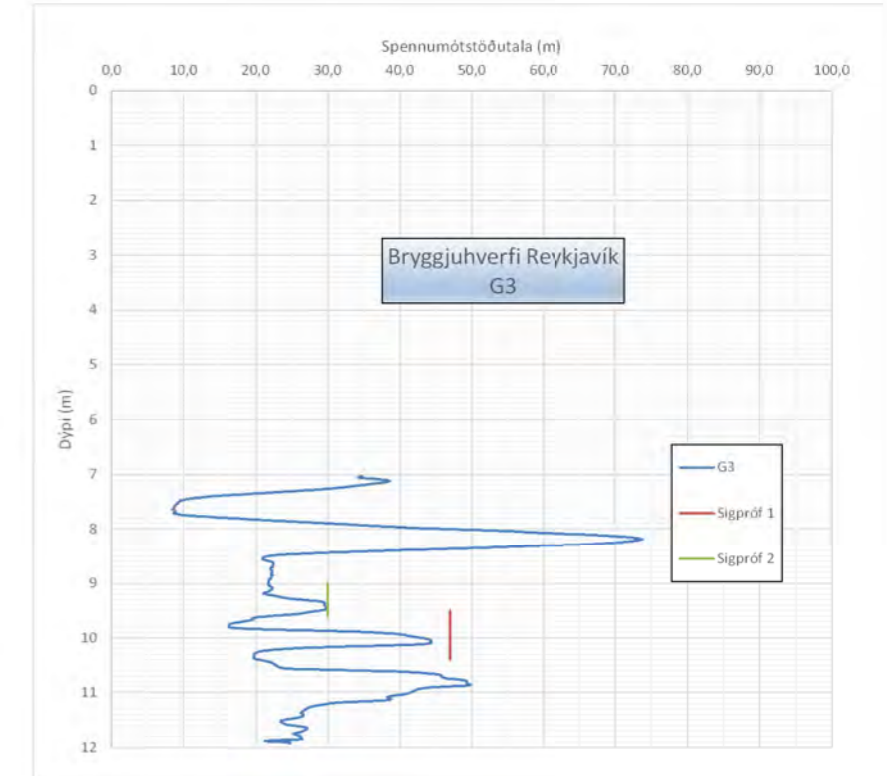
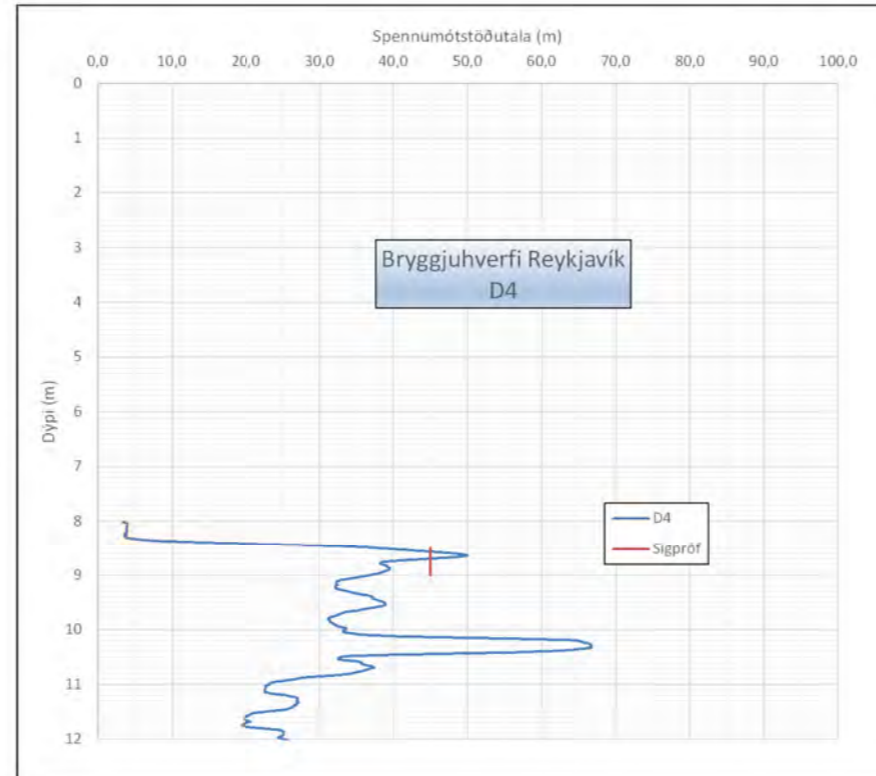
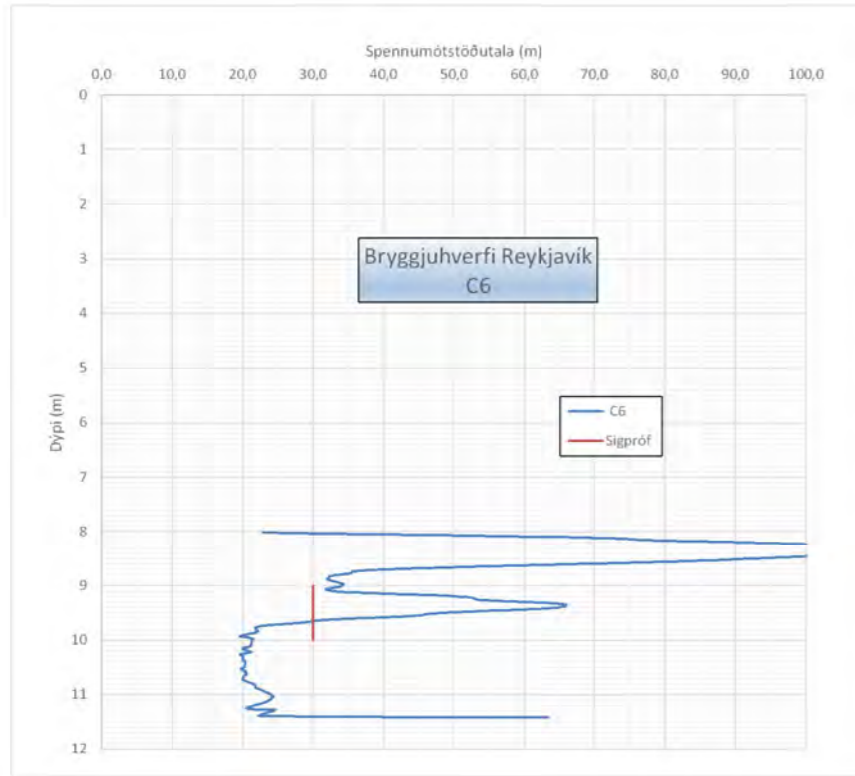


- A1: Cyclic liquefaction likely depending on size and duration of cyclic loading
- A2: Cyclic liquefaction and strength loss likely depending on loading and ground geometry
- B: Liquefaction and post-earthquake strength loss unlikely, check on cyclic softening
- C: Liquefaction and strength loss possible depending on soil plasticity, brittleness/ sensitivity, strain to peak undrained strength and ground geometry.

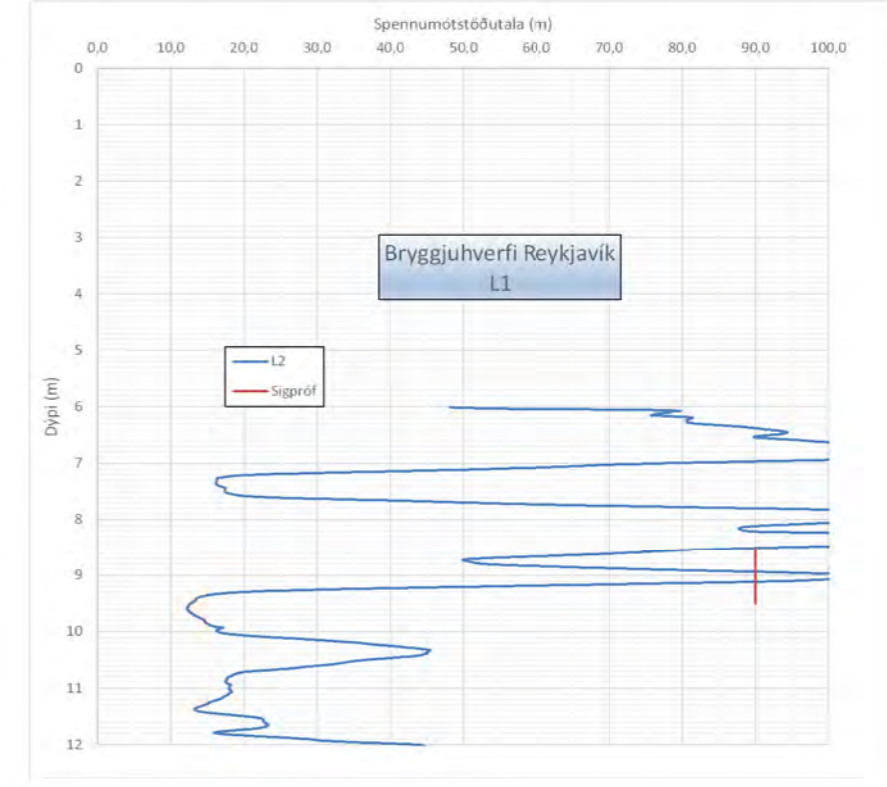
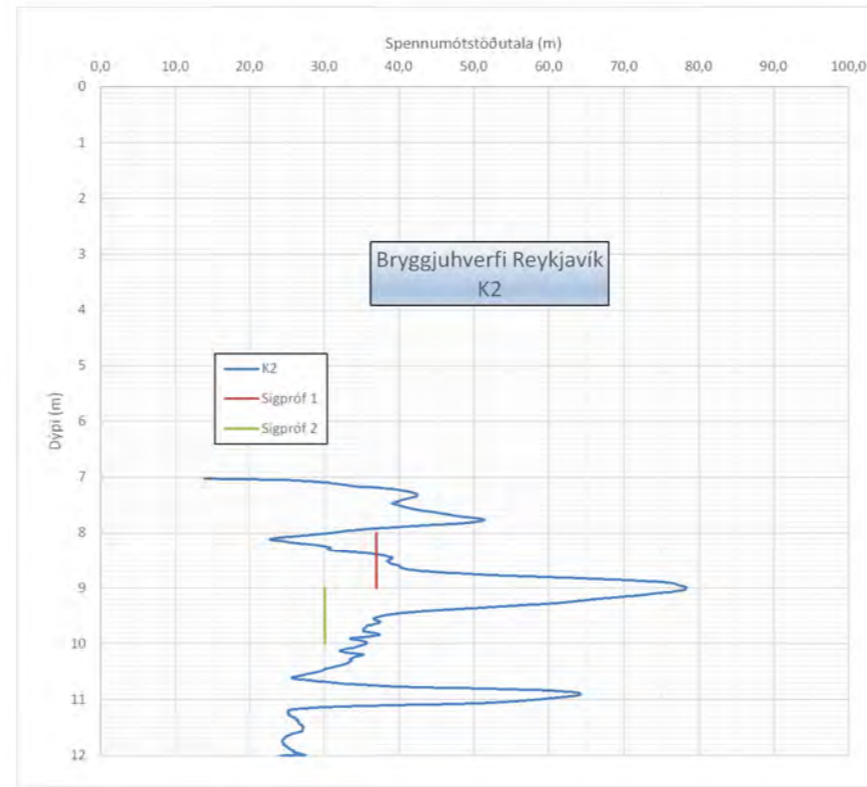
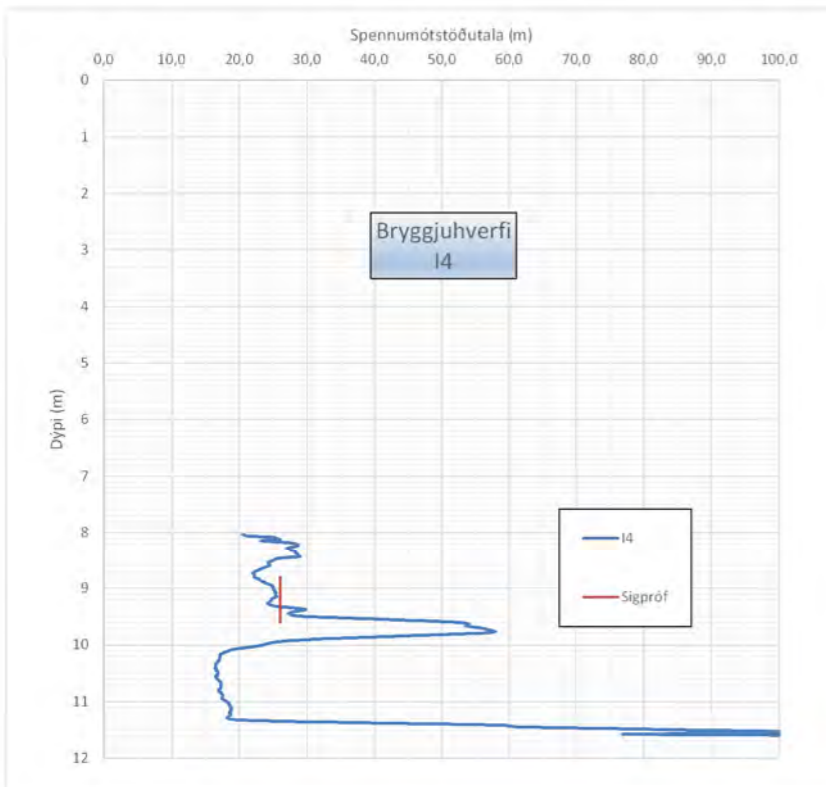
Max lárrét jarðskjálftahröðun: 0,15  
 Moment magnitúde jarðskjálfta: 6,5

| CPT nr. | Staðsetning   | Hæð m y.s. |
|---------|---------------|------------|
| L1      | Austur Norður | Rvk kerfi  |
|         | 362423,0      | 406732,8   |
|         |               | 5,308      |

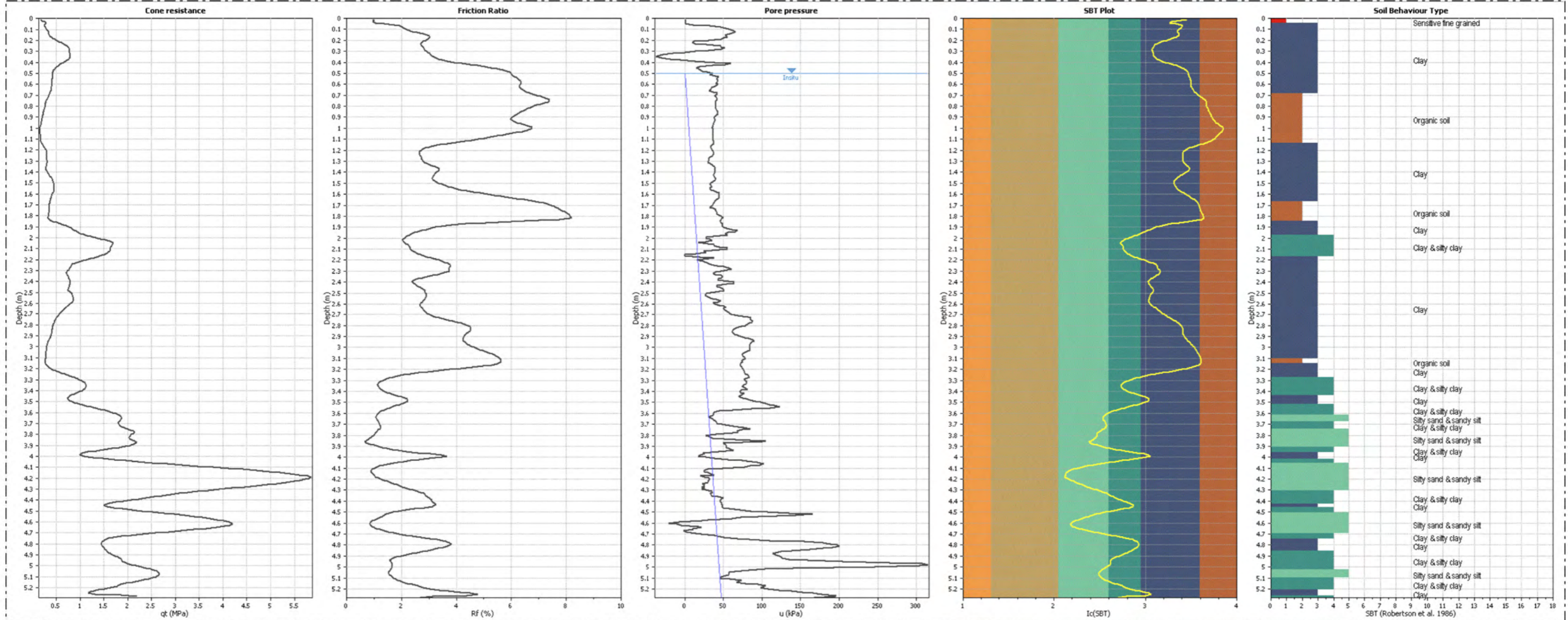
|                |             |   |      |                            |
|----------------|-------------|---|------|----------------------------|
|                |             | Bryggjuhverfi vestur. Reykjavík                     |      | Teikning no.<br><b>5.8</b> |
|                |             | CPT PRÓFUN L1<br>Grunntúlkun, jarðvegsgerð og ysjun |      |                            |
| Dags: Des 2021 | Hannað: BJB | Kvarði:   | Skrá |                            |



|   |   |  |       |                               |
|---|---|--|-------|-------------------------------|
|  |  | Bryggjuhverfi vestur. Reykjavík            |       | Telkning<br>no.<br><b>5.9</b> |
|   |   | Samanburður CPT og sigprófa<br>C6 D4 G3 H3 |       |                               |
| Dags: Des 2021  | Hannað: BJB   | Kvarði:                                    | Skrá: |                               |

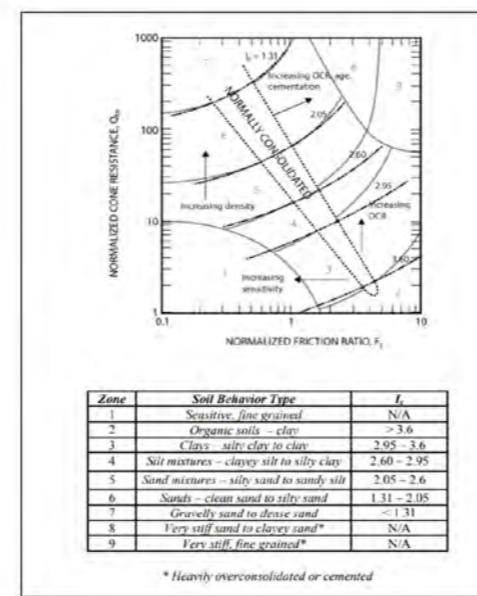
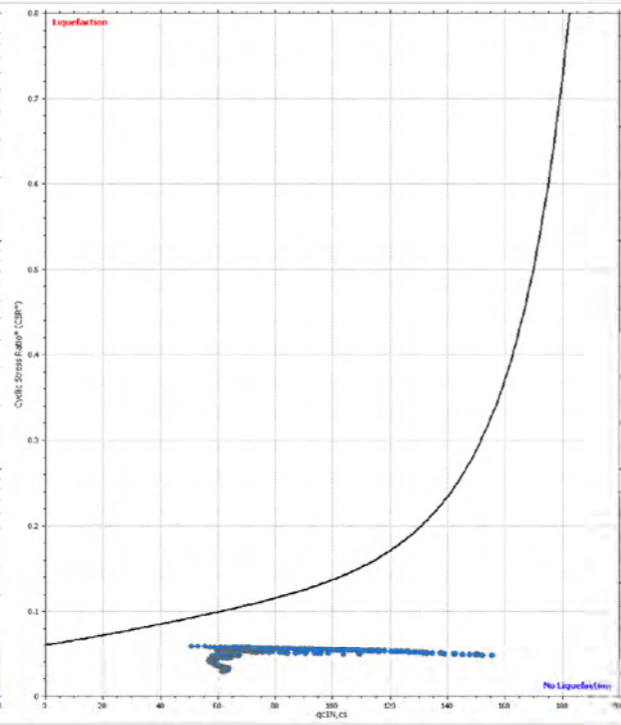
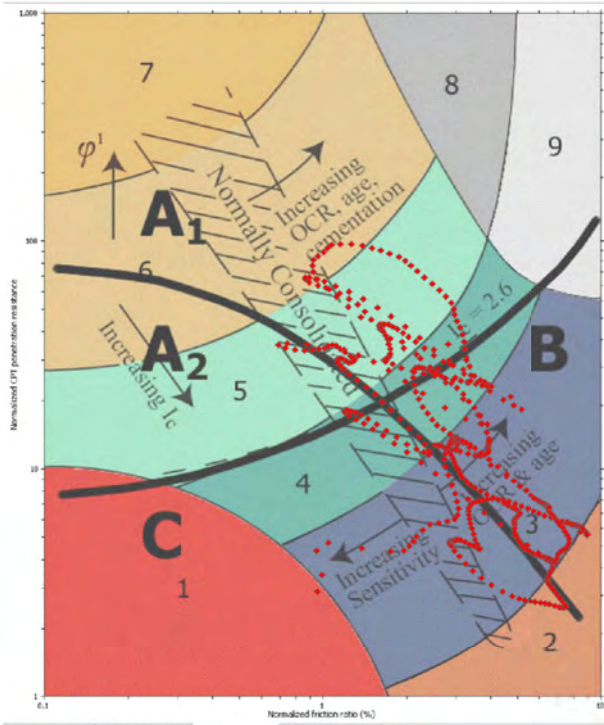


|   |   |                                      |                             |
|---|---|--------------------------------------|-----------------------------|
|  |  | Bryggjuhverfi vestur. Reykjavík      | Teikning no.<br><b>5.10</b> |
|   |   | Samanburður CPT og sigprófa I4 K2 L1 |                             |
| Dags: Des 2021  | Hannað: EJB   | Kvarði:                              | Skrá:                       |



Robertson (1990) Soil Classification

Ysjun í MM 6,5 jarðskjálfta með 0,05g hröðun

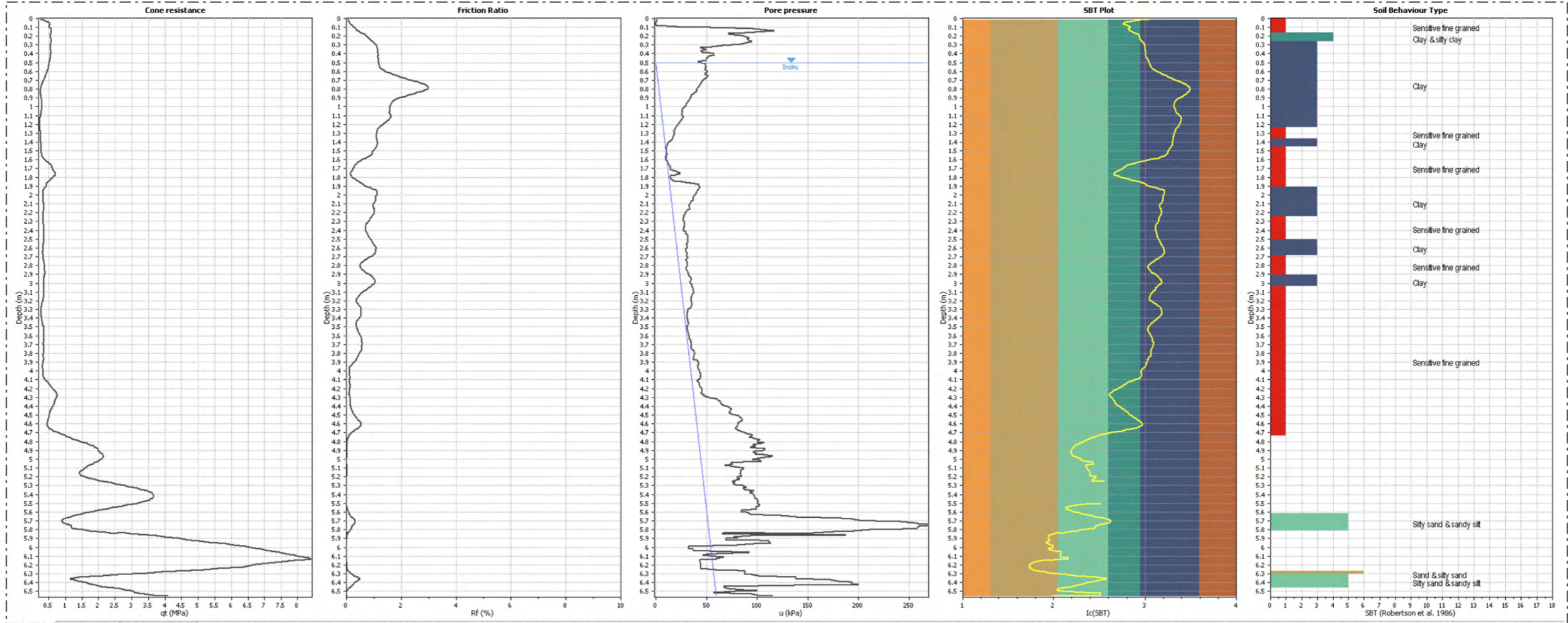


- A1: Cyclic liquefaction likely depending on size and duration of cyclic loading
- A2: Cyclic liquefaction and strength loss likely depending on loading and ground geometry
- B: Liquefaction and post-earthquake strength loss unlikely, check on cyclic softening
- C: Liquefaction and strength loss possible depending on soil plasticity, brittleness/sensitivity, strain to peak undrained strength and ground geometry.

Max láreitt jarðskjálftahróðun: 0,05  
 Mortani magnlúðe jarðskjálfta: 6,5

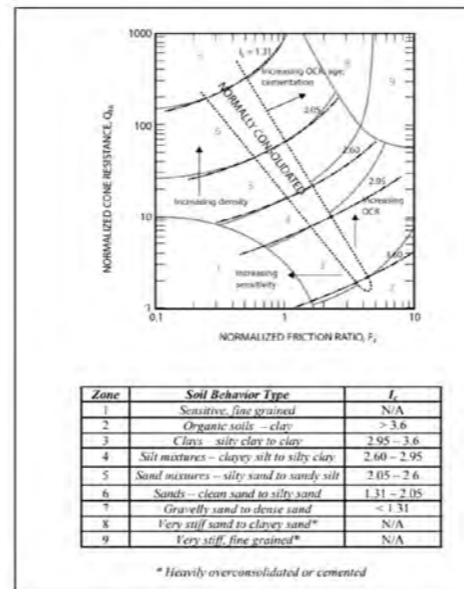
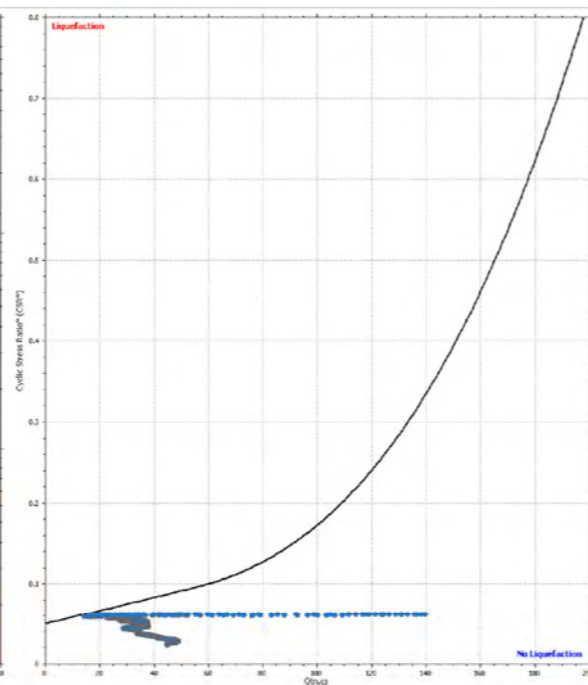
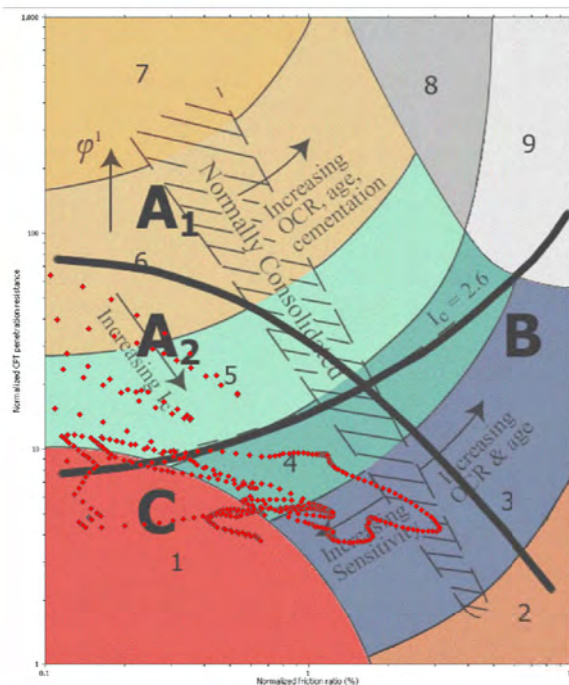
| CPT nr. | Staðsetning   | Hæð m y.s.        |
|---------|---------------|-------------------|
| 3       | Austur Norður | 749471,6 527354,4 |

|       |             |  |       |                  |
|-------|-------------|--|-------|------------------|
|       |             | NESKAUPSTAÐUR NES OG BAKKAGIL                      |       | Teikning no. 6-1 |
|       |             | CPT PRÓFUN 3<br>Grunntúlkun, jarðvegsgerð og ysjun |       |                  |
| Dags: | Hannað: BJB | Kvarði:  | Skrá: |                  |



Robertson (1990) Soil Classification

Ysjun í MM 6,5 jarðskjálfta með 0,05g hröðun



- A1: Cyclic liquefaction likely depending on size and duration of cyclic loading
- A2: Cyclic liquefaction and strength loss likely depending on loading and ground geometry
- B: Liquefaction and post-earthquake strength loss unlikely, check on cyclic softening
- C: Liquefaction and strength loss possible depending on soil plasticity, brittleness/ sensitivity, strain to peak undrained strength and ground geometry.

Ysjun í MM 6,5 jarðskjálfta með 0,05g hröðun

Max lárétt jarðskjálftahröðun: 0,05  
Moment magnitude jarðskjálfta: 6,5

| CPT nr. | Staðsetning | Hæð m y.s. |
|---------|-------------|------------|
| ε       | 749471,6    | 527354,4   |



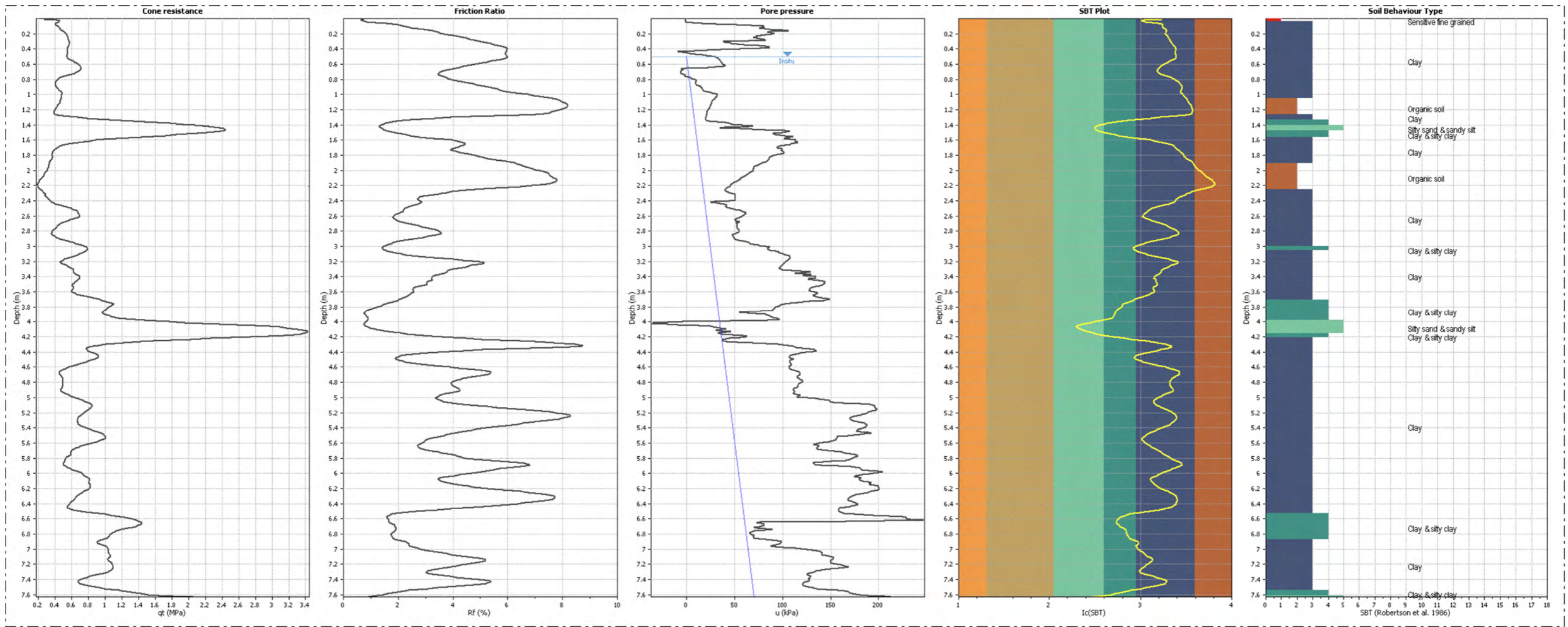
NESKAUPSTAÐUR NES OG BAKKAGIL

CPT PRÓFUN 6  
Grunntúlkun, jarðvegsgerð og ysjun

Teikning númer  
6-2

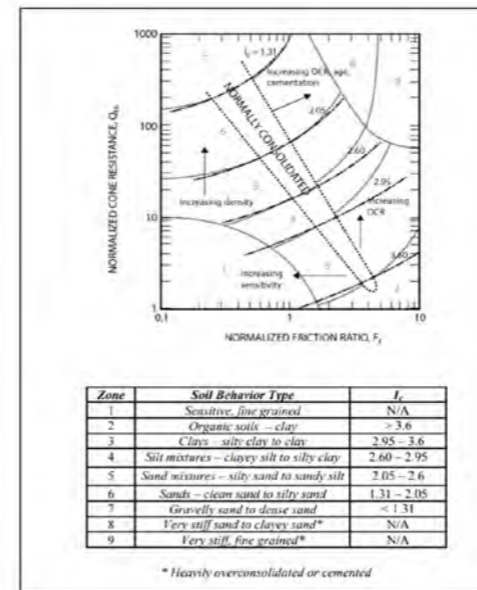
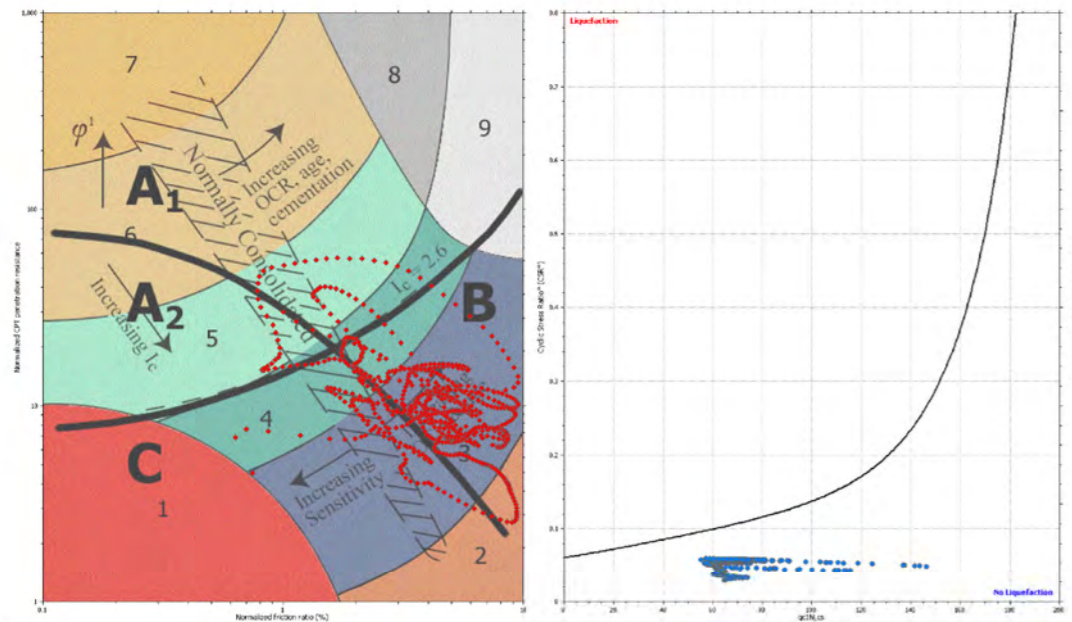
Dags: Hannað: BJB

Kvarði: Skrá:



Robertson (1990) Soil Classification

Ysjun í MM 6,5 jarðskjálfta með 0,05g hröðun



- A1: Cyclic liquefaction likely depending on size and duration of cyclic loading
- A2: Cyclic liquefaction and strength loss likely depending on loading and ground geometry
- B: Liquefaction and post-earthquake strength loss unlikely, check on cyclic softening
- C: Liquefaction and strength loss possible depending on soil plasticity, brittleness/ sensitivity, strain to peak undrained strength and ground geometry.

Max lárétt jarðskjálftahröðun: 0,05  
Moment magnítúde jarðskjálfta: 6,5

| CPT nr. | Staðsetning       | Hæð m y.s. |
|---------|-------------------|------------|
| 6       | 749471,6 527354,4 |            |



NESKAUPSTAÐUR NES OG BAKKAGIL

CPT PRÓFUN 8  
Grunntúlkun, jarðvegsgerð og ysjun

Teikning n.º.

6-3

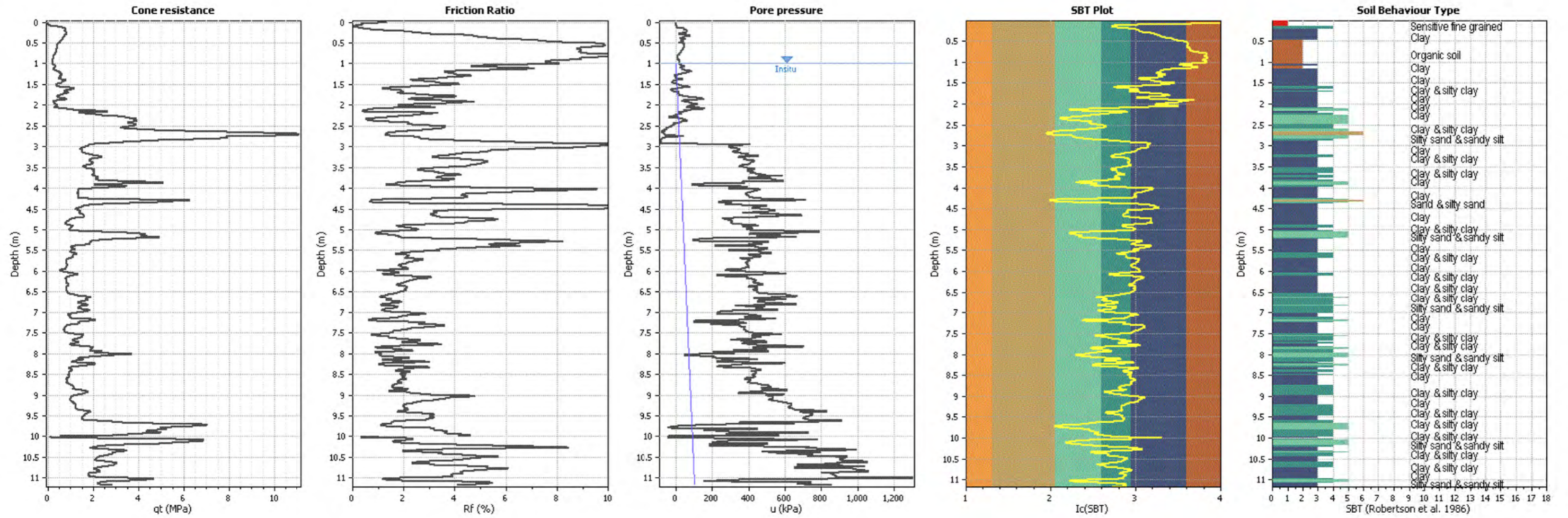
Dags:

Hannað: BJB

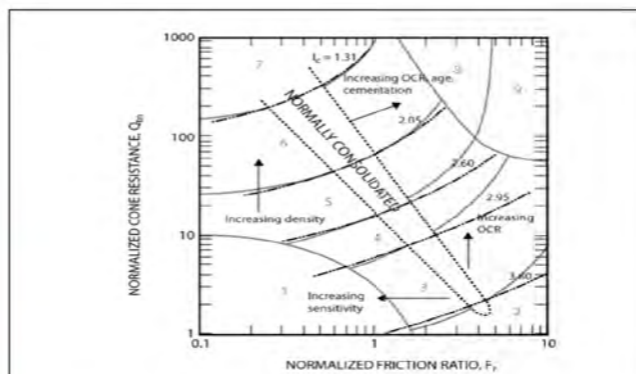
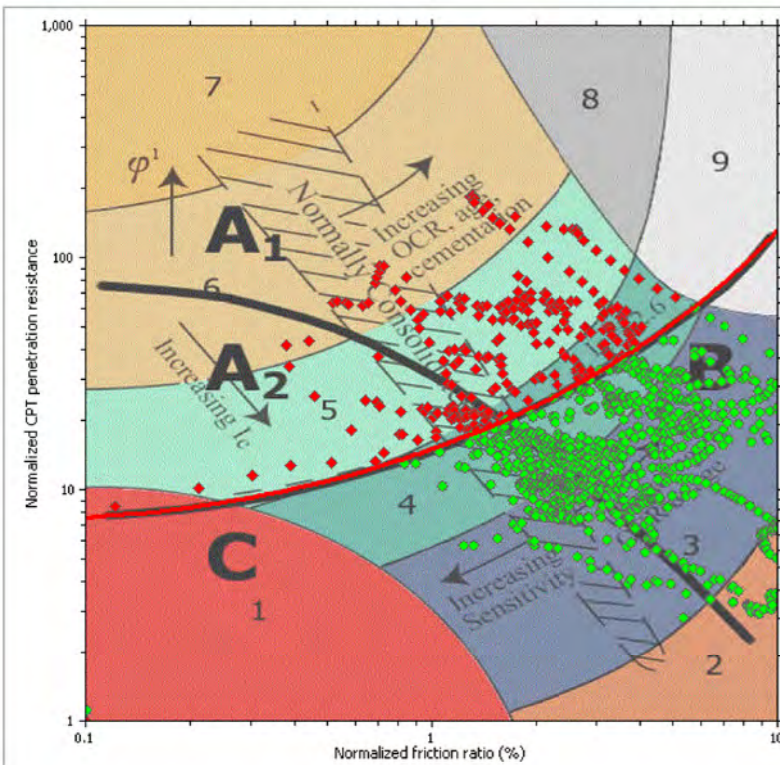
Kvarði:

Skrá:





Robertson (1990) Soil Classification



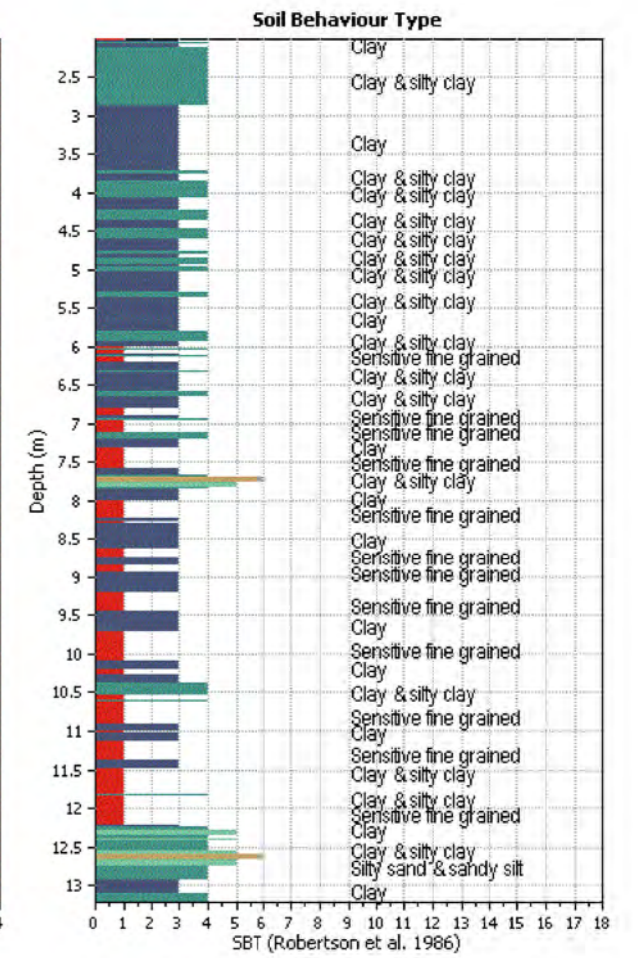
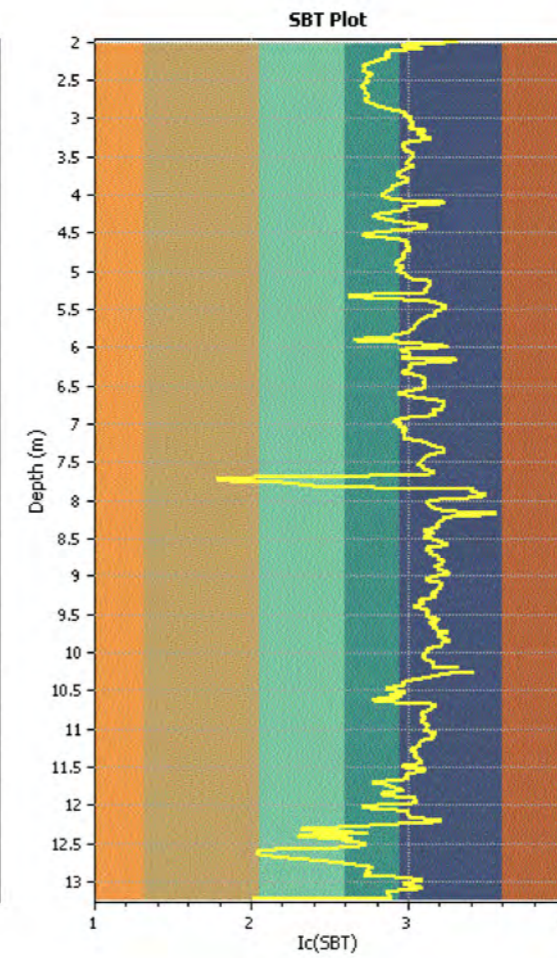
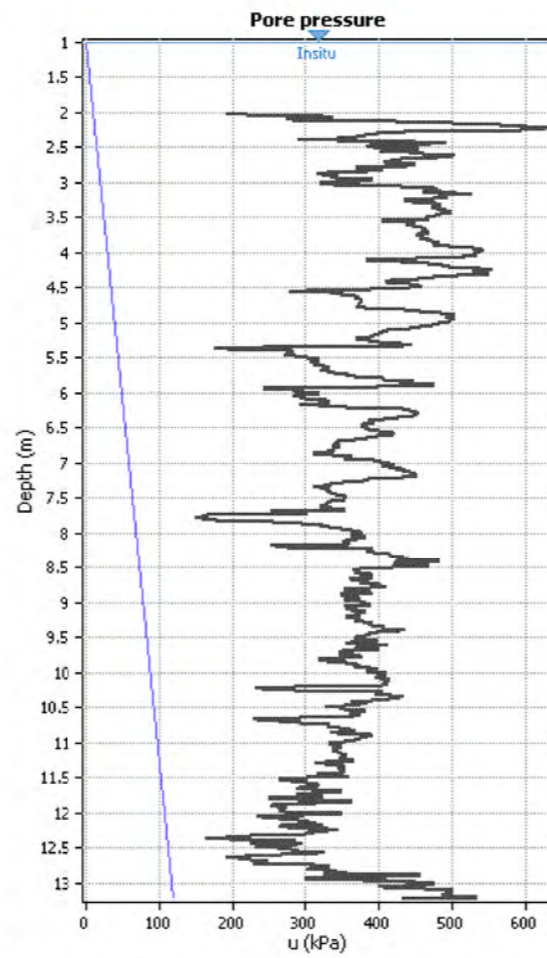
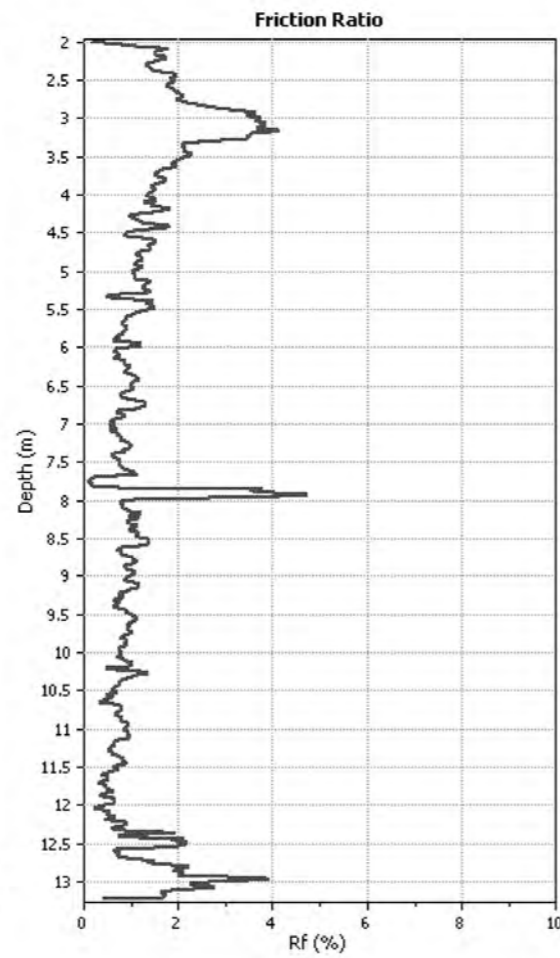
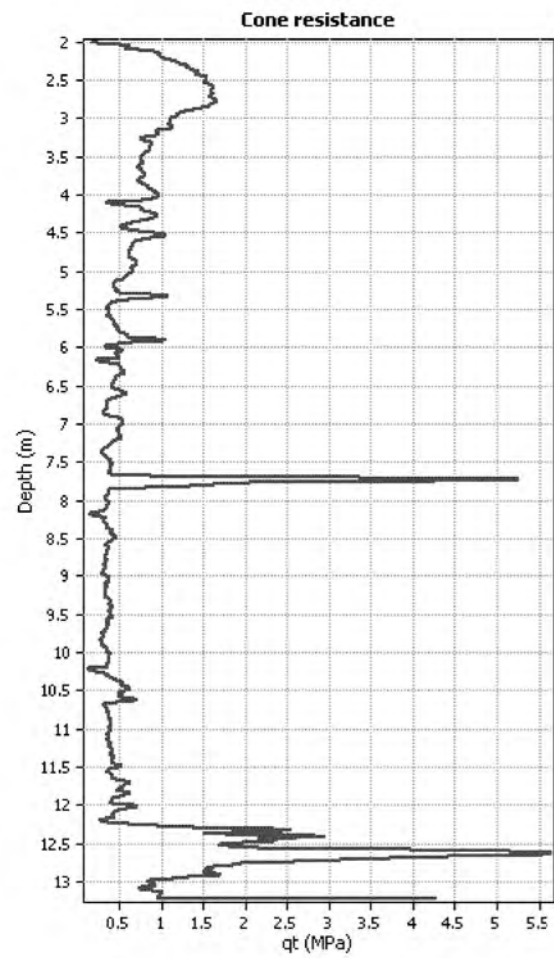
| Zone | Soil Behavior Type                        | $I_c$       |
|------|---|-------------|
| 1    | Sensitive, fine grained                   | N/A         |
| 2    | Organic soils - clay                      | > 3.6       |
| 3    | Clays - silty clay to clay                | 2.95 - 3.6  |
| 4    | Silt mixtures - clayey silt to silty clay | 2.60 - 2.95 |
| 5    | Sand mixtures - silty sand to sandy silt  | 2.05 - 2.6  |
| 6    | Sands - clean sand to silty sand          | 1.31 - 2.05 |
| 7    | Gravelly sand to dense sand               | < 1.31      |
| 8    | Very stiff sand to clayey sand*           | N/A         |
| 9    | Very stiff, fine grained*                 | N/A         |

\* Heavily overconsolidated or cemented

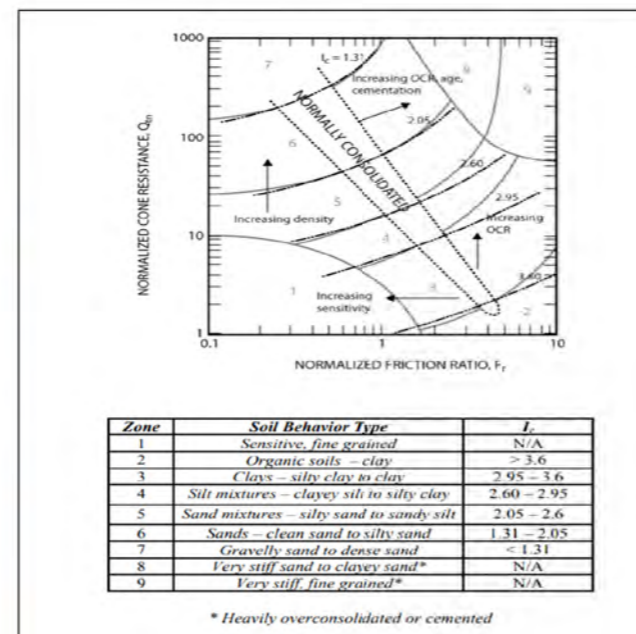
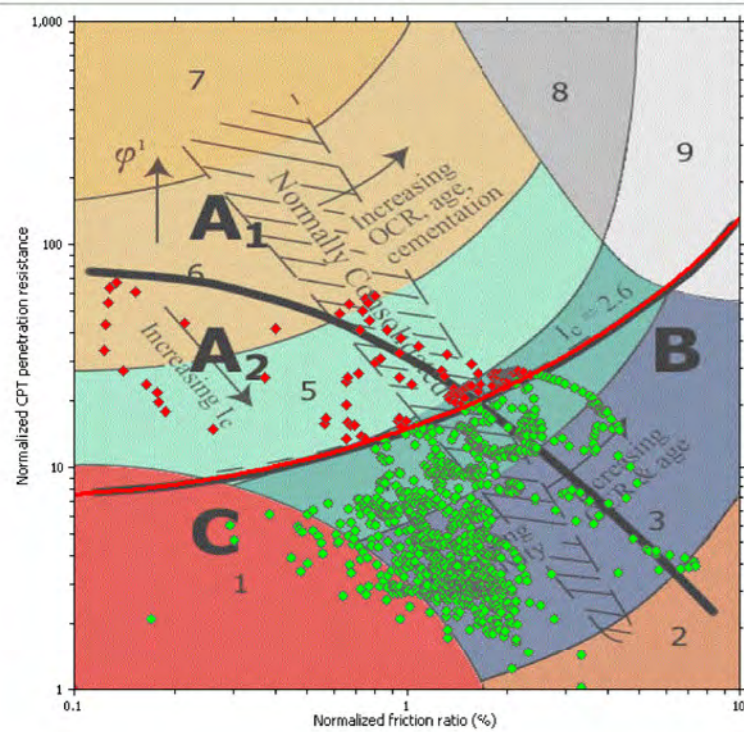
- A1: Cyclic liquefaction likely depending on size and duration of cyclic loading
- A2: Cyclic liquefaction and strength loss likely depending on loading and ground geometry
- B: Liquefaction and post-earthquake strength loss unlikely, check on cyclic softening
- C: Liquefaction and strength loss possible depending on soil plasticity, brittleness/ sensitivity, strain to peak undrained strength and ground geometry.

| CPT nr | Staðsetning | Hæð m y.s. |
|--------|-------------|------------|
|        | Austur      | Norður     |

|                |  |                |  |                      |
|----------------|--|----------------|--|----------------------|
|                |  | TEIGSSKÓGUR    |  | Talking no.<br>8 - 1 |
|                |  | CPT PRÓFUN 307 |  |                      |
| Dags: des 2021 |  | Hannað: BJB    |  | Skrá:                |
| Kvarði:        |  | Skrá:          |  |                      |



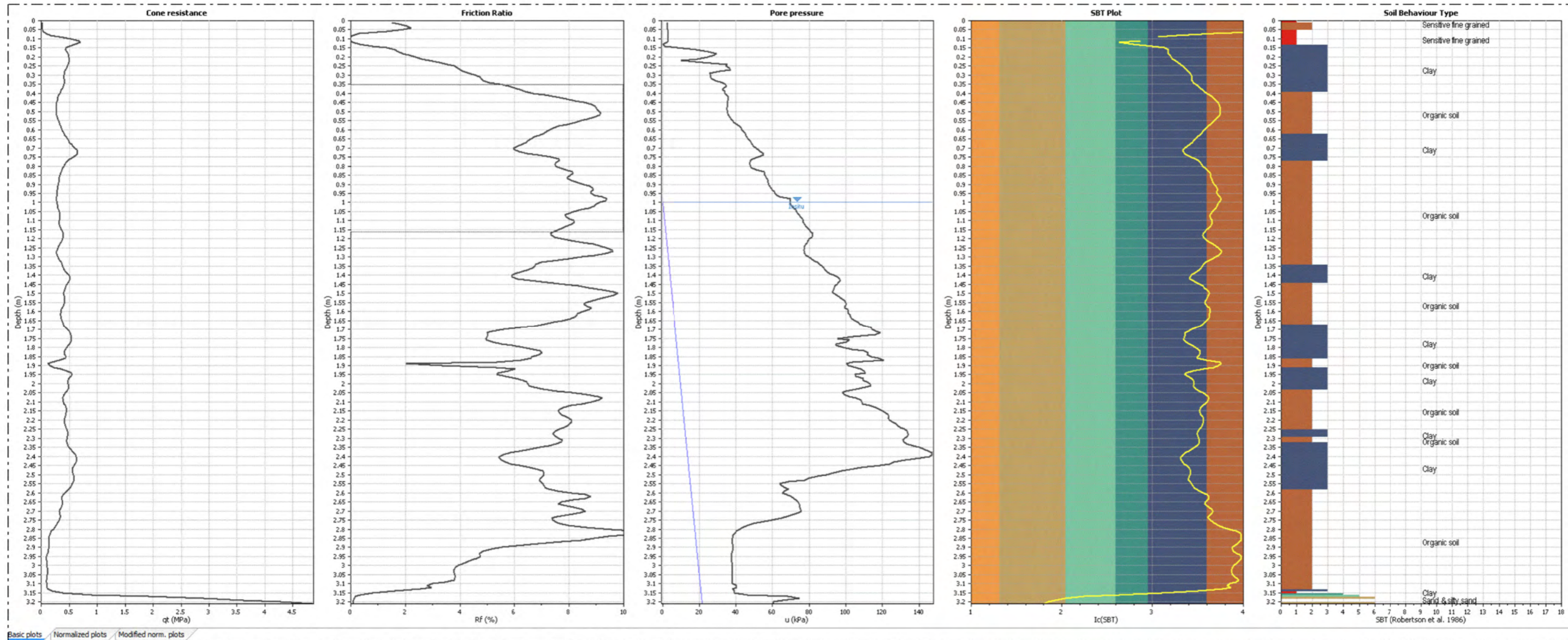
Robertson (1990) Soil Classification



- A1: Cyclic liquefaction likely depending on size and duration of cyclic loading
- A2: Cyclic liquefaction and strength loss likely depending on loading and ground geometry
- B: Liquefaction and post-earthquake strength loss unlikely, check on cyclic softening
- C: Liquefaction and strength loss possible depending on soil plasticity, brittleness/ sensitivity, strain to peak undrained strength and ground geometry.

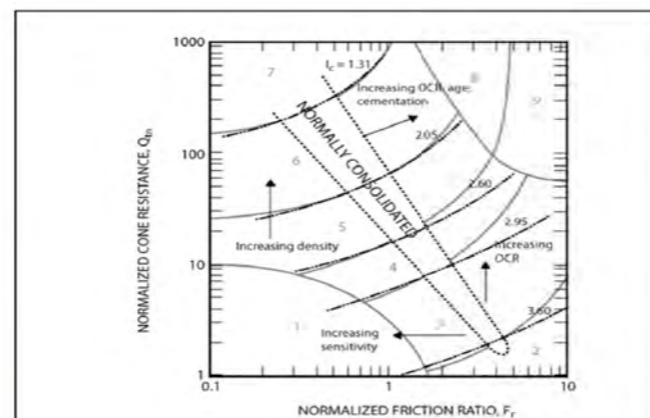
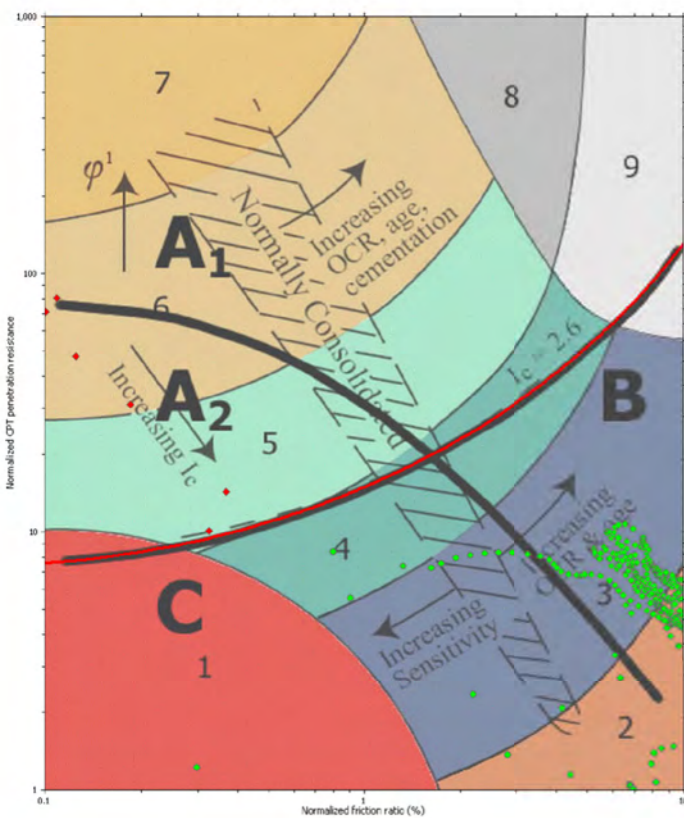
| CPT nr. | Staðsetning | Hæð m y.s. |
|---------|-------------|------------|
|         | Austur      | Norður     |

|                |  |                |         |              |
|----------------|--|----------------|---------|--------------|
|                |  | TEIGSSKÓGUR    |         | Teikning no. |
|                |  | CPT PRÓFUN 310 |         |              |
| Dags: des 2021 |  | Hannað: BJB    | Kvarði: | Skrá:        |



Basic plots   Normalized plots   Modified norm. plots

Robertson (1990) Soil Classification



| Zone | Soil Behavior Type                        | $I_c$       |
|------|---|-------------|
| 1    | Sensitive, fine grained                   | N/A         |
| 2    | Organic soils - clay                      | > 3.6       |
| 3    | Clays - silty clay to clay                | 2.95 - 3.6  |
| 4    | Silt mixtures - clayey silt to silty clay | 2.60 - 2.95 |
| 5    | Sand mixtures - silty sand to sandy silt  | 2.05 - 2.6  |
| 6    | Sands - clean sand to silty sand          | 1.31 - 2.05 |
| 7    | Gravelly sand to dense sand               | < 1.31      |
| 8    | Very stiff sand to clayey sand*           | N/A         |
| 9    | Very stiff, fine grained*                 | N/A         |

\* Heavily overconsolidated or cemented

- A1: Cyclic liquefaction likely depending on size and duration of cyclic loading
- A2: Cyclic liquefaction and strength loss likely depending on loading and ground geometry
- B: Liquefaction and post-earthquake strength loss unlikely, check on cyclic softening
- C: Liquefaction and strength loss possible depending on soil plasticity, brittleness/ sensitivity, strain to peak undrained strength and ground geometry.

| CPT nr. | Staðsetning | Hæð m y.s. |
|---------|-------------|------------|
|         | Austur      | Norður     |

|                           |  |                |             |                  |
|---------------------------|--|----------------|-------------|------------------|
|                           |  | BREKKNÁHEIÐI   |             | Teikning nr. 9-1 |
|                           |  | CPT PRÓFUN     |             |                  |
| Grunntúlkun, jarðvegsgerð |  | Dags: des 2021 | Hannað: B B | Kvarði:          |
|                           |  |                |             | Skrá:            |