



Rannsóknarráðstefna Vegagerðarinnar 2014

Samanburður bormótstöðu við niðurrekstur og burðarþol staúra

Guðmundur Þorsteinn Bergsson

Rannsóknaraðferð

- Rannsóknin skiptist í tvo hluta
 - Samanburð á rek- og bormótstöðu
 - Samanburður bormótstöðu og burðarþols staura
- Rek- og bormótstaða borin saman með því að teikna upp línurit sem sýna orkuna við niðurreksturinn og borunina
- Bormótstaða og burðarþol staura borið saman með því að áætla burðarþol staura með rekjöfnum og þær niðurstöður bornar saman við bormótstöðu við enda stauranna
 - Rekjafna Janbu
 - Danska rekjafnan

Rannsóknarstaðir

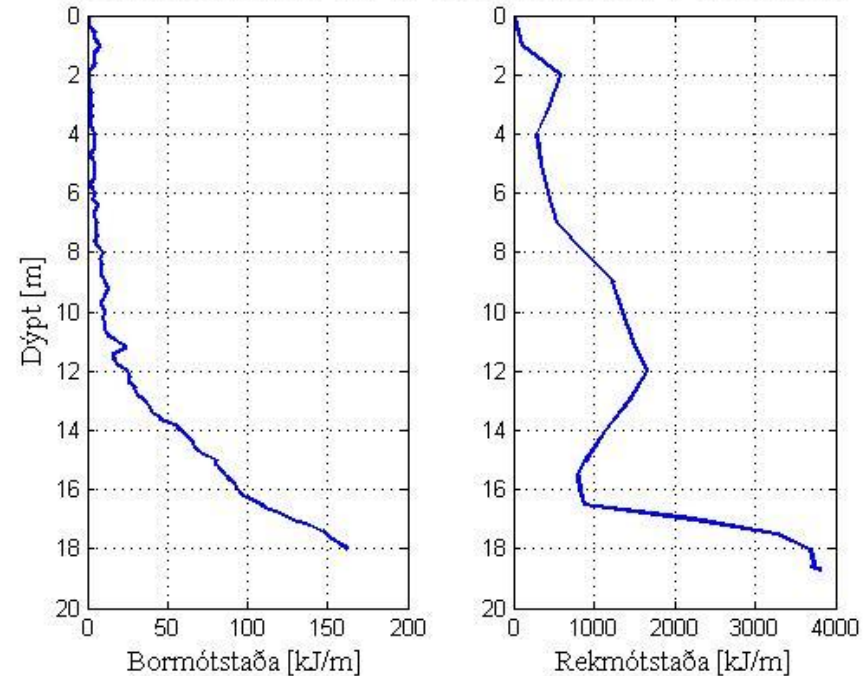
- Átta brúarstæði
- 147 staurar
 - Nær allir steypdir
- 28 borholur
 - Allt höggborun
- Rannsóknargögn fengin hjá Vegagerðinni



Staðará í Steingrímsfirði

- Átján staurar
- Rekdýpi u.þ.b. 19 m
- Ein borhola
 - Borað grynnra en rekið
- Bormótstaða 162 kJ/m
- Útreiknað burðarþol
 - Janbu 1355 kN
 - Danska 1283 kN

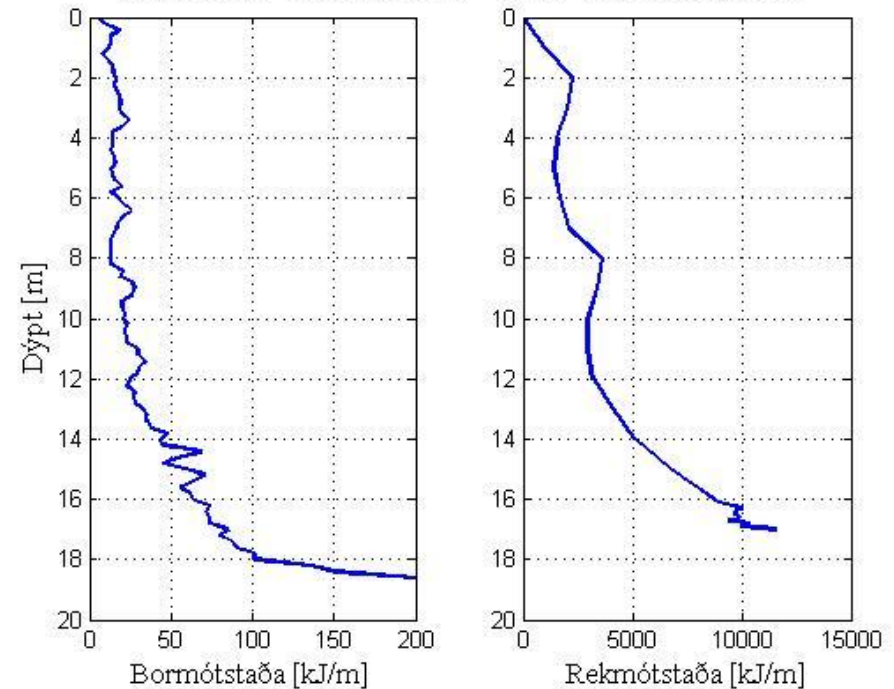
Staðará sunnan ár - Samanburður meðaltals orku pr. m



Múlakvísl

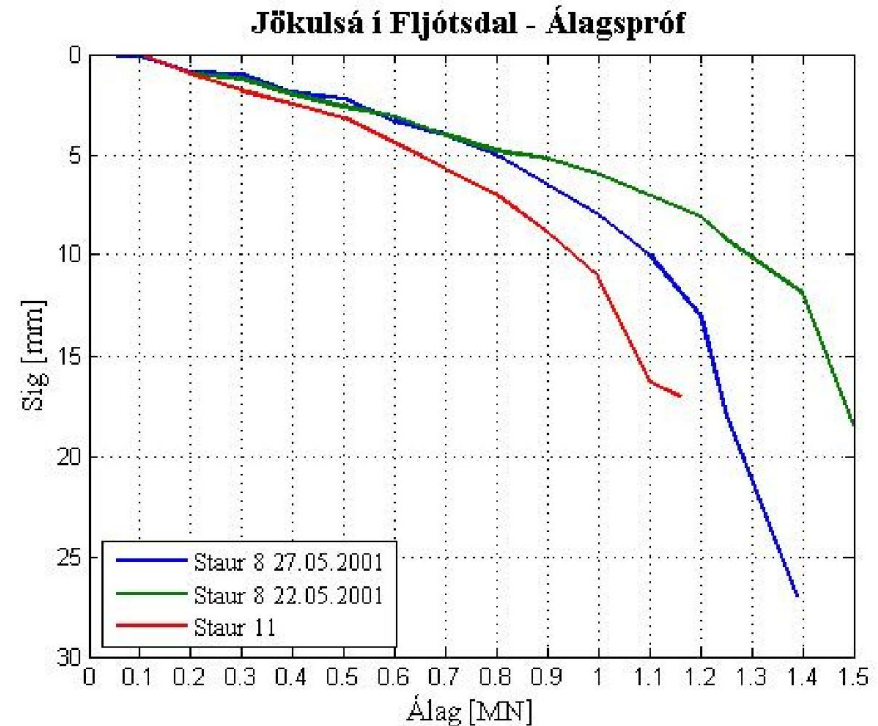
- 28 staurar
- Rekdýpi 16,9 – 17 m
- Fjórar borholur
 - Borað dýpra en rekið
- Bormótstaða 85 kJ/m
- Útreiknað burðarþol
 - Janbu 1824 kN
 - Danska 1756 kN

Múlakvísl - Samanburður meðaltals orku pr. m



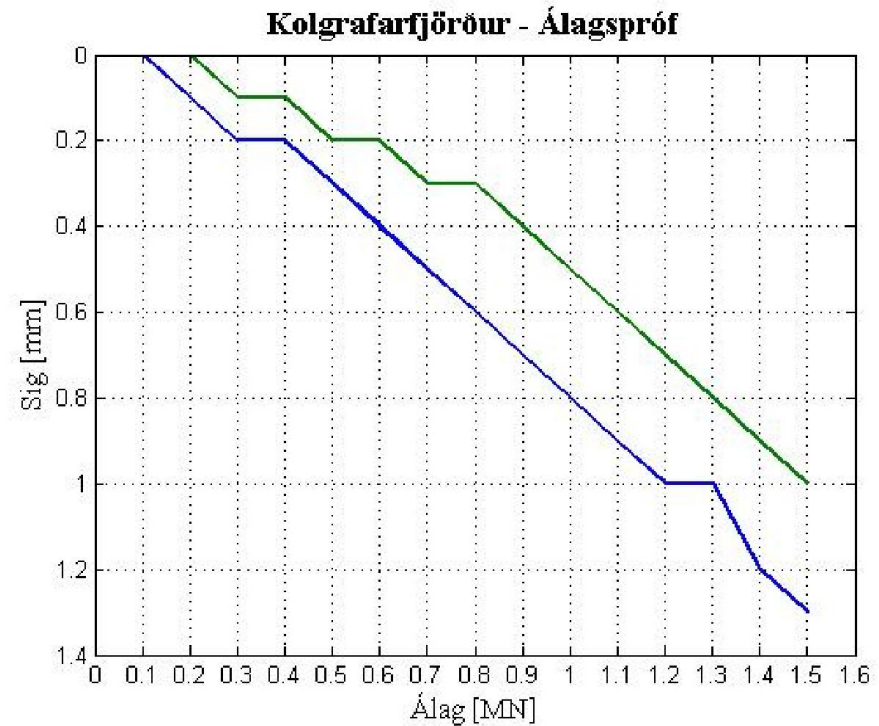
Jökulsá í Fljótsdal

- Átján staurar
- Rekdýpi 29 – 29,5 m
- Fimm borholur
 - Ein við stöpul 4
- Bormótstaða 117 – 122 kJ/m
- Útreiknað burðarþol
 - Janbu 763 kN
 - Danska 731 kN



Kolgrafarfjörður

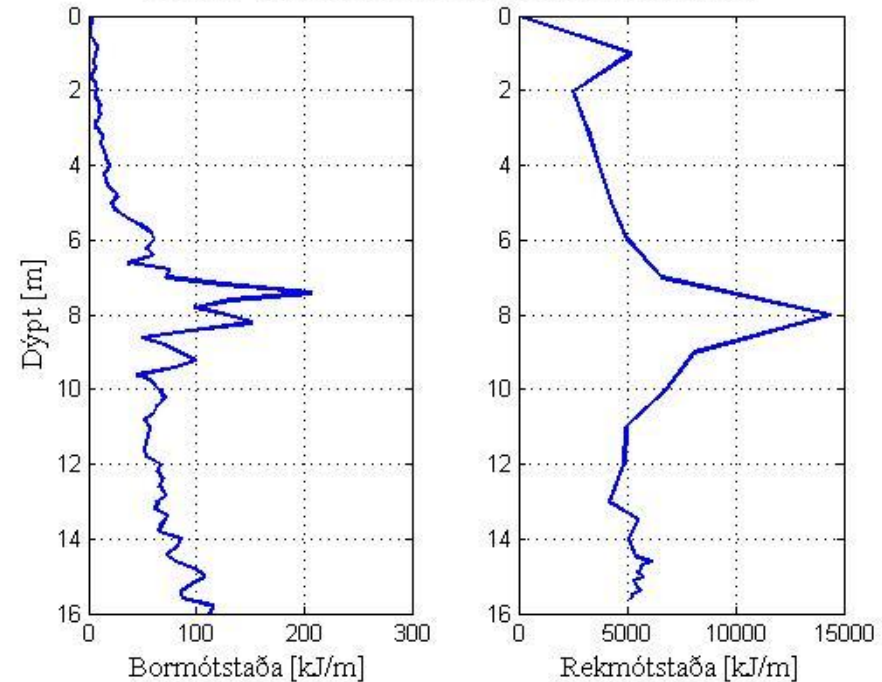
- Fjórtán staurar
- Rekdýpi 20 – 21,3 m
- Fimm borholur
- Bormótstaða 39 – 97 kJ/m
- Útreiknað burðarþol
 - Janbu 1158 kN
 - Danska 1105 kN



Hvítá við Bræðratungu

- Sextán staurar
- Rekdýpi 15,5 – 15,6 m
- Þrjár borholur
- Bormótstaða 87 kJ/m
- Útreiknað burðarþol
 - Janbu 1452 kN
 - Danska 1379 kN

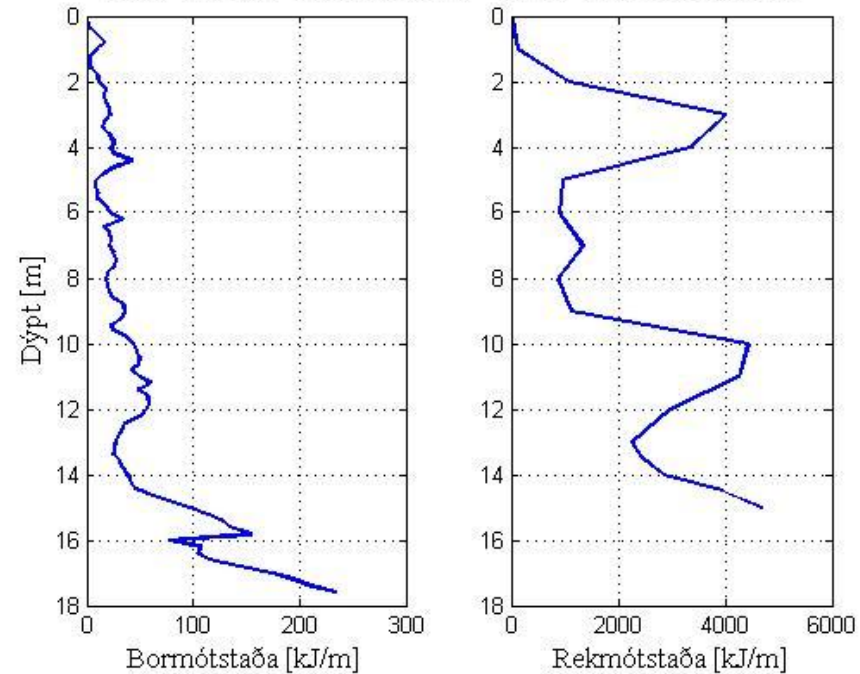
Hvítá - Samanburður meðaltals orku pr. m



Eyrarteigsá

- Átján staurar
- Rekdýpi 15 – 15,9 m
- Tvær borholur
- Bormótstaða 76 – 133 kJ/m
- Útreiknað burðarþol
 - Janbu 1472 kN
 - Danska 1410 kN

Eyrarteigsá - Samanburður meðaltals orku pr. m



Umræður – Túlkun niðurstaðna

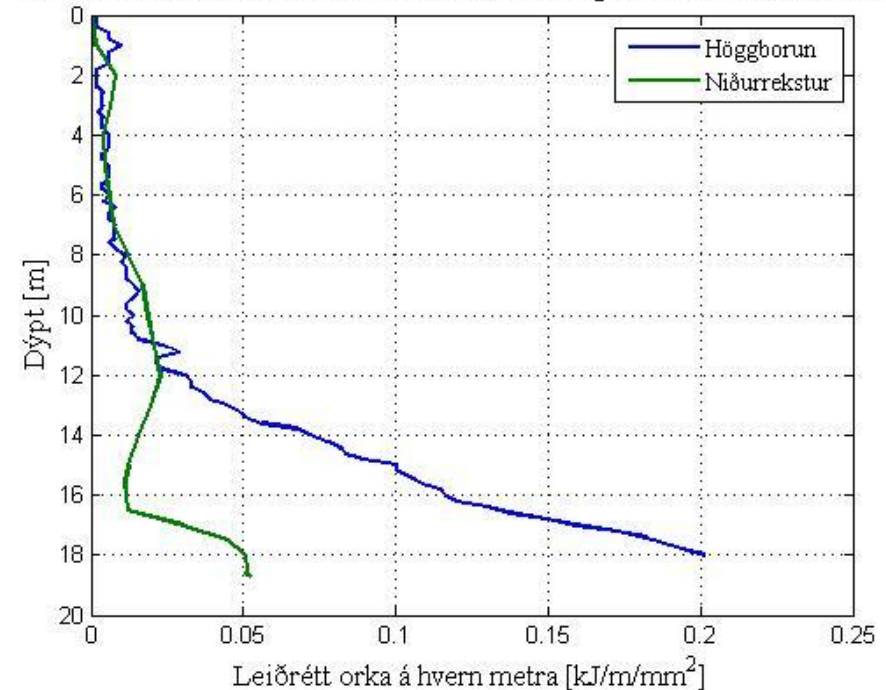
- **Samanburður rek- og bormótstöðu**
 - Margfalt meiri orka í niðurreksturinn en í höggborunina
 - Orkan leiðrétt fyrir yfirborðs- og þverskurðarflatarmáli
- **Samanburður bormótstöðu og burðarpöls staura**
 - Hlutfall burðarpöls og bormótstöðu
 - Höggborunarjafna
 - Rekjafna Janbu á niðurstöður höggborunar

Staðará í Steingrímsfirði

- **Rek- og bormótstaða**
 - Fylgni niður á u.þ.b. 12 m dýpi
 - Jöfn aukning í bormótsöðu en ekki rekmótstöðu
 - Vatnsþrýstingur eykst við rekstur sem dregur úr rekmótstöðu

- **Bormótstaða og burðarþol**
 - Höggborunarjafna
 - 1288 kN
 - Hlutfall: 95%
 - Janbu höggborun
 - 1812 kN
 - Hlutfall: 134%

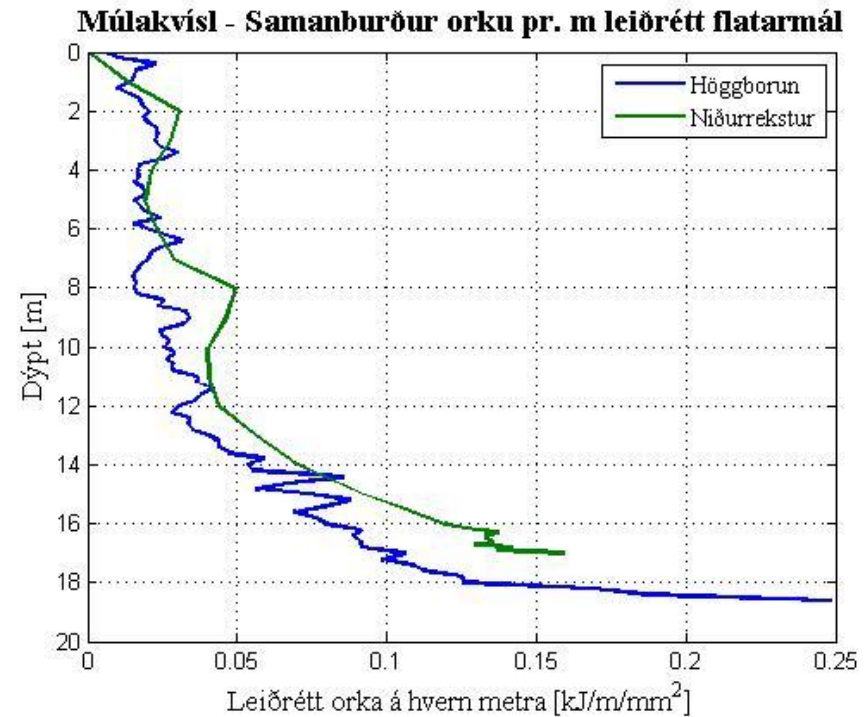
Staðará sunnan ár - Samanburður orku pr. m leiðrétt flatarmál



Múlakvísl

- **Rek- og bormótstaða**
 - Fylgni alla leið

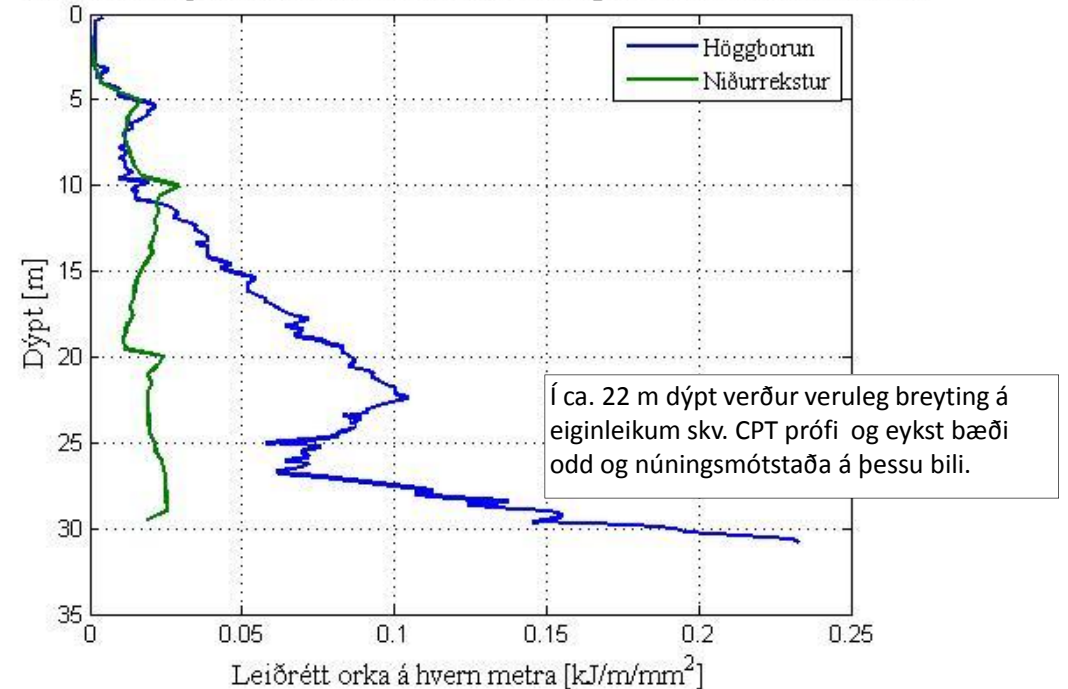
- **Bormótstaða og burðarþol**
 - Höggborunarjafna
 - 1057 kN
 - Hlutfall: 58%
 - Janbu höggborun
 - 955 kN
 - Hlutfall: 52%



Jökulsá í Fljótsdal

- **Rek- og bormótstaða**
 - Fylgni niður á u.þ.b. 10 m dýpi
 - Bormótstaða eykst í þrepum
 - Vatnsprýstingur eykst sem dregur úr rekmótstöðu
- **Bormótstaða og burðarþol**
 - Höggborunarjafna
 - 2623 kN
 - Hlutfall: 344%
 - Janbu höggborun
 - 1314 kN
 - Hlutfall: 172%

Jökulsá í Fljótsdal - Samanburður orku pr. m leiðrétt flatarmál

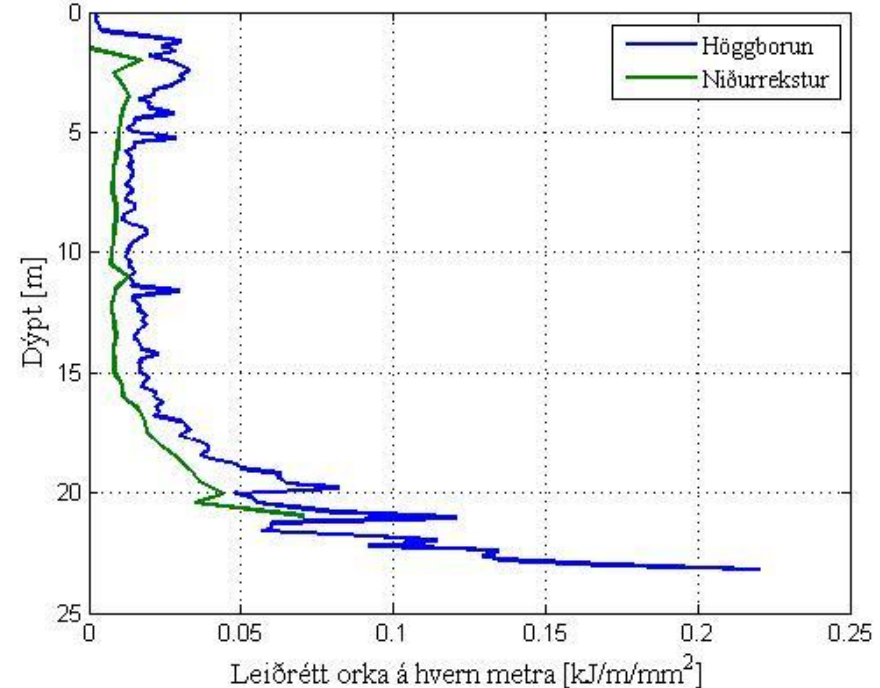


Kolgrafafjörður

- **Rek- og bormótstaða**
 - Fylgni alla leið

- **Bormótstaða og burðarþol**
 - Höggborunarjafna
 - 856 kN
 - Hlutfall: 74%
 - Janbu höggborun
 - 662 kN
 - Hlutfall: 57%

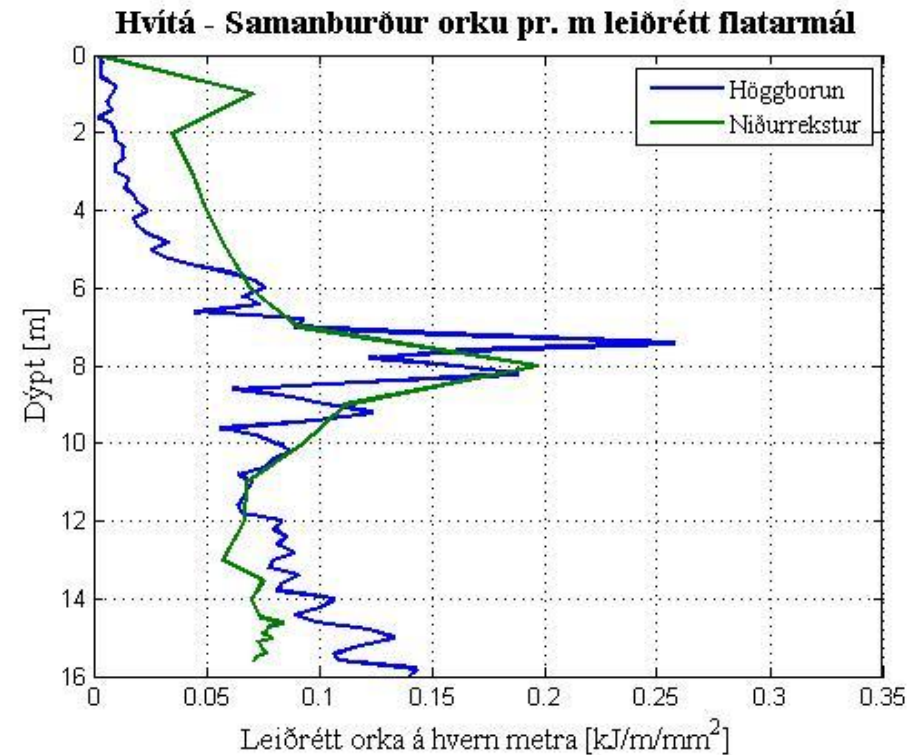
Kolgrafarfjörður - Samanburður orku pr. m leiðrétt flatarmál



Hvítá við Bræðratungu

- **Rek- og bormótstaða**
 - Fylgni alla leið
 - Staðbundin mótstaða á u.þ.b. 7,5 m dýpi

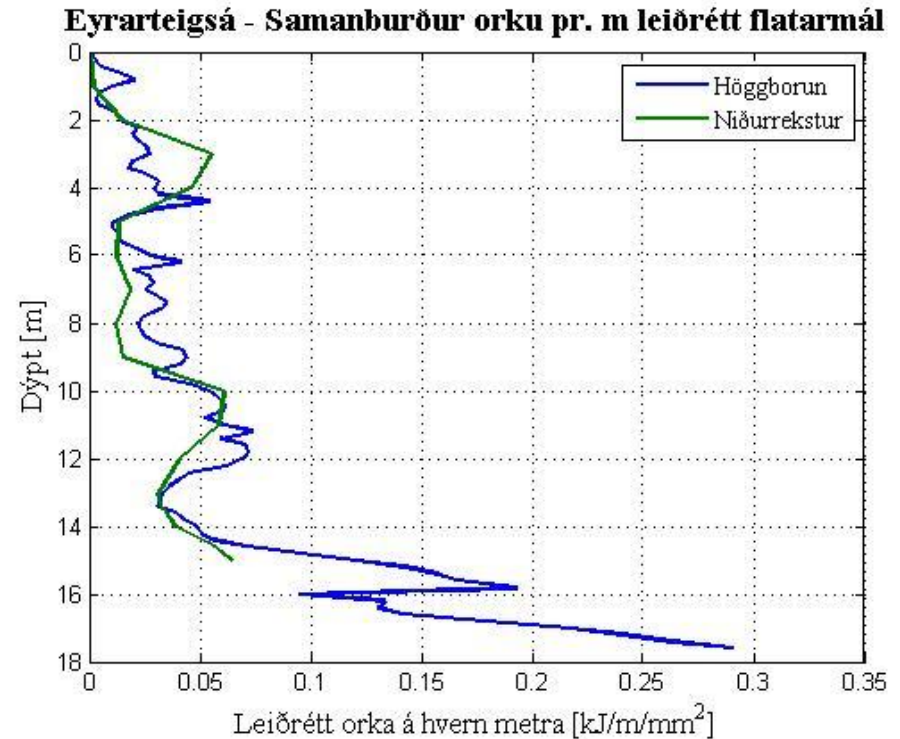
- **Bormótstaða og burðarþol**
 - Höggborunarjafna
 - 1871 kN
 - Hlutfall: 129%
 - Janbu höggborun
 - 977 kN
 - Hlutfall: 67%



Eyrarteigsá

- **Rek- og bormótstaða**
 - Fylgni alla leið

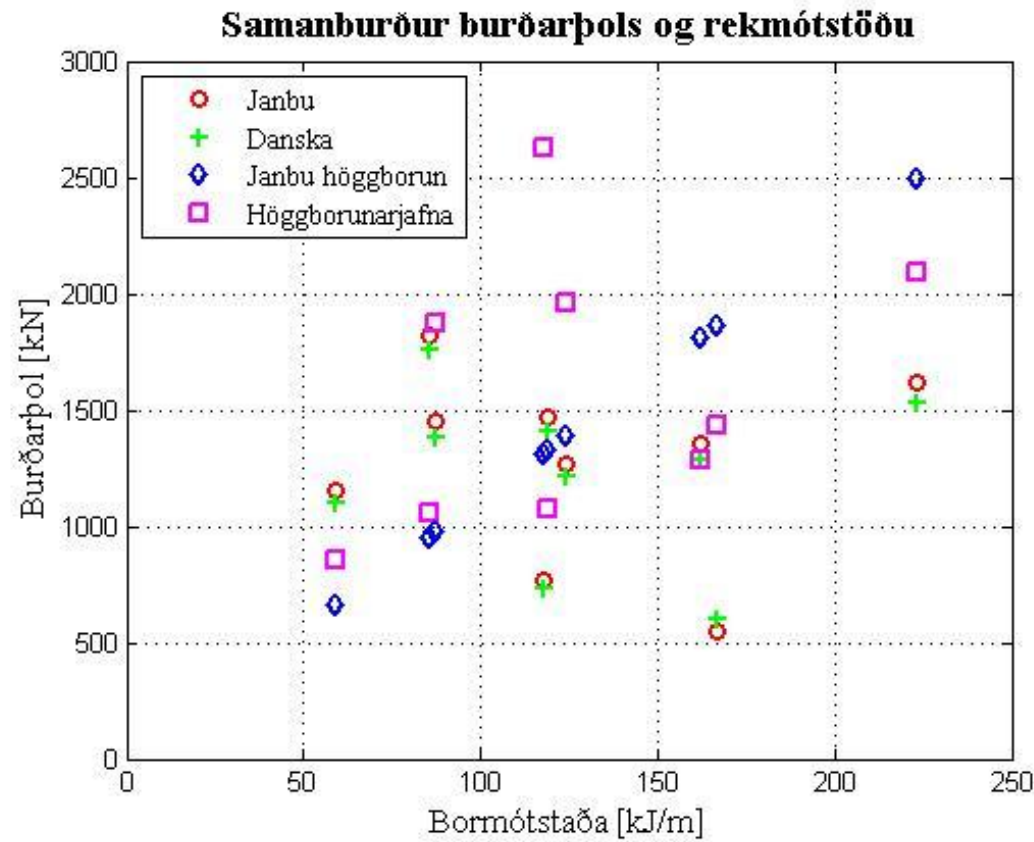
- **Bormótstaða og burðarþol**
 - Höggborunarjafna
 - 1075 kN
 - Hlutfall: 73%
 - Janbu höggborun
 - 1328 kN
 - Hlutfall: 90%



Samantekt

- **Rek- og bormótstaða**
 - Í öllum tilvikum fylgni fyrstu metrana þegar leiðrétt fyrir þverskurðarflatarmáli
 - Í sumum tilfellum komið niður á annað lag sem veitir mismunandi mótstöðu við staura og borstöng
 - Við niðurrekstur eykst vatnsprýstingur sem getur valdið losi í jarðlögunum
- **Bormótstaða og burðarþol**
 - Hægt að áætla burðarþol gróflega með þeim aðferðum sem lagðar voru fram
 - Höggborunarjafna almennt nær útreiknuðum gildum
 - Rekjafna Janbu á höggborun nær útreiknuðum gildum í kringum 120 kJ/m

Samantekt – Bormótstaða og burðarþol



Ályktanir - I

- Almennt virðist ekki vera hægt að reka staura í gegnum meiri bormótstöðu en u.þ.b. 85 – 130 kJ/m
 - Ef bormótstaða er vaxandi.
- Ekki er hægt að sjá sérstakt samband á milli heildarbormótstöðu og rekdýpi staura.
- Fylgni er á milli rek- og bormótstöðu þegar leiðrétt er fyrir þverskurðarflatarmáli stauranna og borstangarinnar.
- Ekki er fylgni á milli rek- og bormótstöðu þegar leiðrétt er fyrir yfirborðsflatarmáli.

Ályktanir - II

- Betri fylgni virðist vera á milli rek- og bormótstöðu í grófari jarðlögum með mikla lekt, heldur en í fínefnaríkum þéttum jarðvegi.
- Í fínefnaríkum þéttum jarðvegi, t.d. jökulleir, hefur niðurrekstur staura áhrif á vatnsþrýstinginn í holrými jarðlaganna, sem getur skilað sér í minni rekmótstöðu heldur en ætla megi út frá bormótstöðu.
- Svo virðist sem hægt sé að áætla burðarþol staura gróflega bæði með höggborunarjöfnu og með því að beita rekjöfnu Janbu á niðurstöður höggborunar.

- [1] D. F. McCarthy, *Essentials of soil mechanics and foundations: Basic geotechnics*, 7. útg. Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall, 2007.
- [2] N. Janbu, *Grunnlag í geoteknikk*. Trondheim: Tapir, 1970.
- [3] Jón Skúlaason og Jón Helgason, „Athuganir á burðarþoli staura vegna brúargerðar yfir núpsvötn og súlu“, Vegagerð Ríkisins, Reykjavík, 1973.
- [4] R. E. Olson og K. S. Flaate, „Pile-driving formulas for friction piles in sand“, *J. Soil Mech. Found. Div.*, árg. 93, bls. 279–296, Nóvember 1967.
- [5] Jón Skúlaason, „Athugan á burðarþoli staura við lóðrétt álág“, *Tím. Verkfræðingafélags Íslands*, árg. 62, töl. 1, bls. 9–13, 1977.
- [6] Jón Skúlaason, „Álagspróf á staura-Burðar staks fljótdandi staura við lóðrétt álág“, *Árb. VTF 1992-93*, árg. 5, töl. 1, bls. 308–320, 1993.
- [7] Jón Skúlaason og Einar Hafliðason, „Grundun brúa á staurum: Tillaga að vali efnisstuðla við útreikninga á lóðréttu burðargetu staura með forritun PIA I“, Vegagerð Ríkisins og Almenna Verkfræðistofan hf, Reykjavík, 1992.
- [8] Jón Snaebjörnsson, „Jarðskjálftagreining brúar á stauraundirstöðum“, Meistararitgerð, Verkfræðideild, Háskóli Íslands, Reykjavík, 2005 [Rafrent]. Af: <https://notendur.hi.is/~bb/MS/ritgerdir/Ion.Snaebjornsson.2005.pdf> [Sótt: 28. apr. 2014].
- [9] Inga Rut Hjaltadóttir, „Láreft stífni staura“, Meistararitgerð, Verkfræðideild, Háskóli Íslands, Reykjavík, 2007 [Rafrent]. Af: [http://www.vegagerdin.is/vefur2.nsf/Files/Larett_stifni_staura/\\$file/Larett%20stifni%20saura.pdf](http://www.vegagerdin.is/vefur2.nsf/Files/Larett_stifni_staura/$file/Larett%20stifni%20saura.pdf) [Sótt: 28. apr. 2014].
- [10] M. Budha, *Foundations and earth retaining structures*. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, 2008.
- [11] Archway Engineering UK - Drilling Equipment - Dynamic Probing [Rafrent]. Af: <http://www.archway-engineering.com/products/dp.html> [Sótt: 29. apr. 2014].
- [12] *Feltundersøkelser - Retningslinjer: Håndbok 015*. Oslo: Statens vegvesen, 1997.
- [13] *Rekommenderad standard för sondering*. Svåbjöd: Svenska Geotekniska Föreningen - SGF, 1979.
- [14] D. P. Coduto, *Geotechnical engineering: Principles and practices*. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 1999.
- [15] M. J. Tomlinson, *Foundation design and construction*, 6. útg. Harlow, England: New York: Longman Scientific & Technical; Wiley, 1995.
- [16] H. Abuel-Naga, A. Bouazza og M. Holtrigter, „On use of dynamic probing in sandy soils“, *Low. Technol. Int. Off. J. Int. Assoc. Low. Technol. IALITInstitute Low. Technol.*, árg. 13, töl. 2, bls. 40–50, 2011.
- [17] G. D. Avanzi, Y. Galanti, R. Giannacchini, S. Duchi, D. L. Presti og D. Marchetti, „DP test in geotechnical characterization of shallow landslides source area: Results and perspectives“, i *Landslide Science and Practice*, 1. bindi, C. Margottini, P. Canuti og K. Sassa, ritstj. Springer Berlin Heidelberg, 2013, bls. 249–255 [Rafrent]. Af: http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-31325-7_33 [Sótt: 28. apr. 2014].
- [18] G. Žaržojus, K. Kelevišius og J. Amšiejus, „Energy transfer measuring in dynamic probing test in layered geological strata“, *Procedia Eng.*, árg. 57, bls. 1302–1308, 2013. doi:10.1016/j.proeng.2013.04.164
- [19] S. Gadeikis, G. Žaržojus og D. Urbaitis, „Comparing CPT and DPSH in Lithuanian soils“, i *2nd International symposium on cone penetration testing*. Huntington Beach, Kalifornia, árg. 2, bls. 3–22 [Rafrent]. Af: http://cpt10.com/PDF_Files/3-22Gadeca.pdf [Sótt: 29. apr. 2014].
- [20] *Geoteknisk feldhåndbok - Råd og metodebeskrivelser: Håndbok 280*. Oslo: Statens vegvesen, 2010.
- [21] *Geoteknikk i vegbygging: Håndbok 016*. Oslo: Statens vegvesen, 2010.
- [22] P. K. Robertson, „Interpretation of cone penetration tests - A unified approach“, *Can. Geotech. J.*, árg. 46, töl. 11, bls. 1337–1355, nóv. 2009. doi:10.1139/T09-065
- [23] *2013 Geotechnical Engineering Manual - Geotechnical Engineering Section*. Minnesota: Minnesota department of transportation, 2013 [Rafrent]. Af: http://www.dot.state.mn.us/materials/manuals/geotechnical/THE%20Geotechnical%20Manual_2013_final.pdf [Sótt: 26. mar. 2014].
- [24] P. K. Robertson, „Soil classification using the cone penetration test“, *Can. Geotech. J.*, árg. 27, töl. 1, bls. 151–158, feb. 1990. doi:10.1139/g90-014
- [25] P. K. Robertson, „Soil behaviour type from the CPT: An update“, flutt á 2nd International Symposium on Cone Penetration Testing, Signal Hill, Kalifornia, 2010.
- [26] E. Slob, M. Sato og G. Olhoef, „Surface and borehole ground-penetrating-radar developments“, *Geophysics*, árg. 75, töl. 5, bls. 75A103–75A120, sep. 2010. doi:10.1190/1.3480619
- [27] J. L. Davis og A. P. Amman, „Ground-penetrating radar for high-resolution mapping of soil and rock stratigraphy“, *Geophys. Prospect.*, árg. 37, töl. 5, bls. 531–551, 1989. doi:10.1111/j.1365-2478.1989.tb02221.x
- [28] I. A. Lunt, S. S. Hubbard og Y. Rubin, „Soil moisture content estimation using ground-penetrating radar reflection data“, *J. Hydrol.*, árg. 307, töl. 1–4, bls. 254–269, jún. 2005. doi:10.1016/j.jhydrol.2004.10.014
- [29] T. Saareketo og T. Scullion, „Road evaluation with ground penetrating radar“, *J. Appl. Geophys.*, árg. 43, töl. 2–4, bls. 119–138, mar. 2000. doi:10.1016/S0926-9851(99)00052-X
- [30] B. M. Das, *Fundamentals of geotechnical engineering*, 3. útg. Mason, OH: Thomson, 2007.
- [31] K. Terzaghi, *Soil mechanics in engineering practice*, 2. útg. New York: Wiley, 1967.
- [32] Den Norske pelekommité, *Peleveldningen 2005*. Oslo: Norsk geoteknisk forening, 2005.
- [33] Leimet - Piling Quality [Rafrent]. Af: <http://www.leimet/files/paalujatkos.pdf> [Sótt: 04. feb. 2014].
- [34] Vegagerð ríkisins, *Almenn verklyking fyrir veg- og brúargerð: ALVERK '95*. Reykjavík: Vegagerð ríkisins, 1995.
- [35] Norsk Stál AS: Stálkjernepeler fra Norsk Stál [Rafrent]. Af: <http://www.produtfakta.no/norsk-stal-as-stalkjernepeler-fra-norsk-stal-38154/nyhet.htm> [Sótt: 13. feb. 2014].
- [36] H. R. Masoumi, G. Degrande og G. Lombaert, „Prediction of free field vibrations due to pile driving using a dynamic soil-structure interaction formulation“, *Soil Dyn. Earthq. Eng.*, árg. 27, töl. 2, bls. 126–143, feb. 2007. doi:10.1016/j.soildyn.2006.05.005
- [37] M. J. Tomlinson, *Pile design and construction practice*, 4. útg. London, England: E & FN Spon, 1994.
- [38] Guðrún Þóra Garðarsdóttir, „Líkan af staur í viðnámsjarðvegi“, Vegagerðin, feb. 2002.
- [39] *ÍST EN 1997-1:2004 - Eurocode 7: Geotechnical design - Part 1: General rules*. Reykjavík: Staðlaráð Íslands, 2004.
- [40] *ÍST EN 1997-1:2004/AC:2009 - Eurocode 7: Geotechnical design - Part 1: General rules*. Reykjavík: Staðlaráð Íslands, 2009.
- [41] *ÍST EN 1997-1:2004/NA:2010 - National Annex to Eurocode 7: Geotechnical design - Part 1: General rules*. Reykjavík: Staðlaráð Íslands, 2010.
- [42] P. Bullock, J. Schmertmann, M. McVay og F. Townsend, „Side shear setup. I: Test piles driven in Florida“, *J. Geotech. Geoenvironmental Eng.*, árg. 131, töl. 3, bls. 292–300, 2005. doi:10.1061/(ASCE)1090-0241(2005)131:3(292)
- [43] P. J. Bullock, J. H. Schmertmann, M. C. McVay og F. C. Townsend, „Side shear setup. II: Results from Florida test piles“, *J. Geotech. Geoenvironmental Eng.*, árg. 131, töl. 3, bls. 301–310, mar. 2005. doi:10.1061/(ASCE)1090-0241(2005)131:3(301)
- [44] G. Jonker, R. van Foeken, D. Arentsen og J. Beers, *The IHC piling book*, 5. útg. Kinderdijk, Holland: IHC Hydrohammer B.V., 2002.
- [45] J. L. Briaud, *Introduction to geotechnical engineering: Unsaturated and saturated soils*. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, 2013.
- [46] A. Goh, „Pile driving records reanalyzed using neural networks“, *J. Geotech. Eng.*, árg. 122, töl. 6, bls. 492–495, 1996. doi:10.1061/(ASCE)0733-9410(1996)122:6(492)
- [47] M. Pal og S. Deswal, „Modelling pile capacity using Gaussian process regression“, *Comput. Geotech.*, árg. 37, töl. 7–8, bls. 942–947, nóv. 2010. doi:10.1016/j.compgeo.2010.07.012
- [48] K. Flaate, „An investigation of the validity of three pile-driving formulae in cohesionless material“, *Nor. Geotech. Inst. Publ.*, töl. 56, 1964 [Rafrent]. Af: <http://trid.trb.org/view.aspx?id=26628> [Sótt: 20. mar. 2014].
- [49] M. Pal, „Modelling pile capacity using generalised regression neural network“, i *Proceedings of Indian Geotechnical Conference*, Kochi, Indlandi, 2011 [Rafrent]. Af: <http://gndec.ac.in/~igs/ldh/conf701/articles/Theme%20-%20N%203.pdf> [Sótt: 26. feb. 2014].
- [50] M. M. Ali, M. R. Selamat, S. S. Yii og W. K. Ng, „On the study of pile driving formula based on blow counts“, *Geotech. Geol. Eng.*, árg. 29, töl. 3, bls. 351–361, maí 2011. doi:10.1007/s10706-010-9381-x
- [51] K. Fleming, A. Weltman, M. Randolph og K. Elson, *Piling engineering*, 3. útg. London; New York: Taylor & Francis, 2009.
- [52] G. E. Likins, F. Rausche og G. G. Goble, „High strain dynamic pile testing, equipment and practice“, *Appl. Stress-Wave Theory Piles Proc. Sixth Int. Conf. Appl. Stress-Wave Theory Piles*, 2000 [Rafrent]. Af: <http://www.pile.com/Reference/6thStressWaveTheoryConf732.pdf>
- [53] M. Brown og J. Powell, „Comparison of rapid load test analysis techniques in clay soils“, *J. Geotech. Geoenvironmental Eng.*, árg. 139, töl. 1, bls. 152–161, 2013. doi:10.1061/(ASCE)GT.1943-5606.0000733
- [54] J. Hwang, N. Liang og C. Chen, „Ground response during pile driving“, *J. Geotech. Geoenvironmental Eng.*, árg. 127, töl. 11, bls. 939–949, 2001. doi:10.1061/(ASCE)1090-0241(2001)127:11(939)
- [55] C. Gallage, B. Adam og B. Look, „Assessment of pile driving refusal using the standard test (SPT)“, i *Proceedings of the 11th IAEG Congress*, Auckland, 2010, bls. 2614–2648 [Rafrent]. Af: <http://eprints.qut.edu.au/38964/1/c38964a.pdf> [Sótt: 09. apr. 2014].
- [56] G. G. Meyerhof, „Bearing capacity and settlement of pile foundations“, *J. Geotech. Eng. Div.*, árg. 102, töl. 3, bls. 195–228, mar. 1976.
- [57] R. Martin, J. Seli, G. Powell og M. Bertoulin, „Concrete pile design in tidewater Virginia“, *J. Geotech. Eng.*, árg. 113, töl. 6, bls. 568–585, 1987. doi:10.1061/(ASCE)0733-9410(1987)113:6(568)
- [58] F. R. Lopes og H. Laprovitera, „On the prediction of the bearing capacity of bored piles from dynamic penetration tests“, *Deep Found. Bored Auger Piles*, bls. 537–540, 1988.
- [59] H. G. Poulos, „Pile behaviour-theory and application“, *Géotechnique*, árg. 39, töl. 3, bls. 365–415, jan. 1989. doi:10.1680/geot.1989.39.3.365
- [60] L. Zhang og J. J. Chen, „Effect of spatial correlation of standard penetration test (SPT) data on bearing capacity of driven piles in sand“, *Can. Geotech. J.*, árg. 49, töl. 4, bls. 394–402, apr. 2012. doi:10.1139/c2012-005
- [61] S. Kelley og A. Lutenecker, „Unit skin friction from the standard penetration test supplemented with the measurement of torque“, *J. Geotech. Geoenvironmental Eng.*, árg. 130, töl. 5, bls. 540–543, 2004. doi:10.1061/(ASCE)1090-0241(2004)130:5(540)
- [62] F. Rausche, G. Thendean, Bou-matar Hasan, G. Likins og G. Goble, „Investigation of dynamic and static pile behavior from modified standard penetration tests“, flutt á 1995 PDA Users Day, Heidelberg, Þýskalandi, 1995 [Rafrent]. Af: <http://pile.com/reference/PDAUsersDay1995Cleve/InvestigationOfDynamicAndStaticPileBehaviorFromModifiedStandardPenetrationTests.pdf> [Sótt: 06. apr. 2014].
- [63] G. Cai, S. Liu, L. Tong og G. Du, „Assessment of direct CPT and CPTU methods for predicting the ultimate bearing capacity of single piles“, *Eng. Geol.*, árg. 104, töl. 3–4, bls. 211–222, mar. 2009. doi:10.1016/j.enggeo.2008.10.010
- [64] Íslandskort [Rafrent]. Af: <http://www.nordicgames.is/Vara/79256/> [Sótt: 22. apr. 2014].
- [65] „Nýr vegur og brú um Kolgrafarfrjör“, *Frankvæmdafréttir*, árg. 11, töl. 4, 2003 [Rafrent]. Af: <http://www.vegagerdin.is/vefur2.nsf/Files/fr326ab.pdf?file/fr326ab.pdf>
- [66] *ÍST EN 1992-1-1:2004 - Eurocode 2: Design of concrete structures - Part 1-1: General rules and rules for buildings*. Reykjavík: Staðlaráð Íslands, 2004.
- [67] *ÍST EN 1992-1-1:2004/NA:2010 - National Annex to Eurocode 2: Design of concrete structures - Part 1-1: General rules and rules for buildings*. Reykjavík: Staðlaráð Íslands, 2010.

Takk fyrir