



## **Haustfundur**

**Jarðfræðafélags Íslands, Jarðtæknifélags Íslands,  
Jarðgangafélags Íslands, Steinsteypufélags Íslands og ISCOLD**

Haldinn í Grósku,  
18. nóvember 2022

## **Mannvirkjajarðfræði**

# **ISCOLD**







## **Haustfundur**

**Jarðfræðafélags Íslands, Jarðtæknifélags Íslands,  
Jarðgangafélags Íslands, Steinsteypufélags Íslands og ISCOLD**

## **Mannvirkjajarðfræði**

Haldinn í Grósku,  
18. nóvember 2022

## **Ágrip erinda og veggspjalda**

## **ISCOLD**



### **Umsjón:**

**Þorsteinn Sæmundsson, Þorbjörg Sævarsdóttir, Hafdís Eygló Jónsdóttir, Lúðvík  
E. Gústafsson, Ásta Rut Hjartardóttir, Bjarni Gautason**



## Dagskrá haustfundar um mannvirkjajarðfræði

08:00 – 09:00 Skráning

**Fundarstjóri Halldór Geirsson**

09:00 – 09:05 Setning

*Þorsteinn Sæmundsson*

09:05 – 09:15 Opnun Haustfundar

*Jón Atli Benediktsson, rektor Háskóla Íslands*

09:15 – 09:30 Áskoranir við jarðgangagerð í gegnum Reynisfjall

*Freyr Pálsson, Vegagerðin*

09:30 – 09:45 Notagildi holusjármynda og þrívíddarlíkana í jarðgangagerð

*Ögmundur Erlendsson, ÍSOR*

09:45 – 10:00 Notkun og áhrif mismunandi steinefna í fersksteypu

*Andri Jón Sigurbjörnsson, Steypustöðin*

10:00 – 10:15 Jarðtækni í mannvirkjagerð

*Aldís Ingimarsdóttir, Háskólinn í Reykjavík*

10:15 – 10:25 Veggspjaldakynning

**10:25 – 10:45 Kaffi**

**Fundarstjóri Þorbjörg Sævarsdóttir**

10:45 – 11:00 Fáskrúðsfjarðargöng, jarðfræðilegar aðstæður og framvinda gangagerðar

*Ágúst Guðmundsson, fyrrum Jarðfræðistofan ehf*

11:00 – 11:15 Vatnafarskort vestan Elliðaár

*Daði Þorbjörnsson, ÍSOR*

11:15 – 11:30 Sjávarstöðubreytingar umhverfis Ísland: framlag ísbreiðanna og íslenskra jökla

*Berglind Pétursdóttir, Háskóli Íslands*

11:30 – 11:45 Hlutverk mannvirkjajarðfræðings í jarðgangagerð

*Benedikt Óskar Steingrímsson, Mannvit*

11:45 – 12:00 Notkun hraunflæðishermana í vinnu sérfræðihóps um varnir mikilvægra innviða

*Hörn Hrafnisdóttir, Verkís*

12:00 – 12:15 Countrywide InSAR Mapping of Iceland shows Widespread Slope Movements

*Sigurjón Jónsson, King Abdullah University of Science and Technology (KAUST), Saudi Arabia*

Haustfundur  
18. nóvember 2022

**12:15 – 13:00 Matarhlé**

**Fundarstjóri Þorbjörg Hólmgeirsdóttir**

13:00 – 13:15 Aflögun á og við vegstæði Siglufjarðarveggar um Almenninga

*Þorsteinn Sæmundsson, Háskóli Íslands*

13:15 – 13:30 Jarðfræðingur á prófunarstofu - efnisprófanir í mannvirkjagerð

*Guðrún Eva Jóhannsdóttir, Mannvit*

13:30 – 13:45 Fjarðarheiðargöng – jarðfræði á gangaleið

*Matthías Loftsson, Mannvit*

13:45 – 14:00 Leki úr Krókslóni við Sigöldu í gegnum tíðina

*Davíð Egilsson*

14:00 – 14:15 Burðarþol stauraundirstaðna og staurar á Eskifirði

*Andri Gunnarsson, EFLA*

14:15 – 14:30 Víkurfjara, sandurinn og sjóvarnir

*Sigurður Sigurðarson, Vegagerðin*

**14:30 – 15:00 Kaffi**

**Fundarstjóri Sigurður Erlingsson**

15:00 – 15:15 Measuring the deformation of the Vaðlaheiði mountain following the drilling of the tunnel using SAR satellites interferometry

*Vincent Drouin, Veðurstofan og ÍSOR*

15:15 – 15:30 Skriðuföll í Seyðisfirði í desember 2020

*Jón Haukur Steingrímsson, EFLA*

15:30 – 15:45 Ástand Kárahnjúkastíflu

*Paul Slangen, Landsvirkjun*

15:45 – 16:00 Fín malað móberg í sement til að lækka kolefnisfótspor Evrópu

*Børge Johannes Wigum – Hornsteinn/Heidelberg Materials*

16:00 – 16:15 Að verja innviði. Undirbúningur er lykill að öfluggu viðbragði til lágmörkunar á röskun samfélags í upphafi nýrra Reykjaneselda

*Ármann Höskuldsson, Háskóli Íslands*

**16:15 – 18:00 Hressing**

## Efnisyfirlit

Dagskrá haustfundar um mannvirkjajarðfræði .....	i
Efnisyfirlit .....	iii
Ágrip .....	0
Electrical resistivity tomography and ground penetrating radar measurements for permafrost detection in Iceland. - Two case studies: In Seyðisfjörður and Orravatsnúsir .....	1
Alexandra von der Esch, Þorsteinn Sæmundsson & Elisa Johanna Piispa	
Jarðtækni í mannvirkjagerð .....	2
Aldís Ingimarsdóttir, Atli Karl Ingimarsson & Þorgeir Helgason	
Burðarþol stauraundirstaðna og staurar á Eskifirði .....	4
Andri Gunnarsson	
Notkun og áhrif mismunandi steinefna í fersksteypu .....	7
Andri Jón Sigurbjörnsson	
Fáskrúðsfjarðargöng, jarðfræðilegar aðstæður og framvinda gangagerðar .....	8
Ágúst Guðmundsson	
Að verja innviði. Undirbúningur er lykill að öflugum viðbragði til lágmörkunar á röskun samfélags í upphafi nýrra Reykjaneselda .....	10
Ármann Höskuldsson, Kristín Martha Hákonardóttir, Hörn Hrafnadóttir, William Moreland, Fjóla Guðrún Sigtryggsdóttir, Ari Guðmundsson, Jón Haukur Steingrímsson, Ingibjörg Jónsdóttir og Þorvaldur Þórðarson	
Vatnafarskort vestan Elliðaáa .....	11
Árni Hjartarson, Daði Þorbjörnsson, Sigrún Tómasdóttir og Bjarni Reykr Kristjánsson	
Hlutverk mannvirkjajarðfræðings í jarðgöngum .....	13
Benedikt Óskar Steingrímsson	
Sjávarstöðubreytingar umhverfis Ísland: framlag ísbreiðanna og íslenskra jökla.....	15
Berglind Pétursdóttir, Guðfinna Aðalgeirsdóttir og Sigríður Magnúsdóttir	
Fín malað móberg í sement til að lækka kolefnisfótspor Evrópu .....	17
Børge Johannes Wigum	
Leki úr Krókslóni við Sigöldu í gegnum tíðina .....	19
Davíð Egilson	
Áskoranir við jarðgangagerð í gegnum Reynisfjall.....	21
Freyr Pálsson	
Notkun hraunflæðihermana í vinnu sérfræðihóps um varnir mikilvægra innviða .....	23
Hörn Hrafnadóttir	
Skriðuföllin í Seyðisfirði í desember 2020.....	25
Jón Haukur Steingrímsson	
Jarðfræðingur á prófunarstofu - efnisprófanir í mannvirkjagerð .....	26
Guðrún Eva Jóhannesdóttir	

## Haustfundur

18. nóvember 2022

Fjarðarheiðargöng – jarðfræði á gangaleið.....	28
Matthías Loftsson	
Ástand Kárahjúkastíflu.....	29
Paul Slangen	
Ný tenging milli forsteypts stoðveggjar og staðsteypts sökkuls .....	30
Rúnar Steinn Smárason	
Víkurfjara, sandurinn og sjóvarnir .....	31
Sigurður Sigurðarson	
Countrywide InSAR Mapping of Iceland shows Widespread Slope Movements .....	34
Sigurjón Jónsson & Yunmeng Cao	
Measuring the deformation of the Vaðlaheiði mountain following the drilling of the tunnel using SAR satellites interferometry .....	35
Vincent Drouin & Bjarni Gautason	
Klæðing: Hefur ummyndun áhrif á viðloðun steinefna? Ferðalag til að finna bestu greiningaraðferðirnar .....	36
Þorbjörg Hólmgæisdóttir, Hafdís Eygló Jónsdóttir og Erla María Hauksdóttir	
Aflögun á og við vegstæði Siglufjarðarvegjar um Almenna.....	38
Þorsteinn Sæmundsson, Halldór Geirsson, Jóhanna Malen Skúladóttir, Elías Arnar Nínuson, Sveinbjörn Steinþórsson, Nicolai Jónasson, Heimir Gunnarsson	
Notagildi holusjármynda og þrívíddarlíkana í jarðgangagerð.....	40
Ögmundur Erlendsson, Unnur Þorsteindóttir, Sigurveig Árnadóttir og Steinþór Níelsson	



Haustofundur  
18. nóvember 2022

# Ágrip

Haustfundur  
18. nóvember 2022

## **Electrical resistivity tomography and ground penetrating radar measurements for permafrost detection in Iceland. - Two case studies: In Seyðisfjörður and Orravatnsrústir**

Alexandra von der Esch, Þorsteinn Sæmundsson & Elisa Johanna Piispa

Institute of Earth Science, University of Iceland

Due to climate change, permafrost retreat in the Northern Hemisphere has been noticed. This has led to implications for example, on infrastructure, slope stability, and much more. Therefore, it is important to know the distribution of permafrost and its condition. Electrical resistivity tomography (ERT) and ground penetrating radar (GPR) have been used to study and map the existence, distribution, and condition of permafrost.

ERT is primarily sensitive to one physical property, electrical resistivity, of the subsurface, which can however strongly depend on other factors such as porosity, water content, etc. GPR helps to image the presence of various interfaces in the ground, determined by their differing physical properties such as relative electric permittivity, but also conductivity, which is inverse of resistivity. Combining the two methods allows us to get a clearer picture of the subsurface and understand it better. The end goal is to gain a more comprehensive overview of permafrost distribution in Iceland and, in our case a better understanding of slope instabilities (Sæmundsson et al 2018, Morino et al 2019, 2021). Here we will present two case studies conducted using these methods to detect permafrost, with the research question: are ERT and GPR appropriate methods for detecting permafrost in Iceland? The first is an ongoing Master's thesis project, combining ERT and GPR measurements on Strandartindur in Seyðisfjörður (von der Esch, 2022, in progress). The second is a work already published that concentrated on investigating the internal structure and palsa development at Orravatnsrústir (Kneisel et al 2007, Emmert & Kneisel, 2021).

## Jarðtækni í mannvirkjagerð

Aldís Ingimarsdóttir, Atli Karl Ingimarsson & Þorgeir Helgason

Háskólinn í Reykjavík, Mannvit og Verkís

Umgjörð þeirra sem vinna við jarðtækni er í ákveðnum skorðum eins og önnur vinna við alla mannvirkjagerð og skal fylgja ákveðnum reglum og stöðlum. Í fyrirlestrinum er leitast við að gera grein fyrir þeirri umgjörð sem jarðtæknifólk vinnur í og hvaða þróunarvinna er í gangi tengd þessum reglum. Bent er á atriði tengd jarðtæknivinnu sem betur þurfa að fara í íslenskum framkvæmdum því raunin er sú að þessum reglum er ekki vel fylgt hér á landi.



Jarðtæknifélag Íslands, JTFÍ, er opið áhugamannafélag þeirra sem starfa á sviði jarðtækni, bergtækni og mannvirkjajarðfræði. Markmið félagsins er að vekja athygli á faginu, stuðla að öflun og miðlun á þekkingu og efla samskipti fagmanna sem starfa á þessu sviði. Viðburðir eru um það bil tvisvar á ári auk virkni á heimasíðunni, fréttu í tölvupóstum og á samfélagsmiðlum. Félagar eru rúmlega 100 og fer fjölgandi. Frekari upplýsingar og fræðslu um jarðtækni sem og félagið má finna á heimasíðunni <https://www.jtfi.net>.

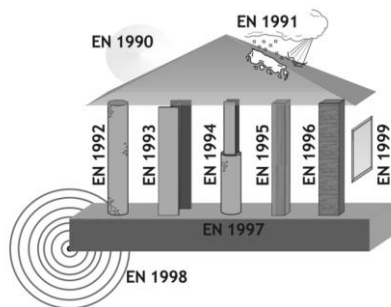
Fólk á jarðtæknisviði eru aðallega verkfræðingar, tæknifræðingar og jarðfræðingar og geta ýmist haft bakgrunn úr B.Sc. í verkfræði eða B.Sc. í jarðfræði og í kjölfarið viðeigandi framhaldsnám. Þetta fagsvið er mjög víðtækt og innan þess er að finna mjög breytilega sérhæfingu sem getur varðað laus jarðefni, berg, grunnvatn, grundun, neðanjarðarmannvirki, efnisrannsóknir og fleira.

Byggingareglugerð (hér eftir táknað með BR) er sá lagalegi rammi sem öll mannvirki sem reist eru hér á landi, skulu fylgja. Markmið og tilgang byggingareglugerðar er hægt að lesa nánar um hér: <https://www.byggingareglugerd.is/>.

BR gildir ekki um samgöngumannvirki en þar skal þó fylgja verklagi sem eigendur þessara mannvirkja segja til um hverju sinni. Í þessu erindi er aðallega fjallað um þá mannvirkjagerð sem fylgja skal BR.

Kafla 8 í BR fjallar um burðarþol og stöðugleika og þar er tekið á því sem snýr að jarðtækni og grundun. Í byggingareglugerðinni segir í kafla 8.2.1:

*„Um hönnun og útreikninga á grundun og burðarvirkjum gilda íslenskir þolhönnunarstaðlar (Eurocodes) ásamt íslenskum þjóðarviðaukum.“*



Mynd 1. Eurocode (EC) kerfið í hnotskurn.

Íslenskir þjóðarviðaukar með EC tóku gildi 2010 (Icelandic National Annexes to Eurocodes) Í formála þeirra segir eftirfarandi:

## Haustfundur

18. nóvember 2022

„Við hönnun mannvirkja hérlendis skal því hér eftir aðeins nota evrópsku þolhönnunarstaðlana ásamt íslensku þjóðarviðaukunum. Kröfur byggingarreglugerðar teljast þá uppfylltar.“

Og í Eurocode 7, sem er í tveimur hlutum, ÍST EN 1997-1 og ÍST EN 1997-2, kemur fram að jarðkönnunarskýrslu (Ground Investigation Report, GIR) og jarðtækniskýrslu (Geotechnical Design Report, GDR) skal alltaf gera sem hluta af undirbúningi og hönnun allra mannvirkja.

Skýrslurnar geta verið mjög breytilegar eftir eðli og umfangi. Fyrir einfalda hönnun getur einblöðungur dugað til að koma nauðsynlegum upplýsingum að en fyrir flóknari aðstæður og mannvirki verða skýrslurnar viðameiri. Eigandi mannvirkisins, hönnuðir og byggingastjóri bera ábyrgð á að farið sé eftir íslenskum lögum og reglum varðandi hönnun og framkvæmdir mannvirkja.

Mikið er í húfi að grundun mannvirkis sé gerð á réttan hátt og að jarðtæknilegar forsendur séu rétt metnar til að tryggja öryggi, hagkvæmni og endingu mannvirkisins. Farið er nánar í þessar ástæður í fyrirlestrinum. Á norðurlöndunum er gerð jarðtækniskýrslna almennt verklag við alla mannvirkjagerð. Það er ekki seinna vænna að við temjum okkur slík vinnubrögð hér á landi.

Nú er verið að endurskoða Eurocode-reglurnar. Fólk frá JTFÍ tekur þátt í samnorrænni spegilnefnd sem er að vinna að endurgerð EC7. Markmið með endurskoðun Eurocode-staðlanna er m.a. að auka samhæfingu ekki síst með fækkun þjóðarbreyta (Nationally Determined Parameters, NDPs), styrkja kröfur um traustleika (robustness) og að auka nothæfi staðlanna við daglega hönnun. Einnig er markmið að aðlaga þolhönnunarstaðlanna að áhrifum loftslagsbreytinga.

Vinna við endurskoðun EC7-staðalsins hófst 2019 og stefnt er að útgáfu 2024. Í október 2020 kom út eftirfarandi handrit sem unnið hefur verið í:

- 📖 *prEN 1997-1. Eurocode 7: Geotechnical design — Part 1: **General rules**.* (Eurocode 7: Jarðtæknileg hönnun – Hluti 1: Almennar reglur.) Heiti draganna er óbreytt, en hlutinn er aukinn umtalsvert, t.d. kemur inn kafli um byggingarefni sem koma við sögu í jarðtæknihönnun; kafli um grunnvatn; krafa um framkvæmda- eða reyndarskýrslu og um valfrjálsa prófunarskýrslu.
- 📖 *prEN 1997-2. Eurocode 7: Geotechnical design — Part 2: **Ground properties**.* (Eurocode 7 – Jarðtæknileg hönnun - Hluti 2: Eiginleikar jarðlaga). Heiti draganna er breytt og innihaldinu breytt umtalsvert, þar á meðal allmikið hvað framsetningu og formsatriði snertir; auk þess má nefna að jarðlíkani, „ground model“ er gert mun hærra undir höfði en áður og fær sérstakan kafla þar sem líka er fjallað um efnisgildi; engu að síður eru drögin styttri en núverandi staðalhluti.
- 📖 *prEN 1997-3. Eurocode 7: Geotechnical design - Part 3: **Geotechnical structures**.* (Eurocode 7: Jarðtæknileg hönnun - Hluti 3: Jarðtæknivirki). Drög að nýjum hluta staðalsins og er ætlunin að hann taki við mest öllu sem snýr að jarðtæknihönnun úr núverandi EN 1997-1 og er mjög aukið við þann hluta; Geotechnical Design Model/Jarðtæknilíkan er kynnt til sögunnar.

Samhliða þessu þarf að uppfæra og endurskoða þjóðarviðaukana og Staðlaráð Íslands hefur sett þá vinnu í gang. Hópur á vegum JTFÍ sinnir þeirri vinnu fyrir Staðlaráð og sá hópur samanstendur af fólki úr háskólunum (HÍ og HR), Vegagerðinni og nokkrum af stærstu verkfræðistofunum.

Af öllum þolhönnunarstöðlunum er jarðtæknistaðallinn e.t.v. sá minnst þekkti og notaði á mannvirkjamarkaðnum. Skipa ætti fagstjóra um jarðfræði/jarðtækni jafnt og um aðra hönnun í hverju hönnunarverkefni og þar með tryggja að jarðtæknin komi að borðinu strax við upphaf verks.

## Burðarþol stauraundirstaðna og staurar á Eskifirði

Andri Gunnarsson

EFLA

### Burðarþol stauraundirstaðna – Rannsóknarverkefni með Vegagerðinni

Stauraundirstöður eru nokkuð algeng grundun fyrir brýr á Íslandi, sérstaklega á Suðurlandi þar sem verið er að byggja brýr á sandi/möl og fastur botn yfirleitt vandfundinn. Einnig er algengt að það séu nokkrir metrar á fast í árfarvegum þar sem ár grafa sig niður með tímanum.

Hægt er að hanna stauraundirstöður með viðnámsstaurum í sandi með útreikningum sem byggja á virkri spennu í jarðveginum og skriðhorni. Á Íslandi hefur hins vegar almennt verið stuðst við viðmiðunargildi fyrir burðarþol staura þar sem burðarþol er metið m.t.t. niðurstaðna úr höggborun. Þessi viðmiðunargildi voru birt í Árbók VFÍ 1993 í samantekt sem Jón Skúlason gerði fyrir 53 álagspróf sem höfðu verið framkvæmd á Íslandi.

Jarðlög	Pökkun	Borro borun tm/m	Brotálag/flatarmál (t/m <sup>2</sup> )		
			Steyptur	Tré	Stál
Sandur og möl	Lítill	1,5	5	11	
	Mikil	4	10	14	
Sandur	Lítill	1,5	3	8	2,5
	Mikil	4	6	11	3
Lífrænt silt	Lítill	1,5		2,5	
	Mikil	4		3	

Mynd 1: Viðmiðunargildi fyrir burðarþol staura (Árbók VFÍ 1993, Jón Skúlason).

Markmiðið með rannsóknarverkefninu er að skoða forsendur og reikniaðferðir fyrir stauraundirstöður sem skoða hvernig hægt er að gera álagspróf á hagkvæman og einfaldan hátt. Verkefninu er skipt í eftirfarandi hluta:

- Skoða þær hönnunaraðferðir sem notaðar eru við hönnun á viðnámsstaurum
- Taka saman mælingar á burðarþoli staura sem gerðar hafa verið á Íslandi
- Framkvæma dýnamískt (PDA) álagspróf til að áætla burðarþol staura og bera saman niðurstöður við hefðbundið statískt álagspróf og aðrar reikniaðferðir fyrir burðarþol
- Skoða hvort CPT borun geti nýst við mat á burðarþoli staura
- Skoða hvort hægt sé að taka tillit til tímaáhrifa á burðarþol staura
- Gera tillögu að jarðkönnunum sem æskilegt væri að gera fyrir hönnun á stauraundirstöðum

Statískt álagspróf var áður fyrr algengasta aðferðin við að mæla burðarþol staura en síðustu 20-30 árin hafa dýnamískar mælingar á burðarþoli orðið algengari enda mun einfaldari í framkvæmd. Dýnamísk álagspróf eru t.a.m. almennt notuð í verkefnum í Skandinavíu til að staðfesta hönnunarforsendur og öryggi mannvirkja.

Í rannsóknarverkefninu voru gerð tíu dýnamísk álagspróf á staurum undir nýja brú yfir Núpsvötn í lok ágúst 2021. Jarðvegur í brúarstæðinu samanstendur af sandi og möl og staurarnir

## Haustfundur

18. nóvember 2022

eru reknir niður í fast jarðlag á um 20-21 m dýpi. Burðarþol fyrir 21 m langan steinsteyptan staur (270x270mm) var reiknað skv. eftirfarandi hönnunaraðferðum

- Statísku álagsprófi á fjórum staurum undir gömlu brúna frá 1973. Burðarþol skv. þessu álagsprófi er skilgreint sem „rétt“ burðarþol fyrir staurana.
- Skv. niðurrekstrarformúlum þar sem orka við að reka niður staurana síðustu 1-2 m er notuð til að áætla burðarþol. Notuð voru um 20-21 kJ við að reka staur 5-6 mm við lok niðurreksturs.
- Skv. niðurstöðu höggborana (2 boranir) í brúarstæðinu þá er meðalgildi mótstöðu um 1,4 tm/m.
- Skv. jarðkönnun (3 boranir) er jarðvegur skilgreindur sem malar- og sandlög með skriðhorn 35° og rúmþyngd 19 kN/m<sup>3</sup>. Reiknað er með að grunnvatn sé á um 5 m dýpi undir yfirborði.

Niðurstöður úr dýnamísku álagsprófi og áætlað burðarþol skv. hönnunaraðferðum sem skilgreindar eru hér að ofan eru birtar í töflu 1.

Tafla 1 Samanburður á niðurstöðum úr dýnamískum álagsprófunum, statískum álagsprófunum og reikniðferðum

Flokkur	Flokkur	Statískt álagspróf	Dýnamískt álagspróf	Skv. niðurrekstrar-gögnum	Höggborun	Eurocode 7
		[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]
Mælt/reiknað burðarþol	R <sub>s,cal</sub>	1090	1125	1170	1134	987
Leiðréttingarstuðull	ξ	1	1,15	1,595	1,45	1,45
<b>Kennigildi hönnunar</b>	<b>R<sub>s,k</sub></b>	<b>1090</b>	<b>980</b>	<b>734</b>	<b>782</b>	<b>681</b>
Hlutfall af statísku álagsprófi		100%	90%	67%	71%	62%

### Eskifjörður – Frystiklefi og viðlegukantur

Á Eskifirði hefur verið töluverð uppbygging á mannvirkjum og hluti þeirra er grundaður á stauraundirstöðum. Hér er fjallað um nýjan frystiklefa fyrir Eskja og nýjan viðlegukant fyrir Fjarðarbyggð.

Grundunaraðstæður fyrir þessi mannvirki eru ekki góð, lýsing skv. jarðgrunnsrannsóknnum frá Mannvit eru birtar hér að neðan:

„Rannsóknir benda til að jarðlög séu rik af lífrænum treffjum sem að veikja þau til muna. Þar með eru þau burðarlítill og óstöðug. Neðan við um 15m dýpi, er samfelld burðarlítið siltag sem nær niður á 20-25 m dýpi og þar kemur aftur malaralag. Dýpi á fastann botn er um 50-60 m“

## Haustfundur

18. nóvember 2022

Grundunaraðstæður versna einnig eftir því sem komið er nær miðju fjarðarins og viðlegukanturinn stendur nálægt miðju fjarðarins þar sem dýpi á fastan botn er hvað mest og jarðvegur með lélega burðareiginleika.

Valið var að grunda frystiklefann á 23 m löngum steinsteypum viðnámsstaurum sem eru reknir niður í gegnum siltlögin og ofan í malarlag þar undir. Áður en staurarnir voru reknir niður var svæðið létt-fergt til að ná minnka áhengilág. Þá var ákveðið að álagsprófa staura eftir niðurrekstur til að staðfesta burðarþol sem og safna gögnum m.t.t. fyrirhugaðrar uppbyggingar á svæðinu. Það voru reknir niður 424 staurar (11300 m) og þeir síðan álagsprófaðir 8-10 dögum eftir niðurrekstur með 4 statískum álagsprófum og 9 PDA álagsprófum. Niðurstöðum úr þessum 2 prófum bar ágætlega saman og þau sýndu fram á um 30% hærra burðarþol en áætlað hafði verið skv. hefðbundum reikniaðferðum. M.t.t. þess þá var hægt að fækka staurum um 40 stk. Það voru einnig gerð 4 PDA álagspróf á sömu staurum og voru prófaðir upphaflega 10-15 dögum seinna. Niðurstaðan úr því sýndi að burðarþol jókst um 10-23% á þessum tíma.

Fyrir viðlegukantinn voru reknir niður mislangir tilraunastaurar, samtímis sem rekið var undir frystiklefann, og burðarþol þeirra mælt með PDA álagsprófi. Niðurstaðan var síðan notuð við hönnun á staurunum. Niðurrekstrarskýrsla fyrir staura sýnir að það eru hörð lög á 32-38m dýpi og 45-49 m dýpi, það eru þá líklega malarlög inn á milli sand/silt linsa. Valið er að grunda viðlegukantinn á 36, 52 og 60 m löngum steinsteypum viðnámsstaurum, um 12 m af lengd staura eru frístandandi, sem eru reknir niður í gegnum siltlögin og ofan í föst malarlög þar undir. Þá var einnig notuð óbein ferging þar sem lagt er út vinnuplan fyrir niðurrekstur staura sem er svo fjarlægt að loknum niðurrekstri.

Það voru reknir niður 150 staurar (8300 m) og þeir síðan álagsprófaðir 3-9 dögum eftir niðurrekstur með 10 PDA álagsprófum. Niðurstöðum úr þessum prófum staðfestu áætlað hönnunarþol.

Með því að reka niður prufustaura og álagsprófa þá til að fá hönnunargildi fyrir burðarþol þá er hægt að útfæra mun skilvirkari hönnun m.t.t. kostnaðar, umhverfisáhrifa sem og öryggis mannvirkis. Þetta á einnig við ef PDA próf eru gerð samhliða niðurrekstri ef niðurstöður úr þeim eru t.d. notuð til að fækka staurum á byggingartíma. Þá er einnig gott að hafa í huga að PDA álagpróf eru gott verkfæri til að staðfesta öryggi hönnunar.



Haustfundur  
18. nóvember 2022

## **Notkun og áhrif mismunandi steinefna í fersksteypu**

Andri Jón Sigurbjörnsson

Steypustöðin

Steinsteypa er á eftir vatni næst mest notaða hráefni á jörðinni og spilar hún mjög stórt hlutverk í byggingariðnaði á Íslandi.

Steinsteypa samanstendur af steinefnum, sementi, vatni og íblendiefnum en þar af eru steinefnin um 70% af innihaldi steypu, því hafa mismunandi eiginleikar steinefna gríðarlega mikil áhrif á gæði, vinnanleika og hegðun steinsteypu. Í þessu erindi verður farið yfir þá helstu eiginleika steinefna sem hafa áhrif á steypu og hvaða aðferðum er beitt til að mæla og prófa þessa eiginleika. Kornadreifing, berggreining, mettivatn, löggun og harka ásamt efnafræðilegum eiginleikum eins og saltinnihald og alkalívirkni verða rædd og farið yfir hlutverk jarðfræðings í bæði framleiðslu á steinefnum ásamt gæðaeftirliti í steypuframleiðslu.

## Fáskrúðsfjarðargöng, jarðfræðilegar aðstæður og framvinda gangagerðar

Ágúst Guðmundsson

Fyrrum Jarðfræðistofan ehf

Við jarðfræðilegan undirbúning gangagerðar milli Reyðarfjarðar og Fáskrúðsfjarðar var í fyrstu stuðst við jarðfræðikortlagningu breska jarðfræðingsins G.P.L. Walkers og nema hans á árunum fyrir- og um 1960. Í aðdraganda gangagerðar 1990-2000 var nokkrum jarðlagasniðum lýst upp eftir lækjum og giljum og gerð einföld rúmfræðileg mynd af því sem vænta mætti á jarðgangaleið. Sumarið 1990 voru boraðar 4 kjarnaholur nærri líklegustu gangamunnum og bergstafla þeirra lýst á „hefðbundin hátt“ ásamt viðeigandi prófunum á styrkleika bergs og lekt berglaga. Hugmyndalíkanið fyrir legu ganganna var að þau þræddu í gegnum um það bil 100 m þykkt knippi basaltlaga sem liggja á milli tveggja þykkra setbergslaga sem telja verður óheppileg og kostnaðarsöm fyrir gangagerð.

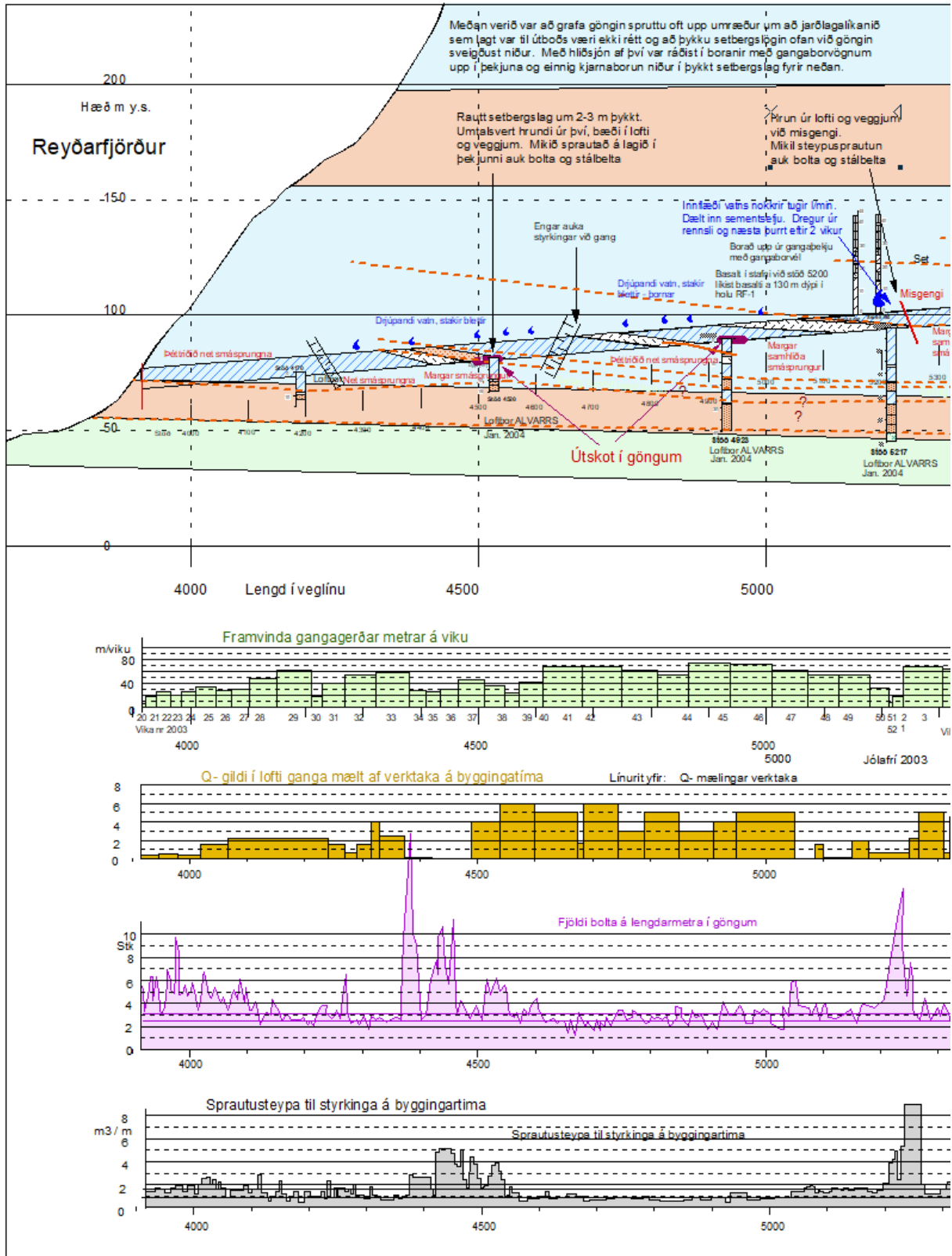
Framvindu gangagraftar og bergstyrkinga eftir gangaleiðinni er lýst á myndrænan hátt með langsniði eftir gangaleiðinni. Þar kemur fram hversu langt var grafið í hverri viku framkvæmdarinnar. Einnig er þar meðaltals berggæðamat bergs á þeim lengdarkafla sem grafið var í gegnum í vikunni og hversu mikið var styrkt með fjölda bergbolta á hvern lengdarmetra ganga ásamt hversu mörgum rúmmetrum af steypu var sprautað á sama lengdarbil.

Oft koma fram við jarðgangagerð hérlendis ýmis jarðfræðileg atriði sem víkja frá því sem gengið er frá í útboðsgögnum. Þar sem hæðarlega ganganna var „bundin“ við tilteknar bergsyrpur var samfara gangagreftrinum hafði verktakinn talsverðar áhyggjur af að útboðsjarðfræðin viki frá raunveruleikanum, var lagt í nokkra rannsóknavinnu til að finna hversu langt gólf og loft ganganna var frá þykku setlögnum fyrir neðan og ofan gangaleiðina. Í því skini voru boraðar könnunarholur, bæði með höggborum gangaborsins og einnig með aðfengnum kjarnaborum. Á langsniði eru sýndar jarðfræðilegar aðstæður umhverfis göngin og hvar lengstu könnunarholur voru staðsettar innan ganganna. Áhyggjur af að efri setlagabunkinn væri að koma niður í gangaþekjuna rénuðu eftir því sem framvinda graftar og könnun berglaga vatt fram.

Þegar upp var staðið voru styrkingar í göngunum með nokkuð öðrum hætti en útboðsgögn gerðu ráð fyrir. Heildar-bergboltanotkun var umtalsvert minni en áætlað hafði verið og megnið af bergboltum var sett inn samhliða greftri. Styrking með sprautusteypu varð talsvert meiri en áformað var og mun meira var sprautað samhliða greftri en minna við frágang.

Frávikin á milli „útboðsjarðfræði og raunjarðfræði“ í Fáskrúðsfjarðargöngum voru (að mati þess er þetta ritar) líklega í minna lagi miðað við nokkur hliðstæð jarðgangaverk hérlendis.

Haustfundur  
18. nóvember 2022



Hluti af langsniði eftir Fáskrúðsfjardargöngum með helstu upplýsingar varðandi jarðfræði og framvindu bergstyrkinga samhliða gangagreftri.

## **Að verja innviði. Undirbúningur er lykill að öflugu viðbragði til lágmörkunar á röskun samfélags í upphafi nýrra Reykjaneselda**

Ármann Höskuldsson<sup>1</sup>, Kristín Martha Hákonardóttir<sup>2</sup>, Hörn Hrafnadóttir<sup>2</sup>, William Moreland<sup>1</sup>, Fjóla Guðrún Sigtryggsdóttir<sup>3</sup>, Ari Guðmundsson<sup>2</sup>, Jón Haukur Steingrímsson<sup>4</sup>, Ingibjörg Jónsdóttir<sup>1</sup> og Þorvaldur Þórðarson<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>Háskóli Ísland, <sup>2</sup>Verkís, <sup>3</sup>NTNU, <sup>4</sup>Efla

Reykjaneseldar byrjuðu með miklum jarðskjálfta hrinum er skóku allan Reykjaneskagann. Eldgos hófst í Geldingadölum 19. mars 2022 og aftur í Merardölum 3. ágúst 2022. Í kjölfar skjálftahrynunnar 2021 hófst greining á mögulegum svæðum er gætu orðið undir hrauni ef til eldgoss kæmi. Þremur vikum fyrir upphaf eldgoss, var settur saman hópur á vegum stjórnvalda til að vinna upp varnar- og viðbragðs áætlanir ef til þess kæmi að eldgos hæfist nærri byggð eða innviðum á Reykjanesi. Vinna hópsins fólst í því að greina þau áhrifasvæði og innviði sem helst gætu orðið fyrir raski af völdum hraunrennslis, greina mögulegar mótvægisáðgerðir, hanna varnarmannvirki og skoða möguleg áhrif hraunferingar. Eftir að eldgos hófst í Geldingardölum beindist vinna hópsins að mati á tímaskala hraunrennslis, hönnun varnamannvirkja, tilrauna uppsetningu varnarmannvirkja og rannsóknum til að skilja betur hegðun hrauna og uppbyggingu í náttúrulegu umhverfi til að betrumbæta hönnunar forsendur. Í þessum fyrirlestri verður farið yfir störf og aðferðarfræði sem beitt var í vinnuhópnum. Fyrir eldgos var beitt tölfræðilegri greiningu á mögulegum hraun þekjum út frá mögulegum eldsuppkomusvæðum, nánari greining með vökvafræðilegum hermiforritum frá þektum eldsuppkomusvæðum og hönnun á mögulegum varnarmannvirkjum. Eftir að til eldgoss kom var í byrjun gerð tölfræðileg greining á mögulegri útbreiðslu hrauns, nákvæmu vökvafræðilegu hermiforriti beitt til að greina rennslisleiðir og og tímaskala í eldgosi samfara seigju greiningu á hraun vökvanum. Þá var leitast til þess að fá leyfi til að setja upp varnamannvirki til reynslu. Upp voru settir tveir þvergarðar og tveir leiðigarðar. Leyfi til uppsetningar hraunfergi tilrauna fengust í lok eldgoss, en fram að því var notast við hita mælingar í ljósleiðara sem fór undir hraun í Nátthaga.

## Vatnafarskort vestan Elliðaáa

Árni Hjartarson,<sup>1</sup> Daði Þorbjörnsson,<sup>1</sup> Sigrún Tómasdóttir<sup>2</sup> og Bjarni Reykr Kristjánsson<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Íslenskar orkurannsóknir, <sup>2</sup>Orkuveita Reykjavíkur

Borgir og þéttbýliskjarnar hafa hvarvetna gríðarleg umhverfisáhrif og valda m.a. mikilli röskun á náttúrulegu ástandi vatnafars, bæði yfirborðsvatns og grunnvatns. Regnvatn og leysingavatn, sem áður seytláði um lek jarðlög niður til grunnvatnsins, rennur nú af þökum, götum og bílaplönnum ofan í holræsakerfið og hverfur með fráveitulögnum út fyrir borgarmörkin og oft skemmstu leið til sjávar. Einungis lítill hluti vatnsins, etv ekki nema 10%, skilar sér til grunnvatnsins. Afleiðingin er sú að grunnvatnsborð stórlækkar. Þetta fyrirkomulag er hvorki hagkvæmt né umhverfisvænt. Stórborgir víða um heim, og þar með talin Reykjavík, hafa á síðustu árum tekið þá stefnu að innleiða svokallaðar blágrænar ofanvatnslausnir þar sem náttúrulegum ferlum er beitt við meðhöndlun rigningarvatns og leysingarvatns. Innleiðing blágrænna ofanvatnslausna á að skapa vistvænt borgarumhverfi og auka seiglu þess gagnvart loftslagsbreytingum. Ávinningurinn er margþættur, s.s. hreinna ofanvatn, hærra grunnvatnsborð, grænna umhverfi, aukinn líffræðilegur fjölbreytileiki í byggðinni og minna álag og lægri viðhaldskostnaður á fráveitukerfunum. Lykillinn að árangri í þessum málum er traust þekking á jarðfræðilegum aðstæðum og almennu vatnafari og góð vatnafarskort.

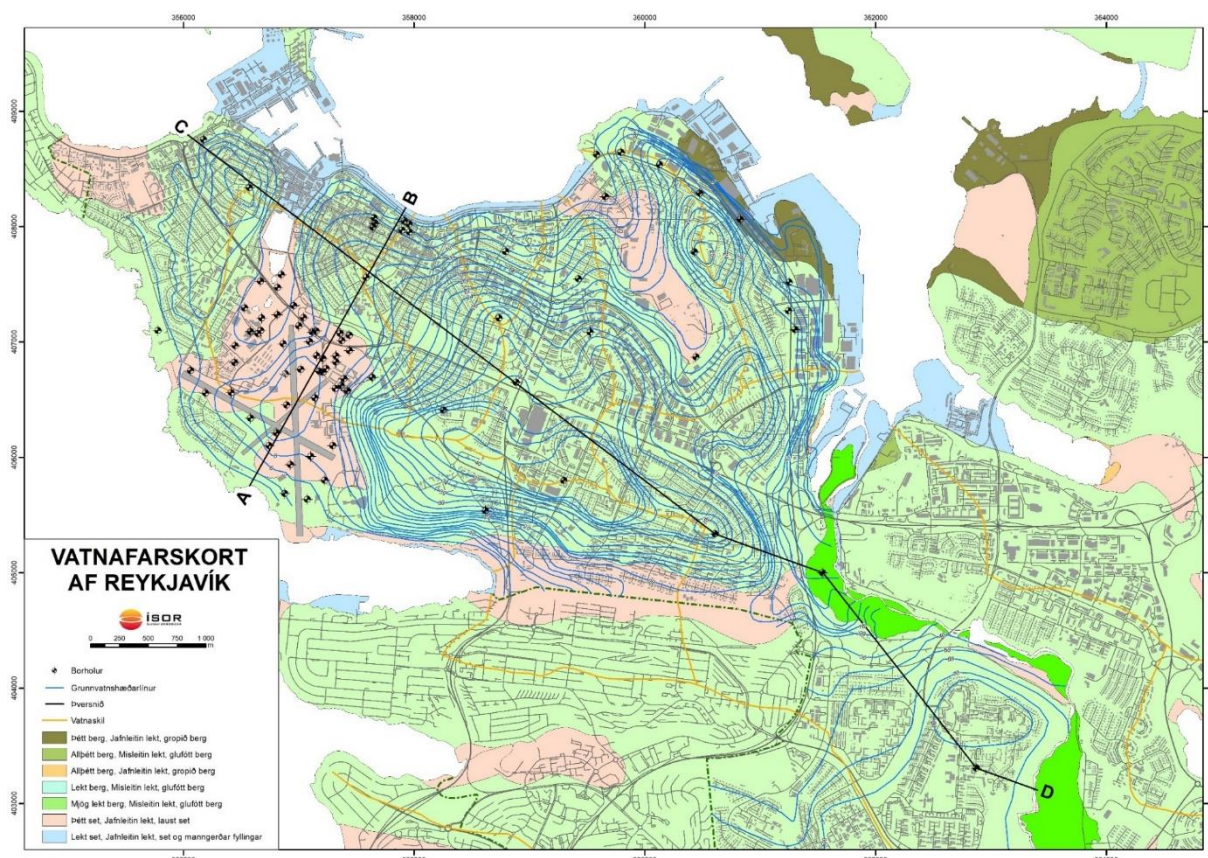
Í tengslum við áætlanir um innleiðingu blágrænna ofanvatnslausna í Reykjavík fengu Veitur Íslenskar orkurannsóknir til þess að uppfæra vatnafarskortin af höfuðborgarsvæðinu frá 1991 til 1997, þ.e. þann hluta þeirra sem nær yfir Reykjavík vestan Elliðaáa. Ekki var einungis um einfalda uppfærslu að ræða heldur var einnig stefnt að aukinni nákvæmni, t.d. voru grunnvatns-hæðarlínur þéttar verulega. Dregnar voru saman mælingar á grunnvatnshæð í öllum þeim holum á svæðinu sem unnt var að finna í gagnasöfnum og skýrslum. Í ljós kom að til að fá góða dreifingu á mæliholur og viðunandi mynd af grunnvatnshæðinni var nauðsynlegt að bora nýjar rannsóknarholur á völdum stöðum. Níu holur voru boraðar í sept. 2019 vítt og breitt um borgina. Á grundvelli gamalla og nýrra gagna voru grunnvatnshæðarlínur síðan dregnar með tveggja metra millibili á kort. Í Breiðholti er þó einungis til mæling úr einni holu. Þar þótti því ekki verjandi að draga þéttari grunnvatnshæðarlínur en með 10 m millibili. Hið uppfærða vatnafarskort byggist á mælingum í 71 borholu. Ýmsar mælingar voru gerðar í nýju borholunum, m.a. lektarmælingar. Síritar munu svo skrá breytingar á vatnsborði og hita í þeim á næstu árum.

Í erindinu verður fjallað um grunnvatnshæð og sveiflur hennar, vatnshita í efstu lögum grunnvatnsins, hið tvöfalda grunnvatnskerfi undir borginni, lekt og lektareiginleika jarðlaga og þykkt grágrýtisins. Lektarmælingar í borholunum, sýna að lekt grágrýtisins er mjög misjöfn frá einum stað til annars. Vonast hafði verið eftir því að sjá mætti einhverja reglu í dreifingu lektargildanna þannig að unnt væri að skipta lektarflokkum berggrunnsins betur upp en gert var á eldri vatnafarskortum. Engin slík regla kom í ljós. Þegar horft er til blágrænna ofanvatnslausna og sjálfbærra fráveitukerfa er ljóst að grágrýtið er mikilvægasti viðtaki ofanvatnsins. Víða er alldjúpt niður á grunnvatnsborðið í grágrýtinu og það eykur á vægi þess. Gamla gosbergið undir borginni (Viðeyjarbergið) er lítið eitt þéttara og hefur auk þess litla útbreiðslu. Hörðu setlögin, Fossvogslög og Elliðavogslög, eru þétt og treg til að taka við ofanvatni en beinar lektarmælingar hafa ekki verið gerðar í þeim. Jökulurð er almennt þétt en víðast hvar fremur þunn og hefur litla þýðingu hér. Strandset og manngerðar fyllingar eru aftur á móti lekar myndanir og geta haft

# Haustfundur

18. nóvember 2022

umtalsverða þýðingu á ákveðnum svæðum, einkum í Miðbænum. Há grunnvatnsstaða í þeim dregur úr vægi þeirra í vinnu við blágrænar ofanvatnslausnir. Alldjúpt er niður á grunnvatn uppi á holtum innan borgarlandsins. Þótt niðurstöður þessarar rannsóknar bendi til þess að leiðni og lekt bergs sé ekki meiri uppi á holtum en annars staðar í borginni eru holtin ákjósanlegur staður fyrir blágrænar ofanvatnslausnir vegna þess að þar er grágrýtið þykkast og þar geta bæði borholur og óvatnsmettað berg tekið við talsverðu vatnsmagni. Á nokkrum stöðum, eins og t.d. í Kvosinni í gamla Miðbænum, er grunnvatnsborð nálægt yfirborði og þar þarf að gæta þess að það hækki ekki.



- ◆ Borholur
- Grunnvatnshæðarlínur
- Þversnið
- Vatnaskil
- Þétt berg, Jafnleitn lekt, gropið berg
- Allþétt berg, Misleitin lekt, glufótt berg
- Allþétt berg, Jafnleitn lekt, gropið berg
- Lekt berg, Misleitin lekt, glufótt berg
- Mjög lekt berg, Misleitin lekt, glufótt berg
- Þétt set, Jafnleitn lekt, laust set
- Lekt set, Jafnleitn lekt, set og manngerðar fyllingar

## Hlutverk mannvirkjajarðfræðings í jarðgöngum

Benedikt Óskar Steingrímsson

Mannvit

Hlutverk mannvirkjajarðfræðings í jarðgöngum er mjög mikilvægt. Stærsta hlutverk hans er að kortleggja og meta berggæði bergsins í göngunum. Út frá berggæðamati er hægt að ákveða gerð og magn bergstyrkinga. Vanalega er bergið styrkt með sprautusteypu og bergboltum, þykkt sprautusteypu og fjöldi og gerð bolta er mismunandi eftir styrkingarþörf. Þar sem aðstæður eru verri er oft gripið til þess að nota burðarjárn (t.d. kambstál og járnsmottur) í sprautusteypunum.

Berggæðamatið hefur verið notað í Noregi frá árinu 1974 og hér á Íslandi frá árinu 1980. Q-kerfið á Íslandi hefur verið aðlagð íslenskum aðstæðum þar sem berggerðir hér eru frábrugðnar þeim sem finnast í Skandinavíu. Með Q-kerfinu er hægt að flokka ástand bergsins eftir berggæðum með því að gefa berginu svokallað Q-gildi. Q-gildi stendur fyrir Quality index eða Rock Mass Quality index. Q-gildið er margfeldi þriggja þátta, sem einkum hafa áhrif á stæðni og styrkingarþörf bergs í skeringum og jarðgöngum.

$$Q = \frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \times \frac{J_w}{SRF}$$

Þar sem RQD/J<sub>n</sub> er mælikvarði fyrir stæðni bergblokka, J<sub>r</sub>/J<sub>a</sub> er mælikvarði fyrir skerstyrk milli blokka og J<sub>w</sub>/SRF er mælikvarði fyrir virka spennu. Einstakar breytur eru: RQD er mælikvarði á heilleikastuðul bergsins, J<sub>n</sub> er mælikvarði fyrir fjölda sprungukerfa, J<sub>r</sub> er mælikvarði fyrir lögun og áferð sprunguflata, J<sub>a</sub> er mælikvarði fyrir gerð og þykkt sprungufyllinga, J<sub>w</sub> er mælikvarði fyrir jarðvatnsástand og SRF er mælikvarði fyrir spennuástand bergs.

Q-gildi	Bergstyrkingarflokkur
>4	1
1-4	2
0,1-1	3
0,01-0,1	4
<0,01	5

Q-kerfið virkar þannig að eftir því sem Q-gildið er hærra því betra er bergið. Almennu eru jarðgöng á Íslandi að mestu í bergstyrkingarflokki 1 og 2 (Q-gildi hærra en 1). Bergstyrkingar í hverjum flokki eru mismunandi eftir því hvert þversnið gangana er ásamt því hvort göngin sé veggöng eða t.d. jarðgöng í vatnsaflsvirkjunum. Samkvæmt hönnunarstöðlum í dag þá eru bergstyrkingar fyrir styrkingarflokk 1 og 2 í veggöngum almennt 6-10 cm þykk sprautusteypa sem inniheldur trefjar og göngin kerfisboltauð 2-2,5 m c/c með 3-4 m löngum boltum.

Í erindi er fjallað um hlutverk mannvirkjajarðfræðings í aðrennslisgöngum Búðarhálsvirkjunar. Aðrennslisgöngin eru 3.972 m löng, þvermál gangana er 140 m<sup>2</sup> (B=11,3 m, H=14,7 m) og

## Haustfundur

18. nóvember 2022

heildarrúmmál er 556.000 m<sup>3</sup> (fast). Jarðgangagerð aðrennslisganga stóð yfir á tímabilinu frá maí 2011 til september 2013. Stærsta hluta tímans var unnið á tveimur stöfnum. Vegna þess hve stórt þversniðið er, þá þurfti að sprengja göngin í tveimur hlutum (efri og neðri). Bergstyrkingar fóru að mestu fram samhliða gangagreftri, en að loknum gegnumslætti voru nokkur svæði sem þurfti að styrkja betur (lokastyrkingar). Í heildina voru aðrennslisgöngin styrkt með 29.487 bergboltum og 21.797 m<sup>3</sup> af sprautusteypu.



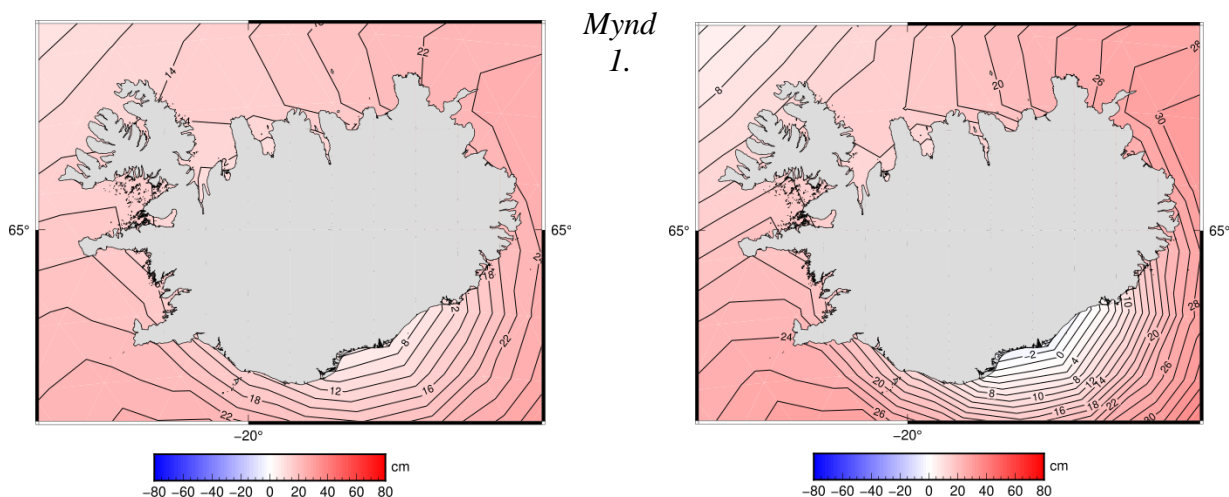
## Sjávarstöðubreytingar umhverfis Ísland: framlag ísbreiðanna og íslenskra jökla

Berglind Pétursdóttir, Guðfinna Aðalgeirsdóttir og Sigríður Magnúsdóttir

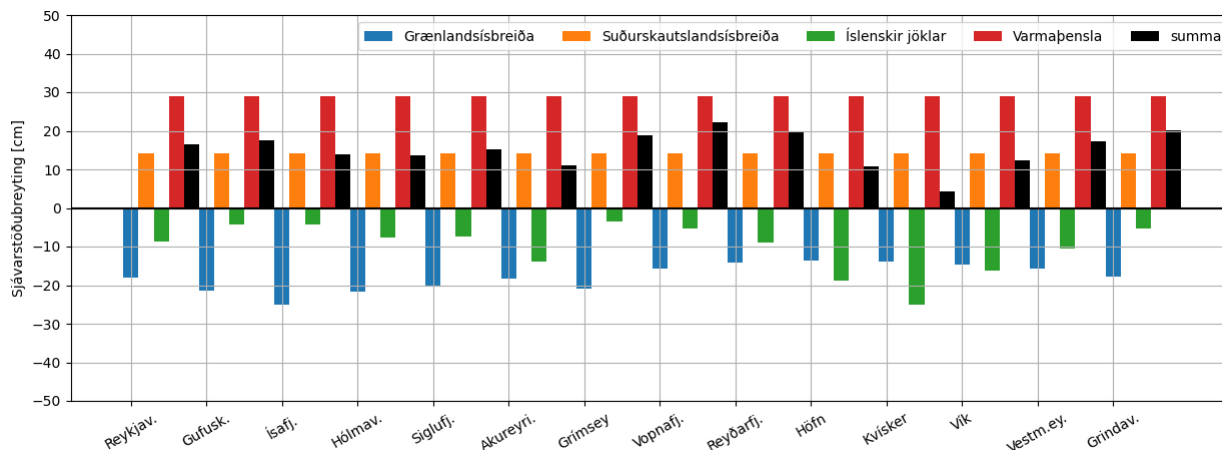
Jarðvísindadeild Háskóla Íslands

Vegna losunar gróðurhúsalofttegunda í andrúmsloftið hefur meðalhitastig jarðar hækkað um 1.1°C síðan 1850. Varmáttþensla hafsins og bráðnun jökla valda því að sjávarstaða hækkar. Hnattræn sjávarstaða hækkaði hraðar eftir 1900 en á öðrum fyrri öldum í að minnsta kosti síðust 3000 ár. Hraði hnattrænnar hækkunar sjávarstöðu fór úr 1.9 mm/ári yfir tímabilið 1971-2006 í 3.7 mm/ári á tímabilinu 2006-2018. Framlag stóru ísbreiðanna á Grænlandi og Suðurskautslandinu var um 35% af hækkuninni á þessari öld [2].

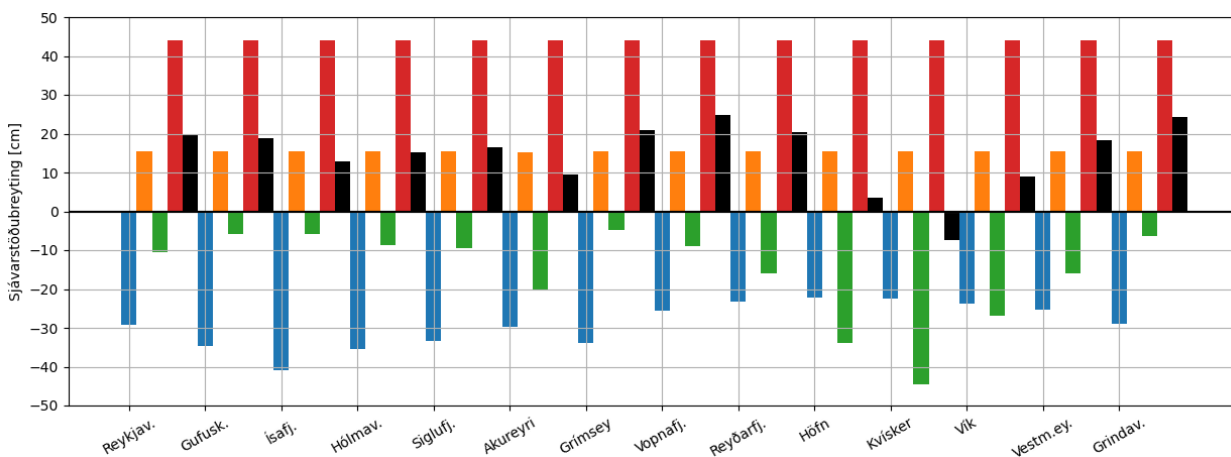
Reiknað var með forritinu SELEN (SeaLevel Equation solver) [3] hvernig sjávarstaða umhverfis Ísland breytist fram til 2100 vegna massataps jökla og ísbreiða samkvæmt nýjustu sviðsmyndum um losun gróðurhúsalofttegunda og bráðnun. Sjávarstöðubreytingar vegna þriggja framlagssvæða ísbráðar voru reiknaðar: Grænlandsísbreiðu, Suðurskautslandsísbreiðu og íslenskra jökla, undir tveimur mismunandi sviðsmyndum bráðnunar. Vegna þess hvernig ísbreiðurnar aflaga þyngdarsviðið í kring um sig mun bráðnun á Suðurskautslandinu valda sjávarstöðuhækkun um 14-16 cm umhverfis Ísland en þyngdarsviðsbreytingar vegna bráðnunar Grænlandsjökuls lækka sjávarstöðuna um -10 til -40 cm og bráðnun íslensku jöklanna lækkar einnig sjávarstöðu um -4 til -44 cm. Landfræðilegur breytileiki sjávarstöðubreytinga umhverfis Ísland er umtalsverður. Varmáttþensla hækkar sjávarstöðuna í kringum landið um 17-44 cm en aðrir þættir hafa minni áhrif. Mynd 1 sýnir jafnhæðarlínur summu áhrifa framlagssvæðanna þriggja fram til ársins 2100 auk áhrifa varmaþenslu. Heildaráhrifin eru hækkun nánast alstaðar við landið undir báðum sviðsmyndum eða sjávarstöðubreytingar á bilinu -2 til 28 cm. Súluiritin á mynd 2 sýna svo hver hlutur framlagssvæðanna þriggja og varmaþenslunnar er í fyrirnefndum tölum. Þessar niðurstöður uppfæra fyrri spár um sjávarstöðubreytingar kringum Ísland [1].



Haustfundur  
18. nóvember 2022



Mynd 2. Súlurit með þáttum sjávarstöðubreytinga í sentímetrum fyrir valdar staðsetningar við strendur Íslands fram til ársins 2100 undir samsettri sviðsmynd SSP2-4.5/RCP4.5.



Mynd 3. Súlurit með þáttum sjávarstöðubreytinga í sentímetrum fyrir valdar staðsetningar við strendur Íslands fram til ársins 2100 undir samsettri sviðsmynd SSP5-8.5/RCP8.5.

**Heimildir:**

- [1] Halldór Björnsson, Bjarni D. Sigurðsson, Brynhildur Davíðsdóttir, Jón Ólafsson, Ólafur S. Ástþórsson, Snjólaug Ólafsdóttir, Trausti Baldursson, Trausti Jónsson. 2018. Loftslagsbreytingar og áhrif þeirra á Íslandi – Skýrsla vísindanefndar um loftslagsbreytingar 2018. Veðurstofa Íslands.
- [2] Parmesan, C., M.D. Morecroft, Y. Trisurat, R. Adrian, G.Z. Anshari, A. Arneth, Q. Gao, P. Gonzalez, R. Harris, J. Price, N. Stevens, and G.H. Talukdar, 2022: Terrestrial and Freshwater Ecosystems and their Services. Í: *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, pp. 197-377, doi:10.1017/9781009325844.004.
- [3] Spada, G., P. Stocchi, 2007. „SELEN: A Fortran 90 program for solving the “sea-level equation”. Í: *Computers and Geosciences* 33, bls. 538–562.

## Fín malað móberg í sement til að lækka kolefnisfótspor Evrópu

Børge Johannes Wigum

Hornsteinn/HeidelbergMaterials [BorgeJohannes.Wigum@heidelbergcement.com](mailto:BorgeJohannes.Wigum@heidelbergcement.com)

### Inngangur

Steypa er aðalbyggingarefni í 70% bygginga á Íslandi, og samanstendur af sementi (sem samanstendur af sementi klinker og gifsi), vatni og steinefnum. Um það bil 90% af kolefnislosun vegna steinsteypuframleiðslu er vegna sements og 10% er vegna annarra þátta. Almennt er talið að u.þ.b. 8% af allri kolefnislosun heims séu rakin til framleiðslu sements.

Við erum nú í einstakri stöðu til þess að þróa og innleiða nýjar tegundir sements sem byggjast á hagnýtum rannsóknum sem gerðar voru af íslenskum vísindamönnum á sjöunda áratugnum. Þessi nýja tegund sements, sem byggir að hluta til á náttúrulegu íslensku móbergi, mun hafa veruleg áhrif á kolefnisspor sem tengist byggingariðnaði á Íslandi og víðar. Þetta verkefni mun skila verulegum virðisauka á Íslandi og staðfesta stöðu Íslands sem vettvangs ápreifanlegrar nýsköpunar á sviði vistvænnar mannvirkjagerðar. Markmið verkefnisins er að rannsaka eiginleika fín malaðs íslensks móbergs sem íauka í sement, til að draga úr kolefnislosun frá byggingariðnaði. Möguleiki er á umtalsverðum útflutningi á fín molaðu móbergi til Evrópu til íblöndunar í sement. Hagnýting móbergs í þessum tilgangi gæti leitt af sér um 10-15 milljarða króna fjárfestingu í fullvinnslu þess hér á landi og útflutning á um 1 milljón tonna á ári. Áætlaðar útflutningstekjur næmu um 10 milljörðum á ári og um 60 heilsárs störfum í kringum framleiðsluna.

### Sement og íaukar

Aðal grunnhráefnið í sement er kalksteinn, sem hitaður er upp í mörg hundruð gráður og klofnar hann niður í tvö efnasambönd, kalk eða kalsíumoxíð (CaO) annars vegar og koldíoxíð (CO<sub>2</sub>) hins vegar. Á undanförunum áratugum hafa víðs vegar um heiminn í auknum mæli verið notaðir íaukar í sement (*SCM – Supplementary Cementitious Materials*). Þessi íaukar, einnig kallað possólan-efni, eru efni sem bætt er í sement til að bæta tiltekna efniseiginleika hennar og fá fram sérstaka eiginleika í steypu. Má þar sem dæmi nefna efni sem kísilryk, slagg, flugösku, malað líparít, og malað kalk. Tilgangurinn er bæði að lækka magn sementsgjalls (lækkun kostnaður og jákvæð umhverfisáhrif), enn einnig hafa rannsóknir sýnt fram á að slíkt possólan-sement gefur oft endingarbetri steypu, hindrar alkalívirgni o.s.fv.

Hornsteinn, í gegnum dótturfyrirtækið Sementsverksmiðjuna, flytur inn sement frá norska framleiðandanum Norcem, en Norcem hefur náð góðum árangri í að nota um 20% flugösku í sement. Flugaska fellur til við það að brenna kol í orkuverum og hefur possólan-eiginleika (þ.e. með íblöndun í sement myndast bindieiginleik sem eykur m.a. styrk steypunnar). Markmið Evrópusambandsins er hins vegar að hætta að brenna kol og því er fyrirfram vitað að flugaska er ekki lausn sem hægt er að treysta á til framtíðar.

**Fyrri rannsóknir á Íslandi á gosefnum sem possólan í aukum í sement.**

Við undirbúning byggingar Sementsverksmiðjunnar á Íslands árið 1958, var gerð könnun á hráefnum árin á undan (VFÍ)<sup>i</sup>. Helsta hráefnið til sementsframleiðslu var þurrkaður skeljasandur úr sjó nálægt væntanlegri verksmiðju á Akranesi. Hins vegar, þegar skeljasandinum var dælt upp, innihélt hann einnig hluta af móbergi. Það þurfti að flokka þetta móberg frá skeljasandinum. Þessi "hliðarafurð", móbergið, var prófuð með tilliti til possólan-eiginleika. Árið 1959 kom svo út grein um possólan-virkni móbergs eftir Hörð Jónsson og Harald Ásgeirsson í tímaritinu VFÍ<sup>ii</sup>. Þeir töldu að notkun possólan-efna gæti orðið mikil á næstu áratugum og því mikilvægt að hefja rannsóknir á þessum efnum. Sýnum af íslenskum possólan-efnum var safnað til rannsóknar í samstarfi við Tómas Tryggvason jarðfræðing. Niðurstöður bentu til þess að flest efnanna sýndu possólan-virkni og að fínleiki, þ.e.a.s. yfirborðsflatarmál hefði mikil áhrif á possólan-virkni. Á alþjóðlegri ráðstefnu um alkalívirgni, sem haldin var í Reykjavík í 1975, birti jarðfræðingurinn Kristján Sæmundsson<sup>iii</sup> efnafræðilegt yfirlit yfir 15 sýni. Tilgangur þessarar rannsóknar var að rannsaka mismunandi bergtegundir sem hafa hátt glerhlutfall og búa yfir possólan eiginleikum.

**VPI-verkefnið (*Volcanic Pozzolan Iceland*)**

Undanfarin þrjú ár hefur íslenskt móberg verið rannsakað á vegum Hornsteins (Björgun og BM Vallá) og móðurfélagsins HeidelbergMaterials. Sýni hafa verið tekin víðsvegar á landinu, en aðallega eru um að ræða efni úr námunum í Lambafelli í Þrengslunum og fjallinu Litla Sandfelli. Jarðfræðirannsóknir hafa verið unnar í góðu samstarfi við Jarðvísindastofnun Háskóla Íslands undir stjórn Ármanns Höskuldssonar. Jarðfræði fjallanna og hugsanlegt hlutfall nýtanlegs móbergs hefur verið metið út frá kortlagningu í mörkinni, mismunandi mælingum úr dróna, svarf-sýnum úr borholum, og ekki síst mælingum með GPR-búnaði (*Ground Penetration Radar*). Jarðfræðinemendur hafa tekið virkan þátt í verkefninu (sumarstarf), og eitt B.Sc.-verkefni hefur verið ritað um jarðfræðikortlagningu á Litla Sandfelli<sup>iv</sup>.

Sýni hafa verið fín-möluð í kúlnakvörn hjá rannsóknastofu múrdeildar BM Vallá í Garðabæ. Fínmöluð sýni ( $d_{50}$  5-8 $\mu$ m) hafa verið prófuð frekar, m.a. með að mæla possólan-virkni (*Activity Index*). Þetta er gert með því að mæla þrýstistyrk (eftir 28, 56, og 90 daga) í múrblöndum þar sem 25% af upprunnalegu sementi er skipt út fyrir possólan-efni. Í viðbót hafa sýni verið send út til HeidelbergMaterials í Þýskalandi þar sem efnisinnihald hefur verið rannsakað með XRF, og hlutfall glers mælt með XRD.

Í tengslum við þessar rannsóknir hefur nú fengist styrkur frá RANNÍS (Tækniþróunarsjóði) til þriggja ára. Markmið rannsóknaverkefnisins er þrjúþætt: 1). Rannsóknir á umhverfisávinningi, 2). Jarðfræðilegar rannsóknir og 3). Efnisfræðilegar rannsóknir.

**Heimildir**

1. Verkfræðifélag Íslands (VFÍ), 1957: *Sementsverkmiðjan á Akranesi*. Bls. 46-55. <https://timarit.is/page/5461880#page/n3/mode/2up>
2. Hörður Jónsson og Haraldur Ásgeirsson, "Moberg Pozzolans," Tímarit Verkfræðingafélags Ísland, Bls. 71 - 78, 1959. <https://timarit.is/issue/348306?iabr=on>
3. Sæmundsson, K., 1975: *Jarðfræðilegar horfur fyrir pozzolaníc efni á Íslandi*. Í Proceedings of the Symposium on Alkali-Aggregate Reactions, preventive measures. Reykjavík, Ísland, Byggingarrannsóknastofnun Íslands, bls. 77-86.
4. Birta Dís Jónsdóttir Blöndal, 2022: „*Geological mapping of Litla Sandfell*“. B.Sc. degree in geology. Faculty of earth sciences. School of Engineering and Natural Sciences. University of Iceland

## Leki úr Krókslóni við Sigöldu í gegnum tíðina

Davíð Egilson

Álagrandi 24, 107 R

Sigölduvirkjun var byggð árin 1973 – 1978. Hún var fyrsta í röð virkjana sem byggðar voru á eldvirknibeltinu. Vitað var fyrir fram að áskoranir myndu fylgja mannvirkjagerð á svo nýjum jarðmyndunum. Í ljósi þessa hafði um hríð fyrir



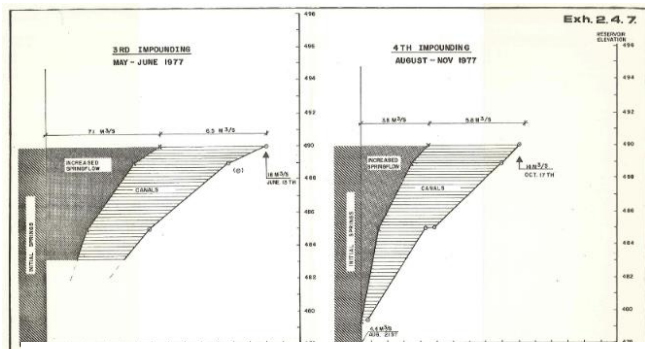
virkjun Sigöldu verið rekið tilraunalón við Langöldu svo læra mætti hvað myndi ganga og hvað ekki. Megin-hugmyndin varðandi virkjun við Sigöldu var að endur-skapa Krókslón, náttúrulegt lónstæði Tungnaár sem grafið hafði út í hamfara flóði í kjölfar stíflubrests í Stóralóni í Vatnaöldugösi um 870, (Guðrún Larsen, 2019).

Mynd 2 Krókslón gróf útmörk

Botn hins forna Krókslóns var þakinn þéttum leirlögum, og rennslismiklar lindir runnu fram í gljúfrinu við Sigöldu sem hafði orðið til í áður nefndu hlaupi. Við val á stíflustæði við Sigöldu komu nokkrar staðsetningar til álita. Ein var að byggja stífluna í mynni gljúfurkjaftsins sem hafði myndast við áður nefnt hamfarahlaup. Frá því var horfið af

nokkrum ástæðum og stíflan byggð nokkru ofar, sjá Mynd 2. Þar að baki lágu byggingartæknileg rök. Raunar var ekki síður horft lindanna sem koma fram í gljúfrinu. Ein veigamestu rökin gegn byggingu stíflu þar voru að við fulla lónhæð myndi grunnvatnsborðið hækka og líklegt væri að grunnvatnið sem kom fram í Sigöldugljúfri myndi renna neðanjarðar út af vatnasviðinu til vesturs t.d. í gegnum sund við Melfell. Við það myndi tapast mikilvægt grunnrennsli sem annars yrði nýtt í öllum virkjunum sem byggðar yrðu neðan Sigöldu.

Þegar byrjað var að fylla í lónið á vordögum 1976 kom fram gífurlegur leki neðan stíflu og vatnið rann fram niður í Sigöldugljúfur. Lónið var því tæmt og unnið að þéttiaðgerðum. Að þeim loknum var vatnshæð aukin aftur. Á árunum 1976 – 7 var vatnshæð í lóninu aukin í



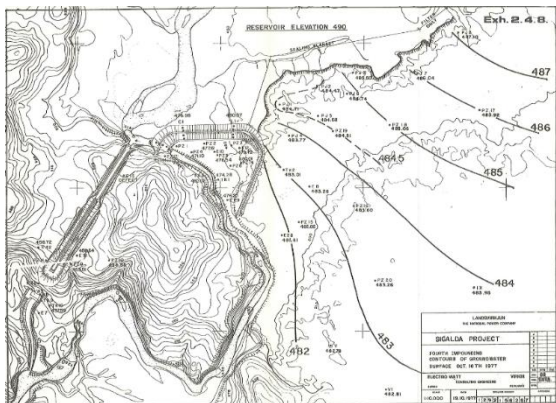
Mynd 3 Aukning á leka í Sigöldugljúfri við tilraunaáfyllingar árið 1977; Heimild Jóhannesson, Arnalds, Egilson, & Jónasson, 1977)

tilraunaskyni fjórum sinnum. Samhlíða var vel fylgst með árangri þéttiaðgerðanna. Lekinn stafaði annar vegar auknu rennsli í fráveituskurði sem nýttur var meðan stíflan var í byggingu en hins vegar úr hraunjaðrinum sem Krókslón liggur að. Í fjórðu tilrauna-áfyllingunni nam aukningin  $9,6 \text{ m}^3/\text{s}$  við lónhæð 490 m y.s.j., sjá Mynd 3. Margháttaðar mælingar voru gerðar til að auka skilning á því hvað var að gerast og hvernig mætti bregðast við. Rennsli linda, grunnvatnshæð og vatnshiti í borholum voru

## Haustfundur

18. nóvember 2022

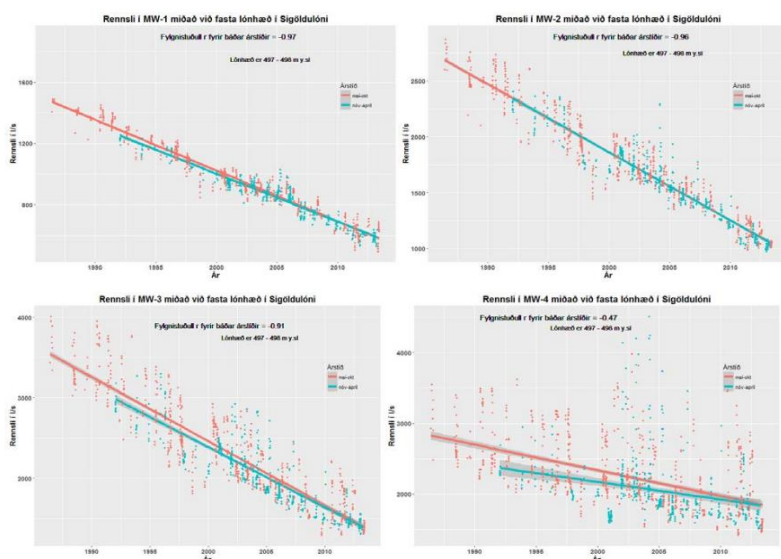
mæld afar þétt. Í ljósi þess var vel unnt að tímasetja hvenær lekavatnið úr lóninu sem hafði annan hita en grunnvatnið barst um hraunið. Af hita og grunnvatnshæðar mælingum mátti ráða rennslisleið vatnsins en einnig fá gott mat á láréttu lektinni í hraunkarganum sem reyndist vera verulega meiri en áður hafði verið talið.



Mynd 4 Leki í gegnum hraunjaðar THh og grunnvatnsstraumur í átt að Sigöldugljúfri.

Þegar vatni hafði verið hleypt úr lóninu eftir fyrstu tilraunafyllingarnar sáust jafnan gríðarmiklir svelgir við hraunjaðar THh. Hraunið hafði brotnaði undan þunga lónsins, svelgir höfðu myndast og lekavatnið barst fram neðanjarðar að lindunum í Sigöldugljúfri. Við það jókst rennsli í gljúfrinu verulega. Samhliða aukinni lónhæð hækkaði grunnvatns-spegillinn í móberginu norðan megin og jók við það grunnvatnsrennsli undir lónið. Þéttiaðgerðir miðuðu að því að styrkja og þétta hraunkantinn, sjá Mynd 4. en raunar einnig lónbotninn sem hafði rofnað t.d. þar sem Tungnaá rann. Grugg var vel mælanlegt í vatninu sem barst fram í mæliskurðunum neðan

stíflu. Efnasamsetning náttúrulegs grunnvatns og vatnsins í lóninu var mjög ólík, og því unnt að greina með einföldum hlutfallareikningi hlut hvors um sig í lekavatninu. Við samanburð á styrk gruggsins sem mældist í mæliskurðunum neðan stíflu og hlutfall linda og lekavatns kom í ljós að um 90% af grugginu sátu eftir í jarðlögunum. Það var skýr vísbending um að óbreyttu myndi lónið þéttast með tímanum við aurburð úr Tungnaá. Hins vegar var það ljóst að slíkt myndi taka langan tíma. Það hefur gengið eftir eins og sést á Mynd 5 sem sýnir rennslismælingar í mæliskurðunum neðan Sigöldustíflu yfir árabilið 1977-2015



Mynd 5 Breyting á rennsli í mæliskurðum neðan Sigöldustíflu yfir árabilið 1977 -2015 við fasta lónhæð 497 m y.sj.

### Heimildir:

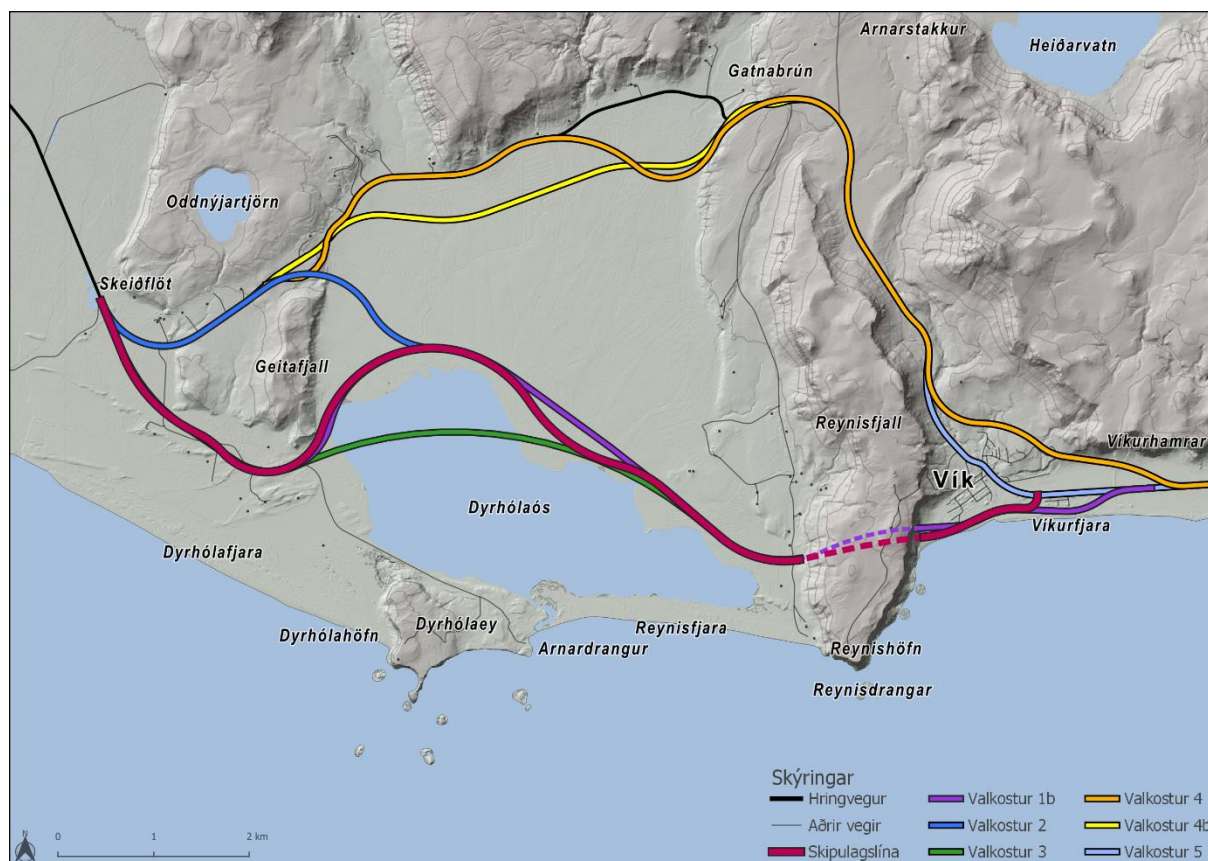
Davíð Egilson. (2016). *Greining á grunnvatnsmælingum á Þjórsár- og Tungnaársvæði 2015*. Retrieved from [http://www.vedur.is/media/vedurstofan-utgafa-2016/VI\\_2016-002.pdf](http://www.vedur.is/media/vedurstofan-utgafa-2016/VI_2016-002.pdf)  
Guðrún Larsen. (2019). *Krókslón Eldvirkni og örlög lóna í farvegum Tungnaár*. Reykjavík.  
Jóhannesson, P., Arnalds, S., Egilson, D., & Jónasson, B. (1977). *Sigalda Hydroelectric Project. Summary of impounding data until November 1977 and reevaluation of the hydro-geological conditions*. Reykjavík.

## Áskoranir við jarðgangagerð í gegnum Reynisfjall

Freyr Pálsson

Vegagerðin

Vegagerðin hefur til skoðunar að flytja Hringveg 1 að Dyrhólahósi í Mýrdal og í jarðgöng í gegnum Reynisfjall til Víkur. Vegurinn lægi svo áfram með ströndinni sunnan við þéttbýlið í Vík þangað til hann tengist núverandi Hringvegi austan við þorpið, sjá valkost 1b á mynd 1. Vegagerðin vinnur nú að umhverfismatsskýrslu, en ekki hefur verið tekin ákvörðun um hvaða leið verður farin. Erindið fjallar um þær rannsóknir og skoðanir sem gerðar hafa verið á sunnanverðu Reynisfjalli vegna mögulegra jarðganga sem yrðu um 1,4 km löng, með munna við Miðbrekku vestan megin og neðan við Blánef austan megin. Jarðgrunnsrannsóknir hafa leitt í ljós að Reynisfjall er móbergshryggur myndaður í einum atburði undir jökli trúlega á síðasta jökulskeiði.



Mynd: Sýnir valkosti til skoðunar í umhverfismati. Vegagerðin hefur borað samtals sex loftborsholur við munnasvæði, fjórar vestan megin og tvær austan megin. Þá hafa verið boraðar kjarna holur á þremur stöðum meðfram fyrirhugaðri jarðgangaleið með u.þ.b. 300 m millibili. Á köflum var lítil kjarnaheimta sem gefur til kynna litla samlímingu jarðlaga. Tvær holur voru myndaðar með holusjá. Niðurstöður þessara rannsókna sýna að jarðgangamunni og vestari hluti jarðganganna verði grafinn í illa eða ósamlímdri móbergsbreksíu (svörtum sandi), og móbergsbreksíu. Undir miðju fjalli og til austurs gefa rannsóknir til kynna að jarðgöngin yrðu grafinn í gegnum smástuðlað basalt (kubbaberg). Grunnvatnshæð er lág í fjallinu og því ólíklegt að vatn muni hafa mikil áhrif á gangagröftinn.

## Haustfundur

18. nóvember 2022

Búast má við þungum styrkingum í verstu jarðlögum vestan til í fjallinu, svo sem rörbogaskermum, grindarvogum, þykkri sprautusteypu og steypu gólfi. á meðan hefðbundnari styrkingar er að vænta í móbergsbreksíu og basalti.

Munnasvæði við Miðbrekku, yrði grafið í lausum jarðlögum sem munu þarfnast afstífgingar í formi veggja af staðsteypum staurum eða stífuðum þiljum. Þá hafa fallið snjóflóð við Miðbrekku og þyrfti að taka tillit til þess við áframhaldandi hönnun.

Munnasvæði austan til er undir brattri hlíð þar sem grjóthrun eru tíð, sjá mynd 2. Í klettum ofan við fyrirhugað munnasvæði við Blánef eru lausar bergblokkir sem gætu skapað hættu á hruni á vegskálann. Þetta þyrfti að skoða nánar og útfæra við frekari hönnun.

Ljóst er að Reynisfjall er mjög áhugavert og margbreytilegt fjall m.t.t. jarðfræði og jarðgangagerðar þar sem aðstæður eru krefjandi og áskoranirnar eru ýmsar, bæði innan jarðganga sem og utan.

Ræktunarsamband Flóa og Skeiða hafa séð um boranir á Reynisfjalli, Verkís hafa unnið úr niðurstöðum boranna og skoðað mögulega aðferðafræði við jarðgangagerð í fjallinu og ÍSOR hafa skannað holur með holusjá auk þess að kortleggja berggrunn svæðisins.



Mynd: Rannsóknarboranir við gangamunna við Vík.



## Notkun hraunflæðihermana í vinnu sérfræðihóps um varnir mikilvægra innviða

Hörn Hrafnisdóttir

Verkís

Í þessum fyrirlestri verður í stuttu máli fjallað um hraunflæðihermanir í forritinu HEC-RAS sem unnar hafa verið á vegum sérfræðihóps um varnir mikilvægra innviða. Sýndur verður samanburður á hermunum og mælingum hraunfyrirborðs, sagt frá kostum og göllum og hvað mætti bæta til að vera enn betur í stakk búin að mæta framtíðargosum.

Reykjaneseldar byrjuðu með miklum jarðskjálftahrinum er skóku allan Reykjaneskagann. Stuttu eftir að skjálftahrynan hófst fór af stað mikil vinna með það megin markmið að verja mikilvæga innviði. Mikilvægur þáttur í þeirri vinnu fólst í hermun hraunflæðis frá óheppilega staðsettum sprungum m.t.t. innviða. Forritið HEC-RAS (frá U.S. Army Corps of Engineers) var notað við hraunflæðihermanirnar en forritið var upphaflega þróað til að herma rennsli vatns í opnum farvegum. Forritið nýtir hinar vel þekktu „Saint-Venant“ jöfnur til að reikna flæði vökva yfir land. Hermunin er gerð í tvívíðu rými þar sem þriðja víddin er dýpiseilduð. Með því að breyta eðliseiginleikum vökvans og nýta þá kenningu að hraunflæði hegði sér eins og Bingham vökvi, er hægt að herma hraunflæði í forritinu í stað vatns. Forritið hermir hins vegar ekki kólnun eða storknun hrauns og er ekki hannað til að herma hin ýmsu ferli sem hraunrennsli geta falið í sér eins og myndun hraunganga, hraunelfa, hraunpolla o.s.frv. Hins vegar hefur komið í ljós að með forritinu tekst ágætlega að herma hraunútbreiðslu sem heild innan ásættanlegra skekkjumarka í tíma og rúmi.

Fyrsta skref vinnunnar fól í sér að prófa hvort forritið væri nothæft. Hraun á Reykjanesi voru nýtt til kvörðunar breyta. Þykktir hrauna og kortlagðar hraunþekjur voru nýttar sem og miðgildisrúmmál hrauna í síðustu goslotu sprungugosa á skaganum, sem gaf viðmiðið 0,13 km<sup>3</sup>. Hraunflæði var hermt frá 2 km langri sprungu með 300 m<sup>3</sup>/s hraunflæði í um viku. Ásættanlegum hraunþykktum var náð þegar seigjan var komin upp í 10000 Pa s og endað var með flotspennu í 200 Pa. Mynd 1 sýnir dæmi um samanburð á nokkrum hraunþekjum nútímahrauna (lituðu flákarnir) og hermdu hrauni (svartskyggði flákinn).

Fram að gosi var forritið nýtt til fjölmargra hermana frá sprungum nærri Grindavík og Svartsengi og frumhönnun hraunvarna prófaðar fyrir mismunandi legu garða. Þegar gosið í Geldingadölum hófst lá fyrir frumhönnun garða og fjöldi allur hermana.

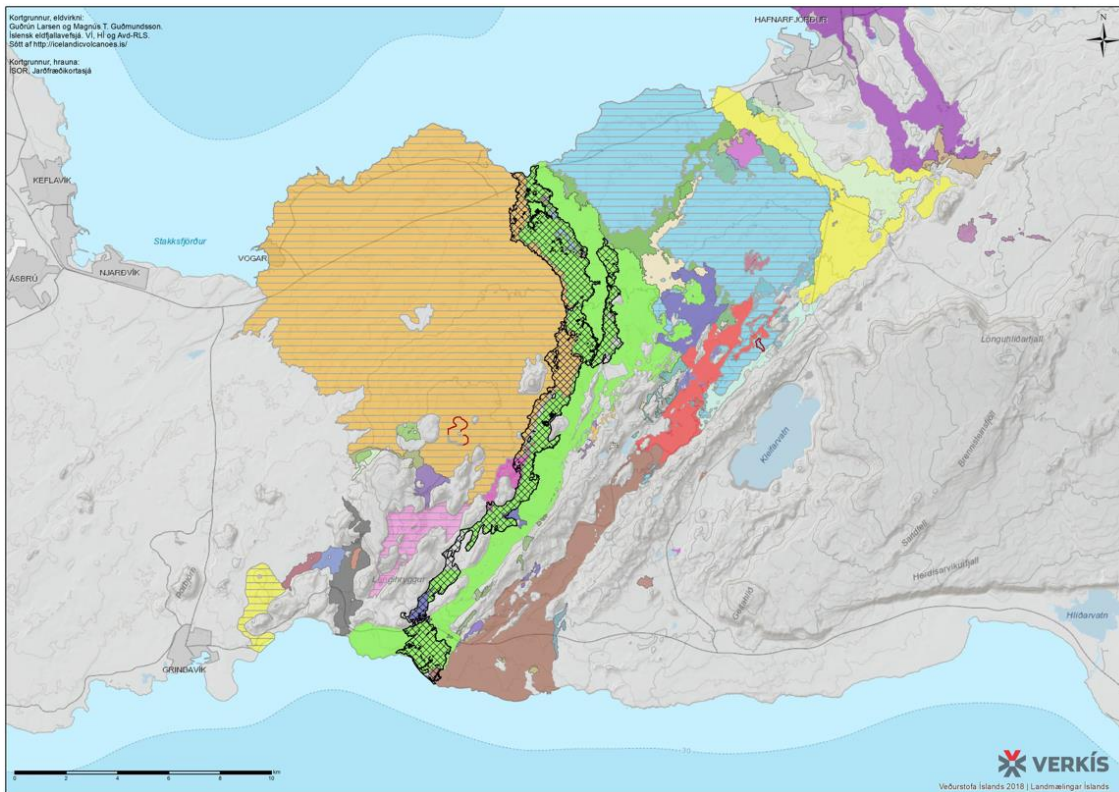
Eftir að gosið hófst var hermt frá gossprungunni auk þess sem næmnigreining var gerð með því að prófa að opna gossprungur fjær, en á sömu línu. Þegar fyrstu upplýsingar um gosið birtust, þ.e. fréttamyndir og grófar hugmyndir um hraunþykkt, var seigja og flotspenna endurskoðuð til að ná betri samsvörun. Niðurstaðan var að breyta einungis flotspennunni, hækka hana í 2000 Pa. Mynd 2 sýnir samanburð fyrstu hermana með breyttum gildum við loftmynd frá LMÍ.

Samsvörunin var ágæt fyrstu vikurnar en þar sem hraunflæðið var lítið og gosið dróst á langinn fór storknun að hafa meiri áhrif en í upphafi. Til að komast í kringum það vandamál var hermt í nokkra daga í senn og hermdu hraunfyrirborði breytt í nýtt land til að herma yfir. Þetta gaf ágæta raun.

# Haustfundur

18. nóvember 2022

Í skoðun er að bæta við getu líkansins með því að bæta við kólnun og tengja við breytilega seigju og flotspennu með hita, auk þess að bæta við storknun hrauns. Tíminn verður að leiða í ljós hvort þessi markmið náist.



Mynd 1 Nútímahraun í litum, byggt á kortagrunni hrauna, ÍSOR, Jarðfræðikortasjá. Svartskyggt svæði sýnir hermt hraun.



Mynd 2 Til vinstri: Hraunútbreiðsla 20. mars 2021 (vefur LMÍ). Til hægri: Hermd hraunútbreiðsla, seigja 10000 Pa s, flotspenna 2000 Pa, hraunflæði úr sprungu  $5 \text{ m}^3/\text{s}$  frá upphafi goss til kl. 12:00 þann 21. mars

Haustfundur

18. nóvember 2022

## **Skriðuföllin í Seyðisfirði í desember 2020**

Jón Haukur Steingrímsson

EFLA Verkfræðistofa, Lynghálsi 4, 110 Reykjavík

After several days of intense precipitation, the largest landslide that has hit a town in Iceland decent on the southern part of Seyðisfjörður in the Eastfjords on 18<sup>th</sup> of December 2020, destroying 13 buildings and causing enormous destruction. Several other smaller landslides hit the same part of the town in this cycle. As many as 30 people were in the area stuck by the largest landslide, with a volume of >70 thousand m<sup>3</sup>, and many lives were saved almost through pure coincidence. In the wake of the landslide, immediate protection measures were constructed for the affected part of the town in parallel with cleaning of avalanche debris from within the settlement. Work on assessment of future landslide protection measures for the community of Seyðisfjörður had started few years in advance and the first parts of monitoring system that had been installed only few months in advance proved valuable through the event and in the following weeks afterward. Assessment of permanent protective measures and design of immediate protective measures were thereby intertwined. The immediate protection measures mainly consist of low catching dams as well as a couple of deflecting dams. Future protection measures include higher catching dams with steep upper faces, several debris retention basins as well as draining measures in the landslide starting areas and water diverting measures above them. Rock fall nets and geotechnical support measures are also included in the concept. The developed protection concept additionally includes hazard monitoring as an essential component as permanent protection measures are not believed to provide fully adequate safety for the settlement as required for the most extreme cases. The landslides are generated by gradual movement of thick sedimentary formation covering a significant area. The monitoring system will therefore be vital to document the effect of stabilizing measures through water diversions and drain measures. The presentation will give an overview of the landslide cycle and development of the immediate protection measures, investigations of geological conditions related to the landslide danger and proposed future protection measures that are being designed and will be presented to the community later this year.

## Jarðfræðingur á prófunarstofu - efnisprófanir í mannvirkjagerð

Guðrún Eva Jóhannesdóttir

Mannvit

Í jarðfræðinámi við Háskóla Íslands fékk ég iðulega spurningar frá vinum og vandamönnum um hvaða vinnu jarðfræðingur gæti fengið að námi loknu. Ég taldi ávallt upp verkfræðistofur sem hugsanlega vinnustaði þó svo að ég vissi varla sjálf hvaða hlutverki jarðfræðingur gæti sinnt þar. Eftir útskrift prófaði ég svo að sækja um hjá verkfræðistofu og fékk vinnu á Rannsóknarstofu Mannvits.

Rannsóknarstofa Mannvits er prófunarstofa þar sem langflest af þeim verkefnum sem við sinnum eru staðlaðar og oft lögbundnar prófanir sem hönnuðir, framleiðendur, verktakar og eftirlit þurfa að láta framkvæma.

Eitt það fyrsta sem ég þurfti því að læra í nýrri vinnu var að lesa staðla, þar sem lýst er á „einfaldan og þægilegan“ hátt hvernig taka skuli sýni, meðhöndla efni og framkvæma prófanir ásamt utanumhaldi og kvörðun búnaðar þannig að niðurstöður verði eins áreiðanlegar og sambærilegar við niðurstöður annarra prófunarstofa og hægt er.

Eftir 15 ára starf og lestur fjölmargra staðla hef ég komið mjög víða við í hinum ýmsu prófunum. Algengasta prófið er kornastærðardreifing eða sigtun, þar sem efni er hellt í gegnum sigtaröð með smæstu möskvastærðina neðst og sístækkandi möskvastærð upp eftir röðinni. Kornastærðardreifing getur sagt fjölmargt um efni og hæfni þess til notkunar í mannvirkjagerð og er yfirleitt fyrsta próf sem gert er á nýju efni og er svo endurtekin reglulega til þess að fylgjast með efnisvinnslu á framkvæmdatíma. Aðrar algengar prófanir á steinefnum eru til dæmis kornalögun sem hefur meðal annars áhrif á þökkun efnis (kleyfnipróf), prófun á styrk korna og niðurbroti við álag (LA próf), mælingar á eðlismassa efnis (kornarúmþyngd), prófanir á alkalívirgni sem getur valdið miklum skemmdum í steinsteypu og svo berggreining þar sem jarðfræðikunnáttan kemur sterk inn í greiningu og flokkun korna eftir bergbrigði, blöðrumagni og ummyndunarstigi.

Í dag erum við fjórir jarðfræðingar á rannsóknarstofunni sem hjálpumst að og skiptum á milli okkar störfum sem tengjast reyndar mismikið jarðfræði en við fáum einnig dygga aðstoð frá ýmiskonar sérfræðingum innan Mannvits. Þrátt fyrir að hafa sigtað fleiri sýni en ég get munað þá hefur starfið á rannsóknarstofunni verið afskaplega fjölbreytt. Ég hef til dæmis komið að framleiðslueftirliti vegna CE merkinga steinefna í steinsteypu, prófunum á bergi fyrir jarðgangnagerð, þrýstistyrksprófað hástyrkleikasteypu, togað í sundur steypustyrktarjárn fyrir Nýjan Landspítala, prófað undirlag fyrirhugaðs vegstæðis Borgarlínu og skoðað móberg sem íauka í sement til lækunar kolefnisfótspors.

Undanfarin ár hefur orðið mikil aukning í áherslu á jarðtækniprófanir. Stofan endurnýjaði fyrir stuttu gamlan tækjabúnað og keypti tvö ný tæki fyrir slíkar prófanir. Annars vegar sigprófstæki sem mælir sig efnis undan álagi og er nýtt í langtíma sigspár til dæmis fyrir vegi sem liggja yfir mýrarjarðveg og mannvirki sem byggja á upp ofan á þykkum setlagabunkum. Hins vegar var keypt þríasatæki sem mælir skriðhorn efnis og nýtist til dæmis til að meta burð setlagabunka

## Haustfundur

18. nóvember 2022

eins og til dæmis landfyllinga og þar sem hlaða á upp jarðefni eins og í stíflukjarna eða snjóflóðavarnargarða.

Þegar ég fæ í dag spurninguna um hvað ég geri sem jarðfræðingur á verkfræðistofu reynist mér stundum erfitt að svara því það er svo ótalmargt, oft spinnast áhugaverðar samræður og sérstaklega er skemmtilegt að sýna fólki myndbönd af steypu að splundrast í þrýstiprófi.

Haustfundur  
18. nóvember 2022

## Fjarðarheiðargöng – jarðfræði á gangaleið

Matthías Loftsson

Mannvit

Fjarðarheiðargöng verða um 13,5 km löng. Göngin eru hönnuð í samræmi við norska veggangastaðla og verða lengstu veggöng hérlendis og með lengstu veggöngum í Evrópu. Í gangagerð skipta jarðfræðiaðstæður miklu fyrir framvindu graftar, styrkingarþörf og kostnað. Ætla má að jarðfræði í rannsóknarborholum endurspegli jarðfræði á gangaleið en þegar langt er á milli rannsóknarborhola er erfitt að meta hversu stóran hluta ganganna hver hola vegur í þeirri túlkun. Halli berglaga skiptir máli, misgengi geta hliðrað til berglögum og berggangar og innskotslög skotist inn hvar sem er. Það er því oft ekki auðvelt að meta hlutfall berggerða á gangaleið. Í erindi er fjallað um mat á jarðfræðiaðstæðum á gangaleið Fjarðarheiðarganga, byggt á jarðfræðirannsóknnum, hvað talið er líklegt og mat á fráviki, bjartsýnismat og svartsýnismat. Þar skiptir mestu hlutfall þykkra setbergslaga, sem kalla á miklar og kostnaðarsamar bergstyrkingar, og svo hversu oft þarf að bergþétta til að halda vatnsinnrennsli undir viðmiðunarmörkum.

## Ástand Kárahnjúkastíflu

Paul Slangen

Landsvikjun

The Kárahnjúkar Dam is the main dam retaining the Háslón reservoir and part of the Fljótsdalur Power Plant. The Kárahnjúkar Dam remains the tallest concrete face rockfill dam in Europe standing 193 m tall since construction was completed in 2007.

This presentation will provide a summary of the performance of the dam and its current condition. Following a quick recap of several important design features, several significant modifications of the dam will be presented. Early on, the gravity-based drainage system of the toe wall was abandoned and replaced by a system of pumps. Improvements to the canyon wall and construction of an overflow weir downstream of the dam were done to improve the reliability of the spillway system. Stabilizing measures on the Kárahnjúkar mountain were undertaken to mitigate the hazard of rockfall on the face slab. Finally, key characteristics of the performance of the dam will be discussed based on recorded instrument performance and visual observations.

### Tilvitnanir:

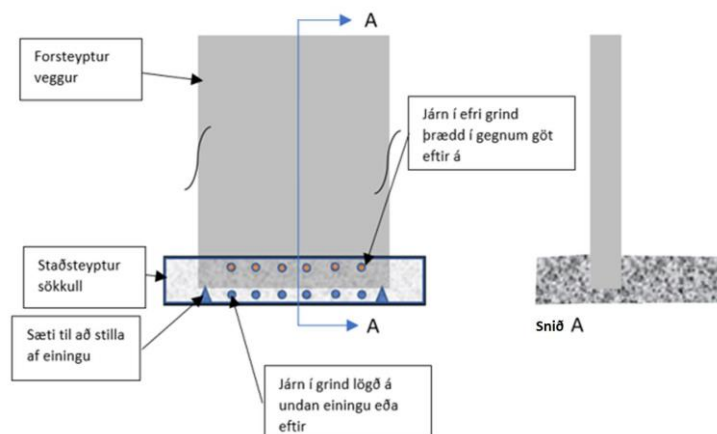
- Björnsson, S., P. Einarsson, H. Tulinius, Á. R. Hjartardóttir, 2018. Seismicity of the Reykjanes Peninsula 1971-1976. *J. Volcanol. Geothermal Res.*, <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2018.04.026>.
- Clifton, A., Kattenhorn, S.A., 2006. Structural architecture of a highly oblique divergent plate boundary segment. *Tectonophysics*, 419, 27–40.
- Einarsson, P., Á. R. Hjartardóttir, P. Imslund, S. Hreinsdóttir. 2018. The structure of seismogenic strike-slip faults in the eastern part of the Reykjanes Peninsula oblique rift, SW Iceland. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, doi:10.1016/j.jvolgeores.2018.04.029.

## Ný tenging milli forsteypts stoðveggjar og staðsteypts sökkuls

Rúnar Steinn Smárason

Háskólinn í Reykjavík & Vegagerðin

Í þessu verkefni var þróuð ný tenging milli forsteypts stoðveggjar og staðsteypts sökkuls með því markmiði að stytta framkvæmdatímann á verkstað. Eftirfarandi mynd sýnir útfærslu tengingarinnar.



**Mynd 1.** Ný tenging milli forsteypts stoðveggjar og staðsteypts sökkul

Byggingaröðin er eftirfarandi:

1. Veggeining forsteypt
2. Slegið upp fyrir sökkli og neðri járnagrind komið fyrir.
3. Veggeining hífð á sinn stað og hún stillt af.
4. Efri járnagrind í sökkli komið fyrir og þau þrædd í gegnum göt forsteyptrar veggeiningar.
5. Sökkulfótur steypur.

Með nýju tengingunni er hægt að byggja landstöpul á sama tíma og það tekur að byggja sökkul í hefðbundinni staðsteyptri útfærslu. Í hefðbundinni framkvæmd er svo slegið upp fyrir stoðveggjum, járnabundið og síðan veggurinn staðsteyptur.

Smíðuð voru tvö prófstykki í 63% skala og prófuð á tilraunagólfi Umhverfis- og byggingarverkfræðideildar Háskóla Íslands VR-III. Fyrra stykkið var útfært sem staðsteypt útfærsla en það síðara notaðist við nýju tenginguna. Keyrt var færslustýrt álagspróf á bæði stykkinn og þau borin saman. Nýja tengingin stóðst tilsettar álagskröfur og þar með opnast nýjar dyr í hönnun brúa á Íslandi.

Verkefnið er unnið í samstarfi við Vegagerðina, BM Vallá og Vistu verkfræðistofu.



## Víkurfjara, sandurinn og sjóvarnir

Sigurður Sigurðarson

Vegagerðin

Sandfjaran framan við Vík er hvorki stöðugt fyrirbæri né á hún sér langa sögu. Á fyrstu öldum byggðar í landinu er talið að Hjörleifshöfði hafi legið út í sjó og sjór gengið upp að Víkurhömrum. Talið er að Víkurfjara hafi byrjað að myndast í Kötluhlaupum á 17. öld. Því til staðfestingar má nefna að útræði lagðist af við Skipheili og Víkurklett vegna uppsöfnunar sands þar framan við. Fram undir aldamótin 1900 var engin byggð á Víkursandi. Við upphaf 20. aldar var fjaran mjög rýr og jafnframt á sér stað töluvert rof, eða um 11 m/ári.

Kötluhlaupið 1918 ber með sér gífurlegt efnismagn til sjávar. Á móts við Hjörleifshöfða gekk ströndin lengst fram og var um 2,8 km framar en núverandi strönd og kallast það Kötlutangi. Nær Vík gekk ströndin fram um 1,5 km við Múlakvísl. Eftir Kötlugosið gengur fjaran fram í um 50 ár, að meðaltali um eina 10 m á ári.

Fjaran er breiðust um 1970 og hefur þá gengið fram um ca. 500 m framan við Víkurprjón og Vegagerðarhúsið, en um 400 m við Víkurá. Eftir 1970 byrjar rof sem er af svipaðri stærðargráðu, eða um 9 m/ári. Eftir aðferðum strandsvæðastjórnunar voru árið 1994 settar upp varnar- og eftirlitslínur. Gert var ráð fyrir að bygging varanlegra varna hæfust þegar rofið næði varnarlínunni. Fylgst var með rofinu og þegar kom fram yfir aldamótin var rofið farið að nálgast eftirlitslínuna verulega og að hluta til komið inn fyrir hana.

Í fyrstu var gert ráð fyrir að byggðar yrðu grjótvarnir langs eftir ströndinni. Það hefði leitt til þess að þegar rofið næði þessum vörnum hefði sandfjaran breyst í stórgrýtisurð. Skoðun Siglingastofnunar, sem þá fór með málefni sjóvarna, á öldufari og sandflutningum langs eftir ströndinni leiddi í ljós að hægt var að stöðva rofið framan við byggðina í Vík með byggingu sandfangara þvert á ströndina í stað sjóvarna langs eftir ströndinni. Við suðurströndina er suðvestan aldan lang orkumest og flytur sandinn til austurs. Því virka sandfangararnir þannig að þeir stöðva rof að vestan verðu en ekki austan.

Fyrsti sandfangarinn var byggður við ósa Víkurár árið 2011. Það tók um 4 ár áður en fjaran milli sandfangarans og Reynisfjalls fór að byggjast upp og eftir um 6 til 7 ár var vasinn milli sandfangarans of Reynisfjall orðinn fullur.

En rofið hélt áfram austan sandfangarans. Því var byggður annar fangari framan við iðnaðarhverfið austast í Vík árin 2017-18. Þrátt fyrir enn sé ekki sjáanlegt að fjaran milli sandfangaranna hafi byggst mikið upp þá er tvennt sem bendir til um virkni fangarans. Annars vegar er mjög grunnt á svæðinu milli sandfangaranna og hins vegar hefur orðið mikið rof austan við eystri sandfangarann en ekki á milli þeirra.

Rof austan við eystri sandfangarann var töluvert mikið í upphafi árs 2022. Samkvæmt sniðmælingum frá Katla Geopark nam rofið á fjörukambinum í sumum sniðum austan við byggðina allt að 50 til 90 m en minna í öðrum.

En hver er virkni sandfangaranna til lengri tíma litið? Það er stóra spurningin. Eru þeir varanleg vörn fyrir byggðina í Vík og fyrir nýja veglínu sjávar megin við kaupúnið?

## Haustfundur

18. nóvember 2022

Sandfangararnir eru um 200 til 300 m langir og ná út á dýpi sem nú er um 4 til 5 m. Oft á ári ná öldubrot hins vegar út á um 10 m dýpi sem er í um 1300 m frá ströndinni og í aftökum ná öldubrot út á yfir 20 m dýpi sem er í um 2,5 km frá ströndinni. Öldur brotna þar sem dýpið undir þeim er orðið of lítið. Við þær aðstæður er mikil hreyfing á sjávarbotni sem kemur sandbotni á hreyfingu.

Danska straumfræðistöðin DHI var fengin til að meta stöðugleika strandarinnar. Þeirra niðurstöður segja meðal annars:

- Vegna stíganda í sandburðargetu til austurs er viðvarandi rof við ströndina.
- Sandfangarar safna á þeirri hlið sem snýr á móti nettó flutningi.
- Við byggingu sandfangara eykst rof strandarinnar austan við austasta sandfangarann þangað til jafnvægi er komið á.
- Við milt öldufar geta sandfangarar hindrað rof.
- Við aftaka aðstæður, mjög háar og þungar öldur, virka sandfangararnir ekki, sandur tapast úr fjörunni og rof mun eiga sér stað.

Þegar þessar niðurstöður lágu fyrir, það er að við aftaka aðstæður hætti sandfangararnir að virka, þá var ákveðið að DHI skoðaði þessar aðstæður nánar með líkindafræðilegri úrvinnslu. Helstu niðurstöður seinni skýrslunnar:

- Í fyrsta hluta þessa verkefnis var gert líkindafræðilegt mat á aftakaatburðum bæði hvað varðar öldur og sandflutninga.
- Stefnuháð líkindafræðileg skoðun sýnir að öldustefna á 10 m dýpi, sem framkallar mestu sandflutninga og rofatburði, er 200° stefnugeirinn
- Í öðrum hluta verkefnisins, líkan var sett upp líkan til athugunar á áhrifum af byggingu seinni sandfangarans á ströndina milli sandfangaranna tveggja.
- Líkanið byggir á þeirri tilgátu að áhrif sandfangarans sé takmörkuð við ákveðinn ölduhæðarþröskuld, þ.e. að fyrir ölduhæð lægri en þröskulds ölduhæðin þá virkar sandfangarinn, ströndin er stöðug eða byggist upp, en ef ölduhæð fer yfir þröskuldinn þá hættir sandfangarinn að virka og það verður rof.
- Skoðuð voru áhrif þriggja þröskulda fyrir ölduhæð á 10 m dýpi, 3,2 m, 3,5 m og 4,0 m, þ.e. hver áhrif það hefði fyrir ströndina, þ.e. stöðugleiki og uppsöfnun eða rof. Fyrirliggjandi gögn eru ekki nægjanleg, ná ekki yfir nægjanlega langt tímabil, til að ákvarða hver sé raunverulegur ölduhæðarþröskuldur fyrir ströndina í Vík.
- Niðurstöður líkansins voru þær að ef ölduhæðarþröskuldurinn væri 3,2 m þá mundi rofið sem var fyrir byggingu seinni sandfangarans minnka um helming.
- Ef ölduhæðarþröskuldurinn væri 3,5 m þá mundi rofið minnka enn meira, aftur um helming eða í fjórðung þess sem það var fyrir byggingu seinni sandfangarans.
- En ef ölduhæðarþröskuldurinn væri 4,0 m þá væri ströndin um það bil stöðug til lengri tíma lítið, en það gætu verið áratuga sveiflur.
- Í þriðja hluta verkefnisins var set upp líkan fyrir líkur á samfelldu rofi yfir nokkur ár fyrir hvern ölduhæðarþröskuld.

## Haustfundur

18. nóvember 2022

- Líkanið gefur hugmynd um endurkomutíma á samfelldu rofi yfir nokkur ár þannig að ákvarða megi hvað ströndin milli sandfangaranna þurfi að vera breið. Og ef sú breidd er ekki fyrir hendi hvar þurfi að byggja varnir meðfram ströndinni.
- Tekið er dæmi þar sem gert er ráð fyrir að ölduhæðarþröskuldurinn sé 3,5 m, þá fæst að rof með um 125 ára endurkomutíma geti verið um 65 m.
- Jafnframt að ef breidd strandarinnar milli sandfangaranna frá flóðvarnargarði eða vegi að fjörukambi væri 25 m og ölduhæðarþröskuldurinn 3,5 m þá væri endurkomutíma þess atburðar að rofið næði flóðvarnargarði eða vegi um 8 ár.
- Að lokum bendir DHI enn á að bygging sandfangara kemur ekki í veg fyrir strandrof austan við fangarana og að rof þar muni aukast tímabundið eftir byggingu sandfangara þangað til jafnvægi kemst á.

## Countrywide InSAR Mapping of Iceland shows Widespread Slope Movements

Sigurjón Jónsson<sup>1</sup> & Yunmeng Cao<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>King Abdullah University of Science and Technology (KAUST), Saudi Arabia (sigurjon.jonsson@kaust.edu.sa)

<sup>2</sup>Now at GNS, New Zealand

Large-scale deformation mapping with Interferometric Synthetic Aperture Radar (InSAR) has become feasible with more frequent and regular satellite radar data acquisitions and developments in data processing methods. InSAR deformation mapping of entire countries, using multiple years of data, are increasingly being produced for mapping tectonic deformation, subsidence due to groundwater pumping, and creeping landslides. Countrywide deformation mapping of Iceland from InSAR was first reported by *Drouin & Sigmundsson* (2019) using four years (2015-2018) of Sentinel-1 radar data. We improve on these results by using seven years of data (2015-2021), by reducing atmospheric signals using a two-step correction approach, and by deriving full displacement time-series, instead of just average velocities. We selected all Sentinel-1 radar data (from Summer and Fall) from three parallel and overlapping descending and three ascending orbit tracks, yielding a complete countrywide coverage for both look directions. The total number of satellite passes for each of the six orbit tracks is about 170, meaning that over 1000 data sets were used, from which we processed about 8700 interferograms. Due to the quantity of data, we multilooked the interferograms to about 100 m × 100 m pixels and solved for the time-series of each of the six data sets and inverted for near-east and near-vertical time-series, assuming that north ground displacements are small. Large-scale displacements in Iceland are dominated by the plate motion and by glacio-isostatic adjustment. The results show how the width of the plate-boundary zone varies from being relatively narrow in Reykjanes to more distributed deformation in the Eastern Volcanic Zone. The glacio-isostatic uplift reaches a maximum of ~3 cm/year in central Iceland and appears to accelerate during the observation period. These large-scale horizontal and vertical displacements can be removed with a model of the plate motion, plate-boundary deformation and glacio-isostatic adjustment, leaving only local deformation signals in the residual displacement rate map, e.g., at central volcanoes and in geothermal areas. Widespread slope movements are also evident in the residual deformation map. Almost all east-facing slopes are moving eastward and west-facing slopes westward. This deformation is seen all over Iceland and amounts to a few mm/year, with faster rates at some known landslides. Example areas include Húnavatnssýslur, Tröllaskagi and Flateyjarskagi where 5-10 mm/year movement rate is found on many of slopes. The Út-Kinn area was hit by an unusual amount of local rain fall in early October 2021, resulting in several slope failures on vegetated and soil-covered slopes. While the radar data from before the slope failures í Út-Kinn show clear slope motion, no anomalous motion is detected in the months before the slope failures. In Summary, our results show that InSAR data are effective to map country-wide ground velocities and velocity changes as well as local deformation signals and transients at volcanoes and geothermal areas. The results also show that slopes all over Iceland are subject to steady gravitational soil creep amounting to several mm/year, with higher rates observed in many areas where geomorphologically landslides can be identified in the landscape.

## **Measuring the deformation of the Vaðlaheiði mountain following the drilling of the tunnel using SAR satellites interferometry**

Vincent Drouin<sup>1</sup> & Bjarni Gautason<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Icelandic Met Office, Reykjavík, Iceland

<sup>2</sup>ISOR, Kópavogur, Iceland

The Vaðlaheiði tunnel is a 7.4 km long tunnel located in north Iceland, linking the Eyjafjörður fjord and the Fnjóskadalur valley. It goes through the Vaðlaheiði mountain at maximum depth of about 500 m. The tunnel was built to shorten the main road around Iceland (road 1) by 16 km and avoid a mountain pass which is often blocked by snow during winters. The drilling started in July 2013. On the 16th of February, after having excavated about 1.9 km, a water vein was encountered and started to leak in the tunnel at a rate of about 350 L/s. Drilling was complete in April 2017 and the tunnel opened for traffic in December 2018. As of January 2021, about 250 L/s of a mix of geothermal and cold water is still going out of the tunnel.

The Sentinel-1 SAR satellites from the Copernicus mission provide acquisitions over Iceland since summer 2015. InSAR time-series analysis were conducted for four tracks covering Vaðlaheiði: two ascending (T118, T147) and two descending (T111, T9). Results show that part of the hill subsided about 10 mm between summer 2015 and summer 2016. The same area was subsiding about 5 mm per year between summer 2016 and summer 2020. Older datasets from the Envisat SAR mission covering 2004-2010 were analysed and show no evidence of subsidence in the same location. Therefore, there could potentially be a link between the water going out of the tunnel and the subsidence. Especially since water withdrawal at depth is known to cause surface subsidence, like in the case of agriculture irrigation or geothermal exploitation.

## Klæðing: Hefur ummyndun áhrif á viðloðun steinefna? Ferðalag til að finna bestu greiningaraðferðirnar

Þorbjörg Hólmgeirsdóttir<sup>1</sup>, Hafdís Eygló Jónsdóttir<sup>2</sup> og Erla María Hauksdóttir<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Mannvit hf.; <sup>2</sup>Vegagerðin

### Inngangur

Forsagan fyrir þessu verkefni er að það kom í ljós að sömu steinefni sýndu mismunandi viðloðun eftir því hvaða viðloðunarefni voru notuð, en viðloðun er mæld til að meta tengingu bikblöndu við steinefni ætlað í klæðingar.

Við nánari skoðun á umræddum steinefnum vakti berggreining nokkurra þeirra athygli en athugasemdir og gæðaflokkun kornanna stönguðust á. Grunsemdir vöknudu um að vatnsþenjanlegar, skaðlegar steindir, eins og smektít, væru til staðar.

Í framhaldinu var ákveðið að skoða hvort og í hvaða magni smektít væri í umræddum steinefnum, hvort það hefði áhrif á viðloðun og hvort hægt væri að beita aðferðum með methylene bláma litarefni.

Klæðing samanstendur af bikblöndu og steinefnum. Bikblanda er bik, lífolía og viðloðunarefni. Lífolíu er bætt í blönduna til að auðvelda útlögn og viðloðunarefni er límhvati sem tengir steinefni við blönduna. Án viðloðunarefna verður engin viðloðun við steinefni.

Þetta verkefni er styrkt af rannsóknarsjóði Vegagerðarinnar.

### Efniviður

Safnað var sýnum úr átta steinefnanámum víðsvegar um landið, bæði set- og klapparnámum. Til að fækka breytum var síðar ákveðið að vinna eingöngu með sýni úr klapparnámum.

### Aðferðir

#### *Bergfræðismásjá*

Greining steinefnis í bergfræðismásjá er gagnleg, m.a. til að skoða ástand efnisins m.t.t. ummyndunar og annarra bergfræðilegra eiginleika. Þunnsneiðar voru útbúnar og þær síðan meðhöndlaðar með methylene bláma, MB. MB er lífrænt litarefni sem hjálpar til að finna smektít, en það er utan greiningarhæfni almennrar berggreiningar. Hugmyndafræðin að baki MB litunar er sú að smektít dragi í sig litinn.

Bergfræðismásjá Jarðvísindadeildar Háskóla Íslands var notuð til að skanna nokkrar þunnsneiðar, en í henni er fljótlegt að greina sýni og taka myndir í góðri upplausn. Í framtíðinni verður einnig hægt að fá yfirlit yfir magn tiltekinna frumefna í sýnum og hvar þau er að finna.

Haustfundur  
18. nóvember 2022

*Röntgengreining, XRD*

Til að fá upplýsingar um hvaða leirsteindir eru til staðar í hinum ýmsu steinefnasýnum, voru gerðar röntgengreiningar, XRD, hjá ISOR. Með þeim er hægt að ákvarða kristallagerð steinda og er þetta jafnframt eina aðferðin til að greina leirsteindir til tegunda.

*Staðlað blámapróf*

Notað var staðlað blámapróf, ÍST EN 933-9. Það er gert á fínefni og er ætlað að gefa upplýsingar um hlutfallslegt magn vatnsþenjanlegs leirs. Lausn af MB litarefni er bætt út í steinefnasýni í vatnslausn þar til fínefnið drekkur ekki meira af litarefninu í sig.

**Niðurstöður**

Nú þegar hafa tvö sýni verið skoðuð og mynduð í bergfræðismásjá. Í ólitaðri þunnisneið er gulgrænn litur áberandi sem staðfestir að ummyndun er til staðar. Í þunnisneið sem er lituð með MB er blágrænn litur áberandi en það er einkennandi litur á smektíti sem hefur dregið í sig MB litarefni. Þetta gefur tilefni til að ætla að smektít sé til staðar í nokkrum mæli í þessu sýni. Verður þessari greiningaraðferð beitt á fleiri sýni.

Röntgengreining staðfesti að smektít er til staðar í sýni frá Bláhæð. Þetta er til samræmis við þunnisneiðagreiningar. Í röntgengreiningum kemur greinilega fram að í ferskasta efninu, sem er frá Neðri Mýrum, er nánast ekkert smektít.

Gert hefur verið staðlað blámapróf á fimm sýnum. Lakasta efnið drekkur mest af MB litarefninu í sig og ferskasta efnið minnst. Þetta bendir til þess að gagnlegt geti verið að nota prófið í ríkara mæli en nú er gert.

Til að svara spurningunni hvort ummyndun hafi áhrif á viðloðun, og þá einkum smektít, benda fyrirliggjandi niðurstöður til þess að hægt sé að ná 100% þekju í viðloðunarprófi með réttu viðloðunarefni þótt smektít sé til staðar í umtalsverðum mæli. Aðrar rannsóknir benda hins vegar til þess að smektít hafi neikvæð áhrif á styrk og endingu klæðingar og veiki hana þar með. Þetta sýnir að nauðsynlegt er að skoða samhliða niðurstöður annarra prófana. Jafnframt getur reynst varasamt að treysta alfarið á berggreiningar, sérstaklega þegar efnið er byrjað að ummyndast, þær eru fyrst og fremst til leiðbeiningar.

Rannsóknin er í gangi.

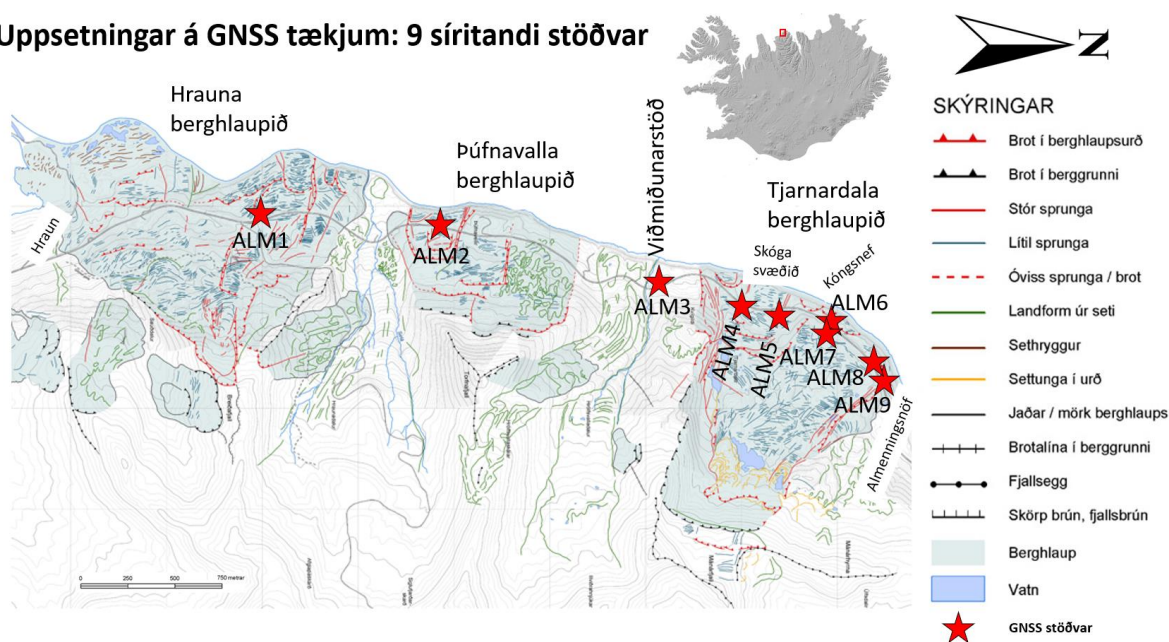
## Aflögun á og við vegstæði Siglufjarðarvegur um Almenninga

Þorsteinn Sæmundsson<sup>1,2</sup>, Halldór Geirsson<sup>1</sup>, Jóhanna Malen Skúladóttir<sup>1</sup>, Elías Arnar Nínuson<sup>2</sup>, Sveinbjörn Steinþórsson<sup>1</sup>, Nicolai Jónason<sup>3</sup>, Heimir Gunnarsson<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Jarðvísindastofnun, Háskóli Íslands; <sup>2</sup>Land- og ferðamálafræði, Háskóli Íslands <sup>3</sup>Vegagerðin

Allt frá því Siglufjarðarvegur um Almenninga var lagður árið 1967 hafa skapast töluverð vandræði vegna sigs í kringum vegstæði hans á 5-6 km löngum kafla frá Hraunum í suðri og norður að Almenningsnöf (mynd 1). Umfangsmikil kortlagning og rannsóknir hafa verið gerðar á svæðinu á undanförunum árum og áratugum til að finna umfang og orsakir sigsins. Þrjú stór og nokkur minni berghlaup hafa verið kortlögð á svæðinu. Nyrst er Tjarnardalaberghlaupið, svo Þúfnavallaberghlaupið og Hraunaberghlaupið syðst. Sameiginlegt með öllum þessum berghlaupum er að töluverð hreyfing er á efnismössum þeirra í dag, bæði við vegstæðið og eins utan þess. Mestar eru hreyfingarnar í Hrauna- og Tjarnardalaberghlaupunum þar sem hreyfingar nálgast um 1 m á ári samkvæmt langtímamælingum Vegagerðarinnar.

### Uppsetningar á GNSS tækjum: 9 síritandi stöðvar



Mynd 1. Yfirlitskort af vegstæði Siglufjarðarvegur um Almenninga og staðsetning síritandi GNSS stöðva.

Á árunum 2003 til 2005 fór fram kortlagning setlögum og landnmótunarkort útbúið af svæðinu. Árið 2007 voru framkvæmdar viðnámsmælingar víða í Tjarnardalaberghlaupinu með því markmiði að kanna hvort sífreri er til staðar í berghlaupamössunum. Síðan árið 2018 var boruð 43 m djúp rannsóknarhola á Skógarvæðinu í Tjarnadalaberghlaupinu. Markmið verkefnisins var að mæla og staðsetja skriðfleti og aflögun í lausum jarðefnum með svokallaðri TDR (Time Domain Reflectometry) aðferð. Aðferðin gengur út á að koma cowax kapli fyrir í borholunni og mæla síðan leiðni hans, sem breytist við aflögun kapalsins.

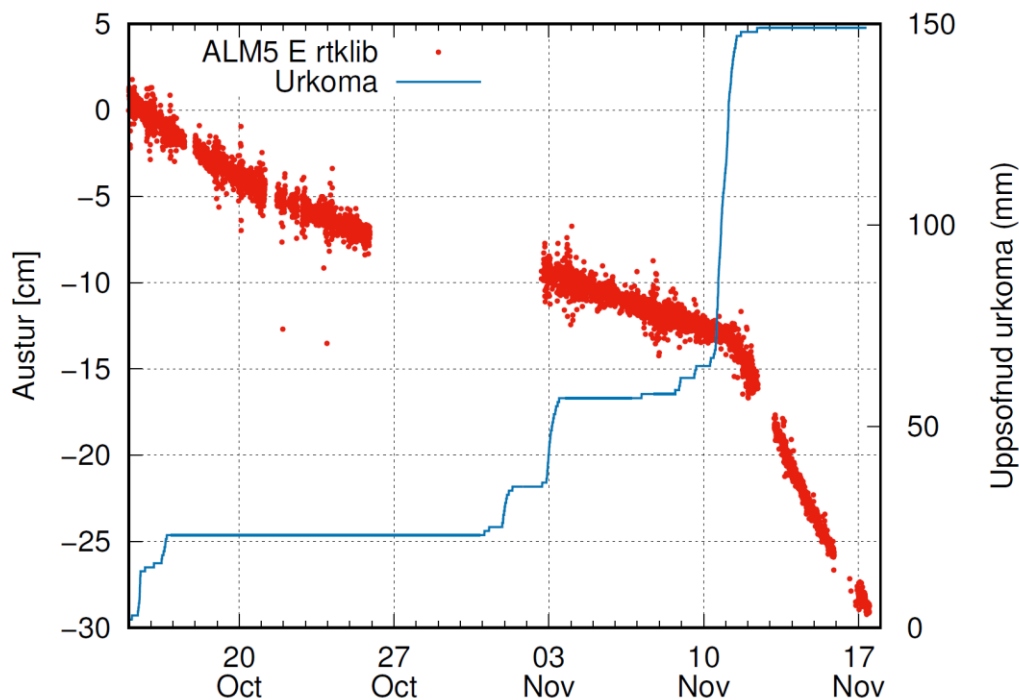


## Haustfundur

18. nóvember 2022

Árið 2022 hafa Háskóli Íslands og Vegagerðin staðið að margvíslegum rannsóknum á Siglu-fjarðarvegi um Almennunga. Meðal annars hefur verið unnið að skráningu á þekktum hreyfingum á og í kringum vegstæðið og borið saman við veðurfar á svæðinu. Einnig voru settar upp níu síritandi GNSS stöðvar. Ein var sett upp í Hraunberghlaupinu, önnur í Þúfnavallaberg-hlaupinu, sex settar upp í Tjarnardalaberg-hlaupinu og ein viðmiðunarstöð var sett upp vestan við Kvígildi (mynd 1). Samfara þessum athugunum er unnið að því að greina hreyfingu í öllum berg-hlaupa mössunum, frá efstu hlutum þeirra og til sjávar. Sú greining er svokölluð feril greining eða „feature tracking“ aðferð. Að auki var gert nákvæmt hæðarlíkan af svæðinu sem unnið var úr myndatökum úr flygildum og úrkomumælir var settur upp hjá veðurstöðinni í Þúfnavallaberg-hlaupinu.

Mælingar Vegagerðarinnar á færslum við vegstæðið hafa verið árvissar um árabíl. Lítið hefur hins vegar verið vitað um hraðabreytingar á stuttum tímaskölum (mínútur, dagar, vikur) sem og hreyfingar utan vegstæðis. Með þessum rannsóknum og uppsetningu mælitækja er hægt að fylgjast með hreyfingunni í rauntíma við vegstæðið og eins bera beint saman við úrkomu-dreifingu og hitasveiflur á svæðinu. Hingað til hefur verið stuðst við úrkomugögn frá nær-liggjandi veðurstöðvum sem gefa einungis vísbendingar um úrkomudreifingu á svæðinu.



Mynd 2. Tengsl úrkomuákefðar og hreyfingu GNSS stöðva í Tjarnardalaberg-hlaupinu frá 15 október til 17 nóvember 2022.

Á undanförunum vikum hefur verið töluverð úrkoma á svæðinu og í fyrsta sinn er hægt að bera saman hreyfingu og úrkomuákefð (mynd 2). Nú þegar má draga mikilvægan lærdóm af þessum mælingum þó svo að þær hafa staðið yfir í stuttan tíma. Þrír atburðir, þar sem aflögun hefur mælst komu allir í kjölfar úrkomuatburða. Þessi aflögun fer hægt af stað, herðir síðan á sér og fjarar svo smám saman út. Þetta verkefni þarf áframhaldandi þróun úrvinnslu svo að mælingarnar geti nýst í vöktun á svæðinu.

## Notagildi holusjármynda og þrívíddarlíkana í jarðgangagerð

Ögmundur Erlendsson, Unnur Þorsteindóttir, Sigurveig Árnadóttir og Steinþór Níelsson

Íslenskar Orkurannsóknir, Urðarhvarfi 8, 203 Kópavogi

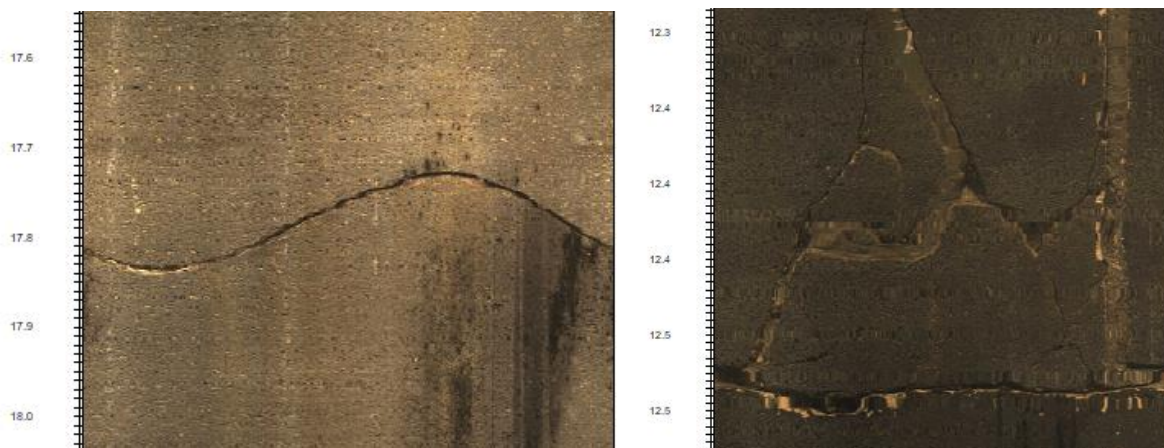
Aðferðir sem sérfræðingar ÍSOR hafa hingað til beitt í jarðhitarannsóknum hafa undanfarið verið notaðar á nýjum vettvangi og lofa góðu þegar kemur að ráðgjöf í tengslum við til dæmis jarðgangagerð. Greining holusjármynda og vinnsla þrívíddarlíkana er dæmi um aðferðir sem ÍSOR hyggst beita þegar kemur að ráðgjöf sem varðar slíkar framkvæmdir.

Í sumar fékk ÍSOR afhenta nýja holusjá (e. Optical Borehole Imager) sem er góð viðbót við borholumælasafn ÍSOR. Með mælinum er unnt að mynda borholuveggi í góðri upplausn og fá þannig skýra mynd af höggun og uppbyggingu jarðlaga í borholum. Þetta er mikil bylting og býður uppá nákvæma kortlagningu á sprungum, misgengjum, jarðlögum og jarðlagamótum í borholum. Við úrvinnsluna er hægt að mæla halla og stefnu þeirra sprungna sem holan sker ásamt því að sjá betur en á hefðbundnum hljóðsjármyndum (e. Acoustic Televiewer) hversu opnar og virkar þær eru. Auk þess að nýtast við kortlagningu jarðlaga og sprungna í borholum mun tækið nýtast vel við fjölbreytt verkefni, svo sem í tengslum jarðgangagerð, grundun mannvirkja og ástandsskoðun fóðringa. Fyrstu myndatökurnar fóru fram á Reynisfjalli og voru hluti af forrannsóknum vegna mögulegra jarðganga í gegnum Reynisfjall til Víkur í Mýrdal. Tvær borholur voru myndaðar með góðum árangri í þeim tilgangi að kortleggja jarðlög og sprungur með nákvæmum hætti.



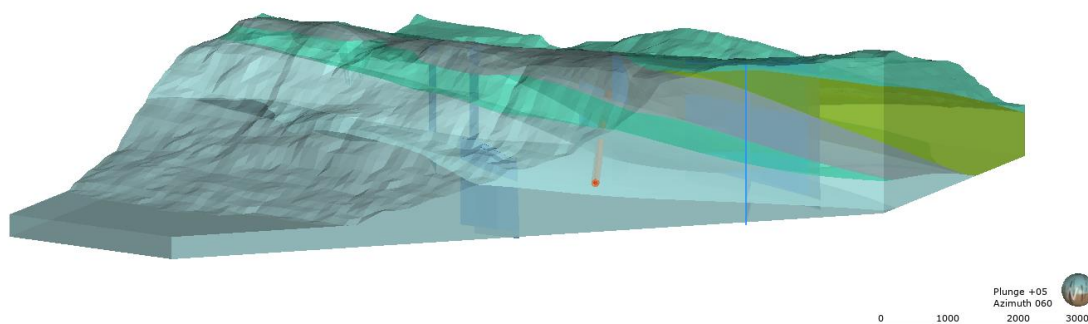
*Ný „optísk“ holusjá ÍSOR.*

Haustfundur  
18. nóvember 2022



*Dæmi um myndir af borholuvegg úr nýju optísku holusjánni. Á myndunum má greina t.d. sprungur og blöðrur í berginu ásamt setfyllingum sem í þær leggjast.*

ÍSOR hefur einnig þróað verkferla til að byggja upp þrívíddarlíkön í tengslum við jarðgangagerð. Framsetning gagna í þrívíðu umhverfi auðveldar ákvarðanatöku og eykur skilning á legu þeirra jarðmyndana, sprungna, misgengja og bergganga sem fyrirhuguð jarðgöng koma til með að skera og kemur þannig að gagni við undirbúning verkefna. Þrívíddarforritið Leapfrog er notað í slík verkefni hjá ÍSOR en hingað til hefur það einkum verið notað til líkangerðar á jarðhitasvæðum. Með forritinu má samtúlka öll tiltæk jarðfræðileg gögn af hverju svæði fyrir sig og gera þau aðgengileg öllum, leikum sem lærðum, með myndrænni þrívíðri framsetningu. Ákveðið var að byggja upp prufulíkan af Vaðlaheiðargöngum og var það liður í að laga aðferðir, sem notaðar hafa verið við rannsóknir á jarðhitasvæðum, að nýjum vettvangi. Inn í líkanið voru sett gögn sem aðgengileg voru í útgefnum ritum og opinberum gögnum frá Landmælingum Íslands, þ.e.a.s. hæðarlíkani, loftmyndum, jarðfræðikorti, jarðfræðiþversniðum og svarfgreiningum úr prufuholum.



*Jarðlagalíkan – byggt á jarðfræðikortum, þversniðum og svarfgreiningu. Rauður sívalningur sýnir staðsetningu Vaðlaheiðargangna.*

Þrívíddarlíkön eru þannig í eðli sínu að þau geta tekið stöðugum breytingum jafnóðum og ný gögn berast. Auk þeirra gagna sem hér eru sýnd er auðvelt að bæta við ýmsum gögnum, á stórum jafnt sem smáum skala. Dæmi um slík gögn væru upplýsingar um misgengi (t.d. stríkstefna, halli og færsla), staðsetning jarðskjálfta, hitadreifing, niðurstöður úr lektarprófunum og bergprófunum og staðsetning grunnvatnsborðs svo fátt eitt sé nefnt. Þrívíddarlíkön eru því bæði nýtsamleg í undirbúningsvinnu sem og eftirfylgni verkefna og eru afar hentugt tól í samtali milli verkkaupa og ráðgjafa.

Haustfundur  
18. nóvember 2022

---