



MANNVIT

Hitastigsbreytingar í veggöngum frá munna og inn göngin

Áfangaskýrsla II

Höfundar : Matthías Loftsson, Mannvit
Gísli Eiríksson, Vegagerðin

Vegagerðin

Rannsóknarskýrsla

Mars 2014





MANNVIT



Mannvit Verkfræðistofa

Grensásvegur 1
108 Reykjavík
Sími: 422 3000
Fax: 422 3001
@: mannvit@mannvit.is
www.mannvit.is

Efnisyfirlit

Inngangur	1
Hitamælingar í Bolungarvíkurgöngum	2
<i>Hitamælingar í göngum í mars 2013</i>	2
<i>Hitamælingar í göngum í desember 2013</i>	3
Hitamælingar í öðrum göngum	7
Fáskrúðsfjarðargöng.....	7
Héðinsfjarðargöng.....	7
Niðurstöður og ályktun	10
Heimildir.....	11
Viðauki A – Hitamælingar í Bolungarvíkurgöngum	13

Inngangur

Tilgangur þessarar athugunar var að kortleggja breytingar á hitastigi frá munnum ganga inn göngin og hvernig breytingar eru háðar hitastigi utan ganga, loftstreymi í göngunum, lofthraða o.fl.

Við ákvörðun um gerð vatnslæðinga þarf að taka tillit til hvort hætta sé á að lekavatn frjósi í göngunum. Samkvæmt norskum viðmiðunum eru mismunandi gerðir vatnslæðinga samþykktar fyrir mismunandi froststundir eða F_{10} gildi, en F_{10} er tölfræðilegur endurkomutími mesta froststíma á hverjum stað með 10 ára endurkomutíma, reiknað skv. jöfnunni :

$$F_{ár} = F_{meðal} - s_n K_{T(x)} \quad (3)$$

$$K_{T(x)} = -\frac{\sqrt{6}}{p} \left(g + \ln \cdot \ln \cdot \left[\frac{T(x)}{T(x)-1} \right] \right) \quad (4)$$

þar sem σ_n = staðalfrávik, $K_{T(x)}$ = tíðnistuðull, $\gamma = 0,5772$ og $T(x)$ = endurkomutími, ár.

Vitað er að froststundir minnka inn göng og því getur F_{10T} (T fyrir tunnel) verið lægra en reiknast fyrir utan göngin, sbr. norska athugun.¹ F_{10T} gildið má því hafa til viðmiðunar fyrir mat á gerð klæðingar innar í göngum, séu til mælingar sem styðja það.

Þá eru efasemdir um að F_{10} viðmið eins og það er reiknað sé of íhaldsamt gildi, of há krafa, þegar horft er til þess að tíð hér á landi er oft mjög rýsjótt og algengt er að nokkrir hlýindakaflar verði yfir vetraránuðina.

Mælingar í Bolungarvíkurgöngum veturinn 2011/2012 sýndu að áhrif hitastigs við munna ganganna á hitastig í göngunum fjarar hratt út þegar innar kemur í göngin, hraðar en ætla mátti út frá norskri athugun.² Til að afla frekari gagna var ákveðið að mæla aftur hita í Bolungarvíkurgöngum yfir kuldatímabil veturinn 2012/2013 og veturinn 2013/2014 og reyna þá að kortleggja betur hversu langt inn göngin áhrifin ná þegar lofthraði er mikill eða við meiri lofthraða en mældist veturinn 2011/2012.

Þá til samanburðar mæla einnig hvernig hitabreytingar verða í öðrum göngum, í Héðinsfjarðargöngum þar sem kalt vatn rennur um bergið við göngin og í Fáskrúðsfjarðargöngum þar sem vatnsrennsli er mjög lítið.

Skýrsla þessi er unnin af Matthíasi Loftssyni á Mannviti verkfræðistofu og Gísla Eiríkssyni hjá Vegagerðinni. Auk þeirra sá Tómas Pétur Sigursteinsson hjá verkfræðistofunni EFLU um uppsetningu á hitamælum og öflun gagna frá mælum.

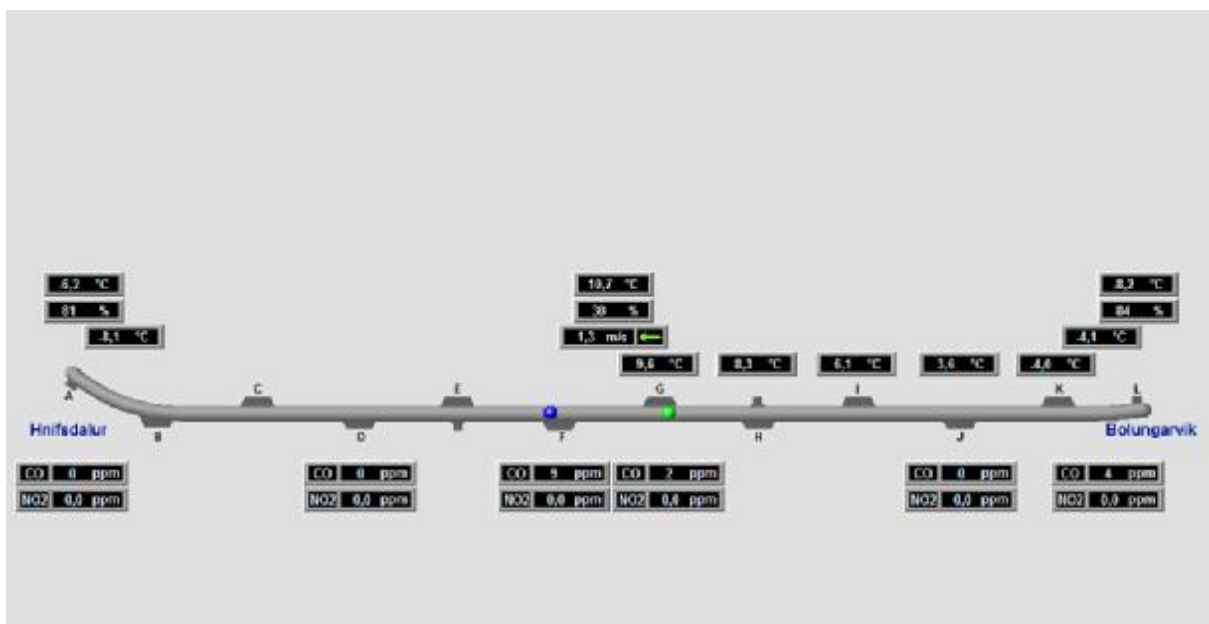
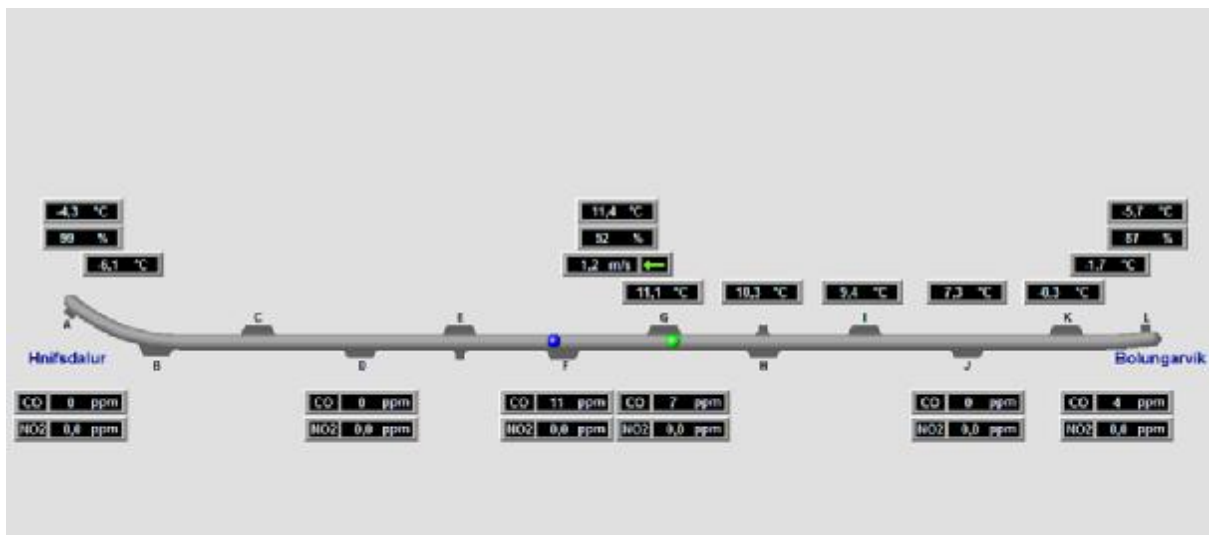
¹ Frostmengder i veggunneler. Intern rapport nr. 2301. Knut Borge Pedersen. Statens vegvesen, 2002.

² Hitastigsmælingar í veggöngum frá munna og inn göngin. Bolungarvíkurgöng. Áfangaskýrsla. Matthías Loftsson og Gísli Eiríksson, maí 2012.

Hitamælingar í Bolungarvíkurgöngum

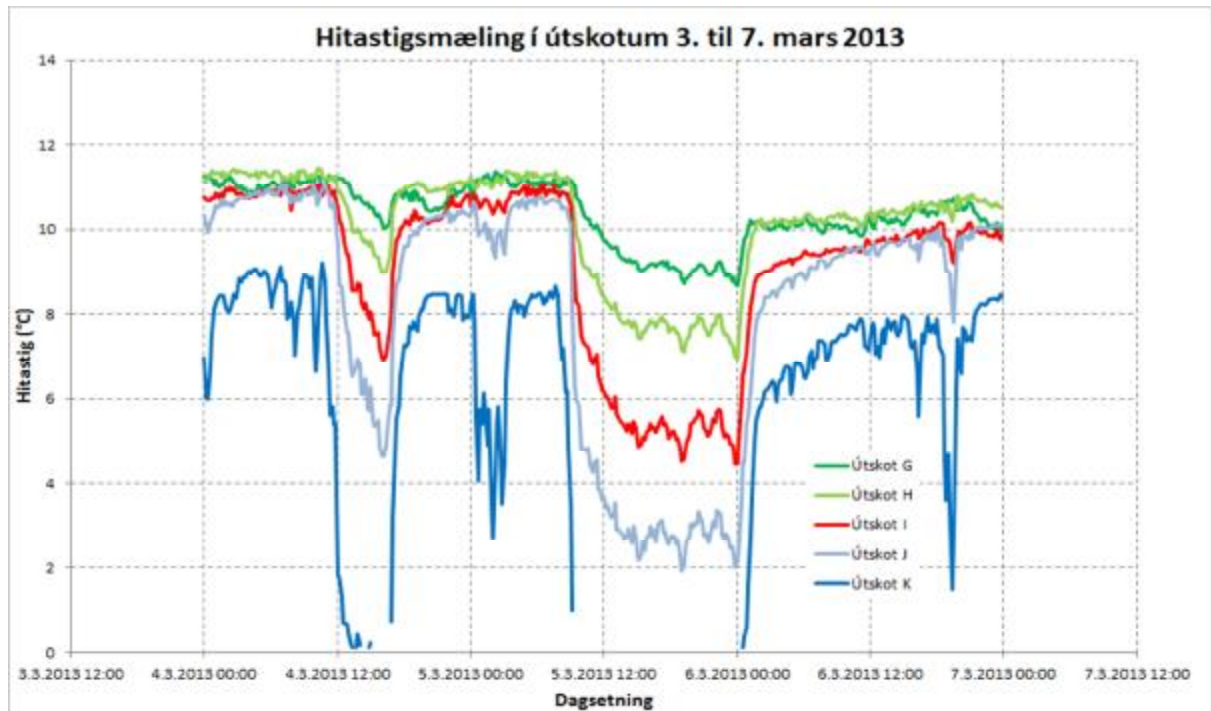
Hitamælingar í göngum í mars 2013

Fyrir rekstur ganganna voru aðeins settir upp hitamælur á þremur stöðum, við báða munna og í miðjum göngunum, útskoti F, auk hitamæla í vegi við munna ganganna. Til að kortleggja hitabreytingar voru settir upp fleiri mælur, í útskotum G, H, I, J og K. Samtals eru 8 mælistaðir í göngunum, sem hægt er að nota til að kortleggja hitabreytingar í göngunum. Staðsetning mæla er sýnd á myndunum hér fyrir neðan, sem teknar voru beint af tölvuskjá þegar mjög kalt var í veðri 4. og 5. mars 2013. Tölur efst til hægri og vinstri sýna lofthitastig utan ganga. Þar undir er rakaprósenta og síðan veghiti við munna. Aðrar hitastigstölur sýna lofthitastig í útskotum F til K í göngunum.



Myndir 1 og 2. Sjámyndir af mælakerfi Bolungarvíkurganga. Staðan um hádegi 4. og 5. mars 2013.

Hitastig í göngunum yfir tímabilið 4. til 7. mars er sýnt á mynd 3. Vegna bilana í mælum skráðist ekki hitastig undir frostmarki þessa daga og vantar því mæligildi fyrir útskot K þegar kaldast var.



Myndir 3. Hitastigsmæling í Bolungarvíkurgöngum frá 4. til 7. mars 2013.

Á mynd 3 sést hvernig hitastig í göngunum fellur 4. og 5. mars. Samkvæmt skjámyndinni fór hitastig í útskoti næst Bolungarvíkurmunna í -4°C þegar lofthiti utan gangamunna var $-8,2^{\circ}\text{C}$ og trekkur í göngunum var 1,3 m/s. Við heldur minni trekk og $-5,7^{\circ}\text{C}$ hita við munna fór hitastigið niður í $-0,3^{\circ}\text{C}$. Í báðum tilfellum er hitastigsmunur milli útskota K og J um $7,6^{\circ}\text{C}$ og 5 - 6°C milli munna og útskots K.

Samkvæmt gögnum Veðurstofunnar fyrir Bolungarvík³ fór hiti lægst í $-11,3^{\circ}\text{C}$ í Bolungarvík 5.mars 2013, en meðalhiti mánaðar var um $-0,9^{\circ}\text{C}$. Samkvæmt mynd 3 fór hiti lægst í um $+2^{\circ}\text{C}$ í útskoti J þegar kaldast var og þá gæti hitastig hafa verið milli -5 til -6°C í útskoti K, ef sami munur hefur verið milli útskota.

Í ljósi ofangreinds er hægt að draga þá ályktun að F_{10T} sé = 0 innan við 1000 m frá munna og talsvert mikið lægra 500 m frá munnum ganganna en utan ganga.

Hitamælingar í göngum í desember 2013

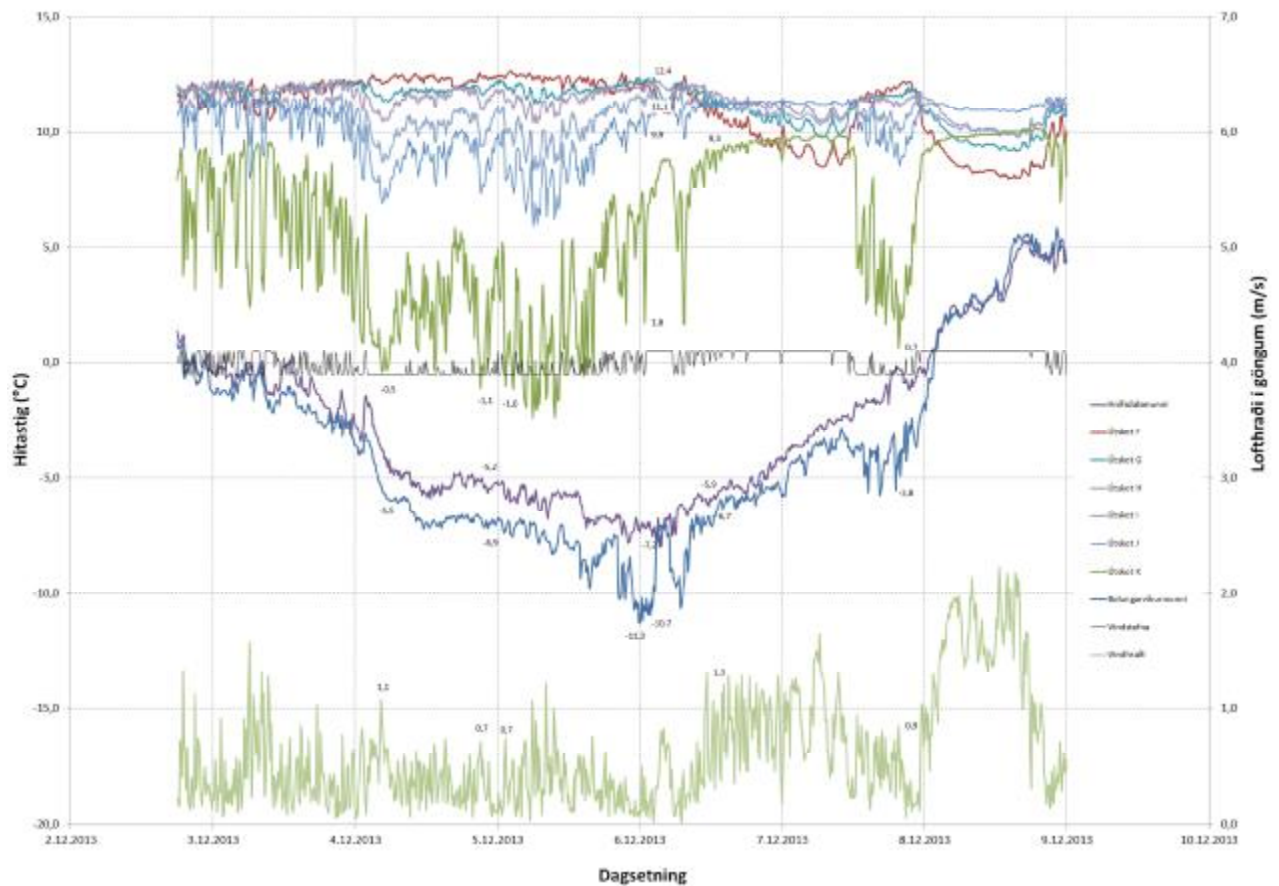
Mjög kalt var í veðri fyrri hluta desember 2013. Samkvæmt gögnum Veðurstofunnar fyrir Bolungarvík⁴ fór hiti lægst í $-15,2^{\circ}\text{C}$ í Bolungarvík 6. desember, en meðalhiti mánaðar var um $-1,4^{\circ}\text{C}$. Samkvæmt hitamæli við gangamunnann Bolungarvíkurmegin fór hitinn lægst þar í $-11,3^{\circ}\text{C}$. Veghiti á sama tíma fór mest niður í $-13,7^{\circ}\text{C}$, sem sýnir að mun kaldara hefur verið við jörð en í hæð loftmæla.

Niðurstöður hitamælinga eru sýndar á mynd 4. Plústala fyrir vindstefnu táknar að trekkur er til Bolungarvíkur en mínus tala þýðir að vindur blæs til Hnífsdals.

³ Veðurstofa Íslands. Tímaraðir fyrir valdar veðurstöðvar. http://www.vedur.is/Medaltalstoflur-txt/Stod_252_Bolungarvik.ManMedal.txt

⁴ Veðurstofa Íslands. Tímaraðir fyrir valdar veðurstöðvar. http://www.vedur.is/Medaltalstoflur-txt/Stod_252_Bolungarvik.ManMedal.txt

Bolungarvíkurgöng - Hitamælingar í göngum, desember 2013

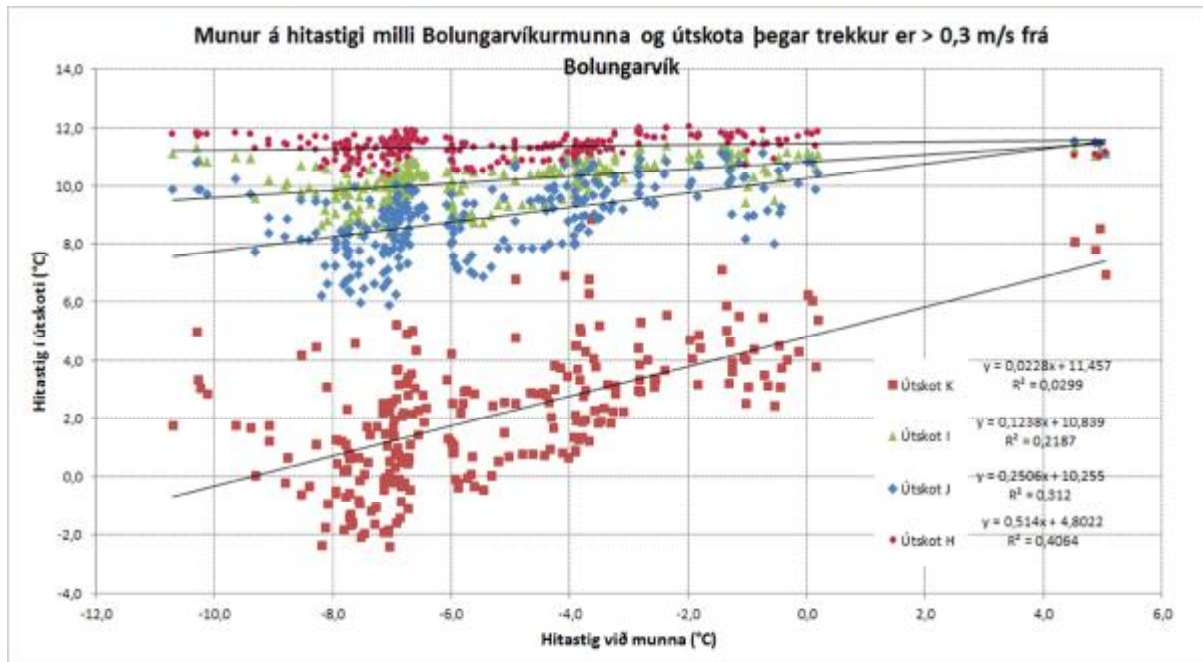


Myndir 4. Hitastigsmæling í Bolungarvíkurgöngum frá 2. til 9. desember 2013.

Sem sjá má á mynd 4 þá hefur hitastig utan ganga ekki mikil áhrif nema fá hundruð metra inn í göngin. Þrátt fyrir hörkufrost utan ganga þá skriður loftþiti rétt undir frostmark í fyrsta útskoti. Reiknaðar froststundir þessa daga voru um 650 klst^{°C} við munna ganganna Bolungarvíkurmegin og um 480 klst^{°C} við Hnífsdalsmunnan en bara 7 klst^{°C} í útskoti K, sem liggur um 450 m innan við munna ganganna, eða aðeins rúmlega 1% af gildi utan ganga.

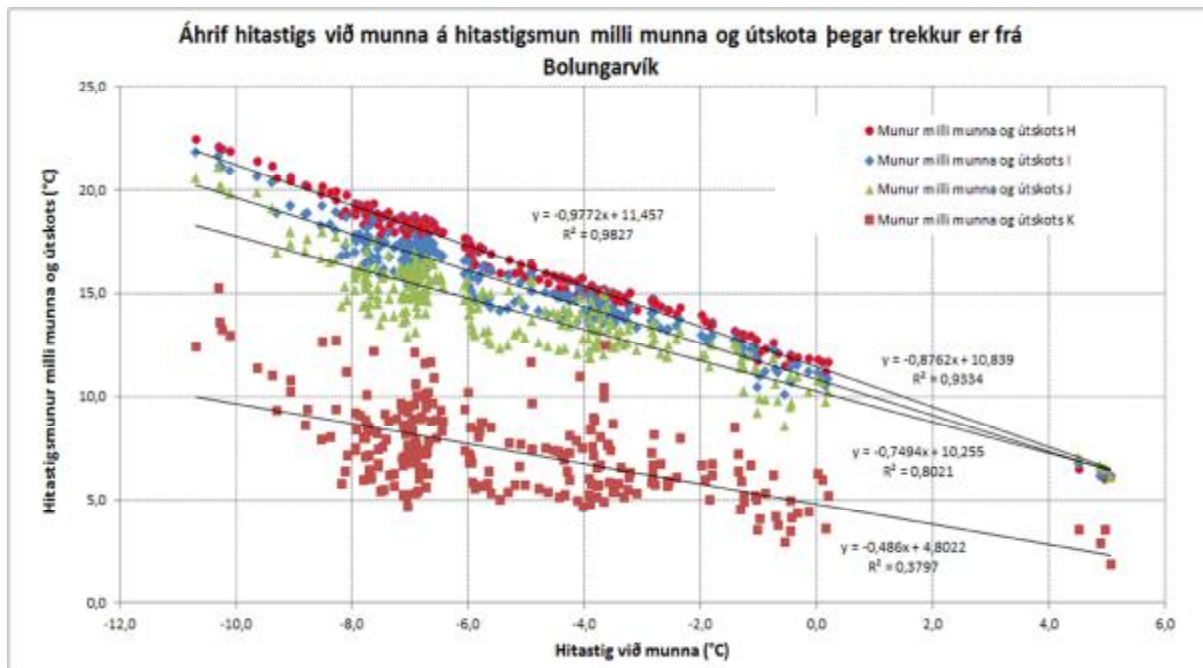
Áhrif hitastigs utan munna

Á mynd 5 er sýnt hitastig í nokkrum útskotum sem fall af hitastigi við munna ganganna þegar trekkur í göngunum er > 0,3 m/s. Sem sjá má þá minnka mjög áhrif hitastigs utan ganga á hita í göngunum, er innar kemur í göngin, og áhrif útihitastigs orðin engin í útskoti H.



Myndir 5. Hitastigsmunur milli munna og útskota H til K.

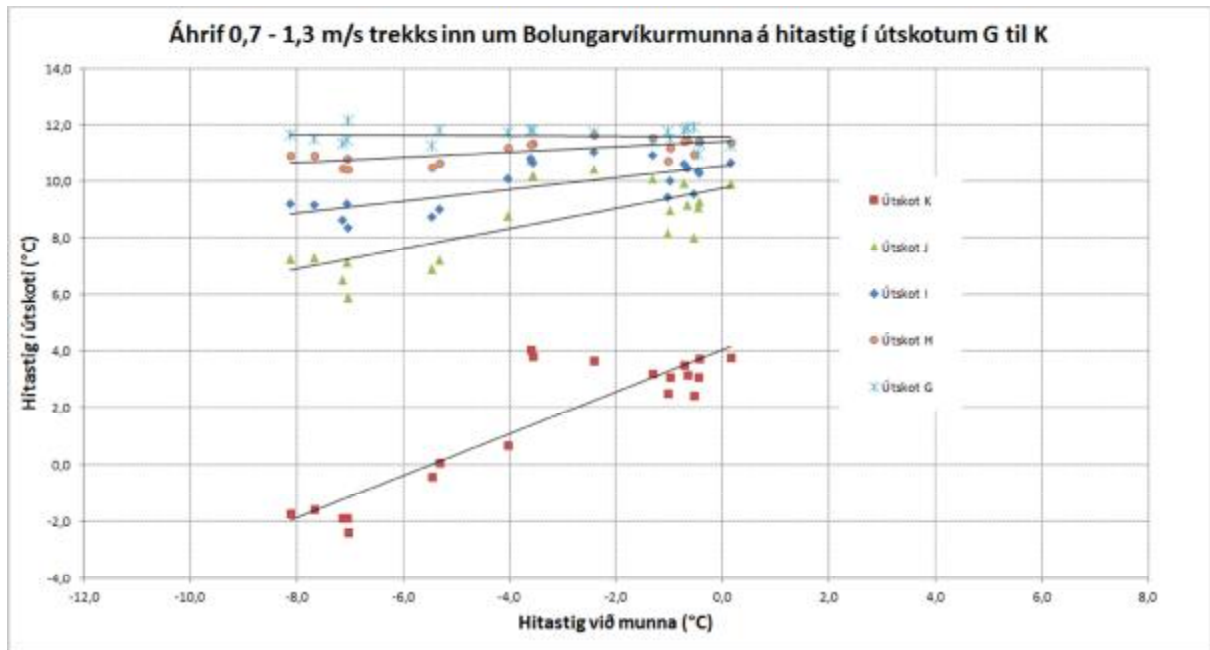
Þetta sést betur á mynd 6, þar sem sýnd er fylgni milli hitastigs við munna og hitastigsmunar milli munna og útskots.



Mynd 6. Hitastigsmunur milli munna og útskota H til K.

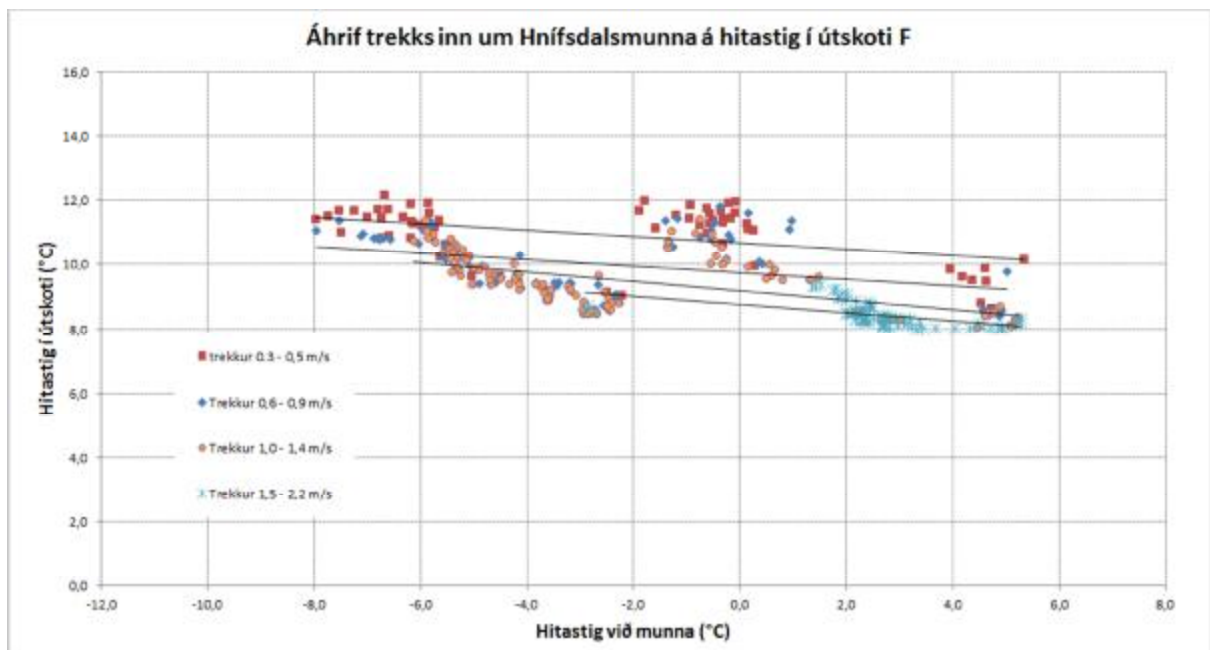
Áhrif treks í göngum

Vindur eða trekkur í göngunum hefur áhrif á hversu langt inn í gögnin hitastigsbreytingar ná. Á mynd 7 eru sýnd dvínandi áhrif treks inn um Bolungarvíkurmunna, á hitastig í útskotum K til G, sem eru frá 0,45 til 2,5 km innan við gangamunnann.



Mynd 7. Áhrif treks inn um munna Hnífsdalsmegin á hitastig í útskotum G til K.

Á mynd 8 má sjá hversu lítil áhrif treks í göngunum, inn um Hnífsdalsmunna, er á hitastig í útskoti F, sem er um 2,5 km innan við munnann.

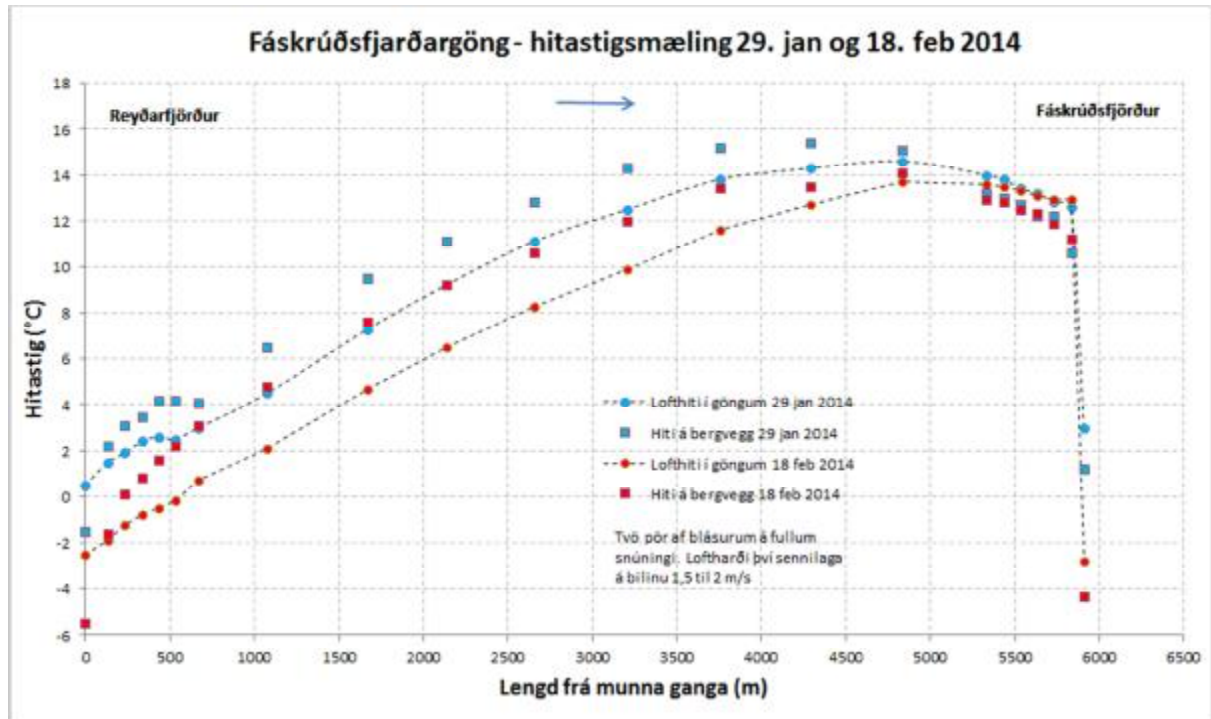


Mynd 8. Áhrif treks inn um munna Hnífsdalsmegin á hitastig í útskoti F.

Hitamælingar í öðrum göngum

Fáskrúðsfjarðargöng

Hitastig í göngunum var mælt 29. janúar og 18. febrúar 2014. Trekkur var frá Reyðarfirði en mælir, sem mælir vindhraða í göngunum, var bilaður. Áður en mælt var voru tvö pör af blásurum sett á fullan snúning og reiknast þá trekkur vera milli 1,5 til 2 m/s. Niðurstöður mælinga eru sýndar á mynd 8.



Mynd 8. Hitastigsbreytingar í gegnum Fáskrúðsfjarðargöng.

Sem sjá má á mynd 8. Þá eykst hitastig í gegnum göngin nokkuð jafnt frá Reyðarfirði, um 0,4 til 0,5°C/100 m, uns það tekur að falla á ný 1 til 1,5 km frá munnanum Fáskrúðsfjarðarmegin.

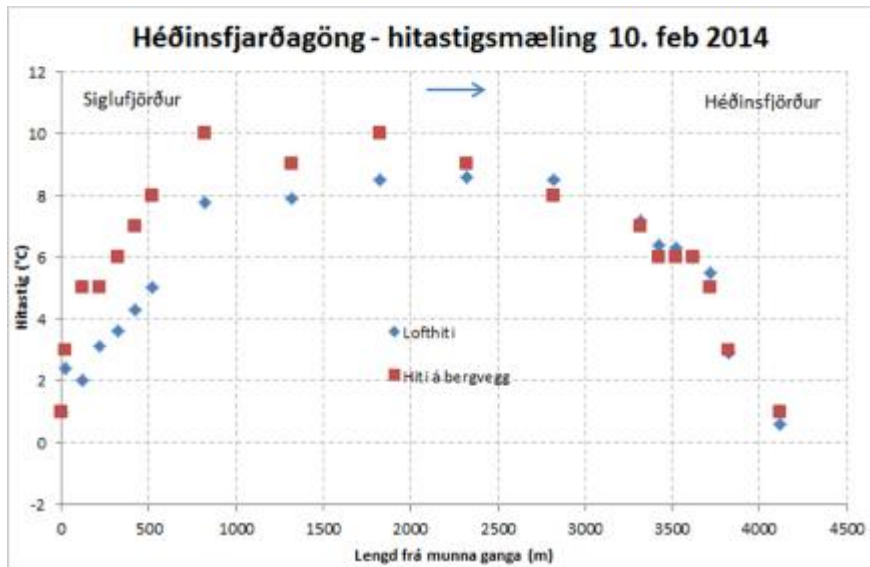
Fram kemur í framkvæmdarskýrslu fyrir Fáskrúðsfjarðargöng⁵ að berghiti á framkvæmdartíma jókst jafnt og þétt frá munnum og mældist um 30°C í júní 2004, en þá var stafn gangagraftar á nær miðri gangaleiðinni. Í dag hefur yfirborðshiti bergs kólnað en varmaflæði frá bergi er samt nægt enn til að hita upp loftmassa, sem fer í gegnum göngin.

Héðinsfjarðargöng

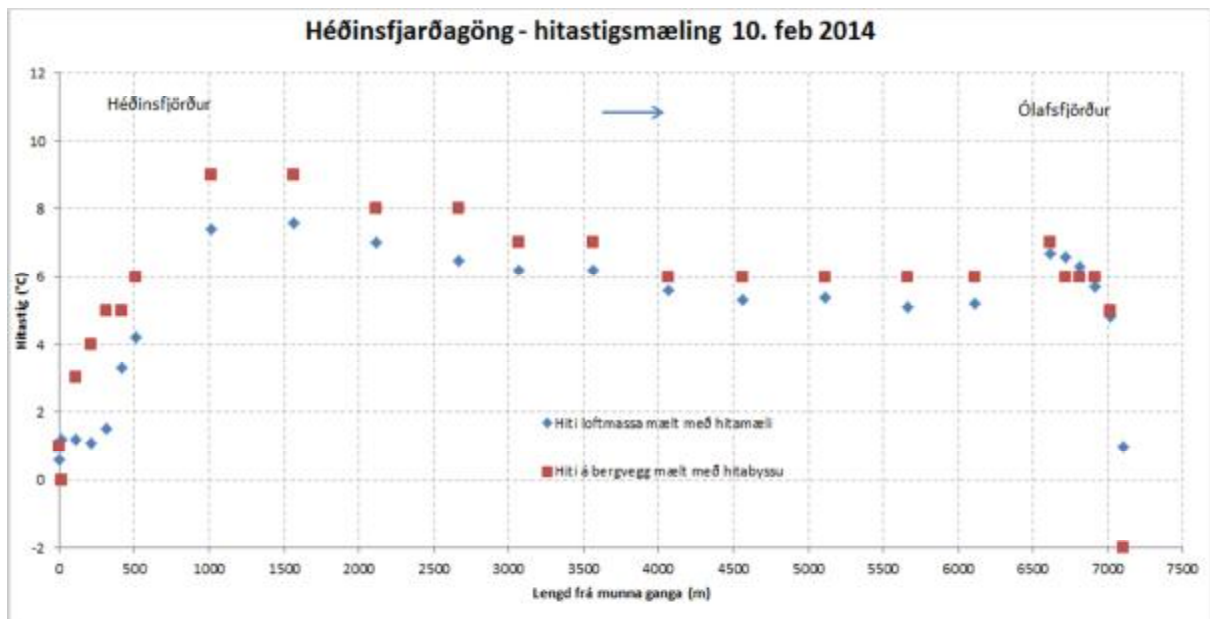
Hitastig í göngunum var mælt 10. og 18. febrúar 2014. Trekkur var frá sitt hvorri átt þegar mælt var, sjá pílu á myndum 9 til 12. Vindhraði var um 0,5 m/s.

⁵ Fáskrúðsfjarðargöng. Framkvæmdarskýrsla. Skýrsla unnin fyrir Vegagerðina. Geotek 2006

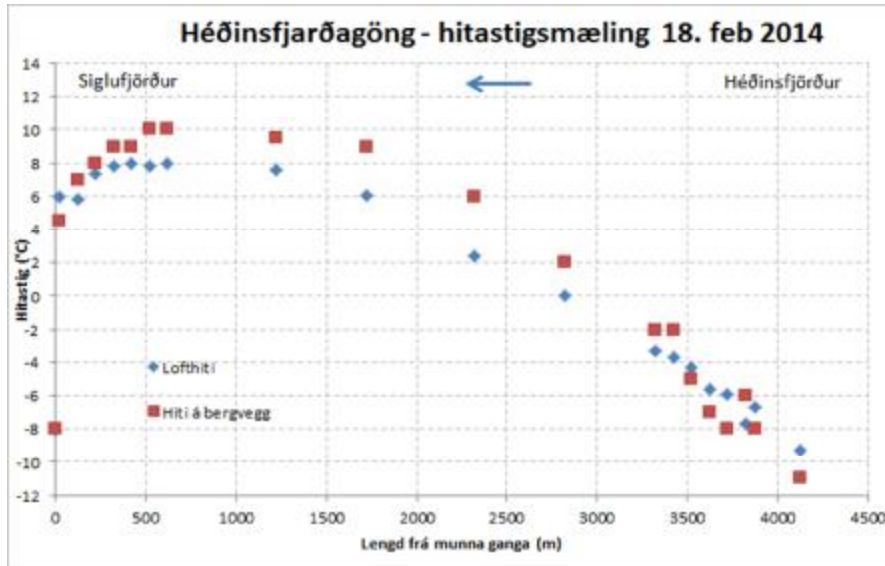
Þegar mælt var 18. febrúar var mjög kalt utan ganganna. Hiti mældist $-14,8^{\circ}\text{C}$ á Ólafsfirði kl 09 þann morgunn og $-12,9^{\circ}\text{C}$ á Siglufirði kl 03 þann sama dag. Sjálfvirka veðurstöð Vegagerðarinnar í Héðinsfirði sýndi mest $-10,7^{\circ}\text{C}$ frost kl 06 að morgni 18. febrúar.



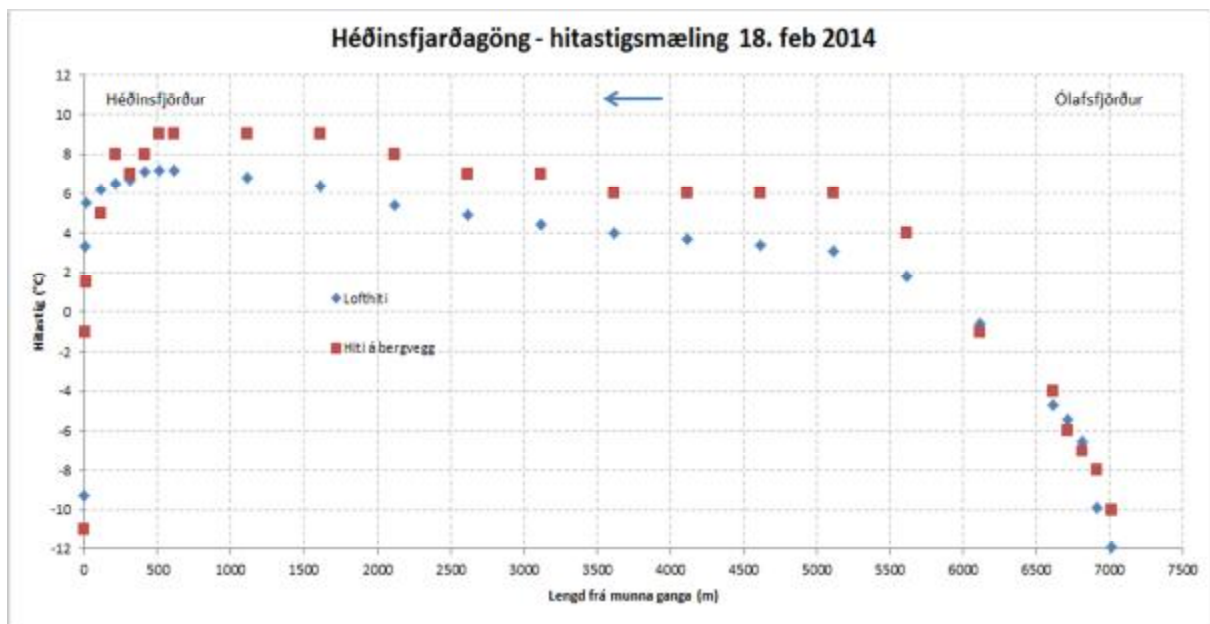
Mynd 9. Hitastigsbreytingar í gegnum Siglufjarðarlegg Héðinsfjarðarganga, 10. febrúar 2014.



Mynd 10. Hitastigsbreytingar í gegnum Ólafsfjarðarlegg Héðinsfjarðarganga, 10. febrúar 2014.



Mynd 11. Hitastigsbreytingar í gegnum Siglufjarðarlegg Héðinsfjarðarganga, 18. febrúar 2014.



Mynd 12. Hitastigsbreytingar í gegnum Ólafsfjarðarlegg Héðinsfjarðarganga, 18. febrúar 2014.

Eins og fyrir Fáskrúðsfjarðargöng mælist yfirborðshiti bergs/sprautusteypu að jafnaði hærri en lofthiti. Hiti eykst inn göngin en ekki jafnt og þétt heldur verður kólnun á kafli í Ólafsfjarðarlegg ganganna. Það er á þeim stað þar sem mest rann af köldu vatni inn í göngin á byggingartíma og gerir enn bak við klæðingar.

Athyglisvert er að þrátt fyrir hörku frost utan ganganna (-12°C) og innri kælingu, sem er innstreymi á köldu vatni, þá nær frost ekki nema um 1 til 1,5 km inn í göngin á þessum köldu dögum.

Niðurstöður og ályktun

Mælingar í Bolungarvíkurgöngum nú sýna eins og fyrri athuganir að áhrif hitastigs við munna ganganna á hitastig í göngunum fjarar hraðar út inn göngin en ætla mætti út frá athugunum í norskum göngum.⁶ Berghiti í göngunum heldur hitastigi milli 10 og 12°C í miðjum göngunum, sama hvernig viðrar fyrir utan göngin. Kæling er háð trekk en þrátt fyrir að blásarar séu settir á fullan snúning þá nær frost ekki lengra inn göngin en að fyrsta útskot eða rétt rúmlega það.

Samanburðarmælingar í Fáskrúðsfjarðargöngum og Héðinsfjarðargöngum sýna svipaða niðurstöðu. Frost nær ekki nema um 0,5 til 1 km inn göngin þegar mælt er mjög kalda daga.

Á hönnunartíma var F_{10} ekki reiknað fyrir Bolungarvíkurgöng heldur áætlað vera, byggt á meðalhita, á bilinu 10.000 - 15.000 klst°C, sennilega nær 11.000 klst°C, sem reiknað var síðar fyrir Dýrafjarðargöng byggt á mælingum yfir 26 vetra tímabil frá 1983 til 2009. Hitastigsmælingar benda til þess að F_{10T} gildi sé komið niður fyrir 500 klst°C í fyrsta útskoti um 500 m frá munna ganganna.

Fyrir Fáskrúðsfjarðargöng er F_{10} metið um 9.400 klst°C, reiknað gildi fyrir Kollaleiru yfir 30 vetra tímabil frá 1977 til 2006. Samkvæmt hitastigsmælingum er F_{10T} gildið að öllum líkindum komið niður fyrir 500 klst°C um 500 m innan við gangamunna.

Fyrir Héðinsfjarðargöng var F_{10} metið um 15.000 klst°C, svipað og reiknað var fyrir Akureyri fyrir 30 ára tímabil frá 1968 til 1998.⁷ Samkvæmt hitastigsmælingum er F_{10T} gildið að öllum líkindum komið niður fyrir þriðjung munnagildis við fyrsta útskot og orðið minna en 500 klst°C um 1000 m innan við gangamunna.

Í norskum viðmiðunarleiðbeiningum segir að nota megi óeinangrandi vatnslæðingar, sem getur verið eldþolinn dúkur án sprautusteypu, þar sem F_{10T} gildið er < 3000klst°C.⁸ Þá má nota óeinangrandi klæðingar með 80 mm netbundinni sprautusteypu þar sem frostsundurir í göngum F_{10T} , er < 8.000 klst°C. Fyrir fyrrnefnd göng og væntanlega flest öll veggöng sem fyrirhuguð eru á næstu árum duga þessar lausnir innan við fyrsta útskot ganganna. Einangrandi klæðingar, t.d. PE-mottur með sprautusteypu, þarf því ekki að fyrirskrifa nema næst munnum ganganna.

⁶ Frostmengder i vegtunneler. Intern rapport nr. 2301. Statens vegvesen, 2002

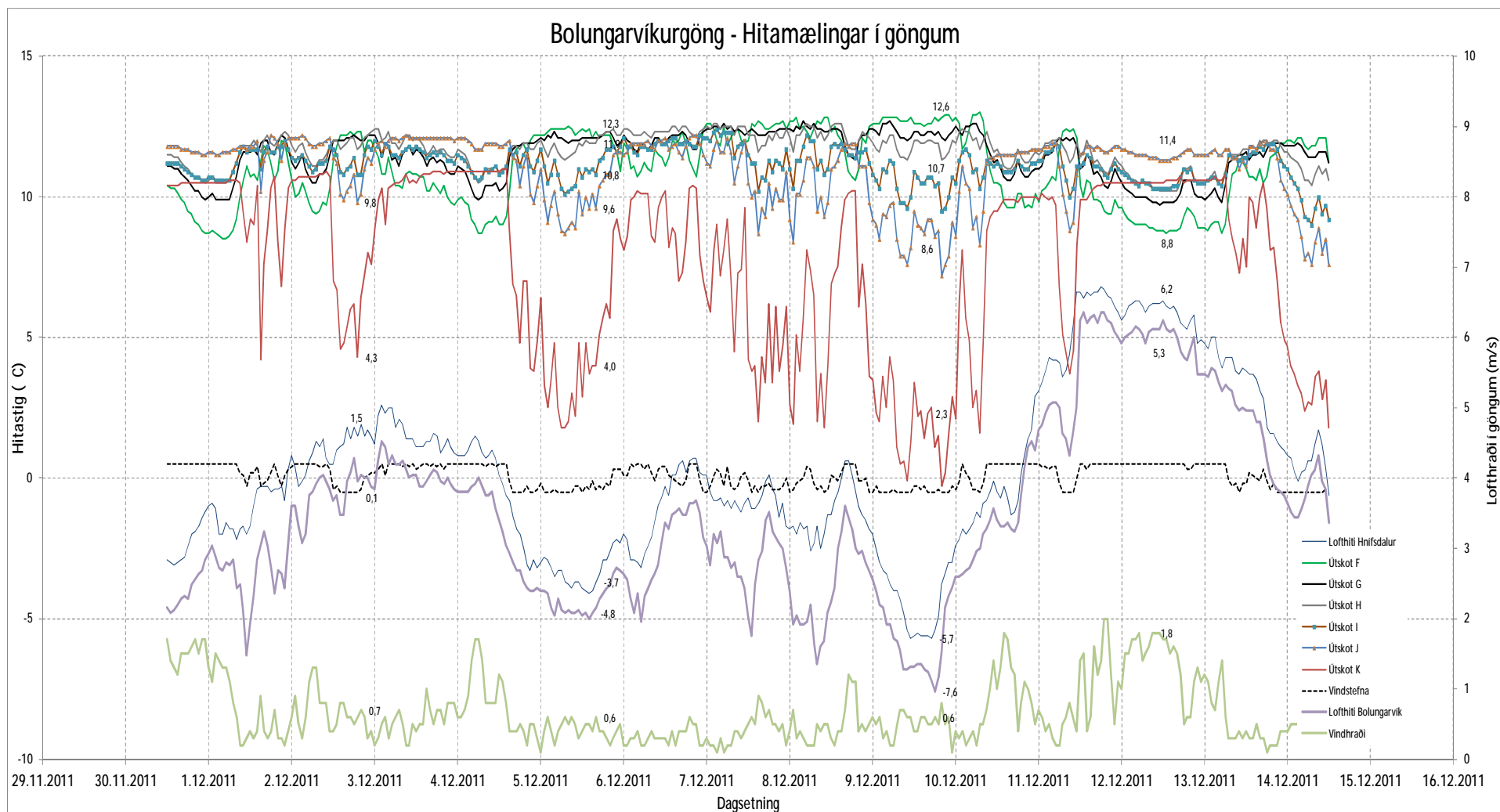
⁷ Oddur Sigurðsson. Froststuðull og freramörk. Árbók VFÍ/TFÍ 1999/2000.

⁸ Nye godkjente løsninger for vann- og frostsikring i tunneler. Statens vegvesen 2006

Heimildir

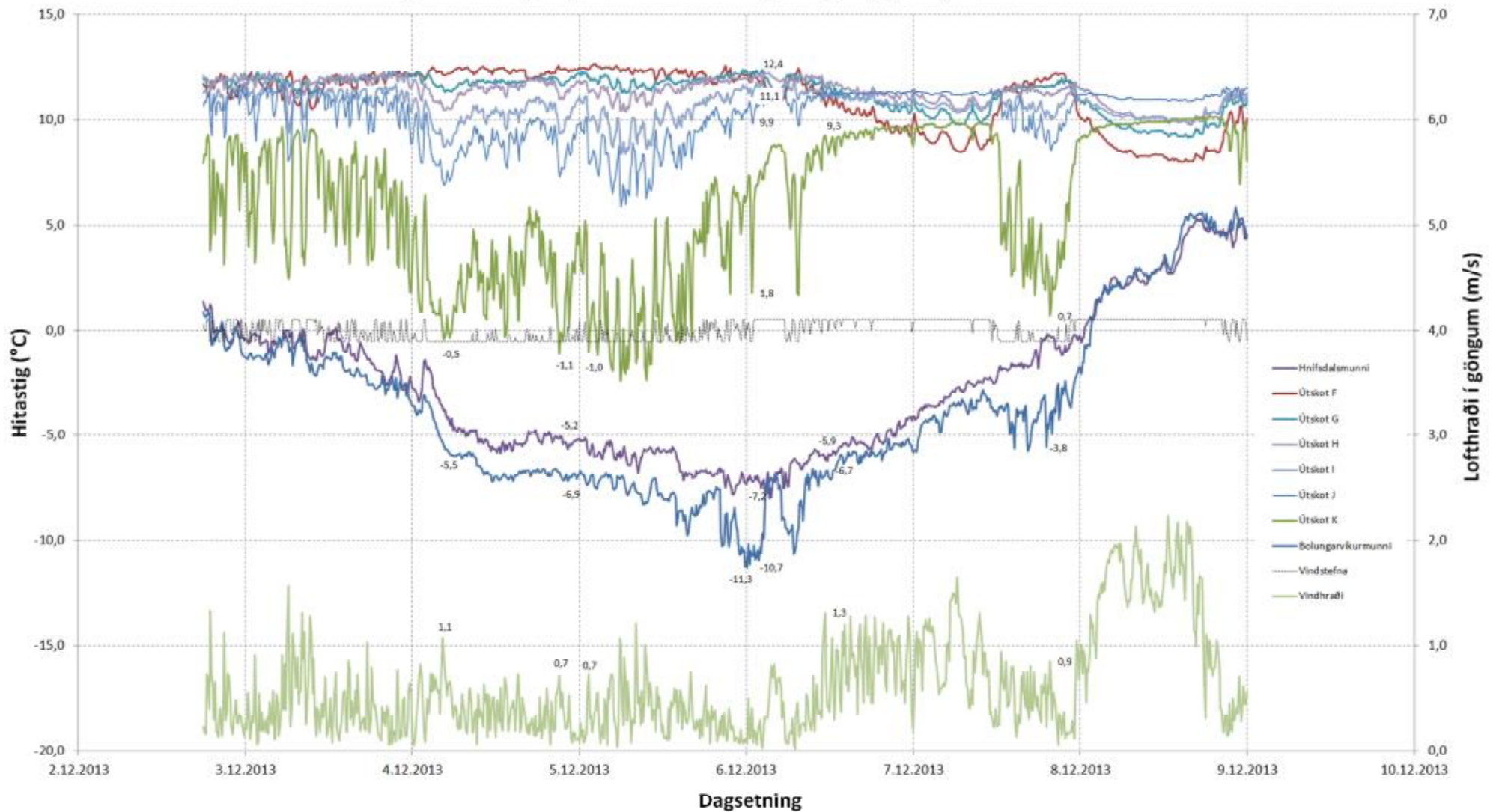
1. Frostmengder i vegtunneler. Intern rapport nr. 2301. Knut Borge Pedersen. Statens vegvesen, 2002.
2. Hitastigsmælingar í veggöngum frá munna og inn göngin. Bolungarvíkurgöng. Áfangaskýrsla. Matthías Loftsson og Gísli Eiríksson, maí 2012.
3. Veðurstofa Íslands. Tímaraðir fyrir valdar veðurstöðvar.
4. Fáskrúðsfjarðargöng. Framkvæmdarskýrsla. Skýrsla unnin fyrir Vegagerðina. Geotek 2006
5. Froststuðull og freramörk. Oddur Sigurðsson. Árbók VFÍ/TFÍ 1999/2000.
6. Nye godkjente løsninger for vann- og frostsikring i tunneler. Statens vegvesen 2006.

Viðauki A – Hitamælingar í Bolungarvíkurgöngum



Hitamælingar í Bolungarvíkurgöngum frá 30. nóvember til 14. desember 2011.

Bolungarvíkurgöng - Hitamælingar í göngum, desember 2013



Hitamælingar í Bolungarvíkurgöngum frá 3. til 9. desember 2013.

Hitastigsbreytingar í veggöngum frá munna og inn göngin – Áfangaskýrsla II