

LV-2015-045



Landsvirkjun



Krafla

Blástursprófun holu KJ-35 eftir hreinsun

Lykilsíða



Skýrsla LV nr: LV-2015-045

Dags: mars 2015

Fjöldi síðna: 17

Upplag: 3

Dreifing:

- Birt á vef LV
 Opin
 Takmörkuð til

Titill: Krafla. Blástursprófun holu KJ-35 eftir hreinsun

Höfundar/fyrirtæki: Trausti Hauksson

Verkefnisstjóri: Ásgerður K. Sigurðardóttir

Unnið fyrir: Landsvirkjun

Samvinnuaðilar: _____

Útdráttur: Skýrslan fjallar um mælingar á afköstum og efnum í vatni og gufu frá holu KJ-35 í Kröflu. Holan var boruð árið 2007 og í framhaldinu blástursprófuð. Afköst minnkuðu verulega en líklegt er að kísill hafi stíflað djúpæðina þegar holan blés á lágum þrýstingi. Holan var hreinsuð 2008, var leiðari tærður og með útfellingum, aðallega stífluð neðan við aðalæðina á 2250 m dýpi og í framhaldinu lokað. Vorið 2014 var holan blástursprófuð því talið var reynandi að reka holuna á hærri þrýstingi en 70 bar og koma þannig í veg fyrir að gufuborinn kísill myndi falla út og stífla holuna. Holan náði ekki sömu afköstum og strax eftir borun þrátt fyrir að hafa verið hreinsuð. Holan afkastar innan við 2 MW við toppþrýsting yfir 70 bar. Samkvæmt hitalóðningu í blæstri við 49 bar toppþrýsting var hitastig við suðuhita vatns við mældan þrýsting og engin yfirhitun í holunni. Gasstyrkur í gufu breytist ekki með hækkandi toppþrýstingi. Styrkur basa í vatni jókst með hækkandi toppþrýstingi sem bendir til innsteymi sýru í holuna.

Lykilorð: Krafla. Blástursprófanir. Holulóðningar.
Efnainnihald vatns og gufu. Hóla KJ-35. Afköst borhóla.

ISBN nr:

Samþykki verkefnisstjóra
Landsvirkjunar

KRAFLA

Blástursprófun holu KJ-35 eftir hreinsun

Trausti Hauksson

Ásgerður K. Sigurðardóttir

EFNISYFIRLIT

1	Inngangur	2
2	Afkastamælingar	3
3	Holulóðningar.....	7
4	Efnasamsetning.....	10
5	Samantekt	13
6	Heimildir.....	14

Töflur

Tafla 1.	Blástursprófun KJ-35. Afköst á móti toppþrýstingi.	3
Tafla 2.	Blástursprófun KJ-35. Efnasamsetning vatns og gufu.	11

Myndir

Mynd 1.	Blástursprófun KJ-35. Toppþrýstingur og þvermál stjórnblendu.	4
Mynd 2.	Blástursprófun KJ-35. Samband toppþrýstings og stjórnblendu.	5
Mynd 3.	Blástursprófun KJ-35. Afkastaferill.....	5
Mynd 4.	Blástursprófun KJ-35. Vermisferill.	6
Mynd 5.	Þrýstingur í KJ-35 fyrir blástur og í blæstri.....	8
Mynd 6.	Þrýstingur í KJ-35 fyrir blástur og í blæstri.....	9
Mynd 7.	Blástursprófun KJ-35. CO ₂ og H ₂ S í gufu.	12
Mynd 8.	Blástursprófun KJ-35. Basi, Na og Cl í vatni.....	12

1 Inngangur

Hola KJ-35 var boruð árið 2007 frá borteig vestan við Rauðhól. Holan er skáhola sem beinist í VNV með 30° halla inn í sprungusvæðið sunnan við Leirhnjúk. Holan er 2508 m á lengd og efstu 1293 m fóðraðir. Leiðari nær niður að 2487 m dýpi. Helstu æðar voru neðst í holunni og var stærsta æðin talin vera á 2250 m dýpi.

Holan var blástursprófuð í ágúst 2007 til febrúar 2008 en þá höfðu afköstin minnkað um nær helming og var holunni því lokað (Trausti Hauksson, 2008). Efnasamsetning vökva úr holunni sýndi merki um innstreymi yfirhitaðrar súrrar gufu (Niels Giroud o.fl., 2008). Vatn streymdi allan tíman úr holunni í blástursprófuninni en í efnasýnum voru vísbendingar um yfirhitaða gufu sem þá er líklegast að hafi komið úr djúpum æðum og að vatnið hafi komið úr grynnri æðum. Toppþrýstingur í blástursprófuninni var lágur eða um 10 til 15 bar og líklegt talið að kísill hafi stíflað djúpæðina þegar holan blés á lágum þrýstingi. Strax eftir borun gaf holan um 22 kg/s við toppþrýsting 10 bar og vermi 2500 kJ/kg. Þegar holunni var lokað, eftir sex mánaða blástur, gaf hún 8,4 kg/s og þar af 1,5 kg/s vatn.

Holan var hreinsuð í ágúst 2008 og kom í ljós að leiðari var tærður og með útfellingum. Holan var aðallega stífluð af útfellingum neðan við æðina á 2250 m dýpi en einnig varð vart við minniháttar fyrirstöður ofar í holunni. Sýni sem upp kom reyndust vera að mestu járn og kísill (Anette K. Mortensen o.fl., 2008). Holan stóð lokuð eftir það enda ekki ljóst hvernig reka ætti holuna með betri árangri. Eftir hreinsun var dælt á holuna í nokkra mánuði en síðan stóð holan lokuð án ádælingar.

Eftir prófanir á gufu úr IDDP-1 holunni hefur skilningur á eiginleikum yfirhitaða djúpkerfisins í Kröflu aukist og var því áhugi á því að reyna upphleypingu holunnar að nýju. Í ljós kom í prófunum á IDDP gufunni að kísill sem berst með yfirhitaðri gufu fellur hratt út þegar þrýstingur fellur niður fyrir 80 bar (Trausti Hauksson og Sigurður H. Markússon, 2013). Kanna átti hvort lengja mætti endingartíma holunnar með því að halda holuþrýstingi yfir 80 bar.

Eftir að hafa staðið lokuð í sex ár voru afköst holunnar talin óviss og líklegt að leiðari holunnar væri ónýtur og gæti valdið rennslisfyrirstöðum í holunni.

Ágerður K. Sigurðardóttir var verkefnisstjóri en Helgi Arnar Alfreðsson og Júlía Katrín Björke sáu um sýnatöku og efnagreiningar á staðnum. Efni í vatnssýnum voru greind í Kröflu og hjá ALS Global Ltd. Karl E. Sveinsson sá um afkastamælingar. Egill Júlíusson hafði umsjón með holulöðningum.

Niðurstöður mælinga voru skráðar á tölvutækt form og færðar inn í forritið *ViewData* (útgáfa V1.65).

2 Afkastamælingar

Holan var prófuð með misstórum stjórnblendum til þess að fá fram áhrif toppþrýstings á rennslið úr holunni. Markmiðið var að mæla afkastaferil og í framhaldinu að láta holuna blása á um 70 til 80 bar toppþrýstingi og kanna hvort afköst við svo háan þrýsting væru viðunandi fyrir tengingu við Kröflustöð.

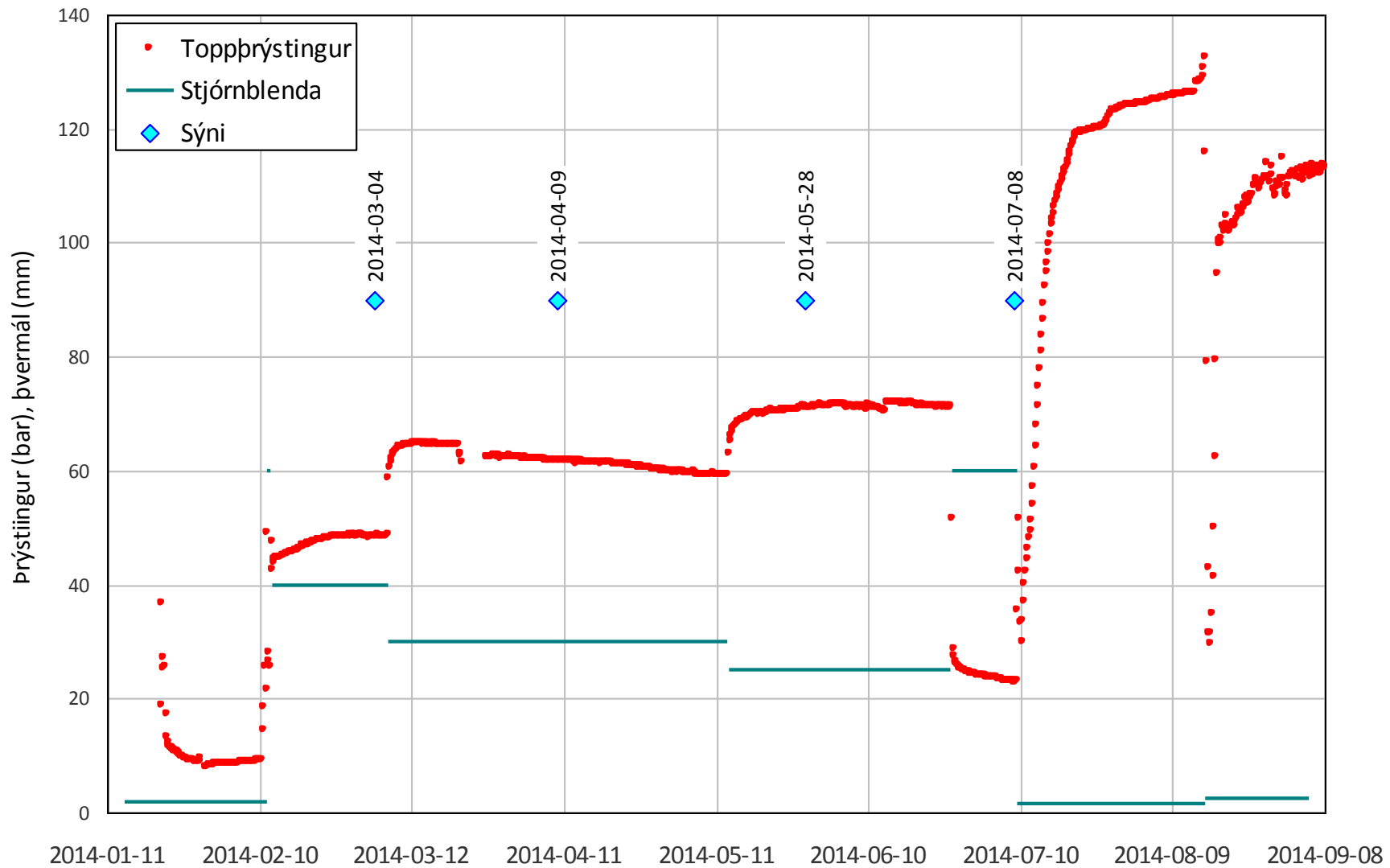
Byrjað var með 60 mm blendu en hún var fljótlega minnkuð í 40 mm því þrýstingurinn var of lágur (sjá mynd 1). Toppþrýstingurinn náði þá jafnvægi við um 47 til 49 bar. Holan var hita og þrýstilóðuð og reyndist sjóða í botn (sjá kafla 3). Engin yfirhitun mældist í holunni. Blendan var þá minnkuð í 30 mm og hækkaði þrýstingur í um 62 bar og í 72 bar þegar blendan var minnkuð í 25 mm. Afköstin við þennan þrýsting voru aðeins tæplega 2 MW og ekki talin nægilegt til þess að tenging við Kröflustöð og nýting myndi borga sig. Í lokin var sett 60 mm blenda í holuna á ný og féll þrýstingur þá í 23 bar. Holan var að lokum sett á blæðingu í gegnum 2 mm gat. Toppþrýstingur hækkaði þá rólega og fór hæst í um 132 bar þegar lokað var fyrir til þess að minnka blæðinguna. Samkvæmt þessu er ekkert vatn í blæðandi holunni niður fyrir æðina á 1745 m dýpi heldur eingöngu gufa og gas. Samband toppþrýstings og stjórnblendu er sýnt á mynd 2.

Blástursprófunin gaf fjóra punkta í afkastaferil fyrir holuna. Afköstin eru sýnd í töflu 1 og á mynd 3.

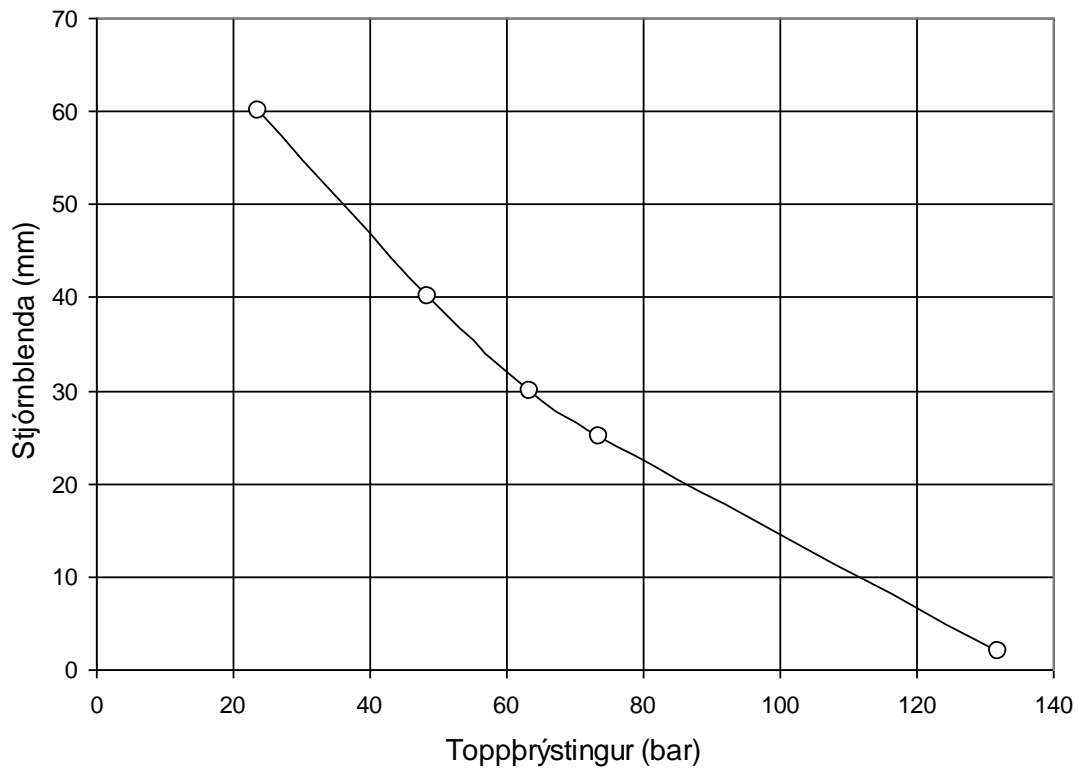
Tafla 1. Blástursprófun KJ-35. Afköst á móti toppþrýstingi.

Tími	Blenda	P0	H0	Qt	HÞ-gufa	LÞ-gufa	LÞ-vatn	Rafafl
	mm	bar	kJ/kg	kg/s	kg/s	kg/s	kg/s	MW
2014-07-08	60	23,7	2488	9,2	7,9	0,1	1,1	3,5
2014-03-07	40	48,6	2410	8,9	7,4	0,1	1,5	3,2
2014-03-26	30	63,5	2367	7,1	5,7	0,1	1,3	2,5
2014-06-13	25	73,5	2346	5,5	4,3	0,1	1	1,9

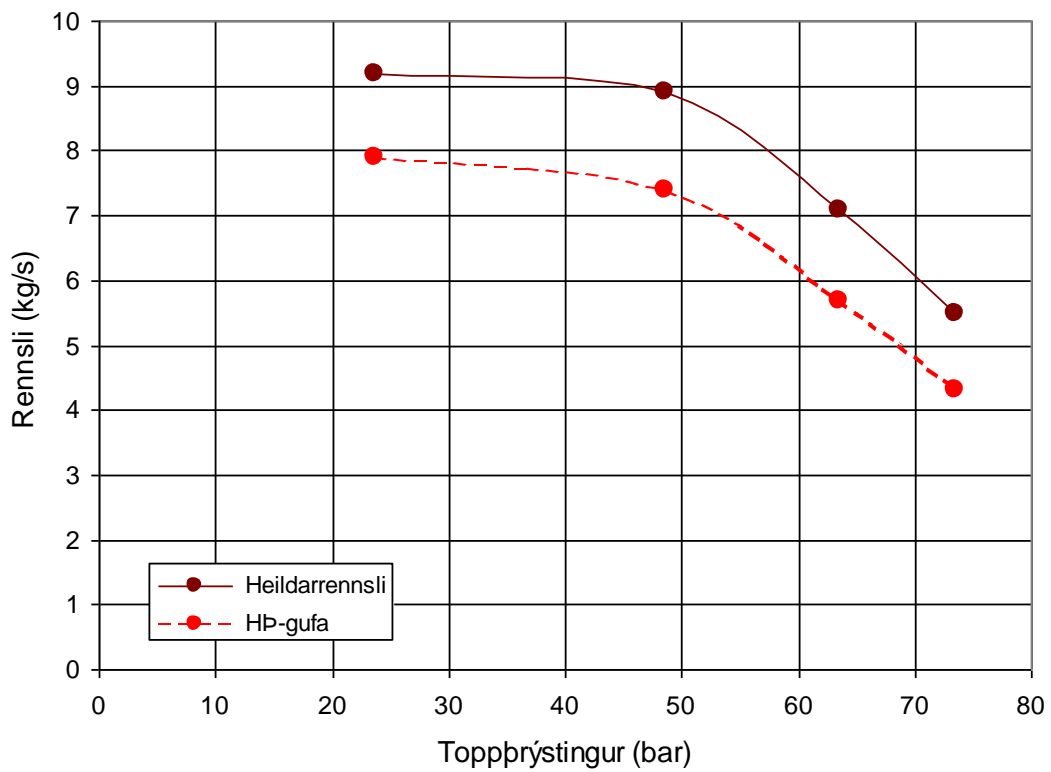
Afköstin stjórnast af innstreymistregðu og eru nokkuð svipuð upp að 50 bar toppþrýstingi. Þar fyrir ofan minnka afköstin hratt þegar hert er að holunni, sjá mynd 3. Vermisferillinn er sýndur á mynd 4. Vermid lækkar aðeins með hækkanði þrýstingi.



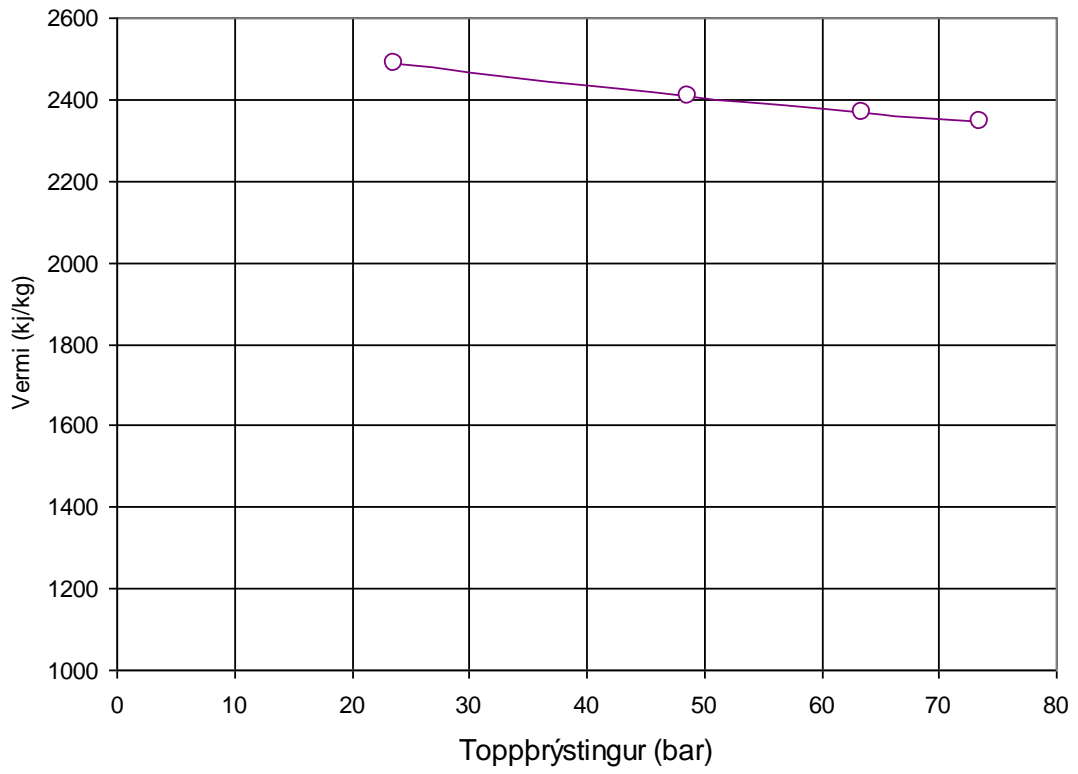
Mynd 1. Blástursprófun KJ-35. Topprýstingur og þvermál stjórnblendu.



Mynd 2. Blástursprófun KJ-35. Samband toppþrýstings og stjórnbendu.



Mynd 3. Blástursprófun KJ-35. Afkastaferill.



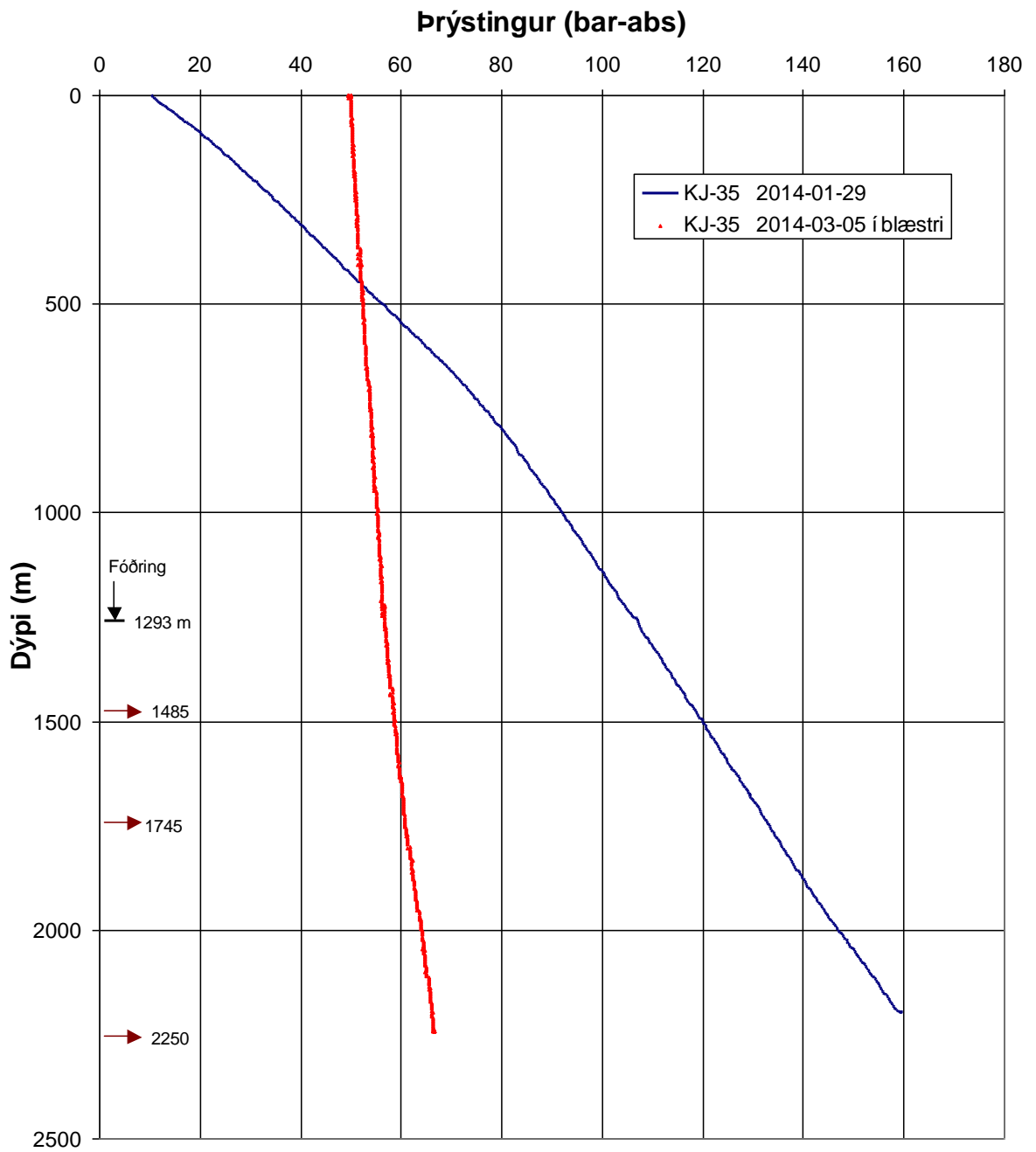
Mynd 4. Blástursprófun KJ-35. Vermisferill.

3 Holulóðningar

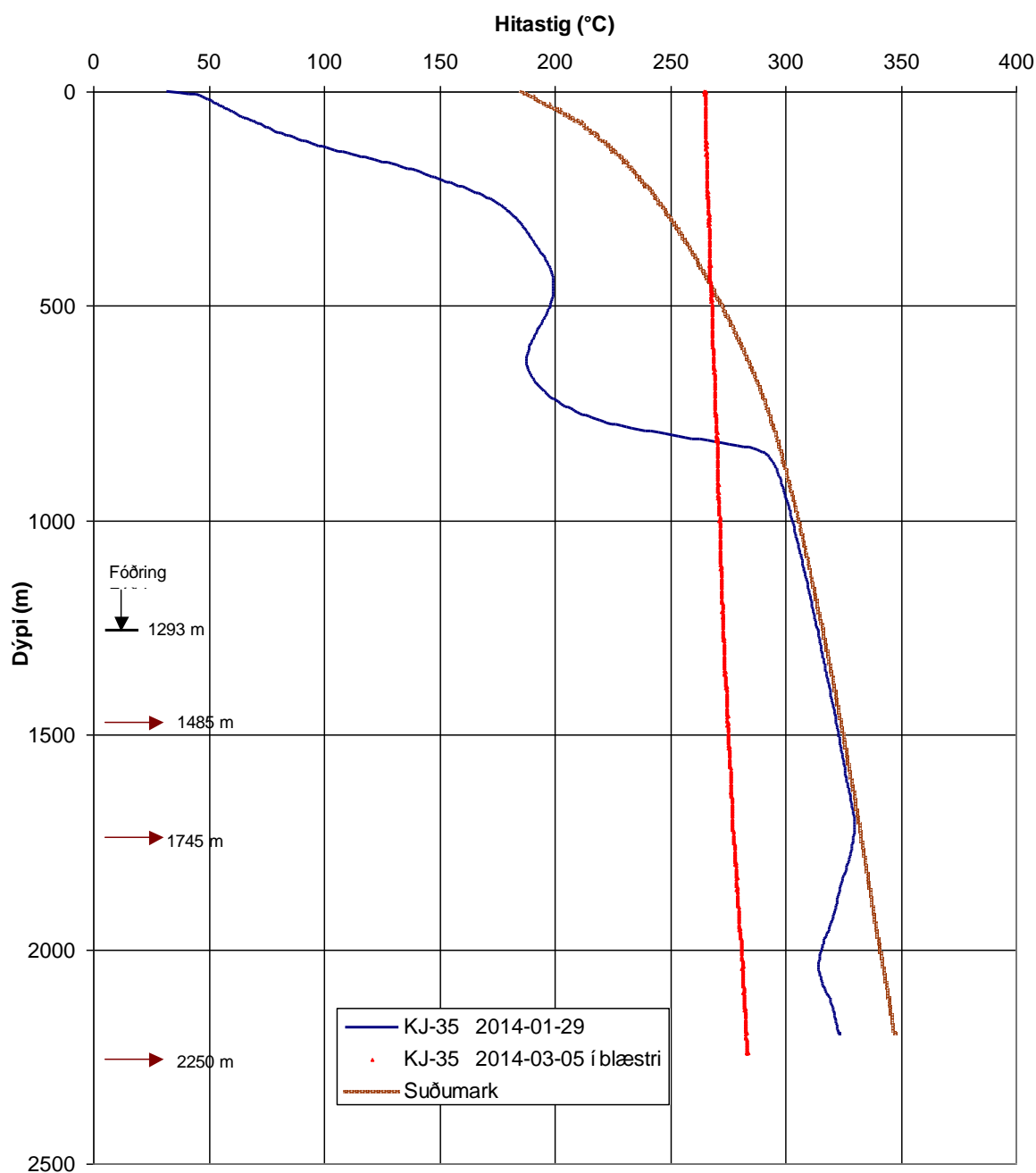
Holan var hita- og þrýstilóðuð fyrir blástursprófun og síðan aftur þegar hún blés í gegnum 40 mm stjórnblendu. Toppþrýstingur var þá um 49 bar, holurennslí 8,9 kg/s og vermið 2408 kJ/kg. Aðalæð holunnar eftir borun var talin vera á 2250 m dýpi. Samkvæmt þessum mælingum er hún treg þrátt fyrir hreinsunina og þrýstifall inn í holuna mælist tæplega 100 bar. Aðrar æðar svo sem á 1485 og 1745 m dýpi eru ekki heldur að gefa mikið.

Samkvæmt hitalóðningu fyrir upphleypingu nær kalda efra kerfið, sem er um 200 °C heitt, niður á um 800 m dýpi, en fóðringin sem nær á 1293 m lokar það af. Holuhitinn var við suðumark niður að æðinni á 1745 m dýpi. Þar fyrir neðan er ferillinn viðsnúinn en hitinn hækkaði aftur niður að æðinni á 2250 m dýpi. Ekki var talið óhætt að fara dýpra því þar fyrir neðan var talið að leiðarinn væri mikið skemmdur og hætta á að festa mæliprópunna.

Í blæstri var hitastig við suðuhita vatns við mældan þrýsting og engin yfirhitun mældist í holunni.



Mynd 5. Þrýstingur í KJ-35 fyrir blástur og í blæstri.



Mynd 6. Þrýstingur í KJ-35 fyrir blástur og í blæstri.

4 Efnasamsetning

Sex heilsýni voru tekin á meðan á blástursprófun stóð og voru fjögur sýni valin úr, eitt fyrir hverja blendustærð. Samsetning gufu og vatns reiknuð við skiljuþrýsting 8 bar-abs er sýnd í töflu 2.

Fylgst var með sýrustig vatnsins sem rann frá holunni, því talið var mögulegt að súr gufa úr djúpum yfirhituðum æðum myndi streyma inn í holuna. Sýrustigið var hátt allan tímann og ekki hægt að merkja slíkt innstreymi í holuna.

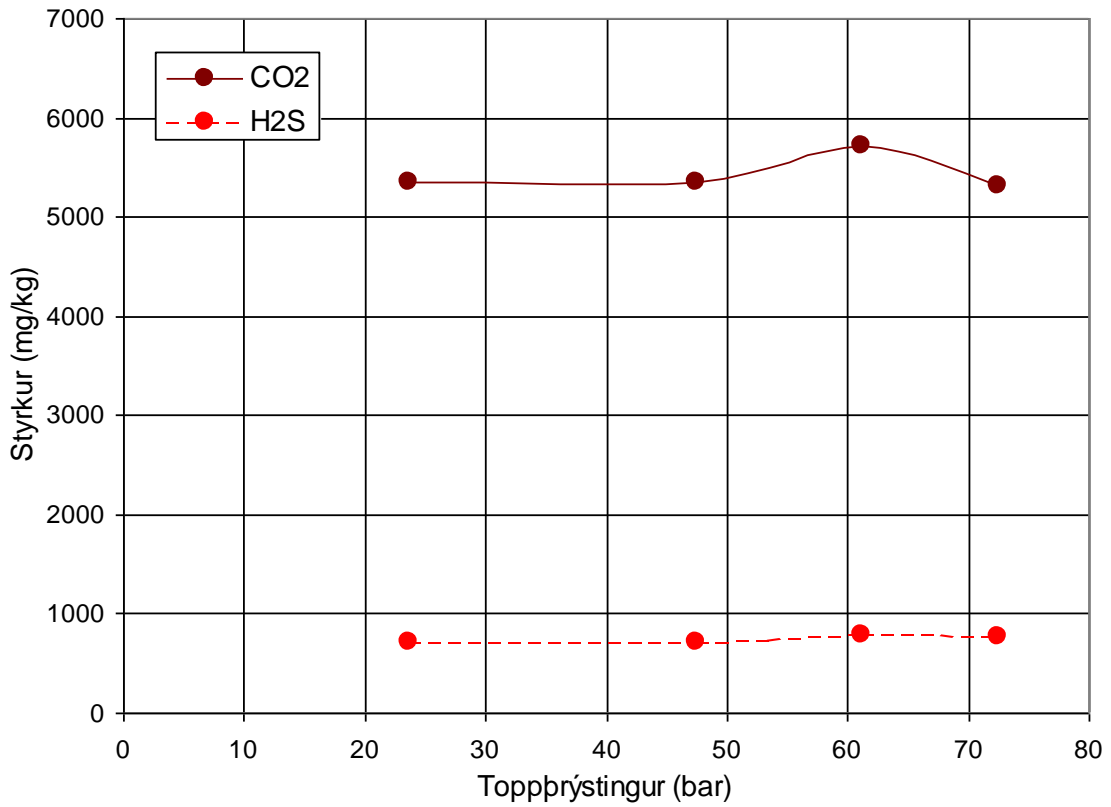
Með því að herða að holunni og hækka toppþrýsting var hugmyndin að stjórna innstreyminu í holuna. Ekki var hægt að sjá fyrirfram hvernig slíkt myndi virka. Mögulegt var að við hærri þrýsting myndi streymi úr vatnsríkum grunnum holum (1485 og 1745m) minnka hlutfallslega og efnasamsetning gufu og vatns úr holunni breytast.

Styrkur koldíoxíðs (CO_2) og brennisteinsvetnis (H_2S) breyttist ekki við hækkanði holutoppþrýsting eins og sést á mynd 7. Hugsanlega hafði þrýstingurinn ekki áhrif á hlutfallslegt rennsli úr æðunum en einnig er mögulegt að gasstyrkurinn sé svipaður í öllum æðum.

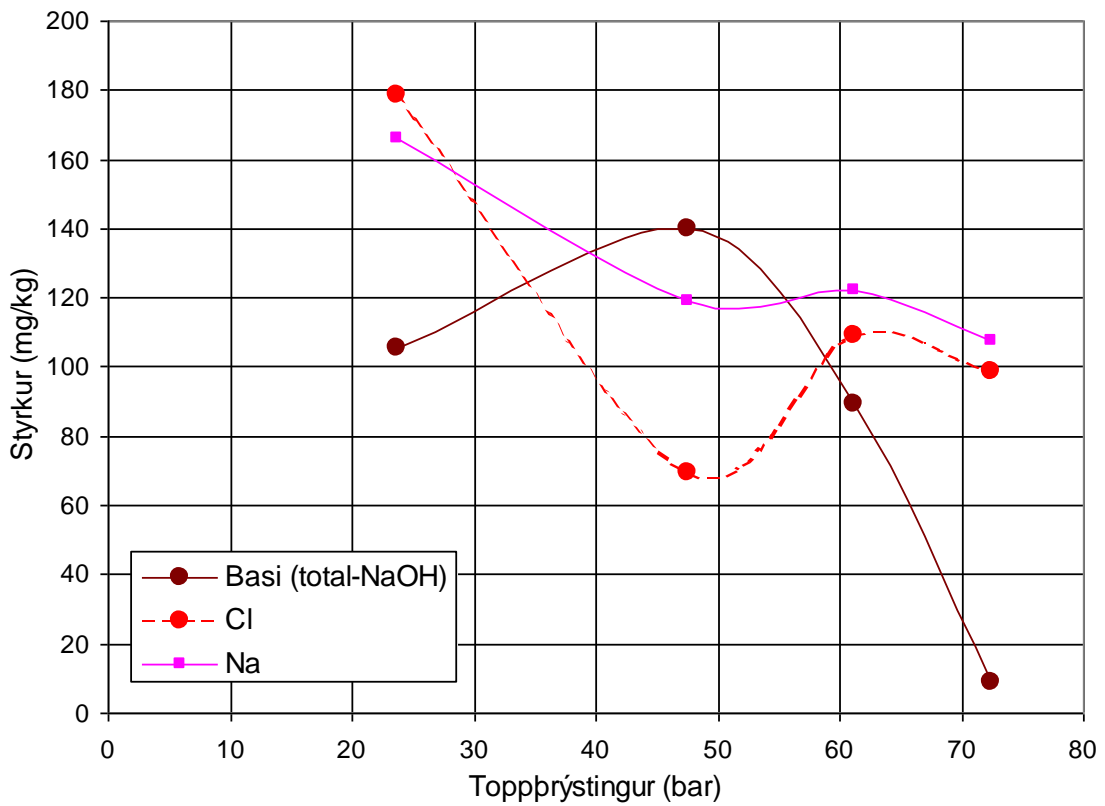
Meiri munur var á efnasamsetningu vatnsfasa eftir holutoppþrýstingi. Mest áberandi var mikil minnkun í styrk basa í vatninu við háan þrýsting. Þetta sést vel á mynd 8. Hugsanlega er þetta merki um innstreymi sýru í holuna sem þá væri líklegast saltsýra (HCl). Styrkur klóríðs (Cl) í vatninu eykst þó ekki samsvarandi. Hafa ber í huga að sýnin sem sýnd eru á mynd 8 eru ekki í tímaröð og getur það skekkt myndina. Sýni við lágstan þrýsting var tekið í lokin og var styrkur allra efna nokkuð hærri í vatnsfasanum, sem hugsanlega má skýra með uppsuðu vökva sem streymdi að holunni.

Tafla 2. Blástursprófun KJ-35. Efnasamsetning vatns og gufu.

Tími		2014-03-04	2014-04-09	2014-05-28	2014-07-08
Sýni númer		14016	14035	14058	14107
Toppþrýstingur	bar	47,5	61,2	72,4	23,7
Vermi	kJ/kg	2408	2384	2346	2488
Rennsli	kg/s	8,9	7,1	5,6	9,2
Skiljuþrýstingur (abs)	bar	8,01	8,01	8,01	8,01
Skiljuhitastig	°C	170,4	170,4	170,4	170,4
Gufurennisli	kg/s	7,34	5,77	4,45	7,94
CO ₂	mg/kg	5345	5719	5309	5352
H ₂ S	mg/kg	715	786	766	717
H ₂	mg/kg	27,4	28,4	22,4	25,9
N ₂	mg/kg	36,9	35,2	23,1	29,6
CH ₄	mg/kg	15,94	15,41	11,54	14,55
Ar	mg/kg			7,92	2,19
Vatnsrennsli	kg/s	1,56	1,33	1,15	1,26
pH/25°C		8,83	8,57	6,73	8,65
Basi (total-NaOH)	mg/kg	140	89	9	105
CO ₂	mg/kg	50,4	35,1	7,1	37,2
H ₂ S	mg/kg	25,8	18,3	3,3	18,9
SiO ₂	mg/kg	869,4	834,4	752,9	1013,2
Li	mg/kg	0,34	0,39	0,34	0,51
Na	mg/kg	118,9	122,3	107,7	166,2
K	mg/kg	27,3	24,7	25,5	33
Ca	mg/kg	0,25	0,17	0,18	0,42
Mg	mg/kg	0,001	0,063	0,026	0,031
Fe	mg/kg	0,012	0,113	0,032	0,055
Mn	mg/kg	<0,001	0,013	0,016	0,019
Ba	µg/kg	0,389	0,436	0,856	1,02
Sr	mg/kg	<0,001	<0,001	<0,001	0,002
Al	mg/kg	1,495	1,108	0,932	0,694
F	mg/kg	1,68	1,44	1,38	2,21
Cl	mg/kg	69,2	109,3	98,5	178,6
Br	mg/kg	0,14	0,17	0,24	0,44
SO ₄	mg/kg	5	17,5	10,6	8,4
B	mg/kg	2,67	2,51	2,66	3,86
P	mg/kg	<0,001	<0,001	0,006	<0,002
Hg	µg/kg	<0,002	0,008	<0,002	<0,002
Zn	µg/kg	0,77	1,16	1,24	1,28
Cu	µg/kg	0,15	0,48	0,14	0,12
Cr	µg/kg	0,06	0,08	0,03	0,02
Ni	µg/kg	0,07	0,1	0,43	0,2
Mo	µg/kg	4,44	4,66	0,2	0,06
Cd	µg/kg	0,005	0,006	0,007	<0,002
Pb	µg/kg	<0,01	0,014	<0,01	<0,01
As	µg/kg	54,1	68,7	15,2	5,4



Mynd 7. Blástursprófun KJ-35. CO₂ og H₂S í gufu.



Mynd 8. Blástursprófun KJ-35. Basi, Na og Cl í vatni.

5 Samantekt

Hola KJ-35 var blástursprófuð eftir borun árið 2007 og höfðu afköstin minnkað um nær helming þegar holunni var lokað eftir sex mánuði. Talið er líklegt að kísill hafi stíflað djúpæðina þegar holan blés á lágum þrýstingi. Holan var hreinsuð í ágúst 2008 og kom í ljós að leiðari var tærður og með útfellingum. Holan var aðallega stífluð neðan við aðalæðina á 2250 m dýpi en einnig varð vart við minniháttar fyrirstöður ofar í holunni. Holan stóð lokuð eftir það enda ekki ljóst hvernig reka ætti holuna með betri árangri.

Byggt á reynslu af holu IDDP-1 var talið reynandi að reka holuna á hærri þrýstingi en 70 bar og koma þannig í veg fyrir að gufuborinn kísill myndi falla út og stífla holuna.

Holan var því blástursprófuð vorið 2014. Afköstin voru mæld, holan var hita og þrýstilóðuð og sýni tekin við breytilegan toppþrýsting.

Holan náði ekki sömu afköstum og strax eftir borun þrátt fyrir að hafa verið hreinsuð nánast í botn. Holan afkastar innan við 2 MW við toppþrýsting yfir 70 bar sem er of lítil afköst til þess að hagkvæmt sé að tengja holuna við Kröflustöð.

Samkvæmt hitalóðningu í blæstri við 49 bar toppþrýsting var hitastig við suðuhita vatns við mældan þrýsting og engin yfirhitun í holunni.

Gasstyrkur í gufu breytist ekki með hækkandi toppþrýstingi.

Styrkur basa í vatni jókst með hækkandi toppþrýstingi sem bendir til innsteymi síru í holuna.

Þegar holan blæðir við háan þrýsting verður holan vatnslaus niður fyrir æð sem er talin vera á 1745 m dýpi.

6 Heimildir

Trausti Hauksson (2008). *Sýnataka úr holu KJ-35 í Kröflu*, 7 s.

Niels Giroud, Halldór Ármannsson og Magnús Ólafsson (2008). *Hola KJ-35 í Kröflu. Efnasamsetning vökva og gufu í blástursprófun haustið 2007*. ÍSOR 08056, 8 s.

Anette K. Mortensen, Auður Ingimarsdóttir, Þorsteinn Egilson, Þráinn Friðriksson og Magnús Ólafsson 2008. *Hola KJ-35 í Kröflu. Hreinsun holunnar í ágúst 2008*. LV-2008/202, 47 s.

Hauksson, T., Markússon S.: *Silica in superheated steam of the IDDP-1 exploratory geothermal well in Krafla. Experimental study. IDDP-1 Flow test 2010-2012*. Landsvirkjun LV-2013-050, p. 299-332. (2013).



Landsvirkjun

Háaleitisbraut 68
103 Reykjavík
landsvirkjun.is

landsvirkjun@lv.is
Sími: 515 90 00

