



ÁRSSKÝRSLA  
ANNUAL REPORT  
2014



# Efnisyfirlit

## Contents

Nærmynd ÍSOR	3
Profile	
Ávarp stjórnaformanns	4
Chairman of the Board	
Ráðgjöf byggð á rannsóknum og þekkingu	6
Consultancy Based on Research and Knowledge	
Rekstur ÍSOR	8
Financial Statements	
Háhití	10
Geothermal Energy	
Lághiti og náttúrufar	16
Natural Resources	
Kennsla og þróun	22
Geothermal Training	
Verkefni erlendis	24
Projects Worldwide	
Útgefið efni	28
Publications	
Fólkið okkar	30
Our People	
Borhola	31
Well	

Verkefnisstjórn og umbrot /Project leader and layout: Brynja Jónsdóttir.  
Yfirlestur/Reviewed by: Hrafnhildur Harðardóttir, Pórólfur H. Hafstað.

Enskur texti/English: Björn S. Harðarson, Ishbel Macdonald.

Prentun/Printing: Svansprent.

ISBN: 978-9979-780-98-4.

Ljósmyndir í skýrslunni eru teknar af starfsfólk ÍSOR  
nema annað sé tekið fram.

Photographs were taken by the staff of Iceland GeoSurvey,  
unless committed.

Forsíða: Kisaki-Mtende jarðhitasvæðið í Morogoro-héraði í Tansaníu.  
Ljósmynd Gylfi Páll Hersir.

Cover: The geothermal area Kisaki-Mtende in Morogoro, Tanzania.  
Photo Gylfi Páll Hersir.



# Jarðvísindarannsóknir, kennsla og þjónusta í sjö áratugi

## Seven Decades of Scientific and Technical Services

Jarðfræðikortlagning - Jarðeðlisfræðilegar mælingar - Jarðefnafræði

Ráðgjöf við boranir - Borholumælingar

Mat á jarðhitaforða - Stýring jarðhitavinnslu

Umhverfisrannsóknir - Grunnvatnsrannsóknir

Mannvirkjajarðfræði - Hafsbotsrannsóknir

Kennsla og þjálfun

Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR, eru sjálfstæð ríkisstofnun sem heyrir undir umhverfis- og auðlindaráðuneytið. Starfsemin byggist á þekkingu sem fengin er með rannsóknum, öflun gagna og þróun tækni og aðferða. ÍSOR starfar á samkeppnisforsendum með hagkvæmar lausnir og virðingu fyrir umhverfi og samfélagi að leiðarljósi.

Geothermal Exploration

Drilling Consultancy - Well Testing and Evaluation - Geothermal Logging

Resource Assessment - Resource Management

Environmental Impact Assessment - Groundwater

Engineering - Offshore

Geothermal Training

Iceland GeoSurvey, ÍSOR, is an independent state-owned institute, providing data compilation and development of technologies and techniques based on expertise and research. ÍSOR operates on a competitive basis with cost-effective solutions in harmony with the environment and community.

# Ávarp stjórnarformanns Chairman of the Board

Sigrún Traustadóttir  
stjórnarformaður  
Chairman of the Board



Árið 2014 markaði tímamót í fjárhagslegri sögu ÍSOR. Starfsemin nú var rekin með hagnaði í fyrsta sinn eftir efnahagshrunið 2008 en hafði frá þeim tíma einkennst af ótryggum markaði innanlands og miklum samdrætti í tekjum. Þessi árangur náðist þrátt fyrir að engar háhitaholur hafi verið boraðar hér á landi á árinu í fyrsta sinn um áratugaskeið en ÍSOR hefur haft verulegar tekjur af þjónustu við slíkar boranir.

Markaðsöflun erlendis var haldið áfram á árinu og hefur hlutfall erlendra tekna aukist úr 8% árið 2008 í 38% á árinu 2014. Þetta þýðir að umsvif á erlendri grundu hafa rúmlega fjórfaldast og aldrei verið meiri í íslenskum krónum talið. Heildarvelta ÍSOR jókst um tæp 13% milli ára og var um 1.234 m.kr. og hagnaður nam um 4,8 m.kr. á árinu. Fjárhagsstaða ÍSOR er sterk. Eiginfjárlutfall er 66% og veltufjárlutfall um 2 og er það vel viðunandi. Rekstrarniðurstaðan er í samræmi við áætlun sem gerð var í upphafi árs og þau fjárhagslegu markmið sem ÍSOR setti sér. Þetta er sérstaklega

ánægilegur viðsnúningur og til marks um þann mikla kraft og árangursþörf sem býr í mannauði ÍSOR.

Öflugt markaðsstarf erlendis undanfarin ár hefur skilað þeim árangri að ÍSOR er orðið vel þekkt í hinum alþjólega jarðhitahelmi. Það hefur leitt til þess að nýir viðskiptavinir leita mun meira til ÍSOR en áður; viðskiptavinir leita fremur að ÍSOR en ÍSOR að þeim. Verkefni innanlands eru ekki síður mikilvæg en verkefni erlendis. Innlend verkefni eru grunnur að þeirri þekkingu sem ÍSOR miðlar á erlendri grundu. Mikilvægt er að rannsóknnum innanlands verði haldið áfram og þær efldar til að viðhalda og auka þekkingu. Leita þarf leiða til að fjármagna slíkar rannsóknir en rekstur ÍSOR miðast við að stofnunin hafi þjónustutekjur fyrir allri sinni starfsemi.

Í byrjun árs voru gerðar breytingar á skipuriti ÍSOR með það að markmiði að aðlaga reksturinn að breyttum markaðsforsendum. Deildum var fækkað úr sjö í fjórar og tveir nýir deildarstjórar ráðnir.

Leitast er við að byggja meiri sveigjanleika inn í starfsemina til að takast á við sveiflur í eftirspurn. Vel hefur tekist til við þessar breytingar.

Á árinu veitti Alþjóðajarðitasambandið (IGA) í fyrsta sinn verðlaun fyrir bestu fræðigreinar um jarðhita í viðurkenndum vísindaritum á sl. 5 árum. Veittar voru tvær viðurkenningar og komu þær báðar í hlut starfsmanna ÍSOR. Þetta er til marks um hinn mikla fræðilega styrk stofnunarinnar og þekkingu tengda rannsóknum á jarðarma sem áunnist hefur í starfi ÍSOR á undanförnum árum og áratugum. Viðurkenningar sem þessar hafa mikil að segja og virka sem hvatning um að halda áfram á sömu braut.

Það hefur verið ánægjulegt og lærðómsríkt fyrir stjórn ÍSOR að vinna með starfsmönnum og stjórnendum stofnunarinnar og vil ég þakka þeim vel unnin störf og afar gott samstarf á árinu.





Ingvi Már Pálsson



Guðrún Helga Brynleifsdóttir



Svanfríður Jónasdóttir



Sveinbjörn Björnsson

Stjórn ÍSOR  
Board of Directors  
2010-2015

The year 2014 saw a major milestone in the financial history of ÍSOR. The business was managed profitably for the first time since the Iceland economic collapse in 2008, although the intervening years were characterized by a fluctuating domestic market and a sharp decline in revenue. The increase last year was achieved despite the fact that no high temperature wells were drilled in Iceland. This had not occurred for decades, but ÍSOR has had significant revenue from servicing such drilling.

Marketing abroad continued throughout the year and the proportion of foreign revenues increased from 8% in 2008 to 38% in 2014. This means that the activity abroad has more than quadrupled and never been higher in local currency terms. ÍSOR's total turnover increased by 13% year on year and was 1,234 million Ikr, with the net profit amounting to 4.8 million during the year. Financially ÍSOR is robust. The equity ratio is 66% and the current ratio is standing at 2, which is quite satisfactory. Operating results were in line with forecasts set at the beginning

of the year and in accordance with ÍSOR's financial goals. This is a particularly gratifying turnaround and symptomatic of the great skill and pursuit of excellence from the staff of ÍSOR.

Diligent marketing efforts abroad in recent years, have boosted the international reputation of ÍSOR in the geothermal community, and have led to significant increase in new customers seeking ÍSOR's services. Domestic projects are no less important than international ones. Domestic undertakings provide the foundation for the knowledge which ÍSOR then disseminates abroad. It is of great importance that the research we pursue in Iceland continues and is increased in order to maintain and improve our knowledge. Funding must be accessed for this research, since even as a state-owned institute, ÍSOR operates on a commercial basis, without any budget allocations.

At the beginning of 2014, changes were made to the organizational structure of ÍSOR with the aim of adapting its operations to the change in market

circumstances. Departments were reduced from seven to four, and two new heads of department were commissioned. Efforts were made to build more flexibility into the operations to respond to fluctuations in demand for our services. These changes have been very successful.

In 2014 for the first time, the International Geothermal Association (IGA) presented an award for the best papers published in mainstream academic journals in the past 5 years. Two awards were granted, and both were received by employees of ÍSOR. This is indicative of the strong theoretical base of the institute, and the depth of knowledge gained from research in the geothermal sciences by ÍSOR staff over recent years and indeed over decades. Such recognition for the value of research acts as an incentive to continue and expand new work in the future.

It has been a pleasure and instructive for the ÍSOR Board to work with the staff and management of the institution, and I would like to thank them for the excellent work and very good cooperation during the year.



# Ráðgjöf byggð á rannsóknum og þekkingu



ÍSOR tók þá ákvörðun fyrir um tveimur árum að breyta áherslum í markaðsstarfi sínu erlendis. Í stað þess að leita aðallega eftir stærri verkefnum, sem fela í sér mælingar og rannsóknarvinnu í tengslum við jarðhitaleit og jarðhitavinnslu, skyldi leggja áherslu á að fá verkefni sem lúta að mati á og umsjón með verkefnum, gæðaeftirliti og ráðgjöf. Grundvöllur þessarar ákvörðunar var sá að ÍSOR þurfti að velja um hlutverk í verkefnum sínum fyrir Próunarsamvinnustofnun Íslands (PSSÍ) á sviði jarðrita. Sú ágæta stofnun hafði þá, til viðbótar við framlag Íslands, tekið að sér að stýra fjármunum sem erlendar stofnanir vörðu til uppbryggingar jarðhitavinnslu til að mæta orkuþörf þróunarríkja. Við það urðu jarðhitapróunarverkefni í umsjá PSSÍ mun stærri og umfangsmeiri og framkvæmd rannsókna varð að bjóða út. Þar með gat sami aðili ekki orðið ráðgjafi við forkönnun, útboð, eftirlit með rannsóknum og samhæfingu niðurstaðna en jafnframt boðið í rannsóknarvinnuna. Fyrnefndi hlutverkið krefst mikillar yfirsýnar og sterkrar þekkingar á öllum sviðum jarðhita meðan hið síðarnefnda krefst fremur þekkingar við framkvæmd tiltekinna jarðvísindarannsókna og úrvinnslu þeirra. ÍSOR var því nokkur vandi á höndum því það hafði burði og getu til að takast á við hvort hlutverkið sem var. Niðurstaðan var að velja ráðgjafarhlutverkið. Aðalástæðan var sú að þannig myndi yfirgrípsmikil þekking ÍSOR og tengsl við jarðhitageirann um víða veröld nýtast best fyrir Próunarsamvinnustofnun og samstarfsaðila hennar og stuðla best að sjálfbærri orkuvinnslu í þróunarríkjum sem búa yfir nýtanlegum jarðhita.

Þessi ákvörðun hefur reynst farsael. Í kjölfarið hefur orðspor ÍSOR á þessum sviðum borist út meðal fjárfesta og annarra sem þurfa að fá álit eða mat á jarðhitaverkefnum og kanna áreiðanleika áætlana og gagna. Verkefnum á þessum sviðum hefur fjölgæð verulega undanfarið og átt ríkan þátt í því að ÍSOR var árið 2014 rekið með smávegis rekstrarhagnaði í fyrsta sinn síðan 2008, þátt fyrir að engar háhitaboranir hefðu verið í gangi á árinu á Íslandi. Jafnframt hefur áhugi ymissa fyrirtækja á samstarfi við ÍSOR um að bjóða í ymiss konar rannsóknarvinnu farið vexandi. Hið sama gildir um spurnum eftir kennslu og þjálfun sem er veigamikill þáttur í starfi ÍSOR. Verður ekki annað séð en nokkuð bjart sé framundan hjá ÍSOR í erlendum verkefnum.

Við vinnu í þróunarlöndum leitast ÍSOR jafnan við að starfa með heimamönnum, kenna þeim til verka í jarðhitarannsóknum og skilja þannig eftir þekkingu í viðkomandi landi sem nýtist því á braut framfara til bættra lífskjara. Stundum ber á því að þetta viðhorf sé gagnrýnt með þeim rökum að ekki sé skynsamlegt að kenna samkeppnisaðilum framtíðar það sem við kunnum. ÍSOR ætti að halda í þekkinguna fremur en að dreifa henni. Að mínum dómi er sú leið ekki skynsamleg. Besta leiðin til framfara er að þekkingu sé miðlað og til lengdar mun aldrei ganga að ætla sér að einoka þekkingu. Miðlun þekkingar gengur hins vegar ekki til frambúðar nema sífellt sé aukið við hana með rannsóknum. Þannig þarf fyrirtæki eins og ÍSOR að byggja starf sitt á virkum rannsóknum og stöðugri öflun nýrrar þekkingar. Án grunnrannsókna og þróunar mun ÍSOR fljótt staðna og grundvöllur ráðgjafarstarfseminnar veikjast.

Á liðnu ári fóru um 14% vinnutíma starfsmanna ÍSOR til grunnrannsókna og þróunar sem samtals kostuðu um 130 m.kr. Þessa fjármuni þarf ÍSOR að finna með einhverjum hætti. ÍSOR fær ekkert fé á fjárlögum, hvorki til rannsókna né þjónustu við hið opinbera, en hefur þó tekist að fjármagna grunnrannsóknir sínar eftir ymsum leiðum. Þar vega samkeppnis-sjóðir þyngst, aðallega þeir styrkir sem fengist hafa úr rammaáætlunum Evrópusambandsins á sviði vísinda og tækni og jarðhitarannsóknarklasanum GEORG sem er styrktur af Rannís. Þá fer hluti af andvirði útseldrar vinnu ÍSOR til rannsókna og þróunar og sum verkefnanna hafa notið stuðnings orkuþyrtækja landsins. Þá nýtist sú vinna sem sérfræðingar ÍSOR nota við leiðsögn framhaldsnema einnig til að efla þekkinguna.

ÍSOR byggir þó þekkingu sína á jarðhita langmest á þeirri miklu og góðu reynslu sem fengist hefur við árangursríka jarðhitanytingu á Íslandi í gegnum árin. Þess vegna skiptir heimamarkaðurinn miklu máli fyrir ÍSOR og aðra sem flytja út þekkingu á þessu sviði. Án samfelldra verkefna á Íslandi myndi smáum saman fjara undan starfseminni. Í 70 ár hefur ÍSOR unnið sleitulaust að uppbryggingu jarðhitanytingar á Íslandi og verið burðarás rannsóknanna sem leitt hafa af sér umhverfisvænar hitaveitur, sem ná til um 90% landsmanna, og afmiklar jarðgufustöðvar. Árangur Íslands á sviði nýtingar endurnýjanlegra orkulinda, einkum jarðhita, er það sem heldur merki landsins á lofti í alþjóðasamfélagitum umfram annað. Það er sá árangur sem ÍSOR miðlar af til annarra og skapar um leið orðstír og atvinnu en stuðlar jafnframt að umhverfisvænni orkuframleiðslu og batnandi lífskjörum meðal fátækra þjóða.

# Consultancy Based on Research and Knowledge

Two years ago ÍSOR decided to change the focus of its marketing efforts abroad. Rather than looking primarily for larger projects, including geothermal logging and research in connection with exploration and exploitation, we concentrated on assessment and management of projects, quality control and consultancy. The decision was prompted by the need to select a role in assignments for The Icelandic International Development Agency (ICEIDA) in the field of geothermal energy. This outstanding organization has, in addition to the financial contribution of Iceland, undertaken to manage funds also provided by foreign organizations, specifically for the development of geothermal energy to meet the needs of developing countries. Consequently, geothermal development projects progressed by ICEIDA became larger and more wide-ranging, making it necessary to find a partner in the area of research. Obviously, ÍSOR could not become a consultant to the preliminary assessment, tendering, monitoring and coordination of research results, and also bid for the research work itself. The former role entails a broad perspective and detailed knowledge of all aspects of geothermal energy, whilst the latter requires knowledge of the implementation of specific geological research and data processing. ÍSOR has the capacity and know-how to deal with both roles, but in the event chose the consultancy task. It was felt that the extensive knowledge within ÍSOR, and our connections with the geothermal energy sector worldwide, would best serve ICEIDA and its associates in the promotion of sustainable energy, in those developing countries where usable geothermal resources exist.

This decision has proven to be rewarding. As a result, the reputation of ÍSOR in these fields has received substantial attention

amongst investors and others, who are investigating the reliability of project plans and data, or who seek evaluation and advice. Opportunities in these areas have increased considerably recently, and have played a significant role in ÍSOR's ability to produce an operating profit for the first time since 2008, despite the lack of high temperature geothermal drilling. Furthermore, there has been increased interest shown from several companies in collaborating with ÍSOR to bid for various research projects. The same can be said of the rising demand for education and training, which is an important aspect of our work. It seems that the future is bright for ÍSOR in foreign projects.

When working in the developing world, our policy is always to work in collaboration with local companies providing training in geothermal practices, and thereby leaving a legacy of understanding and knowledge, which will be a route towards improved living conditions and sustainable development. At times the criticism has been made, that it is may be unwise to arm future competitors with our hard-won know-how; ÍSOR should retain its expertise, rather than sharing it. In my opinion, this is a blinkered vision. In order to progress, knowledge should be shared and cannot be monopolized. Thus active research and continuous acquisition of new knowledge is the life blood of a company like ÍSOR. Without basic research and development the foundation of our consultancy and expertise would quickly stagnate and decay.

ÍSOR strives with all its might to build an ever stronger base from fundamental research. Last year, our employees spent 14% of their working hours perusing basic research and development, with a total cost of 130 million Icelandic krona. As we do not receive funds from the state budget, neither for research

nor for services to the state sector, this funding must be found in some other way. Basic research has been financed by various means, mainly from competitive research grants, in particular from the EU Framework Programme for research and technical development and from the geothermal research cluster GEORG, which is supported by the Science and Technology Council in Iceland. In addition, some of the revenue for ÍSOR's contract work is allocated to research and development and various research has been supported by Icelandic energy companies. Postgraduate training provided by specialists at ÍSOR also contributes to the promotion of knowledge.

Finally, ÍSOR has built its knowledge of geothermal energy on the extensive and detailed experience gained by successful development of geothermal energy in Iceland itself. Therefore, the domestic market is very important for ÍSOR and other companies which export knowledge in this field. Without the continuation of projects in Iceland, our operations would gradually decline. ÍSOR has worked tirelessly for 70 years to build up geothermal development in Iceland and has been the foundation of studies which have led to environmentally friendly district heating, covering about 90% of the population, and crucial high temperature geothermal power plants. The success of Iceland in the use of renewable energy, particularly in the harnessing of geothermal energy, has created in the international community, the reputation of a country at the forefront of a progressive modernity. ÍSOR strives to share this progress with others by contributing to the expansion of environmentally friendly energy production and improved living standards and employment amongst the poorer nations.

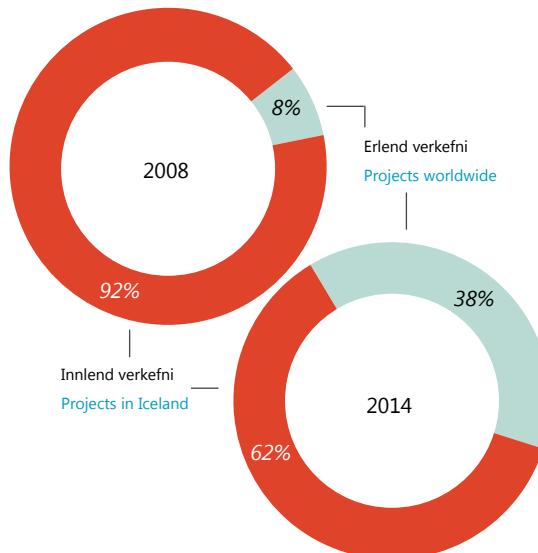
# Rekstraryfirlit fyrir árið

Guðrún Erlingsdóttir  
fjármálastjóri  
Financial Manager



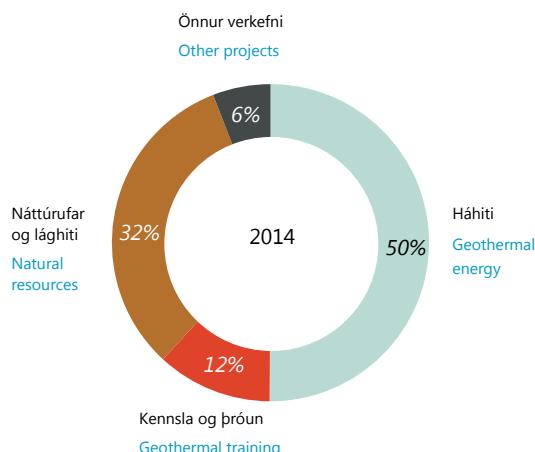
## Vöxtur í umfangi erlendra verkefna

Hlutur erlendra verkefna í heildarsölu ÍSOR hefur vaxið mikið á árunum 2008 til 2014. Umfang þeirra hefur riflega fjórfaldast á þessu árabili og hlutfall í heildarveltu vaxið úr 8% 2008 í 38% 2014.



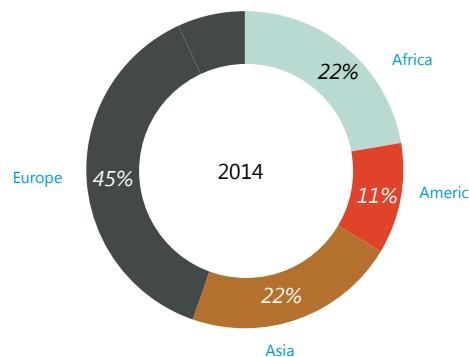
## Skipting veltu ÍSOR

ÍSOR byggir starf sitt á þremur máttarstólpum; rannsóknum, ráðgjöf og kennslu og þjálfun. Heildarveltu má skipta í verkefni á sviði háhita, kennslu og þróunar og lághita og náttúrufars. Verkefni á sviði háhita eru umfangsmest í starfsemi ÍSOR, eða um 50% árlegrar veltu.



## Skipting erlendra verkefna

Stærsti hluti erlendar veltu ÍSOR á árinu 2014 er vegna verkefna í Evrópu, eða 45%. Þar vega þyngst áhrif umfangsmikils alþjóðlegs verkefnis sem styrkt er af 7. ramma-áætlun ESB. Þá vega verkefni í Afríku og Asíu einnig þungt í erlendri veltu ÍSOR, eða samtals 44%.



## Growth in Foreign Projects

The share of foreign projects in ÍSORs' total sales grew extensively during the years 2008-2014. In 2014 projects abroad increased fourfold as compared to 2008 and their contribution to the total turnover of the company grew from 8% in 2008 to 38% in 2014..

## ÍSORs' Turnover

ÍSORs' business rests on three pillars; research, consultancy and teaching. The structure of our turnover is comprised of geothermal energy, the study of natural resources and geothermal training. Projects based on geothermal energy are by far the most important, covering as much as 50% of ÍSORs' operations in 2014.

## Breakdown of Foreign Projects

As much as 45% of ÍSORs' foreign turnover in 2014 came from projects in Europe. This is mainly due to an extensive project which is sponsored by a European framework programme. Projects in Africa and Asia also make a large contribution to our foreign turnover since they constitute 44% of the yearly total in 2014.

# Financial Statements for the Year

		2014	2013
<b>Rekstrarreikningur (þús. kr.)</b>	<b>Income statement (ISK thousands)</b>		
Rekstrartekjur	Operating revenues	<u>1.234.503</u>	<u>1.094.146</u>
Rekstrargjöld	Operating expenses	1.190.589	1.051.518
Afskriftir	Depreciation	39.778	41.721
		<u>1.230.367</u>	<u>1.093.239</u>
Rekstrarhagnaður (tap) fyrir fjármagnsliði	Operating profit (loss) before financial expenses	4.136	907
Fjármagnstekjur (gjöld)	Net financial income	655	(6.490)
<b>Hagnaður (tap) ársins</b>	<b>Net profit (loss)</b>	<b>4.791</b>	<b>(5.583)</b>
<b>Efnahagsreikningur (þús. kr.)</b>	<b>Balance sheet (ISK thousands)</b>		
Fastafjármunir	Fixed assets	154.520	117.888
Veltufjármunir	Current assets	313.294	438.213
<b>Eignir alls</b>	<b>Total assets</b>	<b>467.814</b>	<b>556.101</b>
Eigið fé	Total equity	311.073	306.282
Skammtímaskuldir	Liabilities	156.741	249.819
<b>Eigið fé og skuldir alls</b>	<b>Total liabilities and equity</b>	<b>467.814</b>	<b>556.101</b>
<b>Sjóðstreymi (þús. kr.)</b>	<b>Cash flow (ISK thousands)</b>		
Veltufé frá rekstri	Working capital from operating activities	48.069	41.337
Breytingar á rekstrartengdum eignum og skuldum	Cash provided by operating activities	(70.273)	68.114
Fjárfestingahreyfingar	Cash flows from investing activities	(79.910)	(61.141)
<b>Hækjun (lækkun) á handbæru fé</b>	<b>Free Cash flow</b>	<b>(102.114)</b>	<b>48.310</b>
<b>Kennitölur</b>	<b>Key figures</b>		
EBITDA	EBITDA	43.914	42.628
EBITDA-hlutfall	EBITDA ratio	3,6%	3,9%
Eiginfjárlutfall	Equity ratio	66,5%	55,10%
Arðsemi eigin fjár	Return on Equity	1,6%	-1,8%



# Háhit Geothermal Energy

Benedikt Steingrímsson  
sviðsstjóri / Director



**Rannsóknir og þekking á jarðhitasvæðum er nauðsynleg til að viðhalda framþróun og mæta þörfum samfélagsins um endurnýjanlega orku og sjálfbæra nýtingu þeirra**

## Jarðhitaleit og afmörkun jarðhitakerfa

Viðnámsmælingar eru ein helsta aðferðin sem beitt er við jarðhitaleit og afmörkun háhitakerfa. Mælingar fóru fram á Reykjaneseskaga síðasta sumar frá Sandvík yfir Reykjanes og Eldvörp og austur yfir Svartsengi. Þríviddartúlkun af viðnámsgögnum var unnin. Þá var einnig viðnámsmælt á Norðausturlandi frá Upptyppungum að Öskju og í Holuhrauni, eftir að eldgosið hófst.

## Umhverfisvöktun

ÍSOR sinnir reglulegu eftirliti á vinnslusvæðum Landsvirkjunar og HS Orku og fyrir Orkuveitu Reykjavíkur og Orku náttúrunnar. Megináherslan er að fylgjast með hita- og þrýstingsbreytingum í jarðhitakerfum vegna vinnslu úr þeim og efnabreytingum á jarðhitavökvanum. Þá er einnig fylgst með massabreytingum í jarðhitakerfunum með þyngdar- og GPS-mælingum. Þannig er fylgst með hversu mikil er tekið úr kerfinu og hversu miklu er skilað til baka með niðurdælingu. Í tímans rás verður til nýtingarsaga fyrir hvert vinnslusvæði fyrir sig.

## Vöktun smáskjálfta

Eftirlit með smáskjálftum, sem fylgja borunum, vinnslu og niðurdælingu á vatni, er orðið mikilvægur þáttur í jarðhitavinnslu hér á landi. ÍSOR hefur á undanförnum árum komið upp sjálfvirkum skjálftastöðvum á Reykjanesi fyrir HS Orku og á Kröflusvæðinu fyrir Landsvirkjun. Á árinu bættist við vöktun á jarðhitasvæðinu

við Námafjall og Þeistareyki, er þremur mælum var komið fyrir á hvorum staðnum fyrir sig.

## Líkangerð af vinnslusvæðum

Mikil vinna var lögð í að yfirfara og endurbæta hugmyndalíkan af jarðhitakerfinu á Reykjanesi fyrir HS Orku. Hugmyndalíkön þarf stöðugt að endurbæta til að viðhalda áreiðanleika þeirra enda eru þau lykillinn að farsælli stýringu og nýtingu jarðhitakerfa. Eitt af markmiðunum með líkangerðinni er að líkanið auki vitneskju og auðveldi alla ákvæðanatöku varðandi vinnslu og rannsóknir á Reykjanesi. Unnið var úr öllum tiltækum jarðfræði- og jarðeðlisfræðigögnum, þar með talið viðnámsmælingar, upplýsingar um berghita, dýptardeifingu ummyndunarsteinda, staðsetningu smáskjálfta og upplýsingar um sprunguvirkni svo eitthvað sé nefnt. Gögnum eru öll sett fram í fjölbættu þrívíddarlíkani. Endurbætur voru gerðar á hugmyndalíkönum fyrir Kröflu, Þeistareyki og Námafjall fyrir Landsvirkjun.

## **Geothermal Exploration and Boundaries of Geothermal Systems**

Resistivity measurements are one of the main methods used in the exploration and delineation of geothermal systems. Measurements were carried out on the Reykjanes Peninsula last summer, from Sandvik in the west to Svartsengi (Blue Lagoon) in the east. Three-dimensional interpretation of resistivity data was performed. Further resistivity exploration was executed in NE Iceland from Upptypingar to Askja and in Holuhraun, during the eruption of 2014.

## **Environmental Monitoring of Power Plants**

ÍSOR performs regular monitoring of the production areas owned by Landsvirkjun, HS Orka and Reykjavík Energy. The primary focus is to monitor temperature and pressure changes and changes in the geothermal fluid during the power production. Gravity changes are also monitored closely, using gravity and GPS. These data allow us to estimate the mass which is extracted from the geothermal systems and the amount returned by reinjection. Over the course of time, this allows us to map the production history of each system.

## **Conceptual Modeling of Production Areas**

Great effort was devoted to revising and improving the conceptual model of the Reykjanes high temperature system for HS Orka, which was then set out in a multi-faceted three-dimensional model. All available data were used in the modelling, including surface research, well loggings, resistivity data, formation temperatures, distribution of alteration minerals, location of micro-seismicity and structural activity. The objectives of the modeling, are to increase our knowledge and to facilitate all decision-making regarding future exploitation and further research on Reykjanes. Conceptual models of Þeistareykir and Námafjall for Landsvirkjun were also significantly improved.

## **Seismic Research**

ÍSOR participates in a European research project termed IMAGE (Integrated Methods for Advanced Geothermal Exploration). One of the goals of the project is to develop new methods for examining and evaluating geothermal systems in volcanic rocks. Reykjanes, Krafla and Geitafell in

SE Iceland, are the domestic research areas. Similar areas abroad, are the geothermal fields Larderello and Elba Island in Italy and also the Azores. It is hoped that it will be possible to acquire a more accurate picture of the geothermal systems and detailed information on deeper strata than currently exists. This could lead to more precise and effective siting of boreholes.

Seismic waves are used to detect fissures, geological structures and characteristics of geothermal systems. For this purpose, 54 seismometers were placed on the Reykjanes Peninsula during last year, of which 24 were sited on the seabed around the peninsula. The seismometers are intended to record seismic data over the course of one year. During the past two years, ÍSOR has located nine seismometers on HS Orka processing area. The Icelandic Meteorological Office operates seven meters and Czech experts have allocated 14 meters. All in all, these 84 meters will provide the information which will be used in the project.

## **Pilot Project in Krafla**

One part of the IMAGE project, is an attempt to make VSP-seismic measurements (Vertical Seismic Profile), as such measurements have not previously been performed in high temperature geothermal areas in Iceland.

The experiment was carried out in two boreholes in Krafla over a two-week period in May and June 2014. Collaborators were the research centers, GFZ in Germany, VBPR from Norway and the National Power Company of Iceland (Landsvirkjun).

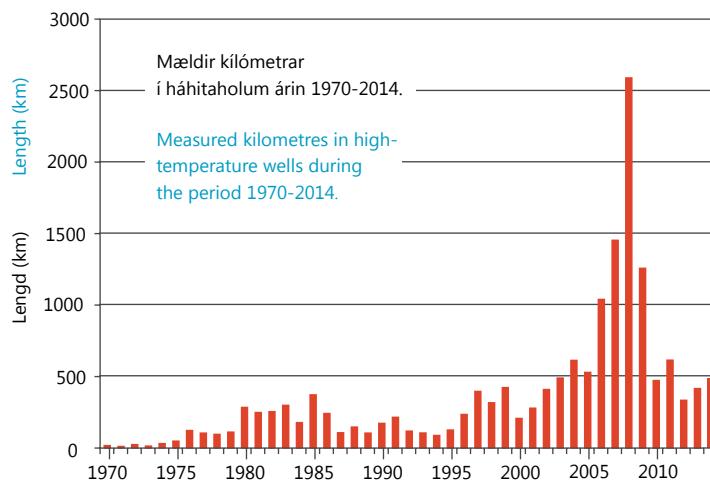
The experiment was very extensive and 12 employees of ÍSOR took part, working in shifts around the clock. GFZ managed

the seismic measurements in boreholes and six employees from GFZ were on site during the experiment. One employee from VBPR worked on the preparation of the experiment and organized the subsequent processing and interpretation of the data in cooperation with ÍSOR. ÍSOR staff managed the design and conducts of the experiment and benefitted from invaluable assistance from Landsvirkjun in Krafla and Reykjavík.

The preparation was highly complicated and necessitated, for example, the cooling of one well (KJ-18) for a month before the experiment started. In addition to VSP-measurements in KJ-18, the well was explored using a televue and sonic logging. Resistivity in the well was logged several times at different temperatures subsequent to the cooling-down operation.

## **Vertical Seismic Profile (VSP)**

Such seismic research involves the measuring of seismicity using sensors which are lowered vertically into the substrata via boreholes. Seismic waves are induced using an air gun in water pits near the borehole, as well as by explosions in 9 m deep wells (which were drilled specifically for this project), along a line with increasing distance from the well. Seismic waves are carried by and reflected off lithological boundaries, and can provide information on these boundaries and phase changes within the geothermal system. The data are interpreted in combination with other measurements resulting in a picture of the geothermal system, lithological boundaries and the potential location of the steam caps etc. It is also hoped that it will be possible to detect magma boundaries or magma bodies which exist in Krafla and to identify the evidence of fluids in supercritical state, superheated steam, and varying degrees of permeability.





1

## Jarðskjálftarannsóknir

ÍSOR er þátttakandi í evrópsku rannsóknarverkefni sem nefnist IMAGE (Integrated Methods for Advanced Geothermal Exploration). Eitt af meginmarkmiðum verkefnisins er að þroa nýjar aðferðir til að rannsaka og meta jarðhitakerfi í gosbergi. Reykjanesið, Krafla og Geitafell við Hornafjörð eru athugunarsvæðin hér á landi og hliðstæð svæði erlendis eru jarðhitasvæðin Larderello og eyjan Elba á Ítalíu og Azoreyjar. Vonir standa til að hægt verði að gefa sem gleggsta mynd af jarðhitakerfum og fá upplýsingar úr dýpri jarðögum en nú eru fyrir hendri. Þetta gætti leitt til þess að staðsetningur borholna verði markvissari og árangursríkari.

Jarðskjálftabylgjur eru notað til að greina sprungur, jarðlagagerð og eiginleika jarðhitakerfa. Í því skyni var 54 skjálftamælum komið fyrir á Reykjanesi á árinu á vegum IMAGE, þar af 24 út í sjó umhverfis nesið. Mælunum er ætlað að safna jarðskjálftagögnum í eitt ár. ÍSOR hefur undanfarin tvö ár komið fyrir níu jarðskjálftamælum á vinnslusvæði HS Orku. Veðurstofa Íslands rekur sjó mæla og tékkneskir sérfræðingar hafa að auki komið niður 14 mælum. Allt í allt eru þetta 84 mælar sem munu gefa upplýsingar sem nýttar verða í verkefninu.

## Tilraunaverkefni í Kröflu

Einn liður í IMAGE-verkefninu er tilraun til þess að gera VSP-skjálftamælingar (Vertical Seismic Profile), en þær hafa ekki verið gerðar áður á háhitasvæði hér á landi.

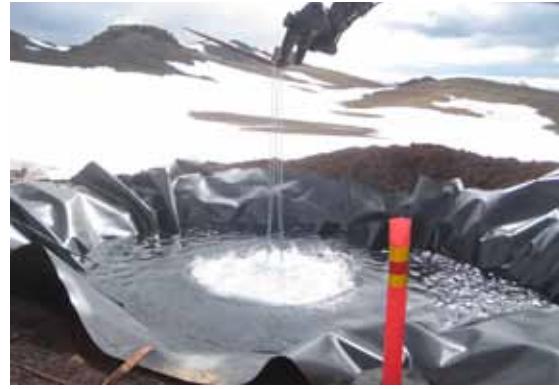
Tilraunin fór fram í Kröflu á tveggja vikna tímabili í maí og júní 2014 og var gerð í tveimur borholum. Samstarfsaðilar ÍSOR voru rannsóknarstofnanirnir GFZ í Þýskalandi og VBPR í Noregi auk Landsvirkjunar.

Tilraunin var mjög yfirgripsmikil og tóku 12 starfsmenn ÍSOR þátt í henni og var unnið á sólarhringsvöktum allan tímann. GFZ sá um jarðskjálftamælingar í borholum og voru 6 starfsmenn frá GFZ við störf á meðan mælingar fóru fram. Einn starfsmaður frá VBPR vann að undirbúningi tilraunarinnar og skipulagði í framhaldinu úrvinnslu og túlkun gagna í samvinnu við ÍSOR. Starfsfólk ÍSOR sá um skipulag og framkvæmd tilraunarinnar og naut ómældrar aðstoðar starfsfólks Landsvirkjunar í Kröflu og Reykjavík.

Undirbúningurinn var margslunginn og fólm.a. í sér kælingu annarrar borholunnar (KJ-18) í um mánaðarskeið fyrir tilraunina. Auk VSP-mælinga í holu KJ-18 var holan skoðuð með holusjá og hljóðhraðamæld. Holan var viðnámsmæld nokkrum sinnum við mismunandi hitastig eftir að kælingu lauk.

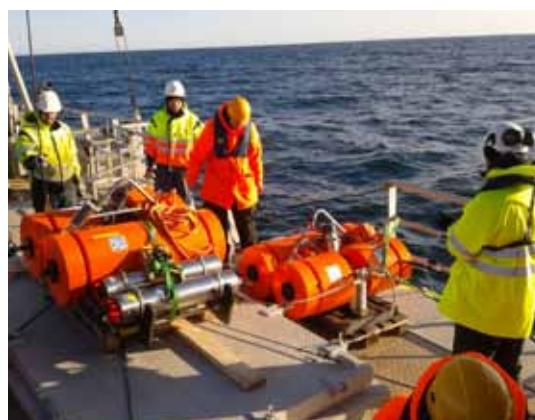
## Vertical Seismic Profile, VSP-skjálftamælingar

Jarðskjálftamælingarnar ganga út á að mæla skjálfta með nemum sem slakað er lóðrétt niður í jörðina eftir borholu. Jarðskjálftabylgjur eru framkallaðar með loftbyssu í vatnspyttri nærrri borholunni og eins með sprengingum í 9 m djúpum borholum eftir línu í vexandi fjarlægð frá holunni en skotholurnar voru boraðar sérstaklega fyrir þetta verkefni. Bylgjurnar berast eftir og endurkastast af lagmótum og geta veitt upplýsingar um jarðlagaskil og fasabreytingar í jarðhitakerfinu. Gögnin eru túlkuð ásamt öðrum mælingum og er dregin upp mynd af jarðhitakerfinu, jarðlagaskilum, hugsanlegri staðsetningu gufupúða o.fl. Einnig er vonast til þess að hægt verði að sjá yfirborð kviku eða kvíku-poka, sem vísbendingar eru um að séu til staðar í Kröflu, og vökva í yfirmarksástandi, yfirhitaða gufu og mismikla lekt.



- VSP-skjálftamælingar voru við borplan KJ-18 í Kröflu.  
**VSP-seismic measurements  
(Vertical Seismic Profile) in Krafla.**
- 24 jarðskjálftamælum var komið fyrir á hafsbotni umhverfis Reykjanes, Ljósmynd Philippe Jousset.  
**24 seismometers were sited on the seabed around the Reykjanes peninsula.**  
**Photo Philippe Jousset..**

2



## Myndun trogs við sniðgengis-hreyfingar á Þeistareykjum

ÍSOR vann fyrir Landsvirkjun að sprungukortlagningu á Þeistareykjum með fjar-könnunargögn ein að vopni á árinu. Með þeim má greina margháttar línuleg fyrirbæri á yfirborði jarðar sem geta stafað af tektóník, áhrifum útrænna afla eða staðbundinna fyrirbæra nærrí yfirborði. Með því að kortleggja þessi fyrirbæri og freista þess að greina þau eftir líklegum uppruna má setja fram kenningar um þá tektónísku ferla sem mótað hafa svæðið.

Þeistareykir liggja á mótum gliðnunarbelts, sem markast af sigdal og sigengjum með norðlæga stefnu, og mikils sniðgengis með VNV-læga stefnu og kallast Húsavíkurmisgengið. Þessi fyrirbæri eru áberandi á yfirborði. Auk þeirra má sjá merki, stundum mjög óljós, um aðrar brotastefnur í berggrunni sem stafa af sniðgengishreyfingum en eiga sér þó sumstaðar stuðning í brotlausnum smárra jarðskjálfta.

Gliðnunarbeltið sem liggur um Þeistareyki virðist við fyrstu sýn hliðrast til um 4–5 km með vinstri handar sniðgengishreyfingu um svæði sem liggur samsíða Húsavíkurmisgenginu og liggur frá Tjarnarási og rétt norður fyrir Lambafjöll. Greining fjar-könnunargagnanna opnar þó fyrir annan túlkunarmöguleika sem sýndur er á mynd 1. Þar er gert ráð fyrir að sigdalurinn skiptist um hugsanlegt VNV-sniðgengi sem liggur frá Bæjarfalli að Stórahver. Norðan þess má sjá 5 siggengi á eystri hlutnum (svæði A) en nær engin á vestari

hlutnum (B). Sunnan við sniðgengið sjást 11 NS-sniðgengi á vestari hlutnum (C) en aðeins 3 á þeim eystri (D). Norðlægu siggengin eru þannig að mestu bundin við svæðin merkt A og C á mynd 1. Þetta má túlka þannig að svæði A og C eru að færast til gagnstæðra áttu vegna hægri handar sniðgengis milli Bæjarfalls og Stórahvers annars vegar og Húsavíkurmisgengisins hins vegar.

Í þessari túlkun jafngilda norðlægu siggengin og sigdalurinn milli sniðgengjanna tveggja myndun á togþrogi (pull-apart basin) eins og skýrt er á mynd 2.

### Example of Pull-aparts on Strike-slip Fault in Þeistareykir and Tjörnes Fracture Zone

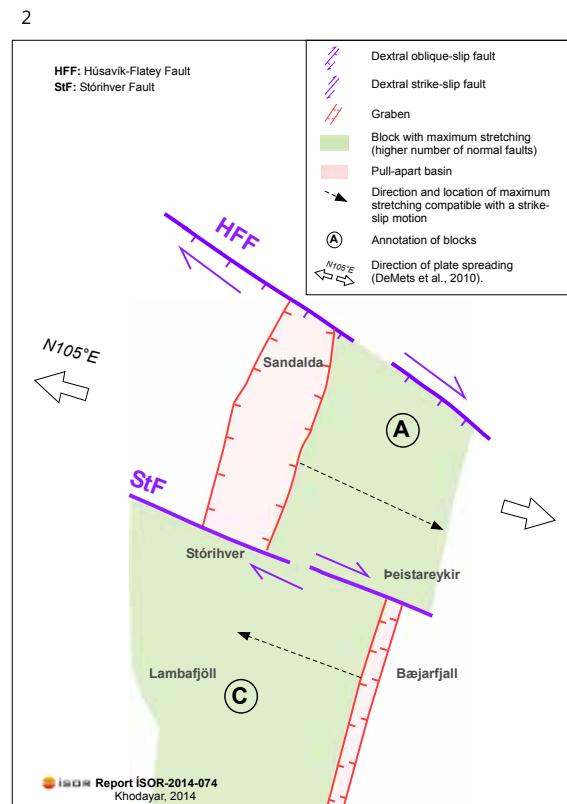
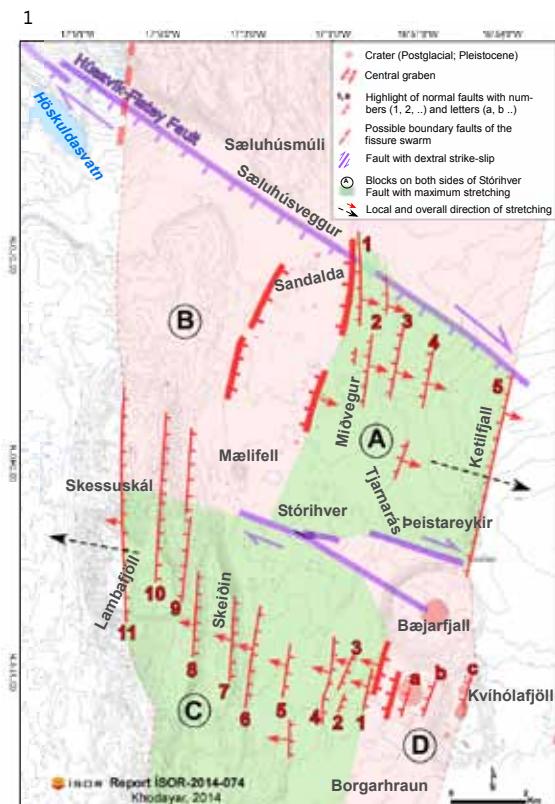
In 2014 ÍSOR worked for the National Power Company of Iceland (Landsvirkjun) on structural mapping at Þeistareykir using remote sensing data. These data can detect various linear structures on Earth's surface which may have been created by tectonics, external forces or local phenomena occurring near the surface. By mapping these phenomena and trying to analyse their nature it is possible to build models and theories regarding the tectonic processes that have shaped the region.

Þeistareykir lie astride a rift zone bounded by a graben and normal faults with northerly strikes and a prominent

transform zone striking WNW, called the Húsavík transform. These are very noticeable on the surface. In addition, different fault strikes in the bedrock can be seen, sometimes very vaguely, caused by transform movements but are sometimes supported by the analysis of small earthquakes.

The rift zone lying across Þeistareykir appears to be shifted 4–5 km by a left lateral transform movement in an area lying parallel to the Húsavík transform and runs from Tjarnarási and just north of Mt. Lambafjöll. However, analysis of remote sensing data, opens up another interpretation shown in Figure 1. It is assumed that the Rift Valley is divided across a potential WNW transform that runs from Mt. Bæjarfjall to Stórihver hot spring. North of it five normal faults are observed in the eastern part (area A) but no normal faults in the western part (B). South of the transform eleven NS normal faults are seen in the western part (C) but only three to the east (D). The northerly normal faults are therefore mostly found in areas labeled A and C in Figure 1. This can be interpreted in such a way that areas A and C are being moved in opposite directions because of the right lateral transform between Bæjarháls and Stórihver on one hand and the Húsavík transform on the other.

In this interpretation the northerly normal faults and the rift valley between the transform faults form a pull-apart basin as shown in Figure 2.



1. Sprungur og siggengi á gliðnunarbeltinu um Þeistareyki. The number of faults and geometry of the grabens in Þeistareykir.
2. Skyringarmynd af togþrogi (pull-apart basin) á Þeistareykjum. Schematic figure summarising the pull-apart structures accomodating the dextral motion along the Stórihver-Bæjarfjall fault.



1



2



3

# Umhverfiseftirlit CO<sub>2</sub>

## Jarðhitasvæðið á Reykjanesi

**Við nýtingu á jarðhita er mikilvægt að fylgjast vel með viðbrögðum jarðhitasvæðisins, bæði djúpt í jarðhitakerfinu sem og virkni þess á yfirborði**

Starfsmenn ÍSOR hafa frá árinu 2004 fylgst með breytingum á yfirborðsvirkni á jarðhitasvæðinu á Reykjanesi með kerfisbundnum hætti í tengslum við virkjun HS Orku á svæðinu. Meðal annars hafa árlega verið gerðar mælingar á koldioxíðflæði um jarðveg með það fyrir augum að geta metið breytingar á gasflæði á magnbundinn hátt.

Á hverju ári hafa verið gerðar um 400-500 punktmælingar og hafa þær verið notaðar til að reikna heildarflæði koldioxíðs um jarðveg frá svæðinu fyrir hvert ár og einnig til að kortleggja útbreiðlu og styrk gasflæðis og jarðvegshítastig.

Frá því mælingar hófust árið 2004 hafa orðið verulegar breytingar á jarðhitasvæðinu á Reykjanesi. Fyrstu tvö árin, fyrir gangsetningu Reykjanesvirkjunar, varð engra markverðra breytinga vart en sumarið 2006, eftir að vinnsla hófst, bentu niðurstöður mælinganna ótvíráett til aukinnar yfirborðsvirkni; bæði jókst koldioxíðflæði um jarðveg og hitastig í jarðvegi hækkaði víða. Síðan 2006

hefur virkni haldið áfram að aukast og mælingarnar frá 2014 sýndu að heildarkoldioxíðflæði hefur aukist meira en varmaflæðið sem hefur þrefaldast. Breytingar hafa líka orðið í virkni og staðsetningu gufuaugna og leirþytta og gróðurþekja hefur minnkað.

Þessar breytingar má að nokkru leyti rekja til jarðhitavirkjunarinnar á svæðinu þótt náttúrulegar breytingar hafi einnig orðið á svæðinu, svo sem við jarðskjálfta. Við nýtingu á jarðhitakerfi er vökví numinn úr kerfinu og veldur það þrýstingslækkun. Meðal afleiðinga hennar eru suða og myndun gufupúða í efri hluta jarðhitakerfisins, sem gerir það að verkum að gufa leitar í auknum mæli til yfirborðs og veldur þannig auknu flæði koldioxíðs og varma upp um jarðveginn. Hins vegar eru jarðhitasvæði á virka gosbeltinu síþreytileg og geta svona breytingar orðið af náttúrulegum ástæðum, eins og á tímabilum þegar virkni vegna landreks er mikil á jarðhitasvæðum. Þannig aðstæður má sjá á málverki Knebels frá því um aldamótin 1900.

1. Jarðhitasvæðið við Gunnuhver á Reykjanesi árið 2012.  
[Reykjanes geothermal area in 2012.](#)
2. Mynd á svipuðum slóðum frá árinu 2004.  
[Same area in 2004.](#)
3. Málverk eftir Walther von Knebel af jarðhitasvæðinu á Reykjanesi sumarið 1905.  
[A painting from Walther von Knebel in summer 1905.](#)

### Gasflæðimælingar

Gasflæðimælingarnar eru punktmælingar sem eru gerðar með gasflæðimæli á mælineti með 25 x 25 m möskvastærð á svæði sem nær yfir um 0,4 km<sup>2</sup> svæði. Hver mæling fer þannig fram að lokað hólf er lagt þétt ofan á jarðveg þar sem mæla á gasflæði. Lofti er stöðugt hrингdælt úr hólfinu inn í gasnema og er styrkur koldioxíðs mældur með ljósleypnimæli á innrauðu sviði. Þar sem koldioxíð kemur upp um jarðveginn hækkar styrkur þess jafnt og þétt í mælihólfinu og út frá hraða hækunarinnar má reikna koldioxíðflæðið. Í sömu mælipunktum er einnig mælt hitastig á 15 cm dýpi og þau gögn nýtt til að afla upplýsinga um varmaflæði frá svæðinu. Mælingar af þessu tagi byggjast á því að í jarðhitakerfum er alltaf til staðar viðst magn af uppleystu gasi vegna afgösunar varmagjafans (m.a. koldioxíð) sem berst til yfirborðs með gufu. Gufan myndast vegna suðu í kerfinu og þ.a.l. geta breytingar á koldioxíðflæði um jarðveg gefið góðar vísrendingar um breytingar á suðuástandi í kerfinu. Gufan getur þó þést neðanjarðar á leið sinni, t.d. ef hún kemst í snertingu við grunnvatn, en gasið getur borist áfram til yfirborðs.

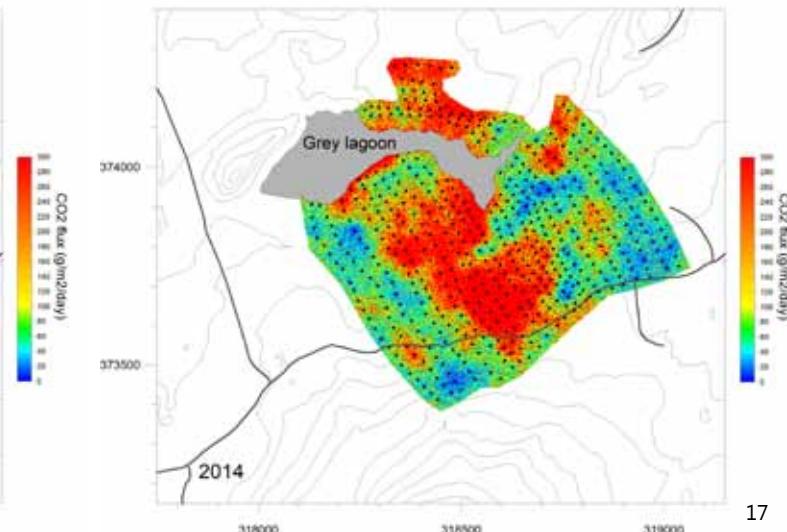
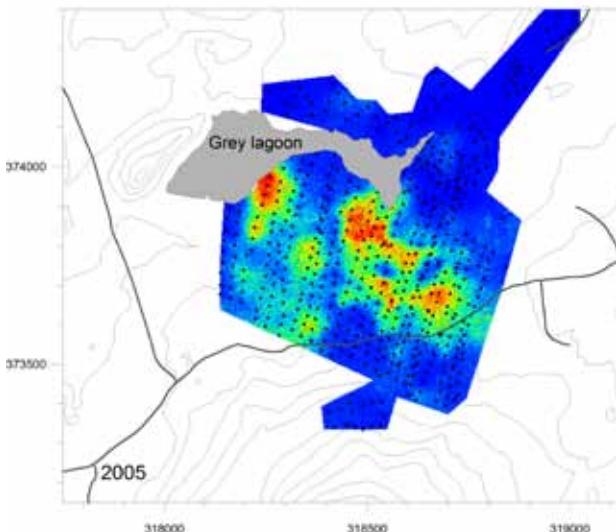
# Monitoring Geothermal Activity

## Reykjanes Geothermal Field - Case Study

***It is known that changes in the behaviour of geothermal systems and of surface activity can occur in relation to utilization of a geothermal system. Therefore, when geothermal systems are utilized, it is important to monitor any changes and reactions, both deep underground and on the surface***

From 2004, employees from ÍSOR have systematically monitored the changes in surface activity in the Reykjanes geothermal area due to the utilization of HS Orka. Soil measurements were carried out annually since 2004, on the soil temperature at 15 cm depth and CO<sub>2</sub> emission through soil, in order to evaluate the changes quantitatively. Since 2004, the soil temperature and CO<sub>2</sub> measurements have shown an increased activity both in heat flow and in CO<sub>2</sub> flux. In the first two years, prior to the commissioning of the Reykjanes power plant, no significant changes were observed but in 2006, the results indicated increased surface activity both in CO<sub>2</sub> flux and a large increase in soil temperature. Since 2006, the surface activity has continued to increase, and the results from the measurements in 2014 suggested that the total CO<sub>2</sub> has increased even more than the total heat flow, which has tripled. Changes have also occurred in the locations and activity of mud pits and fumaroles and the vegetation cover has diminished.

2



17



1

These changes can partly be traced to the utilization of the area, even though some natural changes which can be related to earthquakes have also occurred. The production involves withdrawal of large volumes of geothermal fluid, which causes pressure to lower in the system. One of the consequences of lowering the pressure, is the formation or increase of a boiling zone in the upper part of the system, which can result in more pathways for steam towards the surface, increased heat flow and CO<sub>2</sub> emission. On the other hand, changes of this order of magnitude are known to take place in Reykjanes and other geothermal areas located on active divergent plate boundaries without any such utilization.

### CO<sub>2</sub> Flux Measurements

The CO<sub>2</sub> flux measurements are point measurements, noted on a measuring grid with a 25 x 25 m grid spacing covering approximately 0.4 km<sup>2</sup> area. The CO<sub>2</sub> flux is measured directly in each measuring point, by using a closed chamber, which is pressed firmly against the ground with air subsequently pumped from the chamber into an infrared gas analyser. The flux measurement is based on the rate of CO<sub>2</sub> increase inside the chamber. Soil temperature at 15 cm depth is measured in the same points and these data are used to calculate the heat flow from the area. Measurements of this type are based on the fact that in geothermal

systems, some amount of gases (e.g. CO<sub>2</sub>) are always present, due to degassing of the heat source. It is known that a significant amount of gas is released, not only from craters and fumaroles, but also from well-defined areas on the flanks, and at the base of volcanoes where CO<sub>2</sub> is the main component of the geothermal gas. Monitoring CO<sub>2</sub> emissions from geothermal areas is one of the fundamental ways in which to understand changes in geothermal systems. For geothermal systems, soil diffuse CO<sub>2</sub> degassing has been shown to be a good indicator of the energetic state of the system, and monitoring changes of soil CO<sub>2</sub> degassing can therefore lead to better understanding of the behaviour of undisturbed geothermal systems.

1. Starfsmaður við gasflæðimælingar. CO<sub>2</sub> flux measurements.
2. Flæði koldioxíðs á árunum 2005 og 2014. CO<sub>2</sub> emission in 2005 and 2014.



# Lághiti og náttúrufar Natural Resources

Steinunn Hauksdóttir  
svíðsstjóri / Director



**Rannsóknir á umhverfi og  
náttúrufari, neysluvatni og  
endurnýjanlegri orku eru  
áskoranir jarðfræðinnar  
og krafa nútímasamfélags**

**Bjónusta og jarðfræðiráðgjöf  
á sviði lághita**

Stærsta lághitaverkefnið sem ÍSOR hafði aðkomu að á árinu var borun á um 1700 m djúpri heitavatnsvinnsluholu að Hoffelli í Hornafirði fyrir RARIK. Þetta er önnur vinnsluholan á svæðinu en árangur borunarinnar varð ekki sem skyldi. Reiknað er með að nýjar hitastigulsholur og aðrar rannsóknir leiði til þess að vel vatnsgefandi vinnsluhola verði boruð á næstunni og tryggi þar með rekstur fyrir hitaveitu á Höfn og Nesjum.

Á Möðruvöllum í Kjós var einnig boruð um 1700 m djúp vinnsluhola sem tókst vel og gefur hún nú í sjálfreynslu um 20 L/s af sjóðandi vatni, sem er bæði heitara og meira en búist var við. Við jarðhitaleit í Kjós og annars staðar við Hvalfjörð hefur fyrst og fremst verið notast við hitastigulsboranir, því hiti vex með dýpi. Þær hafa verið gerðar um tveggja áratugaskeið í Kjósinni áður en ráðist var í borun fyrri vinnsluholunnar, MV-19, á Möðruvöllum árið 2012. Áður hafði nýtanlegur jarðhiti fundist á Fremra-Hálsi og við Hvammsvík úti við Hvalfjörð.

Einnig má nefna vel heppnaða borun við Langhús í Fljótum þar sem boruð var um 200 m djúp hola sem nú gefur um 7 L/s í sjálfreynslu af sjóðandi vatni. Á Húsavík var veitt ráðgjöf og gerðar mælingar vegna hreinsunar á heitavatnsholu frá 1964 en vatnið úr holunni á að nýta til heilsubaða.

**Neysluvatn og vatnsvernd**

Gerðar voru tillögur um vatnsverndarsvæði við vegar um land. Má þar helst nefna við Urriðavatn og jafnframt afnám vatnsverndar í Egilsstaðanesi. Varðandi neysluvatnssöflun og vatnsbólavernd var tekin saman yfirgrípsmikil skýrla um nýja möguleika á vatnsöflun í nágrenni Akureyrar. Einnig var gerð samantekt um neysluvatnsvinnslu á Sauðárkróki og tillaga um frekara vatnsnám á Grenivík og í allmögum frístundabyggðum, til að mynda í Fljótum, Borgarfirði og Kjós.

Fyrir Umhverfisstofnun voru staðsettar þjárferskvatnsvinnsluholar á fjölsóttum áningstarstöðum ferðamanna; við Reynisfjöru, í Bjóðgarðinum á Snæfellsnesi og við Hverfjall í Mývatnssveit. Einnig var ein slík hola staðsett við Goðafoss.

## **Geological Consulting in Low-Temperature Areas**

The largest low-temperature project in which ÍSOR was involved last year, was the drilling of a 1700 m deep hot-water production well at Hoffell in Hornafjöður (SE-Iceland) for RARIK (Iceland State Electricity). This was the second production well in the area but the results were not promising. Further drilling of shallow gradient wells and other research is expected to lead to the drilling of a successful well in the near future and ensure the provision of district heating for the population in Höfn and Nesjar.

A 1700 m deep production well was drilled at Möðruvellir in Kjós County (W-Iceland), producing 20 L/s of free-flowing boiling water. This is both hotter and provides greater capacity than had been expected. Geothermal exploration in the Hvalfjörður area has primarily been based on shallow gradient wells as formation temperature increases with depth. Such research had been ongoing in the area for two decades before the first exploration well (MV-19) was drilled at Möðruvellir in 2012. Previously exploitable geothermal water had been found at Fremri Hás and Hvammsvík in Hvalfjörður.

Another project worth attention was the drilling of a 200 m deep well at Fljót in N-Iceland, which produces about 7 L/s of free-flowing, boiling water. In Húsavík town, consultancy and loggings were provided to swipe and clean an old hot water well from 1964 which will eventually be used in the construction of a spa.

## **Drinking Water and Water Conservation**

Several proposals were made regarding water conservation areas around Iceland. Here it is worth mentioning Urriðavatn in particular, as well as the elimination of water conservation at Egilsstaðanes in E-Iceland. A comprehensive report regarding new water resource potential and water supply was compiled for the area in the vicinity of Akureyri town in N-Iceland. Another extensive report was published on drinking water processing in Sauðárkrúkur town and suggestions were provided for further water production at Grenivík village and a number of holiday homes, for example in Fljót, Borgarfjörður and Kjós.

Four freshwater wells were sited on behalf of the Environment Agency of Iceland at popular tourist sites at Reynisfjara, in Snæfellsnes National Park, at Hverfjall in Mývatn and by Goðafoss.

## **Brine and Water for Fish Farming**

Analysis of the potential for the production of freshwater and brine (seawater) for Matorka ehf in a previously unexplored area by Grindavík town (SW-Iceland) was conducted and a promising exploration well was drilled. Several enquiries regarding the possibility of fish farming using warm and cold water around Iceland were also answered. Water for fish farming seems to be increasingly attractive and there are several projects anticipated due to the growing fish farming industry, for example in Southwest and Northwest Iceland.

## **Cooling Water and Wastewater from Geothermal Power Plants**

When electricity is produced using geothermal energy, large quantities of cooling water are needed, leaving residual heat which in some cases can be used in district heating. Often, however, there is no market for hot water and this surplus water must be disposed of without having an impact on the quality of the underlying groundwater. Ample groundwater is usually found in the vicinity of geothermal power plants in Iceland. However, great care must be taken regarding the disposal of this water. The chemically rich waste water is largely re-injected back into the geothermal system via re-injection wells. The cooling water (which is chemically-depleted and heated) is often disposed of at more than 200 m depth, where it does not affect the natural groundwater condition. ÍSOR monitors these factors at the Nesjavellir and Hellisheiði power plants. The experience will be used in similar circumstances at Theistareykir in N-Iceland but during the summer of 2014 several exploration and re-injection wells were drilled in the area.



1



1. Tveir hópar frá ÍSOR fóru í mælingaferð að eldstöðvunum í Holuhrauni og mældu viðnám í nágrenni gosstöðvanna. Einnig var gasústreymi mælt, sprungur kortlagðar og sýni af útfellingum tekin.

Two groups of ÍSOR's specialists went on a survey to the eruption site at Holuhraun. Resistivity and gas were measured, fractures mapped and precipitation samples taken.



1

## Jarðsíðir og fiskeldisvatn

Gerð var úttekt á möguleikum til vinnslu á ferskvatni og jarðsíði fyrir Matorku á áður ókönnuðu svæði í Grindavík og boruð þar rannsóknarhola sem lofar góðu. Einnig var fjölmörgum fyrirspurnum um fiskeldismöguleika viðs vegar um land svarað varðandi volgt og kalt vatn sem og jarðsíði. Vatn til fiskeldis virðist vera sífellt eftirsóknarverðara og eru allmög verkefni fyrirsjáanleg vegna vaxandi þarf fiskeldisstöðvanna, t.a.m. á Suðurnesjum og Vestfjörðum.

## Kælivatn og afrennsli frá jarðhitaorkuverum

Við rafmagnsframeleiðslu með jarðhita þarf kælivatn í stórum stíl og þar verður til afgangsvarmi sem í einstaka tilfellum er hægt að nota í hitaveitu. Oft er samt ekki markaður fyrir heitt vatn og þessu vatni þarf að farga án þess að það hafi umtalsverð áhrif á ástand grunnvatnsins. Hér lendis er viðast hvar gnótt grunnvatn í grennd við jarðhitaorkuver en að sama skapi verður að fara varlega við frárennslismál. Efnaríkt affallsvatn er að miklu leyti leitt djúpt í jörð niður og alla leið niður í jarðhitakerfið sjálft. Kælivatnini (sem er efnasnautt en upphitað) er oft reynt að farga á meira en 200 m dýpi þar sem það hefur ekki áhrif á náttúrulegt grunnvatnsástand. ÍSOR fylgist gerla með þessum þáttum á Nesjavöllum og Hellisheiði. Þessi reynsla verður nýtt við álíka aðstæður á Þeistareykjum og sumarið 2014 voru boraðar margar rannsóknar- og förgunarholur þar, sem allar voru prófaðar jafnóðum.

## Jarðfræðikortlagning

Jarðfræði landsins hefur um áratugaskeið verið kortlöög, ýmist fyrir sveitarfélög eða orkuþyrirtæki. Fyrir um fimm árum hóf ÍSOR að gefa út jarðfræðikort fyrir

almennan markað í mælikvarða 1:100 000 og eru komin út tvö kort í þeim flokki. Jarðfræðingar ÍSOR unnu fram á haust við að kortleggja og aldursgreina hraun á suðurhluta Norðurgosbeltisins, vegna útgáfu þriðja kortsins sem áætluð er árið 2015.

Nýtt berggrunnskort af Íslandi í mælikvarðanum 1:600 000 kom út á árinu. Við gerð kortsins var unnið í samræmi við nýjar alþjóðlegar skilgreiningar á skiptingu jarðsöguskeiða sem gengu í gildi árið 2012.

## Hagnýt jarðefni

ÍSOR hefur tekið að sér ýmsa ráðgjöf við opinbera aðila og einkafyrirtæki í rannsóknum á hagnýtum jarðefnum, s.s. efnisval á bergi eða leit að gulli í fornum, íslenskum jarðhitakerfum. Undanfarin ár hefur orðið vart við vaxandi áhuga á þessum svíðum og hafa rannsóknir á hagnýtum efnum í auknum mæli beinst að hafslotni og sér í lagi þar sem jarðhita gætir á sprungusvæðum.

ÍSOR er í samstarfi við norræna sérfræðinga sem eru að þróa námu- og málmiðnað á Norðurlöndunum. Samstarfsnetið kallast NordMin og er styrkt af Norrænu ráðherranefndinni frá 2013 til 2016. Stefnt er að því að halda samstarfinu áfram og er unnið að því að fjármagna það með ýmsum leiðum, m.a. um rannsóknarætlun ESB (Horizon 2020).

Hjá ÍSOR er unnið að þremur rannsóknarverkefnum sem styrkt eru af NordMin. Verkefnið CRUSMID-3D er unnið í samvinnu við GEUS (Geological Survey of Denmark and Greenland) og Orkustofnun og snýst um að túlka skjálftagögnum af hafslotni Austur-Grænlandshafs. Tengist sú vinna bæði málmeit við austurströnd Grænlands og skilningi á opnum N-Atlantshafs.

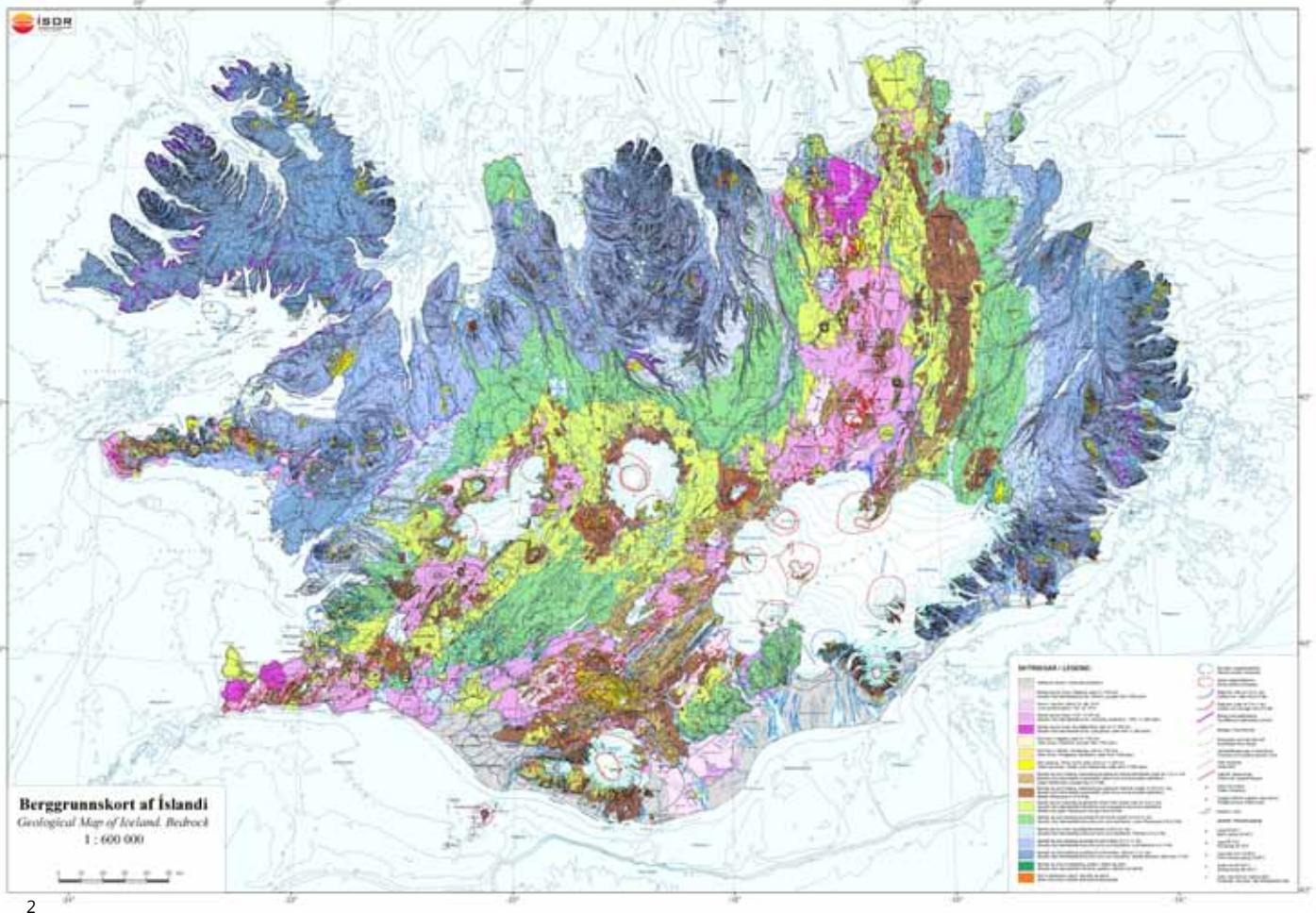
1. Hópurinn sem vann að NAGTEC-verkefninu fagnar við útgáfu kortabókarinnar. Ögmundur Erlendsson, Árni Hjartarson, Anett Blischke og Sigurveig Árnadóttir.  
The NAGTEC-group celebrating the publishing of the book of maps.

2. Berggrunnskort af Íslandi. Nýtt og endurbætt jarðfræðikort af öllu landinu var gefið út í lok ársins. Geological map of Iceland bedrock published at the end of 2014.

Verkefnið Greenbas er unnið með Nýsköpunarmiðstöð Íslands og fleiri aðilum og þar tekur ÍSOR þátt í að leita að hentugu basalti til gerðar basalttrefja. Loks tekur ÍSOR þátt í samstarfsverkefni um meðferð affallsvatns og endurvinnslu vatns í námuviðnaðinum.

## Kortabók og stafrænn gagnagrunnur

Fjölþjóðlegu verkefni (NAGTEC), þar sem unnið var að kortlagningu á botni Norðaustur-Atlantshafs, lauk á árinu. Að verkinu stóðu níu jarðfræðistofnanir frá Danmörku, Noregi, Færeyjum, Bretlandi, Írlandi, Íslandi, N-Írlandi, Hollandi og Þýskalandi. Afrakstur verkefnisins er kortabók og viðtækur, stafrænn gagnagrunnur af svæðinu. Verkefnið var að helmingi styrkt af olíuleitarfyrirtækjum sem hafa forgangsaðgang að gögnunum og hafa þau nú þegar í höndunum. Kortabókin verður síðan gefin út á almennum markaði árið 2016 og gagnagrunnurinn verður opnaður og öllum frjáls til afnota árið 2019. Ávinnungur af þessu verkefni verður margþættur, bæði fræðilegur og hagnýtur. Á hinu fræðilega svíði fæst aukin þekking á jarðsögulegri þróun Norðaustur-Atlantshafs. Á hinu hagkvæma svíði fæst þekking á hugsanlegum auðlindum og nýtingu þeirra. Þar með teljast hugsanlegar olíu- og gaslindir á hafslotni og líkur á olíu- svæðum í íslenskri lögsögu.



2

## Geological Mapping

For decades geological mapping has been executed for local authorities and power companies. Five years ago ÍSOR began publishing comprehensive geological maps commercially. The third map in the series, on the bedrock geology of Iceland in a scale of 1: 600 000 was issued in 2014. The preparation of the map was entirely carried out in accordance with the new international definition on the division of geological history introduced in 2012. Geologists from ÍSOR continue mapping and were in fact mapping in the southern part of the Northern Volcanic zone contemporaneously with the volcanic eruption near Bárðarbunga.

## Material Science

ÍSOR has undertaken consultation roles in public and private research on practical material science. This includes work as diverse as the choice of rock types for use in civil engineering projects and gold prospecting in ancient fossil geothermal systems. In recent years we have seen a growing interest in these fields and research on practical materials is increasingly focused both on areas of the seabed and also where geothermal activity is found in the rift zones of Iceland.

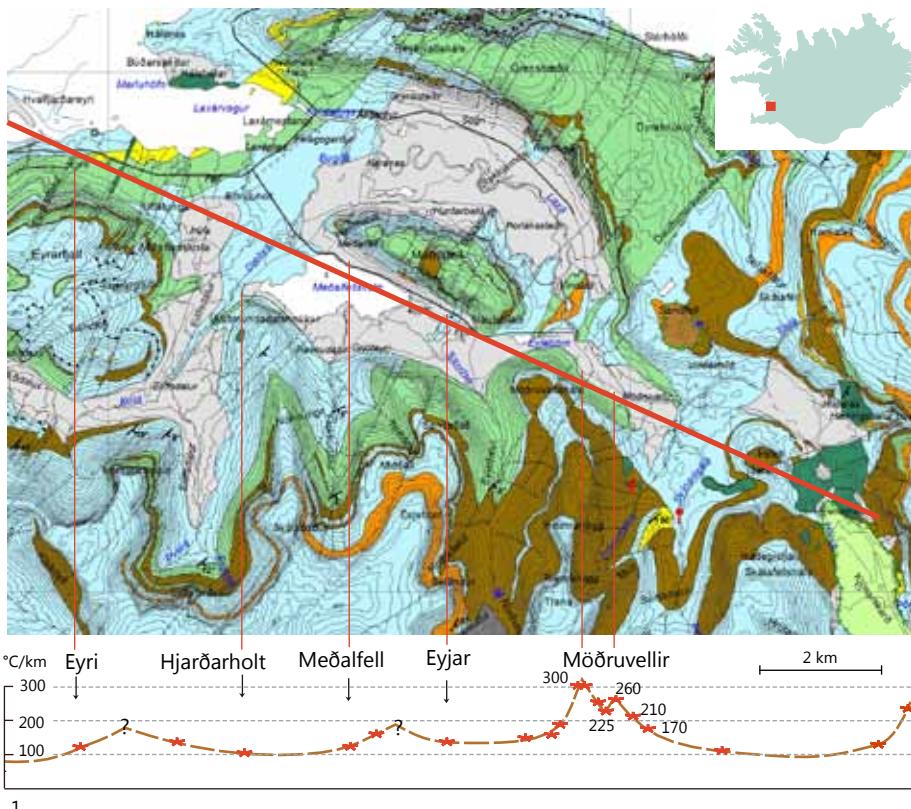
ÍSOR is cooperating with Scandinavian experts who are developing mining and metal industries in the Nordic countries. The consortium, called NordMin, has been funded by the Nordic Council of Ministers from 2013 to 2016. The aim is to continue and extend the cooperation, and efforts are underway to access finance through numerous channels, including the EU Framework Programme for Research and Innovation (Horizon 2020).

ÍSOR is currently engaged in three research projects funded by NordMin. The CRUSMID-3D project, in collaboration with GEUS (Geological Survey of Denmark and Greenland) and the National Energy Authority, involves the interpretation of seismic data from the oceanic floor off the East Greenland Sea. This research is connected to metal prospecting at the east coast of Greenland and to research aimed at better understanding the opening of the North Atlantic.

ÍSOR is participating in the search for suitable materials to make basalt fibre. This exciting project, known as "Greenbas" is being led by NMI (Innovation Center of Iceland) with the involvement of other research bodies. Finally, ÍSOR takes part in a project aimed at treating waste water and recycling water for the mining industries.

## Atlas Digital Database

A multidisciplinary project (NAGTEC), which focused on mapping the bottom of the North Atlantic Ocean, was completed during the year. The research involved nine geological institutions from Denmark, Norway, the Faroe Islands, the UK, Ireland, Iceland, N-Ireland, the Netherlands and Germany. The culmination of the project is an Atlas and an extensive digital database of the region. The project was partly funded by oil exploration companies, who have priority access to the data which are already in their hands. The Atlas will be released commercially in 2016, and the database will be available and free to use in 2019. The benefits of this project will be substantial, in both theoretical and practical terms. In the academic field, it will increase our knowledge of the geological history of the Northeast Atlantic. Practically, it will increase our knowledge of potential resources and their utilization. This includes possible oil and gas resources on the seabed and the likely discovery of oil fields in Icelandic waters.



# Möðruvellir í Kjós

## Hitaveituævintýri

**Á lághitasvæðum hérlendis hefur oft verið litið á boranir eftir jarðhitavatni sem áhaettumál. Þetta er dýr framkvæmd og ekki síður tímafrek. Það kemur skýrt fram í jarðhitaleitarsögu í Kjós og raunar annars staðar við Hvalfjörð**

### Tímafrek vatnsleit

Við jarðhitaleit í Kjósinni og annars staðar við Hvalfjörð hefur fyrst og fremst verið notast við grunnar hitamæliholur því hiti vex með dýpi. Í Kjós má oftast búast við um 12°C hita á 100 m dýpi en hann þarf að vera töluvert hærri ef von að vera á nýtanlegum jarðhita í grennd. Boraðar voru fjölmargar hitastigulsholur, oftast 70–100 m djúpar, og einnig safnað saman mælingum úr fjölmörgum neyslувatnsborholum viðs vegar í sveitinni. Þannig fundust tvö hitastigulshámrök í landi Möðruvalla. Hitastigulsrannsóknirnar voru gerðar smám saman um tveggja áratugaskeið í Kjósinni áður en ráðist var í borun fyrir vinnsluholunnar (MV-19) á Möðruvöllum árið 2012. Áður hafði nýtanlegur jarðhiti fundist á Fremra-Hálsi og við Hvammsvík úti við Hvalfjörð.

### Vinnsluhola MV-19 boruð í hitastigulshámark

Árið 2012 var afráðið að láta reyna á það hvort á Möðruvöllum væri nægt og nýtanlegt vatn að fá og var boruð 822 m djúp vinnsluhola (MV-19) niður í annað hitastigulshámarkið. Holan reyndist vera vel heppnuð og gefur hún nú um 80°C heitt vatn, um 7 L/s í sjálfrennandi, og hún annar líklega um 20 L/s í höflegri dælingu. Þó að þetta væri ágætur árangur vantaði samt upp á að nægt vatn væri til að stofna hitaveitu fyrir allt Kjósarsvæðið. Þarna er blómleg byggð og hundruð sumarbústaða. Þess vegna var afráðið að bora sams konar holu í hitt hitastigulshámarkið á Möðruvöllum í von um svipað vatnsmagn og hita. Þarna eru aðeins um 800 m á milli.

### Af hverju annar borstaður?

Hitamælingar í MV-19 voru að mörgu leyti dæmigerðar fyrir heitavatnsholur á lághitasvæðum hérlendis. Efst er brattur stigull en síðan er komið í vatnsvinnslukerfi á um 270 m dýpi, þar sem hitastig er tiltölulega jafnt niður á um 650 m dýpi. Það er yfirleitt túlkað sem svo að borað hafi verið í eða afar nálægt vatnsleiðandi bergsprungu sem gefur heita vatnið. Þetta er fræðilega kallað hræringarkerfi og er vatnsvinnsluhlutí holunnar.

### Vinnsluhola MV-24 boruð í annað hitahámark

Ætlunin var að nýja holan (MV-24) yrði í grundvallaratriðum svipuð hinni fyrr. Vonast var til að nægt vatn mundi fást á innan við 1000 m dýpi og að hitinn yrði riflega 80°C. Þegar borað hafði verið niður í 1010 m gaf nýja holan sáralítíð vatn en hitaferill hennar benti hins vegar til að hún hefði náð niður í djúpstæðara og mun heitara jarðhitakerfi. Því var borað dýpra í von um að ná þessu vatni inn í holuna. Ekkert örlaði á vatninu lengi vel en hitaþróunin var í samræmi við væntingar og þess vegna var borun fram halddið. Þegar borað hafði verið niður í 1580 m var ástandið enn við það sama; upp úr holunni vætlaði tæplega 1 L/s af um 80°C heitt vatni en slíkt er kallað ærmiga í Kjósinni. Hitaferillinn benti samt sem áður til að enn væri vatnsvon í holunni.

### ... og á sumardaginn fyrsta

Holan var orðin miklu dýpri en upp-haflega var gert ráð fyrir. Þrátt fyrir að nokkur árangur hefði náðst með örvarnar-aðgerðum vildu menn kanna til þrautar hvort úr henni fengist meira. Því var úr að bora eins djúpt og hægt væri. Á þessum endaspretti urðu menn varir við nýjar innrennslisæðar og vaxandi hita í skolvatni. Þegar borað hafði verið í 1704 m var ljóst að ekki yrði dýpra farið því þyngdin á borstrengnum var orðin ofviða lyftiget borsins. Þetta var á sumardaginn fyrsta 2014. Holan hefur verið látin gjósa allt frá borlokum og þannig gefur hún rúma 20 L/s. Vatnið er sjóðandi heitt og með kemur töluverð gufa, enda er hitinn við suðuborð á 90 m dýpi um 130°C.

Á meðan heita vatnið bullaði upp úr nýju holunni var stofnað hitaveitufélag, Kjósarveitur ehf., sem nú er á fullri ferð að kanna möguleika á lagningu hitaveitu í sveitinni. Hönnun á dreifikerfi hitaveitu um Kjósina stendur yfir og stefnt er að því að forhönnun verði lokið í vorið 2015. Hver veit nema að byrjað verði á einhverri hitaveitu frá Möðruvallaholunum á sumardaginn fyrsta 2015. Það væri einkar vel við hæfi.

1. Hitastigulstoppar eru áberandi á Möðruvöllum. Þar voru tvær vinnsluholur boraðar, hvor í sinn hitatoppinn og heppnuðust báðar vel en gefa misheit vatn í sjálfrennsli. *Temperature gradient observed in shallow soundings. Two gradient highs were observed in the vicinity of Möðruvelli farm. Two production wells were drilled exactly on those same spots, now yielding 80°-140°C hot water.*
2. Valdar hitamælingar úr vinnsluholunum MV-19 og MV-24 á Möðruvöllum. Báðar tengjast holurnar við 80°C heitt vatnskerfi á <300-650 m dýpi. *Some high temperature measurements from production wells in Möðruvelli. Both are connected into an 80° hot water system <300-650 m depth.*
3. Prufudæling úr MV-24. *A test measurement from MV-24 at Möðruvelli.*

# Möðruvellir in Kjós County

## Getting Into Hot Water – A Case Study

**In the low-temperature areas of Iceland, drilling for geothermal water has often been seen as a risky business. Such operations are costly and time-consuming. The history of geothermal exploration in Kjós and Hvalfjörður, West Iceland, is indeed a good example of this.**

### Time-consuming Search for Water

Geothermal exploration in the Hvalfjörður area has primarily been based on shallow gradient wells as formation temperature increases with depth. As a rule of thumb, one can expect temperatures of about 12°C at 100 m depth in Kjós. However, the temperature must be significantly higher for the water to be exploited. Several gradient wells were drilled, usually 70-100 m deep, and temperature logs were also collected from numerous drinking water wells across the county. Implementing this methodology, two geothermal highs were discovered on Möðruvellir farmland. However, such research was ongoing for two decades before the first exploration well (MV-19) was drilled at Möðruvellir in 2012. Previously exploitable geothermal water had been found at Fremri Háls and Hvammsvík in Hvalfjörður.

### Exploration Well MV-19 was Drilled into a High Geothermal Gradient Anomaly

In 2012 it was decided to test whether sufficient water was available at Möðruvellir and a well was drilled to 822 m (MV-19) in one of the two geothermal gradient highs. The well proved to be successful and today it produces about 7 L/s of free-flowing, 80°C hot water, and probably 20 L/s using modest pumping. While the well was regarded as a success it still lacked sufficient water for space heating in the whole of the Kjós area, where several hundreds of summer cottages have been built. Therefore, it was decided to drill a similar well into the second

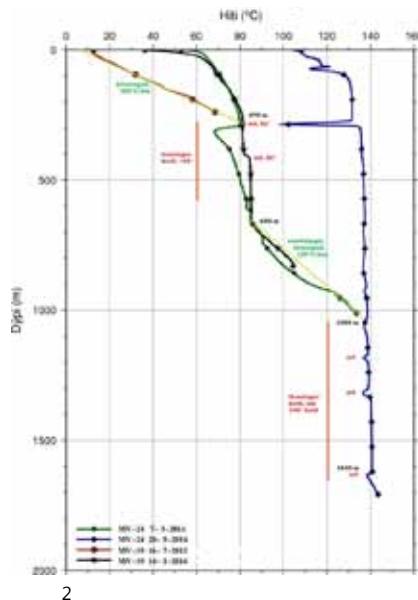
geothermal gradient high at Möðruvellir in the hope of encountering similar water temperatures and volume. Only about 800 m separate the two target areas.

### Another Well needed

Temperature in the first production well (MV-19) was in many ways typical for hot-water wells in the low-geothermal areas of Iceland. In the upper section of the well the geothermal gradient is steep but when the reservoir is reached, at about 270 m depth, the gradient becomes gentle and relatively stable temperature is measured down to about 650 m depth. The usual interpretation would be that during drilling the well penetrated permeable formations by, or close to, a fault or fissure. This is called a convective system and forms the exploitable part of the well.

### Production Well MV-24 Drilled in the Second Thermal Target

The intention was that the new well would be similar to the previous one. The hope was that enough water would be available within 1000 m depth, with a temperature in the excess of 80°C. However, at 1010 m depth, the hole produced scarce water whilst the temperature log indicated that it had penetrated a deeper and hotter geothermal system. Drilling was continued therefore, in the hope of finding feed-zones in the rock formation. Yet permeability still seemed a far-off dream at 1580 m, at which depth the well produced only 1 L/s of about 80°C water, which is only a drop in the ocean. The temperature curve nevertheless still indicated that water might be found with further drilling.



### Then, Hot Water at Last

The well had become much deeper than originally planned. Although some progress had been achieved by stimulating the hole, there was still hope that it would be possible to access more water by drilling as deep as the pulling capacity of the rig would allow. During these exhausting operations, it was noted that new feed zones were penetrated and the temperature had increased. When the well had reached 1704 m it was clear that drilling had to be terminated as the lifting capacity of the rig had been reached. This occurred on the first day of Icelandic summer in 2014. From that day the well has been discharging and it produces 20 L/s. The water is boiling hot and steaming, as the temperature at 90 m depth is about 130°C.

Whilst the hot boiling water was flowing out of the well, a new district heating company was being founded, which is presently exploring the possibility of piping the water throughout Kjós County. The heating distribution system is being planned and it is hoped that a preliminary design will be completed in the spring, perhaps on the first day of the Icelandic summer this year, which would of course be quite appropriate.





# Kennsla og þróun Geothermal Training

Guðni Axelsson  
sviðsstjóri / Director



**Lærdómur er hluti af starfinu  
hvort sem það er að miðla  
þekkingu eða afla hennar.  
ÍSOR tekur þátt í að þjálfa  
sérfræðinga um allan heim**

**Jarðhitaskóli Háskóla  
Sameinuðu þjóðanna (JHS)**

Stór hluti kennslu nemenda við Jarðhitaskólann er í höndum starfsmanna ÍSOR, eins og verið hefur frá stofnun skólans 1978. Námið stendur í hálfat ár og í lok árs 2014 höfðu 583 nemendur frá 58 löndum útskrifast frá skólanum. Frá ÍSOR eru einnig sjö sérfræðingar fulltrúuar í námsráði skólans. Auk kennslu í JHS hafa starfsmenn ÍSOR tekið þátt í kennslu á árlegum námskeiðum sem Jarðhitaskólinn hefur heldið tengd Þúsaldarmarkmiðum Sameinuðu þjóðanna. Á árinu 2014 voru slík námskeið haldin í Kenia og El Salvador,

eins og undanfarinn áratug. Til viðbótar þessari reglubundnu þjálfun sá ÍSOR um stóran hluta kennslu á mörgum öðrum námskeiðum víða um heim, sem sum voru skipulögð með Jarðhitaskólanum.

## **Samstarf við íslenskt háskólasamfélag**

Starfsmenn ÍSOR hafa í gegnum árin sinnt kennslu við Háskóla Íslands og Háskólan í Reykjavík og verið leiðbeinendur framhaldsnema þar. Nokkrir starfsmenn ÍSOR hafa verið, og eru, gestaprófessorar við HÍ. Kennt hefur verið við Keili í Reykjaneshús og við Iceland School of Energy, sem ÍSOR á hlut í og rekinn er við HR, þar hefur kennsla aukist á undanförnum árum og var töluvert umfangsmikil á árinu 2014.

## **Þróunarverkefni**

ÍSOR var virkur þáttakandi í allmögum rannsóknarverkefnum, styrktum af inn-

lendum jafnt sem erlendum aðilum, á árinu 2014. Segja má að stór hluti þeirra grunnrannsókna og þróunaraðferða sem ÍSOR sinnir fari fram í tengslum við þessi verkefni. Má þar nefna viðamikil samvinnuverkefni styrkt af Evrópusambandinu. Þar á meðal er IMAGE-verkefnið sem hófst á árinu 2013 en það er umfangsmikið verkefni með það markmið að þráða nýjar aðferðir til að rannsaka jarðhitakerfi og staðsetja djúpar borholur með markvissari hætti. ÍSOR er um þessar mundir jafnframt þátttakandi í nokkrum fjölda nýrra umsókna í rannsóknarsjóði Evrópusambandsins ásamt nokkrum samstarfsstofnunum á meginlandi Evrópu. Þá vinnur ÍSOR að nokkrum verkefnum sem jarðhitaklasinn GEORG styrkir í samvinnu við innlenda og erlenda aðila og má þar nefna verkefni tengt rótum háhitakerfa, Deep Roots of Geothermal Systems (DRG), sem hófst árið 2013 og hélt áfram 2014. Með því á að reyna að öðlast betri skilning á dýpstu hlutum jarðhitakerfa.

## United Nations University Geothermal Training Programme (UNUGTP)

ÍSOR has taken the main responsibility for the teaching of students from UNU-GTP since the schools' foundation 1979. By the end of 2014, 583 students from 58 countries had graduated. ÍSOR is also represented in the Study Council of the school by seven professionals. In addition to the six months training programme by the UNU-GTP, ÍSOR staff have also participated in the annual teaching courses organized by the UNU-GTP held in relation to the United Nations Millennium Development Goals. In 2014, as in previous years, such courses were held in Kenya and El Salvador. We also make a major contribution to training in many other courses around the world, including some organized through the UNU (see summary on map).

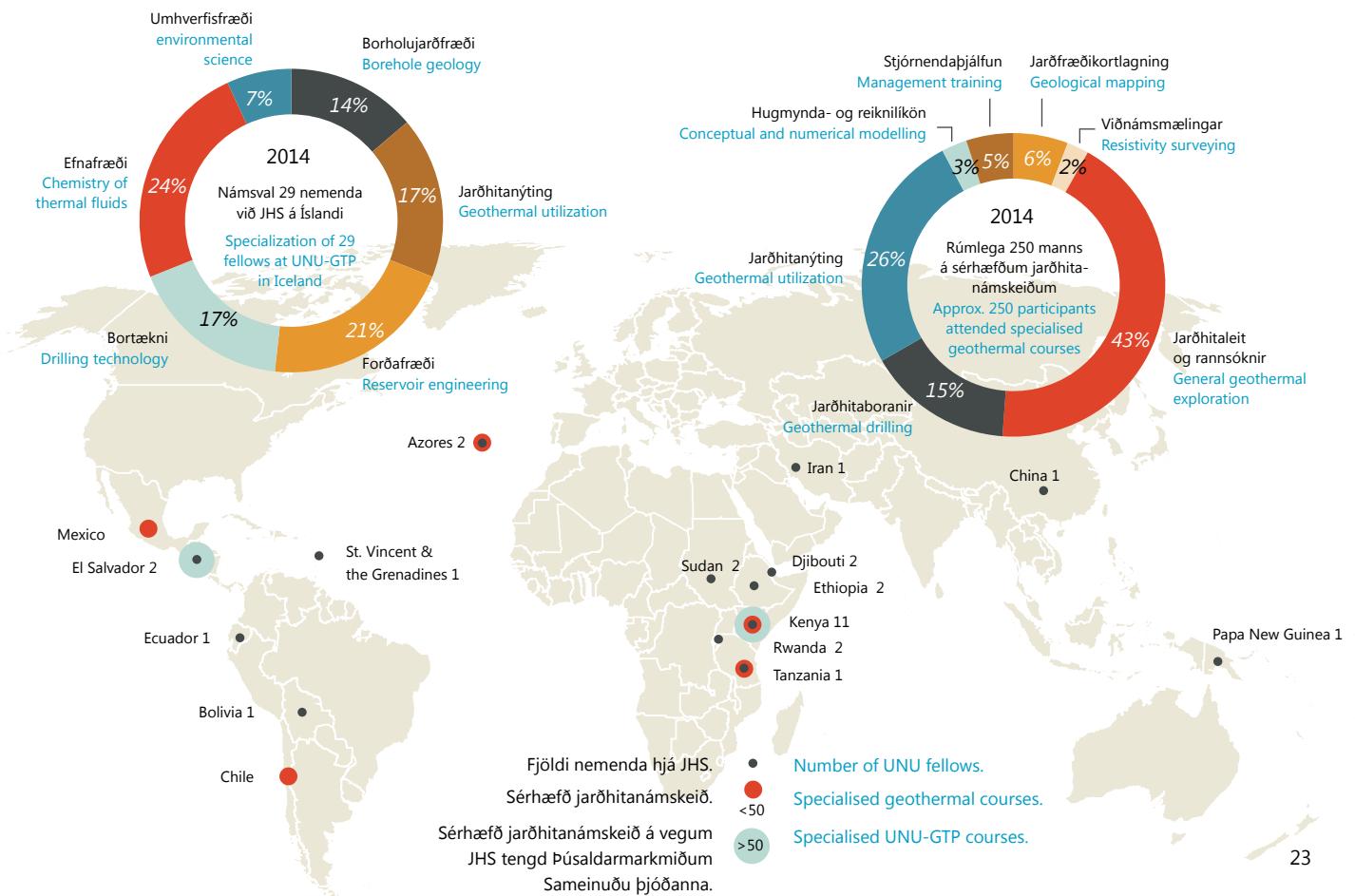
## Collaboration with the Icelandic University Community

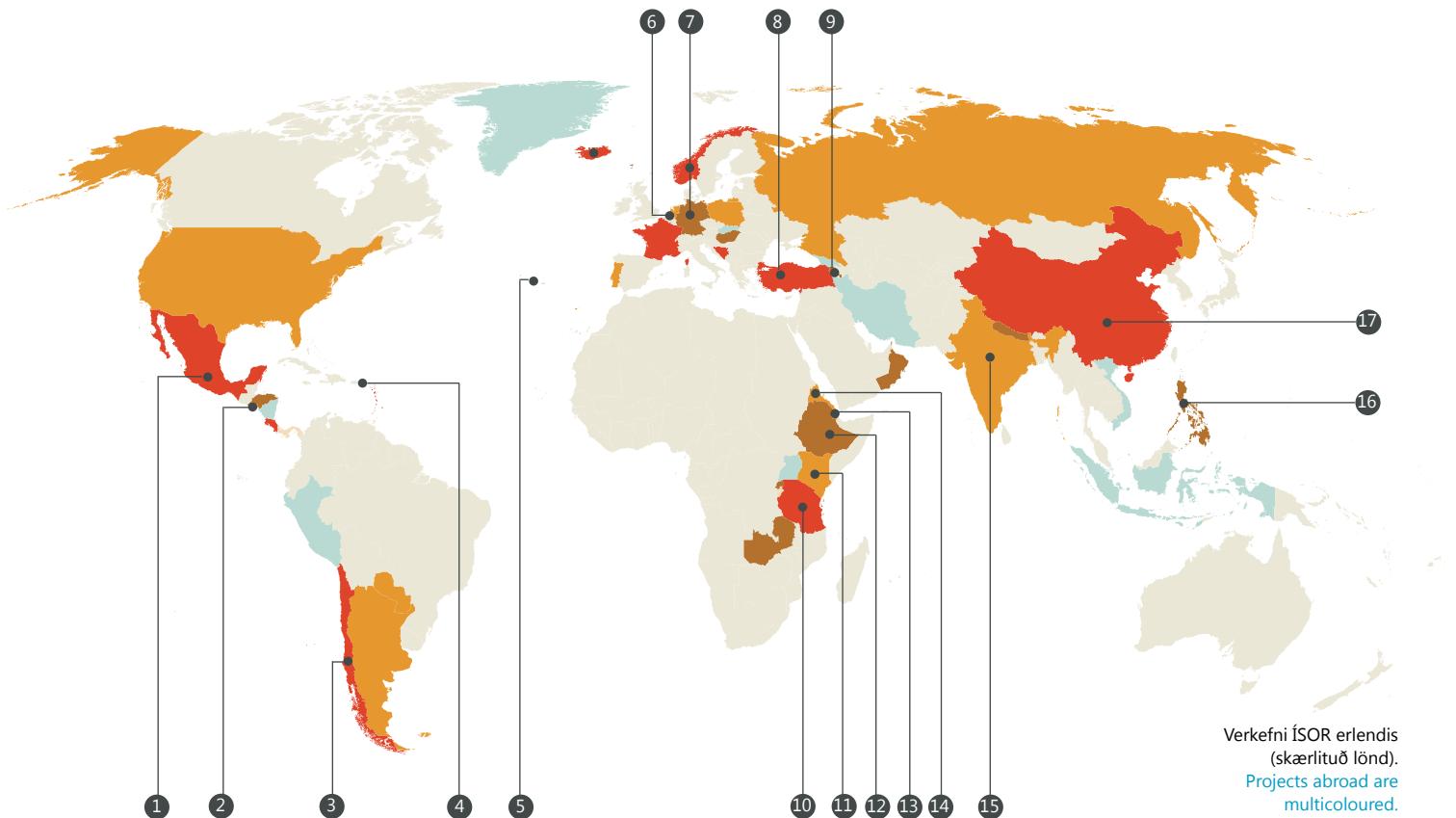
Employees of ÍSOR have traditionally lectured at the University of Iceland (UNI) and Reykjavík University (RU) and been supervisors for graduate students there. Several employees of ÍSOR have been, and are, visiting professors at the UNI. We

supply teaching at Keilir (Atlantic Center of Excellence) and at the Iceland School of Energy, which is however, administered by HR, and has grown in recent years to become quite extensive in 2014.

## Development Projects

In 2014, ÍSOR was an active participant in a number of research projects funded by domestic and foreign parties. These projects have utilized our basic research and development methods. They include broad cooperative projects funded by the European Union such as the IMAGE project, which began in 2013; a major project with the aim of developing new methods to investigate geothermal systems and to site deep wells with extra precision. We are currently pursuing a number of applications to research funds of the European Union with several cooperating organizations in Europe. ÍSOR is also involved in projects which the geothermal cluster GEORG supports in collaboration with domestic and foreign participants. This includes the project "Deep Roots of Geothermal Systems", which began in 2013 and continued in 2014. The project aims to elicit a better understanding of the deepest parts of volcanic geothermal systems.





# Verkefni erlendis Projects Worldwide

Bjarni Richter  
markaðsstjóri  
Marketing Manager



## 1 - Mexíkó

Námskeið um aðferðir við jarðhitaleit fyrir CEMIE-Geo o.fl.

## 2 - El Salvador

Sérhæft jarðhitanaðmskeið á vegum Jarðhitaskólans.

## 3 - Chile

Sérhæft námskeið í notkun viðnámsmælinga til jarðhitaleitar fyrir starfsfólk SERNAGEOMIN (Jarðfræði- og námastofnun Chile), haldið í Reykjavík.

## 4 - Dóminíka

Ráðgjöf og þjónusta við boranir og umhverfisvöktun vegna rannsóknar-, vinnslu- og niðurdælingarholna, þar með talin hönnun á holum, mælingar í borholum og á afköstum þeirra, sem og sýntaka jarðhitavökva og gufu.

## 5 - Azoreyjar

Mælingar og prófanir á fjórum holum frá fyrra ári héldu áfram. Almenn jarðhitaráðgjöf auk ráðgjafar í tengslum við yfirborðsrannsóknir, borframkvæmdir og tillögur um gerð orkuvers. Námskeið um jarðfræðirannsóknir og jarðhitanytingu.

## 6 - Belgía

Mat á jarðhitaverkefni vegna fyrirhugaðrar jarðhitanytingar.

## 7 - Þýskaland

Mat á jarðhitaverkefni vegna jarðhitanytingar í Suður-Þýskalandi.

## 8 - Tyrkland

Vinna að nokkrum verkefnum fyrir orku- fyrirtæki vegna reksturs virkjana og jarðhitaleitar. Einnig var fjármálfyrirtækjum veitt ráðgjöf vegna fyrirhugaðrar byggjinguar jarðvarmavera.

## 9 - Armenía

Gasflæðimælingar vegna jarðhitavinnslu á Karkar-svæðinu í Suður-Armeníu.

## 10 - Tansanía

Undirbúningur jarðhitaraðmsóknar og námskeið um jarðhitaboranir.

## 11 - Kenía

Uppfærsla á hugmynda- og reiknilíkönum af jarðhitakerfinu í Olkaria og almenn jarðhitaráðgjöf fyrir orku- fyrirtækið KenGen. Haldið var námskeið í jarðfræðikortlagningu og meðferð landupplýsinga og þjálfun í gerð hugmynda- og reiknilíkana fyrir starfsfólk KenGen.

## 12. - Eþíópíá

Ráðgjöf fyrir Próunarsamvinnustofnun-Íslands og Norræna Próunarsjóðinn vegna jarðhitaverkefna í löndum Austur-Afríku.

## 13 - Djibútí

Könnun á stöðu jarðhitaraðmsóknar og möguleikum á áframhaldandi rannsóknum.

## 14 - Erítrea

Undirbúningur og ráðgjöf vegna frekari jarðhitaraðmsóknar fyrir þarlend stjórnvöld.

## 15 - Indland

Ráðgjöf í erlendu þróunarverkefni og umsjón með sýniverkefni sem felst í litlu kerfi til upphitunar húsa með jarðhita í Himalajafjöllum.

## 16 - Filippseyjar

Grunnranndóknir á jarðhitasvæðinu Montelago á eyjunni Mindoro vegna fyrirhugaðra virkjunarframkvæmda, m.a. var viðnám mælt. Einnig var almenn jarðfræði- og borholuráðgjöf veitt þegar boranir hófust.

## 17 - Kína

Ráðgjöf til orku- fyrirtækis vegna hugmynda um raforkuvinnslu og ráðgjöf til fjárfesta vegna hitaveituframkvæmda.

## **1 - Mexico**

Courses on methods of geothermal exploration for CEMIE-Geo and more.

## **2- El Salvador**

A specialized geothermal course run by the United Nations University Geothermal Training Program.

## **3 - Chile**

A specialized courses in the use of resistivity data for geothermal exploration for the staff at SERNAGEOMIN (The geology and mining institute Chile), held in Iceland.

## **4 - Dominica**

General geothermal consultation, environmental monitoring and on-site services during drilling of monitoring, re-injection and production wells. Inclusive of well design, evaluation of well output, geophysical well-logging, short term flow testing and chemical sampling during flow testing.

## **5 - The Azores**

Continued monitoring and testing of four wells from the previous year. General geothermal consultancy. Consultancy regarding surface exploration, drilling strategy and suggestions on power plant design. Courses on geological surveying and geothermal exploitation.

## **6 - Belgium**

Evaluation of a project regarding planned geothermal exploitation.

## **7 - Germany**

Evaluation of a project regarding planned geothermal exploitation in Southern Germany.

## **8 - Turkey**

Several projects for local power companies regarding the management of power stations and geothermal exploration. Consultation to financial service companies regarding the planned construction of geothermal power plants.

## **9 - Armenia**

Gas flow measurements at a geothermal exploitation site in Southern Armenia.

## **10 - Tanzania**

Preparation of geothermal exploration and a course on geothermal drilling.

## **11 - Kenya**

Updates of the conceptual and reservoir simulation models of the Olkaria geothermal system. General consultation to Kenya Electricity Generating Company as well as courses for their staff on the subjects of conceptual models, reservoir simulation, geological mapping and the treatment of survey information.

## **12. - Ethopia**

Consultation for The Icelandic International Development Agency (ICEIDA) and the Nordic Development Fund regarding geothermal projects for countries in the East African Rift Valley.

## **13 - Djibouti**

Exploration of the current status of geothermal exploration and possibilities for further exploration.

## **14 - Eritrea**

Preparation and consultation regarding geothermal exploration for the Eritrean authorities.

## **15 - India**

Consultancy to a foreign development project and implementation of a small geothermal demonstration house heating system in the Himalayas.

## **16 - Philippines**

Geothermal exploration of the Montelago geothermal zone on the island of Mindoro in preparation of its exploitation, e.g. resistivity measurements as well as general geological and drilling consultation as of the time drilling commenced.

## **17 - China**

Consultation regarding reservoir monitoring and field management. Evaluation of potential geothermal areas for power production.

2



1





1



2

### **Grunnrannsóknir á Filippseyjum**

ÍSOR gerði samning við fyrirtækið Emerging Power Inc. um grunnrannsóknir á jarðhitasvæðinu Montelago á eyjunni Mindoro á Filippseyjum. Vonast er til að hægt verði að reisa þar um 40 MW virkjun til rafmagnsframleiðslu.

Í febrúarmánuði fór sérfræðingahópur frá ÍSOR til viðnámsmælinga við frekar erfiðar aðstæður í fjalllendi og þéttum regnskógi. En með dyggri aðstoð heimamanna náðust 54 mælingar sem túlkáðar voru einvitt jafnóðum og síðar í þrívidd. Rannsóknarboranir með kjarnaborum byrjuðu í Montelago í lok ársins og sér ÍSOR um holuhönnun, jarðfræði- og borráðgjöf á meðan borun stendur og þrófun holnanna eftir borun.

### **Jarðhitakerfið Olkaria í Kenía**

Unnið var að því að uppfæra hugmynda- og reiknilíkan af Olkaria-jarðhitasvæðinu í Kenía. Sú vinna var gerð í samstarfi við verkfræðistofurnar Vatnaskil, Verkís og Mannvit sem og starfsmenn orkuþyrirkækisins KenGen í Kenía.

Líkanið hefur verið í stöðugri þróun síðustu 35 árin. Á árunum 2011-2012 var hugmyndlíkanið endurskoðað af íslensku fyrirtækjunum á grundvelli yfirgrípmikilla jarðvísindalegra gagna sem aflað hafði verið. Uppfærslan núna fólst í því að færa inn í líkönin upplýsingar síðan 2012 en KenGen hefur borað um 60 djúpar holur á þessum fáu árum og prófað holurnar, enda eru 8 borar stöðugt í gangi á svæðinu. Starfsmenn KenGen fengu jafnframt þjálfun í notkun þríviddarhugbúnaðs. Markmiðið er að þeir sjái alfaríð um að þróa og endurbæta líkönin áfram. Sérfræðingar ÍSOR og Vatnaskila heimsóttu Olkaria auk þess sem sjö sérfræðingar frá KenGen sóttu ÍSOR heim í nóvember til að vinna að uppfærslu líkansins. Það líkan tekur til stærsta rúmmáls og mesta fjölda borholna af þeim líkönum sem ÍSOR hefur komið að.

### **Fyrsta vinnsluholan á Dominíku í Karíbahafi**

ÍSOR og Jarðboranir hf. gerðu samning 2011 við stjórnvöld á eyjunni Dominíku um boranir og þjónustu vegna þeirra. Byrjað var á að bora þjárá grannar rannsóknarholur í desember 2011 og stóðu boranir fram á mitt ár 2012. Tókst ágætlega til og voru jákvæðar vísbindingar um að vinnanlegur jarðhiti væri til staðar. Ákveðið var að halda áfram með vinnsluboranir sem hófust í lok ársins 2013 og lauk um mitt ár 2014. Í þeim áfanga bættist við niðurrennslishola og vinnsluholan sem er 1505 m djúp og gefur um 7-9 MWe. ÍSOR hefur sinnt umhverfiseftirliti, jarðfræðiráðgjöf í tengslum við boranirnar og borholumælingum. Þá hafa sérfræðingar ÍSOR einnig metið afköst holnanna og rannsakað efnaræðilega eiginleika jarðhitavökvars og gufu í þeim. Um 10 sérfræðingar frá ÍSOR hafa tekið þátt í þessu verkefni, bæði hér heima og á Dóminíku. Svæðið virðist vera gjöfult og því gætu holurnar séð jarðvarmavirkjun fyrir gufu sem uppfyllti raforkupörft eyjarinnar.

Verkefnið var fjármagnað af þróunarsjóði Frakka (AFD) og þróunarsjóði Evrópusambandsins (EDF), auk stjórnvalda á Dóminíku.

1. Hópur sérfræðinga og aðstoðarmanna að undirbúa viðnámsmælingar á Filippseyjum með vatnabuffal sem dráttardýr fyrir tækjabúnaðinn.

*A group of ÍSOR's specialists and assistants preparing resistivity measurements in the Philippines with a buffalo as their aid.*

2. Komið var upp jarðskjálfanemum í Alalobeda, Tendaho í Epíópiú ásamt sólarrafhlöðum.

*An installation of seismic sensors with solar cells in Alalobeda, Tendaho in Ethiopia.*

### **Unnið að því að efla jarðhitanytingu í Austur-Afríku**

ÍSOR er ráðgjafi Próunarsvinnustofnumar Íslands (ÞSSÍ) og Norræna Próunar-sjóðsins (NDF) í jarðhitaverkefni sem miðar að því að aðstoða lönd í sigdalnum í Austur-Afríku við rannsóknir og manna-auðsuppsyggingu á sviði jarðhitanytingar. Markmiðið er að kanna hvort nýtanlegur jarðhiti sé til staðar og að auka möguleika þessara landa til framleiðslu sjálfbærar orku. Sem dæmi má nefna að í Epíópiú eru yfirborðsrannsóknir sem taka til jarðfræði, jarðefnafræði og jarðeölisfræði á vegum þessar aðila langt komnar á jarðhitasvæðinu í Alalobeda í Tendaho og nýhafnar í Aluto Langano. ÍSOR vann að gerð útboðsgagna, vali tilboðsgjafa og eftirliti með framkvæmd rannsóknanna.

## **Geothermal Exploration in Philippines**

A group of specialists from ÍSOR travelled to Montelago for resistivity measurements on the island of Mindoro in the Philippines for Emerging Power Inc. This work was done in February under difficult conditions in mountainous terrain and forest, but with the skilled help of local people, 54 measurements were concluded and interpreted 1D simultaneously and 3D afterwards. Exploration drilling started in Montelago by the end of the year and ÍSOR was in charge of geological and drilling consultancy during drilling and geophysical well testing after completion of the drill.

## **Assessment of the Olkaria Geothermal System, Kenya**

Significant work was undertaken last year to update the conceptual model of the Olkaria geothermal system in Kenya. The work was conducted in collaboration with engineering firms Vatnaskil, Verkís and Mannvit in addition to staff with the KenGen energy company of Kenya.

The model has been developed constantly through the past 35 years. In 2011-2012, the conceptual model was revised by Icelandic companies based on newly acquired comprehensive geoscientific data. The present update of the model includes results from 2012, during these few years KenGen has drilled around 60 deep wells and tested them. Eight drilling rigs are operating constantly in the area. KenGens' employees were also trained in using 3D-visualtization software. The aim is that they will develop and improve the models by themselves in the future.

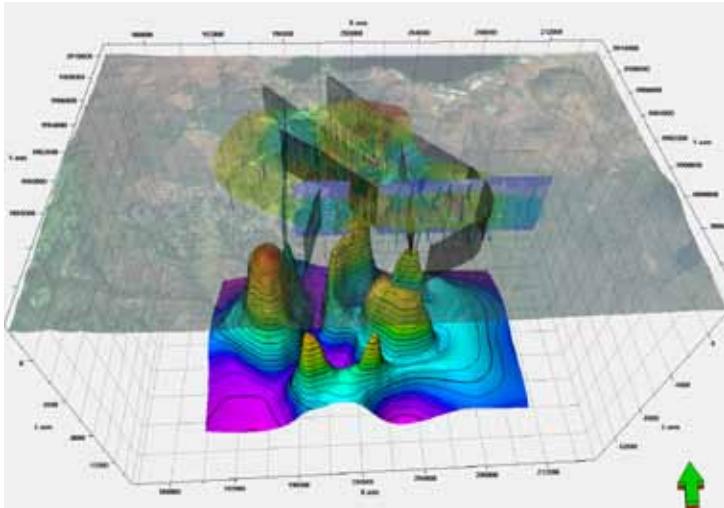
Experts from ÍSOR and Vatnaskil visited Olkaria in 2014, and seven specialists from KenGen visited ÍSOR in Iceland in November, to work progress the project. The model comprises the largest geothermal volume and the greatest number of boreholes ever undertaken by ÍSOR.

## **The First Production Well on the Caribbean Island of Dominica**

ÍSOR and Iceland Drilling Ltd. agreed with the Dominican government in 2011, to provide geothermal drilling, consultancy and servicing on the island. Initially three exploration wells were drilled from



1



2

1. 140 MW virkjun, Olkaria IV, fór í gang 2014.  
*Olkaria IV 140 MW was commissioned in Kenya in 2014.*
2. Líkan af jarðhitakerfinu í Olkaría.  
*Olkaria conceptual model.*

December 2011 until mid-2012. The wells were successful, giving positive indication that the geothermal resource could be exploited. Production drilling began in late 2013 and was completed in mid-2014. During this phase, a reinjection well was added and the production well, which is 1505 m deep, yields 7-9 MWe. ÍSOR has carried out environmental monitoring and geological consulting in connection with the drilling and geophysical logging. ÍSOR has also evaluated the performance of the wells and studied the chemical properties of the geothermal fluid and steam. Some 10 experts from ÍSOR have participated in this project, both in Iceland and in Dominica. The geothermal area seems to be productive and could provide the whole island with electricity should the decision be made to build a power plant.

The project was financed by the French Agency for Development (AFD) and the European Development Fund (EDF), as well as the government of Dominica.

## **Efforts to Promote the Utilization of Geothermal Energy in East Africa**

ÍSOR is an advisory body for The Icelandic International Development Agency (ICEIDA) and the Nordic Development Fund (NDF) in a geothermal project which aims to assist countries in the East African Rift Valley, to develop research and human resources in the field of geothermal energy. The objective is to study whether useful geothermal energy is available along the rift valley, thus increasing the potential of the numerous East African countries to produce renewable energy. For example, in Ethiopia surface exploration involving geology, geochemistry and geophysics supported by these parties are well under way in Alalobeda in Tendaho, and have recently started in Aluto Langano. ÍSOR drafted the bidding documents, worked on bidder selection and is monitoring the implementation the research.

# Útgefið efni

# Publications

## Skýrslur Reports

Anett Blischke og Ögmundur Erlendsson (2014). **CRUSMID-3D – NORDMIN. Status Report 2014.** Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2014/056. Unnið fyrir GEUS (Geological Survey of Denmark and Greenland) og Orkustofnun. 33 s. Lokuð skýrsla.

Auður Agla Óladóttir (2014). **Observations on CO<sub>2</sub> Flux through Soil and Soil Temperature in the Reykjanes Geothermal Area in 2012 and 2013.** Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2014/024. Unnið fyrir HS Orku hf. 27 s.

Auður Agla Óladóttir, Finnbogi Óskarsson og Daði Þorbjörnsson (2014). **Measurements of CO<sub>2</sub> Flux from Soil at Karkar, Armenia.** Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2014/048. Unnið fyrir World Bank. 33 s. Lokuð skýrsla.

Árni Hjartarson (2014). **Húsavíkurhöfði. Jarðhitraðarsókn 2014.** Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2014/040. Unnið fyrir Orkuveit Húsavíkur. 21 s.

Árni Hjartarson (2014). **Seyðisfjörður. Jarðhitraðarsókn 2014.** Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2014/059. Unnið fyrir RARIK. 19 s.

Bjarni Gautason (2014). **Norðurorka. Forgangsröðun rannsókna og horfur í rekstri fyrir Akureyri og nágrenni til ársins 2030.** Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2014/042. Unnið fyrir Norðurorku. 28 s.

Bjarni Gautason, Þorsteinn Egilson og Hörður Tryggvason (2014). **Norðurorka. Eftirlit með jarðhitasvæðum og orkubúskapur veitunnar fyrir Akureyri og nágrenni 2011–2013.** Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2014/051. Unnið fyrir Norðurorku. 62 s.

Björn Már Sveinbjörnsson (2014). **Success of High Temperature Geothermal Wells in Iceland.** Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2014/053. Unnið fyrir Orkustofnun. 40 s. + viðauki á CD (lokaður).

Daði Þorbjörnsson, Steinþór Niélsson, Gunnlaugur M. Einarsson, Hjalti Franzson, Ragna Karlsdóttir, Sæunn Halldórsdóttir, Práinn Friðriksson og Finnbogi Óskarsson (2014). **Reykjanes – Conceptual Model.** Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2014/049. Unnið fyrir HS Orku hf. 60 s. Lokuð skýrsla.

Daði Þorbjörnsson, Þorsteinn Egilson og Sigurður Sveinn Jónsson (2014). **Short-Term Flow Test of Well WW-P1, Laudat, Dominica.** Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2014/072. Unnið fyrir PGMU. 38 s.

Egill Árni Guðnason og Kristján Ágústsson (2014). **Earthquake Swarm on Reykjanes in October 2013.** Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2014/017. Unnið fyrir HS Orku hf. 25 s.

Egill Árni Guðnason og Ólafur G. Flóvenz (2014). **Seismic Activity on Reykjanes, January 2013 – May 2014.** Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2014/038. Unnið fyrir HS Orku hf. 29 s.

Egill Árni Guðnason, Kristján Ágústsson og Karl Gunnarsson (2014). **Seismic Activity on Reykjanes, June–November 2014.** Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2014/062. Unnið fyrir HS Orku hf. 18 s.

Einar Jón Ásbjörnsson (2014). **Effective and Sustainable Hydraulic Fracturing. Úrdráttur úr ráðstefnu í Brisbane, maí 2013.** Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2014/035. Unnið fyrir Orkustofnun. 17 s.

Ester Eyjólfssdóttir og Vigdís Harðardóttir (2014). **Amorphous Silica Saturation Pressure at Wellhead. RN-22, RN-28, RN-29 and RN-32.** Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2014/070. Unnið fyrir HS Orku hf. 16 s. Lokuð skýrsla.

Finnbogi Óskarsson (2014). **Stable Isotope Characterisation of the Gas in the Reykjanes System.** Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2014/031. Unnið fyrir HS Orku hf. 18 s.

Finnbogi Óskarsson (2014). **Svartsengi Production Field. Geochemical Monitoring in 2013.** Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2014/012. Unnið fyrir HS Orku hf. 49 s.

Finnbogi Óskarsson og Vigdís Harðardóttir (2014). **Reykjanes Power Plant. Steam and Water Quality in 2013.** Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2014/009. Unnið fyrir HS Orku hf. 37 s.

Finnbogi Óskarsson og Vigdís Harðardóttir (2014). **Svartsengi Power Plant. Steam and Water Quality in 2013.** Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2014/010. Unnið fyrir HS Orku hf. 40 s.

Finnbogi Óskarsson, Pórlfur H. Hafstað og Práinn Friðriksson (2014). **Assessment of the Feasibility for Geothermal Power Production at Kapisa, Zambia.** Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2014/013. Unnið fyrir ZESCO, Zambia. 47 s. Lokuð skýrsla.

Finnbogi Óskarsson, Práinn Friðriksson og Daði Þorbjörnsson (2014). **Reykjanes Production Field. Geochemical Monitoring in 2013.** Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2014/011. Unnið fyrir HS Orku hf. 77 s.

Guðmundur H. Guðfinnsson (2014). **Alteration in the Þeistareykir Geothermal System. A Study of Drill Cuttings in Thin Sections.** Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2014/028, LV-2014-063. Unnið fyrir Landsvirkjun. 107 s.

Guðni Axelsson (2014). **Analysis of Tracer Tests Conducted in the Reykjanes Geothermal System 2013–2014.** Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2014/047. Unnið fyrir HS Orku hf. 19 s.

Guðni Axelsson, Andri Arnaldsson og Sigurður Lárus Hólm (2014). **Provision of Consultancy Services for Undertaking of Reservoir Model Maintenance for the Greater Olkaria Geothermal Field and Training of Staff: Inception Report.** Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2014/018, Vatnaskil, 14.04. Mannvit og Verkís. Unnið fyrir KenGen. 31 s.

Gylfi Páll Hersir, Knútur Árnason og Arnar Már Vilhjálmsson (2014). **Resistivity Survey in Montelago on Mindoro Island, Philippines. Data Acquisition, Processing and 1D Inversion.** Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2014/015. Unnið fyrir Emerging Power. 107 s. Lokuð skýrsla.

Hanna Blanck, Kristján Ágústsson og Karl Gunnarsson (2014). **Seismic Monitoring of Krafla. For the Period October 2013 to October 2014.** Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2014/061, LV-2014-136. Unnið fyrir Landsvirkjun. 25 s.

Helga Margrét Helgadóttir og Guðmundur Ómar Friðleifsson (2014). **Core Drilling at Geitafell Gabbro Contact Aureole, SE-Iceland.** 2014. Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2014/068. Unnið fyrir IMAGE.

Hjalti Franzson, Guðmundur H. Guðfinnsson og Helga M. Helgadóttir (2014). **Fluid Inclusion Study in Alteration Minerals from Well RN-29 at Reykjanes High-Temperature Field.** Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2014/002. Unnið fyrir HS Orku hf. 16 s.

Hörður Tryggvason (2014). **Mælingaeftirlit á Bitru árið 2014.** Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2014/057. Unnið fyrir Orkuveit Reykjavíkur. 28 s.

Hörður Tryggvason (2014). **Mælingaeftirlit á Nesjavöllum árið 2014.** Íslenskar orkurannsóknir,

ÍSOR-2014/060. Unnið fyrir Orku náttúrunnar. 52 s.

Hörður Tryggvason (2014). **Mælingaeftirlit við Hverahlíð árið 2014.** Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2014/054. Unnið fyrir Orku náttúrunnar. 33 s.

Hörður Tryggvason, Finnbogi Óskarsson og Bjarni Gautason (2014). **Skagafjarðarveitur. Eftirlit með jarðhitavinnslu 2011–2013.** Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2014/064. Unnið fyrir Skagafjarðarveitur. 48 s.

Ingvar Þór Magnússon (2014). **Þyngdarmælingar í Kröflu í ágúst 2013.** Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2014/007, LV-2014-044. Unnið fyrir Landsvirkjun. 26 s. + viðauki.

Knútur Árnason og Gylfi Páll Hersir (2014). **3D Inversion of MT Data from Montelago on Mindoro Island, Philippines.** Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2014/020. Unnið fyrir Emerging Power Inc. 99 s. Lokuð skýrsla

Kristján Ágústsson og Egill Árni Guðnason (2014). **Fault Plane Solutions for Selected Earthquakes in the Vicinity of the Reykjanes Geothermal Field.** Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2014/043. Unnið fyrir HS Orku hf. 26 s.

Kristján Ágústsson og Egill Árni Guðnason (2014). **GEISER. Final Report for the GEISER Project.** Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2014/050. Unnið fyrir GEORG. 14 s. + viðauki.

Kristján Sæmundsson og Páll Einarsson (2014). **Notes on the Tectonics of Reykjanes.** Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2014/003. Unnið fyrir HS Orku hf. 29 s.

Kristján Sæmundsson, Jónas Þór Ingólfsson og Guðjón Eyjólfur Ólafsson (2014). **Stóra-Laxá – Illagil. Berggrunnskort 1:10.000.** Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2014/019. Unnið fyrir EFLU. 26 s. + 1 kort og teikningar.

Magnús Ólafsson (2014). **Hitaveita Suðureyrar. Eftirlit með efnainnihaldi vatns úr vinnsluholum hitaveitunnar 2012 og 2013.** Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2014/005. Unnið fyrir Orkubú Vestfjarða. 12 s.

Magnús Ólafsson (2014). **Jarðhitasvæðið á Reykjum í Hrútafirði. Yfirlit um rannsóknir og nýtingu.** Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2014/001. Unnið fyrir Húnaþing vestra. 35 s.

Maryam Khodayar (2014). **Shift of Þeistareykir Fissure Swarm in Tjörnes Fracture Zone: Case of Pull-apart on Strike-slip?** Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2014/074, LV-2014-144. Unnið fyrir Landsvirkjun. 21 s.

Maryam Khodayar, Sveinbjörn Björnsson, Steinþór Niélsson, Guðni Axelsson og Hjalti Franzson (2014). **Preliminary Structural Analysis of Reykjanes for Re-injection.** Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2014/039. Unnið fyrir HS Orku hf. 96 s. + 1 kort. Lokuð skýrsla.

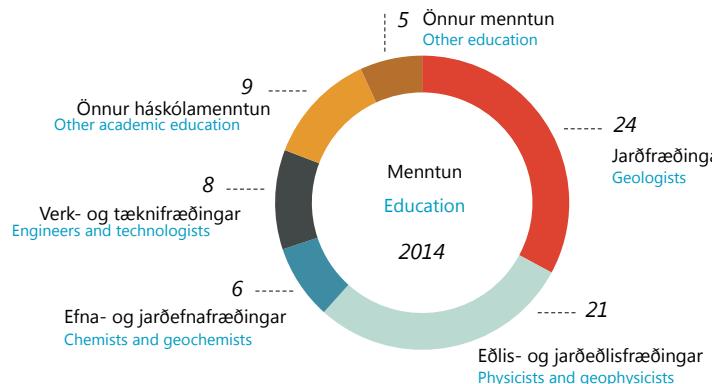
Maryam Khodayar, Sverrir Þórhallsson, Guðni Axelsson, Anett Blischke, Sigþór Jóhannesson, Óskar P. Einarsson og Þóra Hlíð Þórisdóttir (2014). **Review of the Weilheim Geothermal Project by Iceland GeoSurvey (ÍSOR) and Verkís.** Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2014/030, Verkís 14117001-4-SK-0003. Unnið fyrir I Squared Capital. 74 s. Lokuð skýrsla.

Ragna Karlsdóttir og Arnar Már Vilhjálmsson (2014). **Reykjanes Geothermal Area, Southwest Iceland. Extension of 3D Inversion of MT Data.** Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2014/016. Unnið fyrir HS Orku hf. 134 s.

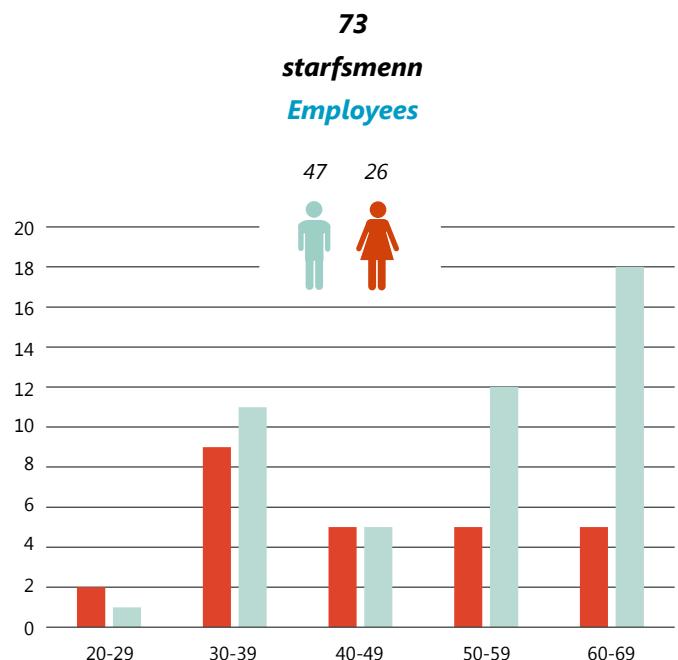
- Sigriður Sif Gylfadóttir (2014). *Svartsengi – Reykjanes. Hita- og þrýstingsmælingar 2013*. Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2014/026. Unnið fyrir HS Orku hf. 84 s.
- Sigriður Sif Gylfadóttir (2014). *Wellbore Simulation of Flowing Wells at Reykjanes. Simulation of Temperature and Pressure in Wells RN-11, RN-12, RN-14b, RN-19, RN-22, RN-26 and RN-27*. Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2014/023. Unnið fyrir HS Orku. 49 s. Lokað skýrsla.
- Sigriður Sif Gylfadóttir og Sveinborg Hlíf Gunnarsdóttir (2014). *Volumetric Assessment of the Lower Leirbotnar Geothermal Reservoir in Krafla, NE-Iceland*. Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2014/046, LV-2014-089. Unnið fyrir Landsvirkjun. 32 s.
- Sigriður Sif Gylfadóttir, Finnbogi Óskarsson og Sæunn Halldórsdóttir (2014). *Production Testing of Well RN-32 in April 2014*. Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2014/022. Unnið fyrir HS Orku hf. 29 s.
- Sigriður Sif Gylfadóttir, Vigdís Harðardóttir og Sæunn Halldórsdóttir (2014). *Production Testing of Well RN-22 in October 2013*. Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2014/021. Unnið fyrir HS Orku hf. 34 s.
- Sigriður Sif Gylfadóttir, Vigdís Harðardóttir, Finnbogi Óskarsson og Sæunn Halldórsdóttir (2014). *Production Testing of Well RN-29 in January 2014*. Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2014/063. Unnið fyrir HS Orku hf. 30 s.
- Sigurður G. Kristinsson, Finnbogi Óskarsson, Magnús Ólafsson og Auður Agla Óladóttir (2014). *Háhitavæðin í Kröflu, Námafjalli og á Þeistareykjum. Völtun á yfirborðsvirkni og grunnvatni árið 2014*. Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2014/058, LV-2014-132. Unnið fyrir Landsvirkjun. 173 s.
- Sigurður G. Kristinsson, Helga Margrét Helgadóttir og Magnús Ólafsson (2014). *Borun og mælingar í holu RR-22 á Reykjum við Reykjabraut. Jarðlagagreining og holusjármælingar*. Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2014/044. Unnið fyrir RARIK. 64 s. + CD.
- Sigurður Sveinn Jónsson, Anette K. Mortensen, Halldór Órvar Stefánsson, Halldór Ingólfsson og Sigurveig Árnadóttir (2014). *Dominica – Laudat. Well WW-P1. Drilling of Well WW-P1 from Surface to 1506 m Depth. Drilling Progress, Mud-logging, Well-logging and Injection-test Report*. Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2014/065. Unnið fyrir Government of the Commonwealth of Dominica, Ministry of Public Works, Energy and Ports.
- Sigurður Sveinn Jónsson, Þorsteinn Egilson, Halldór Órvar Stefánsson og Anette K. Mortensen (2014). *Dominica – Trafalgar. Well WW-R1. Drilling of Well WW-R1 from Surface Down to 1914 m Depth. Mud Logging, Well Logging and Injection Test Report*. Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2014/008. Unnið fyrir Government of the Commonwealth of Dominica, Ministry of Public Works, Energy and Ports. 123 s. + viðauki á CD.
- Sigurveig Árnadóttir (2014). *Results of Televiewer Logging in Well K-18 in Krafla High Temperature Area, NE-Iceland*. Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2014/066. Unnið fyrir IMAGE. 21 s. + viðauki.
- Sigurveig Árnadóttir (2014). *Úrvinnslas holusjármælingar í WellCAD. Notendahandbók – 1. útgáfa*. Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2014/045. 56 s. Lokað skýrsla.
- Sigurveig Árnadóttir og Helga Margrét Helgadóttir (2014). *Holusjármælingar í holum HN-10 og BO-3 við Botn í Eyjafirði og samanburður við BO-1*. Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2014/006. Unnið fyrir Norðurorku. 33 s. + 5 viðaukar á CD.
- Sigurveig Árnadóttir, Anett Blischke og Halldór Órvar Stefánsson (2014). *Televiewer and Spinner Logging Results of Well RN-33 at Reykjanes Geothermal Field, SW Iceland*. Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2014/041. Unnið fyrir HS Orku hf. 56 s.+viðaukar á CD.
- Stefán Auðunn Stefánsson (2014). *Skjálftamælanet á Þeistareykjum 2014. Uppsetning og lýsing á yfirborðsskjálftamaelum*. Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2014/069, LV-2014-140. Unnið fyrir Landsvirkjun.
- Stefán Auðunn Stefánsson (2014). *Skjálftamælanet við Námafjall 2014. Uppsetning og lýsing á yfirborðsskjálftamaelum*. Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2014/067, LV-2014-139. Unnið fyrir Landsvirkjun.
- Steinþór Níelsson, Björn S. Harðarson, Halldór Ó Stefánsson, Sveinborg H. Gunnarsdóttir, Bjarni Kristinsson, Halldór Ingólfsson, Haraldur Jónasson, Hörður Tryggvason, Sigurjón Vilhjálmsson og Stefán A. Stefánsson (2014). *Well Report RN-33. Drilling of Well RN-33 from Surface Down to 2695 m and Geothermal Studies of the Well during the Drilling*. Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2014/037. Unnið fyrir HS Orku hf. 320 s.
- Svanbjörg Helga Haraldsdóttir (2014). *Mælingaeftirlitári á vinnslusvæðum Hellisheiðarvirkjunar árið 2014*. Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2014/052. Unnið fyrir Orku náttúrunnar. 55 s.
- Svanbjörg Helga Haraldsdóttir, Sigvaldi Thordarson, Sigrún Gunnarsdóttir, Halldór Órvar Stefánsson, Halldór Ingólfsson og Bjarni Kristinsson (2014). *Boruholumælingar. Mat á mælingum og frágangur gagna*. Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2014/071. 24 s.
- Sveinborg Hlíf Gunnarsdóttir og Práinn Friðriksson (2014). *Sulfide Precipitation in the Reykjanes Geothermal Field*. Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2014/034. Unnið fyrir HS Orku hf. 21 s. Lokað skýrsla.
- Sæunn Halldórsdóttir, Ógmundur Erlendsson, Gyli Páll Hersir, Karl Gunnarsson, Anett Blischke, Helga M. Helgadóttir, Sigurveig Árnadóttir og Hanna Blanck (2014). *Vertical Seismic Profiling (VSP) Experiment in Krafla NE-Iceland. Field Report - Summary of Operations from May to June 2014*. Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2014/073. Unnið fyrir IMAGE.
- Vigdís Harðardóttir (2014). *Scales Collected during Work over 2013 from Well RN-22, Reykjanes*. Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2014/032. Unnið fyrir HS Orku hf. 39 s.
- Vigdís Harðardóttir (2014). *Selfossveitur. Eftirlit með efnainnihaldi jarðhitavatns árið 2013*. Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2014/014. Unnið fyrir Selfossveitur bs. 14 s.
- Vigdís Harðardóttir (2014). *Sulfide Scaling. Well by Well Review*. Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2014/033. Unnið fyrir HS Orku hf. 117 s.
- Þorsteinn Egilson, Benedikt Steingrímsson og Sverrir Þórhallsson (2014). *The Pico Alto Geothermal Field, Terceira. Long Term Production Test of Wells PA-4 and PA-3*. Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2014/036. Unnið fyrir GeoTerceira. 65 s.
- Þorsteinn Egilson, Hörður Tryggvason, Halldór Ingólfsson og Halldór Órvar Stefánsson (2014). *Eftirlitsmælingar í Kröflu og Bjarnarflagi 2014*. Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2014/055, LV-2014-128. Unnið fyrir Landsvirkjun. 41 s.
- Pórólfur H. Hafstað (2014). *Grísaárbotnar, Hesjavallaból og Glerárdalsból*. Lýsingar á vatnssbólum og möguleikum á að afla meira neysluvatns. Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2014/004. Unnið fyrir Norðurorku. 25 s.
- Pórólfur H. Hafstað og Sveinborg H. Gunnarsdóttir (2014). *Hola ÓS-3 í Ósabotnum. Borun og afkastamat*. Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2014/027. Unnið fyrir Selfossveitur bs. 26 s. + viðaukar.
- Práinn Friðriksson (2014). *Reykjanes: Thermo-dynamic Modeling of Sulfide and Sulfate Mineral Precipitation*. Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2014/029. Unnið fyrir HS Orku hf. 18 s.
- Práinn Friðriksson, Knútur Árnason og Björn S. Harðarson (2014). *Geothermal Resources of Rwanda. Assessment of Geoscientific Data and Conceptual Models*. Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2014/025. Unnið fyrir MININFRA, Rúanda. Styrkt af Próunarsamvinnustofnun, ICEIDA. 73 s.
- ## Ritrýndar greinar í fagtímaritum Reviewed Articles
- Axelsson, G., Egilson, Th. og Gylfadóttir, S. S. (2014). Modelling of temperature conditions near the bottom of well IDDP-1 in Krafla, Northeast Iceland. *Geothermics* 49, 49-57
- Ármannsson, H., Fridriksson, Th., Guðfinnsson, G. H., Ólafsson, M., Óskarsson, F. og Thorbjörnsson, D. (2014). IDDP - The chemistry of the IDDP-01 well fluids in relation to the geochemistry of the Krafla geothermal system. *Geothermics* 49, 66-75
- Eyjólfssdóttir, E., Óskarsson, F., Ólafsson, M., Friðriksson, Th., Ármannsson, H., og Hafstað, Th. H. (2014). Geothermal power production in Mývatns-sveit and its effect on the groundwater system. *Nordic Environmental Chemistry Conference - NECC 2014, Reykjavík Iceland, 11-13th June, 2014*.
- Friðleifsson, G. Ó., Ármannsson, H., Guðmundsson, Á., Árnason, K., Mortensen, A. K., Pálsson, B. og Einarsson, G. M. (2014). Site selection for the well IDDP-1 at Krafla. *Geothermics* 49, 9-15
- Karlsdóttir, S. N., Ragnarsdóttir, K. R., Moller, A., Thorbjörnsson, I. O. og Einarsson, A. (2014). On-site erosion-corrosion testing in superheated geothermal steam. *Geothermics* 51, 170-181.
- Karlsdóttir, S. N., Thorbjörnsson, I. O., Ragnarsdóttir, K. og Einarsson, A. (2014). Corrosion Testing of Heat Exchanger Tubes in Steam from the IDDP-1 Exploratory Geothermal Well in Krafla, Iceland. *Conference Proceedings, NACE-Corrosion 2014 Conference and Expo. San Antonio, Texas, USA*.
- Khodayar, M. og Björnsson, S. (2014). Fault ruptures and geothermal effects of the second earthquake, 29 May 2008, South Iceland Seismic Zone. *Geothermics* 50, 44-65.
- Miensopust, M. P., Jones, A. G., Hersir, G. P. og Vilhjálmsson, A. M. (2014). The Eyjafjallajökull volcanic system, Iceland: insights from electromagnetic measurements. *Geophysical Journal International* 199, 1187-1204.
- Mortensen, A. K., Egilson, Th., Gautason, B., Árnadóttir, S. og Guðmundsson, Á. (2014). Stratigraphy, alteration mineralogy, permeability and temperature conditions of well IDDP-Krafla, NE-Iceland. *Geothermics* 49, 31-41.
- Snæbjörnsdóttir, S. Ó., Wiese, F., Fridriksson, Th., Ármannsson, H., Einarsson, G. M. og Gislason, S. R. (2014). CO<sub>2</sub> storage potential of basaltic rocks in Iceland and the oceanic ridges. *Energy Procedia* 63, 4585-4600.
- Verney-Carron, A., Vigier, N., Millot, R. og Harðarson, B. S. (2014). Lithium isotopes in hydrothermally altered basalts from Hengill (SW Iceland). *Earth and Planetary Science Letters* 411, 62-71.
- ## Kort Maps
- Árni Hjartarson og Kristján Sæmundsson (2014). *Berggrunnskort af Íslandi. 1:600 000*. Íslenskar orkurannsóknir.
- Greinar og fyrilestrar eftir ýmsa höfunda í útgefnu efni frá Jarðhitaskólanum er aðgengilegt á heimasið skólanum [www.unugtp.is](http://www.unugtp.is)
- Articles and lectures from a number of contributors published by the UNU Geothermal Training Programme can be found at the website of the school [www.unugtp.is](http://www.unugtp.is)*



## Fólkið okkar Our People



**Menntun og aldursdreifing starfsmanna**  
**Education and Age Distribution**



# Borhola

Orðið borhola merkir, samkvæmt íslenskri orðabók, hola sem hefur verið boruð (t.d. eftir heitu vatni).

Til eru margar gerðir af borholum og mismunandi aðferðum er beitt við borun.

Tilgangur borunar er einnig margvíslegur og getur t.d. farið eftir umhverfis- eða árangurssjónarmiðum.

Borholur eiga það sameiginlegt að dýpi þeirra er gjarnan gefið upp í metrum hér lendis en víddin oftast í tommum.

## vinnsluhola

til að afla heits vatns eða gufu

### **háhitahola (gufuhola)**

vinnsluhola til að ná í gufu til rafmagnsframleiðslu

## sjóhola

vinnsluhola til að dæla upp jarðsjó sem stundum er neðan við ferskvatn

### **kaldavatnshola**

vinnsluhola til að afla neysluvatns eða vatns fyrir iðnað

## lághitahola

## heitavatnshola

vinnsluhola til að afla heits vatns fyrir hitaveitu eða aðra notkun

## höggborshola

hola boruð með sérstakri gerð jarðbors, höggbors, þar sem þungur hnallur hangir í togvír og er látið falla stöðugt á holubotninn og mylja þannig bergið smátt og smátt

## Steam well

## Shallow well

## Cored well

### **Production well**

a well used to retrieve hot water or steam from an underground deposit

## Borehole

a hole that is drilled into the earth

## niðurdælingarhola

(niðurrennslishola)

misdjúp hola til að jarðsetja vatn ýmist með dælingu eða sjálffrennsli

## svelghola

grunn hola til að jarðsetja skolvatn frá bor eða frá annarri starfsemi

## skolvatnshola

sérstök hola sem boruð er ofan í vatn til að ná í skolvatn á meðan á borun stendur

## förgunarhola

grunn hola til að jarðsetja vatn frá ákveðinni starfsemi t.d. heilsuboðum

## Well

The English definition for a well, is a hole or shaft that is excavated, drilled, bored, or cut into the earth so as to tap a supply of water, oil, gas, etc.

Few examples of wells are mentioned here.

## rannsóknarhola

(könnunarhola)  
hola boruð í rannsóknarskyni

## hitastigulshola (leitarhola)

rannsóknarhola boruð sérstaklega til að ákvarða hitastigul

## kjarnahola

sýnatökuhola boruð með demantskrónu (2-4")

## stefnuboruð hola

borhola sem er boruð lóðrétt í upphafi en er síðan beint að ákveðnu marki. Þetta er gert vegna umhverfis- og árangurssjónarmiða

## skáhola

borhola sem er ekki lóðrétt, heldur boruð á ská til að leita uppio og skera sprungur

## Slanted well

## Exploration well

## **Observation well**

a well that is used to observe and monitor changes over a period, or during a pumping test

## Directional well

deviates by purpose from a vertically straight line to hit special target

## Gradient well

## Groundwater well





AÐALSKRIFSTOFA • HEAD OFFICE  
Grensásvegur 9  
108 Reykjavík  
Iceland  
Sími/Tel.: +354 528 1500 / Fax: +354 528 1699  
[isor@isor.is](mailto:isor@isor.is)

ÚTIBÚ • BRANCH OFFICE  
Rangárvellir, P. O. Box 30  
602 Akureyri  
Iceland  
Sími/Tel.: +354 528 1500 / Fax: +354 528 1599

DÓTTURFYRIRTÆKI • SUBSIDIARY  
GeoThermHydro  
República Árabe de Egipto 250, oficina 5  
Las Condes, Santiago  
Chile  
Sími/Tel.: +56 22973 9757  
[www.geothermhydro.com](http://www.geothermhydro.com)

[www.isor.is](http://www.isor.is)