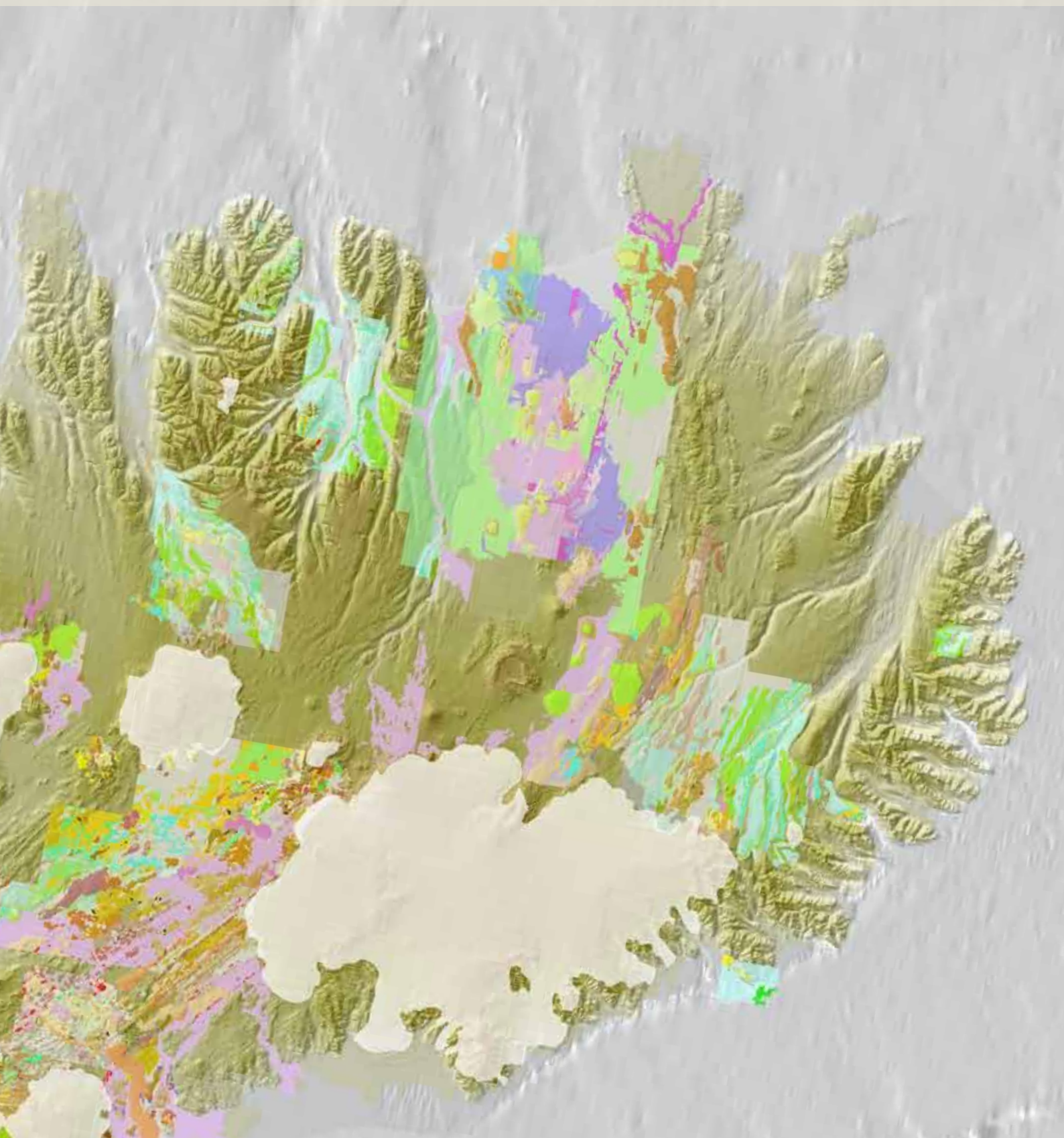


**ÍSOR**  
ICELAND GEOSURVEY

ÁRSSKÝRSLA  
ANNUAL REPORT

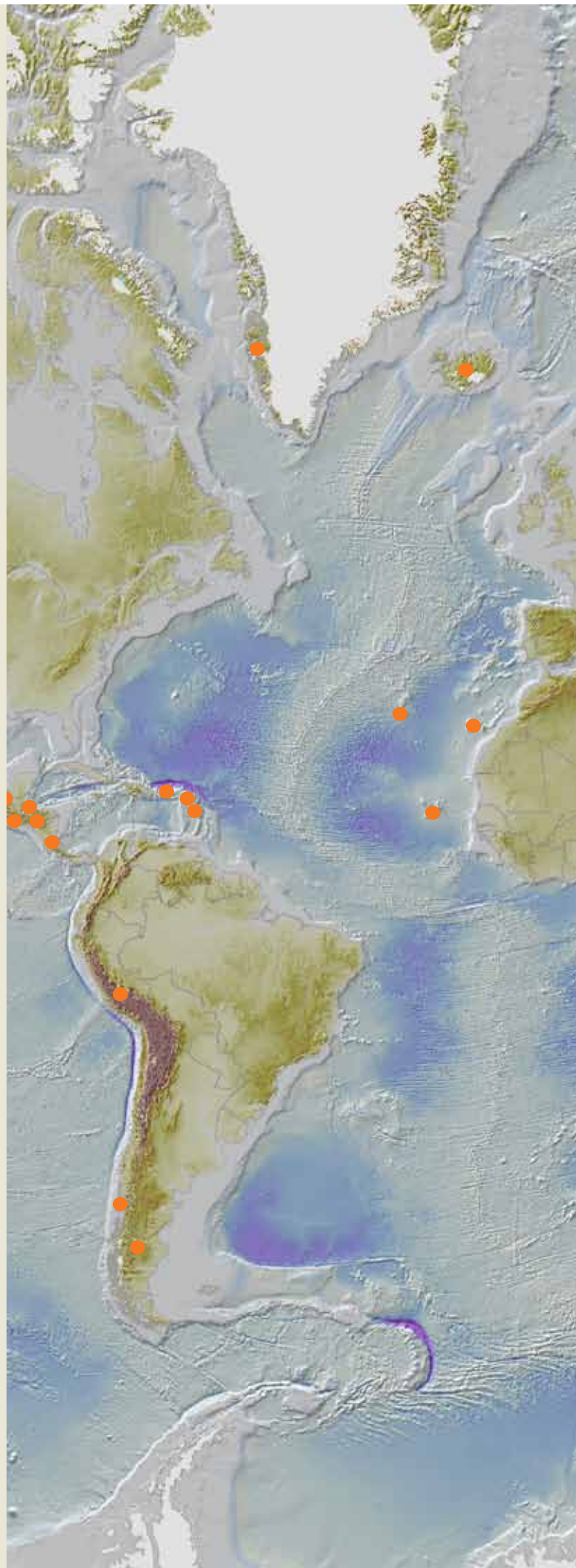
2012



# Efnisyfirlit

Nærmynd ÍSOR <i>Profile</i>	3
Ávarp stjórnarformanns <i>Chairman of the Board</i>	4
Orkurannsóknir frá fortíð til framtíðar <i>Energy research from past to present</i>	6
Rekstur ÍSOR <i>Financial Statements</i>	9
Orkurannsóknir ÍSOR <i>Energy Research Iceland GeoSurvey</i>	10
Jarðhitarannsóknir <i>Geothermal Exploration</i>	16
Jarðfræðikortagerð <i>Geological Mapping</i>	22
Grunnvatn <i>Groundwater</i>	26
Austur-Afríka <i>East Africa</i>	28
Jarðhitapjálfun <i>Geothermal Training</i>	31
Rómanska-Ameríka <i>Latin America</i>	32
Jarðhitapjálfun <i>Geothermal Training</i>	35
Upplýsingatækni <i>Information Technology</i>	36
Mannauður <i>Human Resources</i>	38
Útgefið efni <i>Publications</i>	40
Minning <i>In Memoriam</i>	42
Verkefni erlendis <i>Projects Abroad</i>	43

Forsíða: Jarðfræðikortlagning ÍSOR á Íslandi.  
Cover: Geological mapping in Iceland by Iceland GeoSurvey.



Scientific and technical  
services for 68 years

Jarðvísindarannsóknir,  
kennsla og þjónusta  
í 68 ár

*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

*Sigrún Traustadóttir*

Tíu ár eru liðin síðan ÍSOR var stofnað sem B-hluta stofnun þegar skipulagi Orkustofnunar var breytt og Rannsóknasvið hennar gert að sjálfstæðri stofnun. Mikið vatn hefur runnið til sjávar á þessum tíu árum og umhverfið tekið miklum breytingum. Eftirspurn eftir þjónustu ÍSOR innanlands fór vaxandi fyrstu sex árin, þegar mikill uppgangur var í íslensku efnahagslífi, og náði hámarki árið 2008. Haustið 2008 urðu hinsvegar stórfelldar breytingar í efnahagslífinu, eins og kunnugt er, og spurn eftir þjónustu ÍSOR innanlands dróst skyndilega saman. Er ekki enn séð fyrir endann á þeim samdrætti. ÍSOR leitaði þá þegar fanga erlendis og tókst með harðfyllgi að afla verkefna til að nýta þá þekkingu og tækjabúnað sem stofnunin býr yfir. Vel tókst til og hafa þessi erlendu verkefni gert ÍSOR kleift að viðhalda viðtækri þekkingu starfsmanna innan stofnunarinnar. Á árinu 2012 var þessu markaðsstarfi erlendis haldið áfram af fullum krafti. Hefur sú vinna skilað góðum árangri og er hlutfall verkefna sem snúa að útlöndum komið í um 40% af heildartekjum ársins eða 466 millj. kr. en var einungis um 8% af heildartekjum ársins 2008, eða 114 millj. kr.

Á árinu 2012 var velta ÍSOR 1.043 millj. kr. Tap varð á rekstrinum á árinu og nam það 9,3 m.kr. Er það tilkomið vegna varðúðarafskriftar viðskiptakrafna. Rekstarniðurstaða ársins var hins vegar í samræmi við áætlanir sem höfðu það að markmiði að þjónustutekjur ÍSOR stæðu undir rekstrarkostnaði. Þjónustutekjur hafa staðið undir rekstri frá stofnun og allt fram til ársins 2009 er breytingar urðu í efnahagslífinu og tekjur árána 2009 til 2011 náðu ekki vega á móti afskriftum. Góð eiginfjárstaða fyrri ára gerði ÍSOR kleift að brúa þetta bil og nú virðist útlit fyrir betri tíma, ekki síst vegna öflugra markaðsstarfs erlendis.

Á árinu var jafnframt gerður mikilvægur samningur við stærstu innlendu viðskiptavinum ÍSOR í þeim tilgangi að gera stofnuninni kleift að viðhalda þekkingu og tækjabúnaði til borholumælinga sem er bráðnauðsynleg fyrir þessa aðila þegar framkvæmdir í orkumálum fara af stað innanlands á ný. Með þessu móti sameinuðust aðilar um að horfa til hagsmuna jarðvarmageirans til lengri tíma lítið. ÍSOR hefur lítið það sem skyldu sína að stuðla að uppbyggingu þekkingar á sviði orkumála. Ánægjulegum áfanga var náð á árinu á því skyni þegar ÍSOR gerðist aðili að REYST-orkuskólanum og þegar undirritaður var samstarfssamningur við Háskólann í Reykjavík en áður hafði slíkur samningur verið gerður við Háskóla Íslands.

Á árinu urðu svo þær breytingar á stjórnsýslunni að málefni ÍSOR voru flutt frá iðnaðarráðuneytinu til umhverfis- og auðlindaráðuneytis samhliða breyttri skipan ráðuneyta í Stjórnarráði Íslands.

Enn ríkir talsverð óvissa um verkefni innanlands í orkumálum þrátt fyrir að rammaáætlun um nýtingu og verndun orkuauðlinda hafi verið samþykkt á Alþingi. Margt bendir þó til þess að orkuvinnsla geti orðið lykillinn að velferð Íslands næstu áratugi. Samkvæmt því hlýtur að vera mikilvægt að standa vörð um þá þekkingu sem er til staðar á orkuauðlindunum og að byggja upp enn frekari þekkingu á sviði orku- og umhverfismála. ÍSOR er augljóslega lykilaðili á þessu sviði.

Ég vil þakka starfsmönnum, stjórnendum og stjórn ÍSOR fyrir vel unnin störf og afar gott samstarf á árinu.

# Chairman of the Board

*Sigrún Traustadóttir*

Iceland GeoSurvey (ÍSOR) was established in 2003 when the geosciences division of the National Energy Authority became an independent state-owned institute. There have been many changes during those ten years. Demand for the services provided by ÍSOR increased consistently throughout the first six years in line with the expansion of the Icelandic economy, peaking in 2008. However, the collapse of the economy in the autumn of 2008 resulted in the sudden decrease in demand for domestic services offered by ÍSOR, a state of affairs which is still ongoing. In response, ÍSOR explored international markets and was successful in gaining new projects by making best use of the knowledge and equipment available to the company. The overseas missions have been very successful and have allowed ÍSOR to maintain the broad expertise of employees within the organization. In 2012 this marketing strategy has continued in earnest yielding good results. Foreign assignments came to about 40% of the total revenue, or 466 million Icelandic (ISK) compared to only 8% of the total revenues in 2008 of 114 million ISK.

In 2012 the total turnover at ÍSOR was 1,043 million ISK, whilst the loss on operations during the year amounted to 9.3 million. The financial outcome for the year was, however, in accordance with plans which aimed to level income and operating costs. Since the establishment of ISOR until 2009, revenues covered operating expenses. However, subsequent to the changes in the Icelandic economy, incoming revenue between 2009 and 2011 did not meet depreciations. ÍSOR's previous robust equity situation allowed the institute to bridge this gap and now it seems that better times may lie ahead, not least because of dynamic international marketing.

An important contract was concluded in 2012 with ÍSOR's largest domestic clients enabling the institute to maintain the knowledge and equipment for borehole logging which is essential when domestic projects within the energy sector start again. In this way different parties merged to protect the long term interests of the geothermal sector. One of ÍSOR's main responsibilities is to promote the development of knowledge in the energy field. An important milestone was achieved when ÍSOR joined the REYST-energy school and signed a cooperation agreement with the University of Reykjavik thus replicating an agreement which had already been established with the University of Iceland.

During 2012 administrative changes resulted in ÍSOR being transferred from the Ministry of Industry to the Ministry for the Environment and Natural Resources. There are still significant uncertainties regarding projects within the energy industry despite a framework of National Strategy for Sustainable Development having been approved by Parliament. Evidence suggests, however, that energy utilization may be the key to Icelandic economic development during the coming decades. Accordingly, it is of great importance to safeguard existing knowledge of energy resources and to expand understanding in the field of energy and environment. ÍSOR is clearly a key player in this area of study.

I would like to thank the employees, administrators and company board for their excellent work and a very productive collaboration during the year.





Ólafur G. Flóvenz, forstjóri ÍSOR General Director

## Energy research from past to present Orkurannsóknir frá fortíð til framtíðar

Um þessar mundir eru liðin tíu ár frá því Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR, voru stofnaðar með lögum frá Alþingi. Þrátt fyrir það hafa skipulegar orku- og jarðvísindarannsóknir ÍSOR staðið samfelld frá 1945, eða í 68 ár, undir mismunandi nöfnum og vaxið stöðugt og dafnað. Með lögum árið 2003 var Rannsóknasvið, áður Jarðhitadeild Orkustofnunar, gert að sjálfstæðri ríkisstofnun sem rekin skyldi á markaðsgrundvelli og sinna rannsóknum og þjónustu á sviði náttúrufars og orkumála.

ÍSOR hefur verið burðarásinn í jarðhitarannsóknnum og hagnýtum jarðfræðirannsóknnum á Íslandi um langt skeið og í raun gegnt sambærilegu hlutverki og jarðfræðistofnanir í öðrum löndum. Þannig finnst vart sú hitaveita eða jarðhitavirkjun á Íslandi sem ekki hefur verið byggð á grundvelli rannsókna ÍSOR sem hefur skapað grundvöllinn fyrir hinni einstæðu og árangursríku hitaveituvæðingu. Á tveimur áratugum tókst að auka hlutdeild jarðhita í húshitun úr rúmum 40% í tæplega 90%, var þessi þróun þó ekki áfallalaus. Upp komu alls kyns vandamál tengd jarðhitaleit, forðafraeði jarðhitasvæðanna og tækni við nýtingu vökvans sem þurfti að leysa og tókst það oftast þrátt fyrir andstreymi og vantrú. Um 80 ára saga hitaveitna á Íslandi hefur sýnt hvers megnugir íslenskir jarðvísinda- og tæknimenn hafa reynt í að byggja upp af eigin rannsóknum og hugviti þá þekkingu og reynslu sem skipt hefur sköpum fyrir efnahag og lífsskilyrði á Íslandi og gert Ísland að forystulandi í jarðhitamálum í heiminum og í umhverfismálum orkuvinnslu, ekki síst með tilliti til sjálfbærrar þróunar.

Árlegur peningalegur sparnaður af notkun jarðhita til húshitunar í stað olíu nemur nú um 50-80 milljörðum króna sem kemur beint til góða heimilunum í landinu, ekki síst af því að við bárum gæfu til að byggja hitaveiturnar á samfélagslegum grunni en ekki á forsendum einkamarkaðar. Eflaust eru vandfundin betri dæmi á Íslandi um árangur af fjármunum sem varið var til rannsókna með langtímahugsun að leiðarljósi.

Iceland GeoSurvey (ÍSOR) has been the leading institute in the fields of geothermal energy and geological sciences since 1945. Over the years, under different names and acronyms, the institute has steadily grown and prospered. In 2003, the GeoScience Division of the National Energy Authority of Iceland was spun off as a separate independent government institute and ÍSOR was officially established. The new institute would undertake research and provide services in the fields of energy and natural sciences on competitive basis.

ÍSOR has been the backbone of geothermal- and applied geological research for several decades. Icelandic geoscientists and technicians have been able to build on the knowledge and experience gained over an 80 year history of the utilization of geothermal energy for district space heating. Despite early problems geothermal energy was widely welcomed and the use of geothermal for space heating increased from 40 to 90% in two decades. The application of geothermal energy has been critical for the living conditions and the economy of the country. Consequently, Iceland is a world leader in geothermal and environmental issues, in particular with regard to sustainable development.

The use of geothermal energy for space heating accounts for annual savings of 300-500 billion EUR, and thus directly benefits every home in the country. The original policy of the provision of district heating as a "social good" rather than allowing the involvement of the private sector has also proved to be beneficial for the Icelandic people.

Problems caused by volcanic activity during the construction of the first geothermal power plant in Iceland, provoked serious discussions as to whether it was advisable to take advantage of the

Áföll vegna náttúruhamfara við byggingu fyrstu háhitavirkjunar landsins vöktu um skeið vantrú á að skynsamlegt væri að nýta háhitasvæði landsins til orkuframleiðslu. Góð reynsla af rekstri orkuveranna á Nesjavöllum og í Svartsengi sannfærði fólk svo að nýju um að þetta væri gerlegt. Fyrir þúsaldamótin hófst mikið kapphlaup um virkjun háhitasvæða þar sem stundum var farið fram meira af kappi en forsjá. Þannig jókst raforkuframleiðsla úr jarðhita á Íslandi úr 46 MWe árið 1996 í 664 MWe árið 2011 og er Hellsheiðarvirkjun nú ein aflmesta jarðgufuvirkjun í heimi. Líkt og um hitaveiturnar eru jarðhitarannsóknir ÍSOR grundvöllur þess árangurs sem hefur náðst í virkjun háhita til raforkuframleiðslu. Á sama hátt og við hitaveituvæðinguna hefur þessi hraðvaxandi vinnsla leitt af sér ýmis rekstrarvandamál sem nú er unnið að því að leysa og mun væntanlega takast á næstu árum, verði vel að verki staðið.

Samhliða jarðhitarannsóknum hefur ÍSOR verið öflug kennslustofnun og þjónustufyrirtæki við jarðhitaiðnaðinn. Þessi samsetning er einn helsti styrkur ÍSOR og hefur gert það að einni þekktustu rannsóknar-, kennslu og þjónustustofnun heims í jarðhita. Hún er og undirstaða þess að tekjur ÍSOR af erlendri starfsemi hafa farið hraðvaxandi og nema nú orðið um 40% heildartekna. ÍSOR hefur alltaf séð um meginhluta hinnar árangursríku kennslu og þjálfunar Jarðhitaskóla Háskóla Sameinu þjóðanna. Veikleiki ÍSOR felst fyrst og fremst í því að ÍSOR á í erfiðleikum með að fjármagna nauðsynlegar grunnrannsóknir, að miklu leyti vegna þess að upphafleg áform um að ráðuneyti og stofnanir ríkisins keyptu slík verkefni af ÍSOR hafa gengið illa eftir, jafnvel þótt færa megi sterk rök fyrir því að með því mætti nýta betur fjármuni ríkisins.

Á vegferð okkar til framtíðar hljótum við þó alltaf að draga lærdóm af því liðna, bæði af því sem leiddi til árangurs og ekki síður af því sem mistókst. Í orkumálum okkar Íslendinga þarf langtímahugsun; athafnir okkar og rannsóknir nú eru lykillinn að þeim árangri sem við getum náð á næstu 20 árum. Í því samhengi þurfum við að setja okkur markmið. Við verðum að skilgreina til hvers við ætlumst af orkuíðnaðinum og hvaða hlutverki hann á að gegna í því að skapa góð lífsskilyrði á Íslandi með tilliti til atvinnu, velferðar, menntunar og umhverfis. Í því samhengi skiptir máli að við gerum okkur grein fyrir þeim efnahagslega ávinningi sem hafa má af orkuvinnslu og hvernig við getum beislað orkuna þannig að ásættanlegt sé með tilliti til umhverfismála.

Hagnaður af orkuvinnslu liggur fyrst og fremst í framleiðslu orkunnar, ekki í flutningi hennar eða dreifingu. Af þeim ástæðum skiptir mestu að orkuframleiðslunni sé þannig háttað að arðurinn af henni komi til samfélagsins í heild. Þannig er það raunar að mestu á Íslandi, orkuframleiðslan er að miklu leyti í höndum fyrirtækja ríkis og sveitarfélaga.

Landsvirkjun hefur látið meta líklegan árlegan arð af raforkuframleiðslu fyrirtækisins fram til 2030 miðað við nokkrar mismunandi forsendur, m.a. um fjárfestingar og orkuverð. Miðað við að fylgt verði tiltekinni fjárfestinga- og framkvæmdaáætlun, sem er í samræmi við tillögur verkefnastjórnar rammaáætlunar og tengja landið við Evrópu um sæstreng, gæti árlegur arður af fyrirtækinu árið 2030 numið um 100 milljörðum króna. Það munar um minna í fjárhag ríkisins og slíkur ávinningur gæti skipt sköpum í að halda úti því öflugum mennta- og velferðarkerfi sem við flest viljum.

En auðvitað eru þetta áætlanir og eflaust má deila um forsendurnar varðandi bæði orkuverð og framleiðslukostnað. Í öllu falli virðist þó blasa við að arðurinn gæti orðið mjög verulegur. Því til viðbótar værum við að stuðla að því að auka hlutdeild endurnýjanlegrar orku í orkubúskap Evrópu og leggja þar með nokkuð af mörkum til að draga úr ógnvænlegum áhrifum mengunar andrúmsloftsins.

Nú eru taldar nokkrar líkur á að finna megi olíu í íslenskrum efnahagslögsögu og leyfum til olíuleitar hefur þegar verið úthlutað. Jafnframt hafa viðkomandi aðilar fengið rétt á að vinna þá olíu

country's geothermal systems for power generation. However, the excellent operating experience of the power plants in Nesjavellir and Svartsengi convinced people that this new approach was feasible. Subsequently, by the turn of the century, the race for geothermal power production had begun.

Electricity generation from geothermal energy in Iceland increased from 46 MWe in 1996 to 664 MW in 2011 making the 303 MWe Hellsheiði power plant one of the most powerful geothermal power plants in the world.

In parallel with geothermal research, ÍSOR has been both an important educational institution and has operated as a service company to the geothermal industries. This combination is the main strength of ÍSOR, and it has gained worldwide respect as a centre of excellence for geothermal research, education and service provision. Thus, ÍSOR's reputation in these areas provided the basis for revenue from international operations which have been expanding rapidly, and now constitute about 40% of the total revenue. ÍSOR has always provided most of the education and training at the Geothermal Training Programme of the United Nations University (UNU-GTP). However, at the same time the institute is struggling to fund vital basic research.

To ensure success in the future, we must learn from both past achievements and failures. Long term thinking is vital for the energy sector, and our activities and research over the next twenty years are the key to future developments. In this context, we must set our goals. We have to define what we expect from the energy industry and what role it should play in creating good living conditions in Iceland with regard to employment, welfare, education and the environment. It is important therefore, that we do realize the economic benefits which may come from geothermal whilst ensuring that we harness the energy in harmony with the environment.

Profits from energy production are primarily gained by the production of energy, not its distribution. For this reason it is most important that energy production is organized in such a way that the benefit is shared by the whole community. This is most often the case in Iceland where energy production is largely in the hands of state and municipalities.

The estimate of annual dividend from electricity production until 2030 by Landsvirkjun has been based on several different criteria including investment and energy prizes. One possibility involves connecting the island to Europe via a submarine cable exporting electricity which would involve annual profit of about 650 million EUR.

These figures are, of course, estimates and no doubt debatable. However, the profit would most certainly be significant. In addition, in such a scenario Iceland would contribute to the increase of renewable energy in Europe, and help to mitigate to some extent the effects of atmospheric pollution.

It is now considered possible that oil may be found in Icelandic jurisdiction and licenses for oil exploration have already been allocated. Furthermore, the exploration parties have the right to exploit any oil which may be found under specific permission. These conditions imply the intention that Iceland may potentially become an oil producing state. This fact of course raises a number of questions pertaining to our motivation and image. Currently the image of Iceland in the world is that of an exemplary state in the production of renewable energy. If extractable oil was found in our jurisdiction, we would have to be willing to except the change of image in the eyes of the world, from that of model state in the use of renewable energy, to an oil producing one. Whilst this would undoubtedly be economically beneficial, our image would also be damaged to some extent and therefore it is very important that we try to set strict limits on our use of fossil fuels.

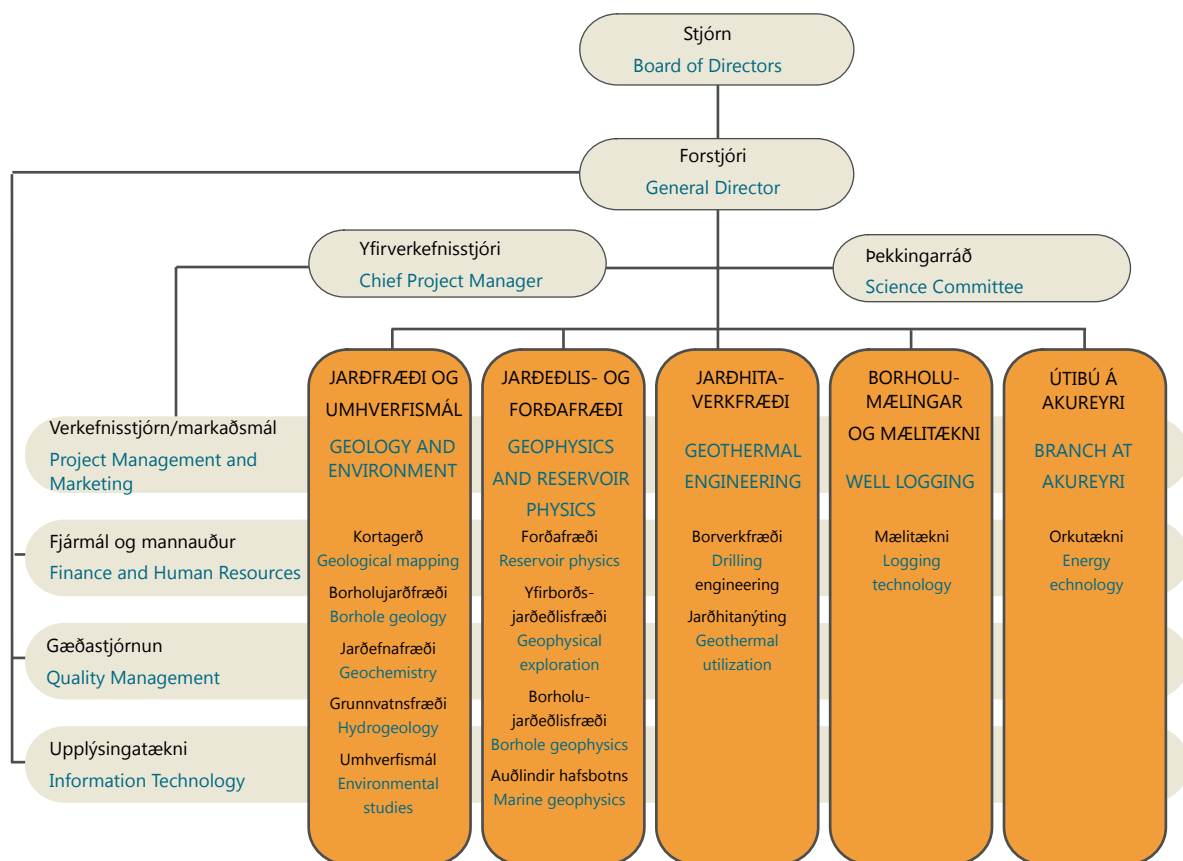
sem kann að finnast að vissum skilyrðum uppfylltum. Leitarleyfi fela þannig í sér þá stefnumörkun að Ísland skuli gerast olíuríki skapist til þess skilyrði. Þessi staðreynd vekur auðvitað upp ýmsar spurningar sem lúta að vilja okkar og ímynd. Í dag er ímynd Íslands fyrirmyndarríki í framleiðslu endurnýjanlegrar orku þótt við séum raunar lítt til fyrirmyndar þegar kemur að eldsneytisnotkun í samgöngum og fiskveiðum. Ef nýtanleg olía finnst í lögsögu okkar stöndum við frammi fyrir því að verða olíuframleiðsluríki og gætum væntanleg hagnast verulega á því. En ímyndin kann að breytast við það og þá skiptir máli að við reynum að stilla okkar eigin notkun á jarðefnaeldsneyti í hóf.

Ef tekið er mið af niðurstöðum verkefnisstjórnunar rammaáætlunar mun drjúgur hluti þeirrar raforku, sem getur orðið undirstaða velferðar eftir 10 til 15 ár, koma úr jarðhita. Þar er verulegra rannsókna þörf á næstu árum til að leysa þau vandamál sem upp hafa komið og önnur sem munu eflaust koma upp síðar við virkjun háhitavæðanna. Brýnast í þeim málum er að finna ódýrustu leiðirnar til að farga því brennisteinsvetni sem upp kemur með gufunni. Tækni til að eyða því er raunar þegar til en hún er helst til kostnaðarsöm. Önnur helstu úrlausnarefnin nú eru að skilja betur forðafræði háhitakerfanna til að læra hvernig við eigum að velja borstaði og bora með hámarksárangri og hvernig haga skuli vinnslunni, m.a. með tilliti til sjálfbærni, niðurdælingar, jarðskjálftavirkni og útfellinga. Allt þetta byggist á öflugum og markvissum rannsóknum. Þá skiptir verulegu máli hvernig ásýnd virkjana er í landslagi og hafa ber í huga að allt rask sem verður við virkjun jarðhita er að langmestu leyti afturkræft ef vandað er til verka. Með virkjun jarðhitans byggjum við upp þekkingu og hagsæld til framtíðar fyrir börn okkar og barnabörn en höfum þó ekki meiri áhrif á náttúruna en svo að afkomendur okkar gætu kosið að loka virkjunum og endurskapa upphaflegt ástand. Við þurfum að gera okkur ljóst að athafnir okkar nú munu ráða því hvort við viljum búa þannig í haginn fyrir framtíðina eða ekki.

It is expected that a substantial part of the electricity production which may be the engine for economic growth in the coming 10-15 years would come from geothermal. Substantial research is needed in the future to solve the problems that have occurred and others that will no doubt arise in geothermal development. The key requirement here is to find the most cost effective way to dispose of the hydrogen sulphide which appears with the steam. Techniques to dispose of the gas exist but are still rather expensive.

Other major challenges which face us include the need to better understand reservoir engineering of geothermal systems, so as to refine the methods used in the selection of drilling sites. It is vital to achieve maximum efficiency when drilling and to apply best practice when conducting exploitation with respect to sustainability, reinjection, seismicity and scaling. All this is based on extensive and targeted studies. The appearance of power plants in the landscape is of significant importance, whilst keeping in mind that all associated disturbances are largely reversible if the work is properly planned and executed. By exploiting geothermal energy we are building up knowledge and prosperity for our children and grandchildren in the future. However, this must be done in such a way that our descendants can choose to close the plants and recreate nature's original condition.

## Organization Chart *Skipurir*





# Financial Statements for the Year

## Rekstraryfirlit fyrir árið

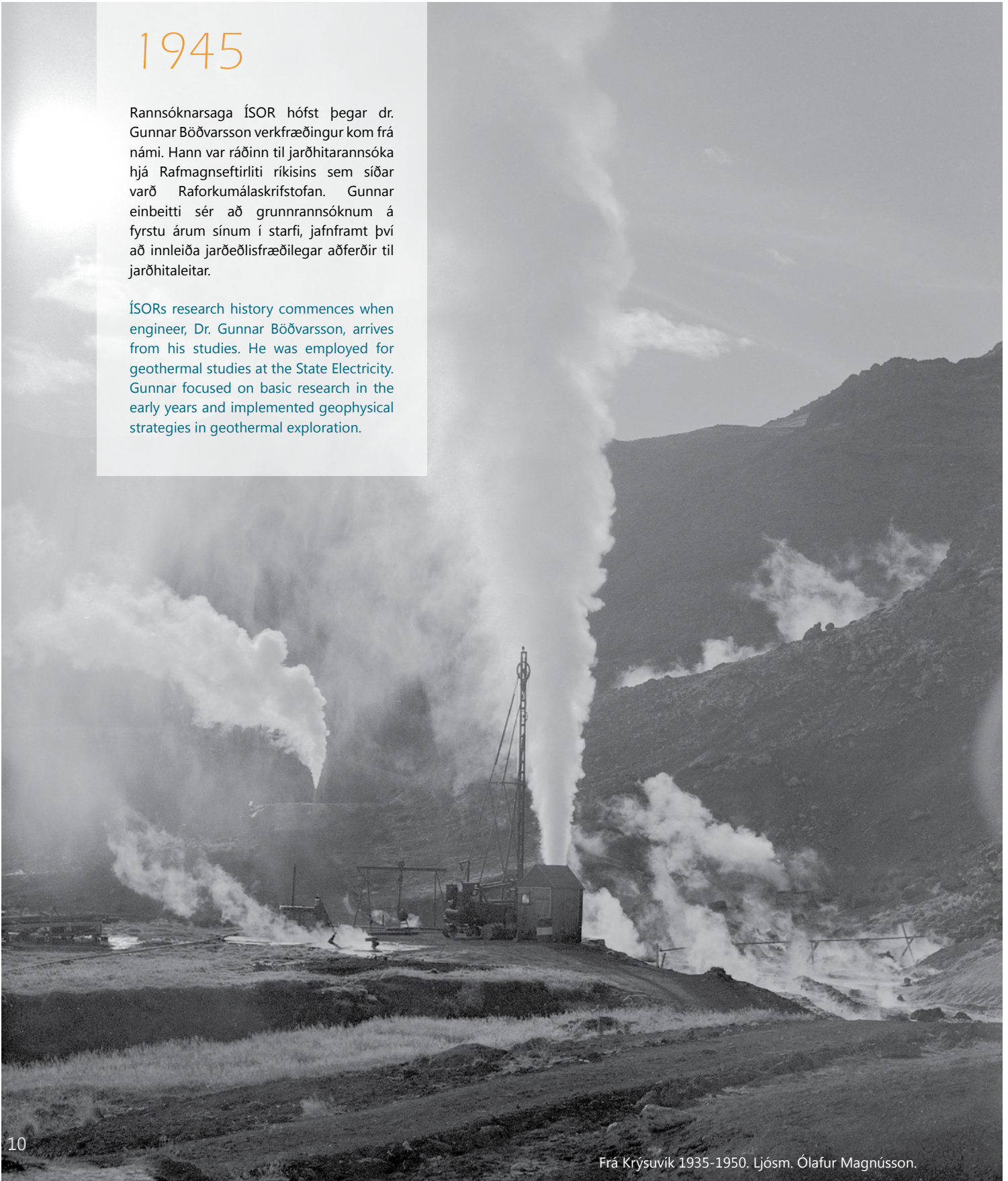
		2012	2011
<b>Rekstrarreikningur (þús. kr.)</b>	<b>Income statement (ISK thousands)</b>		
Rekstrartekjur	Operating revenues	<b>1.043.450</b>	<b>958.333</b>
Rekstrargjöld	Operating expenses	1.016.001	965.895
Afskriftir	Depreciation	43.072	46.393
		<b>1.059.073</b>	<b>1.012.288</b>
Rekstrarhagnaður (tap) fyrir fjármagnsliði	Operating profit (loss) before financial expenses	(15.623)	(53.955)
Fjármagnstekjur (gjöld)	Net financial income	6.262	9.494
<b>Hagnaður (tap) ársins</b>	<b>Net profit (loss)</b>	<b>(9.361)</b>	<b>(44.461)</b>
<b>Efnahagsreikningur (þús. kr.)</b>	<b>Balance sheet (ISK thousands)</b>		
Fastafjármunir	Fixed assets	103.668	140.611
Veltufjármunir	Current assets	404.776	333.579
<b>Eignir alls</b>	<b>Total assets</b>	<b>508.444</b>	<b>474.190</b>
Eigið fé	Total equity	311.865	321.226
Skammtímaskuldir	Liabilities	196.579	152.964
<b>Eigið fé og skuldir alls</b>	<b>Total liabilities and equity</b>	<b>508.444</b>	<b>474.190</b>
<b>Sjóðstreymi (þús. kr.)</b>	<b>Cash flow (ISK thousands)</b>		
Veltufé frá rekstri	Working capital from operating activities	33.711	2
Breytingar á rekstrartengdum eignum og skuldum	Cash provided by operating activities	(35.697)	(112.331)
Fjárfestingahreyfingar	Cash flows from investing activities	(6.129)	(5.495)
<b>Hækkun (lækkun) á handbæru fé</b>	<b>Free Cash flow</b>	<b>(8.115)</b>	<b>(117.824)</b>
<b>Kennitölur</b>	<b>Key figures</b>		
EBITA	EBITA	27.449	(7.562)
EBITA-hlutfall	EBITA ratio	2,6%	-0,8%
Eiginfjárhlutfall	Equity ratio	61,3%	67,8%
Arðsemi eigin fjár	Return on Equity	-2,9%	-12,2%

# Energy research Iceland GeoSurvey Orkurannsóknir ÍSOR

## 1945

Rannsóknarsaga ÍSOR hófst þegar dr. Gunnar Böðvarsson verkfræðingur kom frá námi. Hann var ráðinn til jarðhitarannsóka hjá Rafmagnseftirliti ríkisins sem síðar varð Raforkumálaskrifstofan. Gunnar einbeitti sér að grunnrannsóknum á fyrstu árum sínum í starfi, jafnframt því að innleiða jarðeðlisfræðilegar aðferðir til jarðhitaleitar.

ÍSOR's research history commences when engineer, Dr. Gunnar Böðvarsson, arrives from his studies. He was employed for geothermal studies at the State Electricity. Gunnar focused on basic research in the early years and implemented geophysical strategies in geothermal exploration.





1956

Jarðhitadeild Raforkumálastjóra formlega stofnuð. Gunnar Böðvarsson varð forstöðumaður til ársins 1964. Á fimmta og sjötta áratugnum beindust rannsóknirnar mjög að möguleikum til raforkuframleiðslu úr jarðhita samhliða jarðhitaleit til hitaveitna. Efri myndin sýnir starfsmenn við mælingar á gufuholu við Hveragerði en sú neðri sýnir stúdentana Sveinbjörn Björnsson og Guðmund Guðmundsson við jarðeðlisfræðimælingar.

A Geothermal Division was formally established. Gunnar Böðvarsson was appointed director until 1964. During the forties and fifties research was focused on the possible utilization of geothermal for energy production as well as further exploration of geothermal for space heating. Upper photo shows staff measuring a steam well in Hveragerði. Lower photo shows Sveinbjörn Björnsson and Guðmundur Guðmundsson undertaking geophysical measurements.





## 1964

Guðmundur Pálmason eðlisverkfræðingur tekur við sem deildarstjóri jarðhitadeildar raforkumálastjóra, síðar Orkustofnun. Hann er hér að ofan við þyngdarmælingar á Vatnajökli. Á sjötta og sjöunda áratugnum jókst starfsemin verulega. Jarðhita- og vatnsorkudeild sinnu öllum helstu grunnrannsóknnum á sviði jarðvísinda, landmælinga, mannvirkjajarðfræði, vatnafræði og jarðfræði hafsbotsins. Á þessum árum komu til starfa margir þeirra sem urðu frumkvöðlar í íslenskum jarðvísinda- og orkurannsóknnum og má þar sérstaklega nefna þá Kristján Sæmundsson, Gunnar Þorbergsson, Sveinbjörn Björnsson og Jens Tómasson. Neðri myndin sýnir Gunnar við landmælingar við Grímsvötn.

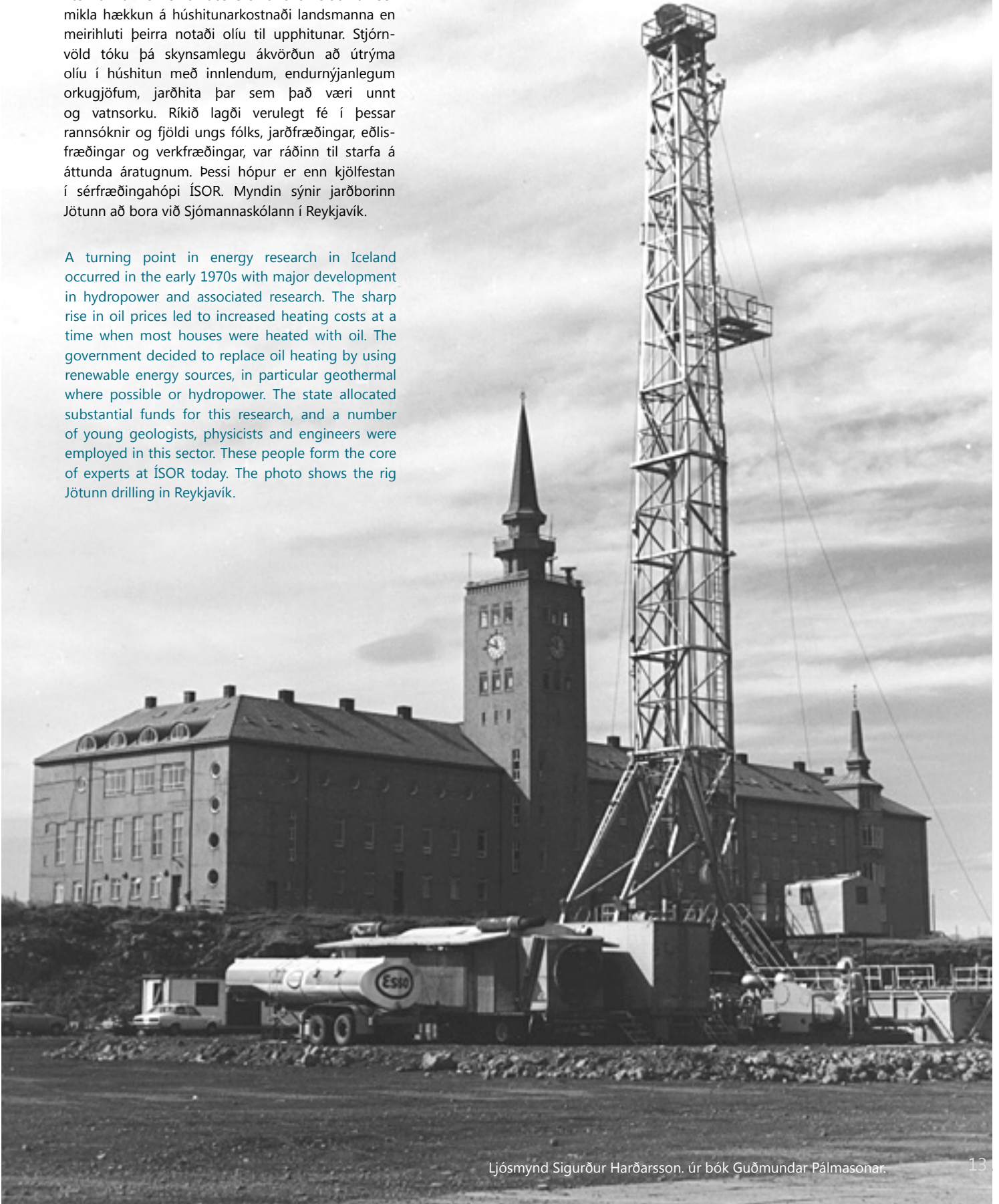
Guðmundur Pálmason, physical engineer, becomes head of the geothermal department with the State Electricity, later National Energy Authority. In the photo he is shown undertaking gravity measurements. In the fifties and sixties the role of the company expanded significantly and the institute performed all the major basic research in the fields of geosciences, land surveying, engineering, hydrology and marine geology. Many of the pioneers in the fields of geology and energy joined the company during those years such as Kristján Sæmundsson, Gunnar Þorbergsson, Sveinbjörn Björnsson and Jens Tómasson. The lower photo shows Gunnar surveying at Grímsvötn in Vatnajökull.



## 1970-1980

Upp úr 1970 urðu straumhvörf í orkurannsóknum á Íslandi. Hafin var mikil uppbygging í virkjun vatnsfalla með tilheyrandi undirbúningsrannsóknum. Mikil hækkun á heimsmarkaðsverði á olíu leiddi af sér mikla hækkun á húshitunarkostnaði landsmanna en meirihluti þeirra notaði olíu til upphitunar. Stjórnvöld tóku þá skynsamlegu ákvörðun að útrýma olíu í húshitun með innlendum, endurnýjanlegum orkugjöfum, jarðhita þar sem það væri unnt og vatnsorku. Ríkið lagði verulegt fé í þessar rannsóknir og fjöldi ungs fólks, jarðfræðingar, eðlisfræðingar og verkfræðingar, var ráðinn til starfa á áttunda áratugnum. Þessi hópur er enn kjölfestan í sérfræðingahópi ÍSOR. Myndin sýnir jarðborinn Jötunn að bora við Sjómannaskólann í Reykjavík.

A turning point in energy research in Iceland occurred in the early 1970s with major development in hydropower and associated research. The sharp rise in oil prices led to increased heating costs at a time when most houses were heated with oil. The government decided to replace oil heating by using renewable energy sources, in particular geothermal where possible or hydropower. The state allocated substantial funds for this research, and a number of young geologists, physicists and engineers were employed in this sector. These people form the core of experts at ÍSOR today. The photo shows the rig Jötunn drilling in Reykjavík.





## 1970-80

Samhliða auknum framförum í jarðhitarannsóknum hófst mikil samvinna við erlenda rannsóknarstofnanir, háskóla og fyrirtæki um rannsóknir og leit að hagstæðum skilyrðum til myndunar olíu- og gaslinda á sjávarbotni. Byggður var upp þekkingarkjarni í olíu- og hafsbotsjarðfræði sem leiddi til þess að á Jan Mayen hryggnum og í settrogi undan Norðurlandi fundust vissar forsendur til myndunar olíu- og gaslinda. Þessar rannsóknir hafa nú leitt til þess að búið er að úthluta leitarleyfi til olíurannsóknarfyrirtækja á hluta Jan Mayen hryggjarins. Efri myndin sýnir mælingaskipið Prospekta sem notað var við fyrstu fjölrásaendurkastmælingar á landgrunni Íslands árið 1970. Neðri myndin sýnir stúdenta að störfum við staðsetningarstöðvar fyrir Ms Ísborgu árið 1973 en skipið gerði þá þyngdarmælingar á landgrunni Íslands sem m.a. leiddu til þess að settrogið mikla undan Norðurlandi fannst.

As development in geothermal research increased so did collaboration with foreign research institutes, universities and various companies regarding research on oil and gas resources in the seabed. The results have indicated that favorable conditions for the formation of oil and gas may have existed on the Jan Mayen Ridge and in a sedimentary graben off North Iceland. These studies have now led to the allocation of licenses to oil companies for further exploration on parts of the Jan Mayen Ridge. The upper photo shows the research vessel Prospekta which was used for the first multichannel seismic reflection measurements on the Iceland shelf. The lower photo shows students installing a positioning station for the MS Ísborg in 1973. The vessel was used for sea bed measurements which, for example, led to the discovery of the sedimentary graben off N-Iceland.



# 1997

Rannsóknasvið Orkustofnunar varð til er jarðhitadeild og vatnsorkudeild voru sameinaðar. Ólafur G. Flóvenz var ráðinn forstöðumaður. Næstu ár einkenndust af vaxandi áhuga á háhitavirkjunum og rannsóknum til undirbúnings þeim. Jafnframt urðu miklar framfarir í jarðhitaleit og forðafraði sem byggðust á þróunarvinnu stofnunarinnar. Má þar til dæmis nefna tilraunir með niðurdælingu á lágheatavæðum sem skipt hafa miklu við rekstur sumra hitaveitna.

The GeoScience Division of the National Energy Authority of Iceland was established when the geology- and hydro departments were combined. Ólafur G. Flóvenz was appointed general director. The following years were characterized by increasing interest in geothermal power plants and associated research. Significant progress was achieved in areas such as geothermal exploration and reservoir engineering. There was, for example, improvement in reinjection in low temperature fields which is of vital importance for some district heating power plants.

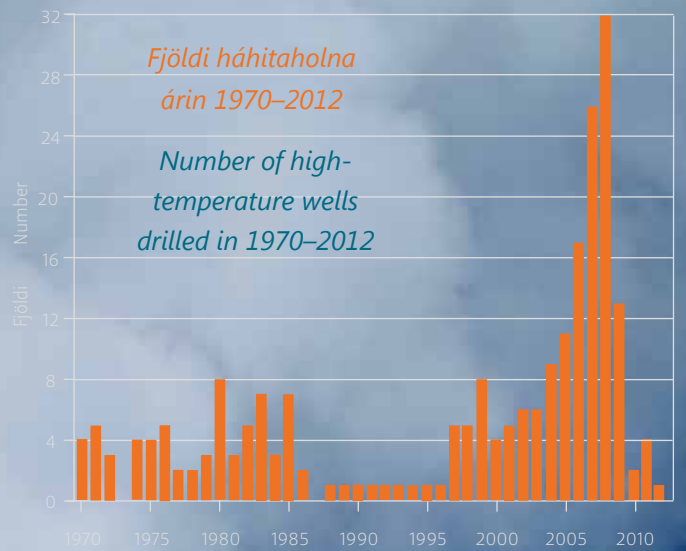


# 2003

Íslenskar orkurannsóknir - ÍSOR stofnaðar sem sjálfstæð ríkisstofnun. Fyrstu fimm starfsárin einkenndust af mikilli uppbyggingu háhitavirkjana og starfsmannafjöldinn fór yfir 90. ÍSOR kom sér á þessum tíma upp miklum og góðum tækjakosti til rannsókna og mælinga og safnaði rekstrarafgangi í sjóði til mögru ára.

Iceland GeoSurvey, ÍSOR, was established as an independent state institute. The first five years were characterized by the construction of high temperature power plants and the number of employees rose to more than 90. During those years ÍSOR built up a substantial inventory of machinery and logging tools for research and measurements and managed to accumulate surplus revenues.





*ÍSOR has six logging trucks with depth capacity of 5-6 km. Three of them are slickline trucks for measurements in wells exceeding 150°C*

## Geothermal Exploration Jarðhitarannsóknir

*ÍSOR á og rekur sex borholumælingabíla sem geta mælt niður á 5-6 km dýpi. Þar af eru þrjár bílar sem geta mælt í borholum heitari en 150°C*





## Háhitarrannsóknir

Rannsóknir og þjónusta í tengslum við undirbúning, uppbyggingu og rekstur háhitavirkjana er eitt af sérsviðum ÍSOR. Árið 2012 borðu Jarðboranir hf tvær háhitaholur fyrir orkufyrirtækin. Á Þeistareykjum var boruð ein háhitahola fyrir Landsvirkjun. Holan er lóðrétt, 2194 metra djúp og var hún boruð frá nýjum borteig á Þeistareykjagrundum. Borverkið hófst um miðjan október og lauk því um miðjan desember þrátt fyrir válynd veður.

Jarðborinn Þór, stærsti bor landsins, hóf borun holu RN-31 á Reykjanesi í nóvember 2012 fyrir HS Orku. Borun hennar lauk í janúar 2013. Holan er um 1223 m djúp og var stefnuboruð ofan í gufupúða jarðhitakerfisins.

Á árinu vann ÍSOR að ýmsum verkefnum fyrir Landsvirkjun sem tengjast úrvinnslu á borholugögnum. Jarðlög og ummyndun var greind í þunnsneiðum af svarfi úr borholum á Þeistareykjum og í Bjarnarflagi. Margvísleg gögn úr borholum og frá yfirborðsrannsóknnum voru sett upp í Petrel-hugbúnaði og gerð líkön af jarðhitakerfunum þar sem má skoða og samtúlka mismunandi gögn og skoða í þrívídd.

Jarðlög og ummyndun var einnig greind í þunnsneiðum af svarfi úr borholum í Gráuhnúkum á Hellisheiði fyrir Orkuveitu Reykjavíkur.

Á Reykjanesi voru gerðar umfangsmiklar viðnámsmælingar sumarið 2012. Niðurstöður mælinganna voru settar fram í þrívíðu viðnámslíkani sem sýnir helstu drætti jarðhitakerfisins. Viðnámslíkanið hefur ásamt öðrum gögnum af Reykjanesi, svo sem berghita og dýptardreifingu ummyndunarsteinda, verið sett saman í líkan sem gefur kost á þrívíðri framsetningu og greiningu gagna.

Líkt og áður mældu starfsmenn ÍSOR hita og þrýsting í vinnslu- og eftirlitsholum við allar háhitavirkjanir landsins og unnu úr niðurstöðum.

Eins og undanfarin ár var fylgst með jarðvegshita og gasflæði á hverasvæðinu við Gunnuhver á Reykjanesi og nágrenni þess. Fylgst var með efnasamsetningu jarðhitavökva og gufu úr vinnsluholum í Svartsengi og á Reykjanesi. Þá fylgdist ÍSOR einnig með efnasamsetningu neyslvatns í Lágum og við Sýrfell sem og efnasamsetningu affallsvatns á Reykjanesi og niðurdælingarvatns í Svartsengi.

Eftir að Orkuveita Reykjavíkur hóf niðurdælingu affallsvatns við Húsmúla haustið 2011 hófst þar mikil skjálftavirkni sem olli íbúum í Hveragerði óþægindum. Sérfræðingar ÍSOR tóku þátt í viðamikilli vinnu sérfræðihóps á vegum Orkuveitunnar til að greina vandann og koma með ráðleggingar til hennar. Eitt meginhlutverk ÍSOR var að móta tillögur um hvernig staðið skyldi að niðurdælingu í framtíðinni til að draga úr áhrifum niðurdælingaskjálfta enda vann ÍSOR samhliða þessu að gerð slíkra tillagna í stóru rannsóknarverkefni styrktu af Evrópusambandinu og jarðhitaklasanum GEORG. Jafnframt þessu rak ÍSOR staðbundið net jarðskjálftamæla á Húsmúlasvæðinu árið 2012 fyrir Orkuveituna.



## High-temperature research

ÍSOR specializes in research and services related to the preparation, construction and operation of geothermal power plants. In 2012 ÍSOR took part in drilling two high-temperature wells. One well was a vertical well drilled for Landsvirkjun at Þeistareykir, NE Iceland, down to a depth of 2194 m. The other well was directional, drilled for HS Orka on the Reykjanes Peninsula to a depth of 1223 m.

In 2012 ÍSOR worked on several projects for Landsvirkjun, mostly processing borehole data. The stratigraphy and alteration was identified in cuttings from wells in Þeistareykir and Bjarnarflag in NE Iceland. A great deal of borehole data was incorporated and interpreted using the 3D Petrel software and from this conceptual models of geothermal systems were constructed.

Geological formations and alteration were also identified from wells in Gráuhnúkar, Hellisheiði, for Reykjavík Energy.

Extensive resistivity measurements were carried out on the Reykjanes Peninsula in 2012. The results show the distribution of the geothermal system in a 3D resistivity model. This model, in addition to other data from Reykjanes, such as formation temperatures and the distribution of alteration minerals were compiled resulting in a conceptual model allowing these data to be interpreted and presented in three-dimensions.

As in previous years ÍSOR managed temperature- and pressure measurements in all production- and monitoring wells in the country. ÍSOR continued to analyse the geochemistry of geothermal water and steam from production wells in the Svartsengi and Reykjanes geothermal fields as well as monitoring surface expressions on Reykjanes. ÍSOR has also analysed the chemical composition of drinking water from Lágur by Sýrfell as well as the composition of waste water from the Reykjanes power plant and reinjected water from the Svartsengi power plant.

As Reykjavík Energy commenced reinjection by Húsmúli from the Hellisheiði power plant micro seismic activity increased dramatically in the area and in the nearby Hveragerði village. Specialists from ÍSOR took part in an extensive project, initiated by Reykjavík Energy, to diagnose the activity and to recommend solutions to the problem. The primary function of ÍSOR here was to formulate recommendations for procedures regarding reinjection in the future in order to reduce the effects of reinjection on seismicity. At the same time ÍSOR was working on this problem in a large research project funded by the European Union and the geothermal cluster GEORG. During these studies ÍSOR ran a local seismographic network by Húsmúli in 2012 for Reykjavík Energy.

## Bekking, aukin reynsla og tækniframfarir hafa átt stóran þátt í þróun viðnámsmælinga

Jarðhitavirkni hefur mikil áhrif á eðlisviðnám jarðlaga og því eru viðnámsmælingar ein mikilvægasta aðferðin í yfirborðsrannsóknunum vegna nýtingar jarðhita. ÍSOR hefur því lagt mikla áherslu á að fylgjast með og taka þátt í þróun þeirra og að beita á hverjum tíma nýjustu og bestu aðferðum við mælingarnar og túlkun mæligagna. Sú þróun hefur verið nokkuð ör á seinustu þremur áratugum, einkum vegna aukinnar þekkingar og reynslu, framfara í rafeindatækni og tilkomu öflugra tölva.

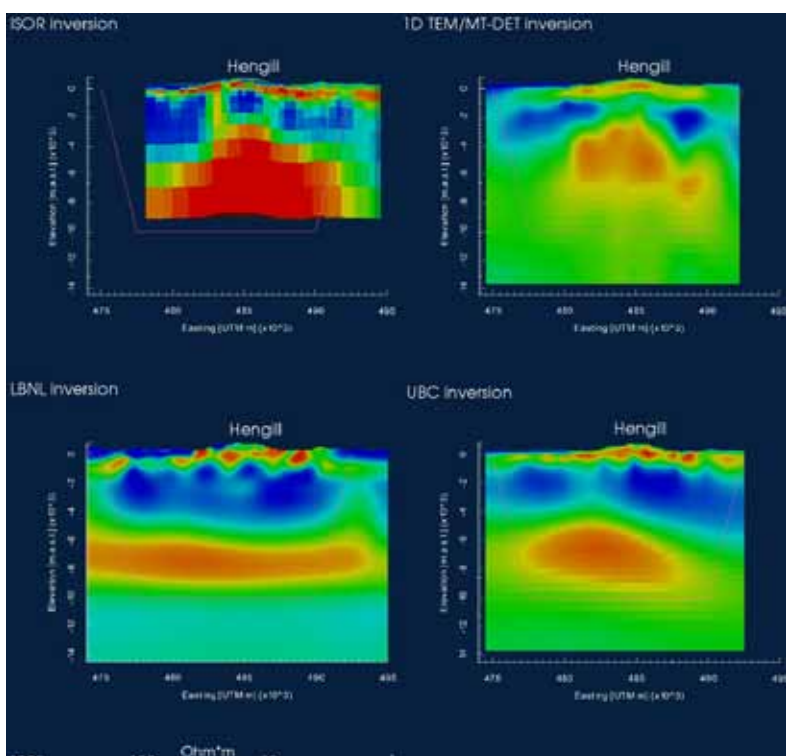
Stórt framfaraskref var stigið undir lok níunda áratugar síðustu aldar þegar nýr skilningur fékkst á samhengi eðlisviðnáms og hitastigs í jarðhitakerfum. Á svipuðum tíma leystu svokallaðar TEM-mælingar eldri jafnstraumsmælingar af hólmi en þær höfðu verið notaðar í nokkra áratugi. TEM-mælingarnar reyndust mun ódýrari og fljótlegri en eldri aðferðir og að auki með meiri greiningarhæfni í efstu 800–1000 m jarðskorpunnar. Í byrjun síðasta áratugar tók ÍSOR einnig að beita svokölluðum MT-mælingum sem skynja viðnámsbreytingar á mun meira dýpi en TEM-mælingarnar, eða 5–15 km (dýptarskynjunin er háð eðlisviðnámi). Viðnámsóreglur nærri yfirborði geta bjagað MT-mælingar en ekki TEM-mælingar. ÍSOR hefur þróað hugbúnað sem leiðréttir MT-mælingarnar með samtúlkun við TEM-mælingar.

ÍSOR hóf að beita svokallaðri þrívíðri (3D) túlkun MT-mælinga í kringum 2010. Í þrívíðri túlkun eru allar mælingar á jarðhitasvæðinu túlkaðar með einu líkani þar sem viðnám getur breyst í allar áttir. Áður var hver mæling túlkuð fyrir sig og gert ráð fyrir að viðnám breyttist aðeins með dýpi (einvíð túlkun) og þrívítt líkan síðan gert með því að brúa milli einvíðu líkananna. Reynslan hefur sýnt að þrívíð túlkun gefur mun skýrari mynd en einvíð túlkun og ekki er eins mikil hætta á að truflanir í einstökum mælingum hafi áhrif á líkanið. Í þrívíðri túlkun er jörðinni skipt upp í mörg þúsund kubba og reynt að ákvarða eðlisviðnámið í hverjum kubbi svo reiknuð

Geothermal activity significantly affects the resistivity of geological formations and consequently resistivity measurements are amongst the most important methods in geothermal exploration and in defining reservoir boundaries. ÍSOR has thus focused on monitoring and participating in the development of these methods and the use of state-of-the-art analytical methods and interpretation of the data. This development has been rapid during the past three decades, mainly due to increased knowledge, advances in electronics and computer power.

A major advance was achieved in the late eighties when there developed a new understanding of the relationship between resistivity and temperature of geothermal systems. At the same time, the scheme of resistivity measurements which had been in use for several decades, was replaced by the new TEM measurement techniques. TEM measurements were much cheaper and faster than older methods as well as having more detailed accuracy in the top 800-1000 m of the crust. At the beginning of the last decade ÍSOR also applied the so-called MT measurements which detect resistance changes to much greater depths than the TEM measurements or 5-15 km. Unlike MT measurements, TEM measurements are not distorted by resistivity anomalies near the surface. ÍSOR has developed comprehensive software in which the TEM measurements carefully correct the MT data.

Recently ÍSOR has been installing software for three-dimensional (3D) interpretation of MT measurements. In the 3D interpretation, a single resistivity model which fits all the MT measurements profiles is sought for the whole survey area. Previously each measurement was interpreted individually and it was assumed that resistivity only changed with depth (1D interpretation) and the three-dimensional model was developed by bridging between the 1D models. Experience has shown that 3D interpretation gives a much clearer picture than 1D interpretation and reduces the risk



V-A snið af Hengillssvæði. Efst til vinstri er þrívítt líkan ÍSOR, efst til hægri einvíð samtúlkun TEM og MT (ÍSOR), neðst til vinstri þrívítt líkan LBNL og neðst til hægri þrívítt líkan UBC. Rauða línan afmarkar það svæði þar sem mælingarnar hafa besta upplausn. Öll líkönin greina lágviðnámslag (lághitamyndun) grunnt og herra viðnám fyrir neðan (háhitamyndun). Öll líkönin sjá djúpstætt lágviðnám en dreifing þess er nokkuð breytileg.

W-E cross section of the Hengill area. Top left shows ÍSOR's 3D model, top right is a 1D combined interpretation of TEM and MT (ÍSOR), bottom left a 3D LBNL model and bottom right 3D UBC model. The red line defines the area of best resolution. All the models detect shallow low resistivity (low-temperature alteration) and deeper high resistivity (high-temperature alteration). All the models show low resistivity at depth but with varying distribution.

svörun líkansins falli að mæligildum allra mælinganna. Í flestum tilfellum eru óþekktu viðnámsgildin margfalt fleiri en mæligildin og viðfangsefnið það sem kallað er undirákvarðað, þ.e. hægt að herma mæligildin með óendanlega mörgum líkönum. Við þessu er brugðist með því að gera ákveðnar kröfur til líkansins, t.d. að leyfa ekki mjög skarpar viðnámsbreytingar og/eða að líkanið víki sem minnst frá skilgreindu líkani. Af sjálfu leiðir að niðurstöður þrívíðrar túlkunar geta verið mismunandi eftir því hver túlkar og hvaða skorður eru settar.

Til að kanna áreiðanleika þrívíðrar túlkunar stóð ÍSOR fyrir því innan fjölþjóðlegs samvinnuverkefnis að sömu gögnin frá tveimur jarðhitasvæðum á Íslandi, Hengli og Kröflu, voru túlkuð óháð af þremur hópum, ÍSOR, Lawrence Berkeley National Laboratory í BNA og University of British Columbia í Kanada, og með þremur mismundi forritum. Niðurstaðan var sú að mælisvæðin og þar sem mælingarnar hafa góða upplausn bar líkönum í megindráttum vel saman en fjarlægari hlutar líkansins voru breytilegir og verulega háðir byrjunarlíkönunum. Einn starfmaður ÍSOR er nú í doktorsnámi með eitt af meginverkefnum að kanna enn betur hvernig best er að standa að og hámarka áreiðanleika þrívíðrar túlkunar MT-mælinga.

## Leit að lághita til húshitunar

Kortlagning á hitastigli í 50 til 100 m djúpum borholum hefur reynst árangursrík aðferð til jarðhitaleitar á Íslandi utan gosbeltanna og á jaðarsvæðum þeirra. Aðferðin gagnast aðeins á stöðum þar sem berg nærri yfirborði er nægilega þétt til að varmi berist nær eingöngu um það með varmaleiðingu en ekki með rennsli vökva. Einnig hefur ÍSOR nýlega tekið upp holusjarmælingar (televiwer) í borholum með góðum árangri til að mæla stefnu og halla vatnsleiðandi sprungna sem borholur skera. Auk þess er hægt að fá upplýsingar um stefnu virks spennusviðs umhverfis holuna á þeim tíma sem hún er boruð.

Góður árangur náðist við Hoffell í Hornafirði. Jarðhitaleit þar hefur staðið yfir með hléum í nær 20 ár. Haustið 2012 gerði ÍSOR, að beiðni RARIK, holusjarmælingar í nokkrum borholum við Hoffell og kortlagði þannig sprungur í holunum og stefnur þeirra. Á grundvelli nákvæmrar úrvinnslu þessara gagna, auk gagna um hitastigul og jarðfræði svæðisins, var vinnsluhola HF-1 staðsett. Holan varð 1668 m djúp og gaf um 7 L/s í sjálfrennsli en skammtímaprófanir benda til þess að holan geti gefið í dælingu um 20 L/s af rúmlega 70°C heitu vatni en með talsverðum niðurdrætti.

ÍSOR hefur annast hitastigulsmælingar í Kjós og á grundvelli þeirra var boruð djúp rannsóknarhola á Möðruvöllum á síðasta ári með góðum árangri. Holan skilar um 14 L/s af 80°C vatni í sjálfrennsli og er nú grundvöllur kominn fyrir hitaveitu í Kjóssarhreppi.

ÍSOR vann við hitastigulrannsóknir í Hörgársveit á árunum 2011 og 2012 fyrir Norðurorku. Alls voru boraðar sextán hitastigulsholur á svæðinu. Flestar holurnar sýndu dæmigerðan, ótruflaðan bakgrunnstigul og gáfu því engar vísbendingar um að nýtanlegt jarðhitakerfi væri að finna í byggð í Hörgárdal eða Öxnadal framan við Laugaland á Pelamörk.

Í Hrollleifsdal í Skagafirði afla Skagafjarðarveitur heits vatns fyrir Hofsó og nágrenni úr einni borholu. Á grundvelli rannsókna ÍSOR var önnur vinnsluhola boruð á svæðinu sumarið 2012. Nýja holan gefur bæði heitara og meira vatn en núverandi vinnsluhola.

of interference by individual measurements affecting the model. The 3D interpretation splits the Earth into thousands of blocks and tries to assign resistivity value for each block. The 3D interpretation is considerably more reliable and realistic than the 1D model, and gives a much more satisfactory reproduction of the details in the resistivity distribution.

To check the reliability of the 3D interpretation ÍSOR initiated an international collaborative project in which the same data from two geothermal areas in Iceland (Hengill and Krafla) were interpreted independently by three groups (ÍSOR, Lawrence Berkeley National Laboratory in the U.S. and University of British Columbia in Canada) using three different softwares. The conclusion was that where the measurements had a good resolution the models agreed generally well, but the more distant parts of the model were variable and dependent on the initial models for the inversion process. An employee of ÍSOR is now, in his Ph.D studies, exploring how to optimize the reliability of 3D interpretation of MT measurements.

## Low-temperature geothermal exploration for space heating

Mapping temperature gradients in 50 to 100 m deep wells has proved to be an effective method of geothermal exploration outside the volcanic zones in Iceland and at their periphery. This method is only suitable in geological settings where the rock is sufficiently compact for the heat to be transferred to the surface by conduction rather than fluid flow. In addition, ÍSOR has recently adopted the use of televiwer in wells giving excellent results in determining the strike and dip of permeable fissures and cracks. In addition one can define the direction of geological stress around the well at the time of drilling.

Good results were achieved at Hoffell in Hornafjörður. Geothermal exploration in the area has been ongoing intermittently for nearly 20 years. In the autumn of 2012 ÍSOR performed televiwer measurements in several wells and mapped cracks and fissures. This was a project requested by the Iceland State Electricity (RARIK). The siting of well HF-1 was decided on the basis of a detailed analysis of these data as well as data on the temperature gradient and geology of the area. The well was drilled to 1668 m depth and gave about 7 L/s in free flow. Short term tests indicate that this may be increased to 20-25 l/s of more than 70°C hot water using pumping but at the cost of substantial draw-down.

ÍSOR has been in charge of temperature gradient measurements in Kjós, SW- Iceland, and based on this research a highly successful deep exploration well was drilled last year at Möðruvellir. The well discharges about 14 L / s of 80°C water which is now the basis for district heating in the Kjós county.

ÍSOR executed temperature gradient studies in Hörgársveit county, N-Iceland, for Norðurorka Water and Power Company in 2011 and 2012. A total of sixteen gradient wells were drilled in the area. Most wells showed background temperature gradient and gave no indication of a usable geothermal system in the area.

In Hrollleifsdalur in Skagafjörður, N-Iceland, Skagafjardarveitur District Heating provides hot water for Hofsó village and nearby vicinity from a single borehole. On the basis of research conducted by ÍSOR another production well was drilled in the area in the summer of 2012. The new well produces a greater capacity of water at higher temperatures than the current production well.



### *Eftirlit með jarðhitakerfum*

ÍSOR hefur annast margháttað eftirlit á Reykjanesi og Svartsengi fyrir HS Orku, á Hengilssvæðinu fyrir Orkuveitu Reykjavíkur og í Kröflu og Bjarnarflagi fyrir Landsvirkjun. Grunnur hefur verið lagður að eftirliti með jarðhitakerfum á Þeistareykjum á síðustu árum fyrir Landsvirkjun.

Áætla má massabreytingar, sem verða niðri í jarðhitakerfunum vegna vinnslu, með því að fylgjast með breytingum í þyngdarsviði á jarðhitasvæða í vinnslu með nákvæmum þyngdarmælingum og með GPS-mælingum. Vinnslan veldur massatapi en náttúrulegt innstreymi og niðurdæling vega upp á móti henni. Samanlagt valda þessir þættir massabreytingunum sem þyngdarmælingarnar greina. Þegar náttúrulegt innstreymi er lítið miðað við vinnsluna verða miklar þyngdarbreytingar en þegar það er mikið verða litlar breytingar. Með því að endurtaka slíkar mælingar á nokkurra ára fresti má því fylgjast með massabreytingum í vinnslukerfum með tíma.

ÍSOR sinnir vinnslueftirliti fyrir flestar hitaveitur landsins. Þar er m.a. fylgst með efnasamsetningu jarðhitavökva, vatnsborði og meta sjálfbærni vinnslunnar.

*Á rannsóknarstofu ÍSOR eru tæki til efnagreininga á jarðhitavatni, köldu vatni, gasi, gufu, borsvarfi, útfellingum og bergi.*

*Stofan hentar því vel fyrir reglulegt vinnslueftirlit hitaveitna.*

*The ÍSOR laboratory is well equipped for chemical analyses of geothermal water, cold water, gas, steam, drill cuttings, precipitations and rocks.*

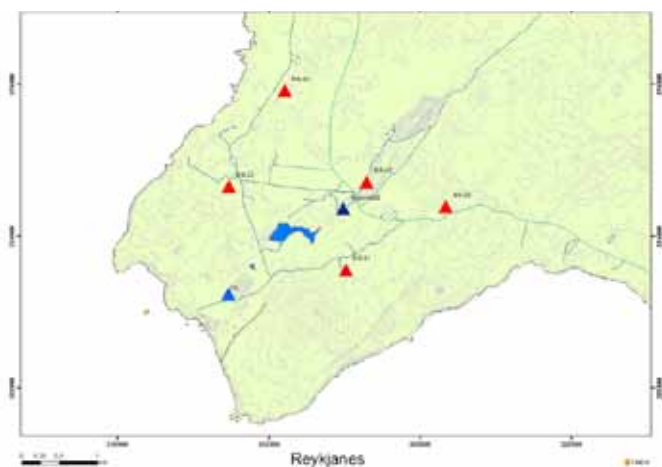
*It is therefore well suited for the regular monitoring for the district heating companies.*



## Monitoring geothermal systems

ÍSOR managed monitoring in Reykjanes and Svartsengi for HS Orka, in the Hengill area for Reykjavík Energy and in Krafla and Bjarnarflag for Landsvirkjun. During the last few years a structure has been made for monitoring of the geothermal systems at Peistareykir for Landsvirkjun.

It is possible to estimate density changes occurring in geothermal systems because of exploitation using detailed GPS surveys and gravimetric measurements which detect minute changes in crustal deformation in the region. Geothermal exploitation results in negative gravity changes whilst natural fluid recharge and reinjection offset it, and these factors combined cause the gravity changes that gravimetric measurements detect. When natural recharge is small (relative to production) considerable gravity changes occur but small when recharge is large. By repeating such



### Fylgst er með jarðskjálftavirkni samhliða jarðhitaborunum á Reykjanesi

ÍSOR hefur séð um umhverfiseftirlit tengdu jarðhitavinnslu á Reykjanesi fyrir HS Orku. Einn af mikilvægum þáttum eftirlitsins er vöktun smáskjálfta sem geta fylgt háhitaborunum og niðurdælingu. Skjálftar sem tengjast vinnslu eru smáir og þarf því þétt net til að nema þá. ÍSOR gerði tillögu að mælaneti sem samanstendur af níu mælum og er búið að koma upp fimm þeirra á svæðinu. Auk þessara mæla verður einnig aðgangur að jarðskjálftamælum Veðurstofu Íslands. Veðurstofan hefur rekið jarðskjálftamæla við Grindavík, Vogá á Vatnsleysuströnd og Nýlendu (skammt frá Sandgerði) frá árinu 1997. Árið 2008 bættist einn mælir við á Reykjanesi.

Þráðlaust net tengir mælana við miðstöð á Rauðhólum á Reykjanesi. Þar er 3G-samband sem sér um að koma gögnum til Reykjavíkur til varðveislu og úrvinnslu. Gagnasendingar og sjálfvirk úrvinnsla, sem felur í sér sjálfvirka staðsetningu og stærðarmat, eru nær rauntíma. Skráningar og niðurstöður sjálfvirkrar úrvinnslu er unnt að skoða á internetinu.

Jarðskjálftavirkni hefur verið mjög lítil á Reykjanesi frá 1975. Á tímabilinu 1967 til 1975 urðu jarðskjálftahrinur á Reykjanesskaga frá Krísuvík út á Reykjanes hrygg. Það er síðasta stóra hrinan, en þær koma á 30 til 40 ára fresti á Reykjavnesi skv. sögulegum heimildum. HS Orku þótti mikilvægt að unnt væri að mæla minni skjálfta og sérstaklega hvort um væri að ræða vinnslutengda skjálfta og skjálfta sem tengdust borunum.

measurements every few years in a static measurement network, it is possible to monitor any mass changes occurring in a geothermal reservoir which is being harnessed.

ÍSOR monitors most of the district heating companies in the country in order to assess the chemical composition of geothermal fluids, water level in wells and evaluation of the sustainability of the utilization. Last year the foundation for environmental monitoring of the high temperature areas in Northeast Iceland was made, where the main focus was on the Peistareykir area. The superficial geothermal activity was mapped and thermal images taken systematically to follow changes in the system over years. The chemical composition of steam from chosen geothermal spots is also monitored within the project.

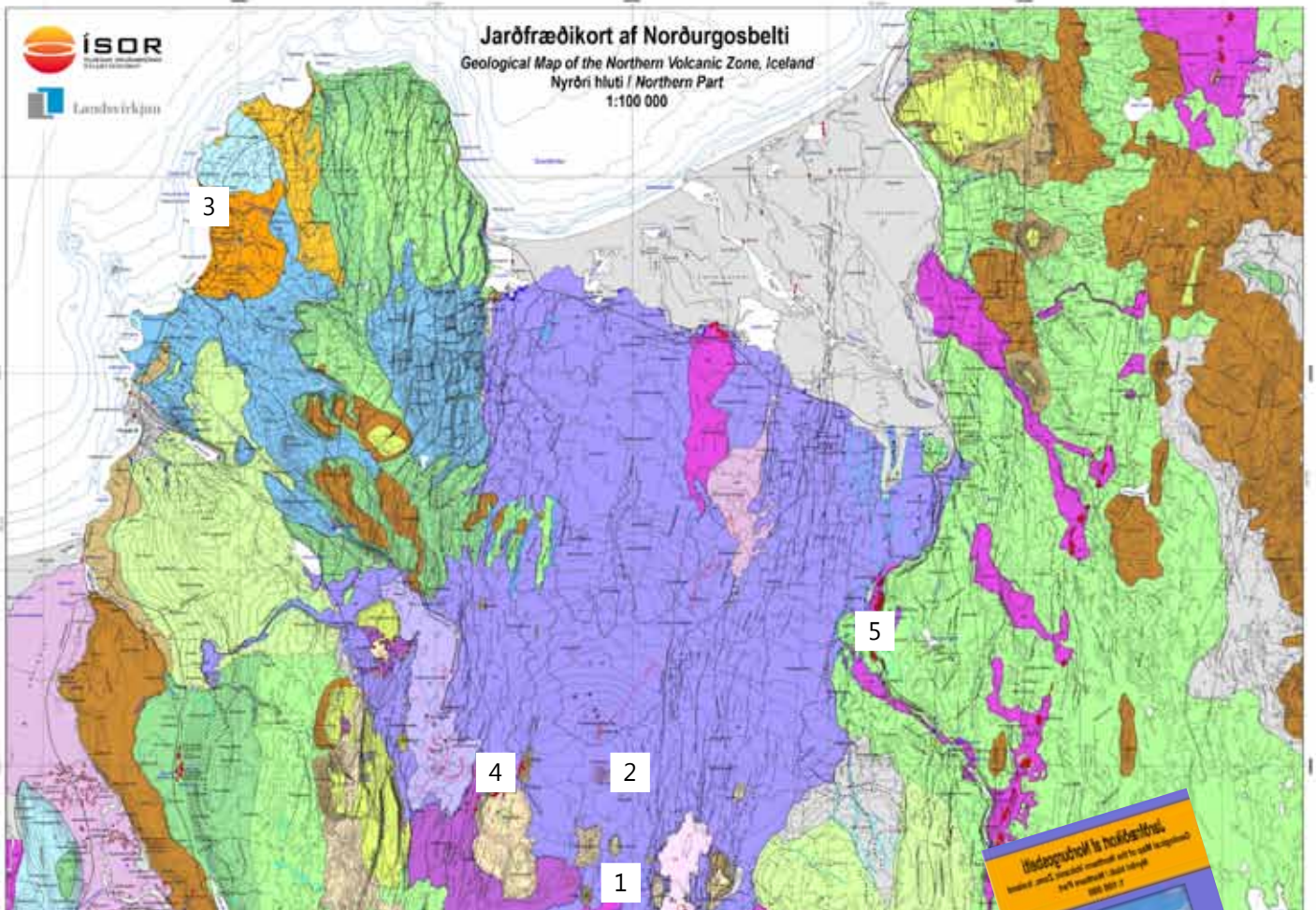


### Monitoring seismic activity during geothermal drilling on the Reykjanes Peninsula

ÍSOR has provided environmental monitoring services for HS Orka in relation to geothermal exploitation on the Reykjanes Peninsula. One important aspect is to scrutinize micro earthquakes which may accompany high-temperature geothermal drilling and reinjection. Earthquakes related to processing related to drilling operations are small and therefore a dense network of seismometers is needed to detect them. ÍSOR proposed a network consisting of nine new seismometers in addition to the five existing ones in the area. Furthermore, the network provided by the Iceland Meteorological Office will also be accessible. The Met Office has operated seismometers in Grindavík, Vogar on Vatnsleysuströnd and Sangerði since 1997. In 2008 another seismometer was added in Reykjanes.

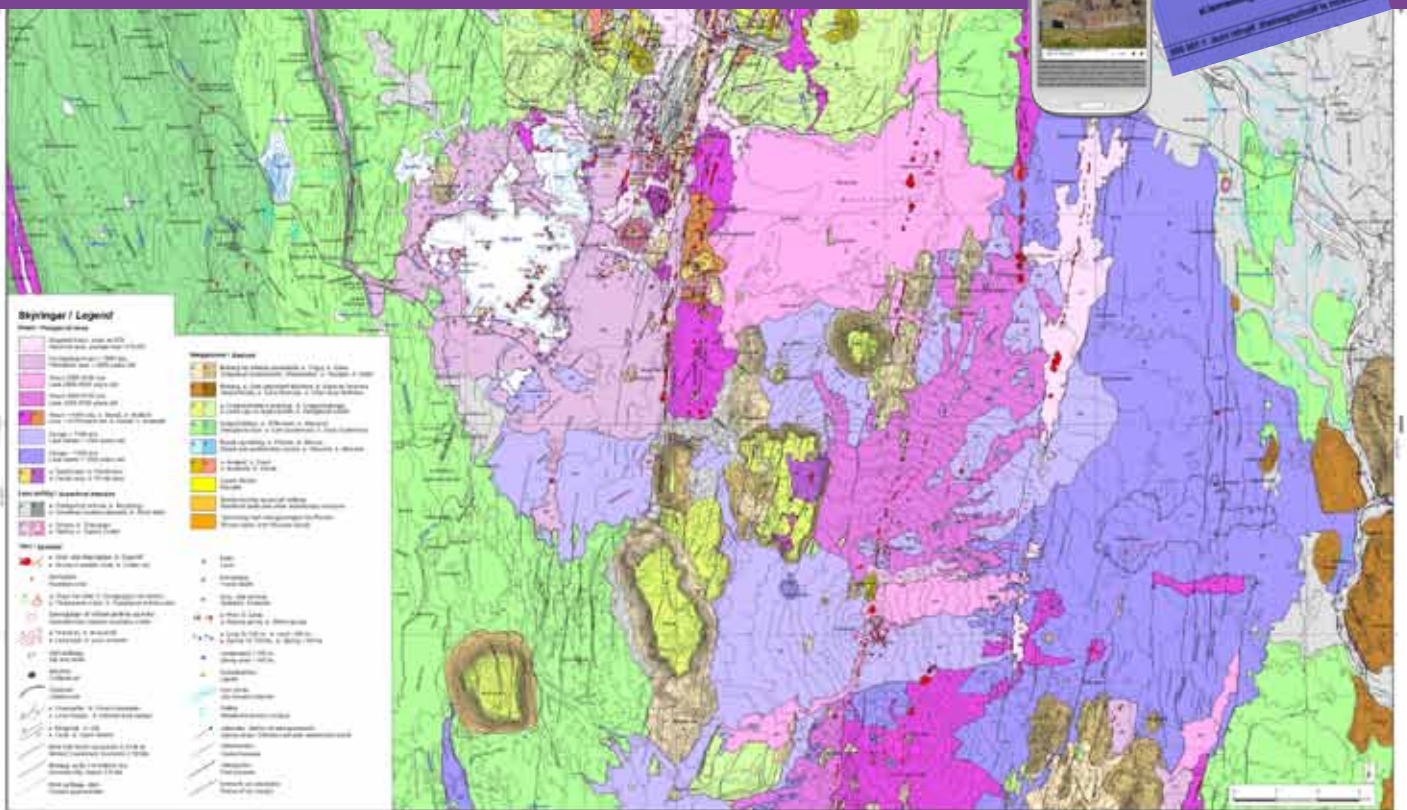
Wireless network links all the seismometers to a centre in Rauðhólar on Reykjanes. Here a 3G network transfers the data to Reykjavík for analysis and storage. Data transmission and automatic processing results in instantaneous positioning and the magnitude of all earthquakes. These results can be viewed on the internet.

Seismic activity at Reykjanes has been low since 1975. During the period of 1967 to 1975 seismic events occurred on the Reykjanes Peninsula from Krísuvík to the Reykjanes Ridge. This was the last big wave but these happen every 30-40 years according to historical records. HS Orka believes it is important to detect and analyse small tremors, particularly if those may be related to the geothermal utilization or geothermal drilling in the area.



# Geological Mapping

## Jarðfræðikortagerð



## Jarðfræðikort

ÍSOR hefur sérhæft sig í gerð ýmis konar jarðfræðikorta og hefur um áratuga skeið unnið að kortlagningu víða um land fyrir sveitarfélög og orkufyrirtæki. Jarðfræðikort eru undirstaða umhverfismats, landnýtingar og skipulags í þéttbýli og strjálbýli. Þau eru nauðsynleg vegna nýtingar á auðlindum landsins og forsenda skynsamlegrar náttúruverndar. Einnig eru þau ómissandi þegar meta á hættu af völdum eldgosa, skriðufalla, flóða og jarðskjálfta.

Árið 2010 gaf ÍSOR út fyrsta heildsteypta jarðfræðikortið í mælikvarðanum 1:100 000 af Suðvesturlandi. Þarna var stigið skref í áttina að samfelldri jarðfræðikortlagningu gosbeltisins. Í árslok 2012 tóku ÍSOR og Landsvirkjun höndum saman og gáfu út jarðfræðikort af nýrðri hluta Norðurgosbeltisins í sama mælikvarða.

Á baklið þess korts eru lýsingar á 27 jarðfræðilega áhuga-verðum stöðum sem einnig er hægt að nálgast á vef ÍSOR sem er orðinn aðgengilegur snjallsímum.

Vonast er til að jarðfræðikortin í þessum mælikvarða verði öllum þeim sem unna íslenskri náttúru til gagns og gamans.

Á árinu var gengið frá jöklakorti af Íslandi í mælikvarðanum 1:500 000. Höfundar kortsins eru sérfræðingar hjá Veðurstofu Íslands, Bandarísku jarðfræðistofnuninni (USGS) og ÍSOR. ÍSOR sá um vinnslu kortsins en Veðurstofan gefur það út og er áætlað að það muni koma út sumarið 2013. Á kortinu er útbreiðsla jökla landsins sýnd eins og hún var um aldamótin 2000 og mesta útbreiðsla þeirra á sögulegum tíma sem víðast varð fyrir aldamótin 1900.

## Geological Mapping

ÍSOR has specialized in making various categories of geological maps and has for decades mapped across the country for municipalities and energy companies. Geological maps form the basis of environmental assessment, land use and planning in urban and rural areas. They are essential for the utilization of natural resources and practical conservation. They are also vital when assessing the risk from volcanism, landslides, floods and earthquakes.

In 2010 ÍSOR published the first complete geological map in the scale 1:100 000 of Southwest Iceland. This effort signifies a step towards comprehensive geological mapping of the Iceland volcanic zones. By the end of 2012 ÍSOR and Landsvirkjun joined forces and published a geological map of the northerly part of the Northern Volcanic Zone in the same scale. On the reverse of the map 27 sites of geological interest are described. These are also available on the ÍSOR website, which has now become accessible on smart phones.

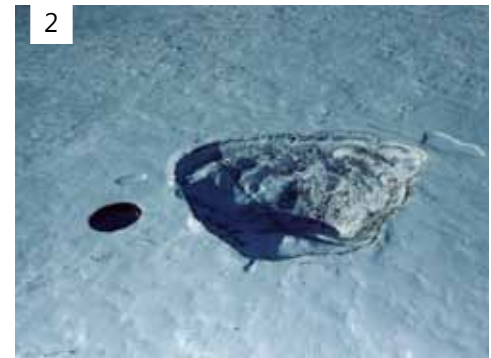
It is anticipated that the geological maps of this scale will be beneficial to all those with an interest in Icelandic nature and landscape.

Last year a glacier map of Iceland on a scale of 1:500 000 was completed. Authors of the map are experts from the Icelandic Meteorological Office, the American Geological Institute (USGS) and ÍSOR. The map shows the ice sheet cover as it was around the last millennium, and its maximum extension around 1900. Processing of the map was executed by ÍSOR and publication will be carried out by the Met Office in 2013.



1  
Gjavella, hraunspýja er lekur upp úr gjá án gjalls.

Gjavella a fissure outflow.



2  
Vitin á Peistareykjabungu.

Craters on Peistareykjabungu.



3  
Skeljar í Tjörneslögum.

Fossil shells from Tjörnes.



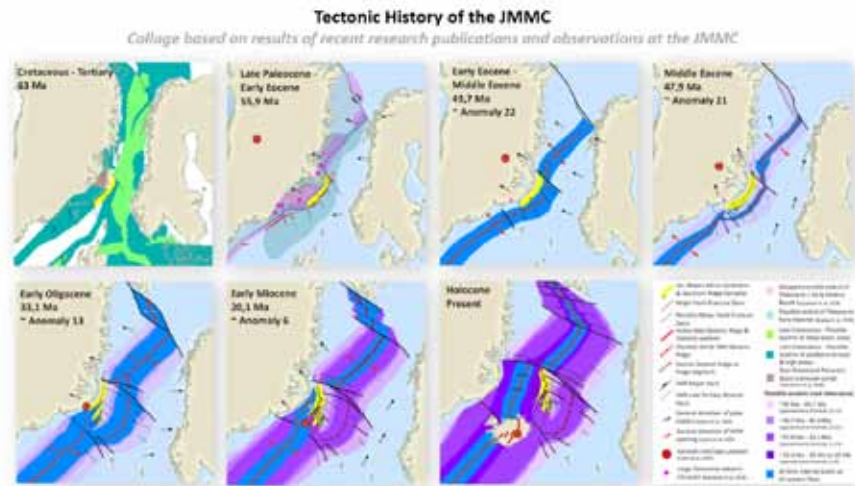
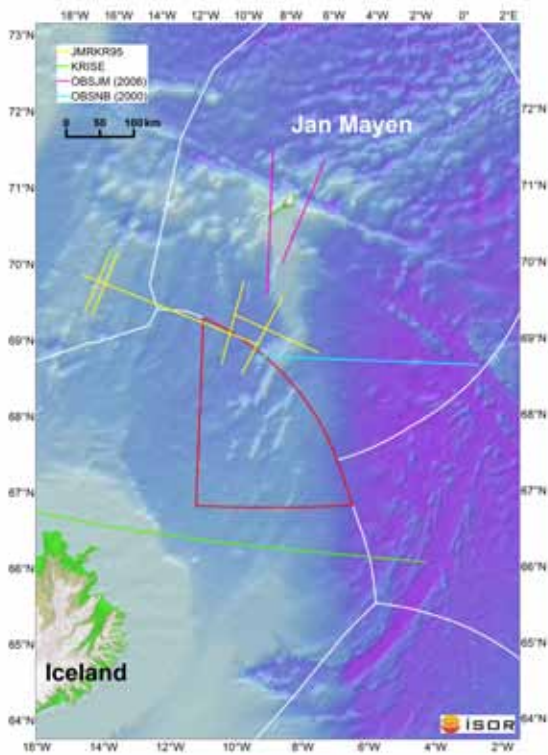
4  
Háhitavæðið á Peistareykirkju.

Peistareykir high-temperature area.



5  
Hljóðaklettur í Jökulsárgljúfrum.

Columnar basalt characterizes Hljóðaklettur.



## Kortlagning hafsbotsins – Leit að kolvetnum á Jan Mayen hrygg

ÍSOR hefur veitt Orkustofnun sérfræðiaðstoð við undirbúning fyrsta og annars útboðs Íslands á sérleyfum til rannsókna og vinnslu kolvetnis á Jan Mayen hryggnum og við að fylgja þeim rannsóknum eftir. Vinna við gagnasafn, túlkanir og greiningar á jarðeðlisfræðilegum gögnum eru á meðal verkefna. Um er að ræða svæði norðaustur af Íslandi (Jan Mayen hrygginn og Drekasvæðið), þar sem rannsóknarleyfi hafa þegar verið veitt, og svæði austur og suðaustur af landinu.

Með jarðfræðilegum og jarðeðlisfræðilegum gögnum er unnt að rekja jarðfræðisögu Jan Mayen svæðisins. Í þeirri sögu má sjá möguleika til kolvetnavinnslu á þessu svæði. Best er að bera jarðfræði Jan Mayen svæðisins saman við þekktar bergmyndanir á austurströnd Grænlands og við sýni frá landgrunni vesturjaðars svæðisins. Þar sem engin gögn eru til úr djúpum borholum á Jan Mayen svæðinu hefur það einnig reynt gagnlegur samanburður við djúpar borholur og mælingar sem gerðar voru á norska landgrunninu meðfram austurjaðri svæðisins.

Niðurstöður rannsókna bera vitni um setlög sem mynduðust áður en N-Atlantshafið opnaðist og gætu hugsanlega verið allt frá fornliðsöld. Þykkan stafla af hugsanlegu seti má einkum sjá undir vesturhlíðum svæðisins í Jan Mayen dældinni en slíkur stafl er frumskilyrði fyrir mögulegt kolvetnakerfi. Árið 2011 náðust ný hafsbotsnýni frá Jan Mayen svæðinu og fundust í þeim vísbendingar um olíuleka frá júratímabilinu í nágrenni eins af stóru misgengjabeltunum. Það teljast jákvæðar vísbendingar um hugsanlegan kolvetnaforða á svæðinu. Meiri líkur eru taldar á gasi á djúpstæðum svæðum og þar sem eldvirkni hefur verið til staðar en meiri möguleikar á olíu eru á grynnri hlíðasvæðum.

Rannsóknum og kortlagningu verður haldið áfram hjá ÍSOR í samstarfi við Háskóla Íslands og verður sjónum einkum beint að Jan Mayen meginlandsfleknum. Þær rannsóknir tengjast athugunum sem unnið er að á Grænlandi, í Noregi og á Stóra-Bretlandi til að auka þekkingu á eðli uppbyggingar og setmyndunar á svæðinu og nýta þær sem grunn fyrir frekari rannsóknir á útbreiðslu kolvetna.

## Seafloor mapping - Hydrocarbon exploration on the Jan Mayen Ridge

Iceland GeoSurvey has provided geoscientific support and advice to Orkustofnun, the National Energy Authority of Iceland, during preparation of the first two rounds of issuing offshore hydrocarbon exploration licenses. This has included work on a database, and interpretation and analysis of geophysical data from areas off northeast Iceland, the Jan Mayen Ridge and the Dreki licensing area, as well as from areas to the east and southeast of Iceland.

The geological history of the Jan Mayen area can be traced through geological and geophysical data. This history provides clues to potential hydrocarbons in the area. Comparisons of the geology of the Jan Mayen area with known formations on the eastern coast of Greenland, and with samples from the continental shelf on the area's western margin, have proven instructive. Since there are no deep borehole data available from anywhere in the Jan Mayen area, comparisons with borehole data and other measurements from the Norwegian continental shelf, along the area's eastern margin, have also been useful.

Seismic exploration has revealed sediments that were formed before the opening of the North Atlantic Ocean and might even date from the Paleozoic Era. A thick stack of possible sediment has been detected below the western slopes of the area in the Jan Mayen Basin. Such a stack is a requirement for a potential hydrocarbon system. In 2011, a fresh set of seafloor cores from the Jan Mayen area yielded evidence of a Jurassic oil seep in the vicinity of one of the large fault zones. This is considered encouraging evidence of possible hydrocarbon deposits in the area. Deep-seated formations that have been affected by volcanic activity are thought to be relatively more likely to contain natural gas, whereas the shallower slope areas are considered better oil candidates.

Iceland GeoSurvey will continue exploration and mapping work, in cooperation with the University of Iceland, with a focus on the Jan Mayen microcontinent.

This work is connected to studies being carried out in Greenland, Norway, and the United Kingdom which aim to increase understanding of the nature of the structure and deposition in the area and that may serve as a basis for further research on the distribution of hydrocarbons.



## Kortabók og stafrænn gagnagrunnur af jarðfræðilegri gerð Norðaustur-Atlantshafs

NAGTEC (Northeast Atlantic Geoscience TEctonostratigraphic Atlas) er samstarfsverkefni jarðfræðistofnana níu ríkja í N-Evrópu, Íslands, Danmerkur, Noregs, Færeyja, Bretlands, Írlands, N-Írlands, Hollands og Þýskalands.

Verktími: 2011–2014

Verkið er kostað með styrkjum frá olíuleitarfyrirtækjum á móti helmingsframlagi hinna þjóðlegu stofnana.

Verkið felst í úttekt á hafsbotsjarðfræði NA-Atlantshafsins. Það hófst á miðju ári 2011 og mun ljúka 2014. Þá á að liggja fyrir kortabók af svæðinu ásamt stafrænum gagnagrunni. Allmikil vinna var lögð í verkefnið á starfsárinu, m.a. stóð ÍSOR að ráðstefnu og vinnufundum ásamt með kynnisferð um Suðvesturhornið í júní. Innan vinnuhópsins ber ÍSOR ábyrgð á úrvinnslu úr gögnum sem varða hafsbotninn kringum landið, bæði af landgrunninu sjálfu og úthafsbotninum langt suður og norður í höf. Jan Mayen svæðið er einnig nánast alfarið undir hatti ÍSOR.

Verkefnið mun efla þekkingu á jarðsögulegri þróun NA-Atlantshafsins, opnun svæðisins, rekhraða og stefnu, eldvirkninni sem þar hefur orðið og þróun setmyndunar. Verkefnið ætti einnig að veita nýja sýn á segulsvið, þyngdarsvið, jarðefnafræði og hitaflæði jarðskorpunnar. Að auki fæst þekking á hugsanlegum auðlindum og á nýtingu þeirra. Má þar nefna vitneskju um olíu- og gaslindir á hafsbotni og líkur á olíusvæðum í íslenskrum lögsögu.

Áætlað er að kortabókin verði gefin út árið 2016 og stafræni gagnagrunnurinn verði opnaður árið 2019.

## Atlas and digital database is created with the evaluation of the geological characteristics of the North-eastern Atlantic

NAGTEC (Northeast Atlantic Geoscience TEctonostratigraphic Atlas) is a multinational research project by nine Geological Surveys in Northern Europe, ÍSOR, Geological Survey of Denmark (Geus), Norway (NGU), Faroe Islands (JF), the UK (BGS), Ireland (GSI), N Ireland (GSNI), the Netherlands (TNO) and the Alfred Wegener Institute (AWI) in Germany.

Project time: 2011-2014

Fifty per cent of the finance for the project comes from grants made by oil companies, with the rest contributed by the national institutions.

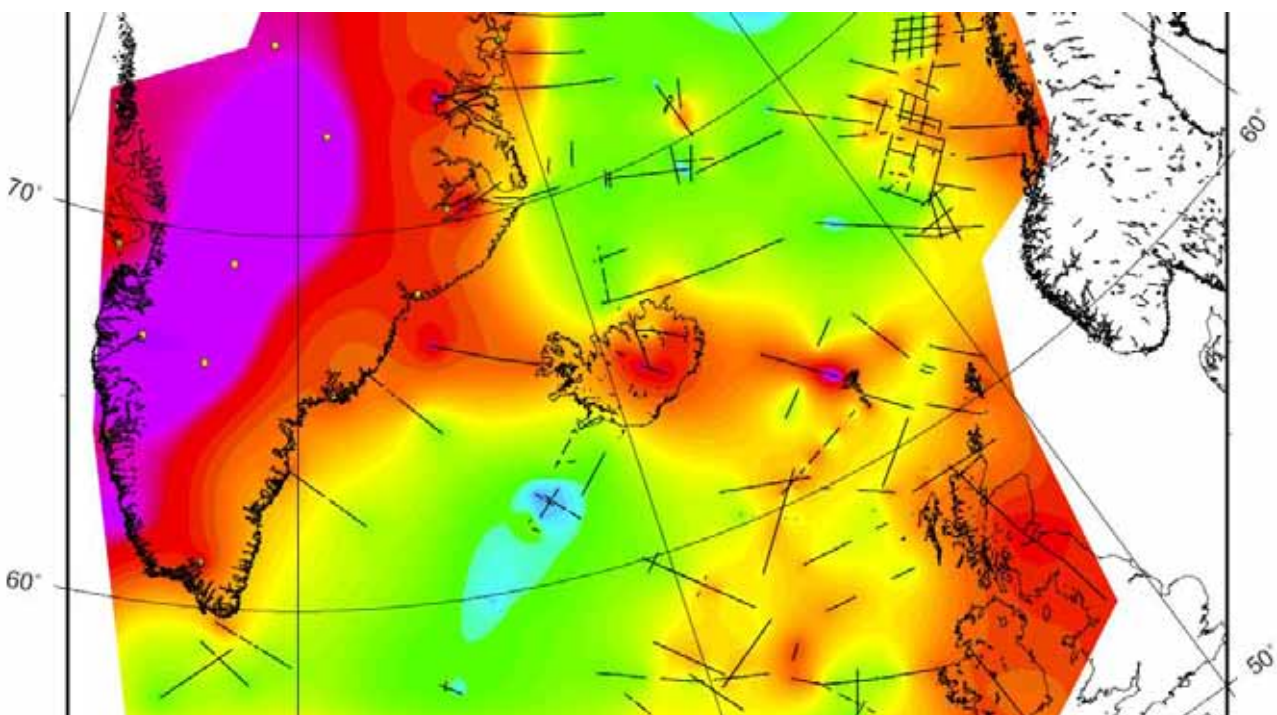
All relevant information that has been acquired in recent decades on the Northeast Atlantic will be reviewed, coordinated and published in an Atlas. In addition, all data will be made available in digital form so they become more easily accessible within geographic information systems (GIS).

It is anticipated that the project will increase knowledge on the geological development of the Northeast Atlantic; including the rifting history, spreading rate and direction, volcanism and sedimentation. The project should also provide new insights into the palaeomagnetism, gravity anomalies, geochemistry and crustal heat flow. The practical gains are likely to be information on possible natural resources and their potential for exploitation, including the possibility of oil and gas resources in Icelandic waters.

It is estimated that the Atlas will be published in 2016 and the digital database will be on-line in 2019.

Dýpi á MOHO. Vinnukort í NAGTEC-verkinu (ófullbúið).

Depth to MOHO. Preliminary map.





*Expertise in:*

- *groundwater and groundwater research*
- *water conservation and groundwater contamination*
- *acquisition of industrial water, fire protection, warm water and brine*

## Groundwater Grunnvatn



*Ráðgjöf um:*

- *grunnvatn og grunnvatnsrannsóknir*
- *vatnsverndarsvæði og grunnvatnsmengun*
- *öflun iðnaðarvatns, slökkvivatns, ylvatns og jarðsjávar*

## Jarðsjór og fiskeldis

Um Reykjaneskagann rennur ekkert vatn á yfirborði frá Læknum í Hafnarfirði út fyrir Garðskaga og suður fyrir Reykjanes og svo austur um Selvog allt að Ölfusá. Öll úrkoma, sem á þetta svæði fellur, sígur í jörð og myndar grunnvatn sem leitar til sjávar og á einstaka stað, eins og til dæmis í Straumsvík, er verulega mikið vatnsrensli sýnilegt.

Jarðsjór er notaður til fiskeldis í stórum stíl á Vatnsleysu, í Vogavík, Kalmanstjörn, Stað og Húsatóttum í Grindavík og í Þorlákshöfn. Á Reykjanesi er stór fiskeldisstöð í byggingu og að auki eru áform um fleiri eldisstöðvar.

Á þessu svæði er víða saltur sjór undir grunnvatninu. Ferska vatnið er eðlisléttara en sjórin og flýtur þess vegna ofan á. Fræðilega ætti vatn að vera ferskt allt að 70 m niður fyrir sjávarmál inni í Lágunum; inni á miðjum Reykjaneskaga og miðs vegar milli Grindavíkur og Voga.

Í raun eru þessi skil ekki alveg augljós, heldur þjagast þau vegna misleitni í jarðlögum og jarðhita en þarna raða háhitasvæðin sér á gliðnunarbelti Reykjanes hryggjarins. Sums staðar nær ferskvatnið langt út undir sjó, eins og til dæmis í Sandgerði og Vogum á Vatnsleysuströnd en þar þarf að bora niður í gegnum grunnvatnslinsuna til að komast í fullsaltan sjó. Annars staðar er afar grunnt niður í jarðsjóinn og þannig er til að mynda háttáð á Kalmanstjörn og ekki síður úti á Reykjanesi. Þar er nánast engin ferskvatnslinsa, bara svellandi sjór sem nær langt inn í land.

ÍSOR hefur veitt ráðgjöf við borun á fjölmörgum sjóholum á Reykjaneskaga, bæði vegna öflunar á kælivökva fyrir Reykjanesvirkjun og ekki síður til jarðsjávarvinnslu fyrir fiskeldisstöðvarnar. Sumar af þessum holum eru einhverjar þær gjöfulustu sem um getur um víða veröld. Úr þeim fæst hreinn jarðsjór sem má nota án nokkurrar meðhöndlunar í fiskeldisstöðvunum. Hitastigið er oftast nálægt 8°C, eða sem næst meðalhita sjávar á þessum slóðum. Þar sem lögð er áhersla á hefðbundnar laxfiskategundir er það í lægsta lagi og iðulega hefur verið reynt að bæta það upp með jarðhita þar sem hægt er. Þegar best tekst til fæst hæfilega volgur jarðsjór

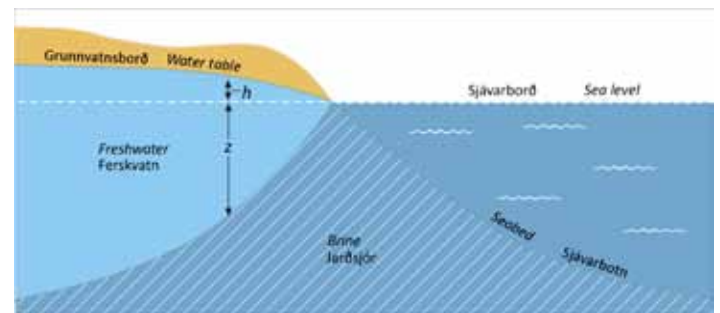
Úti á Reykjanesi er fyrirtækið Stolt Sea Farm að reisa risastóra fiskeldisstöð. Áformað er að nýta allt að 4000 L/s af jarðsjó en það er álíka magn og rennur í Elliðaánum á góðum degi. Meiningin er að blanda um 8°C jarðsjó saman við kælivatnsafrennsli frá Reykjanesvirkjun, sem sagt afgangsvarma frá orkuveri HS Orku, volgan jarðsjó sem annars rennur í sjóinn. Þannig fæst hæfilegt hitastig fyrir ræktun á senegalflúru sem lifir í ríflega 20°C sjó. Árið 2012 stjórnaði ÍSOR rannsóknnum vegna borunar á fimm vinnsluholum á svæðinu og gerði mælingar á afkastagetu. Þar gildi að dæla upp mælanlegu sjómagni með mælanlegum niðurdrætti og hafa hraðan á. Niðurstaðan var að þarna mætti ná upp öllu þessu sjómagni á innan við hálfum hektara.

## Brine and fish farming

The Reykjanes Peninsula is in many ways unusual and unique. Almost no water is apparent on the surface along the peninsula, while most precipitation disappears into the permeable ground and forms groundwater which flows to the sea underground. In places, for instance in Straumsvík, this groundwater flow can be observed emerging from the lava sequence at low tide.

In this area, brine is widely detected beneath the groundwater. Fresh water is lighter than sea-water and therefore floats on top. Theoretically therefore, there are several places on the peninsula where the water should remain fresh down to 70 m below sea level.

However, due to heterogeneous lithology and geothermal activity this interface is not as clear as physics predict since geothermal systems on Reykjanes are arranged along the diverging plate boundary. In some places where the fresh water reaches far out under the seabed. Therefore one needs to drill through the groundwater layer to reach brine. Elsewhere the brine is at very shallow levels and a fresh water lens is almost nonexistent far inland.



ÍSOR has been the consulting company during the drilling of numerous brine wells on the Reykjanes Peninsula, both for the acquisition of coolant for the Reykjanes power plant and for the fish farming industries. Some of these wells are amongst the most productive in the world, providing clean and pure brine which can be used untreated in fish farming. The temperature is typically around 8°C, and thus close to the average sea temperature. This may be boosted where possible by the addition of geothermal water for fish farming.

Presently a sizeable fish farm is being constructed by the Stolt Sea Farm on the Reykjanes Peninsula. The intention is to use up to 4000 L/s of brine when the farm is operational. The construction plan mixes about 8°C brine with the warm surplus cooling water drainage from the Reykjanes power plant which is otherwise discarded into the sea. This yields a temperature suitable for the cultivation of Senegal flatfish which lives in more than 20°C warm sea.

ÍSOR conducted trials associated with drilling of five production wells in the area and evaluated their capacity in 2012. The results indicated that all the necessary brine for the fish farm could be retrieved from an area of less than half a hectare.



East Africa

## Austur-Afrika

*Kennsla og þjálfun, rannsóknir og uppbygging jarðvarmavirkjana*  
*Training, research and the construction of geothermal power plants*



Sérfræðingar ÍSOR hafa í mörg ár unnið að verkefnum tengdum uppbyggingu jarðhitavinnslu í Austur-Afríku. Helst ber að nefna þjálfun og kennslu á flestum sviðum jarðhitarannsókna. Einnig hefur verið unnin rannsóknar- og mælingavinna í löndunum.

Mikill áhugi virðist vera hjá alþjóðasamfélaginu að aðstoða Austur-Afríku við uppbyggingu í orkuvinnslu úr jarðhita. Hafa stofnanir á borð við Alþjóðabankann (WB), Franska þróunarsjóðinn (AFD), KFW í Þýskalandi og Þróunarsamvinnustofnun (PSSÍ) með norskum þróunarsjóðum ákveðið að setja umtalsverðar upphæðir í jarðhitauppbyggingu á þessu svæði.

Stjórnvöld í Kenía hafa ákveðið að stórauka raforkuframleiðslu í landinu með nýtingu jarðhita en árið 2009 var talið að 16% íbúa hefðu aðgang að rafmagn. Rannsóknir þykja benda til þess að virkja megi 7.000 MWe í sigdalnum í Kenía. Fyrir eru virkjanir á Olkaria-svæðinu samtals 210 MWe, sú fyrsta frá árinu 1981. Tvær 140 MWe virkjanir og ein 50 MWe eru í byggingu og munu þær verða gangsettar 2014. Auk þess eru 10-15 smávirðjanir (2-5 MWe) í burðarliðnum og þær fyrstu raunar komnar í notkun. Fleiri stórvirkjanir eru fyrirhugaðar og stefnt er að aukinni framleiðslun um 1500 MWe fyrir árið 2018 og um önnur 4000 MWe til viðbótar fyrir árið 2030. Gert er ráð fyrir að boraðar verði 1000 borholur og reistar 30 stórar virkjanir í þessum tilgangi.

For many years, experts from ÍSOR have been engaged in numerous projects relating to geothermal development in East Africa. Much of this work has been to provide training and education in most disciplines of geothermal research. In addition, many specialized research and assessment assignments have also been accomplished in several countries of East Africa.

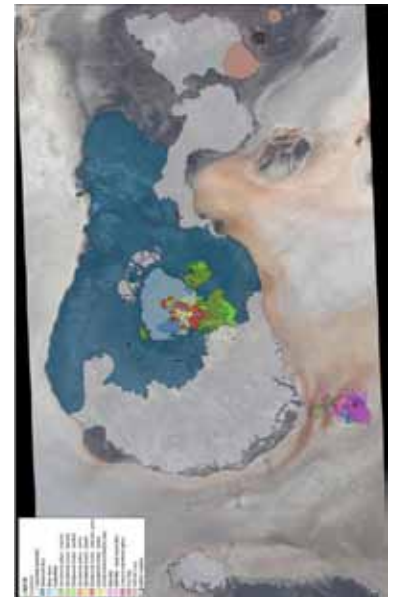
The International community has shown great commitment in assisting East Africa to build up the solid knowledge and infrastructure necessary for the harnessing of geothermal energy. Organizations such as KFW of Germany, the World Bank (WB), the Icelandic International Development Agency in collaboration with Norwegian development funds, the French Development Fund (AFD) and others have allocated significant funding towards geothermal development in this area.

The government of Kenya has made the decision to greatly increase electricity production in the country using geothermal power for industrial and domestic consumption. In 2009, it was estimated that about 16% of the population of Kenya had access to electricity.

Studies seem to indicate that it may be possible to generate about 7,000 MWe in the Rift Valley in Kenya. Existing plants in Olkaria now produce 210 MWe. Two 150 MWe and one 50 MWe power plants are under construction to be on line in 2014. Furthermore 10-15 small power plants of 2-5 MWe are underway. The aim is to increase production by 1,500 MWe by 2018 and additional 4,000 MW by the year 2030. It is predicted that more than 1000 wells will be drilled and some 30 large power plants constructed for this purpose.

Unnið var að grunnrannsóknum við Dallol-svæðið í Norður-Eþíópíu. Um var að ræða viðnámsmælingar (MT) og jarðhitakortlagningu.

Basic research was carried out in the Dallol-area of N-Ethiopia involving resistivity measurements (MT) and geothermal mapping.



## Nýting jarðvarma í Búrúndí

Tveir starfsmenn ÍSOR héldu í rannsóknarleiðangur til Búrúndís í Afríku í september 2012 á vegum Þróunarsamvinnustofnunar Íslands (PSSÍ) til að kanna möguleika á nýtingu jarðvarma á svæðinu. Var það hluti af verkefni sem stuðlar að nýtingu jarðvarma í löndum þeim sem eru í rekbelti Austur-Afríku. Gerðar voru forrannsóknir, eins og jarðfræðikortlagning, og sýni tekin úr laugum á jarðhitasvæðunum við Rusizi og Mugara. Að auki var safnað öllum þeim gögnum sem til eru um jarðhita í nálægum héruðum. Markmið þessarar vinnu var að leggja mat á hugsanlega jarðvarmanýtingu í landinu og bera fram tillögur um frekari rannsóknir, rannsóknarboranir og aðgerðir sem snerta jarðvarma.

## A geothermal reconnaissance mission to Burundi

A geothermal reconnaissance mission to Burundi was carried out in September 2012 on behalf of the Icelandic International Development Agency (ICEIDA) as a part of its support to geothermal development in the East Africa Rift Valley countries. Geoscientists from Iceland GeoSurvey visited Burundi and carried out preliminary geological mapping and water sampling at the geothermal sites in the Rusizi and at Mugara. A detailed desk top study on geothermal activity in Burundi and adjacent provinces in neighbouring countries was also carried out. The objective of this work was to provide an up to date assessment of the geothermal resources in Burundi and make recommendations for further action.



## Heildarúttekt á jarðhitakerfinu í Olkaria í Kenía

Samstarfsverkefni ÍSOR, Vatnaskila, Verkís og Mannvits.

Unnið fyrir KenGen (Kenya Electricity Generating Company) 2011-2012.

Verkefnið fólst í endurskoðun svokallaðs hugmyndalíkans af Olkaria svæðinu á grundvelli yfirgripsmikilla, jarðvísindalegra gagna, uppsetningu nákvæms reiknilíkans af jarðhitakerfinu, mati á afkastagetu þess, tillögum um framtíðarrekstur, auk tæknilegrar úttektar á núverandi virkjunum, hagkvæmnimati nýrra virkjana og mati á umhverfisáhrifum.

Olkaria er eitt af fjölmörgum eldstöðva- og jarðhitakerfum í Sigdalnum mikla sem liggur í gegnum Kenía. Uppbygging til raforkuframleiðslu hófst í Olkaria í kringum 1975. Núna er afkastageta þriggja stórra og þriggja lítilla virkjana samanlagt um 210 MWe. Frá 2007 hefur KenGen borað meira en 60 djúpar vinnsluholur með mjög góðum árangri og hefur hafið byggingu tveggja 140 MWe virkjana til viðbótar í Olkaria. Úttekt ÍSOR og samstarfsaðila fólst m.a. í því að meta hve mikið væri mögulega hægt að virkja á svæðinu til viðbótar við þær virkjanir sem eru í gangi og byggingu.

Endurskoðun hugmyndalíkansins byggðist á öllum tiltækum jarðvísindalegum gögnum fyrir svæðið, þar á meðal jarðfræðigögnum, jarðeðlisfræðigögnum og gögnum um efnafræði vatns og gufu. En mikilvægust voru gögn úr hinum fjölmörgu holum sem boraðar hafa verið í Olkaria, þ.e. borholujarðfræðigögn, hita- og þrýstingsmælingar, afkastamælingar og gögn um viðbrögð jarðhitakerfisins við vinnslu síðustu áratuga. Á grundvelli hugmyndalíkansins og ofangreindra gagna var síðan gert viðamesta og flóknasta reiknilíkan sem sett hefur verið upp fyrir jarðhitakerfið í Olkaria. Reiknilíkanið var svo notað til að spá fyrir um viðbrögð jarðhitakerfisins við mismunandi vinnslutilfellum og niðurstöðurnar notaðar, ásamt niðurstöðum einfaldari líkanreikninga, til að meta heildarafkastagetu jarðhitasvæðisins í Olkaria. Líkónin tvö voru auk þess notuð til að setja fram hugmyndir um frekari rannsóknir, áframhaldandi boranir vinnsluholna og fyrirkomulag niðurdælingar, enda gengið út frá því að öllu skiljuvatni af svæðinu verði dælt aftur niður í jarðhitakerfið. Þess er vænst að ÍSOR og Vatnaskil muni aðstoða KenGen við uppfærslu og viðhald beggja líkana næstu árin.

## General assessment of the Olkaria geothermal system, Kenya

Cooperative project of ÍSOR Vatnaskil, Verkís and Mannvit

Prepared for KenGen (Kenya Electricity Generating Company), 2011-2012.

The project involved a review of the Olkaria conceptual model using comprehensive earth sciences data, development of a detailed computational model for the geothermal system, the assessment of production capacity, recommendations for future operations, as well as technical evaluation of existing power plants, feasibility evaluation of new power plants and environmental impact assessment.

Olkaria is one of numerous volcanoes and geothermal systems in the Great Rift Valley which runs through Kenya. Infrastructure for electricity began in Olkaria around 1975. Today, the power production of three large and three small power plants totals about 210 MWe. Since 2007 KenGen has drilled more than 60 deep production wells with very good results and has begun the construction of a further two 140 MWe power plants in Olkaria. The appraisal by ÍSOR and its partners included the evaluation of how much more energy capacity may be available for exploitation in the area, in addition to the plants which are already operational or under construction.

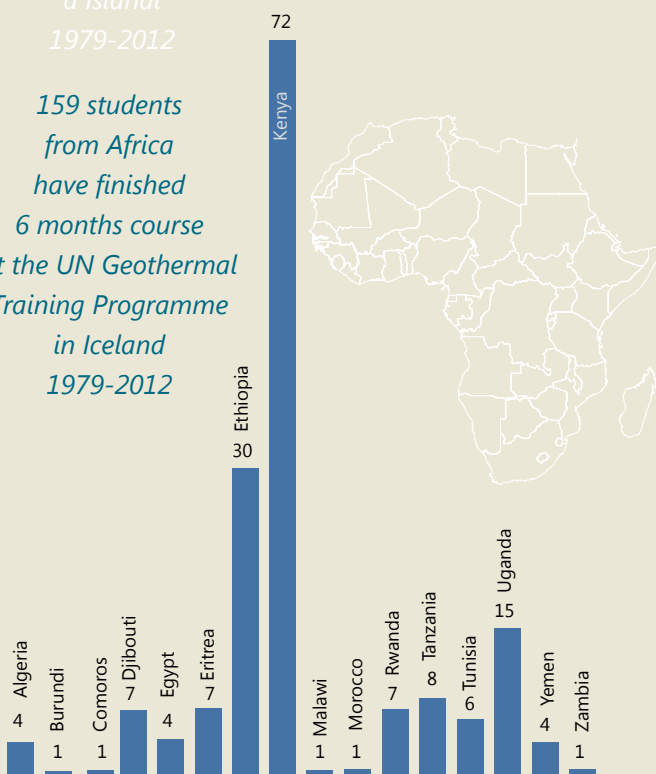
Review of the conceptual model was based on all available geological scientific data for the region, including geological data, geophysical data and data on the geochemistry of water and steam. Of most importance was information gathered from the numerous wells that have been drilled in Olkaria, i.e. borehole geology data, temperature and pressure measurement, discharge measurement and data concerning the response of the reservoir to the exploitation occurring over the last decade. On the basis of the conceptual model and the above data it was possible to construct the most extensive and comprehensive computational model so far for the Olkaria geothermal system. The model was then used to predict the response of the reservoir to the different exploitation scenarios and the results used to assess the overall capacity of the Olkaria geothermal area. The two models were also used to present ideas on further research, continued drilling of production wells and the process of re-injection, as the intention is to re-inject all the excess water back into the geothermal system. It is expected that ÍSOR and Vatnaskil will assist KenGen in upgrading and maintenance of both models in coming years.



# Geothermal Training and Education Jarðhitapjálfun og kennsla

159 nemendur  
frá Afríku hafa  
stundað sex  
mánaða nám við  
Jarðhitaskóla HSP  
á Íslandi  
1979-2012

159 students  
from Africa  
have finished  
6 months course  
at the UN Geothermal  
Training Programme  
in Iceland  
1979-2012



Sérhæfð jarðhitanámskeið á vegum Jarðhitaskólans og ÍSOR  
Customer-designed courses organized by UNU-GTP and ÍSOR

2012	Training in borehole geology organized for GDC in Kenya
2012	Multidisciplinary on geoscientific and geothermal exploration organized for KenGen in Kenya
2011 2012	Training in Borehole Geology organized for KenGen and GDC
2010	Short Course on Geoscientific exploration organized for KenGen in Kenya
2010	Short Course on Geoscientific exploration organized for GDC Company in Kenya

Short Courses and Workshop for East Africa organized by the UNU-GTP and KenGen in Kenya.

2012	Short Course VII on Exploration of Geothermal Resources
2011	58 Short Course VI on Exploration of Geothermal Resources
2010	56 Short Course V on Exploration of Geothermal Resources
2009	45 Short Course IV on Exploration of Geothermal Resources
2008	37 Short Course III on Exploration of Geothermal Resources
2007	30 Short Course II on Surface Exploration of Geothermal Resources
2006	33 Short Course on Exploration of Geothermal Resources
2005	Workshop for Decision Makers on Geothermal Projects and their Management

Námskeið haldin af UNU-GTP í samstarfi við KenGen



Latin America  
and the Caribbean  
**Rómanska-Ameríka  
og Karíbahaf**

*Ráðgjöf, kennsla og þjálfun vegna jarðhitaverkefna  
Consultancy and Geothermal Training*





## Áhugi fyrir endurnýjanlegum orkugjöfum í Chile

Kol og jarðgas hafa verið aðalorkugjafarnir í Chile en nú er mikill vilji meðal stjórnvalda að snúa sér að endurnýjanlegum orkugjöfum og vonir bundnar við jarðhitanytingu í landinu.

ÍSOR hefur rekið ráðgjafar- og þjónustuskrifstofu í Chile, GeoThermHydro, ásamt verkfræðistofunni Verkís frá árinu 2009. Verkefni hafa fyrst og fremst verið ráðgjöf og þjónusta varðandi túlkun jarðvísindalegra gagna, ráðgjöf við borun, hönnun á borholum og umsjón með gerð útboðsgagna. ÍSOR hefur verið aðalráðgjafi koparnámufyrirtækisins Collahuasi (CMDIC) í jarðhitamálum frá árinu 2010. Einnig hefur ÍSOR veitt námufyrirtækinu Mínera Excondida Limitada (MEL) ráðgjöf í tengslum við áætlanir þeirra um endurnýjanlega orkugjafa. Á síðasta ári var haldið tveggja vikna jarðhitánámskeið fyrir starfsfólk jarðvísindastofnunar Chile, SernaGeomín.



## Interest for renewable energy sources in Chile

Historically, coal and natural gas have been the main energy sources in Chile, however the government is now showing interest in renewable energy resources such as geothermal energy. ÍSOR has operated a subsidiary office in Chile, GeoThermHydro, since 2009. Until now, projects have mainly involved advice and services related to geological interpretation of scientific data, consulting during drilling, borehole design the oversight of the preparation of tendering documents. ÍSOR has been the principal geothermal consultant for the Collahuasi copper (CMDIC) mining company from 2010. ÍSOR has also advised the Minera Excondida Limitada (MEL) mining company in relation to their plans for renewable energy sources. Last year ÍSOR held a two week geothermal module for the employees of the Chilean geosciences department, SernaGeomín.



## Jarðhitarannsóknir á Dóminíku í Karíbahafi

Verkefnið er fjarmagnað af Þróunarsjóði Evrópusambandsins (EDF), þróunarsjóði Frakklands (AFD) og yfirvöldum á Dóminíku. 2011-2012

ÍSOR vann að jarðfræðirannsóknnum, borholumælingum, efnafræðirannsóknnum og ráðgjöf við borun þriggja rannsóknarholna á jarðhitasvæðinu Wotten Wawen á eyjunni Dóminíku í Karíbahafi. Niðurstöður rannsókna leiddu í ljós allstórt jarðhitakerfi sem er um 250°C heitt. Fyrirhugað er að bora tvær holur til viðbótar. ÍSOR mun sjá um rannsóknir auk afkastaprófana og umhverfisvöktunar. Jarðboranir hf. boruðu fyrstu þrjár holurnar og munu einnig bora nýju holurnar. Stefnt er að því að reisa 5–10 MWe virkjun í Wotten Wawen fyrir heimamarkað og prófa jafnframt svæðið og sjá hvernig það bregst við vinnslu til að meta afkastagetu þess. Framtíðarhugmyndir fela í sér byggingu stærri jarðhitavirkjunar og að selja raforkuna um sæstreng til nærliggjandi eyja. Á eyjunum í kring er raforkuframléiðsla að stórum hluta með brennslu jarðefnaeldsneytis.

## Geothermal research on the Caribbean island of Dominica

The project is funded by the European Development Fund (EDF), the French Development Fund (AFD) and the authorities in Dominica. 2011-2012.

ÍSOR operated geological studies, borehole logging, geochemical research and consulting services during the drilling of three exploration wells in Wotten Wawen area in Dominica in the Caribbean. The findings of ÍSOR's research revealed quite a large geothermal system of about 250°C. Two additional wells are planned. ÍSOR will conduct the research, well testing and environmental monitoring. Iceland Drilling Ltd. drilled the first three wells and will also drill subsequent wells. It is hoped that a 5-10 MWe power plant will be installed to test the area and see how it responds to exploitation. Future projects include the construction of a larger geothermal plant and possibly the installation of a submarine cable to export power to the neighbouring islands. Electricity on those islands is largely produced by burning fossil fuels.



## Miðlun þekkingar og þjálfun vegna jarðhitavinnslu í Níkaragva

Jarðhitaverkefni Prúnarsamvinnustofnunar Íslands (ÞSSÍ)

ÍSOR var aðalráðgjafi ÞSSÍ við undirbúning og framkvæmd verksins.

Þátttaka: Meira en 500 Níkaragvamennt, frá orku- og námaráðuneytinu, umhverfisráðuneytinu, háskólum, fyrirtækjunum Polaris og GeoNica.

35 starfsmenn ÍSOR, einnig starfsmenn frá Orkustofnun, Umhverfisstofnun, Skipulagsstofnun, Orkuveitu Reykjavíkur, Reykjavík Geothermal og Verkís.

Markmið verkefnisins var að byggja upp þekkingu í jarðhitamálum, einkum hjá embættismönnum, en skortur þar á þótti hamla framþróun jarðhitavinnslu í landinu. Verkefnið beindist aðallega að tveimur ráðuneytum, orku- og námaráðuneytinu og umhverfisráðuneytinu.

Verkefnið var fjölþætt og skiptist í meginatriðum í að veita tækni-lega aðstoð, kennlu og þjálfun og að byggja upp innviði. Sem dæmi má nefna að unnið var að mati á niðurstöðum jarðhitaleitar og rannsóknaborana, túlkun á forðafræðilegum gögnum, gerð matsáætlunar fyrir umhverfisáhrif jarðhitaverkefna og kortlagningu á lághitasvæðum.

Haldin voru fjölmörg námskeið fyrir minni og stærri hópa. Átta sérfræðingar voru sendir í Jarðhitaskóla Háskóla Sameinuðu þjóðanna á Íslandi. ÍSOR skipulagði yfir þrjátíu námskeið og málstofur í Níkaragva. Einnig voru skipulagðar þjálfunar- og kynnisferðir til El Salvadors og Íslands. Þar að auki voru haldin ýmis fagleg námskeið í Níkaragva og nágrennalöndunum, s.s. Kosta Ríka, El Salvador og Mexíkó. Enn fremur var starfsmönnum ráðuneytanna boðið upp á ýmis almennari námskeið, t.d. varðandi landfræðileg upplýsingakerfi, í stjórnum og ensku. Eins og fyrr segir beindist verkefnið einkum að þörfum starfsmanna ráðuneytanna tveggja en leitast var við að bjóða sem flestum heimamönnum að taka þátt í námskeiðum þegar það var hægt. Þá er einkum verið að tala um starfsmenn háskóla og erlendra jarðhitafyrirtækja með starfsemi í landinu.

Uppbygging innviða beindist fyrst og fremst að orku og námaráðuneytinu. Þar studdi ÞSSÍ stofnun jarðhitadeildar við ráðuneytið og lagði henni til skrifstofubúnað, bíl og ýmsan annan búnað. Þá lagði ÞSSÍ til tækjabúnað fyrir efnarannsóknarstofu sem er sérhæfð til rannsókna á jarðhita. Rannsóknarstofan er nú í ISO gæðavottunnarferli. Að síðustu má nefna að ÍSOR þróaði gagnagrunnskerfi til að halda utan um jarðhitagögn MEM en því er lýst á öðrum stað í þessari ársskýrslu.

## Capacity building to meet the challenges of geothermal development in Nicaragua

ICEIDA Development Project

ÍSOR was ICEIDA's main consultant in preparing and executing the project.

Participation: More than 500 Nicaraguans, from the Ministry of Energy and Mines (MEM), the Ministry for the Environment (MARENA), universities and the companies Polaris and GeoNica

35 ÍSOR employees, also employees from Orkustofnun, the Environment Agency, the National Planning Agency, Reykjavík Energy, Reykjavík Geothermal and Verkís.

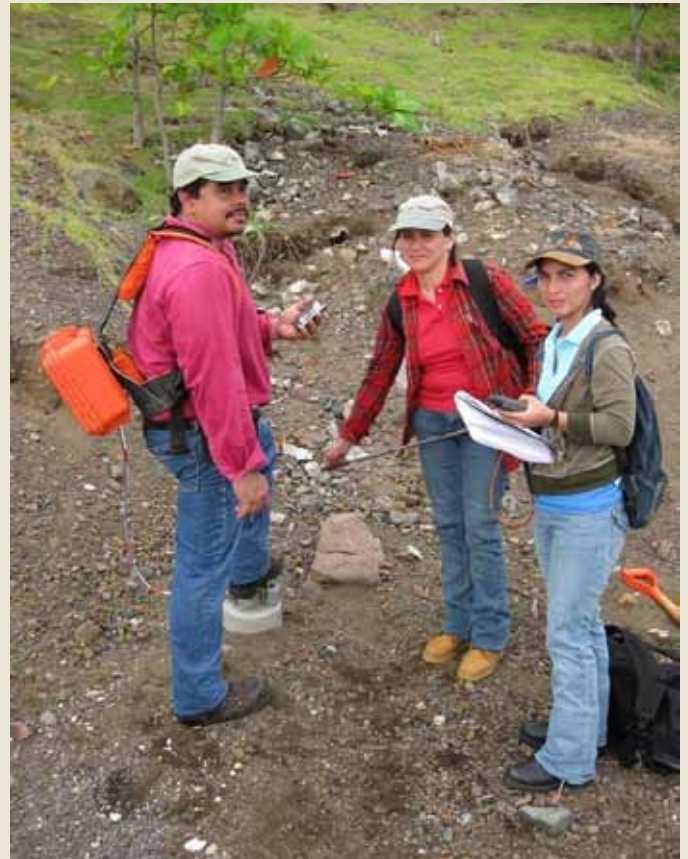
The objective of the project was to build capacity in the geothermal field, especially with civil servants, but a lack thereof was considered to hinder progress in geothermal utilization in the country. The project was mainly directed at two ministries, the Ministry of Energy and Mines (MEM) and the Ministry for the Environment (MARENA). ÍSOR was ICEIDA's main consultant in preparing and executing the project.

The project was many-faceted but was mainly concerned with technical assistance, teaching and training, and the improvement of infrastructure. For example, work was carried out on the results of geothermal exploration, the interpretation of reservoir engineering data, the preparation of ToR for environmental impact assessment for geothermal projects and mapping of low temperature geothermal areas.

Several courses were given for large and small groups. Eight trainees were sent to the United Nations University Geothermal Programme in Iceland. ÍSOR organized more than 30 courses and seminars in Nicaragua. Training and introductory trips to El Salvador and Iceland were also organized. In addition various specialized courses were held in Nicaragua and neighbouring countries, i.e. Costa Rica, El Salvador and Mexico. Furthermore the employees from the ministries were given an opportunity to take part in more general courses such as on Geographical Information Systems, Management and English. As stated above, the project was primarily aimed at the needs of the civil servants but an effort was made to offer as many local people as possible the opportunity to take part in courses, namely university staff and employees of foreign geothermal companies operating in the country.

The strengthening of infrastructure was mainly aimed at the Ministry of Energy and Mines (MEM) where ICEIDA supported the establishment of a geothermal department, and supplied it with office equipment, a vehicle and various other equipment. In addition ICEIDA supplied the equipment for a chemical laboratory which specializes in geothermal research. The laboratory is presently undergoing an ISO quality assurance process. Furthermore ÍSOR has developed a data base for MEM's geothermal data. This system is described elsewhere in this Annual report.

An External Final Evaluation of the project was carried out by an independent party and in its estimation the project was extremely successful in all respects. The conclusion of the evaluating party is that the money invested in ICEIDA's geothermal project in Nicaragua was money well spent.



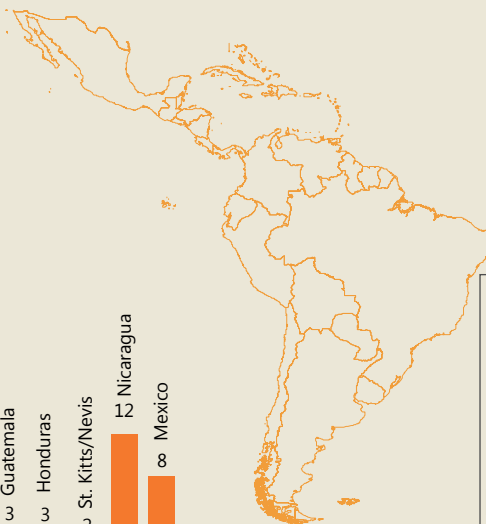
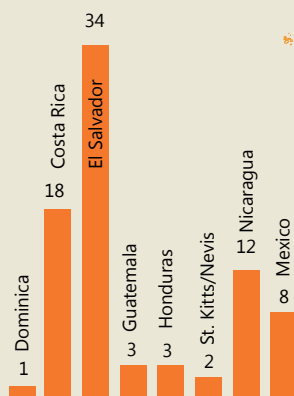
# Geothermal Training and Education

## Jarðhitapjálfun og kennsla

ÍSOR hefur séð um stóran hluta af þjálfun og kennslu nemenda við Jarðhitaskóla Háskóla Sameinuðu þjóðanna. Námið stendur í sex mánuði og á árinu útskrifaðist stærsti árangurinn til þessa, eða 33 nemendur. Frá stofnun jarðhitaskólans hefur 81 nemandi komið frá Rómönsku-Ameríku og Karíbahafi.

ÍSOR has taken care of the main part of the training and education of students at the UN Geothermal Training Programme, of which the largest class so far, 33 students, completed their six-month studies this year.

81  
nemandi  
student  
1979-2012



Sérhæfð jarðhitánámskeið.

Customer-designed courses.

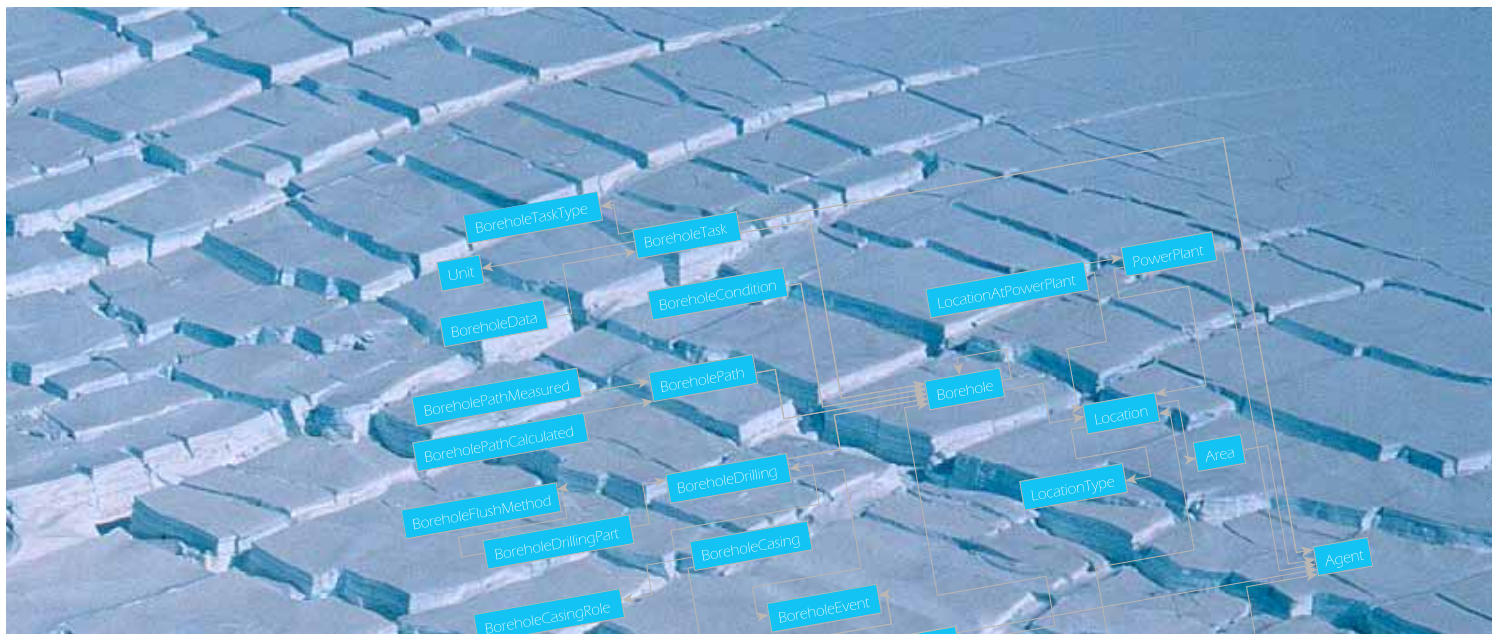
2011 | A Short Course on Geothermal Exploration and Development. Organized by the UNU-GTP in El Salvador, for the Organization of American States.

2012 | 22 | General Course on Geothermal Exploration, Development and Administration for public servants. Organized by GeoThermHydro for Servicio Nacional de Geología y Minería de Chile – SERNAGEOMIN.

Short Courses and Workshop for Central America organized by the UN Geothermal Training Programme and LaGeo in El Salvador.

2012	65	Geothermal Development and Geothermal Wells
2011	62	Geothermal Drilling, Resource Development and Power Plan
2009	32	Surface Exploration of Geothermal Resources
2007	45	Resource Assessment and Environmental Management
2006	50	Workshop for Decision Makers on Geothermal Projects

Námskeið haldin af UNU-GTP í samstarfi við LaGeo



# Information Technology

## Upplýsingatækni

Varðveisla, úrvinnsla og miðlun gagna  
Protection, processing and presenting of data



### Venslagagnagrunnur fyrir jarðhitagögn auk vefviðmóts fyrir jarðhitadeild orku- og námuráðuneytis Níkaragva

Verkefnið er hluti af jarðhitaverkefni Þróunarsamvinnustofnunar Íslands (ÞSSÍ)

2009–2012

Meginþættir verkefnisins voru geymsla og stýring jarðhitagagna, bæði rannsóknar- og vinnslugagna.

Hannaður var gagnagrunnur sem byggist á Microsoft SQL stýrikerfinu. Gagnagrunnurinn hefur að geyma 30 töflur í tveimur flokkum, borholutöflur með upplýsingum um borholur og efnaræðitöflur með upplýsingum um efnasýni frá jarðhitasvæðum og orkuverum, auk efnagreininga á sýnum.

Sérstakt vefviðmót var hannað til að skrá gögn í grunninn, breyta þeim, skoða og vinna úr. Samskipti notenda við gagnagrunninn fara fram gegnum vefviðmótið sem búið er ýmsum kostum. Þeir sem hafa umsjón með gagnagrunninum nota auk þess sérstakan hugbúnað til samskipta við grunninn.

Kennsluefni um gagnagrunninn var útbúið og inniheldur það um 150 gagnagrunnsfyrirspurnir. Þar er að finna spurnir sem nýtast við að rýna í töflur og gögn grunnins, stýra gögnum og lagfæra, og svo til þess að lista út gögn á ýmsan máta.

Með rétttri nýtingu mun gagnagrunnurinn og viðmótið gera það kleift að varðveita á öruggan hátt og hagnýta vel þau jarðhitagögn

### A Relational Geothermal Database and Web-Interface for the Geothermal Division of the Ministry of Energy and Mines in Nicaragua

A project for the Geothermal Division of the Ministry of Energy and Mines in Nicaragua (MEM) within the framework of the geothermal project of ICEIDA, 2009-2012.

This project was focused on data management for geothermal data, both exploration and production data.

Microsoft SQL Server, a relational database management system, was chosen as a system for the MEM database, which currently comprises around 30 tables. The two main tables groups are the borehole tables group, storing data concerning boreholes, and the chemical tables group regarding collected samples from the boreholes and all the various geothermal sites and power plants, along with analysis of the samples.

A special web-based interface was designed to interact with this database for inserting, updating, viewing and retrieving data. Almost all database interaction goes through this web-interface, which has various advantages. Those who are in charge of administrating the database use standard tools besides the web-interface to manage the database.

Teaching material was prepared with around 150 queries for managing data. Included are queries that can be used for reviewing tables and the database data, for managing data and making

sem safnast við þróun og vinnslu jarðhita í Nikaragva.

Venslagagnagrunnar geyma gögn og varðveita þannig að nýting gagna verði sem mest og best. Það felur í sér að geta nálgast gögn úr gagnagrunni með hraði, að geta nýtt innbyggð forrit og möguleika sem gagnagrunnskerfinu fylgja, og að skoða gögnin með ýmiss konar yfirlitum og mismunandi sýn. Það stuðlar að auknum skilningi á jarðhitagögnum og gefur meira og betra yfirlit yfir þau, sem og jarðhitaverkefni í heild.



### *Hönnun á gagnagrunni um þróun jarðhitavinnslu í Afríku*

Samtök um þróun jarðhitavinnslu í Afríkusigdalnum (The African Rift Geothermal Development Facility, ARGeo) heyrja undir Umhverfisstofnun Sameinuðu þjóðanna (UNEP) sem sér um framkvæmd á þróunarverkefninu. Samtökin styðja við þróun jarðhitavinnslu í Austur-Afríku og er aðalmarkmið verkefnisins að minnka áhættu við könnun auðlindanna. Þróunarsamvinnustofnun Íslands (ÞSSÍ) er einn þátttakenda og fjármögnunaraðila ARGeo verkefnisins.

ÍSOR hannaði gagnagrunninn um þróun jarðhitavinnslu í Austur-Afríku fyrir ARGeo-verkefnið með fjárhagsaðstoð frá ÞSSÍ. Meginmarkmiðið með gagnagrunninum er að veita öllum einkaaðilum og opinberum stofnunum, sem standa að eða munu standa að þróun og fjármögnun jarðhitavinnslu í heimshlutanum, upplýsingar um stöðu jarðhitamála í viðkomandi löndum Afríku. Vonast er til að gagnagrunnurinn nýtist vel sem stuðningur við þróun jarðhitavinnslu í Afríku. Sérstakt vefviðmót var hannað til samskipta við gagnagrunninn til að skrá gögn, uppfæra þau og skoða. Þar eru birtar upplýsingar um jarðhitaverkefni, stöðu þeirra og fjármögnun, auk tengdra gagna um mannaud og tæki sem til eru eða með þarf í viðkomandi löndum. Gangasafnið er ekki ætlað til að vista gögn um sjálfar jarðhitarannsóknirnar eða jarðhitavinnsluna, sér í lagi ekki gögn um eðlis- eða efnafræðimælingar. Reiknað er með að gagnagrunnurinn stuðli að hnitmiðaðri verkefnum og meiri samhæfingu sem byggist á nýjustu þekkingu um núverandi stöðu. Jafnframt að ná megi hámarksnýtingu á þeim tækjum og mannafla sem er til staðar með samvinnu viðkomandi landa.

ÍSOR hélt námskeið í Nairobi sem hafði það markmið að miðla þekkingu um uppbyggingu og innihald grunnsins og veita hinum 25 þátttakendum frá 11 Austur-Afríkulöndum verklega þjálfun í skráningu og notkun gagnagrunnsins, sem og að ræða framtíðarnot hans og þróun.

Sem stendur er gagnagrunnurinn hýstur hjá ÍSOR á Íslandi en UNEP/ARGeo í Nairobi ritstýrir gagnasafninu og sér um það þar. Umboðsaðilar í hverju landi verða ábyrgir fyrir því að nýjar og réttar upplýsingar rati ávallt í gagnasafnið með því að kalla eftir og fara yfir ný og breytt gögn frá samlöndum sínum og sjá um að koma þeim nýskráningum og breytingum í gagnagrunninn. Í framtíðinni verður gagnagrunnurinn opin almennungi til skoðunar.

corrections, and for retrieving various data from the database.

With the correct usage the database and the web-interface will provide a very useful tool to safely and systematically store and use the valuable data retrieved from the geothermal developers in Nicaragua.

Relational databases store and preserve data and make their utilisation most effective. This includes to be able to swiftly access data from the database, to be able to utilise in-built programs and functions in the database system and to look at the data from various points of view. This increases understanding of geothermal data and gives a better overview of both the data as well as the geothermal projects as a whole.

### *Database design for the development of geothermal in Africa*

The African Rift Geothermal Development Facility (ARGeo) is a programme being implemented by the United Nations Environment Programme (UNEP). It aims at supporting the development of geothermal resources in East Africa with the main objective of reducing the risks associated with the resource's exploration. ICEIDA (Icelandic International Development Agency) is one of the partners and co financiers of the ARGeo programme.

The African Geothermal Development Database was developed by ÍSOR for the ARGeo programme. It is based on previous work performed by ÍSOR for ICEIDA on compilation of geothermal data from the region. The main objective of the database is to provide geothermal related information about the East African countries to all private and public entities who are/will be involved in the geothermal development and investment in the region. This is with a view to using the database as a platform to promote the development of geothermal energy by archiving and making available all scattered information in the region.

The database is accessed through a web interface. It provides an overview of geothermal development in the African Rift region by storing information on geothermal projects, their status and funding, as well as related information on inventory of human resources capacity and equipment available or required in the countries concerned. The database is not designed to store geothermal research or production data, in particular not data such as the results of physical or chemical measurements.

The database is expected to contribute to more focused projects with better coordination based on up to date knowledge about the present status. Such an inventory should also contribute to optimization of resource use by cooperation among the countries in the region and pooling existing resources.

A short database training course was held in connection with the ARGeo-C4 conference in Nairobi, Kenya, in November 2012. The course was facilitated by ÍSOR with the objective to transfer knowledge on the content of the geothermal database and give the 25 participants from 11 East African countries practical training in operating the database and discussing its future use and development.

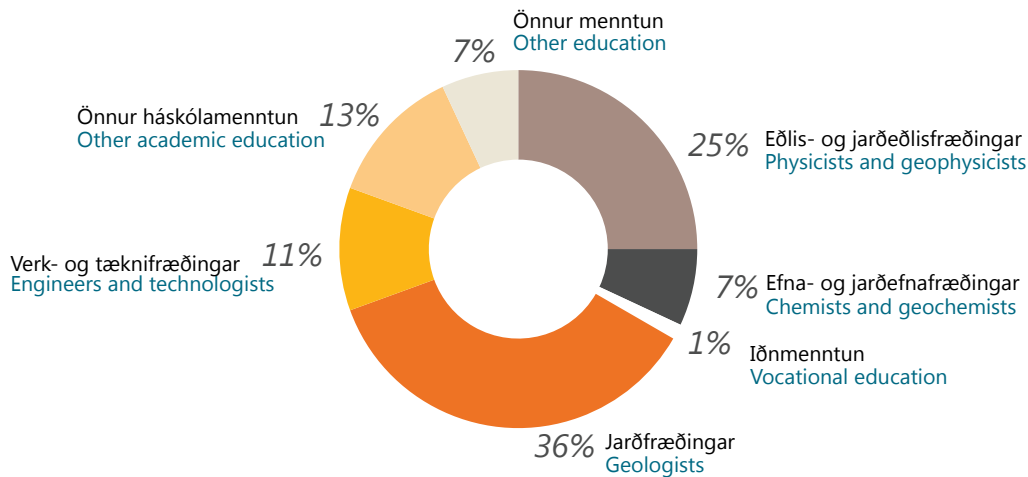
At this stage the database is hosted by ÍSOR in Iceland and UNEP/ARGeo is moderating and managing the database in Nairobi. Focal points have been appointed in all relevant countries and these will be responsible for keeping the content of the database up to date by reviewing and uploading new data relevant to their countries. In the future the database will allow open access for the public.

# Human Resources

## Mannauður

72 employees  
of which six are based  
in Akureyri

72 starfsmenn  
þarf af sex sem starfa  
við útibú ÍSOR á Akureyri



Útivist er áhugamál margra  
sem veigra sér jafnvel ekki  
við því að skella sér í 90 km  
Vasa-skíðagöngu.

Outdoor activities interest  
many and some do not  
hesitate to take part in a  
90 km Vasa cross country  
ski race.

Sissa er skátaforingi.  
Sissa is a scout leader.

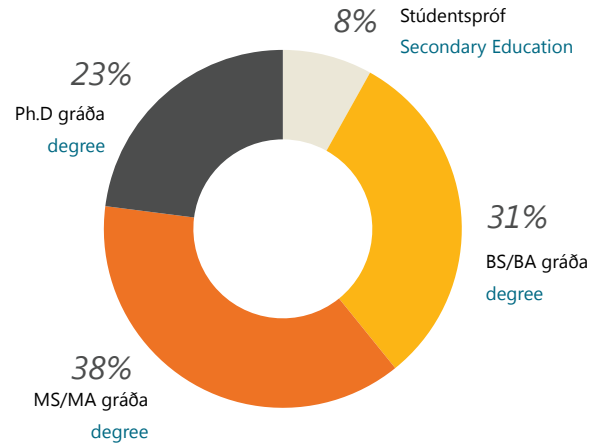
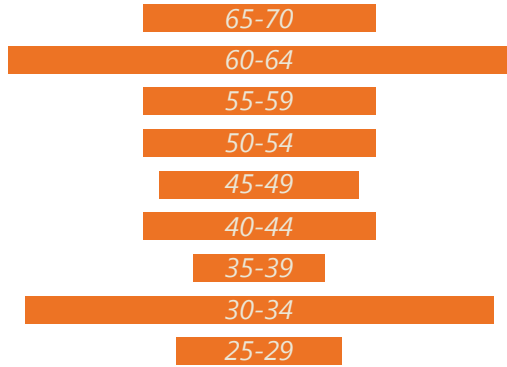
Við erum söngelsk  
og fjögur okkar eru  
meðlimir í kórum.  
We love to sing and four  
of us are members of  
active choirs.

Erfitt var að fanga alla  
starfsmenn á mynd þar  
sem einhverjir voru við  
rannsóknarstörf úti á landi  
eða við störf í útlöndum.

It was not possible to  
gather all employees as  
some were either working  
in the field or abroad.



*Age Distribution  
Aldursdreifing*



Það væri hægt að stofna ÍSOR-hljómsveit þar sem spilað væri á fagott, túbu, víólu, píanó, þverflautu, fransk horn, básúnu og gítar.

It would be possible to form a band within ÍSOR with musical instruments like bassoon, tuba, viola, piano, flute, French horn, trombone and guitar.

Fjölmargir hjóla í vinnuna allan ársins hring – allt að 30 km á dag.

Many of us cycle to work all year round – up to 30 km per day.

Efnafraeðin þarf að deila Finnboga með tónlistarheiminum.

Finnbogi has no problem dividing his time between chemistry and music.

Við eigum leikskáld í okkar hópi.

We have our own dramatist.

Klifrari af lífi og sál.

A devoted rock climber.



## Skýrslur Reports

Anett Blischke og Sigurveig Árnadóttir (2012). **PG-8. Televiewer and Composite Log Data Analysis. ABI-43 Acoustic Borehole Image and Lithology Log Data Processing and Interpretations for Depth Interval 1493.5–1775 m.** Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2012/020. Unnið fyrir Þeistareyki ehf. 43 s. + 2 viðaukar.

Anette K. Mortensen (2012). **Tillögur um staðsetningu borholna í jarðhitakerfinu á Þeistareykjum 2012.** Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2012/043. Unnið fyrir Þeistareyki ehf. 36 s.

Anette K. Mortensen og Þorsteinn Egilson (2012). **Well Reports of HMG-1 and HMG-2 at El Hoyo-Monte Galán. A Review.** Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2012/009. Unnið fyrir Þróunarsamvinnustofnun (ICEIDA). 30 s.

Ari Ingimundarson og Sverrir Þórhallsson (2012). **Evaluation of Technical Feasibility of the Geothermal Power Plant in San Jacinto-Tizate, Nicaragua.** Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2012/060. Unnið fyrir Þróunarsamvinnustofnun, ICEIDA. 33 s.

Arnar Már Vilhjálmsson, Knútur Árnason og Andemariam Teklesenbet Beyene (2012). **3D Inversion of MT Data from Dallol, Afar Region, N-Ethiopia.** Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2012/045. Unnið fyrir Ethiopotash B.V. 186 s.

Arnar Már Vilhjálmsson, Knútur Árnason, Halldór Örvar Stefánsson og Stefán Auðunn Stefánsson (2012). **MT Resistivity Survey at Dallol, N-Ethiopia. A Preliminary 1D Inversion.** Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2012/027. Unnið fyrir Ethiopotash B.V. 65 s.

Árni Hjartarson (2012). **Jarðhitalíkur við Hoffell og Miðfell í Nesjum. Rýnt í rannsóknargögn.** Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2012/002. Unnið fyrir RARIK. 23 s.

Árni Hjartarson og Þórólfur H. Hafstað (2012). **Mengunarhætta vegna óhappa á akvegum til Bláfjalla.** Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2012/029. Unnið fyrir Þríhnúka ehf. 18 s.

Árni Hjartarson, Björn S. Harðarson og Þórólfur H. Hafstað (2012). **IV Iceland Spring Water. Hydrogeological Report.** Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2012/032. Unnið fyrir IV Iceland ehf. 28 s. + 10 myndir.

Benedikt Steingrímsson og Þráinn Friðriksson (2012). **Geothermal Field Management of the San Jacinto Geothermal Field. Preliminary Report.** Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2012/033. Unnið fyrir Þróunarsamvinnustofnun, ICEIDA. 28 s.

Bjarni Gautason, Þorsteinn Egilson og Hörður Tryggvason (2012). **Norðurorka 2010. Eftirlit með jarðhitasvæðum og orkubúskapur veitunnar.** Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2012/068. Unnið fyrir Norðurorku. 51 s.

Björn S. Harðarson og Sigurður G. Kristinsson (2012). **Jarðfræðikortlagning á Gráuhnúkasvæðinu. Sigdalurinn milli Reykjafells og Litla-Meitils.** Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2012/001. Unnið fyrir Orkuveitu Reykjavíkur. 19 s.

Finnbogi Óskarsson (2012). **Hola PG-7 á Þeistareykjum. Niðurstöður efnagreininga á sýnum árið 2012.** Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2012/066. Unnið fyrir Þeistareyki ehf. 30 s.

Finnbogi Óskarsson (2012). **Hitaveita Skagafjarðar. Efnæftirlit með jarðhitasvæðum 2012.** Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2012/047. Unnið fyrir Skagafjarðarveitur. 31 s.

Finnbogi Óskarsson (2012). **Hitaveita Suðureyrar. Eftirlit með efnainnihaldi vatns úr vinnsluholum hitaveitunnar 2010 og 2011.** Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2012/012. Unnið fyrir Orkubú Vestfjarða. 15 s.

Finnbogi Óskarsson og Þráinn Friðriksson (2012). **IDDP-1 Flow Test in 2012. Results of Chemical Analysis.** Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2012/065. Unnið fyrir Landsvirkjun, LV-2012-117. 30 s.

Finnbogi Óskarsson og Þráinn Friðriksson (2012). **Reykjanes Production Field. Geochemical Monitoring in 2011.** Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2012/015. Unnið fyrir HS Orku hf. 51 s.

Finnbogi Óskarsson og Þráinn Friðriksson (2012). **Svartsengi Production Field. Geochemical Monitoring in 2011.** Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2012/014. Unnið fyrir HS Orku hf. 53 s.

Guðmundur Heiðar Guðfinnsson og Finnbogi Óskarsson (2012). **Svartsengi Power Plant. Steam and Water Quality in 2011.** Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2012/016. Unnið fyrir HS Orku hf. 59 s.

Halldór Albertsson og Unnsteinn Barkarson (2012). **Priggja ása titringsmælir fyrir toppdrif á jarðbor. Prófun mælis við borun 800 m holu í Kjós.** Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2012/077. Þróunarverk ÍSOR. 56 s.

Halldór Ármannsson og Finnbogi Óskarsson (2012). **Workshop on Geochemical Methods, Managua October 2011. Meetings with MARENA Personnel. Further Co-operation of ICEIDA with MEM and MARENA, Nicaragua.** Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2012/008. Unnið fyrir Þróunarsamvinnustofnun (ICEIDA). 18 s.

Halldór Ármannsson og Magnús Ólafsson (2012). **Eftirlit með áhrifum af losun frá Kröflustöð og Bjarnarflagsstöð. Vöktun og niðurstöður 2011.** Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2012/006. Unnið fyrir Landsvirkjun, LV-2012/021. 17 s.

Helga Margrét Helgadóttir (2012). **Gráuhnúkasvæði – Holur HN-3 og HN-7. Jarðfræðivirvinnsla.** Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2012/067. Unnið fyrir Orkuveitu Reykjavíkur. 132 s.

Hjalti Franzson og Helga Margrét Helgadóttir (2012). **Geological and Geothermal Features of Dallol and Surroundings. Afar Region – Northern Ethiopia.** Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2012/028. Unnið fyrir Sainik. 86 s. + kort.

Hjalti Franzson, Arnar Már Vilhjálmsson, Finnbogi Óskarsson, Knútur Árnason og Helga Margrét Helgadóttir (2012). **Dallol Geothermal Area, Northern Ethiopia. Exploration Results, Conclusions and Recommendations.** Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2012/048. Unnið fyrir Ethiopotash B.V. 28 s. Lokuð skýrsla.

Hörður Tryggvason (2012). **Hengill – Övirkjuð svæði. Mælingaefntirlit á Bitru og við Hverahlíð árið 2012.** Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2012/071. Unnið fyrir Orkuveitu Reykjavíkur. 46 s.

Hörður Tryggvason (2012). **Mælingaefntirlit á Nesjavöllum 2011.** Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2012/007. Unnið fyrir Orkuveitu Reykjavíkur. 47 s.

Hörður Tryggvason (2012). **Mælingaefntirlit á Nesjavöllum 2012.** Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2012/073. Unnið fyrir Orkuveitu Reykjavíkur. 46 s.

Hörður Tryggvason og Ólafur G. Flóvenz (2012). **Jarðhitaleit í Hörgársveit 2011 og 2012.** Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2012/011. Unnið fyrir Norðurorku og Hörgársveit. 60 s.

Ingvar Þór Magnússon (2012). **Þyngdarmælingar við Bjarnarflag í ágúst og september 2012.** Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2012/076. Unnið fyrir Landsvirkjun, LV-2012-117. 14 s. + 2 viðaukar.

Íslenskar orkurannsóknir (2012). **Technical Specification for a Slimhole at Bayo, Chile.** Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2012/051. Unnið fyrir Minera Escondida Limitada (MEL).

Kristján Ágústsson og Egill Árni Guðnason (2012). **Analysis of Seismic Activity in Reykjanes and Svartsengi. December 2008 – May 2009.** Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2012/061. Unnið fyrir HS Orku hf. 31 s.

Kristján Ágústsson, Sigurveig Árnadóttir og Ólafur Flóvenz (2012). **Skjálftaverkefnið í Kröflu. Staðan í apríl 2012.** Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2012/018. Unnið fyrir Landsvirkjun, LV-2012/058. 23 s.

Kristján Sæmundsson, Gylfi Páll Hersir, Páll Jónsson, Sverrir Þórhallsson, Sæunn Halldórsdóttir og Vigdís Harðardóttir (2012). **The Pico Alto Geothermal Field, Terceira – Azores. Data Review and Recommendations.** Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2012/025. Unnið fyrir Geoterceira - Sociedade Geotérmica dos Acores, S.A.

Kristján Sæmundsson, Magnús Á. Sigurgeirsson og Karl Grönvold (2012). **Þeistareykir. Jarðfræðirannsóknir 2011.** Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2012/024. Unnið fyrir Þeistareyki ehf. 61 s. + kort.

Magnús Á. Sigurgeirsson og Þorsteinn Egilson (2012). **Dominica - Wotten Waven. Drilling of Well WW-01 from Surface Down to 1200 m. Mud-, Well Logging and Injection Testing Report.** Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2012/031. Unnið fyrir Government of the Commonwealth of Dominica, Ministry of Public Works, Energy and Ports. 93 s.

Magnús Á. Sigurgeirsson og Þorsteinn Egilson (2012). **Krafla – Leirbotnar. Hreinsun holu KJ-39.** Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2012/069. Unnið fyrir Landsvirkjun, LV-2012-119. 45 s.

Magnús Á. Sigurgeirsson, Sigurður Sveinn Jónsson, Halldór Ingólfsson, Þorsteinn Egilson og Benedikt Steingrímsson (2012). **Dominica – Laudat. Drilling of Well WW-02 from Surface Down to 1469 m. Well Logging and Injection Testing Report.** Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2012/005. Unnið fyrir Government of the Commonwealth of Dominica, Ministry of Public Works, Energy and Ports. 105 s.

Magnús Ólafsson og Björn S. Harðarson (2012). **Mount Nemrut, Eastern Turkey. Reconnaissance Site Visit from 25th June to 5th July 2012.** Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2012/038. Unnið fyrir Rarik Turkison Enerji. 41 s.

Páll Jónsson (2012). **Mælingaefntirlit á vinnslu-svæðum Helliðsvirkjunar árið 2011.** Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2012/003. Unnið fyrir Orkuveitu Reykjavíkur. 64 s.

Páll Jónsson, Sigríður Sif Gylfadóttir, Guðni Axelsson og Héðinn Björnsson (2012). **Svartsengi – Reykjanes. Hita- og þrýstingsmælingar 2011.** Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2012/019. Unnið fyrir HS Orku hf. 78 s.

Ragna Karlsdóttir, Andemariam Teklesenbet Beyene og Arnar Már Vilhjálmsson (2012). **Námalfall Geothermal Area, Northern Iceland. 3D Inversion of MT and TEM Data.** Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2012/057. Unnið fyrir Landsvirkjun, LV-2012-112. 62 s. + 4 viðaukar og cd-diskur.



- Ragna Karlsdóttir, Arnar Már Vilhjálmsson, Knútur Árnason og Andemariam Teklesenbet Beyene (2012). **Peistareykir Geothermal Area, Northern Iceland. 3D Inversion of MT and TEM Data.** Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2012/046. Unnið fyrir Peistareyki ehf. 173 s.
- Ragna Karlsdóttir, Knútur Árnason og Arnar Már Vilhjálmsson (2012). **Reykjanes. 3D Inversion of MT and TEM Data.** Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2012/059. Unnið fyrir HS Orku. 132 s. + DVD-diskur.
- Sigríður Sif Gylfadóttir, Vilhjálmur Kristjánsson, Þorsteinn Egilson, Guðmundur H. Guðfinnsson og Anette K. Mortensen (2012). **Discharge Testing of the IDDP-1 Well in 2010 and 2011. Summary of Testing, Measured Parameters and Discharge System Setup.** Íslenskar orkurannsóknir og Mannvit, ÍSOR-2012/035. Unnið fyrir Landsvirkjun, LV-2012-088. 36 s.
- Sigríður Sif Gylfadóttir, Vilhjálmur Kristjánsson, Þorsteinn Egilson, Guðmundur H. Guðfinnsson og Anette K. Mortensen (2012). **Discharge Testing of the IDDP-1 Well in 2010–2012. Summary of Testing, Measured Parameters and Discharge System Setup.** Íslenskar orkurannsóknir og Mannvit, ÍSOR-2012/058. Unnið fyrir Landsvirkjun, LV-2012-114. 37 s.
- Sigrún Gunnarsdóttir, Jón Ragnarsson og Javier Flores Penzke (2012). **A Relational Geothermal Database and Web-Interface for the Ministry of Energy and Mines in Nicaragua. Design Outline and Directions for Use.** Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2012/063. Unnið fyrir Þróunarsamvinnustofnun, ICEIDA.
- Sigurður G. Kristinsson, Þráinn Friðriksson, Sveinborg Hlíf Gunnarsdóttir og Steinþór Nielsson (2012). **Jarðhitasvæði á NA-landi. Vöktun á yfirborðsvirkni.** Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2012/075. Unnið fyrir Landsvirkjun, LV-2012-126.
- Sigurður Sveinn Jónsson, Þorsteinn Egilson og Benedikt Steingrímsson (2012). **Dominica – Laudat. Well WW-03. Drilling of Well WW-03 from Surface to 1613 m Depth. Mud-, Well-logging and Injection-test Report.** Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2012/023. Unnið fyrir Government of the Commonwealth of Dominica, Ministry of Public Works, Energy and Ports. 75 s.
- Stefán Sturla Gunnsteinsson, Ásgrímur Guðmundsson, Bjarni Gautason, Jónas V. Karlsson, Johnny S. Simonarson og Sverrir Thórhallsson (2012). **Revised Drilling Program. Olca Well PGM-01.** Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2012/013. Unnið fyrir Compañía Minera Doña Ines de Collahuasi. 52 s.
- Steinunn Hauksdóttir og Árni Ragnarsson (ritstjórar) (2012). **Global Inventory of Investment Ready Geothermal Sites.** Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2012/050. Unnið fyrir World Bank. 27 s. + viðauki.
- Steinþór Nielsson og Helga Margrét Helgadóttir (2012). **Hitaveita í Dalabyggð. Borun holu GR-15 við Grafarlaug.** Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2012/034. Unnið fyrir RARIK. 58 s.
- Steinþór Nielsson, Ásgrímur Guðmundsson, Stefán Sturla Gunnsteinsson, Edgardo Dzogolyk og Claudio Inostroza (2012). **Olca Volcano - Well PGM-01. Stage 3. Drilling from 70 to 250 m for 6” Anchor Casing.** Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2012/041. Unnið fyrir Compañía Minera Doña Ines de Collahuasi. 61 s.
- Steinþór Nielsson, Þórólfur H. Hafstað, Snorri Guðbrandsson og Magnús Ólafsson (2012). **Reykir við Reykjabraut. HOLA RR-21.** Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2012/022. Unnið fyrir RARIK. 47 s.
- Steven Beynon (2012). **Subsurface Geology and Thermal Evolution of the Hellisheiði and Hverahlíð Geothermal Fields, SW Iceland. A Comparison of Fluid Inclusion, Alteration and Formation Temperatures in Wells HE-9, HE-22, HE-24 and HE-54.** Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2012/055. 37 s.
- Steven Beynon (2012). **Thermal Evolution of the Krýsuvík Geothermal Field, SW Iceland. A Comparison of Fluid Inclusion, Alteration and Formation Temperatures in Well KR-2.** Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2012/054. 29 s.
- Svanbjörg Helga Haraldsdóttir og Benedikt Steingrímsson (2012). **Mælingaefirlit á vinnslu- svæðum Hellisheiðarvirkjunar árið 2012.** Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2012/072. Unnið fyrir Orkuveitu Reykjavíkur. 61 s.
- Svanbjörg Helga Haraldsdóttir og Vigdís Harðardóttir (2012). **Hitaveita Dalvíkur. Eftirlit með jarðvarmavinnslu 2006–2012.** Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2012/074. Unnið fyrir Hitaveitu Dalvíkur. 35 s.
- Sveinborg H. Gunnarsdóttir, Anette K. Mortensen, Ásgrímur Guðmundsson, Jónas V. Karlsson, Mauricio Teke, Steinþór Nielsson, Edgardo Dzogolyk, Solidad Garcés, Claudio Inostroza, Ernesto Ramírez og Ariel Vidal (2012). **Olca Volcano - Well PGM-01. Stage 4. Drilling from 250 to 452 m for a 4½” Production Casing.** Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2012/042. Unnið fyrir Compañía Minera Doña Ines de Collahuasi. 111 s.
- Sveinborg Hlíf Gunnarsdóttir, Björn S. Harðarson og Theódóra Matthíasdóttir (2012). **Hellisheiði – HOLA HN-12. 3. áfangi: Borun vinnsluhluta með 12¼” krónu frá 647 m í 1945 m dýpi.** Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2012/070. Unnið fyrir Orkuveitu Reykjavíkur. 127 s.
- Sveinborg Hlíf Gunnarsdóttir, Gunnlaugur M. Einarsson, Ragna Karlsdóttir, Hjalti Franzson og Daði Þorbjörnsson (2012). **Re-evaluation of the IDDP 2 Site at Reykjanes High-temperature Area.** Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2012/078. Unnið fyrir HS Orku hf.
- Vigdís Harðardóttir (2012). **Reykjólur í Reykjólaveit. Eftirlit með efnasamsetningu vatns hjá Hitaveitu Reykhóla árin 2006, 2008 og 2011.** Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2012/036. Unnið fyrir Orkubú Vestfjarða. 17 s.
- Vigdís Harðardóttir (2012). **Þörungaverksmiðjan Reykhólaveit. Eftirlit með efnasamsetningu jarðhitavatns hjá Þörungaverksmiðjunni árið 2011.** Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2012/037. Unnið fyrir Þörungaverksmiðjuna. 17 s.
- Vigdís Harðardóttir og Finnbogi Óskarsson (2012). **Hitaveita Blönduóss. Efnæftirlit með jarðhitavatni úr vinnsluholum á Reykjum við Reykjabraut árin 2006–2012.** Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2012/052. Unnið fyrir RARIK. 13 s.
- Vigdís Harðardóttir og Finnbogi Óskarsson (2012). **Hitaveita RARIK á Siglufirði. Efnæftirlit með jarðhitavatni úr vinnsluholum í Skútudal og á Skarðdal árin 2010–2012.** Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2012/056. Unnið fyrir RARIK. 16 s.
- Vigdís Harðardóttir og Finnbogi Óskarsson (2012). **Reykjanes Power Plant. Steam and Water Quality in 2011.** Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2012/017. Unnið fyrir HS Orku hf. 50 s.
- Vigdís Harðardóttir og Magnús Ólafsson (2012). **Hitaveita Dalabyggðar. Efnæftirlit með jarðhitavinnslu.** Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2012/049. Unnið fyrir RARIK. 19 s.
- Þorsteinn Egilson (2012). **Eftirlitsmælingar í Kröflu og Bjarnarflagi 2011.** Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2012/026. Unnið fyrir Landsvirkjun, LV-2012/073. 48 s.
- Þorsteinn Egilson, Halldór Ingólfsson og Bjarni Kristinsson (2012). **Eftirlitsmælingar í Kröflu og Bjarnarflagi 2012.** Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2012/044. Unnið fyrir Landsvirkjun, LV-2012-097. 32 s.
- Þorsteinn Egilson, Sæunn Halldórsdóttir, Azucena Espinales, Francisco Ruiz, Ivan Matus, Mario Gonzalez, Juana Ruiz og Robertha M. Quintero Roman (2012). **Assessment of the Momotombo Geothermal Field in Nicaragua.** Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2012/010. Unnið fyrir Ministry of Energy and Mines, Nicaragua Government. 223 s.
- Þórólfur H. Hafstað (2012). **Hitaveita Reykhóla. Mat á afkastagetu veitunnar.** Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2012/040. 20 s.
- Þórólfur H. Hafstað og Sveinborg H. Gunnarsdóttir (2012). **HOLA ÞK 17 í Þorleifskoti. Borun og örvunartilraunir.** Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2012/039. Unnið fyrir Selfossveitur. 25 s. + viðauki.
- Þórólfur H. Hafstað, Sigurður G. Kristinsson og Kristján Sæmundsson (2012). **Grundarfjörður. Stutt yfirlit um langa jarðhitaleit.** Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2012/004. Unnið fyrir Orkuveitu Reykjavíkur. 20 s.
- Þráinn Friðriksson (2012). **ÍSOR Activities within the Nicaragua Geothermal Capacity Building Project. Final Report.** Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2012/062. Unnið fyrir Þróunarsamvinnustofnun, ICEIDA. 42 s.
- Þráinn Friðriksson og Halldór Ármannsson (2012). **Environmental Footprints of Geothermal Development in Costa Rica.** Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2012/030. Unnið fyrir World Bank Group. 55 s.
- Þráinn Friðriksson, Guðmundur Heiðar Guðfinnsson, Finnbogi Óskarsson og Daði Þorbjörnsson (2012). **IDDP-1 Flow Test in 2011. Results of Chemical Analysis.** Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2012/021. Unnið fyrir Landsvirkjun, LV-2012/068. 32 s.
- Þráinn Friðriksson, Isaura Porras og Francisco Ruiz (2012). **A Review of Geochemical Data from the Momotombo Geothermal Field.** Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2012/064. Unnið fyrir Þróunarsamvinnustofnun, ICEIDA. 43 s.
- Þráinn Friðriksson, Magnús Á. Sigurgeirsson og Halldór Ármannsson (2012). **Reconnaissance Study on Geothermal Areas in Burundi. Geoscientific Studies.** Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2012/053. Unnið fyrir The Government of Burundi (fjármagnað af ICEIDA). 37 s.

## Ritryndar greinar Reviewed Articles

- Árni Hjartarson (2012). Alfred Wegener og samskipti hans við Íslendinga. **Náttúrufræðingurinn** 82 (1-2), 126-134.
- Ármannsson, H. (2012). Geochemical Aspects of Geothermal Utilization. In Sayigh, A. (ed.) **Comprehensive Renewable Energy, Vol.7**, 95–168. Oxford: Elsevier.
- Flóvenz, Ó. G., Hersir, G. P., Sæmundsson, K., Ármannsson, H. and Friðriksson, Þ. (2012). Geothermal Energy Exploration Techniques. In Sayigh, A. (ed.) **Comprehensive Renewable Energy, Vol.7**, 51–95. Oxford: Elsevier.
- Goldstein, B., Hiriart, G., Tester, J., Gutierrez-Negrin, L., Bertani, R., Bromley, C., Huenges, E., Ragnarsson, Á., Mongillo, M., Lund, J. W., Rybach, L., Zui, V. og Muraoka, H. (2012). Geothermal Energy, Nature, Use, and Expectations. Í: **Encyclopedia of Sustainability Science and Technology**, Springer, 4190-4201
- Guðni Axelsson (2012). The Physics of Geothermal Energy. Í: Sayigh, A. (ed.) **Comprehensive Renewable Energy, 7**, Oxford: Elsevier, 3–50.
- Ólafur G. Flóvenz, Gylfi Páll Hersir, Kristján

Sæmundsson, Halldór Ármannsson og Þráinn Friðriksson (2012). Geothermal Energy Exploration Techniques. Í: Sayigh A, (ed.) **Comprehensive Renewable Energy**, 7, Oxford: Elsevier, 51-95.

Hernández, P. A., Perez, N. M., Friðriksson, Þ., Egbert, J., Ilyinskaya, E., Thórhallsson, A., Ívarsson, G., Gíslason, G., Gunnarsson, I., Jónsson, B., Padrón, E., Melian, G., Mori, T. og Notsu, K. (2012) Diffuse volcanic degassing and thermal release from Hengjill volcanic system, Iceland. **Bulletin of Volcanology** 74, 2435-2448.

Kristján Ágústsson, Ólafur G. Flóvenz, Ásgrímur Guðmundsson og Sigurveig Árnadóttir (2012). Induced Seismicity in the Krafla High Temperature

Field. **GRC Transactions** 36, 975-980.

Miensepust, M. P., Jones, A. G., Hersir, G. P. og Vilhjálmsson, A. M. (2012). Electromagnetic investigation of the resistivity structures around and beneath the Eyjafjallajökull volcano, Southern Iceland: Preliminary results. Í: **Protokoll über das 24. Schmucker-Weidelt-Kolloquium für Elektromagnetische Tiefenforschung**. 164-171.

Shufang Wang, Andri Arnaldsson, Guðni Axelsson, Zhonghe Pang og Jiurong Liu (2012). Modelling of the response of the Niutuozen low-enthalpy geothermal system in Hebei province, China. **Advanced Materials Research (Vols. 512-515)**, 842-863.

Starfsmenn ÍSOR rituðu auk þess fjölda greina fyrir ráðstefnur og fagrit.

Greinar og fyrirlestrar eftir ýmsa höfundu í útgefnu efni frá Jarðhitaskólanum eru aðgengileg á heimasíðu skólans og á [www.gegnir.is](http://www.gegnir.is)

Articles and lectures from a number of contributors published by the UN Geothermal Training Programme can be found at the web site of the school and at [www.gegnir.is](http://www.gegnir.is)

## In Memoriam Minning

*Jens Tómasson jarðfræðingur / geologist 1925 - 2012*



Jens Tómasson jarðfræðingur lést þann 24. október síðastliðinn á 88. aldursári. Jens fæddist 22. september 1925 og ólst upp í Reykjavík. Hann tók stúdentspróf frá Menntaskólanum í Reykjavík og sigldi síðan til náms í jarðfræði við háskólann í Osló og lauk þaðan Cand.real. gráðu 1962.

Er heim kom réðst hann til starfa á skrifstofu raforkumálastjóra sem síðar varð Orkustofnun og lauk þar starfsferlinum árið 1995, sjötugur að aldri.

Hitaveituvæðing var hafin er Jens kom til starfa, og jókst af enn meiri krafti eftir að fyrsta olíukreppan reið yfir. Meginverkefni hans tengdust borunum, jarðfræðiþáttum jarðhitakerfanna og vatnsgengd. Ein af þeim þekkingarleiðum voru borholugögnin. Jens var meðal þeirra sem þar voru í forystu og fór fyrir borholujarðfræði og var deildarstjóri þeirrar deildar frá 1979. Hann stýrði verkefnum Orkustofnunar sem unnin voru fyrir Hitaveitu Reykjavíkur á höfuðborgarsvæðinu af mikilli elju um langt skeið. Á starfsævi Jens var geysileg gerjun í jarðhitavísindum á Íslandi, þar sem áhersla var lögð á að öðlast viðamikla þekkingu á auðlindinni. Þar lagði Jens fram mikilvægan skerf, og mótaði þær starfsaðferðir við borholurannsóknir sem nú er unnið eftir. Eftir hann liggur fjöldi fræðigreina og skýrslna sem oft er vitnað í.

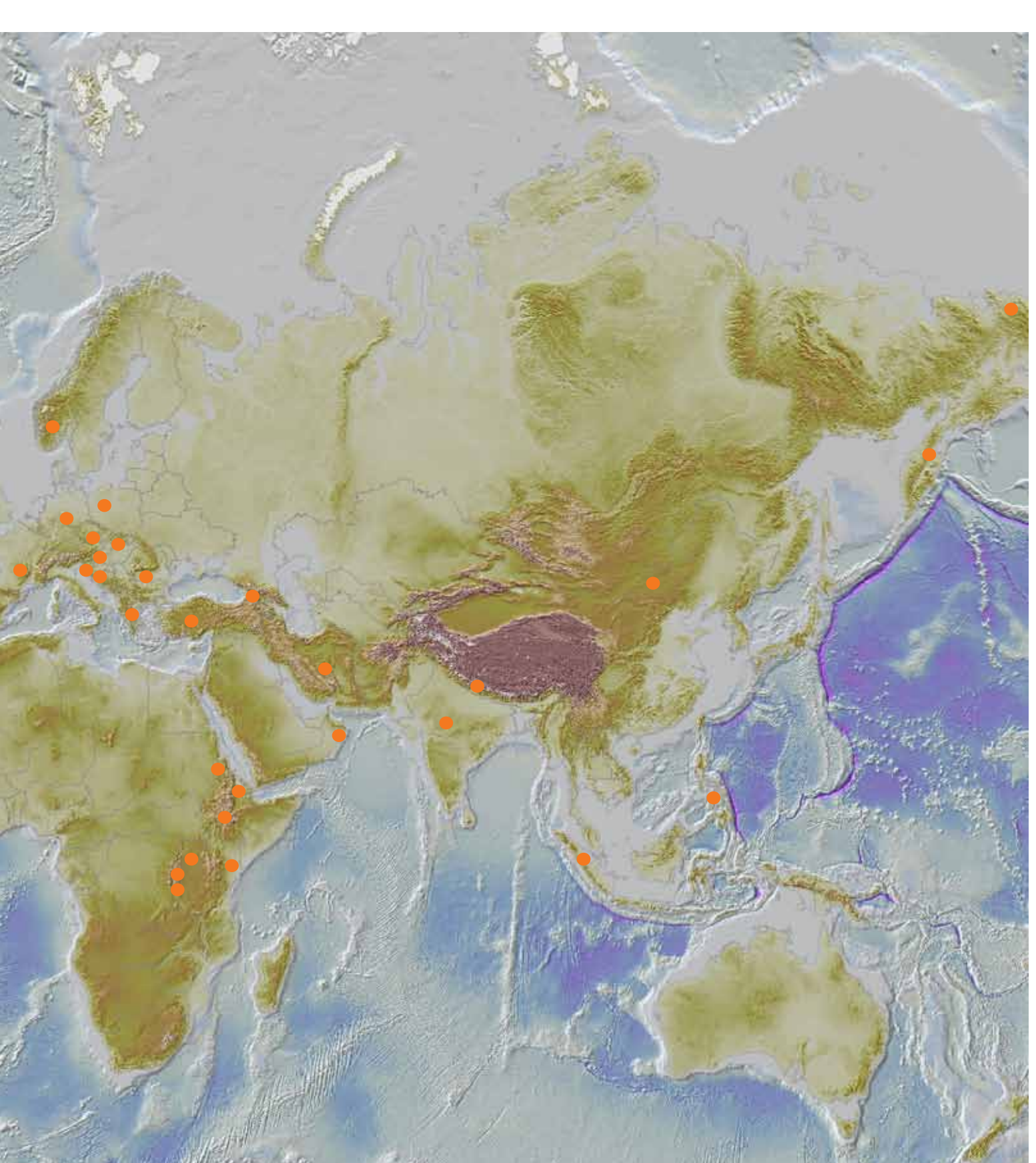
Jens og Þorsteinn Thorsteinnsson, samverkamaður hans, komu að fyrstu örvunaraðgerðum á borholum með svo kallaðri þökkun, en þá er freistað þess að opna tregar holur með vatnsþrýstingi neðan pakkara sem þaninn er út í holuvegg á ákveðnu dýpi. Urðu Jens og Þorsteinn síðan lykilmenn í slíkum örvunaraðgerðum og þeim mikil áhugamál að þróa og beita aðferðinni til að auka vinnslugetu borholna og jafnvel breyta tregum borholum í öflugar vinnsluholur. Var aðferðinni beitt í flestum vinnsluholum Hitaveitu Reykjavíkur á árunum 1970-1985. Síðasta aðkoma Jens að slíku verki var örvun 2700 m djúprar borholu fyrir Hitaveitu Seltjarnarness sem gaf nánast ekkert þegar fullu dýpi var náð. Þá hófst örvun holunnar og stýrði Jens verkinu. Eftir daglanga ádælingu vatns undir miklum þrýstingi opnaðist holan út í æð sem gaf og gefur enn mestan hluta þess vatns sem Hitaveita Seltjarnarness notar.

Jens var glaðlyndur og góður félagi í og utan vinnu og minnistæður öllum sem hann þekktu er hressilegur og smitandi hlátur hans í góðra vina hópi.

Geologist Jens Tómasson passed away on October the 24th 2012 in his 88th year. Jens was born on September 22nd 1925. He spent his formative years in Reykjavík, passing his Abitur Examination from Reykjavik Grammar School, and subsequently leaving to study at the University of Oslo, where he completed his Cand. Mag. and later Cand. Real degree in geology in 1962.

He began his career in the office of the Director of Electricity in 1963, and in 1964 moved to the geothermal department. Jens' area of research was into the properties of high and low temperature geothermal systems, and to this end he employed all the available data from boreholes pertaining to geology, alteration, water veins, and stimulation of boreholes. The methodology used in the study of borehole geology at ÍSOR today is to a large extent based on his work. He was Head of the Borehole Geology Department of Orkustofnun from 1979 and managed Orkustofnun's projects for Reykjavik Heating Company in the capital with great commitment and diligence.

Jens published a large number of papers and reports on geothermal energy and his papers are still widely quoted as part of our basic knowledge of geothermal systems. Jens was a cheerful, agreeable colleague. Those who were privileged to share his company particularly remember his great sense of fun and infectious laughter.



# Projects Abroad

## Verkefni erlendis

Verkefnisstjóri/Project leader: Brynja Jónsdóttir  
Þýðing/Translation: Björn S. Harðarson, Halldór Ármannsson  
Prófarcalestur: Hrafnhildur Harðardóttir  
Prentun/Printing: Svansprent - ISBN: 978-9979-780-95-3  
Ljósmyndir í skýrslunni eru teknar af starfsfólki ÍSOR nema annað sé tekið fram.  
Photographs were taken by the staff of Iceland GeoSurvey, unless committed.



**ADALSKRIFSTOFA • HEAD OFFICE**

Grensásvegur 9  
108 Reykjavík  
Iceland  
Sími/Tel.: +354 528 1500 / Fax: +354 528 1699  
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 2 2973 9757  
www.geothermhydro.com

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

