

Ársfundur Orkustofnunar 2008

Erindi

Reykjavík 13. mars 2008

OS-2008/001

Ársfundur Orkustofnunar 2008

Erindi

Reykjavík 13. mars 2008

OS-2008/001

978-9979-68-226-4

Orkustofnun

Ársfundur Orkustofnunar 2008

Háskólatorgi Háskóla Íslands

Fimmtudaginn 13. mars 2008

kl. 13:30-17:00

Fundarstjóri: Elín Smáradóttir, lögfræðingur Orkustofnunar

Dagskrá:

13:30 **Tónlist**, nemendur frá Listaháskóla Íslands

13:40 **Ávarp iðnaðarráðherra**, Össurar Skarphéðinssonar

13:50 **Ávarp orkumálastjóra**, Guðna A. Jóhannessonar

14:10 **Þróun olíuleitar í Færeyjum**

Sigurð í Jákupsstovu, ráðgjafi á Jarðfeingi í Færeyjum

14:50 **Kaffi**

15:10 **Sjálfbær vinnslugeta jarðhitakerfa**

Jónas Ketilsson, jarðhitasérfræðingur á Orkustofnun

15:30 **Hellisheiðarvirkjanir**

Sigurgeir Björn Geirsson, Deildarstjóri Hönnunar Nýrra virkjana hjá Orkuveitu Reykjavíkur

15:50 **Jarðhitaskólinn**

Ingvar Birgir Friðleifsson, forstöðumaður Jarðhitaskóla Háskóla Sameinuðu þjóðanna

Í lok fundar verða bornar fram léttar veitingar.

Efnisyfirlit

Próun olíuleitar í Færeyjum	7
<i>Sigurð í Jákupsstovu, ráðgjafi á Jarðfeingi í Færeyjum</i>	
Sjálfbær vinnslugeta jarðhitakerfa	15
<i>Jónas Ketilsson, jarðhitasérfræðingur á Orkustofnun</i>	
Hellisheiðarvirkjanir	21
<i>Sigurgeir Björn Geirsson, Deildarstjóri Hönnunar Nýrra virkjana hjá Orkuveitu Reykjavíkur</i>	
Jarðhitaskólinn	27
<i>Ingvar Birgir Friðleifsson, forstöðumaður Jarðhitaskóla Háskóla Sameinuðu þjóðanna</i>	

Próun olíuleitar í Færeyjum

Sigurð í Jákupsstovu, Ráðgjafi, Jarðfeingi

Inngangur

Iðnaðarráðherra, herrar mínir og frúr, það er mér mikill heiður að fá að ávarpa ykkur hér í dag á ársfundi Orkustofnunar 2008, og ég þakka þetta góða boð. Ég mun ræða hér á eftir um **Próun olíuleitar í Færeyjum**, eða á ensku: **Development of Hydrocarbon Exploration on the Faroese Continental Shelf**. Nú þegar Ísland er að undirbúa sitt fyrsta útboð á leyfum til olíuleitar, sem fyrirhugað er í byrjun árs 2009, þá vona ég að sú reynsla og þekking sem safnast hefur í Færeyjum á þessu sviði á undanförunum árum geti orðið ykkur að gagni og ýtt undir nýsköpun á sem flestum sviðum.

Ég heiti Sigurð í Jákupsstovu og hef verið forstjóri Jarðfræðisafnsins í Færeyjum frá 2003 og jafnframt Olíustofnunarinnar frá 2004, er síðan sameinuðust í Jarðfeingi árið 2005, og allar götur síðan þar til í nóvember 2007. Nú starfa ég sem ráðgjafi fyrir Jarðfeingi. Grunnmenntun mín er á sviði skipaverkfræði og síðan tók ég doktorspróf í forðafræði.

Í erindi mínu mun ég fjalla um eftirfarandi atriði:

- Sögulegan bakgrunn olíuleitar í Færeyjum
- Undirbúningur fyrir að takast á hendur stjórnýslu olíuleitar
- Færeysku kolvetnislögin
- Stuttlega um hlut ríkisins – skattakerfið
- Skilyrði um innlenda þátttöku í Færeyjum
- Fyrsta leyfisútboðið – hreyfiöfl og árangur
- Jarðfræðileg meginatriði, hliðstæður við nálæga fundarstaði olú (Foinhaven) og vandkvæði tengd basalti
- Fyrstu umferð borana
- Annað leyfisútboðið
- Olíuvinnslu vestur af Hjalmlandseyjum
- Þriðja leyfisútboðið
- Verkáætlanir – “mikilvægi þess að vita hvað maður vill”, og að lokum
- Árangurinn af “færeysku innihaldskröfunni”

Eitt af meginatriðunum sem ég vildi gjarna koma á framfæri hér, er að vönduð undirbúningsvinna og framsýni í upphafi hefur lagt undirstöðuna að því, að olíuleit í Færeyjum hefur verið sinnt með langtímasjónarmið í huga, þannig að leitinn sjálf hefur einnig farið fram á vandasömum svæðum, auk þeirra sem best litu út í upphafi. Ef ekki hefði verið lagður grundvöllur að þessu strax í upphafi, þá er líklegt að leitartilraunum hefði verið hætt um sinn og hlé gert í ótiltekinn tíma þegar að loknum fyrstu borunum.

Einnig vil ég vekja athygli ykkar á mikilvægi þess að samræma vel markmið leyfishafa og yfirvalda, eða í raun almennings. Ástæðan er sú, að öll líkindi hníga að því að upp komi atvik, þar sem möguleikar á hagkvæmri nýtingu á borholu fara minnkandi, og upp koma spurningar um áframhaldið, oft með miklum tilkostnaði, en á móti kemur mikilvægi þess að afla jarðfræðilegra upplýsinga til að bæta ákvarðanir framtíðarinnar við frekari leit.

Ég mun nú halda erindi mínu áfram á ensku, þar sem ég er ennþá full stíðmæltur á íslensku.

The Historical Background

In September 1992 the Danish Prime Minister, Poul Schluter and Løgmaður Atli Dam, agreed on the transfer of full responsibility of the subsoil resources to Faroese Home Rule, and thereby also the full rights to any revenues from oil and gas exploration and production. It is the Home Rule Act of 1948 that divides authoritative matters into 2 categories, A and B respectively, where A-matters can be transferred without negotiations, while transfer of B-matters shall be negotiated. In the agreement it was stated that all future hydrocarbon revenues shall be Faroese, but these may of course be factored in when negotiating the yearly subsidies to the Faroe Islands.

At the same time as that of the agreement, in 1992 and 1993 the Foinhaven and Schiehallion fields were discovered West of Shetland. These were the first large commercial discoveries in this area, and inspired a revived optimism and expectations for the Atlantic Margin area. Already in 1977, the huge oil field Clair had been discovered by BP. It turned out, however, that commercialism of Clair was difficult due to heavy viscous oil and a compartmentalised reservoir, and not before in the recent years, the Clair field has started production. In addition to Clair, Foinhaven and Schiehallion, smaller oil fields had been found that require tieback to the larger developments.

The renewed interest for West of Shetland exploration spread into the Faroese area, and it was quite clear in 1992 that the authorities had to prepare for, to handle requests from oil companies to open up the Faroese area for oil and gas exploration.

The initial preparations of undertaking the task of administering exploration

The first Hydrocarbon Planning Commission was established in December 1992 and in June the following year the Commission handed in its report, recommending the Government to prepare to open up for oil and gas exploration, - when the necessary preconditions had been put in place: These were:

- Regional prospecting surveys to be carried out
- To prepare the necessary legislation and accompanying terms and conditions for exploration and production
- To finalise negotiations with UK on national boundaries

After implementing a Prospecting Act in October 1993, the government established the Petroleum Administration, and shortly after the seismic industry was invited to compete for the rights to carry out speculative seismic surveys on the Faroese shelf. The results of this was that an exclusive license was granted to Western Geophysics, ensuring that not only the most prospective areas were investigated but also the wider area of the shelf that in the first instance were of less interest to the oil and gas industry. The data collected in this campaign has been a cornerstone for the wider exploration of the shelf and for the understanding of the geological development.

A Second Hydrocarbon Planning Commission was established in 1994, and in July 1997 it delivered a comprehensive report on matters regarding different aspects on hydrocarbon

exploration, on fiscal instruments and incentives, on environmental issues as well as on economic and social impacts of an oil and gas industry. The report also contained proposals for terms and conditions to set the industry and a proposal for the *Hydrocarbon Act*.

Another *spice* during the preparations was the ongoing negotiations on the territorial border between United Kingdom and the Faroes. Discussions on establishing the border had been ongoing sporadically since the 70ies through the 80ies but in the nineties when the oil industry flagged its interest in increasing its exploration efforts, the negotiations intensified, and in 1999 a solution acceptable to both parties was found. This was then the last obstacle preventing the opening of Faroese acreage for exploration – out of the way.

The Legislation

The Hydrocarbon Act was passed through the Parliament (Føroya Løgting) in 1998. This Act regulates all phases of hydrocarbon activities from prospecting surveys to exploration and development through to decommissioning.

The aim of the Act is to “*Provide for prudent and appropriate exploration and exploitation of hydrocarbon resources for the benefit of the Faroese economy and employment opportunities*”. and further that “*The activities shall be planned with due consideration given to fishing, navigation, the environment, nature and other interests of society*”

Further it can be mentioned that the act states that

- i) The areas to be offered for licensing and the general terms and conditions on which licenses are to be granted shall be fixed by law.
- ii) Licenses shall incorporate provisions on the use of Faroese manpower and supply of goods and services by Faroese undertakings, training and educational measures, etc., as well as on the location of the licensee's activities including.
- iii) The licenses granted in pursuance of section 6 above shall stipulate that any transport of equipment and passengers to and from Faroese territory shall be conducted via Faroese quay or Faroese airport. (2) In special cases the Faroese Government may exempt from the provision in subsection 1.
- iv) Exploration wells and other wells in the subsoil may only be drilled following prior approval by the Faroese Government of equipment, programme and mode of operation.
- v) That the license may stipulate that if a work obligation or other obligation is not fulfilled, the Faroese government may demand that the licensee shall pay the amount, in whole or in part, that it would have cost to fulfil the relevant obligation.
- vi) Requires licensees to perform environmental impact assessments before undertaking projects assumed to have a major impact on the environment

From this it is clear that the government as owner of the resources in creating the act has the objective of creating opportunities for Faroese businesses to participate in the activities

The Executive Order on Health Safety and Environment contains *functional* and *goal setting* requirements, that stipulates **what** the licensee shall see to or accomplish without stating exactly **how** to achieve the desired results. This is based on the assumption that it is the licensee or operator who is responsible for carrying out the activities in a safe and

appropriate manner in accordance with good international practice. The licensee or operator shall therefore demonstrate to the authorities how the goals and standards of the legislation are met. This may place a heavier workload on the operator, than prescriptive provisions where the authorities state exactly what it takes to fulfil the requirements. The use of risk analysis becomes a key tool for the operator to identify relevant risks and mitigating measures, in order to reduce risks below certain acceptance levels set by the relevant legislation, industrial standards and the operator's own policies.

Government take – the Tax system

I will briefly touch upon the hydrocarbon taxation system. This is composed of three elements: a 2% royalty, a 27% corporate (hydrocarbon tax) and a three tiered special tax which is invoked by the rate of return from the production activity. If rate of return exceeds 20%, the first special tax of 10% is invoked while additional 15% is added when exceeding 25% and 30% rate of return respectively. This means that the maximum taxation can amount to 57,1%. All exploration costs are deductible.

Requirements with respect to Faroese Content

As mentioned in the legislation, requirements were set for the involvement and competence lift of Faroese individuals and industry. With regards to providing genuine opportunities for the Faroese industry, the aim is that the oil companies shall plan the activities and the contracts in a way that Faroese industry can offer their services on areas where they have expertise and can be competitive.

What we have seen is that Faroese companies have participated in the supply and standby operations, the supply bases and the flight operations as well as providing catering and health services on board. Due to the erratic nature of the exploration activities, we have not seen Faroese participation in the more specialised operations. The rigs are, as you know, mobile units that enter the area with a trained crew.

In order to raise competence of Faroese industry and individuals, the companies were asked to include, as a bidding parameter, an offer for funds allocated for this purpose.

First Licensing Round – Drivers and Results

As you will be aware, a period of 7-8 years had elapsed since the first interest was shown from the oil industry (after Foinhaven and Schiehallion discoveries) until the 1st licensing round was opened. In this period a lot of beneficial contact had been between the industry and the Faroese society. One very good example is the GEM collaboration on establishing a Regional Environmental Impact Assessment that also serves as the first regional baseline study for the Faroese shelf. Another example is the initiative taken by the authorities and more than 20 oil companies to deepen an onshore well, drilled to some 2000 meters in 1981. The hope was to extend the well below the volcanic layers, but due to budgetary constraints and hole problems the well was terminated at 3500 meters still within volcanic rock.

On 17 august 2000, the first licenses were awarded for exploration and production on the Faroese shelf. In total 7 licenses were awarded, where 4 of them were in the most contested area, the Judd basin, which is the south easternmost part of the Faroese shelf, i.e. the closest to the producing fields on the UK side. – This area was nicknamed “*gull hornið*”, (the

golden corner). In the 4 licenses, a total of 8 wells in addition to seismic and potential field investigations were committed, while in the 3 other licenses which were in an area blanketed by basalt, seismic and other programmes were committed for the first 3 years, where after a decision had to be made on drilling a well or not.

It is important to understand the impact that the discoveries on the UK side had on the shaping of the first licensing round and how exploration was conducted. The geological models that were valid on the UK side were also used on the Faroese side. An example is the use of seismic attributes to create so called Direct Hydrocarbon Indicators, which had been used successfully to locate hydrocarbon bearing layers directly from seismic. The strong belief in this method led to the drilling of high risk trapping mechanisms, so called stratigraphic traps, guided by the Direct Hydrocarbon Indicators. The very high level of optimism and fierce competition between the oil companies of course spread to the Faroese authorities and public and in 2000 when the licenses were awarded – expectations were very high.

Apart from the work programmes to explore for oil and gas the Faroese terms required the oil companies to allocate funds for increasing competence of Faroese industry and individuals to participate in the oil and gas activity and to allocate funds for research with regards to future exploration of the Faroese shelf (the Sindri Programme). A total of 85 million DKK and 40 million DKK were allocated to competence lift and research respectively in the first licensing round.

The basalt challenge

The Faroese continental shelf is covered by basalt, i.e. the possible prospective formations are underneath the basalt and only the mentioned relatively small corner in the south east is not blanketed. It is difficult to “look” through the basalt by seismic methods to mature drilling prospects. The signals are reflected and dispersed, and obtaining detailed images has been, and still is one of the main obstacles and challenges. Another problem with basalt has been is the lack of experience among the oil companies of drilling through basalt in an offshore environment. It has been feared that drilling progress would be so slow that drilling through and developing fields underneath 2 – 3 km of basalt would be prohibitively expensive and technically difficult.

First drilling campaign

In 2001 three wells were drilled by BP, Statoil and Amerada Hess respectively. In the BP well smaller accumulations of oil and gas were encountered, but in general the drilling was a major disappointment, as in particular this well had been allocated a very high chance of success based on the models used on Foinhaven and Schiehallion. In the well drilled by Statoil only traces of hydrocarbons were found, while in the third well a discovery was made in layers deeper than the planned total depth for the well. The operator, Amerada Hess, decided to continue drilling, due to positive indications in the well and the result was that a gross column of 170 meters of interbedded hydrocarbon bearing sands and shales were found. This was of course regarded as extremely positive, but it later turned out that, the most likely size of the accumulation in combination with rather poor reservoir qualities

made the discovery un-commercial in the opinion of the Licensees, and therefore this license has been relinquished back to the authorities, and will be included in an upcoming 3 licensing round.

In 2003 the 4th well was drilled also on a stratigraphic trap and proved to be dry.

West of Shetland development

In our exploration efforts, we usually find comfort in the fact that the oil and gas activities are developing steadily on the UK side of the border and closer to the Faroese area. West of Shetland, oil and gas has been found in stratigraphic layers of Cambrian age – all the way up to Eocene and around 150 exploration wells have been drilled since 1972. On the Faroes, after drilling the first 3 wells, traces of hydrocarbons have been found at different levels of the Paleocene, and a discovery was made in the lower Paleocene. This means that an active petroleum system has been proven.

In 2002 the Cambo well was drilled in License 204/10 on a shallow structural high and found oil. Later an appraisal well has been drilled and it is rumoured that further appraisal is to be carried out.

In 2004 Chevron together with Statoil, DONG and OMV drilled the Rosebank prospect in license 213/27 and found oil both in intra-basaltic sands and at deeper levels. This discovery was appraised with 3 wells in 2006-2007, and it is believed to be moving towards development.

2nd Licensing round

In 2004 the second Faroese licensing round was launched and by 17 January 2005, 7 licenses were awarded in areas to the north and west of the existing licenses. The focus of exploration has now shifted from the stratigraphic amplitude driven plays to structural models. It can also be mentioned that the Rosebank discovery was very timely in relation to the second round, and that the same group of companies applied for and were awarded blocks adjacent to the Rosebank discovery.

In the second round the work programmes consisted of seismic and other surveys that shall lead to decisions on drilling exploration wells or not.

3rd licensing round

We are at the moment preparing the 3rd licensing round. It is expected to be passed through Parliament before summer and then announced immediately thereafter. The area of exploration will be extended further to the west and to the north.

It is being proposed that in addition to the license area fee, an environmental fee proportional to license area shall be paid. Although we are of the opinion that the general knowledge of the area is sufficient for opening the area for exploration, it is important to initiate more detailed environmental and biological studies, in order to improve the baseline knowledge further before activities possibly are intensified.

Work programmes – “the importance of knowing what you want”

When it comes to work programmes this is usually a bidding parameter which is used to compete with other companies for the best license. The programme may involve the drilling of a firm well if the companies have sufficient knowledge and/or if the competition is high enough. Many times though, what can reasonably be expected is an initial seismic programme and related studies which lead to a drill or drop decision after an initial period of e.g. 3-4 years.

The authorities of course have the opportunity to influence the work programme through negotiations with the companies, and it is in this phase that the longer term objectives of the authorities can be combined with the usually shorter term objectives of the companies.

In the first licensing round the authorities succeeded in attracting the oil companies to also license and investigate the more challenging basalt covered areas. This laid the foundation for exploration on the Faroes today. After the initial “disappointments” exploration is today carried out on sub-basalt structural plays, first and foremost on the licenses that were awarded in the first licensing round, but also on 2nd round licenses. Of the 8 wells committed from the first licensing round, the 4 have been transferred to 2 sub-basalt wells. The first one was drilled by Statoil last year on license 006 to 4400 meters subsea. Hydrocarbons were not found in the well apart from traces of gas, the basalt section was successfully drilled through and it was established that the extent of the different formation intervals were greater than anticipated. The second sub-basalt well is currently being drilled by BP on license 007.

Results of “Faroese Content”

I will touch briefly upon the results of the Faroese content programme. The initial 85 million DKK have been used to support mainly industrial competence lift and higher level education programmes. It is generally accepted that the funds have been well spent. The requirement for Faroese content shall also be seen in the light of the time period, this was shortly after the major economic crisis that hit the Faroes in 1992-93, which led to, many people leaving the islands and a very high unemployment rate. Therefore the political focus was very much on employment opportunities. The high competition between the companies led also to the allocation of relatively large amounts of funds.

With respect to participation in the activities, it can be said that as the overall activity has been much less than originally anticipated, and therefore the direct involvement in operations may be lower than what was expected. However, as mentioned before, both aviation and shipping have been able to use the offshore participation as a stepping stone to successfully engage in business activities internationally. The two oil companies Atlantic Petroleum and Faroe Petroleum founded on the basis of the 1st licensing round today also operate successfully in UK and Norway.

So in conclusion it is fair to say that although commercial quantities of oil and gas have not been found yet – the prospects are still good that this will happen in the not so distant future. And that the Faroese businesses, education system and individuals have benefitted from the activities and elevated themselves to take on increasingly higher shares of responsibilities within the oil and gas development.

Thank you for your attention

Sjálfbær vinnslugeta jarðhitakerfa

Jónas Ketilsson, jarðhitasérfræðingur á Orkustofnun

Inngangur

Upphaf orðasambandsins sjálfbær þróun er að finna í skýrslunni *Okkar sameiginlega framtíð (Our Common Future)*, sem samin var árið 1987 undir forystu Gro Harlem Brundtland, fyrrum forsætisráðherra Noregs:

Sjálfbær þróun er þróun sem fullnægir þörfum samtíðarinnar án þess að skerða möguleika komandi kynslóða til að fullnægja sínum þörfum.

Meginhugmynd orðasambandsins er tvíþætt: Í fyrsta lagi að ganga ekki óhóflega á forða náttúrunnar heldur nýta auðlindir hennar á hófsaman hátt og þá helst þannig að þær nái að endurnýja sig. Þannig miðast t.d. sjálfbært skógarhögg við að gróðursetja jafnharðan og höggvið er. Í öðru lagi felst í orðasambandinu að auðlindir skuli ekki nýttar á þann hátt að af hljótist mengun eða að umhverfinu sé spillt á annan hátt. Ýmsir þjóðflokkar hafa gætt þess um aldir að nýta auðlindir sínar, svo sem beitolönd og skóga, á þann hátt að samhliða notkuninni sé búið í haginn fyrir komandi kynslóðir. Lýsandi fyrir þessa hugsun er orðatiltæki frá Kenýa (Ólafur Páll Jónsson, Vísindavefurinn):

*Þú hefur ekki fengið landið til eignar frá foreldrum þínum;
þú hefur það að láni frá börnum þínum.*

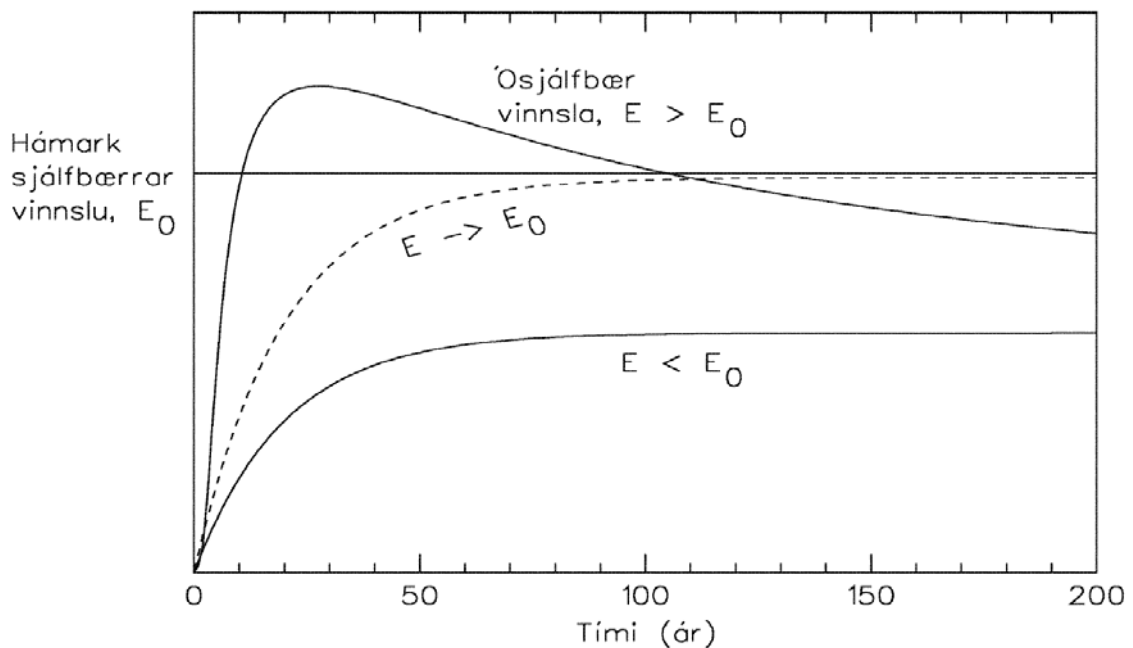
Sökum síaukinnar orkuþarfar mannsins er auðlindanýting og mengun sem af henni hlýst ekki lengur einkamál einstakra þjóða eða þjóðflokka heldur knýjandi mál sem alþjóðasamfélagið mun þurfa að takast á við af fullri alvöru á 21.öldinni. Á heimsráðstefnu Sameinuðu þjóðanna um umhverfi og þróun í Ríó í Brasilíu árið 1992, voru mörkuð tímamót í alþjóðlegu samstarfi að umhverfismálum, og þá sérstaklega loftlagsmálum, þar sem forskrift að sjálfbærri þróun í ríkjum heims var lögð fram í Ríóyfirlýsingunni. Eitt af helstu slagorðum ráðstefnunnar í Ríó var „Hugsaðu hnattrænt, framkvæmdu heimafyrir“ (e. *Think Globally – Act Locally*). Framkvæmdaráætlunin „Sjálfbær þróun í íslensku samfélagi“ sem tók mjög mið af Ríóyfirlýsingunni var samþykkt í ríkisstjórn 1996. Fyrsta grunnregla Ríóyfirlýsingarinnar er eftirfarandi (Velferð til framtíðar, 2002):

Sjálfbær þróun snýst um manninn og möguleika hans. Fólk á að geta starfað og lifað heilbrigðu lífi í sátt við náttúruna.

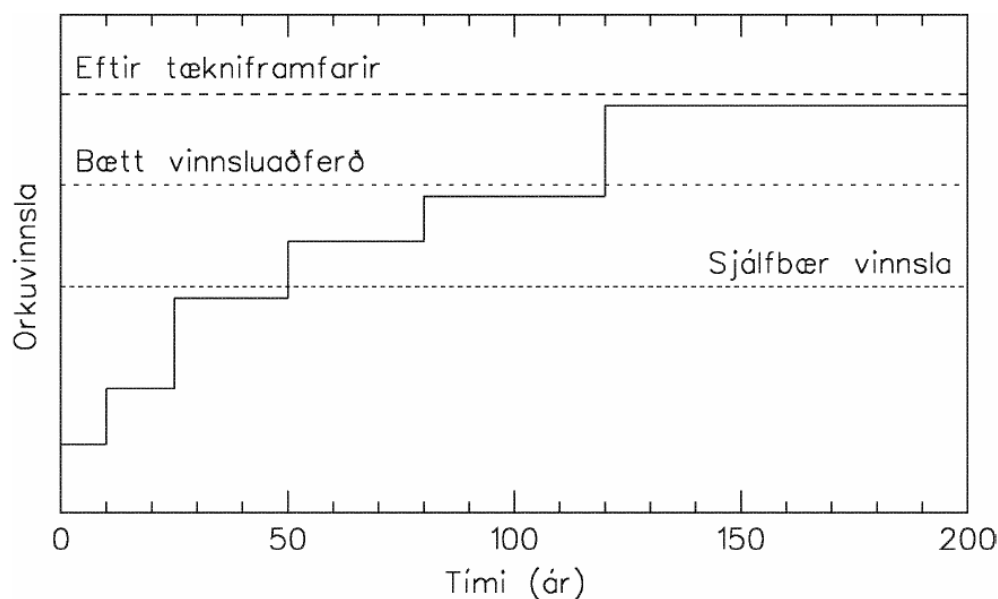
En hvernig getum við nýtt auðlindir jarðarinnar án þess að takmarka möguleika niðja okkar til afnota af heimsins gæðum? Í umræðunni um auðlindanýtingu er heppilegt að skilgreina hugtakið sjálfbær nýting auðlindar eins og gert var á Orkuþingi 2001 af vinnuhópi Orkustofnunar. Athuga skal að skilreiningin nær þó ekki til hagrænna atriða, umhverfismálefna og tækniþróunar:

Fyrir sérhvert jarðhitasvæði, og sérhverja vinnsluáðferð, er til ákveðið hámarksvinnslustig, E_0 , sem er þannig háttað að með lægra vinnslustigi en E_0 er unnt að viðhalda óbreyttri orkuvinnslu frá kerfinu yfir mjög langt tímabil (100-300 ár). Sé vinnsluálag meira en E_0 , er ekki unnt að viðhalda óbreyttri orkuvinnslu svo lengi. Jarðvarmavinnsla minni en eða jöfn E_0 er skilgreind sem sjálfbær vinnsla en vinnsla umfram E_0 er ekki sjálfbær

Á myndum 1-2 má sjá skýringarmyndir fyrir hugtakið sjálfbær vinnsla jarðhita sem vinnuhópur Orkustofnunar lagði fram á Orkuþingi 2001 og 2006.



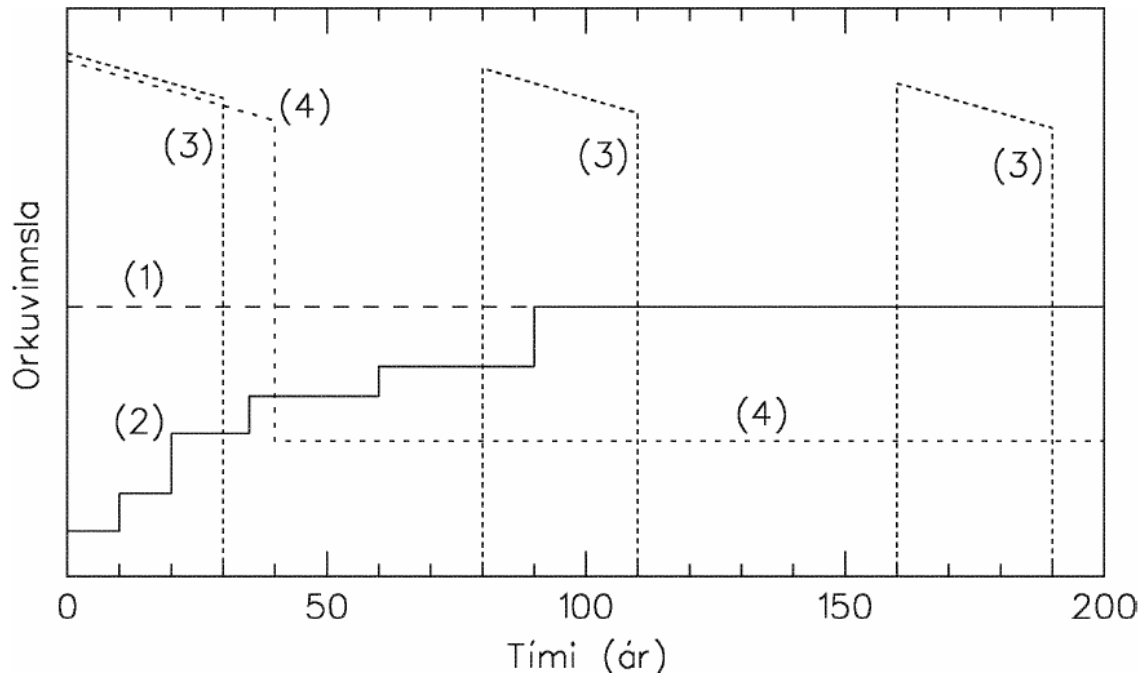
Mynd 1. Skýringarmynd fyrir hugtakið sjálfbær vinnsla jarðhita (Guðni Axelsson o.fl., 2001).



Mynd 2. Skýringarmynd sem sýnir hvernig sjálfbær vinnslugeta jarðhitakerfa er háð vinnsluáðferð (t.d. niðurdælingu) og tækniframförum (t.d. dýpri borun). Einnig sýnt hvernig auka má orkuvinnsluna í skrefum (Guðni Axelsson o.fl., 2006).

Aðferðirnar til sjálfbærrar vinnslu jarðhita, var lagt fram á Orkuþingi 2006, eru eftirtaldar sem sjá má einnig á mynd 3:

- (1) Stöðug vinnsla (fyrir utan sveiflur vegna tímabundins álags eins og árssveiflur) í 200 ár. Varla raunhæfur kostur vegna þess að sjálfbær vinnslugeta jarðhitakerfa er ekki þekkt fyrirfram. Því þarf í raun e.k. reynslutímabil í upphafi þar til hún hefur verið metin.
- (2) Vinnsla aukin í nokkrum skrefum þar til sjálfbær vinnslugeta hefur verið metin og sjálfbæru mörkunum náð.
- (3) Ágeng vinnsla (ekki sjálfbær) í nokkra áratugi (um 30 ár) með algjörum hléum, e.t.v. nokkru lengri en vinnslutímabilin (um 50 ár), þar sem jarðhitakerfið nær að jafna sig að verulegu leyti í hléunum.
- (4) Ágeng vinnsla í 30-50 ár, síðan stöðug en mun minni vinnsla næstu 150 – 170 árin. Vinnslan að loknu ágenga tímabilinu yrði þá mun minni en sjálfbær vinnslugeta svæðis við stöðuga vinnslu (aðferð (1)).



Mynd 3. Skýringarmynd sem sýnir dæmi um hvernig nýta má jarðhitakerfi sjálfbært á mismunandi vegu. Tölurnar vísa í vinnsluáferðir sem fjallað er um í textanum. (Guðni Axelsson o.fl., 2006).

Meginstoðir sjálfbærrar orkustefnu jarðhita

Sjálfbær þróun hefur þrjár meginstoðir: efnahagsþróun, félagslega velferð, jöfnuð og loks vernd umhverfisins. Skoða þarf þessa þrjá þætti í samhengi og leitast við að hámarka efnahagslega og félagslega velferð án þess að skaða umhverfið (Velferð til framtíðar, 2002). Samkvæmt úttekt sem unnin var fyrir Orkustofnun á hagkvæmni jarðhitanytingar þá eru forsendur þríþættrar hagkvæmni eftirfarandi (Einar Tjörvi Elíasson, OS-2005/022):

1. Þjóðhagsleg hagkvæmni

Þjóðhagsleg hagkvæmni byggir aðallega á því að virkjunarkostir geta leitt til aukinnar hagsældar í næsta nágrenni sínu. Þar má nefna atvinnu til skemmri og lengri tíma litið, aukinnar skattatekjur til sveitar og ríkis, meiri möguleika á nýjum atvinnugreinum, betri vegi og þjónustu o.s.frv. Þjóðhagsleg hagkvæmni krefst víðsýni og forsjár, sem skilar sér í bættem lífsstíl einstaklinga.

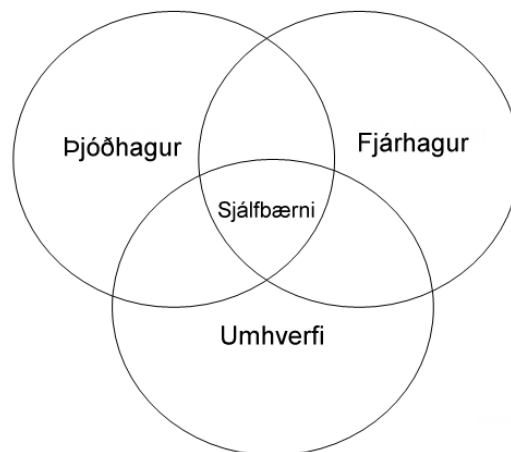
2. Fjárhagsleg hagkvæmni

Forsendur fjárhagslegrar virkjunarkosta eru nokkuð hefðbundnar. Þær eru háðar því hvers konar fjármögnun er fyrirhuguð, þ.e. hve stór hluti hennar er eigið fé, hve stór hluti er lán og hve stór á að vera hluti utanaðkomandi fjárfesta í fjármögnun framkvæmdanna. Arðsemiskröfur fjárfesta og eigenda, vaxtakjör lánastofnanna og endurgreiðslufyrirkomulag leika þar einnig stór hlutverk. Arðsemismat er venjulega gert á grundvelli innri vaxta og núvirði framkvæmdarinnar.

3. Umhverfisleg hagkvæmni

Aðgerðir til þess að vernda umhverfið eru oftar en ekki til kostnaðarauka. Í ljósi vaxandi meðvitundar mannkyns fyrir mikilvægi umhverfisins og krafna um að allar mannsins framkvæmdir séu í sem bestri sátt við það verður ekki framhjá slíku litið. Helstu kröfurnar eru: (1) lágmörkun efna- og varmamengunar, (2) vinnsla sé sjálfbær, (3) hljóð- og sjónmengun sé haldið í lágmarki og (4) að umróti og landslagsbreytingum sé haldið í skefjum.

Samþætting hinna þriggju meginstoða stuðlar að sjálfbærri þróun þar sem jafnvægi ríkir þar á milli eins og sjá má á mynd 4.



Mynd 4. Þrjár meginstoðir, samfélag, umhverfi og efnahagslíf, skarast, og þar sem þær mætast er tækifæri fyrir sjálfbæra þróun.

Starfshópur um sjálfbæra nýtingu jarðhita

Að beiðni framkvæmdastjórnar jarðhitapróunarsamnings Alþjóða orkumála-stofnunarinnar (IEA-GIA) hefur Orkustofnun tekið að sér að leiða alþjóðlegan vinnuhóp til ákvörðunar á sjálfbærri vinnslugetu jarðhitakerfa. Á árlegri jarðhitaráðstefnu á Nýja Sjálandi, 10.-16. nóvember 2008, verður haldin málstofa um fyrrgreint málefni. Áður nefndur vinnuhópur hefur ákveðið að nýta þann vettvang til að kynna viðhorfum sérfræðinga og orkufyrirtækja til þessa viðfangsefnis, og vonast til að þangað rati aðilar frá sem flestum ríkjum þar sem jarðhiti er nýttur að marki.

Sá háttur sem hafður er á nýtingu auðlinda er hvorki einkamál hins opinbera né viðkomandi orkufyrirtækja, heldur samfélagsins í heild. Af þeim sökum er mikilvægt að taka málið til umræðu á opnum vettvangi. Orkustofnun stefnir að því að standa fyrir málþingi um sjálfbæra nýtingu jarðhita á Íslandi í byrjun árs 2009. Iðnaðarráðuneytið hefur farið þess á leit við Verkefnisstjórn Rammaáætlunar um verndun og nýtingu náttúrusvæða, að hún standi fyrir faghópi til að meta sjálfbæra nýtingu jarðhita. Þetta verkefni er hliðstætt því sem hafið

var og hefur verið ákveðið að reyna að sameinast um ofangreint málefni. Orkustofnun hefur því, í samvinnu við Verkefnisstjórn Rammaáætlunar um verndun og nýtingu náttúrusvæða, myndað faghóp um fyrrgreint málefni. Óskað verður eftir að ráðgjafar framkvæmdastjórnar IEA-GIA og öðrum sérfræðingum verði falið að rýna niðurstöður faghópsins og framgang verksins. Skýrsla faghópsins og umsögn utanaðkomandi aðila verða síðan lagðar til grundvallar ráðleggingum Verkefnisstjórnar Rammaáætlunar til iðnaðarráðherra. Verklok eru áætluð um mitt ár 2009.

Drög að markmiðum starfshóps

- (1) Leggja fram rökstuddar tillögur um hvernig skilgreina eigi sjálfbæra jarðhitanýtingu og hvernig meta eigi sjálfbæra vinnslugetu jarðhitakerfa. Jafnframt koma með tillögur að mismunandi nýtingarleiðum er miða að sjálfbærri nýtingu auðlindarinnar.
- (2) Leiðbeina stjórnvöldum um leiðir til að styrkja efnahagslega og þjóðfélagslega sjálfbæra þróun nýtingar jarðvarmaauðlinda til lengri tíma litið.

Heimildaskrá

Einar Tjörvi Einarsson 2005. *Virkjun jarðhita með háa nýtni að markmiði*, Orkustofnun OS-2005/022.

Guðni Axelsson, Ásgrímur Guðmundsson, Benedikt Steingrímsson, Guðmundur Pálmason, Halldór Ármannsson, Helga Tulinius, Ólafur G. Flóvenz, Sveinbjörn Björnsson og Valgarður Stefánsson, 2001: *Um sjálfbæra vinnslu jarðhita*. Erindi á Orkuþingi 11.-13.október.

Guðni Axelsson, Sveinbjörn Björnsson og Valgarður Stefánsson, 2006: *Hvernig á að meta sjálfbæra vinnslugetu jarðhitasvæða*. Erindi á Orkuþingi 12.-13.október.

Ólafur Páll Jónsson. „Hvað merkja orðin sjálfbær þróun?“. *Vísindavefurinn* 20.8.2001. <http://visindavefur.is/?id=1840>. (Skoðað 9.3.2008).

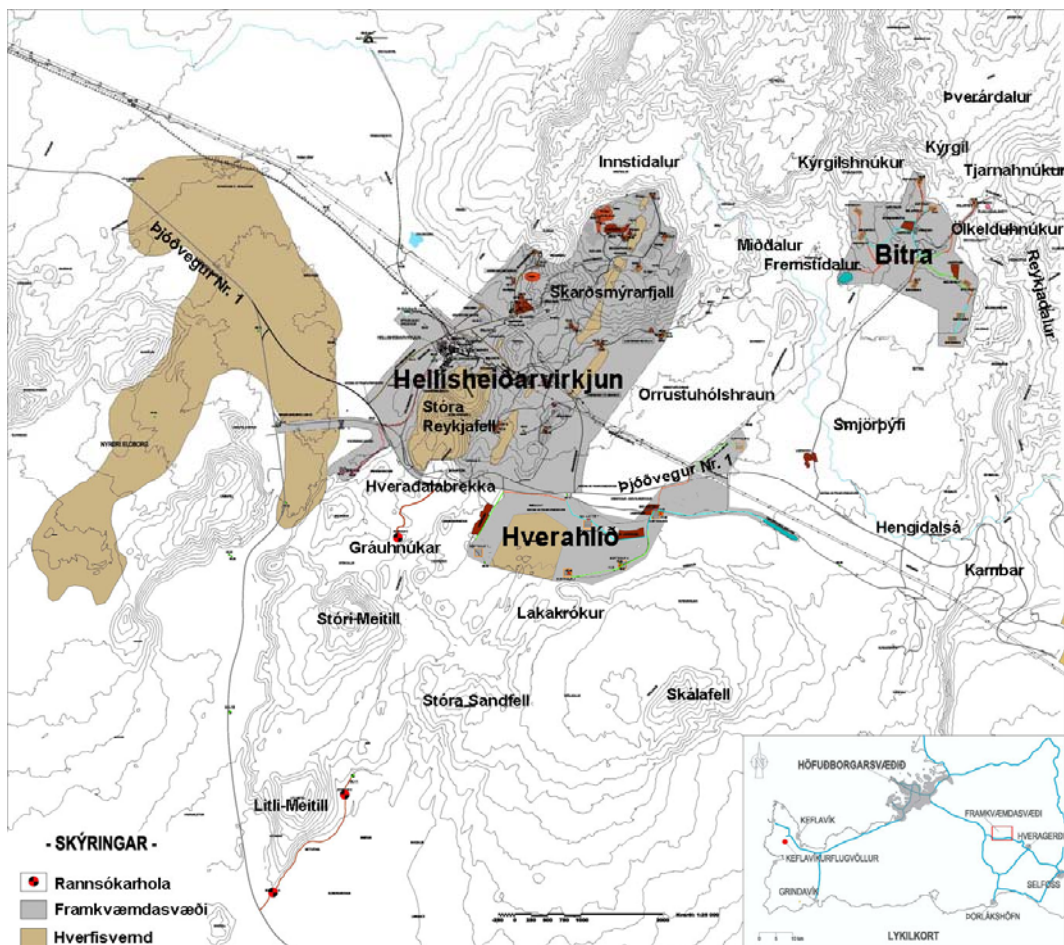
Umhverfisráðuneytið 2002. *Velferð til framtíðar: Sjálfbær þróun í íslensku samfélagi, stefnumörkun til 2020*. ISBN 9979-839-02-3.

Virkjanaáform Orkuveitu Reykjavíkur á Hengilssvæðinu

Sigurgeir Björn Geirsson, Orkuveitu Reykjavíkur

Inngangur

Hengilssvæðið er meðal stærstu háhitasvæða á Íslandi. Allt frá árinu 1965 hafa rannsóknarboranir verið í gangi á svæðinu; fyrst undir stjórn Hitaveitu Reykjavíkur og síðar Orkuveitu Reykjavíkur. Í dag starfrækir Orkuveitan tvær jarðvarmavirkjanir á Hengilssvæðinu; Nesjavallavirkjun og Hellsheiðarvirkjun. Orkuveitan áformar uppbyggingu tveggja nýrra virkjana á Hengilssvæðinu; við Hverahlíð og í Bitru. Þar að auki hefur Orkuveitan óskað eftir leyfi til rannsóknaboranna sunnar á Hengilssvæðinu eða nánar tiltekið við Gráuhnúka og Litla-Meitil. Mynd 1 sýnir framkvæmdasvæði Hellsheiðarvirkjunar sem og fyrirhuguð virkjanasvæði Hverahlíð og Bitru og staðsetningu rannsóknaboranna.



Mynd 1 – Hellsheiðarvirkjun, Hverahlíð, Bitra og rannsóknarholur

Nesjavallavirkjun

Framkvæmdir við Nesjavallavirkjun, mynd 2, hófust 1987. Í september árið 1990 var orkuverið formlega gangsett. Nesjavallavirkjun framleiðir nú $120 \text{ MW}_{\text{el}}$ og $300 \text{ MW}_{\text{th}}$.

Á Nesjavöllum hafa verið boraðar 25 háhita holur.

Í undirbúningi er að bora rannsóknaborholur til þess að meta hvort svæðið geti staðið undir stækkun. Einnig er hafin vinna við mat á umhverfisáhrifum fyrir stækkun virkjunarinnar.



Mynd 2 - Nesjavallavirkjun

Hellisheiðarvirkjun

Haustið 2006 var fyrsti áfangi Hellisheiðarvirkjunar, mynd 3, tekinn í notkun, tvær $45 \text{ MW}_{\text{el}}$ vélar. Haustið 2007 hófst rafmagnsframleiðsla frá lágþýstivél, $33 \text{ MW}_{\text{el}}$. Á Hellisheiði hafa nú verið boraðar 38 háhita holur (sumar eru ennþá í borun) og þar af er 31 stefnuboruð. Á næstu árum er stefnt að því að framleiða $300 \text{ MW}_{\text{el}}$ og $400 \text{ MW}_{\text{th}}$. Framkvæmdaáætlun Hellisheiðarvirkjunar er sýnd í töflu 1.



Mynd 3 - Hellisheiðarvirkjun

Tafla 1 – Virkjunaráfangar Hellisheiðarvirkjunar

	2006	2007	2008	2009	2010	>2010
Raforkuver	1. áfangi 2 × 45 MW _{el}	2. áfangi 33 MW _{el}	3. áfangi 2 × 45 MW _{el}		5. áfangi 2 × 45 MW _{el}	
Varmaorkuver				4. áfangi 133 MW _{th}		6. áfangi 267 MW _{th}

Byggingaframkvæmdir við 3. áfanga virkjunarinnar fer senn að ljúka. Stefnt er að því að framleiðsla frá 3. áfanga hefjist haustið 2008. Framkvæmdir vegna fyrsta áfanga varmaorkuversins hefjast vorið 2008 með byggingu varmastöðvar á Hellisheiði sem og framkvæmdum við Hellisheiðaræð sem er um 19 km niðurgrafin foreinangruð stállögn frá Hellisheiðarvirkjun að Geithálsi. Varmaorkuverið verður tekið í notkun haustið 2009. Gert er ráð fyrir að framkvæmdir vegna 5. áfanga hefjist í ársbyrjun 2009 og að framleiðsla hefjist haustið 2010.

Stefnumörkun í umhverfis- og ásyndarmálum

Orkuveitan áformar frekari uppbyggingu orkuvera á Hengilssvæðinu til að anna eftirspurn atvinnuvega eftir rafmagnsframleiðslu. Í ljósi umfangsmikilla rannsókna á Hengilssvæðinu er talið að helstu virkjunarkostir á svæðinu séu við Hverahlíð og í Bitru [1], [2]. Orkuveitan hefur látið vinna umhverfismat fyrir þessa virkjanakosti og gert er ráð fyrir því að matskýrslur verði gefnar út fyrri hluta ársins 2008.

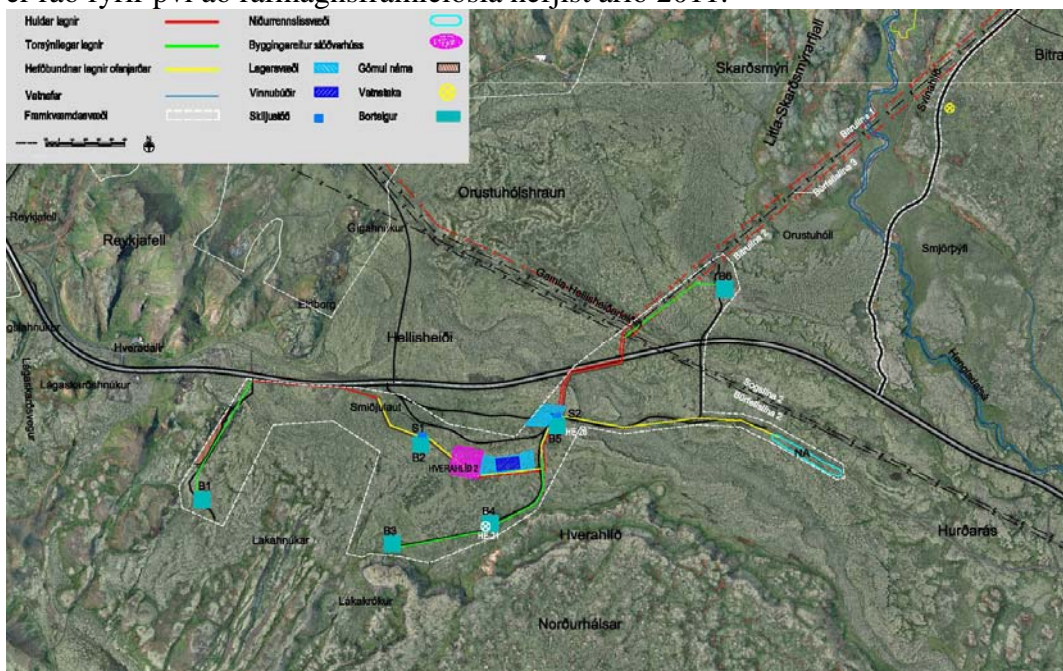
Við mat á umhverfisáhrifum fyrirhugaðra virkjana voru kannaðir möguleikar á mismunandi fyrirkomulagi og gerð mannvirkja, m.a. til að draga úr áhrifum á viðkvæm svæði og sýnileika mannvirkja og þar með áhrifum framkvæmdarinnar á landslag. Orkuveitan setti fram stefnumörkun um umhverfis- og ásyndarmál fyrir hönnun jarðvarmavirkjana við Hverahlíð og í Bitru [3], [4]. Í stefnumörkuninni er meðal annars fjallað um eftirtalda framkvæmdaþætti:

- Borteigar** verða utan viðkvæmra svæða og umfangi og sýnileika þeirra haldið í lágmarki. Borteigar verða gerðir þannig að þeir falli sem best að landi. Á borteig verður hægt að koma fyrir allt að 8 borholum.
- Lagnir** verða lagðar þannig að þær liggja ekki um viðkvæm svæði. Ef talið er nauðsynlegt að leggja lagnir um svæði sem talin eru viðkvæm eða eru sýnilegar frá slíkum svæðum verður leitast við að gera þær lítið eða ekkert sýnilegar. Sýnileika lagna er skipt niður í þrjá flokka; huldar lagnir, torsýnilegar lagnir og hefðbundnar lagnir.
- Vegir** verða byggðir upp þannig að þeir falli sem best að landi og gert er ráð fyrir að vegir innan virkjunarsvæðis verði með lágmarksuppbyggingu. Reynt verður að nýta og endurgera gömul vegstæði eins og mögulegt er.
- Mannvirki** verða löguð sem best að umhverfinu. Það er gert með því að staðsetja og hanna mannvirki og móta land í samræmi við sérkenni, náttúrufar og ásýnd lands.
- Frágangur** Stefnt er að aðgerðum sem hjálpa til eða flýta fyrir landnámi grendargróðurs á röskuðum svæðum.
- Hljóðvist Loftgæði** Leitast verður við að lágmarka hávaða frá blásandi borholum og gufuháfum. Í kjölfar umsagna og athugasemda við frummatsskýrslna Bitruvirkjunar og Hverahlíðarvirkjunar ákvað Orkuveitan að grípa til aðgerða vegna losunar á brennisteinsvetnis frá virkjunum á Hengilssvæðinu. Áður en virkjanirnar fara í rekstur verður hafin hreinsun brennisteinsvetnis [3], [4].

Hverahlíð

Framkvæmdasvæði Hverahlíðarvirkjunar er á sunnanverðu Hengilssvæðinu. Svæðið afmarkast af Suðurlandsvegi í norðri og Hverahlíð í suðri. Mynd 4 sýnir framkvæmdasvæði virkjunarinnar. Samkvæmt mati á vinnslugetu svæðisins miðað við flatarmálsmat [5] er áætlað að rafmagnsframleiðsla Hverahlíðarvirkjunar geti numið allt að 90 MW_{el}. Nú er búið að bora þrjár holur á Hverahlíðarsvæðinu.

Gert er ráð fyrir því að rafmagnsframleiðsla hefjist árið 2011.

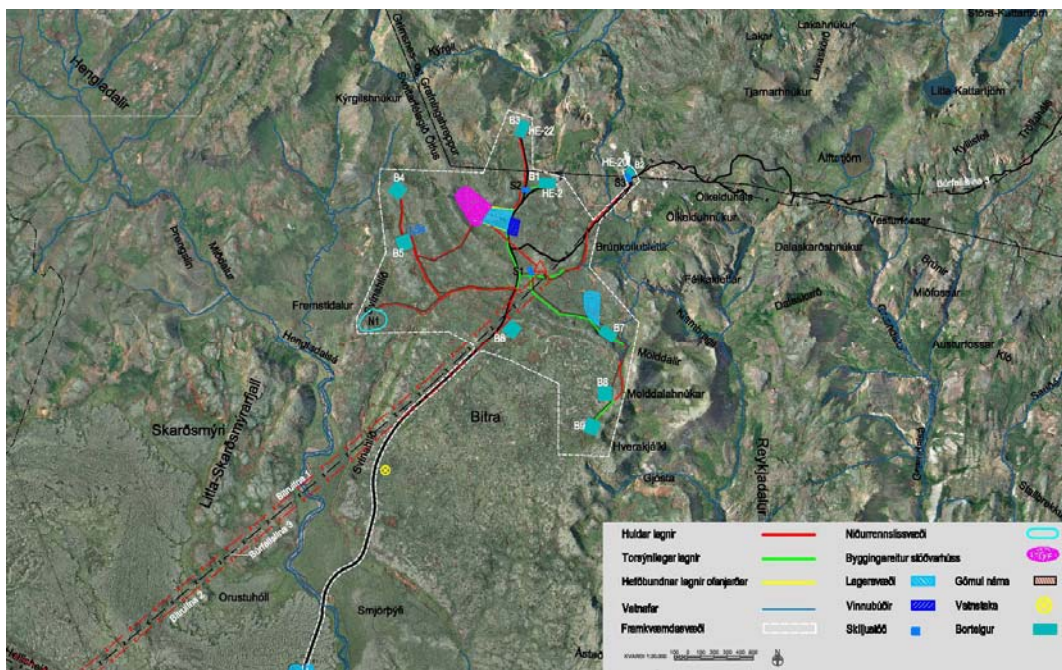


Mynd 4 – Framkvæmdasvæði Hverahlíðarvirkjunar

Bitra

Framkvæmdasvæði Bitruvirkjunar liggur austur af Henglinum. Svæðið afmarkast af Kýrgili, Tjarnahnúk og Ölkelduhnúk í norðri og Svínahlíð í suðri. Mynd 5 sýnir framkvæmdasvæði virkjunarinnar. Í upphaflegri matsáætlun var framkvæmdasvæði virkjunarinnar stærra en nú er gert ráð fyrir. Þá var gert ráð fyrir allt að tveimur borsvæðum upp á Tjarnahnúki. Við nánari skoðun á svæðinu var tekin sú ákvörðun að marka verndarlínu sem afmarkar skipulagssvæðið frá Tjarnahnúk, Ölkelduhálsi og Ölkelduhnúk. Utan þessarar línu er ekki gert ráð fyrir raski tengdu framkvæmdum virkjunarinnar. Með þessu hefur framkvæmdasvæði virkjunarinnar því færst nokkuð til suðvesturs og út af hinu eiginlega Ölkelduhállssvæði. Samkvæmt mati á vinnslugetu svæðisins miðað við flatarmálsmat [7] er áætlað að rafmagnsframleiðsla Bitruvirkjunar geti numið allt að 135 MW_{el}. Nú þegar hafa verið borað þrjár holur á svæðinu.

Gert er ráð fyrir því að rafmagnsframleiðsla í fyrsta áfanga virkjunarinnar hefjist árið 2011.



Mynd 5 – Framkvæmdasvæði Bitruvirkjunar

Framtíðarvirkjunaráform

Orkuveitan gerir ráð fyrir að geta framleitt 645 MW_{el} og 700 MW_{th} í fjórum virkjunum á Hengilssvæðinu. Markmið með byggingu virkjana á Hengilssvæðinu er að mæta aukinni eftirspurn atvinnuvega og almennings eftir raforku og varma. Til að tryggja viðskiptavinum Orkuveitunnar fullnægjandi öryggi og til að anna vaxandi eftirspurn á næstu árum er ljóst að fyrirtækið þarf að auka framleiðslugetu sína, sérstaklega rafmagnsframleiðslu.

Orkuveitan hefur rannsakað Hengilssvæðið til þess að meta hvort svæðið stæði undir frekari virkjunarframkvæmdum. Við borun á niðurrennslisholum norðan við Gráuhnúka kom í ljós að hiti þar væri með því heitasta sem mælst hefur á Hengilssvæðinu, um 300 °C. Í júlí 2007 lagði Orkuveitan fram tilkynningu um rannsóknaboranir við Gráuhnúka og Litla-Meitil.

Tilgangur rannsókna er að afla upplýsinga um eðli og útbreiðslu jarðhitasvæðinsins á Hengils-svæðinu svo hægt sé að taka ákvörðun um vinnslu á svæðinu í framtíðinni [6], [7].

Heimildaskrá

- [1] VGK, 2006. *Virkjun á Ölkelduhálssvæði. Drög að tillögu að matsáætlun*. Unnið fyrir Orkuveitu Reykjavíkur.
- [2] VGK, 2006. *Virkjun við Hverahlíð. Drög að tillögu að matsáætlun*. Unnið fyrir Orkuveitu Reykjavíkur.
- [3] VSÓ, 2008. *Mat á umhverfisáhrifum Hverahlíðarvirkjunar*. Unnið fyrir Orkuveitu Reykjavíkur [Óútgefið].
- [4] VSÓ, 2008. *Mat á umhverfisáhrifum Bitruvirkjunar*. Unnið fyrir Orkuveitu Reykjavíkur [Óútgefið].
- [5] Grímur Björnsson, 2007. *Endurskoðað hugmyndalíkan af jarðhitakerfum í Hengli og einfalt mat á vinnslugetu nýrra borsvæða*. Orkuveita Reykjavíkur. Reykjavík
- [6] VGK - Hönnun, 2007. *Rannsóknaborun við Gráuhnúka, Sveitarfélaginu Ölfusi. Tilkynning um framkvæmdir*. Unnið fyrir Orkuveitu Reykjavíkur.
- [7] VGK - Hönnun, 2007. *Rannsóknaborun við Litla-Meiti, Sveitarfélaginu Ölfusi. Tilkynning um framkvæmdir*. Unnið fyrir Orkuveitu Reykjavíkur.

Jarðhitaskóli Háskóla Sameinuðu þjóðanna

Ingvar Birgir Friðleifsson (ibf@os.is)

Jarðhitaskóli Háskóla Sameinuðu þjóðanna
Orkustofnun, Grensásvegi 9, 108 Reykjavík
(www.unugtp.is)

1. Inngangur

Háskóli Sameinuðu þjóðanna var stofnaður 1975 til að efla rannsóknir, þekkingu og skilning á vandamálum sem Sameinuðu þjóðirnar (Sp) fjalla um. Eitt aðalmarkmiðið var að bæta hag þróunarlandanna með því að veita þeim aðild að alþjóðlegum rannsóknarsetrum og starfsþjálfun fyrir sérfræðinga á ýmsum sviðum. Stjórnstöð háskólans var opnuð í Tókýó, en í stað þess að byggja skólahús og rannsóknarstofur um allan heim voru aðildarlönd Sp hvött til að opna dyr háskóla sinna og rannsóknarstofnana og taka þannig þátt í starfsemi Háskóla Sp.

Ísland var eitt af fyrstu aðildarlöndum Sp til að sinna kalli og bauðst til að reka annað hvort jarðhitaskóla eða sjávarútvegsskóla á vegum Háskóla Sp hérlendis. Matsnefnd á vegum Sp taldi aðstæður til skólahalds hér betri á sviði jarðhitafræða og að mikil þörf væri á uppbyggingu þekkingar á nýtingu endurnýjanlegra orkulinda í þróunarlöndunum. Þetta var í miðri olfukreppunni sem hófst 1973. Eftir alþjóðlega ráðstefnu á Íslandi og mikla undirbúningsvinnu var komist að samkomulagi í árslok 1978 um stofnun Jarðhitaskóla Háskóla Sp á Íslandi. Ríkisstjórnin fól Orkustofnun að sjá um rekstur Jarðhitaskólans og semja við Háskóla Sp þar um. Orkustofnun varð með þessu ein af tengdastofnunum (associated institution) Háskóla Sp. Háskóli Íslands hefur tekið virkan þátt í starfsemi Jarðhitaskólans frá upphafi, svo og orkufyrirtæki og verkfræðistofur.

Fyrstu nemendurnir komu í Jarðhitaskólann vorið 1979. Síðan hefur árlega komið hópur raunvísindamanna og verkfræðinga frá þróunarlöndunum og löndum Mið- og Austur-Evrópu til sex mánaða sérhæfðs náms á Íslandi. Allt er þetta fólk með háskólapróf og starfandi við orkurannsóknir eða orkuframleiðslu og dreifingu í sínum heimalöndum. Frá 2000 hafa Jarðhitaskólinn og Háskóli Íslands haft samstarf um meistaranám styrkþega Jarðhitaskólans. Fyrstu doktorsnemarnir á vegum Jarðhitaskólans koma haustið 2008. Jarðhitaskólinn hefur einnig staðið fyrir árlegum jarðhitanámskeiðum í Afríku (frá 2005), í Mið-Ameríku (frá 2006) og árleg námskeið fyrir Asíulönd hefjast í Kína í maí 2008. Námskeiðin eru framlag Íslands til Þúsaldarmarkmiða Sameinuðu þjóðanna.

2. Markmið og námsbrautir

Markmið Jarðhitaskólans er að aðstoða þróunarlönd og ríki Mið- og Austur-Evrópu (utan Evrópusambandsins), sem hafa umtalsverðan jarðhita, við að byggja upp sérfræðingahópa til að rannsaka og nýta jarðhitann. Aðalstarfsemi skólans eru árleg sex mánaða sérfræðinámskeið þar sem boðið er upp á níu sérhæfðar námsbrautir (jarðfræðikortlagning, borholujarðfræði, jarðeðlisfræðileg könnun, borholumælingar, forðafræði, jarðefnafræði, umhverfisfræði, jarðhitaverkfræði og borverkfræði). Framan af var mest eftirspurn eftir námi í jarðhitaleit (jarðeðlisfræði og jarðefnafræði), en með aukinni nýtingu jarðhita í samstarfslöndunum hefur eftirspurnin vaxið mest í forðafræði, jarðhitaverkfræði,

umhverfisfræði og jarðefnafræði. Sumar námsbrautir eru opnar nær árlega en aðrar á 2-3 ára fresti.

Kennsla fer fram á ensku. Námið hefst með inngangsfyrirlestraflökki (5 vikur) þar sem öllum nemendum eru kynnt helstu sérsvið jarðhitafræða þannig að t.d. jarðvísindamennirnir viti hvaða upplýsingum verkfræðingarnir þurfa á að halda og verkfræðingarnir hvaða spurninga ber að spyrja og öfugt. Mikil áhersla er lögð á þverfaglegt hópstarf. Síðan taka við 5-7 vikna sérhæfð námskeið, mismunandi eftir námsbrautum. Farið er í námsferðir til allra helstu jarðhitasvæða landsins (2 vikur). Lengstum tíma (12 vikum) er varið í rannsóknarverkefni nemenda þar sem þeir eru í einstaklingskennslu hjá leiðbeinendum sínum. Flestir nemendur koma með rannsóknargögn að heiman til úrvinnslu. Rannsóknarskýrslur nemenda eru allar birtar í Árbók Jarðhitaskólans sem er prentuð og dreift til fyrri nemenda, rannsóknarstofnana og orkufyrirtækja um allan heim. Í mörgum þróunarlöndum er bóka- og tímaritakostur mjög takmarkaður og árbækur Jarðhitaskólans einn helsti brunnur vitneskju um nýjar rannsóknaraðferðir í jarðhitafræðum. Árbókin er einnig birt á heimasíðu skólans (www.unugtp.is). Í mörgum þróunarlöndum er síma- og tölvubúnaður þannig að internetið kemur að litlu gagni, jafnvel fyrir starfsmenn rannsóknarstofnana og orkufyrirtækja.

Á heimasíðu Jarðhitaskólans (www.unugtp.is) er að finna lýsingu á fyrirkomulagi náms og á námsbrautum, svo og upplýsingar um hversu margir nemendur frá hinum ýmsu löndum hafa stundað nám á hverri braut. Á heimasíðunni má einnig finna ítarlegt erindi um starfsemi skólans fyrstu 25 árin (Ingvar Birgir Friðleifsson, 2003) og erindi fyrrum nemenda um framlag Jarðhitaskólans til jarðhitamála í Afríku (Mwangi, 2003), Asíu (Benito og Reyes, 2003), Kína (Zhao og fl., 2003), Mið- og Austur-Evrópu (Kepinska, 2003) og Mið-Ameríku (Barrios, 2003). Erindin er einnig hægt að finna á heimasíðu Jarðhitafélags Íslands (www.jarðhitafelag.is undir IGC 2003 papers).

Tafla 1: Flestir nemendur hafa komið frá Kína, Kenýa, Filippseyjum, El Salvador og Eþíópíu. Einn eða fleiri frá hverju landi hafa fengið sérþjálfun á flestum námsbrautum.

	Kína	Kenýa	Filippseyjar	El Salvador	Eþíópía
Jarðfræði		1		1	
Borholujarðfræði	3	4	4	1	3
Jarðeðlissfræði	1	9	5	2	4
Borholumælingar	2		4	2	1
Forðafræði	22	6	9	5	5
Jarðefnafræði	13	7	6	4	3
Umhverfisfræði	9	7		3	1
Jarðhitaverkfræði	13	3	3	4	6
Borverkfræði	2	4		3	2
Alls	65	41	31	25	25

3. Nemendur

Nemendur þurfa að hafa lokið háskólaprófi í raunvísindum eða verkfræði, hafa a.m.k. eins árs starfsreynslu í jarðhita í heimalandinu og vera þar í fullu starfi við jarðhita. Skólagjöld, ferðir og dagpeningar nemenda eru greiddir með styrkjum sem kostaðir eru af íslenskum stjórnvöldum og Háskóla Sp. Nemendur eru valdir með viðtölum í heimalöndum sínum. Árlega eru farnar nokkrar ferðir til samstarfslanda Jarðhitaskólans til að velja nemendur. Jarðhitasvæði eru skoðuð og lagt mat á jarðhitamöguleika landsins, stofnanir heimsóttar, rannsóknarstofur skoðaðar, samstarfsstofnanir valdar og lagt mat á þörf á þjálfun. Á árunum 1979-2007 hafa verið farnar 169 slíkar heimsóknir til samstarfslanda, að meðaltali 6 á ári. Þessar ferðir hafa tryggt góða nemendur og markvissa þjálfun sem er löguð að aðstæðum og þörfum hvers lands og þeim tækjabúnaði sem þar er að finna. Aðeins sjö nemendur (af 387) hafa ekki lokið námi, aðallega vegna veikinda.

Árin 1979-2007 hafa 380 jarðhitafræðingar frá 41 landi útskrifast eftir 6 mánaða nám við Jarðhitaskólann, þar af 62 konur (16%). Nemendur hafa komið frá Asíu (44%), Afríku (26%), Mið- og Austur-Evrópu (16%), og Mið-Ameríku (14%). Flestir hafa komið frá Kína (65), Kenýa (41), Filippseyjum (31), Eþíópíu (25), El Salvador (25) og Indónesíu (22). Í mörgum löndum hefur skólinn aðstoðað við að byggja upp sérfræðingahópa hjá einni til tveimur stofnunum og þjálfað fólk frá þeim á flestum eða öllum námsbrautum (Tafla 1). Einnig hefur skapast mikið samstarf milli nemenda og kennara á Íslandi svo og milli nemenda á sama sviði í mörgum löndum. Til að styðja enn frekar við stofnanir í nokkrum löndum hefur verið boðið upp á meistaranám í samvinnu við Háskóla Íslands frá 2000. Hefðbundið 6 mánaða nám við Jarðhitaskólann er metið til 15 eininga af alls 60 eininga MSc námi við raunvísindadeild og verkfræðideild Háskóla Íslands. Tíu nemendur Jarðhitaskólans hafa lokið meistaraþrófi og ellefu eru við meistaranám vorið 2008 í þessu samvinnuverkefni Háskóla Íslands og Jarðhitaskólans. Fyrstu tveir doktorsnemarnir koma haustið 2008.



Mynd 1: Árin 1979-2007 hafa 380 raunvísindamenn og verkfræðingar frá 41 landi útskrifast eftir sex mánaða sérhæft nám í Jarðhitaskólanum.



Mynd 2: Árið 2007 útskrifuðust 21 nemandi frá 14 löndum af 6 námsbrautum. Pau komu frá Albaníu, El Salvador, Erítreu, Eþíópíu, Indónesíu, Íran, Jórdaníu, Kenýa, Kína, Kostaríka, Níkaragva, Rússlandi, Tanzaníu og Úganda.

Nemendur Jarðhitaskólans eru leiðandi í jarðhitastarfsemi fjölmargra landa. Þetta kemur greinilega fram bæði innan viðkomandi landa og á alþjóðavettvangi. Margir nemendanna eru mjög virkir í alþjóðasamstarfi. Á Alþjóðajarðhitaráðstefnunni í Japan 2000 flutti t.d. 61 nemandi frá 24 löndum erindi, en nemendur skólans voru höfundar/meðhöfundar 85 greina í ráðstefnuritinu. Á Alþjóðajarðhitaráðstefnunni í Tyrklandi 2005 (Mynd 3) voru 104 nemendur skólans frá 26 löndum höfundar/meðhöfundar 144 greina af 705 í ráðstefnuritinu. Erindi þeirra skiptust á 23 af 24 tæknilegum málstofum ráðstefnunnar.



Mynd 3: Sjötíu og sjö fyrrum nemendur Jarðhitaskólans frá 25 löndum kynntu erindi sín á Alþjóðajarðhitaráðstefnunni WGC 2005 í Tyrklandi 2005.

4. Rekstur og skipulag

Jarðhitaskólinn var í upphafi rekinn innan Jarðhitadeildar Orkustofnunar (með aðskildu bókhaldi), en hefur frá 1997 verið rekinn sem sjálfstæð rekstrareining innan Orkustofnunar. Fastir starfsmenn voru þrír frá upphafi en sá fjórði bættist við 2007. Námsráð sér um faglega skipulagningu námsins og er einn námsstjóri ábyrgur fyrir hverri braut. Í námsráði eru sex jarðhitasérfræðingar Íslenskra orkurannsókna (ÍSOR), tveir prófessorar við Háskóla Íslands og einn jarðhitasérfræðingur frá Hitaveitu Suðurnesja. Námsráðið er faglegur burðarás starfseminnar. Kennarar og leiðbeinendur hafa í gegnum árin einkum komið frá Orkustofnun (60%) og Háskóla Íslands (20%), en einnig frá öðrum rannsóknarstofnunum, orkufyrirtækjum og verkfræðistofum. Eftir skipulagsbreytingar á Orkustofnun 2003 hefur mestur hluti kennslunnar (50%) verið hjá ÍSOR og Háskóla Íslands (30%). Skólinn greiðir árlega fyrir kennslu um 50 sérfræðinga. Skólinn hefur átt því láni að fagna að geta nánast alltaf boðið upp á landsliðið í jarðhitafræðum. Skólinn hefur notið mikils stuðnings og velvildar orkufyrirtækja og ber sérstaklega að nefna Hitaveitu Suðurnesja, Jarðboranir, Landsvirkjun, Norðurorku og Orkuveitu Reykjavíkur. Styrkur skólans felst í vönduðu vali á nemendum, hæfni kennaranna og gæðum þess starfsumhverfis sem námið fer fram í.

Samstarf við aðalstöðvar Háskóla Sp í Tókýó er einkum tengt stefnumótun í rekstrinum og vali á nemendum. Jarðhitaskólinn sér um að velja samstarfslönd og nemendur, en nemendavalsnefnd í Tókýó þarf að samþykkja valið. Forstöðumaður Jarðhitaskólans situr árlega fundi háskólaráðs og fundi forstöðumanna stofnana Háskóla Sp fyrir hönd íslensku skólanna (Jarðhitaskóla og Sjávarútvegsskóla, sem stofnaður var 1998). Rektor Háskóla Sp og háskólaráð hvetja mjög til eflingar starfseminnar á Íslandi.

5. Jarðhitanámskeið framlag til Púsaldarmarkmiða Sp

Á leiðtogaráðstefnu Sameinuðu þjóðanna um sjálfbæra þróun í Jóhannesarborg 2002 tilkynntu íslensk stjórnvöld að framlag Íslands til markmiða ráðstefnunnar yrðu jarðhitanámskeið í þróunarlöndunum sem kæmu til viðbótar starfsemi Jarðhitaskólans á Íslandi. Á ráðstefnu í Bonn 2004 var nánar kynnt að framlag Íslands til Púsaldarmarkmiða Sp (UN Millennium Development Goals) yrðu árleg jarðhitanámskeið í Afríku sem hæfust 2005, árleg námskeið í Mið-Ameríku sem hæfust 2006 og árleg námskeið í Asíu sem hæfust síðar.

Fyrsta námskeiðið fyrir Austur-Afríkulönd var haldið í Kenýa í nóvember 2005 (Workshop for Decision Makers on Geothermal Projects and their Management) í samvinnu við KenGen „landsvirkjun“ Kenýa (www.kengen.co.ke). Meðal þátttakenda voru margir æðstu stjórnendur orkumála í löndum A-Afríku. Eitt af markmiðum námskeiðsins var að gefa forsvarsmönnum orkumála í löndunum tækifæri til að kynnst persónulega og efla þannig samstarf landanna. Annað námskeiðið fyrir A-Afríkulönd var haldið í Kenýa í nóvember 2006 og fjallaði um yfirborðsrannsóknir á jarðhita. Þátttakendur voru 23 nemendur frá A-Afríku þjóðunum og 19 kennarar sem flestir vorum fyrrum nemendur Jarðhitaskólans (fyrir utan 4 Íslendinga). Námskeiðið var svo endurtekið, aukið og endurbætt í nóvember 2007 og sóttu það 30 nemendur og 25 kennarar. Ráðgert er að halda þessum námskeiðum áfram í nóvember 2008. Rætt hefur verið um að KenGen muni í framtíðinni reka Jarðhitaskóla fyrir A-Afríku undir merkjum Jarðhitaskólans. Alls hefur Jarðhitaskólinn útskrifað 100 nemendur frá 10 Afríkulöndum. Flestir (41) hafa komið frá Kenýa, en þar eru 19% raforkuvinnslunnar í jarðgufuvirkjunum. Fyrirlestrar námskeiðanna í Kenýa 2005 og 2007 er að finna á vefsíðu skólans (www.unugtp.is Workshops/Short Courses).



Mynd 4: Þátttakendur í námskeiði í Kenýa 2005 fyrir yfirmenn orkumála í A-Afríku um hvernig standa eigi að rannsóknum og nýtingu jarðhitasvæða. Meðal fyrirlesara voru átta fyrrum nemendur Jarðhitaskólans frá Afríku og fjórir Íslendingar.



Mynd 5: Þátttakendur í námskeiði í Kenýa 2007. Meðal fyrirlesara voru nítján fyrrum nemendur Jarðhitaskólans frá Afríku og fjórir Íslendingar.

Fyrsta námskeiðið fyrir Mið-Ameríkulönd var haldið í El Salvador í nóvember 2006 (Workshop for Decision Makers on Geothermal Projects in Central America) fyrir yfirmenn orku- og umhverfisráðuneyta, stjórnendur raforkufyrirtækja og rannsóknarstofnana og helstu jarðhitasérfræðinga El Salvador, Níkaragva, Kostaríka og Gvatemala. Jarðgufuvirkjanir eru í öllum löndunum. Þátttakendur í námskeiðinu voru rúmlega 50. Meðal þeirra voru viðskiptaráðherra El Salvador, umhverfisráðherra Níkaragva og námu- og orkumálaráðherra Gvatemala. Eitt aðalræðuefni námskeiðsins var nýting jarðhita innan og á jöðrum þjóðgarða og friðlanda, með sérstakri áherslu á umhverfissjónarmið. Námskeiðið var haldið í samvinnu við „landsvirkjun“ El Salvador LaGeo (www.lageo.com.sv). Fyrirlesarar komu frá áðurnefndum Mið-Ameríkulöndum, Íslandi, Mexíkó, Bandaríkjunum, Ítalíu, Kenýa og Filippseyjum.

Annað námskeiðið fyrir Mið-Ameríkulönd var haldið í El Salvador í nóvember 2007 (Short Course on Geothermal Development in Central America: Resource Assessments and Environmental Management). Þátttakendur voru 61 og komu frá El Salvador, Kostaríka, Gvatemala, Níkaragva, Hondúras, Mexíkó, Filippseyjum, Kenýa og Íslandi. Námskeiðið samanstóð af fyrirlestrum, verkefnatímum og vettvangsferðum til tveggja stærstu jarðgufuvirkjana El Salvador. Námskeiðið var sem fyrr haldið í samvinnu við LaGeo og mun því samstarfi verða haldið áfram næstu árin. Alls hefur Jarðhitaskólinn útskrifað 50 nemendur frá Mið-Ameríku. Flestir (25) hafa komið frá El Salvador, sem fær 22% sinnar raforku úr jarðhita. Erindi námskeiðanna í El Salvador 2006 og 2007 er að finna á vefsíðu skólans (www.unuogtp.is Workshops/Short Courses).



Mynd 6: Þátttakendur námskeiðsins í El Salvador 2007 skoðuðu m.a. jarðgufuvirkjunina í Berlín. Margir lykilstarfsmenn LaGeo hafa útskrifast úr Jarðhitaskólanum.

6. Framtíðarhorfur

Í áætlun um starfsemi Jarðhitaskólans 2008-2012 er gert ráð fyrir að aðalstarfsemi skólans verði áfram árleg 6 mánaða sérfræðinámskeið fyrir rúmlega 20 nemendur. Áformað er að fjölga nemendum í framhaldsnámi í samvinnu við Háskóla Íslands þannig að árlega hefji 6-8 meistaranám og 1-2 doktorsnám. Aðalaukningin í starfseminni verða þó jarðhitánámskeiðin í þróunarlöndunum, sem skýrt var frá hér að framan. Námskeiðin kunna að þróast yfir í sjálfbæra jarðhitaskóla á vegum stofnana í viðkomandi löndum með stuðningi Jarðhitaskólans. Óskir hafa komið fram um slíkt fyrirkomulag frá Indónesíu, Kenýa og Kína.

Eftir lagabreytingar á starfsemi Orkustofnunar síðustu árin á Jarðhitaskólinn nú fátt sameiginlegt með Orkustofnun fyrir utan gott húsnæði og bókasafn. Helstu samstarfsstofnanirnar eru ÍSOR og Háskóli Íslands.

7. Starfsemi Háskóla Sþ á Íslandi

Sjávarútvegsskóli Háskóla Sþ var stofnaður 1998 og vistaður í Sjávarútvegshúsinu hjá Hafrannsóknastofnun og Rannsóknastofnun fiskiðnaðarins (nú Matís ohf.). Kennarar og leiðbeinendur koma einnig frá Háskóla Íslands, Háskólanum á Akureyri og fleiri stofnunum og fyrirtækjum. Sjávarútvegsskólinn byggir um margt á reynslu Jarðhitaskólans og býður upp á 6 mánaða nám á 6 sérhæfðum námsbrautum. Starfsemin hefur gengið framúrskarandi vel. Skólinn hefur fyrstu 10 árin útskrifað 167 nemendur frá 31 landi. Skólinn hefur einnig staðið fyrir fjölmörgum námskeiðum í þróunarlöndunum. Upplýsingar um Sjávarútvegsskólann er að finna á vefsíðu hans www.unuftp.is.

Starfsemi Jarðhitaskólans og Sjávarútvegsskólans er umfangsmesta framlag Íslands til marghliða þróunaraðstoðar. Undanfarin ár hefur framlag til skólanna á fjárlögum aukist verulega og er samtals 361 mkr. í fjárlögum 2008. Skólarnir miðla þróunarlöndunum af reynslu Íslands við að nýta náttúruauðlindir á sjálfbæran hátt. Báðir skólarnir hafa skapað sér sess sem alþjóðleg öndvegissetur á fræðasviðum sem eru mikilvæg fyrir íslenska þjóð, þ.e. nýtingu jarðhitans og nýtingu fiskistofnanna. Aðsókn að skólunum er mikil frá öllum heimshornum. Árlega eru um 60 nemendur við sérfræðinámi í skólunum á Íslandi og yfir 200 á námskeiðum sem skólarnir halda í þróunarlöndunum. Háskólaráð Háskóla Sþ hefur í samþykktum sínum farið mjög lofsamlegum orðum um skólana og framlag Íslands til þróunaraðstoðar í sjálfbærri nýtingu auðlinda hafsins og jarðskorpunnar.

Í upphafi nýrrar aldar horfði alþjóðasamfélagið í auknum mæli og gerir enn til þess árangurs sem Íslendingar hafa náð í að nýta fiskistofna sína og endurnýjanlegar orkulindir. Samstarfið við Háskóla Sþ er kjörinn vettvangur fyrir Íslendinga til að miðla af reynslu sinni til þurfandi þjóða um víða veröld. Ákveðið hefur verið að stofna þriðja skólann á Íslandi í samvinnu við Háskóla Sþ, í landgræðslu, og hugsanlegt er að stofna fleiri skóla á sviðum þar sem Íslendingar skara fram úr á alþjóðavettvangi.

Miklar breytingar hafa orðið á starfsemi Háskóla Sþ undanfarna tvo áratugi. Mestur hluti starfsemi Háskóla Sþ fer nú fram í sjálfstæðum stofnunum undir nafni Háskóla Sþ í löndum Afríku, Asíu, Evrópu og N- og S-Ameríku. Aðalstöðvarnar eru sem fyrr í Japan og þaðan er starfseminni stjórnað. Skólarnir tveir á Íslandi hafa mun lakari stöðu innan stjórnkerfis Háskóla Sþ og innan kerfis Sameinuðu þjóðanna en þær sjálfstæðu stofnanir sem reknar eru undir nafni Háskóla Sþ í öðrum löndum. Þessu mætti auðveldlega kippa í lag með því að

setja á fót á Íslandi regnhlífastofnun undir nafni Háskóla Sp. Miðað við núverandi stofnanaumhverfi á Íslandi virðist hagkvæmast að slík stofnun, sem hefur vinnuheitid Auðlindaskóli Háskóla Sameinuðu þjóðanna, verði sjálfstæð stofnun (með eigin kennitölu) innan Háskóla Íslands. Háskóli Íslands er með margar sjálfstæðar stofnanir innan sinna vébanda.

Í drögum að lagafrumvarpi sem nefnd skipuð af utanríkisráðherra skilaði til ráðherra 2004 var sagt að stofnunin (Auðlindaskólinn) myndi reka tvo skóla, Jarðhitaskóla og Sjávarútvegsskóla. Utanríkisráðherra hefði hins vegar heimild til að semja um rekstur fleiri skóla í samræmi við markmið stofnunarinnar og í samráði við rektor Háskóla Sp. Jarðhitaskólinn yrði þó áfram í Orkugarði á Grensásvegi 9, því heppilegast er að nemendurnir vinni sem næst þorra kennara sinna hjá ÍSOR og í því rannsóknarumhverfi sem þar hefur skapast í áratugi. Háskóli Íslands og ÍSOR undirrituðu samstarfssamning á s.l. ári þar sem gert er ráð fyrir að nokkrir lykilsérfræðingar ÍSOR verði í hlutastörfum hjá Háskóla Íslands. Það sama myndi gilda um Sjávarútvegsskólann, sem yrði áfram rekinn í því rannsóknarumhverfi sem hentugast þætti. Í lagafrumvarpsdrögum sagði: “Hver skóli skal hafa sjálfstæðan fjárhag og vera vistaður í nábýli við lykilstofnanir á sínu sviði og gerir forstjóri (Auðlindaskóla Háskóla Sp) við þær samninga um samstarf og afnot aðstöðu“. Lagafrumvarpsdrögin voru rædd óformlega við rektor Háskóla Sp í Tókýó og hlutu stuðning hans.

Nýtt fyrirkomulag myndi auðvelda skólunum verulega aðgang að stofnananeti Sameinuðu þjóðanna og annarra alþjóðlegra stofnana. Jafnframt skapar það möguleika á að bjóða upp á rannsóknartengt nám í nafni Háskóla Sp á Íslandi á fleiri sviðum sjálfbærrar nýtingar náttúruauðlinda en nú, t.d. á sviðum landgræðslu, vatnamælinga eða líftækni tengdri auðlindanýtingu.

Með hinu nýja fyrirkomulagi yrði auðveldara fyrir íslenskar rannsóknarstofnanir og fyrirtæki að standa fyrir kennslu og rannsóknum í þróunarlöndunum sem hluta af marghliða þróunarsamstarfi Íslendinga. Slíkt yrði hægt að gera í nafni stofnunar Háskóla Sp á Íslandi án þess að til komi flókinn rammasamningur um tvíhliða þróunarsamtarf milli Íslands og viðkomandi lands. Slík verkefni geta verið heldur stór eða smá. Stofnun í nafni Háskóla Sp á Íslandi eykur verulega möguleika í marghliða þróunarsamstarfi Íslendinga í samstarfi við alþjóðastofnanir.

Auðlindaskóli Háskóla Sp gæti sett upp alþjóðlega vinnuhópa til að fjalla um einstök málefni sem lúta að sjálfbærri nýtingu náttúruauðlinda. Niðurstöður er hægt að birta í skýrslum, greinum eða bókum. Sumar hinna sjálfstæðu stofnana Háskóla Sp birta árlega niðurstöður alþjóðlegra sérfræðihópa sem fjalla um málefni á sviði viðkomandi stofnunar. Slíkar rannsóknir eru oft í samvinnu við og studdar fjárhagslega af alþjóðastofnunum og/eða framlögum einstakra ríkja. Auðlindaskóli Háskóla Sp gæti á þennan hátt gengist fyrir fræðilegri úttekt á málefnum sem stofnunin og samstarfsaðilar innlendir sem erlendir telja áhugavert að sinna. Með þessu móti skapast marghliða þróunarsamstarfi Íslendinga aukið svigrúm til alþjóðlegrar forustu um sjálfbæra nýtingu náttúruauðlinda með sérstakri áherslu á hag þróunarríkjanna.

Heimildir

Barrios M., L.A.: Contribution of UNU-GTP training to geothermal development in Central America – Mexico. Proceedings of the International Geothermal Conference IGC-2003 on Multiple Integrated Uses of Geothermal Resources, Reykjavik, Iceland. Session 2, bls. 11-21.

Benito, F.A. and Reyes, A.N.: Contribution of UNU-GTP training to geothermal development in Asian countries. S02/22-31. Proceedings of the International Geothermal Conference IGC-2003 on Multiple Integrated Uses of Geothermal Resources, Reykjavik, Iceland. Session 2, bls. 22-31.

Ingvar Birgir Friðleifsson, 2003. Twenty five years of geothermal training in Iceland. Proceedings of the International Geothermal Conference IGC-2003 in Multiple Uses of Geothermal Resources, Reykjavik, Iceland. Plenary session 1, bls.4-21.

Kepinska, B.: Contribution of UNU-GTP training to geothermal development in Central and Eastern European countries. Proceedings of the International Geothermal Conference IGC-2003 on Multiple Integrated Uses of Geothermal Resources, Reykjavik, Iceland. Session 2, bls. 40-51.

Mwangi, M.N.: Contribution of UNU-GTP training to geothermal development in Africa. Proceedings of the International Geothermal Conference IGC-2003 on Multiple Integrated Uses of Geothermal Resources, Reykjavik, Iceland. Session 2, bls. 1-10.

Zhao Ping, Wang Kun and Liu Jiurong: Contribution of UNU-GTP training to geothermal development in China. Proceedings of the International Geothermal Conference IGC-2003 on Multiple Integrated Uses of Geothermal Resources, Reykjavik, Iceland. Session 2, bls. 32-39.