

## Bragi Árnason – Erindi við formleg starfslok við HÍ

Þegar ég lauk menntaskólanámi vorið 1955 hafði ég ákveðið að fara í nám í efnafræði og hófst þegar handa um að sækja um skóla erlendis, en á þeim tíma var engin efnafræði kennd við Háskóla Íslands nema eitt námskeið fyrir læknanema og líklega annað fyrir byggingarverkfræði nema. Þýskaland varð fyrir valinu vegna þess að á þeim tíma var það lang ódýrasta landið. Hvers vegna München varð fyrir valinu frekar en einhver önnur borg held ég að hafi verið að mestu leyti tilviljun. Ef til vill hefur þó ráðið þar nokkru að heiðursmaðurinn Ingvar Brynjólfsson, sem hafði kennt mér þýsku í menntaskóla og aðstoðaði mig við að ganga frá skólaumsókn, hafði stundað nám í München og lét afar vel af borginni.

Haustið 1955 hóf ég síðan nám við Technische Hochschule í München. Þetta var hefðbundið efnafræðinámið á þeirra tíma mælikvarða og námsferill minn var ósköp venjulegur. Ég lauk svonefndri Hauptdiplom gráðu fyrri hluta árs 1961 og hóf strax í beinu framhaldi af því doktorsnámi, sem allt útlit var fyrir að ég mundi ljúka á næsta hefðbundin hátt í fyllingu tímans. En fljótlega eftir að ég hóf doktorsnámið tóku að gerast hlutir sem ollu straumhvörfum á námsferli mínum. Ég skal gera nokkra grein fyrir þessu.

Þegar ég hafði verið rúmlega eitt ár í námi sótti ég um þýskan námsstyrk, svonefndan DAAD styrk, en á þeim tíma veittu þjóðverjar talsvert af slíkum styrkjum til erlendra námsmanna. Ég bjóst satt að segja ekki við að fá styrkinn þar sem námsárangur minn til þess tíma gat varla talist mikið meira en þokkalegur ef til vill örlítið betri. En styrkinn fékk ég og hann var það ríflegur að með því að lifa reglusömu lífi nægði hann vel fyrir öllum kostnaði. Auk þess fékk maður nokkra peninga í jólagjöf sem var þá hægt að nota til að sletta úr klaufunum. Reyndar hélt ég áfram að fara heim í fríum og vann þá í raflínuflokkum í sumarfríum og á togurum í vetrarfríum, þannig að kona mín gat verið með í München nokkurn hluta námstímans.

Styrkurinn var veittur til eins árs en það var auðvelt að fá hann framlengdan ár eftir ár, ef hægt var að sína fram á eðlilega námsframvindu. Framlengingin fór þannig fram að á hverju ári kom fulltrúi stofnunarinnar sem veitti styrkin til München, heimsótti háskólan og kynnti sér hver væri námsframvindan og ef hún reyndist fullnægjandi þá bauð hann mér í kvöldmat og tilkynnti að styrkurinn yrði framlengdur. Hann bauð mér alltaf á sama veitingarstaðin og alltaf upp á sama matinn sem var gæsalifur. Honum hlýtur að hafa þótt gæsalifur góð.

Þá er frá því að segja að nokkru eftir að ég er byrjaður í doktorsnámi, nánar tiltekið síðla sumars 1961, kemur náunginn enn í heinsókn, býður mér í gæsalifur og spyr hvernig námið gangi. Ég sagði sem var að ég hafi lokið Hauptdiplom gráðu og sé nú byrjaður í doktorsnámi. Við þessar fréttir bregður honum augljóslega nokkuð og segir að því miður geti ég ekki fengið styrkinn lengur þar sem ekki megi veita hann til framhaldsnáms, en bætir við að ég muni þó ekki verða krafín um endurgreiðslu fyrir þá mánuði sem ég sé búin að vera í doktorsnámi.

Þarna stóð ég sem sagt óvænt uppi helur auralítill. Þegar ég ræddi þetta daginn eftir við prófessorinn sem ég var hjá taldi hann að einhver ráð ættu að vera með að útvega styrk. Nokkru síðar kom hann svo og sagðist vera kominn með vilyrði fyrir styrk frá katólskum samtökum í München, sem ég kann ekki frekari skil á, en þessi styrkur kæmi ekki til greiðslu fyrr en í ársbyrjun 1963. Það varð því að samkomulagi með okkur að ég færi heim til Íslands til að vinna árið 1962, en gæti síðan snúið til baka þegar ég fengi styrkinn. Þetta reyndist býsna örlagarík ákvörðun.

Skömmu eftir að ég kom heim hafði samband við mig Þorbjörn Sigurgeirsson prófessor, sem jafnframt var forstöðumaður Eðlisfræðistofnunar háskólans, sem síðar varð hluti af Raunvísindastofnun Háskólans. Tjáði hann mér að þeir hjá eðlisfræðistofnun væru að leita að efnafræðingi til að sinna tvenns konar verkefnum.

Annað verkefnið var að undirbúa sýni til mælinga þannig að unnt væri að mæla í þeim magn geislavirku samsætanna Cs-137 og Sr-90 sem komu frá kjarnorkusprengjum, en á þessum tíma voru tilraunir stórveldana með kjarnorkusprengjur í andrúmsloftinu í algleymingi. Voru menn orðnir talsvert uggandi yfir því hvað magn þessara geislavirku efna fór ört vaxandi í umhverfinu, var jafnvel talið að geislunin væri tekin að nálgast hættumörk á vissum svæðum jarðarinnar. Þessum mælingum var haldið reglulega áfram í allmörg ár en smám saman tóku þær að dragast saman eftir því sem dró úr tilraunum með kjarnorkusprengjur í andrúmsloftinu. Þá voru einnig komnar til sögunnar Geislavarnir ríkisins, en hlutverk þeirrar stofnunar var meðal annars það að annast reglulegar mælingar á geislavirkni umhverfisins.

Hitt verkefnið var að byggja upp og reka þá nýlega þróaðan tækjakost til að mæla hlutfall stöðugra samsæta í vatni, svonefndan massagreini. Þá þegar höfðu verið mæld í Bandaríkjunum allmörg grunvatnssýni sem safnað hafði verið á Íslandi. Niðurstöður þeirra mælinga benntu sterklega til þess að með slíkum mælingum mætti fá allgóða vitneskju um uppruna

og eðli jarðhita á Íslandi og rennslisleiðir neðanjarðar, vitneskju sem ekki væri hægt að afla með öðrum aðferðum. En til þess að svo mætti verða yrði að koma upp nauðsynlegri rannsóknaraðstöðu á Íslandi. Og þegar hér var komið sögu hafði fengist rausnarlegur styrkur frá Alþjóða Kjarnorkustofnuninni í Vín til að smíða massagreini. En þá fengust slík tæki ekki keypt tilbúin eins og nú er.

Alþjóða Kjarnorkustofnunin reyndist okkur oftast harkur í horni því hún fjármagnaði síðar djúpbörun í Bárðarbungu á Vatnajökli, en þar tókst okkur að ná upp ískjarna sem spannaði nokkur hundruð ár aftur í tímann og veitti gífurlega þýðingarmiklar upplýsingar þegar kom að því að túlka niðurstöður grunnvatnsmælinganna. Fyrir þessa aðstoð kvittaði ég með því að skrifa kafla í bók sem Alþjóða Kjarnorkumálastofnunin gaf út, en hún fjallaði um þýðingu samsætumælinga fyrir vatna- og jöklafræðirannsóknir. Og eftir að doktorsritgerð mín kom út veitti stofnunin okkur enn 15 milljón króna styrk til að kaupa nýjan mjög fullkomin massagreini sem er í stöðugri notkun.

Mér fannst einkum þetta síðara verkefni spennandi. Þarna var að koma til sögunnar ný tækni sem hugsanlega yrði þegar tímar liðu eitt öflugsta vopnið sem við ættum yfir að ráða til að skilja uppruna jarðhitans og sú varð reyndar raunin. Ég fór því fljótlega að hugsa eithvað á þessa leið.

Verkefni mitt í doktorsnáminu í München felst einkum í því að smíða lífræn efnasambönd, sem aftur má nota til að smíða svonefnd keton efnasambönd eftir nýjum leiðum. Þetta er að vísu áhugvert, en ef ég ætla mér að snúa til Íslands til starfa að loknu námi er vægast sagt hæpið að sú þekking sem ég kynni að afla í doktorsnáminu kæmi að miklum notum hér heima. Ætli ég heim að loknu námi og finna verkefni sem einkum tengjast íslenskum aðstæðum er eins gott að ég fari því heim núna og hætti framhaldsnámi í München. Og sú varð niðurstaðan. Reyndar varð það til þess að það dróst í 14 ár að ég hlyti doktorsgráðu, doctor scientiarum, sem þá var veitt í annað sinn frá Háskóla Íslands.

Á árinu 1962 var ég 6 mánuði í starfsþjálfun í Danmörku fyrst við Kaupmannahafnarháskóla en síðan við Kjarnorkurannsóknarstofnunina á Risö. Síðan kom ég heim og þá var hafist handa við geislafræðingarnar, en Páll Theodorsson mældi sýnin eftir að ég hafði undirbúið þau. Jafnframt var hafist handa við að setja upp massagreinin, en að því komu fleiri heiðursmenn. Hluti tækisins var smíðaður í Bandaríkjunum undir stjórn Irving Friedmans sem hafði áður smíðað frumgerðina að tækinu. Irving Friedman var nemandi Harold Urey's þess sem uppgötvaði þungt vatn árið 1932 og hlaut fyrir það Nóbelsverðlaun.

Rafeindabúnaðurinn var hins vegar smíðaður hér af Erni Garðarsyni rafmagnsverkfræðingi, sem skilaði í þeim efnum frábærum árangri. Í rafeindabúnaðinum í amerísku frumgerðinni voru notaðir útvarpslampar. Örn tók hins vegar þá ákvörðun að nota transistora, sem þá voru að koma til sögunnar. Þetta leiddi til þess að massagreininir okkar varð miklu betra mælitæki en ameríska frumgerðin.

Um það bil tveim árum eftir að við hófumst handa um að setja saman massagreinininn var hann loks tilbúinn til notkunnar. Þá tókum við að mæla í stórum stíl hlutfall vetnissamsæta í hvers kyns vatni og í ís úr jöklum, jarðhitagasi og gasi í eldgosum. Á næstu 10 árum eða svo voru mældar margar þúsundir sýna og tókst að afla margvíslegra mikilvægra upplýsinga. Í fyrsta lagi var endanlega sannað að heitt grunnvatn var komið úr úrkomu en ekki úr hraunkviku í iðrum jarðar, en um þetta var deilt á fyrri hluta aldarinnar.

Vatnið seytleiðir niður í bergið allt niður á 3 km dýpi, hugsanlega enn dýpra, og hitnaði vegna hitastreymis upp í gegnum bergið. Mestur hluti heita vatnsins féll sem úrkoma á hálendi landsins en síðan streymdi það neðan jarðar í átt til láglandisins og jafnvel neðan sjávar undir hafsbotni út í eyjar undan ströndum landsins. Þar streymdi það aftur upp á yfirborðið og birtist í hverum eða borholum. Vatn fárra jarðhitasvæða var þó ætíð úr staðbundinni úrkomu. Þessar niðurstöður leiddu til þess að mögulegt reyndist að teikna kort sem sýndi megin rennslisleiðir allra þá þekktra jarðhitakerfa landsins. Svo ég nefni einhver dæmi þá er heita vatnið í Laugardalnum í Reykjavík ætíð af Botnssúlusvæðinu og heitt vatn í borholum á Húsavík er að uppruna úrkoma sem féll á Vatnajökul. Til viðbótar tókst einnig að kortleggja rennslisleiðir ýmissa kaldra grunnvatnskerfa, til dæmis í Ódáðahrauni.

En þessar mælingar veittu meiri upplýsingar um heita vatnið. Þannig tókst, með því að bera saman samsætuhlutfall heita vatnsins í hinum ýmsu vatnskerfum og samsætuhlutfall ískjarna sem teknir höfðu með borun gegnum Vatnajökul og Grænlandsjökul, að ákveða rennslishraða heita vatnsins neðanjarðar. Svo tekið sé dæmi þá tekur það heita vatnið af Botnssúlusvæðinu um það bil 1000 ár að renna til Reykjavíkur. Hluti Reykvíkinga er því að baða sig í vatni ættuðu úr skúrum sem féllu á landnámsmenn þegar þeir sigldu upp að landinu. Og vatnið í holunum á Húsavík er úrkoma á Vatnajökul á síðustu ísöld.

Þessar rannsóknir voru að sjálfsögðu aðeins hluti af mjög umfangsmiklum jarðhitarannsóknum sem fram fóru á þessum árum. En

allar þessar ransóknir höfðu þegar hér var komið sögu veitt nokkuð góða vitneskju um stærð þeirrar orkulindar sem jarðhitinn er.

Það er nú svo að þegar maður vinnur í háskólaumhverfi og við blasir sú staðreynd að þrátt fyrir það að Íslendingar hafi aðeins virkjað lítið brot af tiltækum aðgengilegum orkulindum þá flytji þeir inn 45% af allri orku sem notuð er í landinu, þá verður varla hjá því komist að fara að hugsa sem svo: Er ekki hægt að breyta þessu og nýta á einhvern hátt innlendar orkulindir til að framleiða í landinu eldsneyti sem gæti komið í stað þess eldsneytis sem flutt er til landsins.

Og þar með, frá árinu 1978 eða þar um bil, hófst nýr þáttur á starfsferli mínum.

Fyrst í stað voru athugaðir möguleikar á framleiðslu ýmissa eldsneytistegunda svo sem tilbúins bensíns, methanols, ammoníaks og vetnis, en öllum þessum eldsneytistegundum má í raun brenna í hefðbundnum brunavélum. Við gerðum meira segja tilraun þar sem volkswagen vél var keyrð á ammóníaki og síðar keyrðum við, í samvinnu við háskólann í Knoxville í Tennessee, Caterpillar jarðgasvél á ammoníaki og síðar á Íslandi þessa sömu vél á vetni, í báðum tilfellum með góðum árangri. Að sjálfsögðu komu fleiri innlendir aðilar en ég að þessum ransóknum. Ég vona að ég móðgi engann þá ég nefni hér sérstaklega starfsbræður mína þá Valdimar K. Jónsson, Þorstein I. Sigfússon, Pál Valdimarsson, Runólf Valdimarsson og síðast ekki síst læriföður minn Þorbjörn Sigurgeirsson, en auk þess komu að þessu starfsmenn Áburðarverksmiðjunnar og Vélskóla Íslands.

Þótt í upphafi hafi verið athuguð framleiðsla margvíslegra eldsneytistegunda beindist athyglin æ meira að vetni þegar frá leið og eftir að svonefndir efnarafalar slógu í gegn árið 1993 höfum við að lang mestu leiti beint athugunum okkar að framleiðslu vetnis og notkun þess sem eldsneyti fyrir efnarafala.

Nú er eðlilegt að menn vilji spyrja sem svo: Til hvers er verið að þessu ? Hvaða árangur hefur náðst ? Og hvert er endanlegt markmið ?

Ég ætla að reyna að svara þessum spurningum með eftirfarandi erindi sem ég flutti í Lissabon í Portugal í janúar á síðasta ári. Það var reyndar ekki ómerkari maður en Georg Schulz fyrverandi utanríkisráðherra Bandaríkjanna, sá sem kom með Reagan til Íslands hér um árið að hitta Gorbachev, sem hringdi í mig og spurði hvort ég væri til í að koma til Portugal og kynna þar vetnisvæðingarform Íslendinga, á fjölbjóðlegum

fundi leiðandi manna um tækniþróun í heiminum. Í tilefni dagsins hefi ég hefi snarað erindinu á íslensku, en mér hefur stundum verið legið á hálsi að íslenska mín hafi verið dálítið enskuskotin í kennslustundum.

## ERINDI

Ég skal nú fara að ljúka þessu en langar þó að bæta nokkru við að lokum:

Ég held að ekki sé ofsagt að vetnisverkefnið hefur hlotið óskipta athygli vít og breytt um heimin.

Ekkert lát hefur verið á heimsóknum fréttamanna frá erlendum fjölmiðlum, sjónvarpi, útvarpi, tímaritum og dagblöðum. Ég leyfi mér að halda fram að stór hluti þekktustu sjónvarpsstöðva heimsins hafi sent hingað starfsmenn sína til að gera sjónvarpsþætti um vetnisvæðingaráform Íslendinga. Í þeim þáttum kemur yfirleitt rækilega fram að Ísland, með Háskóla Íslands í fararbroddi, sé leiðandi í fyrirhugaðri vetnisvæðingu heimsins. Ég hefi ekki haldið skrá yfir allar sjónvarpsstöðvar, sem sent hafa hingað fréttamenn, en get nefnt hér sem dæmi ameríska sjónvarpið CNN, breska sjónvarpið BBC sem hefur gert 3 þætti, kanadíska sjónvarpið CBC, ástralska sjónvarpið ABC, Discovery channel, World Watch Institute, þýskar, franskar og ítalskar sjónvarpsstöðvar, ein swissnesk, ein sænsk, tvær frá Suður Kóreu og tvær japanskar stöðvar.

Hingað hefur einnig verið mikill straumur fræðimanna og stjórnenda stórfyrirtækja til að fræðast um vetnisáform Íslendinga. Svo tekin séu tvö dæmi: Fyrir um það bil ári komu hingað forsvarsmenn stærstu bílaframleiðenda og stórfyrirtækja í Japan með aðstoðarmann japanska forsætisráðherrans í fararbroddi. Litlu síðar komu hingað nokkrir borgarfulltrúar og embættismenn frá Joetsu City í Japan, en sú borg er að hefja framleislu vetnis úr lífmassa og þar huga menn að stofnun fyrirtækis í anda Íslenskrar NýOrku. Og í september á síðasta ári komu í heimsókn borgarstjórar frá þó nokkrum borgum í Japan.

Ég gerði mér til gamans fyrir nokkru að telja nafnspjöld þeirra erlendu aðila sem hafa komið í heimsókn, gagngert til að kynna sér vetnisrannsóknir við Háskóla Íslands og vetnisvæðingaráform Íslendinga. Nafnspjöldin reyndust 354.

En hvornig stendur á þessum mikla áhuga ? Ég held að skýringuna megi rekja til eftirfarandi:

Ég held að flestar þjóðir séu nú farnar að sjá fram á það að mannkynið verði, hvort sem því líkar betur eða verr, að taka á næstunni að virkja í stórauðnum mæli flestar tiltækar endurnýjanlegar orkulindir.

Íslendingar, sem eiga mikla ónýttu vatnsorku og jarðhita sem tiltölulega hagkvæmt er að virkja, þurfa ekki að bíða eftir að virkjun sólgeislunar verði hagkvæm. Þeir geta því hafið vetnisvæðinguna nú og hafa í raun gert það með opnun fyrstu vetnisstöðvarinnar og tilraunarekstri þriggja vetnis strætisvagna.

Þótt Íslendingar séu fámenn þjóð í litlu landi eru flest skilyrði og innviðir samgöngukerfisins að mestu eins og hjá stórþjóðunum.

Það er því ekki óeðlilegt að menn hugsi sem svo: Ísland er augljóslega kjörið tilraunaland til að hefja vetnisvæðinguna. Þar er tiltölulega lítið mál að byggja upp nauðsynlega innviði þar sem hægt er að prófa og endurbæta nauðsynlega tækni, þannig, að þegar svo er komið að hagkvæmt verður að hefja virkjun sólarorku í stórum stíl, þá verði tiltölulega auðvelt að nýta og yfirfæra reynslu og þekkingu sem aflað hefur verið á Íslandi yfir á stærri samfélög.

Það er að vísu ánægjulegt þegar störf unnin við Háskóla Íslands vekja mikla alþjóðlega athygli eins og það sem hér um ræðir. Það eykur hróður skólans og skipar honum virðingarsess í alþjóða háskólasamfélaginu og er því af hinu góða. Slík almenn athygli er þó fjarri því að vera mælikvarði á vísindalegt gildi þess sem best er gert við Háskóla Íslands.

Mér hefur á undanförunum árum oft blöskrað umfjöllun og hástemdar lýsingar fjölmiðla á vetnisverkefninu.

Þótt þetta verkefni sé allra góðra gjalda vert er það að mínu mati ekki í flokki sem við skilgreinum sem hágæða háskólarannsóknir, og langt í frá að teljast til þess sem best er gert við Háskóla Íslands. Hér hefur fyrst og fremst verið um það að ræða að safna saman þekkingu sem er til staðar og fella hana að íslenskum aðstæðum. Satt best að segja þá þykir mér í raun vænna um grunnvatnsrannsóknir mínar frá fyrri árum. Þar var í raun verið að afla nýrrar þekkingar.

Rektor, fundarstjóri og aðrir gestir.

Ég þakka bæði rektor og Ingvari vinsamleg orð í minn garð. Það er ekki oft að menn eiga þess kost hlíða á minningarorð um sig áður en þeir h rökkva upp af.

Frá því ég hóf störf við Háskólann fyrir 43 árum hefur að stundum gerst þegar menn láta af störfum sakir aldurs, að haldin hefur verið samkoma þar sem viðkomandi hefur hafið upp einskona svanasöng. Þá hafa menn oft rakið í grófum dráttum starfsferil sinn og að auki raupað nokkuð af ágæti verka sinna. Það varð því úr þegar efnafræðiskor óskaði eftir því að ég flytti kveðjuerindi að ég féllst á að verða við beiðni skorarinnar. Mér fanst fannst ég varla getað neitað því fyrst skorin vildi halda það hátíðlegt að hún er að losna við mig.

## **Rannsóknir á íslenskum grunnvatnskerfum og eldsneytisrannsóknir við Háskóla Íslands.**

### **Megindrættir 45 ára rannsóknarferils**

#### **Bragi Árnason Raunvísindastofnun Háskólans**

Ingangur, fáein orð um samskipti okkar Sigmundar Guðbjarnasonar:

Vegna þess hvert er tilefni þessa rits vil ég hafa hér lítin inngang að kynnum okkar Sigmundar.

Ég kynntist Sigmundi Guðbjarnasyni fyrst þegar ég kom til Þýskalands 1955 og hóf þar nám í enafræði við Technische Hochschule München, en Sigmundur var þá um það bil hálfnaður með sams konar nám. Í München lágu leiðir okkar saman í nokkur ár eða þar til Sigmundur að loknu doktorsnámi hélt til Íslands þar sem hann starfaði um skeið við sementsverksmiðjuna á Akranesi. Frá Akranesi hélt hann síðan til Bandaríkjanna þar sem hann stundaði rannsóknir um árabíl uns hann var



skipaðu prófessor við verkfræði og raunvísindadeild Háskóla Íslands, en áður hafði hann hlotið ráðningu í fasta stöðu prófessors við bandarískan háskóla.

Þegar Sigmundur hóf störf við Háskóla Íslands lágu leiðir okkar aftur saman og næstu árin áttum við náið samstarf við að byggja upp efnafræðikennslu við efnafræðiskor verkfræði og raunvísindadeildar. Upphaf þessa starfs var erfitt þar sem við vorum þá nánast einu kennarar efnafræðiskorar og urðum að skipta milli okkar kennslu í flestum fræðigreinum efnafræðinnar, en þá reyndist okkur gott undirstöðunám við háskólann í München ómetanlegt. Fámennið hafði líka vissa kosti. Til dæmis fór ekki mikill tími í umræður á fjölmennum skorarfundum eins og nú er. Ég tel mig mega fullyrða að ýmsar veigamiklar ákvarðanir hafi verið teknar á “skorarfundum” í útidyrum Raunvísindastofnunar Háskólans, þegar annar var að koma en hinn að fara.

Ég ætla mér ekki að tíunda hér vísindaafrek Sigmundar, tel mig reyndar ekki þafa þekkingu til þess. Mér er þó vel kunnugt að með rannsóknum sínum hefur Sigmundur skipað sér sess á alþjóðlegum vetfangi meðal virtustu fræðimanna á þeim fræðasviðum sem tengjast rannsóknum hans.

Þess í stað mun ég hér á eftir reyna í stuttu máli að lýsa eigin starfsferli og til hvers þær rannsóknir hafa leitt. Ég held að sá árangur sem þar hefur náðst, hvort sem hann er góður eða slæmur, sé dæmi um það hvað algjört rannsóknafrelsi háskólakennara er þýðingarmikið í starfi háskóla. Að þeir hafi frelsi til að snúa sér að viðfangsefnum sem rannsóknir þeirra hafa leitt í ljós og þeir telja áhugavert að kanna betur enda þótt það kunni að vera á öðru sviði en fyrri rannsóknir.

Reyndar held ég að starfsferill Sigmundar sé sláandi dæmi um mikilvægi rannsóknafrelsis kennra við hvern háskóla.