

JARÐFÆÐAFÉLAG ÍSLANDS

**DAGSKRÁ OG  
ÁGRIP**

**RÁÐSTEFNA UM JARÐFRÆÐI  
OG UMHVERFISMÁL**

**12. APRÍL 1991**

Haldin að Hótel Loftleiðum, Reykjavík.

**DAGSKRÁ**

9:00 - 9:10	RÁÐSTEFNAN SETT. Stefán Arnórsson.
I/II. Uppblástur og jarðvegseyðing/Náttúrhamfarir.	FUNDARSTJÓRI: Jón Eirksson.
9:10 - 9:30	JARÐVEGSEYÐING, ROFGERÐIR OG ÁHRIF JARÐVEGSPÁTTA. Ólafur Arnalds.
9:30 - 9:50	ORSAKIR JARÐVEGSEYÐINGAR. Grétar Guðbergsson.
9:50 - 10:10	JARÐVEGSMYNDUN Í NÁGRENNI HEKLU. Bryndís G. Róbertsdóttir.
10:10 - 10:30	SJÁVARFLÓÐ VIÐ ÍSLAND, DÆMI UM ÁHRIF UMHVERFISINS Á LANDNOT OG VANNÝTINGU Á JARÐFRÆÐILEGRI PEKKINGU. Páll Imsland.
10:30 - 10:50	KAFFIHLÉ
III. Jarðrask og landnýting.	FUNDARSTJÓRI: Auður Andréasdóttir.
10:50 - 11:10	FRAMKVÆMDIR OG NÁTTÚRUVERND. Davíð Egilsson.
11:10 - 11:30	UMHVERFISÁHRIF MANNVIRKJAGERÐAR OG LANDNÝTING. Þorleifur Einarsson.
11:30 - 11:50	FALLVÖTN OG LANDBROT. Davíð Egilsson og Freysteinn Sigurðsson.
11:50 - 13:10	MATARHLÉ
IV. Náttúruleg efnamengun.	FUNDARSTJÓRI: Trausti Jónsson.
13:10 - 13:30	JARÐHITI OG UMHVERFI. Halldór Ármannsson.
13:30 - 13:50	MAT Á NÁTTÚRULEGU STREYMI CO <sub>2</sub> OG H <sub>2</sub> S FRÁ HÁHITASVÆÐUM ÍSLANDS. Stefán Arnórsson.
13:50 - 14:10	EFNA-OG VARMAMENGUN GRUNNVATNS VIÐ AUSTANVERT MÝVATN AF VÖLDUM ELDVIRKNI Í KRÖFLU- ELDSTÖÐVARKERFI. Magnús Ólafsson og Hrefna Kristmannsdóttir.
14:10 - 14:30	EFNASAMSETNING ÚRKOMU Á VATNAJÖKLI OG EFNABREYTINGAR SAMFARA HLUTBRÁÐNUN SNÆVAR. Sigurður Reynir Gíslason.
14:30 - 14:50	MÆLINGAR Á KVIKASILFRI OG BRENNISTEINSTVÍOXÍÐI Í ANDRÚMSLOFTI YFIR JARÐHITASVÆÐUM. Hrefna Kristmannsdóttir, Jón Örn Bjarnason og Kristján H. Sigurðsson.
14:50 - 15:10	KAFFIHLÉ

**V. Efnamengun af mannavöldum.**  
FUNDARSTJÓRI: Elsa Vilmundardóttir.

- 15:10 - 15:30 MENGUN Í ANDRÚMSLOFTINU. *Hreinn Hjartarson.*
- 15:30 - 15:50 ÓSONGATIÐ OG EFNAFRÆÐI ÓSONEYÐINGAR.  
*Ágúst Kvaran.*
- 15:50 - 16:10 VATNSVERND OG JARÐLEKT. *Freysteinn Sigurðsson.*
- 16:10 - 16:30 MENGUN GRUNNVATNS Á ROSMHVALANESI. *Snorri P.*  
*Snorrason.*

## JARÐVEGSEYÐING, - ROFGERÐIR OG ÁHRIF JARÐVEGSPÁTTA.

Ólafur Arnalds, Rannsóknastofnun landbúnaðarins, Keldnaholti.

Jarðvegseyðing er af mörgum talin alvarlegasti umhverfisvandi þjóðarinnar. Eyðingin er líklega meiri á Íslandi en viðast annars staðar utan eyðimerkursvæða. Jarðvegseyðing verður með margvislegum hætti og nauðsynlegt er að flokka ferli eða gerðir hennar. Slík flokkun er forsenda þess að skýra með hvaða hætti jarðvegur eyðist á Íslandi og til að gera kortlagningu á jarðvegseyðingu mögulega. Í erindinu er sagt frá nokkrum megingerðum jarðvegseyðingar á Íslandi og rætt um vandamál við flokkun þeirra.

Hægt er að skilgreina jarðvegseyðingu á marga vegu, en hér er hún skilgreind sem losun og flutningur á jarðvegsefnunum er rýrir skilyrði gróðurs til vaxtar eða kemur í veg fyrir að gróður nemir land. Ferli jarðvegseyðingar eru mörg og fleiri en eitt ferli geta verið að verki á hverjum stað. Þá eru mörg rofferli í íslenskri náttúru lítið þekkt eða óljós. Því var talið æskilegast að flokka gerðir (form) jarðvegseyðingar eftir landslagseinkennum (Ólafur Arnalds 1990). Slíka nálgun hafa nýsjálendingar og fleiri notað (Eyles 1985) við kortlagningu jarðvegseyðingar.

Helstu gerðir jarðvegseyðingar sem sagt er frá eru áfoksgeirar, rofabörð, rofdílar, vatnsrásir og skriður. Einnig er minnst á vandamál er fylgia því að reyna að flokka jarðskrið og jarðvegseyðingu á ógrónu landi. *Afoksgeirar* myndast við aðflutning áfoksefna, og eru stærstu svæðin fyrir sunnan Langjökul, Heklu-Tungnárvæðið (sem nær niður á Rangárverlli og Land), og á Norðausturlandi. Margvisleg ferli eyða jarðvegi við rofabörð, enda þótt vindrof sé oft aðal rofaflíð. Af öðrum ferlum við rofabörð má nefna vatnsrof af ýmsum gerðum, myndun ísnála ofl. Rofabörð hafa mest verið rannsókuð af ofantöldum rofgerðum. Einnig hafa margir jarðfræðingar rannsakað áffokssögu jarðvegs, með það fyrir augum að rekja uppblásturssögu. Rannsóknir á öðrum rofferlum og gerðum (t.d. skriðum, rofdílum, jarðskriði og vatnsrofi) hafa verið takmarkaðar enda þótt slíkt rof sé mjög alvarlegt viða um land. Mörg flokkunarkerfi eru til fyrir slík ferli, t.d. flokkun Varnes (1978) á skriðum og flokkun Lewkowicz (1988) á jarðskriði. Flokkun ógróins lands með tilliti til eyðingar er mörgum vandkvæðum háð. Þar eiga sér þó stað ferli jarðvegseyðingar sem hindra náttúrulega gróðurframvindu enda þótt fræ kunni að vera til staðar.

Margt veldur því að íslenskum jarðvegi er hætt við eyðingu. Sérstök gerð áfoksjarðvegsins (alþjóðaheiti er Andosol, sjá Wada 1985) veldur því að hann getur bundið mjög mikil vatn austur þess sem jarðvegurinn er laus í sér og rennur auðveldlega til. Frost og þýða hafa mikil áhrif á jarðveginn, m.a. vegna þess hve vatnsinnihaldið er hátt og vegna þess hve hitastig er oft nálægt frostmarki. Tilraunir í vindgöngum hafa leitt í ljós einstaka fokgirni, sem má rekja til lágs eðlisbunga kornanna og óheppilegra kornastaðareiginleika, sem einkum felast í stærð og góðri aðgreiningu. Mörg þessara korna eru samkorn mynduð úr smærri einingum, en leirinnihald er breytilegt og allt að 50% (aðallega allófan og ferrishýtrat) í sýnum tekin á nokkrum stöðum á landinu (Ólafur Arnalds, 1990; Wada et al. 1991).

Framundan eru rannsóknir er miða að því að hefja kortlagningu á jarðvegseyðingu og jarðvegi á útjörð, en óvist er hvenær slík kortlagning getur hafist.

**Heimildir**

Eyles, G.O. 1985: The New Zealand land resource inventory erosion classification. Water & Soil Misc. Publ. No 85. Soil Conservation Centre, Ministry of Works, Wellington, New Zealand.

Lewkowicz, A.G. 1988: Slope processes. Í M.J. Clark (ritstj.) Advances in periglacial geomorphology. John Wiley & Sons, New York, bls 325-368.

Ólafur Arnalds 1990: Characterization and erosion of Andisols in Iceland. Doktorsritgerð, Texas A&M University, Dept. of Soil and Crop Sci.

Varnes, D.J. 1978: Slope movement types and processes. Í R.L. Schuster and R.J. Krizek (ritstj.) Landslides, analysis and control. National Academy of Sciences, Transp. Res. Board Spec. Rep. 176, bls 12-33.

Wada, K. 1985: The distinctive properties of Andosols. Adv. Soil Sci. 2:173-229.

Wada, K., Ó. Arnalds, Y. Kakuto, L.P. Wilding og C.T. Hallmark 1991: Clay minerals of four soils formed in eolian and tephra materials in Iceland. Geoderma, í prentun.

## Orsakir jarðvegseyðingar

Í þessu erindi verður fjallað um orsakir jarðvegseyðingar hérlendis. Þessum orsökum má skifta í tvennt, annars vegar náttúrulegar orsakir og hins vegar af mannavöldum.

### Náttúrulegu orsakirnar eru eftirfarandi:

1. Veðrátta, svo sem hitafar, úrkoma, magn hennar, dreifing eftir árstíma, snjópekja á vetrum og afrennslishættir.
2. Jarðvegsgerð og gleypni jarðvegsins. Gleypni jarðvegsins er mikil vegna þess hve grófur hann er og hann heldur einnig illa raka. Á móbergs-, hrauna-, malar- og sandsvæðum hripar auk þess úrkoman mjög í gegnum jarðvegsgrunninn svo að jarðvegurinn getur orðið mjög þurr á þeim svæðum.
3. Jökulrof er mjög mikið. Jöklar ýta fram jökulruðningi, sem fínni efni fjúka úr og jökulár bera fram gríðarlegt magn svifefna, sem fýkur af aurum þeirra. Fokið er, vegna breytilegs vatnsmagns eftir árstíðum, svo og dægursveiflna.
4. Eldfjallaaska hefur dreifst víða um landið frá því ísa leysti. Í jarðvegi eru öskulög frá stórgosum áberandi. Öskulögin valda gróðureyðingu þar sem þau eru þykk og að auki sverfa gróf kornin gróður og jarðveg, en hin fínni korn, sem lengra berast eru jarðvegsmyndandi. Vikur- og öskulög í jarðvegi eru venjulega gleypnari en jarðvegurinn sjálfur. Öskulögin veita vatni og valda þornun og hindra auk þess uppsog raka. Þetta gerir jarðveginn auðrofnari.

### Áhrif mannsins

Þá er komið að manninum í náttúrunni. Ellefu alda athafnir hans hafa valdið mikilli röskun á gróðri og jarðvegi og raskað vistkerfinu. Þeir þættir athafna mannsins sem mestri röskun hafa valdið eru eftirfarandi:

- a) Sviðningur og skógarbruni til þess að afla graslendis.
- b) Hrísrif og annar eldiviður, svo og viður til smíða og húsagerðar.
- c) Viðarkol til járngerðar.
- d) Beit, sumar og vetur og fóðuröflun.
- e) Mannvirkjagerð, aðallega á seinni tínum. Vegir, stíflur og skurðgröftur.
- f) Ferðamennska, ferðalög um viðkvæm svæði.

# JARÐVEGSMYNDUN Í NÁGRENNI HEKLU

Bryndís G. Róbertsdóttir  
Félag íslenskra náttúrufræðinga

Gögn sem hér birtast eru úr verkefnunum "Jarðfræðikort af Heklu" í umsjón Hauks Jóhannessonar og "Forsögulegt gjóskulagatímatál fyrir Árnes- og Rangárvallasýlu", sem höfundur hefur unnið að undanfarin sumur. Vísindasjóður styrkti útvinnu í báðum verkum. Jarðvegsmyndun á svæðinu hefur ekki verið skoðuð sérstaklega, heldur eingöngu unnið úr gögnum sem fyrir liggja í gjóskulagarrannsóknunum.

## JARDVEGSMYNDUN Á FORSÖGULEGUM TÍMA.

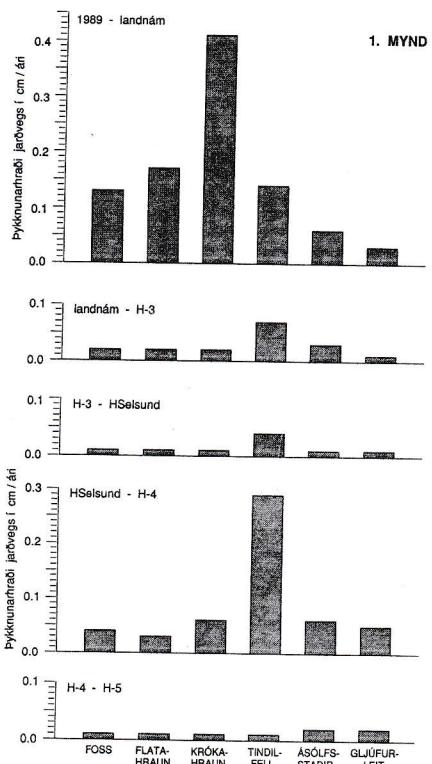
EKKI ER HÆGT AÐ SÝNA NÁKVÆMA MYND AF JARÐVEGSPYKKNUN Á FORSÖGULEGUM TÍMA VEGNA FÁRA ALDURSGREININGA. Á 1. mynd eru sýnd dæmi um jarðvegspykktir í sniðum í nágrenni Heklu. Að Tindifellssniðinu undanskildu, má sjá nokkra reglu í jarðvegspykktum.

Frá H-5 til H-4 er jarðvegsmyndun frekar hæg, 0,01 cm/ári í þurrlandissniðum, en í mýrarsniðum við Ásólfstaði og Gljúfurleit er hún helmingi hraðari. EKKI VIRÐIST HAFA VERIÐ UPPLÁSTUR SAMFARA GOSINU SEM MYNDAÐI H-5, ENDA LAGIÐ FREKAR þUNNT Í SNIÐUM OG EKKI MJÖG GRÓFT.

Nokkur upplástur virðist fylgja í kjölfar Heklugossins er myndaði H-4, því frekar þykkur fokjarðegur er viðast beint ofan á laginu, enda er það frekar þykt í sniðunum. Jarðvegspykktir eru nokkuð misjafnar eftir sniðum, um 3-4 sinnum meiri en á fyrsta tímabilinu.

Áfok er minnst á tímabilinu frá HSelsundi að H-3, aðeins 0,01 cm/ári, að undanskildu Tindifellssniðinu. Gjóskulagið er viðast hvar frekar þunnt og hefur því ekki valdiló áfoki. Búast hefði mátt við verulegum upplæstri á því svæði sem Selsundsvirkuninn lagðist yfir, því hann er grófur og víða mjög þykkur. Í þeim fáum sniðum sem skoðuð voru á vikursvæðinu vantaði hvorki jarðveg né gjóskulög í gjóskulagatímatíði, svo virkuninn virðist hafa farið mjúkum höndum um undirlagið og gróið fljótt upp.

A tímabilinu frá H-3 að landnámi er helmingi minni jarðvegspykkunum en frá H-4 að HSelsundi, eða um 0,02 cm/ári. Þetta skýtur nokkuð skökku við, því



H-3 er mesta gjóskulag frá Heklu og mun stærra en t.d. H-4. Ásólfstaða- og Gljúfurleitarsniðin eru vel inni í aðalgjóskugeiranum frá gosinu og þar ætti því að vera mun meira áfok fyrir ofan lagið, en ekki er hægt að merkja það. Í mýrum á Suðurlandi má viðast hvar sjá merki um verulegt áfok strax ofan við H-3. Jarðegur er þar mun ljósari og sandkenndari en annars staðar í dökkbrúnu mórmýrunum. Svo skórp eru skílin þar sem fokið byrjar, að þó komið sé út fyrir gjóskugeira H-3, má vel sjá hvar lagið hefði verið í jarðvegi, ef það hefði dreifst svo langt. Í Tindifellssniðinu tengist jarðvegspykknunin ekki H-3, heldur tveimur þykkum, tvilitum gjóskulögum úr Heklu sem nefnd hafa verið HA og HB og eru nokkru ofan við H-3 í sniðum.

## JARÐVEGSMYNDUN Á SÖGULEGUM TÍMA

Jarðvegsþykkunur eftir landnám er mjög misjófn eftir sniðum, en er að meðaltali tíffold miðað við minnstu þykkunur á forsögulegum tíma.

Á 2. mynd eru sýnd 3 snið suðvestan og vestan Heklu. Í sniðum á þessum svæði má sjá nokkuð nákvæma jarðvegsþykkun fyrir sögulega tímum, því í þeim eru fjölmörg gjóskulög, og er vitað um aldur flestra þeirra.

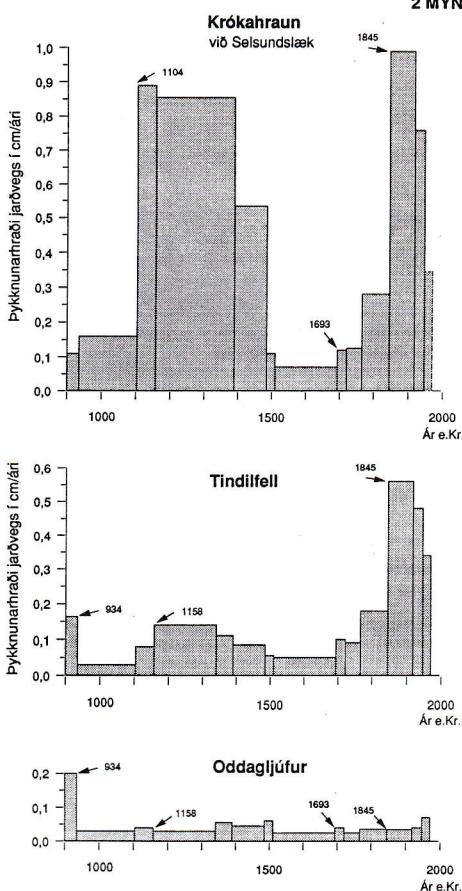
Í Oddagljúfri er dæmigert snið frá landnámi, þar sem ekki verður vart áfoks frá nærliggjandi svæðum og er þykkunun þar á bilinu 0,03-0,06 cm/ári. Tímabilið frá 900-934 sker sig þó úr, því þá er jarðvegsþykkunur 0,2 cm/ári. Þó hér sé lítil og jöfn jarðvegsþykkunur miðað við önnur snið frá sögulegum tíma, er þykkunun mun meiri en fyrir landnám.

Í rofabarði við Tindifell sem er aðeins um 540 m norðvestan við Oddagljúfur er komið inn í uppblástursgeira. Veruleg jarðvegsþykkunur verður eftir að landnámslagi fellur. Aukin jarðvegsþykkun er á tímabilinu 1104-1485. Sníðið er í útjaðri gjóskugeira frá gosunum 1104, 1158 og 1300. Einnig er það inni í gjóskugeirum frá smágosunum 1341 og 1389 og valda öll þessi gos nokkurri jarðvegsþykkunur á þessu tímabili. Annað tímabil uppblásturs virðist fara af stað eftir 1693 og vaxa nokkuð eftir 1766. Á tímabilinu 1845-1918 er það í hámarki, minnkar aðeins eftir 1918 og nokkuð eftir 1947. Munur á minnstu jarðvegsþykkunur á 16. og 17. öld og mesta áfoki upp úr 1845 er um ellefufaldur.

Snið í rofabarði á Krókahaunum rétt sunnan Selsundslækjar er mjög óvenjulegt, því mjög mikil áfok hefur verið þar fyrir á öldum. Það vekur sérstaka athygli að áfokið er verulegt, allt frá landnámi. Áfokið tæplega sexfaldast eftir Heklugosið 1104 og helst þannig fram undir 1400, en minnkar nokkuð á 15. öld. Upp úr 1700 fer áfok aftur vaxandi svipað og í Tindifellssniði, nema það er mun meira frá 1845-1918, eða nálægt 1 cm/ári sem er hundrafaldur þykkununarhraði miðað við minnstu jarðvegsþykkunur á forsögulegum tíma. Eftir miðja þessa öld hefur nokkuð dregið úr áfokinu og er það orðið svipað og í Tindifellssniði.

Almennt er jarðvegsþykkunur mjög staðbundin, eins og sést t.d. í Oddagljúfurs- og Tindifellssniðum. Þó aðeins 540 m séu á milli sniða eru

2 MYND



bau mjög ólik. Tindifellssniðið er dæmigert fyrir áfokssnið vestan við Heklu. Ef skoðuð eru snið suðvestar og sunnar, koma áhrif Heklugossins 1510 mjög glögglega fram í auknu áfoki strax eftir gosið, sem vex síðan og nær hámarki á síðari hluta 19. aldar.

Á svæði þessu, sem er svo nálægt virku eldfjalli verður staðbundið áfok áberandi og fylgir gjóskugeirum. Í meiri fjarlægð frá Heklu ættu staðbundnu áhrifin að fara minnkandi.

# SJÁVARFLÓÐ VIÐ ÍSLAND

## DÆMI UM ÁHRIF UMHVERFISINS Á LANDNOT OG VANNÝTINGU Á JARÐFRÆÐILEGRI PEKKINGU

**PÁLL IMSLAND**  
**RAUNVÍSINDASTOFNUN HÁSKÓLANS**

Umhverfismálajarðfræði er ekki gamalt hugtak og enn vantar ugglaustr uppá að umfjöllunarsvið þess hafi fengið sína endanlegu mynd og hugtakið þar með gagnlega skilgreiningu. Það liggur í orðinu að undir pessum hatti sé fjallað um jarðfræðileg mállefni er snerta umhverfri mannsins. Það sést hins vegar ekki, hvort það er fyrst og fremst eða eingöngu frá því sjónarhorni, er sýnir áhrif mannsins á náttúruna. Algengast hefur verið að líta á þetta sem umfjöllun um mengun og skemmdir þær er maðurinn veldur á náttúrunni, en þar sem flest öll afskipti okkar af náttúrunni fela í raun í sér gagnkvæm áhrif, þá má engu sifður líta á málid frá því sjónarhorni, er lýsir áhrifum náttúrunnar á manninn og not hans af landi og landgæðum.

Erindi það, sem þessi útdráttur boðar fjallar um náttúrufræðilega atburði sem í eðli sínu eru samsplí af haffræðilegum, jarðfræðilegum og veðurfræðilegum ferlum, en öðlast samfélagslegan þunga vegna þess að þeir koma niður á landnotum. Þetta er skýrt dæmi um umhverfismálanáttúrufræði, þar sem maðurinn er þolandinn en ekki gerandinn. Sú tegund náttúrufræði hefur, einkum á undanförnum tveim áratugum eða svo, verið að ryðja sér æ meira til rúms. Til þess að stuðla að vexti hennar og gagnsemi, þá hafa Sameinuðu þjóðirnar efnt til "Aratugarins til fækkunar á náttúrfarslegum stórslysum", 1990-2000. Í jarðfræðinni hefur þessi viðleitni gengið undir ýmsum nöfnum og má t.d. minna á ensku hugtökin *geological* eða *environmental hazards* og *rapid geomorphological hazards* auk margra annara.

Hinn 9. janúar 1990 varð eitt mesta flóð við suðurströndina, sem komið hefur á þessari óld. Það varð til þess að hleypa af stokkunum rannsóknarverkefni því sem hér mun skýrt frá og beindist að könnun á tíðni og orsökum sjávarflóða við landið, einkum Flóann og Suður- og Suðvesturland sem heild.

Landbrot af sjávargangi hefur um langan tíma verið mikil í Flóa. Fyrir landnámstíð var a.m.k. 7-9 km<sup>2</sup> landræma, Eyrar hinum fornu, utan við núverandi fjöruborð en ofan sjávarmáls. Hún var að einhverju leyti gróðri vaxin, líklega bæði myrlendi og sendnir bakkar. Á síðustu óldum hefur ágangur sjávar á strandjarðirnar í Flóa verið til mikils óhagræðis og hafa jarðirnar stöðugt látið á sjá undan sandburði og landbroti af völdum sjávargangs. Pessi landeyðing er að öllum lískindum beint framhald af hvarfi Eyra.

Tíðni sjávarflóða við Suðvesturland er mjög mikil. Skaðaflóð hafa orðið við Suðvesturland með 3 ára og 6 mánaða millibili að meðaltali síðustu 200 árin. Meirihluti þessara skaðaflóða hefur valdið tjóni í Flóanum. Pessi mikla skaðaflóðatíðni sýnir að hér er ekki um náttúruhamfarir að ræða, heldur einungis náttúruna í ham. Ströndin í Flóanum getur ekki verið í náttúrfarslegu jafnvægi, litlum til lengri tíma. Ef svo væri, þá hefði myndast á ströndinni sjávarkambur, fær um að verja að mestu leyti landið á bak við, fyrir áföllum sjávar í flestum peirra skaðaflóða, sem komið hafa á undanförnum áratugum.

Skaðaflóðin eru árstíðabundinn viðburður. Á síðustu 100 árum hafa þau ekki átt sér stað yfir sumarmánuðina, maf til júlf. Þau eru algengust að vetri, frá október og fram í febrúar. Þau hafa komið í mars og apríl og einnig í ágúst og september, en eru mun sjaldgæfari í þessum mánuðum en yfir veturinn. Um 17% skaðaflóðanna á síðustu 100 árum hafa komið í hægviðri eða logni, en annars eru þau fyrst og fremst fylgiskur ofviðra. Þau hafa því að undanföru verið kölluð stormflóð, en það orð er af ýmsum ástæðum ekki heppilegt sem samheiti fyrir skaðaflóð við stendur landsins. Skaðaflóð við Suðvesturland eru langalgengust í suðvestlægri vindátt, næst kemur sunnanátt og síðan suðaustanátt, en þau hafa komið í öllum vindáttum.

Landsig virðist hafa átt sér stað við suðurströndina nokkur síðustu árbúsundin. Á síðustu 1900 árum hefur meðaltalssighraðinn verið að minnsta kosti 0,79 mm á ári samkvæmt ábendingum í jarðvegi á skerjagarðinum. Mælingar hafa aldrei verið stundaðar á landsiginu. Þessi sighraðatala er því byggð á veikum grundvelli og bráðnauðsynlegt er að byrjað verði á reglubundnum sjávarstöðumælingum við stendur landsins hið fyrsta.

Tíðni sjávarflóða við Suðvesturland er mun meiri en talist getur eðlilegt við strönd í náttúrufarslegu jafnvægi. Við þessa strönd virðist umtalsvert landsig alls staðar vera í gangi. Því má búast við að orsaka hinnar miklu skaðaflóðatíðni sé að leita í landsiginu.

Rannsóknir í strandjarðfræði hafa svo til engar verið stundaðar á Íslandi. Pekking okkar á ferlum þeim sem eru að verki á strandsvæðinu, eðli þeirra, askastagetu og afleiðingum, er því að mestu leyti fengin með því að yfirsæra erlenda pekkingu og alhæfa á grundvelli fræðilegar pekkingar, *teóriu*. Mjög varasamt er að gera slíkt eingöngu, ekki síst þar sem mest öll jarðfræðileg gerð landsins og ýmis þau ferli sem hér eru að verki, eru ólík því sem annars staðar er. Jarðfræðileg pekking hefur því of lítið verið notuð við hönnun strandmannvirkja og við strandnot almennt. Því hefur umhverfið aftur og aftur komið okkur í opna skjöldu og valdið okkur tjóni, óþægindum og skakkaflöllum, þar sem hægt hefði verið að forða slíku, með því að rannsaka meira og nota betur pekkingu um eðli og hegðun jarðarinnar.

## Framkvæmdir og náttúruvernd

### Inngangur.

Tæknipróun mannsins hefur leitt af sér þörf til að beisla náttúruna. Þessu fylgir óumflynjanlega breyting á umhverfinu. Áður fyrr voru slíkar breytingar talðar tengjast hagsæld en með vaxandi umhverfisáhrifum, einkum mengun, hefur mönnum orðið ljóst að það er langur vegur milli umhverfisrökunar og almennrar hagsældar.

Náttúruverndarráði er með lögum falið það hlutverk að hafa eftirlit með að verklegar framkvæmdir hafi sem minnst áhrif á umhverfið. Eftirlitið beinist einkum að útlitsatriðum og landskemmdum. Hin síðari ár hefur athyglan beinst meira að umhverfisáhrifum í heild sinni, t.d mengun og áhrifum á líf og loks að því hvernig standa beri að mati á slíkum áhrifum og hvernig ákvarðanir eru teknar í ljósi slíks mats.

### Útlitsatriði

Íslensk náttúra hefur sérstöðu um margt, en trúlega er það mest áberandi hversu nakið landið er og fjöllótt. Þá er gróður sérlaga viðkvæmur og sáralitið af hávöxnum gróðri eða trjáum. Það er því mjög erfitt að fela mannvirkni og framkvæmdir í skógi og gróðri eins og viða er gert annars staðar. Lega vega, raflína, og jafnvel byggðar, að ógleymdu vali á efnistökustöðum, getur af þessum orsökum orðið mun meira álitamál hér en í þéttbýlli löndum. Náttúruverndarráð hefur lagt fram hugmyndir um hvernig standa eigi að mati á útlitsatriðum og efnistökum tengdum verklegum framkvæmdum. Nánar er fjallað um það í ljósritunum *Eftirlit með mannvirkjagerð og jarðraski og Efnistaka og jarðrask* sem til er hjá Náttúruverndarráði.

### Skipulag.

Þegar framkvæmdaaðili hyggst hefja verk á að hafa samband við Náttúruverndarráð sem sendir þá eftirlitsmann sinn á staðinn. Honum eru þá jafnan kynntar hugmyndir um framkvæmdina. Það heyrir til undantekninga ef kostir varðandi staðsetningu og efnisnám eru margir. Oftar en ekki kemur í ljós að engar upplýsingar, aðrar en þær sem framkvæmdaaðili leggur fram, liggja fyrir. Það er samdóma álit flestra að þessi vinnubrögð séu ófær. Til að geta tekið ákvörðun af einhverju viti, bæði hvað varðar framkvæmdina og eins áhrif á umhverfið, þurfa allar forsendur að liggja fyrir. Það er því brýnt að sveitarstjórnir, í samvinnu við skipulagsyfirlöld, afli nauðsynlegra grunngagna. Þessi gögn geta verið:

1. Jarðgrunns- og berggrunnskort
2. Gróðurkort.
3. Skráning helstu náttúru- og menningarminja.
4. Heppileg útvistarsvæði.
5. Skráning vatnsbóla og jarðhitastaða.
6. Efnistökustaðir.
7. Heppileg svæði til uppbyggingar (iðnaður, byggð, summarhús)
8. Samgöngumannvirki (núverandi og fyrirsjáanleg)
9. Raf- og símalínur (núverandi og fyrirsjáanlegar)
10. Fólksfjöldi og fólksfjöldaspá.

Loks verður að geta þess að hálendi Íslands er ákaflega sérstætt hvað varðar framkvæmdir og eftirlit því að það er engan veginn ljóst hver hefur lögsögu yfir því.

### Umhverfismat.

Það er orðið deginum ljósara að þær aðferðir sem hafa viðgengist við ákvörðun um framkvæmdir og við eftirlit með mannvirkjagerð eru orðnar úreltar. Bæði vantart grunnupplýsingar svo unnt sé að taka rökréttar ákvarðanir og eins hefur oft verið litið framhjá veigamiklum þáttum, svo sem byggðapróun, mengun og uppsöfnunaráhrifum. Það er orðin hefð viða um lönd að taka mat á umhverfisháttum inn í skipulag og hefur til dæmis verið þróaður gálisti í Bandaríkjunum, þar sem metin eru alhliða áhrif af tiltekinni framkvæmd. Komi í ljós þegar gálistinn er fylltur út, að framkvæmin raski umhverfinu á þann veg að varkárn sé þörf, er farið út í viðamikið mat á umhverfisáhrifum.

Þessi vinnuaðferð miðar að því að sjónarmið umhverfis og umhverfismála séu lögð að jöfnu við sjónarmið hagkvæmni og verklegra framkvæmda. Hér verða kynnt drög að slíkum lista sem ætlunin er að nota við minni sem stærri mannvirki hér á landi. Hann á að draga fram hvort framkvæmin hafi áhrif á einhver af eftirtoldum atriðum:

Jarðmyndanir	Dýralíf	Auðlindir	Orka
Loft	Hávaði	Hættuástand	Ljós og glampar
Heilbrigis- þjónusta	Almennings- þjónusta	Vatn	Gróður
Útvist	Húsnaði	Íbúar	Fegurðargildi
Menningar- minjar		Landnýting	Flutningar og samgöngur

Þá er kannað hvort framkvæmin stangist á við löggjöf eða hafi í för með sér uppsöfnunaráhrif.

Þessari aðferð er ætlað að benda á hugsanleg áhrif af væntanlegri framkvæmd. Hún á ekki að fírra stjórnvöld ábyrgð, heldur þvert á móti að gefa sem nákvæmastar upplýsingar þannig að viðkomandi stjórnvöld hafi hugmynd um hvaða afleiðingar tiltekin ákvörðun hefur.

Þorleifur Einarsson:

### **Umhverfisáhrif mannvirkjagerðar og landnýting**

Á síðustu árum hefur skilningur á því að draga úr umhverfisáhrifum við mannvirkjagerð aukist og reyndar má fullyrða að um allmiklar framfarir sé að ræða, og þá einkum fyrir tilverknað Náttúruverndarráðs og áhugasamtaka um náttúru- og umhverfisvernd. Þrátt fyrir það er víða pottur brotinn. Sérstaklega þarf að forðast sem kostur er mannvirkjagerð í þjóðgörðum, fólkvöngum og friðlöndum, og í Reykjavík á svæðum undir borgarvernd. Slík svæði og friðlýst náttúrvætti eru nú um 80 og að auki nær 300 svæði á náttúruminjaskrá, sem tillit þarf að taka til.

Við mannvirkjagerð á Íslandi þarf að hafa í huga, að sumt af því jarðraski, sem gert er af misjafnlega mikilli þörf, er oft erfitt að bæta. Íslensk náttúra er viðkvæmari en náttúra í flestum nálægum löndum og jarðrask meira áberandi en í löndum þar sem veðrátta er mildari og gróður gróskumeiri. Sárin verða því oft stór og örín áberandi. Viðgerð og aðhlynning lands sem skemmt hefur eða raskast er kostnaðarsöm og stundum er tjónið óbætanlegt.

Auðvitað verður ekki komist hjá ýmis konar raski í sambandi við mannvirkjagerð, en með vönduðum forrannsóknum, aðgæslu og eftirliti er hægt að draga úr eða koma í veg fyrir óþörf landspjöll og lagfæra óhjákvæmilegt jarðrask sem mannvirkjagerð er samfara.

Við forkannanir vegna mannvirkjagerðar og hönnunar mannvirkja þarf vitaskuld að huga að fornminjum, veðurfari og náttúrafari. Hvað snertir náttúrufar þarf að taka tillit til jarðfræði, gróðurs, dýralífs og vistfræði. Á hinu jarðfræðilega svíði er nauðsynlegt að rannsaka t.d. þykkt jarðvegs (mold, mórr), laus jarðefni jarðgrunnsins (sandur, möl, gjall) svo og jarðög berggrunnsins. Þar sem svo háttar til þarf enn fremur að kanna eld- og jarðskjálfavirkni og kortleggja sprungur og misgengi. Athuga þarf áhrif fyrirhugaðs mannvirkis á yfirborðsrennslu vatns svo og á jarðvatn. Þá þarf að taka tillit til hættu af flóðum í ám, sjávarflóðum, snjóflóðum og skriðuhlaupum.

Jarðfræðirannsóknir þurfa einnig að beinast að nýtanlegum jarðefnum á byggingarstað og svæðum sem á að skipuleggja vegna byggðar. Þessum þætti hefur oft verið allt of lítt gaumur gefinn. Þá þarf að rannsaka vel hvar afla skal byggingarefna til mannvirkjagerðarinnar svo sem fyllingarefna og steypuefnis. Mjög oft hefur þessum þáttum ekki verið sinnt sem skyldi og af því hafa skapast óþörf vandræði og náttúruspjöll. Við hönnun mannvirkja og skipulag byggðar svo og í útboðsgögnum á ávallt að gera ráð fyrir kostnaði við endanlegan frágang og snyrtingu lands.

Davíð Egilson, Náttúruverndarráði.  
Freysteinn Sigurðsson, Orkustofnun.

## FALLVÖTN OG LANDBROT

### INNGANGUR

Fallvötn hafa margar ásýndir. Þau geta fallið straumþung í þróngt afmörkuðum farvegum, flæmst yfir aura í mör gum rásum, legið í bugðum eða myndað ósasvæði. Eðli og ásýnd fallvatna ræðst einkum af eftirfarandi þáttum: Rennsli, aurburði, botnagerð og halla farvegar. Flókið samspil rískir á milli þessara þáttu sem best sést á því hversu mismundandi farvegir fallvatna eru. Skilningur á eiginleikum fallvatna og hvernig þau þróast er forsenda þess að sambýlið við árnar gangi vandræðalítið.

Jarðfræðingum er almennt kunnugt um skiptingu íslenskra vatnsfalla í **jökulár**, **dragár** og **lindár**. Ofangreind flokkun er mjög gagnleg þegar gera á grein fyrir eðli rennslis fallvatna. Greiningin er ekki eins ótvíræð og ætla mætti, enda er uppruni vatnsfalla margþættur.

Uppruni fallvatna er ekki einhlytir sem flokkun t.d. hvað landbrot varðar. Hann mótað ekki aðeins af rennslinu heldur einnig af aurburði/botnagerð og halla. Og þar með legu í landslagi og jarðfræðilegum aðstæðum.

Flokkun eftir þessum viðmálum í beina, álöttu, bugðóttu farvegi og ósasvæði er sýnd á myndum 1 og 2.

Hér eru teknir saman nokkrir helstu jarðfræðilegir þættir um samhengi milli gerða fallvatna og landbrots af þeirra völdum. Nánar er fjallað um þetta í ritinu í Fallvötn og landbrot, 1990, Fallvötn og landbrot er gefið út sameiginlega af Landgræðslu ríkisins, Náttúruverndarráði, Orkustofnun, Vegagerð ríkisins og Veiðimálastofnun.

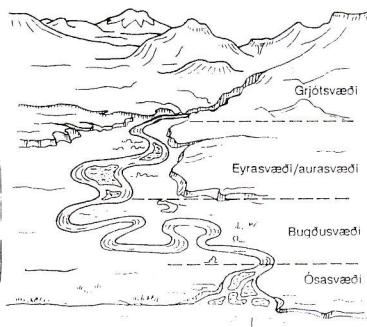
Myndir í úrdrætti eru úr þessu riti.

### AÐSTÆÐUR Á ÍSLANDI

Hér á landi eru beinir og álöttir farvegir mun algengari en bugðóttir. Margar ástaður ligga til þess. Ein er sú, að landið er viða sundurskorð af sprungum og misgengjum með ákvæðnar stefnur. Árnar grafa sig gjarnan niður langt eftir þess háttar veikleikalínum í berginu. Þær verða farvegir þeirra beinir.

Dæmi: Hvítá eystri við Gullfoss, Stóra-Laxá í Hreppum.

Meginstefna margra fallvatna er oft næri því bein á löngum köflum vegna svona sprungukerfa, jarðlagahalla og upphleðslu á gosspungum. Önnur ástaða er hin örð upphleðsla landsins sem veldur því að árnar eru bratt hallandi og hafa mikill efni til að rjúfa, en slíkt er einmitt forsenda beinna farvega. Þá stafar mikill hluti aursins sem árnar bera fram af jökulrofi en ekki vatnsrofi, pannig að oft er mun meiri aurburður í ánum en svarar til rofgetu þeirra sjálfra sem er einkennandi fyrir álöttu farvegi. Vegna þess hve landið er háleint og lítíð á mælikvarða meginlandanna hafa langflestir árnar ekki náð að setja af sér sandinn úr framburðinum þegar þær koma til sjávar. Bakkar vatnsfallanna eru því viða, þar sem áin er ekki að grafa, úr möl og sandi sem er einnig einkennandi fyrir álöttu farvegi. Það er mun sjaldgæfara hérlandis en erlendis að árnar hafi runnið svo langa vegalengd að silt (mél) sé uppistaða framburðarins. Bakkar úr silti/sandi eru hins vegar alla jafna á bugðusvæðum. Bugðusvæði hér á landi eru þar sem árnar renna á silti ("jökulleir") frá jöklutíma.



Mynd 1: Dæmigerð þróun farvegar frá upptökum til sjávar.

	Grjótsvæði	Eyrasvæði/aurasvæði	Bugðusvæði	Ósasvæði
Einkennandi lögum farvegs	Yfirleitt ein rás	Yfirleitt álöttur	Bugdóttur	Yfirleitt greinöttur
Einkennandi lögum þversniðs				
Halli farvega	>5 m/km	1 - 5 m/km	0 - 1 m/km	± 0 m/km
Efnisbúskapur	Neikvædur	Oft í jafnvægi	Venjulega jákvædur	Jákvædur
Ríkiandi efní í farvegi	Hnúlunar og völur	Möl og sandur	Sandur og silt	Silt og leir

Mynd 2: Flokkun farvega eftir gerð.

Farvegirnir eru mótaðir af svökölluðu "bakkafulla rennsli", en það samsvarar nokkurn veginn árleg er innan ramma svokallaða "árléttu".

Mjög erfitt er að hemja ár innan árslettunnar, þar leita þær oft óvæntar framrása, ef þrengt er að rennsli þeirra. Hins vegar er yfirleitt hægt að hemja rennsli ánnan á flóðsléttunni, nema í allra mestu flóðum. Ár eru óstöðugerðar í farvegum sínum á eyrarsvæðum. Breytingar á farvegum eru yfirleitt hægari á bugðusvæðum, nema þar sem jarðfræðilegar aðstæður trufla hinar eðlilegu, "harmónísku" sveiflur bugðanna.

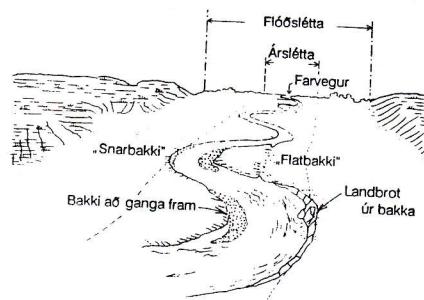
#### LANDBROT OG BAKKAVARNIR

Farvegir fallvatna eru stöðugum breytingum undirorpni. Víða er að brotna úr bökkum, jafnframt því sem án leggst frá á öðrum svæðum (mynd 3). Sé um fallvatn að raða, sem er tiltölulega ótruflað og einum stað og þer brotna niður á skómmum tíma. Uppgræðslan gengur mun hægar fyrir sig, að ekki Hinu má ekki gleyma að ýmsar framkvæmdir geta dregið úr landbroti.

Hvort sem um er að raða landbrot, sem á sér náttúrulegar orsakir eða aukið landbrot vegna breytinga af manna völdum, geta legið ýmsar ástæður fyrir því að æskilegt sé að draga úr landbroti eða stöðva það alveg á ákveðnum svæðum. Þrjár algengustu ástæðurnar eru:

1. Koma í veg fyrir að verðmætt landbúnaðarland tapist.
2. Koma í veg fyrir tjón á mannvirkjum sem byggð eru á eða í nágrenni við árbakka þar sem rof að sér stað.
3. Vörn gegn landbroti á svæðunum þar sem náttúrufegurð er mikil og fyrirsjáanlegt er að landbrotið valdi beinum skaða á.

Almenna reglan er að bakkvarnir skulu helst vera utan árslettunnar nema að verulegir hagsmunir séu í húfi.



Mynd 3: Yfirlitsmynd af farvegi, ársléttu og flóðsléttu.

## JARÐHITI OG UMHVERFI

HALLDÓR ÁRMANNSSON

*Orkustofnun, Grensásvegi 9, 108 Reykjavík*

### INNGANGUR

Virkjun jarðhita hefur margvísleg áhrif á umhverfið og gildir almennt, að því hærra sem hitasíug uppsprettunnar er því meiri verður vandinn.

Mögnuleikar eru á loft- og vatnsmengun. Brennisteinsvetni veldur mestum áhyggjum og er eina efnið í útblæstri frá jarðhitasvæðum, sem ástæða hefur þótt til að eyða með sérstökum hreinsibúnaði eins og gert er á Geysissvæðinu í Kaliforníu. Koldíoxíðútblástur getur verið skaðlegur vegna gróðurhúsáhrifa, en í samanburði við brennsluver er nýting jarðhita hagstæð. Jarðhitavatn er yfirleitt ekki hreinsað, áður en því er veitt til affalls, en er stundum látið standa í lónum til að kæla það og losna við útfellingar. Slík lón stækka með tímanum, stundum um of.

Töluverður hávaði fylgir virkjun háhita, en rétt hljóðdeyfing og notkun heyrnarhlífa í námunda við upptök eiga að geta komið í veg fyrir tjón af hans völdum.

Vatnsnám getur valdið landsigi, lækkun grunnvatnsstöðu, breytingum á yfirborðsvirkni, myndun gufupúða og aukinni jarðskjálfavirkni.

Koma má í veg fyrir stóran hluta vatns- og varmamengunar með niðurdælingu affallsvatns auk þess sem hún dregur mjög úr vatnsnámi og áhrifum þess. Gæta verður þess að dæla ekki niður í virk misgengi, þar eð slíkt getur hugsanlega aukið jarðskjálfavirkni.

Helstu landspjöll af völdum jarðhitavirkjana eru efnistaka, mannvirkjagerð, aukin skriðuföll á ákveðnum svæðum, aukin umferð vegna opnunar lands og útfellingar úr úða, sem geta valdið gróðurskemmdum. Jarðhitavirkjanir standa vel í samanburði við flesta aðra virkjunarkosti vegna lítlis athafnasvæðis.

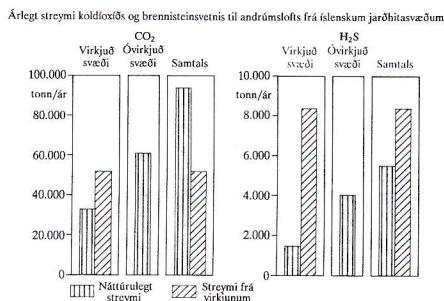
Bygging virkjunar getur haft félags- og efnahagsleg áhrif með aukinni tímabundinni atvinnu og aðflutningi fólks, auk þess sem varanlegar breytingar geta orðið í minni mæli vegna starfa við virkjunina og við ferðamannainnáð vegna opnunar lands.

### ÚTBLÁSTUR GASS FRÁ ÍSLENSKUM HÁHITASVÆÐUM

Tiltölulega auðvelt er að fá nálgunartölur um útblástur gass frá borholum, þar eð fyrir allar holur í blæstri eru til niðurstöður mælinga á gufustreymi og gasefnagreininga, sem nota má til að reikna þær. Þrautin þyngri er að fá hugmynd um náttúrulegt útstreymi gass frá jarðhitasvæðum. Halldór Armannsson & Trausti Hauksson [1980] mældu á Kröflusvæði flatarmál fjölmargra gufubletta og mátu gufustreymi eftir auga. Beittu peir samanburði milli gufuaugna og við nærliggjandi borholur. Fengust þannig rennslistölur fyrir hvern blett. Samlagning rennslis- og flatarmálstalna fyrir allt svæðið gaf, að um það bil 1 kg/s af gufu kæmi af hverjum virkum fermetra. Böðvarsson o. fl. [1984] gerðu af streymí í Suðurhlíðum og Leirbotnum á Kröflusvæði reiknilíkan, byggt á mælingum í borhólum. Útkomum þess líkans um útstreymi frá þessum svæðum bar mjög vel saman við hinum metnu tölur.

Niðurstöðurnar frá Kröflu voru síðan yfirlægðar á önnur háhitasvæði og flatarmál metin með hliðsjón af jarðvarmamati Guðmundar Pálasonar o. fl. [1985] þannig, að þau gæfu um það bil 1 kg/s af hverjum fermetra. Niðurstöður gasgreininga voru aðallega sóttar í gagnabanka Orkustofnunar og greinar eftir Niels Óskarsson [1984], Stefán Arnórsson [1986], Stefán Arnórsson & Einar Gunnlaugsson [1985] og Stefán Arnórsson o. fl. [1987].

Útkomur um streymi koldíoxíðs og brennisteinsvetnis frá háhitasvæðum eru sýndar á myndinni, en þar má lesa, að á virkjuðum svæðum fer nokkru meira koldíoxið út í loftið frá borholum en gufuaugum, en hins vegar er það mikil streymi frá óvirkjuðum svæðum, að náttúrulegt heildarstreymi koldíoxíðs er meira en streymi þess frá virkjunum. Aukning brennisteinsvetnisstreymis við boranir virðist vera tiltölulega meiri en aukning koldíoxíðstreymis, og er niðurstaðan sú, að nú þegar streymi meira brennisteinsvetni úr borholum en gufuaugum til andrúmslofts á Íslandi.



## STAÐA OG ÞÖRF RANNSÓKNA

Mikið er til af gögnum um íslensk jarðhitasvæði, sem nýst gætu við úttekt á stöðu umhverfismála, en til þarf tölverða úrvinnslu. Þá er nauðsynlegt að leggja línrur um rannsóknabörf áður en til virkjunar kemur og setja reglur um eftirlit með jarðhitasvæðum í vinnslu. Orkustofnun er með umhverfisverkefni á verkefnaskrá 1991 - 1993. Áætlað er að gera úttekt og tillögur um aðgerðir á virkjuðum svæðum í samvinnu við helstu virkjunaraðila. Þá mun hugað að þeim óvirkjuðu og munu þau, sem fyrst er talið líklegt að virkjuð verði, hafa forgang.

## HEIMILDIR

Böðvarsson, G.S., Pruess, K., Stefánsson, V. & Elíasson, E.T. The Krafla geothermal field, Iceland 2. The natural state of the system. *Water. Res. Res.*, 20, 1531 - 1544, 1984.

Guðmundur Pálason, Gunnar V. Johnsen, Helgi Torfason, Kristján Sæmundsson, Karl Ragnars, Guðmundur Ingi Haraldsson & Gísli Karel Halldórrsson. *Mat á jarðvarma Íslands*. Orkustofnun. OS-85076/JHD-10, 134 s, 1985.

Niels Óskarsson. Monitoring of fumarole discharge during the 1975 - 1982 rifting in Krafla volcanic center, North Iceland. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 22, 97 - 121, 1984.

Stefán Arnórsson. Chemistry of gases associated with geothermal activity and volcanism in Iceland. A review. *J. Geophys. Res.*, 91, 12.262 - 12.268, 1986.

Stefán Arnórsson & Einar Gunnlaugsson. New gas geothermometers for geothermal exploration: Calibration and application. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 47, 547 - 566, 1985.

Stefán Arnórsson, Kevin E. Cuff, Grétar Ívarsson & Kristján Sæmundsson. Geothermal activity in the Torfajökull field, South Iceland. Summary of geochemical studies. *Jökull*, 37, 1 - 10, 1987.

## MAT Á NÁTTÚRULEGU STREYMI CO<sub>2</sub> OG H<sub>2</sub>S FRÁ HÁHITASVÆÐUM ÍSLANDS

Stefán Arnórsson  
Raunvísindastofnun Háskólangs

Talsverðar upplýsingar liggja fyrir um styrk helstu gastegunda í jarðgufu á Íslandi (t.d. Barth, 1950; Halldór Armannsson o.fl., 1982; Stefán Arnórsson og Einar Gunnlaugsson, 1985; Stefán Arnórsson, 1986). Sýnt hefur verið fram á að styrkur gastegunda eins og CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S og H<sub>2</sub> í djúpvatni háhitakerfa ræðst af hita og settu vatnsins vegna þess að hitastigsháð efnajafnvægi ríkja milli gass í vatni og ummyndunarsteinda og selta vatnsins hefur áhrif á hvaða ummyndunarsteindir myndast (Stefán Arnórsson og Einar Gunnlaugsson, 1985). Styrkur nefndra gastegunda í gufu í gufuaugum ræðst því af styrk þeirra í djúpvatni því sem gufan hefur myndast úr við suðu, en einnig af ýmsum öðrum ferlum eins og þétingu gufunnar í uppresteymisrásum og efnahörfum við bergið sem hún fer um.

P.L. Ward og Sveinbjörn Björnsson (1971) áætluðu náttúrulegt varmatap háhitasvæða landsins á bilinu 3-80 W/m<sup>2</sup>. Guðmundur Pálason o.fl. (1985) hafa metið náttúrulegt varmaflæði frá háhitasvæðum landsins samtals um 17000 MW. Niðurstaða þeirra byggir á mati á flatarmáli einstakra svæða og er gert ráð fyrir að varmatap sem 20 W/m<sup>2</sup> nema á tveim svæðum, Grímsvötnum og Kverkfjöllum. Á fyrra svæðinu er valin niðurstaða Helga Björnssonar o.fl. (1980), 5000 MW, og á því seinna niðurstaða J.D. Friedman o.fl. (1971), 1200-2100 MW. Líklegt er talið að mestalit náttúrulegt varmatap sé með gufu, þótt einnig komi til greina að verulegur hluti varma frá sumnum svæðum geti borist frá þeim með gufuhituðu grunnvatni. Óverulegur hluti varmans berst með leiðni. Sé gert ráð fyrir meðalhitastigli 200°C/km fyrir öll háhitasvæðin nemur varmatap með leiðni aðeins 1.0% af heildarvarmatapinu. Í töflu 1 hefur náttúrulegu varmaflæði einstakra háhitasvæða samkvæmt mati Guðmundar Pálasonar o.fl. (1985) verið breytt í gufuflæði.

Gunnar Böðvarsson (1961) skipti helstu háhitasvæðum landsins í 3 flokka eftir stærð og áætlaði varmatap frá hverjum flokki fyrir sig. Fyrir öll háhitasvæðin nemur varmatapið 1600-9100 MW og svarar það til gufuflæðis upp á 600-3400 kg/s. Pannig er mat Gunnars tíu sinnum til helmingi lægra en mat Guðmundar Pálasonar o.fl. (1985).

Talsverðar upplýsingar liggja fyrir um styrk gastegunda í gufu á háhitasvæðum landsins (tafla 1). Mælingar eru til á gasi í allmíklum fjölda gufusýna af sumum svæðum og er talið líklegt að meðaltöl þau sem sýnd eru í töflu 1 samsvari allvel raunverulegu meðal-gasinnihaldi gufunnar fyrir þessi svæði, en fyrir önnur svæði þar sem aðeins eru til efnagreiningar af fáum sýnum er mikil óvissa um raunverulegt meðalgildi. Meðalstyrkur CO<sub>2</sub> á einstökum svæðum svarar til þess að gufan sé mynduð við suðu á 240-300°C vatni, nema hvað djúpvatnið er nokkru heitara í Kröflu og Öskju. Samsvarandi hitatölfur fyrir H<sub>2</sub>S eru nokkru lægri og stafar það af því að H<sub>2</sub>S hefur tilhneiting til að tapast úr gufunni í uppresteymisrásum vegna efnaharfa við bergið en CO<sub>2</sub> ekki.

Náttúrulegt heildarútfreyimi á CO<sub>2</sub> og H<sub>2</sub>S frá háhitasvæðum Íslands nemur 67 og 2,9 kg/s (tafla 1) og er þá miðað við gefustreymi samkvæmt mati Guðmundar Pálasonar o.fl. (1985). Samkvæmt þessu berast því árlega frá háhitasvæðum landsins út í andrúmsloftið 2.1x10<sup>6</sup> tonn af CO<sub>2</sub> og 9x10<sup>4</sup> tonn af H<sub>2</sub>S. Véri stuðst við mat Gunnars Böðvarssonar (1961) á náttúrulegu varmaflæði háhitasvæðanna yrðu þessar tölur tíu sinnum til helmingi lægri. Árlegt CO<sub>2</sub> útfreyimi samkvæmt tölmum Guðmundar Pálasonar o.fl. (1985) svarar til bruna á u.p.b. 700.000 tonnum af olíu sem er svipað magn og árleg olíunotkun Íslendinga.

Búast má við að brennisteinsvetni frá háhitasvæðum geti valdið súru regni, a.m.k. í nágrenni svæðanna. Oxist allt brennisteinsvetnið í sulfat og breytist þannig í brennisteinssýru dygði það til þess að lækka pH gildi úrkomu úr 5,7 í 4,9 á 100.000 km<sup>2</sup>, eða sem nemur flatarmáli Íslands, ef árlegt úrkomumagn er 2000 mm. Þau gögn sem til eru um efnainnihald úrkomu á Íslandi benda til þess að pH-gildið sé nálægt 5,5. Því verður að telja líklegt að oxun H<sub>2</sub>S í andrúmsloftinu sé ófúlkomin, að úrkoma menguð H<sub>2</sub>S falli á mun staerra svæði en Ísland nær yfir eða þá að mat Guðmundar Pálasonar o.fl. (1985) á náttúrulegu varmaflæði frá háhitasvæðunum sé of hátt.

Tafla 1. Náttúrulegt gufu- og gasstreymi frá háhitasvæðum Íslands. Tölur um gufustreymi eru byggðar á gögnum frá Guðmundi Pálmasyni o.fl., 1985.

Svæði	Gufustreymi kg/s	Fjöldi sýna	CO <sub>2</sub> <sup>a</sup> millimól/kg	H <sub>2</sub> S <sup>a</sup> millimól/kg	CO <sub>2</sub> <sup>b</sup> streymi kg/s	H <sub>2</sub> S <sup>b</sup> streymi kg/s
Reykjanes <sup>b</sup>	15	8	279	4,7	0,18	0,002
Svartsengi <sup>c</sup>	82		?	?	(0,25)	(0,003)
Krísuvík <sup>d</sup>	448	23	298	22,6	5,9	0,34
Brennisteinsfjöll <sup>c</sup>	15		?	?	(0,05)	(0,008)
Hengille	747	49	215	15,5	7,1	0,39
Geysir <sup>b</sup>	22	5	130	0,7	0,13	0,001
Kerlingarfjölle	82	23	162	22,4	0,58	0,075
Hveravellir <sup>b</sup>	7	2	51	1,9	0,02	0,001
Torfajökull <sup>f</sup>	1046	28	296	9,5	13,6	0,34
Grímsvötn <sup>c</sup>	1943		?	?	(5,9)	(1,0)
Köldukvíslarbotnare	60	2	241	7,6	0,64	0,016
Vonarskarðe	82	2	391	31,3	1,4	0,09
Kverkfjöll <sup>e</sup>	617	4	266	25,3	7,2	0,53
Askjae	187	2	1417	51,3	11,7	0,33
Fremrinámarc	30		?	?	(0,09)	(0,016)
Námafjall <sup>b</sup>	52	15	72	17,7	0,16	0,031
Kraflae	224	4	1685	24,9	16,6	0,19
Þeistareykirs	142	34	156	41,2	1,0	0,20
Alls:	5801			67 <sup>h</sup>	2,56 <sup>h</sup>	

<sup>a</sup>Meðaltal efnagreininga frá viðkomandi svæði. <sup>b</sup>Stefán Arnórsson og Einar Gunnlaugsson(1985).

<sup>c</sup>Miðað við að djúphiti sé 250°C fyrir þau svæði þar sem ekki eru til gögn um efnainnihald gufu, en það svarar til þess að styrkur CO<sub>2</sub> í gufunni sé 69 millimól/kg og styrkur H<sub>2</sub>S 15,2 millimól/kg.

<sup>d</sup>Stefán Arnórsson (1987). <sup>e</sup>Stefán Arnórsson, óbirt gögn. <sup>f</sup>Stefán Arnórsson o.fl. (1987).

<sup>g</sup>Gestur Gíslason o.fl. (1984). <sup>h</sup>Grímsvötn eru ekki með í þessari samtölu þar sem ekki berst neið gufa að ráði frá svæðinu út í andrúmsloftið.

### Tilvitnanir

- Barth, T.F.W. 1950: Volcanic Geology, Hot Springs and Geysers of Iceland. Carnegie Instn. Washington, rit 587, 174 bls.
- Gunnar Böðvarsson 1961: Physical characteristics of natural heat resources in Iceland. Jökull, 11: 29-38.
- J.D. Friedman, R.S. Williams, Sigurður Pórarinnson og Guðmundur Pálmason 1972: Infrared emission from Kverkfjöll subglacial volcanic and geothermal area, Iceland. Jökull, 22: 27-43.
- Gestur Gíslason, Gunnar V. Johnsen, Halldór Ármannsson, Helgi Torfason og Knútur Árnason 1984: Peistareykir. Yfirborðsrannsóknir á háhitasvæðinu. OS-84089/JHD-16, 136 bls.
- Guðmundur Pálmason, Gunnar V. Johnsen, Helgi Torfason, Kristján Sæmundsson, Karl Ragnars, Guðmundur I. Haraldsson og Gísli K. Halldórsson 1985: Mat á jarðvarma Íslands. OS-85076/JHD-10, 134 bls.
- Halldór Ármannsson, Gestur Gíslason og Trausti Hauksson 1982: Magmatic gases in well fluids aid the mapping of the flow pattern in a geothermal system. Geochim. Cosmochim. Acta, 46: 167-177.
- Helgi Björnsson, Sveinbjörn Björnsson og Þorbjörn Sigurgeirsson 1980: Penetration of water into hot rock boundaries of magma at Grímsvötn. Nature, 295: 580-581.
- Stefán Arnórsson 1986: Chemistry of gases associated with geothermal activity and volcanism in Iceland. J. Geophys. Res., 91: 12261-12268.

- Stefán Arnórsson 1987: Gas chemistry of the Krísuvík geothermal field, Iceland, with special reference to evaluation of steam condensation in upflow zones. *Jökull*, 37: 32-47.
- Stefán Arnórsson og Einar Gunnlaugsson 1985: New gas geothermometers for geothermal exploration - Calibration and application. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 49: 1307-1325.
- Stefán Arnórsson, Grétar Ívarsson, Kevin E. Cuff og Kristján Sæmundsson 1987: Geothermal activity in the Torfajökull field, South Iceland: Summary of geochemical studies. *Jökull*, 37: 1-10.
- P.L. Ward og Sveinbjörn Björnsson 1971: Microearthquakes, swarms and the geothermal areas of Iceland. *J. Geophys.*, 76: 3953-3982.

**Efna- og varmamengun grunnvatns við austanvert Mývatn  
af völdum eldvirkni í Kröflu-eldstöðvarkerfi**

Magnús Ólafsson og Hrefna Kristmannsdóttir  
*Orkustofnun, Jarðhitadeild, Grensásvegi 9, 108 Reykjavík*

**INNGANGUR**

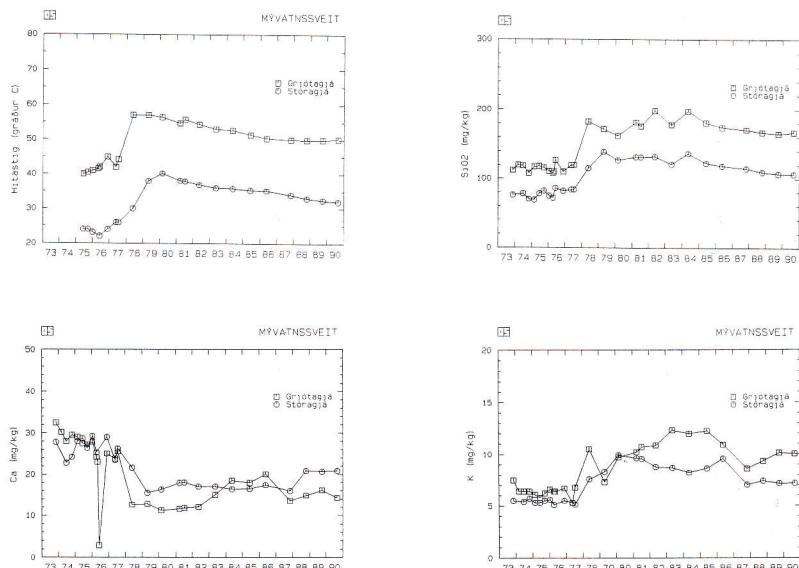
Grunnvatnskerfið í Bjarnarflagi og við austanvert Mývatn er blanda af fersku köldu vatni og jarðhitavatni, sem ættað er úr jarðhitakerfinu við Námafjall. Þessar tvær vatnsgerðir blandast í mismunandi hlutföllum. Við upphaf Kröfluelda 1975 fór að bera á því að grunnvatn í gjám og borholum í Bjarnarflagi hitnaði, reyndar lítið í fyrstu, og jafnframt breyttist efnasamsetning vatnsins. Það var þó fyrst í kjölfar Kröflugoss 8. september 1977 að náttúrulegar efna- og varmamengunar í grunnvatnskerfinu tók að gæta að ráði. Ápreisanlegastar urðu breytingarnar á baðstaðnum í Grjótagjá, þar sem hitinn fór upp í 60°C.

Landsvæðið við austanvert Mývatn er þakirð ungum basalthraunlögum, sem runnið hafa eftir að ísöld lauk. Til norðurs afmarkast svæðið af jökulöldum en til austurs af eldri hraunlögum og móbergshryggnum Námafjalli. Nútímahraunin eru mikil sprunin og misgengin af sprungubelti Kröflueldstöðvarinnar og hafa sprungurnar í stórum dráttum stefnu NNA/SSV. Hraunin hafa hins vegar aðallega runnið til vesturs og suðvestur frá gosprungu nærrí Námafjalli og hafa kólnunarsprungur í þá stefnu, þ.e. samsíða rennslistefnu [Póroddur Póroddsson og Guðrún Sigbjarnarson, 1983]. Þetta leiðir til þess, að grunnvatnsrennslið frá Bjarnarflagi er til vesturs og suðvesturs í átt að Mývatni. Fyrr eða síðar skilar því öll mengun grunnvatns við austanvert Mývatn sér út í vatnið, hvort sem hún er náttúruleg eða af mannavöldum.

Í desember 1975 hófst eldgos í eldstöðvakerfi því sem kennt er við Kröflu og segja má að eldvirknitímabil hafi staðið þar allt fram á þennan dag [Axel Björnsson, 1985]. Í a.m.k. sjö skipti hefur kvika ruðst suður eftir eldstöðvarkerfinu í átt að Námafjalli og í einu tilviki gaus vikur og gjall upp um eina borholuna í Bjarnarflagi. Þetta var í Kröflugosinu 8. september 1977. Hitastig grunnvatnsins hækkaði verulega og efnasamsetning vatnsins breyttist einnig. Hér á eftir verður reynt að varpa nokkru ljósi á breytingar þessar og er þar mest byggt á gögnum sem starfsmenn efnafraðistofu Orkustofnunar hafa safnað á undanförnum árum [Eric Zeeuw og Gestur Gislason, 1988; Magnús Ólafsson og Hrefna Kristmannsdóttir, 1989].

**EFNA- OG VARMAMENGUN GRUNNVATNS**

Fylgst hefur verið með hita og efnasamsetningu grunnvatns í gjám og grunnum borholum frá 1974. Þar sker Grjótagjá sig nokkuð úr, enda er hún staðsett um miðbik þess svæðis þar sem eldsumbrotanna gætti mest. Stóragjá er aftur á móti um 2 km vestar og þar gætti áhrifanna mun minna. Hiti hækkaði þar úr u.p.b. 25°C í 40°C og Stóragjá varð aðal-baðstaður í Mývatnssveit um nokkurra ára bil. Samhlíða hækkuðum hita breyttist efnasamsetning grunnvatnsins á ýmsa lund. Myndir sýna breytingar á hita og styrk kísils, kalfums og kalsíums í vatni úr Grjótagjá og Stórugjá frá 1974 til 1990.



Hiti hækkaði, svo og styrkur kísils og natríums. Styrkur kalsfums og magnesíums lækkaði, enda minnkar leysanleiki þeirra með hækkandi hita, gagnstætt því sem algengast er. Styrkur klóriðs hækkaði nokkuð í grunnvatninu í kjölfar umbrotanna og er líklegt að þar gæti beinna áhrifa frá háhitakerfinu við Námafjall. Fyrir umbrotin var klóriföstyrrur þess talsvert hærri en grunnvatnsins en eftir umbrotin lækkaði hann. Því er líklegt að samhlíða innrás háhitavökva inn í grunnvatnskerfið hafi kalt grunnvatn náð að sytra niður í háhitakerfið og kæla það tímabundið. Þetta kom m.a. fram í lækkuð vermi í holu 10 í Bjarnarflagi.

Styrkur reikulu efnanna súlfíðs og karbónats breyttist talsvert við eldsumbrotin. Mestar urðu breytingarnar í Grjótagjá, og það var fyrst í sýnum sem tekin voru snemma árs 1978 að brennisteinsvetni mældist í vatni þar. Það hvarf þó fljótlega, enda oxast það í súlfat í súrefnirsku vatni. Prátt fyrir þetta lækkaði styrkur súlfats, sem gæti bent til takmarkaðs framboðs brennisteinssambanda frá háhitakerfinu.

Eins og fram kemur á myndum hafa áhrif eldvirkninnar verið að fjara út s.l. tíu ár, en grunnvatnið hefur þó hvorki náð fyrri hita né efnasamsetningu.

#### HEIMILDIR

- Axel Björnsson, Dynamics of Crustal Rifting in NE Iceland. *J. Geophys. Res. B*, 90, 10151-10162, 1985.  
 Magnús Ólafsson og Hrefna Kristmannsdóttir, The influence of volcanic activity on groundwater chemistry within the Námafjall geothermal system, North Iceland. *Proc. 6th Int. Symp. on Water-Rock Interaction, Balkema, Rotterdam*, 537-540, 1989.  
 Zeuw, E. and G. Gíslason, The effect of volcanic activity on the groundwater system in the Námafjall geothermal area, NE Iceland. Orkustofnun, OS-88042/JHD-07, 39 p. 1988.  
 Þóroddur Þóroddsson og Guttormur Sigbjarnarson, Kísilíðjan við Mývatn. Grunnvatnsrannsóknir. Orkustofnun OS-83118/VOD-10, 41 p. 1983.

**Efnasamsetning úrkomu á Vatnajökli og efnabreytingar  
samfara hlutbráðnum snævar**

Sigurður Reynir Gíslason

Raunvísindastofnun HÍ, Dunhaga 3, IS-107 Reykjavík

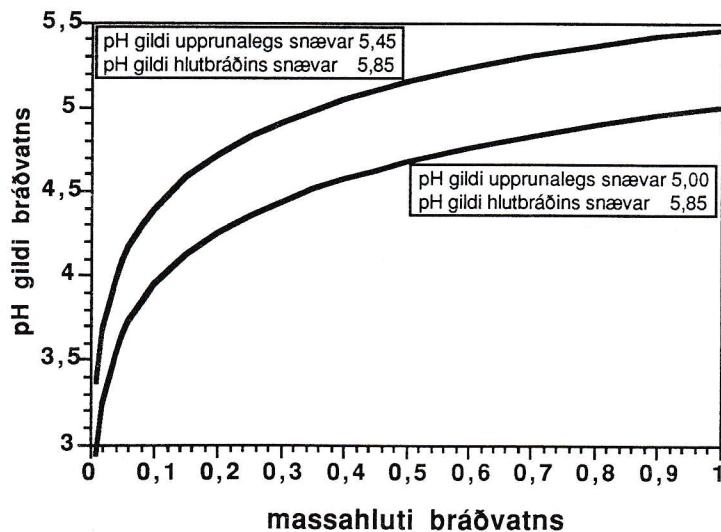
Uppruna helstu uppleystu efna í úrkomu á Íslandi má rekja til sjávar nema hvað hluti súlfats í úrkomunni er líklega til kominn vegna mengunar. Meðalsýrustig íslenskrar úrkomu er 5,4 (*Gíslason o. fl.*, 1990).

Sölt í snjó frá Vatnajökli eru fyrst og fremst ættuð úr sjó. Styrkur klórfös í snjó frá Grímsvötnum jafngildir því að einn dropi af sjó blandist 19000 dropum af hreinu vatni. Styrkur salta í snjó á Vatnajökli sem safnað var í júní 1988, eykst með hæð yfir sjávarmáli, þveröfugt við það sem almennt gildir um úrkomu á Íslandi og annarsstaðar (*Sigurðsson og Einarsson*, 1988; *Herron og Langway*, 1985). Meðalstyrkur salta í snjólaginu frá 1987-1988 á Grímsvatnsvæðinu er tvisvar til þrisvar sinnum meiri en meðalstyrkur salta í snjólaginu fyrir neðan sem er frá ákomutímabilinu 1986-1987. Og á sama stað er pH snjólagsins frá 1987-1988, 0,28 til 0,14 pH einingum lægra en pH snjólagsins frá 1986-1987. Efnabreytingar með hæð á jöklinum og með dýpi niður í gegnum tvö síðustu árlögum eru skyrðar með efnaaðskilnaði samfara því að snjór bráðnar að hluta (*Gíslason*, 1991).

Við hlutbráðnum skolast jónirnar úr snjónum og eftir situr hreinsaður snjór. Jónirnar skolast mishratt úr snjónum.  $H^+$  jónin fer hraðast og svo koll af kolli  $Mg^{2+} > Cl^- \geq Na^+ > SO_4^{2-} > K^+ > Ca^{2+}$ . Pregar bornar eru saman katjónir með sömu hleðslu, kemur í ljós, að því stærri sem vötnuðu jónirnar eru, því hraðar skolast þær úr snjónum. Hröð útskoluun  $H^+$  veldur því að pH bráðvatnsins er lægra en þess snævar sem eftir verður. Þetta endurspeglast í háu pH snævar sem hefur bráðnað að hluta miðað við óbráðinn snjó. Hægt er að reikna pH bráðvatns út frá mælingum á pH óbráðins og hlutbráðins snævar. Með því að bræða 10% af massa snævar með svipaða efnaeiginleika og snjór í nágrenni Grímsvatna, þá er reiknað pH bráðvatnsins meira en einni pH einingu lægra en pH upprunalega snævarins (sjá 1. Mynd). Pað er athyglisvert að sýrustig bráðvatns er lægra en upprunalega snævarins jafnvel þó að hann sé ómengandaður, þ.e. snjór sem inniheldur einungis hreint vatn og sjávarsölt en ekki sterkar sýrur og eða sölt þeirra. Þetta stafar af mismunandi útskoluhráða anjóna og katjóna sem er jafnaður upp með útskoluun  $H^+$  jóna. Því meiri sem hlutfallslegur styrkur "torleystra" katjóna er í upprunalega snjónum, þ.e. katjóna sem hafa tilhneigingu til þess að sitja eftir í snjónum við hlutbráðnum, því lægra verður pH vatnsins sem myndast þegar snjóinn bráðnar að hluta (*Gíslason*, 1991).

## Heimildir

- Gíslason, Sigurður R., The chemistry of precipitation on the Vatnajökull glacier and chemical fractionation caused by the partial melting of snow. *Jökull*, 40 (í prentun), 1991.
- Gíslason, Sigurður R., Stefán Arnórsson og Halldór Ármannsson, Chemical denudation rates in SW-Iceland. Í: Y. Noack and D. Nahon (Ritstj.), *Chemical Geology*, 84, Special Issue, *Geochemistry of the Earth's Surface and of Mineral Formation*, pp. 64-67, 1990.
- Herron, M.M. og C.C. Langway, Jr., Chloride, nitrate and sulfate in the Dye 3 and Camp Century, Greenland ice cores. Í: *Greenland Ice Core: Geophysics, Geochemistry and the Environment, Geophys. Monog.* 33, Washington, D.C. American Geophysical Union, p. 777-784, 1985.
- Sigurðsson, Freysteinn og Kristinn Einarsson, Groundwater resources of Iceland - availability and demand *Jökull*, 38, pp. 35-53, 1988.



**1. Mynd.** Reiknað pH gildi vatns, sem myndast við það að snjór bráðnar að hluta, er sýnt sem fall af massahluta bráðvatnsins. Þegar massahlutinn er 0 er ekkert bráðið en ef hann er 1 þá er allur snjóinn bráðinn. Neðri ferillinn lýsir sýrustigi bráðvatnsins þegar pH snævar fyrir bráðnun er jafnt og 5,00 en så efri þegar pH er jafnt og 5,45. Sýrustig snævar, eftir að hafa bráðnað að hluta er 5,85 í báðum tilfellum.

## Mælingar á kvikasilfri og brennisteinstvíoxíði í andrúmslofti yfir jarðhitasvæðum

Hrefna Kristmannsdóttir, Jón Örn Bjarnason og Kristján H. Sigurðsson  
*Orkustofnun, Jarðhitadeild, Grensásvegi 9, 108 Reykjavík*

### INNGANGUR

Alkunna er, að styrkur kvikasilfurs í jarðgufu er hár og eykst með hitastigi [White o.fl., 1970], og hefur uppstreymi á jarðhitasvæðum verið kortlagt með því að greina kvikasilfur í jarðvegi [Matlick og Buseck, 1975]. Við jarðhitarannsóknir á Orkustofnun hefur greiningu kvikasilfurs í gufu úr gufuaugum verið beitt í sama tilgangi [Halldór Ármannsson o.fl., 1980; Gestur Gíslason o.fl., 1984; Jón Ólafsson, 1978]. Hér lendis hefur gufusýnum yfirleitt verið safnað í saltpéturssúra kalíumpermanganatlausn, og heildarstyrkur kvikasilfurs síðan ákvæðaður með logalausri atómgleypniaðferð [Jón Ólafsson, 1974], án þess að mismunandi sambönd efnisins væru aðgreind. Rannsóknir á erlendum jarðhitasvæðum hafa sýnt, að yfirleitt er a.m.k. 70% af kvikasilfrinu til staðar sem óbundið frumefni,  $Hg^0$ , [Robertson o.fl., 1977], og hefur verið reiknað með því að svo væri einnig hér.

Svonefndri LIDAR-tækní hefur verið beitt með ágætum árangri víða erlendis til þess að mæla loftmengun frá umferð og verksmiðjum [sjá t.d. Edner o.fl. 1987]. Aðferðin byggist á því að senda two leysigeisla, með örlitið mismunandi bylgjulengd, til skiptis, ótt og tift, í gegnum loftmassann sem mælt er í. Bylgjulengdirnar eru valdar þannig að önnur samsvari gleypilínu í efni því sem mæla skal, en hin ekki. Hlutfallslegt ljósmagn í endurkasti geislanna gefur til kynna styrk efnisins. Aðferðin er mjög næm og hefur að auki bann kost að unnt er að ná mælingu af stóru svæði á skömmum tíma. Hún er m.a. vel fallin til mælinga á kvikasilfri á frumefnisformi, ósóni, svo og oxíðum brennisteins, kolefnis og köfunarefnis.

Orkustofnun hefur átt samstarf við vísindamenn frá Tækniháskolanum í Lundi um mælingar á kvikasilfri og brennisteinstvíoxíði með LIDAR, einkum í Svartsengi, en einnig í Krýsuvík og á Nesjavöllum. Grein um þetta samvinnuverkefni mun birtast á næstunni í Journal of Geophysical Research [Edner o.fl. 1991]. Hér verður sagt frá þeim mæliniðurstöðum, sem umhverfismál snerta, en minna fjallað um mælitæknina.

### MÆLINGAR Á KVIKASILFRI

Kvikasilfur í jarðsjó og gufu úr borholum í Svartsengi hefur verið mælt nokkrum sinnum á undanförnum árum með logalausri atómgleypniaðferð. Þá hefur kvikasilfur í borholum á Nesjavöllum og í gufuaugum í Krýsuvík verið mælt á sama hátt.

Í þeim sex Svartsengisholum sem gefa blöndu vatns og gufu mælast um 4300 ng/kg kvikasilfurs í gufunni, en 80 ng/kg í vatninu, og samsvarar þetta 460 ng/kg í heildarrennsli, því massahluti gufunnar er um 9 af hundraði. Ein hola gefur einungis þurra gufu og greinist styrkur kvikasilfurs í henni allt að 18.500 ng/kg. Styrkur kvikasilfurs í andrúmslofti á vinnslusvæðinu mælist um 5 ng/m<sup>3</sup> með sömu aðferð.

Kvikasilfur var mælt með LIDAR í andrúmslofti yfir Svartsengi og nágrenni, í gufumekkinum frá orkuverinu þar, og í stróknum frá þurrgufuholunni meðan hún blés út í loftið. Eins var mælt á rannsóknastofu gassýni úr gufu af svæðinu. Kvikasilfur mældist hvergi meira en 1–2 ng í hverjum rúmmetra lofts, en aðferðin nemur efnið að vísu aðeins sem óbundið frumefni, Hg<sup>0</sup>. Þetta er ápekktt því sem mælist yfir höfum.

Í Krýsuvík er styrkur kvikasilfurs í gufu um og yfir 400 ng/kg og í borholum á Nesjavöllum 300–1700 ng/kg. Á báðum stöðum gáfu LIDAR-mælingar svipaða niðurstöðu og í Svartsengi og mældist hvergi hærri styrkur en 1–2 ng/m<sup>3</sup>.

Af þessum athugunum má einkum draga tvær ályktanir. Í fyrsta lagi er lítið kvikasilfur finnanlegt sem óbundið frumefni, Hg<sup>0</sup>, í andrúmslofti á téðum jarðhitasvæðum, og mun minna en almennt gerist yfir meginlöndum. Í öðru lagi er heildarstyrkur kvikasilfurs í andrúmslofti yfir Svartsengi einnig lítill, enda þótt streymi þess til yfirborðs sé allt að 250.000 ng/s, eða 7 – 8 kg á ári. Ekki er fullljóst hví styrkur Hg<sup>0</sup> mældist svo lítill í stróknum úr þurrgufuholunni, né heldur hvers vegna hann reyndist svo miklu minni en heildarstyrkur kvikasilfurs yfirleitt. Misræmi þetta vekur þó grun um að mikil af kvikasilfrinu kunní að vera bundið í efnasamband, e.t.v. HgCl<sub>2</sub>, gagnstætt því sem þekkist sums staðar erlendis.

#### MÆLINGAR Á BRENNISTEINSTVÍOXÍÐI

Því heyrist stundum fleygt, að brennisteinsvetni, sem mikil er af í jarðhitagasi, kunní að oxast í brennisteinstvíoxíð í andrúmsloftinu og valda súru regni. Því var reynt að mæla brennisteinstvíoxíð með LIDAR á Nesjavöllum, en þar streymir mikil brennisteinsvetni út í loftið. Í ljós kom, að styrkur brennisteinstvíoxíðs náiði hvergi á Nesjavallasvæðinu, né í námunda við það, næmismörkum aðferðarinnar, 5 µg/m<sup>3</sup>, jafnvel ekki til hléss við helstu útstreymi.

#### HEIMILDIR

- Edner, H., K. Fredriksson, A. Sunesson, S. Svanberg, L. Unéus, and W. Wendt, Mobile remote sensing system for environmental monitoring. *Appl. Opt.* 26, 4330-4338, 1987.
- Edner, H., G.W. Faris, A. Sunesson, S. Svanberg, J.Ö. Bjarnason, H. Kristmannsdóttir, and K.H. Sigurðsson, Lidar Search for Atmospheric Atomic Mercury in Icelandic Geothermal Fields. *J. Geophys. Res.*, í prentun, 1991.
- Gestur Gíslason, Gunnar V. Johnsen, Halldór Ármannsson, Helgi Torfason og Knútur Árnason, *Þeistareykir. Yfirborðsrannsóknir á háhitasvæðinu*. Orkustofnun, OS-84089/JHD-16, 1984.
- Halldór Ármannsson og Trausti Hauksson, *Krafla. Samsetning gass í gufuaugum*. Orkustofnun, OS-80027/JHD-16, 1980.
- Jón Ólafsson, Determination of nanogram quantities of mercury in seawater. *Anal. Chim. Acta*, 68, 207-211, 1974.
- Jón Ólafsson, Kvikasilfur og arsen í borholum við Kröflu og Námafjall. *Náttúrunfraeðingurinn*, 48, 52-57, 1978.
- Matlick, J.S. and P.R. Buseck, Exploration for Geothermal Areas Using Mercury: a New Geochemical Technique. *Proc. Sec. U.N. Symp. Dev. Use Geoth. Res., San Francisco*, I, 785-792, 1976.
- Robertson, D.E., E.A. Crecelius, J.S. Fruchter, and J.D. Ludwick, Mercury Emissions from Geothermal Power Plants. *Science*, 196, 1094-1097, 1977.
- White, D.E., M.E. Hinkle, and I. Barnes, Mercury contents of natural thermal and mineral fluids. *Mercury in the Environment, U.S. Geol. Surv. Prof. Pap.*, 713, 25-28, 1970.

## MENGUN Í ANDRÚMSLOFTINU.

Hreinn Hjartarson, Veðurstofu Íslands.

Veðurstofa Íslands hefur frá 1958 verið í samstarfi við erlendar stofnanir í þeim tilgangi að meta "mengunarástand" andrúmsloftsins. Helstu niðurstöður má telja að fram um 1980 gætir hér vaxandi áhrifa af mengun frá Evrópu. En með aukinni hreinsun og betra eldsneyti hefur þessari þróun verið snúið við.

Sýrustig úrkomi sem fór lækkandi allan áttunda áratuginn hefur nú á síðasta áratug farið hægt hækkandi. Náttúrulegri mengun svo sem frá eldgosum og sjó er að sjálfsögðu ekki hægt að útrýma, en mikilvægt er að vita hver hún er.

# Ósongatið og efnafræði ósoneyðingar

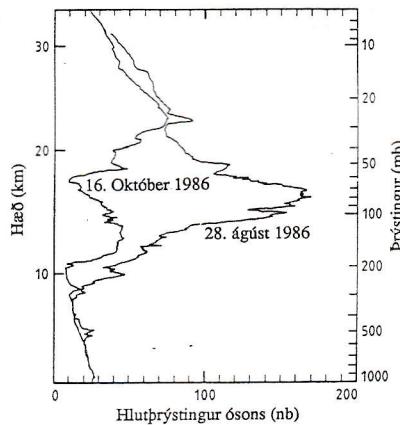
Ágúst Kvaran, Raunvísindastofnun Háskólags.

Mikið hefir verið rætt ogritað um eyðingu ósonlagsins og mögulegar orsakir eyðingarinnar á undanförnum árum. Umræða þessi jókst verulega í kjölfar ítarlegra mælinga sem gerðar voru á styrk ósons og ýmissa annarra efna í andrúmsloftinu yfir suðurheimskautinu. Árið 1986 var mælt frá jörðu og með loftbelgjum og árið 1987 með flugvélum sem flugu allt upp í 20 km hæð. Pannig var unnt að ákvarða ósonstyrkinn í mismunandi hæð yfir jörðu. Samkvæmt þessum mælingum minnkaði ósonið verulega frá því um hávetrartímann, í ágústmánuði, þar til fram á vorið, í október, eins og sést á meðfylgjandi mynd. Í ágústmánuði mældist hámarksstyrkur ósons um það bil  $6 \times 10^{12}$  sameindir/cm<sup>3</sup> (samsvarar um 170 nb á mynd), líkt og víðast annars staðar yfir jörðinni. Í 12 - 20 km hæð yfir jörðu mældist minnkunin um 35% að jafnaði en nam allt að 70 % í 14 - 18 km hæð. Af þessu dregur "ósongatið" nafn sitt.

Ýmsar kenningar hafa verið á lofti um hver eða hverjar kunni að vera orsakir þessarar minnkunar eða eyðingar. Ein kenningin er að minnkun ósons stafi af manna völdum. Hafa þá einkum verið tilnefnd efnafræðileg áhrif freons, sem eru efni sem einkum eru notuð í úðabrusum og ýmis konar kælkerfi. Vitað er að slík efni geta valdið eyðingu ósons við aðstæður líkar þeim sem fyrir hendi eru í háloftunum.

Gerð verður grein fyrir því í hverju meginhlutverk og mikilvægi ósons í andrúmsloftinu felst sem og þeim efnahvörum sem geta haft áhrif á styrk þess.

Ef ósons nyt ekki við í andrúmsloftinu næði útfjólublá geislun á næruútfjólubláá litrófssviðinu (200 - 300 nm) til jarðar, sem væri skaðleg lífríkinu. Ósonsameindir rofna við gleypni rafsegulbylgjugeislunar á því bylgjulengdarbili





$\text{O}_3$  getur því næst endurmyndast samkvæmt



Óson getur hvarfast við súrefnisfrumeindir og myndað súrefnissameindir:



Pannig virðist við fyrstu sýn að óson geti hreinlega eyðst skv. (3) í kjölfar ljósgleypni skv. (1). Slík ósoneyðing er þó mjög hæg og hvarf súrefnisfrumeinda við súrefnissameindir (2) er mun hraðari en hvarf þeirra við ósonsameindir (3) undir venjulegum kringumstæðum. Þó getur hraði ósoneyðingarinnar aukist til muna fyrir tilstilli hvatavirkni, en þar getur freon einmitt komið við sögu.

Heimildir:

deZafra, R.L., M. Jarámilllo, J. Barrett, L.K. Emmons, P.M. Solomon, og A. Parrish, A., 1989. New observations of a Large Concentration of ClO in the Springtime Lower Stratosphere Over Antarctica and its Implications or Ozone-Depleting Chemistry. *Journal of Geophysical Research* 94. 11,423-11,428.

Gribbin, J., 1988. The Hole in the Sky; Man's Threat to the Ozone Layer. Gorgi Books, Bretland, 160 bls.

Hofmann, D.J., J.W. Harder, S.R. Rolf, & J.M. Rosen, 1987. Balloon-borne observations of the development and vertical structure of the Antarctic ozone hole in 1986. *Nature* 326. 59 - 62.

McEwans, M.J. & L.F. Phillips, 1975. Chemistry of the Atmosphere. Edward Arnold, London, 301 bls.

Salawitch, R.J., S.C. Wofsy & M.B. McElroy, 1988. Influence of Polar Stratospheric Clouds on the Depletion of Antarctic Ozone. *Geophysical Research Letters* 15. 871-874.

Sander, S.P. & R.R. Frieds, 1988. Kinetics and Product Studies of the BrO + ClO Reaction: Implications for Antarctic Chemistry. *Geophysical Research Letters* 15. 887-890.

Thrush, B.A., 1988. The Chemistry of the Stratosphere. *Reports on Progress in Physics* 51. 1341-1371.

Þór Jakobsson, 1988. Ósonlagið; Þynning þess hefur áhrif á heilsu fólks. *Heilbrigðismál* 36. 6-9.

## VATNSVERND OG JARÐLEKT

**Freysteinn Sigurðsson**  
*Orkustofnun, Grensásvegi 9  
 108 Reykjavík*

(Útdráttur erindis)

Gerðar eru vissar kröfur til hreinleika neyzluvatns. Það verður að vera:

- Gruggfrítt og litlaust.
- Snautt að vissum efnum og frítt við önnur.
- Örverusnautt og laust við vissar sýklategundir.
- Með sýrustig um eða skammt ofan við pH 7.
- Laust við óþægileg bragð- og litarefni.

Svo að neyzluvatn standist þessar kröfur, þarf oftast að vernda vatnstökusvæðin fyrir mengun. Það er mun erfðara fyrir yfirborðsvatn, opíð fyrir veðri og vindum, fólk og fé, en fyrir grunnvatn, lukt í djúpum jarðar. Vatnsvernd felur í sér m.a.:

- Grugg má ekki berast í það: Nær útilokað með yfirborðsvatn.
- Sjóvatn, olfur, eiturefni, frárennslisvatn o.fl. má ekki komast í neinum mæli í vatnið: Slík spjöll eru tísari og stórum bráðari í yfirborðsvatni.
- Gróður, hræ, saur og annar úrgangur mega ekki vera í vatninu: Erfitt, eða ómögulegt, getur verið að verja yfirborðsvatn fyrir slíku.
- Með viðeigandi loftun er flest ómengoað vatn með viðunandi sýrustig, bragð, lykt og lit, nema mýrvatn, sjávarblanda og jarðhitavatn.

Hreinsun mengaðs vatns (grugg í flóðvatni, skólp-, olfu- og efnamengað vatn) er bæði erfð og ákaflega dýr, miðað við verðlagningu á neyzluvatni á Íslandi. Í gruggfríu vatni má eyða örverum, eða slæva þær, að mestu (með geislun, klórun o.s.frv.). Grunnvatn hefur því að öðru jöfnu mikla yfirburði umfram yfirborðsvatn sem neyzluvatn.

Grunnvatn er unnið úr ýmis konar jarðlöggum (veitum: aquifers) með mismunandi vatnajarðfræðilega eiginleika: Lekt (permeabilitet), misleitni (anisotropi), samfellu (kontinuitet), lokun (konfinitet), stærð, virku gropi (porositet) og stððugleika í vatnsbúskap og ástandi vatns.

Helstu veitagerðir, sem vatn er unnið úr hér á landi, eru eftirtaldir:

- Hraun frá nálfima: Opin og hriplek.
- Grágrýti, óholufyllt basalt, bólstraberg: Minna opin og minna lek en hraunin, oft með löðréttu misleitni.
- Sprungusvæði: Mismikið opin, oft mikil lekt, skörp lárétt misleitni.
- Framhlaup og skriður: Mismikið opin og lek, takmörkuð stærð, óstöðugt vatn.
- Áreyrar: Oft opnar, oft smáar, vatnsbúskaparsveiflur jafnaðar út af árrennsli.

Mengun berst annars vegar í grunnvatn ofan frá og hins vegar að með grunnvatnsstraumum.

- Mengun ofan frá er mest, þar sem grunnt er á grunnvatn, jarðvegs- og gróðurþekju vantar og

lekt veitis er mikil: Mörg ung hraun, skriður og áreyrar.

- Mengun í grunnvatnsstraumum (lárétt) getur borist hratt og langar leiðir í lekum og í misleitnum veitum: Ung hraun, grágrýti, sprungusvæði
- Hreinsun (sífun, eyðing efna, deyðing örvera) vatns er því minni, sem vatnið rennur skemmtíma og styttri leið í gegnum veitana, og því opnari sem þeir eru: Ung hraun (lekt), sprungusvæði (misleitni), áreyrar (stutt vegalengd, opinn veitir), sumar skriður og framhlauð (smæð, opinn veitir).

Pynning getur dregið úr mengun, en pynningin er því meiri sem grunnvatnsstreymi er meira og misleitni minni (meiri dreifing), en grunnvatnsstreymið fylgir lekt og stærð veita: Ung hraun, grágrýti.

Sú mótsögn er í veraldargeðunum, að því meiri sem lekt veitis og vatnsgæfni er, því hættara er að mörgu leyti við mengun og því stærra er einnig hættusvæðið. Í annan stað er hins vegar þynning mengunar því meiri, sem veitir er lekari og stærri, en um leið er hættusvæðið stærra.

Af þessu leiðir ymislegt um vatnsverndarbörf, háða jarðlekt:

- Vatnsverndarbörf fer fyrst og fremst eftir gerð veita og grunnvatnssviða, en miklu síður eftir vatnsnámi (unnu vatnsmagni).
- Verndarsvæði verða að vera því stærri sem veitar eru lekari og vatnsgæfari.
- Vernd verður að vera því strangari sem lekt veitis er meiri.
- Vernd verður að ná til því viðara svæðis sem veitar eru opnari, misleitni minni og minna um lokaða veita á svæðinu.
- Vernd verður að ná mun lengra í aðalstefnu misleitni en þvert á hana.
- Slaka má á sumum verndunarkröfum, því lengra sem kemur frá vatnsbólum, því minni sem lekt veitis er, því ósamfelldari sem veitir er og því meira sem er um lokaða eða misleitna veita á svæðinu.

Almennt séð þurfa vatnsverndarsvæði að vera sterri og vernd á þeim strangari, því meiri sem lekt þeirra er (ung hraun, grágrýti, sprungusvæði), en minni og takmarkaðri vernd, þar sem lekt veita er lítil og mikið er um lokaða og misleitna veita á svæðinu.

#### NOKKUR YFIRLITSRIT UM SAMA EÐA SKYLD EFNI:

Alþingi 1989: Sp. 442. Tillaga til þingsályktunar um skipulag til verndunar vatnsbóla.

Freysteinn Sigurðsson og Guttormur Sigbjarnarson 1990: Iceland. Í: Ground Water in Eastern and Northern Europe. Nature Resources / Water Series No. 24. United Nations. 123 - 137.

Freysteinn Sigurðsson og Jón Ingimarsson 1990: Lekt íslenzkra jarðefna. Í: Vatnið og landið. Orkustofnun. 121 - 128.

Freysteinn Sigurðsson og Kristinn Einarsson 1988: Groundwater Resources of Iceland - Availability and Demands -. Jökull, No. 38. 35 - 54.

Freysteinn Sigurðsson og Þórólfur H. Hafstað 1990: Öflun nytjavatns á Íslandi. Í: Vatnið og landið. Orkustofnun. 111 - 120.

Samvinnunefnd um skipulagsmál á Suðurnesjum 1989: Svæðisskipulag Suðurnesja 1987 - 2007. Verkfræðistofa Suðurnesja h.f., Fjarhitun h.f. 158 s. Kafli 5.1. Skipulag vatnsverndarsvæða, 75 - 81.

5.4.1991

## Mengun grunnvatns á Rosmhvalanesi

Snorri P Snorrason  
Heilbrigðiseftirliti Suðurnesja  
Vesturbraut 10A  
230 Keflavík

### Inngangur

Í júlí 1985 léti varnarliðið á Keflavíkurflugvelli gera rannsókn á hugsanlegri mengun grunnvatns við Sorpeyðingarstöð Suðurnesja (SS). Greind voru m.a. lífræn leysiefni og þungmálmar. Niðurstöður rannsóknarinnar voru þær að eitt af vatnsbólum Keflavíkurflugvallar í nágrenni SS (hola 35) reyndist mengað lífrænum leysiefnum. Efnin sem greindust voru triklóretýlen og 1,1,1, triklóretan. Vatnsbólina var strax lokad, en vitneskja um þá aðgerð og niðurstöður rannsóknarinnar bárust ekki íslenskum yfirvöldum fyrr en í september 1986. Klóruð kolvetni voru greind í fleiri holum og þá kom í ljós að pessi efni fundust á öllu flugvallarsvæðinu.

Rannsóknarstofa HÍ var fengin til að greina þessi efni í vatnsbólum Njarðvíkinga og Keflavíkinga. Niðurstöður þeirra mælinga voru neikvæðar. Það mun þó hafa stafað af skorti að heppilegum tækjum eins og síðar kom í ljós. Snemma árs 1987 voru sýni af neysluvatni úr fyrrgreindum bæjarfélögum send utan til greiningar í Danmörk. Miljöstyrelsen Kemikalikontrol vann verkið. Þær mælinga leiddu í ljós að "klóruð kolvetni" fundust í vatnsbólum beggja bæjarfélaga þó magnið væri ekki mikil. Allmög klóruð kolvetni hafa greinst í grunnvatninu. Þeirra mest áberandi voru Tetraklóretýlen, stundum einnig nefnt Perklóretýlen (PCE) og Triklóretýlen (TCE).

### Mengun í vatnsbólum Njarðvíkinga og Keflavíkinga

Viðbrögð íslenskra yfirvalda voru þau að setja á stofn starfshóp til að vinna að að úrlausn þessa máls. Lyktir urðu þær að vinna við rannsókn á orsókum grunnvatnsmengunar á Rosmhvalanesi hófst fyrrihluta árs 1988. Rannsóknin var greidd af varnarliðinu en framkvæmd af ráðgjafarfyrirtækinu R.E.Wright. Orkustofnun og HES voru undirverktakar og önnuðust hluta þessara rannsókna.

Klóruð kolvetni eru þeirrar náttúru að brotna lítt eða ekki niður í náttúrunni, nema þar sem gerlagrður er mikill. Þær tekur niðurbrotið langan tíma eigi að síður. Niðurbrot þessara efna er mjög hæg í grunnvatni.

Rannsókn þessi var í mörgum liðum. Í fyrstu beindist athygli einkum að:

1. Greiningu á efnainnihaldi í allmögum holum á Rosmhvalanesi
2. Könnun heimilda um meðferð þessara efna á svæðinu frá því um stríð og fram til 1988.
3. Kortlagningu grunnvatns á Rosmhvalanesi

OS og HES unnu einkum við lið 2 og 3.

Leitað var til tuga manna sem veittu upplýsingar um notkun og umgengni við hættuleg efni í Keflavík, Njarðvík og á Keflavíkurflugvelli.

Síritar voru settir í 18 borholur og vatnsborð síritað í rúman mánuð haustið 1988. Val á mæliholum og lengd síritunar, og fleiri atriði þóttu óheppileg að mati sérfræðinga HES og OS eins og vikið verður að síðar.

Að fengnum niðurstöðum í fyrsta hluta rannsóknarinnar var ákveðið að beina athygli að nokkrum svæðum þar sem líklegast væri að leita uppsprettu mengunar í vatnsbólum Keflavíkur og Njarðvíkur.

1. Camp Davies (í næsta nágrenni við vatnsból Njarðvíkur). Þar var rekin purrhreinsun á stríðsárunum. Tetraklóretýlen var notað þar sem aðal hreinsiefni. Karvel Ógmundsson rak þar síðar fiskverkun.
2. "Tunnusvæði" skammt frá Camp Davies þar sem geymdar höfðu verið tunnar, í hverjum var bæði terpentína og PCE. Um það er til skemmtileg saga.
3. Icelandic Salvage Area, á svonefndu Nikkel svæði. Þar var Sölunefndin til forna. Þar voru fimm braggar og þar var m.a.lager af tunnum af glussa olíum og einhverjum hreinsiefnum. Braggarnir brunnu um eða eftir 1960. Talin var hætta á að eitthvað af efnunum hefði farið niður við brunann.
4. Flugskýli 885 (það stóra). TCE og PCE höfðu bæði verið notuð í flugskýlunum. Niðurföll í flugskýlunum voru leidd út fyrir skýlið og ekki tengt frárennsliskerfi. Hætta þótti því á grunnvatnsmengun frá skýlinu.
5. Æfingarsvæði slökkviliðs skammt frá Leifsstöð. Þar var brennd notuð smurolfá sem einkum var safnað í flugskýlunum. Fyrstu árin fóru æfingar þannig fram að smurolfunni var hellt á jörðina og síðan kveikt í. Talin var hætta á að klórkolvetni hefðu blandast smurolfunni í flugskýlunum.
6. Ruslahaugar Suðurnesjamanna á Miðnesheiði (um 2 km norðan við Leifsstöð) Haugarnir voru starfræktir þar frá um 1965 og til 1979.
7. Svæði skammt frá purrhreinsuninni í Camp David þar sem botnfalli úr olfutönkum hafði verið fargað.

Haustið 1988 voru þessi svæði tekin til rannsóknar. Beitt var segulmælingum, leiðnimælingum og fl. Orkustofnun tók þátt í þeim verkhluta. Þá var leitað að lífrænum gufum í jarðvegi með tæki því er nefnist "Organic Vapor Analyzer (OVA)". Þetta hefur verið þýtt "Jarðiðragasþefari eða jaðvegsgufugreinir". Tæki þetta byggir á því að gufur úr jarðvegi eru sogaðar inn í tækið og þar er þeim brennt í vetrnisloga. Í loganum jónast lífræn efni og þessi jónum er mælanleg. Tækið er mjög næmt á breytingar á heildarmagni kolvetna í jarðvegsgufum, en niðurstöður mælinga á mörkinni eru fyrst og fremst "kvalitativar". Tæki þetta reyndist allvel og greindust leifar lífrænna efna í jarðvegi. Einkum kom vel fram olíumengun umhverfis æfingarsvæði slökkviliðs og úrgangur frá fiskverkun Karvels.

Að lokinni þessari rannsókn voru tekin sýni af jarðvegi og klórkolvetni greind í þeim. Engin slík efni fundust þó í þessum sýnum.

Lokafasi rannsóknanna var að 20 borholur voru boraðar við rannsóknarsvæðin. Mikill viðbúnaður var við borunina, öll tæki voru gufuhvergin hátt og lágt og starfsmenn í séristökum búningum með gasgrímur innan seilingar. "Jarðvegsgufugreinirinn" var notaður sem öryggistæki við borun. Í nokkrum tilvikum mældust greinilega lífræn efni í berggrunni og grunnvatni á meðan borun stóð. Að borun lokinni voru tekin sýni af grunnvatni og klórkolvetni greind í þeim. Þá kom fram greinileg mengun við æfingasvæði slökkviliðs, við flugskýlið og í nágrenni við purrhreinsunina gömlu í Camp David. Ótvíræðar niðurstöður um uppruna þeirrar mengunar sem fundist hafði í vatnsbólunum fengust þó ekki.

Að lokum kom út skýrsla um seinni hluta rannsóknanna. Skýrslan var skrifuð af R.E.Wright. Íslendingar vefsengdu þær niðurstöður sem komist var að í skýrslunni, einkum því sem sneri að grunnvatnshæð, og þar með mengunarhættu frá einstökum stöðum. Skýrslu þessari hefur lítið verið hampað síðan.

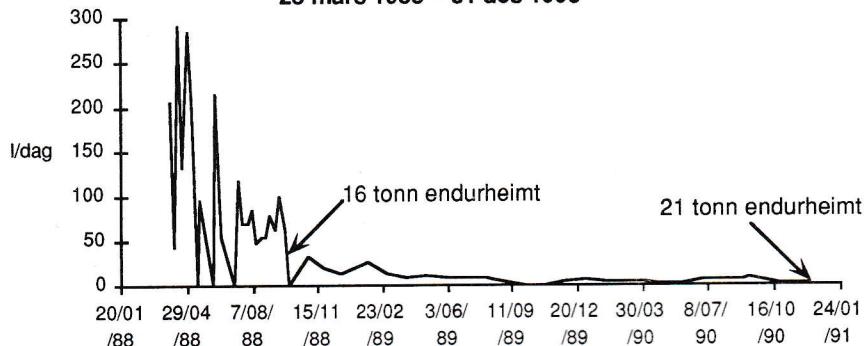
### Olíumengun

Í nóvember 1987 varð olíuslys á svonefndu Nikkel svæði í Njarðvík. Þar runnu 70.000 lítrar af gasóli úr tanki um bílaða leiðslu. Olían læk beina leið niður til grunnvatns og myndar þar flekk sem flýtur ofan á grunnvatnini. Olíumengun í jarðveginum var á hreint ótrúlega litlu svæði, aðeins nokkrum fermetrum. Fljótega eftir slysið voru boraðar nokkrar holar á staðnum og fylgst með útbreiðslu olíunnar í bergi og grunnvatni. Í mars 1988 var hafin hreinsun á olíunni. Olíunni var fleytt ofan af grunnvatnini með svokölluðum "skimmer". Árangur þessara aðgerða er sýndur á mynd 1.

Mynd 1

### Olía endurheimt úr holu RW-1

25 mars 1988 - 31 des 1990



Fleiri slys af þessu tagi hafa orðið á undanförnum árum. Þar má nefna að ca 20.000 l af olíu runnu úr geymum við fjarskiptastöð í maí 1989. Þar var einnig um bílaða leiðslu að ræða. Í júlí 1989 var boruð hola til að hreinsa upp olíuna. Hreinsiaðgerðir hafa reynst fremur erfðar og hafa legið niðri nú um hríð, en í ráði er að hefja þær að nýju í sumar. Þykkt olíulagsins í holunni er stöðug og jöfn 2-3 cm. Í þessu tilviki reyndist olíumengun í jarðveginum einnig vera bundin við fremur lítið svæði og olían hafði runnið viðstöðulítið til grunnvatns. Á báðum þessum stöðum sem hér um er rætt var lag af fokmold sem fljótt á lítið hefði átt að tálma olíunni fór, en lítið fór fyrir því. Af þessum óhöppum má draga þá ályktun að við aðstæður eins og ríkja á Rosmhvalanesi þá veita laus jarðlög sáralitla vernd gegn olíumengun amk ekki ef 500 lítrar eða meira sullast niður í einum. Hreinsun olíunnar og mælingar á þykkt olíu í holunum er gerð af starfsmönnum hersins undir stjórn Gottskálks Friðgeirssonar.

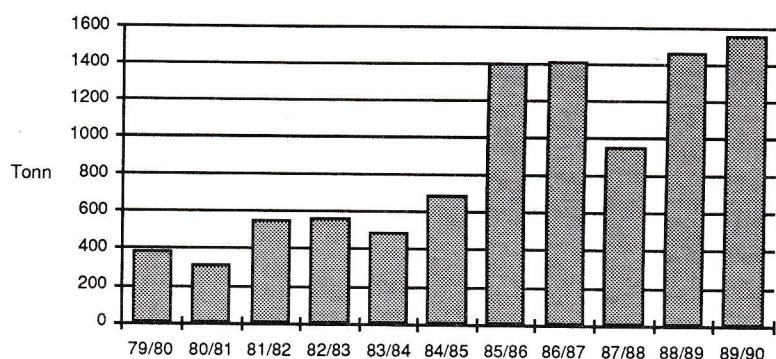
### Nítrat í grunnvatni

Á Keflavíkflugvelli hefur þvagefnið Urea ( $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$ ) verið notað til afísingar á flugbrautum. Urea hefur verið notað frá því fyrir 1970 og hefur notkun þess vaxið ár frá ári. Á tímabilinu 1985-1990 hefur notkun á þessu efni numið 1400 tonnum á ári, sjá mynd 2. Vorið 1990 hóf HES mælingar á nítrati í grunnvatni á Rosmhvalanesi. Þær mælingar leiddu í ljós talsverða nítratmengun í nokkrum holum við flugbrautirnar. Sjá mynd 3. Hæstu gildi sem mældust voru í tveimur vatnsbólum, um 90 ppm. Hæstu leyfileg mörk nítrats í drykkjarvatni samkvæmt alþjóðlegum stöðlum er 45 ppm. Í

vatnsbólum Keflavíkur og Njarðvíkur er magn nítrats 1-2 ppm og utar á nesinu greinist ekki nítrat í grunnvatni.

Mynd 2

### Notkun Urea á Keflavíkurflugvelli



Mynd 3

