

RÁÐUNAUTAFUNDUR 1988

VATN OG VARMI TIL FISKELDIS

Freysteinn Sigurðsson

Orkustofnun

I. Náttúruforsendur fiskalífs

Fiskar eru lagardýr og þurfa vatn til að lifa í. Þeir hafa misheitt blóð, en dafna best við ákveðinn kjörhita. Ferskvatn hér á landi er yfirleitt fremur kalt og í flestum tilvikum kaldara en kjörhiti þeirra eldisfiska, sem mest hefur verið rætt um hérlendis, lax og silungs. Jarðhitinn kemur þá að góðum notum til að hita vatnið upp. Sömuleiðis eru möguleikar á notkun vatnsknúinna varmadælna, þar sem stöðug og viðráðanleg fallvötn eru fyrir hendi. Mengun hvers konar getur verið skaðleg heilsu fiskanna og valdið verulegum afföllum í fiskeldinu. Vatnið þarf því að vera nægjanlega hreint. Hér verður fjallað um ferskvatn og jarðhita í byggðum landsins sem vænlegar forsendur fiskeldis og rannsóknir á þeim.

II. Jarðforsendur vatns og varma

1. Grunnvatn og vatnsgæf jarðlög

Jarðhitinn er borinn til yfirborðs af grunnvatni, sem farið hefur djúpt í jörð. Bezta ferskvatn til fiskeldis er einnig grunnvatn, þar eð yfirborðsvatni er mun hættara við mengun hverskonar. Allt þetta vatn er sístreymandi við náttúrulegar aðstæður og tekur þátt í hringrás vatnsins á yfirborði jarðar og í jörðu niðri. Til jarðar er það komið úr úrkomu þeirri, sem á landið fellur. Hún er misdreifið um landið og eftir árstíðum. Einungis sá hluti hennar, sem sígur niður, tekur þátt í streymi grunnvatnsins. Þessi hluti er stór, þar sem jarðlög eru lek, en það er einkum á síðkvarteru gosbeltunum. Tertíert og árkvartert berg er víðast orðið þétt að kalla, mest vegna ummyndunar. Þar safnast grunnvatn einkum í laus setlög, sem myndast hafa eftir að ísaldarjöklarnir hurfu af landinu, en þeir hreinsuðu hin lausu setlög af landinu á sínum tíma og fluttu þau út í hafsauga. Setlög þau, sem jöklarnir skildu eftir sig sjálfa, eru yfirleitt langþvæld og lítið lek. Lindasvæði eru því langstærst í tengslum við síðkvarter jarðlög.

Sprungur og jarðlagaskipan geta beint sigvatni og

grunnvatnsstraumur djúpt í jörð niður. Þar hitnar vatnið af völdum varmastreymsis úr iðrum jarðar. Þetta varmastreymi er sums staðar mjög öflugt, einkum á virku gosbeltunum, en þar er það talið standa í sambandi við hraunkviku djúpt í jörð. Hlutfall vatns og varma ræður hitastigi vatnsins og því þá, hvort það er í fljóttandi formi eða sem gufa. Háhitasvæði landsins liggja á virku gosbeltunum. Með hækkandi hita verða öll efnahvörf við bergið örari og efnainnihald vatnsins eykst. Á háhitasvæðunum getur einnig gætt gasa úr hraunkvikunni. Efnasamsetningin getur þá gert vatnið óhæft til beinna nota við fiskeldi. Þá þarf að hita upp ferskvatn með varmaskiftum, en það er oft af skornum skammti á háhitasvæðunum. Hins vegar er varmaafli þeirra langmest og felst í þessu vandi nokkur við nýtingu jarðhitans til fiskeldis. Vatnsmestu lághitasvæðin eru við jaðra síðkvartera gosbeltisins, eða skammt undan því.

2. Grunnvatnsrennsli

Ferskt grunnvatn er bezt í fiskeldisvökvinn á landi og jarðvarminn er borinn af grunnvatni. Könnun á jarðrænum forsendum fiskeldis er því fyrst og fremst tengd grunnvatnsrennsli, djúpt eða grunnt í jörðu, og ástandi þessa grunnvatns, hvað varðar efnainnihald og mengun. Þess vegna er vert að rifja upp höfuðatriði varðandi grunnvatnsrennslið. Grunnvatnið rennur gegnum göt en ekki heilt berg eða ósamtengd göt. Hlutfall holrýmis í jarðlögum er kallað "grop" (porositet), en hlutfall samtengs holrýmis, sem vatn getur streymt um, er kallað "virkt grop". Úr þessu holrými má ná vatni og samsvarar það því að verulegu leyti "geymd" (storage) jarðlaganna. Streymið er greiðast, ef götin eru stór og hentug í laginu. Hæfni jarðlaga til að veita vatni er kölluð "lekt" (permeabilitet) og hefur lítið með tölugildi grops að gera. Rennsli (vatnsmagn) um jarðlögin er svo háð lektinni og þykkt (þversniði) jarðlaganna, en margfeldi þeirra er kallað "leiðni" (transmissivitet). Galopnar sprungur eru lang stærstu göt, sem völ er á í jörðinni, og getur rennsli um þær verið mikið. Talað er um "æðar" í borholum, og er sú hugmynd frá blóðtökumönnum miðalda. Í raun er þar um að ræða lek jarðlög, jarðlagamót eða sprungur, sem öll hafa flatarlega útbreiðslu. Vel lek jarðlög eða opnur (sprungur) eru kölluð veitar (aquifer) en þétt jarðlög stemmar (aquiclude). Aflvaki grunnvatnsstreymisins er orkubrattinn (energi gradient) í grunnvatninu, sem er nokkuð í samræmi við halla grunnvatnsborðs í opnum veitum, en þrýstingsmunur í lokuðum veitum, t.d. í flestum jarðhitakerfum. Þar skiftir eðlisþyngdarmunur vegna hitamunar og gufuprýstingur einnig máli.

Jarðlögin eru mjög mis vel lek eftir því hver gerð þeirra er. Gróf og hrein mól er bæði mjög vel lek og hefur

mikla geymd, en leir og méla eru nánast þétt, þó grop þeirra sé mikið. Ung hraun og ófyllt berg eru vel lekt, en geymd þeirra er takmörkuð. Móberg (túff) hefur mikla geymd, en er mis vel lekt. Ummyndun í bergi dregur mjög úr lekt og rýrir einnig geymd þess. Jarðmyndanir hafa lekt og geymd í samræmi við gerð jarðlaga í þeim. Þær verða þó almennt þéttari, þegar neðar dregur í jörðu, enda jarðlög þar fergð og ummynduð. Það er því þrengra um jarðhitarásirnar en um grunnvatnið í yfirborðslögum. Sprungur og aðrar rásir, sem höggun (tektonik) veldur, eru því mun þýðingarmeiri fyrir jarðhitastreymið en fyrir ferskvatnið.

3. Vatnsgæfni jarðmyndana

Sem fyrr segir er ferskt grunnvatn mest í tengslum við síðkvarterar jarðmyndanir. Mestu lindasvæði í byggð eru tengd sprungureinum og hraunum. Rennsli frá þeim nemur þúsundum l/s. Má þar nefna Þingvallasvæðið, Mývatnssveit, Öxarfjörð - Kelduhverfi, Landssveit - Rangárvelli, Eldhraun á Síðu, Biskupstungur - Laugardal og Húsafell - Hraunfossa í Borgarfirði. Á Reykjaneskaga rennur ferskt grunnvatn beint til sjávar svo nemur tugum þúsunda l/s. Vatn er hægt að nema úr lindum eða úr bergi með borholum í stórum stíl á þessum svæðum. Háhitasvæði í eða við byggð eru einnig tengd þessum jarðmyndunum, en þau eru á Reykjaneskaga austur í Hengil, við Mývatn og í Öxarfirði - Kelduhverfi. Afmikil lághitasvæði eru í Biskupstungum, Mosfellssveit og Borgarfirði við jaðar þessa svæðis. Þar er hins vegar ekki alls staðar eins auðvelt að afla ferskvatns.

Ferskvatnsmám er allt torveldara og í smærri stíl á árkwarteru og tertíeru svæðunum. Á sunnanverðum Vestfjörðum er berg óholufyllt í ofanverðum jarðlagastaflanum og hafa þar verið boraðar öflugar ferskvatnsholur, hvernig sem þær svo endast við langtíma nýtingu. Öll vinnsla með dælingu eða opnun vatnsrása með borun er truflun á náttúrulegum aðstæðum og er ekki alltaf hægt að sjá afleiðingar hennar fyrir. Dæling vatns úr jörðu er námuvinnsla að meira eða minna leyti. Gildir það einkum, hvað varðar jarðhitann, því að þar er truflunin jafnan stórfelld. Við jarðhitanámið þarf iðulega að bæta við borholum, þegar ganga fer á forðann og holurnar verða tregari á vatn.

Umtalsverð lághitasvæði eru víða um nyrðri hluta landsins: Á sunnanverðum Vestfjörðum, við Djúp, á Ströndum, í Skagafirði, í Fljótum, í Eyjafirði og í Reykjadal - Reykjahverfi. Ferskvatn er þar óvíða hægt að vinna úr bergi og verður því að afla þess úr lausum jarðlögum, einkum framhlaupum og þykkum áreyrum. Víða þarf þar að dæla ferskvatninu. Þar sem lindavötn eru mikil en jarðhiti enginn eða af skornum skammti, eins og undir Eldhrauni og á Rangárvöllum - Landssveit, má nýta vatnsmagnið til að knýja

varmadælur, ef viðunandi fall fæst. Sama getur gilt víðar, þar sem viðráðanleg fallvötn eru til staðar og kostur er á nógu hreinu grunnvatni.

Til skamms tíma var ylvölg vatn eða velgjur naumast talið til jarðhita nema í fræðilegu tilliti. Hitinn var of lágur fyrir nýtingu. Þetta viðhorf hefur breytt með tilkomu fiskeldisins. Ylvatn er nú talið hið bezta vatn til fiskeldis, þar sem nóg er af því. Það er þegar nýtt með góðum árangri í Kelduhverfi og í Grindavík. Vitað er um ylvatn, eða von talin á því, all víða á Suðurlandi, einkum með jaðri gosbeltisins vestara. Það er hugsanlega til víðar, svo sem í Suður-Þingeyjarsýslu og Vestur-Skaftafellssýslu, þótt tilvist þess hafi ekki enn verið sönnuð. Lághiti og ferskt lindavatn finnst í Hnappadalssýslu og þar gæti raunar verið líka ylvatn að finna.

III. Gæði vatns og varma

1. Efnainnihald

Ferskvatn á Íslandi er yfirleitt efnasnautt. Sem dæmi má nefna, að kísill er oft á bilinu 10 - 20 ppm (milljónustuhlutar), klóríð á bilinu 5 - 15 ppm og kalsíum á bilinu 2 - 7 ppm. Nærri ströndu, þar sem hvassir vindar standa af hafi, er efnainnihald meira og fylgir það seltunni úr særokinu. Jarðhitablandað vatn (þ.m.t. ylvatn) er einnig efnaríkara en venjulegt grunnvatn. Mýravatn, eða vatn sem er runnið undan mýrlendi, er yfirleitt auðugt að kolsýru (CO_2), sem aftur hefur oft járnmengun í för með sér. Það er vatna verst fyrir fiska og menn. Efnainnihald í yfirborðsvatni er sjaldan mikið, þó það geti verið gruggugt og óhreint.

Efnainnihald er mun meira í lághitavatni. Kísill er t.d. oft á bilinu 50 - 200 ppm, súlfat á bilinu 10 - 100 ppm og klóríð á bilinu 10 - 100 ppm. Sum önnur efni eru ekki eins auðug í lághitavatninu. Magnesíum er t.d. oft nánast þorrið og kalsíum aðeins á bilinu 1 - 5 ppm. Járn er sjaldan mikið í lághitavatninu. Íblöndun lághitavats í kalt fiskeldisvatn er því sjaldnast varhugaverð. Þvert á móti getur hún jafnvel verið af hinu góða, þar eð ferskvatnið er jafnvel helzt til efnasnautt m.a. með tilliti til stöðugs sýrustigs og lyfjagjafar. Háhitavatnið er sýnu efnaríkast. Kísill getur numið mörgum hundruða ppm og umtalsverður styrkur járn er oft til staðar. Það er því oftast en hitt ekki hægt að nota háhitavatnið beint til íblöndunar.

2. Hreint og heilnæmt vatn

Grunnvatn er alla jafna hreinna og ómengaðra en yfirborðsvatn. Rennsli þess er mikið til stöðugt og síun

veruleg í jarðlögnum. Yfirborðsvatn fyllist af gruggi í flóðum, hvort sem þau eru af völdum snjóleysinga eða rigninga. Ýmsar tilraunir hafa verið gerðar til að sía ferskvatn hér á landi en ekki er vitað til að þær hafi borið algjöran árangur. Gruggið verður svo óskaplegt í mestu flóðum. Hins vegar getur yfirborðsvatn verið grugglaust, eða a.m.k. grugglítið, mestan hluta ársins. Vatn úr stórum stöðuvötnum verður heldur aldrei eins gruggugt og árvatn eða vatn úr grunnnum tjörnum. Mikill hluti gruggsins sífast úr í náttúrulegum setlögum, sem dælt er úr, t.d. áreyrum. Þó verður það að renna vissan spöl í gegnum setið. Það má heldur ekki vera mjög gróft og opið. Raunar gildir þar sú þversögn, að því betur sem setið sifar vatnið, því minni er vatnsgæfni þess, svo að þessir kostir þess fara sjaldan saman. Síun er lítil í vel opnu bergi og gildir þar hin sama þversögn. Minnst er þó síun í sprungum, enda eru þær opnastar.

Gerlar og sýklar geta auðveldlega borist í opið vatn, auk þess sem alls konar gróður og dýr geta þrífist í því. Það er því alltaf hættu á lífrænni mengun í yfirborðsvatni, en þó mest á sumrin, þegar heitast er og engin íshula hlífir vötnunum. Grófar, lífrænar leifar má að vísu sía úr vatninu sem annað grugg, en gerlar og sýklar verða að hafa lengri dvöl í vatninu neðanjarðar, ef þeir eiga að deyja út. Sótthreinsun vatns með geislun eða öðru móti er nokkuð dýr, auk þess sem vatnið verður að vera gruggfrítt. Hreinleika vegna hefur grunnvatn því alla burði yfir yfirborðsvatn, að öðru jöfnu. Rennsli þess er líka miklu stöðugra og áreiðanlegra, auk þess sem vinnslumannvirkjum er minni hættu búin af völdum flóða og annarra hamfara. Grunnvatn er því sýnu ákjósanlegri kostur en yfirborðsvatn, þar sem þess er völ.

IV. Jarðrannsóknir vegna fiskeldis

1. Skipulegt rannsóknarferli

Skipulegur undirbúningur er beztá tryggingin fyrir árangursríkri framkvæmd. Þar sem fiskeldi byggist á nýtingu náttúrulegra jarðargæða er rannsókn á þeim nauðsynlegur þáttur í undirbúningi að fiskeldi. Þessar rannsóknir nýtast bezt, ef hægt er að vinna að þeim stig af stigi og endurskoða rannsóknaráætlanir og nýtingaráform eftir hvert stig. Á sama hátt er hagkvæmast að þrengja hringinn að ákjósanlegasta fiskeldisstað með svæðisbundnum könnunarrannsóknum, staðbundnum könnunarrannsóknum og staðbundnum nýtingar- og hönnunarrannsóknum. Fiskeldi hefur skotizt eins og vígahnöttur upp á himin íslenzkra atvinnuvega. Fjöldi manna hefur þar talið sig sjá tækifæri til arðbærs og áhugaverðs atvinnurekstrar. Margir þessarra manna hafa þrjúnað stór áform og jafnvel hætt til fé sínu,

án þess að hugað hafi verið að forsendum verksins. Þetta er vond nýting á fé og framkvæmd, bæði einstaklinga og þjóðfélagsins. Því hefur árin 1987 og 1988 verið lagt fram almannafé til svæðisrannsókna á jarðrænum forsendum fiskeldis. Orkustofnun hefur séð um þessar rannsóknir og notið við það samvinnu heimamanna á hlutadeigandi svæðum. Á þessum rannsóknum má byggja staðarval til fiskeldis og frekari rannsóknir á þeim stöðum, eftir því sem þörf krefur.

2. Rannsóknir Orkustofnunar

Rannsóknir Orkustofnunar eru svæðisbundnar könnunarrannsóknir á möguleikum á öflun ferskvatns og jarðhita til fiskeldis. Þeim er ætlað að vera leiðbeinandi um yfirlit yfir umfang möguleika á hverju svæði, val hentugustu staða, frekari undirbúningsrannsóknir á þeim og hagkvæma nýtingu þessarra náttúruauðlinda. Þær hófust vorið 1987 og stefnt er að því, að þeim ljúki árið 1989, enda liggja þá fyrir viðunandi yfirlit um umrædd svæði. Rannsóknir þessar beinast fyrst og fremst að þeim svæðum, þar sem helzt var árangurs að vanta. Þó eru þar á meðal svæði, sem lítið var vitað um, en ekki vonlaust, að einhverjir möguleikar leyndust. Má þar nefna könnun á jarðhitalíkum í Vestur-Skaftafellssýslu. Sú könnun reyndist jákvæð að því leyti að telja má nú tilvist jarðhita á svæðinu staðfesta, þó ekki sé hann endilega mikill. Val rannsóknarsvæða og tímaröðun þeirra er að sjálfsögðu jafnan matsatriði. Fyrst var litið á "feitu bitana", en síðan er ætlunin að kroppa um mögru kjúkurnar.

Rannsóknum þessum er ætlað að skila upplýsingum um jarðhitalíkur, þar sem stuðzt er við jarðlaga- og sprungukortlagningu á yfirborði, mælingar á jarðviðnámi til að kanna jarðhitaástand djúpt í jarðlögum, hita-, rennslis- og efnagreiningar á jarðhitavatni á yfirborði og í borholum og mælingar á hitastigli í rannsóknarborholum. Ferskvatnsrannsóknirnar lúta að rennslis-, hita og efnainnihaldi lindavatns, og árvatns þar sem ekki er öðru til að dreifa svo og möguleikum á öflun ferskvatns úr lekum jarðlögum. Þær beindust einkum að þeim stöðum þar sem nýtanlegs jarðhita var von, eða rennslis linda mikið. Stefnt er að því, að niðurstöður rannsókna á árinu 1987 komi út í skýrslum fyrir sumarmál 1988. Hér verður stuttlega dregið á helztu niðurstöður á hinum ýmsu svæðum.

2.1. Vestfirðir

Rannsókuð voru svæði á Suðurfjörðum, frá Arnarfirði til Barðastrandar, við Inn-Djúp og á Ströndum frá Steingrímsfirði til Kaldbaksvíkur. Á Suðurfjörðunum er all víða heitt eða ylvolt vatn, kalt vatn má vinna í umtalsverðum mæli úr bergi og á þó nokkrum stöðum úr lausum

jarðlögum. Við Inn-Djúp eru talin vera líkleg skilyrði til samnýtingar jarðhita og ferskvatns á 7 - 8 stöðum, þó ekki yrði það í mjög stórum stíl. Á Ströndum eru 4 staðir taldir all vænlegir og það ekki með mjög smáu móti. Þar og við Djúp yrði ferskvatnstaka úr áreyrum.

2.2. Skagafjörður

Kannaðar voru innsveitir Skagafjarðar. Helztu jarðhitasvæðin eru við Reyki í Tungusveit og í Vesturdal, hjá Hverhólum - Bakkakoti og Hofsvöllum. Einkum virðist vænlegt svæði á Hofsvöllum. Ferskvatns verður að afla úr áreyrum og er það ekki alls staðar vænlegt í næsta nágrenni við hentuga jarðhitastaði. Ylvatn fannst í innanverðri Blönduhlíð við rannsóknarboranir.

2.3. Öxarfjörður - Kelduhverfi

Þetta rannsóknarsvæði hefur nokkra sérstöðu, því að þar voru þegar miklar rannsóknir í gangi á vegum heimamanna og var því rannsókn þar að mörgu leyti ítarlegri en annars staðar. Öflug jarðhitasvæði eru úti á söndunum í Öxarfirði, við Skóga og við Bakkahlaup. Geysi mikið rennsli af ylvatni er í Kelduhverfi hjá Keldunesi og Skúlagarði. Ferskvatnsstreymi er mikið í tengslum við sprungureinar á svæðinu, jafnvel svo að nemi tugum þúsunda l/s. Reinar þessar stefna nærri N-S og eru þær helztu í hlíðarfætinum í Öxarfirði og út á Kópasker, um austanvert Kelduhverfi og við Lón í Kelduhverfi. Tilraunir með sjótöku hafa ekki gengið vel á söndunum en vænlegar virðist horfa í föstu bergi úti í Núpasveit. Jarðhitavatnið í Öxarfirði er yfirleitt járnmengað, enda verulegar líkur þar taldar vera á háhita. Í heild verður að telja þetta svæði eitthvert hið vænlegasta til stórfellds fiskeldis á landinu.

2.4. Vestur - Skaftafellssýsla

Höfuðáherzla var lögð á að kanna jarðhitalíkur í nánd við þekktu ylstaði í Skaftártungu og á Síðu, einkum með jarðviðnámsmælingum. Fullvíst má nú telja að jarðhiti sé þar til staðar djúpt í jörðu, einkum í Skaftártungu. Ferskvatnsöflun í nánd við jarðhitastaðina yrði að vera úr áreyrum.

2.5. Uppsveitir á Suðurlandi

Öflug lághitasvæði og vatnsmikil lindasvæði eru í Laugardal, við ofanverða Brúará og í Haukadál. Vatnsmikil lindasvæði og talsverður jarðhiti eru í Landssveit. Vatnsmikil lindasvæði en lítið eða enginn jarðhiti eru á Rangárvöllum. Kröftug lághitasvæði en lítið ferskvatn er að finna í neðanverðum Biskupstungum og í Hrunamannahreppi. Í

heild er þetta svæði vænlegt, þó lághiti og lindir séu ekki alltaf á alveg sama stað.

2.6. Ölfus - Grafningur

Töluverður jarðhiti er víða: Selfoss - Árbær, Sogn, Hveragerði, Bakki, Hlíðardalsskóli. Ferskvatnslindir eru undan Ingólfsfjalli og í utanverðu Ölfusi svo nemur hundruðum l/s. Mikið ferskvatnsstreymi er í hraununum hjá Þorlákshöfn. Fiskeldismöguleikar eru góðir á þessu svæði enda er þar þegar risinn fjöldi fiskeldisstöðva.

3. Framhald rannsókna

Árið 1988 er ætlunin að beina rannsóknum einkum að möguleikum á öflun jarðsjávar úr lekum jarðlögum, helzt í tengslum við jarðhitasvæði. Þó verður haldið áfram yfirlitsrannsóknum á samnýtingu ferskvatns og jarðhita eða nýtingu vatnsmikilla lindasvæða. Stefnt er að því að halda þeim rannsóknum áfram 1989 og ljúka þeim þá að sinni. Fyrirhuguð rannsóknarsvæði eru: Uppsveitir Borgarfjarðar, Hnappadalssýsla, Reykjadalur - Reykjahverfi - Tjörnes, Eldhraunin á Síðu og suðurströnd Reykjanesskaga, þar sem einnig er um hugsanlega sjóttöku að ræða. Þá verða að vísu enn eftir ýmis minni svæði, eins og Reykhólasveit og Húnaþing.

Sem fyrr segir nýtast þessar rannsóknir á ýmsa vegu:

- 1) Almenn yfirlit um "fiskeldis-megin" (kapasitet) svæðanna.
- 2) Flokkað staðarval eftir stærð og aðstæðum.
- 3) Grunnur að frekari rannsóknum vegna fiskeldisáforma á einstökum stöðum.

Rannsóknirnar ættu þannig að auðvelda að mun skipulega og arðbæra uppbyggingu fiskeldis í landinu.