

Um vinnsluathuganir á Elliðaársvæðinu

**Valgarður Stefánsson, Þorsteinn Thorsteinsson,
Ómar Sigurðsson, Jens Tómasson,
Ingvar Birgir Friðleifsson, Guðmundur Pálmason**

Greinargerð VS-ÞTh-ÓS-JT-IBF-GP/83-02

UM VINNSLUATHUGANIR Á ELLIÐAÁRSVÆÐINU

Hitaveita Reykjavíkur hefur falið verkfræðistofunni Vatnaskil gerð gagnaskrár og rannsókn á lækkun vatnsborðs vegna vinnslu jarðhita á Elliðaársvæði. Verkfræðistofan skilaði Hitaveitunni lokaskýrslu "Elliðaársvæði. Áhrif jarðhitavinnslu á orkuforða" í desember 1982.

Á góu 1983 óskaði HR eftir því að jarðhitadeild Orkustofnunar gæfi umsögn um skýrslu Vatnaskila og tæki þátt í umræðum um þessi mál. Fyrirliggjandi greinargerð er umsögn jarðhitadeildar um skýrslu Vatnaskila.

1. Framtak HR og Vatnaskila í birtingu gagna um jarðhitavinnslu á Elliðaársvæðinu er mjög lofsvert. Samsvarandi gagnabirting um vinnslu á íslenskum jarðhitasvæðum hefur áður einungis komið fram um Laugarnessvæðið (Þorsteinn Thorsteinsson og Jónas Elíasson 1970), Elliðaársvæðið (Þorsteinn Thorsteinsson 1969, 1970), Mosfellssveit (Þorsteinn Thorsteinsson 1975), Svartsengi (Snorri P. Kjaran o.fl. 1980) og Kröflu (Böðvarsson og Preuss 1982).
2. Þær stærðir, sem einkum eru notaðar við mat á viðbrögðum og hegðun jarðhitakerfa í vinnslu eru:
 - 2.1 Breytingar á þrýstingi í jarðhitakerfi (vatnsstaða).
 - 2.2 Breytingar á hitastigi í jarðhitakerfi og breytingar á hitastigi á þeim vökva sem tekinn er upp úr jarðhitakerfinu.
 - 2.3 Breytingar á efnainnihaldi jarðhitavökva.
 - 2.4 Breytingar á rennsli í eða upp úr jarðhitakerfi.
 - 2.5 Jarðfræðileg og rúmfræðileg uppbygging jarðhitakerfis.

Skýrsla Vatnaskila tekur til gagnasöfnunar á vatnsstöðu, hitastigi á dæluvatni, magni dæluvatns og efnainnihaldi.

Við úrvinnslu notar verkfræðistofan hins vegar einungis gögn um dælumagn og vatnsstöðu. Segja má að það sé góð fyrsta nálgun á því að skilja hegðun kerfisins, en þar sem mælanlegar

breytingar koma fram í hitastigi og efnainnihaldi hlýtur að teljast nauðsynlegt að allar mældar stærðir séu teknar með í þeim líkönum sem notuð eru við spár um hegðun kerfisins í framtíðinni. Sérstaklega gildir þetta um Elliðaáarsvæðið þar sem hitastig, efnainnihald og millirennisli í holum er mjög erfitt að heimfæra á þau líkön sem verkfræðistofan notar við spá um niðurdrátt í framtíðinni. Nánar er fjallað um þetta misræmi seinna í þessari greinargerð.

3. Við úrvinnslu vatnsstöðugagna notar Vatnaskil eina og aðeins eina úrvinnsluaðferð, sem í skýrslu Vatnaskila er kölluð einingarniðurdráttur. Gagnsemi þessarar aðferðar er fyrst og fremst fólgin í því að meta áhrif sem breytileg vinnsla hefur í för með sér (tegrun). Reikningar Vatnaskila eru að öllum líkindum byggðir á grein Barelli og Palama (1980), en þar er þess getið að einingarniðurdráttur (unit response function) sé svo kallað "boundary value problem". Ef breyting í flæði (vinnslu) hefur áhrif á ytri randskilyrði, þ.e. að randskilyrðin eru háð þrýstingi í kerfinu, þá brestur línulega hegðun "boundary value problems" og aðferðin gildir ekki lengur. Fræðilega séð er því rangt að nota einingarniðurdrátt í líkani 2 hjá Vatnaskilum.

Í reynd má vera að breytingar á randskilyrðum í líkani 2 hafi ekki mjög mikil áhrif á niðurstöður reikninga, en til þess að réttlæta aðferðina þarf að koma fram fræðileg athugun á þessum áhrifum.

4. Í skýrslu Vatnaskila eru sett fram tvö líkön, sem fljótt á litið virðast vera í tengslum við jarðfræðilega byggingu jarðhitakerfisins. Í reynd eru þessi líkön þó svokölluð kassalíkön (lumped models), sem geta á engan hátt sagt til um hvaðan innstreymi kemur í jarðhitakerfið. Innstreymið getur komið að ofan, eins og mikil áhersla er lögð á í skýrslu, en það getur jafnframt komið frá hliðunum eða jafnvel að neðan. Niðurstöður reikninga eru óbreyttar hvaðan sem innrennslið kemur. Fyrir vinnsluaðila getur það hins vegar skipt miklu máli hvaðan innstreymi í jarðhitakerfi kemur. Alvarlegast er að írennsli komi að ofan, en

hagkvæmast ef írennsli kemur að neðan. Millirennisli í borholum, hitastigsbreytingar og breytingar á efnasamsetningum benda að okkar mati til að það séu meiri líkur á því að írennsli í Elliðaárkerfið sé að neðan en að ofan.

5. Þó breytingar á hitastigi séu ekki notaðar í úrvinnslu Vatnaskila er allmikið talað um þær í skýrslunni, og hitastigslökkun jafnvel talin sem ein af niðurstöðum skýrslunnar. Kæling svæðisins er þó í reynd heldur minni en fram kemur í skýrslu Vatnaskila. Ástæður fyrir því eru nokkrar.

5.1 Upphafshiti í borholum er oft miðaður við sjálfrennsli úr holum, en þá kemur tiltölulega meira úr heitu æðunum á 600-800 m dýpi en þegar dælt er úr holunum. Kælingu ætti því frekar að miða við hitastig þegar byrjað er að dæla frekar en við sjálfrennsli.

5.2 Upphafshitastig á sjálfrennsli úr holu RG-29 var 101.8°C en ekki 111.8°C , sem er því miður prentvilla í Höfuðborgarskýrslu.

Sem grófa einföldun má draga upp eftirfarandi mynd af upphaflegu ástandi Elliðaársvæðis:

Písómetrískur

þrýstingur

Hitastig

miðað við holutopp

			0 m
P_1	= 2 bar	$T \approx 40-60^{\circ}\text{C}$	600 m
P_2	= 7 bar	$T = 100-110^{\circ}\text{C}$	1000 m
P_3	< 2 bar	$T \approx 75-85^{\circ}\text{C}$	

Í sjálfrennsli kemur því fyrst og fremst vatn úr 100–110°C kerfinu, því þar er písómetrískur þrýstingur hæstur. Ef lokað er fyrir holu í sjálfrennsli verður millirennisli úr 100–110°C kerfinu niður í 75–85°C kerfið. Ef dæling er stöðvuð má búast við milli- rennsli í holu á milli kerfa, og fer það eftir lekt kerfanna og þrýstingi á hverjum tíma í hvaða átt millirennislið verður. Slíkt millirennisli hefur mjög oft sést í hitamælingum í borholum á Elliðaársvæðinu.

Því miður er ekkert fjallað um þessar aðstæður á Elliðaársvæðinu í skýrslu Vatnaskila. Þessi atriði skipta þó sköpum um hugmyndir manna um gerð jarðhitakerfisins, og þau líkön sem menn reyna að gera af svæðinu. Þetta atriði undirstrikar það að nota þarf mjög margþættar upplýsingar við úttekt á hegðun jarðhitakerfa, mun meira en þau gögn gera kleift, sem Vatnaskil hefur haft undir höndum eða talið ástæðu til að reyna að afla.

6. Í skýrslu Vatnaskila er nokkuð fjallað um hugsanlega skýringu á kólnun dælingavatns frá Elliðaársvæði. Talin eru þrjú atriði.
 - (1) Hlutfallslega meira rennsli úr kaldari æðum með tíma
 - (2) Leki af köldu vatni niður með fóðurrörum
 - (3) Leki af kaldara vatni að ofan

Með því að útiloka möguleika (1) og (2) velur Vatnaskil síðan möguleika (3). Hins vegar yfirsést Vatnaskilum að einnig má útiloka möguleika (3). Eins og réttilega er tekið fram á bls. 23 í skýrslu Vatnaskila þá gildir um slíka kólnun að "Fræðilega er þessi hitastigslækkun minnst fyrst, vex síðan og minnkar þegar hitastigið á jarðhitavatninu fer að nálgast innstreymishitann".

Hitastig á dæluvatni er sýnt á myndum 6–10 í skýrslu Vatnaskila. Lögum á kælingarferlum passar ekki við möguleika (3), en er í góðu samræmi við möguleika (1), þ.e. að hlutfallslega hafi rennsli úr kaldari æðum aukist með tíma.

Það er því ástæða til að skoða nánar rök Vatnaskila um að útiloka möguleika (1).

Fyrsta röksemdarfærslan fyrir útilokun á möguleika (1) er að samkvæmt töflu 1 í skýrslu Vatnaskila sé meirihluti æðanna með 110°C heitt vatn í upphafi, og að kólnun allra holanna sé svipuð.

Tafla 1 er byggð á rennslis og hitamælingum sem gerðar eru meðan yfirþrýstingur var á svæðinu. Í töflunni kemur fram að rétt rúmlega helmingur vatnsmagns er þá talinn koma úr tiltölulega háþrýstum 110°C æðum, en afgangurinn úr dýpri og kaldari lágþrýstum æðum. Taflan, ásamt grófri einföldun á hita og þrýstiástandi svæðisins í upphafi, sem sýnd er hér að framan rennir að okkar mati stöðum undir möguleika (1), þ.e. hlutfallslega meiri þrýstingslækkun og minni hlut 110°C æðanna með vinnslu.

Fullyrðing Vatnaskila um að kólnun holanna með tíma sé svipuð, passar illa við raunveruleikann. Kólnunin hefur orðið mest í heitu holunum RG-26 og RG-30, en minni í holum RG-23 og RG-31.

Meginröksemdafærsla Vatnaskila er hins vegar sú að kísilinnihald mismunandi æða hafi verið svipað í upphafi, en að síðan hafi kísilinnihald minnkað með tíma. Hér er vitnað í greinargerð Einars Gunnlaugssonar, sem fylgir með skýrslu Vatnaskila.

Ályktun um svipað kísilinnihald í mismunandi æðum er byggt á djúpsýnatöku í holu RG-23 sem JHD gerði í janúar 1968 (sjá Höfuðborgarskýrslu). Til þess að hægt sé að tengja þessi djúpsýni við mismunandi æðar þurfa eftirfarandi atriði að liggja fyrir:

- a) Ekkert millirennslí má vera í holu.
- b) Sýnatakan fari fram á þeim stað í holunni sem ætlað er.

Hvorugt þessara atriða gildir fyrir sýnatöku í RG-23 12. janúar 1968. Svo sem getið er hér að framan hefur mælst verulegt niðurrennslí í holum á Elliðaársvæði, og því mjög líklegt að það hafi verið niðurrennslí í RG-23 þegar djúpsýni voru tekin þar árið 1968.

Ofan á það bætist að það tæki sem notað var árið 1968 var mjög ófullkomið og lítið hægt að treysta af hvaða dýpi tækið tók það sýni sem upp kom (sjá bls. 63 í Höfuðborgarskýrslu). Að þessu athuguðu sýnist JHD að djúpsýnatakan frá 1968 leyfi ekki

að dregnar séu ályktanir um Elliðaárkerfið í heild. Hins vegar eru margar athuganir sem styðja möguleika (1), þ.e. að hlutfallslegt rennsli úr neðri (kaldari) æðum sé meira nú en það var við byrjun vinnslu.

7. Í greinargerð Einars Gunnlaugssonar er fjallað um breytingu á styrk kísils með tíma, og "blandlínur" holanna teiknaðar á myndir 1a og 1b í greinargerð. Þar kemur fram að holur 23 og 31 fylgjast að annars vegar, en holur 29 og 30 hins vegar. Þetta á sér stað þannig að blöndunarlínur hola 29 og 30 eru brattari en fyrir holur 23 og 31. Þetta er í góðu samræmi við það að hlutur heitu æðanna í holum 29 og 30 er talinn meiri en í holum 23 og 31 (sjá t.d. töflu 1 í skýrslu Vatnaskila) og að breyting á kísil stafi af mismikilli blöndun á vatni úr djúpum og grunnum æðum.
8. Við líkangerð og nálgun á mæligögnum er það matsatriði hvað er valið sem nógu góð nálgun og hvenær telja skal líkan nógu gott til að gera framtíðarspár. Í skýrslu Vatnaskila eru kynnt tvö líkön, líkan 1 og 2, en líkan 2 valið til að gera spá, þó niðurstöður úr því líkani virðast passa verr að mældri vatnsstöðu en líkan 1. Engin tilraun er gerð til að bera saman hvernig niðurstöðum úr mismunandi líkönum ber saman við mældar stærðir né heldur að bera saman niðurstöður um framtíðarspár sem kæmu út úr þessum tveim líkönum. Þetta er verulegar galli á umfjöllun, fyrst verið er á annað borð að kynna líkan 1. Það er heldur ekki traustverkjandi að velja það líkan sem fellur verr að mældum stærðum til að spá fyrir um framtíðina, eins og gert er í skýrslu Vatnaskila.

Almennt má segja, að þegar verið er að nálgva vinnslusögu þar sem byrjunargildi eru ekki mjög vel þekkt eins og á Elliðaársvæðinu, þá hyllast menn til þess að hafa nálgunina góða í lok tímabilsins, en leyfa viss frávík í byrjun vinnslunnar. Er þessi aðferð talin vænlegri við gerð framtíðarspár en sú aðferð sem kemur fram í skýrslu Vatnaskila.

9. Samantekt.

Skýrsla Vatnaskila er ágæt fyrsta tilraun til að gera vinnslulíkan sem hægt væri að byggja á framtíðarspár fyrir svæðið. Hins vegar þarf vinnslulíkan að taka til mun margþættari upplýsinga um vinnsluna en fram kemur í skýrslu Vatnaskila. Í þessari greinargerð hefur verið minnst á nokkur slík atriði, sem augljóslega veikja mjög áreiðanleika þeirra framtíðarspáa sem fram koma í skýrslu Vatnaskila. Þau líkön, sem kynnt eru í skýrslu Vatnaskila falla ekki vel að öllum þeim upplýsingum, sem liggja fyrir um Elliðaáarsvæðið, og í sumum tilvikum má ræða hvort þær túlkunaraðferðir sem Vatnaskil notar séu réttlætunarlegar. Það er skoðun JHD að við gerð vinnslulíkans af jarðhitakerfi þurfi að koma til hópvinna sérfræðinga á mörgum fræðisviðum og að vinnslulíkan þurfi að byggja á gögnum á breiðum grundvelli. Fyrirliggjandi skýrsla Vatnaskila virðist styðja þessa skoðun.

Heimildaskrá

- Barelli, A. and Palama A., 1980. On some computational methods of unit response functions from varying-rate data. *Geothermics*, 9, 261-269.
- Bodvarsson, G. S., and K. Pruess, The Krafla Geothermal Field. Final Report on Modelling Studies. Report to the Icelandic State Electric Power Works, Krafla Division, October 1982.
- Jens Tómasson, Þorsteinn Thorsteinsson, Hrefna Kristmannsdóttir og Ingvar Birgir Friðleifsson 1977. Höfuðborgarsvæði. Jarðhitarrannsóknir 1965-1973. Orkustofnun OSJHD7703.
- Snorri Páll Kjaran, Jónas Elíasson og Gísli Karel Halldórsson, 1980. Svartsengi. Athugun á vinnslu jarðhita. Orkustofnun OS80021/ROD10-JHD 17.
- Þorsteinn Thorsteinsson, 1969. Vatnsstöðumælingar í borholum við Elliðaár í júlí 1968 - mars 1969. Orkustofnun, 15 s.
- Þorsteinn Thorsteinsson, 1970. Vatnsstöðumælingar í borholum við Elliðaár 1969-1970. Orkustofnun, 17 s.
- Þorsteinn Thorsteinsson 1975. Redevelopment of the Reykir hydrothermal system in Southwestern Iceland. Second U.N. Symposium on the Development and Use of Geothermal Resources, Proceedings p. 2173-2180. Lawrence Berkeley Lab. Univ. of California.
- Þorsteinn Thorsteinsson og Jónas Elíasson 1970. Geohydrology of the Laugarnes Hydrothermal System in Reykjavík, Iceland. U.N. Symposium on the Development and Utilization of Geothermal Resources. *Geothermics Spec. issue*, vol. 2, part 2, p. 1191.