

Setning málfings Jarðhitafélags Íslands um niðurdælingu affallsvatns í jarðhitakerfi

Ingvar Birgir Friðleifsson
formaður Jarðhitafélags Íslands

Ágætu málfingsgestir!

Það er mér ánægja að setja þetta málfing sem fjallar um niðurdælingu affallsvatns í jarðhitakerfi. Þetta er sjöunda ráðstefnan eða málfingið sem Jarðhitafélag Íslands heldur, en félagið var stofnað í maí árið 2000.

Markviss nýting jarðhita á Íslandi hefur nú staðið í rúma sjö áratugi. Á þessum árum hefur húshitun með brennslu kola og olíu nánast verið eytt. Nú af hverjum tíu húsum í landinu eru hituð upp með jarðhita og tíunda húsið er hitað upp með rafmagni, sem að tæpum fimmta hluta er framleitt með jarðgufu. Síðastliðin 5 ár hefur jarðhitinn séð fyrir 16-18% raforkunnar í landinu.

Á málfingi Jarðhitafélagsins í febrúar 2003 um ímynd og notkun jarðhita kom fram í erindi Valgarðs Stefánssonar að jarðhitinn reynist árlega vera nokkrum tugum milljarða hagstæðari upphitunarkostur en olía. Núvirtur ávinningur af því að nota jarðhita í stað olíu er um 700 milljarðar króna, sem er sama upphæð og öll landsframleiðsla á árinu 2001. Jarðhitinn er einn af helstu fjársjóðum Íslands í fleiri en einum skilningi. Jarðhitinn er auðlind sem þjóðin kann vel að meta en þessa auðlind þarf ekki síður en aðrar að fara vel með.

En hvernig förum við með allt það heita vatn sem við tökum upp úr jarðhitasvæðunum? Árlega eru um 100 milljónir tonna af heitu vatni tekin úr jarðhitasvæðunum og dælt inn í dreifikerfi hitaveitnanna. Að auki eru um 35 milljón tonn af háhitavökva tekin til raforkuframleiðslu og í vissum tilfellum til upphitunar fersks vatns til hitaveitu. Mestöllu þessu jarðhitavatni er sleppt út í náttúruna svo að lítið ber á. Víða er affallsvatn hitaveitna hér á landi mun heitara en það vatn sem nágrannar okkar í Vestur Evrópu eru að bora eftir djúpt í jörðu og nýta með varmadælum.

Ástæðan fyrir gnægð jarðhita á Íslandi er lega landsins á flekamótum. Landið er staðsett á úthafshrygg þar sem möttulstrókur kyndir undir skorpunni. Meðalhitastigull jarðar er um 25 °C/km. Hér á Íslandi er hins vegar leitun að stöðum þar sem ótruflaður hitastigull er undir 50 °C/km. Oft er talað um „köld svæði“ á Íslandi þar sem lekt er lítil þótt hitastigullinn sé hár miðað við flest lönd. En flekamótunum fylgja einnig jarðskjálftar og brotahreyfingar sem skapa og viðhalda lekt í skorpunni. Þess vegna eru jarðhitasvæðin svo mörg og gjöful.

Gosefni á úthafshryggjum eins og hér á Íslandi koma að mestu ómenguð úr möttli jarðar. Vegna efnasamsetningar jarðskorpu Íslands er jarðhitavatn hér með því hreinasta sem gerist í þeim áttatíu löndum sem nýta jarðhita í heiminum. Um árabíl hafa jarðhitafyrirtæki í flestum leiðandi jarðhitalöndum heims dælt mestöllu affallsvatni niður í jarðhitasvæðin eftir að varminn hefur verið tekinn úr því. Þetta hefur verið gert bæði til að losna við óæskileg efni sem ekki má sleppa út í grunnvatnið svo og til að viðhalda þrýstingi í jarðhitakerfunum. Hér á Íslandi hefur hins vegar til skamms tíma nær öllu affallsvatni verið sleppt út í náttúruna. Þetta hefur sjálfsagt valdið einhverri varmamengun og vafalítið auðgað lífríkið í skulpkerfum þéttbýlisstaða. Efnamengun hefur ekki verið mikið til umræðu, enda lítið um hættuleg efni nema í örlitlu magni. En með vaxandi nýtingu margra

jarðhitasvæða og þó einkum með stórfelldri nýtingu háhitasvæða til raforkuframleiðslu hafa orkufyrirtækin smátt og smátt hafið niðurdælingu affallsvatns. Þetta hefur verið gert í fernum tilgangi: a) til að halda við þrýstingi í jarðhitakerfum, b) til að afgangsvarminn fari ekki til spillis heldur lengi vinnslutíma viðkomandi jarðhitasvæðis, c) til að nota vatnið til varmanáms í heitu en tiltölulega þurru bergi, og d) til að losna við affallsvatnið á hreinlegan hátt.

Sérstaklega ber að geta þess að Hitaveita Suðurnesja hóf rannsóknir og tilraunir á niðurdælingu í Svartsengi fyrir liðlega 20 árum og hefur síðan verið með stöðuga niðurdælingu með nokkrum hléum. Nú er hluta affallsvatns dælt niður á öllum háhitasvæðum landsins nema í Bjarnarflagi

Niðurdæling affallsvatns hefur ekki verið rædd mikið opinberlega hér á landi. Stjórn Jarðhitafélagsins finnst tímabært að efna til opinberrar umræðu um þessi mál og er mjög þakklát þeim einstaklingum sem hafa tekið að sér að hafa framsögu. Fyrir hönd stjórnar Jarðhitafélagsins set ég málþingið og bið Rögnu Karlsdóttur, verkfræðing hjá Íslenskum orkurannsóknum, að taka við fundarstjórn.

NIÐURDÆLING Í JARÐHITAKERFI TILGANGUR, KOSTIR OG ÓKOSTIR

Guðni Axelsson

Íslenskar orkurannsóknir, Grensásvegi 9, 108 Reykjavík

Tölvupóstfang: gax@isor.is

1. INNGANGUR

Með niðurdælingu er affallsvatni frá jarðhitavirkjunum, bakrásarvatni frá beinni notkun eða vatni af öðrum uppruna komið niður í viðkomandi jarðhitakerfi og er niðurdæling nú orðin lykilþáttur í rekstri jarðhitakerfa víða um heim (Valgarður Stefánsson, 1997; Guðni Axelsson, 2003). Niðurdæling hefur þó lítt verið stunduð á íslenskum jarðhitasvæðum þar til á allra síðustu árum. Upphaflega var byrjað að dæla niður af umhverfisástæðum, þ.e. til að forðast efna- og varmamengun sem getur fylgt affallsvatni. Síðan hefur komið í ljós að niðurdæling nýtist einnig til þess að viðhalda þrýstingi í jarðhitakerfum, en sýnt hefur verið fram á það jafnt með mælingum og líkanreikningum. Niðurdæling viðheldur þrýstingi með því að auka við innstreymi í jarðhitakerfi og bætir upp vatnsskort í kerfum með takmarkað náttúrulegt innstreymi. Þá sækir niðurdæling meiri varma í berg jarðhitakerfa en hefðbundin vinnsla. Á þennan hátt bætir niðurdæling nýtingu jarðhitaorkunnar og stuðlar að sjálfbærri nýtingu jarðhitans (Guðni Axelsson o.fl., 2001a og 2004). Einnig nýtist niðurdæling til þess að hamla gegn landsigi, sem oft er fylgifiskur jarðhitavinnslu.

Vökvinn sem dælt er niður getur verið af mismunandi uppruna:

- 1) Frárennsli og þéttivatn frá jarðhitaorkuverum,
- 2) bakrásarvatn úr beinni notkun,
- 3) grunnvatn og/eða yfirborðsvatn
- 4) eða jafnvel hreinsað skólþ.

Upphaf niðurdælingar í jarðhitakerfi var árið 1969 á Ahuachapan-svæðinu í El Salvador, en tilgangurinn var að koma í veg fyrir mengun nálæggra kaffiekra. Þess má geta að íslenskir jarðhitasérfræðingar komu töluvert að upphafi jarðhitavinnslu í Ahuachapan í gegnum Sameinuðu þjóðirnar, sem studdu virkjun svæðisins. Reyndar var niðurdælingu í Ahuachapan hætt í byrjun níunda áratugarins vegna of mikillar nálægðar við vinnsluholur og í tvo áratugi var affallsvatnið leitt eftir 45 km löngum stokki út í Kyrrahafið, en niðurdæling í Ahuachapan er þó hafin aftur fyrir nokkru. Nokkrum árum seinna hófst svo niðurdæling á Geysers-svæðinu í Kaliforníu (1970) og í Lardarello á Ítalíu (1974), í báðum tilfellum til förgunar þéttivatns. Upphaf niðurdælingar á Íslandi má svo telja í Svartsengi 1984.

2. STAÐAN Í DAG

Í töflu 1 eru talin upp helstu jarðhitasvæði erlendis þar sem höfundur veit til að niðurdæling er orðin fastur þáttur í rekstri jarðhitakerfisins. Hafa þarf í huga að upptalningin er væntanlega ekki tæmandi.

Tafla 1. Helstu jarðhitasvæði erlendis þar sem niðurdæling er orðin fastur liður í rekstrinum (ekki tæmandi). Svæðin eru flest háhitasvæði, nema annað sé tekið fram.

| Land | Jarðhitasvæði | Athugasemdir |
|-------------------------|--|--------------------------|
| Costa Rica Guatemala | Miravalles Amatitlan Zunil | Í c.a. 3 km fjarlægð |
| El Salvador | Berlin Ahuachapan | |
| Nicaragua | Momotombo | |
| Mexico | Cerro Prieto Los Azufres Los Humeros Los Tres Virgines | |
| U.S.A. | The Geysers Dixie Valley East Mesa Coso Roosvelt Warm Springs Desert Peak | M.a. hreinsað skólþ |
| Nýja Sjáland | Niland Ohaki Wairakai | |
| Japan | Otake Hatchobaru Matsukawa | |
| Kína | Tianjin Yangbaijing | Lághiti Tíbet, háhiti |
| Filipseyjar | Tongonan Palinpinion Tiwi Bulalo Mt. Apo Bacman | |
| Indónesía | Kamojang G. Salak Drajat Dieng Wayang Windu | |
| Tyrkland | Balcova Kizildere | |
| Kenýa | Olkaria | Þrjú svæði |
| Ítalía | Larderello | |
| Frakkland | Parísarsvæðið | Lághiti |
| Þýskaland | Fjögur svæði | Lághiti |
| Ungverjaland | Eitt svæði | Lághiti |
| Rúmenía | Þrjú svæði | Lághiti |
| Slóvakía | Eitt svæði | Lághiti |

Í dag er svo til öllu affallsvatni dælt niður á fjölmörgum jarðhitasvæðanna í töflunni, og má nefna öll svæðin á Filippseyjum og mörg þeirra í Mið-Ameríku sem dæmi (Malate, 2003; Moya og Yock, 2004). Ýmist eru niðurdælingarholur hafðar inni á milli vinnsluholna eða utan þeirra, t.d. nálægt jöðrum jarðhitasvæða. Sem dæmi má nefna Palinpinon svæðið á Filippseyjum, þar sem niðurdælingin hefur öll verið flutt út að jöðrum svæðisins (Malate, 2003). Á sumum svæðanna eru vinnslu- og niðurdælingarsvæði aðskilin, eða þá að dælt er niður á meira eða minna dýpi en vinnslan fer fram á (lóðréttur aðskilnaður). Þá er jarðhitavökvanum ýmis skilað niður heitum (150-200°C), þ.e. beint frá gufuskiljum eða kældum.

Mun minna er um niðurdælingu á lághitasvæðum, eins og sést í töflunni, en hún fer þó vaxandi. Á lághitasvæðum með niðurdælingu er nýtingin oft með holupörum og er Parísarsvæðið gott dæmi. Þar hefur mikill fjöldi holupara með stefnuboraðri vinnsluholu og stefnuboraðri niðurdælingarholu verið boraður þar sem fjarlægðin milli holnanna niðri í jarðhitakerfinu er u.þ.b. 1000 m. Heitt vatnið fer um varmaskipta og er svo öllu skilað aftur niður í jörðina.

Niðurdæling hefur lítt verið stunduð á Íslandi til þessa, en er nú hafin í nokkrum mæli á sex svæðum eins og kemur fram í töflu 2. Þetta eru háhitasvæðin í Svartsengi, í Kröflu, í Hveragerði og á Nesjavöllum auk lághitasvæðanna á Laugalandi í Eyjafirði og á Laugalandi í Holtum. Á engu þessara svæða er þó um fulla niðurdælingu að ræða enn sem komið er.

Tafla 2. Niðurdæling á Íslandi (tölur fyrir 2003).

| Svæði | Holur | Hófst | Magn ¹⁾ (kg/s) | Hluti heildar- massatöku | Hiti (°C) | Athugasemdir |
|--------------------------|-------------------------------|---------------|------------------------------|-----------------------------|--------------|--------------------------------|
| Svartsengi | SV-17, 1250m | 1984, 2001 | 112 | 32% | 100 | Tilraunir 1982- 1994 |
| Laugaland í Eyjafirði | LJ-8, 2800m | 1997 | 12 | 28% | 8-25 | Tilraunir 1991 og 1997-1999 |
| Krafla | KG-26, 2200m (e-ð í KJ-11) | 2002 | 65 | 22% (48% Skiljuvatns) | 120 | Tilraunir 1999 og 2000 |
| Laugaland í Holtum | GN-1, 1000m | 2000 | 2,6 | 23% | 65 | Tilraun 1992 |
| Hveragerði | HS-6, 1000m | 2002 | <10 | ~15% | 60 | |
| Nesjavellir | NN-3, 550m | 2004 | 50 | 15% (27% Skiljuvatns) | 60-90 | Tilraunir 2001-2003 |

1) Ársmeðaltöl 2) Tölur fyrir 2004

Segja má að niðurdæling hafi gengið nokkurn veginn skv. áætlun á þessum svæðum. Talið er að niðurdælingarholan í Svartsengi geti tekið við meira magni (Sverrir Þórhallsson o.fl., 2004), hola KJ-26 í Kröflu er talin hafa örvast (tekur við meiru en í

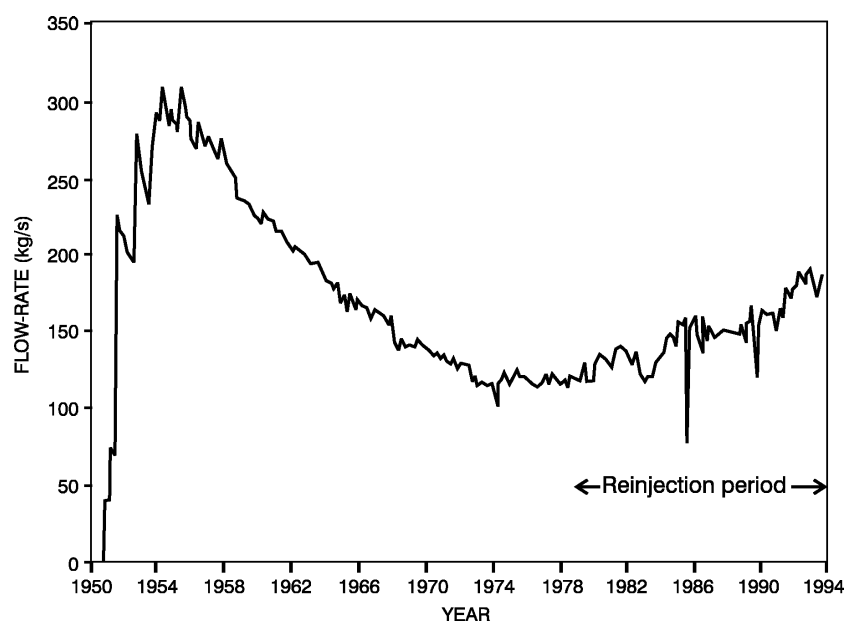
fyrstu) við niðurdælinguna undanfarið og á Nesjavöllum er önnur niðurdælingarhola tiltæk. Á Laugalandi í Eyjafirði hefur orðið vart eilíttillar kólnunar (c.a. 1 – 2°C) vegna niðurdælingar síðustu ára, sem er í góðu samræmi við það sem reiknað hefur verið með (Guðni Axelsson o.fl., 2001). Á Laugalandi í Holtum hefur hins vegar enn ekki orðið marktæk kólnun, öfugt við það sem spáð hafði verið (Ingvar Baldursson og Guðni Axelsson, 2003).

3. GAGNSEMI NIÐURDÆLINGAR

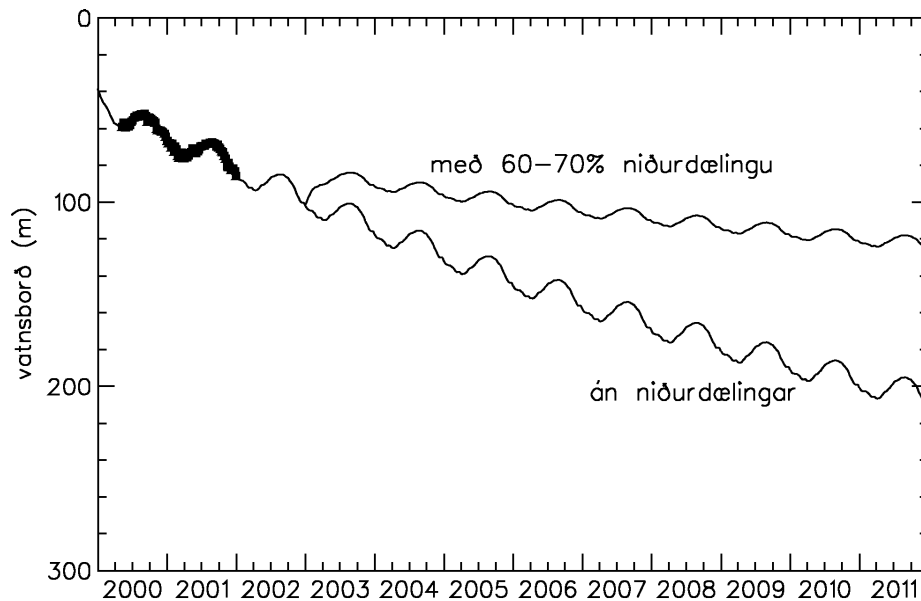
Fjöldmörg dæmi, sem annað hvort byggja á beinum mælingum eða líkanreikningum, sýna jákvæð áhrif niðurdælingar á þrýsting í jarðhitakerfum og rennsli vinnsluholna. Segja má að ef niðurdæling er verulegur hluti massatökunnar úr viðkomandi kerfi þá spornar hún að meira eða minna leyti við þrýstingslækkuninni, sem annars yrði og sem oft fer vaxandi með tíma. Myndir 1 – 3 sýna dæmi um þetta frá þremur heimshornum; Larderello á Ítalíu, Hofstöðum á Snæfellsnesi og svokölluðu Urban svæði í Beijing í Kína. Með því að viðhalda þrýstingi þá eykur niðurdæling afkastagetu flestra jarðhitakerfa, sérstaklega kerfa sem eru með takmarkað náttúrulegt innstreymi, þ.e. kerfa sem þjást í raun af vatnsskortri.

Ekki hefur verið metið nákvæmlega hversu mikið afkastageta íslensku jarðhitasvæðanna í töflu 2 hefur aukist. Þó er ljóst að afkastageta Laugalands í Eyjafirði eykst um a.m.k. jafngildi 2/3 þess magns, sem dælt er niður (Guðni Axelsson o.fl., 2001b), og að afkastageta Laugalands í Holtum eykst um allt að 100% þess magns sem niður fer (Ingvar Baldursson og Guðni Axelsson, 2003).

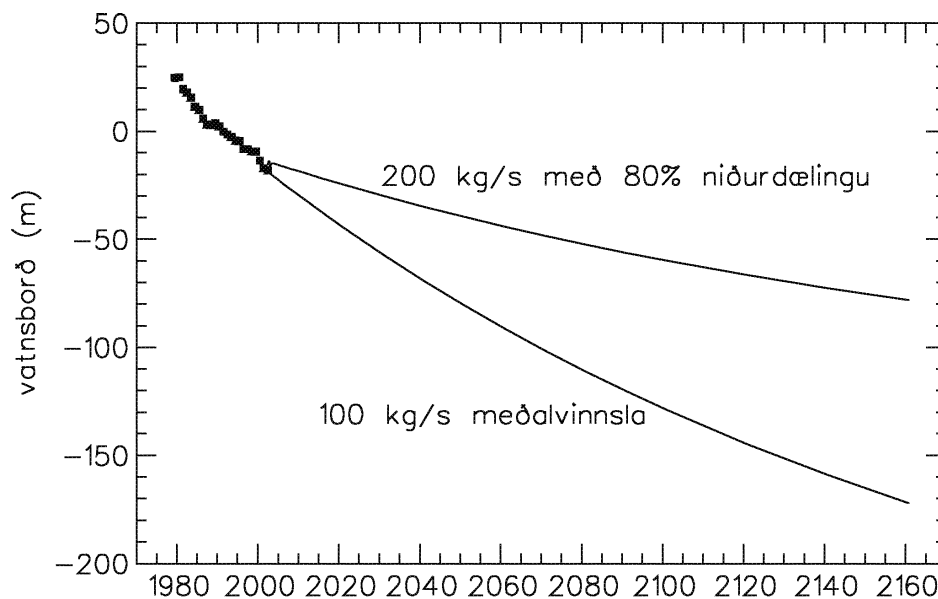
Niðurdæling sækir meiri varma í berg jarðhitakerfa en hefðbundin vinnsla. Er það vegna þess að um 80 – 90% varmaorkunnar í jarðhitakerfum er í berginu, en ekki vökvanum. Með niðurdælingu kaldari vökva, sem hitnar upp er niður í kerfin er komið, er meiri varmaorka sótt í berg kerfanna en ella. Þetta má kalla varmanám, sem er sambærilegt við varmanám vegna kaldara innstreymis í náttúrulegu ástandi.



Mynd 1. Dæmi um jákvæði áhrif niðurdælingar á rennsli holna á Larderello - Valle Secole svæðinu á Ítalíu.



Mynd 2. Niðurstöður líkanreikninga fyrir jarðhitakerfið á Hofstöðum við Stykkishólm, sem sýna jákvæð áhrif niðurdælingar.



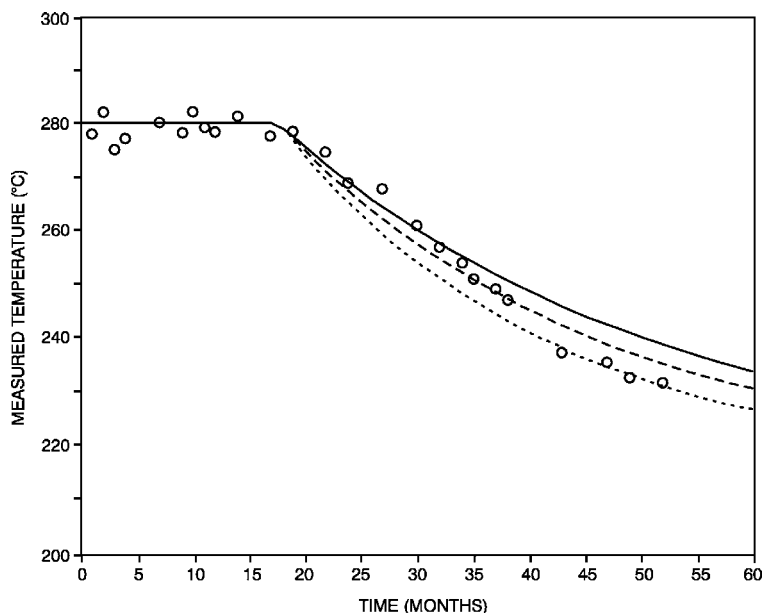
Mynd 3. Niðurstöður líkanreikninga fyrir Urban jarðhitakerfið undir höfuðborg Kína, Beijing, sem sýna jákvæð áhrif niðurdælingar.

Einnig nýtist niðurdæling til þess að hamla gegn landsigi, sem oft er fylgifyiskur jarðhitavinnslu. Besta dæmið um slíkt er Wairakei svæðið á Nýja-Sjálandi. Þá hefur einnig mælst nokkuð landsig í Svartsengi.

4. ÓKOSTIR NIÐURDÆLINGAR

Ýmis vandamál tengjast niðurdælingu til langs tíma, sem hafa þarf í huga, ásamt auknum stofn- og rekstrarkostnaði. Þeirra alvarlegust eru möguleg kólnun nærliggjandi vinnsluholna og útfellingar í pípulögnum og niðurdælingarholum. Einnig getur niðurdæling í setlagajarðhitakerfi, einkum í sandsteinskerfi, verið vandkvæðum háð, en það vandamál á ekki við á Íslandi.

Kólnun vegna niðurdælingar er það vandamál sem algengast er að rekstraraðilar hafi áhyggjur af. Slíkar áhyggjur eru réttlætanager þegar fjarlægðir milli niðurdælingar- og vinnsluholna eru stuttar og/eða beinar flæðisleiðir, t.d. um opnar sprungur, eru til staðar. Raunverulegrar kólnunar, sem rekja má til niðurdælingar, hefur þó hlutfallslega sjaldan orðið vart, allavega ef miðað er við þann mikla fjölda niðurdælingarholna sem er í notkun (Valgarður Stefánsson, 1997). Mynd 4 sýnir eitt slíkt dæmi frá Palinpinion-svæðinu á Filippseyjum.



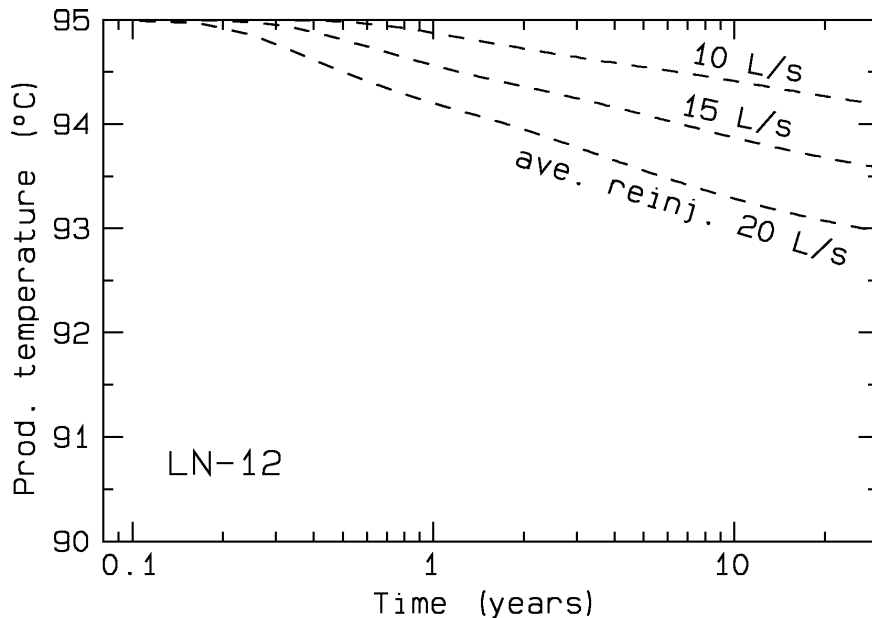
Mynd 4. Dæmi um kólnun vinnsluholu vegna niðurdælingar, hola PN-26 á Palinpinion-svæðinu á Filippseyjum (Malate og O'Sullivan, 1991).

Í þessu sambandi er rétt hönnun og staðsetning niðurdælingarholna lykilatriði. Kólnunarhættuna má lágmarka með því að staðsetja niðurdælingarholur í mikilli fjarlægð frá vinnsluholum. En aftur á móti þá er gagnsemi niðurdælingar (þrýstingshækkun) háværkuð með því að staðsetja þær sem næst vinnsluholum. Því þarf að velja staði fyrir niðurdælingarholur með hæfilegt jafnvægi milli þessara tveggja skilyrða í huga. Nákvæmar prófanir og rannsóknir eru þess vegna lykilatriði í undibúningi niðurdælingar.

Svokallaðar ferilprófanir eru öflugasta aðferðin sem tiltæk er til þess að meta áhrif niðurdælingar á nálægar vinnsluholur (Guðni Axelsson o.fl., 1995). Í ferilprófun felst að einhvers konar ferilefni er komið í niðurdælingarholu og fylst með endurheimtu þess í vinnsluholum í kring, en styrkur þessarar aðferðar felst í því að hraðinn sem ferilefni berst með er nokkrum stærðargráðum meiri en hraði kólnunar af völdum niðurdælingar í sömu holu. Ferilprófanir gefa upplýsingar um tengsl holnanna sem um ræðir, en þau eru oft um einhvers konar flæðisrásir (“flow channels” á ensku). Niðurstöður ferilprófana má svo nota til að reikna kólnunarspár fyrir vinnsluholur vegna langtímaníðurdælingar, og sýnir mynd 5 dæmi um slíkar spár. Þó er sá galli á gjöf Njarðar að ferilprófanir gefa upplýsingar um rúmmál flæðisrásanna, en kólnunin er reyndar háð yfirborðsflatarmáli þeirra.

Annað aðalvandamálið tengt niðurdælingu er útfelling steinefna í pípulögnum og niðurdælingarholum, einkum útfelling kísils við niðurdælingu háhitavatns (Stefán Arnórsson, 2004). Í sumum tilfellum er affallsvatn leitt beint frá gufuskiljum 160 – 200°C heitt, en það er þá yfir útfellingamörkum kísils og ekki þarf að gera ráð fyrir

útfellingum. Í öðrum tilfellum hefur affallsvatn verið kælt (í 15-100°C) og er hitastigið þá undir útfellingamörkum kísils. Þetta kallar á sérstaka meðhöndlun til þess að leysa útfellingavandamálið og er ýmist beitt útfellingu kísils í þróm eða sérbúnum tækjum áður en því er dælt niður eða þynningu kísils með íblöndun þéttivatns (sem inniheldur ekki kísil) frá eimsvölum gufuhverfla eða frá varmaskiptum (Sverrir Þórhallsson o.fl., 2004).



Mynd 5. Spár um kólnun vatns á Laugalandi í Eyjafirði vegna langtíma-niðurdælingar, sem hófst 1997. Síðan þá hefur vatn úr holum á svæðinu kólnað í samræmi við spárnar, eða um 1 – 2°C.

5. LOKAORÐ

Niðurdæling er orðin lykilatriði í rekstri fjölda jarðhitasvæða víða um heim og á mörgum þeirra er öllu affallsvatni skilað aftur niður í viðkomandi jarðhitakerfi. Niðurdælingin nýtist til að sporna við lækkun þrýstings og koma í veg fyrir efna- og varmamengun. Ókostir niðurdælingar hafa helst falist í auknum kostnaði, tæknilegum vandamálum vegna útfellinga og kólnun vinnsluholna vegna beinna tengsla við niðurdælingarholur. Hér á landi er niðurdæling hafin í sex jarðhitakerfi og má gera ráð fyrir vaxandi kröfum um að niðurdæling verði þáttur í háhitavirkjunum. Einnig má gera ráð fyrir að vægi niðurdælingar muni vaxa á lághitasvæðum Íslands á næstu árum. Ætti reynslan af þessum sex svæðum bæði að verða til hvatningar og gagns við undibúning og skipulagningu niðurdælingar á öðrum svæðum. Rétt er að hafa í huga að æskilegt væri að hitaveitur sé tvöfaldar að hluta, til að útvega hentugt vatn til niðurdælingar, og einnig að það geta verið örðugleikar tengdir því að dæla niður öllu affallsvatni frá háhitavirkjunum vegna skorts á þéttivatni.

ÞAKKIR

Höfundur þakkar samstarfsmönnum, bæði héraendis og erlendis, fyrir framlag þeirra til þessarar samantektar, sérstaklega Valgarði Stefánssyni og Sverri Þórhallssyni, auk þeim orkufyrirtækjum sem lagt hafa til gögn og upplýsingar.

HEIMILDIR

Guðni Axelsson, 2003: Essence of geothermal resource management. In: *Lectures on the Sustainable Use and Operating Policy for Geothermal Reservoirs*, IGC2003 short course, September 2003, United Nations University, 2003-1, Reykjavík, 129-152.

Guðni Axelsson, Valgarður Stefánsson og Grímur Björnsson, 2004: Sustainable utilization of geothermal resources for 100-300 years. *Proceedings 29th Workshop on Geothermal Reservoir Engineering*, Stanford University, USA, 8 bls.

Guðni Axelsson, Ásgrímur Guðmundsson, Benedikt Steingrímsson, Guðmundur Pálmason, Halldór Ármannsson, Helga Tulinius, Ólafur G. Flóvenz, Sveinbjörn Björnsson og Valgarður Stefánsson, 2001a: Um sjálfbæra vinnslu jarðhita. Erindi flutt á Orkuþingi 2001, Reykjavík, október 2001, 478-484.

Guðni Axelsson, Arnar Hjartarson, Steinunn Hauksdóttir, Ólafur G. Flóvenz og Franz Árnason, 2001b: Niðurstöður tveggja ára niðurdælingartilraunar á jarðhitasvæðinu á Laugalandi í Eyjafirði. Erindi flutt á Orkuþingi 2001. Orkumenning á Íslandi : grunnur til stefnumótunar : erindi og veggspjöld á Orkuþingi, Reykjavík, október 2001, 173-178.

Guðni Axelsson, Grímur Björnsson, Ólafur G. Flóvenz, Hrefna Kristmannsdóttir og Guðrún Sverrisdóttir, 1995: Injection experiments in low-temperature geothermal areas in Iceland. *Proceedings of the World Geothermal Congress 1995*, Florence, Italy, May 1995, 1991-1996.

Ingvar Baldursson og Guðni Axelsson, 2003: Niðurdæling í jarðhitakerfið á Laugalandi í Holtum. Erindi flutt á fagfundi Samorku, Selfossi, maí 2003.

Malate, R.C.M., 2003: Management of geothermal resources: PNOC-EDC experience. In: *Lectures on the Sustainable Use and Operating Policy for Geothermal Reservoirs*, IGC2003 short course, September 2003, United Nations University, 2003-1, Reykjavík, 153-183.

Malate, R.C.M., og M.J. O'Sullivan, 1991: Modelling of chemical and thermal changes in well PN-26 Palinpinon geothermal field, Philippines. *Geothermics*, **20**, 291-318.

Moya, P., og A. Yock, 2004: Injection management at the Miravalles geothermal field. *Proceedings 29th Workshop on Geothermal Reservoir Engineering*, Stanford University, USA, 7 bls.

Stefán Arnórsson, 2004: Útfelling steinefna úr affallsvatni frá háhitavirkjunum. Erindi flutt á málþingi Jarðhitafélags Íslands, Reykjavík, nóvember 2004.

Sverrir Þórhallsson og Guðni Axelsson, 2002: Niðurdæling í jarðhitakerfi á Íslandi. Erindi flutt á vorkfundi Samorku, Akureyri, maí 2002.

Sverrir Þórhallsson, Trausti Hauksson, Snorri P. Kjaran, Magnús Ólafsson og Albert Albertsson, 2004: Niðurdæling í Svartsengi 1982-2004. Frá tilraunum til stöðugs reksturs. Erindi flutt á málþingi Jarðhitafélags Íslands, Reykjavík, nóvember 2004.

Valgarður Stefánsson, 1997: Geothermal reinjection experience. *Geothermics*, **26**, 99-130.

Niðurdæling í Svartsengi

Frá tilraunum til stöðugs rekstrar

Sverrir Þórhallsson (s@os.is)

Íslenskar orkurannsóknir, Grensásvegi 9, IS-108

Trausti Hauksson (th@kemia.is)

Kemía sf., Suðurlandsbraut 10, IS-108

Snorri Páll Kjaran (spk@vatnaskil.is)

Vatnaskil sf., Suðurlandsbraut 50, IS-108

Magnús Ólafsson (mo@isor.is)

Íslenskar orkurannsóknir, Grensásvegi 9, IS-108

Albert Albertsson (albert@hs.is)

Hitaveita Suðurnesja hf., Brekkustíg 36, IS-260

Úrdráttur

Jarðhitasvæðið í Svartsengi hefur verið nýtt af Hitaveitu Suðurnesja frá árinu 1976 eða samfelld í 28 ár. Á þessum tíma hefur grannt verið fylgst með vinnslu úr svæðinu og breytingum á hita, þrýstingi og efnasamsetningu jarðsjávarins. Fyrirtækinu hefur verið umhugað að nýta svæðið með sjálfbærum hætti og því hefur verið litið á niðurdælingu affallsvatns sem hluta af rekstri jarðhitakerfisins. Nú er dælt niður 130 l/s sem er 30-50% af vinnslunni, en alls hefur um 18 millj. tonnum af vatni verið dælt niður, um 8% af heildarvinnslunni. Tilraunir með niðurdælingu í borholu hófust þegar árið 1982 og var lagt í ýmsar rannsóknir á rennislíðum með ferilprófunum og einnig hvernig forðast megí útfellingu kísils í affallsvatninu. Straumfræðilegir líkanreikningar hafa verið gerðir á áhrifum vinnslu til að spá fyrir um framþróunina, en talsverður niðurdráttur hefur fylgt vinnslunni. Samfara niðurdrættinum hefur myndast suðusvæði (gufupúði) og kemur nú hrein gufa úr grunnnum holum sem fullnægir þörfum virkjunarinnar að hálfu leyti. Í fyrirlestrinum verður lýst viðbrögðum jarðhitakerfisins við vinnslu og tilraunum sem gerðar voru til undirbúnings hönnunar á fyrsta niðurdælingarkerfinu á Íslandi. Þá verður fjallað um reynslu af rekstri þess og þann ávinning sem niðurdæling, er svarar til eins þriðja eða helmingss þess sem unnið er úr svæðinu, muni skila í minni niðurdrætti í jarðhitakerfinu en ella. Virkjunin í Svartsengi var fyrsta sambyggða jarðhitavirkjun í heimi til framleiðslu á vatni til húshitunar og raforku. Öflugar rannsóknir á vegum Hitaveitu Suðurnesja á jarðhitakerfinu og virkjunarbúnaði ásamt þeirri hönnunar-, rekstrar- og viðhaldsþekkingu sem skapast hefur í Svartengi, hefur leitt til hagkvæms rekstrar. Í erindi þessu er aðeins dregið á fáein atriði til að sýna hve miklu hefur þurft til að kosta til að svo gæti orðið.

VIRKJUNARSAGA

Með rannsóknum og borunum tveggja grunnra jarðhitaholna (2 og 3) á vegum Grindarvíkurbæjar í Svartsengi árin 1971-1972 fannst gjöfult háhitasvæði þar. Nokkuð kom á óvart að vatnið var með 2/3 hluta af seltu sjávar og lagði ríkið fram fé til vinnslurannsókna í tilraunastöð og til borunnar tveggja djúpra vinnsluholna (4 og 5), sem Orkustofnun stóð fyrir á árunum 1973-1975. Að þeim loknum þótti sýnt að svæðið stæði undir vinnslu varma til hitaveitu á Suðurnesjum sem nýttast mundi öllum sveitarfélögunum og flugvallarsvæðinu, en einnig til raforkuvinnslu. Hitaveita Suðurnesja var stofnuð af sveitarfélögunum og ríkinu í árslok 1974 og hóf fyrirtækið þegar framkvæmdir. Í ófullkominni bráðabirgðastöð hófst afhending heits vatns til Grindavíkur þegar haustið 1976. Vatn tók að streyma til Keflavíkur 1978 frá nýju orkuveri (varmaafli 50 MW_t, rafafli 2 MW_e) og þá jókst vinnslan úr jarðhitakerfinu. Önnur aukning varð í lok árs 1980 er 6 MW_e mótþrýstihverfill var tekinn í notkun. Árin 1989 og 1993 bættust samtals við 8,4 MW_e í rafafli með sjö tvívökvahverflum sem nýta 103°C heita afgangslágþrýstigufu frá mótþrýstihverflunum, sem áður fór út um strompa orkuversins. Þessi áfangi er því stundum nefndur “strompgufuvirkjun”. Kölluðu þessar framkvæmdir á borun fimm vinnsluholna 1980 og eru þær enn í fullum rekstri (7-11) en elstu fimm holurnar (2-6) hafa verið lagðar af með tímanum. Vinnsluholur eru nú “blautu” holurnar 7, 8, 9, 11, 18 og 19 ásamt “þurru” holunum 10, 14, 16 og 20, og niðurdæling er í holu 17, sjá mynd 1. Mynd 2 sýnir flæðirás orkuvera 2, 3 og 4. Árleg massataka úr jarðhitakerfinu hélst nokkuð stöðug um árabil þar til nýtt orkuver 5 með 30 MW_e hverfilsamstæðu hóf rekstur haustið 1999. Þótt gufunotkunin ykist um helming varð ekki samsvarandi aukning á massatöku úr svæðinu því meiri hluti gufunnar var fengin úr “þurru” holunum og einnig jókst niðurdælingin. Verg (nettó) meðalvinnsla úr svæðinu jókst því aðeins lítillega. Fór í fyrstu úr 230 kg/s árið 1999 í 370 kg/s árið á

eftir, en er vegna stóraukinnar niðurdælingar komin niður í 240 kg/s árið 2003, eins og sést á mynd 3.

Í upphafi var gert ráð fyrir að rafmagn yrði framleitt sem aukaafurð í samrekstri við heitavattensþörfina, en afkastageta varmvinnslunnar var þá 125 MW_t í nýttum varma. Raforkuvinnsla umfram nokkur megavött kallar aftur á móti á massatöku úr jarðhitakerfinu umfram þarfir hitaveitunnar einnar. Því má segja að þetta hafi snúist við og í raun sé framleiðsla á heitu vatni í varmaorkuverinu aukaafurð og raforkuvinnslan orðin ráðandi um massatökuna.

Niðurdæling hófst í smáum stíl 1982 og með nokkrum hléum var dælt niður í þrjár háhitaholur nærri orkuverinu í Svartsengi eins og fram kemur á mynd 4. Samgangur við vinnsluholur var of mikill og því var ákveðið að bora sérstaka niðurdælingarholu (17) fjarri aðal vinnslusvæðinu. Fram að þeim tíma að nýja holan var tekin í gagnið hafði alls um 9 millj. tonnum af vatni verið dælt niður eða um 5% af heildarmagni vinnslu. Dæling í nýboraða niðurdælingarholu hófst árið 2000 eftir að 30 MW_e og 125 MW_t orkuverið (5) hafði verið tekið í notkun og er hún í 2,5 km fjarlægð frá vinnslusvæðinu. Nú er um 130 l/s dælt niður í jarðhitakerfið sem er 30-50% af því sem upp er tekið og álíka miklu er fargað á yfirborði. Í 154°C heita jarðsjóinn, sem heldur jöfnum hita í lóninu fyrir baðgesti, er bætt um 5% af þéttivatni til að minnka útfellingar í lögninni þangað sem flytur um 25 l/s. Á upphaflegum baðstað Bláa lónsins kom affallsvatnið beint frá orkuverinu og settist kísillinn þá til botns þar sem gestir náðu til hans og gátu borið á sig. Sambærileg útfelling verður ekki á nýja staðnum vegna lægri kísilstyrks (ein-soðinn jarðsjór í stað tví-soðins) og skyndikælingar og er kísileðjan sem baðgestirnir bera á sig því flutt á staðinn. Frekar er fjallað um nauðsynlega þynningu affallsvatnsins til að fyrirbyggja útfellingu í þarnæsta kafla.

VIÐBRÖGÐ JARHITAKERFISINS VIÐ VINNSLU

Frá fyrsta degi vinnslu hefur verið fylgst stöðugt með breytingum á þrýstingi í jarðhitakerfinu með árlegum hita- og þrýstimælingum í holum og efnagreiningum. Í Svartsengi hefur því fengist nákvæm vitneskja um þær breytingar sem jarðhitasvæðið verður fyrir við vinnslu. Hraði breytinga og hvers eðlis þær eru, eru talsvert ólíkar milli jarðhitasvæða. Yfirleitt verður þó strax vart við þrýstilækkun (niðurdrátt) og síðan koma fram fremur hægfara breytingar á efnasamsetningu, en áratugi getur tekið að fá fram hitabreytingar. Hnignun jarðhitakerfa má yfirleitt rekja til ónógs náttúrulegs innrennslis af vatni og því er niðurdæling nú talin æskileg sem þáttur í sjálfbærri nýtingu þeirra. Upphaflega var þó niðurdæling hafin til að losa virkjanir við affallsvatn sem óæskilegt var talið að bærast í ár eða grunnvatn. Er það vegna varma- og efnamengunar því víða erlendis er affallsvatn með meira af skaðlegum efnum en á Íslandi.

Á mynd 3 eru sýnt hverjar þessar þrýstibreytingar hafa verið allt frá upphafi vinnslu ásamt meðalvinnslu öll árin. Ferillinn er reiknaður í straumfræðilíkani en beinar mælingar í holum sýndar sem krossar. Mest hefur breytingin orðið á þrýstingi á vinnslusvæðinu sjálfu eða 320 m niðurdráttur. Við svo mikla þrýstilækkun færast suðan út í bergið og suðuborðið færast frá um 400 m dýpi niður á 700 m þannig að svæðið þar fyrir ofan er gufumettað. Þær breytingar urðu af völdum niðurdráttar, að grunnar holur tóku að "þorna" upp úr 1980 og skila nú mettaðri gufu og engum jarðsjó. Fyrir virkjunina er þetta hið besta mál því þá þarf ekki að farga affallsvatninu sem annars er um 80% massa þess sem kemur úr holunum. Gufuholurnar eru auk þess háþrýstar og mjög afkastamiklar. Dæmi um það er hola 16 sem afkastar um 40 kg/s við 19 bar, en það samsvarar yfir 20 MW_e. Þurru holurnar eru aftur á móti með um 10 sinnum meiri gasstyrk (2-6% af massa), því jarðhitakerfið afgangast vegna suðunnar í berginu, sjá mynd 5. Líkanreikningar hafa verið gerðir á þrýstíahrifum vinnslunnar bæði á vatnsmettaða djúpkerfinu og grunna gufupúðanum. Þrýstibreytingin í Svartsengi nær yfir stórt svæði og kemur t.d. um 75% hennar fram í borholu í Eldvörpum í 6 km fjarlægð frá vinnslusvæðinu. Þrýstibreytingin veldur einnig landsigi og hefur verið fylgst með því ásamt þyngdarbreytingum á 5-7 ára fresti frá árinu 1979, sem hluta af umhverfissvöktun svæðisins. Hefur sigið mælst um 0,9 cm á ári, mest 22,6 cm í allt við vinnsluholurnar, en breytinganna verður vart á stóru svæði sem nánast fylgir útlínun jarðhitakerfisins eins og það er ákvarðað með viðnámsmælingum. Ætla mætti að þrýstibreyting í jarðhitakerfinu hefði slæmar afleiðingar fyrir afköst holna og virkjunarinnar. Svo er ekki því hönnunarþrýstingur á orkuverinu er 5 bar en holurnar voru reknar við 18-20 bar í upphafi en 13-16 bar nú við óbreytt rennsli. Þrýstingurinn lækkar á holutoppi um 1/5 af því sem gerist í svæðinu og

Því má enn ganga á djúpþrýstinginn með tilliti til reksturs á borholunum. Þegar suðan færist út í bergið neðan steypu vinnslufóðringanna í “blautu” holunum mun gufa taka að streyma inn og með tíma geta holurnar því einnig “þornað”. Þessara áhrifa er þegar farið að gæta í holum með um 600 m djúpar fóðringar og kemur m.a. fram í hærri gasstyrk og vermi (kJ/kg).

Afleiðing afgösunar djúpkerfisins um “gufupúðann” er að gasstyrkur í vatnsfasanum, jarðsjónum, lækkar og við það hækkar sýrustigið (pH). Við það hliðrast efnahvörf, og hafa margar slíkar breytingar þegar komið fram í jarðsjónum. Anægjulegasta breytingin var að kalkútfelling sem myndaðist við suðuborðið í holunum og þurfti að hreinsa með bor, samtals 32 sinnum fyrstu 20 árin, er nánast hætt að myndast.

Hitabreytinga hefur enn ekki orðið vart í holunum, fyrir utan tvær skammtímabreytingar sem gengu til baka. Svartsengissvæðið einkennist af góðri lekt og uppblöndun og er hitinn í því um 240°C, óháður dýpi.

Eins og sjá má af mynd 3 hefur aukin vinnsla áhrif á niðurdráttinn, en umtalsverð aukning varð í massatökunni árin 1981 og 2000. Spálíkön hafa náð að segja til um þessar breytingar með mikilli nákvæmni. Slíkt líkan var einnig notað við að segja til um hve langt frá vinnsluholunum niðurdælingarholan þurfti að vera. Niðurstaðan var 1,5 km miðað við að engin aukning yrði í niðurdrætti. Er það svipuð fjarlægð og notuð hefur verið erlendis. Hóla 17 var aftur á móti staðsett út frá jarðfræðilegum forsendum og er í um 2,5 km fjarlægð frá Svartsengi. Straumfræðilíkanið hafði þá verið kvarðað með margra ára vinnslusögu og með niðurstöðum ferilprófana (“tracer test”) sem gerðar voru í tvígang. Síndu ferilprófanir að lektin er mjög stefnuháð (“anisatróp”), er best í sprungustefnunna sem er norðlæg, nánast 1:10. Kælingar af völdum niðurdælingar á samkvæmt líkanreikningum ekki að verða vart á vinnslusvæðinu fyrr en eftir liðlega 25 ár, en stuðningur í þrýstingi kemur fljótt fram.

TILRAUNIR TIL UNDIRBÚNINGS NIÐURDÆLINGAR

Fyrsta tilraun til niðurdælingar í Svartsengi var gerð sumarið 1982. Köldu ferskvatni (65 l/s) var dælt niður í holu 12 í 24 daga og vatnssýni tekin úr sex vinnsluholum. Tilgangur tilraunarinnar var að athuga hvort ferska vatnið kæmi fram í einhverri vinnsluholnanna.

Breytinga varð vart í holu 4 eftir 7 daga og holu 9 eftir 34 daga. Andrúmsloft drógst niður í holuna með niðurdælingarvatninu og kom fram í nálægum holum. Sérstaklega í holum 10 og 6.

Hóla 12 var því talin of nærri vinnsluholum til þess að nýtast sem niðurdælingarhóla til frambúðar. Lagt var til að gerð yrði langtímaprófun með jarðsjó ásamt ferilprófun með kenniefni til þess að fá betri upplýsingar um væntanlega kólnun vegna niðurdælingar.

Fyrir ferilprófun 1984 var þróuð nákvæm aðferð til mælinga á jodíði og Rhodamín WT í jarðsjónum. Ferilprófun með 350 kg af kalíumjodíði og 37 lítrum af Rhodamine WT var framkvæmd samtímis í holu 12. Niðurstöður voru þær að 38% af niðursettu jodíði í holu 12 kom fram í holu 6 og var meðalstreymishraði milli holnanna 2 m/klst. Efnid kom einnig fram í holum 7 og 8 og var hraðinn í þær um 0,5 m/klst. Engin svörun mældist í öðrum holum. Síndu ferilprófanirnar að streymi eftir sprungustefnu er mjög hratt og ráðandi. Rhodamín WT reyndist ekki vel og virtist brotna niður við 240°C hita.

Styrkur kísils í jarðsjónum sem streymir inn í holurnar er um 445 mg/kg (420-460 mg/kg SiO₂) og er jarðsjórinn í jafnvægi við kvars í berginu. Háþrýstigufa er skilin frá jarðsjónum og við það hækkar kísilstyrkurinn upp í 510 mg/kg og er þá rétt undir ópalmettunarmörkum kísils. Jarðsjórinn er síðan soðinn við undirþrýsting (80°C) til þess að ná meiri hita úr honum til heitavatsframleiðslu. Við það hækkar styrkur kísils í 600 mg/kg og verður hann kísilyfirmettaður og kísillinn fellur hratt út. Flæði kísils í orkuverinu er sýnt á mynd 2. Útfellingarhraðinn er það mikill að útilokað er að dæla jarðsjónum niður um holur óþynntum. Mikið þéttivatn fellur til við heitavatsframleiðsluna og einnig úr eimsvala rafhverflanna og var ákveðið að nýta það til þynningar á jarðsjónum og minnka þannig kísilyfirmettunina.

Gerðar voru tilraunir 1982-1983 með blöndun jarðsjávar og þéttivatns með það að markmiði að finna vökva sem hægt væri að dæla niður án tæringar eða útfellinga í niðurdælingarholunni og lögnum að henni. Hegðun kísils í affalsvatni við breytilegt sýrustig var athuguð og kom í ljós að lækkun sýrustigs í pH 5,5 hægir verulega á fjölliðunarhraða. Niðurstöður voru lofandi og bentu til þess að nægilegt væri að hlutfall þéttivatns í jarðsjónum væri um 16%.

Tilraunir voru einnig gerðar 1983 með fellingu kísils úr jarðsjónum með það að markmiði að hreinsa hann fyrir niðurdælingu og framleiða söluhæfann kísil. Niðurstöður lofuðu góðu en kostnaður var talinn umtalsverður samanborið við þéttivatnsþynningu.

Áður en niðurdæling blöndu jarðsjávar og þéttivatns hófst 1984 voru gerðar útfellingaprófanir á blöndunni og henni dælt út í lón á meðan. Í ljós kom að þéttivatnshlutfallið þurfti að vera allt að 48% til þess að stöðva útfellinguna en við 24% blöndun hægði verulega á henni. Blöndu jarðsjávar og 25 % þéttivatns (50 l/s) var dælt í holu 12. Vegna útfellinga í holunni var niðurdælingu jarðsjávar hætt eftir 77 daga en í staðinn dælt niður afloftuðu hitaveituvatni. Niðurdælingin hægði á vatnsborðslækkun í holu 4 en hafði engin áhrif á afköst annarra holna.

Staðfest var með útfellingartilraunum 1992 að þéttivatnshlutfall í affallsvatninu þarf að vera um 47% til þess að koma í veg fyrir útfellingar. Ef blandan er sýrð að auki með kolsýru eða annarri sýru niður fyrir pH 5,5 má hlutfallið vera um 30%.

Útfellingarhraði kísils í iðustreymi var kannaður 1994 í blöndum þéttivatns og jarðsjávar frá orkuverinu. Helstu niðurstöður voru að miðað við 1 mm leyfilega útfellingu á ári í niðurdælingarlögnum þarf þéttivatnshlutfall að vera 38% en 52% ef engin útfelling er leyfð. Í söltu vatni sem í Svartsengi verður útfelling kísils ör, sé um yfirmettun að ræða. Mettunarferill ókristallaðs kísils hefur verið þekktur um árabíl og sýndu tilraunir í Svartsengi að hann gildi einnig þar, þó voru útfellingamörkin við eilítið hærri hitastig.

Niðurstöður þessara prófana voru síðan nýttar fyrir niðurdælinguna í holu 17 og er hlutfall þéttivatns í niðurdælingarsjónum um 40-50% og kísilstyrkur um 300 til 400 mg/kg sem er nálægt eða rétt yfir kísilmettun við 100°C niðurdælingarhita.

Samhliða niðurdælingartilraunum sumarið 1994 voru smáskjálftar skráðir í Svartsengi. Niðurstöður sýndu enga marktæka aukningu í skjálftavirkni.

NIÐURDÆLINGARHOLAN

Niðurdælingarholunni, holu 17, var valinn staður í 2,5 km fjarlægð frá vinnslusvæðinu en þó innan jarðhitakerfisins, um miðja vegu milli Svartsengis og Eldvarpa og rétt vestan fjallsins Þorbjarnar. Markmiðið er að koma affallsvatninu djúpt í jarðhitakerfið og að það sé einnig í þrýstisambandi við Svartsengi en þó nógu fjarri til að kólnun skili sér seint inn á vinnslusvæðið. Holan er hönnuð eins og aðrar víðar holur í Svartsengi og var raufaður leiðari settur neðst í hana, sjá mynd 6. Sýnt var að lokinni borun í 1252 m, og örvunaraðgerðum sem fólust í að hita og kæla holuna á víxl, að hún tók vel við vatni. Að lokinni upphitun var holunni hleypt í blástur og var hún fyllilega jafn afkastamikil og vinnsluholur í Svartsengi. Vatn til niðurdælingar í Svartsengi er fengið úr háþrýstiskiljum við 6,5 bar-a og í það er dælt 30-50% af 100°C heitu þéttivatni, en einnig fellur til affallsvatn við 80°C og er það sömuleiðis þynnt með þéttivatni. Kísilstyrkur í niðurdælingarvatninu er um 300 til 400 mg/kg samanborið við 445 mg/kg í jarðhitakerfinu. Á mynd 7 er sýnd flæðirás niðurdælingarkerfisins. Niðurdælingarvatnið kólnar það mikið við þéttivatnsdælinguna að þrýstingurinn frá gufuskiljunni nægir til að skila því að holunni án þess að sjóði í lögninni. Þar eð megnið af vatninu skilar sér í holuna án dælingar, er niðurdæling e.t.v. misnefni, ætti frekar að kalla niðurrennsli. Á holutoppi eru tveir þrýstistýrðir hemillokar til að fyrirbyggja suðu í langri niðurdælingarlögninni að holunni. Holan tekur aftur á móti það greiðlega við vatninu, að aftan við hemillokann verður mettunarþrýstingur (suðuþrýstingur) fyrir þann hita sem er á vatninu. Sé vatnið undir 100°C myndast hreinlega sog á holutoppi. Eins og á öðrum holum í Svartsengi er sívöktun á holutoppisþrýstingi og stöðu loka og eru upplýsingarnar fluttar um farsímamótald og birtast á vefsíðu sem öllum er aðgengileg. Niðurdæling í holuna hófst árið 2000 og hefur hún farið vaxandi (mynd 4). Þetta er ekki eingöngu æskilegt til að viðhalda þrýstingi í jarðhitakerfinu heldur einnig til að vatnsborð í Bláa lóninu verði ekki of hátt. Fylgst er með útfellingum og tæringu í lögninni með sýnaplötum og hafa þær sýnt óverulega tæringu. Örlítill útfelling er í niðurdælingarlögninni næst orkuverinu en nánast engin þegar komið er áleiðis að holunni. Rekstur niðurdælingarveitunnar hefur gengið vel og holan tekið greiðlega við vatninu.

ÁHRIF NIÐURDÆLINGAR Á JARÐHITAKERFIÐ

Spár um áhrif niðurdælingar á þrýsting í jarðhitakerfinu hafa verið gerðar. Nú er og komin nógu mikli reynsla af niðurdælingunni til að staðfesta hve mikil áhrifin eru. Mynd 4 sýnir niðurdælingu í jarðhitakerfið í Svartsengi. Hún hófst með niðurdælingu í holu 12 í lok ársins 1984 og stóð sú niðurdæling til byrjunar árs 1988. Blanda af þéttivatni og affallsvatni var notuð en síðar var skipt yfir í hitaveituvatn eftir að vatnsborðið tók að stíga í holunni, nokkuð sem var vísbending um stíflu af völdum útfellinga. Næst tók við minni niðurdæling á hitaveituvatni í holu 5 sem stóð í um það bil tvö ár. Loks var litlu magni af hreinu þéttivatni dælt niður í holu 6 með hléum fram til ársins 2000. Eftir ádælingu á holu 12 í fjögur ár var holan látin standa til að hitna upp. Eftir það var holunni hleypt í blástur og þjónaði hún þá sem vinnsluhola. Holan náði ekki fullum hita og því var toppþrýstingur hennar lægri en áður, en engu að síður nýttist hún virkjuninni.

Niðurdæling á árunum 1982-2000 var fyrst og fremst gerð í tilraunaskyni en á árinu 2000 hófst síðan niðurdæling til frambúðar í holu 17, en hún var boruð í þeim tilgangi. Staðsetning holunnar miðast við að fá fram þrýstiáhrif inni á jarðhitasvæðinu sjálfu en hún þó höfð það langt í burtu til að kælingar ætti ekki að gæta að ráði.

Á mynd 3 sést að frá því að niðurdæling hófst þá hefur dregið úr vergri vinnslu úr jarðhitasvæðinu úr 370 kg/s í 240 kg/s. Á myndinni eru sýndar niðurstöður úr reiknilíkani fyrir vatnsborðslækkun og sést að reikningum og mælingum ber vel saman. Reiknilíkanið hefur síðan verið notað til að spá fyrir um vatnsborðslækkun í framtíðinni og er spá til ársins 2010 sýnd á mynd 8. Niðurdráttarspá fyrir holu 17, Eldvörp og Reykjanes er einnig sýnd á myndinni. Þar sést að árið 2010 verður vatnsborðslækkun í Svartsengi allt að 50 metrum minni en ella, ef engu hefði verið dælt niður.

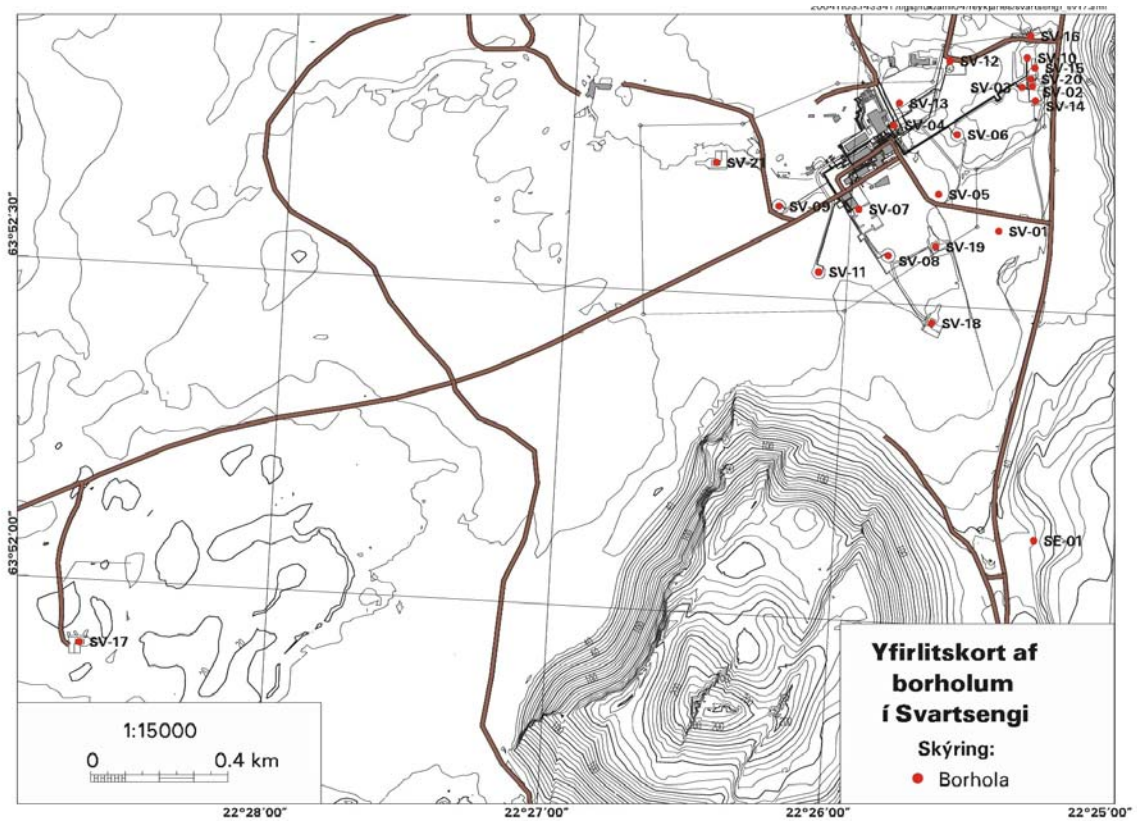
Niðurstöður útreikninga sýna að enngar kælingar má vænta inni á vinnslusvæðinu í Svartsengi að minnsta kosti næstu 25 árin miðað við núverandi niðurdælingu.

Niðurdælingabúnaður orkuversins verður styrktur og endurnýjaður á næsta ári þannig að um mitt næsta ár verður unnt að tvöfalda niðurdælinguna. Stefnt er að auknu niðurrennsli í áföngum vegna hækkunar vatnsborðs Bláa lónsins og þrýstilækkunar í svæðinu.

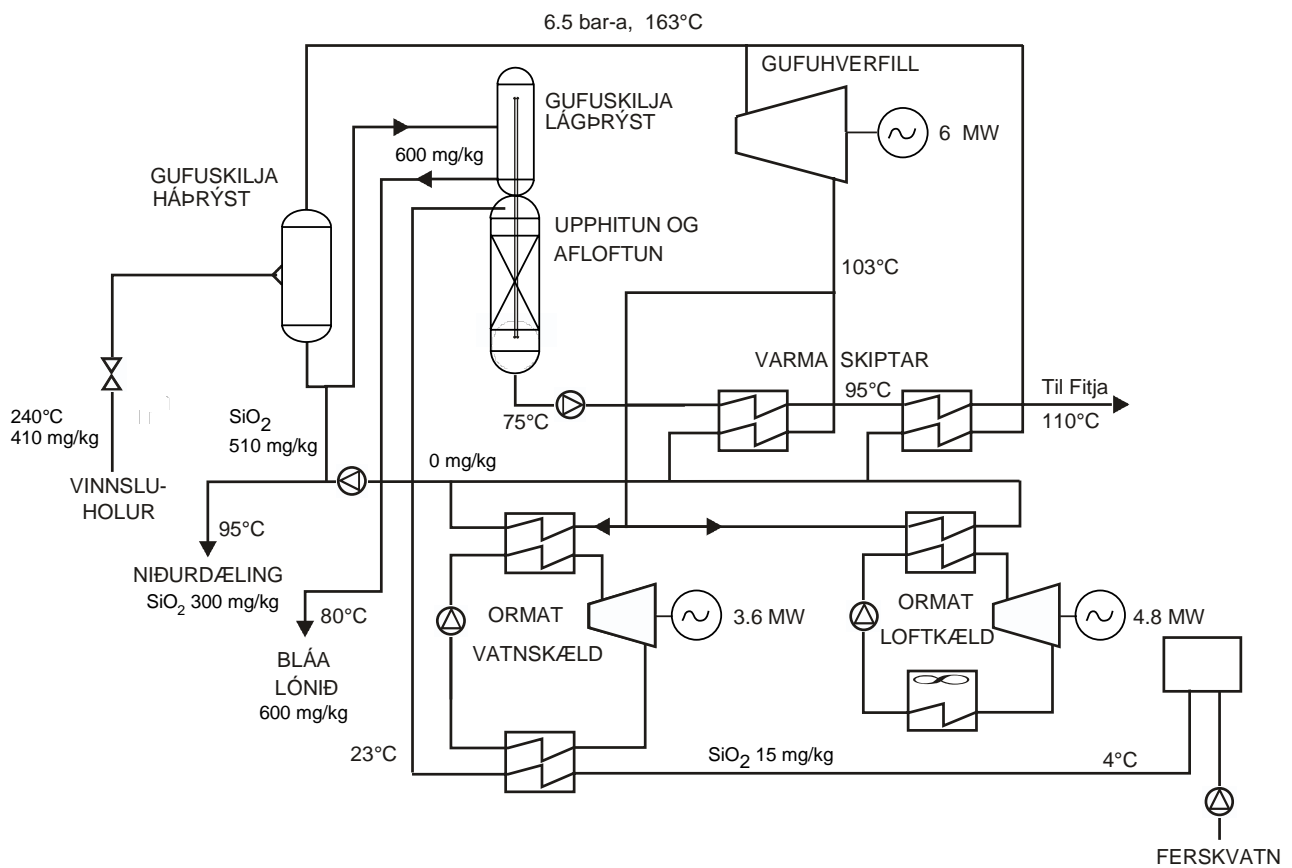
Brýnt er að viðhalda og/eða auka afkastagetu gufupúðans, en það er unnt að gera með því að stýra þrýstilækkun í djúpsvæðinu. Allur búnaður er til staðar til þess að stýra þrýstilækkuninni þ.e.a.s. á sérhverjum holutoppi situr fjarstýrður stjórnloki, Ellaloki, sem skammtar rennsli úr hverri holu jafnframt því sem hann mælir rennslið. Í massajafnvæginu er sem sé spilað á fjórar breytur: rennsli úr djúpkerfinu, rennsli úr gufupúðanum, niðurrennsli og rennsli til Bláa lónsins. Á næstu mánuðum og árum verður kannað hver sé besta skipting milli massatöku úr djúpkerfi og gufupúða og niðurrennslis m.t.t. hámarks langtímaafkasta gufupúðans.

NIÐURLAG

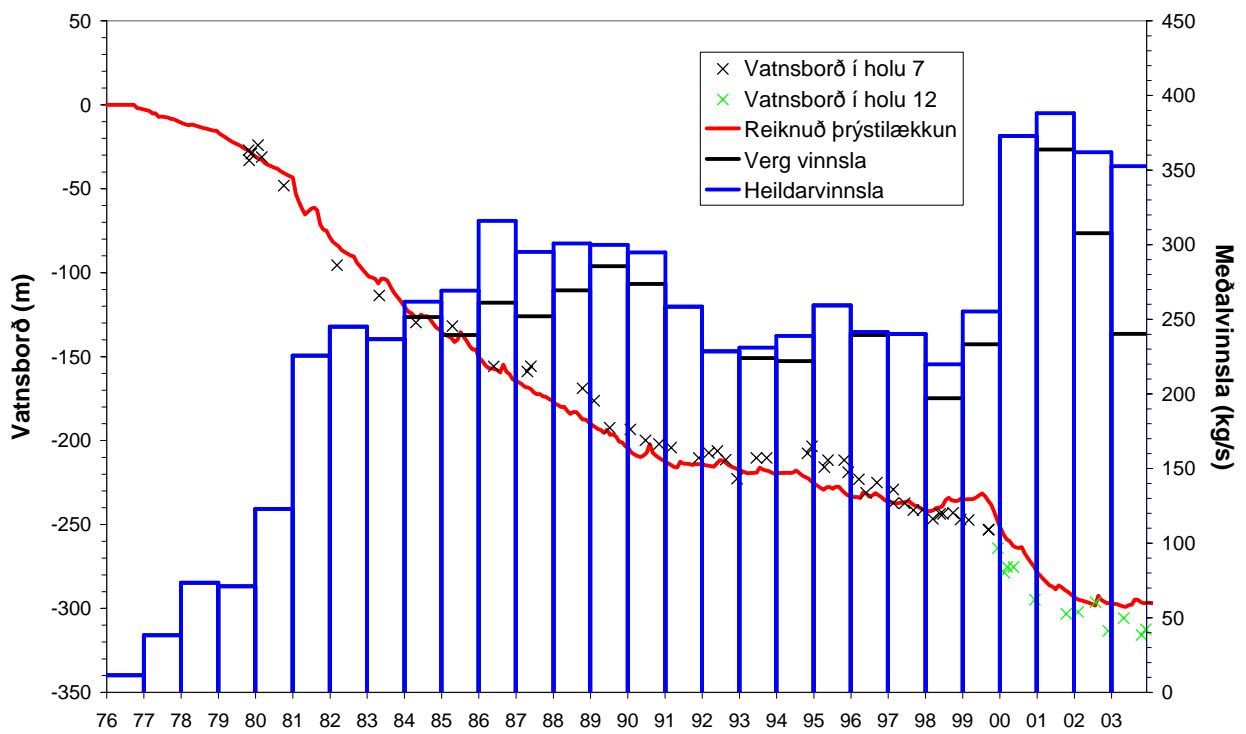
Með það að markmiði að nýta jarðhitasvæðið í Svartsengi með sjálfbærum hætti hefur niðurdæling verið hluti af rekstri svæðisins í tvo áratugi, en með nokkrum hléum. Megintilgangur með niðurdælingunni er að hafa stjórn á niðurdrættinum. Umfangsmiklar rannsóknir voru gerðar á kísilútfellingum, því þær þarf að hindra svo að niðurdælingarholur stíflist ekki. Þær skiluðu jákvæðum árangri og árið 2000 hófst niðurdæling í holu sem er sérstaklega til þess ætluð. Er holan í miðju jarðhitakerfinu og er reyndar hin besta vinnsluhola. Gott þrýstisamband er við vinnslusvæðið í Svartsengi, en með því að hafa holuna í 2,5 km fjarlægð er leitast við að kæling skili sér seint en stuðningur í þrýstingi skjótt. Holan tekur nú við 130 l/s af 100°C heitum jarðsjó með 300-400 mg/kg af kísli. Er það 30-50% af því sem úr svæðinu er numið. Í ár stefnir í að 3,7 millj. tonna verði dælt niður. Unnt er að auka rennslið nokkuð en framboð af þéttivatni er þar takmarkandi þáttur. Því er ekki hægt að dæla niður öllu affallsvatninu, enda er einnig þörf fyrir það í Bláa lónið og tengda starfsemi.



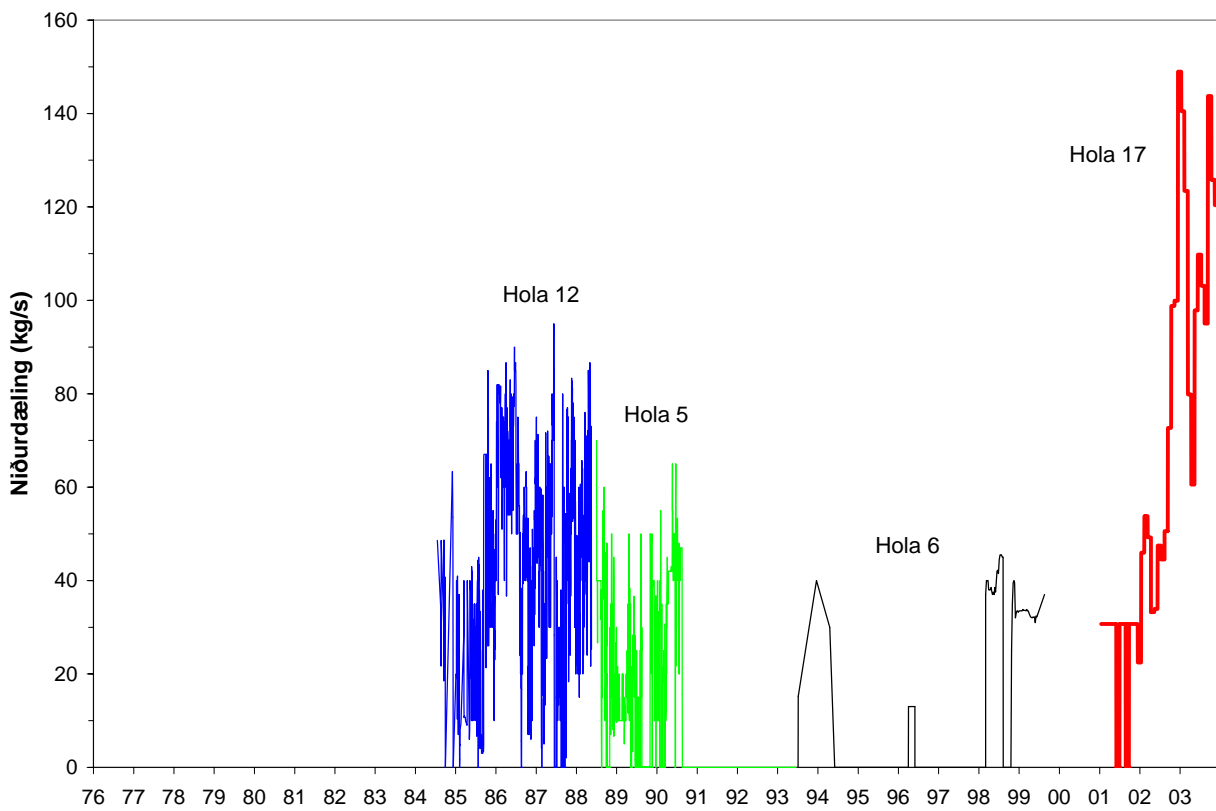
Mynd 1. Staðsetning borholna í Svartsengi. Niðurdælingarholan SV-17 er neðst til vinstri.



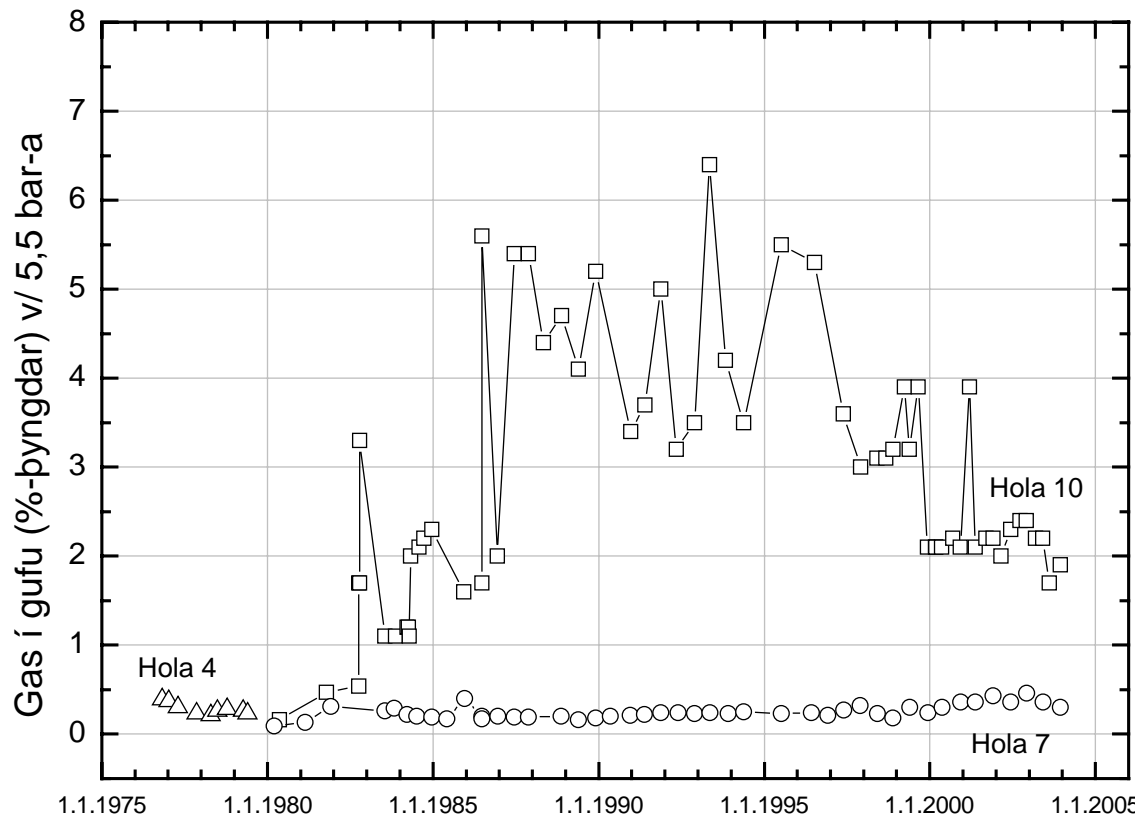
Mynd 2. Flæðirás orkuvera 2, 3 og 4 í Svartsengi. Kísilstyrkur er sýndur í rásinni frá vinnsluholu og til niðurdælingar.



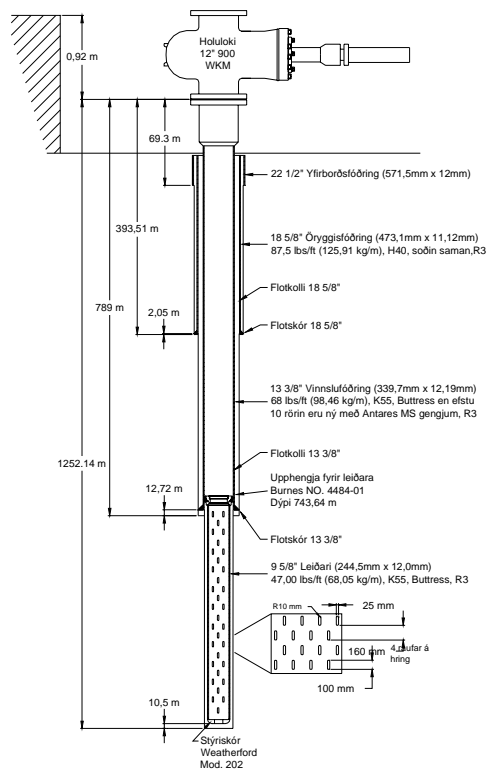
Mynd 3. Niðurdráttur í Svartsengi og meðalvinnsla (heildarvinnsla og verg) frá upphafi vinnslu í Svartsengi 1976. Reiknuð þrýstilækkun fylgir allvel þrýstimælingum sem gerðar eru í holunum og eru sýndar sem krossar.



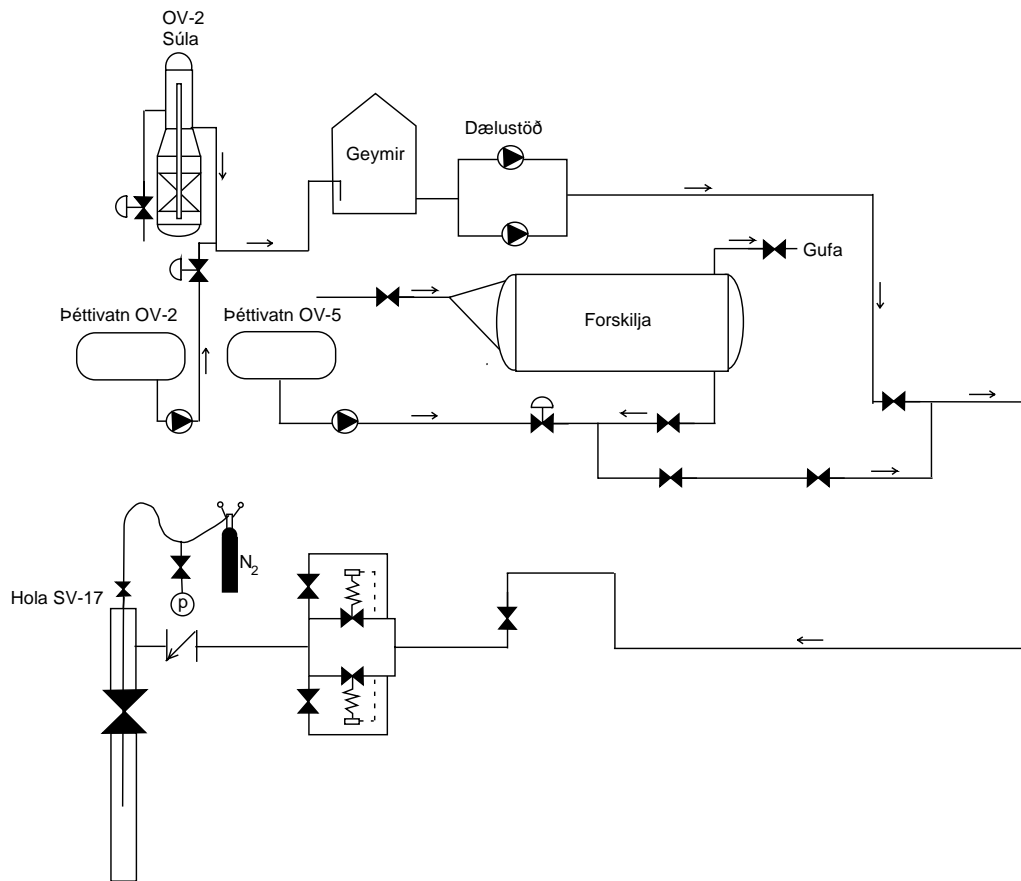
Mynd 4. Niurdæling í Svartsengi. Hóla 17 var boruð sérstaklega til niurdælingar en aðrar voru vinnsluholur.



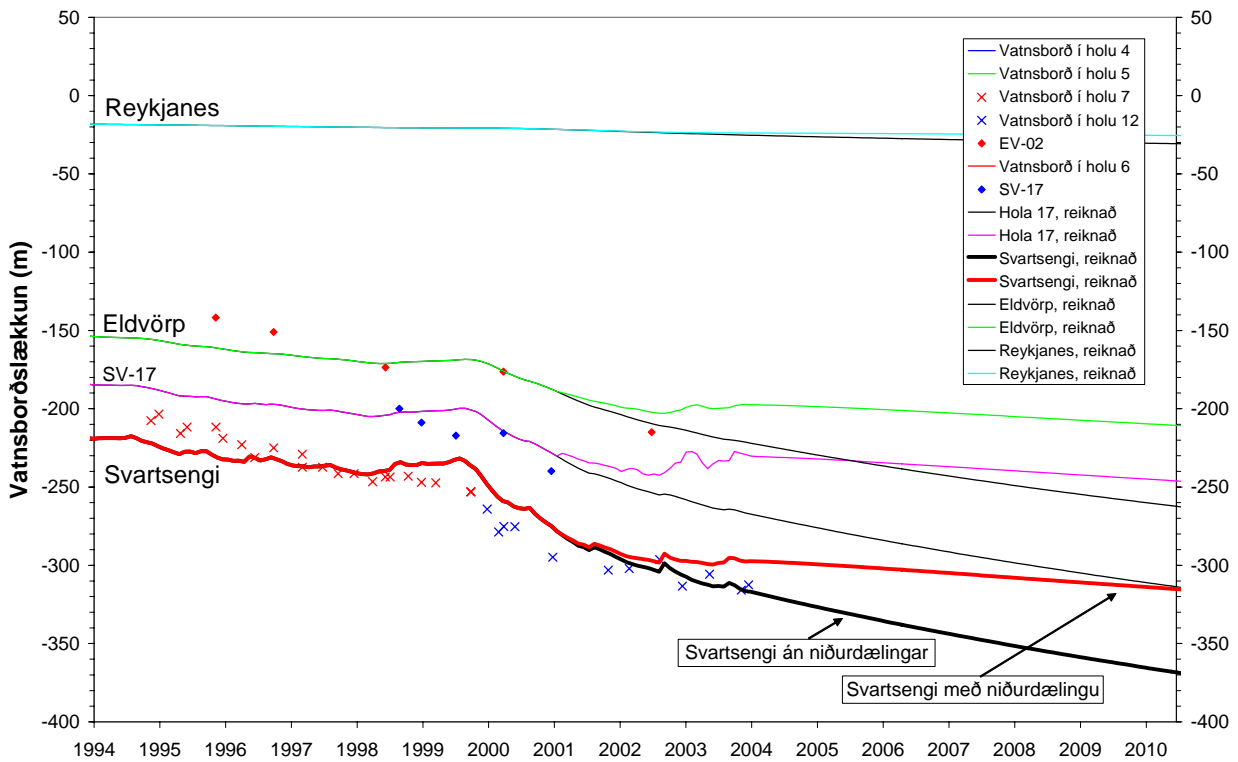
Mynd 5. Gas í gufu (%-þyngdar) v/ 5,5 bar-a úr “þurrum” gufuholum (10) og úr “blautum” holum sem fá jarðsjó (4 og 7)



Mynd 6. Fóðringar og gerð holu 17. Holan er frágengin eins og vinnsluhola og var blástursprófuð sem slík.



Mynd 7. Niðurdælingarkerfið í Svartsengi, flæðirás. Affallsvatn er þynnt í orkuverum 2 og 5 sem sameinast síðan.



Mynd 8. Spá um árangur niðurdælingar í minni niðurdætti en ella. Ávinningurinn í Svartsengi er 50 m árið 2010.

HEIMILDALISTI

- Karl Ragnars, Sveinbjörn Björnsson 1972. *Varmaveita frá Svartsengi til þéttbýlis á Suðurnesjum*. Orkustofnun OS10840.
- Jónas Elíasson, Sigurður St. Arnalds, Snorri Páll Kjaran 1977. *Svartsengi. Straumfræðileg rannsókn á jarðhitasvæði*. Orkustofnun, OS-ROD-7718, OS-SFS-7702, 72s.
- Jón Steinar Guðmundsson 1978. *Útfellingar og frárennsli orkuversins við Svartsengi: Athuganir sumarið 1978*. Orkustofnun OS-JHD-7850, 41s.
- Hjalti Franzson 1990. *Svartsengi. Jarðfræðilíkan af háhitakerfi og umhverfi þess*. Orkustofnun OS-90050/JHD-08, 41s.
- Sigurður R. Guðmundsson 1982. *Hegðun kísils í affallsvatni orkuvers Hitaveitu Suðurnesja, Svartsengi*. Orkustofnun OS82072/JHD17 B, 28s.
- Jón Steinar Guðmundsson 1983. *Niðurdælingartilraun við Svartsengi 1982*. Orkustofnun OS-83047/JHD-07.
- Hermann Þórðarson 1983. *Kísilefni felld úr jarðsjó í Svartsengi*. Samvinnuverkefni Iðntæknistofnunar og Raunvísindastofnunar Háskólans. Staða rannsókna, skýrsla.
- Sigurður Rúnar Guðmundsson 1983. *Athuganir á kísilfjölliðun í jarðsjó í Svartsengi*. Birt sem viðauki í skýrslu: Trausti Hauksson, 1985. *Niðurdælingartilraun í Svartsengi 1984*. Orkustofnun OS-85107/JHD-13.
- Trausti Hauksson, 1985. *Niðurdælingartilraun í Svartsengi 1984*. Orkustofnun OS-85107/JHD-13, 109 s.
- Jón Örn Bjarnason 1988. *Svartsengi. Efnæftirlit 1980-1987*. Orkustofnun OS-88001/JHD-01, 98s.
- Verkfræðistofan Vatnaskil sf. 1989. *Svartsengi. Reiknilíkan af jarðhitakerfi*. Orkustofnun JHD-05, 111s.
- Grímur Björnsson, Benedikt Steingrímsson 1991. *Hiti og þrýstingur í jarðhitakerfinu í Svartsengi. Upphafsstand og breytingar vegna vinnslu*. Orkustofnun OS-91016/JHD-04, 69 s.
- Trausti Hauksson 1992: *Svartsengi, Kísiltilraunir á affallsvatni, Íblöndun þéttivatns, síru og gass*. Orkustofnun JHD-20 B.
- Sigurður Benediktsson, Sverrir Þórhallsson, Hjalti Franzson 1992. *Borun í gufupúðann í Svartsengi. Teikningar af holum HSH-14 og HSH-15*. Orkustofnun OS-92052/JHD-28 B, 26s.
- Hjálmar Eysteinnsson 1993. *Hæðar- og þyngdarmælingar á utanverðum Reykjanesskaga 1992*. Orkustofnun OS-93029/JHD-08, 53s.
- Bryndís Brandsdóttir, Páll Einarsson, Knútur Árnason, Hrefna Kristmannsdóttir 1994. *Smáskjálfta- og bylgjubrotsmælingar í tengslum við niðurdælingu affallsvatns í jarðhitasvæðið við Svartsengi sumarið 1993*. Orkustofnun, Raunvísindastofnun Háskólans JHD-05, RH-03-94, 28s.
- Trausti Hauksson og Sverrir Þórhallsson 1995. *Kísilútfellingar úr jarðsjó. Áhrif þéttivatnsíblöndunar á magn og hraða kísilútfellinga í iðustreymi. Skýrsla um niðurstöður tilrauna í Svartsengi 1994*. Orkustofnun JHD-01, 44s.
- Jón Örn Bjarnason 1996. *Svartsengi. Efnavöktun 1988-1995*. Orkustofnun JHD-10, 125s.
- Ragna Karlsdóttir 1998. *TEM-viðnámsmælingar í Svartsengi 1997*. Orkustofnun rannsóknasvið OS-98025.
- Verkfræðistofan Vatnaskil sf. 1997. *Svartsengi. Líkanreikningar af jarðhitakerfi vegna framtíðarvinnslu*. Orkustofnun OS-97010, 20s.
- Grímur Björnsson 1998. *Tvífasa reiknilíkan og spár þess um afköst suðusvæðisins í Svartsengi*. Orkustofnun rannsóknasvið OS-98012, 40s.
- Gunnar Þorbergsson, Guðmundur H. Vigfússon 1999. *Fallmælingar og GPS-mælingar á utanverðum Reykjanesskaga 1999*. Orkustofnun rannsóknasvið OS-99065, 76 s.
- Hjalti Franzson, Steinar Þór Guðlaugsson, Grímur Björnsson, Jón Örn Bjarnason, Sverrir Þórhallsson 1999. *Svartsengi - hola SJ-17. Borun, rannsóknir og vinnslueiginleikar. Lokaskýrsla*. Orkustofnun rannsóknasvið OS-99036, 146 s.
- Verkfræðistofan Vatnaskil sf., Benedikt Steingrímsson, Magnús Ólafsson, Bjarni Reykr Kristjánsson, Þráinn Friðriksson, Þórólfur Hafstað 2004. *Svartsengi: vinnslueftirlit og umhverfisvöktun 2003*. Íslenskar orkurannsóknir ÍSOR-2004/004, 146 s.

Niðurdæling í Svartsengi

Frá tilraunum til stöðugs rekstrar

Sverrir Þórhallsson (s@isor.is)

Íslenskar orkurannsóknir, Grensásvegi 9, IS-108

Trausti Hauksson (th@kemia.is)

Kemía sf., Suðurlandsbraut 10, IS-108

Snorri Páll Kjaran (spk@vatnaskil.is)

Vatnaskil sf., Suðurlandsbraut 50, IS-108

Magnús Ólafsson (mo@isor.is)

Íslenskar orkurannsóknir, Grensásvegi 9, IS-108

Albert Albertsson (albert@hs.is)

Hitaveita Suðurnesja hf., Brekkustíg 36, IS-260

Úrdráttur

Jarðhitasvæðið í Svartsengi hefur verið nýtt af Hitaveitu Suðurnesja frá árinu 1976 eða samfelld í 28 ár. Á þessum tíma hefur grannt verið fylgst með vinnslu úr svæðinu og breytingum á hita, þrýstingi og efnasamsetningu jarðsjávarins. Fyrirtækinu hefur verið umhugað að nýta svæðið með sjálfbærum hætti og því hefur verið litið á niðurdælingu affallsvatns sem hluta af rekstri jarðhitakerfisins. Nú er dælt niður 130 l/s sem er 30-50% af vinnslunni, en alls hefur um 18 millj. tonnum af vatni verið dælt niður, um 8% af heildarvinnslunni. Tilraunir með niðurdælingu í borholu hófust þegar árið 1982 og var lagt í ýmsar rannsóknir á rennislíðum með ferilprófunum og einnig hvernig forðast megí útfellingu kísils í affallsvatninu. Straumfræðilegir líkanreikningar hafa verið gerðir á áhrifum vinnslu til að spá fyrir um framþróunina, en talsverður niðurdráttur hefur fylgt vinnslunni. Samfara niðurdrættinum hefur myndast suðusvæði (gufupúði) og kemur nú hrein gufa úr grunnnum holum sem fullnægir þörfum virkjunarinnar að hálfu leyti. Í fyrirlestrinum verður lýst viðbrögðum jarðhitakerfisins við vinnslu og tilraunum sem gerðar voru til undirbúnings hönnunar á fyrsta niðurdælingarkerfinu á Íslandi. Þá verður fjallað um reynslu af rekstri þess og þann ávinning sem niðurdæling, er svarar til eins þriðja eða helmings þess sem unnið er úr svæðinu, muni skila í minni niðurdrætti í jarðhitakerfinu en ella. Virkjunin í Svartsengi var fyrsta sambyggða jarðhitavirkjun í heimi til framleiðslu á vatni til húshitunar og raforku. Öflugar rannsóknir á vegum Hitaveitu Suðurnesja á jarðhitakerfinu og virkjunarbúnaði ásamt þeirri hönnunar-, rekstrar- og viðhaldsþekkingu sem skapast hefur í Svartengi, hefur leitt til hagkvæms rekstrar. Í erindi þessu er aðeins dregið á fáein atriði til að sýna hve miklu hefur þurft til að kosta til að svo gæti orðið.

VIRKJUNARSAGA

Með rannsóknum og borunum tveggja grunnra jarðhitaholna (2 og 3) á vegum Grindarvíkurbæjar í Svartsengi árin 1971-1972 fannst gjöfult háhitasvæði þar. Nokkuð kom á óvart að vatnið var með 2/3 hluta af seltu sjávar og lagði ríkið fram fé til vinnslurannsókna í tilraunastöð og til borunnar tveggja djúpra vinnsluholna (4 og 5), sem Orkustofnun stóð fyrir á árunum 1973-1975. Að þeim loknum þótti sýnt að svæðið stæði undir vinnslu varma til hitaveitu á Suðurnesjum sem nýttast mundi öllum sveitarfélögum og flugvallarsvæðinu, en einnig til raforkuvinnslu. Hitaveita Suðurnesja var stofnuð af sveitarfélögum og ríkinu í árslok 1974 og hóf fyrirtækið þegar framkvæmdir. Í ófullkominni bráðabirgðastöð hófst afhending heits vatns til Grindavíkur þegar haustið 1976. Vatn tók að streyma til Keflavíkur 1978 frá nýju orkuveri (varmaafli 50 MW_t, rafafli 2 MW_e) og þá jókst vinnslan úr jarðhitakerfinu. Önnur aukning varð í lok árs 1980 er 6 MW_e mótþrýstihverfill var tekinn í notkun. Árin 1989 og 1993 bættust samtals við 8,4 MW_e í rafafli með sjö tvívökvahverflum sem nýta 103°C heita afgangslágþrýstigufu frá mótþrýstihverflunum, sem áður fór út um strompa orkuversins. Þessi áfangi er því stundum nefndur “strompgufuvirkjun”. Kölluðu þessar framkvæmdir á borun fimm vinnsluholna 1980 og eru þær enn í fullum rekstri (7-11) en elstu fimm holurnar (2-6) hafa verið lagðar af með tímanum. Vinnsluholur eru nú “blautu” holurnar 7, 8, 9, 11, 18 og 19 ásamt “þurru” holunum 10, 14, 16 og 20, og niðurdæling er í holu 17, sjá mynd 1. Mynd 2 sýnir flæðirás orkuvera 2, 3 og 4. Árleg massataka úr jarðhitakerfinu hélst nokkuð stöðug um árabil þar til nýtt orkuver 5 með 30 MW_e hverfilsamstæðu hóf rekstur haustið 1999. Þótt gufunotkunin ykist um helming varð ekki samsvarandi aukning á massatöku úr svæðinu því meiri hluti gufunnar var fengin úr “þurru” holunum og einnig jókst niðurdælingin. Verg (nettó) meðalvinnsla úr svæðinu jókst því aðeins lítillega. Fór í fyrstu úr 230 kg/s árið 1999 í 370 kg/s árið á

eftir, en er vegna stóraukinnar niðurdælingar komin niður í 240 kg/s árið 2003, eins og sést á mynd 3.

Í upphafi var gert ráð fyrir að rafmagn yrði framleitt sem aukaafurð í samrekstri við heitavatsþörfina, en afkastageta varmavinnslunnar var þá 125 MW_t í nýttum varma. Raforkuvinnsla umfram nokkur megavött kallar aftur á móti á massatöku úr jarðhitakerfinu umfram þarfir hitaveitunnar einnar. Því má segja að þetta hafi snúist við og í raun sé framleiðsla á heitu vatni í varmaorkuverinu aukaafurð og raforkuvinnslan orðin ráðandi um massatökuna.

Niðurdæling hófst í smáum stíl 1982 og með nokkrum hléum var dælt niður í þrjár háhitaholur nærri orkuverinu í Svartsengi eins og fram kemur á mynd 4. Samgangur við vinnsluholur var of mikill og því var ákveðið að bora sérstaka niðurdælingarholu (17) fjarri aðal vinnslusvæðinu. Fram að þeim tíma að nýja holan var tekin í gagnið hafði alls um 9 millj. tonnum af vatni verið dælt niður eða um 5% af heildarmagni vinnslu. Dæling í nýboraða niðurdælingarholu hófst árið 2000 eftir að 30 MW_e og 125 MW_t orkuverið (5) hafði verið tekið í notkun og er hún í 2,5 km fjarlægð frá vinnslusvæðinu. Nú er um 130 l/s dælt niður í jarðhitakerfið sem er 30-50% af því sem upp er tekið og álíka miklu er fargað á yfirborði. Í 154°C heita jarðsjóinn, sem heldur jöfnum hita í lóninu fyrir það gesti, er bætt um 5% af þéttivatni til að minnka útfellingar í lögninni þangað sem flytur um 25 l/s. Á upphaflegum þaðstað Bláa lónsins kom affallsvatnið beint frá orkuverinu og settist kísillinn þá til botns þar sem gestir náðu til hans og gátu borið á sig. Sambærileg útfelling verður ekki á nýja staðnum vegna lægri kísilstyrks (ein-soðinn jarðsjór í stað tví-soðins) og skyndikælingar og er kísileðjan sem það gestirnir bera á sig því flutt á staðinn. Frekar er fjallað um nauðsynlega þynningu affallsvatnsins til að fyrirbyggja útfellingu í þarnaesta kafla.

VIÐBRÖGÐ JARHITAKERFISINS VIÐ VINNSLU

Frá fyrsta degi vinnslu hefur verið fylgst stöðugt með breytingum á þrýstingi í jarðhitakerfinu með árlegum hita- og þrýstimælingum í holum og efnagreiningum. Í Svartsengi hefur því fengist nákvæm vitneskja um þær breytingar sem jarðhitasvæðið verður fyrir við vinnslu. Hraði breytinga og hvers eðlis þær eru, eru talsvert ólíkar milli jarðhitasvæða. Yfirleitt verður þó strax vart við þrýstilækkun (niðurdrátt) og síðan koma fram fremur hægfara breytingar á efnasamsetningu, en áratugi getur tekið að fá fram hitabreytingar. Hnignun jarðhitakerfa má yfirleitt rekja til ónógs náttúrulegs innrennslis af vatni og því er niðurdæling nú talin æskileg sem þáttur í sjálfbærri nýtingu þeirra. Upphaflega var þó niðurdæling hafin til að losa virkjanir við affallsvatn sem óæskilegt var talið að bærast í ár eða grunnvatn. Er það vegna varma- og efnamengunar því víða erlendis er affallsvatn með meira af skaðlegum efnum en á Íslandi.

Á mynd 3 eru sýnt hverjar þessar þrýstibreytingar hafa verið allt frá upphafi vinnslu ásamt meðalvinnslu öll árin. Ferillinn er reiknaður í straumfræðilíkani en beinar mælingar í holum sýndar sem krossar. Mest hefur breytingin orðið á þrýstingi á vinnslusvæðinu sjálfu eða 320 m niðurdráttur. Við svo mikla þrýstilækkun færast suðan út í bergið og suðuborðið færast frá um 400 m dýpi niður á 700 m þannig að svæðið þar fyrir ofan er gufumettað. Þær breytingar urðu af völdum niðurdráttar, að grunnar holur tóku að "þorna" upp úr 1980 og skila nú mettaðri gufu og engum jarðsjó. Fyrir virkjunina er þetta hið besta mál því þá þarf ekki að farga affallsvatninu sem annars er um 80% massa þess sem kemur úr holunum. Gufuholurnar eru auk þess háþrýstar og mjög afkastamiklar. Dæmi um það er hola 16 sem afkastar um 40 kg/s við 19 bar, en það samsvarar yfir 20 MW_e. Þurru holurnar eru aftur á móti með um 10 sinnum meiri gasstyrk (2-6% af massa), því jarðhitakerfið afgangast vegna suðunnar í berginu, sjá mynd 5. Líkanreikningar hafa verið gerðir á þrýstiáhrifum vinnslunnar bæði á vatnsmettaða djúpkerfinu og grunna gufupúðanum. Þrýstibreytingin í Svartsengi nær yfir stórt svæði og kemur t.d. um 75% hennar fram í borholu í Eldvörpum í 6 km fjarlægð frá vinnslusvæðinu. Þrýstibreytingin veldur einnig landsigi og hefur verið fylgst með því ásamt þyngdarbreytingum á 5-7 ára fresti frá árinu 1979, sem hluta af umhverfissvöktun svæðisins. Hefur sigið mælst um 0,9 cm á ári, mest 22,6 cm í allt við vinnsluholurnar, en breytinganna verður vart á stóru svæði sem nánast fylgir útlínun jarðhitakerfisins eins og það er ákvarðað með viðnámsmælingum. Ætla mætti að þrýstibreyting í jarðhitakerfinu hefði slæmar afleiðingar fyrir afköst holna og virkjunarinnar. Svo er ekki því hönnunarþrýstingur á orkuverinu er 5 bar en holurnar voru reknar við 18-20 bar í upphafi en 13-16 bar nú við óbreytt rennsli. Þrýstingurinn lækkar á holutoppi um 1/5 af því sem gerist í svæðinu og

Því má enn ganga á djúpþrýstinginn með tilliti til reksturs á borholunum. Þegar suðan færist út í bergið neðan steypu vinnslufóðringanna í “blautu” holunum mun gufa taka að streyma inn og með tíma geta holurnar því einnig “þornað”. Þessara áhrifa er þegar farið að gæta í holum með um 600 m djúpar fóðringar og kemur m.a. fram í hærri gasstyrk og vermi (kJ/kg).

Afleiðing afgösunar djúpkerfisins um “gufupúðann” er að gasstyrkur í vatnsfasanum, jarðsjónum, lækkar og við það hækkar sýrustigið (pH). Við það hliðrast efnahvörf, og hafa margar slíkar breytingar þegar komið fram í jarðsjónum. Anægjulegasta breytingin var að kalkútfelling sem myndaðist við suðuborðið í holunum og þurfti að hreinsa með bor, samtals 32 sinnum fyrstu 20 árin, er nánast hætt að myndast.

Hitabreytinga hefur enn ekki orðið vart í holunum, fyrir utan tvær skammtímabreytingar sem gengu til baka. Svartsengissvæðið einkennist af góðri lekt og uppblöndun og er hitinn í því um 240°C, óháður dýpi.

Eins og sjá má af mynd 3 hefur aukin vinnsla áhrif á niðurdráttinn, en umtalsverð aukning varð í massatökunni árin 1981 og 2000. Spálíkön hafa náð að segja til um þessar breytingar með mikilli nákvæmni. Slíkt líkan var einnig notað við að segja til um hve langt frá vinnsluholunum niðurdælingarholan þurfti að vera. Niðurstaðan var 1,5 km miðað við að engin aukning yrði í niðurdrætti. Er það svipuð fjarlægð og notuð hefur verið erlendis. Hóla 17 var aftur á móti staðsett út frá jarðfræðilegum forsendum og er í um 2,5 km fjarlægð frá Svartsengi. Straumfræðilíkanið hafði þá verið kvarðað með margra ára vinnslusögu og með niðurstöðum ferilprófana (“tracer test”) sem gerðar voru í tvígang. Síndu ferilprófanir að lektin er mjög stefnuháð (“anisatróp”), er best í sprungustefnunna sem er norðlæg, nánast 1:10. Kælingar af völdum niðurdælingar á samkvæmt líkanreikningum ekki að verða vart á vinnslusvæðinu fyrr en eftir liðlega 25 ár, en stuðningur í þrýstingi kemur fljótt fram.

TILRAUNIR TIL UNDIRBÚNINGS NIÐURDÆLINGAR

Fyrsta tilraun til niðurdælingar í Svartsengi var gerð sumarið 1982. Köldu ferskvatni (65 l/s) var dælt niður í holu 12 í 24 daga og vatnssýni tekin úr sex vinnsluholum. Tilgangur tilraunarinnar var að athuga hvort ferska vatnið kæmi fram í einhverri vinnsluholnanna.

Breytinga varð vart í holu 4 eftir 7 daga og holu 9 eftir 34 daga. Andrúmsloft drógst niður í holuna með niðurdælingarvatninu og kom fram í nálægum holum. Sérstaklega í holum 10 og 6.

Hóla 12 var því talin of nærri vinnsluholum til þess að nýtast sem niðurdælingarhóla til frambúðar. Lagt var til að gerð yrði langtímaprófun með jarðsjó ásamt ferilprófun með kenniefni til þess að fá betri upplýsingar um væntanlega kólnun vegna niðurdælingar.

Fyrir ferilprófun 1984 var þróuð nákvæm aðferð til mælinga á jodíði og Rhodamín WT í jarðsjónum. Ferilprófun með 350 kg af kalíumjodíði og 37 lítrum af Rhodamine WT var framkvæmd samtímis í holu 12. Niðurstöður voru þær að 38% af niðursettu jodíði í holu 12 kom fram í holu 6 og var meðalstreymishraði milli holnanna 2 m/klst. Efnid kom einnig fram í holum 7 og 8 og var hraðinn í þær um 0,5 m/klst. Engin svörun mældist í öðrum holum. Síndu ferilprófanirnar að streymi eftir sprungustefnu er mjög hratt og ráðandi. Rhodamín WT reyndist ekki vel og virtist brotna niður við 240°C hita.

Styrkur kísils í jarðsjónum sem streymir inn í holurnar er um 445 mg/kg (420-460 mg/kg SiO₂) og er jarðsjórinn í jafnvægi við kvars í berginu. Háþrýstigufa er skilin frá jarðsjónum og við það hækkar kísilstyrkurinn upp í 510 mg/kg og er þá rétt undir ópalmettunarmörkum kísils. Jarðsjórinn er síðan soðinn við undirþrýsting (80°C) til þess að ná meiri hita úr honum til heitavatsframleiðslu. Við það hækkar styrkur kísils í 600 mg/kg og verður hann kísilyfirmettaður og kísillinn fellur hratt út. Flæði kísils í orkuverinu er sýnt á mynd 2. Útfellingarhraðinn er það mikill að útilokað er að dæla jarðsjónum niður um holur óþynntum. Mikið þéttivatn fellur til við heitavatsframleiðsluna og einnig úr eimsvala rafhverflanna og var ákveðið að nýta það til þynningar á jarðsjónum og minnka þannig kísilyfirmettunina.

Gerðar voru tilraunir 1982-1983 með blöndun jarðsjávar og þéttivatns með það að markmiði að finna vökva sem hægt væri að dæla niður án tæringar eða útfellinga í niðurdælingarholunni og lögnum að henni. Hegðun kísils í affalsvatni við breytilegt sýrustig var athuguð og kom í ljós að lækkun sýrustigs í pH 5,5 hægir verulega á fjölliðunarhraða. Niðurstöður voru lofandi og bentu til þess að nægilegt væri að hlutfall þéttivatns í jarðsjónum væri um 16%.

Tilraunir voru einnig gerðar 1983 með fellingu kísils úr jarðsjónum með það að markmiði að hreinsa hann fyrir niðurdælingu og framleiða söluhæfann kísil. Niðurstöður lofuðu góðu en kostnaður var talinn umtalsverður samanborið við þéttivatnsþynningu.

Áður en niðurdæling blöndu jarðsjávar og þéttivatns hófst 1984 voru gerðar útfellingaprófanir á blöndunni og henni dælt út í lón á meðan. Í ljós kom að þéttivatnshlutfallið þurfti að vera allt að 48% til þess að stöðva útfellinguna en við 24% blöndun hægði verulega á henni. Blöndu jarðsjávar og 25 % þéttivatns (50 l/s) var dælt í holu 12. Vegna útfellinga í holunni var niðurdælingu jarðsjávar hætt eftir 77 daga en í staðinn dælt niður afloftuðu hitaveituvatni. Niðurdælingin hægði á vatnsborðslækkun í holu 4 en hafði engin áhrif á afköst annarra holna.

Staðfest var með útfellingartilraunum 1992 að þéttivatnshlutfall í affallsvatninu þarf að vera um 47% til þess að koma í veg fyrir útfellingar. Ef blandan er sýrð að auki með kolsýru eða annarri sýru niður fyrir pH 5,5 má hlutfallið vera um 30%.

Útfellingarhraði kísils í iðustreymi var kannaður 1994 í blöndum þéttivatns og jarðsjávar frá orkuverinu. Helstu niðurstöður voru að miðað við 1 mm leyfilega útfellingu á ári í niðurdælingarlögnum þarf þéttivatnshlutfall að vera 38% en 52% ef engin útfelling er leyfð. Í söltu vatni sem í Svartsengi verður útfelling kísils ör, sé um yfirmettun að ræða. Mettunarferill ókristallaðs kísils hefur verið þekktur um árabil og sýndu tilraunir í Svartsengi að hann gildi einnig þar, þó voru útfellingamörkin við eilítið hærri hitastig.

Niðurstöður þessara prófana voru síðan nýttar fyrir niðurdælinguna í holu 17 og er hlutfall þéttivatns í niðurdælingarsjónum um 40-50% og kísilstyrkur um 300 til 400 mg/kg sem er nálægt eða rétt yfir kísilmettun við 100°C niðurdælingarhita.

Samhliða niðurdælingartilraunum sumarið 1994 voru smáskjálftar skráðir í Svartsengi. Niðurstöður sýndu enga marktæka aukningu í skjálftavirkni.

NIÐURDÆLINGARHOLAN

Niðurdælingarholunni, holu 17, var valinn staður í 2,5 km fjarlægð frá vinnsluvæðinu en þó innan jarðhitakerfisins, um miðja vegu milli Svartsengis og Eldvarpa og rétt vestan fjallsins Þorbjarnar. Markmiðið er að koma affallsvatninu djúpt í jarðhitakerfið og að það sé einnig í þrýstisambandi við Svartsengi en þó nógu fjarri til að kólnun skili sér seint inn á vinnsluvæðið. Holan er hönnuð eins og aðrar víðar holur í Svartsengi og var raufaður leiðari settur neðst í hana, sjá mynd 6. Sýnt var að lokinni borun í 1252 m, og örvunaraðgerðum sem fólust í að hita og kæla holuna á víxl, að hún tók vel við vatni. Að lokinni upphitun var holunni hleypt í blástur og var hún fyllilega jafn afkastamikil og vinnsluholur í Svartsengi. Vatn til niðurdælingar í Svartsengi er fengið úr háþrýstiskiljum við 6,5 bar-a og í það er dælt 30-50% af 100°C heitu þéttivatni, en einnig fellur til affallsvatn við 80°C og er það sömuleiðis þynnt með þéttivatni. Kísilstyrkur í niðurdælingarvatninu er um 300 til 400 mg/kg samanborið við 445 mg/kg í jarðhitakerfinu. Á mynd 7 er sýnd flæðirás niðurdælingarkerfisins. Niðurdælingarvatnið kólnar það mikið við þéttivatnsdælinguna að þrýstingurinn frá gufuskiljunni nægir til að skila því að holunni án þess að sjóði í lögninni. Þar eð megnið af vatninu skilar sér í holuna án dælingar, er niðurdæling e.t.v. misnefni, ætti frekar að kalla niðurrennsli. Á holutoppi eru tveir þrýstistýrðir hemilokar til að fyrirbyggja suðu í langri niðurdælingarlögninni að holunni. Holan tekur aftur á móti það greiðlega við vatninu, að aftan við hemilokann verður mettunarþrýstingur (suðuþrýstingur) fyrir þann hita sem er á vatninu. Sé vatnið undir 100°C myndast hreinlega sog á holutoppi. Eins og á öðrum holum í Svartsengi er sívöktun á holutoppisþrýstingi og stöðu loka og eru upplýsingarnar fluttar um farsímamótald og birtast á vefsíðu sem öllum er aðgengileg. Niðurdæling í holuna hófst árið 2000 og hefur hún farið vaxandi (mynd 4). Þetta er ekki eingöngu æskilegt til að viðhalda þrýstingi í jarðhitakerfinu heldur einnig til að vatnsborð í Bláa lóninu verði ekki of hátt. Fylgst er með útfellingum og tæringu í lögninni með sýnaplötum og hafa þær sýnt óverulega tæringu. Örlítill útfelling er í niðurdælingarlögninni næst orkuverinu en nánast engin þegar komið er áleiðis að holunni. Rekstur niðurdælingarveitunnar hefur gengið vel og holan tekið greiðlega við vatninu.

ÁHRIF NIÐURDÆLINGAR Á JARÐHITAKERFIÐ

Spár um áhrif niðurdælingar á þrýsting í jarðhitakerfinu hafa verið gerðar. Nú er og komin nógu mikli reynsla af niðurdælingunni til að staðfesta hve mikil áhrifin eru. Mynd 4 sýnir niðurdælingu í jarðhitakerfið í Svartsengi. Hún hófst með niðurdælingu í holu 12 í lok ársins 1984 og stóð sú niðurdæling til byrjunar árs 1988. Blanda af þéttivatni og affallsvatni var notuð en síðar var skipt yfir í hitaveituvatn eftir að vatnsborðið tók að stíga í holunni, nokkuð sem var vísbending um stíflu af völdum útfellinga. Næst tók við minni niðurdæling á hitaveituvatni í holu 5 sem stóð í um það bil tvö ár. Loks var litlu magni af hreinu þéttivatni dælt niður í holu 6 með hléum fram til ársins 2000. Eftir ádælingu á holu 12 í fjögur ár var holan látin standa til að hitna upp. Eftir það var holunni hleypt í blástur og þjónaði hún þá sem vinnsluhola. Holan náði ekki fullum hita og því var toppþrýstingur hennar lægri en áður, en engu að síður nýttist hún virkjuninni.

Niðurdæling á árunum 1982-2000 var fyrst og fremst gerð í tilraunaskyni en á árinu 2000 hófst síðan niðurdæling til frambúðar í holu 17, en hún var boruð í þeim tilgangi. Staðsetning holunnar miðast við að fá fram þrýstiáhrif inni á jarðhitasvæðinu sjálfu en hún þó höfð það langt í burtu til að kælingar ætti ekki að gæta að ráði.

Á mynd 3 sést að frá því að niðurdæling hófst þá hefur dregið úr vergri vinnslu úr jarðhitasvæðinu úr 370 kg/s í 240 kg/s. Á myndinni eru sýndar niðurstöður úr reiknilíkani fyrir vatnsborðslækkun og sést að reikningum og mælingum ber vel saman. Reiknilíkanið hefur síðan verið notað til að spá fyrir um vatnsborðslækkun í framtíðinni og er spá til ársins 2010 sýnd á mynd 8. Niðurdráttarspá fyrir holu 17, Eldvörp og Reykjanes er einnig sýnd á myndinni. Þar sést að árið 2010 verður vatnsborðslækkun í Svartsengi allt að 50 metrum minni en ella, ef engu hefði verið dælt niður.

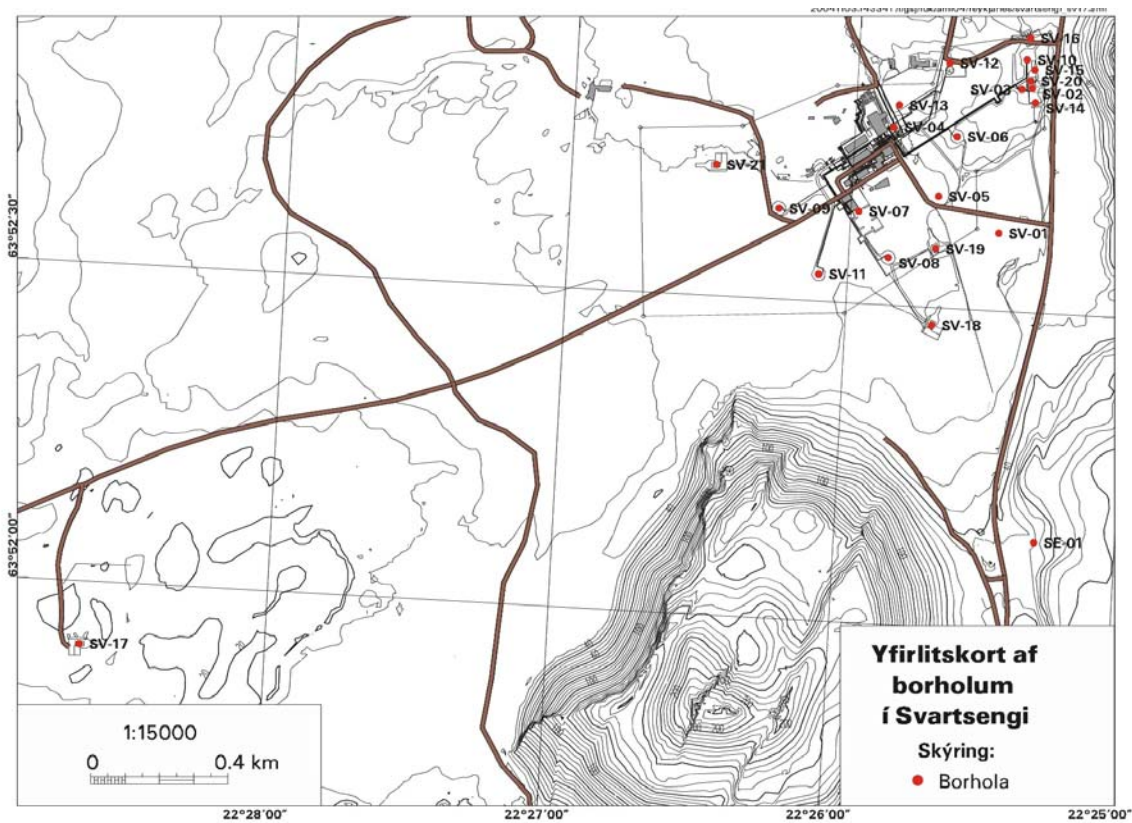
Niðurstöður útreikninga sýna að enngar kælingar má vænta inni á vinnslusvæðinu í Svartsengi að minnsta kosti næstu 25 árin miðað við núverandi niðurdælingu.

Niðurdælingabúnaður orkuversins verður styrktur og endurnýjaður á næsta ári þannig að um mitt næsta ár verður unnt að tvöfalda niðurdælinguna. Stefnt er að auknu niðurrennsli í áföngum vegna hækkunar vatnsborðs Bláa lónsins og þrýstilækkunar í svæðinu.

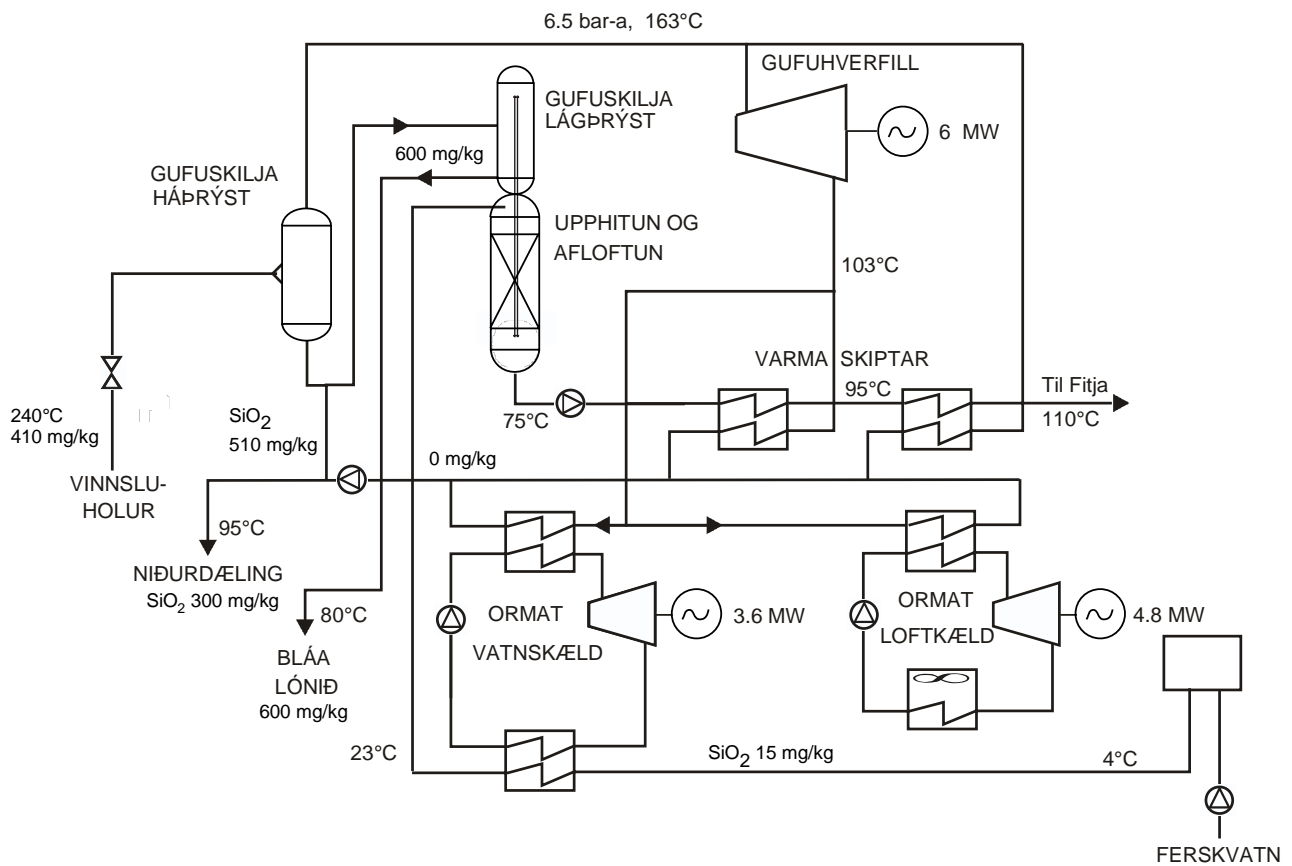
Brýnt er að viðhalda og/eða auka afkastagetu gufupúðans, en það er unnt að gera með því að stýra þrýstilækkun í djúpsvæðinu. Allur búnaður er til staðar til þess að stýra þrýstilækkuninni þ.e.a.s. á sérhverjum holutoppi situr fjarstýrður stjórnloki, Ellaloki, sem skammtar rennsli úr hverri holu jafnframt því sem hann mælir rennslið. Í massajafnvæginu er sem sé spilað á fjórar breytur: rennsli úr djúpkerfinu, rennsli úr gufupúðanum, niðurrennsli og rennsli til Bláa lónsins. Á næstu mánuðum og árum verður kannað hver sé besta skipting milli massatöku úr djúpkerfi og gufupúða og niðurrennslis m.t.t. hámarks langtímaafkasta gufupúðans.

NIÐURLAG

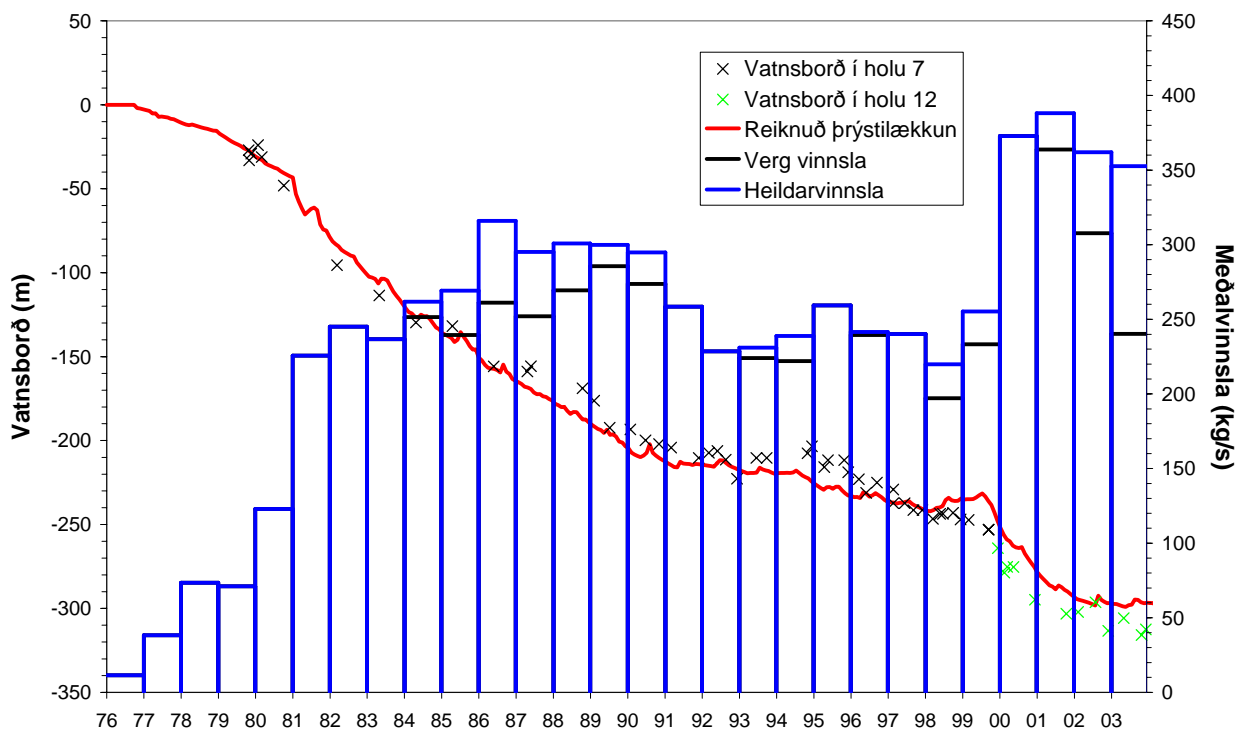
Með það að markmiði að nýta jarðhitasvæðið í Svartsengi með sjálfbærum hætti hefur niðurdæling verið hluti af rekstri svæðisins í tvo áratugi, en með nokkrum hléum. Megintilgangur með niðurdælingunni er að hafa stjórn á niðurdrættinum. Umfangsmiklar rannsóknir voru gerðar á kísilútfellingum, því þær þarf að hindra svo að niðurdælingarholur stíflist ekki. Þær skiluðu jákvæðum árangri og árið 2000 hófst niðurdæling í holu sem er sérstaklega til þess ætluð. Er holan í miðju jarðhitakerfinu og er reyndar hin besta vinnsluhola. Gott þrýstisamband er við vinnslusvæðið í Svartsengi, en með því að hafa holuna í 2,5 km fjarlægð er leitast við að kæling skili sér seint en stuðningur í þrýstingi skjótt. Holan tekur nú við 130 l/s af 100°C heitum jarðsjó með 300-400 mg/kg af kísli. Er það 30-50% af því sem úr svæðinu er numið. Í ár stefnir í að 3,7 millj. tonna verði dælt niður. Unnt er að auka rennslið nokkuð en framboð af þéttivatni er þar takmarkandi þáttur. Því er ekki hægt að dæla niður öllu affallsvatninu, enda er einnig þörf fyrir það í Bláa lónið og tengda starfsemi.



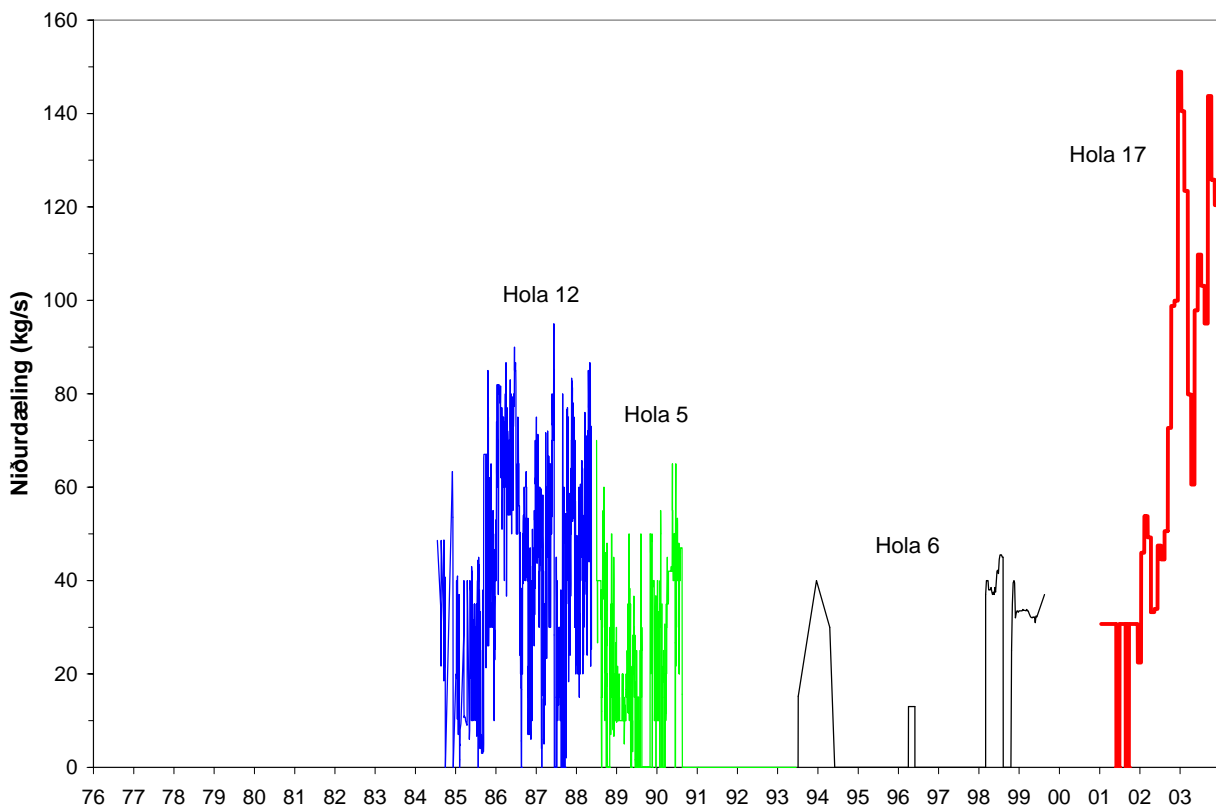
Mynd 1. Staðsetning borholna í Svartsengi. Niðurdælingarholan SV-17 er neðst til vinstri.



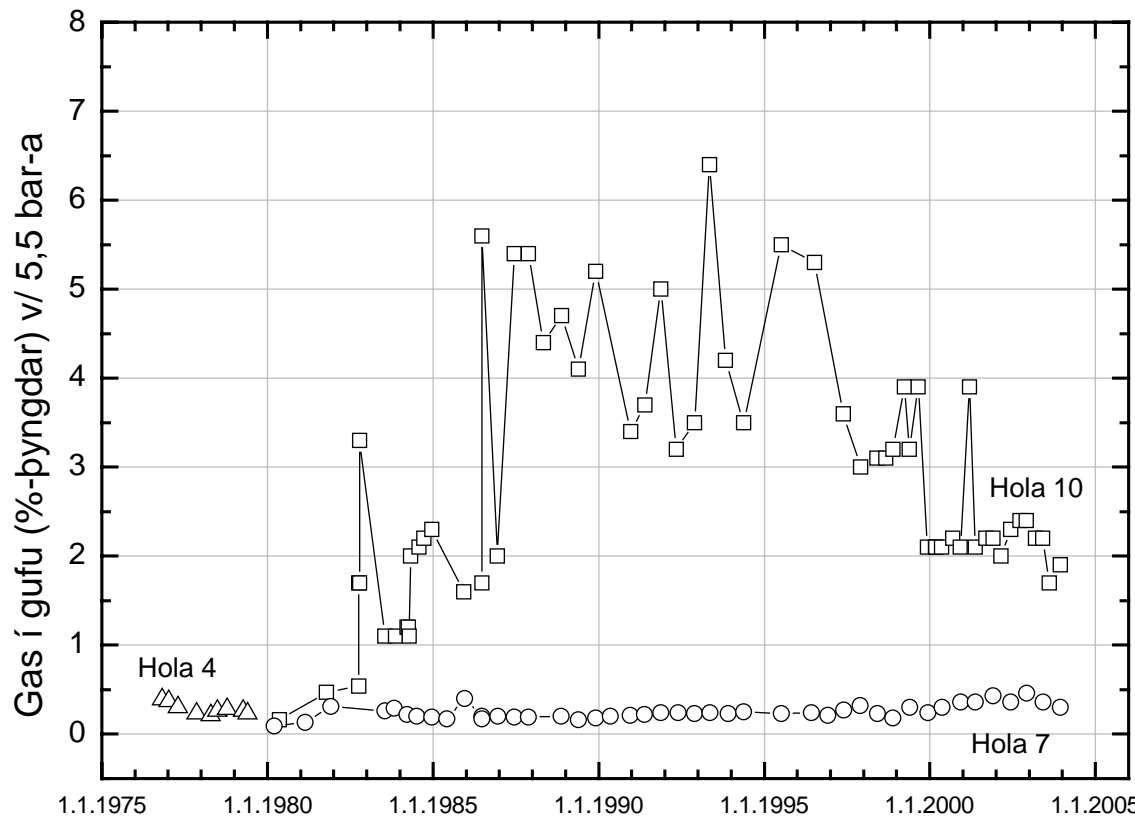
Mynd 2. Flæðirás orkuvera 2, 3 og 4 í Svartsengi. Kísilstyrkur er sýndur í rásinni frá vinnsluholu og til niðurdælingar.



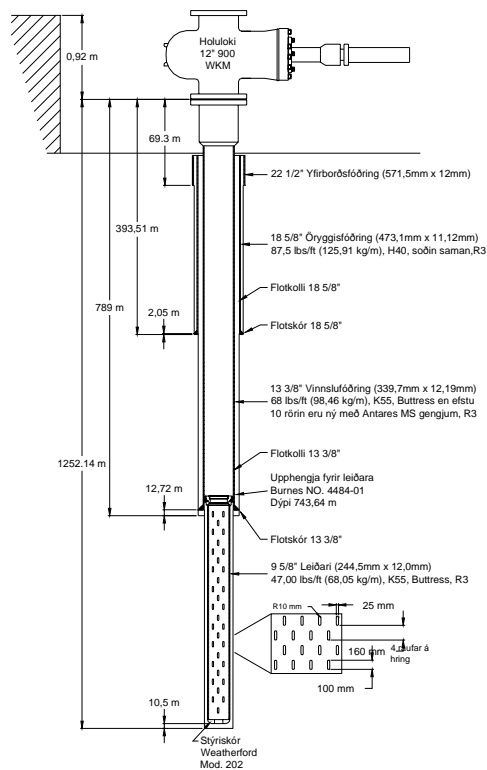
Mynd 3. Niðurdráttur í Svartsengi og meðalvinnsla (heildarvinnsla og verg) frá upphafi vinnslu í Svartsengi 1976. Reiknuð þrýstilækkun fylgir allvel þrýstimælingum sem gerðar eru í holunum og eru sýndar sem krossar.



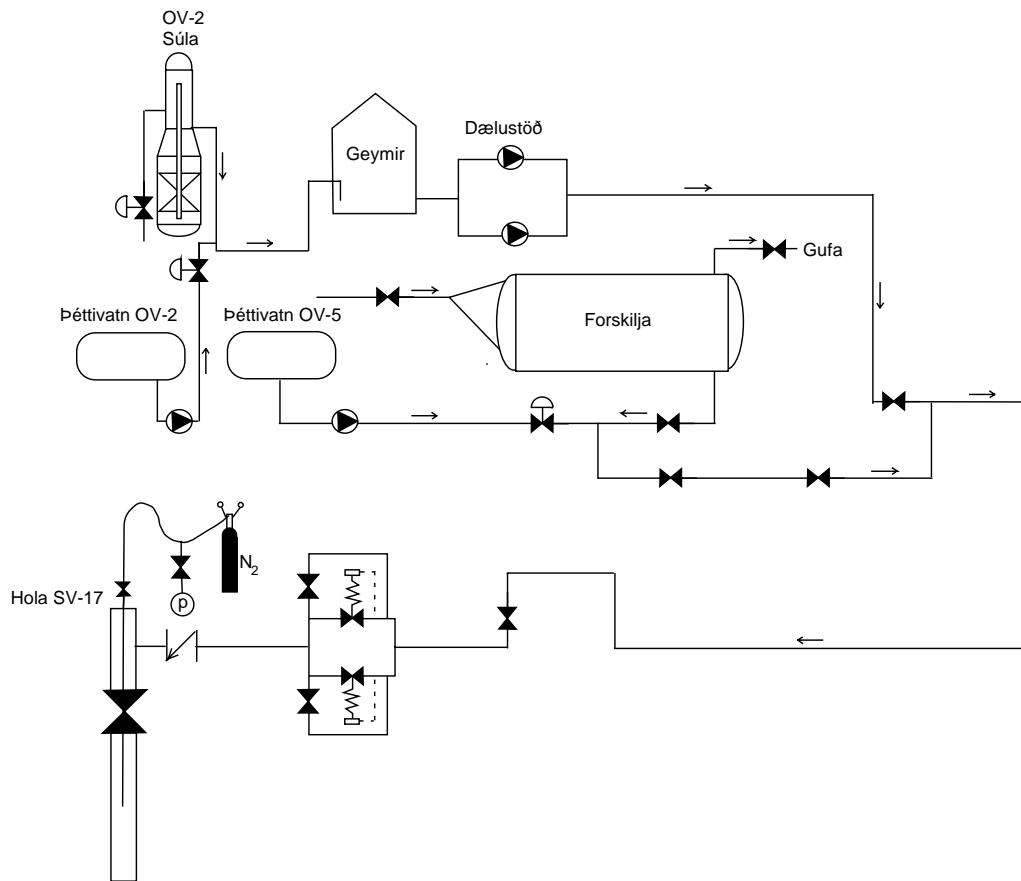
Mynd 4. Niðurdæling í Svartsengi. Hóla 17 var boruð sérstaklega til niðurdælingar en aðrar voru vinnsluholur.



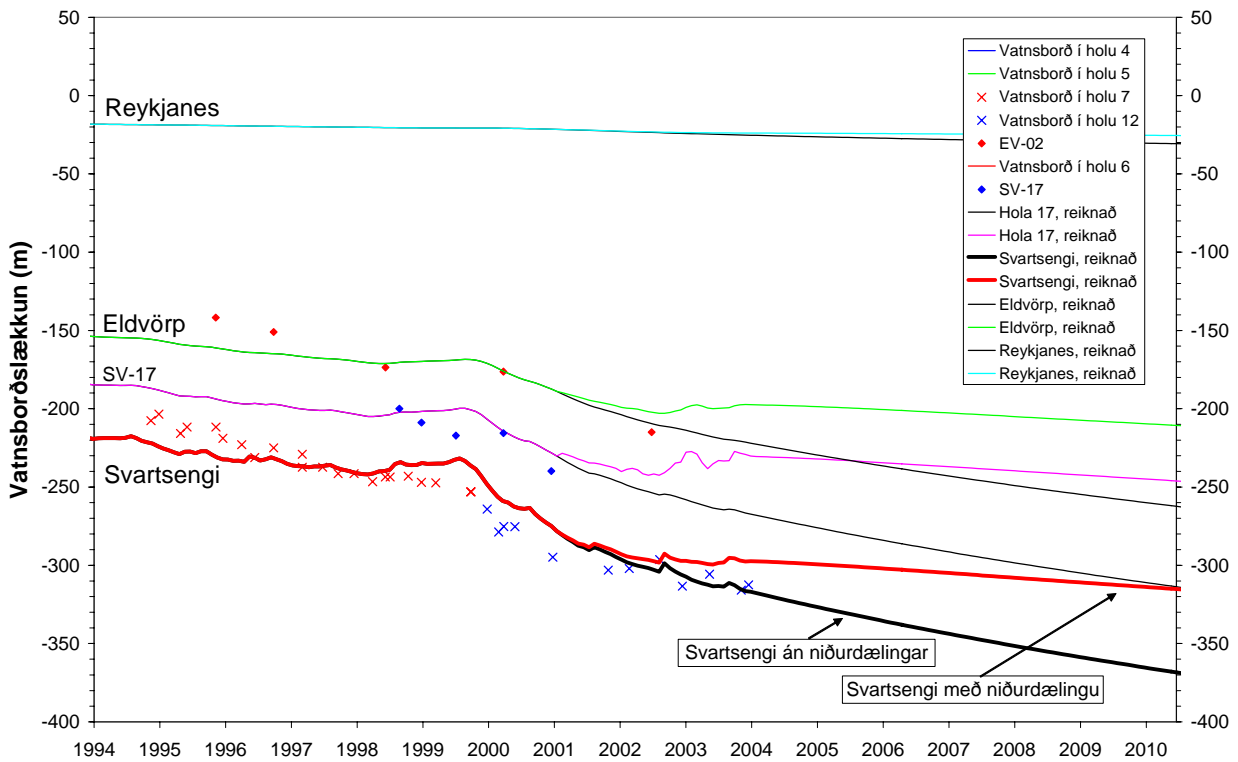
Mynd 5. Gas í jargufu ættaðri úr “þurrum” gufuholum (10) og úr “blautum” holum sem fá jarðsjó (4 og 7)



Mynd 6. Fóðringar og gerð holu 17. Holan er frágengin eins og vinnsluhola og var blástursprófuð sem slík.



Mynd 7. Niðurdælingarkerfið í Svartsengi, flæðirás. Affallsvatn er þynnt í orkuverum 2 og 5 sem sameinast síðan.



Mynd 8. Spá um árangur niðurdælingar í minni niðurdælingu en ella. Ávinningurinn í Svartsengi er 50 m árið 2010.

HEIMILDALISTI

- Karl Ragnars, Sveinbjörn Björnsson 1972. *Varmaveita frá Svartsengi til þéttbýlis á Suðurnesjum*. Orkustofnun OS10840.
- Jónas Elíasson, Sigurður St. Arnalds, Snorri Páll Kjaran 1977. *Svartsengi. Straumfræðileg rannsókn á jarðhitasvæði*. Orkustofnun, OS-ROD-7718, OS-SFS-7702, 72s.
- Jón Steinar Guðmundsson 1978. *Útfellingar og frárennsli orkuversins við Svartsengi: Athuganir sumarið 1978*. Orkustofnun OS-JHD-7850, 41s.
- Hjalti Franzson 1990. *Svartsengi. Jarðfræðilíkan af háhitakerfi og umhverfi þess*. Orkustofnun OS-90050/JHD-08, 41s.
- Sigurður R. Guðmundsson 1982. *Hegðun kísils í affallsvatni orkuvers Hitaveitu Suðurnesja, Svartsengi*. Orkustofnun OS82072/JHD17 B, 28s.
- Jón Steinar Guðmundsson 1983. *Niðurdælingartilraun við Svartsengi 1982*. Orkustofnun OS-83047/JHD-07.
- Hermann Þórðarson 1983. *Kísilefni felld úr jarðsjó í Svartsengi*. Samvinnuverkefni Iðntæknistofnunar og Raunvísindastofnunar Háskólans. Staða rannsókna, skýrsla.
- Sigurður Rúnar Guðmundsson 1983. *Athuganir á kísilfjölliðun í jarðsjó í Svartsengi*. Birt sem viðauki í skýrslu: Trausti Hauksson, 1985. *Niðurdælingartilraun í Svartsengi 1984*. Orkustofnun OS-85107/JHD-13.
- Trausti Hauksson, 1985. *Niðurdælingartilraun í Svartsengi 1984*. Orkustofnun OS-85107/JHD-13, 109 s.
- Jón Örn Bjarnason 1988. *Svartsengi. Efnæftirlit 1980-1987*. Orkustofnun OS-88001/JHD-01, 98s.
- Verkfræðistofan Vatnaskil sf. 1989. *Svartsengi. Reiknilíkan af jarðhitakerfi*. Orkustofnun JHD-05, 111s.
- Grímur Björnsson, Benedikt Steingrímsson 1991. *Hiti og þrýstingur í jarðhitakerfinu í Svartsengi. Upphafsstand og breytingar vegna vinnslu*. Orkustofnun OS-91016/JHD-04, 69 s.
- Trausti Hauksson 1992: *Svartsengi, Kísiltilraunir á affallsvatni, Íblöndun þéttivatns, síru og gass*. Orkustofnun JHD-20 B.
- Sigurður Benediktsson, Sverrir Þórhallsson, Hjalti Franzson 1992. *Borun í gufupúðann í Svartsengi. Teikningar af holum HSH-14 og HSH-15*. Orkustofnun OS-92052/JHD-28 B, 26s.
- Hjálmar Eysteinnsson 1993. *Hæðar- og þyngdarmælingar á utanverðum Reykjanesskaga 1992*. Orkustofnun OS-93029/JHD-08, 53s.
- Bryndís Brandsdóttir, Páll Einarsson, Knútur Árnason, Hrefna Kristmannsdóttir 1994. *Smáskjálfta- og bylgjubrotsmælingar í tengslum við niðurdælingu affallsvatns í jarðhitasvæðið við Svartsengi sumarið 1993*. Orkustofnun, Raunvísindastofnun Háskólans JHD-05, RH-03-94, 28s.
- Trausti Hauksson og Sverrir Þórhallsson 1995. *Kísilútfellingar úr jarðsjó. Áhrif þéttivatnsíblöndunar á magn og hraða kísilútfellinga í iðustreymi. Skýrsla um niðurstöður tilrauna í Svartsengi 1994*. Orkustofnun JHD-01, 44s.
- Jón Örn Bjarnason 1996. *Svartsengi. Efnavöktun 1988-1995*. Orkustofnun JHD-10, 125s.
- Ragna Karlsdóttir 1998. *TEM-viðnámsmælingar í Svartsengi 1997*. Orkustofnun rannsóknasvið OS-98025.
- Verkfræðistofan Vatnaskil sf. 1997. *Svartsengi. Líkanreikningar af jarðhitakerfi vegna framtíðarvinnslu*. Orkustofnun OS-97010, 20s.
- Grímur Björnsson 1998. *Tvífasa reiknilíkan og spár þess um afköst suðusvæðisins í Svartsengi*. Orkustofnun rannsóknasvið OS-98012, 40s.
- Gunnar Þorbergsson, Guðmundur H. Vigfússon 1999. *Fallmælingar og GPS-mælingar á utanverðum Reykjanesskaga 1999*. Orkustofnun rannsóknasvið OS-99065, 76 s.
- Hjalti Franzson, Steinar Þór Guðlaugsson, Grímur Björnsson, Jón Örn Bjarnason, Sverrir Þórhallsson 1999. *Svartsengi - hola SJ-17. Borun, rannsóknir og vinnslueiginleikar. Lokaskýrsla*. Orkustofnun rannsóknasvið OS-99036, 146 s.
- Verkfræðistofan Vatnaskil sf., Benedikt Steingrímsson, Magnús Ólafsson, Bjarni Reykr Kristjánsson, Þráinn Friðriksson, Þórólfur Hafstað 2004. *Svartsengi: vinnslueftirlit og umhverfisvöktun 2003*. Íslenskar orkurannsóknir ÍSOR-2004/004, 146 s.

ÁHRIF NIÐURDÆLINGAR Á ORKUVERÐ TIL HÚSHITUNAR

Sigþór Jóhannesson, Þorleikur Jóhannesson, Þrándur S. Ólafsson
Fjarhitun hf. Suðurlandsbraut 4, 108 Reykjavík

Útdráttur

Niðurdæling í jarðhitasvæði hefur verið á tilrauna- og vinnslustigi á undanförunum árum og áratugum. Reynslan hefur sýnt að niðurdæling getur verið árangursrík leið til að viðhalda vinnsluhæfni sumra jarðhitasvæða, og einnig hefur reynslan sýnt að kostnaðarsamt getur verið að sniðganga niðurdælingu, þegar hennar er þörf. Þetta á bæði við um sum háhitasvæði og ekki síst sum lághitasvæði, með takmarkað innstreymi, þar sem jarðhitavatnið er notað fyrir hitaveitur.

Erfitt er að meta ávinning af niðurdælingu almennt. Það stafar af því hve aðstæður eru breytilegar frá einu jarðhitasvæði til annars. Beinn fjárhagslegur ávinningur felst í því að afkastageta sumra jarðhitasvæða rýrnar minna en ella með tíma og fresta má fjölgun vinnsluhola til að ná að viðhalda fastri orkuöflun.

Einnig er um umhverfislegan ávinning að ræða því ótvírætt hefur mikil losun jarðhitavatns á yfirborði nokkur áhrif á umhverfið. Á síðustu árum hafa menn í auknu mæli reynt að meta þessi umhverfisáhrif og taka inn í fjárhagslega hlutann en losun á yfirborði getur bæði haft jákvæð og neikvæð áhrif.

Kostnaðarþættir vegna niðurdælingar eru margþættir. Þörf er á heilmikilli rannsóknar- og þróunarvinnu, bora þarf niðurdælingarholur, auk þess sem leggja þarf sérstakar niðurdælingarleiðslur frá virkjun að holum.

Stundum þarf að dæla vatni niður á móti þrýstingi á holutoppi. Oft er það þó þannig að nýta má niðurrennsli þar sem nýting er komin í jafnvægi. Í upphafi vinnslu, þegar vatnsborð í svæðum hefur verið hátt hefur eingöngu verið unnið úr þeim og niðurdæling hafin síðar þegar vatnsborð hefur lækkað.

Á Íslandi hefur greiddur aðgangur að heitu vatni oft verið talin ástæða þess að unnt sé að halda orkuverði til hitunar húsa í lágmarki. Ef betur er að gáð er aðgangurinn einn og sér ekki nægjanleg forsenda til að komast að þessari niðurstöðu. Nýtingartími hámarksafli og ekki síst hönnun hitakerfa og hitaveitna skiptir meginmáli í því að unnt sé að nýta auðlindina vel með litlum tilkostnaði.

Þegar um er að ræða virkjun lághitasvæða á Íslandi hefur oft viljað svo heppilega til að unnt hefur verið að nota vatnið beint án sérstakrar meðhöndlunar inn á einföld dreifikerfi með einni aðveitupípu. Ekki er aðeins um það að ræða, heldur hefur hitastig vatns verið á afar heppilegum hita fyrir dreifikerfi og hitakerfi húsa án nokkurrar meðhöndlunar.

Til viðbótar við þetta þá hafa frárennsliskerfi húsa og gatna dugað til að veita hitaveituvatni frá notendum og til sjávar. Frárennsliskerfi einstakra húsa hafa verið hönnuð til að taka á móti vatnsrennsli sem er margfalt á við rennsli frá hitakerfum. Samnýting frárennslis hefur því hingað til verið afar farsæl, en nýjar aðferðir við losun skólps og meðhöndlun þess geta þó kallað á breytingar.

Sé hitaveitukerfi byggt upp á beinni notkun jarðhitavatns þarf bæði tvöfalt stofnæðakerfi og tvöfalt dreifikerfi til viðbótar við kostnaðinn á virkjunarsvæðum. Mun fleiri dreifikerfis-dælustöðvar þarf til að þjóna dreifikerfunum. Þegar um er að ræða einfalt dreifikerfi er hægt að þjóna dreifisvæði sem nær allt að 10 km út frá dreifikerfis-dælustöð en þegar kerfin eru tvöföld er sjaldnast hægt að fara lengra en 2 km út frá dælustöð.

Eins og sjá má af upptalningunni hér að ofan eru fjölmörg atriði sem líta þarf til þegar fjallað er um kostnað vegna niðurdælingar í jarðhitasvæði og krafa um slíkt hefur í mörgum tilvikum veruleg áhrif á orkuverð til hitunar húsa.