



ORKUSTOFNUN
Jarðhitadeild

JARÐHITASVÆÐIÐ URRÍÐAVATNI

**Eftirlit með jarðhitavinnslu árið 1992
og niðurstöður ferlunarprófunar**

Guðni Axelsson
Guðrún Sverrisdóttir

Unnið fyrir Hitaveitu Egilsstaða og Fella

OS-93036/JHD-18 B

Júní 1993



ORKUSTOFNUN
Grensásvegi 9, 108 Reykjavík

Verknr. 610 761
/os/pi/jhd.os/eftirlit/urridav92.t

JARÐHITASVÆÐIÐ URRÍÐAVATNI

**Eftirlit með jarðhitavinnslu árið 1992
og niðurstöður ferlunarprófunar**

Guðni Axelsson
Guðrún Sverrisdóttir

Unnið fyrir Hitaveitu Egilsstaða og Fella

OS-93036/JHD-18 B

Júní 1993

EFNISYFIRLIT

1. INNGANGUR	3
2. VINNSLA OG HITI 1992	3
3. EFNASAMSETNING JARÐHITAVATNS 1992	4
4. FERLUNARPRÓFUN HAUSTIÐ 1992	5
5. LOKAORÐ	8
6. HEIMILDIR	8
VIÐAUKI A: Fræðilegir útreikningar á rennsli ferlunarefnis eftir sprungubelti	23
VIÐAUKI B: Fræðilegir útreikningar á kólnun vegna millirennslis um sprungubelti	24

TÖFLUSKRÁ

1. Ársmeðaltöl vinnslu, hita, kísilstyrks og klóríðstyrks vatns úr jarðhitasvæðinu	9
2. Heildarefnasamsetning vatnssýna úr holu 8 sem starfsmenn Orkustofnunar tóku	10
3. Efnasamsetning vatnssýna úr holu 8 safnað af Hitaveitu Egilsstaða og Fella (hlutsýni)	11
4. Niðurstöður súrefnismælinga á vatni í veitukerfi Hitaveitu Egilsstaða og Fella	12

MYNDASKRÁ

1. Vikuleg meðalvinnsla úr holu 8 janúar 1991 - apríl 1993	13
2. Vatnshiti og vinnsla úr holu 8 árið 1992	13
3. Vatnshiti og vinnsla úr holu 8 árin 1984 - 1993	14
4. Kísilstyrkur í holu 8 árin 1988 - 1993	14
5. Klóríðstyrkur í holu 8 árin 1988 - 1993	15
6. Súlfatstyrkur í holu 8 árin 1988 - 1993	15
7. Natríumstyrkur í holu 8 árin 1988 - 1993	16
8. Kálfumstyrkur í holu 8 árin 1988 - 1993	16
9. Kísilstyrkur og vinnsla úr holu 8 árin 1984 - 1993	17
10. Klóríðstyrkur og vinnsla úr holu 8 árin 1984 - 1993	17
11. Hitamælingar í holu 5 við Urriðavatn	18
12. Styrkur ferlunarefnis í vatni úr holu 8 í ferlunarprófun haustið 1992	19
13. Endurheimta ferlunarefnis í ferlunarprófun	19
14. Líkan notað við túlkun ferlunarprófunar	20
15. Mældur og reiknaður styrkur ferlunarefnis í holu 8	21
16. Reiknuð áhrif niðurrennslis í holu 5 á vatnshita holu 8	21

1. INNGANGUR

Í þessari skýrslu er fjallað um eftirlit með vinnslu jarðhita úr jarðhitasvæðinu í Urriðavatni árið 1992. Er þetta fimmta skýrslan sem unnin er samkvæmt samningi Hitaveitu Egilsstaða og Fella og Orkustofnunar um slíkt eftirlit (Guðni Axelsson o. fl., 1989; Guðni Axelsson og Guðrún Sverrisdóttir, 1990, 1991 og 1992). Samkvæmt samningnum skal fylgjast með vinnslu, vatnsborði og vatnshita auk þess sem vatnssýni eru tekin til efnagreininga. Hitaveitan sér að mestu um gagnasöfnunina, en Orkustofnun um efnagreiningar og úrvinnslu gagnanna.

Hitaveita Egilsstaða og Fella tók til starfa í lok árs 1979. Fyrstu fjögur ár veitunnar kólnaði vatn úr þáverandi vinnsluholum mjög hratt. Í lok árs 1983 tók hola 8 við sem aðalvinnsluhola og hefur hún reynst mun betur. Árin 1984 - 1987 kólnaði vatn úr holu 8 þó lítilsháttar og breytingar á efnastyrk vatnsins bentu til þess að kólnunin stafaði af streymi kaldara og efnasnauðara vatns úr efri hluta jarðhitakerfisins niður í dýpri hluta þess (Guðni Axelsson o. fl., 1989). Eftir að breytt var um sölukerfi árið 1988 virtist draga úr niðurstreyminu og jarðhitakerfið komast nokkurn veginn í jafnvægi (Guðni Axelsson og Guðrún Sverrisdóttir, 1991). Þó sýna tímabundin frávik í styrk nokkurra efna, sem orðið hafa af og til seinustu árin að þetta jafnvægi er afar viðkvæmt og væntanlega er niðurstreymi kaldara og efnasnauðara vatns úr efri hluta jarðhitakerfisins farið að hafa meiri áhrif en fyrstu árin eftir sölukerfisbreytinguna (Guðni Axelsson og Guðrún Sverrisdóttir, 1992). Ekki virðist þó hætta á bráðri kólnun vatns úr holu 8 á næstu árum.

Ástæða þótti til þess að rannsaka nánar orsakir frávikanna í efnastyrk. Hitamælingin, sem gerð var í holu 5 í september 1991, sýndi að niðurrennsli er í holunni (Guðni Axelsson og Grímur Björnsson, 1991). Það gæti átt greiða leið yfir í holu 8 og skýrt að einhverju leyti frávikin. Því var gerð ferlunarprófun milli holanna haustið 1992 þar sem ferlunarefni var komið í holu 5 og síðan fylgst með því hvort, eða hvernig, það skilaði sér yfir í holu 8. Hér á eftir er fjallað um niðurstöður þessarar prófunar.

2. VINNSLA OG HITI 1992

Hola 8 er aðalvinnsluhola Hitaveitu Egilsstaða og Fella, en holur 4 og 5 ásamt sjálfrennsli úr holu 8 eru varaafli veitunnar. Skipt var um rennslismæli við holu 8 í byrjun árs 1992. Við samanburð á seldu vatnsmagni og mældu kom í ljós að töluverð skekkja er í magnmælingum rennslismælisins. Einnig virðist hafa verið skekkja í magnmælingum eldri mælisins, a.m.k. árið 1991. Núverandi mælir sýnir of mikið en eldri mælirinn sýndi of lítið. Til stendur að setja upp rennslismæli í kyndistöð veitunnar til þess að kanna skekkju núverandi mælis. Í þessari skýrslu eru tölur leiðréttar til bráðabirgða, þannig að mælingar skv. nýja mælinum eru lækkaðar um 5%, mælingar skv. eldri mælinum árið 1991 eru hækkaðar um 5% og mælingar frá 1990 eru hækkaðar um 2%. Í skýrslu næsta árs verður væntanlega hægt að leiðrétta vinnslutölur eitthvað betur.

Mynd 1 sýnir vikulega meðalvinnslu úr holu 8 árið 1992, með leiðréttingunni, auk þess sem leiðrétt vinnslan 1991 er sýnd til samanburðar. Á myndinni sést að vinnslan hefur aukist verulega milli árana 1991 og 1992, jafnvel ef tekið er tillit til þess að leiðréttingin er ekki nákvæm. Á myndinni sést jafnframt að aukningin er mest síðastliðið sumar. Í

töflu 1 eru birt ársmeðaltöl vinnslu úr jarðhitasvæðinu í Urriðavatni frá upphafi dælingar. Meðalvinnsla ársins 1992 er áætluð um 21,6 l/s, sem er um 5% meiri vinnsla en leiðrétt meðalvinnsla árið 1991. Skýringin á þessu er m.a. töluverð aukning í hituðu húsrými og kaldara veðurfar en 1991.

Sumarið 1992 var vikumeðalvinnslan minnst aðra vikuna í júní, um 15 l/s. Meðalvinnsla sumarsins (leiðrétt) var um 17,5 l/s, sem er næstum því þriðjungi meiri vinnsla en sumarið 1991. Aukningin í vinnslu milli árana 1991 og 1992 er því að miklu leyti vegna aukinnar vinnslu sumarið 1992. Skýringin á þessu gæti, auk kaldara veðurfars og aukningar í notkun, verið sú að oft þarf að dæla meira magni úr holu 8 á sumrin en notað er vegna þess að takmörk eru fyrir því hve litlu magni er hægt að dæla með núverandi dælu. Mest var vikumeðalvinnslan tæplega 30 l/s þriðju vikuna í desember 1992 samanborið við 28 l/s árið 1991.

Á mynd 2 er sýndur hiti vatns úr holu 8 árið 1992 ásamt vinnslu úr holunni. Vatnshitinn, ásamt vinnslu, frá upphafi nýtingar holu 8, er sýndur til samanburðar á mynd 3. Einnig eru ársmeðaltöl vatnshita úr holu 8, sem reynt hefur verið að leiðrétta fyrir notkun mismunandi mæla, birt í töflu 1. Á myndunum og meðaltölunum sést að hiti vatns virðist hafa staðið nokkurn veginn í stað undanfarin ár. Árið 1992 var vatnshitinn um 75,5 °C að meðaltali. Nokkru minni sveiflur reyndust í vatnshitanum árið 1992, e.t.v. vegna meiri vinnslu.

Samkvæmt niðurstöðum einfaldra líkanreikninga fyrir jarðhitakerfið undir Urriðavatni má búast við því að hiti vatns úr holu 8 fari hægt lækkandi næsta áratuginn, einkum ef aukning verður í vinnslu (Guðni Axelsson, 1991).

Vatnsborð í holu 8 fer dýpst í 25 - 30 m á veturnum, en á sumrin er lítill sem enginn niðurdráttur í holunni. Langtíma vatnsborðsbreytingar í jarðhitakerfinu virðast vera litlar sem engar því lægsta vatnsborð holu 8 breytist ekki marktækt frá ári til árs. Því miður hafa ekki verið gerðar reglulegar vatnsborðsmælingar í öðrum holum á svæðinu. Þess vegna er ekki hægt að segja nákvæmlega til um langtímabreytingar. Eins og áður hefur verið bent á þá myndu mælingar á vatnsborði, t.d. í holu 3, gefa mikilsverðar viðbótarupplýsingar um ástand jarðhitakerfisins.

3. EFNASAMSETNING JARÐHITAVATNS 1992

Á árinu 1992 voru tekin tvö sýni til heildarefnagreininga úr holu 8 við Urriðavatn, í maí og október, en í allmörg ár hefur heilsýnataka vor og haust verið liður í eftirliti Orkustofnunar með efnasamsetningu jarðhitavatnsins. Annar fastur liður í eftirlitinu er að Hitaveita Egilsstaða og Fella tekur sýni úr holu 8 einu sinni í mánuði (hlutsýni) og sendir til Orkustofnunar. Þar eru greind í þeim nokkur efni sem geta sýnt sveiflur og snöggar breytingar í jarðhitakerfinu, sem ekki sjást í sýnum teknum á misserisfresti.

Tafla 2 sýnir niðurstöður greininga á heilsýnum ársins 1992 ásamt efnasamsetningu heilsýna allt frá árinu 1988. Einnig er tekin með greining á fyrra heilsýni þessa árs. Svo illa vildi til að flest þau sýni sem Hitaveita Egilsstaða og Fella safnaði árið 1992 týndust á leiðinni frá Egilsstöðum til Reykjavíkur. Því eru aðeins til greiningar frá fyrstu mánuðum ársins. Niðurstöður þeirra greininga eru sýndar í töflu 3 ásamt samsetningu hlutsýna frá

1990 og 1991, svo og þeirra hlutsýna sem borist hafa í ár.

Frá upphafi hafa orðið nokkrar breytingar á efnastyrk vatnsins úr holu 8 sem bent hafa til streymis kaldara og efnasnauðara vatns úr efri hluta jarðhitakerfisins niður í dýpri hluta þess. Annars vegar varð hægfara en nokkuð stöðug þynning vatnsins árin 1984 - 1988, sem m.a. annars kom fram í lækkun klóríðsstyrks. Eftir það hafa hins vegar af og til orðið veruleg, en tímabundin, frávik í efnastyrk vatnsins. Árið 1988 varð fyrst vart við tímabundna þynningu vatnsins og næstu ár varð hún í nóvember-desember, en árið 1991 kom hún fram í ágúst og árið 1992 í mars. Aðeins hefur verið greint eitt sýni frá seinni hluta árs 1992 svo ekki er ljóst hvort einhver sveifla varð á þeim tíma. Ekki kemur fram sveifla á fyrri hluta 1993.

Myndir 4 - 8 sýna styrk helstu efna í holu 8 allt frá árinu 1988, en myndir 9 og 10 styrk kísils og klóríðs ásamt vinnslu frá árinu 1984. Þar sjást áðurnefndar sveiflur þar sem þynning er veruleg, og kemur hún hvað greinilegast fram í uppleystum söltum, þ.e. klóríði, sulfati, natríum og kalíum. Athygli vekur hvað sveiflurnar standa stutt yfir og að vatnið úr holunni virðist ná fullum styrk fljótt aftur. Lækkun varð á styrk kísils og klóríðs fyrstu árin eftir 1984, en eftir 1988 má greina dálitla lækkun í styrk sumra efna í vatninu. Sú breyting kemur skýrast fram í styrk kalíums en er lítil í styrk klóríðs, natríums og sulfats. Sveiflurnar undanfarin ár hafa komið óljóst fram í styrk kísils og eftir 1988 hefur ekki orðið marktæk lækkun á styrk hans fyrr en þá í sýnunum, sem tekin hafa verið á þessu ári (myndir 4 og 9). Þar getur annað hvort verið um árstíðarbundna breytingu eða áhrif aukinnar vinnslu að ræða.

Vorið 1991 var sett fram sú tilgáta að niðurrennsli í holu 5 gæti átt þátt í tímabundnu frávikunum (Guðni Axelsson og Guðrún Sverrisdóttir, 1991). Til þess að kanna þennan möguleika nánar hefur hola 5 verið hitamæld ásamt því að gerð var ferlunarprófun milli hola 5 og 8 haustið 1992. Nánar er fjallað um ferlunarprófunina í næsta kafla.

Súrefni er mælt reglulega í veitukerfi hitaveitunnar og í töflu 4 sjást niðurstöður mælinga allt frá árinu 1987. Fram til ársins 1990 var upptaka súrefnis vandamál, en eftir viðgerð á miðlunartanki það ár hefur sjaldan mælst súrefni á kerfinu. Þó mældist súrefni við úttak tanksins í maí 1993. Sennilegasta skýringin á því er að mjög hlýtt var í veðri daginn sem mælt var og rann vatn úr tankinum um yfirfall, sem líklega hefur hleypt einhverju andrúmslofti inn um leið og það hleypti vatninu út. Súrefnið var horfið úr vatninu þegar í kyndistöðinni, fyrir tilverknað brennisteinsvetnis í vatninu. Það bendir einnig til að um skammvinna upptöku súrefnis hafi verið að ræða.

4. FERLUNARPRÓFUN HAUSTIÐ 1992

Tímabundnu frávikin í efnastyrk, sem orðið hafa af og til seinustu árin, benda til þess að kaldara og efnasnauðara vatn úr efri hluta jarðhitakerfisins streymi niður í dýpri hluta þess. Þetta niðurstreymi virðist þó vera mjög mismunandi frá einum tíma til annars. Hvaða leið vatnið fer er ekki ljóst, en hugsanlega fer það um lóðréttar sprungur og/eða borholur. Hitamæling, sem gerð var í holu 5 í september 1991, staðfesti að niðurrennsli er í þeirri holu (Guðni Axelsson og Grímur Björnsson, 1991). Á 220 m dýpi rennur 47°C heitt vatn úr efri hluta jarðhitakerfisins inn í hana, aftur út á 590 m dýpi og væntanlega

yfir í holu 8. Þetta millirennisli á líklega einhvern þátt í frávikunum.

Til þess að athuga hversu greið tengslin væru milli holanna var dælt niður ferlunarefni í holu 5 og síðan fylgst með því hvernig það skilaði sér yfir í holu 8. Hugmyndin var sú að ef tengsl væru milli holanna myndi ferlunarefnið berast með niðurrennisli í holu 5 frá 220 m niður í 590 m, út í jarðhitakerfið og yfir í holu 8.

Áður en ferlunarefnið var sett í holu 5 var hún hita- og rennismæld. Hitamælingin er birt á mynd 11 ásamt eldri mælingum úr holunni. Mælingin sýnir að niðurrennisli er frá 220 m niður í 590 m og hefur holan kólnað nokkuð á þessum kafla milli síðustu tveggja mælinga. Eitthvert seytli virðist síðan vera áfram niður holuna. Samkvæmt rennismælingunni þá var niðurrennislið lítið, sennilega innan við 1 l/s, a.m.k. þá stund sem mælt var.

Þann 21. ágúst 1992, skömmu fyrir hádegi, var u.þ.b. 1 kg af ferlunarefninu natríumfluorescein sett niður í holu 5. Í um hálfan sólarhring þar á eftir var dælt tæpum 1 l/s af köldu vatni í holuna til þess að tryggja að ferlunarefnið kæmist strax niður fyrir efstu æðar holunnar á 220 m dýpi. Síðan voru tekin reglulega vatnssýni úr holu 8 og mældur í þeim styrkur natríumfluoresceins. Niðurstöðurnar eru birtar á mynd 12. Á myndinni sést að ferlunarefnið skilar sér mjög greiðlega milli holanna og nær styrkurinn hámarki eftir 4-5 daga.

Mynd 13 sýnir hvernig ferlunarefnið endurheimtist með tímanum, en endurheimtan var reiknuð með jöfnunni:

$$(1) \quad m = \int_0^t c(\tau)Q(\tau) d\tau$$

þar sem m er endurheimtur massi ferlunarefnis, t tíminn sem hefur liðið frá því að ferlunarefnið var sett í holu 5, c er styrkur ferlunarefnis í vatni úr holu 8 og Q er vinnslan úr sömu holu. Á mynd 13 sést að 500 g hafa skilað sér á um þremur vikum. Um mánaðarmótin nóvember/desember höfðu svo um 760 g skilað sér. Þá var ferlunarefnið farið að skila sér mjög hægt og varla útlit fyrir að allt efnið sem sett var niður (1 kg) myndi skila sér.

Mynd 14 sýnir líkan sem lagt er til grundvallar við túlkun gagnanna á mynd 12. Í líkaninu er gert ráð fyrir því að sprungubelti tengi holur 5 og 8. Í holu 5 er niðurrennisli q sem tekur með sér ferlunarefnið. Vinnsla úr holu 8 er Q . Millirennisli milli holanna er q jafnt niðurrennislinu í holu 5. Í viðauka A eru birtar jöfnur sem gefa styrk ferlunarefnis í vatni úr holu 8 fyrir þetta líkan (Grímur Björnsson o. fl., 1993). Hér þarf reyndar að gera ráð fyrir því að ferlunarefnið fari eftir tveim mislögum leiðum milli holanna, þar sem fjarlægðin er annars vegar x_1 og hins vegar x_2 . Með því að breyta eiginleikum líkansins aftur og aftur tókst að fella viðbrögð þess nokkuð vel að mældum gildum eins og sýnt er á mynd 15. Eftirtalin gildi voru notuð við reikningana:

$x_1 = 40 \text{ m}$	$x_2 = 120 \text{ m}$
$M_1/Q = 0,0197 \text{ kg/(kg/s)}$	$M_2/Q = 0,0201 \text{ kg/(kg/s)}$
$D_1 = 70 \text{ m}^2/\text{dag}$	$D_2 = 150 \text{ m}^2/\text{dag}$
$u_1 = 7,7 \text{ m/dag}$	$u_2 = 6,0 \text{ m/dag}$

þar sem M_1 er magn ferlunarefnis sem fer leið 1 og M_2 magnið sem fer leið 2, D_1 og D_2 eru tvístrunarstuðlar (dispersion coefficients) hinna mismunandi leiða og u_1 og u_2 eru hraðar millirennslisins á leiðunum tveimur. Gera má ráð fyrir að þetta líkan fari nærri raunveruleikanum vegna góðrar samsvörunar mældra og reiknaðra ferla.

Nauðsynlegt var að gera ráð fyrir því að millirennslíð færi tvær leiðir milli holanna svo hægt væri að herma mældan styrk ferlunarefnisins í holu 8. Í fyrsta lagi stystu leið milli holanna ($x_1 = 40$ m), e.t.v. eftir láréttu millilagi. Í öðru lagi milli æðarinnar á 590 m dýpi í holu 5 niður í æð(ar) á um 700 m dýpi í holu 8 ($x_2 = 120$ m), væntanlega eftir nær lóðréttu sprungubelti. Samkvæmt reikningunum munu um 450 g skila sér hvora leið. Ef gert er ráð fyrir því að báðar rennslisleiðirnar séu einskonar stokkar með þverskurðarflatarmál A og poruhluta ϕ og að millirennslíð sé í allt um 1 kg/s má áætla að $A\phi$ sé um 20 m fyrir hvora rennslisleið. Ef auk þess er gert ráð fyrir því að stokkarnir hafi þykkt um 0,5 m og $\phi = 0,3$ (sprungubelti eða millilag) fæst að hæð eða breidd stokkanna sé um 40 m, sem verður að teljast sennilegt. Þess ber að geta að ofangreind áætlun á hæð (breidd) stokkanna er mjög gróf því hvorki þykkt þeirra né poruhluti er þekkt. Ekki er heldur þekkt hve mikið niðurrennslíð er í holu 5 auk þess sem það er væntanlega mjög breytilegt.

Að lokum voru jöfnurnar í viðauka B notaðar til þess að áætla þá kólnun vatns úr holu 8, síðustu 10 árin, sem niðurrennslí í holu 5 hefur hugsanlega valdið. Byggt er á niðurstöðunum hér að ofan og reiknað fyrir 0,5 l/s, 1,0 l/s, 2,0 l/s og 4,0 l/s niðurrennslí. Niðurstöðurnar eru birtar á mynd 16, sem er með lógarítmískum tímaskala til þess að breytingarnar sjáist betur. Myndin sýnir að ef meðalniðurrennslíð hefur verið á bilinu 1 - 2 l/s síðustu tíu árin þá nægir það til þess að skýra u.þ.b. 2°C kólnun sem orðið hefur á vatni úr holu 8 þennan tíma.

Ofangreindar niðurstöður sýna að bein tengsl eru milli hola 5 og 8 og að kaldara niðurrennslí í holu 5 berst yfir í holu 8. Hins vegar er ekkert sem bendir til þess að þetta niðurog millirennslí sé mjög mikið. Það skýrir að hluta þær breytingar sem orðið hafa á efnainnihaldi vatns úr holu 8 gegnum árin auk þess sem það getur hæglega skýrt smávægilega kólnun vatns úr holunni. Hins vegar er mjög ólíklegt að niðurrennslí í holu 5 geti að fullu skýrt tímabundnu frávikin í efnastyrk vatns úr holu 8. Til þess eru frávikin of mikil. Því verður einnig að gera ráð fyrir mjög breytilegu niðurrennslí úr efra heitavatnskerfinu undir Urriðavatni niður í það neðra, væntanlega eftir lóðréttum sprungum.

Í greinargerð Guðna Axelssonar og Gríms Björnssonar (1991) eru nefndar nokkrar leiðir til þess að stöðva niðurrennslíð í holu 5. Ekki er líklegt að grípa þurfi til aðgerða á næstunni, þar sem niðurrennslíð er væntanlega lítið, en mikilvægt verður að fylgjast áfram vel og nákvæmlega með efnainnihaldi og hita vatns úr holu 8. Sérstaklega þarf að fylgjast með því hvort efnahitamælar sýna lækkanði djúphita og hvort sveiflur sjást í kísilstyrk.

5. LOKAORÐ

Helstu niðurstöður þessarar skýrslu eru eftirfarandi:

1. Komið hefur í ljós að skekkja er í mælingum á dældu vatnsmagni, a.m.k. árin 1991 og 1992. Þessi skekkja hefur verið leiðrétt til bráðabirgða og áformað er að leiðréttta hana með meiri nákvæmni. Samkvæmt leiðréttingunni var meðalvinnsla ársins 1992 um 21,6 l/s. Árið 1991 var leiðrétt vinnslan um 20,4 l/s og um 20,0 l/s árið 1990. Aukning í vinnslu milli áráanna 1991 og 1992 stafar væntanlega af aukningu í hituðu rými, kaldara veðurfari og einhverri umframdælingu sumarið 1992. Meðalhiti vatnsins úr holu 8 hefur haldist nær óbreyttur, um 75,5°C, síðustu ár.
2. Áfram verða breytingar á efnastyrk vatnsins úr holu 8, sem benda til streymis kaldara og efnasnauðara vatns úr efri hluta jarðhitakerfisins niður í dýpri hluta þess. Síðustu árin hafa þessar breytingar einkennst af miklum tímabundnum frávikum. Aðeins var greint eitt sýni frá seinni hluta árs 1992 svo ekki er ljóst hvort frávik varð á þeim tíma. Ekki kemur fram frávik á fyrri hluta 1993. Síðustu árin má greina dálitla lækkun í styrk sumra efna, einkum kalíums. Marktæk lækkun á styrk kísils kemur fram í sýnunum sem tekin hafa verið á þessu ári (1993). Þar er annað hvort um árstíðarbundna sveiflu eða áhrif aukinnar vinnslu að ræða.
3. Súrefnisupptaka í miðlunartanki hitaveitunnar virðist hafa verið lítil sem engin síðan 1991.
4. Niðurstöður ferlunarprófunar haustið 1992 sýna að bein tengsl eru milli hola 5 og 8 og að 50°C niðurrennsli í holu 5 berst yfir í holu 8. Það skýrir að hluta þær breytingar sem orðið hafa á efnainnihaldi vatns úr holu 8 gegnum árin auk þess sem það getur skýrt smávægilega kólnun vatns úr holunni. Hins vegar er mjög ólíklegt að niðurrennsli í holu 5, sem væntanlega er frekar lítið, geti að fullu skýrt tímabundnu frávikin í efnastyrk vatns úr holu 8. Því verður einnig að gera ráð fyrir mjög breytilegu niðurrennsli úr efra heitavatnskerfinu undir Urriðavatni niður í það neðra, væntanlega eftir lóðréttum sprungum.
5. Ekki er líklegt að grípa þurfi til aðgerða á næstunni til þess að stöðva niðurrennslið í holu 5. Þó er mikilvægt að fylgst verði áfram vel og nákvæmlega með efnainnihaldi og hita vatns úr holu 8. Hægt verður að stöðva niðurrennslið með litlum fyrirvara ef ástæða þykir til.

6. HEIMILDIR

Carslaw, H.W. og J.C. Jaeger, 1959: *Conduction of Heat in Solids*. Önnur útgáfa, Clarendon Press, Oxford, 496 s.

Grímur Björnsson, Guðni Axelsson, Jens Tómasson, Kristján Sæmundsson, Árni Ragnarsson, Sverrir Þórhallsson og Hrefna Kristmannsdóttir, 1993: *Hitaveita Rangæinga. Jarðhitarannsóknir 1987-1992 og möguleikar á frekari orkuöflun*. Orkustofnun, OS-93008/JHD-03 B, 74 s., unnið fyrir Hitaveitu Rangæinga.

- Guðni Axelsson, 1991: *Jarðhitasvæðið Urriðavatni. Einfaldir líkanreikningar og spár um kólnun vatns úr holu 8*. Orkustofnun, OS-91037/JHD-21 B, 15 s., unnið fyrir Hitaveitu Egilsstaða og Fella.
- Guðni Axelsson og Grímur Björnsson, 1991: *Hitamælingar í borholum við Urriðavatn árið 1991 og athugun á niðurrennsli í holu 5*. Orkustofnun, greinargerð GAx/GrB-91/02, 6 s.
- Guðni Axelsson og Guðrún Sverrisdóttir, 1992: *Hitaveita Egilsstaða og Fella. Eftirlit með jarðhitavinnslu við Urriðavatn 1991*. Orkustofnun, OS-91021/JHD-09 B, 15 s., unnið fyrir Hitaveitu Egilsstaða og Fella.
- Guðni Axelsson og Guðrún Sverrisdóttir, 1991: *Hitaveita Egilsstaða og Fella. Eftirlit með jarðhitavinnslu við Urriðavatn 1990*. Orkustofnun, OS-91022/JHD-09 B, 14 s., unnið fyrir Hitaveitu Egilsstaða og Fella.
- Guðni Axelsson og Guðrún Sverrisdóttir, 1990: *Hitaveita Egilsstaða og Fella. Eftirlit með jarðhitavinnslu að Urriðavatni 1989*. Orkustofnun, OS-91017/JHD-06 B, 13 s., unnið fyrir Hitaveitu Egilsstaða og Fella.
- Guðni Axelsson, Halldór Ármannsson, Guðrún Sverrisdóttir og Magnús Ólafsson, 1989: *Hitaveita Egilsstaða og Fella. Eftirlit með jarðhitavinnslu að Urriðavatni 1988*. Orkustofnun, OS-89024/JHD-09 B, 33 s., unnið fyrir Hitaveitu Egilsstaða og Fella.

Tafla 1. Ársmeðaltöl vinnslu, hita, kísilstyrks og klóríðstyrks vatns úr jarðhitasvæðinu í Urriðavatni.

Ár	Vinnsla ¹⁾ (l/s)	Hiti (°C)	Kísill (mg/kg)	Klóríð (mg/kg)	Vinnslu- holur
1980	13,5				4
1981	27,0				4 og 5
1982	27,1				4,5 og 6
1983	28,7				4,5 og 6
1984	24,0	77,0	69,1	48,1	8
1985	25,2	76,4	67,6	47,2	8
1986	26,3	76,2	67,3	46,1	8
1987	26,0	76,1	67,8	45,6	8
1988	24,3	75,3	66,5	44,9	8
1989	19,3	75,5	66,5	44,4	8
1990	20,0	75,6	66,8	44,4	8
1991	20,4	75,5	66,0	42,3	8
1992	21,6	75,5	66,3	41,6	8

¹⁾ Vinnsla áætluð 1980-1986, en mæld 1987-1992.
Vinnsla 1990-1992 leiðrétt til bráðabirgða.

Tafla 2. Heildarefnasamsetning vatnssýna úr holu 8 sem starfsmenn Orkustofnunar tóku á árunum 1988-1993 (mg/kg).

Dagsetning	Númer	Hiti (°C)	Sýrustig pH/C°	Kísill SiO ₂	Natríum Na	Kalíum K	Kalsíum Ca	Magnesium Mg	Súlfat SO ₄	Klóríð Cl	Flúoríð F	Karabónat CO ₂	Br.st.vetni H ₂ S	Upplýst efnl
88-07-06	88-0079	74,4	9,82/24	66,2	70,7	1,2	7,3	0,000	55,2	46,3	0,70	10,8	0,06	277
88-10-11	88-0153	76,0	9,81/23	66,2	68,6	1,2	7,1	0,002	55,2	45,0	0,68	13,4	0,11	250
89-06-12	89-0037	75,0	9,84/23	65,9	68,9	1,1	7,0	0,001	57,7	46,9	0,69	9,8	0,16	263
89-09-29	89-0078	76,2	9,79/20	66,9	69,9	1,2	7,0	0,016	57,8	46,8	0,70	7,1	0,16	275
90-07-10	90-0138	76,5	9,81/25	68,2	70,3	1,0	7,1	0,003	55,1	46,5	0,70	12,5	0,10	262
90-09-27	90-0243	76,4	9,82/14	68,0	67,2	1,2	6,9	-	55,8	47,0	0,69	8,2	0,18	267
91-06-20	91-0135	76,2	9,79/26	67,0	69,5	1,1	7,1	0,009	54,3	46,7	0,70	9,9	0,10	282
91-12-04	91-0250	75,9	9,80/23	66,5	67,9	1,0	7,0	0,001	53,1	44,3	0,68	12,6	0,12	271
92-05-06	92-0097	76,3	9,83/24	66,8	67,7	1,0	7,0	0,003	53,0	44,2	0,68	11,1	0,17	236
92-10-28	92-0247	75,5	9,86/20	66,3	67,8	1,0	-	0,001	53,0	44,2	0,68	10,6	0,20	220
93-05-26	93-0090	76,2	9,81/24	65,8	67,0	1,0	6,9	0,000	52,4	44,4	0,68	16,8	0,17	268

Tafla 3. Efnasamsetning vatnssýna úr holu 8 safnað af Hitaveitu Egilsstaða og Fella (hlutsýni) 1990-1992 (mg/kg).

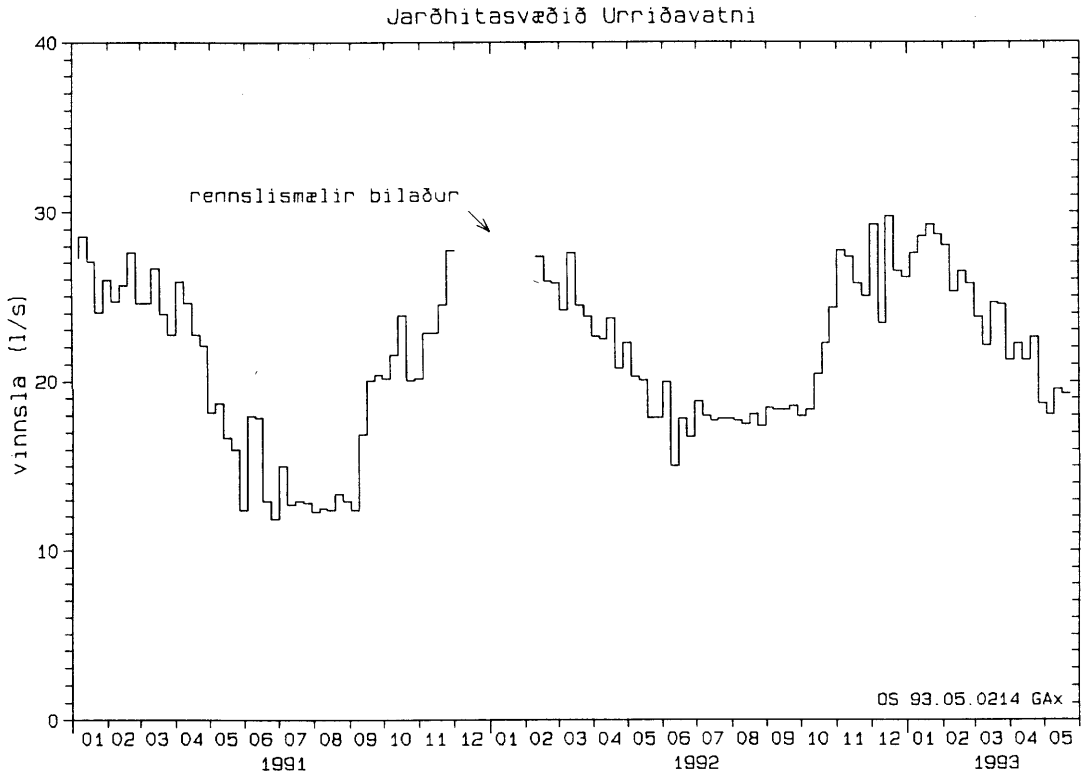
Dagsetning	Númer	Hiti (°C)	Kísill SiO ₂	Natríum Na	Kalíum K	Súlfat SO ₄	Klóríð Cl	Flúoríð F
90-01-23	90-0005	75,9	67,2	68,8	1,1	54,0	43,9	0,69
90-04-06	90-0147	-	66,3	71,7	1,1	56,0	46,9	0,70
90-05-15	90-0148	-	65,8	71,7	1,1	56,3	47,3	0,70
90-06-01	90-0149	-	66,3	71,7	1,0	55,9	47,5	0,70
90-08-03	90-0244	75,1	71,4	70,5	1,1	56,8	48,4	0,70
90-09-08	90-0245	75,0	67,0	65,2	1,1	56,1	47,8	0,70
90-11-01*	90-0348	75,6	64,7	68,9	1,0	47,1	42,7	0,68
90-11-03	90-0349	76,0	66,7	67,3	1,1	50,8	44,9	0,69
90-11-07*	90-0350	76,0	64,1	41,6	0,7	31,2	25,0	0,53
90-11-12*	90-0351	76,2	63,1	60,8	1,0	45,8	40,3	0,63
90-11-15	90-0352	75,2	67,7	70,6	1,1	51,4	45,5	0,69
90-11-18	90-0353	75,8	66,2	68,9	1,0	50,5	44,8	0,68
90-11-20	90-0354	75,5	67,1	63,7	1,0	50,8	45,1	0,69
90-11-25	90-0355	75,6	66,6	62,0	1,2	50,4	44,9	0,68
90-11-28	90-0356	75,7	67,1	65,7	1,0	50,4	44,8	0,68
90-12-03	90-0357	75,7	67,8	64,9	1,1	50,3	45,0	0,68
90-12-14	90-0358	-	67,3	66,9	1,1	49,4	44,1	0,67
90-12-17	90-0359	76,2	67,2	68,6	1,0	50,1	44,3	0,67
90-12-21	90-0360	-	67,1	66,1	1,0	50,8	44,6	0,67
90-12-24	90-0361	-	66,8	66,1	1,0	50,8	44,9	0,67
90-12-28	90-0362	76,3	66,4	66,9	1,0	50,2	44,7	0,67
90-12-31	90-0363	75,5	67,1	66,9	1,0	50,2	44,6	0,68
91-01-22	91-0081	75,8	66,5	65,7	1,0	49,9	44,6	0,67
91-02-15	91-0082	75,7	67,1	68,6	1,1	54,0	47,9	0,71
91-04-02	91-0083	75,8	66,9	66,5	1,0	49,7	44,5	0,67
91-05-30	91-0142	75,5	67,0	68,4	1,1	54,6	47,0	0,69
91-08-15*	91-0264	75,6	65,6	38,4	0,6	31,8	23,8	0,57
91-09-10*	91-0265	75,6	64,5	59,6	0,9	48,7	40,1	0,64
91-11-02*	91-0266	75,0	63,0	60,6	0,9	48,8	39,5	0,66
91-12-22	91-0267	75,3	66,4	67,5	1,0	53,0	44,2	0,68
92-01-15	92-0081	75,4	66,5	68,3	1,0	53,1	44,5	0,68
92-03-02*	92-0082	75,6	65,6	49,1	0,7	38,9	30,8	0,60
92-03-30	92-0083	75,5	66,4	67,8	1,0	53,1	44,4	0,68
93-02-28	93-0095	-	65,9	72,0	1,0	56,0	47,5	0,74
93-03-23	93-0096	-	65,0	66,2	1,0	51,6	43,8	0,68
93-04-14	93-0097	-	65,5	67,7	1,0	53,3	45,3	0,68
93-05-10	93-0098	-	65,3	66,7	1,0	52,7	44,7	0,69

* Frávik í efnasamsetningu
- ekki mælt

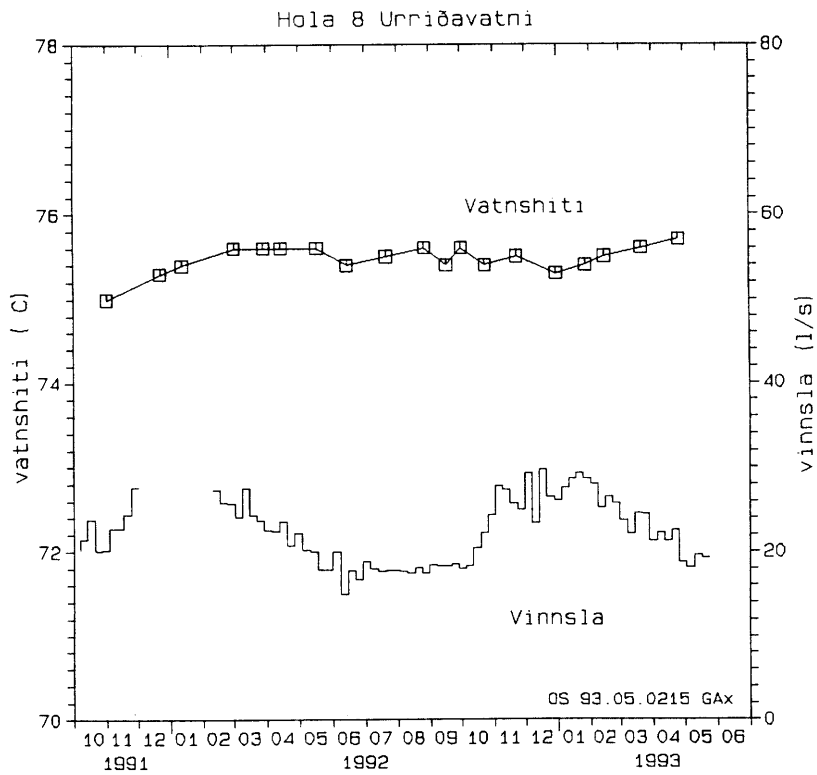
Tafla 4. Niðurstöður súrefnismælinga (í ppb) í veitukerfi Hitaveitu Egilsstaða og Fella (ppb).

Dagsetning	Hola 8	Tankur, inntak	Tankur, úttak	Kyndistöð	Dælustöð
20-08-87	0-5	20-30	200-300	40-80	30
27-11-87	0-10	0-10	30-60	0-10	10-20
06-07-88	30	-	100-300	40	0-10
11-10-88	15	10	-	60	20
12-06-89	30	10	-	100-200	100
02-08-89	-	-	100	50	0-20
29-09-89	15	15	100	40	20
10-07-90	0	0	80	20	3
27-09-90	0	0	80	30	5
03-12-90	-	-	30	-	-
13-12-90	-	-	10-20	<10	-
08-02-91	-	-	0-10	-	-
04-12-91	10	3	8	0	2
06-05-92	0	0	6	2	0
28-10-92	0	0	0	0	0
26-05-93	0	0	60	0	0

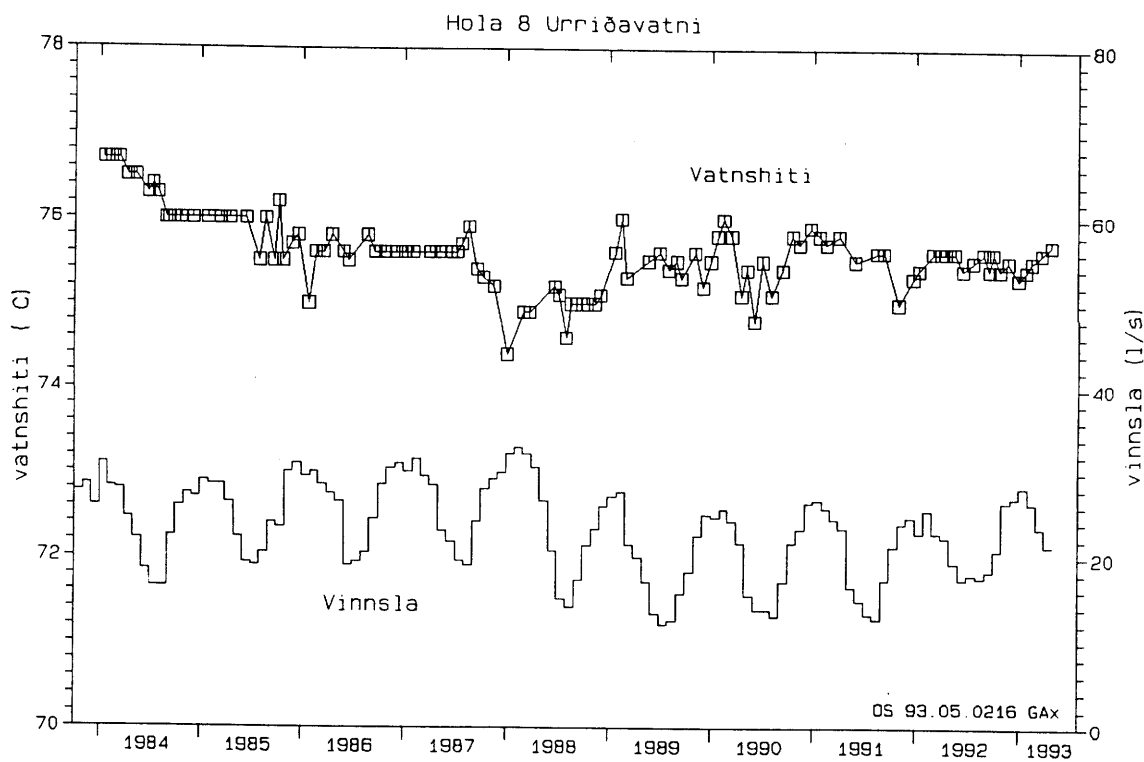
Mælingar framkvæmdar af starfsmönnum Orkustofnunar eða hitaveitunnar með sambærilegum búnaði. Gildi lægri en 10 ppb eru mæld af starfsmönnum Orkustofnunar með ampúlum sérhæfðum fyrir það svið.



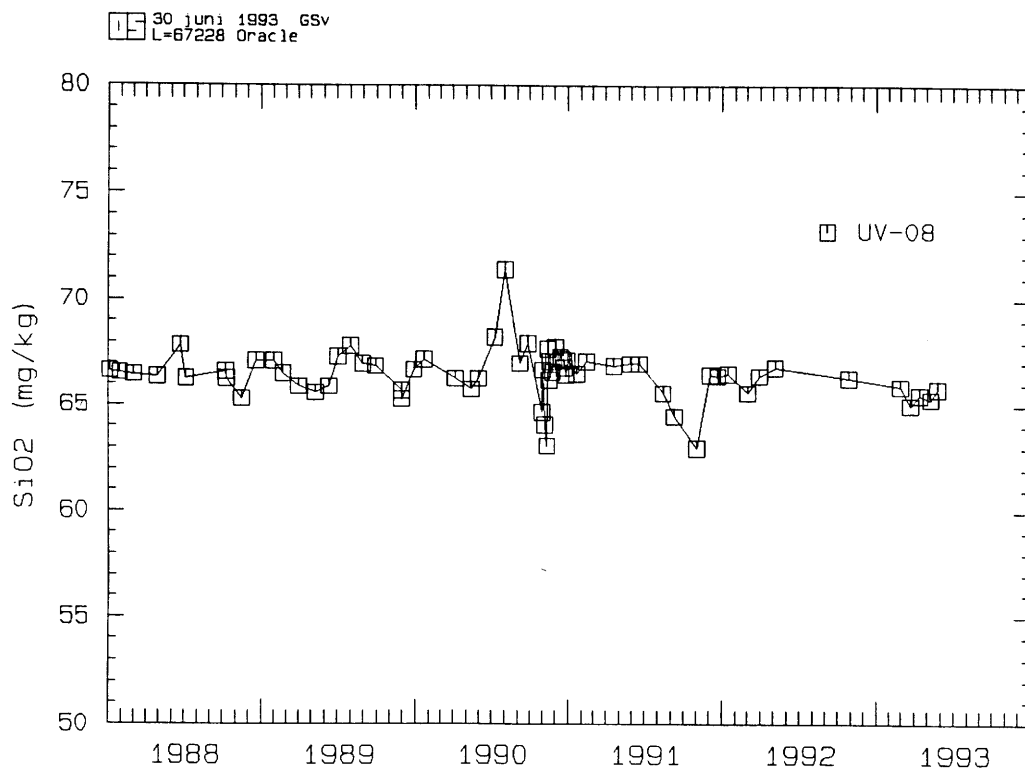
Mynd 1. Vikuleg meðalvinnsla úr holu 8 janúar 1991 - apríl 1993.



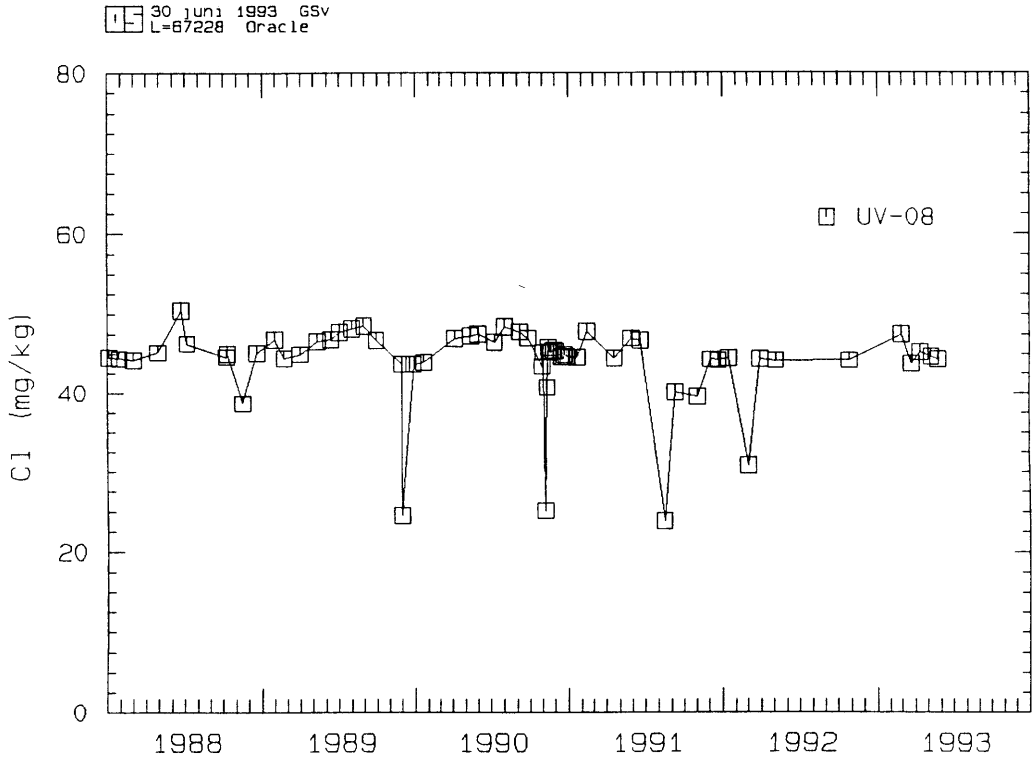
Mynd 2. Vatnshiti og vinnsla úr holu 8 árið 1992.



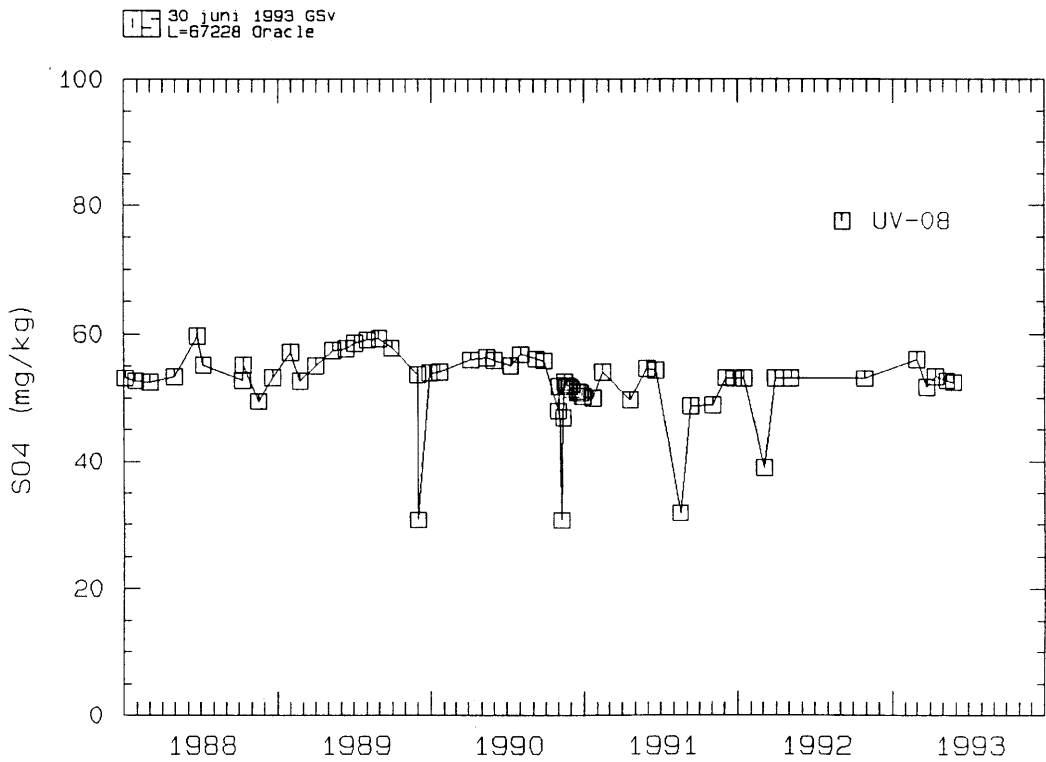
Mynd 3. Vatnshiti og vinnsla úr holu 8 árin 1984 - 1993.



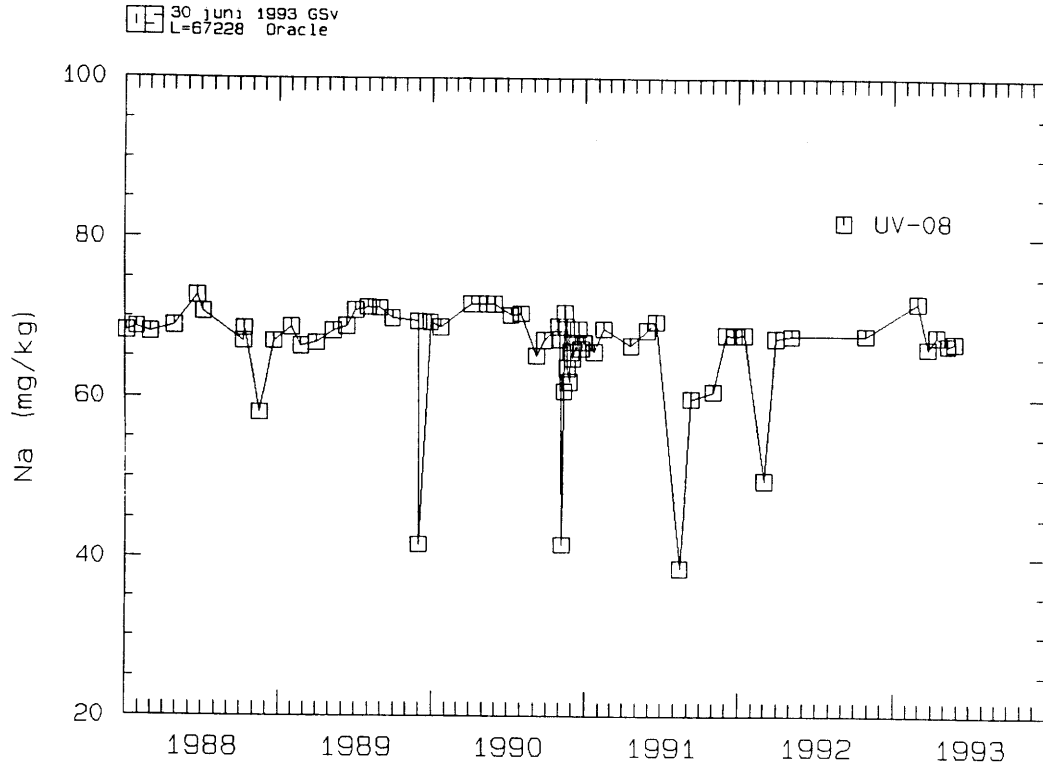
Mynd 4. Kísilstyrkur í holu 8 árin 1988 - 1993.



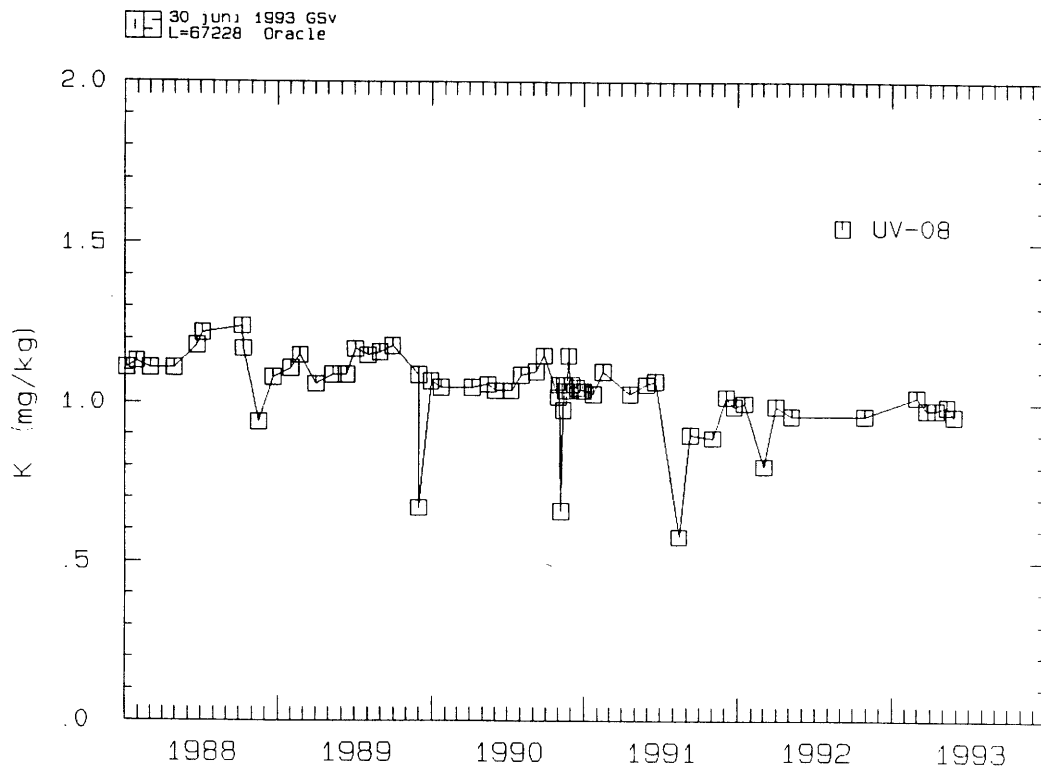
Mynd 5. Klóríðstyrkur í holu 8 árin 1988 - 1993.



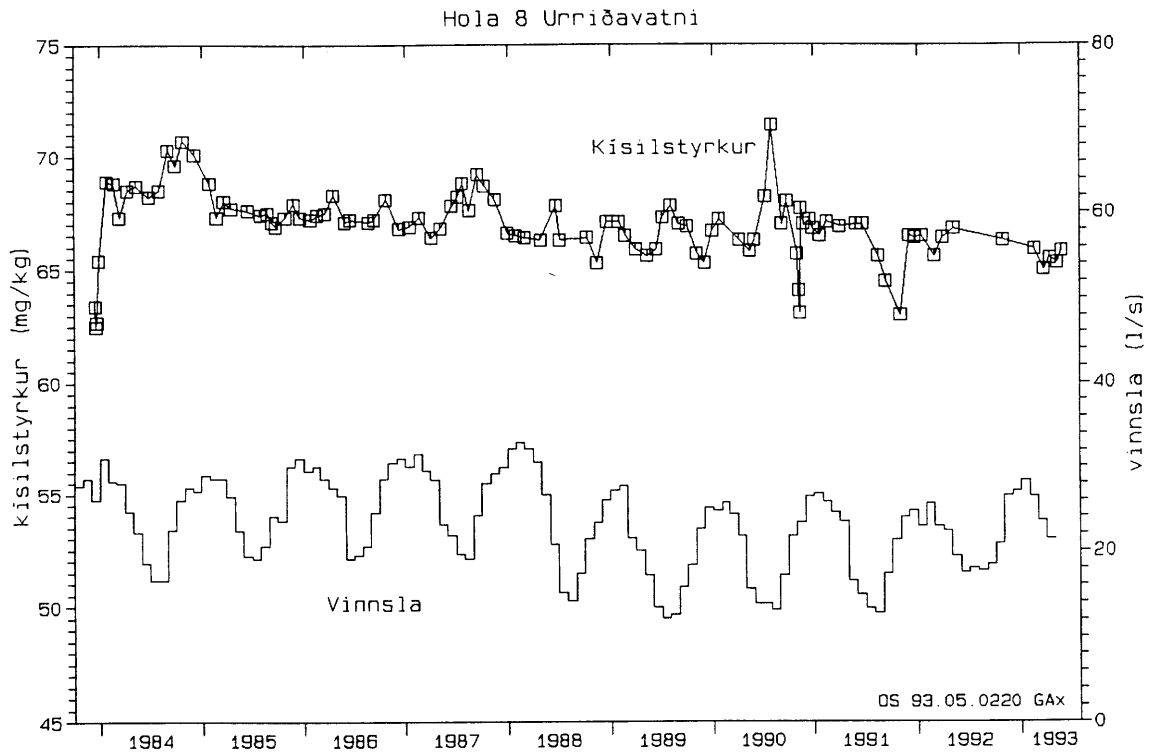
Mynd 6. Súlfatstyrkur í holu 8 árin 1988 - 1993.



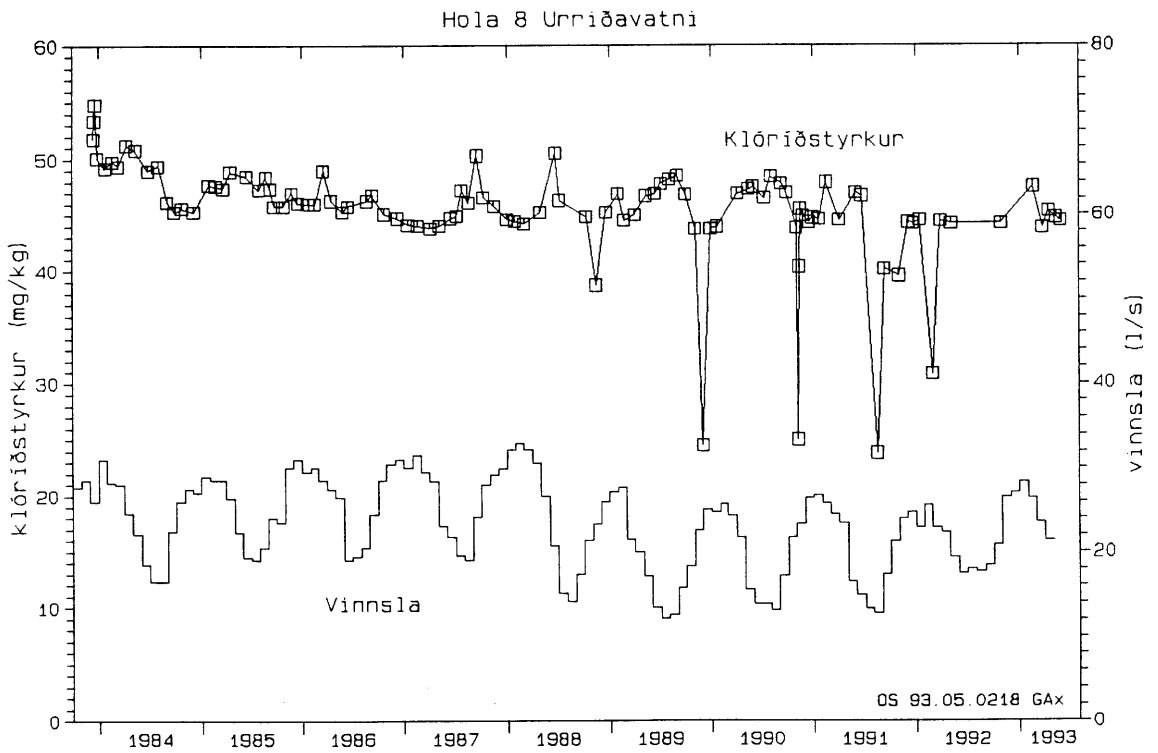
Mynd 7. Natríumstyrkur í holu 8 árin 1988 - 1993.



Mynd 8. Kalíumstyrkur í holu 8 árin 1988 - 1993.

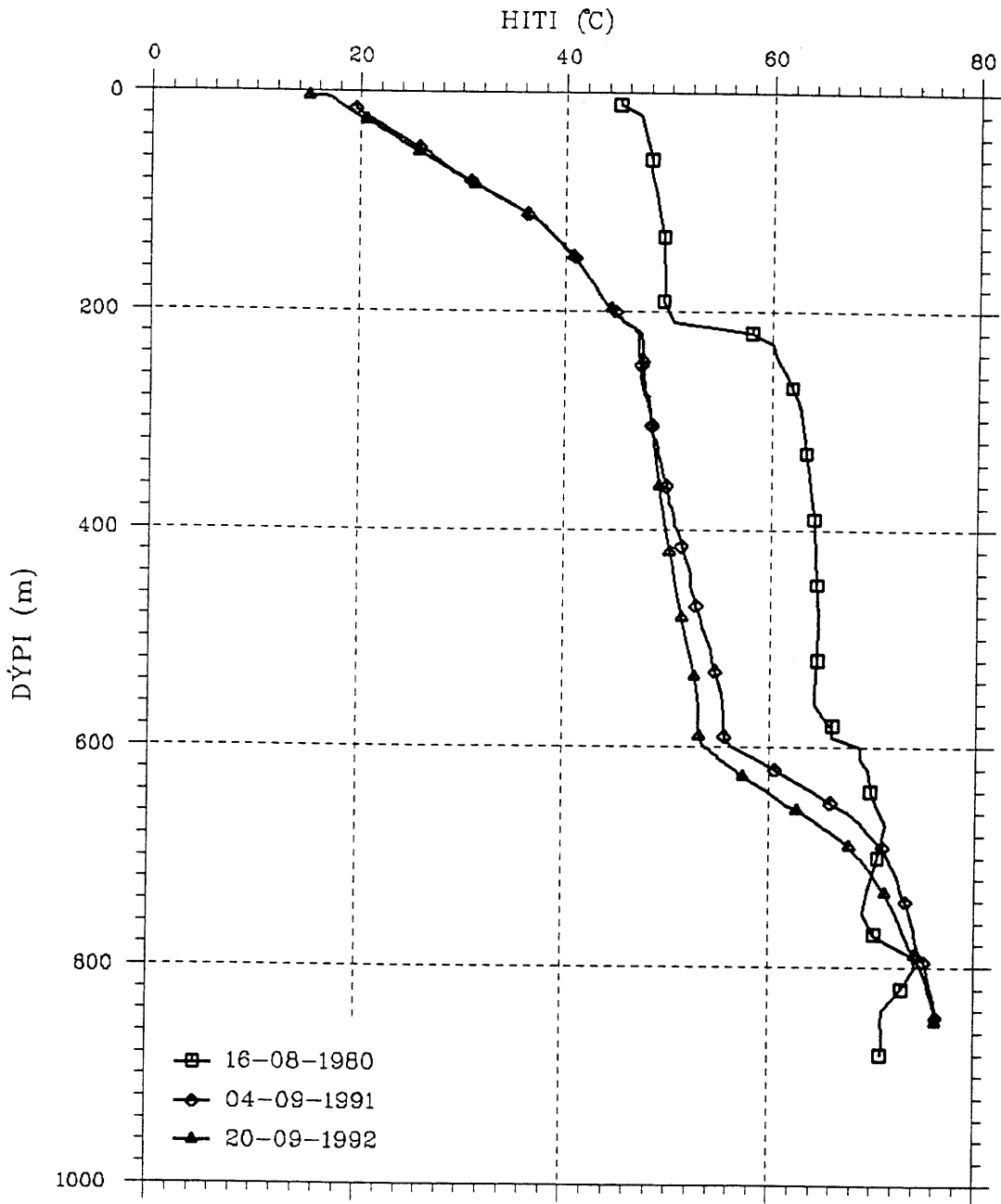


Mynd 9. Kísilstyrkur og vinnsla úr holu 8 árin 1984 - 1993.

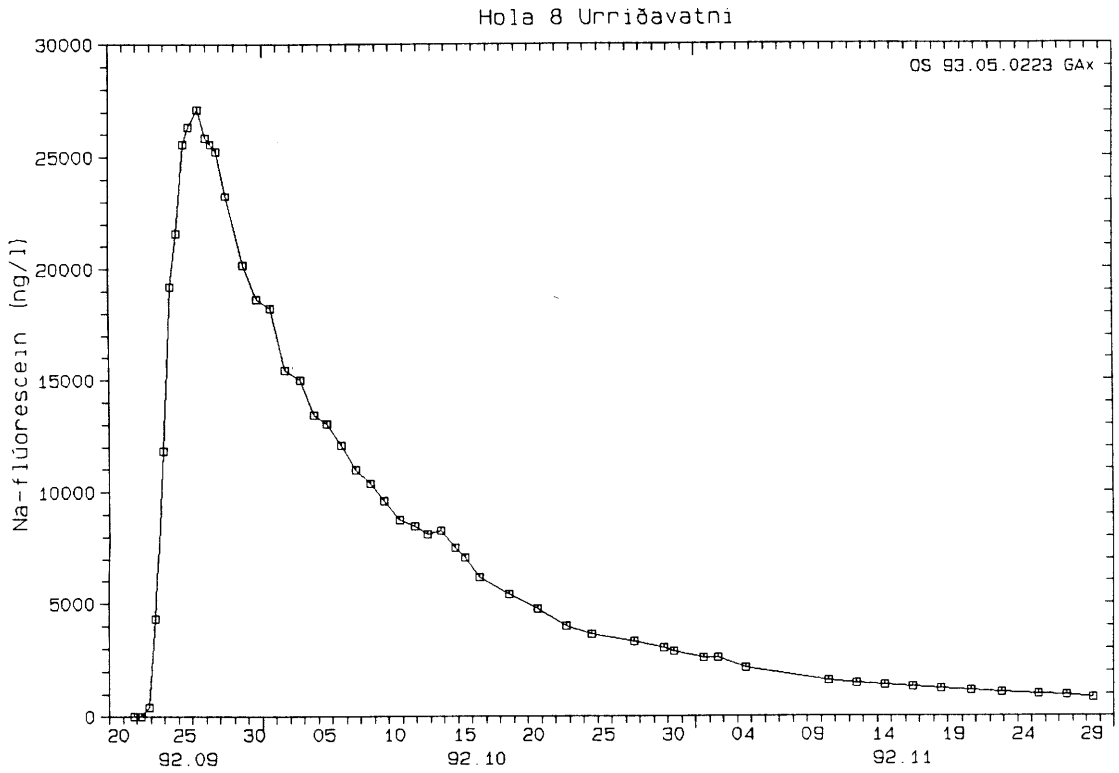


Mynd 10. Klóríðstyrkur og vinnsla úr holu 8 árin 1984 - 1993.

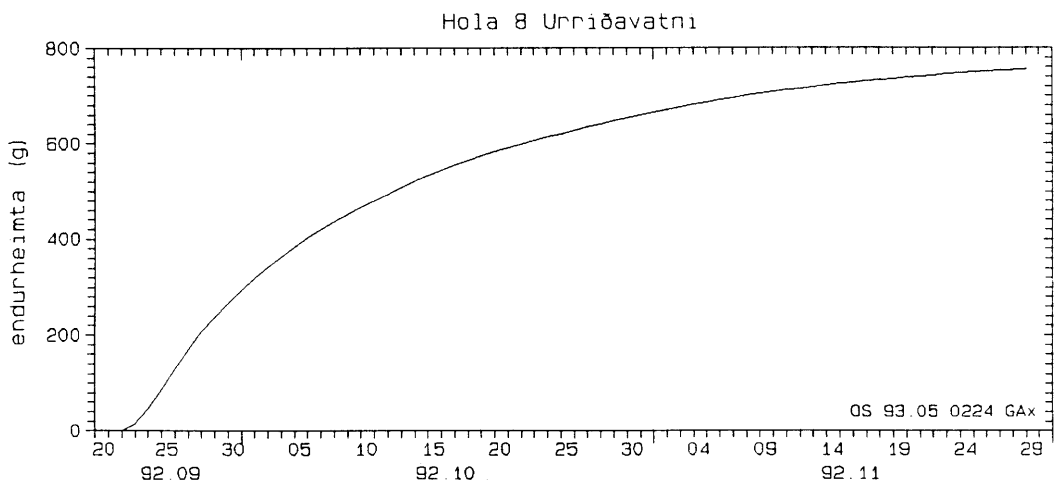
Hola 5 Urriðavatni



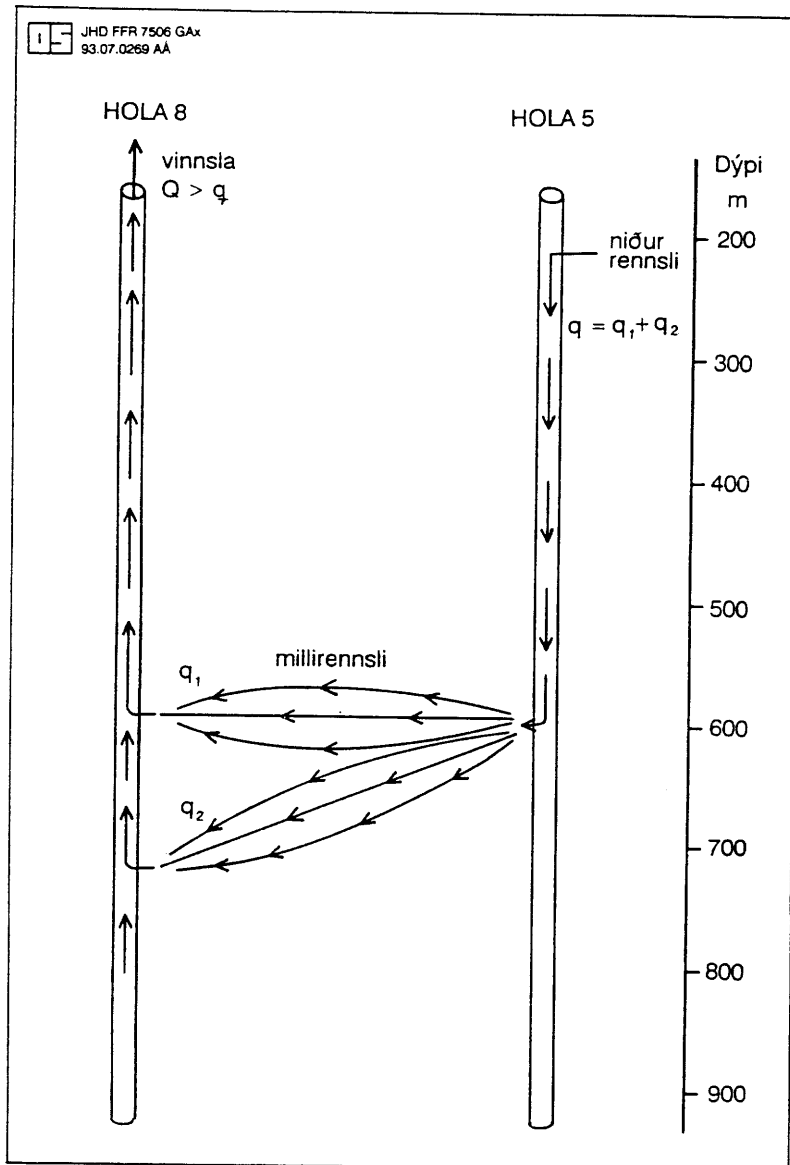
Mynd 11. Hitamælingar í holu 5 við Urriðavatn.



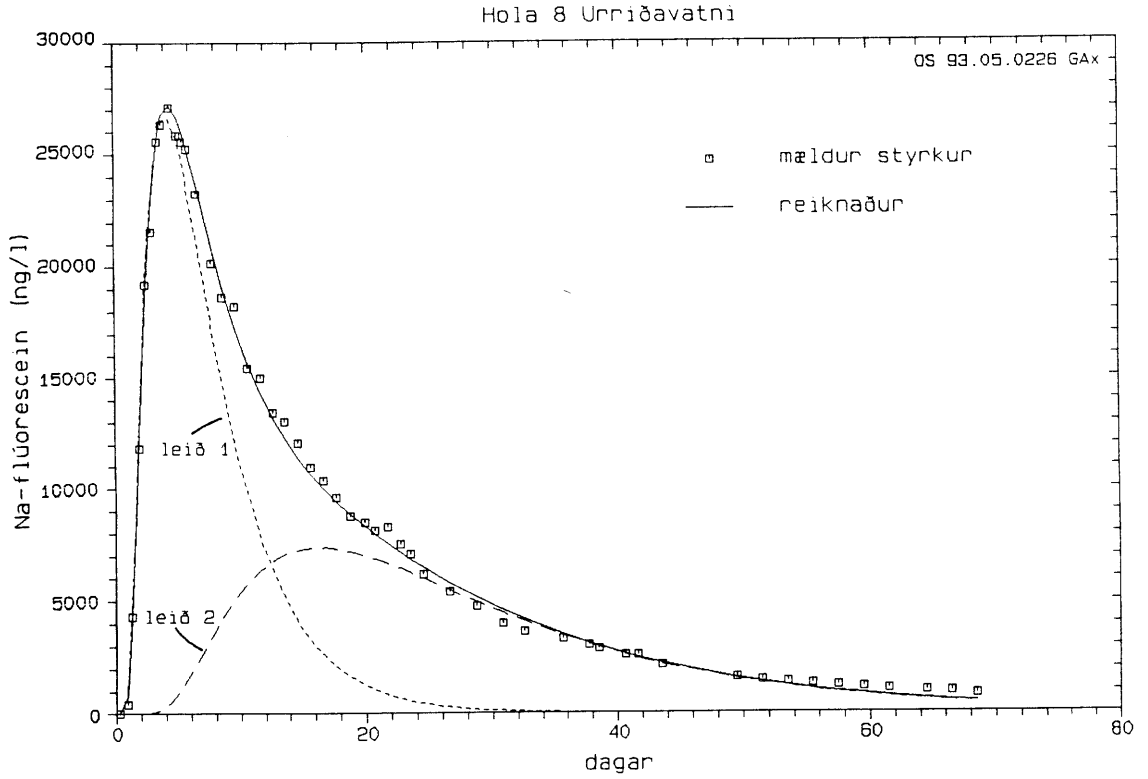
Mynd 12. Styrkur ferlunarefnis í vatni úr holu 8 í ferlunarprófun haustið 1992.



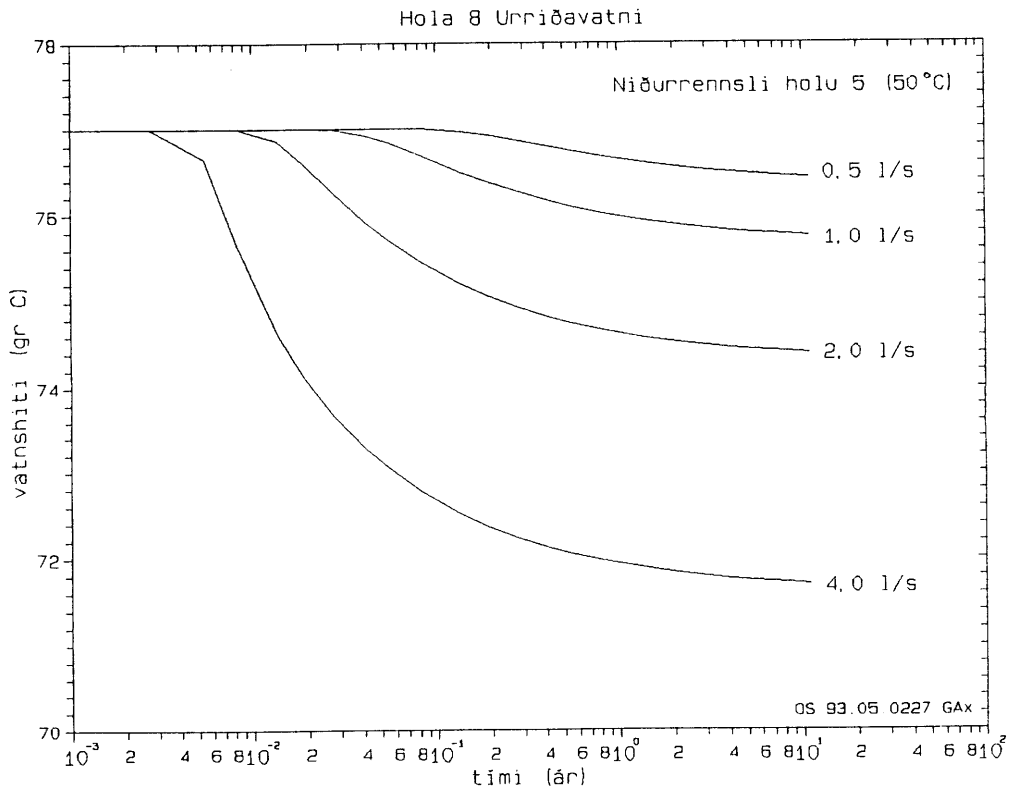
Mynd 13. Endurheimta ferlunarefnis í ferlunarprófun.



Mynd 14. Líkan notað við túlkun ferlunarprófunar.



Mynd 15. Mældur og reiknaður styrkur ferlunarefnis í holu 8.



Mynd 16. Reiknuð áhrif niðurrennslis í holu 5 á vatnshita holu 8.

VIÐAUKI A: Fræðilegir útreikningar á rennsli ferlunarefnis eftir sprungubelti

Líkanið sem notað er til þess að herma rennsli ferlunarefnis milli holu 5 og holu 8 er sýnt á mynd 14 hér að framan. Gert er ráð fyrir niðurrennsli q (kg/s) í holu 5 sem tekur með sér ferlunarefnið og ber það út í sprungubeltið. Vinnsla úr holu 8 er síðan Q (kg/s) og millirennslið eftir sprungubeltinu er jafnt niðurrennslinu í holu 5. Til einföldunar er gert ráð fyrir því að millirennslið eftir sprungubeltinu sé einvítt og að það dreifist yfir hluta sprungubeltisins með þversskurðarflatarmál $A = h \times b$, þar sem h er hæð þess og b breidd. Auk þess er gert ráð fyrir því að sprungubeltið hafi poruhluta ϕ og tvístrunar lengd (dispersivity) α_L (m). Rennsli ferlunarefnisins má þá lýsa með jöfnunni:

$$D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} = u \frac{\partial C}{\partial x} + \frac{\partial C}{\partial t} \quad (\text{A-1})$$

þar sem C er styrkur ferlunarefnisins (kg/m^3) sem fall af x , fjarlægðinni frá holu 5 eftir sprungubeltinu. Auk þess er t tíminn, u meðalhraði millirennslisins, $u = q/\rho A \phi$ og D tvístrunarstuðull (dispersion coefficient) sprungubeltisins, $D = \alpha_L u$.

Við tímann $t = 0$ er massinn M af ferlunarefni látinn í holu 5 og berst hann með millirennslinu eftir sprungubeltinu. Lausn á jöfnu (A-1) má finna í Carslaw og Jaeger (1959), en hún gefur þá styrk ferlunarefnisins í sprungubeltinu, sem fall af fjarlægð frá holu 5 og tímanum:

$$C(x,t) = \frac{M}{A\phi} \frac{1}{2\sqrt{\pi Dt}} e^{-(x-ut)^2/4Dt} \quad (\text{A-2})$$

Millirennslið berst síðan yfir í holu 8 og þá gildir að:

$$c Q = C q \quad (\text{A-3})$$

þar sem c er styrkur ferlunarefnisins í vatni úr holunni. Styrkurinn, sem fall af tímanum, er þá gefinn með eftirfarandi jöfnu:

$$c(t) = \frac{\rho u M}{Q} \frac{1}{2\sqrt{\pi Dt}} e^{-(x-ut)^2/4Dt} \quad (\text{A-4})$$

Stuðlar líkansins; þ.e. M/Q , D og u , ákvarðast síðan af mældum styrk ferlunarefnisins (mynd 12). Þess ber að geta að gert er ráð fyrir því að q og Q breytist lítið.

VIÐAUKI B: Fræðilegir útreikningar á kólnun vegna millirennslis um sprungubelti

Líkanið sem notað var til þess að herma rennsli ferlunarefnis milli hola 5 og 8 var einnig notað til þess að áætla kólnun vatns úr holu 8 við niðurrennsli kaldara vatns í holu 5 (mynd 14). Niðurrennslið er q kg/s og vinnslan úr holu 8 er Q kg/s. Eins og í viðauka A er hér gert ráð fyrir einvíðu millirennsli eftir sprungubeltinu og að það dreifist yfir hluta sprungunnar sem er h að hæð. Eftirfarandi jöfnur lýsa annars vegar hitaástandi bergsins við sprungubeltið:

$$\frac{\partial^2 T}{\partial y^2} = \frac{1}{a} \frac{\partial T}{\partial t}, \quad \text{með} \quad a = \frac{k}{\rho_b c_b} \quad (\text{B-1})$$

og hins vegar hita í sprungubeltinu:

$$\rho_v c_v b \frac{\partial T}{\partial t} + c_v \frac{q}{h} \frac{\partial T}{\partial x} = 2k \frac{\partial T}{\partial y} \quad (\text{B-2})$$

Hér er T hitinn, x fjarlægðin frá holu 5 eftir sprungubeltinu, y fjarlægðin út í bergið þvert á sprungubeltið, t tíminn, b breidd sprungubeltisins, k varmaleiðni bergsins ($\text{J}/\text{m}^\circ\text{C}$), ρ_b eðlismassi bergsins (kg/m^3) og c_b varmarýmd þess ($\text{J}/\text{kg}^\circ\text{C}$), ρ_v eðlismassi vatnsins og c_v varmarýmd þess. Upphafshiti bergsins og sprungubeltisins er $T(x,y,0) = T_0$ og hiti niðurdælingarvatnsins er það fer inn í sprunguna er $T(0,y,t) = T_n$. Lausn á ofangreindum jöfnum er gefin af Carslaw og Jaeger (1959). Hiti millirennslisins í sprungubeltinu, sem fall af fjarlægð frá holu 5 og tímanum, er þá gefinn með jöfnunni:

$$T_q(x,t) = T_n + (T_0 - T_n) \operatorname{erf} \left[\frac{kxh}{c_v q \sqrt{a(t - x/\beta)}} \right], \quad \text{fyrir} \quad t > x/\beta \quad (\text{B-3})$$

þar sem $\beta = q/\rho_v hb$. Hita vatnsins sem dælt er úr holu 8 má þá áætla með:

$$T(t) = T_0 - \frac{q}{Q} \left[T_0 - T_q \right] \quad (\text{B-4})$$

Hér er einnig gert ráð fyrir því að q og Q breytist lítið.