

Niðurdæling á Syðra-Laugalandi í Eyjafirði.
Um áhrif niðurdælingar á vatnsborð

Guðni Axelsson

Greinargerð GAx-98-05

1998-11-13

NIÐURDÆLING Á SYÐRA-LAUGALANDI Í EYJAFIRÐI UM ÁHRIF NIÐURDÆLINGARINNAR Á VATNSBORÐ

Inngangur

Í þessari greinargerð er reynt að meta hvaða áhrif niðurdælingin á Laugalandi, sem nú hefur staðið yfir í rúmt ár, hefur haft á vatnsborð á svæðinu. Tekið skal fram að hér er um fyrstu niðurstöður að ræða, sem verða endurskoðaðar áður en niðurdælingarverkefninu lýkur. Tveim lykilatriðum þarf að vera fullnægt til þess að niðurdæling verði hagkvæm leið til þess að auka orkuframleiðslu á jarðhitasvæðum. Þau eru: (1) að niðurdælingin valdi hækkun vatnsborðs í vinnsluholum, sem leiði til þess að hægt sé að auka vinnslu og (2) að niðurdælingin valdi ekki of hraðri kólnun vatns úr vinnsluholunum. Þessi greinargerð fjallar um fyrra atriðið, en niðurstöður ferilprófana benda til þess að seinna atriðið muni ekki hamla langtímaniðurdælingu (Hita- og Vatnsveita Akureyrar o.fl., 1998).

Niðurstöður stuttu niðurdælingartilraunarinnar vorið 1991 bentu til þess að auka mætti vinnsluna nokkurn veginn um sama magn og dælt væri niður (Guðni Axelsson o.fl., 1992). Þetta var byggt á töluverðri vatnsborðshækkun sem mæld var í LN-10, og því að vatnsborðssveiflur í þeirri holu fylgja alltaf vatnsborðsbreytingum í vinnsluholunum. Vorið 1991 var ekki hægt að mæla vatnsborð í neinni vinnsluholu. Var því gengið út frá því að sambærilegar vatnsborðsbreytingar yrðu í vinnsluholunum og í holu LN-10.

Nú hefur verið hægt að fylgjast með vatnsborði í einni vinnsluholu, fyrst holu LJ-5, en í holu LN-12 síðan snemma í sumar. Vatnsborðsbreytingarnar í þeim, ásamt og holum LG-9 og LN-10, fyrstu 14 mánuði tilraunarinnar, eru birtar á mynd 1. Þar sést að það sem gengið var út frá eftir prófunina 1991 gildir ekki, þ.e. vatnsborðsbreytingar í LN-10 endurspeгла ekki alveg vatnsborðsbreytingar í vinnsluholunum. Eins og sést á mynd 1 þá lækkar vatnsborð í fyrstu hratt á svæðinu, þ.e. eftir að hola LN-12 er gangsett í lok ágúst. Þegar niðurdælingin hefst hækkar vatnsborð í LN-10 annars vegar mjög mikið, og í raun mun meira en ætla hefði mátt útfrá hlutfalli niðurdælingar og vinnslu (1/5). Hins vegar breytist vatnsborð í LJ-5 mun minna, það hættir þó að lækka eins hratt og kemst allt að því í jafnvægi. Þegar hola LJ-5 fer svo í gang um mánaðarmótin nóvember/desember lækkar vatnsborð mikið á svæðinu. Með samanburði á vatnsborðsbreytingum við mismunandi aðstæður var áætlað gróflega að niðurdælingin hafi haft sömu áhrif á holu LJ-5 og 5,4 l/s minnkun í dælingu (Guðni Axelsson og Guðrún Sverrisdóttir, 1998). Samkvæmt þessu ættu um 2/3 af niðurdælingunni að skila sér í aukinni vinnslu. Hér var þó um ónákvæma áætlun að ræða.

Síðastliðið sumar voru gerðar tilraunir til þess að áætla hækkun vatnsborðs vegna niðurdælingarinnar frekar, með því að hætt var að dæla niður í holurnar tvær um tíma og mæla vatnsborðsbreytingar í LN-12 samhliða því. Engar breytingar urðu í LN-12 við þetta,

sem tengja mætti breytingunum í niðurdælingu. Tímaskali þessara tilrauna var reyndar aðeins af stærðargráðunni 1-2 vikur, auk þess sem oft hafði þurft að setja holu LJ-5 inn um sumarið, vegna óhagstæðs veðurfars. Þetta hvoru tveggja olli því að tilraunirnar gáfu frekar takmarkaðar upplýsingar. Niðurstöðurnar staðfestu þó það sem komið hafði í ljós með vatnsborðsmælingum í holu LJ-5, þ.e. að niðurdæling veldur minni vatnsborðsbreytingum, alla vega til skamms tíma, en reiknað hafði verið með. Jafnframt virðist hola LN-12 vera í enn minna sambandi við niðurdælingarholurnar en hola LJ-5.

Þar með virðist ljóst að niðurdæling í holu LJ-8 og LN-10 valdi minni hækkun vatnsborðs, til skammst tíma, í vinnsluholunum á Laugalandi, en vænst hafði verið. Niðurdæling í þessar holur mun því ekki nýtast til skammtíma aflaukningar, eins og um hefur verið rætt. Áhrifin munu því fyrst og fremst skila sér sem langtímaaukning í orkuframleiðslugetu. Hve mikil sú aukning er verður reynt að svara hér á eftir. Ástæðan fyrir þessu er væntanleg sú að niðurdælingarholurnar eru aðallega í sambandi við efri hluta jarðhitakerfisins á Laugalandi (ofan u.þ.b. 1000 m), en vinnsluholurnar í sambandi við neðri hluta þess (neðan u.þ.b. 1000 m), og að lélegt samband sé á milli þessara hluta. Þegar þrýstingur hækkar í efri hlutanum vegna niðurdælingar skila þau áhrif sér hægt niður í neðri hlutann. Holur LJ-8 og LN-10 eru þó með æðar í neðri hlutanum, sem skýrir af hverju þær sýna vel sveiflur þar vegna vinnslu, en lítið af niðurdælingunni fer út um þessar æðar. Þetta er í samræmi við niðurstöður ferilprófananna, sem gerðar hafa verið, auk þess sem þetta skýrir væntanlega af hverju engir smáskjálftar verða vegna niðurdælingarinnar. Minni áhrif á holu LN-12 en holu LJ-5, stafa af því að sú fyrrnefnda er fódruð í 294 m dýpi, en sú síðarnefnda aðeins í 96 m.

Líkanreikningar

Til þess að meta áhrif niðurdælingarinnar til lengri tíma litið þarf að bera saman raunverulegar vatnsborðsbreytingar á Laugalandi, fyrsta árið sem dælt var niður, og þær vatnsborðsbreytingar sem orðið hefðu ef engu hefði verið dælt niður. Síðarnefndu breytingarnar eru ekki þekktar, en þær má áætla með líkanreikningum byggðum á mældum vatnsborðsbreytingum fram til þess tíma að niðurdælingin hófst. Til þess verður notað þjappað líkan og forritið LUMPFIT, sem áður hafa verið notuð til þess að herma og spá vatnsborðsbreytingum á Laugalandi.

Þjappað líkan frá 1988 var endurbætt árið 1993 á grundvelli gagna til áramóta 1992/93 (Ólafur G. Flóvenz o.fl., 1993). Áður en það líkan var endurbætt á ný var það látið reikna vatnsborðsbreytingar þau ár sem síðan eru liðin, sem má bera saman við mældar vatnsborðsbreytingar í holu LJ-8 til haustsins 1997. Frávik mælds og reiknaðs vatnsborðs árin 1993-1997 verður þá mælikvarði á áreiðanleika líkansins. Niðurstöðurnar eru birtar á mynd 2. Þar sést að frávikid er orðið allt að 20 - 30 m. Það er í raun nokkru meira frávik, en búast hefði mátt við og er talið að m.a. sé um áhrif frá Ytri-Tjörnum að ræða, sem ekki er gert ráð fyrir í líkaninu. Meira verður rætt um þau áhrif síðar.

Líkanið frá 1993 var þá endurbætt, með því að láta það herma vatnsborðsbreytingar í holu LJ-8, allt þar til niðurdælingin hófst í byrjun september 1997. Eiginleikar líkansins eru birtir hér að neðan, en ekki verður fjallað sérstaklega um þá að svo stöddu:

Eigingildi/margöldunarstuðlar:

$$\begin{aligned}
 a_1 &= 0.308 \times 10^{-6} \text{ m}^{-1} \text{ s}^{-2} \\
 \lambda_1 &= 0.255 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1} \\
 a_2 &= 0.460 \times 10^{-7} \text{ m}^{-1} \text{ s}^{-2} \\
 \lambda_2 &= 0.104 \times 10^{-7} \text{ s}^{-1} \\
 b &= 0.384 \times 10^{-8} \text{ m}^{-1} \text{ s}^{-2}
 \end{aligned}$$

staðalfrávik = 5,5m
fylgnistuðull, $R^2 = 96,4\%$

Vatnsrýmd:

$$\begin{aligned}
 \kappa_1 &= 285 \text{ ms}^2 \\
 \kappa_2 &= 1920 \text{ ms}^2 \\
 \kappa_3 &= 24400 \text{ ms}^2
 \end{aligned}$$

Vatnsleiðni:

$$\begin{aligned}
 \sigma_1 &= 6,28 \times 10^{-5} \text{ ms} \\
 \sigma_2 &= 2,11 \times 10^{-5} \text{ ms}
 \end{aligned}$$

Mynd 3 sýnir samanburð mælds og reiknaðs vatnsborðs. Þar sést að samræmið er þokkalega gott, en þó síst á árunum 1987 - 1991. Á þeim árum var ársmeðalvinnslan á Ytri-Tjörnum minni, vegna lengri sumarhléa, en verið hefur á öðrum tímum. Er því líklegast að meira frávik frá mældum gildum 1987 - 1991, einkum á sumrin, stafi af áhrifum frá Ytri-Tjörnum.

Mynd 3 sýnir einnig reiknað vatnsborð frá byrjun september 1997 til októberbyrjunar 1998, en frá þeim tíma eru eðlilega ekki til vatnsborðsmælingar úr holu LJ-8 til samanburðar. Þessi reiknuðu gildi gera ekki ráð fyrir neinni niðurdælingu. Frá þessum tíma eru hins vegar til mælingar á vatnsborði í holum LJ-5 og LN-12. Því var gripið til þess ráðs að umreikna reiknuðu vatnsborðsgildin yfir í vatnsborðsdýpi í holu LJ-5. Þeir reikningar eru byggðir á mynd 4, sem sýnir sambandið þar á milli. Auk þess var vatnsborð, sem mælt var í LN-12, umreiknað í vatnsborð í LJ-5 með því að bæta við hæðarmismun holnanna, 12 m.

Niðurstöðurnar eru sýndar á mynd 5. Mælingarnar í holu LJ-5 náðu fram í júníbyrjun 1998, er mælirörið bilaði í holunni. Þá tók hola LN-12 við sem vatnsborðshola, enda nýbúið að taka dæluna upp úr holunni. Nú er mælirör í síðarnefndu holunni, sem er í lagi eins og er. Vatnsborðsgögnin á myndinni hafa einnig verið leiðrétt þannig að mælingar þegar dælt er úr holunum hafa verið leiðréttar fyrir iðustreymistapi (20 m fyrir LJ-5 og 25 m fyrir LN-12). Mynd 5 sýnir að vatnsborð stóð um 20 m hærra nú í haust, en það hefði átt að gera samkvæmt reikningum líkansins, þegar ekki er gert ráð fyrir niðurdælingu. Þó virðist vatnsborð falla hraðar í vinnsluholunum en samkvæmt líkaninu, enda byggir líkanið á holu LJ-8, sem bregst ekki eins hratt við breytingum og þær.

Ef miðað er við vinnsluna síðasta árið og vatnsborðssveifluna má áætla gróflega að niðurdælingin hafi haft sömu áhrif og það að vinnslan hefði verið minni en sem nemur 2/3 niðurdælingarinnar. Er það sama niðurstaða og hafði áður fengist, og nefnd er hér að ofan. Til þess að kanna þetta nánar voru viðbrögð líkansins reiknuð á ný, að þessu sinni þannig að frá vinnslunni voru dregin 67% af niðurdælingunni. Niðurstöðurnar eru sýndar á mynd 6, en þar sést að reiknað vatnsborð fer í þessu tilfelli bæði jafn langt niður og mælt vatnsborð s.l. vetur, og jafn hátt upp nú í haustbyrjun. Er þetta túlkað þannig að

u.þ.b. 2/3 niðurdælingarinnar skili sér til vinnsluaukningar, eða sambærilegrar vatnsborðshækkunar.

Niðurstöður

Niðurdælingin á Laugalandi veldur minni skammtímahækkun vatnsborðs í vinnsluholum, en vænst hafði verið. Niðurdæling mun því ekki nýtast til skammtímaafloukningar. Líkanreikningar, þar sem bornar voru saman raunverulegar vatnsborðsbreytingar síðasta árið og reiknaðar vatnsborðsbreytingar, sem hefðu orðið ef engu hefði verið dælt niður, sýna að u.þ.b. 2/3 niðurdælingar í holu(r) LJ-8 (og LN-10) skili sér til langtímaaukningar í orkuframleiðslu, eða til hækkunar vatnsborðs, sem væri sambærileg við minnkun í vinnslu er næmi um 2/3 af niðurdælingunni. Þessi athugun hefur leitt enn frekar í ljós að töluverðra áhrifa gætir á milli Laugalands og Ytri-Tjarna. Það bendir til þess að væntanlega muni niðurdælingin einnig hafa áhrif á Ytri-Tjörnum.

Heimildir

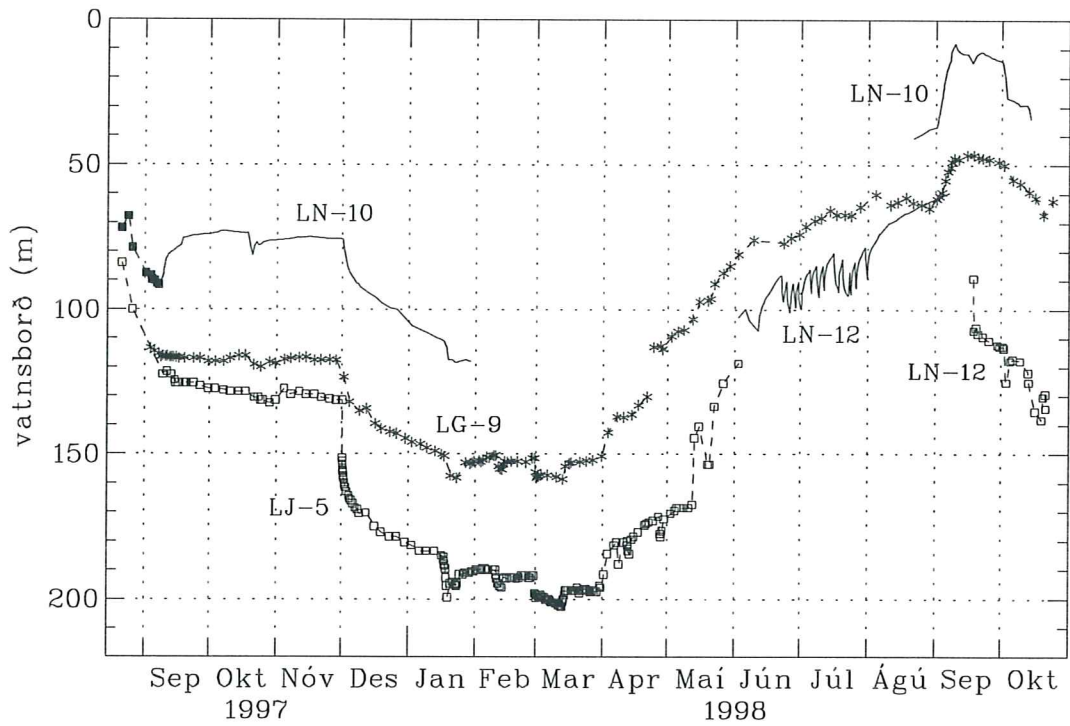
Guðni Axelsson og Guðrún Sverrisdóttir, 1998: Niðurdæling á Syðra-Laugalandi í Eyjafirði. Staða verkefnis í byrjun maí 1998. Orkustofnun, greinargerð GAx/GSv-98/02, 20s.

Guðni Axelsson, Ólafur G. Flóvenz, Hrefna Kristmannsdóttir og Guðrún Sverrisdóttir, 1993: Laugaland í Eyjafjarðarsveit. Tilraun með niðurdælingu vatns. Orkustofnun, OS-93052/JHD-13, 69s.

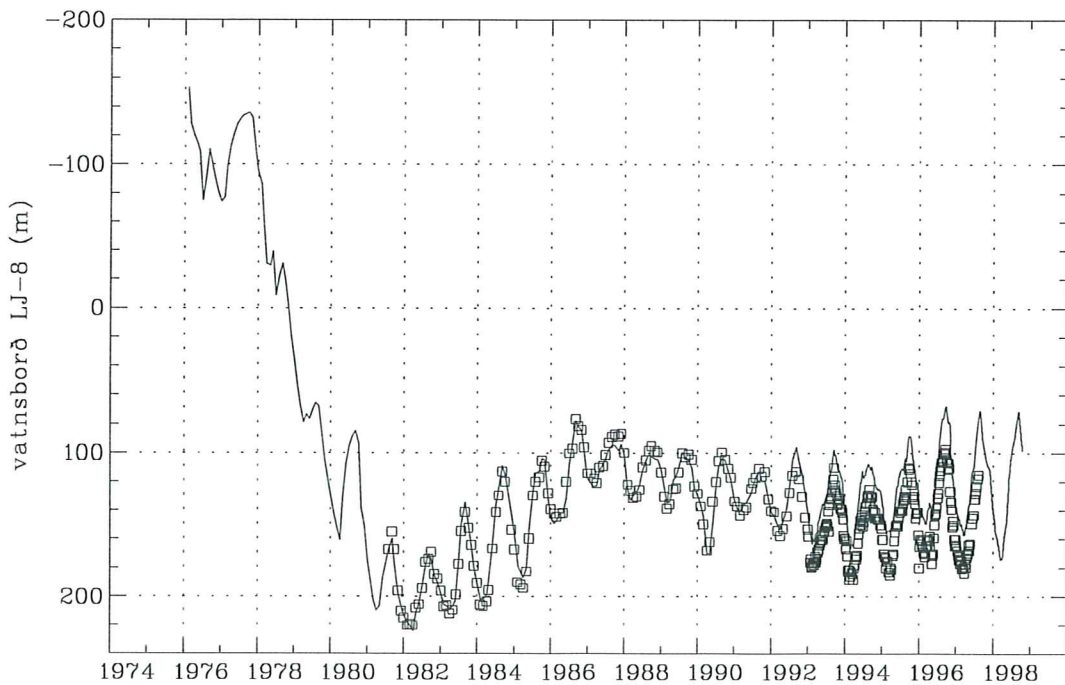
Hita- og Vatnsveita Akureyrar, Orkustofnun, Uppsala University, Hoechst Danmark A/S og Rarik, 1998: Demonstration of improved energy extraction from a fractured geothermal reservoir. Mid-Term report for for Thermie Project GE-0060/96, Orkustofnun, OS-98050, 42s.

Ólafur G. Flóvenz, Guðni Axelsson, Guðrún Sverrisdóttir og Grímur Björnsson, 1993: Orkuöflun Hitaveitu Akureyrar. Staða og horfur 1993. Orkustofnun, OS-93025/JHD-06, 47s.

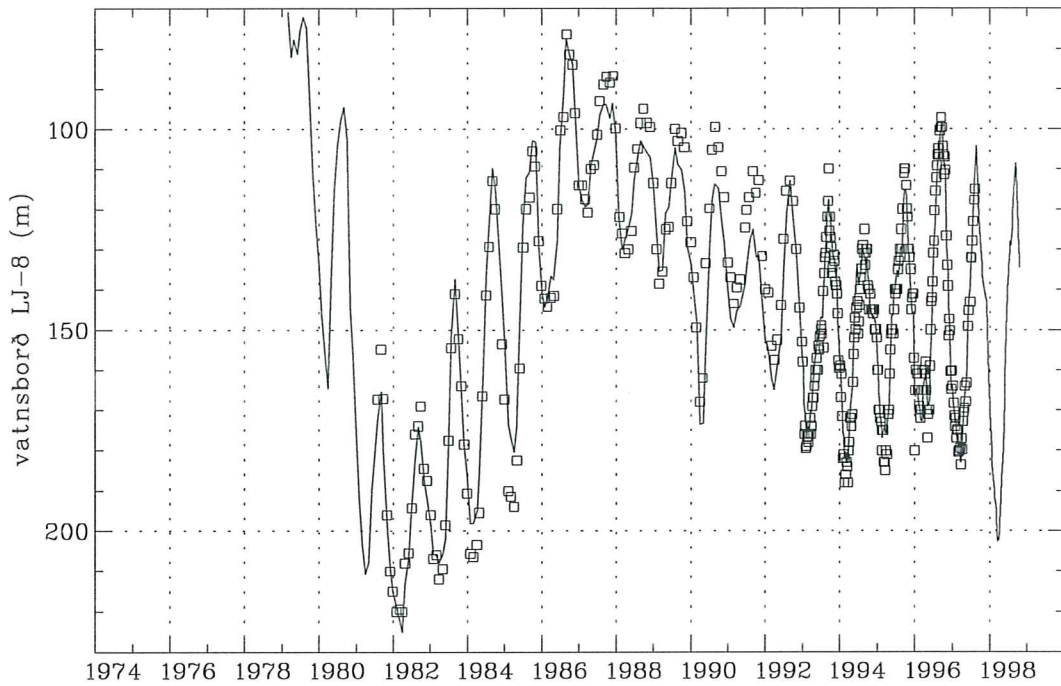
Guðni Axelsson



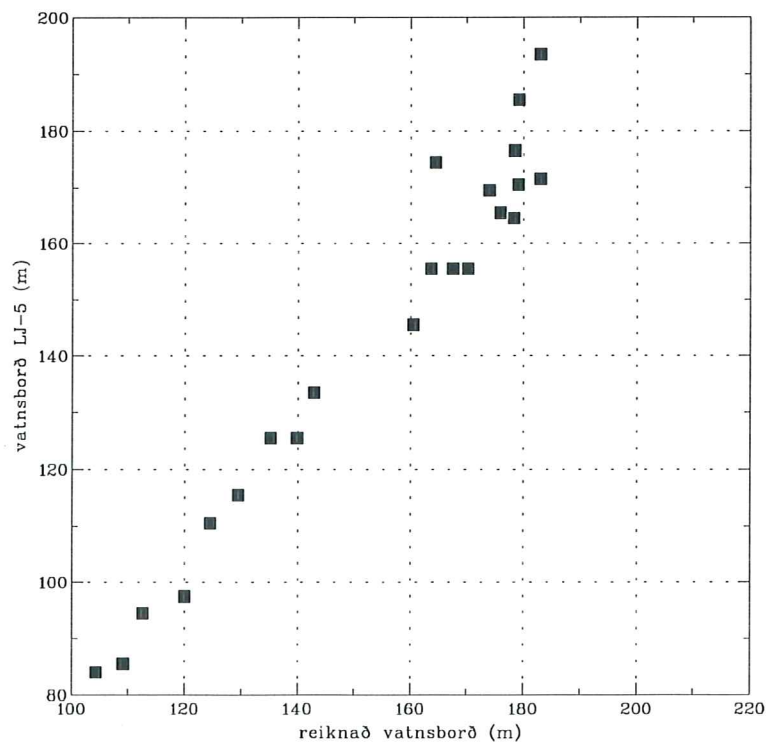
Mynd 1. Vatnsborðsmælingar á Laugalandi fyrstu 14 mánuði niðurdælingartilraunarinnar.



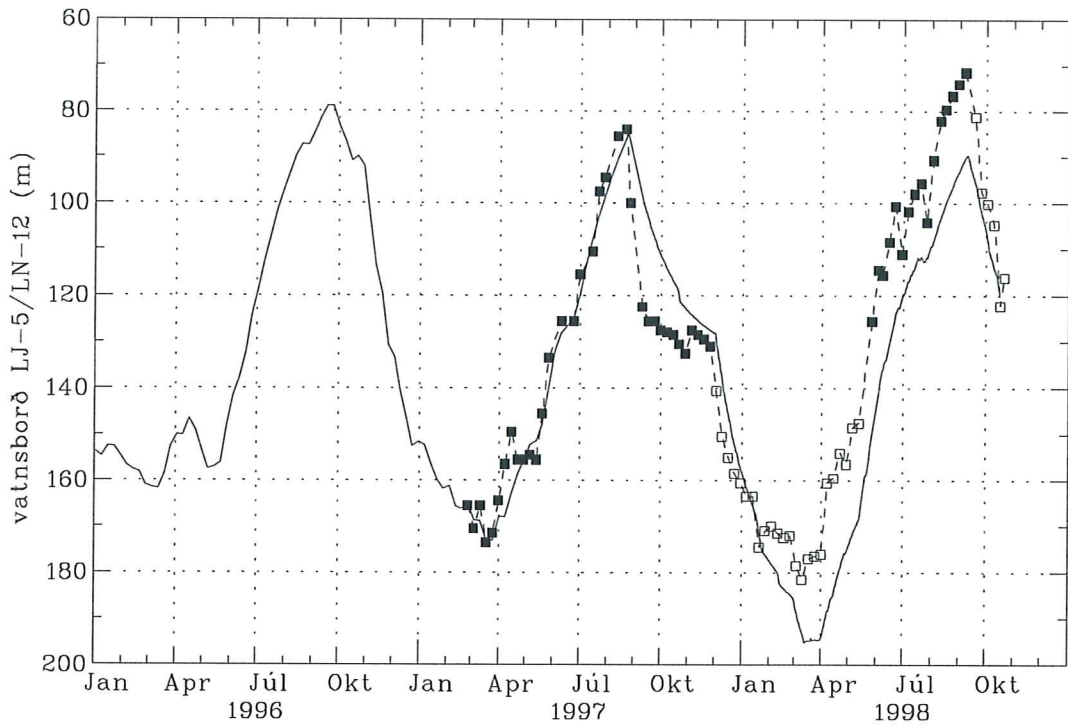
Mynd 2. Vatnsborð mælt í holu LJ-8 á Laugalandi (□) borið saman við vatnsborð reiknað með þjöppuðu líkani frá 1992 (—).



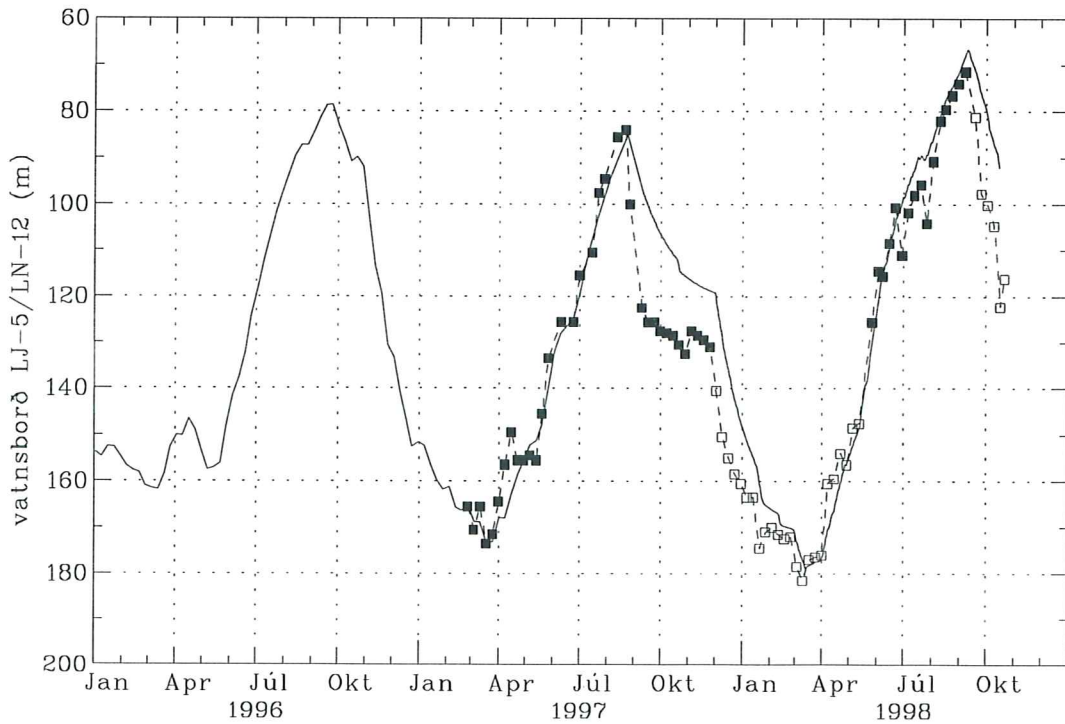
Mynd 3. Vatnsborð mælt í holu LJ-8 á Laugalandi (□) borið saman við vatnsborð reiknað með þjöppuðu líkani byggðu á gögnum til september 1997 (—).



Mynd 4. Samband vatnsborðs í holu LJ-5 árið 1997 og vatnsborðs í holu LJ-8 reiknuðu með nýju líkani.



Mynd 5. Samanburður mælds vatnsborðs í holum LJ-5 og LN-12 árin 1997 og 1998 og vatnsborðs reiknuðu með nýju þjöppuðu líkani. Ekki gert ráð fyrir neinum áhrifum niðurdælingar. Tölur umreiknaðar í vatnsborð holu LJ-5.



Mynd 6. Samanburður mælds vatnsborðs í holum LJ-5 og LN-12 árin 1997 og 1998 og vatnsborðs reiknuðu með nýju þjöppuðu líkani. Gert ráð fyrir 67% áhrifum niðurdælingarinnar (sjá texta). Tölur umreiknaðar í vatnsborð holu LJ-5.

