

**Forðafraeði jarðhitans. Vinnslueftirlit,  
hermireikningar og vinnsluspár**

**Guðni Axelsson**

**Greinargerð GAx-89-04**

FORÐAFRÆÐI JARÐHITANS  
VINNSLUEFTIRLIT, HERMIREIKNINGAR OG VINNSLUSPÁR

ÁGRIP

af erindi fluttu á 9. aðalfundi Sambands Íslenskra  
hitaveitna á Egilsstöðum 8. júní 1989.

Forðafræði jarðhitans er fræðigrein sem fjallar um þrýsti- og hitaástand ásamt vökva- og orkustreymi í jarðhitakerfum og jarðhitaborholum. Einnig fjallar forðafræðin um þær breytingar á þessum þáttum, sem verða vegna vinnslu jarðhitans. Tilgangur forðafræðiathugana er í fyrsta lagi að afla upplýsinga um eðli og eiginleika jarðhitakerfa. Í öðru lagi er tilgangurinn sá að áætla viðbrögð jarðhitakerfa við framtíðarvinnslu og meta vinnslugetu þeirra. Jarðhitinn er takmörkuð auðlind og því koma slíkar áætlanir að miklu gagni við rekstur hitaveitna. Á grundvelli þeirra má stýra nýtingu jarðhitasvæða og sjá hvenær þörf verður á frekari orkuöflun, þ.e. síkkun dæla, nýjum borholum eða frekari jarðhitaleit. Þetta auðveldar mönnum að tímasetja kostnaðarsamar framkvæmdir rétt.

Grundvöllur forðafræðiathugana er gott eftirlit með vinnslu á viðkomandi jarðhitasvæði og eftirlit með viðbrögðum þess, svokallað vinnslueftirlit. Á lághitasvæðum er fylgst með dælingu eða sjálfrennsli úr öllum holum, vatnsborði eða þrýstingi jafnt í vinnsluholum sem einhverjum mæliholum, hitastigi vatnsins og einnig efnainnihaldi þess. Athuganir á efnainnihaldi nýtast oft til þess að sjá fyrir óæskilegar breytingar eins og kólnun vatns, útfellingar, tæringu og breytingar á neysluhæfni. Á myndum 1-4 eru sýnd dæmi frá þremur jarðhitasvæðum þar sem vinnslueftirlit hefur verið stundað. Dæmin eru frá Laugarnessvæðinu í Reykjavík, Syðra-Laugalandi í Eyjafirði og Urriðavatni við Egilsstaði.

Mikilvægasta verkfærið við forðafræðiathuganir, jafnt athuganir á eðli og gerð jarðhitasvæða sem spár um viðbrögð við vinnslu, eru svokallaðir hermireikningar. Þeir fara þannig fram að reiknilíkan er gert af viðkomandi jarðhitakerfi og það látið herma þau gögn, sem til eru um kerfið og viðbrögð þess við vinnslu, að meira eða minna leyti. Eiginleikar líkansins fela þá í sér upplýsingar um eiginleika hins raunverulega kerfis, en líkanið er síðan notað til þess að spá fyrir um viðbrögð kerfisins og afköst. Jafnt er hægt að nota einföld líkön sem flókin og er eðlilegt að tilgangur reikninganna og þau gögn sem til eru um viðkomandi kerfi ráði hversu flóknu líkani er beitt.

Einföld líkön eru notuð, ef herma á einn þátt í eðli eða viðbrögðum kerfis. Til dæmis má nota svokölluð þjöppuð líkön til þess að herma vatnsborðs- og þrýstingsbreytingar töluvert nákvæmlega. Eins og sýnt er á mynd 5 þá samanstendur þjappað líkan af nokkrum vatnsgeymum og nokkrum viðnámum. Vatnsborð eða þrýstingur í geymun-

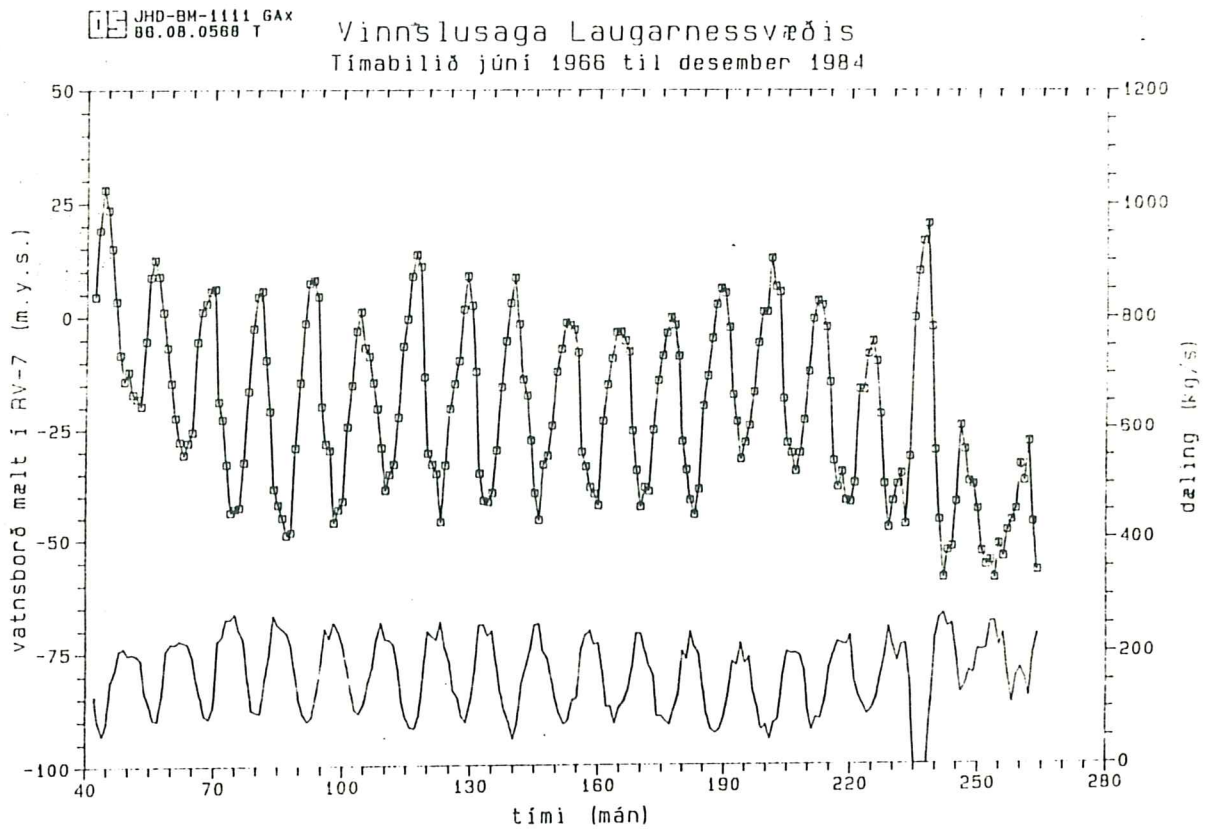
um líkir eftir (hermir) vatnsborði eða þrýstingi í mismunandi hlutum jarðhitakerfisins. Viðnámin líkja hins vegar eftir rennslisviðnámi í jarðhitakerfinu, sem stjórnast af lekt bergsins innan þess. Líta má svo á að fyrsti geymirinn samsvari innsta hluta jarðhitakerfisins, annar geymirinn ytri og dýpri hluta þess, en að sá þriðji samsvari aðstreymsihluta jarðhitakerfisins.

Þróuð hefur verið aðferð til þess að herma vatnsborðsbreytingar með þjöppuðum líkönum, sem er að nokkru leyti sjálfvirk og því mjög fljótleg í notkun. Aðferðinni hefur verið beitt af Jarðhitadeild Orkustofnunar á vatnsborðs- og vinnslugögn frá átta lág-hitasvæðum á Íslandi með góðum árangri. Það eru eftirtalin jarðhitasvæði: Laugaland í Holtum, sem Hitaveita Rangæinga nýtir, Laugarnes í Reykjavík, sem Hitaveita Reykjavíkur nýtir, Skútudalur við Siglufjörð, sem Hitaveita Siglufjarðar nýtir, Hamar í Svarfaðardal, sem Hitaveita Dalvíkur nýtir og Glerárdalur, Ytri-Tjarnir, Syðra-Laugarland og Botn í Eyjafirði, sem Hitaveita Akureyrar nýtir. Á myndum 6, 8, 9 og 11 eru sýnd þrjú dæmi um slíka hermireikninga og eru þau frá Hamri við Dalvík, Syðra-Laugalandi í Eyjafirði og Laugalandi í Holtum. Á myndum 7, 10 og 12 eru síðan sýndar vatnsborðsspár fyrir þessi sömu svæði, reiknaðar með viðeigandi þjöppuðum líkön-um.

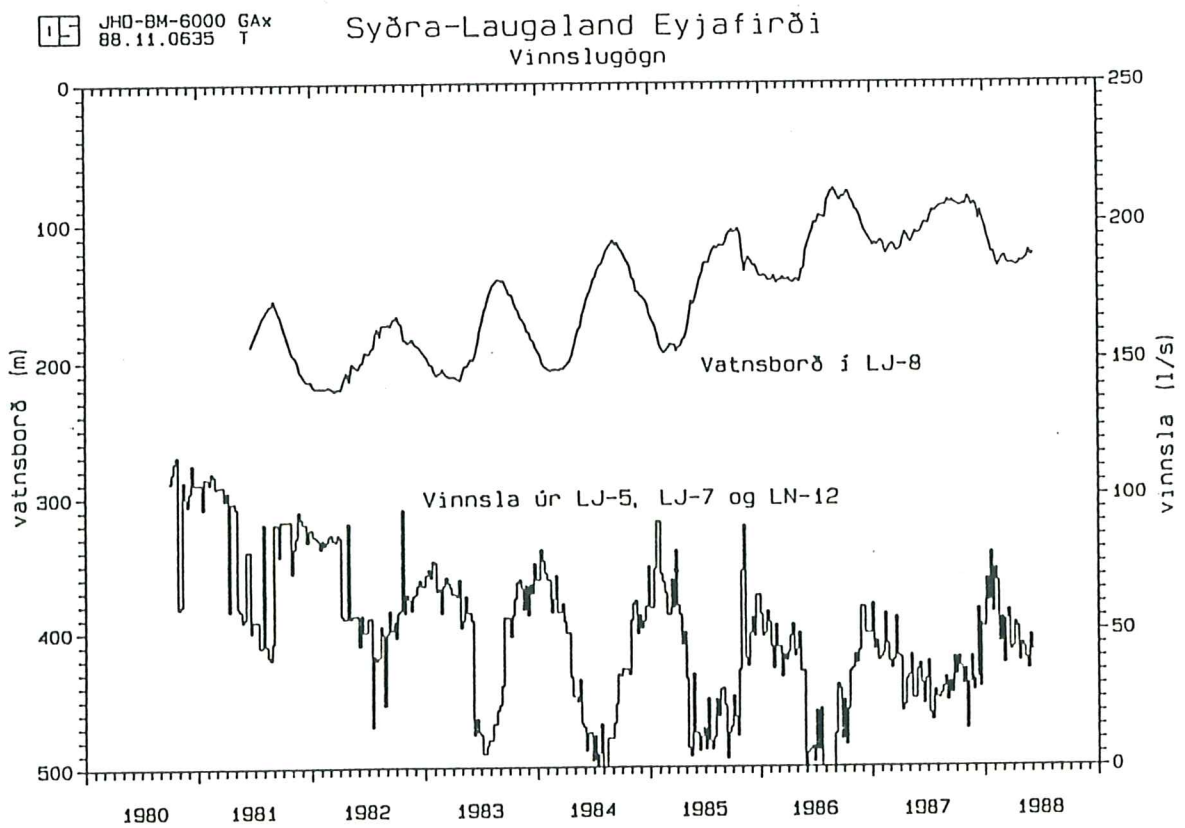
En viðbrögð jarðhitakerfa eru flóknari en svo að aðeins sé um vatnsborðs- og þrýstingsbreytingar að ræða og eru afköst jarðhitasvæða háð fleiri þáttum en niðurdrætti. Líklegt er t.d. að kalt vatn streymi inn í flest jarðhitakerfi eftir að nýting þeirra hefst því talið er að af flestum jarðhitasvæðum sé unnið meira vatn en sem svarar náttúrulegu afli þeirra. Þetta á sérstaklega við um þau jarðhitakerfi sem eru lítil og/eða þar sem niðurdráttur er mikill. Sjaldnast er hægt að herma eða spá fyrir um slíkt samspil með einföldum líkönum.

Ef herma á nokkra þætti í gerð, eðli og viðbrögðum jarðhitakerfis þarf því að grípa til mun flóknari reiknilíkana, svokallaðra kubbalíkana (finite element models, finite difference models). Með slíkum líkönum má í fyrsta lagi taka tillit til jarðfræðilegrar byggingar og hita- og þrýstiástands í kerfi. Í öðru lagi herma vatnsborðs- og þrýstingsbreytingar samfara vinnslu og innstreymi kaldara vatns í kerfið. Í þriðja lagi má með slíkum líkönum herma vinnslu og mælingar í mörgum dreifðum holum og jafnvel tengsl við önnur jarðhitakerfi. Á Jarðhitadeild hafa verið sett upp flókin kubbalíkön af Glerárdalssvæðinu við Akureyri og einnig af hluta Kröflusvæðisins. Einnig hafa verið gerðar áætlanir um slíka líkanreikninga fyrir nokkur önnur jarðhitasvæði.



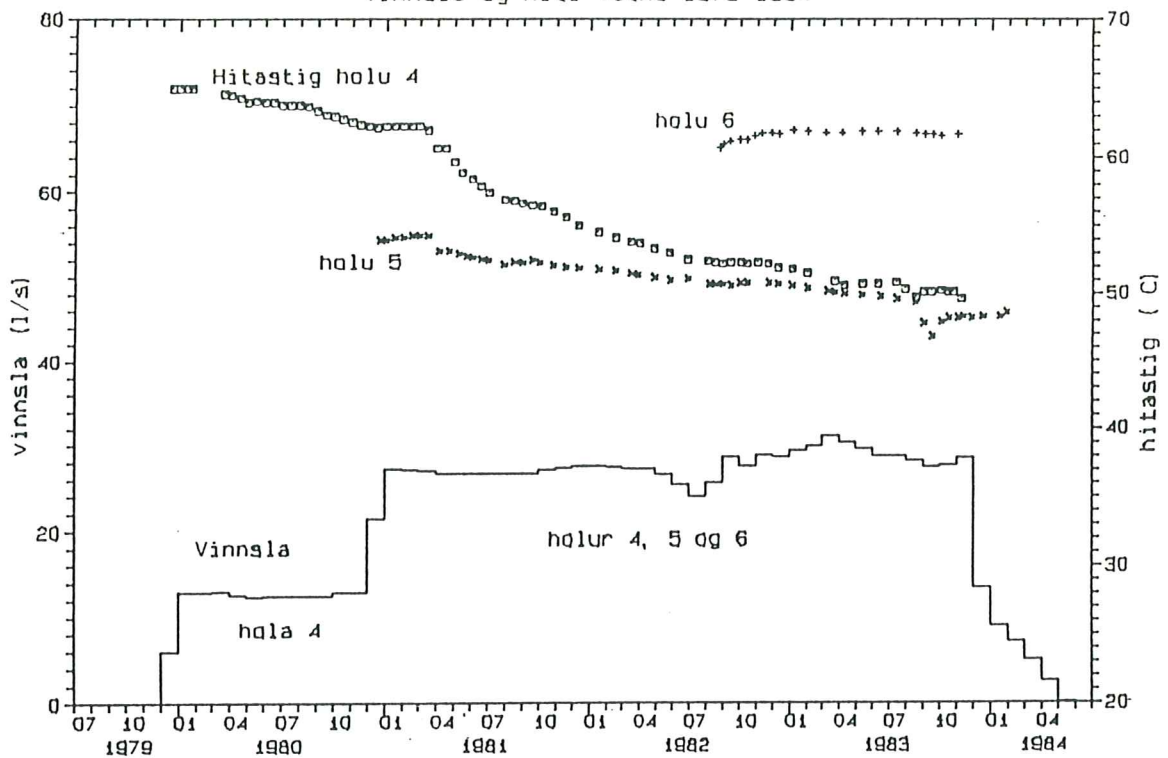


Mynd 1. Gögn um vinnslu og vátnsborðsbreytingar á Laugarnessvæði í Reykjavík.



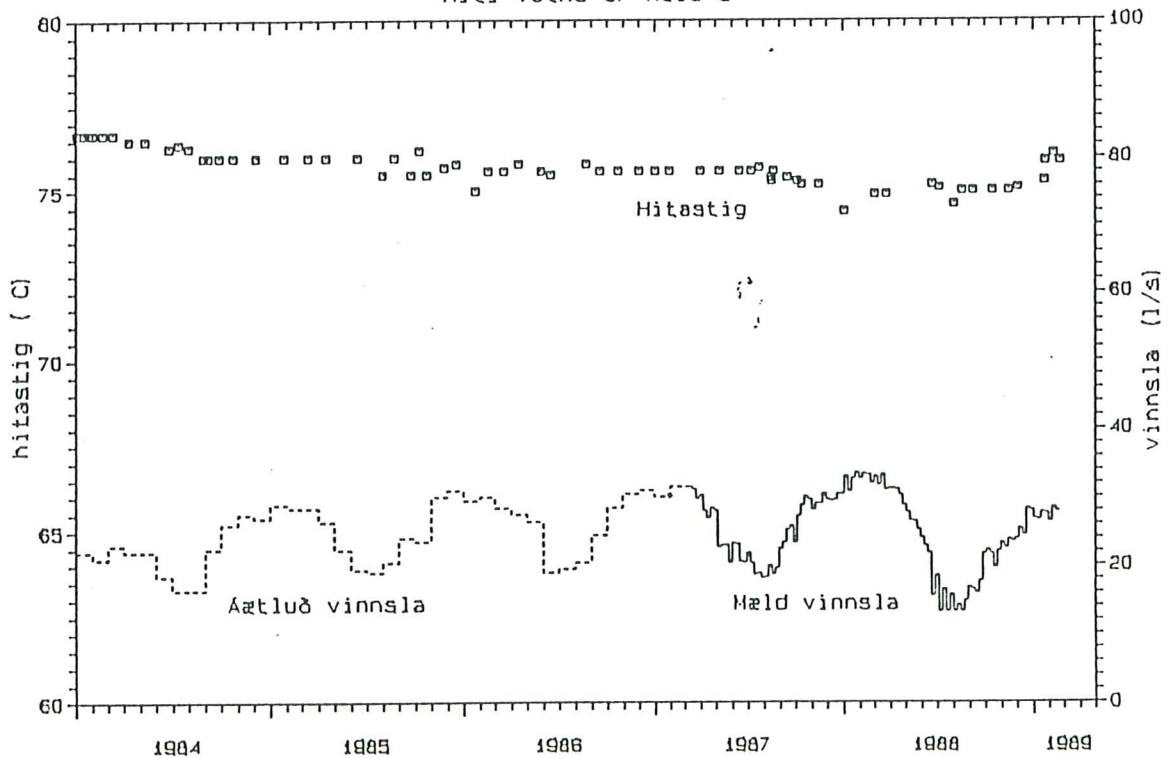
Mynd 2. Gögn um vinnslu og vátnsborðsbreytingar á Syðra-Laugalandi í Eyjafirði.

Jarðhitasvæðið Urriðavatni  
Vinnsla og hiti vatns 1979-1984

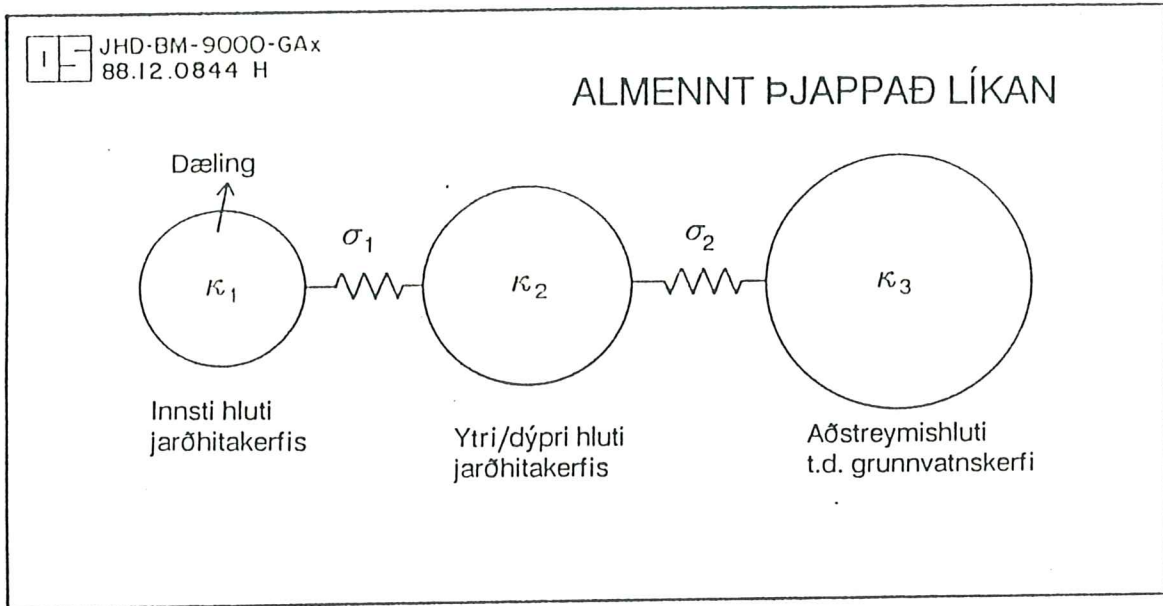


Mynd 3. Gögn um vinnslu og hita vatns úr jarðhitasvæðinu í Urriðavatni við Egilsstaði fram til 1984.

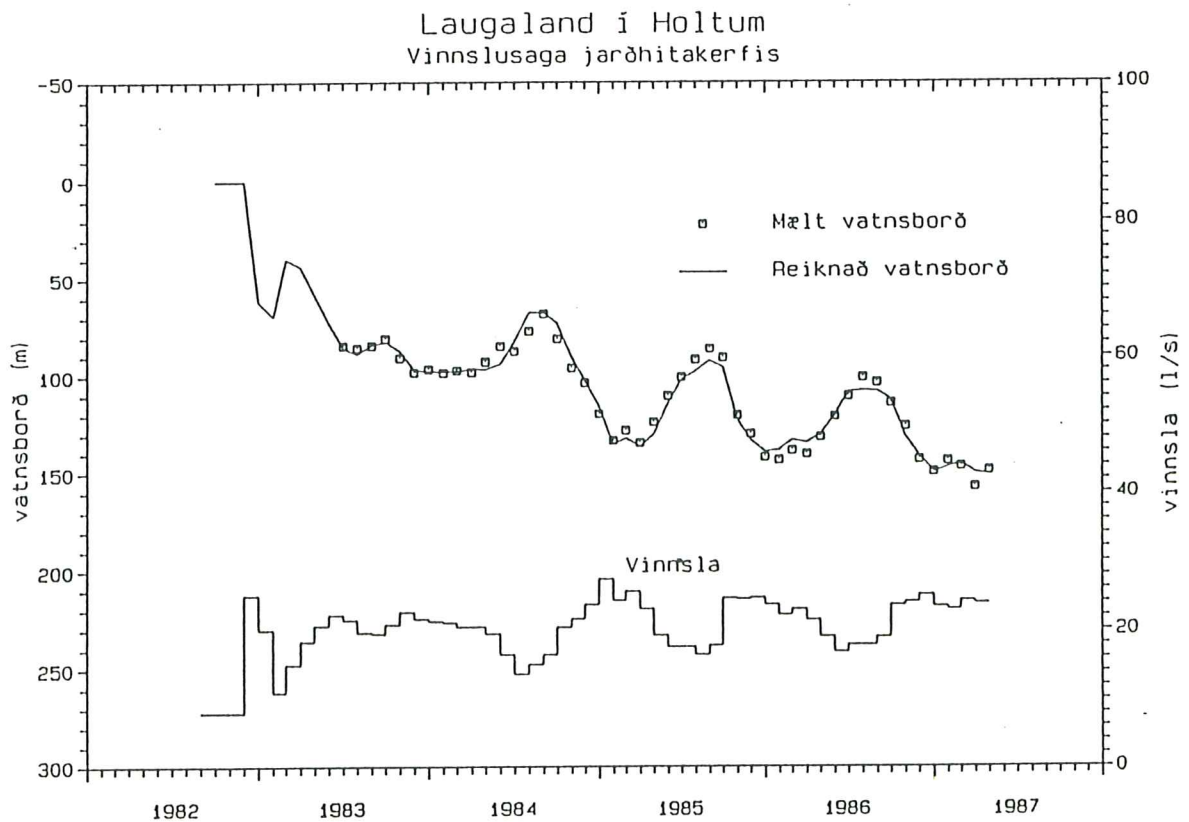
Jarðhitasvæðið Urriðavatni  
Hití vatns úr holu 8



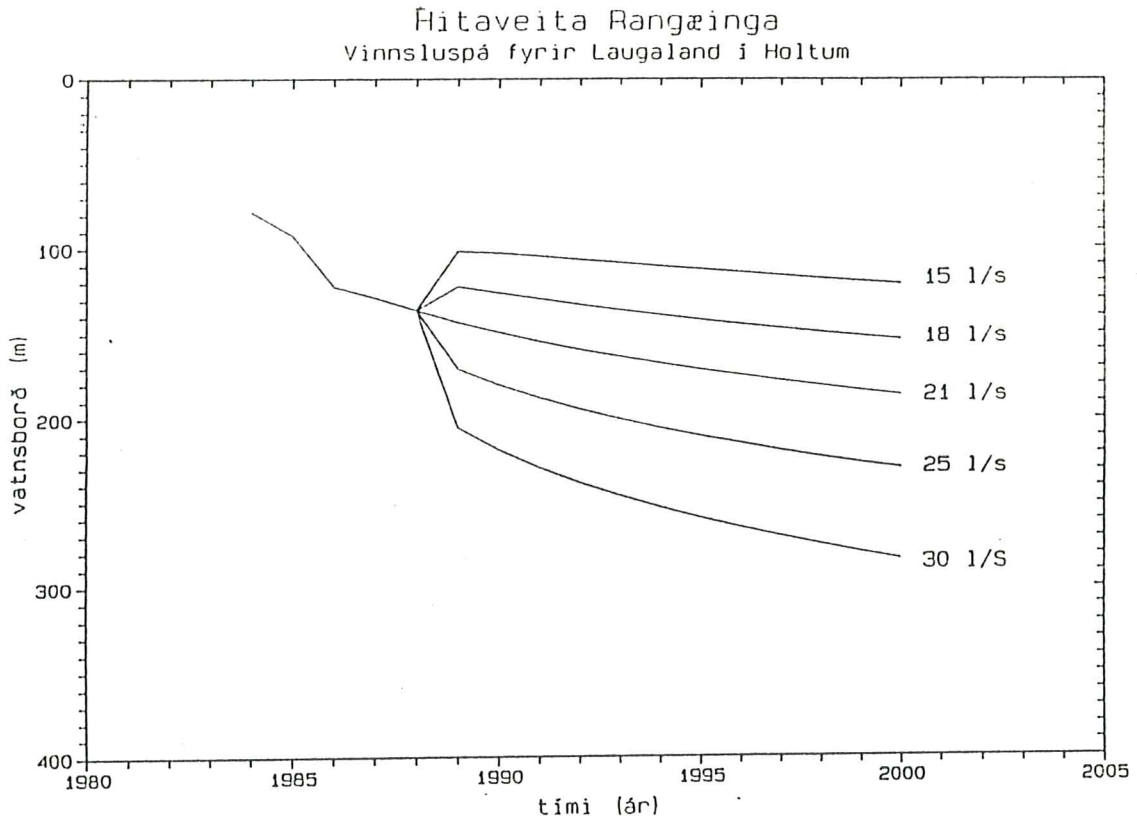
Mynd 4. Gögn um vinnslu og hita vatns úr jarðhitasvæðinu í Urriðavatni við Egilsstaði frá 1984 til 1989.



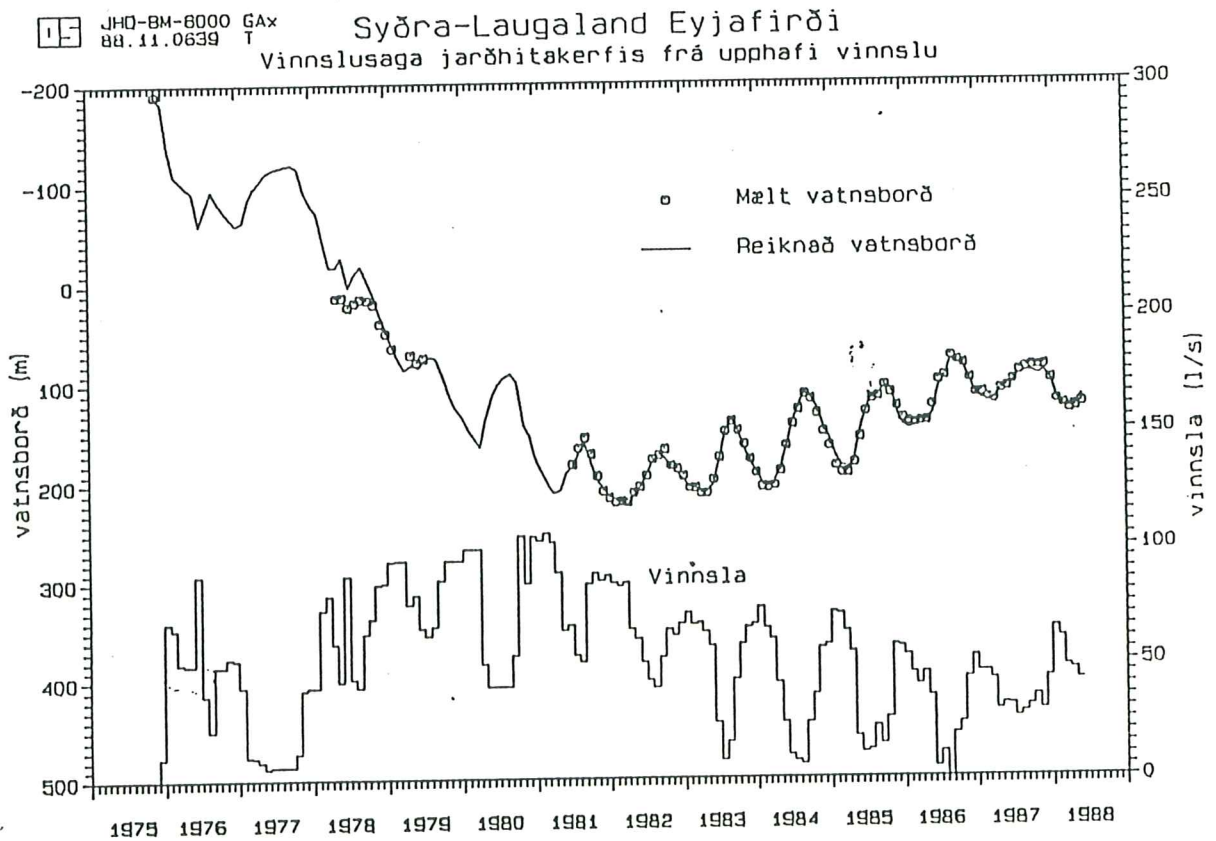
Mynd 5. Þjappað líkan af jarðhitakerfi.



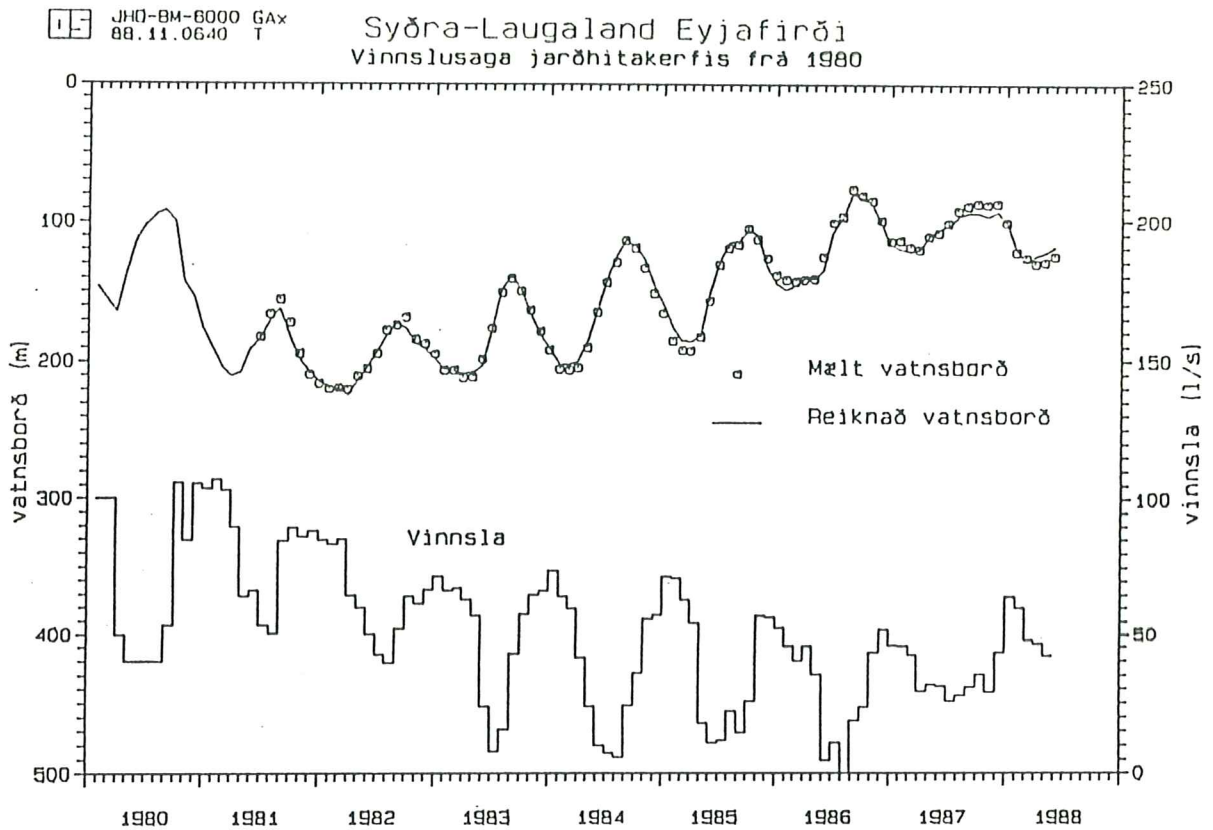
Mynd 6. Niðurstöður hermireikninga með þjöppuðu líkani fyrir jarðhitasvæðið að Laugalandi í Holtum.



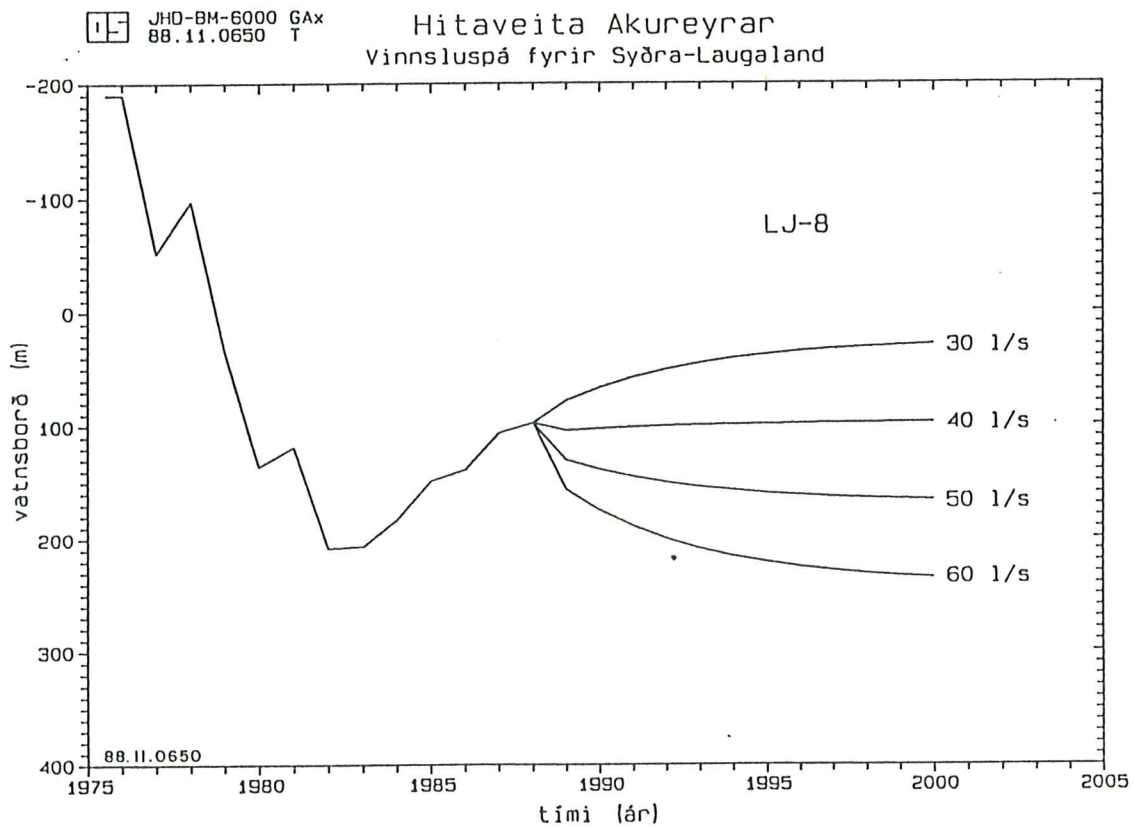
Mynd 7. Vatnsborðsspár fyrir Laugaland í Holtum reiknaðar með þjöppuðu líkani.



Mynd 8. Niðurstöður hermireikninga með þjöppuðu líkani fyrir jarðhitasvæðið að Syðra-Laugalandi í Eyjafirði.



Mynd 9. Niðurstöður hermireikninga með þjöppuðu líkani fyrir jarðhitasvæðið að Syðra-Laugalandi í Eyjafirði, tímabilið frá 1980 til 1988.

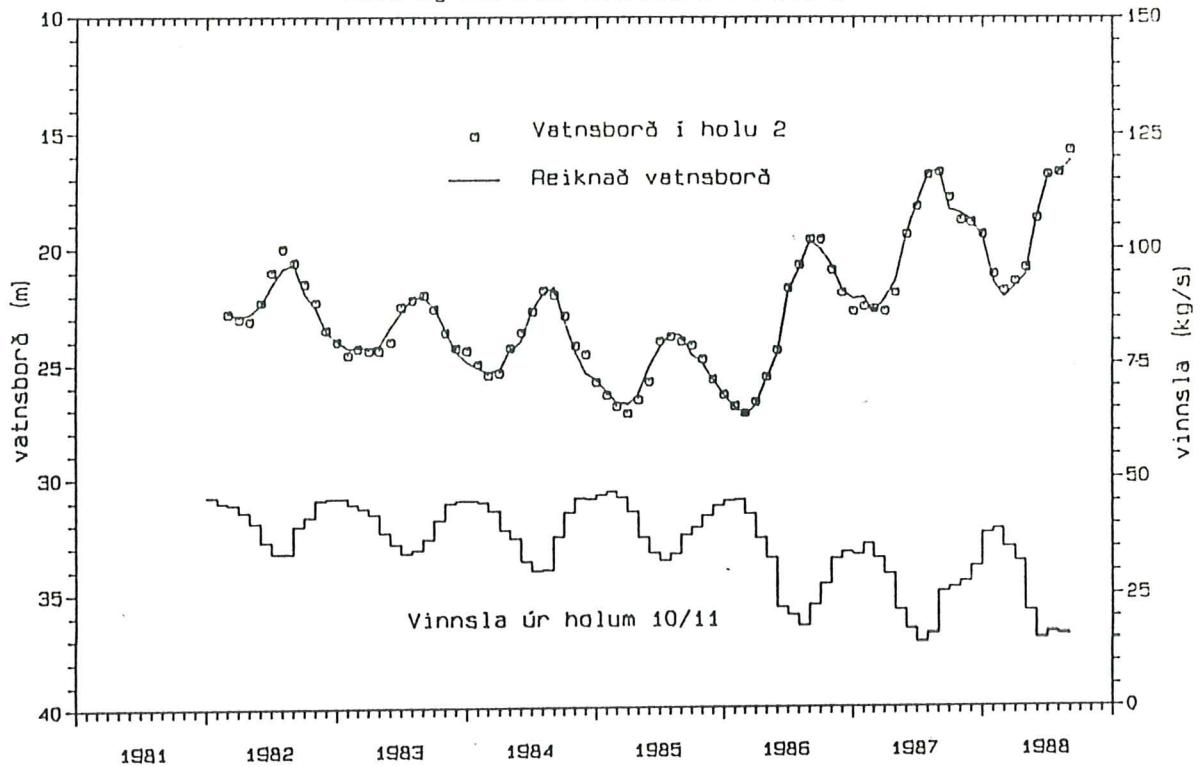


Mynd 10. Vatnsborðsspár fyrir Syðra-Laugaland í Eyjafirði reiknaðar með þjöppuðu líkani.



JHD-BM-6300 GAx  
88.11.0677 T

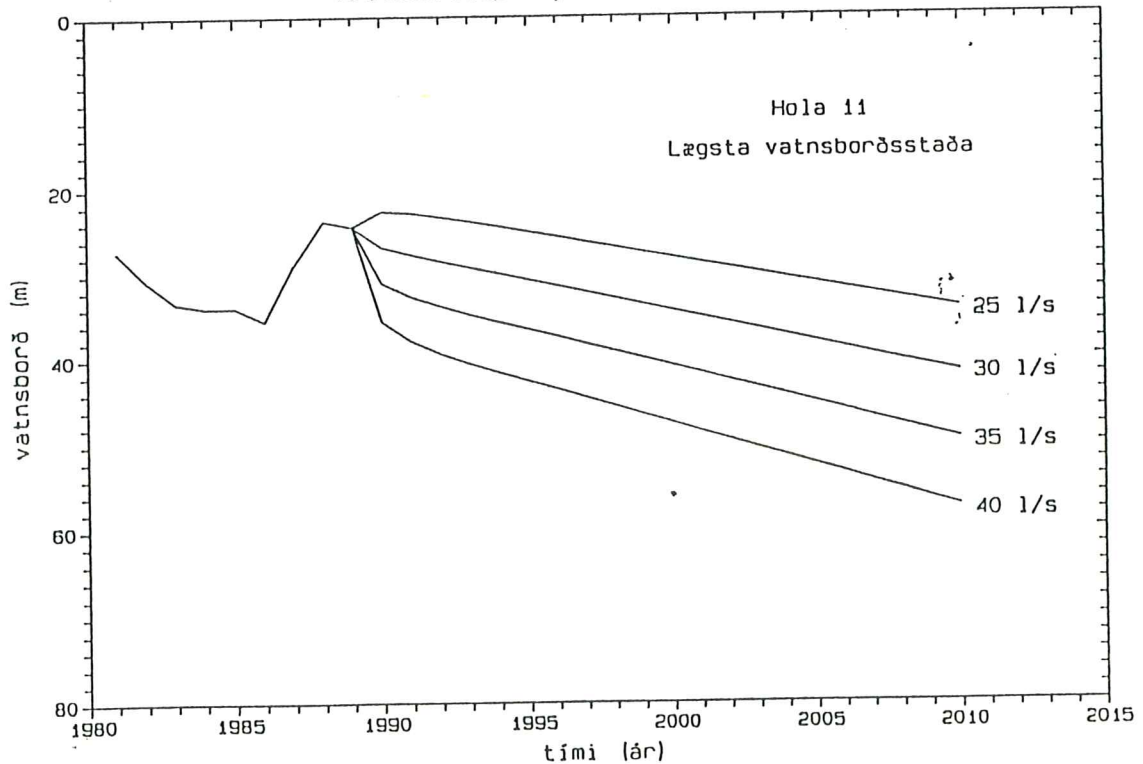
### Hola 2 að Hamri í Svarfaðardal Mælt og reiknað vatnsborð í holu 2



Mynd 11. Niðurstöður hermireikninga með þjöppuðu líkani fyrir jarðhitasvæðið að Hamri í Svarfaðardal.

JHD-BM-6300 GAx  
88.11.0684 T

### Hitaveita Dalvíkur Vatnsborðsspá fyrir holu 11 að Hamri



Mynd 12. Vatnsborðsspár fyrir Hamar í Svarfaðardal reiknaðar með þjöppuðu líkani.