



ORKUSTOFNUN

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

Guðni Axelsson

Greinargerð GAx-90-04

FORÐAFRÆÐI JARÐHITANS

VINNSLUEFTIRLIT, HERMIREIKNINGAR OG VINNSLUSPÁR

Guðni Axelsson
Jarðhitadeild
Orkustofnun

Endurmenntunarnámskeið um NYTJAVATN
á vegum Háskóla Íslands og Jarðfræðafélags Íslands
6. - 9. nóvember 1990

FORÐAFRÆÐI JARÐHITANS

VINNSLUEFTIRLIT, HERMIREIKNINGAR OG VINNSLUSPÁR

ÁGRIP

INNGANGUR

Jarðhiti hefur verið nýttur á Íslandi frá því land byggðist, fyrst og fremst til baða og þvotta. Á þessari öld hefur nýting hans margfaldast og í dag er um einn þriðji af allri orku sem Íslendingar nota jarðhitaorka. Mikilvægasta notkunin er til húshitunar og nú njóta um 85% landsmanna húshitunar með jarðhita. Flestar hitaveitur nýta heitt vatn sem fæst af jarðhitasvæðum utan gosbelta landsins, svokölluðum lágghitasvæðum.

Um jarðhitakerfin hefur heitt vatn streymt árbúsundum saman. Því er ekki óeðlilegt að telja jarðhitann óþrjótandi orkulind. Svo er þó alls ekki. Talið er að úr flestum vinnslusvæðum jarðhita sé unnin mun meiri orka en sem svarar náttúrulegu afli þeirra. Eftir að farið var að nýta jarðhitann í miklum mæli hafa komið upp ýmsir erfiðleikar sem tengjast nýtingu hans og viðbrögðum jarðhitakerfanna við stórfelldri vinnslu.

VIÐBRÖGÐ JARÐHITAKERFA

Á lágghitasvæðum er heita vatninu oftast dælt úr 1 - 2 km djúpum borholum. Afleiðing þess er nær undantekningarlaust sú að vatnsborð lækkar í jarðhitakerfunum líkt og í vatnstanki. Er það einfaldlega vegna þess að meira vatni er dælt upp en nær að streyma inn í kerfin. Hversu mikið og hratt vatnsborðið lækkar ræðst af stærð og eiginleikum jarðhitakerfanna. Í litlum kerfum, sem vatn streymir treglega um, lækkar vatnsborð mikið við tiltölulega litla dælingu.

Í mörgum tilfellum lækkar vatnsborð stöðugt við langvarandi vinnslu og oft þarf að síkka dælur í vinnsluholum, eða draga úr vinnslu, þegar mesta dæluþýpi er náð. Þannig getur jarðhitasvæði hætt að anna þörfum viðkomandi hitaveitu. Í öðrum tilfellum tekur kaldara vatn að streyma inn í jarðhitakerfi í stað þess heita sem dælt hefur verið burtu og kólnar þá vatnið sem fæst úr borholunum.

FORÐAFRÆÐIN

Áherslur í jarðhitarannsóknnum hafa breyst töluvert hin seinni ár. Í stað rannsókna tengdum jarðhitaleit og borunum, er nú lögð mikil áhersla á svokallaðar forðafræðirannsóknir.

Forðafræði jarðhitans er fræðigrein sem fjallar um þrýsti- og hitaástand í jarðhitakerfum ásamt vökva- og orkustreymi í jarðhitakerfum og jarðhita-borholum. 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 að áætla viðbrögð jarðhitakerfa við framtíðarvinnslu og meta vinnslugetu þeirra. Slíkar áætlanir koma 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 kostnaðar-samar framkvæmdir rétt.

Borholur á jarðhitasvæðum eru oftast afkastaprófaðar fljótlega eftir borun. Þá er dælt úr þeim til reynslu og fylgst með viðbrögðum þeirra. En þessar prófanir standa yfirleitt yfir í skamman tíma og gefa því takmarkaðar upp-lýsingar.

VINNSLUEFTIRLIT

Mikilvægustu upplýsingarnar fást eftir að vinnsla hefst á viðkomandi jarð-hitasvæði og er grundvöllur forðafræðiathugana gott eftirlit með vinnslu á svæðinu og eftirlit með viðbrögðum þess, svokallað vinnslueftirlit. Á lág-hitasvæðum er fylgst með dælingu eða sjálfrennsli úr öllum holum, vatns-borði eða þrýstingi jafnt í vinnsluholum sem einhverjum mæliholum, hita-stigi vatnsins og einnig efnainnihaldi þess. Athuganir á efnainnihaldi nýtast oft til þess að sjá fyrir óæskilegar breytingar eins og kólnun vatns, útfelling-ar, tæringu og breytingar á neysluhæfni. Á myndum 1-4 eru sýnd dæmi frá þremur jarðhitasvæðum þar sem vinnslueftirlit hefur verið stundað. Jafn-framt eru þetta dæmi um mismunandi viðbrögð jarðhitakerfa við vinnslu. Dæmin eru frá Laugarnessvæðinu í Reykjavík, Syðra-Laugalandi í Eyja-firði, Hamri við Dalvík og Urriðavatni við Egilsstaði.

HERMIREIKNINGAR

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 viðkom-andi 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 reikning-anna og þau gögn sem til eru um viðkomandi kerfi ráði hversu flóknu líkani er beitt.

EINFÖLD LÍKÖN

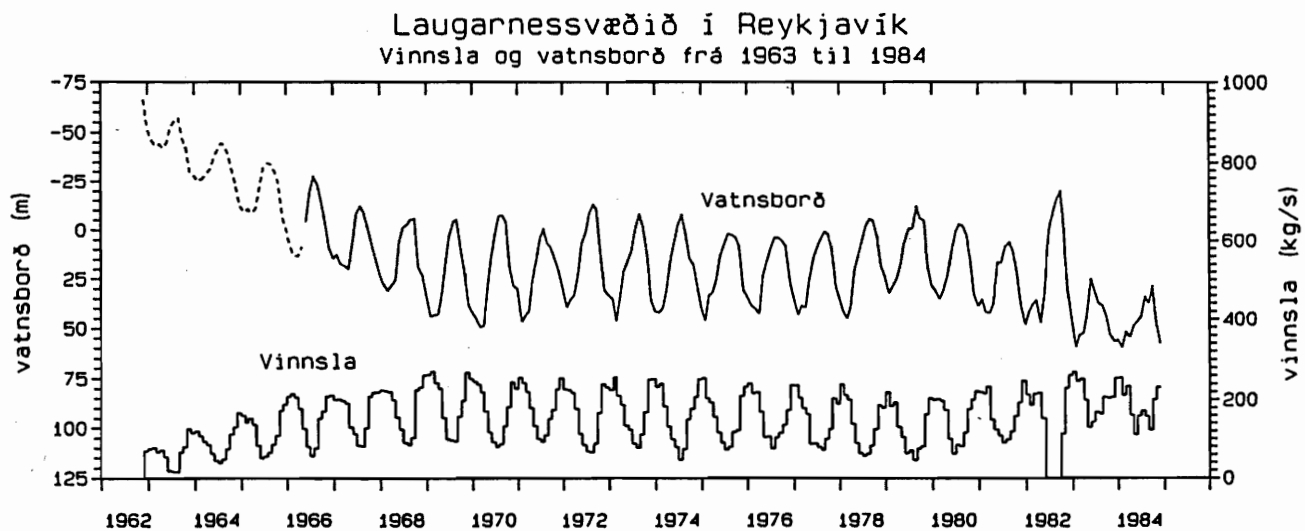
Einföld líkön eru notuð, ef herma á einn þátt í eðli eða viðbrögðum kerfis. Til dæmis má nota svokölluð þjöppuð líkön til þess að herma vatnsborðs- og þrýstingsbreytingar töluvert nákvæmlega. Eins og sýnt er á mynd 5 þá samanstendur þjappað líkan af nokkrum vatnsgeymum og nokkrum viðnámunum. Vatnsborð eða þrýstingur í geymunum 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 aðstreymishluta 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. Á síðustu árum hefur aðferðinni verið beitt af Jarðhitadeild Orkustofnunar á vatnsborðs- og vinnslugögn frá átta lághitasvæðum 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 vatnsborðs-spár fyrir þessi sömu svæði, reiknaðar með viðeigandi þjöppuðum líkönum.

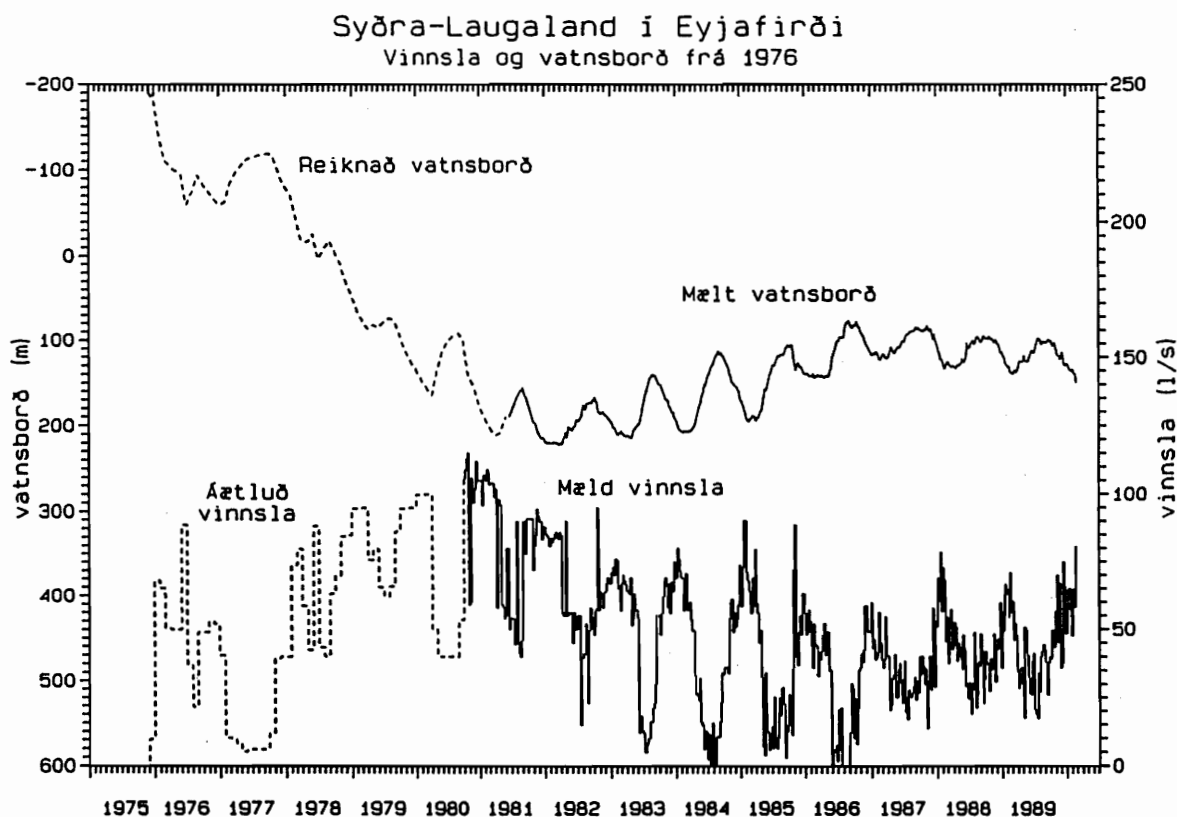
FLÓKIN LÍKÖN

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 kubbalkana (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 undanförunum árum hafa verið sett upp flókin kubbalkön af nokkrum jarðhitakerfum á Íslandi, og er líklegt að mikilvægi slíkra líkanreikninga muni aukast í framtíðinni.

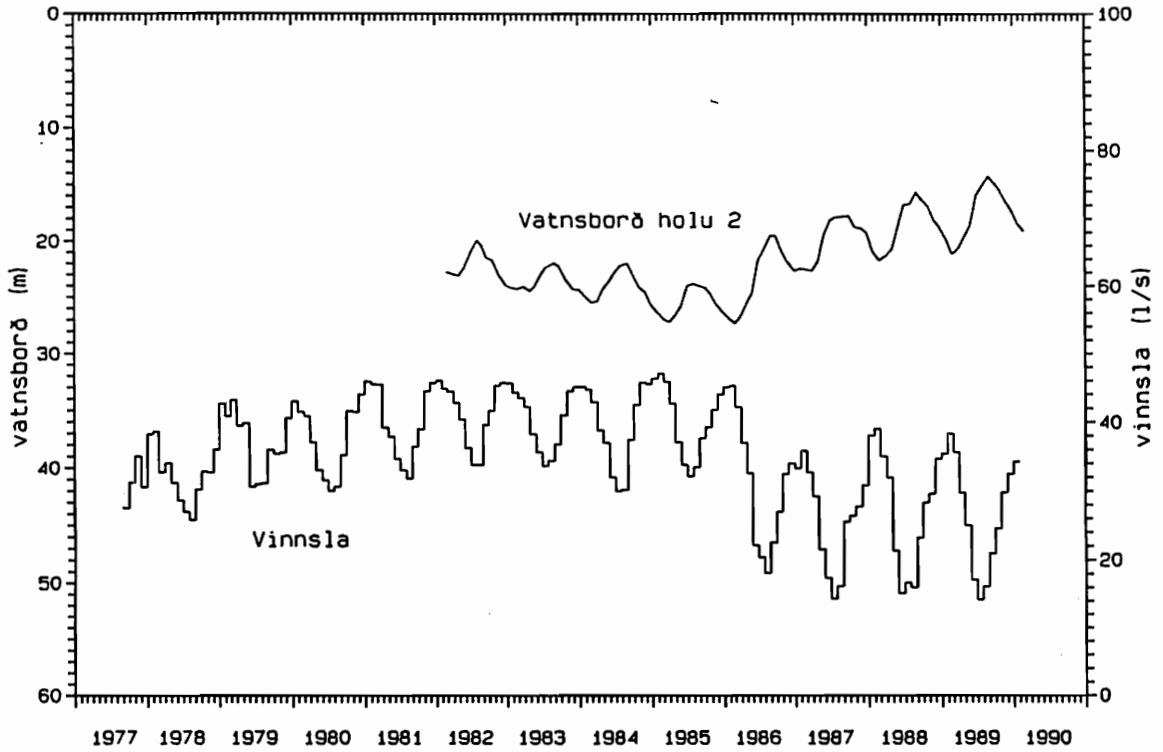


Mynd 1. Gögn um vinnslu og vatnsborðsbreytingar á Laugarnessvæðinu í Reykjavík.



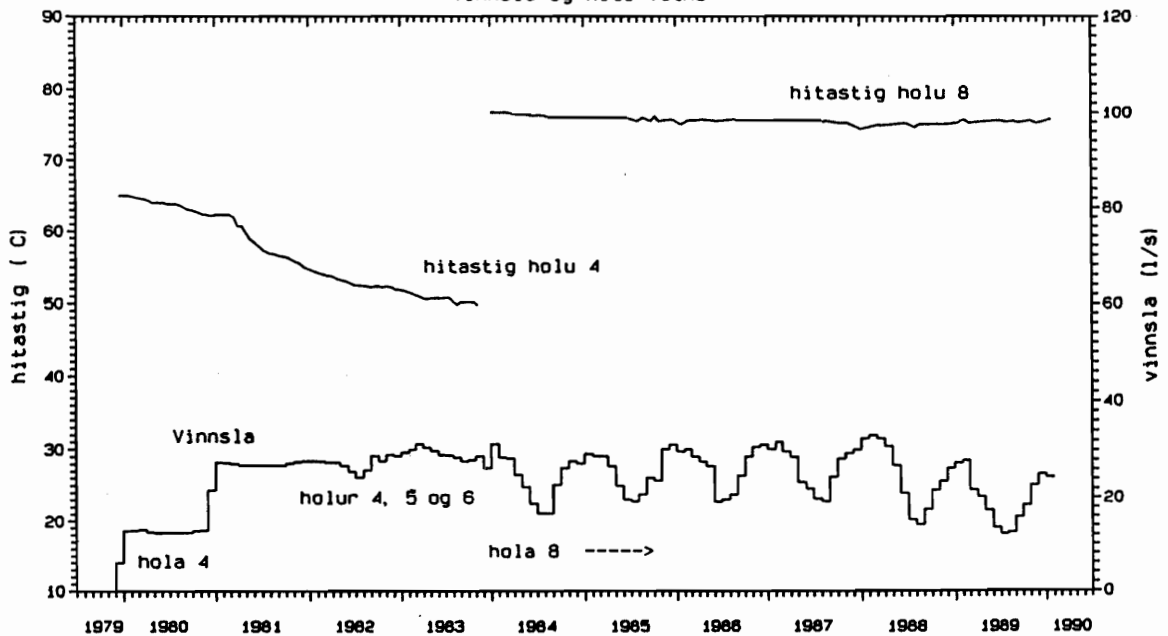
Mynd 2. Gögn um vinnslu og vatnsborðsbreytingar á Syðra-Laugalandi í Eyjafirði.

Hamar við Dalvík
Gögn um vinnslu og vatnsborð

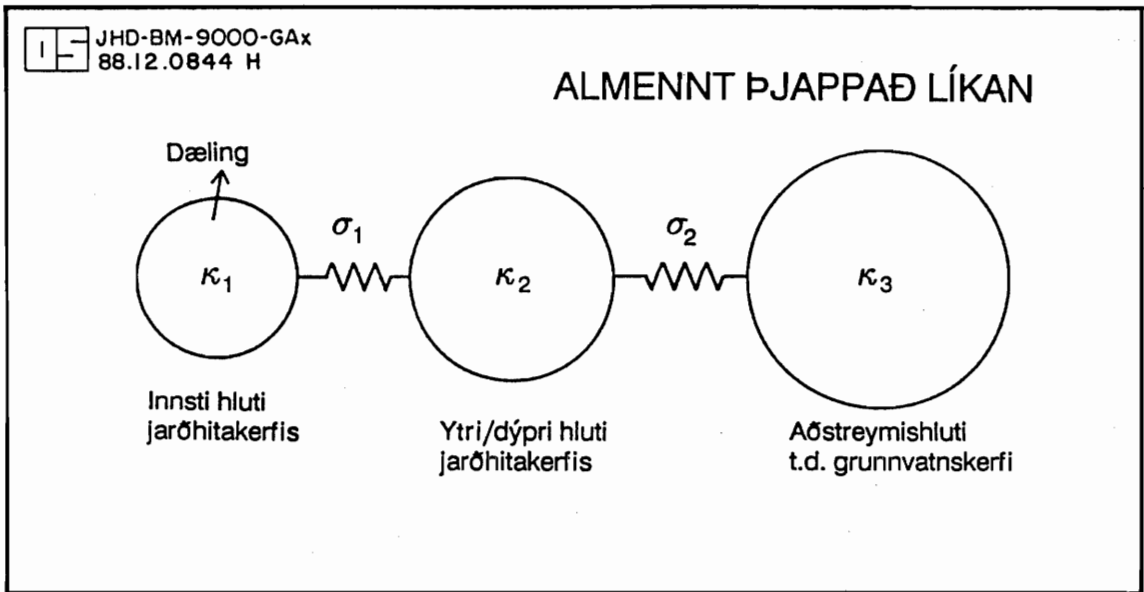


Mynd 3. Gögn um vinnslu og vatnsborðsbreytingar við Hamar í Svarfaðardal.

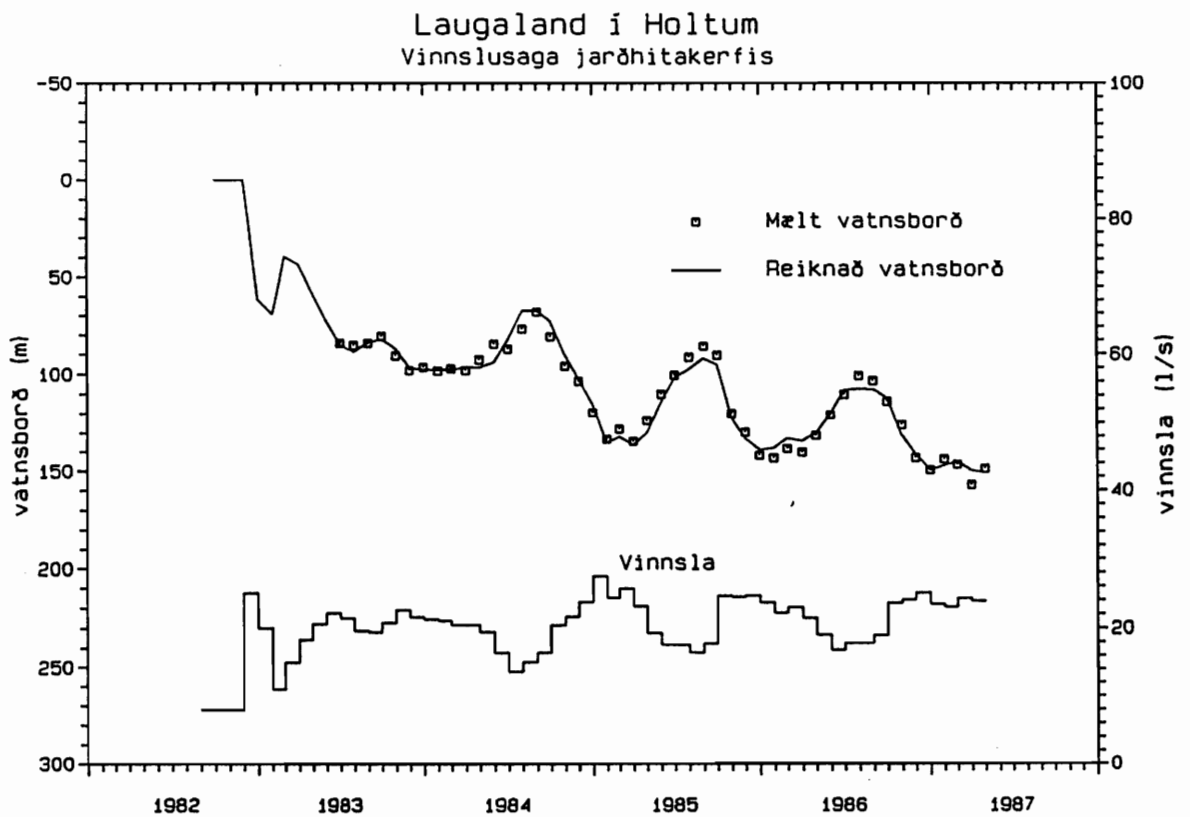
Jarðhitasvæðið Urriðavatni
Vinnsla og hiti vatns



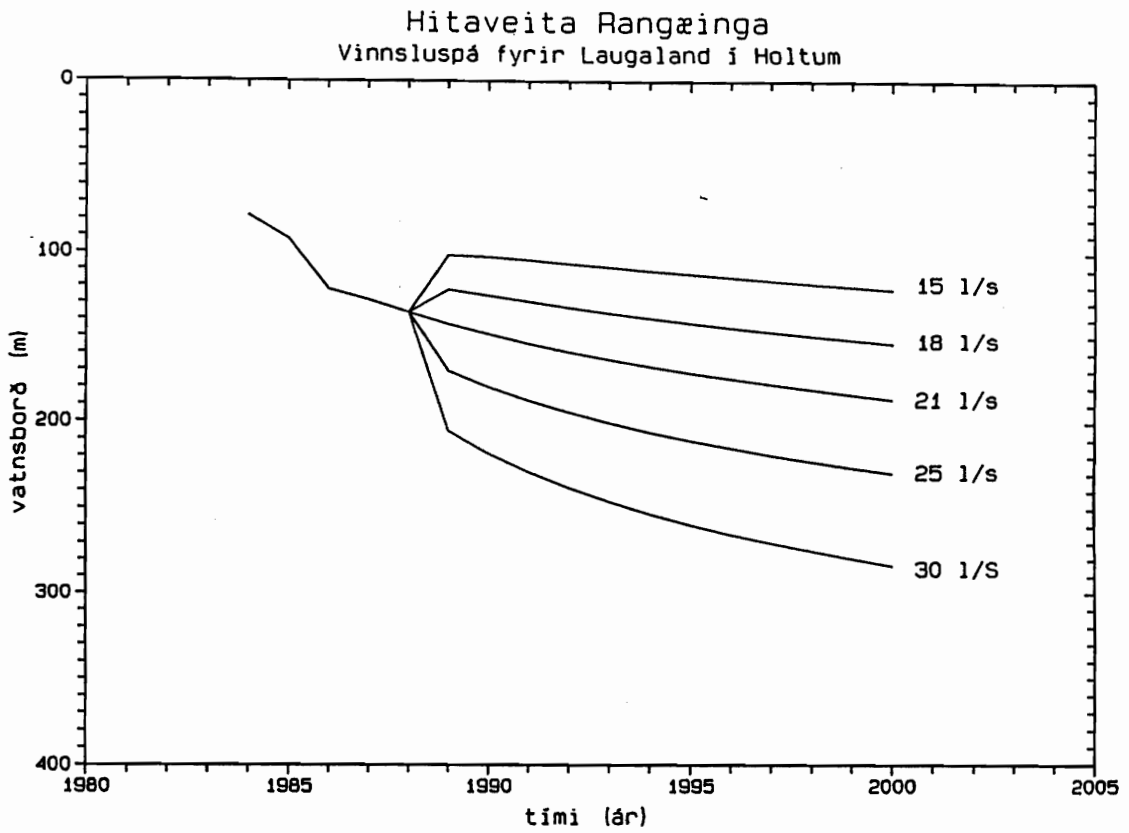
Mynd 4. Gögn um vinnslu og hita vatns úr jarðhitasvæðinu í Urriðavatni.



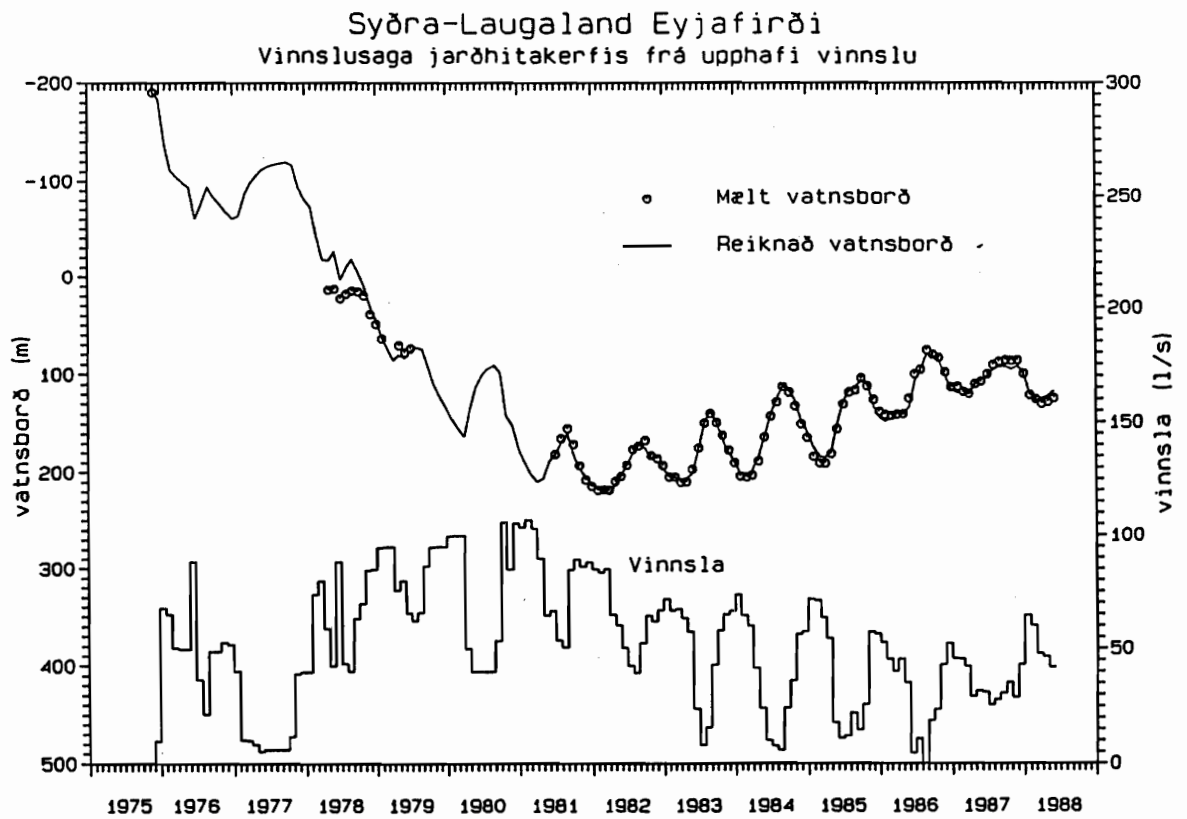
Mynd 5. Þjappað líkan af jarðhitakerfi.



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

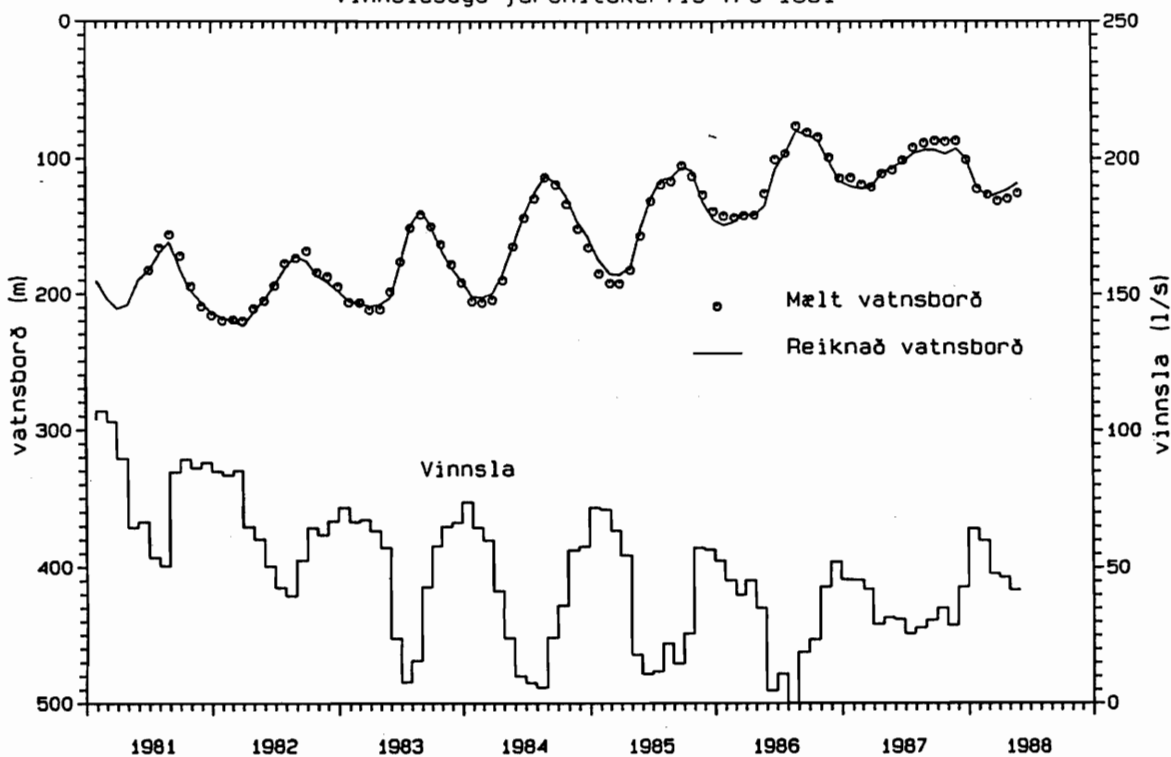


Mynd 7. Vatnsborðsspár fyrir Laugaland í Holtum reiknaðar með þjöppuðu líkani.



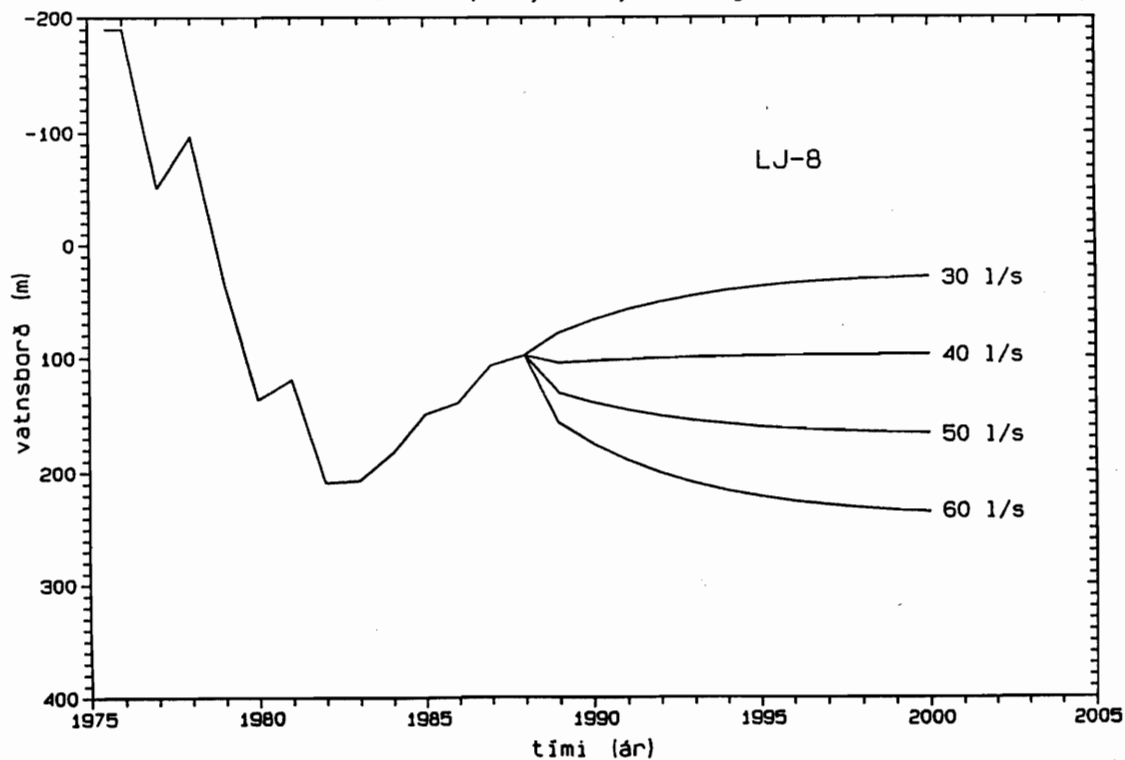
Mynd 8. Niðurstöður hermireikninga með þjöppuðu líkani fyrir jarðhitasvæðið á Syðra-Laugalandi í Eyjafirði.

Syðra-Laugaland Eyjafirði
Vinnslusaga jarðhitakerfis frá 1981



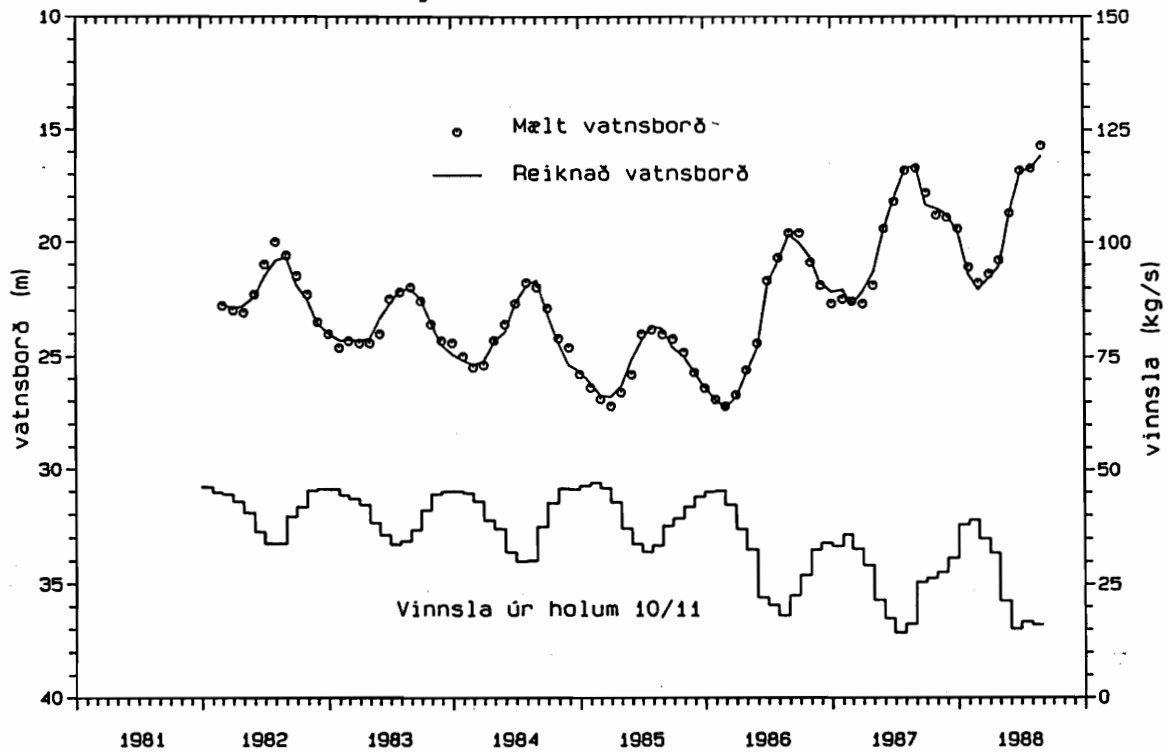
Mynd 9. Niðurstöður hermireikninga með þjöppuðu líkani fyrir jarðhitasvæðið á Syðra-Laugalandi í Eyjafirði, tímabilið frá 1980 til 1988.

Hitaveita Akureyrar
Vinnsluspá fyrir Syðra-Laugaland



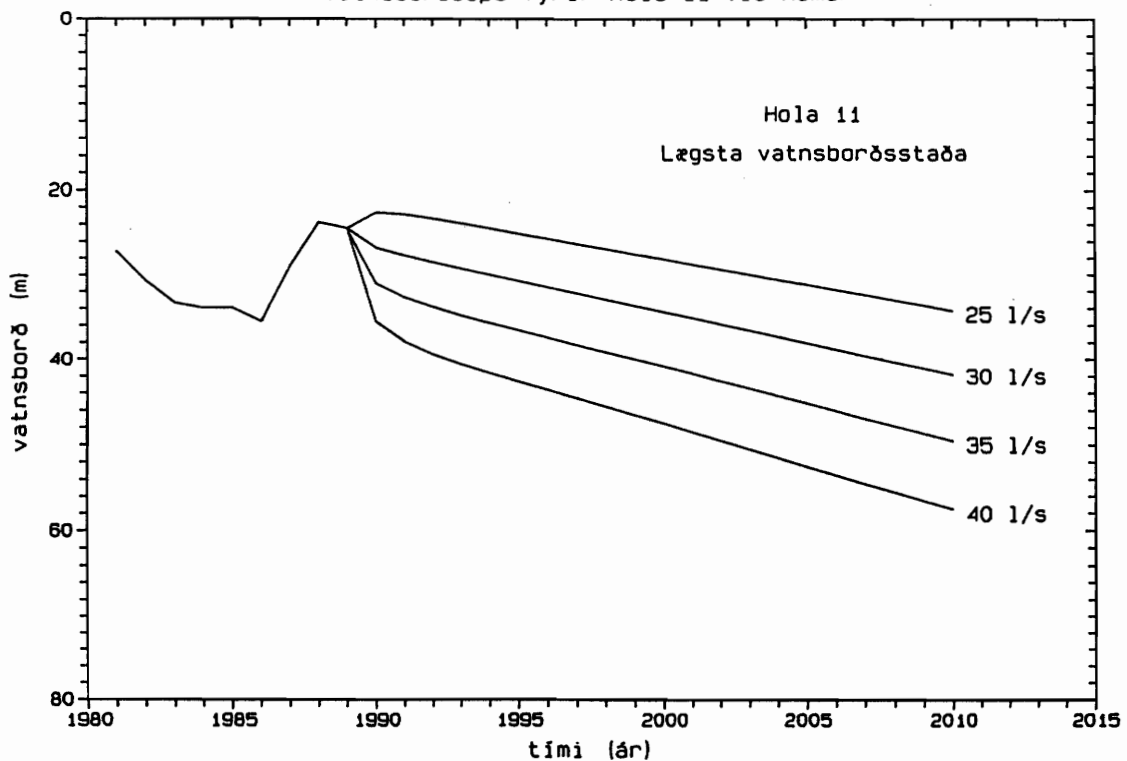
Mynd 10. Vatnsborðsspár fyrir Syðra-Laugaland í Eyjafirði reiknaðar með þjöppuðu líkani.

Hamar í Svarfaðardal
Mælt og reiknað vatnsborð í holu 2



Mynd 11. Niðurstöður hermireikninga með þjöppuðu líkani fyrir jarðhitasvæðið við Hamar í Svarfaðardal.

Hitaveita Dalvíkur
Vatnsborðsspá fyrir holu 11 við Hamar



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