



ORKUSTOFNUN

Rannsóknasvið

Viðnámsmælingar við Þingeyrar

**Knútur Árnason
Ólafur G. Flóvenz**

1999

OS-99025



ORKUSTOFNUN
Grensásvegi 9, 108 Reykjavík

Verknr. 8-610563

Knútur Árnason
Ólafur G. Flóvenz

Viðnámsmælingar við Þingeyrar

OS-99025

Apríl 1999

ORKUSTOFNUN: Kennitala 500269-5379 - Sími 569 6000 - Fax 568 8896
Netfang os@os.is - Heimasíða <http://www.os.is>



Skýrsla nr: OS-OS-99025	Dags: Apríl 1999	Dreifing: <input type="checkbox"/> Opin <input checked="" type="checkbox"/> Lokuð til 2001.05.01
Heiti skýrslu / Aðal- og undirtitill: Viðnámsmælingar við Þingeyrar	Upplag: 25	
	Fjöldi síðna: 18	
Höfundar: Knútur Árnason Ólafur G. Flóvenz	Verkefnisstjóri: Ólafur G. Flóvenz	
Gerð skýrslu / Verkstig: Niðurstöður mælinga, jarðhitaleit	Verknúmer: 8-610563	
Unnið fyrir: Ingimund Sigfússon, Þingeyrum		
Samvinnuaðilar:		
Útdráttur: Gerð er grein fyrir niðurstöðum TEM-viðnámsmælinga til jarðhitaleitar í landi Þingeyra sumarið 1998. Þessar rannsóknir ásamt fyrri rannsóknum gefa til kynna að jarðhitakerfis, sem vitað er um á svæðinu, sé að leita til suðurs eða suðvesturs frá Þingeyrum. Talið er að hitinn í þessu kerfi sé a.m.k. 70°C. Skera má úr um það hvort svæðið er að einhverju leyti innan landamerkja Þingeyra með því að bora með litlum bor tvær 60-100 m djúpar hitastigulsholur sunnarlega í landi jarðarinnar. Verði hitastigull í a.m.k. annarri þeirra ekki umtalsvert yfir 100°C/km er jarðhitasvæðið nær örugglega utan Þingeyrarlands. Verði þessar tvær holur boraðar þarf hitastigull í þeim að mælast a.m.k. 150°C/km til að þær teljist vekja vonir um nýtanlegan jarðhita. Hverfandi líkur eru á því að djúpborun í ásnum norðan Þingeyrarkirkju skili nýtanlegri orku í einhverju magni.		
Lykilorð: Þingeyrar, jarðhitaleit, viðnámsmælingar, jarðhitakerfi	ISBN-númer:	
	Undirskrift verkefnisstjóra: 	
	Yfirfarið af:	

Efnisyfirlit

Ágrip	3
1. Inngangur	3
2. Um TEM-viðnámsmælingar	4
3. Niðurstöður viðnámsmælinga	5
3.1 Viðnámsnið	5
3.2 Viðnámsóreglur og jarðhitasprunga	6
4. Jarðhitakerfið við Þingeyrar	7
5. Niðurstöður	7
6. Heimildir	8
Viðauki: Mæliferlar TEM-mælinga og einvíð túlkun þeirra	15

MYNDIR

Mynd 1. Staðsetning borholna, viðnámsmælinga og viðnámsniða ásamt korti af hitastigli nærri yfirborði	9
Mynd 2. N-S snið af viðnámi jarðlaga	10
Mynd 3. A-V snið af viðnámi jarðlaga	11
Mynd 4. Samanburður á fræðilega útreiknuðu viðnámi í þriðja viðnámslagi og mældu viðnámi	12
Mynd 5. Líkan við lágviðnámsvegg í lagskiptri jörð	13
Mynd 6. Einvíð túlkun mælinga í mismunandi fjarlægð frá lágviðnámsvegg	14

Ágrip

Sumarið 1998 voru gerðar TEM-viðnámsmælingar til jarðhitaleitar í landi Þingeyra. Niðurstöður þeirra og fyrri rannsókna gefa til kynna að jarðhitakerfis þess, sem hola 13 á Þingeyrum sækir vatn sitt til, sé að leita til suðurs eða suðvesturs frá Þingeyrum, hugsanlega syðst í landi Þingeyra, í landi Leysingjastaða eða undir Hópi.

Með því að bora tvær 60-100 m djúpar hitastigulsholur sunnarlega í landi Þingeyra má fá úr því skorið hvort svæðið er að einhverju leyti innan landamerkja Þingeyra. Verði hitastigull í annarri hvorri holunni ekki umtalsvert yfir $100^{\circ}\text{C}/\text{km}$ liggur jarðhitasvæðið nær örugglega utan Þingeyralands. En mælist í þeim hitastigull, sem er $150^{\circ}\text{C}/\text{km}$ eða hærri, sem í ljósi fyrirbyggjandi gagna er ekki sérlega líklegt, vekti það vonir sem fylgja yrði eftir með fleiri grunnum holum.

Hverfandi líkur eru á því að djúpbörðun í ásnum norðan Þingeyrakirkju skila nýtanlegri orku í einhverju magni.

1. Inngangur

Haustið 1991 voru boraðar nokkrar grunnar rannsóknarholur við Þingeyrar í Austur-Húnavatnssýslu. Þær sýndu afbrigðilega háan hitastigul í jarðlögum norðan við Þingeyrar og var það talið benda til þess að þar mætti hugsanlega finna vinnanlegan jarðhita (Ólafur G. Flóvenz og Einar H. Haraldsson, 1991).

Haustið 1994 voru boraðar tvær dýpri holur þar sem hitastigullinn var hæstur (Ólafur G. Flóvenz og Ásgrímur Guðmundsson, 1996). Sú fyrri (hola-13) varð um 132 m djúp, en þá varð að hætta loftborun vegna mikils vatns í holunni. Að borun lokinni sjálfrunnu úr holunni um 0,6 l/s af um 20°C heitu vatni. Seinni holan (hola-14) var boruð niður á 343 m dýpi án þess að nokkrar verulegar vatnsæðar fyndust. Hitamælingar í holu-14 sýndu að hiti var einungis lítið eitt hærri en vænta mátti út frá svæðisbundnum hitastigli. Hár hitastigull í grunnu holunum er því talinn stafa af því að volgt vatn, eins og fram kom í holu-13, renni grunnt í jörðu, en þegar dýpra komi sé hiti lítið frábrugðinn því sem gerist utan jarðhitakerfa.

Efnagreiningar benda til að hitastig vatnisins úr holu-13 hafi einhvern tíma náð a.m.k. 65°C hita þótt það sé aðeins 22°C í holunni. Mat á hita út frá efnagreiningum byggir á því að magn uppleysts kísils í vatni fer eftir hitastigi þess. Þegar vatn hitnar í snertingu við berg leysir það upp kísil úr berginu og ræðst styrkur (magn) kísils í vatninu af hitanum. Þegar vatnið kólnar á ný fellur kísill út úr vatninu og styrkur hans minnkar. Hins vegar eru slíkar útfellingar lengi að myndast þegar vatn kólnar. Því getur jarðhitavatn, sem náð hefur t.d. 100°C hita djúpt í jörðu, haldið kísilstyrk, sem svarar til næstum 100°C hita, þótt það hafi kólnað verulega á leið til yfirborðs. Ef rennslistíminn úr jarðhitakerfinu til yfirborðs er mjög langur, nær eitthvað af kísli að falla út og því má reikna með að það hitastig, sem efnagreiningar sýna að vatnið hafi náð, sé vanmetið.

Kísilstyrkur vatnsins í holu 13 svarar til um 67°C hita. Í ljósi þess hversu mikið vatnið hefur kólnað (úr 67°C í 22°C) og þess að hitamælingar í holu 14 benda ekki til þess að heitavatnskerfið sé undir eða mjög nærri holum 13 og 14, má álykta að vatnið í holu 13, hafi runnið nokkuð langa leið frá heitavatnskerfinu að holunni og það rennsli hafi tekið langan tíma. Því gæti hitastig í heitavatnskerfinu verið talsvert hærra en 70°C.

Við borun holu 13 vakti strax athygli að vatnið var nokkuð gasríkt og lyktaði af brennisteinsvetni. Efnagreiningar sýndu að það innihélt bæði nokkurt koltvíoxíð og brennisteinsvetni, en þau gös, einkum brennisteinsvetnið, benda að öllum jafnaði eindregið til jarðhitavirkni. Af þessum sökum var talið mjög líklegt að yfir 67°C heitt vatnskerfi sé að finna einhvers staðar í nágrenni Þingeyra, en samt ekki í næsta nágrenni holna 13 og 14. Vegna þess að holur 13 og 14 eru fremur nálægt suðurmörkum þess svæðis þar sem hitastigull er hvað hæstur var talið koma til greina að heita vatnskerfið væri norðar í ásum.

Vandinn við leitina að vatnskerfinu felst fyrst og fremst í því að ekki er vitað hvar á að leita. Leitarsvæðið er því stórt og augljóst að leit, einkum með djúpum borunum, yrði afar kostnaðarsöm og myndi seint borga sig nema mikil orkunotkun væri fyrirsjáanleg.

Haustið 1993 var boruð liðlega 100 m djúp hola á Leysingjastöðum, skammt sunnan Þingeyra. Hitastigull í þeirri holu reyndist vera nálægt 90°C/km, sem sýnir að merki um jarðhitavirkni teygja sig til suðurs frá Þingeyrum.

Vorið 1998 voru gerðar viðnámsmælingar til forkönnunar í jarðhitaleit í Svínavatns-hreppi. Í tengslum við það var ákveðið að gera nokkrar viðnámsmælingar við Þingeyrar til að leita ummerkja um jarðhitakerfið, sem hola 13 sækir sitt vatn til.

Dagana 24. til 26. maí 1998 voru gerðar átta TEM-viðnámsmælingar milli Hópsins og Húnavatns og er staðsetning þeirra sýnd á mynd 1. Sex mælingum var raðað sem næst á N-S línu og tvær voru gerðar, sín til hvorrar handar við miðbik N-S línunnar.

2. Um TEM-viðnámsmælingar

Jarðlög með jarðhitavatni hafa yfirleitt lægra eðlisviðnám en berg mettað köldu vatni. Í TEM-viðnámmælingum (Transient Electro Magnetic) er sendur rafstraumur í lykkju (300x300 metra) sem lögð er á jörðina, og hann rofinn skyndilega. Við það spanast upp straumar í jörðunni og eru áhrif þeirra, þ.e. svörun jarðarinnar, mæld með lítilli mótöku-spólu sem höfð er í miðri straumlykkjunni.

Út frá mældri svörun jarðarinnar er hægt að reikna eðlisviðnám jarðlaga. Fyrst er reiknað út svonefnt sýndarviðnám sem fall af tíma frá því straumurinn er rofinn. Í fyrstu nálgun má yfirleitt gera ráð fyrir því að eðlisviðnám jarðar breytist mest með dýpi. Túlkun sýndarviðnámsferlanna með líkani þar sem eingöngu er gert ráð fyrir að viðnám breytist með dýpi er nefnd einvíð túlkun. Með því að tengja saman á sniðum einvíð líkön mælinganna má fá hugmynd um viðnámsbreytingar bæði með dýpi og eftir sniðunum.

Stundum hagar þó þannig til að staðbundnar viðnámsóreglur (frávik frá láréttri lagskiptingu) hafa áhrif á mæliferlana og koma þá fram sem óregluleg lög á viðnámsniðunum. Eins og vikið verður að hér á eftir benda niðurstöður mælinganna til að slíkt gæti verið fyrir hendi við Þingeyrar.

3. Niðurstöður viðnámsmælinga

3.1 Viðnámsnið

Á myndum 2 og 3 eru sýnd tvö viðnámsnið, sem byggð eru á einvíðri (lárétt lagskiptri) túlkun mælinganna. Mynd 2 sýnir N-S nið og mynd 3 A-V nið, en lega niðanna er sýnd á mynd 1. Á niðunum hafa lög með svipuðu viðnámi verið tengd saman milli mælinga og mismunandi viðnámsgildi eru dregin fram með litum. Í báðum niðunum lækkar viðnám almennt með dýpi og endurspeglar það almenna hækkun hita með dýpi.

N-S niðið sýnir frekar óreglulega viðnámsdreifingu ofan til. Neðan yfirborðslaga kemur fram nokkuð þunnt (50 - 150 m þykkt) lag með frekar lágu viðnámi. Þykkt lagsins, dýpi á það, svo og viðnámsgildi þess eru nokkuð breytileg eftir niðinu. Neðan þessa lags hækkar viðnámið aftur og dýpra kemur fram ákveðin lagskipting viðnáms, sem túlka má sem hallandi jarðlagasýrpur. Halli jarðlaganna virðist vera um 13° , dýpkandi til suðurs.

Í viðnámsniðinu sést enn fremur að viðnámsgildi innan einstakra viðnámslaga lækkar eftir því sem dýpið vex. Við þessu er að búast þar sem hiti vex með dýpi og þar með ætti eðlisviðnám að lækka. Þetta var athugað nánar fyrir viðnámsgildi í þeim tveimur viðnámslögum, sem teygja sig eftir N-S niðinu á 300 - 1200 m dýpi. Með því að gera ráð fyrir því að hitastigull sé alls staðar um $70^\circ\text{C}/\text{km}$ neðan 100 m dýpis, svipað og hola 14 sýnir, má reikna hvert viðnámið ætti að vera hvar sem er í laginu miðað við það viðnámsgildi, sem mælist við holu 14 þar sem hiti er þekktur. Við þessa reikninga eru notuð reynslujafna fyrir samband hita og viðnáms fyrir íslenskt basalt (Ólafur G. Flóvenz ofl. 1985). Niðurstöðurnar eru sýndar á mynd 4. Þar má sjá hvernig viðnám í þriðja viðnámslaginu frá yfirborði myndi haga sér ef það væri eingöngu hiti sem réði viðnámsbreytingunni og hitastigull væri alls staðar á svæðinu $70^\circ\text{C}/\text{km}$ (opnir hringir á mynd). Þetta er síðan borið saman við mæld viðnámsgildi samkvæmt viðnámsmælingunum. Niðurstöðurnar eru að viðnámslækkun í laginu samsvarar eðlilegri hitaaukningu með dýpi. Ef við síðan reiknum með að þórhloti jarðlaganna minnki eitthvað með dýpi eins og eðlilegt er, hefði það áhrif til hækkunar á viðnámið. Þar með virðist mega álykta að hiti hækki heldur meira með dýpi en sem nemur $70^\circ\text{C}/\text{km}$ hitastigli. Það er í samræmi við mældan hitastigul á Leysingjastöðum, sem er um $90^\circ\text{C}/\text{km}$. Jafnframt bendir heldur lægra viðnám í syðstu viðnámsmælingunni heldur en annars staðar til þess að hiti í jörðu kunni að hækka á þeim slóðum og að því sé jarðhitakerfisins að leita til suðurs eða suðvesturs frá Þingeyrum. Þessar niðurstöður styðja ekki eldri hugmyndir um að jarðhitakerfið, sem leitað er að, sé í ásnum norðan holu 14.

Á A-V sniðinu kemur fram hátt viðnám niður á um 500 m dýpi. Þar fyrir neðan koma fram nokkuð regluleg lágviðnámslög, sem hafa halla upp á rúmlega 5° til vesturs. Innan háviðnámsins kemur fram staðbundið þunnt lágviðnám á tæplega 200 m dýpi undir mælingu 272725. Þessi mæling er sameiginleg báðum sniðum, en í N-S sniðiðnu hefur þetta lágviðnám verið tengt hinu grunna og óreglulega lágviðnámslagi.

Lausleg athugun hefur verið gerð á jarðlögum í ásnum norðan Þingeyra. Opnur í jarðlög eru fáar og lélegar og því erfitt að fá gott mat á jarðlagahallann. Mælingar á halla straumflögunar í hraunlögum norðarlega í ásnum sýnir allt að 14°C halla til vesturs en ætla má að halli jarðlaga geti verið svipaður. Þá benda niðurstöður borunar holu 13 til þess að vestlægur halli berggangsins, sem borað var í, geti verið um 10°. Út frá viðnámsniðunum má áætla að hallinn sé um 5° til vesturs en 13° til suðurs sem þýðir að raunverulegur halli sé um 14° til suðsuðvesturs. Þetta er svipaður halli en heldur suðlægari en athuganir á yfirborði hafa bent til.

3.2 Viðnámsóreglur og jarðhitasprungu

Eins og áður er vikið að er almenn lækkun viðnáms með dýpi talin stafa af hækkandi hita. Minnkandi holrými með dýpi í berginu (póruhluti) eins og almennt gerist í efri hluta jarðlagastafans vegur þarna þó eitthvað á móti. En nokkuð djúpt (500-1000 m) er á hin útbreiddu lágviðnámslög og ekki verður, nema með borun djúprar holu, skorið úr um hvort þau hafa að geyma vinnanlegan jarðhita. Hið staðbundna lágviðnám á um 200 m dýpi á A-V sniðinu bendir til þess að hið óreglulega grunna "lag" með til þess að gera lágu viðnámi, sem fram kemur í N-S sniðinu, sé ekki útbreitt heldur merki um staðbundinn lágviðnámsvegg með N-S stefnu.

Til að kanna þetta voru gerðir líkanreikningar þar sem reiknuð er svörun TEM-viðnámsmælinga mislangt frá lóðréttum lágviðnámsvegg í annars lárétt lagskiptri jörð (sjá líkan á mynd 5). Reiknuðu mæliferlarnir voru síðan túlkaðir með lárétt lagskiptum líkönum. Á mynd 6 eru bestu lagskiptu líkön fyrir reiknuðu mæliferlana sýnd sem viðnámsnið. Líkanið lengst til vinstri er fyrir mælingu 100 m frá lágviðnámsveggnum og það lengst til hægri er 500 m frá honum. Af myndinni sést að áhrif lágviðnámsveggjarins koma fram í einvíðri túlkun sem óraunverulegt lágviðnámslag til þess að gera grunnt í jörðu og dýpkar á það eftir því sem fjær dregur veggnum.

Samkvæmt þessu virðist mega túlka hið óreglulega lágviðnámslag í N-S sniðinu sem áhrif frá lágviðnámsvegg með N-S stefnu. Óreglulega þykkt og dýpi á lagið má skýra að einhverju leyti með mismunandi fjarlægð mælinganna frá lágviðnámsveggnum. Þessi túlkun fær nokkurn stuðning af því að hitastigulsboranirnar sýndu frávík með háum stigli með nær N-S stefnu og virðist sem breytingar í dýpi á lágviðnámslagið í N-S sniðinu séu í samræmi við mismunandi fjarlægð mælinganna frá hitastigulshámarkinu.

Sé þessi túlkun rétt liggur beint við að álykta sem svo að bæði frávikið í hitastigli og lágviðnámsveggurinn séu af völdum volgs vatns, líku því sem fram kom í holu 13. Hitamælingar í holu 14 gefa til kynna að bora þurfi a.m.k. 800 m niður í grennd holunnar til þess

að fá yfir 60°C hita en benda jafnframt til þess að þar sé ekki að finna umtalsvert vatnskerfi. Þetta er í stórum dráttum í samræmi við viðnámsmælingarnar.

4. Jarðhitakerfið við Þingeyrar

Þótt þær rannsóknir, sem fram hafa farið við Þingeyrar undanfarin ár, hafi ekki enn ekki leitt til þess að jarðhitakerfið sjálft hafi fundist, liggur þó fyrir nokkuð skýr hugmynd af því sem þarna er á ferðinni. Þessi hugmynd er eftirfarandi:

1. Einhvers staðar grennd Þingeyra er að finna jarðhitakerfi þar sem hiti er a.m.k. 70°C, en gæti verið hærrí. Í ljósi niðurstaðna viðnámsmælinganna er líklegast er að það sé að finna sunnan eða suðvestan Þingeyra, hugsanlega syðst í land Þingeyra, landi Leysingjastaða eða jafnvel undir Hópinu.
2. Almennur grunnvatnsstaumur í jarðlögum er átt til sjávar. Heitt vatn lekur djúpt út úr jarðhitakerfinu í litlum mæli, fylgir grunnvatnsstraumnum og jarðlagahallanum upp til norðurs og berst út í gangakerfið, sem liggur eftir ásnum norðan Þingeyra. Á leið sinni kólnar vatnið jafnt og þétt niður um 22°C við holu 13.
3. Vatnsrennslið í gangakerfinu er á litlu dýpi í ásnum og veldur þar háum hitastigli nærri yfirborði en hefur lítil áhrif á hitaástandið þegar neðar dregur. Því eru hverfandi litlar líkur til þess að djúpbörun í ásnum nálægt eða norður af holum 13 og 14 beri neinn árangur að ráði.

5. Niðurstöður

Með hliðsjón af fyrri rannsóknum á Þingeyrum mæla niðurstöður viðnámsmælinganna eindregið gegn því að jarðhitakerfisins, sem hola 13 á Þingeyrum tekur vatn sitt úr, sé að leita í landi Þingeyra nema e.t.v. allra syðst, nærri landamerkjum Leysingjastaða eða við Hópið.

Ólíklegt er að djúpböranir í ásnum norðan kirkjunnar geti skilað nýtanlegri orku í einhverjum mæli.

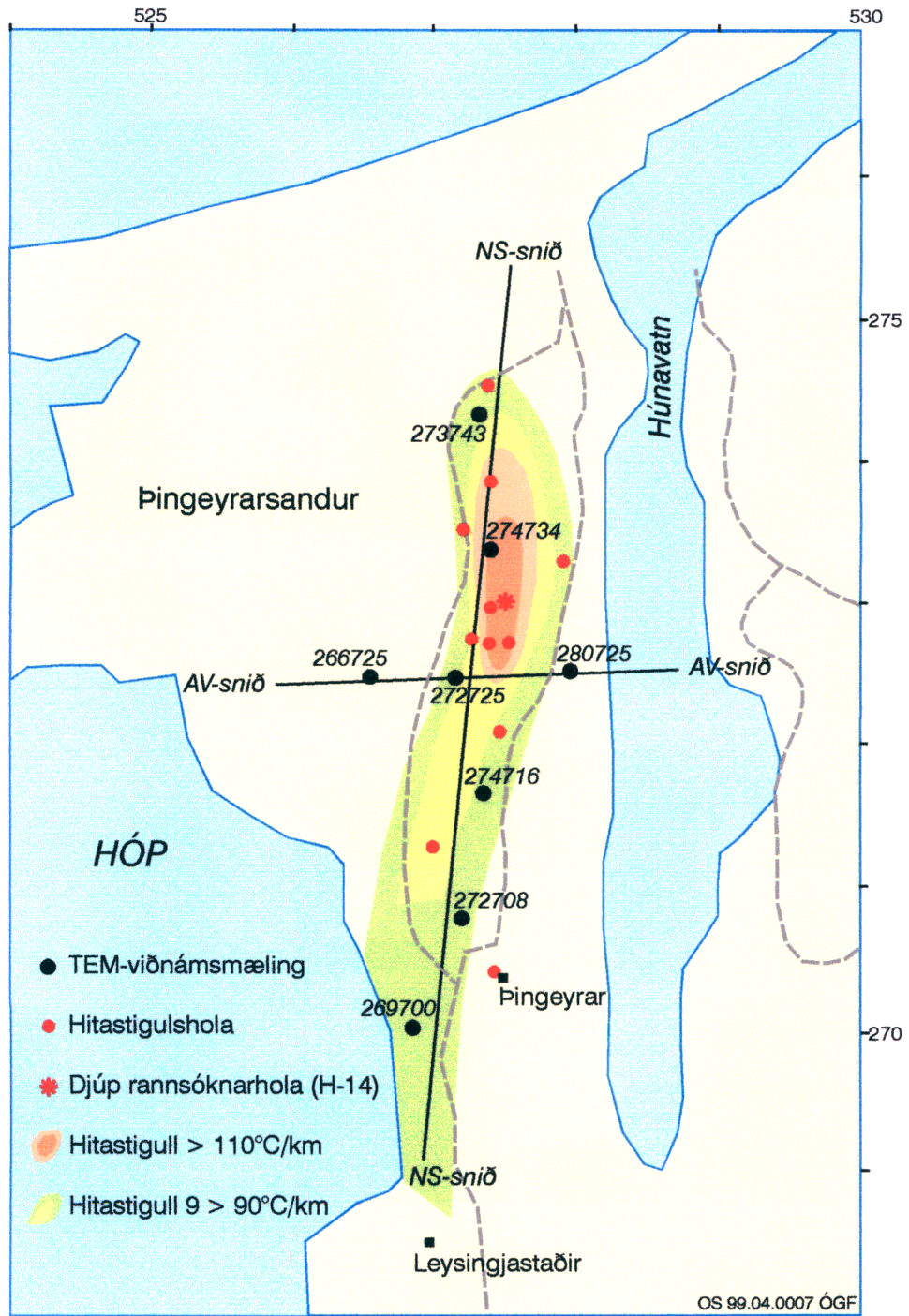
Tvær 50-100 m djúpar holur, sem boraðar yrðu með litlum bor (svipuðum þeim sem notaður var við hitastigulsboranirnar árið 1991) sunnarlega í landi Þingeyra, gætu svarað því hvort hugsanlegt sé að heitavatnskerfisins sé að leita þeim slóðum. Verði þessar tvær holur boraðar þarf hitastigull í þeim að mælast um eða yfir 150°C/km til að þær teljist vekja vonir um nýtanlegan jarðhita og réttlæti framhald leitar þar. Að öðru leyti er ekki unnt að gera sér raunhæfar vonir um að finna nýtanlegan jarðhita einhverjum mæli í landi Þingeyra.

6. Heimildir

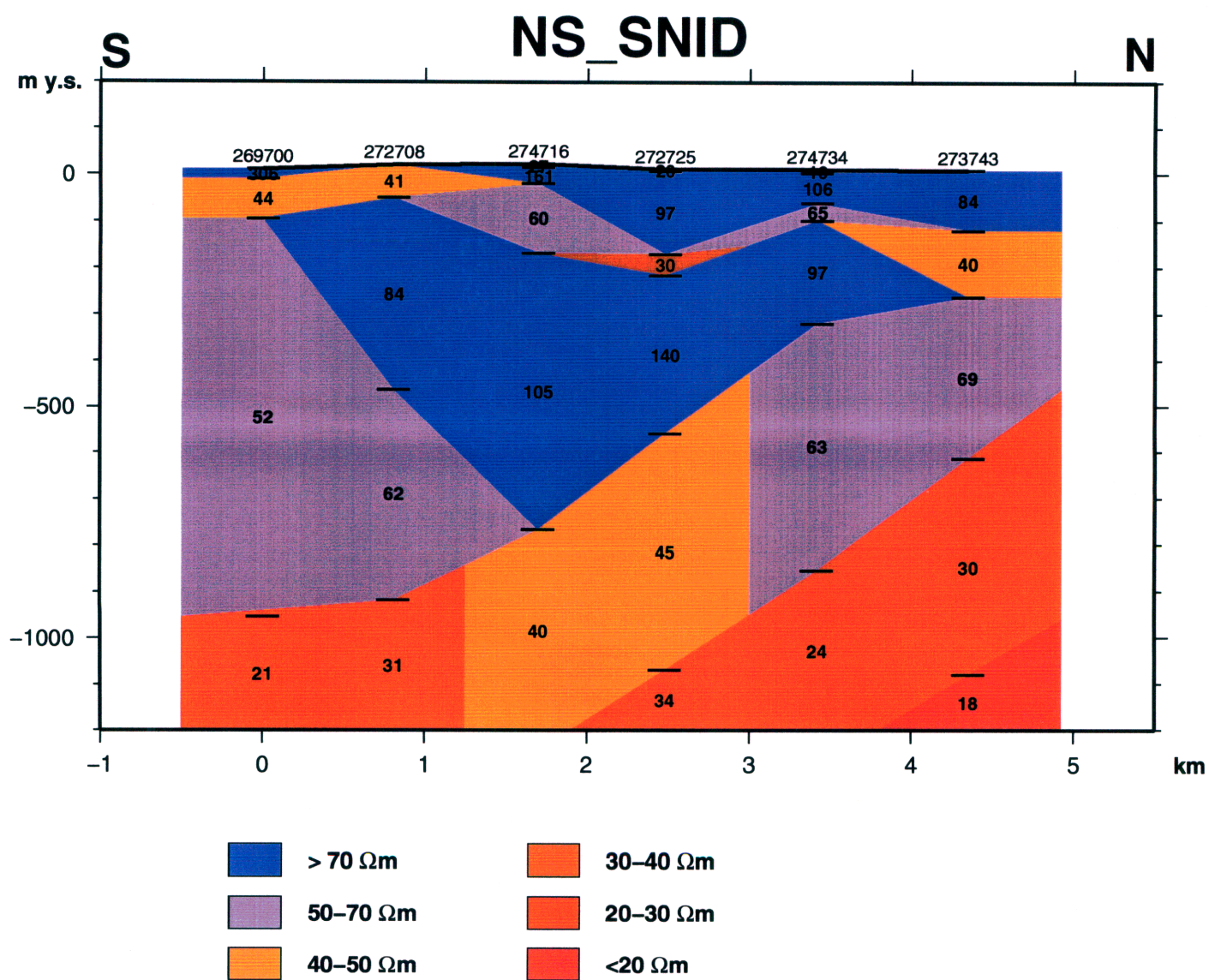
Ólafur G. Flóvenz, Lúðvík S. Georgsson og Knútur Árnason, 1985: *Resistivity structure of the upper crust in Iceland*. J. Geophys. Res., 90: 10.136-10.150

Ólafur G. Flóvenz og Einar H. Haraldsson, 1991: *Jarðhitaleit við Þingeyrar*, Orkustofnun, greinargerð, ÓGF-EHH-91/08.

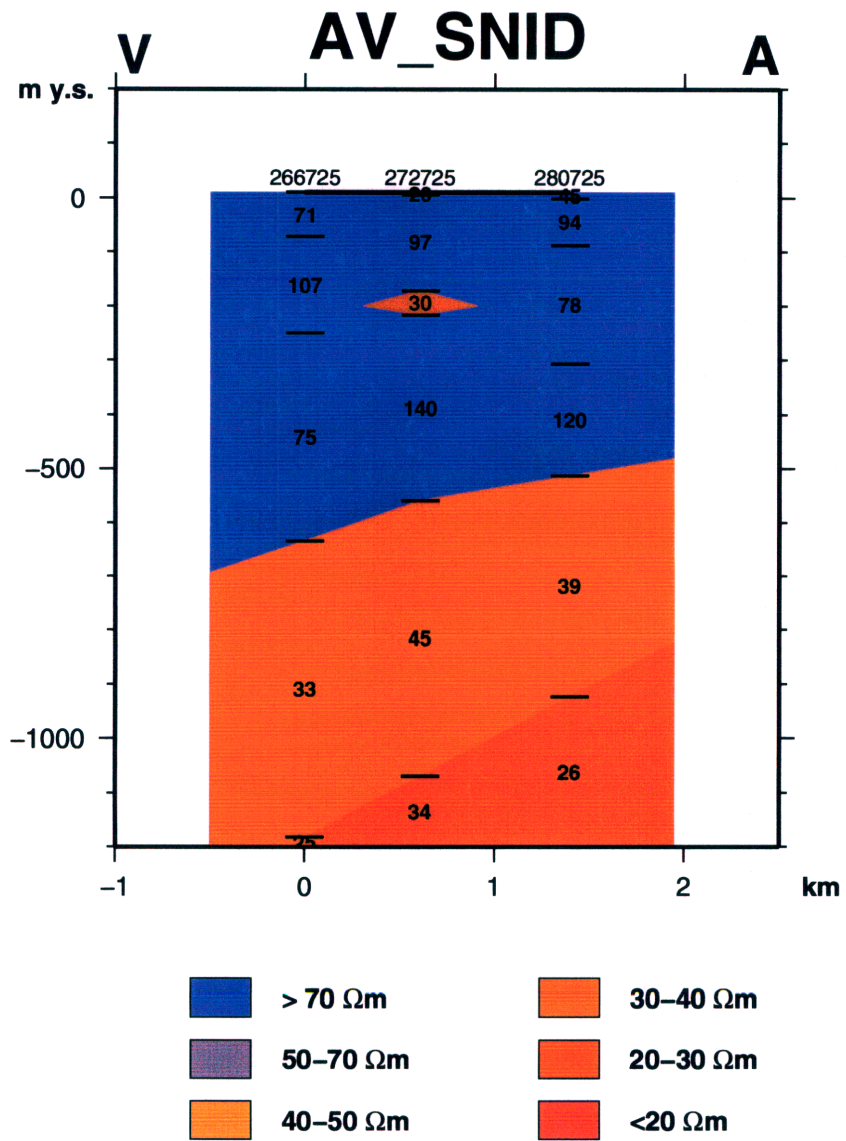
Ólafur G. Flóvenz og Ásgrímur Guðmundsson, 1996: *Borun tveggja rannsóknarhola við Þingeyrar 1994*, Orkustofnun, greinargerð, ÓGF-ÁsG-96/01.



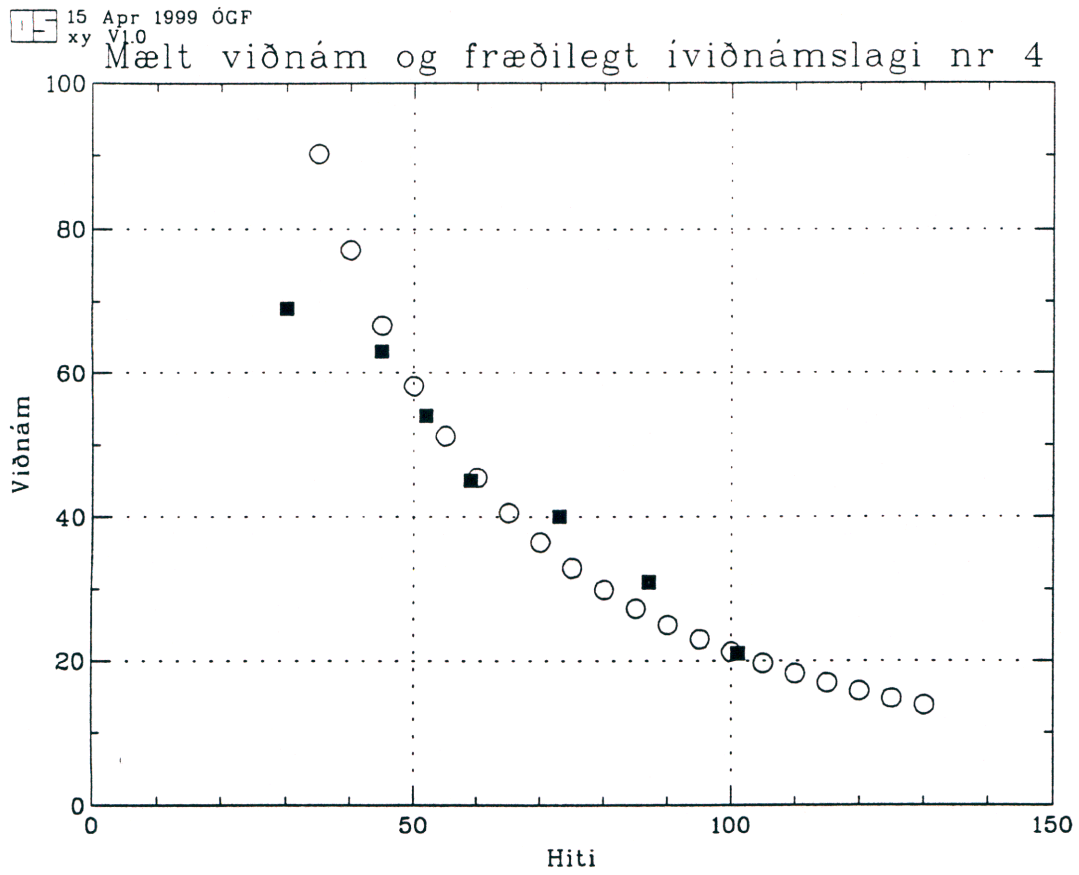
Mynd 1. Staðsetning borholna, viðnámsmælinga og viðnámsniða ásamt korti af hitastigli nærri yfirborði.



Mynd 2. N-S snið af viðnámi jarðlaga.

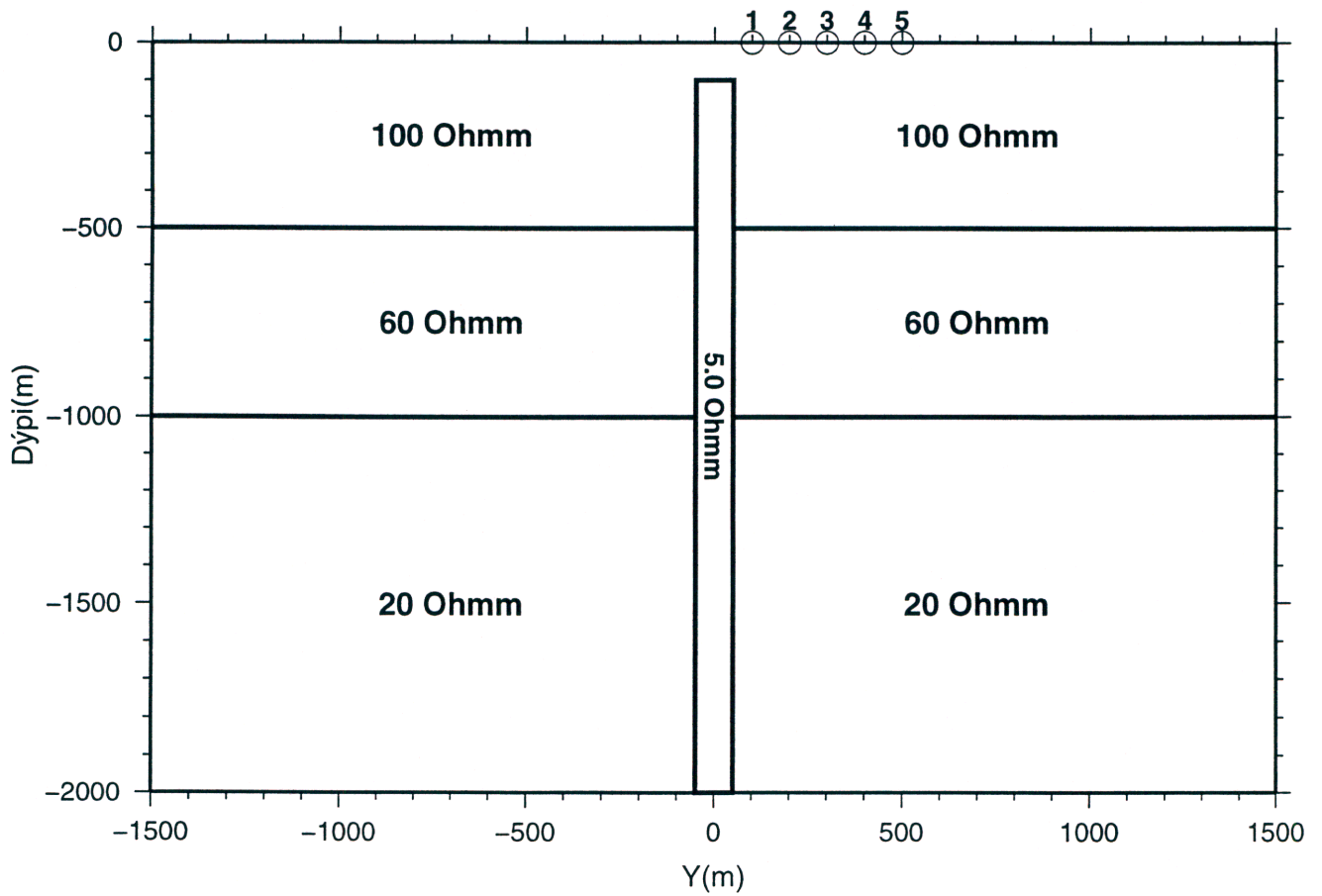


Mynd 3. A-V snið af viðnámi jarðlaga.



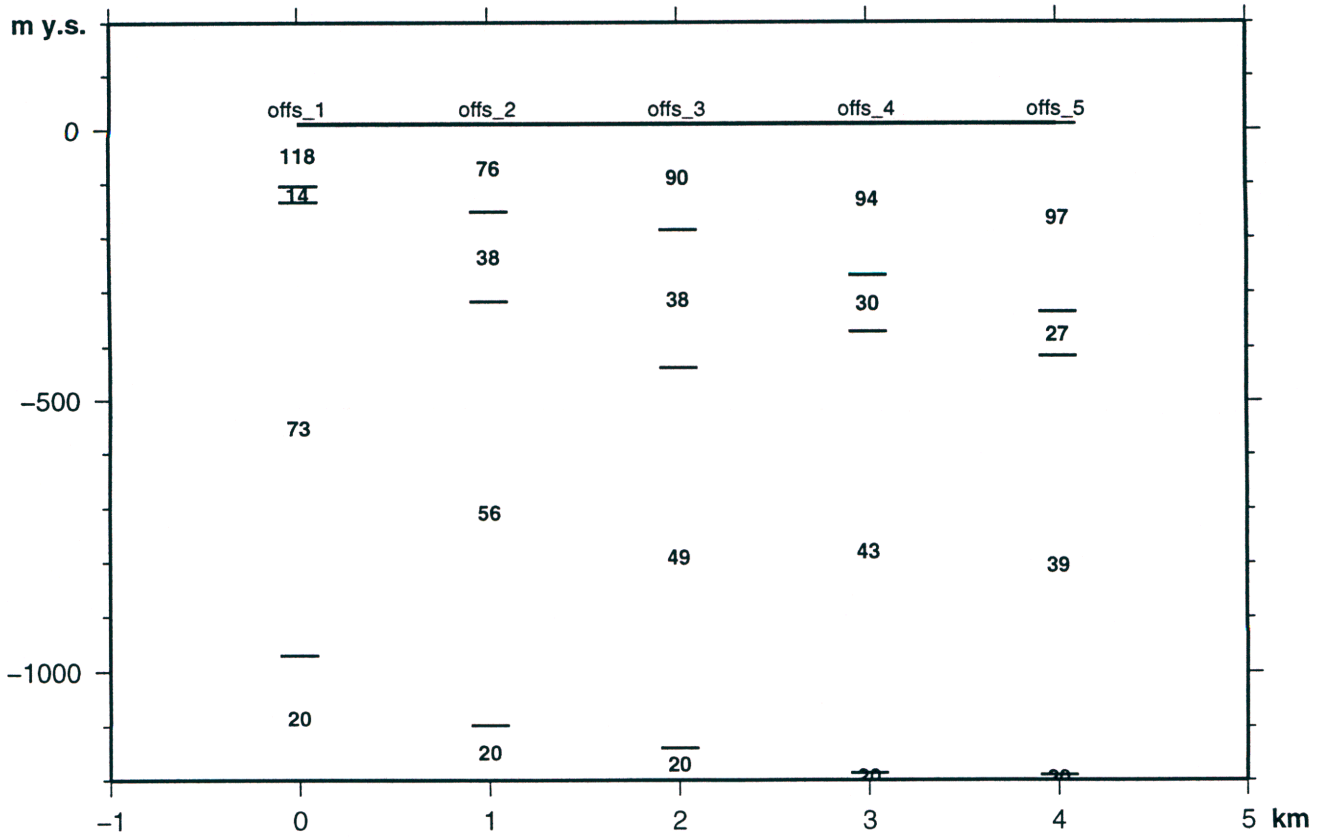
Mynd 4. Samanburður á fræðilega útreiknuðu viðnámi í þriðja viðnámslagi og mældu viðnámi.

Lágviðnámsveggur í lagskiptri jörð



Mynd 5. Líkan við lágviðnámsvegg í lagskiptri jörð.

3DSNID



Mynd 6. Einvíð túlkun mælinga í mismunandi fjarlægð frá lágviðnámsvegg.

VIÐAUKI

Mæliferlar TEM-mælinga og einvíð túlkun þeirra.

Mæld gildi eru sýnd með hringjum og reiknaður sýndarviðnamsferill út frá lagskiptu líkani sem samfelldur ferill. Líkanið er sýnt sem þykktir og viðnámsgildi laga, bæði tölulega og sem stöplarit.

