



ORKUSTOFNUN
Jarðhitadeild

**TEM-viðnámsmælingar í Svartsengi
og Eldvörpum sumarið 1991**

Lúðvík S. Georgsson

Unnið fyrir Hitaveitu Suðurnesja

OS-91053/JHD-31 B

Desember 1991



ORKUSTOFNUN
Grensásvegi 9, 108 Reykjavík

Verknr. 613221

**TEM-viðnámsmælingar í Svartsengi
og Eldvörpum sumarið 1991**

Lúðvík S. Georgsson

Unnið fyrir Hitaveitu Suðurnesja

OS-91053/JHD-31 B

Desember 1991

EFNISYFIRLIT

EFNISYFIRLIT	2
MYNDASKRÁ.....	2
1. INNGANGUR.....	3
2. EÐLISVIÐNÁM BERGS OG TEM-VIÐNÁMSMÆLINGAR	3
3. FRAMKVÆMD OG TÚLKUN MÆLINGANNA.....	4
4. NIÐURSTÖÐUR MÆLINGANNA	5
5. STAÐSETNING NIÐURDÆLINGARHOLU.....	8
HEIMILDIR.....	8
VIÐAUKI: TEM viðnámsmæliferlar og túlkun þeirra	9

MYNDASKRÁ

1. Staðsetning viðnámsmælinga í nágrenni Svartsengis og Eldvarpa	4
2. Schlumbergermæling SE62 og TEM-mæling SEL09.....	5
3. Schlumbergermæling SE73 og TEM-mæling SEL05.....	6
4. Eðlisviðnám á 200, 400 og 600 m dýpi undir sjávarmáli.....	7

1. INNGANGUR

Frá því að vinnsla jarðhita á vegum Hitaveitu Suðurnesja hófst fyrir um 15 árum hefur vatnsborð í jarðhitageyminum lækkað um 204 m og heldur enn áfram að lækka. Tilraunir hafa leitt í ljós að með niðurdælingu affallsvatns má draga úr vatnsborðslækkun. Nýlokið er allsherjar endurskoðun á vinnslugögnum af svæðinu, og endurbótum á straumfræðilíkani af jarðhitasvæðinu, þar sem skoðað var sérstaklega hvort, hvar, og þá í hve miklum mæli ætti að að dæla niður í framtíðinni. Á grundvelli þess var lagt til að vatnsborðslækkun yrði nánast stöðvuð, en til þess þarf að dæla niður magni sem svarar til 50% af því sem upp er tekið. Straumfræðilíkanið gaf einnig til kynna að niðurdælingarhola þyrfti að vera 2-3 km vestan við Svartsengi, þ.e. miðja vegu milli Svartsengis og Eldvarpa, til þess að koma í veg fyrir að kæling næði inn á vinnslusvæðið á næstu tuttugu árum (Sverrir Þórhallsson og Snorri Páll Kjara, 1991).

Hitaveita Suðurnesja ráðgerir að bora slíka niðurdælingaholu á árinu 1992. Holuna þarf að staðsetja þar sem grynnt er á góða leiðni og háan hita til að tryggja viðunandi samgang við Svartsengi og jafnframt halda fóðringardýpi í lágmarki. Viðnámsmælingar geta veitt upplýsingar um þetta því að lágt viðnám fylgir hærri hita og betri leiðni. Mikið er til af viðnámsmælingum á utanverðum Reykjanesskaga (Lúðvík S. Georgsson og Helga Tulinius, 1983) en til þess að staðsetning mætti vera sem markvissust þótti rétt að bæta við mælingum og nota til þess nýrri og nákvæmari tækni. Því óskaði Hitaveita Suðurnesja eftir því sumarið 1991 að Jarðhitadeild Orkustofnunar gerði svokallaðar TEM-viðnámsmælingar á svæðinu milli Svartsengis og Eldvarpa.

2. EÐLISVIÐNÁM BERGS OG TEM-VIÐNÁMSMÆLINGAR

Mismun í eðlisviðnámi bergs má fyrst og fremst rekja til mismunandi vatnsinnihalds bergsins og hitabreytinga. Selta getur skipt verulegu máli nærri ströndinni, einkum þar sem sjór gengur langt inn undir land eins og á Reykjanesskaga. Vegna jarðsjávarins er djúpvíðnám á utanverðum skaganum almennt lágt, gjarnan 10-14 Ωm. Annars staðar mundi þetta yfirleitt vera túlkað sem jarðhiti, en svo er ekki hér. Þar sem jarðhitaáhrifa gætir lækkar viðnámið enn frekar og fer niður í 2-4 Ωm á háhitasvæðunum.

Í viðnámsmælingum hefur til skamms tíma verið notuð svokölluð Schlumberger-uppsetning mæliskauta, en með henni fást upplýsingar um eðlisviðnám jarðar á mismunandi dýpi undir mælistað og næsta nágrenni hans. Þessi mælitækni er einkum notuð til að afmarka svæði með afbrigðilega lágu eðlisviðnámi. Út frá því hefur m.a. mátt meta stærð hitasvæða eða finna ný. Jafnframt veita mælingarnar upplýsingar um innri gerð jarðhitakerfanna. Með hefðbundnum útbúnaði fást upplýsingar um eðlisviðnám niður á 500-1000 m dýpi.

Á síðustu árum hefur rutt sér rúms ný aðferð við viðnámsmælingar, sem hefur flesta kosti Schlumbergermælinga. Þetta eru svokallaðar TEM-viðnámsmælingar. Þær hafa það fram yfir að þeim fylgir mikill vinnusparnaður bæði í framkvæmd mælinganna og túlkun mæliferlanna. Þannig þarf aðeins tvo menn til að gera þessar mælingar en fjóra í Schlumbergermælingar, og afköst eru heldur meiri. Þá er túlkunin oft mun fljótunnari. Á móti kemur að tækin eru dýr. Á miðju ári 1989 eignaðist Orkustofnun TEM-tæki og síðan hafa TEM-mælingar að mestu komið í stað Schlumbergermælinga í jarðhitaleit hér á landi.

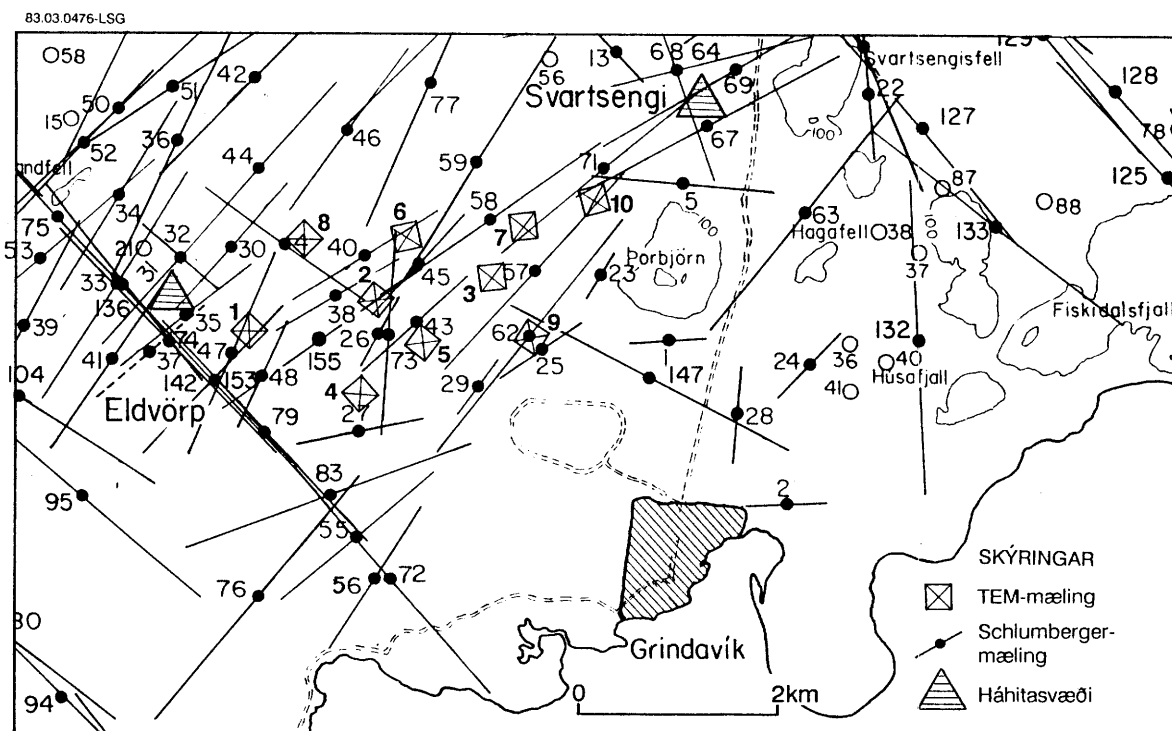
TEM-mælingar byggja á myndun spanstrauma í jörðu. Stór sendilykkja er lögð á jörðina og minni móttökulykkja í miðju hennar. Öflugur straumur er sendur um stóru lykkjuna sem byggir upp þekkt fast segulsvið. Ef slökkt er á straumnum hjaðnar segulsviðið. Við það spanast upp rafstraumar í jörðunni. Þessir straumar spana sjálfir upp segulsvið sem hjaðnar með

tímanum. Jarðstraumarnir og segulsviðið, sem þeir spana, eru háðir viðnámsdreifingu jarðarinnar. Með því að fylgjast með þeirri spennu, sem spanast í litlu móttökulykkjunni, er hægt að mæla jarðstraumana. Hjöðnun þeirra sem fall af tíma er síðan hægt að túlka þannig að upplýsingar fáiast um eðlisviðnám jarðlaganna undir. Dýptarskynjunin er komin undir því hve lengi er hægt að fylgjast með hjöðnuninni. Í þeim útbúnaði, sem Orkustofnun ræður yfir, er þessi tími um 100 ms, sem samsvarar dýptarskynjun upp á 500-1000 m eftir aðstæðum, sem er svipað og í Schlumbergermælingum. TEM-mælingar gefa nákvæmari upplýsingar um lágviðnámslög heldur en Schlumbergermælingar en lakari um háviðnám. Vegna þess og erfiðs yfirborðs eru TEM-mælingar mun heppilegri á utanverðum Reykjanesskaga.

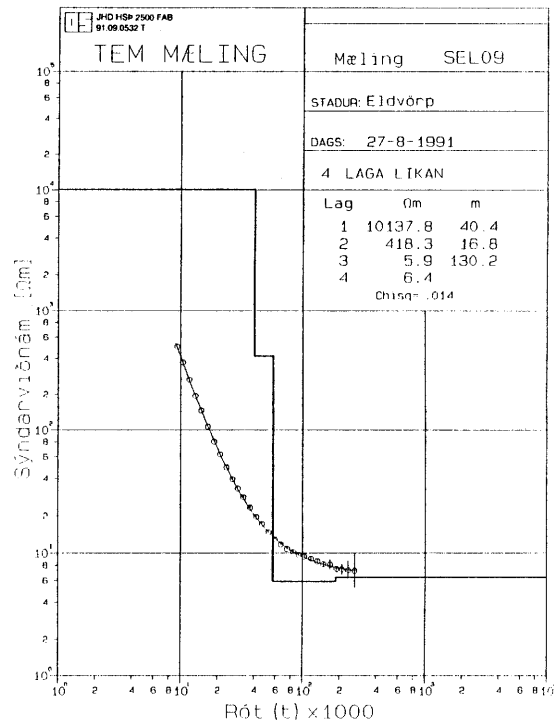
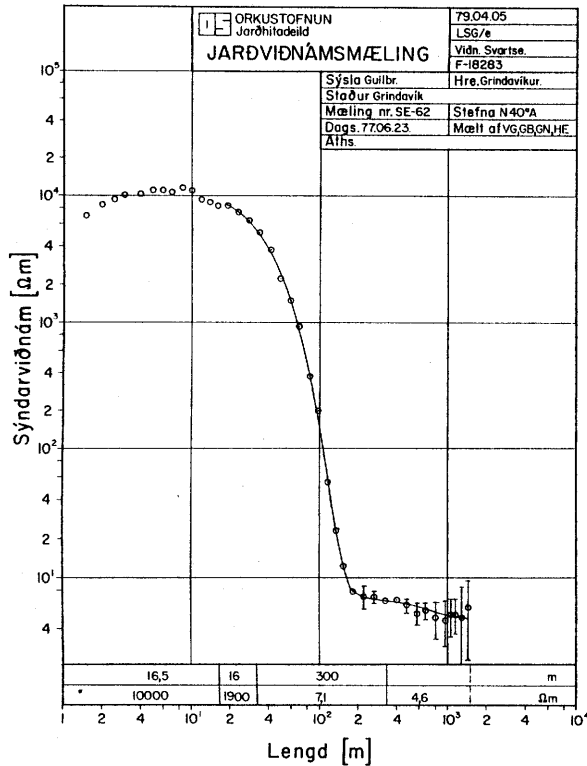
3. FRAMKVÆMD OG TÚLKUN MÆLINGANNA

Síðla sumars 1991 voru gerðar 10 TEM-mælingar á svæðinu milli Svartsengis og Eldvarpa (SEL01-10). Mælingamenn áttu í nokkru basli með tækin á tímabili, sem tafði framkvæmd dálítið, en þau gögn sem afla átti fengust að lokum, og tókust mælingarnar allar vel. Staðsetning mælinganna er sýnd á 1. mynd, en þar eru jafnframt sýndar eldri Schlumbergermælingar á svæðinu.

Einn af kostum TEM-mælinga er að einvið túlkun mæliferlanna gefur undantekningalítið fullnægjandi niðurstöður, jafnvel þar sem grípa þarf til flókinna tví- eða jafnvel þrívíðra túlkunar á Schlumbergermælingum. Slíkt á reyndar ekki við á utanverðum Reykjanesskaga, en styrkir engu að síður niðurstöðurnar. TEM-mælingarnar voru túlkaðar einvitt með forritinu TINV, sem var samið á Orkustofnun (Knútur Árnason, 1989). Mæliferlarnir, reiknaðir ferlar og samsvarandi viðnámslíkan eru birtir í viðauka við skýrsluna.



1. MYND: Staðsetning Schlumbergermælinga í nágrenni Svartsengis og Eldvarpa og staðsetning TEM-viðnámsmælinganna



2. MYND: Schlumbergermæling SE62 og TEM-mæling SEL09

4. NIÐURSTÖÐUR MÆLINGANNA

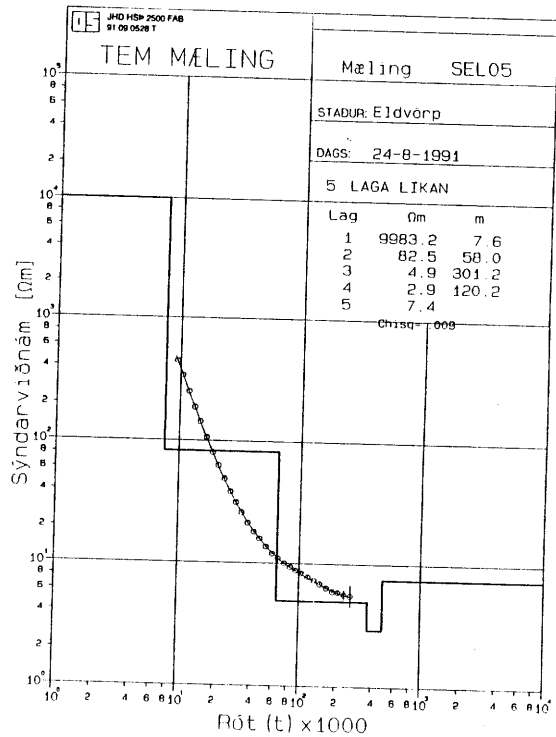
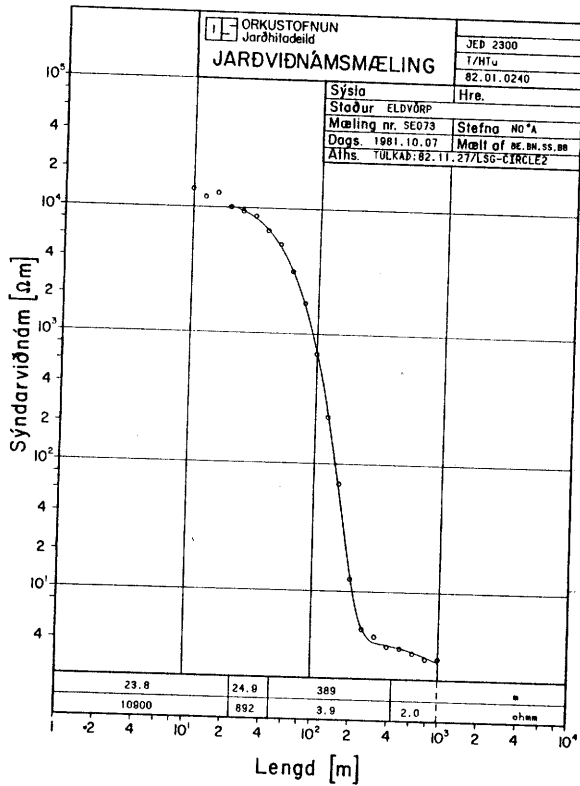
Áður en vikið er beint að niðurstöðum mælinganna er forvitnilegt að bera saman TEM-mælingu og Schlumbergermælingu frá sama mælistað. Í töflu 1 er túlkun á Schlumbergermælingunum SE62 og SE73, sem mældar voru 1977 og 1981 og niðurstöður nýrra TEM-mælingar á nánast sömu mælistöðum, SEL09 og SEL05 (1. mynd). Mæliferlarnir eru sýndir á 2. og 3. mynd.

TAFLA 1: Samanburður Schlumbergermælinga við TEM-mælingar á sömu mælistöðum

Lag nr.	Jarðfræðileg túlkun	SE62 viðnám/þykkt (ohmm/m)	SEL09 viðnám/þykkt (ohmm/m)	SE73 viðnám/þykkt (ohmm/m)	SEL05 viðnám/þykkt (ohmm/m)
1	"Þurrt" hraun	10.000/16,5	10.000/40	10.900/24	10.000/8
2	Ferskvatnslinsa	1900/16	420/17	890/25	83/58
3	Jarðsjór	7,1/300	5,9/130	3,9/390	4,9/300
4	Jarðsjór	4,6/	6,4/	2,0/	2,9/120
5	Jarðsjór				7,4/

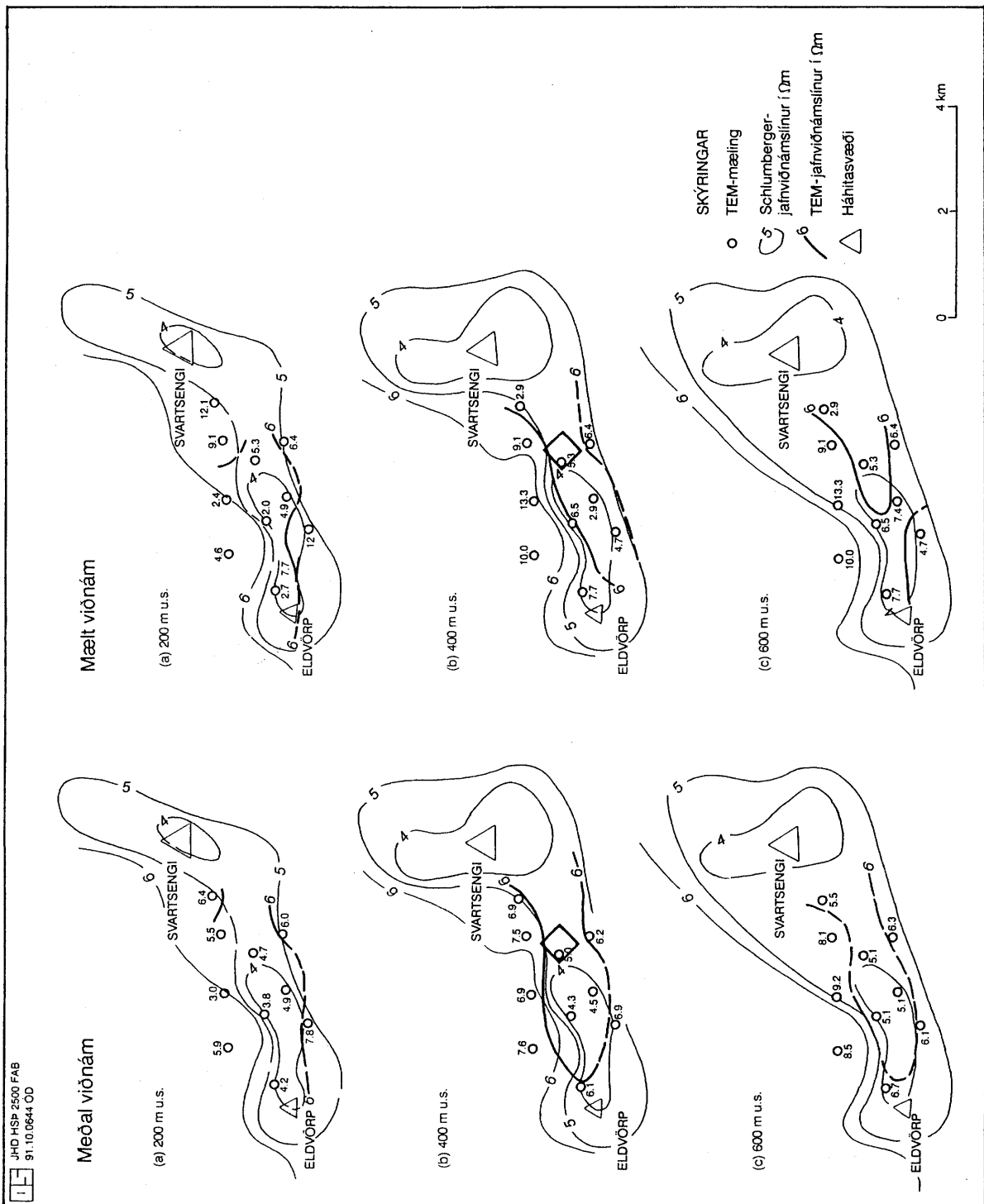
Ef við skoðum fyrst parið á 2. mynd, þá samsvarar efsta lagið hrauninu ofan jarðvatnsborðs, eins og kemur fram í töflu 2, en svo grunnt sér TEM-mælingin ekki og viðnámsgildið er því ákvarðað með hliðsjón af Schlumbergermælingunni, þar sem það er vel ákvarðað. Ferskvatnslinsan er jafn þykk í báðum mælingum en viðnámsgildið er mun lægra í TEM-mælingunni. Samanburður annarra mælinga leiðir í ljós að viðnámíð í ferskvatnslinsunni á þessum

slóðum er að jafnaði um helmingi lægra í TEM-mælingunum en í eldri mælingum. Viðnámið ætti að vísu að vera betur ákvarðað í TEM-mælingunum en þetta má skýra á eftirfarandi hátt. Mælisvæðið er í beinni rennslisstefnu affallsvatns frá Svartsengi. Schlumbergermælingarnar voru gerðar fyrir 10-15 árum, þegar vinnsla var nýlega hafin í orkuverinu. Ástæða er til að ætla að nú, 15 árum síðar, gæti nokkurrar mengunar í ferskvatnslinsunni á þessu svæði vegna affallsvatnsins. Samanlögð þykkt lags 1 og 2 (dýpið niður á jarðsjó) er hins vegar ótvírætt betur ákvörðuð í TEM-mælingunni, þar sem það er 56 m, miðað við 33 m í Schlumbergermælingunni. Fyrir neðan ferskvatnið er komið í jarðsjó. Lög 3 og 4 eru nánast eitt og sama lagið í TEM-mælingunni og viðnámið um 6 ohmm. Samkvæmt Schlumbergermælingunni er viðnámið nokkru hærra niður á 300 m dýpi, eða um 7 ohmm, en lækkar síðan niður í tæplega 5 ohmm. Hér eru niðurstöður TEM-mælinganna örugglega traustari, enda óvissugildin há í Schlumbergermælingunni.



3. MYND: Schlumbergermæling SE73 og TEM-mæling SEL05

Svipaðar niðurstöður verða af samanburði mælinga SE73 og SEL05 (3. mynd). Viðnámið í ferskvatnslinsunni er mun lægra í TEM-mælingunni (83 ohmm á mótí 890 ohmm) og dýpi niður á jarðsjó meira (66 m á mótí 49 m). Ofantil í jarðsjónum eru niðurstöður svipaðar, þó að viðnámið sé heldur hærra í TEM-mælingunni. Samkvæmt henni lækkar viðnámið hins vegar úr 2,9 ohmm í meira en 7 ohmm á tæplega 500 m dýpi undir sjávarmáli, þessi viðnáms-hækkun kemur ekki fram í Schlumbergermælingunni. Samanburður mælinganna leiðir almennt í ljós að djúpvíðnám samkvæmt TEM-mælingum er nokkru hærra en það sem eldri mælingarnar sýna og lagskipting í jarðsjónum meiri en þar kom fram. Þannig virðist viðnámið almennt fara hækkandi neðan 150-500 m dýpis en það er ekki hægt að sjá með vissu í eldri mælingum á þessu svæði. Undantekningar eru mælingar SEL10, næst Svartsengi, og SEL04, nærri Eldvörpum, þar sem viðnámið lækkar síðan aftur og er t.d. aðeins 2,9 ohmm neðan 300 m dýpis u.s. í mælingu SEL10.



4. MYND: Eðlisviðnám á 200, 400 og 600 m dýpi undir sjávarmáli, niðurstöður TEM-mælinga bormar saman við eldri viðnámskort; á myndum b (400 m dýpi u.s.) er afmarkað tígullaga svæði þar sem heppilegast er að bora niðurdælingaholuna

Samkvæmt því sem hér hefur verið sagt er samanburður við eldri gögn ekki alveg einfaldur. Á 4. mynd er sýnt viðnámskort á 200, 400 og 600 m dýpi undir sjávarmáli. Niðurstöður TEM-viðnámsmælinganna eru þarna sýndar á tvennan hátt. Grunnurinn er ávallt samsvarandi viðnámskort byggð á niðurstöðum Schlumbergermælinganna (Lúðvík S. Georgsson og Helga Tulinius, 1983). Hægra megin hefur verið bætt inn á kortin mældu viðnámi á samsvarandi dýpi samkvæmt TEM-mælingum. Vinstra megin eru sömu kort, en TEM-viðnámsgildið er meðalviðnámið í jarðsjónum niður á viðeigandi dýpi. Þetta var gert til að reyna að draga úr áhrifum þeirrar lagskiptingar í jarðsjónum, sem kemur fram í TEM-mælingunum, og fá fram meðaltalsgildi sem gæfi betri samanburð við Schlumbergermælingarnar. TEM-mælingarnar eru ekki margar og leyfa ekki að jafnvíðnámslínur séu dregnar að vild. Bestur samanburður fékkst með því að draga 6 ohmm jafnvíðnámslínuna og var látið þar við sitja. Ef mælda viðnámið er skoðað fyrst þá má sjá að 6 ohmm línun fellur sæmilega að gömlu 5 ohmm línunni á 200 m dýpi u.s. og vel á 400 m dýpi. Neðar sýna TEM-mælingarnar eins og áður kom fram almennt hærra djúpvíðnám. Jafnvíðnámslínurnar falla betur saman þegar meðalviðnámsgildin úr TEM-mælingunum eru notuð. Línurnar falla sæmilega saman á 200 m dýpi u.s., mjög vel á 400 m dýpi og allsæmilega á 600 m dýpi.

Þegar á heildina er litið má segja að TEM-mælingarnar staðfesti eldri niðurstöður Schlumbergermælinganna. Þær sýna jafnframt að ýmsa drætti vantar í þá mynd sem fyrir lá. Í því sambandi væri tvímælalaust forvitnilegast að skoða betur hitasvæðin í Svartsengi og Eldvörpum og nánasta umhverfi þeirra. Þó að ótrúlegt megi virðast þá eru þar lökustu viðnámsgögnin á utanverðum Reykjanesskaga, og þær TEM-mælingar, sem gerðar voru sumarið 1991, gefa tilefni til að ætla að þar gæti myndin breyst nokkuð.

5. STAÐSETNING NIÐURDÆLINGARHOLU

Samkvæmt þeim forsendum sem lágu fyrir við ákvörðun um TEM-viðnámsmælingar á svæðinu milli Svartsengis og Eldvarpa má ljóst vera að velja ber niðurdælingarholu stað í miðju lágviðnámsbeltinu sem tengir saman Svartsengi og Eldvörp, í 2-3 km fjarlægð frá vinnslusvæðinu í Svartsengi. TEM-mælingarnar staðfesta tilvist lágviðnámsbeltisins þó að þær gefi eilítið frábrugðna mynd af viðnámsdreifingunni. Til að ná settum markmiðum er eðlilegast velja niðurdælingarholunni stað nærri TEM-mælingu SEL03, sem er um 2300 m suðvestan við vinnslusvæðið. Mælingin er innan lágviðnámsbeltisins, en þarna er viðnámið þó nokkru hærra en á hitasvæðunum ef marka má mælingar SEL04 og SEL10.

Út frá viðnámsmælingunum er óvarlegt að draga miklar ályktanir um skynsamlegt fóðringardýpi, og alls ekki hægt að taka af skarið með það. Ef halda á fóðringardýpi í lágmarki væri skynsamlegra að fara með holustæðið heldur nær Svartsengi, þannig að það væri ekki fjær en í um 2000 m fjarlægð frá vinnslusvæðinu. Hvort 600 m löng fóðring dugar þar er ekki hægt að segja til um út frá fyrirliggjandi gögnum, en heldur þykir höfundi það ólíklegt. Á Mynd 4.b er svæðið afmarkað þar sem heppilegast er að velja niðurdælingarholunni stað.

HEIMILDIR

Knútur Árnason, 1989: *Central loop transient electromagnetic soundings over a horizontally layered earth*. Orkustofnun, OS-89032/JHD-06, 128 s.

Lúðvík S. Georgsson og Helga Tulinius, 1983: *Viðnámsmælingar á utanverðum Reykjanesskaga 1981 og 1982*. Orkustofnun, OS-83049/JHD-09, 70 s.

Sverrir Þórhallsson og Snorri Páll Kjarran, 1991: *Niðurdæling í háhitasvæðið í Svartsengi, reynsla, líkanreikningar, áform*. Erindi flutt á Orkuþingi 1991.

VIÐAUKI

TEM-viðnámsmæliferlar og túlkun þeirra

