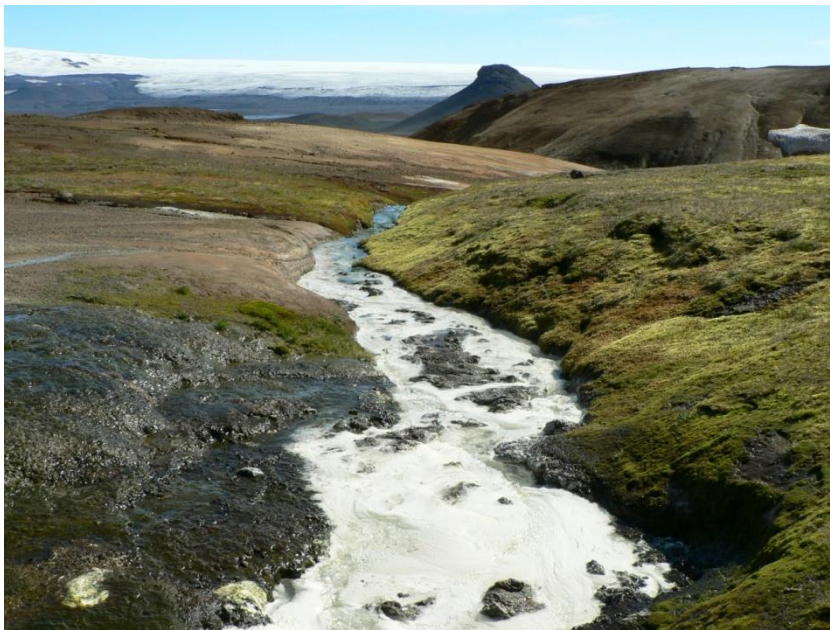


Vonarskarð

TEM- og MT-mælingar 2007



Ragna Karlsdóttir
Arnar Már Vilhjálmsón
Hjálmar Eysteinnson

Unnið fyrir Orkustofnun

ÍSOR-2008/064

ÍSLENSKAR ORKURANNSÓKNIR

Reykjavík: Orkuáæður, Grensásvegi 9, 108 Rvk. – Sími: 528 1500 – Fax: 528 1699
Akureyri: Rangárvöllum, P.O. Box 30, 602 Ak. – Sími: 528 1500 – Fax: 528 1599
isor@isor.is – www.isor.is

Vonarskarð

TEM- og MT-mælingar 2007

Ragna Karlsdóttir
Arnar Már Vilhjálmsson
Hjálmar Eysteinnsson

Unnið fyrir Orkustofnun

ÍSOR-2008/064

Desember 2008

ISBN 978-9979-780-79-3

Skýrsla nr. ÍSOR-2008/064	Dags. Desember 2008	Dreifing <input checked="" type="checkbox"/> Opín <input type="checkbox"/> Lokuð til
Heiti skýrslu / Aðal- og undirtitill Vonarskarð TEM- og MT-mælingar 2007	Upplag 15	Fjöldi síðna 49
	Höfundar Ragna Karlsdóttir, Arnar Már Vilhjálmsson og Hjálmar Eysteinnsson	Verkefnisstjóri Ragna Karlsdóttir
Gerð skýrslu / Verkstig	Verknúmer 540112	
Unnið fyrir		
Samvinnuaðilar		
Útdráttur <p>Fyrstu viðnámsmælingar í Vonarskarði sýna sneið af háhitakerfi í vesturhluta öskjunnar sem skerst inn í austurhlíðar Tungnafellsjökuls. TEM-mælingarnar, sem sjá viðnám niður á 1 km dýpi, sýna að jarðhitakerfið ber lögun af öskjujaðrinum allt frá Eggju og Laugahnúki að Gjóstu. MT-mælingarnar gefa vísbendingar um að uppstreymi í jarðhitakerfið sé undir vesturjaðri öskjunnar. Háhitakerfið nær upp undir yfirborð við öskjujaðarinn en dýpkar á það til suðausturs. Mælingarnar ná ekki yfir vesturhluta jarðhitakerfisins og er því ekki vitað um mörk þess.</p>		
Lykilorð TEM-mælingar, MT-mælingar, háhitakerfi, lágviðnámskápa, háviðnámskjarni, djúpstætt lágviðnámslag, uppstreymi	ISBN-númer 978-9979-780-79-3	Undirskrift verkefnisstjóra
	Yfirfarið af RK, AMV	

Efnisyfirlit

1	Inngangur	7
2	Jarðhitinn í Vonarskarði	8
3	Viðnám í bergi.....	10
4	TEM- og MT-mælingar 2007	10
5	Túlkun og niðurstöður TEM-mælinga	11
5.1	Jafnviðnámskort	13
5.2	Viðnámsstrið	21
6	MT-mælingar	28
7	Samandregnar niðurstöður TEM- og MT-mælinga.....	33
8	Heimildir.....	35
	Viðauki: Mæliferlar og túlkun þeirra	36

Myndir

Mynd 1.	<i>Jarðhiti í Vonarskarði.</i>	7
Mynd 2.	<i>Kaldir og heitir straumar mætast</i>	8
Mynd 3.	<i>Sprungu- og jarðhitakort úr Vonarskarði.</i>	9
Mynd 4.	<i>Mælingamaður við störf að MT-mælingum sumarið 2007.</i>	11
Mynd 5.	<i>Staðsetning TEM-mælinga í Vonarskarði.</i>	12
Mynd 6.	<i>Viðnám á 950 m.y.s.</i>	14
Mynd 7.	<i>Viðnám á 900 m.y.s.</i>	14
Mynd 8.	<i>Viðnám á 850 m.y.s.</i>	15
Mynd 9.	<i>Viðnám á 800 m.y.s.</i>	15
Mynd 10.	<i>Viðnám á 750 m.y.s.</i>	16
Mynd 11.	<i>Viðnám á 700 m.y.s.</i>	16
Mynd 12.	<i>Viðnám á 650 m.y.</i>	17
Mynd 13.	<i>Viðnám á 600 m.y.s.</i>	17
Mynd 14.	<i>Viðnám á 550 m.y.s.</i>	18
Mynd 15.	<i>Viðnám á 500 m.y.s.</i>	18
Mynd 16.	<i>Viðnám á 450 m.y.s.</i>	19
Mynd 17.	<i>Viðnám á 400 m.y.s.</i>	19
Mynd 18.	<i>Viðnám á 350 m.y.s.</i>	20
Mynd 19.	<i>Viðnám á 300 m.y.s.</i>	20

Mynd 20. Viðnám á 250 m.y.s.	21
Mynd 21. Lega viðnámssniða.....	22
Mynd 22. Viðnámssnið A1.	23
Mynd 23. Viðnámssnið A2.	24
Mynd 24. Viðnámssnið A3.	24
Mynd 25. Viðnámssnið A4.	25
Mynd 26. Viðnámssnið A5.	25
Mynd 27. Viðnámssnið A6.	26
Mynd 28. Viðnámssnið A7.	26
Mynd 29. Viðnámssnið B1.....	27
Mynd 30. Viðnámssnið B2.....	27
Mynd 31. Viðnámssnið B3.....	28
Mynd 32. Staðsetning MT-mælinga (gulir tigar) í Vonarskarði.....	29
Mynd 33. SV-NA MT/TEM-viðnámssnið niður á 5 km dýpi.....	31
Mynd 34. SV-NA MT/TEM-viðnámssnið niður á 20 km dýpi.....	31
Mynd 35. V-A MT/TEM-viðnámssnið niður á 5 km dýpi.	32
Mynd 36. V-A MT/TEM-viðnámssnið niður á 20 km dýpi.	32
Mynd 37. V-A MT/TEM-viðnámssnið niður á 40 km dýpi.	33

1 Inngangur

Rannsóknir á háhitasvæðinu í Vonarskarði hófust árið 1995 með kortlagningu á jarðhita í Köldukvíslarbotnum og Vonarskarði (Guðmundur Ómar Friðleifsson o.fl., 1996; Guðmundur Ómar Friðleifsson og Skúli Víkingsson, 1997). Má telja þetta fyrstu kortlagningu jarðhitans og var hún gerð í tengslum við jarðhita- og jarðfræðirannsóknir við Köldukvíslarbotna (Hágöngusvæði). Síðan hefur verið farið í Vonarskarð til að kortleggja ítarlegar jarðhitaummerki á yfirborði (Haukur Jóhannesson og Guðmundur Ómar Friðleifsson, 2006). Var það gert að tilstuðlan Landsvirkjunar og enn í tengslum við rannsóknir á Hágöngusvæði. Jarðfræðikortlagning er skemmra á veg komin.

Árið 2007 var svo ráðist í fyrstu skref viðnámsmælinga í Vonarskarði að tilstuðlan Orkustofnunar. Viðnámsmælingarnar (TEM) voru gerðar í samvinnu við Landsvirkjun á þann hátt að samtímis var lokið mælingum við Hágöngur svo og skyggnt eftir tengingu á milli kerfanna í Köldukvíslarbotnum og Vonarskarði. Orkustofnun kostaði rannsóknirnar í Vonarskarði en Landsvirkjun kostaði mælingarnar við Köldukvíslarbotna. Farið var í tvö úthöld, annað að vetri og mælt á snjó en hitt um sumarið. Niðurstöður mælinganna í Köldukvíslarbotnum birtast í skýrslu Rögnu Karlsdóttur (2007).

Í sumarúthaldinu var MT-mælingum bætt við en þær skyggnt niður á allt að tuga kílómetra dýpi við bestu aðstæður. Með þeim er vonast til að „sjá“ uppstreymi jarðhitans upp í jarðhitakerfið.



Mynd 1. Jarðhiti í Vonarskarði. Ljósmynd. Haukur Jóhannesson.

2 Jarðhitinn í Vonarskarði

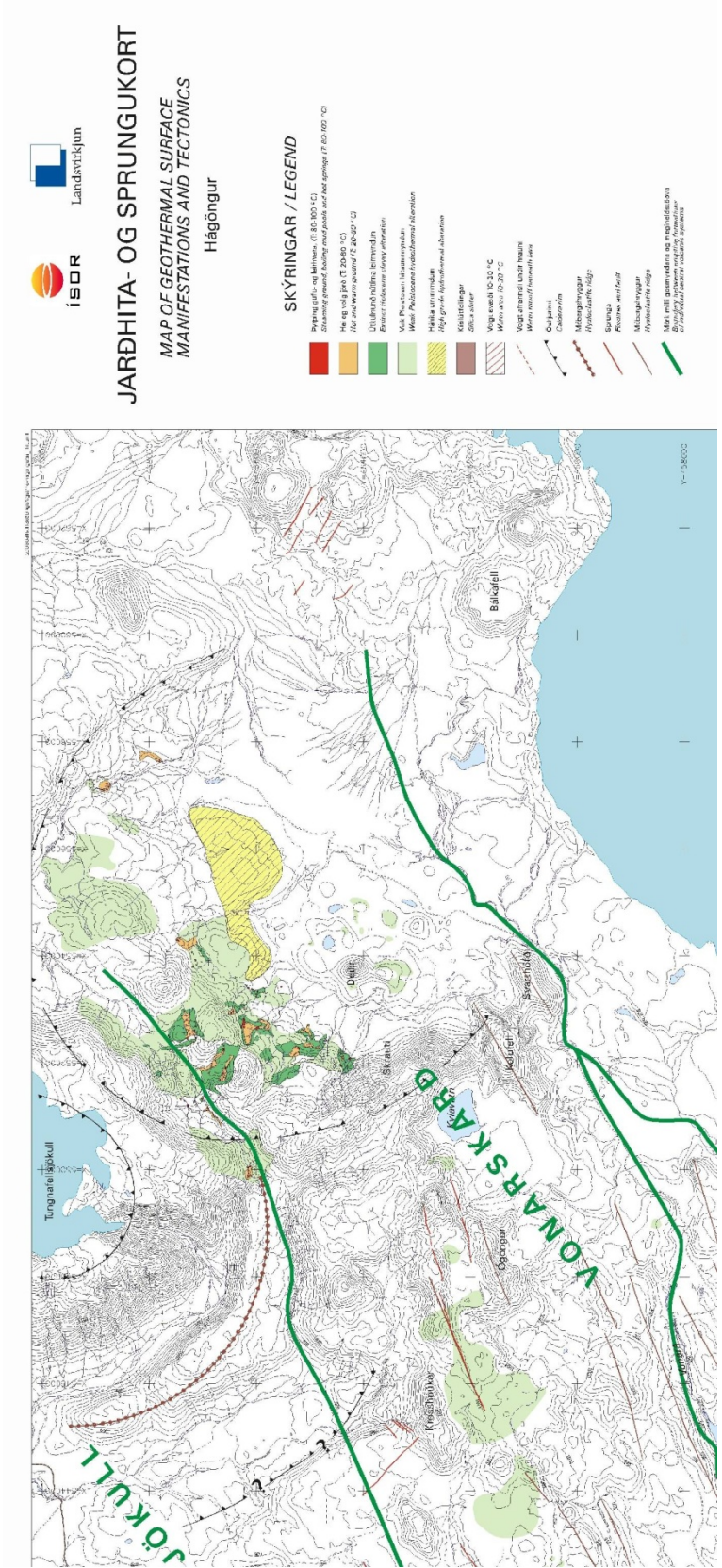
Megineldstöðin, sem kennd er við Vonarskarð, er austan í Tungnafellsjökli. Í henni er greinileg askja 8–10 km í þvermál og skerst hún inn í austurhlíðar Tungnafellsjökuls (Kristján Sæmundsson, 1982).

Mynd 3 sýnir jarðhita- og sprungukort úr Vonarskarði og er hluti af jarðhitakorti sem einnig nær yfir Köldukvíslarbotna og birtist í skýrslu þeirra Hauks Jóhannessonar og Guðmundar Ómars Friðleifssonar (2006). Jarðhitinn er aðallega vestan- og sunnantil í öskjunni eins og sést á myndinni. Þar eru gufu- og leirhverir í þyrpingum á allmörgum stöðum svo og merki um kulnaða ummyndun. Fjallið Eggja er um miðbik þessa svæðis og mun hér eftir talað um jarðhitann við Eggju. Tveir staðir eru í giljum norðantil í öskjunni við öskjujaðarinn sem þar ber nafnið Gjóstá. Það jarðhitasvæði verður hér eftir kennt við Gjóstá.

Merkilegt jarðhitafyrirbæri er um miðbik öskjunnar (sjá gula skellu á kortinu). Þar er kulnuð háhitaummyndun á yfirborði á um 4 km² bletti. Þessi háhitaummyndun er mynduð við 300°C hita. Þetta er einungis hægt að skýra þannig að 300°C hiti hafi ríkt á yfirborði á þessum stað í vatni og undir 1 km þykku jökulfargi (Guðmundur Ómar Friðleifsson og Haukur Jóhannesson (2005). Virka jarðhitasvæðið í Vonarskarði er um margt óvenjulegt en þó helst að því leyti að grunnvatnsborð er einkar hátt miðað við hálendissvæði inni á miðju Íslandi, og renna volgar lindir og lækir frá svæðinu á mörgum stöðum. Lífríki verður af þeim sökum fjölskrúðugt og litríkt. Óvenjuhá grunnvatnsstaða tengist að öllum líkindum þéttu háhitaummynduðu bergi rétt undir yfirborði á virka svæðinu, svipað því sem sést í miðju öskjunnar. Utan Vonarskarðsöskjunnar hefur enginn virkur jarðhiti fundist á yfirborði nema smá volgrur í drögum Nýjadals (Haukur Jóhannesson og Guðmundur Ómar Friðleifsson, 2006). Gashitamælur benda til um 300°C í jarðhitakerfinu.



Mynd 2. Kaldir og heitir straumar mætast. Ljós. Egill Árni Guðnason.



Mynd 3. Sprungu- og jarðhitakort úr Vonarskardí.

3 Viðnám í bergi

Helstu áhrifavaldar í viðnámi bergs eru vökvainnihald bergsins, selta og hiti vökvans, svo og ummyndun bergsins. Í stuttu máli er því háttáð þannig að vatnsmettað berg leiðir rafstraum betur en þurrt berg og rafleiðnin eykst með hækkandi hita. Heit vatnskerfi skera sig úr umhverfinu vegna þess að rafleiðni (viðnám) tiltekinnna leirsteinda (lagslíkata, eins og smektít) á sprunguflötum bergsins er mjög hitaháð. Rafleiðni bergsins er óverulega háð seltu vökvans í berginu nema hún sé mjög há og nálgist seltu sjávar (Ólafur G. Flóvenz o.fl., 2005).

TEM-viðnámsmælingar sýna vel ummyndun bergs í háhitakerfum, einkum í ferskvatnskerfum. Hefðbundin viðnámsmynd af háhitakerfi sýnir lágviðnámskápu umlykja háviðnámskjarna í miðju jarðhitakerfisins. Viðnámsmælingarnar endurspeglar ummyndun bergsins við hita. Við hitastig frá um það bil 100°C að 200°C eru zeólítar og smektít ráðandi steindir. Smektít er leirsteind sem hefur þann eiginleika að leiða rafmagn vel og leiðnin vex hratt með hita. Þetta er ástæða góðrar leiðni og þar með lágs viðnáms í lágviðnámskápunni. Þegar hitastig hækkar upp fyrir 200°C hverfur smektít og klórít verður ráðandi þegar komið er upp fyrir 230°C. Klórít er hins vegar ekki jafnvel leiðandi og smektítið og veldur því að viðnámið hækkar fyrir ofan 240°C (Knútur Árnason o.fl., 2000).

4 TEM- og MT-mælingar 2007

TEM-mælingar skynja viðnám jarðar niður á 800–1000 metra dýpi. Þeim hefur verið beitt hér á landi við jarðhitarannsóknir í um það bil 20 ár til þess að kanna umfang jarðhitakerfa niður á þetta dýpi. Einkum hafa þessar mælingar reynst vel við rannsóknir á háhitakerfum. Löngum hefur mönnum leikið forvitni á að vita hvort sjá megi mismun í viðnámi þegar neðar dregur, eða á vinnsludýpi jarðhitans (2000–3000 m) eða þaðan af neðar. Á síðustu árum er farið að beita svonefndum MT (Magneto-Telluric) mælingum en þær skynja viðnám niður á nokkurra tuga km dýpi. Ákjósanlegt er að mæla TEM- og MT-mælingu á sama stað og túlka niðurstöður saman til að fá sem bestar upplýsingar um viðnámið allt frá yfirborði og svo langt sem MT-mælingarnar skynja. Með MT-mælingunum er vonast til að finna megi uppstreymi jarðhitans upp í jarðhitakerfin.

Farið var í mælingarnar í tveimur lotum árið 2007. Fyrri ferðin var farin í mars og mælt á snjó með hjálp snjósleða eftir því sem veður og snjóalög leyfðu. Í þessu úthaldi var lokið við að þetta net mælinga í Köldukvíslarbotnum og settar niður nokkrar mælingar á landsvæðinu á milli Köldukvíslarbotna og Vonarskarðs (Ragna Karlsdóttir, 2007). Mælt var við erfið skilyrði og urðu menn loks að hverfa frá vegna leysinga og snjóleysis. Þeir sem komu að vetrarmælingunum voru Hjálmar Eysteinnsson og Knútur Árnason, jarðeðlisfræðingar hjá ÍSOR, svo og Hákon Gunnarsson og Gylfi Sævarsson, sem eru þrautreyndir ferða- og sleðamenn.

Seinni ferðin var farin í ágúst mánuði undir stjórn Hjálmars Eysteinnssonar. Auk þess að ná þeim TEM-mælingum, sem út af stóðu frá vetrinum, var ákveðið að mæla SV-NA prófíl og A-V prófíl með MT-mælingum ofan í nokkrar TEM-mælingar. Alls náðust 25

TEM-mælingar og 12 MT-mælingar á Vonarskarðssvæðinu. Mælingamenn voru auk Hjálmars, Arnar Már Vilhjálmsson, jarðeðlisfræðingur hjá ÍSOR, og Þórhildur Björnsdóttir, Þorbjörg Ágústsdóttir, Egill Árni Guðnason, Helgi Sigurðarson og Unnur Hjálmarsdóttir, allt namar og sumarstarfsmenn hjá ÍSOR.



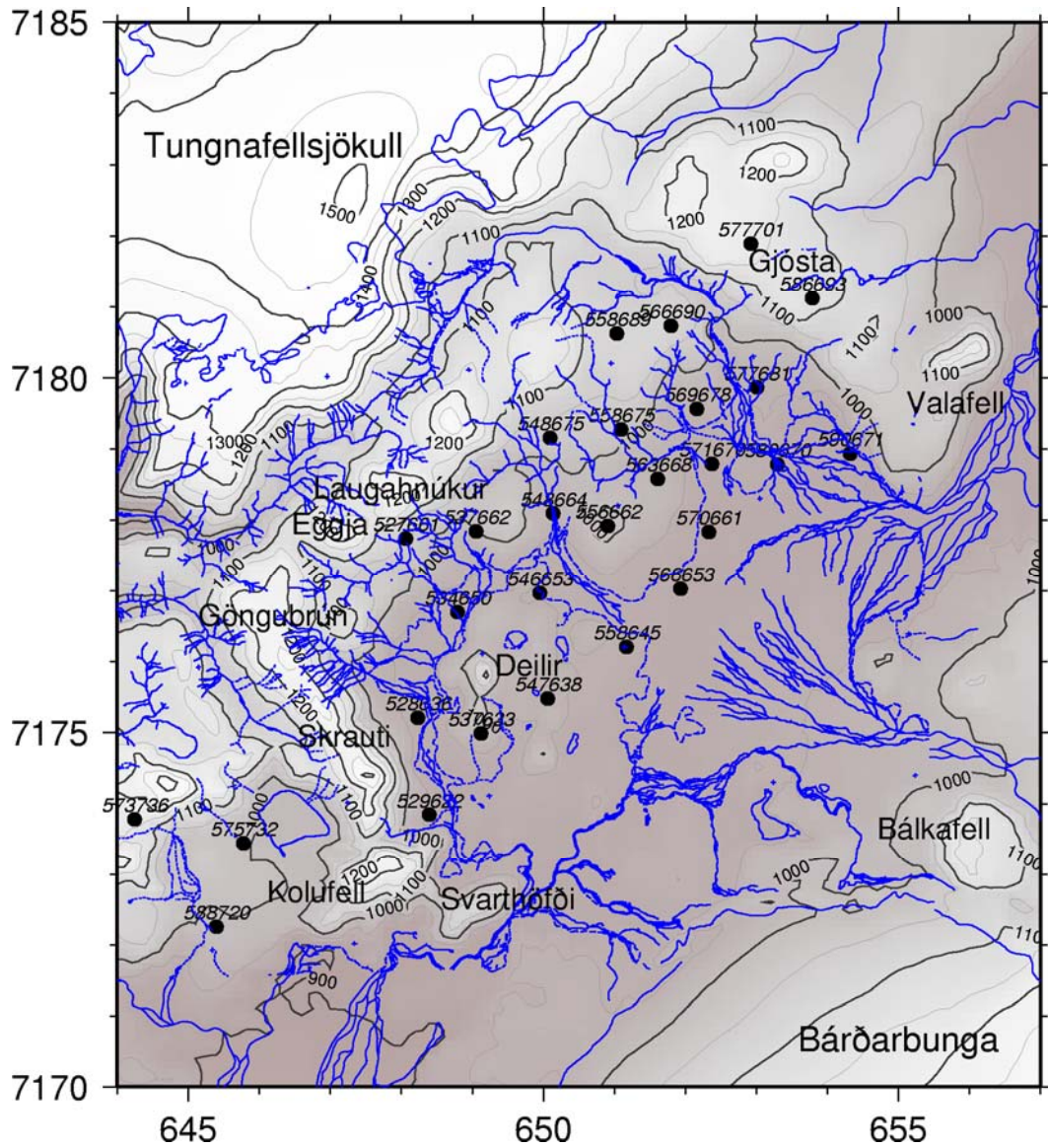
Mynd 4. Mælingamaður við störf að MT-mælingum sumarið 2007. Ljósmynd. Egill Árni Guðnason.

5 Túlkun og niðurstöður TEM-mælinga

TEM-mælingarnar eru túlkaðar og settar fram með forritum sem eru hönnuð af sérfræðingum hjá ÍSOR, þeim Knúti Árnasyni og Hjálvari Eysteinsyni. Hver viðnámsmæling er túlkuð einvitt með marglaga líkani (occam inversion), þar sem forritið gerir ráð fyrir mörgum (20–40) láréttum lögum undir mælistað og velur viðnám í þau til að svara mæliferli. Mælingarnar eru síðan bornar saman og settar fram sem heildstæð mynd. Niðurstöður eru gjarnan sýndar í viðnámsniðum í gegnum mælisvæðið svo og jafnvíðnámskortum sem sýna viðnám í láréttum fleti með 50 eða 100 metra millibili allt niður á 800–1000 metra dýpi undir mælistað.

Staðsetning mælinganna í Vonarskarði er sýnd á mynd 5.

Viðnámsniðin frá Vonarskarði sýna þversnið af viðnáminu niður á um 1 km dýpi og jafnviðnámskortin sýna viðnámið á föstu dýpi allt frá 950 m.y.s. sem er nálægt yfirborði og með 50 metra millibili allt niður á niður á 250 m.y.s.



Mynd 5. Staðsetning TEM-mælinga í Vonarskarði.

5.1 Jafnviðnámskort

Á jarðhitakortinu sést að jarðhitinn á yfirborði er innan öskjunnar og á tveimur svæðum. Annað svæðið er kennt við Eggju, uppi í hálendinu þar sem öskjujaðarinn sker austurhlíðar Tungnafellsjökuls. Á þessu svæði eru hverir og heit jörð á allmörgum stöðum svo og útkulnuð nútímaleirmyndun. Norðaustast í öskjunni er einnig jarðhiti á yfirborði, við Gjóstu, en þar er aðeins um tvö gildirög að ræða. Gott er að hafa í huga lögun öskjunnar og staðsetningu yfirborðshita þegar jafnviðnámskortin eru skoðuð.

Viðnám á 950 m.y.s. sýnir lágt viðnám í öllum mælingunum uppi í hlíðum Tungnafellsjökuls sem eru í 1000 metra hæð eða hærra. Mælingarnar „á láglandinu“ (900–1000 m) um miðbik öskjunnar sýna hátt viðnám svo og mælingarnar utan öskjunnar. Þetta sýnir að lágviðnámskápán er nærri yfirborði, eða á 100–150 metra dýpi, í vesturhluta öskjunnar.

Viðnám á 900 m.y.s. sýnir stækkandi lágviðnámssvæði til austurs, sérstaklega meðfram öskjujöðrunum, og þetta staðfestist á næsta korti **viðnám á 850 m.y.s.** þar sem lágviðnámið teygir sig enn lengra meðfram jöðrum öskjunnar. Á þessu korti sér í háviðnámskjarna (skyggt svæði) undir lágviðnámskápunni á tveimur stöðum en það eru þau tvö svæði þar sem jarðhiti er á yfirborði.

Viðnám á 800 m.y.s. sýnir stækkun háviðnámskjarnans á báðum svæðum og teygir hann sig eftir jaðri öskjunnar til austurs frá jarðhitastöðunum, annars vegar frá Eggju og meðfram Skrauta og hins vegar meðfram Gjóstu.

Á næstu þremur kortum, **viðnám á 750, 700 og 650 m.y.s.**, sem eru nánast eins, teygir háviðnámskjarninn sig enn lengra meðfram öskjujaðrinum.

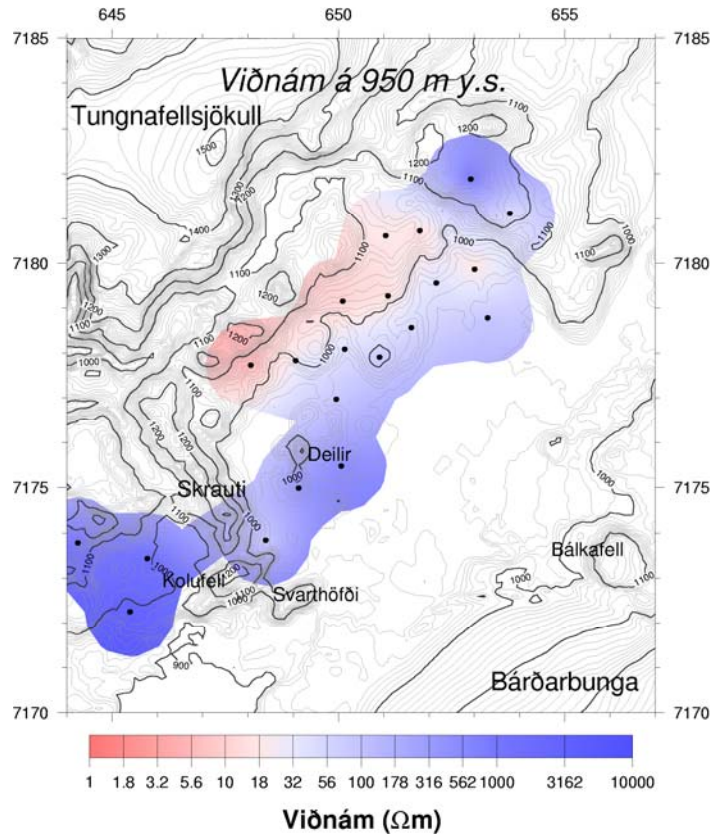
Á næstu þremur kortum, **viðnám á 600, 550 og 500 m.y.s.** stækkar háviðnámskjarninn út frá öskjujaðrinum (þykknar). Í miðri öskjunni hefur hingað til verið hátt viðnám en hér fer að sjá í lágviðnámskápuna í mælingunum þar.

Viðnám á 450 m.y.s. sýnir stækkun háviðnámskjarnans um allan suðurhluta öskjunnar eða eins og mælingarnar þekja. Háviðnámskjarninn sést ekki utan öskjunnar nema ef til vill í nyrstu mælingunni sem er nánast á öskjujaðrinum.

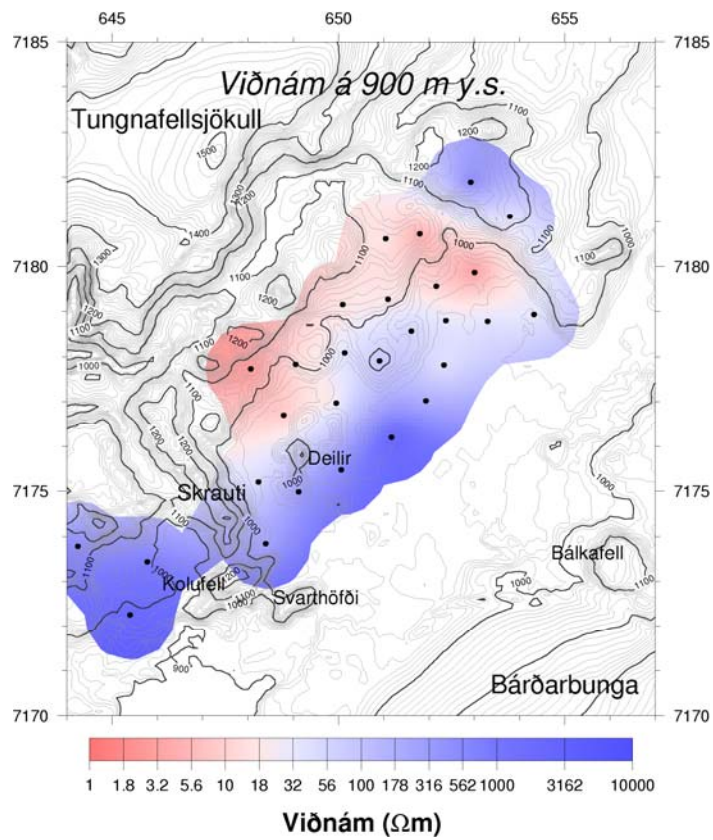
Á næstu kortum, **400, 350 og 300 m.y.s.**, stækkar háviðnámskjarninn í suðurhluta öskjunnar en við norðurjaðarinn er ekki breyting á háviðnámskjarnanum og innan við hann er lágt viðnám með dýpi eins djúpt og TEM-mælingarnar sjá.

Síðasta kortið, sem sýnir **250 m.y.s.**, breytist aðeins að því leyti að það glittir í háviðnámskjarnann á þessu dýpi suðvestan við Skrauta og þar með utan öskjunnar.

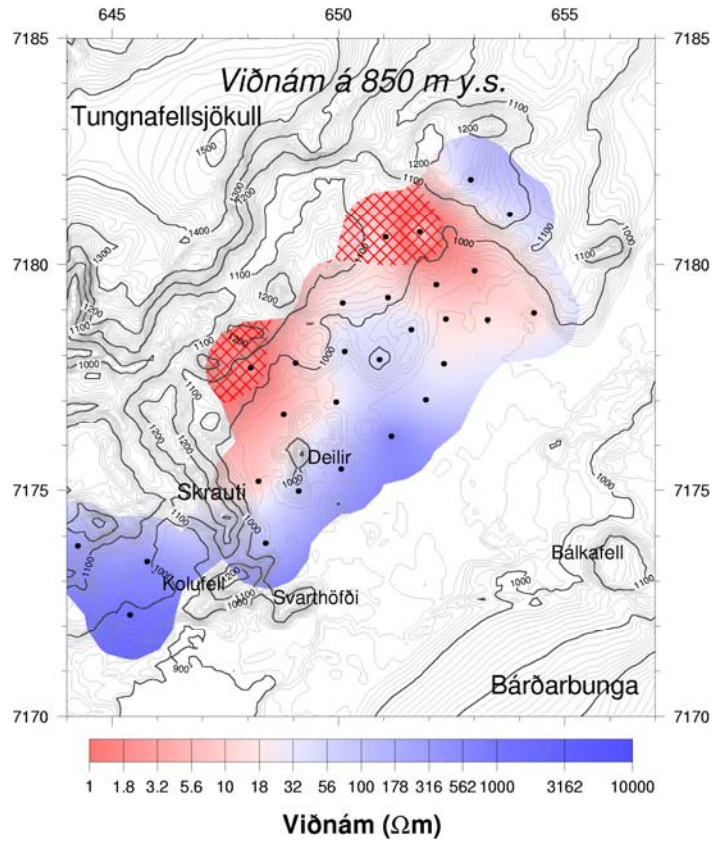
Viðnámskortin eru sýnd á myndum 6–20.



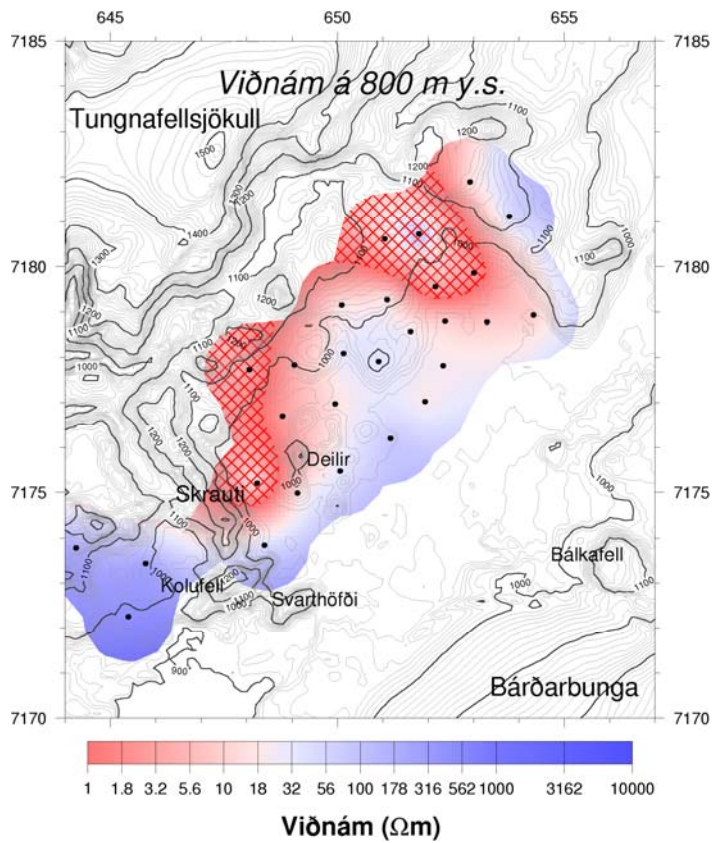
Mynd 6. Viðnám á 950 m.y.s.



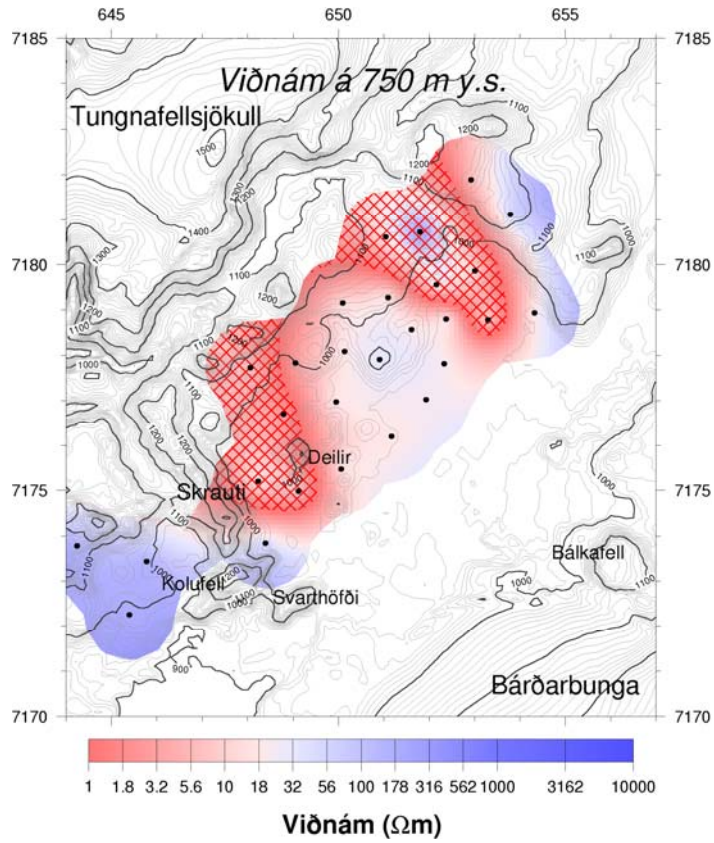
Mynd 7. Viðnám á 900 m.y.s.



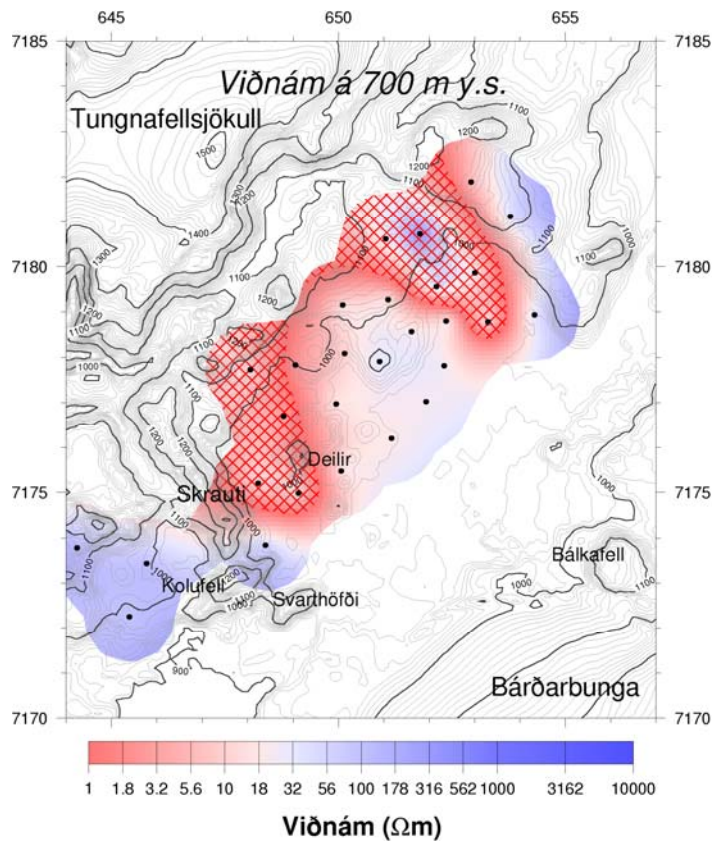
Mynd 8. Viðnám á 850 m.y.s.



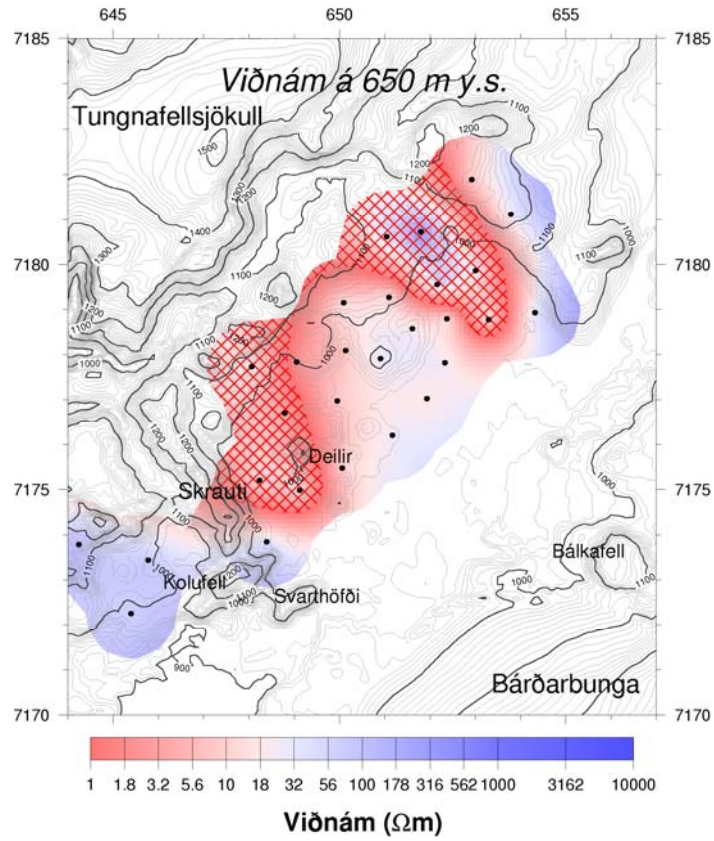
Mynd 9. Viðnám á 800 m.y.s.



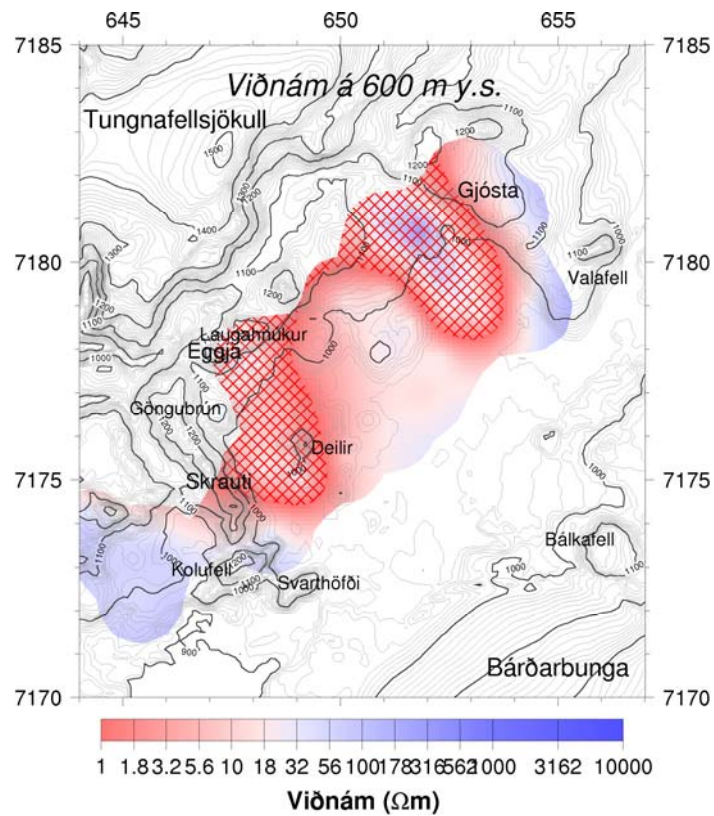
Mynd 10. Viðnám á 750 m.y.s.



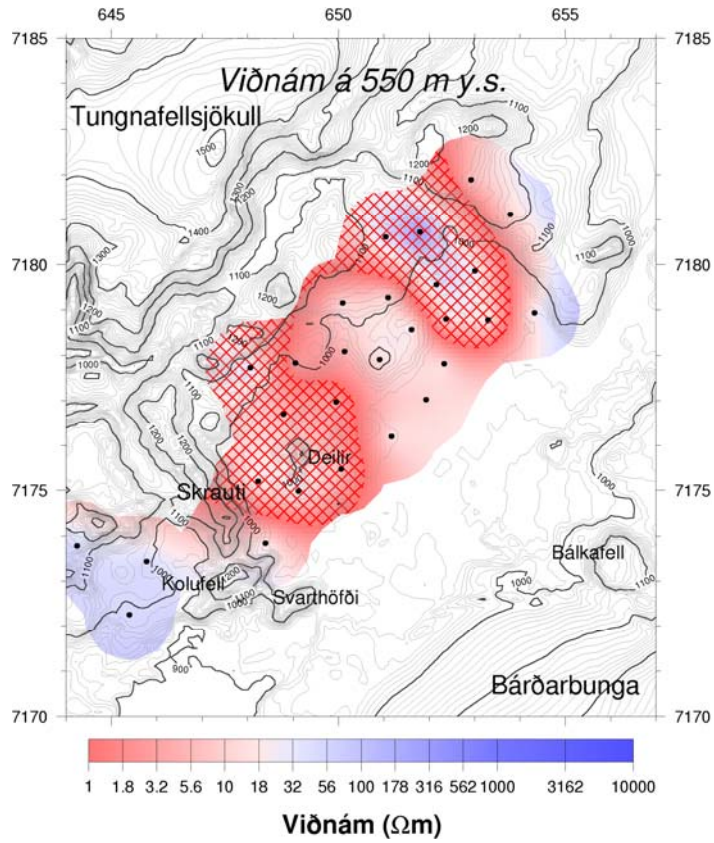
Mynd 11. Viðnám á 700 m.y.s.



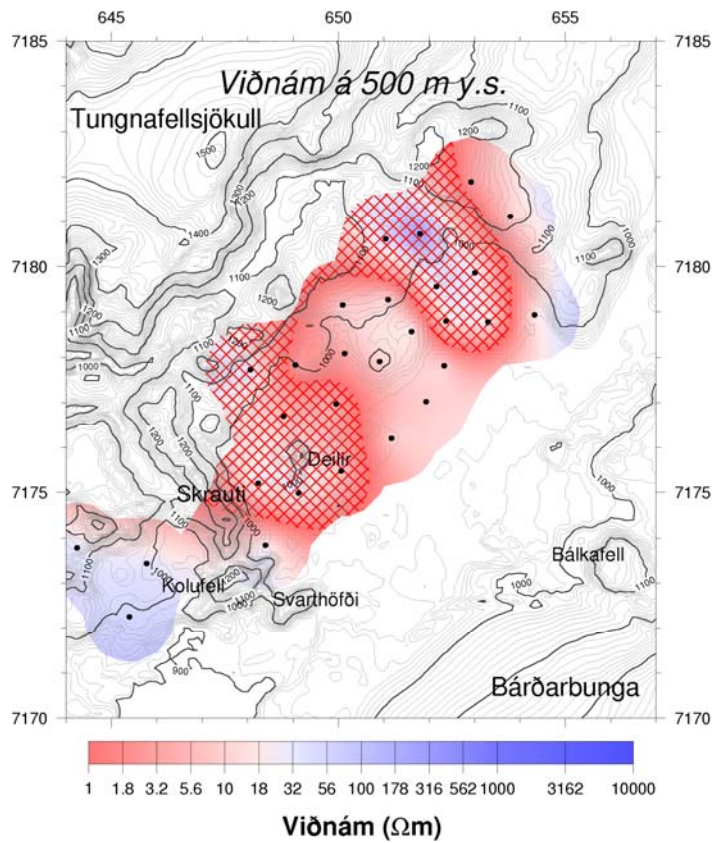
Mynd 12. Viðnám á 650 m.y.



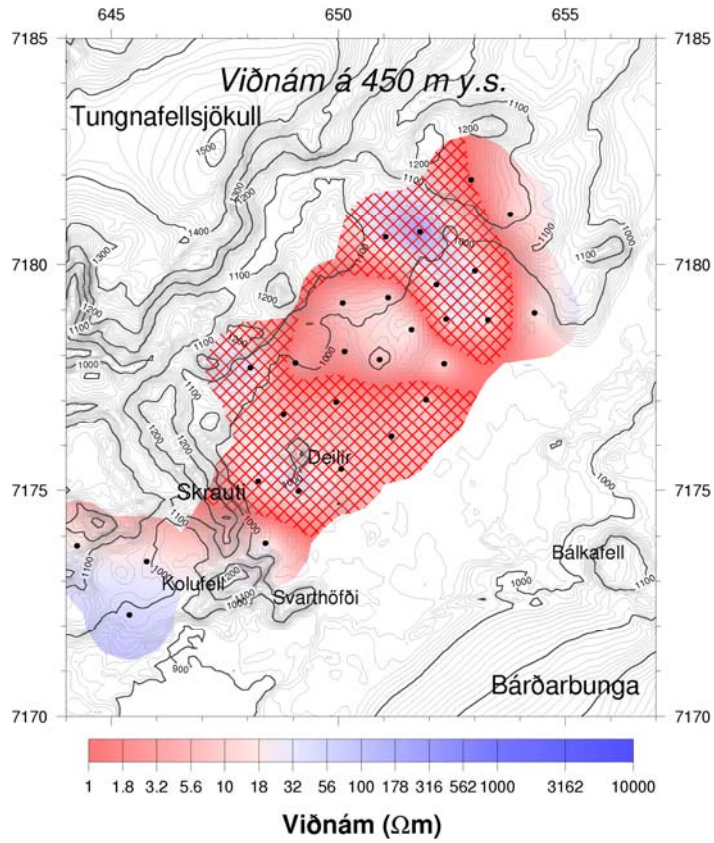
Mynd 13. Viðnám á 600 m.y.s.



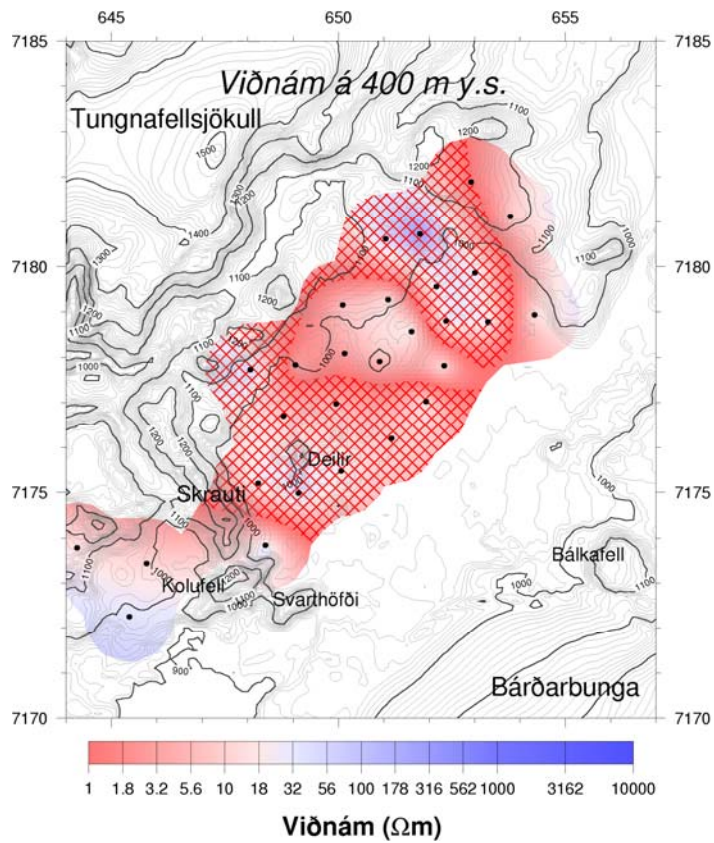
Mynd 14. Viðnám á 550 m.y.s.



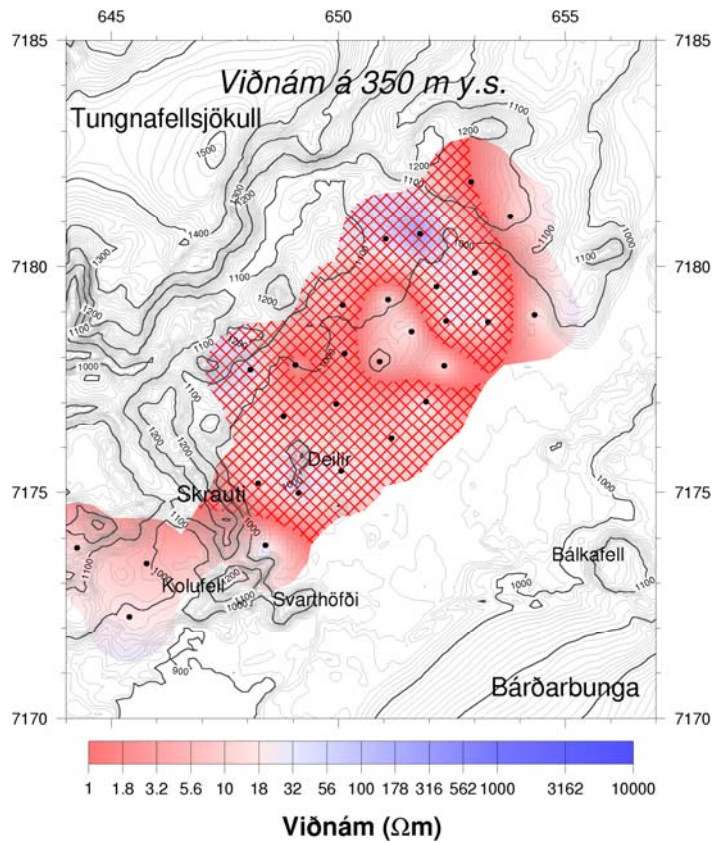
Mynd 15. Viðnám á 500 m.y.s.



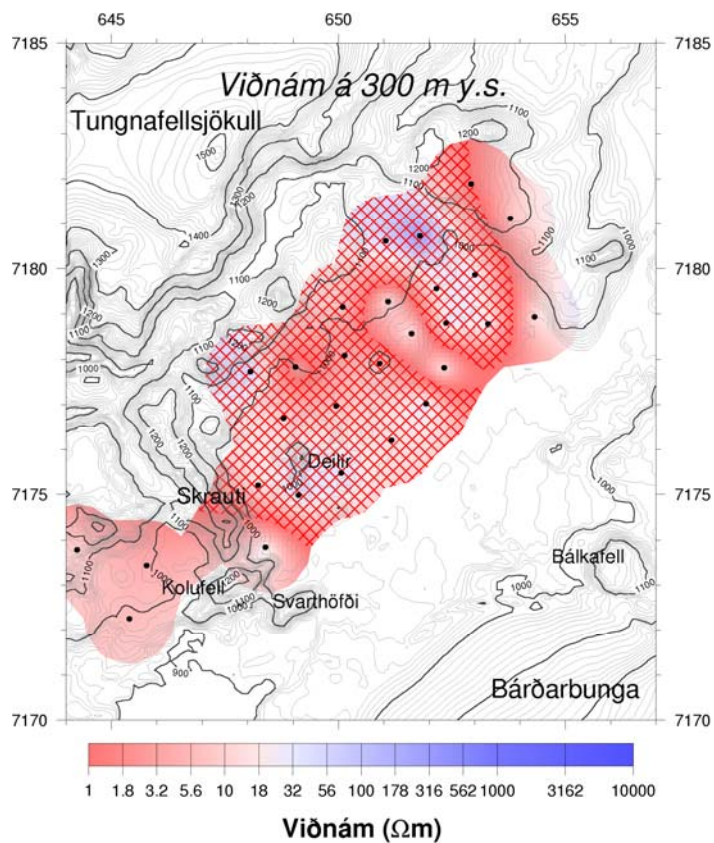
Mynd 16. Viðnám á 450 m y.s.



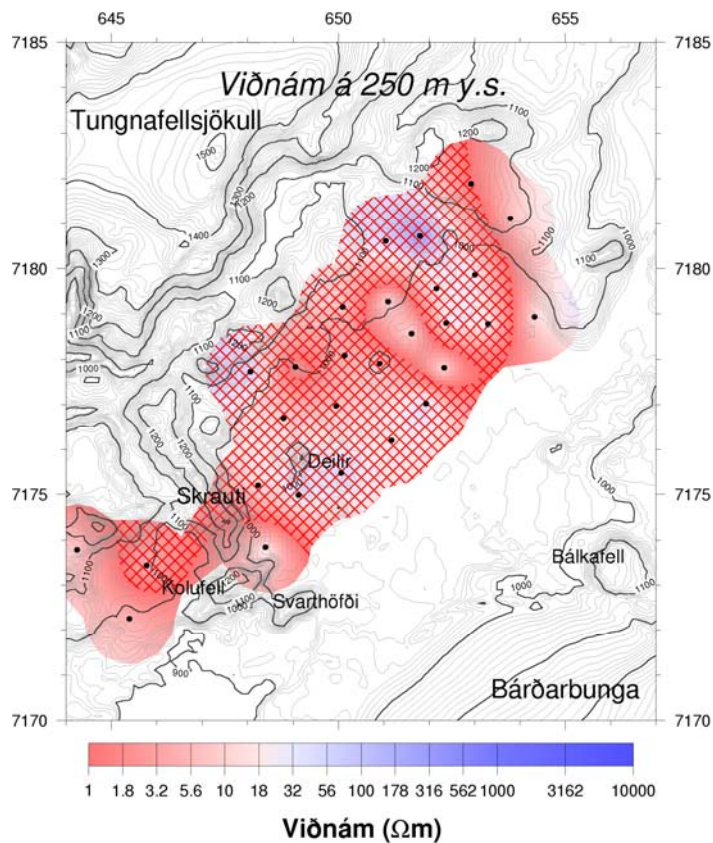
Mynd 17. Viðnám á 400 m y.s.



Mynd 18. Viðnám á 350 m y.s.



Mynd 19. Viðnám á 300 m y.s.

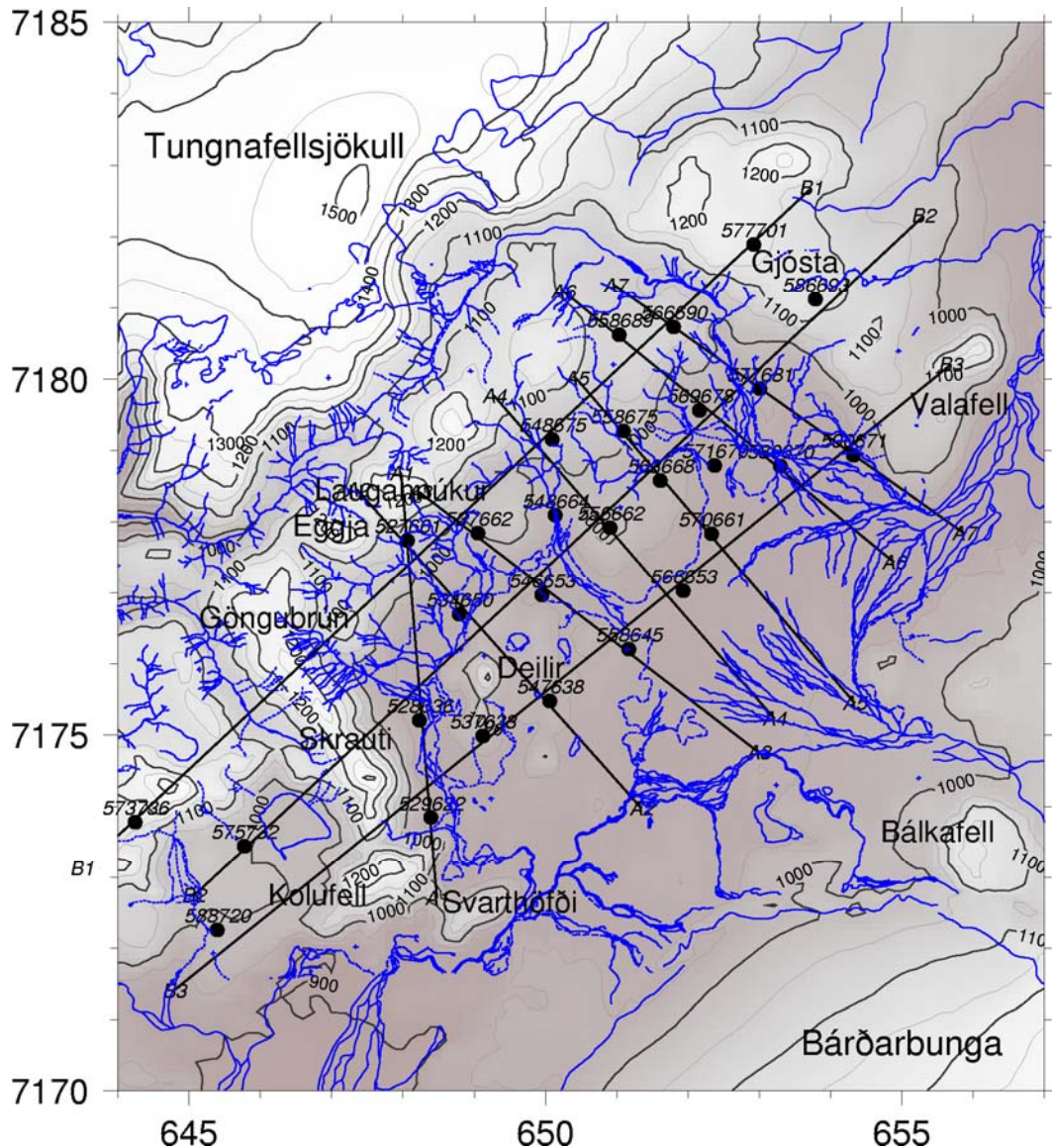


Mynd 20. Viðnám á 250 m.y.s.

Þegar lítið er yfir þessi kort blasir við að mælinetið sýnir aðeins sneið af háhitakerfinu í Vonarskarði. Samkvæmt niðurstöðum TEM-mælinganna virðist háhitakerfið liggja í norðvesturhluta öskjunnar í Vonarskarði. Sjáanlegur jarðhiti á yfirborði er aðallega á tveimur svæðum við öskjujaðarinn. Í efstu 500 metrunum virðist háhitakerfið (háviðnámskjarninn) liggja í boga eftir öskjujaðrinum. Þar fyrir neðan sér á dýpkun á kerfið til suðausturs. Ætla má að háhitakerfið fylgi öskjunni við Tungnafellsjökul en það er þó ekki hægt að fullyrða þar sem mælingar vantar. Mælingarnar efst í hlíðum Tungnafellsjökuls virðast sjá hátopp jarðhitakerfisins. Það má því segja að hér sést aðeins sneið í gegnum suðausturhluta jarðhitakerfisins.

5.2 Viðnámsnið

Til að skýra þessa viðnámsmynd enn frekar eru sýnd nokkur viðnámsnið í gegnum svæðið og sýna þau viðnám niður á 800–1000 metra dýpi (0 m.y.s). Sniðin sem merkt eru A1–A7 eru öll stutt, eða 4–5 km með NV-SA stefnu, þvert á aflangt mælisvæðið. Snið B1–B3 liggja með SV-NA stefnu. Lega sniða er sýnd á mynd 21.



Mynd 21. Lega viðnámsniða.

Sniðin A1, A2 og A3 liggja öll frá svæðinu við Eggju og Laugarhnúk í vestri og suður (A1) og suðaustur yfir mælisvæðið (A2 og A3). Þau sýna öll lágviðnámskápu uppi í yfirborði við Eggju og Laugarhnúk og háviðnámskjarna, sem nær upp í 900 m.y.s. Þau sýna einnig lækkun á lágviðnámskápu og háviðnámskjarna til suðausturs.

Snið A4 og A5 sýna þykka lágviðnámskápu og í A4 sést í háviðnámskjarna neðan við 400 m.y.s. Hann sést ekki í A5 en er þó til staðar neðar eins og sést á niðurstöðum MT-mælinganna síðar í skýrslunni.

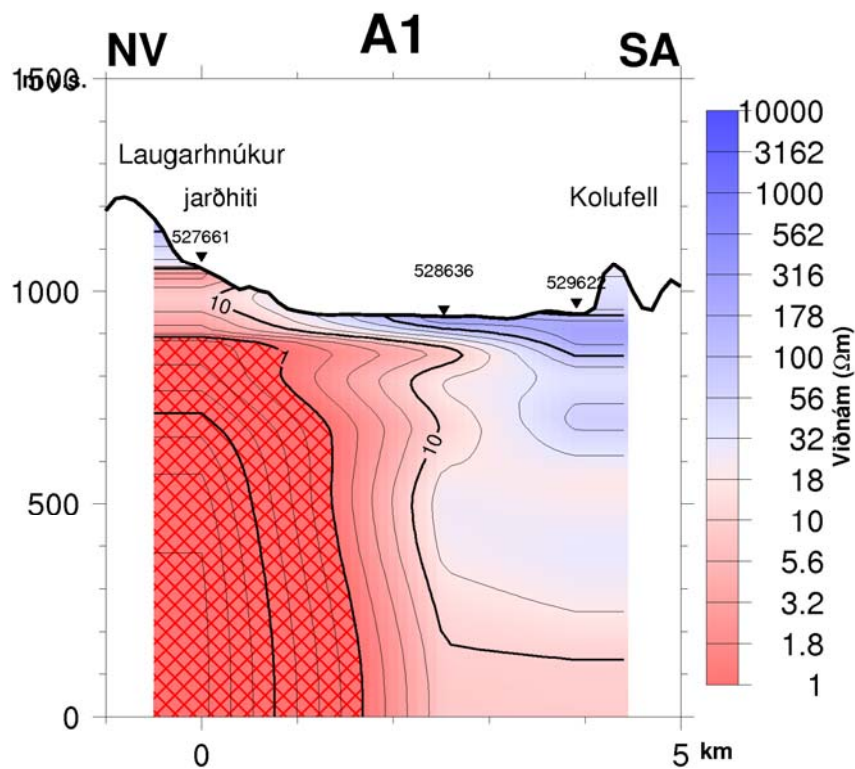
Snið A6 og A7 sýna aftur lágviðnámskápu grunnt, eða á um 50–60 metra dýpi, og háviðnámskjarna undir sem nær upp í 900 m.y.s. innan við öskjubrúna við Gjóstu.

Sniðin B1, B2 og B3 liggja suðvestur-norðaustur um mælisvæðið. **Snið B1** liggur vestast, um jarðhitasvæðin við Eggju, Laugarhnúk og við Gjóstu. Það sýnir tvo toppa

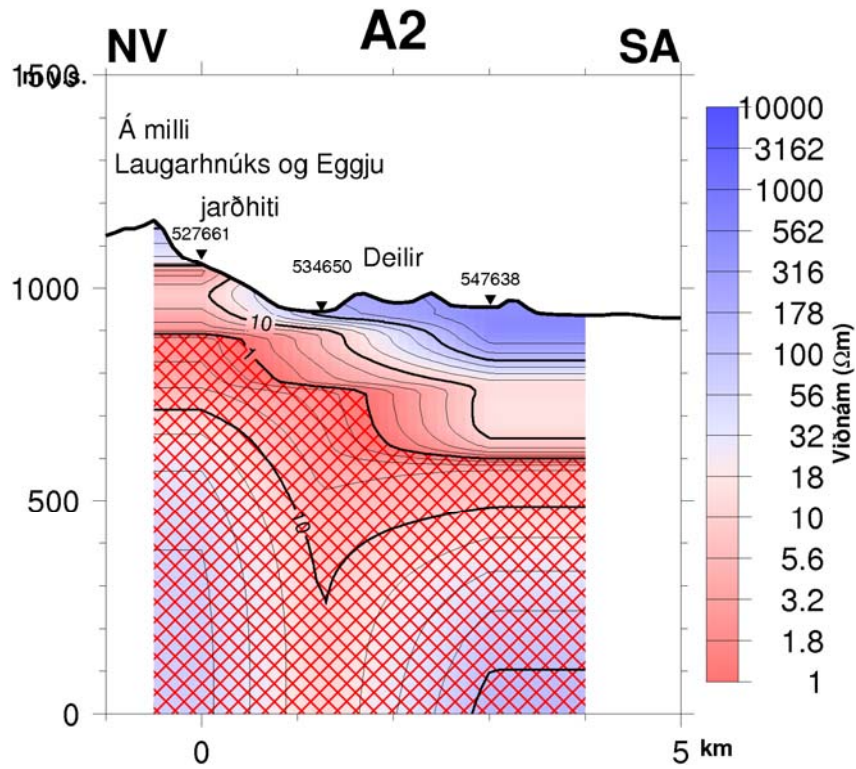
háviðnámskjarnans með lágviðnámskápu yfir. Mælingarnar ná ekki að öskjurímanum vestast en það er líklegt að þar tengist háviðnámskjarninn og að jarðhitakerfið liggi þannig í boga eftir öskjurímanum. **Sniðin B2 og B3** sýna hvernig lækkar á jarðhitakerfið til suðausturs.

Niðurstöður TEM-mælinganna, sem sýna viðnám niður á 800–1000 metra dýpi í jarðhitakerfinu, benda til þess að jarðhitakerfið liggi í boga eftir öskjurímanum vestanverðum í Vonarskarði. Viðnámsmælingarnar sýna ekki allan bogann þar sem mælingar vantar vestast í öskjunni uppi í hálendisbrún Tungnafellsjökuls. Það sem kemur fram sem þykk lágviðnámskápa á milli tveggja toppa er í raun lágviðnámskápan innan við bogann sem háviðnámskjarninn myndar vegna uppstreymis um brot tengd öskjurímanum.

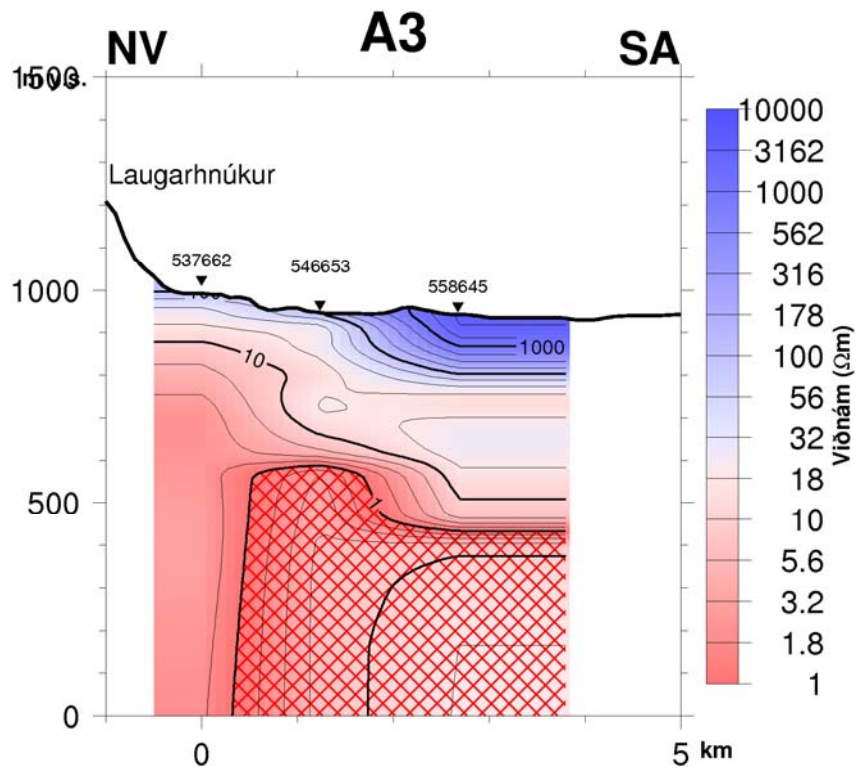
Viðnámsniðin eru sýnd á myndum 22–31.



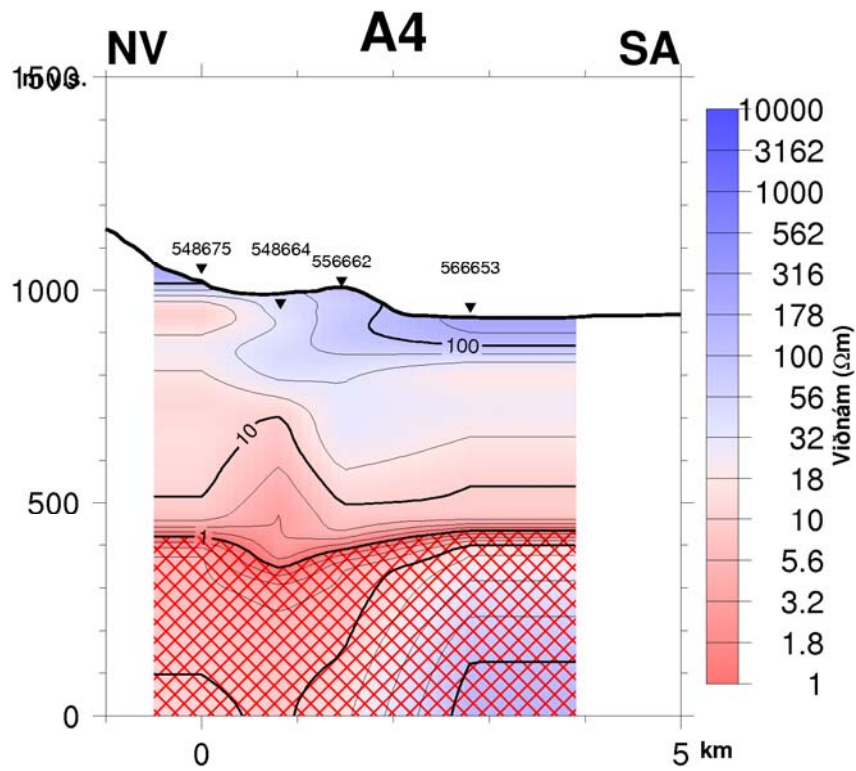
Mynd 22. Viðnámsnið A1.



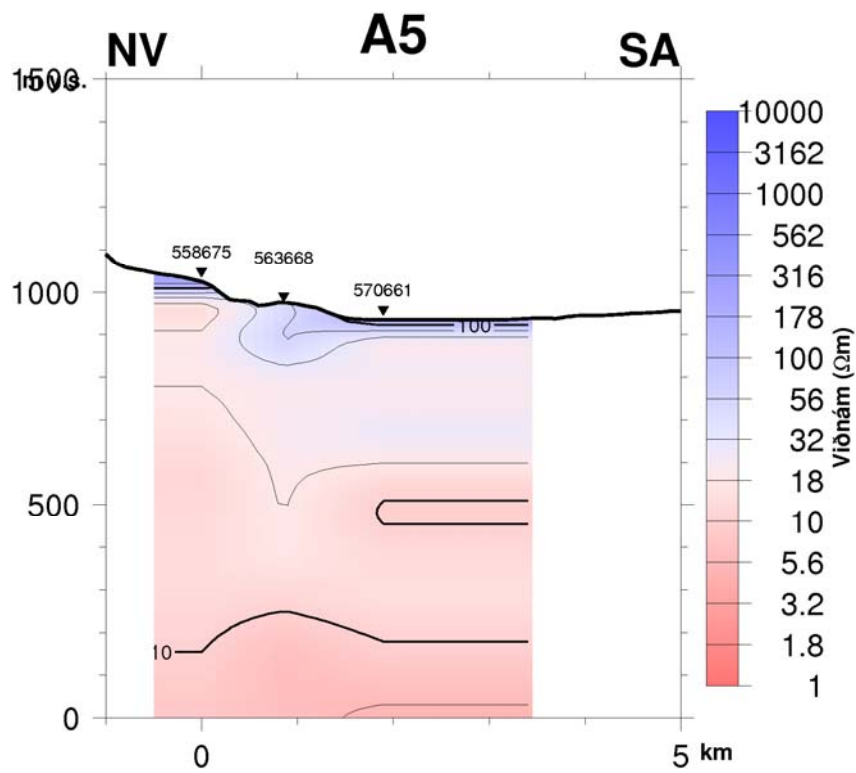
Mynd 23. Viðnámsnið A2.



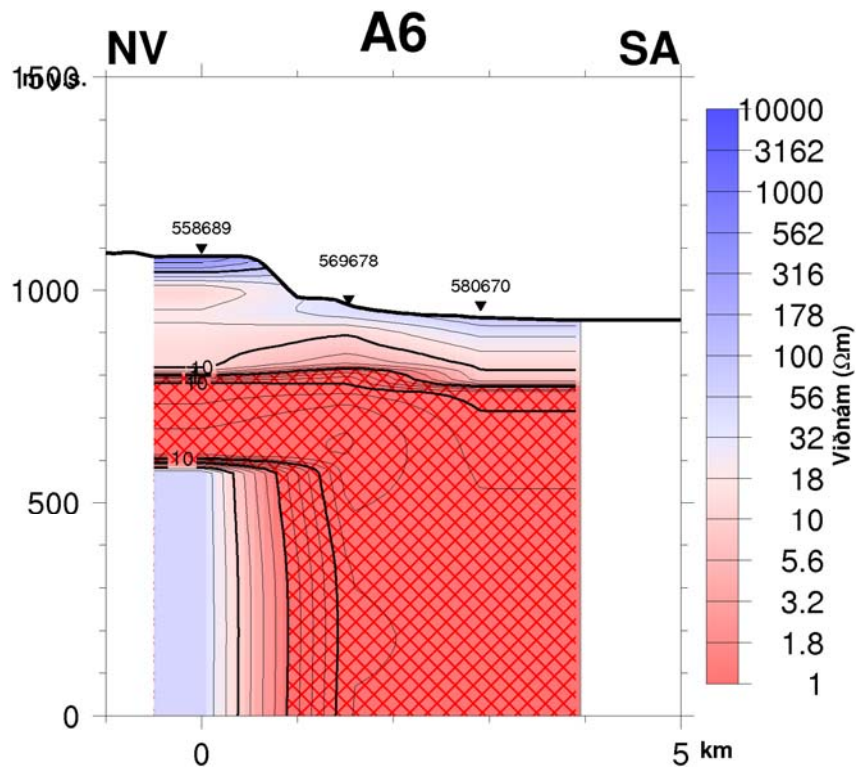
Mynd 24. Viðnámsnið A3.



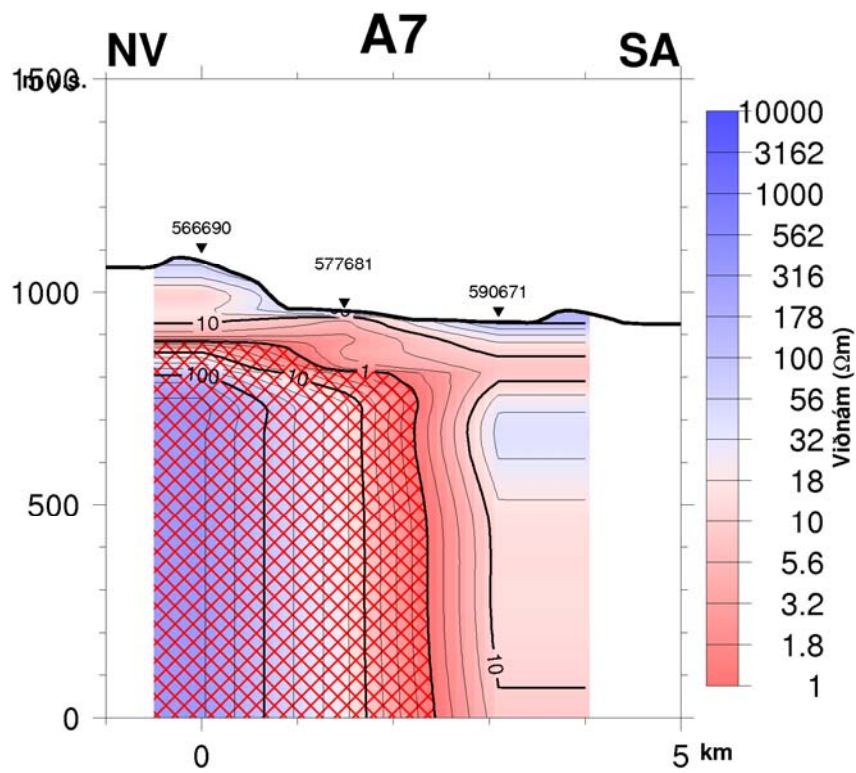
Mynd 25. Viðnámsnið A4.



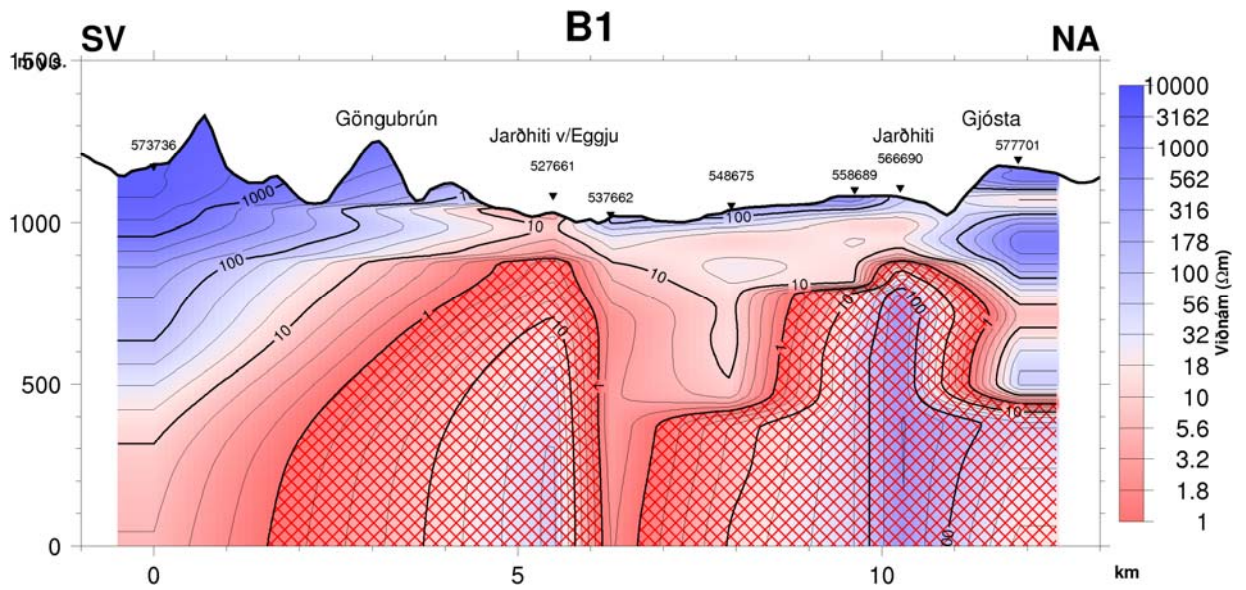
Mynd 26. Viðnámsnið A5.



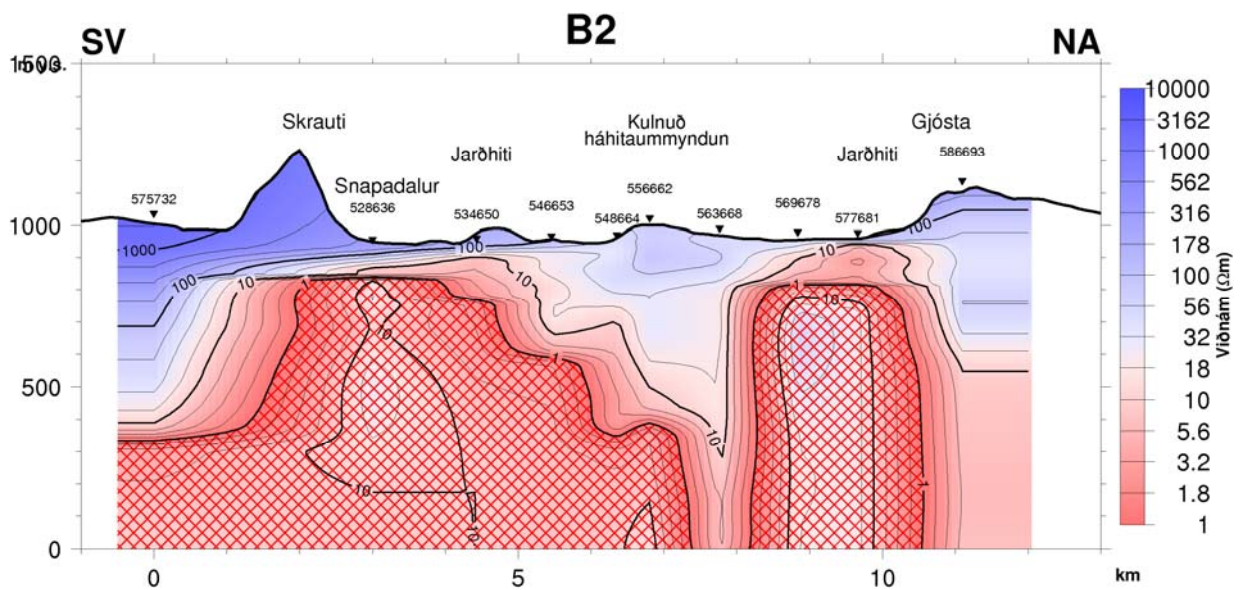
Mynd 27. Viðnámsnið A6.



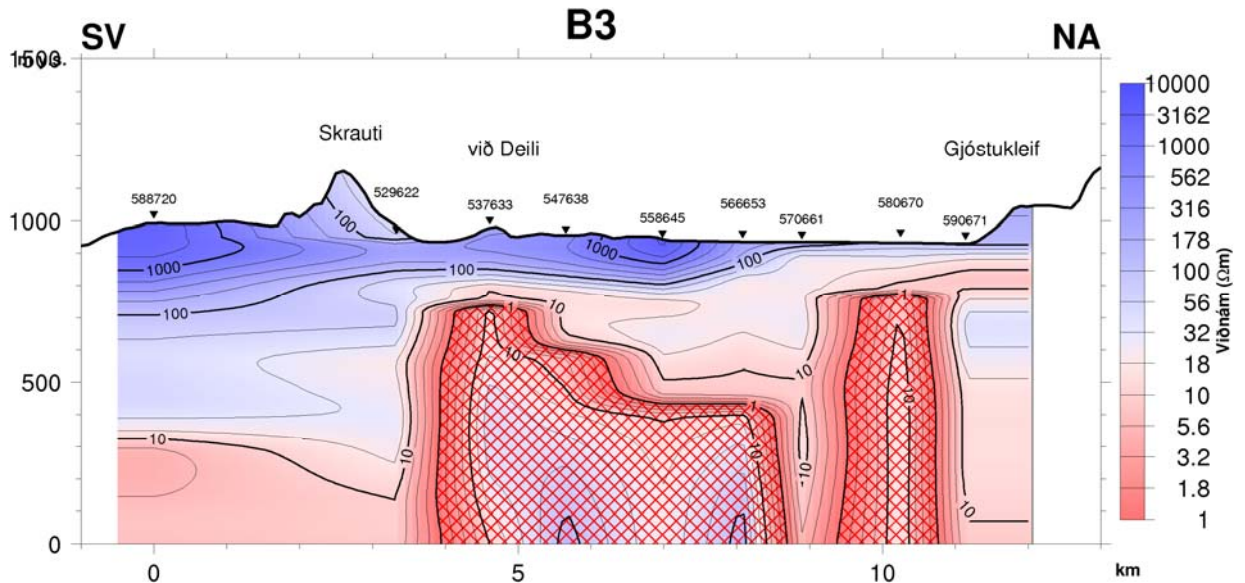
Mynd 28. Viðnámsnið A7.



Mynd 29. Viðnámssnið B1.



Mynd 30. Viðnámssnið B2.



Mynd 31. Viðnámsnið B3.

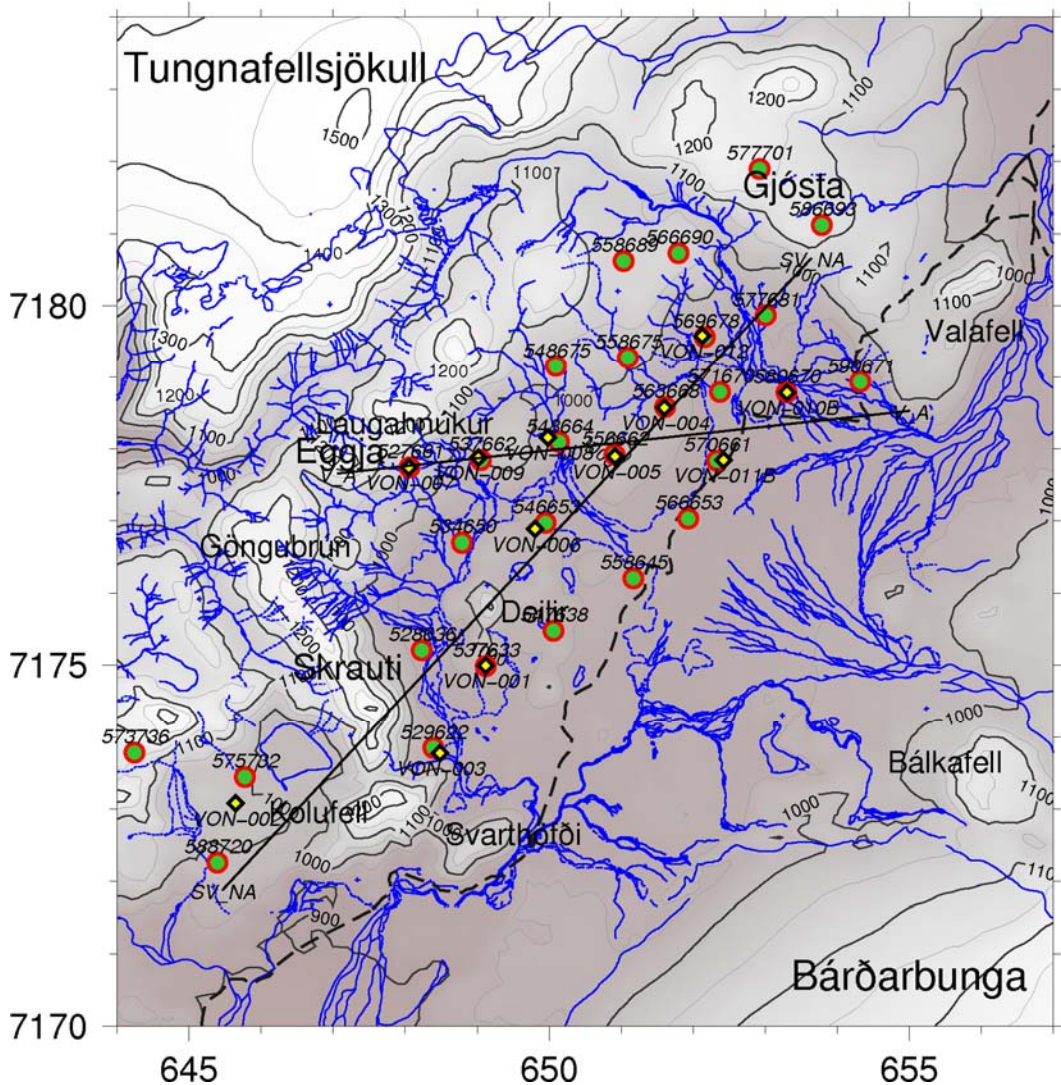
6 MT-mælingar

TEM-mælingar, sem fjallað er um hér að framan, gefa upplýsingar um viðnámsdreifingu jarðar í efstu jarðlögunum, yfirleitt niður á u.þ.b. 1000 metra dýpi. Til að kanna viðnám dýpri jarðlaga, tugi eða jafnvel hundruð kílómetra niður í jörðina, eru notaðar s.k. MT-mælingar (Magneto Telluric).

Rafstraumar spanast upp í jörðinni vegna sveiflna í segulsviði jarðar sem aftur stafa af breytilegum rafstraumum í háloftunum (eldingar og sólvindar). Styrkur jarðstraumanna er bæði háður eðlisviðnámi jarðarinnar og stærð segulsveiflnanna og með því að mæla segul- og rafsvið samtímis á jörðinni má ákvarða eðlisviðnám jarðar. Hægar sveiflur í segulsviði ná djúpt ofan í jörðina en hærri tíðnir spana upp strauma í efri lögum. Eðlisviðnám jarðar á ákveðnu dýptarbili má því finna með því að skoða hlutfall rafsviðs og segulsviðs á ákveðnu tíðnisviði. Segulsviðið (**H**) er mælt með segulspólum og rafsviðið (**E**) er fundið með því að finna spennu milli tveggja rafskauta og deila í útkomuna með fjarlægðinni milli þeirra (oftast 50 metrar). Mælt er í tvær stefnur á láréttu plani, sem eru hornrétt hvor á aðra (H_x , H_y , E_x , E_y) og einnig er lóðrétti þáttur segulsviðsins mældur (Hz). Í MT-mælingum er mælt á tíðnibilinu 0.0001–10 Hz. Styrkur lágtíðnisveifla er mestur um miðnætti og undir morgun á Íslandi og MT-mælingar því látnar ganga yfir nótt.

Vandamál við túlkun MT-mælinga eru s.k. hliðrunaráhrif (telluric shift). Vegna óreglna í viðnámi nálægt yfirborði jarðar hliðrast sýndarviðnámsferlarnir upp eða niður um ákveðinn lógaritmískan fasta. Hins vegar eru TEM-mælingarnar óháð þessum áhrifum og því má ákvarða þessa hliðrun í MT-gögnunum með samtúlkun TEM- og MT-mælinga. Þannig má segja að TEM-mælingarnar tengi MT-mælingarnar við yfirborð.

Eins og sagt er hér að framan voru 12 MT-mælingar settar ofan í TEM-mælingar í Vonarskarði. Þær liggja eftir tveimur línunum, SV-NA annars vegar og A-V hins vegar. Staðsetning þeirra er sýnd á mynd 32.



Mynd 32. Staðsetning MT-mælinga (gulir tíglar) í Vonarskarði.

Þar sem MT-mælingum hefur verið beitt á Íslandi kemur gjarnan fram 5–7 km þykkt lágviðnámslag einhvers staðar á 5–20 km dýpi. Grynnt er á lágviðnámslag þetta undir háhitasvæðunum. Hvað þetta lágviðnám þýðir er ekki alveg ljóst en trúlegt er að einn þátta, sem veldur lágu viðnámi hérna, sé hiti og að hér sé komið að mörkum deigrar og brotjarnrar skorpu þar sem hitastig er nálægt 600–700°C (Arnar Már Vilhjálmsson o.fl., 2008).

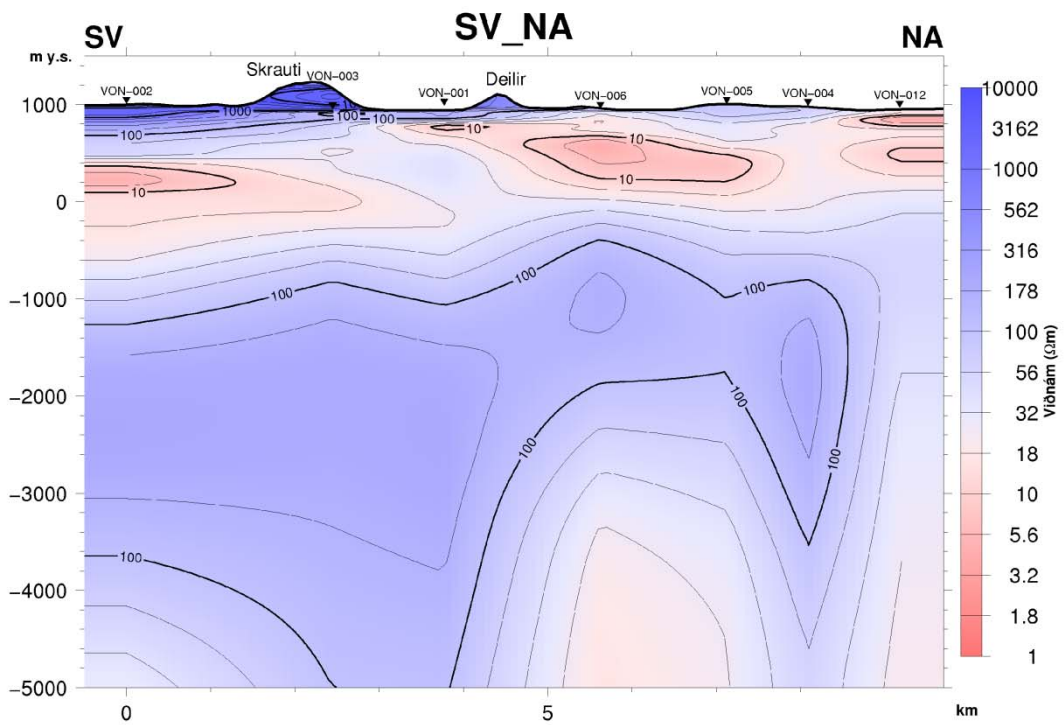
Niðurstöður samtúlkunar á TEM- og MT-mælingum sýna lágt viðnám á innan við 1 km dýpi og samsvarar það lágviðnámskápunni sem talað er um í niðurstöðum TEM-mælinganna. Neðan þess er hátt viðnám og síðan neðra lágviðnámslag, sem best er að skýra nánar í tveimur sniðum.

Snið SV-NA liggur allt frá Kolufelli, sem er suðvestan við öskjurimann (Skrauta) í norðaustur að Gjóstu. Sniðið er sýnt á mynd 33 niður á 5 km dýpi og á mynd 34 niður á 20 km dýpi. Lágviðnámskápan er greinileg ofan 1 km dýpis (mynd 30). Neðar í sniðinu koma fram þrjár lágviðnámskrokkar sem tengjast (mynd 31). Suðvestast er lágviðnámskrokkur með lægst viðnám á 16–19 km dýpi. Upp frá honum er lágviðnám (< 20 Ω) upp undir 5 km dýpi. Hinir lágviðnámskrokkarnir tveir liggja grynna og er lægst viðnám í þeim á 10–15 km dýpi. Upp frá þeim teygir sig lágviðnám allt upp undir 4–5 km dýpi líkt og suðvestast. Þessir tveir lágviðnámskrokkar eru annars vegar undir miðri öskjunni og hins vegar undir NA-öskjurimanum. Þetta skýrist betur þegar lítið er á hitt sniðið.

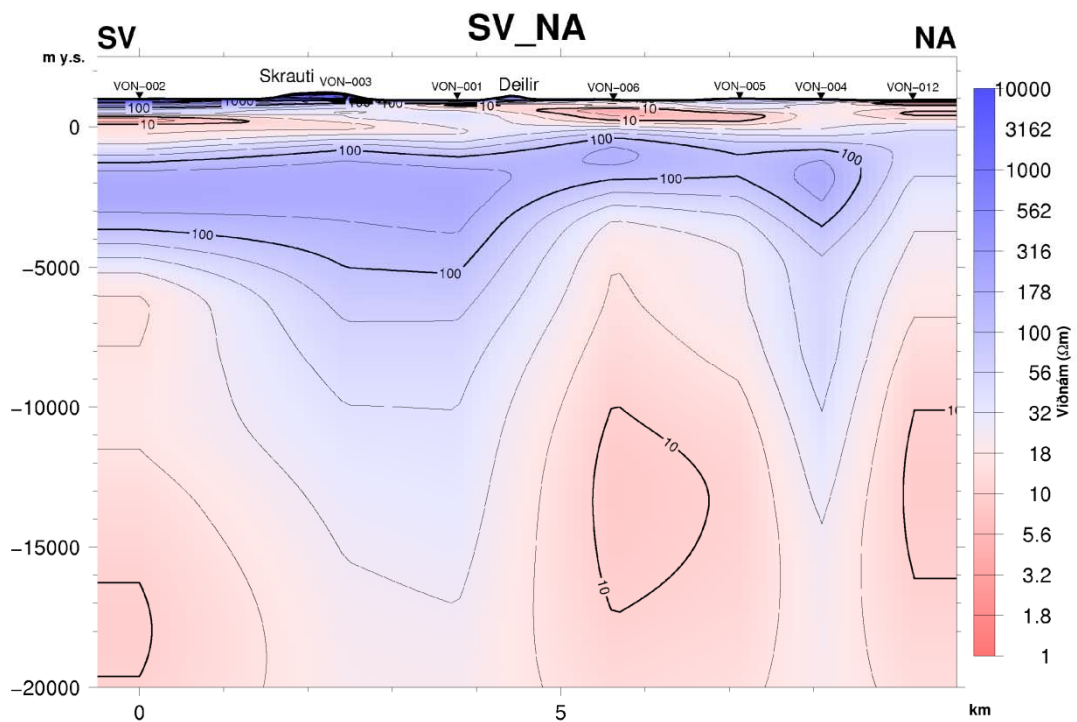
Snið V-A liggur vestast frá jarðhitunum við Eggju og austur að Valafelli. Sniðið er sýnt á mynd 35 niður á 5 km dýpi og á mynd 36 niður á 20 km dýpi. Þar sést að lágviðnámskrokkurinn úr miðju SV-NA sniðsins tengist þykku lágviðnámslagi, sem hefur lægst viðnám á 9–16 km dýpi. Upp frá því teygir sig lágviðnám allt upp undir 3 km dýpi í vestustu mælingunum, sem eru nærri jarðhitunum vestast í öskjunni, við Eggju og Laugahnúk. Austast í sniðinu er líklegt að sjáist í sama lágviðnámskrokk og norðaustast í hinu sniðinu.

Mjög athyglisvert er að sjá að lágt viðnám er undir neðra lágviðnámslaginu í mælingunum vestast í V-A sniðinu, og teygir það sig niður eins langt og sést í mælingunum undir jarðhitunum í vesturjaðri öskjunnar (við Laugarhnúk og Eggju). Þetta er sýnt á mynd 37 sem sýnir viðnám niður á 40 km dýpi undir V-A sniðinu.

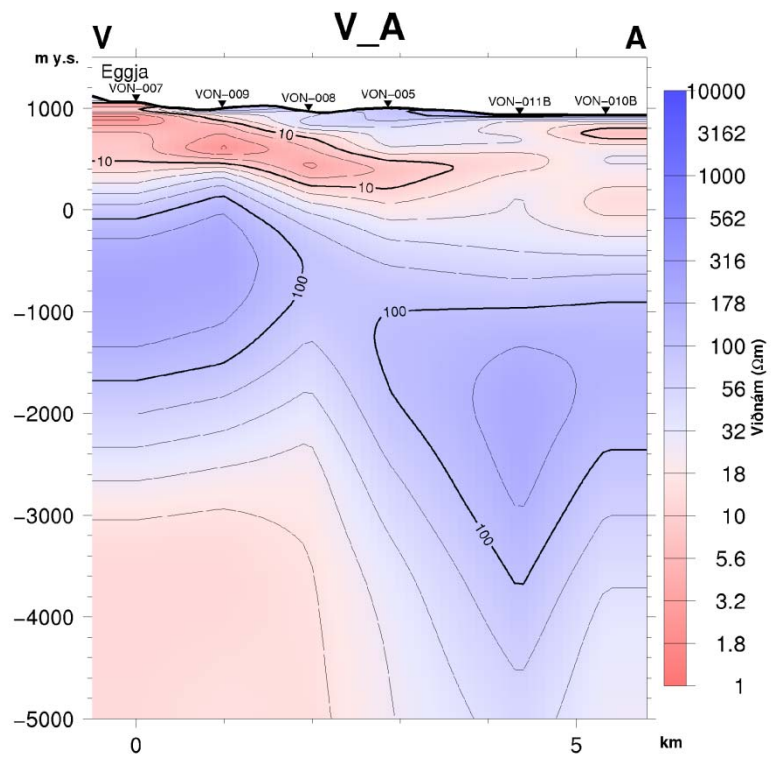
Samandregnar niðurstöður MT-mælinganna sýna neðra lágviðnámslagið undir Vonarskarði. Grynnt er á það undir vesturhluta öskjunnar og þar er einnig lágt viðnám undir laginu eins langt og mælingar sjá. Þetta gefur vísbindingar um að uppstreymi í jarðhitakerfið í Vonarskarði sé norðvestast í öskjunni. Ljóst er hins vegar að TEM- og MT-mælingarnar þekja aðeins austurhluta jarðhitakerfisins og ekki vitað hvort né hversu langt jarðhitakerfið nær vestur fyrir öskjurimann í brúnum Tungna-fellsjökuls.



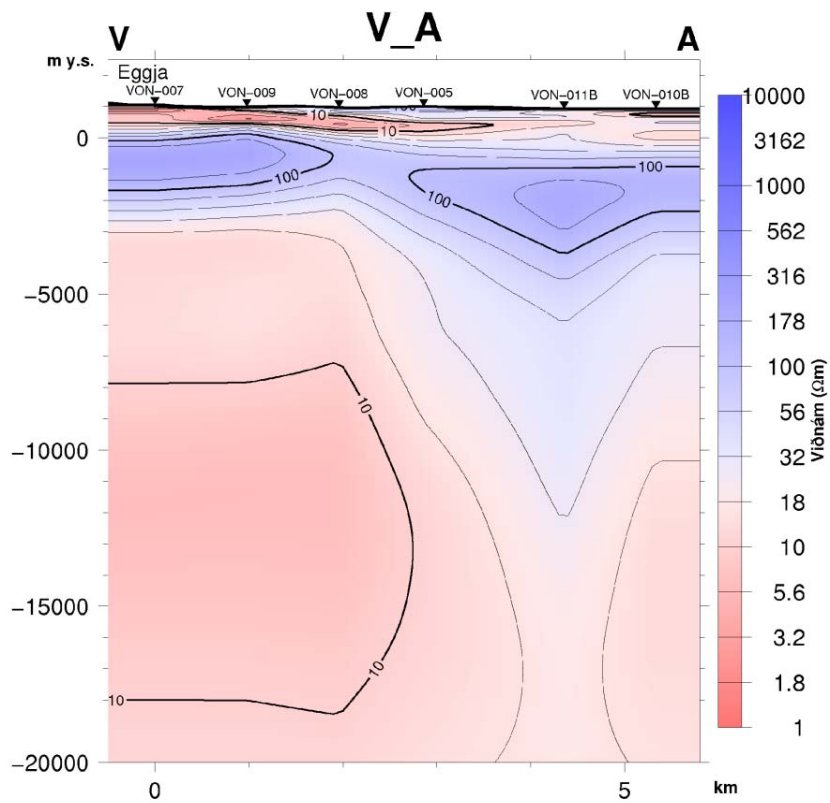
Mynd 33. SV-NA MT/TEM-viðnámssnið niður á 5 km dýpi.



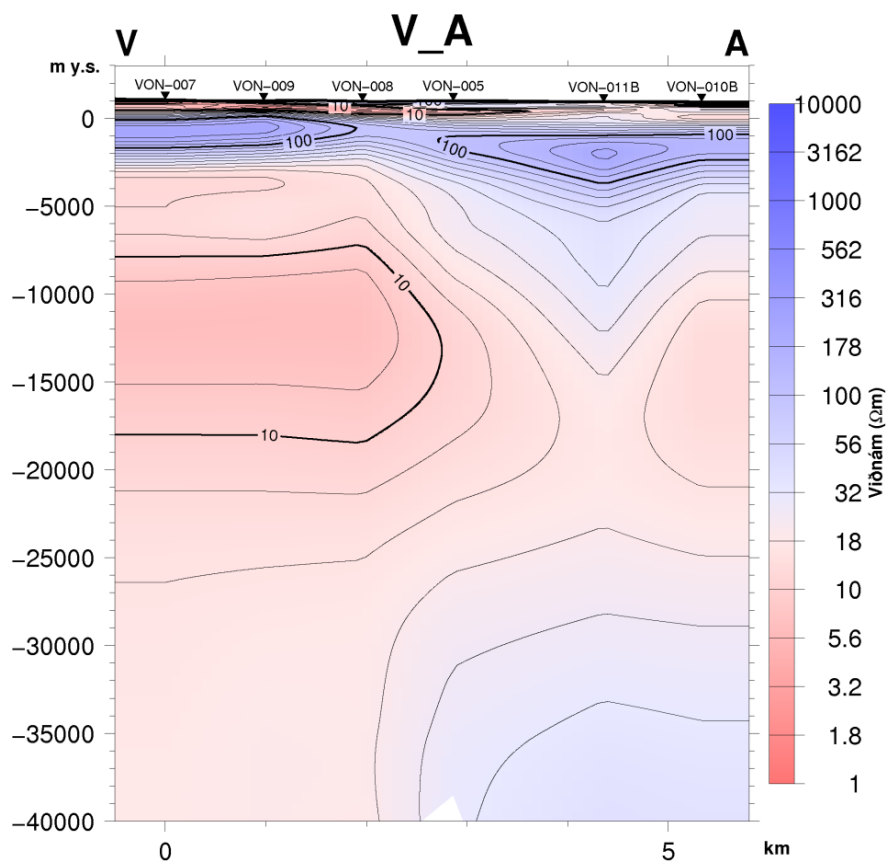
Mynd 34. SV-NA MT/TEM-viðnámssnið niður á 20 km dýpi.



Mynd 35. V-A MT/TEM-viðnámssnið niður á 5 km dýpi.



Mynd 36. V-A MT/TEM-viðnámssnið niður á 20 km dýpi.



Mynd 37. V-A MT/TEM viðnámssnið niður á 40 km dýpi.

7 Samandregnar niðurstöður TEM- og MT-mælinga

Þekja TEM-mælinganna nær yfir svæði innan norðvesturhluta öskjunnar í Vonarskarði. Nokkrar mælingar tengja mælisvæðið í Vonarskarði við mælisvæði í Köldukvíslarbotnum og tvær mælingar eru utan öskjunnar við Gjóstu. MT-mælingarnar liggja eftir tveimur sniðum, 10 km löngu NA-SV sniði og 5 km löngu A-V sniði.

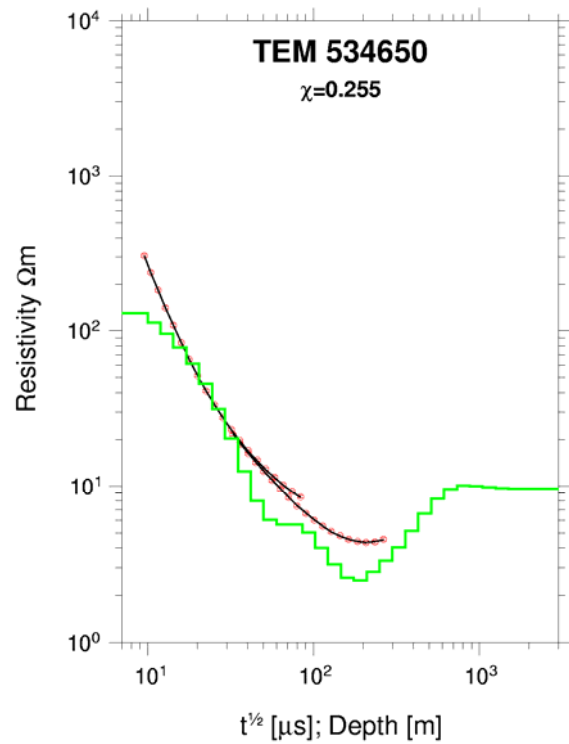
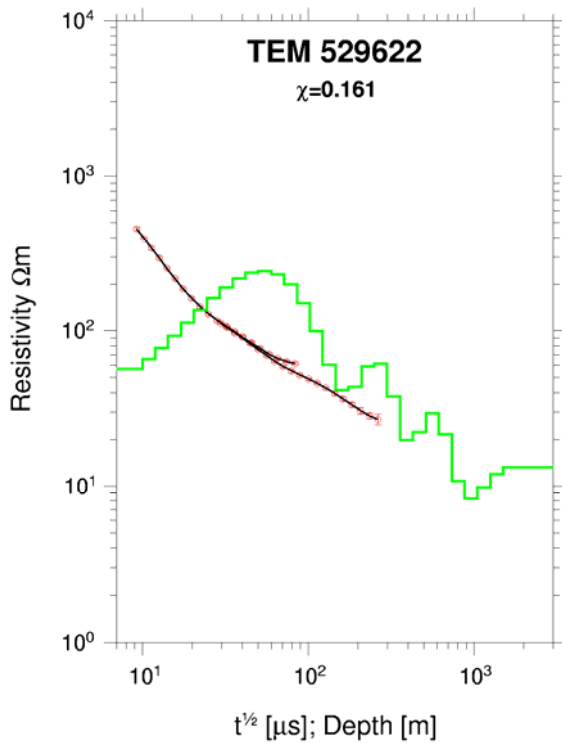
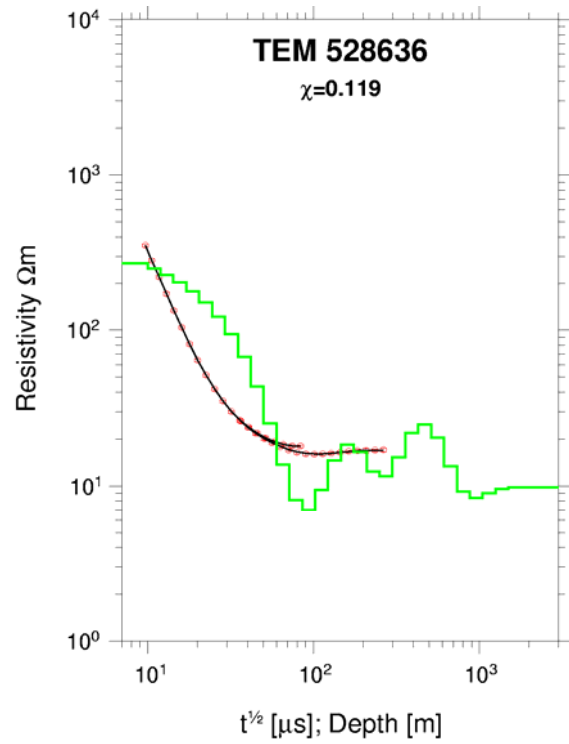
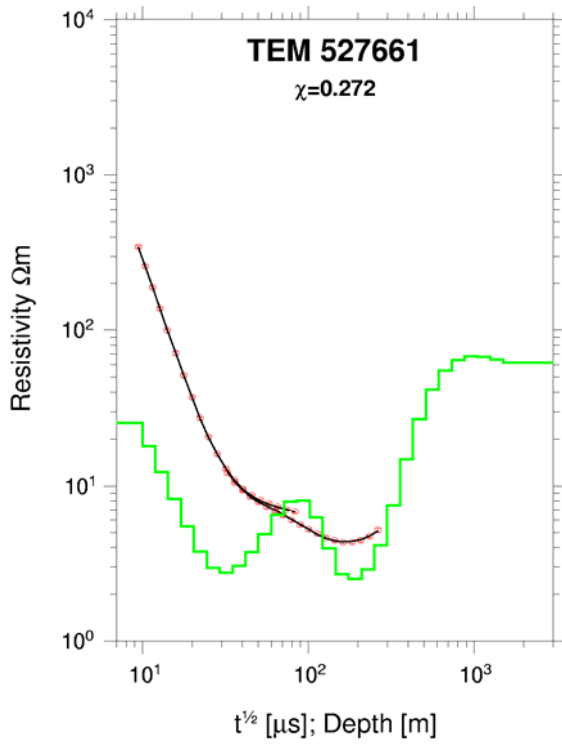
TEM-mælingarnar sýna suðausturhluta jarðhitakerfis með hátopp við vestur- og norðvesturjaðar öskjunnar. Topparnir eru eiginlega tveir og koma fram sem toppar í háviðnámskjarnanum, annars vegar við Laugafell og Eggju og hins vegar við Gjóstu. Taka verður fram að ekki eru mælingar við öskjujaðarinn vestast í öskjunni og er trúlegt að toppar háviðnámskjarnans tengist þar. Lögun jarðhitakerfisins í efstu 1000 metrunum, eftir því sem sjá má, er bogamynduð eftir öskjujaðrinum. Mælingarnar innan öskjunnar sýna svo að það dýpkar á kerfið til suðvesturs innan öskjunnar. Enda þótt TEM-mælingarnar sýni tvo toppa í háviðnámskjarnanum sýna MT-mælingarnar að þeir sameinast í háviðnám undir lágviðnámskápunni neðan við 1000 metra dýpi.

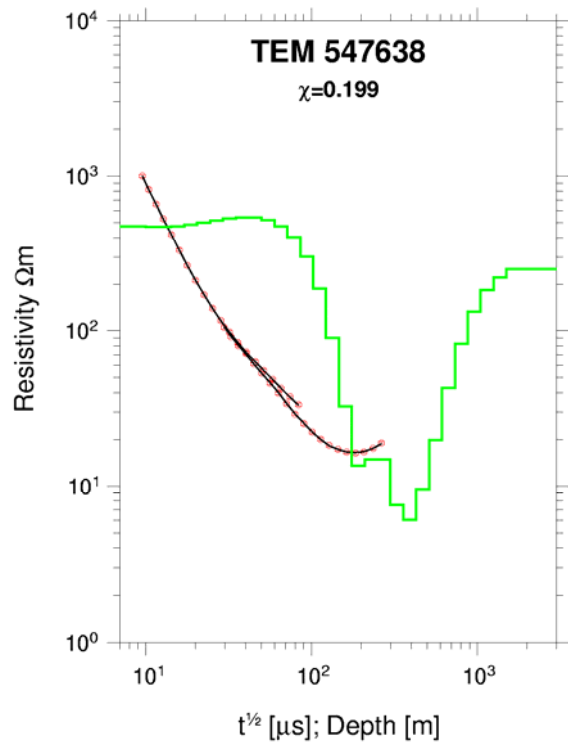
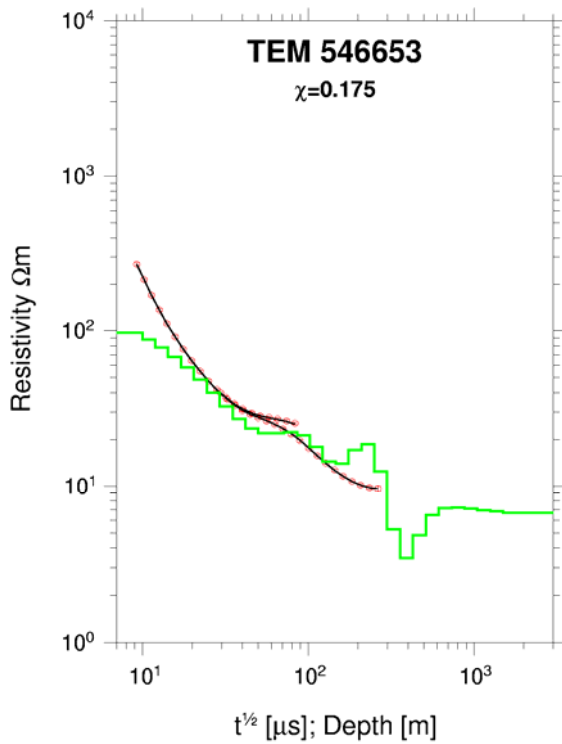
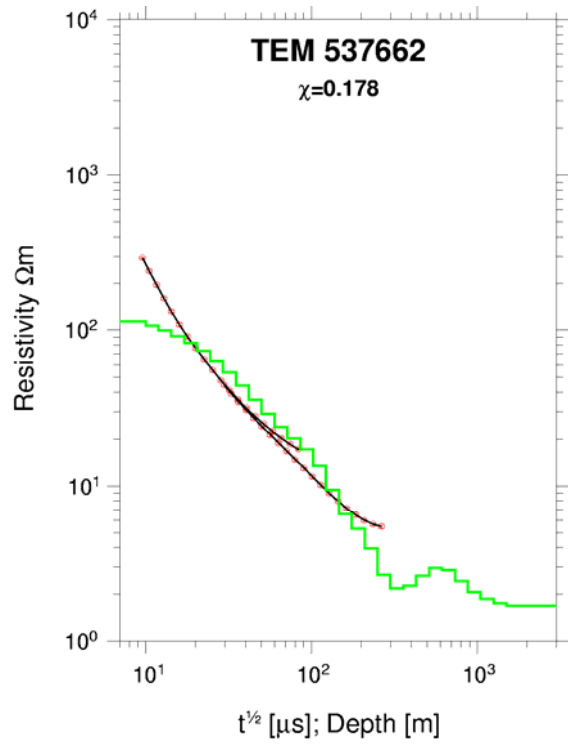
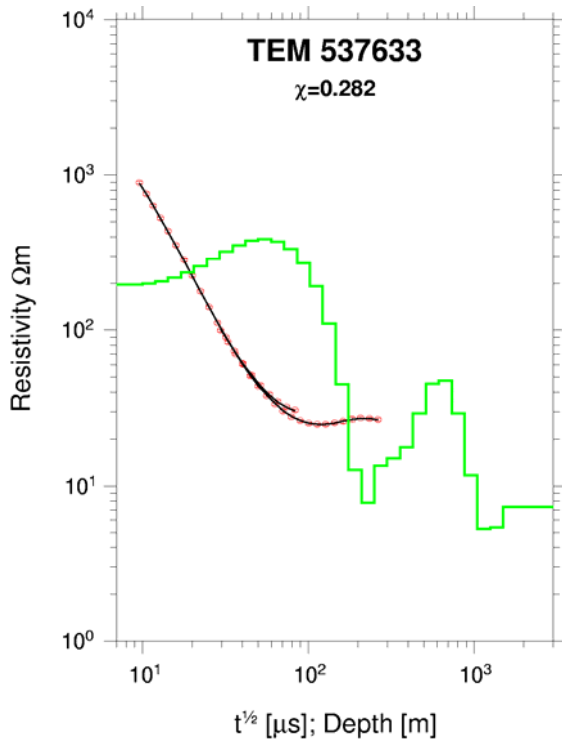
MT-mælingarnar sýna síðan annað lágviðnámslag og neðar (neðra lágviðnámslagið), sem er á 10–15 km dýpi innan öskjunnar, en það dýpkar á það suðvestan öskjunnar á milli háhitakerfanna í Vonarskarði annars vegar og Köldukvíslarbotnum hins vegar. Lágviðnám, sem ætla má að bendi til uppstreymis í jarðhitakerfið, sést undir Laugahnúk og við Gjóstu. Ekki eru til MT-mælingar þar á milli, þ.e.a.s. við norðvestur-öskjurimann, sem tengja lágviðnámslagið, en ekki er ólíklegt að uppstreymið frá neðra lágviðnámslaginu taki lögun af öskjurimanum líkt og efri hluti jarðhitakerfisins. Lágviðnámið undir neðra lágviðnámslaginu bendir einnig til uppstreymis við vestanverðan öskjujaðarinn. Ekki er hægt að sjá hvort jarðhitakerfið nær í vestur undir brún Tungnafellsjökuls, eða hálendisins þar, því engar mælingar eru til á því svæði. Volgrur eru hins vegar innst í drögum Nýjadals og eru þær vafalaust tengdar þessu jarðhitakerfi. Jarðhiti hefur ekki verið skoðaður á þessum slóðum og bíður betri tíma. Til að sjá mörk jarðhitakerfisins til vesturs þarf fleiri mælingar og það bíður einnig betri tíma.

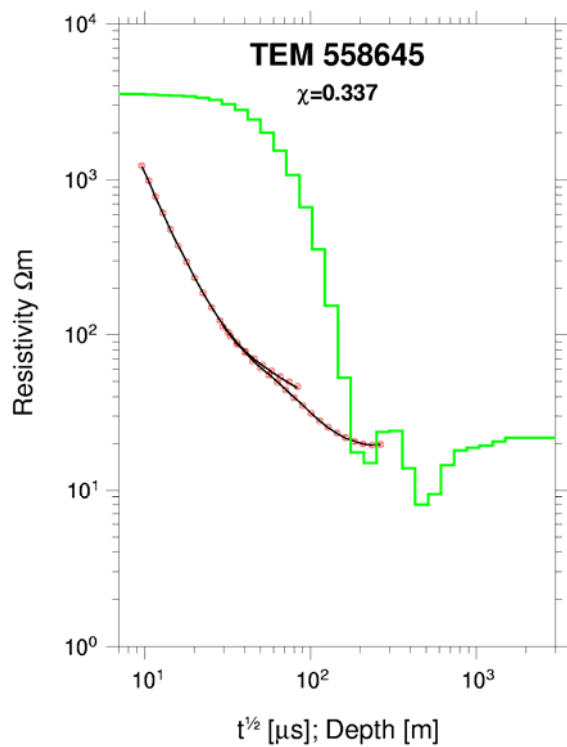
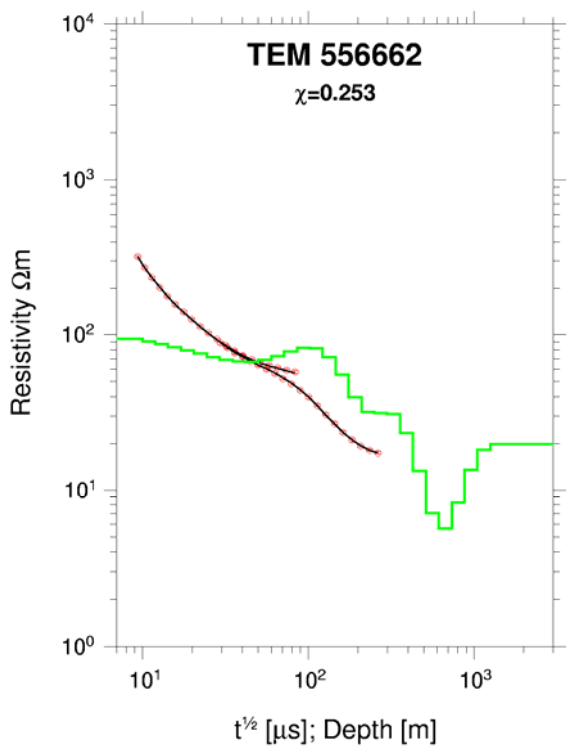
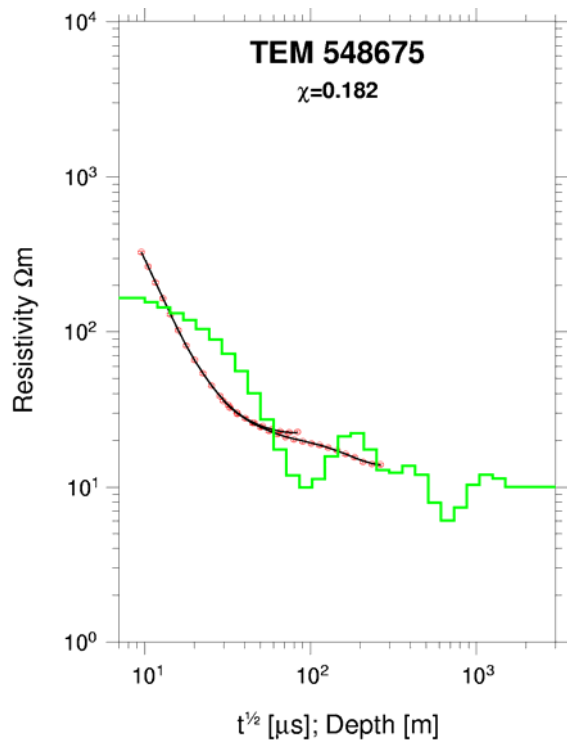
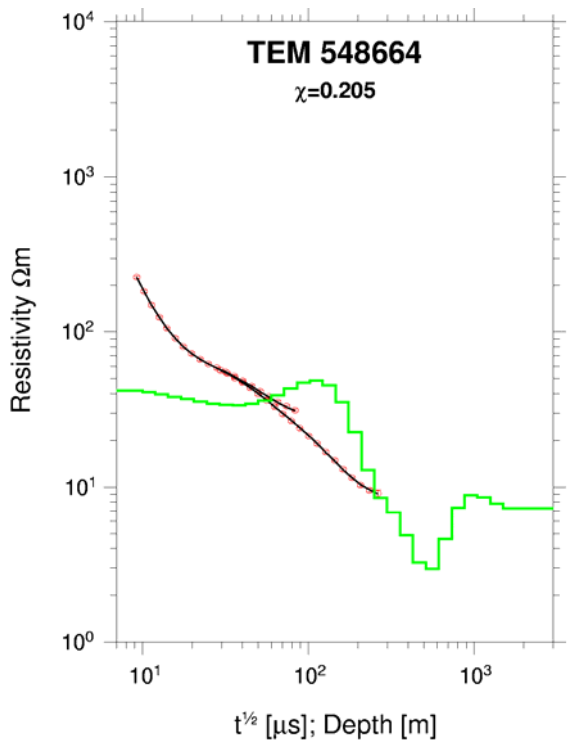
8 Heimildir

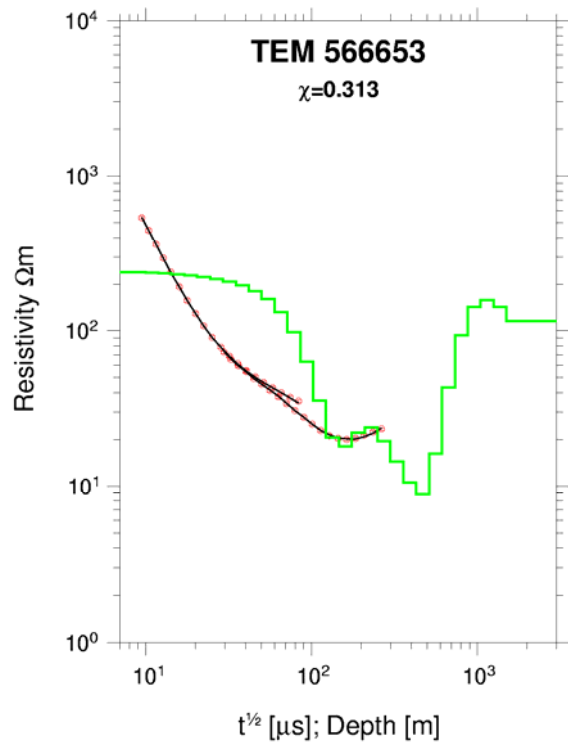
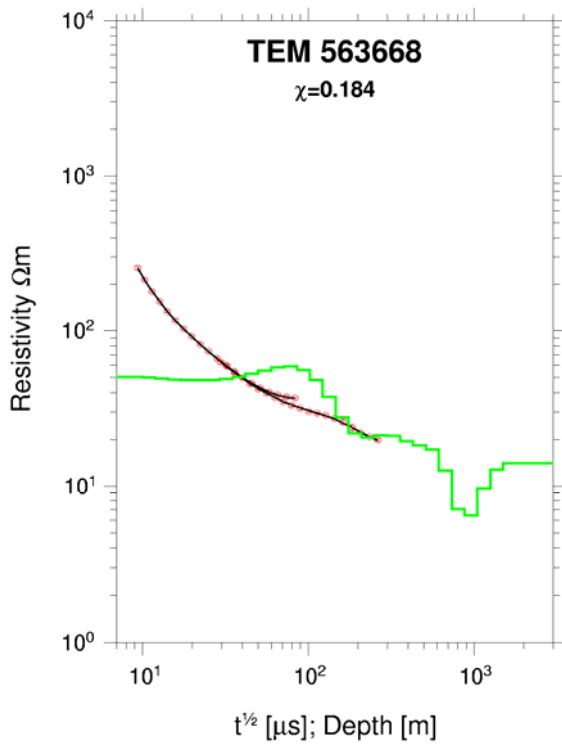
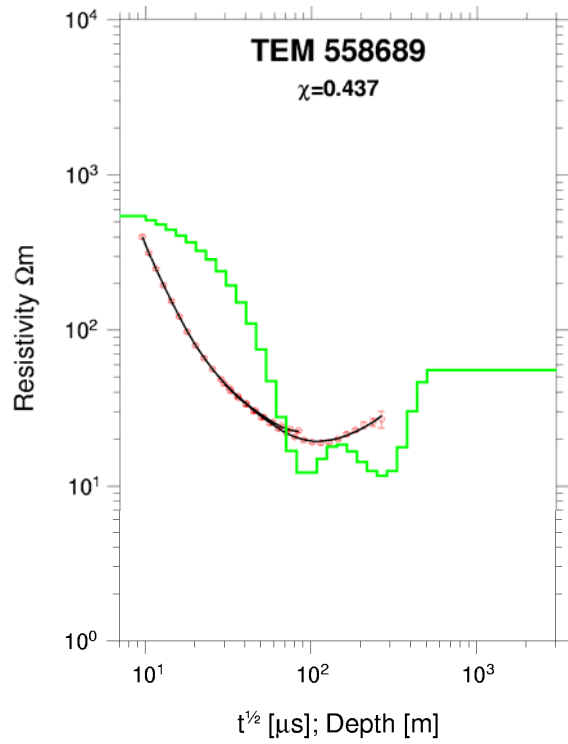
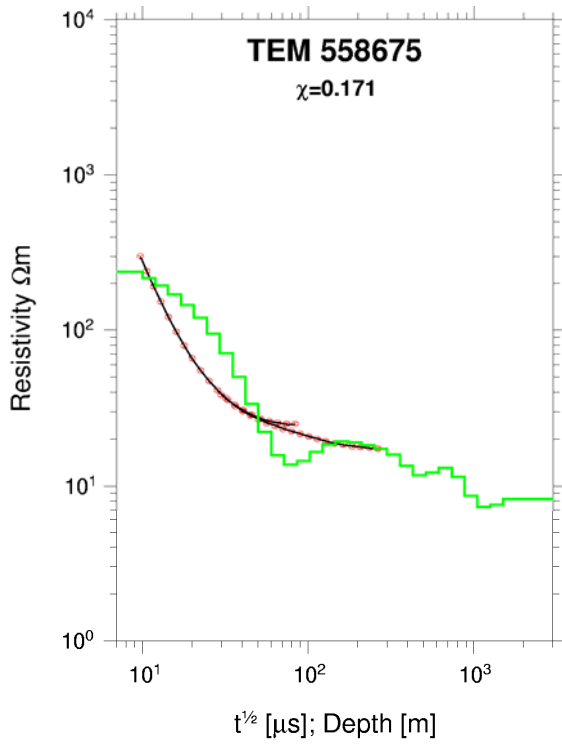
- Guðmundur Ómar Friðleifsson, Magnús Ólafsson og Jón Örn Bjarnason (1996). *Jarðhiti í Köldukvísarbotnum*. Orkustofnun, OS-96014/JHD-04. 38 bls.
- Guðmundur Ómar Friðleifsson og Skúli Víkingsson (1997). *Hágöngumiðlun. Kortlagning jarðhita í Köldukvísarbotnum. Mælikvarði 1:500*. Orkustofnun, OS-97061. 20 bls.
- Guðmundur Ómar Friðleifsson og Haukur Jóhannesson (2005). *Exceptionally High-Grade Surface Alteration in the Vonarskard Active Central Volcano, Mid-Iceland*. Proceedings World Geothermal Congress 2005. Antalya, Turkey, 24–25 April 2005.
- Haukur Jóhannesson og Guðmundur Ómar Friðleifsson (2006). *Hágöngur. Jarðfræði, sprungur og jarðhitaummerki norðan og austan Hágöngulóns*. Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2006/017; LV-2006/073. 29 bls.
- Knútur Árnason, Ragna Karlsdóttir, Hjálmar Eysteinnsson, Ólafur G. Flóvenz og Steinar Þór Guðlaugsson (2000). *The resistivity structure of high-temperature geothermal systems in Iceland*. Erindi flutt á ráðstefnu IGA, World Geothermal Congress í Japan 2000. Birt í ráðstefnuriti.
- Kristján Sæmundsson (1982). *Öskjur á virkum eldfjallasvæðum á Íslandi. Eldur er í norðri*. Sögufélag, Reykjavík. Bls. 221–240.
- Ólafur G. Flóvenz, Erik Spangenberg, Johannes Kulenkamff, Knútur Árnason, Ragna Karlsdóttir og Ernst Huenges (2005). *The role of electrical interface conduction in geothermal exploration*. Erindi flutt á ráðstefnu IGA, World Geothermal Congress, í Tyrklandi 2005. Birt í ráðstefnuriti.
- Ragna Karlsdóttir (2007). *Köldukvísarbotnar. TEM-mælingar 2007*. Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2007/046; LV-2007/117. 62 bls.
- Arnar Már Vilhjálmsson., Ólafur G. Flóvenz., Ragna Karlsdóttir, Knútur Árnason, Hjálmar Eysteinnsson og Kristján Sæmundsson (2008). *Geophysical Evidence for Magmatic Transport in the Lower Crust in Iceland*. (Poster) AGU 2008.

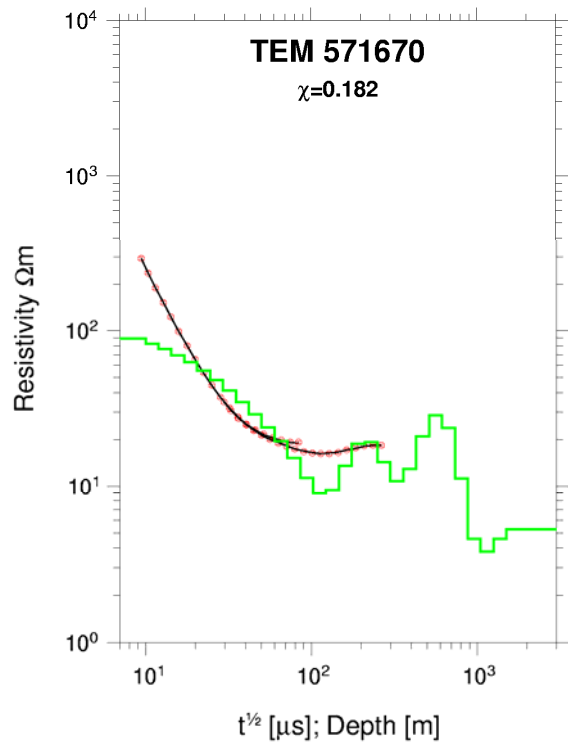
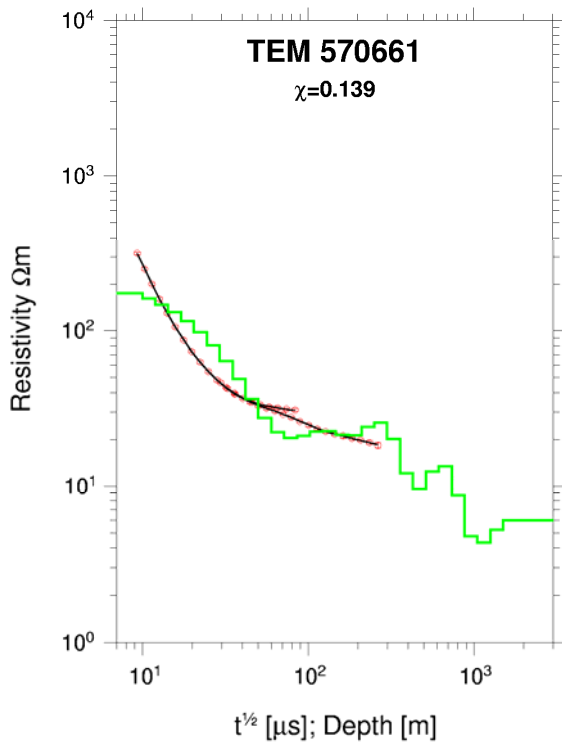
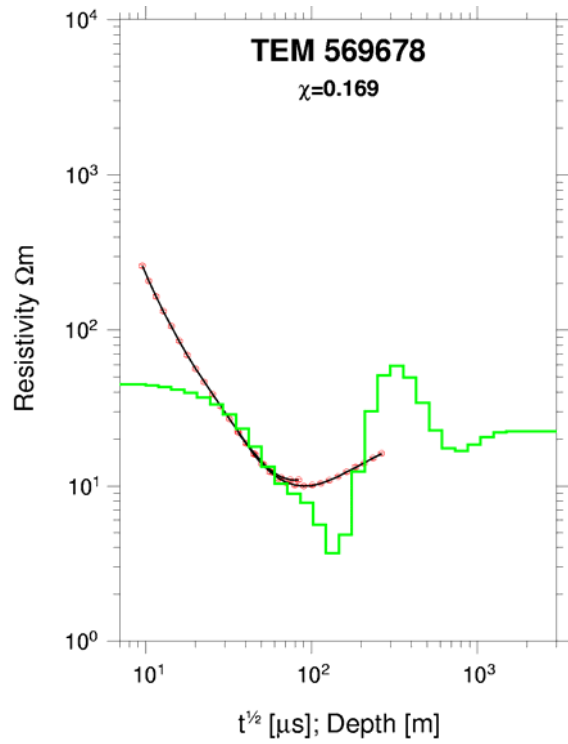
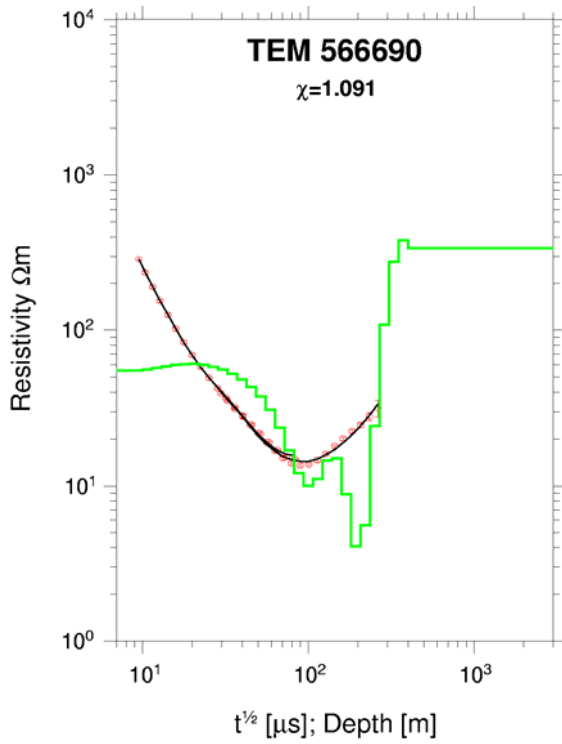
Viðauki
Mæliferlar og túlkun þeirra
TEM-mælingar
MT-mælingar

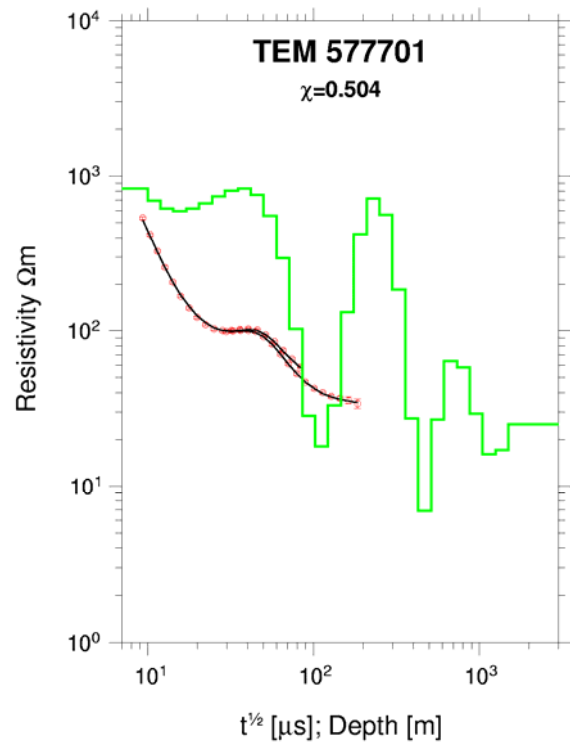
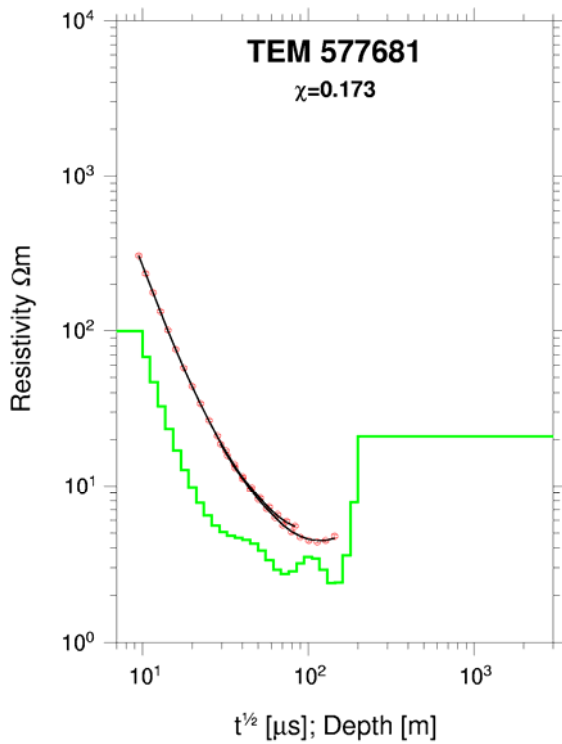
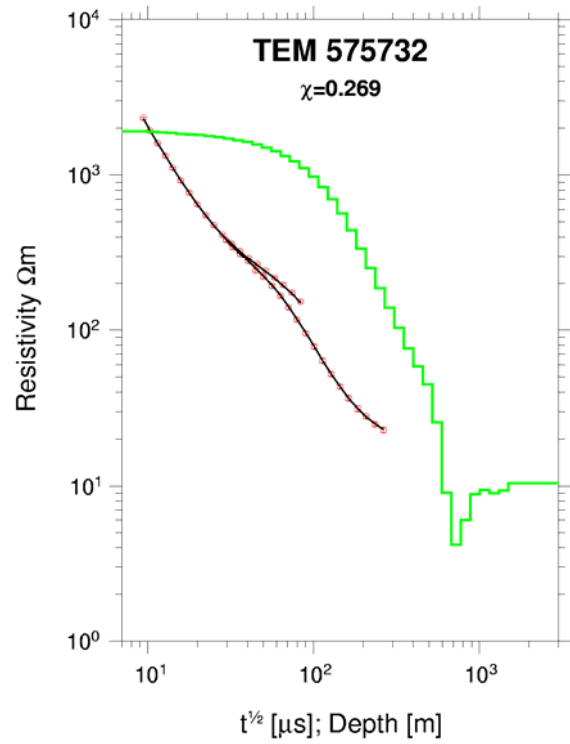
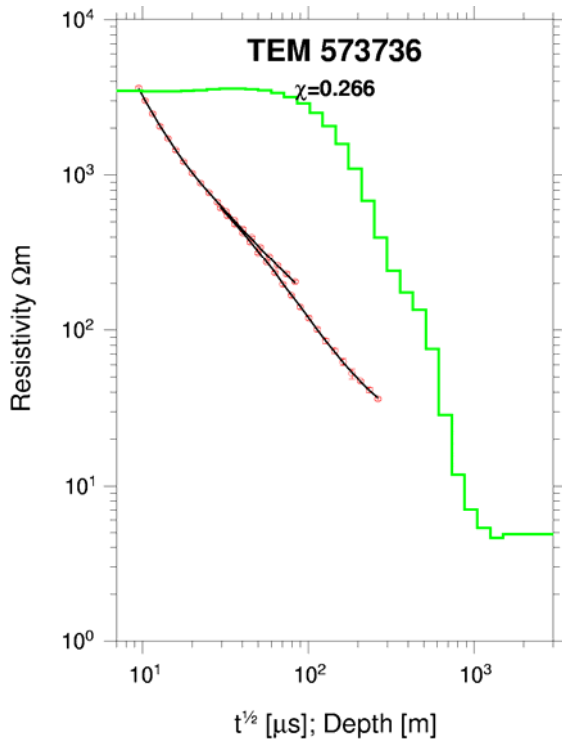


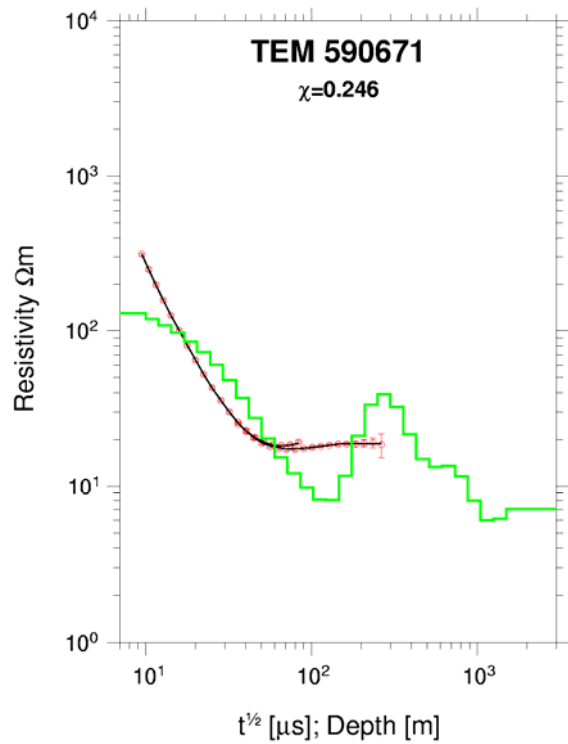
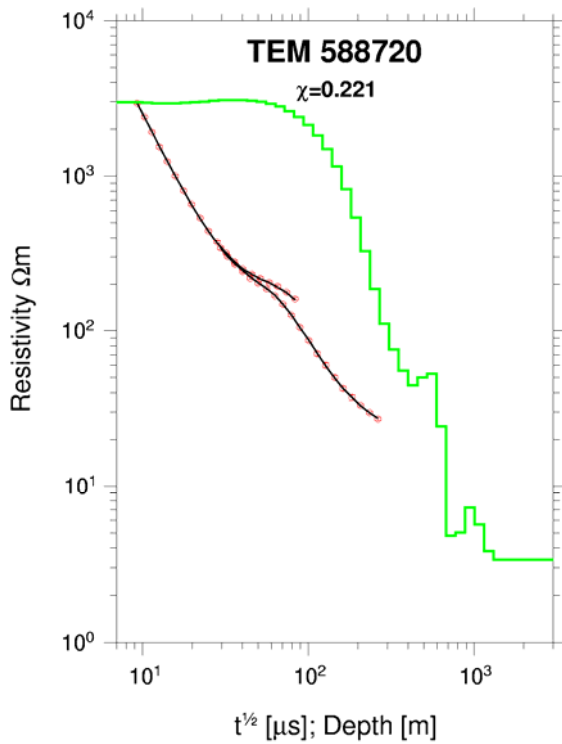
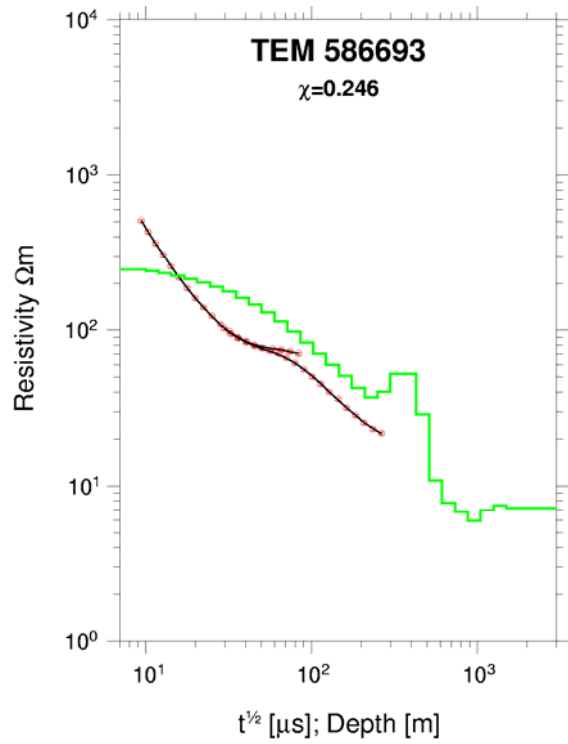
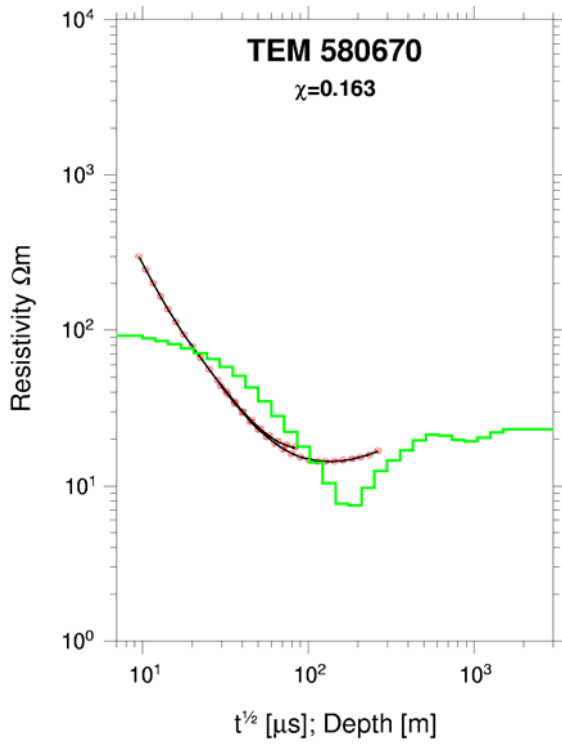






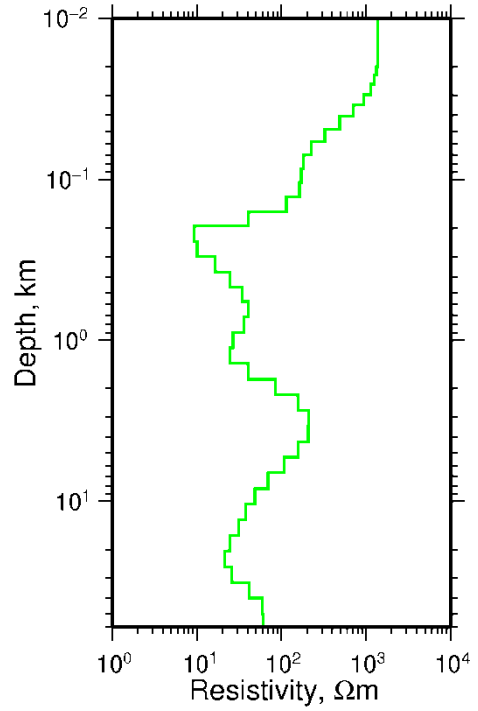
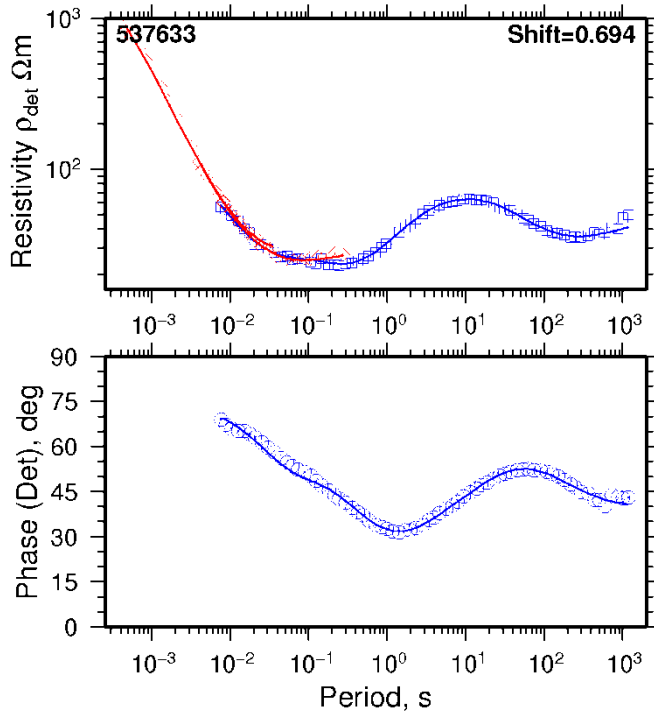






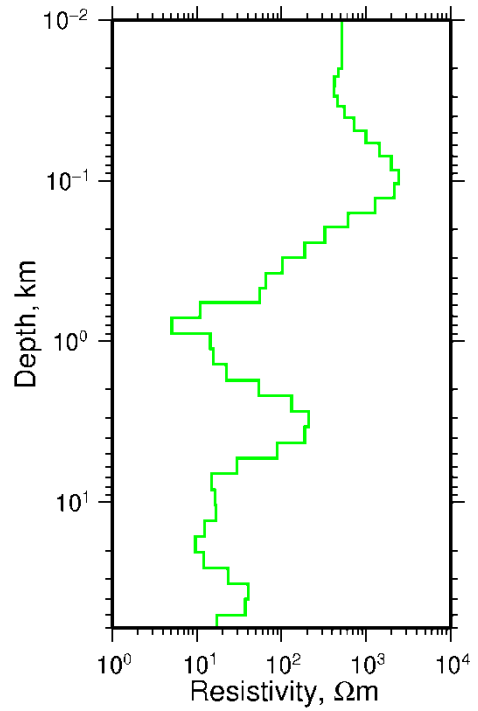
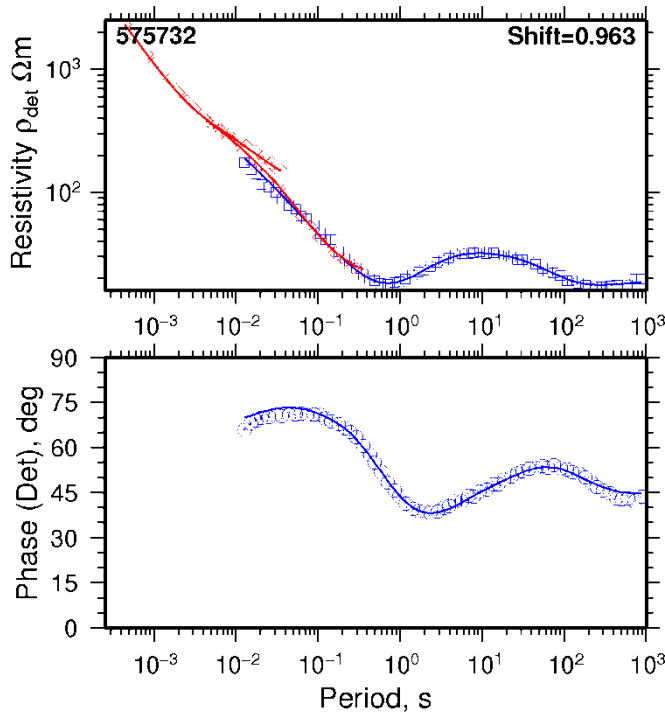
VON-001

$\chi=0.69298$



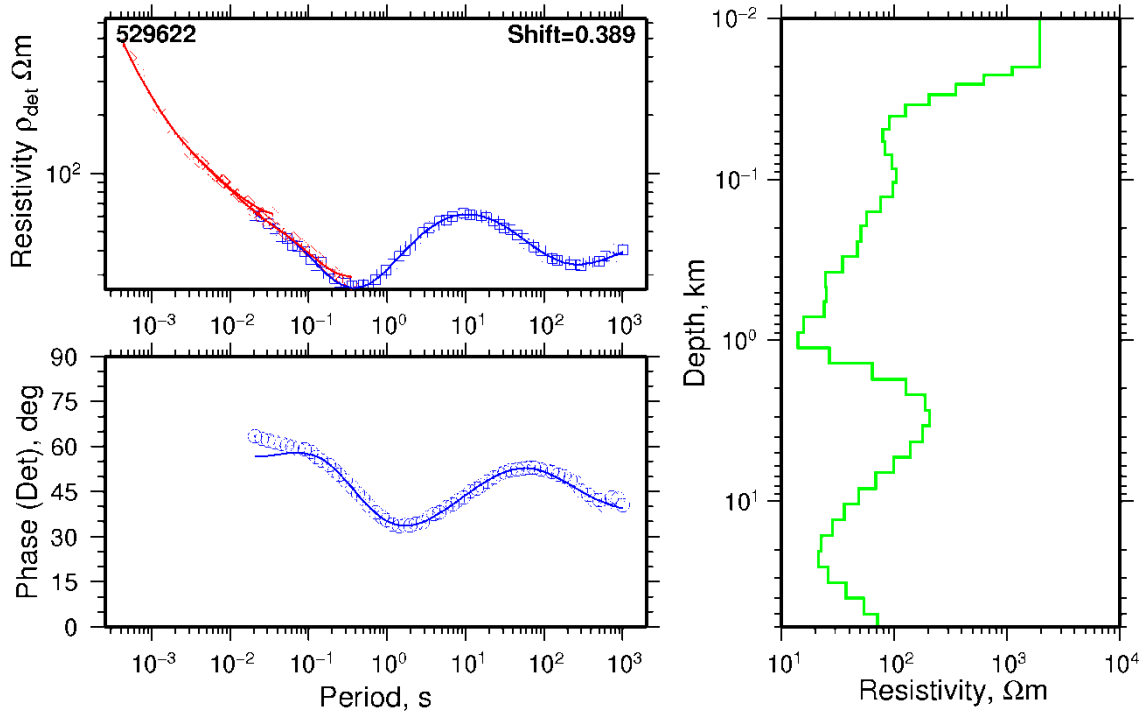
VON-002

$\chi=0.98329$



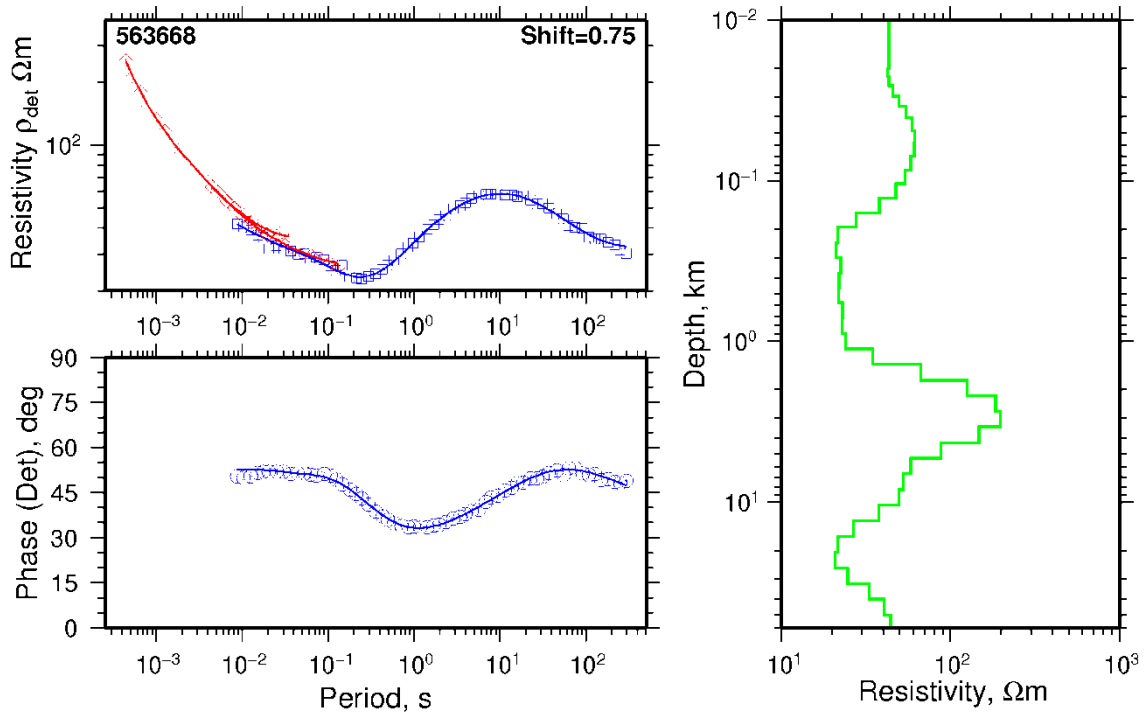
VON-003

$\chi=0.8725$



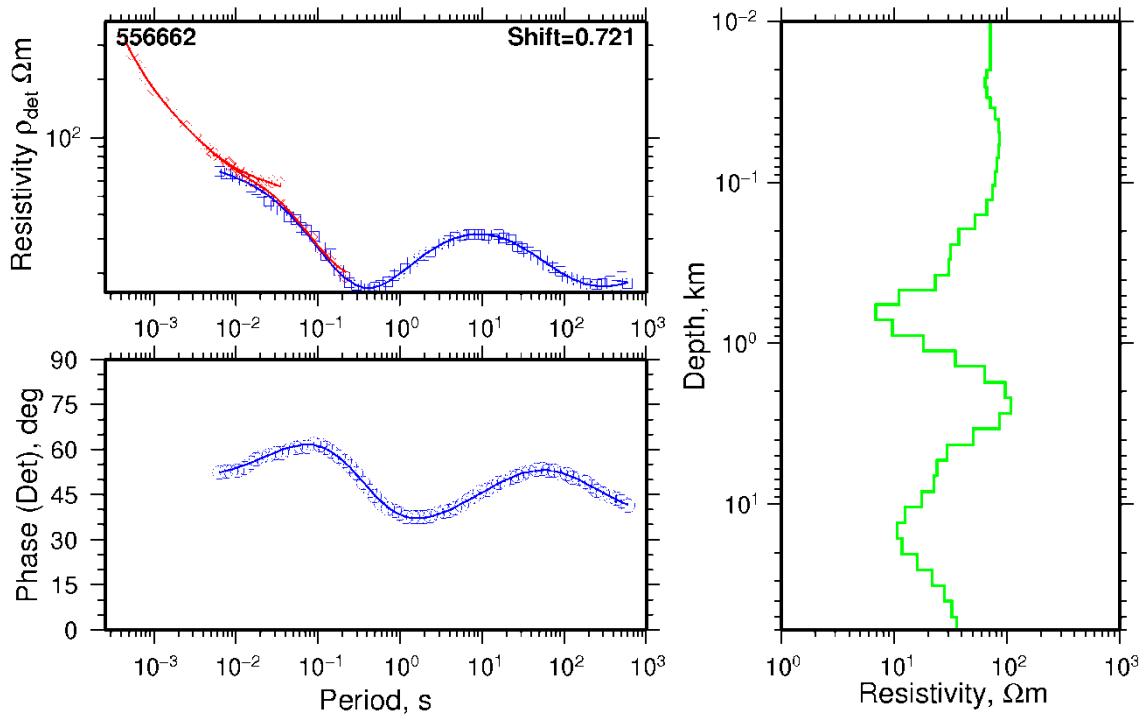
VON-004

$\chi=0.58008$



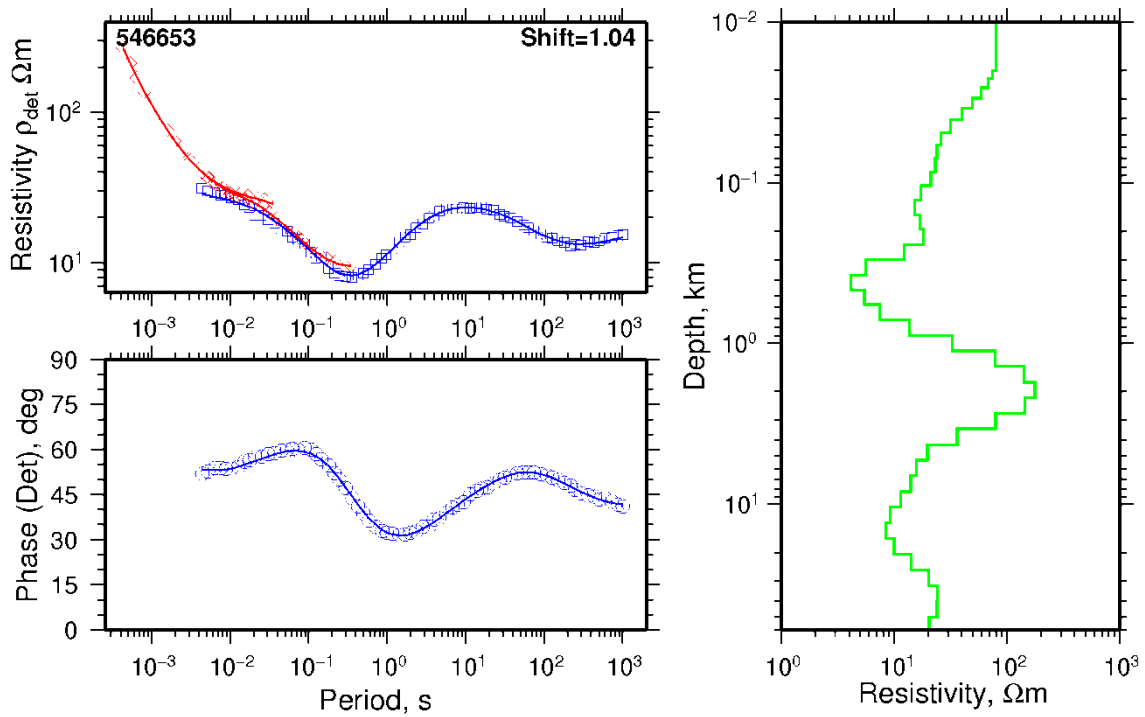
VON-005

$\chi=0.71124$



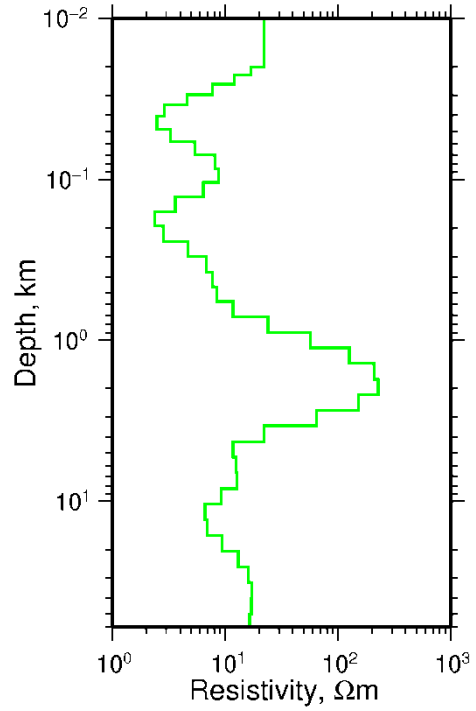
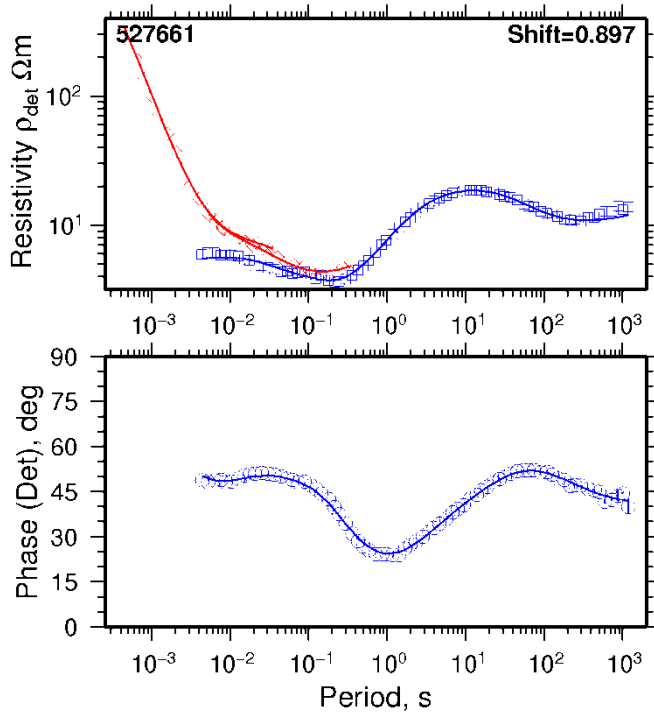
VON-006

$\chi=0.6854$



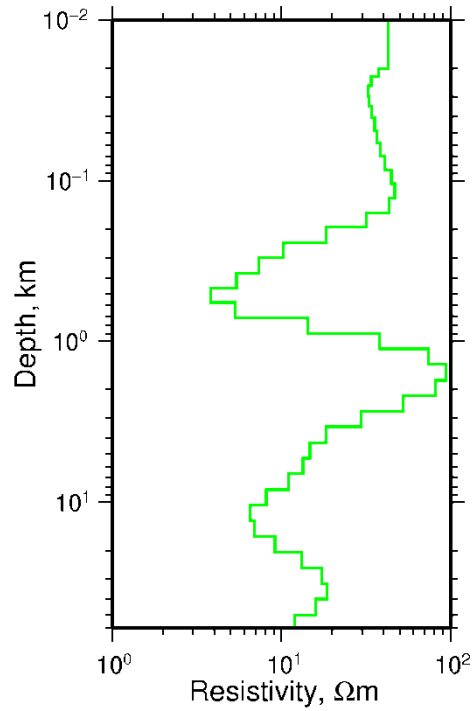
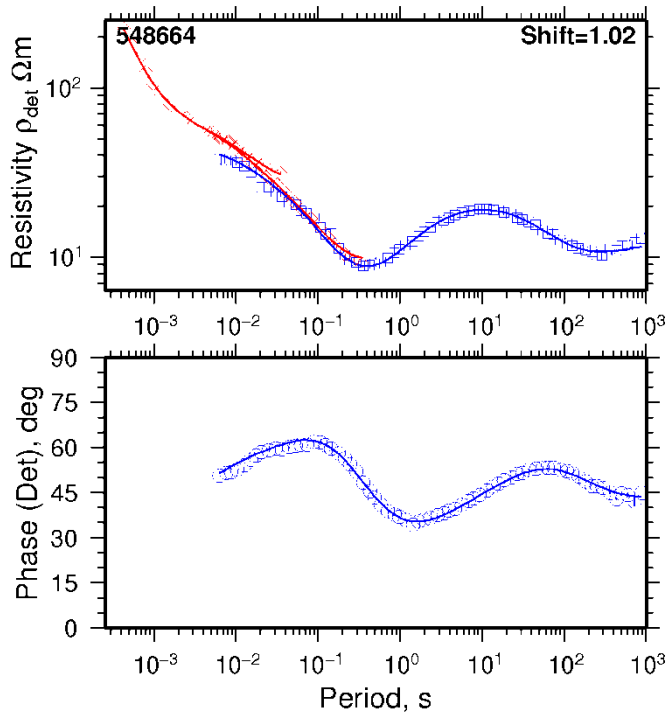
VON-007

$\chi=0.68782$



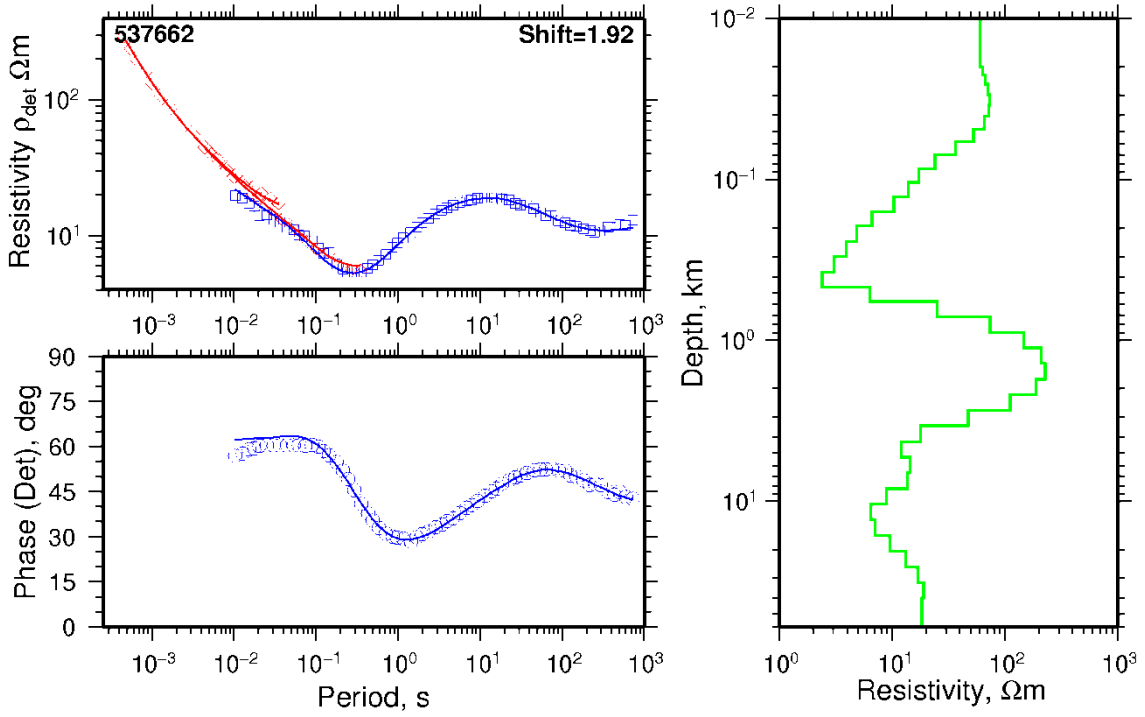
VON-008

$\chi=0.91317$



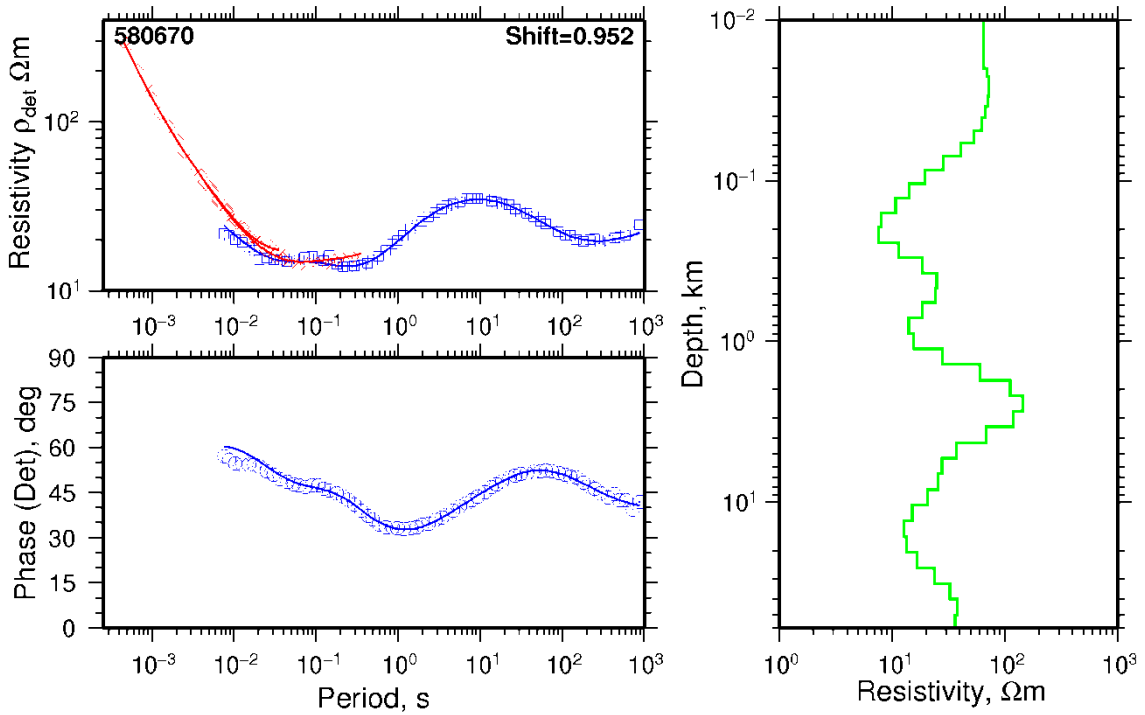
VON-009

$\chi=1.2368$



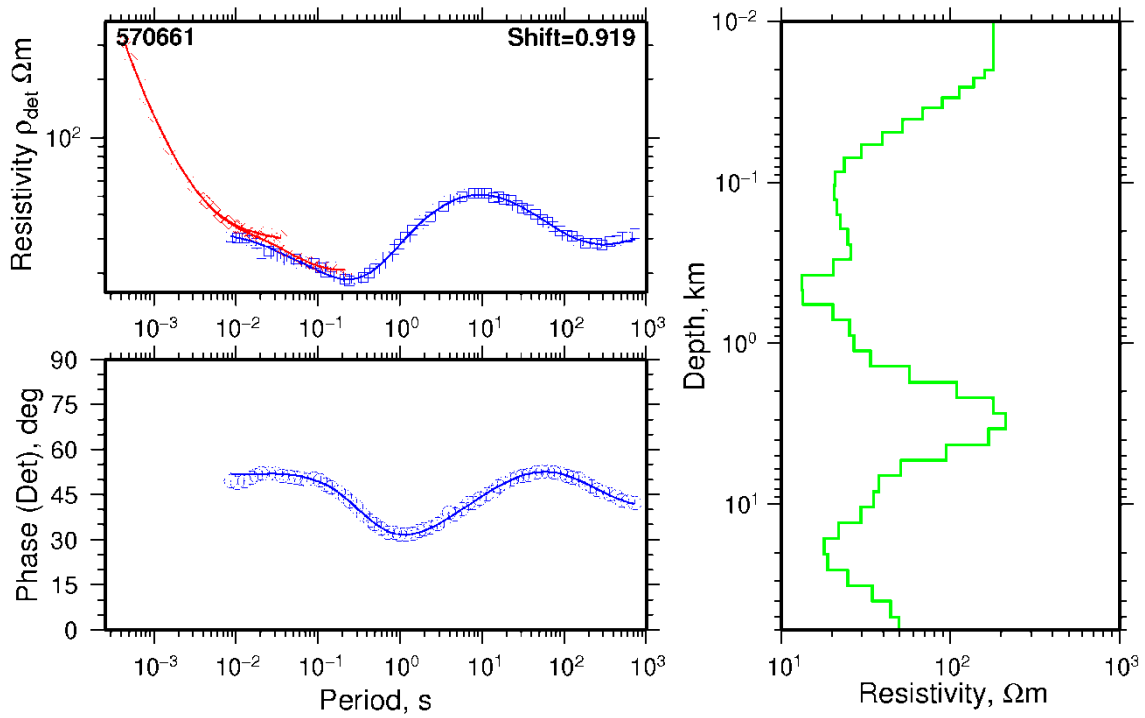
VON-010B

$\chi=0.87318$



VON-011B

$\chi=0.64085$



VON-012

$\chi=0.90622$

