



**ORKUSTOFNUN**

**RANNSÓKNASVIÐ - Reykjavík, Akureyri**

# **TEM-viðnámsmælingar í Grændal árið 2000**

**Hjálmar Eysteinnsson**

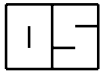


**Unnið fyrir Sunnlenska orku ehf.**

**2000**

**OS-2000/066**





**ORKUSTOFNUN**  
Rannsóknasvið

Verknr. 8-630875

**Hjálmar Eysteinnsson**

# **TEM-viðnámsmælingar í Grændal árið 2000**

**Unnið fyrir Sunnlenska orku ehf.**

**OS-2000/066**

**Nóvember 2000**

ISBN 9979-68-060-1

ORKUSTOFNUN - RANNSÓKNASVIÐ

Reykjavík: Grensásvegi 9, 108 Rvk. - Sími 569 6000 - Fax 568 8896

Akureyri: Glerárgötu 36, 600 Ak. - Sími 463 0957 - Fax 463 0998

Netfang: [os@os.is](mailto:os@os.is) - Veffang: <http://www.os.is>

<b>Skýrsla nr:</b> OS-2000/066	<b>Dags:</b> Nóvember 2000	<b>Dreifing:</b> <input type="checkbox"/> Opin <input checked="" type="checkbox"/> Lokuð til Des. 2005
<b>Heiti skýrslu / Aðal- og undirtitill:</b> TEM-viðnámsmælingar í Grændal árið 2000	<b>Upplag:</b> 30	<b>Fjöldi síðna:</b> 82
	<b>Höfundar:</b> Hjálmar Eysteinnsson	
<b>Gerð skýrslu / Verkstig:</b> Jarðeðlisfræðimælingar, jarðhitakönnun		<b>Verknúmer:</b> 8-630875
<b>Unnið fyrir:</b> Sunnlenska orku ehf.		
<b>Samvinnuaðilar:</b>		
<b>Útdráttur:</b> <p>Gerð er grein fyrir framkvæmd og niðurstöðum TEM-viðnámsmælinga í og umhverfis Grændal. Mælingarnar voru gerðar í þeim tilgangi að kortleggja viðnámsgerð jarðar, sem er mjög tengd jarðhitavirkni, og afmarka þannig stærð jarðhitakerfisins á svæðinu. Alls voru gerðar 40 mælingar og voru þær allar túlkaðar með einvíðu líkani, þ.e. viðnám breytist eingöngu með dýpi. Niðurstöður eru settar fram sem viðnámssnið og jafnvíðnámskort. Viðnámsskipanin sem fram kemur er almennt flókin en mælingarnar ná að afmarka háhitasvæðið umhverfis Grændal að mestu. Víðast hvar á mælisvæðinu er lágt viðnám (&lt;10Ωm) á um 0 til 200 m y. s. Hæst rís lágviðnámslagið innst í Reykjadal og þaðan austur fyrir Klóarfjall, og til SSA eftir Dalafellinu að mynni Grændals. Undir lágviðnáminu er hærra viðnám (háviðnámskjarni), yfirleitt um eða yfir 100Ωm. Á svæði sem afmarkast af Grændal, Sauðárdal og hluta af Ölfusdal er 200-500 m þykkt millilag, 10-20Ωm; milli lágviðnámsins og háviðnámskjarnans. Að gefnum ákveðnum forsendum er lágviðnámið túlkað yfir í hita allt að 240°C, en í háviðnámskjarnanum er hitinn um eða yfir því. Óvíst er hvernig beri að túlka millilagið, en líklegast er það merki um seinnitíma kólnun.</p>		
<b>Lykilorð:</b> Háhitasvæði, viðnámsmælingar, eðlisviðnám, viðnámssnið, jafnvíðnámskort, Grændalur	<b>ISBN-númer:</b> 9979-68-060-1	
	<b>Undirskrift verkefnisstjóra:</b>	
	<b>Yfirfarið af:</b> Ómar, PI	

## EFNISYFIRLIT

1. INNGANGUR	5
2. UM TEM-VIÐNÁMSMÆLINGAR	5
3. FRAMKVÆMD MÆLINGA	5
4. TÚLKUN	6
5. NIÐURSTÖÐUR	9
5.1 Viðnámsnið	10
5.2 Jafnviðnámskort	35
6. EÐLISVIÐNÁM OG JARÐHITI	48
7. DÝPI Á LÁGT VIÐNÁM	51
8. DÝPI Á HÁTT VIÐNÁM	51
9. LOKAORÐ	57
10. HEIMILDIR	59
VIÐAUKI: Mæligögn og túlkun TEM-mælinga	61

## MYNDIR OG TÖFLUR

Tafla 1. Staðsetning mælinga	8
Mynd 1. Staðsetning TEM viðnámsmælinga í og umhverfis Grændal	7
Mynd 2. Lega viðnámsstriða á myndum 3-23	9
Mynd 3. Viðnámsstrið eftir línu N1	14
Mynd 4. Viðnámsstrið eftir línu N2	15
Mynd 5. Viðnámsstrið eftir línu N3	16
Mynd 6. Viðnámsstrið eftir línu N4	17
Mynd 7. Viðnámsstrið eftir línu N5	18
Mynd 8. Viðnámsstrið eftir línu A1	19
Mynd 9. Viðnámsstrið eftir línu A2	20
Mynd 10. Viðnámsstrið eftir línu A3	21
Mynd 11. Viðnámsstrið eftir línu A4	22
Mynd 12. Viðnámsstrið eftir línu A5	23
Mynd 13. Viðnámsstrið eftir línu NA1	24
Mynd 14. Viðnámsstrið eftir línu NA2	25
Mynd 15. Viðnámsstrið eftir línu NA3	26
Mynd 16. Viðnámsstrið eftir línu NA4	27
Mynd 17. Viðnámsstrið eftir línu NA5	28
Mynd 18. Viðnámsstrið eftir línu SA1	29
Mynd 19. Viðnámsstrið eftir línu SA2	30
Mynd 20. Viðnámsstrið eftir línu SA3	31
Mynd 21. Viðnámsstrið eftir línu SA4	32
Mynd 22. Viðnámsstrið eftir línu SA5	33
Mynd 23. Viðnámsstrið eftir línu SA6	34
Mynd 24. Viðnám 300 metrum ofan sjávarmáls	37
Mynd 25. Viðnám 250 metrum ofan sjávarmáls	38
Mynd 26. Viðnám 200 metrum ofan sjávarmáls	39
Mynd 27. Viðnám 150 metrum ofan sjávarmáls	40
Mynd 28. Viðnám 100 metrum ofan sjávarmáls	41
Mynd 29. Viðnám 50 metrum ofan sjávarmáls	42

Mynd 30. Viðnám við sjávarmál	43
Mynd 31. Viðnám 100 metrum neðan sjávarmáls	44
Mynd 32. Viðnám 200 metrum neðan sjávarmáls	45
Mynd 33. Viðnám 300 metrum neðan sjávarmáls	46
Mynd 34. Viðnám 500 metrum neðan sjávarmáls	47
Mynd 35. Staðsetning borholna, dýpri en 150 metra, í Hveragerði og Ölfusdal (stjörnur), ásamt staðsetningu TEM-mælinga (hringir)	49
Mynd 36. Hiti í holu HV-07 ásamt túlkun TEM-mælingar 899997	50
Mynd 37. Dýpi á lágsta viðnám (m y.s.), samkvæmt túlkun mælinga með samfelldu viðnámslíkani	53
Mynd 38. Lágsta viðnámsgildi ( $\Omega m$ ), samkvæmt túlkun mælinga með samfelldu viðnámslíkani	54
Mynd 39. Dýpi á háviðnámskjarna (m y.s.), samkvæmt túlkun mælinga með lagskiptu viðnámslíkani	55
Mynd 40. Útbreiðslusvæði 10-20 $\Omega m$ viðnámslags milli lágviðnámsins og háviðnámskjarnans, ásamt þykkt þessa lags samkvæmt túlkun mælinganna með lagskiptu viðnámslíkani	56

## 1. INNGANGUR

Í þessari skýrslu er gerð grein fyrir niðurstöðum TEM-viðnámsmælinga sem gerðar voru í og umhverfis Grændal ofan við Hveragerði árið 2000. Tilgangur mælinganna er að kortleggja viðnámsgerð jarðar á svæðinu, en hún er mjög tengd jarðhitavirkninni. Sérstaklega var ætlunin að afmarka stærð jarðhitakerfisins umhverfis Grændal með mælingunum. Verkið var unnið samkvæmt beiðni Sunnlenskrar orku ehf.

Alls voru gerðar 40 TEM-mælingar, en að auki nýttist ein eldri mæling.

## 2. UM TEM-VIÐNÁMSMÆLINGAR

Í TEM-viðnámsmælingum (Transient Electro Magnetic) er lögð vírlykkja á jörðina, 300 m á kant og rafstraumur sendur í hana, sem myndar sterkt segulsvið. Straumurinn er síðan rofinn skyndilega. Við það spanast upp straumar í jörðinni og eru áhrif þeirra, þ.e. svörun jarðarinnar, mæld með lítilli móttökuspólu sem höfð er í miðri straumlykkjunni. Eftir því sem lengri tími líður frá straumrofinu ná spanstraumar lengra ofaní jörðina jafnframt því sem segulsviðið á yfirborði dofna. Mæling á segulsviðinu, sem fall af tíma frá straumrofi, gefur því upplýsingar um viðnám jarðlaga með dýpi (sjá t.d. Knútur Árnason 1989).

Út frá mældri svörun jarðarinnar er hægt að reikna út viðnám jarðlaga. Fyrst er reiknað út svonefnt sýndarviðnám sem fall af tíma frá straumrofi. Sýndarviðnám væri það sama og eðlisviðnám jarðar ef jörðin hefði einsleitna viðnámsdreifingu, þ.e.a.s. viðnám breyttist hvorki í lárétta eða lóðrétta stefnu. Sjaldan er þó jörðin þannig. Í fyrstu nálgun má búast við því að eðlisviðnám jarðar breytist mest með dýpi. Túlkun hvernar TEM-mælingar með líkani, þar sem eingöngu er gert ráð fyrir að viðnám breytist með dýpi, er nefnd einvið túlkun. Í þessari skýrslu eru mælingarnar eingöngu túlkaðar með einviðum líkönum. Greinilegt er þó að víða breytist viðnámið verulega í lárétta stefnu, þannig að strangt til tekið þyrfti að beita tví- eða þrívíðri túlkun. Slík túlkun er verulega tímafrek og ekki beitt hér.

## 3. FRAMKVÆMD MÆLINGA

Mælingar hófust í febrúar, meðan jörð var þakin snjó, og voru notaðir vélsleðar til að komast á mælistaði, og mælitækin dreginn á sleða. Tveir menn önnuðust mælingarnar á þessum tíma. Á sama tíma voru einnig gerðar mælingar á Hengilssvæðinu, og eins á svæði vestan við Þrengslaveg. Þar sem mælisvæðið í Grændal og umhverfis er víða nokkuð illt yfirferðar varð að nota þá daga sem best viðraði til mælinga þar, en aðrir dagar nýttust til mælinga á hinum mælisvæðunum. Þannig var stundum einungis ein mæling gerð á Grændalssvæðinu á meðan veður hélst skaplegt þar, en hinn hluti dagsins notaður til mælinga annars staðar. Frá seinni hluta febrúar og fram undir lok apríl voru gerðar 18 mælingar á 8 dögum. Til stóð að gera fleiri mælingar á þessu tímabili en veður og snjóá-



lög komu í veg fyrir það. Mælingar hófust aftur í júlí og stóðu fram í byrjun ágúst. Á því tímabili var notuð þyrta til flutnings á tækjum og mannskap milli mælipunkta. Fjórir önnuðust þessar mælingar auk þyrfluflugmanns, og var notast við tvö sett af vírlykkjum, þannig að tveir voru ávallt ýmist að leggja út vírlykkju eða spóla saman vírnum, á meðan hinir tveir önnuðust mælingarnar. Með þessu móti mátti auka afköstin verulega. Með þyrlunni voru mældar alls 16 mælingar á 4 dögum. Sex mælingar voru gerðar án aðstoðar þyrlu.

Staðsetning mælinga er sýnd með svörtum punktum á mynd 1, en auk þeirra eru aðrar mælingar sem til eru á svæðinu sýndar með gráum punktum. Þetta eru mælingar sem gerðar hafa verið fyrir Orkuveitu Reykjavíkur á Hengils- og Ölkelduhálssvæðunum, auk einnar mælingar sem gerð var 1991 í tengslum við almenna könnun á eðlisviðnámi jarðskorpunnar (mæling 9105). Niðurstöður þeirra eru nýttar við túlkun Grændalsmælinganna en ekki birtar í þessari skýrslu þar sem þær eru eign Orkuveitu Reykjavíkur (fyrir utan mælingu 9105).

Í töflu 1 eru gefin UTM-hnit (Hjörtsey 1956 datum) mælistaðanna og hæð, ásamt dagsetningu mælingar. Hnitin voru fengin með GPS-leiðsögutæki en hæð lesin af kortum í mælikvaðanum 1:25.000 (1613 II SA). Heiti mælinganna segir til um staðsetningu þeirra, þar sem fyrstu þrjár stafirnir eru UTM-hnit í hundruðum metra í austur, og seinni þrjár stafirnir samsvarandi hnit í norður, þ.e. sleppt er fyrstu tveimur og síðust tveimur stöfunum úr austur og norður UTM-hnitunum.

#### 4. TÚLKUN

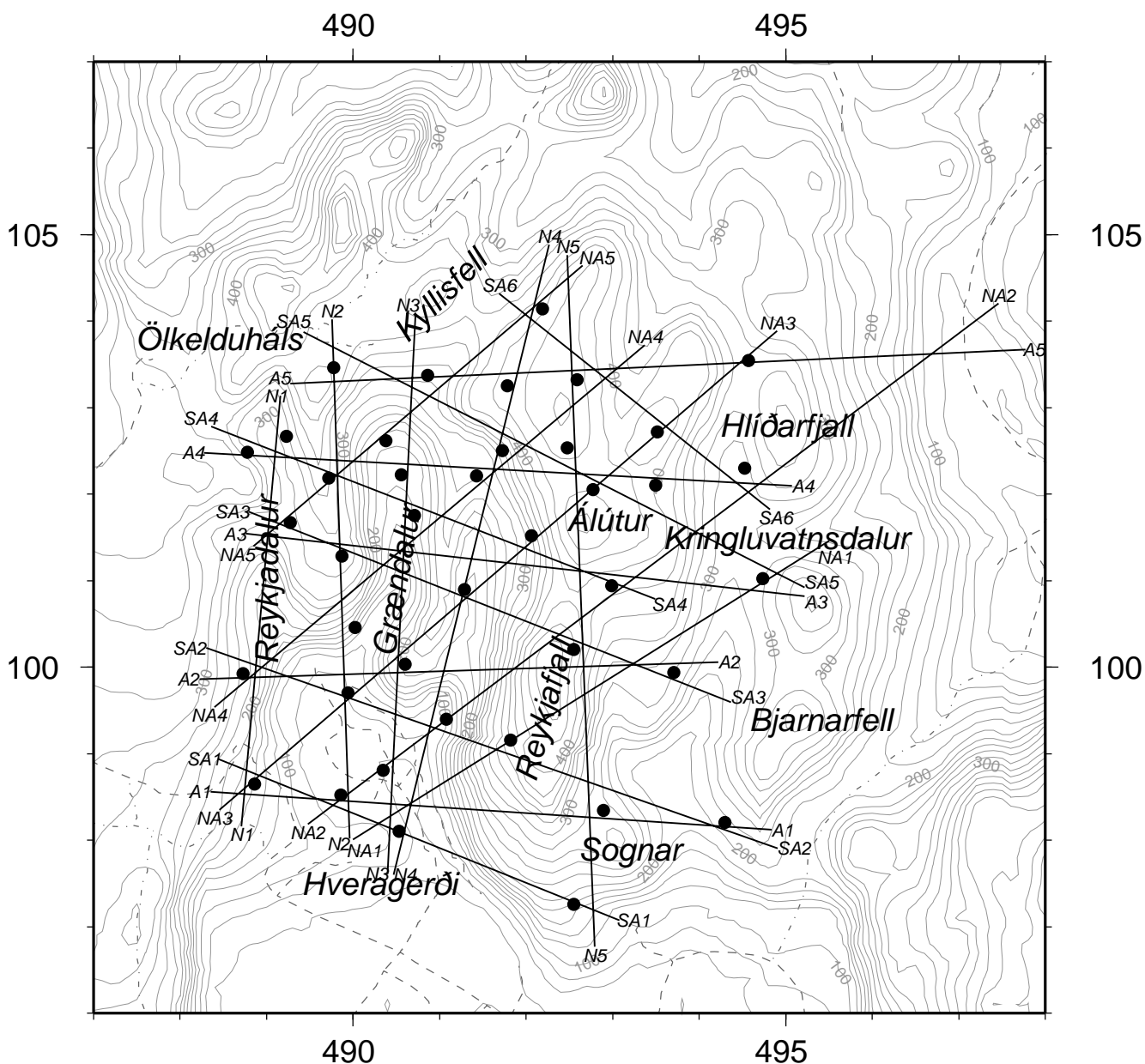
Allar TEM-mælingarnar voru túlkaðar með einvíðu líkani og eru sýndarviðnámsferlar ásamt einvíðri túlkun birt í viðauka. Við túlkunina er notað hefðbundið lagskipt líkan, þar sem hver mæling er túlkuð með eins fáum viðnámslögum og mögulegt er. Hver mæling er einnig túlkuð með "samfelldu" viðnámslíkani, þar sem notuð eru mörg viðnámslög (20-40) og þess krafist að viðnámsbreyting milli laga sé lítil. Með þessu móti er líkt eftir samfelldum viðnámsbreytingum með dýpi. Túlkun hvernar mælingar með báðum þessum aðferðum, ásamt mæliniðurstöðum, er sýnd í viðauka.



<b>Tafla 1. Staðsetning mælinga</b>				
Mælistöð	Dags mælingar	UTM hnit		Hæð
		AV	NS	m y.s.
888000	25.02.2000	7488725	7099921	230
888025	29.02.2000	7488779	7102477	355
903026	06.03.2000	7490376	7102607	220
917025	06.03.2000	7491719	7102493	290
905023	08.03.2000	7490552	7102218	202
925033	31.03.2000	7492582	7103311	455
934021	31.03.2000	7493487	7102096	422
926200	01.04.2000	7492545	7100196	415
930009	01.04.2000	7492982	7100937	390
936999	01.04.2000	7493698	7099932	315
945023	02.04.2000	7494515	7102295	300
947035	02.04.2000	7494562	7103534	360
947010	02.04.2000	7494726	7101018	285
918034	05.04.2000	7491779	7103245	425
922043	05.04.2000	7492180	7104135	380
923026	05.04.2000	7492466	7102527	435
928021	05.04.2000	7492765	7102048	455
936028	05.04.2000	7493507	7102714	447
898013	19.07.2000	7489867	7101276	315
898023	19.07.2000	7489716	7102180	350
912022	19.07.2000	7491421	7102202	255
912007	19.07.2000	7491282	7100891	227
907015	19.07.2000	7490707	7101747	170
899997	24.07.2000	7489934	7099695	73
910994	24.07.2000	7491073	7099391	95
903988	24.07.2000	7490340	7098806	70
917991	27.07.2000	7491812	7099151	285
929985	28.07.2000	7492890	7098343	242
924964	28.07.2000	7492545	7097258	180
943983	28.07.2000	7494289	7098199	200
900004	28.07.2000	7490020	7100452	185
907002	01.08.2000	7490599	7100030	220
893017	01.08.2000	7489274	7101666	245
897022	01.08.2000	7489227	7102662	280
898034	01.08.2000	7489769	7103451	400
907034	01.08.2000	7490858	7103367	325
920014	01.08.2000	7492059	7101510	280
889986	03.08.2000	7488857	7098648	190
905981	03.08.2000	7490528	7098099	97
897985	03.08.2000	7489854	7098517	83

## 5. NIÐURSTÖÐUR

Niðurstöður úr túlkun viðnámsmælinganna eru settar fram annarsvegar sem viðnámsnið og hinsvegar sem jafnviðnámskort á mismunandi dýpi. Lega viðnámsniðanna er sýnd á mynd 2, og fyrir hvert snið eru teiknaðar tvær myndir, önnur samkvæmt túlkun með lagskiptu líkani og hin samkvæmt túlkun þar sem viðnám breytist samfelld með dýpi. Síðar verður fjallað um hvernig beri að túlka viðnámsgerðina með tilliti til jarðhita.



Mynd 2. Lega viðnámsniða á myndum 3-23.

## 5.1 Viðnámssnið

Hér á eftir er rætt stuttlega um einstök viðnámssnið og einkum fjallað um þau sem byggja á lagskiptu líkönunum, en samfelldu viðnámslíkönin eru sýnd til hliðsjónar fyrir neðan hvert snið. Viðnámssniðin eru teiknuð í kvarðanum 1:4, þar sem dýptarskalinn er 4 sinnum vegalengdarkvarðinn.

### N1 (mynd 3)

Sniðið nær frá Kömbum í suðri og norður Reykjadalinn. Lágt viðnám ( $< 10 \Omega\text{m}$ ) er á um 200 m y.s. innst í Reykjadal og fer dýpkandi á það til suðurs þar sem það er lægst á um 200 m u.s. Viðnámið í laginu er lægst nyrst í Reykjadal. Undir lágviðnáminu er hærra eðlisviðnám, yfirleitt yfir  $100 \Omega\text{m}$ . Mæling 888025 er staðsett rétt vestan við Reykjadalinn, og er viðnámið undir lágviðnáminu heldur lægra en í hinum mælingunum.

### N2 (mynd 4)

Þetta snið nær frá völlum norðan Hveragerðis (Vorsabæjarvellir, einnig nefnt Ölfusdalur) og norður eftir Dalafellinu, sem er á milli Reykjadals og Grændals. Á sniðinu kemur fram mjög lágt viðnám ( $< 5 \Omega\text{m}$ ) á 0-200 m y.s. og undir því er hærra viðnám, yfirleitt um eða yfir  $100 \Omega\text{m}$ . Syðst á sniðinu (mæling 897985) túlkast tvö lágviðnámslög með um  $100 \Omega\text{m}$  millilagi. Þetta er óvenjuleg hegðun á háhitasvæðum og ástæða þess ekki ljós, en hugsanlega eru sterk áhrif í mælingunni vegna þrívíðrar viðnámsdreifingar á svæðinu og því einvíð túlkun hæpin. Viðnám millilagsins er ekki vel ákvarðað. Milli mælinga 899997 og 900004 (Rjúpnabrekkur) kemur fram lægra viðnám undir lágviðnámskápunni, samanborið við aðrar mælingar á sniðinu, og nær það niður á um 200-300 m u.s. þar sem hátt viðnám tekur við. Eins og nánar verður vikið að síðar er slíka viðnámsdreifingu að finna víðar á svæðinu milli Grændals og Sauðárdals (austan Grændals).

### N3 (mynd 5)

Snið N3 nær frá Grýtu í Ölfusdal og norður eftir Grændal. Lágviðnámslagið er á 0-200 m y.s. og síðan er hærra viðnám undir því. Eins og í sniði N2 er 10-20  $\Omega\text{m}$  viðnámslag undir lágviðnáminu, bæði syðst á sniðinu þ.e. í Ölfusdal, og innst í Grændal. Slíkt millilag er ekki til staðar í mælingu 907034, sem staðsett er ofan við Grændal.

### N4 (mynd 6)

Snið N4 nær frá Grýtu í suðri, norður eftir Sauðárdal, og norður fyrir Klóarfjall. Hér er lágviðnámið á um 0 m y.s., nema nyrst í Sauðárdal, þar sem grynkar á það og er á um 200 m y.s. Lágviðnámið rís hæst (300 m y.s.) í mælingu 918034, sem staðsett er upp á Klóarfjalli, en túlkun þeirrar mælingar gefur tvö lágviðnámslög. Norðan við Klóarfjallið dýpkar á lægsta viðnám (200-300 m u.s.). Undir lágviðnámslaginu er hærra viðnám. Á 400-500 m u.s. er háviðnámskjarni ( $> 100 \Omega\text{m}$ ), nema nyrst í Sauðárdal þar sem hann er á 100 m u.s. Milli hans og lágviðnámsins er 10-20  $\Omega\text{m}$  viðnámslag undir mestöllum Sauðárdal. Slíkt millilag kemur ekki fram í nyrstu mælingunum.

**N5** (mynd 7)

Á austasta norður-suður sniðinu, sem staðsett er austan við Sauðárdal, er grynnt á lágviðnám sunnan við Álút þar sem það er á um 200 m y.s. Það dýpkar á lágviðnámið bæði til norðurs og suðurs. Um miðbik sniðsins er 10-20  $\Omega$ m millilag, en þar fyrir neðan er hátt viðnám (> 100  $\Omega$ m).

**A1** (mynd 8)

Snið A1 nær frá Kömbum í vestri og austur fyrir Gljúfurá. Í Ölfusdal er lágt viðnám (< 5  $\Omega$ m) við sjávarmál, og dýpkar á það til vesturs. Milli þess og háviðnámsins (> 100  $\Omega$ m) er millilag með 8-20  $\Omega$ m viðnámi. Eins og áður er getið sýnir mæling 897985 óvenjulega hegðun því túlkun þeirrar mælingar krefst tveggja lágviðnámslaga. Túlkun mælingarinnar á milli Reykjafjalls og Sogna (mæling 929985) sýnir þykkt lag með viðnámi rétt yfir 10  $\Omega$ m og þunnt lag á um 400 m u.s. með viðnámi undir 10  $\Omega$ m. Þetta lágviðnámslag (< 10  $\Omega$ m) er reyndar ekki nauðsynlegt að hafa í túlkun en er þó haldið hér til heildarsamræmis við aðrar nærliggjandi mælingar.

**A2** (mynd 9)

Næsta VA snið nær frá mælingu 888000, sem staðsett er vestan við Reykjadal, austur yfir mynni Grændals og austur að Selás. Lágviðnámið er á um 100 m y.s., nema austast þar sem dýpkar á það. Undir því er herra viðnám og rís háviðnámið hæst um miðbik sniðsins.

**A3** (mynd 10)

Snið A3 nær frá Reykjadal í vestri, austur yfir Sauðárdal, og austur að Kringluvatnsdal. Engin mæling er staðsett í Grændal á þessu sniði. Viðnámið í lágviðnámslaginu er lægst vestast í um 100 m y.s. Í Sauðárdal er lágviðnámslagið (< 10  $\Omega$ m) þynnra og eins er viðnám þess herra, jafnframt því sem dýpkar á lagið (um 100 m u.s.). Uppi á fjallsbrúninni sunnan við Álút þykkar lagið aftur og það grynntar á það (200 m y.s.). Þar fyrir austan dýpkar verulega á lágviðnámslagið (300 m u.s.). Undir lágviðnáminu er hátt viðnám (>100  $\Omega$ m), en milli þess og lágviðnámsins er millilag með 10-20  $\Omega$ m viðnámi undir Sauðárdal og austur fyrir Álút. Veruleg skörp lóðrétt viðnámskil eru undir lágviðnámslaginu milli mælingar 898013, sem staðsett er uppi á Dalafjallinu, og mælingar 912007 í Sauðárdal.

**A4** (mynd 11)

Snið A4 nær yfir Reykjadal í vestri, yfir nyrsta hluta Grændals, norður fyrir Álút og austur að Kringluvatnsdal. Á sniðinu er grynnt á lágviðnámið í Reykjadal og vestan hans (200 m y.s.) auk þess sem viðnám lágviðnámslagsins er áberandi lægst þar. Þar rís háviðnámskjarninn undir lágviðnáminu einnig hæst. Dýpi á lágviðnámið eykst verulega austan við Álút. Áberandi sterk lóðrétt viðnámskil eru neðan lágviðnámslagsins, annarsvegar á milli mælingar 898023, sem er staðsett er uppi á Dalafjallinu, og mælingar 905023 í Grændal hinsvegar. Vestan þess er viðnámið hátt (> 100  $\Omega$ m) en austan þess er 10-20  $\Omega$ m millilag sem nær austur fyrir Álút.

**NA5** (mynd 12)

Í nyrsta VA sniðinu, sem nær frá Dalskarðshnjúk í vestri og að bænum Hlíð í austri, sést vel hvernig dýpkar á lágviðnámið til austurs. Í austustu mælingunni (9105) sést ekki lágviðnám.

**NA1** (mynd 13)

Snið NA1 nær frá Grýtu í SV og NA í Kringluvatnsdal. Suðvestast á sniðinu er lágviðnámslagið við sjávarmál þar sem viðnám þess er lægst. Það rís í um 100-200 m y.s. sunnan við Álút og fer svo dýpkandi til norðausturs.

**NA2** (mynd 14)

Snið NA2 nær frá Ölfusdal í suðvestri, fram hjá Gufudal í mynni Sauðárdals, sunnan við Álút og að bænum Hlíð í norðaustri. Á sniðinu kemur vel fram hversu hratt dýpkar á lágviðnámslagið austan við Álút. Norðaustan við Álút og suðvestur eftir sniðinu er 10-20  $\Omega\text{m}$  millilagið til staðar. Grynnt er á háviðnámið ( $> 100 \Omega\text{m}$ ) á svæðinu sunnan við Álút.

**NA3** (mynd 15)

Sniðið nær frá Kömbum í suðvestri, fram hjá mynni Grændals, yfir Álút og norðaustur að norðurenda Hlíðarfjalls. Lágviðnámslagið rís hæst (150 m y.s.) við Tinda (mæling 907002, milli mynni Grændals og Sauðárdals), síðan dýpkar aftur á það í Sauðárdal (50 m u.s., mæling 912007), en við Álút rís það aftur í um 100 m y.s. Norðaustan við Álút dýpkar hratt á lágviðnámið. Millilagið undir lágviðnámslaginu nær frá Sauðárdal og norðaustur fyrir Álút. Skörp lóðrétt viðnámsskil eru undir lágviðnáminu milli Tinda og Sauðárdals.

**NA4** (mynd 16)

Suðvestasta mælingin í þessu sniði er vestan við suðurhluta Reykjadal. Sniðið nær síðan til norðausturs um Grændal og botn Sauðárdals og síðan uppfyrir brekkurnar austan Klóarfjalls. Norðaustustu mælingarnar í sniðinu sýna vel hvernig dýpkar á lágviðnámið til norðausturs þar sem það er á um 200 m u.s., en annarstaðar er það á 100-200 m y.s. Undir lágviðnáminu er 10-20  $\Omega\text{m}$  millilag sem nær yfirleitt niður á um 300-400 m u.s., nema undir mælingu 917025, sem er í botni Sauðárdals, þar nær háviðnámið upp undir 100 m u.s.

**NA5** (mynd 17)

Snið NA5 nær frá Reykjadal í suðvestri, yfir Dalafell, um botn Grændals og norðaustur fyrir Villingarvatnsbotna, austan Kyllisfells. Lágviðnámslagið er á 100-200 m y.s. frá suðvestri og norðaustur fyrir Grændal, þar sem það rís hæst, en síðan dýpkar verulega á lagið til norðausturs (200-300 m u.s.). Undir lágviðnámslaginu er hátt viðnám ( $> 100 \Omega\text{m}$ ), nema í botni Grændals þar sem er millilag (10-20  $\Omega\text{m}$ ) niður á um 200 m u.s.

**SA1** (mynd 18)

Þetta viðnámsstrið nær frá Kömbum, um Ölfusdal og suðaustur fyrir Reykjafjall. Lágviðnámslagið rís hæst um miðbik sniðsins, og dýpkar á það bæði til norðvesturs og suðausturs.

**SA2** (mynd 19)

Snið SA2 nær frá Reykjadal í norðvestri, um mynni Grændals og Sauðárdals, og suðaustur fyrir Gljúfurá. Lágviðnámslagið er á um 0-100 m y.s. frá norðvestri og suðaustur að Reykjafjalli, en þaðan dýpkar á það til suðausturs og er á um 200 m u.s. í austustu mælingunni. Undir lágviðnáminu er hátt viðnám, nema undir mælingunni við mynni Sauðárdals (910994), þar sem viðnámið er undir 20  $\Omega$ m, allt niður á 400-500 m u.s.

**SA3** (mynd 20)

Snið SA3 nær frá Reykjadal, yfir Dalafell og miðhluta Sauðárdals og suðaustur á Selás. Engin mæling er í Grændal á þessu sniði. Lágviðnámslagið er á um 100 m y.s. norðvestast á sniðinu, en í Sauðárdal er það komið í um 100 m u.s. Austan Sauðárdals (mæling 926200) grynkar aftur á lágt viðnám (100-200 m y.s.) en þar fyrir austan fer dýpkandi á lagið. Á milli Dalafells og Sauðárdals eru skörp lóðrétt viðnámskil undir lágviðnámslaginu, þar sem háviðnámið undir lágviðnáminu rís uppundir sjávarmál undir Dalafellinu, en í Sauðárdal er viðnámið undir 20  $\Omega$ m niður á um 500 m u.s. þar sem háviðnámið byrjar.

**SA4** (mynd 21)

Á sniði SA4, sem nær frá Reykjadal, um Grændal og Sauðárdal, og austur fyrir Álút, sést hvernig dýpkar á lágviðnámslagið frá Reykjadal og yfir í Grændal, jafnframt því sem viðnám lágviðnámslagsins hækkar. Á milli Dalafells og Grændals eru skörp lóðrétt viðnámskil undir lágviðnáminu, frá um 100 m y.s. og niður á um 400 u.s. Vestan þessara skila er viðnámið yfir 100  $\Omega$ m, en austan þeirra undir 20  $\Omega$ m.

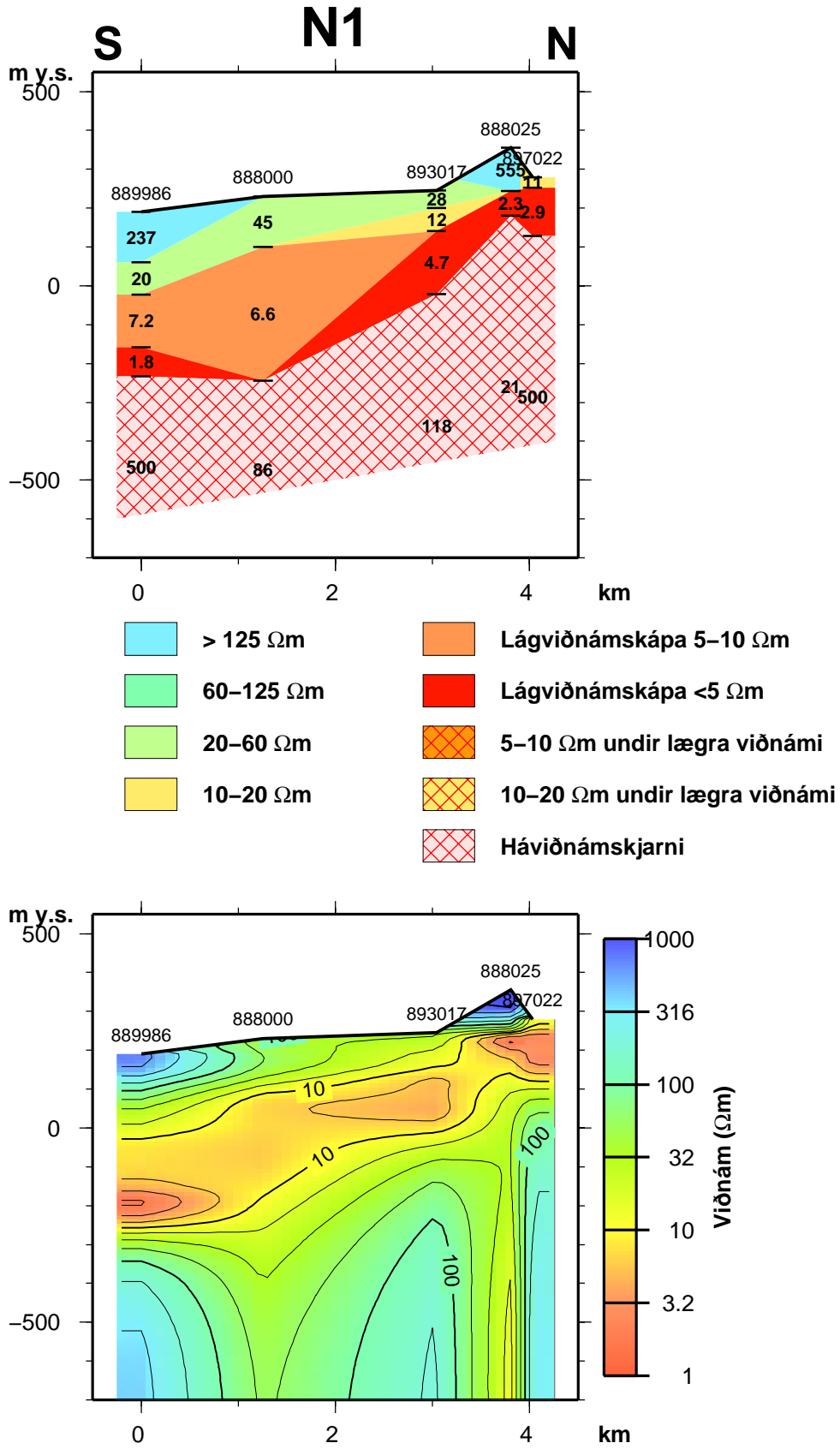
**SA5** (mynd 22)

Snið SA5 nær frá Dalaskarðshnúk (norðan Dalafells) í norðvestri, eftir hálendisbrúninni ofan Grændals, norðan Álúts og suðaustur að Kringluvatnsdal. Lágviðnámslagið er á 100-250 m y.s. frá norðvestri og suðaustur að Álúti. Þar dýpkar á lagið til suðausturs og er það á 200-300 m u.s. í Kringluvatnsdal. Vestan Álúts er lóðrétt viðnámskil undir lágviðnáminu.

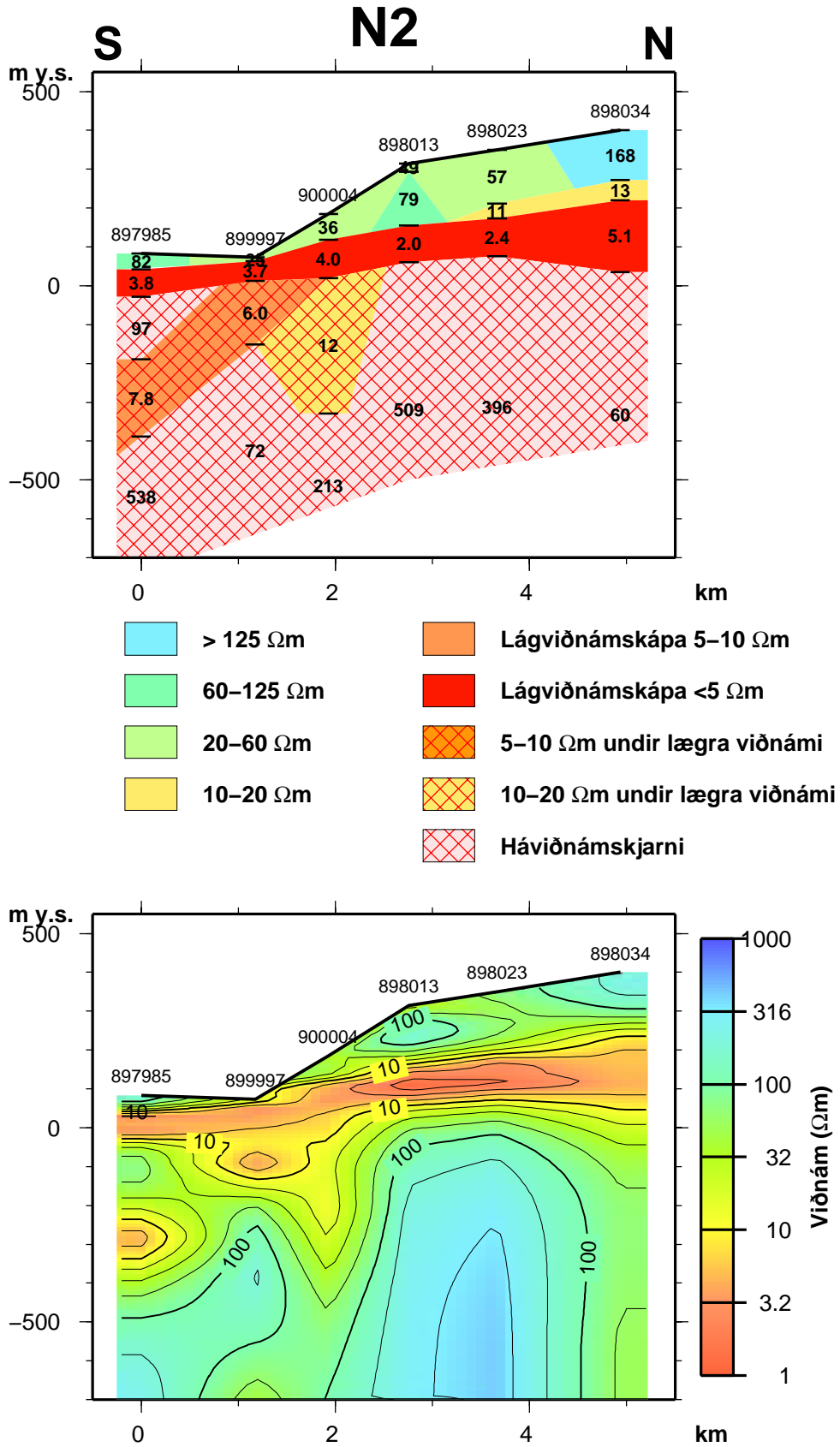
**SA6** (mynd 23)

Síðasta sniðið liggur frá Villingarvatnsbotnum austan Kyllisfells, í norðvestri og suðaustur að norðanverðum Kringluvatnsdal. Hér er lágviðnámið á 0-100 m u.s. og talsvert þykkara en í flestum sniðanna. Háviðnámið undir lágviðnáminu er á 500-600 m u.s. Engin lóðrétt viðnámskil undir lágviðnáminu sjást í þessu sniði.

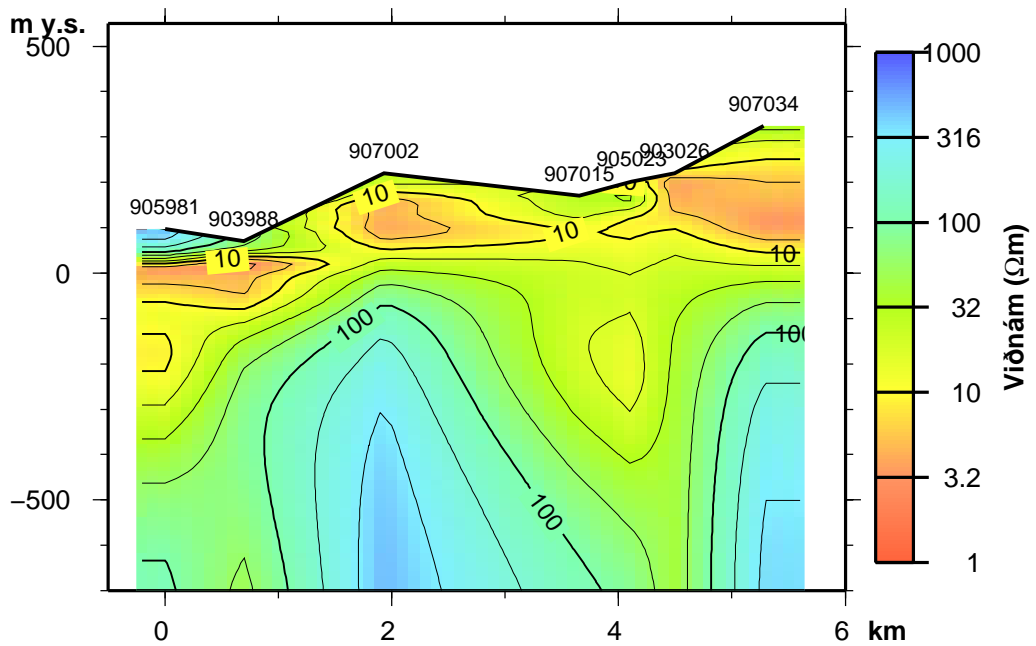
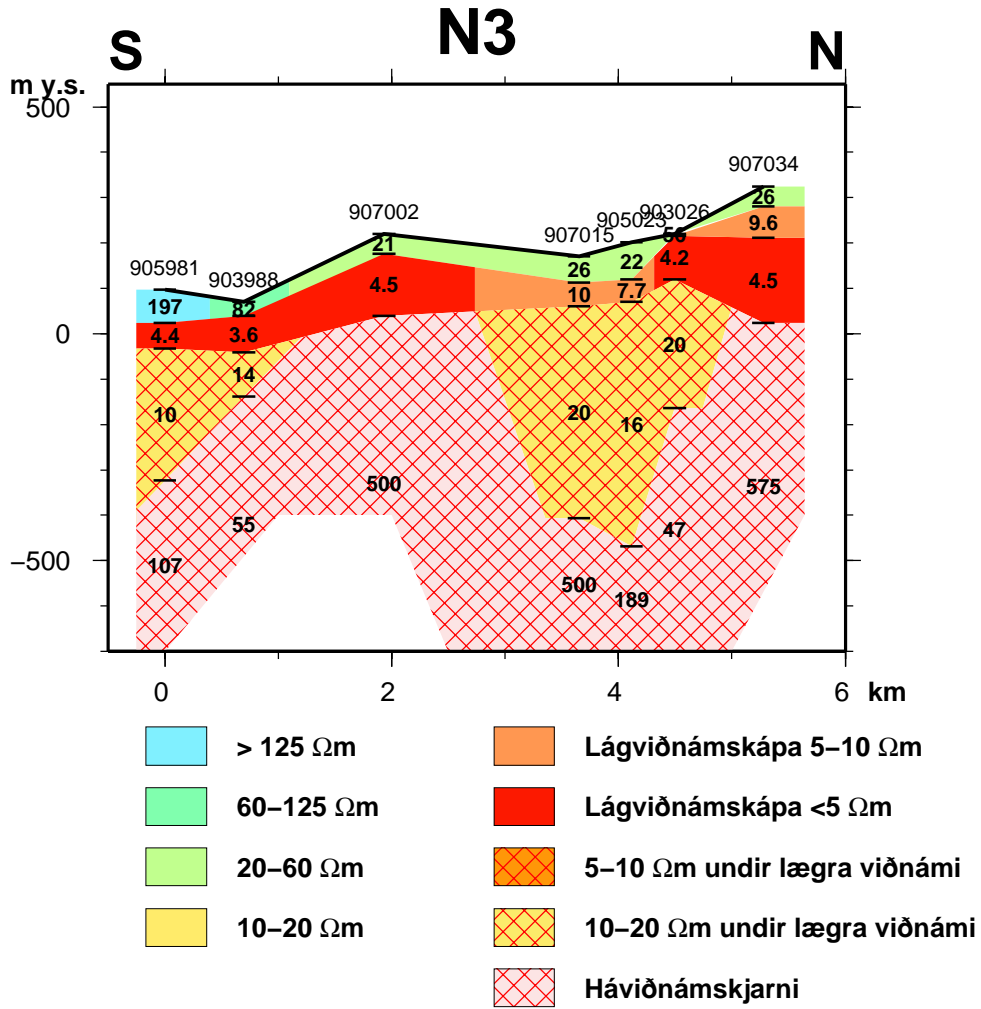




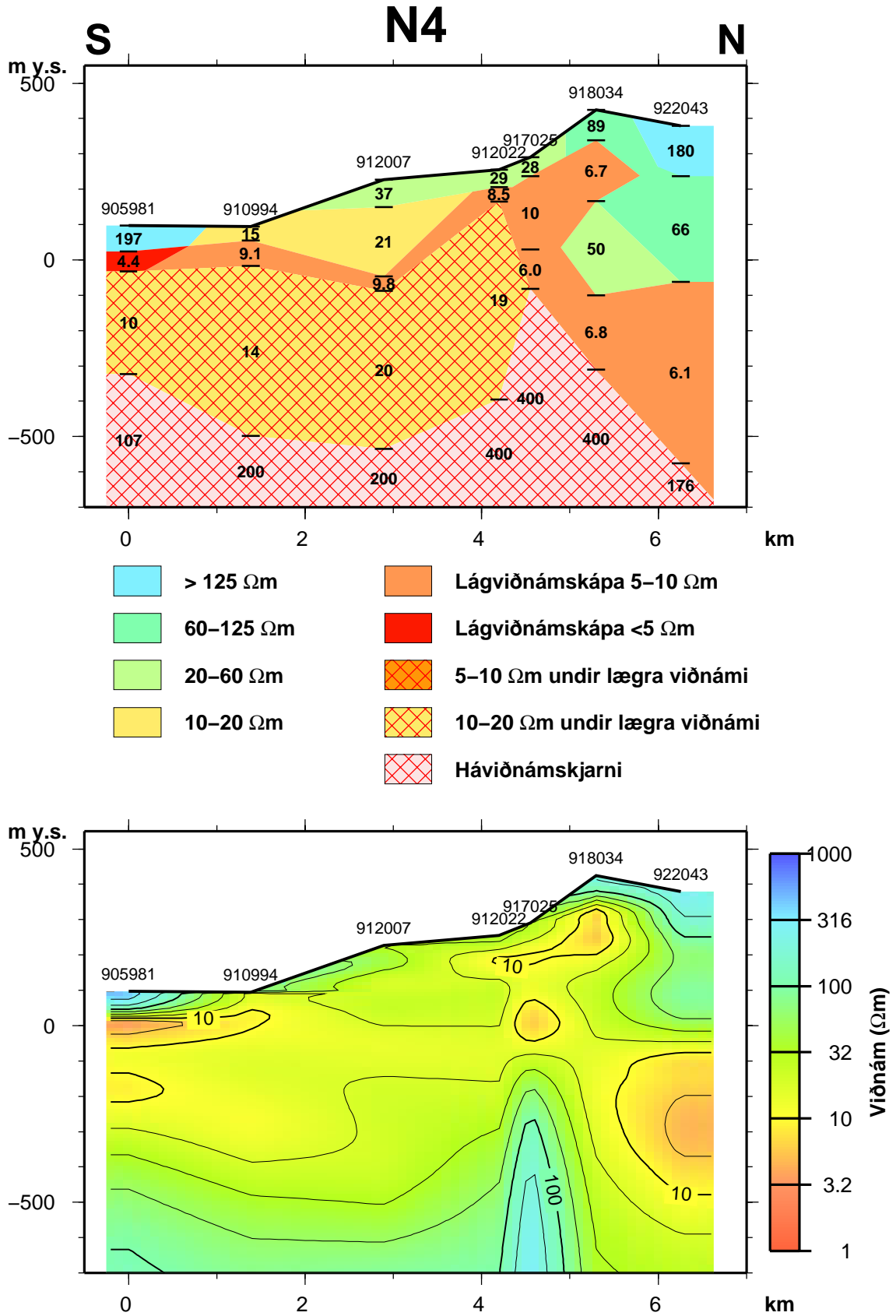
**Mynd 3.** Viðnámssnið eftir línu N1. Efri myndin sýnir túlkun mælinga með lagskiptu líkani en sú neðri með líkani þar sem viðnám jarðlaga breytist samfelld með dýpi.



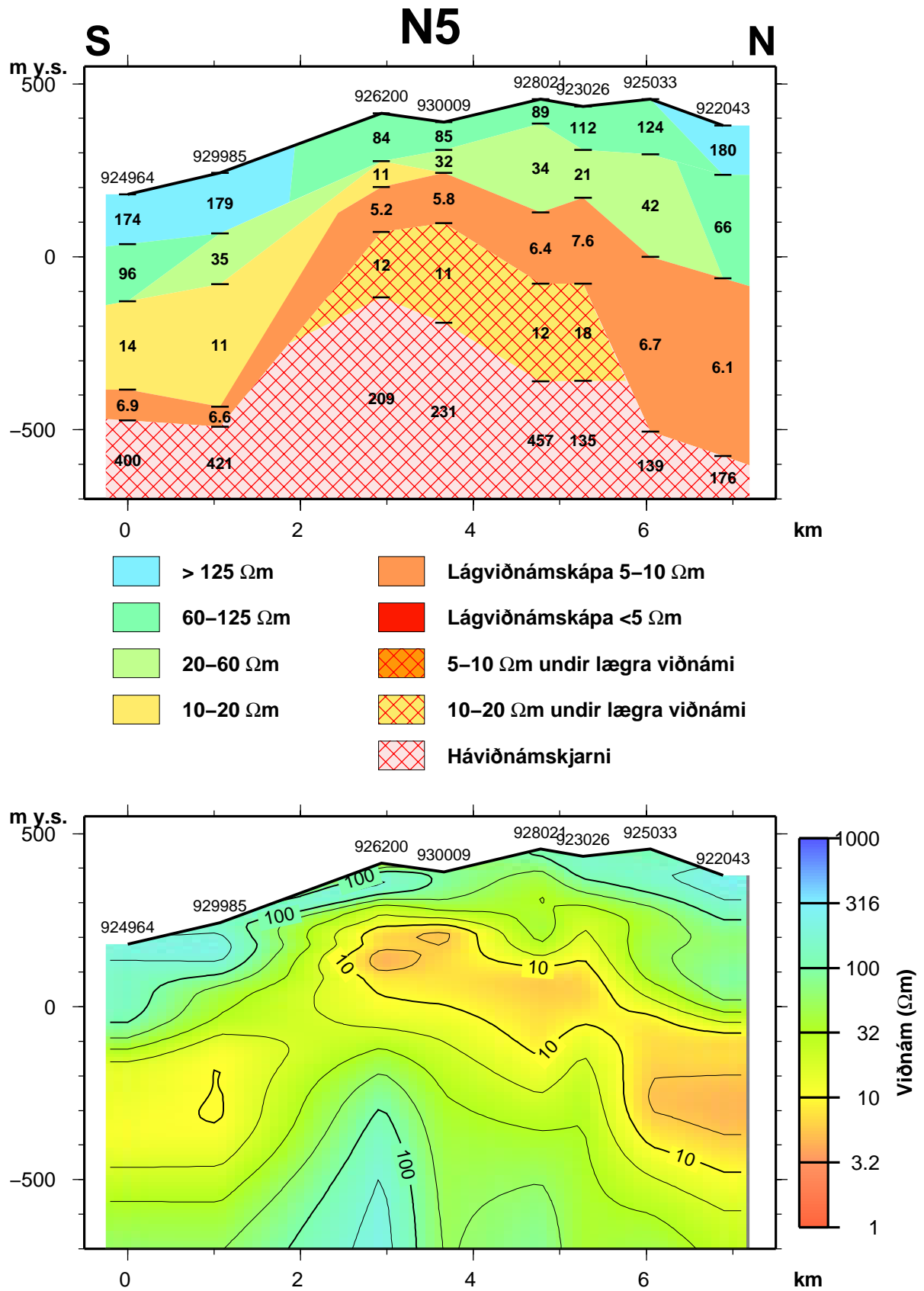
**Mynd 4.** Viðnámsnið eftir línu N2. Efri myndin sýnir túlkun mælinga með lagskiptu líkani en sú neðri með líkani þar sem viðnáms jarðlaga breytist samfelld með dýpi.



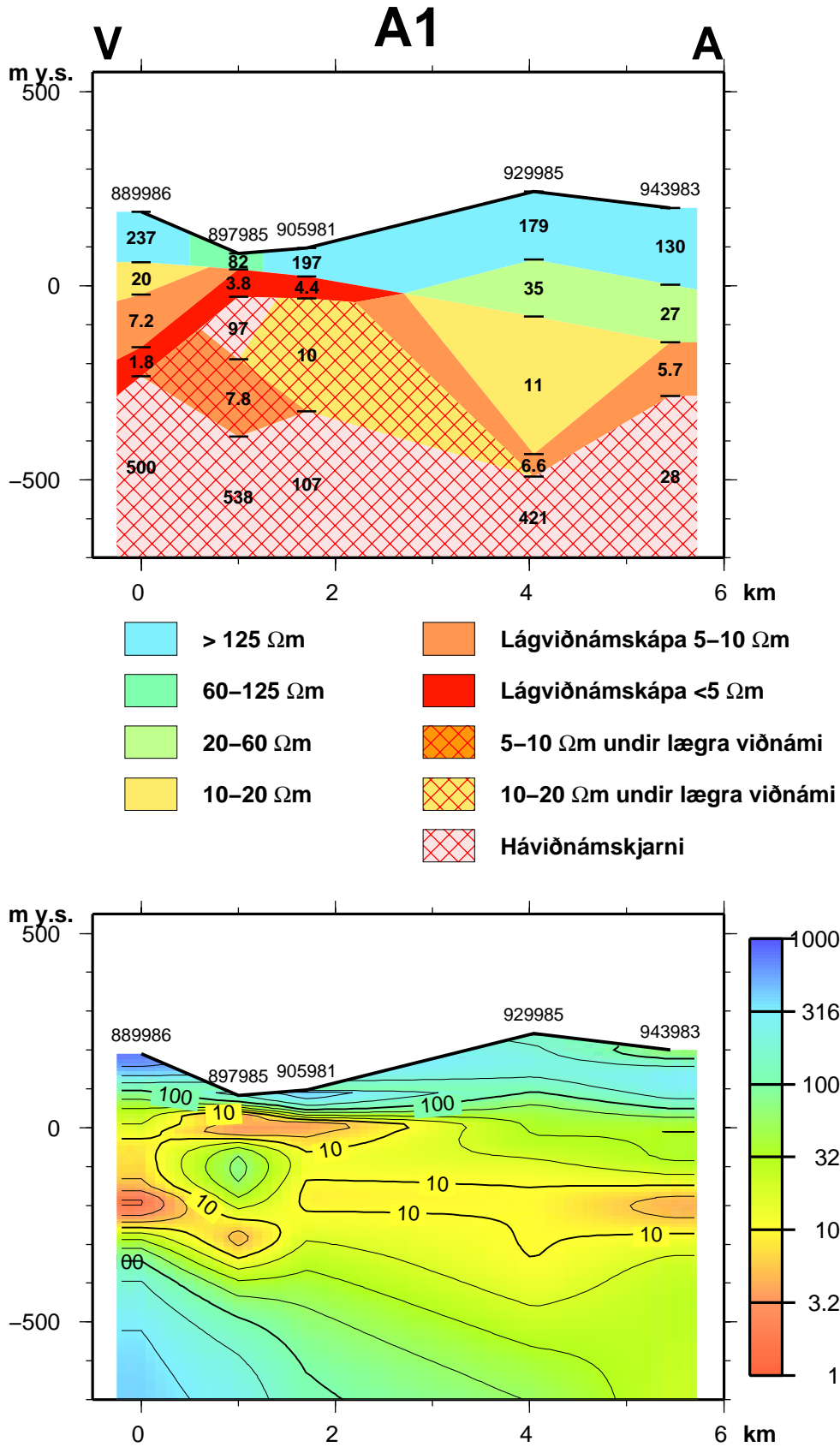
**Mynd 5.** Viðnámsnið eftir línu N3. Efri myndin sýnir túlkun mælinga með lagskiptu líkani en sú neðri með líkani þar sem viðnám jarðлага breytist samfelld með dýpi.



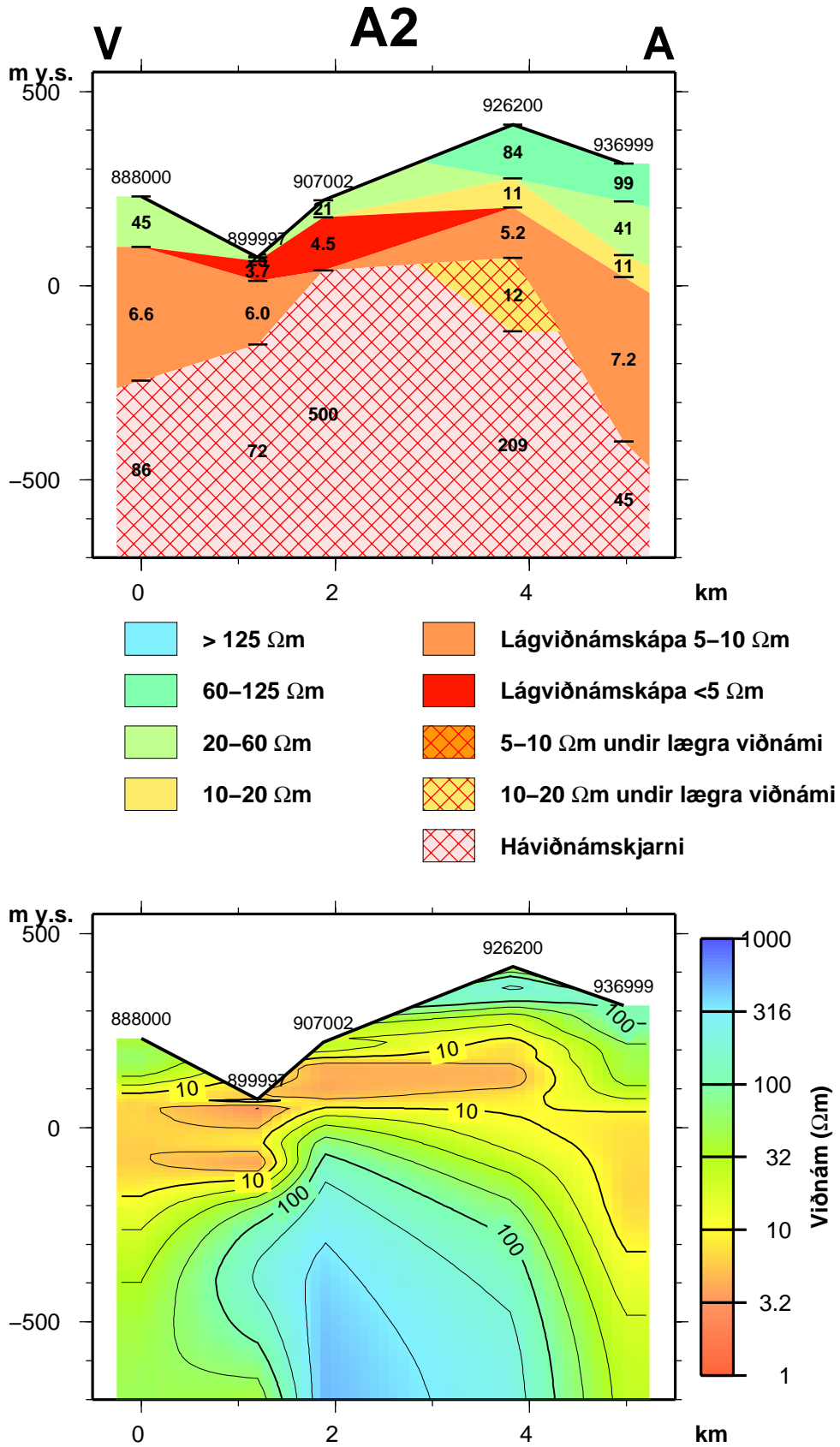
**Mynd 6.** Viðnámsnið eftir línu N4. Efri myndin sýnir túlkun mælinga með lagskiptu líkani en sú neðri með líkani þar sem viðnám jarðлага breytist samfelld með dýpi.



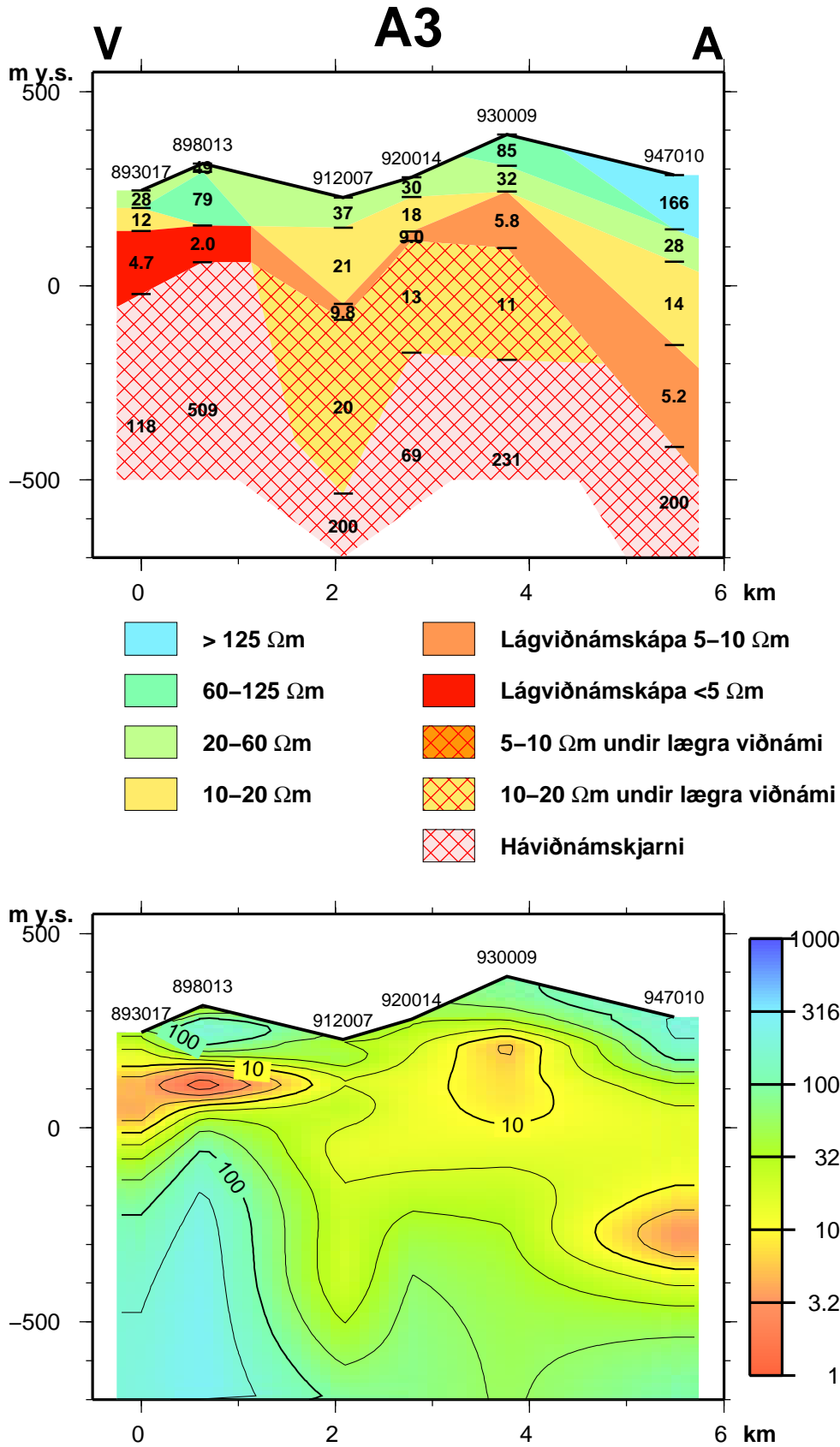
**Mynd 7.** Viðnámsnið eftir línu N5. Efri myndin sýnir túlkun mælinga með lagskiptu líkani en sú neðri með líkani þar sem viðnám jarðлага breytist samfelld með dýpi.



**Mynd 8.** Viðnámsnið eftir línu A1. Efri myndin sýnir túlkun mælinga með lagskiptu líkani en sú neðri með líkani þar sem viðnám jarðлага breytist samfelld með dýpi.

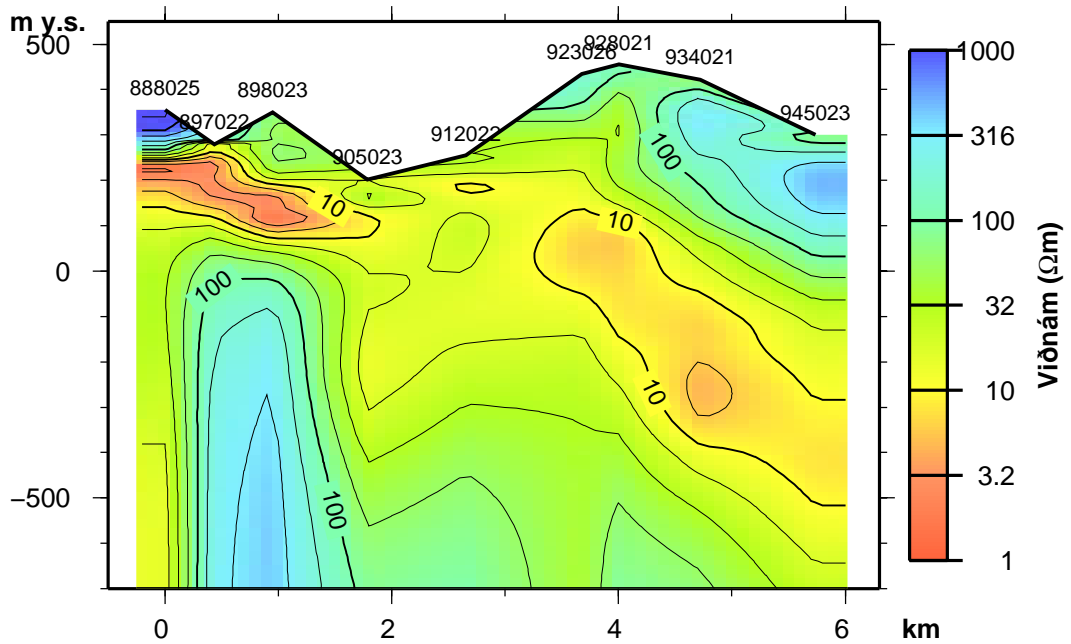
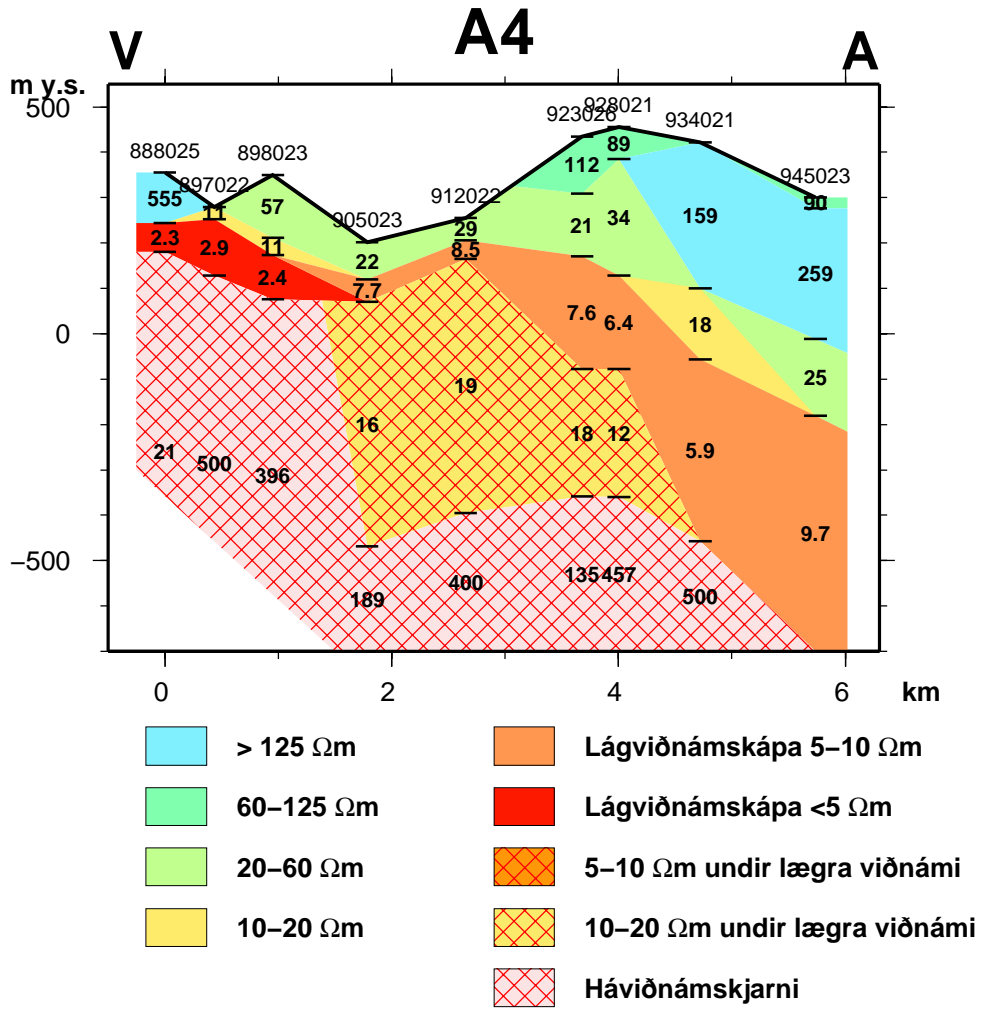


**Mynd 9.** Viðnámsnið eftir línu A2. Efri myndin sýnir túlkun mælinga með lagskiptu líkani en sú neðri með líkani þar sem viðnáms jarðlaga breytist samfelld með dýpi.

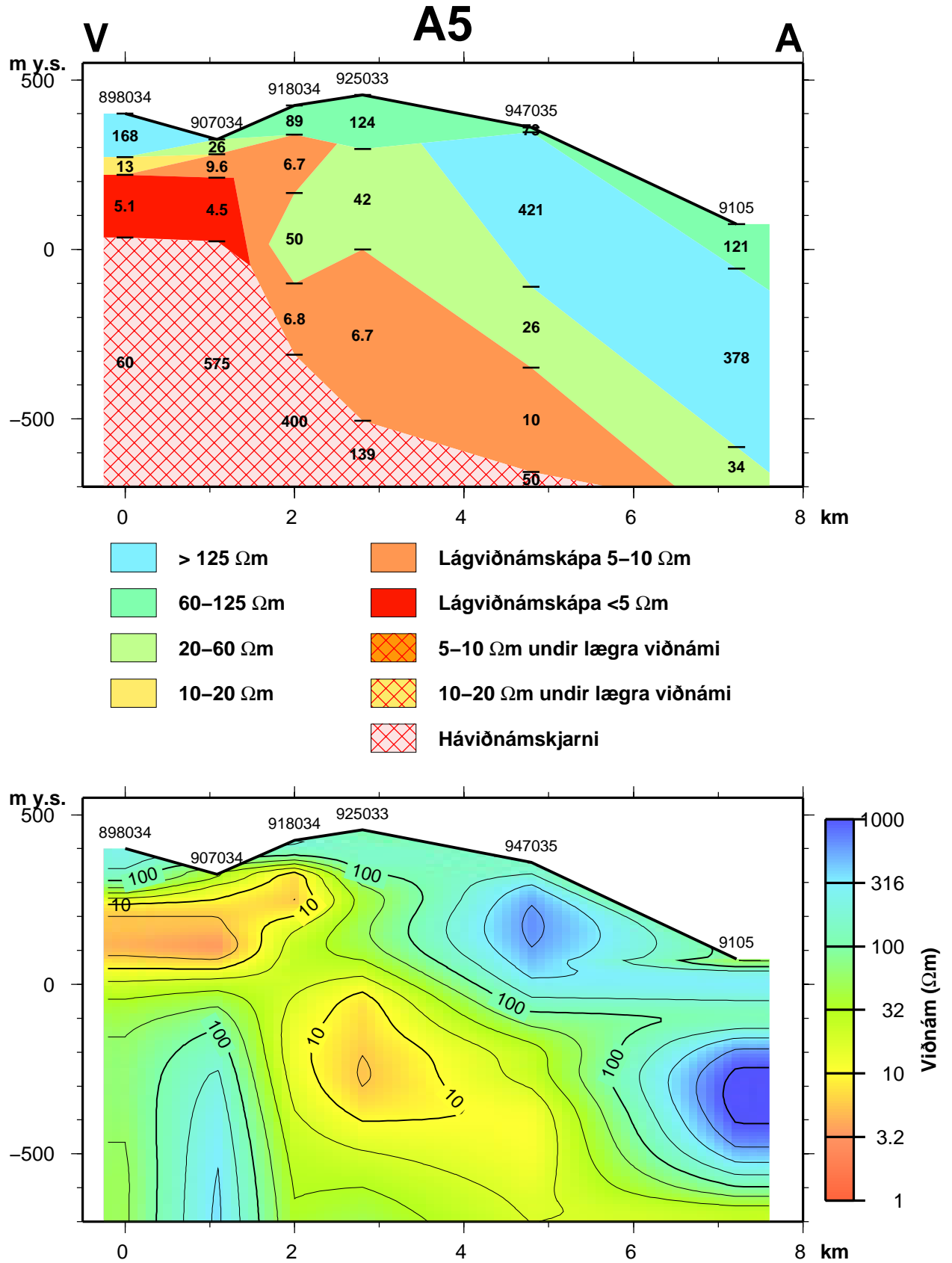


**Mynd 10.** Viðnámsnið eftir línu A3. Efri myndin sýnir túlkun mælinga með lagskiptu líkani en sú neðri með líkani þar sem viðnám jarðлага breytist samfelld með dýpi.

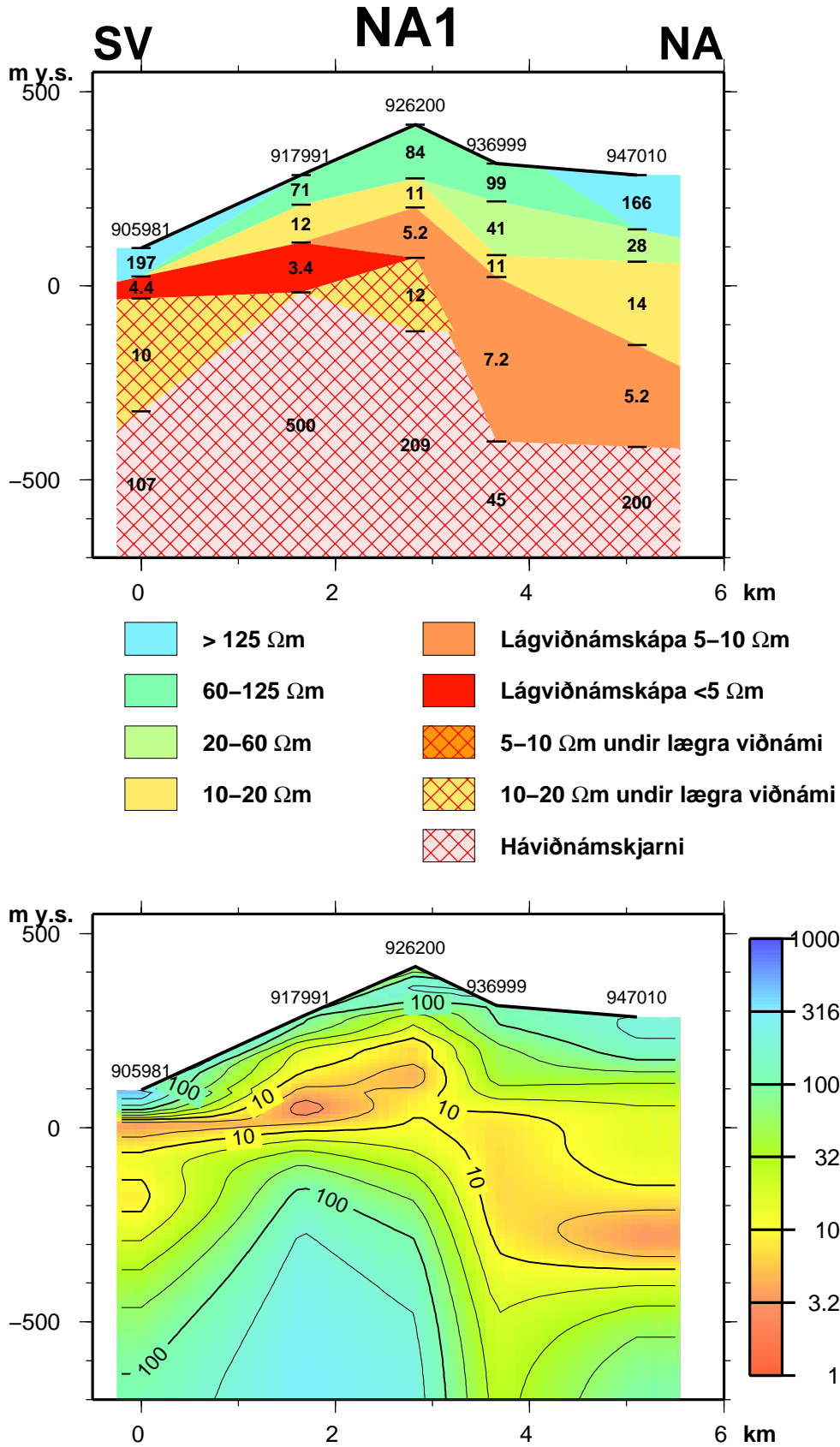




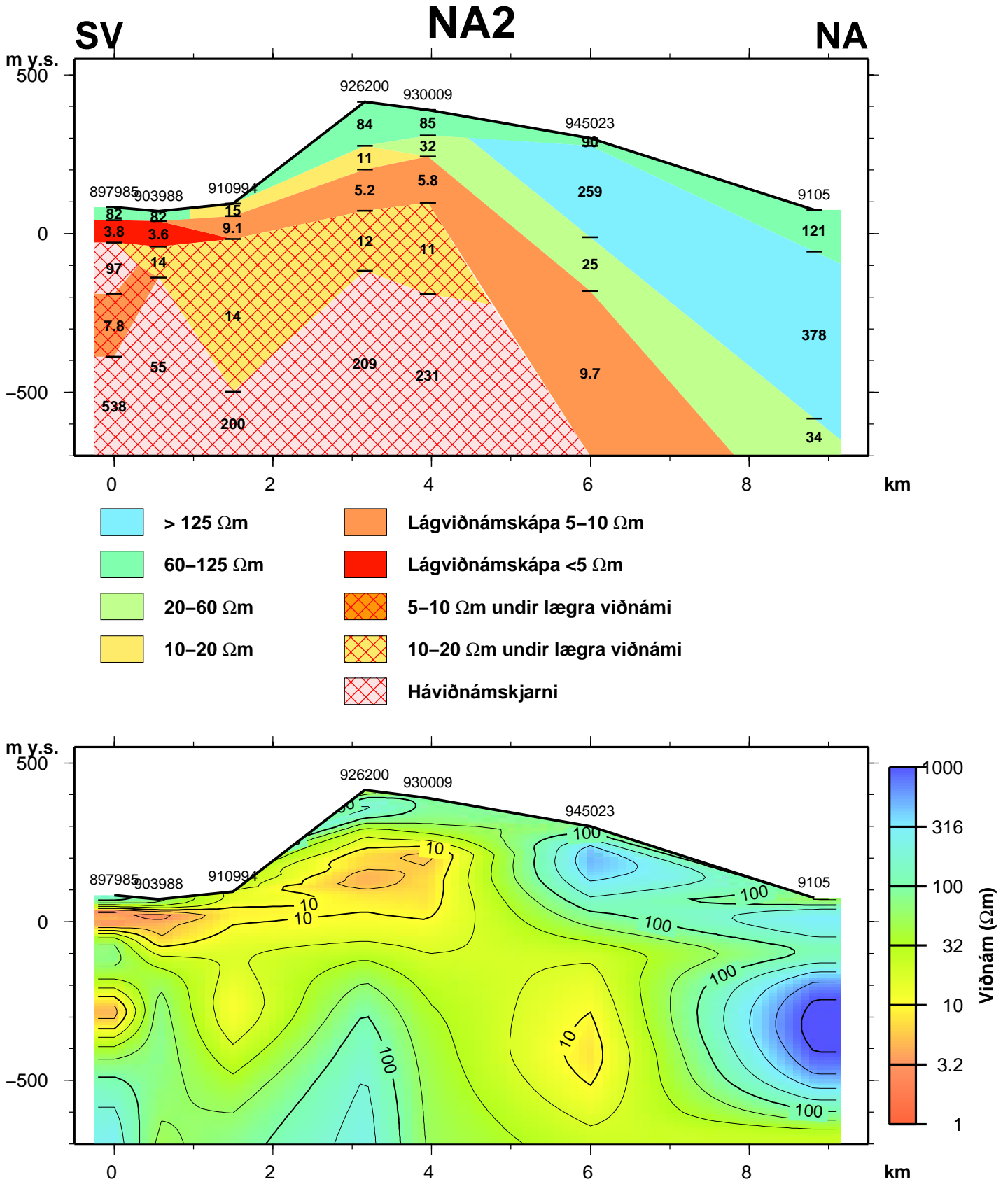
**Mynd 11.** Viðnámsnið eftir línu A4. Efri myndin sýnir túlkun mælinga með lagskiptu líkani en sú neðri með líkani þar sem viðnám jarðлага breytist samfelld með dýpi.



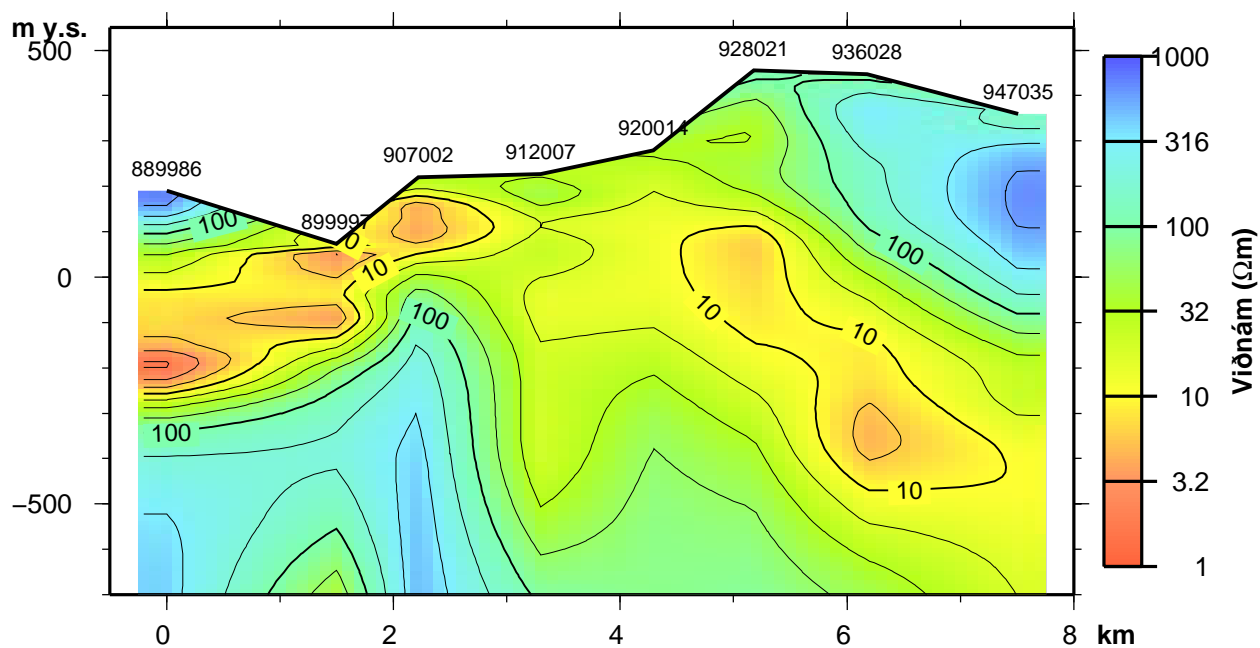
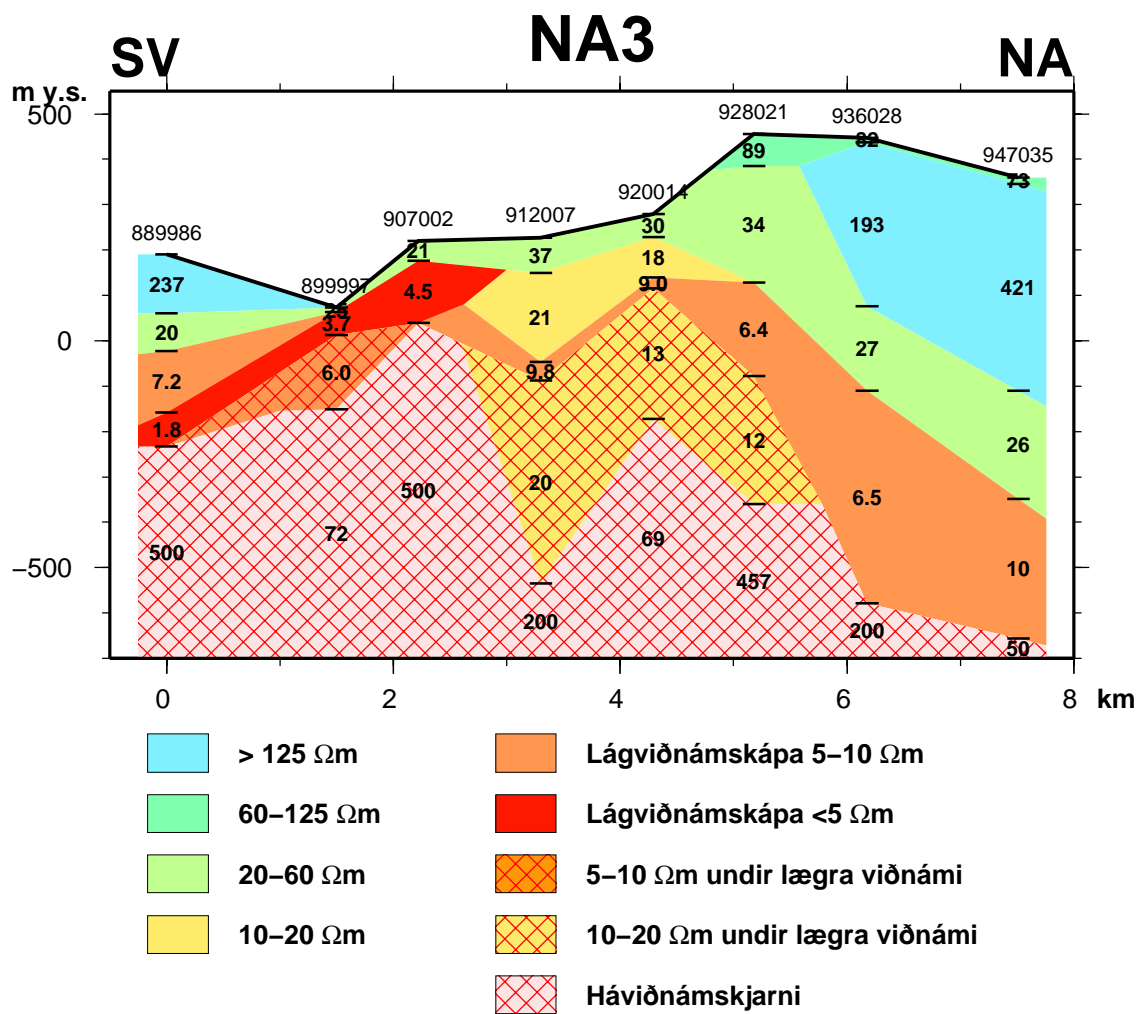
**Mynd 12.** Viðnámsnið eftir línu A5. Efri myndin sýnir túlkun mælinga með lagskiptu líkani en sú neðri með líkani þar sem viðnáms jarðлага breytist samfelld með dýpi.



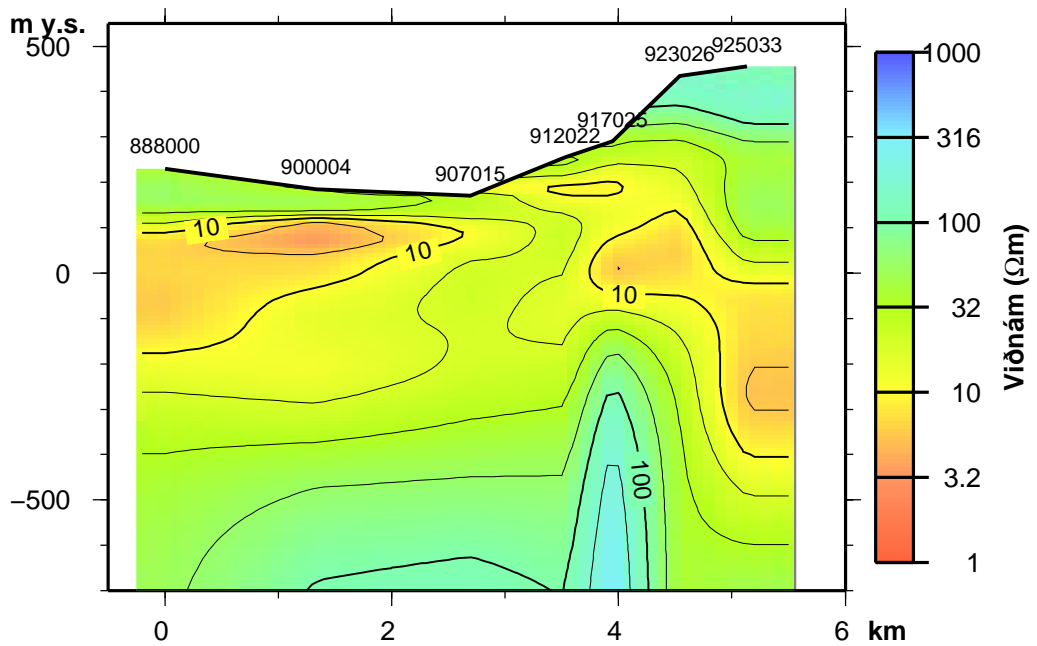
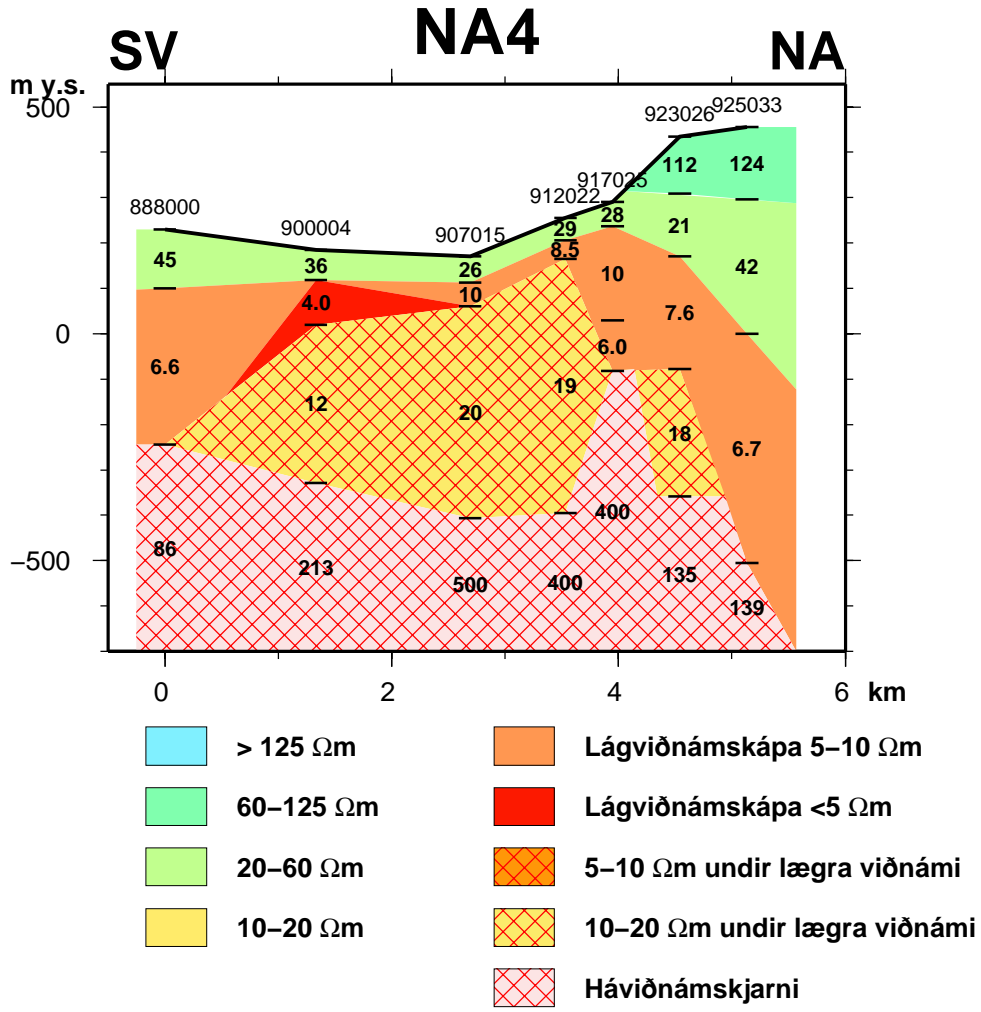
**Mynd 13.** Viðnámsnið eftir línu NA1. Efri myndin sýnir túlkun mælinga með lagskiptu líkani en sú neðri með líkani þar sem viðnám jarðлага breytist samfelld með dýpi.



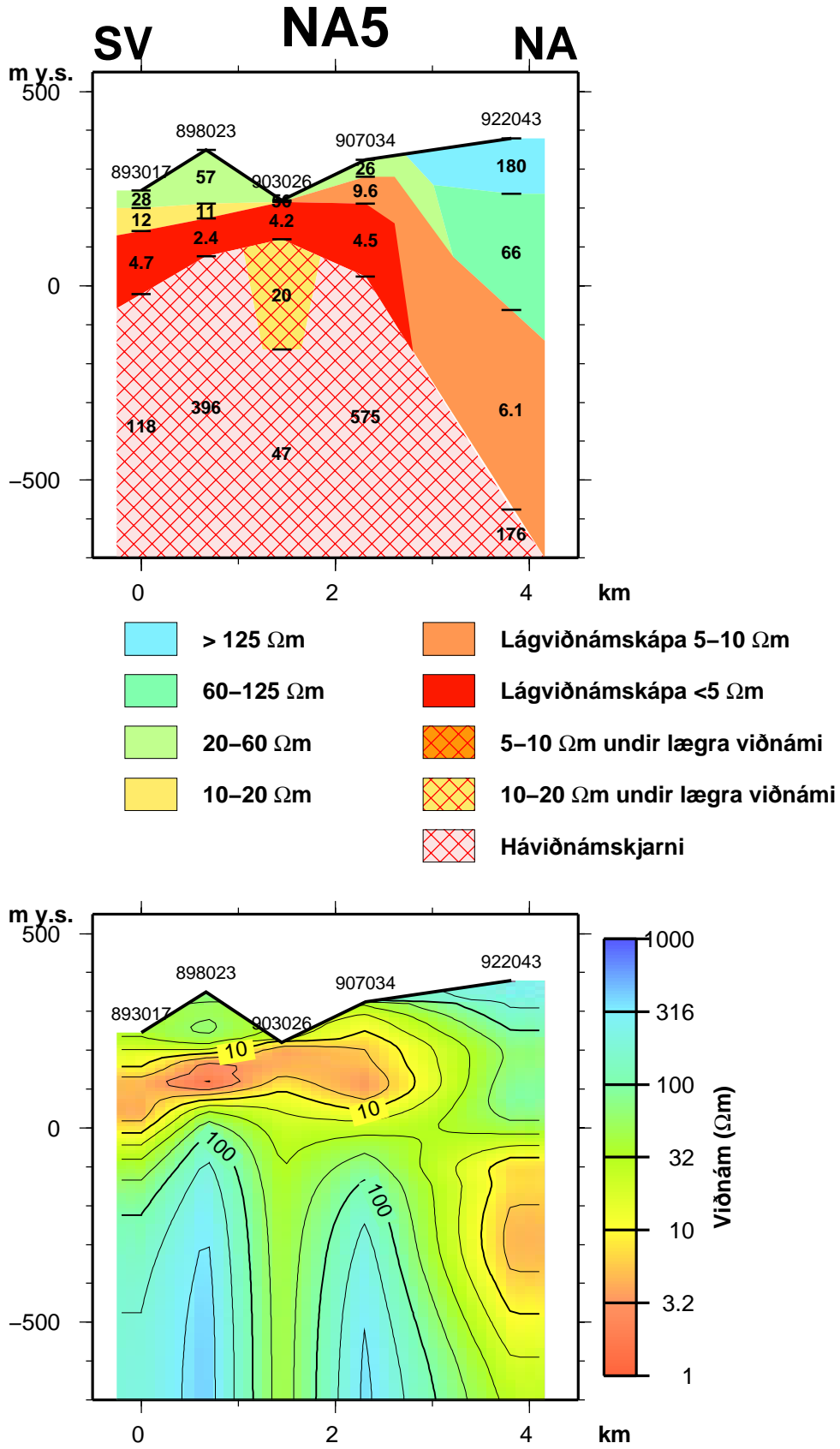
**Mynd 14.** Viðnámsnið eftir línu NA2. Efri myndin sýnir túlkun mælinga með lagskiptu líkani en sú neðri með líkani þar sem viðnám jarðлага breytist samfelld með dýpi.



**Mynd 15.** Viðnámsnið eftir línu NA3. Efri myndin sýnir túlkun mælinga með lagskiptu líkani en sú neðri með líkani þar sem viðnám jarðлага breytist samfelld með dýpi.



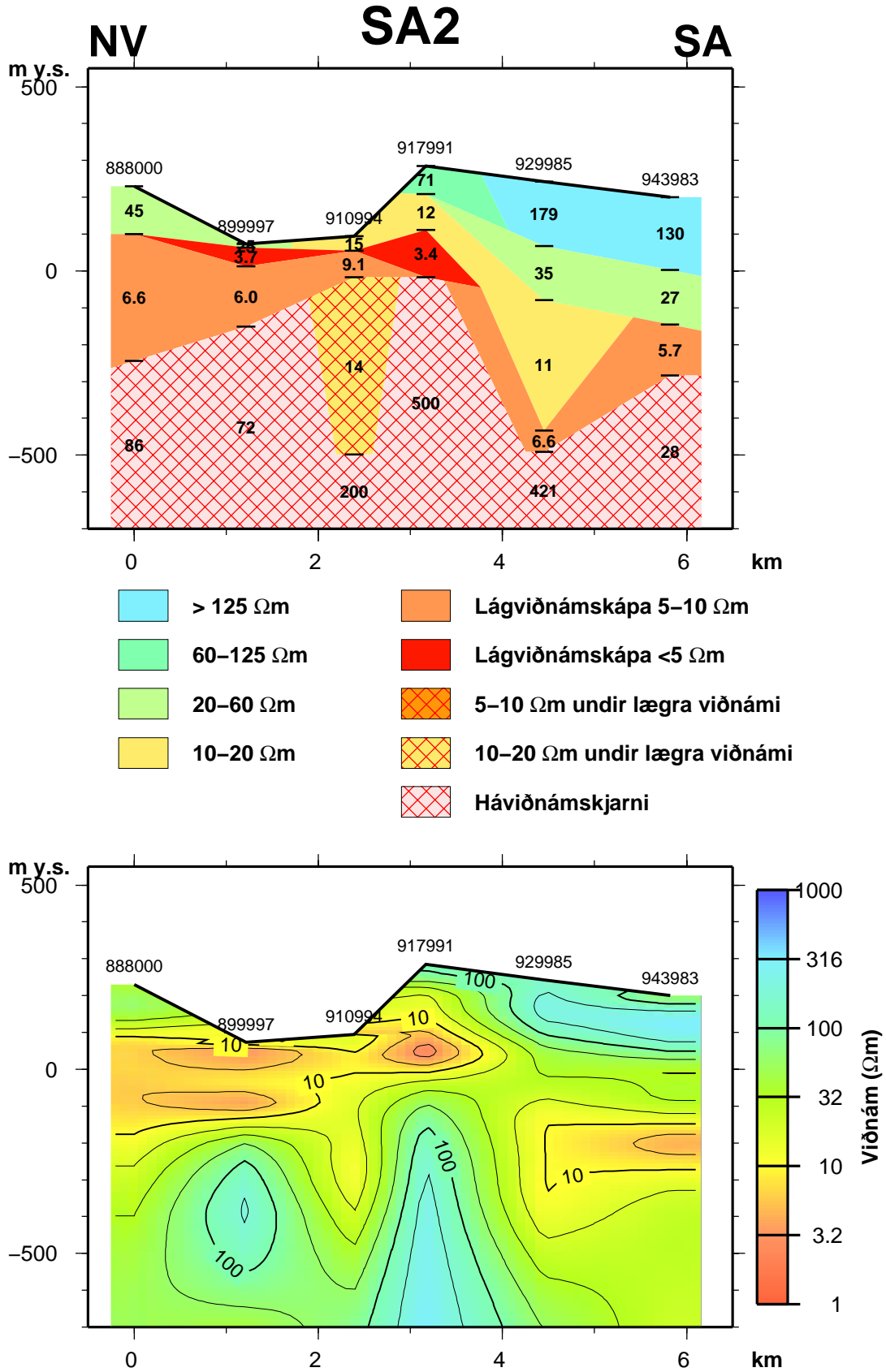
**Mynd 16.** Viðnámsnið eftir línu NA4. Efri myndin sýnir túlkun mælinga með lagskiptu líkani en sú neðri með líkani þar sem viðnám jarðлага breytist samfelld með dýpi.



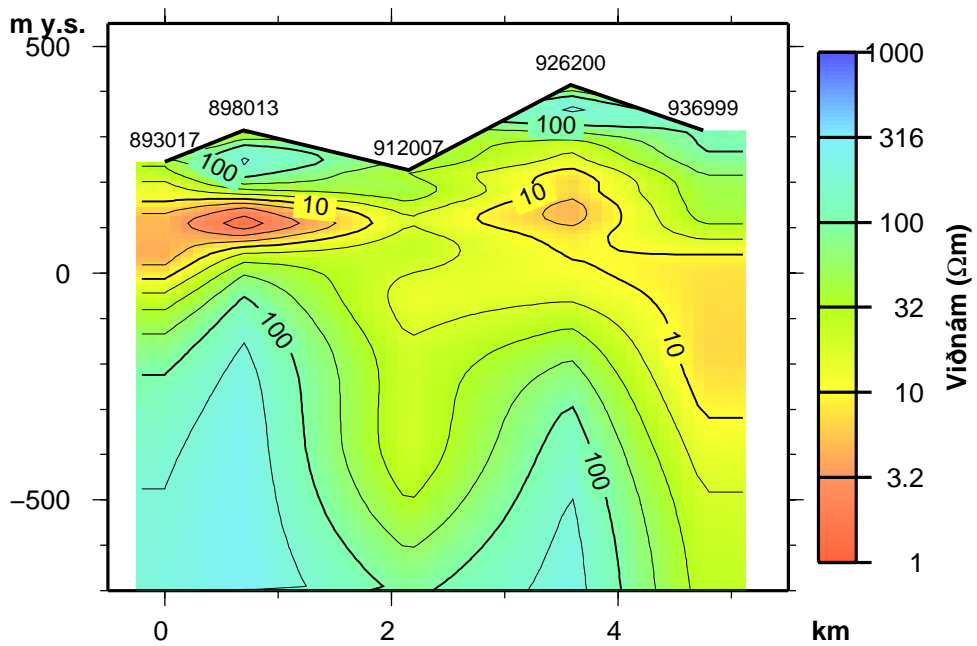
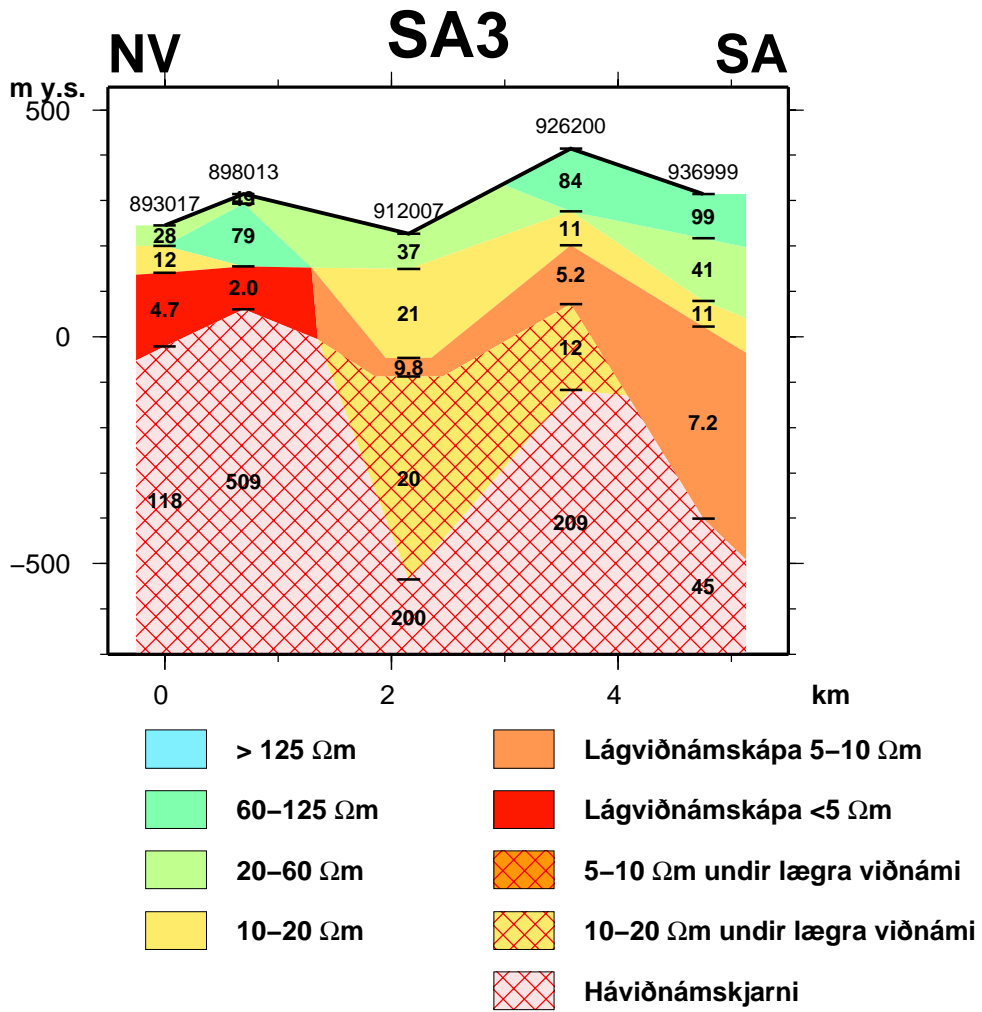
**Mynd 17.** Viðnámsnið eftir línu NA5. Efri myndin sýnir túlkun mælinga með lagskiptu líkani en sú neðri með líkani þar sem viðnáms jarðlaga breytist samfelld með dýpi.



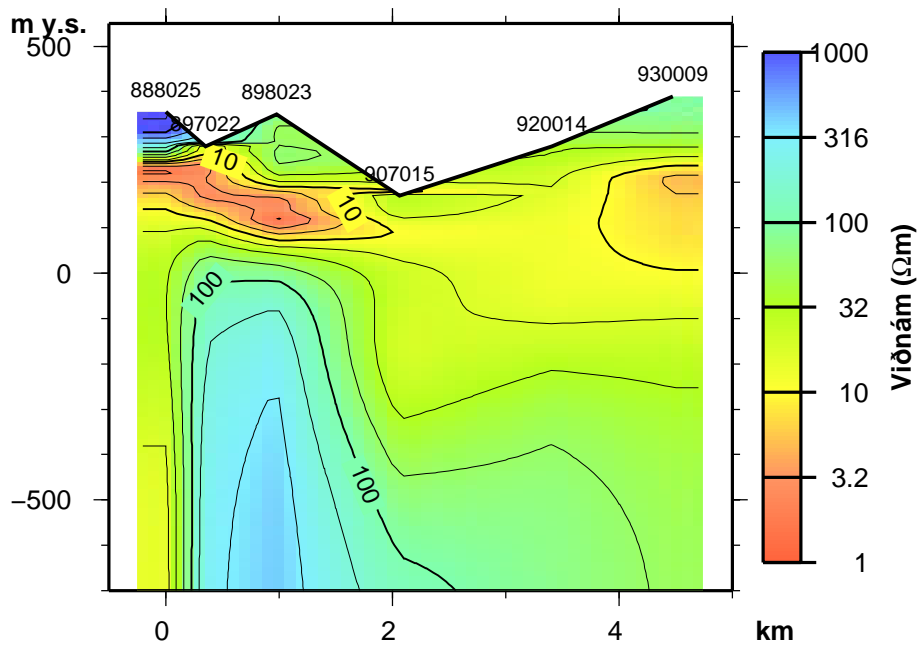
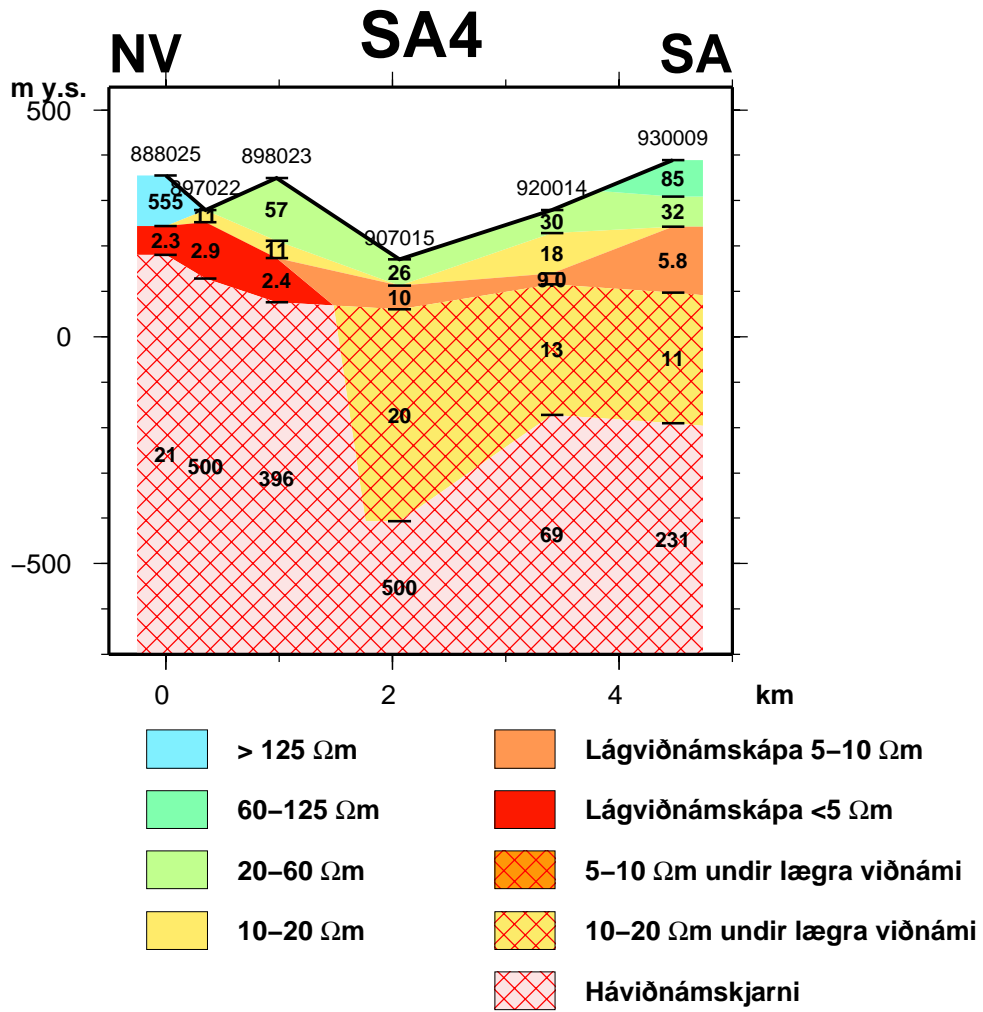




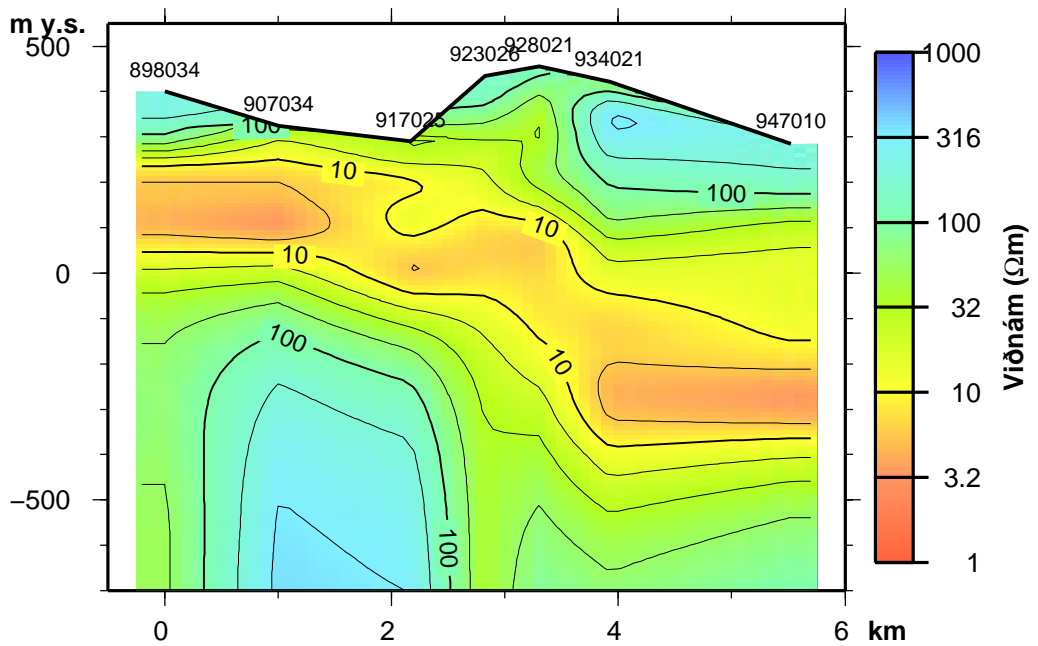
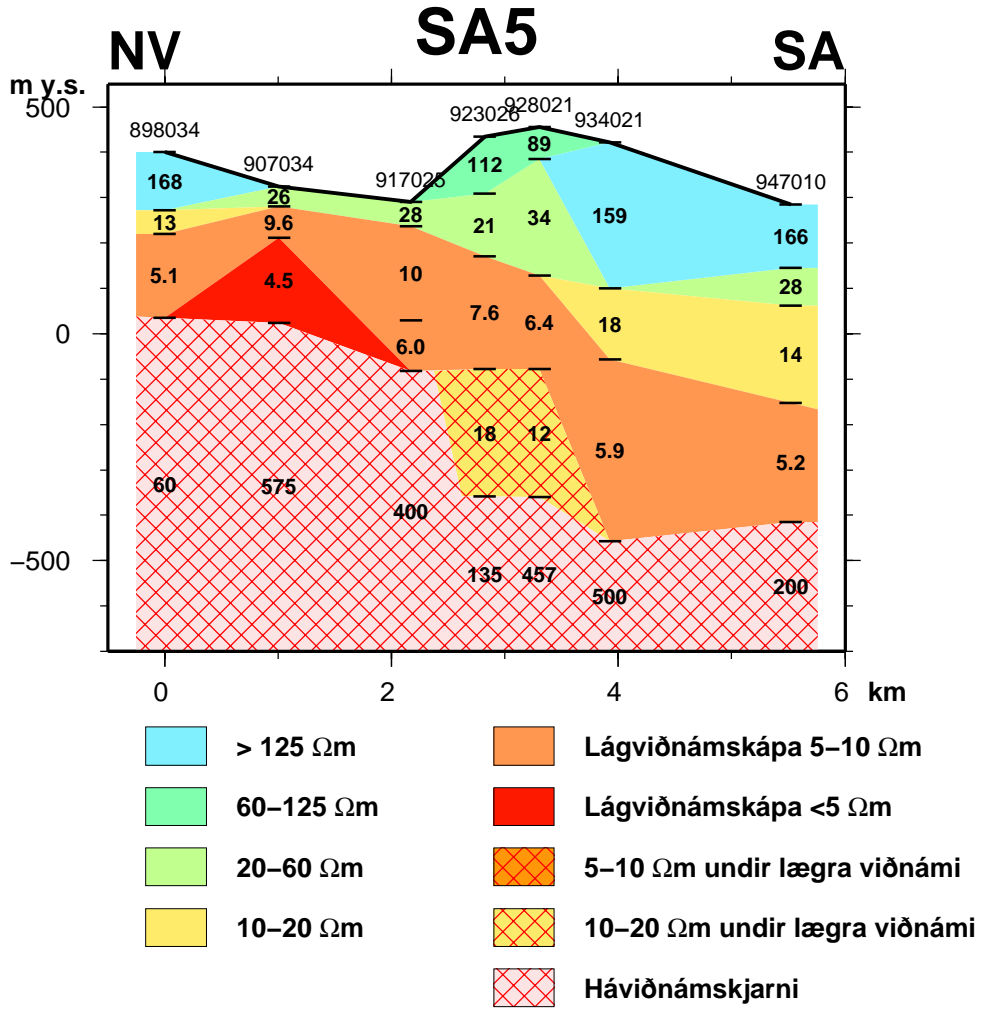
**Mynd 19.** Viðnámsnið eftir línu SA2. Efri myndin sýnir túlkun mælinga með lagskiptu líkani en sú neðri með líkani þar sem viðnám jarðлага breytist samfelld með dýpi.



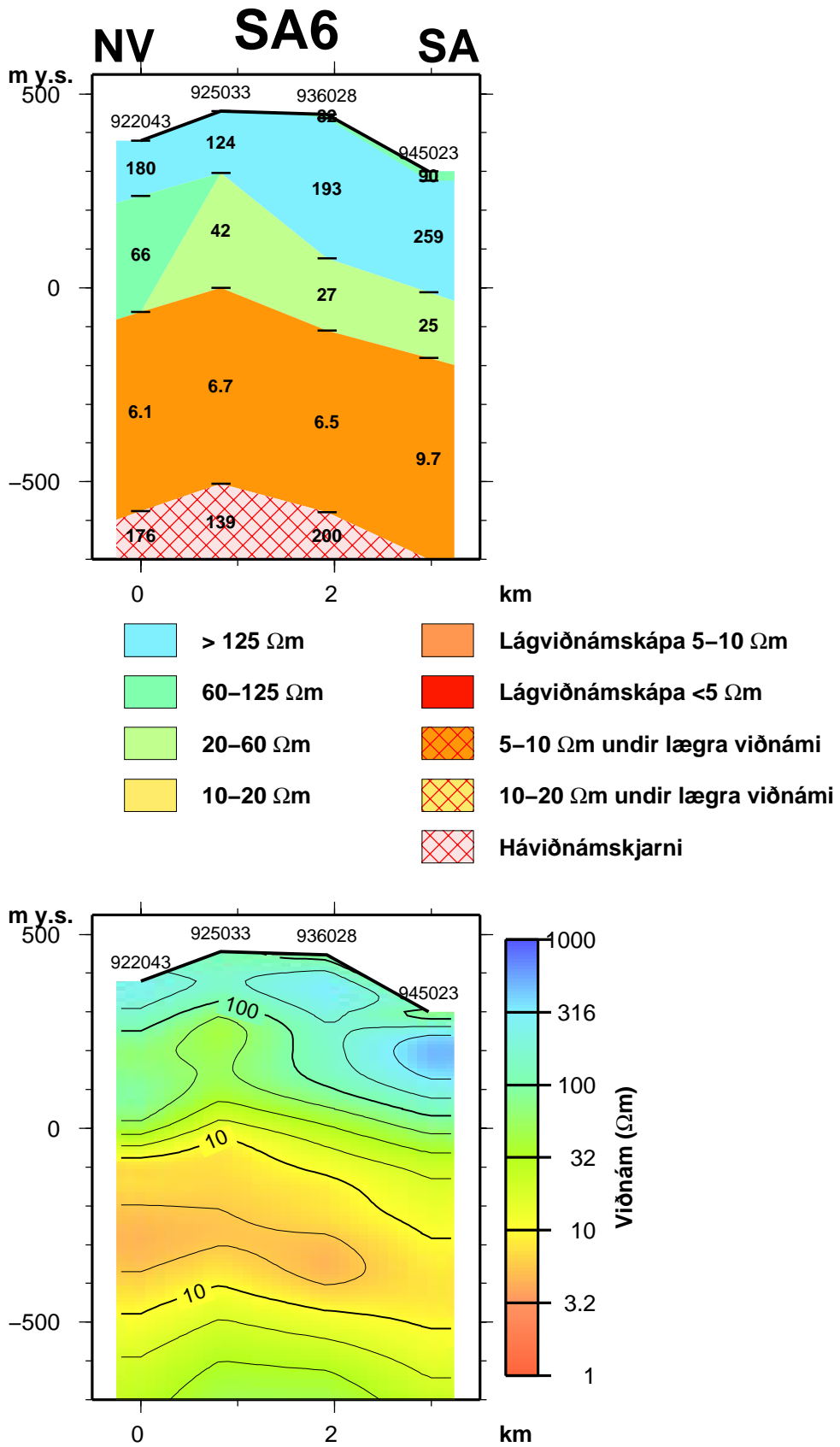
**Mynd 20.** Viðnámsnið eftir línu SA3. Efri myndin sýnir túlkun mælinga með lagskiptu líkani en sú neðri með líkani þar sem viðnám jarðлага breytist samfelld með dýpi.



**Mynd 21.** Viðnámsnið eftir línu SA4. Efri myndin sýnir túlkun mælinga með lagskiptu líkani en sú neðri með líkani þar sem viðnám jarðлага breytist samfelld með dýpi.



**Mynd 22.** Viðnámsnið eftir línu SA5. Efri myndin sýnir túlkun mælinga með lagskiptu líkani en sú neðri með líkani þar sem viðnám jarðlaga breytist samfelld með dýpi.



**Mynd 23.** Viðnámsnið eftir línu SA6. Efri myndin sýnir túlkun mælinga með lagskiptu líkani en sú neðri með líkani þar sem viðnáms jarðlaga breytist samfelld með dýpi.

## 5.2 Jafnviðnámskort

Þar sem túlkun með lagskiptu líkani gefur skörp skil í viðnámi á tilteknu dýpi, er eðlilegast að teikna jafnviðnámskort á tilteknu dýpi sem byggir á túlkun mælinganna með "samfelldu" viðnámslíkani. Myndir 24-34 sýna eðlisviðnám jarðlaga á föstu dýpi, frá 300 m y.s. niður á 500 m u.s. Við gerð myndanna er fyrst reiknað vegið meðaltal viðnáms á tilteknu dýpi, samkvæmt "samfelldri" túlkun hverrar mælingar, þar sem meðaltalið er reiknað  $\pm 25$  metra frá því dýpi sem viðkomandi kort sýnir ( $\pm 50$  metrar fyrir dýptargildi undir sjávarmáli), og notaður kósínusgluggi til að veða gildin. Með þessu móti er tekið tilliti til viðnámsgilda rétt ofan og neðan við viðkomandi dýptargildi. Út frá þessum vegnu meðaltölum er lógaritminn af þeim, brúaður á milli mælinga. Við gerð myndanna er einnig notað við túlkun annarra mælinga á svæðinu (sjá mynd 1), en niðurstöður þeirra eru ekki birtar á kortunum þar sem þær eru eign Orkuveitu Reykjavíkur.

### Jafnviðnámskort 300 m y.s. (mynd 24)

Á þessu korti eru einungis notaðar mælingar sem eru staðsettar í meira en 300 metra hæð. Á kortinu kemur fram að viðnámið er lægst ofan Sauðárdals, og fer hækkandi til austurs og vesturs.

### Jafnviðnámskort 250 m y.s. (mynd 25)

Á 250 m y.s. er viðnámið lægst ofan við Reykjadal og Grændal. Eftir hábrúninni frá Klóarfjalli, um Álút og suður Reykjafjall er viðnámið undir 20  $\Omega$ m.

### Jafnviðnámskort 200 m y.s. (mynd 26)

Á þessu korti, svo og á næstu kortum, hafa svæði þar sem viðnámið fer aftur hækkandi undir lágviðnáminu, verið sérstaklega merkt rauðum skástrikum. Á 200 m y.s. er viðnámið lægst efst í Reykjadal og hefur náð lágmarki ofan þessa dýpis þar (skástrikaða svæðið). Einnig er viðnámið lágt sunnan Álúts, og fer það hækkandi aftur (hærra undir lágu). Á þessum sama stað fannst greinilegt afbræðslusvæði sem var nokkrir fermetrar að stærð, uppi á hæðinni rétt hjá mælingu (930009). Lágviðnámsrennan meðfram hálendisbrúninni er enn skýrari á þessari mynd, samanborið við fyrri mynd.

### Jafnviðnámskort 150 m y.s. (mynd 27)

Á þessu korti kemur fram að viðnámið er lægst ofan og eftir Dalafellinu, þar sem lágviðnámsstota með viðnámi undir 5  $\Omega$ m teygir sig til suðurs eftir Dalafellinu. Efst í Sauðárdal kemur fram nýtt svæði þar sem viðnám fer hækkandi undir lágviðnáminu (rauðskástrikað svæði). Lágviðnámið eftir hálendisbrúninni um Álút er einnig nokkuð skýrt á þessari mynd, jafnframt því sem það teygir sig til vesturs um sunnanverðan Sauðárdal og mynni Grændals. Hér er komið fram hringlaga lágviðnáms svæði, með herra viðnámi um miðjan Sauðárdal og Grændal.

### Jafnviðnámskort 100 m y.s. (mynd 28)

Á 100 m y.s. hefur svæðið norðan Reykjadals og Grændals, þar sem viðnámið fer hækkandi undir lágviðnáminu (skárauðstrikaða svæðið), stækkað talsvert og nær nú niður í

botn Grændals og Sauðárdals. Svæðið með hækkandi viðnámi undir því lægra sunnan við Álút, hefur einnig stækkað til suðvesturs. Lágviðnáamssvæðið neðan Dalafells teygir sig enn sunnar miðað við viðnámskortíð 50 metrum ofar. Í mælingunni á Tindum (við mynni Grændals) er viðnámið þegar farið að hækka undir því lága (rauðskástríkað svæði). Hringlaga lágviðnáamssvæðið, sem fyrr er getið, er jafnvel enn greinilegra á þessu korti en í viðnámskortinu 50 metrum ofar.

**Jafnviðnámskort 50 m y.s.** (mynd 29)

Helsta breytingin milli kortanna á 100 m y.s. og 50 m y.s. er veruleg stækkun svæðisins þar sem viðnám fer hækkandi undir því lága, á svæðinu frá norðanverðum Reykjadal, suður eftir Dalafelli og austur fyrir mynni Grændals. Einnig fer viðnámið hækkandi í mælingu norðvestan við Álút.

**Jafnviðnámskort við sjávarmál** (mynd 30)

Við sjávarmál hefur viðnámið farið hækkandi undir því lága víðast hvar um miðbik mælisvæðisins, nema í mælingunni í miðjum Sauðárdal (mæling 912007). Í Ölfusdal er viðnámið undir 5  $\Omega$ m. Áberandi háviðnáamshryggur teygir sig frá Ölkelduhálsi og SSA yfir Dalafellið.

**Jafnviðnámskort 100 m u.s.** (mynd 31)

Viðnámskortíð 100 m u.s. sýnir að á öllu svæðinu frá Reykjadal og austur fyrir Álút fer viðnámið hækkandi með dýpi, og nær það svæði niður í Ölfusdal. Háviðnáamshryggurinn suðaustur frá Ölkelduhálsi hefur stækkað talsvert og nær nú SA á sunnanvert Reykjafjallið.

**Jafnviðnámskort 200 m u.s.** (mynd 32)

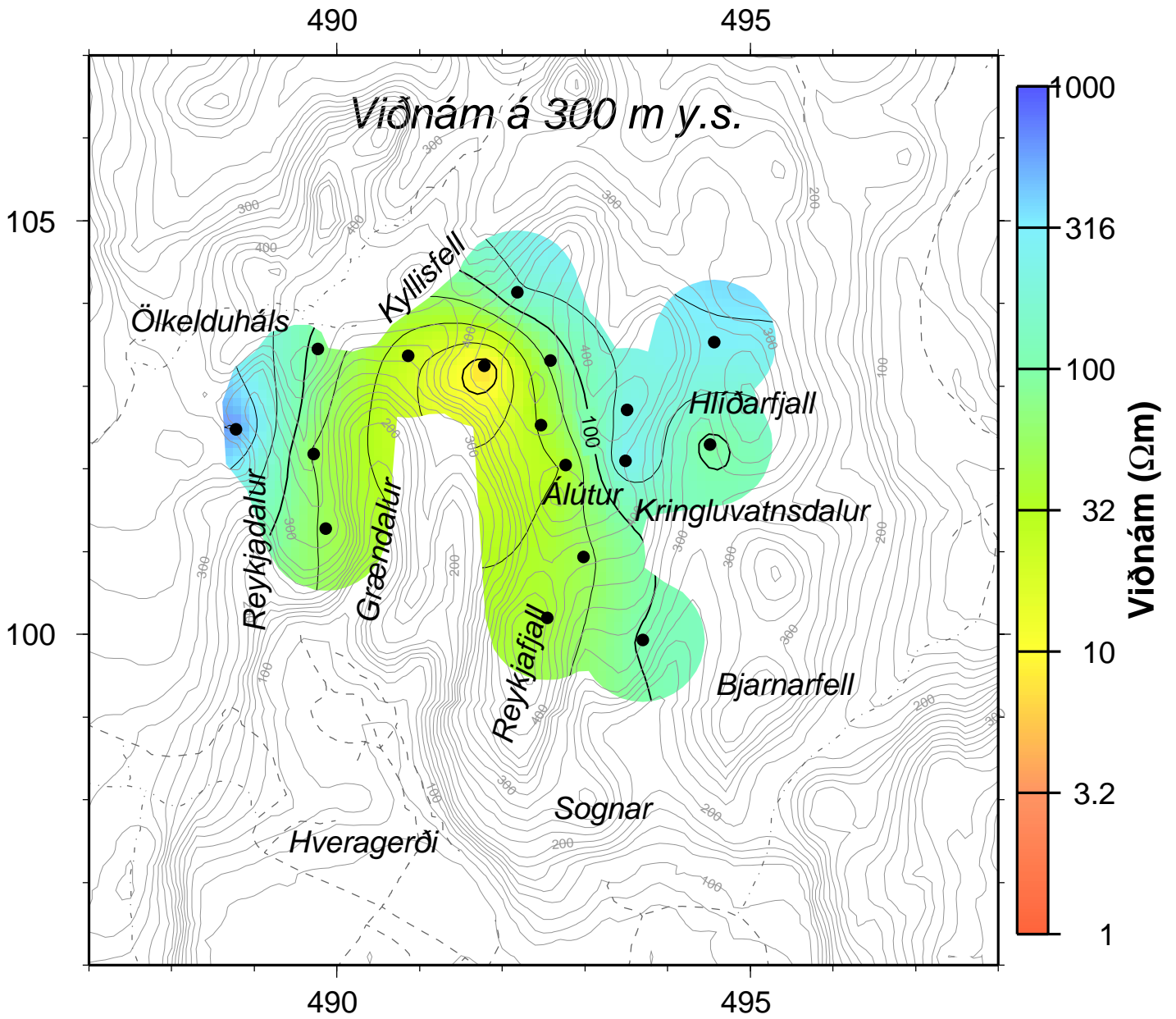
Á 200 m u.s. fer svæðið með háu viðnámi undir því lága stækkandi til austurs, og einnig til suðurs þar sem það nær alveg suður að Hveragerðisbæ. Lágt viðnám er á þessu dýpi undir Kömbum og einnig sér í lágt viðnám austan við Sogna.

**Jafnviðnámskort 300 m u.s.** (mynd 33)

Í 300 m u.s. er nær allt mælisvæðið orðið rauð-skástríkað, nema norðaustast og sunnan Sogna. Áberandi er að hæsta viðnámið neðan lágviðnámsins er hringlaga, frá Dalafellinu í norðvestri, um mynni Grændals og Sauðárdals, og fylgir síðan brekkubrúnni um Reykjafjallið og Álút til norðurs og norðvestur fyrir Klóarfjall. Þetta er sama hringlaga svæðið og áður var rætt í sambandi við lágt viðnám. Innan þessa hrings er heldur lægra viðnám.

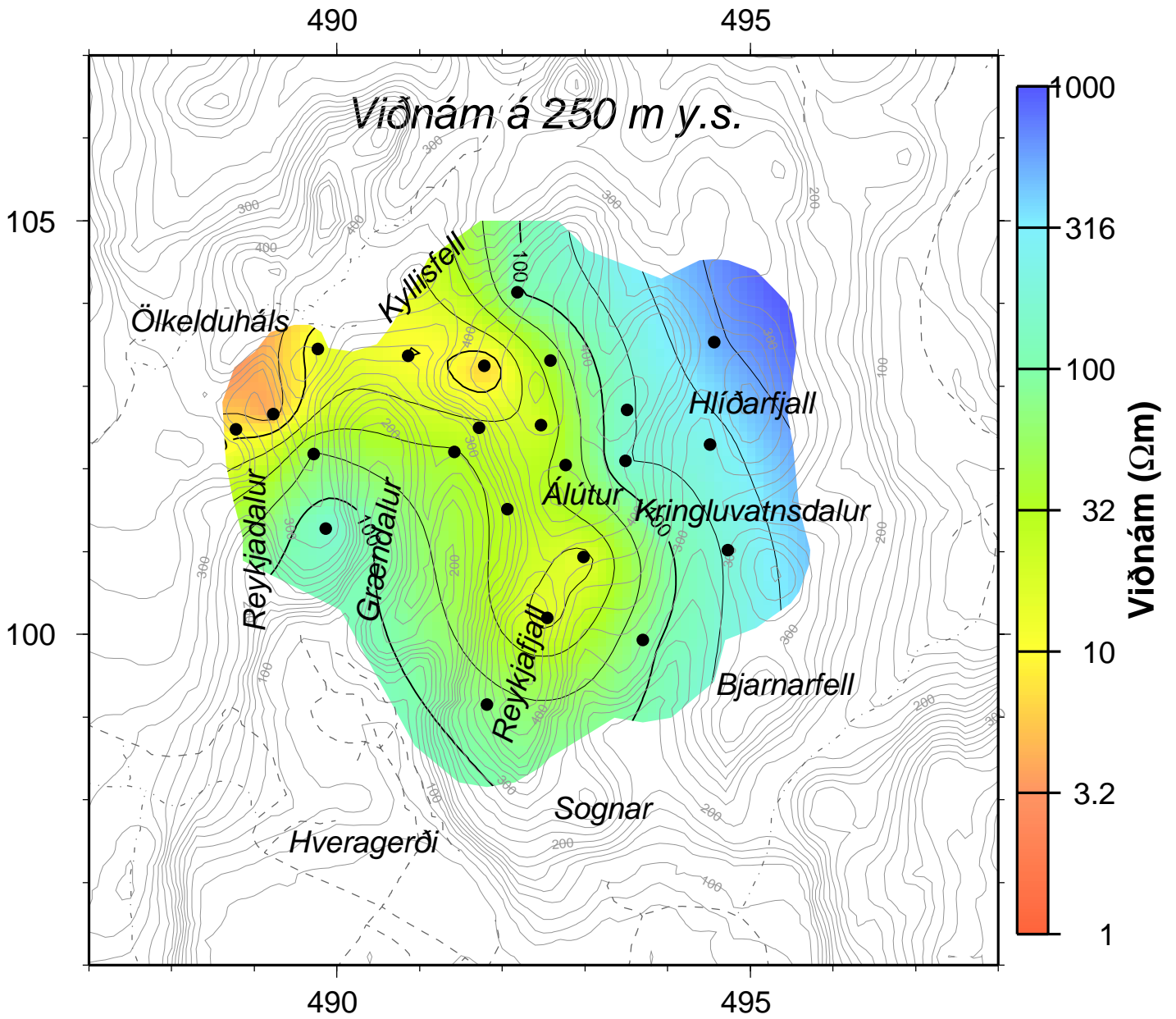
**Jafnviðnámskort 500 m u.s.** (mynd 34)

Á 500 m.u.s er alls staðar hækkandi viðnám, undir lágviðnáminu, nema á norðaustur hluta kortsins. Viðnámið undir lágviðnáminu er víðast hvar um eða yfir 100  $\Omega$ m, nema í Grændal og Selárdal þar sem það er innan við 50  $\Omega$ m.

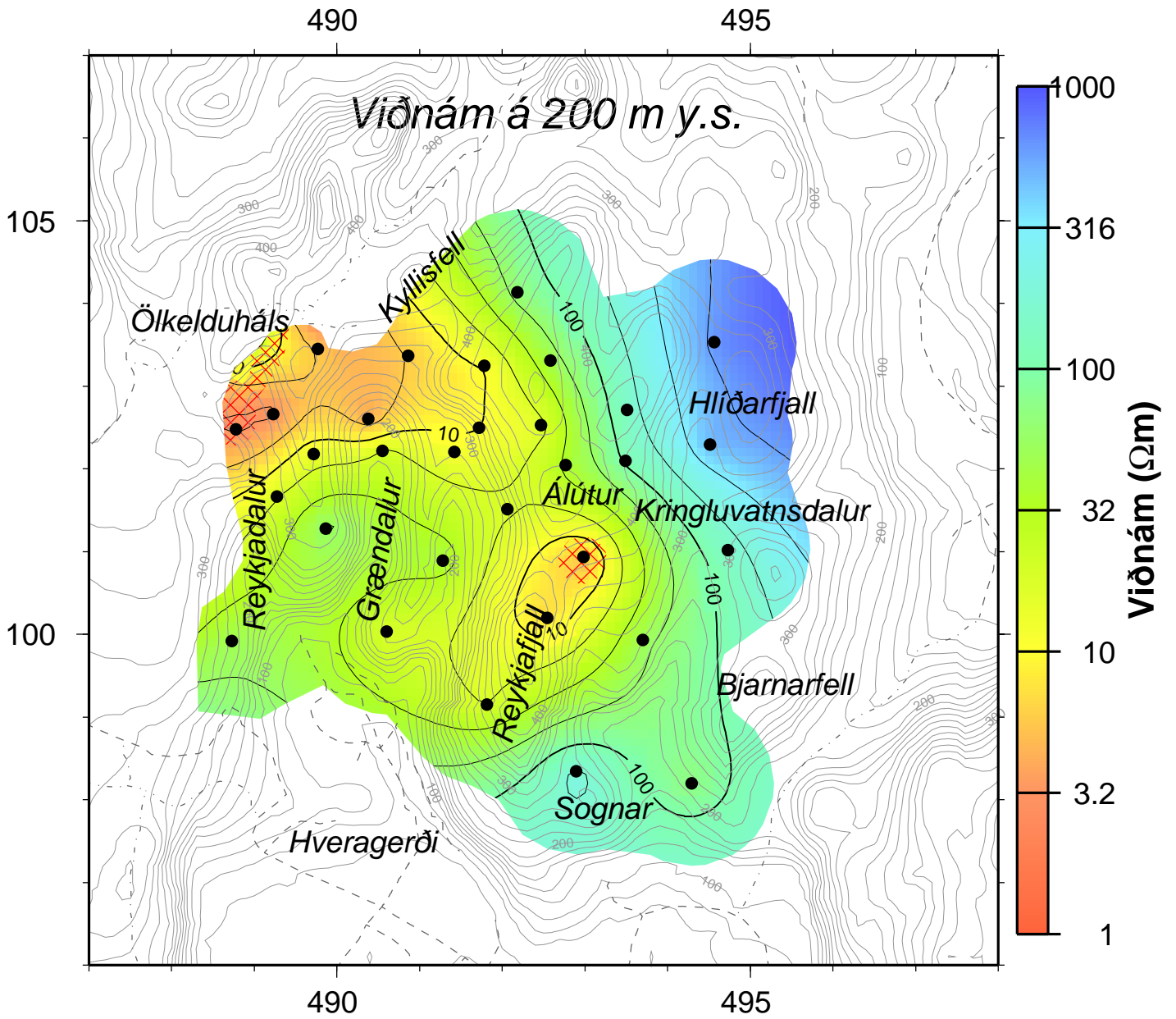


Mynd 24. Viðnám 300 metrum ofan sjávarmáls.

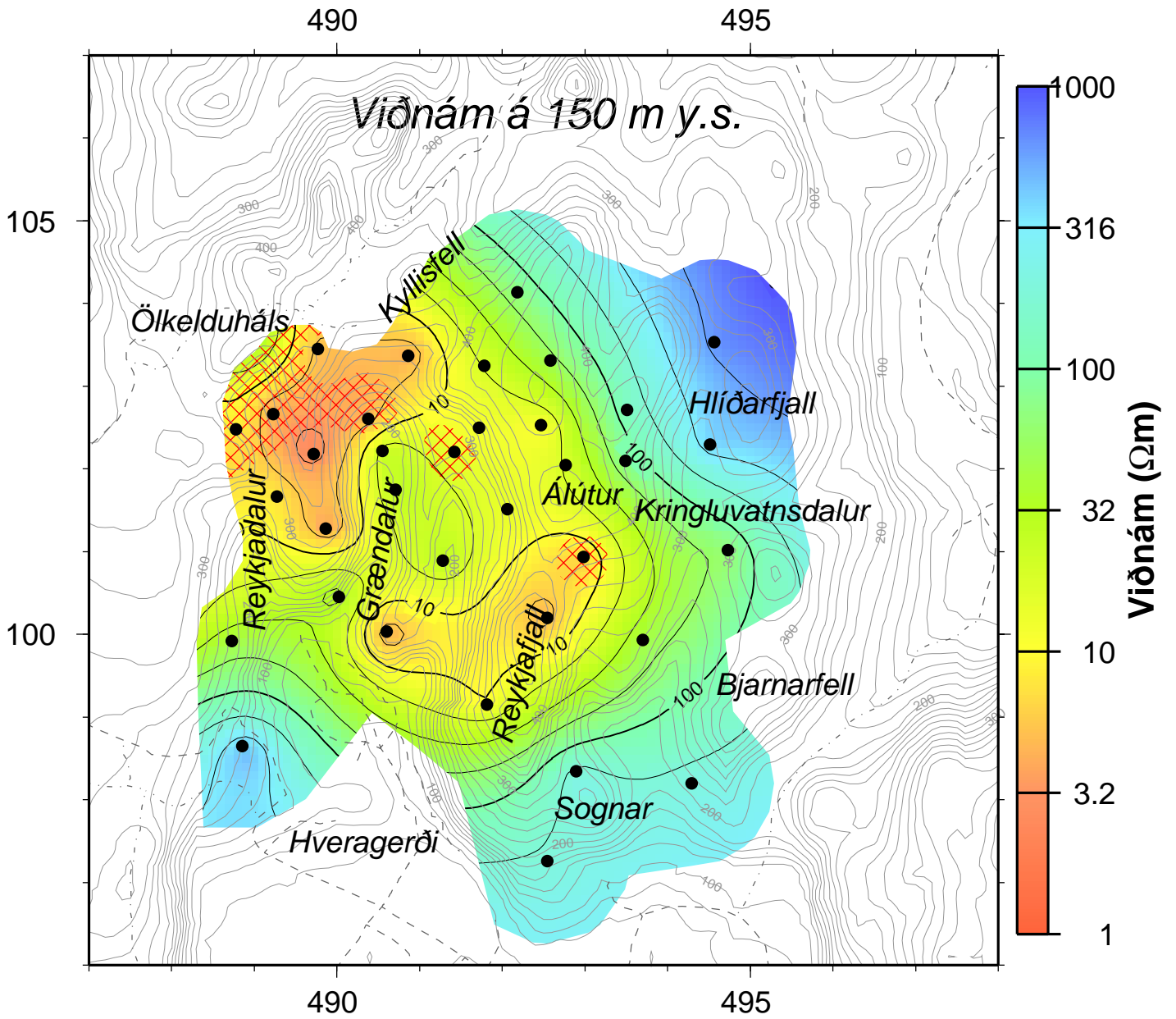




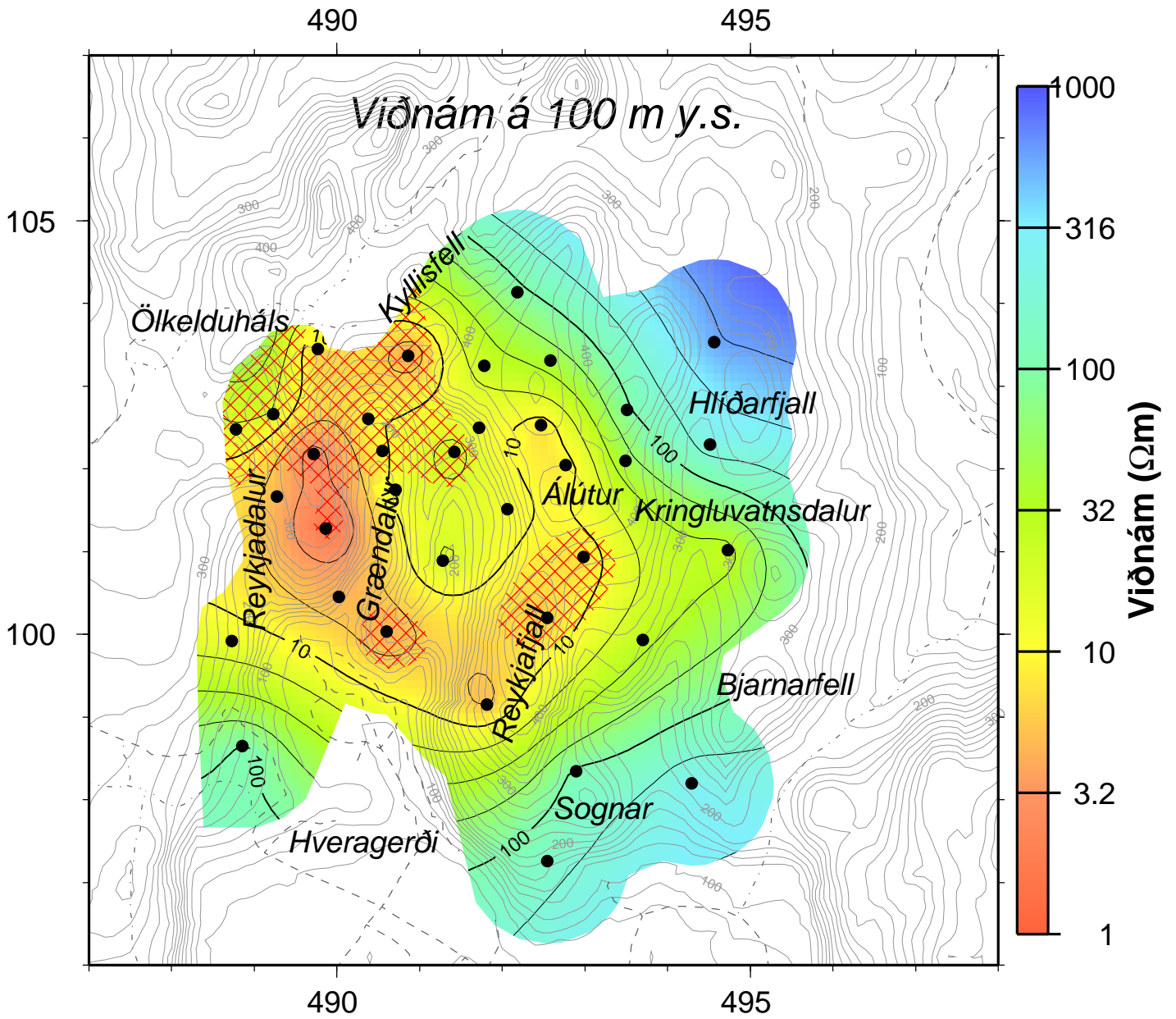
Mynd 25. Viðnám 250 metrum ofan sjávarmáls.



Mynd 26. Viðnám 200 metrum ofan sjávarmáls.

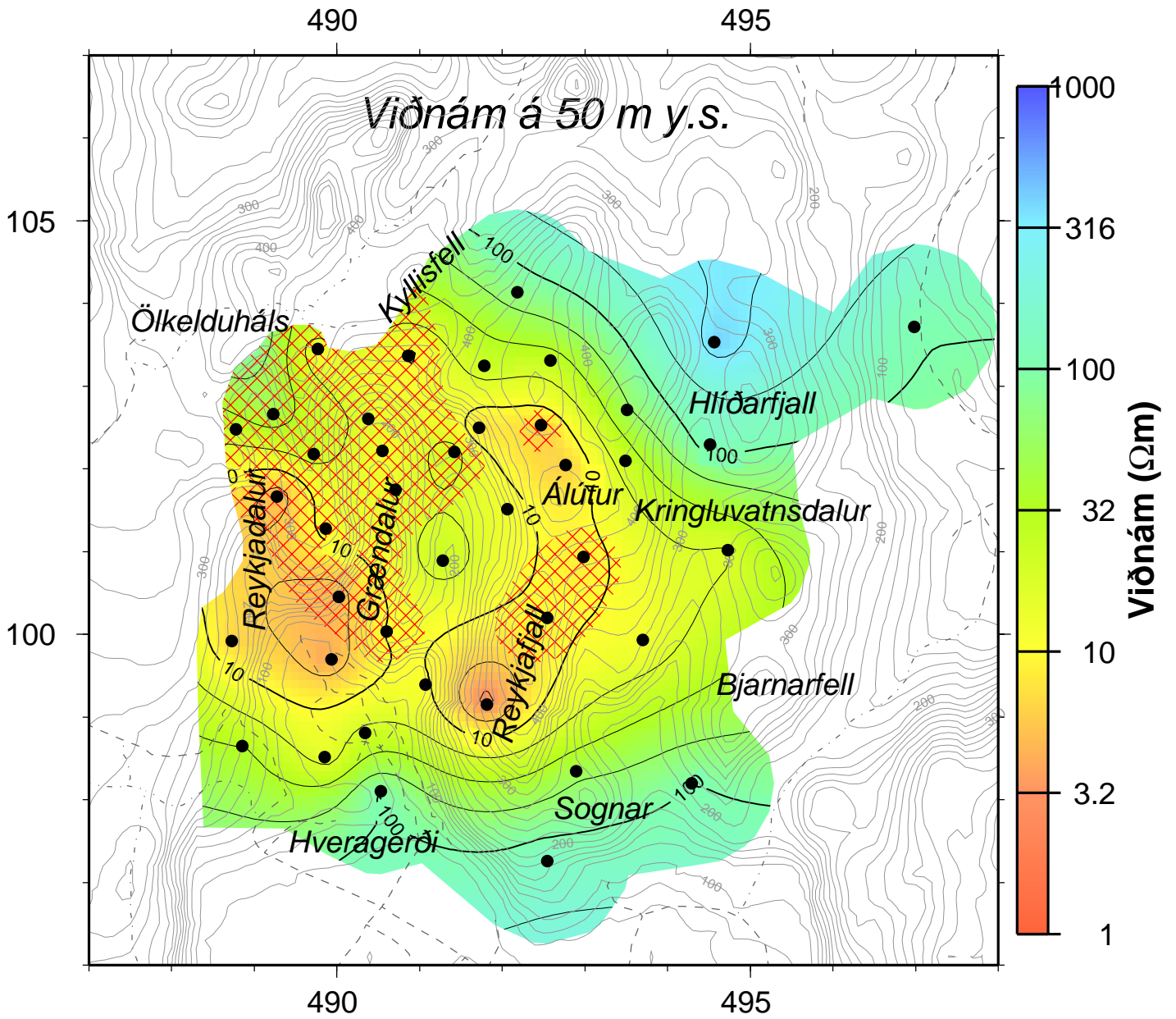


Mynd 27. Viðnám 150 metrum ofan sjávarmáls.

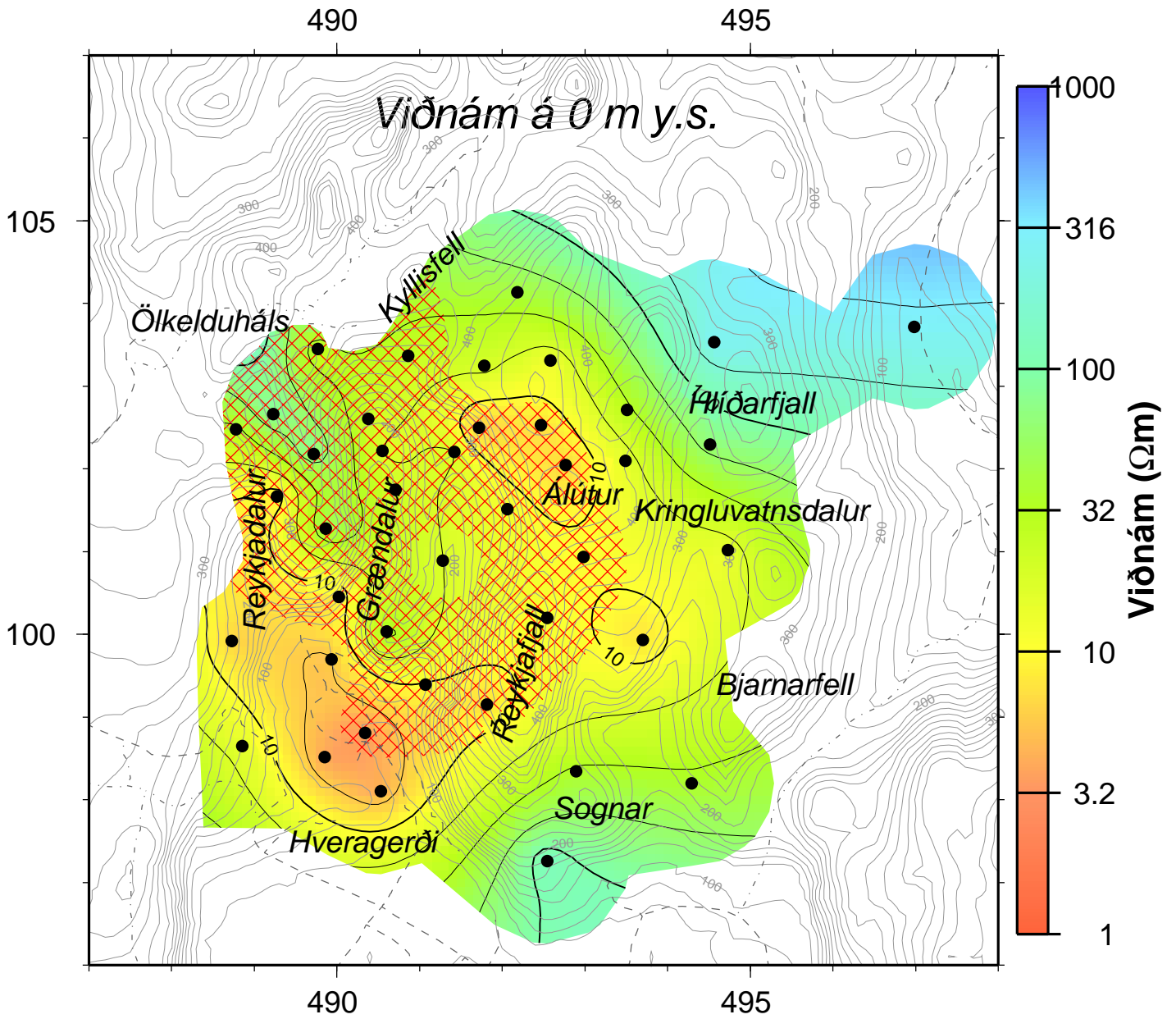


Mynd 28. Viðnám 100 metrum ofan sjávarmáls.

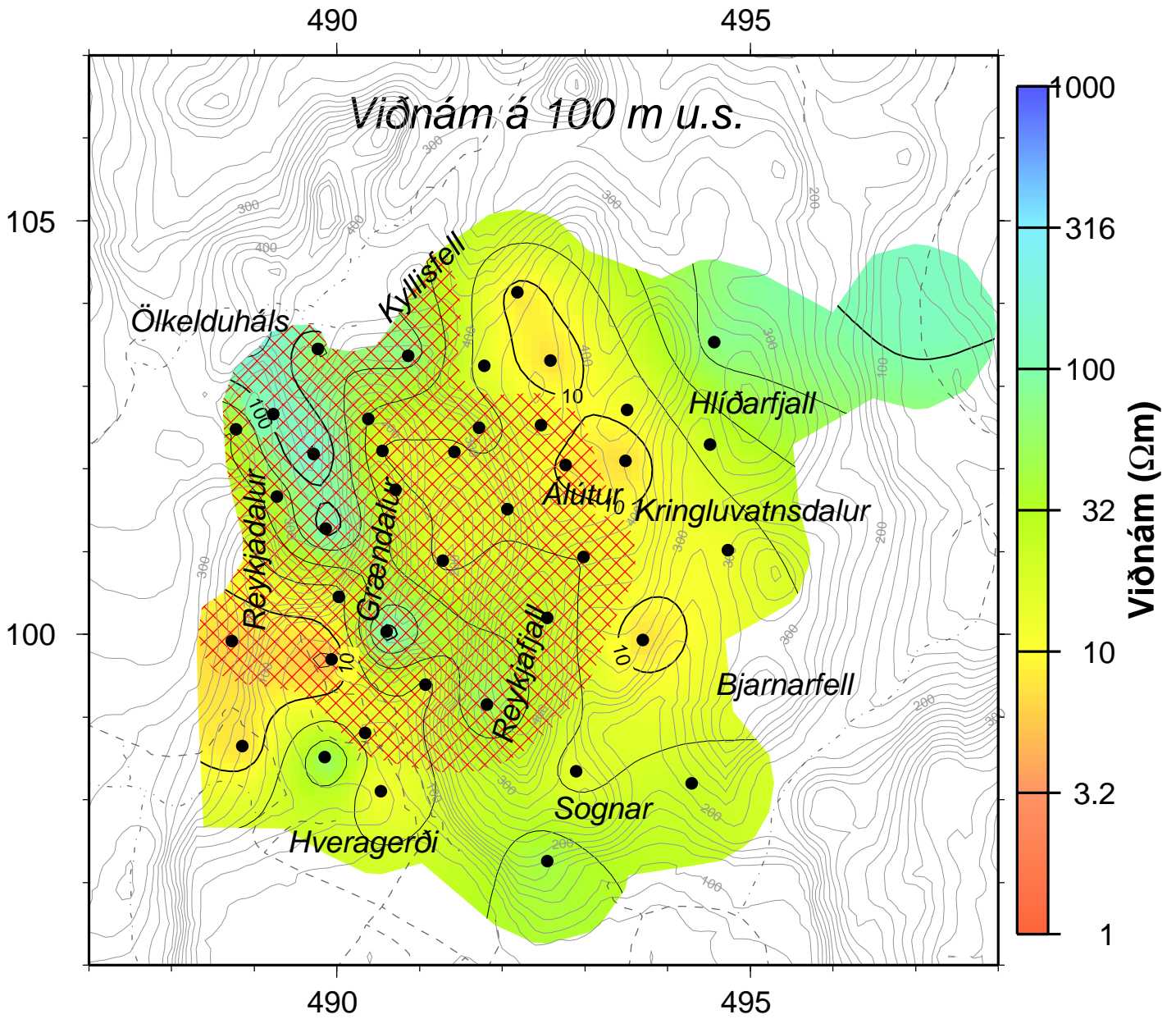




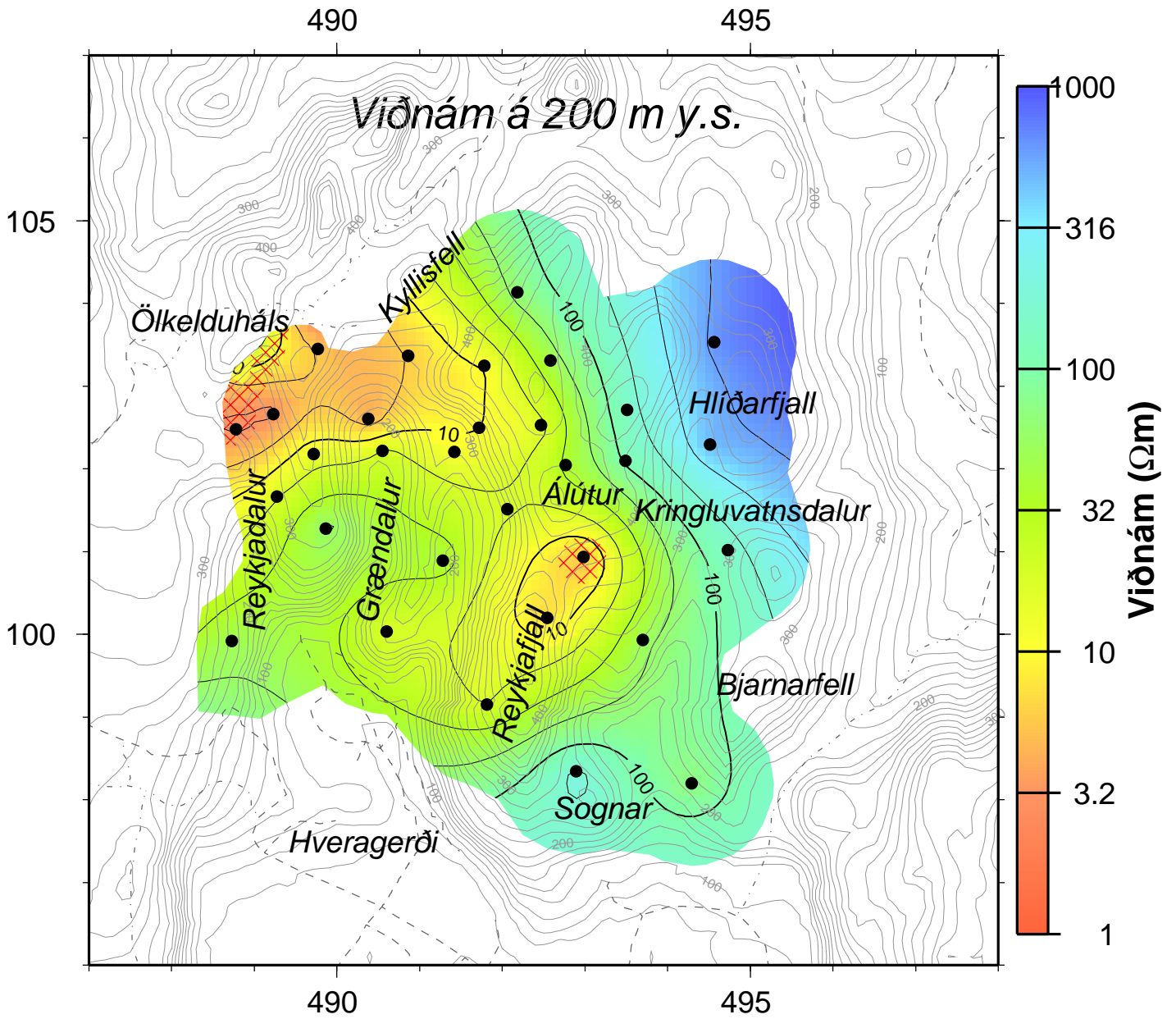
Mynd 29. Viðnám 50 metrum ofan sjávarmáls.



Mynd 30. Viðnám við sjávarmál.

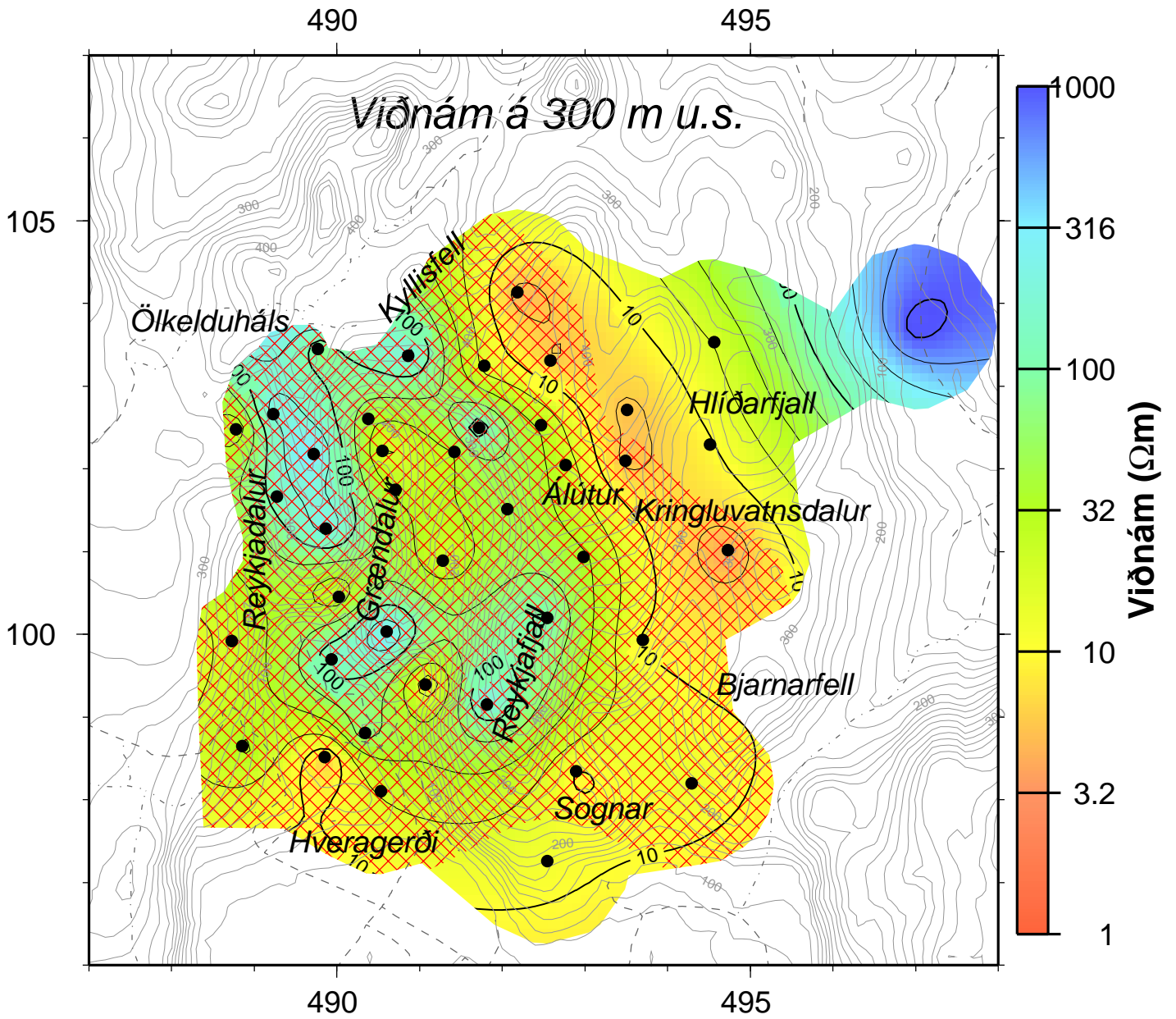


Mynd 31. Viðnám 100 metrum neðan sjávarmáls.

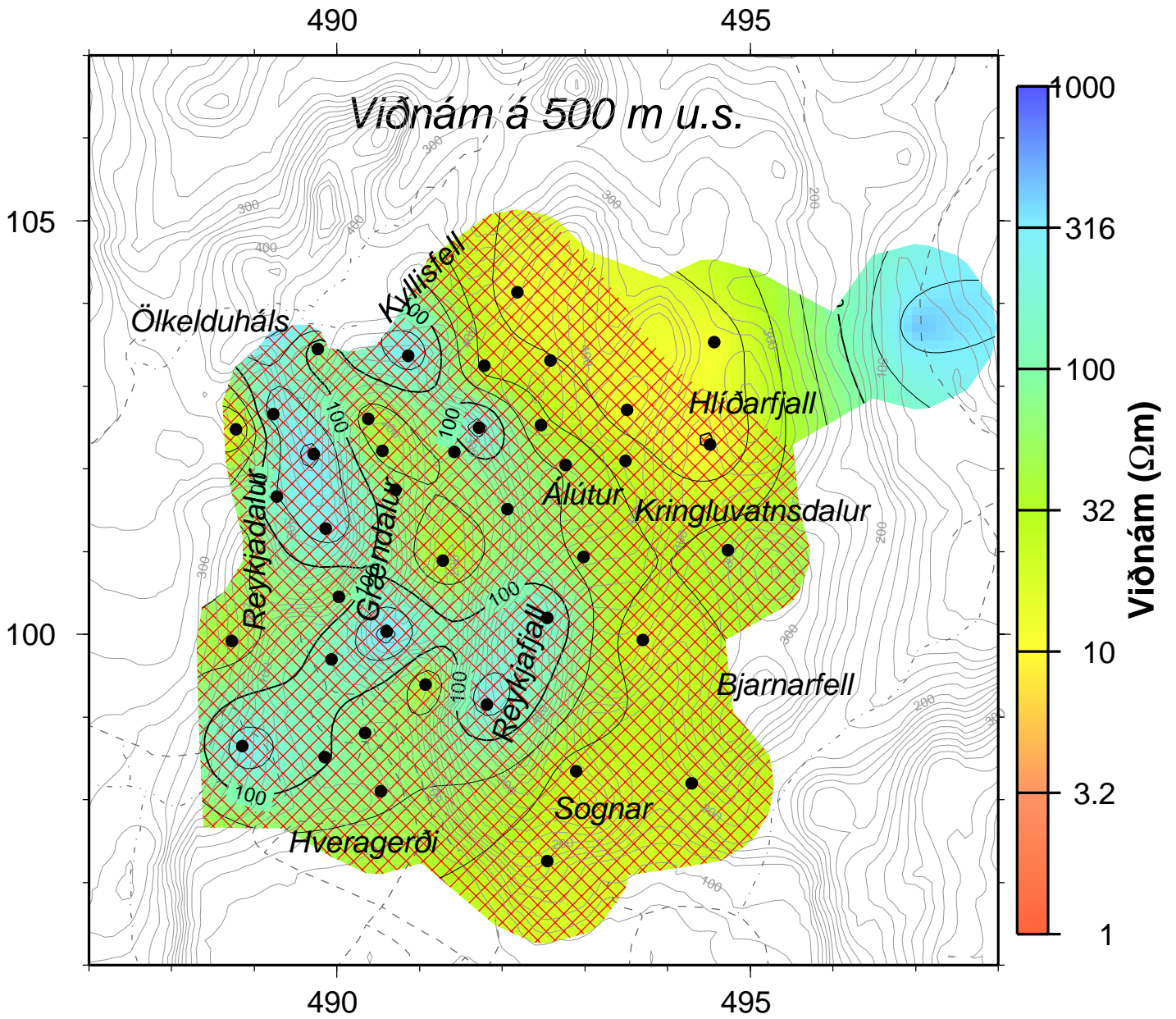


Mynd 32. Viðnám 200 metrum neðan sjávarmáls.





Mynd 33. Viðnám 300 metrum neðan sjávarmáls.



Mynd 34. Viðnám 500 metrum neðan sjávarmáls.

## 6. EÐLISVIÐNÁM OG JARÐHITI

Þar sem berg mettað heitu vatni leiðir rafstraum að öllu jöfnu mun betur en kalt berg hafa viðnámsmælingar verið helsta jarðeðlifræðilega aðferðin við rannsóknir á jarðhitasvæðum. Eðlisviðnám í vatnsmettuðu bergi er háð poruhluta bergsins, efnainnihaldi vatnsins, hitastigi og ummyndun bergsins. Þessir þættir spila saman á flókinn hátt og er það samspil ekki skilið til fulls (Ólafur G Flóvenz o.fl. 1985; Knútur Árnason o.fl. 2000).

Á öllum háhitasvæðunum á Íslandi, sem hafa verið rannsökuð með viðnámsmælingum, hefur komið í ljós álíka viðnámsgerð, sem hægt hefur verið að tengja ummyndunarsteindabeltum eins og þau sjást í borholum og þar með hita jarðhitakerfisins (Knútur Árnason o.fl. 1986,1987; Knútur Árnason 1993; Ragna Karlsdóttir 1993, 1995, 1997; Knútur Árnason og Ragna Karlsdóttir 1996; Hjálmar Eysteinnsson 1999; Ingvar Magnússon o.fl. 2000). Undir yfirborðslögum er lágt viðnám (<10 Ωm), og neðan þess er hærra viðnám, gjarnan einni til tveim stærðargráðum hærra. Háviðnámið undir lágviðnáminu sést einkum á miðju háhitakerfinu (háviðnámskjarni), og yfir því og til hliðar er lágviðnámið (lágviðnámskápa). Með samanburði við ummyndunarsteindir í borholum á háhitasvæðum hefur komið í ljós ákveðin fylgni milli ummyndunargerðar annarsvegar og viðnáms hinsvegar. Lága viðnámið kemur fram í smektít-zeolíta beltinu, en í hærra viðnáminu undir því lága finnast klórít og epidót ummyndunarsteindir. Ástæða þess að leiðni jarðlaga er meiri í smektít-zeolíta beltinu, samanborið við klórít-epidót ummyndunarbeltið, er sú að jónir eru lausbundnar í smektíti og zeolítum og fer því leiðnin einkum fram í þunnum lögum þessara steinda í sprunguveggjum (smásprungur) í berginu (Ólafur G. Flóvenz o.fl., 1985; Knútur Árnason o.fl. 2000). Klórít og epidót steindirnar eru hinsvegar torleiðandi og því er viðnámið hærra þar sem þær eru ráðandi.

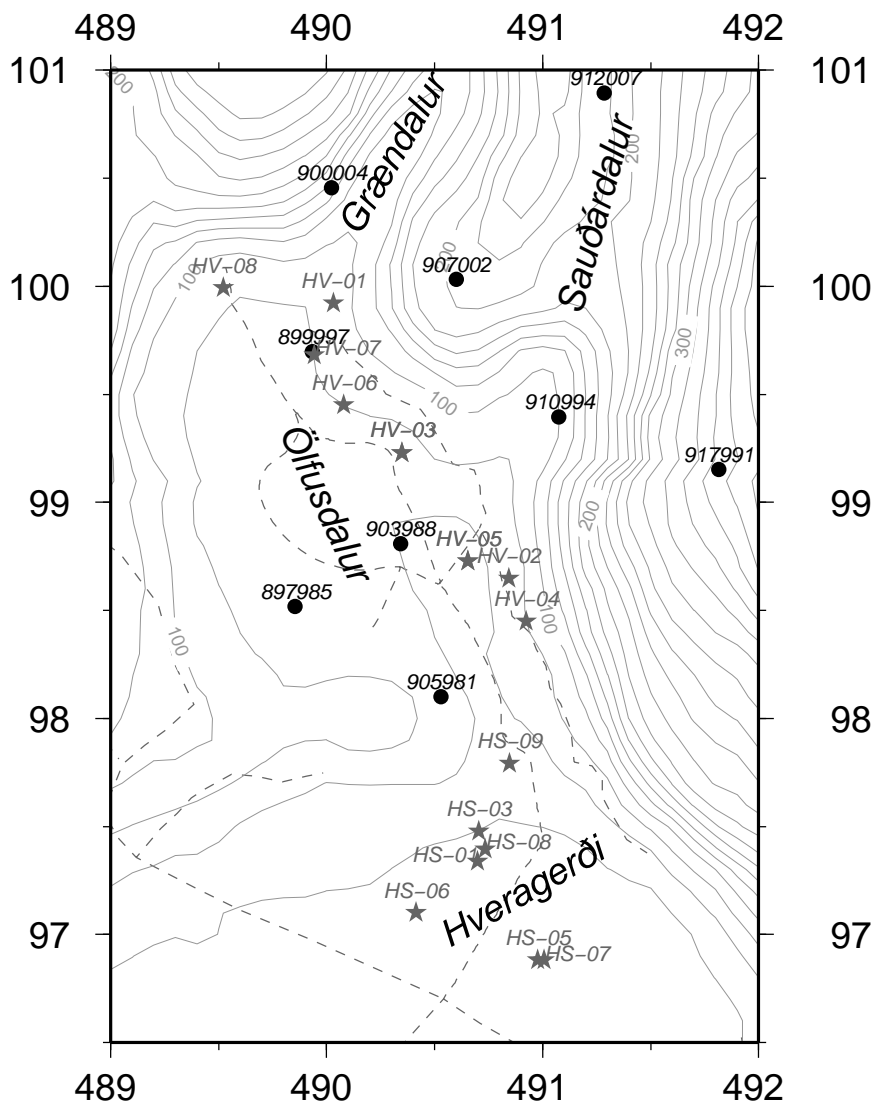
Ef ummyndunarsteindir eru í jafnvægi við berghita kemur fram ákveðin beltaskipting í ríkjandi ummyndunarsteindum (Hrefna Kristmannsdóttir 1979). Við 50-200°C eru smektít og zeolítar ráðandi ummyndunarsteindir, en við 200-230°C hverfa zeolítar og smektít þróast yfir í blandlagssteindir. Við um 240°C hafa blandlagssteindirnar þróast yfir í klórít. Við hærra hitastig en 250°C eru klórít og epidót ráðandi ummyndunarsteindir.

Samkvæmt ofansögðu má nota viðnámsgerðina á háhitasvæðum sem hitamæli. Lágviðnámskápan (< 10 Ωm) svarar þá til smektít og zeolíta ummyndunarbeltis með hitastigi frá 50-100 °C og upp í um 240°C. Þar fyrir neðan er háviðnámskjarni með hitastigi yfir 240 °C. Þetta á þó aðeins við ef ummyndunin er í jafnvægi við berghitann. Ef háhitasvæði kólnar einhverra hluta vegna, þá gengur ummyndunarferlið ekki til baka og því gefur þessi túlkun viðnámsmælinganna einungis upplýsingar um háhitakerfið eins og það hefur verið heitast einhverntímann á líftíma þess. Eins ef hiti í jarðhitakerfum hefur "nýlega" hækkað, þá tekur ummyndunin einhvern tíma, en um það er þó lítið vitað.

Í Ölfusdal eru nokkrar holur sem boraðar voru um 1960 (mynd 35). Mynd 36 sýnir hita í holu HV-07, ásamt viðnámslíkani (bæði lagskipt og samfellt líkan) samkvæmt túlkun TEM-mælingar 899997, sem staðsett er nálægt holunni. Á myndinni kemur fram að hitinn er 210-220°C þar sem viðnámið hækkar úr innan við 10 Ωm í um 100 Ωm, á um 220 metra dýpi, og er það í nokkuð góðu samræmi við það sem áður hefur verið sagt um sam-

band hita og viðnáms út frá ummyndun. Viðnámið gefur því til kynna að á þessu dýpi séu efri mörk klórítbeltisins. Ekki eru fyrirliggjandi upplýsingar um hvar klórítbeltið sé til staðar í holunni, en hinsvegar eru til upplýsingar um að efstu mörk epidótbeltisins séu á um 500 metra dýpi í þessari holu, sem er um 250 metrum neðar en háviðnámskjarninn (Sverrir Þórhallson o.fl. 2000). Annars er dýpi niður á epidótbeltið nokkuð breytilegt í holunum í Ölfusdal, eða frá 200 metrum og niður í 500 metra. Sama má segja um dýpið á háviðnámskjarnann þar sem hann er á 200-400 dýpi.

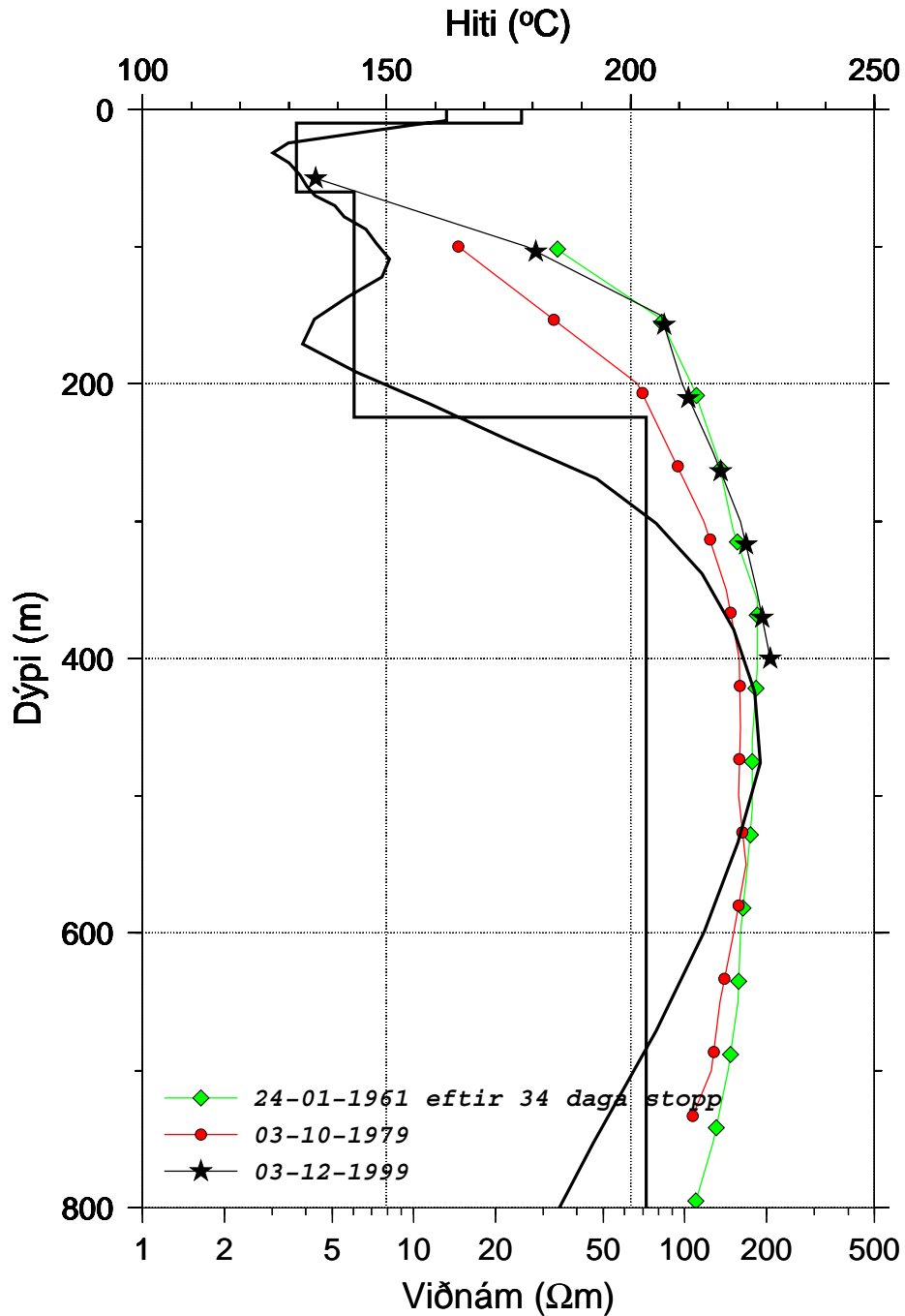
Hitastigið í holu HV-07 er hæst um 230°C á um 400 metra dýpi, en þar fyrir neðan fer hiti lækkandi, eins og reyndar í öðrum holum á svæðinu. Þar sem epidót myndast ekki fyrr en við um 250°C, er augljóst að jarðhitakerfið í Ölfusdal hefur kólnað, og hitahámarkið á 400 metra dýpi stafi af seinnitíma upphitun líklegast vegna lárétts rennslis jarðhitavökva að norðan.



**Mynd 35.** Staðsetning borhola dýpri en 150 metra í Hveragerði og Ölfusdal (stjörnur), ásamt staðsetningu TEM-mælinga (hringir).

27-nóv-2000  
he s=97328

### Borhola HV-07 TEM mæling 899997



**Mynd 36.** Hiti í holu HV-07 ásamt túlkun TEM-mælingar 899997 (breiðar línur, bæði samfellt og lagskipt viðnámslíkan), sem er nærri holunni.

## 7. DÝPI Á LÁGT VIÐNÁM

Samkvæmt ofansögðu er einkar athyglisvert að skoða þann flöt þar sem viðnámið er lægst, en fer síðan hækkandi þar fyrir neðan. Þessi flötur segir til um hvar megi ætla að smektít-zeolíta ummyndunarsteindir séu mest áberandi. Mynd 37 sýnir hæð lægsta viðnáms, miðað við sjávarmál, samkvæmt túlkun mælinga með samfelldu viðnámslíkani. Á myndinni kemur fram að lágviðnámið rís hæst næst Ölkelduhálsi (225 m y.s.), og þaðan til austurs ofan Grændals og Sauðárdals (150 m y.s.). Einnig rís lágviðnámið hátt á svæðinu milli Álúts og Reykjafjalls, þar sem það er í 180 m y.s. Frá Ölkelduhálsi og eftir Dalafellinu til SSA er hryggur þar sem lágviðnám rís um 100 metra hærra en vestan og austan hans.

Athyglisvert er hversu dýpra er á lægsta viðnám í mælingu 912007, sem er í miðjum Sauðárdal, en í nærliggjandi mælingum. Túlkun mælingarinnar gefur lægsta viðnám á um 300 metra dýpi (10-14  $\Omega$ m), en þar fyrir ofan er um 20  $\Omega$ m frá 100 metra dýpi og fer viðnámið ekki verulega hækkandi fyrr en á um 700-800 metra dýpi (sjá túlkun mælingarinnar í viðauka). Það er því lítil munur á viðnámi í þessari mælingu frá um 100 m dýpi og niður á um 700-800 m, og því ef til vill erfitt að tala um dýpi lægsta viðnáms í túlkun mælingarinnar.

Mynd 38 sýnir lægsta viðnám hverrar mælingar samkvæmt túlkun með samfelldu viðnámslíkani. Samkvæmt ofansögðu um tengsl viðnáms og ummyndunar ætti myndin að segja til um hvar smektít-zeólítíð sé mest áberandi á svæðinu (lægsta viðnámið), það er að segja hvar jarðhitavirknin hefur verið, eða er, mest ráðandi. Viðnámið er lægst við Ölkelduháls og suður eftir Dalafellinu í átt að Hveragerði. Áberandi er hversu lægsta viðnám hverrar mælingar er hærra í Grændal og Sauðárdal, sem hugsanlega má túlka sem svo að roföfl á jökulskeiði hafi rofið niður fyrir það dýpi þar sem smektít-zeólítíð var mest áberandi.

## 8. DÝPI Á HÁTT VIÐNÁM

Eins og áður er rakið gefur dýpið á háviðnámskjarnann hugmynd um dýpi niður á klórít-epitót beltið, þ.e. það dýpi þar sem hitastigið hefur náð a.m.k. 230 °C. Mynd 39 sýnir dýpið á efri mörk háviðnámskjarnans (hæð miðað við sjávarmál) samkvæmt túlkun mælinganna með lagskiptum líkönum. Þar kemur fram að háviðnámskjarninn rís hæst sunnan við Ölkelduháls á um 130 m y.s. (þ.e. á 150 m dýpi). Út frá Ölkelduhálsi er háviðnáms-hryggur til SA, út á Dalafellið að Rjúpnabrekkum (sjá einnig háviðnáms-hrygginn á 500 m u.s., mynd 34, á sama stað).

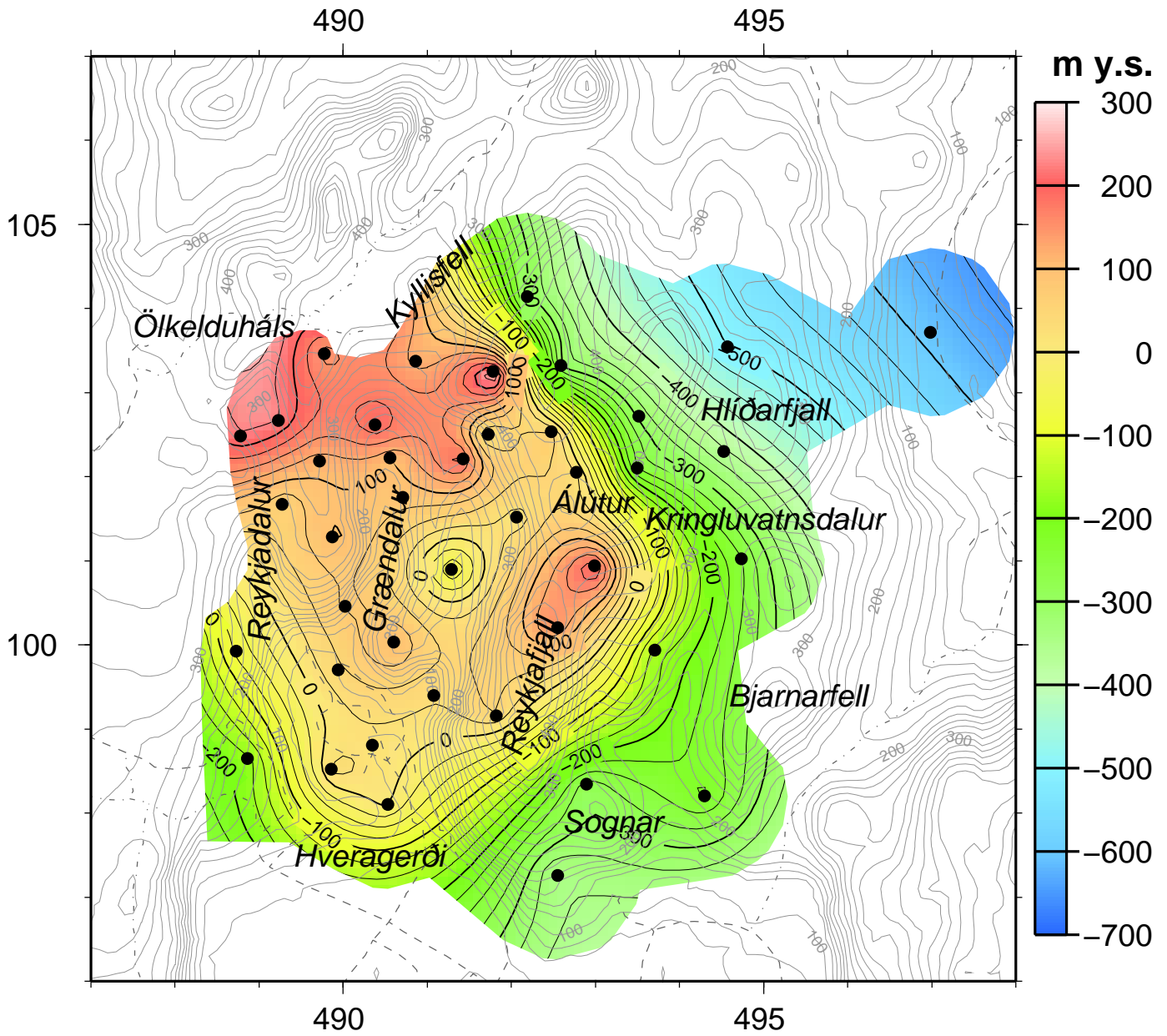
Talsverður munur er á dýpi niður á hátt viðnám í mælingunum tveimur við mynni Grændals. Í Rjúpnabrekkum, vestan við mynni Grændals, er háviðnámskjarninn á 330 m u.s. (á 515 m dýpi, mæling 900004) en í mælingunni austan við mynni Grændals, upp á Tindum (mæling 907002), er háviðnámskjarninn á 40 m y.s. (180 m dýpi). Austar, í Gufudal (mæling 910994), er háviðnámskjarninn enn dýpra eða á um 500 m u.s. Á þessu

svæði er því talsverður dýptarmunur á háviðnámskjarnann en ástæða þess er ekki ljós.

Í Sauðárdal og Grændal er háviðnámskjarninn á 400-500 m u.s. (600-750 m dýpi), nema allra innst í dölunum þar sem grynkar verulega á hann (um 100 m u.s.).

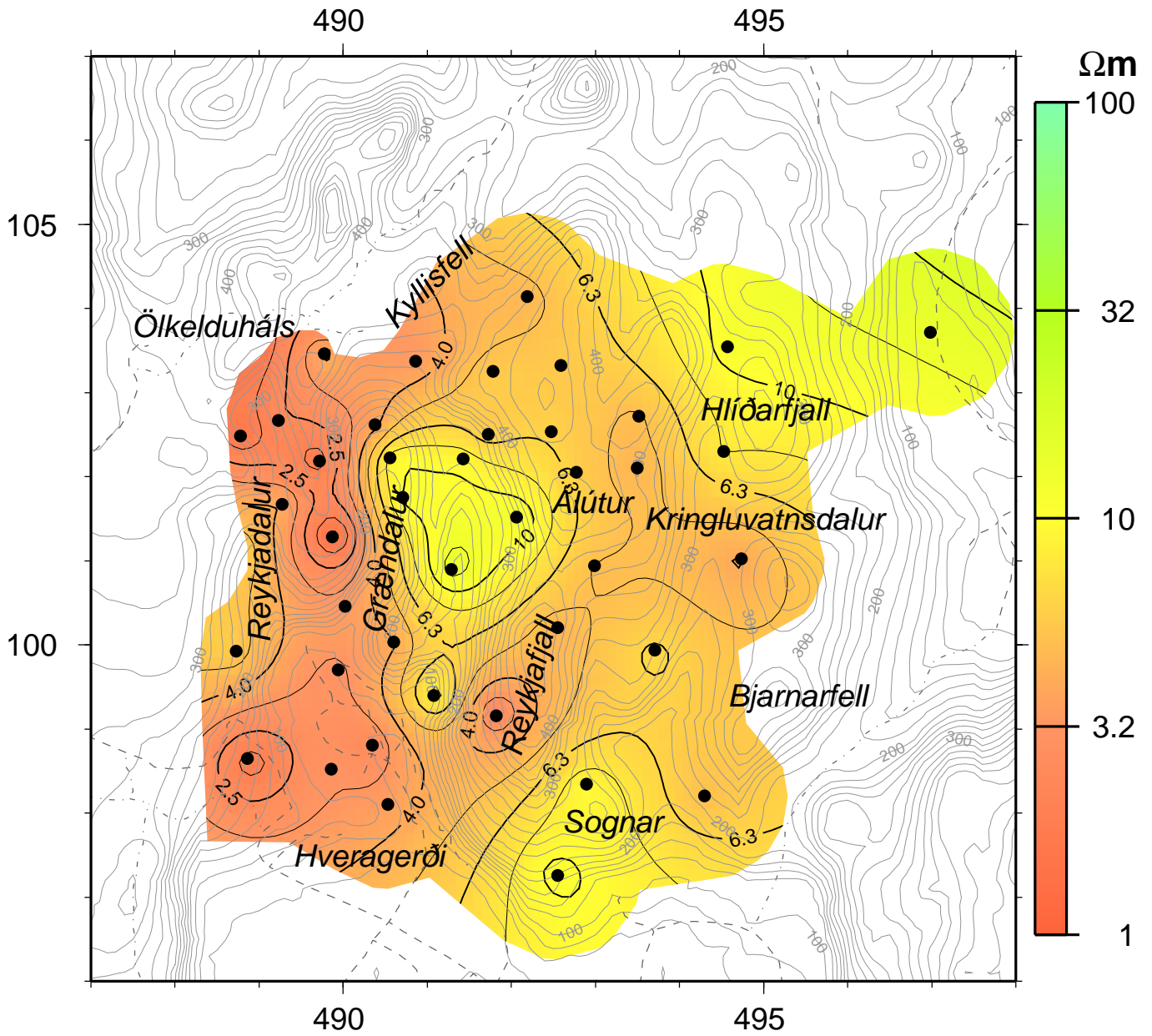
Frá Kyllisfellinu, suðaustur að Álúti, og suður á Reykjafjallið er hryggur þar sem háviðnámið nær hærra en 200 m u.s., og er hæst við Lambhaga á Reykjafjallinu (mæling 917991) eða rétt uppundir sjávarmáli.



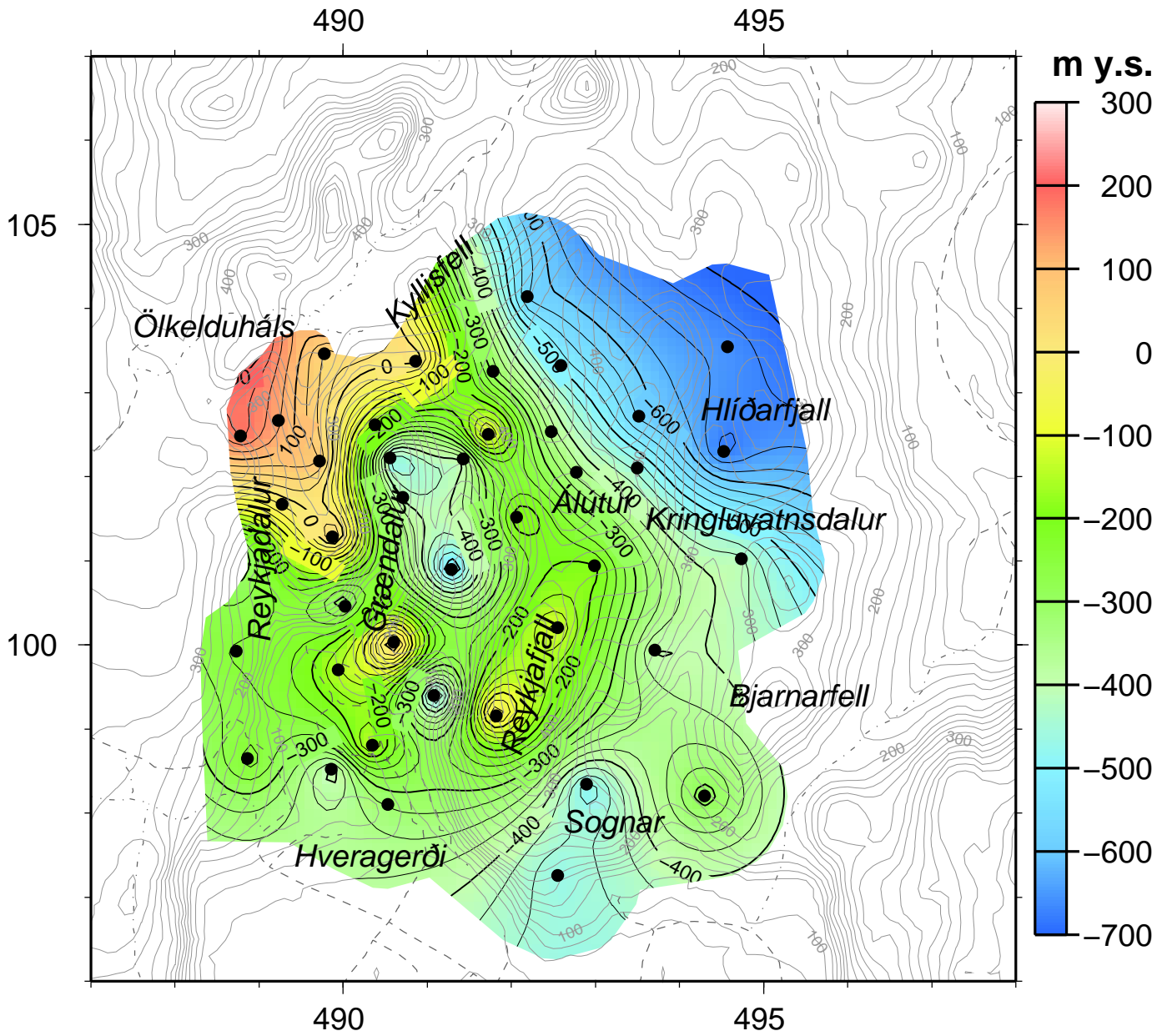


**Mynd 37.** Dýpi á lögsta viðnám (m y.s.), samkvæmt túlkun mælinga með samfelldu viðnámslíkani.

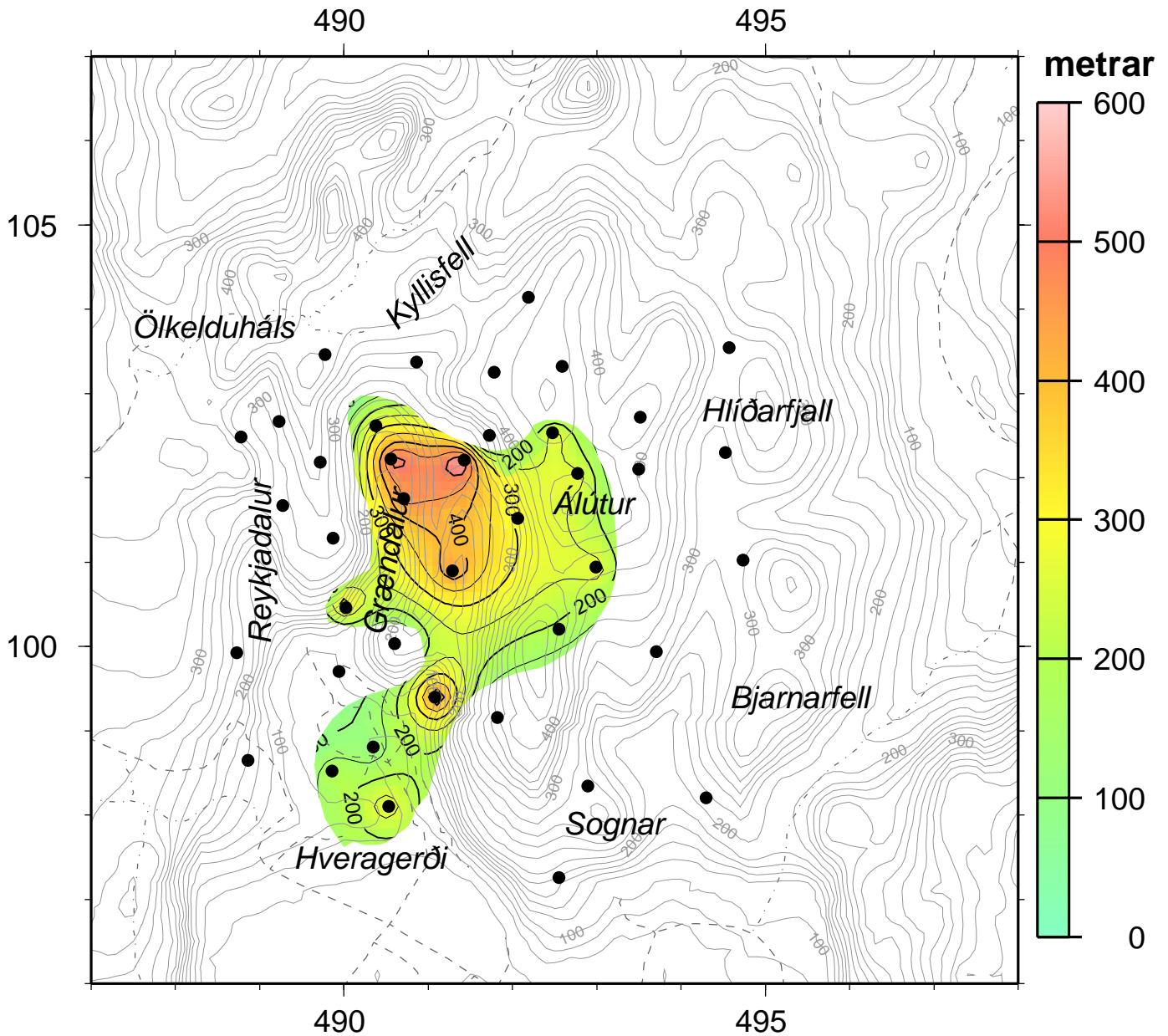




**Mynd 38.** Lægsta viðnámsgildi ( $\Omega\text{m}$ ), samkvæmt túlkun mælinga með samfelldu viðnámslíkani.



**Mynd 39.** Dýpi á háviðnámskjarna (m y.s.), samkvæmt túlkun mælinga með lagskiptu viðnámslíkani.



**Mynd 40.** Útbreiðslusvæði 10-20  $\Omega$ m viðnámslags milli lágviðnámsins og háviðnámskjarnans, ásamt þykkt þessa lags samkvæmt túlkun mælinganna með lagskiptu viðnámslíkani.

## 9. LOKAORÐ

Viðnámsmælingarnar sýna að lágt viðnám ( $<10\Omega\text{m}$ ) er víðast hvar á mælisvæðinu á um 0 til 200 m y.s. Lágviðnámslagið rís hæst innst í Reykjadal (200 m y.s.), og þaðan í austur fyrir Klóarfjall ( $> 100$  m y.s.), og eins til SSA eftir Dalafellinu að mynni Grændals ( $> 50$  m y.s.). Verulega dýpkar á lágviðnámslagið austan við Klóarfjall, Álút og Reykjafjall, sem líklegast afmarkar jarðhitasvæðið til austurs (sjá mynd 38).

Undir lágviðnáminu er hærra viðnám sem er yfirleitt um eða yfir  $100\Omega\text{m}$  (háviðnámskjarninn). Háviðnámskjarninn er þó ekki alls staðar beint undir lágviðnámskápunni, víða er  $10\text{-}20\Omega\text{m}$  lag milli lágviðnámskápunnar og háviðnámskjarnans. Það svæði þar sem þetta millilag er til staðar er sýnt á mynd 40 ásamt þykkt lagsins. Á myndinni kemur fram að millilagið er þykkast innst í Grændal og Sauðárdal, þar sem það er allt að 500 m þykkt. Millilagið er einnig til staðar í Ölfusdal, og er sérstaklega þykkt í mælingunni við Gufudal. Athyglisvert er að útbreiðsla þessa millilags fellur vel saman við það svæði þar sem gömul klórítummyndun sést á yfirborði (Kristján Sæmundsson 1995). Ekki er ljóst hvernig beri að túlka þetta millilag. Það að klórítummyndunin sést á yfirborði í jökulrofnum dölunum (Grændal og Sauðárdal) segir að hitinn þar hefur einhverntímann í sögu jarðhitakefisins verið um eða yfir  $240^\circ\text{C}$ , og þar með líklegast enn hærri hiti neðar. Trúlegast hefur jarðhitasvæðið í og umhverfis Grændal farið í gegnum nokkur skeið upphitunar og kólnunar í tímans rás. Slík kólnun gæti orðið til þess að klórítummyndunin yfirprentaðist af annari ummyndun, eins og til dæmis smektíti við hitastig lægra en  $240^\circ\text{C}$ . Líklegt er því að  $10\text{-}20\Omega\text{m}$  millilagið endurspagli slíkar aðstæður. Önnur hugsanleg skýring á þessu millilagi gæti verið að þarna sé umtalsvert meiri lekt en annars staðar, og að leiðni poruvökvans sé þar með orðin ráðandi í leiðni bergsins en ekki ummyndunin.

Í Ölfusdal og upp af honum er viðnámsdreifingin flókin. Túlkun mælingar 897985 gefur tvö lágviðnámslög sem ekki sjást í öðrum mælingum. Eins er dýpið á háviðnámskjarnann mjög breytilegt. Vætanlega eru í mælingunum talsverð áhrif vegna tví- eða þrívíðra viðnámsþátta, en ekki verður gerð tilraun til að meta þau hér.

Fram kemur hringlaga svæði í nokkrum viðnámskortanna, sem afmarkast af Dalafellinu í vestri, mynni Grændals og Sauðárdals í suðri, brekkubrúnunum um Álút og Reykjafjall í austri og brekkunum ofn Grændals og Sauðárdals í norðri (sjá t.d. myndir 27-28, 32-33, og 37-39). Ekki er ljóst hver ástæða þessa er en hugsanlega tengist þetta brotabeltum og uppstreymi heits vatns. Athyglisvert er að þar sem lágviðnámið sunnan Álúts rís hæst (og einnig háviðnámskjarninn) fannst í rúmlega 400 metra hæð nokkurra fermetra afbræðsla sem varla tengist öðru en jarðhita.

Þau skörpu, lóðréttu skil sem eru í viðnámi undir lágviðnámslaginu, einkum eftir NS línu milli Dalafells og Grændals, tengjast líklegast einhverju broti í jarðskorpunni þar.

Mælingarnar ná að afmarka háhitasvæðið umhverfis Grændal að mestu. Til norðausturs fer greinilega hratt dýpkandi bæði á lágt viðnám og háviðnámið undir. Til austur og suðausturs dýpkar hratt á lágt viðnám (mynd 37), en ekki er samsvarandi dýptaraukning á

háviðnámskjarnann undir lágviðnáminu. Æskilegt væri að gera frekari mælingar umhverfis Bjarnarfellið til að staðfesta útmörk svæðisins til suðausturs. Í suður og suðvestur fer dýpkandi á lágt viðnám, en hinsvegar er óveruleg dýptaraukning á háviðnámskjarnann. Ekki er þó gerlegt að auka við mælingar á þessum slóðum því bæði byggðin og háspennulínur takmarka möguleikanna þar. Verulegar breytingar eru í viðnámi í Grændal og Sauðárdal og hefði verið rík ástæða til að þétta mælingar þar.

Viðnámsskipanin sem fram kemur er mjög áhugaverð en flókin. Til þess að túlka hana ennfrekar yfir í jarðhitavirkni þyrfti að samtúlka viðnámið við jarðfræði svæðisins og niðurstöður efnahitamælinga úr hverum og laugum og tengja síðan vel við gögn úr borholunum í Ölfusdal, sem þurfa nánari endurskoðunar við. Eins mundi borhola í Grændal, boruð beint í 10-20 Ωm lagið, svara mörgum spurningum.

## 10. HEIMILDIR

- Hjálmar Eysteinnsson 1999. *Viðnámsmælingar umhverfis Sandfell, Reykjanesskaga*. Orkustofnun, OS-99002, 71 s.
- Hrefna Kristmannsdóttir, 1979: *Alteration of basaltic rocks by hydrothermal activity at 100-300°C*. International Clay conference 1978. Ritstj. Mortland og Farmer. Elsevier Sci. Publ. Company, Amsterdam 1979, 277-288.
- Ingvar Þór Magnússon, Hjálmar Eysteinnsson og Knútur Árnason 2000. *Viðnámsmælingar við Hengil 1999*. Orkustofnun, OS-2000/002, 38 s.
- Knútur Árnason, Guðmundur Ingi Haraldsson, Gunnar V. Johnsen, Gunnar Þorbergsson, Gylfi Páll Hersir, Kristján Sæmundsson, Lúðvík S. Georgsson og Snorri Páll Snorrason, 1986. *NESJAVELLIR. Jarðfræði- og jarðeðlisfræðileg könnun 1985*. Orkustofnun, OS-86017/JHD-02, 125 s.
- Knútur Árnason, Guðmundur Ingi Haraldsson, Gunnar V. Johnsen, Gunnar Þorbergsson, Gylfi Páll Hersir, Kristján Sæmundsson, Lúðvík S. Georgsson, Sigurður Th. Rögnvaldsson og Snorri Páll Snorrason, 1987: *NESJAVELLIR - ÖLKELDUHÁLS. Yfirborðsrannsóknir 1986*. Orkustofnun, OS-87018/JHD-02, 112 s.
- Knútur Árnason, 1989. *Central-Loop Transient ElectroMagnetic Soundings over a Horizontally Layered Earth*. Orkustofnun, OS-89032/JHD-06, 128 s.
- Knútur Árnason, 1993. *JARÐHITI Á ÖLKELDUHÁLSSVÆÐI. Viðnámsmælingar 1991 og 1992*. Orkustofnun, OS-93037/JHD-10, 82 s.
- Knútur Árnason og Ragna Karlsdóttir, 1996. *Viðnámsmælingar í Kröflu*. Orkustofnun, OS-96005/JHD-03.
- Knútur Árnason, Ragna Karlsdóttir, Hjálmar Eysteinnsson, Ólafur G. Flóvenz og Steinar Þór Guðlaugsson, 2000. *The Resistivity Structure of High-Temperature Geothermal Systems in Iceland*. Proceedings of the World Geothermal Congress 2000, Japan May.
- Kristján Sæmundsson, 1995. *Hengill, jarðhiti, ummyndun og grunnvatn, 1:25000*. Orkustofnun, Hitaveita Reykjavíkur, Landmælingar Íslands.
- Ólafur G Flóvenz, Lúðvík S Georgsson og Knútur Árnason, 1985. *Resistivity structure of the upper crust in Iceland*. J. Geophys. Res., 90, 10136-10150.
- Ragna Karlsdóttir, 1993. *NÁMAFJALL, TEM-viðnámsmælingar 1992*. Orkustofnun OS-93022/JHD-12 B, 34 s.
- Ragna Karlsdóttir, 1995. *BRENNISTEINSFJÖLL TEM-Viðnámsmælingar*. Orkustofnun. OS-95044/JHD-06, 41 s.

Ragna Karlsdóttir, 1997. *TEM-viðnámsmælingar á utanverðum Reykjanesskaga*. Orkustofnun, OS-97001, 63 s.

Sverrir Þórhallsson, Guðmundur Ómar Friðleifsson, Ómar Sigurðsson, 2000 *Hönnun og verklysing rannsóknarholu í Grændal*. Orkustofnun, OS-2000/015, 48 s.

## VIÐAUKI

### Mæligögn og túlkun TEM mælinga

Mælt sýndarviðnám (hringir) hverrar mælingar er sýnt sem fall af  $\sqrt{t} \cdot 1000$ , þar sem  $t$  er tími frá straumrofi í sekúndum. Hver mæling er túlkuð einvítt, annarsvegar með lagskiptu viðnámslíkani (vinstri mynd) og hinsvegar með "samfelldu" viðnámslíkani (hægri mynd). Viðnámslíkanið er sýnt með breiðum línunum þar sem lárétti ásinn er dýpi í metrum, og lóðrétti ásinn eðlisviðnám.



