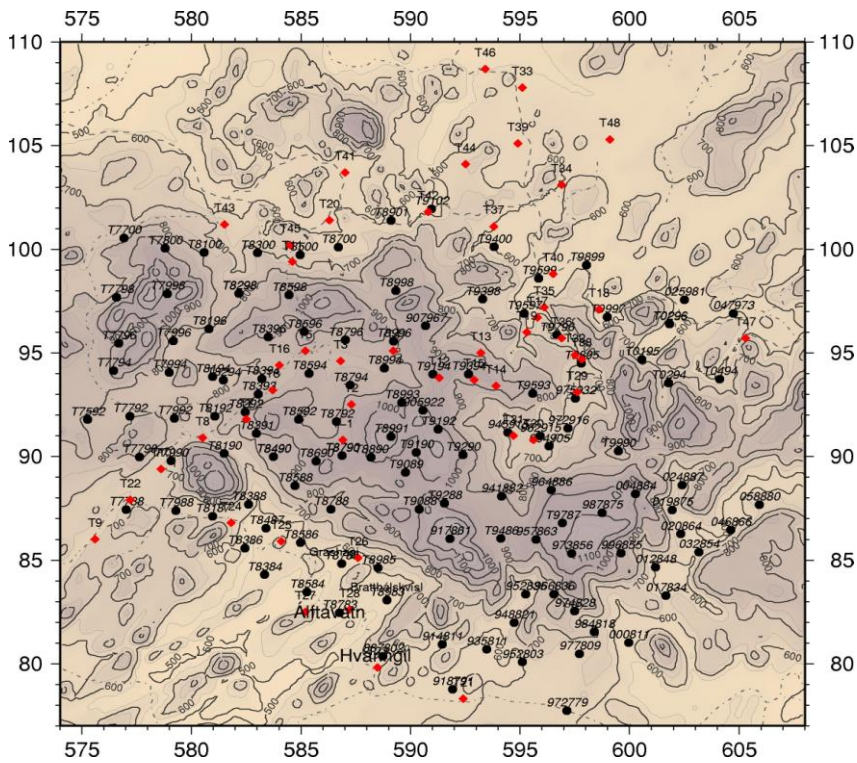




**ÍSOR**  
ÍSLENSKAR ORKURANNSÓKNIR

# Í Torfa

## Viðnámssmælingar í aldarfjórðung



Ragna Karlsdóttir

Unnið fyrir Orkustofnun

ÍSOR-2003/019



**Ragna Karlsdóttir**

**Í Torfa**

**Viðnámsmælingar í aldarfjórðung**

**Unnið fyrir Auðlindadeild Orkustofnunar**

**ÍSOR-2003/019**

**Nóvember 2003**

ISBN 9979-780-02-9

ÍSLENSKAR ORKURANNSÓKNIR

Reykjavík: Orkugarður, Grensásvegi 9, 108 Rvk. – Sími: 528 1500 – Fax: 528 1699

Akureyri: Rangárvöllum, P.O. Box 30, 602 Ak. – Sími: 460 1380 – Fax: 460 1381

Netfang: isor@isor.is – Veffang: <http://www.isor.is>



|  |                                |   |
|--|--------------------------------|---|
| <b>Skýrsla nr.:</b><br>ÍSOR-2003/019   | <b>Dags.:</b><br>Nóvember 2003 | <b>Dreifing:</b><br><input checked="" type="checkbox"/> Opin <input type="checkbox"/> Lokuð til |
| <b>Heiti skýrslu / Aðal- og undirtitill:</b><br><br>Í Torfa<br>Viðnámsmælingar í aldarfjórðung   |                                | <b>Upplag:</b><br>10  |
|  |                                | <b>Fjöldi síðna:</b><br>100   |
| <b>Höfundar:</b><br>Ragna Karlsdóttir  |                                | <b>Verkefnisstjóri:</b><br>Ragna Karlsdóttir  |
| <b>Gerð skýrslu / Verkstig:</b><br>Yfirlit og samanburður mælinga  |                                | <b>Verknúmer:</b><br>3-720102   |
| <b>Unnið fyrir:</b><br>Auðlindadeild Orkustofnunar   |                                |   |
| <b>Samvinnuaðilar:</b>   |                                |   |
| <b>Útdráttur:</b><br>Gerð grein fyrir frekari úrvinnslu TEM-viðnámsmælinga frá 1993-2000. Einnig eru skoðaðar Schlumberger-viðnámsmælingar frá árunum 1973-75 og þær bornar saman við TEM-mælingarnar. Helstu þættir, sem fjallað er um, eru: lagskipt viðnámslíkan af Torfajökulssvæði, byggt á TEM-mælingum, viðnámskort á mismunandi dýpi, byggt á lagskiptu líkani eftir túlkun TEM-mælinga, viðnámskort á mismunandi dýpi, byggt á túlkun TEM-mælinga, sem gerir ráð fyrir samfelldri breytingu á viðnámi með dýpi (occam-inversion) og úttekt á Schlumberger-viðnámsmælingum og niðurstöður þeirra bornar saman við niðurstöður TEM-mælinganna. Skýrslan er ætluð sem vinnuþlagg við frekari túlkun viðnámsmælinga á Torfajökulssvæði. |                                |   |
| <b>Lykilorð:</b><br>Torfajökull, háhitasvæði, viðnámsmælingar, viðnámsennið, viðnámskort, viðnámslíkan, samanburður mælinga  |                                | <b>ISBN-númer:</b><br>9979-780-02-9   |
|  |                                | <b>Undirskrift verkefnisstjóra:</b>   |
|  |                                | <b>Yfirfarið af:</b><br>KÁ, VS  |



## EFNISYFIRLIT

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1. Inngangur</b> .....  | <b>7</b>  |
| <b>2. Lagskipt viðnámslíkan af Torfajökulssvæði</b> .....                      | <b>9</b>  |
| <b>3. Jafnviðnámskort</b> .....  | <b>25</b> |
| <b>3.1. Viðnámskort, byggð á lagskiptu viðnámslíkani</b> .....                 | <b>25</b> |
| <b>3.2. Viðnámskort, byggð á samfelldri breytingu í viðnámi með dýpi</b> ..... | <b>44</b> |
| <b>4. Slumbergermælingar - úttekt á gæðum og samanburður við TEM-mælingar</b>  | <b>63</b> |
| <b>4.1 Gögnin</b> .....  | <b>63</b> |
| <b>4.2 Samanburður einstakra mælinga</b> .....                                 | <b>67</b> |
| <b>4.3 Kostir og gallar mæliaðferðanna</b> .....                               | <b>74</b> |
| <b>4.4 Viðnámsnið með samanburði mæliaðferða</b> .....                         | <b>77</b> |
| <b>5 Samandregnar niðurstöður</b> .....  | <b>80</b> |
| <b>6. Heimildir</b> .....  | <b>80</b> |
| <b>Viðauki 1</b> .....   | <b>81</b> |
| <b>Viðauki 2</b> .....   | <b>87</b> |

## MYNDIR

|   |    |
|---|----|
| Mynd 1. <i>Staðsetning TEM- og Slumberger-viðnámsmælinga Torfajökulssvæði</i> ..... | 8  |
| Mynd 2. <i>Lega viðnámsniða á Torfajökulssvæði; Vesturhluti</i> .....               | 12 |
| Mynd 3. <i>Lega viðnámsniða á Torfajökulssvæði; Austurhluti</i> .....               | 12 |
| Mynd 4. <i>Torfajökull. Viðnámsnið AV82</i> .....                                   | 13 |
| Mynd 5. <i>Torfajökull. Viðnámsnið AV84</i> .....                                   | 14 |
| Mynd 6. <i>Torfajökull. Viðnámsnið AV86</i> .....                                   | 15 |
| Mynd 7. <i>Torfajökull. Viðnámsnið AV90</i> .....                                   | 16 |
| Mynd 8. <i>Torfajökull. Viðnámsnið AV92</i> .....                                   | 17 |
| Mynd 9. <i>Torfajökull. Viðnámsnið AV94</i> .....                                   | 18 |
| Mynd 10. <i>Torfajökull. Viðnámsnið AV96</i> .....                                  | 19 |
| Mynd 11. <i>Torfajökull. Viðnámsnið AV98</i> .....                                  | 20 |
| Mynd 12. <i>Torfajökull. Viðnámsnið AV100</i> .....                                 | 21 |
| Mynd 13. <i>Torfajökull. Viðnámsnið NS81</i> .....                                  | 22 |
| Mynd 14 <i>Torfajökull. Viðnámsnið NS89</i> .....                                   | 23 |
| Mynd 15. <i>Torfajökull. Viðnámsnið NS95</i> .....                                  | 24 |
| Mynd 16. <i>Torfajökull. Viðnámskort 1000 m y.s.</i> .....                          | 25 |
| Mynd 17. <i>Torfajökull. Viðnámskort 950 m y.s.</i> .....                           | 26 |
| Mynd 18. <i>Torfajökull. Viðnámskort 900 m y.s.</i> .....                           | 27 |
| Mynd 19. <i>Torfajökull. Viðnámskort 850 m y.s.</i> .....                           | 28 |

|          |  |    |
|----------|--|----|
| Mynd 20. | <i>Torfajökull. Viðnámskort 800 m y.s.</i>           | 29 |
| Mynd 21. | <i>Torfajökull. Viðnámskort 750 m y.s.</i>           | 30 |
| Mynd 22. | <i>Torfajökull. Viðnámskort 700 m y.s.</i>           | 31 |
| Mynd 23. | <i>Torfajökull. Viðnámskort 650 m y.s.</i>           | 32 |
| Mynd 24. | <i>Torfajökull. Viðnámskort 600 m y.s.</i>           | 33 |
| Mynd 25. | <i>Torfajökull. Viðnámskort 550 m y.s.</i>           | 34 |
| Mynd 26. | <i>Torfajökull. Viðnámskort 500 m y.s.</i>           | 35 |
| Mynd 27. | <i>Torfajökull. Viðnámskort 450 m y.s.</i>           | 36 |
| Mynd 28. | <i>Torfajökull. Viðnámskort 400 m y.s.</i>           | 37 |
| Mynd 29. | <i>Torfajökull. Viðnámskort 350 m y.s.</i>           | 38 |
| Mynd 30. | <i>Torfajökull. Viðnámskort 300 m y.s.</i>           | 39 |
| Mynd 31. | <i>Torfajökull. Viðnámskort 250 m y.s.</i>           | 40 |
| Mynd 32. | <i>Torfajökull. Viðnámskort 200 m y.s.</i>           | 41 |
| Mynd 33. | <i>Torfajökull. Viðnámskort 150 m y.s.</i>           | 42 |
| Mynd 34. | <i>Torfajökull. Viðnámskort 100 m y.s.</i>           | 43 |
| Mynd 35. | <i>Torfajökull. Viðnámskort 1000 m y.s.</i>          | 44 |
| Mynd 36. | <i>Torfajökull. Viðnámskort 950 m y.s.</i>           | 45 |
| Mynd 37. | <i>Torfajökull. Viðnámskort 900 m y.s.</i>           | 46 |
| Mynd 38. | <i>Torfajökull. Viðnámskort 850 m y.s.</i>           | 47 |
| Mynd 39. | <i>Torfajökull. Viðnámskort 800 m y.s.</i>           | 48 |
| Mynd 40. | <i>Torfajökull. Viðnámskort 750 m y.s.</i>           | 49 |
| Mynd 41. | <i>Torfajökull. Viðnámskort 700 m y.s.</i>           | 50 |
| Mynd 42. | <i>Torfajökull. Viðnámskort 650 m y.s.</i>           | 51 |
| Mynd 43. | <i>Torfajökull. Viðnámskort 600 m y.s.</i>           | 52 |
| Mynd 44. | <i>Torfajökull. Viðnámskort 550 m y.s.</i>           | 53 |
| Mynd 45. | <i>Torfajökull. Viðnámskort 500 m y.s.</i>           | 54 |
| Mynd 46. | <i>Torfajökull. Viðnámskort 450 m y.s.</i>           | 55 |
| Mynd 47. | <i>Torfajökull. Viðnámskort 400 m y.s.</i>           | 56 |
| Mynd 48. | <i>Torfajökull. Viðnámskort 350 m y.s.</i>           | 57 |
| Mynd 49. | <i>Torfajökull. Viðnámskort 300 m y.s.</i>           | 58 |
| Mynd 50. | <i>Torfajökull. Viðnámskort 250 m y.s.</i>           | 59 |
| Mynd 51. | <i>Torfajökull. Viðnámskort 200 m y.s.</i>           | 60 |
| Mynd 52. | <i>Torfajökull. Viðnámskort 150 m y.s.</i>           | 61 |
| Mynd 53. | <i>Torfajökull. Viðnámskort 100 m y.s.</i>           | 62 |
| Mynd 54. | <i>Saðsetning viðnámsmælinga á Torfajökulssvæði.</i> | 59 |
| Mynd 55. | <i>Lega sniðs S3.</i>                                | 60 |
| Mynd 56. | <i>Viðnámsnið S3. TEM-mælingar.</i>                  | 61 |
| Mynd 57. | <i>Viðnámsnið S3. Schlumberger-mælingar.</i>         | 62 |



# 1. Inngangur

Skýrsla þessi er ætluð sem vinnuþlagg við frekari túlkun viðnámsmælinga á Torfajökulssvæði. Í skýrslu Orkustofnunar *Í Torfajökli - TEM-Viðnámsmælingar* (Ragna Karlsdóttir; 2001) eru birtar niðurstöður TEM-viðnámsmælinga, sem gerðar voru á árunum 1993–2000. Hér er unnið áfram með þessar mælingar. Einnig eru skoðaðar Schlumberger-viðnámsmælingar frá árunum 1973–75 og þær bornar saman við TEM-mælingarnar.

Helstu þættir, sem fjallað er um, eru:

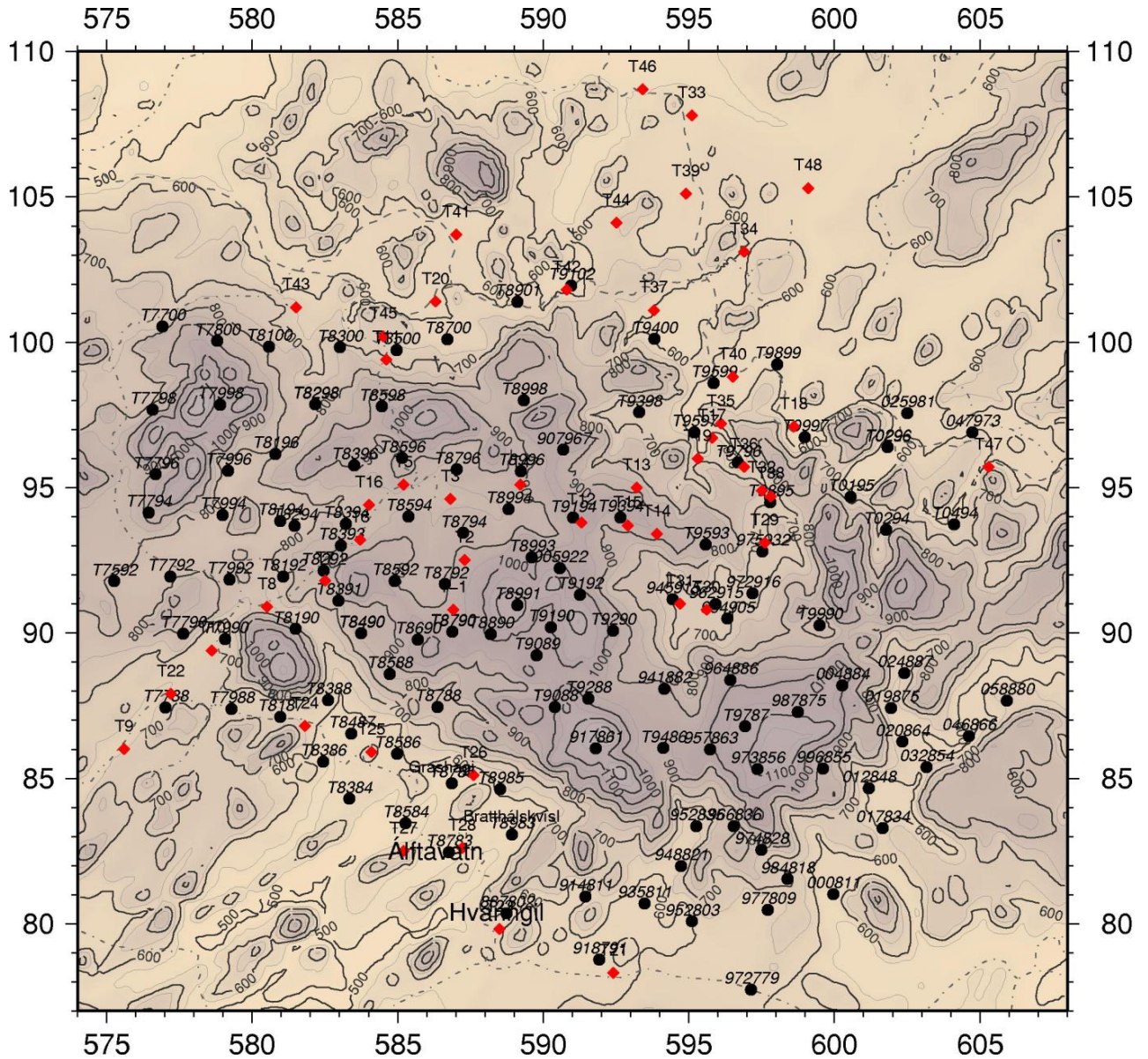
- Lagskipt viðnámslíkan af Torfajökulssvæði, byggt á TEM-mælingum.
- Viðnámskort á mismunandi dýpi, byggt á lagskiptu líkani eftir túlkun TEM-mælinga.
- Viðnámskort á mismunandi dýpi, byggt á túlkun TEM-mælinga, sem gerir ráð fyrir samfelldri breytingu á viðnámi með dýpi (occam-inversion).
- Úttekt á Schlumberger-viðnámsmælingum og niðurstöður þeirra bornar saman við niðurstöður TEM-mælinganna.

Skýrslan er ætluð þeim, sem koma að samtúlkun gagna á Torfajökulssvæði. Eðli sínu samkvæmt er hún vinnuþlagg og í henni er farið í smáatriðum í samanburð Schlumberger- og TEM mælinga. Skýrslunni fylgja einnig viðaukar:

Viðauki 1: Samanburður á TEM-mælingum og Schlumberger-mælingum sett upp sem súlurit.

Viðauki 2: Mæliferlar og túlkun Schlumberger-mælinganna.

Á næstu síðu er kort með staðsetningum TEM- og Schlumberger- viðnámsmælinga á Torfajökulssvæði (mynd 1).



**Mynd 1.** Staðsetning TEM- og Schlumberger-viðnámsmælinga á Torfajökulssvæði. Svartir punktar tákna TEM-mælingar og rauðir tiglur tákna Schlumberger-mælingar.

## 2. Lagskipt viðnámslíkan af Torfajökulssvæði

Hér á eftir fara viðnámsnið, sem sýna lagskipt líkan af Torfajökulssvæði (myndir 4 til 15). Í viðnámskýrslunni frá Torfajökli, sem minnst er á hér að framan, voru birt allmörg viðnámsnið. Þau sýna viðnámsbreytingar þar sem gert er ráð fyrir samfelldri breytingu í viðnámi með dýpi. Í reynd er túlkunin (occam-inversion) þannig að túlkunarforritið fær færi á að raða viðnámsgildum í fjölmörg (20–40) þunn lög niður á 1000 metra dýpi.

Hér er aftur á móti stuðst við þessa túlkun við val á fjölda laga en þeim fækkað í 4–6. Lagskipta líkanið er síðan sýnt sem nokkur þversnið í gegnum Torfajökulssvæði. Þar er einnig sýnt sniðið með samfelldu túlkuninni.

Til samanburðar er ennfremur vísað í viðnámsniðin í skýrslunni *Í Torfajökli - TEM-viðnámsmælingar* þar sem sniðin hér á eftir bera sömu nöfn og í þeirri skýrslu enda byggð á sömu mælingum; aðeins með mismunandi túlkunaraðferð. Lega sniðanna er sýnd á kortum fyrir framan sniðin (myndir 2 og 3).

Alls eru sýnd 13 viðnámsnið af þeim 28, sem birt voru í skýrslunni. Valin voru snið, þar sem viðnámsbreytingar voru sem mestar og gæfu sem besta mynd af viðnámi á Torfajökulssvæði. Sami mælikvarði er á öllum sniðum en lóðréttur mælikvarði er ýktur fimmfalt á við láréttan mælikvarða. Þessi snið voru valin:

- AV-82, 84, 86, 90, 92, 94, 96, 98, og 100
- NS-81, 89 og 95

Sniðin skýra sig nokkuð sjálf og skal að öðru leyti vísað í ofangreinda skýrslu um viðnámsmælingar í Torfajökli. Í lagskiptu sniðunum sést vel hvernig lágviðnámskápan er rofin af svæðum þar sem ekki sjást merki um lágviðnámskápu. Þetta styður þá tilgátu að á Torfajökulssvæði séu í raun fleiri en eitt háhitakerfi.

Í sniði AV-82, sem liggur syðst sést glytta í lágviðnámskápu á dýpi við sjávarmál, austan til í sniðinu, suður af Torfajökli. Í sniðinu AV-84 sem liggur samsíða tveimur kílómetrum norðar er lágviðnámskápa, sem er þykkust austan til, suður af Torfajökli og nær þar upp í 500 m y.s.

Í sniði AV-86 sem er enn norðar sjást tvö aðskilin kerfi. Austara kerfið er kennt við Torfajökul og er þarna 10 kílómetrar í þvermál miðað við dýpi við sjávarmál. Vestara kerfið er um 6 kílómetrar í þvermál og tengist norðar svæðinu í Hrafninnuskeri.

Í sniðinu AV-90 sjást þrjú svæði. Austast sér í Torfajökulssvæðið þar sem dýpkar á það til norðurs. Í miðju sniði sést Hrafninnuskerssvæðið þar sem það nær upp í tæplega 1000 metra hæð yfir sjó. Á dýpi miðað við sjávarmál er þversnið þessa svæðis 7 kílómetrar. Vestast, við Laufafell, sér í kerfi sem nær upp í 500 m y.s. og er kennt við Reykjadal.

Í sniði AV-92 sér enn í aðskilin þrjú svæði. Í sniði AV-94 sér glytta í lágviðnámskápu austast og er það fyrsta sem sést í kerfi kennt við Landmannalaugar. Tvö vestari svæðin, Reykjadalir og Hrafninnusker, renna hér saman og er þvermálið við dýpi við sjávarmál 16 km. Hér sést líka vestan til í neðri lágviðnámskápu eða tvöfalda lágviðnámskápu. Þetta gæti tengst því að tvö jarðhitakerfi renna saman og gæti gefið vísbendingar um þróun kerfanna.

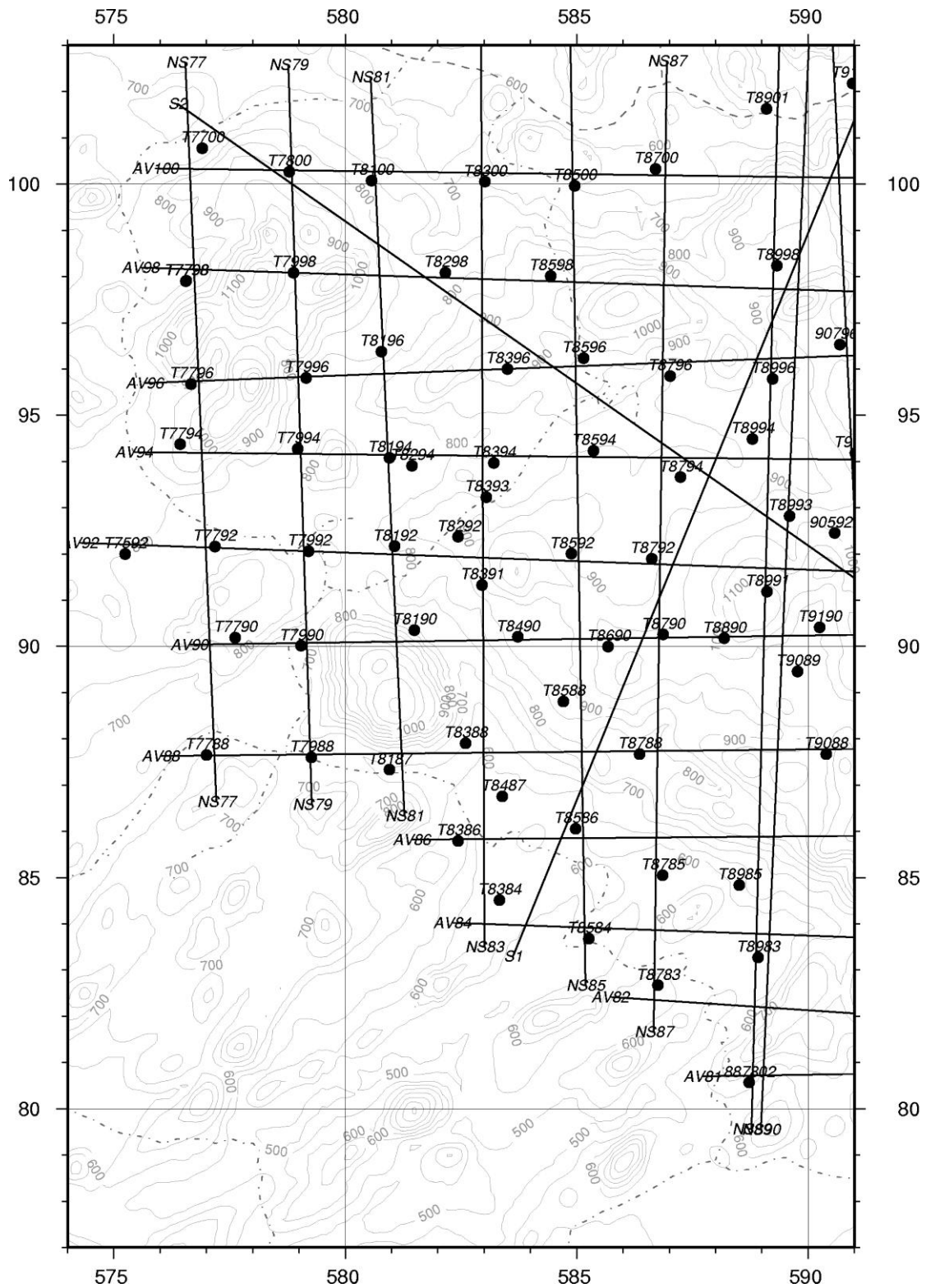
Í næsta sniði AV-96 er Landmannalaugakerfið komið upp í ríflega 500 m y.s. og þvermál 5 kílómetrar miðað við sjávarmál. Þvermál vestara svæðisins er 16 kílómetrar og það nær hæst í 850 m y.s. Í sniði AV-98 ná saman Reykjadala-/Hrafninnuskers- kerfin svo og Landmannalaugakerfið og er þvermálið miðað við sjávarmál 22 kílómetrar. Vestan til sést tvöföld lágviðnámskápa. Í nyrsta sniðinu sér aðeins í Reykjadalakerfið þar sem það er á leið niður.

Norður–suður sniðin staðfesta þá mynd sem komin er. NS-81 liggur vestast og sker Reykjadalakerfið norður af Laufafelli.

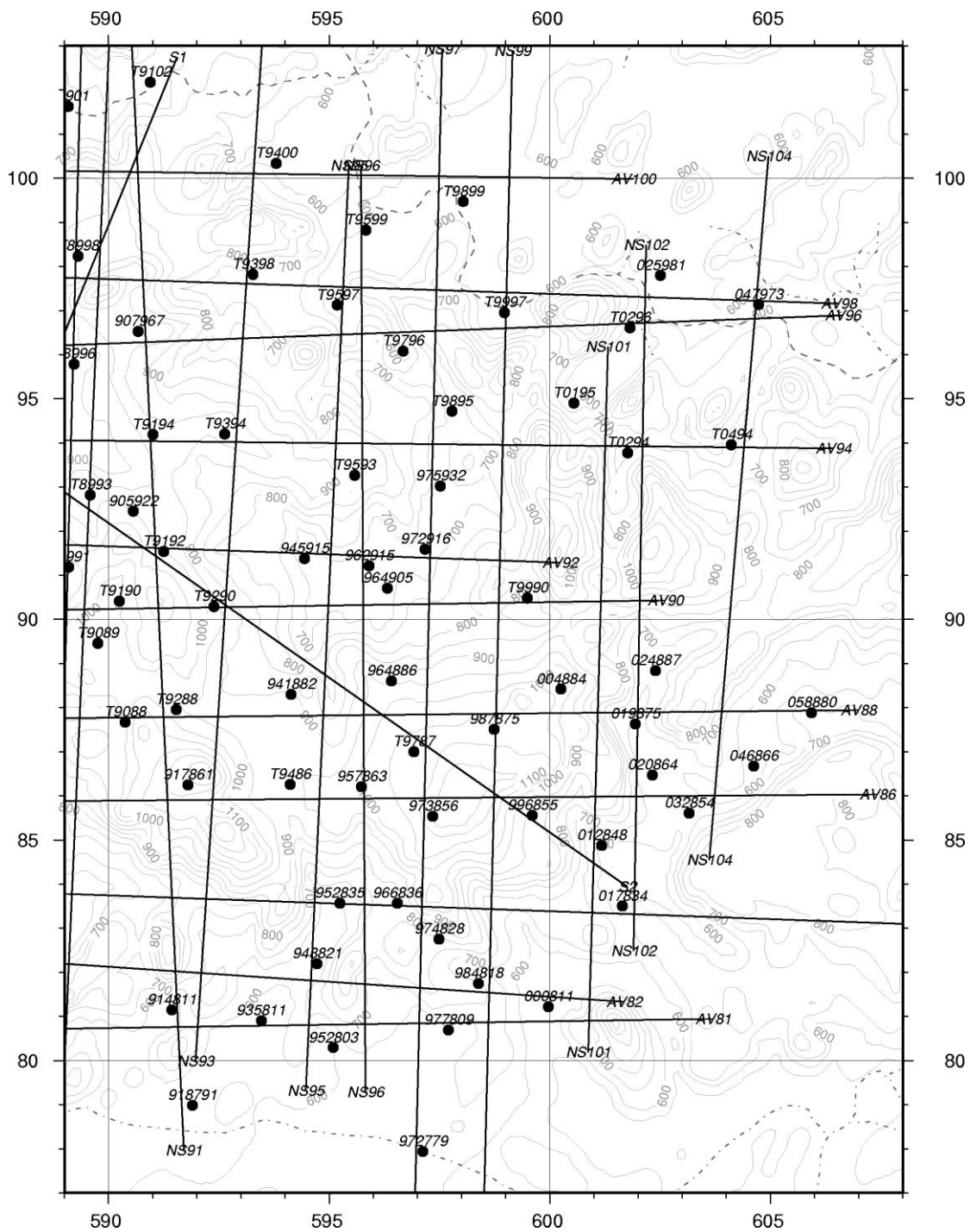
Sniðið NS-89 sker Hrafninnuskerskerfið nokkurn veginn þar sem það er hæst. Þarna sést tvöföld lágviðnámskápa nyrst í sniðinu þar sem það tengist Reykjadala-kerfinu.

Austasta NS sniðið NS-95 sker Torfajökulskerfið sunnan til og svo anga af Landmannalaugakerfinu norðar.

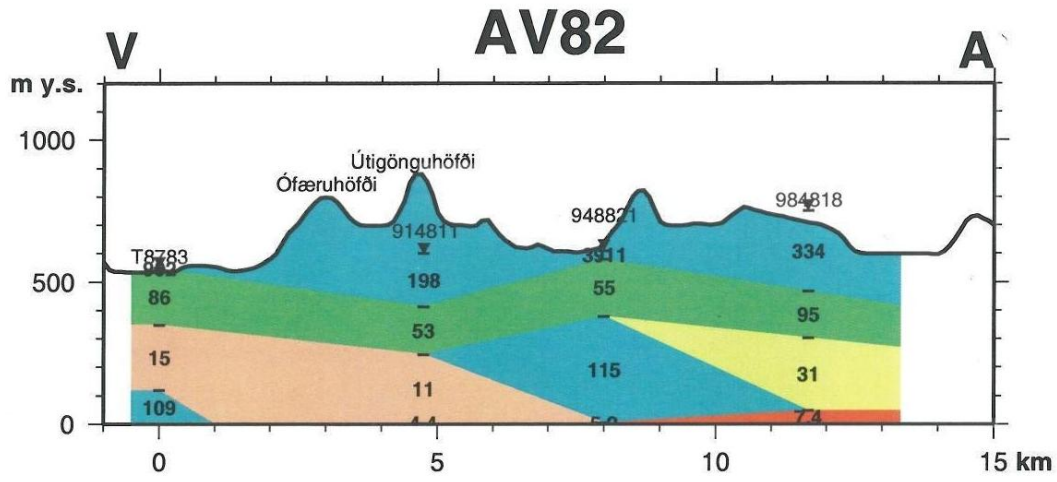
Á næstu síðum eru kort (myndir 2 og 3), sem sýna staðsetningu viðnámsniða. Þar á eftir fara viðnámsniðin, sem sýna lagskipt viðnámslíkan af Torfajökulssvæði.



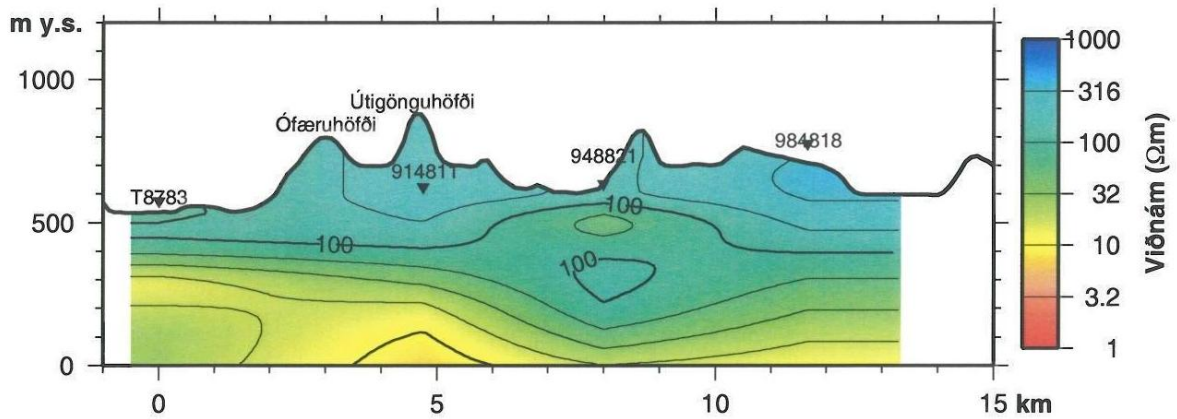
Mynd 2. Lega viðnámssniða á Torfajökulssvæði; Vesturhluti.



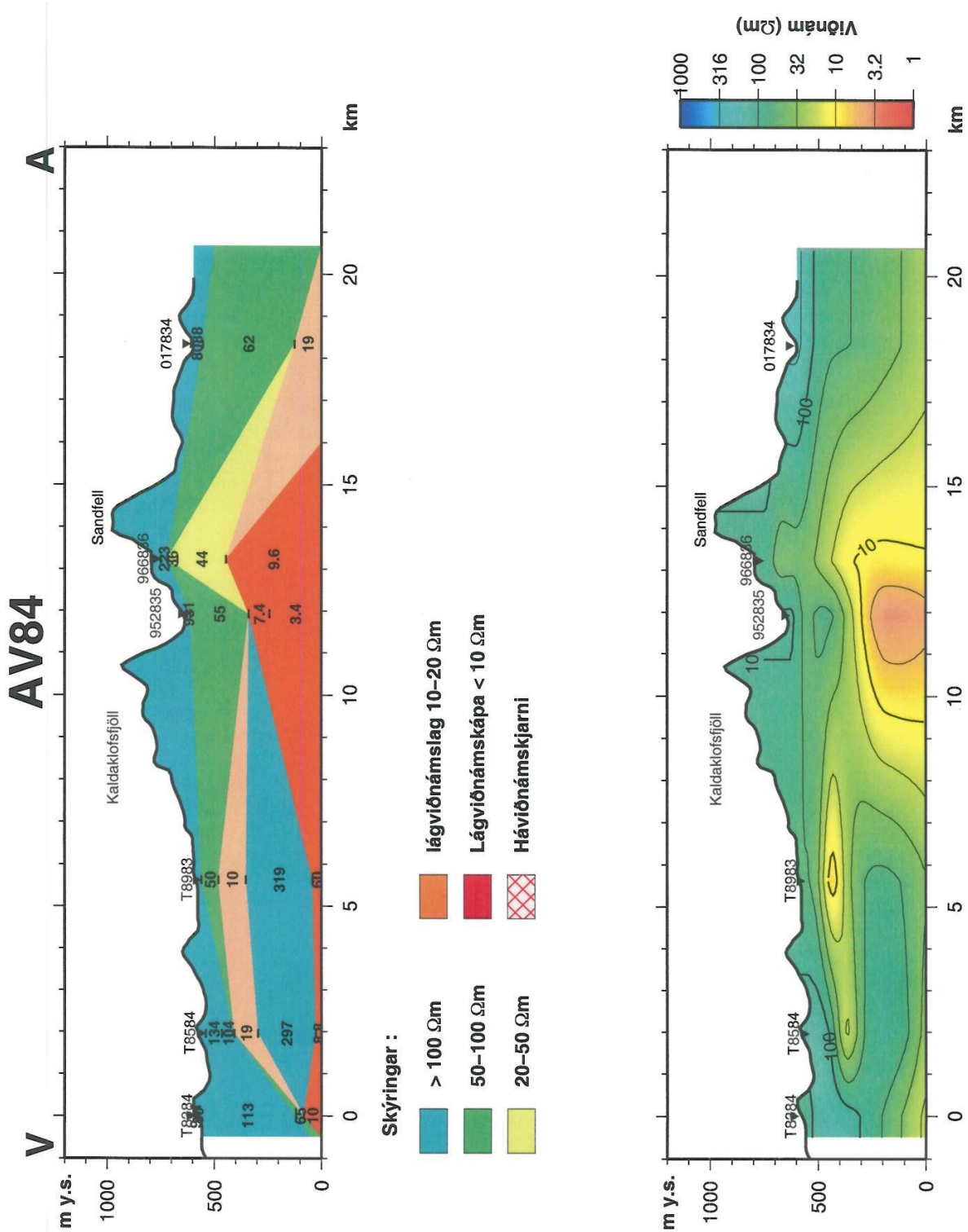
**Mynd 3.** Lega viðnámsniða á Torfajökulssvæði; Austurhluti.



Skýringar :

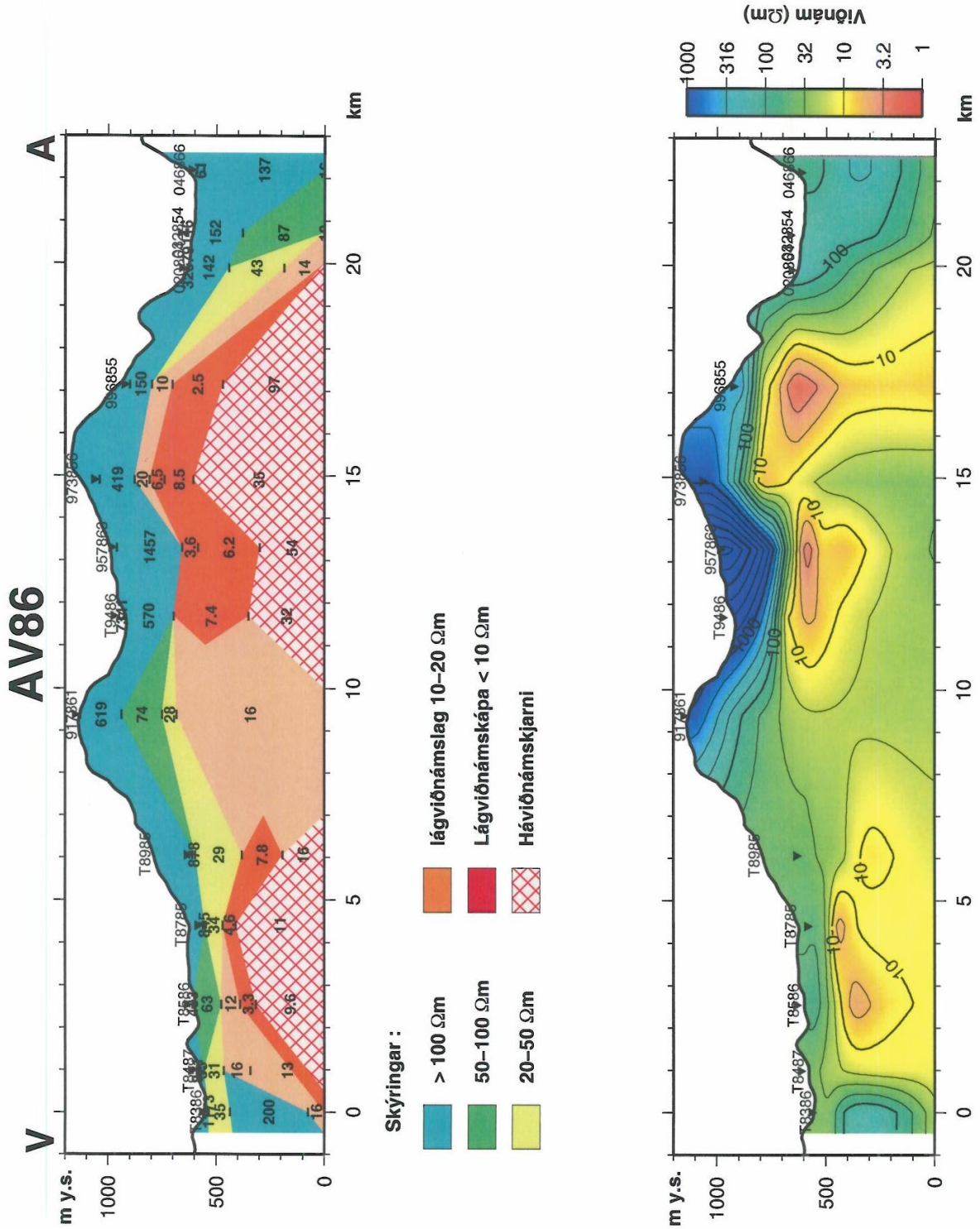


Mynd 4. Torfajökull. Viðnámsnið AV82.

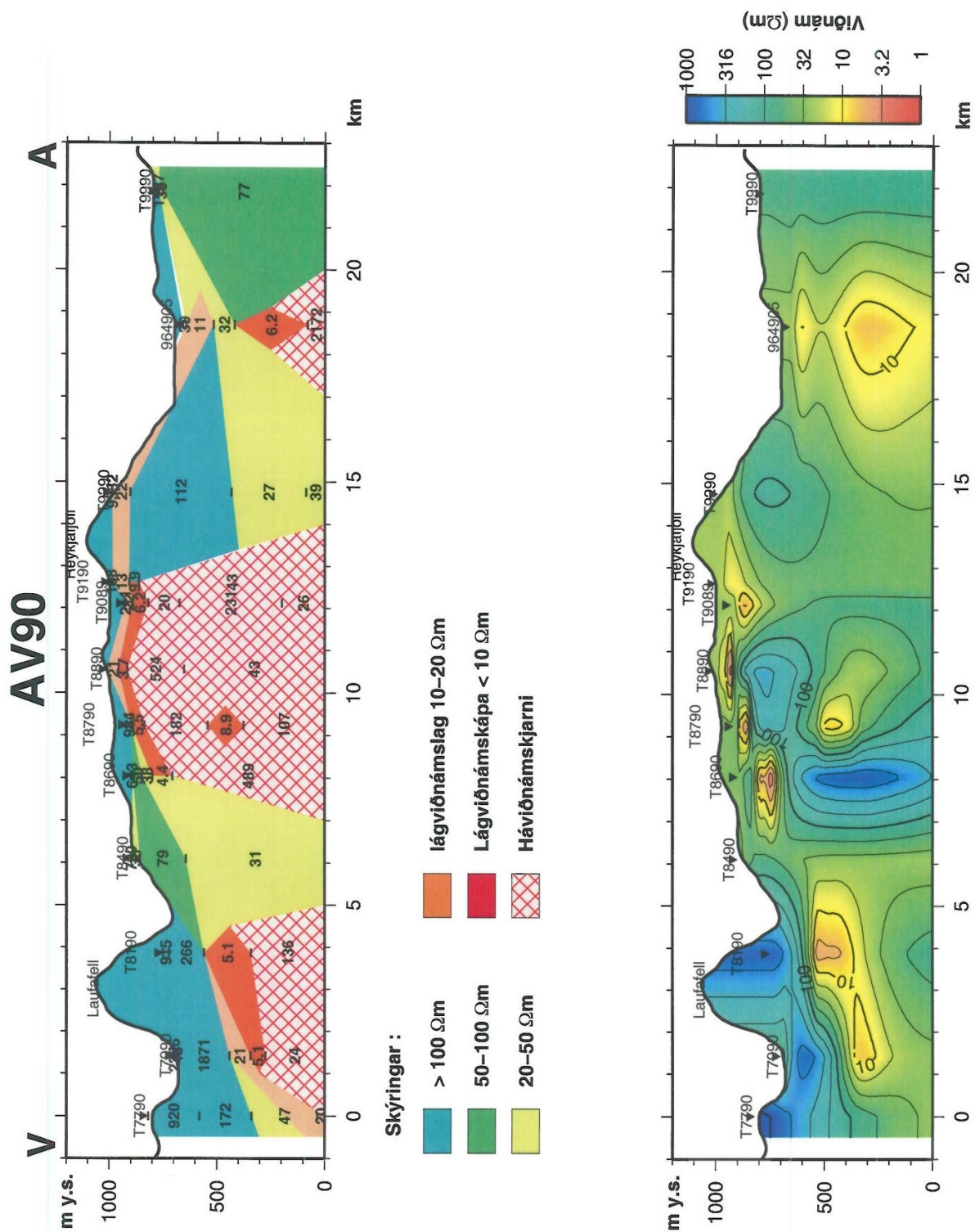


Mynd 5. Torfajökull. Viðnámsnið AV84.

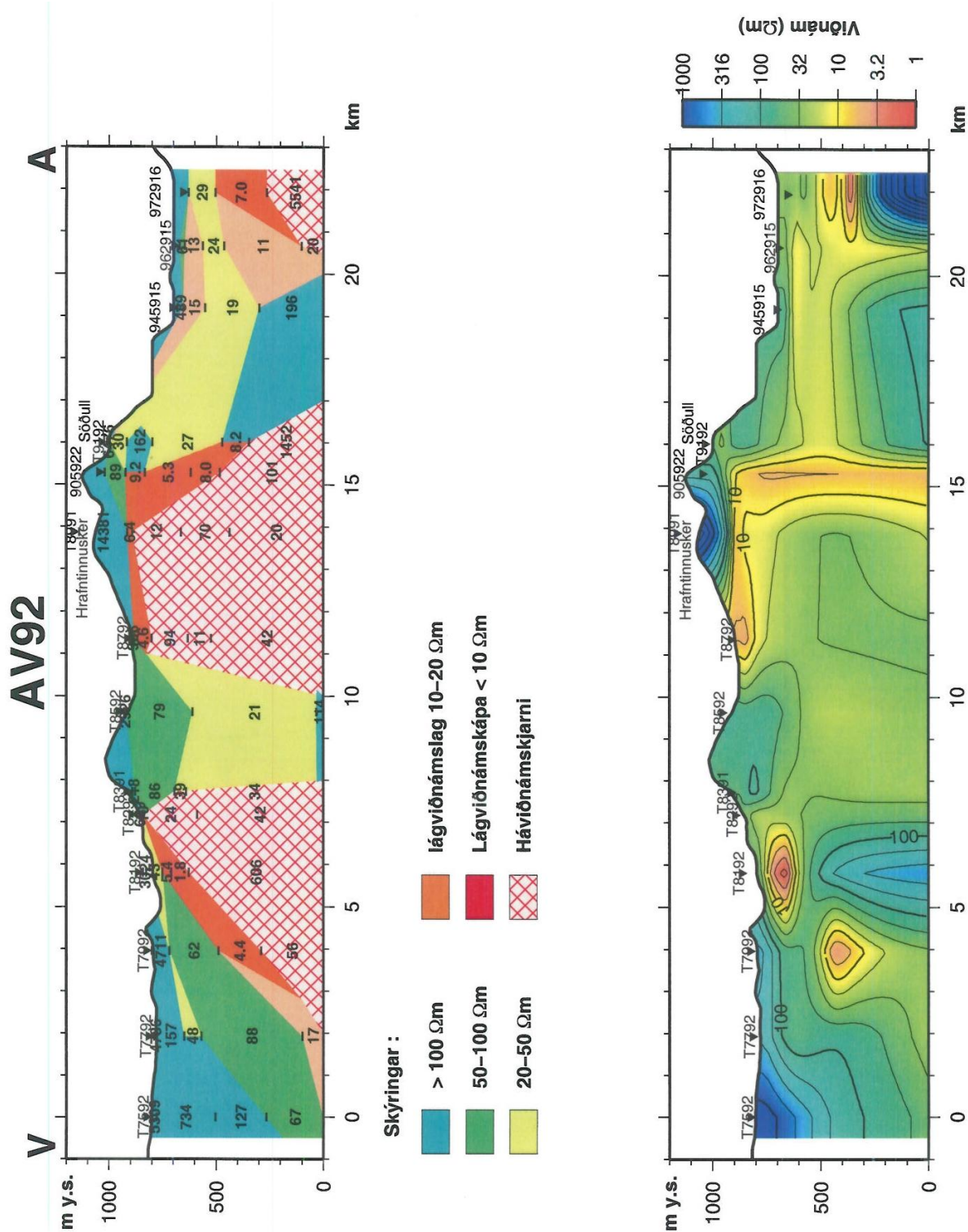




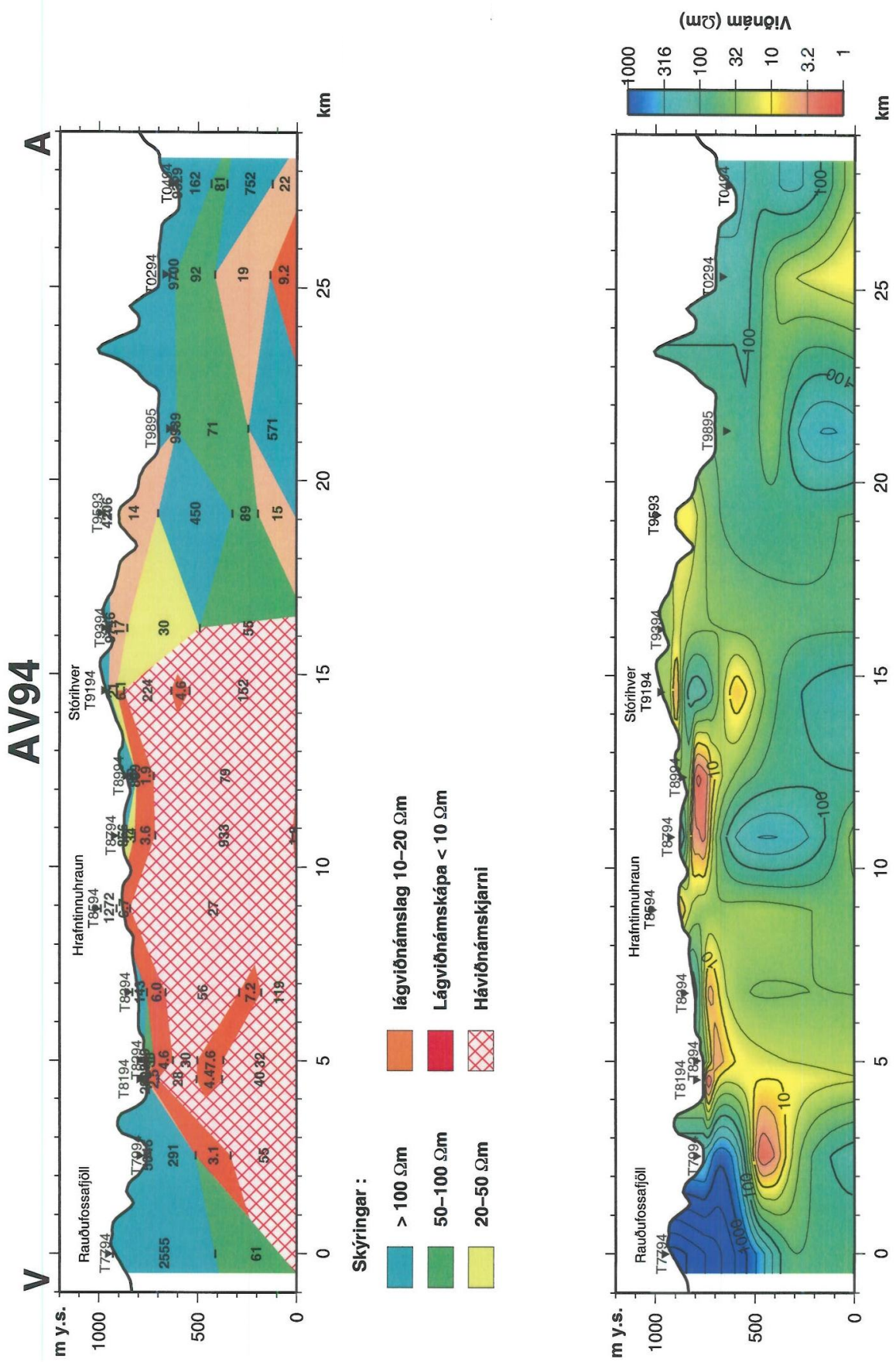
Mynd 6. Torfajökull. Viðnámsnið AV86.



Mynd 7. Torfajökull. Viðnámsnið AV90.

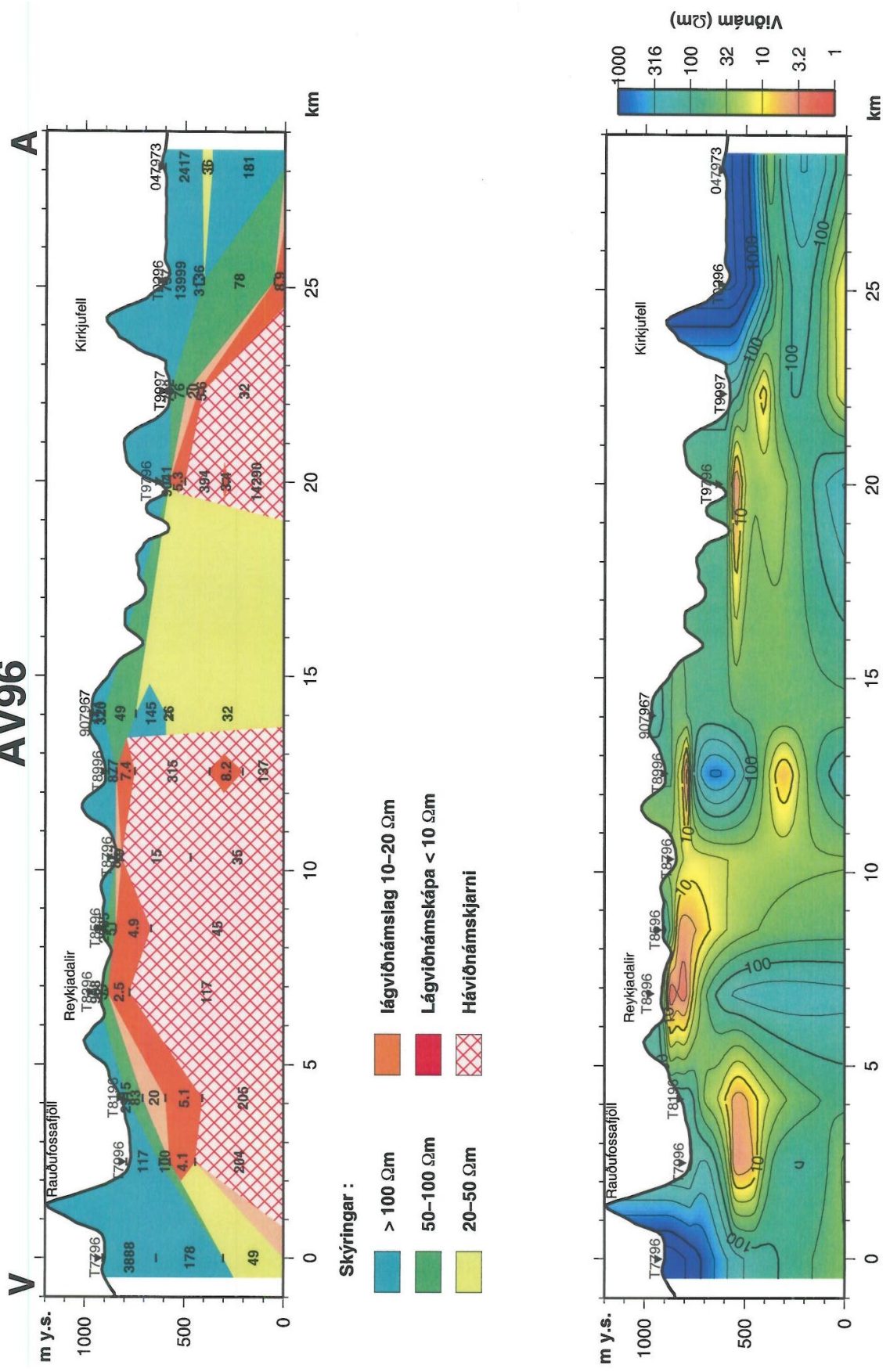


Mynd 8. Torfajökull. Viðnámssnið AV92.

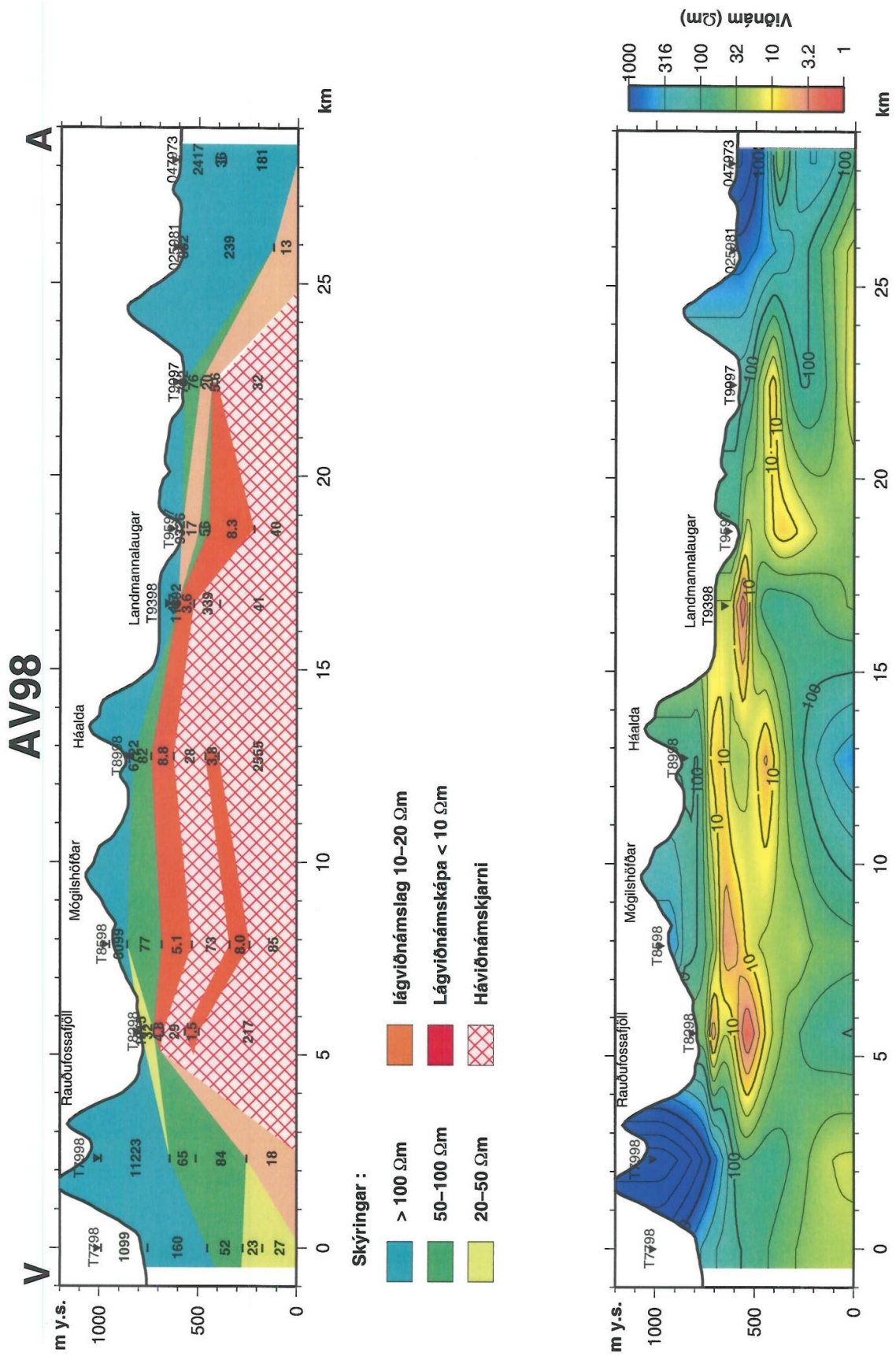


Mynd 9. Torfajökull. Viðnámsnið AV94.

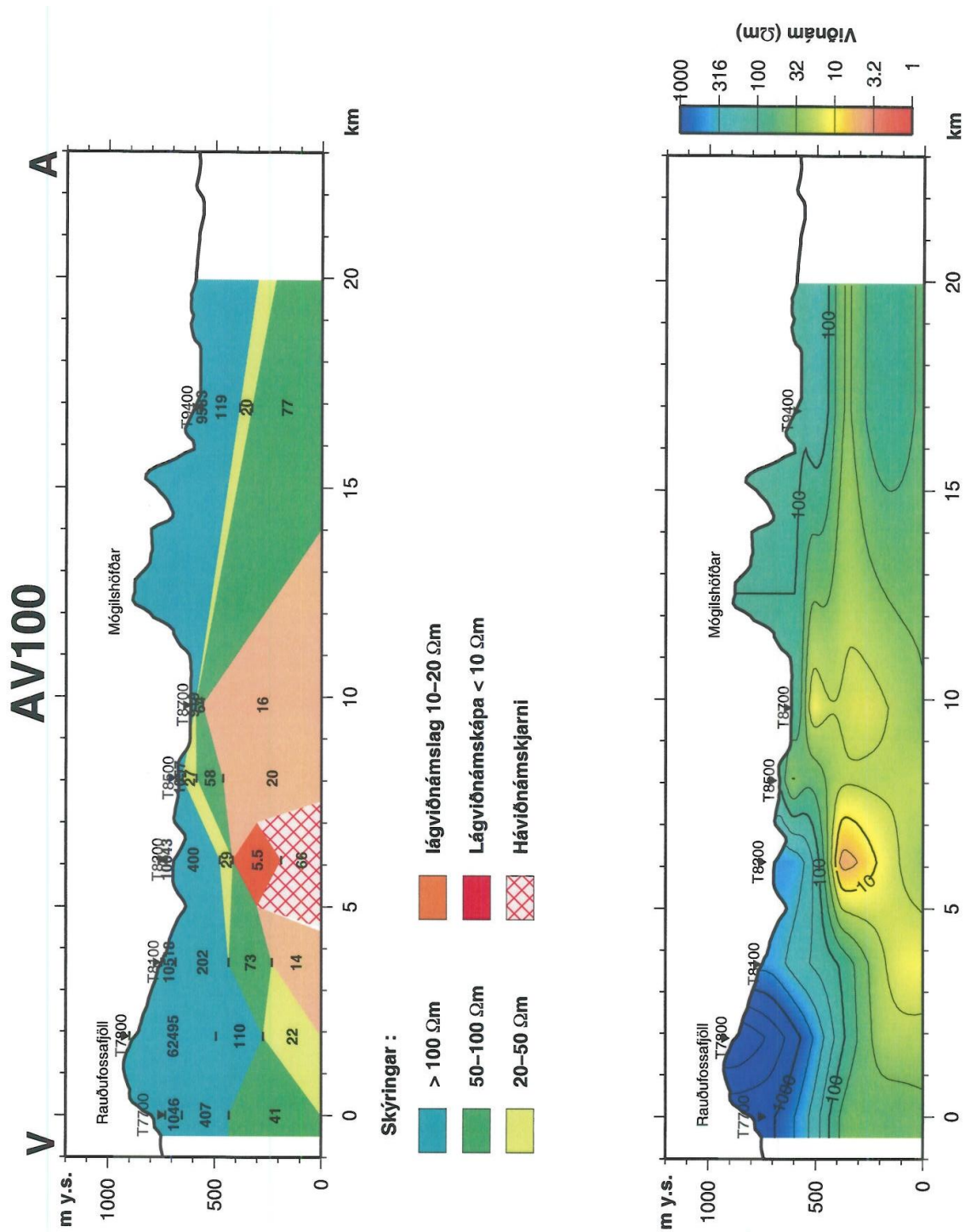
# AV96



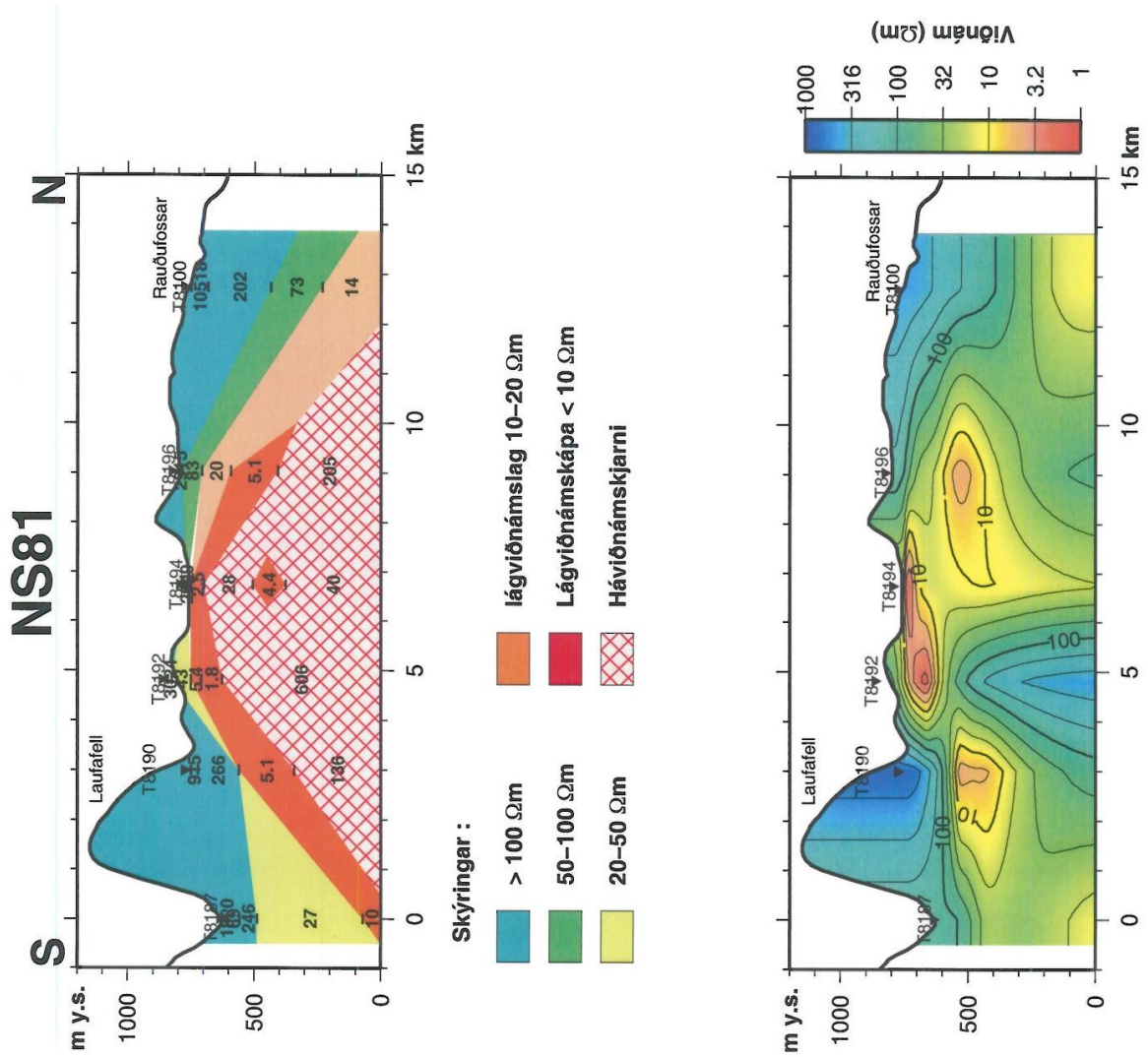
Mynd 10. Torfajökull. Viðnámsnið AV96.



Mynd 11. Torfajökull. Viðnámssnið AV98.

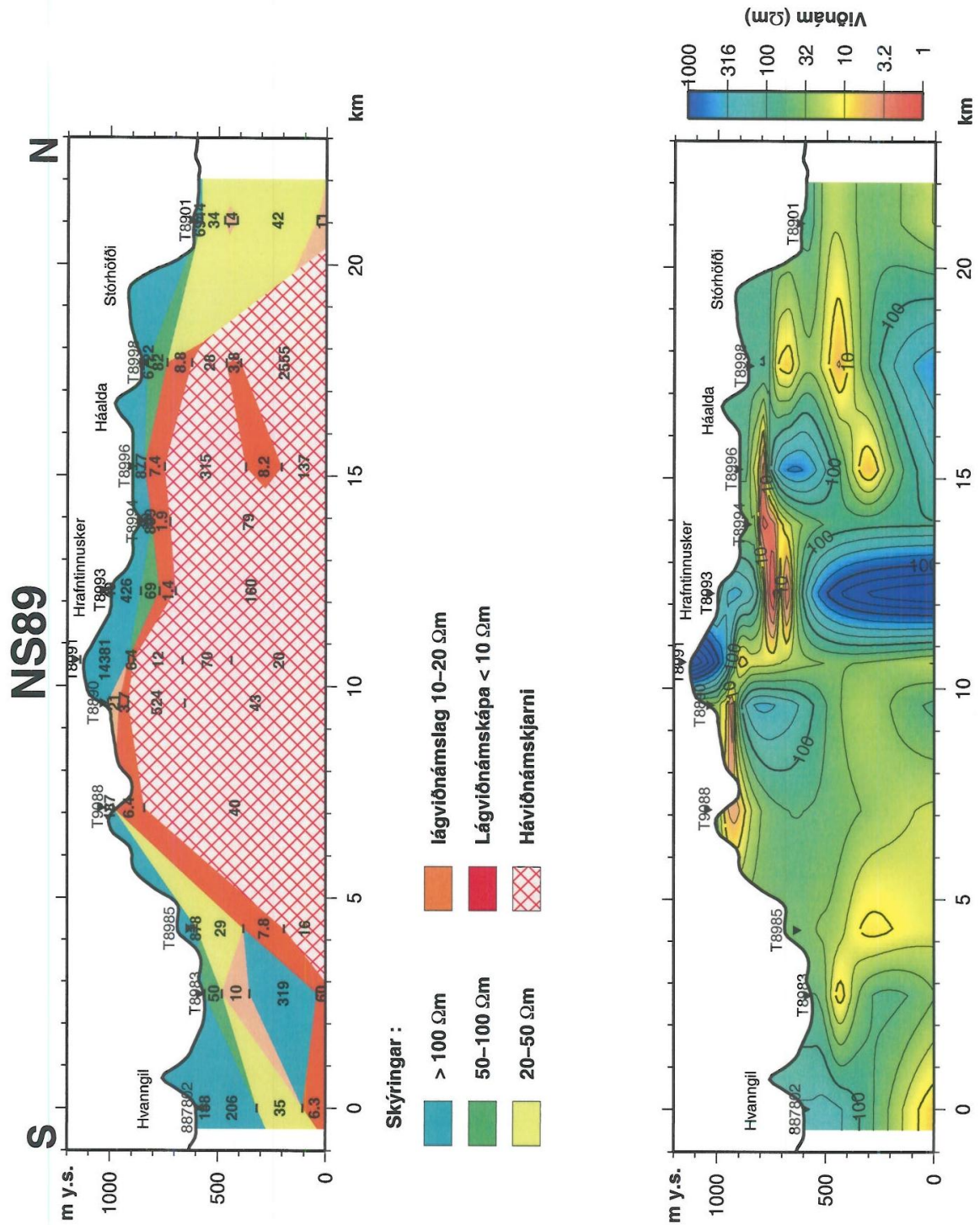


Mynd 12. Torfajökull. Viðnámsnið AV100.

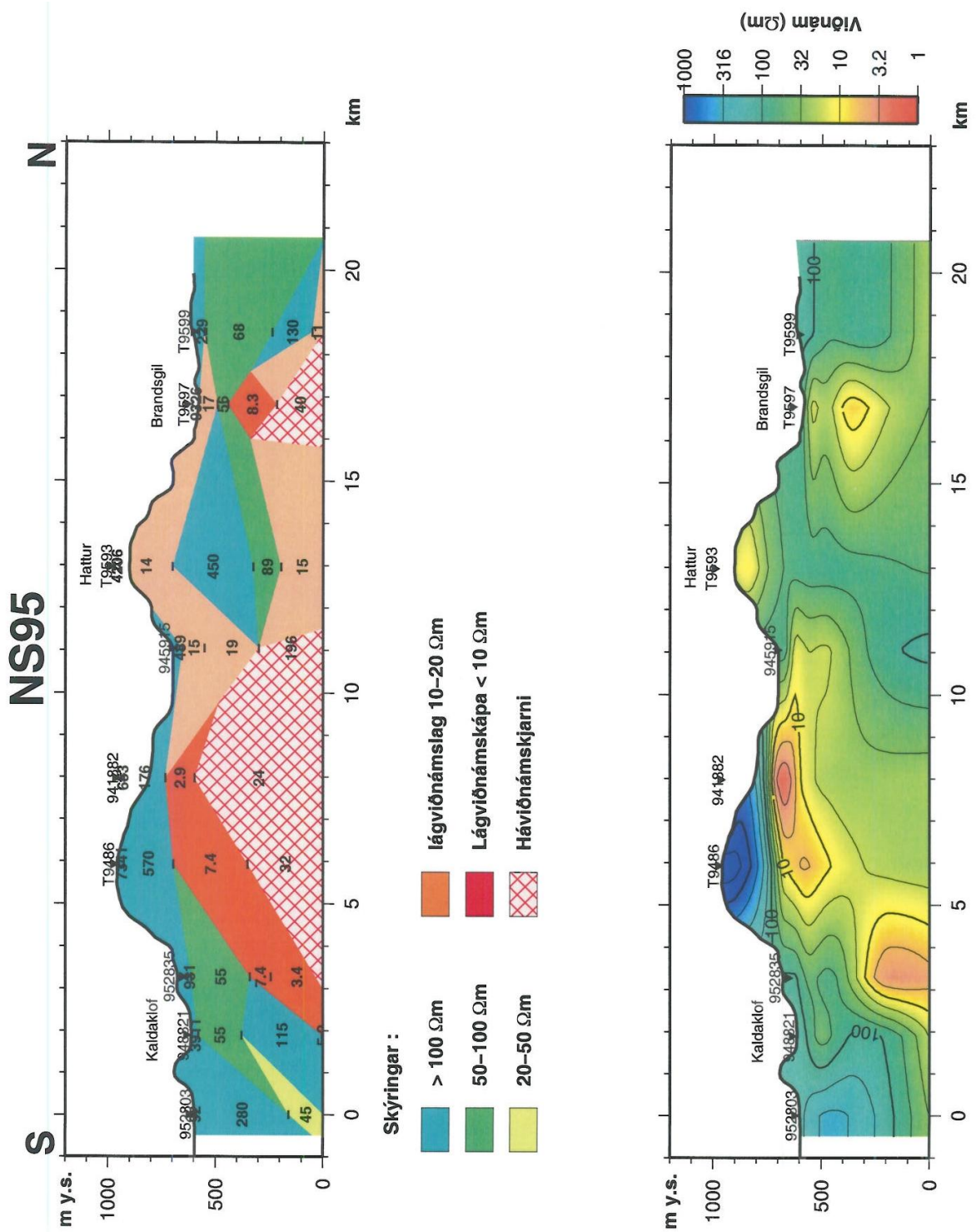


Mynd 13. Torfajökull. Viðnámsnið NS81.





Mynd 14 Torfajökull. Viðnámssnið NS89.



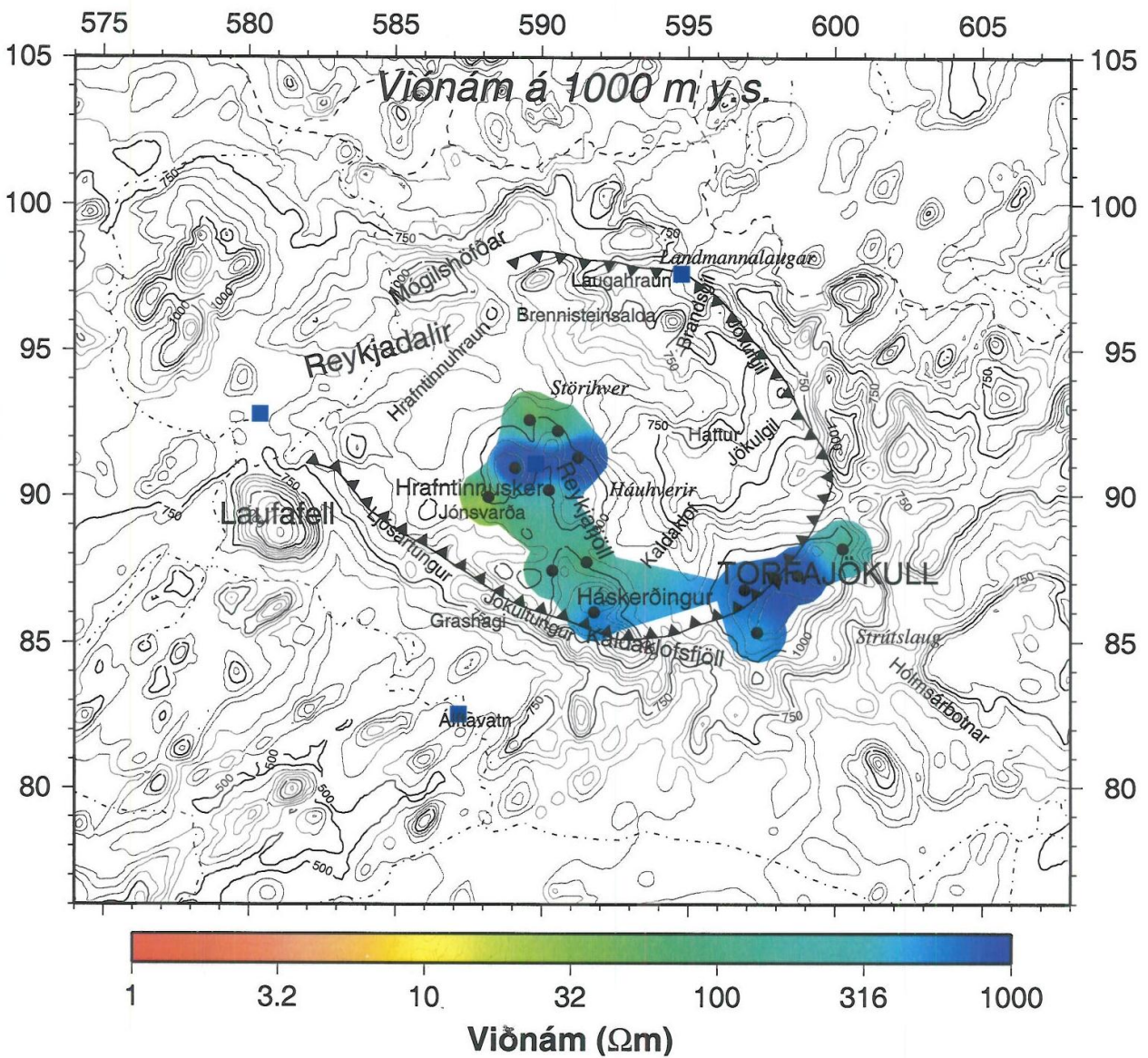
Mynd 15. Torfajökull. Viðnámsnið NS95.

### 3. Jafnviðnámskort

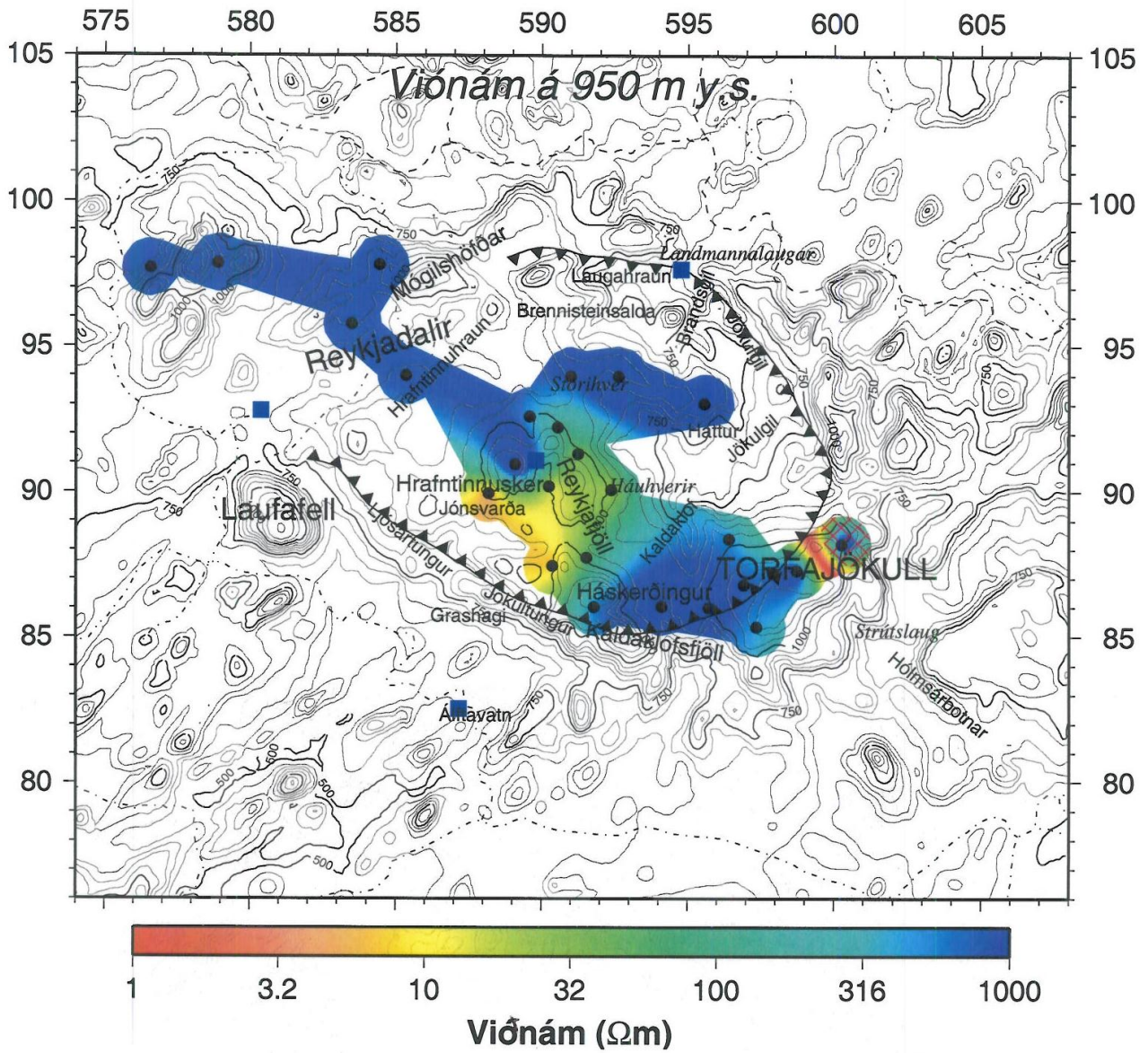
Hér á eftir eru sýnd jafnviðnámskort (myndir 16 til 53), sem gerð eru með 50 metra dýptarbili allt frá 1000 m y.s. niður í 100 m y.s. Gerðar voru tvær syrpur af viðnámskortunum:

- Viðnámskort, byggt á lagskiptu viðnámslíkani.
- Viðnámskort, byggt á samfelldri breytingu í viðnámi með dýpi.

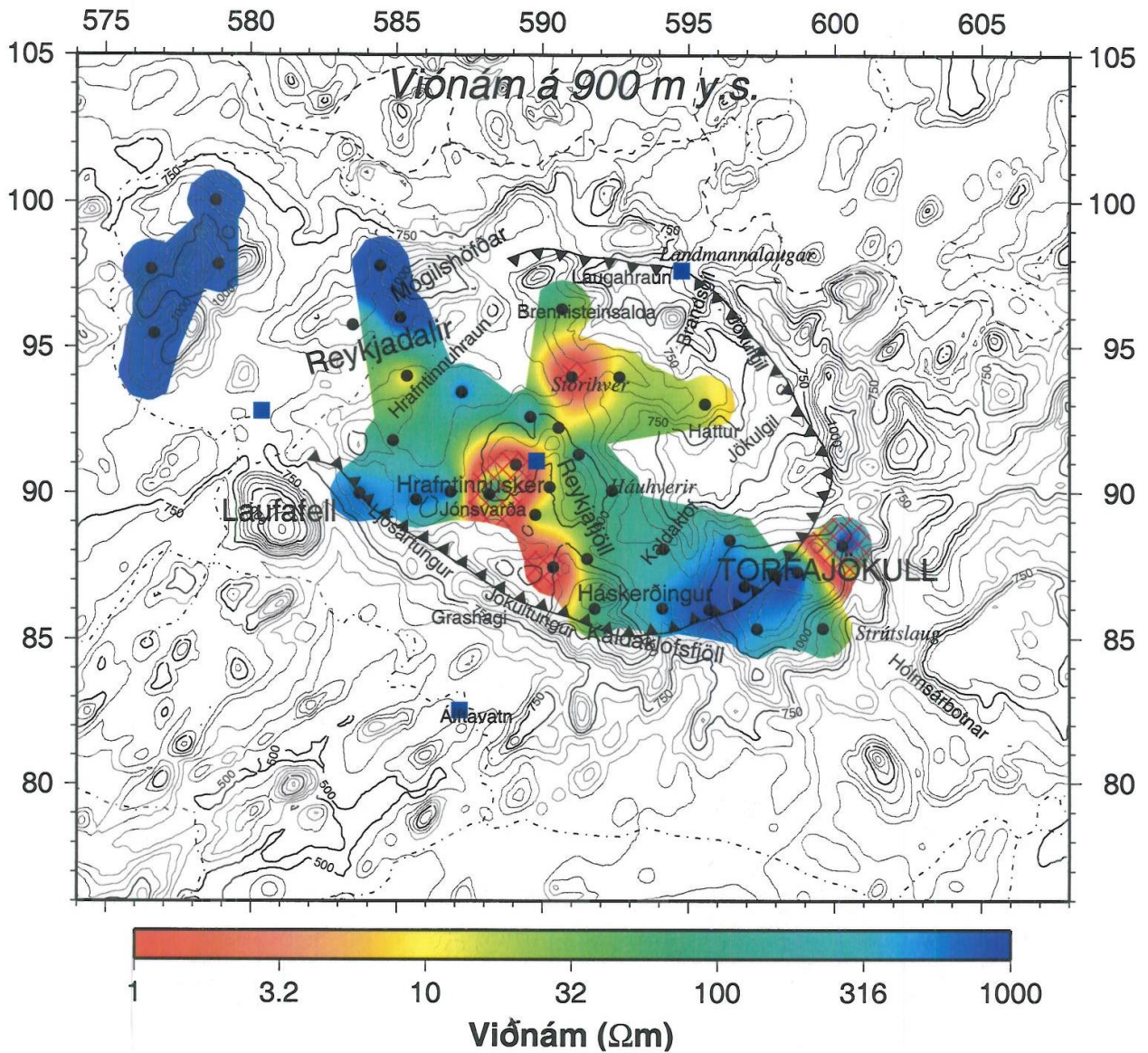
#### 3.1. Viðnámskort, byggt á lagskiptu viðnámslíkani



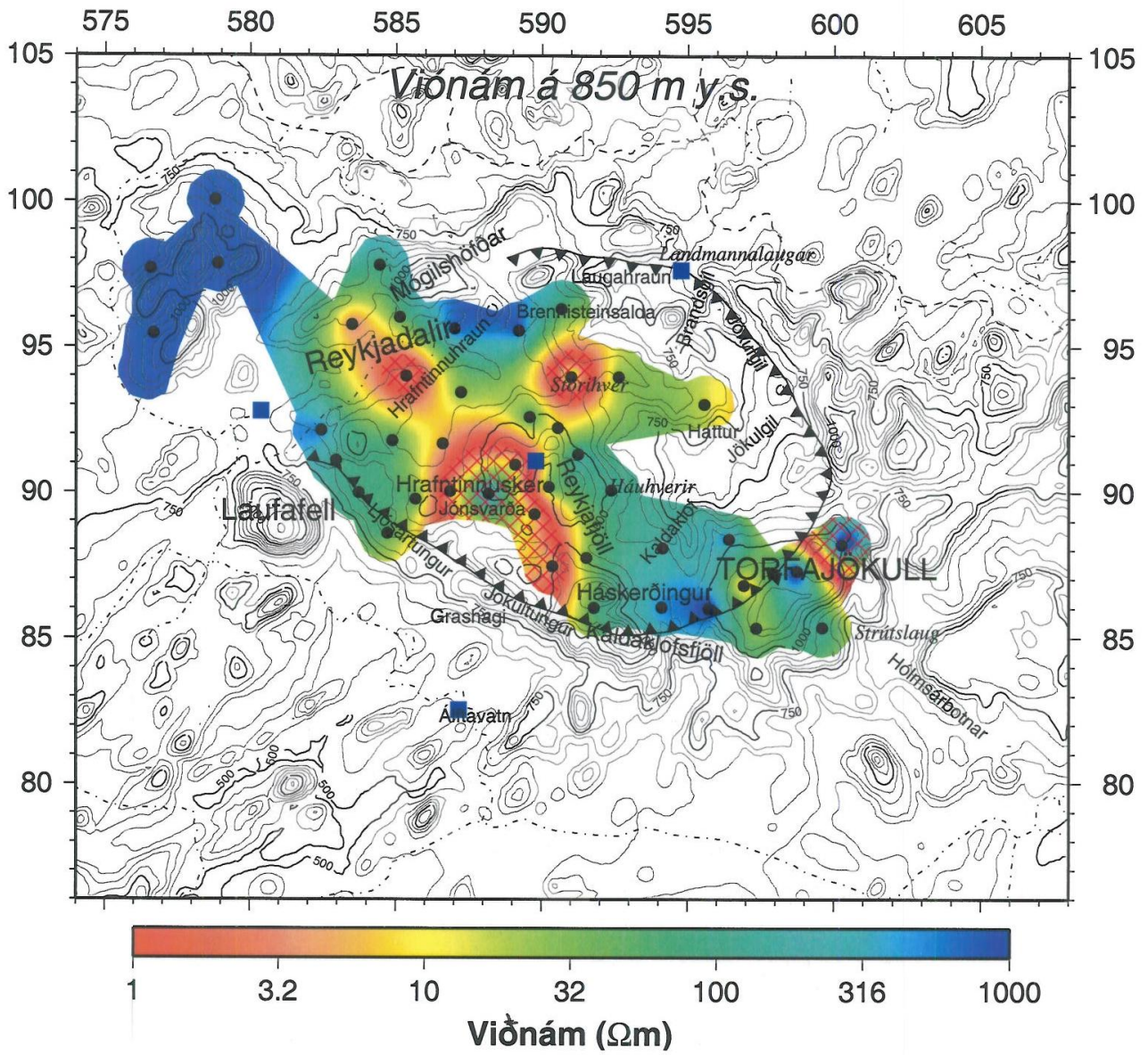
Mynd 16. Torfajökull. Viðnámskort 1000 m y.s.



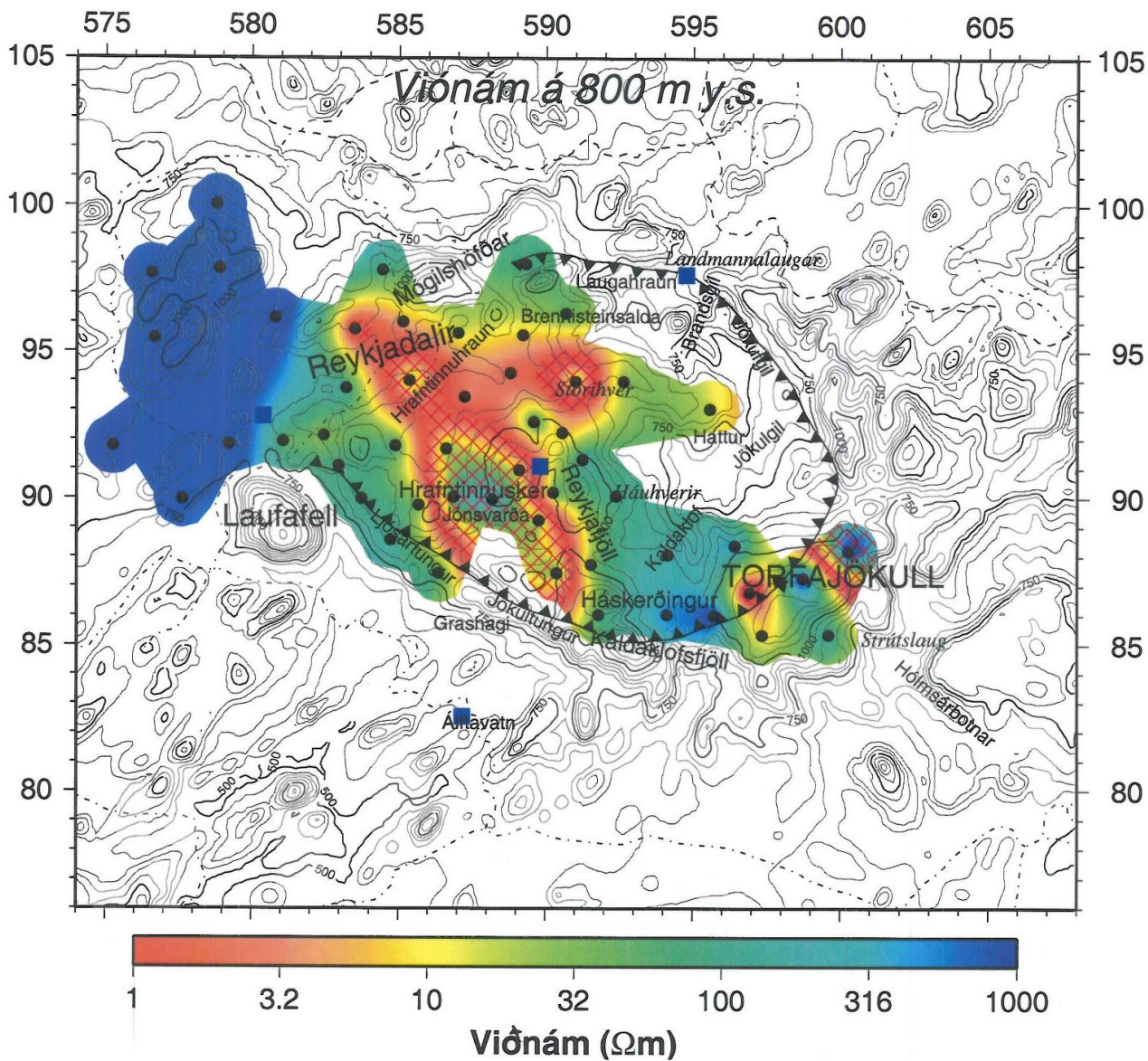
Mynd 17. Torfajökull. Viðnámskort 950 m y.s.



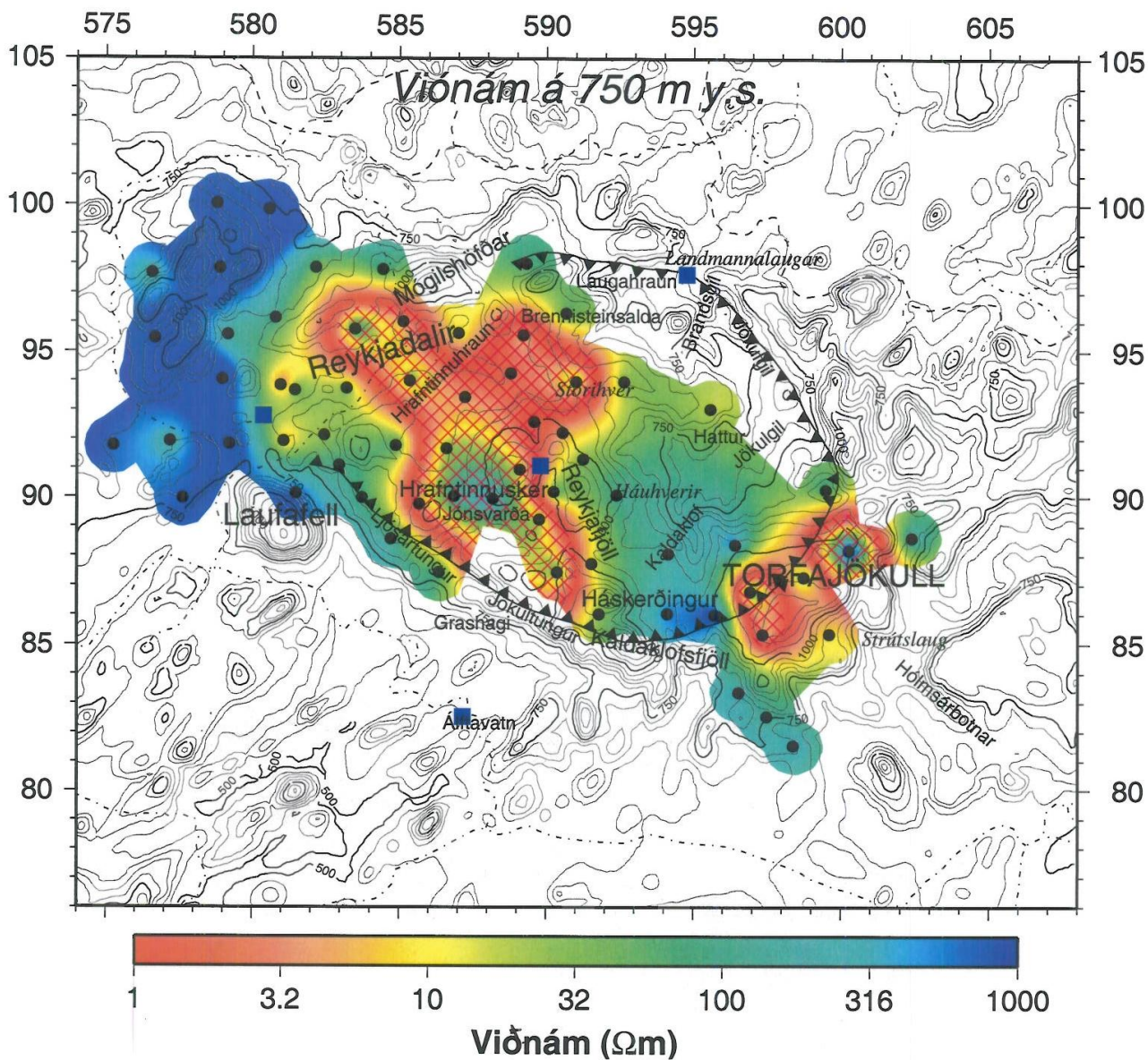
Mynd 18. Torfajökull. Viðnámskort 900 m y.s.



Mynd 19. Torfajökull. Viðnámskort 850 m y.s.

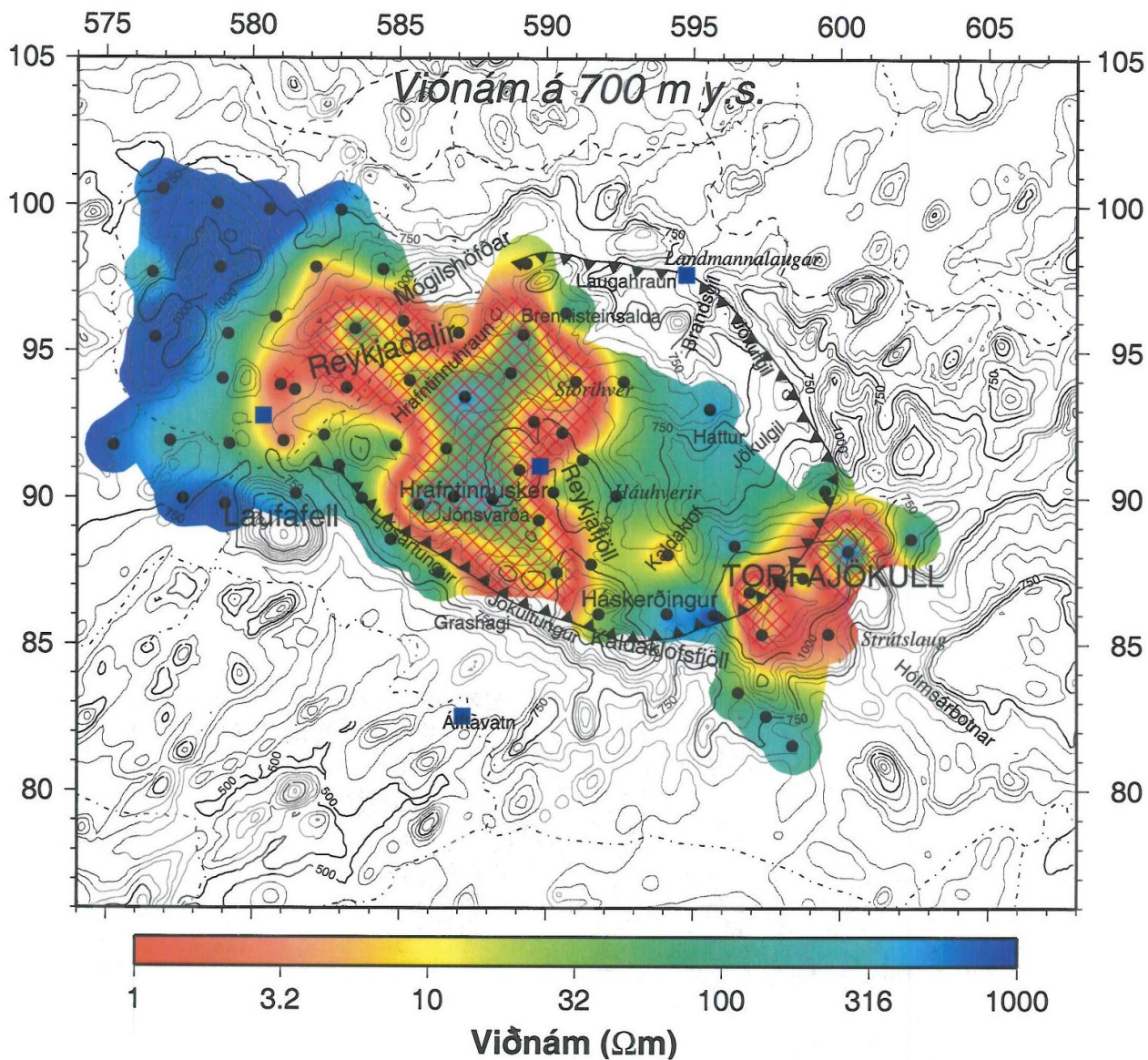


Mynd 20. Torfajökull. Viðnámskort 800 m y.s.

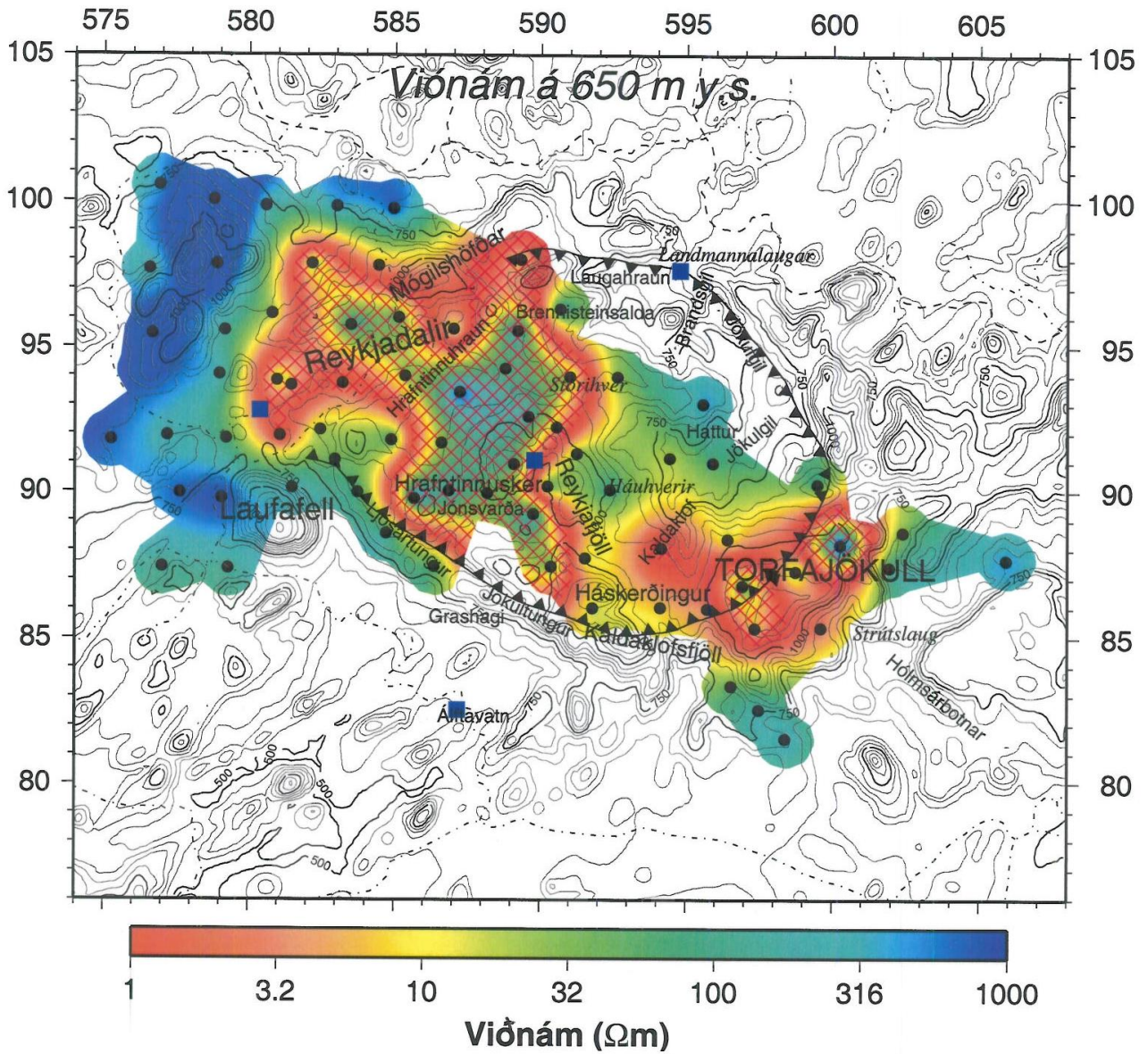


Mynd 21. Torfajökull. Viðnámskort 750 m y.s.

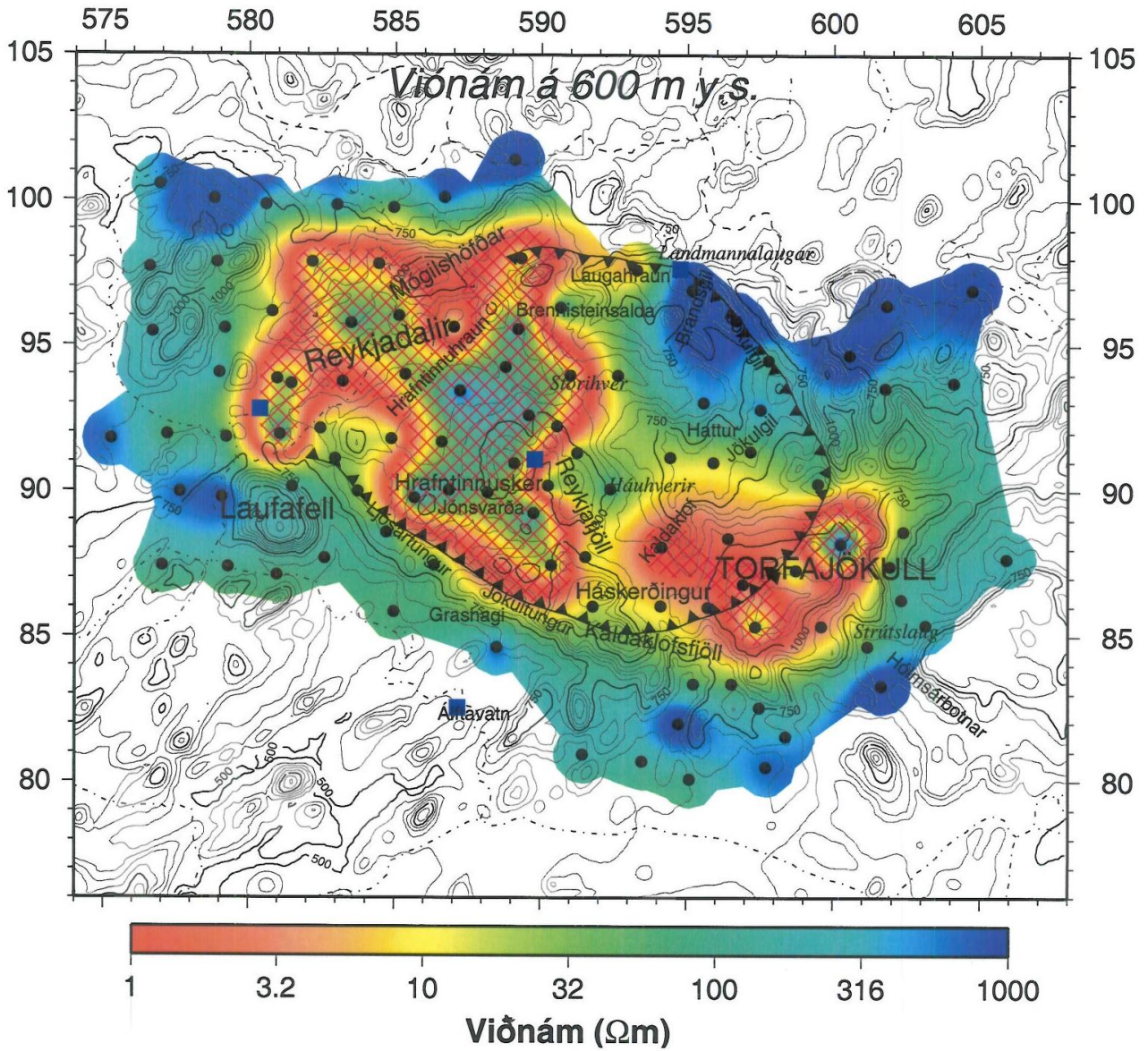




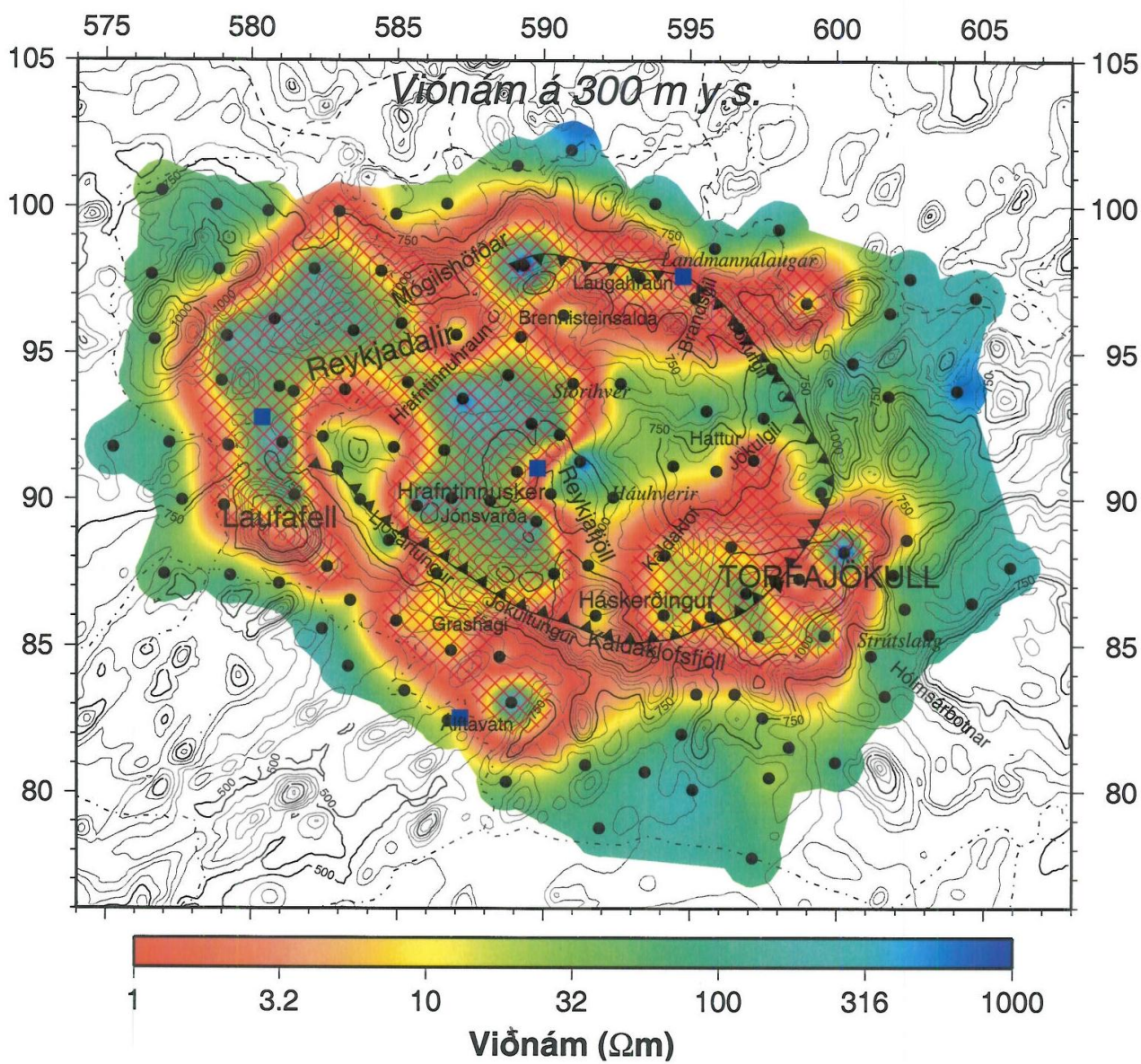
Mynd 22. Torfajökull. Viðnámskort 700 m y.s.



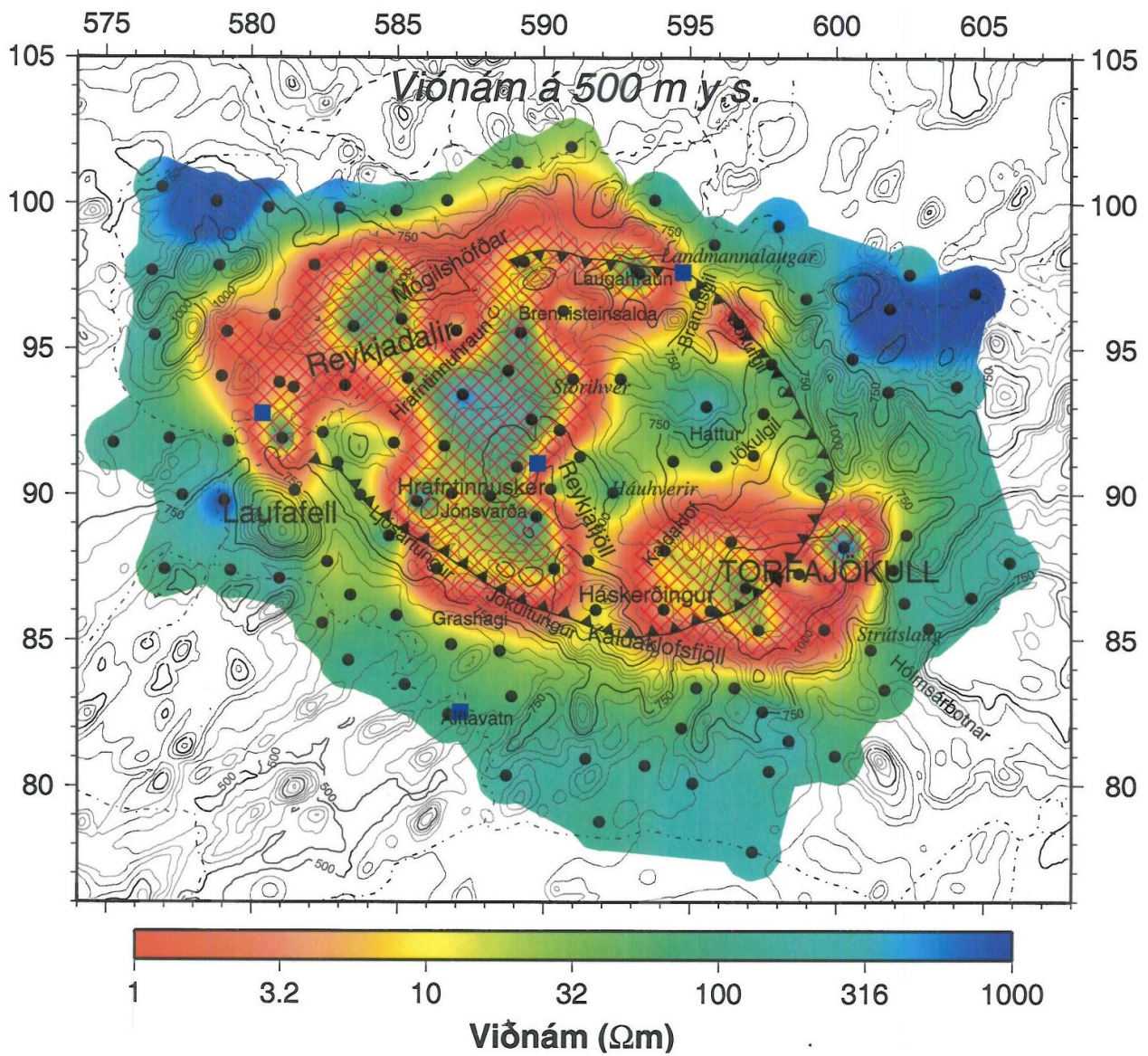
Mynd 23. Torfajökull. Viðnámskort 650 m y.s.



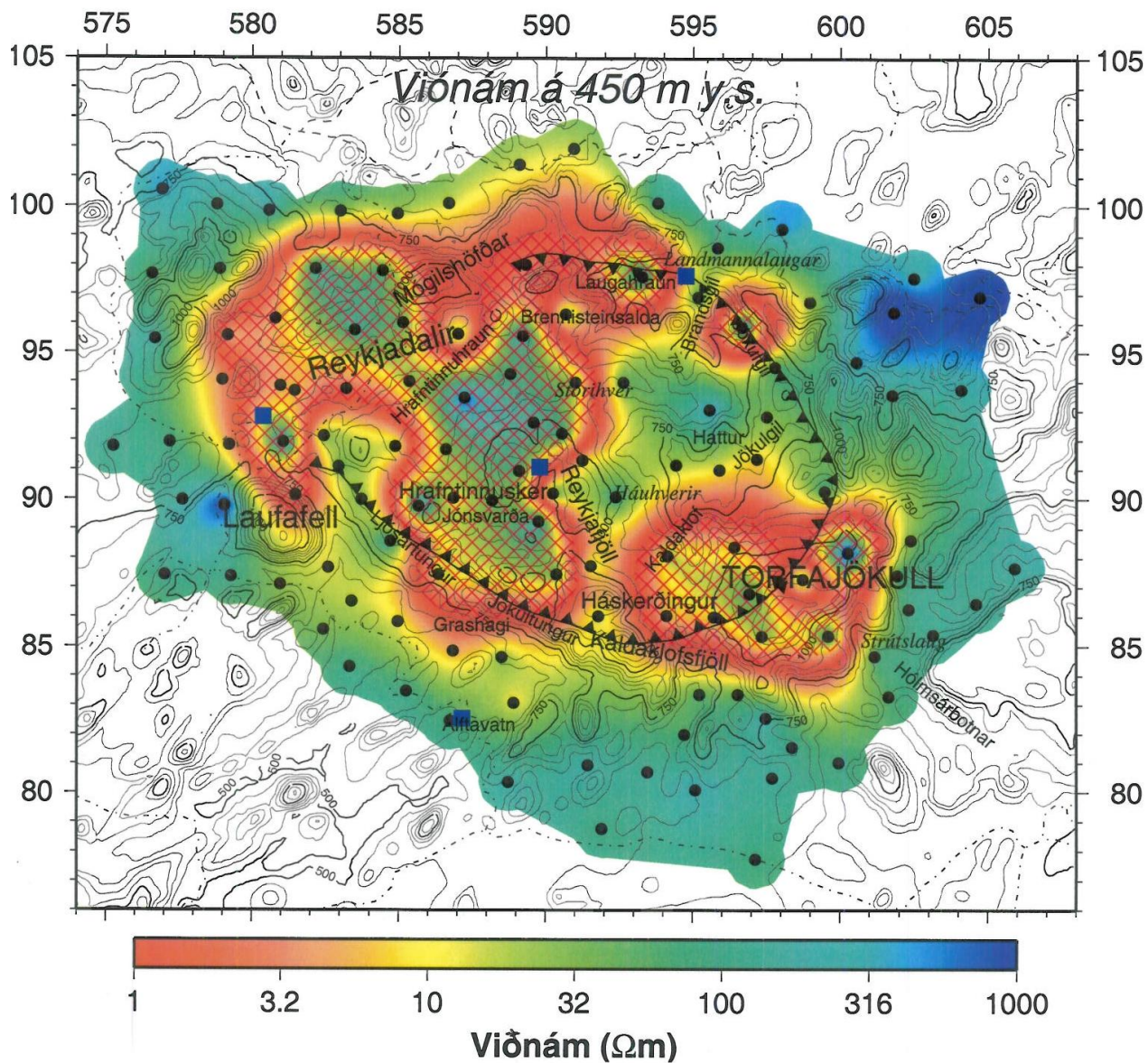
Mynd 24. Torfajökull. Viðnámskort 600 m y.s.



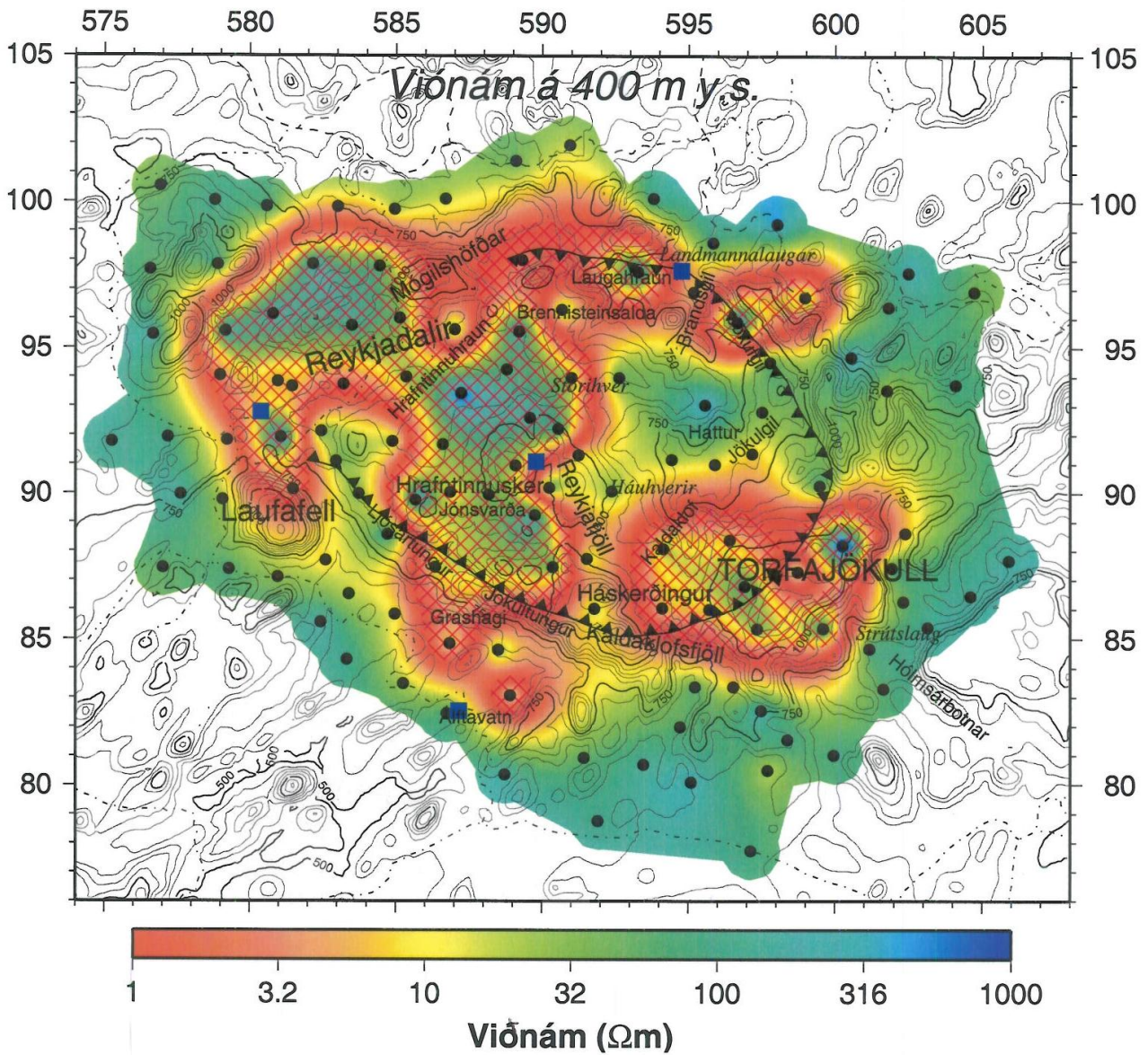
Mynd 25. Torfajökull. Viðnámskort 550 m y.s.



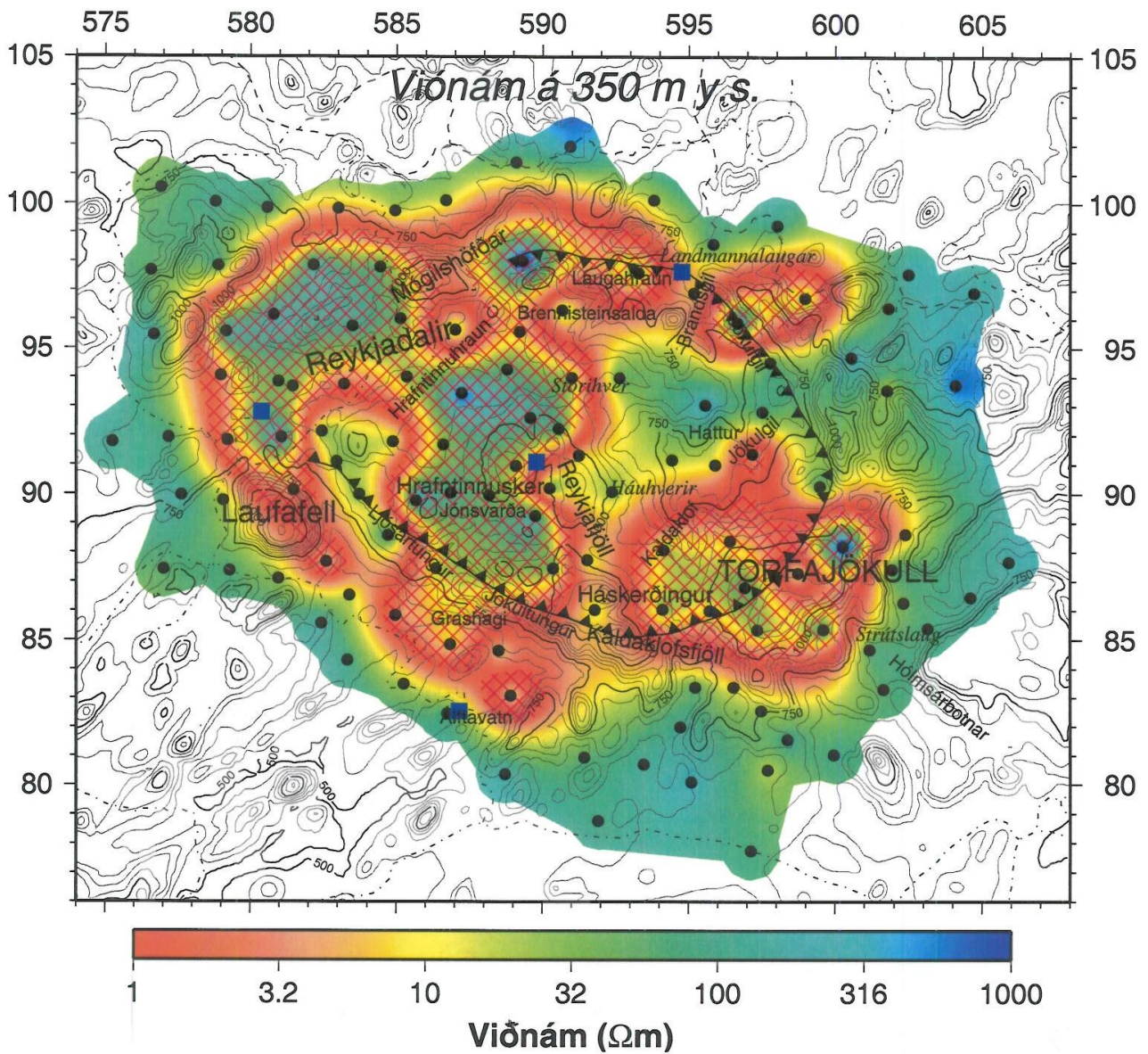
Mynd 26. Torfajökull. Viðnámskort 500 m y.s.



Mynd 27. Torfajökull. Viðnámskort 450 m y.s.

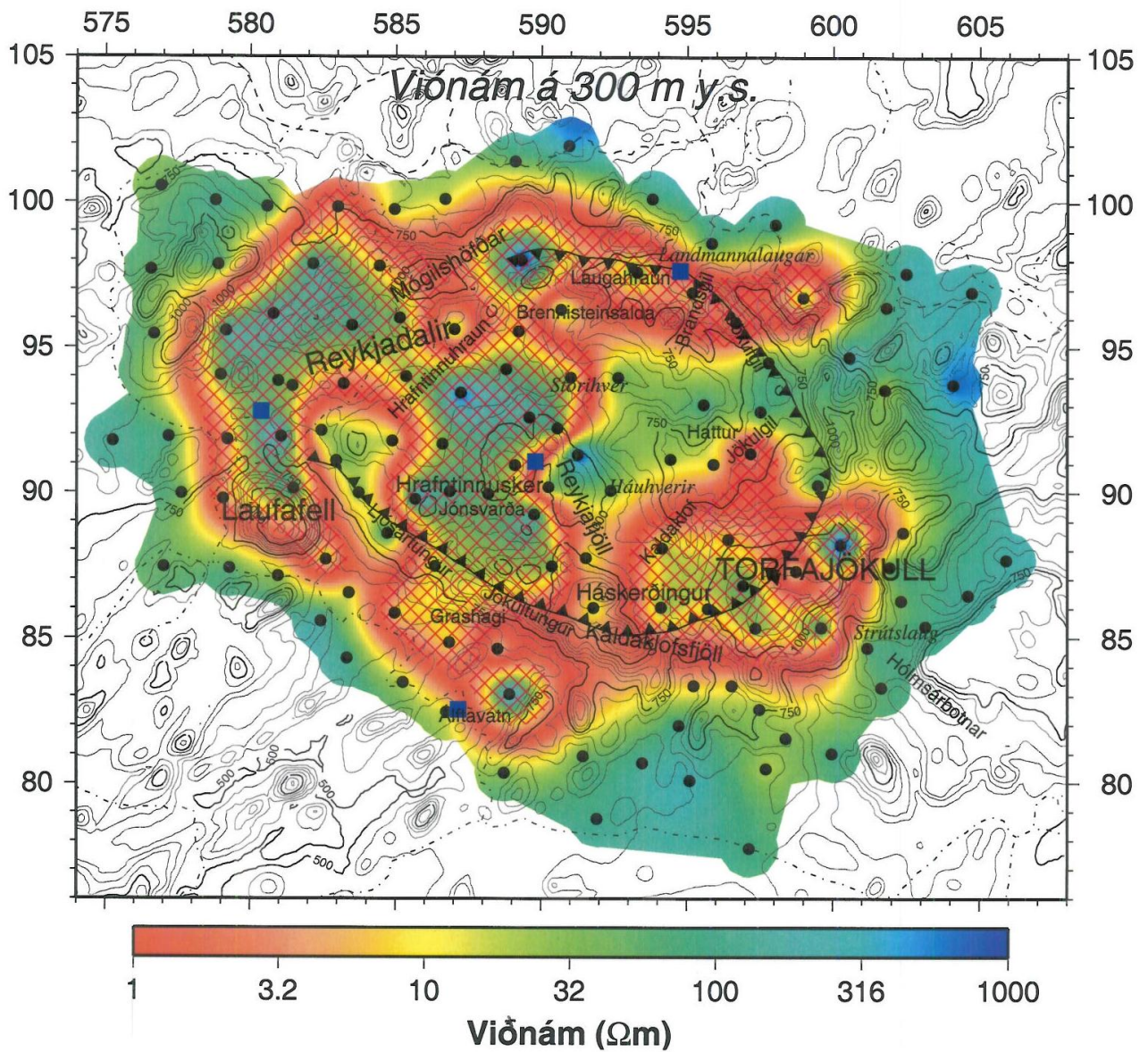


**Mynd 28.** Torfajökull. Viðnámskort 400 m y.s.

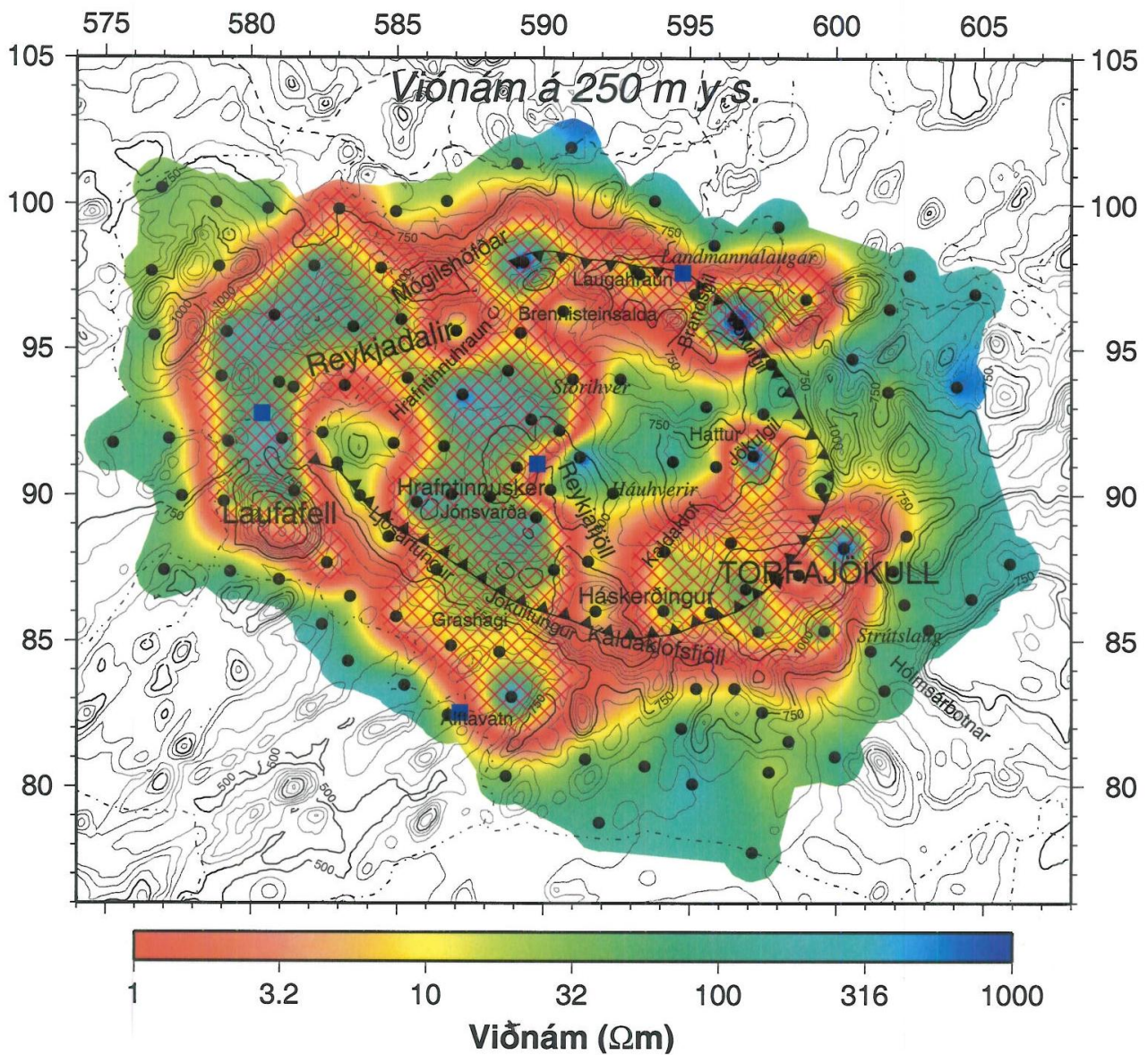


Mynd 29. Torfajökull. Viðnámskort 350 m y.s.

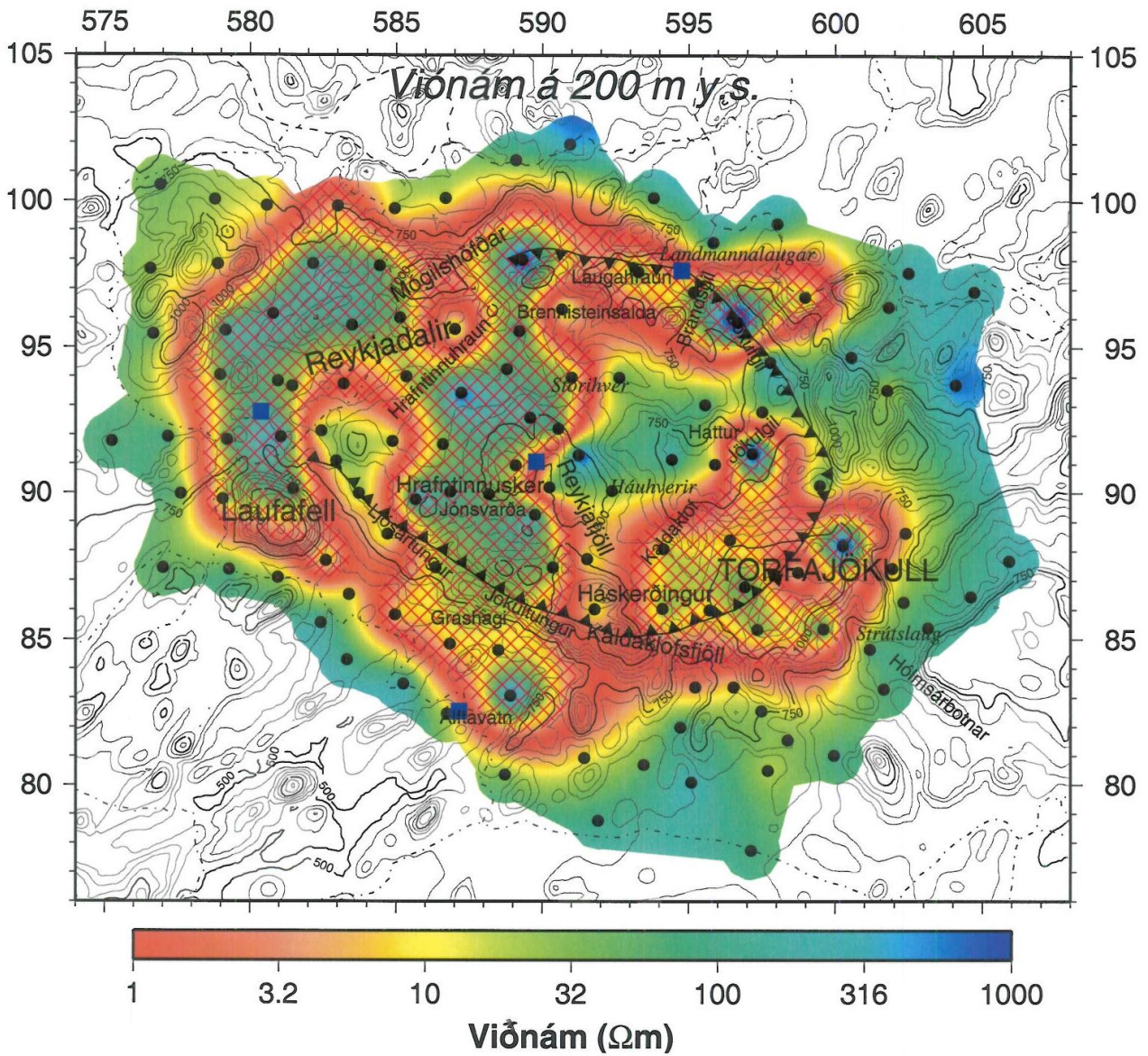




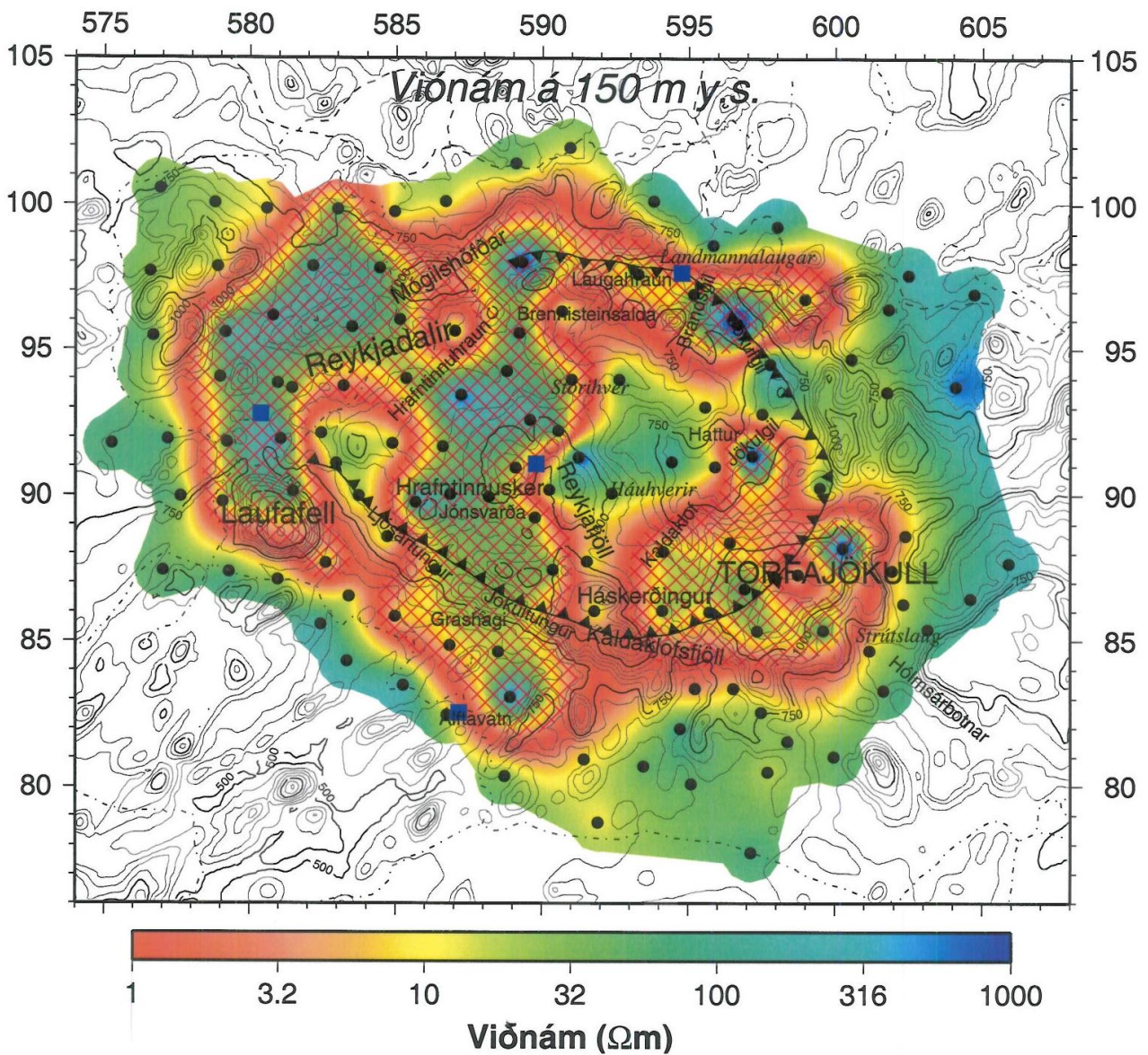
Mynd 30. Torfajökull. Viðnámskort 300 m y.s.



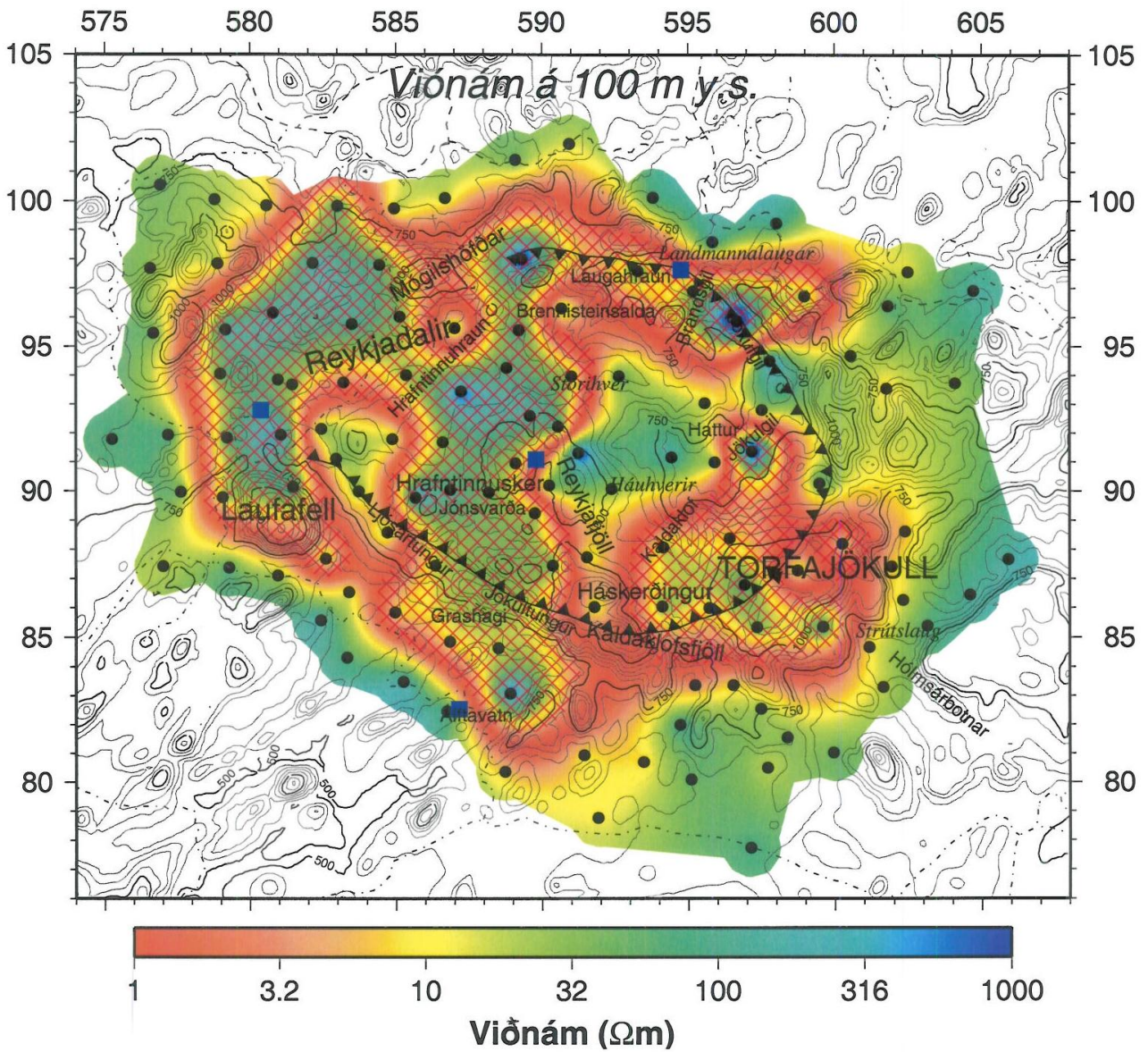
Mynd 31. Torfajökull. Viðnámskort 250 m y.s.



Mynd 32. Torfajökull. Viðnámskort 200 m y.s.

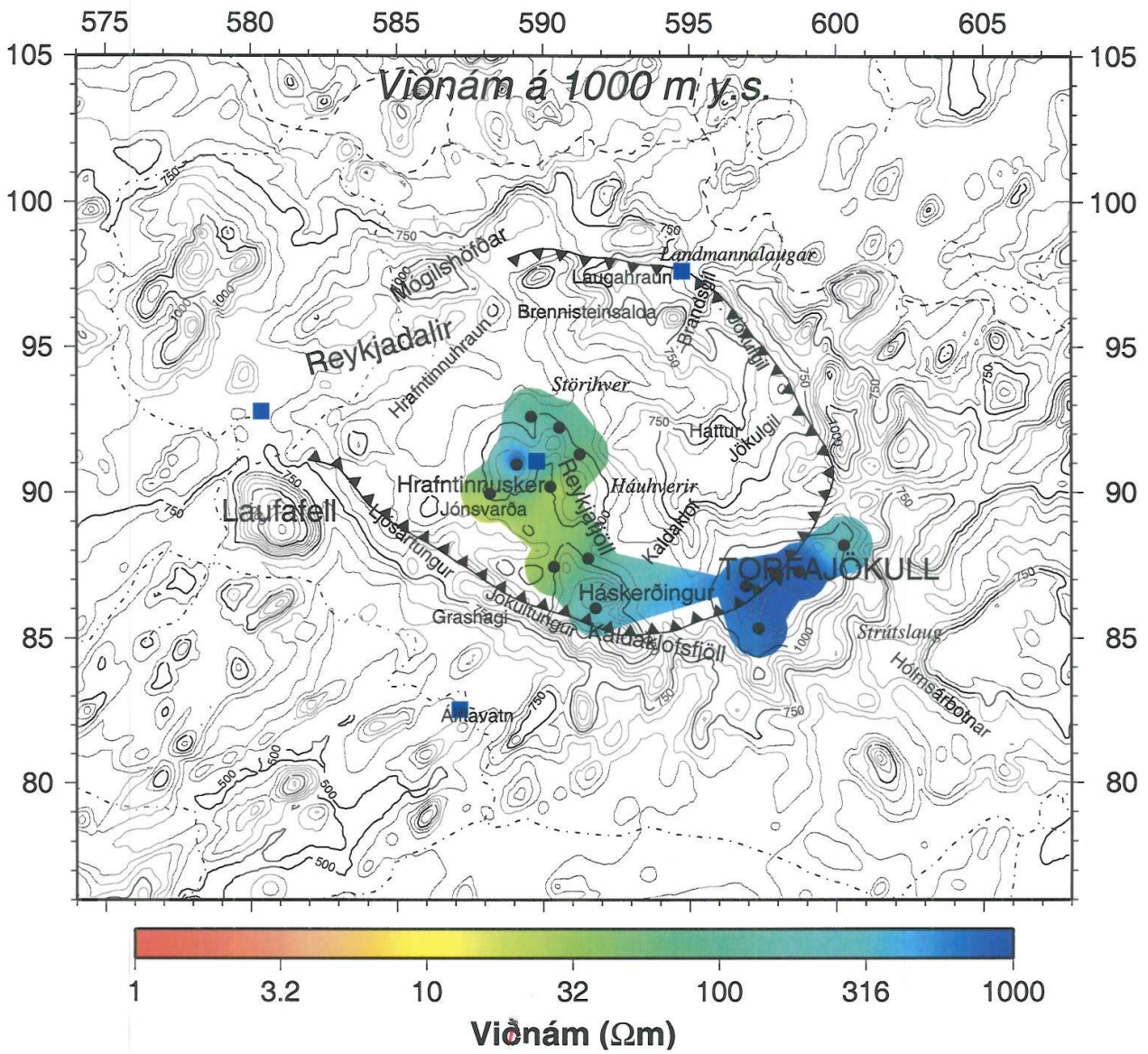


Mynd 33. Torfajökull. Viðnámskort 150 m y.s.

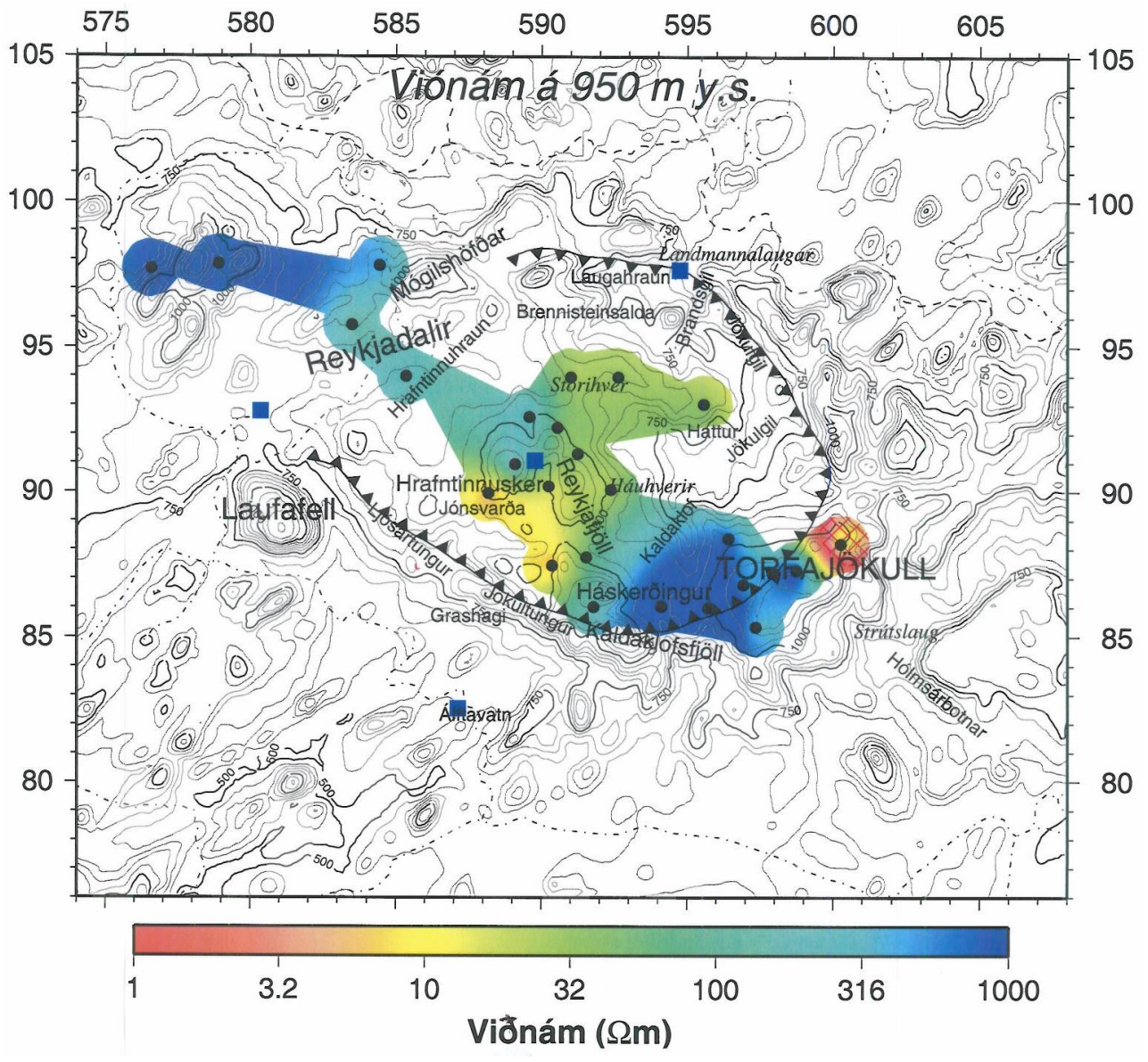


Mynd 34. Torfajökull. Viðnámskort 100 m y.s.

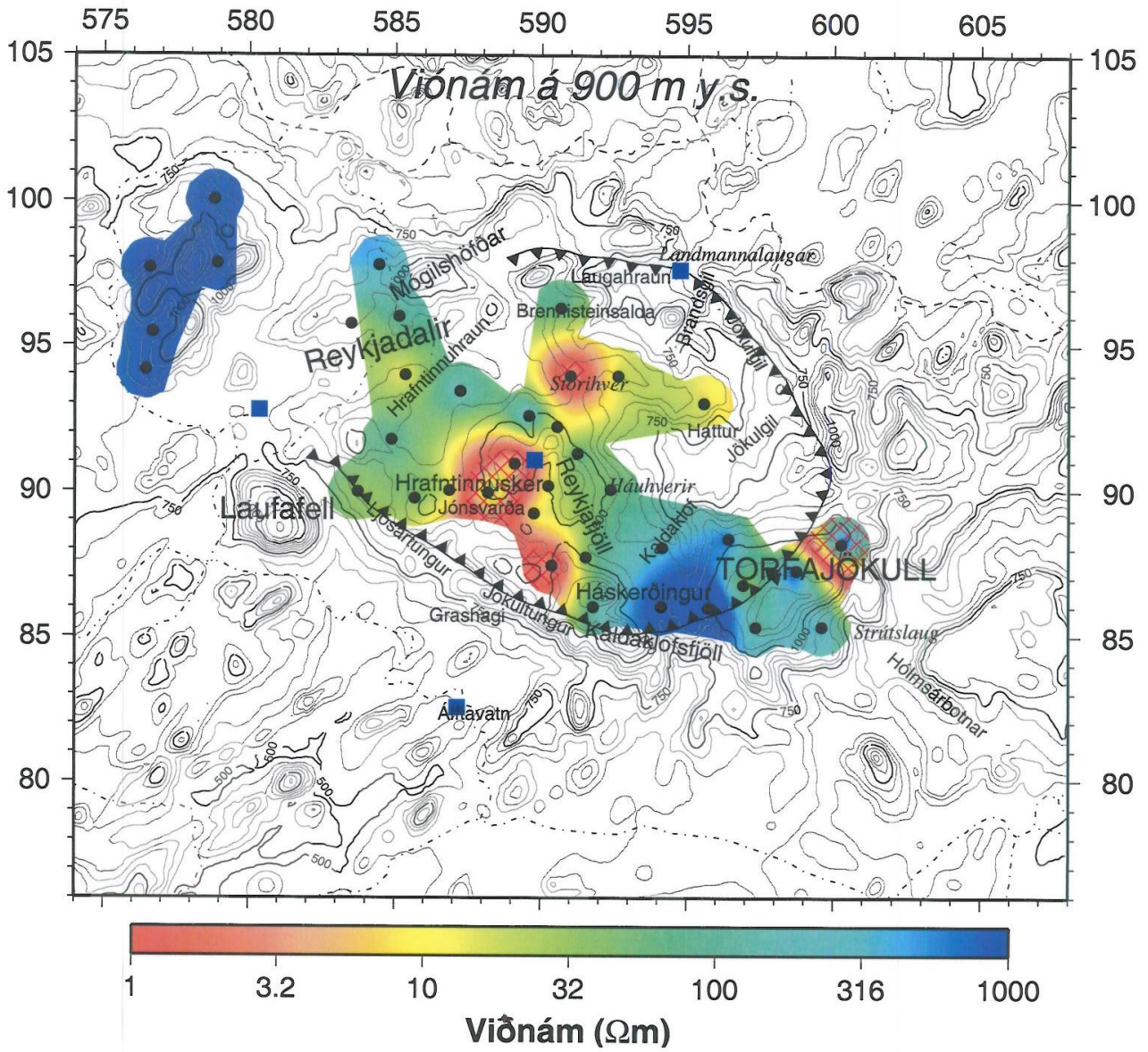
### 3.2. Viðnámskort, byggð á samfelldri breytingu í viðnámi með dýpi



Mynd 35. Torfajökull. Viðnámskort 1000 m y.s.

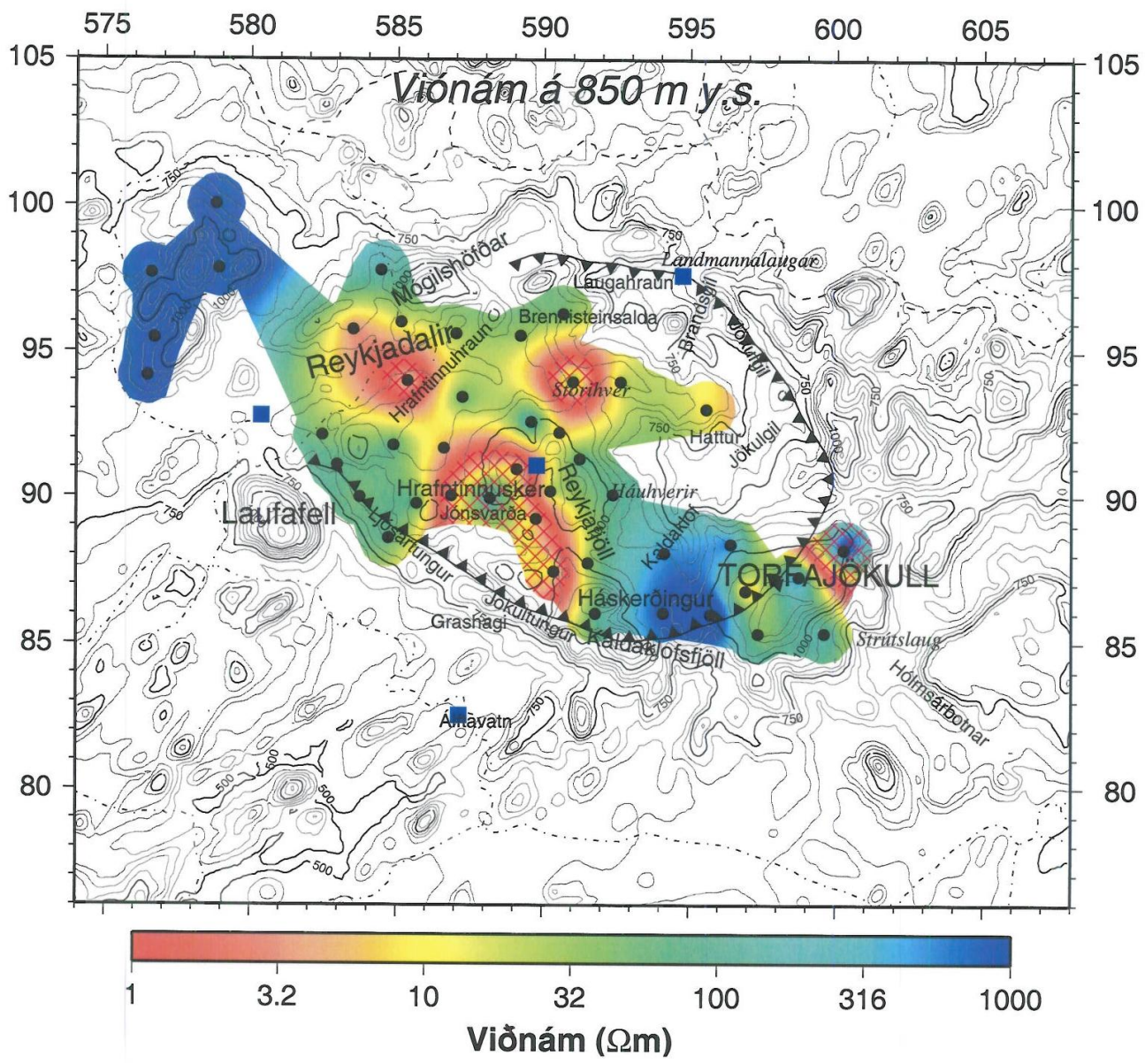


Mynd 36. Torfajökull. Viðnámskort 950 m y.s.

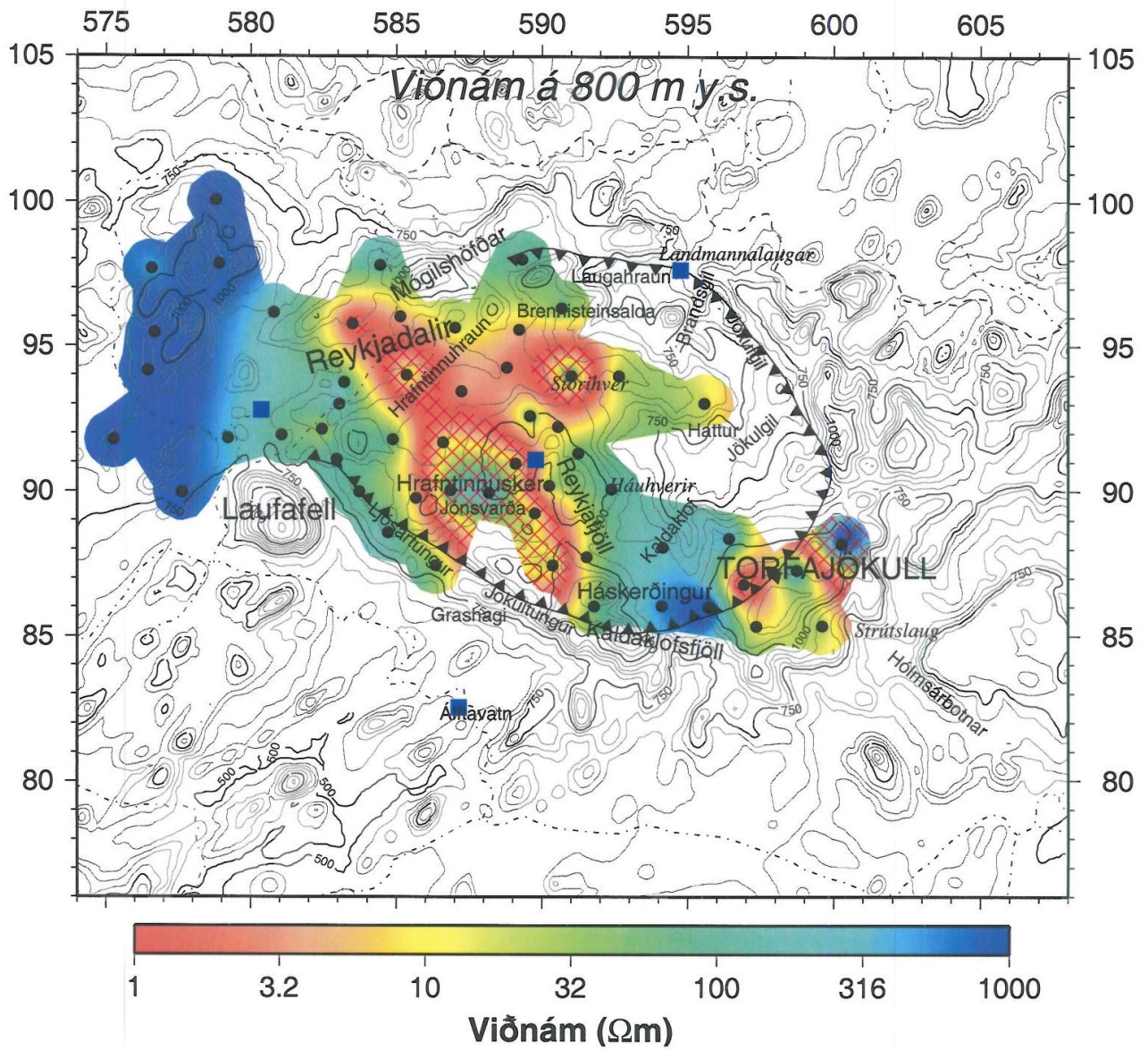


Mynd 37. Torfajökull. Viðnámskort 900 m y.s.

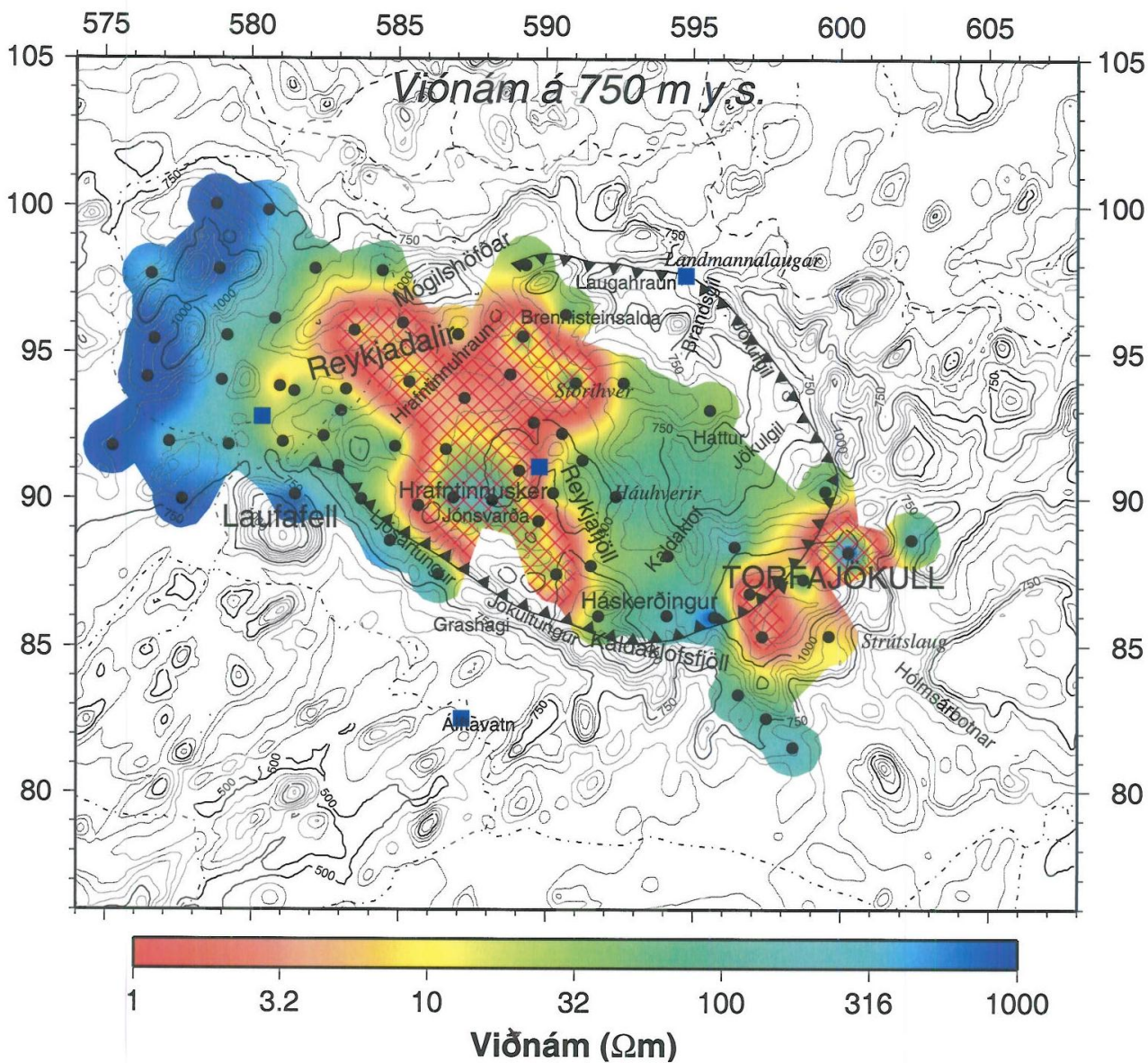




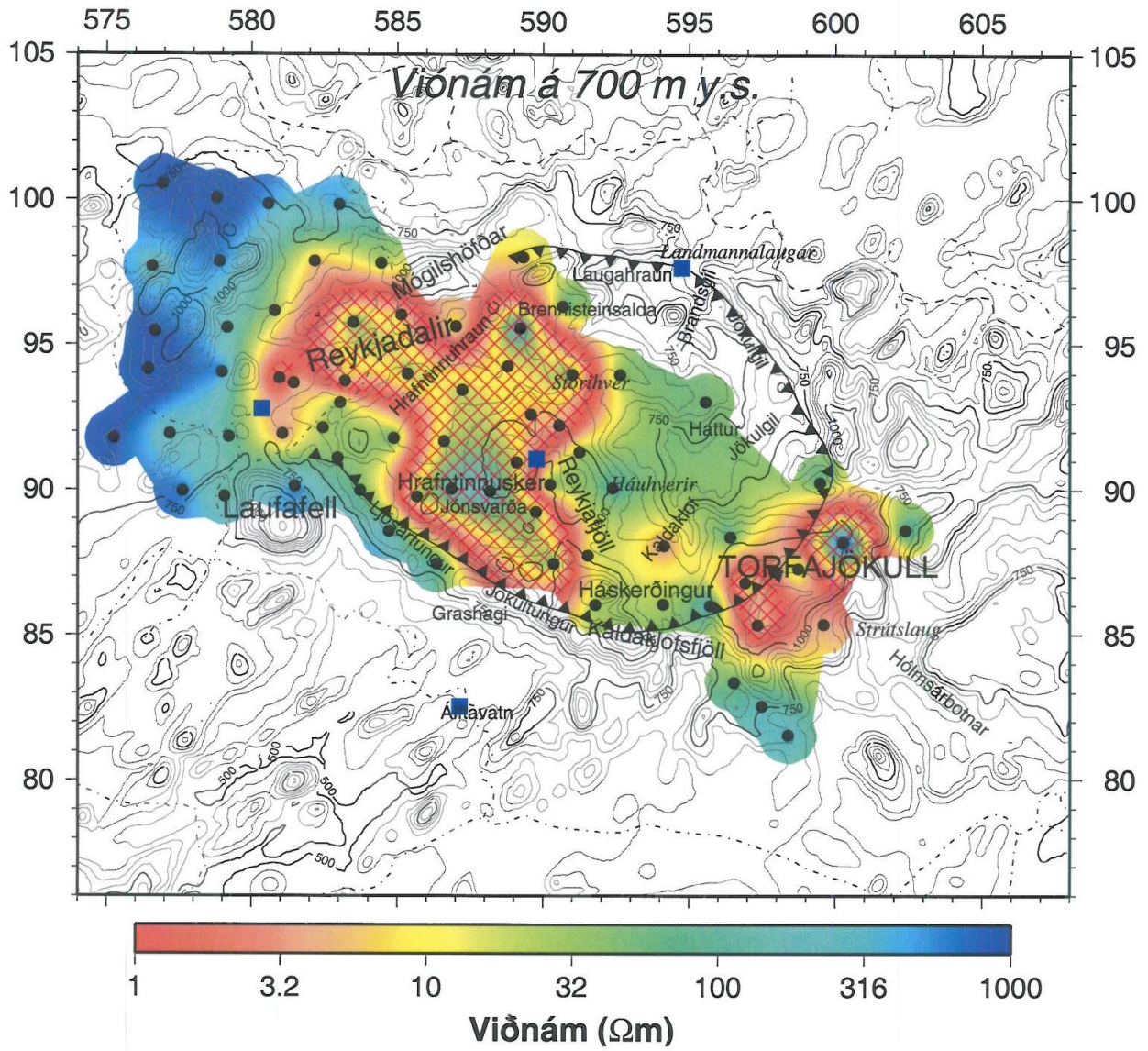
**Mynd 38.** Torfajökull. Viðnámskort 850 m y.s.



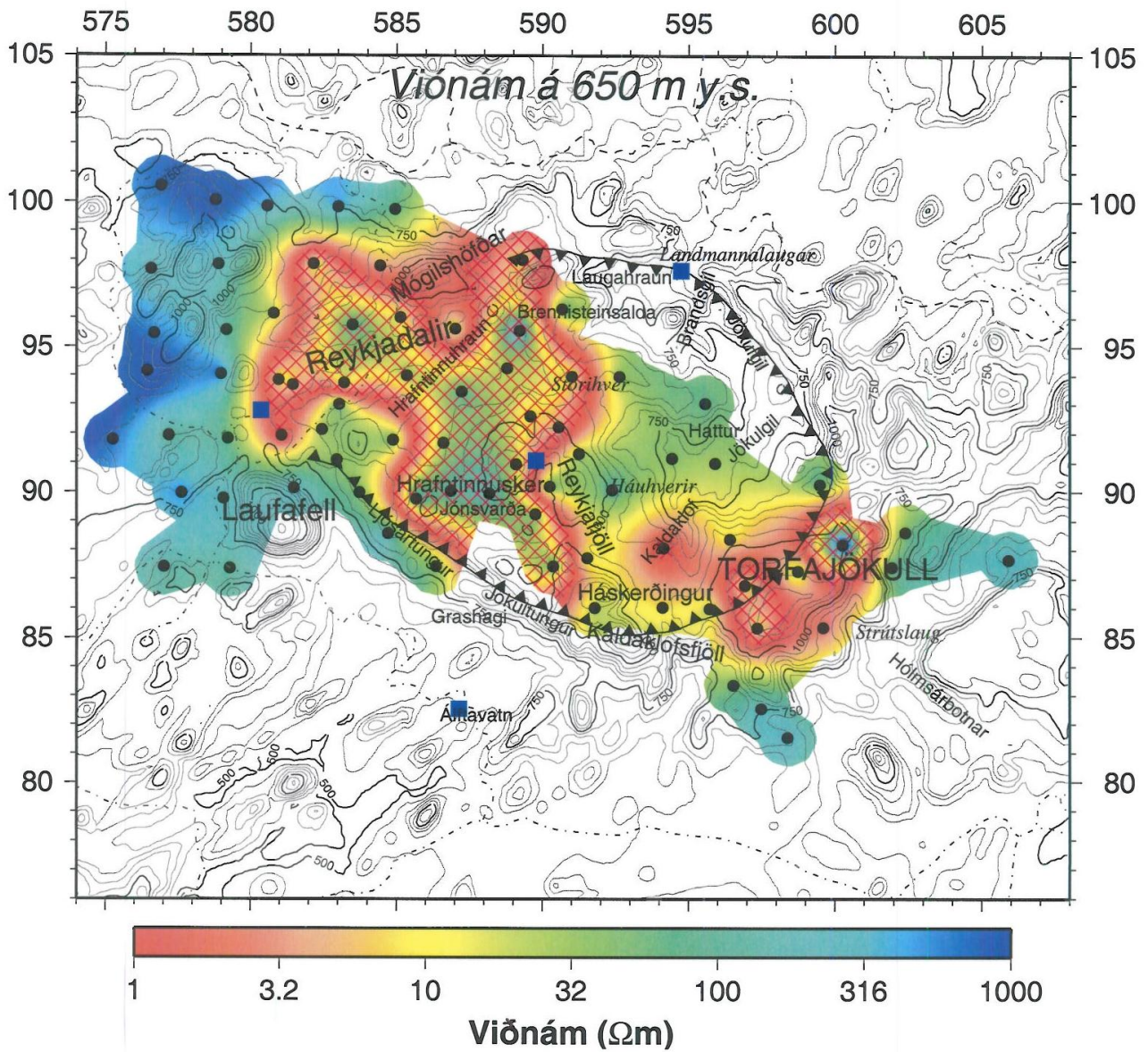
Mynd 39. Torfajökull. Viðnámskort 800 m y.s.



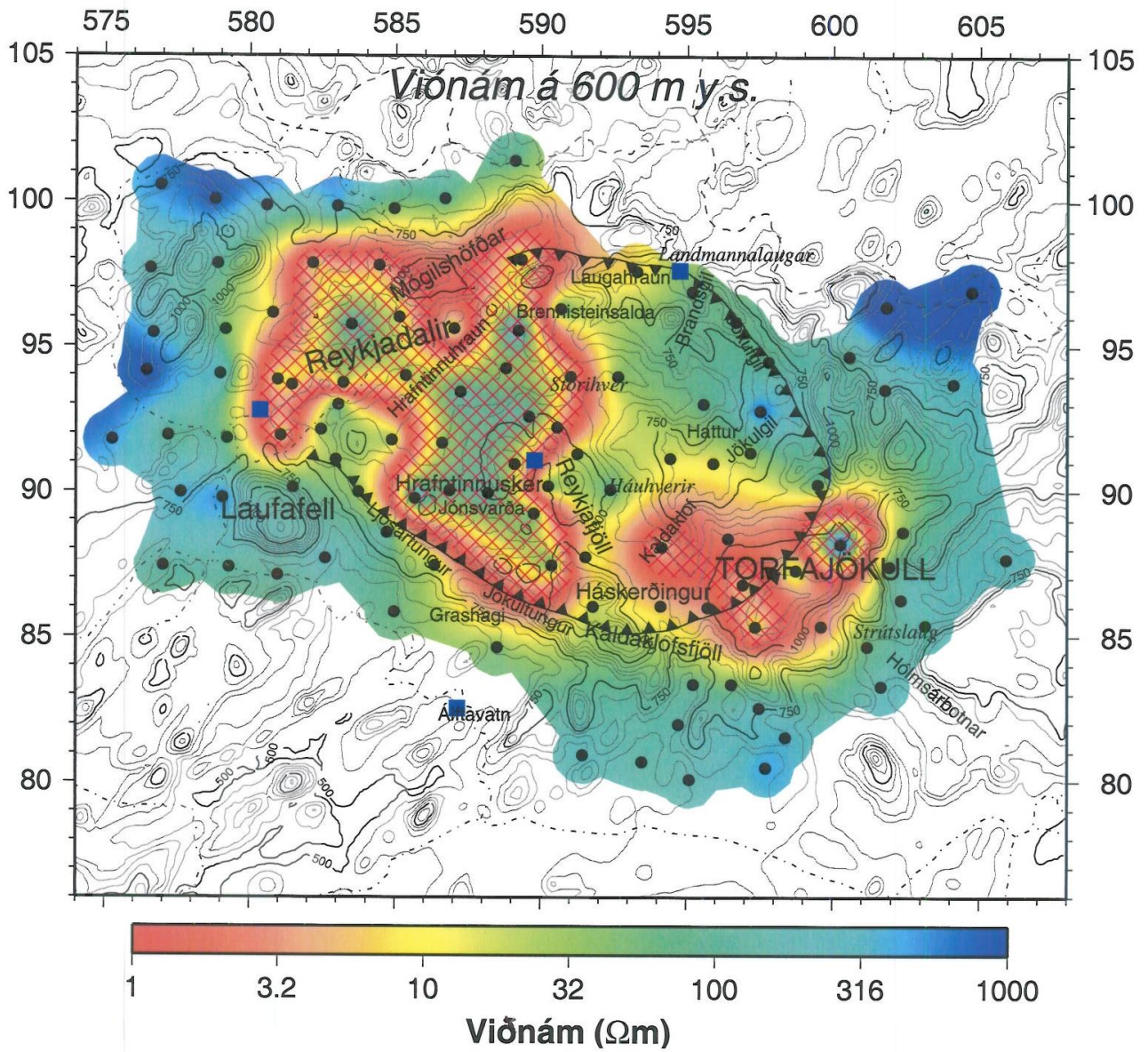
Mynd 40. Torfajökull. Viðnámskort 750 m y.s.



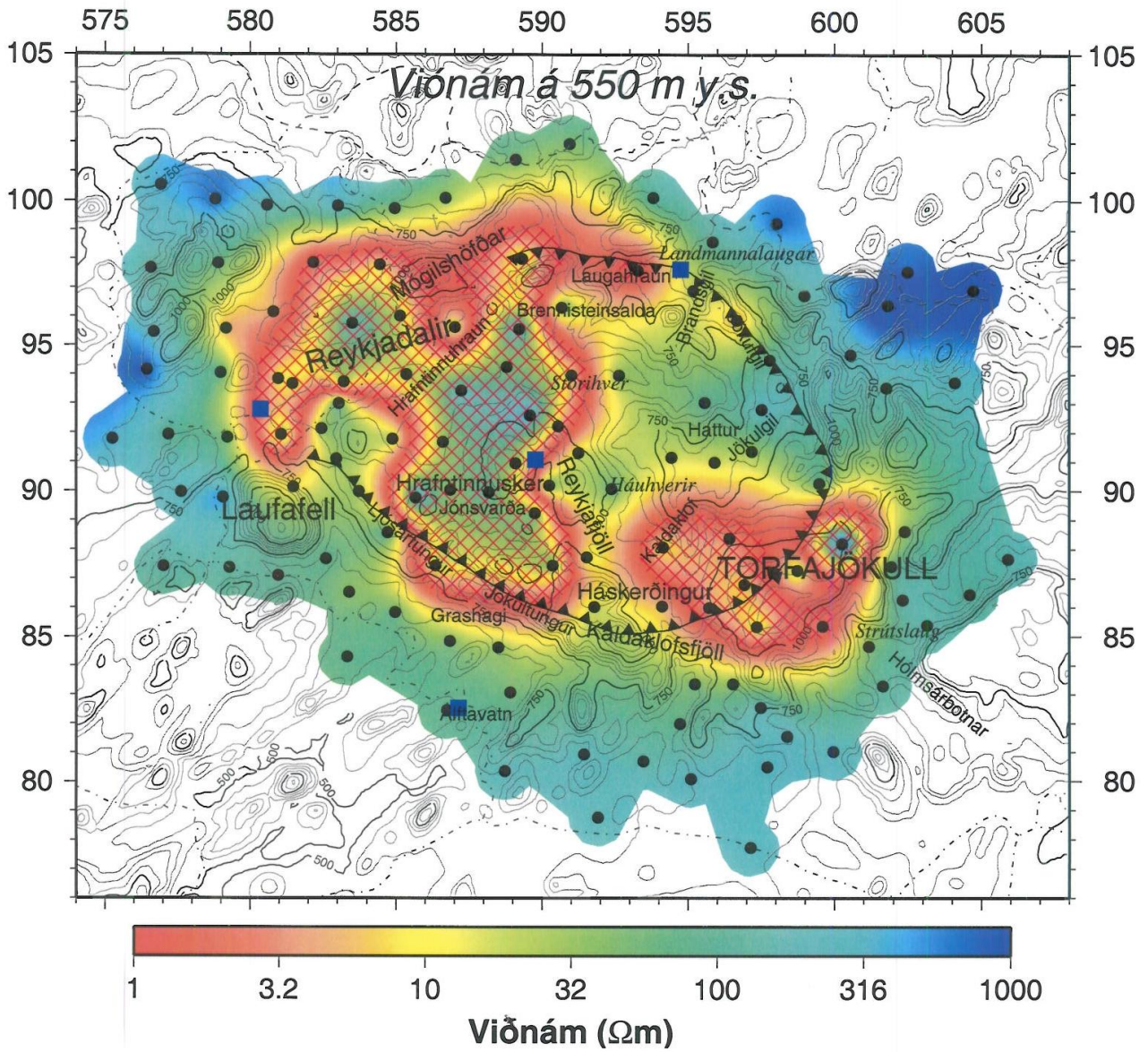
Mynd 41. Torfajökull. Viðnámskort 700 m y.s.



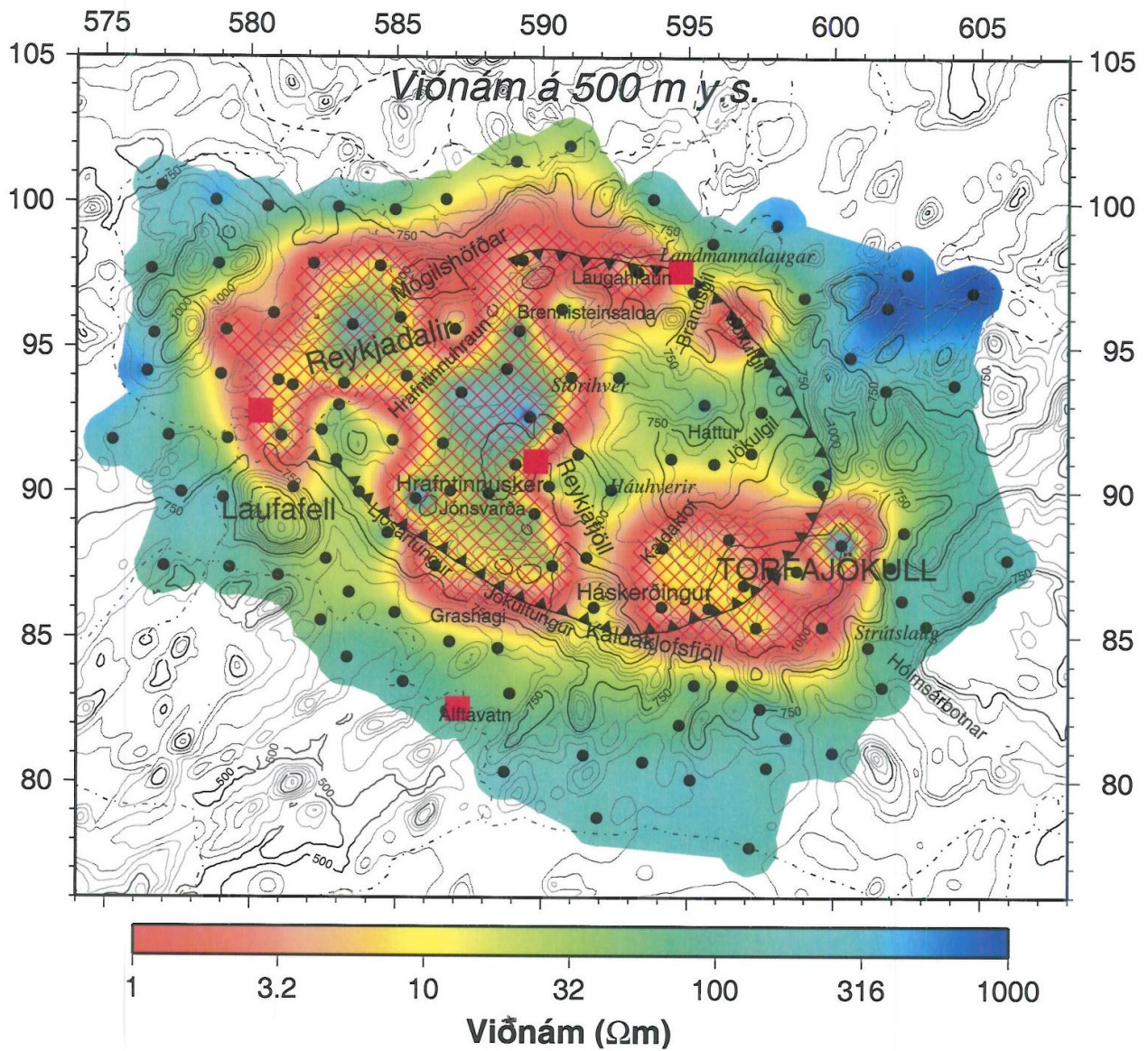
Mynd 42. Torfajökull. Viðnámskort 650 m y.s.



Mynd 43. Torfajökull. Viðnámskort 600 m y.s.

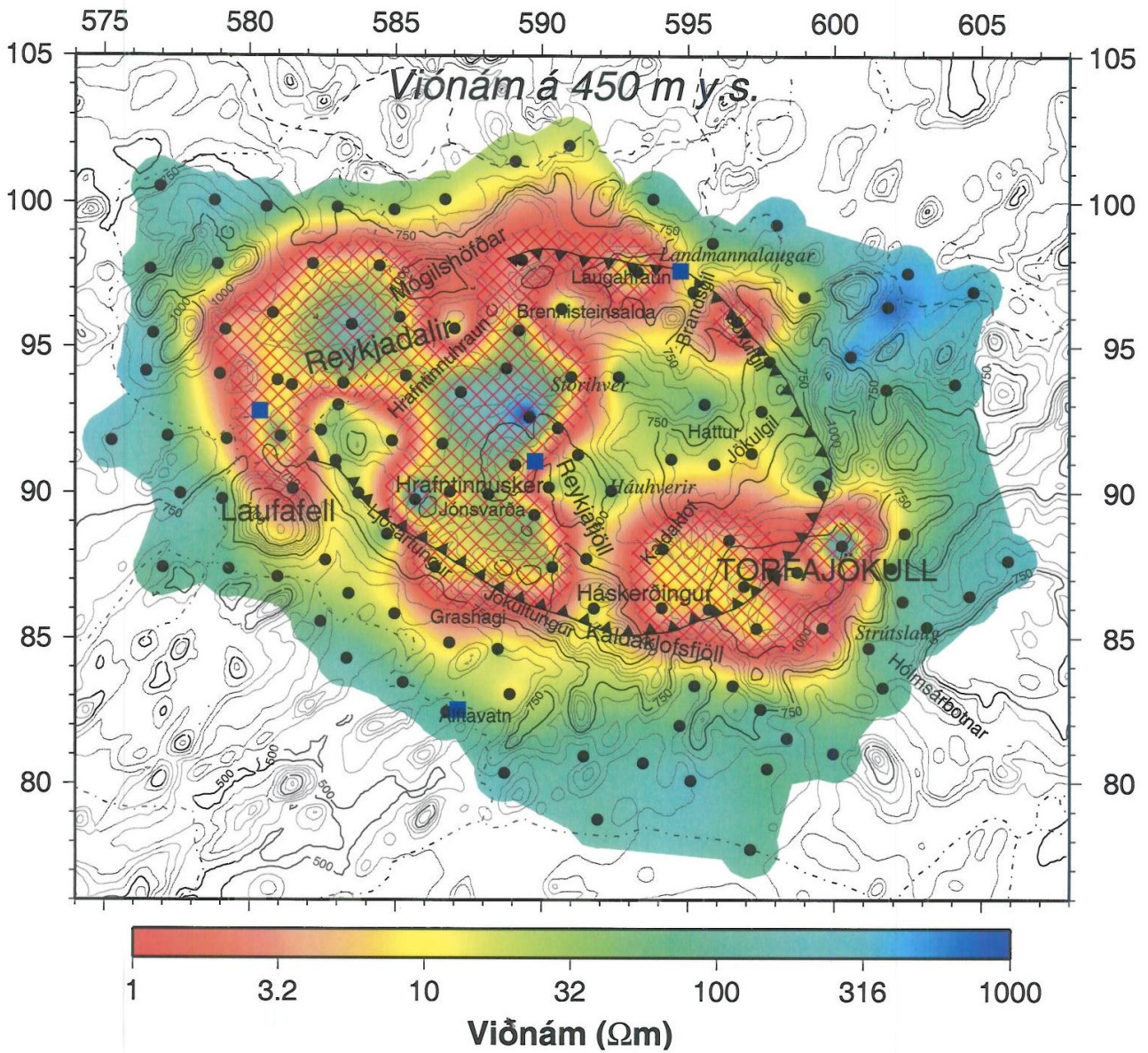


Mynd 44. Torfajökull. Viðnámskort 550 m y.s.

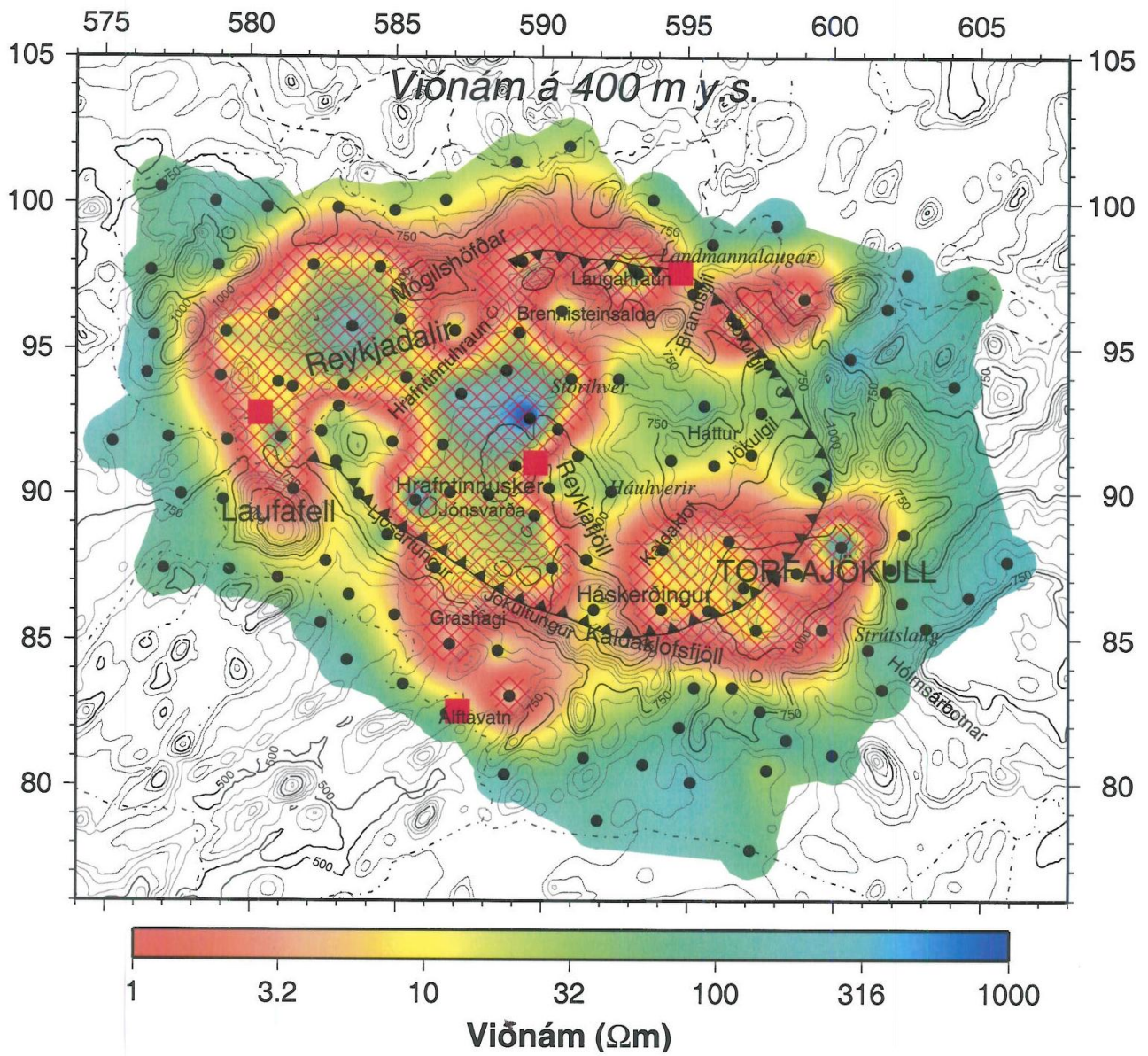


**Mynd 45.** Torfajökull. Viðnámskort 500 m y.s.

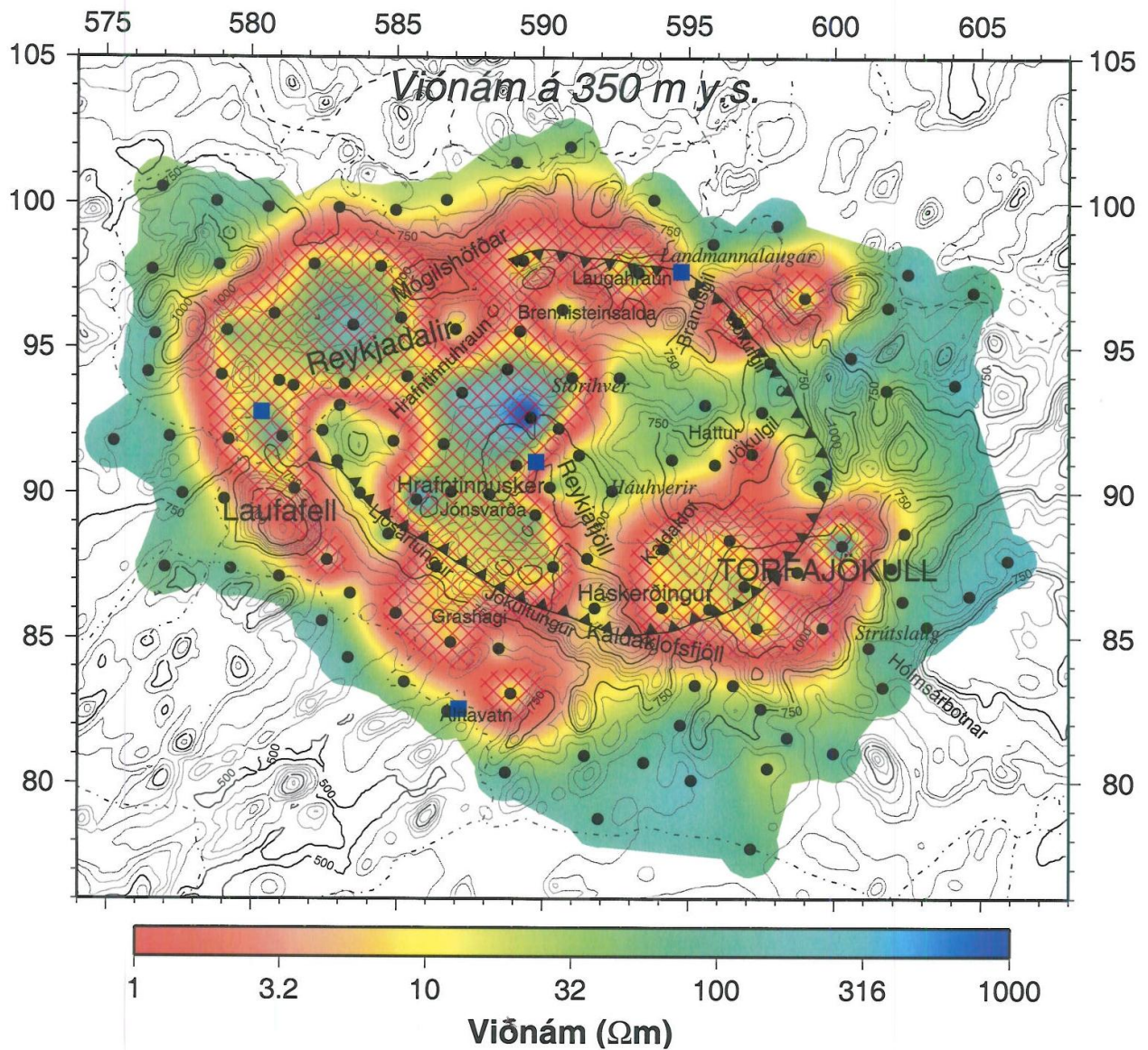




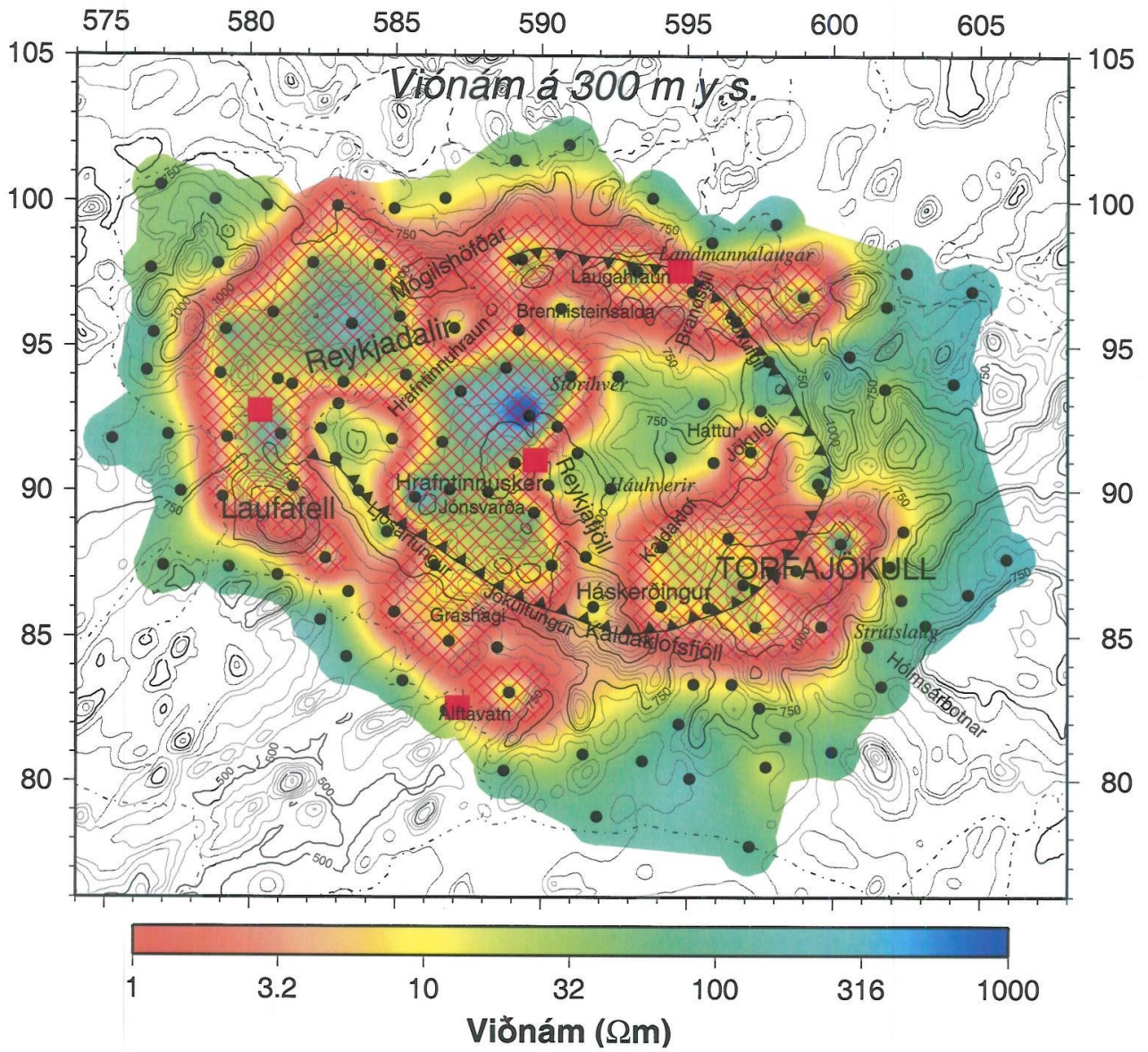
Mynd 46. Torfajökull. Viðnámskort 450 m y.s.



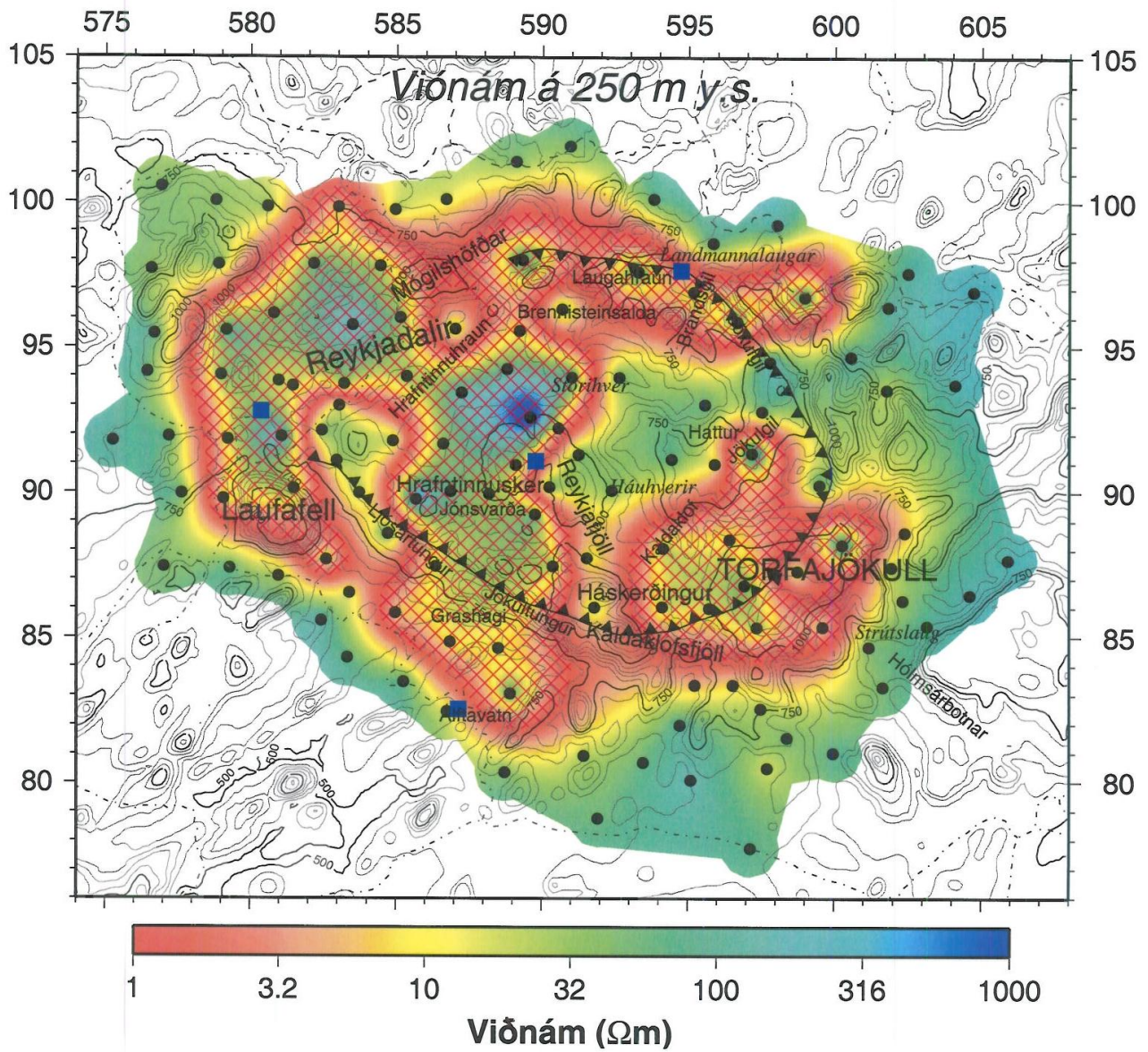
Mynd 47. Torfajökull. Viðnámskort 400 m y.s.



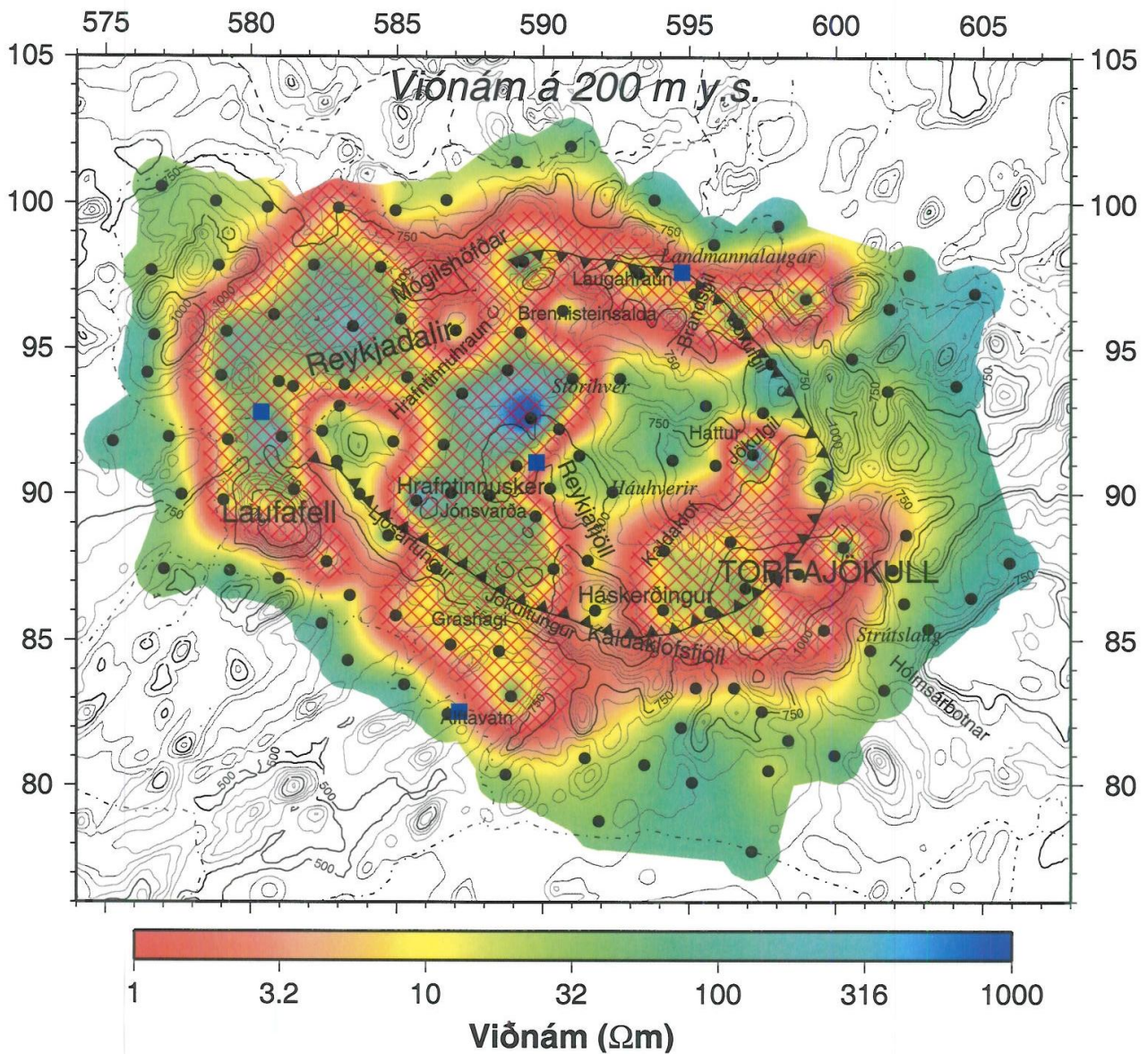
**Mynd 48.** Torfajökull. Viðnámskort 350 m y.s.



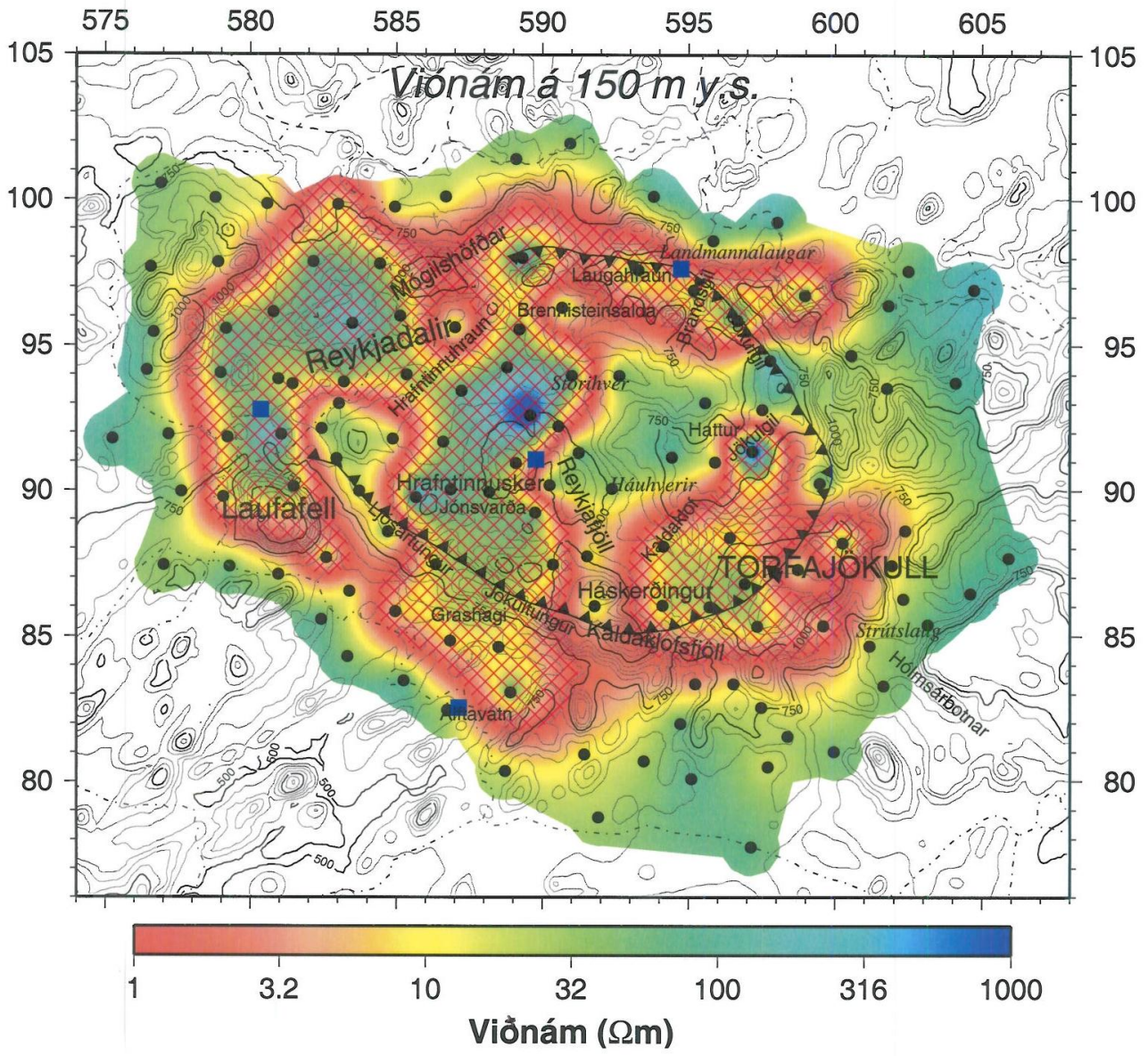
Mynd 49. Torfajökull. Viðnámskort 300 m y.s.



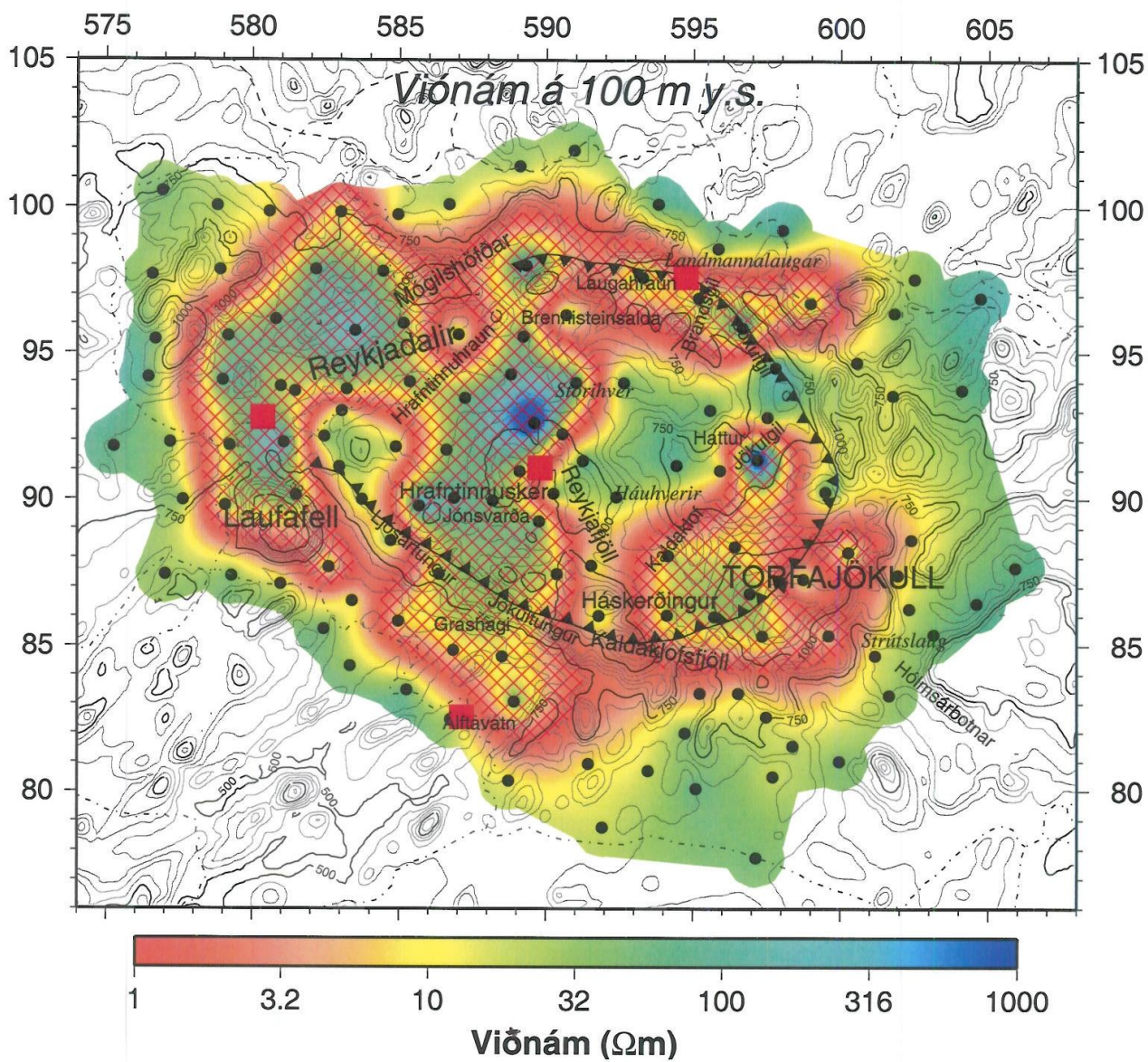
Mynd 50. Torfajökull. Viðnámskort 250 m y.s.



Mynd 51. Torfajökull. Viðnámskort 200 m y.s.



**Mynd 52.** Torfajökull. Viðnámskort 150 m y.s.



Mynd 53. Torfajökull. Viðnámskort 100 m y.s.



## 4. Schlumberger-mælingar á Torfajökulssvæði; úttekt á gæðum og samanburður við TEM-mælingar

Á árunum 1973–1975 var mælt með viðnámsmælingum á Torfajökulssvæði. Notuð var svonefnd Schlumberger-aðferð, sem var algengasta jarðeðlisfræðiaðferð við jarðhitaleit á þeim tíma. Þessi mæliaðferð nemur viðnám jarðar gegn rafstraumi (jafnstraumi). Straumur er sendur niður í jörðina gegnum straumpóla og spenna er síðan lesin á milli spennupóla í yfirborðinu.

### 4.1 Gögnin

Hér á eftir verður farið yfir mæligögnin. Mælingarnar eru mjög misjafnar að gæðum og er fyrst reynt að meta gæði þeirra og trúverðugleika. Mælingarnar eru settar upp í töflu og þeim gefin umsögn. Þar sést einnig hve stór hluti mælingarinnar er nothæfur til túlkunar, þ.e.a.s. lengd mælingar er gefið upp sem lengsti straumarmur. Margar mælingarnar, einkum framan af tímabilinu, eru óhæfar til túlkunar nema eftir ákveðna „hreinsun.“ Þá eru hreinlega tekin á brott mæligildi, sem greinilega eru röng. Í elstu mælingunum (frá 1973) var greinilega mælt án þess að skoða mæligildin jafn óðum, eða reyna að meta hvort þau væru í tengslum við þau mæligildi sem komin voru fyrir. Þannig getur bútur og bútur verið góður, en slæm spennustökk í milli eða mæligildi, sem ekki eru í samræmi við annað. Þetta er verst í enda mælingarinnar. Þegar straumarmur er orðinn langur og spennumerkið orðið daufara þarf að vanda til mælinganna til að fá góðar niðurstöður. Þetta lærðist mönnum smám saman og er ólíkt að sjá hve miklu betri mælingarnar frá 1975 eru en mælingarnar frá 1973. Á þessum tíma eru einnig stórstígar framfarir í mælitækjunum. Í mælingunum frá 1973 er oft nauðsynlegt að sleppa enda mælingarinnar eða reynt að velja trúverðug gildi. Þó verður að fara varlega í slíkt val. Í töflunum hér að neðan koma fram ýmsar upplýsingar um hverja mælingu. Heildarlengd straumarms er gefin upp svo og lengd straumarms þegar hreinsun hefur farið fram. Oftast er einungis teknir endapunktur mælingarinnar. Mælingunum eru gefnar einkunnir, bæði fyrir og eftir hreinsun.

Staðsetning Slumberger- og TEM-mælinganna er sýnd á mynd 54.

#### 1973

| Mæling | Mælt | Mæld lengd | Lengd túlkaðrar mælingar | Umsögn Fyrir hreinsun | Umsögn Eftir hreinsun |
|--------|------|------------|--------------------------|-----------------------|-----------------------|
| T01    | 1973 | 504        | 504                      | 2                     |                       |
| T02    | 1973 | 408        | 144                      | 4                     | 2                     |
| T03    | 1973 | 504        | 504                      | 3                     |                       |
| T04    | 1973 | 384        | 144                      | 4                     | 3                     |
| T05    | 1973 | 360        | 312                      | 1                     |                       |
| T06    | 1973 | 384        | 384                      | 2                     |                       |
| T07    | 1973 | 384        | 264                      | 4                     | 2                     |
| T08    | 1973 | 900        | 648                      | 4                     | 1                     |
| T09    | 1973 | 900        | 360                      | 4                     | 1                     |
| T10    | 1973 | 600        | 408                      | 4                     | 1                     |
| T11    | 1973 | 600        | 408                      | 3                     | 2                     |

|     |      |      |     |   |   |
|-----|------|------|-----|---|---|
| T12 | 1973 | 648  | 552 | 4 | 2 |
| T13 | 1973 | 696  | 144 | 4 | 3 |
| T14 | 1973 | 744  | 504 | 4 | 3 |
| T15 | 1973 | 504  | 504 | 4 | 2 |
| T16 | 1973 | 1000 | 792 | 4 | 2 |
| T17 | 1973 | 792  | 192 | 4 | 1 |
| T18 | 1973 | 900  | 648 | 3 | 2 |
| T19 | 1973 | 900  | 900 | 2 |   |
| T20 | 1973 | 900  | 900 | 1 |   |

Mælingar frá árinu 1973.

Einkunnir þýða: 1 = góð; 2 = nokkuð góð; 3 = sæmileg, 4 = léleg (ónothæf).

Mældar voru 20 mælingar og eins og sést á töflunni var oft mælt í belg og biðu og gæði gagnanna eftir því. Oftast er óreglan í enda mælingar og því lagast mælingin við að fjarlægja nokkur gildi í endann. Mismikið þarf að hreinsa til, allt frá því að taka 2–4 punkta í endann upp í það að taka bróðurpart mælingarinnar á brott. Stubburinn sem eftir stendur er oft ágætur og gefur alltént upplýsingar um efstu 2–300 metra undir yfirborði.

#### 1974

| Mæling | Mælt | Mæld lengd | Lengd túlkaðrar mælingar | Umsögn Fyrir hreinsun | Umsögn Eftir hreinsun |
|--------|------|------------|--------------------------|-----------------------|-----------------------|
| T21    | 1974 | 1500       | 1300                     | 1                     |                       |
| T22    | 1974 | 408        | 312                      | 4                     | 1                     |
| T23    | 1974 | 1000       | 1000                     | 1                     |                       |
| T24    | 1974 | 744        | 648                      | 4                     | 1                     |
| T25    | 1974 | 900        | 744                      | 1                     |                       |
| T26    | 1974 | 900        | 900                      | 2                     |                       |
| T27    | 1974 | 1100       | 1100                     | 2                     |                       |
| T28    | 1974 | 792        | 792                      | 3                     |                       |
| T29    | 1974 | 1000       | 1000                     | 1                     |                       |
| T30    | 1974 | 900        | 504                      | 3                     | 1                     |
| T31    | 1974 | 384        | 312                      | 2                     | 1                     |
| T32    | 1974 | 900        | 696                      | 4                     | 3                     |
| T33    | 1974 | 1500       | 1500                     | 1                     |                       |

Mælingar frá árinu 1974.

Einkunnir þýða: 1 = góð; 2 = nokkuð góð; 3 = sæmileg, 4 = léleg (ónothæf).

Mældar voru 13 mælingar árið 1974. Í þeim eru fleiri góðar mælingar, sem ekkert þarf að eiga við. Oft er aðeins þörf á að taka endann.

## 1975

| Mæling | Mælt | Mæld lengd | Lengd túlkaðrar mælingar | Umsögn Fyrir hreinsun | Umsögn Eftir hreinsun |
|--------|------|------------|--------------------------|-----------------------|-----------------------|
| T34    | 1975 | 1500       | 1500                     | 1                     |                       |
| T35    | 1975 | 1500       | 1500                     | 1                     |                       |
| T36    | 1975 | 1500       | 1100                     | 2                     |                       |
| T37    | 1975 | 500        | 340                      | 4                     | 1                     |
| T38    | 1975 | 1500       | 1300                     | 3                     | 2                     |
| T39    | 1975 |            |                          | 4 (ónýt)              |                       |
| T40    | 1975 | 1350       | 1350                     | 2                     |                       |
| T41    | 1975 | 1460       | 1460                     | 1                     |                       |
| T42    | 1975 | 1000       | 1000                     | 1                     |                       |
| T43    | 1975 | 1100       | 500                      | 4                     | 1                     |
| T44    | 1975 | 1100       | 1100                     | 1                     |                       |
| T45    | 1975 | 1500       | 1200                     | 1                     |                       |
| T46    | 1975 | 1350       | 1200                     | 1                     |                       |
| T47    | 1975 | 1500       | 1500                     | 1                     |                       |
| T48    | 1975 | 1430       | 1430                     | 1                     |                       |

Mælingar frá árinu 1975.

Einkunnir þýða: 1 = góð; 2 = nokkuð góð; 3 = sæmileg, 4 = léleg (ónothæf).

Í síðasta úthaldinu 1975 voru mældar 15 mælingar. Hér er allur annar bragur á mælingunum. Betur er vandað til mælinganna og hér er regla að taka mörg meðaltöl ef spennumerkið er lágt og mælingar erfiðar. Þetta nostur skilar sér í hærri gæðum gagnanna.

Árið 1973 fá 5 mælingar af 20 einkunnirnar 1–2 eða góðar/nokkuð góðar; 8 af 13 mælingum 1974 og 11 af 15 mælingum 1975.

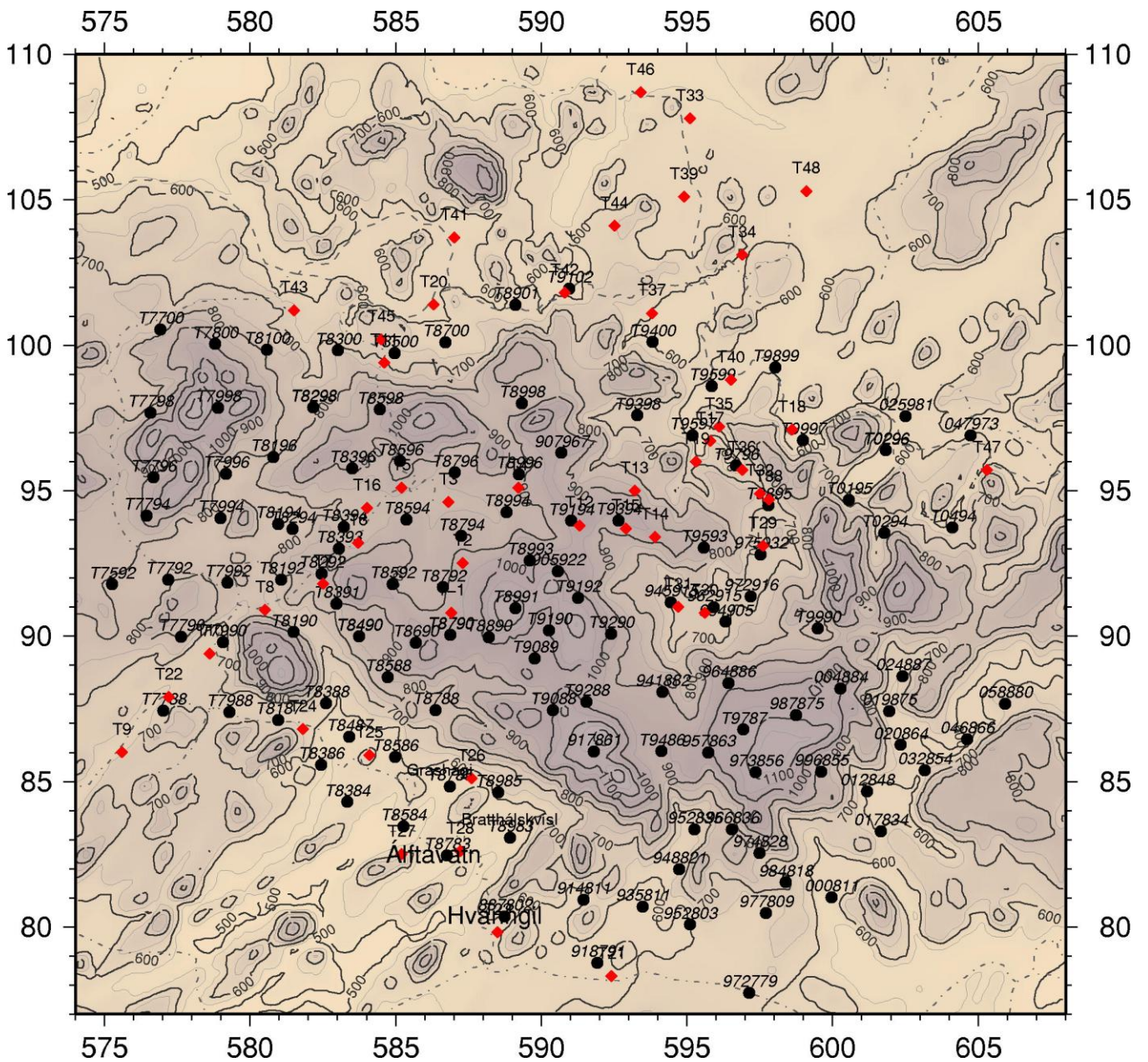
### Túlkun mælinganna

Við túlkun mælinganna er notað forritið *Ellipse* eftir Ragnar Sigurðsson. Forritið reiknar út viðnámsferil út frá mæligögnunum og notar hann til grundvallar við útreikning líkans. Líkan með fastan fjölda viðnámslaga er sett inn í forritið og það reiknar síðan út viðnámsgildi fyrir líkanið með því að bera saman viðnámsferil út frá gefna líkaninu og viðnámsferil mæligagnanna.

Enda þótt mæling sé í sjálfu sér góð, getur verið erfitt að túlka hana, þ.e. forritið gerir ráð fyrir slétttri og felldri, lárétt skiptri jörð en raunverulegar aðstæður geta verið allt aðrar. Aðstæður og viðnám við straum- og spennupólana hafa áhrif. Þannig getur mæling verið „góð“, þótt erfitt sé að túlka hana með einföldu líkani.

Schlumberger-mæling er næm á viðnámsbreytingar í efstu 100 metrum og getur séð mjög þunn lög í efstu metrum. Sé hins vegar mjög lágt viðnám rétt undir yfirborði, eins og oft er á háhitasvæðum, á Schlumberger-mælingin erfitt með að „sjá í gegnum“ lágviðnámið.

TEM-mælingarnar nema ekki vel lagskiptingu í efstu 100 metrum, en hafa síðan betri upplausn til að greina lagskipti niður á 1000 metra dýpi.



**Mynd 54.** Staðsetning viðnámsmælinga á Torfajökulssvæði. Svartir punktar sýna legu TEM-mælinga; Raudir tíglar sýna legu Schlumbergermælinga.

## 4.2 Samanburður einstakra mælinga

Hér á eftir verða bornar saman Schlumberger- og TEM-mælingar þar sem þær eru nánast á sama stað. Einnig verða tekin nokkur dæmi þar sem allt að 800 metrar eru á milli mælimiðja. Síðan verða sett fram snið sem sýna niðurstöður Schlumberger mælinganna og þau borin saman við sambærileg snið eftir niðurstöðum TEM mælinganna. Hér eftir verður Schlumberger-mæling kölluð slúmm og TEM-mæling kölluð temm.

Nokkrar samanburðarmælingarnar eru beint ofan í háhitakerfið þar sem lágviðnámskápan er nærri yfirborði. Nokkrar eru í jaðri háhitakerfisins og svo eru nokkrar sem sýna ekki merki um lágviðnám, og staðfesta þannig skil á milli kerfa. Líkön fyrir TEM-mælingarnar eru sótt í skýrsluna *Í Torfajökli; TEM-viðnámsmælingar*.

Líkön mælinganna sem fjallað er um í texta hér á eftir eru einnig birt sem súlurit í viðauka 1. Dýptarskalinn er logarípmískur, en hann skilar mjög vel lagskiptingunni á þunnum lögum í yfirborði, sem línulegur skali gerði ekki.

### Mælingar beint ofan í jarðhitakerfið

#### T8790 – T1 Hrafninnusker (800 metrar á milli mælimiðja)

| T8790 |        | T1   |        |
|-------|--------|------|--------|
| 23m   | 984 Ωm | 1.4m | 51 Ωm  |
| 60m   | 5.5 Ωm | 1.3m | 16 Ωm  |
| 295m  | 182 Ωm | 16m  | 217 Ωm |
| 165m  | 8.9 Ωm | 30m  | 1.4 Ωm |
|       | 106 Ωm |      | 773 Ωm |

Temmið sér 5,5 Ωm lágviðnámslag á 23 metra dýpi undir einu þunnu háviðnámslagi í yfirborði, en slúmmið sér 1,4 Ωm lágviðnámslag á tæplega 19 metra dýpi undir þremur yfirborðslögum. Slúmmið sér svo hækkun í viðnámi fyrir neðan en temmið sér annað lágviðnámslag á um 350–500 metra dýpi.

#### T9194 – T12 Stóri Hver

| T9194 |        | T12   |         |
|-------|--------|-------|---------|
| 40m   | 21 Ωm  | 0.34m | 160 Ωm  |
| 36m   | 6.1 Ωm | 8.8m  | 39 Ωm   |
| 239m  | 224 Ωm | 6.9m  | 7.3 Ωm  |
| 94m   | 4.6 Ωm | 16m   | 446 Ωm  |
|       | 152 Ωm | 12m   | 19.6 Ωm |
|       |        |       | 2.7 Ωm  |

Hér sést dæmi um mismun þessara aðferða. TEM-mælingin sér 36 metra þykkt, 6,1 Ωm viðnámslag á 40 metra dýpi. Þar fyrir neðan er 240 metra háviðnám og svo aftur þunnt 90 metra þykkt lágviðnámslag, 4,6 Ωm og hátt fyrir neðan.

Slúmm-mælingin sér lágviðnám á 45 metra dýpi undir fjórum þunnum lögum. Þar af er eitt lágviðnámslag.

Báðar mælingar hafa sama karakter, þ.e. tvö lágviðnámslög, en slúmmið sér neðra lágviðnámið á sama dýpi og TEM-mælingin sér efra lágviðnámslagið.

Líklegast er að báðar mæliaðferðir sjái sama lágviðnámslagið á 40–45 metra dýpi. Slúmmið raðar af mikilli nákvæmni fjórum viðnámslögum í efstu 45 metra þar sem temmið sér aðeins eitt lag. Viðnámið í lágviðnámslaginu í slúmm-mælingunni er 2,7  $\Omega$ m, sem telst mjög lágt og slúmm-mælingin sér ekki í gegnum það. TEM-mælingin sér hins vegar ekki lágviðnámið í yfirborðinu; sér 4,6  $\Omega$ m viðnám í lágviðnámslaginu á 40 metra dýpi og hefur betri upplausn með dýpi.

#### T8292 – T7 Hrafninnuhraun (300 metrar eru á milli mælimiðja.)

|       |                |                      |
|-------|----------------|----------------------|
| T8292 |                | T7                   |
| 26m   | 659 $\Omega$ m | 1.7m 6367 $\Omega$ m |
| 7.6m  | 10 $\Omega$ m  | 1.6m 1641 $\Omega$ m |
| 248m  | 24 $\Omega$ m  | 16m 7730 $\Omega$ m  |
|       | 42 $\Omega$ m  | 6.5m 266 $\Omega$ m  |
|       |                | 3.9 $\Omega$ m       |

Temmið sér hátt viðnám niður á 26 metra dýpi, tæplega 10 metra þykkt lag með 10  $\Omega$ m viðnámi. Þar fyrir neðan hækkar við námið í 24  $\Omega$ m og um 250 metrum neðar hækkar viðnámið enn í 42  $\Omega$ m.

Slúmm-mælingin raðar upp fjórum háviðnámslögum niður á 26 metra dýpi og sér 3,9  $\Omega$ m þar fyrir neðan. Straumarmslengd túlkaðrar mælingar er 264 metrar.

Hér er ákvörðun beggja mæliaðferða á dýpi á lágviðnám mjög nákvæm. Báðar sjá skil háviðnáms og lágviðnáms á 26 metra dýpi. Slúmmið sér síðan ekki í gegnum lágviðnámið en temm-mælingin sér tvö viðnámslög þar fyrir neðan.

#### Mælingar í jaðri háhitakerfisins

##### T9796 – T36 Jökulgilskjafur

|       |                 |                      |
|-------|-----------------|----------------------|
| T9796 |                 | T36                  |
| 34m   | 9041 $\Omega$ m | 0.9m 1184 $\Omega$ m |
| 79m   | 5.3 $\Omega$ m  | 23m 458 $\Omega$ m   |
| 187m  | 394 $\Omega$ m  | 415m 10.8 $\Omega$ m |
| 30m   | 3.4 $\Omega$ m  | 106 $\Omega$ m       |
|       | Hækkun          |                      |

Temmið sér lágviðnámslag á 34 metra dýpi, en slúmmið sér tvö háviðnámslög og fer í lágviðnám á 24 metra dýpi. Þetta er áreiðanlega sömu viðnámsskilin. Slúmmið sér svo viðnámshækkun 400 metrum neðar en temmið sér viðnámshækkun 80 metrum neðar og svo annað lágviðnámslag á 300 metra dýpi og svo hækkun aftur. Hér greinir temmið í sundur og sér tvö lágviðnámslög með tæplega 190 metra þykku háviðnámslagi, það sem slúmmið sér sem eitt lag.

### 962915 – T30 Jökulgil

| 962915 |                 | T30  |                |
|--------|-----------------|------|----------------|
| 23m    | 61 $\Omega$ m   | 0.7m | 752 $\Omega$ m |
| 86m    | 13 $\Omega$ m   | 20m  | 299 $\Omega$ m |
| 99m    | 24 $\Omega$ m   | 238m | 19 $\Omega$ m  |
| 361m   | 11.4 $\Omega$ m |      | 6.7 $\Omega$ m |
|        | 20 $\Omega$ m   |      |                |

Báðar mælingarnar sjá hátt viðnám niður á rúmlega 20 metra dýpi. Þar fyrir neðan sér slúmmið 238 metra þykkt lag með 18,9  $\Omega$ m viðnámi, en temmið sér tvö lög með 13 og 24  $\Omega$ m viðnámi. Fyrir neðan sjá báðar lágviðnám og temmið sér svo í viðnámsþækkun á 560 metra dýpi.

Hér sést vel að temmið hefur betri upplausn en slúmmið með dýpi en slúmmið sér þunnu lögin í yfirborði. Temmið leysir 18,9  $\Omega$ m lagið upp í tvö lög með 13  $\Omega$ m og 86 metra þykkt svo og 24  $\Omega$ m, 99 metra þykkt. Slúmmið sér síðan talsvert lægra viðnám eða 6,7  $\Omega$ m í lágviðnámslaginu en temmið gerir (11,4  $\Omega$ m). Slúmmið sér ekki í gegnum lágviðnámið samkvæmt ferlinum sem túlkaður er. Frumgögnin sýndu hins vegar þækkun í enda en gæði gagnanna voru svo lítil að ekki var hægt að túlka mælinguna alla. Það varð sem sé að hreinsa endapunktana í burtu.

### 945915 – T31 Jökulgil

| 945915 |                    | T31  |                 |
|--------|--------------------|------|-----------------|
| 27.5m  | 488 $\Omega$ m     | 0.7m | 2148 $\Omega$ m |
| 102m   | 15.5 $\Omega$ m    | 11m  | 383 $\Omega$ m  |
| 252m   | 19 $\Omega$ m      | 24m  | 49 $\Omega$ m   |
| 1157m  | 196 $\Omega$ m ??? | 48m  | 11.8 $\Omega$ m |
|        | 7.6 $\Omega$ m ??? |      | 37 $\Omega$ m   |

Efst í temminu er 27,5 metra þykkt háviðnámslag og 15,5  $\Omega$ m fyrir neðan. Slúmmið raðar þremur lögum í efstu 36 metra og sér þá 11,8  $\Omega$ m fyrir neðan. Þetta 15/12  $\Omega$ m lag er síðan um 100 metra þykkt í temminu en um 50 metrar í slúmminu. Slúmmið sér ekki frekari lagskiptingu, en temmið sér viðnámsþækkun 250 metrum neðar og glytta í lágviðnám neðan við 1000 metra. Mjög varlega er tekið á þeim upplýsingum sem eru svo djúpt.

### T8783 – T28 Álftavatn (400 metrar eru á milli mælimiðja.)

| T8783 |                | T28   |                 |
|-------|----------------|-------|-----------------|
| 5.2m  | 901 $\Omega$ m | 1.2m  | 3803 $\Omega$ m |
| 196m  | 86 $\Omega$ m  | 17.8m | 364 $\Omega$ m  |
| 230m  | 15 $\Omega$ m  | 185m  | 101 $\Omega$ m  |
| 242m  | 109 $\Omega$ m |       | 9.9 $\Omega$ m  |
|       | 9.6 $\Omega$ m |       |                 |

Í báðum mælingum er hátt viðnám í yfirborði og síðan tæplega 200 metra þykkt lag með 86  $\Omega$  í temm-mælingunni og 101  $\Omega$  í slúmm-mælingunni og lægra fyrir neðan. TEM-mælingin sér 230 metra þykkt lag með 15  $\Omega$  viðnámi. Síðan hækkun í viðnámi, eða 109  $\Omega$  í 240 metra þykku lagi og svo 9,6  $\Omega$  þar fyrir neðan.

Slúmm-mælingin er erfið í túlkun. Í fjögurra laga líkani, sem hér er sýnt, er 9,9  $\Omega$  viðnám í láviðnámslaginu. Sé viðnámslögunum fjölgað í samræmi við lagafjölda TEM-mælingarinnar líta efstu þrjú lög eins út, lágviðnámið lækkar úr 9,9  $\Omega$  í 4,2  $\Omega$ ; neðan við er um 100 metra þykkt lag með 84  $\Omega$  og 18  $\Omega$  þar fyrir neðan. Með þennan lagafjölda er karakter beggja mælinga sá sami. Viðnámsákvörðunin í lágviðnámslögunum er hins vegar ekki sú sama. Ef slúmm-mæling er góð, er vel hægt að treysta viðnámsákvörðun í lágviðnámslagi, sérstaklega svo grunnt sem þetta er. Þessi mæling er hins vegar ekki góð og ekki mögulegt að fá góða samsvörun á milli mælds og túlkaðs ferils. Því er tilhneiging til að trúa betur viðnámsákvörðun úr temminu. Auk þess má segja að þarna sé verið að pína upplýsingar út úr slúmminu, sem ekki eru traustvekjandi.

### 887802 – T23 Hvanngil (600 metrar á milli mælimiðja)

|        |              |                   |
|--------|--------------|-------------------|
| 887802 |              | T23               |
| 20m    | 158 $\Omega$ | 5.4m 198 $\Omega$ |
| 232m   | 206 $\Omega$ | 16m 457 $\Omega$  |
| 212m   | 35 $\Omega$  | 342m 158 $\Omega$ |
|        | 6,3 $\Omega$ | < 10 $\Omega$     |

Temmið sér 100–200  $\Omega$  viðnám niður á 250 metra dýpi. Þar lækkar viðnámið í 35  $\Omega$  og mælingin sér svo lágt viðnám eða 6,3  $\Omega$  neðan við 450 metra dýpi. Slúmmið sér að vanda smáatriðin í yfirborðinu en sér svo 158  $\Omega$  viðnám á því dýptarbili sem temmið leysir upp í tvölög með 206  $\Omega$  og 35  $\Omega$ . Neðst sést að slúmmið er á leið í lágt viðnám < 10  $\Omega$  á 360 metra dýpi. Viðnámsákvörðunin neðst í slúmminu er ónákvæm en viðnámið fer trúlega niður fyrir 10  $\Omega$ .

### T7990 – T10 Laufafell (600 metrar milli mælimiðja)

|       |               |                     |
|-------|---------------|---------------------|
| T7990 |               | T10                 |
| 4.4m  | 2200 $\Omega$ | 5.3m 14000 $\Omega$ |
| 19.3m | 44 $\Omega$   | 6.1m 76600 $\Omega$ |
| 234m  | 1870 $\Omega$ | 4.6m 37500 $\Omega$ |
| 98m   | 21 $\Omega$   | 46m 792 $\Omega$    |
| 69m   | 5.1 $\Omega$  | 31 $\Omega$         |
|       | 23 $\Omega$   |                     |

Slúmmið sér þrjú lög með mjög háu viðnámi í efstu 15 metrum og heldur háu viðnámi niður á 60 metra dýpi. Þar fyrir neðan er 31  $\Omega$  viðnám eins langt og mælingin skynjar en lengd túlkaðrar mælingar er rúmlega 400 metrar.

Temmið sér lagskiptingu í efstu 20 metrum, sem ekki er mjög áreiðanleg en sér svo þykkt háviðnám, 1870  $\Omega$ , niður á rúmlega 250 metra dýpi en þar fyrir neðan er 21  $\Omega$  viðnám niður á 270 metra, þar tekur við 70 metra þykkt lágviðnámslag með 5,1  $\Omega$ , og 23  $\Omega$  þar fyrir neðan.



Ekki er augljós skýring á því, af hverju svona mismunandi þykkt er á háviðnáminu efst í mælingunni. Slúmmið sér 60 metra þar sem temmið sér hátt viðnám niður á 250 metra. Hafa verður í huga að 600 metrar eru á milli mælimiðja, þannig að þessi munur gæti verið raunverulegur.

#### T9599 – T40 Norðurbarmur (700 metrar á milli mælimiðja)

| T9599 |         | T40  |         |
|-------|---------|------|---------|
| 28m   | 229 Ωm  | 0.6m | 1362 Ωm |
| 315m  | 68 Ωm   | 0.8  | 4294 Ωm |
| 184m  | 130 Ωm  | 20m  | 419 Ωm  |
| 106m  | 10.7 Ωm | 880m | 137 Ωm  |
|       | 25 Ωm   |      | 41 Ωm   |

Temmið sér 68 Ωm viðnám neðan 28 metra yfirborðslags. Þetta lag er ríflega 300 metra þykkt. Þar fyrir neðan hækkar viðnámið í 130 Ωm. Á 520 metra dýpi er svo komið í um 100 metra þykkt lágviðnámslag með 10,7 Ωm viðnámi. Neðst er hækkun í 24 Ωm. Slúmmið sér, eins og oft, nákvæma viðnámskipan nærri yfirborði og sér þrjú yfirborðslög niður á 22 metra dýpi. Þar fyrir neðan greinir slúmmið ekki lagskipti fyrir en á 900 metra dýpi og sér þá viðnámslækkun. Þessi viðnámslækkun ákvarðast aðeins af síðustu tveimur mælipunktum þannig á viðnámsákvörðunin er ekki nákvæm.

#### T8500 – T11 – T45 Um 2 km norðvestan Klukkugils

Hér er afstaðan á milli mælinganna að um 800 metrar eru á milli slúmm-mælinganna, þar sem T45 er norðar. Temm-mælingin er austar þannig að um 500 metrar eru í T 45 og um 700 metrar í T11.

| T11  |         | T8500 |         | T45  |          |
|------|---------|-------|---------|------|----------|
| 1.2m | 6020 Ωm | 30m   | 1057 Ωm | 2m   | 14297 Ωm |
| 1.7m | 9278 Ωm | 64m   | 27 Ωm   | 1.6m | 4624 Ωm  |
| 39m  | 7629 Ωm | 124m  | 58 Ωm   | 29m  | 17438 Ωm |
| 78m  | 74 Ωm   |       | 20 Ωm   | 195m | 104 Ωm   |
|      | 22 Ωm   |       |         |      | 41 Ωm    |

Ef slúmm-mælingarnar eru fyrst bornar saman sést að báðar sjá þrjú háviðnámslög í yfirborði eða efstu 30–40 metrum. Þar fyrir neðan sjá þær 74 Ωm/104 Ωm lag sem er um 90 metra þykkt í T11 og 195 metra þykkt í T45. Neðst eru 22 Ωm í syðri mælingunni T11 en 41 Ωm í nyrðri mælingunni T45.

Temmm-mælingin er líkari T11, þar sem efst er hátt yfirborðslag, 30 metrar á þykkt, síðan tvö lög með 27 Ωm það efra og 58 Ωm það neðra og neðst 20 Ωm. Hún sér eitt lag efst þar sem slúmmið sér þrjú, síðan skiptir hún í tvennt laginu sem slúmmið sér sem eitt lag. Neðst sýna þær sama viðnám, um 20 Ωm, en það er á um 100 metra meira dýpi í temminu. Nokkur fjarlægð er á milli mælimiðja og þessi munur getur verið eðlilegur.

Mælingarnar eru rétt utan við jaðar háhitakerfisins. Það sér ekki í lágviðnámskápu en hins vegar sér í 20 Ωm lag neðst enda er oft lágt, 10–20 Ωm, viðnámslag utan á lágviðnámskápunni, sérstaklega í jaðri háhitakerfa. T45 er fjærst jaðrinum og sér um 40 Ωm viðnám neðst. Hún sér ekki í lágviðnámslagið og er líklegt að neðsta lagið tengist

fremur efri lögunum í hinum mælingunum eða þá að viðnámið hækkar vegna þess að hún er fjarlægari háhitakerfinu.

**918791 – T21 Mælifellssandur** (650 metrar á milli mælimiðja)

|        |                 |  |      |                 |
|--------|-----------------|--|------|-----------------|
| 918791 |                 |  | T21  |                 |
| 54m    | 1361 $\Omega$ m |  | 1.8m | 2084 $\Omega$ m |
| 374m   | 93 $\Omega$ m   |  | 7.4m | 7362 $\Omega$ m |
|        | 10.9 $\Omega$ m |  | 58m  | 3403 $\Omega$ m |
|        |                 |  | 270m | 61 $\Omega$ m   |
|        |                 |  |      | 24 $\Omega$ m   |

Temmið sér eitt hátt yfirborðslag þar sem slúmmið sér þrjú, því eins og fram hefur komið getur temmið ekki greint í sundur viðnámslög í efstu 50–100 metrum. Neðan við sér temmið 93  $\Omega$ m og slúmmið 61  $\Omega$ m í lagi sem er 270 metra þykkt í slúmminu og 100 metrum þykkara í temminu. Neðst sjá báðar mælingar viðnámslækkun eða 10,9  $\Omega$ m í temminu en 24  $\Omega$ m í slúmminu.

**T9102 – T42 Dómadalur**

|       |                |  |      |                 |
|-------|----------------|--|------|-----------------|
| T9102 |                |  | T42  |                 |
| 4.8m  | 711 $\Omega$ m |  | 1.7m | 3791 $\Omega$ m |
| 60m   | 38 $\Omega$ m  |  | 2m   | 1658 $\Omega$ m |
| 153m  | 14 $\Omega$ m  |  | 18m  | 3009 $\Omega$ m |
| 198m  | 436 $\Omega$ m |  | 72m  | 18 $\Omega$ m   |
|       | 13 $\Omega$ m  |  | 69m  | 156 $\Omega$ m  |
|       |                |  |      | 59 $\Omega$ m   |

~100 metrar eru á milli mælimiðja.

Báðar mælingarnar sýna sama karakter þ.e. undir háviðnámslögum í yfirborði er láviðnámslag (14/18  $\Omega$ m), síðan lag með yfir 100  $\Omega$ m og lágt fyrir neðan.

TEM-mælingin sýnir 14  $\Omega$ m í lágviðnámslaginu; það er á 64 metra dýpi og er 150 metra þykkt. Háviðnámslagið fyrir neðan er 436  $\Omega$ m, sem trúlega er of hátt (yfirskot í túlkunarforritinu) og er 200 metra þykkt. Neðst, á um 400 metra dýpi sér í 13  $\Omega$ m viðnám og niðurúr.

Slúmm-mælingin sér þessa sömu skipan en viðnámslögin eru öll þynnri. Neðst sér hún lækkandi viðnám en ekki eins lágt og TEM-mælingin og er það eðlilegt að viðnámsákvörðunin í slúmminu sé ekki nákvæm niður á 200–400 metra dýpi í svo marglag-skiptu líkani.

**T7788 – T22 Laufafell** (400 metrar eru á milli mælimiðja.)

|       |                 |  |      |                  |
|-------|-----------------|--|------|------------------|
| T7788 |                 |  | T22  |                  |
| 1.3m  | 743 $\Omega$ m  |  | 1.3m | 2531 $\Omega$ m  |
| 257m  | 299 $\Omega$ m  |  | 15m  | 10515 $\Omega$ m |
| 299m  | 49 $\Omega$ m   |  | 31m  | 254 $\Omega$ m   |
|       | 17.7 $\Omega$ m |  |      | 49 $\Omega$ m    |

Temmið sér hátt viðnám í yfirborði og síðan 257metra þykkt lag með tæplega 300  $\Omega$ m viðnámi. Þar fyrir neðan er 300 metra þykkt lag með 49  $\Omega$ m viðnámi og 18  $\Omega$ m þar fyrir neðan.

Slúmm-mælingin sér þrjú háviðnámslög niður á 31 metra dýpi og 49  $\Omega$ m þar fyrir neðan. Straumarmur túlkaðrar mælingar er hins vegar aðeins 312 metrar svo að dýptarskygnið er ekki mikið meira en um 200 metrar.

Báðar mælingarnar sjá viðnámsskil frá 250  $\Omega$ m í 49  $\Omega$ m, en á mismunandi dýpi. TEM mælingin er með þau skil á 300 metra dýpi en slúmm-mælingin á 31 metra dýpi. Um 400 metrar eru á milli mælimiðja og er TEM-mælingin fjær háhitakerfinu.

### Mælingar þar sem ekki er lágviðnámskápa

#### T9895 – T38 Jökulgil

|      | T9895           |  | T38                 |
|------|-----------------|--|---------------------|
| 14m  | 9900 $\Omega$ m |  | 0.7m 383 $\Omega$ m |
| 360m | 71 $\Omega$ m   |  | 4m 509 $\Omega$ m   |
| 495m | 570 $\Omega$ m  |  | 20m 345 $\Omega$ m  |
|      | 25 $\Omega$ m   |  | 258m 117 $\Omega$ m |
|      |                 |  | 193m 153 $\Omega$ m |
|      |                 |  | 47 $\Omega$ m       |

Báðar mælingar sjá hátt yfirborð, þ.e. eitt lag í TEM-mælingunni en þrjú í slúmmínu. Þar fyrir neðan er lag með 70–120  $\Omega$ m viðnámi og er það 360 metra þykkt í temminu en 260 metrar í slúmmínu. Neðan við hækkar viðnámið talsvert og lækkar aftur neðst.

Eins og áður er sams konar karakter í báðum mælingum en eins og áður eru löginn þynnri í slúmm-mælingunni. Slúmm-mælingin er ekki nógu góð í endann til að treysta viðnámsávörðuninni í neðsta lagi.

#### 975932 – T29 Jökulgil

|      | 975932         |  | T29                  |
|------|----------------|--|----------------------|
| 116m | 478 $\Omega$ m |  | 0.5m 2829 $\Omega$ m |
| 142m | 26 $\Omega$ m  |  | 8.3m 378 $\Omega$ m  |
| 143m | 73 $\Omega$ m  |  | 113m 257 $\Omega$ m  |
| 609m | 30 $\Omega$ m  |  | 58 $\Omega$ m        |
|      | 311 $\Omega$ m |  |                      |

Temmið fer úr háu yfirborðslagi niður í 26  $\Omega$ m lag á 116 metra dýpi. Slúmmið sér þrjú yfirborðslög með háu viðnámi og sér svo viðnámslækkun í 58  $\Omega$ m á rúmlega 120 metra dýpi. Temmið sér svo viðnámsskiptingu niður á 1000 metra dýpi, en slúmmið sér ekki viðnámsskil neðan við 120 metra. Slúmmið gæti hins vegar verið að sjá einhvers konar jafnaðar viðnám á þess að geta leyst það upp í einstök viðnámslög.

## T9394 – T15 Tæpum 2 km austan Stóra Hvers

| T9394 |                 | T15                  |
|-------|-----------------|----------------------|
| 9.7m  | 9746 $\Omega$ m | 1.4m 4907 $\Omega$ m |
| 85m   | 17 $\Omega$ m   | 6.5m 76 $\Omega$ m   |
| 365m  | 30 $\Omega$ m   | 187m 21 $\Omega$ m   |
|       | 55 $\Omega$ m   | 987 $\Omega$ m       |

Temmið sér 17  $\Omega$ m undir háu þunnu yfirborðslagi og svo viðnámsþækkun á um 100 metra dýpi og svo enn aðeins þækkun á 450 metra dýpi. Slúmmið sér 21  $\Omega$ m viðnámslag undir tveimur háum yfirborðslögum. Þetta er sama lag og 17  $\Omega$ m lagið í temminu en hér bregður svo við á það er þykkara í slúmm-mælingunni, sem er óvenjulegt. Hér kann skýringin að vera sú að slúmmið sér verulegt stökk frá fremur lágu viðnámi í hátt viðnám og á þannig séð erfitt með að sjá í gegnum lágviðnámið. Slúmmið á líka í erfiðleikum með að ákvarða viðnámið í háviðnáminu (yfirskot), en þar kemur líka til að mælingin er ekki sérlega góð og því erfið í túlkun.

### 4.3 Kostir og gallar mæliaðferðanna

Til að skilja betur niðurstöður mælinganna og hverju þær lýsa, er rétt að líta á eðlismun mæliaðferðanna í stuttu máli. Báðar mæliaðferðir mæla viðnám jarðar við rafstraumi, en á mismunandi hátt.

Schlumberger-mælingarnar eru DC (direct current) aðferð, sem byggist á því að rafstraumur er sendur niður í jörðina og viðnámið reiknað út frá spennumerki í yfirborði og straummerkinu, sem kemst á milli straumpólanna. Mæliaðferðin er þannig háð því að straumur komist niður í jörðina. Til þess að mæla viðnám í lagi á ákveðnu dýpi þarf straumur að komast niður í lagið. Aflestur straumsins er þar með háður lóðréttu þættinum í straummerkinu og straumdreifingin er aðeins að takmörkuðum hluta samsíða viðnámslögnum í lárétt lagskiptri jörð. Straumurinn fer hvorki samsíða né hornrétt á lagmót viðnámslaganna og því er við því að búast að lestur viðnáms verði einhvers konar meðaleðlisviðnám, einkum þar sem um þunn lög er að ræða. Í þykkum einsleitum (stefnusnauðum) lögum er eðlisviðnámið það sama í hvaða stefnu sem straumurinn er og mæliaðferðin les raunverulegt eðlisviðnám lagsins (Knútur Árnason;1995). Á háhitasvæðum eru aðstæður oft mjög erfiðar fyrir DC mælingar þar sem hraun (ferskt, þurrt) í yfirborði er einangrari og veldur því að erfitt er að koma straum niður í jörðina. Vel leiðandi lag við yfirborð skapar einnig erfiðar aðstæður fyrir þessar mælingar. Straumurinn velur sér auðveldustu leið þ.e. í gegnum vel leiðandi lagið og á mjög erfitt með að komast í gegnum það og sjá það sem er fyrir neðan. Mæliaðferðin getur þó séð lag fyrir neðan lágviðnámslag en hefur ekki upplausn til að sjá lagskiptingu með dýpi.

TEM-mælingarna eru svo nefnd EM (electro-magnetic) aðferð, sem byggist á því að rafstraumur er settur á straumlykkju á yfirborði. Þar með byggist upp segulsvið um lykkjuna. Við það að rjúfa strauminn, spanast upp spanstraumar í jörðinni til að vinna á móti hnignun segulsviðsins. Merkið berst síðan niður í jörðina með því að straumur í láréttu lagi spanar upp straum í næsta lagi fyrir neðan og svo koll af kolli. Ríkjandi þáttur í straummerkinu í hverju lagi er lárétti þátturinn, þar sem spanstraumarnir eru samsíða viðnámslögnum í lárétt lagskiptri jörð. Upplýsingar um eðlisviðnám með dýpi

fæst með því að mæla hvernig segulsviðið á yfirborði fellur með tíma í miðju sendilykkjunnar (Knútur Árnason;1995).

Hér að ofan eru bornar saman einstakar mælingar án tilvísunar til ytri aðstæðna, svo sem afstöðu við jarðhitakerfi. Hér verða nú bornar saman mælingar sem endurspeglar líkar aðstæður og reynt að leita skýringa.

### **Mælingar beint ofan í jarðhitakerfið**

Ef litið er á mælingarnar, sem eru beint ofan í jarðhitakerfið má sjá ákveðna samsvörun. Temmið sér lágviðnámskápuna á 25–40 metra dýpi undir einu „háu yfirborðslagi“. Í raun er ekki mark á takandi viðnámsákvörðuninni í yfirborðinu, því temmið greinir illa lagskipti í efst tugum metra. Temmið sér hins vegar vel í gegnum lágviðnámslagið og getur greint lagskiptingu niður á hér 500–600 metra dýpi.

Slúmmið sér mikla nákvæmni í lagskiptingu í efstu 20–40 metrum. Það sér síðan lágviðnámslag, sem er yfirleitt þynnra en í temminu og með lægra viðnámi. Í einni af þessum mælingum, sem eru beint ofan í jarðhitakerfið, sér slúmmið háviðnám undir lágviðnámskápunni eða í T1 í Hrafninnuskeri. Í hinum mælingunum (T7 og T12) sér slúmmið ekki í gegnum lága viðnámið. Í mælingunum T1 og T7 eru aðstæður svipaðar að því leyti að lágviðnámskápan er á 19 metra dýpi. Munurinn er sá að miklu hærra viðnám og fleiri lög eru í yfirborði í mælingu T7, eða fjögur lög; síðan mjög skörp skil úr háu viðnámi í lágviðnámskápuna og mælingin sér ekki niður úr þessu lágviðnámi, en ætti að skynja niður á 300 metra dýpi miðað við lengd mælingar.

Þetta eru verstu aðstæður fyrir slúmm-mælingar. Hátt marglaga yfirborð og mjög lágt viðnám á litlu dýpi. Í öllum þremur dæmunum sér slúmmið ekki þykkt lags neðan 50 metra dýpis. Straumurinn fer eftir lágviðnáminu, getur síðan í sumum tilfellum séð hátt viðnám undir en sér ekki lagskipti neðan háviðnámsins.

Temmið sér í öllum þremur tilfellum lengra og nær að sjá fleiri lög með dýpi. Í mælingunni við Hrafninnusker sér temmið þannig lagskipti niður á 500-600 metra dýpi. Í öllum þremur tilfellum er dýpið niður lágviðnámskápuna það sama í temminu og slúmminu en viðnámið er í öllum tilfellum lægra í slúmminu. Viðnámið er 1–4  $\Omega$ m í lágviðnámskápunni samkvæmt slúmm mælingunum en 5,5–10 samkvæmt temminu.

### **Mælingar í jaðri háhitakerfisins**

Lágviðnámskápan umlykur topp háviðnámskjarnans í háhitakerfum. Jaðar háhitakerfisins er skýrgreindur sem ytri mörk lágviðnámskápunnar á 600–1000 metra dýpi. Hér eru allmörg mælingasett ofan í eða við jaðar háhitakerfisins. Utan á lágviðnámskápu er oft viðnámslag með lágu, eða 10–20  $\Omega$ m viðnámi. Þetta lag er oftast skýrgreint sem sérstakt lag en má jafnvel líta á sem framhald af lágviðnámskápunni, þar sem viðnám hækkar með fjarlægð frá háhitakerfinu. Mælingarnar sjá oft lágviðnámskápuna á nokkru dýpi eða sjá í lágviðnámslagið utan við jaðarinn.

Hér eru aðstæður betri til samanburðar á mæliaðferðunum því að lágviðnámið er á meira dýpi og slúmmið getur því skynjað meira dýpi.

Ef litið er á þennan flokk mælinga í heild sést að í mörgum tilfellum leysir temmið upp í fleiri lög en slúmmið. Þetta sést vel í mælingunum í Jökulgilskjaftri en þar sér slúmmið eitt þykkt lágviðnámslag í stað þriggja laga í temminu.

Dýptarákvörðun niður á lágviðnámið er oft sambærileg allt niður á 200 metra dýpi. Ef lágviðnámið er á meira dýpi gefur slúmmið yfirleitt upp minna dýpi en temmið. Best ákvarðaða stærðin í tem-mælingunum er dýpið á lágviðnámslagið (Knútur Árnason, 1995).

Slúmmið á í erfiðleikum með að sjá í gegnum lágviðnámið sem fyrr. Þó gerist það í nokkrum mælingum, einkum ef lágviðnámið er ekki  $<10 \Omega$ m. Í mælingu í Dómadal hefur slúmmið T42 sama karakter og tem-mælingin T9102; sér í gegnum  $18 \Omega$ m lágviðnámslag og sér tvö lög fyrir neðan líkt og tem-mælingin. Lögin eru hins vegar þynnri í slúmminu og það greinir á um viðnámsgildi í neðsta lagi. Slúmmið sér viðnámslækkun neðst en þar er viðnámsákvörðunin byggð á fáum mæligildum og er því tilhneigingin að trúna betur viðnámsákvörðuninni í tem-mælingunni.

Slúmm-mælingarnar greina hér viðnámskil allt niður á 500 metra dýpi. Í einu tilfelli eru viðnámskil neðar og er það í mælingunni við Norðurbarm T40. Þar ákvarðast þessi skil aðeins af síðustu tveimur mælipunktum og því ekki nákvæm.

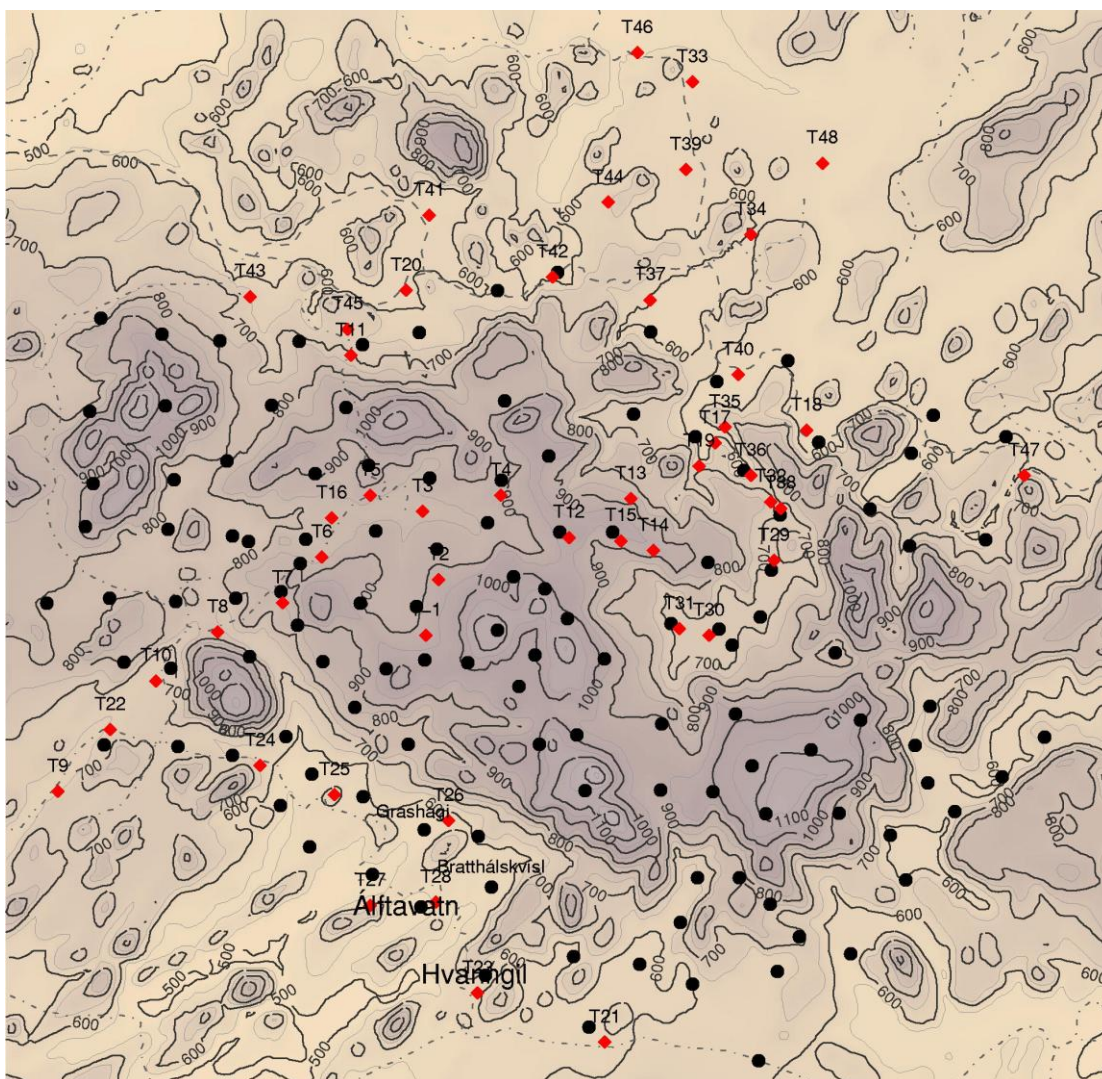
### **Mælingar þar sem ekki er lágviðnámskápa**

Einkenni mælinganna hér eru kunnugleg. Slúmmið leysir vel upp lög í efstu metrum og sér þrjú viðnámslög með háu viðnámi. Viðnámsákvörðunin hlýtur að vera góð ef gögnin eru góð. Temmið sér eitt lag í yfirborði og er viðnámsákvörðunin ekki marktæk. Báðar mæliaðferðir sjá svo viðnámslækkun á sama dýpi, líklega vatnsborð. Þar fyrir neðan greinir temmið yfirleitt upp í fleiri lög en slúmmið. Eins og tekið er fram um mælingarnar í jaðri háhitakerfisins, greinir slúmmið sambærileg viðnámskil og temmið á minna dýpi, þ.e. lögin greinast þynnri í slúmminu.

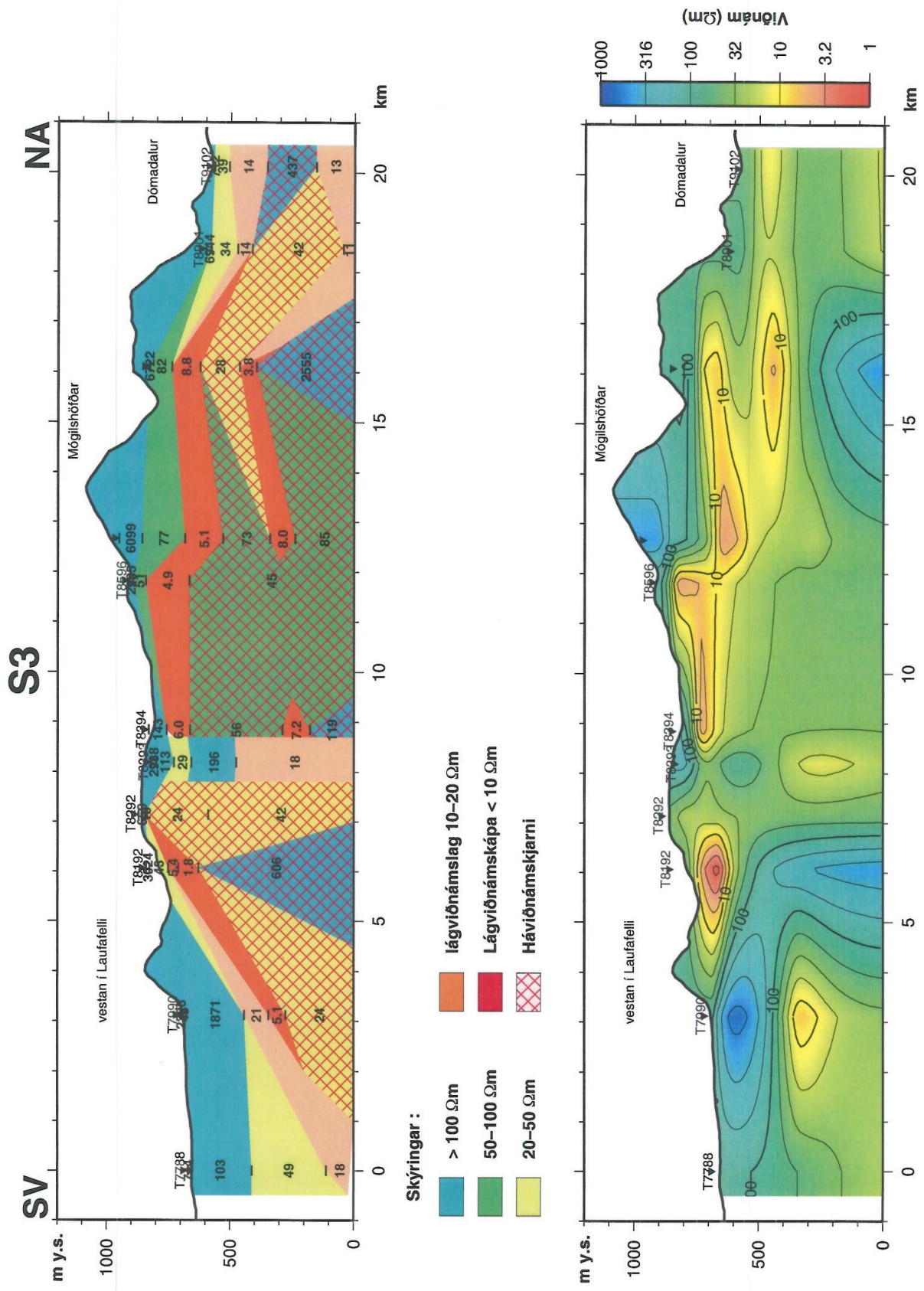
#### 4.4 Viðnámsnið með samanburði mæliaðferða

Að síðustu er sýnt snið S3 með niðurstöðum beggja mæliaðferða (mynd 56). Annars vegar eru snið byggð á lagskiptu líkani og sniði með samfelldri breytingu í viðnámi með dýpi (occam) eftir niðurstöðum TEM-mælinganna. Hins vegar eru niðurstöður Schlumberger-mælinganna (mynd 57). Lega sniðsins er sýnd á mynd 55.

Sniðin sýna vel hve mikill munur er á dýptarskynjun mæliaðferðanna. Schlumberger-mælingarnar sýna vel toppinn á háhitakerfinu þar sem lágviðnámskápan er á litlu dýpi og sér í háviðnámskjarna í tveimur mælingum en ekki lagskipti þar fyrir neðan. TEM-mælingarnar sjá viðnámsbreytingar niður undir 1000 metra dýpi.

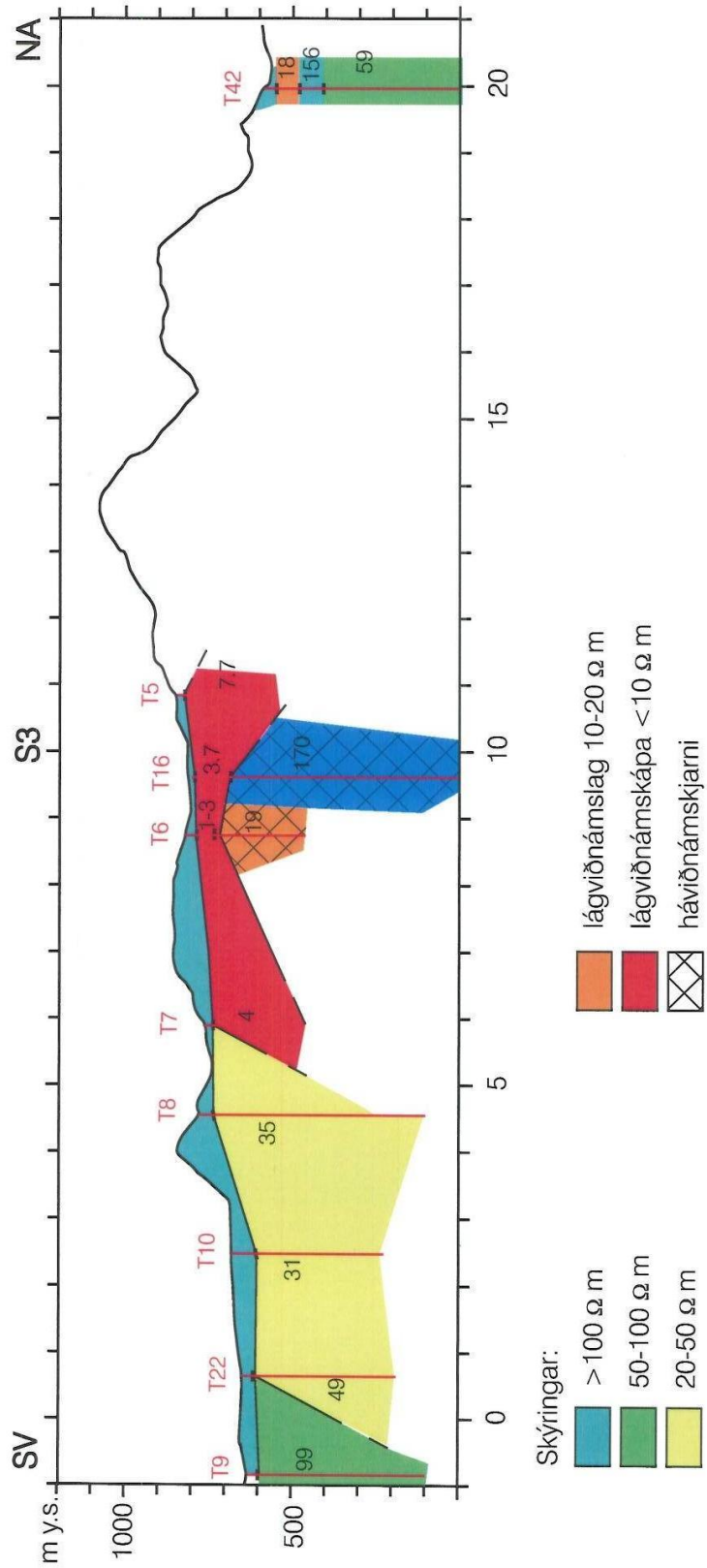


Mynd 55. Lega sniðs S3.



Mynd 56. Viðnámsnið S3. TEM-mælingar.





Viðnámsnið eftir niðurstöðum Schlumberger-mælinga

Mynd 57. Viðnámsnið S3. Schlumberger-mælingar.

## 5 Samandregnar niðurstöður

Við skoðun og samanburð á þessum tveimur viðnámsmælingaaðferðum á Torfajökulsvæði má draga helstu niðurstöður saman þannig:

### Schlumberger-mælingarnar:

- Greina vel lagskipti og ákvarða vel viðnám í efstu tugum metra.
- Ákvarða vel dýpi á lágviðnám.
- Sjá ekki í gegnum lágviðnámskápu  $< 10 \Omega\text{m}$  nærri yfirborði.
- Geta í sumum tilfellum séð í gegnum lágviðnám  $10\text{--}20 \Omega\text{m}$ .
- Greina yfirleitt ekki lagskipti neðan  $500\text{--}600$  metra dýpis.

### TEM-mælingarnar:

- Greina ekki lagskipti í yfirborði.
- Ákvarða ekki rétt viðnám í yfirborði.
- Ákvarða vel dýpi á lágviðnám.
- Sjá í gegnum lágviðnámskápu.
- Greina lagskipti niður á allt að  $1000$  metra dýpi.

## 6. Heimildir

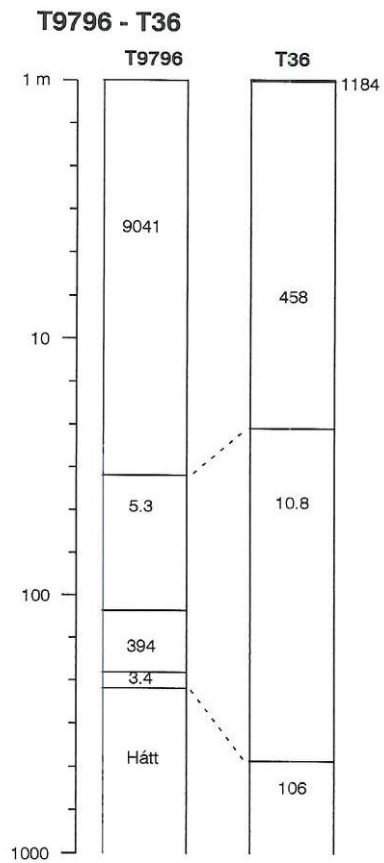
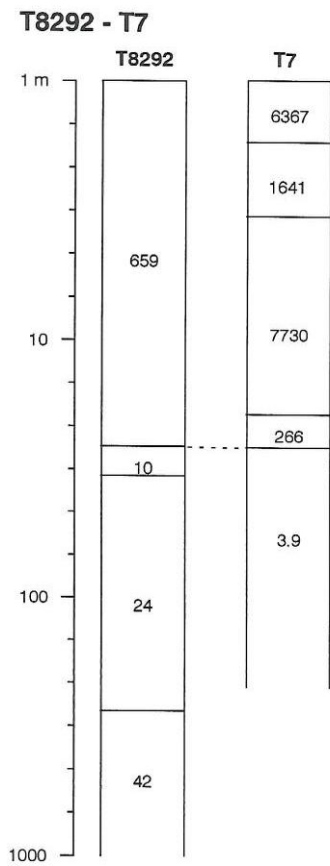
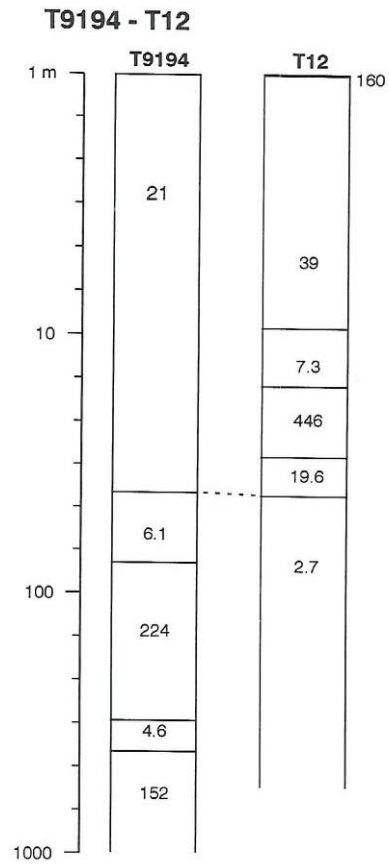
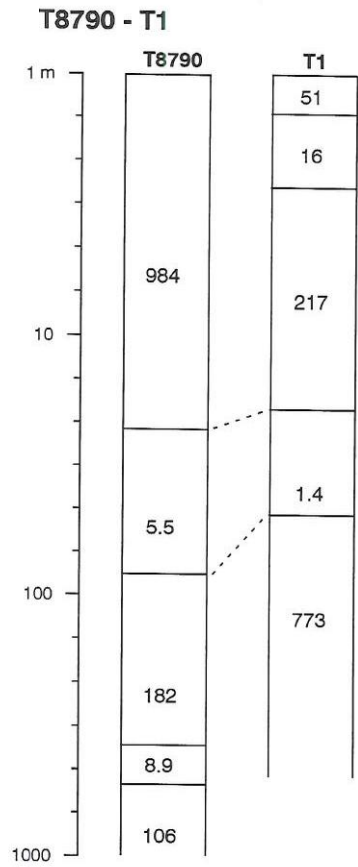
Knútur Árnason; 1995: *Áhrif lagskiptingar á niðurstöður viðnámsmælinga*. Orkustofnun, OS-95013/JHD-08 B.12 s.

Ragna Karlsdóttir; 2001: *Í Torfajökli; TEM-Viðnámsmælingar*. Orkustofnun, OS-2001/031. 131 s.

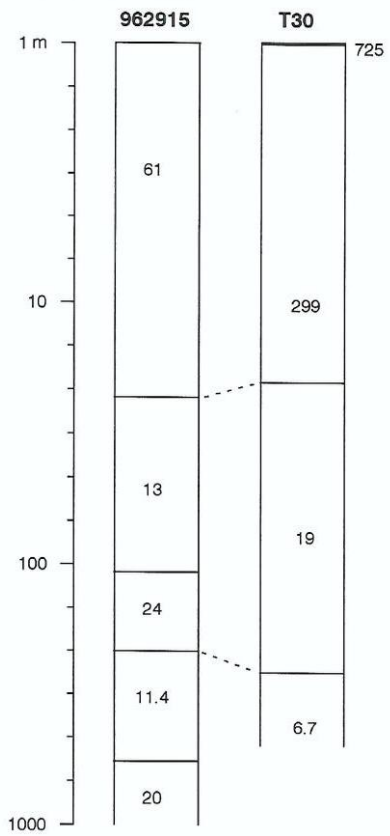
## **VIÐAUKI 1**

**Súlurit, sem sýna samanburð**

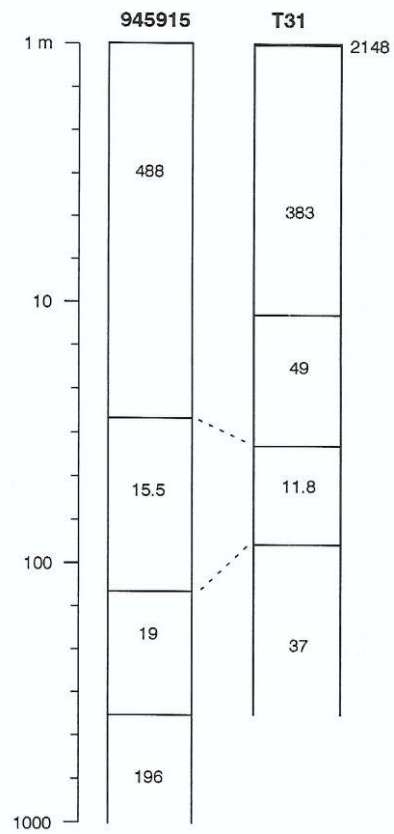
**TEM- og Schlumberger-mælinga**



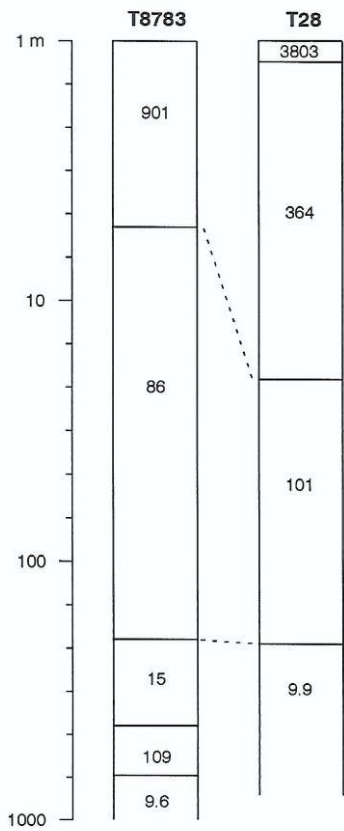
**962915 - T30**



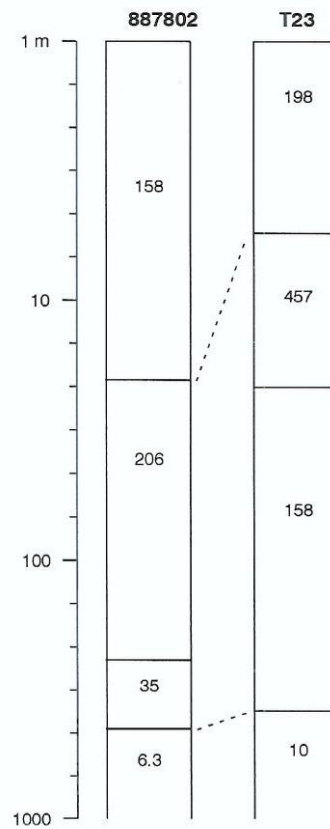
**945915 - T31**



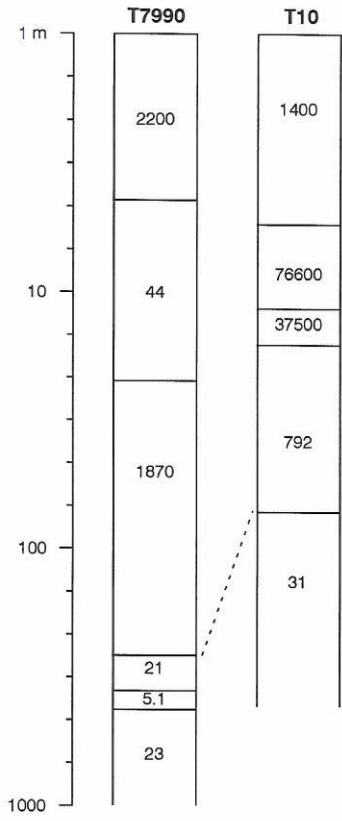
**T8783 - T28**



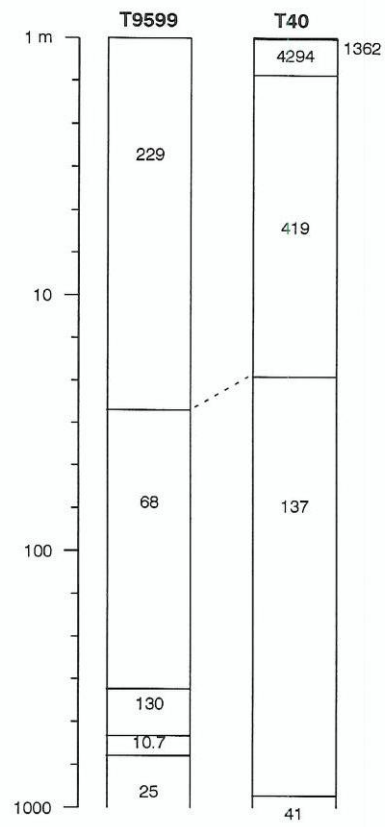
**887802 - T23**



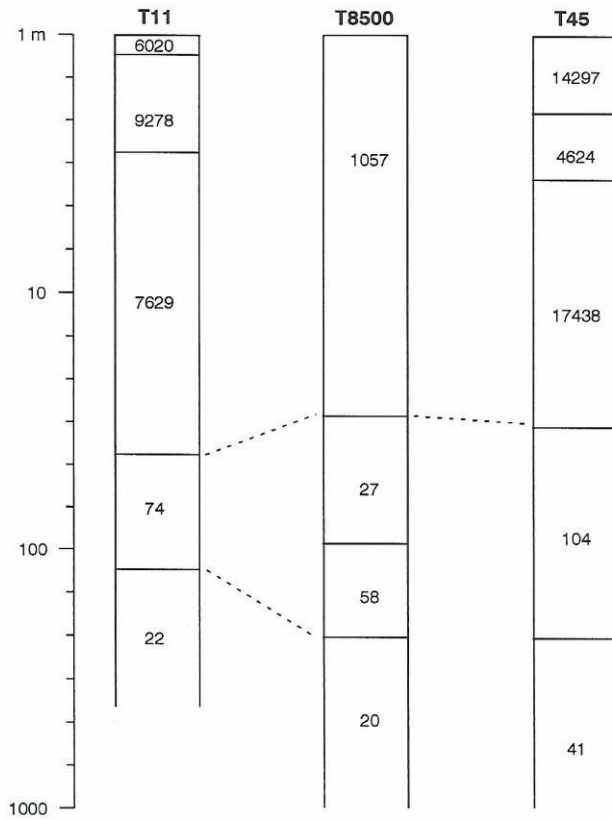
**T7990 - T10**

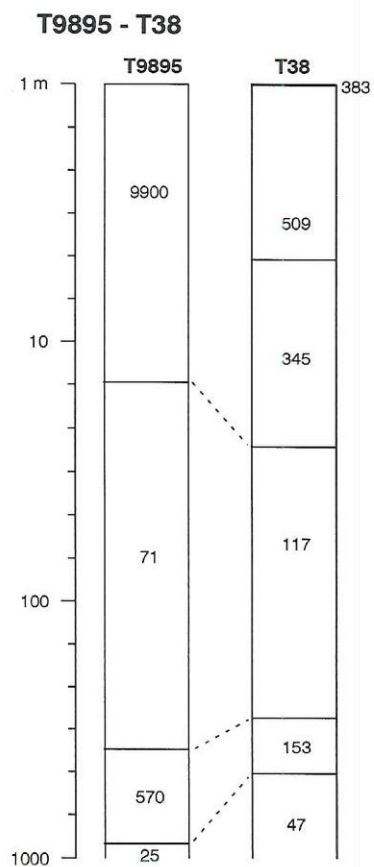
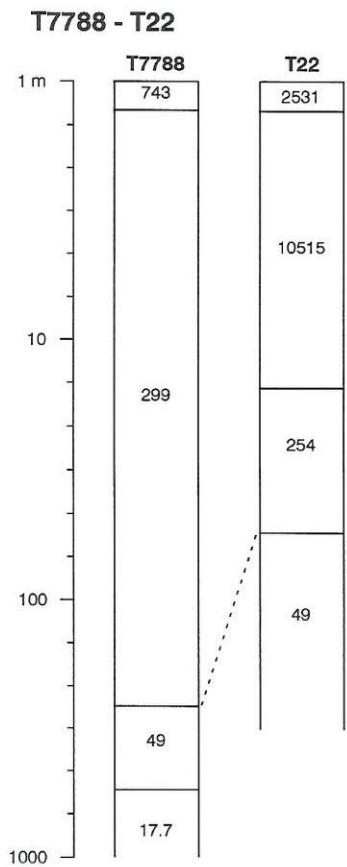
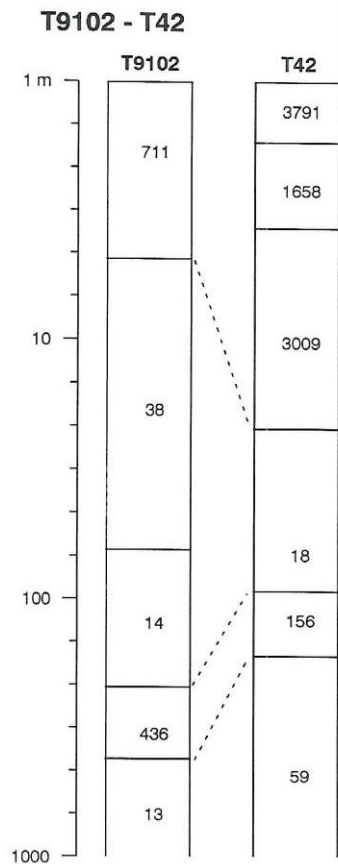
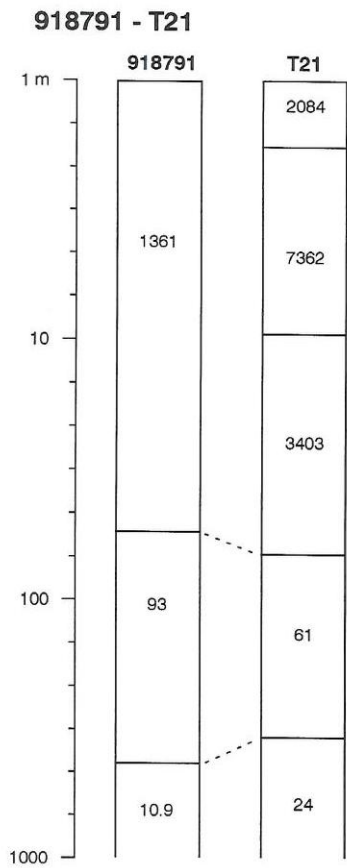


**T9599 - T40**

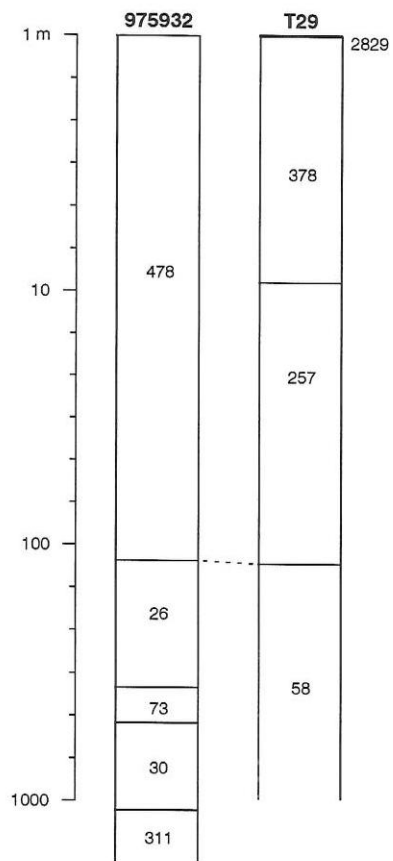


**T11 - T8500 - T45**

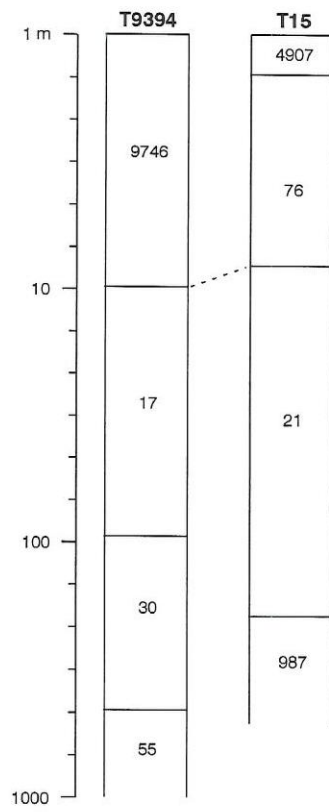




**975932 - T29**



**T9394 - T15**

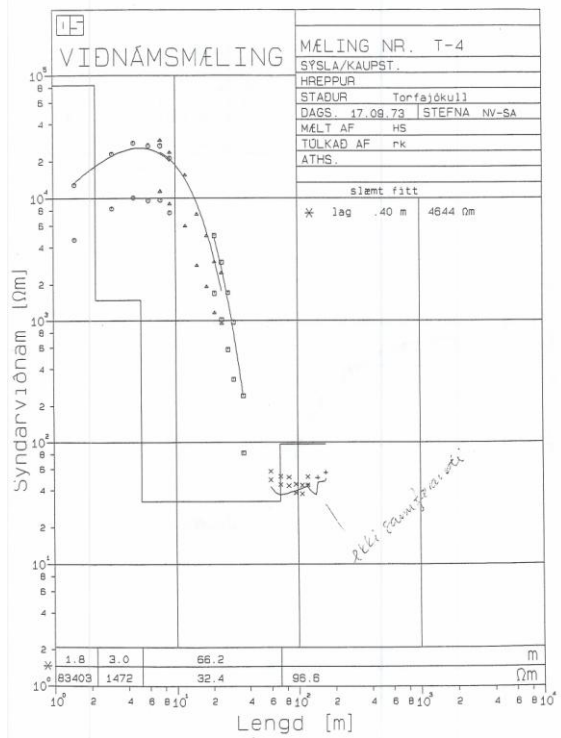
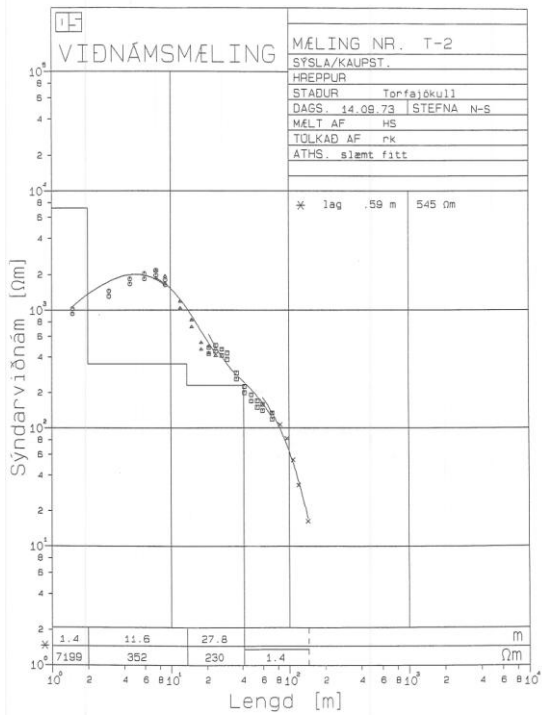
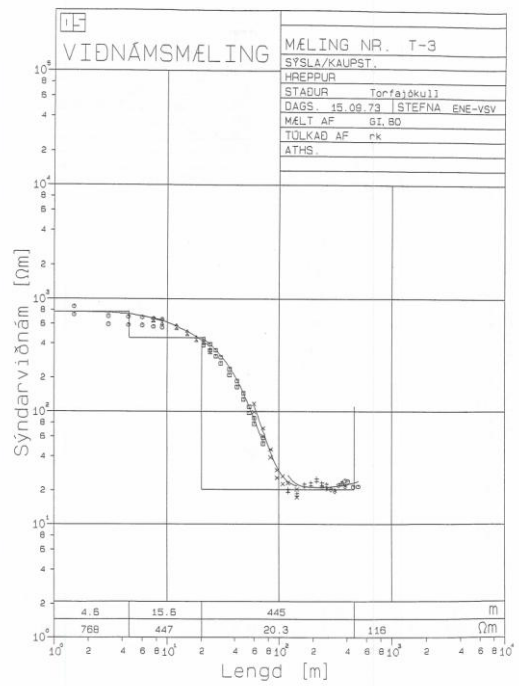
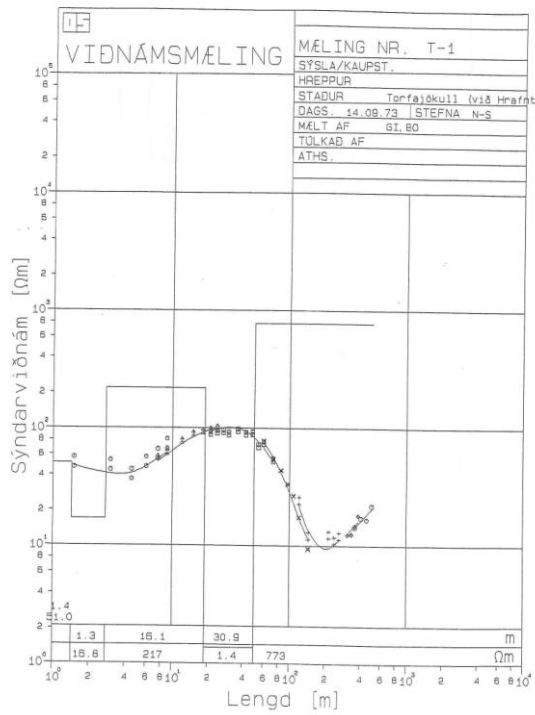


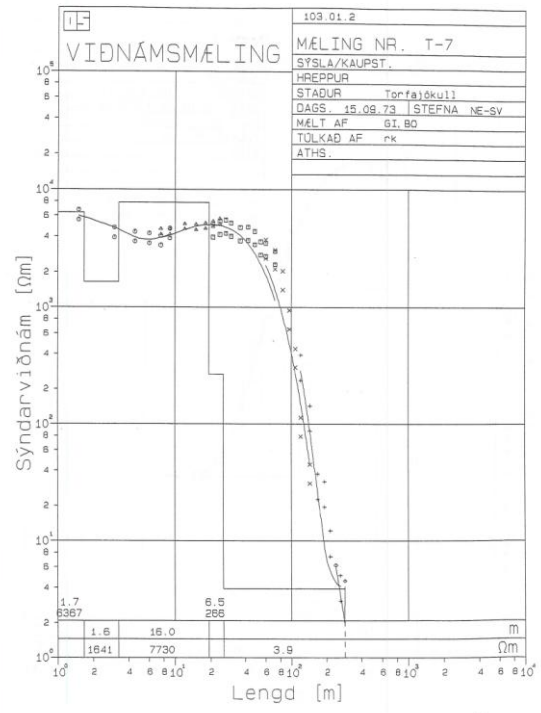
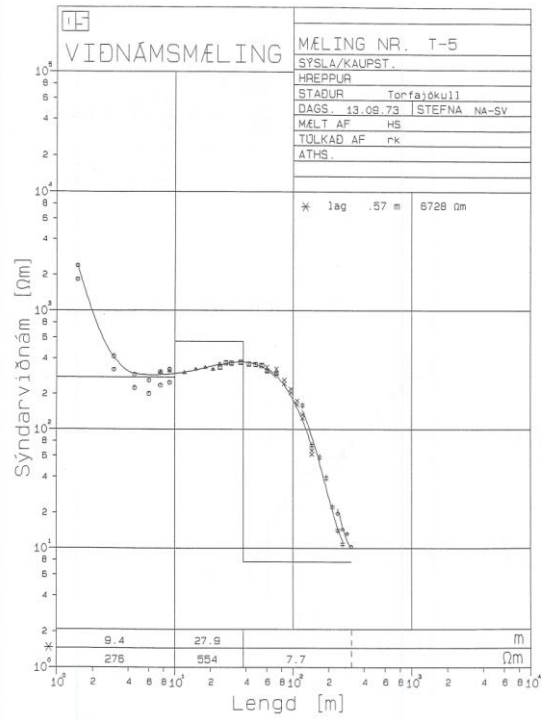


## **VIÐAUKI 2**

**Schlumbergermælingar á Torfajökulssvæði;**

**Mæliferlar og túlkun**





T 8292

