



ORKUSTOFNUN
Jarðhitadeild

Lúðvík S. Georgsson

HÖFUÐBORGARSVÆÐI – BORGARFJÖRÐUR

Niðurstöður viðnámsmælinga

OS-85111/JHD-14

Reykjavík, desember 1985



ORKUSTOFNUN
Grensásvegi 9, 108 Reykjavík

Verknúmer : 511-111

Lúðvík S. Georgsson

HÖFUÐBORGARSVÆÐI - BORGARFJÖRÐUR

Niðurstöður viðnámsmælinga

OS-85111/JHD-14

Reykjavík, desember 1985

ÁGRIP

Birtar eru niðurstöður 323ja viðnámsmælinga, sem gerðar hafa verið síðan 1970, á höfuðborgarsvæði, við Hvalfjörð og í Borgarfirði. Viðnám þessa landsvæðis einkennist af ílöngum lágviðnámssvæðum eða -beltum og afmörkuðum háviðnámssvæðum. Lágt viðnám er einkum tengt háum hitastigli og góðri sprunguleiðni og því gefa lágviðnámsbeltin upplýsingar um stærð jarðhitasvæða og rennslileiðir jarðhitavatnsins. Flest háviðnámssvæði utan við gosbeltið koma fram í rústum útkulnaðra megineldstöðva, þar sem bergið er mjög ummyndað og mikið um innskot. Við jaðar gosbeltisins kemur einnig fram hátt djúpviðnám og er það hæst innan virkra brotakerfa svo sem innan Hengils- og Trölladyngjusprungusveimanna. Bergið er þarna kalt og opið. Þessi svæði sýna öll einkenni niðurstreymissvæða.

Á höfuðborgarsvæðinu mælist lágt eðlisviðnám, < 50 ohmm, á aflöngu svæði eða beltum sem teygir sig vestan frá Álftanes og austur fyrir Reyki í Mosfellssveit. Öll jarðhitasvæðin á höfuðborgarsvæði eru innan beltisins. Viðnámið er áberandi lægst á Reykjum og í Reykjavík, sem eru öflugustu jarðhitasvæðin. Reykir skera sig þó nokkuð úr því að undir lága viðnáminu á 300-500 m dýpi kemur fram hátt viðnám, um eða yfir 100 ohmm. Háa viðnámið má skýra með mikilli ummyndun bergsins, og er hún ekki í jafnvægi við hitaástand bergsins nú, en sýnir flest einkenni háhitasvæðis sem ætla má að hafi verið þarna í fyrndinni. Bestu vinnslusvæði jarðhitans eru við jaðra þessa háviðnámslags. Heita vatnið virðist vera ættað úr gosbeltinu í austri og líklega skammt aðrunnið.

Í Hvalfirði koma fram meiriháttar lágviðnámssvæði. Eitt þeirra er við Akrafjall og teygir sig upp í Borgarfjarðardali. Enginn jarðhiti er þarna á yfirborði en jarðhitasvæðið á Leirá er nokkru norðar. Önnur lágviðnámssvæði eru í Grafardal, í Hvalfjarðarbotni og í Kjósarskarði. Þessi svæði eru ef til vill tengd en frekari gögn vantar til að staðfesta það. Jarðhiti er á yfirborði í Brynjudal og í Kjósarskarði. Dæmigerð háviðnámssvæði fyrir kjarna gamla megineldstöðva er að finna í Hvalfirði.

Viðnámið í Borgarfjarðardölum er víðast lágt. Stórt lágviðnámssvæði er í Reykholtstal og nær þaðan alla leið fram á Arnarvatnsheiði. Annað svæði teygir sig frá jarðhitunum í vestanverðum Stafholtstungum, fram Norðurárdal og inn á heiðar og hið þriðja úr innanverðum Lundareykjadal norðaustur á Kaldadal.

Álitlegustu svæðin til frekari rannsókna eru Korpuósar, Kjósarskarð, Álftanes, Hvalfjarðarbotn og svæðið umhverfis Akrafjall. Þá er þekkingu á jarðhitasvæðinu á Reykjum ábótavant og þar þarf að bæta um betur.

EFNISYFIRLIT

ÁGRIP.....	2
EFNISYFIRLIT.....	3
MYNDASKRÁ.....	4
1 INNGANGUR.....	5
2 FRAMKVÆMD VIÐNÁMSMÆLINGANNA.....	6
3 ÚRVINNSLA VIÐNÁMSMÆLINGANNA.....	12
4 NIÐURSTÖÐUR VIÐNÁMSMÆLINGANNA.....	13
4.1 Höfuðborgarsvæðið.....	13
4.2 Hvalfjörður.....	20
4.3 Borgarfjörður.....	24
5 JARÐHITI OG LÁGVÍÐNÁM.....	28
5.1 Tengsl jarðhitans við berggrunninn.....	28
5.2 Álitleg svæði til frekari rannsókna.....	34
6 HELSTU NIÐURSTÖÐUR.....	36
HEIMILDIR.....	38

MYNDASKRÁ

1	Staðsetning viðnámsmælinga og -sniða á höfuðborgarsvæði.....	7
2	Staðsetning viðnámsmælinga í Hvalfirði og nágrenni.....	10
3	Staðsetning viðnámsmælinga í Borgarfirði.....	11
4	Eðlisviðnám á höfuðborgarsvæði á 250 m dýpi undir sjávarmáli.	14
5	Eðlisviðnám á höfuðborgarsvæði á 500 m dýpi u.s.....	15
6	Eðlisviðnám á höfuðborgarsvæði á 750 m dýpi u.s.....	16
7	Viðnámssnið A-A` og B-B` á höfuðborgarsvæði.....	18
8	Viðnámssnið C-C` og D-D` á höfuðborgarsvæði.....	19
9	Eðlisviðnám í Hvalfirði og nágrenni á 250 m dýpi u.s.....	21
10	Eðlisviðnám í Hvalfirði og nágrenni á 500 m dýpi u.s.....	22
11	Eðlisviðnám í Hvalfirði og nágrenni á 750 m dýpi u.s.....	23
12	Eðlisviðnám í Borgarfirði á 250 m dýpi u.s.....	25
13	Eðlisviðnám í Borgarfirði á 500 m dýpi u.s.....	26
14	Eðlisviðnám í Borgarfirði á 750 m dýpi u.s.....	27
15	Eðlisviðnám svæðisins Langjökull-Reykjavík á 500 m dýp.i.....	29
16	Jarðhitasvæði og rennslisleiðir jarðhitavatns við innanverðan Faxaflóa.....	33

1 INNGANGUR

Á áratugnum 1970-1980 var mikið átak gert í rannsóknum og borunum á jarðhitasvæðunum í og við Reykjavík, sem Hitaveita Reykjavíkur nýtir til heitavatnsvinnslu. Einn þáttur í því voru umfangsmiklar viðnámsmælingar. Tilgangur þeirra var að kanna innri gerð jarðhitasvæðanna, og leita nýrra vinnslusvæða. Megintilgangur þessarar skýrslu er að gera grein fyrir niðurstöðum þessara mælinga. Af ýmsum ástæðum, sem komið verður inn á síðar, þótti hentugt að takmarka skýrsluna ekki við næsta nágrenni Reykjavíkur heldur verða hér birtar í heild niðurstöður viðnámsmælinga í sveitunum við innanverðan Faxaflóa. Í þessum héruðum eru tvö af stærstu lághitasvæðum landsins, Reykholtsvæðið í Borgarfirði og Reykjasvæðið í Mosfellsdal. Það er forvitnilegt að bera þessi svæði saman enda að sumu leyti mjög ólík. Með því að taka svo víðáttumikið svæði fyrir er einnig hægt að gera sér betur grein fyrir rennslisleiðum jarðhitavatnsins og tengslunum milli hinna fjölmörgu jarðhitakerfa. Megináherslan verður þó vissulega lögð á Reykjavík og næsta nágrenni, þ.e. svæðið sem oft er nefnt höfuðborgarsvæði.

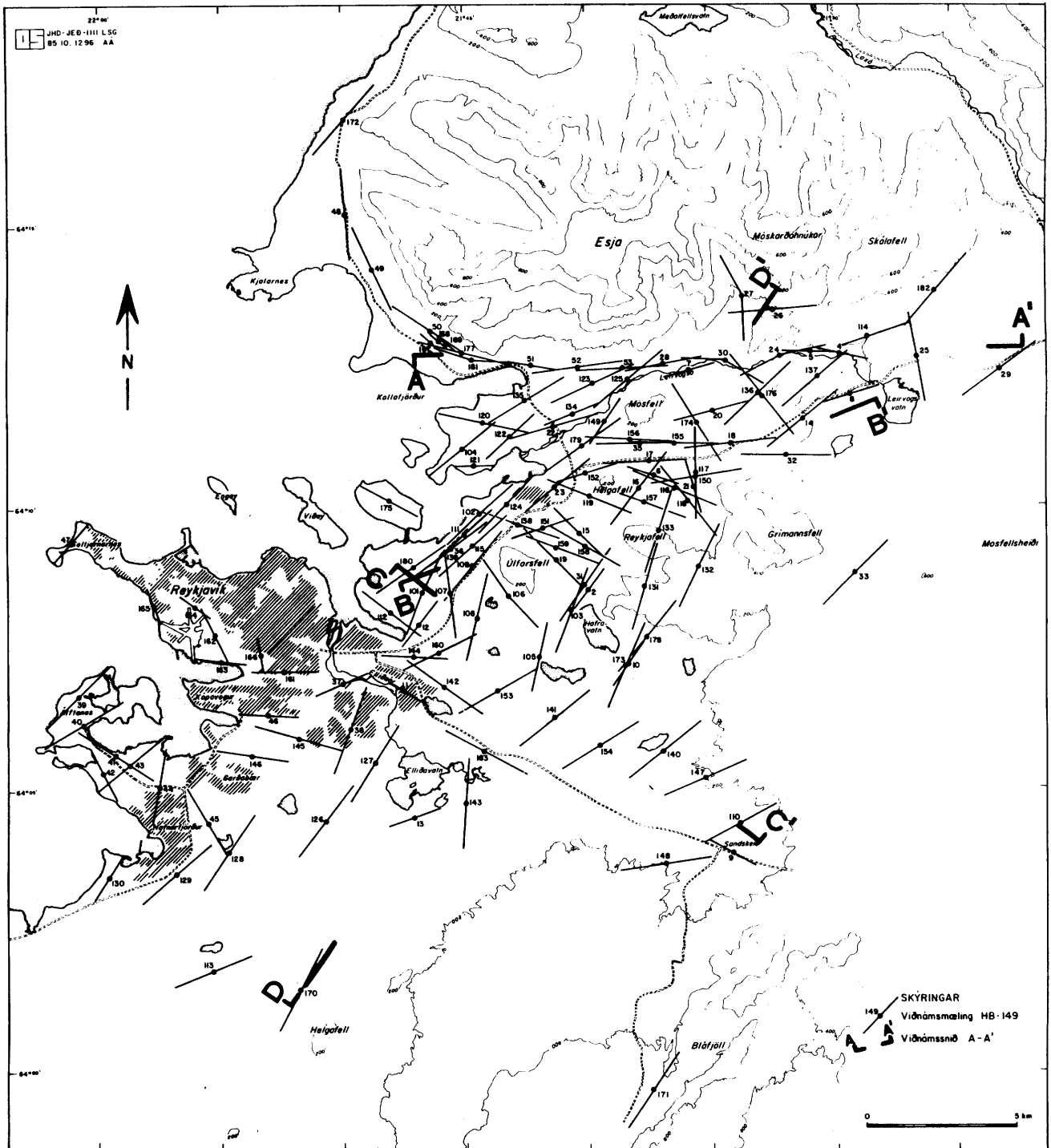
Í skýrslunni er orðið höfuðborgarsvæðið notað yfir nokkru víðáttumeira svæði en oftast tíðkast. Hér nær það yfir landsvæðið sem sveitarfélögin Reykjavík, Seltjarnarnes, Kópavogur, Garðabær, Hafnarfjörður, Bessastaðahreppur, Mosfellshreppur og Kjalarneshreppur afmarka. Þetta er landsvæðið sem afmarkast af Esjunni til norðurs og gosbeltinu til austurs og suðurs. Innan marka þess eru allmörg jarðhitasvæði. Þeirra helst eru auðvitað Reykir í Mosfellssveit og Laugardalur í Reykjavík, en af öðrum má nefna Elliðaársvæðið, Seltjarnarnes og Álftanes. Svæðin eru öll sem næst fullnýtt í dag að Álftanesi undanskildu, en þar hafa einungis verið boraðar hitastigulsholur. Það er áriðandi að fá úr því skorið hvort meira heitt vatn sé að hafa innan marka höfuðborgarsvæðisins áður en farið verður út í stórvirkjun Hitaveitu Reykjavíkur á Nesjavöllum. Einn þáttur í þeirri könnun var borun djúprar holu við Korpuósa síðastliðinn vetur. Annar er þessi úttekt á viðnámsmælingum á höfuðborgarsvæðinu, sem flestar voru gerðar fyrir Hitaveitu Reykjavíkur á árabílinu 1970-1977.

2 FRAMKVÆMD VIÐNÁMSMÆLINGANNA

Viðnámsmælingar voru fyrst gerðar af Orkustofnun árið 1947 og var m.a. mælt í Mosfellsdal og við Laugarnar í Reykjavík (Gunnar Böðvarsson 1947). Í skýrslu til hitaveitustjóra um niðurstöðurnar í Mosfellsdal segir Gunnar Böðvarsson (1949) að tilgangur mælinganna hafi verið að athuga útbreiðslu jarðhita í Mosfellsdal, að niðurstöðurnar séu mjög glöggar, áhrif heita vatnsins á jarðviðnámið mikil og góð samsvörun milli 25 ohmm jafnviðnámslínunnar og ytri marka jarðhitasvæðisins í Mosfellsdal. Mælingarnar náðu aðeins niður á um 100 m dýpi. Niðurstöður þessara mælinga eru forvitnilegar þó að gildi þeirra sé takmarkað vegna mikilla framfara í mælitækni og úrvinnslu.

Ekki voru aftur gerðar viðnámsmælingar á höfuðborgarsvæði fyrr en í byrjun áttunda áratugsins. Um það leyti urðu miklar framfarir í mælitækni svo að hægt var að fá upplýsingar um jarðlög allt niður á 1000 m dýpi. Þessari nýju tækni var beitt til að rannsaka jarðhitasvæðin í nágrenni Reykjavíkur. Við mælingarnar var notuð svokölluð Schlumbergeruppröðun rafskautanna en það er sú aðferð viðnámsmælinga sem mest hefur verið notuð hér á landi. Mælingarnar voru gerðar fyrir Hitaveitu Reykjavíkur nema annars sé sérstaklega getið. Sumarið 1970 voru gerðar alls 13 mælingar (HB01 - HB13), m.a. í Reykjavík, Mosfellssveit og Stardal og var ætlunin "að reyna viðnámsmæliaðferðina við könnun á dýpri jarðlögum á lágheitsvæði" (Guðmundur Guðmundsson og Jens Tómasson 1971). Mælingarnar þóttu gefa góða raun svo að sumarið 1971 var mælt allvíða í innanverðum Kjalarneshreppi og Mosfellssveit til að kanna útbreiðslu jarðhita innan við og umhverfis Stardalsmegineldstöðina (Ingvar Birgir Friðleifsson og Jens Tómasson 1972). Mælingarnar urðu alls 25 (HB14 - HB38). Ennfremur voru gerðar nokkrar mælingar á Álftanesi (Ingvar Birgir Friðleifsson 1976) og í Kópavogi (HB39 - HB46). Sumarið 1972 var gerð ein mæling á utanverðu Seltjarnarnesi (HB47) og nokkrar mælingar á Kjalarnesi (HB48 - HB53) að beiðni hreppsnefndar (Ingvar Birgir Friðleifsson 1974). Fjallað var um niðurstöður mælinganna í þeim skýrslum, sem vitnað hefur verið til, en helstu niðurstöður viðnámsmælinga næst Reykjavík eru einnig birtar í stórri skýrslu um jarðhitarannsóknir á höfuðborgarsvæði (Jens Tómasson o.fl. 1977).

Vorið 1974 var lögð fram áætlun um enn umfangsmeiri jarðhitarannsóknir "til að kanna sem nákvæmast hvar finna megi virkjanlegan jarðhita á höfuðborgarsvæðinu" (Ingvar Birgir Friðleifsson og Jens Tómasson 1974). Þar á meðal voru tillögur um að þetta viðnámsmælinganetið í nágrenni Höfuðborgarsvæðisins eins og kostur væri, auk tillagna um



1. mynd. Staðsetning viðnámsmælinga og -stöða á höfuðborgarsvæði.

flugsegulmælingar, þyngdarmælingar og jarðsveiflumælingar. Viðnámsmælingar hófust því að nýju og sumrin 1974 og 1975 voru alls gerðar 70 mælingar innan marka þess svæðis sem hér er nefnt höfuðborgarsvæði (HB101 - HB169, HB172). Við þetta var bætt nokkrum mælingum á næstu árum, flestum sumarið 1977 (HB170 - HB171, HB173 - HB183).

Á þessum árum voru einnig gerðar nokkrar svokallaðar tvíþólmælingar á höfuðborgarsvæðinu. Tvíþólmælingar eru önnur tegund viðnámsmælinga og er munurinn fólgin í að mæliskautum er raðað upp á annan hátt en í Schlumberger-viðnámsmælingum. Með tvíþólmælingum er auðveldara að sjá dýpra en með venjulegum viðnámsmælingum. Þær hafa hins vegar reynst erfiðar í túlkun og því lítil áhersla verið lögð á þær undanfarin ár. Hér verður ekki fjallað sérstaklega um þær en niðurstöðurnar þó notaðar lauslega til stuðnings niðurstöðum annarra mælinga.

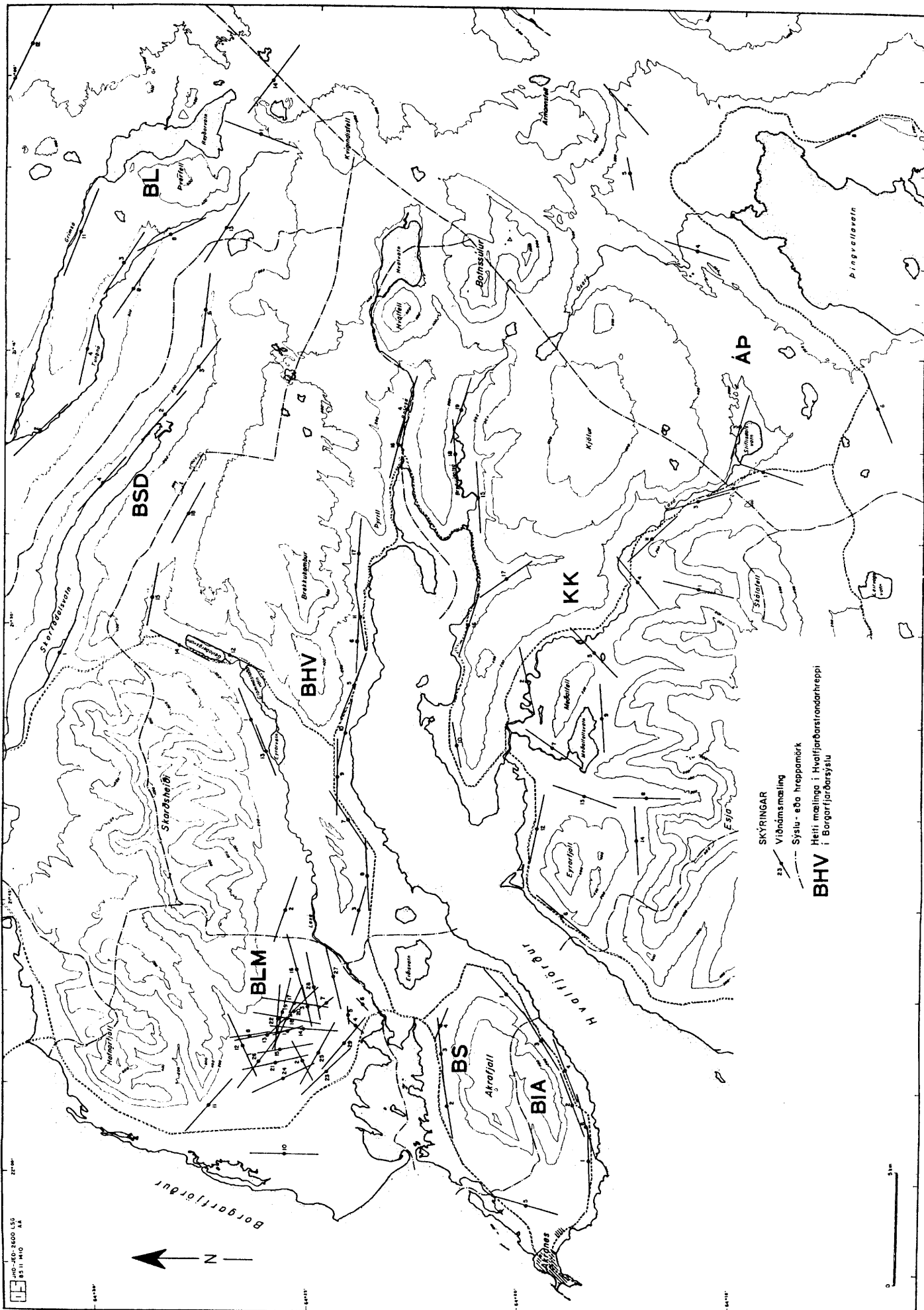
Fullnaðarúrvinnsla á þessu mikla mæliverkefni var þröskuldur sem erfitt reyndist að yfirstíga þar sem önnur og tímabundnari verkefni fengu forgang. Árið 1979 var gengið frá skýrslu um niðurstöður jarðsveiflumælinganna og þyngdarmælinganna að vissu marki, en þar var aðeins lítillega komið inn á viðnámsmælingarnar (Ólafur G. Flóvenz 1979). Margir hafa unnið talsvert að úrvinnslu þeirra en minnst af því hefur skilað sér á prent. Þó má nefna skýrslu um jarðhitaleit í Víðinesí (Ingvar Birgir Friðleifsson og Valgarður Stefánsson 1975), skýrslu um heitavatnsöflun í Kollafirði (Ingvar Birgir Friðleifsson o.fl. 1976) og erindi sem flutt var á jarðhitaráðstefnu Sameinuðu þjóðanna sumarið 1975 (Jens Tómasson o.fl. 1975). Af öðrum, sem lögðu hönd á plóginn, má nefna Guðmund Inga Haraldsson, Báru Björgvinsdóttur og síðast en ekki síst Rögnu Karlsdóttur. Niðurstöðurnar, sem hér eru birtar, byggja þó eingöngu á tölvuvinnslu mælinganna og sú úrvinnsla hefur að mestu verið unnin á þessu ári.

Á 1. mynd er sýnd staðsetning allra viðnámsmælinga á höfuðborgarsvæði og sömuleiðis staðsetning þeirra viðnámsniða sem dregin voru.

Niðurstöður jarðhitarannsókna í Borgarfirði gefa til kynna að með viðnámsmælingum megi rekja rennslisleiðir lághitavatns frá niðurstreymissvæði til jarðhitasvæðis (Lúðvík S. Georgsson o.fl. 1984). Til að geta skoðað þetta betur fyrir jarðhitakerfin næst Reykjavík var ákveðið takmarka þessa skýrslu ekki við næsta nágrenni Reykjavíkur heldur birta einnig niðurstöður viðnámsmælinga í sveitum Hvalfjarðar og Borgarfjarðar. Með því að leggja öll þessi gögn til grundvallar er hægt að draga heillegt viðnámskort af þessu landsvæði og gera sér grein fyrir helstu rennslisleiðum jarðhitavatnsins ásamt stærð og skyldleika hinna ýmsu jarðhitasvæða. Aðeins lítill hluti þessara gagna hefur birst áður í skýrslum Orkustofnunar en úrvinnsla þeirra var hins vegar að verulegu leyti lokið. Því kostaði þessi útvíkkun á umfangi verksins ekki mikla vinnu. Eins og fyrr getur verður aðaláherslan þó lögð á gögnin frá höfuðborgarsvæðinu og umfjöllun um þau.

Viðnámsmælingar í Hvalfirði voru þáttur í þremur stórum jarðhitaverkefnum. Sumrin 1974 og 1975 var mælt víða í Kjós (KK01 - KK14) og vestanverðum Þingvallahreppi (ÁÞ01 - ÁÞ03). Niðurstöðurnar hafa til þessa lítið komist á prent en verið kynntar á fundum. Stuðst var við hluta þeirra í áður nefndu erindi á jarðhitaráðstefnu Sameinuðu þjóðanna (Jens Tómasson o.fl. 1975). Sumarið 1976 var gerð heildarkönnun á jarðhitamöguleikum Akraness sunnan Skarðsheiðar og mælt víða í Leirársveit (BLM01 - BLM29), á utanverðri Hvalfjarðarströnd (BHV01 - BHV04) og umhverfis Akranes (BS01 - BS06, BIA01 - BIA04). Um niðurstöðurnar var fjallað ýtarlega í skýrslu Jarðhitadeildar: "Heildarkönnun á jarðhitamöguleikum á svæðinu milli Akraness og Skarðsheiðar (Ingvar Birgir Friðleifsson o.fl. 1977). Í framhaldi af þessum verkefnum var töluvert mælt í innanverðum Hvalfirði og víðar til að tengja mætti svæðin saman og fá heillegri mynd af viðnámi suðvesturlands (KK15 - KK19, BHV05 - BHV19, ÁÞ04-ÁÞ08). Þessar mælingar voru flestar gerðar sumarið 1977. Staðsetning viðnámsmælinga í Hvalfirði er sýnd á 2. mynd.

Viðnámsmælingar í Borgarfirði voru til að byrja með þáttur í rannsóknum á hverasvæðunum, sem kennd eru við Bæ í Bæjarsveit og Deildartungu - Kleppjárnsreyki, og unnið var að sumrin 1975-1978 fyrir Hitaveitu Akraness og Borgarfjarðar (Lúðvík S. Georgsson o.fl. 1978, Lúðvík S. Georgsson o.fl. 1981). Mælingum var síðan fram haldið sem þætti í heildarkönnun jarðhitans í Borgarfirði en að því verkefni var aðallega unnið sumrin 1980-1982. Helstu niðurstöður voru kynntar í greinum í tímaritinu Jökli (Lúðvík S. Georgsson o.fl. 1984 og 1985). Staðsetning viðnámsmælinga í Borgarfirði er sýnd á 3. mynd.



2. mynd. Staðsetning viðnámsmælinga við Hvalfjörð og í nærsveitum.

3 ÚRVINNSLA VIÐNÁMSMÆLINGANNA

Hér verður aðeins farið mjög stuttlega út í úrvinnsluaðferðir viðnámsmælinganna en þeim eru gerð betri skil í annari skýrslu (sjá neðar). Í stuttu máli sagt þá voru allar mælingarnar túlkaðar einvítt, þ.e. einungis var gert ráð fyrir að viðnám væri breytilegt með dýpi. Einvíð túlkun gefur viðunandi niðurstöður, ef viðnám breytist ekki stórlega í lárétta stefnu yfir stuttar vegalengdir. Til túlkunar var notað forritið CIRCLE2 (Johansen 1977) en það hentar betur fyrir eldri gögn en nýrri forrit. Tvívíðri túlkun var ekki beitt þar sem hvorki var mælt nógu reglulega né nógu þétt til að slík úrvinnsla væri til bóta. Hins vegar er ljóst að tvívíð líkansgerð er æskileg, einkum í námunda við og innan jarðhitasvæðisins á Reykjum í Mosfellssveit og þar mundi hún gæti hún skilað mun nákvæmara líkani af jarðhitakerfinu. Til þess þarf þó að mæla nokkuð til viðbótar á Reykjasvæðinu.

Úrvinnslunni eru að öðru leyti gerð skil í skýrslunni: "Viðnámsmælingar við innanverðan Faxaflóa, úrvinnsluaðferðir og gögn" (Lúðvík S. Georgsson 1985) sem inniheldur ýtarlegan kafla um úrvinnsluaðferðir. Auk þess er þar gefin staðsetning allra mælinganna, staðarákvörðun þeirra í Mercator-hnitum á bandarísku AMS-kortunum og birtir allir viðnámsmæliferlarnir, besta einvíða túlkun þeirra með forritinu CIRCLE2 og sá reiknaði ferill sem samsvarar henni.

Rétt er að geta þess sérstaklega hér að allar mælingar næst ströndinni voru leiðréttar fyrir áhrifum sjávar. Slíkar leiðréttingar var farið að gera um 1980. Þá hafði komið í ljós að óvarlegt var að treysta um of niðurstöðum viðnámsmælinga, sem voru staðsettar innan við 1 km frá sjó. Til þess að leiðrétta misræmið er notað sérstakt forrit byggt á líkani sem Mundrey og Worzyk (1979) settu fram. Þar er gert ráð fyrir að áhrif sjávar megi nálga með áhrifum frá þunnri hálfóendanlegri og algjörlega leiðandi plötu. Gott samræmi fékkst yfirleitt milli mælinga með þessari leiðréttingaraðferð meðan mælimiðjan var ekki alltof nálægt ströndinni. Þegar fjarlægðin fór niður fyrir 200 m versnaði samræmið og verður að taka niðurstöðum slíkra mælinga með mikilli varúð. Þetta á einkum við mælingar á utanverðu Álftanesi, Seltjarnarnesi og í Reykjavík.

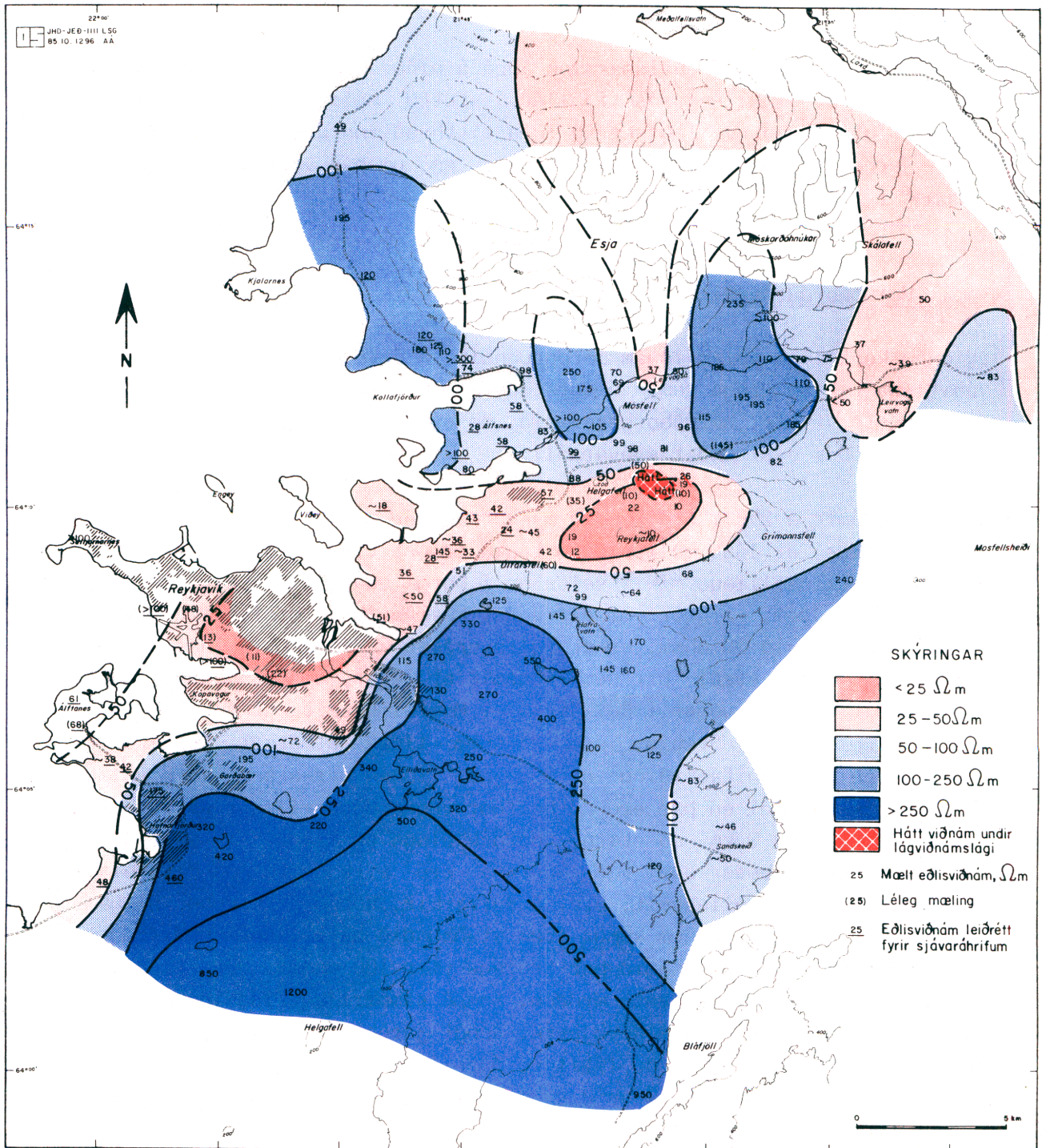
4 NIÐURSTÖÐUR VIÐNÁMSMÆLINGANNA

Í þessum kafla er aðaláherslan lögð á niðurstöður viðnámsmælinga á höfuðborgarsvæðinu, en síðan fjallað í stuttu máli um Hvalfjörð og Borgarfjörð. Óhjákvæmilegt er að fara eitthvað inn á tengsl viðnámsins við jarðhita, berggerð og gosbelti, en um það verður þó fyrst og fremst fjallað í næsta kafla.

4.1 Höfuðborgarsvæði

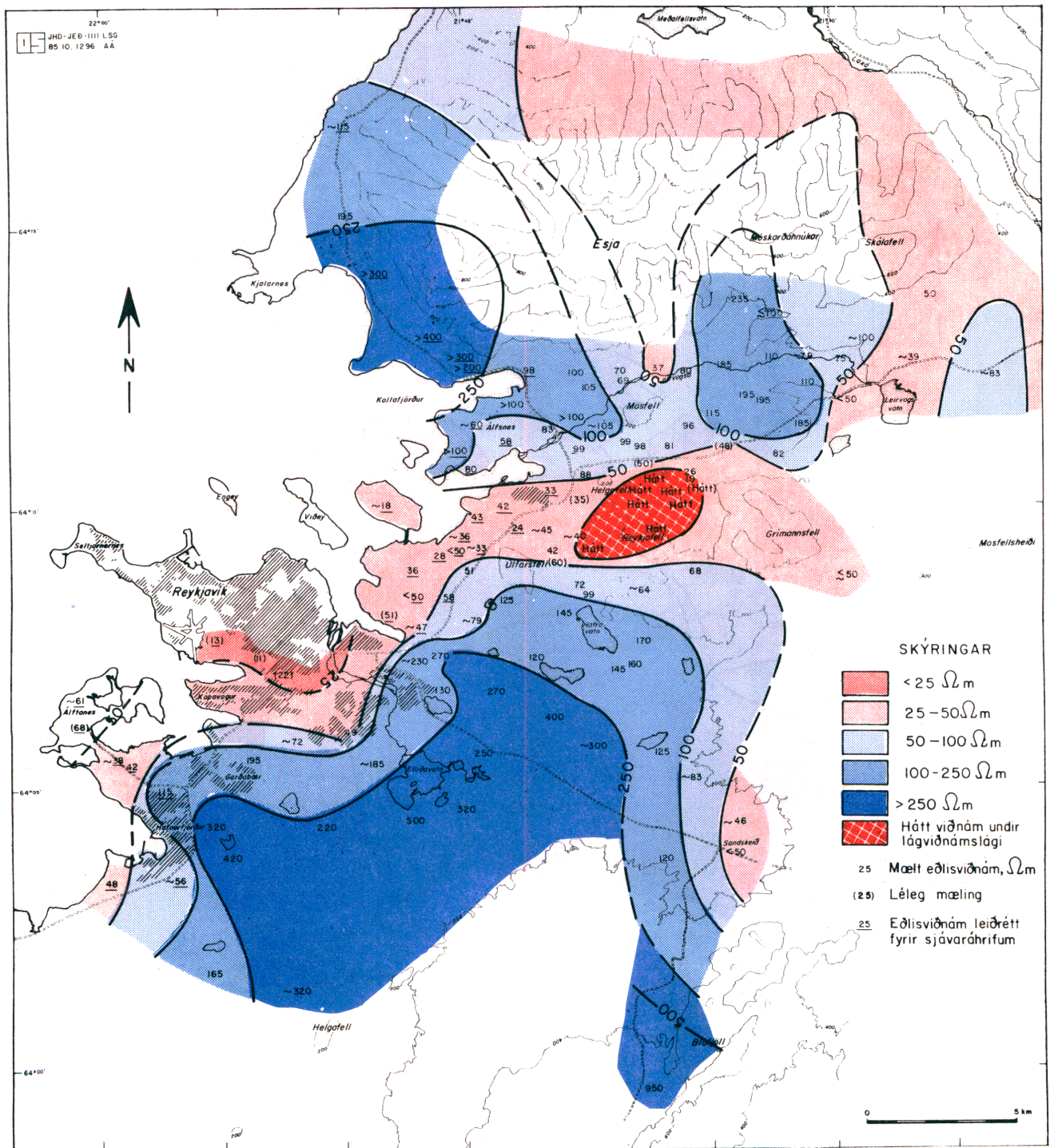
Viðnámskort sýna eðlisviðnám berggrunnsins á ákveðnu dýpi. Þau henta ágætlega til að draga saman niðurstöður viðnámsmælinga. Þrjú slík kort voru gerð fyrir höfuðborgarsvæðið og sýna þau eðlisviðnámið á 250, 500, og 750 m dýpi undir sjávarmáli.

Eðlisviðnámið á 250 m dýpi undir sjávarmáli er sýnt á 4. mynd. Utan gosbeltisins er lágt eðlisviðnám talin traust vísbending um jarðhita, nema þar sem óeðlilega mikil selta er í bergi eða grunnvatni. Lágviðnámsbeltið, sem, liggur um Álftanes, Reykjavík og Mosfellssveit með viðnámi innan við 50 ohmm, er athyglisverðast á myndinni. Innan þess koma fram tvö svæði þar sem viðnámið er lægst, annars vegar í Mosfellssveit og hins vegar í Reykjavík. Í Mosfellssveitinni fer viðnámið niður í um 10 ohmm. Svæðið, sem 25 ohmm línán afmarkar, samsvarar nokkuð vel jarðhitasvæðinu á Reykjum. Innan marka þess voru allar laugar á yfirborði en þær eru nú horfnar vegna djúpdælingar úr borholum. Svæðið er um 8 km að stærð, sporöskjulaga og ílangt í austnorða-austur. Innan þess eða við jaðrana eru virkjunarsvæði Hitaveitu Reykjavíkur í Mosfellssveit, þ.e. Suðurreykir, Norðurreykir og Helgadalur. Í norðurjaðrinum kemur fram staðbundið hátt viðnám undir mjög lágu viðnámi, og er viðnámið þar trúlega yfir 100 ohmm. Háa viðnámið kemur betur fram á næstu myndum. Annað sambærilegt lágviðnámsvæði virðist vera inni í miðri Reykjavík, tengt jarðhitnum í Laugardal og við Elliðaár. Gögnin eru þó lítil og óáreiðanleg þar sem næstum ómögulegt er að mæla í Reykjavík vegna málmlagna í jörðu og mannvirkja. Niðurstöðum verður því að taka með mikilli varkárni, en benda má á að viðnámsmælingar í borholum styðja þetta (Helga Tulinius persl. uppl.). Að þessum tveimur svæðum frátöldum mælist viðnámið hvað lægst við Korpúlfsstaði og Blikastaði, um 30 ohmm. Háviðnámsvæði eru áberandi á myndinni. Það víðáttumesta þeirra nær sunnan frá Kaldárseli og Bláfjöllum, norður undir Hafravatn. Viðnámið er víða mjög hátt, allt upp í 500-1000 ohmm. Háa viðnámið er að mestu innan marka gosbeltisins eða í jaðri þess og er tengt virkum brotakerfum svo sem Trölladyngju-



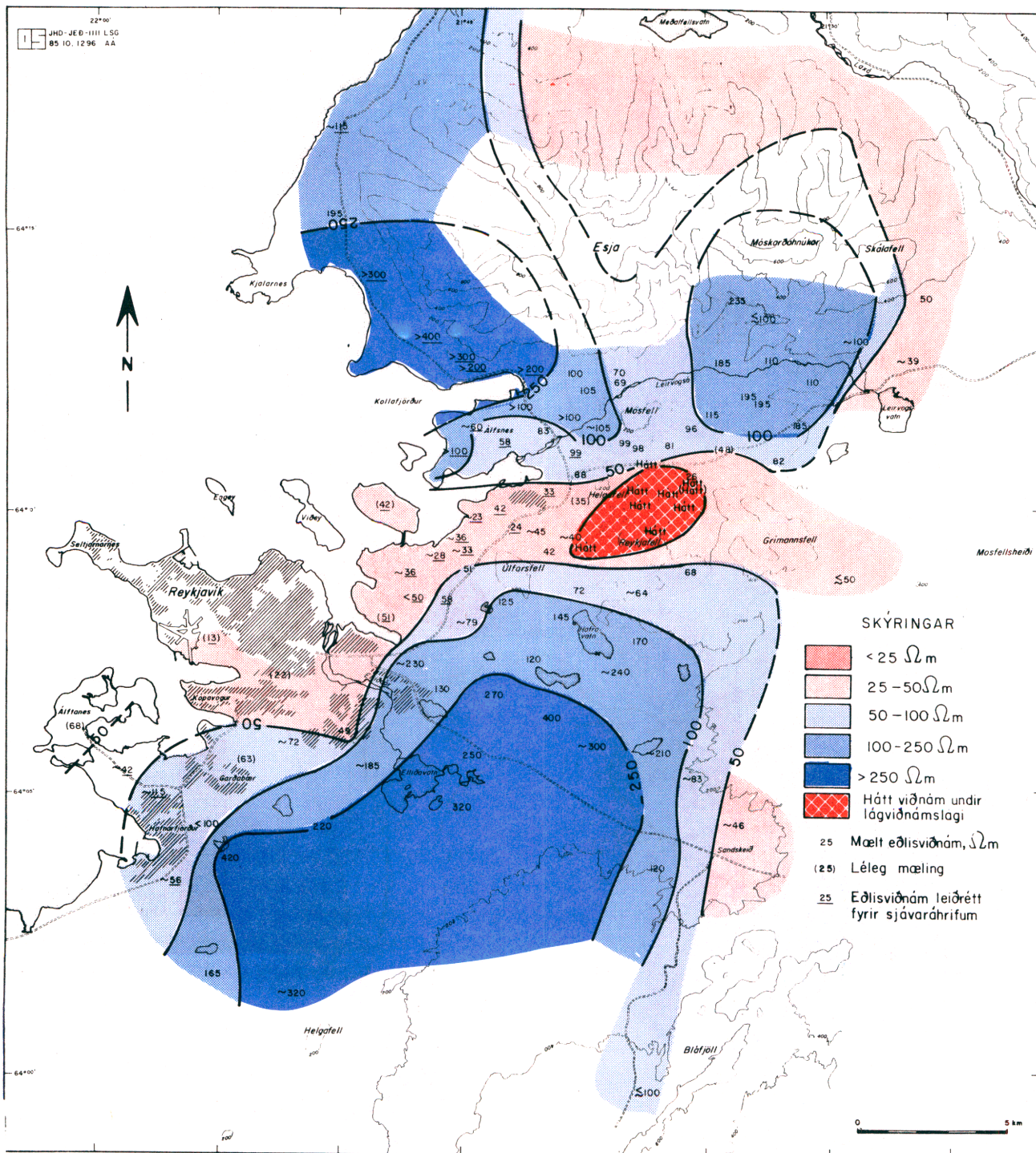
4. mynd. Eðlisviðnám á höfuðborgarsvæði á 250 m dýpi u.s.

sprungusveimnum. Bergið er þarna kalt og opið og sýnir svæðið öll einkenni niðurstreymissvæðis. Viðnám mælist einnig hátt á Kjalarnesi og í Stardal. Þar eru leyfar löngu útkulnaðra megineldstöðva. Svo hátt viðnám þrátt fyrir mjög háan hitastigul bendir til að bergið sé mjög þétt og vatnsinnihald þess lítið.



5. mynd. Eðlisviðnám á höfuðborgarsvæði á 500 m dýpi u.s.

Myndin af viðnáminu á 500 m dýpi undir sjávarmáli (5. mynd) er að mörgu leyti áþekkt. Þó er þar einn meginmunur á, lágviðnámssvæðið á Reykjum í Mosfellssveit er ekki lengur til staðar en í staðinn er komið sem næst jafnstórt háviðnámssvæði þar sem viðnámið er líklega yfir 100 ohmm. Þetta háviðnámssvæði er mjög sérstakt svo grunnt á svo



6. mynd. Eðlisviðnám á höfuðborgarsvæði á 750 m dýpi u.s.

öflugu lághitastæði. Því má einna helst líkja við hátt viðnám eins og komið hefur fram á 500-1000 m dýpi á allmörgum háhitastæðum undir mjög lágu viðnámi. Háa viðnámið hefur vissulega áhrif á jarðhitavirknina og hlýtur að vera veigamikill þáttur við líkangerð af jarðhitakerfinu. Það er því sýnt á myndinni með sérstakri skyggingu. Í næsta kafla

verður vikið betur að þessu. Annars er það helst að segja um viðnámið á 500 m dýpi u.s. að lágviðnámsbeltið virðist opið til austurs þó að gögnin mættu vera meiri til staðfestingar því. Á Kjalarnesi hækkar viðnámið með dýpi og er raunar dæmigert fyrir útkulnaða megineldstöð. Lágviðnámsvæðið í Reykjavík virðist hins vegar vera svipað að stærð.

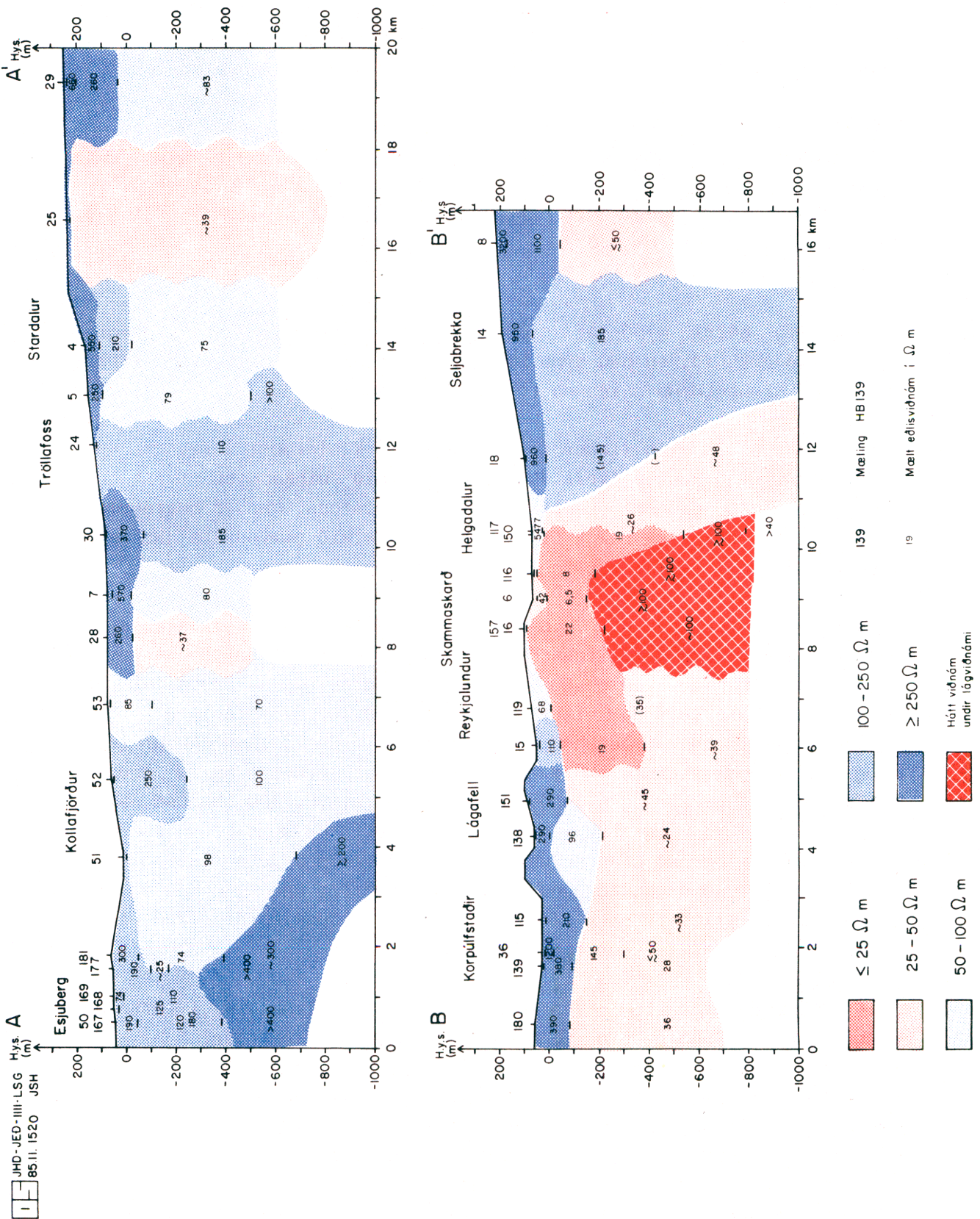
Viðnámið á 750 m dýpi (6. mynd) gefur mjög svipaða mynd. Hún er þó heldur óskýrari þar sem töluvert margar mælingar skynja ekki svo djúpt. Háviðnámsvæðið í Stardal er nokkru stærra og óvíst er hvort lága viðnámið í Reykjavík nær þetta djúpt, gögnin eru of veik til að hægt sé að segja til um það.

Til að fá betri mynd af viðnámi höfuðborgarsvæðisins voru dregin fjögur viðnámsnið, en þau sýna breytingu viðnámsins með dýpi eftir sniðlínu. Staðsetning sniðanna er sýnd á 1. mynd.

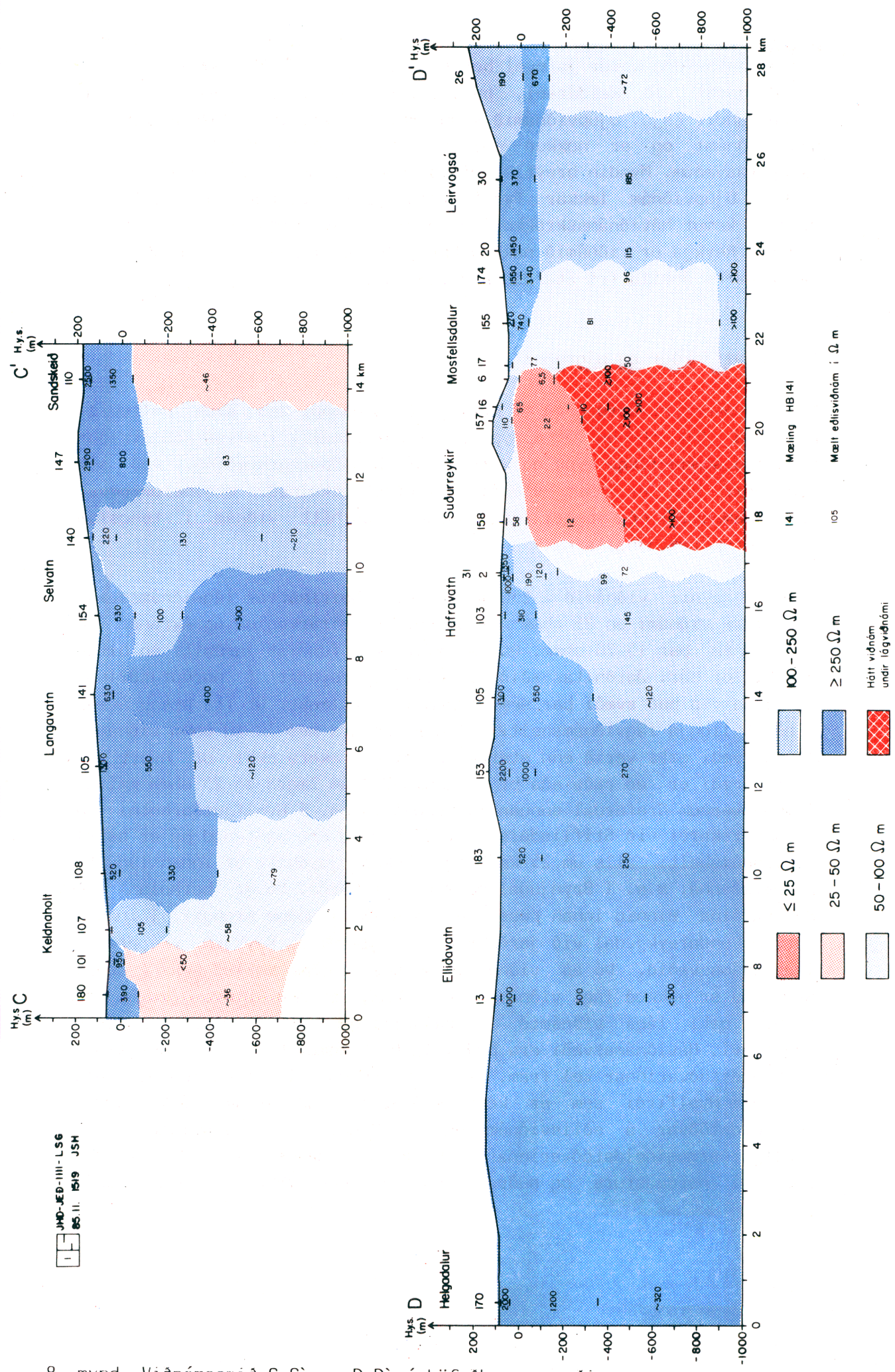
Snið A-A` á 7. mynd liggur frá Esjubergi á Kjalarnesi í vestri, með suðurhlíðum Esju austur fyrir Skálafell. Sniðið einkennist fyrst og fremst af háu viðnámi vestast og við Tröllafoss. Þessir háviðnámskrokkar eiga rætur að rekja til innskota og mikið ummyndaðra jarðlaga í þéttum kjörnum Kjalarness- og Stardalsmegineldstöðvanna.

Snið B-B`, sem er einnig á 7. mynd, liggur frá Gufunesi til austnorð-austurs, þvert yfir jarðhitasvæðið á Reykjum, allt austur að Leirvogsvatni. Sniðið liggur að mestu innan lágviðnámsbeltisins sem nefnt var hér á undan og dregur dóm af því. Vestast, við Korpúlfsstaði, er viðnámið alllággt eða um 30 ohmm. Við Suðurreyki (Reykjalund) kemur fram mjög lágt viðnám í efstu 500 m en virðist þar nokkru hærra neðar. Litlu austar hækkar djúpviðnámið mikið uppí a.m.k. 100 ohmm en jafnframt er viðnámið mjög lágt í efstu 300 m. Þetta er sama háa viðnámið og rætt var um hér að ofan og kemur fram miðsvæðis á jarðhitasvæðinu á Reykjum. Þegar kemur austur undir Helgadal hverfur háa viðnámið og við jaðra þess mælist fremur lágt djúpviðnám. Viðnámið fer síðan aftur hækandi a.m.k. norðaustur fyrir Seljabrekku.

Snið C-C` á 8. mynd liggur frá Keldnaholti til suðausturs í átt að gosbeltinu og endar við Sandskeið. Djúpviðnám er lágt vestast, 30-40 ohmm, en hækkar mjög til austurs, allt upp í 300-400 ohmm austan Langavatns þar sem sniðið sker norðurenda Trölladyngjubrotakerfisins. Austast fer það heldur lækkandi aftur, allt niður undir 50 ohmm en þar er líklega farið að gæta nálægðar við háhitasvæðið í Hengli. Næst yfirborði er viðnámið víðast hvar mjög hátt, 1000-2000 ohmm, sem er dæmigert viðnám fyrir lítið ummyndað basalt, neðan grunnvatnsborðs.



7. mynd. Viðnámssnið A-A' og B-B' á höfuðborgarsvæði.



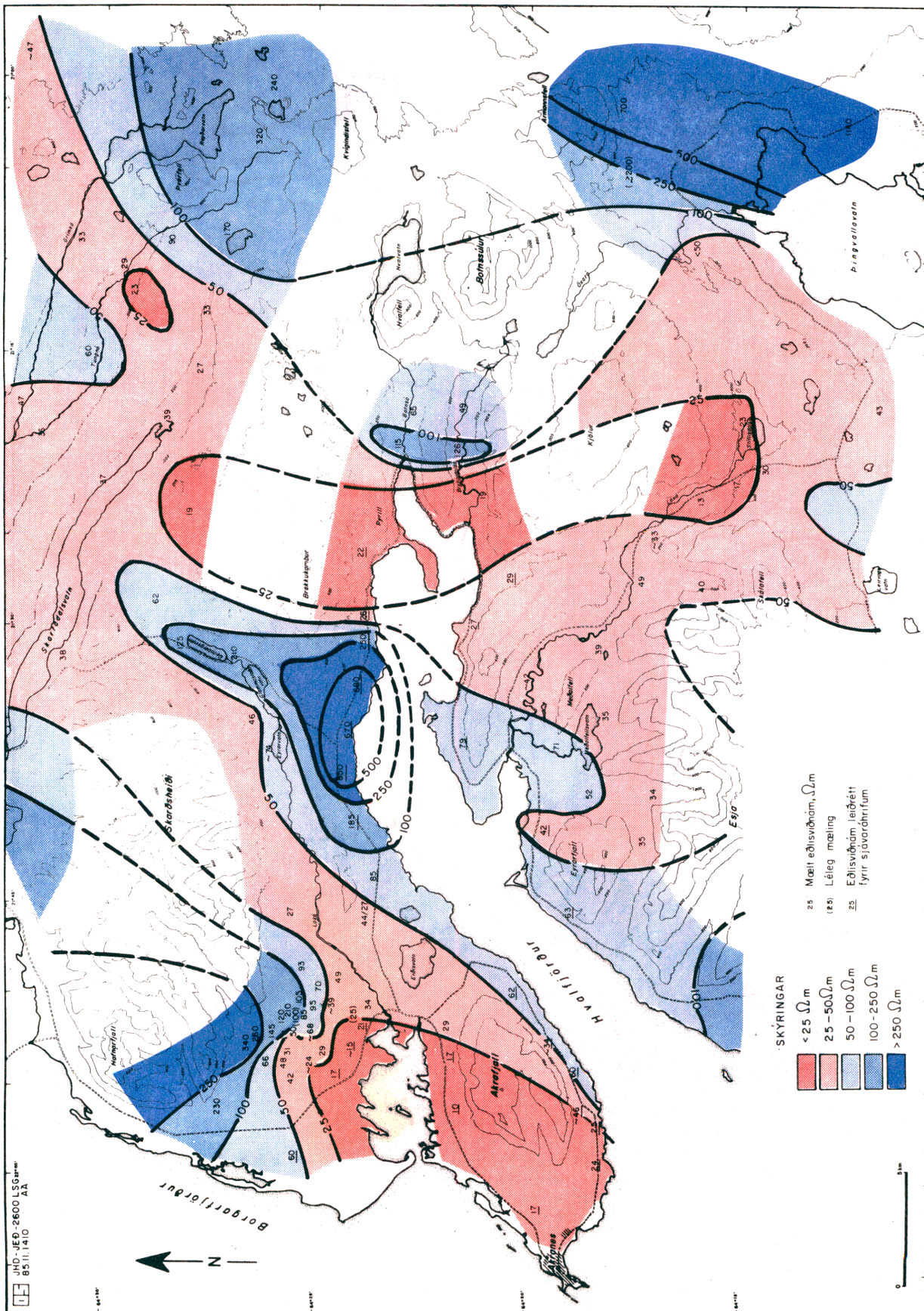
8. mynd. Viðnámssnið C-C' og D-D' á höfuðborgarsvæði.

Það síðastnefnda kemur jafnvel betur fram í sniði D-D', sem nær sunnan úr Helgadal við Kaldársel, þvert yfir jarðhitann á Reykjum, allt norður undir Esju. Djúpvíðnamið á suðurhluta sniðsins einkennist af háu víðnámi og er nokkuð dæmigert fyrir jaðar gosbeltisins fjarri jarðhitasvæðum. Myndin breytist mikið þegar komið er norður undir Reyki. Djúpvíðnám lækkar fyrst verulega en inni á miðju jarðhitasvæðinu kemur hávíðnámsskrokkurinn undir lága víðnáminu vel fram. Norðan Reykja er víðnamið nokkuð hátt, eða á bilinu 80-180 ohmm, enda gætir þarna áhrifa frá Stardalseldstöðinni.

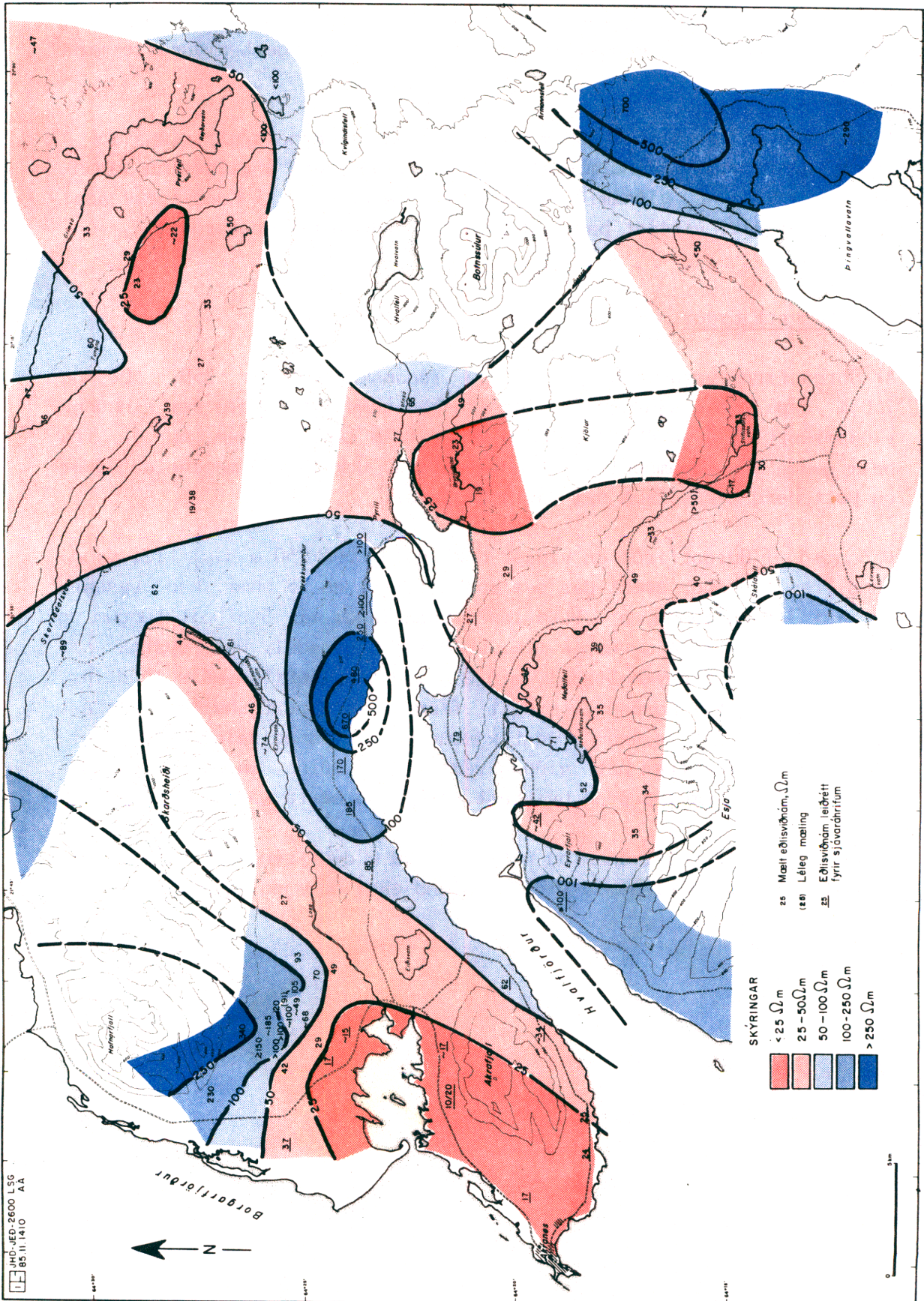
4.2 Hvalfjörður og nágrenni

Þrjú víðnámskort voru gerð af Hvalfjarðarsvæðinu, sem sýna eðlisvíðnamið á 250, 500 og 750 m dýpi undir sjávarmáli. Í öllum aðalatriðum gefa þau sambærilega mynd og kortin af höfuðborgarsvæðinu. Það sem einkennir þau er hátt víðnám í kjörnum útkulnaðra megineldstöðva, lágvíðnámssvæði eða -belti tengd jarðhita og hátt víðnám í tengslum við brotakerfi Hengilsins.

Mynd 9 sýnir víðnamið á 250 m dýpi u.s. Meiriháttar lágvíðnámssvæði með lægra víðnámi en 25 ohmm nær umhverfis Leirárvoginn og Akranes og er víðnám þar 15-20 ohmm. Þarna hefur ekki fundist jarðhiti en hitastigull er hár. Jarðhitasvæðið við Leirá er reyndar í norðurjaðrinum en utan við það svæði þar sem víðnám mælist lægst. Út frá þessu svæði virðist liggja lágvíðnámsbelti til norðausturs með 30-40 ohmm víðnámi. Annað svæði gæti verið enn stærra, en gögnin skera ekki úr hvort um eitt svæði er að ræða eða þrjú minni. Víðnám lægra en 25 ohmm mælist í innanverðum Grafardal sunnan Skorradalsvatns, í Hvalfjarðarbotni og í Kjósarskarði við Stíflisdalsvatn. Ef svæðin eru samtengd þá er þetta lágvíðnámsbelti alls um 25 km langt. Nokkur jarðhiti er innan lágvíðnámssvæðanna, m.a. í Brynjudal og í Kjósarskarði. Þá er borholan við Hvalstöðina einnig innan þess, en hún skilaði góðum árangri. Í innanverðum Lundareykjadal við jarðhitann á Englandi og Reykjum er þriðja lágvíðnámssvæðið. Þó að víðnám innan við 25 ohmm mælist ekki á stóru svæði þá er nokkuð lágt víðnám, 25-35 ohmm, á mun stærra svæði og raunar gæti lága víðnamið í Grafardal og í Hvalfjarðarbotni verið tengt því. Hávíðnámssvæði eru þrjú. Vestast kemur kjarni Hafnarfjallsmeigineldstöðvarinnar vel fram. Það á ekki síður við um hávíðnámssvæðið í miðjum Hvalfirði sem er kennslubókardæmi um áhrif útkulnaðrar megineldstöðvar á eðlisvíðnám bergs. Myndin sýnir ljóslega kjarna Hvalfjarðarmegineldstöðvarinnar og hvernig gangasveimur hennar teygir sig til norðausturs og suðvesturs. Loks kemur fram mjög hátt víðnám



9. mynd. Eðlisviðnám í Hvalfirði og nágrenni á 250 m dýpi u.s.



11. mynd. Eðlisviðnám í Hvalfirði og nágrenni á 750 m dýpi u.s.

við Þingvelli. Þarna er komið inn í gosbeltið og brotakerfi Hengilsins, sem liggur um Þingvelli, kemur fram sem dæmigert niðurstreymis-svæði.

Á 10. mynd er viðnámið á 500 m dýpi u.s. og 11. mynd sýnir viðnámið á 750 m dýpi u.s. Aðeins minniháttar breytingar eru á viðnáminu samanborið við 9. mynd. Viðnámið er þó nokkru lægra innst í Lundarreykjadal en aftur á móti virðist það hækka nokkuð með dýpi í Grafardal.

4.3 Borgarfjörður

Af Borgarfirði voru einnig gerð þrjú viðnámskort, fyrir 250, 500 og 750 m dýpi undir sjávarmáli. Enn eru það sömu fyrirbærin sem einkenna viðnámskortin. Á jarðhitasvæðunum kemur fram lágt viðnám og út frá þeim ganga lágviðnámsbelti til norðausturs. Útkulnaðar megineldstöðvar og þétt berg kemur fram sem háviðnámsvæði.

Viðnámið í Borgarfirði er víðast nokkuð lágt. Á 250 m dýpi (12. mynd) koma fram tvö stór svæði þar sem það er lægra en 25 ohmm. Það vestara tengist jarðhitanum á Varmalandi/Laugalandi í Stafholtstungum og nálægum hverasvæðum og nær a.m.k. norður í Bjarnadal. Það eystra nær yfir utanverðan Reykholtisdal, miðju öflugasta lághitasvæðis landsins, og teygir sig til norðausturs allt fram á Arnarvatnsheiði. Austast kemur fram hátt viðnám tengt kjarna Húsafellsmeigineldstöðvarinnar. Sömuleiðis kemur fram hátt viðnám vestast á svæðinu, en þar er komið í mjög gamalt og ummyndað og því þétt berg (sjá næsta kafla).

Myndir 13 og 14 með viðnáminu á 500 og 750 m dýpi sýna svipaða mynd. Þó virðist lægsta viðnámið við Varmaland ekki ná mjög djúpt.

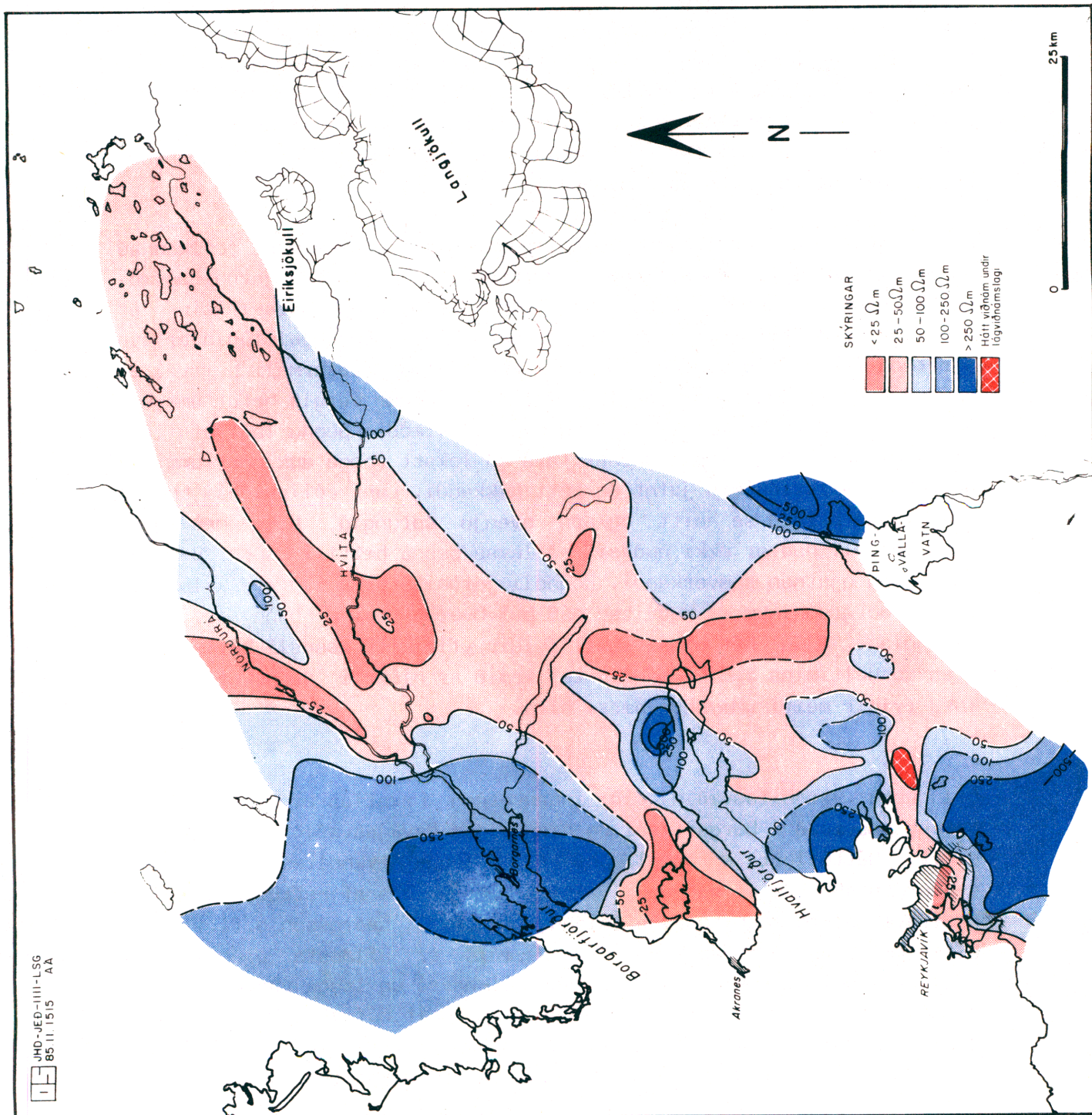
5 JARÐHITI OG LÁGVIÐNÁM

5.1 Tengsl jarðhitans við bergrunninn

Á 15. mynd hafa niðurstöður allra viðnámsmælinga fyrir innanverðum Faxaflóa verið dregnar saman á eitt kort. Þó að myndin sýni eðlisviðnámið á 500 m dýpi undir sjávarmáli, veitir hún góða yfirsýn yfir viðnám jarðlaga á þessu landsvæði í efsta kílómetranum. Eins og fram kom í 4. kafla einkennist viðnám svæðisins annars vegar af lágviðnámsbeltum og hins vegar af afmörkuðum háviðnámsvæðum. Hátt viðnám utan gosbeltisins er ávallt tengt mjög ummynduðu og þéttu bergi. Hæsta djúpviðnámið mælist í kjörnum útkulnaðra megineldstöðva, þar er bergið mjög ummyndað og mikið um innskot. Djúpviðnám mælist einnig mjög hátt á vestanverðum Mýrum. Þar eru langelstu jarðlög þessa landsvæðis, 10-13 miljón ára gömul (Moorbath o.fl. 1968). Bergið er mikið ummyndað og þarafleiðandi þétt. Kortið nær aðeins að óverulegu leyti inn í gosbeltið sem teygir sig frá Reykjanesskaga norðaustur í Langjökul. Háviðnámsvæði eins og eru suðaustan Reykjavíkur og norðaustan Þingvallavatns eru einkennandi fyrir efsta kílómetra skorpunnar í gosbeltinu þar sem áhrifa gætir ekki frá jarðhita. Bergið er ferskt og mjög opið og kalt vatn á þar greiða leið niður. Besta staðfestingin á þessu er borholan við Kaldársel, sem er rúma 10 km sunnan Reykjavíkur. Holan, sem var boruð niður á um 900 m dýpi, er innan við 20°C heit í botni (Guðmundur Pálmason o.fl. 1979).

Um lágviðnámsbeltin var fjallað ýtarlega í síðasta kafla. Raunar má ráða af 15. mynd að flest lágviðnámsbeltin séu að meira eða minna leyti samtengd. Þannig er nær samfelld lágviðnámsbelti allt ofan af Arnarvatnsheiði, um Borgarfjarðardali og út á Akranes. Út úr því skerst belti sem liggur um Hvalfjarðarbotn allt suður undir Mosfellshaiði. Önnur lágviðnámsbelti liggja um Norðurárdal og innanverðan Lundareykjadal. Öll helstu jarðhitasvæðin eru innan marka lágviðnámsvæðanna að jarðhitanum í Húsafelli og á Leirá undanskildum en þar kemur hann upp í jaðri megineldstöðva. Svipaða sögu er að segja um höfuðborgarsvæðið, jarðhiti og lágt viðnám fara þar saman. Reykir í Mosfellssveit eru þó undantekning frá þessu að vissu marki en þar mælist nokkuð hátt viðnám neðan 300-500 m dýpis en ofan þess er viðnámið mjög lágt.

Það er óhætt að segja að viðnám svæðisins sé nokkuð vel þekkt og þá liggur beint við að spyrja. Hvað fleira má lesa út úr viðnámskortunum en beinar upplýsingar um eðlisviðnám bergsins? Töluverðar rannsóknir



15. mynd. Eðlisviðnám svæðisins Langjökull-Reykjavík á 50 m dýpi u.s.

hafa verið gerðar á Orkustofnun um tengsl eðlisviðnáms bergs við aðra eðlisþætti þess (Ólafur G. Flóvenz o.fl. 1985). Meðal þess, sem þar kemur fram, er að viðnám vökvans í berginu skiptir litlu máli, nema það sé óvenjulega lágt (< 5 ohm), t.d. vegna mikillar sjávarblöndunar. Sýnt er fram á að yfirborðsleiðni í sprunguveggjum sé ríkjandi þáttur í rafleiðni bergs sem er mettað vökva og að mismunandi eðlisviðnám bergs eigi því fyrst og fremst rætur að rekja til mismunandi sprunguporuhluta, hita og ummyndunar.

Hér verður ekki farið mjög djúpt í þessi atriði, enda ekki fullkannað að hve miklu leyti ofangreindar niðurstöður gilda inni á jarðhitasvæðum. Meginatriðin eru þó ljós. Eðlisviðnám bergs utan gosbeltisins er aðallega háð tvennu, hita og sprunguleiðni. Sprunguleiðnin er svo fyrst og fremst háð vídd sprungnanna (eða fremur flatarmáli þeirra) og ummyndun bergsins. Lægst eðlisviðnám mælist þegar bergið hefur ummyndað að því marki að veggir sprungnanna eru klæddir þunnu lagi af lághitasteindum. Þegar sprungurnar fara að lokast vegna aukinnar ummyndunar fer eðlisviðnámið jafnt og þétt hækkandi. Lágt eðlisviðnám bendir því til að bergið sé heitt og/eða óvenju sprungið, þ.e. með góða vatnsleiðni. Það er ekki auðvelt að leysa þessa þætti í sundur þar sem þeir eru gjarnan samverkandi. Rennsli jarðhitavatns í efsta kílómetranum á berggrunninum er auðvitað háð því hversu opinn hann er, þ.e. sprunginn. Mjög hár hitastigull fylgir yfirleitt rennsli heits vatns utan gosbeltisins a.m.k. þangað til komið er niður í vatnskerfið, og loks fylgir meiri ummyndun hærri hita.

Öflugustu jarðhitasvæðin við innanverðan Faxaflóa eru annars vegar Reykholtssvæðið í Borgarfirði og hins vegar Reykjasvæðið í Mosfellsveit. Náttúrlegt afrennsli hvera og lauga Reykholtssvæðisins samsvavar um 400 l/s af sjóðandi vatni sem er um 33% af náttúrlegu varmaútstreymi allra lágheatasvæða Íslands (Lúðvík S. Georgsson o.fl. 1984). Lítið hefur verið borað þar. Reykjasvæðið er aflmesta vinnslusvæði lágheatajarðhitavatns á Íslandi. Rennsli hvera og lauga var um 120 l/s af aðallega 50-85°C heitu vatni áður en boranir hófust. Með umfangsmiklum borunum niður á meira en 2000 m dýpi hefur vinnslugeta svæðisins aukist í um 2000 l/s af 86°C heitu vatni (Þorsteinn Thorsteinsson 1975).

Það er áhugavert að bera saman niðurstöður viðnámsmælinga á þessum svæðum. Reykholtssvæðið fylgir víðáttumikið lágviðnámssvæði. Viðnámið er lægst í Reykholtssdal og nágrenni, 15-20 ohm, en út frá því teygir sig lágviðnámshæð til norðausturs fram undir Arnarvatns-

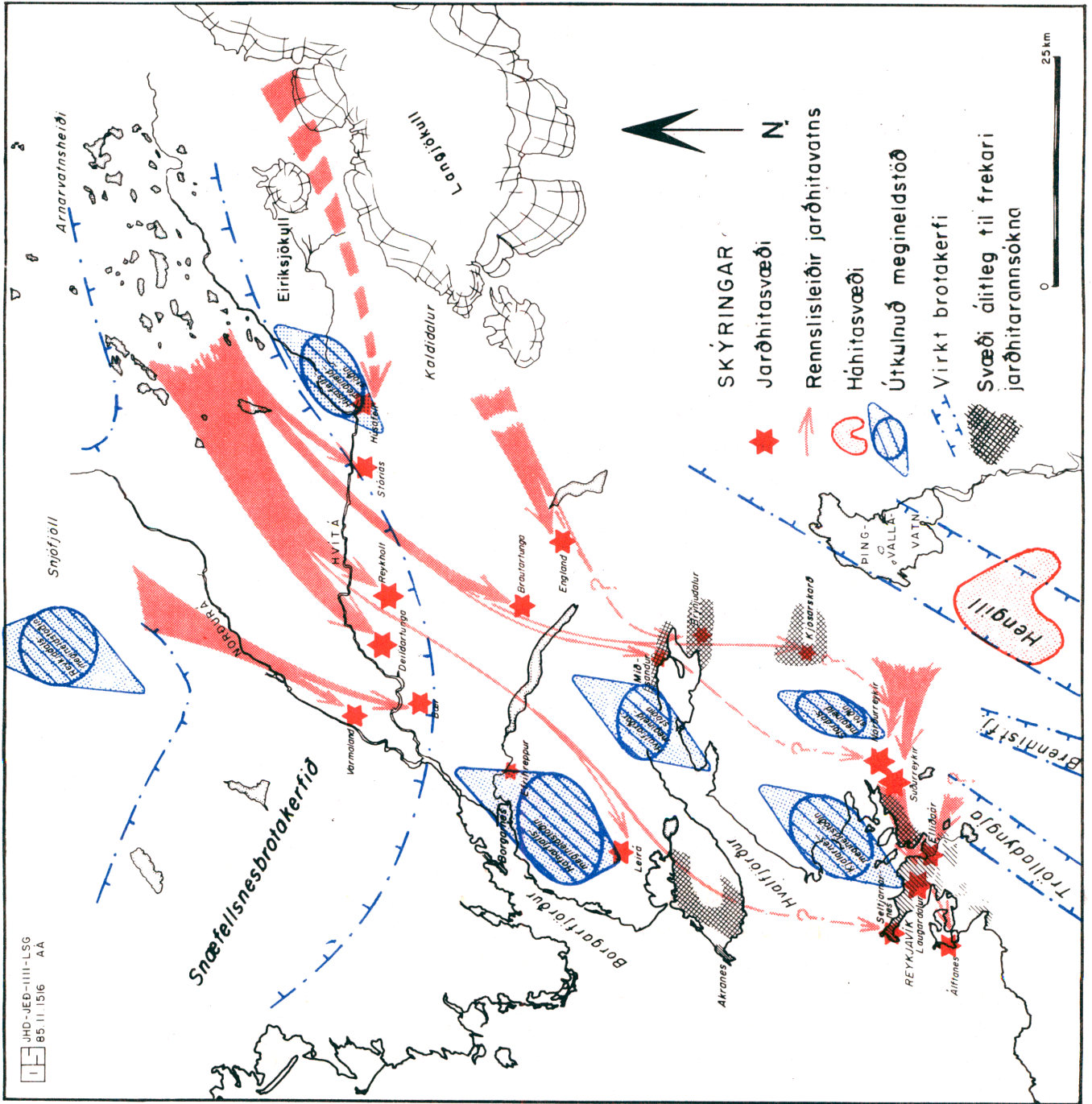
heiði. Ekki er unnt að merkja miklar breytingar á viðnáminu í efsta kílómetranum. Samtúlkun viðnámsmælinga og annara gagna (Lúðvík S. Georgsson o.fl. 1984) bendir eindregið til að náíð samband sé milli jarðhitans og sprunguvirkni svæðisins. Jarðhitinn í Reykholsdal er að uppruna úrkoma sem fallið hefur á Arnarvatnsheiði og sigið djúpt í berggrunninn. Þaðan rennur heita vatnið eftir norðaustlægum misgengjum og sprungum til suðvesturs. Þessi brot eru enn virk og síðast varð hreyfing á þeim í jarðskjálftunum í Borgarfirði árið 1974 (Páll Einarsson o.fl. 1977). Þegar komið er niður á láglandi Borgarfjarðardala skera opnar norðlægar eða norðvestlægar sprungur vatnsleiðarana og heita vatnið á greiða leið til yfirborðs. Þessar niðurstöður eru í góðu samræmi við það sem kom fram hér á undan. Lága viðnámið norðaustur af Reykholtsdal er aðeins hægt að skýra með óvenjuháum hitastigli eða óvenjugóðri sprunguleiðni. Sprunguleiðni og um leið vatnsleiðni er væntanlega nokkuð góð ef marka má brotavirkni svæðisins en það eitt dugir ekki að til skýra þetta lága viðnám. Til þess verður einnig að gera ráð fyrir óvenjuháum hitastigli. Viðnámsmælingarnar ná vissulega aðeins til efsta kílómetrans af berggrunninum og væntanlega er bróðurparturinn af rennsli heita vatnsins eftir dýpri jarðlögum, en óvenjuhár hitastigull á stóru svæði þar sem lítill jarðhiti er á yfirborði hlýtur að tengjast rennsli heits vatns í neðri jarðlögum. Staðfesting þess er að yfirborðsjarðhiti er gjarnan á niðri á láglandi við enda slíkra lágviðnámsbelta og oft þar sem tvær ólíkar brotastefnur skerast. Kortlagning lágviðnámsbeltanna segir því til um rennslisleiðir heita vatnsins.

Reykjasvæðið í Mosfellssveit er um margt öðru vísi. Það er skammt frá jaðri Stardalsmegineldstöðvarinnar sem var virk fyrir 1-2 miljón ára (Ingvar Birgir Friðleifsson og Jens Tómasson 1972). Þá er svæðið við jaðar gosbeltisins og virkar sprungur úr Trölladyngjusprungusveimnum virðast teygja sig langleiðina að Reykjum. Uppbygging jarðhitasvæðisins er flókin og mælingarnar, sem til eru, sýna aðeins megindrættina. Svæðið er innan lágviðnámsbeltis með 25-40 ohmm viðnámi, sem nær vestan frá Reykjavík og austur á Mosfellsheiði. Viðnám inni á Reykjasvæðinu er mjög lágt, 10-25 ohmm, í efstu 250-400 m. Neðar hverfur lægsta viðnámið hins vegar að mestu og viðnámið hækkar í 100-150 ohmm á allstóru svæði. Við jaðra þessa háviðnámsskrokks er þó lágt viðnám eins djúpt og mælingarnar sjá.

Fyrirbærið hátt viðnám undir lágu viðnámi í miðju lághitasvæða er ekki óþekkt fyrirbæri og má t.a.m. finna dæmi um það á Reykjum í Fnjóskadal (Ólafur G. Flóvenz 1980) og víðar. Reykir í Mosfellssveit skera sig þó úr í þessu sambandi með tilliti til hve háviðnámsskrokurinn er

umfangsmikill. Viðnámsgerð svæðisins líkist helst háhitasvæði, en þar er algengt að í hjarta jarðhitakerfisins komi fram hátt viðnám undir lágviðnámslagi. Viðnámið á Reykjasvæðinu er þó ekki eins lágt, og háa viðnámið kemur fram grynnra en á flestum háhitahitasvæðum. Sú spurning hlýtur að vakna hvort þetta eigi sér sameiginlega skýringu. Þekktustu dæmin um hátt viðnám undir lágu viðnámi á háhitasvæði er að finna á Hengilssvæðinu (Axel Björnsson og Gylfi P. Hersir 1981) og í Kröflu (Ragna Karlsdóttir o.fl. 1978). Það hefur hins vegar ekki verið alveg ljóst hvernig ætti að túlka það og reyndar er óvíst að það eigi sér alltaf sömu orsakir. Fimm hugsanlegar skýringar hafa verið settar fram, í fyrsta lagi þétt og fersk innskot, í öðru lagi aðrar ummyndunarsteindir, í þriðja lagi hækkandi viðnám jarðhitavökvans þegar hiti er kominn yfir 300°C og í fjórða lagi að jarðhitakerfið sé í suðu. Fimmta skýringin gæti svo verið kaldara berg undir heitu bergi. Stungið hefur verið upp á suðu jarðhitavökvans til að skýra háa viðnámið í jarðhitakerfinu á Nesjavöllum, en einnig er gert ráð fyrir að ummyndun geti átt þar einhvern hlut að máli (Axel Björnsson o.fl. 1985). Í Kröflu hafa allar skýringarnar nema sú síðasttalda verið nefndar.

En hver af þessum skýringum á við á Reykjum eða þarf jafnvel að leita nýrra skýringa? Við getum strax útilokað þrennt. Háa viðnámið á ekki rætur að rekja til hækkandi viðnáms jarðhitavökvans vegna hás hita né til suðu hans. Þá má afskrifa hugmyndir um kaldara berg undir heitu bergi. Óverulegar hitabreytingar eru í efstu 700-800 m á Reykjum og hitaástandið ekki ósvipað hitaástandi umhverfisins. Myndin breytist þó verulega hvað þetta varðar þegar dýpra kemur. Þrátt fyrir fjölmargar borholur og margar skýrslur um þær er ekki til gott jarðlagalíkan af svæðinu. Fyrirliggjandi gögn (Jens Tómasson persl. uppl.; Jens Tómasson og Hrefna Kristmannsdóttir 1974) benda til að jarðlög innan jarðhitasvæðisins á Reykjum séu mun meira ummynduð en ætla má út frá hita bergsins og háhitaummyndun (klórít-epidót) er ríkjandi neðan 600-800 m dýpis. Út frá sömu gögnum má fullyrða að þétt innskot vega ekki þungt til að útskýra háa viðnámið. Ummyndunin er ekki í jafnvægi við núverandi hitaástand bergsins, nema kannski í efstu 200-300 m. Hún virðist frekar draga dóm af háhitasvæði, sem ætla má að verið hafi þarna í fyrndinni þegar megineldstöðin í Stardal var enn virk. Þessar upplýsingar benda eindregið til að djúpvíðnám á jarðhitasvæðinu á Reykjum endurspegli fyrst og fremst hátt ummyndunarstig bergsins. Og það er ástæða til að ætla að sama eigi við á háhitasvæðum. En mjög ummyndað og þarafleiðandi þétt berg er ekki talin góð vísbending um öflugt lághitasvæði. Á Reykjum fer þetta þó saman. Boranir hafa leitt í ljós að bestu vinnslusvæðin eru við jaðra háviðnámsins. Á Norðurreykjum þar



16. mynd. Jarðhitasvæði og rennislisleiðir heita vatnsins við innanverðan Faxaflóa.

sem mikill jarðhiti var á yfirborði áður en boranir hófust eru umtalsverðar vatnsæðar bundnar við efstu 200-300 m og þar er borað í gegnum hæsta hitann. Neðar er vatnsleiðni léleg. Í Helgadal eru aðalvatnsæðarnar hins vegar mun dýpra og ná allt niður á 2000 m dýpi. Viðnámsmælingar á Reykjasvæðinu endurspeglar samkvæmt þessu annars vegar kjarna gamals háhitasvæðis þar sem viðnámið er hátt, bergið þétt og vatnsleiðni léleg. Þessi kjarni gæti, a.m.k. að hluta til, farið saman við þann ógegndræpa vegg sem fram kemur í dæluþrófunum á Reykjum (Þorsteinn Thorsteinsson 1975). Utan við þennan kjarna er viðnámið hins vegar lágt, bergið opið og vatnsleiðni góð. Heita vatnið virðist ættað úr austri og gæti verið skammt aðrunnið. Þegar nánar er að gáð segir viðnámið því svipaða hluti á Reykjum og í Reykholtisdal. Lága viðnámið gefur til kynna góða sprunguleiðni og háan hitastigul en háa viðnámið þétt berg. Rétt er að ítreka að fyrirbyggjandi viðnámsgögn geta aðeins gefið hugmynd um megindrættina í uppbyggingu jarðhitasvæðisins og gefa t.d. litla vísbendingu um áhrif sprunguvirkni. Þannig væri mjög forvitnilegt að kanna hvort áhrifa gætir frá Trölladyngjubrotakerfinu. Hreyfingar á sprungum tengdum honum kunna að vera mikilvægur þáttur í að halda uppi góðri vatnsleiðni á Reykjasvæðinu.

Á 16. mynd eru niðurstöður viðnámsmælinganna dregnar saman. Við gerð myndarinnar var einnig stuðst við niðurstöður tvívetnismælinga Braga Árnasonar (1976) einkum á svæðum þar sem engar upplýsingar var að hafa úr viðnámsmælingunum. Hliðsjón var einnig höfð af jarðfræðilegri uppbyggingu svæðisins. Útlínur kulnaðra megineldstöðva eru fyrst og fremst dregnar út frá viðnámskortum en fyllt uppí með öðrum gögnum eftir þörfum (Haukur Jóhannesson 1975; Hjalti Fransson 1978; Ingvar Birgir Friðleifsson 1973; Kristján Sæmundsson og H. Noll 1974; Lúðvík S. Georgsson o.fl. 1981). Lágviðnámsbeltin gefa til kynna helstu rennislisleiðir jarðhitavatnsins og með því að fylgja þeim má geta sér til um uppruna þess. Bæði viðnámsmælingarnar og tvívetnismælingar Braga Árnasonar gefa til kynna að mestur hluti jarðhitavatns á höfuðborgarsvæðinu sé skammt aðrunninn, líklega úrkoma í gosbeltinu austan Reykjavíkur. Jarðhitinn í Borgarfirði og Hvalfirði á uppruna á þrem svæðum. Meginstraumurinn kemur af Arnarvatnsheiði en bæði Snjófjöll og Langjökull gegna þar mikilvægu hlutverki.

5.2 Álitleg svæði til frekari rannsókna

Á 16. mynd eru einnig sýnd þau svæði í námunda við Reykjavík og Akranes sem viðnámsmælingarnar gefa til kynna að séu forvitnilegust til frekari rannsókna en lítið eða ekki hefur verið borað á til þessa.

Næst Reykjavík eru Korpuósar álitlegasta svæðið. Djúpviðnám er þar nokkuð lágt á allstóru svæði. Svæðið er að verulegu leyti innan borgarmarkna Reykjavíkur. Ólíklegt verður að telja að þar gæti áhrifa frá öðrum jarðhitasvæðum. Djúpborunin síðastliðinn vetur lofaði góðu.

Annað forvitnilegt svæði er Kjósarskarð, norðvestan Stíflisdalsvatns. Viðnám er þar lágt á stóru svæði og jarðhiti á yfirborði. Fjarlægðin frá Reykjavík er þó í það mesta til að virkjun þess sé raunhæfur möguleiki nema svæðið sé þeim mun öflugra. Úr því fæst ekki skorið nema með frekari rannsóknum.

Loks má benda á Álftanes, en þar er einnig jarðhiti á yfirborði. Stærð svæðisins er óviss en viðnámsmælingarnar gefa til kynna að þar sé alllángt djúpviðnám. Það verður þó að ítreka að af viðnámsmælingum á Álftanesi má ekki draga of miklar ályktanir vegna sjávaráhrifa.

Í framhaldi af þessu er rétt að benda á að þekking á jarðhitasvæðinu á Reykjum í Mosfellssveit er að mörgu leyti ótrúlega ábótavant með hliðsjón af að þarna eru aflmestu vinnslusvæði lághitavatns á Íslandi. Til dæmis er ekki til sprungukort af svæðinu né góð jarðlaga- og ummyndunarsnið úr borholum. Úr þessu þarf að bæta hið snarasta. Um leið væri æskilegt að gera nokkur góð viðnámsnið yfir svæðið þar sem beita mætti tvívíðri túlkun viðnámsmælinga. Samræmd túlkun þessara gagna gæti svarað ýmsum áleitnum spurningum um Reykjasvæðið.

Af öðrum svæðum, sem skyggð eru sem álitleg á 16. mynd, verður að nefna svæðið austan Akraness, umhverfis Akrafjall. Viðnámið er þar ótrúlega lágt ef tekið er tillit til þess að þar er ekki jarðhiti á yfirborði. Hitastigulsholur á Akranesi og víðar, sem boraðar voru fyrir tæpum 20 árum, gefa ekki fullnægjandi svör við þessu, þó að þær sýni háan hitastigul. Þarna er þörf frekari rannsókna.

Loks er Hvalfjarðarbotn skyggður sem álitlegt svæði. Þetta hefur raunar þegar verið staðfest með árangursríkri borholu við Miðsand og mjög lofandi hitastigulsholur við suðurströndina.

6 HELSTU NIÐURSTÖÐUR

Niðurstöður viðnámsmælinga við innanverðan Faxaflóa sýna að náíð samband er milli jarðhita og lágs viðnáms á svæðinu. Víðáttumikil lágviðnáms svæði fylgja stærstu jarðhitakerfunum og í sumum tilfellum má rekja þau langt inn á heiðar.

1. Á höfuðborgarsvæði kemur fram lágviðnámsbelti, þar sem djúpviðnám er innan við 50 ohm. Það nær frá Álftanesi, um Reykjavík og Reyki í Mosfellssveit, austur í gosbeltið. Innan þessa beltis eru öll jarðhitasvæðin í nágrenni Reykjavíkur. Viðnámið er lægst í Reykjavík og á Reykjum í Mosfellssveit en þar kemur þó fram allhátt djúpviðnám miðsvæðis, undir lægsta viðnáminu. Hátt djúpviðnám er í Stardal og á Kjalarnesi en þar eru leifar gamalla megineldstöðva. Sömuleiðis er hátt djúpviðnám á stóru svæði í jaðri gosbeltisins austur og suðaustur af Reykjavík.

2. Stór lágviðnáms svæði koma fram við Hvalfjörð. Eitt þeirra liggur um Akrafjall en teygir sig til norðausturs upp í Borgarfjarðardali. Enginn jarðhiti er innan marka þess en Leirá er ekki langt undan. Önnur lágviðnáms svæði er að finna í Grafardal, í Hvalfjarðarbotni og í Kjósarskarði og finnst jarðhiti innan marka tveggja síðarnefndu. Þessi svæði eru kannski hlutar af einu og sama lágviðnámsbeltinu en frekari gögn vantar til að staðfesta það. Mjög hátt djúpviðnám er undir Hafnarfjalli og á Hvalfjarðarströnd í tengslum við gamlar megineldstöðvar og sömuleiðis norðaustan Þingvalla í Hengilsbrotakerfinu.

3. Djúpviðnám er yfirleitt lágt í Borgarfjarðardölum. Stærsta lágviðnáms svæðið kemur fram í Reykholtsdal og nágrenni í tengslum við jarðhitann þar og má rekja það fram á Arnarvatnsheiði. Annað lágviðnáms svæði, sem tengist jarðhitnum í utanverðum Stafholtstungum, má rekja fram Norðurárdal. Það þriðja tengist jarðhitnum innst í Lundarreykjadal og má rekja það a.m.k. norðaustur undir Okíð. Á Mýrum er viðnámið víðast hátt en þar er að finna elsta berg á Vesturlandi.

4. Reykir í Mosfellssveit skera sig að mörgu leyti úr. Háa viðnámið, sem þar kemur fram á 300-500 m dýpi á miðju jarðhitasvæðinu undir mjög lágu viðnámi, minnir helst á svipað fyrirbæri á háhitasvæðum. Skýringanna er að leita í ummyndun bergsins, sem er sambærileg við ummyndun á háhitasvæði en ekki lághitasvæði. Háa viðnámið virðist endurspegla kjarna gamals háhitasvæðis þar sem bergið er orðið þétt. Utan við þennan kjarna er viðnámið lágt og vatnsleiðni góð. Þetta fer saman við að bestu vinnslusvæði jarðhitans eru nálægt jöðrum háa viðnámsins, í

Helgadal og á Suðurreykjum. Heita vatnið virðist vera ættað úr austri og líklega skammt aðrunnið.

5. Fyrir Hitaveitu Reykjavíkur eru álitlegustu svæðin til frekari rannsókna Korpuósar, Kjósarskarð og Álftanes. En jafnframt er rétt að benda á að þekkingu á jarðhitasvæðinu á Reykjum er ábótavant. Önnur svæði, sem eru álitleg til frekari rannsókna, eru Hvalfjarðarbotn og svæðið umhverfis Akrafjall.

HEIMILDIR

- Axel Björnsson og Gylfi Páll Hersir 1981: Geophysical reconnaissance study of the Hengill high-temperature geothermal area, SW-Iceland. Geoth. Resourc. Counc., Transactions 5: 55-58.
- Axel Björnsson, Kristján Sæmundsson, Knútur Árnason, Grímur Björnsson Gylfi Páll Hersir og Gunnar V. Johnsen 1985: Nesjavellir - yfirborðsrannsóknir. Samantekt jarðfræði- og jarðeðlisfræðigagna. Rannsóknaráætlun fyrir árið 1985. Orkustofnun, OS-85030/JHD-07, 97 s.
- Bragi Árnason 1976: Groundwater systems in Iceland traced by deuterium. Soc. Sci. Islandica, rit 42, 236 s.
- Guðmundur Guðmundsson og Jens Tómasson 1971: Áætlun um rannsókn á útbreiðslu lághitasvæðisins við Reykjavík. Orkustofnun, 11 s.
- Guðmundur Pálmason, Stefán Arnórsson Ingvar Birgir Friðleifsson, Hrefna Kristmannsdóttir, Kristján Sæmundsson, Valgarður Stefánsson, Benedikt Steingrímsson, Jens Tómasson og Leó Kristjánsson 1979: The Icelandic crust: Evidence from drillhole data on structure and processes. Am. Geophys. Union, Ewing series 2: 43-65.
- Gunnar Böðvarsson 1947: Jarðviðnámsmælingar. Mosfellsdalur, Flugvöllurinn í Reykjavík, Korpúlfsstaðir, Blikastaðir, Úlfarsá og Laugarnar í Reykjavík. Raforkumálastjóri, 7 s.
- Gunnar Böðvarsson 1949: Skýrsla til hitaveitustjóra um rannsóknir á jarðhita. Raforkumálastjóri, 3 s.
- Haukur Jóhannesson 1975: Structure and petrochemistry of the Reykjadalur central volcano and the surrounding areas, midwest Iceland. Doktorsritgerð, Háskólinn í Durham, 273 s.
- Hjalti Franzson 1977: Structure and petrochemistry of the Hafnarfjall-Skarðsheiði central volcano and the surrounding basalt succession, W-Iceland. Doktorsritgerð, Háskólinn í Edinborg, 264 s.
- Ingvar Birgir Friðleifsson 1973: Petrology and structure of the Esja Quaternary volcanic region, SW-Iceland. Doktorsritgerð, Oxfordháskóli, 208 s.

- Ingvar Birgir Friðleifsson 1974: Jarðhitaleit í Kjalarneshreppi. Orkustofnun, OSJHD-7413, 13 s.
- Ingvar Birgir Friðleifsson 1976: Greinargerð um jarðhitalíkur í Bessa-
staðahreppi. Orkustofnun, OSJHD-7636, 7 s.
- Ingvar Birgir Friðleifsson og Jens Tómasson 1972: Jarðhitarannsóknir á
Stardalssvæðinu 1969-1971. Orkustofnun, 27 s.
- Ingvar Birgir Friðleifsson og Jens Tómasson 1974: Áætlun um jarðhita-
rannsóknir á höfuðborgarsvæðinu 1974. Orkustofnun, OSJHD-7406, 8
s.
- Ingvar Birgir Friðleifsson og Valgarður Stefánsson 1975: Jarðhitaleit
í Víðinesí, Kjalarneshreppi. Orkustofnun, OSJHD-7521, 9 s.
- Ingvar Birgir Friðleifsson, Lúðvík S. Georgsson og Hjalti Franzson
1977: Heildarkönnun á jarðhitamöguleikum á svæðinu milli Akraness
og Skarðsheiðar. Orkustofnun, OSJHD-7714, 82 s.
- Ingvar Birgir Friðleifsson, Valgarður Stefánsson og Þorsteinn Thor-
steinsson 1976: Heitavatnsöflun fyrir Skógrækt ríkisins og Veiði-
málastofnun í Kollafirði, Kjalarneshreppi. Orkustofnun,
OSJHD-7620, 23 s.
- Jens Tómasson og Hrefna Kristmannsdóttir 1974: Reykir - Reykjavík.
Investigation of three low-temperature geothermal areas in
Reykjavík and its neighbourhood. Orkustofnun, OSJHD-7420, 18 s.
- Jens Tómasson, Ingvar Birgir Friðleifsson og Valgarður Stefánsson
1975: A hydrological model for the flow of thermal water in
SW-Iceland with special reference to the Reykir and Reykjavík
thermal areas. Proceedings 2nd U.N. Symposium on the Development
and Use of Geothermal Resources 1: 643-648.
- Jens Tómasson, Þorsteinn Thorsteinsson, Hrefna Kristmannsdóttir og
Ingvar Birgir Friðleifsson 1977: Höfuðborgarsvæði, jarðhitarann-
sóknir 1965-1973. Orkustofnun, OSJHD-7703, 203 s.
- Johansen, H.K. 1977: A man/computer interpretation system for resis-
tivity soundings over a horizontally stratified earth. Geophys.
Prosp. 25: 667-691.

- Kristján Sæmundsson og H. Noll 1974: K/Ar ages of rocks from Húsafell western Iceland and the development of the Húsafell central volcano. Jökull 24: 40-59.
- Lúðvík S. Georgsson 1985: Viðnámsmælingar við innanverðan Faxaflóa, úrvinnsluaðferðir og gögn. Orkustofnun, OS85112/JHD65B, í vinnslu.
- Lúðvík S. Georgsson, Haukur Jóhannesson og Einar Gunnlaugsson 1981: The Baer thermal area in West Iceland: Exploration and exploitation. Geoth. Resourc. Council., Transactions 5: 511-514.
- Lúðvík S. Georgsson, Guðmundur Ingi Haraldsson, Haukur Jóhannesson og Einar Gunnlaugsson 1985: The Vellir Thermal Field in Borgarfjörður, West Iceland. Jökull 35: 51-60.
- Lúðvík S. Georgsson, Haukur Jóhannesson, Guðmundur Ingi Haraldsson og Einar Gunnlaugsson 1978: Jarðhitakönnun í utanverðum Reykholtsdal, Deildartunga-Kleppjárnsreykir, Klettur-Runnar. Orkustofnun, OSJHD-7856, 114 s.
- Lúðvík S. Georgsson, Haukur Jóhannesson, Guðmundur Ingi Haraldsson og Einar Gunnlaugsson 1984: Geothermal Exploration of the Reykholt Thermal System in Borgarfjörður, West Iceland. Jökull 34: 105-116.
- Lúðvík S. Georgsson, Haukur Jóhannesson, Einar Gunnlaugsson, Margrét Kjartansdóttir, Hilmar Sigvaldason, Þorsteinn Thorsteinsson og Guðmundur Ingi Haraldsson 1981: Bær í Bæjarsveit, jarðhitarannsóknir og boranir. Orkustofnun, OS81014/JHD09: 155 s.
- Moorbath, S., Haraldur Sigurðsson og R. Goodwin 1968: K-Ar ages of the oldest exposed rocks in Iceland. Earth Planet. Sci. Lett. 4: 197-205.
- Mundrey, E. og P. Worzyk 1979: On the coastal effect on geoelectrical soundings. J. Geophys. 45: 329-336.
- Ólafur G. Flóvenz 1979: Jarðsveiflumælingar á höfuðborgarsvæðinu 1976. Dýpi á lag 3. Orkustofnun, OS79039/JHD17, 68 s.
- Ólafur G. Flóvenz 1980: Reykir í Fnjóskadal. Jarðeðlisfræðileg forathugun jarðhitasvæðisins, áfangaskýrsla nr. 1. Orkustofnun, OS80009/JHD05, 56 s.

Ólafur G. Flóvenz, Lúðvík S. Georgsson og Knútur Árnason 1985: Resistivity Structure of the Upper Crust in Iceland. J. Geophys. Res. 90: 10136-10150.

Páll Einarsson, F. W. Klein og Sveinbjörn Björnsson 1977: The Borgarfjörður earthquakes of 1974 in West Iceland. Bull. Seismol. Soc. Am. 67: 187-208.

Ragna Karlsdóttir, Gunnar Johnsen, Axel Björnsson, Ómar Sigurðsson og Egill Hauksson 1978: Jarðhitasvæðið við Kröflu. Áfangaskýrsla um jarðeðlisfræðilegar rannsóknir 1976-1978. Orkustofnun, OSJHD-7847, 151 s.

Þorsteinn Thorsteinsson 1975: Redevelopment of the Reykir hydrothermal system in southwestern Iceland. Proceedings 2nd U.N. Symposium on the Development and Use of Geothermal Resources 2: 2173-2184