



ORKUSTOFNUN
Vatnsorkudeild

Freysteinn Sigurðsson

**JARÐVATN OG VATNAJARÐFRÆÐI
Á UTANVERÐUM REYKJANESSKAGA**

I. Hluti: Yfirlitsskýrsla

OS-85075/VOD-06
Reykjavík, september 1985

Unnið fyrir
Hitaveitu Suðurnesja



ORKUSTOFNUN

Grensásvegi 9, 108 Reykjavík

Freysteinn Sigurðsson

**JARÐVATN OG VATNAJARÐFRÆÐI
Á UTANVERÐUM REYKJANESSKAGA**

I. Hluti: Yfirlitsskýrsla

OS-85075/VOD-06

Reykjavík, september 1985

Unnið fyrir

Hitaveitu Suðurnesja

EFNISYFIRLIT

	bls.
ÁGRIP	2
1 INNGANGUR	5
1.1 Viðfangsefni	5
1.2 Rannsóknarsaga	5
1.3 Kaflaskipti	8
1.4 Aðstandendur	9
2 VATNAJARÐFRÆÐI	10
2.1 Vatnajarðfræðileg viðmál	10
2.1.1 Grop og lekt	10
2.1.2 Veitar og vatnafar	12
2.2 Jarðgerð og lekt	13
2.3 Jarðlektarlíkön	16
2.3.1 Vatnsbóllastæði	18
3 JARÐGERÐ UTANVERÐS REYKJANESSKAGA	20
3.1 Yfirlit	20
3.2 Gosbelti og gosreinar	22
3.3 Móbergsfjöll	26
3.4 Grágrýtisskildir	31
3.5 Nútíma hraun	32
3.6 Höggun	33
4 GRUNNVATN	40
4.1 Grunnvatnsborð og fjörurennslí	40
4.2 Ástand grunnvatns	43
4.3 Grunnvatnskerfi	47
4.3.1 Neysluvatnssvæði	47
4.3.2 Jarðhitamenguð svæði	52
4.4 Lagskipting í ferskvatnslaginu	56
5 LÍKANGRUNNUR	61
5.1 Hönnun líkangrunns	61
5.2 Bergskrokkar í ferskvatnslagi	63
5.2.1 Berglektarflokkar	63
5.2.2 Berglektarsvæði	66
5.3 Höggunarhrif	69
5.4 Jarðlektarkort	72
6 LÁGASVÆÐI	77
6.1 Yfirlit	77
6.2 Hraun og sprungur	77
6.3 Gjá í Lágum	82
7 BORSTAÐIR OG BORANIR	84
8 HELSTU NIÐURSTÖÐUR	86
HEIMILDASKRÁ	90
ENGLISH SUMMARY	93
ORÐASKRÁ OG ORÐAÞÝÐINGAR	99

SKRÁR

4-1	Hiti, viðnám og efni í ferskvatni	44
5-1	Berglektarflokkar	66
5-2	Sprungulektarflokkar	70
6-1	Sprungulekt og víkkun við Gjá í Lágum	79

MYNDASKRÁ

1-1	Afstöðumynd	7
2-1	Vatnajarðfræði, Skýringarmynd	10
2-2	Jarðgerð, lekt og grunnvatnshæð	14
2-3	Jarðlekt og grunnvatnslíkan	17
2-4	Lega borhóla og vatnsbóla	19
3-1	Megindrættir jarðgerðar Reykjanesskaga	21
3-2	Dyngjur á Reykjanesskaga	23
3-3	Gosstöðvar frá nútíma á Reykjanesskaga	24
3-4	Móbergsfjöll á Reykjanesskaga	24
3-5	Jarðgerð utanverðs Reykjanesskaga	27
3-6	Grágrýtisskildir á Suðurnesjum	31
3-7	Hraun á Lágasvæði og umhverfi	35
3-8	Höggun á utanverðu Reykjanesi	36
3-9	Sprunguskarar og sprungusvæði	36
3-10	Grófir (sigdældir) á utanverðum Reykjanesskaga	39
4-1	Grunnvatnssnið af Reykjanesskaga	40
4-2	Fjörurennisli og útrennlisstraumar	41
4-3	Þykkt ferskvatnslags	42
4-4	Vatnasvæði samkvæmt vatnsgerð	45
4-5	Vatnasvæði og grunnvatnsstraumar	48
4-6	Áhrif jarðhitasvæða á ferskt grunnvatn	56
4-7	Vatnslög í HSK-6	57
4-8	Vatnslög í HSK-11	58
5-1	Ferli rannsóknna og vatnsvinnslu	62
5-2	Huldir bergskrokkar	63
5-3	Grunnvatnsbungur og grunnvatnsstraumar	64
5-4	Berglektarsvæði	65
5-5	Sprungulektarsvæði	71
5-6	Jarðlektarkort af utanverðum Reykjanesskaga	73
6-1	Vænleg vatnstökusvæði	75
6-2	Lágasvæði, sprungur og misgengi	78
6-3	Gróf hjá Gjá í Lágum	79
6-4	Snið yfir gróf hjá Gjá í Lágum	81

VIÐAUKAR (í sérheftum)

I	Brot úr jarðsögu Reykjanesskaga
II	Huldir bergskrokkar
III	Nokkrir þættir höggunar
IV	Borholusnið
V	Hiti og efni í grunnvatni
VI	Þykkt ferskvatnslags
VII	Grunnvatnslíkön og jarðlektarkort

1 INNGANGUR

1.1 Viðfangsefni

Í skýrslu þessari er fjallað um tvo þætti ferskvatnsrannsókna þeirra, sem Orkustofnun gerði fyrir Hitaveitu Suðurnesja á árunum 1975 - 80, en það eru rannsóknir á jarðvatni og vatnajarðfræði ("hydrogeologi") á utanverðum Reykjanesskaga. Sú fræðigrein lýtur einkum að áhrifum jarðfræðilegrar gerðar jarðar (bergs og lausra jarðlaga), **jarðgerðar**, á rennsli jarðvatns, þ.e. vatns undir yfirborði jarðar. Þar eð jarðvegur og önnur laus jarðlög eru með harðla rýru móti á utanverðum Reykjanesskaga, þá er hér nær einvörðungu fjallað um samhrif grunnvatns og fasts bergs.

Vatnajarðfræðin snertir bæði jarðfræði og vatnafræði. Hið vatnajarðfræðilega eðli jarðlaganna á sér jarðfræðilegar orsakir, en áhrif þeirra á grunnvatnsrennslið eru vatnafræðilegs eðlis. Við rannsóknir þessar var því beitt jarðfræðilegum og jarðvatnsfræðilegum aðferðum til að komast að vatnajarðfræðilegum eiginleikum jarðlaga þeirra, sem ferskt grunnvatn rennur um. Á stórum hluta vatnasvæðisins er ferskvatnslagið aðeins um 50 m þykkt og liggur víða á 10 - 60 m dýpi undir yfirborði jarðar, en það er þakið ungum hraunum mjög víða. Því þarf mjög að beita óbeinum aðferðum við þær rannsóknir, sem hér er fjallað um.

Tilgangur þess að leita vatnajarðfræðilegra eiginleika téðra jarðlaga var sá að bæta skilning á grunnvatnsaðstæðum á vatnasvæðinu, leggja grunn að reiknanlegu grunnvatnslíkani af svæðinu og vera til hliðsjónar við staðsetningu vatnsbóla.

1.2 Rannsóknarsaga

Hinn vatnajarðfræðilegi þáttur þessara ferskvatnsrannsókna hófst í mars 1976. Ferskvatnsrannsóknir höfðu hafist fyrr. Fyrir þeim rannsóknum hefur verið gerð grein í öðrum skýrslum (Freyr Þórarínsson o.fl. 1976; Jón Ingimarsson og Jónas Elíasson 1980), og verður það ekki endurtekið hér. Samhliða vatnajarðfræðilegum athugunum var einnig öðrum þáttum ferskvatnsrannsókna fylgt fram. Um þá þætti suma hefur verið fjallað í öðrum skýrslum, svo sem hitastig og seltu í grunnvatni (Freysteinn Sigurðsson 1977); jarðeðlisfræðilegar mælingar (Kristján Ágústsson og Freyr Þórarínsson 1979; Lúðvík S. Gergsson 1979), dæluþrófanir, líkanreikninga og lektarmat (Jón Ingimarsson og Snorri P. Kjarran 1978; Jón Ingimarsson og Jónas Elíasson 1980), afdrif affallsvatns frá Svartsengi (Freysteinn Sigurðsson o.fl. 1977); auk áfangaskýrslna um vissa þætti rannsókna (Freyr Þórarínsson o.fl. 1976 og Freysteinn Siurðsson o.fl. 1978a). Jarðfræðileg hlið vatnajarðfræðirannsókna byggir mjög á rannsóknum Jóns Jónssonar (1978).

Upphaf þessara rannsókna var við nokkuð sérstakar kringumstæður. Famkvæmdaaðili sá, Hitaveita Suðurnesja, sem unnið var fyrir, er fyrirtæki í eigu opinberra aðila, þ.e. ríkis og sveitarfélaga á Suðurnesjum. Fjárframlög eigenda voru bundin í fjárlögum þeirra, og því mikið í húfi að nýta þau, áður en verðbólgan rýrði gildi þeirra um of.

Þessi illnauðsynlega tilhögun rannsókna leiddi til viss ágreinings milli rannsókna (Jarðkönnunardeildar OS) og verkkaupanda (Hitaveitu Suðurnesja), þar eð rannsóknari vildi hraða rannsóknum en kaupandi vildi gæta aðhalds a.m.k. að sinni. Urðu fyrir bragðið ýmsir hnökrar á samstarfi málsaðila, sem ástæðulaust er að tíunda hér. Einna mestur bagi var að því, að jarðfræðirannsóknir voru ekki ákveðnar fyrr en seint á sumri, bæði 1977 og 1978. Urðu þar að vonum ódrýgri fyrir vikið. Úr þessu hafði þó rætst sumarið 1978 og hefur samstarfið verið ágætt síðan. Þá höfðu líka gerst þeir atburðir, sem kiptu grunninum undan ágreiningum: Í fyrsta lagi varð uppbygging hitaveitunnar hægarí og heitavatnsnotkun almennings minni en ráð var fyrir gert; í öðru lagi reyndust vatnsból Hitaveitunnar vatnsgæfari en út leit fyrir um hríð, einkum þegar reynsla fór að koma af Gjá í Lágum; verulegar líkur voru á því, að lóðrétt lekt væri minni en lárétt lekt á vatnavinnslu-svæðinu og því hætta á uppdrætti sjávar við úrdælingu minni en haldið var. Vandí Hitaveitunnar að afla ferskvatns virtist því ekki eins bráður og talið hafði verið. Því lá heldur ekki eins á niðurstöðum rannsókna og fyrr og jafnvel líkur á, að þar þyrfti ekki eins miklar.

Ár frá ári voru helstu viðfangsefni rannsókna eftirfarandi:

1976: Borstaðaval, könnun á fjörurensli, leit að vatni í gjám, fyrstu yfirlit um jarðfræði vatnasvæðisins.

1977: Borstaðaval, könnun Lágasvæðis, leit að vatni í gjám, viðbætur við yfirlitsrannsókn og fjörurensli.

1978: Könnun Lágasvæðis og umhverfis HSK-10.

1979: Sprungumælingar, lokið við yfirlitsrannsóknir.

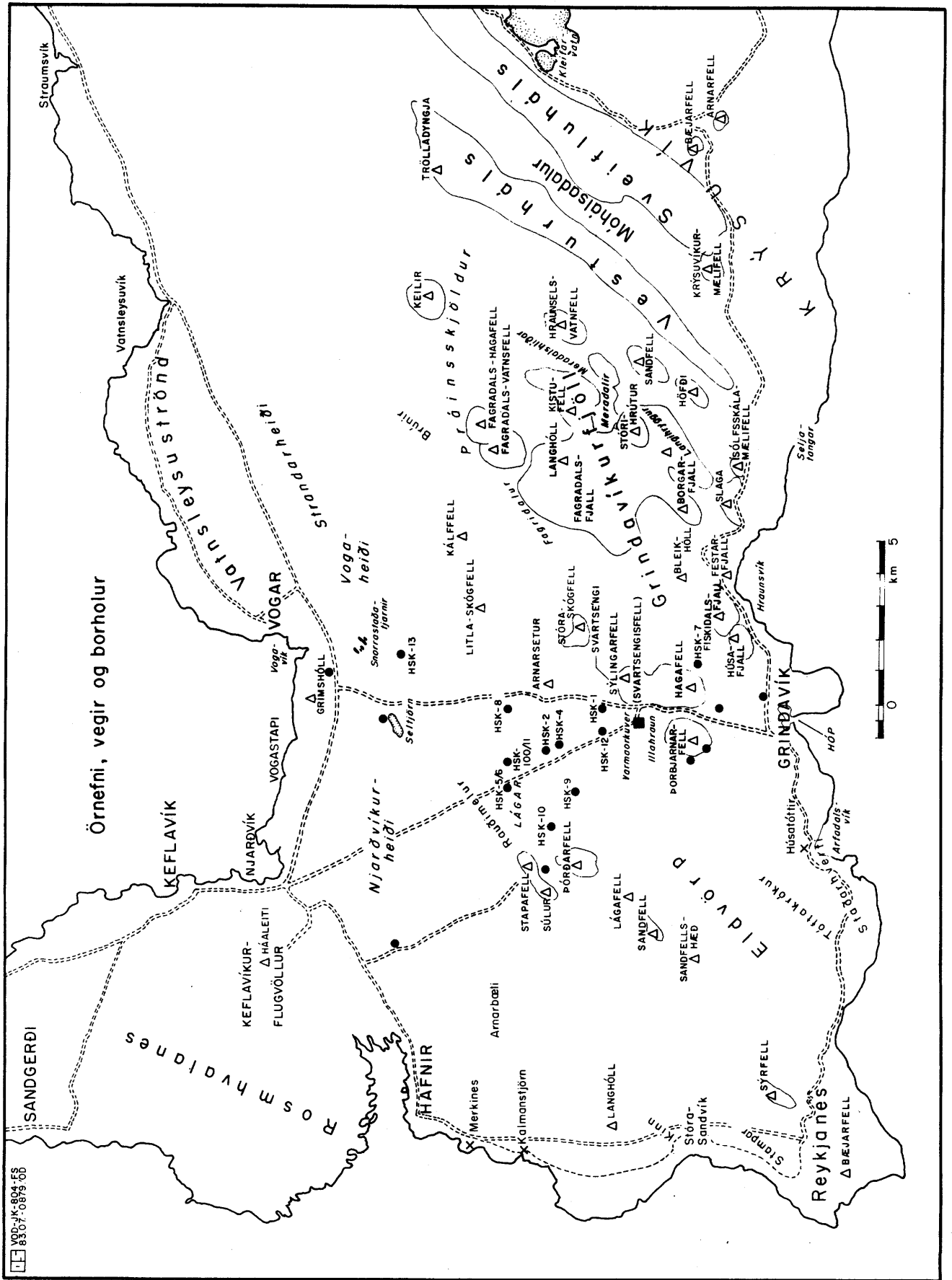
1980: Úrvinnsla úr sprungumælingum og öðrum gögnum.

1981: Lokið við úrvinnslu og hafin gerð skýrslu.

1982: Lokið við gerð skýrslu.

Rétt og ljúft er að geta þess, að afnot af kortum og könnunum Jóns Jónssonar (1978), áður og eftir að þau voru birt, hafa væntanlega sparað 1-2 ársverk, eða 2.000-3.000 vinnustundir og þá væntanlega um leið flýtt niðurstöðum rannsókna sem þessum tíma nemur.

Mynd 1-1 er afstöðumynd af svæðinu.



MYND 1-1 Afstöðumynd.

1.3 Kaflaskipti

Skýrsla þessi skiptist í tvo meginhluta: Hina eiginlegu skýrslu annars vegar og viðauka við hana hins vegar. Í yfirlitsskýrslunni er greint frá helstu þáttum rannsókna, forsendum þeirra og niðurstöðum einstakra þátta.

Yfirlitsskýrslan skiptist í 8 kafla, að inngangi meðtöldum, sem er 1. kafli.

Í kafla 2 er fjallað um vatnajarðfræðilegar forsendur. Þar er dregið á grunnvatnsrennsli, vatnajarðfræðilega eiginleika bergs, samband jarðgerðar og vatnajarðfræðilegra eiginleika, jarðlektarlíkön og grunnvatnslíkön og vatnajarðfræðileg sjónarmið við staðsetningu vatnsbóla.

Í kafla 3 er stutt yfirlit um jarðgerð utanverðs Reykjanesskaga, þar sem lýst er höfuðdráttum jarðfræðilegrar gerðar skagans, kerfisbundnu sambandi og legu gosstöðva, útbreiðslu og vatnajarðfræðilegri gerð helstu jarðlaga, jarðsprungum og öðrum höggulum ("tektónískum") fyrirbrigðum ásamt vatnajarðfræðilegum áhrifum þeirra.

Í kafla 4 er dregið á grunnvatnsástand á utanverðum Reykjanesskaga, eins og það lýsir sér í hæðarlegu grunnvatnsborðs, fjörurennsli, hitastigi grunnvatns, efnainnihaldi grunnvatns og svæðaskiptingu þess í grunnvatnskerfi.

Í kafla 5 er fjallað um vatnajarðfræðilegan grunn að grunnvatnslíkani og getið um hönnun hans, legu og eðli bergskrokka, áhrif höggunar og gerð jarðlektarkorts.

Í kafla 6 er aðalvatnsvinnslusvæði Hitaveitunnar, Lágasvæði, lýst nokkuð nánar, einkum umhverfi Gjáar í Lágum.

Í kafla 7 er lýst forsendum að staðsetningu vatnsbóla og árangri vatnsbólagerðar.

Í kafla 8 eru helstu niðurstöður dregnar saman.

Viðaukarnir eru 7 talsins og eru þeir raunar meiri hluti skýrslunnar að lesmáli. Þeir eru gefnir út í sérheftum.

Viðauki I fjallar um tilraunir til aldursgreiningar móbergsfjalla á utanverum Reykjanesskaga, einkum í fjalllendi því sem hér er kallað Grindavíkurfjöll.

Viðauki II fjallar um tilraunir til að raða gosstöðvum á skaganum í kerfi og geta sér til um hulda bergskrokka á þeim grundvelli.

Viðauki III fjallar um niðurstöður sprungumælinga og tilraunir til að ákveða sprungustefnur og sprungulekt.

Viðauki IV fjallar um gerð jarðsniða í borholum.

Viðauki V fjallar um hita og efni í grunnvatni.

Viðauki VI fjallar um tilraunir til að áætla hæðarlegu grunnvatnsborðs.

Viðauki VII fjallar um nokkur grundvallaratriði við gerð grunnvatnslíkana og jarðlektarkorta.

1.4 Aðstandendur

Rannsóknir þessar voru framkvæmdar af starfsmönnum Jarðkönnunardeildar Orkustofnunar, sem síðar var felld inn í Vatnsorkudeild Orkustofnunar. Verkefnisstjórar rannsókna Orkustofnunar voru Stefán Arnórsson þangað til í júlí 1976 og síðan Sverrir Þórhallsson, Jarðhitadeild Orkustofnunar. Deildarstjóri Jarðkönnunardeildar og verkefnisstjóri jarðkönnunarverkefna eftir fellingu deildarinnar inn í Vatnsorkudeild 1980/81 var Guttormur Sigbjarnarson. Verkefnisstjóri rannsókna Jarðkönnunardeildar var Freysteinn Sigurðsson jarðfræðingur og höfundur þessarar skýrslu. Hann stýrði rannsóknum og tók þátt í öllum liðum þeirra, nema útvinnu við sprungumælingar. Auk hans unnu eftirtaldir jarðfræðingar að þessum rannsóknum: Áslaug Geirsdóttir vann úr sprungumælingum veturinn 1980/81; Elsa G. Vilmundardóttir greindi svarf úr borholum og gerði sniðalýsingar veturinn 1977/78; Sigurður G. Tómasson tók þátt í vel flestum þáttum rannsókna; Snorri P. Snorrason tók þátt í sprungumælingum og athugunum umhverfis HSK-10, auk þess sem hann sá um hita- og seltumælingar og sýnatöku síðari hluta rannsóknartímans.

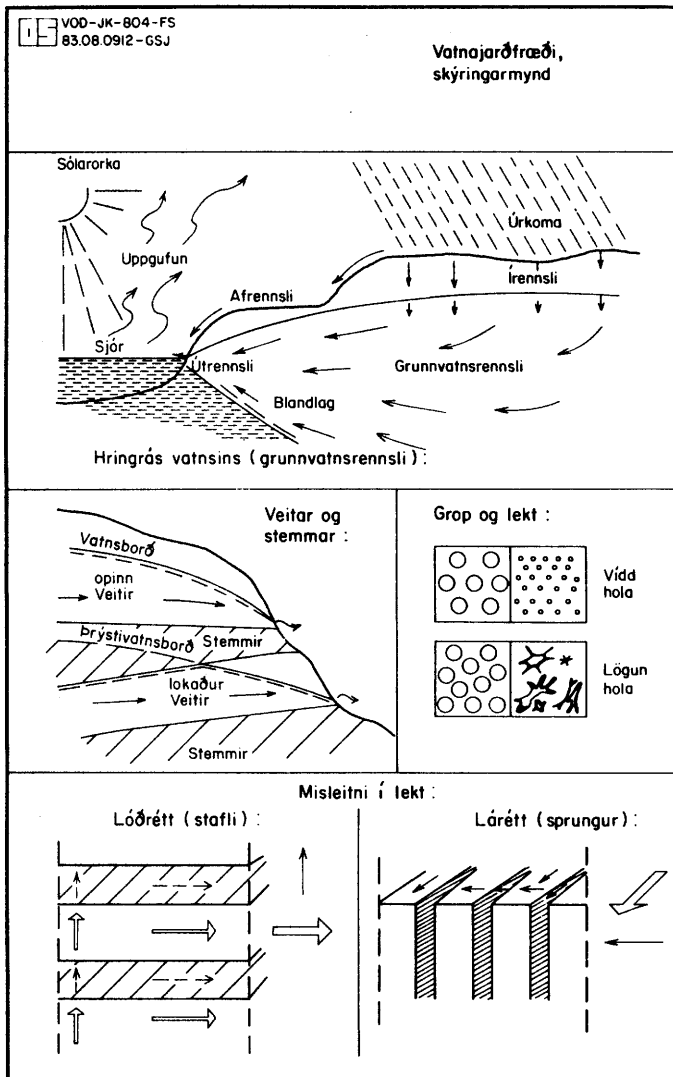
Auk þess var haft samráð við marga aðila um markmið og leiðir í rannsóknum, einkum við forstöðumenn Hitaveitu Suðurnesja, þá Ingólf Aðalsteinsson framkvæmdastjóra og Albert Albertsson verkfræðing, og ráðgjafa Hitaveitunnar, Sveinbjörn Björnsson prófessor; um grunnvatnslíkөн og jarðlektarkort einkum við sérfræðinga Straumfræðistöðvar Orkustofnunar, þá Jón Ingimarsson verkfræðing, Jónas Elíasson prófessor og Snorra P. Kjara verkfræðing; um jarðfræði Reykjaneskaga við Jón Jónsson jarðfræðing. Kunnum við, sem að þessum rannsóknum unnum, þessum aðilum öllum þakkir fyrir raunhæf framlög og ánægjulegt samstarf. Sérlega vill þó skýrsluhöfundur þakka Jóni Jónssyni, en Jón varð til þess að vísa honum fyrstu skrefin á hinum krókótta vegi jarðfræðinnar fyrir meira en tveimur áratugum.

2 VATNAJARÐFRÆÐI

2.1 Vatnajarðfræðileg viðmál

2.1.1 Grop og lekt

Helstu vatnajarðfræðileg viðmál ("parametrar") sem leitað var eftir voru lekt ("permeabilitet"), bæði gildi hennar og misleitni ("anisótropí") og vatnsrýmd. Viðmál þessi eru ekki öllum þekkt né heldur hlutverk þeirra í grunnvatnsfræðum almennt ljóst, nema sérfræðingum á þessu sviði. Því verður hér gerð stutt grein fyrir þeim í upphafi skýrslu þessarar (mynd 2-1).



MYND 2-1 Vatnajarðfræði.
Skýringarmynd

Grunnvatnið rennur um samtengdar holur í berginu (jörðinni) ef þær eru það víðar að viðloðun vatns við holuveggi teppi ekki rennslið. Rúmmálshlutfall alls holrýmis í berginu (jörðinni) er kallað **grop** ("porositet") og er annað hvort mælt sem hlutfallstala (t.d. 0,1) eða sem hundraðshluti (t.d. 10%). Sá hluti þess sem grunnvatnið rennur um er kallaður virkt grop. Hlutfall þess af heildarrúmmáli bergsins er jafnan minna en hlutfall alls holrýmis, oft mun minna. Lögun, stærð og tenging hinna einstöku holrúma ræður lekt bergsins en ekki grop þess sem slíkt, virkt eða óvirkt. Lektin er eiginleiki bergsins en vatnið rennur misgreitt við sömu lekt eftir því hver seigja þess er, en hún er fyrst og fremst háð hita vatnsins. Þessi munur er sjaldan mikill þegar um kalt vatn er að ræða þar eð hitamunur er einnig óverulegur. Þó veldur munur í seigju því að vatn rennur allt að þriðjungí (eínum þriðja) greiðar við 10⁰ C en við 0⁰ C. Þessi samverkan vatns og bergs veldur því í raun hversu greitt vatnið rennur um bergið. Rennslishraði, hæð jarðvatnsborðs og gæfni vatnsbóla eru háð þessari samverkan. Í reynd er því þessi "lekt" bergsins fyrir vatn með ákveðið en oft óþekkt hitastig sú stærð sem lýsir sér í mælingum og notuð er við ýmsa grunnvatnsreikninga. Hún er oft kölluð "lekt" rétt eins og framanskýrður eiginleiki bergsins eins og sjálfs. Að réttu lagi mætti kalla þessa samvirku "lekt" "streymislekt" (e.: "hydraulic conductivity", sbr. "hydraulics" og "straumfræði"). Við óbreytt hitastig er fast hlutfall milli lektar ("raunlektar") og streymislektar. Litlum hitamun fylgir lítil munur á þessu hlutfalli, a.m.k. miðað við nákvæmni þá sem hægt er að meta með þessar stærðir. Það kemur því yfirleitt ekki verulega að sök þó talað sé um "lekt" í stað "streymislektar" þegar um kalt vatn er að ræða. Það hefur líka verið gert í skýrslum um ferskvatnsrannsóknir fyrir Hitaveituna (Freyr Þórarinnsson o.fl. 1976; Jón Ingimarsson og Snorri P. Kjara 1978; Jón Ingimarsson og Jónas Elíasson 1980) og því varhugavert að breyta því. Hafa ber hins vegar hugfast að stærð sú sem hér á eftir er yfirleitt kölluð "lekt" ætti frekar að heita "streymislekt" eða eitthvað þess háttar og er mæld í m/s. Hún er næstum því stöðugt margfeldi af raunverulegrí lekt ("raunlekt") bergsins sem er mæld í darcy ($\approx 10^{-8}$ cm²). Þegar talað er um "lekt" í eðlislægum ("qualitativ") eða afstöðum ("relativ") skilningi gildir einu hvora merkinguna orðið hefur.

Jarðlög eru fjarskalega misvel lek. Þau jarðlög sem eru mjög lek eða leiða vatn vel eru kölluð veitar, et. veitir ("aquifer") eða "vatnsleiðari". Þau lög sem eru lítið lek eða illa vatnsleiðandi eru kölluð stemmar, et. **stemmir** (e.: aquiclude). Skipting þessi er afstöð. Á utanverðum Reykjanesskaga eru jarðlög með lekt ("streymislekt") 10⁻⁵-10⁻⁴ m/s stemmar en væru veitar í mörgum öðrum landshlutum. Lekt getur verið býsna breytileg í einu og sama jarðlaginu. Það er því ekki alltaf hægt að leggja venjulegar jarðfræðilegar einingar til grundvallar ef lýsa skal lektarástandi jarðar. Í þess stað þarf að skilgreina nýja tegund eininga. Þeim hefur verið gefið heitið "bergskrokkar" (Freysteinn Sigurðsson 1976) þangað til annað nafn fyndist betra. Eiginleikar bergskrokks eru þeir að hann er afmarkaður og samfelldur í rúminu og hefur allur sama gildi fyrir ákveðið viðmál, með tilliti til nákvæmni og viðmiðunar. Í þessu tilviki er viðmálið lekt bergsins. Stærð og flokkun bergskrokkanna fer eftir þeim mælikvarða sem miðað er við (sjá viðauka VII).

Lekt getur verið mismikil í einstökum bergskrokkum, jarðlögum eða svæðum eftir því til hvaða áttar vatnið rennur. Dæmi um þetta eru sprunguskarar þar sem opnar sprungur eru nærri samsíða. Þar rennur

vatnið greiðar í sprungustefnuna en þvert á hana. Annað dæmi eru hraunlagastaflar þar sem rennsli er greiðara í láréttri stefnu eftir lagmótum heldur en í lóðréttu stefnu þvert á hraunstálin sjálf, þó í hraunstálinu sjálfu sé lóðrétt lekt oftast meiri en lárétt. Þessi misleitni ("anisótropí") í lekt er eitt af helstu vatnafræðilegum viðmálum bergsins.

2.1.2 Veitar og vatnafar

Grunnvatnsrennsli er knúið áfram af afli því sem felst í orku grunnvatnsins sjálfs. Í köldu vatni og opnum veiti er orka þessi nær einvörðungu staðarorka sú sem byggist á mismunandi hæð á grunnvatnsborði og á þyngdaraflinu (aðdráttarafli jarðar). Lægst er grunnvatnsborð við sjávarmál enda falla öll vötn þangað. Kraftur sá sem ýtir á grunnvatnið að renna er í beinu hlutfalli við halla grunnvatnsborðsins og hefur sömu stefnu. Þetta gildir þó aðeins í svokölluðum opnum veitum (e.: "unconfined aquifer") en í þeim hefur grunnvatnið svigrúm til að leita í jafnvægisástand við rennsliskrafta, jarðgerð og loftþrýsting andrúmsloftsins. Í lokuðum veiti (e.: "confined aquifer") er veitirinn lokaður af að ofan að stemmi. Efra borð vatnslagsins í veitinum fylgir þá efri borði veitisins og þarf alls ekki að vera í jafnvægi við orkuástand grunnvatnsins í veitinum. Yfirborð grunnvatnsins getur þá verið undir þrýstingi. Jarðlög þau sem ferskvatn streymir um á utanverðum Reykjanesskaga eru að mestu leyti opnir veitar, a.m.k. til langs tíma séð. Meðallega grunnvatnsborðs í lengri tíma er því sem næst í jafnvægi. Staðarorku grunnvatnsins (þ.e. grunnvatnshæð) er viðhaldið af írennsli á vatnasvæðinu. Það er að langmestu leyti í formi úrkomu. Afrænt ("dynamískt") ástand grunnvatnsins væri því hægt að reikna ef höfuðþættir þess væru þekktir: Írennsli og jarðlekt. Jafnvægisástandinu væri þá hægt að lýsa í meginþáttum þess: Grunnvatnsborði og grunnvatnsrennsli. Þess háttar ímynd grunnvatnsástands eru grunnvatnslíkön þau sem nota má til að meta á magnlægan ("quantitativ") hátt áhrif ýmissa breytinga og aðgerða á grunnvatnsástandið (sjá viðauki VII).

Ferskvatnið stendur í flotjafnvægi við sjóinn úti fyrir. Sjóvatnið er eðlisþyngra en ferskvatnið og veldur það því að ferskvatnið flýtur á sjó í berginu eins og olía á vatni. Eðlisþyngdarmunurinn veldur því að ferskvatnslagið nær um 40 m niður fyrir sjávarmáli fyrir hvern 1 m sem grunnvatnsborð liggur yfir sjávarmáli. Grunnvatnsborð er víða 1 - 1 1/2 m y.s. á utanverðum Reykjanesskaga og ferskvatnslagið aðeins um 50 m þykkt. Dælingu úr vatnsbólum samsvarar kraftur sem verkar á grunnvatnið upp á við þveröfugt við þyngdaraflið. Þar eð átakssvið dælu er lítið en víðáttu grunnvatnslagsins mjög mikil, þá verða mælanleg áhrifasvæði og niðurdráttur (þ.e. lökkun grunnvatnsborðs) takmörkuð. Hins vegar getur átak dælu valdið lyftingu á skilfleti ferskvatns og sjávar undir vatnsbólum, með þeim afleiðingum að sjóvatn drægist skyndilega upp í vatnsbólum. Þetta gerir vatnstöku á utanverum Reykjanesskaga vandasamari en víða annarsstaðar.

Mörk sjóvatns og ferskvatns eru ekki skörp. Grunnvatnsborð er ekki stöðugt og veldur það þrýstingsbreytingum á mörkunum og hreyfingu á vökvunum. Grunnvatnsrennsli er ekki jafnt, m.a. vegna misfella í jarðgerð. Veldur það einnig hræringum og uppróti á mörkum ferskvatns og sjóvatns. Loks á sér stað nokkuð flæði ("diffusion") á mörkunum. Milli ferskvatns og sjóvatns verður því blandlag með vaxandi seltu

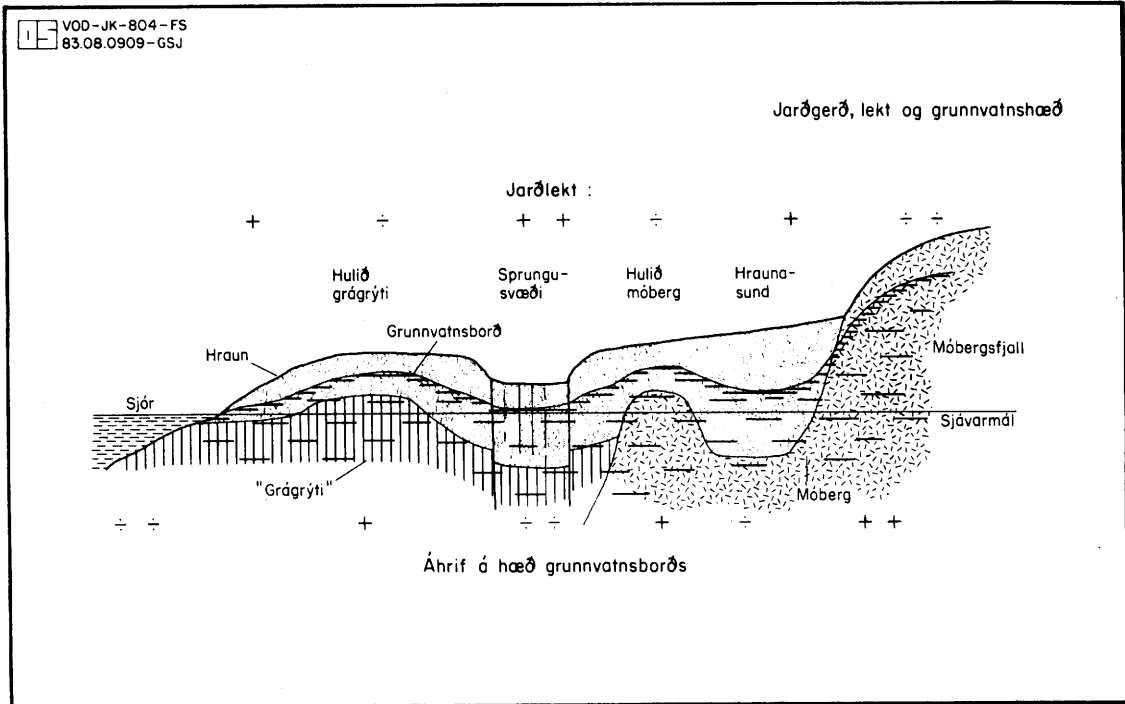
þegar neðar dregur. Vatn í þessu blandlagi er óhæft til neyslu vegna seltu nema e.t.v. allra efsti hluti þess. Þykkt neysluhæfs ferskvatnslags er því nokkru minni en samsvarar aflrænu ("dynamisku") jafnvægi milli sjávar og ferskvatns (flotjafnvægi). Dregur það enn úr þruggri vatnstöku.

Vandi vatnstökunnar er því tvenns konar: Annars vegar hinn sígildi vandi allrar vatnstöku að ná sem mestu og sem bestu vatni á sem ódýrastan hátt. Hins vegar er sá sérstæði vandi að stilla vatnstöku úr hverju vatnsbóli í það hóf að ekki komi til uppdráttar sjávar í vatnsbólið né verði svæðisbundin þynning ferskvatnslagsins það mikil að nýtingarhagkvæmni einstakra vatnsbóla eða svæðisins alls sé stefnt í voða.

2.2 Jarðgerð og lekt

Jarðlög má flokka með ýmsu móti, t.d. bergfræðilega eða jarðsögulega. Vatnajarðfræðileg flokkun er ekki í fullu samræmi við aðrar flokkanir þó hún hafi verulega fylgni við þær. Það verður því jafnan að túlka aðrar jarðfræðilegar eða vatnafræðilegar upplýsingar vatnajarðfræðilega en slíkt er ekki hægt án nægrar þekkingar á jarðfræði, vatnajarðfræði og vatnafræði. Til svona túlkana hefur verið miklu oftast kastað höndunum en menn skyldi gruna, til ómælds tjóns fyrir þá er hlut eiga að máli. Vatnajarðfræðileg flokkun fer eftir þeim mælikvarða sem við er miðað. Flokkun þessi er þannig mismunandi eftir því hvort miðað er við grunnvatnslíkan af heilu vatnasvæði eða vatnsgæfni jarðlaga í borholu. Sé sundurliðun (flokkun) haldið í nokkuð ströngu hófi, þá má flokka jarðlög á utanverðum Reykjanesskaga gróft eftir vatnajarðfræðilegum eiginleikum þeirra eins og hér er sýnt (sjá einnig mynd 2-2).

Tveir höfuðflokkarnir eru hraun og móberg. Sets og setlaga gætir lítið. Hraun eru misgömul að aldri. Á yfirborði á utanverðum Reykjanesskaga eru yfirleitt hraun frá nútíma (yngri en frá ísaldarlokum) en á Rosmhverfanesi og Vogastapa eru eldri hraun, grágrýtis-hraun, sennilega frá hlýskeiðum Ísaldar. Veðrun, þétting og ferging jökla veldur því að grágrýtið er þéttara en hraunin frá nútíma. Hverju hraunlagi má skipta í þrjá hluta: Gjallkarga og bruna ofan á hrauninu, þétt hraunstálið sjálft í miðju hraunsins og gjallkargalag á neðra borði hraunsins. Gjallið er alsett holum, oft stórum. Þó er það mjög misjafnt að gerð. Holur eru misvel tengdar saman, hraunbúta gætir mismikið í gjallaginu; gjallmyndunin sjálf er mismikil o.s.frv. Lög þessi eru því harðla misvel lek. Gjalllagið á efra borði hraunsins er oftast mun þykkara en á neðra borði þess. Almennt munu gjalllögin (brunalögin) vera lekari en hraunstálið sjálft og það oft svo miklu munar. Hraunstálið er stuðlað og eru glufurnar á milli stuðlanna holrými það sem grunnvatnið getur runnið um. Í ytra byrði hraunstálsins bæði að ofan og neðan gætir stuðlamyndunar oft minna en í þess stað ber þar stundum töluvert á straumflögun og hellumyndun. Virkt grop er stórum minna í hraunstálinu en í gjallögum. Stærð þess hefur ekki verið rannsökuð vandlega en þó má geta sér þess til að það sé oft 1 - 5% í hraunstálinu en 10 - 25% í gjallinu. Virkt grop hraunlaga í heild væri þá sennilega oft á bilinu 2 - 15%.



MYND 2-2 Jarðgerð, lekt og grunnvatnsborð.

Veðrun, ífok og íburður geta valdið þéttingu í hraunlagi en hún verður að sjálfsögðu ofan frá. Athuganir á borholusniðum benda líka til þess að leki sé mun tíðari í neðri luta hraunlags en efri hluta (viðauki IV). Mest er þéttingin e.t.v. á mörkum hraunstáls og efra gjallborðs (sjá viðauka IV). Mest mun lektin vera á mótum tveggja hraunlaga enda eru þar oft stærstu holrýmin. Lekt á lagamótum og gjallbyrðum hraunnanna getur verið margföld á við lekt í hraunstálinu eða 10 - 100 sinnum meiri. Um þetta er þó of lítið vitað. Upplýsingar fást helst við mælingar í borholum en í þeim eru náttúrlegar aðstæður mjög truflaðar bæði af völdum borunarinnar sjálftrar (svarfþétting o.fl.) og eins vegna hinnar ónáttúrulegu aflbeitingar (úrdæling eða þrýstingur). Þó er ljóst að lagskipting þessi veldur oft gífurlegum mun á lóðréttri og láréttri leiðni og þar með mjög sterkri misleitni á lekt samsíða hraunlögnum. Þétting eykur frekar á þessa misleitni.

Talið hefur verið að sprunguhraun væru almennt betur lek en dyngjuhraun á þessum slóðum (Freysteinn Sigurðsson 1976; sami: Freyr Þórarinnsson o.fl. 1976; Jón Ingimarsson og Jónas Elíasson 1980). Byggist þessi skoðun á því, að hraunstálið er oft stærri hluti af heildarþykkt hraunlagsins í dyngjuhraununum en gjallbyrðin að sama skapi þynnri. Þar á móti kemur að stuðlun er yfirleitt grófari í dyngjuhraununum og glufurnar á milli stuðlanna því víðari. Beltamyndun (lárétt) kemur iðulega fyrir í dyngjuhraununum og eykur hún sennilega lekt þeirra. Í þunnlögóttum sprunguhraunum geta einstakir gjallflákar verið aðskildir frá öðrum lekum lögum og dregur það mjög úr áhrifum þeirra á lektina í heild. Því er sá möguleiki fyrir hendi að hraunstál dyngjuhrauna sé lekara en hraunstál sprunguhrauna en það

skiptir máli fyrir vatnsgæfni í borholunum. Aftur á móti geta sprunguhraun sem jarðlagastafli verið lekari en dyngjuhraun en það skiptir máli við gerð jarðlektarkorta og grunnvatnslíkana.

Móberg er mun sundurleitara að gerð en hraunin. Álit alls þorra jarðfræðinga er að móberg myndist við gos undir jökli. Snöggkæling hraunkvikunnar valdi því að hún verður að bergmylsnu, oft glerkenndri, en ekki að þéttu hrauni. Þar eru þó öll millistig til, allt frá samrunnum fínum glersalla og að stuðluðu, þéttu kubbabergi sem sker sig lítið frá venjulegum hraunum eða innskotum. Helsta millistigið er **bólstraberg**, samsett úr ávölum bergskrokkum með geislustuðlum út frá miðju, tugí sentimetra eða nokkra metra í þvermál, oft með glerjað ytra byrði. Fögur dæmi þess bergs má sjá í grjótnámunum í Stapafelli. Bólstrar þessir eru oft holir í miðju en ekki hafa þau holrúm líkt því alltaf tengingu við önnur meiri háttar holrúm nema um glufur þær sem geisla út frá miðjunni. Þær eru oft furðu þröngar og lokast iðulega af skán þeirri sem er oft utan um bólstrana. Eins er með holrúm þau sem verða á milli bólstranna, að þau eru ekki líkt því alltaf samtengd. Víða eru brotasallafyllur á milli bólstra og eru þar öll millistig upp í það að bólstrarnir "syndi" í fyllunum. Brotasallafyllur þessar eru stundum kallaðar "túff" en ekki er það alveg rétt notkun þess heitis. Hins vegar er það nokkuð almennt notað um móberg sem er að mestu leyti úr fínum berg- og glerbrotasalla, samlímdum. Þegar fyllur þessar eru morandi í bólstrabrotum, hraunklessum eða öðrum bergmolum, er bergið oft kallað "venjulegt" móberg eða **þursaberg**. Það heiti er þó einkum notað þegar bergmolarnir eru álíka mikill hluti bergsins og salla-fyllan eða meiri. Salla-fyllur þessar ("túff") eru oft mjög groþnar eða allt að 50% (Svanur Pálsson 1972). Virkt grop er þó ekki nema hluti þessa groþs og þau holrúm sem eru þá það víð að vatn geti streymt um þau, eru yfirleitt þröng. Í ferskum, grófkorna og lítt samlímdum salla-fyllum getur lekt verið töluverð. Í fínkorna, fast samlímdum og ummynduðum salla-fyllum er hún hins vegar hverfandi. Hvað minnst verður hún þó sennilega í "túff"-hjúp þeim sem víða liggur utan á móberg-sfjöllum og jöklar hafa þæft (Páll Imsland 1972). Steinvölnurnar í þursabergi og "móbergi" hafa svo gott sem enga lekt þó þær séu oft blöðrottar og draga því enn úr lekt bergsins.

Almennt er mest lekt í hreinu, skán- og salla-lausu bólstrabergi af öllum gerðum móbergs. Lekt getur einnig verið allgóð í grófstuðluðu kubbabergi. Lektin minnkar skjótt í bólstrabergi þegar fer að bera á salla-fyllum á milli bólstranna. Óhreint (sallaríkt) bólstraberg er í sama flokki og þursaberg og margt "venjulegt" móberg. Þar er kornastærð, samlíming og holufylling fyllunnar ráðandi um lekt. Sama gildir um hvers kyns salla-berg eða "túff". Í heild er lekt móberg-sins minni en lekt hrauna frá nútíma. Hins vegar virðist lekt í grágrýtinu oft vera svipuð og í móbergi. Hreint bólstraberg er trúlega oft lekara en meðallags grágrýti þótt þursaberg, "túff" og "móberg" séu hins vegar minna lek.

Víða eru sprungur, skriðfletir og lagamót í móberginu. Sprungurnar hafa svipuð áhrif og glufurnar í hraununum nema hvað þær eru oft víðari en þá líka strjálí. Þær draga vatnsrennslið í ákvednar rásir. Sömu áhrif geta lagamót í móbergi haft. Þau eru ósamfellingfletir og oft holrúm á þeim, jafnvel hellar. Skriðfletir eru hins vegar oft þéttari en bergið sjálft þar eð brota- og glersallinn hefur kvarnast niður á þeim og er orðinn bæði fínni og betur felldur saman en áður.

Sprungur af völdum höggunar ("tektónik") hafa að sjálfsögðu gífurlega mikil áhrif á lekt. Þær eru bæði margar og víðar á utanverðum Reykjanesskaga. Að vísu eru þær langflestar fylltar af hruni neðan

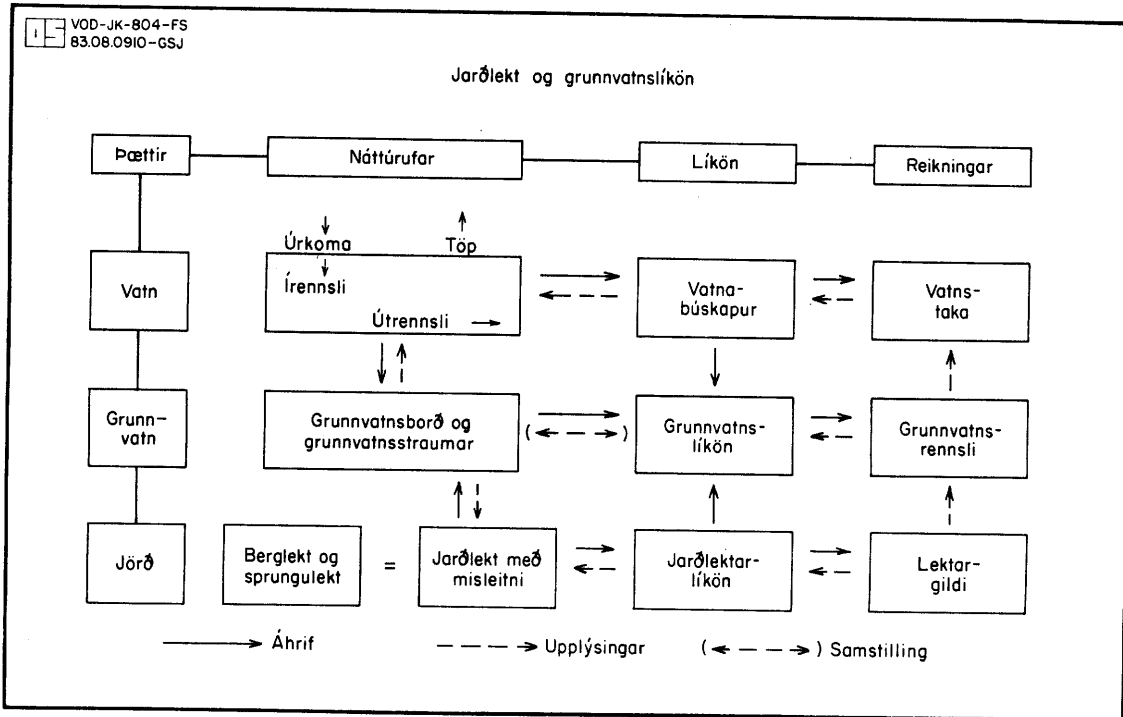
vatnsborðs. Eldri sprungur, t.d. í grágrýtinu, eru ennþá þéttar fylltar þar eð jökull hefur oft skriðið yfir þær. Hins vegar geta hlutfallsleg áhrif þeirra verið svipuð það eð eldra bergið (móberg og grágrýti) er verr lekt en ungu hraunin (sjá viðauka III). Á yfirborði sjást lítil merki um gliðnun bergstuðla o.þ.h. í tengslum við sprungur nema í brúnum misgengisstalla. Hins vegar koma sprungur oft fyrir í þéttum skörum og á stórum svæðum, mismikið sprungnum. Hver einstök sprunga getur verið sérlega vatnsgæf vatnsrás í vatnsbóli (borholur) og eins geta glufur verið opnari á börmum stórra sprungna. Sprungulekt heilla svæða mótast hins vegar af því, hvað sprungurnar í heild sinni megna að greiða rás vatnsins um bergið á viðkomandi svæði.

Berg með opnum sprungum er lekara en sprungið berg. Hver sprunga hefur ákveðin áhrif sem eru sambærileg við lekt í bergi. Heildaráhrifum allra sprungna í ákveðnum bergskrokk eða á ákveðnu svæði má dreifa jafnt á bergskrokkinn eða svæðið og samsvara þá jafndreifðum eiginleika sem kalla mætti **sprungulekt**. Bergið sjálft hefur eftir sem áður sína eigin lekt sem kalla mætti **berglekt**. Sprungulekt og berglekt saman ráða þá lekt bergskrokksins eða svæðisins sem kalla má **jarðlekt** (sjá viðauka III).

2.3 Jarðlektarlíkön

Vatnstöku úr vatnsbóli má líta á sem magnlaga ("quantitativ") aðgerð.- Áhrif þeirrar aðgerðar á grunnvatn svæðisins eru líka magnlæg og verður að meta þau reikningslega. Eina viðráðanlega leiðin til þess, er að gera grunnvatnslíkan af svæðinu og fremja fyrirhugaðar eða hugsanlegar aðgerðir reikningslega á því líkani. Svona grunnvatnslíkön eru einfaldanir á raunverulegum grunnvatnsaðstæðum, samsvara þeim í mörgu tilliti en eru þó ekki sem slík raunsönn lýsing á grunnvatnsaðstæðum. Höfuðþættir þeir sem grunnvatnslíkönin eru ofin úr eru írennsli og úrrennsli á svæðinu, hæð grunnvatnsborðs og grunnvatnsstraumar og jarðlekt. Jarðlektin er vatnajarðfræðilegs eðlis. Sem grunnþáttur grunnvatnsíkans er hún sett fram sem jarðlektarlíkan eða jarðlektarkort (mynd 2-3). Um grunnvatnslíkön og jarðlektarlíkön er fjallað ítarlegar í viðauka VII.

Í síðasta kafla var lýst þeim megindráttum jarðgerðar sem hafa áhrif á jarðlekt. Jarðfræðikortlagning og jarðfræðiathuganir eru höfuðstoðirnar undir jarðlektarlíkani. Hafa verður þó hugfast að jarðlektarlíkanið samsvarar jarðlögum í grunnvatnslaginu en ekki á yfirborði. Getur því oft þurft að beita óbeinum aðferðum og oft langsóttum rökum til að ráða í hvernig jörðin sé undir yfirborði. Þau rök eru flest jarðfræðilegs eðlis. Er fjallað um sum þeirra í viðaukum I, II, III og IV. Einnig má draga ályktanir um jarðlekt af hæð grunnvatnsborðs. Sú hæð er mæld beint í borholum en þar villa sveiflur á hæð jarðvatnsborðs fyrir til skamms mælingatíma séð. Óbeint er þykkt ferskvatnslagsins og þar með hæð grunnvatnsborðs mæld með jarðeðlisfræðilegum aðferðum (jarðviðnámsmælingum). Sú aðferð er vitaskuld ekki eins örugg en nær til stærri svæða og samsvarar sennilega betur varanlegu grunnvatnsborði. Um niðurstöður þessara mælinga er fjallað í viðauka V.



MYND 2-3 Jarðlekt og grunnvatnslíkan.

Að öðru jöfnu stendur grunnvatnsborð hærra þar sem jarðlekt er lítil en þar sem hún er mikil. Í opnum veitum rennur grunnvatnið undan halla sjálfs síns; frá þeim stöðum þar sem það stendur hátt og til þeirra staða þar sem það liggur lágt. Lega og stefna grunnvatnsstrauma veitir því óbeinar upplýsingar um afstæða hæð grunnvatnsborðs og jafnvel um misleitni í jarðlekt. Ráða má í legu og stefnu grunnvatnsstraumanna eftir upplýsingum um hitastig og efnainnihald í grunnvatni en efnainnihaldið hefur áhrif á rafleiðni grunnvatnsins. Um hita og efnainnihald í grunnvatni er fjallað í viðauka V.

Af þessu leiðir að upplýsingar um jarðlekt eru ærið misjafnar að gæðum á svæði því sem meta skal. Varðar það bæði hversu þéttar þær eru, hversu nákvæmar og hversu öruggar. Beinar athuganir á yfirborði leiða yfirleitt til öruggustu niðurstaðnanna þó nákvæmni fylgi ekki alltaf örygginu. Þar eð mjög stór hluti svæðisins er þakinn ungum hraunum á yfirborði og dýpi á grunnvatni oft svo tugum metra skiptir þá er ljóst að víða verður að styðjast við óbeinar athuganir einar sér. Villur í jarðlektarlíkani valda yfirleitt því minni skaðvænlegum skekkjum í niðurstöðum líkanreikninga sem villusvæðin eru fjær vatnstökusvæðinu. Réttast og nákvæmast verður jarðlektarlíkanið að vera á vatnstökusvæðinu sjálfu og aðliggjandi svæðum. Var enda athyglinni beint mest að þeim. Hins vegar krafðist hið óbeina eðli athugananna þess að verulega væri hugað að vissum svæðum fjarri vatnstökusvæðinu.

Grunnvatnslíkanið af vatnasvæðinu er smágerðast á vatnstökusvæðinu því þar gætir áhrifa vatnstökunnar mest. Þar er það sennilega finna í dráttum en grunnþekking um svæðið gefur tilefni til. Þar verður

Því að líta meira á niðurstöður líkanreikninga sem heildarmynd með hugsanlegum staðbundnum frávikum en sem algildan sannleik í kringum kortpunkt. Eins verður að skoða niðurstöður líkanreikninga með nokkurri varúð, hvað varðar jaðar vatnasvæðisins, t.d. úti undir Reykjanesi eða inni undir Vatnsleysuströnd. Þar var ekki leitað að staðbundnum réttum niðurstöðum heldur að réttum ramma um vatnstöku-
svæði Hitaveitu Suðurnesja.

2.3.1 Vatnsbólustæði

Hitaveita Suðurnesja aflar sér ferskvatns úr borholum á svokölluðu Lágasvæði, 2 1/2 - 4 km norðvestur frá varmaorkuverinu. Sú var niðurstaða ferskvatnsrannsóknanna að þarna væri besta vatnstökusvæðið um fyrirsjáanlega framtíð. Margs var að gæta við staðsetningu vatnsbóla þessara (borhola): Borstæði verða að vera aðgengileg; aðstæður til borunar verða að vera hagstæðar; dýpt borholu verður að vera sem minnst, sem jafngildir því að hæð borstaðar yfir sjávarmáli verður að vera sem minnst; vatnsveitu- og raflagnaleiðir verða að vera sem stystar og auðlagðastar; líkur verða að vera á sem mestri vatnsgæfni; efnainnihald vatnsins má ekki vera of mikið og dæling úr holunni má ekki hafa of mikil áhrif á aðrar holur. Staðsetningu einstakra borhola er lýst stuttlega í kafla 7 (mynd 2-4).

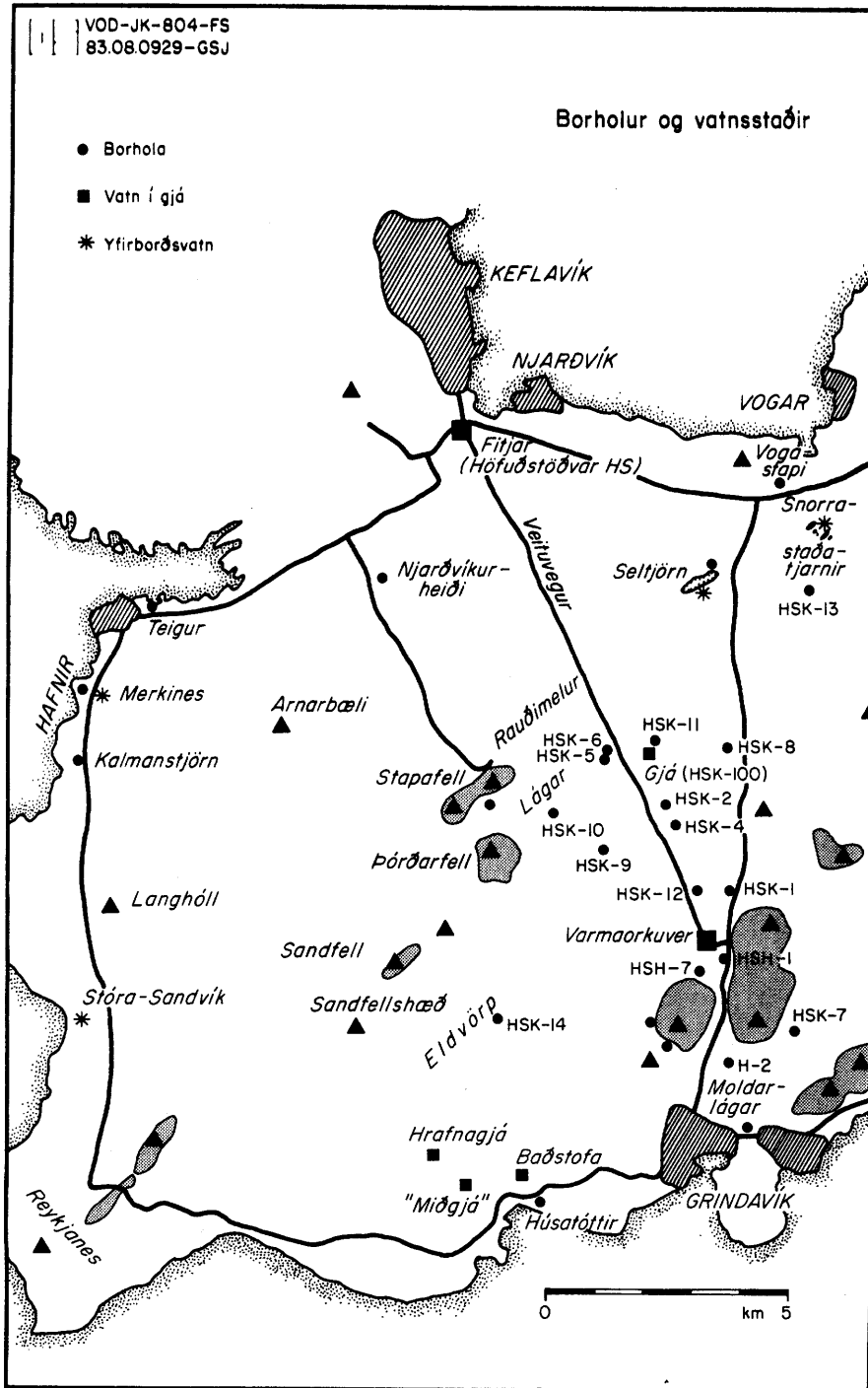
Upplýsingar um vatnsgæfni og efnainnihald fengust að sjálfsögðu ekki fyrr en fyrstu holurnar höfðu verið boraðar (HSK-2 og HSK-4). Þær voru staðsettar það langt frá jarðhitasvæðinu í Svartsengi að yfirgnæfandi líkur voru taldar á því að áhrifa þess gætti þar ekki í efnainnihaldi. Þá kom í ljós að minna efnainnihald var í holunum þegar norðvestar dró á svæðinu og var því talið hyggilegra að staðsetja holur til viðbótar frekar þeim megin en nær jarðhitasvæðinu. Áður en niðurstöður líkanreikninga og mælingar í holum, sem náðu niður úr ferskvatnslaginu lágu fyrir var talið hyggilegra að hafa alllangt á milli borhola vegna áhrifa hugsanlegs svæðisniðurdráttar við úrdælingu. Þessi atriði réðu í grófum dráttum staðsetningu vatnsbóla. Nánari staðsetning réðst af því að hraun voru talin ná frekar niður í jarðvatn þar sem land var lágt yfir sjávarmáli enda yrðu holur þar grynri. Óhægt var talið að bora í eða við sprungur vegna hrúnhættu en hins vegar líkur á meiri vatnsgæfni ef land var sprungið eða sprungur í nánd. Reynt var að fara einhvern meðalveg milli þessara andstæðu krafna. Loks var tekið mið af bor- og veitukæflegum aðstæðum. Reynt var að velja borstæði á sléttu landi þar sem samilegt svigrúm væri til athafna.

Þó þessar forsendur að borstæðavali séu einfaldar í sjálfu sér, þá er því þó víðsfjarri að hægt sé að bora hvar sem er ef þeim skal fylgja.-
Völ hefði samt verið á mun fleiri stöðum ef því hefði verið að skipta og aðrar áherslur lagðar á einhver hinnar framantöldu atriða en gert var. Það er því enn fjöldinn allur af borstæðum til úrvals á Lágasvæðinu ef ástæða þætti til að þetta vatnsbólasetið.

Sama gildir ef hugsað er frekar um brunngerð en boranir. Valin voru og merkt 5 brunnstæði á norðanverðu Lágasvæði (1977) og voru þau í 6,6 - 8,4 m hæð y.s. Fleiri hentuga staði er að finna á Lágasvæði, þó einkum nyrst á því (austan undir Rauðamel) en þar er land lægst.

Stærsta vatnsból Hitaveitunnar er þó í svokallaðri "Gjá í Lágum" sem

starfsmenn Orkustofnunar, þeir Sigurður G. Tómasson og Kristinn Einarsson "fundu" í júlí 1976. Trúlega hefur gjá þessi verið þekkt áður fyrr meðan gönguleiðir voru víða um skagann og búsmali átti sér þar beitiland. Er raunar ekki ósennilegt að einhverjir heimamenn kannist enn við gjá þessa þó ekki hafi verið hafðar spurnir af því. Um 14 m var í vatn af lægri gjárbarminum en hún er suðaustan við gróf (sigdæld). Norðvestan megin í grófinni sér í vatn í gjá undir barmi hennar þeim megin. Vatn mun og vera aðgengilegt í gjám norðvestur undir Rauðamel og eins mun mega heyra til vatns við grjótkast í framhaldi gjáar í Lágum. Annars staðar fannst ekki opið vatn í gjám þrátt fyrir mikla leit.



MYND 2-4 Lega borhola og vatnsbóla

3 JARÐGERÐ UTANVERÐS REYKJANESSKAGA

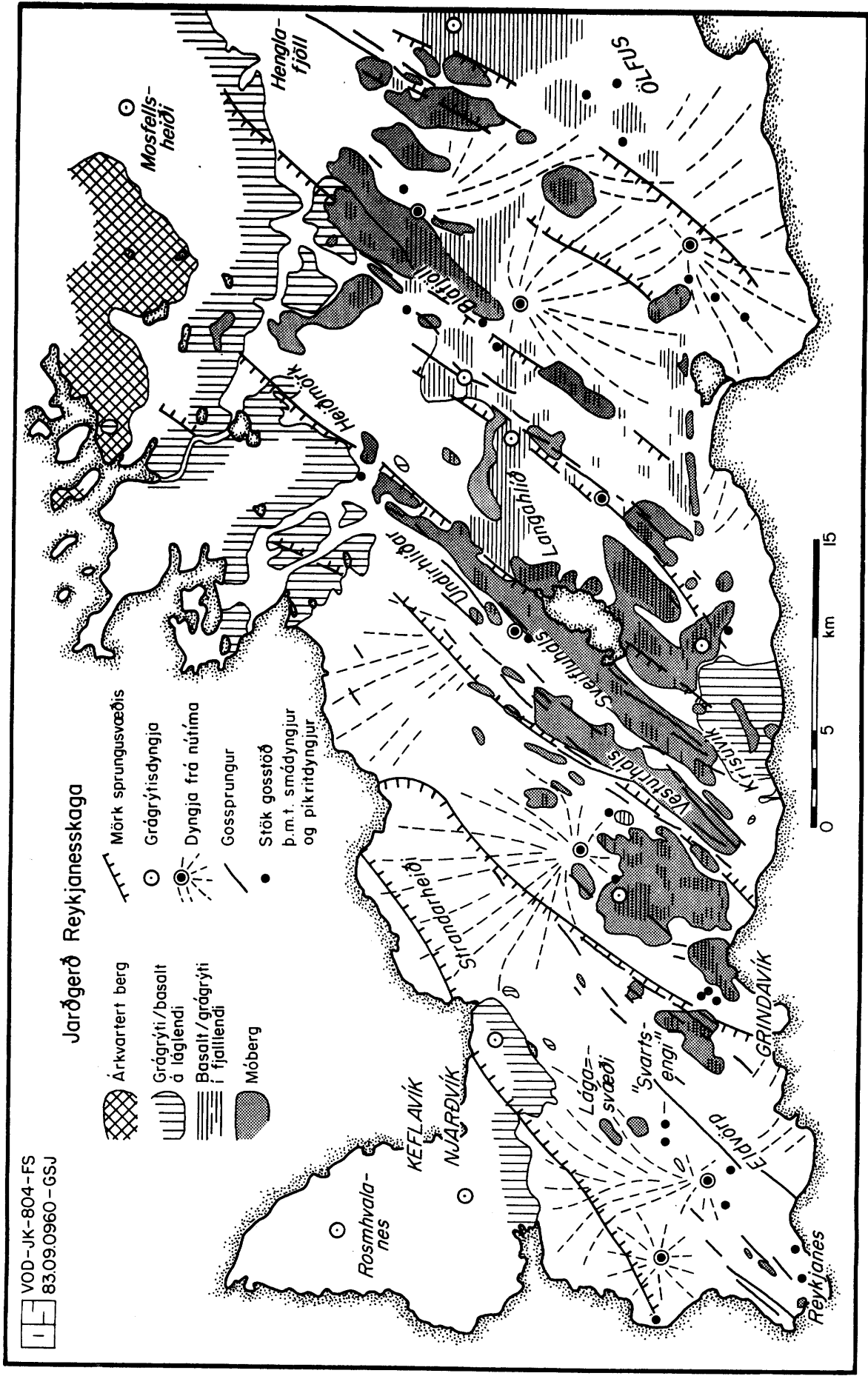
3.1 Yfirlit

Reykjaneskagi er eldbrunninn enda á milli utan frá Reykjanestá og austur á Hellisheiði (mynd 3-1). Frá lokum ísaldar, fyrir 10.000 - 12.000 árum, hafa orðið a.m.k. 160 sprungugos og 30 dyngjugos á Reykjaneskaga (Jón Jónsson 1978), þar af ófá á sögulegum tíma (sama heimild). Gos þessi hafa langflest orðið í fjalllendi því sem liggur eftir skaganum endilöngum en harðla fá á láglandunum við norður- og suðurströnd skagans. Samfelld fjallendi þrýtur norður og austur frá Grindavík og hefur vestan þess gosið á láglandi þó mishæðótt sé. Fjöll á skaganum eru að langmestu leyti úr móbergi. Þau mynda annaðhvort hryggi og hnúkaraðir eða víðáttumikil, kollflöt fjöll af þeirri gerð sem kallast stapar. Til fyrri hópsins má telja fellaröðina norðaustur frá Grindavík, hnúkaraðir austan við Fagradalsfjall, Móhálsa báða og Brennisteinsfjöll. Í síðari hópnunum eru m.a. Fagradalsfjall og fjallið austan Kleifarvatns ("Hlíðarfjall"). Milli fjallanna eru víða hraun frá nútíma og sums staðar eldri hraun, jökulskafin ("grágrýti" o.þ.u.l.).

Frá fjallendinu hafa hraun fallið í allar áttir og eins hafa þau breiðst út frá gosstöðvunum á láglandinu á utanverðum skaganum. Þekja hraun þessi mestan hluta láglandisins. Fyrrum munu hafa verið eldgos á Rosmhvalanesi en þar eru nú flatir grágrýtisskildir á yfirborði. Það munu hafa verið dyngjugos (Vogastapi, Háaleiti o.fl.).

Sprunguskarar ganga á ská yfir skagann og stefna yfirleitt SV-NA eins og móbergshryggirnir. Þó hafa sprunguskarar norðan undir fjallendinu stefnur nærri VSV-ASA. Milli sprunguskara þessara er land minna sprungið, stundum lítið sem ekki. Hinir austlægari sprunguskarar norðan á skaganum eru ekki samfelldir eftir skaganum endilöngum.

Berg allt á yfirborði á utanverðum Reykjaneskaga er haldið vera jarðfræðilega ungt eða frá síðkvarter, þ.e. segulöld þeirri sem kennd er við franska landfræðinginn Brunhes eða frá síðustu 700.000 árum (Leó Kristjánsson og Ágúst Guðmundsson 1980). Hefur berg þetta sömu segulstefnu og nú er. Öfugt segulmagnað berg finnst á örfáum stöðum á utanverðum skaganum (sama heimild) en samsvarandi segulhvik hefur sennilega orðið á síðari hluta síðasta meginjökulskeiðs (sjá viðauka I). Annars er lítið vitað um aldur móbergs á skaganum.



MYND 3-1 Megindrættir jarðgerðar Reykjanesskaga.

Á Reykjanesskaga og útjöðrum hans búa um 60% íslensku þjóðarinnar. Það fólk fær þaðan þorra alls neysluvatns sem það þarf og stóran hlut af byggingarefnum þeim sem það notar. Á skaganum eru þrjú meiri-háttar háhitasvæði sem borað hefur verið í svo nemur á þriðja tug djúpra borhola, auk smærri svæða. Samt hefur ekki enn verið gert viðunandi jarðfræðikort af Reykjanesskaga. Gosstöðvar og hraun frá nútíma hafa, sem betur fer, verið kortlögð með miklum ágætum þar sem eru kort Jóns Jónssonar (1978). Í fylgiriti með kortunum eru jafnframt ítarlegustu upplýsingar á einum stað um eldra berg, sem völ er á. Þarf vart að fjölyrða um það, hver fengur var að þessum gögnum við rannóknir þar sem hér er lýst bæði fyrir og eftir birtingu þeirra. Í nefndu riti Jóns er einnig gerð grein fyrir rannsóknum á jarðfræði skagans fram til 1977. Verður því ekki fjallað frekar um þar hér en síðari rannsókna getið þar sem það á við.

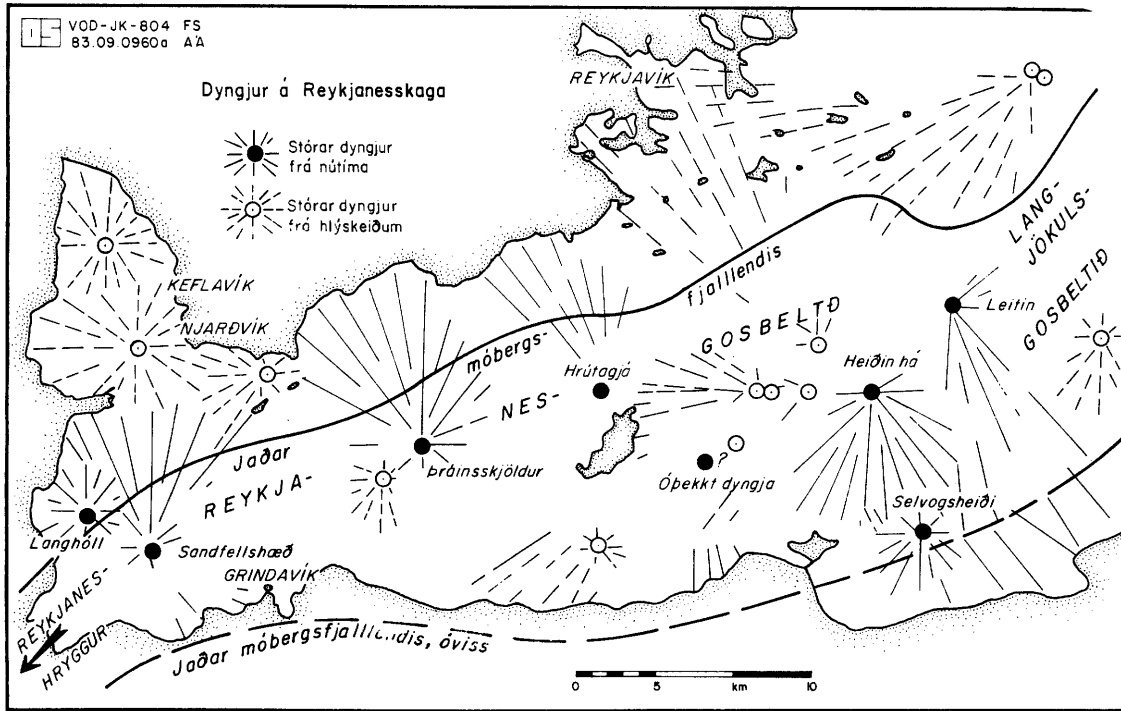
Miklar og merkar rannsóknir hafa verið gerðar á Reykjanesskaga í tengslum við svokallaða "landrekskenningu" sem þorri allra jarðfræðinga aðhyllist nú, a.m.k. á Vesturlöndum. Þar hafa einkum verið jarðeðlisfræðilegs og bergfræðilegs eðlis. Verður hér ekki fjallað sérstaklega um þar enda er þar um að ræða glímu við hindari rök hnattvíðs vandamáls. Sú glíma stendur enn og niðurstöður hennar ekki svo ótvíræðar um smáatriði, það sem komið er, að draga megi af þeim órækar ályktanir til lausnar jarðfræðilegum vandámálum ferskvatns-rannsókna á Reykjanesskaga.

3.2 Gosbelti og gosreinar

Gosbeltið á Reykjanesskaga stefnir nærri $N75^{\circ}A$ og tengir órofið saman gosbelti eftir endilönum Reykjaneshrygg, með stefnu nærri $N40^{\circ}A$, og svokallað "vestara gosbelti" á Íslandi eða "Langjökulsgosbelti" sem einnig stefnir nærri $N40^{\circ}A$. Almennt er talið að þessi samtengdu gosbelti séu hluti af miklu stærri heild; gosbeltakerfi sem liggja eftir endilöngu Atlantshafi og norður í Dumbshaf. Um það klofni Atlantshafið og reki hafsbötn og heimsálfur beggja vegna hafs til beggja handa. Gosbeltakerfið er á miðjum fjallshrygg miklum á hafsbötni sem kallast Mið-Atlantshafshryggur og er Reykjaneshryggur hluti af honum eða framhald hans. Hryggur þessi er hvorki beinn né samfelldur heldur er allvíða svo sem honum hafi verið hliðrað til. Er það líka hald margra að svo sé en hliðrunarlínurnar sýni stefnuna á hreyfingu landreksins, beint eða óbeint. Má raunar sjá í fræðiritum ráð fyrir því gert að "hryggjarliðina" reki sundur samsíða þessum línunum en annars staðar er miðað við að sundur reki þvert á gosbeltin sjálf. Þessar stefnur eru ekki alltaf þar sömu en um það verður ekki fjallað nánar hér.

Höfuðmáli skiptir að gosbeltið liggur næstum beint eftir endilöngum Reykjanesskaga, hartnær 50-60 km vegalengd. Breidd þess á þurru landi er nærri 5 km vestast en um 15 km austast. Sem fyrr segir er stefna miðlínu þess nærri $N75^{\circ}A$. Vestast virðist það sveigjast til suðurs. Liggur gosbeltið síðan í boga út og suður í haf (Sveinn P. Jakobsson 1974) uns Reykjaneshryggurinn verður beinn, stefna $N38^{\circ}-40^{\circ}A$, frá 63° n.br. og suður á 60° n.br. Á beinni framlengingu þessa hlutar hryggjarins til NA eru grágrýtisdyngjurnar á Rosmhvalanesi en þar liggja norðan gosbeltisins sem virkt hefur verið eftir ísaldarlok. Austan megin virðist gosbeltið sveigjast til norðurs til móts við

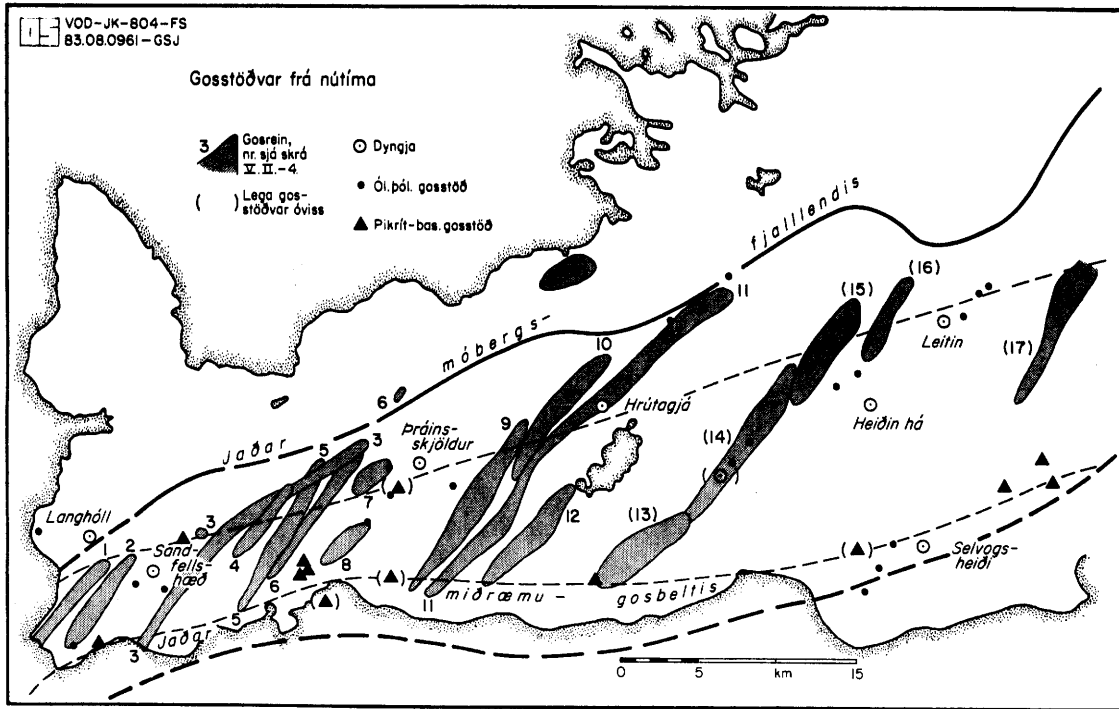
Langjökulsbeltið sem nær ekki lengra til suðurs en að framlengingu Reykjanesgosbeltisins. Í beinu framhaldi Langjökulsgosbeltisins eru þó dyngjur frá nútíma á Selvogsheiði. Eldri dyngjur eru í krikanum milli gosbeltanna og mun þaðan vera komið mikið af grágrýti því sem finnst á Inn-Nesjum og upp um Mosfellsheiði, sjá mynd 3-2.



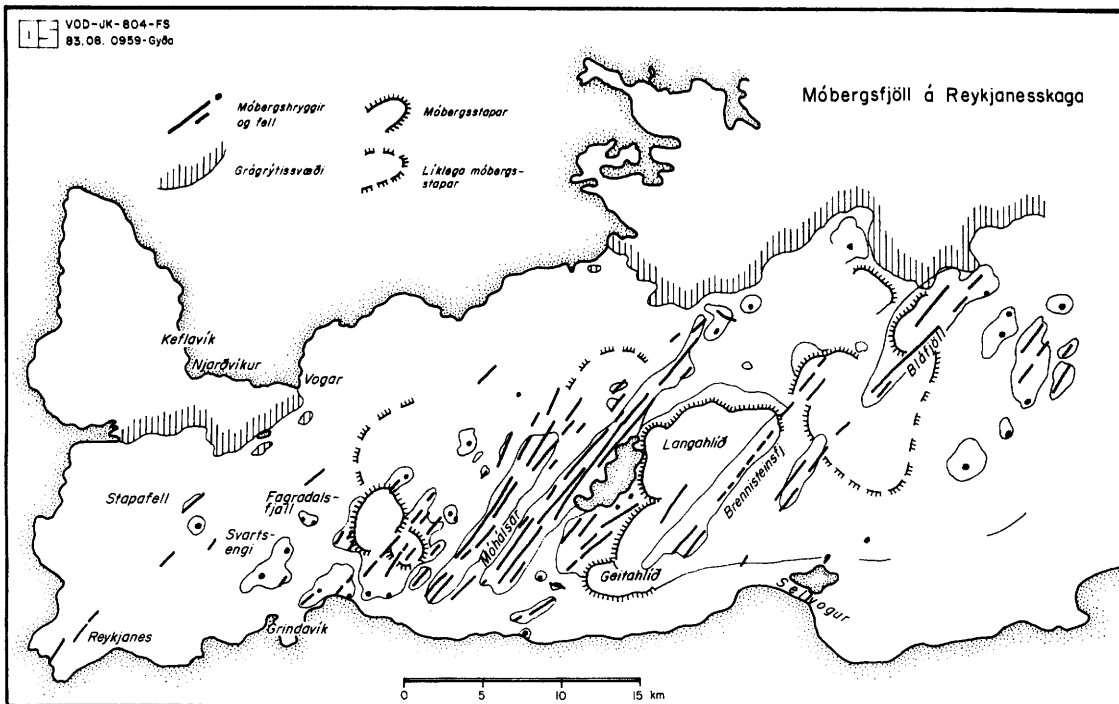
MYND 3-2 Dyngjur á Reykjaneskaga.

Skáhallt yfir gosbelti þetta ganga gossprungur og móbergshryggir. Er stefna þeirra oftast N30-40°A. Á því er einnig margt um dyngjur frá nútíma og eldri, svo og móbergsstapa með basaltheitur á kalli. Í dyngjum og stöpum hefur gosið á einum stað að kalla og gosefnin dreifst til ýmissa átta. Bergerðarmunur er á gosefnum úr sprungugosum sem eru yfirleitt þóleyjarbasalt ("þóleiit") og gosefnum í dyngjum og stöpum sem eru úr ólívín-basalti ("ólívín-þóleiit"). Auk þess kemur á stöku stað fyrir þíkrít-basalt (Jón Jónsson 1978; Sveinn P. Jakobsson o.fl. 1978). Samræmi er í dreifingu gosstöðva frá nútíma (mynd 3-3) og móbergssfjalla og eldri dyngja (mynd 3-4). Því er ekki ósanngjarnt að gera ráð fyrir því að svipuð innri öfl hafi verið að verki á nútíma og á myndunarskeiði móbergssfjallanna.

Við nánari athugun kemur í ljós að gossprungur frá nútíma liggja oft margar þétt saman en fáar eða engar á breiðum landræmum á milli. Því hefur verið tekið upp hugtakið **gosreín** um svona gossprunguskara (Freysteinn Sigurðsson í Freyr Þórarinnsson o.fl. 1976). Um skilgreiningu á þessu er nánar fjallað í viðauka II. Þar er einnig fjallað um flokkun gosstöðva á gosreinar en þær eru taldar 12 vestan Kleifarvatns.



MYND 3-3 Gosstöðvar frá nútíma á Reykjaneskaga.



MYND 3-4 Móbergsfjöll á Reykjaneskaga.

Viss fylgni er með legu gosreina frá nútíma og legu móbergsfjallgarða. Sýnt er einnig að gosreinarnar sjálfar eru oft nokkrar þétt saman en fáar eða engar á milli. Gosreinarnar hafa því verið flokkaðar saman í gosreinafylki en þau falla saman við svokölluð dyngjufylki sem einkennast af dyngjum eða stöpum og öðrum gosstöðvum með ólivín-póleíftískum gosefnum. Saman eru fylki þessi kölluð gosstöðvafylki en þau samsvara nokkurn veginn gosstöðvakerfum þeim sem skilgreind hafa verið á Reykjanesskaga (Kristján Sæmundsson 1978, 1980; Sveinn P. Jakobsson o.fl. 1978).

Það er svo að sjá sem finna megi kerfi í legu gosstöðva á Reykjanesskaga. Taka verður fram að hér er um athuganakerfi að ræða þar sem viðfangsefnaeiningunum (gosstöðvum) er raðað í samræmi við athuganir ("empírískt" kerfi; "raunfræðilegt" kerfi) en ekki orsakakerfi þar sem líkur eru leiddar að orsökum kerfisins á einhverjum forsendum og ályktanir síðan dregnar af orsökum þessum (rationelt" kerfi; "ráðfræðilegt" kerfi). Slíkt kerfi væri t.d. til staðar ef landrekskenningin væri svo langt þróuð að draga mætti á traustum grunni ályktanir um legu einstakra eldstöðva á Reykjanesskaga út frá þekktum orsökum landreksins.

Eftir þessu kerfi, sem hér hefur verið sett upp má, draga ályktanir hvar móbergsfjalla væri að vanta undir hraunum frá nútíma en það hefur höfuðþýðingu fyrir jarðlekt svæðisins. Því er lýst í viðauka II. Kemur þá í ljós að samræmi er milli þessara ályktana og ályktana út frá landslagi, grunnvatnsstraumum, þykkt ferskvatnslags og jarðviðnámsmælingum. Hniga því líkur sterklega að því að aðferð þessi sé vænleg til árangurs á þessum slóðum.

Athugun á legu gosreina og gosstöðva hefur leitt sitthvað í ljós um gosbeltið eins og nánar er skýrt frá í viðauka II. Tvennt er þar trúlega merkast: í fyrsta lagi sýnir sig að dyngjugos verða á stöðum sem hafa harðla reglubundna legu og reglubundin millibil. Má rekja þessa reglubundnu hætti dyngja/stapa langt út í haf og í framhaldi Reykjanessgosbeltisins langt austur á Suðurlandsundirlendi. Í annan stað kom í ljós að hið margfræga smáskjálfbelti á Reykjanesskaga (sjá t.d. Páll Einarsson og Sveinbjörn Björnsson 1980) hefur jarðfræðilega samsvörun sem greina má á yfirborði. Miðræma er afmörkuð eftir endilöngu gosbeltinu en skjálftabeltið liggur eftir nyðri hluta hennar. Á mörkum miðræmunnar eru þíkrít eldstöðvar en margar dyngjur liggja við norðurjaðar hennar. Innan ræmunnar eru gossprungur yfirleitt samfelldar og stefna $N30-40^{\circ}A$. Utan hennar eru þær yfirleitt óreglulegri, oft skaraðar ("en echelon") og margbreytilegri í berggerð og stefna meira samsíða gosbeltinu ($N40-50^{\circ}A$). Á miðræmuni og við jaðra hennar eru sumsstaðar gossprungur, móbergshryggir og haggalar ("tektónískar") sprungur með stefnur nærri N-S. Þar sem þær skera gosreinar er jarðhiti.

Vestan Kleifarvatns eru talin vera þrjú gosstöðvafylki. Hið austasta er Krýsuvíkur eða Mónhálsa-fylki sem nær vestur að Grindavíkurfjöllum (sjá viðauka I). Næst er Grindavíkur-fylki sem nær vestur fyrir Eldvörp. Vestast er Reykjaness-fylki sem liggur að hluta til úti í sjó. Hverju fylki samsvarar ein meiriháttar dyngja frá nútíma (Hrútagjárdyngja, Þráinsskjöldur, Sandfellshæð). Gosreinarnar liggja þéttast á austasta fylkinu en dreifast eftir því meira sem vestar kemur. Þetta verður sérstaklega áberandi ef gosstöðvafylkið um Brennisteinsfjöll er skoðað með. Sprungufylkin (þ.e. reglulegir sprunguskarar) fylgja

gosstöðvafylkjunum (sjá viðauka III) en lítið eða ekkert ósprungið svæði verður á milli beggja vestustu fylkjanna.

3.3 Móbergsfjöll

Vestan Móhálsa má skipta móbergsfjöllum í þrjá hópa. Í þeim fyrsta er Fagradalsfjall og aðliggjandi fjöll; í öðrum eru fellin norðaustur frá Grindavík; og á þeim þriðja eru stök fell frá Reykjanesi og norðureftir að Lágasvæði. Tveir fyrstu hóparnir eru í Grindavíkurgosfylki og verða þau fjöll hér á eftir kölluð einu nafni Grindavíkurfjöll. Fyrsta hópnun má raunar skipta í tvennt þar sem er annars vegar Fagradalsfjall sjálf en hins vegar hnjúkaraðir austan þess sem hér á eftir verða stundum kölluð Meradalafjöll (mynd 3-5) (mynd V.I-1).

Munurinn á hópunum liggur fyrst og fremst í því, hversu stök fjöllin standa og hversu hátt hraun hafa hlaðist upp að þeim. Mest sést í Meradalafjöllin og er því þess að vænta að við skoðun á þeim megi fá hugmyndir um gerð hinna fjallanna undir yfirborði hrauna þeirra sem að þeim liggja. Þess vegna voru þau lítillega skoðuð og reynt að greina þau sundur eftir gerð og afstæðum aldri, sjá viðauka I, ásamt öðru eldrabergi á svæðinu.

Fagradalsfjall er stapi með basaltþekju á flatthallandi kollinum. Svo er að sjá sem á því hafi hlaðist stapi á stapa ofan og megi greina a.m.k. tvær stapapekjur í mismunandi hæð. Sú neðri birtist hér og þar í hlíðum fjallsins og á hásléttunni suðaustan þess. Stapar þessir samsvara dyngjugosum og er dyngja þráinsskjaldar rökrétt framhald af þeirri virkni. Þykkt efri stapans, ofan á þeim neðri, er e.t.v. aðeins 50 - 100 m. Aðstæður þarna eru sérlega athyglisverðar vegna samanburðar við hugsanlegar aðstæður á dyngjusvæði Sandfells-hæðar. Rúmmál stapa þessara á Fagradalsfjalli er lítið, samanborið við rúmmál þráinsskjaldar, sennilega innan við 1 km³, hvort um sig. Greinilegt er að jökulþykkt á myndunartíma stapanna ræður mestu um hæð þeirra (þykkt).

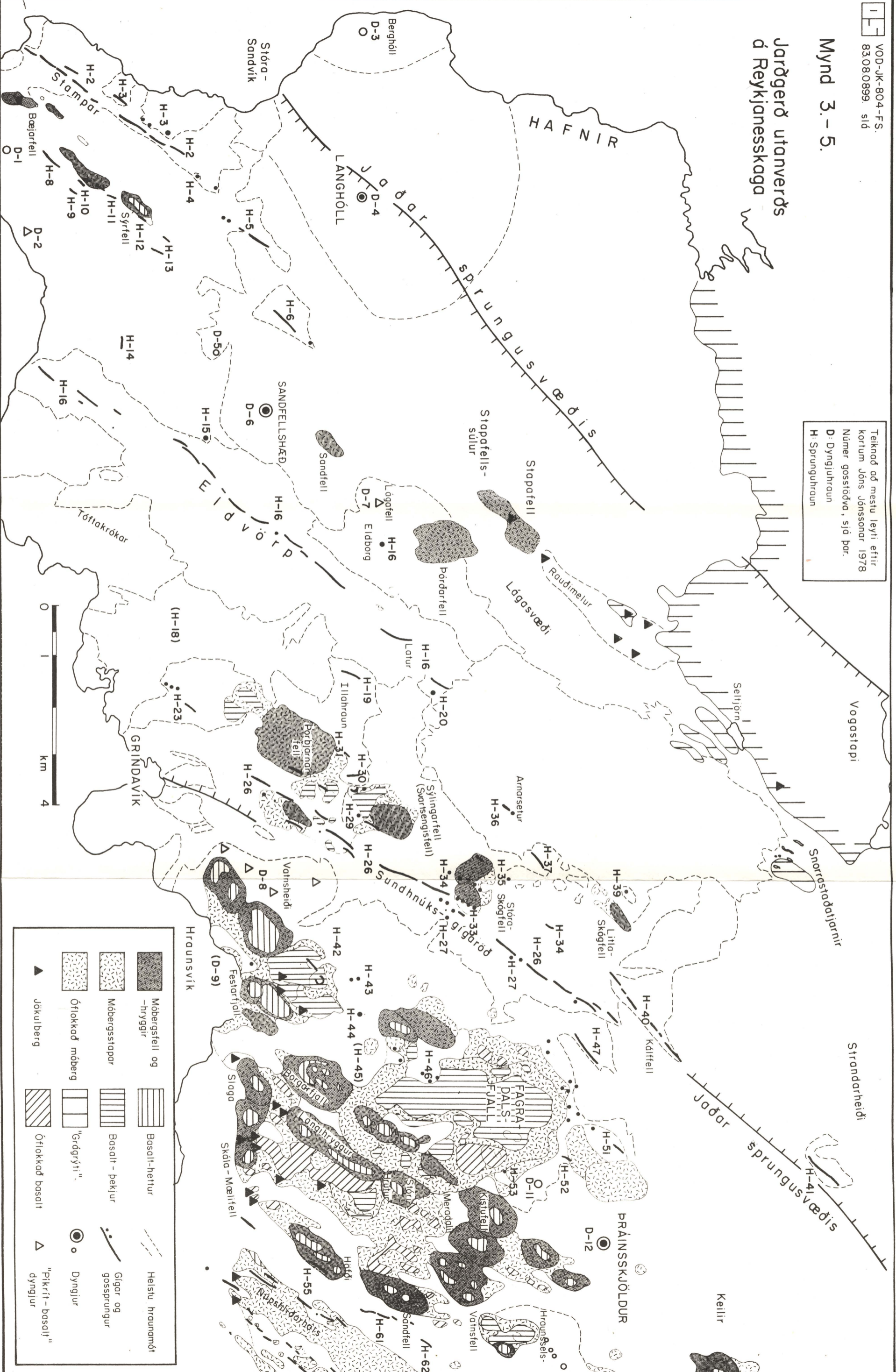
Hnjúkaraðir Meradalafjalla liggja sumar yfir hásléttu þá sem neðri stapinn myndar. Í þeim fjöllum hefur jökulborð einnig ráðið mestu um hæð fjallakolla yfir sjávarmál. Hnjúkarnir verða því ærið misjafnir að hæð frá rótum, allt eftir því, hversu hátt þeir standa. Í sömu hnjúkaröð rísa hnjúkar 250 m yfir ratur norðan lægðarinnar í Meradölum en aðeins um 50 m uppi á hásléttunni sunnan þeirra. Sjá má í Meradalafjöllum, hvernig ein hnjúkaröðin hefur hlaðist ofan á aðra og myndað samfelldan fjallgarð. Raunar má víða ætla að töluverður aldursmunur sé á fjallgördum þessum en athuganir á gosreinum og fylgni milli gosprungna frá nútíma og móbergshryggja (sjá viðauka II) benda til þess að stöðugleiki í gosstæðum sé meiri en ætla mátti við fyrstu sýn. Líkur virðast því verulegar á því að móbergsfjöllin komi einkum fyrir sem samfelldir fjallgarðar en lítið sé um að þau séu jafndreifð á stór svæði. Þetta skiptir meginmáli fyrir ályktanir um tilvist móbergs á hraunum þöktu svæðunum vestan Grindavíkurfjalla.

Tilraunir til aldursröðunar á bergskrokkum í Grindavíkurfjöllum benda til þess að neðst í fjöllum sé berg frá næstsíðasta meginjökulskreiði eða jafnvel eldra, (sjá viðauka I). Jöklar munu á þeim tíma hafa skriðið suður um á þessum slóðum, sennilega þvert yfir Reykjaneskaga frá Faxaflóa.

Mynd 3.-5.

Jarðgerð utanverðs
á Reykjaneskaga

Teiknóð að mestu leyti eftir
kortum Jóns Jónssonar 1978
Númer gossstöðva, sjá þar.
D: Dyngjuhraun
H: Sprunguhraun



	Möbergstfell og -hryggir		Basalt-hettur		Helslu hraunmót
	Möbergsstapar		Basalt - bekjur		Gígar og gossprungur
	Óflokkað möberg		"Grögryti"		Dyngjur
	Jökulberg		Óflokkað basalt		"Pikrit-basalt" dyngjur

Upphleðsla móbergsfjalla, einkum á síðasta meginjökulskeiði, mun hafa lagt þröskuld í veg þeirra jökla en jafnframt munu jöklar hafa myndast á fjallsvæði þessu sjálfu. Vestan Grindavíkurfjalla mun jökulborð hafa staðið lægra og land jafnvel verið oftar og lengur ís-laust. Móbergsfjöll skaga þar því lægra í loft upp og eru jafnvel tiltölulega sjaldgæfari. Þar við bætist að gosreinar munu þar vera strjállir og því minna um stóra, samhangandi móbergsfláka eða fjalla-klasa.

Meiriháttar dalir, fullir af hraunum niður á fleiri hundruð metra dýpi, gætu verið á milli gosreinaskeiðanna, t.d. milli Svartsengis og Sandfellshæðar-Eldvarpa. Minniháttar dalir af sama toga, en sennilega þó grynnri, gætu verið á milli gosreina, t.d. milli Hagafells-Sýlingarfells og fellanna upp af Hraunsvík. Einnig gætu verið meira eða minna samfelldir fjallgarðar á kafi í hrauninum þar sem nú sjást aðeins stök fell og móbergskollar eins og í fellaröðinni norðaustur frá Grindavík og jafnvel við Eldvörp, norðaustanverð. Dyngjugos í nágrenni Sandfellshæðar hafa sennilega leitt til myndunar dyngju- og stapaskjalda.

Lítið sér til móbergs á beltinu frá Reykjanesi til Lágasvæðis. Lág fell skaga upp úr hrauninum á Reykjanesi (Bæjarfell, Sýrfell o.fl.) og mynda sennilega nær samfellda garða. Móbergs hefur þar orðið víða vart við boranir þó hraunlög séu yfirgnæfandi næst yfirborði (Sveinbjörn Björnsson o.fl. 1971). Lengra til norðausturs þekur hraundyngja Sandfellshæðar stór svæði. Hún nær um 90 m hæð y.s. við rætur gíghólsins eða álíka hæð og móbergfellin á Reykjanesi. Þar gætu því leynst lágir móbergshólar undir hrauni þó norðar rísi þrjú fell upp úr hrauninum: Sandfell, Þórðarfell og Stapafell-Súlur. Þórðarfell er hæst, um 160 m y.s. og ber hæð þessara fella því ekki vitni að jökulborð hafi staðið þar hátt á myndunarskeiði þeirra. Hafa ber þó hugfast að sig gæti hafa orðið verulegt á þessum slóðum. Fell þessi standa **gosrænt** í tengslum við dyngjusvæði Sandfellshæðar og norðurjaðar miðræmu gosbeltisins (sjá viðauka II) og eru sum sennilega nokkuð forn (sjá viðauka I).

Kringum Þórðarfell og Stapafell eru vissar líkur á móbergi eða dyngjukjörnum undir hrauninum (sjá viðauka II) einkum suður frá Þórðarfalli og norðvestur frá Stapafelli. Sé þess háttar berg ofan í ferskvatnslaginu eins og líkur benda til þá myndar það rennslishindrun suðvestan og vestan við Lágasvæðið sem heldur grunnvatnsborði uppi á vatnstökusvæði Hitaveitunnar. Jafnframt á það væntanlega sinn þátt í því að beina grunnvatnsrennsli af Lágasvæði til suðvesturs, suður af svæðinu.

Austan Eldvarpa tekur við hraunasund austur að fellunum upp af Grindavík. Hvergi sér þar í móberg, mútíma gosstöðvar eru fáar (gígurinn að Illahrauni og norðurendi Eldvarpa-gígaraðarinnar) og hraun víða flöt og slétt eins og þau hefðu storknað í tjörnum í lægð. Hitt má sjá að hraunstraumar hafa fallið út á sund þetta frá báðum hliðum. Austan hraunasundsins rísa móbergfellin Lágafell, Þorbjarnarfell, Hagafell, Sýlingarfell (Svartsengisfell), Stóra-Skógfell og Litla-Skógfell. Brekka er í landinu sunnan og norðan Stóra-Skógfells sem hraun hafa hellst fram af. Leikur sterkur grunur á því að samfelldur móbergsgarður sé þarna til staðar, a.m.k. norður fyrir Stóra-Skógfell. Þar er komið að jaðri miðræmu gosbeltisins (sjá viðauka II) og þess því að vænta að gosstöðvar hafi austlægari stefnu svipað og Litla-Skógfell. Í því ljósi er ekki ósennilegt að móbergshóll nokkur sé undir hraunhæð Arnarseturs sem loki þar að nokkru rás

grunnvatnsins af Lágasvæði til suðurs og suðausturs. Jafnframt hindri bergskrokkur þessi, ef hann er til, jarðhitamengað vatn frá Svartsengi í því að renna inn á Lágasvæðið. Líkur á tilvist þessa bergskrokks styðjast enn sem komið er einkum við greiningu þá á kerfisbundinni röðun gosstöðva sem fjallað er um í viðauka II. Bergskrokkur þessi væri hins vegar einhver sá þýðingarmesti af öllum bergskrokkum á vatnasvæðinu, hvað vatnstöku Hitaveitunnar snertir og mengunarhættu á vatnsbólum hennar frá jarðhitasvæðinu í Svartsengi.

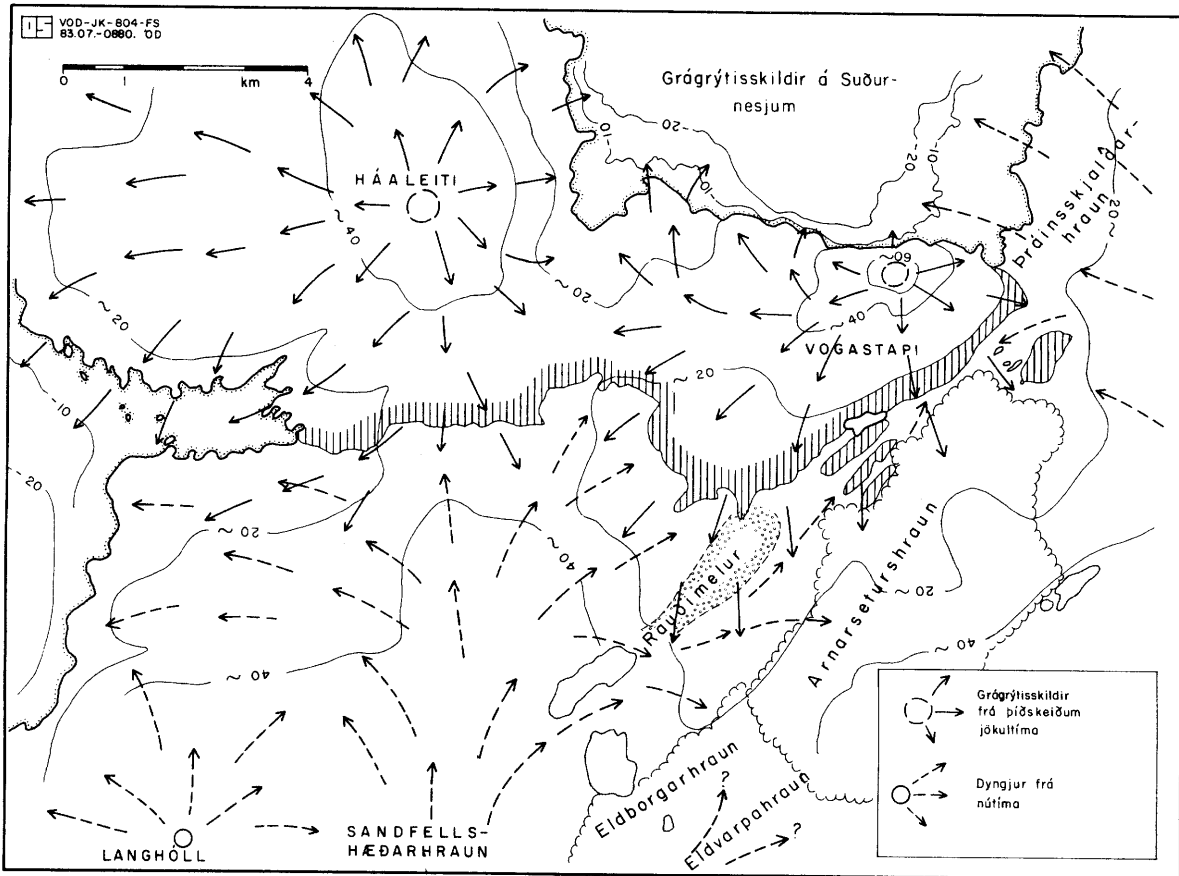
Næstu móbergsfell, austar, eru Fagradalsfjall og fjöllin upp af Hraunsvík. Þó sér í móbergskolla upp úr hrauninum skammt vestur af Fagradalsfjalli. Fjöllin upp af Hraunsvík, Húsafjall, Fiskidalsfjall og Hrafnshlíð-Bleikhóll hafa nokkuð austlæga stefnu enda eru þau við suðurjaðar miðræmu gosbeltisins. Það sést m.a. á píkrit-dyngjum á Vatnsheiði norður af Húsafjalli og Fiskidalsfjalli. Gígaröð, forn nokkuð, á Hrafnshlíð hefur austlæga stefnu eins og fjöllin. Þau hafa myndast þarna vestur frá gosreinum þeim sem liggja um Fagradalsfjall og teppa rennsli grunnvatns til suðurs af svæðinu milli Fagradalsfjalls og fellanna kringum Svartsengi. Dalur, fylltur hraunum, gæti verið þarna á milli móbergsfjallanna og félli grunnvatnsstraumurinn eftir honum ofan til Grindavíkur. Hraunsvíkurfjöllin þrengja þó líklega það mikið að honum að grunnvatnsborð helst hátt vestan Fagradalsfjalls. Falla því grunnvatnsstraumar þaðan líklega til vesturs að einhverju leyti a.m.k.

Fagradalsfjall sjálf og Meradalafjöll mynda samfelldan móbergskrokk. Í honum er trúlega grunnvatnsbunga nokkur þó ekki þurfi hún að vera nema nokkrir metrar á hæð. Vestan undir Fagradalsfjalli er grunnvatnsborð sennilega komið í 2 1/2-3 m hæð yfir sjávarmál og fer ört hækkandi til austurs. Norðan Fagradalsfjalls er hæð mikil eða stallur sem kallast Brúnir. Uppi á honum standa móbergsfell tvö, Fagradals-Hagafell og Fagradals-Vatnsfell. Annars er stallur þessi þakinn hraunum úr dyngju Þráinsskjaldar. Ekki er ósennilegt að stallur þessi eigi að einhverju leyti uppruna sinn í einhvers konar stapaskildi sem myndast hefði þarna við dyngjugos á jökultíma. Einnig er líklegt að grágrýtishraun úr dyngjugosi á íslausu landi þekji stall þennan að einhverju leyti (Jón Jónsson 1978, s. 94-95). Austur af Litla Skógfelli gætu verið móbergsfjöll með austlæga stefnu norðan undir eða norðan á stalli þessum sem hefðu sambærilega legu við Kálffellsgíga.

Dældir eða skorur gætu verið í móbergshrygg þessa beggja vegna Litla-Skógfells að sunnan og austan. Beindu þær að einhverju leyti grunnvatnsstraumum til vesturs (inn á Lágasvæði) og til norðurs (til Snorrastadátjarna og Vogavíkur). Grunnvatnsbunga í Grindavíkurfjöllum beinir sennilega grunnvatnsstraumum norður í Strandarheiði. Þar lenda þeir í sprungufylki sem beinir þeim að miklu leyti til Vogavíkur og Vatnsleysuvíkur. Ýmsar aðstæður kynnu að valda því að grunnvatn streymdi sunnan að til Vatnsleysuvíkur þ.á.m. norðlægar stefnur móbergshryggja norður frá Vesturhálsi. Sá straumur stæði á móti þeim sem rynni norðaustur úr Strandarheiði. Fyrir vikið félli meira grunnvatn til Vogavíkur og héldi þar hærra uppi grunnvatni því sem félli til norðausturs og norðurs frá Lágasvæði. Á þessu eina dæmi má sjá, hversu langt áhrifa vatnsjarðfræðilegra aðstaðna getur gætt ef stefna móbergshryggja norður af Vesturhálsi getur haft áhrif á grunnvatnsborð á Lágasvæði.

3.4 Grágrýtisskildir

Norðan við Lágasvæði er grágrýti á yfirborði. Nær það frá Vogavík vestur í Ósaboтна og út um allt Rosmhvalanes. Grágrýti þetta er sennilega komið frá fáeinum dyngjuskjöldum (mynd 3-6). Vogastapi er trúlega dyngja að uppruna og hefur hvirfill hennar sennilega verið í nánd við Grímshól. Hallar þaðan hægt til suðurs og vesturs en norðan í stapanum eru standbjörg í sjó og stutt út á 20 m dýpi. Utan þess er sjávarbotninn flatur og hallalítill. Bratt er einnig austur af stapanum. Í Innri-Skor, í norðurvegg stapans, er bólstrabergslag, nærri 30 m þykkt, sem hallar um eða yfir 30° til vesturs eða norðvesturs og nær eitthvað inn á land. Grágrýtishraun hafa svo runnið upp að því að vestan. Þess hefur verið getið til að hraunin hafi runnið þarna út í vatn, jafnvel upp að jökli (Freysteinn Sigurðsson í Freyr Þórarinnsson o.fl. 1976). Væri það í samræmi við ósammælt ("asymmetriskt") lag Stapans.



MYND 3-6 Grágrýtisskildir á Suðurnesjum.

Vogastapi er nú mjög brotinn af misgengjum. Suðaustan hans, frá Lágasvæði og norður undir Voga, er land einnig mjög brotið og það eftir að hraun þöktu landið að ísöld liðinni. Grágrýti finnst þar í brot-

fleygum; að því er virðist snarað til suðausturs (Jón Jónsson 1978). Ekki er visst að það grágrýti sé allt komið frá Vogastapa (sjá viðauka II), en fornt er það. Hefur sennilega verið í eina tíð samfelld grágrýtisbreiða frá Vogastapa og suður um Snorrastaðatjarnir og Seltjörn og sennilega inn undir Lágasvæðið. A.m.k. eru jökulurinn basalhraun undir Rauðamel, norðvestan við Lágasvæðið. Ekki er vitað, hversu langt grágrýtið nær niður fyrir sjávarmál. Talið er að grágrýti nái u.p.b. 10 m niður fyrir sjávarmál í borholu við Seltjörn en dyngju- og apalhraun (sprunguhraun ?) skiptast á í borholu í Njarðvíkurheiði niður í u.p.b. 70 m dýpi undir sjávarmáli en þar fyrir neðan er um 50 m þykkt setlag (Laufey B. Hannesdóttir 1975). Við borholuna í Njarðvíkurheiði er grágrýti Háaleitisdýngjunnar á yfirborði.

Háaleitisdýngjan þekur Rosmhvalanes og hefur mjög reglulega dyngjulögun (Jón Jónsson 1978). Grágrýtið í henni er lítillega frábrugðið grágrýti Vogastapa í handsýnum. Er þar því sennilega um tvær dyngjur að ræða. Berg í Hólmsbergi, utan Keflavíkur, er nauðalíkt bergi frá Háaleiti og gæti því tilheyrt Háaleitisdýngjunni. Hólmsberg endar í standbjörgum sjávarmegin og fellur þar bratt niður á 20 m dýpi undir sjávarmáli. Minnir Hólmsberg að þessu leyti á Vogastapa. Háaleiti sjálf endar í klifi eða brekku ofan byggðarinnar í Keflavík og Ytri-Njarðvík. Að vestan hallar dýngjunni jafnt og þétt til sjávar og niður fyrir sjávarmál en útfiri er þar mikið. Halli eykst nokkuð þegar kemur niður undir 10 m dýpi og gæti það verið jaðar dýngjunnar. Ytri (nyðri) hluti nessins er sennilega önnur dyngja, eldri. Hvirfill hennar er í námunda við ratsjárstöðina í "Rockville", norðan Sandgerðisvegur. Glöggur dalur er á milli dyngju þessarar og Háaleitisdýngjunnar, suður frá Sandgerði. Munur virðist vera á bergi úr dýngjunum í handsýnum þó ekki sé hann mikill. Nyðri dýngjuna mætti kalla "Gerðadyngju" en stór hluti hennar er í Gerðahreppi. Hún er sennilega eitthvað eldri en Háaleitisdýngjan. Útfiri er einnig undan ströndinni á dyngju þessari. Halli virðist aukast neðan við 10 m dýpi og er það í samræmi við hæðarlegu neðra borðs grágrýtisins í borholum í Garðinum.

Undir dyngjum þessum er eldra berg. Það mun yfirleitt vera þunnlöggt basalhraun með verulegu gjalli og bruna. Um þetta berg er sáralítið vitað en í því mun meiri hluti grunnvatnslagsins undir Vogastapa og Rosmhvalanesi standa. Lekt þess hefur verulega þýðingu en í hana verður lítið ráðið. Þó er sennilegt að úr henni hafi dregið sökum aldurs bergsins þó hann sé í raun óþekktur. Allt eins má búast við því að lekt sé mismikil í þessu óséða bergi en grunnvatnsbungur virðast vera á Vogastapa og suðvestur frá honum. Þar gæti þó áhrifa höggunar gætt að einhverju leyti.

3.5 Nútíma hraun

Hraun frá nútíma þekja mest allan Reykjanesskaga vestan Fagradalsfjalls (myndir 3-5 og 3-7). Þeim má skipta í tvennt eftir uppruna og gerð: Dyngjuhraun og sprunguhraun (Jón Jónsson 1978). Norðvesturhluti svæðisins, frá Höfnum austur á Lágasvæði og langleiðina suður undir Reykjanes, er þakinn dyngjuhraunum frá Sandfellshæð og Langhól. Sandfellshæðarhraun liggur undir yngri hraunum (sprunguhraunum) allt austur til Grindavíkur og út í sjó allt vestur fyrir Stað. Óvisst er, hversu langt Sandfellshæðarhraun hefur náð til austurs.

Það nær austur fyrir Seltjörn og Gjá í Lágum en verður hins vegar ekki vart í borholum HSK-2, HSK-4 og HSK-9. Óbrinnishólmar tveir í Eldvarpahrauni, skammt vestur frá HSK-9, eru sennilega úr dyngjuhrauni sem gæti verið Sandfellshæðarhraun. Dyngjuhraun er talið að geti verið í borholum HSK-12 (sjá viðauka IV) en allt er óvíst hvort það er Sandfellshæðarhraun. Á Lágasvæði er botn Sandfellshæðarhrauns víða um eða undir sjávarmáli (Seltjörn, Gjá í Lágum, HSK-5/6). Grunnvatnslagið rétt nær upp í botn þess og er því vatnstakan úr neðri mótum þessa hrauns og næstu lögum undir því (sjá viðauka IV). Í Höfnum, sunnan undir Hafnabergi og hjá Grindavík, nær Sandfellshæðarhraun/ Langhólshraun eitthvað niður fyrir sjávarmál. Sandfellshæðarhraun er víða brotið, sprungið og misgengið, andstætt því sem er ástand ýmissa yngri hrauna ofan á því (Eldvarpahraun, Arnarseturshraun o.fl.). Það má því geta sér þess til að höggun hafi orðið mikil á utanverðum skaganum á milli myndunar Sandfellshæðarhrauns og t.d. Eldvarpahrauns.

Þráinsskjaldarhraun þekur Strandarheiði að langmestu leyti og er með elstu dyngjuhraunum á þessum slóðum. Útfiri er mikið á því í Vogum og á Vatnsleysuströnd en þar verður brött brekka utan þess á 10-25 m dýpi. Gæti sjór hafa staðið 10 m lægra en nú eða meir, þegar hraunið brann. Á Vatnsleysuströnd má sjá malarkamb á hrauni þessu, u.þ.b. 10 m yfir sjávarmáli (Jón Jónsson 1978). Þetta hraun nær sennilega talsvert ofan í ferskt grunnvatn. Greitt vatnsrennsli gæti verið við botn þess; jafnvel svo að vatn rynni undir hrauninu eitthvað út fyrir núverandi strönd.

Sprunguhraun þekja svæðið mestmegnis að sunnan og suðaustan. Fá þeirra hrauna sem sjást á yfirborði munu ná niður í grunnvatn svo nokkru nemi. Hins vegar þekja þau jarðlög þau sem undir eru og grunnvatnið stendur í. Hraun þessi hafa runnið ofan í dældir í landslaginu og má því ráða nokkuð í landslag undir þeim af rennslis-stefnu og yfirborðsástandi hraunanna. Vekur þá mesta athygli að dæld hefur verið sunnan frá Húsatóftum í Staðarhverfi, vestan við Þorbjörn, austan við Eldvörp, um Lágasvæði og norðaustur um Snorrastaðatjarnir til Vogavíkur. Í þessari dæld gætu verið og eru raunar sennilega staflar af lekum hraunlögum. Lekt er því þar að líkindum mikil og grunnvatnsstreymi að sama skapi.

3.6 Höggun

Áhrif höggunar á jarðlekt eru einkum með tvennu móti: Í fyrsta lagi eru opnar sprungur og gjár vel vatnsleiðandi; í öðru lagi hafa misgengi og sig áhrif á legu jarðlaga og innbyrðis afstöðu þeirra. Sprungurnar valda því sem kalla mætti **sprungulekt** (sjá kafla 2.3). Víðmál þau ("parametrar"), sem ráða lektinni eru vídd sprungna, fylling í þeim, fjöldi þeirra (þéttleiki) og stefna þeirra. Sprungulektin er því stefnubundin en það getur berglektin raunar líka verið (sjá kafla 2.3.). Ekki er auðhlaupið að því að ákvarða kvarðastærð ("skalar") sprungulektarinnar en stefnu hennar má marka af stefnum þeim sem sprungur hafa á svæðinu.

Sprunguskarar teygja sig skáhallt um Reykjanesskagann þveran, allt að á annan tug kílómetra á lengd (mynd 3-8). Samfelldar og sýnilegar sprungur eru miklu stytri, oft aðeins nokkrir tugir metra eða fáein hundruð metra á lengd. Hins vegar taka þær víða hver við af annarri

svo að tengja má þær sem samtengdar sprungur svo kílómetrum skiptir. Þær eru sjaldnast beinar langar vegalengdir heldur hlykkjast oftast fram og aftur. Sé litið á alla lengd þeirra þá hlykkjast þær oftast um beinar línur. Sprungur þessar (samtengdar) skera hver aðra, fléttast saman og jafnvel sameinast. Einstakir hlutar þeirra (hlykkir) eru oft nærri því beinir og raða sér gjarnan á beinar línur þannig að saman stefna beinir kaflar á mörgum og mismunandi sprungum.-

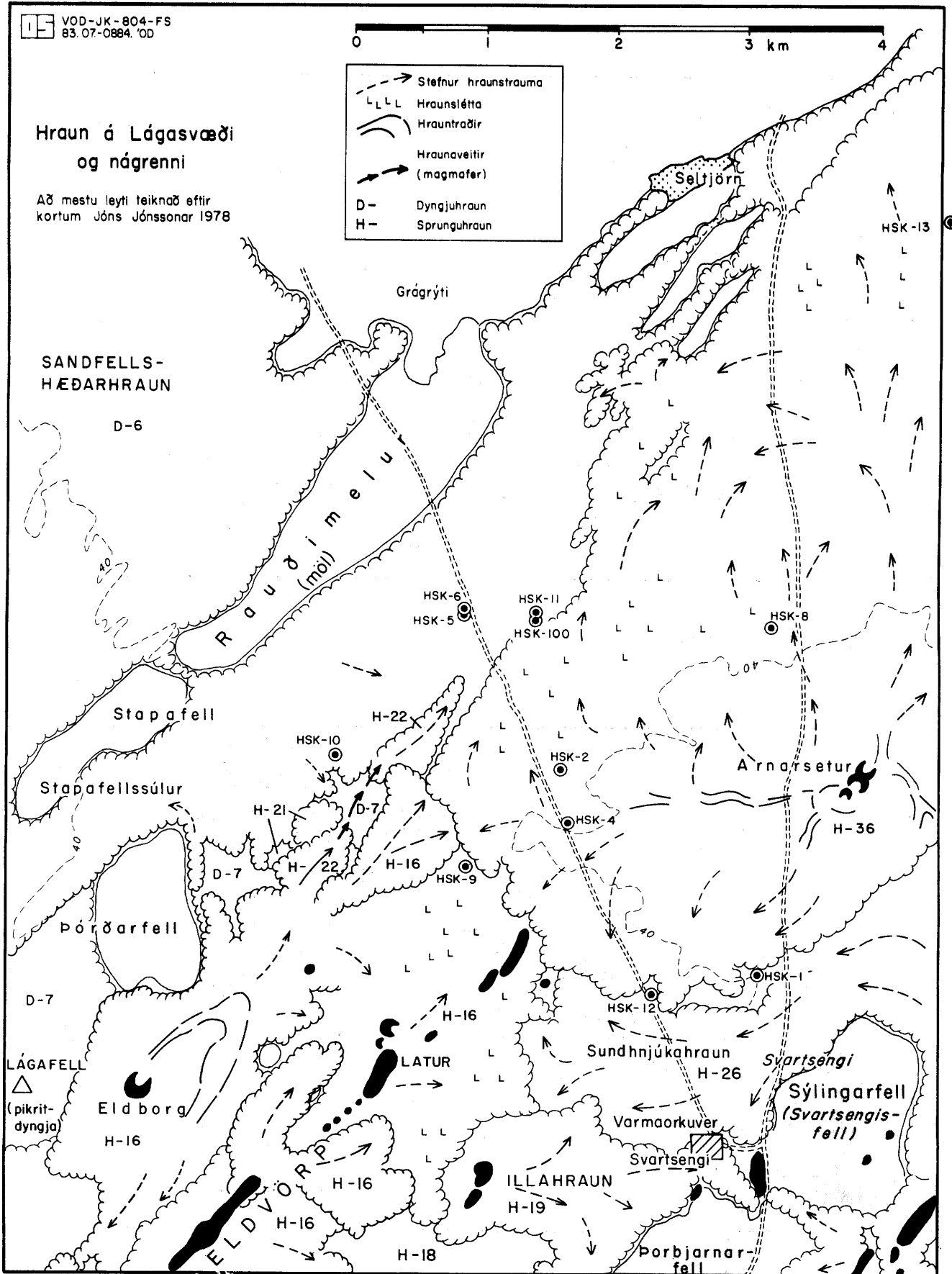
Þær beinu línur sem samtengdu sprungurnar hlykkjast um, hafa mjög reglulegar stefnur. Sama gildir um þær beinu línur sem tengja saman beina kafla á mismunandi sprungur. Línur þessar, hvoru tveggja, verða hér á eftir kallaðar "sprungulínur" þó heiti það sé ekki einrætt í merkingu. Munur er ekki á reglubundnum stefnum samtengdra sprungna og tengilína sem sprungukaflar raðast á.

Það gildir því einu, hvort litið er á einstakar sprungur (samtengdar) eða sprungukafla, stefnur sprungulínanna sýna stefnur sprungulektar (misleitnistefnu). Þessar stefnur skipta hér meginmáli þó aðrar haggalar ("tektónískar") stefnur kunni að hafa meiri þýðingu í einhverju öðru sambandi. Greiningu og svæðadreifingu á sprungulínustefnum er lýst í viðauka III.2.

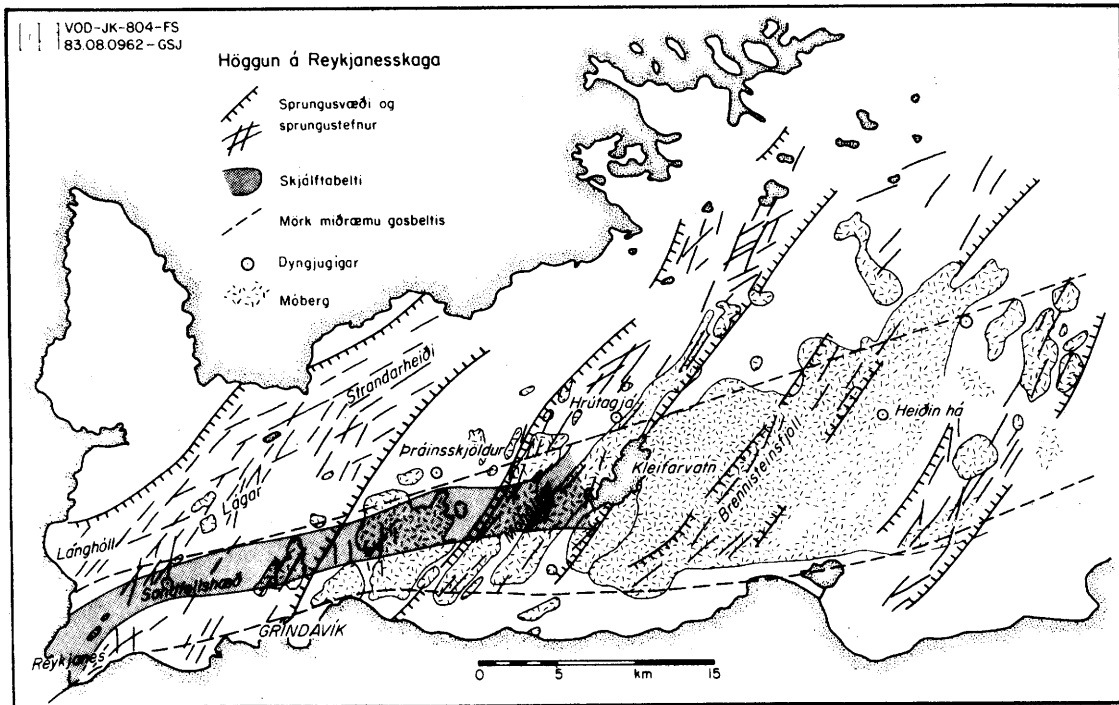
Á utanverðum Reykjanesskaga eru ríkjandi sprungulínustefnur á gosbeltinu svipaðar og gosstöðvar þar hafa, $N30^{\circ}-40^{\circ}A$; að meðaltali sennilega um $N38^{\circ}A$ (sjá mynd 3-9). Dreifing er nokkur. Frávik eru á nokkrum smásvæðum. Þannig hafa margar sprungur stefnur nærri $N20^{\circ}A$ á svæði V-SV frá Sandfellshæð og eins á SV-verðu Lágasvæði. Einnig finnast sprungur með stefnur nærri N-S en slíkar sprungur eru sennilega einnig til undir ungum hraunum. Þar sem slíkir sprunguskarar skera gosreinar, er jarðhiti yfirleitt til staðar. Norðan við miðræmu gosbeltisins (sjá kafla 3.2. og viðauka II) ber talsvert á sprungum með stefnur nærri $N58^{\circ}A$ á Strandarheiði og allt vestur undir Langhólsdyngju. Sprungur samsíða miðás gosbeltisins ($N75^{\circ}A$) finnast nyrst á skaganum (Vogastapi, Strandarheiði) og syðst á honum þegar austar dregur (Núpslíð og víðar). Þeirra gætir þó lítið.

Sprungufylkin (þ.e. sprunguskarar með reglubundnar ákveðnar stefnur) skarast sumsstaðar og er þá stefna sprungulektar einhvers staðar á milli stefnu sprungufylkjanna; allt eftir því, hvert vægi þeirra er. Þetta vægi var metið með tilliti til sprungufjölda og hversu opnar sprungur eru. Hvert svæði hefur þannig sína einkennisstefnu en svæði þessi voru kortlögð til grundvallar jarðlektarkorti (sjá kafla 5).

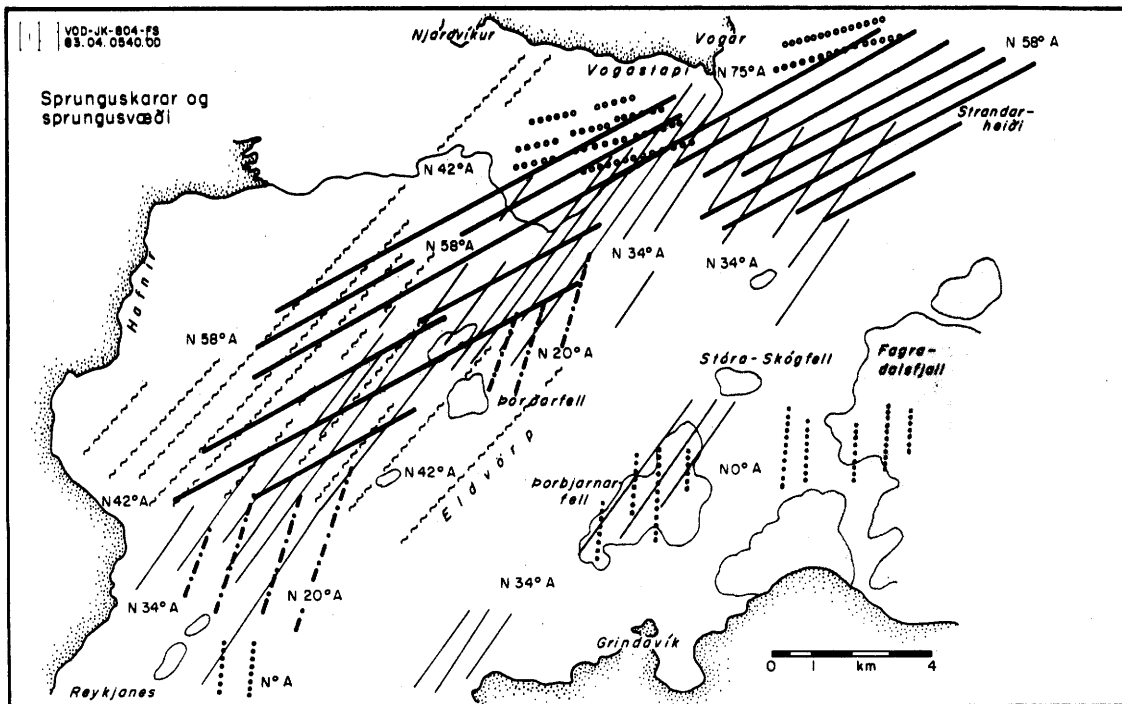
Flestallar gjár og opnar sprungur eru fylltar að meira eða minna leyti af hrúni úr börmum gjánna. Hrun þetta er mestmegnis grófir bergmolar. Fylling þessi er því víðsfjarri því að vera vatnspétt. Gíska má á að hún hafi iðulega a.m.k. svipaða lekt og gróf mól (hrein) eða nærri 1 m/s. Í sniði þvert á sprunguskara er flatarmál þversíða sprungnanna aðeins lítil hluti af heildarflatarmáli þversniðsins eða sem svarar samanlagðri vídd (breidd) sprungnanna í hlutfalli við lengd sniðsins. Þetta hlutfall var mælt á nokkrum sniðum á NV- og N-verðu svæðinu haustið 1979 (sjá viðauka III, 1). "Víkkun" um mældar sprungur nemur oftast 1 - 6 m/km á sniðum þessum. Að meðaltali var "víkkunin" um 2,1 m/km. Því samsvaraði "lekt" sem næmi um 2×10^{-3} m/s.



MYND 3-7 Hraun á Lágasvæði og umhverfi.



MYND 3-8 Höggun á utanverðu Reykjanesi.



MYND 3-9 Sprunguskarar og sprungusvæði.

Einnig var kannað hver "lekt" myndi vera ef gjárnar væru opnir skurdir, djúpir og jafnvíðir upp úr og niður úr (sjá viðauka III.2). Sú "lekt" lægi á bilinu 6 - 22 m/s og er háð vídd sprungnanna einni sem breytilegri stærð og þá um leið dreifingu sprunguvíddar (þ.e. fjöldi sprungna sem fall af vídd). Svo virðist sem fjöldi sprungna sé háður vídd þeirra á reglubundinn hátt sem svipi mjög til einhliða mál-dreifingar ("normaldreifing"). Fjöldi sprungna er þá heildunarhæft fall ("integraltæk funktion") fyrir ákveðin víddarbil. Sama gildir um afleiddar stærðir eins og samanlagða vídd og "lekt" í sprungum (sjá viðauka III.1). Um sprungulektina gildi þá eftirfarandi formúla:

$$k_{m,1} = \frac{\int_{r=m}^{r=1} 5,6 \times \int a \times r^{-b} + 1 \frac{1}{3} \times dr}{l} ; \quad (1)$$

Km,1: Lekt sprungna á víddarbili m-1

- Þar sem er: m,1: Efri og neðri mörk sprunguvíddar
 a: Stuðull, háður mælingu
 b: Stuðull, háður sprungusvæði
 r: Sprunguvídd
 k: "lekt"
 l: Heildarlengd sniða (háð mælingu)

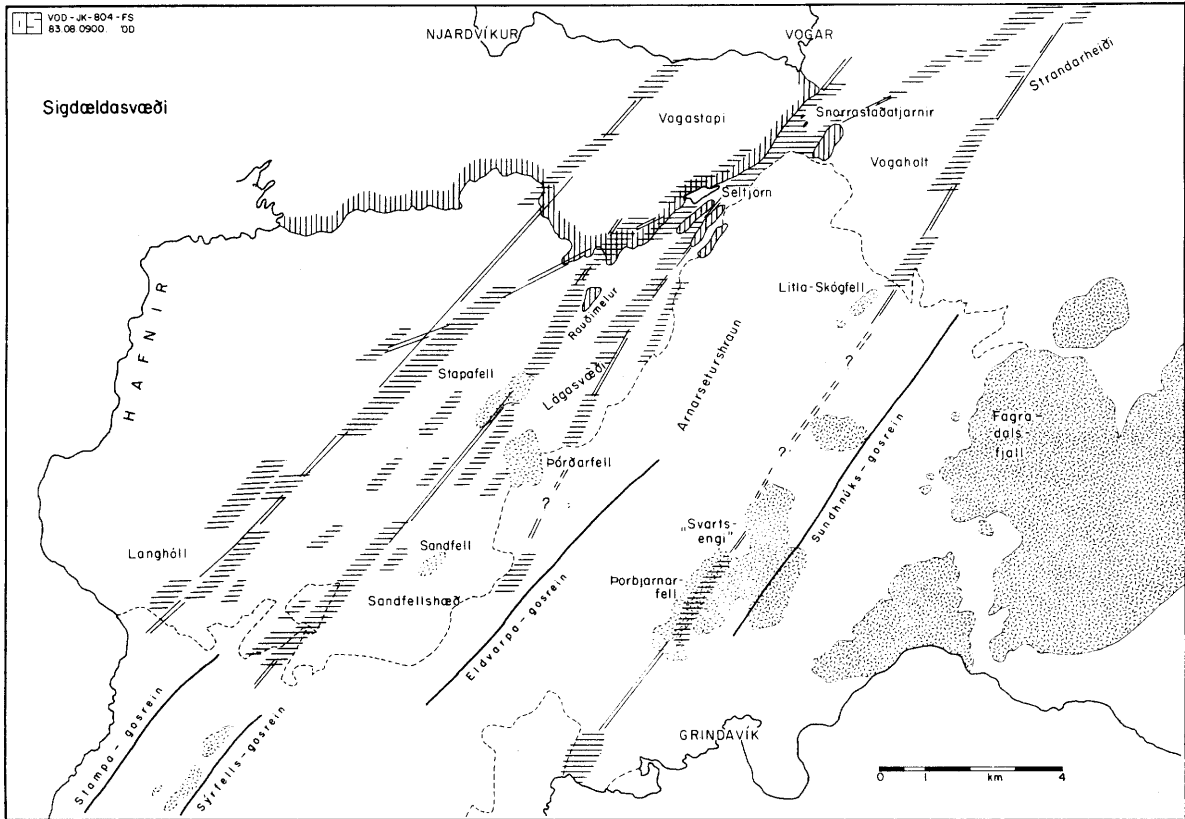
"Lekt" á sprunguvíddarbili 0,001 - 0,15 m reiknast hlutfallslega lítil. Hún var borin saman við reiknaða "lekt" á milli þröngstæðra platna ("hárglufu" - streymis) og reyndist vera svipuð í báðum tilvikum. Sjaldgæfar eru sprungur sem eru víðari en 2,5 m og verður "lektin" því mest á sprunguvíddarbilinu 0,15 - 2,5 m en það er það bil sem mælingar spönnuðu. Miðað við það að "lekt" sé á milli "skurðlektar" ("lekt" í opnum skurði) og lektar í grófri mól og lógaritmiskt meðaltal sé skásta meðaltal, þá verður meðaltals "sprungulekt" á því svæði sem mælt var nærri 17×10^{-3} m/s (sjá viðauka III.1).

Sprungulektin er að sjálfsögðu misjöfn frá stað til staðar. Mælingar eru hins vegar helst til fáar til þess að skipta hinu rannsakaða vatnasvæði niður eftir sprungulekt svo öruggt og nákvæmt sé. Gróf skipting er þó möguleg. Þá er tekið mið af mismun mælinganiðurstaðna á sniðum og sniðahlutum. Svæði þau sem mælingar ná ekki til eru síðan flokkuð eðlislægt ("qualitatívt") með samanburði við svæði þau sem sniðin liggja um. Svipuð aðferð var notuð þegar vatnasvæðinu var skipt eftir sprungulekt til grundvallar grunnvatnslíkani því sem gert hefur verið af svæðinu (Jón Ingimarsson og Jónas Elíasson 1980). Þá lágu niðurstöður sprungumælinga ekki fyrir og var því að miklu leyti um ágiskanir að ræða. Samanburður þess sprungulektarkorts og endurskoðaðrar sprungulektar þar sem tekið er mið af sprungumælingunum, bendir þó til þess að furðu vel hafi til tekist. Þó er svo að sjá, sem nokkru skeiki í gildum misleitnustuðla í einstökum misleitniflokkum. Breytingar í berglekt og sprungulekt frá fyrra líkani (1978) fara þó svo saman, að heildarmunur verður furðu lítil (sjá viðauka III.1). Svo virðist sem áhrif sprungulektarinnar hafi verið ofmetin á þeim svæðum þar sem hún var talin valda mestri misleitni. Þetta þarf þó ekki að vera alveg rétt. Svæði þessi virðast vera haggalt virkust og gæti því t.d. verið að fylling í gjám og sprungum sé ekki eins mikil þar og annars staðar, sem þýddi, að lekt væri þar hlut-

fallslega meiri. Að svo stöddu virðist því samsvörun milli ágiskaðrar sprungulektar og ályktaðrar sprungulektar (á grundvelli sprungumælinga) hafa verið viðunandi.

Sig og misgengi hafa yfirleitt staðbundin áhrif sem skipta meira máli við val vatnsbóllastæða en fyrir vatnafarsleg viðbrögð svæðisins í heild. Athuganir á misgengjum á sprungumælingasvæðum benda þó til svæðisbundinna þátta í sígi. Um misgengin hefur sprungusvæðið risið inn til miðjunnar. Hæðarlega gosstöðva, halli hrauna og snörun á bergfleyggjum bendir þó til hins gagnstæða. Því er sennilegt að hreyfingar um misgengin séu að einhverju leyti andsvar við svæðisbundnu sveigjusígi ("flexúr") inn til miðju sprungusvæðisins. Eins og oft er við slíkar krinumstæður þá hefur sveigjusígið væntanlega verið meira en sígið um misgengin. Ung jarðlög liggja því væntanlega dýpra inni á sprungusvæðinu en utan þess. Þau lög eru alla jafna lekari en hin eldri, einkum þó hraunin frá nútíma. Þetta á sinn þátt í því að lek "renna" verður frá Strandarheiði suðvestur yfir skagann. Einnig á þessi hæðarlega ungra og lekra jarðlaga sinn þátt í því, hve vatnsgæf vatnsból Hitaveitu Suðurnesja eru.

Athyglisvert er að helstu grófir (þ. Graben; sigdæld) á svæðinu raðast á sem næst beinar línur með svípaðar stefnur og sprungulínur og gosprungur hafa. Þó stór svæði séu þakin ungum hraunum, þá má sennilega greina 3 línur sem stefna $N32-42^{\circ}A$ og eru um 6 km á milli hverra tveggja. Sú vestasta liggur austan undir Langhól og norðaustur á miðjan Vogastapa. Sú í miðið er sennilega trufluð af Sandfellshæðardyngju því hún hlykkjast vestan um hana og er tvöföld norður í Lágum og við Rauðamel. Yfirleitt virðist dyngjukerfi Sandfellshæðar veita viðnám við höggulum átökum og standa í sprungusvæðinu sem klettur í hafinu þó fjarri sé því að það sé með öllu óbrotið. Austasta línan virðist liggja um Húsatóttir, vestan við Þorbjörn og norðaustur í Strandarheiði (sjá mynd 3-10). Grófir raða sér einnig með NV- og N-jaðri svæðisins á línu sem stefnir nærri $N60^{\circ}A$, norðan við Stapa-fell, um Seltjörn og austur á Strandheiði. Sprungur eru einna tíðastar á þessum grófasvæðum og má ætla að grófabelti þessi virki á vissan hátt sem lekar "rennur".

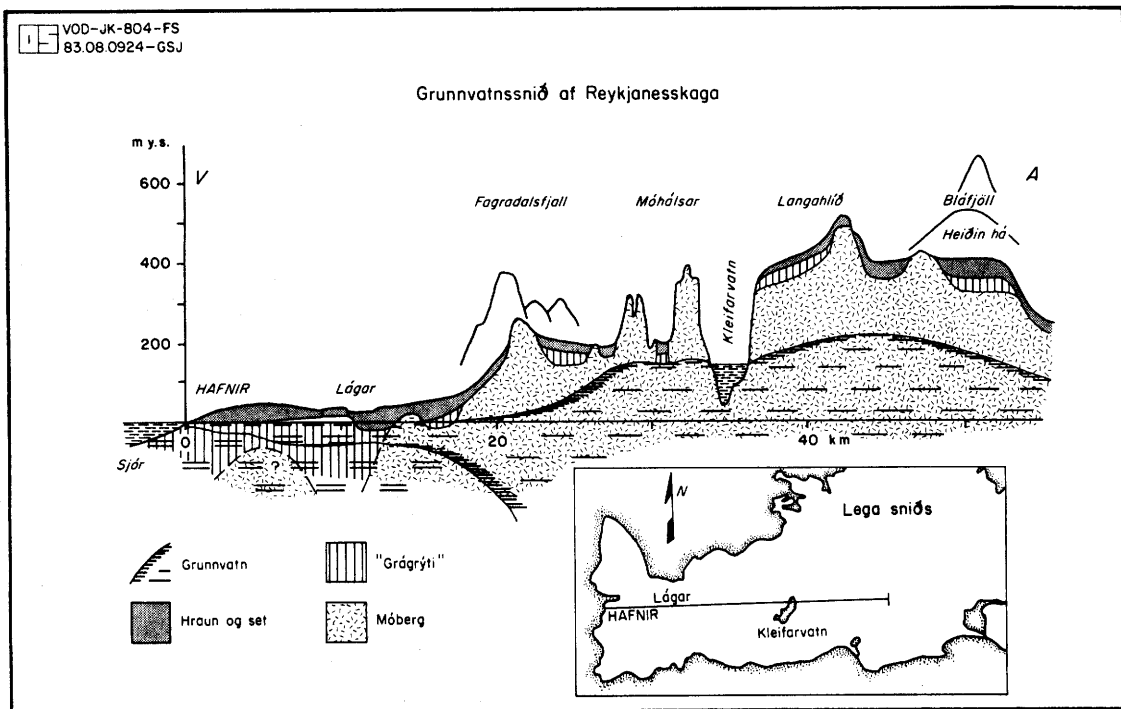


MYND 3-10 Grófir (sigdældir) á utanverðum Reykjanesskaga

4 GRUNNVATN

4.1 Grunnvatnsborð og fjörurensli

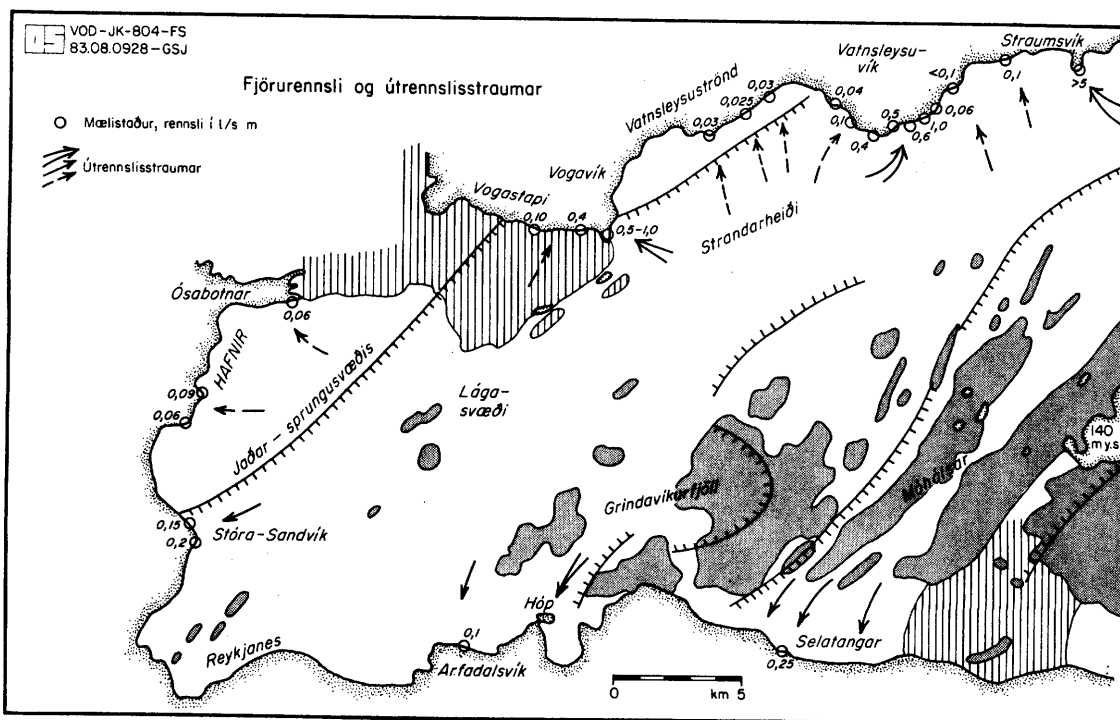
Á utanverðum Reykjanesskaga liggur grunnvatnsborð lágt yfir sjó (mynd 4-1). Þykkt ferskvatnslagsins er u.þ.b. fertugföld hæð grunnvatnsborðs yfir meðalsjávarstöðu. Upplýsingar um algjöra ("absolut") hæð grunnvatnsborðs eru einkum tvenns konar (sjá kafla 2.3): Beinar mælingar í borholum og óbeinar mælingar með viðnámsmælingum. Veðurfar veldur miklum sveiflum á grunnvatnsborði sem ekki gætir þó svo neinu nemi í þykkt ferskvatnslagsins (Jón Ingimarsson og Jónas Elíasson 1980). Mælingar í borholum þurfa því að ná til langs tíma svo að meðaltalshæð grunnvatnsborðs verði nærri lagi. Með jarðviðnámsmælingum má meta þykkt neysluhæfs ferskvatnslags (Kristján Ágústsson og Freyr Þórarinnsson 1979; Lúdvík S. Georgsson 1979). Þær mælingar eru óbeinar. Öryggi og nákvæmni niðurstaðna þeirra mælinga verður því að meta eftir samræmi milli niðurstaðna á mælistöðum. Óbeinar upplýsingar um afstæðar jarðvatnshæðir fást úr hita- og rafleiðni-mælingum og efnagreiningum (Freysteinn Sigurðsson 1977; Freysteinn Sigurðsson o.fl. 1978a). Mati á hæð grunnvatnsborðs og þykkt ferskvatnslagsins samkvæmt þessum upplýsingum öllum er lýst í viðauka VI.



MYND 4-1 Grunnvatnssnið af Reykjanesskaga

Hæðarlega grunnvatnsborðs og jarðlekt leiða til þess að grunnvatnið rennur í misöflugum straumum til sjávar. Þar sem opinna veita ("unconfined aquifers") nýtur við, er því útrennsli ferskvatns í flæðarmáli eftir því meira sem grunnvatnsstraumarnir eru öflugri til

strandarinnar. Þetta fjörurennisli má meta við hentugar aðstæður (Freysteinn Sigurðsson 1976; Freysteinn Sigurðsson í Freyr Þórarinnsson o.fl. 1976). Hentugt er að skrá gildi fyrir útrennsli sem rennsli á lengdareiningu fjöruborðs (l/s x m). Vegna athugunaraðferðar og aðstæðna við ströndina hefur fjörurennisli aðeins verið metið á fáum stöðum (sjá mynd 4-2). Samkvæmt því mati er mikið útrennsli norður af skaganum í Vatnsleysuvík og Vogavík en mun minna á Vatnsleysuströnd.

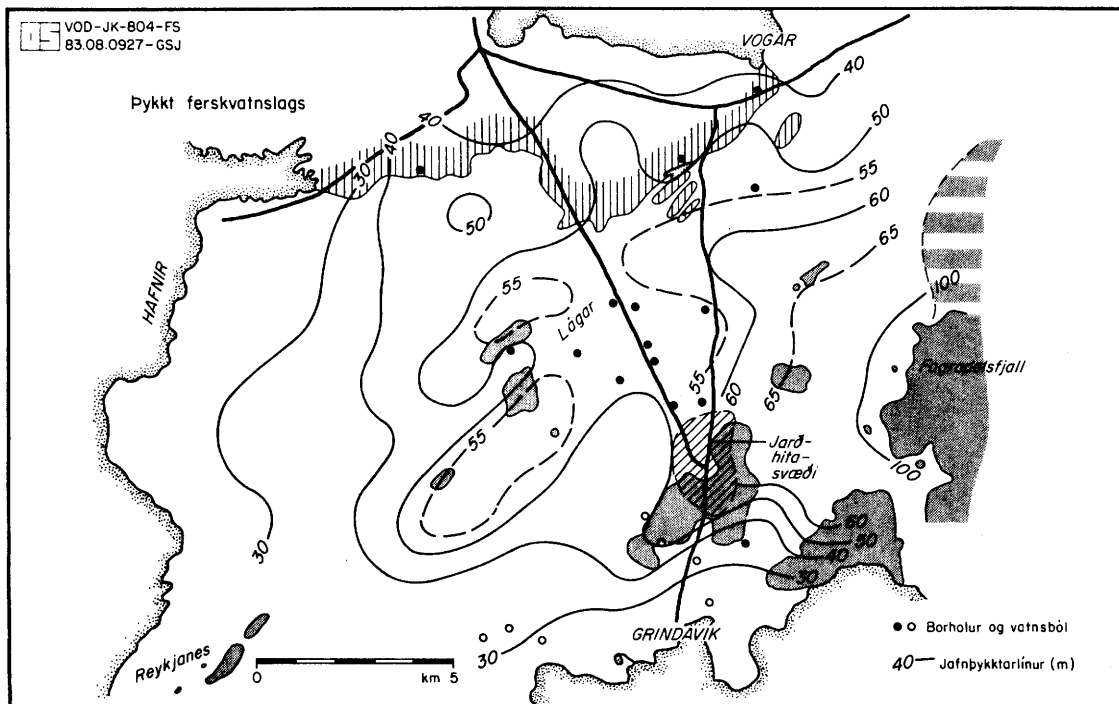


MYND 4-2 Fjörurennisli og útrennslisstraumar

Þar er þó þess að gæta að vatnsrennsli gæti verið nokkuð undir þráin-skjaldarhrauni eða neðst í því. Þetta rennsli hegðar sér að sumu leyti sem rennsli í lokuðum veiti ("confined aquifer") og sprettur það vatn upp úti í sjó, utan fjöruborðs. Rennsli þess er ekki þekkt. Líkleg stærð vatnsviðs og líklegt írennsli til grunnvatns benda til þess að rennsli þetta sé ekki mikið. Undan Vogastapa og í Höfnum virðist fjörurennisli vera lítið. Töluvert fjörurennisli er í Stóru-Sandvík, undan Vogastapa austanverðum og í Arfadalsvík. Einnig er vitað um mikið fjörurennisli í Hópinu í Grindavík þó það hafi ekki verið mælt né metið þessu sinni. Innst í Hraunsvík, undan Festar-fjalli, er sáralítið fjörurennisli. Á Selatöngum, austur frá Ísólfsskála, er töluvert fjörurennisli. Það virðist samsvara nokkuð líklegu afrennsli geira ofan frá vatnaskilum á hrygg skagans, í stefnu fjallgarða, miðað við fjarlægð frá vatnaskilum og líklegt grunnvatns-írennsli á þeim slóðum. Gíska má á grunnvatnsstrauma eftir fjörurennisli og eru þeir enn ein ábendingin um hæðarlegu grunnvatns og jarðlekt.

Sennileg þykkt ferskvatnslagsins á utanverðum Reykjanesskaga er sýnd á mynd 4-3. Þar er miðað við þykkt ferskvatnslagsins í flotjafnvægi

við undirliggjandi sjóvatn en ekki við þykkt neysluhæfs vatnslags. Kringum háhitasvæðið í Svartsengi og þaðan ofan til Grindavíkur og Staðarhverfis er ferskvatnið ekki neysluhæft vegna seltu, samkvæmt alþjóðlegum stöðlum, þó sumum heimamönnum finnst það bragðmeira og betra en t.d. Gvendarbrunnvatn í Reykjavík. Á mestum hluta svæðisins er einungis stuðst við óbeinar mælingar og ábendingar. Þar eru hugmyndir um þykkt ferskvatnslagsins byggðar á líkum einum og þeim mismiklum. Umhverfis Lágasvæðið eru líkur á rétttri þykkt mestar því þar eru flestar borholur og jarðviðnámsmælingar þéttastar.



MYND 4-3 Þykkt ferskvatnslaga.

Með þessa fyrirvara í huga má draga fram nokkur höfuðatriði um þykkt ferskvatnslagsins og hæðarlegu grunnvatnsborðs á rannsóknarsvæðinu:

1. Á og umhverfis Lágasvæði er grunnvatnsborð næsta flatt. Þykkt ferskvatnslagsins (í flotjafnvægi við sjó) er þar víðast 45-55 m.
2. Undir Fagradalsfjalli er ferskvatnslagið meira en 100 m þykkt.
3. Undir móbergsfjallgördunum er ferskvatnslagið þykkara en í hraunasundunum á milli þeirra.
4. Í sömu fjarlægð frá sjó stendur grunnvatnsborð mun hærra í grágrýtinu á Vogastapa en í ungu hraununum sunnan og vestan á skaganum.

Sennilega liggja meginvatnaskil eftir móbergsfjalllendi Reykjanes-skaga, allt vestur í Fagradalsfjall. Suður af beina móbergsfjallgarðar og sprungur grunnvatnsrennslínu í suðvestlæga stefnu. Í Strandarheiði beina sprungur og sigdældir grunnvatnsstraumum norður

frá vatnaskilum í átt til Vatnsleysuvíkur og Vogavíkur. Vatnaskil liggja frá Fagradalsfjalli norðvestur á Vogastapa og suðvestur um Stóra Skógfell og Þorbjarnarfell. Jarðvatnsbungur, ein eða fleiri, eru norðvestur frá Stapafelli og suðvestur frá Þórðarfelli. Lágasvæðið er þannig eins og skál milli jarðvatnsbungna þar sem grunnvatnsborðið er flatt en út úr flóir til vesturs, milli Stapafells og Þórðarfells, og suðurs- suðvesturs, milli Þórðarfells og Þorbjarnarfells.

Þessi mynd af þykkt ferskvatnslagsins er í samræmi við allar þær athuganir sem gerðar hafa verið á grunnvatninu enda byggð á þeim, svo gott sem árekstralaust. Samræmi við reiknað grunnvatnslíkan (Jón Ingimarsson og Jónas Elíasson 1980) er nokkuð gott. Þó eru drættir ekki eins skarpir í niðurstöðum líkanreikninga, hvað hæð grunnvatnsborðs og þykkt ferskvatnslags varðar. Ræður þar nokkru um að líkanið er fyrst og fremst stillt eftir grunnvatnshæð í borholum, einkum á Lágasvæði en minna tillit tekið til grunnvatnshæðar annars staðar.

4.2 Ástand grunnvatns

Jarðvatnsbungur og önnur vatnaskil skipta grunnvatni á rannsóknarsvæðinu á nokkur vatnasvæði með viss séreinkenni á ástandi vatnsins (hiti, rafleiðni, efnainnihald). Þessi ástandseinkenni eru þekkt úr hita- og rafleiðnimælingum og efnagreiningum, sjá viðauka V. Athuganir af þeim toga er aðeins hægt að gera þar sem hægt er komast í vatn en það er fyrst og fremst í borholum. Flestar þessar borholur ná fremur skammt ofan í grunnvatn. Áhrifa veðurfars gætir eitthvað í efstu 2-5 m grunnvatns í flestum holunum. Ástand það sem hér er lýst á því yfirleitt við ástand á 5-15 m dýpi undir grunnvatnsborði. Það er það dýpi þar sem vatn yrði einkum tekið úr ferskvatnslaginu. Sýnatöku- og mælingastaðir eru mismargir á hinum ýmsu svæðum. Niðurstöður eru heldur ekki hinar sömu á öllum stöðum á hverju svæði. Auk þess er víðast hvar lítils háttar dreifing á mældum og greindum gildum en hvergi hefur enn þá orðið vart við stórvægilegar breytingar. Í skrá 4-1 eru tilfærð gildi fyrir hita, rafviðnám og efnainnihald vatns á nokkrum stöðum. Miðað er við meðaltöl hita- og rafviðnáms en efnainnihald í úrdældu vatni þar sem þess er kostur. Hiti og viðnám miðast við stöðugt ("konstant") dýpi í hverri holu en lítils háttar frávik eru á stöku stað með dýpi það, þar sem sýni voru tekin til efnagreiningar.

Skipting í vatnasvæði er sýnd á mynd 4-4. Norðanmegin á skaganum eru tvö vatnasvæði sem grunnvatnsstraumar falla af til norðurs. Á vestara svæðinu, Njarðvíkurheiði, er aðeins 1 borhola (við Stapafellsveg) en vatni úr henni svípar að efnainnihaldi til vatns af Rosmhvalanesi, einkum flugvallarsvæðinu. Á austara svæðinu, Vogasvæði, er borhola við Seltjörn í nánnum tengslum við vatnið í tjörninni sjálfri. Í Snorrastaðatjörnum, suður frá Vogum, hefur verið greint 50-90 ppm Cl^- og leikur jafnvel grunur á að þar kunni að vera jarðhiti að verki. Vatnsvinnslusvæði Hitaveitu Suðurnesja, Lágasvæði, er skipt í tvo glöggt aðgreinda hluta. Fellur grunnvatnsstraumur sennilega vestur af NV-hlutanum en til suðurs og suðvesturs af SA-hlutanum. Vatn í borholu HSK-10 hefur nokkur séreinkenni og er sennilega af staðbundnum uppruna.

Svokallað "affallssvæði" er umhverfis háhitasvæðið í Svartsengi og ofan til sjávar. Ekki er þó víst að affalls eða frárennslis frá því háhitasvæði gæti allsstaðar.

Í HSK-7 gæti hugsanlega gætt áhrifa frá duldu jarðhitasvæði við NV-horn Fagradalsfjalls (Freysteinn Sigurðsson 1977; Freysteinn Sigurðsson o.fl. 1978a; Lúðvík S. Georgsson 1979). Vatn í vatnsbóli við Grindavíkurveg (hola 2) er sennilega að miklu leyti af staðbundnum uppruna. Í Baðstofugjá gæti gætt áhrifa frá jarðhitasvæði í Eldvörpum.

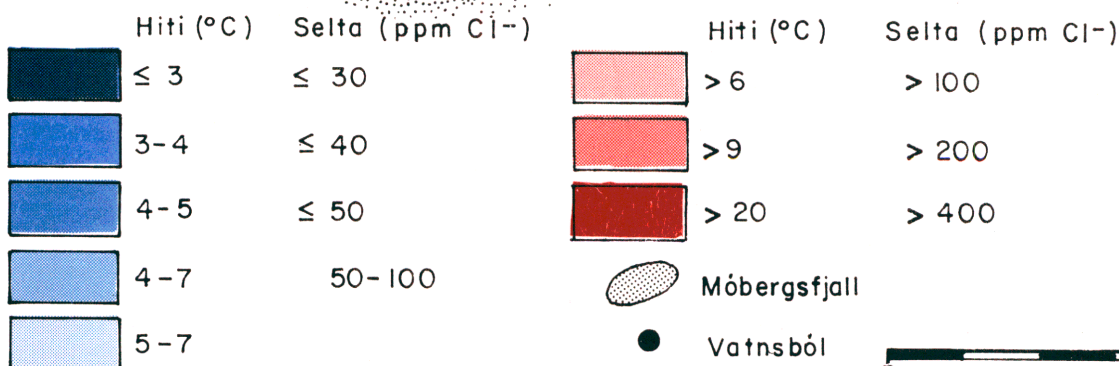
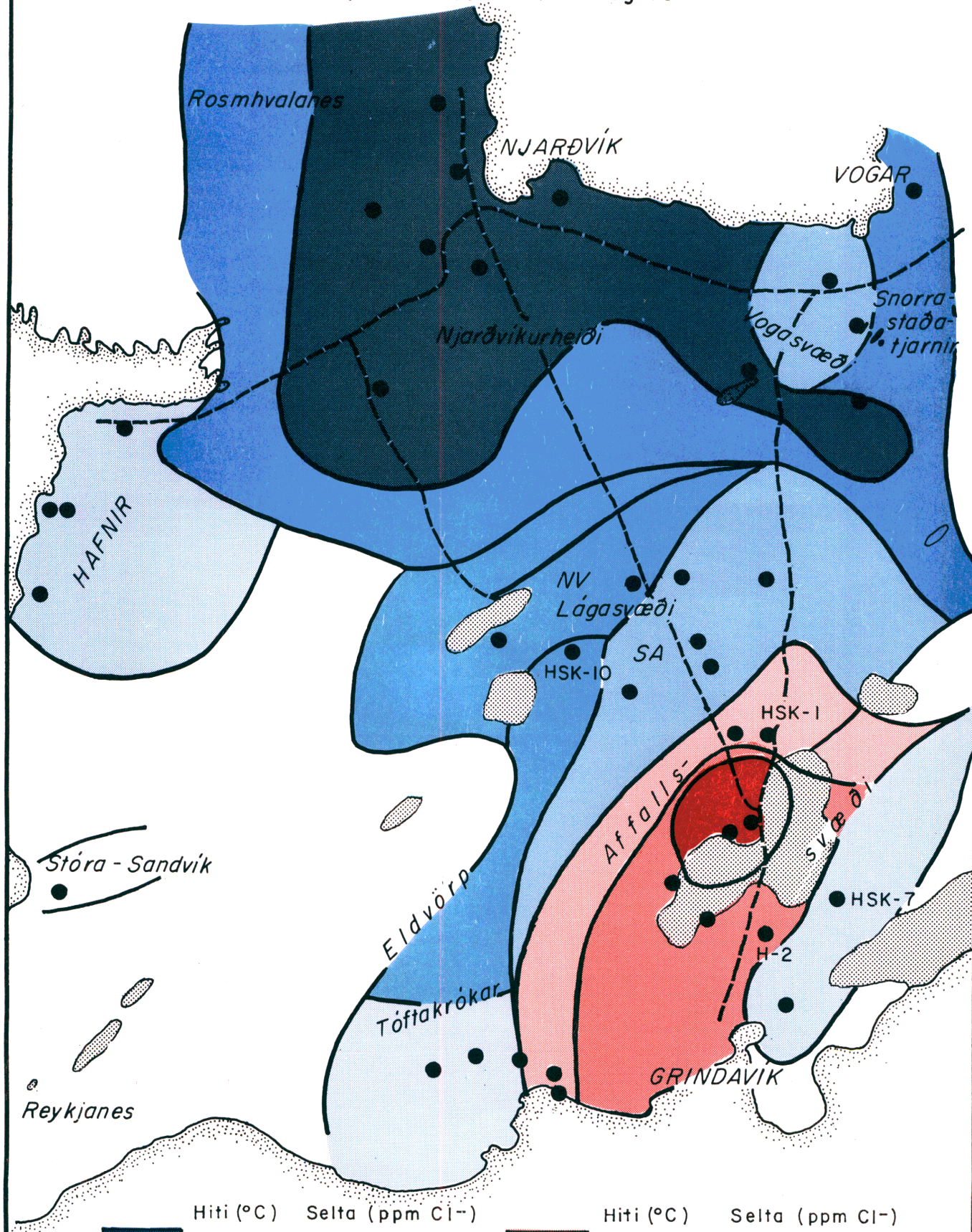
Helstu einkenni vatns á einstökum vatnasvæðum eru eftirfarandi:

Njarðvíkurheiði: Hiti um 3⁰ C, viðnám við 25⁰ C um 60 ohmm, efnainnihald tiltölulega lítið, klóríð (Cl⁻) 15-30 ppm, kísill (SiO₂) 5-6 ppm, magnesíum (Mg²⁺) 2-5 ppm.

Vogasvæði: Hiti um 4⁰ C, hærri í Vogastapa (um 5⁰ C), viðnám um 60 ohmm, lægra á Vogastapa og í Snorrastaðatjörnum (30-40 ohmm); efnainnihald tiltölulega frekar lítið, meira á Vogastapa og í Snorrastaðatjörnum (í svipinn), klóríð 20-35 ppm (45-90 ppm), kísill (SiO₂) 7-8 ppm, hærri á Vogastapa og lægri (um 1 ppm) í Seltjörn sjálfri, magnesíum (Mg²⁺) 3-4 ppm (5-6 ppm).

SKRÁ 4 - 1 Hiti, viðnám og efni í ferskvatni.

Svæði/staður, borhola	Aths.	Hiti °C	Viðnám m	PH við 20°C	Efnainnihald í ms/						ppn.	
					CO ₂	SiO ₂	Na ⁺	K ⁺	M ⁻²⁺	Ca ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻
Njarðvíkurheiði:												
Borh. v. Stapafellsveg		3,1	60	6,9	12	5,7	16	1,0	2,5	2,2	22	5,3
Vogasvæði:												
HSK-13		3,8	59	7,0	9	7,5	18	1,1	3,5	3,6	32	8,7
Borh. v. Seltj. 4m dýpi	Hiti 2 m	4,3	58	7,4	16	7,3	15	0,8	2,7	3,1	21	4,9
Borh. á Vogastapa		4,9	38	7,3	30	16	26	2,0	5,6	9,3	46	8,5
Lágasvæði, NV-hluti:												
HSK-5	Dælt	-	-	7,5	10	13,4	17	1,0	4,2	5,0	38	8,3
HSK-6, 32 m dýpi		4,5	46	7,3	11	9,1	22	1,2	4,2	4,2	41	6,6
Stapafell	Dælt	4,9	47	7,4	8	12,7	20	1,1	4,3	6,3	41	4,7
HSK-10		4,6	34	7,7	14	6	28	2,7	3	6,5	48	8,6
Lágasvæði, SA-hluti:												
HSK-8	Dælt	4,1	32	7,9	22	15,5	35	1,7	8,3	9,2	80	12,3
HSK-100 (Gjá í Lágum)	Dælt	-	-	7,6	(10)	13,2	30	1,4	5,3	6,3	66	10,0
HSK-11, 35 m dýpi	Hiti 30m	4,9	28	7,7	14	14,8	34	1,4	6,5	7,0	66	10,2
HSK-2	Dælt	4,8	(29)	7,8	17	14,6	32	1,6	7,2	8,2	76	11,5
HSK-4	Dælt	(4,9)	(30)	7,6	18	14,6	35	1,6	7,4	7,6	71	11,2
HSK-9	Dælt	5,9	24	7,7	16	12,3	36	1,8	6,8	6,8	70	11,1
Affallssvæði, N-hluti:												
HSK-12	Dælt	6,8	17	7,4	18	15,5	78	3,1	11,2	15,8	152	24
HSK-1		11,9	8	7,7	20	21	153	8,7	16	18	290	29
Affallssvæði, S-hluti:												
HSK-7		7,1	5	7,8	26	14,8	180	10,8	21	20	400	40
Grindavík, hola 2	Dælt	10,4	12	-	32	28	96	4,7	18	22	216	37
Baðstofa, 4m dýpi		7,5	9	-	19	15	110	5,5	16	15	240	33



Lágasvæði, NV-hluti: Hiti $4\frac{1}{2} - 5^{\circ}$ C, viðnám 45-50 ohmm, lægra í HSK-10 (um 35 ohmm); efnainnihald frekar lítið, klóríð (Cl^{-}) um 40 ppm, meira í HSK-10 (um 50 ppm), kísill (SiO_2) um 13 ppm, minni í HSK-10, magnesíum (Mg^{2+}) um 4 ppm.

Lágasvæði, SA-hluti: Hiti $4-6^{\circ}$ C, um 4° C í HSK-8, um 5° C í HSK-2, HSK-4, HSK-100, um 6° C í HSK-9; viðnám um 30 ohmm, efnainnihald töluvert, klóríð (Cl^{-}) um 70 ppm, kísill (SiO_2) um 15 ppm, e.t.v. minna í HSK-100 (Gjá í Lágum), magnesíum (Mg^{2+}) um 7 ppm, e.t.v. minna í HSK-100.

Affallssvæði: Hiti $6-15^{\circ}$ C; viðnám um og innan við 15 ohmm, efnainnihald mikið, klóríð (Cl^{-}) yfirleitt um og yfir 150 ppm, kísill (SiO_2) um og yfir 15 ppm, magnesíum (Mg^{2+}) um og yfir 10 ppm.

Ástand vatns sýnir ýmis merki um uppruna vatnsins og feril þess. Lágur hiti (Njarðvíkurheiði, Vogasvæði) bendir til hárrar hlutdeildar snjóleysingavatns vegna uppgufunar sumarúrkomu úr jökulmel og jarðvegi. Hár hiti (Affallssvæði) bendir til jarðhitaáhrifa. Lágt viðnám stafar af miklu efnainnihaldi sem bendir til jarðhitaáhrifa eða sterkrar sjóblöndunar. Að uppruna er ferskvatnið úrkoma sem er fremur efnasauð. Í henni ber mest á efnum úr sælðri sem eru þó í nokkuð öðrum hlutföllum en í sjóvatni. Auk þess er tiltölulega mikið af súlfati (SO_4^{2-}) í úrkomu sem veldur því hversu súr hún er. Í berginu leitast grunnvatnið við að ná efnajafnvægi við bergið eins og hiti þess og aðrar aðstæður gefa tilefni til. Við það eykst yfirleitt innihald kísils (SiO_2) og fareinda (jóna), alkálí og jarðalkalímálma (Na^{+} , K^{+} , Mg^{2+} , Ca^{2+}). Í þetta bergvatn getur blandast sjór eða jarðhitapækil, þ.e. heitur jarðsjór. Nokkur munur er á magni og hlutföllum efna í þeim vökvum. Í jarðhitapæklinum hafa kísill (SiO_2), kalíum (K^{+}) og kalsíum (Ca^{2+}) aukist frá því sem er í sjóvatni en súlfat (SO_4^{2-}) minnkað og magnesíum (Mg^{2+}) horfið nær alveg. Af magni efna í ferskvatninu og hlutföllum milli þeirra má því stundum ráða hvort gætir úrkomu, dvalar í bergi, íblöndunar sjávar eða jarðhitapækils.

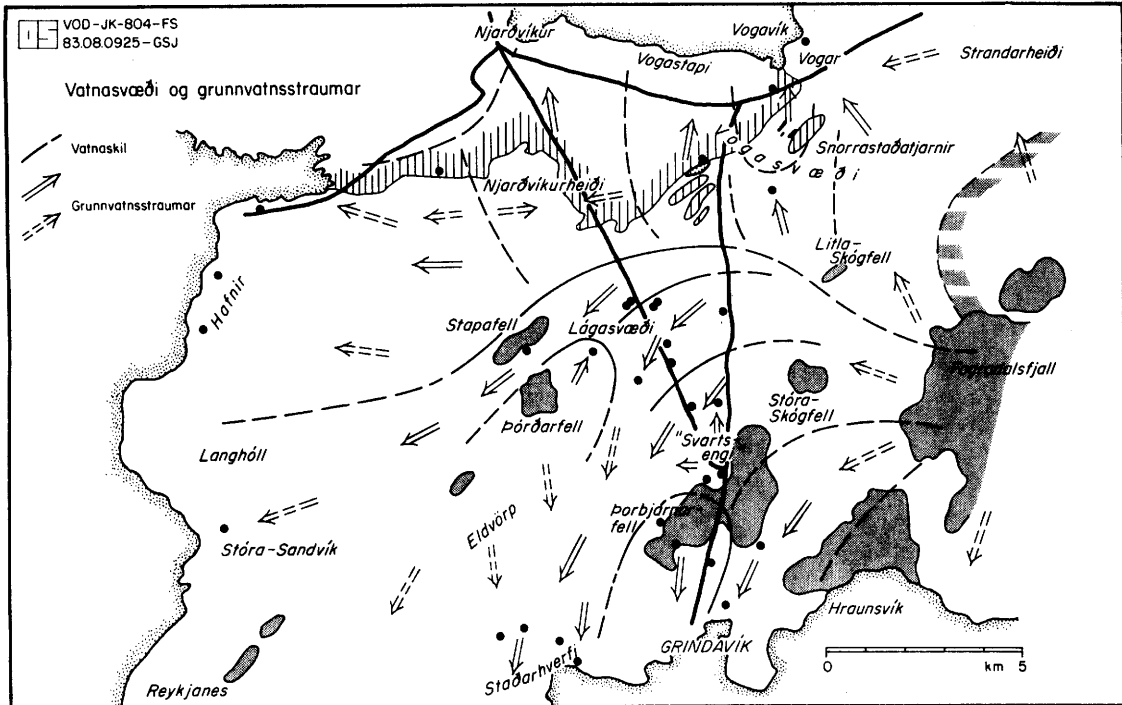
Lágt $\text{Na}^{+}/\text{Cl}^{-}$ -hlutfall og hátt $\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^{-}$ -hlutfall benda til úrkomu. Há $\text{SiO}_2/\text{Cl}^{-}$, $\text{Na}^{+}/\text{Cl}^{-}$ -og $\text{Mg}^{2+}/\text{Cl}^{-}$ -hlutföll benda til áhrifa bergs. Lág $\text{SiO}_2/\text{Cl}^{-}$, $\text{K}^{+}/\text{Cl}^{-}$ -og $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ -hlutföll benda til íblöndunar sjávar. Há $\text{K}^{+}/\text{Cl}^{-}$ -og $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ -hlutföll og lág $\text{Mg}^{2+}/\text{Cl}^{-}$ - og $\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^{-}$ -hlutföll benda til áhrifa jarðhitapækils. Þessar ábendingar eru misvel glöggar, ekki alltaf einræðar og vísa stundum hver í sína áttina. Þó veita þær vissar upplýsingar þegar um heil vatnasvæði er að ræða.

4.3 Grunnvatnskerfi

4.3.1 Neysluvatnssvæði

Nærri því fullkomið samræmi er milli skiptingar rannsóknarsvæðisins í einstök vatnasvæði samkvæmt mati á grunnvatnshæð (þykkt ferskvatnslags), eftir vatnsborðsmælingum í borholum og jarðviðnámsmælingum annars vegar og skiptingu í vatnasvæði eftir ástandi grunnvatns hins vegar. Sums staðar veitir síðarnefnda skiptingin ábendingar um

grunnvatnsbungur eða grunnvatnsstrauma sem ekki koma glögg fram í fyrirnefndu skiptingunni. Þær ábendingar hafa yfirleitt verið teknar til greina við gerð heildarmyndar af grunnvatnskerfi rannsóknarsvæðisins. Á mynd 4-5 er sýnd skipting í vatnsvæði, helstu grunnvatnsbungur og grunnvatnsstraumar eins og sennilegast er talið.



MYND 4-5 Vatnsvæði og grunnvatnsstraumar

Í Njarðvíkurheiði er aðeins ein borhola, við Stapafellsveg. Hún er í grágrýti og hegðar sér líkt og hún sé í veiti sem sé opin að 3/4 og lokaður að 1/4 (Jón Ingimarsson og Snorri P. Kjara 1978). Í meiri háttar leysingum og stórrigningum vill verða ofanrennsli í holuna og veldur það vissri óreglu í ástandi vatns í henni. Yfirleitt er vatn kalt í holunni (um 3°C) og efnasnautt. Það líkist helst vatni á Rosmhvalanesi og við Seltjörn að efnasamsetningu. Einkenna úrkomu og áhrifa bergs gætir mismikið en þær sveiflur gætu haft stað- og holubundnar orsakir, sem fyrr segir. Vatn þetta er svo frábrugðið vatni á Lágasvæðinu að nær útilokað má telja að grunnvatn renni til norðurs þaðan. Vatnaskil liggja sennilega norðan við Stapafell og austur um Rauðamel. Vatnsvinnsla á Lágasvæðinu veldur lækun vatnsborðs, einkum þess megin vatnaskila. Búast má því við því að vatnaskilin færast lítið eitt norðvestur á bóginn (sjá einnig Jón Ingimarsson og Jónas Elíasson 1980). Vatnsvæði þetta sem hér er kennt við Njarðvíkurheiði nær sennilega langleiðina austur undir Seltjörn. Vatn er efnasnautt á því og mæta vel hæft til neyslu. Lekt er lítil í bergi á svæðinu og má því búast við því að borholur þar verði ekki mjög vatnsgæfar. Þykkt ferskvatnslagsins er þó það mikil að töluverður niðurdráttur er mögulegur, auk þess sem vænta má verulegs munar á láréttri og lóðréttri lekt. Mikil vatnstaka á þessu svæði gæti leitt til það mikillar lækkunar grunnvatnsborðs að efnaríkara vatn færi að

renna inn á það frá Lágasvæði nema vatnstaka sé í jafnvægi á báðum svæðunum.

Vogasvæði er haldið vera nokkuð sundurleitt að vatnsgerð. Vatn er þar aðgengilegt í Seltjörn, í borholu við Seltjörn, í borholu HSK-13, í Snorrastaðatjörnum og í borholu á Vogastapa. Svæði þetta er við jaðar rannsóknarsvæðisins og lítið vitað um vatn og ástand þess á svæðinu austur frá því. Mikið útrennsli er í Vogavík en minnkar óðum þegar vestur kemur með Vogastapa eða utar með Vogunum. Ekki er vitað gerla, hversu mikið þetta rennsli er en giska má á, að það sé um eða yfir 1 m/s til jafnaðar. Grunnvatn stendur hátt í Seltjörn og Snorrastaðatjörnum, svo nærri sjó sem þau vötn eru. Bendir það til einhverrar tregðu í útrennsli sjávarmegin. Getur raunar líka átt þar hlut að máli að grunnvatnstraumur úr Strandheiði haldi á móti að austan en þaðan má ætla að þorri útrennslisins í Vogavík sé kominn.

Vatn í HSK-13 er fremur kalt ($\leq 4^{\circ}\text{C}$) og efnasnautt (Cl^- um 30 ppm; $\text{SiO}_2 \leq 10$ ppm; SO_4^{2-} um 9 ppm) og ber glögg merki úrkomuvatns. Eitt-hvað hefur það þó sennilega átt efnaskipti við berg en samt er ekki ástæða til að halda að það hafi runnið hægt að um langan veg. Mikill munur er í klóríðinnihaldi í yfirborðsvatni í Seltjörn og í Snorrastaðatjörnum. Í Seltjörn hafa greinst 18-28 ppm Cl^- (í efri hluta borholunnar við tjörnina 21-31 ppm Cl^-) en í Snorrastaðatjörnum hafa iðulega greinst nærri 60 ppm Cl^- og raunar allt upp í 95 ppm Cl^- . Efnasamsetning vatnsins í Snorrastaðatjörnum bendir til úrkomu nema hvað efnainnihald er miklu meira. Einhlít skýring á þessu fyrirbrigði hefur ekki fundist, en giska má á jarðhitaáhrif. Væri þá sennilega frekar um íblöndun hitaðs sjávar en jarðhitapækils að ræða þó það komi ekki sérlega glögg fram í efnasamsetningu. Efnainnihald og niðurstöður jarðviðnámsmælinga hafa verið taldar geta bent til jarðhita á þessum slóðum (Freysteinn Sigurðsson 1977; Freysteinn Sigurðsson o.fl. 1978a; Lúðvík S. Georgsson 1979). Vatnið í borholunni við Seltjörn líkist hins vegar mest vatninu í HSK-13 þó það dragi að sjálfsögðu nokkurn dóm af yfirborðsvatni í tjörnini sjálfri. Í borholunni á Vogastapa líkist vatnið því vatni sem er í Snorrastaðatjörnum þó efnainnihald sé minna og staðbundinna áhrifa holunnar sjálfrar gæti ef til vill.

Hugmyndin af þessu vatnasvæði er sú að það hafi ekki aðrennsli um langa vegu og nái skammt inn til lands. Er það í samræmi við sennilega þykkt fersvatnslagsins en eftir henni ætti þetta vatnasvæði að hafa mörk sín á norðurbrún grunnvatnsbrekkunnar vestur frá Fagradalsfjalli. Öflugur grunnvatnsstraumur austan að heldur á móti grunnvatnsrennsli til Vogavíkur svo að grunnvatnsstraumur þessa vatnasvæðis verður að leita beint til sjávar um hinn lítið leka Vogastapa. Veldur þetta hárrí stöðu grunnvatnsborðs. Í nánd við Snorrastaðatjarnir, sennilega suður eða vestur frá þeim, verður grunnvatnið fyrir áhrifum dulins jarðhitasvæðis. Þar gæti raunar einnig gætt jarðhitamengaðs grunnvatnsstraums ofan frá norðvesturhorni Fagradalsfjalls en líkur hafa verið leiddar að því að þar leynist dulið jarðhitasvæði (Freysteinn Sigurðsson 1977; Freysteinn Sigurðsson o.fl. 1978; Lúðvík S. Georgsson 1979). Sú tilgáta virðist þó vera ósennilegri.

Vatn er efnasnautt á þessu svæði og vel hæft til neyslu þó efnaríkara vatn sé sennilega í nágrenni Snorrastaðatjarna en annars staðar.

Nyrsti hluti svæðisins er þakinn grágrýti Vogastapa og virðist berglekt vera þar næsta lítil. Suður frá stapanum eru sprungin og misigin nútímahraun. Má búast við að borholur þar væru vatnsgæfar þó miður lekir grágrýtisfleygar gætu víða skotið hryggjunum upp í vatnslagið. Enn sunnar (suðaustur) tekur við móberg, miður lekt. Ferskvatnslagið er það þykkt að þó nokkur niðurdráttur væri mögulegur. Lagskipting hraunanna veldur mun á láréttri og lóðréttri lekt en vera má að sprungurnar á svæðinu dragi úr þeim mun vegna lóðréttrar lektar sinnar. Halli er sennilega hlutfallslega mikill á grunnvatnsborðinu til norðurs. Vatnstaka gæti því sennilega verið veruleg, áður en vatn af Lágasvæði eða frá Snorrastaðatjörnum færi að leita inn á vænlegasta vatnsvinnslusvæðið suður og vestur frá HSK-13.

Meginvatnaskil virðast liggja frá Fagradalsfjalli um norðanvert Arnarseturshraun og Rauðamel, norðan við Stapafell og sennilega vestur á Hafnarberg. Norðan þeirra streymir grunnvatn yfirleitt norður af en þó sennilega meira til vesturáttar úr því kemur vestur á mótis við Stapafell. Sunnan þessara meginvatnaskila stefna grunnvatnsstraumar yfirleitt til suðvesturs ef að líkum lætur. Suður frá vatnaskilunum er Lágasvæði, vatnsvinnslusvæði Hitaveitu Suðurnesja. Austan að því hallar grunnvatnsborði frá Fagradalsfjalli. Þar mun sennilega vera víða móberg undir og veldur það hárrí grunnvatnsstöðu. Vestanmegin eru sennilega grunnvatnsbungur tvær; önnur undir og norður frá Stapafelli en hin suður og suðvestur frá Þórðarfelli. Lágasvæði má skipta í tvennt eftir vatnsgerð og virðast vera skörp mörk á milli hlutanna.

Norðvesturhluti Lágasvæðis hefur sennilega afrennsli til vesturs, einkum um grunnvatnsrás milli Þórðarfells og Stapafells. Á þessum hluta eru borholur HSK-5 og HSK-6 og borhola sunnan undir Stapafelli. Borhola HSK-10 er sennilega í austurhlíðum grunnvatnsbungunnar fjá Þórðarfelli. Ástand vatns er hvarvetna svipað, hiti 4 1/2 - 5°C og klóríðinnihald um 40 ppm Cl⁻. Vera má að vatn hitni til suðvesturs; nærri 1/2°C milli HSK-5/HSK-6 og Stapafells. Hér er að vísu aðeins um mun á tveimur stöðum að ræða. Hlýnun til suðvesturs virðist þó vera til staðar á suðausturhluta Lágasvæðis (HSK-8 - HSK-2/HSK-4/HSK-100/HSK-11 - HSK-9) svo að það er ekkert ósennilegt að svipað sé ástatt á norðvesturhlutanum. Orsakir þessarar hlýnunar er sennilega að leita í varmastraumunum úr iðrum jarðar. Því lengur sem grunnvatnið er á ferðinni því meiri varma tekur það í sig. Það verður því þeim mun heitara sem neðar dregur eftir grunnvatnsstraumunum. Hitamunur á sömu vegalengd í straumstefnu er meiri á SA-hluta Lágasvæðis en á NV-hlutanum. Tvennt gæti valdið því: Hægara rennsli, eða meira varmaústreymi á SA-hlutanum sem er nær Svartsengi.

Klóríðinnihald vatnsins á NV-hluta Lágasvæðis er sennilega meira en skýrt verður með góðu móti með klóríði í úrkomu einni. Austar á Reykjanesskaga er kóríðinnihald mun minna eða 8-20 ppm (Þorlákshöfn 13 ppm, Káldársel 13 ppm, Kleifarvatn 8 ppm, Djúpavatn 19 ppm). Á Keflavíkurlflugvelli er það um og rétt yfir 30 ppm Cl⁻ en í vatnsveitum byggðarlaganna austan á Rosmhvalanesi var það aðeins rétt um 20 ppm Cl⁻. Í borholu við Stapafell, borholu við Seltjörn og í Seltjörn var klóríðinnihald að meðaltali 23-25 ppm Cl⁻. Í villuvatni (e.: false aquifer) hjá Merkinesi á Höfnun var greint 60 ppm Cl⁻ og í uppsprettu í Stóru-Sandvík, sunnan Hafnabergs, 50 ppm Cl⁻ (Laufey B. Hannesdóttir 1975). Í snjó sem féll sunnan á skaganum, milli Grindavíkur og Krýsu-

víkur, var greint 70 ppm Cl^- . Þess ber að gæta að klóríð safnast meira í snjó en í samsvarandi regnvatn. Vænta má meiri klóríðstyrks í úrkomu við suður- og vesturströnd skagans utanverðs heldur en við norðurströnd hans þar eð þær liggja beint við úthafsáttum. Hins vegar dregur ört úr klóríðstyrk í úrkomu þegar kemur inn fyrir ströndina, jafnvel niður í u.p.b. 1/5 á 10 km (sjá Matthess 1973). Það virðist því ekki ósanngjarnt að giska á, samkvæmt legu og framangreindum gildum, að úrkoman innihaldi 50 - 60 ppm Cl^- við suður- og vesturströndina og að þessi styrkur rýrni í allt að helming á fyrstu 5 km og í fjórðung eða minna á fyrstu 10 km inn frá ströndinni. Samkvæmt því væri líklegur klóríðstyrkur á Lágasvæðinu 15-20 ppm Cl^- . Til þess að klóríð í vatni á Lágasvæði (40 ppm Cl^- á NV hlutanum, 70 ppm Cl^- á SA-hlutanum) gæti verið komið að öllu úr úrkomu, þyrfti úrkoma í Grindavík sennilega að innihalda til jafnaðar um 200 ppm Cl^- , sem er ótrúlega mikið, og snjór þar allt að 400 ppm Cl^- . Klóríðstyrkur er mjög svipaður í vatni hvarvetna á NV-hluta Lágasvæðis (37-47 ppm Cl^-) að meðaltali 42 ppm Cl^- í ferskvatnslagi í HSK-6, 38 ppm Cl^- fyrir og 46 ppm Cl^- eftir dælingu í HSK-5 og 43 ppm Cl^- í borholu við Stapa-fell. Miðað við nákvæmni í greiningu er ekki sýnt að nein umtalsverð breyting verði á klóríðinnihaldi í vatninu á leið þess suðvestur eftir. Klóríðaukning umfram úrkomu hefur því orðið einhversstaðar austan eða norðaustan til á svæðinu. Sama gildir um SA-hluta Lágasvæðis; klóríðinnihald er þar hvarvetna svipað en rennsli er til vesturs-suðvesturs. Við dæluprófun á HSK-8 kom upp vatn með 80 ppm Cl^- . Það kann því að vera, að saltara vatn sé til staðar austan og norðaustan við Lágasvæðið en samsvarar úrkomu á því svæði. Raunar hafa verið leiddar líkur að því að áhrifa jarðhitasvæðisins við Svartsengi gæti langt til norðausturs (Freysteinn Sigurðsson í Freyr Þórarínsson o.fl. 1976; Freysteinn Sigurðsson 1977; Lúðvík S. Georgsson 1979).

Halli grunnvatnsborðs er ekki mikill á NV-hluta Lágasvæðis. Grunnvatnsrennsli er sennilega mest til VSV. Óvíst er, hversu langt vatnasvæði þetta nær austur- norðaustur en ekki virðist sennilegt að það nái mikið austur fyrir Grindavíkurveg. Syðri mörk þess eru á milli HSK-5/HSK-6 og HSK-11/HSK-100. Vestar stefna þau sennilega nálægt HSK-10 eða eilítið sunnar.

Vatnið á NV-hluta Lágasvæðis er vel nothæft neysluvatn. Þó það sé efnaríkara en vatnið norðanmegin vatnaskilanna. Borholur væru sennilega vel vatnsgæfar (sbr. dæluprófun á HSK-5), (Jón Ingimarsson og Jónas Elíasson 1980). Við mikla og langvarandi vatnstöku á svæðinu gæti dregist að vatn frá nærliggjandi svæðum: Efnasnaudara vatn úr Njarðvíkurheiði; efnaríkara vatn af SA-hluta Lágasvæðis og e.t.v. saltara vatn austan að.

Á suðurhluta Lágasvæðis er vatn heitara ($4-6^{\circ}\text{C}$) og saltara (um 70 ppm Cl^-) en á NV-hlutanum. Vatn er aðgengilegt í borholum HSK-2, HSK-4, HSK-8, HSK-9, HSK-11 og Gjá á Lágum (HSK-100). Efnasamsetning þess bendir fyrst og fremst til úrkomuvatns þó íblöndunar sjóvatns virðist gæta lítilla. Á NV-hlutanum virðist áhrifa bergs gæta meira en áhrifa sjávar. Sé það rétt að klóríðaukning nemi 20-25 ppm Cl^- á NV-hlutanum en 50-60 ppm Cl^- á SA-hlutanum, þá þarf það ekki að koma á óvart að sjávaráhrifa gæti meira þar og þau yfirskyggi önnur áhrif. Selta er mest í HSK-2, klóríð 72-79 ppm Cl^- en aðeins 65-67 ppm Cl^- á HSK-100 (Gjá á Lágum). Önnur efni fylgja klóríði í svipuðum hlutföllum. Meðaltalsgildi fyrir megnesium (Mg^{2+}) í skrá 4-1 er sennilega

of lágt og ætti að vera um eða yfir 6 ppm Mg^{2+} . Ástand vatns og mat á þykkt ferskvatnslagsins benda til þess að grunnvatnið renni fyrst vestur eftir svæðinu en síðan til suðvesturs þegar kemur vestur fyrir HSK-2/HSK-4.

Vera má, að grunnvatnsborð standi eilítið hærra í HSK-4 en í HSK-2 eða um 3 cm. Sá munur er varla marktækur en auk þess mætti túlka hann á ýmsa vegu. Þó gæti þarna verið um að ræða merki um lága grunnvatnsbungu, sennilega yfir lítið lekum bergskrokki sem skildi eins skarpt á milli vatns í HSK-4 og HSK-12 og ástand vatns bendir til. Þessi bergskrokkur, ef hann er til, gegnir því blessunarríka hlutverki að vernda Lágasvæðið fyrir aðstreymi jarðhitamengaðs grunnvatns frá Svartsengi.

Efnainnihald í grunnvatni á SA-hluta Lágasvæðis er í það mesta til þess að nota megi það sem hitaveituvatn þar eð magnesíum-sílikat-útfellinga hefur gætt í því (Trausti Hauksson 1980). Magnesíumstyrkur er meiri í HSK-2 en HSK-100 (7,5 ppm Mg^{2+} á móti 6,2 ppm Mg^{+}) og gildir því e.t.v. ekki einu, hvar vatn er tekið á þessu svæði. Borholur hafa reynst vatnsgæfar og sömu sögu er að segja um Gjá í Lágum (HSK-100). Talið er að fullnægja megi fyrir-sjáanlegri ferskvatnspörf Hitaveitu Suðurnesja með vatni af Lágasvæði fram til aldamóta a.m.k. (Jón Ingimarsson og Jónas Elíasson 1980). Mikil vatnstaka á SA-hluta Lágasvæðis gæti leitt til aðdráttar mun efnaríkara vatns úr suðaustri. Jafnframt ykist aðrennsli efnasnaudara vatns úr norðvestri. Loks gæti aukist aðrennsli saltara vatns úr austri. Horfur eru að vísu ekki taldar miklar á mengun af völdum affallavatns frá Svartsengi (Jón Ingimarsson og Jónas Elíasson 1980). Þess ber þó að gæta að vatnið dreifist nokkuð til beggja átta frá þungamiðju straumsins og efnaríkt vatn nær sennilega alllangt norðaustur frá Svartsengi. Svæði þetta verður því að nýta með gát og fylgjast vel með breytingum á vatni á því og umhverfis það.

Borhola HSK-10 hefur vissa sérstöðu. Hiti, viðnám og efnainnihald eru nokkuð breytileg, sem gæti bent til mikilla áhrifa úrkomu og stutts aðdraganda grunnvatns. Súlfatinnihald vatnsins og lítill kísilstyrkur gætu bent til úrkomu. Há Ca^{2+}/Mg^{2+} , $+/K^{+}/Cl^{-}$ og Na^{+}/Cl^{-} - hlutföll, ásamt frekar háum klóríðstyrk (upp undir 50 ppm Cl^{-}); gætu bent til áhrifa frá jarðhita. Grunur leikur á duldu jarðhita nyrst í Eldvörpum (Lúðvík S. Georgsson 1979), hver svo sem tengsl hans eru við jarðhitasvæðið sunnar í Eldvörpum. Vatnið í HSK-10 er svo frábrugðið vatni annars staðar á Lágasvæðinu að telja verður að það sé af öðrum toga. Sú skýring er því sennileg að holan sé í norðausturhlíð jarðvatnsbungu við Þórðarfell, sem mat á þykkt ferskvatnslags bendir til. Vatn er þarna talsvert efnasnaudara en á SA-hluta Lágasvæðisins. Vera má að jarðfræðilegar aðstæður séu þar sums staðar ekki hentugar fyrir vatnsvinnslu (Freysteinn Sigurðsson o.fl. 1978b). HSK-10 er sennilega aðeins einkennandi fyrir lítið svæði.

4.3.2 Jarðhitamenguð svæði

Affallssvæðið er harðla sundurleitt að vatnsgerð. Höfuðeinkenni vatns á því eru hár hiti ($\geq 60^{\circ}C$) og mikið efnainnihald ($Cl^{-} \geq 150$ ppm). Vatn af þessu svæði er sennilega óhæft sem hitaveituvatn og víða óhæft sem neysluvatn, samkvæmt alþjóðlegum stöðlum. Vatn er víða aðgengi-

legt á þessu svæði eða hefur verið það. Á háhitasvæðinu sjálfu er borhola HSH-1 en þar var einnig mælt í forboraðri holu að HSH-7. Norður af háhitasvæðinu eru borholur HSK-1 og HSK-12. Upp af Grindavík er borhola HSK-7. Vatnsból Grindavíkinga voru í Moldarlágum milli hverfanna og við Grindavíkurveg (hola). Lóranstöðin í Grindavík hefur sín eigin vatnsból (T 2632, T 2635). Í Tóftakrókum upp af Staðarhverfi eru gjár þar sem komast má í vatn (Hrafnagjá, "Miðgjá", Baðstofa (Baðstofugjá)). Loks eru borholur fiskræktarstöðvarinnar á Húsatóttum og ýmsar gjár og holur þar við ströndina.

Í HSH-1 var 13-15 m þykkt vatnslag efst. Hiti í því var 30-35°C, viðnám um 5 ohmm en klóríð hefur verið greint 460 ppm Cl⁻. Skil voru skörp milli þess og vatnsins sem undir er. Það vatn var um 42°C efst en kólnaði svo niður á við. Frá 50 m undir vatnsborði og niður á rúmlega 80 m dýpi undir vatnsborði var hiti stöðugur, um 36 1/2°C. Viðnám í því vatni var alls staðar um 0,23 ohmm. Lítil munur var á efnasamsetningu vatns efst og neðst í þessu lagi (18 m undir vatnsborði og tæpa 60 m). Klóríð var um 14.500 ppm Cl⁻, sem samsvarar u.þ.b. 75% sjó. Þetta er meira klóríðinnihald en í jarðhitapæklinum úr borholum HSH-2 - HSH-4. Efnasamsetning er svipuð og í sjóvatni nema hvað kalsíum (Ca²⁺) er meira og kísill er til staðar í töluverðu magni (um 100 ppm SiO₂). Súlfat (SO₄²⁻) er heldur meira en í 75% sjó og kalíum (K⁺) minna.² Hér skal ekki⁴ getum að því leitt, hvernig efnasamsetning þessi er tilkomin. Hún líkist í mörgu blöndu af sjó og úrkomu sem hafi aðlagð sig ríkjandi hita (kísilstyrkur). Verulegra efnabreytinga er þörf til að ná þessari efnasamsetningu með blöndun sjávar og jarðhitapækils. Athyglisvert er að klóríðstyrkur er því meiri í holum HSH-1 - HSH-4 sem þær eru grynri. Þarna getur átt sér stað suða í berginu sem eykur efnastyrk vökvans; hlutdeild sjávar eykst, þegar ofar dregur, á kostnað hlutdeildar djúpvatns; "ferskvatn" eða sjóblandað ferskvatn getur streymt niður vegna lágs þrýstings á háhitasvæðinu (Snorri P. Kjarafl. 1980). Hvernig svo sem þessu er varið, þá er hitt athyglisvert, að í jaðri háhitasvæðisins er til staðar volgt vatn með efnasamsetningu sem líkist sjóvatni.

Í HSH-7 náði mæling aðeins til efstu 10 m í vatnslaginu. Hiti hækkaði úr 18°C í 28°C niður á við, viðnám mældist 0,5-0,7 ohmm og klóríð var greint rúmlega 7.000 ppm Cl⁻. Efnasamsetning benti til verulegra áhrifa jarðhitapækils þó enn væri nokkuð magnesíum (Mg²⁺) í vatninu og kalíum (K⁺) hefði ekki náð sama hlutfallslega styrk og í pæklinum. Í aðalatriðum er hér sennilega um að ræða blöndu úrkomuvatns og jarðhitapækils (djúpvatns) með nokkrum efnaskiptum við berg við lægra hitastig en er í iðrum háhitasvæðisins. Höfuðmáli skiptir, að við yfirborð er vatn sem ber glögg merki jarðhitapækilsins.

Vatnsborð mun hafa staðið hærra í HSH-1 og HSH-7 en í ferskvatninu umhverfis háhitasvæðið en þar er aðeins um stakar mælingar að ræða. Því má svo vera, að heit vatnssúlan yfir háhitasvæðinu sé í jafnvægi við ferskvatns- og sjólagið umhverfis á einhverju vissu dýpi. Neðar getur verið lægri þrýstingur í háhitasvæðinu og jafnvel innrennsli en við yfirborð getur staðarorka vatnslagsins verið meiri yfir háhitasvæðinu en umhverfis það og því átt sér þar stað eitthvert afrennsli. Úrkoma á yfirborði (írennsli) heldur að einhverju leyti við jafnvægi í vatnsborðshæð að ofan en aðstreymi jarðhitapækils (djúpvatn) hefur haldið við jafnvægi niðri í háhitasvæðinu. Það er því sennilegt, að umhverfis háhitasvæðið geti gætt íblöndunar heits eða

volgs vatns í ferskvatnið, sem beri merki sjávar eða jarðhitapækils í efnasamsetningu.

Borhola HSK-1 er næst háhitasvæðinu að norðan. Í holunni eru yfirleitt tvö vatnslög, glögggt aðskilin. Hið efra er aðeins um 2 m á þykkt og vantar stundum. Hiti í því er breytilegur eftir tíðarfari en viðnám oftast um 25 ohmm. Hér gæti verið um lag að ræða sem myndast úr úrkomu nærlendis en einnig gæti það verið aðrunnið. Undir því er vatnið um 13°C heitt hin síðustu ár og viðnám 6-7 ohmm. Vatn þetta hefur farið hitnandi síðan 1977 (um nærri 2°C) en jafnframt því hefur viðnám þess farið lækkandi. Jarðhiti hefur aukist á yfirborði norðaustan á háhitasvæðinu á þessum sama tíma og því alls óvísst að þarna gæti nokkurra áhrifa affallsvatns frá varmaorkuverinu. Klóríðstyrkur í vatni þessu er um 250 ppm Cl⁻ en hefur e.t.v. aukist hin síðari ár. Efnasamsetning bendir til sjávaríblöndunar og einhverra áhrifa jarðhitapækils. Sjór virðist einnig ríkjandi í samsetningu uppleystra efna í vatni í borholu HSK-12. Klóríðinnihald þess var 150-160 ppm Cl⁻ en hefur sennilega farið lækkandi hin síðari ár en viðnám jafnframt hækkandi. Er ekki að sjá að þar gæti aukinna áhrifa affallsvatns eða afrennslisvatns frá Svartsengi. Borholan nær þó aðeins ofan í efri hluta ferskvatnslagsins.

Í borholu HSK-7 er klóríðstyrkur um og yfir 400 ppm Cl⁻. Er þar naumast öðru til að dreifa en jarðhitaáhrifum, svo langt frá sjó sem holan er. Efnasamsetning bendir til íblöndunar jarðhitapækils og sjóvatns. Miðað við þá tilgátu að eðlilegt ástand ferskvatns á þessu svæði væri 4°C hiti og 50 ppm Cl⁻ klóríðinnihald, þá samsvaraði hitahækkun í 7°C og seltaukning í 400 ppm Cl⁻ nokkurn veginn 3% íblöndun 100°C heits jarðhitavökva með 12.000 ppm Cl⁻ klóríðinnihald. Raunar samsvaraði 2 1/2% íblöndun saltvatns úr HSK-1 í ferskvatn af Lágasvæði vel efnasamsetningu í HSK-7, þó þannig að kalíum (K⁺) og kalsíum (Ca²⁺) þyrfti að auka lítillega en draga eilítið úr magnesíum (Mg²⁺) og súlfati (SO₄²⁻). Þetta eru breytingar í sömu átt og verða frá sjóblöndu til jarðhitapækils og mætti sennilega bera við herra hitastigi en í HSK-1. Vatnið í HSK-7 gæti því hæglega átt ættir að rekja til austurjaðars háhitasvæðisins í Svartsengi. Vegna líklegar straumstefnu gæti hér líka verið um að ræða vatn frá duldu jarðhitasvæði vestan eða norðvestan undir Fagradalsfjalli.

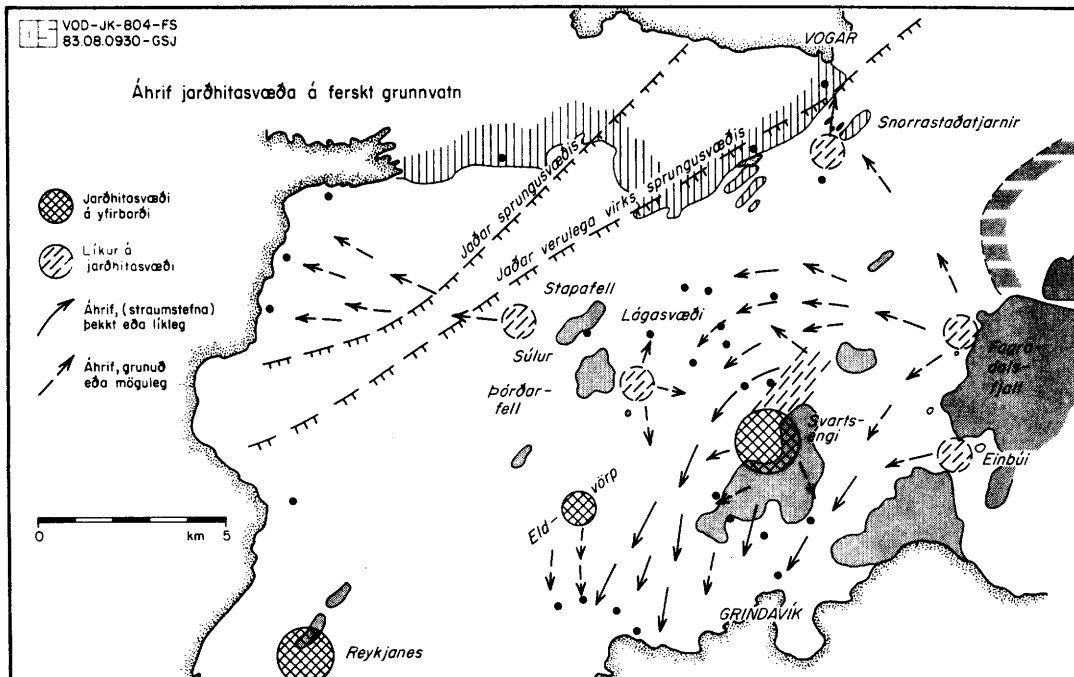
Vatnsból Grindvíkinga í Moldarlágum er undan straumi frá HSK-7. Klóríðinnihald í vatni þar jókst úr 360 ppm Cl⁻ í 580 ppm Cl⁻ á árunum 1974 til 1977. Er hér trúlegast um uppdrátt sjávar vegna ofdælingar að ræða. Efnasamsetning var talin geta bent til íblöndunar jarðhitapækils en áhrif sjávar virðast hafa farið vaxandi. Í vatnsbólunum sunnan undir Þorbjarnarfelli og Hagafelli var klóríðstyrkur á bilinu 130-220 ppm Cl⁻ en hiti í þeim var 10-15°C. Efnasamsetning bendir fyrst og fremst til sjóblandaðs úrkomuvatns. Áhrif jarðhitapækils eru ekki merkjanleg en koldíoxíð-innihald (CO₂) og jafnvel súlfatstyrkur (SO₄²⁻) gætu bent til einhverra áhrifa jarðhitagasa. Hitastig er 5-10°C herra en vænta mætti í hreinu úrkomuvatni en er breytilegt, sem bendir til staðbundins uppruna. Stafrí hitahækkunin af íblöndun 100°C heits jarðhitavatns, þá benti seltuaukning (úr 50 ppm Cl⁻ í úrkomu) til jarðhitavatns með 800-3.400 ppm Cl⁻. Vegna efnasamsetningar væri þar vart öðru til að dreifa en upphitaðri sjóblöndu við jaðar jarðhitasvæðisins og þá væntanlega inni undir Þorbjarnarfelli. Grunnvatnsstraumur liggur því naumast suður af háhitasvæðinu, affallsvatns verður þar sennilega ekki vart og "ferskvatnið" er af staðbundnum uppruna.

Í gjánum í Tóftakrókum var klóríðinnihald oftast 200-250 ppm Cl^- , 240 ppm Cl^- var algengt. Hití var um $7\frac{1}{2}^{\circ}\text{C}$, um 1°C lægri vestast (í Hrafnngjá) en nokkuð breytilegur. Efnasamsetning bendir eindregið til íblöndunar sjóvatns sem næmi um 1% miðað við klóríðstyrk. Samfara lækun hita lækkar viðnám oft en það þýðir að selta eykst. Þessar breytingar er ekki hægt að skýra með íblöndun úrkomu. Sú skýring kemur til greina að þarna mætist tveir grunnvatnsstraumar sem ýtast á. Sá vestari (frá Eldvörpum ?), sé kaldari og saltari en sá austari (frá Svartsengi ?). Hjá fiskeldisstöðinni á Húsatóttum er "ferskvatnslagið" 15-17 m þykkt og $7\frac{1}{2}^{\circ}\text{C}$ heitt. Undir því er sjóvatn, um 10°C heitt, en e.t.v. kólnar í því lagi fyrir neðan 70 m dýpi. Salts vatns hefur orðið vart á 22 m vatnsdýpi í gjá í Tóftakrókum. Í gjám og lónum við sjóinn (Járngerðarstaðatjörn, Bjarnargjá o.fl.) gætir seltu frá sjávarföllum og er klóríðinnihald þar víða yfir 1.000 ppm Cl^- (Laufey B. Hannesdóttir 1975).

Upplýsingar eru harðla rýrar um þykkt "ferskvatnslagsins" á affallsvæðinu. Jarðviðnámsmælingar duga þar verr en annars staðar á þessum slóðum, vegna hás efnainnihalds og lágs viðnáms í vatninu. Þó má nær fullvíst telja að grunnvatnsstraumur falli ofan til Grindavíkur milli Hagafells og Húsafjalls. Kemur sá straumur m.a. fram í Hópinu þar sem höfnin er nú.

Þorbjarnarfell er sennilega lítið lekt og sama gæti gilt um fellin austan háhitasvæðisins. Milli Þorbjarnarfells og Þórðarfells - Eldvarpa fellur annar grunnvatnsstraumur ofan til Staðarhverfis og Arfadalsvíkur. Þar fer sennilega þorri alls affallsvatns og affrennslisvatns frá Svartsengi, að svo miklu leyti sem það blandast ferskvatni. Um þetta er þó lítið vitað því að vatn hefur hvergi verið aðgengilegt vestur og suðvestur frá Þorbjarnarfalli.

Engin sérstök rannsókn hefur verið gerð á vatnafari ferskvatns kringum Eldvörp eða utar á skaganum. Nokkrar jarðviðnámsmælingar þar hafa gefið ábendingar um þykkt ferskvatnslagsins en enn fleiri hafa þó reynst vera margræðar. Veldur því sennilega m.a. sundurleit jarðgerð. Verið getur einnig að einhvers jarðhitavotts gæti þar þó þess verði lítið vart á yfirborði og jarðviðnámsmælingar bendi ekki glögg til jarðhita fyrr en á fleiri hundruð metra dýpi (Lúðvík S. Georgsson 1979). Óbeinar upplýsingar um jarðvatn og jarðgerð (sjá viðauka II, V og VI) benda þó til þess að þar muni vera grunnvatnsbunga suðaustan undir Þórðarfalli og Sandfellshæð. Ylli hún væntanlega grunnvatnsrennsli ofan til Tóftakróka, hvernig svo sem samskipti þess og grunnvatnsstrauma suðvestur af Lágasvæði og frá háhitasvæðinu í Svartsengi eru. Þó er eftirtektarvert að kaldara grunnvatn virðist vera vestast í Tóftakrókum en austar og þó síst ósaltara.



MYND 4-6 Áhrif jarðhitasvæða á ferskt grunnvatn (Jarðhitamengun í ferskvatni)

Á mynd 4-6 eru sýnd hugsanleg áhrif þekktra eða líklega jarðhitasvæða á ferskvatnið.

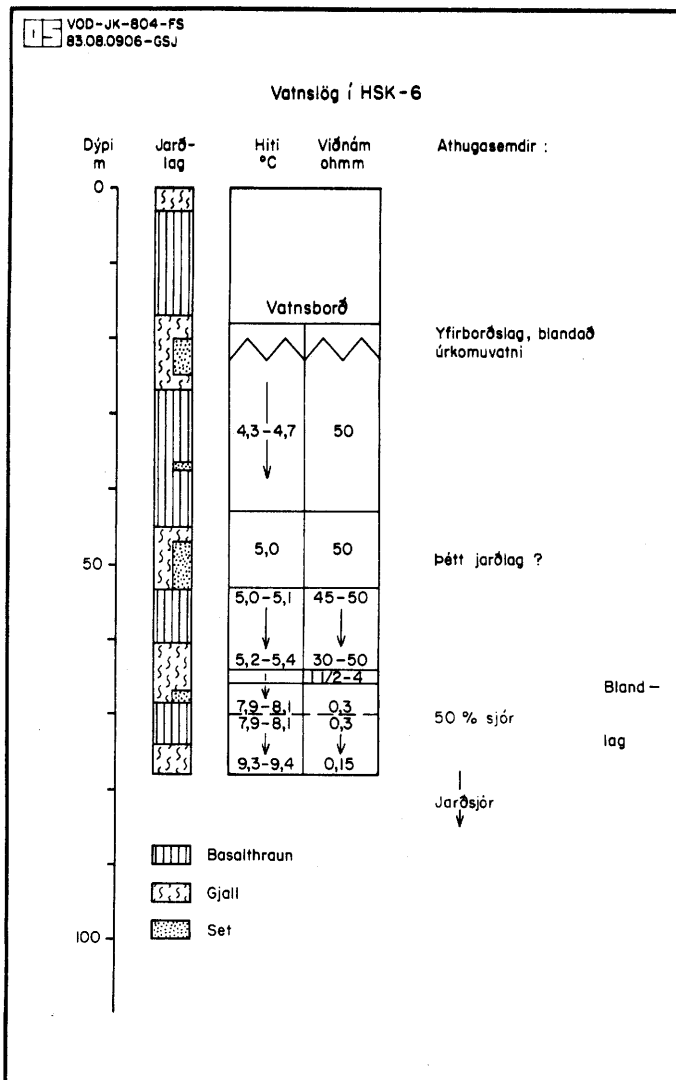
4.4 Lagskipting í ferskvatnslaginu

Tvær holur hafa verið borðar niður í gegnum ferskvatnslagið: HSK-6 og HSK-11. Auk þeirra nær borholan við Seltjörn a.m.k. hálf leið niður í gegnum ferskvatnslagið. Heilfóðraðar holur eru í gegnum það við Stapafell og á Njarðvíkurheiði en þær veita ekki upplýsingar um ástand grunnvatnsins nema um hita og það þó með fyrirvörum. Við yfirborð ferskvatnslags er írennsli kalds ($3-5^{\circ}\text{C}$) og seltusnaúðs (50 ppm Cl^{-}) vatns (úrkomu) en undir því er hlýrri sjór (yfir 8°C , $19.000 \text{ ppm Cl}^{-}$). Yfirleitt fer hiti hækkandi þegar neðar kemur og selta eykst eitthvað um leið. Milli sjávar og ferskvatns er eins konar blandlag þar sem selta eykst ört niður á við í fyrstu en síðan dregur úr aukningunni, uns komið er í hreinan sjó. Hitastigull er oft hár í blandlagi þessu, mun hærri en í ferskvatnslaginu fyrir ofan og sjóvatnslaginu fyrir neðan.

Skil eru skörp milli ferskvatns og blandlags í HSK-6. Á 46 m dýpi undir vatnsborði fer viðnám að falla (selta eykst) og fellur á 2 m um 9/10 eða meira. Komið er niður í 50% sjó á 52-53 m dýpi undir vatnsborði og á holubotni, 60 m undir vatnsborði, er komið í nær hreinan sjó. Hiti hækkar um 4°C á 14 m í blandlaginu en um eða innan við 1°C á 46 m í ferskvatnslaginu. Skilin eru ógleggrí í HSK-11.

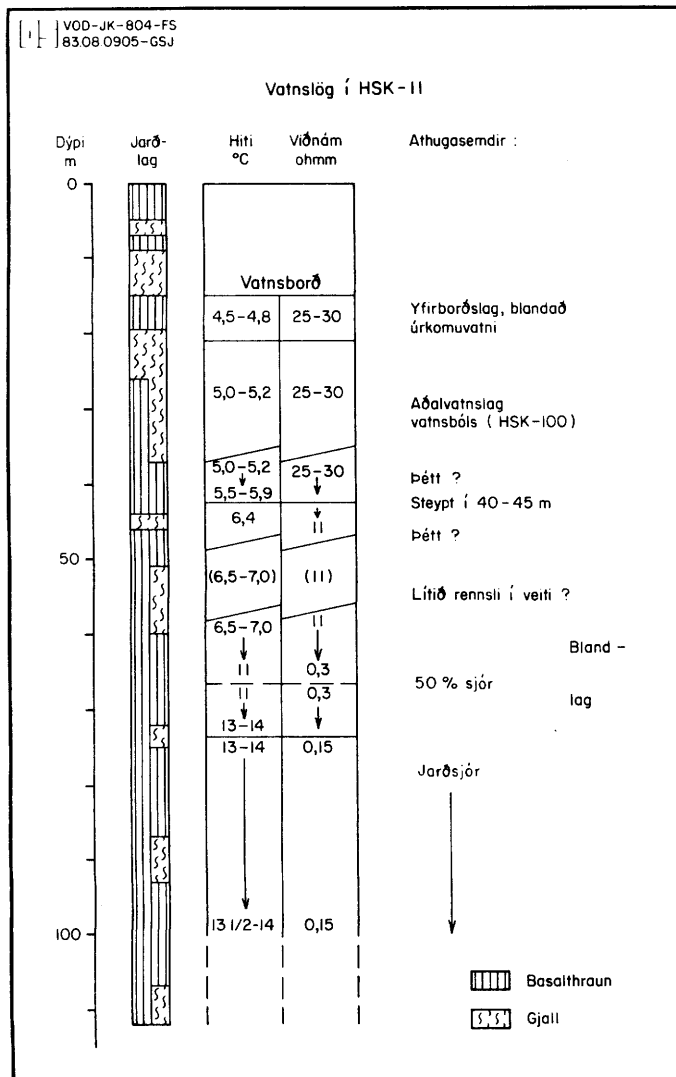
Viðnám fer að snarlækka á 39-45 m dýpi undir vatnsborði en þó hvergi nærri svo bratt sem í HSK-6. Niður í 1/10 er það komið á 48-49 m dýpi eða svipað og í HSK-6. 50% sjóblanda er á 51-52 m dýpi undir vatnsborði og í hreinan sjó er komið á 58-59 m dýpi, sem er einnig sambærilegt við HSK-6. Jarðgerð mun hafa sín áhrif á þennan mun á efri hluta blandlagsins í holunum. Ofan við blandlagið í HSK-6 eru vel lek lög en þétt í HSK-11.

Yfirhöfuð ræður jarðgerð mestu um lagskiptingu ferskvatnslagsins (myndir 4-7 og 4-8). Í yfirborðslagi í báðum holunum gætir úrkomu og annarra þátta. Lag þetta er allt að 5 m þykkt í HSK-6 en allt niður á 12 m dýpi í HSK-11. Lekt lag, sennilega með láréttum vatnsstraumi, er neðan 2-3 m undir vatnsyfirborði í HSK-6. Lek lög eru einnig nærri yfirborði í HSK-11 en lóðréttar opnunar í Gjá í Lágum, 12 m frá, gætir þar þó sennilega meira. Veldur það líklega því, hvað yfirborðslagsins getur gætt langt niður í HSK-11. Síðan dæling hófst úr Gjánni (HSK-100) hefur þykkt þessa lags verið stöðug um 6 m. Ástand þess hefur einnig verið stöðugra síðan.



MYND 4-7 Vatnslög í HSK-6

Undir yfirborðslaginu í HSK-6 er u.p.b. 20 m þykkt vatnslag sem samsvavar sámilega leku jarðlagi í holunni (mynd 4-7). Viðnám (selta) er frekar stöðugt hverju sinni í þessu lagi en hefur verið með hærra móti (minni selta) síðan 1979. Hiti hækkar eilítið niður eftir lagi þessu og hefur verið 4 1/2-5°C. Á næstu 10 m er frekar þétt jarðlag og hafa hiti og viðnám verið frekar stöðug á því dýpi hverju sinni. Gæti þarna verið lítilsháttar lóðrétt streymi í holunni þegar þannig stendur á. Neðan þess eru frekar lek jarðlög (á 35-45 m dýpi undir vatnsborði). Hiti hækkar þar um 0,2-0,3°C niður lagið og viðnám fer heldur lækkandi. Við dæluprófanir og annað umrót í HSK-5 hefur vatn lyfst upp holuna. Við það hækkaði hiti (um 0,5-1,0°C) en viðnám lækkaði (um 1/3 eða meira). Gætti þessara breytinga allt til yfirborðs. Ástand vatns var næstum komið aftur í fyrra horf eftir 2 mánuði en var komið alveg í fyrra horf eftir 5-6 mánuði. Miðað við að truflanir þessar stafi af uppdrætti vatns umhverfis HSK-5, vatn það reki síðan lárétt í vatnslaginu undan straumi og meðalrennslis hraði þarna sé um 1 m/dag (Jón Ingimarsson og Jónas Elíasson 1980) þá hefur áhrifa dælingar og annars umróts í HSK-5 gætt um 200 m upp í grunnvatnsstrauminn svo merkjanlegt sé á ástandi grunnvatnsins.



MYND 4-8 Vatnslög í HSK-11

Lagskipting er einnig glögg í HSK-11. Skil hafa verið nokkuð skörp á milli sumra þeirra og á stöðugu dýpi. Síðan farið var að dæla að marki úr HSK-100 (Gjá í Lágum) hafa þau yfirleitt hækkað um 2 m. Þynning alls ferskvatnslagsins um 2 m samsvaraði 5 cm niðurdrætti. Slíkum niðurdrætti er von á þegar jafnvægi verður komið á, því að um 300 l/s vatnstaka er talin munu valda 10-12 cm niðurdrætti umhverfis vatnsbólíð (Jón Ingimarsson og Jónas Elíasson 1980). Lyfting virðist þó vera öllu minni en 2 m á 50% sjóblöndufletinum svo að jafnvægi er sennilega ekki enn þá náð. Sú lyfting sem vart verður við er sennilega aðdragandi slíks jafnvægis og þarf því síður en svo að þýða að óæskilegur uppdráttur sjávar sé yfirvofandi. Í lýsingum vatnslaganna hér á eftir er að mestu miðað við ástand fyrri hluta árs 1979.

Undir yfirborðslagi er vatnslag sem nær niður á 20-22 m dýpi undir vatnsborði (mynd 4-8). Því samsvara lek jarðlög og er að öllum líkindum verulegt vatnsstreymi í þessu lagi. Hiti hækkaði örlítið í því, eftir að dæling úr gjá hófst að marki og er nú oftast um 5,0°C. Viðnám er mjög stöðugt (um 28 ohmm) en klóríð í vatni úr þessu lagi hefur verið greint 66 ppm Cl⁻. Úr þessu vatnslagi er sennilega tekinn þorri alls vatns sem dælt er úr HSK-100 þó yfirborðsvatnslagið eigi þar líka hlut að máli. Þéttari jarðlög eru niður á u.þ.b. 35 m dýpi undir vatnsborði. Á 30 m dýpi varð að steypa í hrungjarnt jarðlag. Í því mun vera nokkurt vatnsstreymi. Vatn í holunni hefur þar hverju sinni stöðugan hita en selta eykst talsvert niður á við. Er þetta skýrt svo, að hægt streymi sé þarna upp holuna og valdi það seltubreytingum með blöndun en vatnsstraumurinn utan við steypuþéttinguna veiti því stöðugan hita, 6,2-6,4°C. Neðan þéttingar lækkar viðnám og hiti eykst niður á við. Er nokkuð ör hitabreyting úr vatnslaginu á 6-20 m dýpi og í vatnið í þéttingunni undir, sem má túlka svo, að vatnsstraumarnir ofan við 20-22 m og neðan við u.þ.b. 30 m séu mun öflugri en vatnsstreymið í þéttu lögunum þar á milli. Á 36 - 45 m dýpi undir vatnsborði eru jarðlög með nokkra lekt. Þar kom fram vatnslag niður á rúmlega 40 m dýpi sem hafði stöðugan hita og viðnám hverju sinni, oftast um 6,8°C og 11 m. Þetta lag hefur verið þunnt og óreglulegt síðustu þrjú árin. Slíkt hefur komið fyrir áður og yfirleitt í tengslum við rót eða dælingar í HSK-100. Stafar það væntanlega af því að uppstreymi í holunni yfirgnæfir þá það litla lárétta rennsli sem fylgir þessu vatnslagi. Undir þessu lagi tekur blandlagið við.

Svo virðist sem efri hluti blandlagsins (ferskvatnsmegin) fari þykknandi en neðri hlutinn (sjávarmegin) þynnist heldur, síðan vinnsla hófst í HSK-100. Þetta gæti þýtt, að þungamiðja blandlagsins hefði lyfst, þó 50% sjóblöndunarflöturinn hafi lítið sem ekkert hreyfst.

Á 75 m dýpi undir vatnsborði eru sennilega lek jarðlög. Þar eru því vissar líkur á að eitthvert lárétt streymi eigi sér stað í sjólaginu. Ástand vatns (sjávar) á því dýpi gæti því samsvarað ástandi sjávar úti í berginu en lágur hitastigull í sjónum í holunni (1°C á 100 m) gæti bent til lóðréttis streymis í borholunni. Athyglisvert er, að hiti virðist hafa farið stöðugt lakkandi á þessu dýpi a.m.k. síðan í febrúar 1978. Þetta má skýra á ýmsa vegu: Lárétt streymi, sem þrýstibreyting við úrdælingu hafi hrundið af stað, sé smátt og smátt að yfirgnæfa lóðrétt streymi upp eftir borholunni. Aukin hreyfing í blandlaginu, vegna úrdælingar, hrífi í auknum mæli sjó með sér og valdi þannig brattari hitastigli og lægri hita efst í sjónum.

Í borholum HSK-6 og HSK-11 sést það, sem búast mátti við, nefnilega að lagskipting getur verið býsna glögg í ferskvatninu og munur láréttrar og lóðréttrar leiðni mikill. Ef dæma má af vatnslögum í HSK-11 og ástandi vatns úr HSK-100 (Gjá í Lágum) þá tekur HSK-100 vatn fyrst og fremst úr efstu 20-25 m í vatni en vatnslög sem liggja neðar eru að miklu leyti skilin frá af frekar þéttum jarðlögum. Þessi mismikið leku jarðlög valda þeim mun á láréttri og lóðréttri lekt í berginu undir HSK-100 sem væntanlega gerir kleift að taka meira vatn úr vatnsbólunni án hættu á uppdrætti sjávar en ella hefði verið.

5 LÍKANGRUNNUR

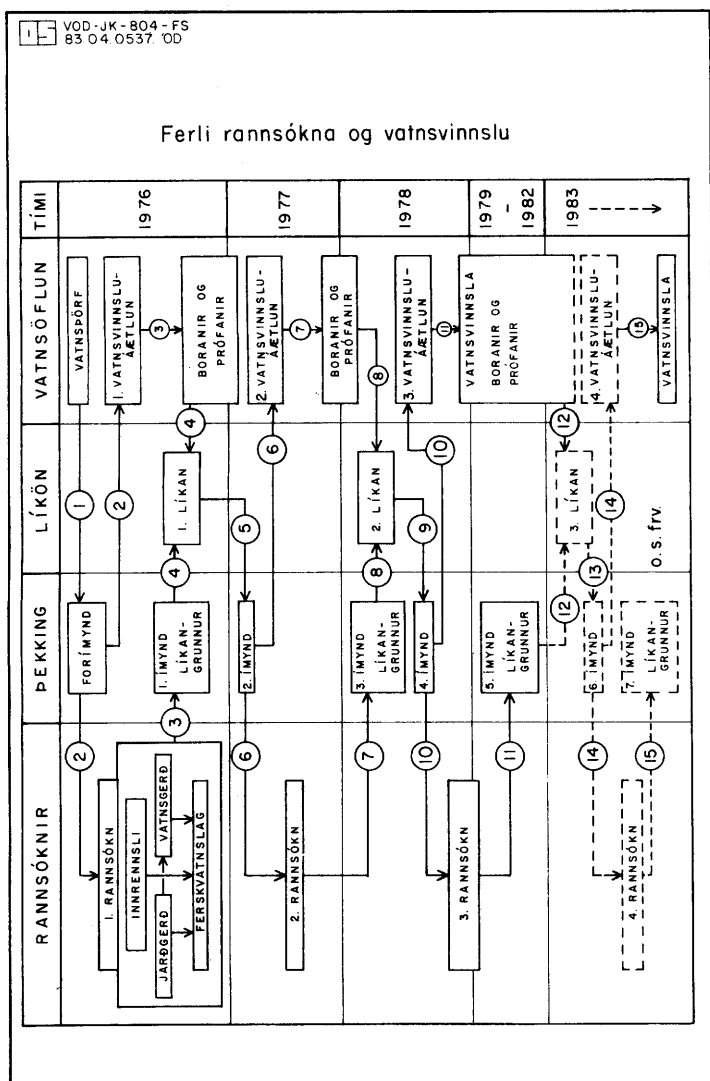
5.1 Hönnun líkangrunns

Jarðvatnslíkan (grunnvatnslíkan) er fræðileg eftirlíking náttúrlegra grunnvatnsaðstæðna (sjá viðauka VII) eftir því sem þekking á þeim aðstæðum leyfir. Þessari þekkingu á náttúrufari má skipta í þrjá meginþætti: Einn þeirra er svo gott sem óbreytilegur en það er jarðlekt (sjá kafla 2). Annar er háður jarðlektinni og þriðja þættinum. Þessi þáttur er lögum (þykkt) ferskvatnslagsins og þá um leið legu grunnvatnsstrauma. Sá þriðji er á Reykjanesskaga svo gott sem óháður jarðlekt en það er írennsli. Þessi síðasti þáttur er breytilegur. Til hans má og telja írennsli af mannavöldum bæði forkvætt (níðurdæling) og andkvætt (úrdæling). Með fræðilegum (tölu- legum) breytingum á írennsli og með mismunandi mati á jarðlekt er hægt að breyta myndinni af lögum ferskvatnslagsins (þykkt) og legu grunnvatnsstrauma (stefnu og rennsli). Í þessum aðgerðum eru líkan- reikningar fólgnar. Vatnajarðfræðilegar og jarðvatnsfræðilegar athuganir veita upplýsingar um jarðlekt og ferskvatnslag en ekki um írennsli sem slíkt. Hér verður því einungis fjallað um fyrstu tvo þætti líkangrunnsins, sem eru jarðlekt og þykkt ferskvatnslags, enda hefur verið fjallað annars staðar um þann þriðja, þ.e. írennslið (Jón Ingimarsson og Jónas Elíasson 1980; Kristján Águstsson 1978).

Jarðfræðiathuganir veita upplýsingar um legu og gerð bergskrokka. Það er svo vatnajarðfræðilegt mat hvernig túlka beri jarðlekt þessara bergskrokka. Svipað gildir um sprungur og lektaráhrif þeirra. Við þessa túlkun má styðjast við hugmyndir um þykkt ferskvatnslagsins en það er að öðru jöfnu því þykkara sem jarðlektin er minni. Þykkt ferskvatnslagsins er svo aftur á móti metin eftir vatnshæðarmælingum í borholum, jarðviðnámsmælingum og ábendingum þeim sem ástand grunn- vatns (hiti, viðnám, efnainnihald) gefur um jarðvatnsbungur og grunn- vatnsstrauma (sjá kafla 2.3).

Ferli rannsókna, þekkingar, líkanreikninga og vatnsvinnslu er sýnt á mynd 5-1. Fyrsta hugmynd (ímynd) um grunnvatnsaðstæður var sett saman 1976 og gert lauslegt jarðvatnslíkan í samræmi við hana (Freyr Þórarinnsson o.fl. 1976). Að sjálfsögðu höfðu áður verið settar fram hugmyndir um grunnvatnsaðstæður (Karl Ragnars og Sveinbjörn Björnsson 1973; Karl Ragnars og Stefán Arnórsson 1974; Stefán Arnórsson o.fl. 1975; Valgarður Stefánsson o.fl. 1976; sjá einnig Jón Ingimarsson og Jónas Elíasson 1980). Þær hugmyndir höfðu vitaskuld þróast nokkuð í tímans rás og samsvara "forímynd" á mynd 5-1. Sú forímynd var lögð til grundvallar rannsóknum 1976 og áætlun um fyrsta áfanga vatns- öflunar (sjá kafla 7). Sem fyrr segir (sjá kafla 1) þá hófst vatns- öflun samtímis rannsóknum af sérstökum ástæðum, þó slíkt sé að jafnaði hvorki eðlilegt né æskilegt. Líkan það sem gert var sumarið 1976 var ófullkomið að gerð og byggt á völtum grunni vegna stöðu rannsókna. Það var til leiðbeiningar um frekari rannsóknir og áætlun um næsta áfanga í vatnsöflun sem einnig varð að framkvæma fyrr en æskilegt hefði verið. Frá því sumarið 1977 og til vors 1978 var unnið að mótnun ímynda af þykkt ferskvatnslags og jarðlekt á rann- sóknarsvæðinu. Þær ímyndir (Freysteinn Sigurðsson o.fl. 1978a) ásamt rannsókn á úrkomu og írennsli og dæluprófunum á vegum Straumfræði-

stöðvar Orkustofnunar (Kristján Ágústsson 1978) voru lagðar til grundvallar jarðvatnslíkani af svæðinu sem Straumfræðistöð gerði 1977-78 og notaði til líkanreikninga 1978 - 79 (Jón Ingimarsson og Jónas Eliasson 1980). Ýmsar rannsóknir voru þá skammt á veg komnar og úrvinnsla rannsóknargagna þó enn skemmrá. Ímyndir jarðlektar og ferskvatnslags hafa því breyst lítillega frá 1977 - 78 svo sem vænta mátti. Þær breytingar eru þó hvernig nærri svo miklar að þær kippa grunninum undan líkani því sem gert var 1977 - 78. Verði hins vegar talin ástæða til að endurskoða líkan þetta og tilheyrandi líkanreikninga, þá ber að sjálfsögðu að byggja á ímyndum þeim af jarðlekt og ferskvatnslagi sem settar eru hér fram í skýrslu þessari en ekki þeim forna líkangrunni sem nú er úreltur (sjá "5. ímynd" á mynd 5-1) (sjá kafla 5.4.).



MYND 5-1 Ferli rannsókna og vatnsvinnslu

5.2 Bergskrokkar í ferskvatnslagi

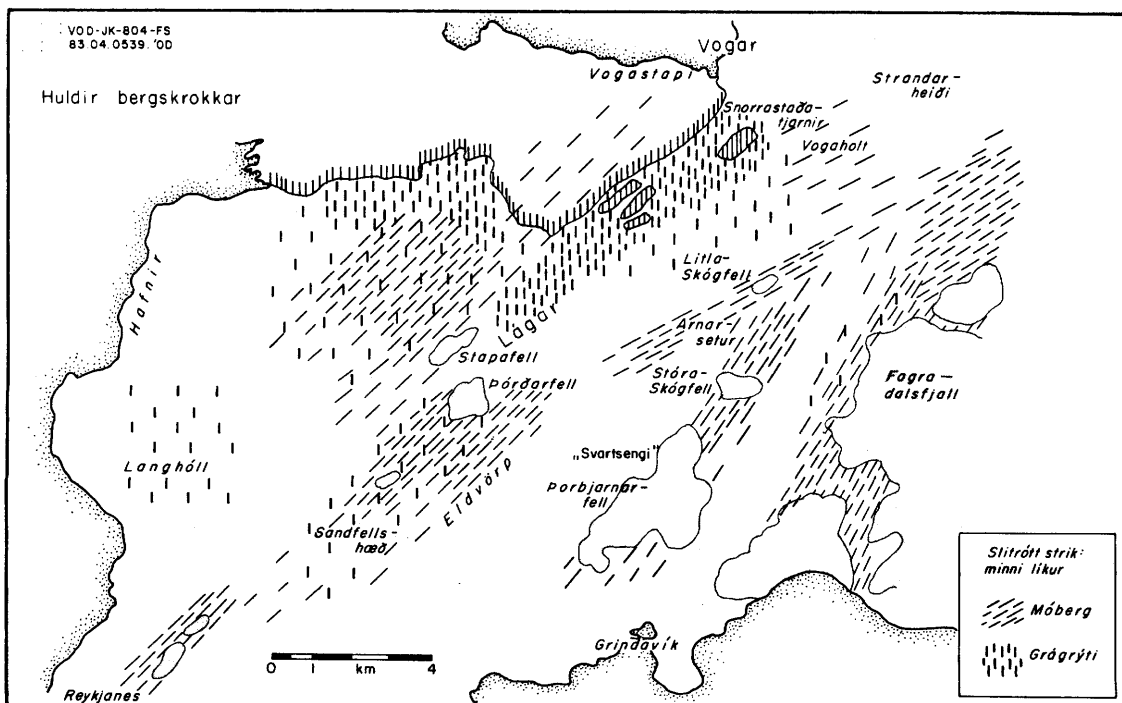
5.2.1 Berglektarflokkar

Svæðið vestan Fagradalsfjalls er að langmestu leyti þakið hraunum en ferskvatnslagið er víðast á 20-120 m dýpi undir yfirborði. Hvað varðar jarðlög í ferskvatnslaginu verður því mest að fara eftir því, hvað ráðið verður af líkum í jarðgerð undir hraununum. Aðferðum við það er lýst í viðaukum I, II og IV en niðurstöðum um heildarmynd jarðgerðar í kafla 3. Sitt hvað má einnig ráða af athugunum á ferskvatnslaginu sjálfu. Þeim athugunum er lýst í viðaukum V og VI en niðurstöður eru dregnar saman í kafla 6.

Upplýsingar um jarðgerð undir yfirborðshraunum eru fengnar með rannsóknnum á eftirtöldum þáttum:

1. Kerfisbundin lega gosstöðva (sjá viðauka I og II.1, kafla 3), sjá mynd V.2.-16.
2. Landslag og opnur, þar með taldar borholur (sjá viðauka II.2 og IV), sjá mynd V.2.-18.
3. Jarðviðnám í ferskvatnslagi (sjá viðauka II.3), sjá mynd V.2.-21.

Þessar upplýsingar má svo allar túlka saman. Því fleiri upplýsingaþættir (líðir 1-3 hér að framan) sem benda til tilvistar ákveðins jarðlags á ákveðnum stað og því eindregnari sem ábendingarnar eru, því meiri líkur verður að telja á því að þess háttar bergskrokkar séu raunverulega fyrir hendi á þeim stað. Niðurstöður þessarar samtúlkunar eru sýndar á mynd 5-2. Jarðvatnsstaða á að vera há þar sem vatnspéttari, eldri bergskrokkar (móberg, dyngjumíðjur) eru undir. Grunnvatnsstraumar eiga að renna frekar eftir jarðvatnslögðunum en þar má þá frekar búast við stöflum af ungum hraunum.

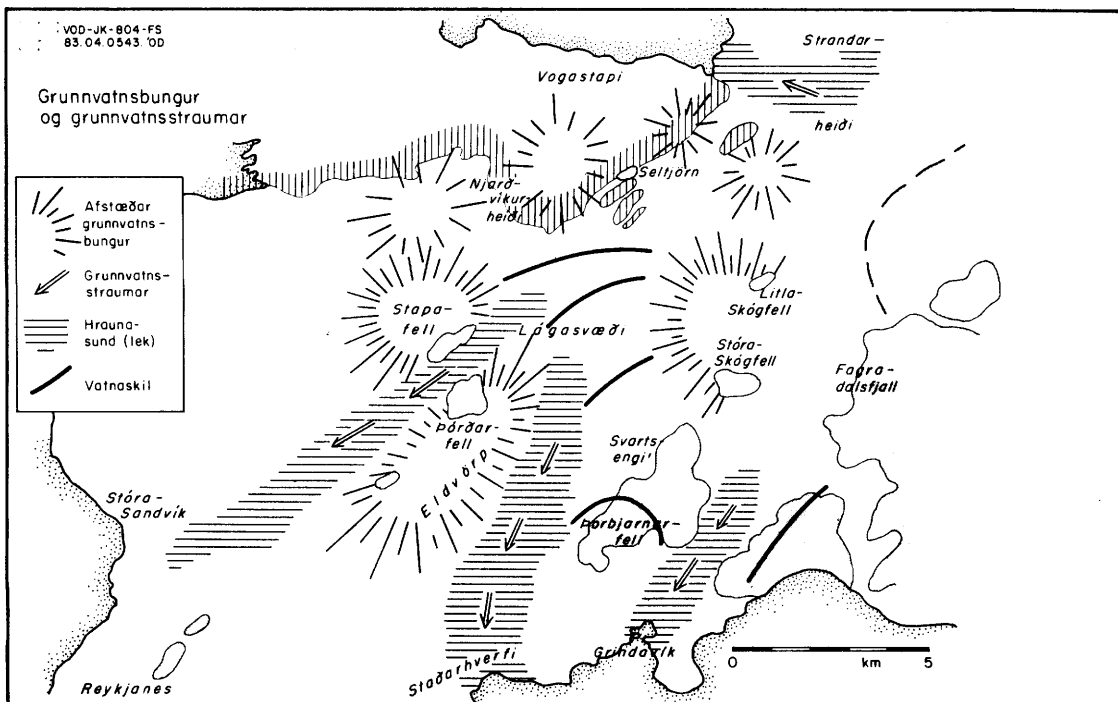


MYND 5-2 Huldur bergskrokkar

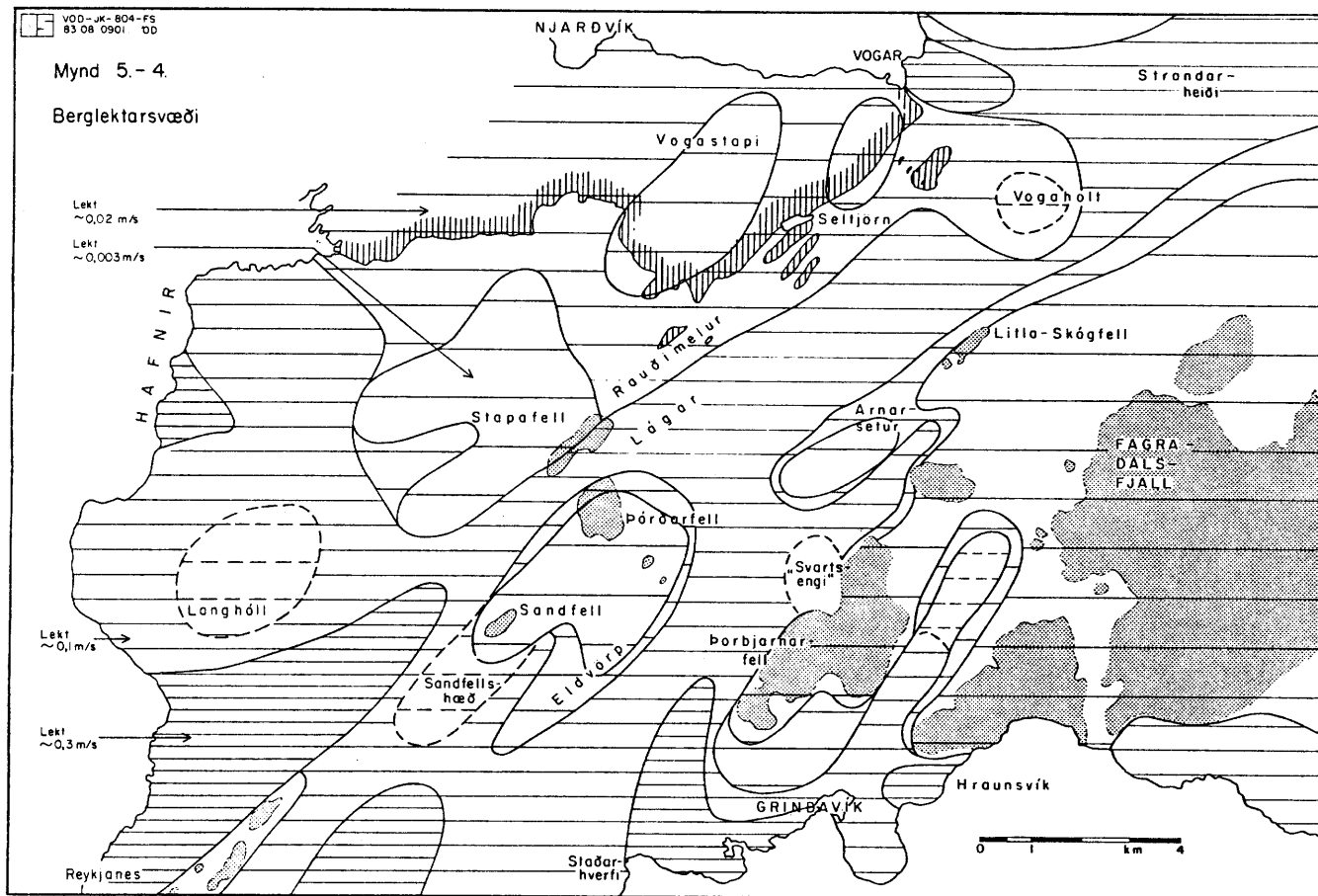
Upplýsingar um jarðvatnsbungur og grunnvatnsstrauma eru tvenns konar:

1. Vatnsgerðir og vatnasvæði (sjá viðauka V og kafla 4), sjá mynd V.6-1.
2. Þykkt ferskvatnslags (sjá viðauka VI og kafla 4), sjá mynd V.6-4.

Þessar upplýsingar má einnig túlka saman. Sú samtúlkun er sýnd á mynd 5-3. Hún gefur ábendingar um jarðlekt en það er túlkunaratriði, hvers konar bergskrokkar valdi þessari jarðlekt. Ábendingar þær sem grunnvatnsrennsli og þykkt ferskvatnslags veita má svo hafa til hliðsjónar við að meta hvort huldur bergskrokkar muni sennilega fylla í vatnslagið eða hvort vatnslagið standi að einhverju leyti í lekum hraunum. Með tilliti til bergskrokka í ferskvatnslaginu má skipta berggrunni þeim sem ferskvatnslagið stendur í upp í berglektarsvæði. Við þessa skiptingu og flokkun svæðanna eftir berglekt má einnig, og á, að taka mið af niðurstöðum líkanreikninga (Jón Ingimarsson og Jónas Elíasson 1980). Þar er þó á að líta að berglektarkort það sem hér er unnið (mynd 5-4), er endurbót á grunni þeim sem líkanið byggði á. Berglektarkort þetta tekur einnig mið af endurbættum kortum af þykkt ferskvatnslags og grunnvatnsrennsli sem ekki voru til viðmiðunar við gerð líkansins. Nákvæmnistilling líkansins miðast við þykkt ferskvatnslagsins samkvæmt vatnsborðshæðum í borholum en minna tillit er við gerð þess hægt að taka til grunnvatnshæðar annars staðar (þykktar ferskvatnslags). Líkangrunnurinn frá 1977-78 er því úreltur sem ímynd af berglekt og auk þess á ýmsan hátt ábótavant, eðli sínu samkvæmt. Samt veitir hann, ásamt líkanreikningum, ýmsar upplýsingar sem erfitt eða ómögulegt er að afla öðruvísi eða upplýsingar þær sem hann veitir eru fyllri eða nákvæmari en upplýsingar sem aflað er á annan hátt.



MYND 5-3 Grunnvatnsbungur og grunnvatnsstraumar



MYND 5-4 Berglektarsvæði

Berglektarflokkunin er afstöð. Giska má á sennileg hlutföll milli berglektar hinna einstöku flokka og eins raungildi berglektar. Slíkar ágískanir verða þó aldrei líkt því eins nákvæmar og niðurstöður stillingar líkans. Við gerð líkangrunns 1977-78 (Jón Ingimars-son og Jónas Elíasson 1980) var svæðinu skipt í 4 flokka eftir berglekt. Sams konar flokkun virðist enn þá eiga best við. Oftast eru það ákveðin jarðlög sem ráða berglektinni. Flokkunin er sem hér segir (skrá 5 - 1).

Skrá 5-1.

Berglektarflokkar

<u>Flokkur nr.</u>	<u>Jarðlag</u>	<u>Lekt skv. líkangrunni 1977-78</u>
1.	Opin gjallrík sprungu- og dyngjuhraun í öllu ferskvatnslaginu að kalla	0,3 m/s
2.	Hraun frá nútíma í mestöllu ferskvatnslaginu. Sums staðar eldra og þéttara berg í neðri hluta ferskvatnslagsins.	0,1 m/s
3.	Hraun frá nútíma aðeins í litlum hluta ferskvatnslagsins, annars grágrýti eða móberg. Vel opið grágrýti. Hreint bólstraberg.	0,02 m/s
4.	Grágrýti og/eða móberg	0,003 m/s

Vera má að bæta ætti við 5. flokknum og þá fyrir "túff"-ríkt (salla-fyllt) móberg og sum gígsvæði grágrýtisdyingjanna. Það er þó vart til-efni til þess, fyrir en grunnvatnslíkan af svæðinu verður endurskoðað.

Endurmat á hæð grunnvatnsborðs (kafli 4.1 og viðauki VI) benda til þess að munur sé meiri á berglekt í lekustu flokkunum og þeim þéttustu en hér er talið. Í sömu átt kann að benda að sprungulekt er sennilega eitthvað minni á lekustu svæðunum en haldið var (sjá kafla 5.3 og viðauka V.3-1). Til að halda sömu jarðlekt og ráð var fyrir gert í líkangrunninum verður því berglekt að vera meiri en fyrir var talið.

5.2.2 Berglektarsvæði

Berglektarkort af utanverðum Reykjanesskaga er sýnt á mynd 5-4. Hér á eftir verður lýst stuttlega hugmyndum þeim, sem nú eru um bergskrokka í ferskvatnslaginu og berglekt af þeirra völdum. Jafnframt verður dregið á helstu breytingar frá fyrra líkangrunni. Sem fyrir segir, þá eru þær breytingar litlar og er svo að sjá sem sannverðuglega hafi tekist til með ágiskanir um líkangrunninn 1977-78. Verður þó raunar að játast að það var og er meira að þakka getspeki höfundar þess þáttar líkangrunns (höfundur þessarar skýrslu) heldur en gögnum þeim sem styðjast mátti við.

Líklegt má telja, að grágrýtisskildir Vogastapa og Háaleitis nái eitthvað inn undir Sandfellshæðarhraun. Þar sem land er lágt við sýnilegan jaðar grágrýtisins, m.a. vegna landsígs, þá má búast við því að grágrýtið nái víða ofan í ferskvatnslagið. Undir grágrýtinu taka við enn eldri hraunlög, að því er helst verður ráðið af borskýrslum af Suðurnesjum. Þau eru væntanlega frekar vatnspétt. Þess hefur verið getið til að gosstöð grágrýtisdyingjunnar á Vogastapa hafi verið við Grímshól (Jón Jónsson 1978; Freysteinn Sigurðsson í Freyr Þórarinnsson o.fl. 1976 að ábendingu Jóns Jónssonar). Til suðvesturs

frá honum teygir sig háviðnáms svæði en þau virðast á þessum slóðum einkenna dyngjur og þó einkum miðju þeirra (sjá viðauka II.3). Er raunar athyglisvert að háviðnáms svæðin teygjast SV-NA, í almanna gosprungustefnu á þessum slóðum þó gosstöðvar dyngjanna séu haldnar vera í einu opi. Þess er hér getið til, að þessu háviðnáms svæði fylgi meiri vatnspétting en annars staðar í og undir grágrýtinu.

Giskað hefur verið á að gosvirkni kynni að hafa verið á SA-brún Vogastapa (Freysteinn Sigurðsson í Freyr Þórarinnsson o.fl. 1976). Þar virðist vera afstæð jarðvatnsbunga sem valdi straumaskilum (sjá mynd 5-3). Við stillingu grunnvatnslíkans 1978 reyndist þörf á vatnspéttum reit einmitt þarna. Hníga því líkur að því að á þessum slóðum séu jarðlög í ferskvatnslagi harðla vatnspétt.

N, NV og V frá Stapafelli benda gosstöðvakerfi, landslag og jarðviðnáám til þess að dyngjumiðjur eða móbergslög séu undir Sandfellshæðarhrauni. Mikil þykkt ferskvatnslags bendir til þess sama. Jarðviðnáám bendir frekar til móbergs en grágrýtis en þar getur að einhverju leyti verið um staðbundnar truflanir að ræða vegna dulins jarðhitasvæðis V frá Stapafelli. Hér eru allar líkur á frekar vatnspéttum jarðlögum í ferskvatnslaginu að aldri til talsvert eldri en frá nútíma.

Undir Langhólsvdyngju gæti verið eldri dyngja bæði vegna legu hennar í goskerfinu og vegna landslags. Aðrar ábendingar eru ekki fyrir hendi. Þó kynni að hafa átt sinn þátt í myndun hins sérkennilega brotabeltis í svokallaðri Kinn, sunnan undir Langhól, að norðan og ofan við brotabeltið hafi Langhólshraun hvílt á föstu bergi en sunnan og neðan við á þykkri sandfyllu. Jarðvatnsbunga er sennilega undir Langhól en lögun strandarinnar gæti átt sinn þátt í henni. Það eru því ýmsar ábendingar um frekar vatnspétt jarðlög undir Langhóli en þó ekki eindregnar.

Breytingar á líkangrunni á NV-hluta svæðisins eru þær helstar, hvað berglekt varðar, að gert er nú ráð fyrir minni berglekt NV frá Stapafelli en áður var en í þess stað meiri lekt út undir Njarðvíkur; lekt "sund" N af Seltjörn er talið vera þrengra en fyrr og þétt berglög á SA-brún Vogastapa vestar; frekar lítil lekt er nú hugsanlega talin vera undir Langhóli. Þessar breytingar hafa engin meiri háttar áhrif á Lágasvæðið. Jarðlög í Vogastapa og Njarðvíkurheiði halda eftir sem áður uppi hárrí grunnvatnsstöðu NV við Lágasvæðið og afmarka það þannig á þá hlið.

Breytingar hafa litlar orðið á SA-hluta svæðisins. Talið er nú sem áður að Fagradalsfjall og fellin upp af Hraunsvík myndi samfelldan móbergsskrokk, e.t.v. með grágrýtislögum inni á milli. Eins eru fellin upp og norður frá Grindavík talin mynda samfelldan móbergsfjallgarð, a.m.k. norður fyrir Stóra-Skógfell. Líkur eru nú taldar á að sund fyllt hraunum, sé milli Hagafells-Sýlingarfells og Fagradalsfjalls. Að norðvestan endar það e.t.v. við dyngju- eða stapamyndanir sem e.t.v. teygja sig út undan NV-horni Fagradalsfjalls en væru þó tengdar því að uppruna. Milli Stóra-Skógfells og Fagradalsfjalls er sennilega einhvers konar afstæð jarðvatnsbunga sem veldur straumskilum vestur frá Fagradalsfjalli.

Vestan undir Fellaröðinni frá Þorbjarnarfelli norður um Stóra-Skógfell er sennilegast alldjúpt sund fyllt hraunum og þá með

mikilli lekt. Sund þetta nær sennilega upp fyrir vestan Stóra- Skógfell en óvíst er hversu mikið lengra það ná til norðausturs. Háhitavæðið í Svartsengi er í viki úr þessu sundi inn á milli fellanna (háhitavæðið er raunar í svokölluðu Illahrauni en Svartsengi sjálft er grastó norðan undir Sýlingarfelli, eða "Svartsengisfelli" að máli Grindvíkinga). Yfirborð ferskvatnslagsins mun hins vegar standa allhátt á háhitavæðinu og yrði sennilega að koma þeirri staðreynd þannig fyrir í líkangrunni að búa til smáreit með mjög lítilli lekt yfir norðvestanverðu háhitavæðinu. Mikil lekt á svæðinu sjálfu, og vestan þess, veldur sennilega miklu um að ekki rennur til austurs né suðurs frá því, svo teljandi sé. Því yrði væntanlega að setja mikið lekar rennur meðfram fellunum og er þá ekki eftir nema norðvesturhluti háhitavæðisins til að halda uppi vatnsborði með "gervilekt".

Gosstöðvakerfi, landslag, jarðviðnám og vatnaskil benda til vatnsþéttari jarðlaga í ferskvatnslaginu vestur og norðvestur af Arnarsetri. Landslag, opnur, jarðviðnám og gosstöðvakerfi benda til þess að móbergshryggur eða stallur liggja eitthvað suðvestur frá Litla-Skógfelli. Hvort þau jarðlög ná saman við hugsanlegan móbergshól vestur frá Arnarsetri skal allt látið ósagt um. Það gæti verið vegna landslags og gosstöðvakerfis en ekkert bendir sérstaklega til að svo sé. Móbergslag þetta við Arnarsetur skildi að vatnsvinnslu- svæðið í Lágum og affallasvæðið umhverfis Svartsengi. Það verndaði þannig hið fyrrnefnda fyrir jarðhitamenguðu vatni af því síðarnefnda.

Vera má að þröskuldur nokkur sé í rennunni frá Lágasvæði og norðaustur í Strandheiði. Grágrýti og eldra berg gæti sem hægst náð í bergfleygum (hörgum, þ.: "Horst") upp í ferskvatnslagið á svæðinu milli Litla-Skógfells og Vogastapa, einkum þó á því norðvestanverðu. Jarðviðnám og landslag benda til þess að móbergshæð gæti leynst undir Vogaholti. Sé svo, þá gæti það verið skýring á því, hversu hátt grunnvatnsborð stendur austarlega í þessari rennu, við Seltjörn, í Snorrastaðatjörnum og í borholu HSK-13. Það eru a.m.k. verulegar líkur á því að Lágasvæðið sé aðskilið frá Strandarheiði af frekar vatnsþéttum jarðlögum. Vatnsvinnsla á öðru hvoru svæðinu hefði því lítil áhrif á vatn á hinu svæðinu.

Að suðvestan er Lágasvæði lokað af að mestu af miklum móbergsskrokkum suður og suðvestur frá Þórðarfelli ef að líkum lætur. Raunar má sjá í þennan þröskuld þar sem er Þórðarfell sjálft og móbergskollar suðaustur frá því. Kerfi það sem virðist mega greina fyrir gerð og legu gosstöðva bendir til þess að gosstöðvar tengdar dyngjurein hafi verið á svæðinu frá Sandfellshæð til Þórðarfells. Sama kerfi bendir til tilvistar móbergshryggjar undir Eldvörpum eða vestan þeirra. Landslag bendir í sömu átt þó ekki sé það mjög eindregið. Opnur benda hins vegar sterklega til tilvistar eldri jarðlaga undir hraununum þarna. Í sömu átt bendir jarðviðnám. Það er hátt, sem gæti bent til tengsla við dyngjur (sjá viðauka 2.3.). Gosstöðvakerfið bendir til þess að þíkrít-eldstöðvar væri að vanta við Þórðarfell og útsuður þaðan. Þar er líka þíkrít-gosstöð frá nútíma (Lágafell) og önnur frá einhverju jökulskeiðinu (Sandfell).

Ástand grunnvatns (hiti, efnainnihald) bendir til þess að einhver vatnaskil verði um þetta svæði og jafnvel að grunnvatnsbunga sé austan til á því. Í sömu átt bendir mat á þykkt ferskvatnslagsins, samkvæmt jarðviðnámsmælingum. Þær eru að vísu margar ótryggar á þessum slóðum og þá sennilega vegna fjölbreytilegrar jarðgerðar og

jarðhitaáhrifa frá Eldvörpum. Líkangerð 1977-78 (Jón Ingimarsson og Jónas Elíasson 1980) bendir hins vegar eindregið til þess að berglektarþröskuldur verði að vera suðvestan við Lágasvæðið til að halda uppi því flata og tiltölulega háa grunnvatnsborði sem þar er. Líkur fyrir tilvist all vatnspéttra berskrokka á þessum slóðum verða því að teljast sérdeilis sterkar.

Lítið verður sagt með vissu um ástandið á Reykjanesi sjálfu. Land er þar lágt yfir sjó ef sýnileg móbergssfell eru undanskilin. Grunnvatnið er því grunnt undir yfirborði og ekki miklar líkur á því að jarðgerð sé þar mjög fábrugðin því sem er á yfirborðinu. Einhverjir móbergsbútar gætu verið á kafi í hraunum í nánd við sýnilegar móbergshæðir. Eins gæti móberg verið til staðar austan á nesinu en allt er það óvíst.

5.3 Höggunarhrif

Tvö fyrirbrigði höggunar hafa mest áhrif á jarðlekt á utanverðum Reykjaneskaga eins og raunar víðast annars staðar: Sprungur og sigs.-

Afleiðingar sigs á þessu svæði eru yfirleitt þær að lekari jarðlög en þar voru fyrir síga ofan í ferskvatnlagið (sjá kafla 3.6 og viðauka III.1). Þessa gætir í berglekt í ferskvatnslaginu (sjá kafla 5.2). Um áhrif sigs þarf því ekki að fjölyrða hér. Bein áhrif höggunar lýsa sér í sprungulekt og misleitni af völdum sprungna (sjá viðauka III og kafla 3.6). Svæðinu hefur verið skipt upp í reiti þar sem sprungulekt er svipuð innan hvers reits. Þessi skipting er þáttur í líkangrunninum. Sambærileg reitaskipting var gerð við samsetningu líkangrunns 1977-78 (Freysteinn Sigurðsson o.fl. 1978a; Jón Ingimarsson og Jónas Elíasson 1980) nema hvað þá var flokkað eftir misleitni-áhrifum í sprungulekt. Miðað var við að sprungulekt væri öll í stefnu misleitninnar (sjá V.III.1). Hennar gætti því sem hreinnar misleitni í jarðlekt. Sú misleitni hafði því að sjálfsögðu sömu stefnu og misleitni sprungulektarinnar en misleitnihlutfallið í jarðlektinni var hlutfallið milli samanlagðar berg- og sprungulektar í misleitnistefnunni annars vegar og berglektarinnar einnar hins vegar (sjá kafla 2.2 og viðauka III.1).

Þetta er ekki alveg rétt. Nokkur sprungulekt verður einnig þvert á misleitnistefnu sprungulektar. Lausleg athugun á dreifingu sprungustefna (viðauki III.1.) bendir þó til þess að sprungulektin sé a.m.k. 5-15 sinnum meiri í misleitnistefnunna (aðalsprungustefnunna) en þvert á hana. Sprungulektin þvert á misleitnistefnunna er því frekar smávægileg samanborið við misleitniáhrifin í misleitnistefnunna. Einhver skekkja verður á kvarðastærð ("skalar") jarðlektar ef ekki er hirt um þessa þverlekt. Sú skekkja getur verið talsverð að hlutfalli en er þó óveruleg samanborið við nákvæmni þá sem berglektina má meta með. Miðað við þann líkangrunn sem hér er lagður grundvöllur að virðist því ástæðulítið að taka tillit til þverlektarinnar og þá þó aðeins að gerð sé nákvæmari höggul greining ("tektónísk analýsa") á svæðinu þ.m.t. frekari sprungumælingar (sjá viðauka III.1).

Á vissum svæðum eru ákveðnar sprungustefnur ríkjandi, en annars staðar skerast fleiri stefnur (sjá kafla 3.6 og viðauka III.2). Á þeim svæðum þarf að meta einhverja meðalgildissprungustefnu. Mörk þessara svæða eru ekki alltaf sérlega skýr og verður í þeim tilfellum að meta, hvar ein stefna er orðin sterkari eða meira áberandi en

önnur. Svæði þessi eru líka takmörkuð að stærð, eða öllu heldur smáð, því að ekki er hentugt að skipta þeim svo smátt niður að hver sprunga hafi sitt svæði. Því eru svæðin afmörkuð með tilliti til þess að frávik frá ríkjandi stefnu séu ekki alltof stór, hvað stefnur einstakra sprungulína varðar (sjá kafla 3.6, viðauka III.2). Þessi dreifing er mjög mismikil eftir svæðum og þó að sjálfsögðu mest þar sem tveir eða fleiri sprunguskarar skerast. Þeir skerast að vísu oft svo reglulega að meta má meðalgildisstefnu þeirra með verulegri nákvæmni. Dreifingin er þá líka regluleg og bendir til þess að þverlekt sé óvanalega mikil á þessum svæðum.

Gildi fyrir sprungulekt eru metin með samanburði við þau svæði þar sem sprungumælingar voru gerðar (sjá viðauka III.1). Þar hafði sprungulektin verið reiknuð þó sitthvað megi ugglaut finna að forsendum þeirra reikninga. Samkvæmt þeim væri meðalsprungulekt á mælisvæðinu nærri 1×10^{-2} m/s (reiknuð sem $0,8 \times 10^{-2}$). Fjöldi sprungna með ákveðna vídd virðist svara máldreifingu ("normal"-dreifingu). Sé svo alls staðar og gildi sömu stuðlar alls staðar um dreifinguna, þá er beint hlutfall á milli sprungulektar og víkkunar (m/km; eða gleikkun, gliðnun) svæðisins. Svo er þó varla. Víðar sprungur virðast vera hlutfallslega tíðari þar sem víkkun er mest. Sprungulektin er því sennilega heldur meiri á þeim svæðum en samsvaraði víkkuninni beint. Þar sem sprungumælingar vantar er helst hægt að bera þau svæði saman við mældu svæðin, eftir því hversu "brotin" þau eru. Þar er um eðlislægt og jafnvel huglægt mat að ræða. Sú náttúrulega stærð sem mestu ræður um að mat er þéttleiki áberandi sprungna sem lýsir sér í fjölda sprungna á lengdareinigu sniðs. Verulega áberandi eru einkum vel opnar sprungur og misgengi. Gildir það jafnt um skoðun á fold og á loftmynd. Opnu sprungurnar eru vatnsleiðandi en misgengin ekki nema þeim fylgi opnar sprungur. Verður að taka tillit til þessa við framangreint mat. Ekki er gott að segja, hversu vel þetta mat samsvarar raunveruleikanum þó ljóst sé að töluverð fylgni muni vera þar á milli.

Sprungulektinni má skipta í flokka rétt eins og berglektinni, sjá skrá 5-2.

Skrá 5 - 2

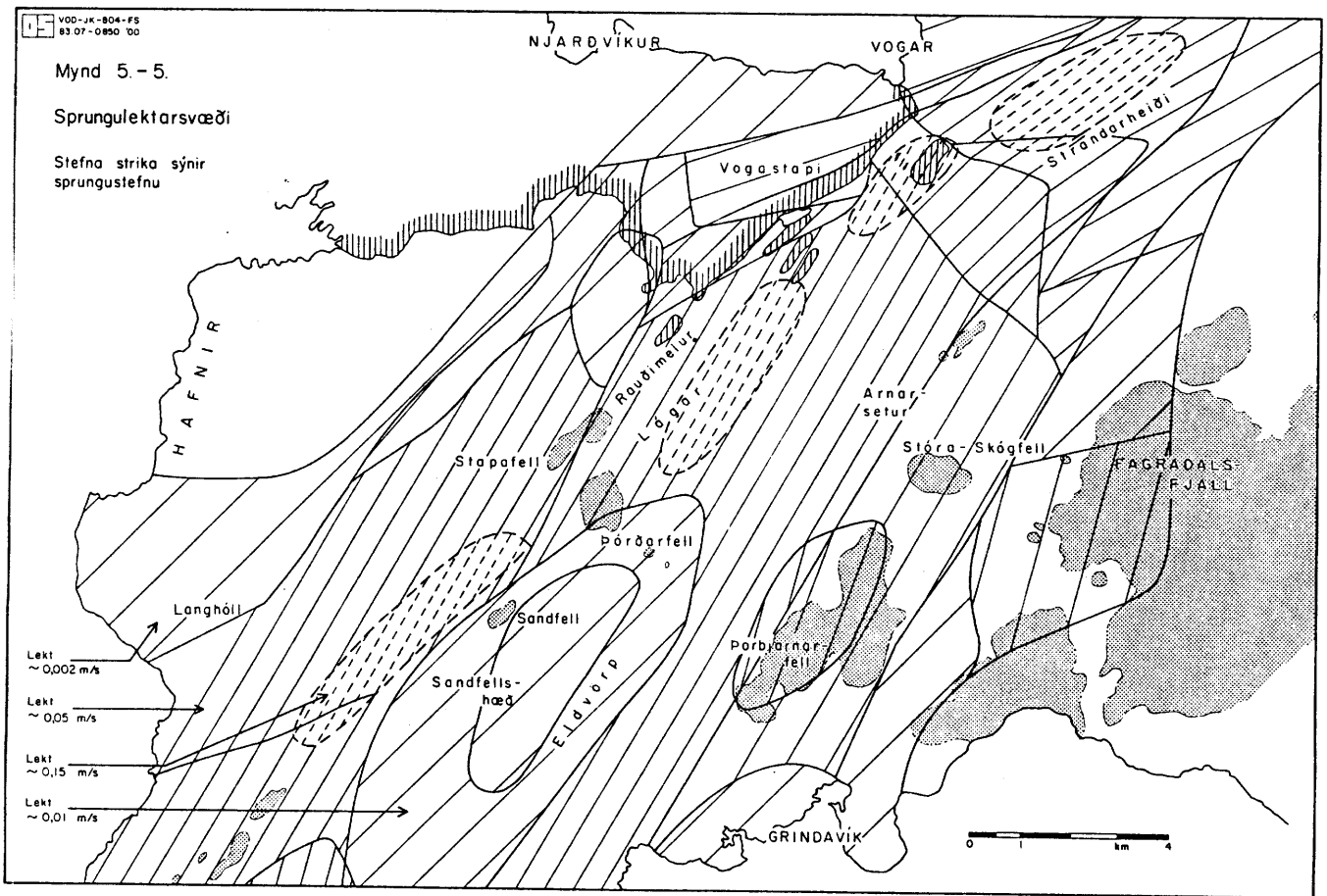
Sprungulektarflokkar

Flokkur:	Sprungulekt:	Víkkun:
Nr.	10^{-3} m/s	m/km
0	0	0
1	2	0,1
2	10	0,5
3	50	2,5

Hvað varðar sprungulekt er sennileg skekkja sem nemur þætti 2 eða jafnvel meir. Möguleg skekkja er það mikil að einungis stærðargráða (e.: "order of magnitude") er rétt. Líkleg skekkja er mun minni hvað varðar gildi fyrir víkkun. Meiri sprungulektar, en samsvarar flokki 3, er að vænta á mjórri rennu úr norðanverðri Strandarheiði, um

Lágar, og vestur undan Sandfellshæð. Gíska má á að sprungulekt sé þar nærri 0,15 m/s (150×10^{-3} m/s) en ekki er vitað hvort renna þessi er samfelld.

Landslega svæða þeirra sem tilheyra hverjum flokki er í grófum dráttum eftirfarandi, sjá mynd 5-5: Flokki 3 tilheyrir Strandarheiði að mestu, Lágasvæðið, sundið milli Þorbjarnarfells og Eldvarpa, sundið milli Sandfellshæðar og Langhóls, og Reykjanes sjálft. Á þessu svæði er berglekt yfirleitt líka mikil. Helsta undantekningin er svæðið norðvestur og vestur frá Stapafelli. Sprungulekt er þar einkum tengd víðum en fáum sprungum. Flokki tvö tilheyrir svæði það sem móbergfellaröðin og gosreinarnar upp af Grindavík eru á, allt norður í Strandarheiði, mestu hluti svæðisins undir Eldvörpum og Sandfellshæð, suðurhluti Vogastapa og Njarðvíkurheiði. Flokki 1 tilheyrir jaðrar sprungusvæðisins og kjarni svæðisins undir Sandfells-hæð-Eldvörpum.



MYND 5-5 Sprungulektarsvæði

Ríkjandi sprungustefnur eru sýndar á mynd 5-5. Til einföldunar eru einkennisstefnurnar valdar á heilum tugum stiga ($N10^{\circ}A$, 20° , 30° , 40° , 50° , 60° , 70°) og láttnar einkenna nokkuð stór svæði þar að auki. Einkennisstefnur þessar sýna um leið aðalstefnu misleitni í jarðlekt. Misleitnin er all margbreytileg þó berglektar- og sprungulektarflokkar séu ekki fleiri en hér eru notaðir. Við gerð líkangrunns 1978 voru áhrif sprungna á lekt flokkuð eftir misleitniáhrifum sprungnanna (misleitnistuðli). Svæðaskipting var svipuð og svæðaskipting eftir sprungulekt. Misleitnistuðla má nú hvarvetna reikna eftir gildum þeim, sem valin hafa verið á berglekt og sprungulekt. Þá kemur í ljós að misleitnistuðlar á svæðum þeim sem hafa áttu misleitnistuðul 3 eru sennilega aðeins $1 \frac{1}{2}$ - $2 \frac{1}{2}$. Því samsvarar að meðaljarðlekt er látin vera 0,13 - 0,16 m/s í stað 0,19 m/s. Þessi munur er ekki mikill, samanborið við mun á gildum lektarflokka (berglekt t.d. 0,02 m/s; 0,1 m/s; 0,3 m/s) en hins vegar verður að hafa hann í huga við endurhönnun líkangrunnsins. Vestur og norðvestur af Stapafelli er misleitni nú talin mjög mikil (misleitnistuðull 3). Það byggist á fáum en víðum sprungum sem sjást á yfirborði jarðar 50 m yfir grunnvatnsborði. Það er því ekki víst að sprungur þessar hafa jafn mikla vídd niðri í vatnslaginu og gæti því sprungulekt verið ofmetin á þessum slóðum. Svipað gildir e.t.v. austur í Strandarheiði. Jaðarsvæðin austan á sprungusvæðinu áttu að hafa misleitnistuðla 2,0 og 1,5 en nú er talið að misleitnistuðlar þar séu víðast nærri 3. Jarðlekt er að sama skapi talin vera heldur meiri en fyrr, sem gæti þýtt að eitthvað minna vatn rynni úr austri inn á leku svæðin á miðju sprungusvæðinu en fyrr var talið. Á ystu svæðunum beggja vegna var reiknað með misleitnistuðli 1,5 og er hann enn talinn vera af svipaðri stærð svo að breytingar eru þar smávægilegar.

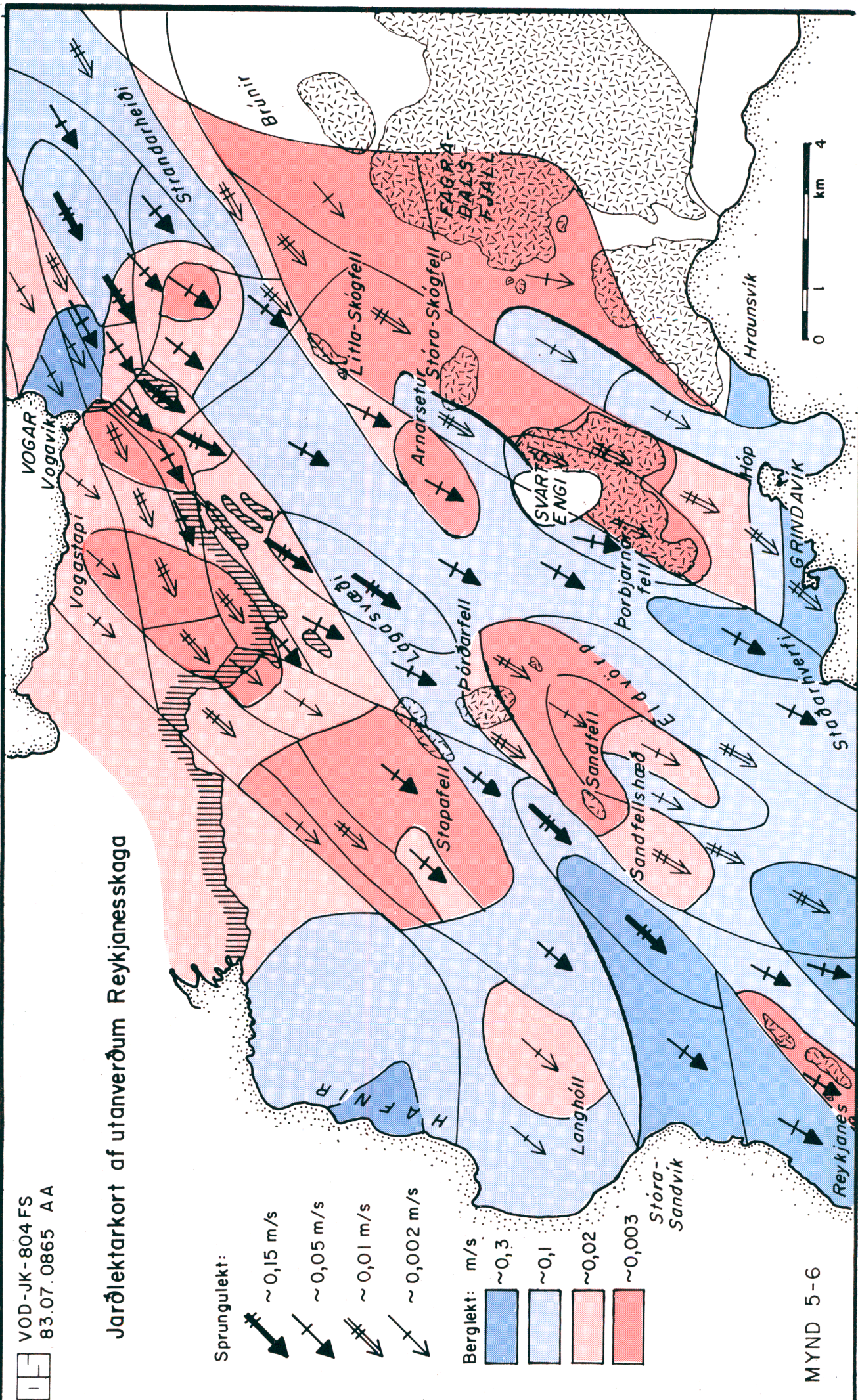
5.4 Jarðlektarkort

Mat á jarðlekt hefur breytst lítið frá gerð líkangrunns 1978. Átla mætti, að mest breyting hefði orðið norðvestur af Stapafelli þar sem sprungulekt er nú talin mun meiri en fyrr. Þar kemur á mótí að berglekt er talin vera þar minni en áður. Jarðlekt reiknast þar að hafa verið talin 3×10^{-2} m/s en reiknast nú $1,2 \times 10^{-2}$ m/s að jafnaði. Jarðlekt er talin heldur minni en áður suðvestur af Þórðarfelli og þröskuldur er nú talinn vera milli Strandarheiðar og Lágasvæðis. Misleitni til suðurs austan við Svartsengi er nú talin vera meiri en áður var. Breytingar þessar eru ekki það miklar að niðurstöður fyrri líkanreikninga verði marklausar né verulega rangar. Hins vegar eru þær það miklar að ástæða er til að endurhanna líkangrunninn ef líkanreikninga skal endurtaka í einhverjum mæli.

Fyrirmynd líkangrunnsins er jarðlektarkort (sjá mynd 5-6). Reitaskipting á berglektarkorti (mynd 5-4) og sprungulektarkorti (mynd 5-5) ræður reitaskiptingu á jarðlektarkortinu. Jarðlekt er reiknuð samkvæmt berglektar- og sprungulektarflokkum. Misleitni er sett samkvæmt sprungustefnum. Reitaskiptingu verður að aðlaga hentugri reitaskiptingu í líkani þegar þar kemur. Sömuleiðis verður að aðlaga jarðlektar- og misleitniflokkun líkani. Þetta hvoru tveggja verður að vera sameiginlegt verk vatnajarðfræðings og reiknimeistara.

VOD-JK-804 FS
83.07.0865 AA

Jarðlektarkort af utanverðum Reykjaneskaga

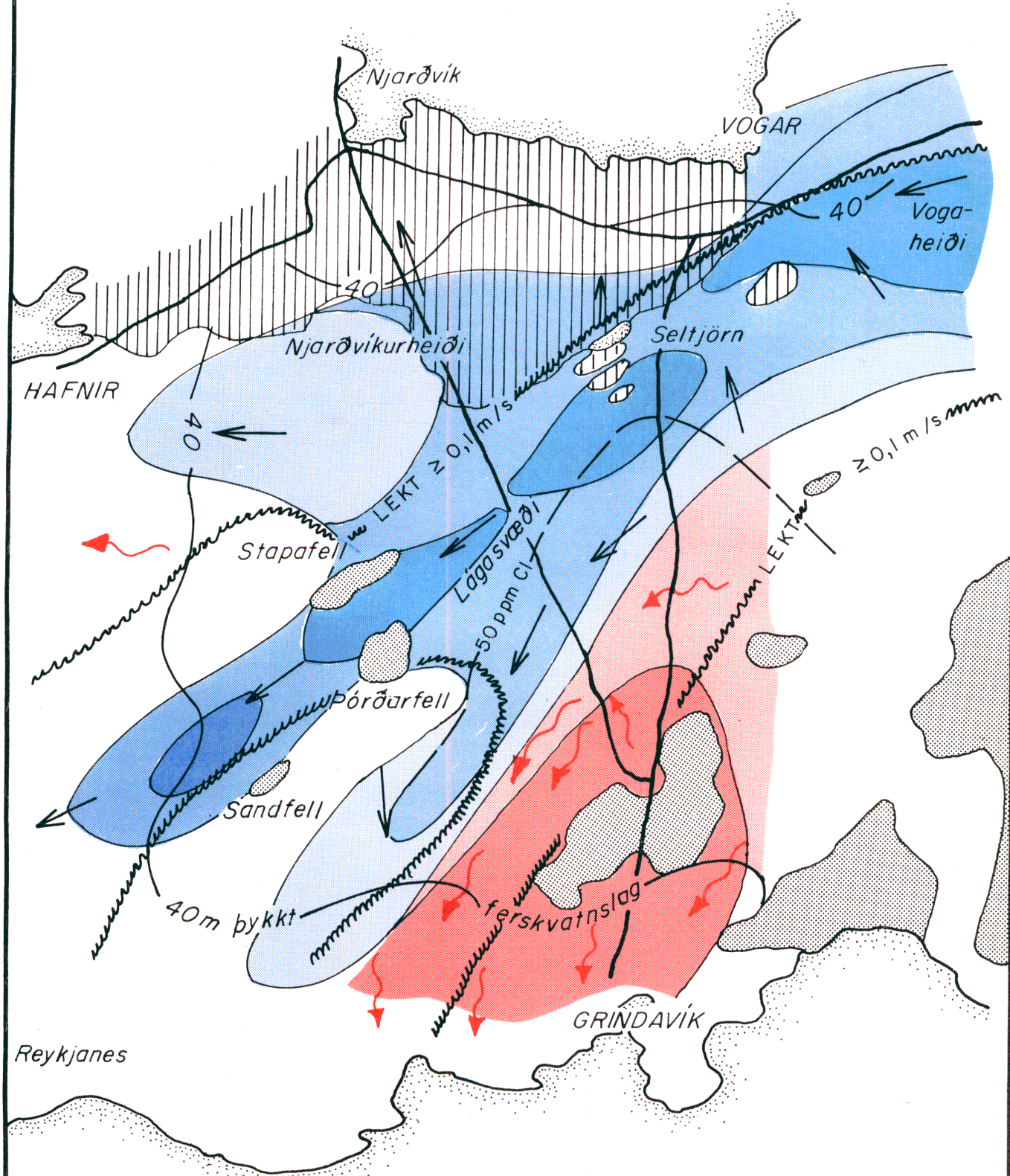


Sprungulekt:










- ~0,15 m/s
- ~0,05 m/s
- ~0,01 m/s
- ~0,002 m/s

Berglekt: m/s

- ~0,3
- ~0,1
- ~0,02
- ~0,003



Vænleg vatnstökusvæði

- | | | | |
|---|---------------------------------|--|----------------------|
|  | Vænlegustu vatnstökusvæði |  | Mikil jarðhitamengun |
|  | Önnur vænleg vatnstökusvæði |  | Minni jarðhitamengun |
|  | Miður vænleg vatnstökusvæði |  | Jarðhitaáhrif |
|  | Grunnvatnsstraumar (ferskvatns) |  | Grágryti / basalt |
|  | Móbergsfjall | | |

6 LÁGASVÆÐI

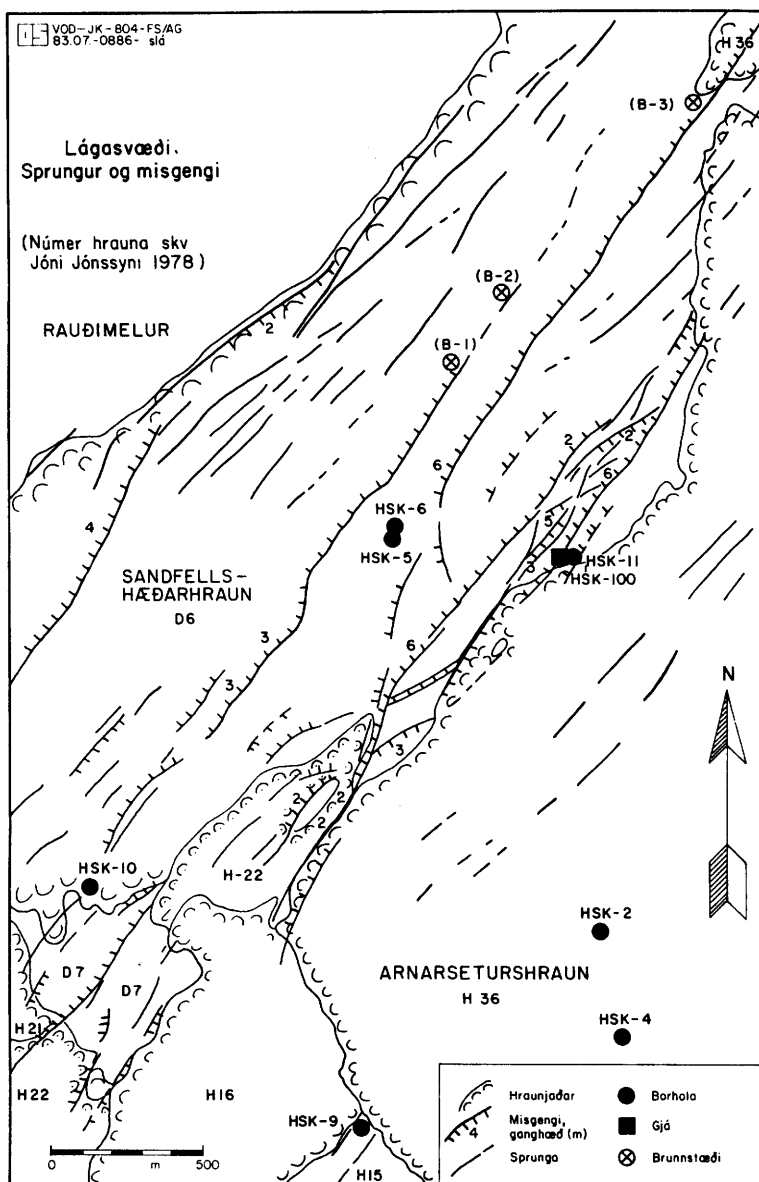
6.1 Yfirlit

"Lágar" heitir milli Arnarseturshrauns og Rauðamels. Samkvæmt kortum er einkum átt við niðurföll og sigdældir í nánd við borholu HSK-10. Af Lágum þessum hefur verið dregið heiti það sem aðalvatnstökusvæði Hitaveitu Suðurnesja hefur verið gefið, **Lágasvæði**. Það markast af Rauðamel að norðvestan, nær upp í jaðar Arnarseturshrauns að suðaustan, langleiðina norður undir Seltjörn að norðaustan og suður undir Eldborgar- og Eldvarpahraun að suðvestan. Lega svæðisins, jarðlög og sprungur í því og nágrenni þess, er sýnt á mynd 3-7. Lágasvæðið liggur á belti úr vel lekum jarðlögum (hraun frá nútíma) sem nær frá Strandarheiði til Reykjaness. Sjálft er svæðið afmarkað að miklu leyti á alla vegu af þéttari jarðlögum: Móbergsskrokkum (Þórðarfell, Stapafell, Arnarsetur, Vogaholt ?) og grágrýtisskjöldum (Vogastapi), sjá mynd 5-4. Á því er fjöldinn allur af sprungum og gjám, stefna flestar $N30^{\circ}A$ en gnótt er sprungna í framhaldi þeirra til norðausturs og suðvesturs. Norðvestan við svæðið er land minna sprungið og vera má að eitthvað sé minna sprungið þegar kemur nær Arnarsetri til suðausturs en þar er land allt hulið Arnarseturshrauni sem runnið hefur eftir landnám (Jón Jónsson 1982).

Vatnafarslega líkist því Lágasvæði gríðarstórum brunni sem rennur inn í frá Fagradalsfjalli að suðvestan auk þess sem írennsli er í hann sjálfan af úrkomu. Út úr honum rennur einkum um tvö skörð. Annað til suðurs milli Eldvarpa og Arnarseturshrauns, hitt til suðvesturs milli Þórðarfells og Stapafells. Misleitni vegna sprungna beinir vatni af NV-hluta Lágasvæðis suðvestur í síðarnefnda skarðið en af SA-hlutanum suður um hið fyrrnefnda. Vatnsgerð er ólík á þessum tveimur hlutum svæðisins: Á NV-hlutanum er klóríðstyrkur um 40 ppm Cl^{-} , á SA-hlutanum um 70 ppm Cl^{-} . Höfuðvatnsból Hitaveitu Suðurnesja, Gjá í Lágum, er á SA-hlutanum. Lágasvæðið er sennilega besta vatnstökusvæði á utanverðum Reykjanesskaga (mynd 6-1).

6.2 Hraun og sprungur

Lágasvæðið er að nokkru leyti þakið af Sandfellshæðarhrauni (D6). Arnarseturshraun (H36) þekur suðausturrönd þess en ýmis hraun eru á suðvesturenda þess, misgömul að aldri (Freysteinn Sigurðsson o.fl. 1978b). Fæst þessara hrauna ná að ráði niður í grunnvatn (sjá kafla 4 og viðauka IV). Undir þeim eru önnur hraunlög. Svæðið er mjög brotið og stefna sprungur til jafnaðar nærri $N30^{\circ}A$ (sjá mynd 6-2). Misgengi eru töluverð um sum brotanna. Mest eru misgengin við svokallaða "Gjá í Lágum" en hún liggur við suðvesturhlið grófar (sigdældar), sem er allt að 10 m djúp og 2 km löng. Sérlega mikið er um sprungur og misgengi í gróf þessari og þess því að vænta að sprungulekt sé þar mikil og misleitni í jarðlekt samfara henni.



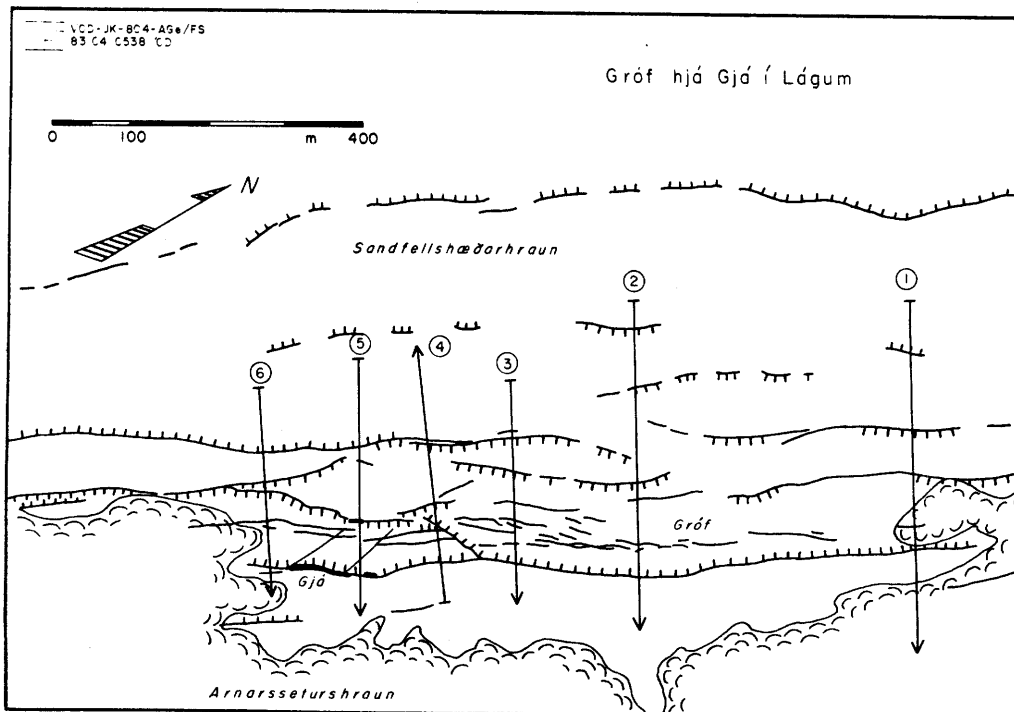
MYND 6-2 Lágasvæði, sprungur og misgengi

Mæld var vídd sprungna og ganghæð misgengja á sniðum þvert yfir gróf þessa (sjá viðauka III.1). Lega sniða og höggun umhverfis er sýnd á mynd 6-3. Sniðin sjálf eru sýnd á mynd 6-4. Land er þarna mjög brotið og misgengið. Nemur hæðarmunur vegna misgengja víða 10-15 m á 200-400 m löngum sniðum. Reikna má sprungulekt á hverju sniði eftir vídd sprungnanna (sjá viðauka V.III.1, jöfnur (28) og (29)). Niðurstöður þeirra reikninga eru færðar í skrá 6-1.

Skrá 6 - 1

Sprungulekt og víkkun við Gjá í Lág

	<u>Snið, nr.</u>					
	1	2	3	4	5	6
Lengd, L (km)	0,37	0,31	0,205	0,205	0,215	0,21
Samanl. vídd, R (m)	3,7	2,8	3,1	3,4	3,5	3,3
Víkkun, V (m/km)	10,0	9,0	15,0	17,0	16,0	16,00
Lekt, k (m/s)	0,52	0,43	0,69	0,30	0,84	0,87



MYND 6-3 Gróf hjá Gjá í Lágum

Meðaltalsvíkkun (samanlögð vídd allra sniða/samanlögð lengd allra sniða) er 13 m/km en meðaltalslekt (leiðni allra sprungna/samanlögð lengd allra sniða) er 0,6 m/s. Sprungulekt þessi er sennilega 5-10 sinnum meiri en berglektin umhverfis Gjá, þó mikil sé. Má því ljóst vera, hversu mjög grunnvatnsstreymi getur verið greitt í SV-NA-stefnu við Gjána. Fleira verður til að efla misleitni við Gjána. Hörgur (ríshæð, þ.: "Horst") rís norðvestan grófarinnar og nemur rísið 10-15 m. Leiðandi lög og lagamót eru þar skorin sundur og standast ekki lengur á, auk þess sem eldri jarðlögum hefur verið lyft sem þessu nemur upp í ferskvatnslagið en þau eru sennilega minna lek en yngri jarðlögin. Misleitni verður því einnig einhver í berglekt. Enn eykur á misleitnina að jarðlögum er snarað lítilliga til SA norðvestan þessa hörgs (Jón Jónsson 1978) en misgengi vega á mótum því með sigi norðvestanmegin.

Undir misgengjum þessum stendur land lágt, sums staðar aðeins 6-8 m yfir sjó og er þar því grunnt á ferskvatn. Niðurföll eru þarna víða

í Sandfellshæðarhrauni. Má vera, að það sé þarna eitthvað óreglu-
legra og þynnra en í borholum HSK-5/HSK-6 (20-21 m) eða Gjá í Lágum/-
HSK-11 (14-15 m). Neðri mörk þess gætu því verið þarna frekar grunnt
undir yfirborði (5-10 m ?) en á þeim lagamótum má vænta talsverðs
vatnsrennslis. Opnar sprungur eru margar á þessum slóðum og greiða
þær ugglaut grunnvatnsstreymi um þetta svæði. Þessi hluti Lága-
svæðis er því vænlegur til vatnstöku enda vatn efnasnauðara á þessum
hluta þess en SA-hlutanum. Mörk NV- og SA-hluta liggja milli HSK-5/6
og HSK-100/11, hvað varðar vatnsgæði og líklega grunnvatnsstrauma.
Nokkur hætta er á mengun frá Rauðamel í NV-hlutanum. Þar er malarnám
og malbikunarstöðvar (olíumöl) hafa verið þar í gangi annað veifið.
Fer fjarri því að nógu gálega sé gengið þar um með olíur og annan
ófögnuð. Mengun þessi getur verið lengi á leiðinni inn á vatnstöku-
svæðið og langt getur liðið þangað til hún hverfur. Þarf því að
fylgjast vel með því að frekari niðurbelling olíu eigi sér ekki stað
og gera þær ráðstafanir sem nauðsynlegar teljast til að fyrirbyggja
frekari mengun. Þar eð grunnvatn streymir til suðvesturs á þessum
hluta Lágasvæðis, þá er öruggara að taka vatn lengra upp í straumnum
frá HSK-5/6. Þar hafa verið valin 3 brunn- eða borholustæði, sjá
mynd 6-2.

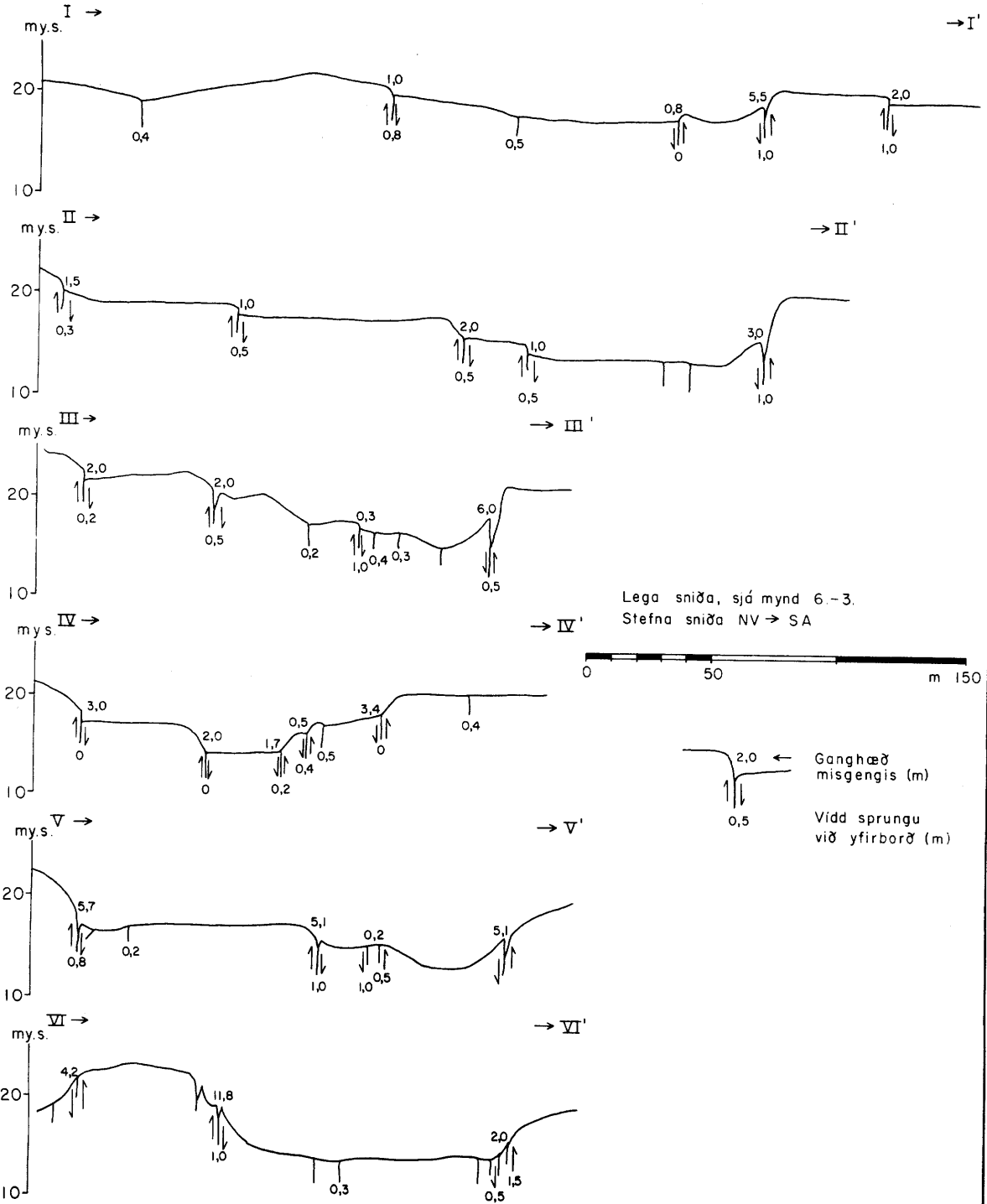
SA-hluti Lágasvæðis er að miklu leyti þakinn Arnarseturshrauni. Þó
má lesa úr smíð ("strúktur") hraunþekjunnar að SV-NA lægir berg-
fleygar séu undir hrauninu, sennilega talsvert misgengir. Arnar-
seturshraun er talið vera 17 m þykkt í borholu HSK-2 en 29 m þykkt í
borholu HSK-4. Vatnsgæfni vatnsbólur getur verið sámlíkt á þessum
svæðishluta, sennilega þó einkum þar í nánd sem líkur eru taldar
verar á sprungum og misgengjum. Vatn er hins vegar efnaríkara á
þessum hluta Lágasvæðis en á NA-hlutanum.

Talsvert er um brot og sprungur á suðvesturenda Lágasvæðis. Þar er
þó jarðlagsskipan nokkuð flókin og gæti það torveldað vatnstöku
(Freysteinn Sigurðsson o.fl. 1978b). Úr því kemur suðvestur um bor-
holu HSK-10 má vænta þéttari jarðlaga undir hrauninum (móberg
o.fl.). Von er á sámlíkum vatnsgæfum vatnsbólum vestur í skarðið
milli Þórðarfells og Stapafells en þar er hins vegar hætta á olíu-
mengun frá Rauðmel.

Eini staðurinn, þar sem ástæða þótti til að breyta hraunakortlagningu
Jóns Jónssonar (1978) var umhverfi borholu HSK-10. Breytingar voru
þó ekki meiri en svo að Jón hafði sjálfur gefið í skyn að þeirra yrði
þörf. Þeim er lýst af Freysteini Sigurðssyni o.fl. (1978b). Helst
er sú að hraun H-21 og H-22 eru nú talin vera sama hraunið eins og
Jón raunar hafði talið líklegt að gæti verið. Þau mættu því skrá nú
sem H-22 þar eð annað hraun eldra, fannst, sem Jón hafði ekki að-
greint frá H-21 enda innilega samflækt í smábleðlum.

VOD-JK-804-ΔGe/FS
83070851 '0D

Snið yfir gróf hjá Gjá í Lágum



MYND 6-4 Snið af gróf hjá Gjá í Lágum

Lýsing hraunanna er í stuttu máli þessi: Elst er ólífín-ríkt dyngjuhraun (D-7, Lágafellshraun) austur af Þórðarfelli og suður af HSK-10. Á hvorum tveggja staðnum er fjöldi niðurfalla í hrauninu og það margbrotið af opnum sprungum og misgengjum. Næst elst er H-21 (ný skráning). Það er frekar þétt, með smáum plagíókas-dílum á stangli. Á yfirborði er það víða úfið og uppbrotið en talsvert gróið. Þriðja í röðinni er Sandfellshæðarhraun (D-6), sem hefur runnið inn í og ofan í lögðir og niðurföll í D-7 hjá borholu HSK-10. Fjórdá er svo H-22 (ný skráning). Það er smáblöðrótt, næstum því frauðkennt og nærri því dílalaust. Hraun þetta hefur verið lappunnt og er þykkt þess aðeins 1/2-1 m þar sem það rennur út á D-7. Hraun þetta hefur sennilega komið upp í nágrenni Eldborgar undir Þórðarfelli. Það hefur steypst ofan í sprungu í D-7, runnið eftir henni 400-500 m og út að norðaustan. Þaðan hefur það runnið langleiðina norðaustur undir veituveg, fyrst í fögrum hrauntröðum. Sprungan í D-7 hefur skorið nokkur niðurföll og liggja þar eftir stírnaðir hraunpollar úr H-22. Má með réttu kalla sprungu þessa "hraunveiti" ("magmafer") en slíkum fyrirbrigðum hafa fræðimenn verið mjög að velta fyrir sér í seinni tíð þó við aðrar aðstæður sé og af annari stærð og jafnvel gerð.

6.3 Gjá í Lágum

Á tveimur stöðum hefur sést til grunnvatns frá yfirborði á Lágasvæði. eru þeir sinn við hvorn útvegg grófarinnar margumræddu á miðju svæðinu. Opið er niður á grunnvatn á a.m.k. tveimur stöðum öðrum. Er annar í gjánni NA frá Gjá en í nokkur hundruð metra fjarlægð. Hinn er að sögn kunnugra manna í einhverri gjánni suðaustan undir Rauðamel, norðaustan veituvegar.

Gjáin er við suðausturvegg grófarinnar sem þar er víða 3-4 m hár. 13-14 m eru frá yfirborði niður að vatnsborði. Gjáin er opin á nokkurra tuga metra kafla en spildur hafa hrunið ofan í hana úr gjáarbörmunum. Hún er því slitrótt á yfirborði en nærri samfelld við vatnsborð. Breidd gjárinnar var ærið misjöfn og hvergi nærri alltaf sú sama við jaðaryfirborð og vatnsborð. Er það því raunar nokkurt skilgreiningaratriði, hvað kalla skal breidd hennar en segja má svipað um lengd hennar. Hrun úr veggjum opinnar gjárinnar á sinn þátt í sýnilegri víkkun hennar. Breidd hennar í vatnsborði nær nokkrum metrum þar sem best lætur. Fjarri er því þó að meðalvíddin sé svo mikil. Skammt neðan vatnsborðs, í 1-3 m dýpi, var samfellda þekju að sjá þar sem fínna efni hafði lagst ofan í stórgrýtisfyllinguna sem hrunið hefur ofan í Gjána. Ekki er vitað, hversu samfelld þessi fylling er þegar niður dregur í vatnið né hvort Gjáin sé eins víð þar. Neðan vatnsborðs heldur vatnið frekar á móti hruni. Miðað við það hraungrjót, sem skorðast hefur milli veggja ofan vatnsborðs, þá er líklegt, að einhver göt séu í hraunfyllinguna neðan vatnsborðs. Fínefnapekjan nær sennilega skammt ofan í hraunfyllinguna. Því er þess að vænta að veruleg leiðni sé í Gjánni neðan þess sem séð varð.

Undir norðvesturvegg grófarinnar er annað gat þar sem gengt er að vatni. Er sá pyttur þó allur minni og grynnri en sá syðri. Tvær opnar sprungur liggja langsum eftir sigspildunni í grófarbotninum en hrun hylur vatn í þeim. Á milli vatnsstaðann er eins og spildan

gangi í bylgjum. Ganga hæðir og lægðir þar á ská á milli grófarveggja og stefna nærri N170⁰A. Nemur hæðarmunur mannhæð eða svo en hraunið sjálf er ekki rennislétt þarna. Vel má greina tvær lægðir og a.m.k. hæðina á milli þeirra en sennilega má einnig greina hæðir utan þeirra. Misfellur þessar eru gleggri sunnanmegin (suðaustan í grófinni) en þar virðist Gjáin gapa mest frá á vesturhalla hæðanna. Norðanmegin virðist þessu verið öfugt farið: Sprungan undir grófarveggnum virðist gapa meir á austurhalla hæðanna. Er svo að sjá sem spildan í grófarbotninum hafi bögglast á milli grófarveggjanna og lagst í fellingar við það að norðvesturhliðin færðist suðvestur en suðausturhliðin norðaustur, afstætt séð. Þessar beygjur valda því hversu vel Gjáin er opin og vatn þar aðgengilegt.

Hér leggst því margt á eitt, að gera Gjána að því öndvegisvatnsbóli sem hún er. Má það raunar teljast höfuðgæfa fyrir ferskvatnsöflun Hitaveitu Suðurnesja að gjá þessi skyldi koma í leitirnar. Sjálf er Gjáin náttúrulegur brunnur, grófin sem hún liggur í, hriplek vegna sprungna og dregur vatn að víða vegu; Lágasvæði allt vel lekt og vatnstaka þar auðveld en auk þess er svæðið girt af á margar hliðar af þéttari jarðlögum sem verja það gegn jarðhitamengun og öðrum áföllum.

7 BORSTAÐIR OG BORANIR

Í kafla 2.4 er lýst nokkrum almennum forsendum að vali borstaða. Hér verður vali einstakra staða stuttlega lýst. Borholu HSK-2 var valinn staður í mars 1976 skammt austan við fyrirhugaðan veituveg til Njarðvíkur, um 3 km NV frá staði fyrirhugaðs varmaorkuvers. Um leið var borholu HSK-4 valinn staður rétt við veituveginn, um 400 m suðaustar. Borhola HSK-3 er mælingahola við HSK-2. Staðsetningu þessara holna réði að þær væru meira en 2 km frá háhitasvæðinu í Svartsengi, nærri veituvegi og á nokkurn veginn sléttu landi í hrauninu (Arnarseturshrauni). Holustæði völdu Stefán Arnórsson, þá á Jarðhitadeild Orkustofnunar og Freysteinn Sigurðsson, í samráði við forstöðumenn Hitaveitunnar, ráðgjafarverkfræðinga hennar og bormenn Jarðborana ríkisins.

Þessar borholur voru boraðar í mars-júlí 1976. Varð HSK-2 um 40 m djúp en HSK-4 um 45 m djúp enda stendur hún hærra. Báðar ná um 10 m niður fyrir vatnsborð. Þær voru fyrst dæluþröfaðar í ágúst 1976. Þá voru hvorki tiltæk þau mælitæki sem notuð voru 1978-79 né voru þá áhrif "sigtismalar" utan um fóðurrör í borholunum ljós. Útkoman varð því sú að talið var þá að minna vatn mætti taka úr holunum en síðar var talið. Þá var einnig ennþá óþekkt, hversu mikill niðurdráttur mætti vera og hvaða áhrif vatnsborðsbreytingar hefðu á neðra borð ferskvatnslagsins. Þau atriði skýrðust bæði sumarið 1977, skömmu áður en borunum lauk. 1976 var enn miðað við það að afla þyrfti 300 l/s fyrir árslok 1978 til að uppfylla ferskvatnspörf Hitaveitunnar. Í ljósi alls þessa var tekin sú stefna að hraða heldur borunum, dreifa þeim verulega og bora jafnframt á öðrum svæðum, þar sem vatn væri von ef Lágasvæðið reyndist ekki nógu gjöfult. Borholur HSK-5 - HSK-10 voru staðsettar í samræmi við þessa stefnu. Borhola HSK-6 er könnunarhola.

Borholu HSK-5 var valinn staður í sléttu hrauni, rétt vestan við veituveg, um 1,5 km NV frá HSK-2. Hún var boruð í júlí-september 1977 og varð um 28 m djúp, þar af rúmir 10 m neðan vatnsborðs. Borhola HSK-6 var staðsett 27 m frá HSK-5 og skyldi hún boruð niður í saltan sjó. Það tókst ekki til fulls en holan varð 78 m djúp og náði vel niður úr ferskvatnslaginu. HSK-5 átti að tilheyra sérstöku borsvæði ásamt Gjá í Lágum og a.m.k. einni ferskvatnsholu í viðbót. Borsvæði voru valin þannig að sennilegir aðdráttargeirar þeirra skærust sem minnst. Var stefnt að því marki m.a. með því að láta borsvæðin skarast undan líklegum grunnvatnsstraumi. HSK-2 og HSK-4 voru á öðru borsvæði en HSK-5 og Gjá; borholum HSK-9 og HSK-10 var valinn staður á því þriðja og HSK-8 var sett á fjórða svæðið, austur undir Grindavíkurvegi.

Hins vegar var borhola HSK-7 boruð um 2 km NA frá Grindavík, skammt austur af suðausturhorni Hagafells (Freyr Þórarinnsson o.fl. 1976). Hún var boruð í nóvember 1976 - janúar 1977 og varð rúmlega 66 m djúp, þar af um 12 m í vatni. Seinna varð þó hrun í henni eða skaðvaldar hafa fleygt einhverju drasli ofan í hana því að nú er einungis hægt að ná rétt niður fyrir vatnsyfirborð með mælitækjum. Þrennt réði borun á þessum slóðum: Skammt er þaðan til varmaorkuvers; horfur voru á hraunfylltu, vel leku sundi þarna milli fellanna; vatnsból þarna hefði mátt nota sem varavatnsból fyrir Grindavík ef þáverandi vatnsból hefðu spillst af mengun frá varmaorkuverinu. Á óvart kom, að vatn í holunni reyndist óhæft til neyslu vegna seltu sem sennilega stafar frá einhverju jarðhitasvæði. Hætt var því við frekari vatnsleit og boranir á þessum slóðum.

Austur undir Grindavíkurvegi var borholu HSK-8 valinn staður undir brekkurótum NV frá Arnarsetri, á helluhrauni vestan undir úfnu hrauntagli. Holan var boruð í janúar-mars 1977 og varð rúmlega 41 m djúp, þar af 10 m í vatn. Dæluprófanir benda til þess að hún sé frekar vatnstreg miðað við borholur á Lágasvæði en vatn í henni er svipað að gerð og í SA-hluta Lágasvæðis. Ekki varð úr frekari vatnsleit né borunum á þessu svæði að sinni, eftir að sýnt þótti að ferskvatnspörf Hitaveitunnar mætti uppfylla um langa hríð á Lágasvæði.

Borhola HSK-9 er um 1,0 km suðvestur frá veituvegi frá HSK-2, undir vesturbrún Arnarseturshrauns, á sléttu hrauni frá Eldvörpum í krika milli Arnarseturshrauns og Eldborgarhrauns. Holan var boruð í mars 1977 og varð tæplega 28 m djúp, þar af um 10 m neðan vatnsborðs. Hún hefur reynst gjöfult vatnsból. Borhola HSK-10 er um 1,2 km norðvestur frá HSK-9 og 1,5 km suðvestur frá HSK-5. Henni var valinn staður á sprungnu og uppbrotnu svæði, fullu af niðurföllum í hraununum. Sjálf var hún staðsett í grunnri lögð norður af hárrí hraunbrún. Hún var boruð í maí-júní 1977 og varð 21 m djúp, þar af 11 m í vatn. Við dæluprófun virtist hún harðla treg á vatn. Lá grunur á, að jarðlag gæti valdið því (Freysteinn Sigurðsson o.fl. 1978b). Síðar voru leidd rök að því að sigtismalarfylling utan við fóðurrör og staðsetning dælu innan í fóðurröri gætu hafa átt þátt í því að villa mönnum sýn um vatnsgæfni hennar (Jón Ingimarsson og Jónas Elíasson 1980). Holan er því sennilega vatnsgæfari en haldið var.

Borholur HSK-11, HSK-12 og HSK-13 eru rannsóknarholur. Þær voru boraðar í júlí-ágúst 1977. HSK-11 er um 12 m frá vatnsbólínu HSK-100 sem gert var í Gjá í Lágum. Sjálf er holan mun nær hinni eiginlegu Gjá en í hana var fyllt með grjóti snemma árs 1978 þegar gengið var frá vatnsbólínu. Holan er um 110 m djúp og nær niður úr ferskvatnslaginu og ofan í saltan sjó. Borhola HSK-12 er rétt austan við veituveg, á óbrinnishólma milli Illahrauns og Sundhnúkahrauns, 1,2 km NV frá varmaorkuveri og 1,4 km SA frá HSK-4. Hún er 32 m djúp, þar af 8 m neðan vatnsborðs. Til stóð að hafa hana dýpri en mikið hrun var í henni neðan við 30 m dýpi og var því sökum kostnaðar hætt við frekari borun. Henni er ætlað það hlutverk að vera til könnunar á því, hvort jarðhitamengað vatn leitaði norður frá jarðhitasvæðinu í átt að Lágasvæði. Svo virðist ekki vera en þess er að gæta, hve skammt holan nær ofan í ferskvatnslagið. HSK-13 er austan við ruðningsslóð suður að Litla-Skógfelli, um 0,9 km hásuður frá þriggja hreppa mótum á Arnarkletti (SV frá Snorrastaðatjörnum) og um 4 1/2 km NA frá HSK-5. Hún varð 24 m djúp, þar af 12 m neðan vatnsborðs. Holu þessari var ætlað að vera til könnunar á hugsanlegu vatnstökusvæði SV af Snorrastaðatjörnum auk þess sem hún gæfi upplýsingar um grunnvatnsborð og grunnvatnsástand við heildarrannsóknir alls rannsóknarsvæðisins. Þessum hlutverkum hefur hún gegnt svo sem til stóð.

Um það leyti sem fyrrgreindum borunum var að ljúka þótti orðið sýnt að mun meira vatn myndi fást úr vatnstökuholum og Gjá í Lágum en búist hafði verið við í fyrstu, jafnframt því sem vatnspörf Hitaveitunnar jókst mun hægar en áætlað hafði verið. Var því frekari borunum hætt að sinni.

8 HELSTU NIÐURSTÖÐUR

Í riti þessu eru raktar niðurstöður rannsókna Jarðkönnunardeildar Orkustofnunar á jarðvatni og vatnajarðfræði á utanverðum Reykjanes-skaga, sem unnar voru fyrir Hitaveitu Suðurnesja, að mestu á árunum 1976-1979. Um rannsóknir Straumfræðistöðvar Orkustofnunar hefur verið fjallað annars staðar (Jón Ingimarsson og Jónas Elíasson 1980). Þær fóru að miklu leyti fram samtímis téðum rannsóknum en voru að mestu leyti vatnafræðilegs eðlis og verða ekki nánar raktar hér. Rannsóknirnar náðu til svæðisins utan (vestan) við Fagradalsfjall og Vogavík að Rosmhvalanesi undanskildu. Þungamiðja rannsóknanna var á Lágasvæði, ferskvatnsvinnslusvæði Hitaveitunnar, og umhverfi þess. Jaðarsvæði voru aðeins lauslega könnuð. Helstu niðurstöður eru eftirfarandi:

1. Ferskvatnslag:

- 1.1 Sírennandi vatn finnst ekki á yfirborði á svæðinu. Grunnvatn nær til yfirborðs í Seltjörn og Snorrastaðatjörnum suðaustan undir Vogastapa og var aðgengilegt í nokkrum gjám á Lágasvæði.
- 1.2 Ferskvatnið flýtur á sjóvatni í berginu eins og olía á vatni. Berggrunnurinn er víðast opinn veitir (e.: "unconfined aquifer") og ferskvatnið í flotjafnvægi við sjó. Hæð grunnvatnsborðs yfir sjó (langtíma meðaltal) samsvarar þykkt ferskvatnslags í hlutfalli nærri 1:40. Skammtímbreytingar á grunnvatnshæð valda ekki merkjanlegum breytingum á þykkt ferskvatnslagsins.
- 1.3 Blandlag er á mörkum ferskvatns og sjóvatns. Á Lágasvæði er það um 15 m á þykkt. Samsvarar því að rúmlega 1/10 hluti neðan af ferskvatnslaginu er ekki neysluhæfur, sé þykkt þess miðuð við flotjafnvægi.
- 1.4 Þykkt ferskvatnslagsins er um 100 m vestan undir Fagradalsfjalli. Við Skógfellin er þykkt þess um 65 m en minnkar í tæpa 50 m norður á Vogastapa og Njarðvíkurheiði, vestur fyrir Stapafell og Eldvörp og suður undir Svartsengi.
- 1.5 Afstæðar grunnvatnsbungur eru á Vogastapa, Hafnarheiði og suður og suðvestur frá Þórðarfelli.
- 1.6 Megingrunnvatnsstraumar eru úr Strandarheiði til Vogavíkur, af Lágasvæði til vesturs milli Stapafells og Þórðarfells og til suðurs milli Þórðarfells og Þorbjarnarfells.

2. Ferskvatnsgæði (Grunnvatnsgæði):

- 2.1 Neysluhæft ferskvatn er á meirihluta rannsóknarsvæðisins. Í megindráttum fer vatn kólnandi og efnainnihald þverrandi því fjær sem dregur frá Svartsengi.
- 2.2 Affallsvatns frá jarðhitasvæðinu í Svartsengi gætir um-

hverfis svæðið og til sjávar suðvestur frá því. Áhrifa annarra jarðhitasvæða gætir víðar.

2.3 Skipta má rannsóknarsvæðinu í vatnasvæði:

1. Njarðvíkurheiði: Hiti um 3° C, klóríð um 15-30 ppm, magnesíum 2-5 ppm.
2. Vogasvæði: Hiti um 4° C, klóríð 20-35 ppm. magnesíum 3-4 ppm. Meira efnainnihald í Snorrastaðatjörnum.
3. Lágasvæði NV-hluti: Hiti $4\frac{1}{2}$ - 5° C, klóríð um 40 ppm, magnesíum um 4 ppm.
4. Lágasvæði SA-hluti: Hiti 4 - 6° C, klóríð um 70 ppm, magnesíum um 7 ppm.
5. Affallssvæði: Hiti 6 - 15° C, klóríð um og yfir 150 ppm, magnesíum um og yfir 10 ppm.

2.4 Þegar neðar dregur í ferskvatnslagið hækkar hiti yfirleitt og efnainnihald eykst. Þessa gætir við úrdælingu því meir sem meira er dælt.

3. Jarðgerð:

- 3.1 Mikill munur er á lekt (e.: "permeability") jarðlaga á svæðinu. Hraunstaflar frá nútíma eru vel lekir; Móbergs-skrokkar og undirlög grágrýtisskjalda eru mun vatnspéttari.
- 3.2 Ung sprunguhraun þekja mikinn hluta utanverðs skagans. Dýpi á grunnvatnsborð þar samsvarar nokkurn veginn landhæð og er á bilinu 20-100 m. Sprunguhraunin hylja jarðlög sem ferskvatnið rennur um.
- 3.3 Beita verður óbeinum aðferðum við að ráða í jarðlög í ferskvatninu: Kerfi í legu og gerð gosstöðva, jarðviðnámsmælingum, landslagi og opnum.
- 3.4 Greining á goskerfum (e.: "volcanic system") byggist á rannsóknum Jóns Jónssonar (1978) að miklu leyti.
- 3.5 Eftir endilöngum Reykjanesskaga gengur gosbelti í VSV-ANA stefnu og fer víkkandi til austurs. Það fellur nokkurn veginn saman við móbergsfjallendið á skaganum.
- 3.6 Skáhallt yfir gosbeltið liggja 5 gosstöðvafylki (sbr. Sveinn P. Jakobsson o.fl. 1978, Kristján Sæmundsson 1980) og stefna SV-NA. Til hvers fylkis heyra ein eða fleiri gosreinar, dyngjur eða dyngjurein og sprungufylki. Bil milli dyngja er tæplega 15 km.
- 3.7 Hver gosrein samanstendur af einni eða fleiri gossprungum. Lítið eða ekki hefur gosið á milli gosreina. Þær samsvara samsettum móbergshryggjum eða fellaröðum. Bergmunur er jafnan á nærstöðum gosreinum.
- 3.8 Vestur eftir gosbeltinu verða gosreinar strjállir og sprungufylkin breiðari.

- 3.9 **Ræma** er afmörkuð eftir endilöngu gobeltinu miðju. Á jöðrum hennar eru píkrít-basaltgosstöðvar, gossprungur skerast utan hennar og þær stefna meira samsíða gosbeltinu en á henni. Á ræmunní eru gossprungur reglulegri, skjálftavirkni er tíð og sprungur með N-S-stefnu koma víða fyrir.
- 3.10 **Fylgni** er með legu dyngja frá nútíma og grágrýtisskjalda/móbergsstapa og gosreina og móbergshryggja/fellaraða. Móbergshryggirnir liggja að jafnaði 0,7 km vestan/norðvestan gosreinanna.
- 3.11 Líklegt er talið að móbergsfjöllin á utanverðum skaganum séu frá tveimur síðustu meginjökulskeiðum (ísöldum). Líkur eru á því, að sérstakt jökulhvel hafi verið á Grindavíkurfjöllum á síðasta meginjökulskeiði en þar áður hafi Faxaflóajökull skriðið suður yfir skagann á þeim slóðum.
- 3.12 Á utanverðum skaganum nær **sprungusvæði** frá Fagradalsfjalli vestur að Langhóli og Hafnarheiði. Sprungustefnur eru víðast N30-40° A en Strandheiði N55-60° A.
- 3.13 Fylgni virðist vera með **jarðviðnámi** og **jarðlögum** í ferskvatnslagi:
1. Viðnám <800 ohmm: Móberg, sprungusvæði, jarðhitaáhrif.
 2. Viðnám 800-1200 m: þykk nútíma hraun eða grágrýti.
 3. Viðnám >1.200 ohmm: "Dyngjukjarnar" á dyngjureinum.
- 3.14 Uppkomustaðir **jarðhita** eru þar sem S-N-lægir sprunguskarar skera gosreinar á miðræmu gosbeltisins. Jarðhitauppkomur (afrennsli ?) eru e.t.v. þar sem sprunguskarar skerast á milli jaðra móbergssvæðis og sprungusvæðis.
4. **Jarðlekt:**
- 4.1 Jarðlögum má raða eftir **berglekt**. Lektargildi eru samkvæmt líkanreiningum (Jón Ingimarsson og Jónas Elíasson 1980):
1. Opin og gjallrík hraun í öllu ferskvatnslaginu; lekt um 0,3 m/s.
 2. Hraun frá nútíma í mestöllu ferskvatnslaginu; lekt um 0,1 m/s.
 3. Hraun í litlum hluta ferskvatnslagsins, annars grágrýti eða vel lekt móberg; lekt um 0,02 m/s.
 4. Grágrýti og/eða móberg; lekt um 0,003 m/s.
- 4.2 Lítt lekir, **huldir bergskrokkar** eru taldir vera S og SV frá Þórðarfelli, NV frá Stapafelli, undir miðjum og austanverðum Vogastapa, undir fellaröðum upp af Grindavík, N og NV frá Fagradalsfjalli og e.t.v. undir Vogaholti.
- 4.3 **Lekustu svæðin** eru í Strandarheiði; á Lágasvæði og þaðan V milli Þórðarfells og Stapafells og SV til sjávar, svo og S milli Þórðarfells og Þorbjarnarfells ofan til Staðarhverfis; NA frá Grindavík milli Húsafjalls og Hagafells.

- 4.4 Reynt var að meta **sprungulekt** reikningslega samkvæmt mældri vídd á sprungum á NV- og N-hluta sprungusvæðis. Ónákvæmni þeirra reikninga er mikil.
- 4.5 Sprungusvæði voru flokkuð eftir tíðni og vídd sprungna og reiknaðri sprungulekt:
1. Sprungulekt um 0,05 m/s; víkkun um opnar sprungur um 2,5 m/km.
 2. Sprungulekt um 0,01 m/s; víkkun um opnar sprungur um 0,5 m/km.
 3. Sprungulekt um 0,002 m/s; víkkun um opnar sprungur um 0,1 m/km.
- 4.6 Lekustu **sprungusvæðin** eru að verulegu leyti sömu svæði og hafa mesta berglekt. Helsta undantekningin er svæðið NV af Stapafelli (lítil berglekt).
- 4.7 **Misleitni** (e.: "anisotropy") í jarðlekt er nú talin nokkuð frábrugðin misleitni í líkangrunni 1978. Svæði, sem höfðu þá misleitnistuðul 3 eru nú talin víða hafa stuðul 1 1/2-2 1/2; svæði þá með stuðli 2, nú víða stuðul 3; svæði þá með stuðul 1 1/2, enn víða 1 1/2.

5. Vatnsból:

- 5.1 **Lágasvæði** er þakið hraunastöflum, mikið sprungið og mjög vel lekt. Það er girt verr lekum bergskrokkum á allar hliðar. Írennsli er í það frá úrkomu og innrennsli að A og SA. Útrennsli er mest V og S úr SV-enda þess.
- 5.2 **Misleitni** er mikil í **lárétta/lóðrétta** stefnu á Lágasvæði og hamlar það gegn uppdrætti sjávar á svæðinu.
- 5.3 **Gjá í Lágum** er gróf (sigdæld) með sprungulekt um 0,6 m/s og hefur sennilega kröftuga misleitni í SV-NA-stefnu.
- 5.4 **Vænlegt vatnstökusvæði** að vatnsgæfni, vatnsgæðum og öryggi gegn mengun, er á NV-hluta Lágasvæðis N og NA frá Gjá í Lágum.
- 5.5 Ástæða er til að halda áfram eftirliti með ástandi grunnvatns (hita, rafleiðni, efnainnihaldi) um nokkurt skeið.

6. Líkangrunnur:

- 6.1 Líkangrunnur frá 1978 virðist hafa verið í megindráttum réttur. Breytingar við endurskoðun eru ekki svo miklar að rengja beri niðurstöður gerðra líkanreikninga; hins vegar það miklar að endurhanna ber líkangrunn ef framkvæma á nýja líkanreikninga.
- 6.2 Til slíkrar **endurhönnunar** líkangrunns duga sennilega upplýsingar þær sem settar eru fram í skýrslu þessari. Litlar eða engar viðbótarrannsóknir þarf vegna slíkrar endurhönnunar.

HEIMILDASKRÁ

- Eysteinn Tryggvason. 1981: Vertical component and ground deformation in Southwest- and North Iceland. Results of levelings in 1976 and 1980. Norræna eldfjallastöðin, NVI 8102, 26 s.
- Freyr Þórarinnsson, Freysteinn Sigurðsson og Guttormur Sigbjarnarson 1976: Hitaveita Suðurnesja, Ferskvatnsrannsóknir, Áfangaskýrsla fyrir árið 1976. Orkustofnun (unnið fyrir Hitaveitu Suðurnesja), OS JKD 7609, 109 s.
- Freysteinn Sigurðsson 1976: Straumsvíkursvæði, skýrsla um vatnafræðilega frumkönnun. Orkustofnun (unnið fyrir Íslenska álfélagið h.f.), OS JKD 7603, 59 s.
- Freysteinn Sigurðsson 1977: Hitaveita Suðurnesja. Ferskvatnsrannsóknir. Hita- og seltumælingar 1975-1977. Orkustofnun (unnið fyrir Hitaveitu Suðurnesja), OS JKD 7716, 38 s.
- Freysteinn Sigurðsson, Sigurður G. Tómasson og Snorri P. Snorrason 1977: Hitaveita Suðurnesja. Ferskvatnsrannsóknir. Affallsvatnsrannsóknir, sept. 1976 - sept. 1977. Orkustofnun (unnið fyrir Hitaveitu Suðurnesja), OS JKD 7715, 9 s.
- Freysteinn Sigurðsson, Freyr Þórarinnsson, Snorri P. Snorrason, Kristján Ágústsson og Guttormur Sigbjarnarson 1978 (a): Integrated hydrological survey of a freshwater lens. Nordic hydrological conference. Helsinki, Finnland, júlí - ágúst 1978. Orkustofnun, OS JKD 7806, 14 s.
- Freysteinn Sigurðsson, Sigurður G. Tómasson og Snorri P. Snorrason 1978 (b): Hitaveita Suðurnesja. Ferskvatnsrannsóknir. Borhola HSK-10. Vatnajarðfræði. Orkustofnun (unnið fyrir Hitaveitu Suðurnesja), OS JKD 7813, 13 s.
- Jarðboranir ríkisins: Borskýrslur höggbor 5 1976 og 1977, Borskýrslur Ýmir (Mayhew) 1977.
- Jón Eiríksson, og Björn J. Björnsson, 1974: Geological investigation in Grindavík, SW-Iceland. Orkustofnun (prepared for the Icelandic Harbour Authority), OS-ROD 7408, 11 s.
- Jón Ingimarsson og Jónas Elíasson 1980: Svartsengi. I: Grunnvatnsrannsóknir vegna ferskvatnsöflunar fyrir varmaorkuver. II: Kort. Orkustofnun (unnið fyrir Hitaveitu Suðurnesja), OS 80031/ROD 12, 86 s, 7 kort.
- Jón Ingimarsson og Snorri P. Kjaran 1978: Svartsengi. Framvinduskýrsla um ferskvatnsathuganir. Orkustofnun (Straumfræðistöð) (unnið fyrir Hitaveitu Suðurnesja), OS ROD 7802/OS SFS 7801, 33 s.

- Jón Jónsson 1975: Jarðfræði Krísvíkursvæðis. Í: Stefán Arnórsson o.fl.: Krísvíkursvæði. Heildarskýrsla um rannsókn jarðhitans. Orkustofnun, OS, JHD 7554.
- Jón Jónsson 1978: Jarðfræðikort af Reykjanesskaga. I. Skýringar við jarðfræðikort. II. Jarðfræðikort. Orkustofnun, OS JHD 7831, 303+30 s, 19 kort.
- Jón Jónsson 1982: Eldgos á sögulegum tíma á Reykjanesskaga. Náttúrufræðingurinn, 42 s.
- Karl Ragnars og Stefán Arnórsson 1974: Svartsengi. Rannsóknir jarðhitasvæðisins og vinnslutækni. Orkustofnun, OS JHD 7407, 14 s.
- Karl Ragnars og Sveinbjörn Björnsson 1973: Varmaveita frá Svartsengi. Frumáætlun um varmaveitu til þéttbýlisins á Suðurnesjum. Orkustofnun OS JHD 7302, 33 s.
- Klein F.W.; Einarsson, P. og Wyss, M. 1973: Microearthquakes on the mid-Atlantic plate boundary on the Reykjanes Peninsula in Iceland. J. Geoph. Res., 78, 5084-5099.
- Klein, F.W.; Einarsson, P. and Wyss, M. 1977: The Reykjanes Peninsula Iceland, earthquake swarm of September 1972 and its tectonic significance. J. Geoph. Res., 82, 865-888.
- Kristján Ágústsson 1978: Dreifing úrkomu og írennslis á Reykjanesi og ákvörðun svarffalls írennslis og grunnvatnshæðar. Verkefni í Straumfræði II við Háskóla Íslands.
- Kristján Ágústsson og Freyr Þórarinnsson 1979: Viðnámsmælingar á Reykjanesskaga vegna ferskvatnsöflunar Hitaveitu Suðurnesja. Orkustofnun (unnið fyrir Hitaveitu Suðurnesja), OS 79017 JKD 04, 43 s.
- Kristján Sæmundsson, 1967: Vulkanismus und Tektonik des Hengill-Gebiets in Südwest-Island. Náttúrufræðistofnun Íslands, Acta Naturalia Islandica, Vol. II, No. 7., 105 s.
- Kristján Sæmundsson, 1970: Interglacial Lava Flows in the Lowlands of Southern Iceland and the Problem of Two-Tiered Columnar Jointing. Jökull, 20, 62-77.
- Kristján Sæmundsson, 1978: Fissure swarms and Central volcanoes of the neovolcanic Zones of Iceland. Liverpool, Geol. J. Spec. Iss., 10, 415-432.
- Kristján Sæmundsson, 1980: Outline of the geology of Iceland. Jökull, 29, 7-28.
- Kristján Sæmundsson og Sigmundur Einarsson 1980: Jarðfræðikort af Íslandi, blað 3, Suðvesturland. Náttúrufræðistofnun Íslands, Landmælingar Íslands.
- Kuthan, M.F. 1943: Die Oszillationen, der Vulkanismus und die Tektonik von Reykjanes. Bratislava, CSSR.
- Laufey B. Hannesdóttir 1975: Svartsengi, Reykjanes og jarðvatn. Framvinduskýrsla. Handrit í vörslu Vatnsorkudeildar Orkustofnunar.

- Leó Kristjánsson, og Ágúst Guðmundsson, 1980: Geomagnetic excursion in Late-Glacial basalt outcrops in South-Western Iceland. Geoph. Res. Letters, Vol. 7. No. 5., 337-340.
- Lúðvík S. Georgsson 1979: Svartsengi, Viðnámsmælingar á utanverðum Reykjanesskaga. Orkustofnun (unnið fyrir Hitaveitu Suðurnesja), OS 79042 /JHD 20, 100 s.
- Matthess, G. 1973: Lehrbuch der Hydrogeologie, Band 2: Die Beschaffenheit des Grundwassers. Berlin-Stuttgart BRD, Gebr. Borntraeger, 324 s.
- Páll Einarsson, og Sveinbjörn Björnsson, 1980: Earthquakes in Iceland. Jökull, 29, 37-43.
- Páll Imsland 1972: Jarðfræði Sveifluháls. B.S.-ritgerð, Háskóli Íslands.
- Sjómælingar Íslands 1972: Sjókort 1:100000, blað 35, Fuglasker. Leiðrétt 1975. Reykjavík, Sjómælingar Íslands.
- Snorri Páll Kjaran, Jónas Elíasson og Gísli Karel Halldórsson 1980: Svartsengi, athugun á vinnslu jarðhita. Orkustofnun, OS 80021/ROD10-JHD17, 98 s.
- Stefán Arnórsson, Valgarður Stefánsson, Stefán G. Sigurmundsson, Gestur Gíslason og Karl Grönvold 1975: Rannsókn á jarðhitasvæðinu í Svartsengi. Orkustofnun, OS JHD 7541, 16 s.
- Svanur Pálsson 1972: Mælingar á eðlisþyngd og poruhluta bergs. Orkustofnun, OS ROD, 14 s.
- Sveinbjörn Björnsson, Birna Ólafsdóttir, Jens Tómasson, Jón Jónsson, Stefán Arnórsson og Stefán G. Sigurmundsson 1971: Reykjanes, heildarskýrsla um rannsókn jarðhitasvæðisins. Orkustofnun 122 s.
- Sveinn P. Jakobsson 1974: Eldgos við Eldeyjarboða. Náttúrufræðingurinn, 34, 22-40.
- Sveinn P. Jakobsson, 1979: Petrology of Recent basalts of the Eastern Volcanic Zone, Iceland. Náttúrufræðistofnun Íslands, Acta Naturalia Islandica 26, 103 s.
- Sveinn P. Jakobsson, Jón Jónsson, og F. Shido 1978: Petrology of the Western Reykjanes Peninsula, Iceland. Journal of Petrology, Vol. 19, 669-705.
- Trausti Einarsson, 1962: Upper Tertiary and Pleistocene rocks in Iceland. Vísindafélag Íslendinga, XXXVI, 1965.
- Trausti Hauksson 1980: Efnasamsetning heits grunnvatns og hitaveituvatns. Orkustofnun, OS 80023/JHD 12 s.
- Valgarður Stefánsson, Lúðvík S. Georgsson, Rúnar Sigfússon 1976: Rafleiðnimælingar í Eldvörpum og Svartsengi. Orkustofnun, OS JHD 7639, 45 s.

ENGLISH SUMMARY

Scope of the survey

The Sudurnes Regional Heating (Hitaveita Suðurnesja) provides the settlements of the western Reykjanes peninsula and the Keflavík Airbase with hot water for space heating and other general uses. The heat is obtained from the Svartsengi high-temperature geothermal area. The hot water in the area is saline, corresponding to approximately 60% seawater, and can not be used directly. Therefore freshwater must be supplied, that can be heated at the geothermal heating plant, before distribution to the users. This implies that the freshwater must be clean and relatively low in chemical contents. The freshwater needed is at present 200-400 l/s, depending on season and daytime.

The rocks on the western Reykjanes peninsula are generally highly permeable, resulting in a strong infiltration to the groundwater. There is ample precipitation in the area, estimated to be 1.000-1.500 mm/y. As a result of the high permeability the freshwater occurs in a thin layer, floating on seawater below it. This causes a certain danger of (vertical) contamination through upcoming of seawater by overdraught. The high-temperature fields in the area could also cause some (horizontal) contamination of the groundwater. The Sudurnes Regional Heating has therefore established an extensive and comprehensive survey of the groundwater in the area with the purpose of ensuring an adequate supply of freshwater for the heating plant.

The survey was performed by the National Energy Authority, Hydro Power Division, in the years 1975-80. The quantitative hydrological part of this survey has been dealt with elsewhere (Jón Ingimarsson and Jónas Elíasson 1980). The present report deals with qualitative aspects of the groundwater and the hydrogeology. It was finished towards the end of 1982, although its publication has been delayed for various technical reasons.

The survey covered the westernmost part of the Reykjanes peninsula with the exclusion of its northwestern part, the Rosmhverlanes peninsula, where most of the settlements and the Keflavík Airbase are situated. It is more than 20 km in E-W direction and more than 15 km across the peninsula in N-S direction. This part of the peninsula is flat and low-lying, nowhere exceeding 100 m a.s.l., except in a few isolated hills. It is for the greater part covered with postglacial, basaltic lavafields, the rest with interglacial basalts. Surface water is scarce, only some small ponds near the northern coast. There are no perennial streams, and indeed no runoff except some episodic currents on frozen ground during the winter season. These circumstances make a survey difficult and necessitate a comprehensive study using all means available at reasonable costs.

To this purpose an intensive hydrogeological study of the area was carried out. Information on postglacial volcanism was obtained from Jón Jónsson's (1978) excellent geological mapping, as well as geological information on other parts of the Reykjanes peninsula. Based on his work and some field reconnaissance, the distribution and nature of the volcanic formations on the peninsula were analysed, and

shown to be arranged in a systematic way, thus allowing for a reasonable idea of the rocks covered by the postglacial lavafields. The influence of the underlying structures on the present surface were studied and used for a reconstruction of those structures. Resistivity values from geoelectrical soundings were also used to form a model of rock distribution beneath the lava cover. Indirect indications from the groundwater research were also used to approximate the position of rock formations with different permeabilities below the lavas. These different methods all give similar results, thus establishing an agreeable degree of probability.

The tectonic fissure zones in the area were mapped and the width of the open fissures measured along some profiles. From this information the tectonic pattern of the area and orientation of the fissures were constructed. The permeability effect of the fissures was also estimated and with it the tectonic anisotropy of the permeability. The different rock types were classified according to their estimated relative permeability. A permeability map was made based on the same tectonic and lithological information as the hydrological model (Jón Ingimarsson and Jónas Eliasson 1980).

In all accessible boreholes, fissures and ponds, temperature and resistivity profiles were measured. Samples for chemical analysis were taken at selected places and where relevant the depth to the water level was measured. The thickness of the freshwater layer could be measured directly in the few boreholes penetrating through the layer to the seawater.

In some boreholes the waterlevel was gauged for some time, yielding mean elevations of the groundwater level. Using the ratio between the elevation of the groundwater level and thickness of the freshwater layer in the few cases where they could be measured in the same borehole, the thickness of the freshwater layer could be calculated from the mean groundwater level elsewhere. Also, the results from more than one hundred geoelectrical soundings were used, although they are of an indirect nature and have a considerable margin of error. From characteristics of the groundwater (temperature, chemistry), some sub-basins and groundwater currents could be reconstructed with some probability, thus indicating differences in the groundwater level. The results from these various methods agree reasonably well. These results were used as a base for the construction of a thickness model of the freshwater layer, including the location of some sub basins and the direction of some groundwater currents. This was also used for checking off the hydrological model.

The results from the survey can be summarised as follows:

Geology and hydrogeology

The Reykjanes peninsula is the product of the Reykjanes Volcanic Zone, linking the Reykjanes Ridge and the Middle Atlantic Ridge to the west with the Western Volcanic Zone of Southern Iceland to the east. This zone is perhaps only 5 km wide on the western side of the peninsula, but it widens eastwards and is about 15 km wide, where it merges with the Western Volcanic Zone. The volcanic rocks produced are basaltic, ranging from a few occurrences of picrites through olivine-tholeiitic

shield-volcanoes and associated, smaller volcanoes, covering great areas, to numerous tholeiitic lavafields from eruptive fissures (Jón Jónsson 1978; Sveinn P. Jakobsson og al. 1978). So far, no acid rocks have been found at the surface.

The postglacial and the interglacial extrusives form extensive flat lavafields, whereas the rocks from the glacials have been subglacially formed as hyaloclastites (Icelandic móberg) and heaped up in steep-sided mountains and hills. The lithological facies of these rocks show great diversity, ranging from fine-grained tuffs, through breccias and pillow lavas to irregularly jointed basalts. On the eruptive fissures the hyaloclastites form mountain ridges while what would become shield volcanoes in subaerial eruptions, are flat topped mountain massives. The higher mountains and peaks are often capped with subaerial basaltic lavas. From the eruption sites in the volcanic zone, lavas have flowed to both sides, forming flat lowlands at the coasts. The hyaloclastite mountains rise higher than 500-600 m a.s.l. in the easternmost part of the peninsula. Their elevation decreases westwards, and in the western part of the peninsula they are largely buried beneath postglacial lavafields.

The eruptive fissures, with few exceptions, occur on narrow strips, defined as volcanic strips. These can again be grouped together in volcanic systems, each including a shield volcano, some close-lying volcanic strips and one or more geothermal fields. Altogether there are five volcanic systems on the Reykjanes peninsula. They are aligned oblique to the volcanic zone itself, having an orientation of 30-40°E of N, as also of and the eruptive fissures. The volcanic zone has an inner zone, trending 75°E of N and delimited by a change in the orientation of the eruptive fissures towards east (40-45°E of N), occurrences of picrite and irregularities in the tectonic and the volcanic patterns. The northern part of this inner zone is seismically active. The shield volcanoes are situated on the northern borders of the inner zone at intervals of approximately 15 km. Shield volcanoes or tablemountains with these intervals can be found towards west out on the Reykjanes Ridge and towards east far into the Southern Lowlands. At both ends of the Reykjanes Volcanic Zone some irregularities appear, amongst them an increased number of shield volcanoes, inside and outside the zone.

The bulk of the higher hyaloclastite mountains are thought to be from the last glacial. Hyaloclastites in the basement of the ridges, e.g. in the Fagradalsfjall area, are probably from the second last glacial. Further east, still older rocks may occur. Composite hyaloclastite ridges seem often to correspond to recent volcanic strips in site, size and orientation, although they as a rule are situated somewhat to the west of the strips. The mean distance between the ridges and the corresponding volcanic strips is about 0,7 km. If we assume a spreading rate in the volcanic zone of 2 cm/y perpendicular to the volcanic orientation, this would correspond to a mean age of 35.000 years for the hyaloclastite ridges from the last glacial, which agrees pretty well with half the time since the probable beginning of the last glacial, 70.000 years ago.

There are many faults and fissures on the Reykjanes peninsula. They most frequently occur in swarms, connected with the volcanic strips and have the same orientation. Along the northern border of the vol-

canic zone are fissure-swarms with orientation near to 60° E of N. They are not quite continuous. Connected with them are, in some cases at least, shallow grabens, perhaps of a flexural nature. The opening at the surface amounts to 1-6 m/km in those swarms. They enhance greatly the permeability of the rocks. An attempt was made to calculate the permeability effect of this fissuring, assuming that the "permeability" of the fissures is somewhere between that of an open channel and that of a fissure filled up with coarse gravel, as many of the fissures are filled with stones and blocks from the walls. The tectonic permeability, calculated this way, reaches as high as 15×10^{-2} m/s or even higher, (hydraulic conductivity) for small areas. Subregions with similar tectonic permeability were classified and mapped as part of the base for a hydrological model. The permeability is anisotropic because of the fissure swarms, and highly so, where open fissure swarms cut rocks with relatively low permeability. In areas where fissure swarms coincide with highly permeable rocks their chief effect is to enhance the already high permeability and cause an anisotropy with factor 1,5 - 3 in the direction of the fissures.

The volcanic rocks were classified according to permeability. Young scoriaceous lavas have the highest permeability, often tholeiites from eruptive fissures. Most other postglacial lavas, e.g. the olivine-tholeiites, are also highly pervious. Interglacial basalts, young, unaltered tuffs and clean pillow-lavas are of medium permeability. Old, altered breccias and tuffs, perhaps together with dense basaltic masses are the least pervious. The area was divided into subregions according to permeability in view of the assumed lithology in the freshwater layer. The subregions were mapped as a base for hydrological model. The final values of permeability for the various subregions were obtained from the hydrological model, ranging from 0,003 m/s (hydraulic conductivity) to 0,3 m/s, the proportion of the part with scoriaceous lava in the profile in the freshwater layer playing a major role.

The stratification of the lavafields causes a strong vertical - horizontal anisotropy as the permeability is highest along the scoriaceous contacts between the lava flows, but may be very low in the massive interior of the lavas, at least in some cases. This anisotropy is very important as it reduces the danger of seawater upconing by extraction of water from the freshwater layer.

The research area proper covers the western-most part of the peninsula. On its eastern border is the hyaloclastite mountain massif of Fagradalsfjall, constituting the western end of the continuous hyaloclastite mountains of the peninsula. The northern coast of it is covered by interglacial basalts, perhaps from shield volcanoes on Vogastapi and Háaleiti. Northeast from Grindavík a row of hyaloclastite hills protrudes through the postglacial lavas. Another row of hills extends from Reykjanes to Þórðarfell. Both hill-rows represent a zone of buried hyaloclastite ridges deeper down in the strata, having a relatively low permeability. South of Þórðarfell and northwest of Stapafell older and less permeable rocks are probably buried beneath the lavafields. Between all those older rocks, the freshwater layer is in highly permeable postglacial lavas. Northeast from Stapafell - Þórðarfell is a region, measuring approximately 9×4 km, where stratigraphy and tectonics combine to establish a high permeability, nearly 0,15 m/s. In the southwestern part of this area

is Lágasvæði, the freshwater exploitation area for Suðurnes Regional Heating. This permeable region is surrounded with less permeable rocks, "passes" leading to southwest and south. In Lágasvæði local permeabilities may reach as high as 0,6 m/s in small areas. Here a few open fissures reach down to the groundwater, a phenomenon rarely found elsewhere. One of the fissures (Gjá í Lágum) constitutes the principal freshwater well of Hitaveita Suðurnesja.

Groundwater

Almost all groundwater in the research area is thought to be of local origin and fed by the precipitation in the area. Mean annual precipitation is about 1.000 mm and still higher in the eastern part of it. There is no surface runoff in the area and actual evapotranspiration is probably low, because of climatic conditions, the properties of the rocks and the vegetation - soil cover on the surface. Infiltration is therefore high. The hydrogeological structures of the peninsula farther to the east drain the groundwater to the coasts on both sides and not in the axial direction of the volcanic zone. Some groundwater currents radiate outwards from the Fagradalsfjall massif, but apart from that the groundwater in the research area has its origin inside the area itself. The outflow at the coast can be measured or estimated at some places, adding useful information.

The freshwater layer formed by the infiltration floats on seawater. This layer is about 50 m thick in Lágasvæði, increasing to the east - southeast and reaching 100 m at the base of Fagradalsfjall. North of Lágasvæði the elevation of the water table remains high, but drops more rapidly to the south and southwest - west along the high permeability channels mentioned above. Some water flows into Lágasvæði from the east and southeast but water flows out of the area to the south and southwest. According to the groundwater currents the research area can be divided into subbasins, which are also reflected in different temperatures and chemistry.

This division is best known in Lágasvæði and its surroundings:

1. North of Lágasvæði: Njarðvíkurheiði: temperature 3⁰C, chloride 15-30 ppm, magnesium 2-5 ppm.
2. Northeast of Lágasvæði: Vogaheiði: Temperature about 4⁰C, chloride 20-35 ppm, magnesium 3-4 ppm. A higher local concentration, perhaps due to unknown geothermal fields.
3. Lágasvæði, northwest part: temperature 4,5-5⁰C, chloride about 40 ppm. magnesium about 4 ppm.
4. Lágasvæði, southeast part: temperature 4-6⁰C, chloride about 70 ppm, magnesium about 7 ppm.
5. Off-flow area from Svartsengi geothermal field: temperature 6-15⁰C, chloride about or more than 150 ppm, magnesium 10 ppm or more.

These differences in water qualities are thought to be due to various factors including differences in the chemistry of the precipitation, influx from geothermal areas, ratios between snow-melt and summer rains, reaction with the rocks, and seawater mixing from below because of tidal effects, heterogeneous flow channels and diffusion. Some of those factors are also responsible for the layering in the freshwater. At the bottom of the freshwater layer on Lágasvæði is a mixed layer, approximately 15 m thick, with temperature and salinity increasing rapidly downwards.

Changes in the groundwater flow would cause changes in temperature and chemistry as well. Measurements of temperature and chemistry are an easy and effective way to observe groundwater changes.

ORÐASKRÁ OG ORÐAÞÝÐINGAR

Í riti þessu eru víða notuð sérfræðileg heiti og hugtök. Mörg þeirra hefur skort íslensk heiti en um önnur hafa verið notuð hvers kyns orðskrípi eða málslettur. Hér er þessum hugtökum öllum gefin íslensk heiti og eru ýmsir höfundar að. Um það má deila hversu góðar þessar nafngiftir eru, en til skýringar eru hér tilgreind heiti þeirra á framandmálum og/eða íslensk samheiti. Flest þessara orða eru til okkar komin úr latínu og hafa borist annað hvort um þýsku (þ) og norðurlandamál ("n"), eða um frönsku (f) og ensku (e). Má þar minna á orð, sem í latínu enda á -itas (þ.: -ität, "n": -itet, f: -ité, e: -ity) eða ica (þ., "n": -ik, f.: -ique(s), e.: -ics). Hér er yfirleitt tilgreind hin norræna mynd þessara orða. Gildir það sama um mörg lýsingarorð (ending í íslensku og norðurlandamálum: -sk, -isk; þ.: -sch, -isch; f.: -ique, e.: -ic. Sum vatnafræðihugtök eru tilgreind á margyrtri ensku, þar eð þau munu flestum kunnug á því máli. Auk þess eru hér skráð ýmis heiti, er gefin hafa verið hugtökum, sem skilgreind eru í riti þessu. Er vísað til þess, hvar þá skilgreiningu er að finna í texta ritsins. Vafasöm heiti, slettur og óyrði eru sett inn gæsalappa.

Aðdáendum vafasamra málslettna mun finnast þessi skrá vera óþörf.

aðferðafræðilegt: methodologisk
aðleiðsla: lat.: Inductio
afleiðsla: lat.: Deductio
aflrænt: dynamisk
afstætt: relativ
algjört: absolut
andfareind: "katjón", "bakskauts-jón", kation
andkvætt: negativ,
andleitið: þ.: antezendent
ann - : sekunder (t.d. anngrop, annsteind o.s.frv.)
annlekt: e.: secondary permeability
ásýnd: "hamur", lat.: facies
athuganakerfi: empirískt system

beind: vektor
berglekt: sjá kafla 2.2.
"bergskrokkur": sjá kafla 2.1.1.
brotaberg: "breksia", it.: Breccia
brúnótt: "kantað"

dulsprungur: hér: sprungur, sem ekki sjást á yfirborði
dyngjurein: sjá kafla V.II.1.4.

eðlislægt: qualitativ
efnastyrkur: kemisk koncentration

fall: funktion
fareind: "jón", ion
ferli: process
flæði: diffusion
forfareind: "anjón", "forskauts-jón", anion
forímynd: þ. Vor-Abbild, e.: pre-image

forkvætt: positiv, jákvætt
frávik: e.: deviation, e.: anomaly
frumlekt: e.: primary permeability
fræðilegt: kennilegt, theoretisk
fuk: fokið efni, einkum smákorna (sbr. ryk)
fylki: skipulegur skari
"fylla": "massi"
fylld: matrix
fyllingarlekt: sjá kafla V.III.1.3.

ganghæð: hæð misgengis
glerbrotaberg: hyaloklastit
gosbelti: vulkanisk zone
gosfylki: gosstöðvafylki, sjá kafla V.II.1.1., VII.1.5.,
e.: volcanic system
goshaggalt: vulkanotektonisk
goshöggun: vulkanotektonik
gosrein: sjá kafla V.II.1.3.
gosreinafylki: sjá kafla V.II.1.4.
grágrýti: hér: jökulurið basalþhraun frá hlýskeyði
gróf: sigdæld, þ.: Graben
grop: porositet
groppa: "pora", "örhola"
gropið: poröst
gyski: gossalli, "gjóska", gr. tephra
gyskiberg: berg úr gyski, "túff".

haggalt: tektonisk
"hárglufa": "kapillar"
heiðsteind: ljós steind, leukokrat mineral
heildi: integral
heildun: integrering, integration
heildunarhaft: "integraltækt", þ.: integrierbar
hlýskeyð: interglasial, interstadial, hlýviðristími, (sjá
kafla V.I.1.2.)
hlutlægt: objektiv
hnatthaggalt: sbr. þ. Geotektonik, e.: global tectonics
huglægt: subjektiv
huld: andstaða við opnu: þar sem ekki sér í jarðlag
höggul greining: tektonisk analyse
höggun: tektonik
hörgur: rishæð, þ.: Horst

ímynd: þ.: Abbild, e.: image
írennsli: infiltration
ísöld: glacial, þ.: Eiszeit, sjá kafla V.I.1.2.

jafnleitíð: isotrop
jarðgerð: jarðfræðileg gerð eða "bygging"
"jarðlagafliótur": stratigrafisk horisont
jarðlekt: sjá kafla 2.2.
jökulmelur: "mórena", "grunnmórena"
jökulskeyð: stadial, sjá kafla V.I.1.2.
jökult: glacial
jökultími: sjá kafla V.I.1.2.

kvarðastærð: skalar

leiðni: "vatnsleiðni", transmissivitet
lekt: permeabilitet
"lektargerð": þ.: "Durchlassigkeits-Beschaffenheit"
lokaður veitir: e.: confined aquifer

magnlægt: kvantitativ
máldreifing: "normal"-dreifing
margrænt: misrænt, heterogen
meginjökulskeið: sjá kafla V.I.1.2.
misleitinn: anisotrop

ofanvarp: projektion
opinn veitir: e.: unconfined aquifer
opna: þ.: Aufschluss; þar sem sér í jarðlag
ósammælt: asymmetrisk

ráðfræðilegt: rational
raunfræðilegt: real, reelt
raunlekt: e.: intrinsic permeability
"rennslissmið": e.: flow structure, flow pattern

sallaberg: "túff"
sammælt: symmetrisk
samrænt: homogen
segulfrávik: e.: magnetic anomaly
segulskeið: e.: magnetic event; segulhvik (t.d. Jaramillo)
segulöld: e.: magnetic epoch (t.d. Brunhes)
seigja: viskositet
sírennandi vatn: e.: perennial stream
skarað: "skástígt", fr.: en echelon
skúmsteind: dökk steind, melanokrat mineral
skurðlekt: sjá kafla V.III.1.3.
smið: struktur
sniðhreyfing: "sker"-hreyfing, e.: shearing movement
sniðspenna: "sker"-spenna, e.: shear-stress, -strain
snörun: e.: tilt, tilting, þ.: Verkippung
sporbeygill: ellipsoid
sprungufylki: sjá kafla 3.6.
sprunguleiðni: sjá kafla V.III.1.3.
sprungulekt: sjá kafla 2.2.
sprungulínur: sjá kafla 3.6, V.III.2.2.
sprungurein: sjá kafla V.III.2.3.
sprunguskari: "sprungusveimur"
"spryngni": sjá kafla V.III.1.7.
staðtölulegt: statistisk
stefnuvöndur: þ.: Richtungsbündel
steind: mineral
stemmir: e.: aquiclude
stig: "gráða", áfangi, hluti
"stremislekt": e.: hydraulic conductivity
styrkur: koncentration (í efnafræði)
stærðarstig: þ.: Größenordnung, e.: order of magnitude
sveigja: sveigjusig, flexur

"túff": sallaberg, gyskiberg
tvískauta: bipolar
tölfræðilegt: statistisk

undirberg: berg undir öðru jarðlagi

vatnafræðileg smíð: e.: hydrological structure

vatnajarðfræði: hydrogeologi

vatnasvæði: svæði með nánar skilgreindu vatni

vatnsgæft: svæði eða vatnsból, sem mikið vatn fæst úr

vatnslag: grunnvatn er stundum lagskipt að gerð (hita, efnun o.fl.)

vatnsrýmd: samsvarar virku gropi

veitir: "vatnsleiðari", aquifer

venzl: affinitet

viðmál: parameter

víkkun: sjá kafla V.III.1.4.

villuvatn: e.: perched water

villuveitir: e.: false aquifer

vindingur: torsion

virkt grop: effektivt porositet

"vætt ummál": fr.: périmètre mouillé, e.: wetted perimeter

þíðskeið: sjá kafla V.I.1.2.