



ORKUSTOFNUN

RANNSÓKNASVIÐ - Reykjavík, Akureyri

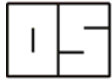
Jarðgöng milli Siglufjarðar og Ólafsfjarðar um Héðinsfjörð

Kristján Sæmundsson

Unnið fyrir Vegagerðina

2000

OS-2000/010



Kristján Sæmundsson

**Jarðgöng milli Siglufjarðar og Ólafsfjarðar
um Héðinsfjörð**

Jarðfræðirannsóknir

Unnið fyrir Vegagerðina

OS-2000/010

Janúar 2000



Skýrsla nr.: OS-2000/010	Dags.: Janúar 2000	Dreifing: <input checked="" type="checkbox"/> Opin <input type="checkbox"/> Lokuð til
Heiti skýrslu / Aðal- og undirtitill: Jarðgöng milli Siglufjarðar og Ólafsfjarðar um Héðinsfjörð Jarðfræðirannsóknir	Upplag: 25	Fjöldi síðna: 22 s. + 20 myndir
Höfundar: Kristján Sæmundsson	Verkefnisstjóri: Kristján Sæmundsson	
Gerð skýrslu / Verkstig: Lýsing á jarðfræði jarðgangaleiða	Verknúmer: 8-620008	
Unnið fyrir: Vegagerðina		
Samvinnuaðilar:		
Útdráttur: Áætluð jarðgöng með meginstefnu 120-130° myndu verða í sömu ólivínbasaltsyrpunni á tveimur tæplega 4ra og rúmlega 6 km löngum gangaleiðum. Hraunlögin eru sum beltótt, önnur einföld. Millilög eru þunn utan eitt. Berglagahalli er 6-8° SV. Holufylling er mikil og skólesít ráðandi. Algengasta stefna bergganga er um 10° og hlutur þeirra í bergmassanum í jarðgangahæð (20-100 m) 4-5 prósent. Misgengi hafa sömu meginstefnu. Stærstu misgengin eru 50-100 m. Berggangar og misgengi eru líklegustu lekarásir, en norð-suðlæg stefna þeirra fellur saman við aðra stefnuna í brotafari virkrar höggunar. Þrjú jarðhitakerfi yrðu á jarðgangaleiðunum og eru tvö af þeim nýtt. Þetta þarf bergið þar sem farið yrði í gegnum þau. Líklegt lekasvæði er undir Syðrárdal. Þar eru stærstu misgengin og jafnframt NV-SA misgengi sem jarðgöngin færu í gegnum undir hvössu horni.		
Lykilorð: Jarðgöng, jarðfræði, jarðlög, berggangar, misgengi, jarðvatn, lekt, gangaleiðir, Siglufjörður/Ólafsfjörður/Héðinsfjörður	ISBN-númer:	
	Undirskrift verkefnisstjóra:	
	Yfirfarið af: BAH	

EFNISYFIRLIT

1. Inngangur.....	5
2. Jarðfræði jarðgangasvæðisins í víðara samhengi	5
Fyrri rannsóknir	5
Berglög	5
Forn og virk brotakerfi	5
Grunnvatn, lindir og jarðhiti.....	6
3. Almenn um bergbygginguna á jarðgangasvæðinu	6
Hraunlög og hraunlagasyrpur	6
Afstaða til berglaga í jarðgöngunum gegnum Ólafsfjarðarmúla	7
Strik og halli berglaganna.....	7
4. Holufylling og ummyndun.....	7
5. Berggangar.....	7
Dreifing og gangahlutfall.....	8
Þykkt ganga	8
Stefna ganga	8
Halli ganga.....	8
6. Misgengi	9
Stefna og dreifing misgengja.....	9
Stærð misgengja	9
Halli misgengja.....	9
Misgengisbreksía og skriðfletir	9
Aldur og eðli misgengjanna.....	9
7. Smásprungur og brestir	10
Prímerir brestir (joints)	10
Minni háttar höggunarsprungur	10
8. Nánar um gangaleiðirnar	11
Lausalög við gangamunna.....	11
9. Gangaleið A, Ólafsfjörður - Héðinsfjörður.....	11
Lausalög við gangamunna á leið A	12
Um berglagasniðin í Ósbrekkufjalli og Skeggjabrekkudal.....	12
Um berglagasniðin í Syðrárdal	12
Um berglagasniðin austan megin í Héðinsfirði	12
10. Gangaleið B, Siglufjörður - Héðinsfjörður	13
Lausalög við gangamunna á leið B.....	13

Um berglagasniðin vestan megin í Héðinsfirði	13
Um berglagasniðin í Skútudal	13
11. Hlutfall berggerða á gangaleiðunum.....	14
Um hraunlög og millilög í ólivínbasaltsyrpunni.....	14
Um hraunlög og millilög í þóleiítsyrpunni	14
Berggangar og misgengi á gangaleiðunum.....	15
Nánar um mismunandi berg á gangaleiðunum	15
12. Skjálftavirkni á nærsvæðum jarðganganna	16
13. Vatn, jarðhiti og lekahætta	16
14. Framhaldsrannsóknir.....	17
Heimildaskrá	19
Myndatextar	20

1. Inngangur

Nokkrar tillögur hafa verið gerðar um jarðgöng milli Ólafsfjarðar og Siglufjarðar um Héðinsfjörð. Tvær aðalleiðir þóttu koma til greina á milli Ólafsfjarðar og Héðinsfjarðar, annars vegar stutt göng milli Árdals og Víkurdals, afdala frá Ólafsfirði og Héðinsfirði, hins vegar lengri göng úr Skeggjabrekkudal yfir í megingdalinn inn af Héðinsfjarðarvatni. Aðeins ein aðalleið er talin koma til greina milli Héðinsfjarðar og Siglufjarðar, úr megingdalnum á móts við Héðinsfjarðarvatn yfir í Skútudal inn af Siglufirði. Nokkur tilbrigði í legu ganganna voru athuguð á nefndum aðalleiðum. Niðurstaðan varð sú sem lýst er í þessari skýrslu (mynd 1). Gangaleiðin milli Ólafsfjarðar og Héðinsfjarðar er í skýrslunni nefnd A, en hin milli Héðinsfjarðar og Siglufjarðar er nefnd B.

2. Jarðfræði jarðgangasvæðisins í víðara samhengi

Fyrri rannsóknir

Fyrri rannsóknir á svæðinu milli Ólafsfjarðar og Siglufjarðar aðrar en þær sem beint snerta fyrirhuguð jarðgöng eru einkum þríþættar. Þær snerta *jarðhitann* (Ragna Karlsdóttir og Jóhann Helgason 1978, Jens Tómasson o.fl. 1979, Ómar Sigurðsson o.fl. 1987, Helgi Torfason 1989), *brotahreyfingar* (Bortolotti og Passerini 1974, Langbacka og Ágúst Guðmundsson 1995) og *jarðgangagerð* í gegnum Stráka (Þorleifur Einarsson og Haraldur Sigurðsson 1965) og Ólafsfjarðarmúla (Sveinn Björnsson 1984, Hreinn Haraldsson 1992). Um fyrri rannsóknir á jarðgangaleiðum milli Siglufjarðar og Ólafsfjarðar vísast í fyrri skýrslur undirritaðs Kristján Sæmundsson (1996 og 1999). Margt hefur verið ritað um skjálftavirkni í Tjörnes-brotabeltinu. Varðandi ysta hluta Tröllaskagans liggur mikil vitneskja fyrir í gagnasafni Veðurstofu Íslands. Það helsta í þeim gögnum er dregið fram í þessari skýrslu.

Berglög

Jarðlög á svæðinu milli Ólafsfjarðar og Siglufjarðar eru eingöngu basalhraunlög með óverulegum millilögum. Upphleðslu frá megineldstöðvum gætir þar ekki utan hvað fyrir koma nokkur súr túff- og flikrbergslög. Óvíst er hvar þau eru upprunnin. Elstu hraunlögin er að finna við sjávarmál yst á útskögunum. Þau eru um 13 milljón ára (Kristján Sæmundsson o.fl. 1980, svo skv. leiðréttu tímatali). Á jarðgangaleiðunum er aldur berglaganna líkast til milli 12 og 12,5 milljón ár. Berglagahallinn er suðvestlægur. Á gangaleiðunum fer hann hvergi yfir 10°, en við utanverðan Siglufjörð sést allt upp í 15° halli.

Forn og virk brotakerfi

Á utanverðum Tröllaskaga eru tvö brotakerfi þekkt. Annað markast af ríkjandi norð-suðlægum berggöngum og misgengjum sem urðu til undir áhrifum lárétrar A-V-togspennu (orðað svo þegar minnsti þrýstingur er láréttur A-V, og mesti lóðréttur) um sama leyti og berglagastaflinn var að hlaðast upp. Hitt brotakerfið markast af NV-SA og N-S sprungum og misgengjum sem mynduðust undir áhrifum NA-SV-togspennu þó með sterkum láréttum þætti með mestum þrýstingi NV-SA. Síðarnefnda brotakerfið er yngra. Það tengist Tjörnes-brotabeltinu sem virkt hefur verið í 6-7 milljón ár. Norð-suðlæga stefnan er sameiginleg báðum brotakerfunum og núverandi brotahreyfingar virðast koma fram í eldri veilum, þ.e. berggöngum og misgengjum frá tímum upphleðslunnar. Misgengi með NV-SA-stefnu eru fátíð fyrir en utan til við Siglufjörð og Ólafsfjörð. Þar koma fyrir misgengi með þessari stefnu sem mælast í mörgum tugum metra og sprungur með þeirri stefnu eru miklu tíðari þar en á gangaleiðunum suðvestar. Fall á misgengjum með NV-SA-stefnu er til NA, í átt að sigdalnum úti fyrir Flateyjar- og Tröllaskaga.

Harðir jarðskjálftar hafa átt upptök yst á Tröllaskaga og í hafsbótunum þar úti fyrir. Þeir tengjast Tjörnes-brotabeltinu og eiga rætur að rekja til siggengja eða lárétrar hliðrunar bergfleka sem brotlausnir sýna (Páll Einarsson 1989). Jarðskjálftar með upptök á þessum slóðum eiga líkast til mikinn þátt í að viðhalda sprungulekt með höggbylgjum sem verka á vatnsmettaðar sprungur og geta brotið þær upp í hálflokuðu umhverfi (hydraulic fracturing).

Grunnvatn, lindir og jarðhiti

Ýmislegt bendir til að grunnvatnsstaða sé há til fjalla í blágrýtismynduninni. Prímer lekt er enn töluverð í lítt holufylltu bergi hæst í þeim og sprungulekt jöfn og umtalsverð niður í gegnum berglagastaflann á virkum brotasvæðum eins og yst á Tröllaskaga. Úrcoma er þar mikil, en niðurhrip að vísu hverfandi nema frá vori og fram á haust. Líklega er því grunnvatnsstaðan í fjöllum þessum sveiflukennnd.

Lindir úr bergi er víða að finna. Þær koma fram bæði sem dýjarákir hátt í hlíðum í hinum breiðari fjallabálkum og staðbundnar, oftast við bergganga en misgengi og þá neðan við miðjar hlíðar. Dýjarákirnar fylgja lagamótum og eru algengastar í 400-500 m hæð þar sem holufylling bergsins fer að minnka til muna. Dýjarákirnar eru n.k. affall af grunnvatnskerfi þar sem prímeru lektinni sleppir en sprungulektin verður æ meira ráðandi. Þær gefa til kynna falskt vatnsborð næst hlíðinni. Nokkur hundruð metra langar dýjarákir koma einnig fyrir þar sem vatnið kemur upp með berggöngum. Sláandi dæmi eru um slíkt í Hólshyrnu austan við Ólafsfjarðarvatn.

Jarðhiti sem er talsvert útbreiddur yst á Tröllaskaga á rætur í hinu virka brotakerfi. Vatnskerfin fylgja N-S-brotum og þó einkum berggöngum. Brotahreyfingarnar skapa eða viðhalda sprungulekt sem þarf til að rennsliskerfi myndist og hálendi með mikilli úrkomu og hárrí grunnvatnsstöðu veldur háum þrýstingi í þeim og knýr þau að vissu marki. Jarðgöngin færur í gegnum þrjú þekkt jarðhitakerfi og raunar í gegnum eða nærri heitavatnsuppstreymi í þeim. Sprungutengd jarðhitakerfi geta verið býsna víðáttumikil, jafnvel 10-20 km á lengd. Niðurstreymi kalds vatns í þau er á hálendisvæðunum. Uppstreymi heita vatnsins er þannig vísbending um góða lekt í sprungustefnu langt út fyrir jarðhitastaðina sjálfa.

3. Almennt um bergbygginguna á jarðgangasvæðinu

Hér að neðan verður gripið á helstu þáttunum í bergbyggingunni á nærsvæði hugsanlegra jarðganga. Ýmsa þætti var hægt að mæla og bera saman á þeim grundvelli, en oft varð að láta mat duga þar sem opnur voru strjálur, eða athugunum einungis komið við hátt til fjalla.

Hraunlög og hraunlagasyrpur

Berglög voru rannsökuð í fjölda sniða bæði ofan og neðan við þann kafla í berglagastaflanum sem jarðgöngin kæmu til með að fylgja. Hraunlögum var skipt eftir berggerð í ólivínbasalt, dílabasalt og þóleíft. Ólivínbasaltið kemur fyrir bæði sem einföld og beltótt hraunlög, oft er það nokkuð dílótt af feldspati, en dílarnir smáir. Dílabasaltið (með stórum dílum, að sjónmati vel yfir 5%) er í flestum tilfellum ólivínbasalt, stundum beltótt eins og það, en fyrir koma einnig lög með miklu magni af dílum (s.k. kúmúlat) og þá yfirleitt þykk. Dílarnir eru fyrst og fremst feldspat, en oft er nokkuð pýroxen með því. Dílabasaltlögin eru sum hver misjafnlega mikið dílótt eftir því hvar er í laginu. Dílamagn er þá gjarnan mest nokkuð ofan við botn laganna og uppeftir þeim, en minna ber aftur á þeim efst. Þóleíftlögin eru jafnan einföld, lítið sem ekkert dílótt, oftast greinilega straumflögótt og með hlutfallslega þykkum karga efst.

Sæmilega skýr mynd af breytileika laganna fæst þegar skoðaður er >1000 m þykkur stafli af berglögum eins og hér var gert. Tilgangurinn með slíku er að greina á milli einsleitra hraunlagasyrpana sem síðan má rekja langar leiðir og kortleggja með því útbreiðsluna. Jafnan er von til að fáein lög finnist svo auðkennileg að ekki verði á þeim villst. Einungis með hjálp ólíkra hraunlagasyrpana og einkennislaga er unnt að glöggva sig á stærstu misgengjunum og ákvarða færslu á þeim.

Í sniðunum sem fylgja þessari skýrslu eru einungis sýndar þrjár syrpur af þeim sem skoðaðar voru, þ.e. þær sem mest hald var í til að finna hvar jarðgöngin fyrirhuguðu kæmu til með að liggja. Neðsta syrpan er aðallega úr ólivínbasalti, sem sumt er nokkuð dílótt. Þykkt hennar er um 350 m. Neðstu 100 metrarnir í henni samsvara efsta hluta svonefndrar blandsyrpu í Árdal (mynd 2). Hún var aðskilin sem sérstök syrpa með öfugri segulstefnu, en hér er ástæðulaust að greina hana frá. Miðsyrpan er úr þóleífti og í henni fáein þykk dílabasaltlög. Hún er um 350 m þykk. Efsta syrpan

er úr dílabasalti. Hún er 350-400 m þykk. Jarðgöngin verða grafin gegnum ólivínbasaltið, þ.e. neðstu syrpu, en gætu nálgast efri mörk hennar á köflum.

Afstaða til berglaga í jarðgöngunum gegnum Ólafsfjarðarmúla

Athugað var hvar jarðgöngin í Ólafsfjarðarmúla væru í berglagastaflanum miðað við gangaleiðirnar sem hér eru til umfjöllunar. Í ljós kom að Múlagöngin eru 150-200 m neðar, í berglagasyrpu sem sýnd er norðaustast á jarðfræðikortinu (mynd 2) og nefnd er blandsyrpa vegna þess hve lögin í henni eru mismunandi. Að megninu til er blandsyrpa þessi með öfuga segulstefnu, gagnstætt hraunlögum á gangaleiðunum sem nú er hugað að og næst ofan þeirra. Til viðmiðunar eru einnig lög úr mjög dílóttu basalti rétt ofan við Múlagöngin sem þekkja má beggja megin við Ólafsfjörð, þ.e. í Múlanum og í Finninum upp af Ytriá.

Strik og halli berglaganna

Strik berglaga var mælt á mörgum stöðum nærri gangaleiðunum þar sem aðstæður voru til þess. Það reyndist vera á bilinu N30-40°A. Halli berglaganna er 6-8° neðst í dölum, vex heldur í átt til Siglufjarðar þar sem hærri talan gildir. Efst í fjöllum, ofan 700 m eða þar um bil, er hallinn minni, eða á bilinu 2-3°. Frávik frá hallanum koma fram við misgengi, en eru staðbundin. Meginstefna hugsaðra jarðganga er nálægt 121° á gangaleið A og 128° á gangaleið B. Burtséð frá hápunkti á báðum gangaleiðum yrði smávægilegur halli á þeim á heildina lítið beggja megin frá að Héðinsfirði. Jarðgöngin myndu þess vegna færast upp á við í stafla eftir því sem vestar kemur. Misgengi með fall til austurs miðsvæðis á gangaleið A myndu að nokkru vega upp hækkun í stafla vestur á við.

4. Holufylling og ummyndun

Holufylling í bergi er mikil á jarðgangasvæðinu. Í neðstu syrpu, ólivínbasaltinu, er skólesít og mesólít aðalholufyllingin og fer langt í að fylla holurnar neðan 200 m. Fleiri zeólítar koma þar fyrir, svo sem heulandít, kabasít, thomsonít og analím. Í þóleítsyrpu er kalsedón ráðandi holufylling, oft vöxtulegt, en stærri holur eru einungis hálfylltar og ofan til í syrpu oftast tómar en með fyllingum. Auk kalsedóns finnst í þóleítinu nokkuð af klórófeiti, stílbíti og mordeníti. Í efstu syrpu, dílabasaltinu, er kabasít aðalholufyllingin, en með því finnst thomsonít og ópall. Efri mörk holufyllingabeltisins sem kennt er við mesólít og skólesít nær í um það bil 500 m hæð. Aðalsprungufyllingin er stílbít. Það fyllir nokkurra cm breiðar sprungur og bresti yfirleitt alveg. Með því er jafnan nokkurt hematít og tekur stílbítið stundum bleikan eða rauðbrúnleitan lit af því. Þar sem glufur koma fyrir er gulleitur leir (smektít) í þeim. Smávegis finnst af öðrum zeólítum, kalsíti og ópall.

Athugun á þunnsneiðum náði til 15 hraunlaga í samfellu ofan til í ólivínbasaltsyrpu í Ólafsfirði, auk nokkurra laga efst í henni í Skútudal. Jarðgöngin koma til með að fylgja þeim sömu eða svipuðum hraunlögum. Í sneiðunum má sjá töluverða ummyndun. Mest er hún þar sem bergið er blöðrott, en minni þar sem það er þétt. Ummyndunin vinnur auðveldast á ólivíni sem má heita að fullu umbreytt í dökkbrúnt iddingsít, einnig þar sem bergið er þétt eða blöðrulítið. Feldspat, einkum dílarnir, er einnig töluvert ummyndað, í gulleitt eða brúnleitt smektít. Málmur er lítið ummyndaður og pýroxen yfirleitt ferskt. Blöðrur eru með smektít- og stundum seladónítskán og zeólítafyllingu. Þóleítið var aðeins athugað í fáum þunnsneiðum. Einkenni þess eru einkar dæmigerð og bergið gráyrjótt og fersklegt nema í smáblöðrum sem fylgja flöguminni sem og umhverfis stærri blöðrur. Þar er brúnleitt smektít eða klórófeit áberandi.

5. Bergganga

Fjöldi bergganga kemur fyrir á gangaleiðunum og í nánd við þær. Þeir eru sýndir á jarðfræðikortinu (mynd 2). Gangarnir eru ýmist einfaldir eða marglaga. Þykkustu gangarnir (7 m og þar yfir) voru yfirleitt marglaga, en þeir þunnu (<3 m) einfaldir. Ekki var kannað kerfisbundið hversu stór hluti marglaga ganganna voru samsettir, þ.e. hvort einingarnar í þeim væru með glerung á hliðum eða úr

ólíku bergi. Fyrir koma ½-1 m þykkir gangar og æðar til hliðar við marglaga gangana. Væru þeir innan við 10 m frá voru þeir lagðir til þeirra þegar slegið var á þykktina. Gangarnir voru yfirleitt úr fersku bergi, en dæmi fundust um töluverða ummyndun í þeim, einkum í grófkorna og marglaga göngum, enda úr ólívínbasalti. Nokkrir ganganna eru dílóttir og miðjan stundum morandi af dílum þótt minna sé um þá til jaðrana. Bergið í göngunum var yfirleitt blöðrulaust, en blöðrurnar smáar þar sem eftir þeim var tekið. Holu- og þó fremur sprungufyllingar koma fyrir í þeim. Fyrir kom að gangarnir voru rákaðir á hliðum. Rákirnar voru af þeirri gerð sem nefna mætti seigrennsliðrákir (soft state lineations), breiðar og grunnar. Stefna þeirra var skáhallt upp sunnan frá, um 30°. Upprunans væri því að leita í þá átt.

Dreifing og gangahlutfall

Dreifing bergganganna er misjöfn. Þeir koma stundum fyrir margir saman á nokkur hundruð metra breiðu bili, annars staðar fáir á álíka breiðu bili. Gangarnir voru kortlagðir mismunandi hátt í landinu og oft var þar um sömu gangana að ræða, í það minnsta sömu gangaskarana. Það er almenn reynsla að berggöngum fækkar upp á við í stafla. Fækkunin er ekki jöfn, sérstaklega ekki þar sem gangaskarar eru á ferðinni. Afgerandi fækkun ganga upp á við á því hæðarbili sem athuganir náðu til (0-900 m) mátti greina í Skútudal og Ósbrekkufjalli. Í 500-700 m hæð var gangafjöldinn sums staðar á bilinu 5-10 pr km. Reikna má með að gangarnir séu tveim til fjórum fleiri neðar, í 20-90 m hæð, þar sem jarðgöngin kæmu til með að liggja. Hlutfall bergganga, þ.e. samanlögð þykkt ganga reiknuð sem prósentu af tilteknu bili þvert á gangastefnuna var reiknað, en að hluta áætlað á báðum gangaleiðunum. Gengið var út frá þeim gildum sem fengust þar sem athuganir voru gerðar mishátt í landi. Gangahlutfallið var yfirleitt um 4% yfir 1 km breið bil, en reiknaðist hæst um 7% (mynd 5). Á styttri köflum reiknast gangahlutfallið hærra, t.d. yfir 7% á 500 m bili vestan til á gangaleið B, en einnig lægra, fer jafnvel niður í 2% á 750 m bili vestast á gangaleið A.

Þykkt ganga

Þykkt 37 ganga var mæld í nánd við gangaleið A. Þeir mældust frá <1 m upp í 14 m. Súlurit sýnir þykktardreifinguna (mynd 3). Þykkustu gangarnir eru á gangaleið A. Flestir eru á bilinu 4-6 m og margir mun þykkari. Þykkasti gangurinn sem mældur var þar (ofan við laugarnar í Skeggjabrekkudal) náði 14 m. Þykkasti gangurinn á svæðinu fannst austan við Ytrárfjall upp af Árdal. Hann var 20 m, marglaga, grófkorna, morkinn og með sprungufyllingum. Stefna hans er austarlega á gangaleið A, en þangað eru 4 km. Á gangaleið B milli Héðinsfjarðar og Siglufjarðar er meira um þunna ganga, þ.e. minna en 2 m og þykkari gangar en 4 m eru fáir, en á móti kemur að gangafjöldinn er meiri, alls 42. Á súluritinu (mynd 3) sést að 2-4 m þykkt er algengust á gangaleið B. Aðgætandi er að litið var á þunna (~ 1 m) ganga nærri öðrum þykkari sem æðar út frá þeim og þykktin lögð saman.

Stefna ganga

Stefna bergganga var mæld á 30 stöðum í nánd við gangaleið A og á 38 stöðum í nánd við gangaleið B (mynd 4). Sums staðar varð ekki komist að þeim, en geilarnar sem þeir sátu í mörkuðu stefnuna. Þykku gangarnir halda stefnu eins langt og greint verður, sem oftast er innan við 100 m, en stöku sinnum miklu lengra. Þeir þunnu eru aftur á móti óstöðugri í rásinni og í rauninni er langur kafli nauðsynlegur til að ákvarða stefnu þeirra, lengri en oftast er kostur á. Stefna ganganna er heldur austlægari á gangaleið B (annað gangakerfi?), en langflestir eru á bilinu N5-15°A, og mynda gangarnir þannig um 60° horn við jarðgöngin.

Halli ganga

Í flestum tilfellum er fljótlegt að greina hvernig berggöngunum hallar. Erfiðara getur reynst að koma tölu á hallann, ef réttu sjónarhorni verður ekki komið við á nógu löngu bili til að frávik jafnist út, því ekki eru jaðrarnir alltaf sléttir. Alls voru 27 gangar hallamældir, allir af þykkri gerðinni (>3m). Mælingar á halla gáfu gildi á bilinu 82°V til 75°A. Flestum hallaði bratt til austurs, þ.e. kringum 85°. Aðeins fimm gangar reyndust hafa vestlægana halla, og 5 töldust lóðréttir, allir hátt til fjalla. Sú almenna og gamalkunna ályktun verður helst dregin af halla bergganganna að hann sé að miklu leyti til kominn við síðari snörun berglaganna.

6. Misgengi

Á jarðfræðikortinu mynd 2 eru sýnd þau misgengi sem fundust í grennd við gangaleiðirnar. Misgengin hafa flest norð-suðlæga stefnu líkt og gangarnir, og mynda um 60° horn við jarðgöngin. Þar sem opnur eru ekki sem bestar í nánd við gangaleiðirnar var leitað langt út fyrir þær að brotum sem stefndu í átt að þeim. Þannig fékkst nokkuð samfelld kortlagning á misgengjum, a.m.k. þeim stærstu, sem fram gætu komið á gangaleiðunum. Við framlengingu niður á við var gert ráð fyrir að misgengin væru bein og hallandi um 85-80°, nema vísbending væri um annað. Hér er um nálgun að ræða og því ekki víst að brotin séu nákvæmlaga þar á gangaleiðunum sem þau eru teiknuð á kortið, enda eiga þau til að sveigja og kvíslast.

Stefna og dreifing misgengja

Sprungurós sýnir stefnu misgengja (mynd 4). Ríkjandi stefna þeirra er á bilinu N5-10°A. Um 85% þeirra misgengja sem mæld voru stefna þannig. Fáein misgengi fundust með stefnu N30°A og með N40°V-stefnu. Dreifing misgengja á gangaleiðunum er nokkuð misjöfn (mynd 5). Kaflar með fáum misgengjum skiptast á við misgengjaskara. Helstu misgengjaskararnir eru austanvert á gangaleið A og á miðkafla gangaleiðar B.

Stærð misgengja

Stærð misgengjanna er allt frá <1 m upp í rúmlega 100 m. Minni háttar misgengi greinast ekki nema þar sem opnur eru bestar í giljum eða klettahillum. Þau kunna að vera fleiri en fram kemur á kortinu. Hin stærri sjást sum hver langt að. Stærstu misgengin skásneiða fjallið milli Skeggjabrekkudals og Syðrárdals. Stærð þeirra var áætluð út frá hæðarmörkum leiðarlaga og berglagahalla vel yfir 100 m samanlagt. Fall á þeim er til austurs. Misgengi með um 50 m færslu og fall til vesturs er í Skútudal um 700 m innan við áætlaðan gangamunna. Önnur misgengi á gangaleiðunum eru með minni færslu. Meðal þeirra eru NV-SA-læg misgengi í Syðrárdal og minni háttar brot sem mynda ýmist sprungusónur, allt að 5 m á breidd, eða sem algengara er 5-10 cm breiðar, einfaldar sprungur. Sprungusónurnar mátti í sumum tilfellum rekja langar leiðir. Sprungur þessar eru sem næst lóðréttar og fylltar af zeólítum og hematíti upp fyrir miðjar hlíðar og því efalaust myndaðar áður en dalirnir grófust. Skriðrákir sáust ekki á þeim og færslan benti til smávægilegrar gliðunar.

Halli misgengja

Halli misgengja var athugaður þar sem komist varð í flútt við skýra brotfleti. Hallinn mældist á bilinu 70-85° undir signu spilduna. Af 7 slíkum mælingum (ekki allar á gangaleiðunum) voru 4 gildi á bilinu 85-80°. Svipuð hallagildi fengust hvort sem brotfletinum hallaði í sömu átt eða öfugt við berglögin.

Misgengisbreksía og skriðfletir

Stærstu misgengjunum fylgir jafnan brotabergs- eða breksíulag eins og vant er að kalla slíkt, og fer þykkt þess nokkuð eftir stærð misgengjanna. Breksían er mulningur úr brotfletinum. Í henni eru köntóttir steinar og grjótflykki í fínkorna millimassa, blendingi úr millilögum, leir og ýmsum steindum, oftast ópal, stilbíti og kalsíti. Misgengisbreksían er að sjá lítt vatnsgeng, en veðrast auðveldlega. Þó kemur fyrir að hún skagar fram sem brík. Þykkustu breksíulögin eru á bilinu 2-5 m. Lítil misgengi, þ.e. 1-10 m eru án samfellds breksíulags. Skriðfletir eru algengir bæði á brotflötunum og í breksíunni, stundum með fjöðróttu (pinnate) mynstri.

Aldur og eðli misgengjanna

Misgengin koma ekki fram í landslagi sem ferskir brotstallar og eru jafnan með sprungufyllingum sem sest hafa í þau úr jarðhitavatni áður en rofið kom til sögunnar. Fyrir kemur þó að glufur sjáist í þeim, jafnan leirfylltar, og er líklegt að þær tengist yngstu (virku) brotahreyfingunum. Þau eru því að stofni til gömul, en svo vill til að norð-suðlæg sprungustefna upphleðslutímabilsins er jafnframt önnur af tveim í brotapari Tjörnes-beltisins.

Mikil skriðuföll hafa orðið úr stóru misgengjunum sem skásneiða Þverfjall og Skeggjabrekkufjall. Framhlaupsurðin í Skeggjabrekkudal er um 1 km² að stærð og í Syðrárdal um 0,4 km². Bæði framhlaupin eru ung, þ. e. hafa fallið eftir ísöld. Ætla má að hreyfing á misgengjunum hafi orsakað framhlaupin og því má gera ráð fyrir að þau séu lek. Misgengisflöturinn á aðalbrotinu sést í Ytrárfjalli. Honum hallar þar um 80° til austurs og við hann loðir 3-4 m þykkt breksúluga. Útfellingar, aðallega af stílbíti og leir, eru þar í misgenginu. Það er því gamalt þótt brotahreyfingar kunni enn að leita í það.

Misgengin eru flest hreinræktuð siggengi sem lóðréttar skriðrákir við brotfleti sýna. Fáein dæmi sáust um skáhallar rákir sem benda til að láréttur þrýstipáttur hafi einnig komið við sögu. Af stefnu og hreyfingu misgengjanna má álykta að þau hafi myndast í spennusviði með mesta þrýsting lóðréttan en minnstan láréttan, fyrst í stað aust-vestlægan (á tímabili upphleðslunnar), en síðar NA-SV-lægan (eftir að Tjörnes-brotabeltið varð virkt). Stefna mesta þrýstings hefur þó flókt á seinna tímabilinu frá lóðréttu í NV-SA-læga stefnu.

7. Smásprungur og brestir

Sprungur og brestir sjást hvarvetna í berginu. Flestar eru samdráttar- eða kleyfnisprungur, komnar fram við kólnun bergsins eða seigrennsli. Aðrar eru brot, mynduð þegar bergspenna hefur yfirstigið brotþol bergsins. Þar kemur bæði ferging og tektónísk áraun til greina sem orsök.

Prímerir brestir (joints)

Samdráttarsprungurnar eru fremur óreglulegar nema í stuðlabergi sem hér sést sjaldan sem og í berggöngum. Kleyfnisprungurnar fylgja straumflögun, fyrst og fremst í þóleífti. Við frostveðrun klofnar bergið aðallega um þessar sprungur sem standa hornrétt hvorar á aðrar. E.t.v. má nota veðrunarnæmi bergsins ásamt því hversu óreglulegt sprungumynstrið er til að meta stæðni þess í bröttu stáli eða hvelfingu.

Dílabasaltið er með grófasta sprungumynstrið. Stuðlar í því eru oft yfir 2 m í þvermál, en annars stigs brestir sem kvíslast frá stuðlasprungunum bylgjóttr. Ólivínbasaltið er einnig grófstuðlað séu löggin þykk, en í þynnri lögum er sprungunetið þéttara, um og innan við 1/2 m á milli sprungna. Straumflögunar gætir lítið, en annars stigs brestir liggja óreglulega um bergið. Þóleíftið er með þéttasta sprungunetið, fyrst og fremst vegna láréttu kleyfnisprungnanna (duldar þar sem veðrun nær ekki til). Stuðlasprungur eru gisnar í þykkum þóleítlögum, en skábrestir algengir.

Stæðni þessara berggerða allra myndi væntanlega reynast góð, líklega þó lökust í þóleíftinu.

Minni háttar höggunarsprungur

Smásprungur og brestir af tektónískum toga þekkjast á því að þær eru tiltölulega beinar og langar, og þær ganga yfir prímeru brestina. Sem vinnureglu við mælingar á slíkum sprungum hefur undirritaður miðað við 5 m lengd. Mikið er um slíkar sprungur í berginu. Oftast eru útfellingar í þeim. Sprungur af þessari gerð voru mældar á þremur stöðum þar sem aðstæður voru góðar og teiknuð sprungurós af hverjum stað (mynd 6). Tveir þessara staða eru utan við gangaleiðirnar, í grjótnámum í Ólafsfirði, en sá þriðji við Skútuá inn af Siglufirði. Líklega eru þessar mælingar nokkuð dæmigerðar um það tektóníska sprungumynstur sem hittist fyrir í áætluðum jarðgöngum. Í sprungumynstrinu kemur fyrir ein höfuðstefna sem er norð-suðlæg. NNV-SSA-lægar og ANA-VSV-lægar sprungur voru fleiri í grjótnámunum en búast hefði mátt við af athugunum í náttúrlegum opnum. Hins vegar komu NV-SA-lægar sprungur vart fram á mælistöðunum, enda þótt brot með þeirri stefnu komi fyrir á gangaleiðunum og séu raunar algeng utan til við Siglufjörð og Ólafsfjörð. Hreyfing á sprungum á mælistöðvunum var yfirleitt smávægileg (á mm-cm-skala), en í nokkrum tilfellum var hún þó yfir 1 m, yfirleitt siggengi, en í einu tilfelli víxlengi (lárétt færsla). Sprungumælingarnar í Skútuá voru gerðar á kafla í ánni þar sem mikið er um bergganga, og sprungustefna samsíða þeim er ríkjandi. Hins vegar stefnir gilið NNV-SSA, þannig að sprungur með þeirri stefnu hafa síður skilað sér en hinar sem liggja þvert eða skáhallt á það. Í grjótnámunum

Í Ólafsfirði var unnt að mæla h.u.b. hornréttu bergveggi. Þar voru ekki berggangar nema einn þunnur í Auðnanámunni.

8. Nánar um gangaleiðirnar

Hér að neðan verður greint frá því helsta sem einkennir gangaleiðirnar hvora um sig og á hverju þar er byggt. Þar eru til stuðnings berglagasnið, ljósmyndir, þversnið, stefnurósir og útreiknuð meðaltöl á sprungu- og gangaþéttleika.

Lausalög við gangamunna

Yfirborðslög utan á fjallshlíðum við áætlaða gangamunna eru hvergi þykk. Einungis eru nokkrir tugir metra upp í opnur í fastabergið, ýmist beint upp af gangamunnunum eða lítið til hliðar við þá. Má því áætla þykkt yfirborðslaganna án mikillar skekkju. Að gerð eru yfirborðslögin þrenns konar: *jökulurð* fram úr skálum (í Skútudal), *malarhjallar* fram undan smágiljum (Grundarkot í Héðinsfirði) og *grjótskriður* myndaðar af aurrennsli. Yfir öllu er síðan grjótbörinn jarðvegur. Ofan við Grundarkot í Héðinsfirði koma göngin næstum því þvert á hliðina, en annars staðar skáhallt. Sums staðar eru hvammar þar nærri sem gangamunnar eru áætlaðir. Þar er styttra í fasta bergið en ella myndi. Skriðuhalli við munna er alls staðar svipaður, eða á bilinu 15-20°, enda myndu göngin alls staðar opnast álíka hátt yfir dalbotni.

Tafla 1. Lausalög við áætlaða gangamunna.

	Gangamunni	Skurðslengd að klöpp	Skurðslengd að klöpp	Skriðudýpt við klöpp
	<i>Hæð y.s.</i>	<i>hornrétt á hlið</i>	<i>skáhallt á hlið</i>	<i>aðkoma skv. teikn.</i>
Skeggjabrekka í Ólafsfirði	90 m	50 m	(40° horn) 65 m	30 m
Grundarkot í Héðinsfirði	30 m	60 m	(20° horn) 65 m	20 m
Héðinsfjörður að vestan	20 m	100 m	(50° horn) 155 m	30 m
Skútudalur inn af Siglufirði	60 m	70 m	(60° horn) 140 m	30 m

Í töflunni hér að ofan eru helstu tölugildi sýnd sem varða gröft inn að föstu bergi. Miðað er við fjarlægð frá innri enda skála eins og hann er sýndur (í rauðum lit) á teikningu Vegagerðarinnar (mynd 1).

9. Gangaleið A, Ólafsfjörður - Héðinsfjörður

Gangaleið A er um 6,2 km löng í bergi eins og hún er teiknuð á mynd 1a. Rannsóknir á henni beindust að Ósbrakkufjalli og norðurhlíð Skeggjabrekkudals, Syðrárdal innanverðum og svæðinu frá Möðruvallaskál út á móts við Vatnsenda í Héðinsfirði. Fyrri rannsóknir í Árdal og innanverðum Skeggjabrekkudal sem og innst í Héðinsfirði komu að miklu gagni. Allmörg berglagasnið voru mæld upp í nánd við gangaleiðina. Þau eru sýnd á myndum 7-9. Austan í móti (Ólafsfjarðar megin) eru opnur betri og samfelldari en vestan í móti (Héðinsfjarðar megin). Varðandi brot og bergganga er því um hálfgerða fjartengingu inn á gangaleiðina að ræða, einkum í Syðrárdal og eftir að fer að halla ofan í Héðinsfjörð.

Lausalög við gangamunna á leið A

Gangamunni að austan er áætlaður í fjallsrótum ofan við rafstöðvarlónið yst í Skeggjabrekkudal, í viki milli tveggja aurkeilna (mynd 12). Aðkoma að fjallinu er þar auðveld. Hins vegar gæti reynst vandasamt að finna vegarstæði upp með Garðsá eða milli Garðsár og Skeggjabrekku vegna golfvallar sem þar er.

Grundarkots megin kæmi gangamunninn innan við smáhjalla úr lausu efni sem er neðst í hlíðinni bak við bæjartóttirnar (mynd 14a). Þar gæti þurft að hnika gangamunnum spölkorn inn eftir til að sleppa við gröft í hjallann.

Um berglagasniðin í Ósbrekkufjalli og Skeggjabrekkudal

Sniðin á mynd 7 eru í Ósbrekkufjalli þau ystu, en það innsta er innan við framhlaupið utan við miðjan Skeggjabrekkudal. Sýrurnar þrjár sem sýndar eru á jarðfræðikortinu koma þar allar fram. Samfelldast snið af neðstu sýrurni, ólivínbasaltinu, fékkst upp af fjarðarhorninu Kleifa megin (ÓS-1). Þar nær þessi syrpa upp í 400 m hæð y.s. Sýni til þunnisneiðagerðar voru tekin af ólivínbasaltinu í þessu sniði. Efri mörk sýrurnar halda nokkurn veginn hæð inn eftir hlíðinni (misgengi lyfta), en fara síðan lakkandi þegar kemur inn undir rafstöðvarlónið. Snið ÓS-3 var mælt upp með gilinu beint upp af lóninu. Þar eru efri mörk ólivínbasaltsins í 350-360 m hæð y.s. Áætlaður gangamunni yrði skammt upp og inn af lóninu, innan við þetta gil, um 250 m niðri í ólivínbasaltsýrurni. Snið ÓS-4 er ofan við jarðhitasvæðið á Skeggjabrekkudal. Ólivínbasaltið sést allraneðst í því sniði, og efri mörk þess eru þar í 230 m hæð y.s. Sniðið nær upp í gegnum þóleiðsýrpu alla og endar í dílabasalti sem tilheyrir efstu sýrurni. Innsta sniðið, ÓS-6, er innan við framhlaupið, allt í þóleiðsýrpu sem kemur ofan á ólivínbasaltið. Í henni eru leiðarlög, mjög dílótt basaltlag (kúmúlat) og flikrbergslag ofan á því. Með hjálp þeirra fæst tenging austur í snið ÓS-4. Hæðarmunur þessara laga í sniðum ÓS-5 og ÓS-6 kemur til af misgengjum með vel yfir 100 m færslu. Snið ÓS-6 og önnur sem mæld voru innar í Skeggjabrekkudal (mynd 12 í skýrslu K.Sæm. 1996) sýndu að leiðarlögin eru nærri neðri mörkum þóleiðsýrurnar.

Um berglagasniðin í Syðrárdal

Nokkur snið voru tekin í Syðrárdal þar í grennd sem jarðgöngin lægju undir dalnum (mynd 8). Opnur í berg fást þar ekki fyrr en í kringum 350 m hæð. Berglög sem koma fram í sniðunum ná ofan í ólivínbasaltið í því ysta (SD-1) og upp í dílabasaltið í tveimur þeim innri (SD-2 og 3). Sniðin voru mæld annars vegar til að finna í hvaða berglögum jarðgöngin myndu lenda að því gefnu að sýrurnar héldust nokkurn veginn jafnþykkar vestur í gegnum fjallgarðinn yfir til Héðinsfjarðar. Göngin gætu orðið í tæplega 100 m hæð y.s. undir Syðrárdal, þ.e. 300 m undir dalbotninum. Hins vegar voru stuttir kaflar skoðaðir til að ákvarða færslu á misgengjum, en nokkur slík sjást í Syðrárdal. Sniðin sem sýnd eru á mynd 8 eru öll vestan við misgengi með yfir 100 m færslu sem rekja má frá Skeggjabrekkudal norður í Ytrárfjall (mynd 13). Efri mörk ólivínbasaltsýrurnar sjást í nyrsta sniðinu, SD-1. Þar kemur einnig fram flikrbergslag neðst í þóleiðsýrpu, það neðra af tveimur slíkum lögum í henni. Hitt lagið er rétt efst í sýrpu (sbr ÓS-sniðin). Í sniði SD-2 eru efri mörk þóleiðsýrurnar í h.u.b. 700 m hæð y.s. Þar eru tvö áberandi dílabasaltlög (kúmúlat), annað mjög þykkt. Það finnst aftur í strjálum opnum í Fossabrekkum (SD-3) innst í dalnum. Austan megin í Syðrárdal og jafnframt austan við stóru misgengin sem liggja á ská yfir hann, var leitað að mörkum þóleiðs og dílabasalts í klettahlíðinni norðan við háhnúk Ósbrekkufjalls. Þar reyndust þau vera í kringum 550 m hæð og misgengin samkvæmt því hátt í 150 m samanlagt.

Um berglagasniðin austan megin í Héðinsfirði

Mynd 9 sýnir snið sem tekin voru austan megin í Héðinsfirði milli Vatnsenda og inn fyrir Möðruvelli. Þau eru merkt GK-2 og 3 og MH-1og 2. Í lækjargilinu ofan við Vatnsenda (GK-1) var leitað að efri mörkum ólivínbasalt-sýrurnar, en opnur voru stopular eftir að kom upp fyrir 250 m hæð þar sem skálin byrjar. Þóleið er í fjallsöxlinni ofar og innar og gætu skilin á milli verið í kringum 400 m hæð. Grundarkotsniðið (GK-2) er skammt þar utan við sem gangamunninn gæti komið. Berglög voru skoðuð upp í 170 m hæð og reyndust eingöngu vera ólivínbasalt. Snið GK-3 var tekið upp með læknum úr Möðruvallaskál. Opnur ná frá um það bil 50 m hæð upp í 380 m hæð, þó ekki samfellt. Sniðið er í þóleiðbasaltinu nema neðstu lögin sem eru ólivínbasalt.

Jarðgöngin myndu samkvæmt þessum sniðum opnast á um það bil 100 m dýpi niðri í ólivínbasaltsyrpunni. Innstu sniðin tvö eru annað upp af Möðruvöllum (MH-1), en hitt rúmlega 1 km innar (MH-2). Í þeim koma fram efri mörk þóleítsyrpunnar. MH-sniðin eru tekin úr eldri jarðgangaskýrslu Kristjáns Sæmundssonar (1996, mynd 13).

10. Gangaleið B, Siglufjörður - Héðinsfjörður

Gangaleið B liggur undir skarðið milli Pallahnjúks og Fýlaskálahnjúka og er um 3,7 km löng í bergi eins og hún er teiknuð á mynd 1b. Nokkur berglagasnið voru rannsökuð innan til í Skútudal og í Héðinsfirði beggja megin við fjallið í nánd við hugsanlega gangamunna. Sniðin eru sýnd á myndum 10 og 11. Á gangaleið B er meira um beltótt lög í ólivínbasaltsyrpunni. Þar er svartleitt og morkið berg algengara en á gangaleið A. Opnur eru fremur ósamfelldar Skútudals megin. Þar þurfti að leita inn í dalstafninn að brotum og berggöngum með stefnu á gangaleiðina. Hins vegar eru mjög góðar opnur Héðinsfjarðar megin, nánast frá fjallsrótum upp í hæstu hnjúka. Allmörg misgengi koma fyrir á gangaleið B, en aðeins eitt af þeim, í Skútudal, getur talist stórt.

Lausalög við gangamunna á leið B

Á gangaleið B kæmu munnarnir beggja megin undir gleiðu horni á fjallið. Hugsanlega kæmi til álita að stefna þeim þverar á hlíðina. Héðinsfjarðar megin mætti líklega færa munnann nokkru utar, nær stefnu meginkafans undir fjallinu (mynd 15). Skútudals megin er þrengra um og þar næðist þetta varla nema með beygjum (mynd 16). Staðsetning munna færi þó eftir fleiru, svo sem aðkomuskilyrðum og snjóflóðahættu.

Um berglagasniðin vestan megin í Héðinsfirði

Sniðin í Héðinsfirði (mynd 10) eru tvö löng sitt hvoru megin við áætlaðan gangamunna, annað utan í Fýlaskálahnjúkum, hitt í Pallahnjúk. Auk þeirra voru skoðuð tvö styttri snið á milli og við lækinn austur úr Hestskarðsskálinni. Berglögin á neðsta kafla lækjargilsins fram úr Hestskarði (snið PH-1) eru að mestu ólivínbasalt, en mörg þeirra dílótt. Lögin eru flest einföld, sum með þykkum karga og þunnum rauðabergslögum þar sem til þeirra sást. Á köflum er bergið svart og morkið. Efstu lögin í PH-2 sniðinu tengjast líklega í neðstu lög PH-1 sniðsins austan í Pallahnjúk, sem ekki gengur þó án misgengis. Í Pallahnjúkssniðinu eru skilin á ólivínbasalti og þóleífti í 370-380 m hæð og efri mörk þóleíftsins í 680-690 m hæð. Í ólivínbasaltinu var töluvert um millilög, þar á meðal eitt um 6 m þykkt. Í Pallahnjúkssniðinu var farið yfir eina 10 bergganga og tvö misgengi með sig til austurs sem nam um 20 m á hvoru. Snið FH-1 er stubbur, sem skoðaður var til að finna efri mörk ólivínbasaltsyrpunnar sem þar eru í 385 m hæð, þ.e. í svipaðri hæð og í PH-1. Það kemur heim við misgengi í 500 m hæð í PH-2 sniðinu. Næstu tvö snið, FH-2 og FH-3 eru sitt hvoru megin við áætlaða gangaleið. FH-2 sniðið er allt í ólivínbasaltsyrpunni. Lögin í henni eru fremur einsleit, flest einföld, en sum dílótt. Glögg segulskipti eru ofan til í syrpunni og var tengt á þeim inn í snið FH-3. Í FH-3 sniðinu hafa skilin milli ólivínbasalt- og þóleíftsyrpunnar lækkað niður í 230 m. Misgengin sem sáust í Pallahnjúkssniðinu (PH-1) hefðu átt að koma fram í FH-3 sniðinu, alla vega það vestra og efra. Líkast til hefur það verið í kringum 400 m hæð og tvöfaldað þykkt þóleíftlags sem þar er óhóflega þykkt í FH-3 sniðinu. Í FH-3 sniðinu fundust 11 berggangar, allir neðan 550 m í hæð.

Um berglagasniðin í Skútudal

Sniðin í Skútudal (mynd 11) voru mæld upp með læknum vestur úr Hestskarði (SS-1), í fjallinu ofan við heitavatnsholurnar (SS-2) og upp með Skútuá (SS-3). Berglögin vestan við Skútuá innan við borsvæðið voru einnig skoðuð til glöggvunar á misgengi sem skásker dalinn rétt neðan við borholurnar. Aðeins tvær neðstu berglagasyrpunnar, þ.e. ólivínbasaltið og þóleíftið, koma fyrir í þessum sniðum, og sjást skilin á milli í þeim öllum. Misgengið sem á var minnst kemur fram í því að í SS-1 sniðinu byrjar þóleíftið í 120 m hæð y.s., en í SS-2 sniðinu byrjar það í tæplega 170 m. Miðað við strik og halla berglaganna er misgengið um 40-50 m, niður til vesturs. Ólivínbasaltið í þessum sniðum er með sama svip og Héðinsfjarðar megin í fjallgarðinum, og nokkur allþykk millilög með túffi eru í því. Þóleíftlögin eru mjög þykk nema þau neðstu í SS-3 sniðinu, neðan við

fossana í Skútuá. Meðal þykku laganna eru áberandi straumflögótt og rauðslegin hraunlög sem gætu verið basaltandesít og þykk túfflög á milli þeirra.

11. Hlutfall berggerða á gangaleiðunum

Jarðgöngin kæmu til með að liggja í gegnum miðkafla ólivínbasaltsyrpunnar, um það bil 100-250 m niðri í henni. Þau færu hæst upp í hana austan við misgengin í Syðrárdal og við gangamunna í Skútudal, en yrðu neðst í henni vestan við sömu misgengi og við gangamunna vestan megin í Héðinsfirði og í Skeggjabrekkudal.

Um hraunlög og millilög í ólivínbasaltsyrpunni

Hraunlög í ólivínbasaltsyrpunni eru sum einföld og önnur beltótt. Einföldu lög eru kargakennd í efra borði, en þau beltóttu eru blöðrótt, varla að hægt sé að tala um karga í þeim. Þykkustu einföldu hraunlög eru um 15 m, en þau beltóttu um 30 m. Hvert einstakt belti er á bilinu 1-5 m. Rúmlega helmingur laganna er með dílum, en í fáum er svo mikið af þeim að þau geti kallast dílótt. Rauðalög í syrpunni eru yfirleitt þunn. Þykkasta lagið sem sást í henni var þó um 6 m. Mörg millilaganna eru einungis 5-10 cm og ná varla að slétta yfir ójöfnur í yfirborði hraunlaganna. Flest millilög eru mjög fínkorna, en sum sandsteinskennd. Ofan til í syrpunni eru túfflög með millilögum eins og í þóleiítinu ofan við. Millilög verða stökk og molna við veðrun og þegar þau þorna. Lagskipting er lítt áberandi nema í þeim þykkustu og í túffinu, en þau flagna við veðrun.

Nokkur munur er á því hvað millilög eru þykkri í ólivínbasaltinu í fjallgarðinum milli Héðinsfjarðar og Skútudals en í þeim eystri. Í sniðunum vestan megin í Héðinsfirði sést eitt þykkt millilag sem jarðgöngin færu gegnum á leið B og e.t.v. einnig á leið A. Lag þetta er um 6 m í Pallahnjúkssniðinu, en um 2 m í sniði FH-2 utan við áætlaðan gangamunna. Lag þetta er auðkennt í langsníðinu á mynd 17. Lág prósentutala millilaga í þessum stafla segir því ekki alla söguna, þar sem helmingur af heildarþykkt þeirra gæti komið fram í einu millilagi.

Hlutfall bergs með mismunandi eiginleikum í efstu 300 m ólivínbasaltsins á gangaleið A var reiknað út samkvæmt mælingum í sniðum ÓS-1 og ÓS-3 þar sem opnur voru bestar og samfelldastar í þessum lögum. Útkoman varð þessi:

Heillegt basalt um 89%, þar af beltótt 23%

Kargi og blöðrótt berg . . um 10%

Millilög um 1%

Í ólivínbasaltinu á gangaleið B var hlutfall mismunandi bergs einnig reiknað út samkvæmt mælingum í SS- og FH-sniðunum. Þar varð útkoman sem hér greinir fyrir sama 300 m þykktarbilið:

Heillegt basalt um 86%, þar af beltótt 28%

Kargi og blöðrótt berg . . . um 12%

Millilög um 2%

Um hraunlög og millilög í þóleiítysyrpunni

Þóleiítysyrpan kemur vart við sögu í hugsanlegri jarðgangagerð. Göngin kæmust næst henni undir Syðrárdal austan til á gangaleið A og vestast á gangaleið B (mynd 17), en mjög miklu verður að skakka um áætluð neðri mörk þóleiítysyrpunnar undir Syðrárdal, ef göngin ættu að ná upp í hana. Hraunlög í þóleiítysyrpunni eru einföld með þykkum karga í efra borði. Þau eru á bilinu 3-30 m á þykkt, en flest á bilinu 10-15 m. Millilög eru undantekningarlítið á milli laga í þóleiítinu og

töluvert þykkri en í ólivínbasaltinu. Algengust þykkt á þeim er 20-30 cm. Að öðru leyti eru rauðalögin sömu gerðar og í ólivínbasaltinu. Túfflög, oftast bleiklituð og leirkennd, koma nokkur fyrir innan um sum af rauðalögum, og auk þeirra tvö sambrædd ignimbrítlög um 1 m þykk, annað neðan til, hitt ofan til í syrpu.

Hlutfall bergs með mismunandi eiginleikum í neðstu 100 metrum þóleítsyrpunnar í Skeggjabrekkudal og Syðrárdal var reiknað út og varð útkoman þessi:

Heillegt basalt 78%
Kargi og blöðrótt berg. . . . 18%
Millilög 3-4%

Með einni undantekningu sem framar er getið um eru millilögin þykkust efst í ólivínbasaltinu og neðst í þóleíttinu. Þau verða því varla á leið jarðganganna, þannig að hlutfall setlaga á gangaleiðunum verður líklega nærri lægri mörkum þess sem fékkst í ólivínbasaltinu.

Berggangar og misgengi á gangaleiðunum

Mynd 5 sýnir dreifingu bergganga og misgengja á báðum gangaleiðunum. Gangarnir dreifast fremur jafnt á gangaleið B, en á leið A eru stuttir kaflar þar sem minna er um þá. Sama gegnir um misgengin. Þau sýna fremur jafna dreifingu á gangaleið B, en á leið A eru þau aðallega á austurhelmingnum.

Mynd 5 sýnir gangahlutfallið (í prósentum) samfellt á 1 km löngum köflum eftir gangaleiðunum. Misgengi á sömu köflum eru sýnd með því að bæta fjöldanum sem fannst á hverju bili, eða stefnir þangað, ofan á gangaprósenta.

Á mynd 17 eru auðkenndir þeir staðir á gangaleiðunum þar sem helst má búast við miklum leka. Þetta eru rennslisrásir jarðhitakerfanna, einkum berggangar, sem auðkenndar eru með rauðum deplum og auk þess nokkur af misgengjunum. Á gangaleið A hljóta stóru misgengin undir Syðrárdal skammt austan við 10 km markið að teljast varasöm í þessu tilliti. Skekkja gæti verið í legu þeirra ef hallinn er minni en sýnt er á myndinni, þannig að þau lægju heldur austar. Varasöm misgengi eru einnig sýnd við 9,8 km markið. Þar er um að ræða NV-SA-læg misgengi sem jarðgöngin myndu lenda á undir mjög kröppu horni. Skekkja gæti verið í legu NV-SA-misgengjanna á mynd 17, en þá á þann veg að þau lægju austar, jafnvel nærri stóru misgengjunum sem fyrr voru nefnd. NV-SA lægu misgengin eru tvö og stutt á milli. Jarðgöngin yrðu því í þeim á nokkuð löngum kafla, einkum ef stefnan er aust-vestlægari en sýnt er á kortinu.

Þótt varasömu kaflarnir séu sýndir ná yfir mjótt bil á gangaleið A (skástrikað á mynd 17) eru berggangar og smærri misgengi þar nærri. Því væri ráðlegt að forbora og þetta bergið á 1,0 - 1,5 km breiðu bili ef lekar sýna sig þar sem farið yrði í gegnum þennan brotakafli. Hitt er svo annað mál hvort ekki ætti að hafa þá aðferð að forbora göngin öll.

Ef jarðfræðikortið (mynd 2) er grannt skoðað sést að misræmi er á milli striks berglaganna og hæðar á efri mörkum ólivínbasaltsins beggja megin við Héðinsfjörð (innan við vatnið). Líklega er hér misgengjum um að kenna sem lægju þá undir dalgrundinni og koma því ekki við jarðgöngin. Nefnt skal í þessu sambandi að skjálftaupptök sem greinst hafa í SIL kerfinu raða sér á norð-suðlæga línu sem liggur yfir austanverðan fjallgarðinn milli Héðinsfjarðar og Siglufjarðar og gætu tengst brotum sem þar eru (myndir 18 b og 19). Þess er að gæta að skjálftaupptökin liggja á nokkurra km dýpi og brotflötirnir eru hallandi.

Nánar um mismunandi berg á gangaleiðunum

Út frá þeim gögnum sem fram hafa verið sett hér að ofan, er unnt að meta hlutfall bergs með ólíka eiginleika á gangaleiðunum. Þar er tekið fyrir þrengra bil en í töflunum hér að framan. Lengd ganganna er miðuð við fjarlægð milli skála eins og hún reiknaðist í töflu 1 bls. 10 (6,2 og 3,7 km). Berginu er skipt í basaltlög með millilögum og beltótt basalt. Kaflarnir sem jarðgöngin kæmu

líklegast til með að fara gegnum eru auðkenndir í sniðunum á myndum 7, 10 og 11. Þegar þetta þrönga bil (150-160 m) er skoðað fást eftirfarandi gildi um mismunandi berggerðir:

	Leið A	Leið B
1) einföld hraunlög með þunnum millilögum . . .	3.500 m	2.400 m
2) beltótt hraunlög	2.350 m	1.150 m
3) berggangar	300 m	150 m
4) brotaberg í misgengjum	50 m	15 m

12. Skjálftavirkni á nærsvæðum jarðganganna

Jarðskjálftar eru algengir milli Skagafjarðar og Sléttu. Þeir tengjast Tjörnes-brotabeltinu og verða flestir undir hafsbótinnum. Algengastir eru smáskjálftar, 1-4 að stærð, en þar hafa einnig orðið harðir skjálftar. Eftir að mælingar komu til sögunnar, þ.e. á 20. öld, hafa fimm sinnum orðið þar skjálftar á milli 6 og 7 að stærð (Sveinbjörn Björnsson 1975). Páll Einarsson (1989) taldi að virk víxlhengissprungu með VNV-ASA stefnu myndi liggja frá Grenivík um Hrísey, Dalvík og Fljót og þaðan áfram út í mynni Skagafjarðar (mynd 18c). Hann studdist þar við smáskjálfta sem urðu á þessari línu vestanverðri á árunum 1982-1985. Tveir af stóru skjálftunum áttu einnig upptök á henni, þ.e. Dalvíkurskjálftinn 1934 og Skagafjarðarskjálftinn 1963. Á mynd 18 a eru sýnd skjálftaupptök (stærð -2 og þar yfir) á þessu svæði yfir tímabilið frá 1995 til 1999 skv. SIL-gögnum Veðurstofunnar. Þar hefur skjálftalínan ofanefnda nokkuð skýrst og stefnan er þar orðin norðvestlæ加里. Sums staðar má greina í henni norð-suðlæg skjálftaupptök. Ljóst er að það er ekki síst í henni sem skjálftavirkni í Tjörnes-brotabeltinu nær inn á land og brotin sem henni fylgja ná inn á jarðgangasvæðið þótt meginskjálftalínan sé 5-6 km sunnar. Þessi niðurstaða gefur sprungulektinni þyngra vægi að því er jarðgöngin áhrærir. Á mynd 18 b eru sýnd upptök skjálfta stærri en 2. Þar kemur fram norð-suðlægt brot sem stefnir austan til í fjallgarðinn milli Héðinsfjarðar og Skútudals. Sama brotið kemur fram í skjálftagögnunum frá árabílinu 1982-1985 (Páll Einarsson og Kristján Sæmundsson 1987).

13. Vatn, jarðhiti og lekahætta

Vandamál sem skapast kunna við sprengingu jarðganganna yrðu framar öðru af völdum vatnsleka. Ekki er unnt að sjá fyrir hversu mikil lekahætta er, en gera má ráð fyrir að Ólafsfjargöngin séu þar góð viðmiðun á heildina litið. Framar í þessari skýrslu var gerð grein fyrir þeim aðstæðum sem álykta má að almennt gildi um grunnvatn í blágrýtismynduninni á þessu svæði: Lítil prímer lekt, en samt nokkur efst í fjöllum; há grunnvatnsstaða, en sveiflukennnd eftir árstíðum; allgóð en staðbundin sprungulekt, tengd virkri höggun, einkum á norð-suðlægum brotum og berggöngum; í nokkrum hafa þróast jarðhitakerfi.

Jarðgöng hér á landi hafa áður verið grafin undir jafnháan fjallgarð og hér er fyrirhugað og raunar hærri þar sem eru göngin undir Ólafsfjarðarmúla. Virk höggun er þar jafnframt sama eðlis. Munurinn varðandi leka er helst sá að fjallgarðurinn yfir Múlagöngunum er endasleppur til norðurs og aðrennsli úr þeirri áttinni því takmarkað. Í Múlagöngunum nam leki í byrjun um 65 l/s pr km, en minnkaði niður í helming þess á nokkrum árum, en er breytilegur eftir árstíðum. Á jarðgangaleiðunum milli Ólafsfjarðar og Siglufjarðar má reikna með að leki yrði svipaður, en minna eða hægar drægi úr með tíma vegna hálendisins sem liggur að þeim á báða vegu í sprungustefnuna.

Á hinum fyrirhuguðu gangaleiðum eru hins vegar á köflum aðrar aðstæður sem útheimta þéttingu bergsins, en það eru jarðhitakerfin með rennslisrásum sínum. Með jarðhitakerfi er átt við rennsliskerfið allt, alveg frá köldu niðurhripi í fjallendi til uppstreymis á laugasvæðinu sjálfu. Jarðhitakerfin eru þrjú sem þekkt eru og farið yrði í gegnum, öll minna en 1 km frá gangamunna. Tvö af þeim eru nýtt, annað um 70°C heitt í Skútudal með dælingu, hitt um 55°C í Skeggjabrekkudal með sjálfrennsli. Dren úr jarðhitakerfunum inn í göngin myndi koma niður á

vinnslunni með lækku á þrýstingi og þar með á vatnsborði. Þriðja jarðhitakerfið er austan megin í Héðinsfirði sem rúmlega 20°C heitar laugar ofan við Vatnsenda vísa til. Líklega kemur að því að einhver sjái sér hag í nýta það og því allur varinn góður einnig þar. Í Skútudal lægju göngin neðar en vatnsborð í vinnsluholum og í Héðinsfirði neðar en laugarnar. Undir Ósbrekkufjalli verða göngin í sömu hæð og holutoppar í Skeggjabrekkudal. Vegna þess hvað göngin lægju nærri laugunum sem voru eða eru, má telja líklegt að jarðhitakerfin gefi sig til kynna með hækkandi hita á berginu eða öllu heldur vatni sem seytlar úr því. Hitaáhrifa frá þeim gæti gætt um það bil 500 m til hliðar frá aðalrennslisrásinni. Borholurnar í Skútudal ná um 175 m til hliðar frá uppstreymisrás heita vatnsins þar (mynd 20). Hliðarmörk í kerfinu eru töluvert þar utan við sé miðað við afbrigðilega heitt berg, en mjög hefur dregið úr lekt í holunum sem lengst eru frá uppstreymisrásinni. Yfirleitt eru lítil tengsl milli vatnskerfa í samsíða sprungum í þétta bergi eins og hér, ef langt er á milli. Hugsanlegt er þó að lekar sem fram kæmu lengra frá hefðu áhrif á vatnstöðu í jarðhitakerfunum. Nefna má að engin áhrif eru merkjanleg af dælingu úr borholum í Ósbrekkunni (þar er aðalvinnsla hitaveitu Ólafsfjarðar) á holurnar í Skeggjabrekkudal, en þar eru um 1,5 km á milli uppstreymisrásanna. Í jarðgöngunum sem hér eru til umfjöllunar væri líklega ráðlegt að þetta bergið á 0,5 km kafla kringum jarðhitaspungurnar (um 250-300 m út í frá hvoru megin).

14. Framhaldsrannsóknir

Meginatriðin varðandi berg og höggun á áætluðum jarðgangaleiðum liggja nokkuð ljós fyrir. Þannig hefur komið í ljós að sama berglagasyrpan er á báðum gangaleiðunum. Norður-suður brot og gangar skapa helst lekahættu. NV-SA brot koma fyrir á gangaleiðunum og gætu skapað vanda þar sem göngin færu gegnum þau undir hvössu horni.

Ýmislegt má bæta í þessum rannsóknum sem gildi hefði fyrir jarðgangagerðina. Hér skal það helsta nefnt.

1. Nánari könnun á NA-SV og NV-SA misgengjunum í Syðrárdal. Hér er um að ræða að staðsetja sem nákvæmast stór NA-SV misgengi sem liggja ofan í Syðrárdal á fyrirhugaðri gangaleið A. NV-SA misgengi í Bangsaskál þyrfti einnig að rekja eins vel og kostur er, en þau stefna á gangaleið A nærri NA-SV misgengjunum. Þetta verður best gert með nákvæmri kortlagningu. Segulmælingar gætu einnig reynst gagnlegar þar sem ekki er djúpt á fast berg, t.d. við ána og á öxlinni utan við Bangsaskál.
2. Nánari könnun á berglögum í Héðinsfirði. Hér er um að ræða að skilgreina betur efri mörk ólivínbasaltsyrpunnar austan megin í dalnum og bera hæðarmörkin saman við það sem fannst vestan megin. Skýringin á misræmi sem fram kom í kortinu (mynd 2) og í langsníði (mynd 17) kann að vera misgengi sem liggur ofan í Héðinsfjarðardalinn.
3. Nánari athugun á þykkt millilaga á gangaleið B. Líkur eru á að jarðgöngin fari gegnum a.m.k. eitt 2-6 m þykkt millilag ef gangaleið B yrði fylgt. Unnt er að kanna þetta með nánari skoðun Héðinsfjarðar megin og hugsanlega með kjarnaborun Skútudals megin þar sem opnur eru miklu lakari. Slík kjarnahola yrði staðsett í ca 160 m hæð y.s., þar yfir sem göngin eru hugsuð. Dýpi holunnar þyrfti að vera um 200 m til að ná í gegnum allan staflann sem jarðgöngin færu í gegnum.

4. Gangaleið B hefur ekki verið gengin jafnsamfellt og leið A. Ástæða væri til að ganga hana alla þar sem opnur eru góðar á henni nema Skútudals megin. Með því fengist betri sýn á brot og bergganga sem þar koma fyrir. Ekki er þó að vænta mikilla frávíka frá þeirri mynd sem nú liggur fyrir því stutt er í næstu snið og hluti af leiðinni hefur verið genginn.
5. Æskilegt væri að afmarka betur jarðhitasvæðin á gangaleiðunum. Það mætti gera með segulmælingum og borunum. Skilyrði til könnunar með borunum væru best í Skeggjabrekkudal. Með hliðsjón af þeim holum sem þar hafa verið boraðar á jarðhitasvæðinu mætti með tveimur, um það bil 100 m djúpum mæliholum, finna hversu breitt hitafrávikkið er. Lektarfrávikkið er vart nema brot af því. Slíkar rannsóknarholur væri ekki hægt að bora á jarðgangaleiðinni sjálfri heldur þyrfti að bora þær í dalnum móts við jarðhitann 600-700 m sunnan við skurðlínu jarðganganna og gangsins sem uppstreymið fylgir. Í Héðinsfirði mætti með segulmælingum rekja berggang(a) sem jarðhitinn ofan við Vatnsenda að öllum líkindum tengist og sjá með því hvar jarðgöngin kæmu til með að fara í gegnum þá. Í Héðinsfirði er þunn skriðuhula í hlíðinni og næst jarðhitnum malarhjalli sem segulmælingarnar ættu að sjá í gegnum. Óvíst er hvort hita- og lektarfrávik eru yfirfæranleg milli þessara staða því hiti í vatnskerfunum er misjafn og oft eru þau því vatnsmeiri sem þau eru kaldari.

Heimildaskrá

- Bortolotti, V og P. Passerini, 1974. Normal faulting near Strakafjall, northern Iceland. *Boll. Soc. Geol., It.*, **93**, bls. 215-220.
- Helgi Torfason, 1989. *Hitaveita Siglufjarðar: Borun hitastigulshola í október 1988*. OS-89019/JHD-07 B, Orkustofnun.
- Hreinn Haraldsson, 1992. Jarðgöng og jarðfræði í Ólafsfjarðarmúla. *Náttúrufræðingurinn*, *61*, 111-120.
- Jens Tómasson, Margrét Kjartansdóttir, Gísli Karel Halldórsson, Guðmundur Ingi Haraldsson, Ragna Karlsdóttir og Ásgrímur Guðmundsson, 1979. *Heitavatnsöflun fyrir Hitaveitu Siglufjarðar: Rannsóknir og boranir í Skútudal 1976-1978*. OS-79034/JHD-16, Orkustofnun.
- Kristján Sæmundsson, Leó Kristjánsson, I. McDougall og N.D. Watkins, 1980. K-Ar dating, geological and paleomagnetic study of a 5 km lava succession in northern Iceland. *J. Geophys. Res.*, *85*, bls. 3628-3646.
- Kristján Sæmundsson, 1996. *Jarðfræðilegar athuganir á jarðgangaleiðum milli Siglufjarðar og Ólafsfjarðar um Héðinsfjörð*. OS-96017/JHD-09 B, Orkustofnun.
- Kristján Sæmundsson, 1999. *Nokkrar viðbótarathuganir á jarðgangaleiðum milli Ólafsfjarðar og Siglufjarðar um Héðinsfjörð*. Greinargerð KS/gr 9914, Orkustofnun.
- Langbacka, B.O. og Ágúst Guðmundsson, 1995. Extensional tectonics in the vicinity of a transform fault in North Iceland. *Tectonics*, *14*, bls. 294-306.
- Ómar Sigurðsson, Ragna Karlsdóttir og Margrét Kjartansdóttir, 1987. *Hitaveita Siglufjarðar. Mat á jarðhitasvæðinu í Skútudal*. OS-87034/JHD-08, Orkustofnun.
- Páll Einarsson, 1989. Intraplate earthquakes in Iceland. Í: S. Gregersen & P.W. Basham (ritstj.). *Earthquakes at North-Atlantic Passive Margins: Neotectonics and Postglacial Rebound*, bls. 329-344. Kluwer Acad. Publ.
- Páll Einarsson og Kristján Sæmundsson, 1987. Upptök jarðskjálfta 1982-1985 og eldstöðvakerfi á Íslandi. Fylgikort 1:750.000. Í: *Í hlutarins eðli*, unnið á Raunvís, OS, og LMÍ.
- Ragna Karlsdóttir og Jóhann Helgason, 1978. *Jarðhitakönnun í Ólafsfirði 1977*. OS-JHD7803, Orkustofnun.
- Sveinbjörn Björnsson, 1975. Jarðskjálftar á Íslandi. *Náttúrufræðingurinn*, *45*, bls. 110-133.
- Sveinn Björnsson, 1984. *Jarðfræði Ólafsfjarðarmúla*. Fjórða árs ritgerð. Jarðfræðiskor HÍ, 60 s.
- Þorleifur Einarsson og Haraldur Sigurðsson, 1965. *Greinargerð um jarðfræði fjallsins Stráka við Siglufjörð og jarðfræðilegar aðstæður við jarðgangagerð þar*. Atvinnudeild Háskólans, 12 s.

Myndatextar

- Mynd 1.** *(Í tveim hlutum). Lega jarðganganna samkvæmt áætlun Vegagerðarinnar. Þessari tillögu er fylgt í skýrslunni. Í sniðum af gangaleiðunum (myndir 5 og 17) eru metratölur frá þessari mynd yfirfærðar í km.*
- Mynd 2.** *Jarðfræðikort af nærsvæði jarðganganna. Megináhersla var lögð á að greina berglög sem næst gangamunnum og hæðarmörk ólivínbasaltsyrpunnar sem göngin kæmu til með að fylgja.*
- Mynd 3.** *Stöplarit yfir fjölda og þykkt bergganga á gangaleiðunum. Þykkri gangar bæta að nokkru upp færri ganga á leið A, þannig að gangahlutfallið verður svipað á báðum (mynd 5). Á köflum eru opnur fátæklegar í nánd við gangaleiðirnar nema hátt í fjöllum. Vitað er hins vegar að gangafjöldinn vex með dýpi í staflanum. Næsta víst er því að gangarnir eru fleiri ef miðað er við 20-100 m hæð y.s.*
- Mynd 4.** *Stefnurósir af berggöngum og misgengjum á gangaleiðunum. Meginstefna beggja jarðganganna er sýnd á teikningunum.*
- Mynd 5.** *Hlutfall bergganga í % og fjöldi misgengja á 1 km bili eftir gangaleiðunum. Landhæð yfir gangaleiðunum er teiknuð á myndina í fimmfaldri yfirhækkun. Varasamasti kaflinn í sambandi við lekahættu við bergganga og misgengi er milli 9 og 11 km á gangaleið A.*
- Mynd 6.** *Stefnurósir af smásprungum í grjótnámun í Ólafsfirði og í Skútudal. Skekkjumörk verða meiri þegar svona er mælt en þegar gangar og misgengi eiga í hlut þar sem hægt er að flúttu yfir lengri bil. Meginstefna beggja jarðganganna er sýnd á teikningunum.*
- Mynd 7.** *Berglagasnið í Ósbrekkufjalli og Skeggjabrekkudal. Lega sniðanna er sýnd á mynd 2.*
- Mynd 8.** *Berglagasnið í Syðrárdal. Lega sniðanna er sýnd á mynd 2.*
- Mynd 9.** *Berglagasnið austan megin í Héðinsfirði. Lega sniðanna er sýnd á mynd 2.*
- Mynd 10.** *Berglagasnið vestan megin í Héðinsfirði. Lega sniðanna er sýnd á mynd 2.*
- Mynd 11.** *Berglagasnið í Skútudal. Lega sniðanna er sýnd á mynd 2.*

- Mynd 12.** *Ysti hluti Skeggjabrekkudals, norðurhlíð. Jarðgangamunni er sýndur neðst og yst í Stapa, en svo heitir fjallsbungan inn af rafstöðvarlóninu (yst til hægri). Munninn gæti flust til ef þurfa þætti eftir aðstæðum. Gilið austan við Stapa heitir Smáragrundargil. Neðarlega í því er berggangur sem stefnir á laugarnar í Skeggjabrekkudal. Teigahyrna heitir háfjallið upp af Smáragrundargili. Rauðaskeið heitir hilla í klettunum hægra megin á myndinni. Þar eru skil milli ólivínbasalt- og þóleiítsyrpu (ofan á). Dýjaveitur sjást í Stapa neðan við Rauðaskeiðarlagið. Berglagasnið ÓS-2 og 3 voru mæld í Smáragrundargili og gílinu sem ber yfir rafstöðvarlónið.*
- Mynd 13.** *Myndin sýnir fjallshlíðina innan við “skálina” austan megin í Syðrárdal. Teigahyrnu ber hæst, en innar er Hólagilsegg (Teigar og Hólagil eru Skeggjabrekkudals megin við fjallið). Klettarnir neðan til vinstra megin tilheyra þóleiítsyrpunni. Ofan á henni er dílabasalt með þykkum millilögum og úr þeim skriðurennslí. Stórt misgengi er í Hólagilsegg. Innan þess nær þóleiítið upp í brúnir.*
- Mynd 14.** *Misgengi með NV-SA stefnu norðan megin í Bangsaskál. Misgengin eru samanlagt um 20 m að stærð og stefna á jarðgöngin nálægt 9,8 km markinu á gangaleið A.*
- Mynd 14a.** *Hlíðin ofan við Grundarkot í Héðinsfirði. Gangamunni er merktur innan við hjalla bak við bæjarstæðið. Staðsetning hans færi þó eftir aðstæðum.*
- Mynd 15.** *Myndin sýnir fjallshlíðina vestan megin í Héðinsfirði. Gangamunni er sýndur í fjallsrótum milli Pallahnjúks og Fýlaskálahnjúka (gæti færst til). Berglagasniðin eru merkt á myndina, það ysta neðan við skálina fram úr Hestskarði. Efri mörk ólivínbasaltsyrpunnar eru sýnd með slitinni línu.*
- Mynd 16.** *Myndin sýnir hlíðina utan við borholurnar í Skútudal. Þykk þóleiútlög eru í lækjarfarvegnum. Þau leggjast ofan á ólivínbasalt sem er hulið í skriðum nema í farvegi Skútuár og neðst í læknum ofan úr Hestskarðsskál.*
- Mynd 17.** *Langsnið af jarðgangaleiðunum. Rétt hlutföll eru milli hæðar og lengdar. Misgengi og berggangar eru teiknaðir inn á sniðin þar sem áætlað er að liggja. Rauða táknið sýnir hvar göngin færu gegnum jarðhita og ganga eða brot sem tengjast honum. Aðrir varasömustu kaflarnir á gangaleiðunum eru sýndir með grönnum skástrikum. Þykkt millilag í ólivínbasaltinu er gefið til kynna með bleikri línu.*
- Mynd 18 a og b.** *Skjálftaupptök syðst í Tjörnes-brotabeltinu. Myndirnar sýna annars vegar alla skjálfta stærri en -2 og hins vegar skjálfta stærri en 2 á tímabilinu 1995-1999. NV-SA læg brotalína (sennilega víxlengi með hægri hliðrun) sýnir sig að liggja frá Árskógssandi vestur í Fljót og raunar lengra til beggja átta. Sunnan hennar snarfækkar skjálftum. Greina má norð-suðlæg brot sem liggja yfir víxlenggið. Eitt slíkt kemur greinilegast fram í skjálftum stærri en 2 (mynd 18 b) sunnan við jarðgangaleið B í Héðinsfirði. Jarðgangaleiðirnar eru sýndar á myndunum.*

Mynd 19. Skjálftar í Tjörnes-brotabeltinu. Efsta kortið (a) sýnir áætluð upptök stórra skjálfta sem þar hafa orðið síðustu þrjár aldir (Eysteinn Tryggvason 1973). Miðkortið (b) sýnir smáskjálfta á árabílinu 1982-1985. Þar koma fram tvær NV-SA lægar brotalínur á hafsbotni og fyrir hinni þriðju vottar vestan við þær á landi (Páll Einarsson og Kristján Sæmundsson 1987). Neðsta kortið (c) sýnir túlkun Páls Einarssonar (1989) á smáskjálftunum: þrjú víxlengi (með hægri hliðrun). Til samanburðar er mynd 18, byggð á gögnum úr SIL-kerfinu.

Mynd 20. Hitasnið þvert yfir jarðhitakerfið í Skútudal. 3-11 eru borholur. A-D eru berggangar. Hóla 11 er aðalvinnsluhóla hitaveitunnar og hóla 7 önnur aðalholan. Uppstreymið tengist berggöngum B, C og D og lagamótum. Til viðmiðunar við hitafrávikið er hitastigull á “köldu landi” í þessum landshluta um $60^{\circ}\text{C}/\text{km}$. (Heimild Ómar Sigurðsson o.fl. 1987).

Héðinsfjarðarvatn

Ytrafjall

Jall

Ösbrekkufjall

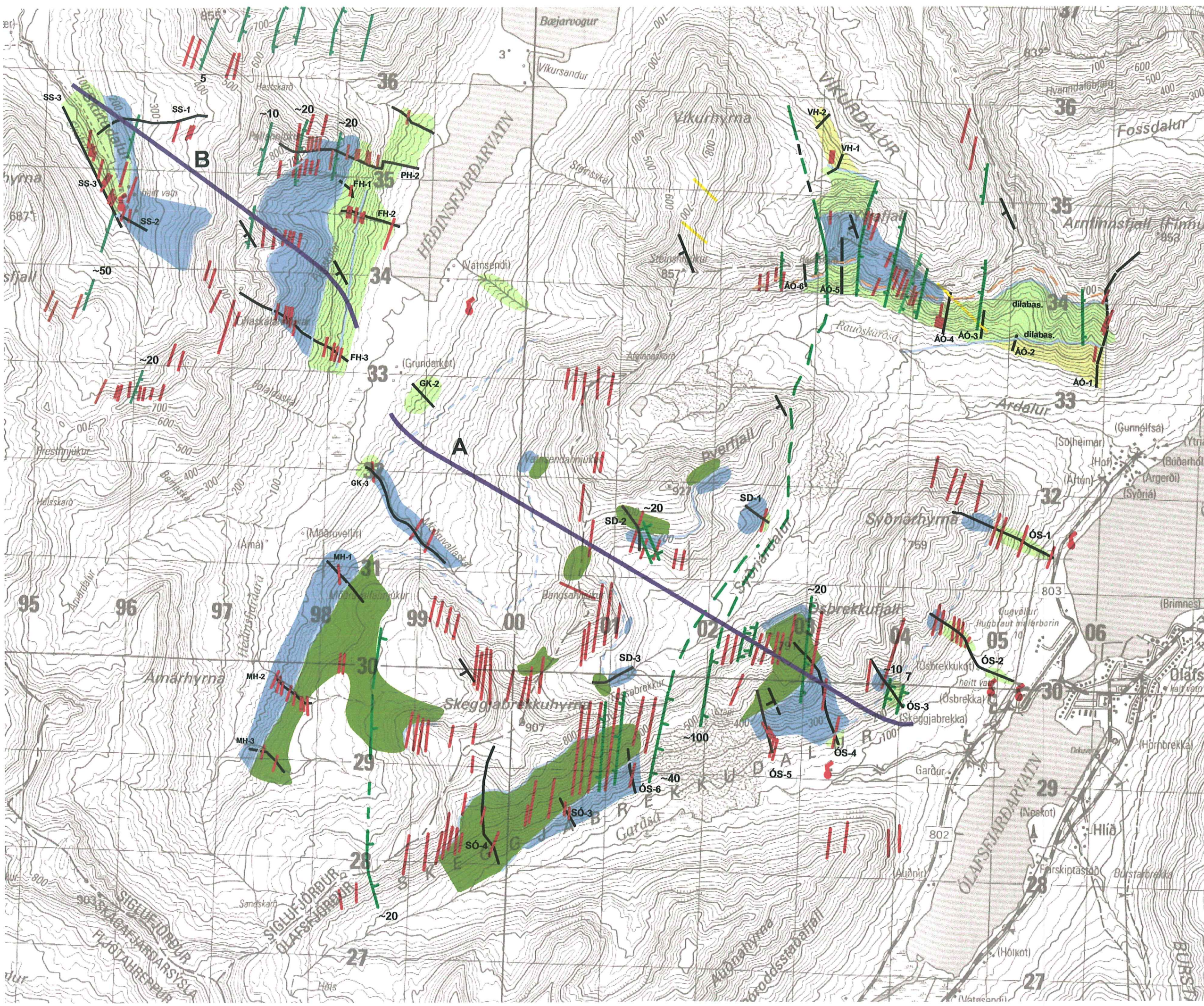
x

x

Mapped 1a

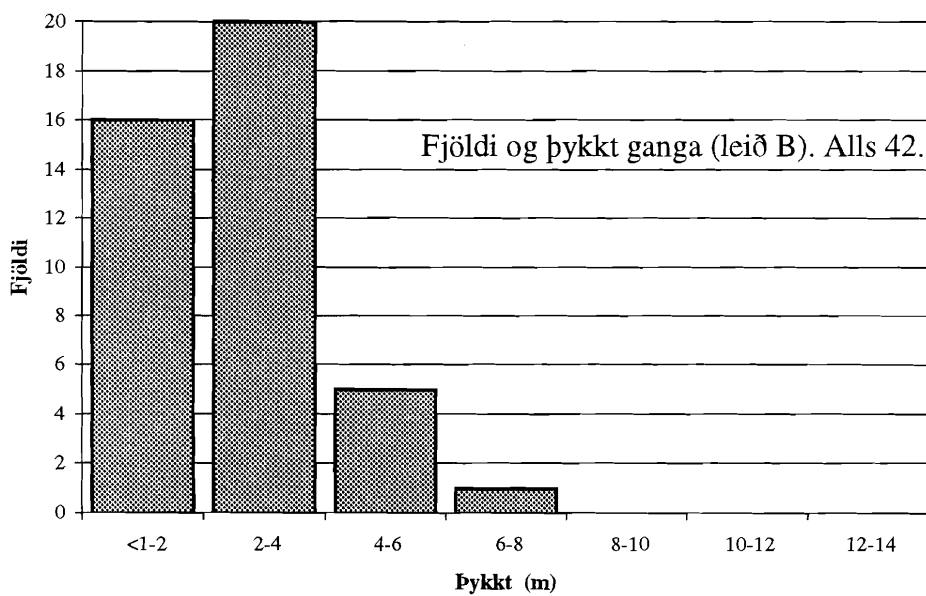
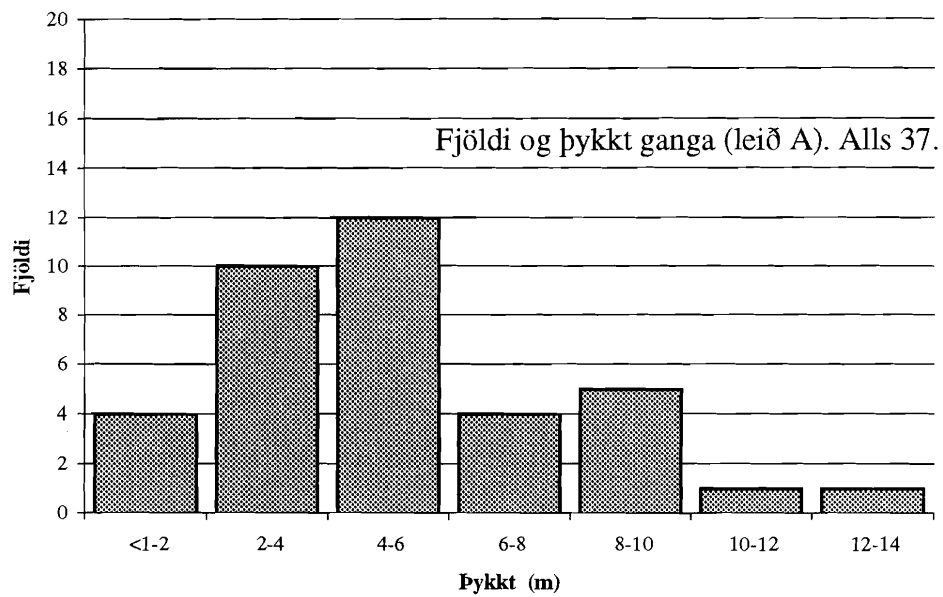


Mynd 15

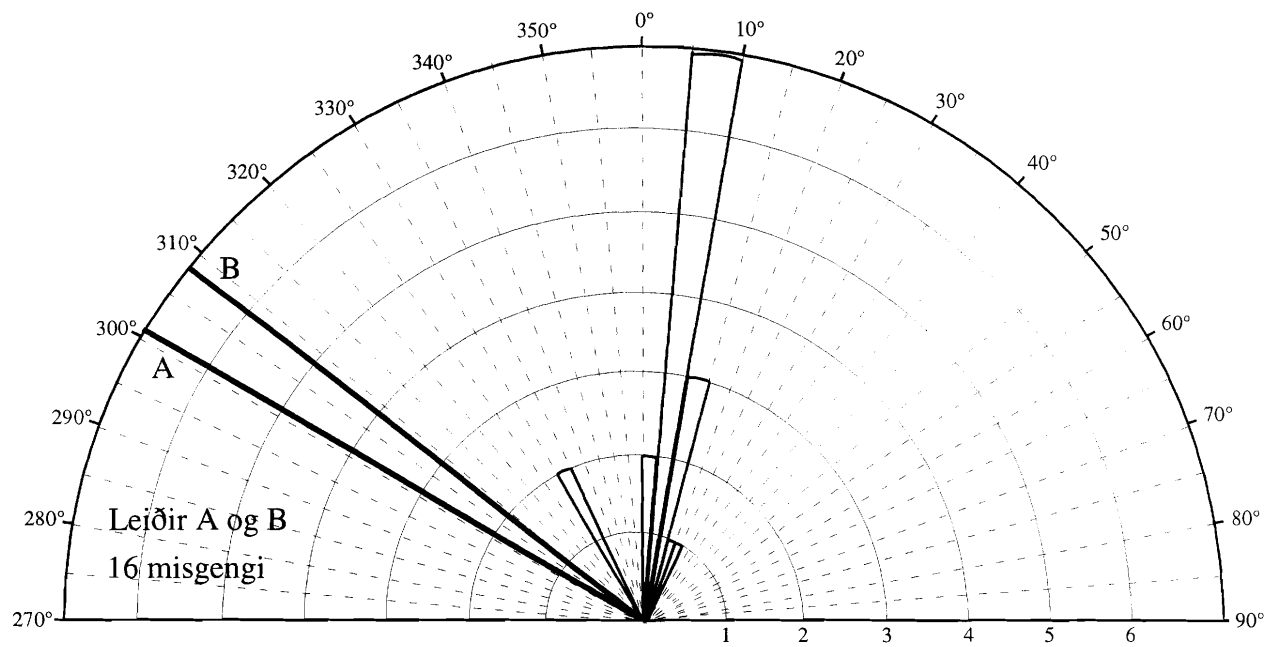
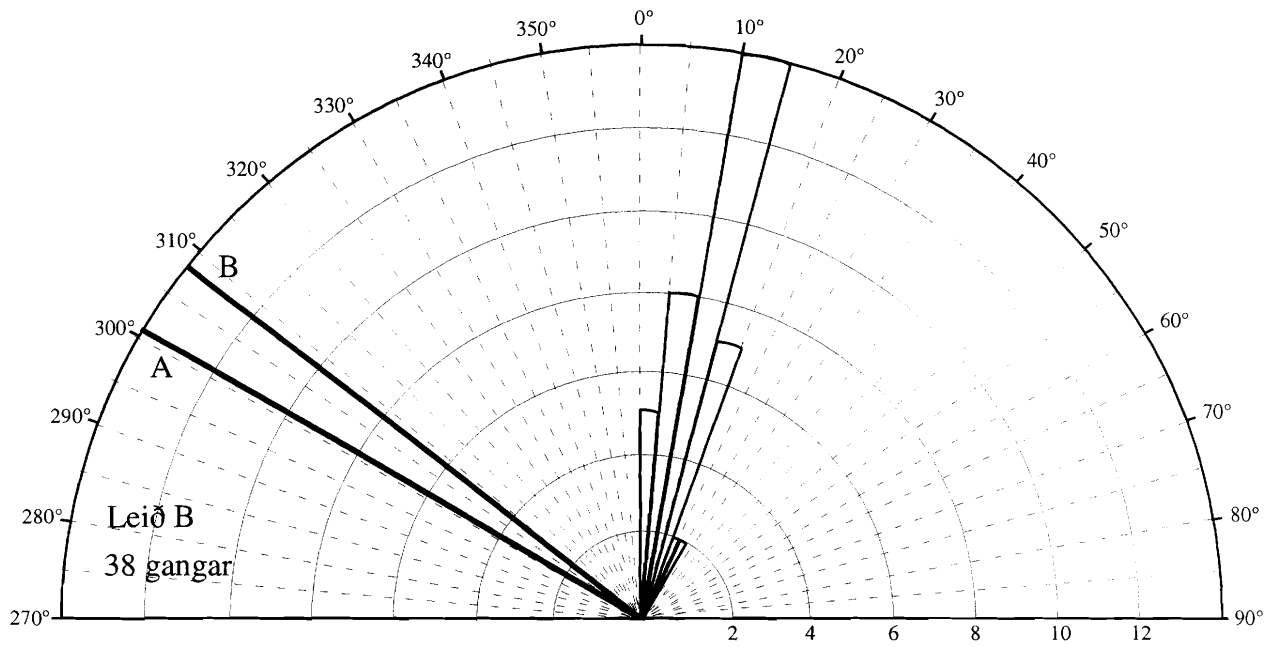
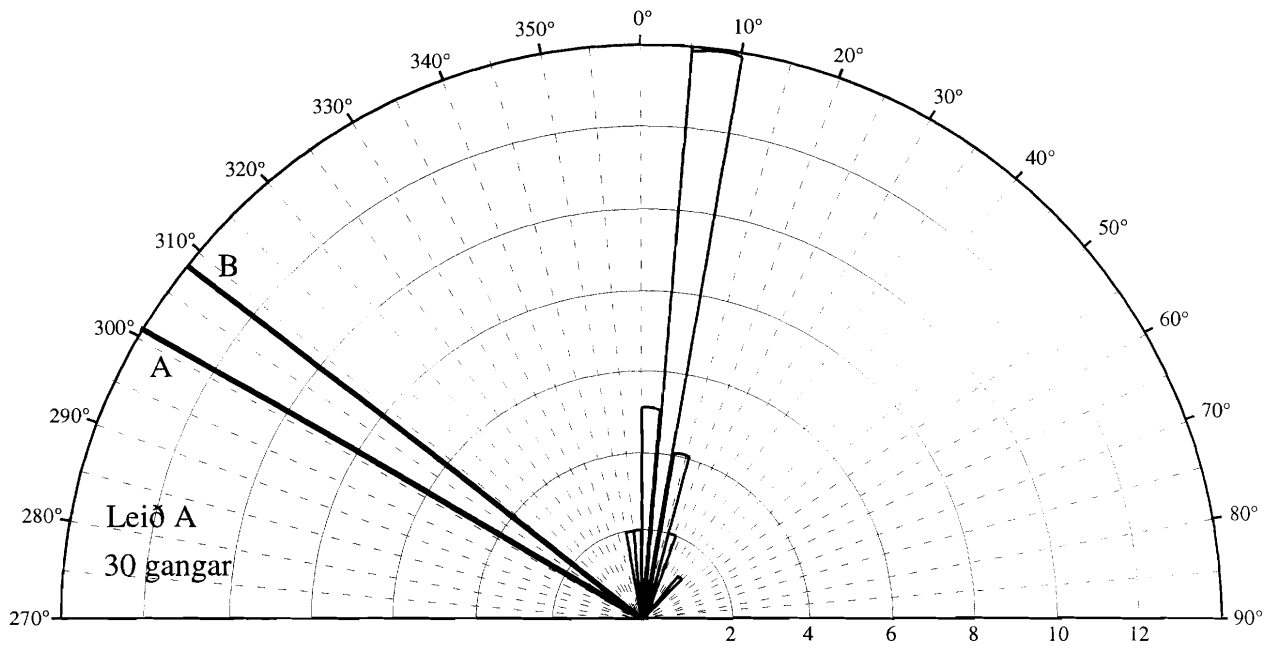


- Skýringar**
- FH-2 snið
 - gangaleið
 - jarðlagaskil
 - Dílabasaltsyrpa
 - Þóleiðsyrpa
 - Ólívínbasaltsyrpa
 - Blandsyrpa, ólívín-basalt og þóleið (í Árdal)
 - laug
 - berggangur
 - misgengi (m)
 - strik/halli
 - sprunga
- 1 km
- N

Mynd 2

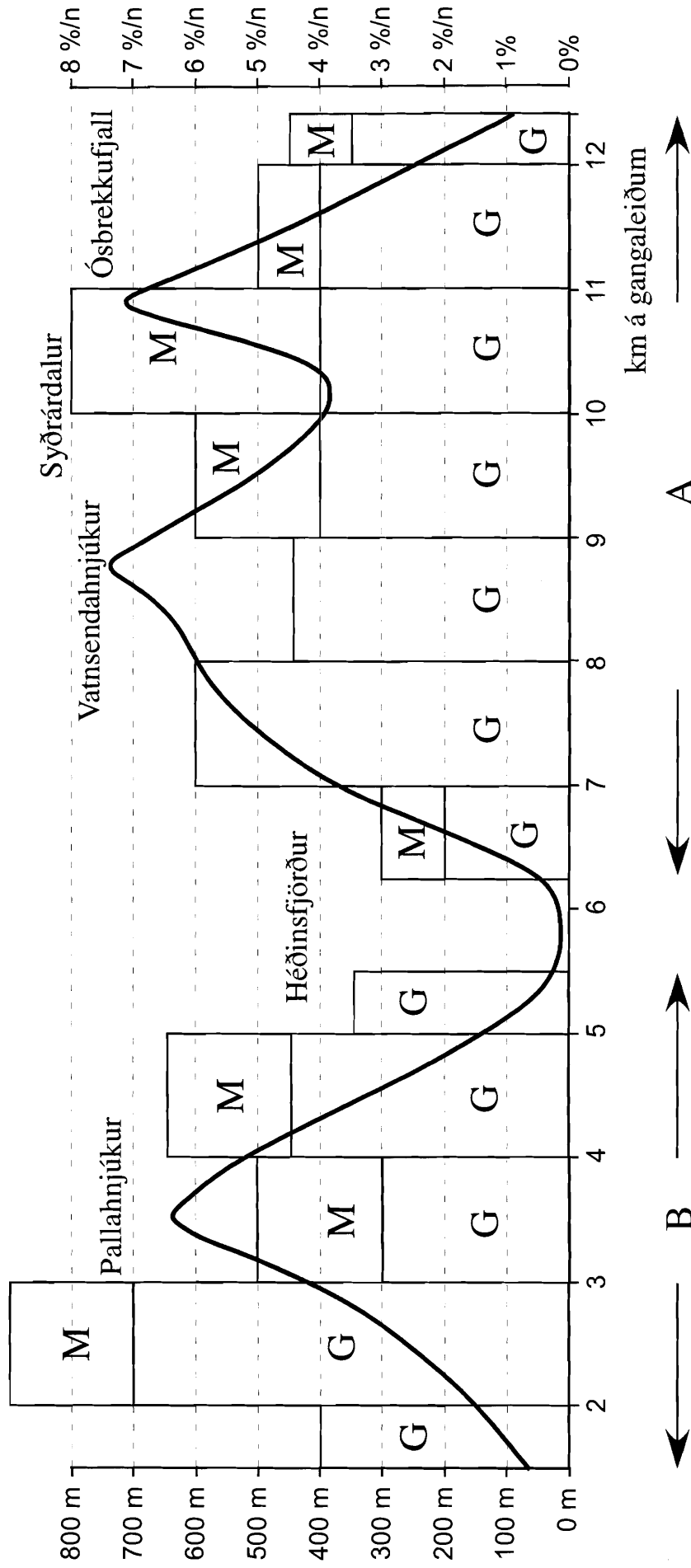


Mynd 3.

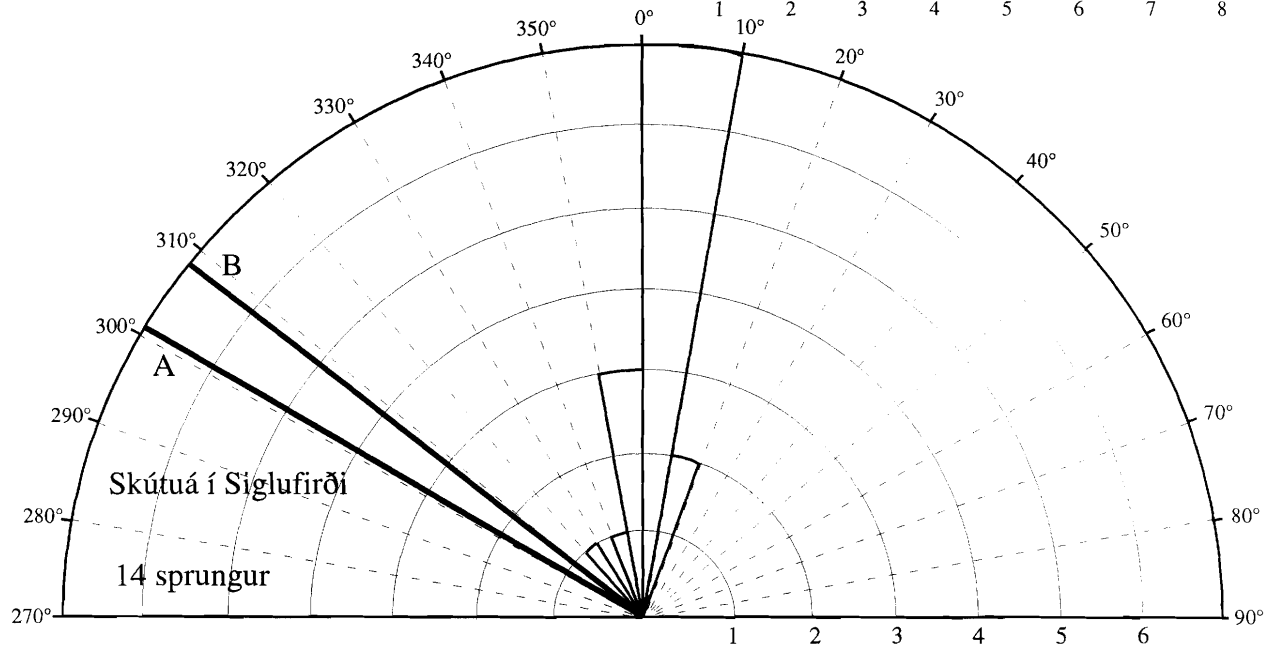
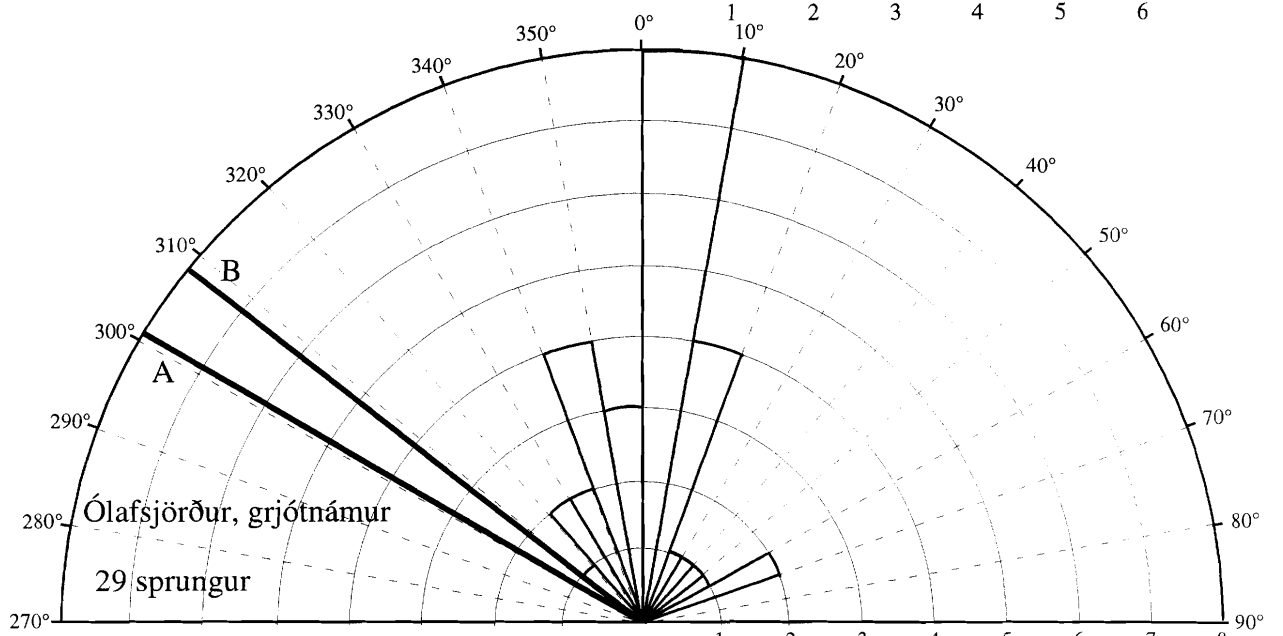
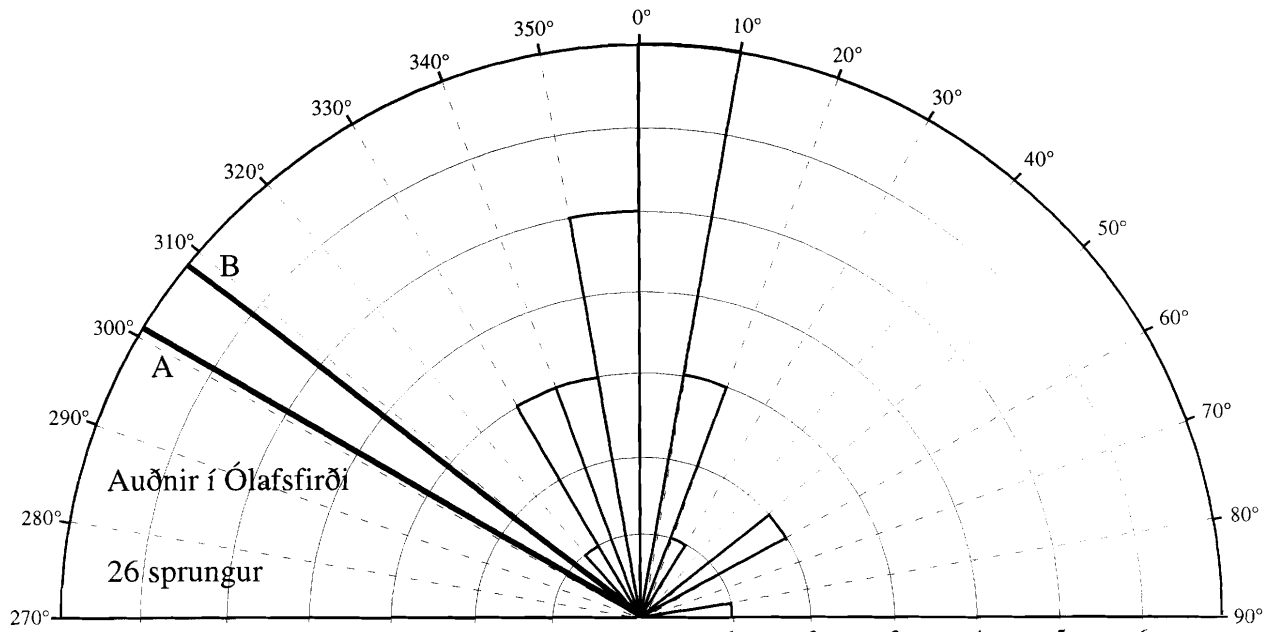


Mynd 4.

Gangahlutfall (%) og fjöldi misgengja (n)



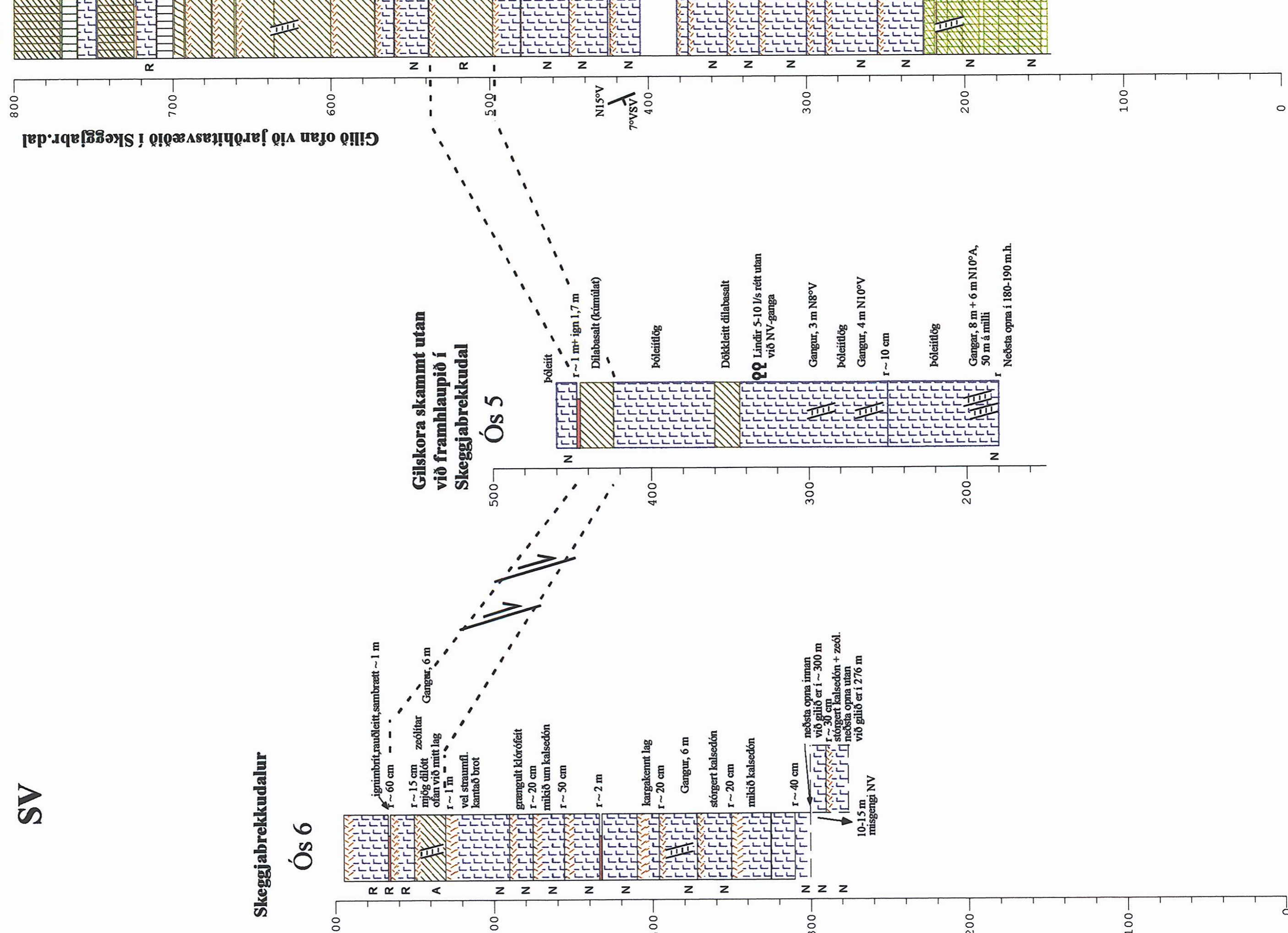
Mynd 5.



Mynd 6

Snið í Ósbrekkufjalli og Skeggjabrekkudal

SV

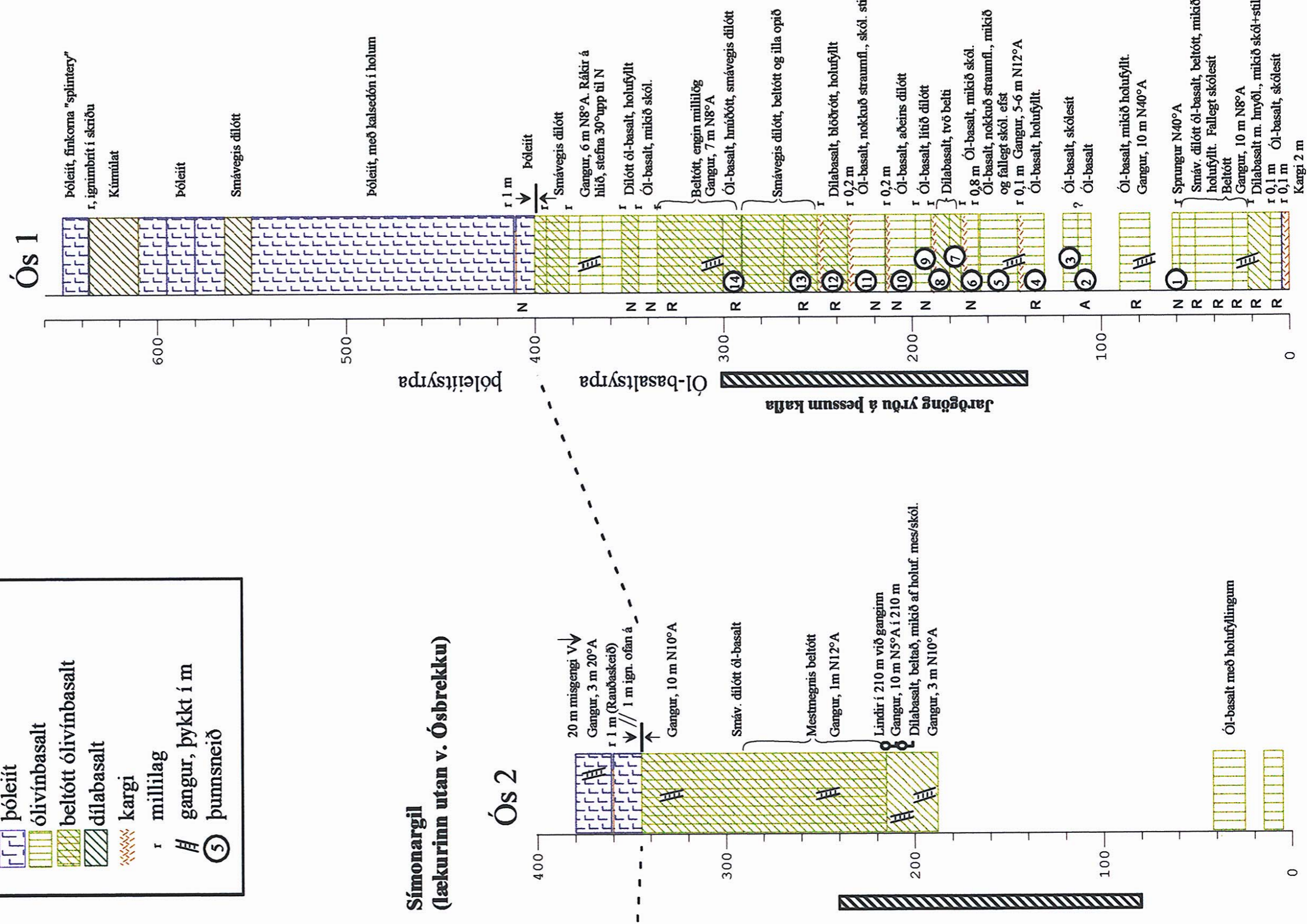


NA

Skýringar:

- R rétt segulmógnun
- N ófug segulmógnun
- A óregluleg segulmógnun
- Ól-basalt
- Ólvinbasalt
- Beltið Ólvinbasalt
- Dilabasalt
- kargi
- r milliilag
- gangur, þykkt í m
- Þumsneio

Gil upp af fjarðarbotni, Kleifa megin (Syðrarhyrna)










SV

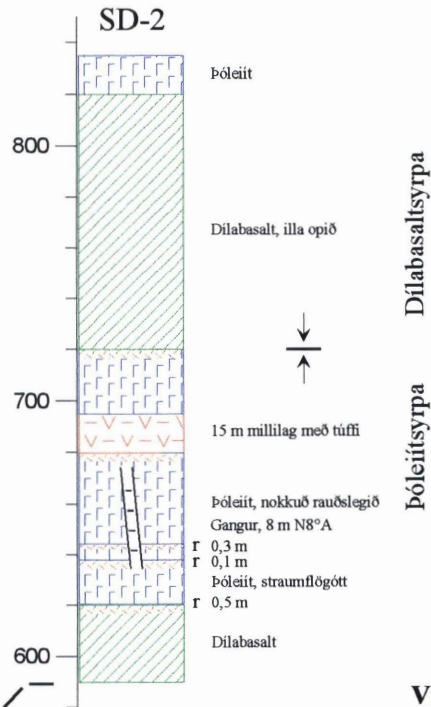
NA

Snið í Syðrárdal

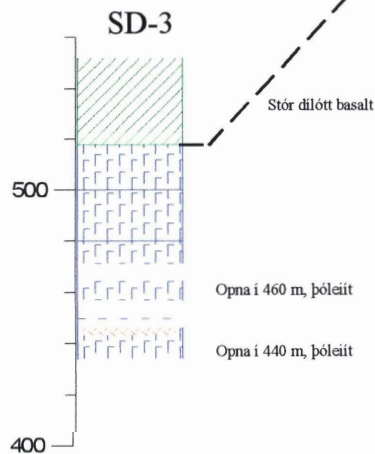
Skýringar:

- R rétt segulmögnun
- N öfug segulmögnun
- A óregluleg segulmögnun
-  póléit
-  ólivínbasalt
-  beltótt ólivínbasalt
-  dílabasalt
-  kargi
- r millilag
-  gangur, þykkt í m
-  þunnsneið

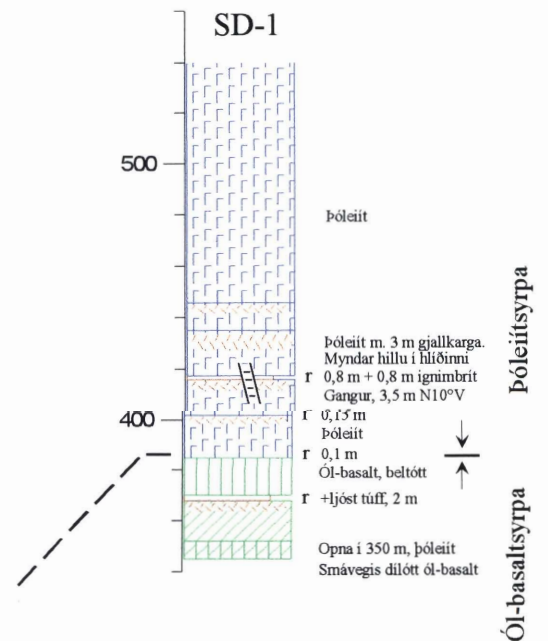
Snið innantil í Bangsaskál



Syðrárdalur (Fossabrekkur)



Við læk fram úr nafnlausri skál



Mynd 8.

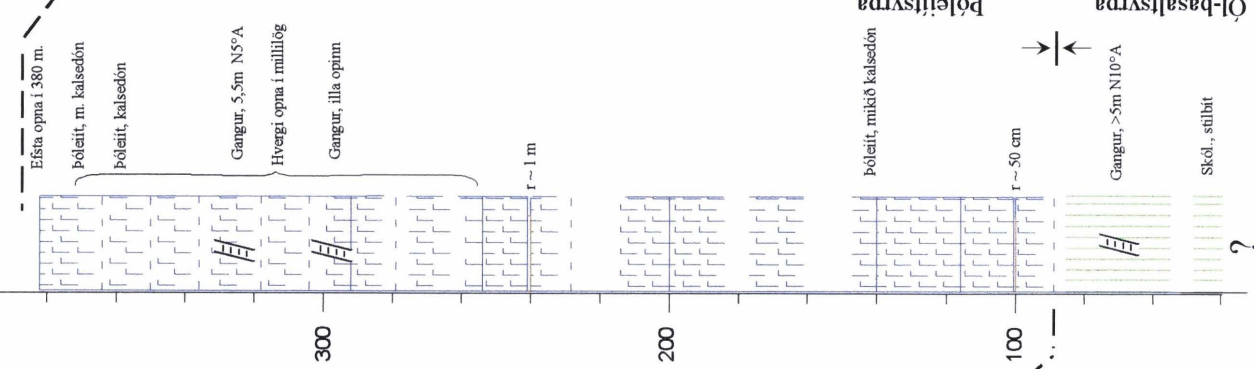
NA

Við lækinn niður úr
Möðruvallaskál í Héðinsfirði

GK - 3

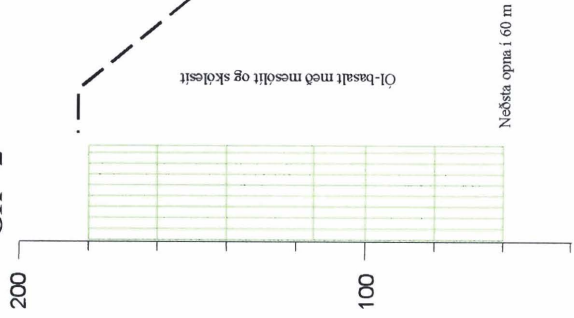
Skýringar:

- R rétt segulmögnum
- N öflug segulmögnum
- A óregluleg segulmögnum
- ☐ póleít
- ▨ ólívínbasalt
- ▨ beltótt ólívínbasalt
- ▨ dílabasalt
- ▨ kargi
- ▨ milliag
- ▨ gangur, þykkt í m
- ⊙ þunnsneið

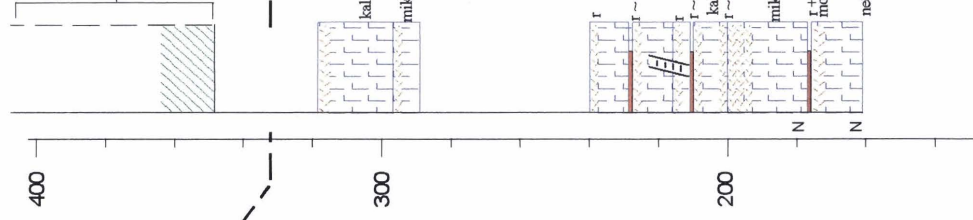


Ofan við Grundarkot
í Héðinsfirði

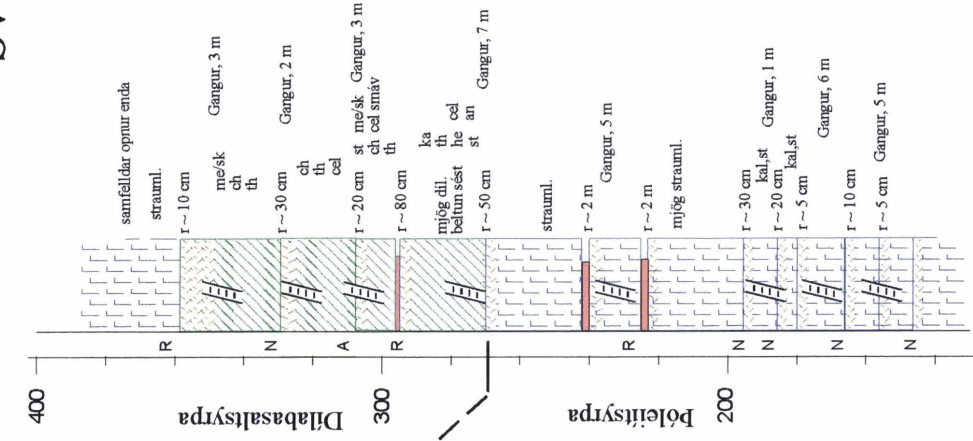
GK - 2



MH - 1



MH - 2



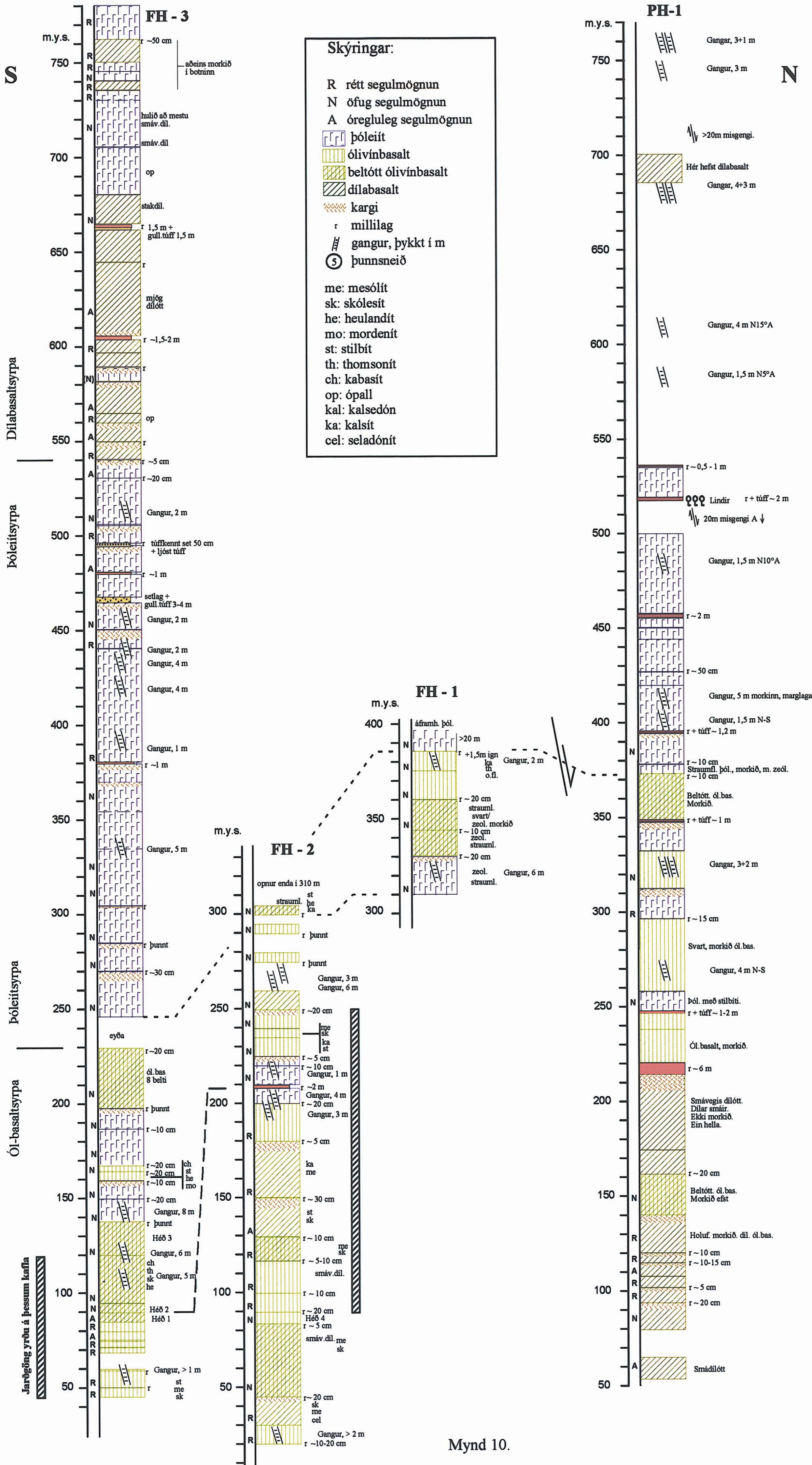
Ofan við Möðruvelli

1,5 km innan við Möðruvelli

Snið austan megin í Héðinsfirði
innan við Grundarkot

Snið austan í Fýlaskálahnjúkum vestan megin í Héðinsfirði

Snið austan í Pallahnjúki

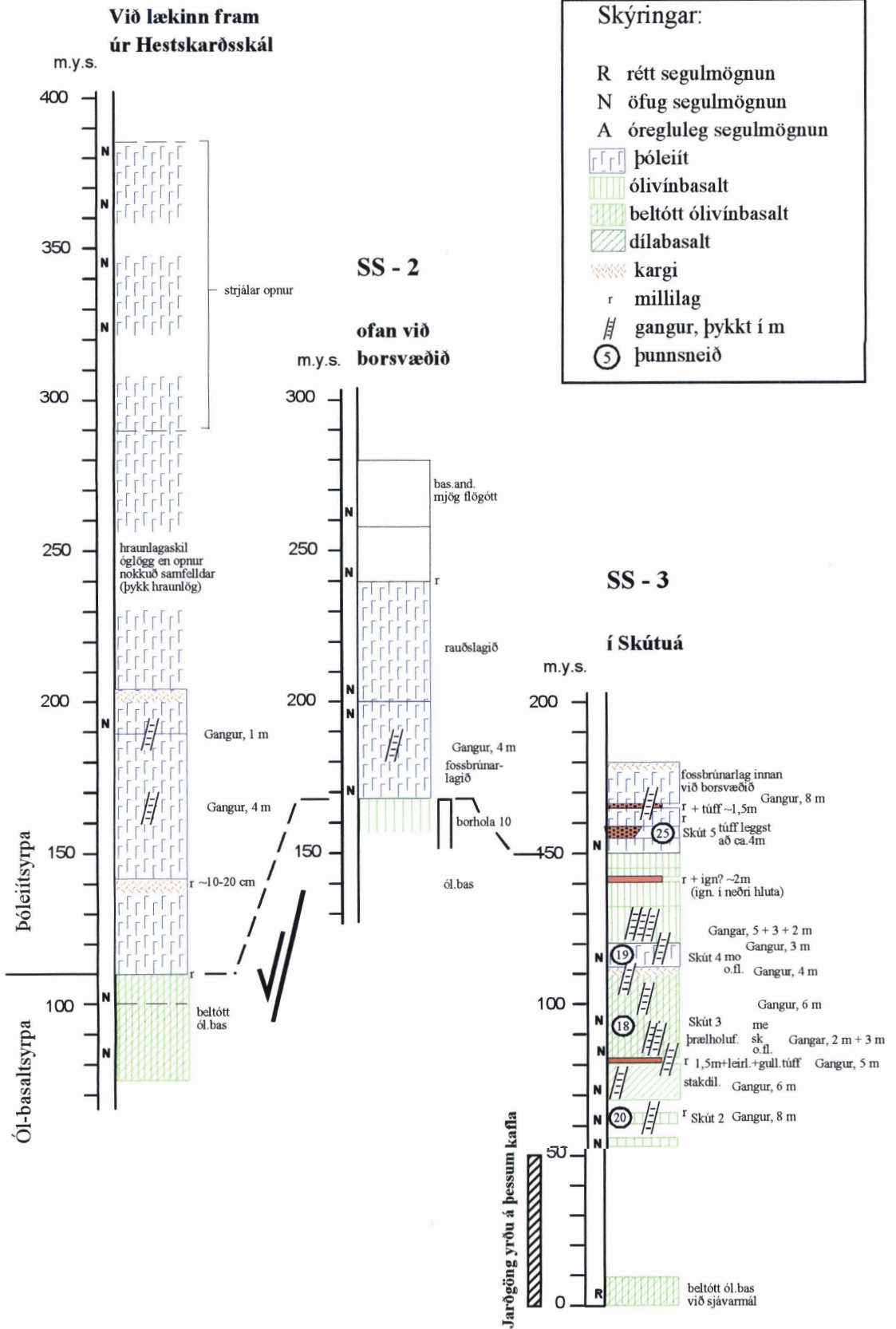


Mynd 10.

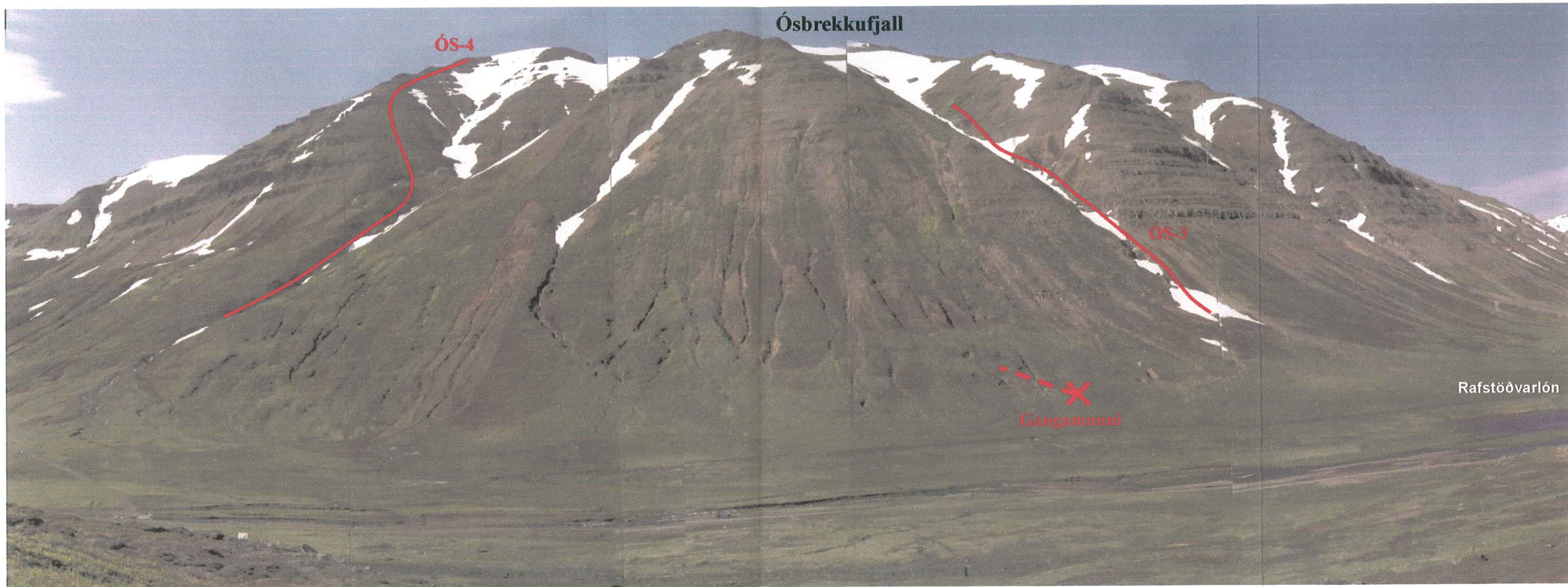
Snið í Skútudal í Siglufirði

NA SS - 1

SV

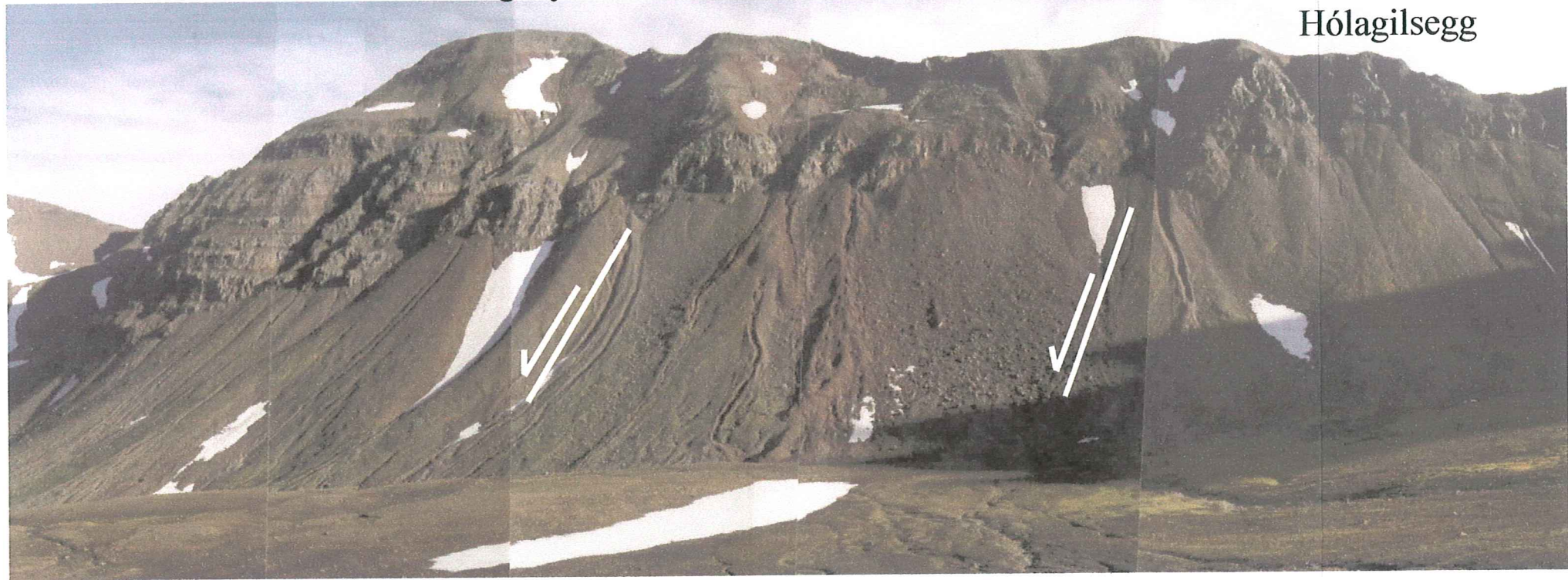


Mynd 11.



Skeggjabrekkudalur, norðurhlíð

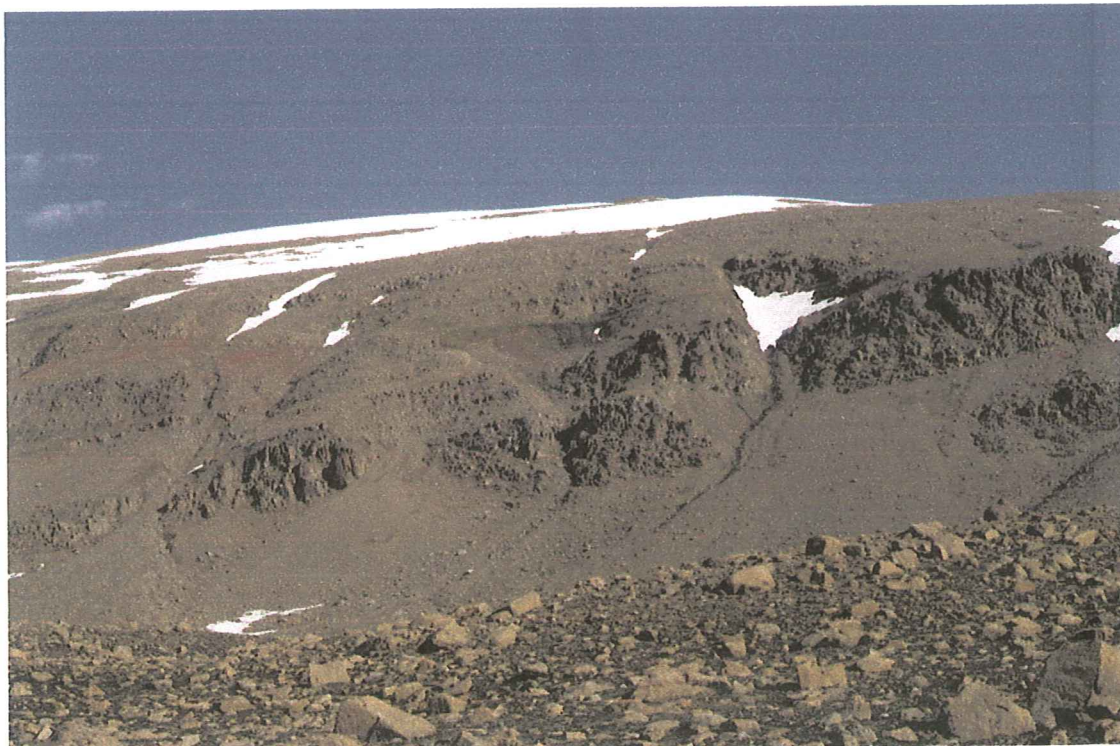
Teigahyrna



Hólagilsegg

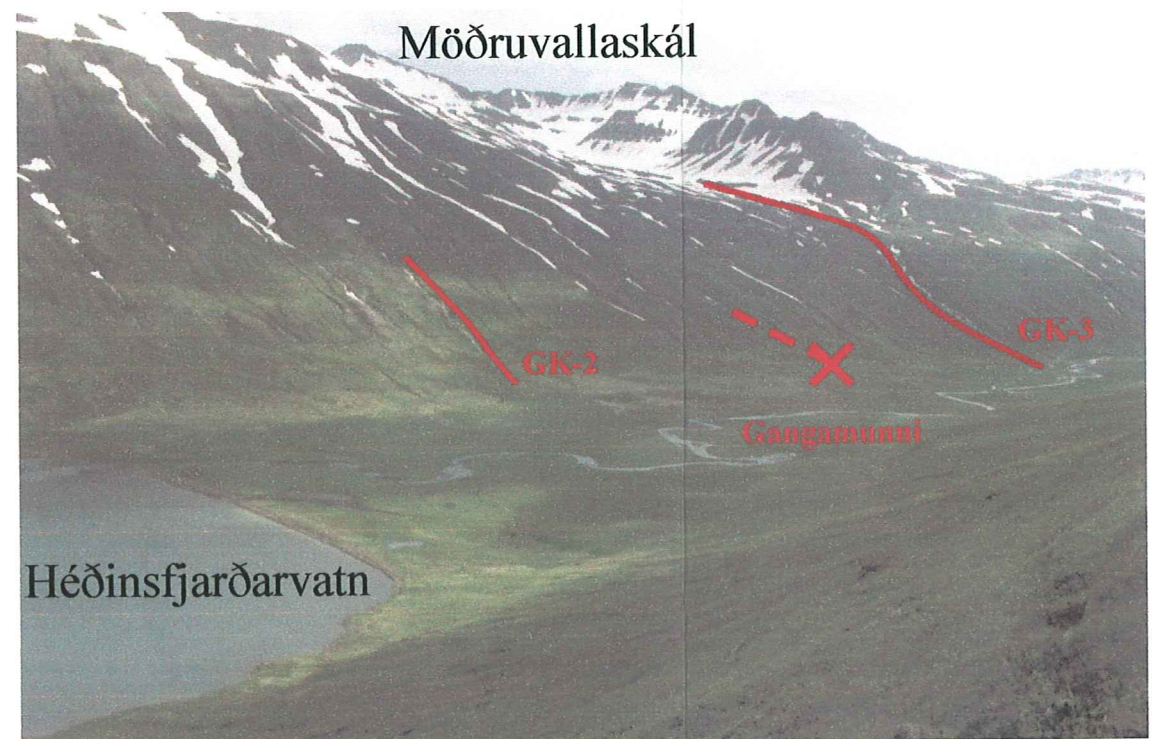
Syðrárdalur, austurhlíð

Mynd 13



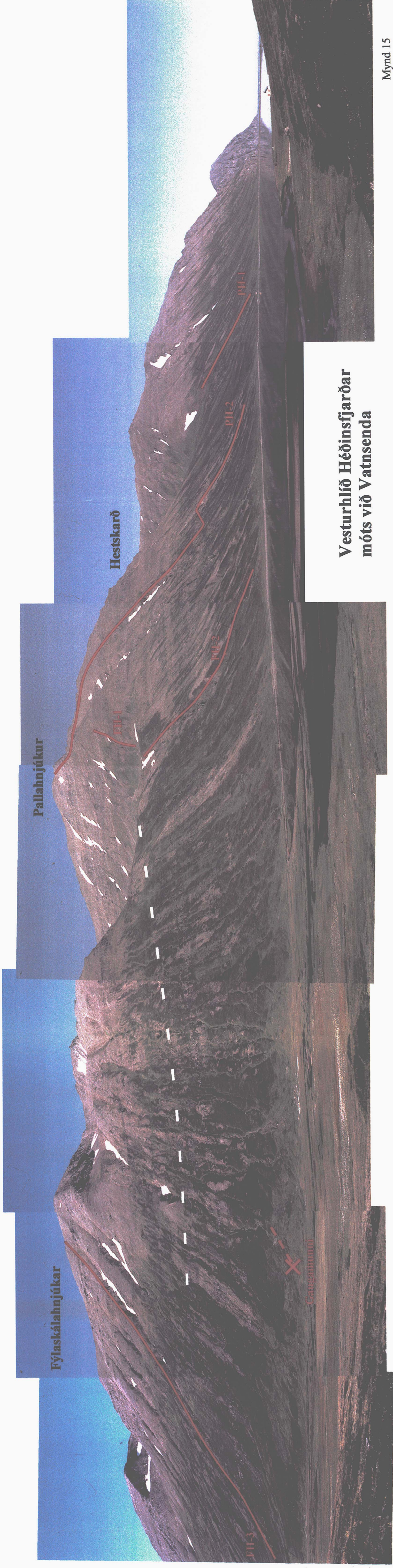
Mynd 14

NV-SA misgengi í Bangsaskarði



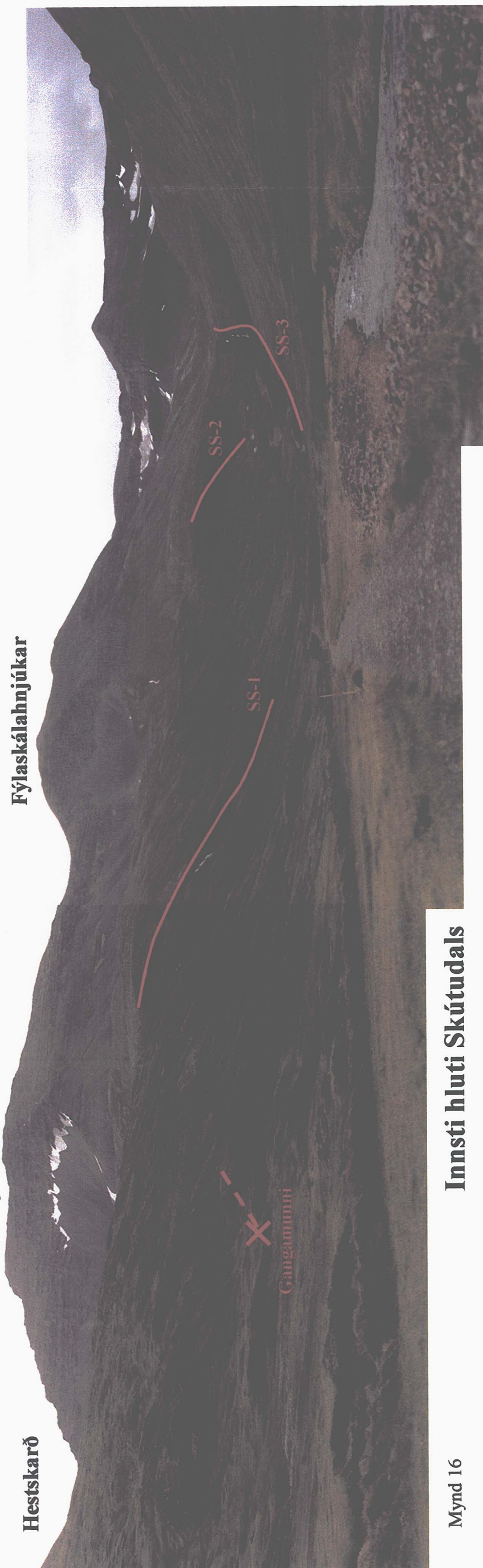
Hlíðin ofan við Grundarkot í Héðinsfirði

Mynd 14a



Mynd 15

**Vesturhlíð Héðinsfjarðar
móts við Vatnsenda**



Mynd 16

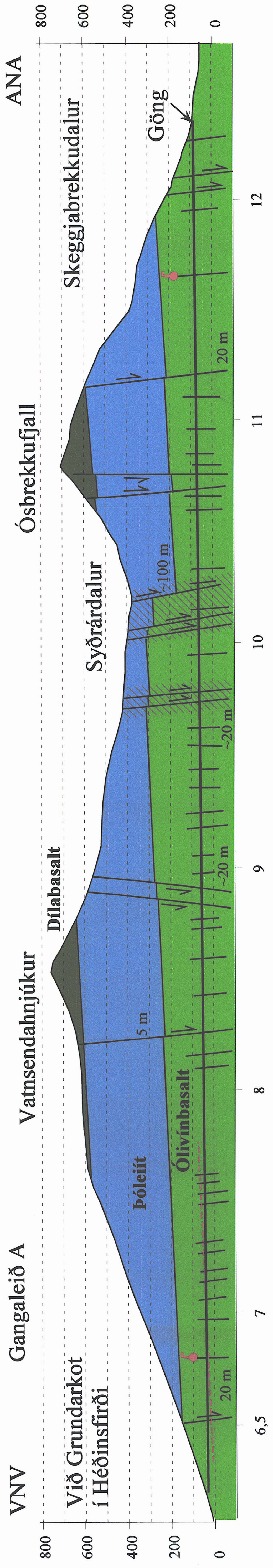
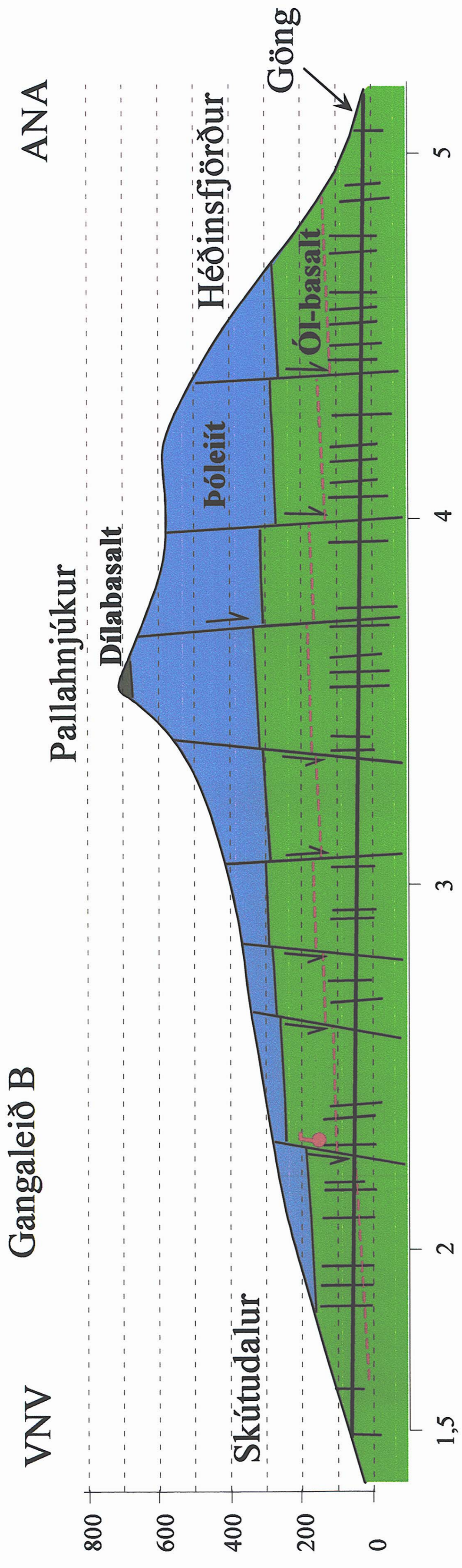
Innsti hluti Skútudals

Fylaskálahnjúkar

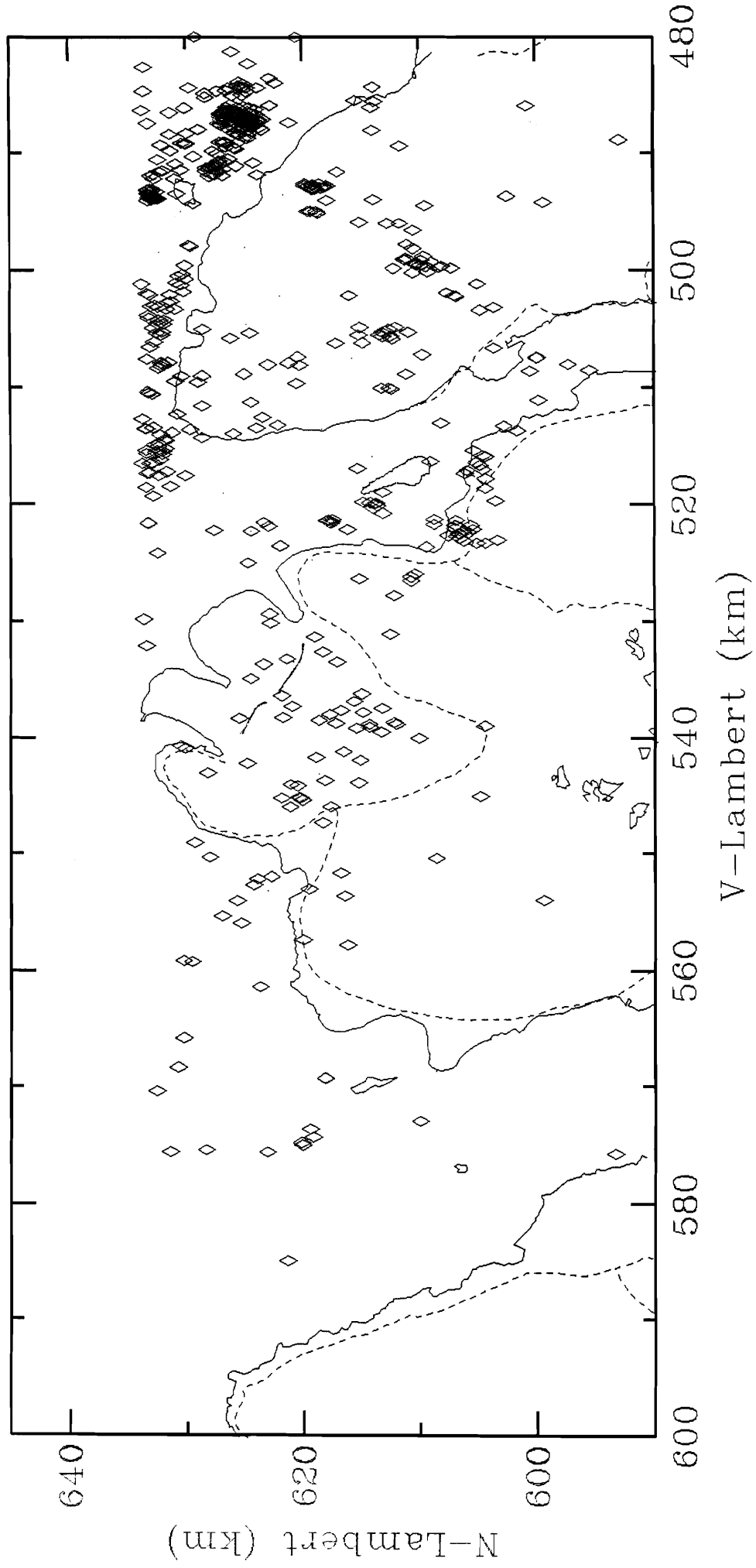
Hestskarö

Pallahnjúkur

Fylaskálahnjúkar



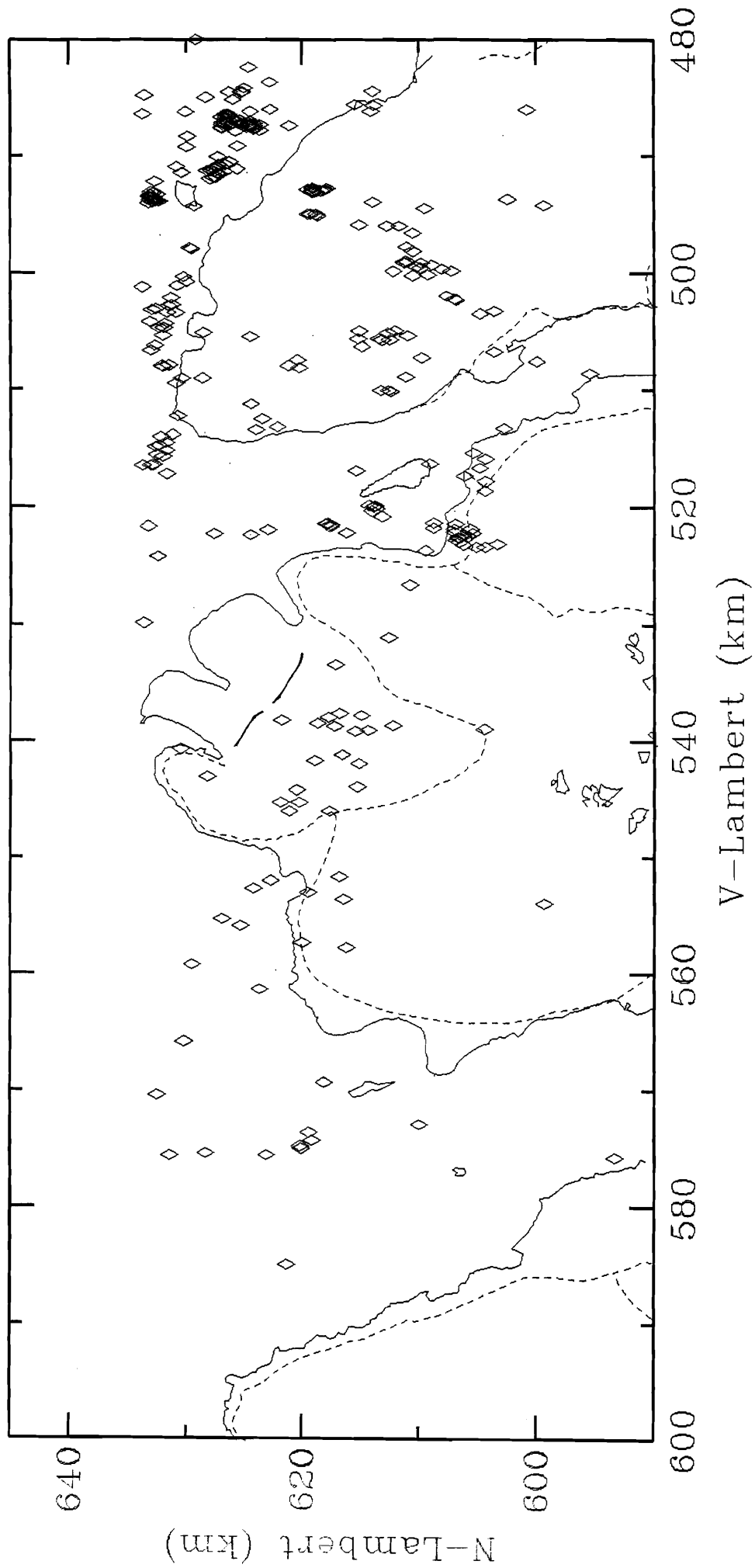
6 Jan 2000 ÓGF
xy V1.0



Mynd 18a

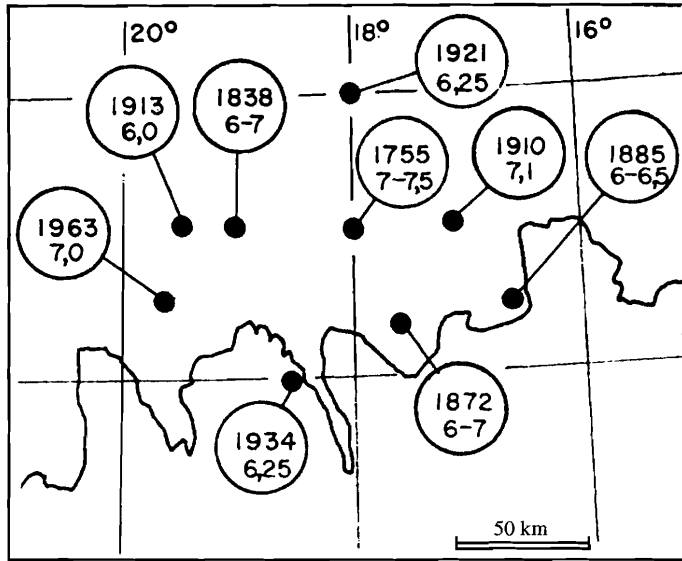
mm \geq -2.0

6 Jan 2000 ÓGF
xy V1.0

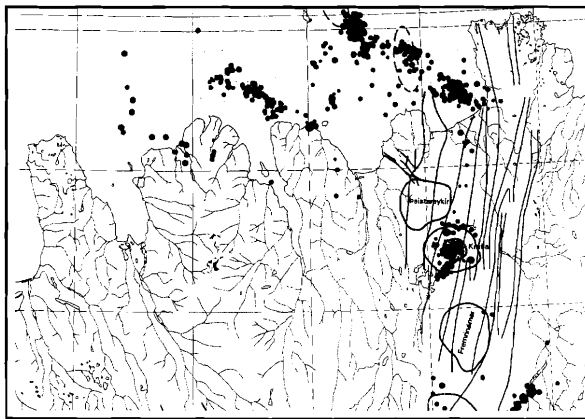


August 186

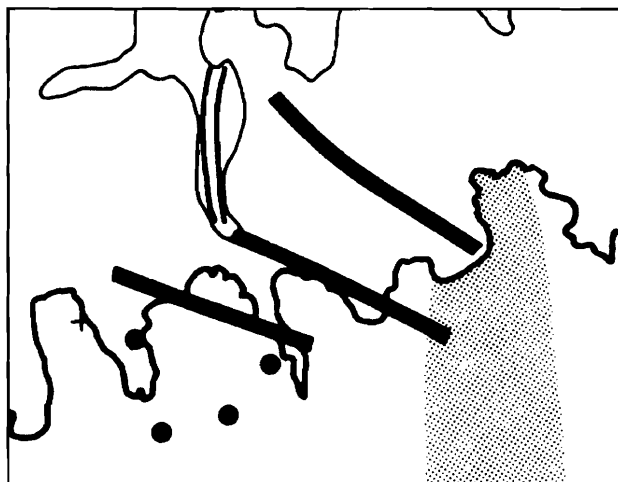
$m \geq 1.0$



a

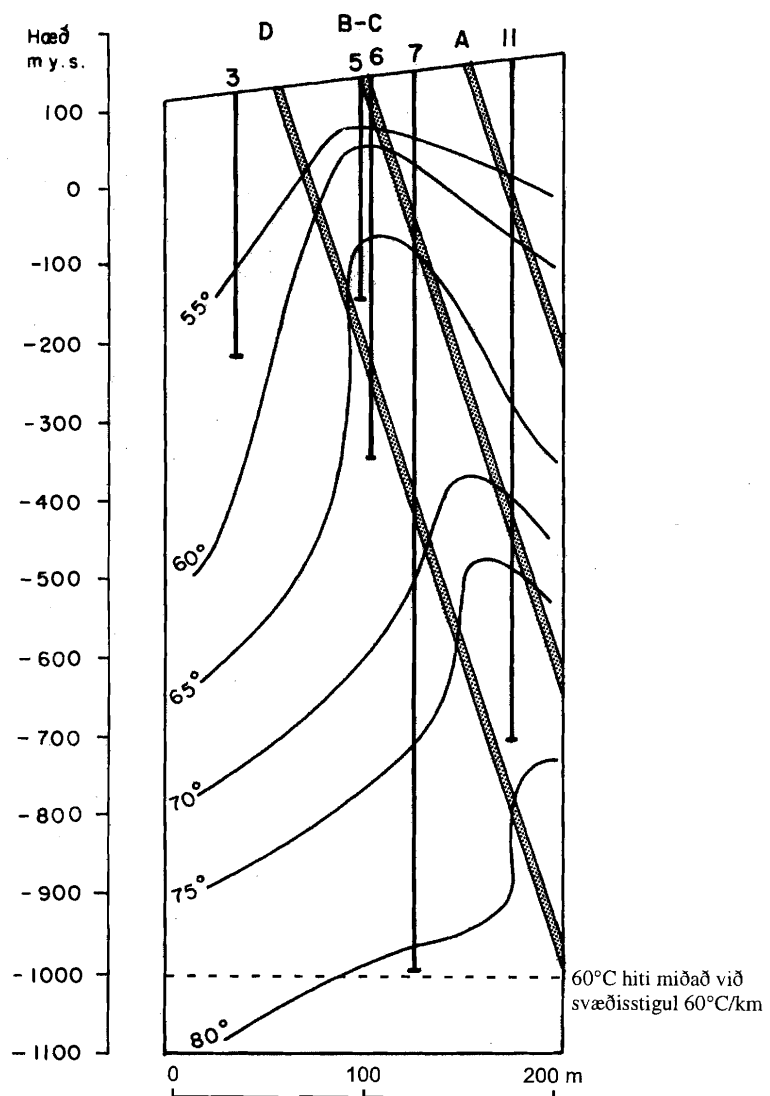


b



c

LÍKLEGT HITASNIÐ GEGNUM
JARÐHITASVÆÐI SKÚTUDALS



Mynd 20