



ORKUSTOFNUN
Vatnsorkudeild

Björn A. Harðarson
Ágúst Guðmundsson

JARÐGÖNG Í FÆREYJUM

Athugun á jarðfræðilegum aðstæðum

OS-84015/VOD-01
Reykjavík, febrúar 1984



ORKUSTOFNUN
Grensásvegi 9, 108 Reykjavík

Björn A. Harðarson
Ágúst Guðmundsson

JARÐGÖNG Í FÆREYJUM

Athugun á jarðfræðilegum aðstæðum

OS-84015/VOD-01
Reykjavík, febrúar 1984

ÁGRIP

Tilfni þessarar skýrslu er 10 daga kynnisferð tveggja starfsmanna OS-VOD til Færeyjar. Tilgangur ferðarinnar var að kynna jarðfræðilegum aðstæðum við jarðgangagerð í Færeyjum.

Öll veggöng í eyjunum voru skoðuð en þau eru tíu talsins og alls um 13,6 km á lengd (júní 1983).

Gefið er yfirlit um almenna jarðfræði Færeyja en síðan er lýst jarðfræðilegum aðstæðum við jarðgangagerð í eyjunum og birtar niðurstöður berggæðamats sem fram fór á völdum stöðum.

Jarðfræðilegar aðstæður og tæknilegir eiginleikar jarðgangabergs í Færeyjum eru lauslega borin saman við eiginleika samsvarandi bergs á Íslandi.

Sagt er frá vinnsluáferðum og vinnslutækni Færeyinga þar sem jarðgangagerð stendur yfir.

Flest veggöng í Færeyjum eru í beltuðu dyngjubasalti (ólivín basalt) og aðstæður svipaðar frá einum stað til annars.

Tæknilegir eiginleikar stuðlaðs basalts í Færeyjum og víða hérlendis eru svipaðir. Leggja ber þó áherslu á að jarðfræðilegar aðstæður á Íslandi eru mun fjölbreyttari en í Færeyjum, t.d. eru hér fleiri berggerðir og yfirleitt meiri óregla í jarðlögunum. Þó má segja að jarðfræðilegum aðstæðum við jarðgangagerð í Færeyjum geti svipað til aðstæðna sem finnast í sumum jarðlagasýrpum hér á landi.

Af ofanskráðu er ljóst að raunhæfur samanburður á jarðfræðilegum aðstæðum fæst aðeins ef bornar eru saman annars vegar aðstæður í Færeyjum og hins vegar aðstæður á ákveðnum stöðum á Íslandi t.d. jarðlög eða jarðlagasýrpur á fyrirhuguðum eða hugsanlegum jarðgangastæðum. Frekari rannsóknir á hugsanlegum jarðgangastæðum hérlendis eru forsenda slíks samanburðar.

EFNISYFIRLIT

	Bls.
ÁGRIP.....	2
EFNISYFIRLIT.....	3
TÖFLUSKRÁ.....	4
MYNDASKRÁ.....	4
LJÓSMYNDASKRÁ.....	5
1 INNGANGUR.....	6
2 JARÐFRÆÐIYFIRLIT.....	7
2.1 Neðsta basaltserían.....	7
2.2 Kolaserían.....	9
2.3 Túffserían.....	9
2.4 Mið basaltserían.....	9
2.5 Efsta basaltserían.....	10
2.6 Flokkun basaltsins.....	11
2.7 Þróun eldvirkni.....	12
2.8 Sprungur, gangar og innskotslög.....	12
2.9 Jarðlagahalli.....	13
2.10 Aldur berggrunnsins.....	13
2.11 Mótun landslagsins.....	14
3 JARÐGANGAGERÐ Í FÆREYJUM.....	15
4 LEYNARJARÐGÖNG.....	18
5 JARÐGÖNG Á AUSTUREY.....	25
5.1 Norðskáli - Funningsfjörður.....	25
5.2 Leirvíkurjarðgöng.....	31
6 JARÐGÖNG Á KARLSEY.....	37
6.1 Mikladalur - Ritudalur.....	38
6.2 Ritudalur - Villingadalur.....	39
6.3 Villingadalur - Hattardalur.....	40
6.4 Mikladalur - Tröllanes.....	41
7 JARÐGÖNG Á BORÐEY.....	47
7.1 Klakksvík - Árnafjörður.....	47
7.2 Árnafjörður - Norðtóftir.....	49
8 JARÐGÖNG Á SUÐUREY.....	53
8.1 Trongisvogur - Hvalba.....	53
8.2 Hvalba - Sandvík.....	56
9 BERGGÆÐAMAT.....	63
10 SAMANBURÐUR Á JARÐFRÆÐILEGUM AÐSTÆÐUM Á ÍSLANDI OG Í FÆREYJUM....	68
HEIMILDIR.....	71

TÖFLUSKRÁ

Bls.

1	Veggöng í Færeyjum, júní 1983.....	16
2	Fyrirhuguð veggöng í Færeyjum, júní 1983.....	16
3	Niðurstöður sprungumælinga og berggæðamats.....	67

MYNDASKRÁ

1	Færeyjar. Jarðfræðiyfirlit.....	8
2	Leynarjarðgöng. Staðsetning.....	19
3	Jarðgöng á Austurey. Staðsetning.....	26
4	Bor- og sprengiplan. Leirvíkurgöng.....	33
5	Jarðgöng á Karlsey. Staðsetning.....	37
6	Jarðgöng á Borðey. Staðsetning.....	48
7	Jarðgöng á Suðurey. Staðsetning.....	54
8	Niðurstöður sprungumælinga í Færeyjum.....	64
9	Niðurstöður sprungumælinga í Færeyjum og á Íslandi.....	65

LJÓSMYNDASKRÁ

1	Múlinn sem Leynarjarðgöngin liggja í gegnum.....	21
2	Beltað dyngjubasalt í múlanum við Leynarvatn.....	21
3	Dæmigert útlit Leynarjarðganga.....	22
4	Vatnsleiðandi sprungubelti í Leynarjarðgöngum.....	22
5	Vatnsleiðandi sprungubelti í Leynarjarðgöngum.....	23
6	Austurmunni Leynarjarðganga.....	23
7	Vesturmunni Leynarjarðganga.....	24
8	Bergstyrkingar innan við vesturmunna Leynarjarðganga.....	24
9	Vesturmunni Austureyjarganga.....	29
10	Dæmigert útlit Austureyjarganga.....	29
11	Austurmunni Austureyjarganga.....	30
12	Sprungubelti í Austureyjargöngum.....	30
13	Vinnslustál Leirvíkurganga skömmu eftir sprengingu.....	35
14	Austurmunni Leirvíkurganga.....	35
15	Atlas Copco HP170 borvagn við Leirvíkurgöng.....	36
16	Borvagninn við vinnu inn við vinnslustál Leirvíkurganga.....	36
17	Norðurmunni jarðganga milli Mikladals og Ritudals.....	43
18	Suðurmunni jarðganga milli Mikladals og Ritudals.....	43
19	Norðurmunni jarðganga milli Ritudals og Villingadals.....	44
20	Dæmigert útlit jarðganga í Karlsey.....	44
21	Norðurmunni jarðganga milli Villingadals og Hattardals.....	45
22	Suðurmunni jarðganga milli Villingadals og Hattardals.....	45
23	Vesturmunni jarðganga milli Klakksvíkur og Árnafjarðar.....	51

24 Austurmunni jarðganga milli Klakksvíkur og Árnafjarðar.....	51
25 Vesturmunni jarðganga milli Árnafjarðar og Norðtórta.....	52
26 Austurmunni jarðganga milli Árnafjarðar og Norðtórta.....	52
27 Ásýnd basaltsins í göngum milli Árnafjarðar og Norðtórta.....	57
28 Stórstuðlað basalt í Hvalbajarðgöngum.....	57
29 Algeng ásýnd basaltsins í Hvalbajarðgöngum.....	58
30 Stórstuðlað basalt í Hvalbajarðgöngum.....	58
31 Suðurmunni Hvalbajarðganga.....	59
32 Norðurmunni Hvalbajarðganga.....	59
33 Sprungumæling við suðurmunna Hvalbajarðganga.....	60
34 Dæmigert útlit Sandvíkurganga.....	60
35 Suðurmunni Sandvíkurganga.....	61
36 Norðurmunni Sandvíkurganga.....	61

1 INNGANGUR

Dagana 31. maí til 11. júní 1983 dvöldust tveir starfsmenn Vatnsorkudeildar Orkustofnunar í Færeyjum, jarðfræðingarnir Björn A. Harðarson og Ágúst Guðmundsson. Tilgangur fararinnar var aðallega sá að kynna jarðfræðilegum aðstæðum við jarðgangagerð í Færeyjum en eins og flestum er kunnugt er berggrunnur Færeyja að sumu leyti svipaður þeim íslenska. Ennfremur var tilgangurinn að bera saman gerð og eiginleika jarðgangabergs í Færeyjum og hér á landi og einnig að kynna aðferðum Færeyinga við gangagerð.

Mestur tími ferðalanganna fór í að skoða jarðgöng og umhverfi þeirra og voru öll veggöng í eyjunum skoðuð en þau eru alls um 13,6 km á lengd. Að öllu jöfnu var gengið (og ekið) um göngin með ferðarafstöð og ljóskastara. Einnig voru framkvæmdar sprungumælingar á völdum stöðum og bergið metið með tilliti til gæða þess til jarðgangagerðar samkvæmt norsku berggæðamatskerfi. Fjöldi ljósmynda var tekinn bæði inn í og fyrir utan göngin.

Í Leirvík á Austurey þar sem gangagerð stóð yfir var dvalið í einn dag og kynnt vinnsluáferðum og vinnslutækni Færeyinga við jarðgangagerðina. Þar var notið góðrar handleiðslu staðarstjóra hjá Landsverkfræðingnum.

Aðrir aðilar sem veittu upplýsingar og aðstoð í ferðinni voru Jóannes Rasmussen jarðfræðingur í Þórshöfn og Jógvan Nólsoy á skrifstofu Landsverkfræðingsins í Þórshöfn.

Hér er ekki um neina heildarúttekt á jarðgangagerð í Færeyjum að ræða heldur er hér aðeins lýst því sem fyrir augu bar í ferðinni auk nokkurra fróðleiksmola úr ýmsum áttum. Það er von höfunda að skýrsla þessi veiti einhverja innsýn í aðstæður við hið gróskumikla starf sem jarðgangagerð í Færeyjum er.

2 JARÐFRÆÐIYFIRLIT

Yfirborð eyjanna 18 er samanlagt um 1400 km². Hæsti tindurinn, Slættaratindur, er 882 m hár. Hann er nyrst á Austurey en hún og eyjarnar þar fyrir austan eru hálendasti hluti eyjaklasans (sjá mynd 1). Nálega helmingur landsins liggur ofan 300 m jafnhæðarlínu og lýsir það vel hversu lítið undirlendi er á eyjunum.

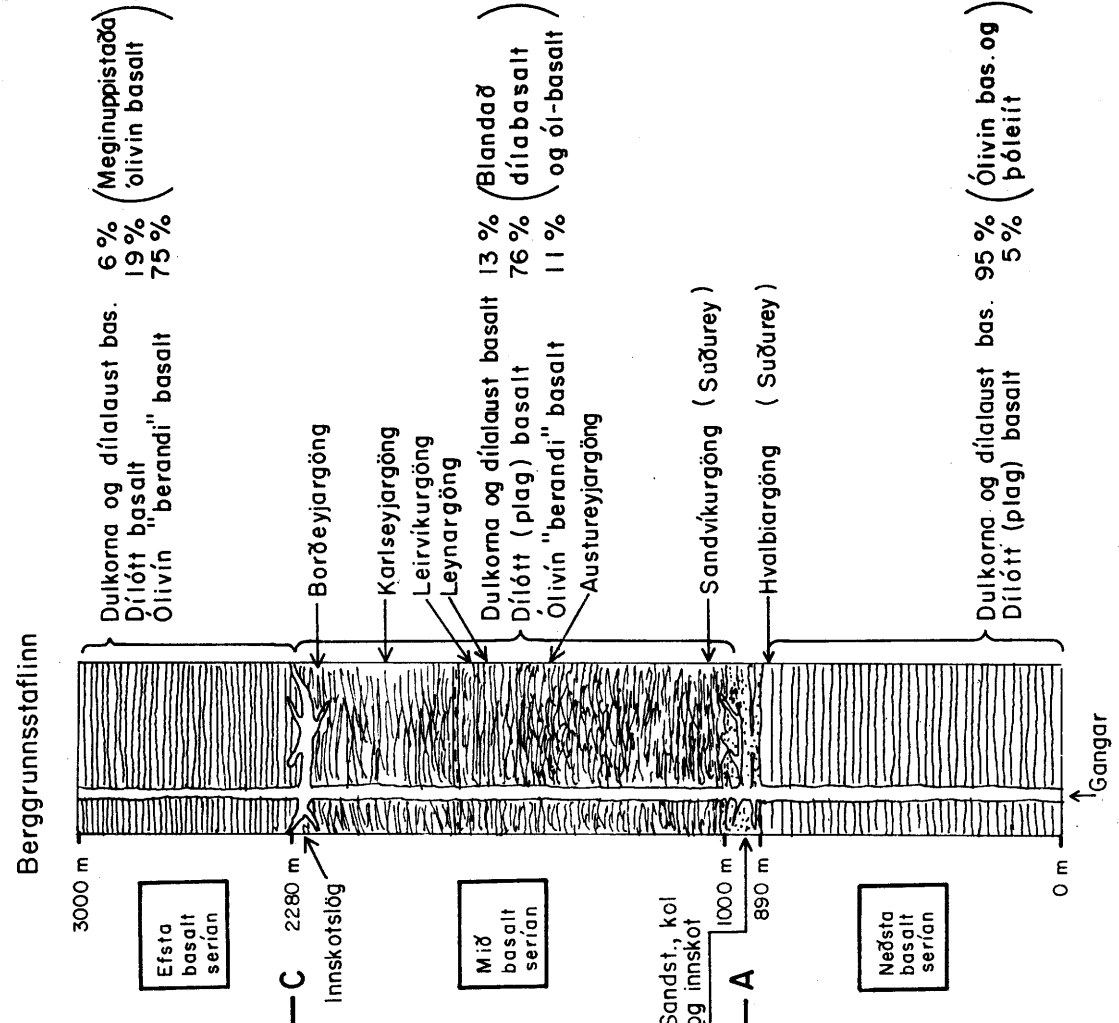
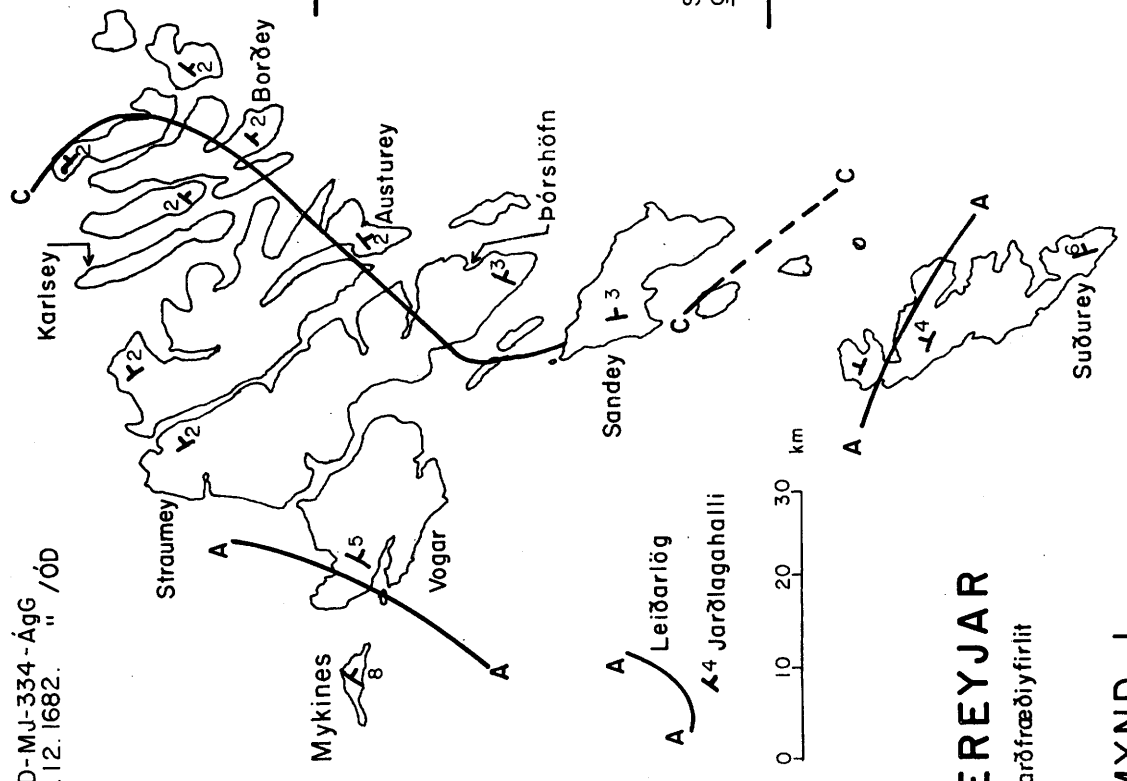
Berggrunnur eyjanna er að langmestu leyti byggður upp af basalti sem talið er að sé um 55 milljón ára gamalt. Á mynd 1 er sýnd skematísk teikning af berggrunnsstaflanum. Staflanum hefur verið skipt niður í 3 höfuðsyrpur (seríur) sem eru nefndar neðsta, mið og efsta basalt-serían. Á milli neðstu- og miðseríu eru setlög með brúnkolalögum ásamt setlögum úr túffi og molabergi. Þá er að geta þess að eftir að jarðlagastaflinn (sem nú er sýnilegur) hlóðst upp, tróðust inn í hann gangar og innskot. Skal nú reynt að lýsa þessum jarðfræðilegu einingum nánar og er byrjað á því elsta.

2.1 Neðsta basaltserían (Niðaru basaltfláirnar)

Heildarþykkt seríunnar er um 900 m og finnst hún á meginhluta Suðureyjar og vestast á Vogum og Mykinesi (sjá línu A á mynd 1). Staflanum hallar til NA á Suðurey en til ASA á Mykinesi. Á þessum tíma hefur gosvirknin gengið skrykkjótt og í goshléum hafa setst til setlög á milli hraunlaga. Hraunlögin eru oftast 10-30 m þykk (að meðaltali 20 m) en einstök lög ná 50 m þykkt. Þarna hefur aðallega gosið úr löngum gossprungum og kvikan runnið langar leiðir á yfirborði. Í staflanum skiptast því sífellt á basaltlög og þunn (1-4 m) setlög.

Samkvæmt vettvangs- og smásjárflökkun teljum við bergið yfirleitt vera ólivín basalt og er það dökkt á lit, næstum svart eða dökkblátt í brotsári. Kristallar eru venjulega mjög smáir en oft sýnilegir berum augum. Um 5% syrpu er úr dílabasalti (>5% plagióklas dílar) og auk þess eru lög úr beltuðu ólivín basalti hér og þar í staflanum en þó aðallega ofantil. SiO₂ innihald bergsins er mjög breytilegt á milli einstakra laga, eða frá 47 til 52% í neðstu 3/4 hlutum syrpu en 44-47% í efsta fjórðungi hennar. Ef efnagreiningar frá Noe-Nygaard og J. Rasmussen (1968) eru bornar saman við flokkunarkerfi I.S.E. Carmichaels (1967) virðist efnafræðilega flokkunin vera nokkuð samhljóða vettvangsflökkuninni.

VOD-MJ-334-Ágg
83.12.1682. " / ÓD



FÆREYJAR

Jarðfræðiyfirlit

MYND I

2.2 Kolaserían (Kolalindin)

Eftir að neðsta basaltserían hafði hlaðist upp varð langt goshlé (það hefur e.t.v. skipt milljónum ára). Þá varð lítilshátta rof á jarðlagastaflanum og leirkenndur jarðvegur myndaðist. Í þessum jarðvegi uxu skógar sem gáfu af sér brúnkolalögin sem finnast nú á Suðurey og Mykinesi. Kolin eru aðallega í tveimur böndum og mynda að meðaltali um 0,7 m þykk lög. Leirsteinninn sem fylgir kolaböndunum er að jafnaði um 10 m þykkur.

Kolavinnsla hófst á Suðurey um 1600 og hafa verið unnin þar kol með hléum allt fram á þennan dag (1984). Varmagildi kolanna er á bilinu 4000-6000 kcal/kg og öskuhlutfallið 5-20%.

2.3 Túffserían (Gosmyrjan)

Ofan á kolaseríuna lagðist síðan þykkt lag úr ösku, vikri og gjallbombum sem hefur komið upp á skömmum tíma í miklum þeytigosum. Ummerki þessa eldvirknitíma má nú sjá í túff- og molabergslögum sem finnast á Suðurey og vestast á Vogum. Þykkt laganna er mjög breytileg, 5-50 m en að meðaltali er túff-molabergsstafllinn 20-30 m þykkur. Víða sjást setlögin langt að vegna mikillar rauðlitunar í gjallinu. Þessi setlög eru nú víða gegnumskotin af laggöngum og laginnskotum.

2.4 Mið basaltserían (Mið fláirnar)

Í lok fyrrnefndarar þeytigoshrinu virðist gosvirknin hafa gjörbreyst og upp vall ógrynni af þunnfljótandi kviku sem byggði upp um 1350 m þykkar basaltstafla sem kallaður er mið basaltserían (sjá mynd 1). Öll veggöng í eyjunum nema ein eru í þessari syrpu.

Aðallega virðist hafa gosið upp um stuttar sprungur og hlaðist upp aflangir gígar. Kvikan hefur líklega verið mjög þunnfljótandi og enda þótt hver goseining sé e.t.v. 20-30 m þykk í stafla, þá er hún oft samsett úr 0,3-2 m þykkum hrauntaumum sem mynda nokkurskonar belti (þ.e. beltaðar dyngjur). Neðra og efra borð beltanna er oft blöðrótt og þar finnast stundum miklar holufyllingar úr kvartsi, ópál, geislasteinum og kalsíti. Á milli goseininga í efri hluta syrpunnar eru stundum nokkurra tuga sentimetra þykk sandsteinlög en í neðri hlutanum finnast varla nokkur millilög og má segja að þar sé syrpan víða ein samofin heild.

Berggerðin í syrpunni er allbreytileg. Samkvæmt vettvangsgreiningu flokkast mestur hluti syrpunnar sem ólivín-basalt og dílabasalt og sama er að segja um smásjárflökkun. SiO₂ innihald neðri hluta syrp-

unnar (neðstu 300 m) sveiflast á bilinu 46-48% á milli einstakra goseininga en ofar er SiO₂ innihaldið frá 46 til 56%. Innbyrðis skiptist syrpan þannig að ólivín basalt er um 11%, dílótt basalt 76% og dulkorna og dílalaust basalt er um 13%. Dílótta basaltið í syrpu er flokkað samkvæmt efnagreiningum sem ólivín-þóleiít basalt og dílabasaltið hefur öll einkenni ólivín basalts hvað varðar bergásýndina, bæði úr fjarlægð, í brotsári og einnig oftast í smásjá.

Þrjú lög í efri hluta syrpu hafa svo hátt SiO₂ innihald að þau má kalla þóleiít eða jafnvel andesít.

Víða eru lög með stórum plagióklas kristöllum og eru plagióklas dílar oft á bilinu 20-40%. Stundum hafa kristallarnir lagst í bönd sem mynda þá ljósar rákir í svörtum fín- og dulkorna millimassa.

2.5 Efsta basaltserían (Ovaru basaltfláirnar)

Mörkin á milli mið- og efstu basaltseríu eru ekki eins skýr og mörkin á milli neðstu- og miðbasaltseríu.

Eftir upphleðslu miðseríu hefur orðið "lítilsháttar" goshlé með einhverju rofi á staðbundnum svæðum. Í stað samfelldrar gosvirkni við upphleðslu meginhluta miðseríunnar fór að gjósa með hléum og mynduðust þá efstu 700 m þess jarðlagastafla sem nú sést. Á mynd 1 er sýnd útbreiðsla efstu seríunnar austan við línu C, sem er dregin þar sem Mið- og Efsta basaltserían mætast við sjávarmál.

Samkvæmt vettvangs- og smásjárskoðun er langmestur hluti syrpu ólivín basalt. Basaltlögin eru venjulega 5-10 m þykk, grá á veðrunarflötum en oft dökk-blágrá í brotsári og víða með plagióklas og ólivín dílum. Stundum aðgreinast lögin innbyrðis af kargakenndum beltum og eru þá lögin eða goseiningarnar margsamsettar eins og í mið basaltseríunni. Oft er þunnur (nokkurra tuga sentimetra) sandsteinn á milli laga. Berggerðin er fremur einhæf. SiO₂ er á bilinu 44-49%. Syrpan skiptist þannig: ólivín basalt er um 75%, dílótt basalt er 19% og dulkorna dílalaust basalt eru um 6%.

2.6 Flokkun basaltsins

Ef við lítum nú á basaltstaflann í Færeyjum í heild þá skipta A.Noë-Nygaard og J. Rasmussen honum í grófum dráttum á eftirfarandi hátt í mismunandi basaltgerðir (flokkun frá 1968 og 1970);

Kvars-póleiít, dílalaust	= 30%
Kvars-póleiít, dílótt	= 40%
Ólivín-póleiít	= 30%

Þessi flokkun á Færeyjabasaltinu tengist íslensku flokkuninni illa. Þegar efnagreiningar fyrrnefndra höfunda eru skoðaðar og þær bornar saman við flokkunarkerfi það sem I.S.E. Carmichael (1967) hefur notað fyrir basalt á Íslandi, kemur í ljós, að það sem þeir kalla kvarts-póleiít er að miklu leyti það sem venja er að kalla ólivín póleiít hér á landi. Þegar bergstaflinn í Færeyjum er endurflokkaður með þetta í huga virðist efnafræðilega flokkunin og vettvangsflokkunin fara vel saman.

Þegar dílabasaltið er meðhöndlað á sama hátt og kvars-póleiítið verður það sama upp á teningnum þ.e. að dílótt kvars-póleiít flokkast sem ólivín-póleiít dílabasalt. Líklegt er að dílabasaltið geti fallið í póleiít flokkinn ef plagióklas kristallarnir og grunnmassinn í kring eru efnagreind saman í stóru sýni. Þá getur hátt SiO₂ innihald plagióklas kristallanna hækkað SiO₂ hlutfall bergsins svo mikið að það flokkist sem póleiít basalt. En þrátt fyrir það getur grunnmassi bergsins utan við plagióklas kristallana verið ólivín basalt og hraun- ið haft öll einkenni þess.

Útlit og tæknilegir eiginleikar basaltsins ráðast mjög mikið af SiO₂ innihaldinu. Það kemur því mjög spánskt fyrir sjónir að sjá stafla af dyngjubasalti í Færeyjum flokkað sem kvars-póleiít.

Eldri vettvangsflokkun á basaltinu er verulega frábrugðin þeirri flokkun sem hér var fyrst rakin. Þar var meginhluti berglagastaflans flokkað sem ólivín-basalt og t.d. var meginhluti dílabasaltsins í þeim flokki. Minnihluti staflans var flokkað í póleiít basalt og var það aðallega úr neðstu basaltseríu og efri hluta miðseríu. Gamla vettvangsflokkunarkerfið í Færeyjum samræmist ágætlega hefðbundinni flokkun basalts á Íslandi enda er líklegt að íslenska flokkunarkerfið sé í upphafi ættað frá A.Noë-Nygaard og J. Rasmussen.

2.7 Þróun eldvirkni

Eldvirknin hófst fyrir um 55 milljónum ára á neðansjávarhrygg sem er vestan við núverandi eyjaklasa (Wyville-Thompson hryggur) og gaus þar í hrinum á meðan neðsta basaltserían hlóðst upp.

Síðan verður goshlé (e.t.v. í fáeinir milljónir ára) og þegar gosvirknin tók sig upp að nýju hafði eldvirknin færst austur af hryggnum og nokkurnvegin að miðbiki núverandi eyjaklasa. Í fyrstu var um mikil þeytigos að ræða (gosmyrjan) sem síðar breyttist yfir í flæðigos.

Basaltkvikan sem myndaði miðseríuna er líklega ættuð af svipuðu dýpi og kvika neðstu seríunnar. Þegar miðserían myndaðist hefur plagióklas verið farið að kristallast í miklum mæli niðri í kvikunni og upp kom kvika með miklu af plagióklas dílum (fenokristöllum). Eftir því sem á gosvirknina leið virðist bergkvikan sem upp kom hafa þróast í átt til kísilsýruríkari berggerða.

Aftur færðist eldvirknin austar og þá hefur kvikan líklega komið upp af meira dýpi en áður og var berggerðin mjög basísk. Það dró síðan hægt og rólega úr þessari goshrinu uns henni lauk fyrir nálega 50 milljón árum en afraksturinn af þessari gosvirkni er efsta basaltserían.

2.8 Sprungur, gangar og innskotslög

Sprungur og gjár setja víða sterkan svip á landslag í Færeyjum. Einkum er þessar gjár að finna við misgengi, sprungubelti og ganga sem eru veikari en grannbergið og veita þá roföflunum greiðari leið niður í berggrunninn. Alls hafa um 800 meiri- eða minniháttar gjár verið taldar á eyjunum. Misgengi eru í sumum sprungubeltunum og eru flest þeirra fáeinir m á stærð (stærstu misgengin eru um 20 m). Þar sem misgengi hópast saman, svo sem á Suðurey, hefur hreyfingin um þau yfirleitt verið til sömu hliðar, þannig að mörg lítil misgengi geta gefið umtalsvert heildarsig. Í misgengjunum er oft 1-3 m breitt sprungubelti þar sem bergmassinn hefur brotnað niður eða jafnvel kurlast í minna en hnefastóra steina. Þá virðist einnig vera um lárétta færslu að ræða í sumum sprungubeltunum og er talið að slíkt geti hafa numið allt að 100 m.

Eftir að basaltstaflinn hafði hlaðist upp tróðust allmargir basaltgangar inn í staflann. Alls hafa 845 slíkir verið kortlagðir. Gangarnir eru mjög mismunandi að breidd, allt frá 0,2-20 m en að meðaltali 3,5 m. Lengsti gangurinn hefur mælst yfir 20 km. Líklegast er talið að gangarnir og innskotin hafi brotist inn í staflann á tiltölulega stuttu "tektónisku óróatímabili".

Ganga- og sprungustefnur eru í höfuðdráttum eftirfarandi: Á Vogey og norðantil á Straumey A-V og VNV-ASA. Þegar kemur austur á Norðureyjar verður NA-SV sprungustefnan ráðandi. Á suðurhluta Straumeyjar, Austureyjar og á Sandey er A-V sprungustefnan sterk. Á Suðurey er NV-SA sprungu- og gangastefnan sterkust. Víðast hvar á Norðureyjum og á Suðurey eru sprungur og gangar nokkurn vegin samsíða striki jarðlaganna en ávallt er önnur sprungustefna til staðar með 60-80 gráðu horn við strikstefnu jarðlaganna. Þetta horn á milli sprungustefnanna er mjög sambærilegt við algengustu sprungukerfi á Íslandi. Á vestanverðum eyjunum (Vogey) er aðal sprungustefnan nálega samsíða hallastefnunni eða þveröfugt við það sem áður var sagt um Suðurey og Norðureyjar.

Við mörk neðstu- og mið-basaltseríu (mörk A á mynd 1) hafa gangar víða skotist lárétt út í veikleikabelti og myndað lagganga. Við mót mið- og efstu basaltseríu hefur innskotakvikan einnig brotist til hliðar og myndað stór, lárétt innskot um miðbik Straumeyjar (9 x 2 km) og Austureyjar (6,5 x 2,5 km að flatarmáli).

2.9 Jarðlagahalli

Samhliða upphleðslunni eða eftir að upphleðslu staflans lauk og e.t.v. eftir innskotavirknina, tók jarðlögunum að halla til austlægra átta. Mestur er jarðlagahallinn vestast á eyjunum, á Mykinesi (8-10 gráður) og vesturhluta Vogeyjar, 6-8 gráður til ASA. Á Suðurey er hallinn nokkru minni (4-6 gráður) en hallastefnan er til NNA. Á norðurhluta eyjanna er hallinn víðast 2-3 gráður til A og ANA. Suðaustantil á eyjunum er hallinn 2-3 gráður til SA (sjá mynd 1).

Mögulegt er að jarðlagahallinn eigi að einhverju leyti rætur að rekja til upphleðslu jarðlaganna því að hallastefnurnar virðast liggja geislalægt út frá tveimur miðjum. Önnur miðjan sýnist vera vestan við Mykines og hin miðjan suðvestur af Suðurey og endurspeglar þessar miðjur þá e.t.v. tvö upphleðslusvæði og hafa jarðlög þá strax í byrjun hallað út frá þeim.

2.10 Aldur berggrunnins

Aldursgreiningar frá Færejum benda til þess að allt bergið sé eldra en 50 milljón ára (m.á.) gamalt. Aldursgreiningar úr neðstu basaltseríu gefa að jafnaði 54 m.á., greiningar úr mið-basaltseríu um 58 m.á. og greiningar úr efstu seríu um 52 m.á. Þetta ósamræmi sem kemur fram á milli aldurs seríanna á líklega rætur að rekja til ummyndunar bergsins.

Ekki er gerlegt að segja til um lengd goshlésins á milli neðstu og mið basaltseríu á grundvelli aldursgreininga en gróðurleifarnar benda til þess að goshléið hafi verið langt e.t.v. skipt hundruð þúsunda eða jafnvel milljónum ára.

2.11 Mótun landslagsins

Á ísöld hafa Færeyjar legið undir ís. Eyjarnar hafa haft sjálfstæðan jökul, sem hefur flætt út af þeim til allra átta. Talið er að yfirborð jökulsins hafi legið um 500 m ofan við núverandi strendur. E.t.v. hafa fjallatoppar, sérstaklega norðan og austan til á eyjunum ávallt náð upp úr meginjöklinum og sýna þeir e.t.v. upprunalegt yfirborð berglagastflans.

Firðir og dalir í Færeyjum hafa yfirleitt NV-SA stefnu og er það mikið til vegna þess að jökulskriðið hefur stjórnað af misgengjalægðum, berggöngum og veikleikabeltum með NA-SV stefnu. Landslag á svæði neðstu basaltseríunnar (Suðurey-Mykines) er víða stöllótt (hörð hraunlög með mýkri setlögum á milli). Á svæði miðseríunnar eru víða þverhníptar strendur á mótum opnu hafi, svo sem norðan til á eyjunum en inni í fjörðum og dölum eru víða U-laga hlíðar með mjúkar línur. Þetta stafar af því að mið-serían er víða ein samofin heild án teljandi millilaga. Á svæði efstu-seríu (austast og suðaustan til á eyjunum) er landslagið víða í fíngerðum stöllum, oft brattar hlíðar með litlum (5-10 m) þrepum, en á mótum opnu hafi eru standberg (lóðréttir hamrar). Segja má að alla jafnan sé standberg gegnt opnu hafi, án tillits til hvaða bergsería er á viðkomandi stað.

Færeyjar eru ótrúlega snauðar af lausum jarðlögum samanborið við Ísland, en víða er jökulruðningur, botnruðningur og garðar, á sjávarbotni umhverfis eyjarnar.

3 JARÐGANGAGERÐ Í FÆREYJUM

Eins og flestum er kunnugt stendur jarðgangagerð í Færeyjum á gömlum merg og hafa Færeyingar mun meiri reynslu af gerð jarðganga heldur en Íslendingar.

Upphaf jarðgangagerðar í Færeyjum má rekja til gerðar námuganga í sambandi við kolavinnslu á Suðurey sem verið hefur í gangi með hléum frá sautjándu öld. Þessi göng eru yfirleitt um 2 m á hæð og breidd og upp í nokkur hundruð metra löng.

Vatnsgöng vegna virkjana eru allmörg í eyjunum, sérstaklega við Vestmanna á Straumey. Þessi göng eru flest um 2 m í þvermál og nokkrir tugir til nokkur hundruð metra löng. Öll göngin eru að mestu leyti gerð í basalti. Hugmyndir eru uppi um stórfellda aukningu í jarðgangagerð af þessu tagi.

Þriðji og jafnframt langstærsti flokkur jarðganga í eyjunum eru veggöng. Í töflu 1 er listi yfir öll veggöng sem gerð hafa verið til þessa. Fyrstu veggöngin voru tekin í notkun árið 1963 (Trongisvogur - Hvalba á Suðurey) og síðan hefur gerð vegganga verið nokkuð samfelld og ný göng tekin í notkun á 1-6 ára fresti. Alls hafa verið gerðir um 13.600 m af veggöngum eða um 650 m á ári að jafnaði frá 1963 en það samsvarar rúmlega einum Oddskarðsgöngum á ári.

Jarðgangagerðin var í höndum danskra verktaka (aðallega Phil og Sön) allt fram að gerð Karlseyjarganganna en þá tóku Færeyingar sjálfir við (Landsverkfröðingurinn). Íslenskir verkfræðingar frá Efra-Falli (síðar Ístak) voru staðarverkfræðingar hjá Phil og Sön við sum jarðganganna; Páll Sigurjónsson við fyrstu göngin (Trongisvogur - Hvalba), árin 1961-1963, og Ólafur Gíslason við bæði Borðeyjargöngin árin 1964-1967.

Þegar þetta er skrifað stendur veggangagerð yfir á tveim stöðum; á Karlsey (einbreið göng) og í Leirvík á Austurey (tvíbreið). Áform eru uppi um enn frekari veggangagerð á næstu árum og í töflu 2 er listi yfir fyrirhuguð veggöng sem höfundar fengu upplýsingar um.

Ekki eru gerðar miklar jarðfræðilegar rannsóknir á þeim stöðum sem jarðgöng eru fyrirhuguð samanbrið við undirbúning við jarðgangagerð á Íslandi. Ástæðan er aðallega sú hve jarðfræði eyjanna er einföld og berglög regluleg og samfelld. Samráð er haft við jarðfræðing (Jóannes Rasmussen) sem bendir á heppilegustu staðsetningu ganga með tilliti til jarðfræðilegra aðstæðna.

TAFLA 1 Veggöng í Færeyjum, júní 1983

Staðsetning	Lengd (m)	Hæð (m)	Breidd (m)	Tekin í notkun

Á Straumey:				
Leynarjarðgöng	760	7	9	1977
Á Austurey:				
Austureyjarjarðgöng	2500	7	8,5	1976
Leirvíkurjarðgöng	600 (verða 2200)	6,8	7,2	1984
Á Borðey:				
Klakksvík-Árnafjörður	1700	3,5-4	4	1967
Árnafjörður-Norðtóftir	2100	4	4-4,5	1967
Á Karlsey:				
Miklidalur-Ritudalur	1100	6	4,5	1982
Ritudalur-Villingadalur	700	6	5	1981
Villingadalur-Hattardalur	1200	6	5	1980
Á Suðurey:				
Trongisvogur-Hvalba	1450	4	4,5-5	1963
Hvalba-Sandvík	1500	4	4,5	1970

	Samtals 13610 m			

TAFLA 2 Fyrirhuguð veggöng í Færeyjum, júní 1983

Staðsetning	Lengd* (m)	Hæð (m)	Breidd (m)

Á Karlsey:			
Miklidalur-Tröllanes	2500 (byrjað '83)	5,5	4,5
Á Kuney:			
Kuney-Haraldssund	2000	5,5	4,5
Á Straumey:			
Kaldbaksfjörður-Kollafjörður	3000	7	7,2

*ATH. Lengd, breidd og hæð er áætlað af höf.

Þar eru þrjú atriði sem mestu máli skipta: 1) Reynt er að láta jarðgöngin liggja í sem allra fæstum jarðlögum. 2) Halli ganganna er hafður sem næst halla jarðlaganna í gangastefnuna. 3) Reynt er að forðast sprungubelti. Ef ekki er hægt að komast hjá sprungubeltum er leitast við að haga hlutum þannig að göngin skeri þau sem þverast. Þessi sprungubelti ("lamellar zones") eru mjög algeng í berggrunni eyjanna. Þau eru jafnan nær lóðrétt, oftast 1-5 m breið, samfelld og sjást oft vel á yfirborði sem gjár ("gjógvir").

Yfirgnæfandi hluti allra vegganga á eyjunum liggur í massífu basalti. Bergtæknileg vandamál við gangagerðina hafa verið fá og fæst alvarleg. Helst hafa komið upp erfiðleikar þegar byrjað er á göngum vegna lélegrar stæðni þar sem þekja er þunn. Einnig hafa sprungubelti verið til vandræða á stöku stað (aðallega erfiðleikar í borun) þar sem berg er mikið sprungið og losaralegt og bergþekja þunn. Vatnsleiðandi sprungur og sprungubelti hafa einnig verið til trafala á stundum. Að öðru leyti má segja að jarðgangagerð í eyjunum hafi gengið vel.

Hér á eftir er stuttlega gerð grein fyrir jarðfræðilegum aðstæðum í öllum veggöngum eyjanna og síðan reynt að bera þær saman við aðstæður héraendis.

4 LEYNARJARÐGÖNG

Lengd: 760 m

Hæð: 7 m

Breidd: 9 m

Tveggja akreina jarðgöng tekin í notkun 1977. Verktaki við jarðganga-gerðina var Phil og Sön.

Þetta eru einu jarðgöngin á Straumey og þau eru á leiðinni milli Kollafjarðar og Kvívíkur (sjá staðsetningu á mynd 2). Áður en göngin voru gerð lá vegurinn undir þverhníptum múla sem liggur fram að Leynarvatni á 300-400 m kafla (sjá ljósmynd 1). Þessi vegarkafli var varhugaverður vegna grjóthruns og í stað þess að byggja vegsvalir eða gera vegfyllingu út í vatnið voru gerð jarðgöng í gegnum múlann samhliða gamla veginum. Ekki breyttu jarðgöngin vegalengdinni milli Þórshafnar og Vestmanna.

Jarðgöngin eru í beltudu dyngjubasalti í miðseríu (sjá ljósmynd 2). Jarðlagahalli á svæðinu er aðeins 2-3 gráður til A eða ASA. Jarðgöngin eru nær lárétt og með stefnu sem er á milli striks og hallastefnu jarðlaganna þannig að göngin skera fá jarðlög.

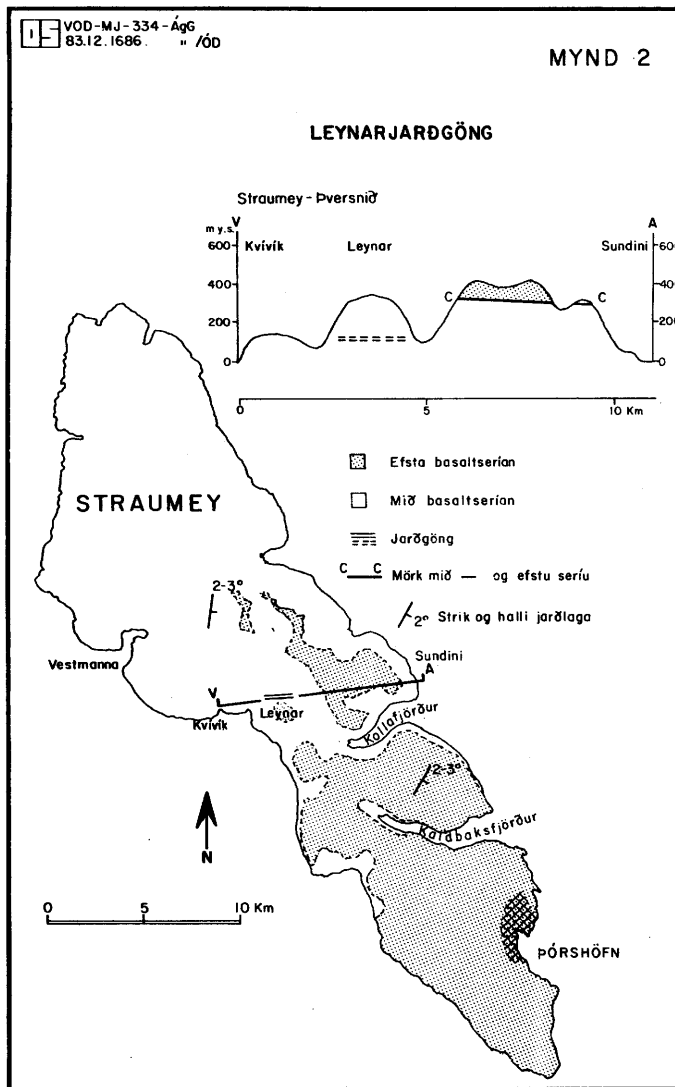
Bergið er smákorna með 5-40% af plagióklas dílum (5-30 mm) og er að jafnaði stórstuðlað og þétt. Stuðlafletir eru sléttir og bylgjóttir. Mikið er um láréttar sprungur eins og algengt er í dyngjubasalti en flestar sprungur eru lokaðar og sprungufletir skændir örþunnu fyllingarefni. Lítið er um þykkar sprungufyllingar. Geislasteinar eru algengir í glufum og blöðrum. Að öðru leyti er bergið tiltölulega lítið ummyndað og telst það að öllum líkindum vera í Skólesít - Mesólít ummyndunarbeltinu (sjá Walker 1960).

Algengt er að bergið sé "skorið" á milli sprengihola án tillits til stuðlasprungna þannig að stórir stuðlafletir eru sjaldgæfir í veggjum og lofti ganganna. Skörp lagamót sjást ekki víða í göngunum en hallandi beltaskil eru algeng.

Lögun ganganna er að jafnaði mjög regluleg og lítið er um yfirsprengingar og hrunkápa (sjá ljósmynd 3). Borholuför sjást víða í veggjum og lofti.

Göngin liggja í gegnum allmörg sprungubelti ýmist undir litlu horni (nálega samsíða) eða þvert á þau. Að jafnaði eru þessi sprungubelti 1-4 m á breidd.

Úr sumum sprungunum seytlar vatn og aðrar eru fylltar mjög ummyrduðu, grænu og rauðleitu leirkenndu efni. Sums staðar sjást sléttir og vaxkenndir (leirfylltir) skriðfletir ("slickensides"). Á nokkrum stöðum er bergið mjög brotið og losaralegt í kringum þessi sprungubelti. Þó er bergmassinn stöðugur og tollir allvel saman og hrunmerki vart sjáanleg þrátt fyrir að það sé lélegt (feyskið) vegna ummyndunar og sprungna. Á einum stað hafði hrunið töluvert úr lofti (1-2 m). Opnar sprungur eru fátíðar því flestar eru fylltar leirsteindum eða ljósum kalkútfellingum og geislasteinum. Á ljósmyndum 4 og 5 eru sýnd tvö af þessum sprungubeltum.



Við báða gangamunna eru um 20 m langir, steypdir styrktarbogar (sjá ljósmyndir 6 og 7). Innan við bogana er loft styrkt með ásprautun og bergboltum (á 5-10 m löngum kafla) og síðan einungis með bergboltum á 10-20 m kafla fjær bogunum (sjá ljósmynd 8). Aðrar styrkingar eru stakir boltar og vírnet hér og þar í lofti og 10-20 cm þykk steypu-ásprautun á nokkrum afmörkuðum, litlum svæðum í lofti og á stöku stað einnig á veggjum. Á einum stað í göngunum er um 20-30 m langur kafla sprautaður með 15-20 cm þykkri steypu (sprungubelti). Rúmlega 80% ganganna eru óstyrktir. Í lofti eru víða bogadregnir vatnsskermar úr bárujárni.

Jarðgöngin eru óupplýst en ratljós (hælar með endurskinsborðum) eru með stuttu millibili beggja megin akbrautarinnar sem er 6,50 m á breidd og malbikuð (sjá ljósmynd 3).

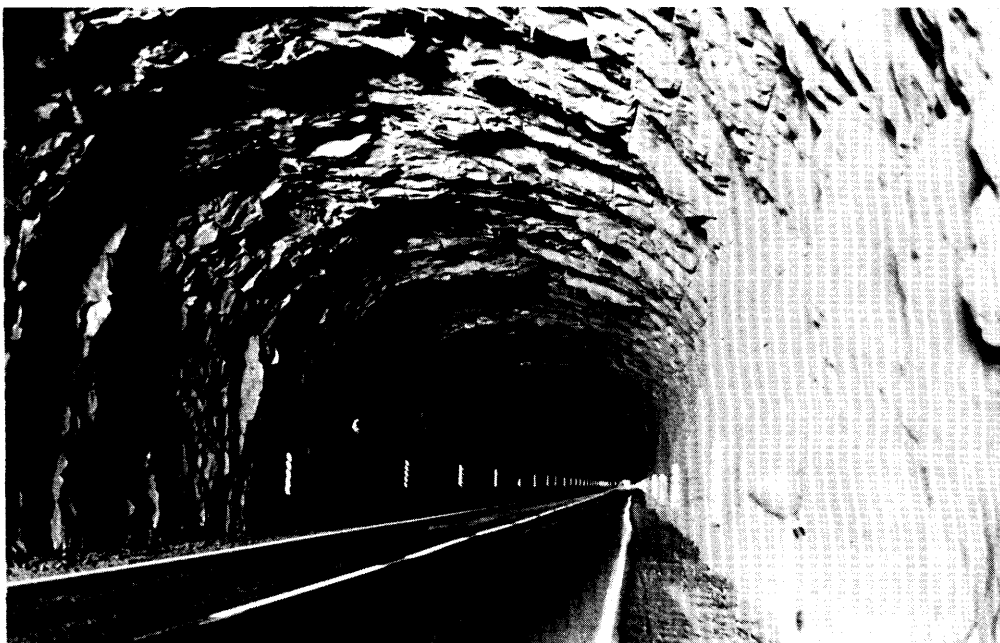
Sprungumælingar voru framkvæmdar um 200 m innan við vesturmunna. Mælilínan (8 m löng) er í tiltölulega dæmigerðu bergi sem er stuðlað, massíft og þétt ólivín basalt. Sprungufletir eru sléttir og bylgjótir með örpunnu skæni. Geislasteinar eru algengir í blöðrum og glufum. Göngin voru þurr á þessu svæði. RQD mældist 90% og $Q = 7,5$ (sjá kafla 9). Áætlað er að um 80% ganganna séu í sambærilegu bergi og það sem mælt var en 20% ganganna í lakara bergi.



Ljósmynd 1. Múlinn sem Leynarjarðgöngin liggja í gegnum. Eldri vegurinn og Leynarvatn sjást til vinstri.



Ljósmynd 2. Beltað dyngjubasalt í múlanum við Leynarvatn (sjá ljósmynd 1).



Ljósmynd 3. Dæmigert útlit Leynarjaróganga. Lögunganganna er regluleg og stórir stuðlafletir fátíðir.



Ljósmynd 4. Vatnsleiðandi sprungubelti í Leynarjarögöngum. Takið eftir öryggisneti og vatnsskermi.



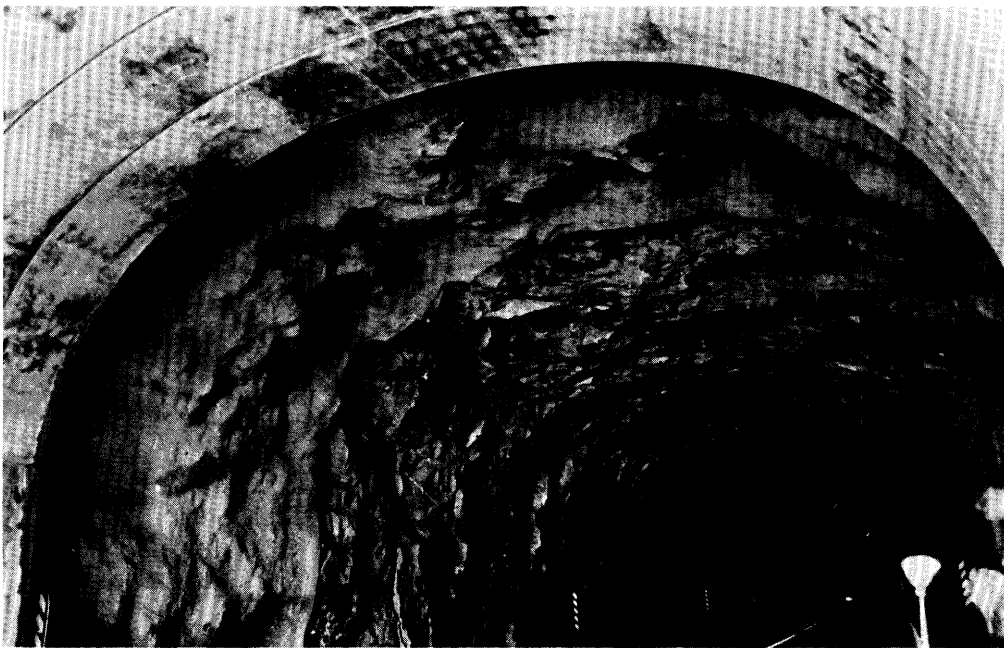
Ljósmynd 5. Vatnsleiðandi sprungubelti í Leynarjarðgöngum. Bergið er vandlega hreinsað („skrotað“) og ekki styrkt.



Ljósmynd 6. Austurmunninn Leynarjarðganga.



Ljósmynd 7. Vesturmunni Leynarjarönganga. Takið eftir lóðréttu sprungubelti til hægri.



Ljósmynd 8. Myndin er tekin rétt fyrir innan vesturmunna Leynarjarönganga. Bergið er styrkt með steypuásprautun og bergboltum.

5 JARÐGÖNG Á AUSTUREY

Á Austurey eru ein jarðgöng í notkun (Norðskáli - Funningsfjörður) og önnur í byggingu (Leirvík). Jarðgöngin á milli Norðskála og Funningsfjarðar (yfirleitt kölluð Austureyjargöng) eru lengstu jarðgöng Færeyja (2500 m) og jafnframt fyrstu tvíbreiðu göngin þar. Leirvíkurgöngin, sem verða um 2200 m löng, eru fyrstu tvíbreiðu jarðgöngin sem Færeyingar gera sjálfir (Landsverkfröðingurinn).

5.1 Norðskáli - Funningsfjörður

Lengd: 2500 m

Hæð: 7 m

Breidd: 8,5 m

Tveggja akreina jarðgöng tekin í notkun 1976. Verktaki við gangagerðina var Phil og Sön.

Þessi jarðgöng liggja í gegnum fjalllendi á miðhluta Austureyjar. Með tilkomu þeirra opnaðist vegasamband milli Straumeyjar (Þórshafnar) og byggðakjarnanna á austurhluta Austureyjar (sjá mynd 3).

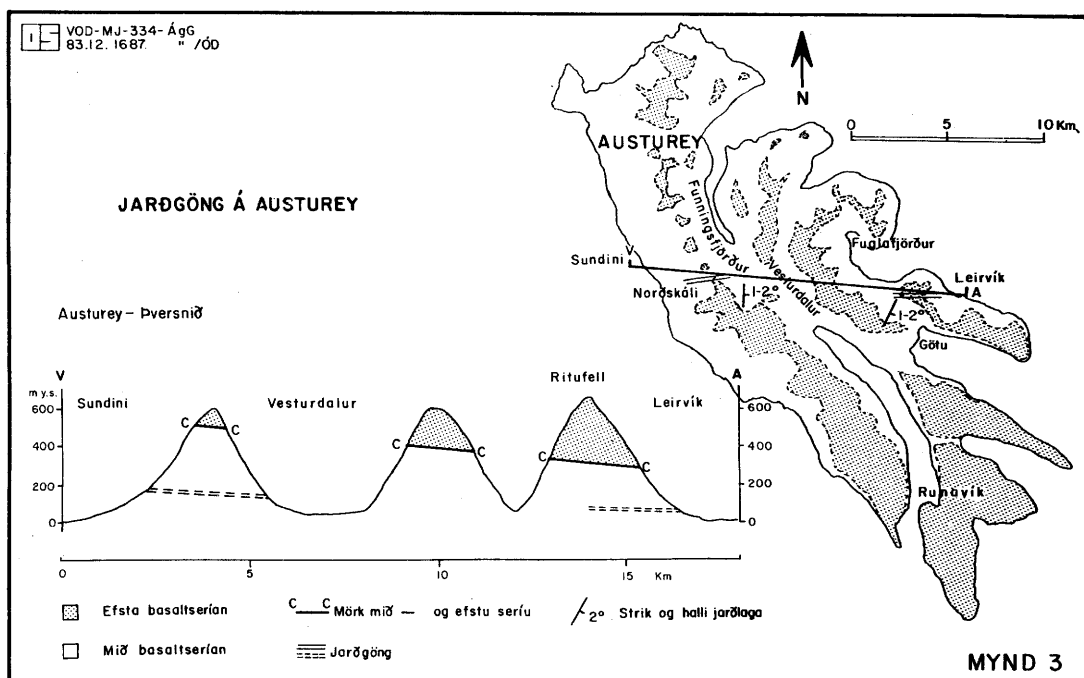
Göngin eru í holufylltu dyngjubasalti (ólivín basalt, 10-20% dílótt) í miðseríu og hallar göngunum lítillega niður til austurs í sömu átt og jarðlögnum. Jarðlagahalli á svæðinu er 1-2 gráður til ASA. Ummyndun bergsins samsvarar Skólesít - Mesólít eða Laumontít belti.

Við vesturmunnann eru lagamót sem fylgja má nálega 150 m inn göngin (sjá ljósmynd 9). Um 0,3 m þykkt millilag úr sandsteini er á þessum lagamótum. Millilagið virðist ekki hafa áhrif á lögun gangaveggjanna en þar sem lagið gengur skáhallt upp í þakið hefur það valdið lítilsháttar hruni og er þar styrkt með vírneti. Basaltið í vesturendanum er stórstuðlað og talsvert sprungið (RQD yfirleitt >80%) en veggir og loft hafa yfirleitt mjög reglulega lögun (sjá ljósmynd 10). Stuðlafletir eru bylgjöttir og sléttir og án "meitilfara". Þeir eru skændir eða fylltir með kalki og geislasteinum. Bergið hefur ekkert frekar brotnað um stuðlafleti en annars staðar og því mjög lítið um hreina stuðlafleti í veggjunum ("stuðlaharmónikkur"). Víða er stuðlun mjög óregluleg og í basaltinu eru ógreinilega afmörkuð belti sem þykkna og þynnast á víxl og stuðlar eru ógreinilegir. Oft er erfitt að greina á milli stuðlasprungna og sprungna sem mynduðust við sprengingarnar. Engin ein sprungustefna er meira áberandi en aðrar. Vegna þess hversu einsleitt bergið er þá minnir það oft meira á bergmassa úr djúpbergi en stuðlað basalt. Borholuför eru algeng í lofti og veggjum.

Í vesturhluta ganganna skera þau allvíða samfelldar sprungur og sprungubelti en mjög lítið hrun er við þessar sprungur. Um 400 m innan við vesturmunnann er 3 m breitt, lóðrétt sprungubelti sem göngin skera undir 30 gráðu horni. Í sprungunum er rauður og grønn leir og við meginsprunguflötinn er stórt útskot. Þarna hefur orðið dálítið hrun og í loftið hefur verið sett vírnet til öryggis. Aðrar styrkingar á vesturhluta ganganna eru boltar, net og bönd allvíða í lofti. Á stöku stað er moladreif ofan á neti en hvergi stórir haugar. Sums staðar er stakboltun í lofti en víðast engin styrking. Veggir eru hvergi styrktir.

Austurhluti ganganna er mjög svipaður vesturhlutanum. Við austurmunnan er bergið stórstuðlað og tiltölulega heillegt (RQD>90%, sjá ljósmynd 11). Lagamót eru þar í veggjum og upp í þaki er innar dregur og eru í þaki á um 200 m kafla. Töluvert hrun hefur orðið á þessum kafla (0-300 m) og lögun ganganna er nokkuð óregluleg eða "kassalaga" í stað þess að vera "skeifulaga". Á þessu svæði er loft njörvað með neti, boltum og stálböndum og víða er steinadreif ofan á netinu. Innar verða göngin regluleg í lögun og bergið einsleitt, beltað dyngjubasalt sem þarfnast lítilla styrkinga.

Í austurhlutanum eru nokkur meiriháttar sprungubelti sem göngin skera ýmist þvert eða undir minna horni (sjá ljósmynd 12). Ekki hefur orðið mikið hrun um þessi sprungubelti, aðeins fallið smávegis úr veggjum. Boltar, net og bönd eru yfir stærstu beltunum sem eru 1-2 m á breidd. Flest sprungubelti eru fyllt leirsteindum (allt að 5 cm þykkar fyllingar) og geislasteinum. Á stöku stað seytlar vatn úr sprungubeltunum.



Göngin skera víða aðrar stakar sprungur en þær valda litlum sem engum vandræðum m.a. vegna þess hve vel sprungufletirnir eru límdir saman (kristallaðar fyllingar oft um 1 cm á þykkt).

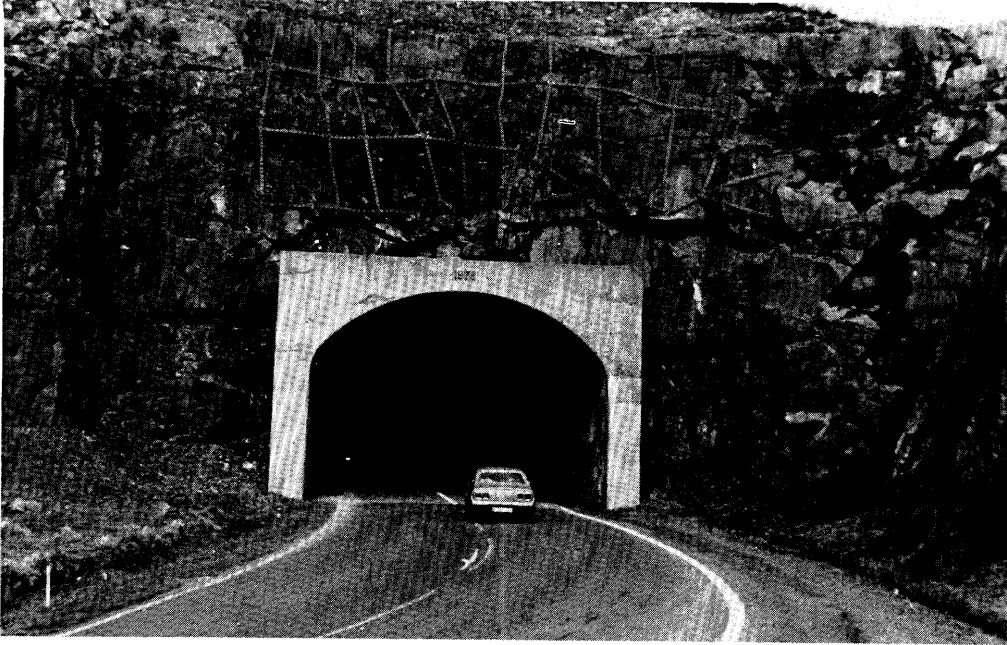
Stuðlafletir eru eins og áður óreglulegir, sléttir, bylgjöttir og lítt áberandi. Almenn séð þá ráða stuðlafletir litlu varðandi útlit og form ganganna gagnstætt því sem algengt er í jarðgöngum hérlendis. Ástæðan fyrir þessu er m.a. sú að jaðarsprengiholur virðast sprengja bergið betur og án mikils tillits til stuðlasprungna.

Á stöku stað eru millilög (túff-sandsteinn) í lofti ganganna. Að sögn verkstjóra hjá Landsverkfræðingnum vildu setlöginn brotna niður þegar þau þornuðu og boltun reyndist haldlítill. Í stað boltunar voru þessi afmörkuðu svæði sprautuð með steypublöndu (ásprautuð).

Lítill vatnsagi er í göngunum en þó lekur úr stöku sprungu og einstaka vatnskermar eru í lofti.

Göngin eru lögð 7 m breiðri malbikaðri akbraut. Göngin eru óupplýst en beggja vegna akbrautar eru sjálflýsandi ratljós með stuttu milli-bili.

Engar nákvæmar sprungumælingar voru gerðar í göngunum en samkvæmt athugunum má ætla að meginhluti þessa einsleita dyngjubasalts fái Q-einkunn milli 6,5 og 8,0. Sprungubeltin fá að sjálfsögðu lægri einkun sem áætluð er 0,2 (sjá kafla 9).



Ljósmynd 9. Vesturmunni Austureyjarganga. Takið eftir lagamótum í efri hluta gangaþversniðs.



Ljósmynd 10. Dæmigert útlit Austureyjarganga. Ef myndin prentast vel má sjá bergbolta og borholuför í lofti.



Ljósmynd 11. Austurmunni Austureyjarganga. Kargakennt og brotið basalt að neðan en stórstuólað basalt að ofan.



Ljósmynd 12. Austurhluti Austureyjarganga. Sprungubelti sem göngin skera skáhallt. Öryggisnet í lofti.

5.2 Leirvíkurjarðgöng

Lengd: Um 600 m í byrjun júní en verða 2200 m

Hæð: 6,8 m

Breidd: 7,2 m

Tvívreið göng (60 m^2) unnin af Landsverkfræðingnum og verða væntanlega tekin í notkun s.hl. árs 1984.

Jarðgöngin eru austast á leiðinni milli Þórshafnar og Leirvíkur (Klakksvíkur, sjá mynd 3). Þau munu koma í staðinn fyrir núverandi veg sem liggur undir sæbröttum múla norðan í Ritufjalli milli Götu og Leirvíkur. Göngin stytta vegalengdina um minna en 1 km.

Göngin eru í beltuðu dyngjubasalti í mið-seríu. Jarðlagahalli er 1-2 gráður til ASA og lega ganganna er svipuð. Bergið er massíft og stórt til millistuðlað. Flestar samfelldar sprungur eru húðaðar eða fylltar leir-, kalk-, eða geislasteinaútfellingum. Stuðlafletir eru sléttir, bylgjóttir og án dæmigerðra "meitilfara". Á stöku stað er hreinir stuðlafletir í veggjum (30-50 cm breiðir og 1-2 m háir fletir) en að öðru leyti eru veggir og loft með tiltölulega slétta og reglulega áferð. Lögun ganganna er mjög regluleg. Göngin skera nokkra þunna bergganga (< 1m) og einstök leirfyllt sprungubelti (bæði þvert og undir minna horni) án þess að það valdi neinum vandræðum. Í heild er þarna um mjög gott jarðgangaberg að ræða. Bergið er líklega í Laumontít urmyndunarbelti.

Vatnsagi var töluverður í byrjun verksins næst gangamunna en snarminnkaði er innar kcm í fjallið.

Yfirleitt springur bergið mjög smátt og stærsta stykkið sem sást inn við vinnslustálið eftir sprengingu var um eitt rúmfet á stærð (sjá ljósmynd 13).

Engar styrkingar eru í göngunum nema við munna þar sem sett hafa verið upp net, bönd og boltar (sjá ljósmynd 14). Endanleg styrking í göngunum var ekki ákveðin en verður sennilega boltun með neti og böndum eftir þörfum. Við munna verða líklega steiptir upp forskálar.

Sprungumæling var framkvæmd í stórstuðluðu basaltinu fyrir utan munnann. Mælt var neðst í þetta hluta basaltsins, rétt ofan við blöðróttan karga og um 0,5 m ofan við lagamót. Allar sprungurnar nema ein eru skændar, sléttar og bylgjóttar stuðlasprungur. Þessi eina er samfelld sprunga sem gengur í gegnum basaltið og er með 2 mm þykkri geislasteinafyllingu. RQD mældist 95% og $Q = 8,0$ (sjá kafla 9).

Byrjað var á göngunum í febrúar 1983 og voru þau snemma í júní orðin

um 600 m löng og í byrjun desember sama ár um 1550 m. Unnið var á tveimur 9 tíma vöktum á dag, 5 daga vikunnar. Yfirleitt náðist að sprengja tvisvar á dag. Sprengiholur voru 5 m djúpar og inndrift pr. sprenginu 4,6-4,8 m. Gangur var því um 9 m á dag eða 45 m á viku.

Borvagninn (Atlas Copco HP170-38) er alsjálfvirkur með þremur borörum og einum körfuarmi (sjá ljósmyndir 15 og 16). Landsverkfræðingurinn keypti þennan bcrvagn við upphaf verksins og að sögn verkstjóra kostaði hann um 5 milljónir danskar krónur með öllu. Borholurnar eru hlaðnar úr körfuarminum. Sprengdu efninu var keyrt út á venjulegum vörubílum sem mokað var á með Broyt X40 vélskóflu (skófla 2,5 m³).

Bor- og sprengiplan er sýnt á mynd 4. Kjarnasprengiefnið reyndist mun betur heldur en dýnamit. Kjarnablandan var þrír lítrar af gasolíu á móti 50 kg af ammóníum nitrati og gaf hún 80-85% af orku dýnamits. Þeir bjuggu sjálfir til "kjarnapylsurnar" á staðnum (50 cm langar) og spöruðu á því um 2 milljónir danskar kr. að sögn verkstjóra. Blandan í "pylsunum" sem settar voru í jaðarholur var samsett úr 40% ammóníum nitrati og 60% frauðplastkúlum.

Við verkið vann eftirfarandi mannskapur:

Borvagn o.fl.	3	
Hleðsla o.fl.	2	
Vélskófla o.fl.	1	

Tvær vaktir	6 x 2 =	12
Viðgerðarmaður		1
Maður í sprengiefnablöndun		1

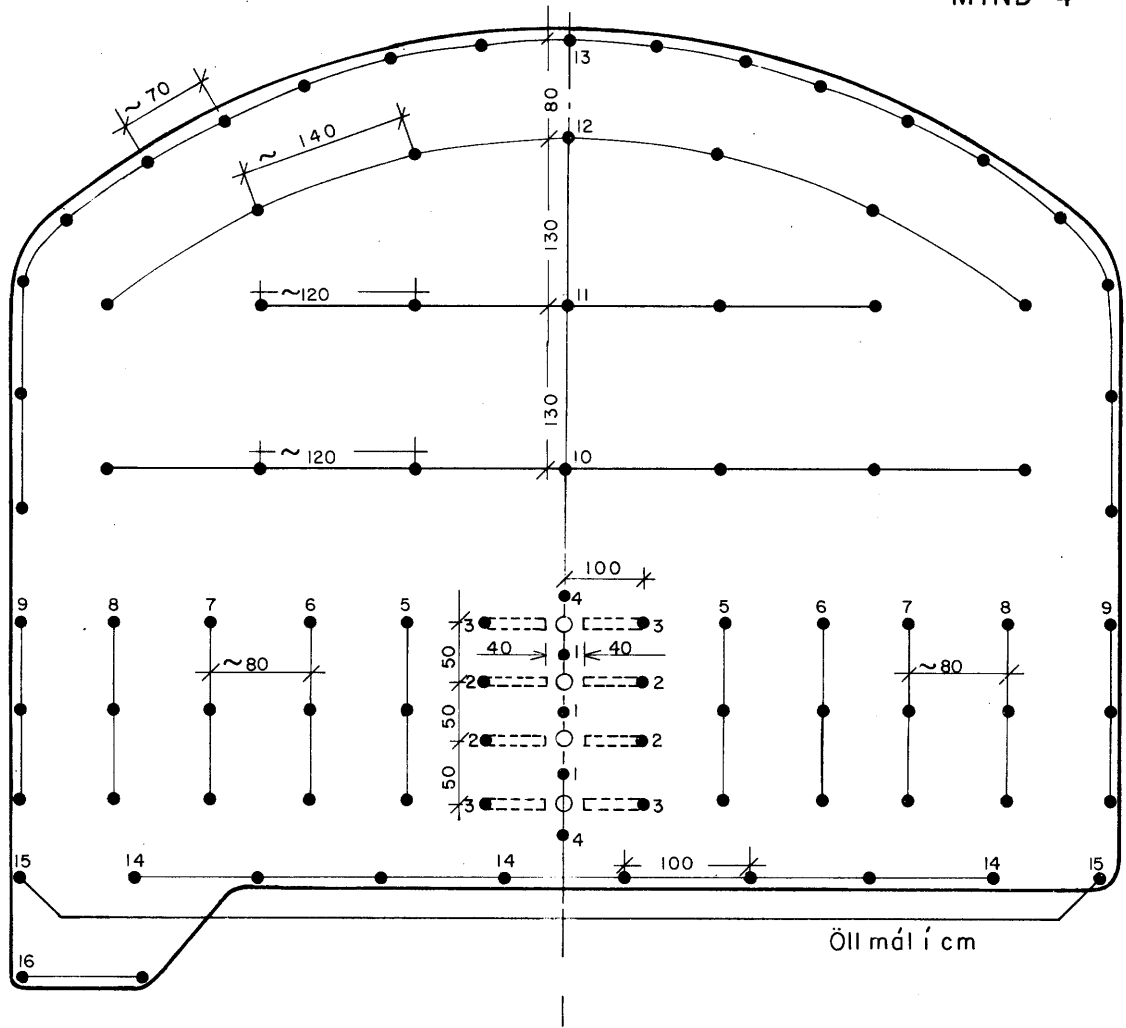
		14
Annar mannskapur (m.a. 2 verkstj.)		4

	Samtals	18 manns

Fjórir vörubílar (15-17 tonn) keyrðu út í júní. Bor- og hleðslumenn sinntu akstrinum. Við síðasta kafla ganganna var áætlað að bílarnir yrðu 7 talsins.

VOD-MJ-334
84. 01. 0070.0D

MYND 4



HOLUR	SPRENGIÐREP	SPRENGIEFNI
KÍLHOLUR	Nr. 1	1 stk. 35 x 400 mm dynamit 9 stk. 35 x 400 mm koronit
	Nr. 2 og 3	3 stk. 35 x 400 mm dynamit Rest Anfo
	Nr. 4	1 stk. 35 x 400 mm dynamit Rest Anfo
JABARHOLUR	Nr. 9	1 stk. 35 x 400 mm dynamit Rest Anfo
	Nr. 13	½ stk. 35 x 400 mm dynamit 7 stk. 34 x 500 mm 40% ANFO-60% POLYSTIREN (PLASTKÚLUR)
MIÐHOLUR	Nr. 5, 6, 7	1 stk. 35 x 400 mm dynamit Rest Anfo
	Nr. 10, 11, 12, 8	1 stk. 35 x 400 mm dynamit Rest Anfo
BOTNHOLUR	Nr. 14, 15 og 16	1 stk. 35 x 400 mm dynamit Rest Anfo

Bor- og sprengiplan fyrir Leirvíkurgöngin

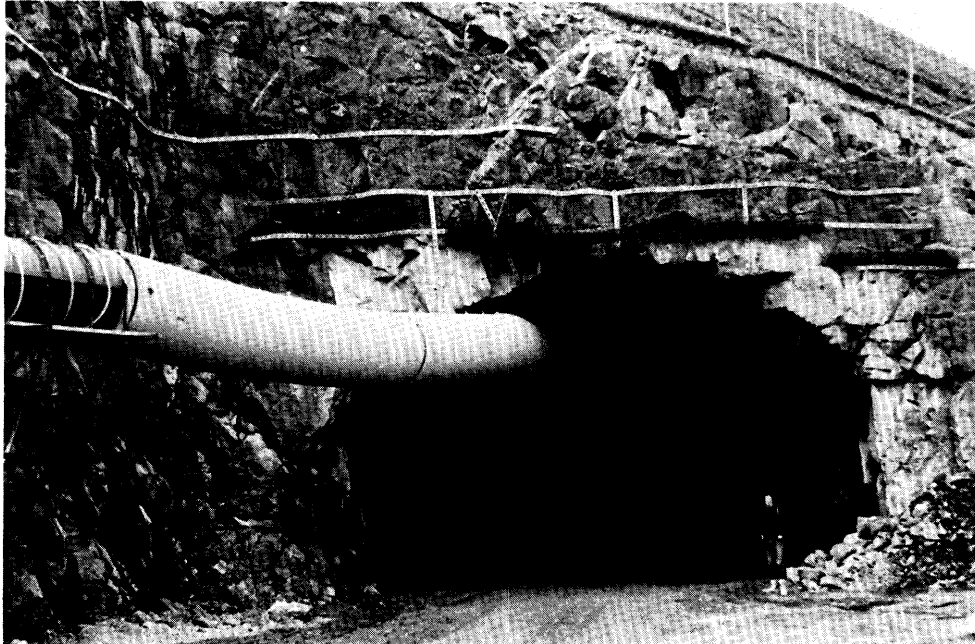
93 holur 48 mm og 4 stk. 75 mm
Borað; 4,50m, sprengt 4,20m
Hvellhettur; 250 millisek.
● Hlaðin hola, ○ óhlaðin hola

LEIRVÍK
BOR- OG SPRENGIPLAN
FYRIR 60 m² GÖNG Í LEIRVÍK
(FRÁ LANDSVERKFRØÐINGURIN)

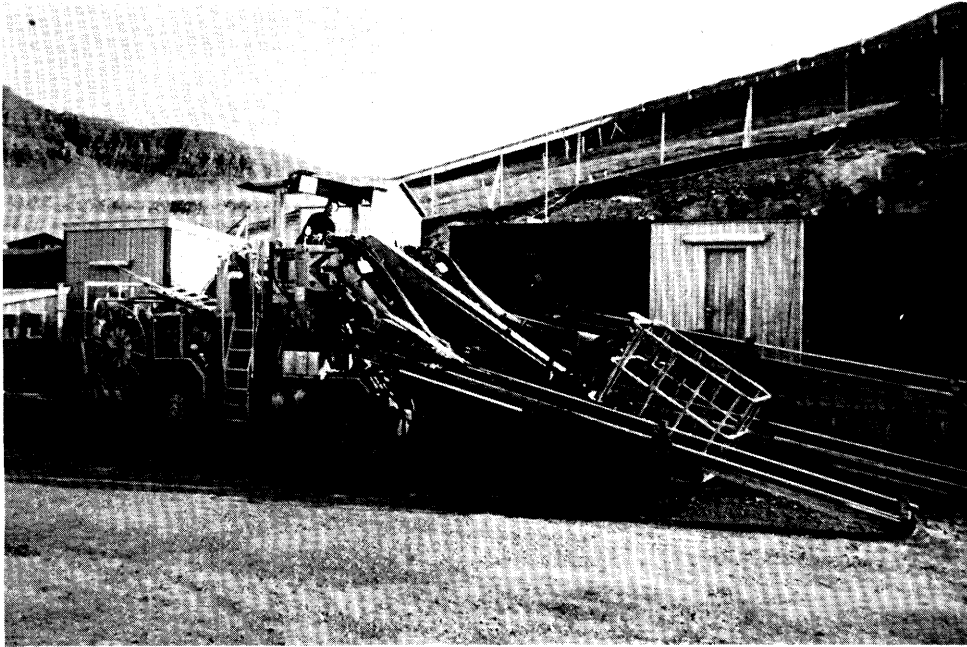
Tímakaup var 72-83 danskar kr. og mánaðarlaun 13-15.000 d. kr. Ekki lágu fyrir nákvæmar tölur um kostnað við verkið þegar þetta var skrifað en þó fengust þær upplýsingar í byrjun desember 1983 (Bjarni Einarsson, munnl. uppl.) að kostnaður við borun, sprengingar og útkeyrslu hefði verið um 12.000 d.kr. á lengdarmeter. Samkvæmt upplýsingum frá Landsverkfræðingnum er áætlaður heildarkostnaður við jarðgöngin um 35 milljónir danskar kr. eða um 16 milljónir danskar kr. á km (verðlag ársins 1982).



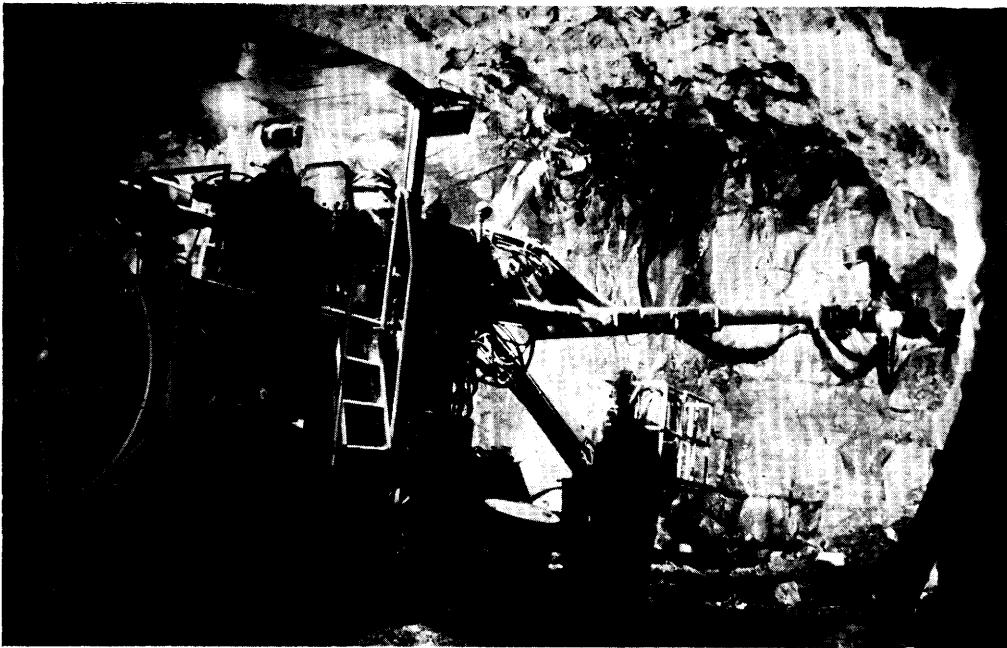
Ljósmynd 13. Myndin er tekin skömmu eftir sprengingu við vinnslustálið í Leirvíkurgöngum.



Ljósmynd 14. Munnur Leirvíkurganga. Ef myndin prentast vel má sjá hve þétt jaðarholur hafa verið við fyrstu sprengingu.



Ljósmynd 15. Atlas Copco HP170 borvagninn sem notaður er í Leirvíkurgöngunum.



Ljósmynd 16. Borvagninn við vinnu inni við vinnslustálið.

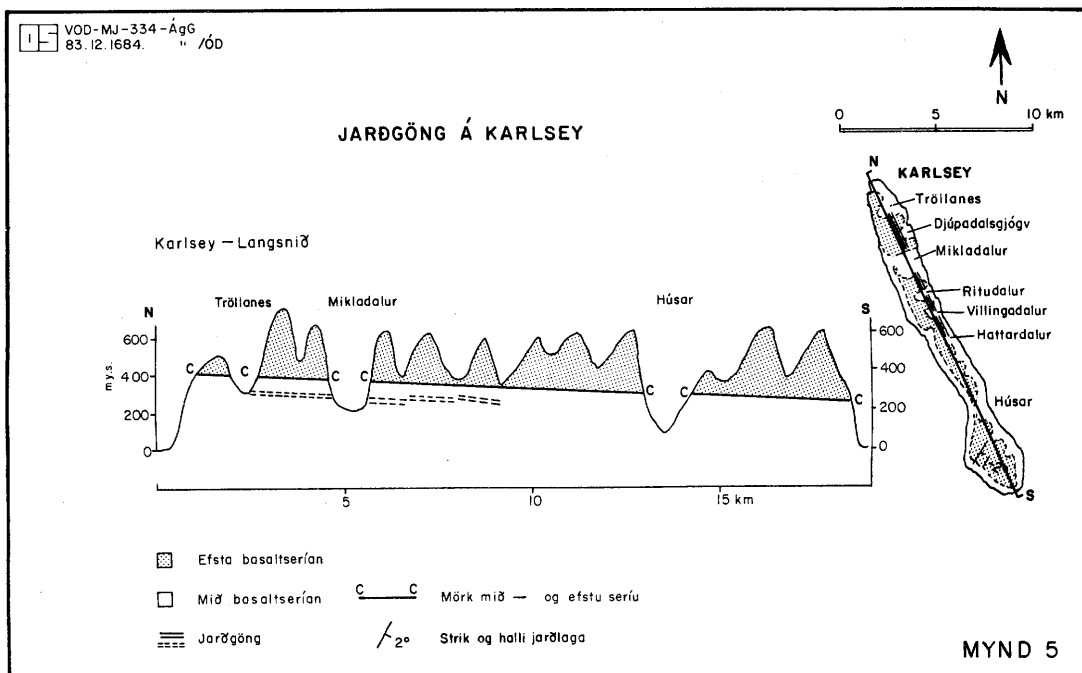
6 JARÐGÖNG Á KARLSEY

Karlsey er tæplega 20 km löng og 2-4 km breið eyja milli Austureyjar og Kuneyjar (sjá mynd 5). Norður eftir endilangri eyjunni gengur 6-700 m hár og brattur fjallshryggur en á austurströndinni skerast nokkur dalverpi (jökulskálar) niður á milli sæbrattra múla. Í dalverpunum hafa byggst litlir þéttbýliskjarnar (30-70 íbúar) og á norðurhluta eyjarinnar eru þeir mjög afskekktir m.a. vegna slæmra hafnarskilyrða. Frá 1979 hefur verið unnið að jarðgangagerð í gegnum fyrrnefnda múla til þess að koma vegasambandi á milli byggðanna á norðan- og sunnanverðri eyinni. Í júní 1983 höfðu verið gerð 3 jarðgöng (alls 3 km á lengd) og hin fjórðu voru í undirbúningi (2,5 km). Við gangagerðina er notaður Atlas Copco borvagn með tveimur borörmum og körfuarmi. Þessi borvagn er í eigu Landsverkfræðingsins sem sér um verkið og kostaði hann 2 milljónir kr. danskar 1978.

Hönnunarmál allra ganganna voru 6 x 4,60 m. Unnið var á tveimur 9 tíma vöktum hvern dag. Sex menn unnu á hverri vakt auk viðgerðarmanns. Sprengiholur voru 3 m á lengd og að jafnaði náðist að sprengja fjórum sinnum á dag. Notað var Anfo sprengiefni (kjarni) auk hálftrar túbu af dýnamiti í hverja holu. Kennihlað var yfirleitt 1,4 - 1,6 kg af sprengiefni á rúmmetra af föstu bergi.

Göngin eru öll einbreið, óupplýst og án bundins slitlags a.m.k. ennþá. Ávallt var byrjað að sunnanverðu, unnið til norðurs og örlítið upp á við samhliða jarðlagahallanum.

Athyglisvert var að höfundar sáu aðeins þrjá bíla í eyjunni meðan á dvöl þeirra stóð og engin bílferja gekk þangað að staðaldri.



6.1 Mikladalur - Ritudalur

Lengd: 1100 m

Hæð: 6 m

Breidd: 4,5 m

Einbreið göng með útskotum á um 150 m fresti. Tekin í notkun 1982.

Jarðgöngin eru í dyngju- og póleiít basalti í efri hluta miðseríu og þeim hallar u.þ.b. 4 gráður niður til SSA og fylgja næstum halla jarðlaganna sem er 1-2 gráður til SA (sjá mynd 5). Göngin skera sennilega 2-4 basaltlög með kargabergi á milli.

Við norðurmunna er neðri hluti gangaþversniðs í brotnu og kargakenndu dyngjubasalti en efri hlutinn í stórstuðluðu póleiít basalti (sjá ljósmynd 17). Boltar, bönd og net eru fyrir ofan munnann og fyrstu 5 m ganganna eru þaktir 5 cm þykkri steypuásprautun. Ásprautulagið hefur víða flagnað af stuðlaflötum. Ekkert umtalsvert hrún hefur átt sér stað í munninum þrátt fyrir að bergþekjan þar sé aðeins 6-7 m þykk og losaraleg fremst en hún þykknar fljótt er innar dregur. Töluverður vatnsagi er í og innan við munnann.

Göngin eru að mestu í óreglulega stuðluðu basalti en einnig er mikið af fremur lausu og feysknu kargabergi sem hægt er að plokka niður með hamri. Göngin eru í heild fremur óvönduð þannig að loft og veggir eru nokkuð óregluleg og óslétt. Nokkuð víða eru göngin "kassalaga" vegna lagamóta í lofti og stuðlasprungna og stuðlasprungufletir eru tiltölulega áberandi.

Mjög lítið er um styrkingar í göngunum aðeins einn og einn bergbolti á stangli. Hvergi sáust merki um umtalsvert hrún. Suðurmunni er í óreglulega stuðluðu og töluvert brotnu basalti. Stuðlasprungur valda því að munninn er nokkuð "kassalaga". Bergþekjan við gangaopið er aðeins 4-5 m þykk fremst og munninn er styrktur með boltum, böndum og neti eins og sá nyrðri (sjá ljósmynd 18).

Sprungumæling var framkvæmd í aðkomugryfjunni við syðri munnann. Gryfjan er í þunnum, mikið sprungnum (milli- og smástuðluðum) og kargakenndum basaltlögum eða beltum. Mælt var í um 1,5 m þykkum millistuðluðu basaltbelti (sjá ljósmynd 18). Sprungurnar eru flestar bylgjótta og sléttar stuðlasprungur. Lítið er um sprungufyllingar. RQD er 75% og Q = 6,5 (sjá kafla 9).

6.2 Ritudalur - Villingadalur

Lengd: 700 m

Hæð: 6 m

Breidd: 5 m

Einbreið göng tekin í notkun árið 1981.

Göngin eru í dyngjubasalti í efri hluta mið-seríu og þeim hallar 5-6 gráður til SSA í svipaða átt og jarðlögum en þeim hallar 1-2 gráður til SA (sjá mynd 5). Sennilega skera göngin 2-3 basaltlög.

Norðumunni er í stakdílóttu ólivín basaltlagi sem er a.m.k. 13 m þykkt (sjá ljósmynd 19). Neðst í gangarversniðinu við munnann eru lagamót með 2-3 cm þykku, rauðu sandsteinsmillilagi. Munninn er styrktur með boltum, böndum og neti og auk þess er þunn steypuásprautun í lofti og niður á miðja vegg sem nær 3-4 m inn í göngin.

Bergið í göngunum er töluvert mikið sprungið og óreglulega stuðlað. Stuðlafletir eru allt að tveggja m breiðir, yfirleitt sléttir og bylgjóttrir. Mikið ber á nær láréttum sprungum eins og títt er í dyngjusyrpum. Litlar geilar (0,5 m) eru algengar í lofti og veggjum sem hafa myndast vegna yfirsprenginga við hverja sprengifæru ("salva"). Þessar geilar valda því að áferð lofts og veggja er óregluleg eða "bylgjóttr" (sjá ljósmynd 20). Lagamót hafa ekki verið til vandræða í vinnslu.

Syðri munninn er allur í sama berglaginu sem er óreglulega stuðlað og töluvert mikið sprungið ólivín basalt. Eins og víðar á Karlsey er munninn styrktur með boltum, böndum og neti.

Í heild eru þessi göng svipuð og göngin milli Mikladals og Ritudals nema hvað bergið hér virðist vera minna sprungið og mun minna er um karga í basaltinu.

Göngin voru að mestu þurr en vatnsagi var við báða munna. Skammt innan við syðri munnann lak ríflega úr sprungubelti (1-2 l/mín). Annars er tiltölulega lítið um meiriháttar sprungur og sprungubelti í göngunum.

6.3 Villingadalur - Hattardalur

Lengd: 1200 m

Hæð: 6 m

Breidd: 5 m

Einbreið göng með útskotum á um 150 m fresti. Tekin í notkun 1980.

Jarðgöngin eru í beltuðum dyngjubasaltlögum í mið-seríu. Þeim hallar 4-6 gráður til SSA í svipaða átt og jarðlögum (sjá mynd 5).

Við nyrðri munnann er um 20 m langur forskáli úr sterku bárujárni sem er bakfylltur með sandi og mól (sjá ljósmynd 21). Bergið fyrir ofan forskálann er brotið og óreglulega stuðlað dyngjubasalt. Fyrstu 40 m ganganna eru í mjög sprungnu og kargakenndu bergi. Vatnsagi er mikill á þessum kafla og víða standa steinar (stuðlar og stuðlabrot) mjög tæpt í veggjum og lofti. Stakir boltar eru í lofti.

Bergið í göngunum er mjög óreglulega stuðlað, töluvert sprungið og víða kargakennt. Karginn er leirfylltur og hægt er að brjóta hann niður með hamri. Lagamót hafa ekki orðið til vandræða svo séð verði. Skammt innan við syðri munnann eru lagamót í lofti á um 20 m kafla sem valda því að gangalag verður nokkuð "kassalaga". Bylgjött áferð veggja og lofts vegna yfirsprenginga er algeng eins og áður.

Í suðurmunna er basaltið töluvert skásprungið þannig að samfelldar sprungur skera þversniðið undir u.þ.b. 30 gráðu horni frá láréttu (sjá ljósmynd 22). Í munninum er 1-2 cm þykk steypuásprautun sem nær um 5 m inn göngin. Ásprautunin hefur víða flagnað af og virðist haldlítill. Ennfremur er munninn styrktur með boltum. Töluverður vatnsagi er við munnann en meginhluti ganganna er þurr. Einu bergstyrkingarnar inni í göngunum eru stöku bergboltar.

Í heild virkar basaltið meira sem heilsteyptur bergmassi heldur en algengt er á Íslandi þar sem basaltlögin eru oftast afmarkaðri og lagamót jafnan skýrari og meira áberandi.

6.4 Mikladalur - Tröllanes

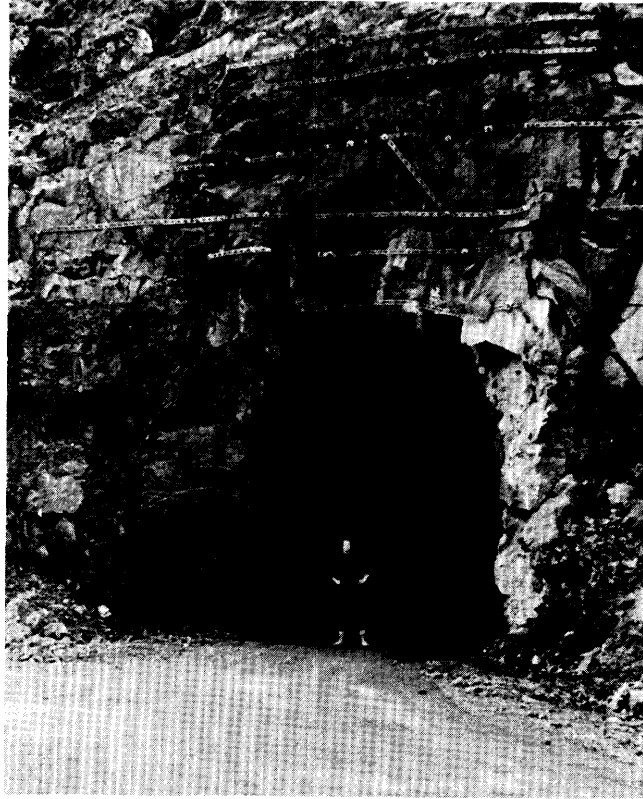
Fyrirhuguð lengd: 2500 m

Fyrirhuguð hæð: 6 m

Fyrirhuguð breidd: 5 m

Þessi göng munu tengja "Þéttbýliskjarnana" Mikladal og Tröllanes nyrst á Karlsey (sjá mynd 5). Þess skal getið að í Tröllanesi búa aðeins um 20-30 manns. Byrjað var að hreinsa frá suðurmunna þessara ganga í maí 1983. Þau verða unnin með sömu tækjum og hin Karlseyjargöngin. Auk hinna eiginlegu vegganga verða gerð hjálpargöng til austurs út í hlíðina í Djúpadalsgjógv.

Samkvæmt upplýsingum frá Landsverkfræðingnum er heildarkostnaður við þessi göng áætlaður um 33 milljónir kr. danskar eða um 13,2 milljónir kr. danskar á km (verðlag ársins 1983).



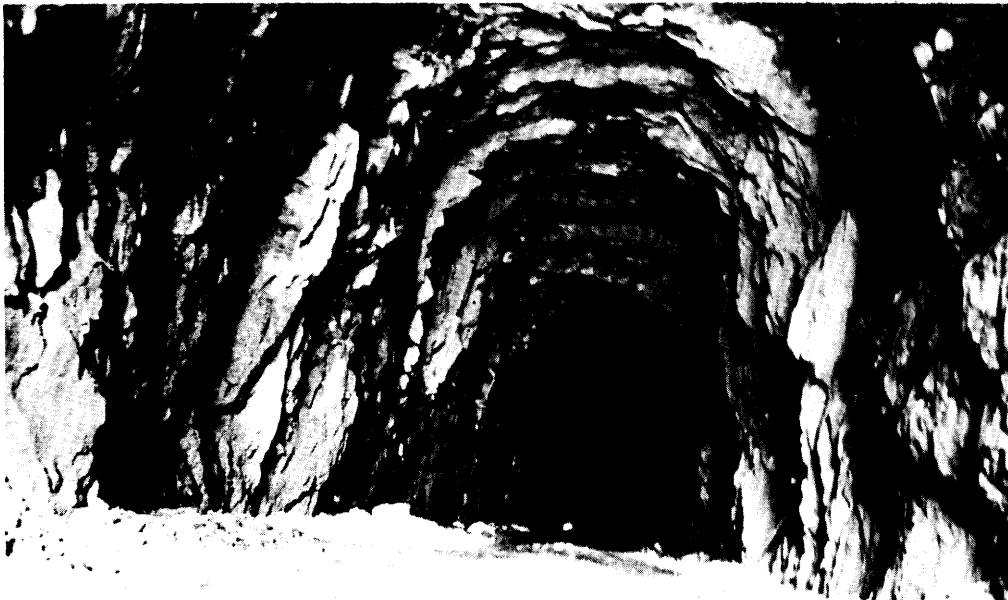
Ljósmynd 17. Norðurmunni jarðganga milli Mikladals og Ritudals.



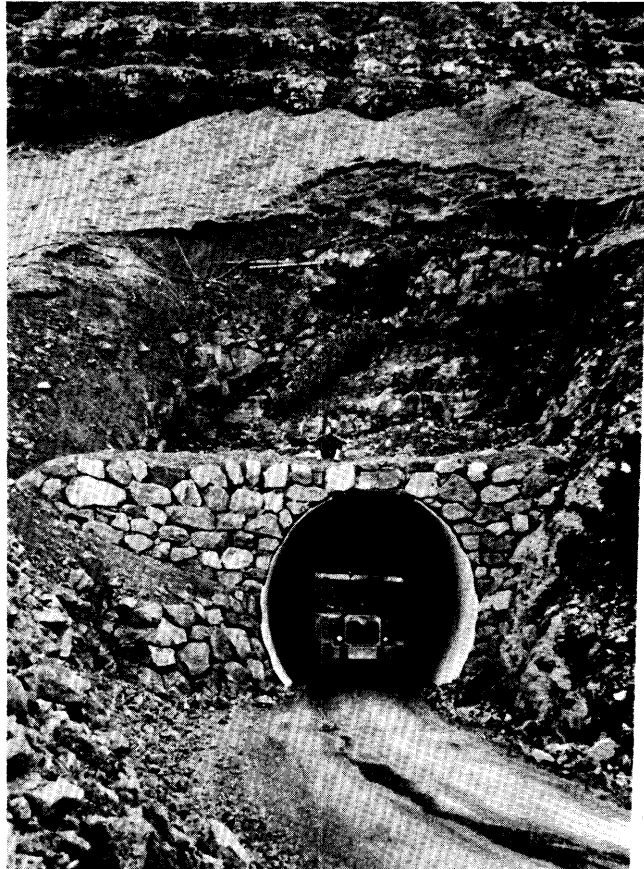
Ljósmynd 18. Suðurmunni jarðganga milli Mikladals og Ritudals.



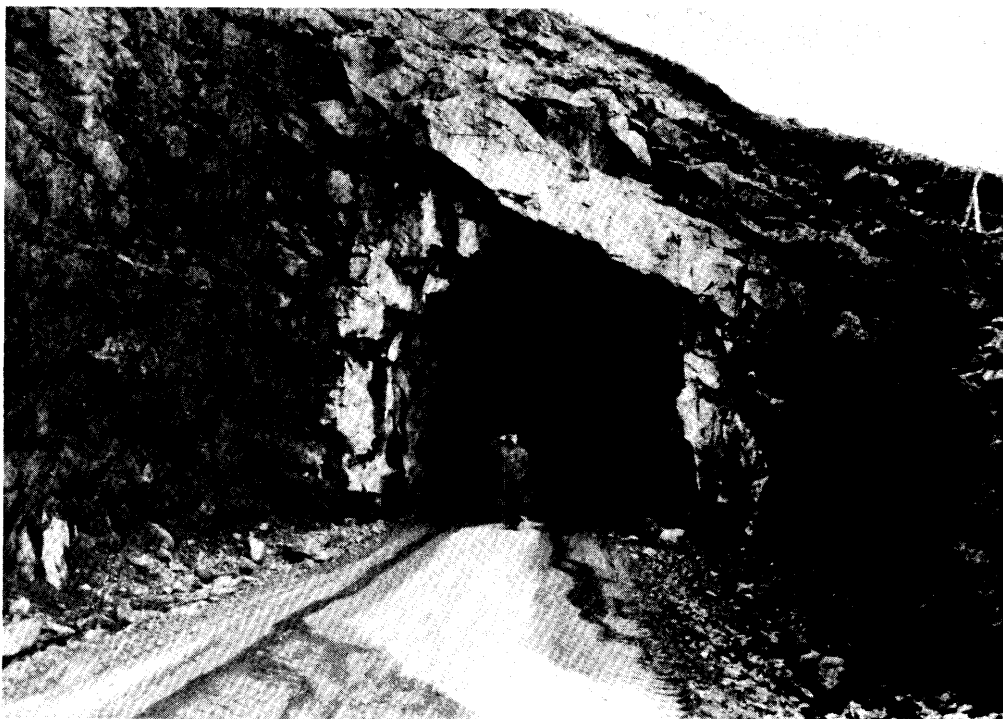
Ljósmynd 19. Norðurmunni jarðganga milli Ritudals og Villingadals.



Ljósmynd 20. Myndin er tekin við syðri enda jarðganga milli Ritudals og Villingadals og sýnir dæmigert útlit jarðganganna í Karlsey.



Ljósmynd 21. Norðurmunni jarðganga milli Villingadals og Hattardals.



Ljósmynd 22. Suðurmunni jarðganga milli Villingadals og Hattardals.

7 JARÐGÖNG Á BORÐEY

Á Borðey eru tvenn jarðgöng sem bæði voru tekin í notkun 1967 (sjá staðsetningu á mynd 6). Með gerð þeirra opnaðist vegasamband frá Klakksvík, þvert í gegnum Borðey og austur að þéttbýliskjörnum á Viðey.

7.1 Klakksvík - Arnafjörður

Lengd: 1700 m

Hæð: 3,5-4 m

Breidd: 4 m

Einbreið göng með útskotum á 100-150 m fresti.

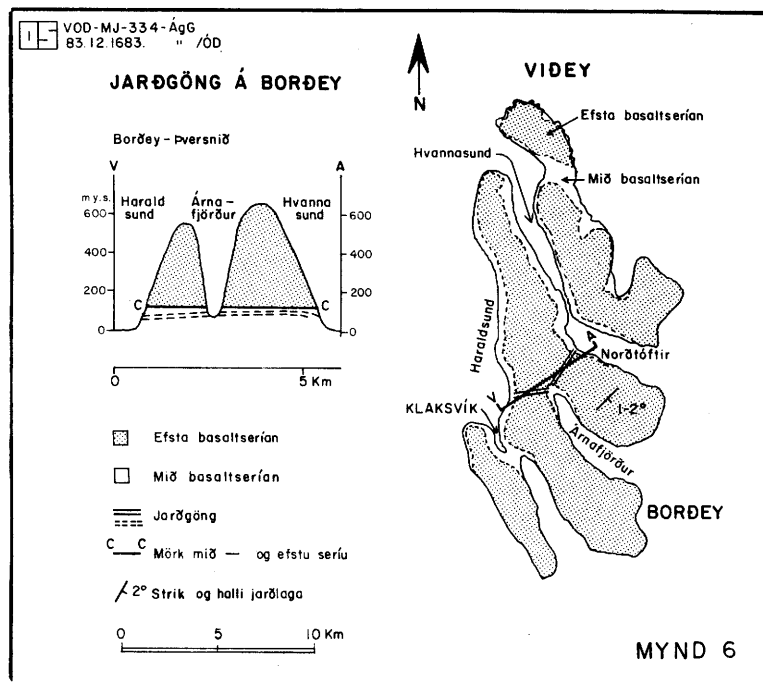
Göngin eru í dyngjubasalti (mið-sería) sem er samofin syrpa af óreglulega stuðluðu ólivín basalti og kargabeltum auk einstaka millilags úr sandsteini. Jarðlagahalli á svæðinu er 1-2 gráður til SA. Göngin liggja nálægt A-V og fara í gegnum nokkur lög eða belti. Göngunum hallar u.þ.b. 2 gráður niður til vesturs (sjá mynd 6).

Basaltið er mjög óreglulega sprungið og víða eru kargabelti. Sums staðar eru þunn (<1 m) og fremur hörð setlög á milli basaltlaga (túff-sandsteinn). Þessi millilög virðast ekki hafa orðið til umtalsverðra vandræða. Göngin eru með nokkuð gott lag en þó eru hrunmerki víða á lagamótum í lofti. Þar eru 0,5-1 m djúpar geilar í lofti á nokkurra metra eða tuga metra köflum. Göngin eru fremur óvönduð enda unnin með mun ófullkomnari tækjum en nýju göngin á eyjunum. Veggir og loft hafa víða hrjúfa og óreglulega áferð og vatnsagi er mikill í göngunum.

Óregla í jarðgerð er þarna meiri en í flestum hinum jarðgöngunum því þarna skiptast á óreglulega og reglulega stuðlað basalt, kargabelti og þunn millilög úr sandsteini. Ummyndun í basaltinu bendir til þess að bergið sé í Skólesít - Mesólít ummyndunarbeltinu.

Tiltölulega fá sprungubelti eru í þessum göngum en vatn seytleði a.m.k. úr einni þeirra. Merki um minniháttar hrun í veggjum eru hér og þar, sennilega þar sem sprungur liggja nær samsíða göngunum. Einn 3 m breiður, nær lóðréttur berggangur sker göngin undir u.þ.b. 45 gráðu horni nálægt vesturenda. Töluvert hrun (yfirsprengingar) hefur orðið úr báðum veggjum við ganginn en lítið hrun úr lofti. Gangurinn er sprunginn í höfuðstóra stuðla. Engar styrkingar eru í eða við bergganginn og reyndar eru yfirhöfuð engar styrkingar í öllum göngunum að frátöldum u.þ.b. 10 m löngum, steiptum forskálum við báða munna (sjá ljósmyndir 23 og 24).

Frárennslislagnir í gólfi virka illa þar sem rennandi vatn er beggja megin slitlags eftir endilöngu. Göngin eru hreinsuð ("skrotuð") reglulega annað hvert ár. Áætlað er að setja upp eitthvað af 1,4 m löngum bergboltum á næstunni aðallega til að styrkja loft ganganna.



7.2 Árnafjörður - Norðtóftir

Lengd: 2100 m

Hæð: 4 m

Breidd: 4-4,5 m

Einbreið göng með útskotum á 100-150 m fresti.

Göngin eru í samofinni syrpu af óreglulega stuðluðu dyngjubasalti með kargabeltum og þunnum sandsteinslögum (miðsería). Göngin skera allmörg dyngjubelti og a.m.k. eitt setlag. Stefna ganganna er nálægt NA-SV. Vesturhluta ganganna ($>3/4$) hallar lítillega niður til SV er austurendinn ($<1/4$) hallar töluvert niður til NA (sjá mynd 6). Jarðlagahalli á svæðinu er 1-2 gráður til SA þannig að göngin liggja nálægt strikstefnu.

Basaltið er mjög óreglulega stuðlað (milli- og stórstuðlað) og auk stuðlasprungna eru tektónískar sprungur með ýmsar stefnur mjög algengar. Langflestar sprungurnar eru fylltar ljósum útfellingum. Basaltið er geysilega mikið holufyllt á köflum. Í vesturenda ganganna eru lagamót í lofti á löngum kafla og þar er loft flatt í stað þess að vera bogadregið. Mjög víða eru yfirsprengingar (0,5-1,0 m djúpar geilar) þar sem lagamót eru í lofti. Allvíða (sérstaklega í austurhlutanum) eru "kargahellar" í lofti ganganna. Þessar geilar eru oft 1-2 m í þvermál og 0,5-1,0 m djúpar og mjög svipaðar þeim er koma fram í Oddskarðsgöngunum hér á landi. Við mörg útskot er loft ganganna flatt ("kassalaga").

Í vesturhluta er 0,5 m þykkt sandsteinslag í miðju þversniði á nokkrum kafla. Þar er gangalag töluvert "ellipsulaga" eða "útteygt" vegna millilagsins. Víða eru sandsteinninn og lagamótakarginn í göngunum það linar berggerðir að hægt er að plokka þær niður með hamri. Sandsteinninn molnar niður smám saman og myndar litlar "hrunkeilur" á gólfinu. Þetta er mjög svipuð hegðun og setlagið í Oddskarðsgöngunum hefur sýnt.

Sprungubelti eru allmörg og mjög mikið vatn rennur úr a.m.k. tveimur þeirra nálægt vesturmunna. Vatn er í rennum beggja vegna akbrautar og vatnið sem út kemur að vestanverðu er áætlað um 3-4 l/s (sjá ljósmynd 25). Vatnsskermar eru allvíða í lofti.

Á einum stað er geysimikið sprungubelti (ca. 10 m breitt) þar sem umtalsvert hrun hefur orðið (yfirsprengingar ?) og vatn fossar úr. Göngin skera sprungubeltið undir 45 gráðu horni og hefur hrunið bæði úr veggjum og lofti. Einn þunnur (0,5 m) berggangur er í sprungubeltinu.

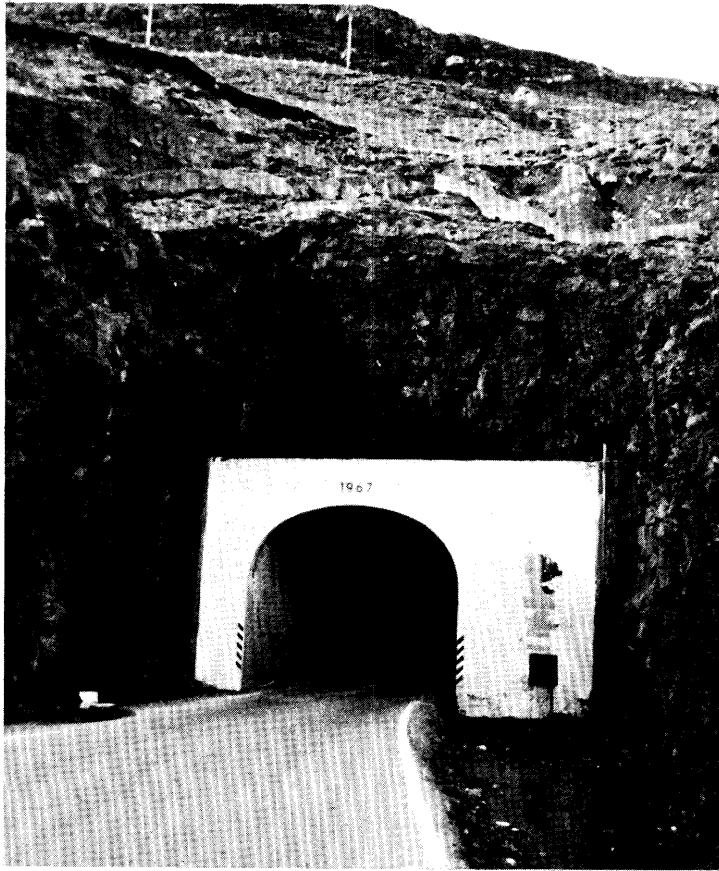
Austasti hluti ganganna (400 m) eru í stórstuðluðu og töluvert sprungnu basalti en flestar ef ekki allar sprungurnar eru fylltar og lokaðar með ljósum útfellingum. Lagamót (beltamót) eru í veggjum á kafla en lögunganga er góð. Austustu 100 m ganganna eru með meiri lofthæð en almennt er eða um 6 m. Við báða gangamunna eru stuttir, steiptir forskálar (sjá ljósmyndir 25 og 26). Góð opna er í rennu við vestari gangamunna og sést þar dæmigerð áskýnd basaltsins a.m.k. eins og það er í meginhluta ganganna (sjá ljósmynd 27). Við austurmunna er bergið mun meira stórstuðlað.

Bergstyrkingar eru engar í göngunum að frátöldum forskálanum og örfáum bergboltum á stangli.

Vinnsla Borðeyjarganganna gekk að jafnaði nokkuð vel en samkvæmt upplýsingum frá staðarverkfræðingi við gangagerðina var aðalvandamálið "hversu bergið var mjúkt og seinlegt var að vinna það".

Sprungumæling var framkvæmd ofan við austurmunna í stórstuðla basalti. Stuðlafletir eru sléttir, bylgjóttir og örskændir. RQD mældist 100% og $Q = 9,0$. Þétt og hart kargaberg ("klepraberg") við munnann var einnig mælt og fékk það RQD = 100% og $Q = 7,0$.

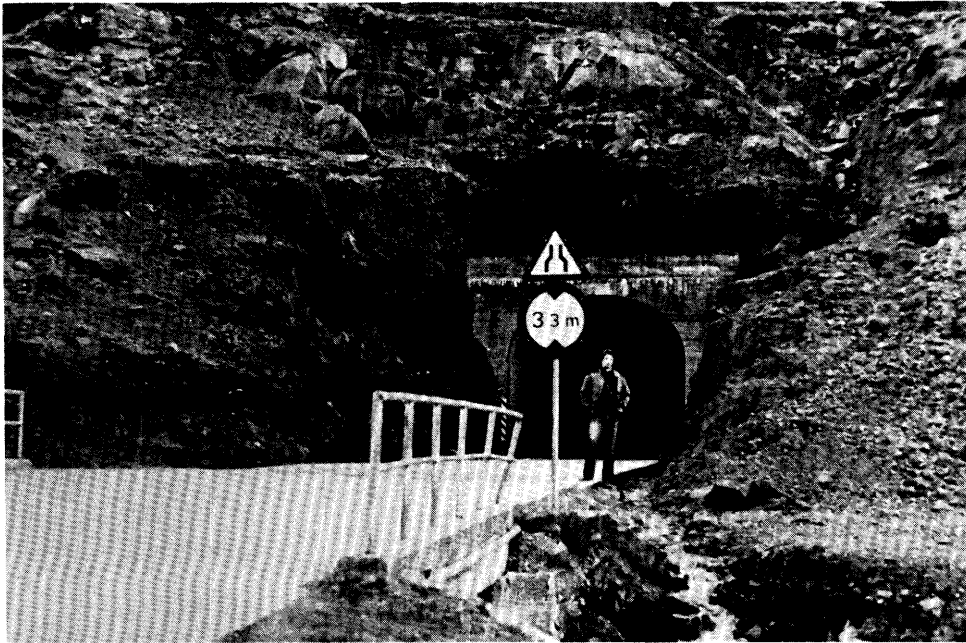
Nákvæm sprungumæling var gerð við vesturmunnann í milllistuðluðu dyngjubasalti (sjá ljósmynd 27). RQD er 85% og $Q = 7,0$ (sjá kafla 9).



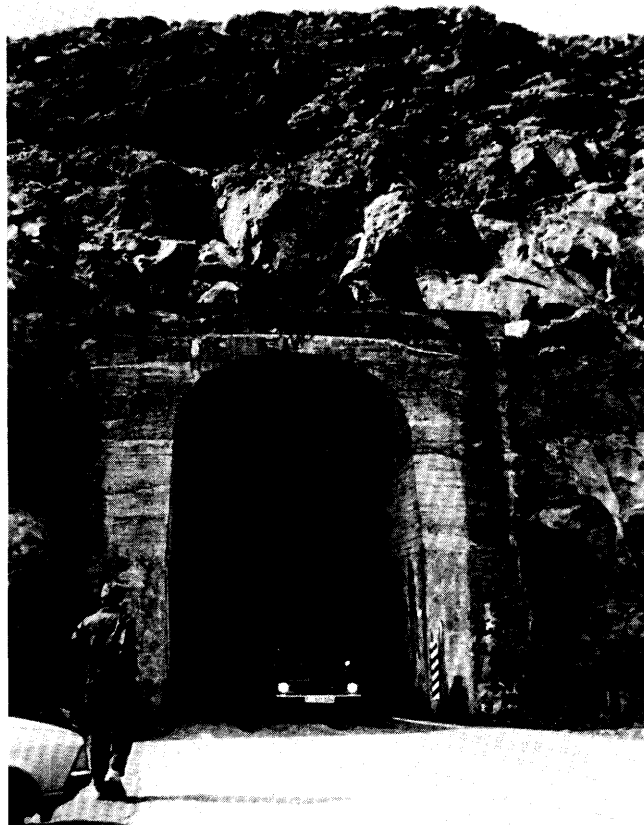
Ljósmynd 23. Vesturmunni jarðganga á Borðey milli KlakksvÍkur og Árnafjarðar.



Ljósmynd 24. Austurmunni jarðganga milli KlakksvÍkur og Árnafjarðar.



Ljósmynd 25. Vesturmunni jarðganga milli Árnafjarðar og Norðtóta. Takið eftir vatninu sem rennur út úr göngunum.



Ljósmynd 26. Austurmunni jarðganga milli Árnafjarðar og Norðtóta. Bergið er stórstuðlað basalt en kargakennt allra neðst.

8 JARÐGÖNG Á SUÐUREY

Á Suðurey eru tvenn jarðgöng, annars vegar svokölluð Hvalbagöng (Trongisvogur-Hvalba) og hins vegar Sandvíkurgöng (Hvalba-Sandvík) norðar á eyggi (sjá mynd 7). Með gerð Hvalba ganganna (elstu veggöngin í eyjunum, tekin í notkun 1963) opnaðist vegur á milli þorpsins Hvalba og þorpanna sunnar á Suðurey. Hvalba er kolasvæði Færeysja og finnast kolín í setlögum sem liggja skammt ofan við basaltlagið sem veggöngin liggja um. Sandvík er þorp í þröngri vík nyrst á Suðurey. Með gerð Sandvíkurganganna, sem tekin voru í notkun 1970 var komið á vegasambandi milli Sandvíkur og Hvalba.

8.1 Trongisvogur - Hvalba (Hvalbagöng)

Lengd: 1450 m

Hæð: 4 m

Breidd: 4,5-5 m

Einbreið göng með útskotum á 200 m fresti. Göngin eru í neðstu seríu og liggja öll í einu og sama þóleiít basaltlaginu sem er efsta lagið í neðstu seríu og er það um 17 m þykkt (sjá mynd 7). Göngin liggja nálægt NNV-SSA og þeim hallar 2-3 gráður niður til norðurs. Jarðlagahalli á svæðinu er 4-5 gráður til NA. Göngin eru töluvert frábrugðin öðrum göngum á eyjunum að því leyti að þau eru öll í sama berglaginu og útlit þeirra því tiltölulega einsleitt.

Bergið er stuðlað og brotið þóleiít basalt, ýmist stórstuðlað, milli-stuðlað eða mjög smásprungið. Þar sem bergið er stórstuðlað eru veggir heillegir og regluleg stuðlaáferð í veggjum mikil og algeng (sjá ljósmyndir 28 og 29). Á þessum svæðum eru mjög stórir stuðlafletir algengir í veggjum og á stöku stað hafa stór stuðlabrot dottið úr veggjunum (sjá ljósmynd 30). Óneitanlega svipar sumum þessum svæðum til stórstuðlaða bergsins í Oddskarðsgöngunum. Þar sem stuðlarnir eru minni (millistudlað) svipar útliti bergsins oft til bergsins í Strákagöngunum.

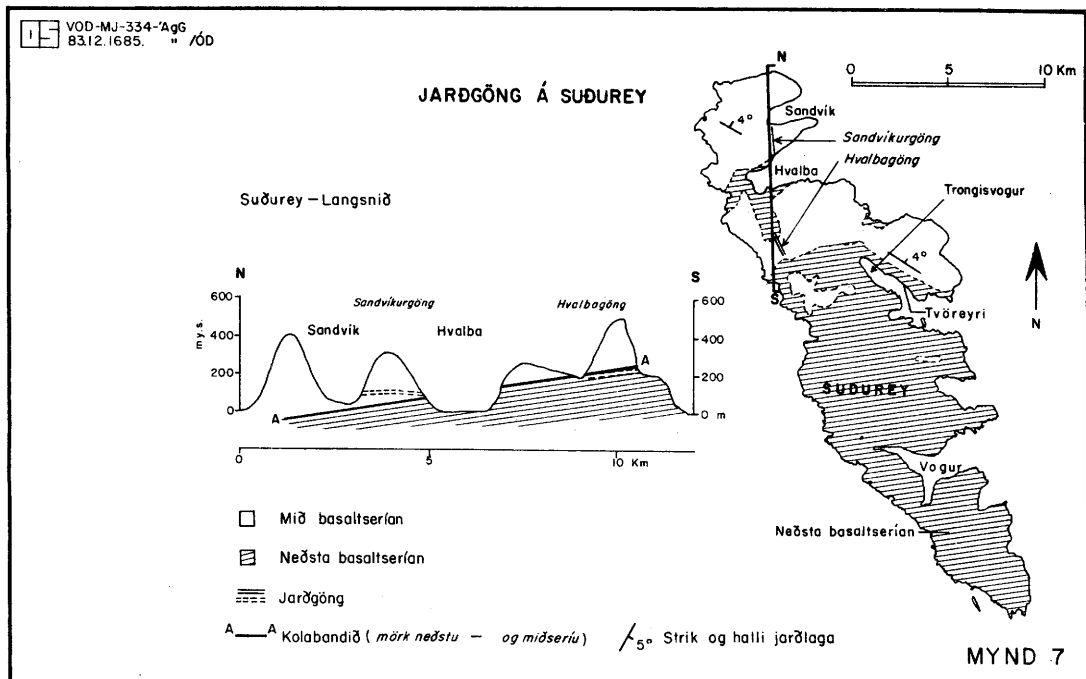
Veggir eru jafnan með óreglulega áferð og loft víða mjög brotið og óreglulegt en bergið stendur vel og merki um umtalsvert hrun eru fátið. Á nokkrum svæðum er bergið geysilega brotið og þá oft aðeins 3-10 cm á milli sprungna. Sprungufletir eru jafnan vel límdir saman þannig að bergið stendur vel þrátt fyrir sprungufjöldann.

Stuðlafletir eru yfirleitt sléttir og bylgjóttir og á stórum flötum vottar sums staðar fyrir "meitilförum". Ryðrautt og/eða ljóst fyllingarefni er jafnan á sprunguflötum. Lögunganganna er yfirleitt góð þó veggir og loft séu víðast með hrjúfa áferð vegna stuðlunarinnar. Á stöku stað er loft nokkuð flatt ("kassalaga") sérstaklega í útskotum.

Göngin skera stöku sprungubelti sem hafa ekki valdið teljandi vandræðum. Þó hefur verið steipt upp á nokkrum stöðum í norðurhluta ganganna. Þarna er um að ræða 1 m þykkt steypulag á 5, 10 og 50 m löngum köflum, sennilega gert til að loka vatnsleiðandi sprungubeltum.

Við suðurmunna þar sem er 7 m langur, steiptur forskáli er bergþekja aðeins um 4 m þykk fremst og er þunn (nokkrir tugir metrar) fyrstu 100-200 m (sjá ljósmynd 31). Vatnsagi er töluverður í göngunum á þessum kafla og vatnsskermar ná niður á miðja vaggi.

Við norðurmunna er einnig um 7 m langur, steiptur forskáli (sjá ljósmynd 32). Næst munnanum seytlar vatn víða úr veggjum og lofti en meginhluti ganganna er þurr. Byrjað var á göngunum að norðanverðu en mjög illa gekk að komast inn m.a. vegna hruns úr sprungubelti.



Einu styrkingarnar í göngunum, að frátöldum steypu bilunum sem áður voru nefnd, eru nokkrir tugir bergbolta á víð og dreif. Flestir boltarnir eru settir upp á stórum stuðlaflötum í lofti. Þetta eru grautaðir "rebar" boltar, þ.e. stálstöng steyppt í borholu án ankeris eða spenniplötu.

Akbrautin er lögð bundnu slitlagi og göngin eru öll mjög hrein og snyrtileg. Þau eru óupplýst en ratljós fest í veggjum beggja megin með u.þ.b. 20 m millibili.

Sprungumælingar voru framkvæmdar í rennu við suðurmunna (sjá ljósmynd 33). Allar sprungurnar eru sléttar og bylgjóttar stuðlasprungur sem eru örskæðar með rauðbrúnu fyllingarefni. RQD er 85% og Q = 7,5 (sjá kafla 9).

8.2 Hvalba - Sandvík (Sandvíkurgöng)

Lengd: 1500 m

Hæð: 4 m

Breidd: 4,5 m

Einbreið göng með útskotum á 100-150 m fresti. Göngin eru í dyngjubasalti í mið-seríu. Stefna þeirra er nálægt N-S og þeim hallar lítillega niður til suðurs (sjá mynd 7). Jarðlagahalli á svæðinu er 4-5 gráður til NA.

Suðurendi ganganna er fáeinum metrum ofan við rauð sandsteinslög sem eru á mörkum neðstu seríu og mið seríu, en norðurendinn er líklega 70-100 m ofan við botn mið seríu.

Basaltið í göngunum er beltað og mjög óreglulega stuðlað. Holufyllingar í nær láréttum böndum eru mjög algengar og sömuleiðis láréttar "beltasprungur". Lítið er um lagamótakarga í göngunum en þar sem hann sést er hann samanpressaður, holufylltur og þéttur (kargaberg). Jarðlögnum hallar lítillega til norðurs þannig að göngin skera nokkur lög eða belti. Á einum stað nálægt suðurmunna er u.þ.b. 5 cm þykkt, rautt millilag á lagamótum. Bergið er í heild svipað því sem er í Karlseyjargöngum (sjá ljósmynd 34).

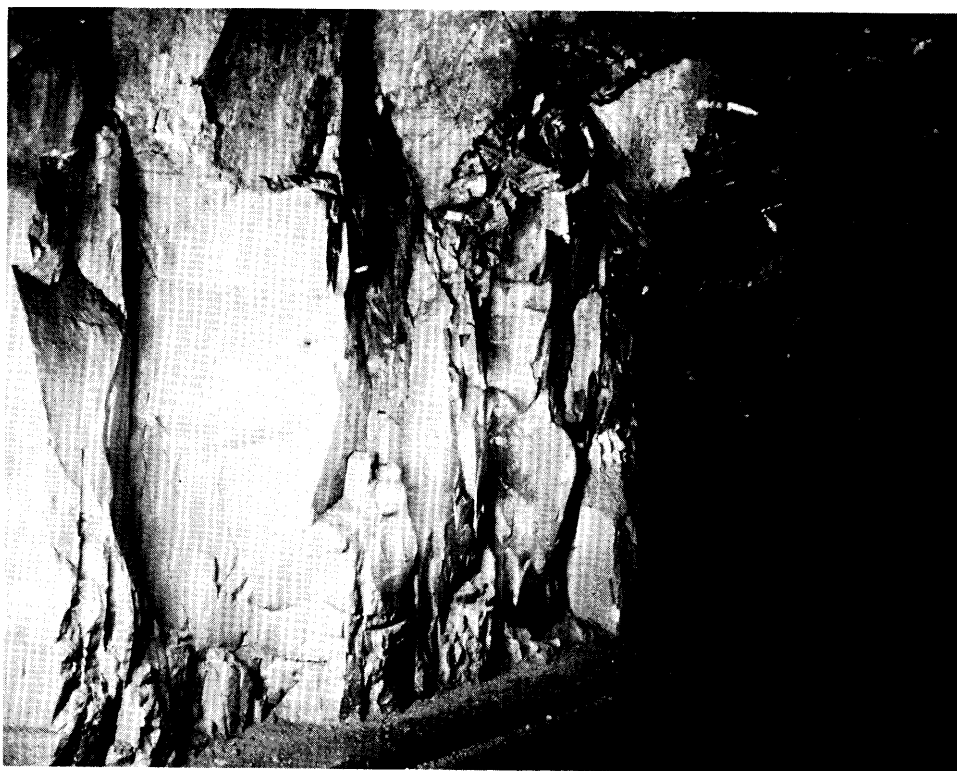
Á nokkrum stöðum eru meiriháttar sprungur og sprungubelti sem göngin skera nær þvert. Þetta eru yfirleitt < 0,5 m breið belti sem fyllt eru leir og ljósum útfellingum og hafa ekki orðið til vandræða.

Lögun ganganna er yfirleitt mjög góð en þó er loft sums staðar nokkuð flatt, sérstaklega í útskotum. Lítið er um yfirsprengingar og hrun en þó hafa stykki dottið úr veggjum og lofti á stöku stað. Göngin höfðu greinilega verið hreinsuð ("skrotuð") nýlega því fersk brotsár sáust víða, aðallega í lofti. Göngin eru þurr að mestu leyti og engir vatnsskermar notaðir. Engar styrkingar eru í göngunum að frátöldum 6 m löngum, steiptum forskálum við báða munna (sjá ljósmyndir 35 og 36).

Akbrautin er lögð bundnu slitlagi og göngin eru óupplýst og án ratljósa.



Ljósmynd 27. Myndin er tekin við vestari munna jarðganga milli Árnafjarðar og Norðtóta (sjá ljósmynd 26). Dæmigerð ásýnd dyngjubasaltsins í göngunum (hamarinn til vinstri er tæplega 40 cm langur).



Ljósmynd 28. Stórstuólað póleift basalt í Hvalbajarógöngum á Suðurey.



Ljósmynd 29. Algeng ásynd þóleift basaltsins í Hvalbagöngunum.



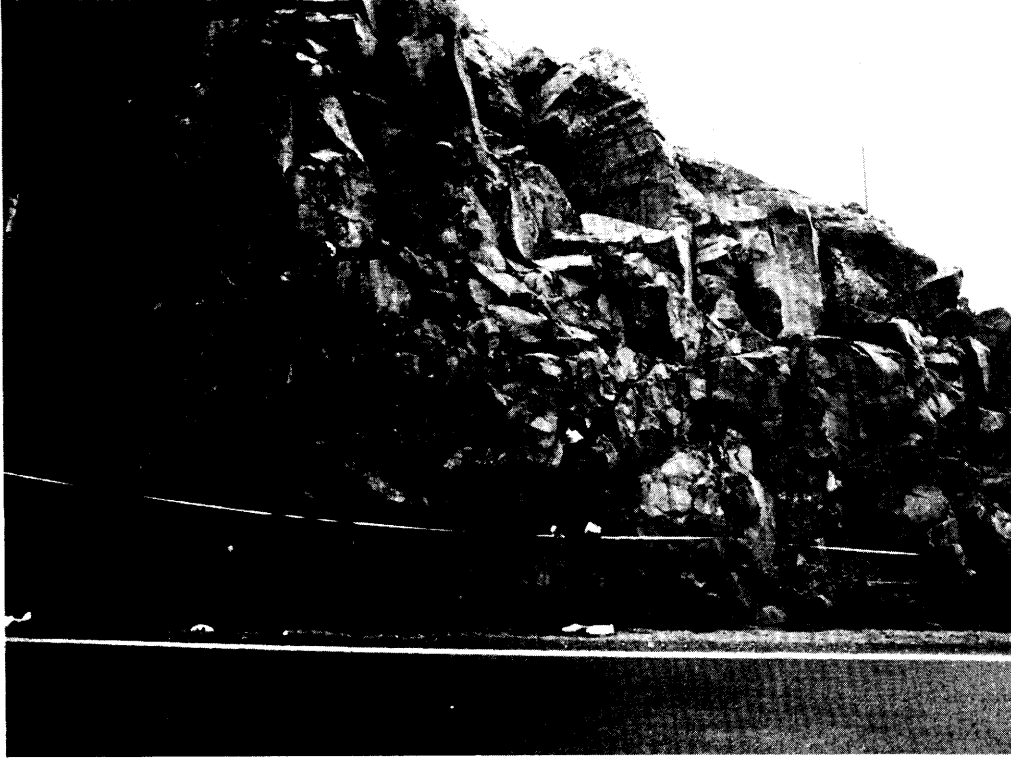
Ljósmynd 30. Stórstuðlað þóleift basalt í Hvalbagöngunum. Stór stuðlablokk hefur dottið úr veggnum (hamarinn neðst til vinstri er tæplega 40 cm langur).



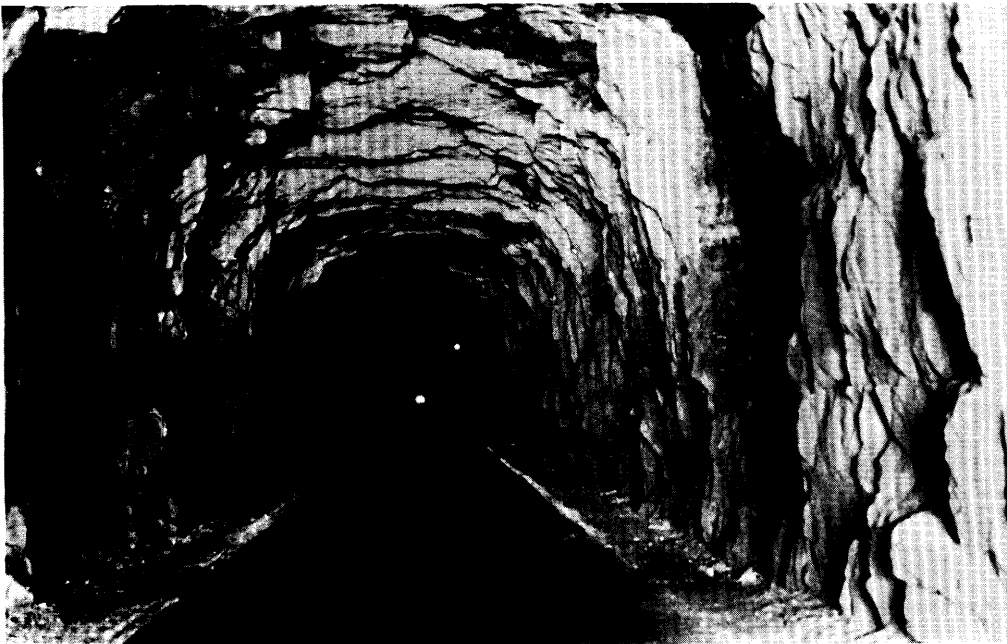
Ljósmynd 31. Suðurmunni Hvalbaganganna (Trongisvogur — Hvalba).



Ljósmynd 32. Norðurmunni Hvalbaganganna.



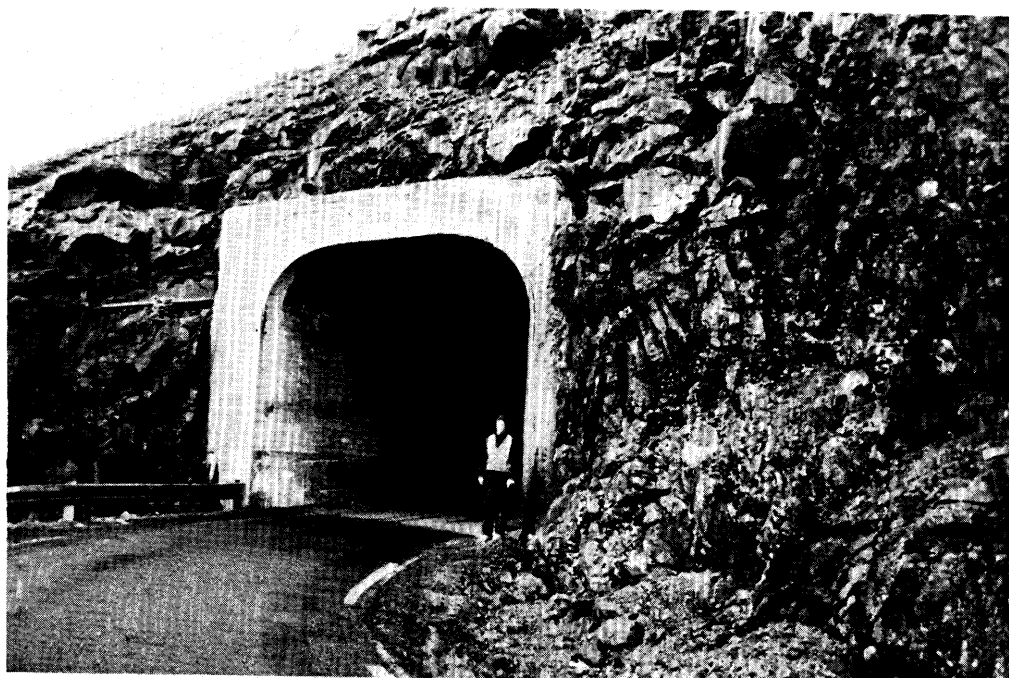
Ljósmynd 33. Sprungumæling við suðurmunna Hvalbaganga (sjá ljósmynd 31).



Ljósmynd 34. Dæmigert útlit Sandvíkurganga (Hvalba — Sandvík).



Ljósmynd 35. Suðurmunni Sandvíkurganga.



Ljósmynd 36. Norðurmunni Sandvíkurganga.

9 BERGGÆDAMAT

Við virkjunarannsóknir á Orkustofnun er notað berggædamatskerfi af norskum uppruna, svokallað Q-kerfi sem notað er til að greina og flokka mismunandi berggerðir eftir eiginleikum þeirra með tilliti til jarðgangagerðar. Greiningin felst í því að bergopnur og/eða borkjarnar eru athugaðir nákvæmlega og eftirfarandi skráð:

Fjöldi sprungna
Fjarlægð milli sprungna
Gerð sprungna
Áferð sprunguflata
Þykkt og gerð sprungufyllinga
Áætlað grunnvatnsástand
Áætlað spennuástand í berginu

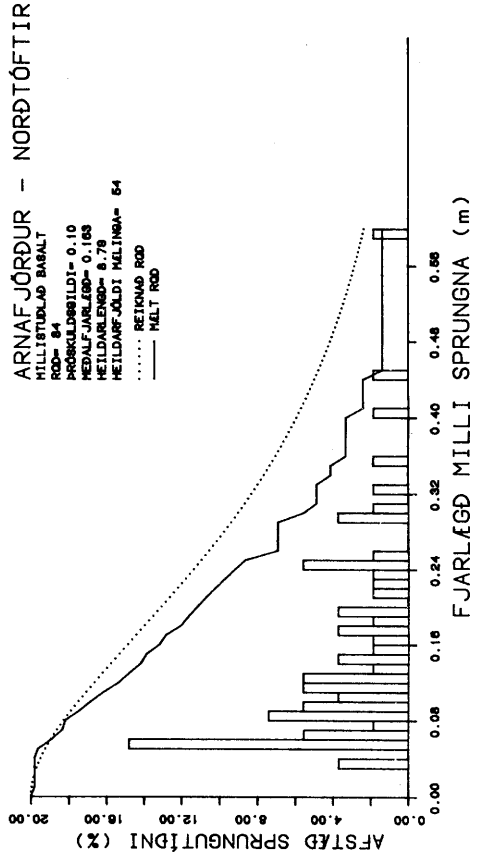
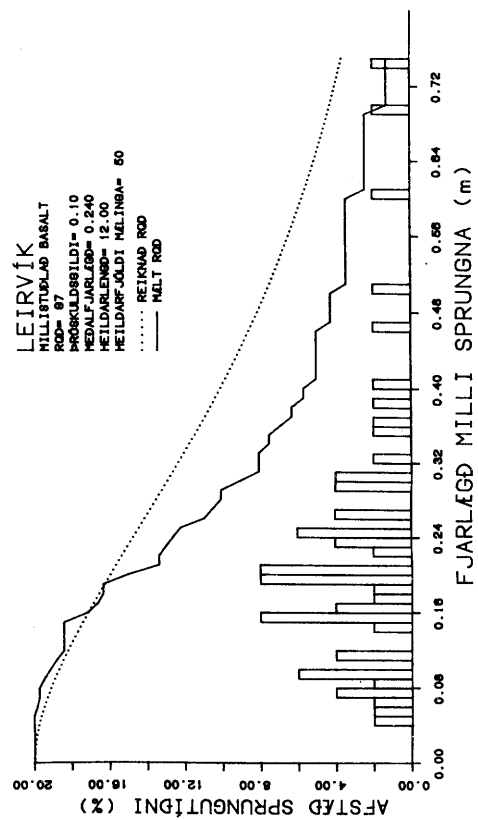
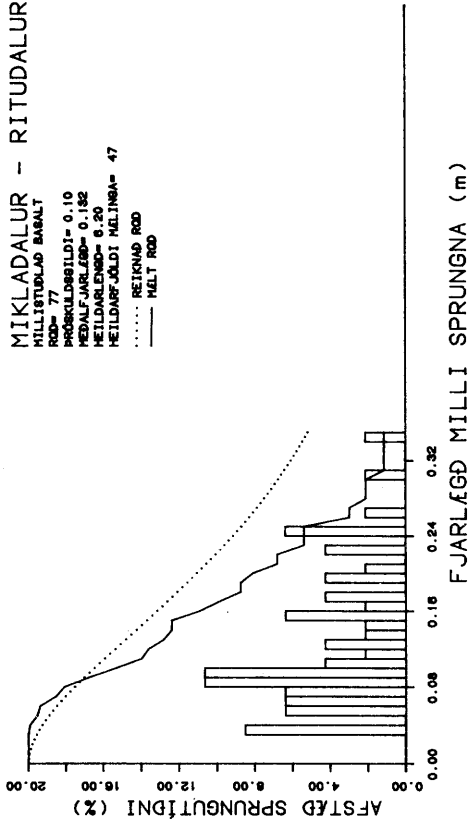
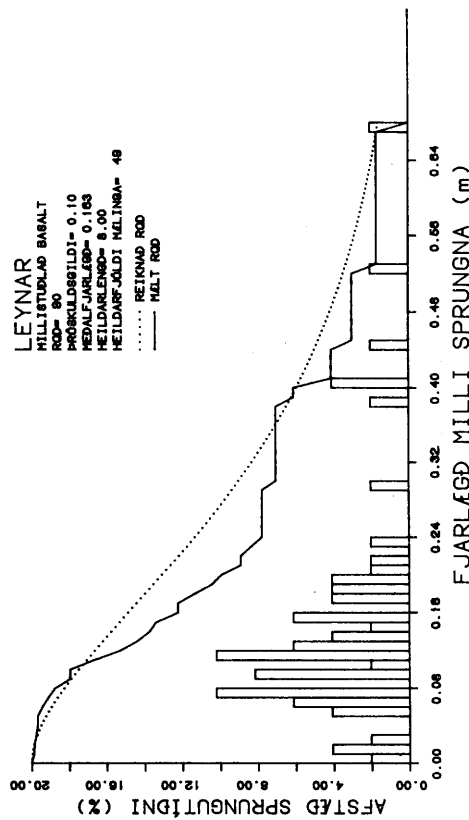
Öllum þessum þáttum eru gefnar tölulegar einkunnir eftir ákveðnum reglum sem settar eru inn í jöfnu og reiknuð út talan eða einkunnin Q sem kalla má "berggæði" (Barton et al. 1974). Því hærri sem talan Q er því betra er bergið talið. Þetta "empíríska" kerfi er hannað með tilliti til jarðgangagerðar og einkunnin Q notuð til að bera saman berggerðir innan sama svæðis eða á milli svæða. Út frá Q-gildinu má einnig áætla lauslega styrkingarþörf í viðkomandi bergi þegar mikilvægi og stærð jarðganga er þekkt.

Nákvæmar sprungumælingar voru framkvæmdar á fimm stöðum í Færeyjum. Á myndum 8 og 9 eru línurit sem sýna tíðnidreifingu fjarlægða milli sprungna frá þessum stöðum. Einnig eru sýnd reiknuð og mæld RQD-gildi fyrir hvern mælistað ásamt meðalfjarlægð milli sprungna (RQD er heil-leikastuðull bergsins, reiknaður hundraðshluti þeirra sprungubila sem eru lengri en 10 cm). Til samanburðar eru sýndar niðurstöður úr sprungumælingum frá jarðgöngum í Oddskarði (meðaltal þriggja mælinga) og jarðgöngum við Búrfellsvirkjun (hjálpargöng) og Írafossvirkjun (mynd 9). Mælingarnar frá Búrfells- og Írafossvirkjun eru sýndar saman þar sem bergið sem mælt var á þessum stöðum er mjög svipað. Allar mælingarnar eru gerðar í millistuðluðu, massífu basalti nema í Oddskarði þar sem bergið er andesít.

Niðurstöður mælinganna sýna að lítill sem enginn marktækur munur er á sprungutíðni þessara berggerða á Íslandi annars vegar og hins vegar í Færeyjum. Þó sýna mælingarnar eilítið lægri sprungutíðni að meðaltali á mælistöðunum í Færeyjum en á Íslandi.

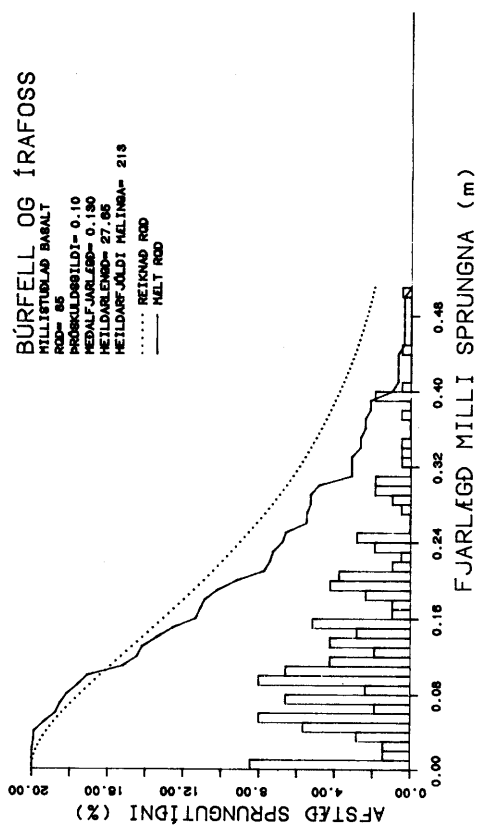
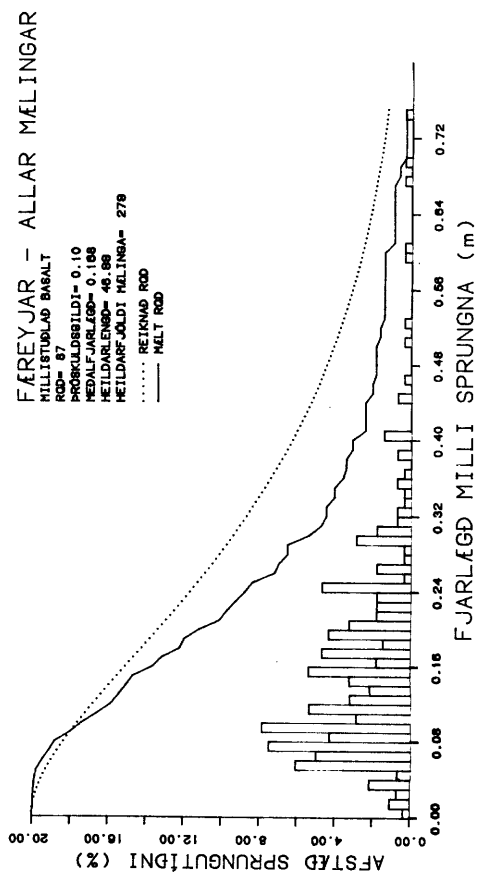
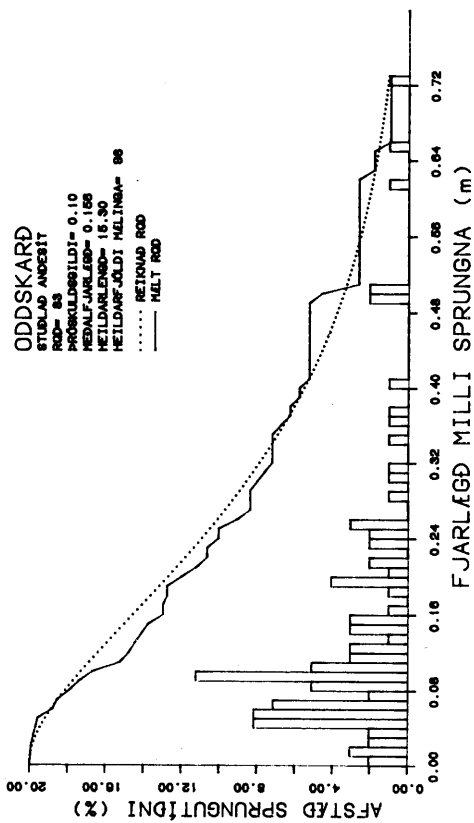
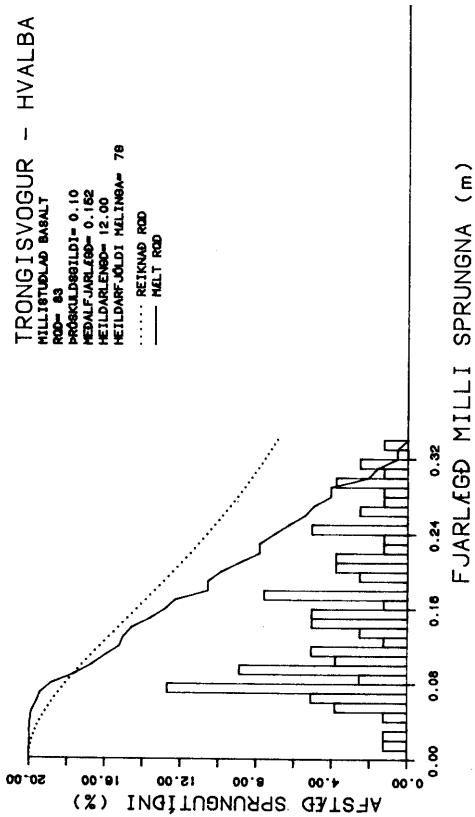
Í töflu 3 eru sýndar tölulegar niðurstöður sprungumælinga og berggædamats frá mælistöðunum fimm í Færeyjum. Til samanburðar eru þar einnig niðurstöður frá fjórum stöðum á Íslandi. Q-gildin frá Færeyjum eru frá 6,5 til 8,0 sem samkvæmt Q-kerfinu telst "þokkalegt" jarðgangaberg.

IF VOD-MJ-334 BAH
84.01.0126 T



MYND 8 Niðurstöður sprungumælinga í Færeyjum.

VOD-MJ-334 BAH
84.01.0127 T



MYND 9 Niðurstöður sprungumælinga í Færeyjum og á Íslandi.

Meðaltal þriggja mælinga úr Oddskarðsgöngum (mælt í misjafnlega sprungnu bergi) gefur $Q = 7,0$. Þess ber að geta að bergið sem mælt var í Oddskarði telst til betri hluta bergs í göngunum. Meðaltal mælinga úr millistuðluðu basalti úr jarðgöngum við Búrfell og Írafoss gefa $Q = 8,0$.

Leggja ber áherslu á, að allar mælingarnar (nema í Oddskarði) eru gerðar í stuðluðu basalti og Q einkunnir eiga við þá berggerð eina en aðrar berggerðir sem hugsanlega eru einnig í viðkomandi jarðgöngum (s.s. kargaberg, setberg, sprungubelti og berggangar) koma ekki inn í þetta mat. Sem dæmi má nefna að sprungubelti, sem voru lauslega metin í Austureyjargöngum, fengu $Q = 0,2$. Ennfremur ber að geta þess að á tveimur síðasttöldu stöðunum þ.e. Ólafsfjarðarmúla ($Q = 7,5$) og aðkomugöngum Blönduvirkjunar ($Q = 3,8$) er borkjarni metinn en ekki bergopnur eins og á hinum stöðunum. Q -gildi borkjarna hafa tilhneigingu til að vera lægri en samsvarandi gildi úr bergopnum.

Þegar tafla 3 er skoðuð er ljóst, samkvæmt Q -kerfinu, að jarðgangaberg sem mælt var í Færeyjum er svipað að gæðum og þau íslensku dæmi sem tiltekin eru í töflunni að frátöldu bergi á gangaleið Blönduvirkjunar.

Almennt séð má því segja að að samkvæmt Q -kerfinu er lítill marktækur munur á milli stuðlaðs basalts í Færeyjum og á Íslandi. En það eru fleiri atriði sem skipta miklu máli og um þau verður fjallað í næsta kafla.

TAFLA 3 Niðurstöður sprungumælinga og berggæðamats

Mælistaður	Basalt-gerð	RQD (%)	Meðalspr. fjarl.(m)	Q	Aths.
Leynar	beltað ól. bas. (dílabas.)	90	0,163	7,5	
Leirvík	beltað ól. bas.	95	0,240	8,0	
Mikladalur-Ritudalur	beltað ól. bas.	75	0,132	6,5	
Árnafj.-Norðtóftir	ól. bas.	85	0,163	7,0	
Trorgisvogur-Hvalba	þól. bas.	85	0,152	7,0	
Oddskað	andesít	85	0,156	7,0	meðaltal 3ja mæl.
Búrfell+Írafoss	ól. bas.	85	0,130	8,0	
Ólafsfjarðarmúli	þól. bas.	80	0,242	7,5	borkjarni*
Blönduvirkjun	þól. bas.	50	0,110	3,8	borkjarni*

* Ath; sprungumælingar í borkjarna eru ekki sambærilegar við mælingar í opnum og borkjarni gefur yfirleitt lægra Q-gildi en samsvarandi bergopnur.

10 SAMANBURÐUR Á JARÐFRÆÐILEGUM AÐSTÆÐUM Á ÍSLANDI OG Í FÆREYJUM

Þegar bera á saman jarðfræðilegar aðstæður við jarðgangagerð á Íslandi og í Færeyjum eru mörg atriði sem máli skipta og nánast útilokað að gefa algilda og stutturða niðurstöðu. Við höfum séð hér að framan að aðstæður við gangagerð í Færeyjum eru í heild nokkuð svipaðar frá einum stað til annars enda eru öll veggöng eyjanna nema ein í sömu basaltsyrpunni. Öðru máli gegnir um aðstæður hérlendis sem eru mjög breytilegar. Þetta endurspeglar vel þann meginmun sem er á jarðfræði Færeyja og Íslands. Jarðfræði Færeyja er mun einfaldari og reglulegri en hér á landi og þessi staðreynd gerir nánast ókleift að bera saman aðstæður annars vegar í Færeyjum og hins vegar á Íslandi. Nær væri að bera saman aðstæður í Færeyjum og á einstökum stöðum hér á landi.

Þau atriði sem mestu máli skipta þegar bera á saman jarðfræðilegar aðstæður til jarðgangagerðar eru eftirfarandi:

1. Regla í uppbyggingu jarðlagastafla
 2. Þykkt og samfelldni jarðlaga
 3. Jarðlagahalli
 4. Brotalínur
 5. Berggerðir og tæknilegir eiginleikar (berggæðamat)
1. Ljóst er að Færeyjar hafa vinninginn varðandi fyrsta atriðið þ.e. að jarðlagastafllinn í eyjunum er almennt séð mun reglulegri og einfaldari í allri uppbyggingu heldur en sá íslenski. Þó er íslenski stafllinn sums staðar nokkuð reglulegur sérstaklega á tertíerum svæðum (s.s. víða á Vestfjörðum, Norðurlandi og Austfjörðum).
 2. Þykkt og samfelldni jarðlaga er að jafnaði hagstætt í Færeyjum og sum jarðgöngin þar liggja í einu og sama jarðlaginu um langan veg. Að vísu eru flest veggöng eyjanna í dyngjubasaltsyrpu (mið-seríu) sem víða er gerð úr 0,5-2,0 m þykkum hraunbeltum en hver goseining er oft 20-30 m þykk. Lagamót með þykkum gjallkarga og skörpum mörkum basalts og setlaga eru því sjaldgæf í göngunum.

Hérlendis er þessu farið á ýmsan hátt. Sums staðar eru jarðlög þykk og samfelld (t.d. í Oddskarði og Ólafsfjarðarmúla) en annars staðar eru þau þunn og breytileg (t.d. á Breiðadalsheiði (yfir 500 m y.s.) og fyrirhuguðu jarðgangasvæði Blönduvirkjunar). Berggrunnur hér á landi er mun yngri en í Færeyjum og þar af leiðandi eru lagamót oft á tíðum skarpari og oft með illa samlímdum gjallkarga.

3. Jarðlagahalli í Færeyjum er að jafnaði hagstæður á þeim stöðum þar sem jarðgöng eru. Hallinn er yfirleitt lítill (1-5 gráður) og oftast hefur tekist að gera jarðgöngin þannig að þau fylgja hallinum og fara jafnan í gegnum fá jarðlög.

Hér á landi er jarðlagahalli mun breytilegri en í Færeyjum. Sums staðar eru jarðlög nær lárétt (aðallega á kvarterum svæðum t.d. við Neðra Sog) en annars staðar er hallinn upp í 30 gráður og allt þar á milli. Sem dæmi er hallinn um 3 gráður í Oddskarði, 6-8 gráður við Laxárvirkjun og 13-28 gráður í Strákafjalli. Hallastefnan skiptir að sjálfsögðu einnig miklu máli. Að öðru jöfnu er yfirleitt reynt að láta jarðgöng fylgja halla viðkomandi jarðlaga (Oddskarð) eða láta þau vera sem næst striki jarðlaga ef hallinn er mikill (Strákar) þannig að göngin skeri sem fæst jarðlög.

4. Brotalínur eru mjög algengar í Færeyjum (þ.e. samfelldar sprungur og sprungubelti) og hafa valdið vandræðum við jarðgangagerð. Þar er aðallega um að ræða svokallaðar "lamellar zones" eða sprungubelti sem eru oft 0,5-2,0 m þykk, jafnan nær lóðrétt og mjög samfelld. Þessi fyrirbæri eru fátíð hérlendis. Á móti kemur að í íslenska berglagastaflanum eru misgengi afar algeng og geta valdið vandræðum sérstaklega ef stefna þeirra er svipuð stefnu jarðganga og einnig ef þau leiða mikið vatn. Ennfremur er algengt að berggerð breytist um misgöngin bæði vegna þess að berglöggin standast ekki á og vegna breksíu sem oft er í misgöngjunum. Misgengi eru fátíð í jarðgöngum í Færeyjum.

Berggangar eru algengir bæði í Færeyjum og hér á landi en þeir hafa ekki orðið til trafala við jarðgangagerð. Að sjálfsögðu er ætíð reynt að haga legu jarðganga þannig að þau skeri brotalínur sem þverast ef ekki er hægt að komast hjá þeim.

5. Áður var nefnt að berggerðir á Íslandi væru mun fjölbreyttari að gerð og eiginleikum en í Færeyjum. Öll göng sem skoðuð voru í eyjunum eru í svipuðu dyngjubasalti nema ein sem eru í póleiítbasalti. Á Íslandi hafa jarðgöng verið gerð í margskonar berg s.s. ýmsar tegundir basalts frá stórstuðluðu til smástuðlaðs (kubba-berg), basaltbreksíu, kargaberg (lagamótakarga), andesít, bólstra-berg, móberg, móbergsbreksíu, túff, jökulberg, sandstein og siltstein svo það helsta sé nefnt. Hlutur stuðlaðs basalts er þó stærstur.

Segja má að það séu aðeins þrjár sambærilegar berggerðir sem koma fyrir í jarðgöngum bæði hérlendis og í Færeyjum. Það eru fyrst og fremst stuðlað basalt en einnig kargaberg og millilög úr setbergi.

Í kafla 9 var sýnt fram á að tæknilegir eiginleikar stuðlaðs basalts í Færeyjum og víða hérlendis (sprungutiðni og berggæðamat) eru svipaðir. Ummyndun nokkurra sýna úr jarðgöngum í Færeyjum var athuguð með smásjárskoðun. Ljóst virðist að flest sýni flokkast í Mesólít - Skólesít og Laumontít ummyndunarbeltin. Þetta samsvarar því ummyndunarstigi sem algengt er í basalti neðan 100 m y.s. á Austfjörðum á Íslandi. Á Vestfjörðum og Mið-Norðurlandi er basaltið líklega heldur minna ummyndað. Ummyndun af þessu tagi gerir basaltið ekki að verra jarðgangabergi nema síður sé. "Hæfilega" ummyndað basalt er oft betra jarðgangaberg en ferskt basalt.

Eiginleikar kargabergs (lagamóttagjallkarga) sem fram kemur sums staðar í göngum í Færeyjum eru ekki ósvipaðir eiginleikum kargabergs á sumum tertíerum svæðum hérlendis. Þó er kargabergið í Færeyjum yfirleitt meira sambrætt og stundum jafnvel hreint klepraberg án gjalls. Kargaberg frá kvarterum svæðum hér á landi er jafnan mun gjallkenndara og lausara í sér (klastískt) og þ.a.l. verra jarðgangaberg.

Setlög eru mjög fátíð í jarðgöngum í Færeyjum en eiginleikar þeirra virðast vera mjög svipaðir eiginleikum túffsandsteinslaga sem algeng eru í tertíera bergstaflanum hérlendis.

Segja má að þær jarðfræðilegu aðstæður í Færeyjum sem lýst hefur verið hér að framan, séu svipaðar og sums staðar á Íslandi, sérstaklega í tertíeru bergi og þar af leiðandi eru mestar líkur á að finna sambærilegar aðstæður á Vestfjörðum, Norðurlandi vestan Bárðardals og Austfjörðum.

Ljóst er að lítil skynsemi er í því að bera saman almennar jarðfræðilegar aðstæður við jarðgangagerð annars vegar hér og hins vegar í Færeyjum. Til þess er jarðfræði þessara landa of ólík. Vitlegast er að bera saman jarðfræðilegar aðstæður í Færeyjum annars vegar og aðstæður á ákveðnum stöðum á Íslandi hins vegar t.d. jarðlög eða jarðlagasyrpur á fyrirhuguðum og/eða hugsanlegum jarðgangaleiðum. Frekari athuganir á hugsanlegum jarðgangaleiðum hérlendis eru nauðsynlegar til að slíkur samanburður sé gerlegur.

HEIMILDIR

- Barton, N., Lien, R. Lunde, J. 1974: Analysis of rock mass quality and support practice in tunneling, and a guide for estimating support requirements. NGI, Rep. 54206, 74 p.
- Bjarnason, B. 1983: Ólafsfjarðarmúli. Berggæðamat. Orkustofnun, Bj.Bj., 83/01, 30 s.
- Carmichael, I.S.E. 1967: The mineralogy of Thingmúli. A Tertiary volcano in eastern Iceland. Am. Min. 52: 1815-1841.
- Rasmussen, J. and Arne Noe-Nygaard, A. 1970: Geology of the Faeroe Islands (pre Quaternary). Geological survey of Denmark I. Series no. 25 C.A. Reitzels forlag Copenhagen.
- Harðarson, B.A. 1981: Berggæðamat í íslenskum jarðgöngum. Óbirt gögn. Orkustofnun OS-VOD-MJ.
- Harðarson, B.A. 1982: Blönduvirkjun. Aðkomugöng. Bergtækni. Orkustofnun, OS-82122/VOD 56 B, 28 s.
- Noe-Nygaard, A. Rasmussen, J. 1968: Petrology of a 3000 metre sequence of basaltic lavas in the Faeroe Islands. Lithos 1: 286-304.
- Rasmussen, J. 1982: The Faeroe Islands: Geology. Monographicae Biologicae, vol 46. Edited by G.K. Rutherford. Junk Publishers The Hague.
- Schilling, J.G. and Noe-Nygaard, A. 1974: Faeroe-Iceland Plume: Rare-Earth evidence. Earth and Planetary Science Letters, 24: 1-14, North Holland Publishing Company, Amsterdam.
- Tarling, D.H. and Gale, N.H. 1968: Isotopic dating and Palaeo magnetic Polarity in the Faeroe Islands. Nature, Vol. 218.
- Walker, G.P.L. 1960: Zeolite zones and dike distribution in relation to the structure of the basalts of eastern Iceland. J. Geol. 68: 515-528.