



ORKUSTOFNUN
Vatnsorkudeild

JARÐGÖNG Á ÍSLANDI
Berggæðamat

Björn A. Harðarson

OS-84080/VOD-21 B

Október 1984



ORKUSTOFNUN
Grensásvegi 9, 108 Reykjavík

JARÐGÖNG Á ÍSLANDI
Berggæðamat

Björn A. Harðarson

OS-84080/VOD-21 B

Október 1984

FORMÁLI

Mikilvægur þáttur í athugunum Vatnsorkudeildar á virkjunarkostum eru rannsóknir og mat á bergi með tilliti til jarðgangagerðar þar sem mikill hluti vatnsvega og annarra mannvirkja er neðanjarðar í mörgum vatnsorkuverum. Fyrir fjórum árum var tekið í notkun á Vatnsorkudeild tölulegt bergflokkunarkerfi af erlendum uppruna. Talið var að kerfið gæti orðið mikilvægt hjálpartæki við gæðamat og samanburð á bergi með tilliti til jarðgangagerðar. Kerfisbundin greining samkvæmt þessu kerfi hefur verið framkvæmd á bergi frá flestum næstu virkjunarstöðum hér á landi. Töluverð vinna hefur verið lögð í aðlögun kerfisins að íslenskum aðstæðum og í þessari skýrslu er gerð grein fyrir athugunum í nær öllum jarðgöngum sem gerð hafa verið hérlendis. Hér er um áfangaskýrslu að ræða þar sem enn hefur lítil reynsla fengist á hæfni þessa kerfis til að segja fyrir um hegðun og stæðni íslensks bergs í jarðgöngum.

Mjög mikilvægt er að sú reynsla sem fæst við gerð næstu jarðganga hérlendis verði nýtt eins og frekast er unnt í þágu þessa flokkunar-kerfis þar sem kostir þess eru ótvíræðir. Þar má helst nefna eftir-
farandi;

1. Á forhönnunarstigi hjálpar kerfið til að velja milli mismunandi jarðgangaleiða.
2. Kostnaðaráætlanir varðandi styrkingarþörf í jarðgöngum ættu að verða áreiðanlegri ef niðurstöður gæðamatsins eru hafðar til hliðsjónar.

Hins vegar ber að leggja áherslu á að berggæðamatið sem slíkt, ákvarðar ekki styrkingar á byggingarstigi. Slíkar ákvarðanir verða ætíð teknar á staðnum samhliða gangagerðinni en berggæðamatið gæti þó verið einn af þeim þáttum sem hafðir eru til hliðsjónar.

Virðingarfyllst

Haukur Tómasson

Haukur Tómasson
Forstjóri Vatnsorkudeildar

EFNISYFIRLIT

	bls.
1 INNGANGUR	5
2 Q - KERFIÐ	8
3 VINNUAÐFERÐIR OG ÚRVINNSLA	10
4 JARÐGÖNG Í RAFOSSVIRKJUNAR	12
5 HJÁL PARGÖNG BÚRFELLSVIRKJUNAR	21
6 JARÐGÖNG LAXÁRVIRKJUNAR	30
7 JARÐGÖNG GRÍMSÁRVIRKJUNAR	37
8 JARÐGÖNG Í ODDSKARÐI	41
9 JARÐGÖNG Í STRÁKAFJALLI	49
10 ÖNNUR JARÐGÖNG	53
11 SAMANTEKT	55
HEIMILDIR	56
VIÐAUKI I Skýrslur Orkustofnunar um berggæðamat	59
VIÐAUKI II Leiðbeiningar við einkunnagjöf í Q-mati	63
VIÐAUKI III Stefnu- og halladreifing brotflata	67

MYNDASKRÁ

Mynd 1	Sprungutíðnirit. Allar mælingar 1981	11
Mynd 2	Írafossvirkjun - Aðkomugöng. Afstöðumynd	13
Mynd 3	Írafossvirkjun - Aðkomugöng. Kortlagning og berggæðamat (blöð 1-4)	14
Mynd 4	Skýringar við myndir	18
Mynd 5	Írafossvirkjun - Aðkomugöng. Sprungutíðnirit	18
Mynd 6	Búrfellsvirkjun - Hjálpargöng. Kortlagning og berggæðamat (blöð 1-4)	23
Mynd 7	Búrfellsvirkjun - Hjálpargöng. Sprungutíðnirit	29
Mynd 8	Laxárvirkjun - Stöðvarhús. Grunnmynd og þversnið	31
Mynd 9	Laxárvirkjun - Stöðvarhús. Lausleg kortlagning	32
Mynd 10	Laxárvirkjun - Aðkomugöng. Afstöðumynd	32
Mynd 11	Laxárvirkjun - Aðkomugöng. Kortlagning og berggæðamat (blöð 1-2)	33
Mynd 12	Laxárvirkjunar - Aðkomugöng. Sprungutíðnirit	32
Mynd 13	Grímsárvirkjun - Neðri hluti stöðvarhúss. Afstöðumynd	38
Mynd 14	Grímsárvirkjun - Neðri hluti stöðvarhúss. Kortlagning	38
Mynd 15	Grímsárvirkjun - Stöðvarhús. Sprungutíðnirit	38
Mynd 16	Oddskað. Lausleg kortlagning og berggæðamat (blöð 1-2)	42
Mynd 17	Oddskað. Sprungutíðnirit	44

LJÓSMYNDASKRÁ

Ljósmynd 1	Írafossvirkjun. Stór- og millistuðlað basalt	19
Ljósmynd 2	Írafossvirkjun. Sprungubelti í smástuðluðu basalti	19
Ljósmynd 3	Írafossvirkjun. Setfylltar sprungur í gangapaki	20
Ljósmynd 4	Írafossvirkjun. Millistuðlað basalt	20
Ljósmynd 5	Búrfellsvirkjun. Norðurhlíð Sámsstaðamúla	27
Ljósmynd 6	Búrfellsvirkjun. Millistuðlað basalt í hjálpargöngum	27
Ljósmynd 7	Búrfellsvirkjun. Basalt í aðrennslisgöngum	28
Ljósmynd 8	Búrfellsvirkjun. Basalt í aðrennslisgöngum	28
Ljósmynd 9	Laxárvirkjun. Basalt í aðkomugöngum	35
Ljósmynd 10	Laxárvirkjun. Stuðlafletir í aðkomugöngum	35
Ljósmynd 11	Grímsárvirkjun. Brotið basalt í farvegi Grímsár	39
Ljósmynd 12	Grímsárvirkjun. Flögótt basalt í þaki	39
Ljósmynd 13	Grímsárvirkjun. Brotið basalt í veggjum	40
Ljósmynd 14	Grímsárvirkjun. Brotið og ummyndað basalt	40
Ljósmynd 15	Oddskað. Sprunguflötur í andesíti	45
Ljósmynd 16	Oddskað. Sprungumælingar í stuðluðu andesíti	45
Ljósmynd 17	Oddskað. Smásprungið andesít	46
Ljósmynd 18	Oddskað. Sveigið flögun í andesíti	46
Ljósmynd 19	Oddskað. "Kargahellir" í þaki	47
Ljósmynd 20	Oddskað. Sandsteinn og setblandinn gjallkargi	47
Ljósmynd 21	Oddskað. Stálbitastyrking	48
Ljósmynd 22	Oddskað. Stálbitastyrking	48
Ljósmynd 23	Strákagöng. Gangamunni að norðvestan	51
Ljósmynd 24	Strákagöng. Gangamunni að suðaustan	51
Ljósmynd 25	Arnardalshamar. Smástuðlaður basaltgangur	52
Ljósmynd 26	Hellisvík. Göng í beltuðu dyngjubasalti	52

1 INNGANGUR

Flestum sem unnið hafa við forrannsóknir vegna mannvirkjagerðar er ljóst hve erfitt er að leggja hlutlaust mat á gæði bergs, sérstaklega með tilliti til jarðgangagerðar. Vegna þessa er oft á tíðum vandkvæðum bundið að hanna neðanjarðarmannvirki fyrirfram og sérstaklega torvelt að gera nákvæmar kostnaðaráætlanir. Undanfarinn áratug hafa nokkur berggreiningarkerfi verið notuð erlendis til að ákvarða gæði bergs (rock mass quality) með tilliti til jarðgangagerðar. Flest þessi kerfi byggja á talnalegu mati hinna ýmsu tæknilegu eiginleika bergs og á grundvelli þess er öllu bergi skipt í gæðaflokka og hverri berg-einingu gefin ein heildareinkunn sem á að vera mælikvarði á stöðugleika viðkomandi bergs í jarðgöngum.

Kerfisbundið mat á gæðum bergs til jarðgangagerðar hófst hér á landi 1980 á Vatnsorkudeild Orkustofnunar. Hugmyndin var sú að með slíku mati væri auðveldara að bera saman mismunandi jarðgangaleiðir innan sama virkjunarsvæðis og einnig á milli virkjunarsvæða. Berggreiningarkerfið sem varð fyrir valinu er norskt að uppruna, svokallað Q - kerfi (sjá kafla 2).

Helstu kostir þess að meta berg á kerfisbundinn og tölulegan hátt eru eftirfarandi:

1. Með slíku mati er unnt að bera saman á markvissan hátt, gæði mismunandi bergs á milli staða og svæða. Einnig er unnt, eftir að framkvæmdum lýkur á einum stað, að yfirfæra reynslu á talnaformi yfir á annan stað eða svæði.
2. Berggæðamatið virkar í raun sem einskonar "tékklisti" þannig að við matið eru hin margvíslegu atriði er snerta gerð og eiginleika bergsins skráð niður sem ella væri ekki gert við hefðbundna kjarnagreiningu.

Helstu ókostir berggæðamatsins (Q - kerfisins) eru eftirfarandi:

1. Hér á landi er reynslan af notkun þessa kerfis afar takmörkuð, enn sem komið er. Þess vegna er ekki ráðlegt að nota niðurstöður kerfisins nema á fyrri stigum rannsókna og styrkingarspá kerfisins má ekki nota nema við áætlanagerð á forhönnunarstigum.
2. Gæðamatið útheimtir töluverða vinnu og virðist flókið fyrir byrjendur. Mismunandi persónulegt mat og reynsla þeirra sem framkvæma greininguna veldur oft mismunandi niðurstöðum. Vegna þessa er afar mikilvægt að greiningin sé gerð af mönnum þjálfuðum í notkun kerfisins.

Síðan 1981 hefur allur borkjarni frá væntanlegum og/eða hugsanlegum jarðgangasvæðum Blönduvirkjunar, Fljótsdalsvirkjunar, Sultartanga-virkjunar, Búrfellsvirkjunar II, Vatnsfellsvirkjunar og Kvíslaveitu verið greindur samkvæmt Q - kerfinu. Mikil áhersla hefur verið lögð á að einfalda og samræma vinnubrögð við berggreininguna þannig að hinn mannlegi þáttur í greiningunni verði sem allra minnstur. Þannig verða

berggæðin (Q - gildin) samanburðarhæf milli mismunandi jarðgangaleiða og svæða en ekki endilega kórrétt miðað við upprunalega Q - kerfið. Niðurstöður berggæðamatsins hafa birst í ýmsum skýrslum Vatnsorku- deildar og í viðauka I er listi yfir allar skýrslur viðkomandi berg- gæðamatinu sem gefnar hafa verið út á Orkustofnun.

Enn hafa engin jarðgöng verið gerð hérlendis síðan tölulegt berg- gæðamat var tekið upp hér. Bein reynsla á hæfni þessa kerfis til að segja fyrir um hegðan og stæðni íslensks bergs við jarðgangagerð (út frá mælingum á borkjörnum) er því mjög takmörkuð enn sem komið er. Samt sem áður er talið að stigið hafi verið stórt skref fram á við með slíkri kerfisbundinni greiningu bergs. Samanburður á mismunandi jarð- gangaleiðum er nú mun auðveldari og markvissari en áður. Einnig hefur safnast mikið af dýrmætum upplýsingum um gerð og eiginleika íslensks bergs sem ella hefðu glatast, upplýsingum sem ættu að reynast mikil- vægar við jarðgangagerð á næstu árum og áratugum ef skynsamlega er á málum haldið. Í því sambandi er mikilvægt að raunverulegar aðstæður í næstu jarðgöngum verði bornar saman við niðurstöður berggæðamatsins á samsvarandi borkjörnum. Í töflu 1 eru teknar saman ýmsar upplýsingar um öll veigameiri jarðgöng sem gerð hafa verið til þessa auk fyrir- hugaðra jarðganga Blönduvirkjunar.

Liður í aðlögun Q - kerfisins að íslenskum aðstæðum voru mælingar í öllum jarðgöngum hér á landi sem hægt var að komast í. Þessar mæling- ar voru gerðar 1981 og er framkvæmd þeirra og niðurstöðum lýst í þessari skýrslu. Hluti þess berggæðamats sem hér er greint frá er orðið úrelt að nokkru leyti þar sem kerfinu var breytt lítilsháttar á grundvelli þessara gagna. Samt sem áður þótti rétt að taka saman þessi gögn svo hægt væri að ganga að þeim öllum á sama stað.

Tafla 1. Jarðgöng á Íslandi

Number	Name	Kind of tunnel	Location	Technical data			Geological Features	Shape	Construction			Organisation Concerned			Remarks
				Length km	Section area m ²	Area m ²			Methods	Cost (Ikrx10 ⁶)	Start	Finish	Client	Consultant	
0		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	Arnardalshamar	Road	Isafjörður Sudavík NW-Iceland	0,03	30	Horse shoe	Basaltic dike	Drill and blast		10/'48	12/'48	Public Roads Authority	Client	Client	Site managers Charles Bjarnason and Petur Pálsson
2	Irafoss	Hydro power	Sog S-Iceland	0,9	16-64 caverns + 280 m ²	Horse shoe	Basalt, tillite and volcanic breccia	Drill and blast		'51	'53	Sog Power Company	A.B. Berdal Oslo	Fosskraft *)	*) Joint venture of: E. Pihl and Sön, Denmark and Grävmaskiner AB Sweden. Geol. consultant: T. Tryggvason, Univ. of Iceland.
3	Grimsa	Hydro power	Skriddalur E-Iceland	0,14	6-8 caverns + 250 m ²	Horse shoe	Geothermally altered basalt and basaltic dikes	Drill and blast		'56	'57	State Electricity Authority	VST Consulting Engineers Reykjavik	Verklejar framkvæmdir Iceland and E. Pihl and Sön	
4	Efra-Sog	Hydro power	Lake Þingvallá Sog S-Iceland	0,35	64	Horse shoe	Volcanic breccia pillowlava and basalt	Drill and blast		'58	'59	Sog Power Co.	A.B. Berdal OSLO	Efrafall *)	*) Joint venture of: E. Pihl and Sön, Denmark; Sentab Sweden; Almenna Byggingafélagid and Verklejar framkvæmdir Iceland Geol. consultant: T. Tryggvason, Univ. of Iceland Leasefee 0.5 m ³ /sec.
5	Burfell	Exploratory	Þjorsá Burfell S-Iceland	0,26	6	Horse shoe	Tillite andesite and andesite breccia	Drill and blast		6/'62	10/'62	State Electricity Authority	Harza Engineering Co. International Chicago	Almenna Byggingafel. Iceland	
6	Burfell	Hydro power	Þjorsá Burfell S-Iceland	1,8	40-100	Horse shoe	Basalt, volcanic brecc. tuff breccia and various interbeds	Drill and blast		'66	'69	National Power Co.	Harza Engineering Co. International Chicago	Fosskraft *)	*) Joint venture of: Sentab, Sweden; E. Pihl and Sön, Denmark and Almenna Byggingafélagid, Iceland.
7	Strakar	Road	Siglu fjörður N-Iceland	0,8	25	Horse shoe	Tertiary basalts with thin sandstone interbeds	Drill and blast	65 (apr. '63)	'65	'67	Public Authority	Client	Efrafall *)	*) Joint venture of: E. Pihl and Sön and Almenna Byggingafélagid, Iceland. Geol. consultant: Dr. Th. Einarsson Univ. of Iceland
8	Laxa	Hydro power	Laxa-Ágaldalur N-Iceland	1,2	30-50 caverns + 300 m ²	Horse shoe	Basalt and interbeds, tuff and brecc.	Drill and blast		'70	'72	Laxarvirkjun Power Co. Akureyri	VST Consulting Engineers Reykjavik	Nordurverk Iceland	
9	Oðisskaró	Road	Between Eskifjörður-Nordfjörður E-Iceland	0,44	25	Horse shoe	Andesite and interbed (tuff)	Drill and blast	77 (apr. '83) portal incl.)	'72	'77	Public Roads Authority	Client	Gunnar and Kjartan, Rúsígjan and Iceland Constructions	Geol. consultant: Dr. Th. Einarsson Univ. of Iceland
	Blanda	Hydro power	Blöndudalur N-Iceland	3,4	14-36 caverns + 350 m ²	Horse shoe	Thin basalts, ccm-scoria breccia and interbeds	Drill and blast		9/'84		Landsvirkjun National Power Co.	VST Consulting Engineers Reykjavik	Krafttak *)	*) Joint venture of Ellert Skulason, Iceland and Jernbeton, Norway.

2 Q - KERFIÐ

Norska berggreiningarkerfið (Q - kerfið, rock mass quality classification system) var fyrst kynnt 1974 (Barton et al. 1974) og hefur notkun þess farið stöðugt vaxandi erlendis. Berggreiningin felst í því að eftirfarandi sex þáttum bergsins eru gefnar einkunnir í tölum eftir ákveðnum reglum:

RQD	Heilleikastuðull bergsins
Jn	Fjöldi meginsprungustefna
Jr	Lögun og áferð veikustu sprunguflata
Ja	Gerð og þykkt veikustu sprungufyllinga
Jw	Jarðvatnsástand í berginu
SRF	Spennuástand í berginu

Töluleg gildi þessara þátta eru síðan sett inn í eftirfarandi jöfnu og talan Q (berggæði) reiknuð út:

$$Q = RQD/Jn \times Jr/Ja \times Jw/SRF$$

Reglurnar um einkunnagjöf þessara sex þátta eru þannig að jákvæðir eiginleikar bergsins hækka Q - gildið en neikvæðir lækka það. Líta má á berggæðin sem fall þriggja breyta sem eru gróft mat á eftirfarandi:

1	Stærð bergblokka	(RQD/Jn)
2	Skerstyrk milli blokka	(Jr/Ja)
3	Virkri spennu	(Jw/SRF)

Út frá Q - gildinum er berg síðan flokkað í 9 mismunandi gæðaflokka. Ennfremur er unnt, út frá Q - gildi, stærð viðkomandi jarðganga og mikilvægi þeirra (ESR gildi), að áætla styrkingarþörf í viðkomandi bergi (38 mismunandi styrkingaflokkar).

Kerfið er byggt á mælingum og athugunum í tæplega tvö hundruð neðan-jarðarmannvirkjum, flestum í Noregi og Svíþjóð.

Á Orkustofnun hefur kerfinu að mestu leyti verið beitt á borkjarna frá væntanlegum virkjunarsvæðum og í upphafi var farið nákvæmlega eftir notkunarreglum kerfisins. Fljótlega kom þó í ljós að reglur um einkunnagjöf hentuðu að sumu leyti illa stuðluðu gosbergi vegna hinna sérstöku eiginleika þess. Átti þetta sérstaklega við um stuðulinn Jn, fjöldi meginsprungustefna (joint set number) og þ.a.l. breytuna RQD/Jn. Þegar talað er um meginsprungustefnur í bergi er yfirleitt átt við samfelldar sprungur af tektónískum og öðrum uppruna sem oftast hafa nokkuð vel aðgreindar meginstefnur. Þessar meginsprungustefnur endurspeglar oft tektónískt ástand viðkomandi svæðis. Í stuðluðu gosbergi (sérstaklega basalti) eru langflestar sprungur aftur á móti ósamfelldar kólnunarsprungur (cooling joints) með stefnur sem á engan hátt eru háðar tektónísku spennuástandi. Engu að síður hafa þessar sprungur veruleg áhrif á hegðun og stæðni bergs í jarðgöngum og sem dæmi þá er vinnsluhæfni smástuðlaðs basalts (kubbabergs) í jarðgöngum allt önnur en stórstuðlaðs basalts.

Meginsprungustefnur í bergi eru yfirleitt fundnar og settar fram á grafískan hátt með því að setja niðurstöður sprungumælinga inn á sprungurósir, stefnu- og hallalínurit eða sýndar með stereógrafískri hvolfvörpun. Út frá þessum myndum er síðan hægt að sjá fjölda megin-sprungustefna. Stefnu- og hallalínurit og Schmidt - hvolfvörpun voru notuð við úrvinnslu á þeim sprungumælingum sem greint er frá í þessari skýrslu en þær eru allar gerðar í stuðluðu gosbergi, aðallega basalti (viðauki III). Í ljós kom að í heild eru kólnunarsprungurnar langflestar brattar (70 - 90 gráður) og hafa nær tilviljunarkennda stefnu-dreifingu. Út frá þessum myndum var því ekki hægt að ákveða gildin á J_n á viðunandi hátt. Að lokum var sú leið valin að ákveða föst gildi á J_n fyrir hverja berggerð fyrir sig burtséð frá reglum Q- kerfisins. Þessi gildi eru sýnd í viðauka II ásamt algengum gildum fyrir aðra þætti kerfisins.

Stuðullinn RQD þarfnast vart skýringar en vegna þess sem á eftir kemur þykir rétt að útskýra hann stuttlega. RQD (rock quality designation) er mælikvarði á það hversu sprungið bergið er. RQD er yfirleitt reiknað (mælt) sem hlutfallið milli samanlagðrar lengdar sprungufjarlægða sem eru 10 cm eða lengri á mótí heildarlengd mæli-línu:

$$RQD(t) = 100 \quad l(t)/L$$

þar sem t er þröskuldsgildið (oftast 10 cm), $l(t)$ er samanlögð lengd allra sprungufjarlægða $> t$ og L er heildarlengd mæli-línu. Þröskulds-gildið 10 cm þarf þó ekki alltaf að eiga við.

Yfirleitt er gert ráð fyrir að dreifing sprungna í bergi fylgi dreififallinu:

$$f(x) = c \cdot e^{-cx}$$

þar sem $f(x)$ er tíðni sprungufjarlægðarinnar x og c er meðalfjöldi sprungna á fjarlægðareiningu þ.e. $c = 1/d$ þar sem d er meðalfjarlægð milli sprungna. Ef gert er ráð fyrir að þessi dreifing gildi þá fæst að fræðilegt RQD gildi er:

$$\begin{aligned} RQD'(t) &= 100 \int_t^{\infty} f(x) dx = 100 (ct + 1) e^{-ct} \quad \text{eða} \\ RQD'(t) &= 100 (t/d + 1) e^{-t/d} \end{aligned}$$

Með því að bera saman RQD (mælt) og RQD' (fræðilegt) sést hversu vel náttúruleg sprungudreifingin fylgir fræðilegu dreifingunni. Frávik og útlit RQD miðað við RQD' gefur til kynna sérkenni viðkomandi bergs og gæti verið mikilvægt í sambandi við vinnsluhæfni og stæðni bergs í jarðgöngum. Frekari athuganir og reynsla í jarðgangagerð hérlendis er forsenda þess að hægt sé að henda reiður á þetta samband.

Einkunnagjöf fyrir þættina Jr og Ja hefur einnig verið breytt lítillega en mat á gildum fyrir J_w og SRF eru samkvæmt upprunalegum reglum kerfisins (sjá viðauka II og heimild (1)).

3 VINNUAÐFERÐIR OG ÚRVINNSLA

Eins og áður sagði voru athuguð öll meiriháttar jarðgöng sem hægt var að komast í með góðu móti en þau eru:

Aðkomugöng Írafossvirkjunar
Hjálpargöng Búrfellsvirkjunar
Aðkomugöng og stöðvarhús Laxárvirkjunar
Stöðvarhús Grímsárvirkjunar
Veggöngin í Oddskarði og
Veggöngin í Strákum.

Á hverjum stað var byrjað á því að kortleggja lauslega viðkomandi göng og flokka bergið í bergtæknilegar einingar. Ef um styrkingar var að ræða í göngunum var gerð þeirra og staðsetning skráð. Síðan voru valdir nokkrir dæmigerðir staðir í hverjum göngum og sprungumælingar framkvæmdar þar. Sprungumælingarnar fóru þannig fram að málband var fest á gangaveggina (ýmist lárétt eða lóðrétt) og síðan skráð fjarlægð hvernar sprungu frá upphafspunkti sem skar mælilínuna, stefna og halli hvernar sprungu mæld og skráð, gerð og lögun sprungna, áferð sprunguflata, gerð sprungufyllinga, vatnsástand o. fl. Að þessu loknu voru aðrir þættir Q-kerfisins metnir og skráðir og loks teknar ljósmyndir af hverri mælilínu. Magn og gæði upplýsinga frá hverjum stað eru mjög mismunandi. Þar sem aðstæður eru góðar (t.d. hjálpargöng Búrfellsvirkjunar) eru gögn nægileg og áreiðanleg en þar sem aðstæður eru mjög slæmar (t.d. í Strákagöngum) eru gögnin fremur rýr. Þess skal getið að allar sprungumælingarnar eru gerðar í stuðluðu gosbergi (aðallega basalt), allt frá smástuðluðu (kubbabergi) til stórstuðlaðs.

Úrvinnsla gagna fór í flestum tilvikum þannig fram að niðurstöður kortlagningar voru settar fram á þar til gerð eyðublað (sjá t.d. mynd 3 og skýringar á mynd 4). Styrkingar í göngunum voru merktar inn á sama eyðublaðið. Unnið var úr gögnum sem sneru að Q-kerfinu sjálfu og reiknuð út einkunnin Q fyrir hverja mælilínu og skráð á fyrrnefnt eyðublað. Þessu næst var farið í styrkingarspá frumheimildar Q-kerfisins (Barton et al. 1974) og kannað hvaða styrkingum væri mælt með fyrir viðkomandi berg í jarðgöngum af sömu stærð. Þessi styrkingarspá var síðan skráð á sama eyðublaðið (sjá mynd 3). Á þennan hátt var talið að best mætti kanna hvort Q-kerfið gæfi raunhæfa mynd af styrkingarpörf í dæmigerðu íslensku bergi. Í stuttu máli sagt kom í ljós að kerfið var fremur íhaldssamt þ.e. það gerði oft ráð fyrir meiri bergstyrkingum en þörf var á. Í ljósi þessarar niðurstöðu hefur notkunarreglum kerfisins verið lítilllega breytt eins og áður sagði. Þó að styrkingarspá kerfisins sé notuð hér við samanburð þá er ekki mælt með að hún sé notuð nema við áætlanagerð á forhönnunarstigum mannvirkja.

Gögnin sem fengust úr sprungumælingunum (fjarlægð, stefna og halli sprungna) voru keyrð í gegnum tvö tölvuforrit. Fyrst voru þau keyrð með svokölluðu Schmidt-forriti sem skilar gögnunum út á formi tveggja línurita (stefnu- og halla-súlurit) og stereógrafískri hvolfvörpun (Schmidt-net). Netið táknar neðri hluta hálfkúlu þar sem hver punktur er póll einnar sprungu (brotflatar). Póllinn er hornréttur á flötinn

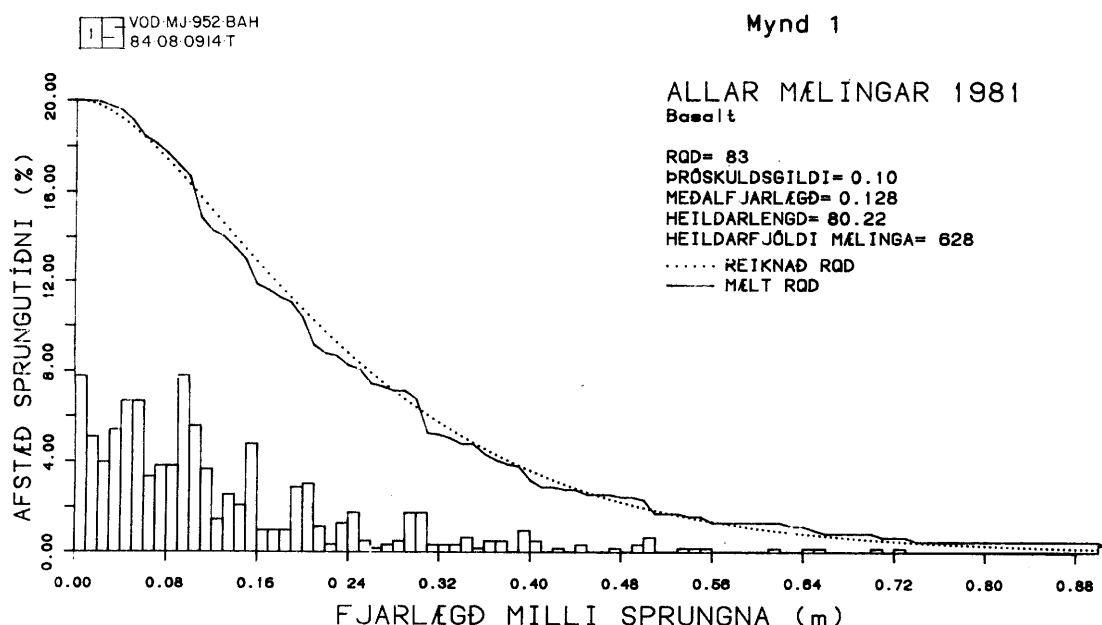
og gengur í gegnum miðpunkt kúlunnar. Tölugildin á Schmidt-netunum (sjá viðauka III) eru svæðisbundin og tákna hundraðshluta mældra sprunguflata x 10 þannig að talan 87 t.d. táknar 8,7% af heildarfjölda mælinga. Jafngildislínur eru ekki dregnar inn á netin.

Eins og við var að búast í stuðluðu basalti, þá sýna stefnu-súluritin mikla dreifingu í strikstefnu brotflata (viðauki III). Í reglulega stuðluðu basalti koma fyrir allar strikstefnur með tiltölulega jafna dreifingu. Frávik eða greinilegir toppar koma helst fram þegar basaltið er einnig tektónískt brotið og/eða straumflögótt eins og t.d. í stöðvarhúsi Grímsárvirkjunar.

Halla-súluritin sýna aftur á móti yfirleitt greinilega toppa á þann veg að brattar sprungur (70-90 gráður) eru algengastar (viðauki III). Vitað er að brattar og lóðréttar sprungur eru algengastar í reglulega stuðluðu basalti en hlutfall þeirra er sennilega ýkt á súluritunum. Ástæðan er sú að flestar mælilínur voru láréttar og þ.a.l. eru láréttar og lítið hallandi sprungur vanmetnar. Mælingarnar frá Grímsá eru þær einu sem sýna verulegt frávik frá þessari meginreglu en þar kemur til lítið hallandi flögun í berginu.

Stereógrafísku hvolfvörpin sýna það sama og súluritin en á annan hátt. Dreifing póllanna er mikil en þó má yfirleitt sjá 2-3 marktaka toppa frá hverjum mælistað fyrir sig (sjá viðauka III).

Hitt tölvuforritið sem notað var við úrvinnslu gagnanna teiknar línurit sem sýnir afstæða tíðni mismunandi sprungufjarlægða. Einnig reiknar forritið út m.a. meðalsprungufjarlægð og ber saman fræðilegt og mælt RQD við mismunandi þröskuldsgildi. Þrátt fyrir að hér sé um stuðlað gosberg að ræða, þá sýna niðurstöðurnar vel þá meginreglu að tíðni sprungna minnkar expónensíalt með aukinni fjarlægð milli þeirra þ.e. stutt bil á milli sprungna eru algeng en lengri bil fátíðari. Afstæður munur á milli fræðilegs og mælds RQD minnkar með auknum fjölda mælinga eins og við var að búast. Á mynd 1 er sýnt dæmi um tíðnilínurit þar sem teknar eru saman allar mælingar sem gerðar voru. Þar kemur fram dæmigert samband afstæðrar tíðni og sprungufjarlægða og einnig óvenju gott samræmi milli fræðilegs RQD (stærðfræðilíkingar) og mælds RQD (náttúrunnar). Hér á eftir verður stuttlega gerð grein fyrir öllum mælistöðunum sem athugaðir voru 1981.



4 JARÐGÖNG Í RAFOSSVIRKJUNAR

Þau göng sem hægt er að komast í með góðu móti í Írafossvirkjun eru svokölluð flutninga- eða aðkomugöng. Lausleg flatarmynd þeirra er sýnd á mynd 2. Göngin liggja niður á við með um 8 gráðu halla inn að suðvesturgafli stöðvarhússins. Skammt sunnan við stöðvarhúsið greinast þau í tvennt. Annar armurinn liggur inn í stöðvarhúsið en hinn umhverfis það og niður í svelt að norðan. Samanlögð lengd ganganna er um 230 m og þverskurðarflatarmál um 16 m². Þessi göng voru notuð meðan sprengt var fyrir stöðvarhúsi, aðrennslisæðum og svelt og einnig við að steypa upp stöðvarhúsið og við fódrun ganga og aðrennslisæða. Aðkomugöngin eru ófóðruð og ekki notuð við rekstur virkjunarinnar nema sem neyðarútgangur. Rannsóknunum, jarðfræðilegum aðstæðum og jarðgangagerðinni sjálfri hafa verið gerð góð skil (heimildir 16, 17, 18 og 19) og ekki ástæða til að endurtaka það hér.

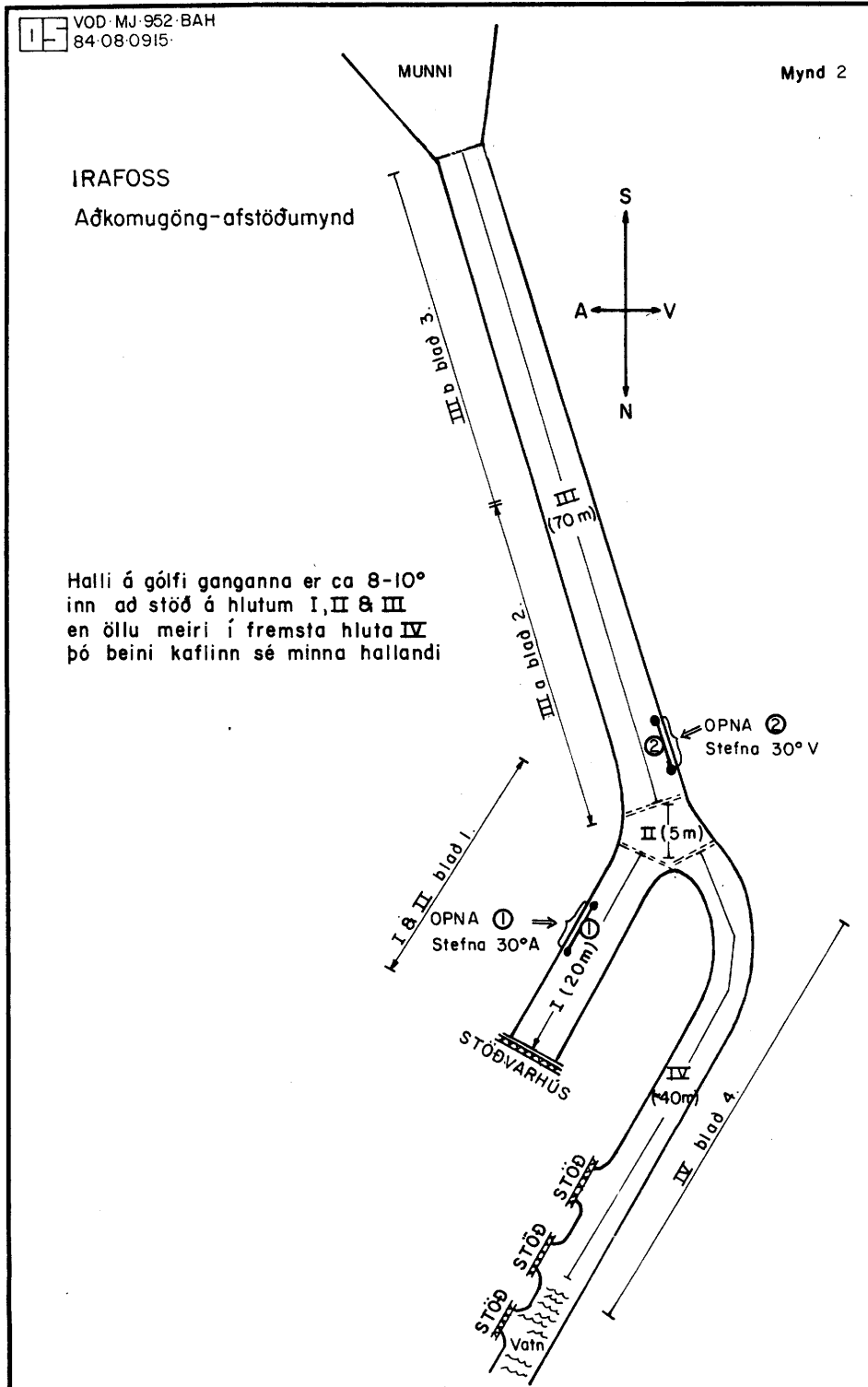
Kortlagning ganganna, niðurstöður berggæðamats, bergstyrkingar og styrkingaspá er sýnt á teikningu 3, blöðum 1 til 4 (skýringar við kortlagninguna eru á mynd 4). Göngin liggja að mestu í einu og sama basaltlaginu (10 - 20 m þykkt) sem er nánast lárétt. Lagi þessu má skipta í fjórar meginéiningar; neðstu 3 - 4 m eru stórstuðlaðir (stuðlar > 50 cm í þvermál), síðan tekur við millistuðlað basalt (stuðlar 15 - 50 cm í þvermál) og þar fyrir ofan er basaltið víða óreglulega og smástuðlað (kubbaberg, stuðlar < 15 cm í þvermál). Efst er svo misþykkur gjallkargi eða gjallbreksía. Á ljósmynd 1 sjást dæmigerð skil milli stór- og millistuðlaða hluta basaltsins. Ófangreind skipting basaltsins í "stuðlaflokka" er mikið notuð hér eftir.

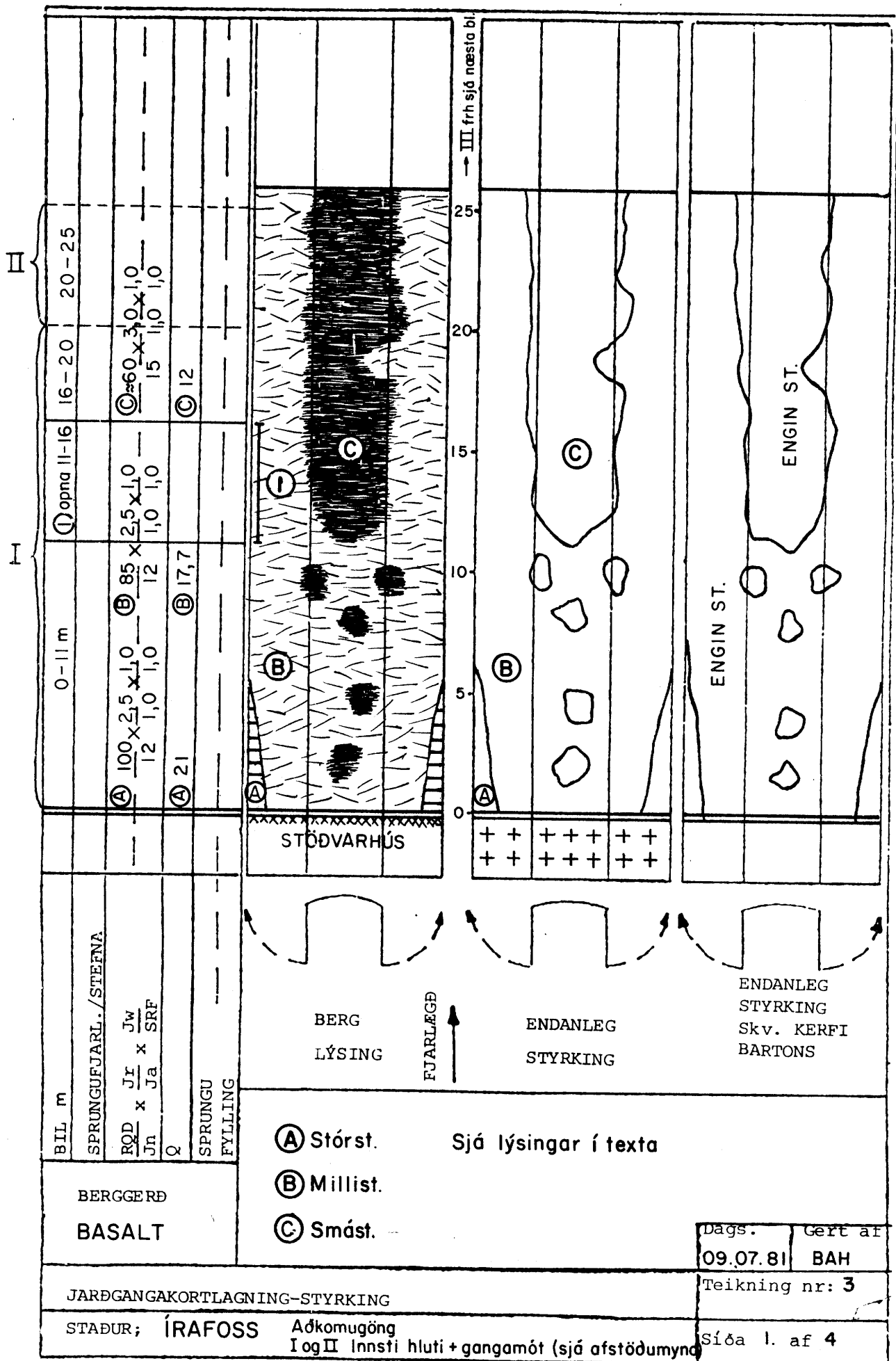
Leirfylltur gjallkarginn kemur aðallega fram yst í meginhluta ganganna (sjá mynd 3, blað 3). Karginn er að mestu gerður úr tvenns konar bergi; annars vegar gjall- eða hraunmolum og brotum sem eru 3 - 30 cm í þvermál og hins vegar dökku silti og leir sem er á milli basaltbrota. Basaltbrotin eru frauðkennd og flestar þórir fylltar ljósum leir og silti. Leirinn og siltið er hálfharðnað og fremur deigt ("plastískt") þannig að auðvelt er að skera það með hníf. Hluttur leirs og silts er allt að helmingur bergsins. Yfirleitt er reglulegt og bogadregið lag á göngunum í karganum og hann stendur vel. Á mynd 3, blaði 3, sést að Q - kerfið gerir ráð fyrir verulegum styrkingum í karganum sem ekki var þörf á.

Á þessu svæði í göngunum er einnig breksía en hún samanstendur af leirfylltum gjallkarga, litlum basaltbólstrum og óreglulega stuðluðum basalteitlum. Basaltbólstrarnir og -eitlarnir eru úr fremur þéttu bergi, jafnan 20 - 50 cm í þvermál og eru um helmingur af flatarmáli bergsins í göngunum. Á milli þeirra er mjög leirfylltur gjallkargi svipaður og lýst var hér á undan. Þessi breksía er hálf-samlímd og stendur þokkalega í göngunum en áferð hennar í veggjum og lofti er fremur hrjúf. Kortlagningareyðublöðin skýra sig að mestu leyti sjálf með hjálp myndar 4 og ekki er talin ástæða til að fjölyrða um þau frekar.

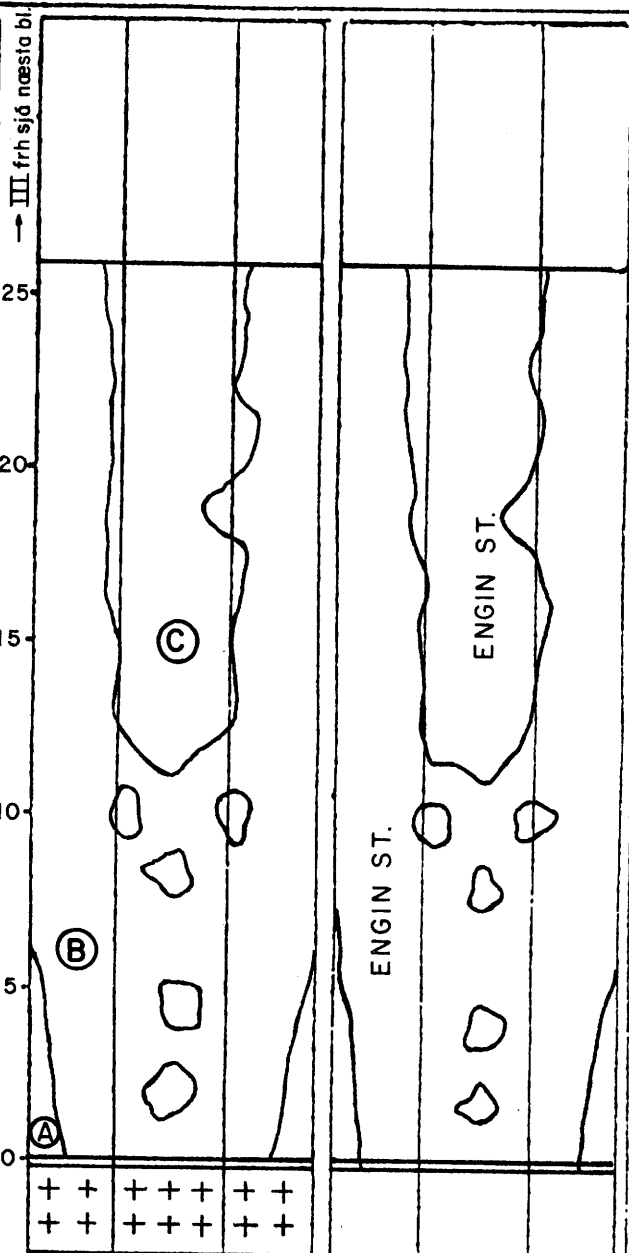
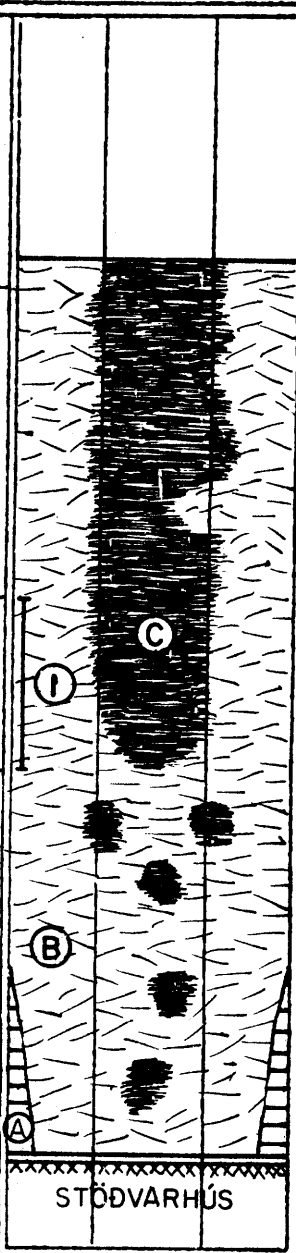
Göngin skera allmargar, leirfylltar sprungur (sjá ljósmyndir 2 og 3). Efnagreining á sprungufyllingu gaf til kynna tilvist "svellandi" klóríts (sjá staðsetningu á mynd 3, blaði 3). Úr sumum sprungunum seitlaði vatn en í heild virðast sprungurnar ekki hafa valdið teljandi vandræðum við gangagerðina m.a. vegna þess hve þvert göngin skera þær.

Sprungumælingar voru framkvæmdar á tveimur stöðum í millistuðlaða basaltinu (sjá ljósmynd 4 og staðsetningu mællína á mynd 2). Tíðnilínurit brotflata er sýnt á mynd 5 og þar sést m.a. að meðalsprungufjarlægð er 0,13 m. Útkoman úr Schmidt-forritinu er í viðauka III. Brattar til lóðréttar sprungur með jafna stefnudreifingu eru algengastar en einnig kemur fram afmarkaður hópur láréttra sprungna.





BIL m	0-11 m	16-20	20-25
SPRUNGUFJARL./STEFNA	Opna II-16		
RQD	100 x 2,5 x 1,0	60 x 3,0 x 1,0	
Ji x Jw	12 x 1,0	15 x 1,0	
Ja x SRF	12	1,0	1,0
Q	21	12	
SPRUNGU FYLING	B 17,7		



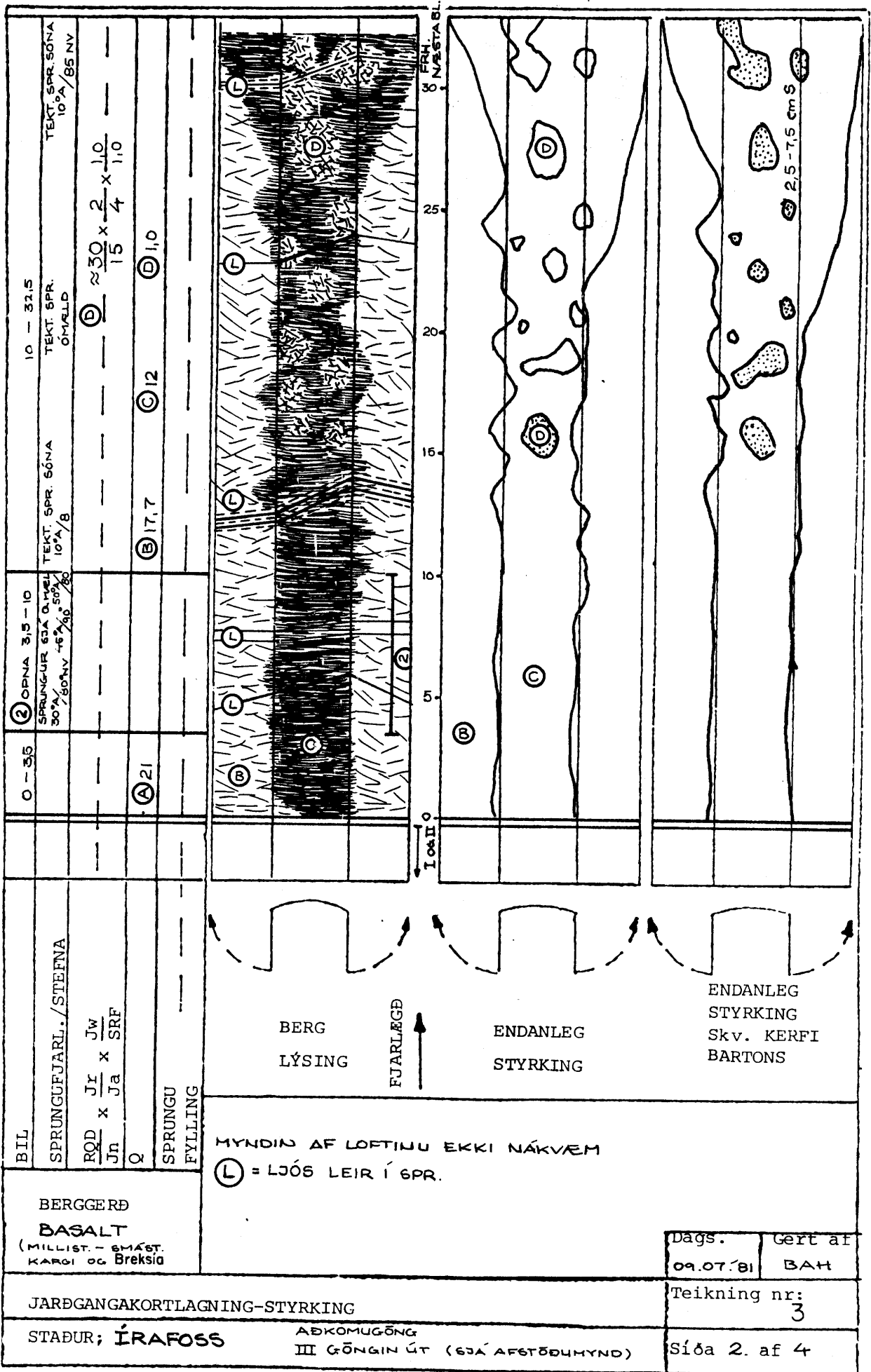
- (A) Stórst. Sjá lýsingar í texta
 (B) Millist.
 (C) Smást.

BERGGERÐ
BASALT

JARÐGANGAKORTLAGNING-STYRKING

STADUR; ÍRAFOSS Adkomugöng
I og II Innsti hluti + gangamót (sjá afstöðumynd)

Dags. Gert af
09.07.81 BAH
Teikning nr: 3
Síða 1. af 4



32,5 - 70

TEKT SPR. SÖNA 25% / 90° 25.7-75.5A

TEKT SPR. SÖNA 20% / 90°

TEKT SPR. SÖNA 25% / 90° 25.7-75.5A

"MEDIUM STRESS" BREYTTIST I "LOW STRESS"

≈ 70 x 2,0 x 2,5 / 6 2,0 3,0

VÖLUBERG

3,1,8

● 2 LEIRSYNI ÚR KARGA

ENGIN AKV. TÖKST.

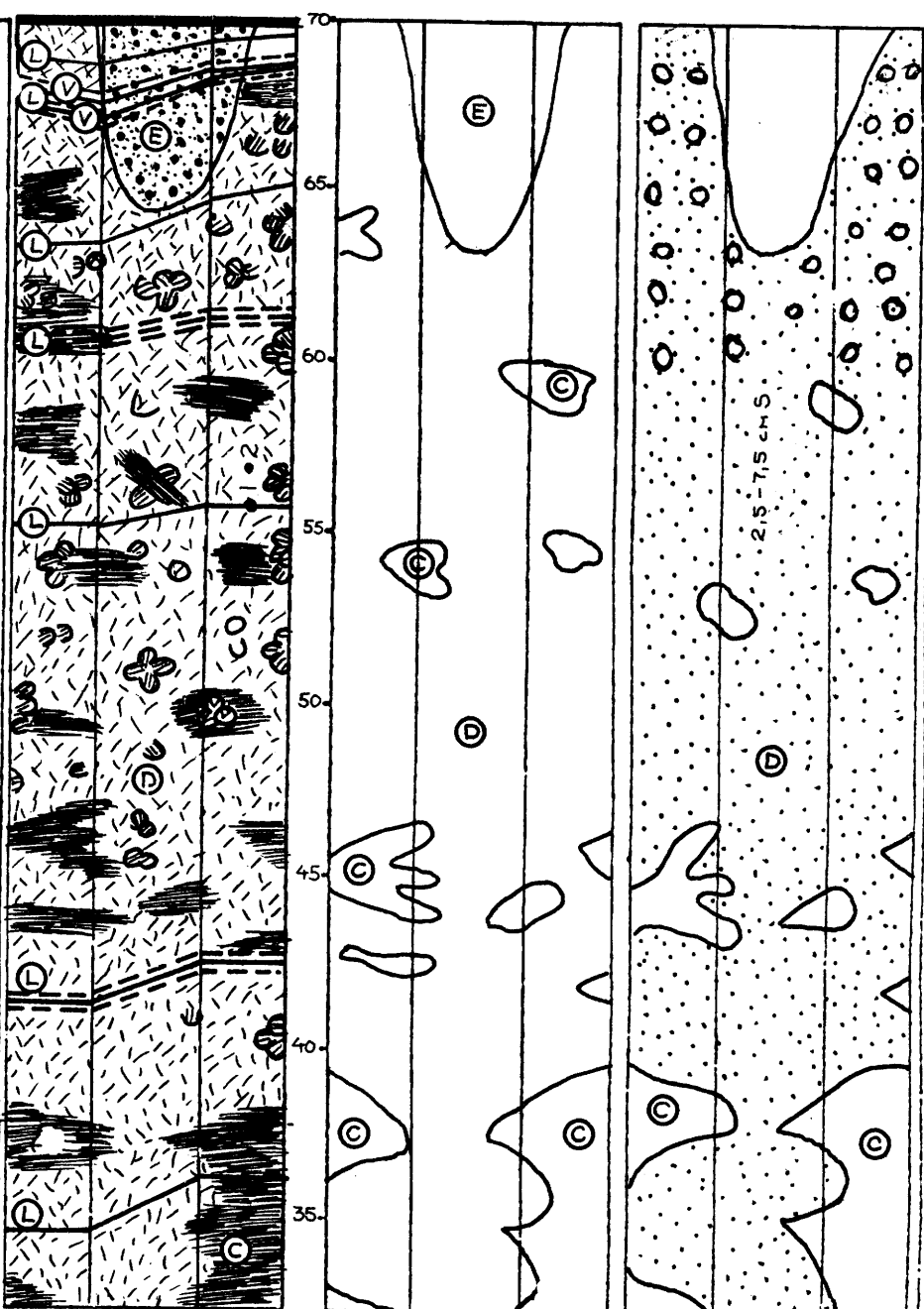
M.A. SWELLING CLORITE

● 1 LEIRSYNI ÚR SPR.

ENGIN STYRK.

● 10 (VERÐUR 6 NÆR OFI)

● 12 (VERÐUR 0,6 NÆR OFI)



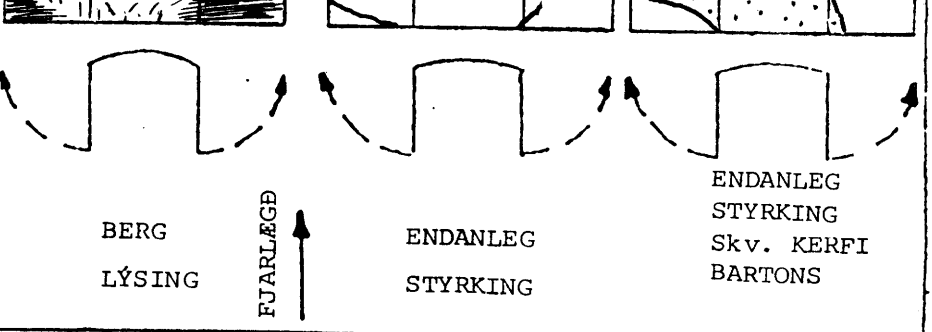
BIL

SPRUNGUFJARL./STEFNA

RD x Ji / Jn x Jw / Ja x SRF

Q

SPRUNGU FYLING



BERGGERÐ

BASALT

(MILLIST. - SMAST. - KARGI OG BREKSIU)

BRÚNN SANDST. Í LOFTI YST Í GÖNGUNUM MYNDIN AF BREKSIU EKKI NÁKVÆM

SENNILEGA ÞARF SKV. BARTON 2-3 CM SHOTC.

RD F. BREKSIU MJÖG BR. LEGT (≈ 70 → 10%)

ÞARF KERFISBOLTUN (1m) NÆR OFI VEGNA

HÆKKANDI SRF

⊙ = VATN BEYTLAR ÚR SPR.

Dags. 09.07. '81

Gerð af BAH

JARÐGANGAKORTLAGNING-STYRKING

Teikning nr: 3

STAÐUR; ÍRAFÖSS

AÐKOMUGÖNG III GÖNGIN ÚT (SJA AFSTÖÐUMYND)

Síða 3. af 4

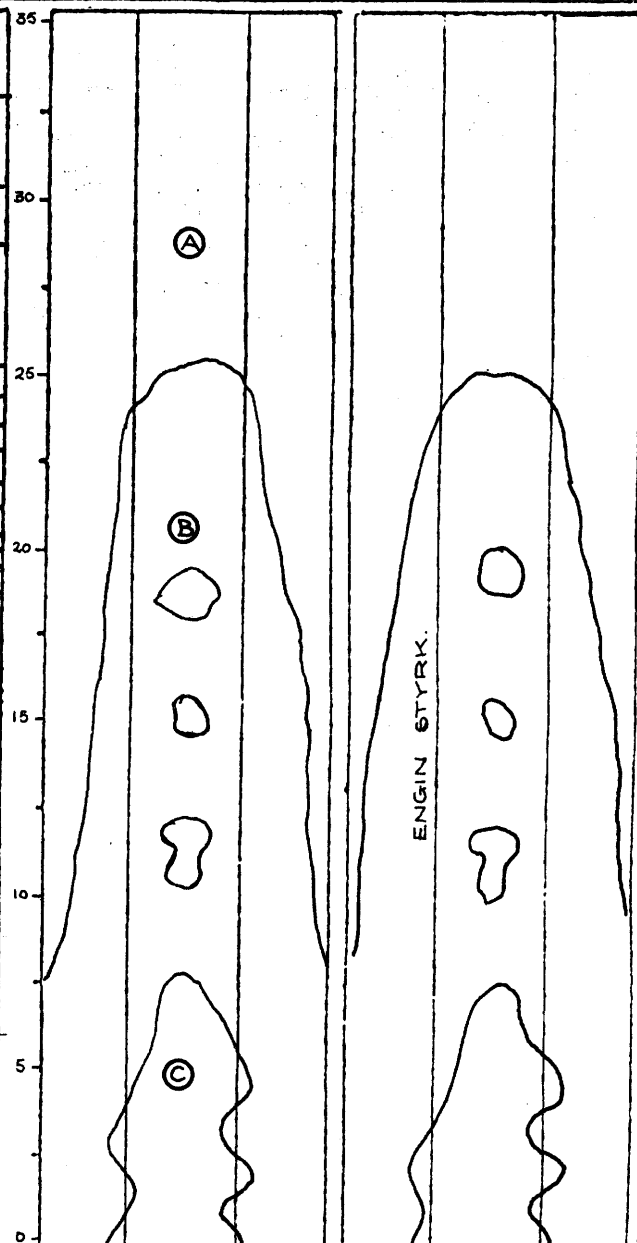
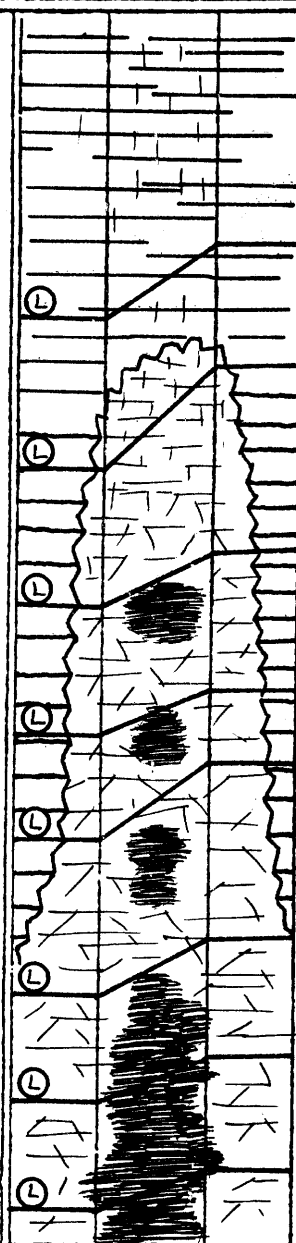
0 - 35 m

TEKTÓNÍK SPRUNGU EKKI MILDAR SÉRSTAKLEGA EN VORU A' 2-5 METRA FRESTI AD MEDALT. STEFNA '5-IS'A HALLI 88-90° NV

© 12

© 17,7

© 21

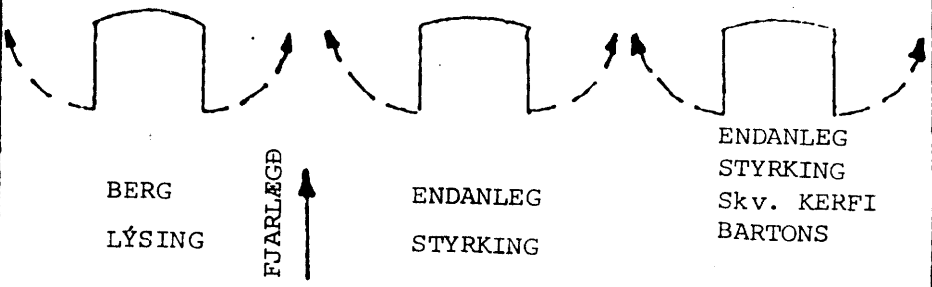


BIL

STRUNGUFAJRL./STEFNA

Jw	SRF
Ji x	
Jn x	Ja
Q	

SPRUNGU FYLLING



SKÝRINGAR: SJA LYSINGAR Í TEXTA

BERGGERÐ
BASALT
STÖRST. - MILLIST. -
SMÁST. -

Dags.	Gert af
10.07.'81	BAH

JARÐGANGAKORTLAGNING-STYRKING

Teikning nr:
3

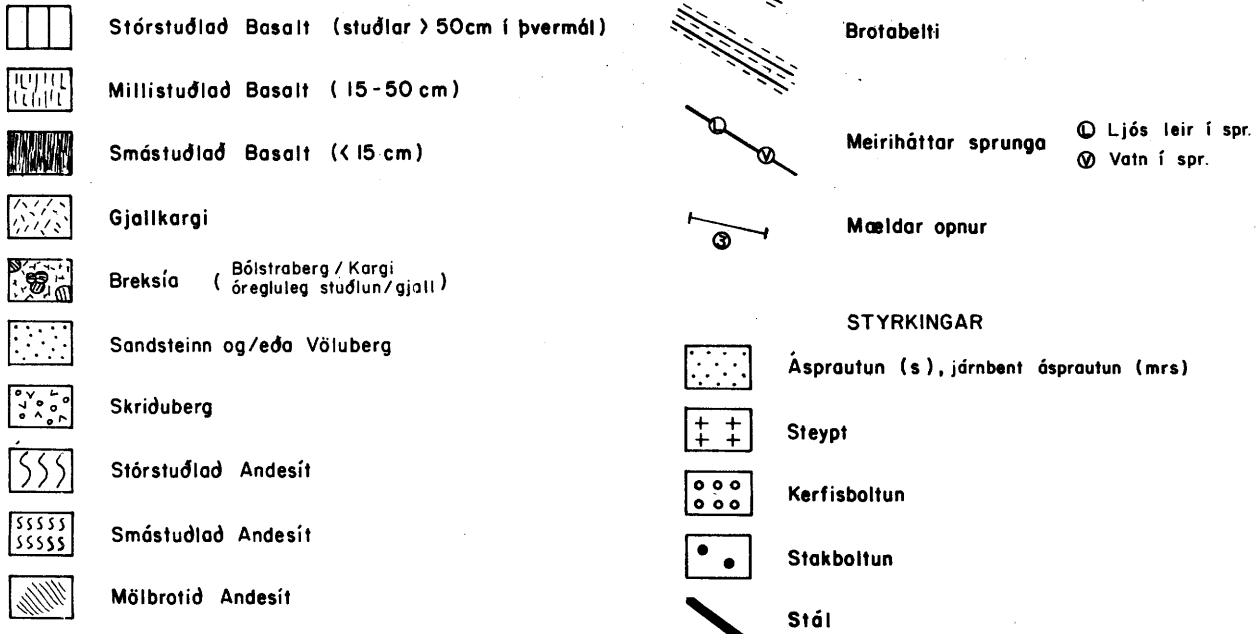
STAÐUR; ÍRAFOSS

GÖNG INN MED STÖÐVARHÚSI
IV (SJA AFSTÖÐUMYND)

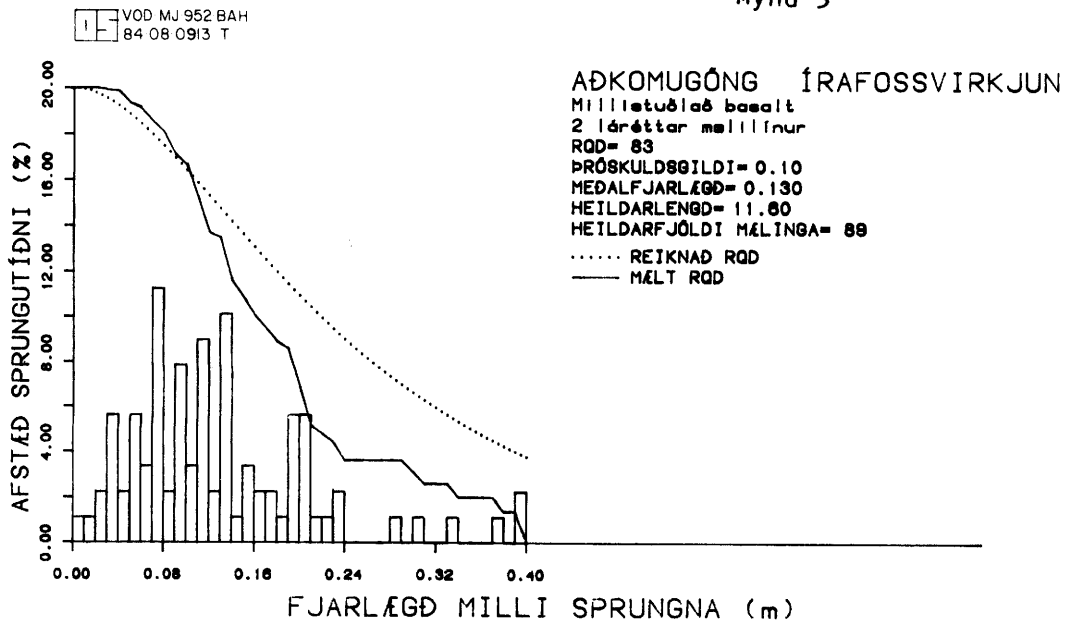
Síða 4 af 4

SKÝRINGAR VIÐ MYNDIR

Mynd 4

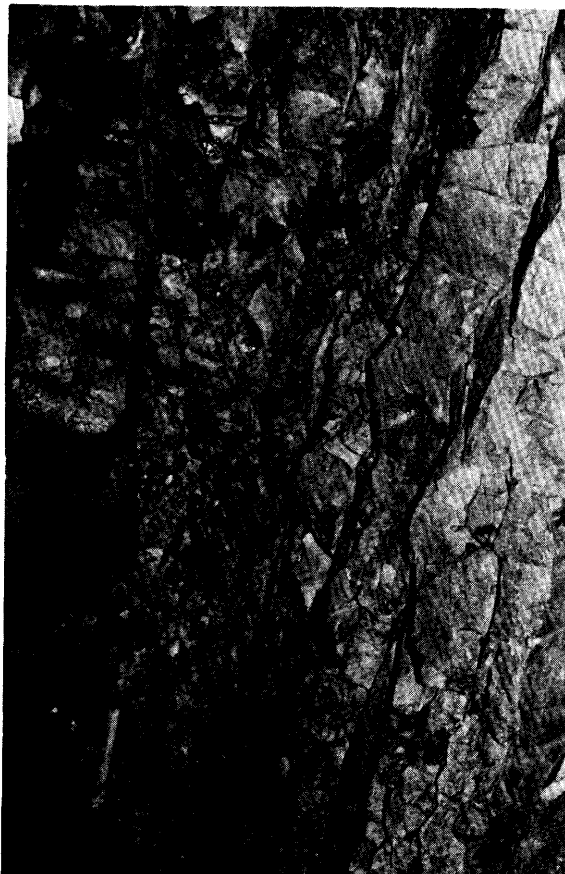


Mynd 5





Ljósmynd 1. Írafossvirkjun. Skil milli stór- og millistuðlaðs basalts. Myndin er tekin í vesturvegg inn við stöðvarhús.



Ljósmynd 2. Írafossvirkjun. Sprungubelti í smástuðluðu basalti. Sprungurnar eru fylltar leir og silti. Sjá staðsetningu efst á mynd 3, blaði 2.



Ljósmynd 3. Írafossvirkjun. Setfylltar sprungur í lofti ganganna nálægt munna. Grannbergið er sandsteins-völuberg.



Ljósmynd 4. Írafossvirkjun. Mælilína í reglulega millistuðluðu basalti. Sjá staðsetningu á mynd 2.

5 HJÁLARGÖNG BÚRFELLSVIRKJUNAR

Þessi göng eru í suðurhlíð Sámsstaðamúla og liggja þvert á aðrennslisgöng Búrfellsvirkjunar og voru notuð m.a. við útkeyrslu á efni úr þeim (sjá ljósmynd 5). Hjálpargöngunum hefur verið lýst áður (4) en aðrar helstu heimildir um jarðfræði og jarðgangagerð virkjunarinnar eru (5), (7), (8), (12), (13), (20) og (24).

Kortlagning hjálparganganna og niðurstöður Q-greiningar á helstu bergeiningum er sýnt á teikningu 6, blöðum 1-4. Göngin eru u.þ.b. 5 m á hæð, 7 m á breidd og 135 m á lengd. Steyptur forskáli er um 13 m langur. Göngin liggja í sex bergtæknilega mismunandi lageiningum en skera sennilega ekki nema tvö hraunlög og eitt setlag. Sýndarhalli nraunlaganna er um 15 gráður í stefnu ganganna (u.þ.b. N05E).

Fyrir innan forskála tekur við stórstuðlað basalt (stuðlar >50 cm í þvermál), fremur reglulega stuðlað (RQD = 100%) og ferskt. Göngin eru í þessu basalti um 20 m inn fyrir forskálann og án styrkinga. Vegna stuðlunar basaltsins er lögun ganganna fremur flatur bogi í lofti út að nær lóðréttum veggjum. Töluverðar yfirsprengingar eru samfara þessari gangalögun sem er mjög algeng í göngum í stórstuðla basalti.

Á bilinu 015-020 m (mælt frá innri enda forskála) kemur fram gróft setlag (skriðuberg) í lofti ganganna sem er sennilega það sama og sést í opnu úti fyrir ofan gangaopið (sjá ljósmynd 5). Setbergið stendur vel í göngunum og gefur góða þaklögun. Q - kerfið gerir ráð fyrir 2 - 3 cm þykkri steypuásprautun í setinu sem ekki var þörf á.

Við 020 m er meiriháttar sprunga eða misgengi sem sker göngin þvert á stefnu þeirra og hallar um 80 gráður út göngin. Fyrir innan þetta brot er gjallkennd og leirfyllt breksía í veggjum en millistuðlað basalt í lofti (stuðlar 15-50cm í þvermál). Breksía þessi er í veggjum frá gólfi til lofts frá 020 til 040 m en lækkar þá í veggjum og nær gólfi og er horfin í 058 m. Breksían er gerð úr fersklegum, köntuðum basaltmolum upp í 30-40 cm í þvermál. Basaltbrotin eru örðflótt, stakblöðrótt og holufyllt geislasteinum. Öll rúm milli basaltmola (u.þ.b. 20% heildarflatarmáls) eru fyllt ljósbrúnum leir. Sýni var tekið úr leirnum (sjá teikn. 6, blað 1) og efnagreint. Reyndist það innihalda m.a. montmorillonít I (smektít) sem er mjög þenjanleg leirsteind. Leirinn er linur og hægt er að plokka breksíuna auðveldlega niður úr veggjunum með hamri. Hluti breksíunnar er varinn með um 0,5 cm þykku ásprautulagi en Q - kerfið gerir ráð fyrir 2,5 - 5,0 cm steypuásprautun á alla breksíuna (sjá mynd 6, blað 1 og 2).

Ef RQD breksíunnar væri mælt í göngunum yrði það nokkuð hátt vegna sprungufæðar (sennilega 60-100%). Í borkjarna yrði RQD aftur á móti mjög lágt vegna þess hve breksían er veik (sennilega 0-30%). Þrátt fyrir lágan styrk breksíunnar þá hefur ekki mikil veðrun átt sér stað þar sem hún er óvarin.

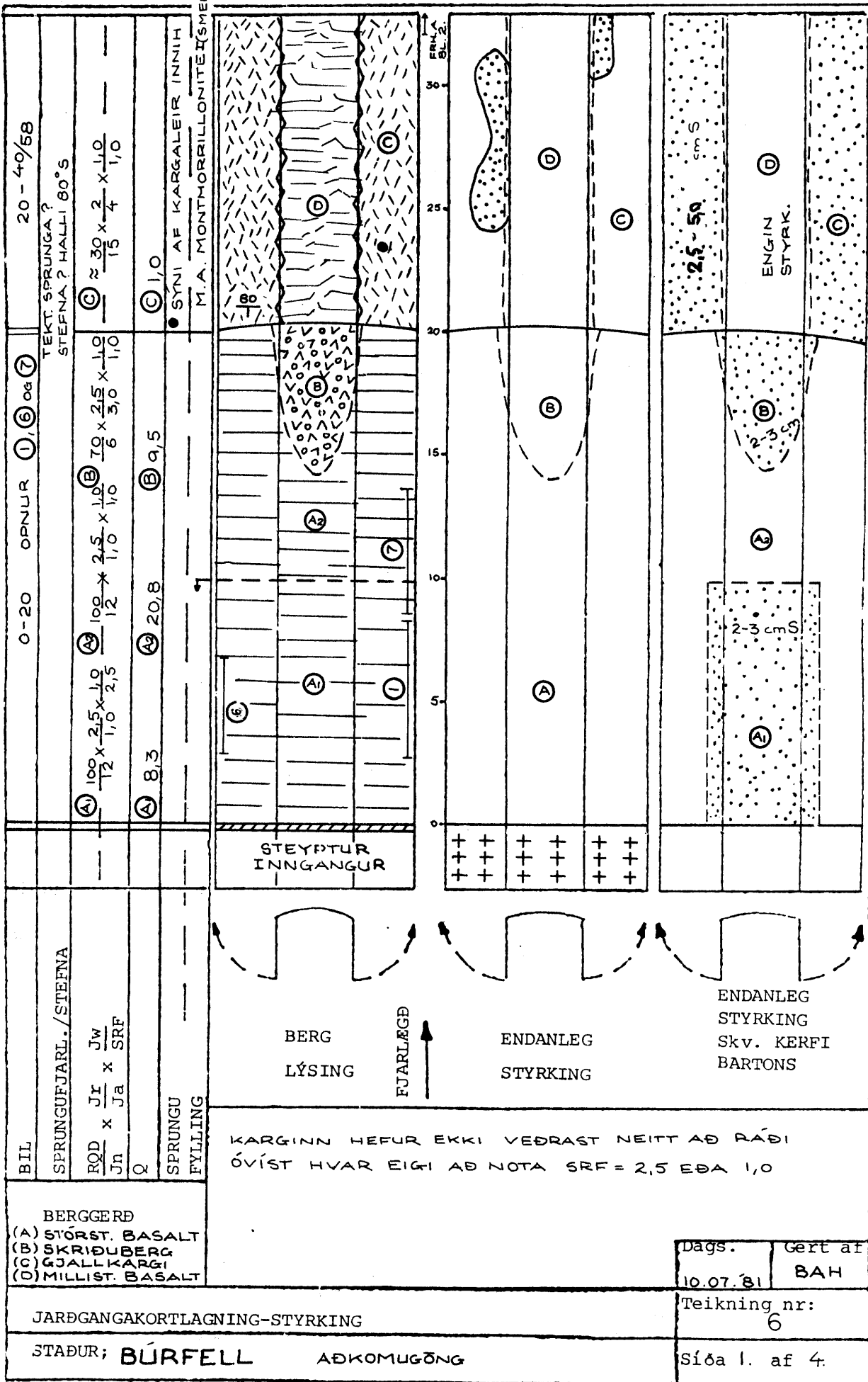
Millistuðlaða basaltið sem byrjar í lofti í 020 m tekur við af breksíunni í veggjum og nær inn að tæplega 090 m í lofti en fer niður veggina þar og er horfið í 110 m. Þetta basalt er víða nokkuð óreglulega stuðlað en stendur vel og gefur góða lögun. RQD mældist lárétt 80-90% en um 70-100% lóðrétt (sjá ljósmynd 6 og staðsetningu mællína á mynd 6, blaði 3). Ekki var þörf á neinni styrkingu í þessari berg-einingu.

Fyrir innan millistuðlaða basaltið tekur við óreglulega og smástuðlað basalt (kubbaberg). Þessi lágning tilheyrir sama basaltlaginu og millistuðlaða einingin og nær inn að 120 m í lofti en inn að enda ganganna í veggjum. RQD mældist 45-50% (staðsetning mælilína á blaði 4). Lögun ganganna er regluleg í kubbaberginu og engin styrking var notuð þar en Q - kerfið gerði ráð fyrir 2 - 3 cm steypuásprautun. Stundum hefur því verið haldið fram að kubbaberg eins sprungið og þetta sé slæmt jarðgangaberg. Reynslan af þessum göngum (7 m í þvermál), aðrennslisgöngunum í Sámsstaðamúla (þvermál 9-10 m) og aðkomugöngum Írafossvirkjunar (mesta þvermál í kubbabergi 7,5 m) sýna að kubbaberg stendur mjög vel og borast vel og þarf tiltölulega litla hleðslu. Ennfremur gefur það gott gangalag og lítið er um yfirsprenningar ef rétt er borað og hlaðið. Ekki er ólíklegt að bindingin í kubbabergi minnki með auknu þvermáli ganga sérstaklega ef bergþekja er lítil (lágur spennur).

Innstu 15-20 m gangaloftsins eru í lagmótagjallkarga (gjallbreksíu). Karginn stendur vel þótt hér og þar hafi steinar losnað úr loftinu. Engin styrking var notuð á þennann kafla en Q - kerfið gerir ráð fyrir 2,5 - 7,5 cm þykkri ásprautun.

Sprungumælingar voru gerðar í stór-, milli- og smástuðluðu basalt-einingunum. Sprungutíðnirit þessara þriggja eininga eru sýnd á mynd 7. Þar sést vel mismunandi tíðnidreifing sprungna í þessum þrem mismunandi basaltgerðum. Meðalsprungufjarlægð í stórstuðlaða berginu er 0,2 m, í millistuðlaða berginu 0,13 m (sama og í Írafossgöngunum, sjá mynd 5) og 0,05 m í smástuðlaða berginu (kubbaberginu). Í viðauka III eru súlurit yfir halla og stefnu brotflata auk Schmidt-netsins fyrir sömu berggerðir. Smástuðlaða basaltið sýnir meiri dreifingu í stefnu og halla sprungna heldur en milli- og stórstuðlaða bergið eins og búast mátti við.

Í byrjun júní 1984 gafst tækifæri til að skoða aðrennslisgöng Búrfellsvirkjunar en þá var vatni hleypt af þeim í fyrsta skipti frá gangsetningu. Göngin eru um 10 m í þvermál og um 1000 m löng. Þau liggja í sömu jarðmyndun og hjálpargöngin. Ljósmyndir 7 og 8 sýna dæmigert útlit ganganna í milli- og smástuðluðu basalti. Staðni er mjög góð í báðum þessum bergeiningum. Öll gjallbreksía í göngunum var ásprautuð.

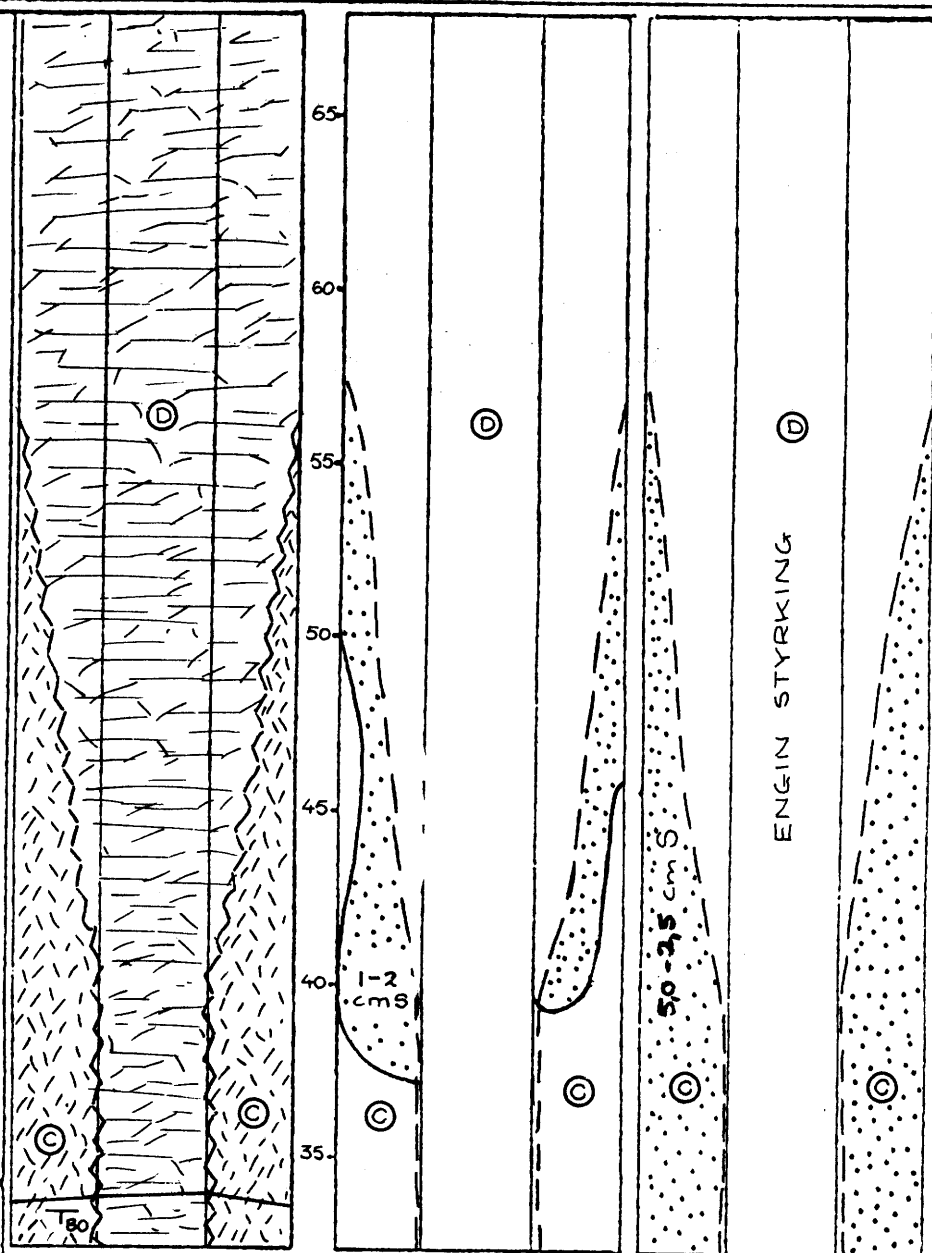


- BERGGERÐ
 (A) STÖRST. BASALT
 (B) SKRIDUBERG
 (C) GJALLKARGI
 (D) MILLIST. BASALT

KARGINN HEFUR EKKI VEÐRAST NEITT AÐ RÁÐI
 ÓVÍST HVAR EIGI AÐ NOTA SRF = 2,5 EÐA 1,0

Dags. 10.07.81 Gert af BAH

20 - 40/58 m



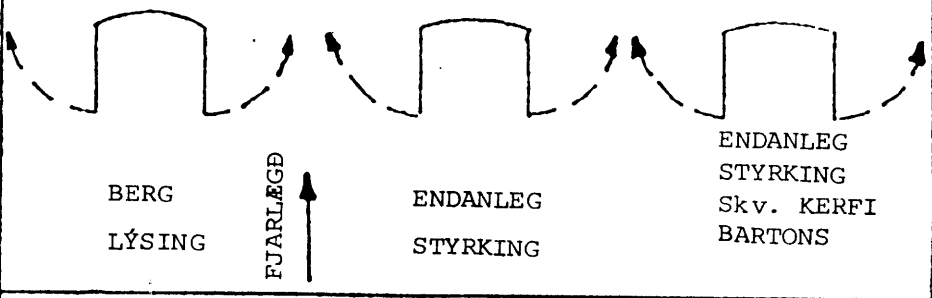
BIL

SPRUNGUFJARL./STEFNA

$\frac{RQD}{Jn} \times \frac{Ji}{Ja} \times \frac{Jw}{SRF}$

Q

SPRUNGU FYLLING



KARGINN HEFUR EKKI VEÐRAST MIKIÐ

BERGGERÐ

⊙ GJALLKARGI

⊙ MILLIST. BASALT

Dags.	Gert af
10.07.81	BAH

JARÐGANGAKORTLAGNING-STYRKING

Teikning nr: 6

STAÐUR; BÚRFELL AÐKOMUGÖNG

Síða 2. af 4.

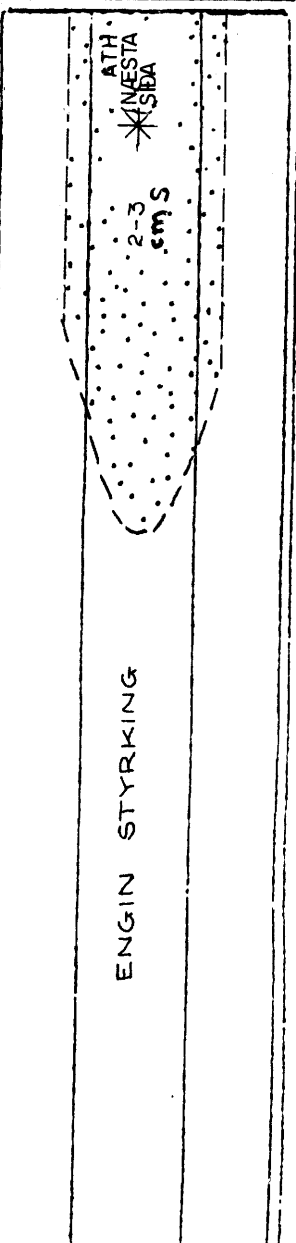
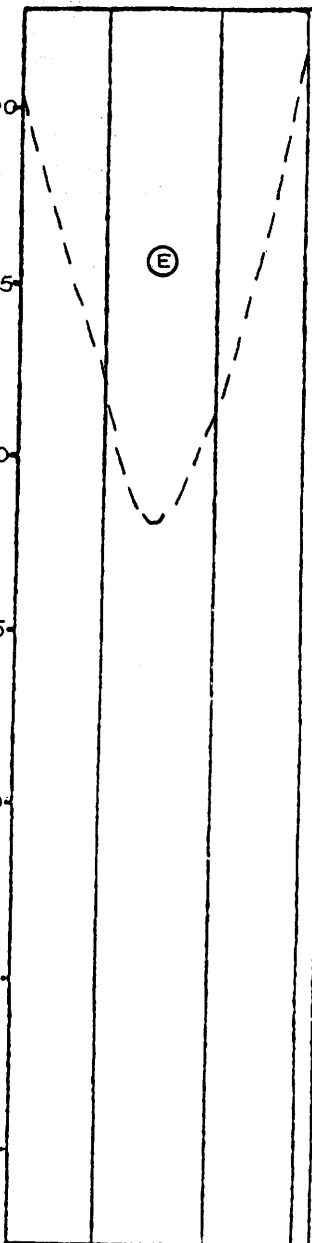
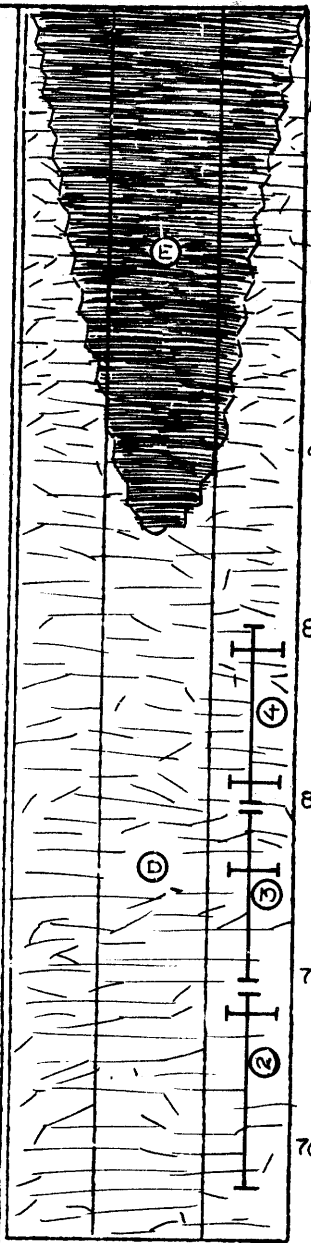
INNSTU
~ 50 m

"MEGINHLUTI GANGA" (→ "60-100 m")

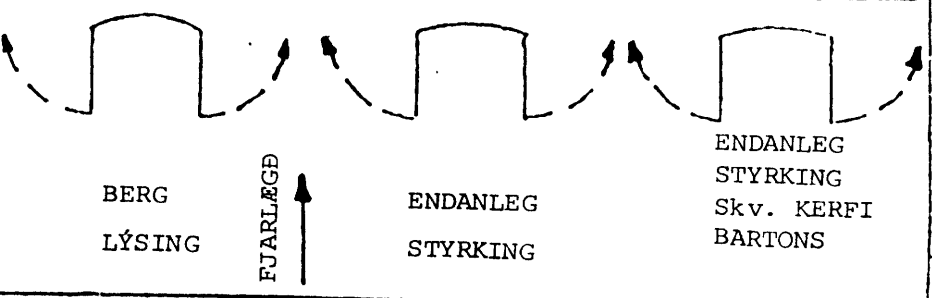
Ⓧ

Ⓧ $\frac{90}{12} \times \frac{2,5}{1,0} \times \frac{1,0}{1,0}$

Ⓧ 18,7



BIL
 SPRUNGUFJARL./STEFNA
 $\frac{RQD}{Jn} \times \frac{Ji}{Ja} \times \frac{Jw}{Ja} \times \frac{SRF}{SRF}$
 Q
 SPRUNGU
 FYLLING



Ⓧ BERGGERÐ
 Ⓧ MILLIST BASALT
 Ⓧ KUBBABERG
 (SHASTUOLAD BAS.)

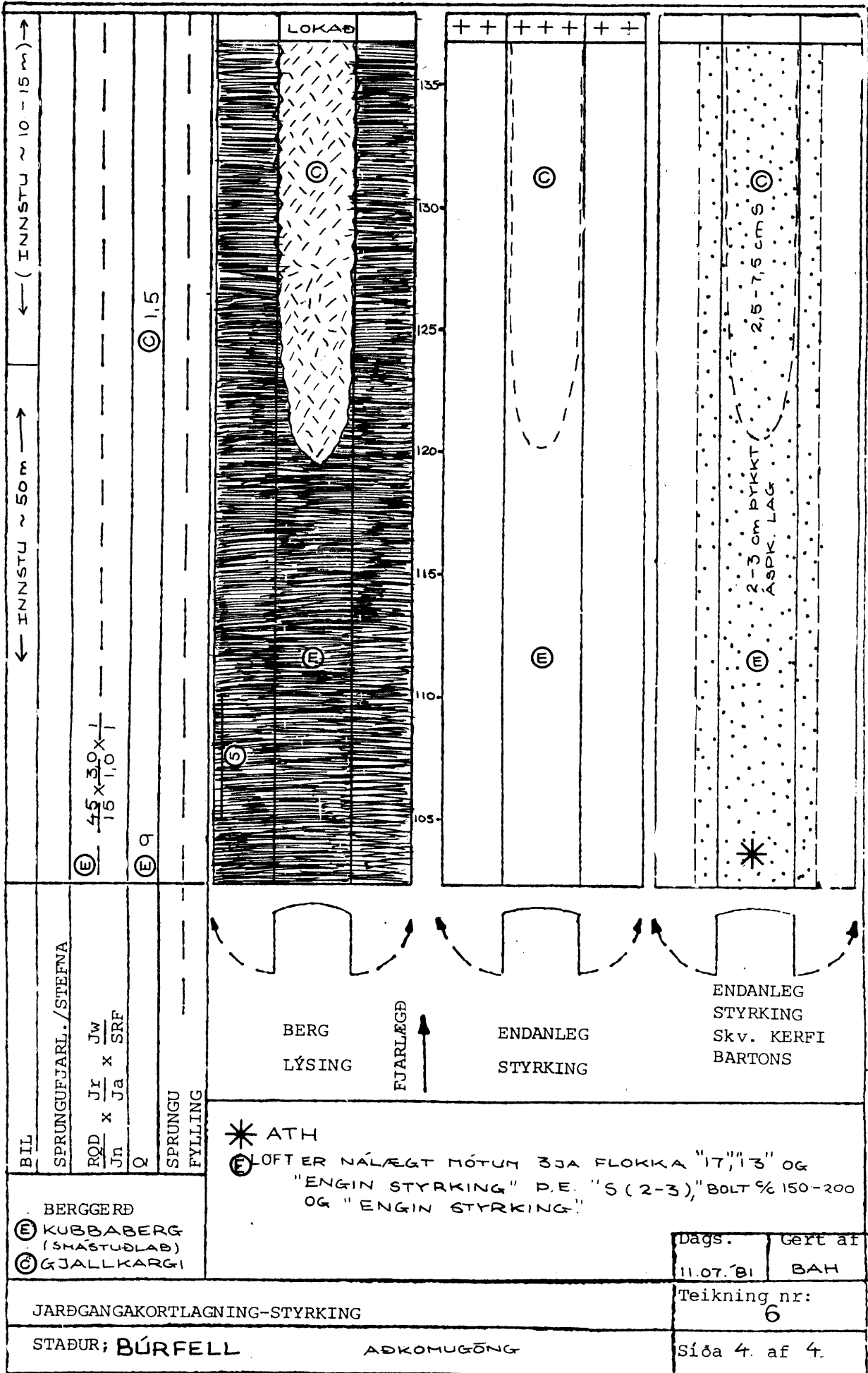
Dags. 10.07.81 Gert af BAH

JARÐGANGAKORTLAGNING-STYRKING

Teikning nr: 6

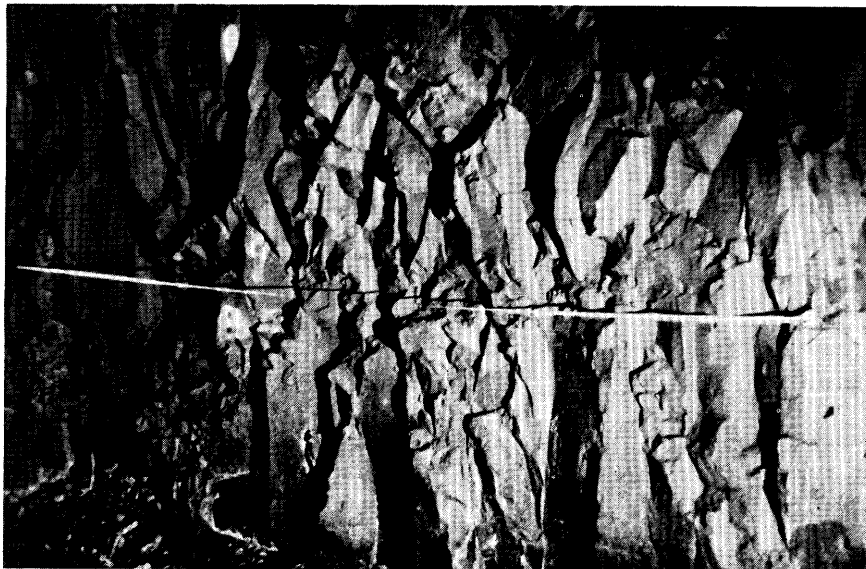
STAÐUR; BÚRFELL AÐKOMUGÖNG

Síða 3. af 4.





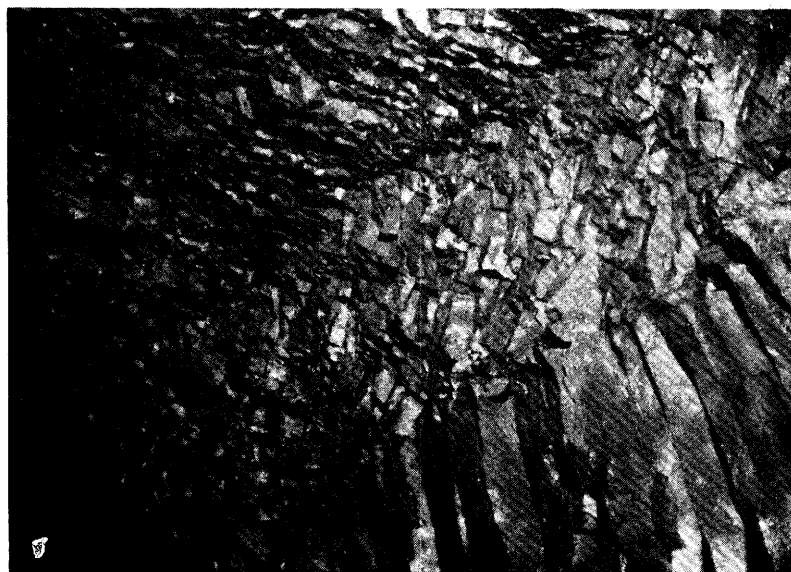
Ljósmynd 5. Hjálpargöng Búrfellsvirkjunar. Norðurhlíð Sámsstaðamúla. Skiptingin í basaltlögnum sést vel þ.e. reglulega stuðlaður neðri hluti og smástuðlaður efri hluti (kubba-berg). Neðst er hnúllungabergr.



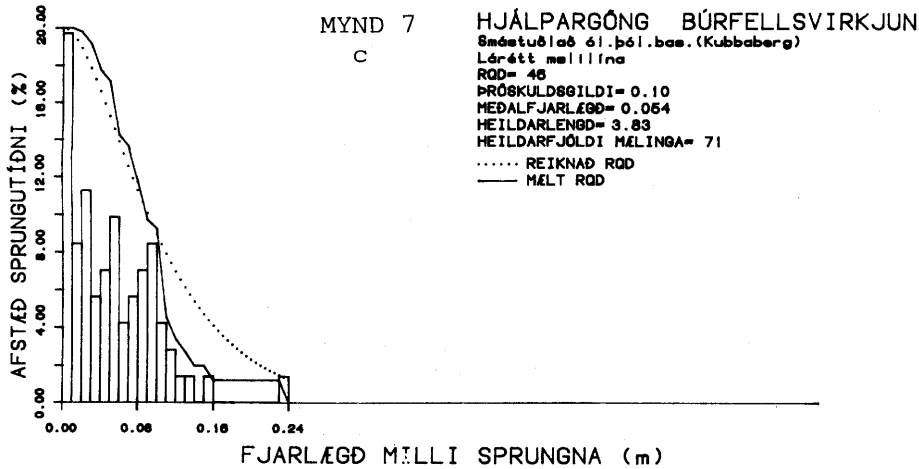
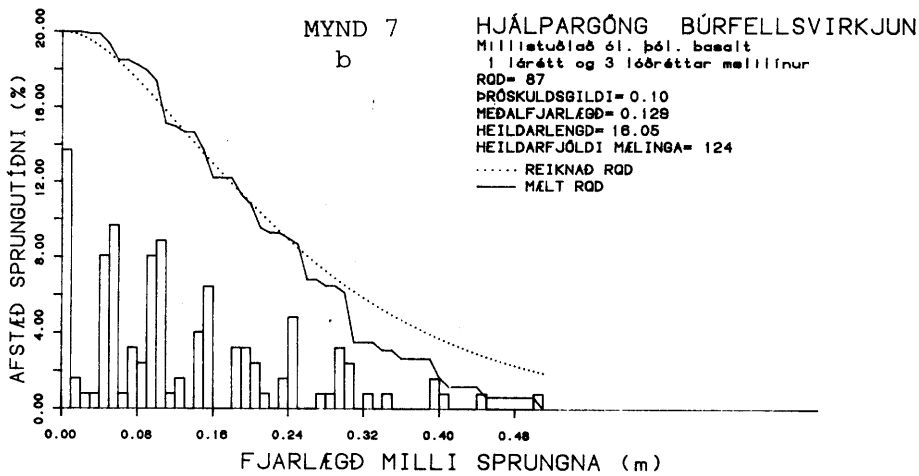
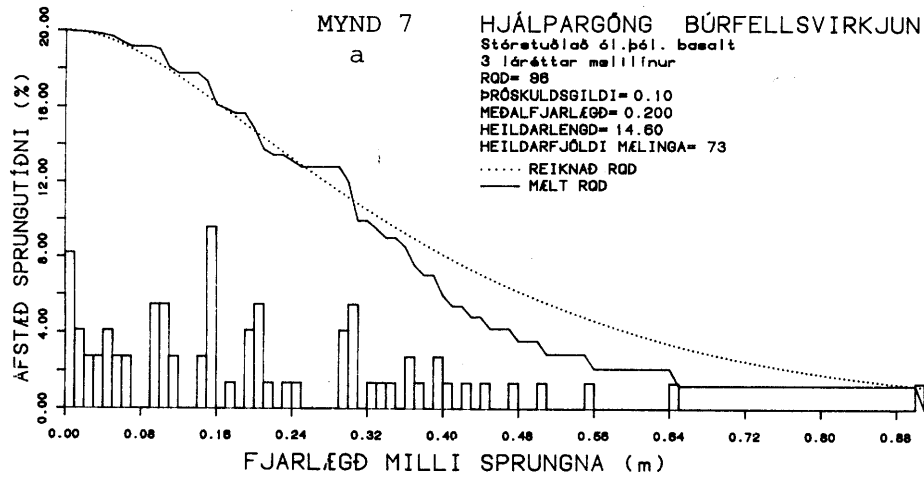
Ljósmynd 6. Hjálpargöng Búrfellsvirkjunar. Mælilína (5 m löng) í millistuðluðu basalti (sjá staðsetningu á mynd 6, blaði 3).



Ljósmynd 7. Aðrennslisgöng Búrfellsvirkjunar. Millistuðlað basalt í neðri hluta veggjar en kubbaberg í efri hluta veggjar og lofti.



Ljósmynd 8. Aðrennslisgöng Búrfellsvirkjunar. Millistuðlað basalt í vegg en kubbaberg í lofti.



6 JARÐGÖNG LAXÁRVIRKJUNAR

Göngin sem skoðuð voru í Laxárvirkjun eru aðkomugöng að stöðvarhúsi, stöðvarhús, aðkomugöng að lokahúsi og lokahús. Jarðfræðilegum aðstæðum og jarðgangagerðinni við Laxá III hafa verið gerð skil í (6), (10) og (11).

Á mynd 8 er sýnd grunnmynd og þversnið í stöðvarhúsið. Mynd 9 sýnir lauslega kortlagningu stöðvarhússveggja. Stöðvarhúsið er að mestu leyti í einu og sama stórstuðlaða basaltlaginu sem er fínkornótt, blöðrótt og yfirleitt nokkuð ferskt. Við suðurgafli stöðvarhússins er bergið þó verulega ummyndað og feyskið. RQD basaltsins er víðast 90--100% og stuðlasprungur flestar skæðar eða fylltar ljósum leir allt að 1 cm á þykkt. Á stöku stað eru 10-35 cm stórar glufur í berginu fylltar grænleitum leir. Stöku samfelldar sprungur eru í veggjum og í norðurgafli er einn meiriháttar brotflötur sem nær frá gólfi til lofts (sjá mynd 9). Hann er bylgjóttur, fremur sléttur með 10-15 cm þykkri leirfyllingu. Á einum stað í austurvegg er ásprautaður kafli frá gólfi til lofts sem sennilega er vatnsleiðandi sprungubelti, jafnvel sami brotflötur og er í norðurgafli. Í norðurgafli sér í efra borð basaltlagsins (A2 á mynd 9) og er það fremur gjallkennt og brotið. Ofan á basaltinu er um 2 m þykkt, vel samlímt túfflag. Þar fyrir ofan sér í annað basaltlag (lag C á mynd 9). Engar sprungumælingar voru gerðar í stöðvarhúsi. Lauslegar athuganir benda til þess að Q - kerfið geri ráð fyrir mun meiri styrkingum í veggjum stöðvarhússins en þörf var á.

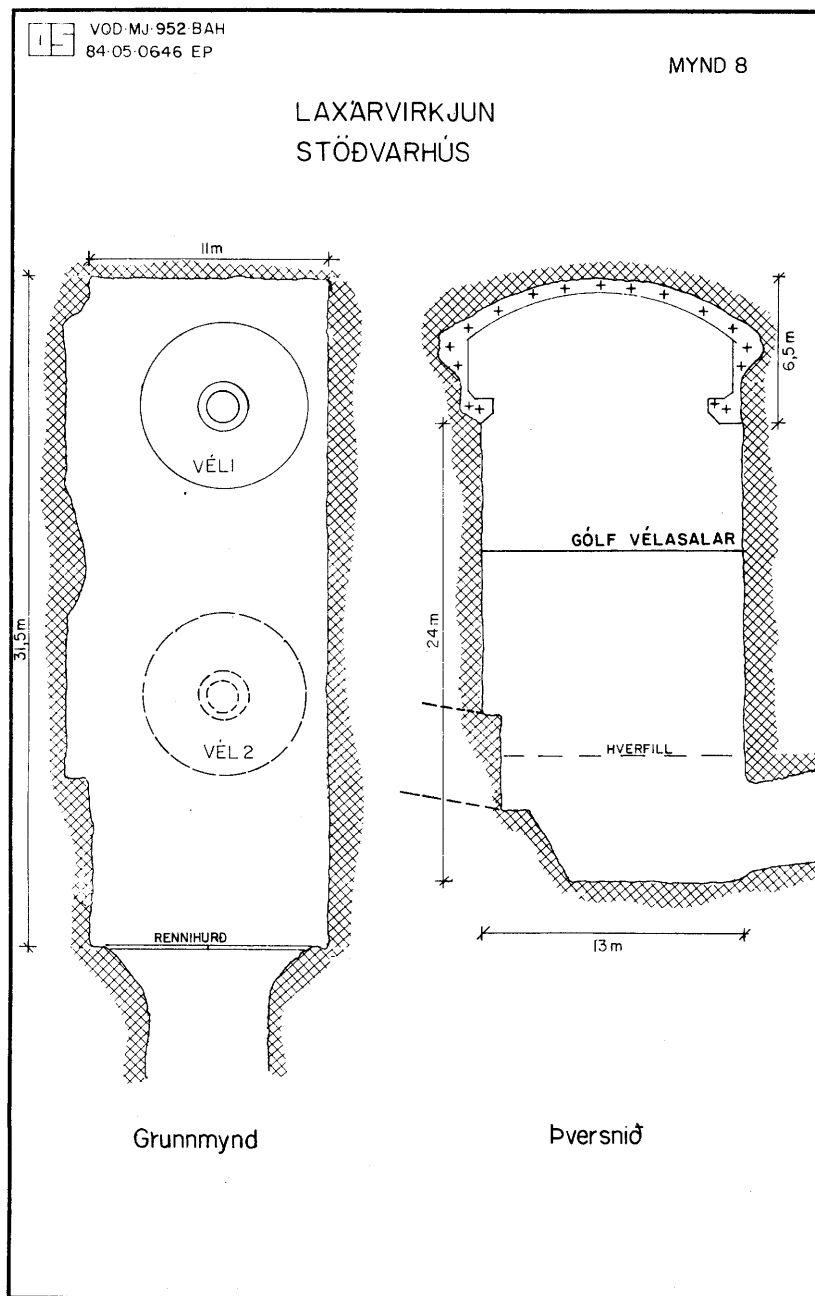
Á mynd 10 er lausleg afstöðumynd af aðkomugöngum að stöðvarhúsi og lokahúsi og á mynd 11 (blöð 1-2) eru niðurstöður kortlagningar og berggæðamats í báðum göngunum. Bergið í aðkomugöngum að stöðvarhúsi er fremur ferskt, milli- til stórstuðlað basalt (mynd 11, blað 1). Bergið er þétt og stuðlasprungur eru bylgjóttar, fremur sléttar og allt að 5-6 m langar (sjá ljósmyndir 9 og 10). Í sumum sprungum eru ósamfelldar, ljósbrúnar silt-leir fyllingar. Stuðlafletir eru allt að 2 m í þvermál og RQD er að jafnaði 90-100 % í þessu bergi. Í norðurenda ganganna næst stöðvarhúsi, eru veggir og hluti lofts þakið sprautusteypu. Þarna er sennilega um að ræða gjallkennt eða mjög brotið berg. Óstyrkti hluti ganganna er í einu og sama basaltlaginu sem sennilega er sama basaltið og stöðvarhúsið er í þó bergið sé þéttara og fersklegra í aðkomugöngunum. Göngin skera a.m.k. eina meiriháttar sprungu eða misgengi (mynd 11, blað 1). Göngin eru þurr. Samkvæmt Q - kerfinu þarf ekki að styrkja þetta basalt.

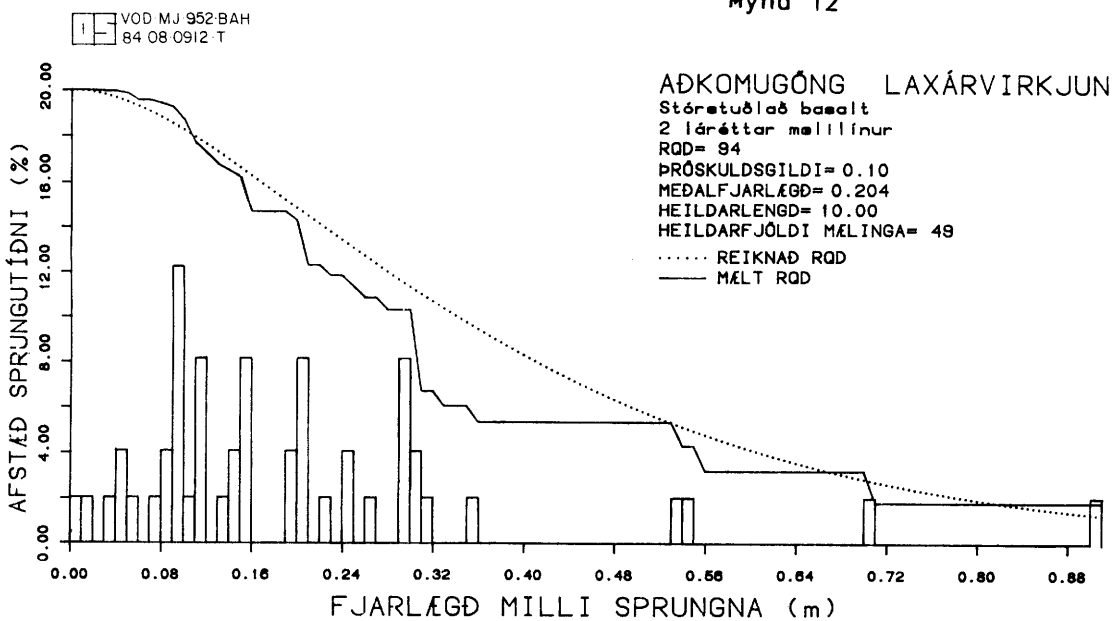
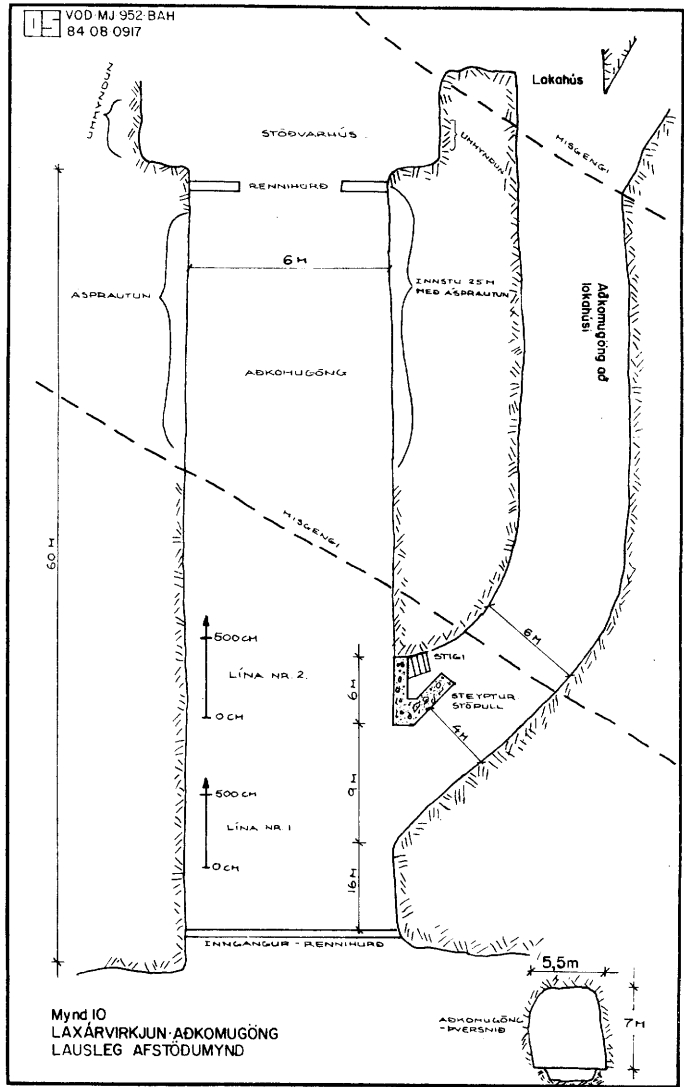
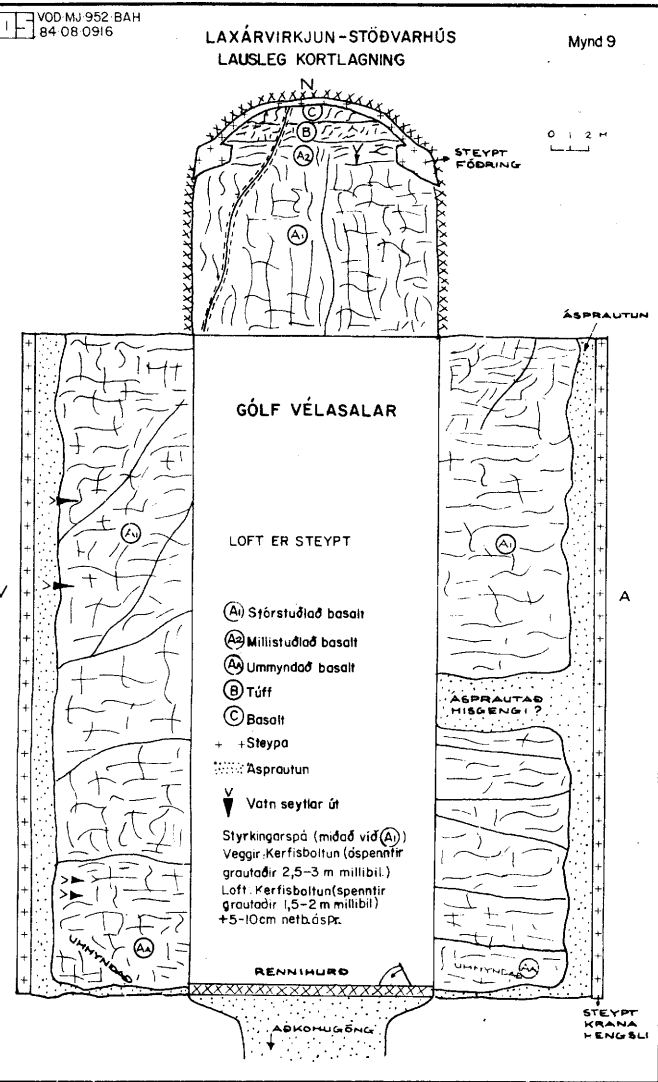
Sprungumælingar voru gerðar á tveimur stöðum í göngunum (sjá staðsetningu mælilína á mynd 11, blað 1). Sprungutíðnirit er sýnt á mynd 12 og þar sést m.a. að RQD er 94% og meðalsprungufjarlægð 0,204 m. Schmidt hvolfvörpun er í viðauka III og þar kemur fram dæmigerð jöfn stefnudreifing brattrar sprungna ásamt afmörkuðum hóp lítt hallandi og láréttar sprungna.

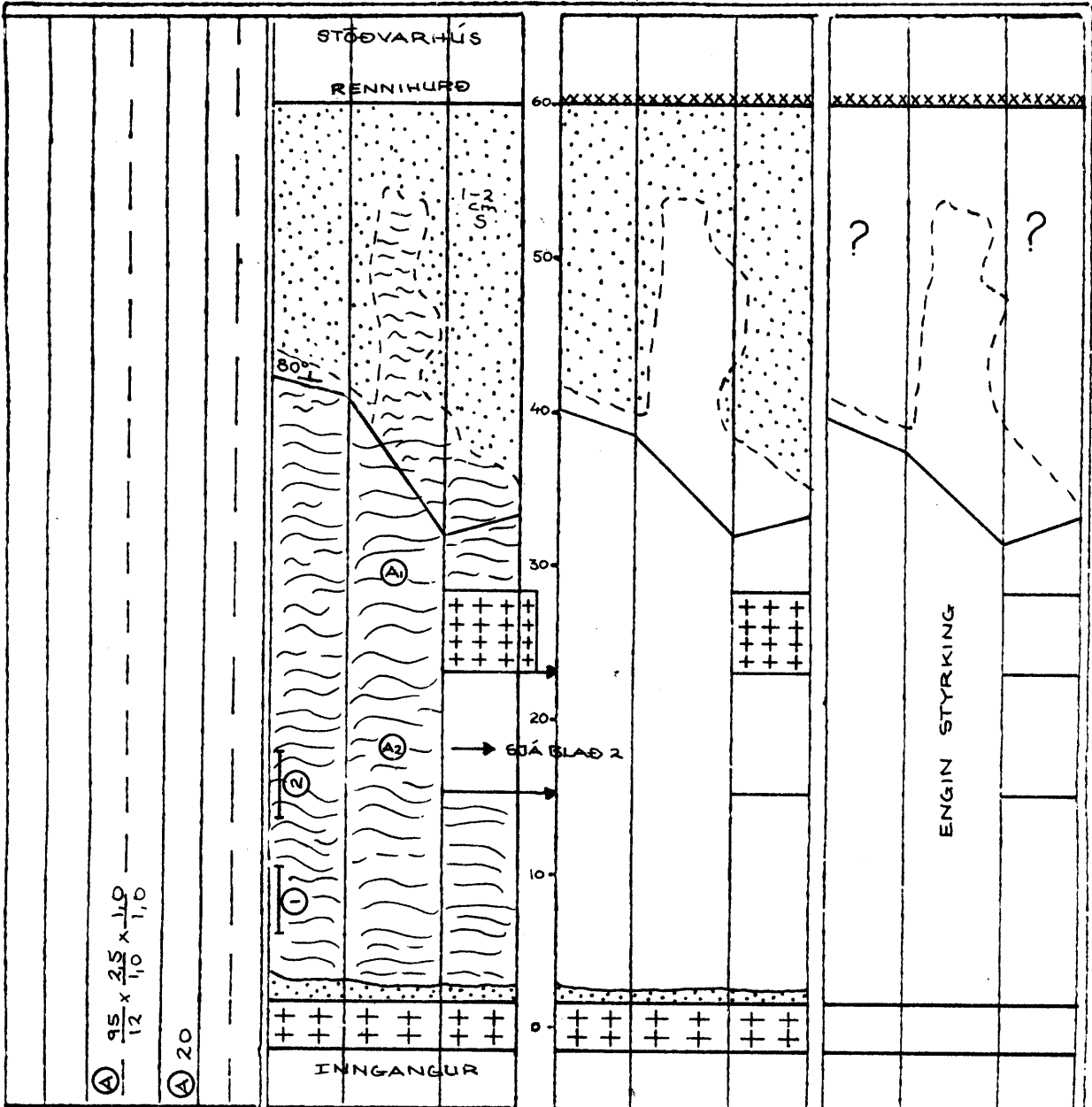
Kortlagning og berggæðamat aðkomuganga að lokahúsi er á mynd 11, blaði 2. Þessum göngum hallar niður á við og þau fara niður úr basaltinu sem aðkomugöng að stöðvarhúsi eru í og niður í mjög blöðrótt, brotið og gjallkennt neðra borð basaltlagsins. Göngin fara í gegnum þennan lagamótakarga og niður í annað, millistuðlað og mjög flögótt basaltlag sem mestur hluti lokahússins er í. Göngin skera tvö, 1 m þykk sprungu-

belti, hið fremra það sama og er í aðkomugöngum að stöðvarhúsi og hið innra sennilega það sama og fram kemur í norðurgafli stöðvarhússins. Ekki var þörf sérstakra aðgerða vegna sprungubeltanna. Samkvæmt Q - kerfinu þarf ekki að styrkja í þessum göngum nema þar sem karginn er í lofti (2 - 3 cm ásprautun).

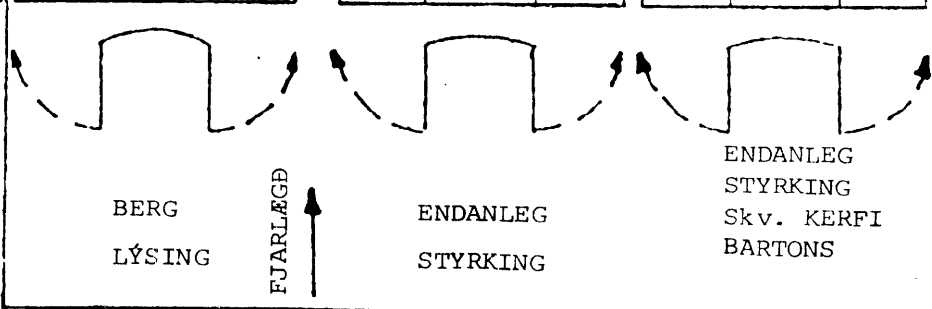
Lokahúsið er að mestu leyti í fersklegu, stórblöðróttu og mjög straumflögóttu basaltlagi (þóleifti). Bergið er milli- til stórstuðlað og í neðri hluta lokahússins er bergið mjög stórstuðlað. RQD þessa bergs er yfirleitt 90-100 % og stuðlasprungur jafnan bylgjóttar og fremur sléttar. Láréttar straumflögunarsprungur eru víða mjög algengar sérstaklega í efri hluta hvelfingarinnar. Í efsta hluta lokahússins eru gjallkennd lagamót milli flögotta basaltsins og basaltlagsins sem stöðvarhúsið er í. Bergið í lokahúsinu er þurrt.







BIL
 SPRUNGUFAJRL./STEFNA
 $\frac{RÖD}{Jn} \times \frac{Ji}{Ja} \times \frac{Jw}{SRF}$
 $\frac{95}{12} \times \frac{25}{10} \times \frac{1,0}{1,0}$
 SPRUNGU
 FYLING
 20



EKKI VITAD HVAD ER ÞAK VÍÐ ÁSPRAUTUN, SENNILEGA KARGI EÐA MJÖG BROTIÐ BASALT.

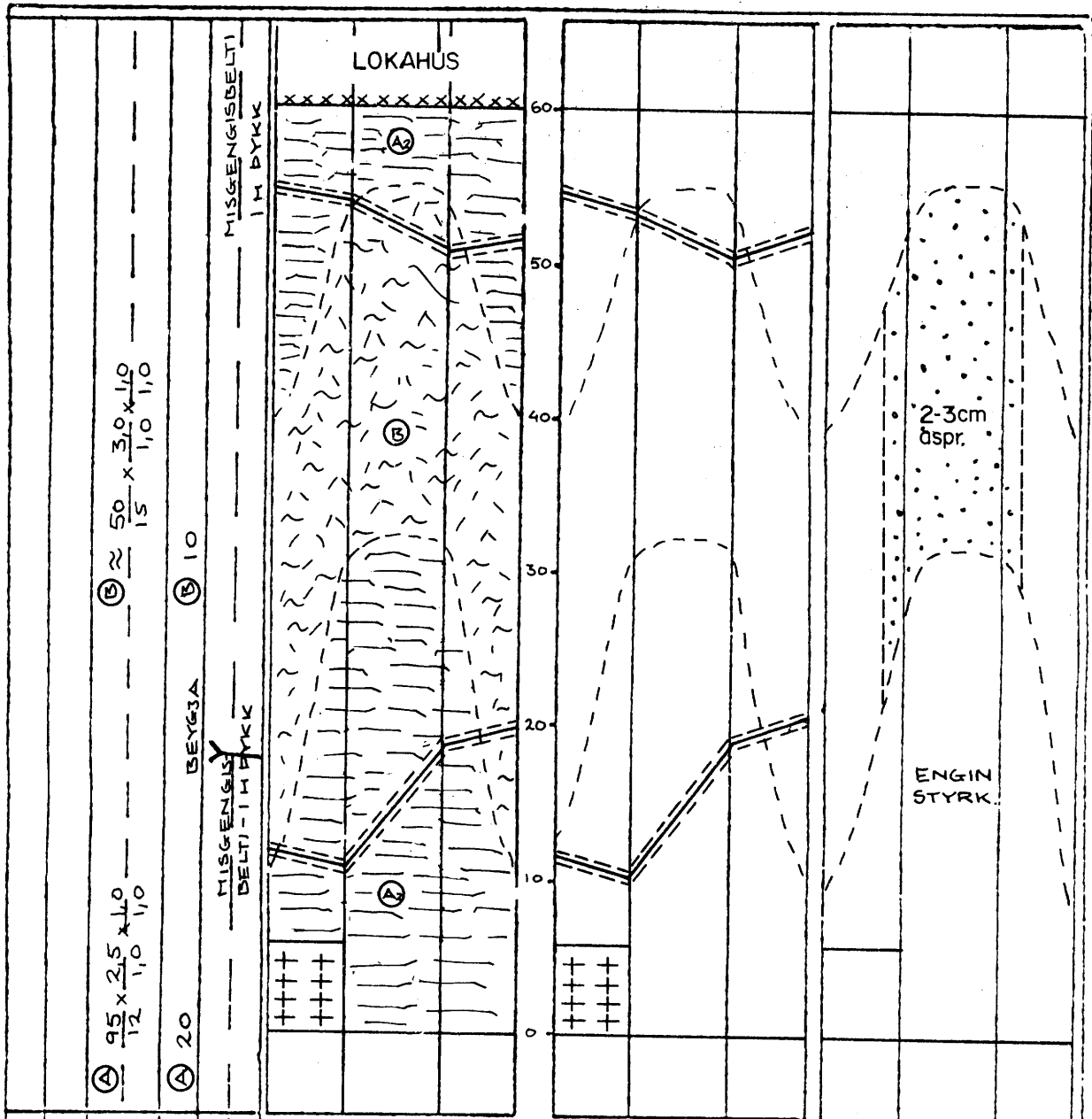
MISGENGID VELDUR ENGUM ÖSTÖÐUGLEIKA STEYPTUR "HORNSTÖPULL" Á GANGAMÓTUM, BASALTID ER BLANDA STÖR - OG MÍLLISTUÐLA, "FERSKT" ÍBERG.

BERGGERÐ
 BASALT
 STÖRSTUÐLAÐ
 MÍLLISTUÐLAÐ

Dags.	Gert af
08.81	BAH

JARÐGANGAKORTLAGNING-STYRKING
 Teikning nr:
 II

STAÐUR; LAXA AÐKOMUGÖNG AD STÖÐVARHÚSI
 Síða 1. af 2.



BIL.
 SPRUNGUFJARL./STEFNA
 $\frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \times \frac{J_w}{J_a} \times \frac{SRF}{SRF}$
 Q
 SPRUNGU FYLING

- BERGGERÐ
 (A) MILLIST. BASALT
 (B) GJALLKENT BAS. LAGAMÖT

BERG LYSING
 FJARLEGD ↑
 ENDANLEG STYRKING
 ENDANLEG STYRKING Skv. KERFI BARTONS

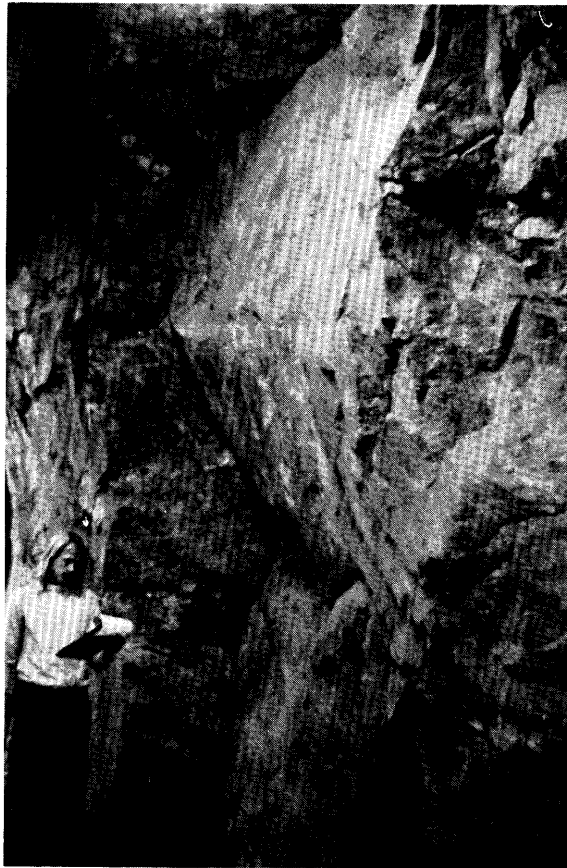
GÖNGIN HALLA VERULEGA NIÐUR Á VIÐ OG FARA NIÐUR ÚR "AÐKOHUGANGABASALTI" NIÐUR Í GJALLK. BASALT (LAGAMÖT). LAGAMÖT ÖVISS OG ÁHRIF MISGENGJA EKKI SKÝR
 JARÐFRÆÐI TÚLKUN AFAR LAUSLEG

JARÐGANGAKORTLAGNING-STYRKING
 STAÐUR; LAXA AÐKOHUGÖNG AÐ LOKAHÚSI

Dags. 08.81 Gert af BAH
 Teikning nr: II
 Síða 2 af 2



Ljósmynd 9. Laxárvirkjun. Stórstuðlað basalt í aðkomugöngum að stöðvarhúsi. Göngin eru ásprautuð innst.



Ljósmynd 10. Laxárvirkjun. Óvenju stórir stuðlafletir í aðkomugöngum að stöðvarhúsi.

7 JARÐGÜNG GRÍMSÁRVIRKJUNAR

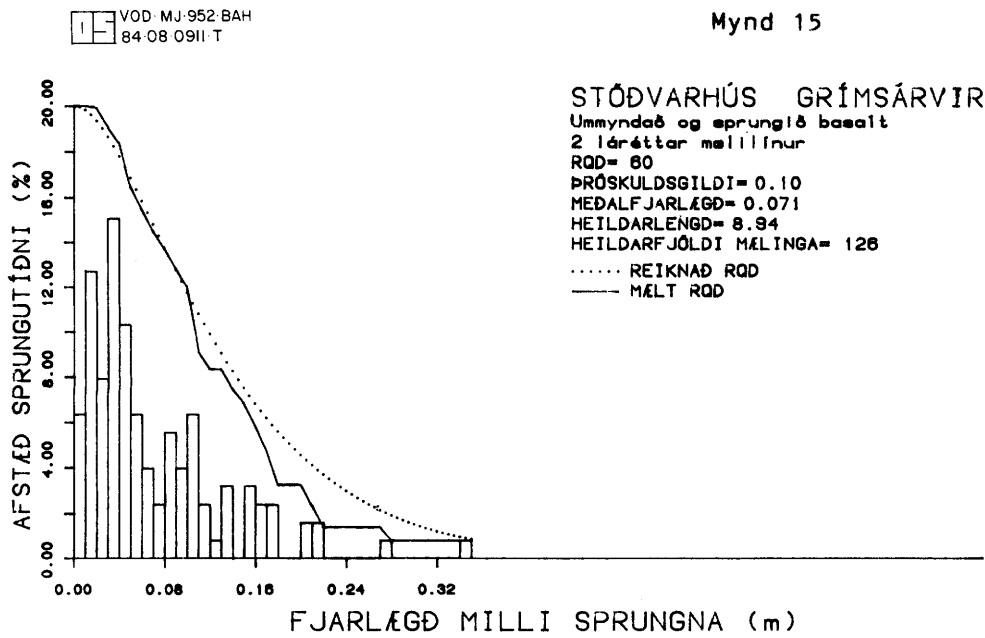
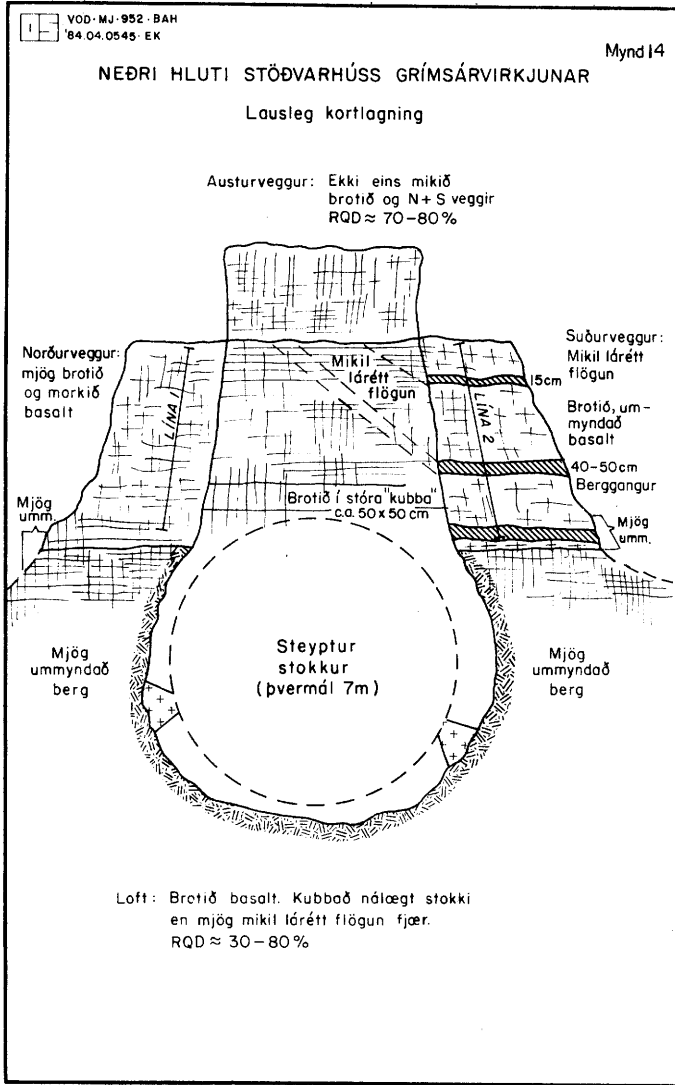
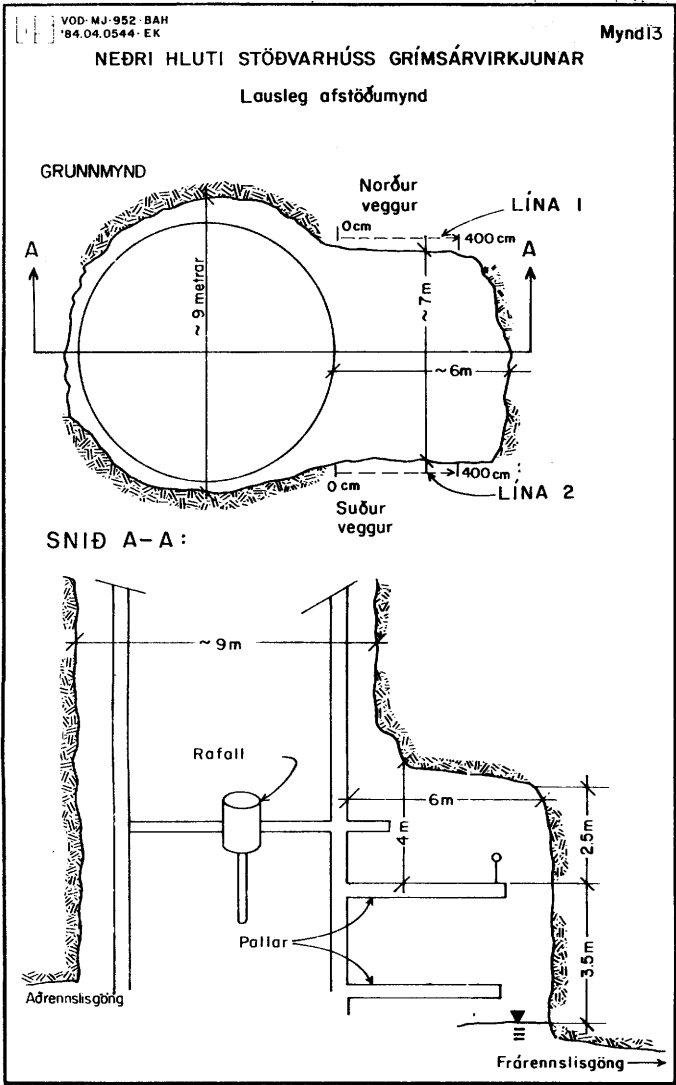
Einu göngin við Grímsárvirkjun þar sem hægt er að komast að bergi er neðri hluti stöðvarhússins. Tilhögun virkjunarinnar hefur verið lýst í (15). Á mynd 13 er lausleg grunnmynd og þversnið í neðri hluta stöðvarhúss. Á mynd 14 er lausleg kortlagning veggja og lofts hvelfingarinnar sem gengur austur úr stöðvarstokknum.

Bergið er ummyndað, mjög brotið, tertfært basalt (sjá ljósmynd 11). Það er víða mjög flögótt sérstaklega í lofti (lárétt straumflögun, sjá ljósmynd 12). Sprungur eru yfirleitt bylgjóttar en sums staðar beinar. Sprungufyllingar eru einkum tvenns konar. Algengastar eru ljósbrún, ósamfelld leirskæni (<1 mm á þykkt) á sprunguflötum en einnig koma fyrir þunnar, ókristallaðar kísilútfellingar sem líma sprunguflötina vel saman. Í suðurvegg eru þrjár þunnir og ummyndaðir basaltgangar. Þrátt fyrir að bergið sé verulega ummyndað og mjög sprungið (ljósmyndir 13 og 14), stendur það vel og engin ummerki verulegs hruns eru sýnileg. Engar styrkingar voru notaðar í þessari hvelfingu.

Sprungumælingar voru framkvæmdar í norður- og suðurvegg (mynd 14) og sprungufjónirit er sýnt á mynd 15. RQD er 60% að meðaltali og meðal-sprungufjarlægð 0,071 m. Schmidt hvolfvörpun er í viðauka og þar kemur fram greinilega afmarkaður hópur lítt hallandi og láréttra sprungna (straumflögunarsprungur). Niðurstöður berggæðamats og styrkingarspár voru eftirfarandi (08.1981);

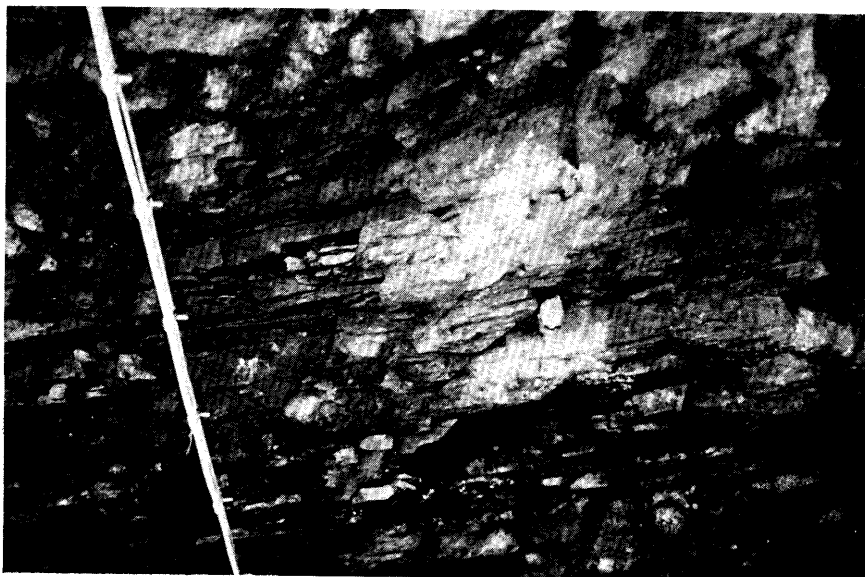
	Q reikningar	Styrkingarspá skv. Barton	Endanleg styrking
N-veggur	50/12 x 2,5/2 x 1/1 = 5,2	engin	engin
S-veggur	65/12 x 2,5/2 x 1/1 = 6,8	engin	engin
A-veggur	70/12 x 2,5/2 x 1/1 = 7,3	engin	engin
Loft	30-60/12 x 2,5/2 x 1/1 = 3,1-6,2	2-5 cm áspr. eða kerfisboltun (ósp., grautaðir, 1 m bil)	engin

Út frá þessum athugunum er ljóst að ummyndað og mjög brotið berg eins og þarna er, getur reynst hið ágætasta jarðgangaberg. Lítið sem ekkert hefur verið skrifað um rannsóknir, jarðfræðilegar aðstæður og jarðgangagerðina við Grímsárvirkjun.





Ljósmynd 11. Grímsárvirkjun. Myndin er tekin úti í farvegi Grímsár og sýnir hversu straumflögótt og brotið bergið er.



Ljósmynd 12. Grímsárvirkjun. Mjög straumflögótt berg í lofti hvelvingarinnar sem gengur austur úr stöðvarstokki.



Ljósmynd 13. Grímsárvirkjun. Brotið basalt í austurvegg.



Ljósmynd 14. Grímsárvirkjun. Mjög brotið og ummyndað basalt í stöðvarstokki. Sjónsvið myndar er um 1,5 m breitt.

8 JARÐGÖNG Í ODDSKARÐI

Jarðgöngin í Oddskarði, á þjóðveginum milli Eskifjarðar og Norðfjarðar, eru um 440 m löng auk steyptra forskála sem eru 195 m langir. Rannsóknnum og jarðfræðilegum aðstæðum í Oddskarði er lýst í (21) og (22). Jarðgangagerðinni sjálfri er stuttlega lýst í (9). Á mynd 16 er sýnd mjög lausleg kortlagning ganganna ásamt berggæðamati og styrkingaspá.

Jarðgöngin eru víðast 4,5 - 5,5 m á breidd og 5,5 - 7,5 m á hæð. Þau liggja að mestu leyti í einu og sama andesítlaginu sem er 10-15 m á þykkt. Andesítið er fín- til dulkornótt, fremur þétt og stökkt. Ásýnd þess er mjög breytileg í göngunum, sums staðar er bergið heillegt og mjög stórstuðlað en annars staðar mölbrotið og allt þar á milli (sjá ljósmyndir 15 - 17). Lárétt flögun er einnig mjög áberandi á stöku stað (sjá ljósmynd 18). Stuðlun í berginu er mjög óregluleg. Flestar sprungur eru bylgjóttaðar en áferð sprunguflata er jafnan fremur slétt. Eiginlegar sprungufyllingar eru fremur fátíðar en þunn og ósamfelld, ljós- til dökkbrún leirskæni eru á flestum sprunguflötum. Flestar sprungur eru lokaðar (<1 mm) og án jarðvatns. Engin meiriháttar brotabelti eða misgengi eru í göngunum.

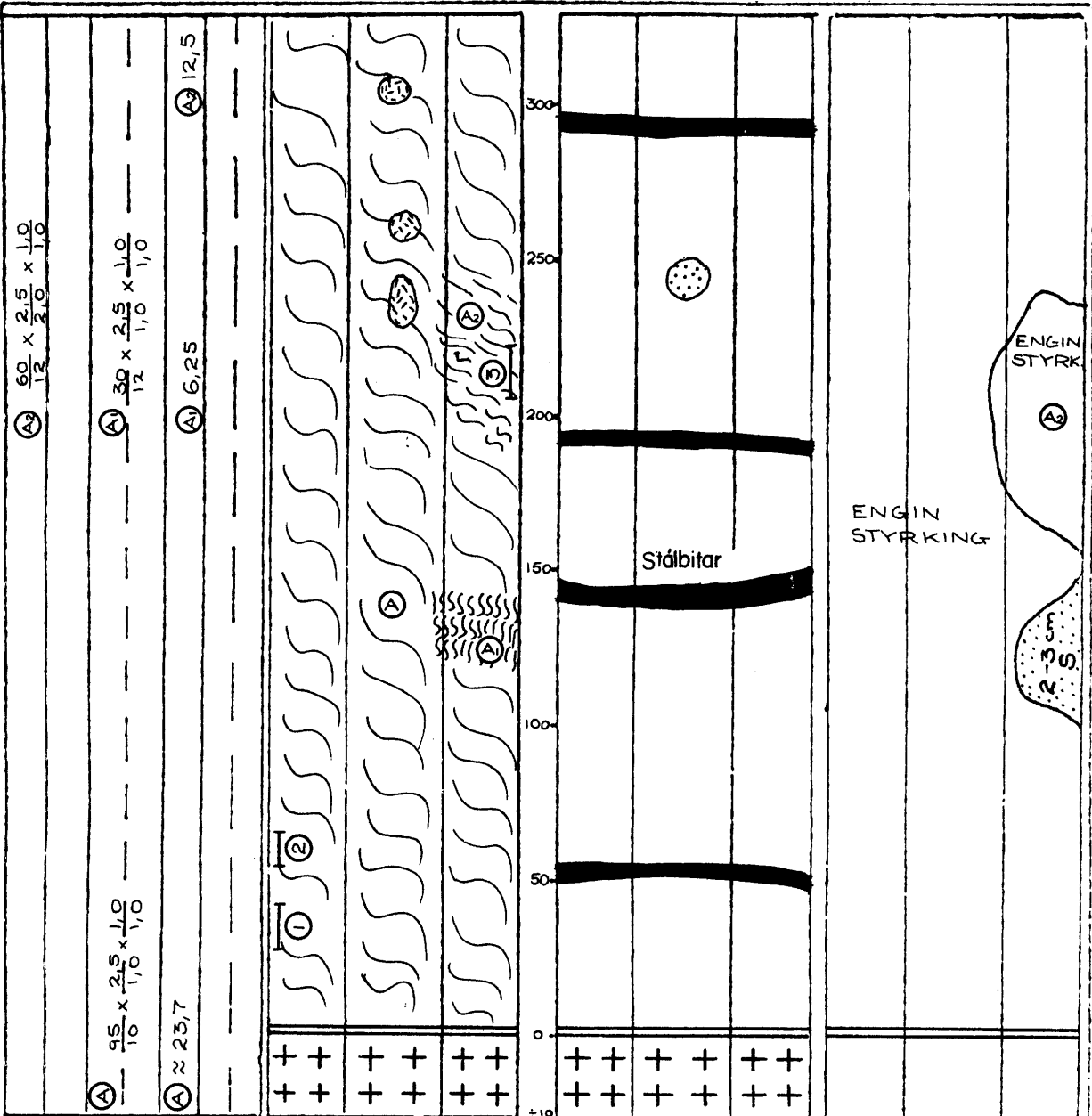
Jarðgangagerðin í andesítinu gekk sums staðar fremur illa, aðallega vegna yfirsprenginga og hruns. Á stöku stað er þak ganganna mjög nálægt efra borði andesítlagsins þannig að "kargahellar" komu fram í þaki (sjá ljósmynd 19). Einnig kom fyrir að stórar fyllur féllu úr lofti eftir að gangagerðinni lauk. Vatnsagi var tiltölulega lítil í göngunum. Við gangamunnana, sérstaklega Norðfjarðarmegin, kom fram lagskiptur, vel samlímdur og siltkenndur sandsteinn í gólfi og veggjum (sjá ljósmynd 20). Þetta setlag er undir andesítinu og gekk vinnsla þess þökkalega en það var að hluta til unnið með vélgröfu.

Í göngunum eru stálbita-styrkingar á fjórum stöðum þar sem hrunhætta hefur væntanlega verið talin hvað mest (sjá mynd 16). Sumar þessara stálstyrkinga virðast gera lítið sem ekkert gagn (ljósmyndir 21 og 22). Stálnet er allvíða í þaki til varnar minniháttar hruni niður á akbrautina. Nálægt munna Norðfjarðarmegin eru rúmlega 1 m háir og um 40 m langir, steyptir veggir upp við bergið beggja megin akbrautar. Þetta er á lagamótum andesítsins og setbergsins og er bergið fremur losaralegt á þessum kafla. Steyptu veggirnir eru líklega til að koma í veg fyrir að bergmylsna berist út á akbrautina. Á þessum stað hefði ásprautun sennilega verið heppilegri.

Sprungumælingar voru gerðar á þremur stöðum í andesítinu (sjá staðsetningu mælilína á mynd 16). Mælt var í stór-, milli- og smástuðluðu bergi (ljósmyndir 16 og 17). Sprungutíðnir eru sýnd á mynd 17. Í viðauka er sýnd Schmidt hvolfvörpun þar sem allar mælingarnar þrjár eru teknar saman. Fram kemur mjög mikil dreifing í stefnu brattrar brotflata.

Q-kerfið gerði ekki ráð fyrir styrkingum í andesítinu nema þar sem það er mölbrotið og flögótt (svæði A1 á mynd 16), en þar var gert ráð fyrir 2-3 cm þykkri ásprautun. Kerfið gerði einnig ráð fyrir 2,5-5,0 cm þykkri ásprautun í setlaginu við munna Norðfjarðarmegin (sjá mynd 16, blað 2).

Í Oddskarði kemur vel fram hve Q-kerfið er takmarkað að því leyti að niðurstöður þess gilda einungis fyrir það berg sem mælt er hverju sinni. Mjög varhugavert er að alhæfa t.d. um gæði ákveðins berglags um langan veg út frá örfáum mælingum.



BIL $\frac{60}{12} \times \frac{2,5}{2,0} \times \frac{1,0}{1,0}$

SPRUNGUFJARL./STEFNA

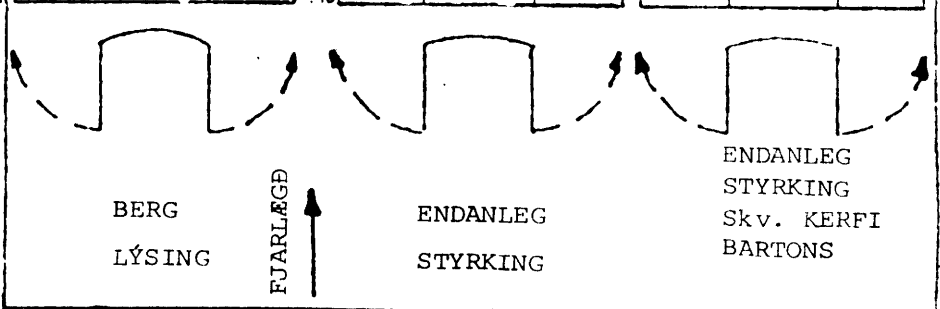
$\frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \times \frac{J_w}{J_a} \times \frac{SRF}{SRF}$

$\frac{95}{10} \times \frac{2,5}{1,0} \times \frac{1,0}{1,0}$

Q $\approx 23,7$

SPRUNGU FYLLING $\frac{A}{A} \approx 6,25$

$\frac{A}{A} \approx 12,5$



BERGGERÐ

ANDESIT

STÖRSTUÐLAÐ

SMIÐASTUÐLAÐ

MÖLBROTID

LOFTHRUN ALGENGT, AÐ MESTU Í GJALLI

LOFTSKAPAR Í GJALLI

JARÐGANGAKORTLAGNING-STYRKING

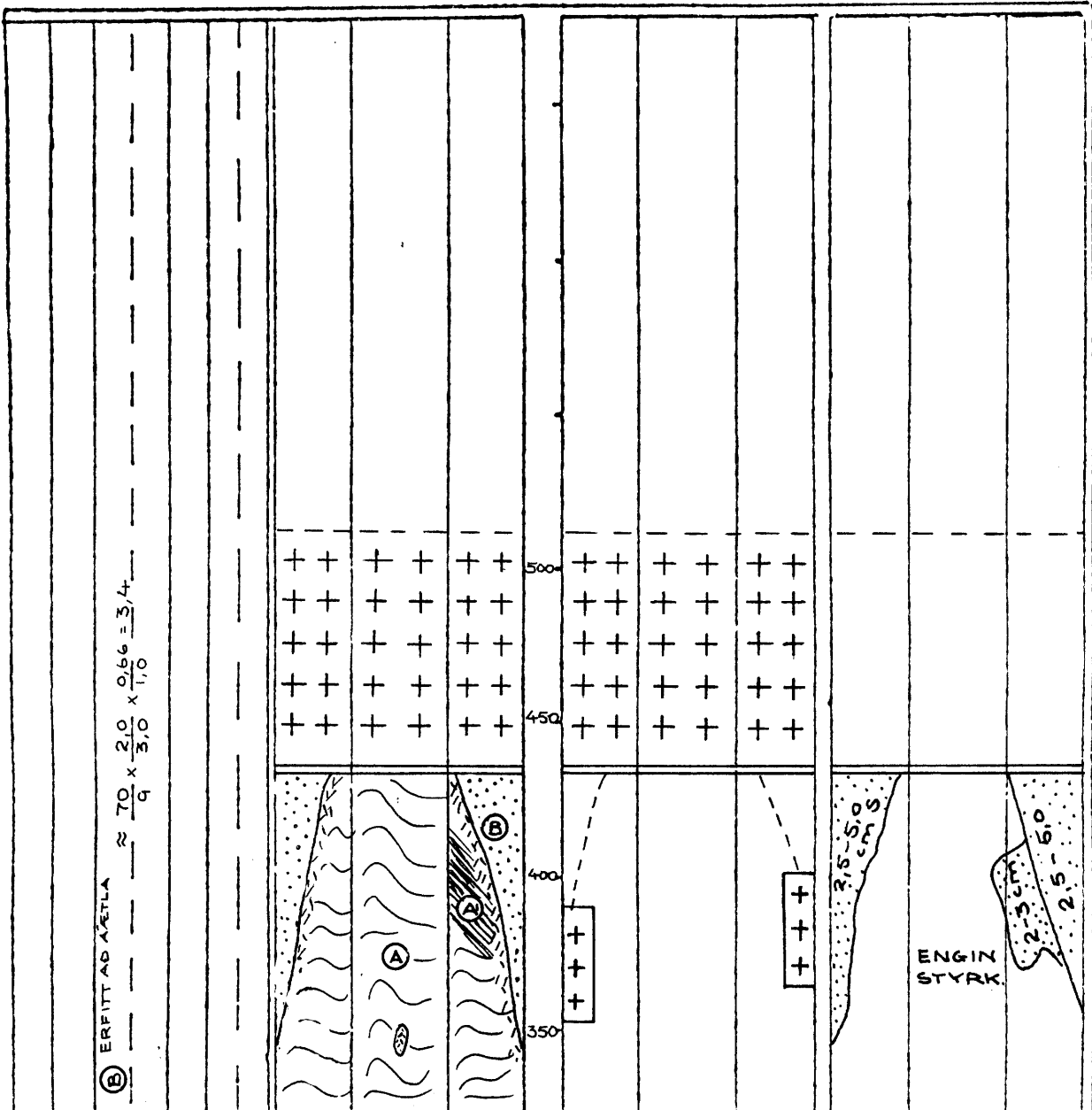
Dags. 07.81

Gert af BAH

STAÐUR; ODDSKARÐ (frá SV til NA)

Teikning nr: 16

Síða 1 af 2



(B) ERFITT AD AÆTLA $\approx \frac{70}{q} \times \frac{2,0}{3,0} \times \frac{J_w}{J_n} \times \frac{0,66}{1,0} = 3,4$

BIL
 SPRUNGUFJARL./STEFNA
 $\frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_i}{J_a} \times \frac{J_w}{J_a} \times \frac{SRF}{SRF}$
 Q
 SPRUNGU
 FYLLING

BERG
 LÝSING

FJARLÆGD ↑

ENDANLEG
 STYRKING

ENDANLEG
 STYRKING
 Skv. KERFI
 BARTONS

- (A) BERGGERÐ
- (A) ANDESIT
- (A) MÖLBROTID
- (B) LAGSK. SDST.
- (B) SANDUR-SILT

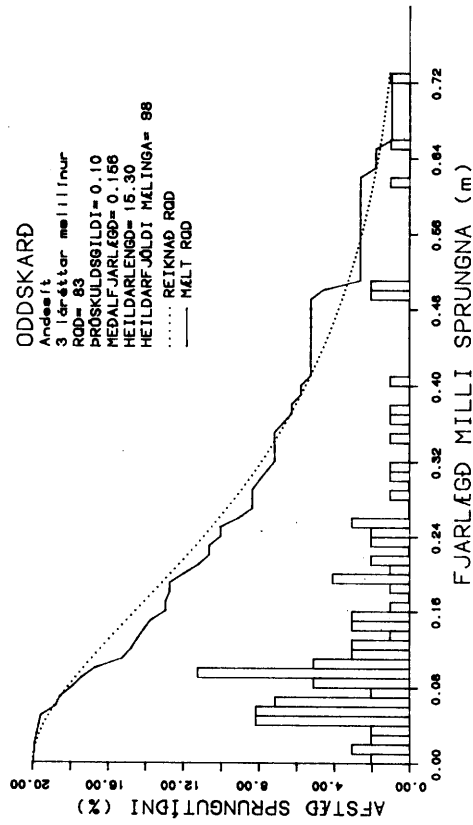
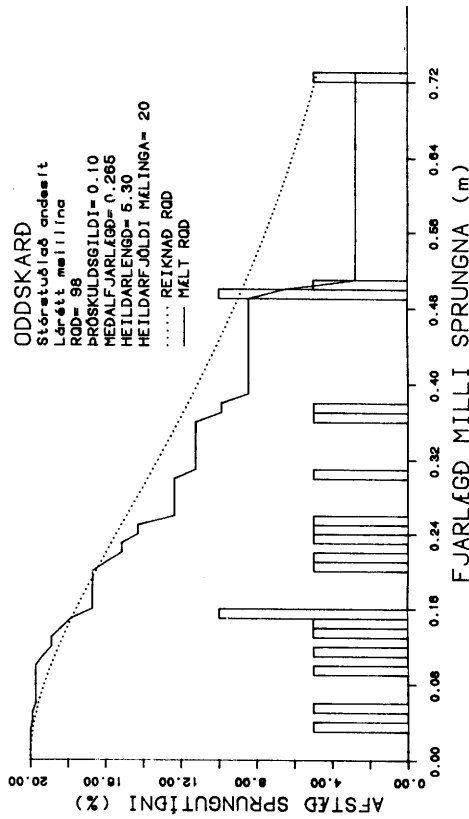
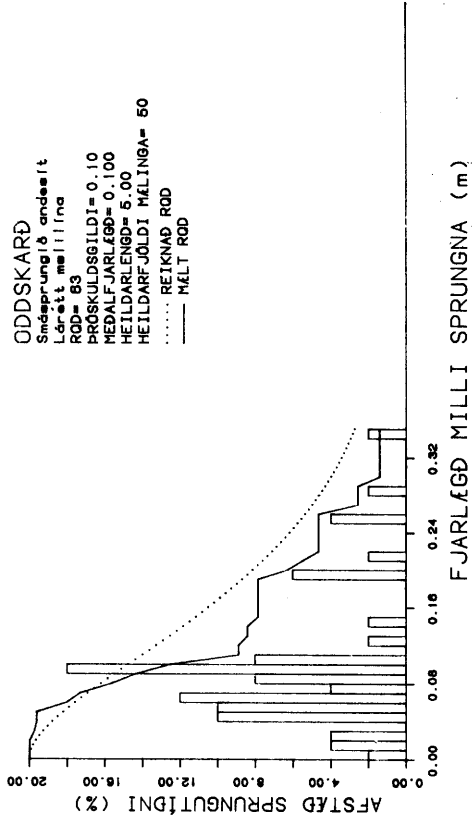
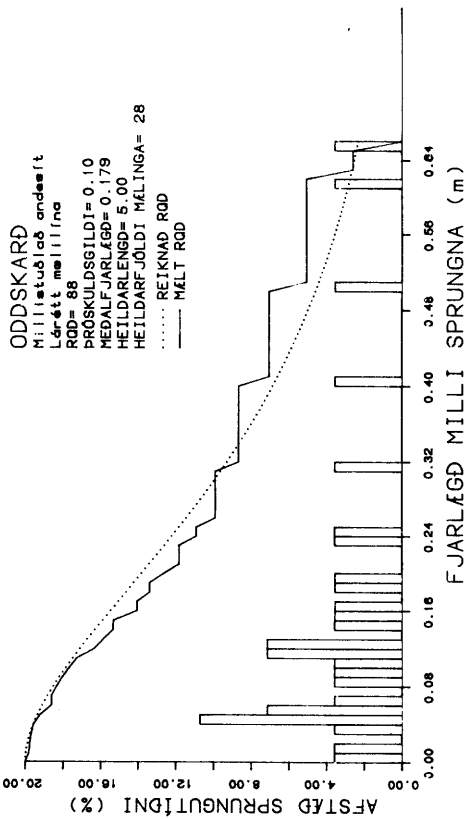
Dags.	Gert af
07.81	BAH

JARÐGANGAKORTLAGNING-STYRKING

Teikning nr:
16

STAÐUR; ODDSKARÐ

Síða 2 af 2





Ljósmynd 15. Oddskarð. Mjög stór sprunguflötur í andesíti. Flöturinn er fremur sléttur og skændur örþunnu leirskæni.



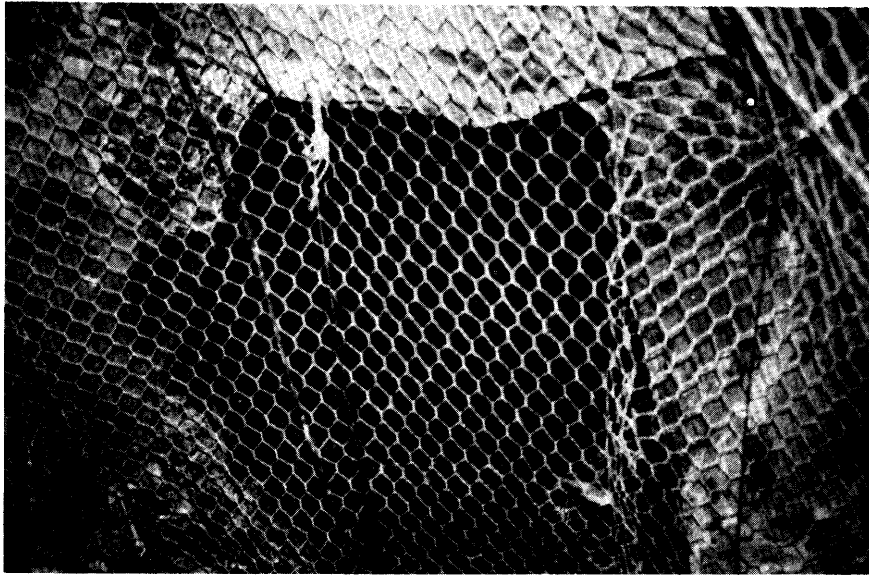
Ljósmynd 16. Oddskarð. Sprungumælingar í millistuðluðu andesíti (sjá mynd 17).



Ljósmynd 17. Oddskarð. Mælingar í smásprungnu andesíti (sjá mynd 17).



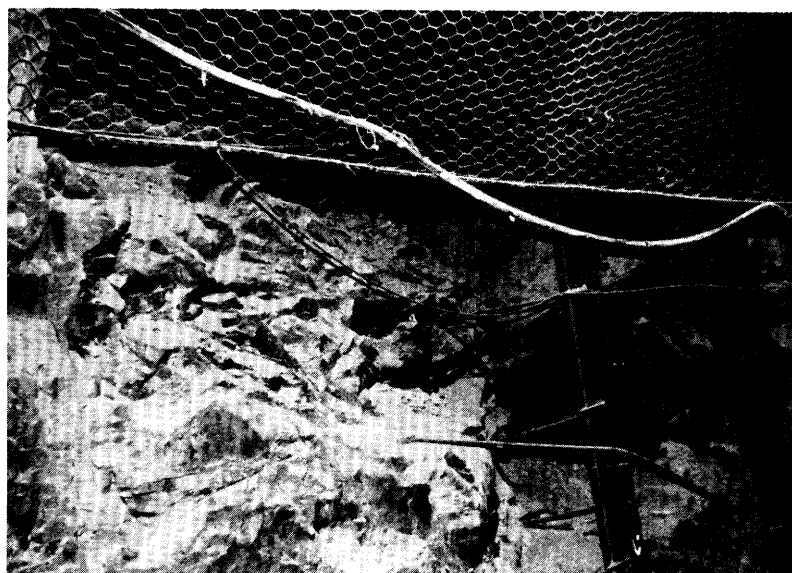
Ljósmynd 18. Oddskarð. Sveigð flögun í andesíti. Mælikvarði (neðst) er um 20 cm breiður.



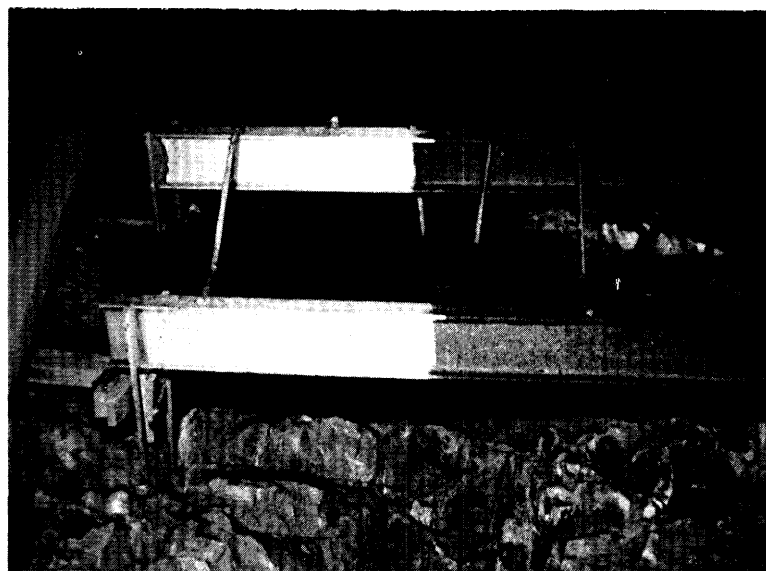
Ljósmynd 19. Oddskarð. "Kargahellir" í lofti. Breidd hans og dýpt er um 1,5 m.



Ljósmynd 20. Oddskarð. Sandsteinn (neðan slitnu lfnunna) í gangavegg nálægt munna Norðfjarðarmegin. Setblandinn gjallkargi fyrir ofan.



Ljósmynd 21. Oddskarð. Stálbitastyrking á svæði þar sem hrun hefur orðið.



Ljósmynd 22. Oddskarð. Stálbitastyrking grunduð á einkennilegan máta.

9 JARÐGÖNG Í STRÁKAFJALLI

Jarðgöngin í Strákum eru 783 m á lengd, yfirleitt 4,5 - 5,0 m á breidd og 5,5 - 6,5 m á hæð í miðju. Fjögur útskot eru í göngunum. Rannsóknur og jarðfræðilegum aðstæðum hefur verið lýst í (22) og (23) og jarðgangagerðinni er stuttlega lýst í (9).

Jarðgöngin liggja í tertíerum basaltlögum sem hallar um 20 gráður að meðaltali til SV (ljósmyndir 23 og 24). Göngin stefna u.p.b. NV - SA eða mjög nálægt striki jarðlaganna í Strákafjalli. Þykkt basaltlaganna á þessum slóðum er breytileg en algengt er að þau séu 8 - 15 m á þykkt. Bergið er yfirleitt dökkt, fínkornótt og töluvert ummyndað. Sprungutíðni basaltsins er afar mismunandi. Sums staðar er það stórstuðlað og heillegt, annars staðar millistuðlað, óreglulega stuðlað eða mjög sprungið og flagað af völdum brotahreyfinga.

Á milli basaltlaga eru sums staðar 0,25 - 1,0 m þykk, vel samlímd, sand- og siltsteinslög. Botn- og yfirborðskargi basaltlaganna er oft samofin millilögnum þannig að stundum er erfitt að draga mörk þar á milli. Hluti gjallkarga í göngunum er annars tiltölulega lítil.

Basaltið í göngunum er víða mikið brotið og samfelldar en óreglulegar sprungur eru algengar. Þegar talað er um samfelldar sprungur er hér átt við sprungur sem hægt er að rekja frá gólfi til lofts. Þessar sprungur eru yfirleitt brattar og fylltar ljósbrúnu silti og leir. Algeng þykkt sprungufyllinga er 5 - 15 cm. Flestar samfelldu sprungurnar liggja nokkuð þvert á göngin og þ.a.l. hafa þær ekki valdið teljandi vandræðum. Þessar sprungur eru sennilega flestar tilkomnar vegna brotahreyfinga. Um sumar þeirra hefur orðið hreyfing uppá nokkra tugir cm til nokkra m. Í norðvestur enda ganganna er misgengisprungu í lofti ganganna eftir endilöngu á um 50 m kafla. Hreyfing um þetta misgengi hefur sennilega verið lítil (nokkrir tugir cm) en samt sem áður urðu verulegir erfiðleikar og tafir í vinnslu af völdum þess.

Göngin skera a.m.k. tuttugu bergganga sem eru frá 0,3 - 40 m breiðir eða alls um 15% af berginu á jarðgangaleiðinni. Flestar ganganna eru brattir og liggja þvert á jarðgöngin og vandræði af þeirra völdum voru ekki teljandi. Aftur á móti er basaltið við gangajaðrana víða mjög brotið og flagað.

Í heild gekk vinnsla jarðganganna þokkalega þrátt fyrir verulegar tafir m.a. vegna misgengisins í norðvestur endanum sem fyrr var nefnt. Göngin voru styrkt á nokkrum stöðum með stálbogum á meðan vinna stóð yfir. Stálstyrkingarnar voru teknar út eftir að sprengivinnu lauk og verstu kaflarnir fódraðir með steinsteypu. Alls voru 150 m fódraðir með steypu. Vatnsagi er töluverður í göngunum og sums staðar, þar sem innrennslið er mest, voru vatnsskermar festir í þakið til að bægja vatni frá akbraut. Þar sem ekki eru vatnsskermar eða steypufódrað, er öryggisnet í þaki til varnar minniháttar hrúni niður á akbrautina. Eftir fyrsta veturinn sem göngin voru opin voru settar upp hurðir við gangamunna til að draga úr ísingu á akbraut og frostveðrun bergsins.

Engar nákvæmar sprungumælingar voru gerðar í Strákagöngunum. Ástæðan var aðallega sú að eiginleikar bergsins eru mjög mismunandi og engin ein ásýnd þess algengari en önnur. Auk þess eru stórir hlutar bergsins í göngunum ataðir aur og erfitt er um vik með nákvæmar mælingar.

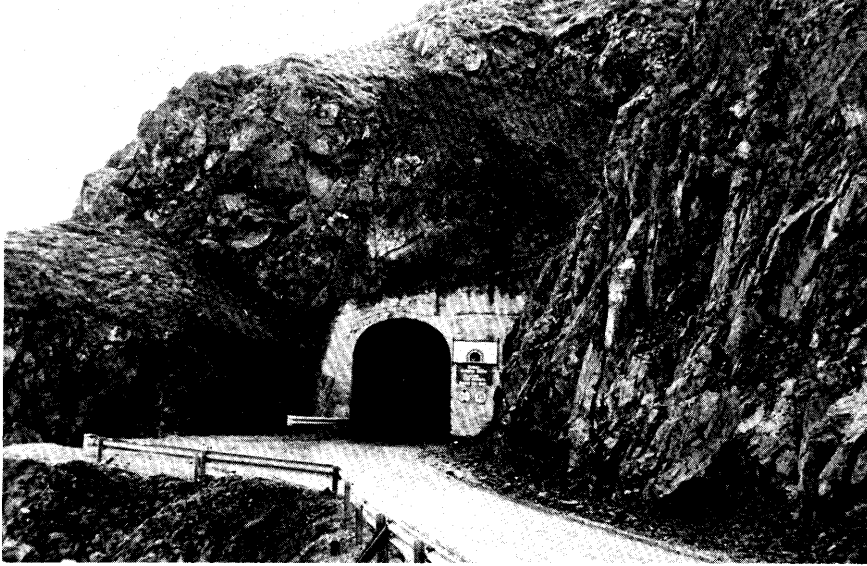
RQD basaltsins er mjög breytilegt eða frá 100% og allt niður í 20%. Á stöku stað er RQD jafnvel enn lægra. Áætla má berggæði heillega hluta basaltsins eftirfarandi:

$$70-100/10 \times 2,5/2 \times 1/1 = 8,7 - 12,5$$

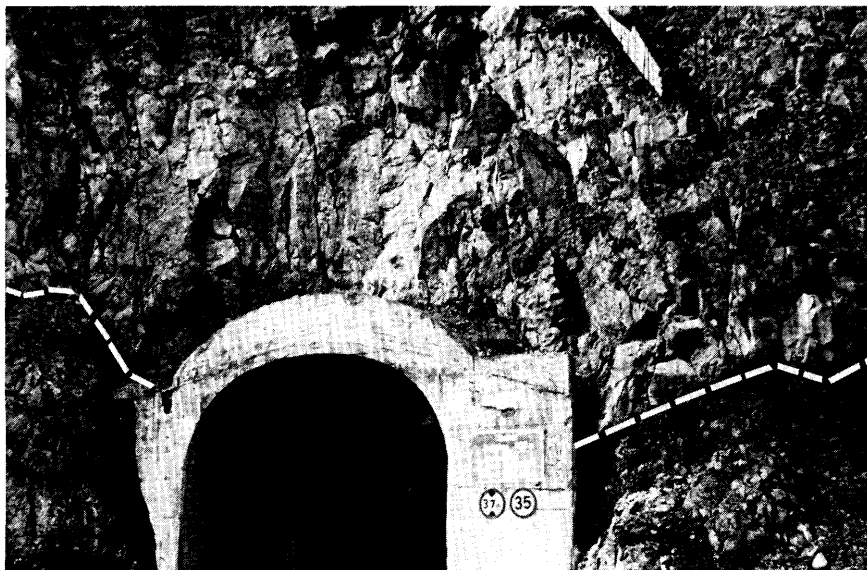
Samkvæmt styrkingaspá Q-kerfisins þarf ekki að styrkja berg með þessa Q-einkunn í göngum af sömu stærð og Strákagöngin. Þar sem basaltið er meira brotið eru berggæðin áætluð:

$$20-50/12 \times 2,5/2 \times 1/1 = 2 - 5$$

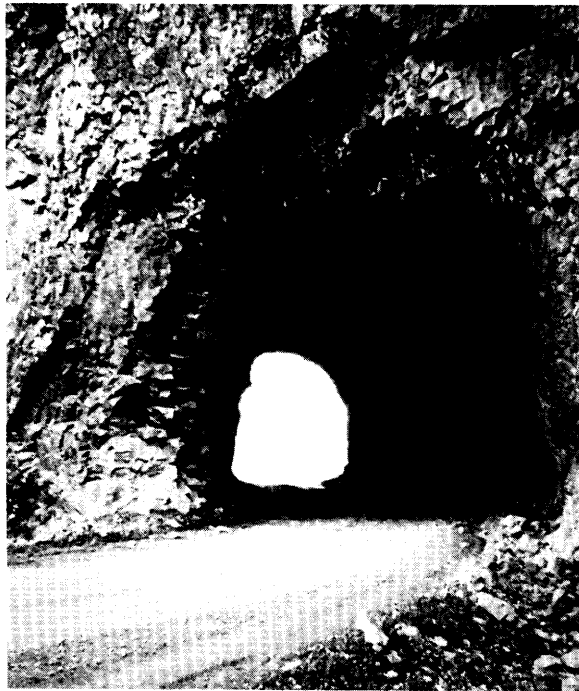
Samkvæmt styrkingarspánni þarf að styrkja þak í slíku bergi með 2,5 - 5,0 cm þykkri ásprautun eða kerfisboltun (óspenntir, grautaðir, 1 m millibil). Veggir þyrfti að þekja með 2 - 3 cm þykkri ásprautun samkvæmt spánni. Afmörkuð svæði, þar sem berg er kurlað og flögótt s.s. við gangajaðra og sprungubelti, fá enn lægri Q-gildi.



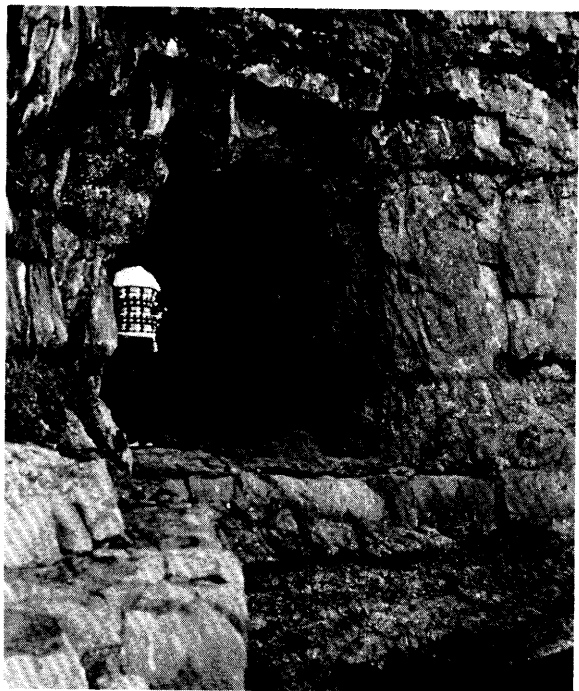
Ljósmynd 23. Strákagöng. Gangamunni að norðvestanverðu. Halli basaltlaganna sést vel.



Ljósmynd 24. Strákagöng. Gangamunni að suðaustanverðu. Gjallkennt undirlag basaltsins neðan slitnu línunnar.



Ljósmynd 25. Arnardalshamar. Göngin eru í lárétt stuðluðum basaltgangi (ljósm. Birgir Jónsson)



Ljósmynd 26. Hellisvík. Gangamunni í beltúðu dyngjubasalti (ljósm. Ágúst Guðmundsson)

10 ÖNNUR JARÐGÖNG

Auk þeirra jarðganga sem þegar hafa verið nefnd, voru gerðar lauslegar athuganir í tveimur öðrum minniháttar göngum en það eru veggöng í Arnardalshamri milli Ísafjarðar og Súðavíkur og fjárrekstrargöng í Hellisvík við Skjálfaflóa.

Arnardalshamar.

Haustið 1948 voru sprengd fyrstu jarðgöngin hér á landi önnur en náma-göng og liggja þau í gegnum Arnardalshamar á þjóðveginum milli Ísa-fjarðar og Súðavíkur. Jarðgöngin eru skeifulaga, 4,7 - 5,6 m á breidd, um 6 m á hæð og 30 m löng (sjá ljósmynd 25). Jarðgangagerðinni er lýst í (14).

Jarðgöngin liggja í gegnum tæplega 30 m þykkar basaltberggang. Bas-altið er lárétt smástuðlað, fínkornótt, þétt og afar hart. Borun gekk mjög erfiðlega vegna hörku bergsins. Stuðlun bergsins er nokkuð ó-regluleg. Sum staðar er bergið hreint kubbaberg ("regluleg" smá-stuðlun) en annars staðar eru 10 - 20 cm breiðir og 0,5 - 1,0 m langir, nær láréttir stuðlar. RQD var mælt á fjórum stöðum og reyndist vera 20 - 55 %. Bergið er fremur ferskt og sprungufyllingar nær engar. Berggæðin voru reiknuð eftirfarandi:

$$20-55/14 \times 3/1 \times 1/2,5 = 1,7 - 4,7$$

Miðað við þessi gildi gerir styrkingarspá Q-kerfisins ráð fyrir kerfisboltun (óspenntir, grautaðir, 1 m millibil). Staðreyndin er aftur á móti sú að þetta smástuðlaða basalt stendur mjög vel í göng-unum og þarfnast engra styrkinga. Þetta dæmi sýnir mjög vel hve smá-stuðlað basalt (kubbaberg) er sérstakt með tilliti til stæðni í göngum (sjá einnig kubbaberg í hjálpargöngum Búrfellsvirkjunar, mynd 6). Þrátt fyrir lágar spennur og háa sprungutíðni þá eru læsingaráhrif milli stuðla (kubba) það mikil að yfirleitt gengur vel að ná bogadreginni þaklögun og stæðni bergsins er jafnan góð. Bindingin í kubba-berginu minnkar með auknu þvermáli ganga, sérstaklega þegar bergþekja er þunn (lágar spennur), en reynslan hýlendis sýnir að kubbaberg getur staðið vel í jarðgöngum upp í a.m.k. 10 - 11 m í þvermál.

Augljóst er að leiðréttar verður reglur Q-kerfisins þegar um kubbaberg er að ræða. Hér er valin sú leið að lækka Jn gildið (fjöldi sprungu-kerfa) úr 14 í 6. Q-gildin fyrir umrætt kubbaberg hækka því í 4 - 11.

Hellisvík.

Árið 1974 voru gerð 10 m löng jarðgöng í gegnum 30 m hátt klettanef sem gengur í sjó fram í Hellisvík við vestanverðan Skjálfaflóa. Göngin eru á fjárrekstrarleið en sjór hafði brotið niður þá leið sem áður var farin. Göngin eru skeifulaga, 2,6 - 2,8 m á breidd og um 2,5 m á hæð. Þau opnast inn í helli sem er 40 - 50 m langur. Jarðgöngin voru gerð á vegum Ljósavátnshrepps, ráðgjafi var Vatnsorkudeild Orku-stofnunar og verktaki Norðurverk hf.

Jarðgöngin liggja í beltaðri dyngjubasaltsyrpu (sjá ljósmynd 26). Beltin eru 1,0 - 1,5 m þykk að jafnaði og afmörkuð með blöðróttum og holufylltum "kargaböndum". Þykkt blöðróttu hlutans er um þriðjungur af heildarþykkt hvers beltis. Bergið er afar heillegt þannig að RQD er víðast 90 - 100 %.

Dyngjubasaltið í þessum göngum líkist mjög því basalti sem víða er í jarðgöngum í Færeyjum (sjá heimild 2). Lögun Hellisvíkurganganna er mjög góð og ekki var þörf neinna styrkinga. Q-gildi bergsins er áætlað eftirfarandi:

$$90-100/10 \times 2,5/2 \times 1/1 = 11 - 12$$

Styrkingarspá Q-kerfisins gerir ekki ráð fyrir neinni styrkingu í þessu tilviki.

11 SAMANTEKT

Greint hefur verið frá athugunum og mælingum sem gerðar voru í jarðgöngum hér á landi árið 1981. Helstu niðurstöður eru eftirfarandi:

1. Norska berggæðamatskerfið reyndist fremur íhaldssamt þ.e. það gerði oft ráð fyrir meiri bergstyrkingum en þörf var á. Sérstaklega á þetta við um smástuðlað basalt (kubbaberg) og lagmótakarga (gjallbreksíu).
2. Öllu basalti var skipt niður samkvæmt stuðlastærð á eftirfarandi hátt; stórstuðlað (þvermál stuðla > 50 cm), millistuðlað (þvermál stuðla 15 - 50 cm) og smástuðlað (kubbaberg, þvermál stuðla < 15 cm). Stæðni og vinnsluhæfni þessara "stuðlaflokka" er mismunandi.
3. Smástuðlað basalt (kubbaberg) hefur mun betri stæðni og vinnsluhæfni í jarðgöngum heldur en niðurstöður berggæðamats gefa til kynna. Leiðrétting var sett inn í berggæðamatið sem gildir þegar kubbaberg á í hlut.
4. Fram kemur að ummyndað og brotið basalt getur reynst vel í jarðgöngum ef aðrir þættir eru jákvæðir (s.s. samlíming á sprunguflötum).
5. Niðurstöður berggæðamatsins gilda aðeins fyrir það berg sem mælt er hverju sinni og mjög varhugavert er að alhæfa um gæði ákveðinnar berggerðar út frá strjálum og fáum mælingum.

Öll ofangreind atriði ásamt mörgum öðrum sem nefnd eru í skýrslunni, voru notuð við aðlögun norska Q - kerfisins að jarðfræðilegum aðstæðum hér á landi. Því verki er ekki fyllilega lokið þar sem engin jarðgöng hafa enn verið gerð hérlendis síðan kerfisbundið berggæðamat var tekið upp.

HEIMILDIR

- (1) Barton, N., Lien, R. og Lunde, J. 1974: Analysis of rock mass quality and support practice in tunneling and a guide for estimating support requirements. NGI, Rep. 54206, 74s.
- (2) Björn A. Harðarson 1983: Kjarnagreining og sýnataka. Endurskoðuð vinnulýsing. Greinargerð OS-83/01BAH, 27s.
- (3) Björn A. Harðarson og Ágúst Guðmundsson 1984: Jarðgöng í Færeyjum. Athugun á jarðfræðilegum aðstæðum. Orkustofnun, OS-840-15/VOD-01, 71s.
- (4) Björn A. Harðarson og Pétur Pétursson 1984: Sámsstaðamúli. Borhola SR-1. Samanburður við opnur og jarðgöng. Orkustofnun, OS-84027/VOD-13B, 33s.
- (5) Haukur Tómasson 1966: Jarðfræðirannsóknir virkjunarstaðarins við Búrfell. TVFÍ, 3. - 6. hefti.
- (6) Haukur Tómasson 1967: Laxá í Suður Þingeyjarsýslu. Jarðfræði. Orkustofnun, Raforkudeild, 20s.
- (7) Haukur Tómasson 1968: Geological Map of the Power Tunnel. Landsvirkjun.
- (8) Haukur Tómasson 1984: Jarðgangagerð við Búrfell - Rannsóknir og jarðfræðilegar aðstæður. TVFÍ, (í prentun).
- (9) Jón Birgir Jónsson 1984: Veggöng á Íslandi. TVFÍ, (í prentun).
- (10) Niels Indriðason 1984: Laxá III - Jarðgangagerð. TVFÍ, (í prentun).
- (11) Oddur Sigurðsson 1984: Jarðgöng Laxárvirkjunar - Mannvirkja-jarðfræði. TVFÍ, (í prentun).
- (12) Páll Ólafsson 1984: Búrfellsvirkjun - Jarðgangagerð. TVFÍ, (í undirbúningi).
- (13) Rögnvaldur Þorláksson og Haukur Tómasson 1964: Tilraunajarðgöng við Búrfell. Raforkumálastjóri, Orkudeild, 22s.
- (14) Sigurður Jóhannsson 1950: Jarðgöng á Súðavíkurvegi. TVFÍ, 5. hefti, bls. 59-60.
- (15) Sigurður Thoroddsen 1963: Grímsárvirkjun. TVFÍ, 2. hefti, bls. 17-25.
- (16) Steingrímur Jónsson 1955: Virkjun Írafossstöðvar í Sogi. TVFÍ, 2. hefti, bls. 23-37, 3. hefti, bls. 41-56 og 4. hefti, bls. 57-72.
- (17) Tómas Tryggvason 1949: Virkjun Neðri Fossa í Sogi. TVFÍ, bls. 45-56.

- (18) Tómas Tryggvason 1954: Vinnan í berginu við Neðri Fossa í Sogi. TVFÍ, 3. hefti, bls. 25-34.
- (19) Tómas Tryggvason 1957: The Rock Series at Irafoss. Water Power, jan., bls. 13-19.
- (20) Þorleifur Einarsson 1960: Jarðfræði Búrfellsvirkjunar. Raforkumálástjóri, Orkudeild.
- (21) Þorleifur Einarsson 1970: Jarðfræði Oddskarðs og jarðfræðilegar aðstæður við jarðgangagerð þar. Raunvísindastofnun Háskólans, 19s.
- (22) Þorleifur Einarsson 1984: Jarðgöng í Strákum og Oddskarði - Jarðfræðilegar aðstæður. TVFÍ, (í undirbúningi).
- (23) Þorleifur Einarsson og Haraldur Sigurðsson 1965: Jarðfræði fjallsins Stráka við Siglufjörð og jarðfræðilegar aðstæður við jarðgangagerð þar. Atvinnudeild Háskólans, 14s.
- (24) Þorleifur Einarsson og Haukur Tómasson 1962: Burfell General Geology. Raforkumálástjóri, Orkudeild, 11s.

VIDAUKI I

Skýrslur Orkustofnunar fram til 1984 sem varða berggæðamat

Almennt um notkun Q - kerfisins

Sveinn Þorgrímsson 1976: Mælingar brotflata í bergi. OS-ROD-7614, maí, 18s.

Björn A. Harðarson 1981: Kjarnagreining og sýnataka. Vinnulýsing. Greinargerð OS, BAH-81/01, júní, 20s.

Bjarni Bjarnason 1981: Samræmt berggæðamat. Greinargerð OS, BB-81/01, desember, 6s.

Björn A. Harðarson 1983: Kjarnagreining og sýnataka. Endurskoðuð vinnulýsing. Greinargerð OS, BAH-83/01, maí, 27s.

Blönduvirkjun

Björn A. Harðarson 1982: Blönduvirkjun. Aðkomugöng. Bergtækni. OS-82-122/VOD56 B, desember, 28s.

Björn A. Harðarson 1982: Blönduvirkjun. Frárennslisgöng og stöðvarhús. Bergtækni. OS-82127/VOD57 B, desember 38s.

Björn A. Harðarson 1983: Blönduvirkjun. Fallgöng og strengjagöng. Bergtækni. OS-83009/VOD05 B, febrúar, 19s.

Blanda Hydroelectric Project. Engineering Geology of the area of proposed underground works. Summary. OS-83033/VOD16 B, apríl, 40s.

Kvíslaveita

Bjarni Kristinsson, Þórólfur H. Hafstað og Bjarni Bjarnason 1981: Kvíslaveita 2. Berggæðamat. Greinargerð OS, BK-pHH-BB-81/03, desember, 34s.

Fljótsdalsvirkjun

Sveinn Þorgrímsson 1981: Fljótsdalsvirkjun. Stöðvarhússtæði og jarðgangaleið. Berggæðamat. Greinargerð OS, SvP-81/02, mars, 8s.

Vatnsfellsvirkjun

Björn Jónasson, Pétur Pétursson, Jón Ingimarsson og Snorri P. Snorrason 1984: Vatnsfellsvirkjun. Jarðfræði- og grunnvatnsrannsóknir 1983. OS-84010/VOD05 B, febrúar, 79s.

Búrfellsvirkjun II

Snorri P. Snorrason 1981: Jarðfræði Sámsstaðaklifs. Greinargerð OS, SPS-81/01, júní, 30s.

Sultartangavirkjun

Davíð Egilsson 1980: Q-mat á bergi í Sandafelli og Búðarhálsi. Greinargerð OS, DE-80/08, desember, 10s.

Sveinn Þorgrímsson 1981: Sandafell. Jarðgöng. Bergtæknileg greining. Greinargerð OS, Svþ-81/01, janúar, 11s.

Björn Jónasson o. fl. 1981: Sultartangavirkjun. Stíflustæði. Jarðfræðirannsóknir 1981. Greinargerð OS, BJJ-PP-MG-H1B-BB-81/02, desember, 69s.

Björn Jónasson, Jón Ingimarsson og Pétur Pétursson 1983: Sultartangavirkjun. Jarðfræði- og grunnvatnsrannsóknir á svæði jarðganga og stöðvarhúss í Sandafelli 1982. OS-83014/V0008 B, febrúar, 84s.

Björn A. Harðarson 1984: Sultartangavirkjun. Botnrásarskurður. Samanburður á berggæðamati í borholum og skurði. Greinargerð OS, BAH-84/01, mars, 12s.

Ýmis verk

Skúli Víkingsson og Bjarni Kristinsson 1982: Hólmsberg. Geological Report. OS-82042/V0025 B, maí, 45s.

Skúli Víkingsson og Snorri Zóphóníasson 1982: Hólmsberg. Boreholes B-9 and B-10. OS-82092/V0040 B, október, 25s.

Andrés I. Guðmundsson 1982: Sómastaðagerði, Reyðarfirði. Berggrunnskönnun og berggæðamat. OS-82097/V0042 B, október, 14s.

Birgir Jónsson o. fl. 1982: Landsspítali. Bygging K. Kjarnaboranir og bergtækni. Greinargerð OS, BJ-BAH-EP-GB-82/01, nóvember, 13s.

Bjarni Bjarnason 1983: Ólafsfjarðarmúli. Berggæðamat. Greinargerð OS, BB-83/01, maí, 30s.

Björn A. Harðarson og Ágúst Guðmundsson 1984: Jarðgöng í Færeyjum. Athugun á jarðfræðilegum aðstæðum. OS-84015/V0001, febrúar, 71s.

Björn A. Harðarson og Pétur Pétursson 1984: Sámsstaðamúli. Borhola SR-1. Samanburður við opnur og jarðgöng. OS-84027/V0013 B, mars, 33s.

VIDAUKI II

Almennar leiðbeiningar við einkunnagjöf í Q-mati

BERGGERÐ	RQD	Jn	Jr	Ja	Jw	SRF
Basalt, stórst. (> 50 cm) millist. (15-50 cm)	x	10	2-3	1-2	0,66/1,0	1/2,5
Brotið basalt RQD 40-70%	x	12	-	-	-	-
Basalt (kubbaberg) smást. (< 15 cm) RQD < 50%	x	6	3	-	-	-
Gjallkargi, þéttur RQD > 60%	x	12	-	2-3	-	-
Gjallkargi, laus RQD < 60%	x	15	-	-	-	-
Bólstraberg RQD < 15%	x	14	4	1-2	-	-
Bólstrabreksía RQD < 10%	x	16	3	-	-	-
Setmóberg RQD 30-70%	x	9	1,5	2-3	-	-
Túff-Túffbreksía RQD 20-80%	x	9	1,5	2-3	-	-
Sdst. og völuberg	x	9	1-2	2-4	-	-
Ummyndað setberg	x	9	-	4-8	-	-

ATH: Þetta eru algengar einkunnir sem hafa verið notaðar. Aðrar koma að sjálfsögðu til greina eftir aðstæðum. Hér er reiknað með reglulega uppbyggðu bergi. Einstök veikleikabelti verður að meðhöndla sérstaklega.

Eftirtalin ESR gildi hafa verið notuð:

Neðanjarðarstöðvarhús	1,0
Aðkomugöng	1,3
Frárennslisgöng	1,6
Lóðrétt göng	3,0
Aðrennsliskurðir	5,0
Frárennslisskurðir	6,5
Stöðvarhúsgrunnar	12,0

VIÐAUKI III

Stefnu- og halladreifing brotflata

STRIKE HISTOGRAM

AZ	NO	PCT	
			+.....+.....+.....+.....+.....+.....+.....+.....+.....+.....+
0	3	4.1	01111
10	5	10.8	01111111
20	10	24.3	0111111111111111
30	5	31.1	01111111
40	4	36.5	011111
50	1	37.8	01
60	1	39.2	01
70	3	43.2	01111
80	3	47.3	01111
90	10	60.8	0111111111111111
100	0	60.8	0
110	5	67.6	01111111
120	5	74.3	01111111
130	4	79.7	011111
140	3	83.8	01111
150	4	89.2	011111
160	5	95.9	01111111
170	3	100.0	01111
180	0	100.0	0
			+.....+.....+.....+.....+.....+.....+.....+.....+.....+.....+
TOTAL	74		0 5 10 15 20 25 30 35 40 45 50

PERCENT OF OBSERVATIONS

RIP HISTOGRAM

RIP	NO	PCT	
			+.....+.....+.....+.....+.....+.....+.....+.....+.....+.....+
0	0	0.0	0
5	0	0.0	0
10	0	0.0	0
15	1	1.4	01
20	4	6.8	011111
25	0	6.8	0
30	1	8.1	01
35	1	9.5	01
40	3	13.5	01111
45	1	14.9	01
50	0	14.9	0
55	0	14.9	0
60	5	21.6	01111111
65	0	21.6	0
70	8	32.4	011111111111
75	5	39.2	01111111
80	20	66.2	0111111111111111111111111111
85	11	81.1	0111111111111111
90	14	100.0	01111111111111111111
			+.....+.....+.....+.....+.....+.....+.....+.....+.....+.....+
TOTAL	74		0 5 10 15 20 25 30 35 40 45 50

PERCENT OF OBSERVATIONS

SCHMIDT EQUAL-AREA NET																
41 81 0																
LOWER HEMISPHERE																
27 14 0 0 14 0 0 41 27																
14 14 27 27 14 0 0 0 14 14 41 41 14																
41 14 14 0 14 14 0 0 0 0 0 0 54 27 14																
27 27 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 14 41 14 14																
14 14 0 0 0 0 0 14 14 0 0 0 0 0 0 14 14																
81 14 0 0 0 14 0 0 14 0 0 0 0 0 0 0 0 27																
95 14 0 0 0 27 14 0 0 41 0 0 0 0 0 0 14 27 41																
14 0 0 0 0 27 27 0 0 41 0 0 0 0 0 0 14 27 14																
54 14 0 0 0 0 14 14 14 0 0 0 0 0 0 0 0 14 14 0																
W	41 14 0 0 0 0 14 27 14 0X 0 0 0 0 0 0 14 41 41 E															
0 14 0 14 14 14 14 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 27 54																
14 0 14 0 14 14 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 14 27																
27 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 14 0 27 108																
27 41 14 14 14 0 0 0 0 0 0 0 0 0 14 14 27 81																
54 41 14 14 0 0 0 0 14 0 0 0 0 0 14 41 27																
14 14 14 0 27 27 0 0 14 0 0 0 0 14 41 27																
27 27 14 27 27 27 0 0 0 0 0 0 0 0 27																
14 0 0 27 27 0 0 27 27 0 0 0 14																
PERCENT PLOT																
27 27 0 0 68 0 0 14 14																
NUMBER OF POINTS 74																
NUMBER OF 'COUNTED OUT' POINTS 3474																
POINTS IN 21X21 NET 369																
HJALPARGONG BIRFELLSVIKJUN Stórstudlad Ól.Pól. basalt 3 láréttar málilínur																

SCHMIDT EQUAL-AREA NET

8 32 8

LOWER HEMISPHERE

	16	24	24	16	0	0	8	8	8										
	24	8	8	8	0	0	0	0	0	0	0	8	8	32					
	16	40	32	0	0	0	0	0	0	0	0	8	8	24	63				
	0	0	24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16	48	40		
	71	40	0	0	0	0	0	0	0	0	8	8	0	8	16	24	40		
	16	40	16	0	0	0	0	0	0	0	8	8	0	8	8	0	8	48	
	24	8	0	0	0	8	8	0	8	0	8	16	0	0	0	8	32	71	
	24	0	0	0	0	8	0	8	0	16	16	8	8	8	8	8	16		
32	0	0	0	0	0	8	8	0	0	8	0	16	16	8	0	0	0	24	24
W 32	16	0	0	0	0	8	16	32	16	0X	16	16	24	24	0	0	0	8	32 E
24	16	8	0	0	0	0	0	0	0	8	8	24	16	0	0	0	0	8	32
	8	16	8	0	8	8	0	0	0	0	8	0	0	0	0	0	0	32	
	79	40	8	0	8	8	0	8	8	0	0	8	8	0	16	8	0	24	40
	48	16	0	0	0	0	8	0	0	0	0	0	8	8	0	0	8	16	
	48	63	0	0	0	0	0	0	0	8	8	0	0	0	8	40	56		
	40	87	56	0	0	0	0	0	0	8	16	0	0	0	32	32	0		
	71	40	16	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	24	24			
	32	8	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16	16	24				

PERCENT PLOT

8 8 16 8 32 8 16 16 16

NUMBER OF POINTS 126
 NUMBER OF 'COUNTED OUT' POINTS 3225
 POINTS IN 21X21 NET 621

HJALPARGÖNG BÚRFELLSVIRKJUN
 Millistudlad Ól.Pól. basalt
 1 lár. og 3 lóðr. málifnur

SCHMIDT EQUAL-AREA NET																	0	0	14						
LOWER HEMISPHERE																	0	0	14	14	14	0	14	28	0
	14	42	14	14	14	0	14	0	0	28	14	42	14												
	42	14	14	0	14	14	0	0	0	0	0	42	28	14											
	28	83	56	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14	139	97	0									
	28	83	28	0	0	14	14	0	0	0	0	0	0	42	111	14									
	28	28	14	0	0	0	14	14	0	0	0	0	0	0	0	0	28								
	28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14	14	0	0	28								
	14	14	0	0	0	0	0	0	0	0	14	0	28	42	14	0	42								
14	14	14	0	0	0	14	14	0	0	0	14	14	14	14	0	0	14	42							
W	28	14	28	28	0	0	14	28	14	0	0	0	0	0	0	0	56	69	28	E					
	42	14	0	0	0	0	14	14	0	0	0	0	0	0	0	0	14	14							
	42	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14								
	42	14	0	14	28	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	28								
	28	14	28	0	0	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	28								
	42	42	0	14	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0									
	0	14	28	14	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	28	28									
	14	28	14	0	0	0	0	0	0	14	14	0	14	14	42										
	14	28	0	14	14	14	0	0	14	14	14	42	14												

PERCENT PLOT 0 14 42 28 0 0 0 0 0

NUMBER OF POINTS 72 14 0 0

NUMBER OF 'COUNTED OUT' POINTS 3200

POINTS IN 21X21 NET 356

HJALPARGONG RORFELLSVIKJUN
 Smástudlad Ól.Pól.has.
 Lárétt malilína

SCHMIDT EQUAL-AREA NET

33 22 0

LOWER HEMISPHERE

0 0 22 33 22 22 22 0 0

33 11 0 0 11 11 0 0 0 0 22 44 11

56 44 33 0 0 0 0 0 0 0 0 22 11 44

11 0 33 22 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 22 22

33 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 44 56

22 11 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 44 22

33 0 0 0 0 0 0 0 11 22 11 0 0 0 0 0 33 78

44 0 0 0 0 0 0 0 11 22 33 33 11 11 0 0 22 33

67 11 0 0 0 0 22 22 0 0 0 33 22 11 0 0 0 0 22

W 44 22 0 0 0 0 11 11 0 0X 11 0 0 0 0 0 0 33 44 E

22 0 0 0 0 0 11 11 0 11 11 0 0 0 0 0 0 44 67

22 11 0 0 0 11 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 89

33 0 0 0 0 0 0 0 0 0 11 11 0 0 0 0 11 44

22 33 11 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 56 22

44 33 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 11 56 78

22 44 22 11 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 22 11 11

44 33 11 0 11 11 0 0 0 11 11 0 33 44 67

11 22 0 11 11 0 0 0 22 33 22 33 33

PERCENT PLOT

0 0 0 0 11 22 22 22 0

NUMBER OF POINTS 90

0 22 33

NUMBER OF 'COUNTED OUT' POINTS 3200

POINTS IN 21X21 NET 468

ADKOMUGONG IRAFOSSVIRKJUN

Millistudlad basalt

2 láréttar málilínur

SCHMIDT EQUAL-AREA NET																	59	20	0														
LOWER HEMISPHERE																	20	20	20	39	20	0	0	39	20								
	20	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0	20	39	20	20	0																	
	20	20	0	0	0	0	0	0	0	20	0	20	20	20	39	20	0																
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	39	20	0															
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	39	0															
	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	20	39													
	20	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	20	39	59													
	118	20	0	0	0	0	0	0	0	39	0	0	0	0	0	0	0	20	20	0													
	118	20	20	0	0	0	0	0	0	20	39	0	0	0	0	0	0	0	0	20	20												
W	39	20	0	0	0	20	20	0	0	20	20X	39	20	0	0	0	0	0	0	20	39	E											
	20	39	0	0	0	0	20	20	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	118											
	20	0	0	0	0	20	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	39	118												
	59	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	98	98												
	39	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20												
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	20	0													
	0	0	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	20	0	0															
	0	0	0	0	0	20	20	0	0	0	0	0	0	0	20	20	20																
	0	20	0	0	0	0	0	20	0	0	20	39	20	20																			

PERCENT PLOT 20 20 20 20 20 39 39 20 39

NUMBER OF POINTS 51
 NUMBER OF 'COUNTED OUT' POINTS 3164
 POINTS IN 21X21 NET 234

ADKOMUGÖNG LAXARVIRKJUN
 Stórstudlad basalt
 2 láréttar málilínur

STRIKE HISTOGRAM

AZ	NO	PCT	
			+.....+.....+.....+.....+.....+.....+.....+.....+.....+.....+
0	3	2.3	011
10	5	6.3	011111
20	5	10.2	011111
30	2	11.7	011
40	8	18.0	01111111
50	10	25.8	0111111111
60	3	28.1	011
70	2	29.7	011
80	3	32.0	011
90	5	35.9	011111
100	2	37.5	011
110	2	39.1	011
120	2	40.6	011
130	6	45.3	0111111
140	9	52.3	011111111
150	3	54.7	011
160	21	71.1	0111111111111111111111
170	30	94.5	0111111111111111111111111111
180	7	100.0	011111
			+.....+.....+.....+.....+.....+.....+.....+.....+.....+.....+
TOTAL	128		0 5 10 15 20 25 30 35 40 45 50

PERCENT OF OBSERVATIONS

DIP HISTOGRAM

DIP	NO	PCT	
			+.....+.....+.....+.....+.....+.....+.....+.....+.....+.....+
0	9	7.0	011111111
5	11	15.6	01111111111
10	8	21.9	01111111
15	2	23.4	011
20	5	27.3	011111
25	2	28.9	011
30	3	31.3	011
35	0	31.3	0
40	1	32.0	01
45	2	33.6	011
50	3	35.9	011
55	0	35.9	0
60	5	39.8	011111
65	1	40.6	01
70	6	45.3	0111111
75	2	46.9	011
80	26	67.2	0111111111111111111111111111
85	17	80.5	0111111111111111
90	25	100.0	0111111111111111111111111111
			+.....+.....+.....+.....+.....+.....+.....+.....+.....+.....+
TOTAL	128		0 5 10 15 20 25 30 35 40 45 50

PERCENT OF OBSERVATIONS

SCHMIDT EQUAL-AREA NET

23 16 8

LOWER HEMISPHERE

	8	16	16	8	0	8	0	16	16										
	31	16	8	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	31				
	31	16	8	0	0	0	0	0	0	8	8	0	0	0	0	0	0	0	16
	23	16	0	0	0	0	0	0	0	8	0	0	0	0	0	0	0	16	23
	0	0	8	39	39	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	8	0	0	8	39	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	39
	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	31 94
	0	0	0	0	0	0	0	8	8	0	0	8	16	8	0	0	0	0	70
23	8	0	0	0	0	0	0	16	8	78	16	23	31	8	0	0	0	0	47 63
W 47	0	0	0	0	8	8	8	55	195	156	X 102	31	8	0	0	0	0	0	23 47 E
63	23	0	0	8	8	8	16	16	109	94	16	0	0	0	0	0	0	8	31 23
	63	8	8	0	0	0	0	0	0	0	8	23	16	0	0	0	0	16	23
	63	47	16	0	0	0	0	0	0	0	8	0	8	0	0	0	0	16	16
	70	55	8	0	0	0	0	0	0	8	0	0	0	0	0	0	0	8	8
	16	39	23	0	0	0	0	0	16	16	0	0	0	0	0	0	23	16	
	23	47	55	8	0	0	0	0	16	23	0	0	0	0	16	39	23		
	63	55	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	23	39			
	31	8	0	0	0	0	0	8	0	0	0	0	0	8	31				

PERCENT PLOT

16 16 0 8 8 8 16 8 8

NUMBER OF POINTS 128

8 16 23

NUMBER OF 'COUNTED OUT' POINTS 3593

POINTS IN 21X21 NET 617

STÖÐVARHÖS GRIMSARVIRKJUN

Umhúndad og sprungid basalt

2 láréttar malilínur

STRIKE HISTOGRAM

AZ	NO	PCT	
			+.....+.....+.....+.....+.....+.....+.....+.....+.....+.....+
0	5	5.0	011111
10	5	9.9	011111
20	4	13.9	01111
30	3	16.8	0111
40	3	19.8	0111
50	6	25.7	0111111
60	4	29.7	01111
70	6	35.6	0111111
80	5	40.6	011111
90	7	47.5	01111111
100	7	54.5	01111111
110	4	58.4	01111
120	4	62.4	01111
130	1	63.4	01
140	3	66.3	0111
150	13	79.2	011111111111111
160	5	84.2	011111
170	9	93.1	0111111111
180	7	100.0	01111111
			+.....+.....+.....+.....+.....+.....+.....+.....+.....+.....+
TOTAL	101		0 5 10 15 20 25 30 35 40 45 50

PERCENT OF OBSERVATIONS

RIP HISTOGRAM

RIP	NO	PCT	
			+.....+.....+.....+.....+.....+.....+.....+.....+.....+.....+
0	0	0.0	0
5	0	0.0	0
10	2	2.0	011
15	1	3.0	01
20	3	5.9	0111
25	0	5.9	0
30	1	6.9	01
35	0	6.9	0
40	2	8.9	011
45	1	9.9	01
50	3	12.9	0111
55	0	12.9	0
60	5	17.8	011111
65	2	19.8	011
70	15	34.7	0111111111111111
75	4	38.6	01111
80	31	69.3	0111111111111111111111111111111111
85	9	78.2	0111111111
90	22	100.0	011111111111111111111111
			+.....+.....+.....+.....+.....+.....+.....+.....+.....+.....+
TOTAL	101		0 5 10 15 20 25 30 35 40 45 50

PERCENT OF OBSERVATIONS

SCHMIDT EQUAL-AREA NET

40 30 0

LOWER HEMISPHERE

10 40 10 20 20 40 30 20 20

10 30 10 50 20 10 40 20 10 0 10 10 10

20 30 30 0 20 30 20 10 10 10 0 20 10 0 20

10 10 20 0 0 0 0 10 0 20 0 10 10 0 0 20 20

0 0 10 10 20 20 10 10 10 10 0 0 0 0 0 20 69

0 0 0 10 10 20 0 0 10 10 10 0 0 0 0 0 10 30 0

10 0 0 0 0 0 0 0 0 0 10 10 0 0 0 0 0 0 10 10

30 0 0 10 10 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

30 30 20 0 0 0 0 0 0 10 10 0 10 10 0 0 0 0 0 50

W 50 99 59 0 0 0 0 0 0 0 0X 0 10 0 0 0 0 0 0 10 50 E

30 119 69 10 0 0 0 0 0 0 10 10 20 0 0 0 0 0 0 10 30

79 30 10 0 0 0 0 0 0 10 20 10 10 0 0 0 0 0 20 40

30 30 0 0 0 0 0 0 0 10 0 0 0 0 0 0 0 0 0 30

10 59 0 10 10 0 0 0 0 0 0 10 0 0 0 0 0 20 20 0

99 10 10 10 0 0 0 0 0 10 10 0 0 0 0 0 20 0

20 20 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 10 10 10

30 10 10 10 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 10 20 20

10 10 10 10 0 0 0 0 0 0 0 0 0 20 10

PERCENT PLOT

20 30 0 0 20 20 10 10 10

NUMBER OF POINTS 101

0 30 40

NUMBER OF 'COUNTED OUT' POINTS 3102

POINTS IN 21X21 NET 447

ODDSKARD

Andesit

3 láréttar málilínur

STRIKE HISTOGRAM

AZ	NO	PCT	
			+.....+.....+.....+.....+.....+.....+.....+.....+.....+.....+
0	121	8.8	0111111111
10	77	14.4	0111111
20	81	20.3	0111111
30	49	23.9	01111
40	51	27.6	01111
50	61	32.1	01111
60	35	34.6	0111
70	73	39.9	011111
80	52	43.7	01111
90	82	49.7	0111111
100	39	52.6	0111
110	63	57.1	011111
120	79	62.9	0111111
130	74	68.3	011111
140	86	74.6	0111111
150	96	81.6	01111111
160	123	90.5	0111111111
170	104	98.1	011111111
180	26	100.0	011
			+.....+.....+.....+.....+.....+.....+.....+.....+.....+.....+
TOTAL	1372		0 5 10 15 20 25 30 35 40 45 50

PERCENT OF OBSERVATIONS

DIP HISTOGRAM

DIP	NO	PCT	
			+.....+.....+.....+.....+.....+.....+.....+.....+.....+.....+
0	46	3.4	0111
5	35	5.9	0111
10	50	9.5	01111
15	8	10.1	01
20	27	12.1	011
25	7	12.6	01
30	29	14.7	011
35	4	15.0	0
40	12	15.9	01
45	18	17.2	01
50	20	18.7	01
55	7	19.2	01
60	36	21.8	0111
65	7	22.3	01
70	97	29.4	011111111
75	63	34.0	011111
80	349	59.4	0111111111111111111111111111111111
85	186	73.0	011111111111111111
90	371	100.0	0111111111111111111111111111111111
			+.....+.....+.....+.....+.....+.....+.....+.....+.....+.....+
TOTAL	1372		0 5 10 15 20 25 30 35 40 45 50

PERCENT OF OBSERVATIONS

SCHMIDT EQUAL-AREA NET

36 28 7

LOWER HEMISPHERE

10 16 23 23 12 11 19 29 25

15 15 12 11 7 6 9 4 8 11 17 34 31

28 21 18 2 4 4 1 1 1 3 2 7 22 23 36

15 17 15 3 0 0 1 1 1 2 1 3 2 4 20 31 31

17 15 4 4 7 4 2 2 2 1 2 4 2 2 7 22 34

22 11 4 1 4 4 1 1 1 1 1 3 2 1 2 1 3 14 42

36 10 1 0 0 1 2 1 1 6 2 2 4 2 1 1 4 17 56

29 4 0 1 1 1 2 2 1 16 4 7 5 4 4 2 4 7 32

36 23 4 1 1 1 1 4 4 32 70 5 6 7 4 2 1 1 1 16 57

W 59 50 12 6 2 3 4 7 14 60 63X 42 6 3 3 1 1 1 4 15 59 E

55 30 7 1 1 2 3 5 4 15 40 5 2 2 1 0 0 1 1 17 36

43 7 4 1 2 3 2 1 3 2 1 4 1 0 0 0 2 8 28

53 17 4 3 4 1 0 3 4 1 1 2 3 0 2 2 1 15 36

47 28 7 4 2 2 1 3 1 2 1 0 1 1 2 2 2 9 22

47 31 7 3 2 2 1 0 4 3 1 1 0 1 4 15 17

31 36 22 5 2 2 1 1 4 3 2 1 0 1 11 19 15

42 31 17 4 3 4 1 1 0 3 3 0 8 15 28

31 30 11 9 6 3 5 3 5 5 6 11 15

PERCENT PLOT

23 26 12 7 24 12 15 11 10

NUMBER OF POINTS 1372

7 28 36

ALLAR MÆLINGAR 1981

NUMBER OF 'COUNTED OUT' POINTS 3389

Result

POINTS IN 21X21 NET 6842