



ORKUSTOFNUN  
Vatnsorkudeild

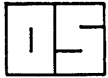
**SULTARTANGAVIRKJUN**

Brotstyrkur bergs á jarðganga-  
leiðum í Sandafelli

Björn A. Harðarson

OS-83036/VOD-18 B

Apríl 1983



**ORKUSTOFNUN**

GRENSÁSVEGI 9. 108 REYKJAVÍK

**SULTARTANGAVIRKJUN**

Brotstyrkur bergs á jarðganga-  
leiðum í Sandafelli

Björn A. Harðarson

OS-83036/VOD-18 B

Apríl 1983



Dags.  
1983-12-01  
Dags.

Tilv. vor  
VOD/330/330/203-83/BAH-a  
Tilv. yðar

Landsvirkjun  
Háaleitisbraut 68  
108 Reykjavík.

Varðar: Skilagreininna "Sultartangavirkjun. Brotstyrkur bergs á jarðgangaleiðum í Sandafelli. OS-83036/VOD-18 B".

Skilagrein þessi er unnin samkvæmt samningi milli Landsvirkjunar og Orkustofnunar, sem undirritaður var 01. júní 1982. Verk þetta er framhald fyrri rannsókna á Sandafelli sbr. skilagrein "OS-83014/VOD-08 B".

Í þessari skilagrein er gerð grein fyrir niðurstöðum prófa á brotstyrk flestra berggerða á jarðgangaleiðum 1 til 4 í Sandafelli. Hér er aðeins um samantekt að ræða þar sem öll gögn lágu fyrir áður. Skilagreinin var unnin í apríl 1983 en komst ekki í prentun fyrr en nú vegna anna höfundar.

Tölfræðilegri úrvinnslu á berggæðamati borkjarna úr Sandafelli er ekki lokið en niðurstöður eru væntanlegar innan 4 mánaða.

Virðingarfyllst,

Haukur Tómasson

Davíð Egilson

Björn A. Harðarson

## EFNISYFIRLIT

bls.

1	INNGANGUR.....	4
2	BERGERÐIR.....	6
3	EINÁSA BROTPOLSPRÓF.....	7
4	PUNKTÁLAGSPRÓF.....	7
5	NIÐURSTÖÐUR FRÁ ATLAS COPCO OG ROBBINS.....	9
6	SAMANTEKT.....	10
	HEIMILDIR.....	12
	VIÐAUKI.....	18

## MYNDIR

1	Sandafell. Staðsetning borhola og jarðlagasniða.....	13
2	Jarðlagasnið á jarðgangaleið 1, staðsetning sýna.....	15
3	Jarðlagasnið á jarðgangaleið 2, staðsetning sýna.....	17

## TÖFLUR

1	Sýnatökubil, berggerðir og fjöldi prófa.....	6
2	Lýsingar á sýnum (í Viðauka - á ensku).....	19
3	Niðurstöður einása brotpolsprófa (í Viðauka - á ensku).	22
4	Niðurstöður punktálagsprófa (í Viðauka - á ensku).....	24
5	Niðurstöður frá Atlas Copco og Robbins.....	9
6	Samantekt á niðurstöðum.....	10



## 1 INNGANGUR

Í þessari greinargerð eru birtar niðurstöður brotpolsprófa sem gerðar voru á bergsýnum úr borholum í Sandafelli. Prófanirnar voru gerðar í bergtæknistofu McGill háskóla, Montreal, Canada og voru hluti af verkefni undirritaðs við þann skóla. Megintilgangur prófananna var að afla upplýsinga um styrk bergsins og bera saman niðurstöður úr þremur mismunandi prófunaraðferðum. Þessar aðferðir eru: staðlað einása brotpolspróf (uniaxial compression test), punktálagspróf (point load test) og Schmidt hamars-próf (Schmidt hammer test). Áreiðanlegir samanburðarlyklar milli þessara prófa eru mjög mikilvægir þar sem tvö síðarnefndu prófin eru afar handhæg og ódýr og öll nauðsynleg áhöld til á Vatnsorkudeild Orkustofnunar.

Hér er ekki ætlunin að greina sérstaklega frá niðurstöðum samanburðarins milli aðferða heldur einungis að greina frá niðurstöðum einása- og punktálagsprófa. Þó er þess getið að niðurstöður úr prófum á Sandafellskjarna benda til þess að samband einása brotpolsprófa og punktálagsprófa sé eftirfarandi:  $\sigma_c = 20 \times I_s50$ . Frekari prófanir á komandi árum munu leiða í ljós hvort þetta samband sé algilt fyrir íslenskt berg.

Lögð er áhersla á það að hér er verið að mæla brotstyrk bergefna ("intact rock") en ekki bergmassa ("rock mass"). Niðurstöður þessar koma að gagni við hönnun og áætlanagerð neðanjarðarmannvirkja. Sem dæmi hefur brotstyrkur jarðgangabergs áhrif á borhraða (DRI) og krónuslit (BWI).

Nauðsynlegt er að tiltækar upplýsingar af þessum toga séu á einum stað fyrir hvert mannvirki og í þeim tilgangi eru hér teknar saman og birtar niðurstöður nokkurra einása brotpols- og punktálagsprófa sem fyrirtækin Atlas Copco og Robbins gerðu 1981 á Sandafellskjarna.

Sýnatakan fór fram í ágúst 1981 eftir að kjarninn hafði verið fluttur af borstað til Reykjavíkur. Sýnunum var vandlega pakkað og síðan send til Montreal í byrjun september 1981. Prófanir fóru fram í janúar og febrúar 1982. Þannig höfðu sýnin verið geymd mánuðum saman við stofuhita áður en þau voru prófuð. Meðhöndlun, geymsla og flutningur eru ekki talin hafa veruleg áhrif á basaltsýnin en áhrifin á setsýnin eru mun meiri, sérstaklega þurrkunin.

Allur kjarninn var sagaður niður í 12cm langa bíta. Við sögunina var reynt að forðast eins og kostur var að sýnin blotnuðu um of. Allir afgangsendar voru geymdir og prófaðir með punktálagstækinu. Hvert sýni var merkt með holunúmeri og hæð (m y.s.) en alls fengust 59 sýni 12 cm löng. Sýni valin til einása brotpolsprófs voru síðan sett í rennibekk og endar þeirra slípaðir með sílikonkarbit steini þar til endaflötur varð hornréttur á langás.

## 2 BERGGERÐIR

Sýni voru tekin úr alls átta borholum og af þeim berggerðum (jarðfræðilegu einingum) sem líklegast þótti, á þeim tíma, að fyrirhuguð jarðgöng yrðu staðsett í. Stutt samantekt á sýnatökubílum, berggerðum, fjölda prófa o.fl. er sýnd í töflu 1. Þar kemur m.a. fram að flest sýnin eru tekin úr jarðmyndunum á og í nágrenni jarðgangaleiðar 1, aðrennsliögöng (sjá mynd 1 og nánar í heimildum 4 og 5). Nákvæmar lýsingar á öllum sýnum er að finna í töflu 2 í viðauka. Staðsetningar allra sýna eru sýndar á myndum 2 og 3.

Tafla 1. Sýnatökubíl, berggerðir og fjöldi prófa

Hola nr.	Sýnatökubíl m y.s.	Berggerð	Fjöldi prófa Einás	Punktál.	Athugasemdir
SF-3	263-269	Basalt-dfl	4	11	Dflabas. austast á leið 1-4, aðrennsli.*
SF-4	271-278	Basalt-dfl	5	14	Dfl.ól. bas. á leið 1, aðrennsli.
SF-11	262-273	Basalt-dfl	7	11	Dfl.ól.bas. á leið 1, aðrennsli.
SF-12	269-272	Basalt-þól	4	11	Basalt á leið 1, aðrennsli.
SF-18	236-245	Basalt-ól (dyngja)	6	9	Dyngjubas. á leið 2, frárennsli.
SF-2	270-275	Sandsteinn	5	10	Sdst. á leið 1, aðrennsli.
SF-5	255-270	Völuberg	6	13	Setberg á leið 1, aðrennsli.
SF-6	243-248	Völuberg	6	7	Setberg á leið 2, frárennsli.

\* Samanber heimildir 4 og 5.

### 3 EINÁSA BROTPOLSPRÓF

Alls voru framkvæmd 43 einás brotpolspróf, 20 á þéttum basaltsýnum, 6 á blöðröttu basalti (dyngja) og 17 á setbergi. Mikil áhersla var lögð á að fá endafleti sýnanna hornrétt á langás. Álag var sett á sýnin með nær jöfnum hraða, um 1 MPa/s á basaltsýnin en um 0,35 MPa/s á setbergið. Niðurstöður prófanna eru sýndar í töflu 3 í viðauka.

Fersku basalteiningarnar hafa meðalbrotþol 220-235 MPa, meðalfrávik 12-53 MPa (5,5-23,5%). Blöðrötta basaltið (dyngjan) er með brotþol um 55 MPa (meðalfrávik 15 MPa (28%)) og setbergseiningarnar 16-54 MPa (meðalfrávik 4,5-6,5 MPa (12,1-28,3%)).

Brottegundir allra sýna voru skráðar ásamt halla aðal brotflatar. Brottegundir voru aðallega þrenns konar (sjá töflu 3); skerbrot, togbrott (brotnar eftir endilöngu) og bland beggja. Halli aðal brotflatar frá láréttu var skráður þar sem hægt var en fræðilega er hallinn í gráðum =  $45 + \phi/2$ . Út frá þessum mælingum er því hægt að áætla meðalskriðhorn ( $\phi$ ) fyrir hverja berggerð. Niðurstöður benda til þess að skriðhorn óhreyfðs basalts sé 30-40 gráður en skriðhorn setbergsins sé 25-35 gráður. Þessar niðurstöður eru í góðu samræmi við það sem áður var haldið. Almenn gildir sú regla að því lægri sem einása brotstyrkur er því minna er skriðhornið.

Út frá eldri prófunum á afmyndun bergsýna undir einása álagi (sjá heimildir 2,8 og 9) má áætla að fjaðurstuðull (Youngs stuðull,  $E_{t50}$ , modulus of elasticity) þetta basaltsins sé 30-80 GPa, blöðrötta basaltsins 30-50 GPa og setbergsins 2-20 GPa.

### 4 PUNKTÁLAGSPRÓF

Alls voru framkvæmd 150 punktálagspróf á öllum berggerðum. Hvert 12 cm langt sýni var hægt að prófa 3-5 sinnum auk þess sem allir afgangsbútar úr sögun voru prófaðir. Upplýsingar um framkvæmd og úrvinnslu prófanna er að finna í heimild 6. Athuganir á niðurstöðum sýndu að ef hlutfallið lengd/þvermál sýna (L/D) var <1 þá var brotálagið háð lengd sýnisins. Af þessum sökum var öllum prófniðurstöðum sleppt þar sem L/D < 1. Niðurstöður þeirra 86 prófa sem eftir voru eru sýndar í töflu 4



í viðauka.

Punktálagsbrotstuðull (meðal  $Is_{50}$ ) þetta basaltsins er 11,4-12,6 MPa, blöðrótta basaltsins 4,8 MPa og setbergisins 0,8-3,1 MPa. Staðalfrávik (sem % af meðaltali) þétts basalts er 7-18%, blöðrótta basaltsins 37% og 28-37% fyrir setbergið. Þessar tölur má líta á sem afstæðan mælikvarða á misleitni bergsins (heterogeneity).

Samanburður á niðurstöðum einása brotpólsprófs og punktálagsprófs gefur til kynna að blöðrótta basaltið (dyngjubasalt úr SF-18) sé mun sterkara í lárétta stefnu (punktálag) en lóðrétta (einása álag). Ástæðan fyrir þessu er ókunn. Einnig kom í ljós að þrátt fyrir lárétta straumflögun í þetta basaltinu úr SF-12 þá hefur það meiri styrk í lárétta stefnu en lóðrétta. Eins og búast mátti við þá er sandsteinninn tiltölulega veikari í lárétta en lóðrétta stefnu, aðallega vegna lagskiptingar.

Dreifing brotgilda þetta basaltsins er minni í punktálagsprófi en í einása prófi. Veika setbergið sýnir aftur á móti meiri dreifingu í punktálagsprófi en í einás. Þetta gefur til kynna að þegar setberg er prófað í punktálagstæki þarf fleiri sýni (a.m.k. helmingi fleiri) til að fá áreiðanlegar niðurstöður en ef um basalt er að ræða.

Samband einása brotstyrks og brotstyrks úr punktálagsprófi er yfirleitt skrifað;  $\sigma_c = k Is_{50}$  þar sem  $\sigma_c$  = einása brotstyrkur og  $Is_{50}$  = brotstyrkur úr punktálagstæki. Samanburður á niðurstöðum gefur til kynna að margföldunarstuðullinn  $k$  sé 20 að meðaltali fyrir allar berggerðir (sjá línurit úr heimild 3 aftast í viðauka). Frekari prófanir eru nauðsynlegar til að kanna þetta samband frekar, sérstaklega á styrkleikabilinu 70-180 MPa.

## 5 NIÐURSTÖÐUR FRÁ ATLAS COPCO OG ROBBINS

Árið 1981 voru brotprófuð nokkur sýni úr Sandafelli á vegum Atlas Copco Jarva AG og The Robbins Company (heimildir 1 og 10). Var þar um að ræða bæði einása- og punktálagspróf. Ekkert er vitað um framkvæmd né úrvinnslu þessara prófa. Niðurstöður eru sýndar í töflu 5.

Tafla 5. Niðurstöður brotpolsprófa frá Atlas Copco og Robbins

Hola nr.	Sýni m y.s.	Berggerð	Fjöldi sýna	Einás MPa	Punktál. MPa	Frkv. af	Aths.
SF-2	276,6	Völuberg	1	205*	1,8	A.C.	Leið 1,aðr.
SF-3	274,8	Bas.-dfl.	1	280	12,1	-	Leiðir 1-4
SF-4	276,6	Bas.-dfl.	1	280	11,9	-	Leið 1,aðr.
SF-5	273,6**	Bas.-Jaram.	1	255	11,7	-	Leiðir 1-4
SF-10	279,1	- " -	1	250	14,2	-	Leiðir 1-4
SF-1	253,6	Bas.-pól. (ummyndað)	2	37		Robbins	Leið 1
SF-1	249,2	- " -	1	43		-	Leið 1
SF-1	242,1	Set-Móberg (ummyndað)	4	30		-	Leið 1
SF-1	281,1	Bas.-ól. (dyngja)	2	50		-	Leiðir 1-2
SF-2	277,6	Völuberg	3	20		-	Leið 1,aðr.
SF-2	251,2	Líparít	2	95		-	Leiðir 1-3
SF-3	276,8	Bas.-dfl.	1	85***		-	Leiðir 1-4

Athugasemdir höfundar:

\* Mjög vafasamt ef um völuberg er að ræða

\*\* Sennilega rangt þ.s. setberg er í þessari hæð í SF-5

\*\*\* Sennilega gallað sýni

## 6 SAMANTEKT

Samantekt á niðurstöðum allra brotpolsprófana er sýnd í töflu 6 ásamt berggerðum og staðsetningu. Þar sést að niðurstöður liggja fyrir um brotpól flestra ef ekki allra þeirra berggerða sem koma fyrir á jarðgangaleiðum 1 til 4 í Sandafelli.

Tafla 6. Samantekt á niðurstöðum.

Berggerð	Fjöldi prófa	Brotpól (MPa)		Staðsetning
		Svið	Meðal	
Basalt-þól.	15	204-266	240	SF-12, leið 1
- " - ,umm.	3	36-43	40	SF-1, leið 1
Basalt-dfl	38	177-317	235	SF-4+11, leið 1
Basalt-dfl.	16	170-330	245	SF-3, leiðir 1-4
Basalt-Jaram.	2	250-255	250	SF-5+10, leiðir 1-4
Basalt-ól. (dyngja)	17	33-160	75	SF-1+18, leiðir 1,2 og 4
Líparft	2	94-102	95	SF-2, leiðir 1+3, aðr.
Set-Móberg (umm.)	4	25-35	30	SF-1, leið 1, aðr.
Hart Völuberg	16	34-112	55	SF-6, leið 2, frá.
Veikt Völuberg	19	10-29	17	SF-5, leið 1, aðr.
Sandsteinn	12	14-40	25	SF-2, leið 1, aðr.
-----				
Alls; 144				
-----				

Túlkun á niðurstöðum brotpolsprófa er nokkuð mismunandi og nokkur flokkunarkerfi á bergstyrkleika hafa verið sett fram. Hér er notast við eftirfarandi flokkunarkerfi frá ISRM (heimild 7):

Flokkur	Brotþol (MPa)
Mjög sterkt berg	200
Sterkt berg	60 - 200
Meðalsterkt berg	20 - 60
Veikt berg	6 - 20
Mjög veikt berg	6

Samkvæmt þessu flokkast allt ferska basaltið sem "mjög sterkt berg", en dyngjubasaltið og líparítið sem "sterkt berg" (sjá töflu 6). Ummýndaða basaltið, ummýndaða setmóbergið, vel samlímda völubergið og sandsteinninn flokkast sem "meðalsterkt berg" og illa samlímda völubergið sem "veikt berg". Hafa þeir í huga að hér er um prófanir á þurru bergi að ræða en öll sýnin voru vatnsmettuð í náttúrulegu umhverfi. Reynslan sýnir að mettuð basaltsýni geta gefið allt að 10% lægri niðurstöður og mettuð setsýni í þessum styrkleikaflokkum allt að 30% lægri niðurstöður. Til að fyrirbyggja misskilning skal það áréttað að hér er verið að tala um brotstyrk óhreyfðra sýna af bergefnum (intact rock) en ekki bergmassa (rock mass).

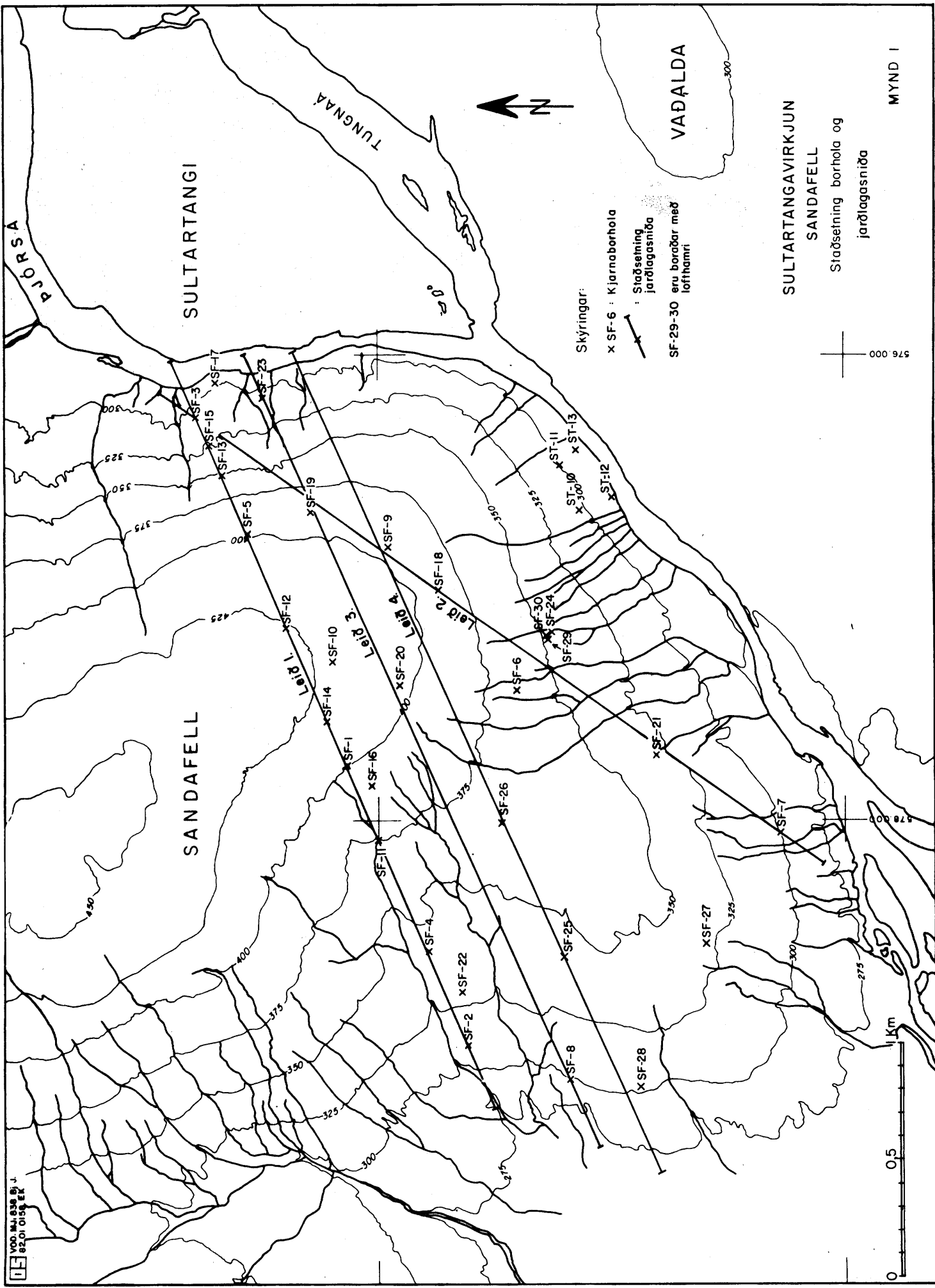
Út frá jarðlagasniðum (t.d. þeim sem sýnd eru á myndum 2 og 3) er hægt að áætla hlut hvers styrkleikaflokks fyrir hverja jarðgangaleið fyrir sig. En þar sem jarðgangaleið hefur ekki verið endanlega valin er ekki farið út í þá sálma hér. Niðurstöður brotþolsprófa á bergefnum eru ekki ráðandi um leiðaval sem slíkar en meginreglan er sú að "mjög veikt" og "veikt berg" á að forðast. Í fljótu bragði virðist einna minnst af þessum styrkleikaflokkum á leið 2, aðrennslisgöng. Niðurstöður þessara brotþolsprófa geta einnig komið beint að notum við hönnun og áætlanagerð neðanjarðarmannvirkjana. Sem dæmi hefur brotstyrkur jarðgangabergs áhrif á borhraða (DRI) og krónuslit (BWI).



## HEIMILDIR

- 1 Atlas Copco Jarva AG 1981: Bréf dags. 08.05. Niðurstöður prófa á bergsýnum.
- 2 Birgir Jónsson 1971: Geotechnical Properties of Tillite and Mó-berg from Southern Central - Iceland. M.Sc. ritgerð. University of Durham, England, 50s.
- 3 Björn A. Harðarson 1982: Uniaxial strength of some Icelandic rock types and correlation between uniaxial compressive strength, point-load index and Schmidt hammer rebound numbers. Óbirt ritgerð, McGill Háskóli, Montreal, 41s.
- 4 Björn Jónasson, Pétur Pétursson, Þorsteinn Egilsson og Bjarni Bjarnason 1982: Sultartangavirkjun. Jarðfræði- og grunnvatnsrannsóknir á svæði jarðganga og stöðvarhúss í Sandafelli 1981. Orkustofnun, OS82124/VOD17, 227s.
- 5 Björn Jónasson, Jón Ingimarsson og Pétur Pétursson 1983: Sultartangavirkjun. Jarðfræði- og grunnvatnsrannsóknir á svæði jarðganga og stöðvarhúss í Sandafelli 1982. Orkustofnun, OS83014/VOD08, 85s.
- 6 Broch, E of Franklin, J.A. 1972: The point load strength test. Int. J. Rock Mech. Min. Sci., 9., pp.669-697.
- 7 International Society for Rock Mechanics 1980: Commission on classification of rocks and rock mass. Basic geotechnical Description of Rock Masses. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. Geomech. Abstr., 18., pp.85-110.
- 8 Rannsóknarstofnun Byggingariðnaðarins 1976; Rannsókn H76/857. Bréf dags. 09.20. Niðurstöður prófa á bergsýnum.
- 9 Sveinn Þorgrímsson 1976: Greinargerð um einása brotpóls-próf á íslensku bergi. Í handriti, 3s.
- 10 The Robbins Company 1981: Bréf dags. 02.17. Niðurstöður prófa á bergsýnum.

VF 100. Mj. 638 B). J.  
82.01.0159. EK



SULTARTANGI

SANDAFELL

TUNGNAÁ

VADÁLDA

Leid 1  
Leid 3  
Leid 4  
Leid 2

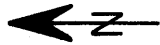
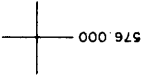
Skýringar:  
x SF-6 : Kjarnaborhola  
: Staðsetning jarðlagasíða  
SF-29-30 eru borðar með lofthamri

SULTARTANGAVIRKJUN  
SANDAFELL  
Staðsetning borhola og jarðlagasíða

MYND 1

Y 410 000

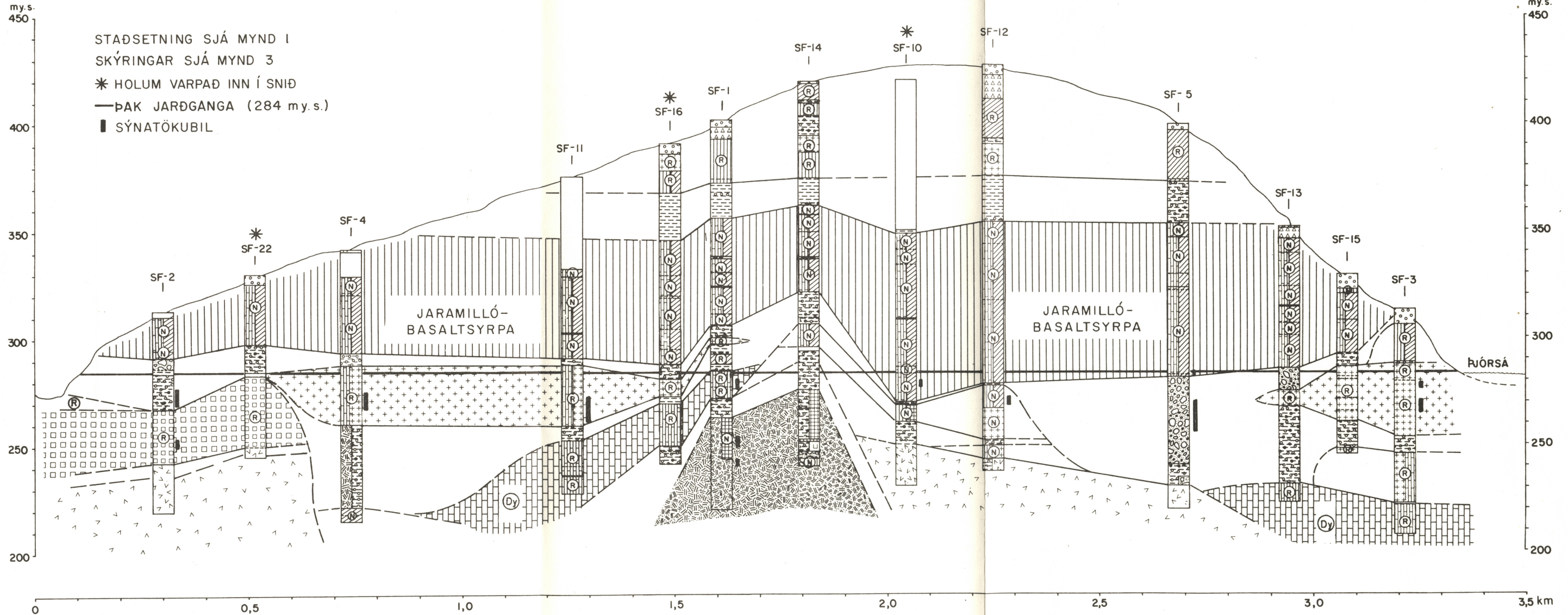
Y 408 000



# SULTARTANGAVIRKJUN

## SANDAFELL

### JARÐLAGASNIÐ Á JARÐGANGALEIÐ I



MYND 2



# SULTARTANGAVIRKJUN SANDAFELL

JARÐLAGASNIÐ Á JARÐGANGALEIÐ 2.

STAÐSETNING SJÁ MYND 1

\* HOLUM VARPAÐ INN Í SNID

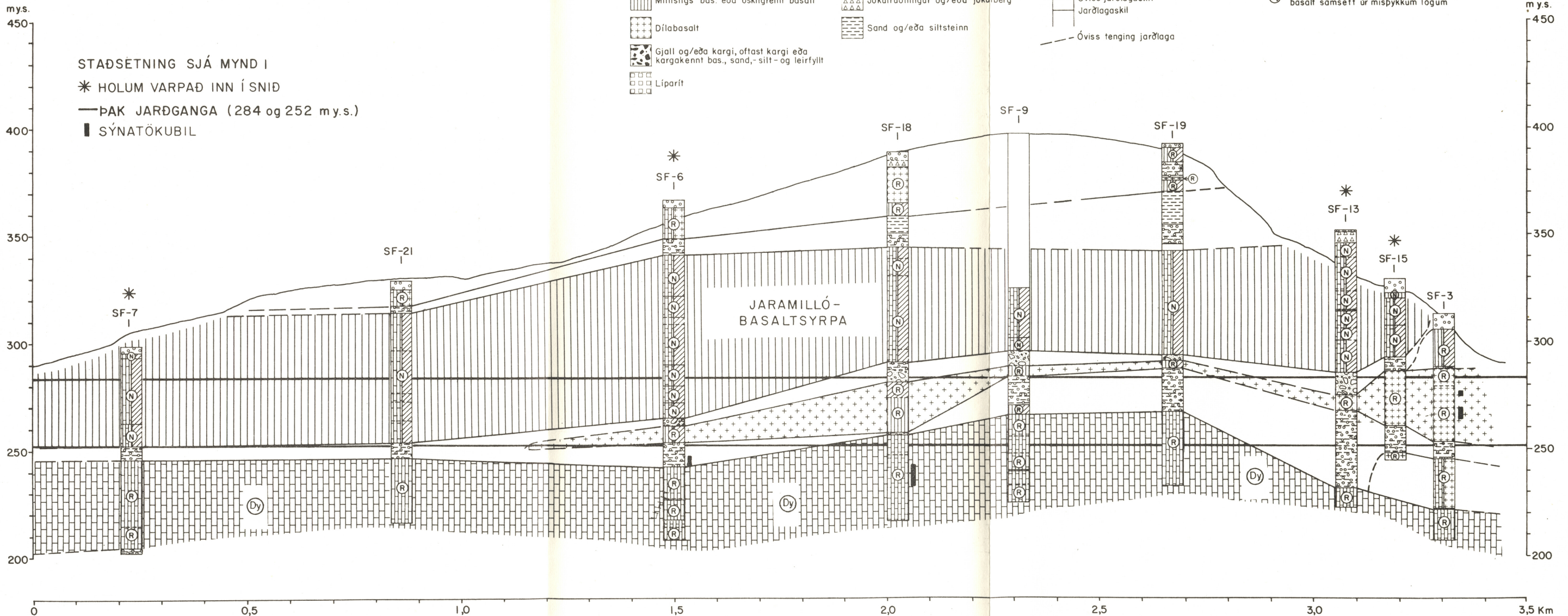
— ÞAK JARÐGANGA (284 og 252 m y.s.)

■ SÝNATÖKUBIL

## SKÝRINGAR

- |  |  |  |
|--|--|--|
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |

- (N) Rétt segulmagnað berg
- (R) Öfugt segulmagnað berg
- (A) Óviss segulstefna, sem bendir til að berg sé öfugt segulmagnað
- (Dy) Dyngjubasalt þ.e. beltað smákoru basalt samsett úr misþykkum lögum



MYND 3



**VIĐAUKI**

Table 2. Description of samples

Unit No.	Sample No.	Tests*		Description
		U	P	
SF-3	268,7	+		Light gray, very massive, medium grained (porph. tholeiite) basalt. Phenocrysts <5%, up to 2mm long. Small yellow alteration spots common, otherwise fresh. No pores observed and no weakness planes. All samples very similiar. 268,7 a touch darker than others. Homogenous rock in hand specimen.
-	267,7	+		
-	267,5		+	
-	267,1	+		
-	266,9		+	
-	266,7	+		
-	262,9		+	
SF-4	278,1		+	
-	278,0	+		
-	277,7	+		
-	276,7	+		
-	276,4	+		
-	276,2		+	
-	271,7	+		
-	271,5		+	
SF-11	272,2		+	Medium gray, massive, medium grained (olivin) basalt. Very small pores can be seen in some samples. Phenocrysts 1-2%, up to 2mm long. No significant alteration. Faint banding (perp. to long axis) observed in some samples exp. in 272,1 and 262,4. Otherwise all samples similiar with no weakness planes. Homogenous rock in hand specimen.
-	272,5	+		
-	272,3		+	
-	272,1	+		
-	271,9	+		
-	271,7	+		
-	270,8	+		
-	270,6		+	
-	270,3	+		
-	262,4	+		
SF-12	271,6	+		Light gray, massive, fine to medium grained (tholeiitic) basalt. Tabular phenocr. (<1%) up to 3mm long. No significant alteration. Occasional small to large, empty pores (<5x3mm). Flow bands (perp. to axis) can be seen in all samples. Homogenous rock in hand specimen.
-	270,2	+		
-	269,9		+	
-	269,8	+		
-	269,2		+	
-	269,0	+		
-	268,8		+	

\* U: Uniaxial Compression Test

P: Point Load Test

Table 2. Cont'd.

Unit No.	Sample No.	Tests		Description
		U	P	
SF-18	244,7	+		Medium to dark gray, fine to medium grained ol.basalt ("shield type"). Phenocr.<1%. VERY VESICULAR, small and large pores (up to 17 x8mm) very common (15-25% vol.).Most pores filled or halffilled with zeolites giving the rock a white spotted appearance. Some pores coated with dark clay (smectite?). Thus the rock is considerably altered. Sample 243,8 is denser and fresher than others. No weakness planes obs. Sample 242,6 has small pores and most of them filled with dark clay. Heterogenous rock in hand specimen.
-	244,5	+		
-	244,3		+	
-	243,8			
-	242,6	+		
-	242,4	+		
-	242,2		+	
-	236,4	+		
-	236,2	+		
-	236,0		+	
SF-2	274,8	+	+	Brownish gray, silty-sandy conglomerate, well cemented. Pebbles of all sizes up to 18x12mm, most of them rounded. No bedding. 3 faint cemented joints (45 degr. from axis) were observed. Pebbles ca. 20%, matrix sand and silt.
-	274,6	+		Very similiar to 274,8. Pebbles ca. 30%.
-	272,1	+	+	Brownish gray, silty sandstone. Lower 1/4 homogenous sdst., centre half coarse sdst. Top 1/4 fine sdst. or coarse siltst. Some cemented discontinous joints observed in upper part.
-	271,6	+	+	Light brownish-gray sdst. Lower 1/4 thinly bedded ca. 15 degr. from axis. Centre half fine sdst. grading upwards into coarse sdst. Top 1/4 coarse sdst. with pockets of fine sdst. Two cemented joints (50 and 70 degr. from axis).
-	270,6	+	+	Light brownish-gray sdst., very homogenous. Two cemented joints (45 and 60 degr. from axis).

Table 2. Cont'd.

Unit No.	Sample No.	Tests		Description
		U	P	
SF-5	270,0	+	+	Brownish conglomerate. Pebbles (ca. 30-50%) up to 3cm long in coarse sdst. matrix. Some light secondary material. No bedding or joints visible. Most pebbles basaltic, subrounded to angular.
-	267,6	+	+	Brownish-gray conglomerate. Basaltic pebbles (ca. 20%vol.) up to 1cm long, most of them subrounded to angular. Matrix is medium grained sdst. No bedding or joints visible.
-	264,8	+	+	Brownish conglomerate. Very light. Pebbles (ca. 30%vol.) up to 1cm. Matrix is coarse brownish sand. Poorly cemented. Considerable alterations. No bedding or joints visible.
-	264,3	+	+	Brownish-gray conglomerate. Pebbles (ca.50-60%) are subrounded to subangular up to 2cm long. Matrix is sdst. Some voids are present but most of them filled with zeolites. No bedding or joints.
-	259,6	+	+	Very coarse conglomerate. Basaltic pebbles up to 5cm long (ca. 70%vol.), most of them subrounded. Matrix is brownish-gray silt or fine sand. No bedding or joints.
-	254,8	+	+	Very coarse conglomerate (agglomerate). Sample consists of 4 massive cobbles (ca. 65%vol) with brownish sandy matrix. Well cemented and no joints visible.
SF-6	246,9	+		Gray, well cemented conglomerate. Most pebbles subangular and <1cm. Pebbles ca. 30-40%vol. No joints. Matrix sandy without bedding.
-	247,5	+	+	Conglomerate. Very similiar to 246,9.
-	247,4	+		Gray, well cemented, bedded sdst. Fine and coarse alternating lenses of sdst. Finest portion could be coarse silt. Contacts both gradational and sharp. Some small pebbles in coarse part (<2mm). Bedding 10-20 degr. from axis. No joints.
-	245,2	+	+	Conglomerate. Very similiar to 247,5. One cemented joint 20 degr. from axis.
-	244,8	+	+	Conglomerate. Very similiar to 247,5.
-	242,8	+	+	Conglomerate. Very similiar to 247,5, but bottom is pebble free and some horizontal bedding in central part. No joints visible.



Table 3. Uniaxial Compression Test Results

Unit No. /Rock	Sample No.	Type of failure	$\sigma_c$ MPa	$\bar{\sigma}_c$ MPa	Strd. Deviation MPa	%
SF-3	268,7	shear	290			
Massive	267,7	-	177	224	52,7	23,5
Basalt	267,1	-	262			
-	266,7	sh.-tens.	169			
SF-4	278,0	shear	187			
Massive	277,7	-	230			
Basalt	276,7	sh.-tens.	177	233	51,0	21,8
-	276,4	shear	256			
-	271,7	-	317			
SF-11	272,5	sh.-tens.	225			
Massive	272,1	-	223			
Basalt	271,9	-	220			
-	271,7	shear	215	236	21,5	9,1
-	270,8	tensile	262			
-	270,3	-	275			
-	262,4	sh.-tens.	231			
SF-12	271,6	shear	229			
Massive	270,2	sh.-tens.	204	222	12,2	5,5
Basalt	269,8	-	217			
-	269,0	tensile	236			
SF-18	244,7	shear	66			
Vesicular	244,5	-	44			
Basalt	242,6	tensile	33	55	15,3	28,1
-	242,4	-	43			
-	236,4	-	65			
-	236,2	sh.-tens.	76			
SF-2	274,6	shear	40			
Sandstone	272,1	tensile	31			
-	271,6	sh.-tens.	33	32	5,4	16,6
-	270,6	-	25			
Sandy Congl.	274,8	shear	45*			

Table 3. Cont'd.

Unit No. /Rock	Sample No.	Type of failure	$\sigma_c$ MPa	$\bar{\sigma}_c$ MPa	Strd. Deviation MPa	%
SF-5	270,0	shear	13			
Congl.	267,6	tensile	25			
-	264,8	shear	4*			
-	264,3	sh.-tens.	13	16	4,5	28,3
-	259,6	tensile	14			
-	254,8	shear	15			
SF-6	247,1	sh.-tens	42			
Congl.	246,7	shear	53			
-	246,6	-	62	54	6,5	12,1
-	245,2	tensile	54			
-	244,8	sh.-tens.	51			
-	242,8	-	61			

\* Not included in the average

Table 4. Point Load Test Results

Unit No. /Rock	Sample No.	Is(50) MPa	Average Is(50)	Median Is(50)	Strd. Deviation MPa	Deviation %
SF-3	267,5	11,8				
Massive	-	10,0				
Basalt	-	11,7				
-	266,9	14,9				
-	-	12,8				
-	-	14,9	12,6	11,8	2,3	18,3
-	-	16,5				
-	262,9	9,1				
-	-	10,7				
-	-	11,1				
-	-	15,0				
SF-4	278,1	12,0				
Massive	-	10,6				
Basalt	-	10,9				
-	-	10,3				
-	-	12,0				
-	276,2	11,5				
-	-	12,5	11,4	11,1	0,8	7,0
-	-	10,4				
-	-	11,0				
-	-	11,2				
-	271,5	12,2				
-	-	12,9				
-	-	10,8				
-	-	10,9				
SF-11	272,7	13,2				
Massive	-	13,3				
Basalt	273,3	13,0				
-	-	10,8				
-	-	11,7				
-	-	12,8	12,0	11,7	1,0	8,3
-	-	12,7				
-	270,6	11,1				
-	-	11,6				
-	-	10,7				
-	-	10,7				

Table 4. Cont'd.

Unit No. /Rock	Sample No.	Is(50) MPa	Average Is(50)	Median Is(50)	Strd. Deviation MPa	Deviation %
SF-12	269,9	12,9				
Massive	-	15,0				
Basalt	-	11,8				
-	-	11,5				
-	269,2	13,3				
-	-	12,5	12,3	11,9	1,1	8,7
-	-	11,9				
-	268,8	11,7				
-	-	12,1				
-	-	11,1				
-	-	11,3				
SF-18	244,3	4,7				
Vesic.	-	3,1				
Basalt	-	4,6				
-	242,2	2,4				
-	-	3,3	4,8	4,7	1,8	36,9
-	-	4,4				
-	236,0	8,0				
-	-	7,3				
-	-	5,2				
SF-2	274,8	2,3*				
Sandst.	-	2,1*				
-	272,1	1,6				
-	-	0,8				
-	271,6	1,9				
-	-	0,9	1,1	0,9	0,4	36,7
-	-	0,8				
-	270,6	1,1				
-	-	0,7				
-	-	0,9				

Table 4. Cont' d.

Unit No. /Rock	Sample No.	Is(50) MPa	Average Is(50)	Median Is(50)	Strd. Deviation MPa	Deviation %
SF-5	270,0	0,9				
Congl.	-	1,0				
-	267,6	0,5				
-	-	1,1				
-	-	0,9				
-	-	1,1	0,8	0,9	0,2	28,4
-	264,8	0,2**				
-	-	0,2**				
-	264,3	0,5				
-	-	1,2				
-	259,6	0,7				
-	-	0,6				
-	254,8	0,8				
SF-6	247,9	2,7				
Congl.	245,2	1,7				
-	-	2,3				
-	244,8	3,6	3,1	2,8	1,1	37,1
-	-	2,8				
-	242,8	5,6				
-	-	3,0				

\* Not included in the average because the rock is a conglomerate  
 \*\* - " - - " - - " - the values are too low

$\bar{f}_c$  vs.  $I_{s(50)}$  MEDIAN ALL SAMPLES.

LEGEND:

- SF-3
- SF-4
- SF-11
- SF-12
- SF-18
- A SF-2
- Q SF-5
- X SF-6
- RANGE OF 1 THIRD DEV.

