

MÆLINGAR BROTFLOATA Í BERGI

Sveinn Þorgrímsson



ORKUSTOFNUN
Raforkudeild

MÆLINGAR BROTFLATA Í BERGI

Sveinn Þorgrímsson

E F N I S Y F I R L I T

1. INNGANGUR	bls.	1
2. MÆLING BROTFLOATA	"	3
3. SCHMIDTH-NET OG MEÐALVEKTOR	"	5
4. BERGGREININGARKERFIÐ	"	6

T ö f l u r

1. Tíðnihópar sprungustefna	"	2
2. Tölulegt mat á stuðlunum RQD, J_n og J_r	"	8
3. Tölulegt mat á stuðlunum J_a og J_w	"	9
4. Tölulegt mat á stuðlinum SRF	"	10

M y n d i r

1. Sprungurósir
2. Áhrif brotflata á styrkleika bergs
3. Eyðublað
4. Áhrif fjölda mælinga á útlit Schmidth-nets
5. Schmidth-net
6. Tíðnilínurit yfir strik- og hallastefnur
7. Sprungutalning
8. Samband tíðni og fjarlægðar á milli sprungna

1. INNGANGUR

Tilgangur þessarar skýrslu er að kynna nýjar aðferðir við söfnun og túlkun gagna um sprungur í bergi. Til þessa hefur slíkt verið frekar einstaklingsbundið og túlkun oftast takmarkast við sprungurósir.

Sprungurós (sjá mynd 1) er af flestum talin góð aðferð til að túlka sprungustefnur, þegar um er að ræða nokkuð lóðréttar sprungur eða þegar halli sprungnanna skiptir ekki máli. Við mannvirkjagerð er þetta þó ófullnægjandi, enda ákvarða sprungur og aðrir brotflötir eiginleika bergmassans að langmestu leyti. Sprungustefna og halli ákveða t.d. líkindin fyrir bergskriði, svo og umfangi og eðli þess. Þetta gildir bæði um opnar gryfjur og jarðgöng. Sömuleiðis hefur halli sprungnanna afgerandi þýðingu við grautun, en þá er lögð áhersla á að hafa grautholurnar sem næst hornrétt á lekaleiðirnar, sem í flestum tilfellum eru einmitt sprungurnar, þar sem þrímer lekt er hverfandi í flestu heilu bergi.

Hönnun mannvirkja (t.d. stíflna) má endurbæta, ef sprungustefnur eru þekktar, þannig að brotflötir verði ekki fyrir miklu álagi. Sprungur gefa einnig til kynna spennustefnur í berginu, en slíkar bergspennur eru mikilvægar fyrir ákvörðun á staðsetningu og stefnu neðanjarðarmannvirkja og opinna gryfja.

Þær upplýsingar, sem er aflað með þessum aðferðum, má ennfremur hagnýta við gerð kostnaðaráætlana við jarðgangnagerð, við val jarðgangaleiðar og graftrar aðferðar. Hagkvæmni jarðgangavéla er í dag að miklu leyti ákvörðuð með forskriftum eins og t.d. COSTUM, þar sem m.a. er tekið tillit til tegundar fóduringar og leka bergsins, en að meginhluta ákvarðast eiginleikar bergsins af stuðlinum R.Q.D. (útskýrt á bls. 7) og brotstyrkleika þess.

T a f l a 1Tíðnihópar sprungustefna, sbr. sprungurós, mynd 1

A.

<u>Sprungustefna</u>	<u>Prósent</u>	<u>Sprungustefna</u>	<u>Prósent</u>
355 - 05	4	86 - 275	0
06 - 15	6	276 - 285	4
16 - 25	0	286 - 295	8
26 - 35	10	296 - 305	16
36 - 45	18	306 - 315	10
46 - 55	12	316 - 325	4
56 - 65	6	326 - 335	0
66 - 75	0	336 - 345	0
76 - 85	0	346 - 355	2

B.

<u>Sprungustefna</u>	<u>Prósent</u>	<u>Sprungustefna</u>	<u>Prósent</u>
0 - 10	6	271 - 280	2
11 - 20	4	281 - 290	8
21 - 30	2	291 - 300	16
31 - 40	16	301 - 310	12
41 - 50	14	311 - 320	4
51 - 60	10	321 - 330	0
61 - 70	4	331 - 340	0
71 - 80	0	341 - 350	0
81 - 90	0	351 - 360	4

Heildarfjöldi mælinga er 110.

2. MÆLING BROTFLOATA

Líkindin fyrir bergskriði er fall margra þátta, eins og t.d. stefnu og halla brotflata (sprungna og misgengja), brotflatatiðni, fjarlægð milli brotflata, spennuástands og jarðvatns í berginu. Þessara upplýsinga er að meginhluta aflað með svonefndri "detailed line survey", sem mætti kalla kerfisbundna mælingu brotflata. Til að átta sig betur á áhrifum brotflata á stöðugleika bergs eru gefin tvö dæmi á mynd 2.

Mælingin felst í því að strekkt er málmband, 10-20 m langt, yfir opnuna, sem mæla á. Yfirleitt er talið æskilegt að opnan sé nokkuð brött, þar sem oft reynist nær ógjörningur að mæla halla brotflatanna ef um er að ræða lá-rétta opnu. Síðan er hver brotflötur mældur fyrir sig og eru eftirfarandi upplýsingar skráðar :

1. Fjarlægð frá upphafspunkti í metrum og sentimetrum.
2. Berggerð, sem brotflötur er mældur í.
3. Strikstefna og halli. Venjulega eru notuð azimuth gildi fyrir strikstefnu, eða $0^\circ - 360^\circ$, en halli er mældur sem lóðrétt horn, $0^\circ - 90^\circ$.
Quadrant gildi má nota ef óskað er.
4. Útlit brotflatar. Er hann beinn, bylgjöttur eða óreglulegur ?
5. Áferð brotflatar. Er áferð brotflatarins slétt eða hrufótt ?
Er hann samfelldur eða margar sundurslitnar sprungur ?
Þegar sjáanleg lengd takmarkast af hæð eða lengd opnu er venja að gefa lengri sprungum einhverja hámarkslengd, t.d. 30 eða 50 m.
6. Sprungufylling, t.d. kalsít, kvars, leir, zeólítar eða engin.
7. Er vatn í brotleti eða ekki ?

Þessar upplýsingar eru skráðar niður á þar til gerð eyðublöð, sjá mynd 3. Þessi blöð hafa 80 reiti, eða jafnmarga og gataspjöld, sem eru götuð beint eftir blöðunum.

Til þess að fá fullkomna mynd af legu brotflatanna er nauðsynlegt að taka eina mælingu í hverri jarðfræðilegri heild (geological domain). Jarðfræðilega heild má skilgreina á ýmsan hátt. Til dæmis má skipta rannsóknarsvæð-

inu þannig, að hver jarðfræðileg heild nái yfir ákveðna berggerð eða sömu efnafræðilegu uppbyggingu, o. s. frv., allt eftir tilgangi rannsóknanna. Þar sem hér er um að ræða rannsókn á brotflötum er jarðfræðileg heild skilgreind sem það svæði eða þær jarðmyndanir, þar sem lega brotflatanna er eins. Til þess að ákvarða jarðfræðilegar heildir til undirbúnings brotflatamælingunum eru helstu sprungur á rannsóknarsvæðinu mældar samfara almennri jarðfræðikortlagningu. Yfirleitt gildir sú regla, að þar sem breytinga verður vart á legu þessara meginsprungna er að finna nýja jarðfræðilega heild.

Engin algild regla segir til um hversu marga brotflöti á að mæla innan hvernar jarðfræðilegrar heildar. Aðeins verður að mæla nógu marga brotflöti til að rétt mynd fáiast. Yfirleitt er þó álitid að 100 mælingar sé nægilegt. Mynd 4 sýnir áhrif mismunandi fjölda mælinga á útlit Schmidth nets, sem lýst er í næsta kafla.

3. SCHMIDTH-NET OG MEÐALVEKTOR

Schmidth-net er sýnt á mynd 5. Af þeim upplýsingum, sem skráðar eru á gataspjöld notar Schmidth-net forskriftin aðeins strikstefnuna og hallann. Tölvunnetur þessarar upplýsingar upp í töflur og reiknar út Schmidth-netið. Hver tilgreindur hópur mælinga er sýndur á tveim netum. Á öðru netinu táknaðar hver punktur heildarfjölda mælinganna, en á hinu prósentu mælinganna, þar sem t. d. talan 104 táknaðar 10,4%. Stíðara netið er meira notað við túlkun brotalína.

Netið táknaðar neðri hluta hálfkúlu, þar sem hver punktur er póll eins brotflatar. Póllinn er hornréttur á flötinn og gengur í gegnum miðpunkt kúlunnar. Punktur merktur SH á mynd 5-B er póll fyrir brotflöt með strikstefnu 63° og halla $28,5^\circ$. Strikstefnuna má lesa beint af Schmidth-netinu, en ef ekki er haft net undir til að lesa hallann, er hann reiknaður samkvæmt líkingunni $\sin D/2 = R/25.4 \times \sqrt{2}$, þar sem R er fjarlægðin ("radius") í cm til punktsins frá miðju nets, en D hallinn ("dip") í gráðum. Athuga ber að mynd 5 er smækkuð mynd af útskrift tölvunnar. Raunverulegur radiús hringsins er 5 in. eða 12,7 cm, en er á mynd 5 sýndur 6,7 cm. Forskriftin prentar einnig histogram yfir strik- og hallastefnur eins og sýnt er á mynd 6.

Hver póll á Schmidth-neti er í raun og veru vektor, sem gengur í gegnum miðpunkt hálfkúlunnar. Eins og sést af mynd 5 mynda þessir vektorar hópa, sem tákna mismunandi meginstefnur brotflatanna. Til þess að ákvarða frekar legu þessara meginhópa er notað forskrift ("Mean vector-space"), sem reiknar meðalvektor hvers hóps. Forskriftin notar sömu upplýsingar og Schmidth netið, en fjarlægðarmælinguna að auki. Meðalvektorinn er notaður við hönnun, en einnig til að finna út skyldleika hinna mismunandi sprunguhópa. Þessi forskrift reiknar einnig út meðalfjarlægð milli brotflata innan hvers hóps, en sú fjarlægð er m. a. notað við líkan útreikning.

Nokkrar forskriftir eru til, sem nota þær upplýsingar á gataspjöldunum er enn eru ónotaðar, en ekki verður fjallað um þær að sinni.

4. BERGGREININGARKERFIÐ ^{†)}

Kerfið byggist á svokölluðu "rock mass quality", Q, sem mátti kalla berggæði. Q er fall sex þátta, þ.e. RQD (rock quality designation), fjölda sprunga J_n , áferð veikustu sprungnanna J_r , myndbreytingu sprungufyllinga í veikustu sprungunum J_a , SRF (stress reduction factor), og vatni í sprungunum J_w .

Hér er um að ræða marga sömu þætti og notaðir eru við brotflatamælingarnar. Tölur 2 til 4 sýna hvernig á að meta bergið og gefa þessum þáttum tölulegt gildi. Síðan er Q reiknað samkvæmt :

$$Q = (RQD/J_n) \cdot (J_r/J_a) \cdot (J_w/SRF)$$

RQD / J_n túlkar heildarstrúktúr bergsins og er gróft mat á stærð bergblokkanna.

J_r/J_a túlkar áferð eða grófleika og ummyndun sprunguveggjanna eða sprungufyllingarinnar. $\text{Tang}^{-1} (J_r/J_a)$ er sámileg nálgun raunverulegs skerstyrkleika fyrir mismunandi áferð á brotleti og ummyndun fyllingarinnar. Við útreikninga á Q skal nota lægsta gildið á J_r/J_a .

J_w/SRF , J_w túlkar vatnsþrýstinginn í berginu, en hefur ekki sama tölugildi og þórþrýstingurinn. SRF er skammstöfun á "stress reduction factor" og túlkar spennur og spennubreytingar sem má vænta við röskun bergsins.

Venjulega er RQD ákvarðað með mælingu á borkjörnum sem prósentu af samantlagðri lengd kjarnabúta ≥ 10 cm á viðkomandi bili borholunnar. Þetta er þó ekki ávallt mögulegt og má þá notast við góðar bergopnur. Við slíkar aðstæður er RQD fundið samkvæmt líkingunni :

$$RQD = 115 - 3,3 J_v, \text{ þar sem}$$

$$J_v = \text{heildar sprungufjöldi á m}^3, \text{ en}$$

$$RQD = 100, \text{ ef } J_v \leq 4,5$$

^{†)} Kerfi þetta er tekið lítið breytt úr : Barton, N. et al., 1974.

"Engineering Classification of Rock Masses for the Design of Tunnel Support," Rock Mechanics, 6. hefti, bls. 189-236.

Til þess að áætla sprungufjölda á m^3 verður að finna nærri lárétta opnu, sem er a.m.k. 1×1 m að stærð. Á hana eru markaðar tvær 1 m línur, sem mynda rétt horn. Til hægðarauka eru línurnar látnar stefna austur-vestur og norður-suður. Takmarkið er að ákvarða heildarfjölda sprungna í hverjum sprunguhóp, sem skera 1 m langa línu, hornrétt á sprungurnar.

Fyrst eru skráðar allar sprungur með stefnuna 315° til 45° og skera A-V línuna, en síðan allar sprungur með stefnuna 45° til 135° og skera N-S línuna, sjá mynd 7. Þessar upplýsingar gera kleift að teikna sprungurós. Sprungufjöldinn fyrir hverja meginsprungustefnu er því næst reiknaður samkvæmt $N_0 = N_1 / \sin \alpha_1$, þar sem N_0 er raunverulegur fjöldi sprungna en N_1 er mældur fjöldi, α_1 er hornið milli sprungustefnunnar og A-V línunnar annars vegar, þegar mæli línan stefnir A-V, en hornið milli sprungustefnunnar og N-S línunnar hins vegar, þegar mæli línan stefnir N-S. Heildarsprungufjöldinn er svo sam-
anlagður fjöldi allra sprungna hinna mismunandi meginsprungustefna.

Yfirleitt minnkar tíðni sprunga exponentialt með aukinni fjarlægð á milli þeirra (sjá mynd 8), þ.e. stutt bil á milli sprungna eru algeng en lengri bil eru fátíðari. Þegar bil á milli sprungna er $\geq 0,1$ m getur RQD verið = 100 hvort sem bilið er 0,2 m, 1 m eða 10 m. Fjarlægðin á milli sprungna getur skipt miklu máli og hefur RQD = 100 þá takmarkaða þýðingu. Til þess að bæta úr þessu má skilgreina RQD með mismunandi þröskuldgildi. Hið venjulega þröskuldgildi er 0,1 m, þ.e. RQD er prósent af samanlagðri lengd allra kjarnabúta lengri en 0,1 m á borðlinu.

Önnur aðferð til að finna RQD með mælingum á opnum er að leggja saman öll bil, sem eru lengri en 0,1 m, og finna síðan hversu mörg prósent sú lengd er af heildarmælibilinu.

T a f l a 2

Tölulegt mat á stuðlunum RQD, Jn og Jr

1. RQD, "Rock Quality Designation"

RQD er fundið með prósentumælingu á kjarnaheimtu, þar sem lögð er saman lengd allra kjarnabúta lengri en 10 cm og reiknað sem prósentu af borbili því sem kjarninn er tekinn af. RQD má meta á eftirfarandi hátt :

	<u>RQD</u>
Mjög slæmt berg	0 - 25%
Slæmt	25 - 50%
Sæmilegt	50 - 75%
Gott	75 - 90%
Ágætt	90 - 100%

Ef RQD mælist \leq skal nota gildið 10 við útreikninga á Q.

2. Fjöldi sprungna, Jn

	<u>Jn</u>
Massíft berg með stöku sprungu	0,5-1
Ein sprungustefna	2
Ein megin sprungustefna og stöku sprungur með aðra stefnu ..	3
Tvær sprungustefnur	4
Tvær megin sprungustefnur og stöku sprungur með aðra stefnu	6
Þrjár sprungustefnur	9
Þrjár megin sprungustefnur og stöku sprungur með aðra stefnu	12
Fleiri sprungustefnur, margsprungið berg	15
Mulið berg, jarðvegskennt	20

Þar sem setlög eru mjög sprungin á lagskilum, skal meta slíkar sprungur sem eina sprungustefnu. Auðvelt er að meta fjölda sprungustefna út frá sprungurós.

3. Aferð sprungna, Jr

	<u>Jr</u>
Osamfelldar sprungur, þ.e. stuttar sprungur, sem sjá má lokast til beggja enda	4
Hrjúfir brotpletir og bylgjóttar sprungur	3
Sléttir brotpletir og bylgjóttar sprungur	2
"Slickenside", bylgjóttur skerflötur	1,5
Hrjúfir brotpletir og beinar sprungur	1,5
Sléttir brotpletir og beinar sprungur	1,0
"Slickenside", beinn skerflötur	0,5

Ef óhörnuð og leirkennd sprungufylling er svo þykk (>5 mm) að bergið snertist ekki yfir sprunguna, ef um skerhreyfingu væri að ræða, skal nota $J_r = 1,0$. Ef meðalfjarlægð milli mikilvægra sprungna, þ.e. yfirleitt þær sprungur, sem stefna inn í fyrirhugaða opnu, t.d. jarðgöng, er meiri en 3 m, skal bæta 1,0 við ofangreind gildi af J_r .

T a f l a 3

Tölulegt mat á stuðlunum Ja og Jw

	<u>Ja</u>
4. Sprungufyllingar, Ja	
Hörð bergrunnin ólek fylling	0,75
Engin fylling og sprunguveggir ómyndbreyttir	1
Sprungufylling úr sandsteini og grófara setbergi	2
Harður leir og silt (t.d. jökulleir)	
a) < 5 mm að þykkt	6
b) > 5 mm að þykkt	10
Þenjanlegur leir (montmorillonít)	
a) < 5 mm að þykkt, ofan jarðvatns	8
b) 5 mm að þykkt, neðan jarðvatns	12
c) > 5 mm að þykkt, ofan jarðvatns	13
d) 5 mm að þykkt, neðan jarðvatns	20
5. Jarðvatnsástand, Jw	<u>Jw</u>
Þurr sprunga, eða seiti úr sprungu, þ.e. < 5 l/mín	1
Rennsli úr sprungu, > 5,0 l/mín og vatnsþrýstingur > 1,0 kg/cm	0,66
Mikið útrennsli og vatnsþrýstingur ~ 2,5-10 kg/cm ² . Berg heillegt og	
a) án sprungufyllinga	0,50
b) með sprungufyllingum	0,33
Vatnsþrýstingur > 10 kg/cm	0,05-0,20

T a f l a 4

Tölulegt mat á stuðlinum SRF

- A. Þar sem brotflatir skera fyrirhugaða opnu og geta orsakað bergskrið inn í hana.

	<u>SRF</u>
Margar sprungur sem innihalda leir, > 5 mm þykkun, og þar sem berg er lélegt	10
Margar langar sprungur í góðu bergi, en brotið berg umhverfis sprungu	7,5
Kubbaberg eða breksía	5
Ein sprunga með leir, < 5 mm þykkun:	
a) dýpi fyrirhugaðrar opnu \leq 50 m	5
b) " " " " > 50 m	2,5
Ein sprungustefna í góðu bergi:	
a) dýpi fyrirhugaðrar opnu \leq 50 m	5
b) " " " " > 50 m	2

Þar sem sprungustefnan sker ekki fyrirhugaða opnu en hefur áhrif á stöðugleika hennar skal lækka ofangreind gildi um 25-50%.

- B. Áhrif bergspennu í góðu bergi.

	<u>σ_c/σ_1</u>	<u>σ_t/σ_1</u>	<u>SRF</u>
Lág spenna nærri yfirborði	> 200,0	> 13,0	2,5
Meðalbergspenna	10,0-200,0	0,66-13,0	1,0
Há bergspenna	5,0-10,0	0,33-0,66	0,5-2,0
Meðalbergbrot	2,5-5,0	0,16-0,33	5,0-10,0
Mikið bergbrot	< 2,5	< 0,16	10,0-20,0

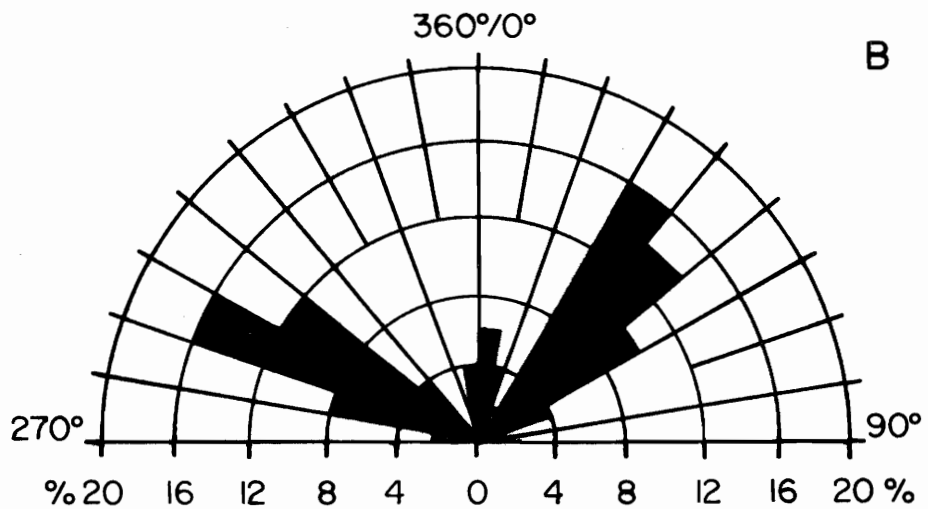
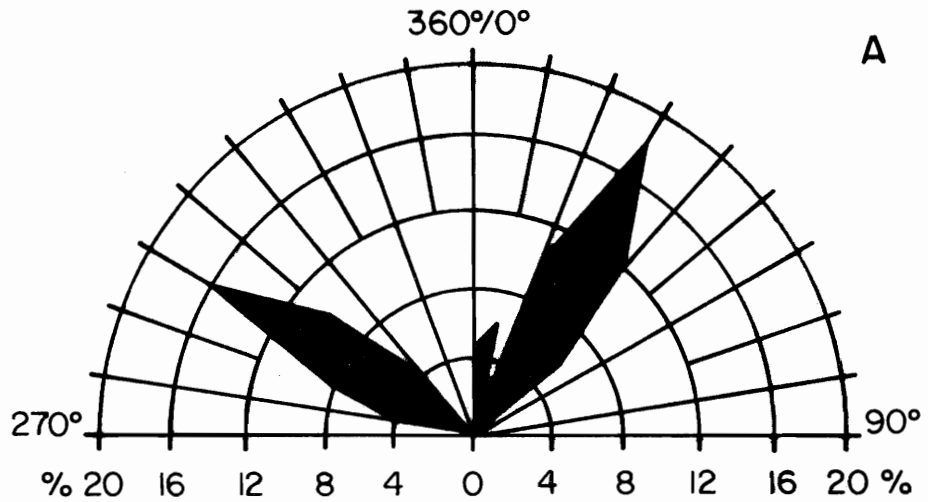
σ_c : Einrásá þrýstipól bergsins

σ_t : Togpól bergsins

Þar sem bergspennan er mjög "anisotropísk", $5 \leq \sigma_1/\sigma_3 \leq 10$, á að minnka σ_c og σ_t í $0,8 \sigma_c$ og $0,8 \sigma_t$.



Mynd I



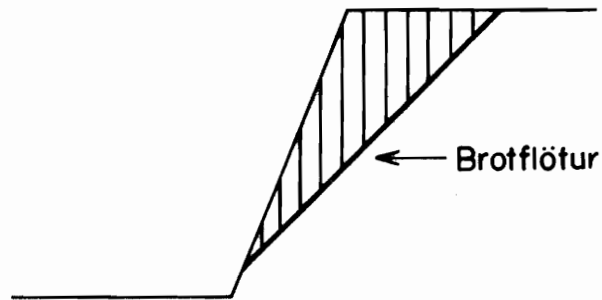
Tvær gerðir af sprungurósum,
teiknaðar eftir töflu I



MÆLINGAR BORFLATA Í BERGI

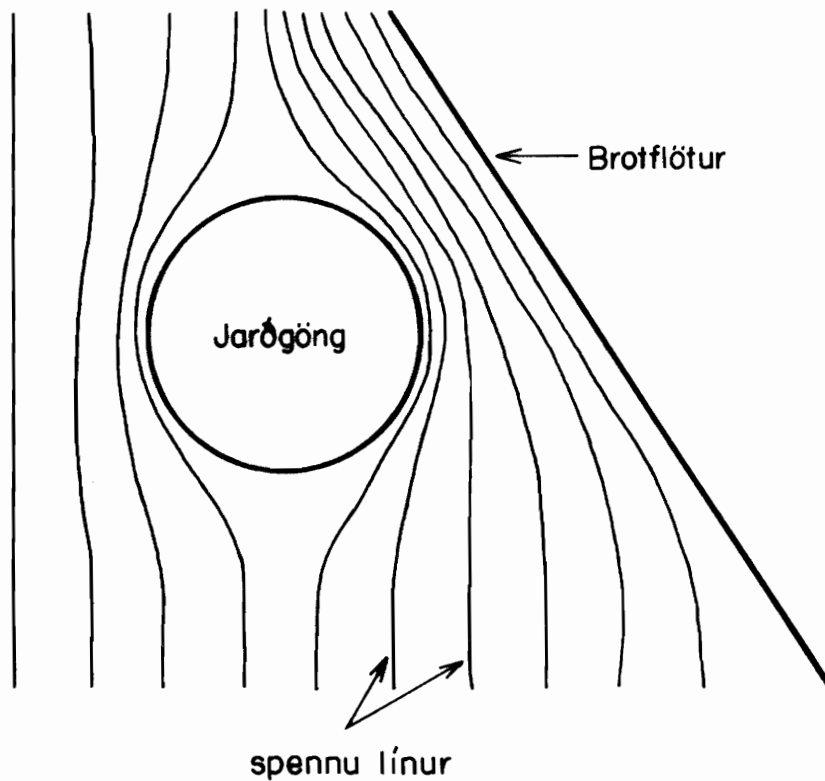
Áhrif brotflata á stöðugleika bergs

Mynd 2



A

Líkur eru á bergskriði á brotflatinum, einkum ef samloðun (cohesion) milli bergmassa er lítil



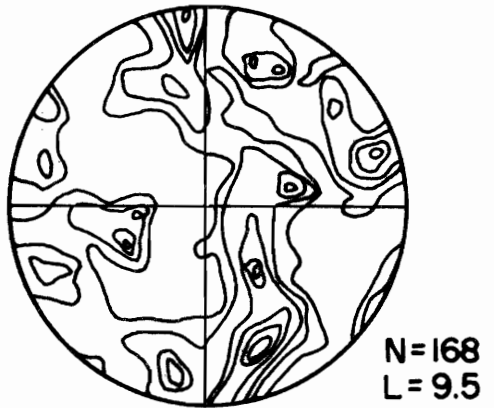
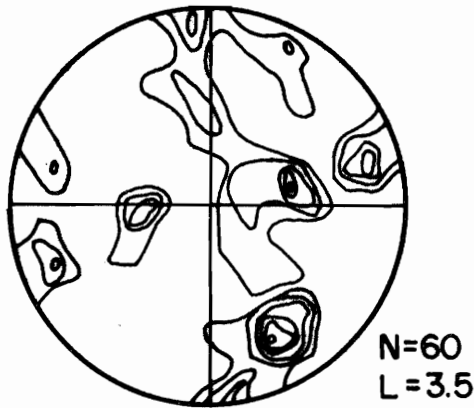
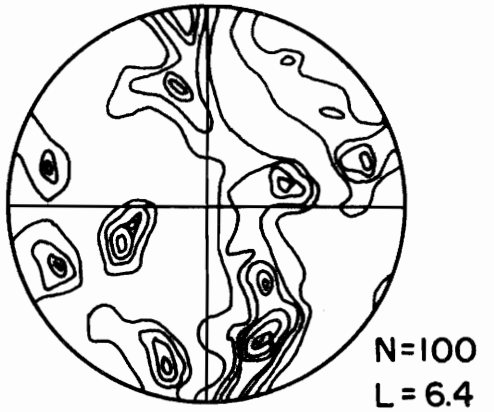
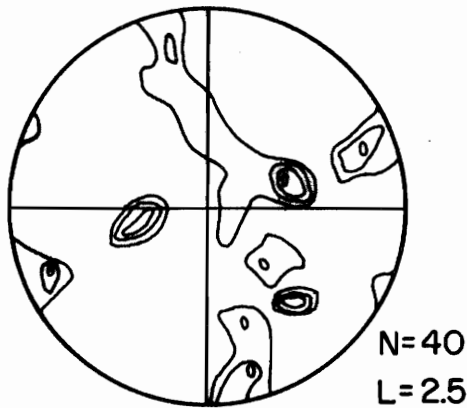
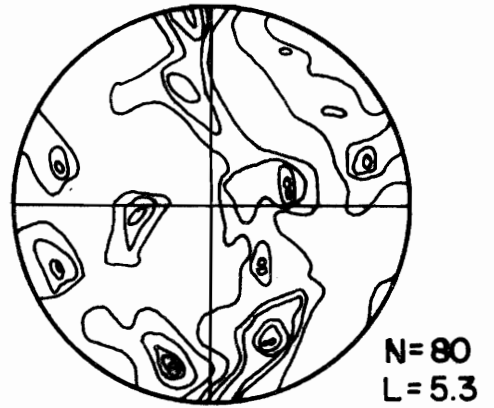
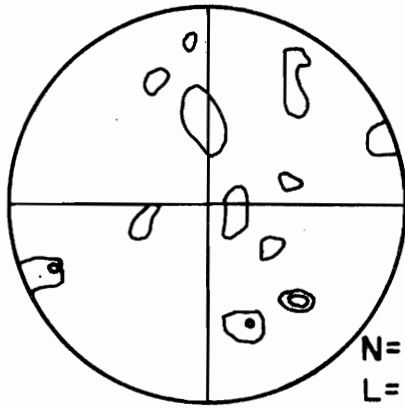
B

Spenna hleðst upp í berginu hægra megin við jarðgöngin vegna brotflatarins



MÆLINGAR BROTFLOATA Í BERGI
Áhrif fjölda mælinga á útlit Schmidth nets

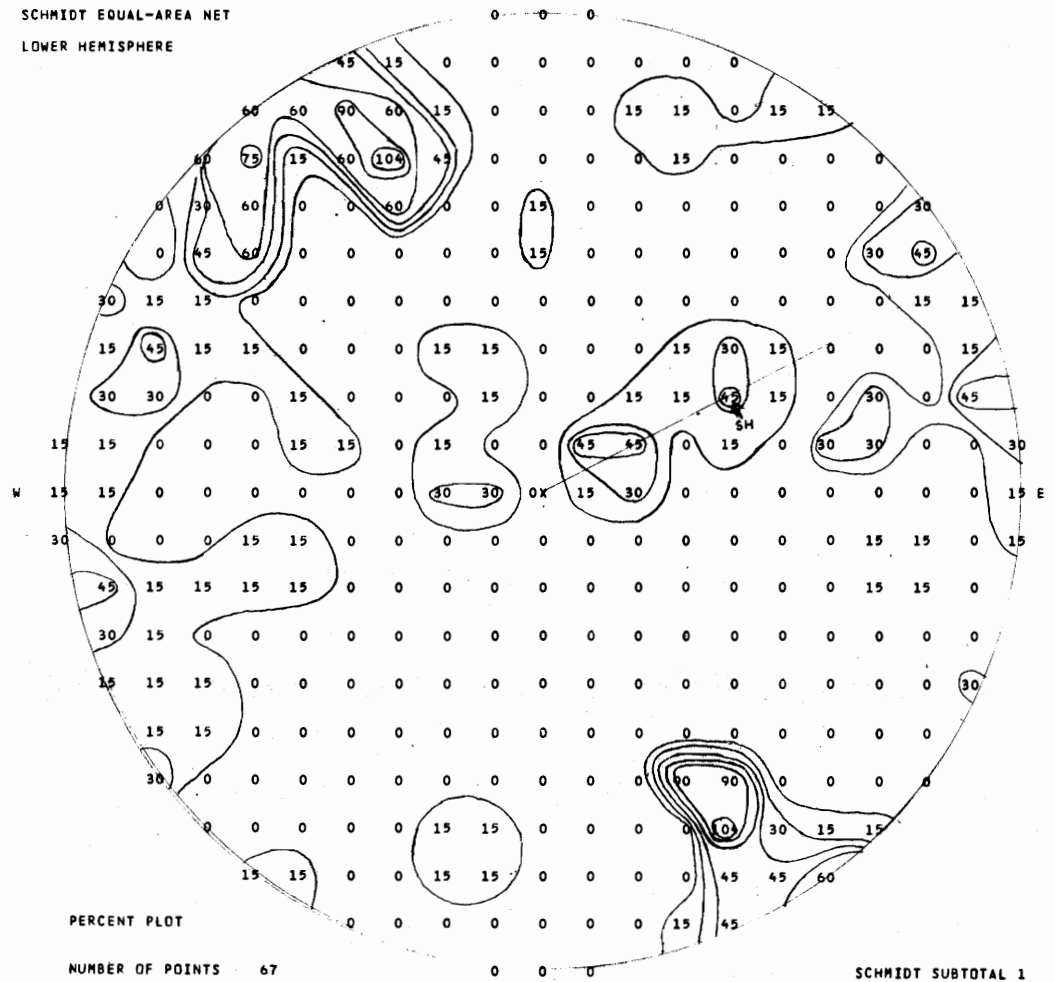
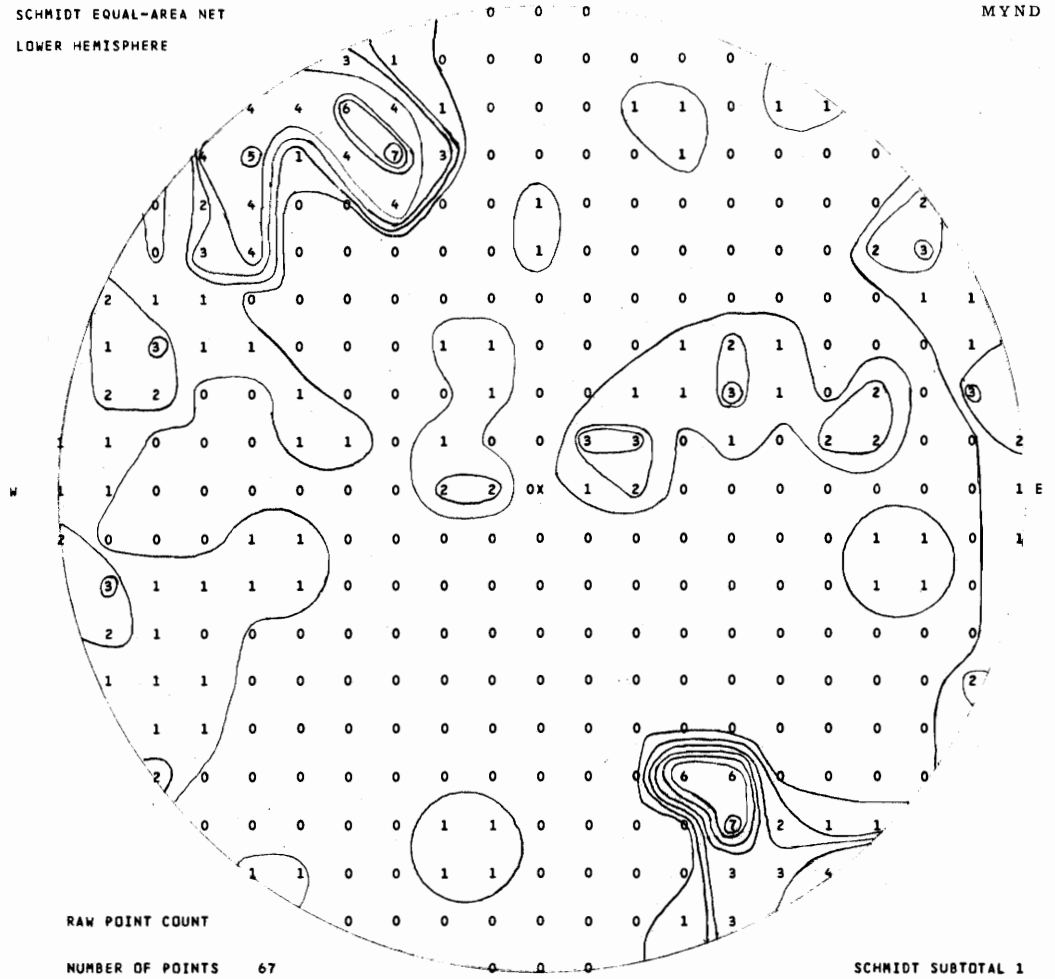
Mynd 4



N = Fjöldi mældra sprunga
L = Lengd mæliínu (metrar)

"Lower Hemisphere Equal Area
Projection"

1% bil milli jafngildilna



STRIKE HISTOGRAM

AZ	NO	PCT	
			+.....+.....+.....+.....+.....+.....+.....+.....+.....+
0	2	3.0	0111
10	3	7.5	01111
20	4	13.4	0111111
30	1	14.9	01
40	4	20.9	0111111
50	6	29.9	0111111111
60	12	47.8	01111111111111111111
70	12	65.7	01111111111111111111
80	0	65.7	0
90	1	67.2	01
100	1	68.7	01
110	1	70.1	01
120	1	71.6	01
130	0	71.6	0
140	0	71.6	0
150	9	85.1	0111111111111111
160	4	91.0	0111111
170	6	100.0	0111111111
180	0	100.0	0
			+.....+.....+.....+.....+.....+.....+.....+.....+.....+
TOTAL	67		0 5 10 15 20 25 30 35 40 45 50

PERCENT OF OBSERVATIONS

DIP HISTOGRAM

DIP	NO	PCT	
			+.....+.....+.....+.....+.....+.....+.....+.....+.....+
0	0	0.0	0
5	0	0.0	0
10	2	3.0	0111
15	1	4.5	01
20	2	7.5	0111
25	1	9.0	01
30	0	9.0	0
35	2	11.9	0111
40	1	13.4	01
45	2	16.4	0111
50	1	17.9	01
55	0	17.9	0
60	8	29.9	0111111111111111
65	8	41.8	0111111111111111
70	6	50.7	0111111111
75	7	61.2	011111111111
80	6	70.1	0111111111
85	12	88.1	01111111111111111111
90	8	100.0	01111111111111
			+.....+.....+.....+.....+.....+.....+.....+.....+.....+
TOTAL	67		0 5 10 15 20 25 30 35 40 45 50

PERCENT OF OBSERVATIONS

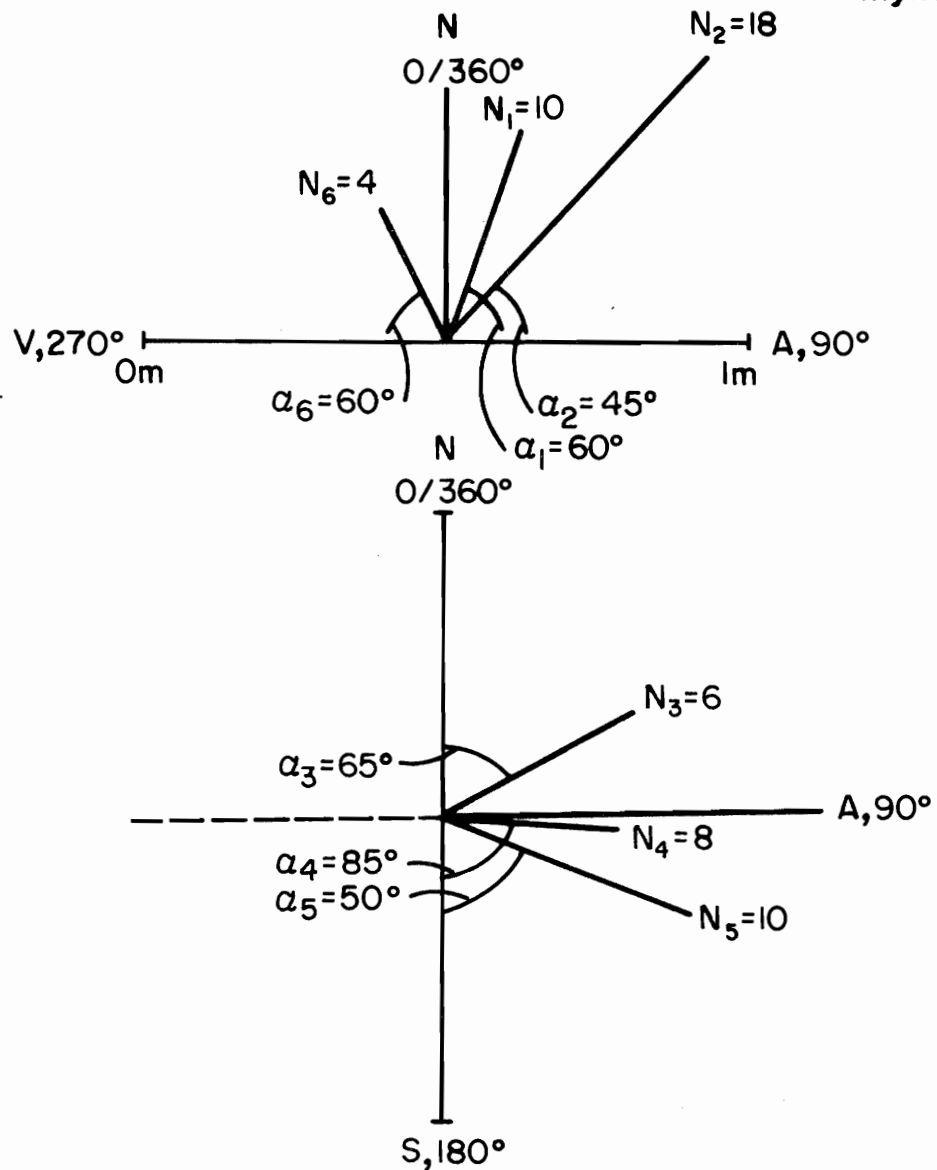
SCHMIDT SUBTOTAL 1



MÆLINGAR BROTFALATA Í BERGI

Sprungutalning

Mynd 7



Dæmi um réttan fjölda sprungna ($N_0 = N_i / \sin \alpha_i$)

Sprungustefna	Fjöldi sprungna, mældur, N_i	α_i	Fjöldi sprungna, réttur, N_0
30°	$N_1 = 10$	$\alpha_1 = 60^\circ$	12
45°	$N_2 = 18$	$\alpha_2 = 45^\circ$	25
65°	$N_3 = 6$	$\alpha_3 = 65^\circ$	7
95°	$N_4 = 8$	$\alpha_4 = 85^\circ$	8
130°	$N_5 = 10$	$\alpha_5 = 50^\circ$	13
150°	$N_6 = 4$	$\alpha_6 = 60^\circ$	5

Heildar sprungufjöldi: $N = \sum_{i=1}^n N_i = 70$



Mynd 8

