



ORKUSTOFNUN
Vatnsorkudeild

BLÖNDUVIRKJUN
JARÐGÖNG

Reynsla af berggæðamati

Björn A. Harðarson
Unnið fyrir Landsvirkjun

OS-89021/VOD-03 B

Júlí 1989

BLÖNDUVIRKJUN
JARÐGÖNG

Reynsla af berggæðamati

Björn A. Harðarson
Unnið fyrir Landsvirkjun

OS-89021/VOD-03 B

Júlí 1989

EFNISYFIRLIT

1. NOTKUN Q-KERFISINS Á ÍSLANDI	3
2. Q-KERFIÐ	4
3. Q-MAT VIÐ BLÖNDU Á RANNSÓKNARSTIGI	5
3.1 Aðkomugöng	5
3.2 Frárennslisgöng	5
3.3 Stöðvarhús	6
3.4 Fallgöng og strengjagöng	7
3.5 Samantekt	7
4. Q-MAT Í JARÐGÖNGUM BLÖNDUVIRKJUNAR Á BYGGINGARSTIGI	8
5. SAMANBURÐUR Q-MATS Á RANNSÓKNAR- OG BYGGINGARSTIGI	11
6. SAMANBURÐUR Á STYRKINGASPÁ OG UPPSETTUM STYRKINGUM	11
7. NIÐURSTÖÐUR	13
8. HEIMILDIR	13
VIÐAUKI	14

1. NOTKUN Q-KERFISINS Á ÍSLANDI

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 (Q-system, NGI system).

Helstu kostir þess að meta berg á kerfisbundinn og tölulegan hátt voru taldir 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. Á forhönnunarstigi hjálpar kerfið til að velja milli mismunandi jarðgangaleiða. Mat á styrkingaþörf í jarðgöngum verður áreiðanlegra ef niðurstöður gæðamatsins eru hafðar til hliðsjónar og þar af leiðandi er rennt styrkari stöðum undir kostnaðaráætlanir fyrir jarðgangagerð.
2. Berggæðamatið virkar í raun sem einskonar "minnislisti" 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) voru taldir eftirfarandi:

1. Hér á landi er reynslan af notkun þessa kerfis takmörkuð, enn sem komið er. Þess vegna var ekki mælt með að nota niðurstöður kerfisins nema á rannsóknarstigum og styrkingaspá kerfisins var ekki ráðlegt að nota nema við áætlanagerð á hönnunarstigum. Ætíð hefur verið lögð áhersla 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.
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 mestallur borkjarni frá væntanlegum og/eða hugsanlegum jarðgangasvæðum Blönduvirkjunar, Fljótsdalsvirkjunar, Sultartangavirkjunar, Búrfellsvirkjunar II, Vatnsfellsvirkjunar, og Kvíslaveitu verið greindur samkvæmt Q-kerfinu. Auk þess hefur kerfið verið notað við styrkingaspá vegna jarðganga í Ólafsfjarðarmúla. 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 Vatnsorkudeildar og í viðauka 1 er listi yfir allar skýrslur viðkomandi berggæðamatinu sem gefnar hafa verið út af Orkustofnun.

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 einkunnagiðf hentuðu að sumu leyti illa stuðluðu gosbergi vegna hinna sérstöku eiginleika þess. Átti þetta sérstaklega við um stuðulinn Jn, "fjöldi megin sprungustefna" ("joint set number"). Reynslan sýnir að stæðnivandamál í basalti eru minni en ætla mætti út frá sprungutíðni og fjölda sprungukerfa. Ástæður fyrir þessu eru fyrst og fremst þær að flestar kólnunarsprungur eru ósamfelldar (sérstaklega í smástuðluðu bergi) og læsingaráhrif milli "bergblokka" ("interlocking effect") eru oft á tíðum mjög mikil. Þetta ásamt öðru,

hefur valdið því að greining skv. norska kerfinu gaf jafnan of lág Q-gildi fyrir íslenskt basalt miðað við þá reynslu sem fengist hefur við jarðgangagerðina sjálfa. Í heild reyndist Q-kerfið því fremur íhaldssamt þ.e. það gerði oft ráð fyrir meiri bergstyrkingum en þörf var á. Sérstaklega átti þetta við um smástuðlað basalt og lagmótakarga (gjallbreksíu, kargaberg).

Því þótti ljóst að endurskoða þyrfti Q-kerfið og aðlaga það íslenskum aðstæðum. Töluverð vinna var lögð í þessa endurskoðun á árunum 1981-1984 og m.a. var bergið metið í öllum jarðgöngum hér á landi sem hægt var að komast í. Þetta mat fór fram 1981 og er framkvæmd þess og niðurstöðum lýst í skýrslu Orkustofnunar OS-84080/VOD12B, *Jarðgöng á Íslandi, Berggæðamat*. Þar kom fram m.a. að smástuðlað basalt (t.d. kubbaberg) hefur mun betri stæðni og vinnsluhæfni í jarðgöngum heldur en niðurstöður berggæðamats gefa til kynna. Leiðrétting var sett inn í berggæðamatið sem gildir m.a. þegar kubbaberg á í hlut. Fram kom að ummyndað og brotið basalt getur reynst vel í jarðgöngum ef aðrir þættir eru jákvæðir (s.s. samlíming á sprunguflötum). 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. Á grundvelli ofangreindra atriða var reglum við Q-greiningu breytt lítilsháttar.

Jarðgöng Blönduvirkjunar eru fyrstu jarðgöng sem gerð hafa verið síðan tölulegt berggæðamat var tekið upp hérlendis og hér á eftir verður Q-kerfinu lýst stuttlega og síðan gerð grein fyrir niðurstöðum Q-mats við Blönduvirkjun annars vegar á rannsóknarstigi og hins vegar á byggingarstigi. Ennfremur er gerður samanburður á styrkingaspám út frá Q-kerfinu og þeim styrkingum sem notaðar voru í jarðgöngum Blönduvirkjunar.

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 sprunguflata
Ja	Gerð og þykkt 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:

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

Reglurnar um einkunnagjöf þessara sex þátta eru þannig, að jákvæðir eiginleikar bergsins hækka Q-gildið en neikvæðir lækka það. Reglur þessar má finna m.a. í Barton et al. 1974. 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-gildum er berg síðan flokkað í 9 mismunandi gæðaflokka. Ennfremur er unnt, út frá Q-gildi, stærð viðkomandi jarðganga og mikilvægi þeirra (styrkingarhlutfall, ESR gildi), að áætla styrkingarþörf í viðkomandi bergi (38 mismunandi styrkingaflokkar).

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

3. Q-MAT VIÐ BLÖNDU Á RANNSÓKNARSTIGI

Á árunum 1982 og 1983 var allur borkjarni frá fyrirhuguðum jarðgangaleiðum Blönduvirkjunar greindur samkvæmt norska berggæðamatskerfinu, aðlöguðu að íslenskum aðstæðum með ákveðnum forsendum. Niðurstöðum var lýst í þremur skýrslum Orkustofnunar (sjá heimildir). Hér á eftir verður gerð grein fyrir helstu niðurstöðum mælinganna.

3.1 Aðkomugöng

Aðkomugöng virkjunarinnar liggja í syrpu basaltlaga (þóleiðsyrpu II). Borkjarni úr borholum á gangaleiðinni (BV-13, -20, -21 og -27) var greindur og hverju jarðlagi gefið Q-gildi. Í töflu 1 eru teknar saman niðurstöður Q-matsins og einkunnagjöf fyrir hvern lið.

TAFLA 1. Q-mat á bergi í borholum á aðkomugangaleið (BV-13, -20, -21 og -27). Gert 1982.

Berggerð	Áætl. hlutur %	Fj. mæl.	Q svið meðalt.	RQD svið meðalt.	Jn* svið meðalt.	Jr svið meðalt.	Ja svið meðalt.	Jw svið meðalt.	SRF* svið meðalt.
Basalt	66	34	0.6-7.9 4.0	10-95 55	10-14 11.7	2.5-3 2.7	2 "	0.66 "	1 "
Kargaberg	30	31	0.7-6.6 3.8	10-85 55	12-15 12.5	2.0-3.5 2.8	2-3 2.1	" "	" "
Setberg	1	5	0.1-1.5 0.9	5-85 50	6-9 7.2	1.5-2 1.7	8 "	" "	" "
Brotabergsmulningur	3	1	0.1 "	20 "	15 "	1.5 "	" "	" "	" "

* við jarðgangamunna er Jn tvöfaldað og SRF = 2.5

3.2 Frárennslisgöng

Borkjarni úr borholum á frárennslisgangaleið (BV-12, -13, -14 og -22) var einnig greindur skv. Q-kerfinu og eru niðurstöður sýndar í töflu 2.

TAFLA 2. Q-mat á bergi í borholum á frárennslisgangaleið (BV-12, -13, -14 og -22). Gert 1982.

Berggerð	Fj. mæl.	Áætl. hlutur %	Q svið meðalt.	RQD svið meðalt.	Jn svið meðalt.	Jr svið meðalt.	Ja svið meðalt.	Jw svið meðalt.	SRF svið meðalt.
<i>Basalt.</i>		61							
Þól.syrpa II	17		1.1-7.8 4.1	20-90 60	10-14 12	2.5-3.0 2.6	2 "	0.66 "	1 "
Blandsyrpa I (dílabasalt)	12		1.7-7.9 6.4	30-95 80	10-12 10.2	2.5-3.0 2.7	" "	" "	" "
Þól.syrpa I	5		0.8-1.5 1.1	20-40 30	12-14 13	2.5-3.0 2.6	" "	" "	" "
<i>Kargaberg:</i>		20							
Þól.syrpa II	15		2.1-7.4 5.1	30-90 65	12-15 13	3.0 "	" "	" "	" "
Blandsyrpa I (dílabasalt)	4		4.4-7.4 5.1	15-90 65	10-14 12	3.0 "	" "	" "	" "
Þól.syrpa I	4		2.0-4.9 2.7	30-60 40	12-14 13	2.5-3.0 2.8	" "	" "	" "
<i>Set:</i>		17.5							
Þól.syrpa II	2		0.8-1.0 0.9	40-70 55	6-7 6.5	1.5 "	8 "	" "	" "
Blandsyrpa I (dílabasalt)	11		0.3-1.3 1.0	20-95 75	9 "	" "	" "	" "	" "
Þól.syrpa I	4		0.4-0.6 0.5	25-50 35	" "	" "	" "	" "	" "
<i>Brotabergsmulningur</i>	0	1.5							

3.3 Stöðvarhús

Stöðvarhellir virkjunarinnar var álitinn verða í þóleiútsyrpu II að öllu leyti. Berggæðamat var byggt á borholum BV-20 og BV-27 sem eru skammt frá hellinum. Niðurstöður gæðamatsins eru sýndar í töflu 3.

TAFLA 3. Q-mat á bergi í borholum á stöðvarhússtæði (BV-20 og BV-27).

Berggerð	Fj. mæl.	Áætl. hlutur %	Q svið meðalt.	RQD svið meðalt.	Jn svið meðalt.	Jr svið meðalt.	Ja svið meðalt.	Jw svið meðalt.	SRF svið meðalt.
Basalt	7	63	1.5-4.3 3.1	20-60 45	12 "	2.5 "	2 "	0.66 "	1 "
Kargaberg	7	37	0.7-5.7 3.7	10-70 50	12-15 12.8	2.5-3.0 2.8	" "	" "	" "

Ekki var gert ráð fyrir setbergi í stöðvarhúshvelfingu.

3.4 Fallgöng og strengjagöng

Í skýrslu Orkustofnunar OS-83009/VOD05B *Fallgöng og strengjagöng*, er gerð grein fyrir berggerðum og berggæðamati á fall- og strengjagangaleiðum virkjunarinnar og stuttlega fjallað um vinnslueiginleika bergsins. Berggæðamat og styrkingaspá er byggt á borholum BV-20 og BV-27. Niðurstöður gæðamatsins eru á svipuðum nótum og greint er frá hér að framan og er ekki talin ástæða til að endursegja þær hér.

3.5 Samantekt

Hér að framan hefur verið gerð grein fyrir Q-greiningu Orkustofnunar á borkjörnum á árinu 1982. Niðurstöður eru dregnar saman í töflu 4.

TAFLA 4. Samantekt á niðurstöðum Q-greiningar á borkjörnum. Gefin upp tölugildi sem mest voru notuð.

Berggerð	Q	RQD	Jn	Jr	Ja	Jw	SRF*
Þóleið basalt	1-6	20-80	12	2.5	2	0.66	1
Dílabasalt	3-7	40-90	10	"	"	"	"
Kargaberg	2-7	40-80	12-15	3	"	"	"
Setberg	0.5-1.0	30-80	6-9	1.5	8	"	"
Brotabergsmulningur	< 0.1	20	15	1.5	8	"	2.5-5.0

* SRF = 2.5 ef stutt er upp á yfirborð.

Hér á eftir verður stuttlega gerð grein fyrir forsendum hverrar einkunnar fyrir sig:

RQD: Borkjarni mældur.

Jn (fjöldi meginsprungustefna): Á árinu 1982 var gerð sérstök úttekt á sprungum í íslensku basalti með það fyrir augum að ákveða réttustu gildin á Jn. Eins og getið var hér að framan þá hefur reynslan sýnt að stæðnivandamál í íslensku basalti eru minni en ætla mætti út frá sprungutíðni og fjölda sprungukerfa. Ástæðan er fyrst og fremst sú að flestar kólnunarsprungurnar eru ósamfelldar og læsingaráhrif milli "bergblokka" ("interlocking effect") eru oft mjög mikil. Sú leið var farin að ákveða nokkuð föst gildi á Jn fyrir hverja berggerð fyrir sig, án þess að farið væri strangt tiltekið eftir reglum Q-kerfisins. Fyrir basalt var oftast notað gildið 12 ("þrjú sprungukerfi auk tilviljunar-

kenndra sprungna" skv. reglunum). Þétt kargaberg fékk einnig einkunnina 12 en illa samlímt kargaberg fékk 15 ("fjögur eða fleiri sprungukerfi auk sprungna með tilviljunarkennda dreifingu, mjög mikið sprungið, "sugar cube" o.s.frv."). Setberg fékk oftast 9 ("þrjú sprungukerfi"). Afmörkuð brotabelti/brotabergsmulningur fengu 15 eða jafnvel 20 ("knúsað berg, jarðvegskennt").

Jr (lögur og áferð sprungna): Algengasta gildið fyrir basalt er 2.5 sem samkvæmt reglum er á milli "sléttra-bylgjóttra" og "hrjúfra-bylgjóttra" sprungna. Kargaberg fékk oftast einkunnina 3 ("hrjúfar-óreglulegar-bylgjótta") en setberg 1.5 ("sleipar-bylgjótta"). Jr gildin eru þó lítillega breytileg eftir aðstæðum.

Ja (gerð og þykkt sprungufyllinga): Basalti og kargabergi í borkjörnunum var oftast gefið gildið 2 fyrir Ja ("lítillega ummyndaðir sprunguveggir, skændir, þenjanlegur leir ekki til staðar"). Setberg og brotabergsmulningur fengu gildið 8.

Jw (jarðvatnsástand): Aðeins eitt gildi var notað hér eða 0.66 ("meðal innrennsli vatns, einstaka útskolun á sprungufyllingu"). Við misgengi og brot kom til greina að nota 0.5 eða 0.33 ("mikið innstreymi vatns").

SRF (spennuástand): Í heillegri syrpu úr basalti, kargabergi og setbergi var alltaf notað gildið 1.0 ("meðal spennusvið") nema við munna þar sem notað var 2.5 ("lágt spennusvið, nálægt yfirborði"). Í einstaka brotabeltum var ráðlagt að nota allt að 5 ("göng skera veikleikabelti sem innihalda leir eða ummyndað berg").

Ofangreind tölugildi voru talin henta best þeim jarðfræðilegu aðstæðum sem ríkja við neðanjarðarmannvirki Blönduvirkjunar. Næst verður vikið að Q-mælingum á byggingarstigi í jarðgöngunum sjálfum.

4. Q-MAT Í JARÐGÖNGUM BLÖNDUVIRKJUNAR Á BYGGINGARSTIGI

Q-mælingar voru gerðar af Landsvirkjun á yfir 50 stöðum í jarðgöngunum og eru niðurstöður birtar í töflu 5 (með leyfi LV).

TAFLA 5. Q-mælingar í jarðgöngum Blönduvirkjunar á byggingarstigi.

Bergerð	Fj.mæl	Q	RQD	Jn	Jr	Ja	Jw	SRF	
Þól.basalt	dreifing meðaltal	32	1.7-7.7	20-80	12	2	1-3	0.66-1	1
			2.9	45	"	"	2.5	0.95	"
Dílabasalt	"	4	8.3-30	50-90	9	2-3	1-2	1	"
			15.4	70	"	2.9	1.4	"	"
Kargaberg	"	6	3.3-8.3	20-50	12	4	2-3	0.66-1	"
			5.1	40	"	"	2.5	0.95	"
Setberg	"	3	0.5-2.6	30-80	9	0.5-1	3-4	1	"
			1.3	55	"	0.75	3.5	"	"
Brotabergs- mulningur	"	7	0.06-0.5	10-30	15	1-1.5	3-4	0.33-1	2.5-5
			0.11	10	"	1.6	3.4	0.75	2.5

Við mat á einkunnum var að miklu leyti gengið út frá sömu forsendum og gert var á rannsóknarstigi, en jafnframt metið hvort þessar forsendur væru réttmætar miðað við þá styrkingu sem notuð var. Við einkunnagiðf var byggt á eftirfarandi;

ÞÓLEIÐTBASALT

RQD: Mælt í veggjum, 20-80.

Jn: Gengið var út frá að óhaggað, heillegt basalt væri með þrjár meginprungustefnur. Vegna höggunar var tilviljunarkenndri dreifingu bætt við sem auka sprungukerfi. Ekki var um hreina viðbót að ræða því höggunarsprungurnar lágu bæði þvert og samhliða stuðlunarsprungum og hurfu hinar síðarnefndu nær alveg í skugga hinna. Einkunn = 12.

Jr: Einkennandi fyrir basaltið voru bylgjöttir brotpletir, en tiltölulega sléttir. Einkunn = 2.

Ja: Flestir sprungufletir voru eitthvað skændir, en skænið var þunnt og götött, þannig að bergfletirnir sitt hvoru megin sprungunnar snertast eða ná að snertast við mjög lítinn núning. Skænið var að litlum hluta leir, en að mestum hluta silt og bergmylsna. Einkunn = 2 - 3.

Jw: Innstreymi vatns var lítið sem ekkert nema um stærri sprungur og höggunarbrot. Vatn hafði því lítil áhrif á stæðni bergsins, nema í námunda við höggunarsvæðin. Einkunn = 0.66 - 1.

SRF: Einása brotþol basaltsins var 100 - 150 MPa, en bergspenna lág eða u.þ.b. 6 - 7 MPa. Basaltbrotin voru víðast læst saman ("interlocked") og því voru stæðnivandamál vegna spennuástands lítil sem engin. Einkunn = 1.

DÍLABASALT

RQD: Mælt í veggjum, 50 - 100.

Jn: Dílabasaltið var mun heillegra en þóleið basaltið. Það var ekki straumflögótt og því minni dreifing á sprungustefnum. Einkunn = 9 (þrjár sprungustefnur).

Jr: Brotfletir voru svipaðir og í þóleið basalti, en oft heldur hrjúfari. Einkunn = 2 - 3. ("Smooth-irregular, undulating").

Ja: Geislasteinar og kísilútfellingar í sprungum. Yfirborðsveðrun án leirskænis. Einkunn = 1 - 2.

Jw: Stæðnivandamál vegna vatnsinnrennslis engin. Einkunn = 1.

SRF: Stæðnivandamál vegna spennuástands engin. Einkunn = 1.

KARGABERG

Gildismat var meira byggt á sjónmati en beinum mælingum. Um var að ræða samlímt gjall og basaltbrot án nokkurs sérstaks sprungukerfis. Því var mjög erfitt um vik að meta blokkarstærð (RQD/Jn), en reynslan sýndi að kargabergið mótaðist vel og hafði jafnvel betri stæðni en þóleiðbasaltið. Við einkunnargiðf var tekið mið af því.

RQD: Metið út frá samlímingu, 20 - 50.

Jn: Notað sama gildi og fyrir aðlæg basaltlög.

- Jr: Sprungur í kargaberginu voru mjög hrjúfar og ósamfelldar. Einkunn = 4.
- Ja: Sömu fyllingar og í aðlægum basaltlögum. Einkunn = 2 - 3.
- Jw: Stæðnivandamál vegna vatnsinnstreymis lítil, en oft draup drjúgt úr kargaberginu í þekju, sem rýrði viðloðun sprautusteypu. Einkunn = 0.66 - 1.
- SRF: Stæðnivandamál vegns spennuástands engin. Einkunn = 1.

BROTABERGSMULNINGUR

RQD: Fékk í flestum tilfellum lægstu einkunn sem hægt var að gefa, sem er 10.

- Jn: Mjög brotið berg. Einkunn = 15.
- Jr: Brotfletir voru oft sléttir og sleipir. Fín mylsna á milli bergbrota. Einkunn = 1 - 1.5.
- Ja: Fylling á milli bergbrota er að litlu leyti leir, en aðallega silt og bergmylsna af kornastærð stærra en 2 mikron. Tvö sýni úr misgengisbreksíu (úr færum 460 og 466 í frárennslisgöngum) voru kornastærðargreind og reyndist leirkornastærðin (<0.002 mm) vera <5%). Eitt sýni var þanprófað ("swelltest") og reyndist sýnið flokkast sem "lite aktiv leire" skv. norskum staðli. Leirhlutinn var efnagreindur sem Vermiculite/Illite. Þar sem bergmylsnan er hvað þykkust væri e.t.v. hægt að rökstyðja einkunn sem væri á bilinu 6-8, en þar væri eingöngu um afmörkuð svæði að ræða. Einkunn = 3 - 4.
- Jw: Innstreymi vatns var að mestu leyti bundið við höggunar- og misgengissprungur. Sum svæði voru þó alveg þurr. Einkunn = 0.33 - 1.
- SRF: Vegna veikleika efnisins geta breytingar á spennuástandi og titringur frá sprengivinnu skapað hættu á hruni. Brotasvæðin voru afmörkuð, en berg innan þeirra var mjög brotið. Víðast voru göngin meira en 50 metra undir yfirborði. Einkunn = 2.5 - 5.

SETBERG

RQD: Mælt í veggjum, 30 - 80.

- Jn: Sprungukerfin voru í meginatriðum þrjú, tvö lóðrétt og eitt lárétt (lagskipting). Einkunn = 9.
- Jr: Sprungufletir voru oftast sléttir og sleipir. Lagskipting minnkaði einnig stæðni í þekju. Einkunn = 0.5 - 1.
- Jw: Stæðnivandamál vegna vatns voru lítil sem engin, enda voru setlögin víðast mjög þétt. Einkunn = 0.66 - 1.
- Ja: Sprungufletir liggja þétt saman en skriðhorn er lágt vegna þess að efnið inniheldur eitthvað af leir. Einkunn = 3.0 - 4.0.
- SRF: Nokkur stæðnivandamál vegna spennulosunar. Efnið inniheldur þenjanlegar leirsteindir, en í litlu magni. Einkunn = 1. Hærra gildi (t.d. 2.5) gæti þó verið raunhæft vegna hugsanlegrar þenslu vegna spennulosunar.

5. SAMANBURÐUR Q-MATS Á RANNSÓKNAR- OG BYGGINGARSTIGI

Niðurstöður Q-mælinga á borkjörnum á rannsóknarstigi voru bornar saman við mælingar í jarðgöngum og er afraksturinn sýndur í töflu 6.

TAFLA 6. Samanburður Q-mælinga á rannsóknar- og byggingarstigi, þ.e. á borkjörnum og í jarðgöngum.

	Aðkomugöng		Stöðvarhús		Frárennslisgöng	
	borkj.	göng	borkj.	göng	borkj.	göng.
Þóleiút	1-8	1-6.5	1.5-4.3	1.5-5.5	1-7	1-7
Dílabasalt					2-8	8-30
Kargaberg	1-7	3-8	1-6	3-8	2-7	4-8
Brotabergsmulningur	0.1	0.01-0.2		0.05-0.2	0.2-1.0	0.05-0.2
Gangar		2-5.5				
Setberg	0.1-1.5			0.5-1.5	0.5-3.0	1.0-2.5

Eins og sést í töflunni eru Q-gildin svipuð fyrir þóleiút, kargaberg og setberg en þó í flestum tilvikum þó eilítið lægri út frá mælingum á borkjörnum. Þó er athyglisvert hve hæstu Q-gildin fyrir dílabasalt eru mun lægri út frá borkjörnum en mælingum í göngum. Annað sem athygli vekur er að mælingar í göngum gefa lægri gildi fyrir brotabergsmulning en ástæðan er vafalaust kjarnatap í brotabergsmulningi og hve sjaldan borholur hitta á verstu brotabeltin.

6. SAMANBURÐUR Á STYRKINGASPÁ OG UPPSETTUM STYRKINGUM

Á grundvelli Q-mælinga á borkjörnum var metin væntanleg styrkingaþörf í jarðgöngum Blönduvirkjunar 1982 (sjá heimildalista). Auk þess var spáð fyrir um skiptingu berggerða á gangaleiðum og stöðvarhúsi. Í töflum 7, 8 og 9 er spáin borin saman við raunverulega skiptingu berggerða og þær styrkingar sem voru notaðar í hverri berggerð fyrir sig.

Er töflurnar eru skoðaðar kemur í ljós að mjög gott samræmi er á milli spár og raunveruleikans, bæði hvað varðar styrkingar og skiptingu berggerða. Helsti munurinn er sá að í spánni var reiknað með netbundinni sprautusteypu en ekki nálablöndun en notkun nála var ekki orðin mjög útbreidd er spáin var gerð 1982.

TAFLA 7. Samanburður á styrkingaspá og uppsettum styrkingum í aðkomugöngum.

Berggerð	% af gangaleið		Styrking á þekju	
	spá	raun	spá	raun
Þóleiít	66	62	S 3-6 cm	S 2-6 cm
Kargaberg	30	31	S 3-6 cm	S 2-6 cm
Brotabergsmulningur	3	4	S(nt) 10 cm	S(nl) 5-15 cm
Gangar	?	3	S 3 cm	S 2-6 cm
Setberg	1	< 1	S(nt) 10 cm	

Skýringar: S: Sprautusteypa
 S(nl): Sprautusteypa með nálum
 S(nt): Netbundin sprautusteypa (þegar spáin var gerð 1982 var notkun nála ekki orðin útbreidd)
 m/m: bil milli bergbolta, miðja í miðju.

TAFLA 8. Samanburður á styrkingaspá og uppsettum styrkingum í frárennslisgöngum.

Berggerð	% af gangaleið		Styrking á þekju	
	spá	raun	spá	raun
Þóleiít	61	44	S 3 cm/ engin*	S 2-6 cm
Dílabasalt		22	S 3 cm/ engin*	S 1-4 cm
Kargaberg	20	19	S 3-5 cm	S 2-6 cm
Brotabergsmulningur	1.5	3	S(nt) 10 cm	S(nl) 7-15 cm
Gangar	?	3		S 2-6 cm
Setberg	17.5	9	S(nt) 6-10 cm	S(nl) 5-10 cm Boltun m/m = 2.0 m

Sjá skýringar í töflu 8.

* reiknað var með að e.t.v. yrðu öll göngin ásprautuð til að slétta yfirborð.

TAFLA 9.

Samanburður á styrkingaspá og uppsettum styrkingum í stöðvarhúsi.

Berggerð	% af gangaleið		Styrking á þekju	
	spá	raun	spá	raun
Þóleiít	63	67	S(nt) 8 cm Boltun m/m = 1.5-2.0 m	S 4-6 cm * Boltun m/m = 2.0 m
Kargaberg	37	30	S(nt) 8 cm Boltun m/m = 1.5-2.0 m	S 4-6 cm * Boltun m/m = 2.0 m
Brotabergsmulningur	?	1		S(nl) 10-20 cm *
Setberg	0	2		S(nl) 10-15 cm * Boltun m/m = 1.5 m

Sjá skýringar í töflu 7. * Í lokafrágangi var öll hvelfingin ásprautuð með S(nl) 10 cm

7. NIÐURSTÖÐUR

Niðurstöður berggæðamats á borkjörnum á rannsóknarstigi eru svipaðar og niðurstöður matsins í jarðgöngunum sjálfum. Þó gefa borkjarnarnir heldur lægri Q-gildi.

Sú spá sem gerð var um vinnsluhæfni og styrkingaþörf bergsins út frá Q-mælingum á borkjörnum er í mjög góðu samræmi við raunveruleikann í jarðgöngunum. Taka hefði mátt meira tillit til styrkingaspárinnar við gerð útboðsgagna.

Mælt er með því að halda áfram notkun Q-kerfisins við rannsóknir á væntanlegum jarðgangaleiðum í framtíðinni. Þó má minnka töluvert það vinnuframlag sem sett er í Q-matið án þess að það rýri áreiðanleika þess. Ekki er ólíklegt að þegar reynslan af jarðgangagerð i Ólafsfjarðarmúla liggur fyrir þá megi einfalda verulega berggæðamatið og jafnvel taka í notkun nýtt og betra gæðamat sem hentar betur íslenskum aðstæðum.

8. HEIMILDIR

Barton, N., Lien, R. og Lunde, J. 1974: *Analysis of rock mass quality and support practice in tunnelling and a guide for estimating support requirements*. NGI, Rep. 54206, 74 p.

Björn A. Harðarson 1982: *Blönduvirkjun. Aðkomugöng. Bergtækni*. OS-82122/VOD56 B, desember, 28 s.

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

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

Landsvirkjun 1989: *Blönduvirkjun. Jarðgangagerð. Áfangi af framkvæmdaskýrslu (handrit)*.

VIÐAUKI 1

Skýrslur Orkustofnunar sem varða berggæðamat

Almennt um notkun Q-kerfisins

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

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

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

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

Björn A. Harðarson 1984: *Jarðgöng á Íslandi. Berggæðamat*. OS-84080/VOD-21 B.

Blönduvirkjun

Björn A. Harðarson 1982: *Blönduvirkjun. Aðkomugöng. Bergtækni*. OS-82122/VOD56 B, desember, 28 s.

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

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

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

Kvíslaveita

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

Fljótsdalsvirkjun

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

Vatnsfellvirkjun

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

Búrfellsvirkjun II

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

Sultartangavirkjun

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

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

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

Björn Jónasson, Jón Ingimarsson og Pétur Pétursson 1983: *Sultartangavirkjun. Jarðfræði- og grunnvatnsrannsóknir á svæði jarðganga og stöðvarhúss í Sandafelli 1982*. OS-83014/VOD08B, febrúar 84 s.

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

Ýmis verk

Skúli Víkingsson og Bjarni Kristinsson 1982: *Hólmsberg. Geological Report*. OS-82-042/VOD25 B, maí 45 s.

Skúli Víkingsson og Snorri Zóphóníasson 1982: *Hólmsberg. Boreholes B-9 and B-10*. OS-82092/VOD40 B, október, 25 s.

Andrés I. Guðmundsson 1982: *Sómastaðagerði, Reyðarfirði. Berggunnskönnun og berggæðamat*. OS-82097/VOD42 B, október, 14 s.

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

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

Björn A. Harðarson og Ágúst Guðmundsson 1984: *Jarðgöng í Færeyjum. Athugun á jarðfræðilegum aðstæðum*. OS-84027/VOD13 B, mars 33 s.