



Kortlagning á jarðfræði og styrkingum í jarðgöngum

September 2009

Formáli

Þessi greinargerð sem hér birtist er lýsing á skráningu bergs í jarðgöngum í aðalatriðum eins og hún hefur farið fram við gerð nokkurra síðustu vegganga hér á landi. Aðferðin hefur þróast smám saman síðan unnið var að Ólafsfjarðarmúlagöngum. Fyrsta atлага í að staðfæra svonefnt Q kerfi að íslenskum aðstæðum var þó gerð í tengslum við gerð Blönduvirkjunar aðeins fyrr.

Eðlilegt þótti nú að taka þessa lýsingu saman og birta í skýrsluformi. Hana má nota á ýmsan hátt, hægt er að vitna til hennar sem leiðbeininga en einnig er hægt vitna til hennar sem verklýsingar um einhver tiltekin atriði í útboðslýsingum.

Ýmsir hafa komið að þróun málsins allan þennan tíma. Sömu jarðfræðingar hafa þó verið leiðandi við undirbúning, rannsóknir og eftirlit jarðganga Vegagerðarinnar og allan þennan tíma og hafa þeir einkum þróað aðferðafræðina. Þetta eru þeir Björn A Harðarson, Ágúst Guðmundsson og Hreinn Haraldsson. Matthías Loftsson, sem tekur þessa greinargerð saman, hefur einnig komið mikið að málinu á seinni árum.

Greinargerðin skiptist í þrennt. Fyrsti hluti er lýsing á skráningu ásamt dæmum um teikningar. Annar hluti er lýsing á notkun Q-kerfisins, það er berggæðamati á íslensku basalti. Í þriðja hlutanum eru síðan leiðbeiningar um styrkingu miðað við berggæði. Sá kafli er ófullkomnari en hinir, enda getur ákvörðun um styrkingar verið háð ýmsum öðrum aðstæðum en sjálfri berggerðinni.

Undirritaður vonast til að þessi skýrsla gagnist bæði við undirbúning og framkvæmdir við jarðgangagerð, og að unnt verði að vísa til hennar, t.d. í útboðsgögnum. Allar tillögur að breytingum og lagfæringum eru velkomnar.

Jarðfræðideild, september 2009.

Gísli Eiríksson

1. Kortlagning í göngum.

Kortleggja skal af nákvæmni jarðfræði og bergstyrkingar í göngunum sem og vatnsleka, hvar vatn lekur inn í göngin og magn lekavatns á hverjum stað. Einnig skal kortleggja hvar og hvers konar vatnslæðningar eru settar upp og allt fráveitukerfi í göngum; ræsilagnir, brunna og safnlögn, staðsetningar og stærðir. Í kortlagningu skal skrá upplýsingar um sprengifærur, lengd færur, dagsetningu hvenær færa var sprengd o.fl. er viðkemur framvindu gangagerðar.

Jarðfræði verður að kortleggja áður en berg er hulið með sprautusteypu og verður því að gerast samhliða gangagrefti. Það á einnig við um styrkingar að því marki að kortleggja þarf staðsetningu bergbolta, bendinets, bergbanda o.fl. áður en það er hulið sprautusteypu.

Í kortlagningu á jarðfræði skulu m.a. koma fram upplýsingar um þá eiginleika bergs, sem áhrif geta haft á stæðni og styrkingarþörf bergsins. Nákvæmni kortlagningar skal vera ± 1 m. Fyrir berggerðir og bergmyndanir skal nota sömu heiti og notuð voru í rannsóknarskýrslum. Kortleggja þarf í það minnsta eftirfarandi :

- berggerð og hvar lagmót liggja,
- sprungur og misgengi, stefna, halli og breidd, sprungufyllingar
- bergganga, stefna, halli og breidd.
- vatnsleka, hvar er rakt, dropar, seytl og rennsli, og áætlað magn ef hægt
- niðurstöður bergprófana sem gerðar eru eftir atvikum
- berggæðmat ef þess er óskað (Q-mat)

Kortlagninguna skal að gera í tvennu lagi. Annars vegar skal kortleggja hverja sprengifæru eða “salva”– þ.e. hvern sprengdan áfanga fyrir sig, sjá dæmi á Mynd 2. og hins vegar samfellda kortlagningu ganganna sbr. Mynd 3.

Í kortlagningu á styrkingum þarf að koma fram hvar og hvaða styrkingar voru settar upp í göngunum. Nákvæmni kortlagningar skal vera ± 1 m. Kortleggja þarf í það minnsta :

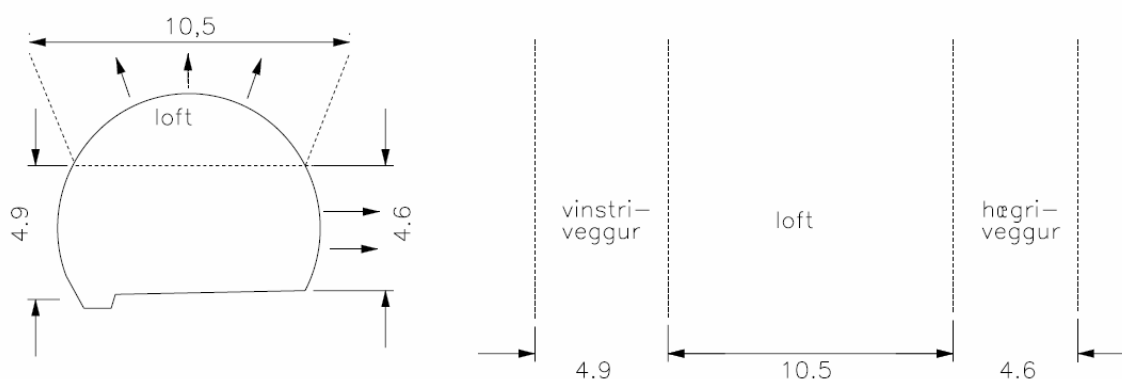
- hvar er sprautusteypu og þykkt eða magn steypu fyrir hvern gangahluta .
- hvort steypa er með eða án trefja og/eða bendineti
- hvar settir eru upp sprautusteypubogar og/eða bergbönd
- hvar bergboltar eru settir, lengd og gerð bolta
- staðsetning og lengd könnunarborhola, vatnsleki úr könnunarholum
- hvar bergþétt er, staðsetning, fjöldi og lengd bergþéttingarhola, bergþéttingarefni og magn efju til þéttingar
- hvar settir stálbogar eða heilsteypa ef þær styrkingar eru notaðar
- annað sem varðar styrkingu ganganna

Þá þarf að koma fram í kortlagningu hvar sýni af sprautusteypu voru tekin til prófana, hvar bergboltar voru togprófaðir, hvar sprautusteypa var þykktarmæld o.fl

Í kortlagningu á vatnslæðningum og ræsilögnum þarf að koma fram hvar og hvaða klæðningar voru settar upp í göngunum og staðsetningar, gerðir og stærðir allra lagna og brunna. Nákvæmni staðsetninga skal vera $\pm 0,5$ m. Kortleggja þarf hið minnsta:

- vatnslekastaði þegar klæðning var sett upp
- gerð klæðningar,
- útmörk klæðningar,
- hvar og hvernig ræsilagnir og brunnar liggja,
- gerð og þvermál ræsilagna og brunna
- annað sem viðkemur vatnsklæðningum og ræsingu ganganna

Hefð er fyrir framsetningu kortlagningar. Kortlagning ganganna á að vera frá sjónarhorni þess sem fer um göngin og horfir upp á þak eða til hliðar á vegg ganganna. Boglengd kennisniðs þekju er þá breidd þekju og lárétt vörpun veggja breidd veggja, sjá mynd 1 (miðað við T8,5 snið). Skil milli veggs og lofts ganganna eru lóðrétt yfir mörkum þar sem botn og veggur kennisniðs ganganna mætast.




Mynd 1. Vörpun í kortlagningu á jarðfræði jarðganga .

Kortlagning skal vera í mælikvarðanum 1:400 miðað við blaðstærð A3. Á hverju blaði skal sýna 100 m kafla í göngunum þannig að nægt pláss verði fyrir skýringar. Mynd 3 er dæmi um slíka kortlagningu.

Vatnsklæðningar skal kortleggja á sama hátt, miða skal við mælikvarða 1:400 fyrir A3 blaðstærð. Mynd 4 er dæmi um slíka kortlagningu.

Tákn og röstun skal vera vel skilgreind og greinilegur munur milli flokka þannig að ekki valdi ruglingi eins og samþykkt er af umsjónarmanni verkkaupa. Fyrir jarðfræði skal allajafnan nota sömu liti og svipuð tákn og rastir og gert er í skýrslu um jarðfræðirannsóknir.





VEK:

JARDFRÆDIKORTLAGNING / BERGGÆDAMAT

VERKTAKI: (LOGO)

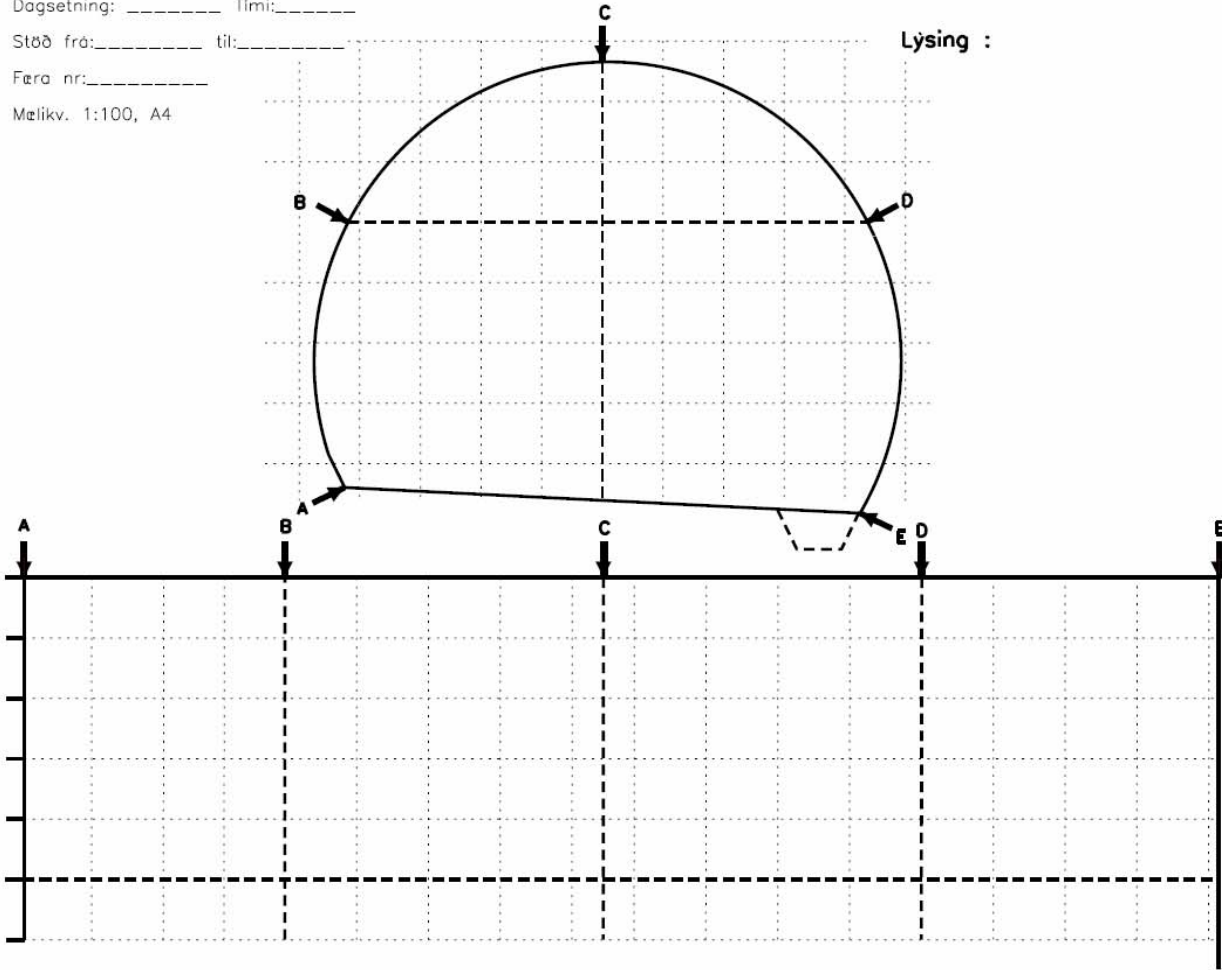
Dagsetning: _____ Timi: _____

Stöð frá: _____ til: _____

Færa nr: _____

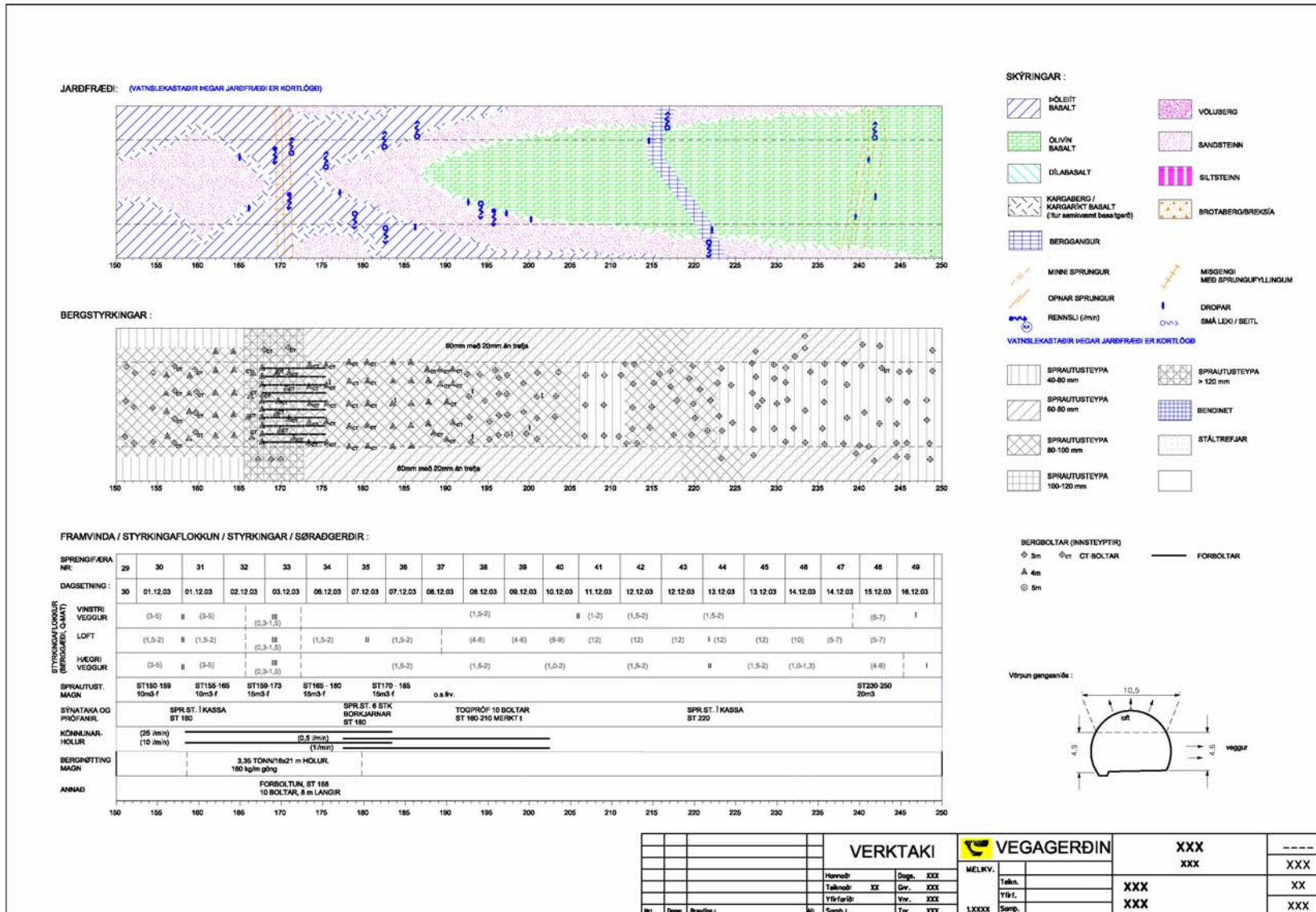
Mælikv. 1:100, A4

Lýsing :

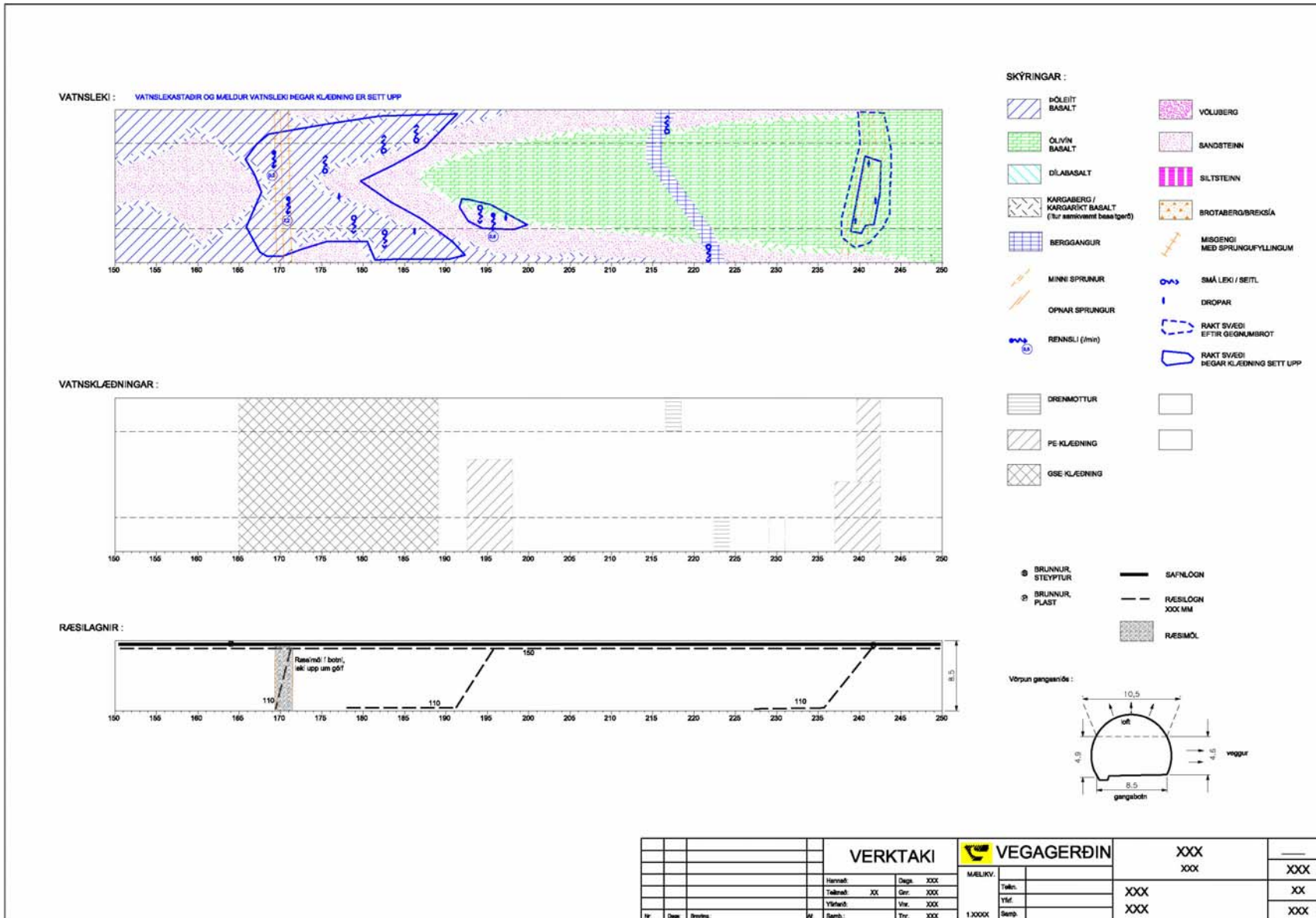


Skjal nr :	Blað nr.:
Skráð af :	Útgáfa :
Samþykkt :	Dagsetn. :

Mynd 2. Dæmigert eyðublað fyrir kortlagningu hvernar sprengifæru.



Mynd 3. Dæmigerð kortlagning á jarðfræði og bergstyrkingum, vatnsinnrennsli og bergþéttningum.



Mynd 4. Dæmigerð kortlagning á vatnslæðningum og ræsingu ganga.

2. Berggæðamat (Q-mat)

Frá 1980 hefur berggæðamat, svokallað Q-mat, verið notað hérlendis við mat á gæðum bergs til jarðgangagerðar. Q-matið er upprunið frá Noregi og var fyrst kynnt þar í landi um 1974 [1, 2]. Það er byggt á reynslu og var þróað með athugun á ástandi og styrkingum í fjölmörgum göngum þar í landi og í Svíþjóð. Í þessu mati eru sprungur og aðrar misfellur í borkjörnum eða bergi í skeringum mældar og metnar og berginu gefin einkunn Q-gild sem stendur fyrir Quality index eða Rock Mass Quality index. Q-gildið er marfeldi 3ja þátta, sem einkum hafa áhrif á stæðni og styrkingapörf bergs í skeringum og jarðgöngum :

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

Þar sem RQD/J_n er mælikvarði fyrir stærð bergblokka,
J_r/J_a er mælikvarði fyrir skerstyrk milli blokka og
J_w/SRF er mælikvarði fyrir virka spennu.

Einstakar breytur eru :

RQD, sem er mælikvarði á heilleikastuðul bergsins,
J_n, sem er mælikvarði fyrir fjöldi sprungukerfa,
J_r, sem er mælikvarði fyrir lögum og áferð sprunguflata,
J_a, sem er mælikvarði fyrir gerð og þykkt sprungufyllinga,
J_w, sem er mælikvarði fyrir jarðvatnsástand og
SRF, sem er mælikvarði fyrir spennuástand.

Þessu kerfi hefur verið lýst í fjölda greina og bóka, þar sem lýst er við hvaða skilyrði hvaða einkunn hver breyta fær og það hefur verið endurbætt með frekari samanburði milli Q-mats og uppsettra bergstyrkinga. Upprunalegri einkunnargjöf fyrir einstakar breytur hefur ekki eða að litlu verið breytt, nema fyrir SRF [3, 4].

Fljótlega eftir að menn fóru að nota þetta kerfi við flokkun bergs hér á landi ráku menn sig á vandkvæði í kerfinu við ákvörðun á einstaka breytum. Kargaberg og móbergsmýndanir var erfitt að fella að flokkunarkerfinu og svo var einnig um stuðlað basalt og kubbaberg. Því var ráðist í það fljótlega að aðlaga einkunnargjöf fyrir einstakar breytur íslenskum aðstæðum, byggt á athugunum í göngum hér. Þetta átti einkum við um J_n eða fjölda sprungukerfa, en einnig aðrar breytur [6, 7].

Með frekari jarðgangagerð hér á landi hefur fengist meiri reynsla á notkun kerfisins, en jafnframt komið í ljós fleiri annmarkar kerfisins. Það hefur leitt til þess “íslenska” einkunnargjöfin hefur verið þróuð ennfrekar eftir því sem fleiri göng hafa verið grafin hér og betri samanburður fengist milli uppsettra ákominna styrkinga og berggæðamats. Til að auðvelda notkun þess og minnka persónubundin áhrif hefur verið nauðsynlegt að gefa út viðmiðunartöflur fyrir helstu gildi, sem nota skal við einkunnargjöf fyrir einstök göng. Á það er samt bent að ekki megi blint yfirfæra einstakar viðmiðunartöflu frá einu svæði til annars því aðstæður geta verið mjög mismunandi.

Fljótlega eftir að kerfinu var fyrst lýst var á það bent að Q-gildi mælt í opnum eða á borkjarna fyrir t.d. skífuberg í Noregi gat verið 3 sinnum hærra en mælt í sprengdum göngum og með samanburði á boruðum göngum í Sandvik í Noregi var Q-matið 3 - 4

sinnum hærra en fyrir sprengd göng í sama bergi [2]. Þá var athyglisverð athugun gerð í Noregi í kringum 1990 þar sem borið var saman Q-mat í boruðum göngum við Svartisen, sem síðan voru breikkuð með sprengingum. Þar kom fram að fyrir Q-gildi í boruðum göngum, á bilinu 4 – 30, voru 1,5 - 3 sinnum lægri fyrir sömu berglög eftir sprengingar [8,9]. Fyrir $Q < 4$ og > 30 höfðu sprengingar lítil áhrif. Þetta var skýrt þannig að fyrir mjög heillegt berg brotnaði það lítið meira við sprengingar og fyrir mjög sprungið berg opna sprengingar bara sprungur sem fyrir eru. Hins vegar fyrir meðalbergið verða til nýjar sprungur.

Berggæðamat á borkjörnum í íslensku basalti gefur mjög oft gildi á bilinu 4 - 20 og því má búast við að meðalberggæði í sprengdum göngum verði talsvert lægra en ætla mætti ef horft er eingöngu á niðurstöður berggæðamats á borkjörnum. $Q = 10$ fyrir borkjarna gæti verið á bilinu 3 til 7 í göngum. Þetta þarf að hafa í huga þegar metin er styrkingarþörf í göngum út frá borkjarnagreiningu ef nota á berggæðamat sem grundvöll í verklýsingu [9]. Þá þarf í jarðgöngum að taka tillit til aðstæðna, svo sem bergþekju, gangamóta, vatnsleka, nálægð við brotabelti o.fl.

Ekki hefur farið fram sérstök athugun á þessu sambandi hér á landi, en lauslegur samanburður á borholulýsingu og kortlagningum í jarðgöngum hefur leitt í ljós að meðalberggæði eru að jafnaði > 4 í borkjarnagreiningum en < 4 fyrir jarðgöng, en $Q = 4$ skilur á milli styrkingaflokka 1 og 2 eins og það hefur verið skilgreint.

Eftirfarandi er lýsing á hvaða einkunn einstaka breytur almennt fá fyrir einstaka berggerðir og við hvaða aðstæður sú einkunn gildir. Aðrar einkunnir geta einnig átt við háð aðstæðum. Almennt gildir, óháð berggerð, að margfalda skuli $J_n \times 2$ við munna og setja $SRF = 2,5$ ef bergþekja yfir göngum er minni en breidd ganga.

Basalt:

- RQD:** Ákvarðað út frá mælingum, en hafa má til hliðsjónar að RQD er oft á bilinu 60 til 85 fyrir meðal- til stórstuðlað basalt en á bilinu 30 til 60 fyrir smástuðlað eða smábrotið.
- J_n:** Oftast 9 fyrir ólivín og dílabasalt, sem eru án straumflögunar, en 12 í þóleiútbasalti með áberandi straumflögun. Ef höggunarsprungur liggja um bergið þá hækka frá 9 í 12 eða 15 ef hvort tveggja höggun og straumflögun er til staðar.
- J_r:** Oftast á bilinu 2 – 3. Einkunn = 2 ef sprungufletir eru bylgjóttir en sléttir og 3 ef bylgjóttir en hrjúfir. Fyrir kemur að einstaka fletir fái einkunn 1 - 1,5, en þá oftast fyrir áhrif höggunar. Fyrir samlæst berg með ósamfelldum sprungum eins og t.d. kubbaberg þá einkunn 4.
- Ja:** Oftast á bilinu 2 - 3. Einkunn 2 ef aðeins þunnt skæni, án leirsteinda, er á sprunguflötum, en einkunn 3 ef skæni inniheldur hugsanlega leirsteindir (sleipir fletir). Einkunn = 1 á við fyrir tiltölulega hreina fleti án útfellinga eða fleti sem steypfir er saman með kísilsteindum. Einkunn = 4 á við ef fyllingar, sem eru $< 1-2$ mm innihalda þenjanlegar leirsteindir. Ef fyllingar eru þykkari og innihalda leirsteindir getur einkunn > 4 (6-8) jafnvel átt við.

- Jw:** Oftast = 1 þar sem göng eru þurr eða leki minniháttar (< 5 l/min á einstaka stað) og hefur ekki áhrif á stæðni bergsins. Ef leki veldur lítilsháttar útskolun fyllinga á sprunguflötum og rýrir stæðni bergs og torveldar ásprautun, en vatnsþrýstingur er $< 2,5$ bör þá á einkunn = 0,66 við. Ef vatnsmagn er mikið og vatnsþrýstingur er $> 2,5$ bör og útskolun rýrir stæðni á einkunn = 0,33 við.
- SRF:** Oftast = 1 þar sem áhrif bergspenna eru engin. Einásabrotþol basalts er yfirleitt tiltölulega hátt miðað við áætlaða bergspennu, sem þýðir að ekki er búist við að spennur hafi neikvæð áhrif á stöðugleika. Einkunn = 2,5 til 5 á einnig við ef misgengisbrot er í nánd við basaltlagið hefur áhrif á stæðni þess í göngunum. Ef hins vegar verður vart við “spalling” þá einkunn = 5 eða hærri. (bergþekja > 700 m, $q_c/\sigma_1 < 5$).
- Q-gildi** Algeng gildi sennilega á bilinu 5-10 fyrir heillegt berg en 2-5 fyrir brotið berg með leir/siltskæni á brotflötum. Þ.e.a.s. ef áhrif höggunarbrota og vatnsaga eru lítil. 30 – 70 % lægri gildi ef vatnsagi rýrir stæðni bergsins.

Kargaberg :

- RQD:** Oftast eru ekki afmarkaðir sprungufletir í kargabergi og því þarf að meta RQD eftir því hversu vel samlímdur karginn er. Fyrir harðan velsamlímdan karga = 50 til 80. Fyrir veikisamlímdan karga 30 til 50.
- Jn:** Oftast engin ákveðin sprunguherfi. Taka má mið af sprungukerfum í aðlægum basaltlögum og höggun. Fyrir heillegan, velsamlímdan karga = 9 – 12. Fyrir veikisamlímdan = 15. Ef karginn er mjö illa samlímdur má færa rök fyrir einkunn = 20 “earthlike” en þá aðeins ef karginn formast ekki.
- Jr:** Oftast á bilinu 3 – 4. Sprungur í karganum eru oftast ósamfelldar og hrjúfar. Ef höggun blandast inn þá einkunn 2 eða lægri tala.
- Ja:** Oftast 2 – 3. Svipað eða sama og aðlægt basaltlag. Ef opinn og leirfylltur þá einkunn 4. Ef steypur saman af kísilsteindum þá einkunn = 1.
- Jw:** Oftast = 1 þar sem göng eru þurr eða leki minniháttar (< 5 l/min á einstaka stað) og hefur ekki áhrif á stæðni bergsins. Ef leki veldur lítilsháttar útskolun fyllinga á sprunguflötum og rýrir stæðni bergs og torveldar ásprautun, en vatnsþrýstingur er $< 2,5$ bör þá á einkunn = 0,66 við. Ef vatnsmagn er mikið og vatnsþrýstingur er $> 2,5$ bör og útskolun rýrir stæðni á einkunn = 0,33 við.
- SRF:** Oftast = 1 þar sem áhrif bergspenna eru engin. Ef vel samlímdur þá er einásabrotþol yfirleitt nógu hátt miðað við áætlaða bergspennu, sem þýðir að ekki er búist við að spennur hafi neikvæð áhrif á stöðugleika. Einkunn = 2,5 til 5 á einnig við ef misgengisbrot er í nánd við basaltlagið hefur áhrif á stæðni þess í göngunum eða óstöðugleiki er á lagmótum í þekju jarðganga, einkum í tengslum við millilög af setbergi. Ef hins vegar verður vart við „spalling“ eða “squeezing ” þá einkunn = 5 eða hærri. Bergþekja þá allajafnan > 400 m, $q_c/\sigma_1 < 5$.

Q-gildi: Algeng gildi á bilinu 4 - 10 fyrir heillegan og vel samlímdan karga en 1 - 4 fyrir veikisamlímdan og leirfylltan karga án höggunarsprungna. 30 – 70 % lægri gildi ef vatnsagi rýrir stæðni bergsins.

Setberg :

Setbergslög geta verið að ýmsum uppruna: ár- eða vatnaset, jökulset, forn jarðvegur þá rauð millilög eða forn gjóskulög þá oftast talsvert ummynduð. Þykkt mjög breytileg .

Til að meta styrk setbergs má nota punkálasprófanir, en þær duga skammt ef brotstyrkur er < 10 MPa. Þá má beita öðrum aðferðum til að meta styrk eða fá vísbendingu um stærðargráðu. Til dæmis er áætlaður styrkur :

- < 1 MPa ef berg má marka með því að þrýsta fingurnögl á sléttan flöt,
- < 5 MPa. ef berg kurlast eða djúp hola myndast undan þéttu höggi hamars
- < 25 MPa ef aðeins grunn dæld myndast undan hamarshöggi.

RQD: Ákvarðað út frá mælingum en hafa má til hliðsjónar að RQD er oft á bilinu 40 til 60, en fyrir lagskipt setberg oft 10 – 30. Ef veikt berg, einásabrotþol < 3 MPa, þá nota 10.

Jn: Oftast = 9 en ef mjög heillegt og ósprungið, þá sandsteinn eða völuberg gæti einkunn = 6 átt við, en ef lárétt lagskipting og brotnar smátt þá jafnvel einkunn = 15 og hugsanlega = 20 ef græft “earthlike” eða brotþol er < 3 MPa.

Jr: Oftast á bilinu 1 – 1,5, því sprungur oftast sléttar og sleipar í setbergi, nema ef harður sandsteinn og völuberg þá einkunn = 2.

Ja: Oftast á bilinu 3 – 4. Oft ekki miklar sprungufyllingar en bergið er veikt og hefur sand/silt eða leir áferð á sprunguflötum. Fyrir harðan sandstein eða völuberg þá getur einkunn = 2 jafnvel átt við.

Jw: Oftast = 1 ef þurr göng eða minniháttar leki sem hefur ekki áhrif á stæðni bergs. Einkunn = 0,66 eða 0,33 á við ef vatnsagi takmarkar stæðni og veldur vandræðum við styrkingar, háð vatnsþrýstingi sbr. fyrir basalt eða kargaberg.

SRF: Einkunn = 1 fyrir harðan sandstein og völuberg þar sem lárétt lagskipting er ekki til staðar . Veikleiki fylgir oftast lagmótum við setberg og þá þarf að auka styrkingar í aðlægum berglögum, einkunn = 2,5 – 5. Sama á við fyrir bergið sjálft ef lárétt lagskipting er til staðar. Höggun eða nálægð við höggunarbrot getur rýrt stæðni og kallað á auknar styrkingar einkunn = 5. Ef verður vart við ”squeezing” eða “swelling” þá einkunn \geq 5.

Q-gildi: Þar sem setberg er aðallega ummynduð gjóska verða algeng gildi = 0,5 – 1,5, en fyrir veikisamlímd setberg jafnvel < 0,1 eða allt að 0,03.

Misgengisbrotaberg :

RQD: RQD mælist í flestum tilfellum ekki og því gefin lágsta einkunn = 10.

- Jn: Oftast á bilinu 15 – 20, enda brotið berg og jafnvel kurlað. Ef græft þá einkunn = 20.
- Jr: Að jafnaði = 0,5 – 1. Brotfletir oftast sléttir og sleipir.
- Ja: Oftast > 4 og allt að 8 – 12 fyrir kurlað berg sem er græft og nógu þykkt að bergtenging næst ekki milli brotflata.
- Jw: Allajafnan < 1 því oft fylgir vatsleki brotasónum. Einkunn = 0,33 ef vatnsþrýstingur á bilinu 2,5 til 10 bör. Ef mikill vatnsflaumur, þrýstingur > 10 bör, en minnkandi með tíma þá einkunn = 0,1 – 0,2. Ef engin minnkun á innrennsli með tíma þá einkunn \leq 0,1.
- SRF: Oftast 2,5 – 5. Höggunar sprungur hafa áhrif á stæðni bergsins (liggja skáhalt eða samsíða göngunum þannig að form ræðst af sprungum).
- Q-gildi: Að jafnaði < 0,1. Ef misgengisbrotabergið nær yfir breytt svæði í göngunum samfara miklum vatsleki þá jafnvel < 0,01 eða allt að 0,001.

Berggangar :

- RQD: Ákvarðað út frá mælingum en hafa má til hliðsjónar að RQD er oft á bilinu 50 til 70 fyrir meðal til stórstuðlaðan berggang en á bilinu 20 til 40 fyrir smástuðlaðan eða smábrotið.
- Jn: Oftast á bilinu 12 – 15. Einkunn = 15 gildir ef mjög brotið.
- Jr: Oftast á bilinu 2 – 3, því sprungur eru óreglulegar. Fyrir samlæst berg með ósamfelldum sprungum eins og t.d. kubbaberg þá einkunn 4.
- Ja: Oftast á bilinu 2 – 3. Oft ekki miklar sprungufyllingar á brotflötum því berggangar eru yngri en grannbergið. Ef leirskæni sem gerir fleti sleipa þá einkunn = 4, en ef kísilsteindir líma brot saman þá einkunn = 1.
- Jw: Oftast = 0,66. Ef berggangur er þurr eða aðeins minniháttar leki sem hefur ekki áhrif á stæðni bergs þá gildir einkunn = 1, en ef mikið vatn og vatnsþrýstingur > 2,5 bör þá einkunn = 0,33. Lægri einkunn gæti átt við ef mjög mikill vatnsagi, > 10 bara þrýstingur, sem takmarkar stæðni og veldur vandræðum við styrkingar.
- SRF: Einkunn = 1 ef skil milli bergganga og grannbergs eru samsteypt. Veikleiki fylgir hins vegar oft lagmótum við grannbergið og þá þarf að lækka einkunn í = 2,5 eða 5 misgengisbrot liggur með berggangi og/eða fléttast saman við ganginn.
- Q-gildi: Algeng gildi = 1 – 3, ef lítið vatn lekur með ganginum en < 1 ef vatnsagi fylgir gangi og/eða brotaberg.

Heimildir

- [1] "Analysis of rock mass quality and support practice in tunnel and a guide for estimating support requirements", Barton, N. Lien R. og Løset F., NGI-rapport. 54206", 1974.
- [2] "Q-metoden, Bruk av denne til beskrivelse av bergmasser og som et hjelpemiddel ved vurdering av sikringstiltak i bergrom", Lien R. og Løset F., NGI-rapport 54001-3, 1978.
- [3] "Updating the Q-system for NMT", Eystein Grimstad og Nick Barton, Norwegian Geotechnical Institute, 1993.
- [4] "Use of the Q-system in weak rock masses". NGI, February 1999.
- [5] "Some new Q-value correlations to assist in site characterisation and tunnel design". Nick Barton, International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences, February 2002.
- [6] "Jarðgöng á Íslandi - Berggæðamat", Björn A. Harðarson. OS-84080/VOD-21 B. Orkustofnun, Október 1984.
- [7] "Blönduvirkjun - jarðgöng. Reynsla af berggæðamati", Björn A. Harðarson. OS-89021/VOD-03 B. Orkustofnun, júlí 1989.
- [8] "Support needs compared at the Svartisen road tunnel". Løset, Fredrik, Tunnels and Tunneling, june 1992
- [9] "Classification systems for payment purposes", Hodkin, David. Tunnels and Tunnelling, janúar 1994.

3. Styrkingar í göngum

Hafa skal hliðsjón af Q-berggæðamati þegar bergi á gangaleið er skipt upp í styrkingarflokka og bergstyrkingar ákveðnar fyrir hvern flokk. Önnur berggæðamatskerfi koma einnig til greina, í samráði við umsjónarmann verkkaupa. Í fylgiskjali 2 eru leiðbeiningar fyrir Q-berggæðamat, ef annað berggæðamatskerfi er notað þarf að leggja fram samsvarandi leiðbeiningar á hverju mat er byggt og hvernig það tengist mati á styrkingaþörf bergsins.

Styrkingaflokkar geta verið nokkrir og skil milli flokka ræðst af aðstæðum. Oft er þó miðað við eftirfarandi:

Styrkingarflokkur 1	$Q > 4$
Styrkingarflokkur 2	$1 < Q < 4$
Styrkingarflokkur 3	$0,1 < Q < 1$
Styrkingarflokkur 4	$Q < 0,1$
Styrkingarflokkur 5	$Q < 0,01$

Flokkun verður þó að vera sveigjanleg og aðlöguð aðstæðum á hverjum stað. Því kemur vel til álita önnur skipting milli styrkingarflokka, í samráði við umsjónarmann verkkaupa, eins og til dæmis gert var fyrir Fáskrúðsfjarðargöng, þar sem styrkingaflokkur 2 var skipt upp og mörk látin vera milli $Q = 1 - 2$ og $Q = 2 - 4$. Annað dæmi eru Hvalfjarðargöng þar sem styrkingarflokkur IV var skipt upp háð breidd veikleikasvæðis og vatnsþrýstingi, sjá töflu 3.

Fyrir 8 - 9 m breitt þversnið vegganga skal viðmiðunarþykkt sprautusteypu og þéttleiki bergboltunar, innan hvers styrkingarflokks, að jafnaði vera eins og sýnt er í töflum 1 og 2 hér fyrir neðan. Önnur viðmið koma einnig til greina, ef umsjónarmaður verkkaupa metur það svo. Aðeins er hægt að gefa leiðbeinandi gildi fyrir hvern styrkingarflokk. Svigrúm þarf því að vera fyrir mismunandi styrkingar því aðstæður geta verið mismunandi í göngunum þó svo Q-berggæði reiknist svipuð.

Tafla 1. Sprautusteypustyrkingar, þykktarviðmið.

Styrkingarflokkur	Berggæðamat	Sprautusteypa (mm)	
		þekja	veggir
1	$Q > 4$	60	40
2	$1 < Q < 4$	80 - 100	60
3	$0,1 < Q < 1$	100 - 120	80 - 100
4	$0,01 < Q < 0,1$	150 - 250	150 - 250
5	$Q < 0,01$	> 250	> 250

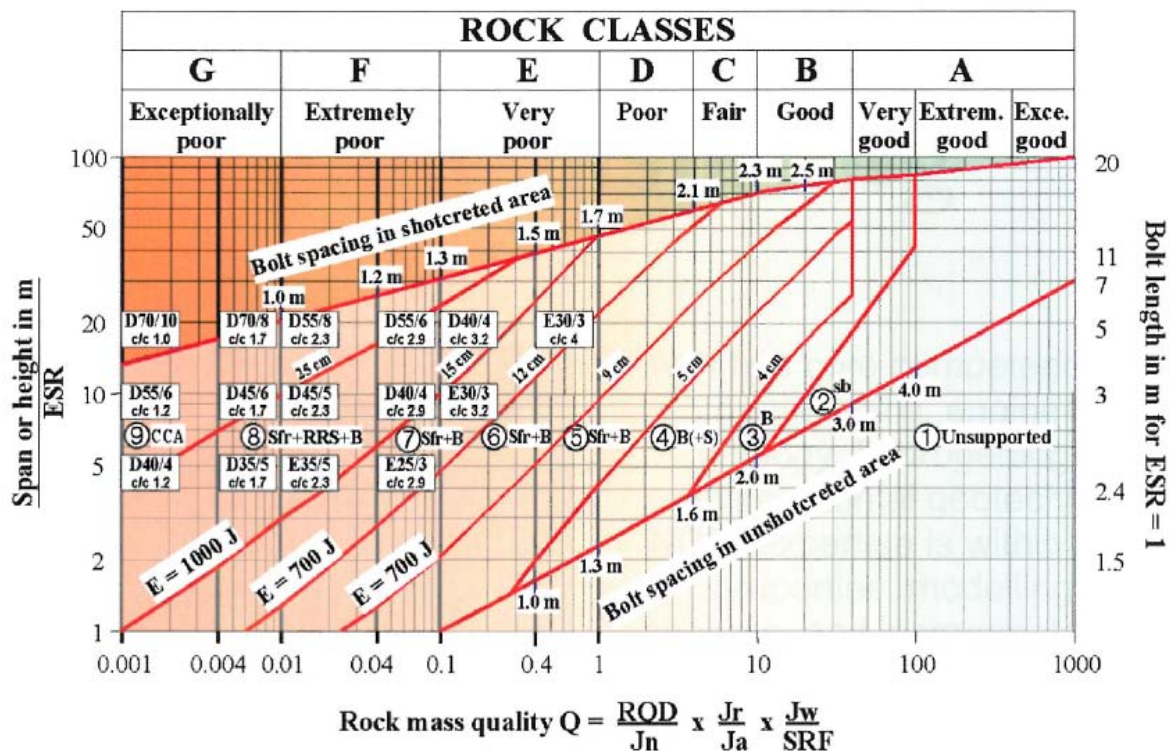
Tafla 2. Bergboltastyrkingar, millibil og lengdarviðmið.

Styrkingarflokkur	Berggæðamat	Bil milli bergbolta / lengd bolta (m)	
		þekja	veggir
1	$Q > 4$	2,0 - 2,5 / 3	stakboltun
2	$1 < Q < 4$	1,7 - 2,0 / 3 - 4	2 - 2,5 / 3
3	$0,1 < Q < 1$	1,3 - 1,7 / 4 - 5	1,5 - 2 / 3 - 4
4	$0,01 < Q < 0,1$	1 - 1,5 / 4 - 6	1 - 1,5 / 4 - 6
5	$Q < 0,01$	< 1 / 4 - 6	< 1 / 4 - 6

Fyrir styrkingarflokka 3 – 5 skal steypa allajafnan styrkt með stáltrefjum eða bendineti. Fyrir styrkingarflokka 1 og 2 skal leggja mat á þörf bendingar í ljósi aðstæðna, en reikna skal almennt með að trefjastyrkt steypa sé í þekju ganganna fyrir styrkingarflokk 2.

Sprautusteypuboga eða bergbönd skal setja upp þar sem bogavirkni verður ekki náð með bergboltun og steypuásprautun eingöngu eða þar sem hættu er á sigi eða losun bergs vegna þansteinda, t.d. þar sem þykk setbergslög liggja yfir göngunum eða göngin þvera breitt brotabelti með óstöðugu brotabergi milli brotflata.

Við mat á styrkingaþörf má einnig hafa til hliðsjónar bergstyrkingalínuritid á mynd 1, þar sem styrkingaþörf er áætluð miðað við berggæði og þvermál ganga. Þetta línurit er byggt á raunstyrkingum í jarðgöngum, einkum í Noregi. Nokkrar breytingar hafa verið gerðar á þessu línuriti frá því það var fyrst gefið út því komið hafa inn nýjar aðferðir við styrkingar, sem taka þarf mið af. Þegar kerfinu var til dæmis fyrst lýst var notkun stáltrefja í sprautusteypu ekki almenn og sprautusteypubogar ekki komnir inn sem valkostur.



REINFORCEMENT CATEGORIES

- 1) Unsupported
- 2) Spot bolting, **sb**
- 3) Systematic bolting, **B**
- 4) Systematic bolting, (and unreinforced shotcrete, 4-10 cm), **B(+S)**
- 5) Fibre reinforced shotcrete and bolting, 5-9 cm, **Sfr+B**
- 6) Fibre reinforced shotcrete and bolting, 9-12 cm, **Sfr+B**
- 7) Fibre reinforced shotcrete and bolting, 12-15 cm, **Sfr+B**
- 8) Fibre reinforced shotcrete > 15 cm + reinforced ribs of shotcrete and bolting, **Sfr+RRS+B**
- 9) Cast concrete lining, **CCA**

E) Energy absorption in fibre reinforced shotcrete at 25 mm bending during plate testing

$\left[\begin{array}{l} D45/6 \\ c/c 17 \end{array} \right]$ = RRS with 6 reinforcement bars in double layer in 45 cm thick ribs with centre to centre (c/c) spacing 1.7 m. Each box corresponds to Q-values on the left hand side of the box. (See text for explanation)

Mynd 1. Q-gildi og áætluð styrkingaþörf. [Norwegian Tunnelling. Publication no. 14, 2004]

Í töflu 3 er sýnt dæmi um hönnunarforsendur fyrir styrkingar Hvalfjarðarganga, þar sem byggt var á Q-mati, en jafnframt tekið tillit til aðstæðna eins og breidd veikleika svæða og vatnsþrýstings.

Tafla 3. Styrkingaflokkun Hvalfjarðarganga T8,5 þversnið. (Samkvæmt tillögu Fossvirkis og samþykkt af Speli 1996).

Styrkingar-flokkur	Q - gildi	Styrkingar í þekju	Styrkingar í veggjum
1	$Q > 4$	Stakboltun, Sprautusteypa. 40 mm	Stakboltun Sprautusteypa 30 mm
2	$1 < Q < 4$	Bergboltal m/m = 2,2, L = 3m, Sprautusteypa 60 mm	Stakboltun Sprautusteypa 60 mm
3	$0,1 < Q < 1$	Bergboltal m/m = 1,7, L = 3m, Sprautusteypa 80 mm með stáltrefjum + 20 mm án trefja	Sama og í þekju
4a	$Q < 0,1$ < 4 m svæði	Bergboltal m/m = 1,5, L = 4m, Sprautusteypa 130 mm með stáltrefjum + 20 mm án trefja	Sama og í þekju
4b	$Q < 0,1$ > 4 m svæði eða hár vatnsþrýstingur	Bergboltal m/m = 1,5, L = 4m, forboltun Sprautusteypa 130 mm með stáltrefjum + 20 mm án trefja Sprautusteypubogar	Sama og í þekju
5	$Q \ll 0,1$, mikill vatnsþrýstingur	Sama og 4b, en að auki heilsteypt með 450 mm þykkri steypu auk 300 mm steypu í gólf ganga	Sama og í þekju

Hafa verður í huga að línuritið á mynd 1 eða viðmiðanir sem gefnar eru í verklýsingum eru aðeins til leiðbeiningar. Raunadstæður í göngunum og samanburður við sambærilegar aðstæður í öðrum göngum verða að ráða um magn og umfang styrkinga. Mikilvægast verður því alltaf að þeir sem ákveða styrkingarnar hafi mikla reynslu og þekkingu á því sviði.

Óháð styrkingaflokkum ber alltaf að sýna í kortlagningu raunstaðsetningu bergbolta og raunmagn sprautusteypu eins og það var unnið. Kortlagningin er gagnagrunnur fyrir raunstyrkingar ganganna, “as built” teikning, til samanburðar ef bæta þarf við styrkingum síðar eða meta ástand styrkinga vegna skemmda sem hugsanlega geta komið upp.