

Norðfjarðargöng

Jarðfræðilegar aðstæður til gangagerðar

milli Eskifjarðar og Norðfjarðar



Nónember 2012

Unnið fyrir Vegagerðina

Efnisyfirlit

1	Ágrip.....	5
2	Jarðfræði Austfjarða	7
2.1	Berggrunnurinn.....	7
2.2	Mótun landslagsins.....	9
2.3	Laus jarðlög	9
3	Berggrunnur milli Norðfjarðar, Reyðarfjarðar og Eskifjarðar	11
3.1	Basaltstaflinn í innri hluta fjallgarðsins.....	12
4	Rannsóknarboranir vegna gangagerðar 2007-2008.....	15
4.1	Kjarnaboranir í Fannardal 2007	15
4.2	Boranir með loftbor í Fannardal 2007	17
4.3	Boranir í Eskifirði 2007.....	17
4.4	Boranir í landi Tandрастаða í Fannardal 2008	19
4.5	Yfirlit yfir niðurstöður rannsóknarborana	21
4.5.1	Lektarprófanir í borholum og mæld lekt.....	21
4.5.2	Hitamælingar í borholum.....	23
4.5.3	Jarðvatnsstreymi	24
4.5.4	Kjarnaheimta úr borholum.....	25
4.5.5	Berggerðir og lagþykktir.....	25
4.5.6	Sprungutíðni og heilleikastuðull berglaga RQD.....	27
4.5.7	Berggæði – Q-mat.....	27
4.5.8	Mældur brotstyrkur	28
4.5.9	Mælt hörkuútslag bergs	30
5	Áætlaðar jarðfræðilegar aðstæður á gangaleið	31
5.1	Yfirlit yfir bergstaflann	31
5.2	Brotalínur, misgengi og berggangar	33
5.3	Vatnsleki.....	33
5.4	Aðstæður við munna í Eskifirði	34
5.5	Áætlaðar aðstæður á meginhluta gangaleiðar	34
5.6	Aðstæður við munna í landi Tandрастаða utan við Tröllagil.....	39
6	Heimildaskrá og ýtarefni.....	41

Teikningar

- 1 Reyðarfjörður – Norðfjörður. Helstu drættir í jarðfræði.
- 2 Eskifjörður – Norðfjörður. Yfirlit yfir kannaðar jarðgangaleiðir.
- 3 Eskifjörður - Fannardalur. Yfirlitskort rannsóknarborana og sniða.
- 4 Eskifjörður - Fannardalur. Langsnið jarðlaga eftir jarðgangaleið.
- 5 Eskifjörður vestan þéttbýlis. Staðsetningakort rannsókna.
- 6 Eskifjörður vestan þéttbýlis. Langsnið jarðlaga við munna.
- 7 Fannardalur. Staðsetningakort rannsókna 2007.
- 8 Fannardalur - Tandрастаðir. Staðsetningakort rannsókna 2008.
- 9 Fannardalur - Tandрастаðir. Langsnið jarðlaga við gangamunna.
- 10 Fannardalur - Tandрастаðir. Þversnið jarðlaga við gangamunna.
- 11 Jarðlagasnið í Eskifirði. Bleiksá og Lambeyrará.
- 12 Jarðlagasnið í Fannardal í Norðfirði. Hólafjall - Hólaströnd.
- 13 Jarðlagasnið í Fannardal og Geysárdal.

Viðauki A Lýsing á kjarnaborholum

Hola EF-01, 1 bls.	-	Hola EF-02, 6 bls.	-	Hola NF-1, 3 bls.
Hola NF-2, 7 bls.	-	Hola NF-3, 1 bls.	-	Hola NF - 4, 1 bls.
Hola NF-5, 1 bls.	-	Hola NF-5B, 1 bls.	-	Hola NF - 6, 2 bls.
Hola NF-7, 3 bls.	-	Hola NF-8, 1 bls.		

Viðauki B Ljósmyndir af borkjarna úr kjarnaborholum

EF-01 og EF-02 NF-01 til NF-08

Viðauki C Lýsing á holum sem boraðar voru með loftbor

Holur EL-01 til EL-06 boraðar í Eskifirði 2007.

Holur NL-22 til NL-42 boraðar við Tandрастаði í Fannardal 2008.

Holur NL-01 til NL-21 boraðar í innanverðum Fannardal 2007 (Viðauki C2).

1 Ágrip

Skýrslan lýsir jarðfræði og mati á jarðfræðilegum aðstæðum eftir áformaðri gangaleið í gegnum fjallgarðinn er skilur að Norðfjörð og Eskifjörð í Suður-Múlasýslu. Upplýsinga um jarðfræði svæðisins var í aðalatriðum aflað með þrennum hætti.

1. Yfirfarnar greinar og handrit um jarðfræði Austfjarða eftir G.P.L. Walker og lærisveina hans sem rannsökuðu Austfjarðabasaltið á árunum 1950-1970.
2. Vettvangsskoðun, loftmyndaskoðun og túlkun á jarðfræði og lýsingum jarðlagasniða sem unnin voru ósamfellt af skýrsluhöfundi á árunum um 1990 og einnig 2002-2004.
3. Rannsóknarboranir í Norðfirði og Eskifirði 2007 og 2008.

Nokkrar mismunandi jarðgangaleiðir hafa verið athugaðar og niðurstaðan varð að stefna að um 7,98 km löngum jarðgöngum gegnum fjallgarðinn frá innsta hluta þéttbýlisins í Eskifirði að Norðfjarðará í Fannardal gegnt eyðibýlinu Tandrastöðum.

Aðkoma vega að gangamunnum er sem hér segir: Mjög stutt er að munna frá núverandi vegakerfi skammt vestan þéttbýlisins í Eskifirði. Þar liggur um 2-5 m þykkur skriðujarðvegur og jökulruðningur yfir traustlegu bergi.

Að norðan mun gangamunninn opnast út í hlíð Fannardals gegnt Tandrastöðum. Þar liggja um 10 m þykk setlög úr grófgerðum jökulruðningi og skriðuefni yfir berginu. Lausu jarðlöggin þykkna mjög skammt neðan við munnann en þynnast upp til hlíðarinnar.

Frá gangamunna Norðfjarðarmegin er um 5 km löng leið út lághlíðar og áreyrar dalsins að núverandi Norðfjarðarvegi skammt norðan við brúna á Norðfjarðará. Staðhættir og helstu örnefni eru sýnd á teikningum 1 til 3.

Talið er að leið jarðganganna gegnum fjallið muni liggja liggja gegnum nokkur hundruð metra þykkar jarðlagastafla sem hallar til suðvesturs, það er með vestlægum hliðarhalla niður til Eskifjarðar.

Uppbygging berglagastaflans er sýnd á langsniðum á teikningum 1 og 4. Í staflanum eru bergsyrpur úr misþykkum basaltlögum (ásamt fáeinum ísúrum storkubergslögum) með tiltölulega þunnum millilögum. Jarðlögum hallar 6-7° til SV og liggur gangaleiðin skáhallt á hallastefnu jarðlaga þannig að hún mun skera fjölmörg berglög.

Nær Eskifirði eru berglög talin tiltölulega traustleg til gangagerðar ef frá eru talin nokkur setbergslög. Bergið nær Norðfirði er breytilegra og talið síðra til gangagerðar. Þar eru líkur á að göngin fari í gegnum andesítlög á nokkur hundruð metra kafla. (Sjá nánar á teikningu 4).

Brotavirkni og berggangar nærri jarðgangaleið eru með minna móti miðað við þéttleika slíkra jarðmyndana í nágrenninu og liggja flestar brotalínur skáhallt yfir gangaleiðina.

Ummyndun í berginu tilheyrir skólesít ummyndunarbelti og holufyllingar fylla víða sprungur og önnur holrými bergsins. Lektarmælingar í kjarnaborholum sýna að lekt bergsins er breytileg en er að jafnaði meiri í bergi nær Norðfirði en Eskifirði. Búast

má við kraftmiklu innrennsli vatns á allmörgum stöðum er göngin verða grafin gegnum brotalínur en slíkt innrennsli hjaðnar yfirleitt á nokkrum dögum.

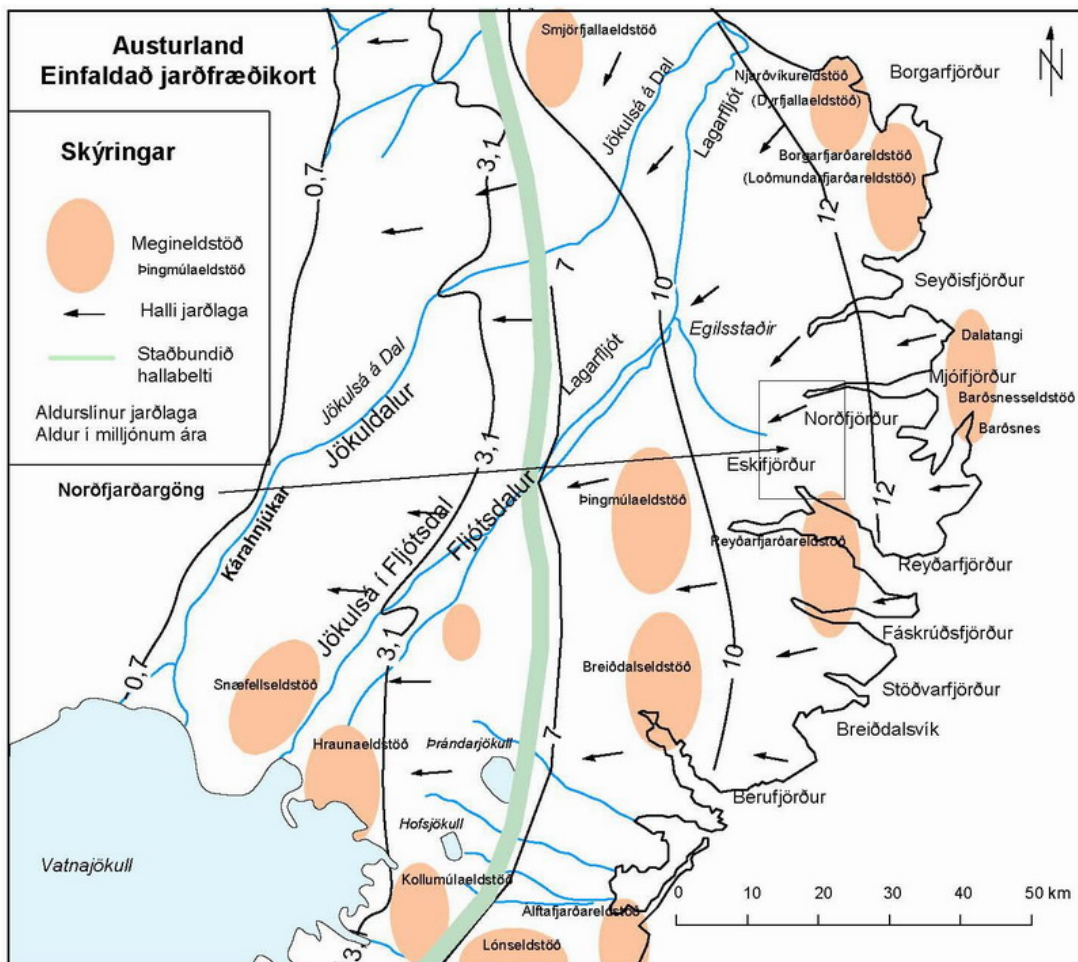
Ef vatn sem alla jafnan er í lítt ummynduðu bergi ofarlega í fjallgarðinum fer að renna um vel vatnsleiðandi bergganga eða sprungur niður á jarðgangaleið má búast við að slíkt vatn verði kalt og frábrugðið því jarðvatni sem almennt er í staflanum á áformaðri jarðgangaleið.

Jarðfræðistofan hefur unnið framangreindar jarðfræðiathuganir fyrir Vegagerðina á árunum 2004-2008. Verkið unnu Ágúst Guðmundsson, Timothy Ward og Sarah Kaiser. Rannsóknarboranir annaðist Ræktunarsamband Flóa og Skeiða frá Selfossi. Skýrslan var yfirfarin (af Ágústi Guðmundssyni) á haustmánuðum 2012 og ýmislegt frá fyrri árum lagfært.

2 Jarðfræði Austfjarða

2.1 Berggrunnurinn

Austfjarðafjöll við Reyðarfjörð og Norðfjörð tilheyra blágrýtismyndun Íslands. Berglagastaflinn frá austurströnd Íslands við Gerpi og vestur á Eyvindarárdal og Fagradal er um 3 km þykkur og er hann myndaður fyrir u.þ.b. 10 til rúmlega 13,5 milljónum ára (sjá nánar á teikningu 1). Í þessum hluta jarðlagastaflans hafa fundist um 7 megineldstöðvar. Einni þeirra, Reyðarfjarðareldstöðinni, hefur G.P.L. Walker lýst rækilega en aðrar eru minna þekktar. Einhverjar eldstöðvar liggja undan ströndinni og sjást aðeins útskæklar þeirra í Barðsnesi og við Dalatanga. Dreifing megineldstöðva og helstu drættir í jarðfræði Austurlands eru sýndir á mynd 2.1.



Mynd 2.1. Austfirðir. Helstu drættir í jarðfræði.

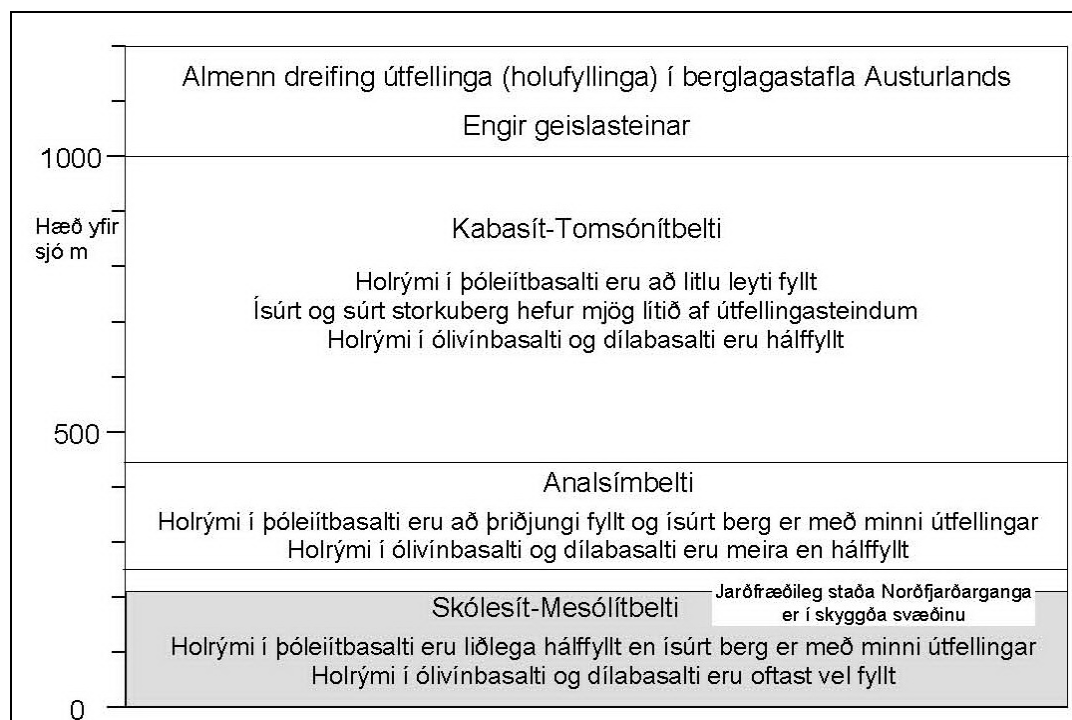
Bergið er aðallega basalt (um 80-85%), súrt berg er um 10% og setbergslög 5-10%. Milli basaltlaganna eru víðast tiltölulega þunn setbergslög (á hverjum stað mælist þykktin sentimetrar eða metrar). Í setbergslögunum finnast gjarnan merki um hlýtt loftslag. Berggangar og misgengi mynda oft samhliða fylkingar sem flestar tengjast tilteknum megineldstöðvum og liggja að jafnaði samsíða stríkstefnu jarðlaganna. Jarðgöng milli Norðfjarðar og Eskifjarðar munu liggja í efstu jarðlögunum í þessum hluta staflans.

Samhliða upphleðslu jarðlaganna myndast berggangar og misgengi þegar bergskorpan brotnar upp og undirliggjandi kvika þrengir sér þá gjarnan inn í

sprungur. Misgengi jarðlaga myndast yfirleitt við togspennu og yfirleitt eru misgengin næstum lóðrétt eða bratt-hallandi. Algengast er að lóðrétt hliðrun um misgengin sé 5-30 m og yfirleitt liggur meginsprungustefna hvers svæðis sem næst hornrétt á hallastefnu jarðlaga á hverjum stað.

Gangar eru líkt og misgengin, nær lóðréttir í upphafi en hallast venjulega lítið eitt með jarðlagastaflanum. Gangar eru ýmist aðfærsluæðar hraunlaga eða enda blint uppi í jarðlagastaflanum án þess að bergkvikan hafi náð yfirborði. Þeir eru yfirleitt 2-8 m þykkir en einstaka gangar á Mið-Austurlandi ná allt að 20 m þykkt. Algengt er að höfuðstefnur bergganga liggi nærri stríkstefnu jarðlaga á hverju svæði. Meðaltalsþéttleiki þeirra við sjávarmál (utan gangareina) er gróflega metinn vera 1-3% en megineldstöðvunum fylgja venjulega 10-50 km langar og nokkurra km breiðar gangareinar þar sem gangaþéttleikinn er oft 4-8%. Á Mið-Austurlandi stefna gangarnir í þessum gangareinum aðallega í N og NNA. Í fjallgarðinum milli Eskifjarðar og Fannardals sjást tiltölulega fáir bergganga ef borið er saman við þéttleika bergganga í utanverðum Norðfirði eða í innanverðum Reyðarfirði.

Þegar basaltstafla hleðst upp og grefst sífellt dýpra undir yngri hraunlögum, fer hann að ummyndast vegna aukins hita og þrýstings. Volgt eða heitt jarðvatn leikur um bergið og ýmis efni leysast upp úr berginu. Síðar þegar vatnið (mettað uppleystum efnum) kólnar, myndast útfellingar í kólnandi jarðvatninu, þær kristallast og mynda geislasteina og raðast tegundir geislasteinanna gjarnan í belti og endurspeglar hvert tegundabelti þá vissar hita- og þrýstiaðstæður sem ríkt hafa í berginu á meðan útfellingarnar voru að myndast.



Mynd 2.2. Dreifing ummyndunar í basalt berggrunni Austfjarðafjalla.

Almennt má segja að berggrunnurinn á Austfjörðum sé mettaður vatni, nema í efstu fjallarimur og tindum. Hátt til fjalla ofan geislasteinabeltanna eru berglög lek og vatn kemur víða fram í lindum. Neðar í jarðlagastafla þegar komið er inn í mikla ummyndum og útfellingar geislasteina, er algengt að vatnstreymi í berginu sé nær eingöngu bundið við einstaka sprungur, misgengi og brotaberg á jöðrum bergganga.

Á láglandi og í lághlíðum er bergið víðast svo þétt að jarðvatnsborð liggur yfirleitt við yfirborð.

Á svæðum þar sem bergsyrrpur úr ísúru og súru storkubergi liggja, skortir mjög útfellingasteindir og bergið getur verið “hriplekt” (> 50 LU) í afmörkuðum bergsyrrpum, þótt basískara berg sé tiltölulega vatnspétt (< 1 LU) við sömu jarðfræðiskilyrði. Á mynd 2.2 er sýnt hvernig ummyndun vex með upprunalegu dýpi í jarðlagastafla og á mynd 4.5 er sýndur lektarkvarði fyrir mismunandi jarðmyndanir.

2.2 Mótun landslagsins

Síðla á Tertíertíma lá núverandi Austurland við gosbelti rekássins í Atlantshafi. Þá má ætla að þar sem nú eru Austfjarðafjöll hafi fjallakeðja megineldstöðva risið nokkur hundruð metra (og jafnvel mörg hundruð metra) yfir hraunahásléttuna frá NNA til SSV. Þegar loftslag fór kólnandi undir lok Tertíer byrjuðu jöklar að myndast, fyrst á megineldstöðvunum. Frá austurhlíðum fjallakeðjunnar gátu skriðjöklarnir runnið óhindrað austur til strandarinnar um leið og þeir grófu svokallað Alpalandslag þar sem nú eru Austfjarðafjöll. Þetta landmótunarferli endurspeglast í djúpum dölum og fjörðum en milli þeirra eru hvassbrýndir fjallatindar með stuttum skálum. Í slakkanum undir vesturhlíðum fjallakeðjunnar sem megineldstöðvarnar mynduðu hafa skriðjöklar safnast saman í miklum meginstraumi sem þokaðist til norðausturs (út um sundið á milli Dyrfjalla- og Borgarfjarðareldstöðvanna í suðaustri og Smjörfjalla- og Fagradalseldstöðvanna í norðvestri) og gróf út dal núverandi Fljótsdalshéraðs (sjá staðsetningar á mynd 2.1).

Síðar á ísöld harðnaði svo í ári að jökull huldi öðru hverju öll heiðalönd og gekk víða út í firði og flóa eða jafnvel á haf út. Líklegt má þó telja að hæstu eggjar brattrar fjalla á norðanverðum Austfjörðum hafi lengst af eða ávallt verið íslausar eftir að landið tók að mótast og dalir og firðir að grafast niður. Ætla má að hærri hluti Austfjarðafjallgarðsins hafi staðið upp úr ísbreiðunni allt síðasta jökulskeið og mjög íslítið verið í fjörðum norðan Seyðisfjarðar. Vafamál er hvort jöklar náðu að skriða út úr fjarðakjöftum allt suður í Berufjörð.

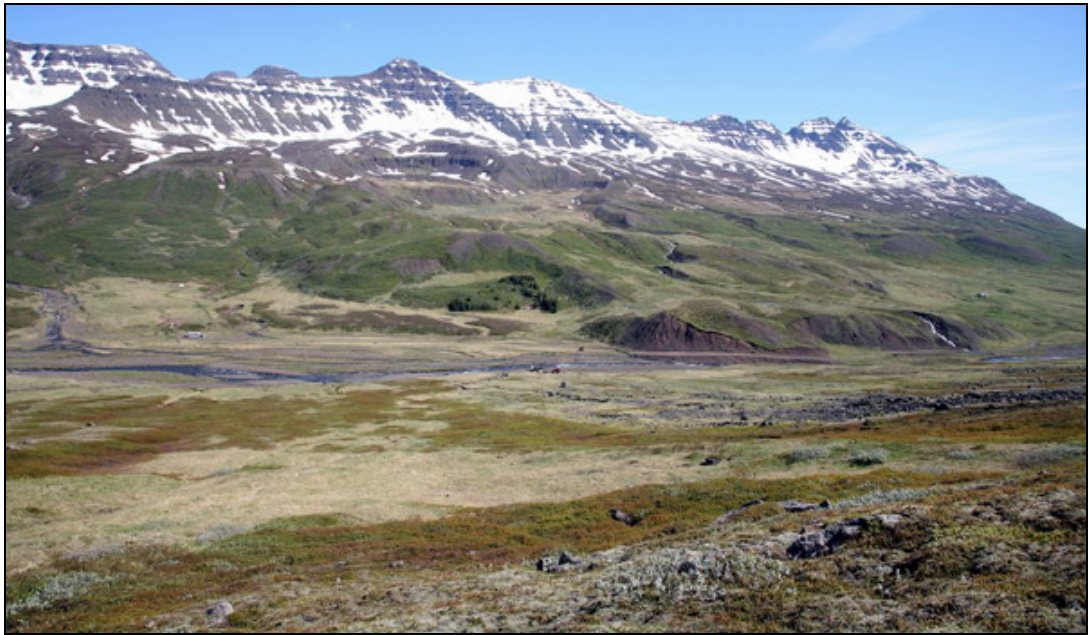
Eitt af því sem einkennir mótun dala við langvarandi sífreraástand í jökulvana fjalllendi er að dalir verða ekki samhverfir. Hlíðar sem vita móti sól verða jafnan með minni halla og þar brotnar berg meira niður í fjallaeggjum og safnast í ofanverðar hlíðar (borið saman við skuggahlíðar fjalla). Þaðan silast svo samfrosin urð niður hlíðarnar þar sem urðin myndar oft fagurskapaðar skriðtungur. Þessi landmótunareinkenni eru mjög sterk í Eskifirði, Reyðarfirði og Norðfirði (sjá teikningar 1 og 2).

Á efri hluta fjallgarðsins og lækkandi út með fjörðunum er jafnan þykk kápa úr frostsprungnu, frostlyftu grjóti og almennt eru jökulrákir mjög óljósar til fjalla. Jökulsvörfunin sést helst í fjarðabotnum og í skálum og stefnir rofið yfirleitt á hverjum stað stystu leið til sjávar. Nú er víðast á Austfjörðum bratt fjalllendi, sundur skorið af dölum og fjörðum en fjöll og tindar ná víða 1000-1200 m hæð.

2.3 Laus jarðlög

Laus jarðlög í dölum og fjarðarbotnum Austurlands eru aðallega malarkennd lög í dalbotnum, tiltölulega afmarkaðir melar úr jökulruðningi og urðartungur sem leiða má líkur til að séu fornt urðarjöklaðar frá síðari hluta síðasta jökulskeiðs en hafa

löngum verið flokkaðar sem forsöguleg berghlaup. Þessar urðartungur (sem eru skýr ummerki sífreralandslags utan jökulskjalda) setja víða staðsetningu jarðgangamunna skorður. Litlir jökulgarðar finnast á strjálíngi.



Mynd 2.3. Hlíðar Norðfjarðarfjalla utan Fannardals er snúa móti suðri. Áberandi eru þykkir urðarbingir utan við Tandrastaði. Þar er stöðugt jarðskrið og stór hluti þykkra urðartungna að mjakast niður hlíðina. Hlíðin er mun hallaminni en hlíðin á mynd 2.4 sem snýr mót norðri.

Í innanverðum Norðfirði og Eskifirði eru nokkrir malarhjallar sem næst í 50 m hæð og hafa þeir myndast við framburð ána við hærri sjávarstöðu, að öllum líkindum seint á síðasta jökulskeiði. Nokkrir litlir hjallar af þessum toga finnast sumsstaðar við læki utar með fjörðunum. Algengasti jarðvegur þar eystra er myndaður í hallamýrum og er hann sjaldnast meira en örfáir metrar að þykkt.



Mynd 2.4. Hólafljall í Fannardal rís bratt móti norðri. Þykkar aurkeilur undir giljum eins og við Tröllagil til vinstri við miðja mynd og flákar úr jökulruðningi (til hægri) setja staðsetningu gangamunna skorður. Áformaður munnastaður Norðfjarðarganga er í vinstri jaðri myndarinnar.

3 Berggrunnur milli Norðfjarðar, Reyðarfjarðar og Eskifjarðar

Skaginn sem skilur á milli Norðfjarðar, Norðfjarðardals og Reyðarfjarðar er breiður og vogskorinn yst og mjókkar litlu innar þar sem Norðfjarðarflói skerst skáhallt inn í hann með þremur innfjörðum. Hann er að mestu óreglulegur, tindóttur fjallshryggur með tiltölulega litlu undirlendi. Á teikningu 1 er sýnt langsnið eftir endilöngum fjallgarðinum milli Norðfjarðar og Reyðarfjarðar og Eskifjarðar. Í yfirliti má skipta bergstaflanum í skaganum í fjóra hluta sem eru taldir frá neðstu lögum austast til vesturs:

- a) Breytilegt berg Barðsneseldstöðvarinnar með elsta bergi Austurlands.
- b) Neðri basaltstaflinn nærri Vöðlavík, Viðfirði og Hellisfirði.
- c) Berglög Reyðarfjarðareldstöðvarinnar.
- d) Efri basaltstaflinn, vestan við eldstöðina í fjöllum ofan og vestan Eskifjarðar.

Vestantil á langsniðinu á teikningu 1 er sýnd jarðfræðileg afstaða áformaðra Norðfjarðarganga og munu þau liggja í berghlutum c og d sem nefndir eru hér að ofan).

Ofaná og til hliðar við breytilegt berg Barðsneseldstöðvarinnar (sjá staðs. á mynd 2.1) er neðri basaltstaflinn úr reglulega lagskiptum basaltlögum sem hallar til vesturs um allt að 7-8° við sjávarmál. Efstu lög þessa reglulega stafla eru ofan við Skuggahlíðarbjarg við Oddsdal og utan við Helgustaðanámu í Reyðarfirði (sjá teikn. 1). Þykkt staflans er liðlega 1500 m frá austurströndinni upp í Vindhálstind sem er upp af Vöðlavík og Viðfirði. Berglögum þessa hluta hallar meira til vesturs en öðrum plötubasaltlögum á svæðinu þar sem þau hafa lent undir fargi Reyðarfjarðareldstöðvarinnar.

Í fjallgarðinum milli Norðfjarðar og Reyðarfjarðar og einnig sunnan Reyðarfjarðar má finna mikil ummerki um fornt eldfjall eða megineldstöð sem kennd er við Reyðarfjörð og reis yfir hraunlagabreiðuna á þessum slóðum fyrir um 11 milljónum ára. Í "óðali" megineldstöðvarinnar (kjarnasvæði eldfjallsins) ber mest á óreglulegum jarðlögum, lagskiptum jarðlögum með óreglulegan halla, þykkum staðbundnum setbergslögum og súru bergi af ýmsum toga. Heildarhæð, eða þykkt eldstöðvarinnar þar sem hún gengur í gegnum fjallgarðinn hefur verið 600-800 m með botnlögin ofan við silfurbergið í Helgustaðanámu og kollinn í Oddskarði en vesturkinninn lá þaðan niður að sjávarmáli í þéttbýlinu í Eskifirði.

Jaðrar megineldstöðva eru víða byggðir upp með misleitu bergi (oft súru eða ísúru) sem gengur líkt og greinar frá megineldstöðinni út á aðliggjandi basaltplötu og fléttast þar saman við plötubasaltið sem umlykur megineldstöðvarnar. Þannig geta hraunlög sem tilheyra eldfjallinu fléttast inn í umlykjandi basalt (og einstök berglög frá hinni fornu Reyðarfjarðareldstöð gætu teygst sig inn á leið Norðfjarðarganga). Einnig getur orðið breytileg þykkt og gerð berg- og jarðlaga sem umlykja eldstöðvakeilu eða eldstöðvahrygg, þannig að öðrum megin fjallsins liggi berglög með talsvert frábrugnum eiginleikum í samanburði við berglög sem urðu til handan fjalls. Allt berg innan kjarnasvæðis hins forna eldfjalls Reyðarfjarðareldstöðvarinnar er líklega fremur slæmt til jarðgangagerðar.

3.1 Basaltstaflinn í innri hluta fjallgarðsins

Jarðgangaleið, sem fyrirhuguð er á milli Norðfjarðar og Eskifjarðar, liggur vestan við berg megineldstöðvarinnar sem Walker kenndi við Reyðarfjörð (sjá jarðfræðilega stöðu Norðfjarðarganga á vesturenda langsniðsins á teikningu 1). Jarðlögum hallar í vestur um 6-7° við sjávarmál en minna hærra í fjöllum og almennt minnkar jarðlagahallinn um 2° við hverja 300 m hækkun í fjallshlíðum. Nokkru minni jarðlagahalli er milli Eskifjarðar og Fannardals en austar í Norðfirði og stafar það af því að í neðri hluta staflans á þessum slóðum gætir fergingar frá megineldstöðinni sem vegna staðbundins þunga síns þrýsti niður jarðlögum til austurs eða til mótlægrar áttar við meginhalla jarðlaga.



Mynd 3.1. Eskifjörður. Munni jarðganga verður við myndhornið neðst til vinstri.



Mynd 3.2. Fjallshryggurinn milli Eskifjarðar og Fannardals. Miklar urðir með sífrera setja svip á efri hluta fjallgarðsins.



Mynd 3.3. Horft suður yfir Fannardal. Þykkir urðarfeldir í hlíðum. Munni jarðganga verður við neðri brún skuggans sem nær lengst niður í hlíðina á miðri mynd.

Vestan við eldfjall Reyðarfjarðareldstöðvarinnar byggðust upp lagskipt basaltlög sem mörg hver þynnast út upp að hlíðum eldfjallsins. Neðst og næst þéttbýlinu í Eskifirði og neðantil í Hólafjalli í Norðfirði liggur syrpa af tiltölulega breytilegum lögum úr basalti og "megineldstöðva þóleiíti" sem virðast hafa orðið til við eldgos í síðu eldstöðvarinnar. Jarðgöng milli Eskifjarðar og Fannardals verða að mestu í þessari bergsyrpu.

Í neðstu jarðlögum í Fannardal sem göngin munu liggja um, eru mikil setbergslög þar sem blandast saman súrt gjóskuberg, molaberg og sambrætt flikrubergr. Þessi setbergslög lenda jarðfræðilega með súra bergi Reyðarfjarðareldstöðvarinnar í suðurhlíðum utanverðs Reyðarfjarðar og eru orðin mjög þunn og slitrótt í Fáskrúðsfirði (nærri kaupúninu) þannig að þau skipa ekki háan sess í skrifum Walkers og félaga hans. Setbergslögin marka líklega nokkuð langt goshlé í eldgosauppbýggingu Austfjarðabasaltsins og virðast nokkur flikrubergrslög setsyrpunnar komin frá Reyðarfjarðareldstöðinni enda eru setbergslögin hvað þykkust vestan við eldstöðina. Eitt af því sem merkilegt má teljast við þessi setbergslög er að þau má rekja til norðurs um innri hluta Mjóafjarðar, Seyðisfjörð, um Strandartind og Bjólf til Loðmundarfjarðar þar sem þau eru afar þykk í Herfelli og virðast ganga inn í fornu megineldstöðina í Kækjuskörðum (milli Loðmundarfjarðar og Borgarfjarðar). Setbergslögin eru þannig einhver mikilvægustu leiðarlög í norðanverðu Austfjarðabasaltinu þegar rúmfræðilegri mynd þess er raðað saman.



Mynd 3.4. Þykk setbergslög í hlíðum Fannardals utan Tröllagilja. Stór hluti lagsins er sambrætt “molaberg” sem nefnist ignimbrít eða flikrubergr og mælist það með háan brotstyrk. Minni hluti lagsins er leirkenndur og með lágan styrk. Talið er að rekja megi setbergslögin norður til Loðmundarfjarðar og jafnvel lengra norður.

Næst ofan við blandaða basaltið og megineldstöðvapóleítið eru tvær syrpur úr ólivínbasalti (dyngjubasalt) sem tengjast einnig tilvist eldfjallsins og eru þær þykkastar næst því (neðantil í Hólmatindi og ofan og innan Eskifjarðar). Syrpuarnar kenndi Walker við Hólma og Grjóta í nesinu milli Reyðarfjarðar og Eskifjarðar. Syrpuarnar mynda leiðarlög sem rekja má suður fyrir Reyðarfjörð og norður í Seyðisfjörð. Segja má að með þessum dyngjum hverfi áhrif Reyðarfjarðar-eldstöðvarinnar til vesturs í jarðlagastaflanum.

Ofan við dyngjubasaltið er um 150-200 m þykkur bunki úr póleiítlögum með alltiðum, 0,3-2 m þykkum, setlögum úr rauðum sandsteini og túffi en þá kemur að þykku setlagi sem Walker nefndi "Reyðarfjörður Acid Tuff" og eru þar ummerki um eitthvert öflugasta öskugos í jarðlagastafla Austurlands. Þarna er 15-30 m þykkt setbergslag af litlum styrkleika.

Yfir Reyðarfjarðartúffið leggst um 100 m þykkur stafli af póleiítlögum með millilögum úr rauðum sandsteini og túffi. Jarðgangaleiðir milli Reyðarfjarðar og Fáskrúðsfjarðar eru bundnar við þessa jarðlagasyrpu. Er þá komið að næsta þykka setbergslagi sem er 10-20 m þykkt og Walker nefndi "Hólmatindur Acid tuff and Lignite". "Hólmatinds túffið" er breytileg setmyndun sem hefur staðið í langan tíma með viðeigandi gróðurleifum sem mynda surtarbrandslinsur. Surtarbrandur var unninn úr laginu á nokkrum stöðum í fyrra stríði svo sem í Jökulbotnum við Reyðarfjörð. Hólmatindssetlögin (ásamt Reyðarfjarðartúffinu) eru efst í fjöllum milli Eskifjarðar og Norðfjarðar og ofan þeirra jarðlaga er hér verður fjallað um til jarðgangagerðar en syrpuarnar eru mikilvægar til að rekja saman meginuppbyggingu berglagastaflans vestan Reyðarfjarðareldstöðvar og þaðan til suðurs.

4 Rannsóknarboranir vegna gangagerðar 2007-2008

Vorið 2007 lá fyrir mótuð hugmynd að Norðfjarðargöngum frá Eskifirði innan þéttbýlis og skáhallt gegnum fjallgarðinn að munna í nálægt 130 m hæð y.s. við Norðfjarðará í landi Fannardals (sjá teikningar 3 og 7). Á þeim tíma lá fyrir allgóð yfirlitsþekking á berglögum í fjallgarðinum og voru boranir sniðnar að þeirri þekkingu ásamt hagstæðustu legu jarðganganna.

Ræktunarsamband Flóa og Skeiða annaðist allar boranir bæði árin og var Guðmundur Hansson borstjóri fyrra árið en Svanlaugur Haraldsson hið síðara. Samtals voru boraðar 10 kjarnaborholur með NQ triple tube kjarnarörum sem gefa 44,5 mm þvermál borkjarna. Flestar kjarnaborholurnar voru lektarprófaðar með einföldum pakkara en þá er borstöngum lyft frá botni holunnar og neðsti hluti hennar þrýstiprófaður gegnum pakkara sem situr í neðri enda borstanganna. Auk kjarnaborunar voru 41 hola boraðar með loftbor til að kanna þykkt og gerð lausra berglaga. Megnið af loftborholum voru boraðar gegnum fóðurrör sem framlengd voru í þrepum þar sem stirt og jafnvel ómögulegt er að bora með hefðbundnum borstöngum gegnum gróf skriðuefni og stórsteinóttan jökulruðning. Í töflu 4.1 er yfirlit yfir kjarnaboranir vegna Norðfjarðarganga árin 2007-2008.

4.1 Kjarnaboranir í Fannardal 2007

Boranir hófust í júlí hjá Þverá í hlíðum Fannardals skammt ofan Norðfjarðará. Við upphaf verks þurfti vegslóða fyrir aðgengi borvagns að svæðinu og var færð á borstaði erfið mestallan bortímann. Staðsetningar hola sem boraðar voru í Fannardal 2007 eru sýndar á teikningu 7, yfirlit yfir boranir í Töflu 4.1 og borholulýsingar kjarnahola í viðauka A.

Tafla 4.1. Yfirlit yfir kjarnaboranir vegna Norðfjarðarganga 2007 – 2008.

Hola	Norður	Austur	Hæð m	Dýpi holu m	Staðsetningar
Kjarnaborholur boraðar 2007					
EF-01	518.460,3	732.421,5	37,39	45,30	Eskifjörður vestan þéttbýlis
EF-02	518.524,3	732.621,9	60,62	297,5	Eskifjörður vestan þéttbýlis
NF-01	523630,7	736243,3	224,60	128	Fannardalur við Þverá
NF-02	523298,7	735781,0	361,43	308,80	Fannardalur við Þverá
NF-03	523222,9	735603,3	371,50	15,84	Fannardalur við Þverá
NF-04	523222,9	735603,3	371,50	48,53	Er við NF-3
NF-05	523316,5	735411,9	379,61	27,53	Fannardalur við Þverá
NF-05B	523316,5	735411,9	379,61	10,96	Er við NF-5
NF-06	523527,5	736533,5	237,81	69,21	Norðfjörður utan Þverár
Kjarnaborholur boraðar 2008					
NF-07	523285,90	737583,84	259,10	124,43	Fannardalur við Tröllagil
NF-08	523419,63	737910,19	175,77	42,53	Fannardalur við Tröllagil
Samtals 1118 boraðir metrar					

Byrjað var á að kjarnabora holu NF-01 nærri fyrirhuguðum munna. Þar reyndist dýpi á fast berg vera yfir 15 m í fínkorna en steinóttum jökulruðningi. Holan er tæplega 130 m djúp og bergið í holunni tvískipt, efri hlutinn smásprungið basalt og neðri hlutinn þykk setbergslög. Setbergslögin eru að meiri hluta sterkleg en hluti þeirra er vaxkenndur leirsteinur með mjög lítinn brotstyrk. Lektarprófanir í holunni sýndu mikla lekt í berginu og kom það nokkuð á óvart.

Að lokinni borun kjarnaholu NF-01 voru boraðar þrjár holur með loftbor meðfram nýgerðri vegslóð litlu neðar í hlíðinni. Allsstaðar reyndist djúpt á fast eða 23-35 metrar.

Þá var farið með bortækin upp á hjalla í hlíðinni og kjarnahola NF-02 boruð í liðlega 360 m hæð y.s. Holunni var ætlað að sýna sneið gegnum jarðlagastaflann þar sem lögin liggja hallandi inn og niður í jarðgangaleiðina. Næst yfirborði og niður á 50 m dýpi skiptast á kargalög og mjög smásprungið andesít. Neðan tæplega 50 m dýpis er að mestu smásprungið þóleiít, víða kargakennd og lögin af breytilegri þykkt. með tveimur mjög þykkum setbergslögum auk þynnri setbergslaga. Í botni holunnar er grófkorna storkuberg sem líklega er myndað sem innskotaberg.

Hola NF-02 var boruð í fremur lekt berg og samhliða dýpkun holunnar færðist vatnsborðið í henni í þrepum niður á liðlega 40 m dýpi. (Erfitt var samt að fylgjast með slíku þar sem meginhluti holunnar var boraður á vöktum og ekki stoppað til að láta vatnsborð ná jafnvægi við vatnsborðsmælingarnar). Mjög opnar vatnsæðar eru í neðri hluta holunnar og þrátt fyrir að dælt væri yfir 400 l/mín í holuna hækkaði vatnsborð lítið. Borun var sjálfhætt á 308 m dýpi þar sem borstrengurinn festist og varð að sprengja neðsta hluta hans frá.

Við hjallann þar sem NF-02 var boruð koma á nokkrum stöðum fram setbergslög í hlíð Hólafjalls skammt ofan borstaðar NF-02 en samfelldur hjalli bendir til mýkri berglaga (setbergslaga) inn á milli basaltsyrpa. Holur NF-03 til NF-05 voru boraðar efst í brekku hjallans til að fá fram hvers eðlis þau setbergslög væru. Borun gekk stíðlega vegna grófrar urðar í yfirborðslögum og erfiðrar borunar í mjúk setbergslög. Í hjallanum liggur 5-10 m þykkt setbergslag með lágan brotstyrk auk smásprunginna kargaríkra basaltlaga.

Eftir að loftborunum til könnunar á þykkt lausra yfirborðssetlaga í hlíðum Hólafjalls var lokið, var kjarnaborað skammt ofan við þann stað er helst þótti koma til greina fyrir munna ganganna. Holan nefnist NF-06 og er hún tæplega 70 m djúp. Bergið er kargaríkt þóleiítbasalt í fremur þykkum lögum þar sem kristallaði hluti laganna er um 10 m þykkur og kargahlutinn um 5 m og reyndist það mjög lekt (> 50 LU).



Mynd 4.1. Vinnusvæði borana í Fannardal 2007 með þverá til hægri.

4.2 Boranir með loftbor í Fannardal 2007

Þegar kjarnaborun á hjallanum lauk um miðjan september í rigningatíð og erfiðri færð, var hafist handa við að kanna nánar dýpi á fast berg við mögulegan munnastað lágt í hlíðinni upp frá Norðfjarðará. Frá miðjum september og fram í miðjan október var borað með loftbor fram og aftur um hlíðina í grennd við áformaðan munna ganganna. Holurnar urðu 20 talsins og samanlagt dýpi þeirra 480 m. Tafla 4.2 gefur yfirlit yfir boranir með loftbor og borlýsingar eru í viðauka D.

Tafla 4.2. Yfirlit yfir boranir með loftbor vegna Norðfjarðarganga 2007

Hola	Norður	Austur	Hæð m y.s.	Dýpi holu m	Dýpi á berg m	Hæð bergyfirb. m
NL-1	523675,2	736234,9	211,10	36,0	34,0	177,1
NL-2	523709,1	736220,0	198,32	27,0	24,0	174,3
NL-3	523749,9	736254,1	184,63	24,0	22,0	162,6
NL-4	523788,5	736473,0	168,51	45,0	31,0	137,5
NL-5	523710,2	736461,2	184,10	24,0	20,0	164,1
NL-6	523788,8	736719,0	155,60	21,0	22,0	133,6
NL-7	523691,6	736700,7	178,68	48,0	39,0	139,7
NL-8	523595,2	736690,8	205,81	45,0	31,0	174,8
NL-9	523515,4	736890,8	222,28	27,0	20,0	202,3
NL-10	523615,3	736933,6	190,99	36,0	25,0	166,0
NL-11	523517,4	737000,9	214,66	39,0	18,0	196,7
NL-12	523559,9	736734,0	218,17	33,0	17,0	201,2
NL-13	523437,8	736631,0	263,12	9,0	1,5	261,6
NL-14	523522,5	736638,5	232,31	18,0	12,5	219,8
NL-15	523569,0	736458,3	233,07	21,0	14,0	219,1
NL-16	523590,6	736372,1	232,63	21,0	14,5	218,1
NL-17	523590,6	736556,2	218,19	18,0	12,5	205,7
NL-18	523670,7	736578,4	192,14	27,0	20,0	172,1
NL-19	523668,1	736636,2	190,99	21,0	15,0	174,0
NL-21	524389,5	736428,9	193,02	42,0	37,0	156,0

Niðurstaða borana leiddi í ljós að neðan 150 m hæðar y.s. reyndust laus jarðlög jafnan vera yfir 20 metra þykk og því ekki árennilegt að fara inn í hlíðina. Ofar í hlíðinni fer grynnskandi á klöpp og í um 180 m hæð y.s. er þykkt yfirborðssetlaga komin niður undir 10 m og þaðan frá þynnast laus jarðlög hratt upp hlíð.

4.3 Boranir í Eskifirði 2007

Að loknum borunum í Norðfirði um miðjan október voru tækin flutt til Eskifjarðar. Byrjað var á að bora með loftbor 6 holur (EL-1 til EL-6, samtals 39 m) við fyrirhugaðan gangamunna.

Dýpi á fast reyndist vera 2-6 m og undir moldarkenndum jökulruðningi var þétt klöpp með mikla og jafna fyrirstöðu. Í töflu 3 er yfirlit yfir holur boraðar með loftbor við munna í Eskifirði, lýsingar loftborunar eru í viðauka C.

Tafla 4.3. Yfirlit yfir boranir með loftbor í Eskifirði 2007.

Hola Nr.	N-hnit	A-hnit	Hæð m y.s.	Dýpi holu m	Dýpi á berg m	Hæð bergyfirb. m
EL-1	518.367,1	732.368,6	16,97	6,0	4,5	12,5
EL-2	518.357,5	732.391,3	15,67	6,0	2,5	13,2
EL-3	518.388,7	732.379,7	21,24	9,0	6,5	14,7
EL-4	518.382,6	732.407,6	20,27	6,0	3,3	17,0
EL-5	518.421,8	732.401,8	27,58	6,0	2,5	25,1
EL-6	518.504,6	732.435,3	47,49	6,0	2,5	45,0

Kjarnaborhola EF-1 er 45 m djúp og er hún staðsett skammt ofan við áformaðan munna. Bergið er að mestu sterklegt basalt (með einu tveggja m þykku setbergslagi). Lektarprófun í neðri hluta holunnar sýndi litla vatnsleiðni. Lýsingar á kjarnaborholunum eru í viðauka A og yfirlit yfir staðsetningar og dýpi í töflu 4.1.

Kjarnahola EF-02 var boruð í 60 m hæð örskammt frá forðageymi hitaveitu Eskifjarðar. Þar sem berglögum á svæðinu hallar til SV ganga lög neðan gangamunna í Eskifirði skáhallt upp í gangaleiðina innar í fjallinu. Frá efsta hluta holunnar og niður á 160 m dýpi eru mestmegnis sterkleg basaltlög úr ólivínbasalti með nokkurra metra þykkum beltum úr blöðróttu og jafnvel kargakenndu basalti. Bergsyrpan er klofin upp með fimm 3 - 7 metra þykkum setbergslögum.

Á 162 til 186 m dýpi eru basísk innskotalög með tveimur þunnum setbergslögum. Hugsanlegt er að innskotabergið hafi troðist inn í setbergslög og að setbergslögin séu miklu þykkari þar sem engin innskot eru annarsstaðar (t.d. til hliðar) í sömu berglagasyrpu.

Frá neðra borði innskotalaganna á 186 m dýpi og niður á 255 m dýpi sker holan sterkleg basaltlög sem eru án setbergslaga (utan eins 1 m þykks siltsteinslags á 241 m dýpi). Þá er komið að um 13 m þykkum setbergslögum með lágan brotstyrk. Á 263 til 285 m dýpi er farið gegnum vel samlímt setberg og sambrætt flikrubergr sem ætla má að sé hagstætt til gangagerðar (hliðstætt hörðu og stökku basalti). Undir flikrubergrinu er um 5 m þykkt setberg með lágan brotstyrk. Í neðstu 8 m holunnar (290-298 m dýpi) eru tvö lög úr póleiítbasalti.

Jarðvatnsborð í holunni stendur á 25 m dýpi. Á 45-60 m dýpi mældist lekt í berginu um 6,9 LU og tengist lektin líklega sprungum sem sjást í borkjarnanum á um 45 m dýpi. Undir er þéttur kafli en frá liðlega 100 m dýpi og niður á 175 m dýpi mældist aftur meiri lekt í berginu (7-9 LU). Líklegt er að lektin tengist sýnilegum sprungum í borkjarnanum með miklum útfellingum á um 117, 123 og 133 m dýpi í holunni. Neðan 175 m dýpis reyndist holan vera tiltölulega vatnspétt.

Hitamæling gaf hitastigs aukningu 7-8 °C/100 m, sem er talinn vera eðlilegur hitastigull á svæðinu.



Mynd 4.2. Áformað er að munni Norðfjarðarganga í Eskifirði verði í brekkufætinum nærri miðri mynd.

4.4 Boranir í landi Tandrastaða í Fannardal 2008

Eftir að unnið hafði verið úr rannsóknargögnum ársins 2007 var ljóst að vart yrði raunhæft að hafa munna í landi Fannardals í Norðfirði lægra en í 175-180 m hæð y.s. Þá var ákveðið að skoða aðstæður fyrir lengri jarðgöng með munna utar og lægra í dalnum.



Mynd 4.3. Borað með loftbor í hlíð Hólafjalls ofan munna í Fannardal.

Í júní 2008 var farið með sömu bortæki og árið áður í hlíð Hólafjalls gegnt Tandrastöðum og kannað dýpi á fast á hæðarbilinu 110 til 180 m y.s. Boraðar voru 21 hola með lofthamri, samtals 310 bormetrar. Að auki voru boraðar tvær kjarnaborholur, samtals 167 bormetrar. Yfirlit yfir boranirnar er sýnt í töflu 4.4.

Tafla 4.4. Yfirlit yfir boranir í landi Tandrastaða í Fannardal 2008.

Hola Nr.	N-hnit	A-hnit	Hæð m y.s.	Dýpi holu m	Dýpi á berg m	Hæð bergyfirb. m
NF-07	523.285,9	737.583,8	259,10	124,4	7	252,10
NF-08	523.419,6	737.910,2	175,77	42,53	5,5	170,27
NL-22	523.598,7	738.339,8	106,88	12	(-)	**
NL-23	523.516,7	738.307,8	121,05	27	25	96,05
NL-24	523.549,9	738.008,1	136,85	18	18	118,85
NL-25	523.400,4	738.248,5	149,76	15	10,5	139,26
NL-26	523.336,0	738.232,8	167,87	6	3	164,87
NL-27	523.375,3	738.163,8	163,36	9	4,5	158,86
NL-28	523.427,3	738.174,4	148,38	12	9	139,38
NL-29	523.481,0	738.195,0	136,42	21	19	117,42
NL-30	523.534,6	738.205,8	126,72	21	19,5	107,22
NL-31	523.547,9	738.107,3	130,09	24	19,5	110,59
NL-32	523.483,9	738.096,2	143,79	15	12	131,79
NL-33	523.415,4	738.071,8	162,09	9	7,4	154,69
NL-34	523.478,4	738.029,2	147,13	9	7,4	139,73
NL-35	523.503,5	737.985,5	144,63	8,5	7,5	137,13
NL-36	523.537,5	737.947,8	147,73	22,5	20,5	127,23
NL-37	523.690,0	737.402,5	150,51	27	24	126,51
NL-38	523.565,5	737.398,2	178,61	12	10,5	168,11
NL-39	523.506,1	737.393,8	194,75	12	11	183,75
NL-40	523.457,6	737.939,4	164,15	12	9,5	154,65
NL-41	523.467,5	737.894,1	167,01	9	7,5	159,51
NL-42	523.495,7	737.939,4	154,00	9	7,5	146,50

Helstu niðurstöður loftborunar sýndu að þykk skriðulög og jökulruðningur klæða neðsta hluta hlíðarinnar. Neðan 130 m hæðar y.s. er dýpi á fast yfir 20 m en grynkar upp hlíðina þannig að við 140 m hæð y.s. er dýpið um 15 m. Við 150 m hæð y.s. hefur grynkað í um 10 m á fast. Í landi Tandrastaða reynist því varla raunhæft að hafa gangamunna neðar en í tæplega 140 m hæð y.s. eða um 40 m lægra en á svæðinu sem áður hafði verið kannað innar í dalnum í landi Fannardals. Munni sem lægi lægra en í 140 m y.s við Tandrastaði kallar á mikinn gröft fyrir gangaskálanum.

Að loknum borunum með loftbor í landi Tandrastaða var ráðist í kjarnaborun holu NF-07 í um 260 m hæð y.s efst á aurkeilunni neðan við Tröllagil. Holan er 130 m djúp og talin gefa góða mynd af berginu innan við munnann og líklega næstu 1,5 til 2 km inn á gangaleiðina. Næst yfirborði eru smásprungin kargarík basaltlög en á 23 til 42 m dýpi sker holan liðlega 20 m þykkt setbergslag þar sem miðhluti lagsins (um 12 m) er sambrætt flikruber (ignimbrit). Efst í setberginu er 6,5 m þykkt lag með um 30 MPa brotþol og um 3 MPa togstyrk og önnur 2 m setbergslinsa með hliðstæðan brotstyrk er neðst í setinu. Á 53 til 69 m dýpi sker holan 14 m þykk setbergslag þar sem efri hlutinn er sambrætt flykruber en neðst eru 3 m eru úr mjúku leirkenndu setbergi með 0,8 MPa togstyrk. Undir setbergslögunum er að mestu smásprungið basalt en þau innihalda tvö leirrík setbergslög samtals um 10 m þykk. Þau mælast með breytilegan brotstyrk, lægstu brotþol 4-8 MPa og lægsti togstyrkur 1-2 MPa.

Jarðvatn stendur á 34 m dýpi í holu NF-07 og lektarprófanir sýndu lekt > 50 LU, svo mikil lekt, að eftir að holan náði 60 m dýpt tókst ekki að fylla hana þrátt fyrir að yfir 400 l/mín. væri dælt í hana. Mestu lekastaðir í holunni eru á 35 m dýpi, liðlega 40

m dýpi og auk þess eru á mörgum stöðum í holunni smásprungið og staðbundið ummyndunarlitað berg sem bendir til vatnsstreymis um bergið. Hitamæling holunnar sýnir 4,4°C hita efst og 4,6°C hita við botn og bendir hitaferill til lóðrétt rennslis niður holuna, mynd 4.7.



Mynd 4.4. Unnið að borun holu NF-07 efst á skriðukeilunni neðan Tröllagilja.

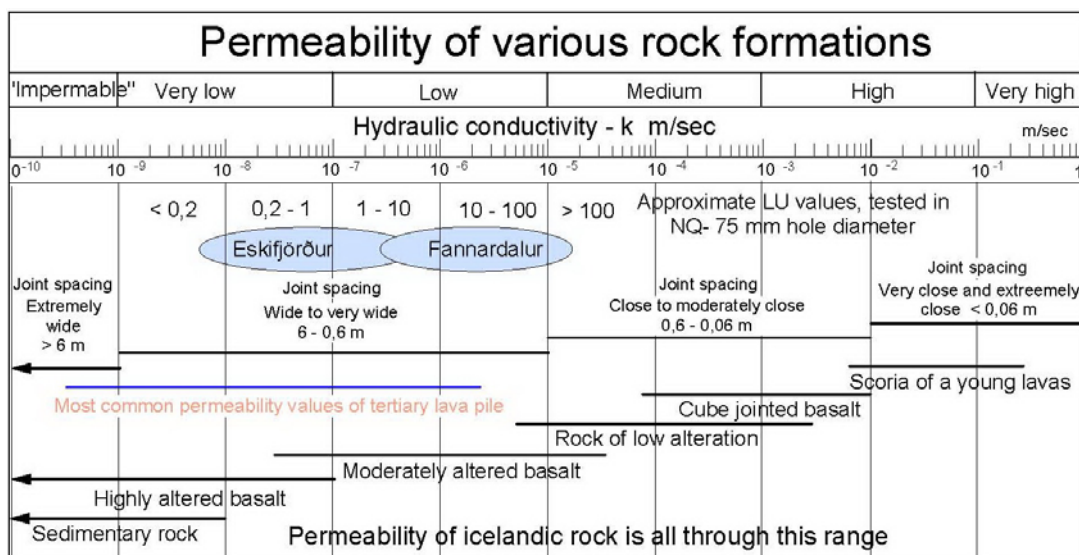
Að lokinni borun NF-07 var boruð önnur kjarnahola NF-08 í 176 m hæð yfir sjó ofan við líklegasta munnastað í landi Tandrastaða. Holan er 42 m djúp og sker smásprungið basalt, auk eins 3 m þykks leirkennds setbergslags með lágan styrk. Lektarprófun í holunni sýndi 2,5 LU lekt.

4.5 Yfirlit yfir niðurstöður rannsóknarborana

Samfara borunum var fylgst reglulega með borkjarna sem upp kom, hæðarbreytingar vatnsborðs mældar eftir því sem tók voru á og loks voru holurnar lektarprófaðar með 15-25 m millibili eða eftir því sem kostur var. Borkjarna var lýst, hann ljósmyndaður og loks var brotstyrkur hans mældur með Point Load tæki og harka bergsins mæld með Schmidt hammer tæki. Sýni af setbergslögum í borholum EF-02 og NF-07 voru tekin til rannsókna hjá verkfræðistofunni Mannvit og niðurstöður birtar í skýrslu í júlí 2010.

4.5.1 Lektarprófanir í borholum og mæld lekt

Lektarprófanir voru framkvæmdar í öllum þremur djúpu kjarnaborholunum og fáeinum þeirra grynri. Í flestum tilfellum var borstöngum lyft frá botni upp í tiltekna hæð. Þá var pakkari látinn síga niður í botn stanganna og þaninn þar út í holuna. Loks var vatni dælt niður í bilið frá neðri enda stanga niður í holubotn. Í einstaka tilfellum var ekki hægt að pakka í holu og þá var vatni dælt niður í holu án pökkunar og lekt bergsins áætluð. Niðurstöður eru gefnar í svonefndum LU gildum en þar er grunneiningin 1 LU miðuð við að 1 lítri renni út um hvern lengdarmetra í holu með 75 mm þvermál og við 10 bara vatnsþrýsting. Allar borholurnar við Norðfjarðargöng voru boraðar sem næst lóðrétt niður frá yfirborði og mögulega hefur það áhrif á lektarmælingar. Sprungur eru oftast sem næst lóðréttar eða mjög brattar og geta því annars vegar skorið borholuna langsum og bent til mikillar lektar og á hinn veginn legið skammt frá borholunni og bergið virst vera þétt.

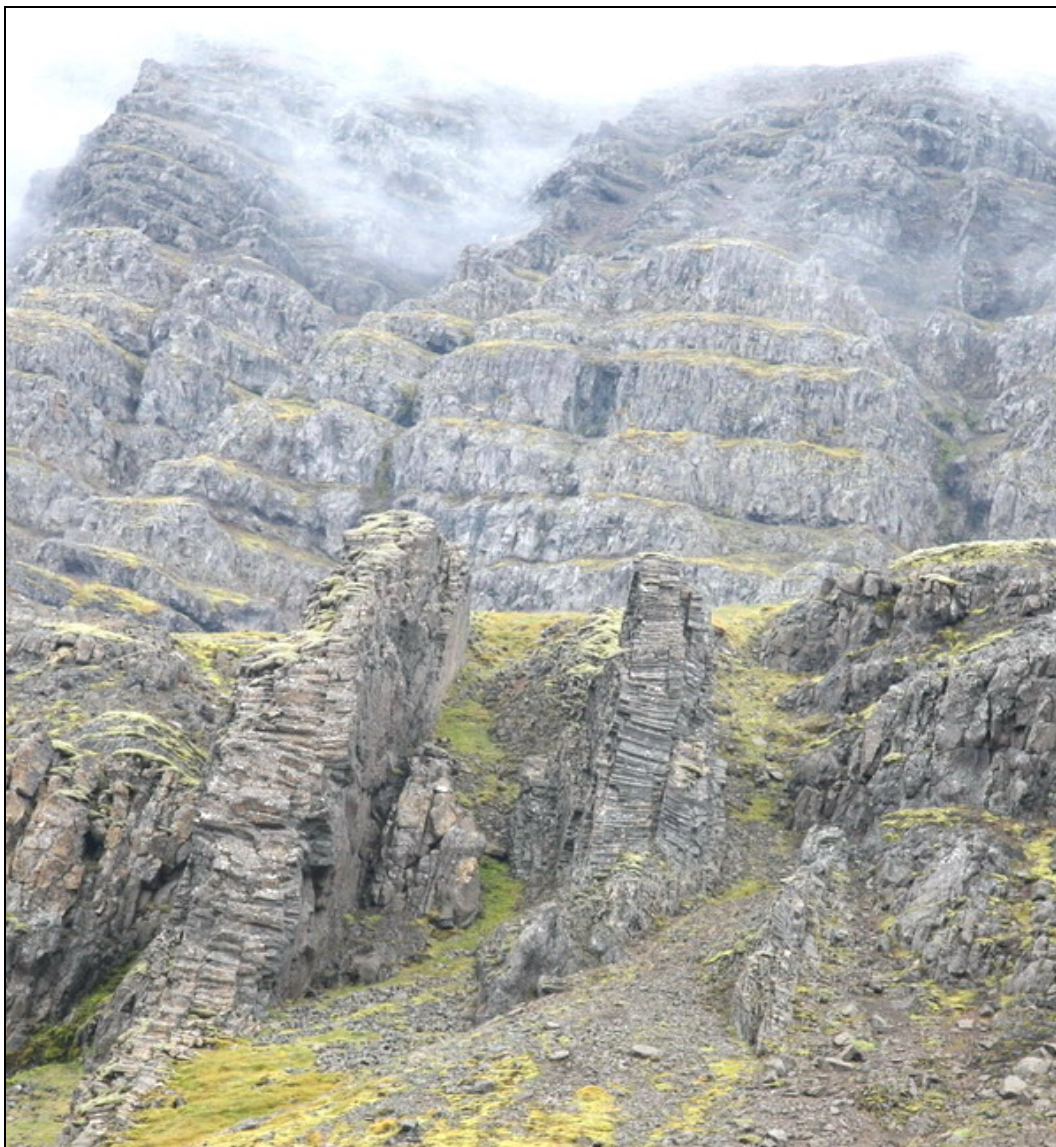


Mynd 4.5. Yfirlit yfir vatnslekt ýmissa jarðmyndana og afstaða lektargilda sem mæld voru í borholum við Norðfjarðargöng.

Í flestum borholunum í Norðfirði mældist meginhluti bergsins vera með lekt á bilinu 5-10 LU (1 LU er u.þ.b $1,5 \times 10^{-7}$ m/s) en þó með talsverðum frávikum þar sem mun meiri lekt kom fram ($>> 30$ LU). Lektartölur yfir 5 LU eru í hærra lagi miðað við hvers vænta mætti í svo mikið holufylltu bergi, djúpt í berglagastaflanum á Austurlandi (> 1000 m undir upprunalegu yfirborði basaltheilunnar).

Talið er að staðbundin lekt í berginu í Fannardal geti verið mun meiri en fram kom við mælingarnar (að toppar mestu lektar komi ekki skýrt fram vegna langra mælibíla í holunum). Í nokkrum tilfellum var dælt yfir 400 l/mín niður í holurnar án þess að næðist að byggja upp mótþrýsting (aðeins náðist að mæla mótþrýsting í vatnsleiðslum og pökkunartækjum). Sérstaklega ber að geta þess að mikill leki kom fram í holum NF-02, NF-06 og NF-07 þar sem vatn virðist flæða um sprungur í berginu. Ætla má að raunlekt þar sé yfir 100 LU.

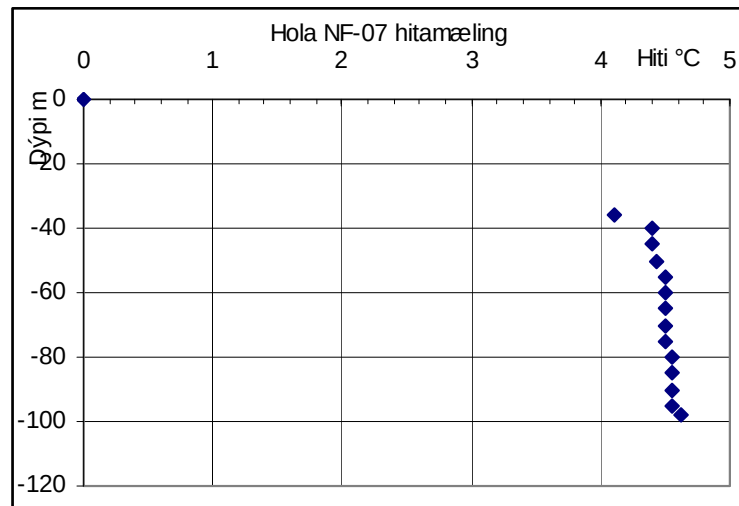
Berggangar sem sjást ofarlega í hlíðum Hólafjalls eru smásprungnir og opnir og reynslan af slíkum berggöngum er að þeir eru líklegir til að leiða mjög vel vatn.



Mynd 4.6. Samsettir berggangar í hlíð Hólafjalls nærri Tröllagiljum. Slíkir berggangar eru líklegir til að geta leitt mikið vatn.

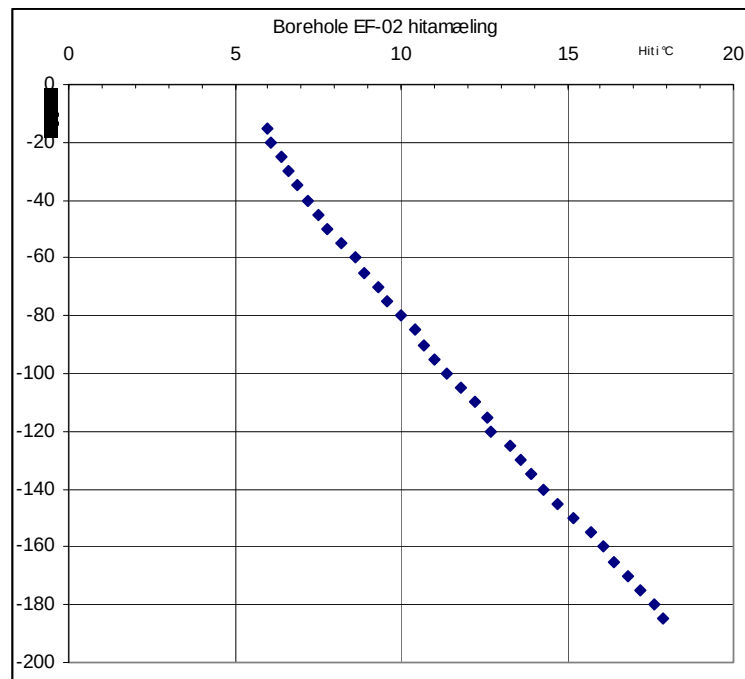
4.5.2 Hitamælingar í borholum

Haustið 2008 voru holur EF-02 og NF-07 hitamældar. Hitamæling holu NF-07 sýnir jafnt hitastig frá vatnsborði og niður á 100 m dýpi þar sem holan er lokuð. Þetta jafna hitastig bendir til þess að vatn renni niður holuna.



Mynd 4.7. Hitaferill borholu NF-07

Hóla EF-02 var hitamæld niður á 190 m dýpi. Hitaferill holunnar er með jafnan stíganda og það er talið sýna kyrrstöðu vatns í holunni og litla lekt.



Mynd 4.8. Hitaferill borholu EF-02, dýpi í m og hiti í °C.

4.5.3 Jarðvatnsstreymi

Streymi jarðvatns í berggrunni ræðst aðallega af tíðni og eiginleikum sprungna og af innri lekt í einstökum berglögum (lítt ummynduðum karga og smáprunguneti). Berggrunnurinn mælist að mestu hafa lektarstuðul milli 10^{-6} to 10^{-8} m/s (0,2-10 Lu). Fínkorna og leirkennt setberg ásamt mikið holufylltu ólivínbasalti og dílabasalti (ásamt fleiri bergtegundum) getur haft enn minni lekt.

Auk framangreindrar lektar berglaga getur sums staðar verið meiri lekt. Á mynd 4.5 er sýnt hvar niðurstöður lektarprófana lenda í samanburði við mismunandi bergmyndanir og sprunguþéttleika, en lektarmælingar benda til þess að lekt í bergi Norðfjarðarmegi sé 1-2 stærðargráðum meiri en Eskifjarðarmegin.

Misgengi geta valdið snöggu innflæði, sérstakleg ef leðja eða mjúk bergmylsna fylgir brotabeltinu og skolast út ef sprengt er inn í slík brot. Töluvert innflæði getur varað í klukkustundir eða daga eftir að göng skera slík misgengi en almennt dregur mjög úr innrennslinu með tíma og getur það jafnvel þorrið.

Hliðstæðar lekaaðstæður geta komið upp ef göng skera gegnum smásprungna samsetta bergganga með litlum holufyllingum. Þeir geta veitt miklu vatni frá gropnum vatnsríkum lögum hátt í fjöllum lóðrétt niður bergstaflann og vatnið síðan leitað til hliðar um smásprungið berg, opið kargaberg eða önnur lek berglög við jarðgöng. Vatn er fellur við slíkar aðstæður hratt niður staflann getur verið tiltölulega kalt er það kemur niður í jarðgöng. Samfrosnar urðartungur teygja sig frá um 800 m hæð y.s. niður í um 650 m y.s. í Fannardal í Norðfirði og niður í um 550 m hæð y.s. ofan Eskifjarðardals. Í ljósi þess má telja fullvíst að sífreri sé ofan 700-750 m hæðar y.s í fjallinu.

4.5.4 Kjarnaheimta úr borholum

Kjarnaheimta úr borholunum er í heildina góð og er yfirlit yfir kjarnaheimtuna úr einstökum holum og mismunandi berggerðum sýnt í töflu 4.5.

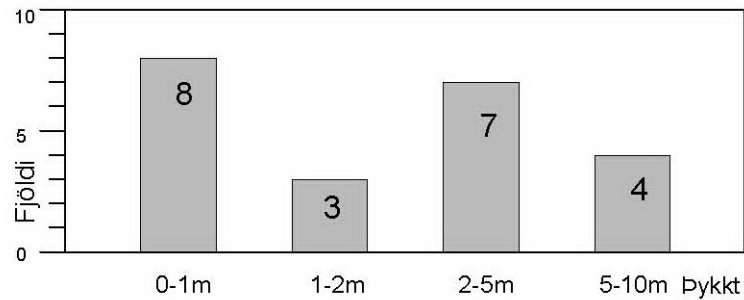
Tafla 4.5. Kjarnaheimta í borholum (neðan fódurrörs).

Hola	Samtals kjarni (%)	Basalt (%)	Kargi (%)	Setbergslög (%)
EF-01	99	100	100	86
EF-02	97	98	97	90
NF-01	93	92	87	99
NF-02	94	95	92	94
NF-04	91	91	95	100
NF-06	88	88	100	77
NF-07	97	99	99	95
NF-08	88	92	100	77
All holes	95	95	92	93

4.5.5 Berggerðir og lagaþykktir

Berggerðir í borholum eru flokkaðar eftir “hefðbundnum aðferðum” í mismunandi gerðir basalts (þóleiútbasalt, ólivínbasalt, og dílabasalt) og basískt innskotaberg sem tæknilega séð er yfirleitt hliðstætt ólivínbasalti. Að auki er í nokkrum holanna ísúrt berg sem flokkað er sem andesít eða basalt-andesít.

Í töflu 4.6 eru sýndar helstu upplýsingar um berglögin í borholum í Eskifirði og í Fannardal. Setberg er af breytilegri gerð og þykkt og er þykktardreifing setbergslaga sýnd á mynd 4.9. Þykkustu setlögin (koma fram í holum NF-01 og NF-07 í Fannardal) og eru þau sérstæð að því leyti að stór hluti þeirra er sambrætt flikrubergr. Neðst í holu EF-02 í Eskifirði eru setbergslög sem eru klofin sundur með sambræddu bergi sem flokkað er sem líparít. Leirkennd setbergslög með mjög lágan bergstyrk er víða að finna í borkjarnanum (svo lágan styrk að erfitt eða ómögulegt er að mæla hann með PLT tæki).



Mynd 4.9. Þykktardreifing setbergslaga með lágan brotstyrk (fjöldi) í kjarnaborholum í Eskifirði og Norðfirði. Sambrædd flikrbergslög eru utan þessa ramma enda eru eiginleikar þeirra um margt líkari storkubergi en setbergi.

Í töflu 4.6 eru upplýsingar um helstu þætti er varða berggerðir og þykktardreifingu mismunandi berglaga í borholunum í Eskifirði og Norðfirði.

Tafla 4.6. Yfirlit yfir berglög og berggerðir í borholum við Norðfjarðargöng.

Holur	Berggerð	Lagafjöldi	Heildar	Meðal	Skipting þykktar m					
Nafn		stk	þykkt m	þykkt m	0-2	2-5	5-10	10-15	15-20	>20m
Eskifjörður	Basalt/m.karga	22	251	11,4	1	2	9	5	3	2
EF-borholur	Basalt án karga	35	190,8	5,2	9	11	10	5		
EF-01 og 02	Kargi storkubergs	27	59,4	2,2	18	6	3			
	Berggangar	14	27,4	2	12		1	1		
	Setberg, sterkt	2	15,2	7,6			2			
	Setberg, veikt	19	42,4	2,2	9	8	2			
Norðfjörður	Andesít/m karga	5	45	9,1		1	3		1	
NF- borholur	Andesít án karga	5	36,5	7,3						
01, 02, 06,	Basalt/m.karga	43	404,5	9,4	1	9	15	15	11	2
07 og 08	Basalt án karga	50	279	4,7	10	23	9	8	1	
	Kargi storkub.	56	198,1	3,5	19	21	16			
	Berggangar	6	20,6	3,4	2		3			1
	Setberg, sterkt	5	55	11			1		4	
	Setberg, veikt	10	79	7,9	9	10	1			

Kargi storkubergslaga er skurn yfirborðs á kólnandi bergkviku sem brotnar upp samhliða rennsli laganna eftir yfirborði jarðar. Í berglagastafla þjappast karginn og límist oft saman með síðari tíma útfellingasteindum. Kargi er á næstum öllum storkubergslögum og almennt þeim mun þykkari sem kvikan í berglaginu var seigari er lagið rann. T.d. eru nær alltaf þykkari kargalög á andesíti og þóleíti borið saman við ólivínbasalt og dílabasalt. Karginn er gjarnan samvaxinn viðkomandi storkubergslagi og án veikleika, þannig að líta má á kargann sem beinan hluta lagsins. Á hinn bóginn er karginn með mun lægri bergstyrk (en kjarni storkubergsins) og frá því sjónarhorni er eðlilegt að líta til hans sérstaklega.

4.5.6 Sprungutíðni og heilleikastuðull berglaga RQD

Við kjarnagreininguna er borkjarnanum lýst bergfræðilega ásamt því að mæla hann upp og lýsa sprungum og útfellingum í þeim. Auk þess að mæla kjarnaheimtu er heilleikastuðull bergsins RQD (rock quality design) mældur - en það er hlutfallsleg uppsöfnuð lengd kjarnabúta sem eru yfir 10 cm langir (reyndar var einnig mæld hlutfallsleg uppsöfnuð lengd kjarnabúta sem eru yfir 30 cm, 50 cm og 100 cm). Þessar mælingar koma fram í kjarnalýsingu í viðauka A og gefa til kynna heilleika bergsins.

4.5.7 Berggæði – Q-mat

Q- kerfið (Rock Mass Quality) hefur talsvert verið notað á Íslandi síðan um 1980 til að meta “gæði” bergmassa. Þá er tekið tillit til eftirfarandi þátta:

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

RQD₁₀, =hlutfallsleg heildarlengd kjarnabúta yfir 10 cm langir

J_n = Fjöldi sprungukerfa

J_r = Hrjúfleiði sprunguflata

J_a = Gerð og þykkt sprungufyllinga

J_w = Vatnsþrýstingur í sprungum

SRF = Spennuminnkunar stuðull

RQD / J_n Mælikvarði á stærð bergblokka

J_r / J_a Mælikv. á skerstyrk milli bergblokka

Nánar er vísað til Norwegian Group for Rock Mechanics (NBG 2000).

Notkun á Q-kerfinu til að meta tæknilega gæði íslensks bergs fyrir mannvirkjagerð var staðfært á árunum 1980-1985. Það hefur síðan verið notað hérlandis til stuðnings við að meta og bera saman “berggæði” við flest neðanjarðarmannvirki, bæði fyrir jarðgöng virkjana og veggöng.

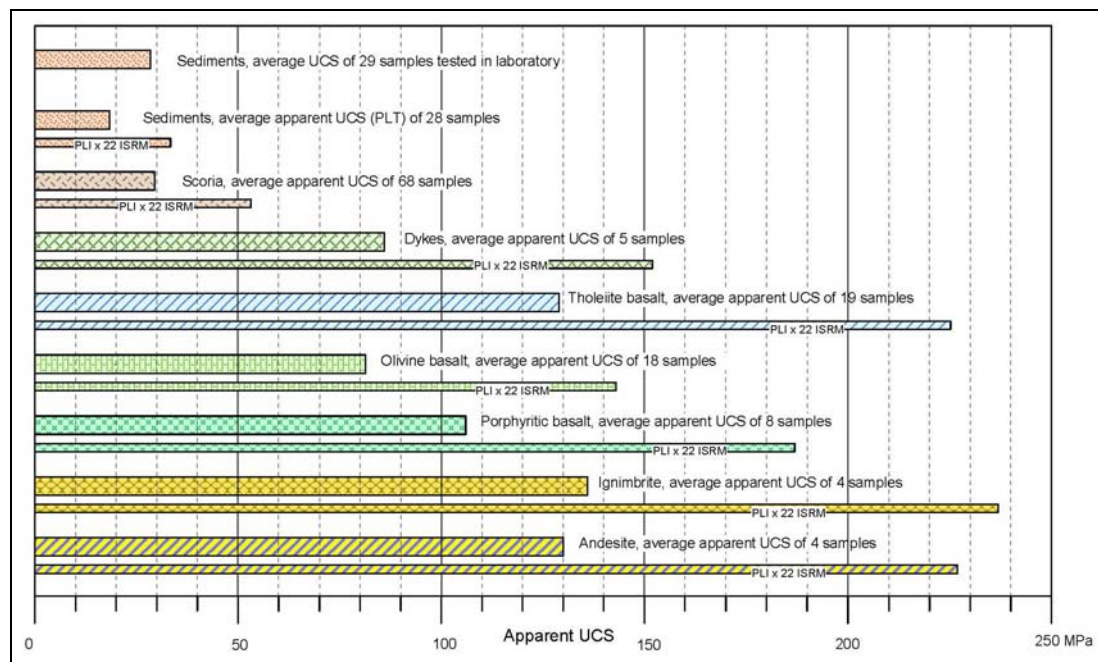
Tafla 4.7. Algengir stuðlar sem notaðir eru við útreikninga á Q- gildi bergs.

Flokkun í mismunandi bergeiningar			Algengir stuðlar Q- kerfisins					
No.	Berggerð	Lýsing	RQD	J _n	J _r	J _a	J _w *	SRF**
1	Basalt	Hart, gisið stuðla- og sprungumynstur	70-100	9-10	2-3	2-3	1	1
2	Basalt	Hart, smáir stuðlar, þétt sprungumynstur	40-70	9-10	2-3	2-3	1	1
3	Basalt	Kargakennt, heillegt	50-100	9-10	2-4	2-3	1	1
4	Basalt	Mikið ummyndað	50-100	9-10	2-4	2-4	1	1
5	Basalt	Mjög mikið sprungið	< 40	12-15	2-3	2-4	1	1
6	Kargaberg	Harðnað og samsteypt	50-100	6-10	2-4	2-3	1	1
7	Kargaberg	Losaralegt, með setfyllingar og illa samlímt	<50	9-20	1-4	2-4	1	1/2,5/5
8	Setberg	Sterklegur sandsteinn og siltsteinn	50-100	6-9	1-2	3-4	1	1
9	Setberg	Lítill brotstyrkur, mjúkur sandst. og siltst.	<50	6-9	1-2	3-4	1	1/2,5/5
10	Breksía	Brotaberg, misgengisbreksía mishörð	<50	15-20	1	3-8	1	1/2,5/5
*Varðandi vatn, þá er byrjað á að miða við stuðul 1								
**Varðandi SRF, þá er yfirleitt miðað við 1 (allt til yfirborðs) þar til mannvirki hefur verið hannað								
SRF Berg með mjög lágan styrk fær strax lægri tölu								

Qc- gildi í borholulýsingum (evaluated Qc for core) eru metin fyrir borkjarna og eru að jafnaði hærri en mæld gildi fyrir sömu berglög eftir sprengingar í göngum. Munur getur verið 2 - 4 faldur samkvæmt erlendum rannsóknum. Algeng Q-gildi í töflu 4.6 eru sömu stuðlar og aðlagðir voru og notaðir við gróft Hvalfjarðarganga 1995-1997 og fyrir jarðgöng Sultartangavirkjunar 1998-1999 og hafa síðan verið notaðir af höfundi (og fl.) við undirbúningsathuganir vegna fleiri ganga.

4.5.8 Mældur brotstyrkur

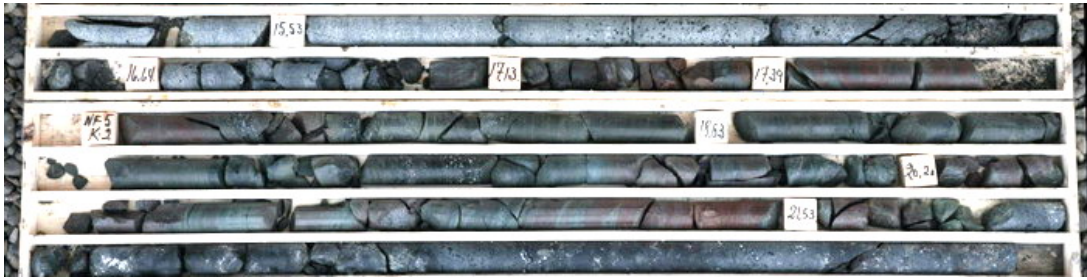
Borkjarninn var greindur, mældur og prófanir gerðar á “einása brotþoli hans” með Point load tæki (PLT) samanber ASTM D 5731-02. Uppreiknaður sýndarstyrkur bergsins er sýndur á viðeigandi stað á borholulýsingum (borloggum), en yfirlit yfir dreifingu styrkleikans er sýnt á tíðniriti á mynd 4.10. (Ath. að við Point load brotþolsprófanir var til skamms tíma notaður margfeldisstuðull $K=22$ á Point load Is_{50} gildi, sem er aðferð sem byggir á ASTM en síðar var gerður samanburður á einásabrotstyrk og punktálagsstyrk borkjarna frá vegganga- og virkjunarsvæðum sjá Mannvit og Jarðfræðistofan 2009). Hér hefur brotstyrkur verið reiknaður samkvæmt formúlu $11 \times (PLI)^{1,2}$, en einnig er sýndur á mynd 4.10 sýndarstyrkur bergs reiknaður með ASTM aðferðinni.



Mynd 4.10. Meðaltal brotstyrks (einása sýndarbrotstyrkur) mismunandi berggerða í kjarnaborholum í Eskifirði og Norðfirði. Hér er Point Load brotstyrkur bergsins reiknaður bæði með "bestu nálgun" fyrir íslenskar mælingar þar sem sýndarstyrkur UCS er reiknaður eftir formúlu $11 \times (PLI)^{1,2}$ (efri súlurnar) en einnig er sýndur styrkur eftir reikniaðferðum ISRM þar sem sýndarstyrkur UCS er $PLI \times 22$ (neðri súlurnar). (Prófanir á rannsóknarstofu Mannvits 2008 gáfu breytilegt hlutfall milli PLI og UCS og því eru niðurstöður beggja reikniaðferða sýndar hér).

Setbergslög eru í mörgum tilfellum með of lágan brotstyrk til að unnt reynist að mæla hann með Point load tæki. Verkfræðistofan Mannvit rannsakaði nánar setbergslög úr borholum EF-02 og NF-07 (sjá skýrslu Mannvits frá júlí 2010, Rannsókn á eiginleikum setbergs í Norðfjarðargöngum og Óshlíðargöngum). Í skýrslu Mannvits kemur fram að UCS algengur brotstyrkur í setberginu er 20-30

MPa, ef frá er talið flikruberghið (með hærri gildi), en 3 sýni mælast með brotstyrk undir 10 MPa. Algengasti togstyrkur sem mældur var reyndist 1-3 MPa en fáein gildi mældust 6-10 MPa. Hafa verður í huga að veikasta setbergið molnar yfirleitt niður í borun og þá tekst ekki að mæla brotstyrk þess.



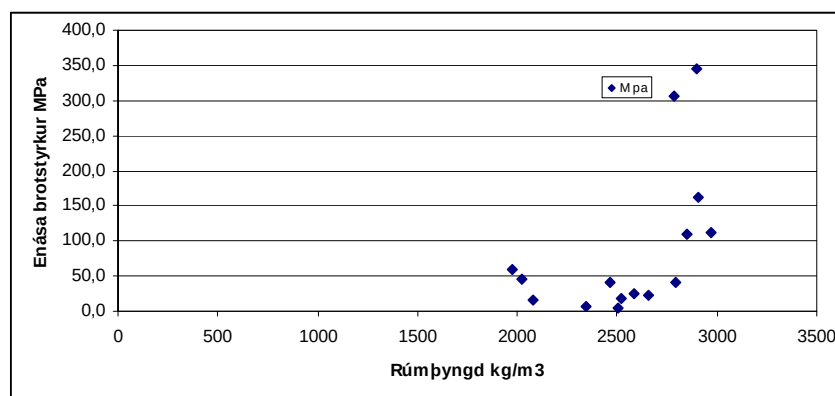
Mynd 4.11. Dæmi um leirkennt, vaxkennt setberg í holu NF-05. Slík setbergslög eru oft með of lágan brotstyrk til að unnt sé að mæla þau með PLT tæki (<10 MPa).

Verkfræðistofan Mannvit mældi um 15 bergsýni úr borkjarnanum þar sem áður höfðu verið gerð "PLT" brotpróf.

Tafla 4.8. Bergsýni borkjarna sem rannsökuð voru hjá Mannviti árið 2008.

Borhola	Dýpi	Berggerð	Rúmþyngd (kg/m ³)	Einása- brotþol (MPa)	PLI (MPa)	Hlutfall Einásast./PLI
nr	(m)		Meðaltal		Is 50mm	
NF-1	83,0 - 83,2	Setberg, sambrætt (welded pyroclastic tuff)	2022	45,8	2,59	17,66
EF-2	6,3 - 6,5-7	Blöðrótt basalt / kargaberg með geislant.	2581	26,1	3,27	7,97
EF-2	12,2 - 12,6	Þóleiit basalt	2851	109,0	10,59	10,29
EF-2	44,0 - 44,4	Ólivín basalt	2794	41,1	4,64	8,86
EF-2	87,3 - 87,5	Ólivín basalt (brotnar illa)	2967	111,0	8,59	12,92
EF-2	243,3 - 244,2	Kargaríkt ólivín basalt með geislasteinum	2522	18,6	1,77	10,49
NF-7	38,4 - 38,5	Flykruberg (welded pyroclastic tuff)	1979	59,0	1,5	39,34
NF-7	50,9 - 51,1	Basalt andesít	2785	307,0	10,78	28,47
NF-7	65,7 - 65,8	Setberg, völuþberg, vel samlímt	2080	15,2	1,86	8,17
NF-7	85,1 - 85,3	Þóleiit basalt	2899	345,0	8,68	39,75
NF-7	105,9 - 106,3	Setberg, sandsteins-völuþberg	2464	41,7	2,64	15,78
NF-7	117,8 - 118,1	Setberg, sandsteins-molaberg	2348	6,7	0,68	9,85
NF-8	15,2 - 15,4	Kargaberg	2508	5,2	1	5,20
NF-8	24,0 - 24,3	Blöðrótt þóleiit basalt-kargaberg	2656	22,7	1,73	13,12
NF-8	39,0 - 39,2	Þóleiit basalt	2902	163,1	8,95	18,22

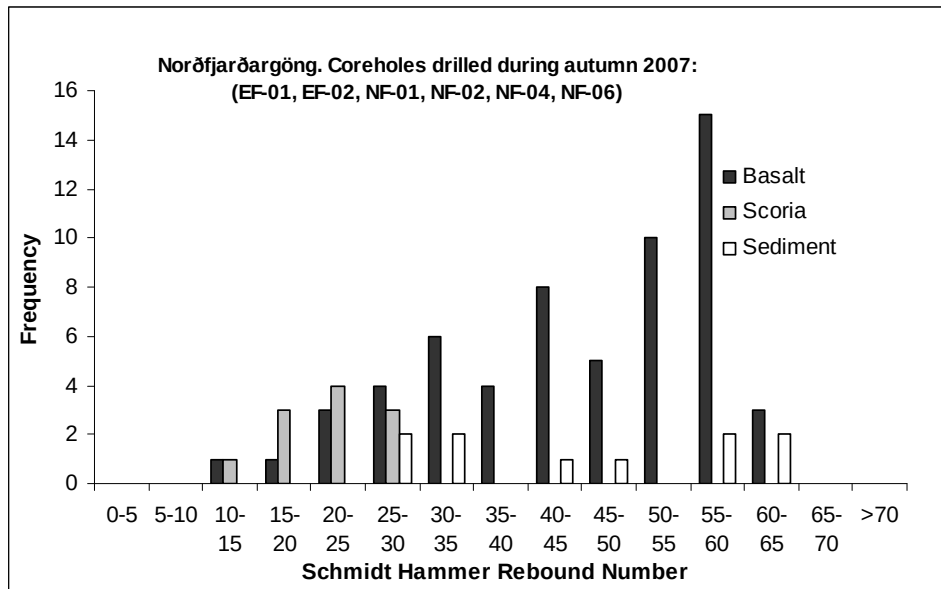
Samhliða einása brotþoli var rúmþyngd bergs mæld. Samband einása brotþols og rúmþyngdar er sýnt á mynd 4.12.



Mynd 4.12. Samband einásabrotstyrks og rúmþyngdar bergs, mælt hjá Mannviti árið 2008.

4.5.9 Mælt hörkuútslag bergs

Hörkuútslag bergsins (rebound hardness) í borkjarnanum var mælt með Schmidt hamri hliðstæðum þeim sem notaður er til að mæla hörku steinsteypu samanber ASTM D 5873-00. Algengt er að hörkuútslag harðrar steinsteypu sé um 30. Óvenjuhátt hörkuútslag setbergs í borholum vegna Norðfjarðarganga skýrist með því að slíkt setberg er sambrætt flikrubergr en slík berglög eru ekki algeng í basaltstafla Íslands. Niðurstöður “hörkuútslags” eru sýndar á mynd 4.13.



Mynd 4.13. Hörkuútslag (rebound hardness) mælt á borkjörnum frá Eskifirði og Norðfirði.

5 Áætlaðar jarðfræðilegar aðstæður á gangaleið

Óvissa eru um tengingu berglaga á jarðgangaleið milli Eskifjarðar og Tandrastaða í Fannardal eins og fram kemur á langsniði jarðlaga á teikningu 4. Líkleg jarðlagaskipan á langsniðinu byggir bæði á umfangsmikilli jarðfræðikortlagningu sem G.P.L. Walker vann á áratugnum 1955-1965 og á jarðlagasniðum sem höfundur hefur ósamfellt unnið að á undanförunum tveimur áratugum. Þeim sniðum er lýst í lækjarfarvegum nærri gangaleið í Eskifirði og í Fannardal (og víðar). Staðsetning jarðlagasniðanna er sýnd á teikningum 1 og 2, einfölduð teikning af sniðunum er til beggja enda á teikningu 4 og loks eru sniðin sýnd á teikningum 11-13.

5.1 Yfirlit yfir bergstaflann

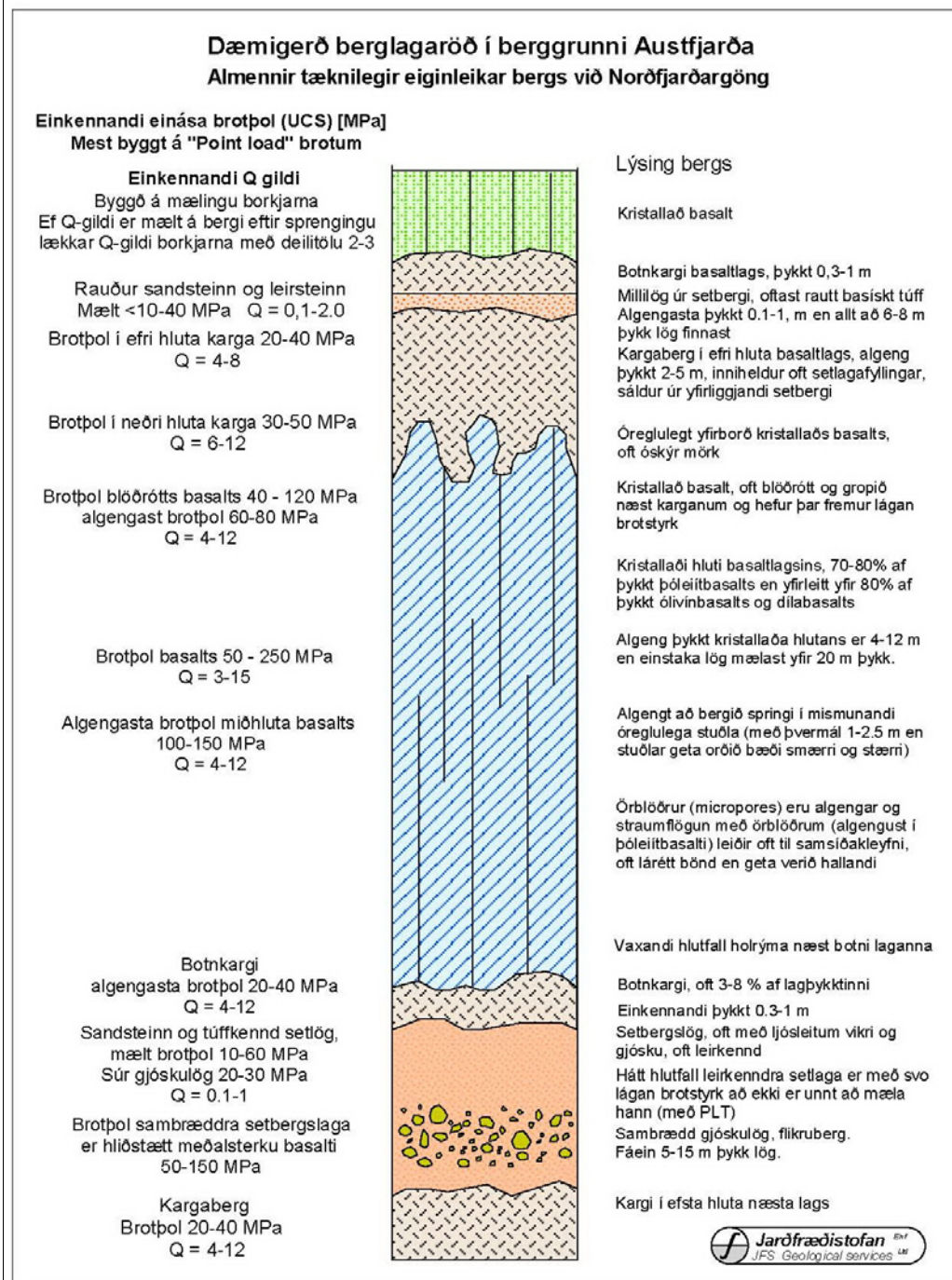
Fjallshryggurinn milli Eskifjarðar og Fannardals er 5-6 km breiður í 100-300 m hæð y.s og í ljósi þess má búast við að mikil ónákvæmni geti verið í jarðlagatengingum milli dalanna. Fjarlægð milli kjarnaborhola gegnum fjallgarðinn er nálægt 6,5-7 km og víðast hefur reynslan sýnt að borholur lýsa allvel aðstæðum í næsta umhverfi sínu en eftir að komið er nokkur hundruð metra frá þeim verður vaxandi óvissa í legu jarðlagaskila og jafnframt verður vaxandi óvissa um hvort berglög hverfi og að önnur berglög komi inn á tilsvareandi stað í jarðlagastaflanum.

Tvær jarðlagasyrpur eða "leiðarsyrpur" eru taldar ramma inn tengingu gegnum fjallgarðinn og eru áætluðar tengingar sýndar á teikningu 4. Neðri mögulega leiðarsyrpan er eftirfarandi: Neðst í borholu NF-02 og í efri hluta borholu NF-07 í Fannardal eru setbergslög blönduð súrum bergbrotum og sambræddu bergi, kallað flikrubergr eða „ignimbrite“ í borholulýsingum. Þessi berglög er talið að tengja megi við hliðstæð lög í neðsta hluta holu EF-02 í Eskifirði. Kortlagning á berginu í hlíðum Fannardals og Eskifjarðar styður þessa tilgátu að tengingu og þá að neðstu berglögum halli (að meðaltali) tæplega 5,7% eftir gangaleiðinni frá Norðfirði niður til Eskifjarðar (með lítilsháttar hliðarhalla til vesturs). Samkvæmt þessu myndi þessi þykka lagsyrpa líklega skera jarðgangaleiðina mörg hundruð metra innan við munna í Fannardal.

Efri "leiðarsyrpan" er milli 150 og 200 m þykk syrpa úr ólívínbasalti sem finnst með neðra borð í um 500 m hæð y.s í Fannardal samsvarandi með neðra borð í liðlega 100 m hæð y.s nærri gangamunna í Eskifirði. Samkvæmt þessu gæti jarðlagahallinn verið 6,2% eftir gangaleiðinni niður til Eskifjarðar (auk hliðarhalla til vesturs). Þessi ólívínbasaltsyrpa liggur að öllum líkindum ekki inn á jarðgangaleiðina. Lega ólívínbasaltsyrpunnar, ásamt lýstum jarðlagasniðum og bergsegulmælingum styrkja ofangreinda rúmmynd af berglagastaflanum.

Milli þessara tveggja jarðlagasyrpa er um 250-350 m þykkur (10 til 11,5 milljón ára gamall) bergstafl, sem ekki er hægt að tengja beint milli borhola í Eskifirði og Norðfirði. Í borholum Eskifjarðarmegin er þessi berglagastafl einuk byggður upp af tiltölulega vel holufylltum ólívín- og dílabasaltlögum, auk nokkurra setbergslaga, en Norðfjarðarmegin er staflinn einuk úr minna holufylltum póleiítbasaltlögum. Norðfjarðargöng munu fara í gegnum stóran hluta þessara berglaga, en vegna óvissu með tengingar er mjög erfitt að segja til um nákvæma legu og hlutfall mismunandi berglaga á jarðgangaleiðinni. Berglög á jarðgangaleið milli Eskifjarðardals og Fannardals eru talin liggja til hliðar við koll fjallsins sem Reyðarfjarðareldstöðin myndaði (í aðeins 5-10 km fjarlægð). Í ljósi þess geta verið tiltölulega hraðar

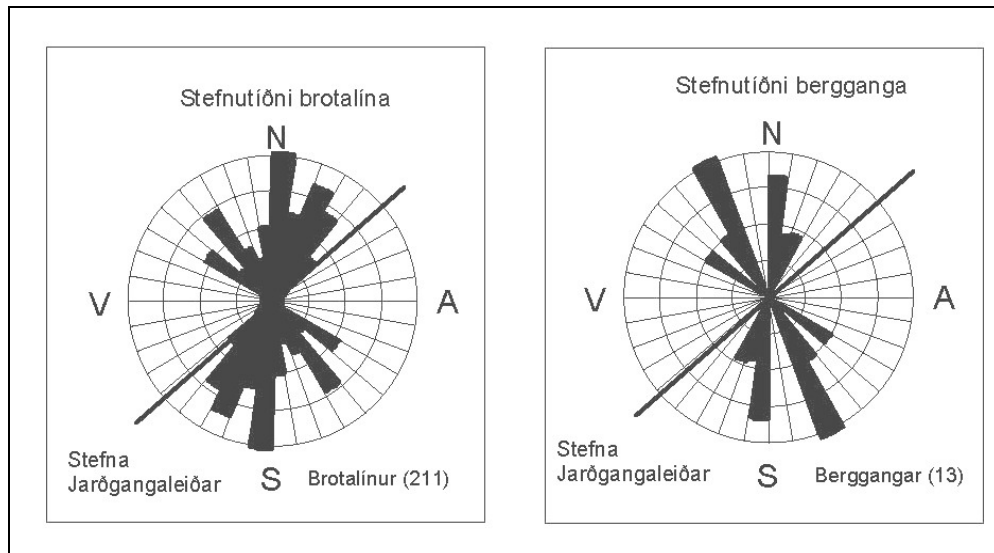
breytingar á berglögum yfir stuttar vegalengdir og mögulegt að strjál berglög frá eldstöðinni teygi sig inn á gangaleiðina. Við rannsóknarboranir var leitast við að bora gegnum þann hluta jarðlagastaflans sem áformað er að gangaleiðin liggi um. Þess er vænst að borholujarðfræðin endurspegli í grófum dráttum berggerðir á gangaleiðinni, en ekki er hægt að segja fyrir um hvaða berglög verða á tilteknum stað í fjallinu. Prófanir á bergi í borholunum gefa upplýsingar um líklega eiginleika berglaganna. Yfirlit yfir helstu berggerðir, berggæði og styrk bergsins er á mynd 5.1 og byggir að mestu á kjarnaborunum sem framkvæmdar voru 2007 og 2008 ásamt prófunum á berginu á vettvangi og í rannsóknarstofu Mannvits.



Mynd 5.1. Yfirlit yfir tæknilega eiginleika basaltstaflans sem Norðfjarðargöng munu liggja um.

5.2 Brotalínur, misgengi og berggangar

Brotalínur í berggrunni eru sýndar á teikningum 3 og 4. Þær hópast í höfuðstefnu til NNA-SSV og í aðra, talsvert minna áberandi, dreifingu til NV-SA. Á langsníði jarðlaga á teikningu 4 er sýnt hvar líkur eru taldar á að brotalínur og berggangar, sem túlka má út frá línulegum misfellum á yfirborði, geti skorið áformaða gangaleið. Vafalítið eru bergangar, sprungur og misgengi margfalt fleiri en greint verður við jarðfræðikortlagningu og túlkun loftmynda. Jarðgangaleiðin liggur nærri austurjaðri gangasveims sem gengur til norðurs frá Breiðdalseldstöð en ekki eru ummerki um að bergið hafi lent í sterku spennusviði sem hefði þá líklega valdið misgengjum.



Mynd 5.2. Tíðnidreifing brotalína og bergganga.

Allmargir berggangar sjást á yfirborði en líklega eru mun fleiri gangar og brot undir hulu lausra yfirborðslaga en séð verða. Búast má við að hlutfall bergganga á gangaleiðinni verði nálægt 3-6%. Mjög fá misgengi (og þá með litla lóðréttu hliðrun bergs) sjást nærri gangaleiðinni þótt allmörg slík sjáist t.d. í Mjóafirði og á Mjóafjarðarheiði litlu norðar.

Sem fyrr segir stefna brotalínur sem túlkaðar eru með aðstoð loftmynda talsvert eindregið í NNA-SSV en strjálle stefna brotalína stefnir NV-SA eða samsíða stríkstefnu berglaga. Brotalínur og berggangar samsíða stríkstefnu jarðlaga eru líklegri til að vera frá tímum upphleðslu staflans en aðrar stefnur eru líklegri til að vera yngri og þá e.t.v. fremur líklegar til að leiða vatn.

5.3 Vatnsleki

Ummyndun bergsins tilheyrir mesólít- skólesít- geislasteinabeltinu (sem skilgreint hefur verið af G.P.L. Walker og fl.) en mikill munur er á hversu þóleiðbasaltlögin og ísúra bergið eru minna holufyllt en ólivínbasaltið og dílabasaltið í þessu ummyndunarbelti.

Í lektarprófun í borholum mælast ólivínbasalt og dílabasalt yfirleitt með lága og miðlungs lekt en þóleiðbasalt og ísúrt storkuberg með meiri lekt. Vatnsleki inn í göngin verður því að öllum líkindum hlutfallslega minni í vel holufylltum ólivín- og dílabasalt berglagsyrpunum Eskifjarðarmegin borið saman við minna holufylltu

þóleiít basaltlögum Norðfjarðarmegin ganganna, sbr. mynd 4.5. Líklega verður þó vatnslekinn inn í göngin einkum bundinn við brotalínur og bergganga.

Þar sem mið- og norðurhluti gangaleiðarinnar liggur undir allt að 1000 m háu fjalli sem nær upp í sífreraaðstæður má búast við að vatn í ofanverðu fjallinu yfir göngunum geti verið mjög kalt. Mikil lekt hefur mælst í bergi í Fannardal og hitamæling í holu NF-07 sýnir nánast sama hitastig frá jarðvatnsborði á 50 m dýpi niður á 100 m dýpi (4,4°C-4,6°C). Þessi óverulegi hitastigull bendir til lóðréttis streymis um holuna og eykur möguleika á að kalt vatn geti runnið inn í göngin. Í borholu EF-2 í Eskifirði mældist um 6-7°C/100m hitastigull niður holuna.

5.4 Aðstæður við munna í Eskifirði

Fyrirhugað er að vegurinn til Norðfjarðar fari inn í munna í Eskifirði við stöð 2000 í um 15 m hæð y.s. Staðsetningar rannsóknarborana eru á teikningu 5 og langsnið jarðlaga er á teikningu 6. Á langsniðinu kemur fram að 2-4 m þykk setlög úr jökulruðningi og skriðuefni eru næst yfirborði. Borað var í gegnum lausu jarðlögin með loftbor og eru lýsingar á borholum EF-01 til EF-06 í viðauka C. Undir lausu setlögum er traust klöpp úr þóleiítbasalti og er laginu lýst í kjarnaborholu EF-01 í viðauka A. Basaltlagið er um 12-14 m þykkt, traustlegt og með gisið sprungunet. Undir yfirborðsbasaltinu er um 2 m þykkt leirkennt setbergslag með mjög lágan brotstyrk. Þar sem lögum hallar upp í fjallið framundan munnanum er viðbúið að setbergslagið fari upp í gegnum gangaleiðina örskammt innan við munnann. Á langskurðarmynd jarðlaga á teikningu 6 er sýnd afstaða borhola til jarðgangaleiðar inn að stöð 2500 eða á fyrstu 0,5 km gangaleiðarinnar.

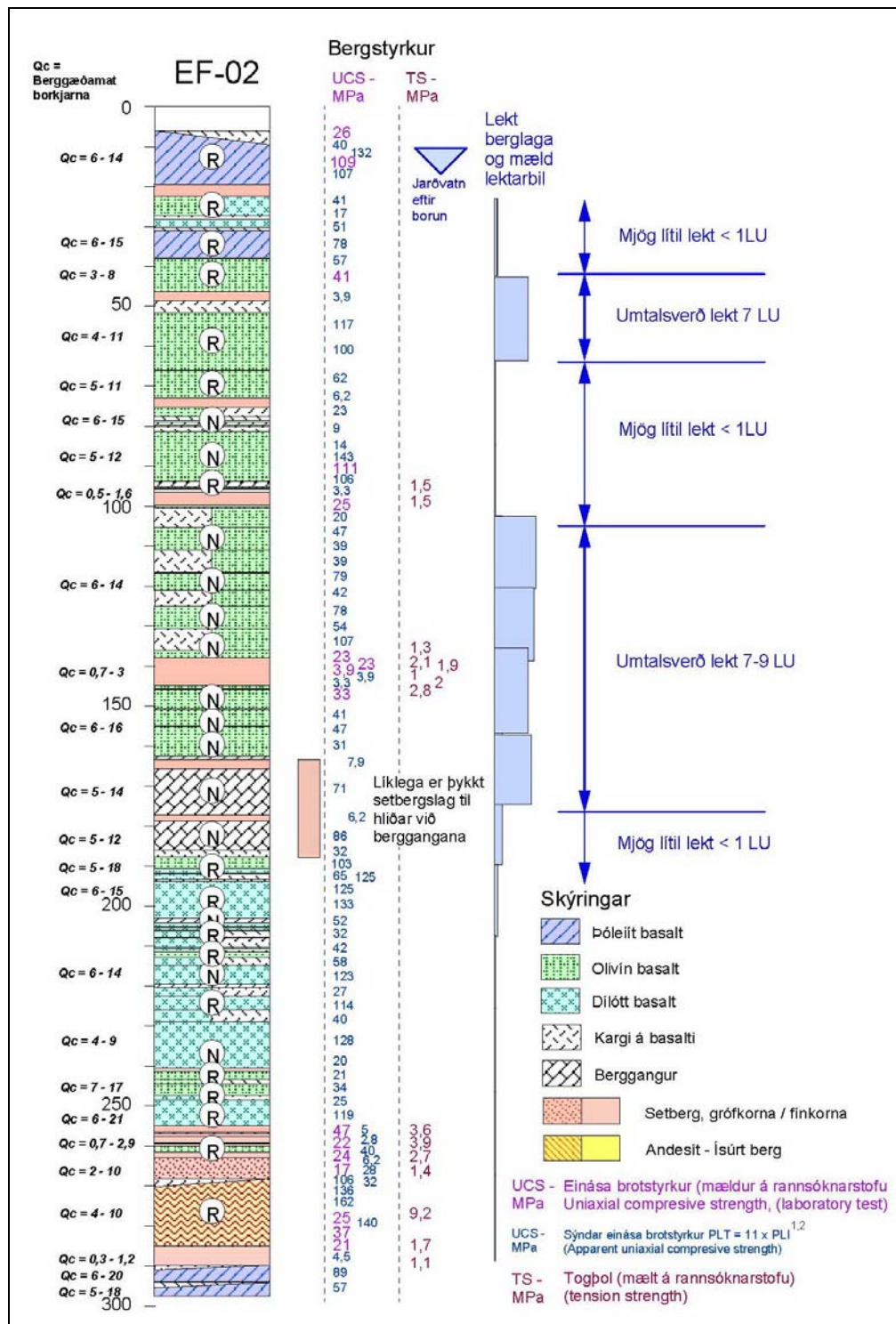
5.5 Áætlaðar aðstæður á meginhluta gangaleiðar

Berglögum á gangaleiðinni hallar upp þegar farið er inn frá Eskifirði. Berglög birtast því jafnan fyrst upp úr gólfinu og verður því allajafnan öll vinna við “veik berglög” auðveldari en ef þau koma fyrst í ljós í lofti líkt og verður við gröft frá Norðfirði.

Eftir að komið er um 0,5 km inn fyrir munna er talið illmögulegt að reyna að segja fyrir um afstöðu jarðlaga til gangaleiðarinnar en þó er talið að borholur EF-02 og NF-02 gefi hugmyndir um berggerðir og styrkleika bergs, án þess að nokkuð sé reynt að geta sér til hvar og í hvaða hlutfalli einstök berglög sem finnast í kjarnaborholunum lenda í göngunum. Tiltölulega litlar lóðréttar tilfærslur um misgengi gætu haldið berglögum lengri leið á gangaleiðinni en ætla mætti út frá berglagahalla og eins gætu berglög í staflanum haldist utan gangaleiðar vegna tilfærslu um misgengi.

Vafalaust gætir jarðlagaskipanar holu EF-02 inn á gangaleiðina frá Eskifirði og á sama hátt má ætla að inn frá munna í Fannardal verði aðstæður eitthvað hliðstæðar því sem lesa má úr borholum NF-02 og NF-07.

Á mynd 5.3 er yfirlit yfir berglög, styrk bergs og lekt í borholu EF-02 í Eskifirði. Bergstyrkur sýnir bæði niðurstöður brotþolsrannsókna sem gerðar voru á rannsóknarstofu Mannvits og einnig er þar uppreiknaður sýndarstyrkur sem byggður er á punktálagsprófunum "point load tests". Að auki er þar sýndur togstyrkur nokkurra sýna af setbergi sem einnig var mældur á rannsóknarstofu Mannvits. Við bergsúluna eru einnig sýndar niðurstöður berggæðamats á borkjarna Qc.

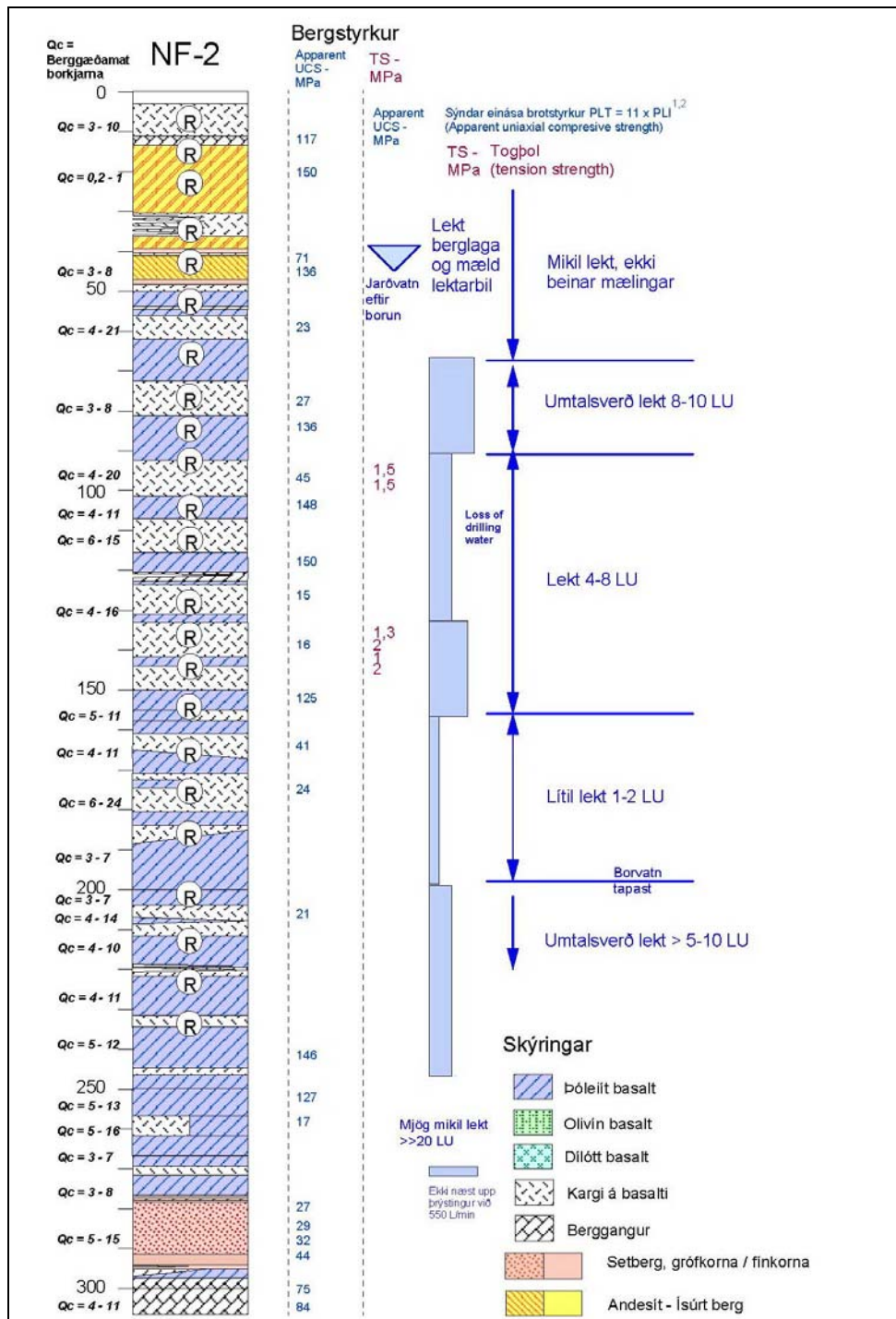


Mynd 5.3. Yfirlit yfir berglög, styrk bergs og lekt í borholu EF-02 í Eskifirði.

Holan er boruð lóðrétt og talið er að stakar sprungur í berginu ráði mestu um lektina sem mældist í borholunni. Þar sem ekki eru höggunarsprungur eða berggangar virðist bergið vera mjög vatnspétt og mældist mjög lítil lekt í neðri hluta borholunnar. Ofan við miðja holu er um 70 m kafli þar sem lektin er meiri eða um 7-9 LU, sem samsvarar um 10^{-6} m/s og ef til vill tengist það sprungum í berginu eða berggangi sem er á 160-180 m dýpi í holunni. Mögulegt er að sá berggangur hafi troðist inn í setbergslög sem gætu þá verið 20-25 m þykk þar sem berggangsins gætir ekki. Storkubergið í holu EF-02 er að mestu ólivínbasalt og dílótt ólivínbasalt, talsvert mikið ummyndað og almennt er góð reynsla af að grafa jarðgöng í slíkt berg.

Í borholu EF-02 finnast nokkur setbergslög og eru flest þeirra með lágan brotstyrk og þá sérstaklega lágan togstyrk þannig að gera má ráð fyrir yfirbroti í þekju og öxlum ganganna þar sem slík setlög koma hallandi upp í loft ganganna.

Samkvæmt greiningu bergs úr borholum, kortlagningu bergs á yfirborði og áætluðum halla berglaga er talið að flikrubeigs og setbergslög, sem finnast neðst í holu EF-02 eigi samsvörun í þykkum setbergslögum í holu NF-07 og lendi því næsta víst í göngunum. Að öðru leyti virðast berglög í borholum ekki eiga sér neina beina samsvörun gegnum fjallgarðinn.



Mynd 5.4. Yfirlit yfir berglög, styrk bergs og lekt í borholu NF-02 í Norðfirði.

Talið er að borholur NF-02 og NF-07 gefi mynd af aðstæðum í fjallgarðinum næst Fannardal og einhverja óskilgreinda vegalengd inn á jarðgangaleiðina. Í borholu NF-02 er um 270 m þykkur stafli af kargaríkum berglögum úr þóleiítbasalti og basaltandesíti eða andesíti (ísúr bergtegund).

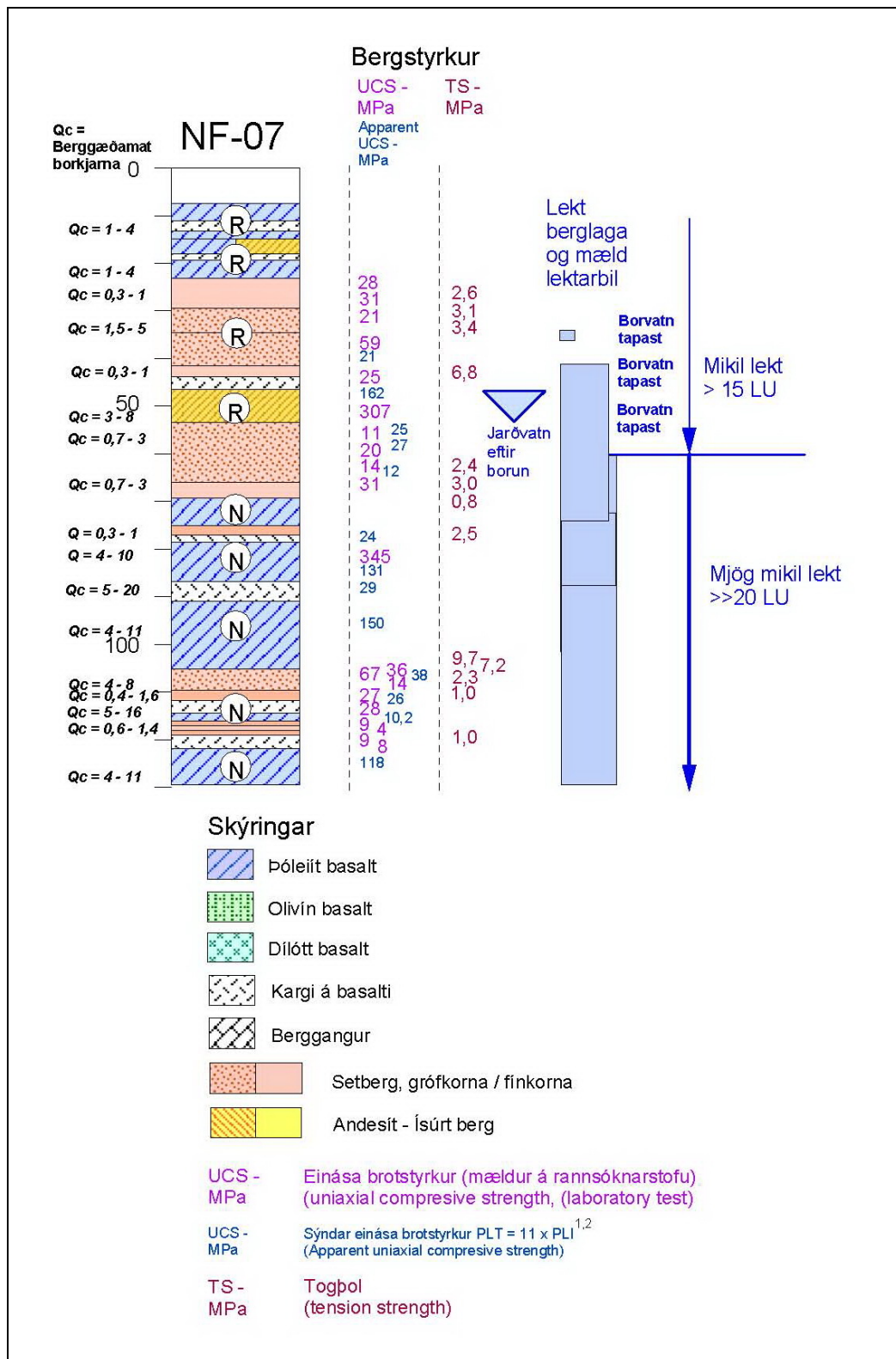
Fá og mjög þunn setbergslög finnast milli storkubergslaganna í þessum holum, þannig að líta má á storkubergslögin sem samofna heild með tíð kargakennd lárétt belti en tiltölulega fáa lárétta veikleikafleti. Bergið hefur líklega farið gegnum hliðstætt hitaummyndunarferli og bergið í Eskifirði en vegna þóleiítískrar efnafræði bergsins er það tiltölulega snautt af útfellingarsteindum og frumlekt bergsins ráðandi fyrir vatnsstreymi. Það þýðir að flestar glufur milli stuðla og af öðrum orsökum í bergmassanum eru tiltölulega opnar og leiða vatn eins og dreifikerfi út frá lekum meginsprungum og berggöngum. Telja má líklegt að umtalsverð frumlekt bergsins fylgi þóleiítísku bergsyrpunum svo langt sem þær ná inn á gangaleiðina.

Mjög neðarlega í borholu NF-02 eru þykk (setbergs) lög sem að stórum hluta eru úr sambræddu flikrubergi. Undir flikruberginu er berggangur og eru verulegar líkur á að hann hafi troðist inn í flikrbergslög og að til hliðar við bergganginn sé þykkt setbergslaganna meiri.

Á mynd 5.5 er einfölduð jarðlagasúla borholu NF-07 ásamt upplýsingum um brotstyrk og berggæðamat. Þykk flikrbergslög í borholu NF-07 eru talin tengjast flikrbergslögum við botn holu NF-02. Bergið í borholu NF-07 reyndist hafa mjög háa frumlekt, jafnvel enn meiri en mældist í holu NF-02.

Þegar jarðlagasnið í hliðum Fannardals og borholusnið eru borin saman má áætla að á um 100 m hæðarbili í jarðlagastaflanum séu þrjú þykk setbergslög og lætur nærri að helmingur þess stafla sé setberg. Tvö setlögin liggja saman, klofin sundur með einu til fjórum basaltlögum og gætu setlögin hugsanlega myndað eitt samfelld lag inni í fjallinu og þá um 40 m þykkt. Í borholunum er um helmingur af heildarþykkt setbergslaganna sambræddur og myndar þá tvö til þrjú aðskilin sambrædd lög eða flikrberg, sem eru með meðalháan brotstyrk (svipað og kargaberg eða meyrð basalt) og ekki talin erfið til gangagerðar. (Ekki er víst að setbergslögin séu samfelld sambrædd utan borholanna, því mögulegt er að aðeins heitasti hluti þeirra hafi bráðnað svo vel að við kólnun myndi þau jafngildi storkubergs í styrk). Að öðru leyti er setbergið með lágan styrk og þrjú til fjögur lög, allt að 8 m þykk eru með mjög lágan brot- og togstyrk.

Víða í setlögum hafa fundist sprungur sem sýnilega leiða greiðlega vatn þótt í heildina sé miklu minni lekt í setberginu en í storkuberginu. Helstu lóðréttar lekaleiðir gegnum setbergslögin sýnast vera við smástuðlaða bergganga. Líkur eru á vatnsaga í þóleiítbasaltinu ofan við setbergslögin.



Mynd 5.5. Yfirlit yfir berglög, styrk bergs og lekt í borholu NF-07 í Fannardal.



Mynd 5.6. Leirkennd setbergslög sem hafa mjög lágan brotstyrk, valda stundum staðbundinni og óreglulegri víkkun á þversniði ganganna (í veggjum eða lofti). Myndin sýnir dæmi um setbergslög í Fáskrúðsfjarðargöngum (frá árinu 2004) sem talin eru vera hliðstæð mörgum setbergslögum á leið Norðfjarðarganga.

5.6 Aðstæður við munna í landi Tandрастаða utan við Tröllagil

Í lághlíðum Hólafjalls í Fannardal er bæði jökulruðningur og skriðuhula, mynduð við veðrun ofar í fjallinu og leitar efnið undan halla. Meðan brattinn er nægur (yfir 35-40°) hreinsar hlíðin sig en er hallinn minnkar nær dalbotni safnast efnið fyrir og verður því þykkara er neðar dregur. Við boranir 2007 og 2008 var í allmörgum tilfellum borað gegnum 30-40 m þykk laus jarðlög úr jökulruðningi og skriðuefni. Jafnan grynnaði á klöpp er farið var upp í brekkuna og ræðst staðsetning munna af þeirri hæð yfir sjó er dugar til að gröftur fyrir gangaskála þyki viðunandi. Aðstæður við munna í Fannardal má lesa úr langsniði jarðlaga á teikningum 9 og þversniðum á teikningu 10. Staðsetningar borhola og sniða eru sýndar á teikningu 8.



Mynd 5.7. Hólafljall gegnt Tandrastöðum. Munni ganganna er áformaður sem næst miðri mynd á milli skriðukeila.

Boranir með loftbor sýna að þykkt lausra jarðlaga nærri mögulegum munna er 10-15 m. Efnið er fínefnarík skriða með steinum og grjótblökkum af öllum stærðum. (Efnið er viðkvæmt fyrir skriði í bleytutíð).

Kjarnaborhola NF-08 er í hvammi ofan og vestan við væntanlegan gangamunna. Bergið í holunni er smásprungið þóleiít, utan hvað 3 m þykkt leirríkt setbergslag með hlutfallslega lágan brotstyrk er á liðlega 10 m dýpi í holunni.

6 Heimildaskrá og ýtarefni

- Ágúst Guðmundsson og Haraldur Hallsteinsson 2001: *Reyðarfjörður - Fáskrúðsfjörður. Geological Report and tunnelling conditions*. Jarðfræðistofan. Unnið fyrir Vegagerðina, desember 2001. 23 bls. auk 22 teikninga og viðauka.
- Ágúst Guðmundsson 1993: Austfirðir. *Jarðgangagerð til samgöngubóta*. Unnið fyrir Vegagerð ríkisins, febrúar 1993. 28 bls. auk 26 mynda.
- Ágúst Guðmundsson 1992: *Jarðgangagerð til samgöngubóta á Austfjörðum*. Orkustofnun, VOD 92006. Unnið fyrir Vegagerð ríkisins, febrúar 1992. 72 bls. auk 46 mynda.
- Barton, N., Lien, R. og Lunde, J. 1974: Analysis of rock mass quality and support practice in tunneling and guide for estimating support requirements. *NGI, Rep.* 54206, 74 p.
- Hjörleifur Guttormsson 1974: *Austfjarðafjöll*. Árbók Ferðafélags Íslands 1974.
- Hreinn Haraldsson og Sveinn Björnsson 1984: *Jarðfræðirannsóknir á Austfjörðum vegna jarðgangahugmynda*. Vegagerð ríkisins. 30 bls. auk mynda.
- Hunt, Roy E. 1984: *Geotechnical engineering investigation manual*. McGraw - Hill Book Company.
- Jóhann Helgason 1982: Stratigraphy and Correlation of the Region Surrounding the IRDP Drill Hole 1978, Reyðarfjörður, Eastern Iceland. *Journal of Geophysical Research*, Vol. 87, No. B8, pages 6405-6417.
- Kristján Sæmundsson 1979: Outline of the Geology of Iceland. *Jökull* 29: 7-28.
- Leó Kristjánsson og Ágúst Guðmundsson 1995: Stratigraphy and Paleomagnetism of a 3-km-thick Miocene lava pile in the Mjóifjörður area, Eastern Iceland. *Geol Rundsch*, 84: p. 813-830.
- Norwegian Group for Rock Mechanics (NBG): Engineering Geology and Rock Engineering. Norwegian Tunneling Society 2000.
- Walker, G.P.L 1963. The Breiðdalur Central Volcano, Eastern Iceland. *Geol. Soc. London Quart. Jour.* 119: 29-63.
- Walker, G.P.L 1960. Zeolite zones and dike distribution in relation to the structure of the basalt of Eastern Iceland. *Jour. Geol.* 68: 515-527.
- Walker, G.P.L. 1959: Geology of the Reyðarfjörður area, Eastern Iceland. *Geol. soc. London Quart. Jour.* 114: 367-393.
- Walker, G.P.L. 1974: The Structure of Eastern Iceland. *In Geodynamics of Iceland*, D. Reidel Publishing Company, Dordrecht-Holland, pages 177-188.
- Watkins, N.D and Walker, G.P.L. 1977: Magnetostratigraphy of Eastern Iceland. *Journal of Science*, V. 277: 513-584.
- Loftmyndir (Aerial photographs) frá Landmælingum Íslands frá mismunandi tímum.
- Landlíkan (Topographical model - Orthophotos) í mismunandi mælikvarða frá Loftmyndum ehf. og Vegagerðinni 1999-2004.
- Mannvit og Jarðfræðistofan 2009: Samanburður á einásabrotstyrk og punktálagsstyrk borkjarna frá vegganga- og virkjanasvæðum. Unnið með

styrk frá Vegagerðinni og Landsvirkjun. Höf. Matthías Loftsson og Ágúst Guðmundsson, september 2009.

Mannvit (verkfræðistofa) 2010. Tæknilegir eiginleikar mismunandi berggerða. Höf. Matthías Loftsson og Benedikt Óskarsson. Rannsóknarskýrsla unnin fyrir Vegagerðina, apríl 2010.

Mannvit (verkfræðistofa) 2010. Rannsóknir á eiginleikum setbergs í Norðfjarðargöngum og Óshlíðargöngum. Höf. Matthías Loftsson og Benedikt Óskarsson. Rannsóknarskýrsla unnin fyrir Vegagerðina, júlí 2010.

Mannvit (verkfræðistofa) 2010. Rannsóknir á eiginleikum setbergs í Vaðlaheiði. Höf. Matthías Loftsson og Haraldur Hallsteinsson. Rannsóknarskýrsla unnin fyrir Vegagerðina, apríl 2011.