

VEGGÖNG UNDIR REYNISFJALL

Aðferðarfræði og gróf kostnaðaráætlun

Desember 2022



HEITI SKÝRSLU:	VEGGÖNG GEGNUM REYNISFJALL - AÐFERÐARFRÆÐI OG GRÓF KOSTNAÐARÁÆTLUN		DREIFING:
VERKEFNI:	Reynisfjallsgöng		<input type="checkbox"/> OPIN
SKÝRSLA NR.	86038-028-02	AFURÐAR- AUÐKENNI:	<input type="checkbox"/> LOKUÐ TIL
		86038- M00030	<input checked="" type="checkbox"/> HÁÐ LEYFI VERKKAUPA

ÚTGÁFUSAGA:					
ÚTG. NR	DAGS.	HÖFUNDUR	RÝNT AF	SAMP.	ÚTGÁFUSTAÐA
01	2021-10-11	JÖF, SPS	HÖA	JÖF	Drög til verkkaupa
02	2021-11-06	JÖF, SPS	HÖA	JÖF	Breytingar eftir athugasemdir verkkaupa
03	2022-12-22	JÖF, SPS	HÖA	JÖF	Uppfærð eftir viðbótarrannsóknir árið 2022

HÖFUNDAR: Jóhann Örn Friðsteinsson og Snorri Páll Snorrason	VERKEFNISSTJÓRI: Jóhann Örn Friðsteinsson
---	---

UNNIÐ FYRIR: Vegagerðina UMSJÓN: Freyr Pálsson	SAMSTARFSADILAR:
---	------------------

<p>ÚTDRÁTTUR:</p> <p>Árið 2013 var Aðalskipulag Mýrdalshrepps 2012-2028 samþykkt með nýrri veglínu Hringveggar um Mýrdalinn og í gegnum jarðgöng sunnarlega í Reynisfjalli. Meginhluti Reynisfjalls er móberg/móbergsbreksía, myndað undir jökli í einum atburði. Bergið hefur margar ásýndir en þær hafa allar það sameiginlegt að í þeim finnast ördílar (litlir ljósir plagíóklas kristallar). Mest ber á móbergsbreksíu í hlíðum fjallsins en hún er mis hörð og fer frá all- þéttu bergi og yfir í því lítt samrunninn sand. Í fjallinu er einnig að finna basalteitla af ýmsum gerðum, mjög misstóra.</p> <p>Við vestari gangamunna eru þykk setlög á yfirborði með óþekkt dýpi niður klöpp. Við eystri munnasvæði eru aðstæður þekktari með gangamunna í smástuðluðu basalti.</p> <p>Út frá greiningu á borkjarna og athugun á jarðfræði svæðisins má í grófum dráttum skipta jarðlagaeiningum á gangaleið í þrjá flokka með tilliti til bergtegunda og berggæða; brotna móbergsbreksíu, heillega móbergsbreksíu og basalt, smástuðlað/kubbaberg.</p> <p>Til að útbúa forskeringu við vestari gangamunna væri möguleiki að notast við staðsteypta staura (en. secant piles) í stað hefðbundins sponspíls þar sem hlíðin við gangamunnann er brött og með þykkum setlögum. Við eystri gangamunna eru aðstæður betri fyrir hefðbundna forskeringu, en gæta þarf að hrunhættu úr brattri fjallshlíðinni.</p> <p>Nokkur óvissa er um dreifingu berggæða á gangaleiðinni en við gróft mat á styrkingarþörf er stuðst við kjarnagreiningu og hlutfall mismunandi berggæða í þremur borkjörnum. Talið er að hægt sé að styðjast við hefðbundnar bergstyrkingar við útgröft á stórum hluta ganganna en þörf á þyngri bergstyrkingum í illa samlímdri móbergsbreksíu með rörbogum í þaki ganganna og grindarbogum.</p> <p>Miðað við þær forsendur sem lagðar eru til grundvallar í þessari skýrslu má gera ráð fyrir að heildarkostnaður fyrir veggöng undir Reynisfjall verði um 10,6 milljarða ÍSK.</p>

LYKILORÐ ÍSLENSK: Veggöng, laus jarðlög, móbergsbreksía, bergstyrkingar, rörbogar, grindarbogar, staðsteyptir pelar, vegskálar, grjóthrun	LYKILORÐ ENSK: Road tunnel, loose material, hyaloclastite, tuff breccia, rock support, umbrella arch, lattice girders, secant piles, entrance construction, rock fall
--	--

© Geta skal heimilda sé efni skýrslunnar afritað eða birt með einhverjum hætti.



Efnisyfirlit

1	Formáli	2
2	Jarðfræði svæðisins	3
2.1	Almennt um jarðfræði Reynisfjalls	3
2.2	Vegskálar og gangamunnar	3
2.3	Gangaleið	5
3	Gröftur og undirbúningur við gangamunna	10
3.1	Vestari gangamunni og forskering	10
3.2	Gangamunni og forskering við Vík	14
4	Gangagerð og bergstyrkingar	15
4.1	Almennt um bergstyrkingar	15
4.2	Styrkingar í brotnu og illa samlímdri móbergsbreksíu	16
4.3	Heilleg móbergsbreksía og basalt smástuðlað/kubbaberg	18
5	Kostnaðaráætlun	19
6	Heimildir	20

Myndaskrá

Mynd 1.	Lega ganga undir Reynisfjall – planmynd (Hnit).....	2
Mynd 2.	Langsnið jarðganga undir Reynisfjall (Hnit).....	2
Mynd 3.	Gróin brekka við eystri gangamunna (samansett mynd).....	3
Mynd 4.	Eystra munnasvæði undir brattri fjallshlíð.....	4
Mynd 5.	Sprungið, óstöðugt berg efst í fjallshlíð, yfir munnasvæði.	4
Mynd 6.	Borkjarni RF-1, áætlað gangadýpi frá ca. 163-170,6 m dýpi	6
Mynd 7.	Borkjarni RF-2, áætlað gangadýpi frá ca. 173-181 m dýpi	7
Mynd 8.	Borkjarni RF-3, áætlað gangadýpi frá ca. 194-202 m dýpi	8
Mynd 9.	Jarðlög í Reynisfjalli á gangaleið, út frá túlkun á borkjörnum og yfirborði.	9
Mynd 9.	Möguleg staðsetning "bergmunna" við vestari gangamunna (snið).	10
Mynd 10.	Möguleg staðsetning "bergmunna" við vestari gangamunna (plan).	11
Mynd 11.	Forskering með staðsteyptum staurum í stoðvegg.	11
Mynd 12.	Aðferð við staðsteypta staura [2]. [a-b] borað niður á hönnunardýpi með fóðringu, jarðvegur tekin út. Borstrengur dreginn upp og fóðring stendur í holunni. Járngrind er síðan sett niður í holu [c] (Seinni umferð) og steypt [d]. Að lokum er fóðringin dregin upp áður en steypa er fullhörðnuð [e].	12
Mynd 13.	Bortæki og borkróna með 1080 mm þvermál [3].	12
Mynd 14.	T.v. járngrind með ásoðnum rörum til að setja niður bolta við botn staur. T.h. sniðmát fyrir borun til að tryggja rétta staðsetningu, hér 250 mm skörun [3].....	13
Mynd 15.	Dæmi um staðsteypta staura, hér niður á 22 m dýpi við Midgardsormen verkefnið í Osló [4].....	13
Mynd 16.	Q-gildi og áætluð dreifing Q gilda á gangaleið.....	15
Mynd 17.	Dæmi um styrkingar með rörskerm, stálbogum, bergboltum og sprautusteypu [8]. Dæmigerð þver- og langsnið fyrir rörskerm eru sýnd á Mynd 18 og Mynd 19.....	16
Mynd 18.	Dæmi um þversnið ganga með rörboga [11]. Hér sambærilegt T10,5 sniði.....	17
Mynd 19.	Dæmi um langsnið ganga með rörboga, hér er þversniði skipt í efri og neðri hluta [11] vegna lélegra berggæða.....	17
Mynd 20.	Endi rörs/fóðringar, með skó og borkróna (gul) sem hægt er að draga til baka [11].....	18

Töfluskrá

Tafla 1.	Yfirlit yfir borholur við gangaleið.	5
Tafla 2.	Yfirlit yfir Q gildi og áætlaða gangalengd og bergstyrkingum í hverjum flokki.....	15
Tafla 3.	Yfirlit yfir áætlaðan kostnað fyrir veggöng undir Reynisfjall.	19



1 Formáli

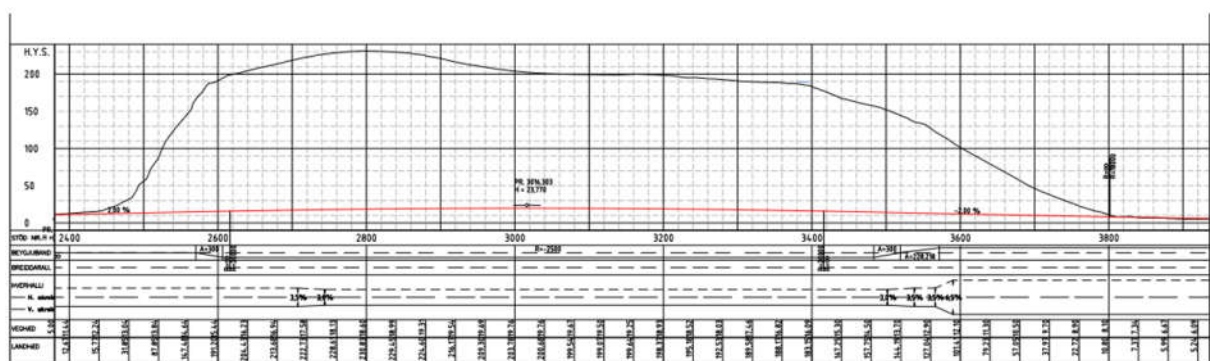
Árið 2013 var Aðalskipulag Mýrdalshrepps 2012-2028 samþykkt með nýrri veglínu Hringvegur um Mýrdalinn og í gegnum jarðgöng sunnarlega í Reynisfjalli. Gert er ráð fyrir að vestari gangamunninn sé í Miðbrekku, skammt sunnan við Presthús í Reynishverfi og eystri munninn ofan við Víkurfjöru.

Samkvæmt drögum að matsáætlun [1] er miðað við að gangasnið verði svokallað T10,5 snið, með eina akrein í hvora átt. Heildarbreidd akreina og vegaxla er því 10,5 m, og kennisnið ganga er 74,59 m². Fyrstu niðurstöður gefa til kynna að berggrunnur sé lélegur á köflum og því þurfi að auka þversniðið vegna aukinna bergstyrkinga.

Í þessari skýrslu er miðað við veglínu C-1001B frá Hnit með jarðgöngum milli stöðva 2.480 og 3.725 [1]. Þar er lengd áætlaðra ganga um 1.245 m auk vegskála. Vestan fyrirhugaðra ganga er landhæð í kringum 7 m.y.s. en gert ráð fyrir að fara inn í fjallið í kringum 8 m.y.s. Austan megin er landhæð í kringum 13 m.y.s, en vegur í munna í um 10 m.y.s. Hæðsti punktur á slitlagi í göngum er í tæpum 24 m.y.s. á meðan hæsti punktur Reynisfjalls yfir fyrirhugaðri gangaleið er í um 230 m.y.s. Þekja jarðlaga er því áætluð á bilinu frá nokkrum fáum metrum upp í um 170 – 200 m.



Mynd 1. Lega ganga undir Reynisfjall – planmynd (Hnit).



Mynd 2. Langsnið jarðganga undir Reynisfjall (Hnit).



2 Jarðfræði svæðisins

2.1 Almennt um jarðfræði Reynisfjalls

Meginhluti Reynisfjalls er móberg, myndað undir jökli í einum atburði. Bergið hefur margar ásýndir en þær hafa það allar sameiginlegt að í þeim finnast ördílar (litlir ljósir plagíóklas kristallar). Mest ber á móbergsbreksíu í hlíðum fjallsins en það er mjög mishart og fer frá all- þéttu bergi yfir í lítt samrunninn sand. Í fjallinu er einnig að finna basalteitla af ýmsum gerðum og mjög misstóra. Vísir er að basaltheitu fremst/syðst á toppi fjallsins.

Reynisfjallsmóbergið hvílir á þóleiít basalti sem hallar líttillega til suðurs frá Hringveginum norðan Reynisfjalls. Vel mótar fyrir basaltinu við vesturhlíð fjallsins, en fáar opnur eru í þessa myndun sunnan Hringvegarins. Bestu opnurnar eru við bæina að Fossi í Reynishverfi.

Borholur, norðar í fjallinu, sýna að grunnvatn liggur nokkuð lágt á svæðinu. Grunnvatn hefur ekki mælst í þeim holum sem boraðar hafa verið í gangalínu. Það og að lækir sjáist ekki á yfirborði gefur til kynna að grunnvatnsstaða er lág og líklega undir gangahæð.

Nánari lýsing á jarðfræði svæðisins er að finna í skýrslu Verkis, *Jarðfræði Reynisfjalls*.

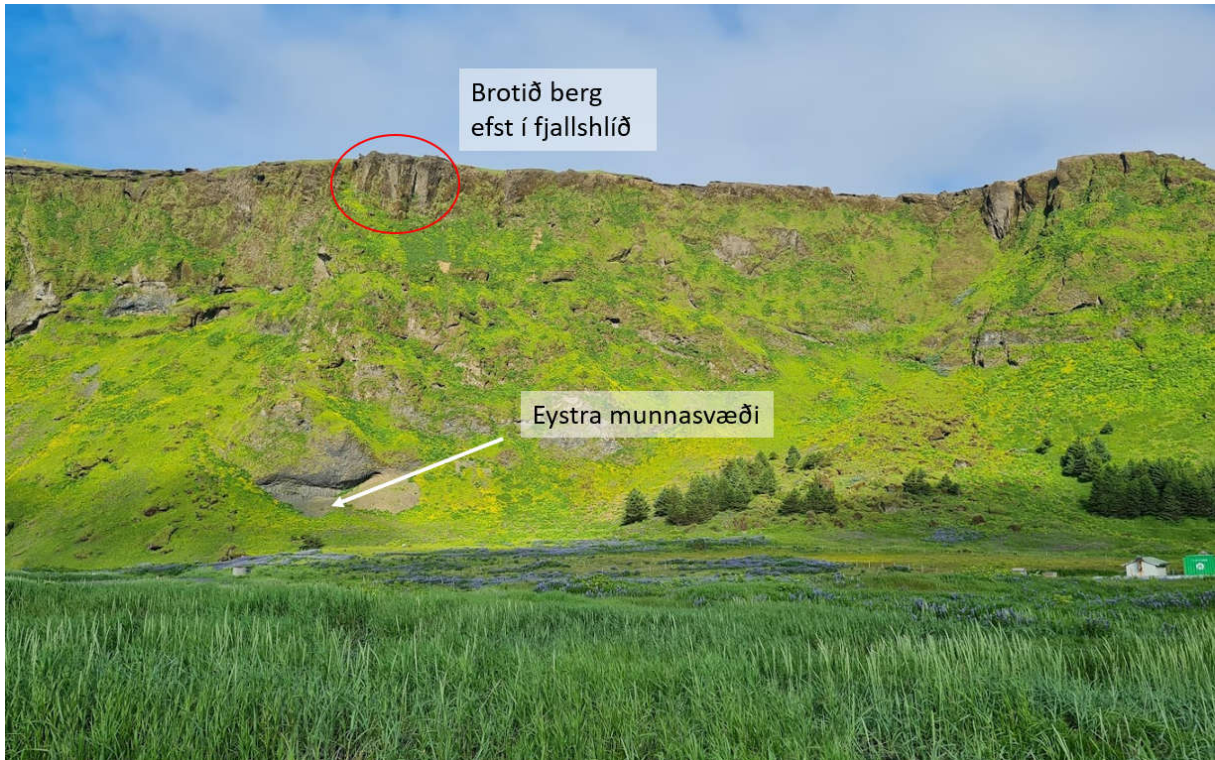
2.2 Vegskálar og gangamunnar

Við vestara munnasvæðið er gróðurvaxinn brekka með um 20-25° halla frá núverandi veg um 7 m.y.s. og upp í um 130 m.y.s. (Mynd 3). Fjórar loftborsholur voru boraðar á svæðinu í febrúar og mars 2021 og samkvæmt þeim samanstanda efstu 6-10 m af moldarjarðvegi og þar undir tekur við gjóska eða illa samlímd móbergsbreksía. Ekki var borað niður á merkjanlega fasta/harða móbergsklöpp eða hraunlög. Því má áætla að forskering fyrir gangagerð verði að öllum líkindum í lausum jarðlögum eða mjög veikum bergi.



Mynd 3. Gróin brekka við eystri gangamunna (samansett mynd).

Við eystra munnasvæðið er áætlaður gangamunni í smástuðluðu hraunlagi eða basalteitli við neðsta hluta fjallshlíðarinnar (Mynd 4). Hlíðin er mjög brött (um 60°-75°) og samanstendur af misþykkum og óreglulegum lögum af móbergsbreksíu og bergeitlum. Efst, við brún fjallshlíðarinnar eru sýnilegar opnar sprungur í móbergsbreksíu sem mynda stórar blokkir, áætlað um 3 – 10 m³ (Mynd 5). Halli baksprungna er brattur 80-85°, niður og inn í fjallshlíðina og því talin möguleg hættu á grjóthruni á svæðinu.



Mynd 4. Eystra munnasvæði undir brattri fjallshlíð.



Mynd 5. Sprungið, óstöðugt berg efst í fjallshlíð, yfir munnasvæði.



2.3 Gangaleið

Augljós skil milli lausra jarðlaga og bergs eru ekki þekkt við vestra munnasvæðið, við Miðbrekku. Ástæðan eru hugsanlega sú að móbergið eða móbergsbreksían er mjög veik og illa samlímd á því svæði eins og kemur vel fram í þeim borkjörnum sem boraðir hafa verið á svæðinu. Miðað við dýpi á skil milli moldarjarðvegs og jarðmyndunar frá myndun Reynisfjalls má áætla að við stöð 3.760 komi gangalínan inn í Reynisfjallið þó svo að fjallið er hér gert úr lauslímri breksíu eða móbergi, nægileg bergþekja næst við stöð ca. 3.725. Því má áætla að fyrsta hluti ganganna á þessu svæði þyrfti að grafa og styrkja með þyngri styrkingum en hefðbundnum boltum, sprautusteypu og grindarborgum.

Upplýsingar um jarðfræðilegar aðstæður á gangaleið má áætla frá þremur kjarnaholum sem voru boraðar frá yfirborði, ofan á Reynisfjalli og niður undir gangalínu árin 2021 og 2022. Yfirlit yfir staðsetningu hola og dýpi eru í Tafla 1.

Tafla 1. Yfirlit yfir borholur við gangaleið.

Borhola	Staðsetning í sniði (Stöð)	Dýpi (m)	Gangahæð á dýpi (m)
RF1	3370	170	162 - 170
RF2	3080	201,5	173 - 181
RF3	2790	222,5	202,5 - 210,5

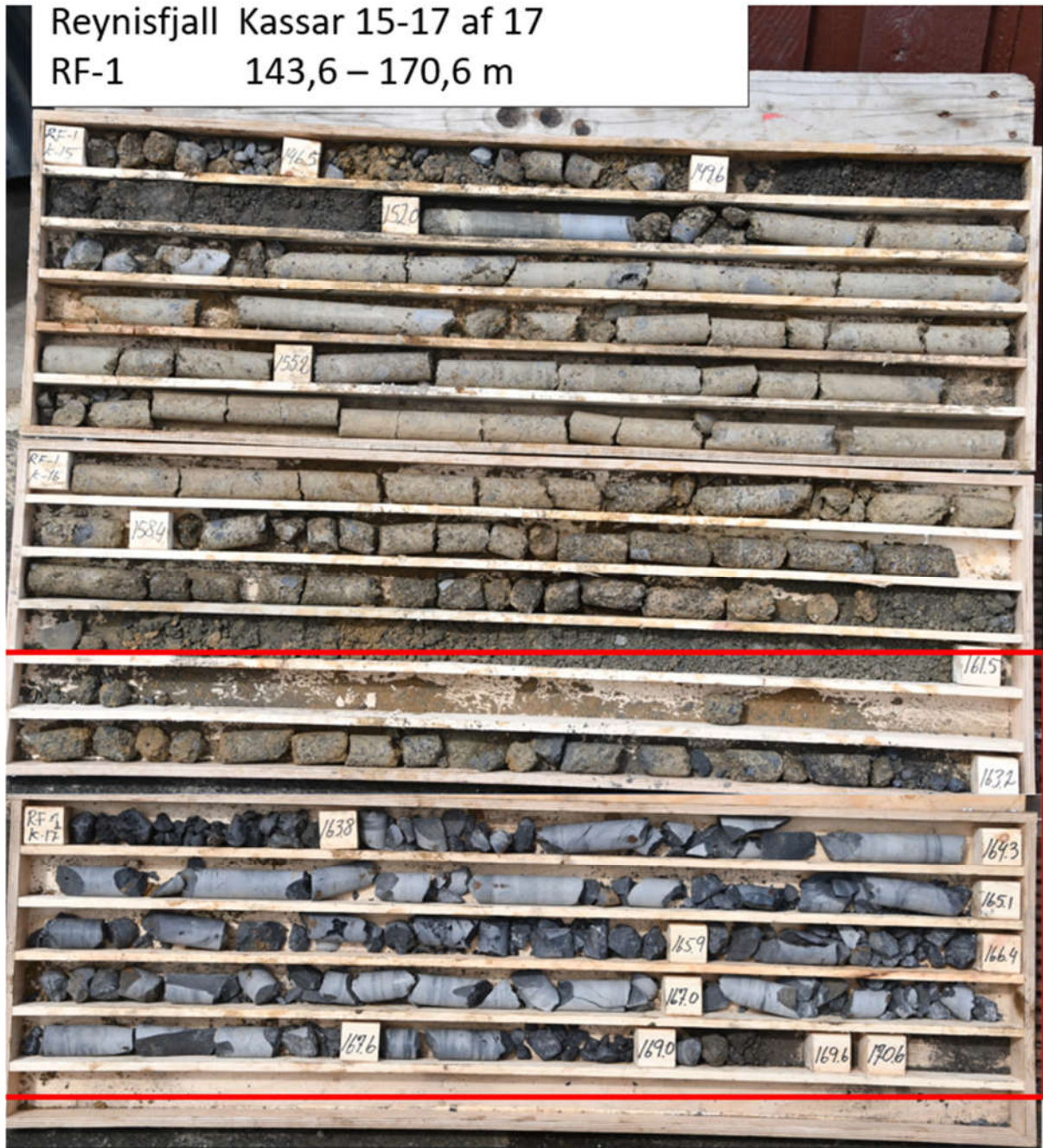
Jarðlög í gangahæð í borholum

Borhola RF-1 er boruð niður á áætlað gangadýpi (162-170 m) við stöð 3.370, um 330-350 m frá vestari gangamunna. Borholan nær niður á kóta ca. 15,7 m.y.s. en áætluð veghæð er 16,6 m.y.s. Í holunni er móbergsbreksía frá 140 -163 m dýpi. Breksían er óregluleg með misþykkum lögum af vel og illa samlímdu efni. Kjarninn er mjög brotinn frá 140-152 m en þar fyrir neðan er nokkuð heillegur kafli niður á 158,4 m dýpi. Við tekur nokkuð grófkorna og illa samlímd móbergsbreksía með mikið af dökkum/svörtum gjóskukornum og er bæði kjarnaheimta og RQD gildi lág. Kjarnaheimta 40% og RQD undir 10. Berggrunnur í gangahæð samanstendur af nokkuð brotinni breksíu og brotnu og smástuðluðu basalti í efri hluta frá 162 til 169 m dýpi en þar fyrir neðan er brotin móbergsbreksía (Mynd 6). Kjarnaheimta í basaltinu er 40-80% og er RQD mælt 0-50. Basaltið er ferskt og smákornótt með smáum plagíóklas dílum. Í móbergsbreksíunni koma úr holunni aðeins nokkrir cm sem gefur um 5% kjarnaheimt. Áætlað Q-gildi¹ á gangadýpi við borholu reiknast á bilinu 0,01 – 0,02 sem fellur undir styrkleikaflokk F, ákaflega lélegt (en. extremely poor).

¹ Nánari upplýsingar um Q-kerfið er að finna í [13]

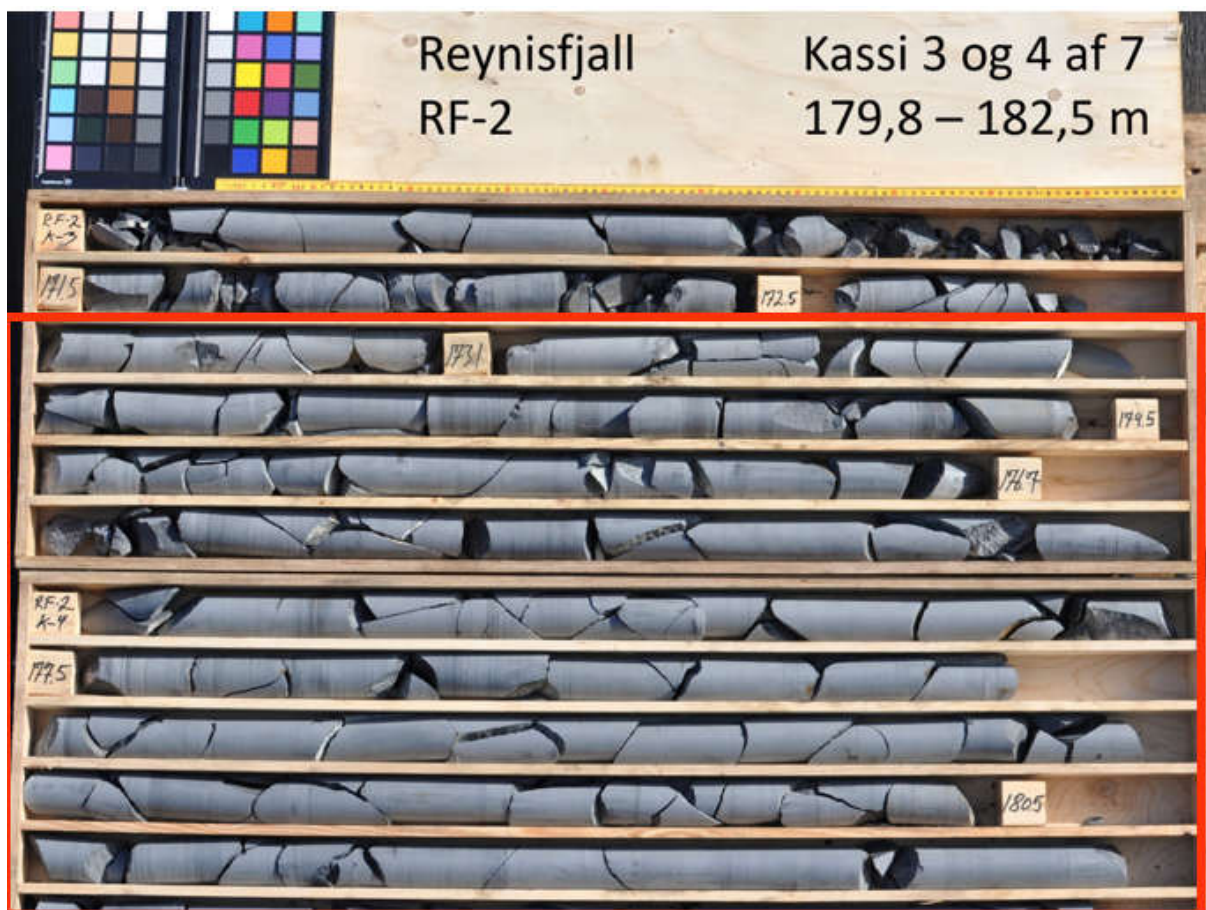


Reynisfjall Kassar 15-17 af 17
RF-1 143,6 – 170,6 m



Mynd 6. Borkjarni RF-1, 146 - 170,6 m dýpi áætlað gangadýpi frá ca. 162-170 m.

Borhola RF-2 er staðsett við stöð 3.080 og boruð niður frá 200,4 m.y.s. Holan er 201,5 m djúp og nær því niður í -1,1 m.y.s. Veghæð er í kóta 19,5 m.y.s og göng því á bilinu 173-181 m í kjarnanum (Mynd 7). Bergið á þessu dýpi er nokkuð heillegt basalt með 70-100% kjarnaheimtu og RQD gildi 35-70. Sprungufletir eru flatir og með ljósum sprungufyllingum. Reiknað Q gildi er 3-13 sem fellur undir styrkleikaflokk B-C, gott (en. good) til sæmilegt (en. fair).



Mynd 7. Borkjarni RF-2, áætlað gangadýpi frá ca. 173-181 m dýpi.

Borhola RF-3 er 222,5 m, boruð í stöð ca. 2.790 með topp í 229 m.y.s. Holan nær niður á ca -2 m.y.s. Gangahæð er hér á bilinu 18,5-26,5 m.y.s sem er á 202,5 til 210,5 m dýpi í holunni (Mynd 8). Á gangabilinu er illa samlið breksía og mjög veikt berg sem mylst milli handa. Kjarnaheimt er góð og RQD gildi á bilinu 0-100 þar sem kjarninn er heillegur. Q gildi er hins vegar lágt (0,01-0,02) þar sem kjarninn brotnar auðveldlega og er líkari samþjöppuðum lausum jarðlögum en berggrunni.

Aðstæður nokkuð ofar í holunni eru mun ákjósanlegri til gangagerðar (Mynd 8) og því væri hér ráðlegt að hækka legu þeirra þar sem þau yrðu í betra bergi. Basaltlagið ofan við 201,5 m dýpi er svipað og á gangadýpi í holu RF-2, með nokkuð heillegu basalti. Kjarnaheimta er 55-100% og RQD mælt mjög breytilegt frá 0-43 þar sem smástuðlun veldur því að einstaka kjarnabitar eru beggja vegna við 10 cm. Reiknað Q gildi er 4 – 10, gott (en. good). Við kostnaðarmat er áætlað að göngin muni liggja í þessu lagi.



Reynisfjall Kassar 4-6 af 8
RF-1 197– 213,5m



Mynd 8. Borkjarni RF-3, áætlað gangadýpi frá ca. 194-202 m dýpi.

Miðað við niðurstöður kjarnaboranna má túlka jarðfræðilegar aðstæður í fjallinu þannig að hér er um að ræða óreglulega móbergsmýndun þar sem skil á milli basalteitla, hraunlaga og mis vel samlímdrar móbergsbreksíu er óljós.

Önnur jarðlög kortlögð í borholum og á yfirborði

Heillega móbergsbrekiú er meðal annars að finna á 60 – 132 m og 150-160 m dýpi í borholu RF-1. RQD gildi eru há og Q gildi metin á bilinu 0,3-2,0.

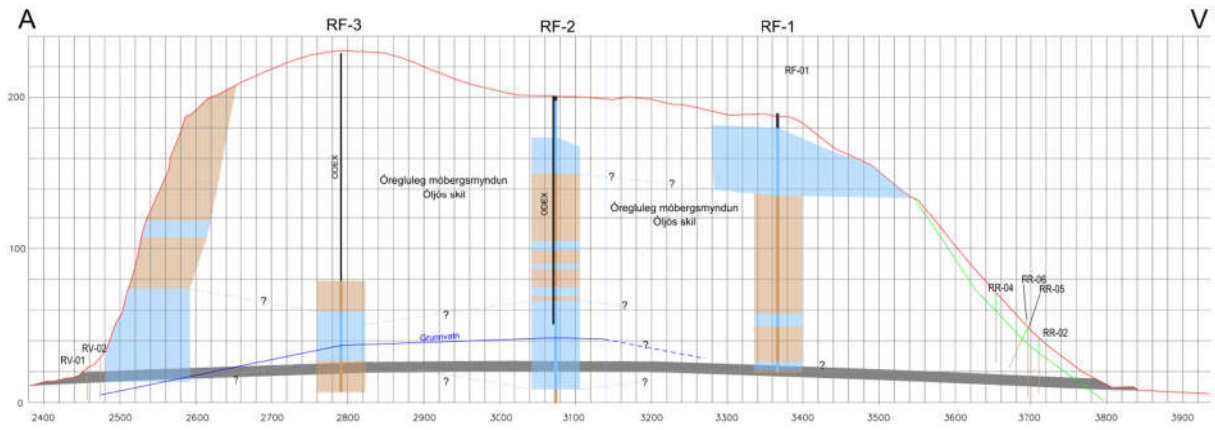
Borholur RF-2 og RF-3 eru boraðar með loftbor á 150 m dýpi og því óljóst hversu um legu og þykkt þessa lags á þeim svæðum

Sjónskoðun á basaltinu í fjallshlíðinni og í Reynisfjöru gefur Q-gildi á bilinu 4 -10 sem flokkast sem sæmilegt/slæmt (en. Fair, poor).

Út frá kjarnagreiningu og athugun á jarðfræði svæðisins má í grófum dráttum skipta jarðlagaeiningum í fjallinu í þrjá flokka með tilliti til bergtegunda og berggæða; brotna móbergsbreksíu, heillega móbergsbreksíu og basalt sem er oft smástuðlað og mætti túlka sem kubbaberg. Tenging milli einstakra laga er því óviss og þar af leiðandi óvissa í hversu stór hluti gangaleiðarinnar er í hinum mismunandi tegundum.



Áætluð lega jarðlaga út frá kjarnagreiningu og kortlagningu á yfirborði er sýnd á Mynd 9.



Mynd 9. Jarðlög í Reynisfjalli á gangaleið, út frá túlkun á borkjörnum og yfirborði.

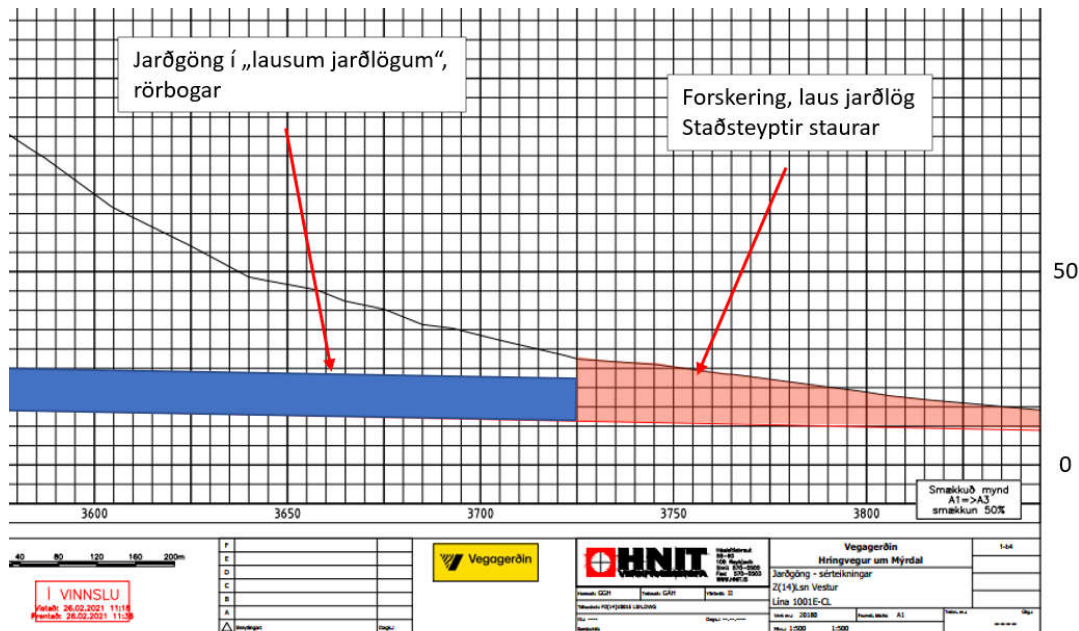


3 Gröftur og undirbúningur við gangamunna

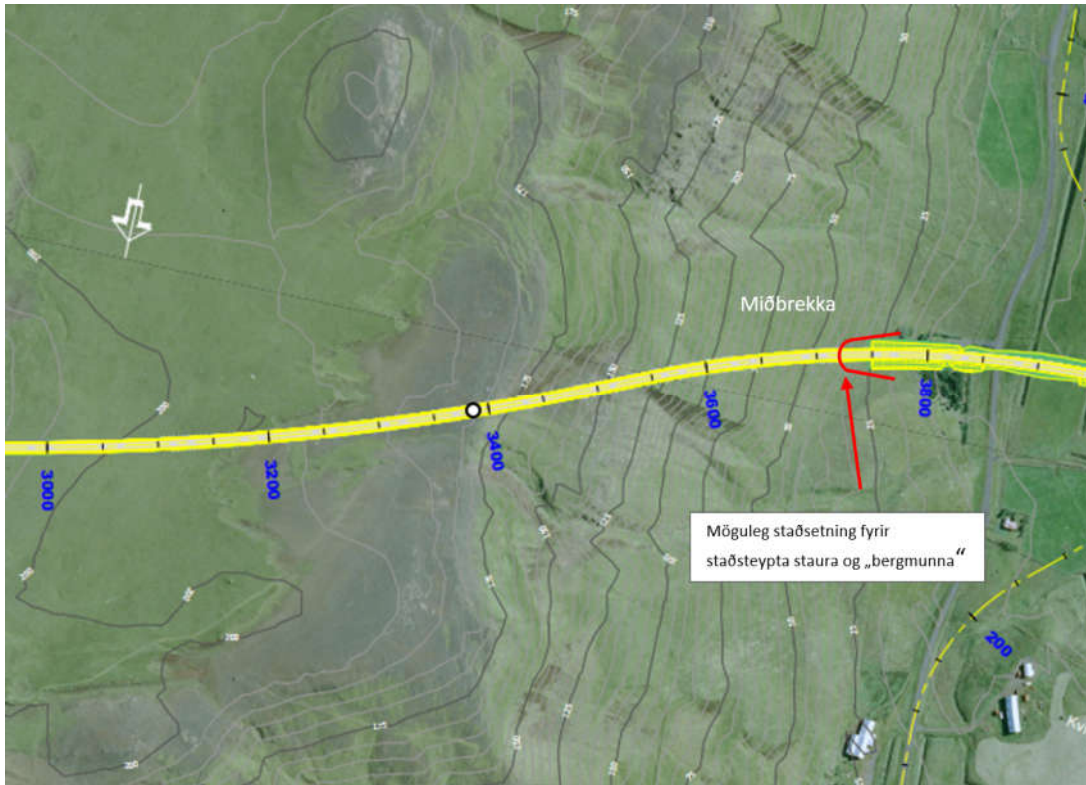
3.1 Vestari gangamunni og forskering

Þykkt lausra jarðlaga í hlíðinni við vestari gangamunna er nokkuð mikill og útfrá borunum virðist efsti hluti berggrunns illa samlímdur og veikur. Hlíðin er einnig mjög há og því þörf á miklum útgreftri til að útbúa forskeringu fyrir sjálfan gangagröftinn ef einungis yrði grafið án styrkingu veggja með þili eða stoðveggjum. Til að lágmarka útgröft og tryggja stöðuleika í fláum er talin þörf á stoðveggjum áður en gangagröftur hefst. Við aðstæður eins og við Miðbrekku er möguleiki að notast við staðsteypta staura (e. secant piles) sem steyptir yrðu frá yfirborði og niður undir veghæð.

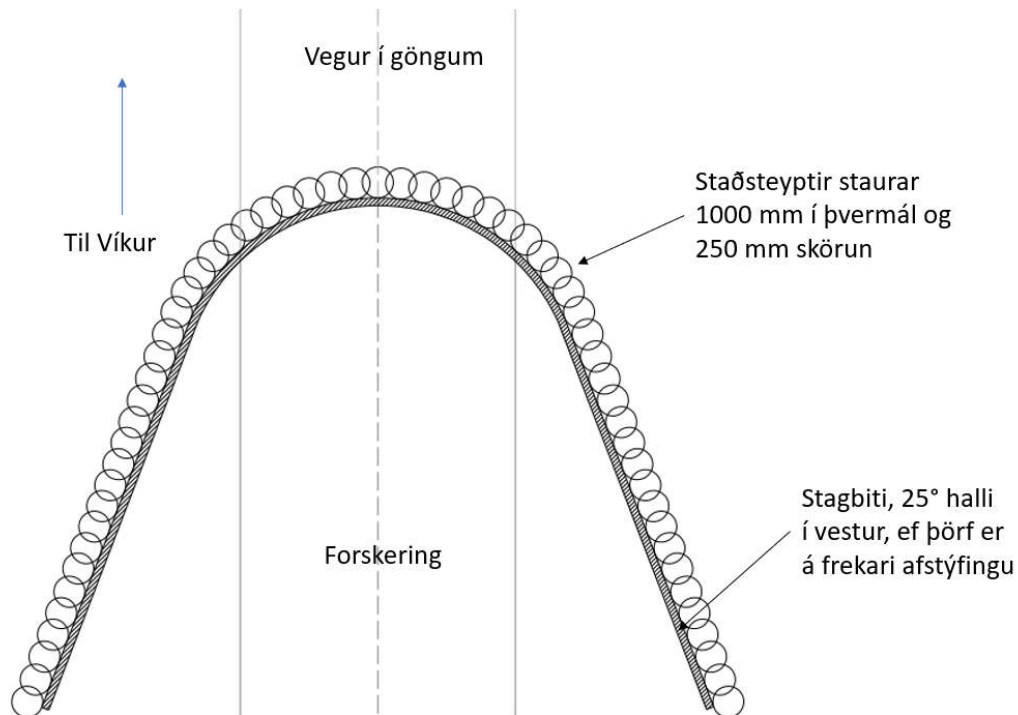
Staðsteyptir staurar eru að venju settir í beina línu, álíka og sponspil, til að styðja við graftarveggi en einnig eru dæmi um að þeir séu settir í boga eða hring, þá án afstýfingar með stögum. Við forskerinu á þessu svæði væri hægt að steypa staura í hálfhring við gangamunna og síðan í vængi sitthvoru megin við veglínu til að halda við hálfhringinn. Þannig væri ekki þörf á afstýfingu með stögum eða bergankerum. Ef þörf væri á frekari afstýfingu væri hægt að setja stagbita frá toppi ganga og skáhalt niður eins og sýnt er á Mynd 12. Til að fá nægilegt pláss fyrir styrkingar við göng má gera ráð fyrir að þekja við gangamunna verði um 5-8 m.



Mynd 10. Möguleg staðsetning "bergmunna" við vestari gangamunna (snið).



Mynd 11. Möguleg staðsetning "bergmunna" við vestari gangamunna (plan).



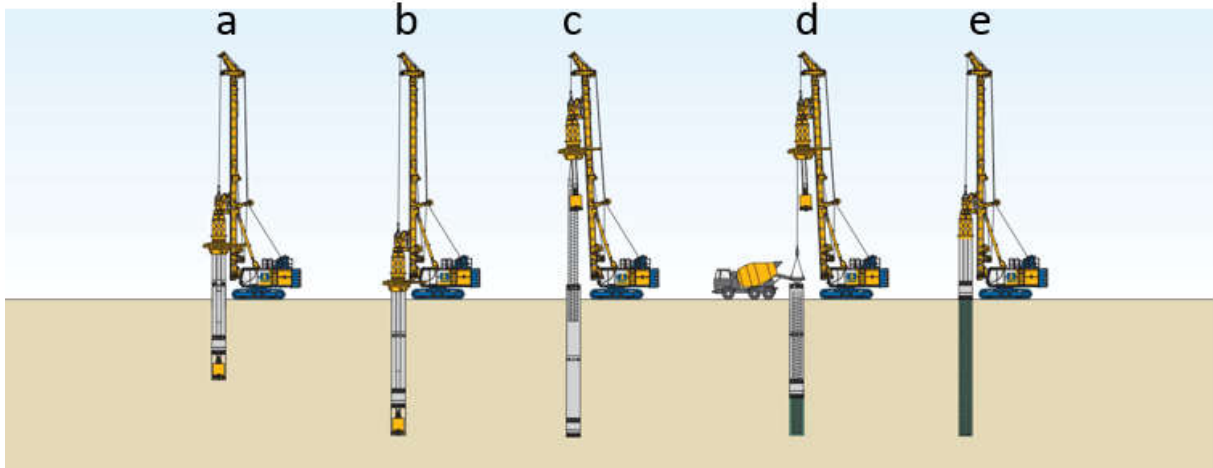
Mynd 12. Forskering með staðsteyptum staurum í stoðvegg.

Stauraveggurinn yrði byggður upp þannig að gera þarf aðkomu að línunni og steypur leiðiveggur eða sniðmát til tryggja rétta staðsetningu einstaka staura (Mynd 15). Borað er niður á hönnunardýpi með fóðringu og sjálfur staurinn steypur eftir að hreinsað hefur verið úr holunni. Fóðring er dregin upp áður en steypan harðnar. Veggurinn er unnin í tveimur þrepum, fyrra þrep (no. primær) og seinna þrep



(no.sekundær) þar sem annar hver staur tilheyrir sama þrepi. Fyrst eru staurar í fyrri þrepi steiptir og síðar seinni staurar, þá settir þannig að þeir skarist við (boraðir að hluta inn í) fyrri stauranna. Ef þörf er á stífum veggjum er möguleiki á að setja niður járngrind í holur í seinna þrepi áður en staurinn er steiptur (Mynd 15). Aðferðinni er í grófum dráttum lýst á Mynd 13.

Þvermál staðsteypta staura eru að venju á bilinu 800 til 1200 mm og með 200-250 mm skörun.



Mynd 13. Aðferð við staðsteypta staura [2]. [a-b] borað niður á hönnunardýpi með fóðringu, jarðvegur tekin út. Borstrengur dreginn upp og fóðring stendur í holunni. Járngrind er síðan sett niður í holu [c] (Seinni umferð) og steipt [d]. Að lokum er fóðringin dregin upp áður en steypan er fullhörðnuð [e].



Mynd 14. Bortæki og borkróna með 1080 mm þvermál [3].



Mynd 15. T.v. járngrind með ásoðnum rörum til að setja niður bolta við botn staura. T.h. sniðmát fyrir borun til að tryggja rétta staðsetningu, hér 250 mm skörun [3].



Mynd 16. Dæmi um staðsteypta staura, hér niður á 22 m dýpi við Midgardsormen verkefnið í Osló [4].



3.2 Gangamunni og forskering við Vík

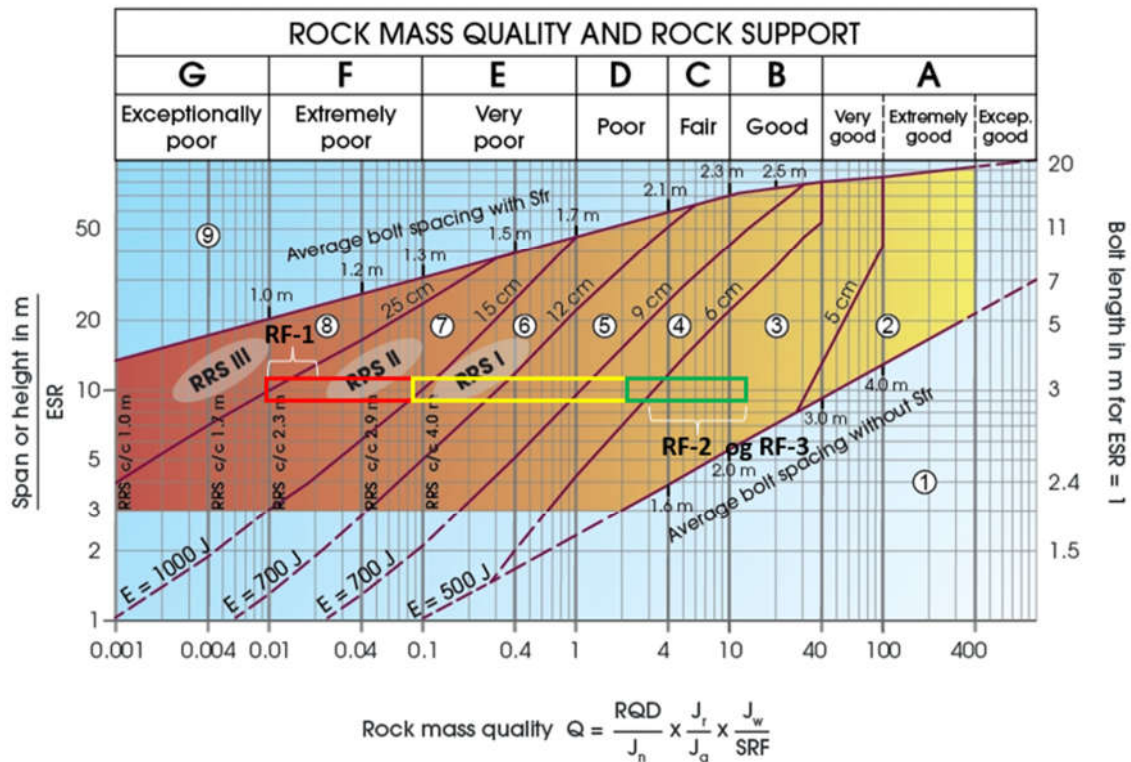
Aðstæður við eystri gangamunna er mun ljósari þar sem berggrunnur er vel sjáanlegur í áætlaðri gangahæð. Hér er möguleiki á hefðbundinni jarðgangagerð með minni háttar greftri við gangamunna. Áður en vinna hefst er talin þörf á að yfirfara fjallshlíðina fyrir ofan veglínuna til að kortleggja hvort þörf sé á að hreinsa niður eða styrkja lausar bergblokkir. Ráðlegt er að meta betur, með nánari kortlagningu, stöðugleika svæðisins og þá greiningu á mögulegum hrunferlum við hugsanlegt hrun og hvernig grjótið myndi dreifast niður eða fjallshlíðina og jörðina fyrir neðan með aðstoð forrita. Meðal annars væri hægt að notast við forritið RAMMS sem býður upp á þrívíddargreiningu á grjóthruni [5]. Hægt væri að hliðra legu gangamunna með tilliti til niðurstaða slíkrar greiningar þannig að sem minnstar líkur væru á grjóthruni á veglínunni. Hanna yrði vegskála og varnir með tilliti til hugsanlegrar stærðar steinblokka og afls við árekstur. Til að tryggja vinnuöryggi væri þörf á hrunvörnum með fangnetum og boltun ofan við gangamunna.



4 Gangagerð og bergstyrkingar

4.1 Almennt um bergstyrkingar

Við gróft mat á styrkingarþörf í berggöngum er notast við Q-kerfið. Uppröðun og dreifing Q-gilda miðað við kortlagningu á borkjarna og á yfirborði er sýnt á styrkingarlínuriti Q kerfisins á Mynd 17. Áætlað Q-gildi við gangadýpi í borkjarnum er sýnt og áætluð dreifing Q-gildis á gangaleið miðað við gangagröft í brotna móbergsbreksíu (rautt), heillega móbergsbreksíu (gult) og smástuðlað basalt (grænt).



Mynd 17. Q-gildi í borholum á gangadýpi og áætluð dreifing Q gilda á gangaleið.

Mikil óvissa er um eiginlega dreifingu berggæða og lengd í hverjum flokki á gangaleiðinni, en við gróft mat á berggæðum og berggerðum er gangaleið skipt upp í þrjá mismunandi styrkingarflokka.

Tafla 2. Yfirlit yfir Q gildi og áætlaða gangalengd og bergstyrkingum í hverjum flokki

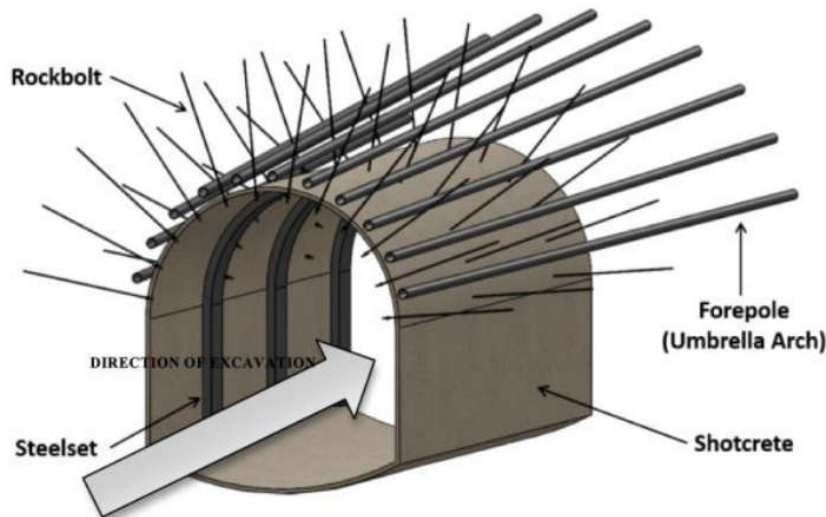
Bergtegund	Q-gildi	Gangalengd	Boltun	Sprautusteypa
Basalt, kubbaberg	2,5 – 13	820	1,7 – 2,0	8-10 cm
Móbergsbreksía	0,3 – 2,0	200	1,3 x 1,7	12-15 cm
Illa samlímd breksía*	0,01 – 0,02	225	1,0 x 1,0	20 cm

*Einnig má búast við sprautusteypubogum/grindarbogum og rörbogum á þessu svæði.

4.2 Styrkingar í brotnu og illa samlímdri móbergsbreksíu

Við gangagerð í lausum jarðlögum og mjög lélegu bergi (Q-gildi lakari en 0,02) yfir lengri kafla, er talin þörf á þyngri bergstyrkingum en mælt er með samkvæmt Q-kerfinu [6]. Meðal þekktra aðferða eru meðal annars rörbogar (en. umbrella arch), þrýstigrautun (en. jet-grouting) eða jafnvel frysta svæðið umhverfis gangasniðið. Hið síðastnefnda hefur meðal annars verið notað við gangagerð í gegnum misgengsbrotaberg við nokkur veggöng í Noregi en hefur verið notað í undantekningartilfellum.

Styrkingar með rörbogum er þekkt aðferð við gangagerð í lausum jarðlögum, meðal annars á Ítalíu og í Frakklandi, og gæti verið hentug aðferð við gangagerð við aðstæður eins og gera má ráð fyrir í vestasta hluta Reynisfjalls. Aðferðin byggist í grófum dráttum á því að löng rör eða fóðringar (10-15 m að lengd) með 75 til 140 mm þvermál og 5-7 mm stálþykkt eru boruð í bogaform fram í stafninn í þaki ganganna. Tilgangur röranna er að viðhalda bogavirkni í þaki ganganna áður en aðrar styrkingar eru settar upp. Rörin eru götuð þannig að hægt er að sementsgrauta með litlum þrýsting (1-10 bar). Tilgangurinn með sementsgrautun er að þétta sprungur og styrkja jarðlögin milli röranna. Reynsla frá tilsvarendi gangagerð við Joberget í Noregi sýndi þó að óvíst var hversu mikið af sementsgraut náði út í bergið, annað en að fylla upp sjálf rörin [7]



Mynd 18. Dæmi um styrkingar með rörskerm, stálbogum, bergboltum og sprautusteypu [8]. Dæmigerð þver- og langsnið fyrir rörskerm eru sýnd á Mynd 19 og Mynd 20.

Til að styðja við rörbogana í sjálfu gangasniðinu er þörf á grindarbogum (en. lattice girders) eða öðru sambærilegu kerfi. Grindarbogar eru taldir hentugir því bæði þversnið og lögun boganna er hægt að fella að kennisniði jarðganganna og eru þeir samsettir áður en þeir eru settir upp í göngunum. Grindarbogar hafa meðal annars verið notaðir við styrkingar á lélegu bergi í íslenskum veggöngum síðustu ár.

Á milli bogana er notast við trefjablandaða sprautusteypu, jafnvel vírnet (en. wiremesh) og þá ótrefjablandaðri sprautusteypu ef jarðefnin eru mjög laus.

Við mjög lélegar aðstæður gæti einnig orðið þörf fyrir eftirfarandi ráðstafanir:

- Leiða vatn framhjá stafni ganganna eða grauta jarðlög framfyrir stafninn (ólíklegt þar sem grunnvatnsstaða er mjög lág).
- Skipta þversniði ganganna upp í minni þversnið og þá setja upp styrkingar á milli þeirra þegar þau eru grafin út.
- Steypa gólf ganganna milli veggja þannig að það náist afstýfing milli neðsta hluta gangaveggja.
- Kerfisbundnar styrkingar í stafni með bergboltum og sprautusteypu.

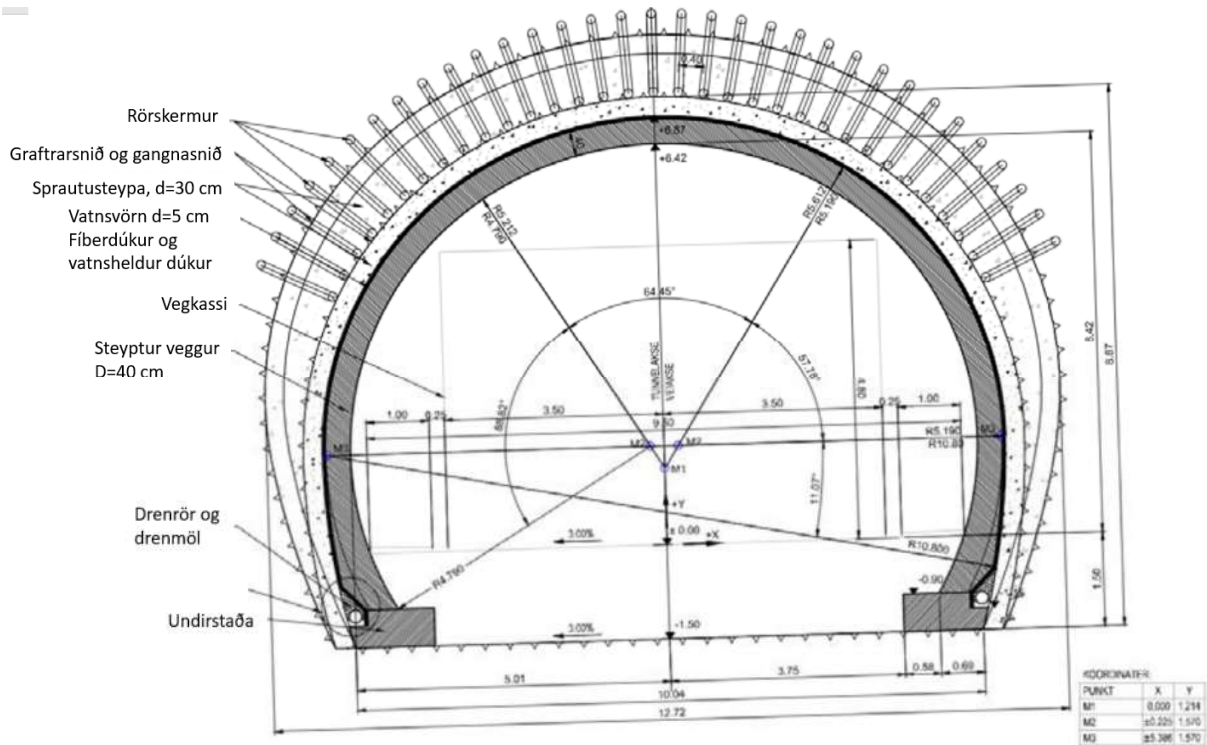


Ekki er vitað með vissu um grunnvatnshæð á öllu svæðinu en hún er mæld mjög lág. Með grunnvatn í grafrarhæð aukast líkur verulega á að taka þurfi til einhverra þeirra ráðstafanna sem nefndar eru hér að ofan.

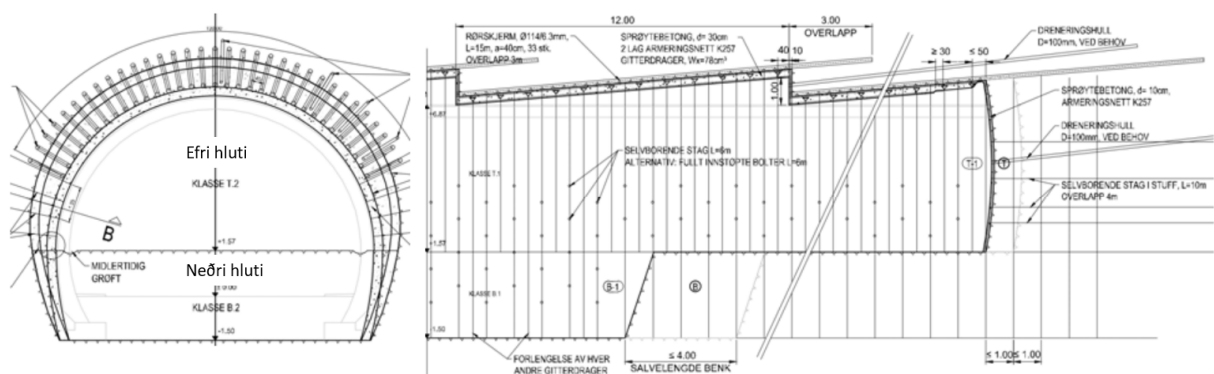
Lengd hverjar færú, áður en styrkingar eru settar upp, eru háðar berggæðum og hvaða styrkingar er notast við. Algengt grafrarlengd í hverri færú, við samskonar aðstæður, eru 1,0 til 2,0 m. Við uppsetningu á rörboga er mögulegt að notast við sama borvagn og notaður er við hefðbundna gangagerð, þá með minniháttar breytingum á borarmi [9]. Graftarhraði er mjög háður stöðuleika bergrunnins en ætla má að hann gæti orðið um 1 - 1,5 m á sólahring [10] [11].

Við sjálfan gangagröftinn er hægt að nota skurðgröfu útbúna með skóflu, fleyg og „ripper“.

Vegna þess hversu berggrunnur er lélegur má gera ráð fyrir að skipta þurfi upp gangasniðinu í a.m.k. tvennt, þá með efri hluta grafinn og styrktan áður en neðri hluti er grafinn út.



Mynd 19. Dæmi um þversnið ganga með rörboga [11]. Hér sambærilegt T10,5 sniði.



Mynd 20. Dæmi um langsnið ganga með rörboga, hér er þversniði skipt í efri og neðri hluta [11] vegna lélegra berggæða.



Mynd 21. Endi rörs/fóðringar, með skó og borkrónu (gul) sem hægt er að draga til baka [11].

4.3 Heilleg móbergsbreksía og basalt smástuðlað/kubbaberg

Gert er ráð fyrir að hægt verði að grafa/sprengja í gegnum heillega hluta móbergsbreksíunnar og basaltið með hefðbundnari aðferðum. Miðað við Q-kerfið má miða við boltapéttleika upp á 1,7-2,0 m í basalti og 8 cm þykka sprautusteypu í veggjum og þaki ganganna. Í móbergsbreksíu yrði þéttleiki bergbolta 1,3 til 1,7 m og þykkt sprautusteypu 12-15 cm.

Mögulega verður þörf á forboltum og sprautusteypubogum eða grindarvogum á einhverjum svæðum þar sem berggæði eru lág, þá sér í lagi í gegnum móbergsbreksíuna.

Með forboltun eru settir 6-8 m boltar ($\varnothing 32$ mm þvermál) framfyrir stafninn í um 10-15° stefnu frá stefnu ganganna. Vegna þess hvað boltarnir liggja nálægt gangasniðinu er í raun hægt að tala hér um tímabundna styrkingu þar sem megintilgangur er að halda gangasniðinu í þaki ganganna þar til að hægt er að styrkja bergið frekar með boltun, sprautusteypu og jafnvel sprautusteypubogum.

Þar sem krafist er þungra bergstyrkinga í göngum er oftast einnig þörf á styttri færum og jafnvel skipta gangasniðinu upp í minni þversnið.



5 Kostnaðaráætlun

Með hliðsjón af jarðfræði svæðisins og aðferðarfræði eins og lýst er í köflum 3 og 4 hefur verið gerð gróf kostnaðaráætlun fyrir veggöngin þar sem eftirfarandi þættir hafa verið skoðaðir:

- Forskering Miðbrekka, með staðsteyptum staurum.
- Forskering Vík, með skrotun í fjallshlíð og uppsetningu fangneta fyrir grjóthrun
- Vatns- og frostvarnir
- Jarðgangagerð, gröftur, bergstyrkingar, bergþétting
- Vegskálar
- Vegagerð
- Búnaður, raflögn og lýsing, loftræsing, öryggisbúnaður

Þar sem eiginlegar jarðfræðilegar aðstæður á gangaleið eru enn nokkuð óþekktar, hefur kostnaðaráætlun fyrir gangagerð verið skipt niður í þrjá flokka eftir berggerð og áætluðum berggæðum. Tekið er mið af berggæðaflokkum sem skilgreindir eru í kafla 4.1.

Samantekt á kostnaðarmati má sjá í töflu 3.

Tafla 3. Yfirlit yfir áætlaðan kostnað fyrir veggöng undir Reynisfjall, verð eru með VSK.

Verkþáttur	Áætlað verð (MISK)
Aðstaða verktaka	150
Forskering Miðbrekka	210
Forskering Vík	60
Veggöng, basalt	1.830
Veggöng, heilleg breksía	600
Veggöng, m grindarvogum	2.310
Vegskáli Miðbrekka	230
Vegskáli Vík	100
Vatns- og frostvarnir	315
Vegagerð í göngum	410
Búnaður	340
Heild	6.555
Annar kostnaður	
Hönnun og umsjón, 10%	656
Verkkaupi, 10%	656
Ófyrirséð, 35%	2.753
Heild	4.064
Samtals (MISK)	10.619



6 Heimildir

- [1] VSÓ Ráðgjöf, „Færsla hringvegjar (1-B2_B4) í Mýrdal - Drög að matsáætlun,“ Vegagerðin, Reykjavík, 2020.
- [2] Bauer Spezialtiefbau GmbH, „Bauer Bored piles,“ Bauer, Schorbenhausen, Germany, 2018.
- [3] T. Føyn, „Avløpsprosjektet Midgardsormen - Sekantpeler brukt som avstiving av 25 m dyp sjakt i kvikkleire,“ í *Fjellsprengningsteknikk, Bergmekanikk/geoteknikk*, Oslo, 2011.
- [4] Norconsult, „Prosjekter, Midgardsormen,“ Norconsult, 2015. [Á neti]. Available: <https://www.norconsult.no/prosjekter/midgardsormen/>. [Skoðað 20 Október 2021].
- [5] SLV, „Ramms - rapit mass movements,“ SLV, 2010. [Á neti]. Available: https://ramms.slv.ch/ramms/index.php?option=com_content&view=article&id=66&Itemid=93. [Skoðað 10 09 2021].
- [6] Norsk forening for fjellsprengningsteknikk, „Tung bergsikring i undergrunnsanlegg, Håndbok nr. 05,“ NFF, Oslo, 2008.
- [7] B. A. Asgeir S. Gylland, „E39 Joberget løsmassetunnel - Rørskjerm, Erfaringsrapport,“ Statens Vegvesen, Oslo, 2017.
- [8] N. V. & B. Forbes, „The development and in-situ use of fiber optic continuous strain monitoring for tunnel support elements,“ í *XCII ECSMGE-2019*, Reykjavík, 2019.
- [9] D. Underground, Ground Control Solutions, Linz, Austria: DSI Underground Austria GmbH, 2016.
- [10] E. S. I Ocak, „Comparison of NATM and umbrella arch method in terms of cost, competition time, and deformation,“ *Arabian Journal of Geosciences*, 2017.
- [11] B. A. e. al., „Vellykket driving av 100 m løsmassetunnel RV.13 Jobergtunnelen,“ í *Fjellsprengningskonferansen 2016*, Oslo, 2016.
- [12] Verkís, „Jarðfræði Reynisfjalls,“ Verkís, Reykjavík, 2021.
- [13] NGI, „Bruk av Q-systemet, håndbok,“ NGI, Oslo, 2015.