

Haut 2024



Könnun á fýsileika Vestmannaeyjaganga

Skýrsla starfshóps

Útgefandi:

Stjórnarráð Íslands – innviðaráðuneyti

Könnun á fýsileika Vestmannaeyjaganga

Haust 2024

Textavinnsla:

Starfshópur um könnun á fýsileika jarðganga milli lands og Vestmannaeyja

Umbrot:

Stjórnarráð Íslands

©2024 Stjórnarráð Íslands

Efnisyfirlit

1. Inngangur	5
2. Niðurstaða starfshóps.....	6
3. Samfélagslegur ávinningur jarðganga	7
3.1 Tímasparnaður vegfarenda.....	7
3.2 Tíðni og öryggi samgangna	7
3.3 Aðgangur að þjónustu og sameinað atvinnusvæði	7
3.4 Afköst og rekstraröryggi veitna.....	7
3.5 Öryggi vegfarenda.....	8
3.6 Samfélag og byggðapróun	8
4. Leið jarðganga á milli lands og Eyja	9
5. Eldri skýrslur um jarðgangagerð á milli lands og Eyja.....	10
6. Jarðvá við Vestmannaeyjar	12
7. Tekjur og rekstrarkostnaður samgangna á milli lands og Eyja	13
7.1 Tekjur og hagræðing.....	14
7.2 Rekstrarkostnaður	14
7.3 Sviðsmynd af rekstrarafkomu	14
8. Stofnkostnaður og aðferðir við borun jarðganga	15
8.1 Valkostir við byggingu Vestmannaeyjaganga.....	16
8.2 Mat á fýsileika sem byggir á rannsóknum.....	17
8.3 Tillaga starfshóps um rannsókn á jarðlögum.....	17
9. Bygging Vestmannaeyjaganga	19
9.1 Fýsileiki metinn - rannsókn á jarðlögum	19
9.2 Umsjón með verkefninu	19
9.3 Forhönnun og útboðsrannsóknir	19

9.4	Samningar um fjármögnun.....	19
9.5	Útboð og framkvæmd	20
10.	Lokaorð	21
11.	Heimildir	22
12.	Viðaukar	23

1. Inngangur

Innviðaráðherra skipaði starfshóp í september 2023 um fýsileika jarðganga á milli lands og Eyja. Hlutverk hópsins er að setja fram sviðsmyndir um mismunandi útfærslur jarðganga og meta arðsemi framkvæmdarinnar. Þá var starfshópnum falið að leggja fram og kostnaðarmeta áætlun um þær jarðfræðilegu rannsóknir, sem og aðrar rannsóknir, sem framkvæma þarf, svo unnt verði að leggja endanlegt mat á fýsileika framkvæmdarinnar.

Í starfshópnum sátu þau Kristín Jónsdóttir (formaður) og Freysteinn Sigmundsson, bæði tilnefnd af ráðherra, Gylfi Sigfússon, tilnefndur af Vestmannaeyjabæ, Freyr Pálsson, tilnefndur af Vegagerðinni og Anton Kári Halldórsson, tilnefndur af Rangárþingi eystra. Björn Ágúst Björnsson starfaði með hópnunum.

2. Niðurstaða starfshóps

Það er niðurstaða starfshópsins að vinna þurfi þrepaskipta rannsókn á jarðlögum og hafsbótmi á fyrirhugaðri gangaleið áður en unnt er að leggja fram nýtt mat á stofnkostnaði og fýsileika jarðganga.

Sýnt þykir að ávinningur af framkvæmdinni er mikill, ekki síst vegna mikils tímasparnaðar vegfarenda og aukinnar umferðar ferðamanna. Veggjöld geta staðið undir kostnaði við mannvirkni í heild eða að hluta.

3. Samfélagslegur ávinningur jarðganga

Auk ávinnings vegna tímasparnaðar og fjölgunar ferðamanna til Eyja mun mannvirkni hafa ýmis önnur jákvæð áhrif. Víðir Þorvarðarson tók til skoðunar arðsemi jarðganga í MS-ritgerð sinni um kostnaðar- og ábatagreiningu vegtengingar á milli lands og Eyja [1]. Helstu þættir ávinnings eru hér til umfjöllunar.

3.1 Tímasparnaður vegfarenda

Aksturstími um Vestmannaeyjagöng er um 20 mín en ferð um Landeyjarhöfn með biðtíma tekur um 75 mín. Tímasparnaður vegfaranda er því um klukkustund í hverri ferð. Ef siglt er til Þorlákshafnar bætist ein klukkustund til viðbótar við ferðatíma og tímasparnaður vegfaranda verður meiri.

Árið 2023 flutti Herjólfur 412 þús. farþega en með tilkomu jarðganga má gera ráð fyrir fjölgun ferðamanna til Eyja. Ef fjöldi vegfarenda um göng verður 1 milljón á ári og tímavirði hvers er 3.000 kr.- er heildartímasparnaður metinn á 3.000 millj. kr.- á ári.

3.2 Tíðni og öryggi samgangna

Íbúar Vestmannaeyja sem hyggja á ferðir vegna lækniþjónustu eða utanlandsferða dvelja lengur uppi á landi en þörf væri á ef samgöngur væru öruggar. Ferðalangar á leið til og frá Vestmannaeyjum þurfa í dag að treysta á veður sem oft og tíðum heftir samgöngur, auk ýmissa annarra hindrana í rekstri ferjunnar Dulinn biðtími á brottfararstað leiðir til aukins kostnaðar fyrir vegfaranda m.a. vegna kaupa á gistingu. Má draga þá ályktun að þessi atriði letji ferðamenn til að heimsækja Vestmannaeyjar. Óheftar samgöngur um jarðgöng munu breyta þessu með varanlegum hætti.

3.3 Aðgangur að þjónustu og sameinað atvinnusvæði

Jarðgöng munu tengja saman Suðurland og Vestmannaeyjar í eitt atvinnu- og þjónustusvæði. Eyjamenn fá t.a.m. aðgang að sjúkrahússþjónustu og Rangæingar fá aðgang að höfn. Íbúar á svæðinu geta án vandkvæða sótt störf í Eyjum eða á landi. Vegtenging Eyja er einnig til hagsbóta fyrir útflytjendur ferskra afurða sem í vaxandi mæli flytja vörur ferskar til útflutnings frá Þorlákshöfn eða Reykjavík með skipum. Jarðgöng munu að öllum líkindum leiða til verulegra samfélagslegra breytinga í atvinnumynstri og lífsgæðum.

3.4 Afköst og rekstraröryggi veitna

Rafmagn, kalt vatn og fjarskiptagögn er flutt um neðan-sjávarlagnir til Eyja. Afköst þessara veitna og rekstraröryggi eru sífellt til skoðunar og kostnaður við flutning er umtalsverður.

Með tilkomu jarðganga opnast ný og öruggari lagnaleið fyrir Eyjar. Afköst veitna og rekstraröryggi getur því orðið eins og best verður á kosið eftir tilkomu jarðganga.

3.5 Öryggi vegfarenda

Akstur á Íslandi eykst um u.þ.b. 7 millj. km á ári eftir opnun jarðganga eða um tæplega 0,2%. Í göngum er leyfilegur hámarkshraði lægri en á þjóðvegum almennt og fylgst er með meðalhraða ökutækja með myndavélakerfi. Þar sem samfélagslegur slysakostnaður er almennt liðlega 10 kr.- per ekinn km¹ má ætla að samfélagslegur slysakostnaður í umferð aukist um 50-70 millj. kr.- á ári eftir opnun jarðganganna.

Ljóst er að gera þarf sérstaka greiningu á áhættu vegfarenda í Vestmannaeyjagöngum enda eru jarðgöngin löng og ekki er um að ræða aðrar flóttaleiðir en út um munna þeirra. Reglugerð nr. 895/2021 um öryggiskröfur fyrir jarðgöng lýsir þeim öryggisráðstöfunum sem farið er fram á, á evrópska efnahagssvæðinu. Þar er fjallað um áhættugreiningu í 9. grein og í viðauka 1.1.3 um áhættugreiningu fyrir jarðgöng með sérstök einkenni.

3.6 Samfélag og byggðapróun

Vestmannaeyjagöng munu hafa mikil áhrif á samfélagið í Eyjum og einnig á hagi Rangæinga. Í skýrslu Hagfræðistofnunar HÍ er m.a. fjallað um áhrif á fasteignaverð í Heimaey [11]. Þá er einnig að finna umfjöllun um fasteignaverð í ritgerð Víðis Þorvarðarsonar [1].

Í skýrslu Hagfræðistofnunar er þess einnig getið að aukinn hreyfanleiki vinnuafis getur dregið úr staðbundnu atvinnuleysi. Skoða þarf sérstaklega áhrif framkvæmdarinnar á atvinnutækifæri og aðgang að þjónustu.

Ljóst er að vegtenging gerir ferðamönnum auðvelt um vik að heimsækja Eyjar án þess að bóka þangað sérstaka ferð. Fleiri ferðamenn munu njóta þar einstakrar náttúru og þjónustuaðilar í Eyjum munu, ef að líkum lætur, vaxa og dafna í takt við fjölgun gesta.

Suðurland er sá landshluti þar sem íbúum fjölgaði hvað hraðast á Íslandi síðustu tvo áratugi. Sú þróun nær þó enn sem komið er ekki til Vestmannaeyja, en íbúafjöldi þar hefur staðið í stað á þessari öld². Með tilkomu jarðganga má búast við því að íbúum í Eyjum fjölgi á ný vegna aukinna umsvifa sem vænta má vegna bættra samgangna. Fjölgun íbúa í sveitarfélagi eykur hagkvæmni jafnt í opinberum rekstri sem og í rekstri fyrirtækja á svæðinu. Auk þess má draga þá ályktun að fjölgun íbúa og gesta stuðli að fjölbreytni í félags- og menningarlífi.

¹ Umferðaröryggisáætlun 2023 til 2037 - sjá yfirmarkmið 3 á bls.7

² Sjá Hagstofa.is: Íbúar

4. Leið jarðganga á milli lands og Eyja

Árið 2005 vann ÍSOR skýrslu um berggrunn á hugsanlegri jarðgangaleið á milli lands og Eyja [9]. Árið 1980 hafði Hreinn Haraldsson, fyrrum yfirmaður jarðgangadeildar Vegagerðarinnar og síðar vegamálastjóri, ásamt öðrum kannað hvar grynnt er niður á berg í Landeyjum. Í ljós kom að við bæinn Kross mældust um 40-50m m niður á berg en víðast annars staðar er mun þykkara lag af sandi ofan á berginu. Í stuttu máli staðfesti rannsókn ÍSOR í Austur-Landeyjum að grynnt er á berggrunn á svæðinu vestur af Krossi, 35 til 40 m. Ályktanir ÍSOR voru m.a. þær að a) jarðgöng sem lægju á milli Kross í A-Landeyjum og Heimaeyjar gætu á drjúgum hluta leiðarinnar legið í blöndu af bergi úr setlögum, móbergi og basalthraunum og b) að á þeim hluta jarðganganna sem næst lægi Heimaey þyrftu þau að fara í gegnum um 200 m þykka óreglulega jarðmyndun úr móbergi, túffi og bólstrabergi með lausum sandlinsum inn á milli. Hluti þessara jarðmyndana er bæði hrungjarn og lekur.

ÍSOR benti á það að undirbúningur verkhönnunar jarðganga á þessum stað kallaði á nálgun sem er miðuð að jarðfræðilegum aðstæðum enda er ekki um að ræða dæmigerðan basalthraunlagastafla eins og er að finna t.d. í Hvalfirði eða Færeyjum.

5. Eldri skýrslur um jarðgangagerð á milli lands og Eyja

Alþingi samþykkti vorið 1998 að gera forathugun á fýsileika Vestmannaeyjaganga. Vegagerðinni var falið að framkvæma þessa könnun m.a. á möguleika á flotgöngum. Björn A. Harðarson jarðverkfræðingur og Hreinn Haraldsson unnu að verkinu. Í álitum Vegagerðarinnar kemur fram að á þessum tíma var verið talið ótímabært vegna kostnaðar og áhættu. Með aukinni þekkingu á sviði jarðgangagerðar og bættum efnahag þjóðarinnar gæti sú staða þó breyst. Bent er á að nauðsynlegt sé að auka þekkingu á jarðfræði svæðisins til að auka skilning á áhættu í verkefninu [13].

Vegagerðin fékk árið 2003 ráðgjafafyrirtækið Mott MacDonald til að gera forathugun á fýsileika jarðganga til Vestmannaeyja. Þar er farið yfir eldri jarðfræðirannsóknir á svæðinu og fjallað um hugsanlega gerð, hönnunareiginleika og byggingaraðferð jarðganga. Þar kom fram að helsta áhættan í verkefninu tengist skorti á upplýsingum um jarðfræði á gangaleið. Fjallað er um kostnað við byggingu jarðganga með fremur almennum hætti í lok skýrslunnar sem kom út árið 2004 [10].

Ægisdyr, félag áhugamanna um jarðgöng milli lands og Eyja gerði samning við Hagfræðistofnun Háskóla Íslands árið 2003 um mat á þjóðhagslegum áhrifum jarðganga með aðferðum kostnaðar- og ábatagreiningar. Skýrsla stofnunarinnar kom út í apríl árið 2004 en þar er að finna góða umfjöllun um helstu þætti ávinnings og kostnaðar [11].

Í kjölfar útgáfu skýrslu ISOR árið 2005 fékk Vegagerðin sérfræðinga frá Geotek og Sintef til að fara yfir fyrirliggjandi rannsóknargögn og gera grein fyrir aðstæðum til jarðgangagerðar. Skýrsla þeirra kom út í janúar árið 2006 [8] en þar kemur fram að jarðfræðilegar aðstæður séu ólíkar þeim sem eru í öllum veggöngum á Íslandi, m.a. hvað varðar aldur bergsins og þéttleika. Bent er á að gera þurfi kostnaðarsamar jarðlagarannsóknir áður en verkhönnun fer fram. Áhættuþættir í gangagreftrinum voru taldir: Mjög laust berg, mikið innrennsli vatns/jarðsjávar og jafnvel jarðhiti. Ekki var talið þjóna tilgangi að gera sundurliðaða kostnaðaráætlun fyrir hugsanlega framkvæmd en í þessari skýrslu er töluvert fjallað um högun verksins, jarðlagarannsóknir og mögulegar borunaraðferðir. Kostnaður við framkvæmdina er talinn vera hár og mikilli óvissu háður vegna skorts á upplýsingum um jarðlög á leiðinni.

Ægisdyr létu einnig vinna skýrslu um gerð jarðganga árið 2006. Skýrslan var unnin af ráðgjafafyrirtækinu Multiconsult [7] og þar kom fram að kostnaður við byggingu jarðganga væri mögulega lægri en tilgreint var í öðrum skýrslum. Multiconsult taldi bergið vera „moderate strong rock“ og basaltlög sem er í andstöðu við niðurstöðu skýrslu ISOR frá árinu 2005. Einnig tiltekur Multiconsult að vatnsleki inn í göngin verði hóflegur. Multiconsult vitnar ekki í vinnu

tækniráðgjafanna sem áður unnu að málinu á undan þeim, þ.e. Mott MacDonald og Sintef/Geotek.

Árið 2007 fól Vegagerðin Verkfræðistofu Sigurðar Thoroddsen (VST) að leggja mat við kostnað við gerð jarðganga sem veltengingu á milli lands og Eyja [6]. Verkefnið var unnið með hliðsjón af skýrslu Mott MacDonald frá árinu 2004. Í samantekt segir að áætlun heildarkostnaðar ráðist að verulegu leyti af því hversu mikið muni þurfa að heilsteypa göngin til þess að tryggja annars vegar viðunandi öryggi í göngunum og hins vegar að takmarka vatnsrennsli inn í þau. Síðan segir:

„Meginniðurstöður okkar eru að líklega sé unnt að gera göng þarna þótt áhættan sé mikil. Vegna þessa álitum við tæpast annað en hefðbundna gangagerð, þ.e. borun og sprengingar, koma til álita, þótt framkvæmdirnar tækju að óbreyttu skemmri tíma yrðu göngin grafin með jarðgangaborvél (TBM) og þá svo fremi að ekkert sérstakt yrði t.p.a. tefja þær.“

Mat VST (árið 2007) á verktakakostnaði vegna Vestmannaeyjaganga, uppfært til ársins 2024 m.v. byggingavísitölu, var eftirfarandi:

- Göng steypufóðruð á 3ja km kafla: 125 ma. kr.- (7 ma. kr.- per km)
- Göng steypufóðruð alla leið: 200 ma. kr.- (11 ma. kr.- per km)

6. Jarðvá við Vestmannaeyjar

Ekki hefur verið framkvæmt áhættumat vegna jarðvár fyrir verkefnið. Eldvirkni í Vestmannaeyjum og á hafsbotninum í kringum þær einkennist almennt af löngum endurkomutíma á milli þekktra eldvirknitímabila, en eldvirkni á svæðinu og uppbyggingu Vestmannaeyja er t.d. lýst í kafla Ármanns Höskuldssonar o.fl. um Eldstöðvar í sjó í bókinni Náttúruvá á Íslandi, Eldgos og jarðskjálftar sem kom út árið 2013 [5]. Fyrir Heimaeyjargosið árið 1973 liðu árpúsundir með engri eldvirkni í Heimaey. Umbrot urðu þar fyrir um 6.000 árum þegar gaus í Helgafelli og hraunið frá þeirri eldstöð þekur stóran hluta Heimaeyjar. Heimaeyjargosið 1973 fylgdi svo Surtseyjargosinu 1963-1967. Síðan er liðin meir en hálf öld. Engar vísbendingar hafa greinst síðustu áratugi um óeðlilega virkni á svæðinu, þ.e. kvikusöfnun eða annað sem bendir til kvikuhreyfinga. Fjölmargar gosmyndanir eru á hafsbotninum í kringum Vestmannaeyjar sem sýna að eldvirkni er ekki bundin við eyjarnar sjálfur, heldur geta orðið eldgos á sjávarbotninum. Bráðabirgðamat á eldgosahættu í Heimaey hefur verið unnið og kemur þar fram að líkur á að næsta gosopnun á Vestmannaeyjasvæði verði í Heimaey eru einungis 3-8%[2]. Af ofansögðu má búast við því að eldgos geti orðið í og við Heimaey, og á jarðgangnaleiðinni, en að líkur á því séu litlar. Jarðgangagerð og rekstur jarðganga þarf að taka tillit til þessarar áhættu og meðhöndla hana með tryggingasamningum.

Búast má við minni misgengishreyfingum yfir stór svæði í tengslum við eldvirkni í Vestmannaeyjum heldur en t.d. á Reykjaneskaganum. Það stafar af því að lítið sem ekkert flekarek er talið eiga sér stað um Vestmannaeyjasvæðið. Flekarek yfir eystra gosbelti Íslands er bundið við svæðið frá Mýrdalsjökli og til norðurs, en Vestmannaeyjar liggja sunnan þess svæðis.

Vestmannaeyjasvæðið eru ekki jarðskjálftasvæði og fáir skjálftar greinast þar á hverju ári. Hafa verður þó í huga nálægð við jarðskjálftasvæði Suðurlands og að hönnunarforsendur ganga taki mið af því að því hvernig jarðskjálftabylgjur frá stærstu Suðurlandsskjálftum berist um jarðlög á jarðgangaleiðinni (hröðun í jarðskjálftabylgjum). Á svæðinu eru fjölmörg mælitæki (jarðskjálftamælar og aflögunarmælar) og telst svæðið því vera vel vaktað af eldfjallaeftirliti Veðurstofu Íslands. Mikilvægt er að huga að stöðu jarðvár á svæðinu og endurskoða samfara ákvarðanatöku um göng.

7. Tekjur og rekstrarkostnaður samgangna á milli lands og Eyja

Vegfarendur um Hvalfjarðargöng spara sér langan akstur fyrir fjörðinn og því er ávallt ríkur vilji hjá vegfarendum að nota jarðgöngin - um 95% vegfarenda nýttu göngin þrátt fyrir að innheimt væri veggjald³. Við göng um Vaðlaheiði er einnig innheimt veggjald en þau stytta leið um 14 km. Nokkuð bar á sniðgöngu í göngunum um Vaðlaheiði í upphafi en árið 2020 fóru 80% vegfarenda á milli Eyjafjarðar og Fnjóskadals um göngin⁴.

Vestmannaeyjagöng stytta ferðatíma um klukkustund⁵ og því er ljóst að mikill vilji yrði til þess að nýta göngin þrátt fyrir veggjald. Ferðamönnum um Suðurland hefur fjölgað gríðarlega en árið 2023 heimsóttu Seljalandsfoss liðlega ein milljón ferðamanna. Þess má vænta að fjölmargir ferðamenn og ferðaþjónustuaðilar aki til Eyja ef í boði er að fara í gegnum jarðgöng, þar sem ekki þarf þá lengur að bóka ferjupláss fyrirfram og eftir atvikum treysta á gistingu í Heimaey.

Ferjusiglingar á milli lands og Eyja eru kostnaðarsamar. Farþegar greiða um 1 ma. kr.- á ári í fargjöld auk þess sem framlag ríkisins til rekstrar ferjunnar er um 1 ma. kr.- á ári. Vegna gífurlegs sandburðar er einnig kostnaðarsamt að halda Landeyjarhöfn opinni en til þess verkefnis var varið 0,6 millj. kr.- árið 2023. Reglulega þarf að endurnýja ferjuna en nýtt skip kostaði 5,6 ma. kr.- árið 2019 á verðlagi þess tíma. Árlegur heildarkostnaður við ferjusiglingar að teknu tilliti til afskrifta ferju er því allt að 3 ma. kr.- á ári.

Háværar raddir eru um að það þurfi annað skip til að anna eftirspurn yfir miðjan daginn og að tími sé kominn á annað skip vegna afleysinga þegar Herjólfur bilar eða þarf að fara í slipp vegna viðhalds, eftirlits og viðgerða. Þetta gæti bætt töluvert við þá 3 milljarða á ári sem kostnaðurinn hleypur á núna.

³ Sjá umferðartölur árið 2017: <https://www.vegagerdin.is/upplýsingar-og-utgafa/umferdin/umfthjodvegum/>

⁴ Frétt Vaðlaheiðarganga hf.: <https://www.vadlaheidi.is/is/frettir/a-arinu-2020-gekk-umferd-um-vadlaheidargong-vel-og-an-ohappa>

⁵ Vegtenging við Vestmannaeyjar, Víðir Þorvarðarson, tafla 8 bls.31

7.1 Tekjur og hagræðing

Árlegar tekjur Vestmannaeyjaganga geta staðið undir kostnaði við fjárfestingu í heild eða að hluta. Helstu tekjubættir eru:

1. Veggjöld af umferð fólksbíla.
2. Veggjöld af umferð stærri ökutækja.
3. Aðstöðugjöld frá veitufyrirtækjum, rafmagn, vatn og ljósleiðari.
4. Hagræðingargreiðslur frá ríkinu sem áður fóru í rekstur Herjólfss og Landeyjarhafnar.

Nánnar er fjallað um tekjumöguleika í kaflanum um sviðsmynd af rekstrarafkomu.

7.2 Rekstrarkostnaður

Þar sem um er að ræða löng göng án flóttaleiða er nauðsynlegt að vakta umferð um göngin. Slökkvilið þurfa að vera tiltæk en ekki er gerð krafa um flóttagöng í reglugerð fyrir göng með umferð færri en 2.000 farartækja á akrein.

Á 10-15 ára fresti þarf að skipta út rafbúnaði og endurnýja þarf slitlag með hliðsjón af umferðarmagni. Þar sem fremur fáir bílar fari líklega um Vestmannaeyjagöng mun slitlag endast betur en í t.d. Hvalfjarðargöngum þar sem umferð er meiri.

7.3 Sviðsmynd af rekstrarafkomu

Það er ótímabært að ræða veggjöld í Vestmannaeyjagöngum en hér að neðan er þó sett fram möguleg sviðsmynd af rekstrarafkomu. Horft er til þess að allavega 10% ferðamanna við Seljalandsfoss heimsæki Vestmannaeyjar. Tölur í sviðsmynd eru settar fram í milljörðum króna til að varpa ljósi á mögulega rekstrarafkomu og eru þær með víðu frávikabili:

	Neðri mörk (ma. kr.-)	Efri mörk (ma. kr.-)
Veggjöld	2,2	3,0
Lagnaleið	0,1	0,2
Hagræðingargreiðslur	2,2	3,0
Rekstrarkostnaður	-1,2	-1,0
Rekstrarhagnaður fyrir afskriftir:	3,3	5,2

Jarðgöngin sjálf verða afskrifuð á löngum tíma en búnaður inni í þeim afskrifast hraðar. Með hliðsjón af sviðsmynd hér að ofan mun núvirðing áætlaðs rekstrarhagnaðar til 50 ára, með afskriftum, gefa á bilinu 55 ma. til 120 ma. kr.-. Þessa tölu má bera saman við áætlaðan stofnkostnað og þannig meta hvort tekjur verkefnis standa undir stofnkostnaði í heild eða að hluta.

8. Stofnkostnaður og aðferðir við borun jarðganga

Á árunum 2006 til 2007 komu út eins og áður sagði skýrslur verkfræðiráðgjafa þar sem fjallað er um stofnkostnað Vestmannaeyjaganga og aðferðir við borun þeirra. Skýrslur MottMacDonald, Sintef/Geotek og VST tilgreina þörf fyrir frekari rannsóknir á jarðlögum áður en mögulegt er að segja til með vissu um stofnkostnað jarðganga. Ástæðan er m.a. sú að jarðlög á þessum stað eru frábrugðin dæmigerðum basaltlögum sem finna má í flestum jarðgöngum sem byggð hafa verið á Íslandi.




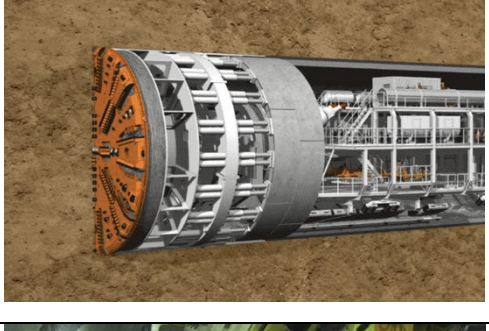

Settar voru fram í skýrslum tækniráðgjafanna grófar tölur um stofnkostnað með fyrirvörum. Fjárhæðir stofnkostnaðar sem nefndar eru, uppfærðar m.v. byggingavísitölu, eru á bilinu 125 ma. kr.- til 200 ma. kr.-

Aðferðir við jarðgangaborun eru reifaðar í skýrslunum. Að mati VST kemur tæpast annað en hefðbundin gangagerð til greina, þ.e. að bora og sprengja. Í skýrslu Sintef/Geotek er hins vegar tekið fram að aðstæður til gangagraftar séu það erfiðar á hluta leiðarinnar að fremur sé mælt með því að nota flókna jarðgangaborvél (TBM) þar sem göngin eru fódruð að innan jafnóðum með forsteyptum einingum.

Í skýrslu Multiconsult frá árinu 2006 er tekið fram að endanlega ákvörðun um borunaraðferð þurfi að byggja á nákvæmari upplýsingum um jarðlögin á gangaleið.

8.1 Valkostir við byggingu Vestmannaeyjaganga

Helstu aðferðir við byggingu jarðganga sem nefndar eru til sögunnar eru:

<p>Botngöng</p>		<p>Hér er forsmíðuðum einingum raðað á hafsbotninn frá risastórum þrómmum og þær tengdar saman. Þetta er dýr aðferð sem notuð er í grynna vatni.</p>
<p>Flotgöng</p>		<p>Í Noregi er til skoðunar að byggja 3,7 km flotgöng sem lægju á 30 m dýpi í Sognsfirði. Enn sem komið er hafa engin flotgöng verið byggð í heiminum.</p>
<p>Kyndilborun í berg</p>		<p>Starfshópurinn fundaði með frumkvöðli frá EarthGrid sem hefur gert prófanir til borunar með ljósboga. Tæknin er á þróunarstigi, og engin reynsla komin á hana. Hentar ekki ef bergið er lekt.</p>
<p>Heilborun með gangaborvél</p>		<p>Flóknar borunarvélar geta borað og heilfóðrað jarðgöng jafnóðum undir vatnsþrýstingi og geta hentað við blandaðar, krefjandi jarðfræðilegar aðstæður. Aðferðin er ekki notuð ef dýpi er meira en 100 m undir sjávarmáli [4].</p>
<p>Bora og sprengja aðferð</p>		<p>Þróuð aðferð sem verktakar þekkja vel. Oft og tíðum þarf að styrkja berglög og þetta en í þeim tilfellum hægist á verkinu. Seinleg og vandasöm aðferð í lausum og/eða hrungjörnum jarðlögum, og þá sérstaklega undir vatnsþrýstingi.</p>

Vestmannaeyjagöng er ekki hægt að byggja sem botngöng þar sem dýpi í álnum milli lands og Eyja er of mikið. Þá er kostnaður við botngöng mun hærri en við jarðgöng.

Flotgöng hafa ekki verið byggð í heiminum enn sem komið er og kyndilborun er á þróunarstigi.

Því stendur valið á milli heilborunar og hefðbundinnar aðferðar. Nánari rannsóknir á jarðlögum munu varpa ljósi á aðstæður á gangaleið og í framhaldinu er hægt að álykta um heppilega aðferð við borun.

8.2 Mat á fýsileika sem byggir á rannsóknum

Það blasir við að ekki verður lengra komist með mat á fýsileika jarðganga án þess að gerðar verði frekari rannsóknir á jarðlögum. Jarðfræðilegar aðstæður eru áhrifastærsti þátturinn á kostnað og byggjanleika jarðganga milli lands og Eyja. Fyrri rannsóknir fyrir jarðgöngin voru grófar og útfærðar eftir því fjármagni sem fékkst á þeim tíma. Óvissa um jarðfræðilegar aðstæður, fýsileika og kostnað var mikil. Að fá greinargóða mynd af aðstæðum til jarðgangagerðar er því mikilvægt fyrir áframhald verkefnisins. Starfshópurinn fékk ÍSOR til samstarfs um skoðun á þeim gögnum sem liggja fyrir auk þess að leggja fram greinargerð um nýjar rannsóknir á svæðinu. Greinargerð ÍSOR er að finna í viðauka I.

8.3 Tillaga starfshóps um rannsókn á jarðlögum

Starfshópurinn leggur til að framkvæmd verði þrepaskipt rannsókn á svæðinu. Í hverju þrepi bætist við þekkingu á jarðlögum og þannig má varpa ljósi á fýsileiki jarðgangaverkefnisins.

Við undirbúning jarðgangaverkefna eru jafnan fleiri fasar af jarðfræðirannsóknum, þar er gjarnan byrjað vítt og með ódýrari rannsóknaraðferðum þegar óvissan er mikil. Eftir því sem meiri vitneskja um jarðfræðilegar aðstæður fæst verða rannsóknirnar hnitmiðaðri og óvissuþættir sem taldir eru getað haft mikil áhrif á kostnað og fýsileika minnka.

Fylgt verði ljósastýringakerfi í ákvörðunartöku um framvindu rannsókna, en það þýðir að komi fram upplýsingar að því tagi að ekki þyki forsvaranlegt að halda áfram með verkefnið verði þörf fyrir frekari rannsóknir endurmetin.

saman jarðfræði gangaleiðar með hliðsjón af kjarnaholumum og fyrirliggjandi bylgjubrotsmælingum. Öflun gagna á sjó tekur nokkra daga en með undirbúningi verksins og úrvinnslu má búast við að heildarverktími verði hálf til eitt ár.

4. Síðasta skrefið í rannsókninni er jafnframt dýrast en það kallar á leigu sérstaks rannsóknarskips erlendis frá sem kannar jarðlög niður á verulegt dýpi

með hljóðendurvarpsmælingum á dýpri jarðlögum. Þessi aðferð gefur betri mynd af dýpri jarðlögum og misgengjum þar sem jarðgöngin munu liggja. Mögulega má ná niður kostnaði á þessu þrepi ef verkið er unnið með skipi sem er á leið í önnur verkefni, t.d. við Grænland.

Áður en að síðasta þrepi kemur verður þó til nokkur þekking á jarðlögunum án þess að lagt hafi verið í mikinn kostnað.

Við lok rannsókna er unnin heildstæð greinargerð þar sem aðstæðum til jarðgangagerðar er lýst, helstu óvissuþættir dregnir fram, byggjanleiki og aðferð graftar metinn, ásamt kostnaði. Í greinargerðinni yrði einnig umfjöllum um nauðsynlegar rannsóknir til viðbótar sem fara þyrfti í fyrir verkhönnun og fjármögnun verkefnisins. Niðurstaða rannsókna er grundvöllur að því að draga úr óvissu um verkefnið og bæta áætlanir um kostnað við jarðgangagerðina. Góðar rannsóknir auðvelda aðkomu tryggingaraðila á verktíma og þar með aðkomu aðila sem sjá um fjármögnun verksins á framkvæmdatíma.

9. Bygging Vestmannaeyjaganga

9.1 Fýsileiki metinn - rannsókn á jarðlögum

Að loknum ofantöldum rannsóknum á jarðlögum ætti að vera komin betri mynd á stofnkostnað og byggjanleika jarðganga. Í framhaldinu er þá hægt að greina fýsileika verkefnisins sem m.a. felur í sér mat á stofn- og rekstrarkostnaði, rannsókn á greiðsluvilja vegfarenda, áhættumati og áhuga ferðamanna á ferðum til Eyja.

9.2 Umsjón með verkefninu

Eins og önnur verkefni sem ekki eru á samgönguáætlun þarf að finna því farveg. Lög um samvinnuverkefni nr. 80/2020 tilgreina sex flýtiverkefni sem standa utan samgönguáætlunar að mestu og eru byggð og/eða fjármögnuð í samvinnu við einkaaðila í heild eða að hluta. Meðal þessara verkefna má nefna byggingu Sundabrautar, brúar yfir Ölfusá og tvöföldun Hvalfjarðarganga. Vegagerðin er útboðsaðili og vegfarendur greiða veggjöld enda er í öllum þessum tilfellum til önnur leið (þ.e. hjáleið).

Í tilfalli Hvalfjarðarganga voru það heimamenn á Akranesi og atvinnurekendur á Grundartanga sem stóðu að stofnun Spalar hf. sem hafði það á stefnu sinni að undirbúa, fjármagna og koma í framkvæmd vegtengingu við utanverðan Hvalfjörð. Aðkoma ríkisins fólst í því að Vegagerðin lagði vegi að göngunum og veitt var ríkisábyrgð á framkvæmdatíma eins og áður sagði. Lítið hlutafé var í verkefninu en hluti af því kom frá hinu opinbera⁶.

Lagaumhverfi hefur breyst frá þeim tíma þegar undirbúningur Hvalfjarðarganga stóð yfir og meiri reynsla hefur safnast saman við byggingu jarðganga. Sérstök lagasetning um útboð verkefnisins með sértækum skilmálum og ívilnun ríkisins gæti komið til álita.

9.3 Forhönnun og útboðsrannsóknir

Vænta má þess að umsjónaraðili sjái um forhönnun verksins en að það verði síðan boðið út í alútboði. Útboðsrannsóknir eru nauðsynlegar til að varpa ljósi á áhættu umsjónaraðila og verktakans á framkvæmdatíma. Kjarnaborholur gerðar frá sjó eru líklega mikilvægasti þátturinn í útboðsrannsóknum áður en til útboðs kemur. Verktakar mun horfa til þess að góð þekking sé til staðar á jarðlögum á gangaleið en slíkar upplýsingar minnka áhættu á framkvæmdatíma.

9.4 Samningar um fjármögnun

Fjármögnun á framkvæmdatíma fyrir verkefni af þessari tegund verður áskorun vegna áhættu í jarðgangagerðinni. Til að meðhöndla þessa áhættu þarf aðkomu

⁶ Undir kelduna – sagan um Hvalfjarðargöng, bls. 235.

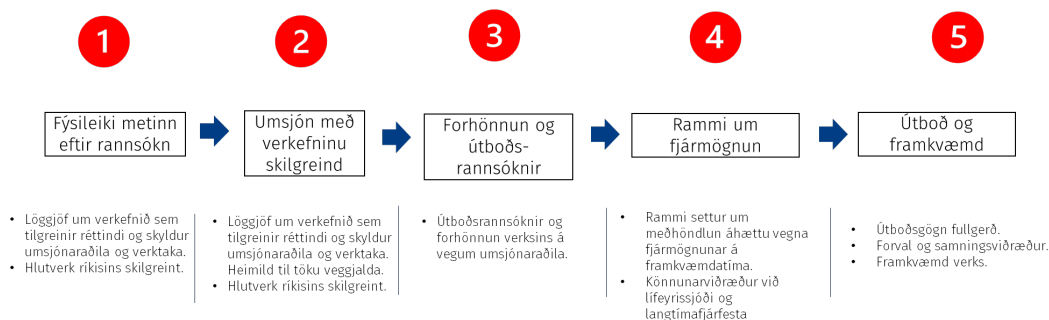
banka, tryggingafélaga og/eða takmarkaða ábyrgða ríkisins. Við uppbyggingu Hvalfjarðarganga reyndist þessi þáttur nokkuð snúinn á síðustu metrunum, enda á þeim tíma ekki mikil reynsla af byggingu jarðganga undir sjó.

Fjármagnsskipan verkefnisins er seinni tíma mál en almennt má segja að langtímafjármögnun að lokinni byggingu mannvirkis ætti að ganga vel fyrir sig ef lagarammi um töku veggjalda er skýr. Lífeyrissjóðir landsins eru með verðtryggðar skuldbindingar til áratuga en veggjöld um göngin munu einmitt skila hliðstæðu greiðslufæði.

9.5 Útboð og framkvæmd

Þegar forhönnun og högun fjármögnunar liggur fyrir er mögulegt að efna til útboðs um verkefnið. Framkvæmdatími verður að líkindum mjög langur (7-8 ár)⁷ og áhætta á framkvæmdatíma er mikil ef jarðlög reynast lek og hrungjörn enda kalla þær aðstæður á bergstyrkingar og í einhverjum tilvikum á frystingu jarðlaga á borstað. Það má því búast við því að verkið verði boðið út með ríkisábyrgð að einhverju marki þar sem fjárbinding verktaka mun nema tugum milljarða þegar gröftur er í fullum gangi. Bygging Hvalfjarðarganga var ekki boðin út með ríkisábyrgð en verktakinn sem varð hlutskarpastur fékk þó ívilnun ríkisins á síðari stigum [3].

Bygging Vestmannaeyjaganga



⁷ Vestmannaeyjar road tunnel connection, pre-feasibility assessment, bls 5.

10. Lokaorð

Hugmynd um jarðgöng til Heimaeyjar er ekki ný af nálinni eins og sést í upptalningu skýrslna sem unnar hafa verið um málið. Þær eiga það flestar sameiginlegt að telja upp fjölmarga þætti sem mæla gegn því að farið verði í slíka framkvæmd. Heimaey er enda ung eldfjallaeyja, göngin yrðu löng (tæplega 20 km), að mestu neðansjávar og ljóst að slík framkvæmd myndi brjóta blað í sögu gangagerðar, ekki bara á Íslandi, heldur einnig á heimsvísu. Starfshópurinn hefur fundað með helstu sérfræðingum um málið á starfstíma sínum og orðið þess áskynja að göng eru mikið hagsmunamál fyrir Vestmannaeyinga og Rangæinga enda þykir sýnt að þau myndu valda straumhvörfum og hafa mjög jákvæð áhrif á lífsgæði íbúa.

Það er niðurstaða nefndarinnar að enn vanti herslumuninn í rannsóknarvinnu. Ekki sé hægt að taka skynsamlega umræðu um fýsileika án frekari rannsókna um aðstæður til jarðgangagerðar. Í ljósi þess að rannsóknir af þessu tagi eru dýrar, leggjum við til að farið verði í þrepaskiptar rannsóknir þ.a. hægt verði að taka upplýsta ákvörðun um hvort forsvaranlegt sé að ráðast í næstu rannsóknarþrep m.v. fyrirliggjandi rannsóknarniðurstöður hverju sinni.

Samhliða rannsóknum á jarðlögum leggur nefndin til að félagsleg rannsókn um áhrif ganga á sveitarfélögin, atvinnuumhverfið, ferðamennsku o.fl. yrði framkvæmd til að varpa frekara ljósi á þýðingu þeirra fyrir samfélagið.

11. Heimildir

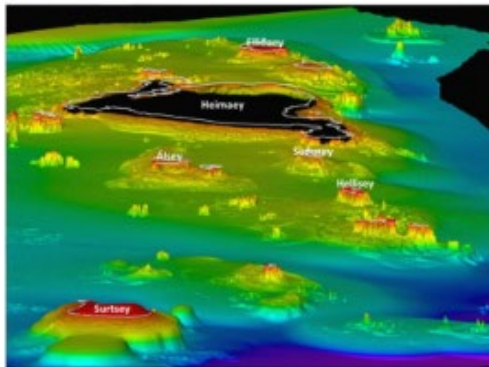
- [1] Víðir Þorvarðarson, 2020. *Vegtenging við Vestmannaeyjar – þjóðhagsleg hagkvæmni*.
- [2] Pfeffer, M. A., Barsotti, S., Karlsdóttir, S., Jensen, E. H., Pagneux, E. P., Björnsson, B. B., Jóhannesdóttir, G., Höskuldsson, Á., Sandri, L., Tarquini, S., De' Michieli Vitturi, M., Jónsdóttir, I., Egilson, D., Giroud, M., Óladóttir, B. A., Roberts, M. J., Vogfjörð, K., & Hardardóttir, J. ,2020. *An initial volcanic hazard assessment of the Vestmannaeyjar Volcanic System: Impacts of lava flow and tephra deposit on Heimaey*. (Icelandic Meteorological Office). Veðurstofa Íslands.
- [3] Atli Rúnar Halldórsson, 2019. *Undir kelduna – sagan um Hvalfjarðargöng*.
- [4] Dammyr Ø., Nilsen B., Gollegger J., 2017. *Feasibility of tunnel boring through weakness zones in deep Norwegian subsea tunnels*.
- [5] Júlíus Sólnes, Freysteinn Sigmundsson, Bjarni Bessason, 2013. *Náttúruvá á Íslandi – eldgos og jarðskjálftar*.
- [6] VST, 2007. *VESTMANNAEYJAR, road tunnel connection, pre-feasibility assessment*.
- [7] Multiconsult, 2006. *Tunnel to Vestmannaeyjar – Geological evaluation*.
- [8] Eivind Gröv, Björn A. Harðarson, Andres Beitnes, 2006. *Considerations for a sub sea tunnel to Heimaey (skýrsla Geotek, Sintef fyrir Vegagerðina)*.
- [9] ISOR, október 2005. *Berggrunnskönnun á hugsanlegri jarðgangaleið milli lands og Eyja*.
- [10] Mott McDonald/Línuhönnun, 2004. *Independent Review of a Tunnel Connection to Vestmannaeyjar*.
- [11] Hagfræðistofnun HÍ, 2004. *Mat á þjóðhagslegri hagkvæmni Vestmannaeyjaganga*.
- [12] Ármann Höskuldsson o.fl., 2003. *Marine geophysical surveys around the island of Heimaey, Iceland. Ármann Höskuldsson, Preliminary report*.
- [13] Björn A. Harðarson, Hreinn Haraldsson, 2000. *Vegtenging milli Vestmannaeyja og lands – forkönnun (fyrir Vegagerðina)*.

12. Viðaukar

Viðauki I: Greinargerð ISOR



Jarðvísindaleg rannsóknaráætlun
og ákvörðunarferli við undirbúning
jarðganga til Vestmannaeyja



Anett Blischke
Steinunn Hauksdóttir
Ögmundur Erlendsson

Unnið fyrir starfshóp innviðaráðuneytis
um könnun á fýsileika jarðganga til Vestmannaeyja

Greinargerð
ÍSOR-24015
Verknr.: 24-0017
6. maí 2024

Inngangur

Starfshópur um könnun á fýsileika jarðganga á milli lands og Vestmannaeyja óskaði eftir aðstoð frá sérfræðingum ÍSOR við gerð rannsóknaráætlunar og voru þær hugmyndir ræddar fyrst á fundi 9. janúar 2024. Þá var farið yfir helstu rannsóknaraðferðir til að kanna jarðlagastaflann milli lands og eyja ásamt því að fara lauslega yfir þær rannsóknir sem hafa verið gerðar á svæðinu, bæði í tengslum við möguleg jarðgöng og svo almennar jarðvísindalegar rannsóknir sem hafa verið gerðar á svæðinu á liðnum árum (Karl Gunnarsson o.fl., 2005). Í framhaldi var ÍSOR beðið um að koma með tillögur að rannsóknaráætlun í þeim tilgangi að meta fýsileika á jarðgöngum til Vestmannaeyja ásamt því að kanna gróflega kostnað við þær rannsóknir.

Eftirfarandi grundvallarstigum rannsóknaráætlunar er ætlað að svara jarðvísindalegum spurningum til þess að meta áhættu og vega inn í ákvarðanatöku um jarðgangagerð. Þetta eru þeir jarðvísindalegu grundvallarþættir sem þarfnast skoðunar en á hverju stigi verkefnis þarf endurskoðun og að huga samhliða að jarðtæknilegum áskorunum.

Þessir þættir endurspeglast í þeim skrefum rannsókna sem eru lagðar til og kynntar eru í köflum greinargerðarinnar hér eftir:

Rannsóknir 1. stig:

- a) Hvernig styðja fyrirliggjandi gögn við ákvarðanir um frekari rannsóknir til að byggja ákvarðanatöku á?

Gagnagrunnur með öllum tiltækum gögnum byggir undir framtíðarrannsóknir með því að veita aðgang að og greina núverandi þekkingu. Slíkt stuðlar að gagnsæi og skilvirkni í rannsóknum, vandaðri ákvarðanatöku og yfir undir nýsköpun.

- b) Eru eiginleikar bergs í efstu 3–400 m á áætlaðri gangaleið milli Heimæyjar og Landeyja, og á staðsetningum gangamunna, hentugir fyrir gangagerð?

Felur í sér rannsóknir sem miða að því að meta jarðtæknilega þætti og fýsileika jarðgangagerðar.

Tekið verður saman heildstætt yfirlit gagna og tülkana úr fyrsta stigi rannsókna þar sem lagt verður mat á áhættu og hagkvæmnisathugun gerð fyrir framhald verkefnisins. Á grundvelli þess er næsti fasi rannsókna skipulagður (Rannsóknir 2. stig).

Rannsóknir 2. stig:

- a) Hvernig hefur framsækni suðurhluti austurgosbeltisins áhrif á sprungur, misgengi og eldvirkni á ætlaðri gangaleið?

Aukinn skilningur á jarðsögu svæðisins gefur vísbendingu um hversu líklegt er að eldgos verði við Vestmannaeyjar (neðansjávar eða á landi).

- b) Eru ummerki um virk jarðhitasvæði nærri gangaleiðinni?

Felur í sér rannsóknir á landi og á hafsbotni þar sem merki um jarðhita má merkja með endurvarps- og viðnámsmælingum ásamt nákvæmum dýptarkortum.

Dregið saman heildstætt yfirlit gagna og tülkana úr fyrstu tveimur stigum rannsókna þar sem lagt verður mat á áhættu og hagkvæmnisathugun gerð fyrir framhald verkefnisins. Á grundvelli þess er næsti fasi rannsókna skipulagður (Rannsóknir 3. stig).

Rannsóknir 3. – 4. stig:

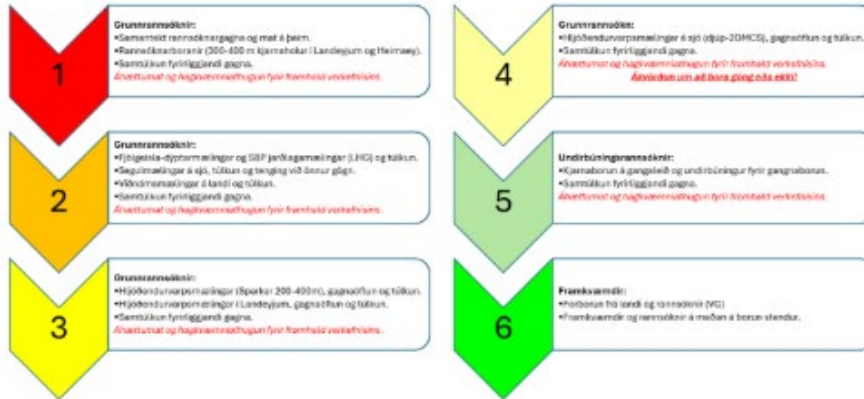
- a) Hvar eru virk sprungusvæði, eldvirkni og jarðhitauppstreymi í berggrunni og settlögum og hver eru áhrif á jarðlagagerð og jarðeðlisfræðilega bergeiginleika í efstu 3–400 m á gangaleið??

Kortleggja nákvæmlega sprungur og misgengi, ummerki um uppstreymi jarðhita, landmótun á hafsbotni og meta breytileika í berggerð á gangaleið.

Samantekt sem byggir á niðurstöðum allra rannsóknáþátta, t.d. setþykkt, uppbyggingu og hörku jarðlaga, lekt jarðlaga, höggun og misgengi, eldvirkni og jarðhita, tekin til skoðunar og næstu skref metin.

Mynd 1 sýnir drög að ákvörðunarferli til að svara rannsóknarspurningum. Lagt er til að nýta e.k. umferðarljósakerfi sem tryggir að áhætta sé metin eftir hvern áfanga, áður en ákveðið er að halda áfram eða hætta við verkefnið. Í þessari greinargerð er fjallað um rannsóknir sem falla í skref 1–4 og niðurstaða þeirra verður nýtt til að taka ákvörðun um næstu skref sem myndu fylgja í kjölfarið (5–6).

Rannsóknir til að meta fýsileika á jarðgöngum til Vestmannaeyja Ákvörðunarferli (traffic light decisions)



Mynd 1. Rannsóknir settar fram í e.k. umferðarljósakerfi fyrir ofangreindar aðalspurningar til að meta áhættu og taka ákvörðun eftir hvert skref.

Lýsing á rannsóknastigum

Í næstu köflum verður fjallað um þær rannsóknir sem lagt er til að vinna innan þess umferðarljósakerfis sem sýnt er á mynd 1 ásamt lýsingu tækjabúnaðar sem þörf er á. Fyrstu drög að lauslegri áætlun um heildarkostnað er síðan að finna í viðauka 1.

Rannsóknir 1. stig

1a. Samantekt og gagnagrunnur um jarðfræðirannsóknir milli lands og eyja.

Fyrsta skrefið felst í því að safna saman öllum rannsóknargögnum sem til eru af svæðinu frá fyrri tíð, meta gæði þeirra og rýna í helstu niðurstöður. Að hafa slíkar upplýsingar aðgengilegar nýtist verkefninu til framtíðar og einfaldar mjög nýjum aðilum að kynna sér verkefnið. Dæmi um slíkar rannsóknir eru:

- Jarðlagamælingar Kjartans Thors, Ármanns Höskuldssonar o.fl. (SBP-CHIRP - ice2003)
- Jarðlagamælingar, HAFRÓ (SBP)
- Fjölgeislamælingar, LHG, HAFRÓ og VG
- Bylgjubrotsmælingar og segulmælingar, ÍSOR
- Jarðlagagreiningar úr borholum í Vestmannaeyjum og Landeyjum, ÍSOR
- Kartlagning sjávarsetlaga á hafsbotnssvæðum, ÍSOR - EMODnet
- Skjálftamælingar og túlkun, VG, ÍSOR og HI
- Segulmælingar á landi, ÍSOR
- Útgefnar greinar og skýrslur af svæðinu

Gögn eru í dag varðveitt á mörgum mismunandi stöðum og ekki alltaf aðgengileg með einföldum hætti. Niðurstöður á túlkunum einhverra af rannsóknum er að finna í eldri skýrslum (t.d. Karl Gunnarsson o.fl., 2005) en það á þó alls ekki við um ölli gögn frá svæðinu.

1b. Rannsóknarborholur (kjarnaholur) við áætlaða gangamunna

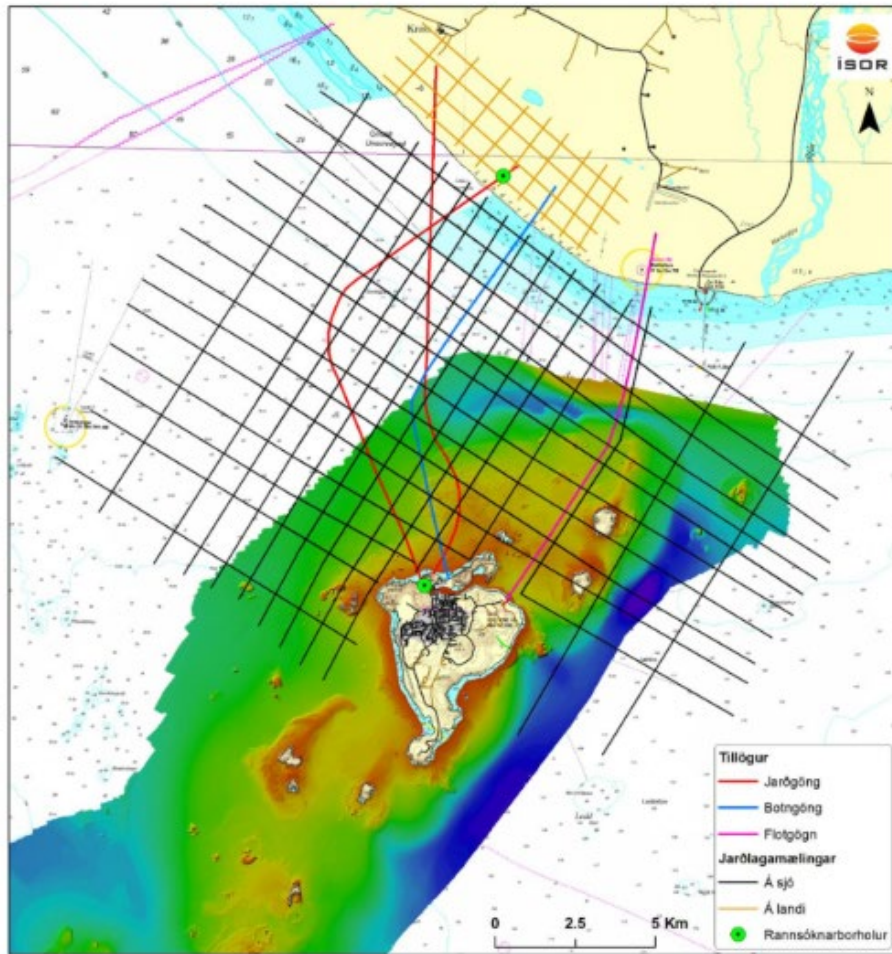
Bora þarf tvær a.m.k. 3–400 m djúpar kjarnaholur við áætlaða jarðgangamunna í Vestmannaeyjum og Landeyjum (mynd 2). Þar gefst kostur á mikilvægum rannsóknum, s.s. kjarnagreiningum, berggæða/bergstyrktarmati¹, lektarmælingum (12–15 mælingar í holu), hjóðhraðamælingum (dual-sonic), hitamælingum og holusjármælingum til að greina stefnu og halla sprungna.

Á bergi og sjávarseti í kjarna má gera aldursgreiningar til að auðvelda túlkun gagna og tengja jarðmyndanir milli svæða og auka skilning á uppbyggingu og jarðsögu svæðisins.

1c. Samtúlkun fyrirliggjandi gagna.

Tekið verður saman heildstætt yfirlit gagna og túlkana úr fyrsta stigi rannsókna þar sem lagt verður mat á áhættu og hagkvæmnisathugun gerð fyrir framhald verkefnisins. Á grundvelli þess er næsti fasi rannsókna skipulagður (Rannsóknir 2. stig).

¹ GFZ <https://www.gfz-potsdam.de/en/>; DMT - <https://www.dmt-group.com/>; KIT <https://www.agw.kit.edu/english/>



Mynd 2. Tillögur að jarðsjármælingum á sjó (svartar línur) og landi (brúnar línur) auk staðsetninga rannsóknarborholna (grænir punktar) til að kanna eiginleika jarðlaga á mögulegri jarðgangaleið. Dýptarmælingar og sjókart koma frá sjómælingasviði, LHG.

Rannsóknir 2. stig

Í næstu tveimur köflum verður fjallað um jarðeðlisfræðilegar yfirborðsrannsóknir á hafsbotni og landi sem þurfa að fara fram. Á hafi felast þær í dýptarmælingum, segulmælingum og kortlagningu á hafsbotninum auk mögulega jarðlagamælingum sem meta dýpi sets og gerð berggrunns. Á landi, í Landeyjum og Heimaey, eru það skjálfta-, viðnáms- og segulmælingar sem geta gefið mikilvægar vísbendingar um dýpi niður á fast berg og ummerki jarðhitakerfa eða eldvirkni. Um þessar aðferðir er fjallað hér á eftir, dregnar saman helstu upplýsingar um þær aðferðir, hvaða gögn eru til og hvernig frekari gagna verður aflað.

2a. Dýptar- og útslagsgögn á hafsbotni, úrvinnsla og túlkun.

Nákvæmar fjölgeisla-dýptarmælingar á jarðgangaleiðinni eru mikilvægar grunnupplýsingar fyrir frekari rannsóknir á svæðinu. Túlkun á þeim gefur góða innsýn í jarðfræði og landmótun efstu jarðlaga hafsbotsins. Sjómælingar LHG öfluðu fjölgeisla-dýptarmælinga á svæði umhverfis Vestmannaeyjar á árunum 2003–2004 með rannsóknarskipi sínu Baldri (mynd 2). Í dag er Baldur búinn enn betri tækjum, m.a. nýlegum fjölgeisla-dýptarmæli af gerðinni Teledyne Reson SeaBat T50.

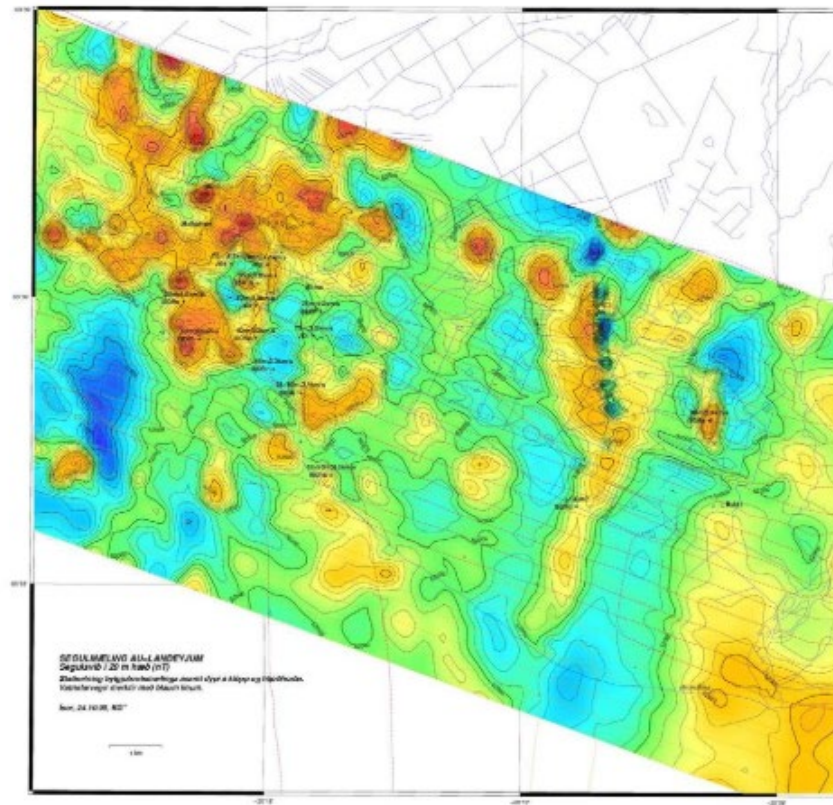
Um borð í Baldri er einnig lágtíðni „pinger“ jarðlagamælir af gerðinni „SES-2000 compact“ frá Innomar sem er hannaður fyrir sjávardýpi frá 0,2 til 400 m. Hann getur mælt allt að 40 m niður í sjávarbotninum, allt eftir gerð setsins, með um 5 cm lóðréttri upplausn. Æskilegt er að Sjómælingar LHG afli slíkra jarðlagamælinga samhliða dýptarmælingum en þau gögn geta gefið mikilvægar vísbendingar til að byggja tillögur um frekari rannsóknir á. Það verður alltaf þörf á að afla einnig lágtíðni-jarðsjármælinga sem gefa upplýsingar um jarðlagaskipan dýpra niður í hafsbotninum. Á rannsóknarskipi Hafró, Árna Friðrikssyni, er til taks lágtíðni „pinger“ jarðlagamælir (e. sub-bottom profiler) af gerðinni TOPAS PS18 frá Kongsberg Maritime. Mögulega er hægt að fá skipið til að mæla nokkrar línur á rannsóknarsvæðinu til sjá hve góðum gögnum sá mælir nær að afla á svæðinu. Tækið er hannað fyrir meira sjávardýpi á bilinu 20–11.000 m og getur mælt 200 m niður fyrir sjávarbotn við kjöraðstæður, með um 15 cm lóðrétta upplausn.

2b. Segul- og viðnámsmælingar

Segulmælingar hafa verið gerðar á Landeyjasandi (Gunnarsson o.fl., 2005) (mynd 3) sem leiða í ljós tiltekinn breytileika og mögulega ummerki um eldvirkni undir setlögum. Viðbót við slíkar mælingar myndi veita mikilvæga heildarmynd berggrunnsins, tenginga til hafs og mögulega til Vestmannaeyja. Samstarfsaðilar sem hafa reynslu og þekkingu á segulmælingum af þessu tagi eru, ásamt ISOR, helst HI og erlendir aðilar, t.d. Terratec-Geophysical Services (<https://terratec-geoservices.com/>).

Mögulega er hægt að afla segulmælinga á hafi samhliða fjölgeisla-dýptarmælinga í lið 2a með því að nýta segulmæli ISOR og HI (MagArrow) með viðbótar GPS-mælingu. Segulmælingar í lofti hafa nýlega verið gerðar á vegum Háskóla Íslands víðsvegar um Surtsey (óútgífið doktorsverkefni) og ISOR hefur unnið að segulmælingum með dróna sem ná yfir grunnsvævi við strendur lands (Blischke o.fl., 2023). Við erfiða aðstæður, yfir hafi og við brött fjöll, er mögulegt að gera segulmælingar í hárrí upplausn með segulnefðómu á þyrlu. Slíkar mælingar hafa verið þróaðar í gegnum rannsóknarverkefnið GreenPEG (<https://www.greenpeg.eu/>) í samvinnu við Terratec-Geophysical Services.

Viðnámsmælingar eru víða notaðar við rannsóknir og kortlagningu á eðli berggrunns og jarðskorpu ásamt því að þær gefa vísbendingar um möguleg jarðhitakerfi, s.s. hitauppstreymi, ummyndun bergs eða kviku. Þessar mælingar nýtast til samtúlkunar með öðrum gögnum í þeim tilgangi að kanna ástand og eðli berggrunns og aðstæður til gangagerðar.



Mynd 3. Túlkun flugsegulmælinga yfir Austur-Landeyjum (Karl Gunnarsson o.fl., 2005).

2c. Samtúlkun fyrirliggjandi gagna

Dregið verði saman heildstætt yfirlit gagna og túlkana úr fyrstu tveimur stigum rannsókna þar sem lagt verður mat á áhættu og hagkvæmnisathugun gerð fyrir framhald verkefnisins. Á grundvelli þess er næsti fasi rannsókna skipulagður (Rannsóknir 3. stig).

Rannsóknir 3. stig

3a. Hljóðendurvarpsmælingar, gagnaöflun og túlkun

Hljóðendurvarpsmælingar (einnig kallaðar endurkastsmælingar eða jarðlagamælingar) gefa einstaka innsýn í jarðlög sem ekki er hægt að kanna með annarri tækni á hafsbótnei. Út frá sniðmyndunum má greina ýmis jarðfræðileg fyrirbrigði líkt og eldvirkni, neðansjávarskriður, höggun og uppbyggingu berggrunns og setlaga, þykkt og gerð jarðlaga, eldfjöll, mögulegt jarðhitauppstreymi og fá vísbendingar um jarðlagagerð. Þessi aðferð felst í mælingu á endurvarpstíma hljóðmerkis í sjó og jarðlögum neðan sjávarbotns á því svæði sem siglt er yfir. Hljóðpúls er sendur frá hljóðgjafa og endurvarpið numið með hljóðnema. Mæling á fartíma hljóðmerkisins gefur upplýsingar um dýpt endurvarpsflatar. Vegna lágrar tíðni hljóðmerkisins gengur það að hluta niður í setlög in á hafsbótnei og endurvarpast af lagamótum í þeim og af berggrunninum undir setlögnum (mynd V2-1 í viðauka 2). Hljóðnema nema endurvarp og er gögnum safnað í tölvu sem er um borð í rannsóknarskipinu. Með túlkun á mælingunum er síðan hægt að teikna upp þversnið af jarðlögnum sem liggja undir hafsbotninum (mynd V2-2 í viðauka 2).

Hljóðendurvarpsmælingar er hægt að gera í mismunandi útfærslum og tilgangi og helst eru það sérfræðingar hjá ISOR og HI sem hafa reynslu af slíkum mælingum og úrvinnslu þeirra. Til þessa hafa þær ekki verið nýttar mikið til kortlagningar á landi en töluvert á sjó og strandsvæðum. Fjölrása hljóðendurvarpsbúnaður sem þarf til þessara mælinga (Sparker-hljóðgjafi og fjölrása hljóðkapall) er ekki til í landinu. Það eru því tveir kostir í boði, annars vegar að leigja hann sérstaklega fyrir verkefnið og hins vegar að kaupa búnað og styrkja í leiðinni rannsóknarinnviði til hafsbotsrannsókna á Íslandi. Í viðauka 2 er stutt samantekt á þessum kostum og byggist hún á niðurstöðum tilboða sem leitað hefur verið eftir í samræmi við þær tillögur rannsókna sem koma fram í þessari greinargerð.

3b. Hljóðendurvarpsmælingar í Landeyjum, gagnaöflun og túlkun

Hljóðendurvarpsmælingar í Landeyjum myndu gera kleift að „sjá“ niður fyrir 400 m þykk setlagabunkann og meta hvort merki séu um eldvirkni, misgengi og sprungur eða annað sem hefur áhrif á ákvarðanatöku um gangagerð.

Dæmi um fyrirtæki sem veitir þjónustu á sviði hljóðendurvarpsmælinga á landi eru DMT (Deutsche Montane Technology)². Myndir 1 og 4 sýna tillögur að mæliilinum og helstu upplýsingar um mælingar frá DMT sem myndu miða að því að nota skotholur og skjálftanema til kortlagningar á berggrunni Landeyjasands, niður fyrir 400 m dýpi. Leitað var upplýsinga hjá fyrirtækinu DMT sem hefur reynslu af því að afla hljóðendurvarpsmælinga á landi, aðallega í tengslum við yfirborðskönnun fyrir námufyrirtæki í Kanada og Þýskalandi (<https://www.dmt-group.com/services/exploration/geophysics/exploration-seismics.html>).

² (<https://www.dmt-group.com/services/exploration/geophysics/exploration-seismics.html>)

Seismic acquisition company:	
Line total length	: 55 km
SE-NW line numbers	: 4
NE-SW cross-lines	: 9
Seismic node layout	: Cable-free, GPS
Terrain	: Beach and sand dune area, flat and brackish water ponds, unconsolidated ground and sand cover over volcanics (150m)
Data processing	: time and depth domain, tied to research borehole (300m).
Iceland based operation preparations:	
Shot-holes	: 2-4 m depth
Charge	: Dynamite

Mynd 4. Upplýsingar um mögulegar hljóðendurvarpsmælingar á Landeyjasandi frá DMT.

3c. Samtúlkun fyrirbyggjandi gagna

Samtúlkunin byggir á niðurstöðum allra rannsóknarpátta frá áföngum 1–3, t.d. setbykkt, uppbyggingu jarðlaga, lekt, höggun og eldvirkni. Samtúlkun á niðurstöðum leiðir til mats á næstu skrefum en í rannsóknarstigi 4 felast umfangsmiklar og dýrar framkvæmdir sem veða þungt inn í ákvarðanaferlið.

Rannsóknir 4. stig

Á þessu stigi rannsóknar er komið að þeim mikilvæga þætti að fá góða mynd af dýpri jarðmyndunum til að skilja uppbyggingu jarðlaga svæðisins, meta líkur á höggun og eldvirkni neðan 3–400 m á jarðgangaleiðinni. Þessar rannsóknir gefa skýrari mynd en fyrri mælingar gáfu möguleika á en það er metið hagkvæmara að byggja á umfangsminni mælingum til að byrja með, eins og ákvarðanaferlið á mynd 1 sýnir.

Framsækni suðurhluti austurgosbeltisins hefur mögulega haft áhrif á ætlaðri gangaleið og kortleggja þarf nákvæmlega sprungur og misgengi, ummerki um uppstreymi jarðhita, landmótun á hafsbotni og meta breytileika í berggerð á gangaleiðinni.

4a. Hljóðendurvarpsmælingar, gagnaöflun og túlkun

Fullbúið rannsóknarskip þarf til hljóðendurvarpsmælinga sem ná dýpra niður í berggrunninn (djúp-2DMCS 1–2 km) og hér á eftir eru verðhugmyndir fengnar eftir samtöl við fyrirtæki sem stunda hafsbotsrannsóknir með endurvarpsmælingum (tafla 1). Mikilvægt er að fá góða mynd af dýpri jarðmyndunum til að skilja uppbyggingu jarðlaga svæðisins og meta líkur á höggun og eldvirkni á jarðgangaleiðinni. Nauðsynlegt er að hafa þessar rannsóknir inni í áætlunum og umfjöllun á þessum fyrstu stigum, bæði þar sem þær eru nauðsynlegar til að ná markmiðum rannsókna í undirbúningi gangagerðar en einnig þarf að hafa í huga mikinn kostnað við þær. Reynt yrði að skoða samlegð með öðrum verkefnum og tækifæri sem gefast til að lækka kostnað ef/þegar kemur að þeim þætti í rannsóknum á svæðinu.

Tafla 1. Verðhugmyndir fyrir úthafs-hljóðendurvarpsmælingar.

Fyrirtæki	Kostnaðaráætlun	Athugasemd
SeaBird Exploration	280-410 m.kr. 2-3 milljónir USD	án úrvinnslu
TGS	210-280 m.kr. 1,5-2 milljónir USD	með úrvinnslu
PGS	550 m.kr. 4 milljónir USD	án úrvinnslu

4b. Samtúlkun rannsóknargagna, áhættumat og hagkvæmnisathugun fyrir framhald verkefnisins

Samtúlkun sem byggir á niðurstöðum allra rannsóknabáttá, t.d. setþykkt, uppbyggingu og hörku jarðlaga, lekt jarðlaga, höggun og misgengi, eldvirkni og jarðhita (3D regional model) og framhaldið um næstu skref metið.

Ákvörðun um frekari rannsóknir innan þessa 4. skrefs yrðu studdar með niðurstöðum fyrri rannsókna.

Það sama á við um skref 5–6 sem lýst er á mynd 1 þar sem frekara skipulag og ákvörðun um framkvæmdir við gangagerð er háð því að niðurstöður úr fyrri rannsóknum séu jákvæðar og að undangengnu áhættumati.

