



MANNVIT

 Vegagerðin

SPRUNGUMYNDUN Í GRJÓTI Í BRIMVÖRN - NÁMURANNSÓKN

RANNSÓKNARVERKEFNI STYRKT AF
RANNSÓKNARSJÓÐI VEGAGERÐARINNAR

| | | | | | | |
|-----------------------------------|------------|-------------|-----------|-------|----------|------------|
| SKJALANÚMÉR: 7009341-000-GRP-0002 | | | | | | |
| NÚGILDANDI ÚTGÁFA: 1.0 | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| 1.0 | 31.03.2022 | Útgefið | AKI / GEJ | ML | SS | Vegagerðin |
| ÚTGÁFA | DAGS. ÚTG | ÚTGÁFUSTAÐA | HÖFUNDUR | RÝNIR | SAMÞYKKT | VERKKAUPI |

Verkefnið er unnið af Atla Karli Ingimarssyni, jarðverkfræðingi hjá Mannvit, og Guðrúnu Evu Jóhannsdóttur, jarðfræðingi hjá Mannvit. Skýrslan er unnin í samráði við Sigurð Sigurðarson, strandverkfræðing hjá Hafnardeild Vegagerðarinnar.

Höfundar skýrslunnar bera ábyrgð á innihaldi hennar. Niðurstöður hennar ber ekki að túlka sem yfirlýsta stefnu Vegagerðarinnar eða álit þeirra stofnana eða fyrirtækja sem höfundar starfa hjá.

Samantekt

Grjót til sjóvarna og brimvarna við hafnir og strendur á Íslandi er unnið í grjótnámum, yfirleitt í berglögum úr basalti sem talið er heppilegt til slíkrar vinnslu. Mikilvægt er að finna slíkt berg nálægt grjótvannarmannvirkjum til þess að takmarka flutningsvegalengdir. Vandamál hefur verið í gegnum tíðina þar sem grjót á það til að springa og klofna í smærri einingar en til var ætlast eftir vinnslu að vetrarlagi. Þetta hefur einkum gerst í eftirfarandi bergnámum: í Nónfelli í Finnafirði, við Þórshöfn, í Hvammkotsbruna á Skaga, við Rif á Snæfellsnesi og í Hamranesi við Hafnarfjörð. Mikilvægt er að finna orsakir vandamálsins til þess að tryggja stöðugleika og öryggi sjóvarnargarða og koma í veg fyrir dýrar viðgerðir eftir að þeir hafa verið byggðir.

Rannsóknarverkefnið felur í sér að gera bergfræðilegan samanburð á bergi ofangreindra fimm náma og bera þær einnig saman við bergnámu úr sambærilegu bergi þar sem ofangreint vandamál hefur ekki verið til staðar, en til þess var valin bergnáman í Helguvík á Reykjanesi. Bæði handsýni og þunnarneiðar úr bergsýnum allra sex námanna voru greind bergfræðilega með víðsjá og smásjá.

Í öllum námum var lítið sem ekkert ummyndað basalt. Steindir sem greindust í grunnmassa voru þær sömu í öllum sýnum; ólivín, plagióklas, pýroxen og málmur. Sýni voru í flestum tilfellum lítt blöðrótt og grunnmassinn dul- eða fínkornóttur. Sýnið úr viðmiðunarnámunni, Helguvík, sker sig úr í blöðrumagni og kristalstærð. Að auki var Helguvíkursýnið það eina sem ekki var dílótt.

Að öllum líkindum tengist vandamálið raka sem frýs í grjótinu og nær þannig að kljúfa það, eftir sprungum eða öðrum veikleikaflötum. Sprungurnar geta verið stuðlasprungur eða nýmyndaðar sprungur vegna sprenginga við grjótvinnsluna sem duga þó ekki til að brjóta bergið. Þar sem umrætt vandamál er til staðar þarf bergið að innihalda vatn þegar sprengt er, þó það sé ekki alltaf neðan grunnvatnsborðs og vatnsmettað og mögulega nær vatn einnig að einhverju leyti inn í nýmyndaðar sprengiskaðasprungur bergsins/grjótsins.

Sökum þess að bergið er mun þéttara í þeim námum sem vandamálið hefur sést, heldur en bergið í viðmiðunarnámunni í Helguvík, má álykta að blöðróttur eða gropinn grunnmassi nái bæði að afvatna bergið hraðar og mögulega koma í veg fyrir að frostþensla vatns valdi of miklu álagi á bergið. Í þéttu bergi á vatn í sprungum enga undankomuleið og frostþensla þess leitast við að þrýsta í sundur grjótinu um sprunguna. Í gropnu bergi geta hins vegar ómettuð holrými hjálpað til við að létta af þessum þrýstingi. Loft í steypu gegnir í raun sama hlutverki gagnvart frostþoli hennar.

Viðmiðunarbergið í Helguvík er einnig með grófgerðari grunnmassa og þar eru ekki dílar. Ekki er ljóst hvort og þá hvernig þetta tengist vandamálinu, en mögulegt er að fíngræðar sprungur geti myndast meðfram jöðrum stórra díla sem skera sig frá grunnmassa í kornstærð, en síður í gegnum grunnmassa þar sem öll korn er í sömu stærð. Í berginu frá Þórshöfn og frá Rifi vottaði fyrir stefnustrúktúr þar sem plagióklasnálar í grunnmassa virtust að einhverju leyti liggja samsíða stórum plagióklasdílum. Í strúktúr þar sem steindanálar liggja margar samsíða eru meiri líkur á veikleika og sprungumyndun samsíða steindunum, sbr. straumflögun bergs. Auk þess, ef sprungur raðast í ákveðnar áttir er líklegra að þær verði lengri og gegnumgangandi í grjóti.

Gera þarf fleiri skoðanir og athuganir til að fá betur úr því skorið hvort ofangreind atriði tengist vandamálinu með sprungumyndun í grjóti eftir vetrarvinnslu þess.

Efnisyfirlit

| | |
|--|-----------|
| 1. Inngangur | 1 |
| 1.1 Bakgrunnur og forsaga | 1 |
| 1.2 Verkefnislýsing, tilgangur og markmið | 1 |
| 2. Bergnámur og sýnataka | 2 |
| 2.1 Nónfell í Finnafirði..... | 2 |
| 2.2 Þórshöfn..... | 5 |
| 2.3 Hvammkotsbruni á Skaga..... | 6 |
| 2.4 Rif á Snæfellsnesi..... | 8 |
| 2.5 Hamranes í Hafnarfirði..... | 10 |
| 2.6 Helguvík á Reykjanesi - Viðmiðunarnáma | 12 |
| 3. Skoðun bergsýna..... | 14 |
| 3.1 Sýnalýsing | 14 |
| 3.2 Nónfell | 15 |
| 3.2.1 Nónfell, sýnalýsing | 15 |
| 3.3 Þórshöfn..... | 17 |
| 3.3.1 Þórshöfn, sýnalýsing | 17 |
| 3.4 Hvammkotsbruni á Skaga..... | 19 |
| 3.4.1 Hvammkotsbruni, sýnalýsing | 19 |
| 3.5 Rif..... | 21 |
| 3.5.1 Rif, sýnalýsing..... | 21 |
| 3.6 Hamranes..... | 23 |
| 3.6.1 Hamranes, sýnalýsing..... | 23 |
| 3.7 Helguvík | 25 |
| 3.7.1 Helguvík, sýnalýsing | 25 |
| 4. Samantekt á niðurstöðum skoðunar | 27 |
| 5. Umræða og næstu skref..... | 28 |
| 6. Heimildir..... | 30 |

1. Inngangur

Rannsóknarverkefni þetta er styrkt af rannsóknarsjóði Vegagerðarinnar. Heiti verkefnisins er Sprungumyndun í grjóti í brimvörn – Námurannsókn. Þessi skýrsla greinir frá niðurstöðum athugunar á bergi úr sex bergnámu víðs vegar um landið.

1.1 Bakgrunnur og forsaga

Grjót er notað til sjóvarna og brimvarna við hafnir og strendur á Íslandi. Grjótið er unnið í grjótnámum sem yfirleitt eru valdar í berglögum úr basalti og bergið þarf að uppfylla ýmis skilyrði til að geta talist heppilegt til vinnslu á brimvarnargrjóti. Til mikils er að vinna að finna slíkt berg í nágrenni við grjótvannarmannvirkin til þess að takmarka flutningsvegalengdir.

Vandamál hefur verið í gegnum tíðina þar sem grjót á það til að springa og klofna í smærri einingar en til var ætlast. Þetta hefur einkum verið tengt við nokkrar námur á landinu, þrátt fyrir að bergið í þessum námum hafi verið talið ákjósanlegt til grjótvinnslu. Vandamálið er bundið við vinnslu um vetur, annað hvort í frosti eða að frost verði skömmu eftir að bergið er sprengt og unnið, en er hins vegar ekki staðar þegar grjót er unnið úr sömu námum á öðrum árstímum en vetri. Grjótið hefur ýmist sprungið á lager eða eftir að búið var að koma því fyrir í brimvarnargarð. Ástæðan fyrir þessu er annars ekki að fullu ljós.

Þetta hefur valdið kostnaðarsömum tjónum á hafnarmannvirkjum á nokkrum stöðum á landinu en vandamálið hefur einkum tengst fimm námum sem notaðar hafa verið til vinnslu á brimvarnargrjóti. Þær eru:

- í Nónfelli í Finnafirði
- við Þórshöfn
- í Hvammkotsbruna norðan við Skagaströnd á Skaga
- við Rif á Snæfellsnesi
- í Hamranesi við Hafnarfjörð

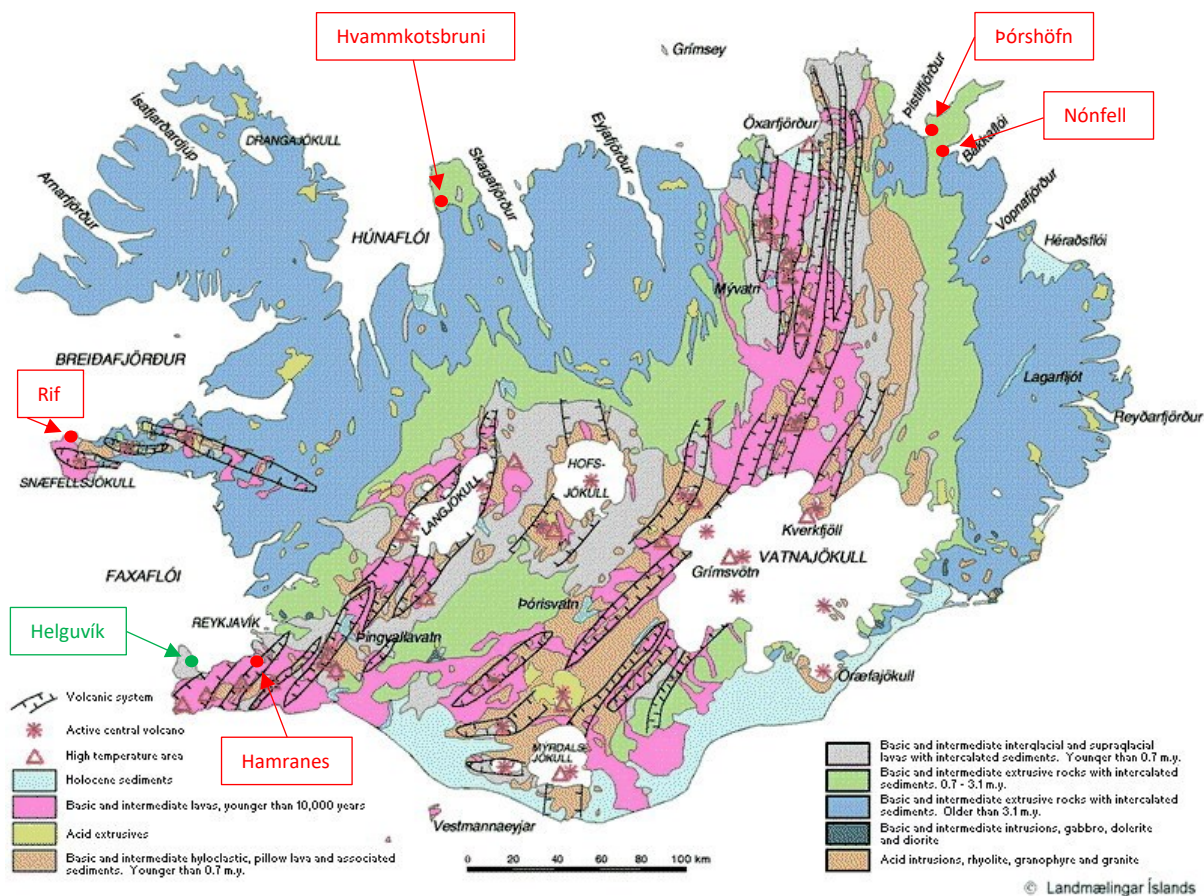
Til mikils er að vinna að finna út hver ástæðan er fyrir þessari sprungumyndun í grjóti til að koma í veg fyrir að slík tjón endurtaki sig. Mikilvægt er að finna orsakir vandamálsins til þess að tryggja stöðugleika og öryggi sjóvarnargarða og koma í veg fyrir flóknar viðgerðir eftir að þeir hafa verið byggðir. Varðandi bæði kostnað og umhverfismál er einnig mikilvægt að reyna að lágmarka grjótflutninga eins og hægt er.

1.2 Verkefnislýsing, tilgangur og markmið

Þetta rannsóknarverkefni felur í sér að bera saman berg úr ofangreindum fimm námum og bera þær einnig saman við bergnámu þar sem ofangreint vandamál hefur ekki verið til staðar. Til slíkrar viðmiðunar var valin bergnáman í Helguvík á Reykjanesi.

Bergsýni voru tekin úr öllum þessum sex námum, gerðar þunnsneiðar úr þeim og bæði handsýni og þunnsneiðar greindar og bornar saman bergfræðilega. Talað er um grágrýti sem berggerð í flestum þessara náma, en hugtakið grágrýti getur haft víða merkingu í bergfræðilegum skilningi.

Rannsóknin er liður í að athuga hvort ástæðuna fyrir sprungumyndun í grjótinu megi rekja til bergfræðilegra þátta, bergtæknilegra þátta eða þátta tengda sjálfri efnisvinnslunni. Meginmarkmið þessa verkefnis er að gera bergfræðilegan samanburð og ef í ljós kemur að vandamálið virðist tengjast bergfræðilegum þáttum mun það auðvelda val á bergnámu til vinnslu á brimvarnargrjóti.



Mynd 1: Staðsetning þeirra bergnáma sem athugaðar voru, sýndar á jarðfræðikorti af Íslandi. Fimm rauðmerktar námur þar sem vandamál hefur verið með sprungið brimvarnargrjót og ein grænmerkt þar sem grjótið hefur reynst í lagi þrátt fyrir vinnslu um vetur.

2. Bergnámur og sýnataka

Starfsmenn Vegagerðarinnar á hverju svæði sáu um sýnatöku í fjórum bergnámunum, þ.e. í Nónfelli í Finnafirði, við Þórshöfn, í Hvammkotsbruna norðan við Skagaströnd á Skaga og við Rif á Snæfellsnesi. Mannvit sá hins vegar um sýnatöku í tveimur námum, þ.e. í Hamranesi við Hafnarfjörð og í Helguvík á Reykjanesi. Til að samræma sýnatökuna voru gefnar grófar leiðbeiningar þar sem lögð var áhersla á að ná nokkrum steinum úr fersku bergi/bergstáli sem væri lýsandi fyrir grjótefni námunnar.

Námurnar eru staðsettar í bergi mynduðu á Kvarter-tímabili jarðsögunnar, einungis Nónfell gæti mögulega verið aðeins eldra. Þær tilheyrja því svokölluðum grágrýtisbergmyndunum, en hugtakið grágrýti hefur verið notað yfir berg frá hlýskeiðum Ísaldar og blágrýti yfir berg frá Tertíer-tímabilinu. Grágrýti hefur líka verið notað yfir ólivínbasalt, sem gjarnan er grófkristallaðra en póleiit, en þetta er þó ekki algilt. Bergið í flestum námum þessarar rannsóknar hefur verið flokkað sem grágrýti, þá bæði vegna aldurs og bergfræði.

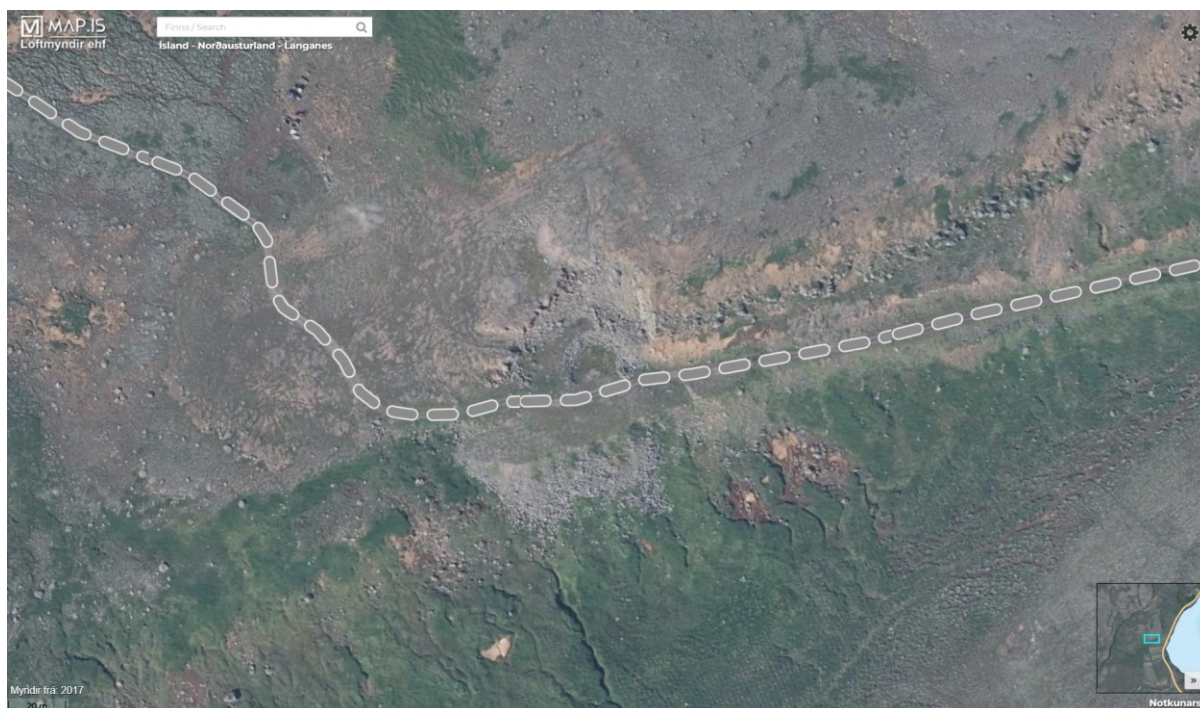
2.1 Nónfell í Finnafirði

Náman Nónfell er staðsett um 2 km suðvestur frá bænum Felli í Finnafirði í Bakkaflóa. Mynd 2 sýnir loftmynd af henni og mynd 3 er ljósmynd tekin efst í hluta námustáls hennar. Náman var eingöngu notuð um 1984 þegar sprengt var í henni og um 5.000 m³ af stóru grjóti var sett í hluta brimvarnargarðsins við Bakkafjarðarhöfn (Stapi, 1995). Í námuskra Vegagerðarinnar,

<http://namur.vegagerdin.is/>, er naman skráð sem storkubergsnáma sem ber heitið Nónfjall og er nr. 20140.

Bergið í námunni er smádílótt dílabasalt sem tilheyrir 2,6-5,3 milljón ára gömlum bergmyndunum (frá Plíósen) samkvæmt jarðfræðikorti ÍSOR. Bergið er ferskt, heillegt og stórstuðlað og ætti að geta hentað mjög vel sem brimvarnargrjót. Í Bakkafjarðarhöfn varð reynslan hins vegar sú að grjótið klofnaði í sundur og talsverður fjöldi 5-10 tonna steina hefur brotnað í 2-4 hluta.

Starfsmenn Vegagerðarinnar sáu um sýnatöku í Nónfellsnámu og sendu til rannsóknarstofu Mannvits. Mynd 4 sýnir aðsend bergsýni úr námunni.



Mynd 2. Loftmynd af Nónfellsnámu og umhverfi frá 2017. Náman er fyrir miðri mynd (map.is).



Mynd 3. Efst í bergstáli í norðurvegg Nónfellsnámu. Til viðmiðunar er 30 cm langur slaghamar. Ljósmynd tekin vorið 2020 (AKI).



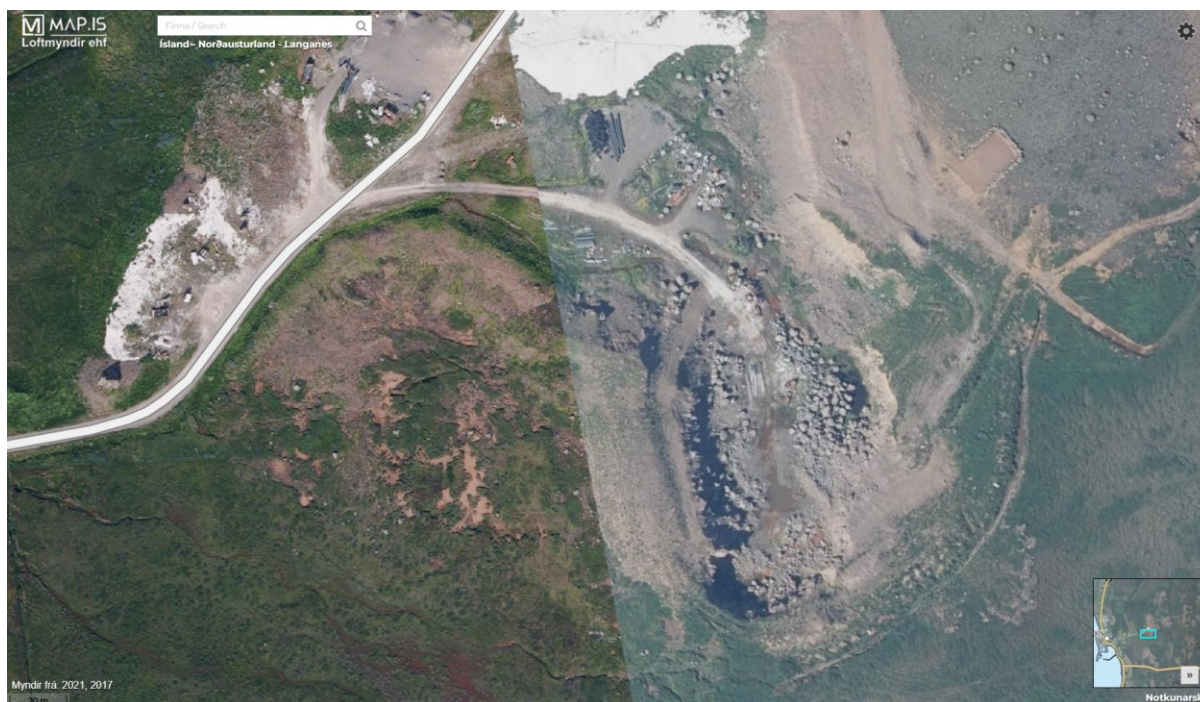
Mynd 4. Aðsend bergsýni úr Nónfellsnámu. Stærð gula miðans er ca. 12 x 8 cm, til viðmiðunar (AKI).

2.2 Þórshöfn

Bergnámán er staðsett um 1 km austan við Þórshöfn á Langanesi og hefur verið notuð í hafnargerð og brimvarnir á Þórshöfn. Mynd 5 sýnir loftmynd af námunni. Í námuskrá Vegagerðarinnar, <http://namur.vegagerdin.is/>, er naman skráð sem storkubergsnáma sem ber heitið Grjótnám við Þórshöfn og er nr. 19932.

Samkvæmt jarðfræðikorti ÍSOR er berggrunnur svæðisins að mestu 2,6-5,3 milljón ára gamlar bergmyndanir (frá Plíósen) en á námusvæðinu eru hins vegar grágrýtislög frá hlýskeyðum snemma á Ísöld. Bergið í námunni er 4-14 m þykkt dílótt basalt, stórstuðlað og frekar þétt. Hluti bergsins er dálítið ummyndaður, sérstaklega umhverfis sprungur, en bergið telst annars ferskt. Þrátt fyrir að teljast ákjósanlegt sem grjót til brimvarna var nokkuð áberandi að steinar kloffnuðu við að standa á lager yfir vetrartíma og var að þessu leyti munur á grjóti sem framleitt var í frosti að vetri til og grjóti sem unnið var að sumri til (Stapi, 2007).

Starfsmenn Vegagerðarinnar sáu um sýnatöku í bergnámunni við Þórshöfn og sendu til rannsóknarstofu Mannvits. Mynd 5 sýnir aðsend bergsýni úr námunni.



Mynd 5. Loftmynd af bergnámunni við Þórshöfn. Hægri hluti myndar frá 2017, vinstri frá 2021 (map.is).



Mynd 6. Aðsend bergsýni úr bergnámunni við Þórshöfn. Grunnflötur pappakassans er ca. 20 x 15 cm, til viðmiðunar (AKI).

2.3 Hvammkotsbruni á Skaga

Bergnámán Hvammkotsbruni er staðsett um 12 km norðan við bæinn Skagaströnd á vestanverðum Skaga og hefur verið notuð í hafnargerð og brimvarnir í höfninni á Skagaströnd. Mynd 7 sýnir loftmynd af námunni. Í námuskrá Vegagerðarinnar, <http://namur.vegagerdin.is/>, er naman skráð sem storkubergsnáma sem ber heitið Bruni 1 og er nr. 22057.

Berglag námunnar flokkast sem grágrýti en það rann sem basalhraunlag og tilheyrir bergmyndunum frá fyrri hluta Ísaldar, 0,8-2,6 milljón ára gömlum, samkvæmt jarðfræðikorti ÍSOR.

Starfsmenn Vegagerðarinnar sáu um sýnatöku í bergnámunni Hvammkotsbruni á Skagaströnd og sendu til rannsóknarstofu Mannvits, mynd 8 sýnir námu og afstöðu sýnatökustaða. Mynd 9 sýnir aðsend bergsýni úr námunni.



Mynd 7. Loftmynd af námunni Hvammkotsbruni á Skaga frá 2017. Náman er fyrir miðri mynd (map.is).



Mynd 8. Horft til norðurs inn í námustál Hvammkotsbruna. Þrjár sýnatökustaðir merktir með bókstöfum (Vegagerðin).



Mynd 9. Aðsend bergsýni úr bergnámunni Hvammkotsbruni á Skagaströnd. Stærð gula miðans er ca. 12 x 8 cm, til viðmiðunar (AKI).

2.4 Rif á Snæfellsnesi

Bergnáman er staðsett um miðja vega á milli bæjanna Rifs og Hellissands, yst á norðanverðu Snæfellsnesi. Kallast náman Efri Höfði og hefur grjót verið unnið á þessu svæði í nokkra áratugi og notað m.a. til sjóvarna í Snæfellsbæ og til hafnargerðar í Ólafsvík og á Rifi (Jarðfræðistofan, 2021). Mynd 10 sýnir loftmynd af námunni. Í námuskrá Vegagerðarinnar, <http://namur.vegagerdin.is/>, er náman skráð sem storkubergsnáma sem ber heitið Höfðaskarð og er nr. 18956. Reyndar á sú skráning sennilega við um eldri hluta námunnar, sem liggur um 150 m austar en núverandi námugryfja og var notuð fram til 2008, sjá mynd 10.

Bergið á svæðinu tilheyrir bergmyndunum frá síðari hluta Ísaldar, yngri en 0,8 milljón ára gömlum, samkvæmt jarðfræðikorti ÍSOR. Um er að ræða grágrýti, dílótt alkalíbasalt, ljósgrátt, hart, sterkt og fersklegt berg (Jarðfræðistofan, 2019).

Starfsmenn Vegagerðarinnar sáu um sýnatöku í bergnámunni við Rif og sendu til rannsóknarstofu Mannvits. Mynd 11 sýnir námu og afstöðu sýnatökustaða. Mynd 12 sýnir aðsend bergsýni úr námunni.



Mynd 10. Loftmynd af bergnámunni við Rif á Snæfellsnesi frá 2020 (map.is). Vinstra megin er núverandi námuvinnsla og hægra megin er eldri námugryfja (Höfðaskarð, skv. námuskrá Vg.) sem notuð var fram til 2008.



Mynd 11. Bergstálið í vesturvegg bergnámunnar í Efri Höfða við Rif á Snæfellsnesi. Tveir sýnatökustaðir merktir á myndinni (Vegagerðin).



Mynd 12. Aðsend bergsýni úr bergnámunni í Efri Höfða við Rif á Snæfellsnesi. Stærð gula miðans er ca. 12 x 8 cm, til viðmiðunar (AKI).

2.5 Hamranes í Hafnarfirði

Bergnámán í Hamranesi sunnan við Hafnarfjörð er staðsett um 0,5 km austan við tengivirki Landsnets og hefur náman verið notuð við framleiðslu grjóts í sjóvarnargarða í Hafnarfirði. Mynd 13 sýnir loftmynd af námunni. Í námuskrá Vegagerðarinnar, <http://namur.vegagerdin.is/>, er náman skráð sem storkubergsnáma sem ber heitið Hamranes og er nr. 20459.

Berg námunnar tilheyrir grágrýtisflákum frá hlýskeiðum ísaldar samkvæmt jarðfræðikorti ÍSOR og samkvæmt berggrunnskorti af höfuðborgarsvæðinu (Helgi Torfason o.fl., 1998) er um að ræða grágrýti frá hlýskeiði á síðari hluta ísaldar, yngra en 780.000 ára (frá Brunhes segulskeiði).

Mannvit annaðist sýnatökuna og voru steinar teknir í núverandi bergstáli í austurhluta Hamranesnámu. Þar er bara eitt grágrýtisberglag að sjá, óreglulega stórstuðlað, aðeins blöðrótt ofan til en þéttara neðar þar sem sýnin voru tekin. Mynd 14 sýnir hluta af núverandi bergstáli námunnar í austurhluta hennar og einn sýnatökustaðinn. Mynd 15 sýnir þau tvö bergsýni sem valin voru til að gera þunnsneiðar úr fyrir Hamranesnámu.



Mynd 13. Loftmynd af bergnámunni í Hamranesi sunnan við Hafnarfjörð frá 2021 (map.is).



Mynd 14. Núverandi bergstál grágrýtis í austanverðri Hamranesnámu sunnan við Hafnarfjörð (BÓS).



Mynd 15. Sá hluti bergsýna úr Hamranesnámu sem gerðar voru þunnisneiðar úr. Stærð gulu miðanna er ca. 12 x 8 cm, til viðmiðunar (AKI).

2.6 Helguvík á Reykjanesi - Viðmiðunarnáma

Til að fá samanburð við námu með sambærilegu bergi þar sem vandamál vegna grjótklofnings hefur ekki verið til staðar var valin bergnáman í Helguvík á Reykjanesi. Grjót hefur verið unnið úr þessari námu í um 4 áratugi og notað til sjóvarna fyrir hafnir á Reykjanesi, m.a. í Keflavík og Helguvík. Vinnsla og sprengingar bergs hafa farið fram allan ársins hring, einnig í frosti að vetrarlagi. Mynd 16 sýnir loftmynd af námunni sem er staðsett vestur af standberginu við ströndina í Helguvík. Í námuskrá Vegagerðarinnar, <http://namur.vegagerdin.is/>, er náman skráð sem storkubergsnáma sem ber heitið Helguvík og er nr. 20494.

Bergið við Helguvík er grágrýtismyndun, beltótt og óreglulega lagskipt dyngjubasalt, líklega myndað á síðasta hlýskeyði Ísaldar. Bergið er grófkristallað, blöðrótt og fínblöðrótt ólívínþóleítt og er kristalbygging þess mjög gropin (Jarðfræðistofan, 2008; Stapi, 1994).

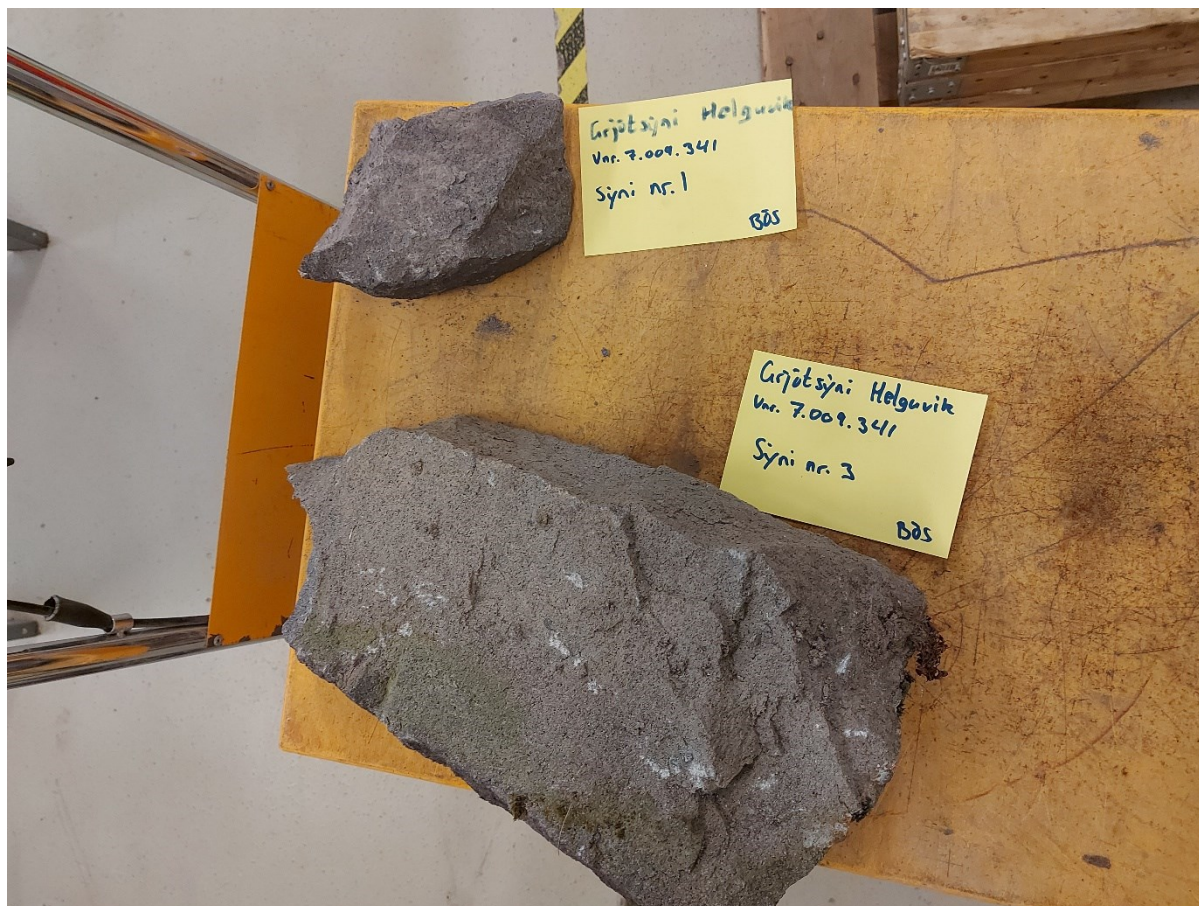
Mannvit annaðist sýnatökuna og voru steinar teknir á þremur stöðum í stórstuðluðu basalti í núverandi bergstáli Helguvíkurnámu. Mynd 17 sýnir hluta af núverandi bergstáli námunnar og einn sýnatökustaðinn. Mynd 18 sýnir þau tvö bergsýni sem valin voru til að gera þunnisneiðar úr fyrir Helguvíkurnámu.



Mynd 16. Loftmynd af viðmiðunarbergnamunni í Helgúvík á Reykjavísi frá 2020 (map.is).



Mynd 17. Hluti af núverandi bergstál í Helgúvíkurnámu. Rauði ramminn á vinstri ljósmyndinni sýnir einn sýnatökustaðinn og hægri ljósmyndin er nærmynd af þeim stað (BÓS).



Mynd 18. Sá hluti bergsýna úr Helgusvíkurnámu sem gerðar voru þunnisneiðar úr. Stærð gulu miðanna er ca. 12 x 8 cm, til viðmiðunar (AKI).

3. Skoðun bergsýna

Sýnin voru söguð niður og tveir bergmolar voru sendir í þunnisneiðagerð til Háskóla Íslands. Ein söguð hlið var einnig slípuð og yfirborðið pólerað fyrir skoðun í víðsjá. Bergið sem skoðað var fyrir rannsóknina er ferskt eða lítt ummyndað og sýni fyrir rannsóknina voru valin úr fersku brotsári innan við veðrunarkápu á yfirborði.

Notast var við Olympus víðsjá af gerðinni SZ-STB1 og Motic smásjá af gerðinni BA300 Pol. Myndir af þunnisneiðum voru teknar með Infinity-X color myndavél.

Við lýsingu og flokkun á sýnum var stuðst við staðal um berggreiningu, ÍST EN 932-3, ásamt BUSL skýrslu E-26 (Þorgeir S. Helgason o.fl., 2000), Rb blað Yp1.009 (Pétur Pétursson og Margrét I. Kjartansdóttir, 2006) og viðauka 10 í Leiðbeiningariti Vegagerðarinnar (Gunnar Bjarnason o.fl., 2021). Auk þessa var Optical mineralogy (C. D. Gribble og A. J. Hall, 1992) notuð til aðstoðar við greiningu steinda í smásjá.

3.1 Sýnalýsing

- Bergbrigði handsýnis, byrjað var á að ákvarða bergtegund sýnis.
- Blöðrumagn handsýnis, metið var hvort bergið teldist þétt og lítt blöðrótt (blöðrur < 5%), nokkuð blöðrótt (blöðrur 5-25%) eða mjög blöðrótt (blöðrur > 25%) og hvort kristalbygging gæti talist þétt eða gropin.

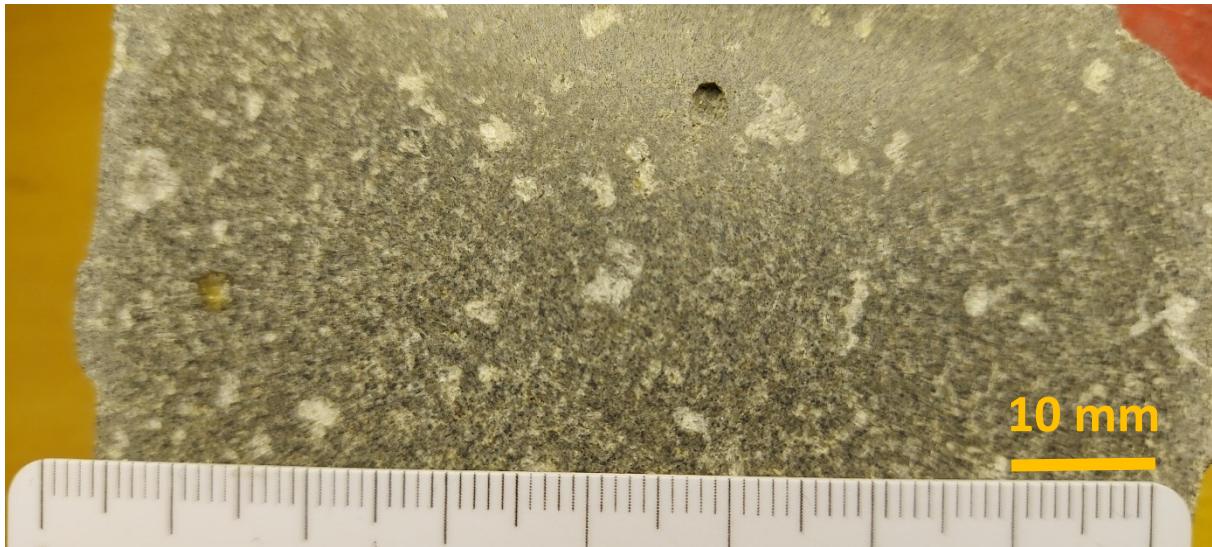
- Ummyndunarstig, ferskleiki steinda í berginu var metinn og sérstaklega var horft á ummyndunarstig ólivíns þar sem ferskt ólivín er ljósgrænt eða gulgrænt en við ummyndun dökknar það í appelsínugult eða dökkrautt og leirsteindir myndast.
- Dílar, tegund, stærð og magn díla í grunnmassanum var metið.
- Samsetning grunnmassa, steindir í grunnmassa voru greindar meðal annars eftir lit í einskautuðu og tvískautuðu ljósi, gegnsæi (opacity), risi og kleyfni.
- Kristalstærð, reynt var að meta stærð kristalla í grunnmassa og flokka bergið í dulkornótt (þvermál steinda <0,1 mm), fínkornótt (þvermál steinda 0,1-1 mm), smákornótt (þvermál steinda 1-5 mm) og grófkornótt (þvermál steinda > 5 mm).
- Strúktúr, horft var eftir uppbygging steindanna í berginu og hvort straumflögun (þar sem blöðrur eða steindir raða sér upp eftir flæði) væri greinileg, sérstaklega var reynt að sjá hvort plagíóklas-steindanálar væru að raða sér í ákveðna stefnu t.d. í kringum díla.

3.2 Nónfell

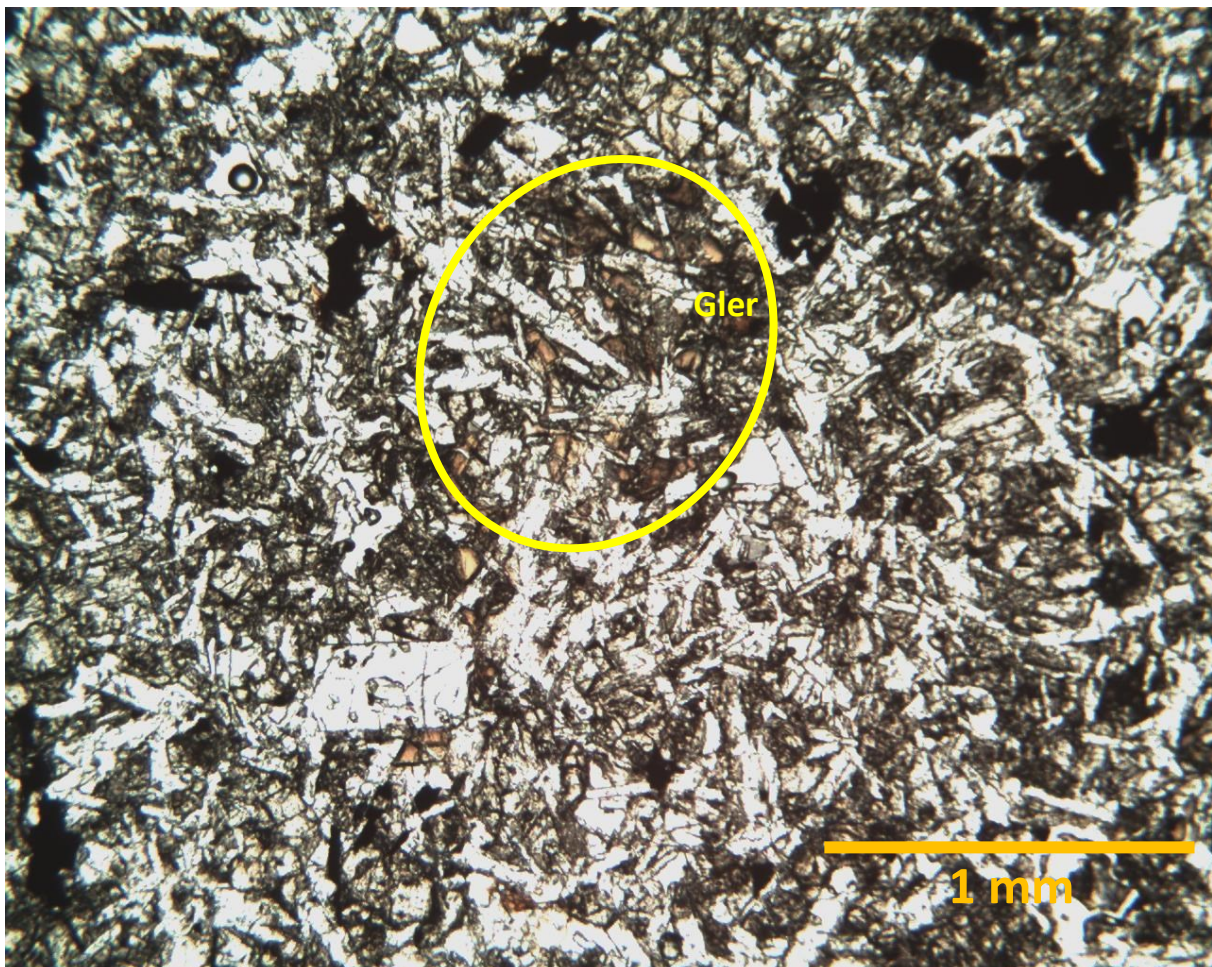
Mynd 19 sýnir handsýni frá bergnámunni í Nónfelli og myndir 20 og 21 sýna myndir af þunnsneið úr berginu í einskautuðu og tvískautuðu ljósi.

3.2.1 Nónfell, sýnalýsing

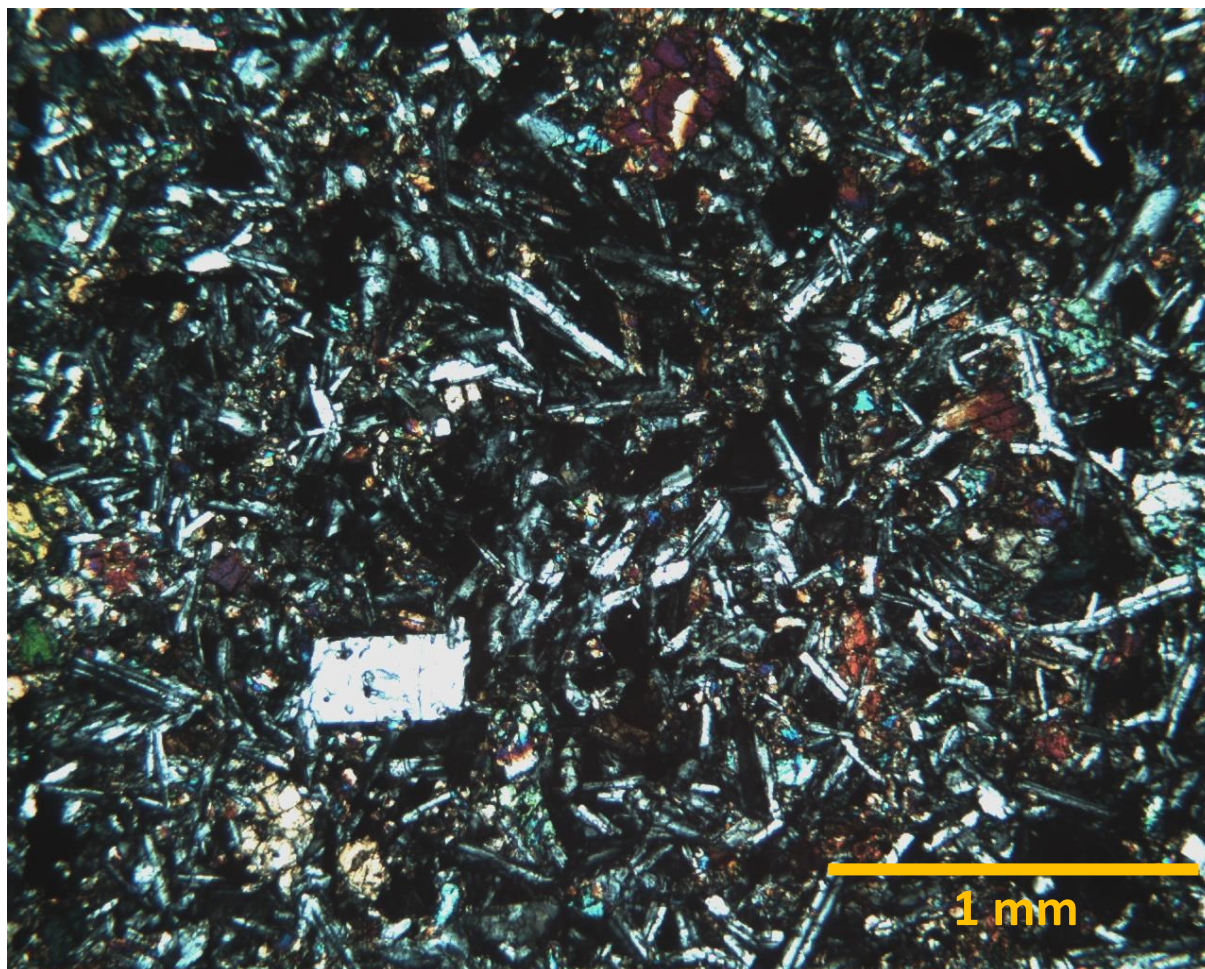
- Basalt.
- Þétt og lítt blöðrótt, blöðrur < 5%.
- Ferskt berg, ólivín að mestu ferskt, einstaka ólivín ummyndað á jöðrum.
- Nokkuð dílótt, plagíóklas dílar u.þ.b. 10-15% efnis í grunnmassa, þvermál díla er allt að 5 mm.
- Grunnmassi fremur smákristallaður, ólivín, plagíóklas, pýroxen og málmur. Virðist vera brúnt gler (sideromelane) sums staðar í grunnmassa, u.þ.b. 2-5% af heild. Glerið er brúnt í áfallandi ljósi, ógegnsætt (opac) í tvískautuðu ljósi. Mynd 20 sýnir slíkan glerkornaklasa.
- Grunnmassi er dulkornóttur/fínkornóttur, kristalstærð yfirleitt < 1 mm.
- Enginn auðsjáanlegur strúktúr, mikið af plagíóklasnalum, flestar 0,2-0,5 mm en ekki hægt að sjá að þær raði sér á ákveðinn hátt.



Mynd 19. Handsýni frá Nónfelli.



Mynd 20. Þunnsneið frá Nónfelli í einskautuðu ljósi. Í hringnum má sjá klasa af smágerðum brúnum sideromelane glerkornum.



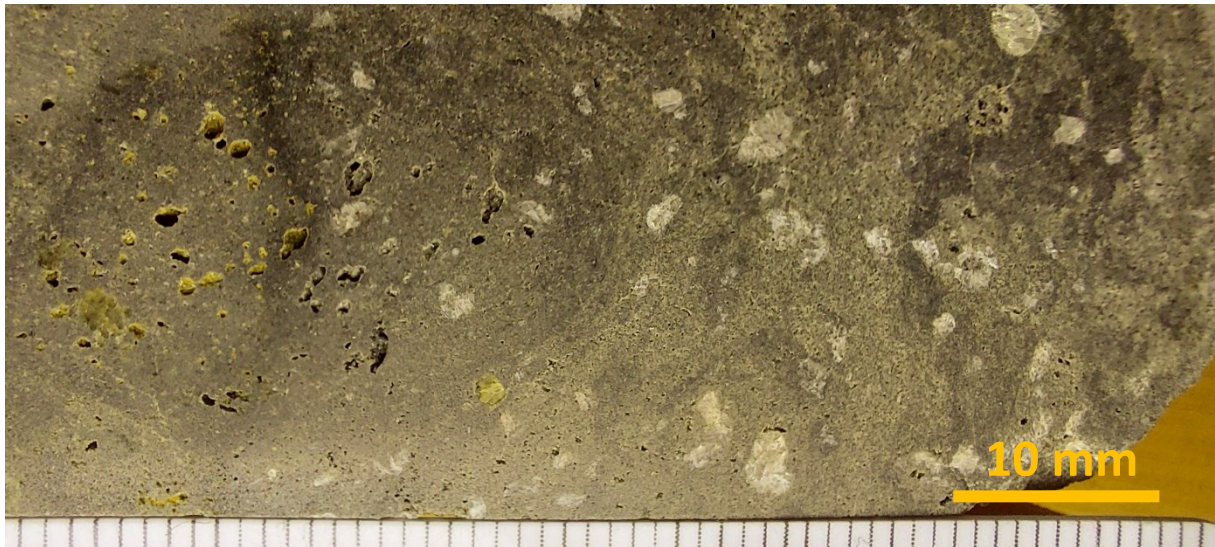
Mynd 21. Þunnsneið frá Nónfelli í tvískautuðu ljósi.

3.3 Þórshöfn

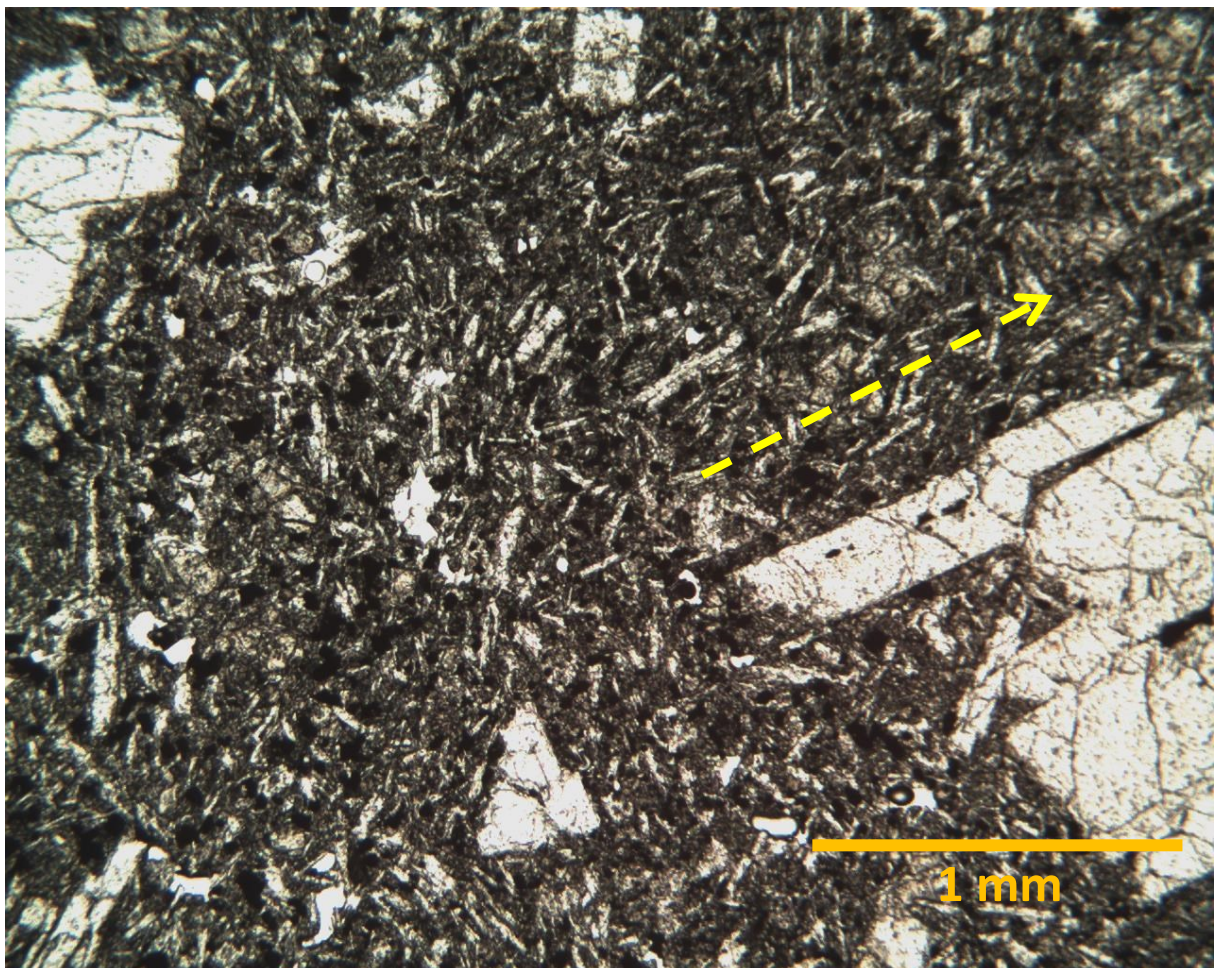
Mynd 22 sýnir handsýni frá námunni í Þórshöfn og myndir 23 og 24 sýna þunnsneið úr berginu í einskautuðu og tvískautuðu ljósi.

3.3.1 Þórshöfn, sýnalýsing

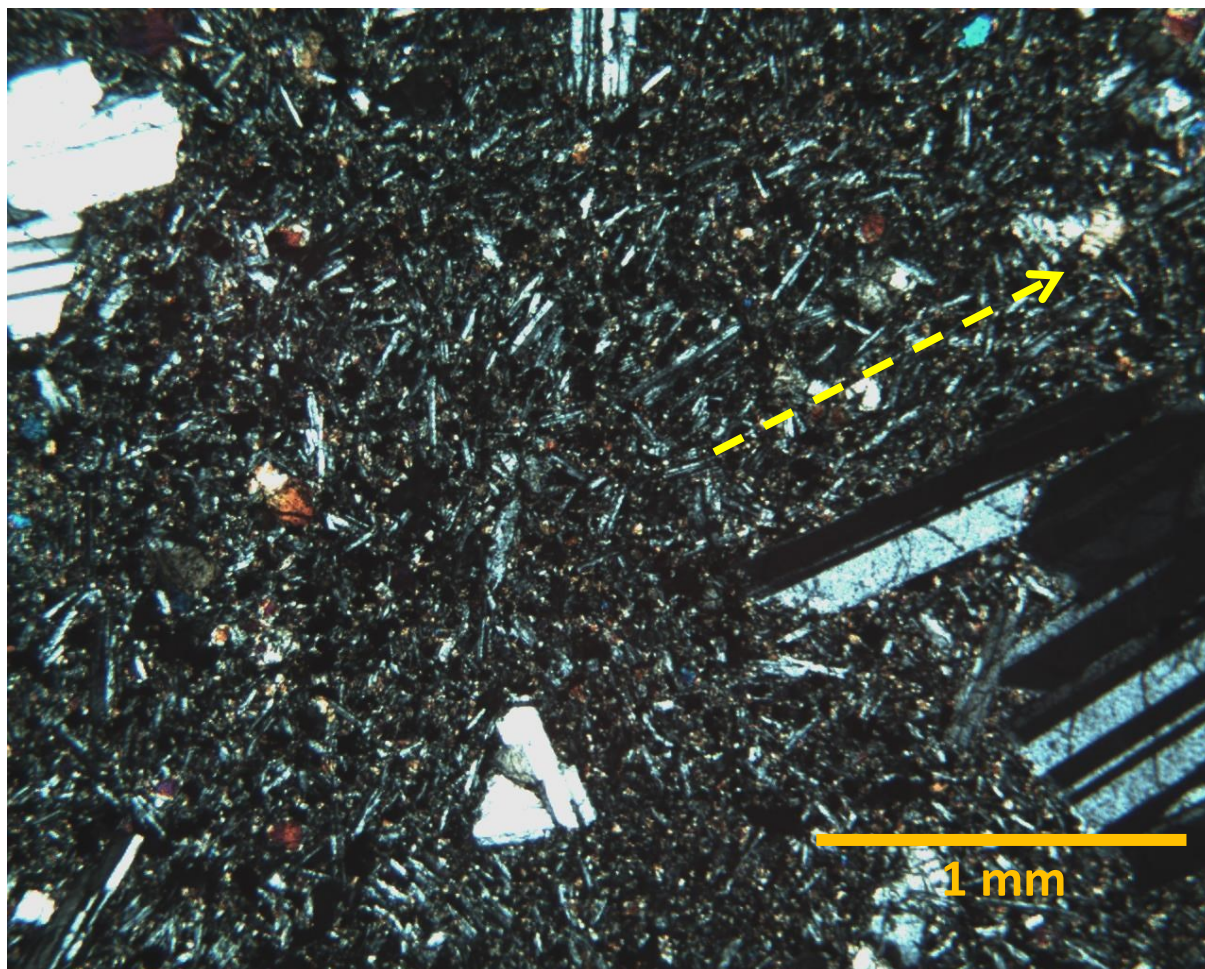
- Basalt.
- Þétt og lítt blöðrótt, blöðrur < 5%.
- Ferskt berg, ólivín er að mestu ferskt.
- Nokkuð dílótt, aðallega plagióklas og einstaka ólivín, plagióklas dílar u.þ.b. 10%, stærð allt að u.þ.b. 4 mm.
- Grunnmassi mjög smákrystallaður, ólivín, plagióklas, pýroxen og málmur.
- Grunnmassi er dulkornóttur, kristalstærð yfirleitt < 0,1 mm.
- Vottar fyrir fíngerðum strúktúr, plagióklasnálar virðast raða sér með ákveðna stefnu, sérstaklega í kringum díla og þá samsíða þeim, sýnt með ör á myndum 23 og 24.



Mynd 22. Handsýni frá Þórshöfn.



Mynd 23. Þunnsneið frá Þórshöfn í einskautuðu ljósi. Ör sýnir hvernig plagíóklasnálar virðast að einhverju leyti raða sér upp með ákveðna stefnu samsíða díl.



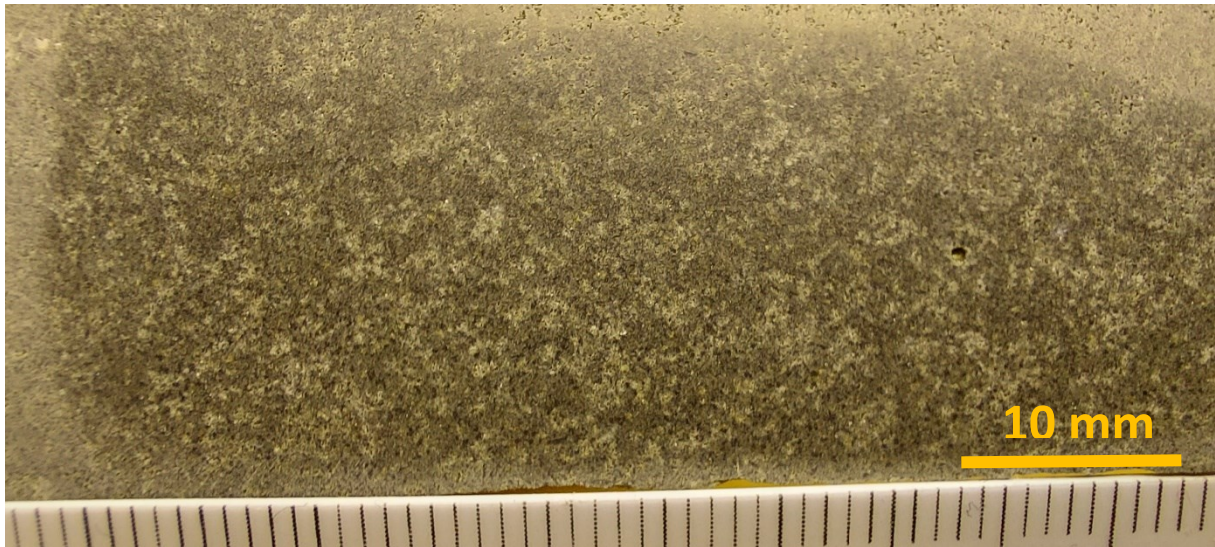
Mynd 24. Þunnsneið frá Þórshöfn í tvískautuðu ljósi. Ör sýnir hvernig plagíóklasnalar virðast að einhverju leyti raða sér upp með ákveðna stefnu samsíða dil.

3.4 Hvammkotsbruni á Skaga

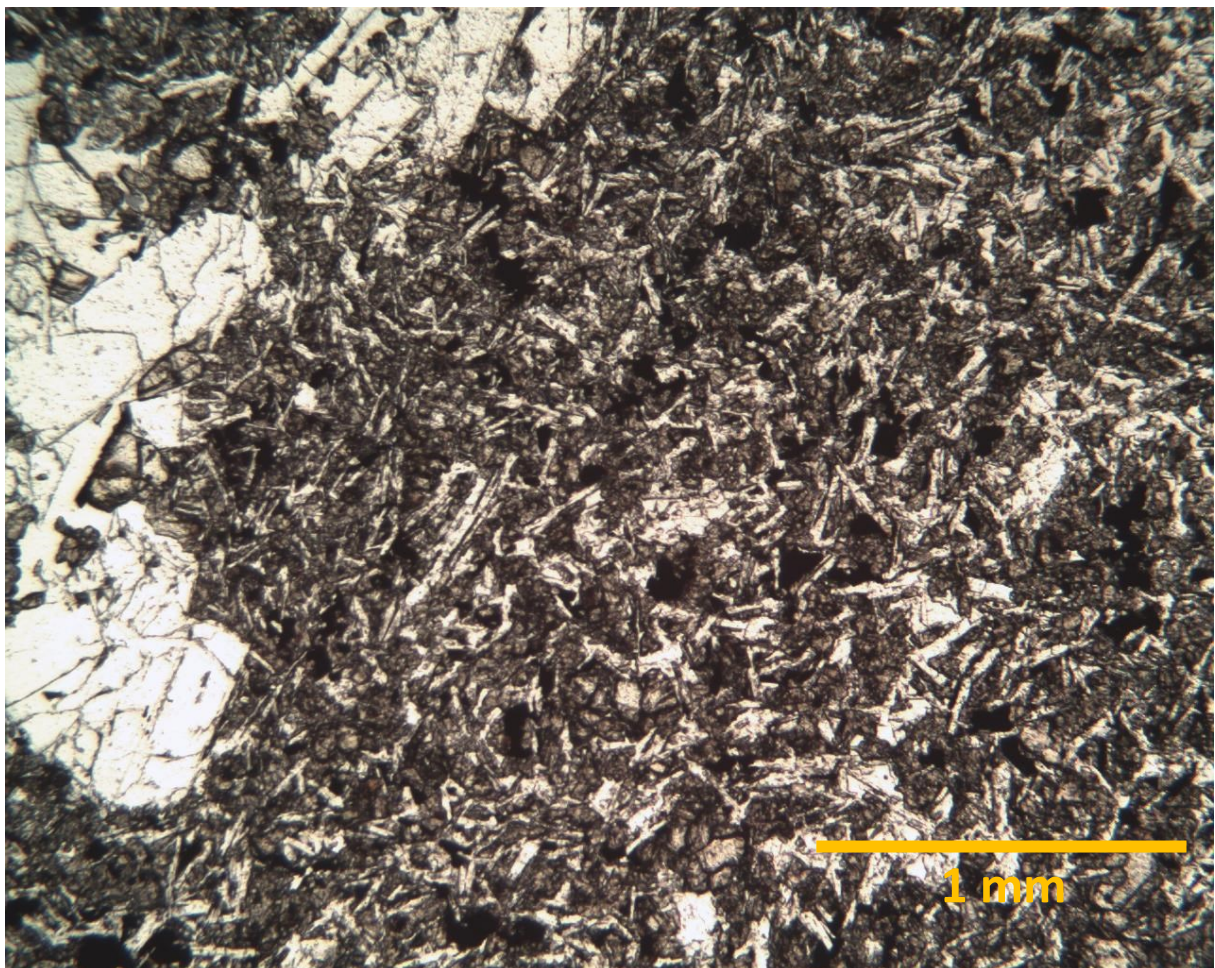
Mynd 25 sýnir handsýni frá bergnámunni Hvammkotsbruna á Skaga og myndir 26 og 27 sýna þunnsneiðar úr berginu í einskautuðu og tvískautuðu ljósi.

3.4.1 Hvammkotsbruni, sýnalýsing

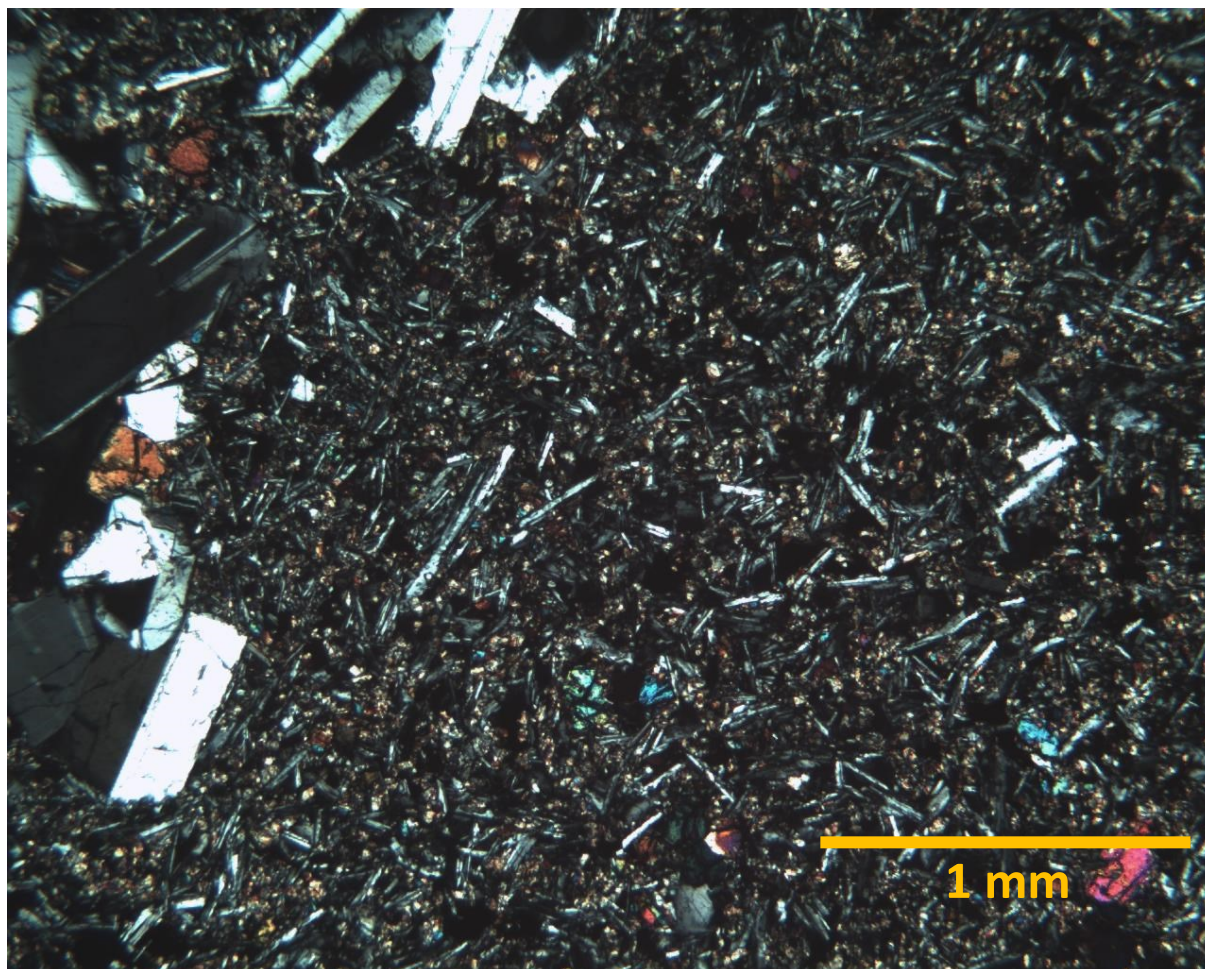
- Basalt.
- Lítt blöðrótt, blöðrur < 5% grunnmassa en kristalbygging er örlítið gropin.
- Ferskt berg og ólivín er sums staðar aðeins farið að ummyndast og orðið appelsínugult en ekki orðið að leir.
- Örfáir plagíóklas dílar.
- Grunnmassi mjög smákrystallaður, ólivín, plagíóklas, pýroxen og málmur
- Grunnmassi er dulkornóttur, kristalstærð yfirleitt < 0,1 mm.
- Enginn auðsjáanlegur strúktúr, mikið af plagíóklasnalum, flestar ca. 0,1-0,2 mm en ekki hægt að sjá að þær raði sér í ákveðna stefnu.



Mynd 25. Handsýni frá Hvammkotsbruna á Skaga.



Mynd 26. Þunnsneið frá Hvammkotsbruna í einskautuðu ljósi.



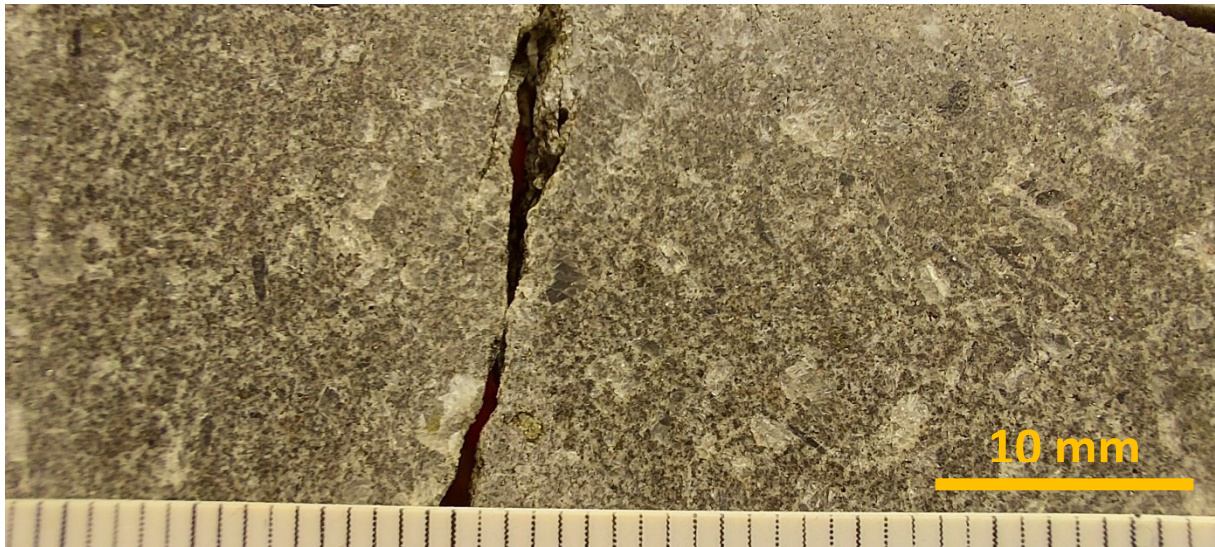
Mynd 27. Þunnisneið frá Hvammkotsbruna í tvískautuðu ljósi.

3.5 Rif

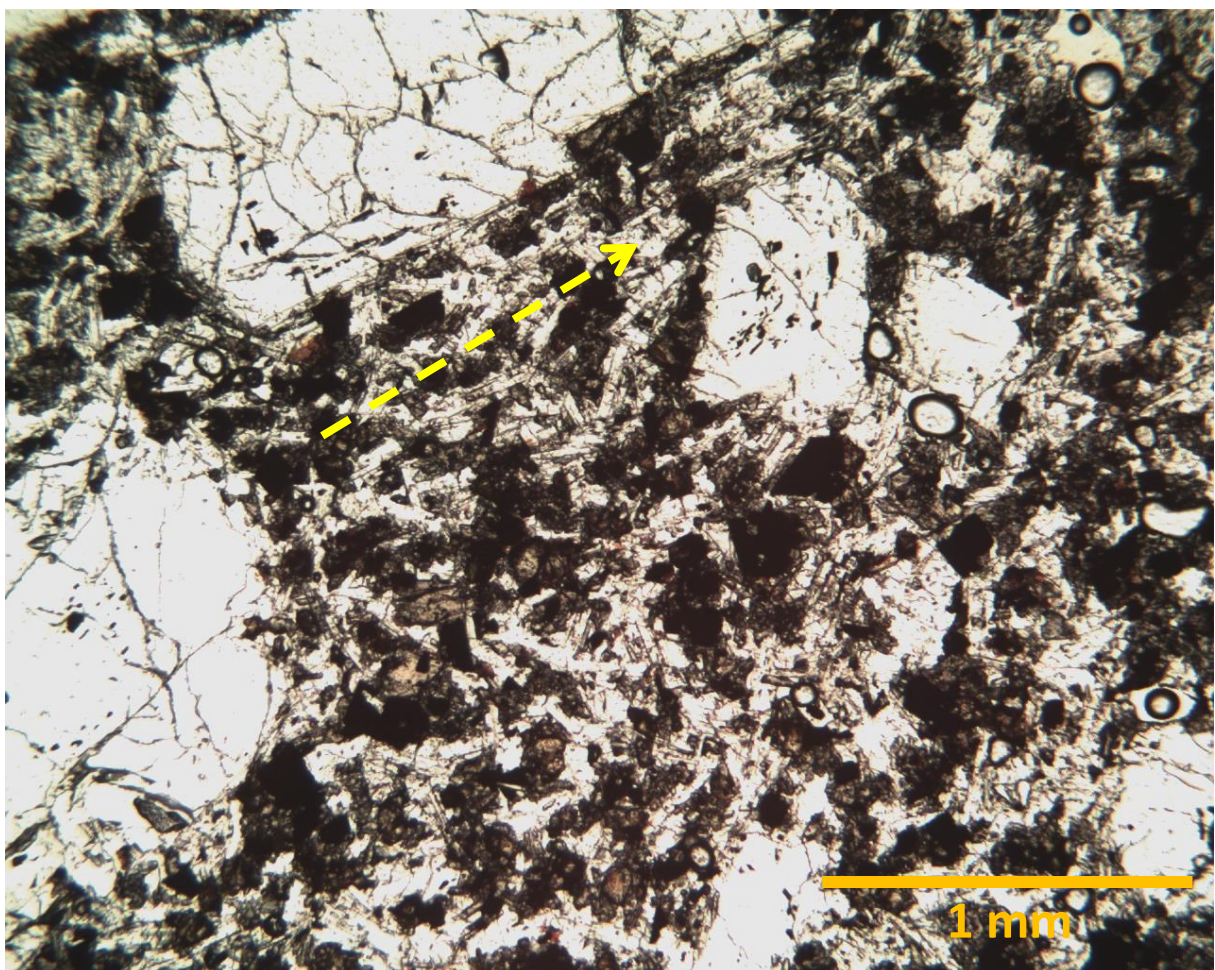
Mynd 28 sýnir handsýni frá bergnámunni við Rif og myndir 29 og 30 sýna þunnisneið úr berginu í einskautuðu og tvískautuðu ljósi.

3.5.1 Rif, sýnalýsing

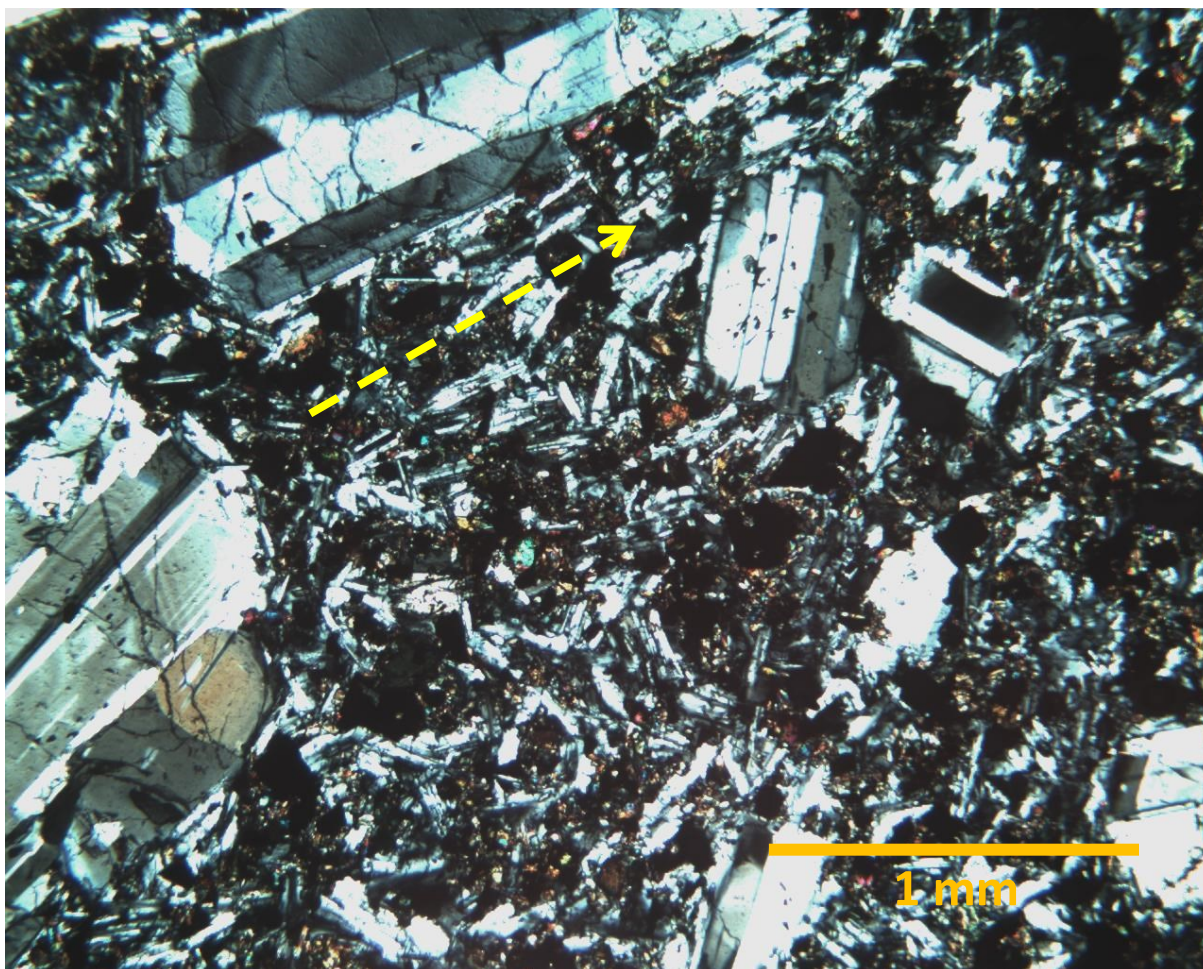
- Basalt.
- Þétt og lítt blöðróttt berg, blöðrur < 5% af grunnmassa.
- Ferskt en ólivín oft farið aðeins að ummyndast, er appelsínugult en ekki orðið að leir.
- Plagíóklas dílar u.þ.b. 5-10% af grunnmassa, flestir < 2 mm í þvermál. Einstaka ólivín dílar.
- Grunnmassi fremur smákristallaður, ólivín, plagíóklas, pýroxen og málmur
- Grunnmassi er dulkornóttur yfir í fínkornóttur, kristalstærð er yfirleitt < 1 mm.
- Vottar fyrir fíngerðum strúktúr, plagíóklasnálar virðast raða sér með ákveðna stefnu, sérstaklega í kringum díla og þá samsíða þeim, sýnt með ör á myndum 29 og 30.



Mynd 28. Handsýni frá Rifi.



Mynd 29. Þunnsneið frá Rifi í einskautuðu ljósi.



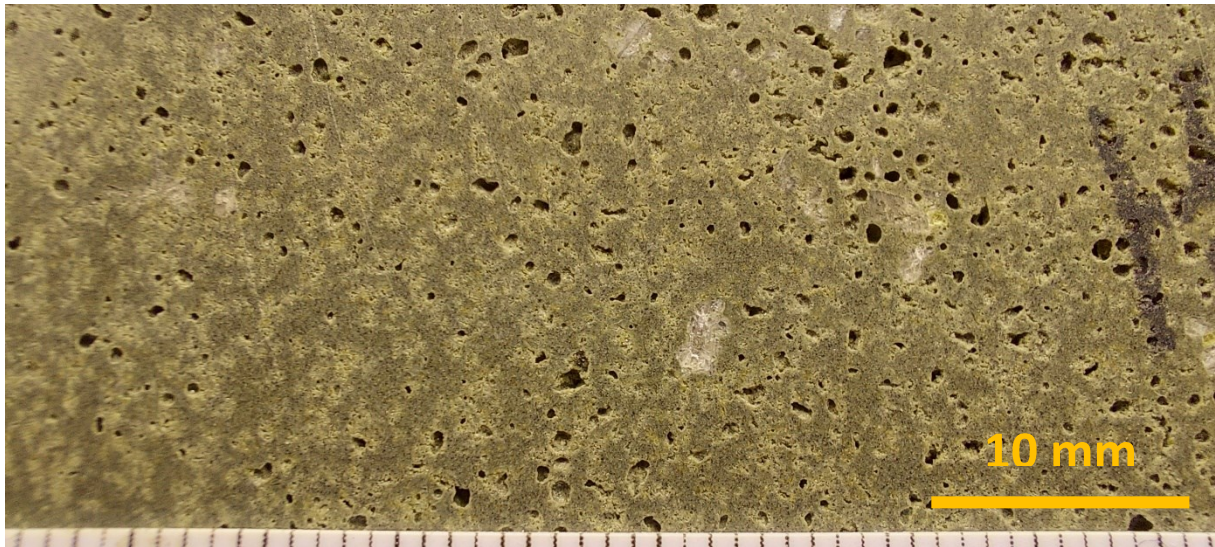
Mynd 30. Þunnsneið frá Rifi í tvískautuðu ljósi.

3.6 Hamranes

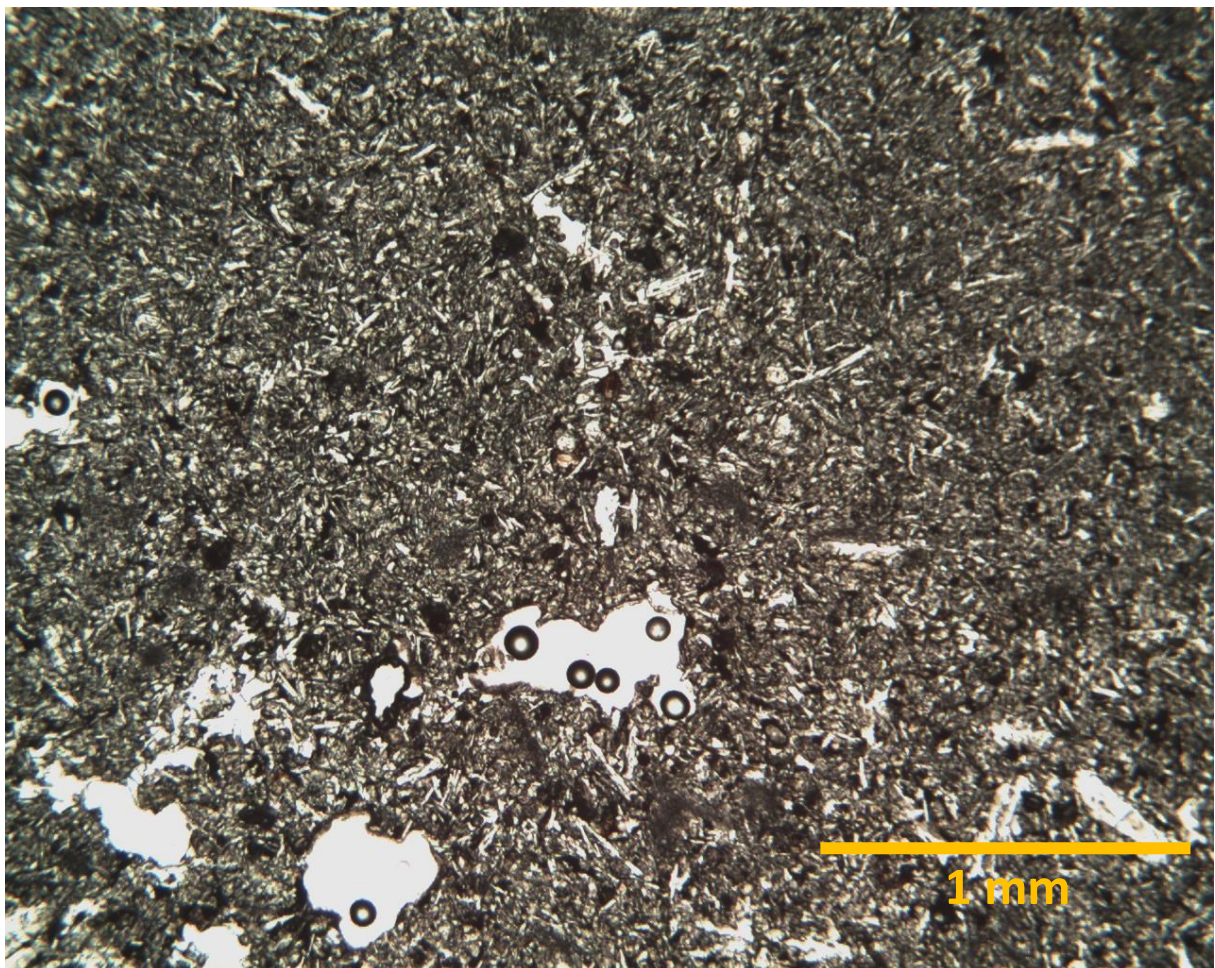
Mynd 31 sýnir handsýni frá bergnámunni í Hamranesi og myndir 32 og 33 sýna þunnsneið úr berginu í einskautuðu og tvískautuðu ljósi.

3.6.1 Hamranes, sýnalýsing.

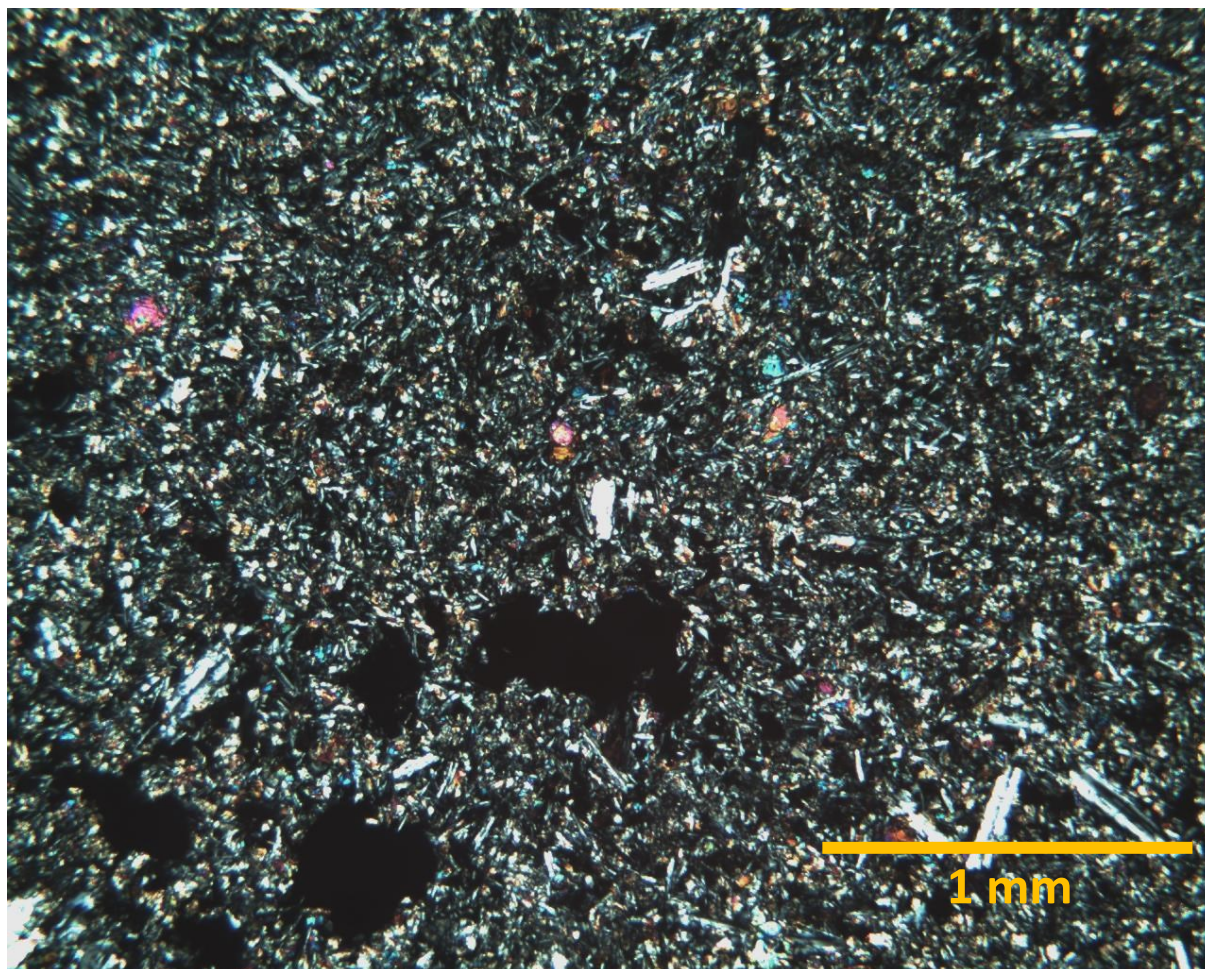
- Basalt.
- Nokkuð blöðrótt, blöðrur eru u.þ.b. 15-20 % af grunnmassa, þær eru smáar, yfirleitt < 1 mm í þvermál og kristalbygging er að einhverju leyti gropin.
- Ferskt berg, aðeins einstaka ólivín í grunnmassa er farið að ummyndast á jöðrunum í appelsínugult en ekki orðið að leir.
- Fáeinir plagíóklas dílar og einstaka ólivín díll, hlutfall díla er < 5% af grunnmassa.
- Grunnmassi mjög smákristallaður, ólivín, plagíóklas, pýroxen og málmur.
- Grunnmassi er dulkornóttur, kristalstærð er yfirleitt < 0,1 mm.
- Ekki merkjanlegur strúktúr, plagíóklasnálar eru litlar og ekki merkjanlegt að þær raði sér í ákveðna stefnu.



Mynd 31. Handsýni frá Hamranesi.



Mynd 32. Þunnsneið frá Hamranesi í einskautuðu ljósi.



Mynd 33. Þunnsneið frá Hamranesi í tvískautuðu ljósi.

3.7 Helguvík

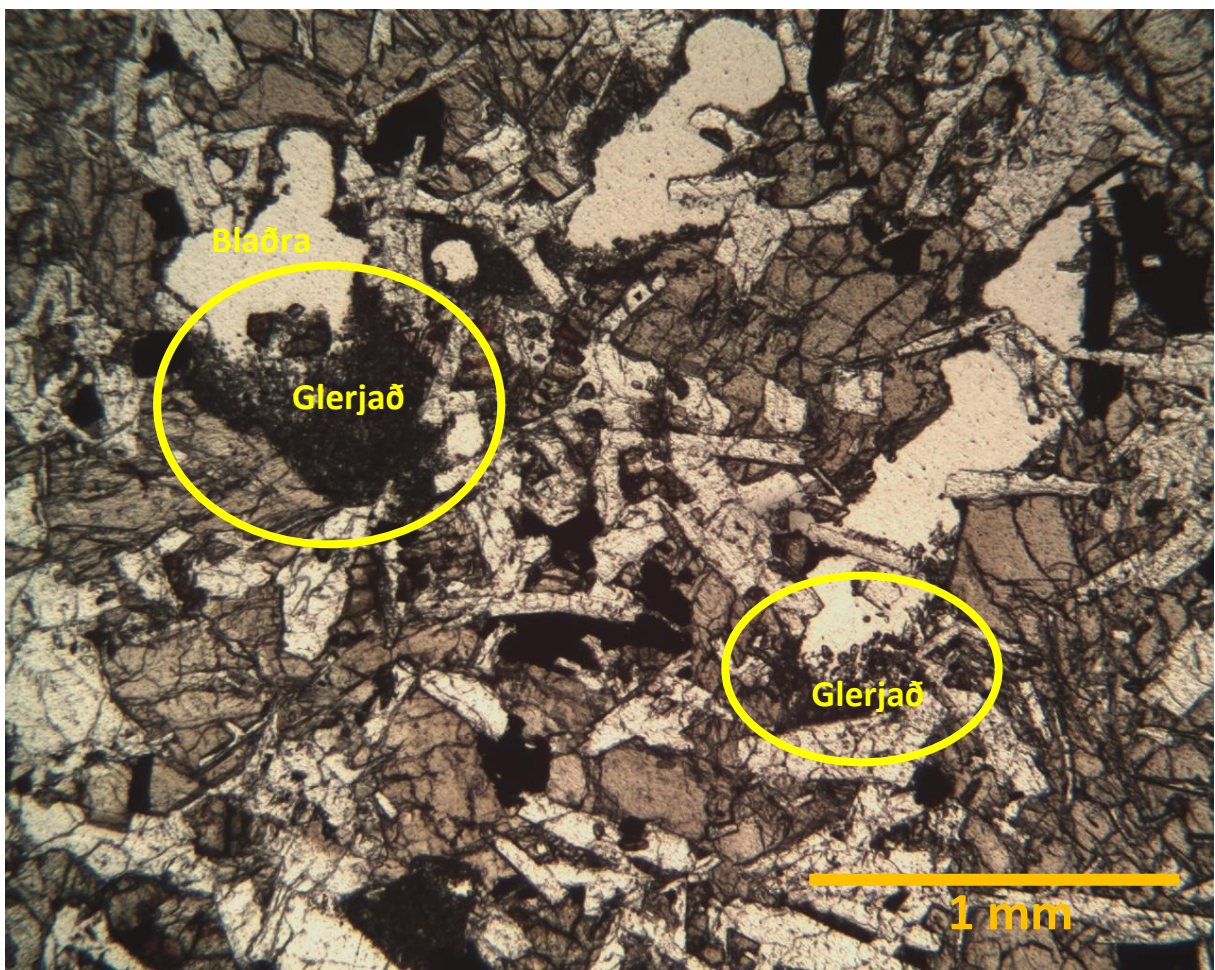
Mynd 34 sýnir handsýni frá bergnámunni í Helguvík, myndir 35 og 36 sýna þunnsneið úr berginu í einskautuðu og tvískautuðu ljósi.

3.7.1 Helguvík, sýnalýsing

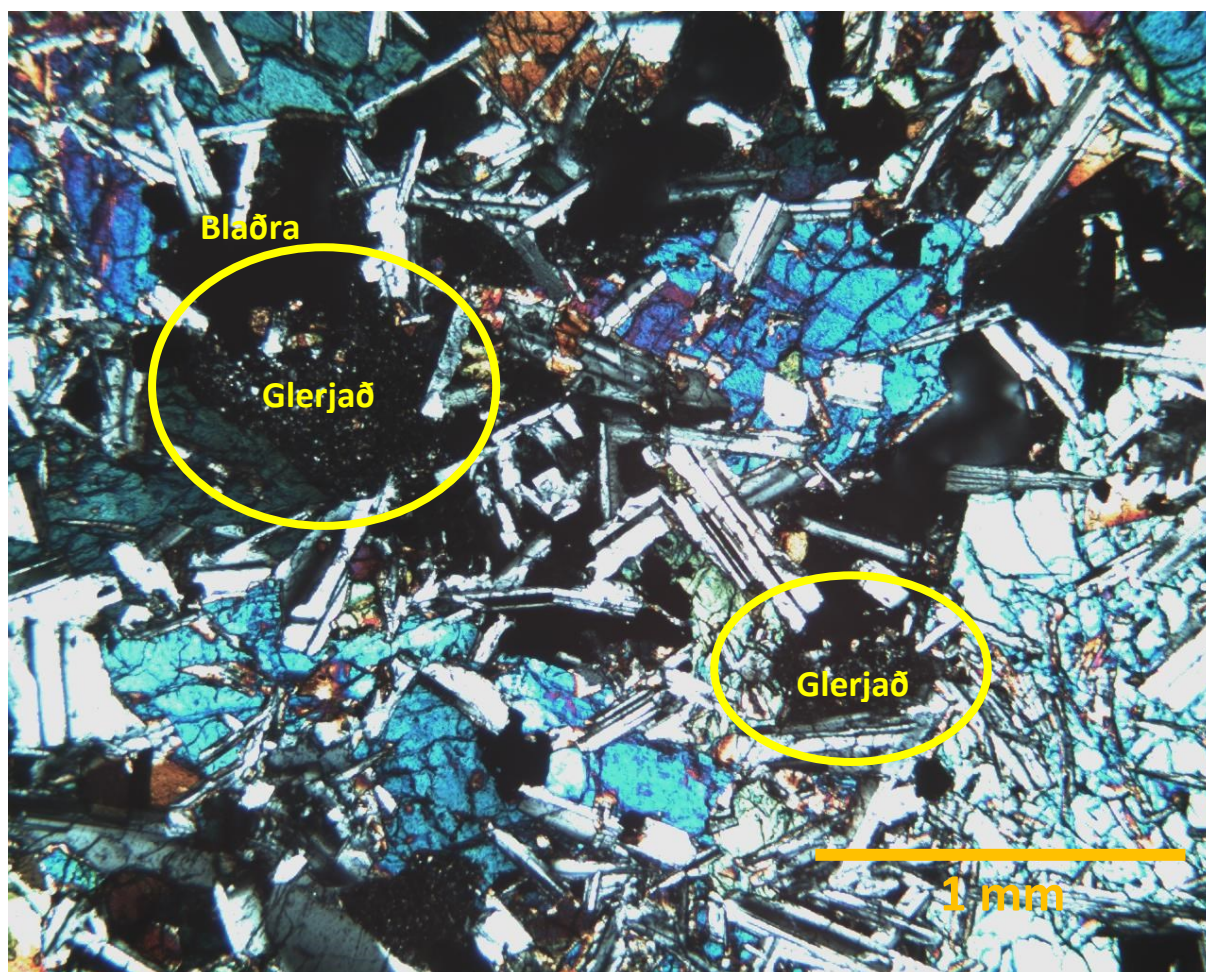
- Basalt.
- Mjög blöðrótt, blöðrumagn er > 25% af grunnmassa en blöðrur eru smáar, þvermál yfirleitt ≤ 1 mm.
- Ferskt berg, ólivín í grunnmassa oft aðeins farið að ummyndast á jöðrum, er orðið appelsínugult en ekki orðið að leir.
- Ekki dílótt.
- Grunnmassi er vel kristallaður, plagióklas, ólivín, pýroxen og málmur, en er sums staðar glerjaður við blöðrujaðra, sjá myndir 35 og 36.
- Grunnmassi er fín- til smákornóttur, kristallar oft um 1 mm í þvermál.
- Enginn auðsjáanlegur strúktúr í grunnmassa.



Mynd 34. Handsýni frá Helgúvík.



Mynd 35. Þunnisneið frá Helgúvík í einskautuðu ljósi. Hringir eru utan um glerjað efni við blöðrujaðar.



Mynd 36. Þunnsneið frá Helgúvík í tvískautuðu ljósi. Hringir eru utan um glerjað efni við blöðrujaðar.

4. Samantekt á niðurstöðum skoðunar

Tafla 1 sýnir samantekt á helstu atriðum skoðunar á handsýnum og þunnsneiðum bergsins. Í öllum námum var berggerðin basalt, lítið sem ekkert ummyndað. Steindir sem greindust í grunnmassa voru þær sömu í öllum sýnum; ólivín, plagíóklas, pýroxen og málmur. Sýni voru í flestum tilfellum lítt blöðrótt og grunnmassinn dul- eða fínkornóttur. Sýnið úr viðmiðunarnámuni, Helgúvík, sker sig úr í blöðrumagni og kristalstærð. Að auki var Helgúvíkursýnið það eina sem ekki var dílótt.

Tafla 1 Samantekt á niðurstöðum skoðunar á handsýnum og þunnsneiðum.

| Náma | Bergbrigði | Þéttleiki | Ummyndunar- stig | Díla- magn | Grunn- massi ¹ | Kristal- stærð ² | Strúktúr |
|----------|------------------------|-----------------------------------|---------------------|------------------|------------------------------|--------------------------------|-------------------|
| Nónfell | Basalt (dílabasalt) | Lítt blöðrótt | Ferskt | Nokkuð dílótt | Ó, PL, PY, M | Dul-Fín | Nei |
| Þórshöfn | Basalt (grágrýti) | Lítt blöðrótt | Ferskt | Nokkuð dílótt | Ó, PL, PY, M | Dul-Fín | Fíngerð stefna |
| Skagi | Basalt (grágrýti) | Lítt blöðrótt | Ferskt | Lítt dílótt | Ó, PL, PY, M | Dul | Nei |
| Rif | Basalt (grágrýti) | Lítt blöðrótt | Ferskt | Dílótt | Ó, PL, PY, M | Dul | Fíngerð stefna |
| Hamranes | Basalt (grágrýti) | Nokkuð blöðrótt | Ferskt | Lítt dílótt | Ó, PL, PY, M | Dul | Nei |
| Helguvík | Basalt (grágrýti) | Mjög blöðrótt (fínblöðrótt) | Ferskt | Ekki dílótt | Ó, PL, PY, M | Fín- Smá | Nei |

5. Umræða og næstu skref

Auk þeirra náma sem hér voru skoðaðar hefur sama vandamál með að grjót klofni eftir vetrarvinnslu einnig sést í fleiri námum í sams konar bergi. Til dæmis við byggingu Búðarhálsvirkjunar, en sunnan í Búðarhálsi var grjót unnið úr grágrýtisbasalti fyrir ölduvörn Sporðöldulónsstíflu og er bergið þar ferskt og þétt ólívínþóleið frá hlýskeyði Ísaldar (Björn Jóhann Björnsson o.fl., 2016).

Eins og áður segir er ástæða vandamálsins almennt talin hafa með árstíma vinnslunnar að gera og að öllum líkindum tengist hún raka sem frýs í grjótinu og nær þannig að kljúfa það, eftir sprungum eða öðrum veikleikafloðum. Sprungurnar geta verið stuðlasprungur en við grjótvinnslu á bergi verða einnig til mun fleiri sprungur en þær sem leiða til brots á bergmassanum niður í laust grjót í sjálfum sprengingunum. Þessar nýju sprungur eru því áfram í grjótinu, mislangar, en umfang þeirra minnkar með fjarlægð frá hlöðnum borholum sprengifærunnar í bergmassanum. Þar sem umrætt vandamál er til staðar þarf bergið að innihalda vatn þegar sprengt er, þó það sé ekki alltaf neðan grunnvatnsborðs og vatnsmettað. Vatn nær mögulega að einhverju leyti inn í nýmyndaðar sprengiskaðasprungur bergsins/grjótsins, hvort sem það gerist samstundis og þá tengt höggbylgju eða gasþrýstingsferli sprenginganna, eða síðar.

Skoðunin leiddi í ljós að í þeim námum sem vandamálið hefur sést er bergið ekki mjög blöðrótt, ólíkt viðmiðunarnámum í Helguvík. Sökum þessa má álykta að blöðróttur eða gropinn grunnmassi nái bæði að afvatna bergið hraðar og mögulega koma í veg fyrir að frostþensla vatns valdi of miklu álagi á bergið. Í þéttu bergi á vatn í sprungum enga undankomuleið og frostþensla þess leitast við að þrýsta í sundur grjótinu um sprunguna. Í gropnu bergi geta hins vegar ómettuð holrými hjálpað til við að létta af þessum þrýstingi. Í raun gegnir loft í steypu sama hlutverki gagnvart frostþoli hennar og þarf þess vegna að vera til staðar í ákveðnu magni miðað við mismunandi frostþolsflokka steypu.

Viðmiðunarbergið í Helguvík er einnig frábrugðið bergi hinna námanna varðandi kristalstærð en grunnmassi þar er mun grófgerðari og þar eru ekki dílar. Ekki er ljóst hvort og þá hvernig þetta tengist

¹ Steindagerðir eru Ó: ólívín, PL: plagíóklas, PY: pýroxen, M: málmur

² Kristalstærðir eru dul: dulkornótt, fín: fínkornótt, smá: smákornótt, stór: stórkornótt

umræddu vandamáli. Mögulegt er að fíngerðar sprungur geti myndast meðfram jöðrum stórra díla sem skera sig frá grunnmassa í kornastærð, en síður í gegnum grunnmassa þar sem öll korn er í sömu stærð.

Í berginu frá Þórshöfn og frá Rifi vottaði fyrir stefnustrúktúr þar sem plagíóklasnálar í grunnmassa virtust að einhverju leyti liggja samsíða stórum plagíóklasdílum. Í strúktúr þar sem steindanálar liggja margar samsíða eru meiri líkur á veikleika og sprungumyndun samsíða steindunum, sbr. straumflögun bergs. Auk þess, ef sprungur raðast í ákveðnar áttir er líklegra að þær verði lengri og gegnumgangandi í grjóti.

Gera þarf fleiri skoðanir og athuganir til að fá betur úr því skorið hvort ofangreind atriði tengist vandamálinu með sprungumyndun í grjóti eftir vetrarvinnslu þess. Skoða þarf fleiri námur, bæði með breytilegu holrými og mismunandi steindastærðum. Einnig mætti skoða námur með öðrum berggerðum sem notaðar hafa verið til vinnslu á grjóti. Samkvæmt Birni Jóhanni Björnssyni (o.fl., 2016), náði vandamálið við Sporðöldulónsstíflu einnig til kubbabergs og væri mjög áhugavert að skoða það betur.

Í þessari rannsókn var efnasamsetning bergsins ekki skoðuð. Mögulega mætti gera það, t.d. með röntgengreiningu, til að sjá hvort að SiO_2 innihald eða aðrir þættir varðandi efnafræði eða steindasamsetningu bergsins geti tengst vandamálinu. Einnig væri áhugavert að gera prófanir á grjóti, t.d. prófa mettnun og vatnsdrægni (absorption) og gera frostþíðupróf, en hefðbundin frostþíðupróf á bergkornum í malarstærð eru þó ekki talin duga til að rannsaka þetta vandamál.

6. Heimildir

Björn Jóhann Björnsson, Leifur Skúlason og Jón Smári Úlfarsson, 2016: Frost fracturing of riprap armour stones in Sporðalda Dam, Iceland. Í Proceedings of the 17th Nordic Geotechnical Meeting, NGM. Reykjavík, 25-28. maí 2016.

Colin D. Gribble og Allan J. Hall, 1992: Optical mineralogy – principles & practice. UCL Press, London.

Gunnar Bjarnason, Pétur Pétursson og Þorgeir Helgason, 2021: Efnisgæðarit – leiðbeiningar um efnisrannsóknir og efniskröfur, Viðauki 10 – Berggreining. Vegagerðin.

Helgi Torfason, Árni Hjartarson, Haukur Jóhannesson, Jón Jónsson og Kristján Sæmundsson, 1998: Berggrunnskort, Elliðavatn 1613 III SV - B, 1:25.000. Landmælingar Íslands, Orkustofnun, Garðabær, Hafnarfjarðarbær, Kópavogsbær, Seltjarnarnesbær og Reykjavíkurborg.

ÍSOR, 2022: Jarðfræðikortavefsjá íslenskra orkurannsóknna (ÍSOR), [Jarðfræðikort ÍSOR \(isor.is\)](https://www.isor.is).

Jarðfræðistofan, 2008: Reykjaneshöfn, Helguvík, kjarnaboranir 2008 vegna hafnarframkvæmda. Unnið fyrir Reykjaneshöfn. Skýrsla, Jarðfræðistofan ehf., apríl 2008.

Jarðfræðistofan, 2019: Hafnir Snæfellsbæjar. Aðstæður til framhalds grjótnáms við Efri Höfða. Kjarnaboranir 2008 og 2019 vegna stækkunar námu. Unnið fyrir Hafnir Snæfellsbæjar. Jarðfræðistofan ehf., júlí 2019.

Jarðfræðistofan, 2021: Hafnir Snæfellsbæjar. Staða grjótnámu við Efri Höfða. Minnisblað um grjótnámu við lengingar á Norðurgarði í Ólafsvík 2021. Unnið fyrir Hafnir Snæfellsbæjar. Jarðfræðistofan ehf., mars 2021.

Pétur Pétursson og Margrét I Kjartansdóttir, 2006: Berggreining í samræmi við Evrópustaðal ÍST EN 932-3:1996. Rb-blað Rb Yp1.009, Reykjavík, 7 bls.

Stapi, 1994: Helguvíkurhöfn. Ágrip að jarðfræði vegna þilreksturs. Greinargerð ÓBS/94-11. Stapi ehf. – Jarðfræðistofa. 2. september 1994.

Stapi, 1995: Bakkafjarðarhöfn. Hugsanlegar grjótnámur. Greinargerð ÓBS/95-20. Stapi ehf. – Jarðfræðistofa. 20. desember 1995.

Stapi, 2007: Þórshöfn. Grjótnám fyrir lengingu Norðurgarðs 2007. Skýrsla Stapa ehf. – Jarðfræðistofu fyrir Langaneshafnir. Maí 2007.

Þorgeir S. Helgason, Ásbjörn Jóhannesson, Guðmundur Sveinsson og Margrét I Kjartansdóttir, 2000: Berggreining – áfangaskýrsla 2. Leiðbeiningar Efnisgæðanefndar við staðalinn ÍST EN 932-3:1996. BUSL, Efnisgæðanefnd. Skýrsla nr. E-26. Vegagerðin.