



HÁSKÓLI ÍSLANDS

**B.S. ritgerð
í Jarðfræði**

Áhrif eðliseiginleika íslenskra steinefna á viðloðun í malbiki

Samanburður þriggja íslenskra steinefna

Hjálmfríður Bríet Rúnarsdóttir

Júní 2023

Áhrif eðliseiginleika íslenskra steinefna á viðloðun í malbiki

Samanburður þriggja íslenskra steinefna

Hjálmfríður Bríet Rúnarsdóttir

Ritgerð unnin sem hluti af
Baccalaureus Scientiarum
gráðu í Jarðfræði

Leiðbeinendur
Björk Úlfarsdóttir
Hreggviður Norðdahl
Sigurrós Arnardóttir

Jarðvísindadeild
Verkfræði- og náttúruvísindasvið
Háskóli Íslands
Reykjavík, Júní 2023

Áhrif eðliseiginleika íslenskra steinefna á viðloðun í malbiki.
Samanburður þriggja íslenskra steinefna.
Ritgerð unnin sem hluti af námi til B.S. gráðu í Jarðfræði

Höfundarréttur © 2023 Hjálmmfríður Bríet Rúnarsdóttir
Öll réttindi áskilin.

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

Jarðvísindadeild
Verkfræði- og náttúruvísindasvið
Háskóli Íslands
Askja, Sturlugata 7
102 Reykjavík

Skráningarupplýsingar:
Hjálmmfríður Bríet Rúnarsdóttir, 2023, *Áhrif eðliseiginleika íslenskra steinefna á viðloðun í malbiki*, BS ritgerð, Jarðvísindadeild, Háskóli Íslands, 43 bls.

Útdráttur

Tilgangur verkefnisins var að athuga hvort eðliseiginleikar íslenskra steinefna hafi áhrif á viðloðun við bindiefni. Á Íslandi er reynt eftir bestu getu að nýta innlend efni til vegagerðar, þessi efni eru í ólíkum gæðaflokkum og margt getur spilað inn í hvort þau séu nothæf eða ekki. Við vinnslu þessa verkefnis voru þrjú steinefnasýni skoðuð frá ólíkum námum, framkvæmd var berggreining ásamt því að hrýfi, lögun og ávali kornanna var skoðuð. Niðurstöður úr þessum prófum voru síðan bornar saman við niðurstöður sambærilegra prófa. Einnig var athugað hvernig steinefnin komu út úr tveim ólíkum viðloðunarprófum. Úr niðurstöðum berggreiningar kom í ljós að efnin sýndu ólíkar niðurstöður fyrir ummyndunar- og þéttleikastig og þar af leiðandi var misjafnt hversu stórt hlutfall sýnanna flokkaðist í gæðaflokkana þrjá. Samanburður við aðrar rannsóknir leiddi í ljós að eðliseiginleikar voru ólíkir eftir sýnum, einnig kom í ljós að steinefni úr námu Skútabergs kom örlítið betur út úr viðloðunarprófum en hin tvö. Út frá niðurstöðum var hægt að segja að sýnin hefðu ólíka eðliseiginleika þrátt fyrir að öll væru úr basalti og að meiri fjölbreytni var í efni frá námum Hólabrúar og Jökulsár. Ekki var hægt að staðfesta að ákveðnir eiginleikar hefðu meiri áhrif á viðloðun en niðurstöður styðja við það að efni svipað og úr námu Skútabergs hafi örlítið betri hæfni til viðloðunar.

Abstract

This research aims to examine whether there is a correlation between the physical properties of Icelandic aggregates and their ability to adhere to bituminous mixtures. The utilisation of locally sourced materials in road construction projects is important in Iceland. However, the suitability of these materials varies depending on various factors. In this study, three samples from different aggregate mines were analysed to identify potential disparities in their physical properties. The obtained results were then compared with those from similar tests conducted in a professional laboratory, as well as results from adhesion tests.

The findings revealed notable distinctions in the physical properties, particularly in terms of alteration and porosity, among the investigated samples. Each sample was classified into different grades based on these variations. Notably, the material sourced from Skútaberg demonstrated good results from the adhesion tests. However, due to the minimal difference in the adhesion tests, it was not possible to assert that the variations in physical properties were directly responsible for the variance in adhesion.

Efnisyfirlit

Útdráttur	v
Abstract	v
Efnisyfirlit	vii
Myndir	viii
Töflur	ix
Skammstafanir og tákn	x
Þakkir	xi
1 Inngangur	1
1.1 Steinefni og malbik	1
1.1.1 Steinefni í malbik	2
1.1.2 Viðloðun	4
1.2 Jarðfræðibakgrunnur náma	5
1.2.1 Hólabrú í Hvalfirði	5
1.2.2 Náma við ósa Jökulsár á Dal	7
1.2.3 Skútar í Hörgárdal	8
2 Aðferðir og undibúningur sýna	10
2.1 Sýni	10
2.2 Aðferðir	10
2.2.1 Undirbúningur	10
2.2.2 Berggreining	12
3 Niðurstöður	14
3.1.1 Berggreining	14
3.1.2 Samanburður steinefna	15
3.1.3 Samanburður við fyrri rannsóknir	17
4 Umræður	20
5 Lokaorð	21
Heimildaskrá	23
Viðauki A	26
Viðauki B	27
Viðauki C	30

Myndir

Mynd 1: Uppbygging veghlots (Pétur Pétursson og Gunnar Bjarnason. 2023a).....	2
Mynd 2: Berggrunnskort af Íslandi, kotið sýnir bergfræðilega flokkun landsins í stórum dráttum. Jarðlögin eru flokkuð eftir aldri, gerð og samsetningu. Blái liturinn táknar gosberg og setlög frá Míósen og fyrri hluta Plíósen (eldri en 3,3 m.á), græni táknar gosberg og setlög frá síð-plíósen og fyrri hluta ísaldar (0,8-3,3 m.á.) og ljós bleiki táknar hraun sem mynduðust eftir ísöld, forsöguleg (eldri en 871 e.kr.) (Haukur Jóhannesson, 2014).....	3
Mynd 3: Yfirlitsmynd sýnir staðsetningu efnisvinnslu Hólabrú ehf. Rauða svæðið afmarkar námuna (ESRI).....	7
Mynd 4: Yfirlitsmynd sýnir staðsetningu efnisvinnslu Jökulsá á Dal, náman er við Litla Bakka. Rauða svæðið afmarkar námuna (ESRI).....	8
Mynd 5: Yfirlitsmynd sýnir staðsetningu efnisvinnslu Skútaberg ehf. Rauða svæðið afmarkar námuna (ESRI).....	9
Mynd 6: Viðmiðunarmörk formflokka sett upp á myndrænan hátt út frá skilgreiningu Zingg (Þorgeir S. Helgason, o.fl., 2023)	11
Mynd 7: Ávalaflokkar, myndin er byggð á ávalaflokkun eftir Powers sem kom fram í Journal of sedimentary Petrology árið 1953 (Þorgeir S. Helgason, o.fl., 2023).....	11
Mynd 8: Samanburður á ávala sýna, stöplarnir gefa til kynna mismunandi flokkun á molum.....	16
Mynd 9: Myndirnar sýna dreifingu sýna eftir formflokki. a) Sýnir dreifingu allra sýnanna á sama graf. b) sýnir dreifingu mola frá námu Hólabrú c) sýnir dreifingu mola frá námu Jökulsá og d) sýnir dreifingu mola frá námu Skútabergs.	16
Mynd 10: Samanburður á gæðaflokkun steinefna.....	17
Mynd 11: Samanburður á niðurstöðum berggreiningar sem framkvæmd var fyrir þetta verkefni við niðurstöður sem teknar voru saman úr skýrslum sem til voru um steinefnin í gagnagrunni Colas Íslands og námanna sem sjá fyrir steinefnunum.	18
Mynd 12: Niðurstöður rúlluflöskuprófa framkvæmd fyrir mismunandi námur.	18
Mynd 13: Sýni frá Skútaberg.	26
Mynd 14: Sýni frá Hólabrú.	26
Mynd 15: Sýni frá Jökulsá.	26
Mynd 16: Niðurstöður á berggreiningu sýna frá námunum þrem sett upp í stöplarit til úrlesturs.	30

Töflur

Tafla 1: Skilgreiningar og skilgreiningarmörk á lögun korna í steinefnasýni (Zingg, 1935).....	11
Tafla 2: Hér má sjá hvernig algeng bergbrigði eru flokkuð í gæðaflokka eftir berggreiningarkerfi Rb, tafla er fengin úr Rb-blaði sem fjallar um Berggreiningu í samræmi við Evrópustaðal (Dóra Kristín Björnsdóttir, 2006) Með bergbrigði er átt við ákveðið afbrigði bergtegundar eða steindar þ.e.a.s. bergtegund á sama ummyndunar- og þéttleikastigi (Þorgeir S. Helgason, o.fl., 2023).	12
Tafla 3: Sýnir hversu hátt hlutfall sýnisins flokkast í hvern formflokk	17
Tafla 4: Meðaltal niðurstaða hrærsluprófa.	19
Tafla 5: Upplýsingum sem safnað var við berggreiningu á sýnum frá Hólabrú námu, efnið er flokkað eftir flokkunarkerfi Rb.	27
Tafla 6: Upplýsingum sem safnað var við berggreiningu á sýnum frá Jökulsá námu, efnið er flokkað eftir flokkunarkerfi Rb.	28
Tafla 7: Upplýsingum sem safnað var við berggreiningu á sýnum frá Skútaberg námu, efnið er flokkað eftir flokkunarkerfi Rb.	29

Skammstafanir og tákn

Rb. = Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins.

BUSL= Stendur fyrir burðarlög og slitlög, er skilgreint sem samstarf um rannsókn- og þróunarverkefni í vega- og gatnagerð.

k = Kleyfni.

E_z = Ílengd.

Þakkir

Í gegnum þetta ferli hefur hjálp borist úr mörgum áttum og er mikilvægt að þakka fyrir hana. Fyrst og fremst langar mig að þakka fjölskyldu og vinum fyrir að hafa staðið við bakið á mér og ýtt mér áfram í vinnu og skrifum. Ég vil þakka leiðbeinendum mínum, Björk Úlfarsdóttur, Hreggvið Norðdahl og Sigurrós Arnardóttur fyrir leiðsögn og hjálp í gegnum ferlið. Einnig langar mig að þakka Colas Ísland fyrir að styrkja þetta verkefni ásamt því að þakka yfirmönnum mínum þar fyrir að stinga upp á verkefninu og veita þau gögn og aðstöðu sem þurfti til vinnslu verkefnisins. Að lokum vil ég þakka Rannsóknasjóði Vegagerðarinnar fyrir að styrkja þetta verkefni.

1 Inngangur

Jarðfræði og vegagerð eru greinar sem fara einstaklega vel saman. Þegar unnið er að vegaframkvæmdum getur verið gott að fá sérfræðiálit áður en hafist er handa. Þetta á við um alla þætti vegagerðar, frá efnisvinnslu til útlagnar vega. Sama á við um framleiðslu og vinnslu á steinefnum fyrir iðnað, þar er ýmislegt sem þarf að hafa í huga. Það er ekki æskilegt að ganga upp að næsta hól og hefja efnisvinnslu án þess að athuga hvaða eiginleikum steinefnið þaðan býr yfir og hvaða styrk- eða veikleikar leynast í þeim. Einnig þarf að huga að náttúruverndar sjónarmiðum og kynna sér hver jarðsaga svæðisins er. Samkvæmt náttúruverndarlögum 44/1999 gr. 37 eru ákveðnar landslagsgerðir sem njóta sérstakrar verndar og mikilvægt er að forðast röskun þeirra ef hægt er. Þetta eru t.d. eldvörp, gervigígar, stærri stöðuvötn, tjarnir, fossar, hverir, o.fl.

Á Íslandi er reynt að vinna staðbundin steinefni frá mismunandi landshlutum svo ekki þurfi að flytja inn mikið af steinefnum. Það getur reynst erfitt að finna efni sem hentar, vegna þess hver ungt landið er þá er fjölbreytni ekki mikil þegar kemur að bergtegundum.

Þetta verkefni er styrkt af Rannsóknasjóði Vegagerðarinnar og unnið í samstarfi við Colas Ísland. Hér er ætlunin að bera saman þrjú íslensk steinefni sem algengt er að nota í malbik. Skoða á hvort eðliseiginleikar séu breytilegir eftir steinefni og hvort að þeir hafi áhrif á viðloðunarhæfni við bindiefni. Farið verður yfir efnistökuastaði og jarðfræðilega sögu þeirra auk þess sem farið verður yfir niðurstöður rannsókna úr gagnasafni Colas Ísland ásamt niðurstöðum úr berggreiningu sem höfundur framkvæmdi.

Er hægt að ákvarða hvort eðliseiginleikar steinefnanna hafi áhrif á viðloðunina út frá þeim gögnum sem eru til eða þarf að gera frekari rannsóknir til þess? Út frá niðurstöðum fyrri rannsókna og tilraunakafla þessa verkefnis verður metið hvort munur mælist á eðliseiginleikum steinefnanna þriggja og hvort hægt sé að tengja þann mun við viðloðun milli steinefnis og bindiefnis.

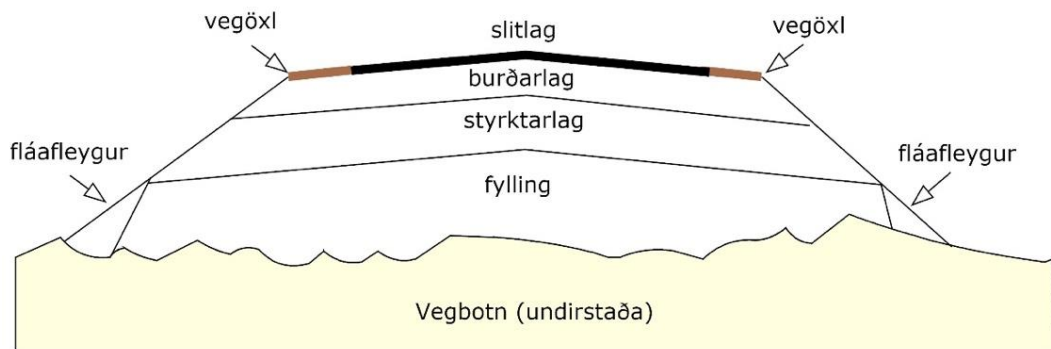
1.1 Steinefni og malbik

Margir þættir hafa áhrif á hvort steinefni sé talið „gott“ eða „slæmt“. Steinefni geta búið yfir mismunandi efnis- og eðliseiginleikum eftir því hver uppruni þeirra er. Þessi munur getur verið allt frá kornastærð og kornadreifingu til gæða steinefnanna sem byggð eru á þéttleika og ummyndunarstigi. Helstu áhrifaþættir eru hvort verið sé að vinna með berglög eða laus jarðlög og því er mikilvægt að kynna sér hvaða jarðmyndanir henta best áður en að hafist er handa við efnisnám. Annað sem hafa þarf í huga eru áhrif á umhverfið, mikilvægt er að passa upp á að sem minnst rask verði á náttúrunni ef fara á út í efnisnám.

Allt frá 1957 hafa verið gerðar rannsóknir á efnum til notkunar í vega- eða steypugerð. Í upphafi voru þessar rannsóknir aðallega skráning og vöktun á þeim efnisnámum sem voru í notkun á þeim tíma. Seinna var farið út í frekari rannsóknir í tengslum við vegagerð og jarðfræðingar

voru ráðnir inn til Vegagerðarinnar til þess að sinna þeim (Gunnar Bjarnason og Hreinn Haraldsson, 2012).

Hér verður farið yfir þau steinefni sem notuð eru í slitlagsmalbik, en slitlagið er efsti hluti veghlotsins (mynd 1). Veghlotið má skilgreina sem alla þá hluta sem þarf til að byggja veg, þ.e.a.s. öll lög frá vegbotni til slitlags (Gunnar Bjarnason og Hreinn Haraldsson, 2012). Umferðarálag hefur þau áhrif að meiri kröfur eru gerðar til steinefna sem notuð eru í slitlag en á öðrum stöðum í veginum. Kröfur eru gerðar um að steinefnin standist próf sem segja til um kornadreifingu, kornalögun, brothlutfall, viðloðun og berggæði (Hafðís Eygló Jónsdóttir og Gunnar Bjarnason, 2018).



Mynd 1: Uppbygging veghlots (Pétur Pétursson og Gunnar Bjarnason, 2023a).

1.1.1 Steinefni í malbik

Áður en hafist er handa við efnisnám og vinnslu steinefna þá þarf að skoða hvaða jarðmyndanir eru til staðar. Gæði berggrunnsins geta verið misjöfn, þau geta haft áhrif á hversu mikið efni er hægt að vinna úr staflanum og hver gæði steinefnanna verða sem unnin eru úr honum. Þetta á einnig við um laus jarðlög, en myndunarsaga þeirra getur haft áhrif á eðliseiginleika og gæði steinefna sem unnin eru þaðan (Pétur Pétursson og Gunnar Bjarnason, 2023b).

Groppa, kristalbygging og ummyndun bergs er sögð hafa mikil áhrif á gæði steinefna og er berggreining R_b^1 m.a. byggð á þessum þáttum. Þessir þættir geta haft áhrif á styrk, veðrunar- og slitþol steinefnisins. Fyrir endingargott slitlag er nauðsynlegt að velja steinefni sem er sterkt og með gott slitþol (Gunnar Bjarnason og Hreinn Haraldsson, 2012).

Berggrunnskort líkt og sjá má á mynd 2 gefa góða yfirsýn yfir hvaða bergtegundir og jarðmyndanir finnast á tilteknu svæði. Best er að skoða kort sem sýna stærri skala til að fá nákvæmari yfirsýn yfir svæðið sem vinna á með. Ef nema á laust efni úr jarðgrunni, þá er mikilvægt að muna að efnið hefur ekki endilega ferðast langt áður en það safnaðist upp. Líklegt er að efnið hafi safnast upp skammt frá upprunastað (Gunnar Bjarnason og Hreinn Haraldsson, 2012).

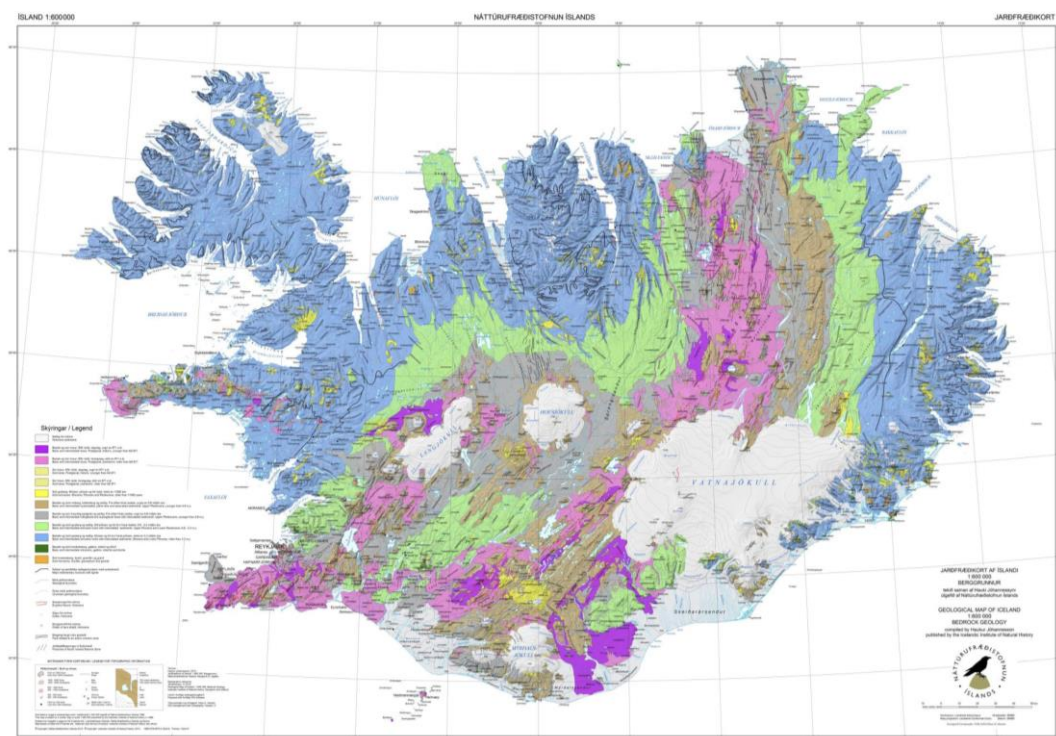
Oft þarf að vinna steinefni áður en hægt er að nota þau. Þetta á helst við um steinefni sem unnin eru úr stærri einingum, þ.e.a.s. berggrunni eða lausum jarðlögum. Í flestum tilfellum eru þau brotin og flokkuð eftir stærð. Steinefni eru brotin niður í ákveðnar stærðir með mulningsvélum, algengustu vélarnar eru kjaftbrjótar og kónbrjótar. Efnisvinnsla fer fram í nokkrum brotstigum eftir því hvar á að nota steinefnið, fleiri brotstig gefa fínna efni. Hörpur eru notaðar til að flokka

¹ Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins

steinefnin eftir stærð og hindra að óæskileg efni fari í brjótana. Þær geta verið notaðar sem hluti af vinnslulínu með brjótum eða sjálfstætt. Vélarnar eru á nokkrum hæðum sem hafa ólíkar möskvastærðir og er grófasta stærðin efst í hörpunni (Hafdís Eygló Jónsdóttir og Gunnar Bjarnason, 2018). Stærð og þykkt jarðmyndananna hafa áhrif á það hvort það sé þess virði að vinna efni úr þeim eða ekki. Mikill kostnaður fylgir því að reka og færa til tækin sem þarf til að brjóta upp, mala og harpa steinefnin. Meiri kostnaður fylgir því að vinna steinefni beint úr berggrunninum þar sem það þarf að losa steinefnið úr berginu með sprengiefni eða riftönn² (Langer o.fl., 2004).

Laus jarðlög hafa verið eftirsótt til vinnslu steinefna hér á landi, ein af ástæðum þess er minni kostnaður við að vinna efni úr þeim en berggrunninum. Efnið er helst unnið úr skriðum, jökulseti líkt og jökulruðningum, áreyrum og malarhjöllum (Gunnar Bjarnason og Hreinn Haraldsson, 2012). Mikið af lausum jarðlögum má tengja við lok síðasta jökulskeiðs, en þau hafa safnast upp við framrás og hörfun jökla. Einnig hafði sjávarstaða áhrif á uppsöfnun efnis, þar sem efni hafði möguleika á að ferðast lengra frá upprunastað er sjávarstaðan var hærri og óseyrar mynduðust. Þegar sjávarstaða lækkaði aftur urðu malarhjallar eftir (Gunnar Bjarnason og Hreinn Haraldsson, 2012).

Misjafnar kröfur eru gerðar til steinefna í malbiki eftir því í hvaða hluta veghlotsins á að nota þau. Síðustu ár hafa þessar kröfur aukist og er því mikilvægt að steinefnið sem á að nota standist þær gæðakröfur sem gerðar eru ásamt því að hagkvæmt sé að nema það (Gunnar Bjarnason og Hreinn Haraldsson, 2012). Steinefnunum er skipt upp í 3 gæðaflokka þ.e.a.s. 1., 2. og 3.flokkur, sem eru skilgreindir frekar í skýrslu Rb um berggreiningu (Þorgeir S. Helgason, o.fl., 2023).



Mynd 2: Berggrunnskort af Íslandi, kotið sýnir bergfræðilega flokkun landsins í stórum dráttum. Jarðlögin eru flokkuð eftir aldri, gerð og samsetningu. Blái liturinn táknar gosberg og settlög frá Míósen og fyrri hluta Plíósen (eldri en 3,3 m.á), græni táknar gosberg og settlög frá síð-plíósen og fyrri hluta ísaldar (0,8-3,3 m.á.) og ljós bleiki táknar hraun sem mynduðust eftir ísöld, forsöguleg (eldri en 871 e.kr.) (Haukur Jóhannesson, 2014).

² e. ripper.

1.1.2 Viðloðun

Ákveðnir eiginleikar hafa áhrif á endingu og gæði malbiks, einn þeirra er viðloðun. Margir þættir geta haft áhrif á viðloðun milli steinefna og bindiefnis en farið verður yfir þá í þessum kafla.

Viðloðun er geta tveggja efna til að festast saman ef að þau komast í nána snertingu við hvort annað. Viðloðun verður meiri eftir því hversu góð festing myndast milli efnanna. Ástæðan fyrir því að efnin loða saman er vegna aðdráttarkrafta milli sameinda sem oft eru nefndir Van der Waals kraftar (Ásbjörn Jóhannesson, 1977). Van der Waals kraftar eru bindikraftar milli sameinda. Þeir verka helst á milli óskautaðra sameinda en geta einnig verkað samhliða öðrum kröftum (Hildur Guðmundsdóttir og Þorsteinn Vilhjálmsson, 2004).

Almennt er viðloðun góð á milli steinefna og bindiefnis en nokkrir hlutir geta haft áhrif á hana. Helsta orsök slakrar viðloðunar er vatn, en áhrif vatns á malbiksblöndur hefur verið rannsakað mikið síðustu ár (Cui o.fl., 2014). Ef yfirborð steinefnanna er rakt eða blautt áður en það er húðað með bindiefni þá verður viðloðunin slæm. Ef að vatn kemst á milli bindiefnis og steinefnis í malbiksblöndu þá hefur það einnig slæm áhrif á viðloðunina. Hvassar brúnir á steinefnum geta rifið himnuna sem bindiefnið myndar og hleypt vatni á milli. Kornalögun og yfirborðsáferð hafa því áhrif á viðloðun. Bindiefni helst betur á steinefnum sem hafa hrjúft yfirborð þar sem það hefur betri möguleika á að grípa í yfirborðsflöt þeirra en á steinefnum með slétt yfirborð. Það getur hins vegar reynst erfitt að hjúpa steinefni með hrjúft yfirborð í samanburði við slétt yfirborð.

Ef steinefnin eru blöðrótt þarf að þurrka þau vel áður en að þau eru hjúpuð. Inn í blöðrunum getur leynst vökvi eða raki sem getur eyðilagt bindiefnahjúpinn. Ef steinefnin eru þurr þá geta blöðurnar hins vegar bætt viðloðunarhæfni þar sem bindiefnið getur smeygt sér inn í blöðurnar og þannig náð betra taki á steinefnunum (Ásbjörn Jóhannesson, 1977).

Efnafræði steinefnanna getur einnig haft áhrif á viðloðunarhæfni. Steinefni sem innihalda meira af kísil eru almennt með verri viðloðunarhæfni, því eru súrar bergtegundir með verri viðloðunarhæfni en basískar. Fínefnasmurning á yfirborði steinefnanna getur haft áhrif á viðloðun, en bindiefni á erfiðara með að loða við steinefnið ef þykkt lag af fínefnum þekur það (Curtis o.fl., 1993).

Það er hægt að framkvæma nokkur próf til að athuga hversu góð viðloðun er á milli steinefna og bindiefnis. Á Íslandi er aðallega notast við hrærslupróf og rúlluflöskupróf. Hrærslupróf er notað til að meta viðloðun á þjálbiksklæðningum en rúlluflöskupróf er notað til að meta viðloðun fyrir heitblandað malbik³ (Ásbjörn Jóhannesson, o.fl., 2023). Klæðingar eru einfaldasta gerð bikbundins slitlags. Þjálbiksklæðingar eru blanda af steinefnum og þjálbiki þ.e.a.s. stungubiki sem hefur verið þynnt með lífolíu. Þjálbiki er dreift á yfirborð vegar, steinefni stráð í það og yfirborðið valtað (Hafðís Eygló Jónsdóttir og Gunnar Bjarnason, 2018). Malbik er skilgreint sem blanda af steinefnum, biki og ýmsum íaukum. Heitblandað malbik er blandað í þartilgerðum blöndunarstöðvum við 160-180°C hita og lagt út meðan það er heitt (Pétur Pétursson og Gunnar Bjarnarson, 2023a).

Hrærsluprófið er algengara af þessum tveimur, það mælir áleitna viðloðun þ.e.a.s. hversu vel bindiefni festist við rakt steinefni og hversu vel það loðir við steinefni sem er á kafi í vatni.

³ e. Hot mix asphalt.

Prófið er framkvæmt með því að hræra saman bindiefni og blautt steinefni í iðnaðarhrærivél í nokkrar mínútur. Eftir það er vatni hellt yfir blönduna og því hrært saman í klukkutíma, síðan er metið hversu vel steinefnin eru þakin. Rúlluflöskupróf gengur út á að athuga hversu góð treg viðloðun efnisins er, þ.e.a.s. hversu vel festist bindiefni við þurrt yfirborð steinefnis. Prófið er framkvæmt með því að blanda þurrum steinefnum við bindiefni þangað til að steinefnin eru alveg þakin. Steinefnin eru síðan týnd upp í glerflöskur sem fylltar hafa verið upp af vatni, flöskunum er að lokum komið fyrir í vél sem veltir þeim. Sýnin eru skoðuð eftir 6 klst, 24 klst og 48 klst til að sjá hversu mikið af steinefninu er enn þakið. Þessi próf eru háð sjónrænu mati og nákvæmnin er samkvæmt því. Þrátt fyrir það reynast niðurstöðurnar nógu vel til að gefa góða vísbendingu um viðloðunar eiginleika steinefnanna (Ásbjörn Jóhannesson, o.fl., 2023).

1.2 Jarðfræðibakgrunnur náma

Berggrunnur Íslands er talin vera ungur í samanburði við önnur lönd og er elsta berg sem finna má hér á landi milli 14-16 milljón ára gamalt (Snæbjörn Guðmundsson, 2019). Jarðmyndanir landsins einkennast af basaltstöflum ásamt ýmsum setmyndunum en þær má rekja til ákveðinna atburða í jarðsögunni. Jarðmyndanirnar geta því gefið vísbendingu um hvað var að gerast í umhverfinu á þeim tíma sem þær mynduðust (Stefán Arnórsson, 1993).

Eldvirkni spilar stóran þátt í jarðsögu Íslands. Hún kemur til vegna staðsetningar landsins á mörkum tveggja úthafsplatna og í nálægð við möttulstrók (Ingi Þorleifur Bjarnason, 2008). Eldvirkni á Íslandi má skipta upp í nokkur eldstöðvakerfi og má finna megineldstöðvar innan þeirra. Þessum eldstöðvakerfum má svo skipta upp í þrjár bergraðir sem einkennast af ólíkum efnafræði- og bergfræðilegum eiginleikum (Jakobsson o.fl., 2008). Jöklar hafa einnig spilað stórt hlutverk í jarðsögu landsins og má rekja mikið af lausum jarðlögum til loka síðasta jökulskeiðs, fyrir um 10.200 árum (Hreggviður Norðdahl o.fl., 2012).

Bergi er almennt skipt upp í þrjá flokka eftir því hvernig það myndast, þ.e.a.s. storkuberg, setberg og myndbreytt berg. Ekki er algengt að finna myndbreytt berg á Íslandi þar sem það myndast við mikinn hita og þrýsting en eitthvað er um ummyndað berg (Stefán Arnórsson, 1993).

Vegagerðin heldur úti vefsíðu þar sem hægt er að sjá staðsetningu og stöðu náma á landinu. Vefsíðan er hluti af námuskrá Vegagerðarinnar en þar eru upplýsingar um allar jarðefnanámur landsins. Samkvæmt námuskrá eru skráðar 3.344 efnisnámur á landinu en af þeim eru 1.025 ófrágengnar. Setnámur eru í meirihluta en 89% af námunum eru setnámur og aðeins 11% af námunum eru bergnámur (Námur.is, 2019). Námurnar má finna um allt land en í þessu verkefni verður einblínt á þrjár námur sem algengt er að nema efni úr til vegagerðar. Farið verður yfir hvað einkennir berggrunn eða jarðmyndanir í hverri þeirra.

1.2.1 Hólabrú í Hvalfirði

Efnistökusvæðið Hólabrú er undir suðvestur hlíðum Akrafjalls við mynni Hvalfjarðar (mynd 3). Svæðið er í u.þ.b. 40 km fjarlægð frá höfuðborgarsvæðinu og hentar efnið þaðan vel fyrir verkefni sem unnin eru á höfuðborgarsvæðinu og í nágrenni þess. Efnistaka hefur verið á svæðinu í tæplega 70 ár, síðan 1956. Frá árinu 2018 hefur Steypustöðin séð um efnisvinnslu í námunni ásamt grunnrannsóknnum á efninu. Efnið úr námunni hefur verið notað sem

byggingarefni á mörgum stöðum á höfuðborgarsvæðinu og eru talin mikil gæði í því. Efnið uppfyllir þær kröfur sem gerðar eru til steinefna sem notuð eru við framleiðslu á malbiki (Environice, 2009).

Í námunni má finna gömul fjöruetlög í malarkambi sem eru talin hafa myndast á síðjökultíma í lok síðasta jökulskeiðs (Environice, 2009). Út frá upplýsingum frá setkjörnum sem teknir voru úr landgrunni við norðan- og vestanvert landið þá hefur verið áætlað að hámarki síðasta jökulskeiðs hafi verið náð fyrir um 24.400-18.600 árum (Hreggviður Norðdahl og Ólafur Ingólfsson, 2015). Á þessu tímabili lá stór jökulskjöldur yfir landinu. Fyrir um 15.500 árum tók jökla að hörfa á Vesturlandi, ásamt því að sjávarborð hækkaði hratt er meiginlandsjökla byrjuðu að bráðna. Við hækkun sjávarborðs losnuðu jökla sem lágu á landgrunnsbrúninni og brotnuðu upp. Þannig eyddist jökulskjöldurinn sem lá yfir Íslandi mjög hratt. Elstu fjörumörk í Hvalfirði eru frá um 15.600-13.900 árum og má rekja þau til þessarar hröðu bráðunar jöklanna (Hreggviður Norðdahl o.fl. 2012).

Efnið í malarkambinum er að mestu sandur og mól en þar má einnig finna stærri hnúllunga inn á milli. Efnið í námunni er að mestu leyti basalt flokkað sem blágrýti sem hefur myndast fyrir nokkrum milljónum ára. Ef tekið er mið af berggrunnskorti Náttúrufræðistofnunar Íslands þá má sjá að Akrafjall og svæðið þar í kring er að mestu úr blágrýti sem myndaðist fyrir meira en 3,3 milljónum ára (Náttúrufræðistofnun Íslands, 2023). Efnið í námunni safnaðist saman þegar sjávarstaða var hærri en hún er í dag, á þeim tíma rufu öldur efni úr hlíðum Akrafjalls og fluttu það austur með fjallinu. Ef efnið hefði komið innar úr Hvalfirðinum þá væri líklega mun meira um súrar bergtegundir í setmyndunum þar sem berggrunnur Hvalfjarðar inniheldur meira af súru bergi en svæðið í kringum Akrafjall (Hreggviður Norðdahl og Bryndís Magnúsdóttir, 2000). Malarkamburinn er talinn hafa myndast fyrir um 15.000 árum síðan en talið er að hann hafi upprunalega myndað malareyri sem stóð út frá suðvestanverðu Akrafjalli (Ólafur Ingólfsson, 1988).

Blágrýtislög mynduð á míósen og plíósen einkennast af því að vera talsvert meira ummynduð en basaltlög frá ísöld, því má búast við að steinefni unnin úr námu Hólabrúar séu lítillega ummynduð (Gunnar Bjarnason og Hreinn Haraldsson, 2012).



Mynd 3: Yfirlitsmynd sýnir staðsetningu efnisvinnslu Hólabrú ehf. Rauða svæðið afmarkar námuna (ESRI).

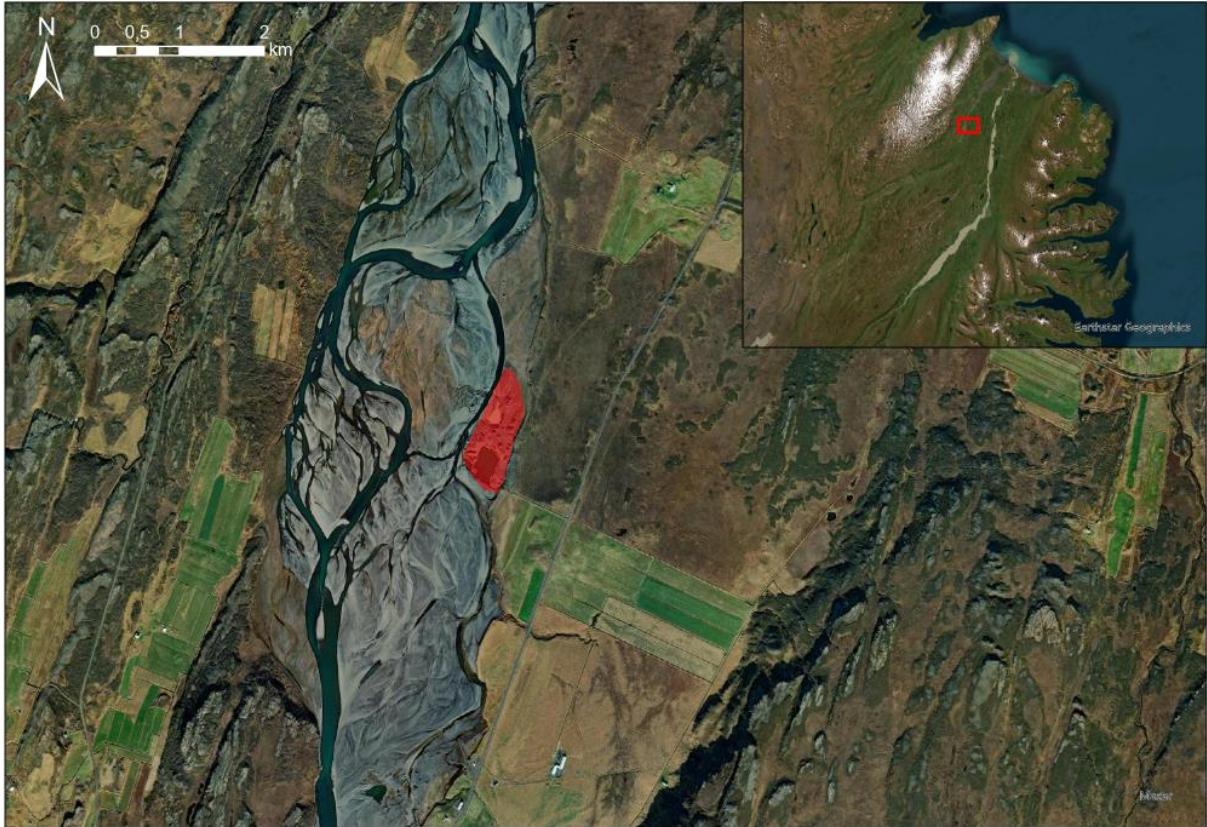
1.2.2 Náma við ósa Jökulsár á Dal

Efnistökusvæðið fyrir steinefni Jökulsár er staðsett í landi Litla-Bakka í Hróarstungu, Múlaþingi eins (mynd 4). Náman er staðsett í árfarvegi Jökulsá á Dal og Þórfell Ehf. sér um efnisnám og vinnslu steinefnanna á svæðinu. Efnisnám hefur verið stundað á svæðinu síðan 1980 en á þeim tíma var efnisnám háð vatnsrennsli í ánni. Eftir að Kárahnjúkavirkjun kom til þá hefur vatnsrennsli minnkað töluvert og ekki verið vandamál að nema efni. Efnið úr námunni er notað til ýmissa framkvæmda á Austurlandi og hentar vel til vega- og steypugerðar (Snævarr Örn Georgsson, 2021).

Við ósa jökulsáa eiga til að myndast víðáttumiklir sandar við strendur þar sem að framburður þeirra safnast upp (Náttúrufræðistofnun Íslands, 2023). Fyrir myndun Hálslóns við Kárahnjúka þá fluttist efni með ánni jafnt og þétt en eftir að virkjun hófst þá hefur vatnsafl í ánni sem rennur frá lóninu minnkað verulega og færsla efnis á sér aðallega stað þegar vatn er á yfirfalli Kárahnjúkastíflu og er flóð koma í ána. Því er minna af efni sem safnast fyrir við ósa Jökulsá á Dal samaborið við aðrar jökulár (Snævarr Örn Georgsson, 2021).

Fyrir virkjun Kárahnjúka var Jökulsá á Dal ein lengsta og vatnsmesta á landsins, hún rennur frá norðaustanverðum Vatnajökli til sjávar við Héraðsflóa. Rennsli hennar ásamt annarra jökulsáa er sveiflukennt eftir árstíðum og því er mismikið af efni sem hún ber með sér (Ari Trausti Guðmundsson, 1993). Það má búast við því að efnið sem hún ber með sér sé rofið úr farveginum þegar áin sverfur sig ofan í berggrunninn áður en að það safnast upp í áreyrum. Ef höggunarkort og berggrunnskort Náttúrufræðistofnunar Íslands er skoðað má sjá að berglög sem áin rennur í gegnum einkennast af basaltlögum, bæði blágrýti- og grágrýtislögum, það samræmist steinefnunum sem finnast í námunni (Náttúrufræðistofnun Íslands, 2023). Það er einnig hægt

að rekja eitthvað af steinefnunum til Brúarjökuls. Í Brúarjökli hafa verið nokkur þekkt jökulframhlaup en með þeim getur borist fram mikið af efni sem hleðst upp. Eitthvað af þessu efni gæti hafa borist með vatninu sem kom undan jöklinum og fram á sandana þegar að nægur straumur var í ánni (Korsgaard o.fl., 2015).



Mynd 4: Yfirlitsmynd sýnir staðsetningu efnisvinnslu Jökulsá á Dal, nánan er við Litla Bakka. Rauða svæðið afmarkar námuna (ESRI).

1.2.3 Skútar í Hörgárdal

Efnistökusvæði Skútabergrs ehf. má finna á landi Skúta í Hörgársveit, austan við Hörgá og norðan við Moldhaugaháls (mynd 5). Þar hefur verið stundað efnisnám síðan 2012. Efnistaka í Skútum tók við sem aðal vinnslusvæði steinefna fyrir Eyjafjörð eftir að minnka þurfti efnisnám í Krossanesi. Efnið er aðalega notað í vega- og hafnargerð en einnig til annarra nota. Meirihluti efnisins er notaður innan bæjarmarka Akureyrar sem er í um 10 km fjarlægð frá námustað (Environice, 2013).

Efnið er unnið beint úr berggrunninum ólíkt efninu úr námunum Hólabrú og Jökulsá sem eru báðar flokkaðar sem setnámur. Berglög á Akureyri og þar í kring einkennast af misþykkum basaltlögum, en þeim má skipta upp í þrjá basaltflokka þ.e.a.s. þóleít, ólivínbasalt og dílabasalt. Stærstur hluti laganna eru þóleítbasaltlög (Árni Hjartarson, 1998). Þóleít er algengasta bergtegundin á Íslandi, en það einkennist af dökkgráu fínkornóttu bergi. Það er oft stuðlað og getur innihaldið ólivín, plagíóklas eða pýroxen díla ásamt misstórum blöðrum (Sveinn P. Jakobsson, 1984).

Á námusvæðinu er helst að finna þóleítbasaltlög, en þykkustu lögin eru um 18-20 m og eru aðskilin með þunnum rauð-brúnleitum millilögum (Environice, 2013). Basaltlögin eru partur af blágrýtismynduninni sem teygir sig milli Húna- og Skjálfaflóa og niður til miðhálandisins, elstu hlutar þessarar myndunar eru um 12 milljón ára gamlir og má finna við mynni Eyjafjarðar (Náttúrufræðistofnun Íslands, 2023). Basaltlögin í námunni hafa verið tengd við segulanómalíu 5, þau hafa því myndast fyrir 9,8-10,8 milljón árum og eru talin tengjast Öxnadalseldstöðinni (Árni Hjartarson, 1998). Í tímanna rás hafa jöklar endurtekið gengið yfir svæðið, rofið berggrunninn og myndað þá dali og firði sem sjá má í dag (Náttúrufræðistofnun Íslands, 2023).



Mynd 5: Yfirlitsmynd sýnir staðsetningu efnisvinnslu Skútaberg ehf. Rauða svæðið afmarkar námuna (ESRI).

2 Aðferðir og undibúningur sýna

2.1 Sýni

Steinefnasýni voru fengin frá námum sem fjallað er um hér að ofan. Óunnin sýni voru fengin til að fá heildarmynd á efninu sem finnst í námunum. Einnig voru fengin sýni af efni sem hafði verið unnið, þ.e.a.s. malað og flokkað niður í ákveðnar stærðir. Óunnu sýnin voru í misjöfnum stærðum enda eru aðstæður í námunum misjafnar. Þau voru brotin niður með sleggju til að hægt væri að skoða ferskt yfirborð.

Flokkuðu sýnin voru í blönduðum stærðarflokkum, þ.e.a.s. sýnin frá Jökulsá voru 8-11,2 mm molar, Hólabrú voru 5,6-11,2 mm molar og Skútaberg voru 11-16 mm molar. Áður en þau voru skoðuð var þeim skipt upp og efnin sigtuð þannig að í öllum tilfellum var verið að skoða mola sem voru í kringum 8-11 mm.

2.2 Aðferðir

2.2.1 Undirbúningur

Við berggreiningu var stuðst við skýrslu BUSL⁴-Efnisgæðanefndar (Þorgeri S. Helgason o.fl., 2006), Efnisgæðarit – Viðauka 10 frá Vegagerðinni (Þorgeir S. Helgason o.fl., 2023) og upplýsingarblað Rb um Berggreiningu í samræmi við Evrópustaðal (Dóra Kristín Björnsdóttir, 2006). Ásamt því að framkvæma berggreiningu þá var fínefnasmurning, lögun, ávalni og hrýfi kornanna einnig metin.

Þrjú sýni voru rannsökuð þ.e.a.s. eitt fyrir hverja námu og voru teknir nákvæmlega 150 molar til rannsóknar úr hverju sýni. Byrjað var á því að mæla með skíðmáli lengd þriggja ása molanna. Langás (a) sem er lengsti ás molans, miðás (b) sem er lengsti ás þvert á langásinn og skammás (c) sem er þvert á hina tvo ásana. Út frá þessum mælingum var hægt að reikna ílengd (E_z) og kleyfni (k) molana samkvæmt eftirfarandi jöfnum:

$$E_z = \frac{b}{a} \quad \text{og} \quad k = \frac{c}{b}$$

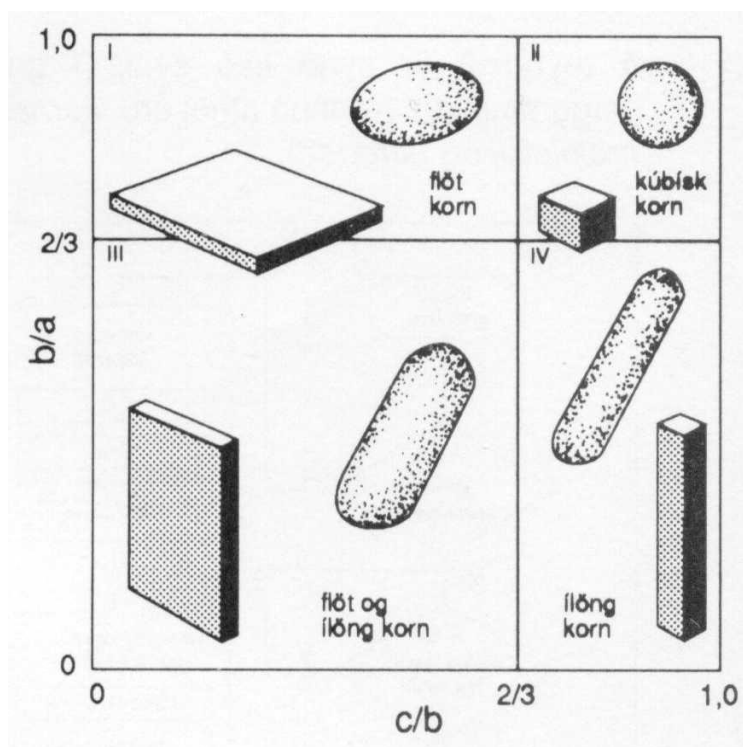
Út frá þessum jöfnum fæst hlutfall sem hægt er að nota til að flokka molana niður í fjóra formflokka. Til að skilgreina formflokkanna er notast við skilgreiningu Theodor Zingg frá 1935. Formflokkarnir hafa ákeðin viðmiðunarmörk og má sjá hver þau eru í töflu 1 hér að neðan.

⁴ BUSL stendur fyrir „burðarlög og slitlög“ en er skilgreint sem samstarf um rannsóknar- og þróunarverkefni í vega- og gatnagerð.

Tafla 1: Skilgreiningar og skilgreiningarmörk á lögun korna í steinefnasýni (Zingg, 1935)

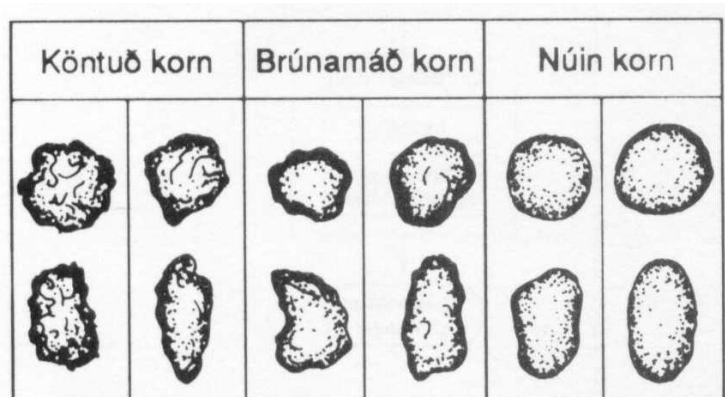
Formflokkur	Skilgreining	Skilgreiningarmörk
I	Flöt korn	$k < (2/3)$ og $E_z \geq (2/3)$
II	Teningslaga korn	$k \geq (2/3)$ og $E_z \geq (2/3)$
III	Flöt og ílöng korn	$k < (2/3)$ og $E_z < (2/3)$
IV	Ílöng korn	$k \geq (2/3)$ og $E_z < (2/3)$

Niðurstöður kleyfni og ílengdar voru að lokum settar upp í graf líkt og sjá má á mynd 6 til að auðvelda ákvörðun á lögun kornanna.



Mynd 6: Viðmiðunarmörk formflokka sett upp á myndrænan hátt út frá skilgreiningu Zingg (Þorgeir S. Helgason, o.fl., 2023)

Ávali og hrýfi molanna var metin sjónrænt og með snertingu. Molana má flokka niður í tvo flokka eftir hrýfi, þ.e.a.s. hrjúf korn og slétt korn og þrjá flokka eftir ávala þ.e.a.s. köntuð korn, brúnamáð korn og núin korn. Notast var við mynd 7 til að flokka molana niður í ávalaflokkana, en kornin voru borin saman við myndina.



Mynd 7: Ávalaflokkar, myndin er byggð á ávalaflokkun eftir Powers sem kom fram í *Journal of sedimentary Petrology* árið 1953 (Þorgeir S. Helgason, o.fl., 2023).

Eftir að þessir þættir höfðu verið ákvarðaðir þá var hægt að hefjast handa á berggreiningunni.

2.2.2 Berggreining

Berggreiningin er mikilvægt verkfæri þegar kemur að því að nálgast upplýsingar um hæfni steinefna til notkunar í mannvirkjagerð. Berggreiningin er unnin samkvæmt Evrópustaðli ÍST EN 932-3 en staðallinn var aðlagður að íslenskum aðstæðum árið 1989 af Rb og gengur almennt undir nafninu Berggreiningarkerfi Rannsóknarstofnunar byggingariðnaðarins. Breytingin felur í sér að sýni eru flokkuð í fleiri flokka og undirflokka en staðallinn segir til um, þetta kemur til því berggrunnur á Íslandi er að mestu leiti úr basalti. Berggreiningin getur gefið hugmynd um hversu gott slitþol, veðrunarþol og styrkur steinefnanna er en það þarf einnig að framkvæma önnur próf til að staðfesta það (Þorgeir S. Helgason, o.fl., 2023).

Kefið byggir á því að greina steinefni eftir bergtegund, þéttleika og ummyndunarstigi. Síðan er hægt að flokka steinefnin niður í viðeigandi gæðaflokk. Gæðaflokkarnir eru byggðir á fyrri reynslu af notkun steinefnanna í iðnaði. Sama efnið getur verið flokkað í mismunandi gæðaflokka eftir því hvort verið sé að vinna steinefni til steypu- eða vegagerðar. Gæðaflokkarnir falla ekki undir Evrópustaðalinn og voru birtir með berggreiningarkerfi Rb, sjá töflu 2 (Dóra Kristín Björnsdóttir, 2006).

Tafla 2: Hér má sjá hvernig algeng bergbrigði eru flokkuð í gæðaflokka eftir berggreiningarkerfi Rb, tafla er fengin úr Rb-blaði sem fjallar um Berggreiningu í samræmi við Evrópustaðal (Dóra Kristín Björnsdóttir, 2006) Með bergbrigði er átt við ákveðið afbrigði bergtegundar eða steindar þ.e.a.s. bergtegund á sama ummyndunar- og þéttleikastigi (Þorgeir S. Helgason, o.fl., 2023).

Heiti	Gæðaflokkar		
	Steypa	Slitlag	Burðarlag
Basalt-ferskt-þétt	1	1	1
Basalt-ferskt-blöðrótt	1	2	1
Basalt-ferskt-mjög blöðrótt	2	3	3
Basalt-ummyndað-þétt	2	2	2
Basalt-ummyndað-blöðrótt	2	2	2
Basalt-mjög umm.-þétt	3	3	3
Andesít-ferskt-þétt	2	1	1
Andesít-ummyndað-þétt	2	2	2
Líparít-ferskt-þétt	2	2	2
Líparít-ummyndað-þétt	2	2	2
Móberg	3	3	3
Setberg	3	3	3
Holufyllingar	3	3	3
Skeljabrot	2	2	2
Basaltgler-ferskt-þétt	3	3	2
Gjall	3	3	3
Vikur	3	3	3
Díabas-ferskt-þétt	1	1	1
Díabas-ummyndað-þétt	2	2	2
Granófýr-ferskt-þétt	2	1	1
Granófýr-ummyndað-þétt	2	2	2
Gabbró-ferskt-þétt	2	1	1
Gabbró-ummyndað-þétt	2	2	2
Ýmis korn (góð og meðal)	2	2	2

Byrjað er að ákvarða hver berggerð molans er, síðan er hægt að meta hversu ummyndaður og þéttur hann er (Þorgeir S. Helgason, o.fl., 2023).

Til að greina ummyndun og þéttleika bergmola er notast við víðsjá, hver moli er tekinn fyrir og veðrunaryfirborðið metið áður en búið er til ferskt yfirborð.

Ummyndunarstigin eru þrjú þ.e.a.s. ferskt eða lítið ummyndað, nokkuð ummyndað og mjög ummyndað. Þegar verið er að meta ummyndunarstig þarf að skoða frumsteindir og glerfasa ef hann er til staðar (Þorgeir S. Helgason, o.fl., 2023). Önnur dæmi um ummyndun eru myndanir holu- og sprungufyllinga í sprungum og blöðrum í berginu. Algengast er að holu- og sprungufyllingar séu ýmsir Zeolítar eða kvarssteinar sem myndast við lágt hitastig (Kristján Sæmundsson og Einar Gunnlaugsson, 2019).

Þéttleikastigin eru einnig þrjú, en við greiningu á þéttleika er notast við hlutfall blaðra í sýninu. Blöðrurnar eru ófylltar holur sem eru dýpri en þvermál þeirra. Þvermálið þarf að vera meira en 0,2 mm til að það sé talin vera blaðra. Þéttleikaflokkarnir eru eftirfarandi, þétt eða lítið blöðrótt ef að minna en 5% yfirborðsins er blöðrótt, nokkuð blöðrótt ef blöðrur eru milli 5%-25% af yfirborðinu og mjög blöðrótt ef meira en 25% af yfirborðinu er blöðrótt. Í sumum tilfellum er ekki möguleiki á að greina þéttleika molanna en þá eru þeir flokkaðir sem óskilgreindur þéttleiki (Þorgeir S. Helgason, o.fl., 2023).

Það getur verið hjálplegt að skrifa hjá sér önnur einkenni molanna, eins og hvort þeir séu mikið veðraðir, dílóttir, glerkenndir og hver kornastærð er í grunnmassanum.

Allir 150 molarnir voru greindir fyrir hvert sýni og niðurstöður voru settar upp í töflur sem er hægt að vinna frekar með til að ákvarða gæðaflokka og einkenni steinefnanna.

3 Niðurstöður

Í þessum kafla verður farið yfir helstu niðurstöður berggreiningarinnar ásamt rannsókna sem Colas Ísland og námufyrirtækin hafa gert á steinefnunum. Áhersla er lögð á niðurstöður úr berggreiningu og viðloðunarprófum, þ.e.a.s. hræsluprófum og rúlluflöskuprófum.

Samkvæmt upplýsingum frá námunum þá hafa steinefnin í sýnunum verið möluð til að ná fram rétttri stærð fyrir framleiðslu á malbiki og flokkuð með hörpu. Sýnin sem unnin eru úr lausum jarðlögum innihalda því ekki náttúrulegt set heldur hefur það verið brotið niður. Ef sýnin eru skoðuð þá sést að þau hafa ólíka lögun eftir því hvaðan þau koma.

Í viðauka A má sjá myndir af sýnunum sem fengin voru frá námunum sem gefa betri hugmynd um stærð þeirra og útlit

Niðurstöður úr berggreiningunni má sjá í töflum 5,6 og 7 í viðauka B ásamt því að á mynd 16 í viðauka C má sjá stöplarit sem sýnir samanburð á niðurstöðum frá námunum þrem. Farið verður yfir helstu niðurstöður úr þeirri rannsókn fyrir hvert steinefni.

3.1.1 Berggreining

Hólabrú

Berggreining gefur til kynna að steinefnin séu að mestu leiti basalt eins og sjá má í töflu 5 í viðauka B. Stór hluti sýnisins var flokkaður sem þétt basalt en molarnir lentu í mismunandi ummyndunarflokkum. Eftir að ílengdar- og kleyfnihlutföll höfðu verið reiknuð var hægt að flokka molana sem flata eða kúbíska, skiptingin milli þessara tveggja flokka var nokkuð jöfn en aðeins fleiri flokkuðust sem kúbískir molar. Ávali sýnisins var metin út frá mynd 7 og var heildarsýnið flokkað sem brúnamáð en um 55% sýnisins féll undir þann ávalaflokk. Brúnamáða mola má skilgreina sem mola sem falla á milli þess að vera núnnir og kantaðir þ.e.a.s. molarnir hafa brúnir sem hafa mást. Næst stærsti flokkurinn voru kantaðir molar sem voru um 31% af sýninu. Kantaðir molar hafa óreglulegt yfirborð sem einkennist af skörðum og hvössum brúnum. Hrífi var metið fyrir heildar sýnið en stærstan hluta molanna mátti flokka sem hrjúfa. Flestir molanna voru fínefnasmurðir þ.e.a.s. fínefni á yfirborði þarf að skola af.

Sýnið var flokkað niður í gæðaflokka og niðurstaðan var að um helmingur sýnisins féll undir gæðaflokk 1 eða um 48% af heildar sýninu. Í gæðaflokki 2 var 42% af sýninu og 10% sýnisins féll undir gæðaflokk 3.

Jökulsá

Berggreining gefur til kynna að steinefnin séu að mestu leiti basalt eins og sjá má í töflu 6 í viðauka B. Um 79% af sýninu má flokka sem þétt basalt og um 84% af því var flokkað undir ummyndunarflokkinn ferskt eða lítið ummyndað. Eftir að ílengdar og kleyfni hlutföll höfðu verið reiknuð var hægt að flokka molana sem flata eða kúbíska, skiptingin milli þessara tveggja flokka var mjög jöfn. Fleiri molar flokkuðust sem ílangir en í sýninu frá Hólabrú. Ávali sýnisins var metin út frá mynd 7 og var heildarsýnið flokkað sem brúnamáð en um 42% sýnisins féll undir þann ávalaflokk, næst stærsti flokkurinn voru núnnir molar sem voru um 35% af sýninu. Núna mola má skilgreina sem mola þar sem brúnir hafa mást af og yfirborðið er næstum eða

alveg slétt. Hrífi var metið fyrir heildarsýnið en stærstur hluti molanna mátti flokka sem slétta. Flestir molanna voru fínefnasmitaðir, þ.e.a.s. auðvelt er að burstu fínefnin af.

Sýnið var flokkað niður í gæðaflokka og niðurstaðan var að meira en helmingur sýnisins féll undir gæðaflokk 1 eða um 67% af heildar sýninu. Í gæðaflokki 2 var 27% af sýninu og 6% sýnisins féll undir gæðaflokk 3.

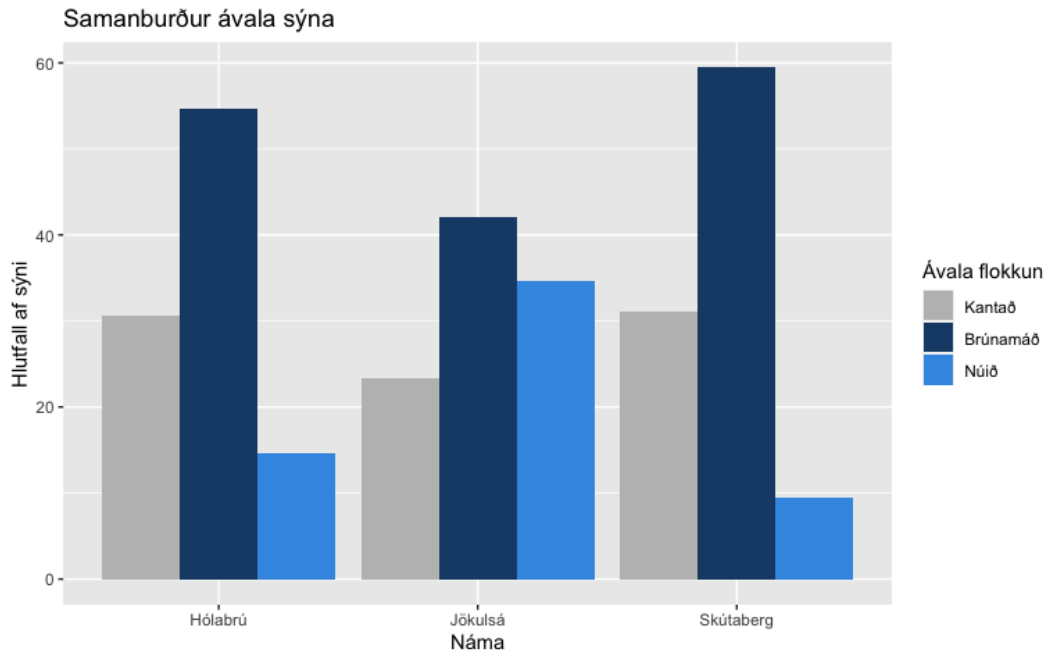
Skútaberg

Berggreining gefur til kynna að steinefnin séu einungis úr basalti eins og sjá má í töflu 7 í viðauka B. Sýnið var flokkað sem þétt basalt en molarnir féllu undir mismunandi ummyndunarflokka. 73% molana féllu undir flokkinn ferskt eða lítið ummyndað þ.e.a.s. engin eða lítil ummyndun á frumsteindum og 25% molana féllu undir flokkinn nokkuð ummyndað þ.e.a.s. einhver ummyndun á frumsteindum sem kemur fram sem dekkra yfirborð, í flestum tilfellum brúnna á litinn. 2% molana féllu undir mjög ummyndað þ.e.a.s. frumsteindir voru verulega ummyndaðar en einnig mátti sjá leirsteindir í dældum ásamt útfellingarsteindum líkt og kvars í sprungum. Eftir að ílengdar og kleyfni hlutföll höfðu verið reiknuð var hægt að flokka flesta molana sem kúbíska, en eitthvað var um flata og ílanga mola. Heildarsýnið var flokkað sem brúnamáð en um 59% sýnisins féll undir þann ávalaflokk, molarnir voru þó nær því að vera kantaðir en núnir. Næst stærsti flokkurinn voru kantaðir molar sem voru um 31% af sýninu. Hrífi var metið fyrir heildarsýnið en stærsta hluta molana mátti flokka sem hrjúfa. Flestir molanna voru fínefnasmitaðir, þ.e.a.s. auðvelt er að burstu fínefnin af.

Sýnið var flokkað niður í gæðaflokka og niðurstaðan var að stærsti hluti sýnisins féll undir gæðaflokk 1 eða um 73% af heildar sýninu. Í gæðaflokki 2 var 25% af sýninu og um 2% sýnisins féll undir gæðaflokk 3.

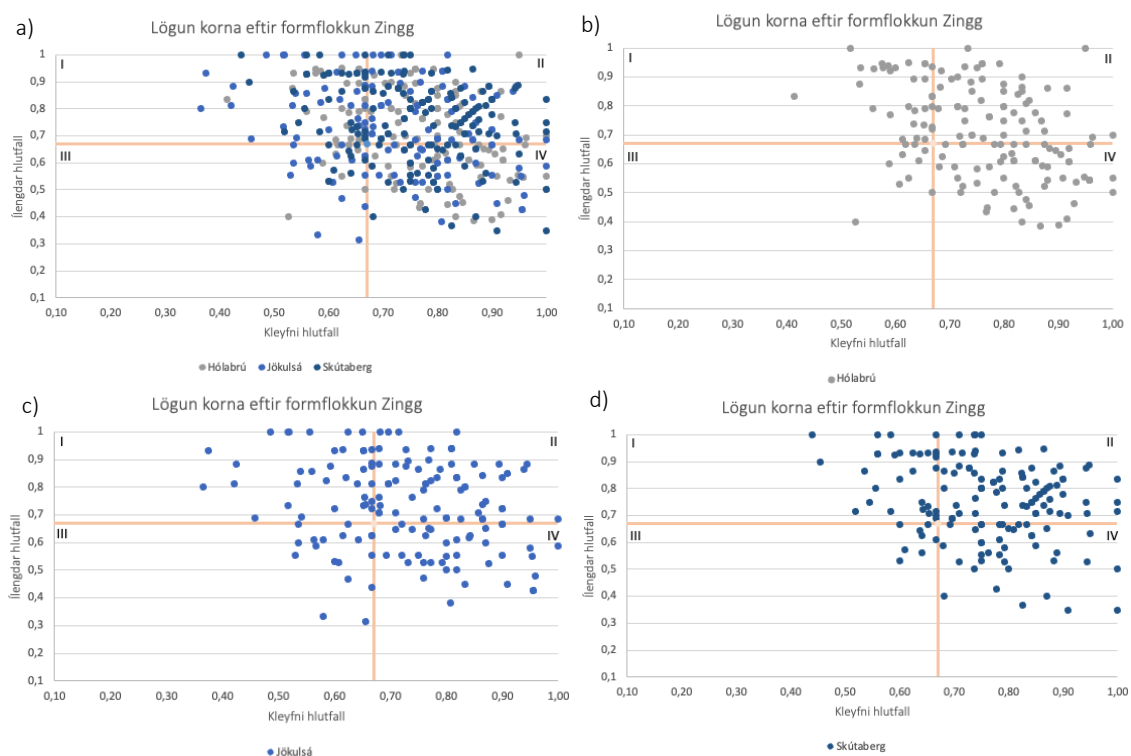
3.1.2 Samanburður steinefna

Með því að bera saman eiginleika steinefnanna sem komu fram í rannsókn á sýnunum er hægt að finna út hvort einhver munur sé á milli þeirra. Samanburður á niðurstöðum ávala sýna að steinefni úr öllum námunum sýna svipaðar niðurstöður, stór hluti efnisins fellur undir flokkinn brúnamáð. Ef graf á mynd 8 er skoðað sést að steinefni frá námu Jökulsá inniheldur hlutfallslega meira af núnu efni en hinar tvær námurnar en aðeins 23% af efninu flokkast sem kantað. Steinefni frá námum Hólabrú og Skútaberg sýna svipaða dreifingu á ávala korna en aðeins meira er um núíð efni í námu Hólabrú.



Mynd 8: Samanburður á ávala sýna, stöplarnir gefa til kynna mismunandi flokkun á molum.

Með því að nota skilgreiningu Zingg á formflokkum sem sjá má í töflu 1 hér að ofan er hægt að varpa niðurstöðum ílengdar og kleyfni upp í graf sem sýnir í hvaða formflokki sýnin lenda. Mynd 9.a sýnir á einu grafi hvernig öll sýnin dreifast yfir formflokkana. Punktaþyrpingin er þéttust í feringnum hjá formflokkum I, II og IV en færri punktar lenda í formflokki III. Myndir 9. b, c og d sýna hvernig dreifing í formflokkum er fyrir steinefni námanna. Þar má sjá að mesta dreifingin virðist vera fyrir steinefni frá námunni Jökulsá og minnsta dreifing virðist vera fyrir steinefni frá námu Skútabergs. Almenn er lítið um mola sem flokkast sem flatir og ílangir (III) en flesta þeirra má finna í sýni frá Jökulsá. Flestir molarnir flokkast sem kúbískir (II) óháð hvaða námu þeir koma frá en einnig er mikið um flata mola (I). Í töflu 3 má sjá hvernig hlutfall kornanna er í hverjum formflokki og styður hún við upplýsingarnar á mynd 9.

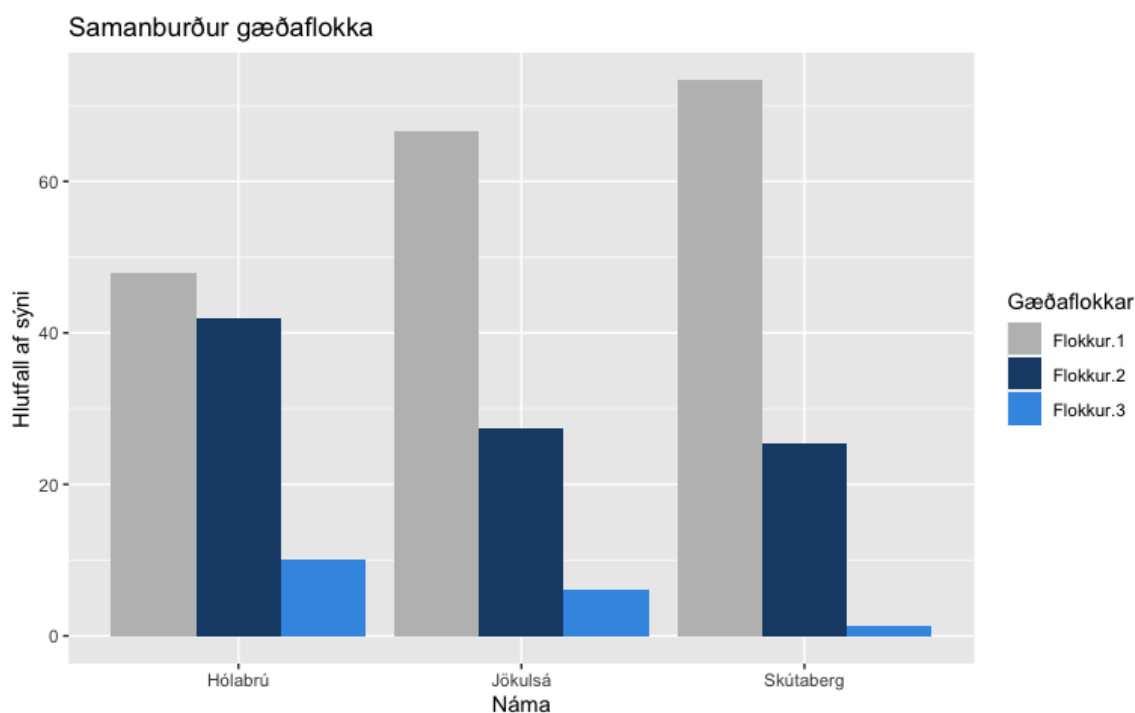


Mynd 9: Myndirnar sýna dreifingu sýna eftir formflokki. a) Sýnir dreifingu allra sýnanna á sama grafi. b) sýnir dreifingu mola frá námu Hólabrú c) sýnir dreifingu mola frá námu Jökulsá og d) sýnir dreifingu mola frá námu Skútabergs.

Tafla 3: Sýnir hversu hátt hlutfall sýnisins flokkast í hvern formflokk

Formflokkar	Hólabrú (%)	Jökulsá (%)	Skútaberg (%)
I. Flöt	33	27	20
II. Kúbísk	42	44	59
III. Flöt og ílöng	5	7	4
IV. Ílöng	19	22	17

Á mynd 16 í viðauka C má finna stöplarit sem sýnir hvernig sýnin dreifast í mismunandi bergbrigði. Steinefnin eru flokkuð niður eftir töflu 2 hér að ofan og síðan er hægt að flokka þær niðurstöður frekar í þrjá gæðaflokka. Með því að skoða mynd 16 sést að flestir molarnir lenda í flokknum fyrir ferskt þétt basalt óháð hvaða námu þeir koma frá. Í þessum flokki má finna basaltefni sem sýnir litla eða enga ummyndun og minna en 5% af yfirborði þess er blöðrótt. Lægra hlutfall steinefna úr námu Hólabrúar lendar í þeim flokki í samanburði við hinar tvær námurnar. Við athugun á niðurstöðum sést að efnið úr námu Hólabrúar er almennt meira ummyndað og með hærri hlutfall af blöðrum en steinefni úr hinum tveim námunum. Þessar niðurstöður endurspeglast á mynd 10 sem sýnir samanburð á hvernig steinefnin úr námunum flokkast niður í gæðaflokkana. Þar sést að steinefni úr námu Hólabrúar innihalda minnsta hlutfallið af efni í fyrsta flokki, en undir fyrsta flokks efni falla steinefni sem eru þétt og lítið eða ekkert ummynduð.

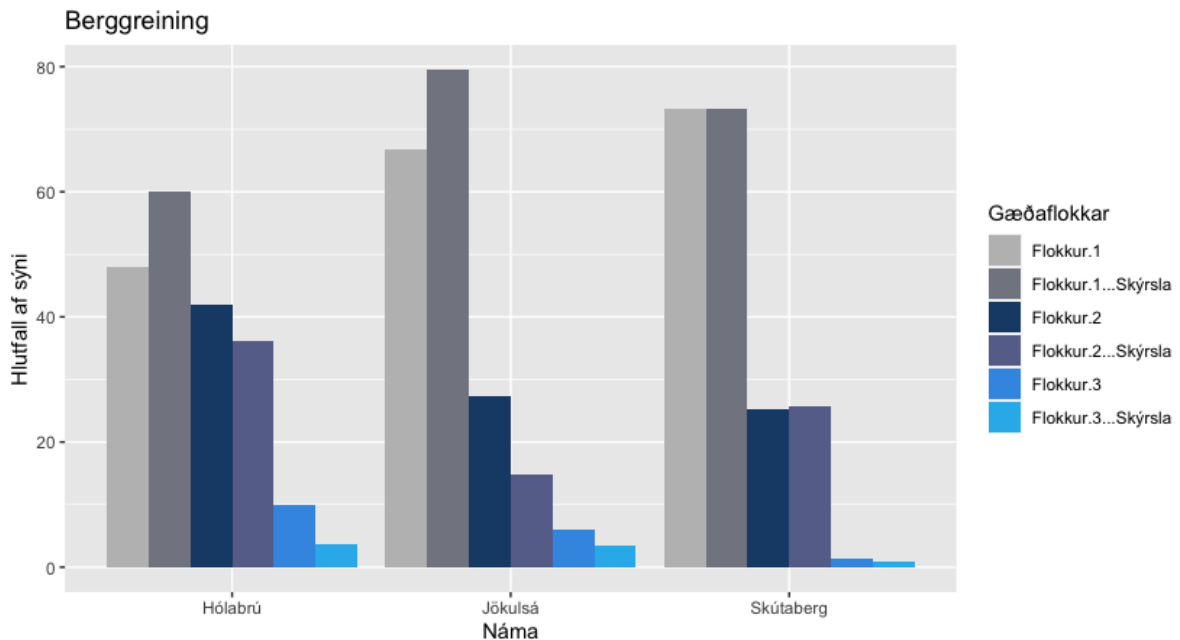


Mynd 10: Samanburður á gæðaflokkun steinefna

3.1.3 Samanburður við fyrri rannsóknir

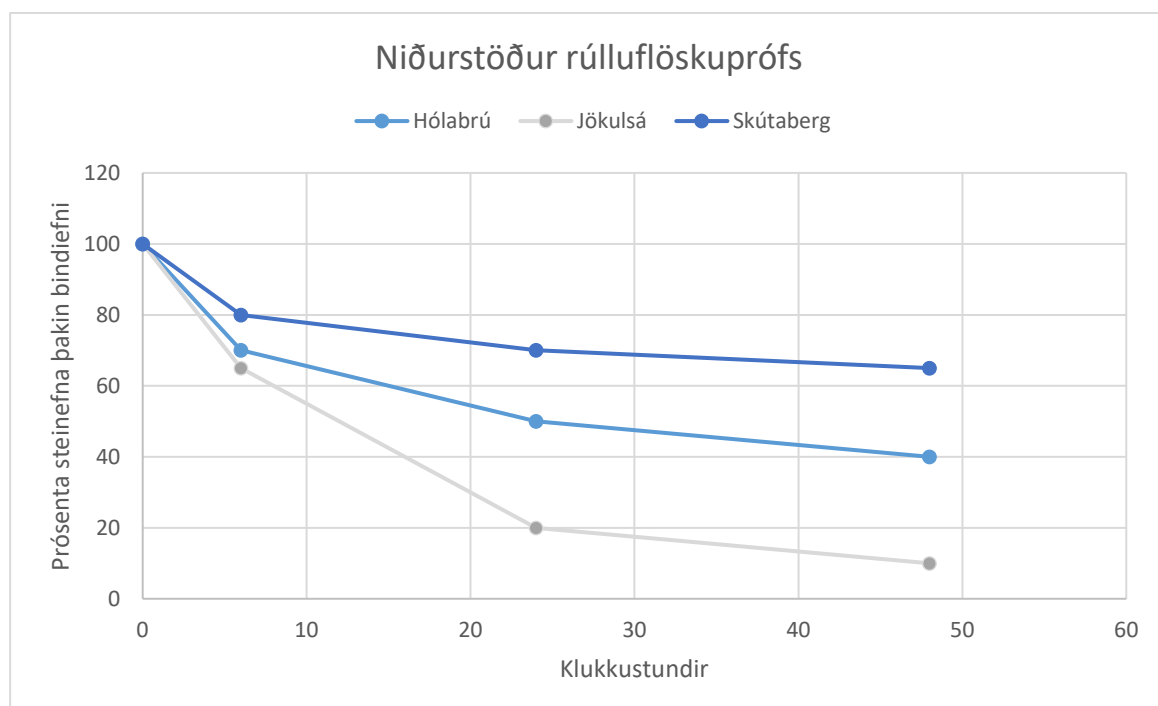
Á mynd 11 má sjá niðurstöður berggreiningar sem framkvæmd var fyrir þetta verkefni bornar saman við meðaltal niðurstaðna sem gerðar hafa verið fyrir námufyrirtækin. Niðurstöður berggreiningar á steinefnum frá námu Skútabergs falla best að meðaltals gildunum. Meiri breytileiki er á niðurstöðum fyrir steinefni frá námum Hólabrúar og Jökulsár og eru niðurstöður þó sambærilegar niðurstöðum sem meðaltalið er reiknað út frá. Breytileiki á niðurstöðum berggreiningar fyrir steinefni Hólabrú og Jökulsá gæti bent til þess að steinefnin sem þar finnast séu fjölbreyttari en þau sem finnast í námu Skútabergs.

Vegagerðin setur fram ákveðnar kröfur til berggæða og ásýndar bergs ætlað til notkunar í klæðningar. Ef árdagsumferð er undir 200 ökutæki þá má hlutfall sýnisins sem lendir í 3. gæðaflokki ekki vera meira en 15% , ef árdagsumferð er milli 200 og 1000 ökutæki þá má 10% sýnisins lenda í 3.gæðaflokki, ef árdagsumferð er milli 1000 og 2000 ökutækja þá má 5% sýnisins lenda í 3.gæðaflokki og ef árdagsumferð er meiri en 2000 ökutæki þá má 5% sýnisins lenda í 3.gæðaflokki en meira en 50% sýnisins þurfa að lenda í 1.gæðaflokki. Árdagsumferð er meðalumferð á dag yfir árið. (Pétur Pétursson og Gunnar Bjarnason,a, 2023).



Mynd 11: Samanburður á niðurstöðum berggreiningar sem framkvæmd var fyrir þetta verkefni við niðurstöður sem teknar voru saman úr skýrslum sem til voru um steinefnin í gagnagrunni Colas Íslands og námanna sem sjá fyrir steinefnunum.

Niðurstöður rúlluflöskuprófs fyrir þessi þrjú steinefni eru bornar saman á mynd 12. Þar má sjá að steinefni frá Skútaberg kemur best út úr prófinu. Töluverður munur er á viðloðunarhæfni steinefnanna ef einungis er tekið mið af þessu grafi. Það var einungis hægt að finna niðurstöður úr einu rúlluflöskuprófi fyrir hvert steinefni en fleiri próf gætu gefið nákvæmari niðurstöður.



Mynd 12: Niðurstöður rúlluflöskuprófa framkvæmd fyrir mismunandi námur.

Samkvæmt rannsóknum á viðloðun framkvæmdum með hræsluprófi þá sýna öll steinefnin góða viðloðunarhæfni. Prófin sýna að steinefnin séu um 99-100% þakin eftir viðloðunarpróf óháð því úr hvaða námu þau koma. Meðaltal niðurstaðna úr hræsluprófum má sjá í töflu 4 hér að neðan. Út frá meðaltals niðurstöðum þá virðast öll steinefnin sýna svipaða viðloðunarhæfni en Hólabrú sýnir bestu niðurstöðurnar.

Vegagerðin setur fram eftirfarandi kröfur fyrir viðloðunarpróf; ef árdagsumferð er undir 1000 ökutækjum þá þarf þakning steinefnanna að vera meiri en 90% eftir prófið, ef árdagsumferð er milli 1000 og 2000 ökutæki þá þarf þakning steinefna að vera meiri en 95% og ef árdagsumferð er yfir 2000 ökutæki þá þarf þakning að vera 99% eða hærri. Öll steinefnin standast þessar kröfur.

Tafla 4: Meðaltal niðurstaða hræsluprófa.

Nafn námu	Meðaltal steinefna þakin eftir viðloðunarpróf (%)
Hólabrú	100,0
Skútaberg	99,8
Jökulsá	99,7

Mismikið er til af upplýsingum um viðloðun steinefnanna, fyrir Skútaberg var aðeins hægt að finna fjórar niðurstöður úr hræsluprófum en helmingi fleiri fundust fyrir hinar námurnar.

4 Umræður

Við vinnslu verkefnisins var unnið með steinefni sem koma úr tveim mismunandi tegundum efnisnáma. Annars vegar er efni unnið úr bergi og hins vegar efni unnið úr lausum jarðlögum sem hefur safnast upp við ólíkar aðstæður. Með því að skoða niðurstöðurnar má sjá að einhver munur er á eðliseiginleikum steinefnanna. Í sumum tilfellum er munurinn mikill en í öðrum það lítill að hann ætti ekki að hafa mikil áhrif á niðurstöður annarra prófa. Mestan mun mátti sjá á niðurstöðum berggreiningar en einnig mátti sjá mun á niðurstöðum ávala flokkunnar. Það sem virðist aðgreina steinefnin er ummyndunar- og þéttleikastig bergsins sem unnið er úr námunum en mismunandi veðrunar- og myndunaraðstæður hafa áhrif. Laus jarðlög geta geymt mikið af upplýsingum um bergið sem þau mynduðust úr. Berggrunnurinn hefur mismunandi einkenni eftir því hverjar aðstæður voru þegar að kvikan sem myndaði hann rann. Aðstæður við storknun kvikunnar hafa einnig áhrif á einkennin (Hreggviður Norðdahl, 1992).

Steinefnin úr setnámunum tveim eru misnúin, mest var um núið efni í námu Jökulsá. Sýni úr báðum námum eiga það sameiginlegt að kornin hafa núist við flutning í vatni. Veðrun og flutningur er það sem hefur áhrif á ávala kornanna fyrir mölun. Efnið í námu Hólabrúar hefur flust í brimi við strönd áður en að það settist til en efni úr námu Jökulsár hefur ýmist komið undan jökli eða haft tíma til að veltast um í árfarvegi Jökulsár á Dal. Ástæða fyrir að munur er á ávala flokkun efnanna gæti verið að vinnsluaðferðir við mölun á efnunum séu ólíkar. Einnig gæti verið að efnin fari í gegnum mismörg brotferli, náttúrulegt efni úr námu Hólabrúar gæti verið grófara og því meira brotið. Steinefnin úr námu Jökulsár hafa núnara yfirborð og því má álykta að þar sé að finna meira af óbrotnu efni. Lítið hlutfall er af núnum kornum í steinefnum frá námu Skútabergs þar sem efnið þaðan er brotið úr berggrunninum og hefur ekki flust til með roföflum eins og efnið í hinum námunum.

Þrátt fyrir að það sé örlítið herra hlutfall af núnu efni í sýnum frá Jökulsá þá er tiltölulega lítill munur á niðurstöðum ávala. Mölun á efninu útskýrir afhverju ekki er meiri munur á efnunum. Greinilegt er að mölun á efninu hjálpar til við að jafna út lögun kornanna.

Ástæða fyrir háu hlutfalli af brúnamáðum molum úr námu Skútabergs er líklega vegna mistaka hjá rannsakanda, ólíklegt er að finna svona hátt hlutfall af brúnamáðum molum úr námu þar sem eingöngu er verið að vinna með brotinn berggrunn. Mikið var um mola sem rannsakandi var óviss með hvort flokka ætti sem kantaða eða brúnamáða þar sem að yfirborðið virtist vera núið að hluta til en að mestu leiti kantað.

Út frá niðurstöðum berggreiningar má áætla að efni frá Skútabergi henti vel til framleiðslu á slitlagsmalbiki þar sem efni þaðan hefur hæst hlutfall af steinefnum í 1. flokki og lægst hlutfall steinefna í 3. flokki. Almenn er miðað við að efni sem notað er í sitlag innihaldi eins mikið af 1. flokks efni og hægt er þar sem það hefur mest veðrunar- og slitþol. Í 1. flokki eru þéttar og lítið ummyndaðar bergtegundir, í sýnunum var aðeins basalt sem flokkaðist þangað en aðrar bergtegundir geta einnig fallið undir þann flokk. Áhrif vatns getur haft áhrif á ummyndunarstig steinefna og því var búist við því að efnið úr námu Jökulsá myndi sýna meiri ummyndun en seinna kom í ljós. Þar getur verið að flutningsleiðin spili inn í og vegna núnings við árfarveginn nái ummyndunarkápa ekki að myndast.

Viðlöðun er háð ýmsum þáttum eins og fram kom í fræðikaflanum, en sú mikilvægasta er, að viðlöðun verður minni ef vatn hefur möguleika á því að komast á milli bindiefnahúðarinnar og steinefnanna. Ávali, lögun korna, fínefnasmurning, ummyndun, yfirborðsáferð og blöðrur eru

allt þættir sem geta haft áhrif á viðloðunina. Kornin eru flest úr basalti og því er ólíklegt að efnafræðin hafi mikil áhrif á viðloðunarhæfni í þessum sýnum.

Ef skoðaðar eru niðurstöður úr báðum prófunum á viðloðunarhæfni þá sést að efni úr Skútabergi kemur vel út úr báðum þeirra. Steinefnið þaðan einkennist af þéttni og fersku basalti með hrjúfu yfirborði, flest kornanna eru kúbísk og köntuð. Efni frá Jökulsá og Hólabrú hafa mismunandi eiginleika sem gætu haft áhrif á viðloðunarhæfni þess. Sýnin frá Hólabrú innihalda mikið af ummynduðum kornum og um 25% af efninu eru blöðrótt en korn úr Jökulsár námunni eru með sléttara yfirborð og lögun þeirra er almennt núnari en korn úr Hólabrúar námunni.

Þar sem niðurstöður úr viðloðunarprófum gefa ólíka mynd af sýnunum þá er erfitt að segja til um hvort mismunandi eðliseiginleikar steinefnanna hafi áhrif á viðloðunarhæfni. Það er munur á eðliseiginleikum þessara steinefna og líklegt að þeir hafi einhver áhrif á viðloðunarhæfni steinefnanna. Hræslupróf sýna að almennt er ekki mikill munur á viðloðunarhæfni þessara steinefna en niðurstöður benda til að eðliseiginleikar steinefnanna gætu haft áhrif á viðloðun í rúlluflöskuprófinu, þ.e. trega viðloðun.

5 Lokaorð

Niðurstöður styrkja þá hugmynd að eðliseiginleikar steinefna hafi áhrif á viðloðunarhæfni við bindiefni. Efni frá Skútaberg kemur betur út úr rúlluflöskuprófum en efni frá hinum námunum, en efnið inniheldur hlutfallslega meira af 1.flokks steinefnum. Efnið þaðan er einnig minna núíð þar sem það er brotið beint úr berggrunninum og það er eitthvað sem getur mögulega haft áhrif. Það væri gaman að sjá hversu mikil áhrif þessir eðliseiginleikar hafa á aðra eiginleika malbiksins eins og t.d. slitþol eða frostþol og sjá hvort að þær rannsóknir skili svipuðum niðurstöðum.

Heimildaskrá

- Ari Trausti Guðmundsson. (1993). Jökla skiptir skapi. *Náttúrufræðingurinn*, 62(1-2), 220-224
- Árni Hjartarson. (1998). *Jarðfræðikort, Akureyri og nág. 1:50.000. Greinargerð og kort fyrir Hitaveitu Akureyrar* [Greinargerð]. Orkustofnun.
- Ásbjörn Jóhannesson. (1977). *Viðlöðun í olíumöl og malbiki*. Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins, Reykjavík.
- Cui, S., Blackman, B. R. K., Kinloch, A. J., & Taylor, A. C. (2014). Durability of asphalt mixtures: Effect of aggregate type and adhesion promoters. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 54, 100-111. <https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2014.05.009>
- Curtis, C.W., Ensley, K. og Epps, J. (1993). Fundamental Properties of Asphalt-Aggregate Interactions Including Adhesion and Absorption. *Strategic Highway Research Program*, 341. ISBN: 0-309-05614-4
- Dóra Kristín Björnsdóttir. (2006). Berggreining í samræmi við evrópustaðal ÍST EN 923-3: 1996. Rb-blað Yp1.004.1. Rannsóknarstofnun byggingariðnaðarins.
- Environice. (2009). *Hólabrú í Hvalfjarðarsveit – Efnistaka, mat á umhverfisáhrifum* [Matsskýrsla]. Sótt af: <https://www.skipulag.is/media/attachments/Umhverfismat/636/Holabru%20matsskyrsla.pdf>
- Environice. (2013). *Skútar Hörgársveit, efnistaka- mat á umhverfisáhrifum* [Frummatsskýrsla]. Sótt af: https://www.environice.is/wp-content/uploads/2015/11/Frummatsskyrsla_Skutaberg_mars2013.pdf
- Gunnar Bjarnason og Hreinn Haraldsson. (2012). Jarðfræði og vegagerð. *Náttúrufræðingurinn*, 82(1-4), 98-104.
- Hafdís Eygló Jónsdóttir og Gunnar Bjarnason. (2018). *Handbók um vinnslu steinefna til vegagerðar*. Vegagerðin.
- Haukur Jóhannesson. (2014). *Jarðfræðikort af Íslandi. 1:600 000. Berggrunnur*. Náttúrufræðistofnun Íslands, Reykjavík (2.útgáfa)
- Helgason, Þ.S., Pétursson, P. og Bjarnason, G. (2023). *Efnisgæðaritið – Viðauki 10: Berggreining*. Vegagerðin.
- Helgason, Þ.S., Marteinsdóttir, S., Sveinsdóttir, E.L. og Magnúsdóttir, B. (2006). *Berggerð og kornalögun sýna í steinefnabanka BUSL – Lokaskýrsla*. BUSL-Efnisgæðanefnd.
- Hildur Guðmundsdóttir og Þorsteinn Vilhjálmsson. (2004). Hvað eru kraftar Londons? *Vísindavefurinn*. Sótt af <http://visindavefur.is/svar.php?id=4392>
- Hreggviður Norðdahl (1992). *Hagnýt laus jarðlög á Íslandi*. Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins.

- Hreggviður Norðdahl og Brynhildur Magnúsdóttir. (2000). Aldur hvalbeins og efstu fjörumarka í Akrafjalli. *Náttúrufræðingurinn*, 69(3-4), 177-188.
- Ingi Þorleifur Bjarnason. (1997). „Eldhjarta Íslands“ – Leitir af jarðfræðilegri uppsprettu landsins. *Náttúrufræðingurinn*, 67(2), 77-83.
- Ingi Þorleifur Bjarnason. (2008). An Iceland hotspot saga. *Jökull*, 58 (1), 3-16.
- Jakobsson, S.P., Jónasson, K. Og Sigurðsson, I.A. (2008). The three igneous rock series of Iceland. *Jökull*, 58 (1), 117-138.
- Jóhannesson, Á., Pétursson, P. og Bjarnason, G. (2023). *Efnisgæðarit- Viðauki 8: Ýtarefni um malbik. Vegagerðin*
- Korsgaard, N.J., Schomacker, A., Benediktsson, Í.Ö., Larsen, N.K., Ingólfsson, Ó. And Kjær, K.H. (2015). Spatial distribution of erosion and deposition during a glacier surge: Brúarjökull, Iceland. *Geomorphology*, 250, 258-270. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2015.09.010>
- Kristján Sæmundsson og Einar Gunnlaugsson. (2019). *Íslenska steina bókin*. Mál og Menning.
- Langer, W.H., Drew, L.J. og La Moreaux, P.E. (2004). *Aggregate and the Environment* bls 10-32. American Geological Institute.
- Námur.is (2023). *Gagnagrunnur rannsókna fyrir námu Hólabrú*. skoðað 15.mars 2023 https://jardrannsoknir.vegagerdin.is/rann/ran_grafik/?idn=19177&grt=ALLT
- Námur.is (2023). *Gagnagrunnur rannsókna fyrir námu Litla Bakka*. skoðað 15.mars 2023 https://jardrannsoknir.vegagerdin.is/rann/ran_grafik/?idn=20315&grt=ALLT
- Námur.is (2023). *Gagnagrunnur rannsókna fyrir námu Skútaberg*. skoðað 15.mars 2023 https://jardrannsoknir.vegagerdin.is/rann/ran_grafik/?idn=22511&grt=ALLT
- Námur.is. (2019, 26.mars). *Jarðefnanotkun, Námur á Íslandi*. <https://www.namur.is>
- Náttúrufræðistofnun Íslands. (2022). *Jarðfræði Íslands* 3.útg.. skoðað 9.mars 2023 <http://jardfraedikort.ni.is>
- Náttúruverendarlög 44/1999 gr. 37
- Norðdahl, H., Ingólfsson, Ó. og Pétursson, H.G. (2012). Ísaldarlok á Íslandi. *Náttúrufræðingurinn*, 82(1-4), 73-86.
- Ólafur Ingólfsson. (1988). Glacial history of the lower Borgarfjörður area, western Iceland. *Geologiska Föreläsningar*, 110(4), 293-309.
- Pétur Pétursson og Gunnar Bjarnarson. (2023a). *Efnisgæðaritið – Efnisrannsóknir og efniskröfur – Kafi 6: Slitlag*. Vegagerðin.
- Pétur Pétursson og Gunnar Bjarnason. (2023b). *Efnisgæðarit – Viðauki 3: Jarðmyndanir*. Vegagerðin.
- Snæbjörn Guðmundsson. (2019). *Vegvísir um jarðfræði Íslands*. Mál og Menning

- Snævarr Örn Georgsson. (2021). *Litli Bakki – Efnistaka, Tillaga að matsáætlun*. Efla Verkfræðistofa. Sótt af: <https://www.efla.is/mat-a-umhverfisahrifum/litlibakki-i-hroarstungu-efnistaka>
- Stefán Arnórsson. (1993). Inngangur að bergfræði storkubergs. *Náttúrufræðingurinn*, 62(3-4), 181-205.
- Sveinn P. Jakobsson. (1984). Íslenskar bergtegundir III - Þóleít. *Náttúrufræðingurinn*, 53(1-2), 53-5.
- Theodor Zingg. (1935). *Beitrag zur Schotteranalyse* [Doktorsritgerð]. <https://doi.org/10.3929/ethz-a-000103455>

Viðauki A



Mynd 13: Sýni frá Skútaberg.



Mynd 14: Sýni frá Hólabrú.



Mynd 15: Sýni frá Jökulsá.

Viðauki B

Tafla 5: Upplýsingar sem safnað var við berggreiningu á sýnum frá Hólabrú námu, efnið er flokkað eftir flokkunarkerfi Rb.

Flokkun	Fjöldi korna	Prósenta af heild
Basalt-ferskt-pétt	72	48,00
Basalt-ferskt-blöðrótt	18	12,00
Basalt-ferkst-mjög blöðrótt	7	4,67
Basalt-ummyndað-pétt	29	19,33
Basalt-ummyndað-blöðrótt	14	9,33
Basalt-m.ummyndað-pétt	6	4,00
Andesít-ferskt-pétt	0	0,00
Andesít-ummyndað-pétt	0	0,00
Líparít-ferskt-pétt	0	0,00
Líparít-ummyndað-pétt	2	1,33
Móberg	0	0,00
Setberg	0	0,00
Holufyllingar	0	0,00
Skeljabrot	0	0,00
Basaltgler-ferskt-pétt	0	0,00
Gjall	2	1,33
Vikur	0	0,00
Díabas-ferskt-pétt	0	0,00
Díabas-ummyndað-pétt	0	0,00
Granófýr-ferskt-pétt	0	0,00
Granófýr-ummyndað-pétt	0	0,00
Gabbró-ferskt-pétt	0	0,00
Gabbró-ummyndað-pétt	0	0,00
Ýmis korn	0	0,00

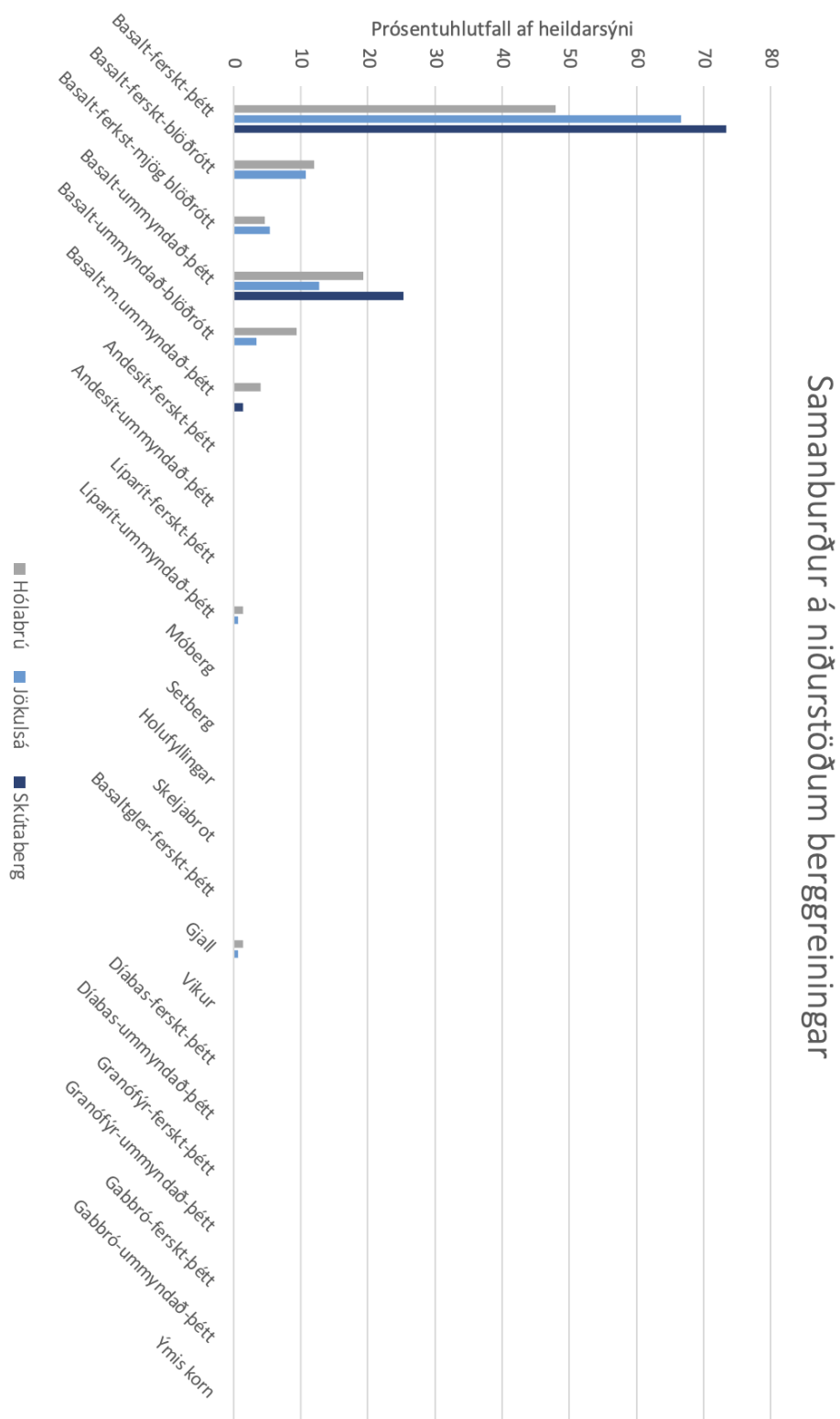
Tafla 6: Upplýsingar sem safnað var við berggreiningu á sýnum frá Jökulsá námu, efnið er flokkað eftir flokkunarkerfi Rb.

Flokkun	Fjöldi korna	Prósenta af heild
Basalt-ferskt-þétt	100	66,67
Basalt-ferskt-blöðrótt	16	10,67
Basalt-ferkst-mjög blöðrótt	8	5,33
Basalt-ummyndað-þétt	19	12,67
Basalt-ummyndað-blöðrótt	5	3,33
Basalt-m.ummyndað-þétt	0	0,00
Andesít-ferskt-þétt	0	0,00
Andesít-ummyndað-þétt	0	0,00
Líparít-ferskt-þétt	0	0,00
Líparít-ummyndað-þétt	1	0,67
Móberg	0	0,00
Setberg	0	0,00
Holufyllingar	0	0,00
Skeljabrot	0	0,00
Basaltgler-ferskt-þétt	0	0,00
Gjall	1	0,67
Vikur	0	0,00
Díabas-ferskt-þétt	0	0,00
Díabas-ummyndað-þétt	0	0,00
Granófýr-ferskt-þétt	0	0,00
Granófýr-ummyndað-þétt	0	0,00
Gabbró-ferskt-þétt	0	0,00
Gabbró-ummyndað-þétt	0	0,00
Ýmis korn	0	0,00

Tafla 7: Upplýsingar sem safnað var við berggreiningu á sýnum frá Skútaberg námu, efnið er flokkað eftir flokkunarkerfi Rb.

Flokkun	Fjöldi korna	Prósenta af heild
Basalt-ferskt-pétt	110	73,33
Basalt-ferskt-blöðrótt	0	0,00
Basalt-ferkst-mjög blöðrótt	0	0,00
Basalt-ummyndað-pétt	38	25,33
Basalt-ummyndað-blöðrótt	0	0,00
Basalt-m.ummyndað-pétt	2	1,33
Andesít-ferskt-pétt	0	0,00
Andesít-ummyndað-pétt	0	0,00
Líparít-ferskt-pétt	0	0,00
Líparít-ummyndað-pétt	0	0,00
Móberg	0	0,00
Setberg	0	0,00
Holufyllingar	0	0,00
Skeljabrot	0	0,00
Basaltgler-ferskt-pétt	0	0,00
Gjall	0	0,00
Vikur	0	0,00
Díabas-ferskt-pétt	0	0,00
Díabas-ummyndað-pétt	0	0,00
Granófýr-ferskt-pétt	0	0,00
Granófýr-ummyndað-pétt	0	0,00
Gabbró-ferskt-pétt	0	0,00
Gabbró-ummyndað-pétt	0	0,00
Ýmis korn	0	0,00

Viðauki C



Mynd 16: Niðurstöður á berggreiningu sýna frá námunum þrem sett upp í stöplarit.

