

# **Fornleifarannsóknir í Nesi við Seltjörn VI.**

**Efnasambönd fosfórs í jarðvegi við Nesstofu á Seltjarnarnesi**

Matthildur Bára Stefánsdóttir

FS028:95016

Fornleifastofnun Íslands

Reykjavík 1996

## Ágrip

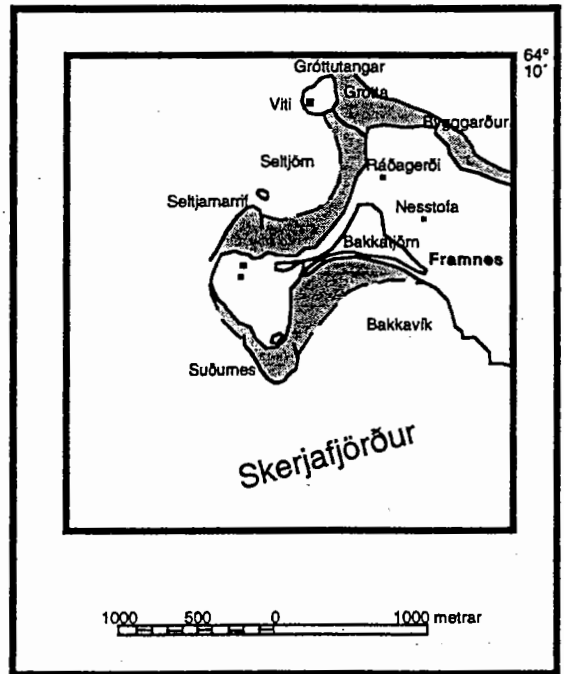
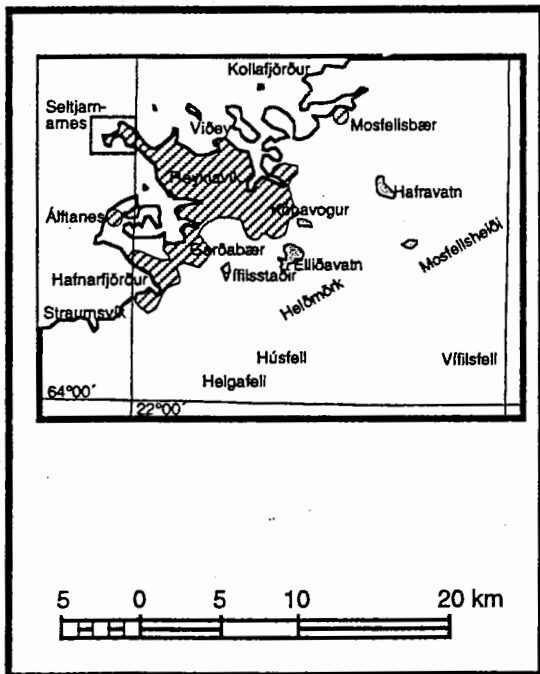
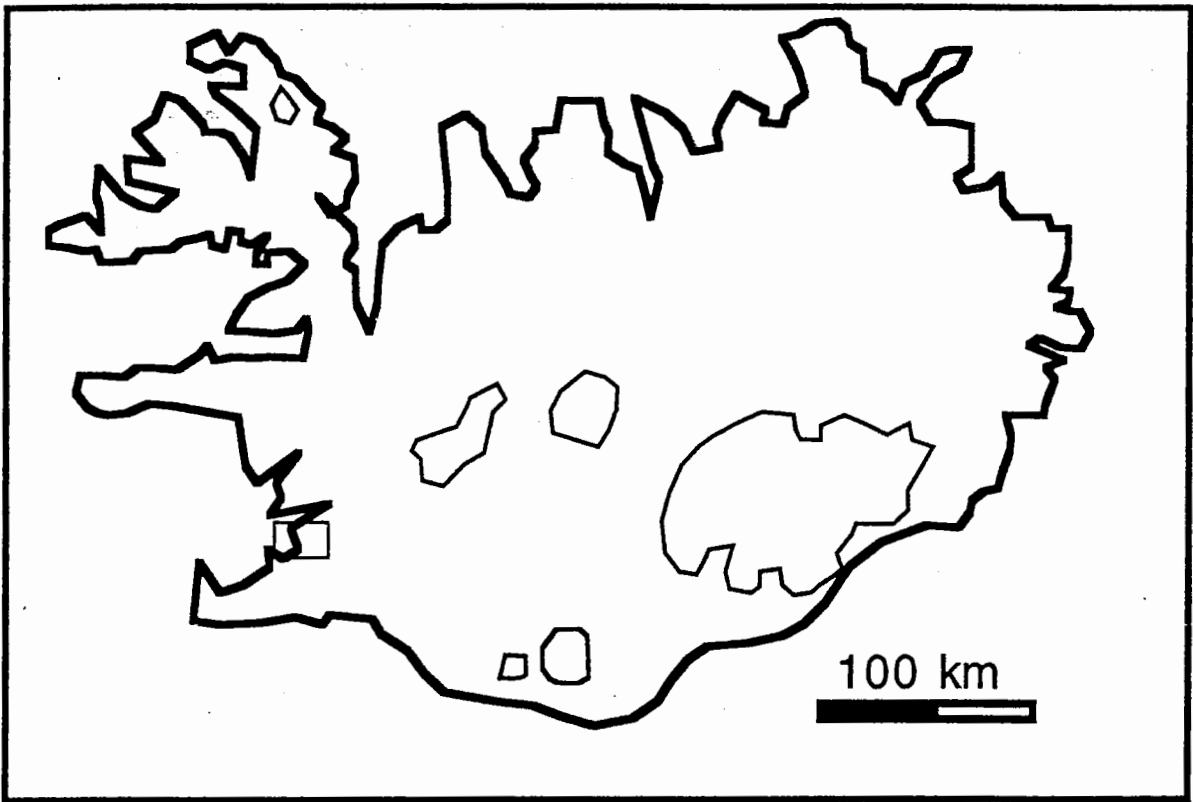
Fosfórsambönd í jarðvegi á Seltjarnarnesi.

Landslag á Seltjarnarnesi er af tvennum toga, annars vegar holt þar sem berggrunnurinn er Reykjavíkurgrágrýtið og hins vegar eiði sem mynduð eru úr lausum jarðlögum sem eru sjávarsetlög, strandmyndanir og jökulruðningur. Mestur hluti Seltjarnarness er nú hulinn lausum jarðmyndunum.

Fosfataukning í jarðvegi, umfram náttúrulegt magn, má oft rekja til mannvistar fyrir á tímum. Úrgangur frá mönnum og dýrum safnast upp við mannabústaði. Fosföt sem koma frá úrganginum bindast fljótt ólífrænum efnum og bætast varanlega við jarðveginn, og haldast þar að auki bundin á upprunalegum setmyndunarstað, með næstum enga tilhneigingu til flutnings. Þennan eiginleika fosfatsins hafa fornleifafræðingar nýtt sér til að finna fornar mannvistarleifar. Þróuð hefur verið fljótleg, ómagnbundin, efnagreiningaraðferð, svokölluð blettaaðferð, sem hægt er að nota við útvinnu.

Fosfór er fremur algengt efni í jarðskorpunni og þýðingarmikið í umhverfinu. Við yfirborð jarðar kemur það aðeins fyrir á formi hins oxaða fosfats,  $\text{PO}_4^{3-}$ . Efnafræði fosfata líkist að mörgu leyti efnafræði karbónata, hvörfin eru þó ívið flóknari. Þar sem fosfór er eitt af grunnefnum í RNA, DNA og ATP er það nauðsynlegt vexti allra lífvera.

Fosfatmagn túninu við Nesstofu er á heildina lítið allmikið, og óreglulegt, gagnstætt því sem við mætti búast í óspilltri náttúrunni, þar sem magnið er lítið og jafnt.



Mynd 1. Afstöðukort af rannsóknarsvæðinu.

## Efnisyfirlit

	bls.
Ágrip . . . . .	2
Efnisyfirlit . . . . .	4
Myndaskrá . . . . .	4
Ritaskrá . . . . .	4
Töfluskrá . . . . .	4
1. Inngangur . . . . .	5
1.1 Ágrip af jarðfræði svæðisins . . . . .	6
1.2 Uppspretta fosfata í mannvistarlögum . . . . .	7
1.3 Efnifræði fosfórs . . . . .	7
1.3.1 Ólífræn efnifræði fosfórs . . . . .	7
1.3.2 Lífræn efnifræði fosfórs . . . . .	11
1.4 Eiginleikar jarðvegs . . . . .	12
2. Aðferðir . . . . .	13
2.1 Þróun blettaaðferðarinnar . . . . .	13
2.2 Fyrri fosfatgreiningar við Nesstofu . . . . .	15
3. Vinnuaðferðir . . . . .	15
3.1 Sýnataka . . . . .	15
3.2 Úrvinnsla gagna . . . . .	17
3.3. Umfjöllun og niðurstöður . . . . .	17
Lokaorð . . . . .	19
Heimildir . . . . .	21

## Ritaskrá

Viðauki A. Lóðrétt dreifing fosfata á svæðinu . . . . .	22
Viðauki B. Lárétt dreifing fosfata á svæðinu . . . . .	28
Viðauki C. Sniðlýsingar . . . . .	30

## Myndaskrá

Mynd 1. Afstöðukort af rannsóknarsvæðinu . . . . .	3
Mynd 2. Fosfat sem fall af pH . . . . .	9
Mynd 3. Umbreytingar fosfórs í náttúrulegum jarðvegs-vistkerfum . . . . .	11
Mynd 4. Afstöðumynd af Nesstofu og nágrenni, ásamt staðsetningu könnunarhola og sýnatökustaða í túninu . . . . .	16
Mynd 5. Fosfatfrávik á rannsóknarsvæðinu . . . . .	18
Mynd 6. Jarðvegssnið . . . . .	20

## Töfluskrá

Tafla 1. Styrkur fosfórs í umhverfinu . . . . .	8
Tafla 2. Fosfat-gildi blettaaðferðarinnar . . . . .	14

## 1. Inngangur

Sumarið 1996 fór fram rannsókn, á vegum Fornleifastofnunar Íslands við Nesstofu á Seltjarnarnesi. Á túninu vestan við Nesstofu sjást nokkrir hringir vel á loftljósmyndum, og raunar vel af jörðu niðri líka ef vel er að gáð. Uppruni þessara hringja er óþekktur. Til að afla frekari vitneskju um þessi fyrirbæri fór fram forkönnun á svæðinu, sumarið 1995, og voru þá grafnar tvær tilraunaholur. Úr þeim voru tekin sýni til mælinga á sýrustigi, magni fosfata, lífræns efnis, karbónata o.fl. Niðurstaða þeirrar skýrslu var sú að varðveisluskilyrði, fyrir bein, plöntuleifar, frjókorn o.fl., sem gefið gæti upplýsingar við fornleifauppgröft, væru góð. (Garðar Guðmundsson 1995). Í framhaldi af þessum rannsóknum voru grafnar 12 könnunarholur, í júní 1996. Úr þeim voru tekin sýni til mælinga á magni fosfata og til frjógreininga. Þær mælingar á magni fosfats sem lýst er í þessari skýrslu voru gerðar með aðferð sem kölluð hefur verið blettaaðferð á íslensku. Nokkur sýni voru síðan valin úr til efna-greininga á heildarmagnni fosfórs, til að kanna samkvæmni blettaaðferðarinnar, þeim greiningum er ekki lokið þegar þetta er skrifað.

Blettaaðferðin er fljótleg aðferð sem notuð er til að finna aukningu fosfata í jarðvegi, umfram það sem eðlilegt telst frá náttúrunnar hendi, en slíka fosfataukningu má oft rekja til fornrar mannvistar. Aðferðin hefur gefið góða raun í Svíþjóð, Írlandi og fleiri Evrópulöndum, en hefur lítið verið notuð á kerfisbundinn hátt hér á landi. Fosfatmagn í jarðvegi er fremur hátt á Íslandi, sérstaklega nálægt sjó, þar sem fosfatmagn í fugladriti er mjög mikið. Tilgangur verkefnisins var að reyna blettaaðferðina á þekktu fornleifasvæði til að sjá hvort fosfatfrávik kæmi fram á svæðinu. Ef aðferðin gefur þær niðurstöður sem búist er við, gæti hún reynst mönnum heppilegt hjálpartæki, í framtíðinni, við að afmarka fornleifasvæði á Íslandi.

Blettaaðferðin byggist á því að sýni eru tekin á kerfisbundin hátt, t.d. eftir hnitakerfi og magn fosfats metið, í hverju sýni, eftir styrk blárra litgeisla sem myndast eftir meðhöndlun sýnisins. Með blettaaðferðinni er hægt að skila miklum afköstum á stuttum tíma. Hún er því heppileg fyrir hraða yfirlitskönnun á svæðum þar sem fornleifauppgröftur er fyrirhugaður. Aðferðina má nota til að fá það staðfest hvar jaðrar fornleifasvæða liggja og til að kortleggja fosfat-frávik. Slíkt kort getur, við heppilegustu aðstæður, sýnt gerð og útbreiðslu fornra mannvirkja á svæðinu. Aðferðin er einföld, og ódýrari en magnbundnar efnagreiningaraðferðir.

Helstu þættir þessarar skýrslu eru stutt ágríp af jarðfræði svæðisins, efnafræði fosfórs og eiginleikum jarðvegs. Blettaaðferðinni og þróun hennar er lýst, svo og vinnuaðferðum. Kjarni skýrslunnar er síðan niðurstöður blettaaðferðarinnar ásamt umfjöllun.

## 1.1 Ágrip af jarðfræði svæðisins

Sveinn Jakobsson (1991) tók saman yfirlit um jarðfræði Seltjarnarness, sem birtist í skýrslu um náttúrufar á Seltjarnarnesi. Skýrslan var unnin fyrir Seltjarnarnesbæ, og er í eigu bæjarins, en hefur ekki verið gefin út. Eftirfarandi ágrip af jarðfræði nesses byggist á upplýsingum úr þessari skýrslu.

Seltjarnarnes er skammt utan við hið virka gosbelti, sem liggur um Reykjanesskaga. Engar gosmyndanir frá nútíma<sup>1</sup> er þó að finna á nesinu vestan Elliðavogs. Berglög þau sem sjást á yfirborði Seltjarnarness eru einkum basalhraun sem runnið hafa á næstsíðasta eða síðasta hlýskeyði ísaldar, en vel er kunnugt um hin eldri berglög svæðisins, því að í borholum á Seltjarnarnesi má lesa hina fornu jarðsögu, en ekki verður farið út í hana í þessari skýrslu.

Reykjavíkurgrágrýtið liggur ofaná Elliðavogssetlögum og mynda berggrunn Seltjarnarness. Hraunið er oftast af dyngjugerð, frekar þunn hraunlög, og bergið er yfirleitt ljósgrátt að lit. Á yfirborði sjást hraunin í fjörum og uppi á Valhúsahæð. Ofan á hrauninum má víða sjá setlög. Þau eru sambland af strand- og jökulmyndunum. Setlög af svipuðum toga má til dæmis sjá í Kotagrandu við Seltjörn, en þar hafa sjávarskeljar fundist.

Mestur hluti Seltjarnarness er hulinn lausum jarðmyndunum. Víða má sjá leifar af lausum jökulruðningi, t.d. á Valhúsahæð. Þessi ruðningur er væntanlega frá lokum síðasta jökulskeiðs. Aðrar lausar jarðmyndanir eru frá nútíma. Strand- og fjörumyndanir eru mest áberandi í Bakkagrandu og Kotagrandu. Meðalþykkt jarðvegs er sennilega á bilinu 1-1,5 metri, hann er víða sandborinn og mörk hans gagnvart strandmyndunum og jökulurð eru víða óglögg.

Fjörumór, sem aðeins kemur fram við fjöru, hefur fundist á Kotagrandu við Seltjörn og í Bakkavík. Hann hefur myndast ofan við forn flóðmörk og er til vitnis um hækkun sjávarborðs síðan mórinn myndaðist fyrir 3000-9000 árum. Talið er að sjávarborð hafi hækkað um a.m.k. 2 metra síðan efsta lag mósins myndaðist fyrir u.þ.b. 3000 árum, landsig er talin líklegasta ástæðan. Seltjarnarnes er talið hafa sigið um 0,6-2,7 m síðan á landnámstíð. Seltjörn hefur upphaflega verið lokuð fyrir sjó, og flestir þeir sem um hana hafa fjallað hafa gert ráð fyrir að tjörnin hafi enn verið lokuð fyrir sjó á landnámstíð, en raunar er óvarlegt að fullyrða um það. Á Innnesjum eru grunsamlega mörg tjarnarnöfn notuð um stöðuvötn þar sem sjávarfalla gætir, eða grunnar víkur sem vel eru opnar til sjávar. Það virðist hugsanlegt að til forna hafi tjarnarnafnið einnig verið notað um lón þar sem tengsl voru til sjávar á flóði, eða þar sem sjávarfalla gætti. Líkur eru fyrir því að Seltjörn hafi verið opin til hafsins er Reykjavíkurmáldagi var ritaður árið 1379. Mórinn í Seltjörn og Bakkavík er sennilega sama myndunin. Gamla Seltjörn hefur því ekki aðeins náð út að Seltjarnarfi heldur einnig lengst út í Bakkavík. Ágangur sjávar hefur smám saman orðið þess valdandi, að aftakakamparnir hafa færst innar, og núverandi Bakkatjörn er því það sem eftir var af hinni gömlu Seltjörn. Hér er líklega komin skýring á því hversvegna ýmsar gamlar heimildir kalla Bakkatjörn Seltjörn.

Landbrot er töluvert á Seltjarnarnesi. Samkvæmt fornum og nýjum heimildum hafa öðru hverju orðið miklar skemmdir á Seltjarnarnesi vegna sjávargangs og flóða, t.d. svokallað Básendaflóð hinn 9. janúar 1799, sem er eitt mesta stormflóð sem sögur fara af á suðvesturhorni landsins.

Sérstakt jarðhitasvæði er kennt við Seltjarnarnes. Hér er um að ræða dæmigert lághitasvæði, þar sem hiti vatnsins er lægri en 150° á eins km dýpi. Jarðhitaborholur eru nú sex á nesinu og hafa fjórar þeirra verið nýttar að undanfögnu.

Á Reykjavíkursvæðinu má búast við fjörum til fimm gjóskulögum, í jarðvegi, frá landnámstíð og fram á okkar daga. Þessi gjóskulög eru Vatnaöldur ~900 (svokallað landnámslag), Katla R (rétt ofan við landnámslagið), Miðaldalagið 1226, Katla ~1500, Katla 1721 (smá dreif af henni finnst hér og þar), og Katla 1918. (Guðrún Larsen, munnl.uppl.). Aðeins tvö þessara öskulaga, Landnámslagið og Katla ~1500, er talið

<sup>1</sup>Yngri en 10-12 þús. ára.

að hafi fundist í könnunarholum við Nesstofu í sumar. Þau eru að öllum líkindum í holum 11, 13 og 16 og í skurði NG, sem eru öll um miðbik túnsins, (sjá mynd 6). Varðveisluskilyrði setlaga virðast því hafa verið best á því svæði.

Garðar Guðmundsson (1995) telur jarðvegsþykkun vera mjög hæga á svæðinu við Nesstofu, sem sést á því að moldarjarðvegur er aðeins um 50 sm þykkur, í könnunarholu frá 1995. Hann telur líklegt að þetta stafi af rofi af völdum sjávangangs, og hann telur fjarveru gjóskulaga í könnunarholum frá sumrinu 1995 styðja þá tilgátu.

## 1.2 Uppspretta fosfata í mannvistarlögum

Fosföt, sem eiga uppruna að rekja til mannvistarleifa, koma frá ýmiskonar lífrænu efni s.s kjöti, fiski, ávöxtum, grænmeti, korni, saur og beinum. Maðurinn safnar til sín forða úr jurta- og dýraríkinu, sem hann skilar síðan frá sér í úrgangi. Úrgangur frá mönnum og húsdýrum hleðst upp við mannabústaði og þ.a.l. eykst magn fosfata í jarðveginum. Fosfatmagn jarðvegs við mannabústaði er því töluvert umfram náttúrulegt magn.

Þau ferli sem eiga sér stað þegar fosföt bindast jarðvegi eru þau að fosfatjónir bindast ólífrænum jónum af áli, kalsíum og jární eða tengjast lífrænum mólíkúlum og mynda komplex<sup>2</sup>. Jónirnar bindast á, eða mjög nálægt, því augnabliki sem setmyndun á sér stað og lítið skolast í burtu eða tapast við næringarupptöku plantna. Hröð og gagnger binding fosfata í þessi fastbundnu form þýðir að fosfatrík efni, sem eiga uppruna að rekja til fornra mannvistarleifa, bætast varanlega við jarðvegin. Dreifing áburðar í landbúnaði, nú til dags, virðist ekki ennþá hafa haft nein veruleg áhrif á fosfataukningu frá fyrri tímum. Meirihluti fosfatauka vegna áburðardreifingar mun vera í efstu 25 sm sniða. Sýnasöfnun dýpra gerir mönnum kleift að greina forn fosföt, ótrufluð af aðgerðum nútímamanna. (Gurney, D. A. 1985).

## 1.3 Efnafræði fosfórs

Efnafræði fosfórs er mjög flókin og því ekki hægt að gera henni ítarleg skil í skýrslu sem þessari, en hér á eftir er tæpt stuttlega á því helsta sem viðkemur jarðvegi.

Fosfat er salt eða ester<sup>3</sup> af fosfórsýru, þ.e. fósfor (P), sem binst súrefni. Orðið fosfat er venjulega notað um sölt af  $H_3PO_4$ . Þar sem fosfor er eitt af grunnefnum í RNA, DNA og ATP er það nauðsynlegt vexti allra lífvera.

Fosföt eru til staðar, í litlum mæli, í öllum jarðvegi, frá náttúrunnar hendi, en uppspretta þeirra er aðallega steindin apatít sem er rík af efninu fosfor. Í náttúrunni er styrkur fosfata í jarðvegi yfirleitt lítil og jafn, en í mannvistarlögum er oft mikið magn fosfata.

Sölt af fosfórsýru hafa margvíslegt notagildi, og eitt af þeim algengustu er í tilbúnum áburði.

### 1.3.1 Ólífræn efnafræði fosfórs

Fosfor er fremur algengt efni í jarðskorpunni og þýðingarmikið í umhverfinu. Við yfirborð jarðar kemur það aðeins fyrir á formi hins oxaða fosfats,  $PO_4^{3-}$ , þó finnst eittvað af járnfosfíðum<sup>4</sup> s.s.  $Fe_3P_2$  í loftsteinum og afoxað fosfat gæti verið til staðar í kjarna jarðar. Nokkrar fosfatsteindir eru þekktar, þær algengustu eru af kalsíum: Apatít er algeng aukasteind í flestu storkubergi. Hún hefur efnaformúluna

<sup>2</sup>Óleysanleg samsett efnasambönd.

<sup>3</sup>Fosfat-ester,  $(RO)_3PO$ , eru efni leidd af fosfórsýrum. Ester er efnasamband sem hefur myndast úr sýru og alkóhóli um leið og vetnisatóm,  $H^+$ , frá sýrunni og  $-OH$  hópur alkóhólsins mynda vatn. RNA og DNA, kjarnsýrur, eru fosfat-esterar.

<sup>4</sup>Fosfíð eru efnasambönd frumefnanna og fosfórs.

$\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{X}$ , þar sem X getur verið  $\text{OH}^-$  (hydroxy-apatít),  $\text{F}^-$  (flúorapatít), eða  $\text{Cl}^-$  (klórapatít), sem ekki er eins algengt. Önnur fosfatsteind er monazít,  $\text{LnPO}_4$ , (þar sem Ln stendur fyrir eitt af frumefnunum úr lanthaníð hópnunum). Frumefnið P er búið til í hvarfi apatíts við kolefni. (Cox. P.A. 1995).

Jónirnar  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  og  $\text{HPO}_4^{2-}$  eru ríkjandi í vatni við hlutlaust pH, sjá mynd 2, en eins og sést í töflu 1 er styrkur þeirra mjög lágur, vegna þess að fosföt af nokkrum algengum frumefnum, sérstaklega kalsíum, áli og járni eru mjög torleyst. Torleystasta kalsíumfosfatið er flúorapatít, og það ákvarðar styrk leysanlegs fosfats undir venjulegum kringumstæðum. Tiltækt magn fosfats fellur með hækkandi pH því heildarjafnvægið er  $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F} + 6\text{H}^+ \rightleftharpoons 5\text{Ca}^{2+} + \text{F}^- + 3\text{H}_2\text{PO}_4^-$

sem leiðir til dvínandi styrks uppleystra fosfata þegar styrkur  $\text{H}^+$  fellur. Ál fosfat er í rauninni torleystara heldur en apatít, en myndast við örflútið súrari aðstæður. Jafnvægið  $\text{AlPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{Al}(\text{OH})_3 + \text{H}_2\text{PO}_4^- + \text{H}^+$

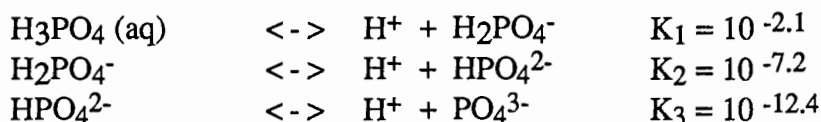
er þvingað til vinstri þegar styrkur  $\text{H}^+$  eykst fyrir neðan pH 5, og magn tiltæks fosfats fellur þegar lausnin verður súrari. Súrt regn getur valdi minnkandi magni tiltæks, leysanlegs, fosfats á þennan hátt. (Cox. P.A. 1995).

Fosföt í jarðvegslausn eru oftast á formi  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{HPO}_4^{2-}$  eða  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ . Þegar lífrænt efni sundrast leysist megnið af fosfóri þess upp í þessar jónir.

Staðsetning	Styrkur
Jarðskorpa	1000 ppm
Yfirborð sjávar	1,5 ppb
Djúpsjór	60 ppb
Ferskt vatn	lágur
Mannslíkaminn:	
að meðaltali	1,1%
bein og tennur	7%

Tafla 1. Styrkur fosfórs í umhverfinu, (frá Cox, P.A. 1995).

Efnafræði fosfata líkist að mörgu leyti efnafræði karbónata. Eins og karbónöt eru flest fosföt nærri óleysanleg í hlutlausum og basískum lausnum, nema þau sem tengjast alkálímálmunum. Þau leysast upp í súrum lausnum, því fosfórsýra, eins og kolsýra, er frekar veik sýra. Hvörfin eru þó ívið flóknari því fosfórsýra hefur þrjú vetnisatóm í formúlueiningu í stað tveggja:



Út frá jafnvægisföstum ( $K_{1-3}$ ) getum við ályktað að sýran sjálf sé eitthvað sterkari en kolsýra og að algengasta uppleysta form fosfata í jarðfræðilegu umhverfi sé  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  í súrum lausnum og  $\text{HPO}_4^{2-}$  í basískum lausnum, sbr. mynd 2. (Krauskopf o.fl. 1995).

Þegar kalsíum ( $\text{Ca}^{2+}$ ) er bætt í lausn af fosfötum fellur undireins út kalsíumfosfat,  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$  eða  $\text{CaHPO}_4$  eftir pH-gildi. Bæði þessi efnasambönd eru steindir, en þau eru mjög sjaldgæf. Efnafræði kalsíumfosfata er flókin vegna eiginleika þeirra til að hvarfast við önnur efni í lausn til að mynda ennþá óleysanlegra efnasamband, apatít, sem er algengast fosfatsteindanna. Formúlan fyrir algengasta afbrigði apatíts, flúorapatít, er  $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$ , en mikil staðgengni annara efna er möguleg:  $\text{Cl}^-$  og  $\text{OH}^-$

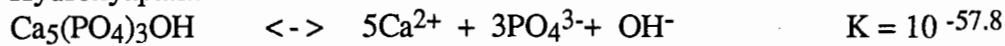


fyrir  $F^-$ ,  $CO_3^{2-}$  og  $SO_4^{2-}$  fyrir  $PO_4^{3-}$  og katjónir eins og  $Sr^{2+}$ ,  $Y^{3+}$  og  $Mn^{2+}$  fyrir  $Ca^{2+}$ . Af jafnvægisföstum flúor-apatíts og hydroxy-apatíts, sem fundnir hafa verið með tilraunum, má sjá hve illa efnasambönd, með apatítsteindabyggingu, leysast upp:

Flúorapatít:



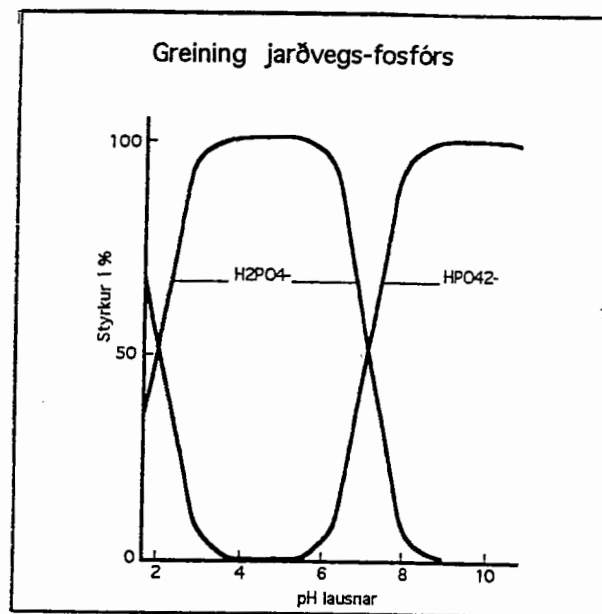
Hydroxyapatít:



Apatít hefur verið myndað, við tilraunir, á ýmsa vegu:

1. Apatítið er fellt út við ákveðið pH og styrk jóna í lausn.
2. Apatítið er myndað við hægt hvarf lausna, með útfelldu kalsíumfosfati.
3. Apatítið er myndað við umskiptingu kalsíumkarbónats í efnahvarfi, með uppleystu fosfati. (Kalsíumkarbónat leysist í burtu en uppleyst fosfat kemur jafnóðum í staðinn).

Þar að auki er hægt að breyta einni gerð apatíts í aðra með hægum efnahvörfum við viðeigandi lausnir. Öll þessi ferli eiga sér væntanlega stað í náttúrunni. Umskipting kalsíumkarbónats er sláandi í fosfatsetlögum sem uppbyggð eru nær eingöngu úr skeljabrotum. Upprunalega kalkríka skeljaefnið hefur umbreytst alveg yfir í apatít. (Krauskopf o.fl. 1995).



Mynd 2. Fosfat sem fall af pH.

Fosfór finnst í ýmsum myndum í jarðveginum og margar mismunandi aðferðir þarf að nota til að ná því út úr hinum mismunandi efnasamböndum áður en hægt er að efnagreina það. Hér á eftir fara skilgreiningar, frá Smeck (1985), á þeim myndum fosfórs sem finnast í jarðvegi og hvaða aðferðir duga til að leysa þær upp:

- Uppleysanlegt fosfór er uppleysanlegt í vatni eða í daufri saltlausn.
- Óstöðugt fosfór er yfirleitt jarðvegs-fosfór sem er í jafnvægi við fosfór í jarðvegslausn.
- Í frumsteindinni apatíti er mikið fosfór sem hægt er að leysa út með sýrum.
- Síðsteindir (ummyndunarsteindir), sem innihalda fosfór, eru annars vegar steindir þar sem fosfór loðir við yfirborðið, algengast er að það séu Fe- og Al-oxíð og

karbónöt, og hins vegar steindir, myndaðar við lághita-kristöllun, sem innihalda fosfór í kristalgrindum sínum. Hinar síðarnefndu eru steindirnar variscite, sem er Al-fosfat, strengite, sem er Fe-fosfat og Ca-fosfötin, brushite, monetite og oktokalsíum fosfat. Þar sem þessi hópur inniheldur bæði kristallað fosfór og stöðugt fosfór á yfirborði steinda er hvarfgirni þessara síðsteinda mismunandi, en hreyfing fosfórríkra síðsteinda í átt til jafnvægis er treg. Talið er að variscite sé uppleysanlegt með  $\text{NH}_4\text{F}$ , strengite með natríum hýdroxíði ( $\text{NaOH}$ ) og kalsíum fosföt með saltsýru ( $\text{HCl}$ ).

- Lífrænt fosfór er helst til staðar sem ester-tengi á inositolum<sup>5</sup>, en í minna magni í fosfólípíðum<sup>6</sup> og kjarnsýrum. Lífrænu fosfóri má breyta í ólífrænt með glóhitun eða með oxun í röku umhverfi.

- Fastbundið fosfór er það sem hefur lokast inni í steindum, sem eru gjörsneyddar fosfóri í kristalbyggingu sinni. Fosfórnum er þar með skýlt fyrir víxlverkun við önnur og hvarfgjarnari form fosfórs. Fosfór lokast oft inni í járnóxíðunum hematíti ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) og goethíti [ $\text{FeO}(\text{OH})$ ]. Það má leysa út með afoxandi efni, s.s. citrate-bicarbonate-dithionite. Fosfór sem fastbundið er í gibbsíti er hægt að losa út með  $\text{NaOH}$ , en fosfór, sem bundið er inni í frum- eða ummyndunar silikatsteindum, losnar aðeins við mjög róttæka meðhöndlun, s.s. uppleysingu með flússýru ( $\text{HF}$ ) eða samruna við natríum karbónat ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ). (Smeck, N.E. 1985).

Það er vel þekkt að drifkrafturinn í umbreytingum frumfosfata í síðmynduð fosföt og fastbundin fosföt er lakkandi pH-gildi, sem orsakast af veðrun og útskolun jarðvegsins. Sá drifkraftur sem keyrir lífrænar fosfórumbreytingar áfram er hins vegar ekki eins vel þekktur. (Smeck, N.E. 1985).

Upphafleg uppspretta alls fosfórs í jarðvegi er frumsteindin apatít. Sökum veðrunar losa frumfosföt leysanlegt fosfór úr læðingi, sem getur þá skolast út, nýst plöntum og örverum, lent í hópi óstöðugs fosfórs, eða umbreytst yfir í fosfórríkar síðsteindir. Veðrun apatíts eykst í réttu hlutfalli við aukið sýrustig jarðvegs. Mögulegt magn óstöðugs fosfórs er háð eiginleikum jarðvegs, sem ákvarða jónskiptahæfileikann<sup>7</sup>; Raunverulegt magn óstöðugs fosfórs getur takmarkast af leysnimargfeldinu, og hreyfiaflfræði uppleysingar fosfórríkra síðsteinda. Hvarfgjörn, síðmynduð, form fosfórs s.s. tvíkalsíum fosfat tvíhýdrat eða oktokalsíum fosfat, ná hratt jafnvægi við óstöðug- og uppleysanleg form fosfórs, en önnur s.s. hýdroxý-apatít ná jafnvægi svo hægt, að jafnvægi næst sjaldan. Þar sem jarðvegur er hreyfiaflfræðilegt kerfi í stöðugri þróun, og efnahvörf fosfórríkra síðsteinda eru hæg, næst jafnvægi afar sjaldan milli uppleysanlegs fosfórs og síðsteindanna, en jafnvægi milli óstöðugs fosfórs og uppleysanlegs fosfórs kemst hins vegar hratt á. Þar sem uppleysanlegt fosfór skolast burt, nýtist plöntum, eða ummyndast í síðsteindir, eyðist óstöðugt fosfór til að byrja með, þegar það bætir stöðugt við fosfór í lausn. Með tímanum endurnýjast birgðir uppleysanlegs- og óstöðugs fosfórs, við uppleysingu fosfórauðgra frum- og síðsteinda, ef jarðvegslausnin verður undirmynduð m.t.t. þessara steinda. Þegar jarðvegur veðrast, með samverkan lakkandi pH-gildis, stuðlar það að myndun Fe og Al-P síðsteinda, (því uppleysanleiki þeirra minnkar við lakkandi pH), þetta veldur minnkandi magni leysanlegs fosfórs og óstöðugs fosfórs. Fosfórríkar síðsteindir geta þá lokast inni í síðmynduðum Fe- og Al-oxíðum, eða öðrum jarðvegssteindum, sem mynda þannig birgðir af fastbundnu, og þar með útilokuðu, fosfóri. Umbreyting ólífræns fosfórs, sem fylgir veðrun jarðvegs, má því segja að sé sambærileg við einstefnugötu þar sem fosfórríkar frumsteindir breytast endanlega í fastbundið fosfór, með viðkomu í myndum uppleysanlegs, óstöðugs og síðsteinda fosfórs. Í flestum jarðvegsgerðum verður algjör umbreyting, úr frumfosfóri í fastbundið fosfór, á mjög löngum tíma, þúsundir ára þarf til. (Smeck, N.E. 1985).

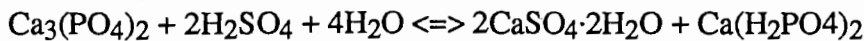
Tilbúinn áburður hefur mikil áhrif á nútímajarðveg. Hann er búinn til úr kalsíumfosfötum. Kalsíumfosfatið,  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ , leysist treglega upp í náttúrunni,

<sup>5</sup>Inositol ( $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ ) er í plöntum. Flokkast undir B-vítamínhópin.

<sup>6</sup>Fosfólípíð er hópur efna, lík fitu, þau byggja upp frumhimnu og eru því nauðsynlegur hluti af lifandi frumum.

<sup>7</sup>Hæfileiki fasts efnis til að skiptast á jónum við lausnina sem það er í.

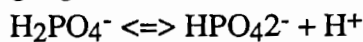
fosfatið leysist því hægt út og í smáum skömmtum, en ef það er meðhöndlað með brennisteinssýrulausn myndast efni sem kallað er súperfosfat,



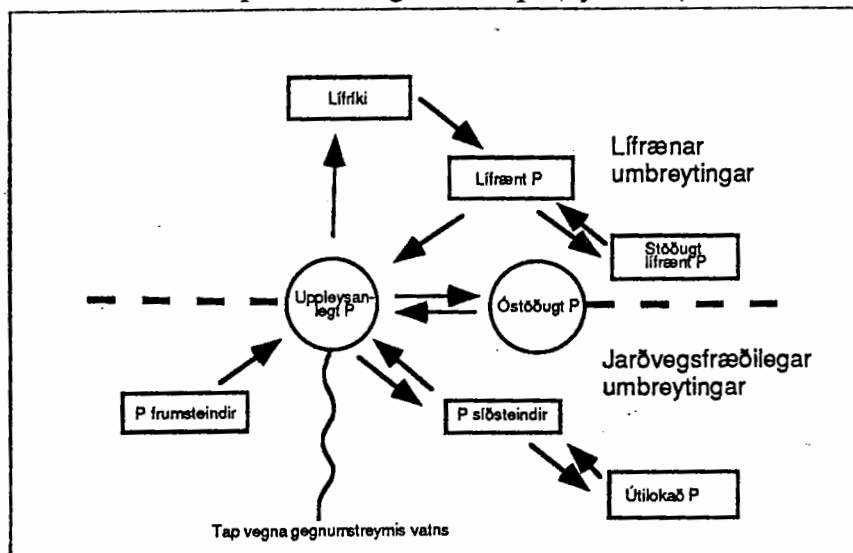
$\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$  er vatnsleysanlegt. Þessi blanda er því mun virkari áburður en kalsíumfosfat, og því hefur hún fengið nafnið súperfosfat. (Brady, J.E. 1990).

### 1.3.2 Lífræn efnafræði fosfórs

Mannslíkami, sem er 70 kg að þyngd, inniheldur 800 g af fosfóri. Fosfór er því sjötta í röðinni, að hlutfallslegu magni á eftir köfnunarefni og kalsíum. Ólíkt nágrönnum sínum í lotukerfinu, köfnunarefni og brennisteini, finnst fosfór í lífríkinu eingöngu á formi oxaðra fosfata. Allar frumur innihalda eitthvað fosfat, og jafnvægið



ásamt svipuðu jafnvægi fyrir karbónöt, veldur dúaaáhrifum<sup>8</sup> sem stuðla að því að viðhalda pH nálægt hlutlausu gildi. Stórt hlutfall fosfata er sameinað lífrænum mólíkúlum sem fosfat-esterar. Fosfat mólíkúl í lífríkinu eru neikvætt hlaðin og til staðar verður að vera samsvarandi magn jákvætt hlaðinna jóna (katjóna).  $\text{Mg}^{2+}$  jónin tengist venjulega fosfati í frumum, og stjórnar hvörfum þess. Því má líta á DNA og ATP að hluta sem óleysanleg samsett efnasambönd af magnesíum. Kalsíum er mjög hættulegt lífrænum efnahvörfum fosfats vegna þess hve apatít er torleyst, þetta er ein af ástæðum þess að styrk  $\text{Ca}^{2+}$  er haldið lágum í flestum frumum. Torleyst hydroxyapatít mynda hinn ólífræna þátt beina og tanna í spendýrum. (Cox. P.A. 1995).



Mynd 3. Umbreytingar fosfórs í náttúrulegum jarðvegs-vistkerfum.

Rætur plantna draga til sín uppleysanlegt fosfór og nota það til framleiðslu fosfat-estera, s.s. kjarnsýra, fosfólípíða og sykurfosfata. Lífrænt fosfór í jarðvegi er þó fyrst og fremst talið eiga upptök að rekja til skiptiefnahvarfa af völdum örvera, frekar en til samsöfnunar plöntu- og dýraleifa. Hlutfall fosfat-estera í jarðvegi er ólíkt hlutfallinu í þeim lífverum sem það á rætur að rekja til. Fosfór í örverum samanstendur fyrst og fremst af kjarnsýrum, en því næst í dvinandi magni af fjöl-fosfötum (poly-phosphates), fosfó-lípíðum og inositolum. Lífrænt fosfór í jarðvegi kemur hins vegar fyrst og fremst fyrir sem ester-tengi við inositol, en í mun minna magni sem kjarnsýrur og fosfólípíð. Hingað til hefur mönnum aðeins tekist að greina um 50-70% af lífrænu fosfór í jarðvegi. Smá brot alls fosfórs í jarðvegi má telja til lítills hóps stöðugs, lífræns, fosfórs. Kjarnsýrur og fosfó-lípíð klofna greiðlega með vatnsrofi og hverfa

<sup>8</sup>Dúi (buffer).

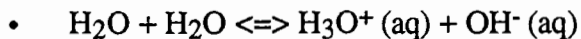
aftur í hóp leysanlegs fosfórs og óstöðugs fosfórs, aftur á móti klofna inositol ekki eins auðveldlega við vatnsrof og hafa tilhneigingu til að safnast fyrir í jarðveginum. Lífrænar umbreytingar fosfórs (sjá mynd 3) mynda í meginatriðum hring sem gengur hratt og nálgast það að vera árlegur hringur. Það sem gerist er að plöntur taka til sín fosfór, til nota við framleiðslu lífmassa, hluti af því skilast árlega aftur til jarðvegsins. Starfsemi örvera veldur því að lífmassinn rotnar og af þeirra völdum safnast fyrir lífrænt efni og lífrænt fosfór. Hluti af lífræna fosfórnum fellur árlega út sem steindir og skilast í hóp uppleysanlegs fosfórs. Bæði efnaskiptaferli lífrænnar og ólífrænnar ummyndunar fela í sér uppleysanlegt fosfór, og það er í rauninni samkeppni milli þessara tveggja ferla um hið uppleysanlega fosfór. Þar sem efnaskiptaferli jarðvegsins, hið ólífræna, færir brot af uppleysanlega fosfórnum stöðugt yfir á form fastbundins, og þar með ónothæfs, fosfórs, mun jarðvegsfræðilega ferlið að lokum hafa yfirhöndina, fá það til þess nægilegan tíma. Þess vegna er endastöð fosfórumbreytinga í jarðvegi annarsvegar fastbundið fosfór og hins vegar stöðugt, lífrænt, fosfór. (Smeck, N.E. 1985).

## 1.4 Eiginleikar jarðvegs

Hér á eftir fer örstutt samantekt um helstu eiginleika jarðvegs, en hún er unnin upp úr kennsluefni í Jarðvegsfræði eftir Ólaf Arnalds (1995).

Jarðvegur byggist upp af fjórum grunneiningum sem eru loft, vatn, bergefni og lífrænt efni.

- Gastegundir í loftinu, t.d. kolsýra, CO<sub>2</sub>, eru mikilvægar fyrir veðrun.
- Vatn er miðill fyrir efnabreytingar í jarðveginum. Vatn er skautað þannig að hvert vatnsmólíkúl hefur +hleðslu öðru megin en -hleðslu hinu megin. Vatnsmólíkúlin toga dálítið hvert í annað og vatnið getur því jónast örlítið sjálft;



Skautun vatnsins leiðir af sér jónskipti við agnir jarðvegsins. Jarðvegskorn, með neikvæða hleðslu, t.d. leir og lífræn efni toga í H<sup>+</sup> enda vatnsmólíkúlanna.

- Bergefni í jarðvegi eru af öllum stærðum og gerðum, frá hnullungsrjótí niður í örsmáar leiragnir. Leirinn myndast við veðrun á frumsteindum á borð við kvars, kalsít, plagíóklas o.fl. Leir getur haft gífurlega hleðslu sem veldur því að efni á borð við Ca<sup>2+</sup> og NA<sup>+</sup> haldast í jarðveginum, en skolest ekki út með vatni.

- Lífræn efni myndast þegar plöntuleifar og jarðvegslífverur rotna. Rotnuð efni í jarðveginum eru oft kölluð humus. Mest er af lífrænum efnum í yfirborði jarðvegsins. Þau hafa, eins og leiragnirnar, mikil áhrif á jarðvegseiginleika, geta haldið og miðlað vatni. Lífræn efni byggjast gjarnan upp þar sem há grunnvatnsstaða hamlar rotnun, vegna skorts á súrefni fyrir þær lífverur sem stuðla að henni. Kuldi hamlar einnig rotnun.

Af lit jarðvegs má ráða ýmislegt. Rauður litur á jarðvegi gefur t.d. til kynna járnnoxíð, mikið magn lífrænna efna litar jarðveg svartan og gráir litir gefa til kynna að vatn standi í jarðveginum einhvern hluta ársins.

Töluverðar upplýsingar um gerð jarðvegs má fá með því að meta kornastærð hans. Yfirborðslagið, þ.e. rótarlagið (svokallað A-lag) hefur yfirleitt kornótta byggingu, oft mjög veika. Lagið þar undir, þar sem uppsöfnun leirs og leysanlegra efna úr A-laginu fer fram, (svokallað B-lag) hefur yfirleitt kubbslaga (blocky) byggingu, sem er þó oft veik og erfitt að greina. Mjög sendinn jarðvegur er sagður hafa sérkorna byggingu, t.d. jarðvegur þar sem veðrun á sér stað og jarðvegurinn ber svip móðurefnisins (svokallað C-lag). Plötulaga bygging er algeng þar sem lagskiptrar setmyndunar gætir, s.s. vegna gjóskufalls, áfoks eða setmyndunar straumvatna.

Jarðvegur hefur pH-gildi yfirleitt á bilinu 4-8, sem er það bil sem gróðurinn þolir. Í Íslenskum jarðvegi er pH venjulega á bilinu 4.2-7.5. Helstu áhrifavaldar eru grunnvatn, lífræn efni, áfok, úrkoma og e.t.v. leirgerð. PH er yfirleitt lægst á Vesturlandi þar sem úrkoma er mikil en áfok lítið.

## 2. Aðferðir

### 2.1 Þróun blettaaðferðarinnar

Blettaaðferðin byggir á þeirri staðreynd að ákveðnar athafnir manna, og dýra, auki efnainnihald jarðvegs, að miklum mun, umfram það sem eðlilegt er í náttúrunni, og umfram það sem gerist við jafnvel mikla áburðargjöf. Því ætti efnaaukning í jarðvegi, af manna völdum, að vera auðgreinanleg með ómagnbundnum aðferðum efnafræðinnar, að því tilskyldu að gegnumstreymi vatns og rof hafi ekki verið þeim mun meira.

Sú hugmynd að nota ómagnbundna blettaaðferð á jarðveg til að greina tilvist næringarefna frá bergefnum og plöntum hefur löngum verið notuð á hagnýtan hátt af jarðræktarfræðingum. Seinna fengu menn þá hugmynd að útbúa mætti blettaaðferð sem gæfi til kynna fosfataukningu í jarðvegi af völdum búsetu manna og dýra. Evrópskir vísindamenn hafa þróað fullnægjandi blettaaðferð til slíkra nota og þessar greiningar hafa verið notaðar af mannvistar-landfræðingum við rannsókn landsvæða, sem lagst hafa í eyði á sögulegum tíma, og af fornleifafræðingum á forsögulega yfirgefnum svæðum. (Eidt, R.C. 1973).

Á meðal algengustu efna sem bætast við jarðveg af völdum manna og dýra eru mismunandi sambönd kalsíums, köfnunarefnis og fosfórs. Þessi efni safnast saman frá saur, dauðum lífverum og mismunandi tegundum úrgangs. Árleg viðbót af þessum efnum við jarðveg, af mannavöldum, var metin af Cook og Heizer (1965) og reyndist hún vera á bilinu 0.022-0.439% af kalsíum, sem þegar var til staðar í jarðveginum, 0.672-6.72% af köfnunarefni og 0.495-9.91% af fosfóri. Töluvert tapast þó við gegnumstreymi vatns og við önnur ferli, svo sem við oxun, nema af fosfóri, sem, á formi fosfata, hefur þann notadrjúga eiginleika að haldast bundið á upprunalegum setmyndunarstað, með næstum enga tilhneigingu til flutnings, og að haldast hlutfallslega stöðugt yfir fornleifafræðileg tímaskeið. Fosfat er því það efni sem oftast er notað sem vísbending um áhrif manna á efni í jarðvegi. (Eidt, R.C. 1973).

Fyrstu tilraunir til að nota fosfatgreiningar við vettvangsvinnu voru gerðar af O. Arrhenius. Hann vann að jarðræktarkönnun í Svíþjóð á 3. og 4. áratugnum. Arrhenius tók eftir því að fylgni var milli styrks fosfórs í jarðvegi og mannvistarleifa frá liðinni tíð og kastaði fram þeirri hugmynd að tengslin mætti nota til að finna og rannsaka fornleifasvæði. Hann sýndi fram á notagildi aðferðarinnar í fornleifafræðilegum tilgangi, í suður Svíþjóð og í Gotlandi, þegar hann fann svæði, bæði forsöguleg og frá miðöldum. (Arrhenius, O. 1931). Árið 1940 gaf W Lorch út grein um hlutfallslega hraðvirka efnagreiningu fosfórs í jarðvegi, til nota á rannsóknarstofu. (Lorch, W. 1940). Lítil þróun varð á aðferðum til fosfatgreininga á 5. áratugnum. Á 6. áratugnum var vaxandi tilhneiging í átt til fjölvísindalegrar nálgunar í fornleifafræði. Mönnum varð smám saman ljós þörfin fyrir að skilja að fullu setmynstur, og ferli eftir setmyndun, við túlkun fornleifafunda. Þetta kallaði á þekkingu í jarðvegsfræði og efnafræði jarðvegs. Með aukinni þekkingu á þessum fræðigreinum fór fosfatgreiningum mikið fram. (Bethell, P. & Máté, I. 1989). Feigl sýndi fram á að fosfat mætti greina á hraðvirkan hátt með blettaaðferð, þó að setja mætti út á aðferð hans bæði vegna ófullnægjandi næmis og vegna þeirra eiturefna sem notuð voru. (Feigl, F., 1958). H. Gundlach komst fyrir þessi vandamál, árið 1961, þegar hann notaði ascorbic sýru (C-vítamín) í stað benzidíne í afoxunarferlinu, og útbjó þar með hlutfallslega stöðuga og hættulausa aðferð, sem tók aðeins 2 mínútur í framkvæmd, og einskorðaðist þar að auki ekki við greiningu á rannsóknarstofu. (Gundlach, H. 1961). Hin einfalda aðferð Gundlachs, til að greina fosfat með blettaaðferðinni, markaði tímamót í þessum rannsóknnum á sínum tíma, því hún hefur auðveldað mönnum að staðsetja fornleifasvæði í Evrópu, án hinnar venjulegu undirbúningsleitar að fornleifum. Aðferðin er ekki aðeins gagnleg til að kortleggja lárétta dreifingu fosfata, þ.e.a.s. jaðar fornleifasvæðis, heldur má einnig nota aðferðina til að ganga úr skugga um lóðréttu dreifinguna, þ.e.a.s. hve langan tíma mannvist var á svæðinu. (Eidt, R.C. 1973).

Eidt (1973) segir frá því að hundruð greininga hafi verið gerðar með blettaaðferðinni, á jarðvegssýnum, sem voru tekin á allt að 1 meters dýpi, á þekktu mannvistarsvæði, í suður-Wisconsin í Bandaríkjunum. Ekki kemur fram hvenær þessar greiningar voru gerðar. En þar komust menn að þeirri niðurstöðu, með nákvæmum magnbundnum samanburði, að saltsýra (HCl) gaf betri niðurstöður en saltpéturssýran (HNO<sub>3</sub>), sem Gundlach mælti upphaflega með. Hinar efnafræðilegu ástæður þessa gætu verið að ákveðin sambönd, mynduð frá HNO<sub>3</sub>, trufla afoxun molybdc-sýru. Í tilraunum á rannsóknarstofu með brennisteinssýru (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) urðu niðurstöðurnar jafnvel enn fátæklegri. Menn komust að þeirri niðurstöðu, að þar sem bæði HNO<sub>3</sub> og H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> eru sterkir oxarar, og þar sem greining fosfats með blettaaðferðinni inniheldur afoxandi ferli, að skynsamlegast myndi vera að nota saltsýruna. Niðurstöður blettaaðferðarinnar urðu ekki aðeins betri heldur fékkst, með breytingunni, betri samhæfing milli hinnar ómagnbundnu blettaaðferðar og magnbundinna efnagreininga, þar sem HCl er sú sýra sem notuð er í nákvæmum magnbundnum efnagreiningum. Í blettaaðferðinni, sem notuð var á sýnin frá Nesi, var því notuð saltsýra. Tvær lausnir eru útbúnar:

Lausn A. 5 grömm af ammonium molybdat eru leyst upp í 100 mL af afjónuðu vatni, síðan er 30 mL af 5M HCl blandað saman við. Þessi lausn geymist í plastflösku, helst brúnni, í ískáp í einn mánuð.

Lausn B. 0,5 grömm af ascorbic sýru eru leyst upp í 100 mL af eimuðu vatni. Mælt er með því að útbúa nýja lausn daglega, en hún ætti þó að geymast óskemmd í ísskáp í 10 daga.

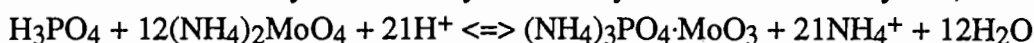
Blettaaðferðin er framkvæmd þannig að jarðvegssýni framan á hreinum hnífsoddi, um 50 mg, eru sett á miðjan öskulausan filter-pappír. Sýnið er vætt með tveimur dropum af lausn A og látið virka í 30 sek. Því næst er tveimur dropum af lausn B bætt á, beðið í tvær mínútur, og fosfat-gildið metið eftir litstyrk, lengd litgeisla og lengd þess tíma sem þá tekur að birtast. Sjá töflu 2. (Eidt, R.C. 1973).

Fosfat-gildi	Lengd lit-geisla (mm)	Tími sem tekur litgeisla að birtast (mín)	Hringur kringum sýni %
1. (Ekkert)	0	0	0
2. (Veikt)	1	2	breytilegt
3. (í meðallagi)	2	1 - 2	50
4. (Töluvert)	3 - 5	0,5 - 2	75
5. (Sterkt)	8	0,5	100

Tafla 2. Fosfat-gildi blettaaðferðarinnar. (frá Eidt R.C. 1973).

Það sem gerist, við notkun blettaaðferðarinnar, er að ortófosfatjónir hvarfast við ammoníum molybdat í súrri lausn og mynda fosfómolibdic sýru, sem myndar sterk bláan komplex við afoxun með ascorbic sýru.

1. Ortófosfati er breytt í fosfómolybdat með sýrðu ammoníum molybdat,



(NH<sub>4</sub>)<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>·MoO<sub>3</sub> er fosfómolybdat komplex, Mo<sup>III</sup>.

2. Fosfómolybdat er afoxað með ascorbic-sýru (C<sub>6</sub>H<sub>8</sub>O<sub>6</sub>), blár komplex myndast. (Fishman, M.J. & Friedman, L.C. 1989).

Þótt niðurstöður fosfatgreininga hafi oft reynst gagnlegar er aðferðin ekki alltaf nothæf, eða árangursrík. (Keeley, H.C.M. 1981). Hegðun fosfata í jarðveginum, og efnafræði jarðvegs almennt er mjög flókin, og enn er margt óuppgötvað á því sviði. Góður árangur fosfatgreininga á sviði fornleifafræði er mjög háður jarðvegsfræðilegum aðstæðum.

## 2.2 Fyrri fosfatgreiningar við Nesstofu

Garðar Guðmundsson fornleifafraeðingur (1995) tók sýni úr könnunarskurði og holu sem grafin voru, og greindi fosföt í þeim með heildarefnagreiningu. Hann mældi einnig magn lífrænna efna, pH-gildi o.fl. Sýrustig jarðvegs á svæðinu mældist á bilinu 5.8-6.6. Fosfatmagn í skurði rétt við Nesstofu, sem er meint kirkjustæði og að hluta til gröf frá 17. öld, var á bilinu 5251-17086 ppm. Fosfatinnihald og magn lífrænna efna í sýnunum reyndist vera nokkuð misjafnt, sérstaklega í einu lagi. Ekki er vitað hvað veldur. Í könnunarholu, sem er nærri túngarðinum skammt frá Könnunarholu nr. 8, var magnið á bilinu 1690-7818 ppm. Þar var pH á bilinu 6.2-6.6, basfiskara eftir því sem neðar dró. Skil í fosfatmagni taldi Garðar að gætu táknað upphaf nýtingar á túninu og þar með mannvistar í nágrenninu, en ekki var hægt að meta það m.t.t. öskulaga þar sem þau fundust ekki í þessum tveimur holum. Hann taldi að mikið og breytilegt fosfatmagn gæti gefið til kynna áburðarnotkun. Í efsta hluta sýnastokkanna var búist við meira magni fosfats, vegna notkunar tilbúins áburðar á undanförunum áratugum, en svo reyndist þó ekki vera.

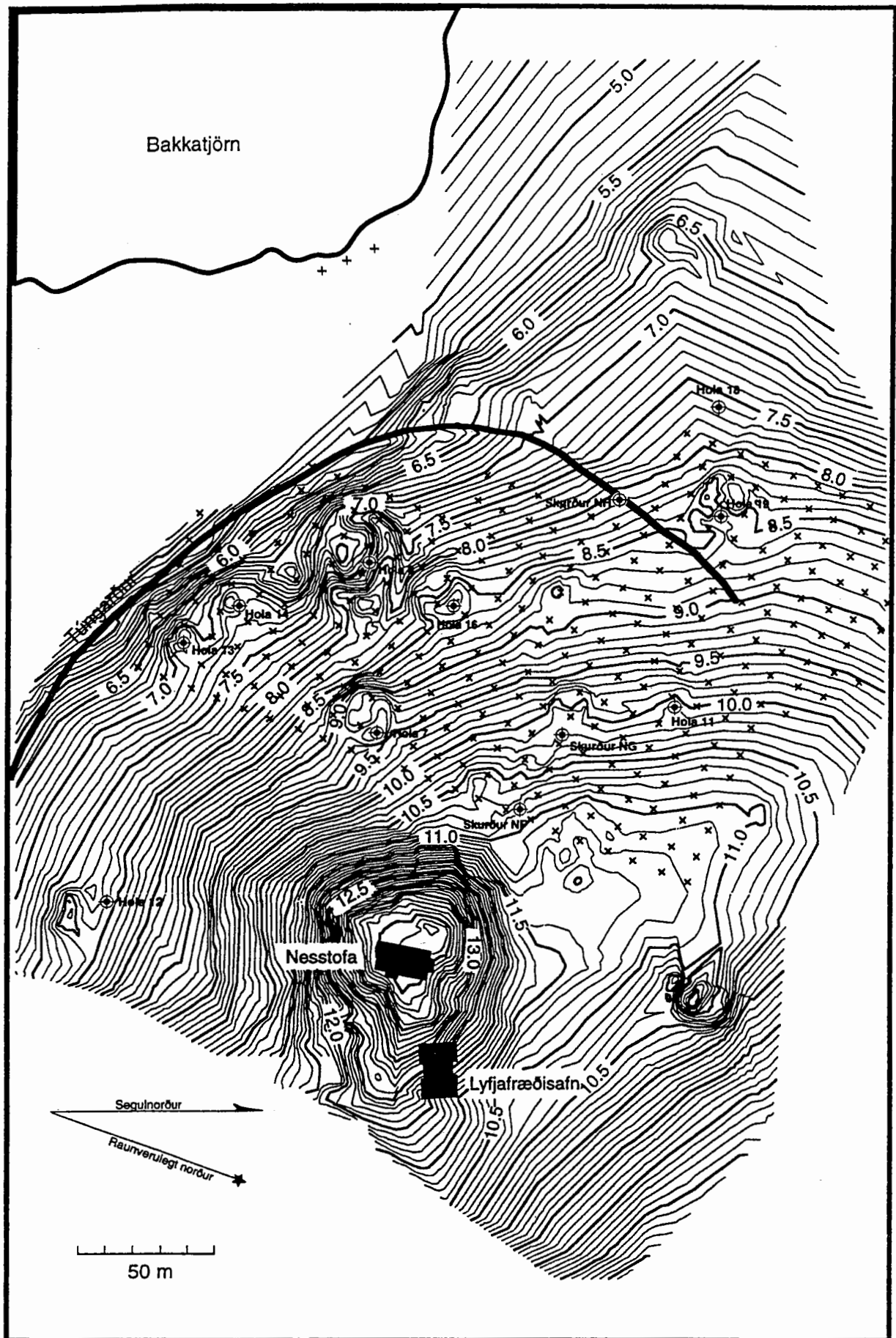
## 3. Vinnuaðferðir

### 3.1 Sýnataka

Í júní 1996 voru grafnar 12 rannsóknarholur. Jarðvegssnið voru tekin úr þessum holum á þann hátt að ferhyrindum blikkstokk, 7 sm á breidd og dýpt, var þrýst inn í jarðvegssniðið og hann síðan skorinn frá þannig að sýnið varð eftir inni í stokknum. Hann var síðan merktur og pakkað vandlega inn í plastfilmu. Lengd stokkanna var mismunandi eftir dýpt hverrar holu.

Hverju sniði var lýst vandlega og lýsingar skráðar í dagbók, (sjá viðauka C). Seinna voru tekin smásýni, á 2. eða 5 sm fresti, eftir því sem þótti henta. Sýnin voru tekin úr stokkunum á þann hátt að messinghólki, sem rúmar um 1 sm<sup>3</sup> var þrýst niður í jarðvegssniðið í stokknum og sýnið síðan losað úr hólknunum með spaða. Áhöldin voru skoluð með afjónuðu vatni eftir töku hvers smásýnis. Smásýnin voru sett í litla, merkta, plastpoka og geymd í kæli. Hvert smásýni fékk númer með hliðsjón af þeim degi sem stokkurinn var tekinn, stokknúmeri og fjarlægð sýnis frá yfirborði. Smásýni nr. 290696.02.51 var t.d. úr stokk sem tekinn var þ. 28. júní, úr stokk nr. 2 sem tekinn var þann dag og er tekið á 51 sm dýpi. 3 sm<sup>3</sup> voru teknir á hverju bili, en það magn var talið nægilegt fyrir blettaaðferðina, heildarefnagreiningar fosfórs og frjógreiningar. Þegar þessi skýrsla er skrifuð er heildarefnagreiningu og frjógreiningum ekki lokið.

Sýni voru tekin úr túninu, með jarðvegsbor. Þau voru tekin á 10 metra millibili, yfir túnið framan við Nesstofu, eftir fyrirfram ákveðnu hnitakerfi, þar sem X-hnit hækkudu í norður en Y-hnit hækkudu í vestur. (Sjá mynd nr. 4). Hnitakerfið var mælt út með málböndum og áttavita. Tekið var tillit til misvísunar vegna segulfráviks, sem var rétt rúmar 20° á stór Reykjavíkursvæðinu sumarið 1996. (sjá t.d. Almanak Háskólans, 1996). Þessi sýni voru tekin á um 40 sm dýpi. Þau voru síðan sett í litla, merkta, plastpoka og geymd í kæli. Sýnin fengu númer af X- og Y-hnitum. T.d. sýni nr X500,Y300, en það var aðal-viðmiðunarpunkturinn í hnitakerfinu, (sjá mynd 4).



Mynd 4. Afstöðumynd af Nesstofu og nágrenni, ásamt staðsetningu könnunarhóla og sýna-tökustaða í túninu.



## 3.2 Úrvinnsla gagna

Öll sýnin voru greind með blettaaðferðinni á rannsóknarstofu. Þó blettaaðferðina sé auðveldlega hægt að framkvæma á vettvangi, og sérstaklega þróuð til slíkra nota, þá hentar það nú sjaldnast hér á Íslandi, vegna veðurfarsins. Því var ákveðið að safna öllum sýnum í litla plastpoka og geyma þau í ískáp þar til fosfatmagn þeirra var greint.

Fosfatinnihald smásýnanna, sem safnað var úr stokkunum, var greint til að finna lóðrétta dreifingu fosfats á rannsóknarsvæðinu. Niðurstöðurnar sjást í töflu og á súluritum í viðauka A.

Fosfatinnihald sýnanna, sem tekin voru úr túninu, var greint til að finna lárétta dreifingu fosfats á rannsóknarsvæðinu. Niðurstöðurnar voru skráðar í töflu, sjá viðauka B, og merktar inn á kort, sem sýnir þá fosfatfrávik á svæðinu, sjá mynd 5.

Við flokkun lagmóta var stuðst lauslega við flokkunarkerfi Troels-Smith (1955). Lagmótin lýsa eiginleikum snertiflatarins við aðliggjandi lög, í þessu tilfalli við ofanáliggjandi lag, sjá viðauka C. >1sm ógreinileg, <1sm og >2mm jöfn, <2mm og >1mm mjög jöfn, <1mm og >0,5 mm skörp, <0,5 mm mjög skörp.

Kornastærð jarðvegsins var metin grófllega með fingrunum. Miðað var við korna-stærðarkvarða Udden-Wentworth. (Wentworth C.K. 1922).

Teikning af jarðvegssniðunum er á mynd 6.

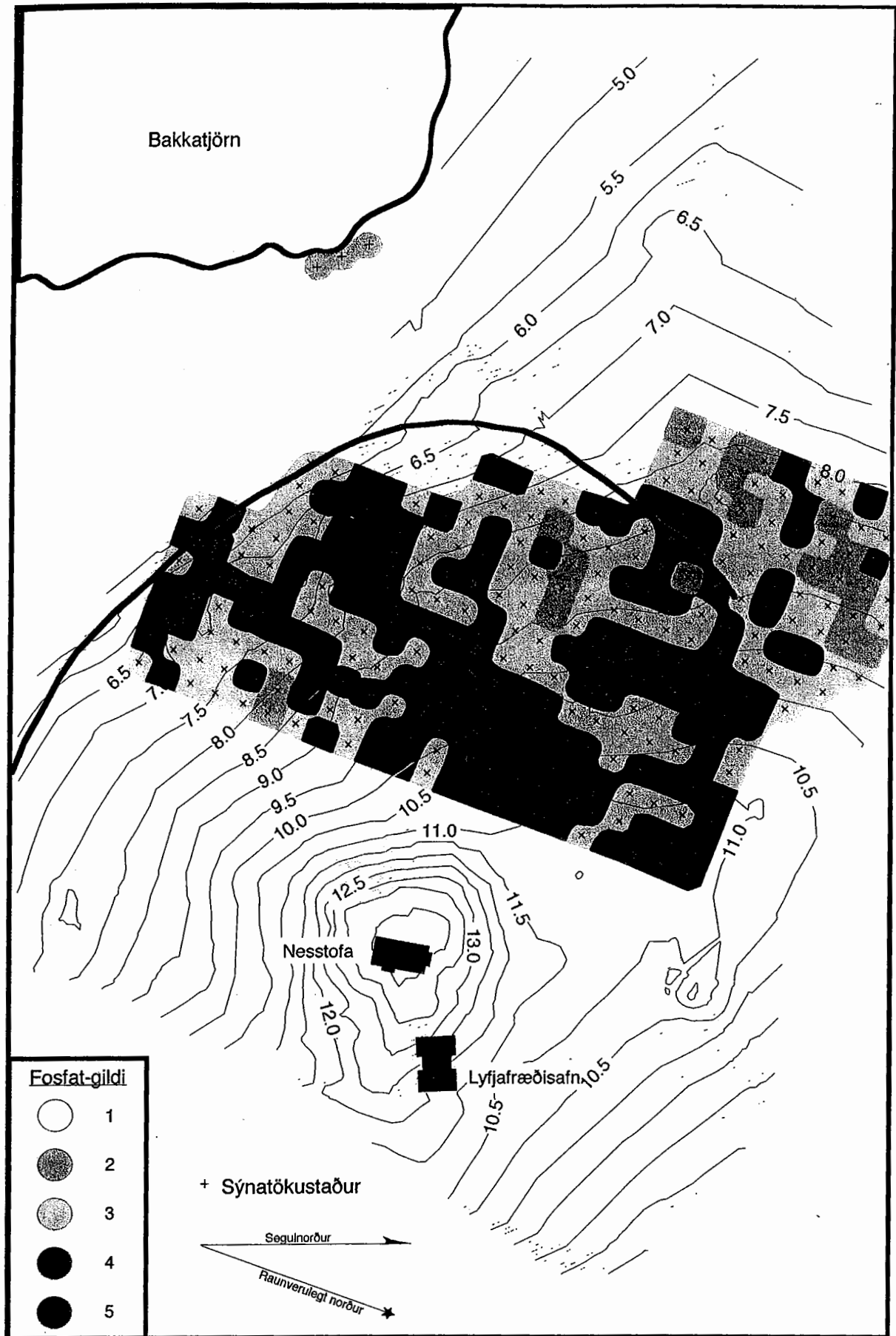
## 3.3. Umfjöllun og niðurstöður

Blettaaðferðin er ómagnbundin efnagreiningaraðferð, eins og fyrr segir, þetta er helsti galli hennar. Ekki fást neinar hreinar og klárar tölur úr greiningunni, heldur felst greiningin í mati rannsóknarmanns á litstyrk, lengd litgeisla og hve lengi þeir eru að birtast. Oft er mjög erfitt að meta hvort fosfat-gildið sé nær því að vera til dæmis 3 eða 4, og sitt getur hverjum sýnst, en galdurinn felst í því að allir vinni út frá sömu forsendum. Þrátt fyrir það að aðferðin sé ekki mjög nákvæm, þá þjónar hún samt sínum tilgangi og mönnum hefur tekist að afmarka fornleifasvæði með hjálp hennar, jafnvel á 3ja og 4ða áratugnum þegar hún var sem frumstæðust.

Fosfatmagn túninu við Nesstofu er á heildina lítið allmikið, og óreglulegt, gagnstætt því sem við mætti búast í óspilltri náttúrunni, þar sem magnið er lítið og jafnt. Magn fosfats er einnig yfirleitt meira eftir því sem neðar dregur, meira en í nútímajarðveginum. Fosfat-gildið 2 kom fram við blettagreiningu á sýnunum þremur við Bakkatjörn. Ólíklegt er að mannvist hafi haft mikil áhrif á fosfatmagn alveg við tjörnina, svo líklega er óhætt að líta á það sem eðlilegt magn frá náttúrunnar hendi á þessum stað. Það er þó nokkuð hátt, sem er eðlilegt á stað sem þessum, nærri sjó, þar sem fuglalíf er blómlegt.

Niðurstæða rannsóknarinnar hlýtur því að teljast nokkuð jákvæð og benda til þess að mönnum ætti að vera óhætt að nýta sér kosti hennar hér á Íslandi í framtíðinni. Þótt aðferðin sé fljótleg, þá er auðvitað mjög seinlegt að vinna úr 4-500 sýnum, eins og gert var við Nesstofu. Sýnataka á 20-30 m fresti er yfirleitt talin nægileg til að byrja með og sést þá oftast fljótlega hvort um eitthvað fosfat-frávik sé að ræða. Sumir telja ekki endilega nauðsynlegt að taka sýni eftir hnitakerfi, heldur á fyrirfram ákveðnum stöðum þar sem menn grunar að um mannvistarleifar sé að ræða og taka þá e.t.v. sýni kerfisbundið út frá miðju þess staðar.

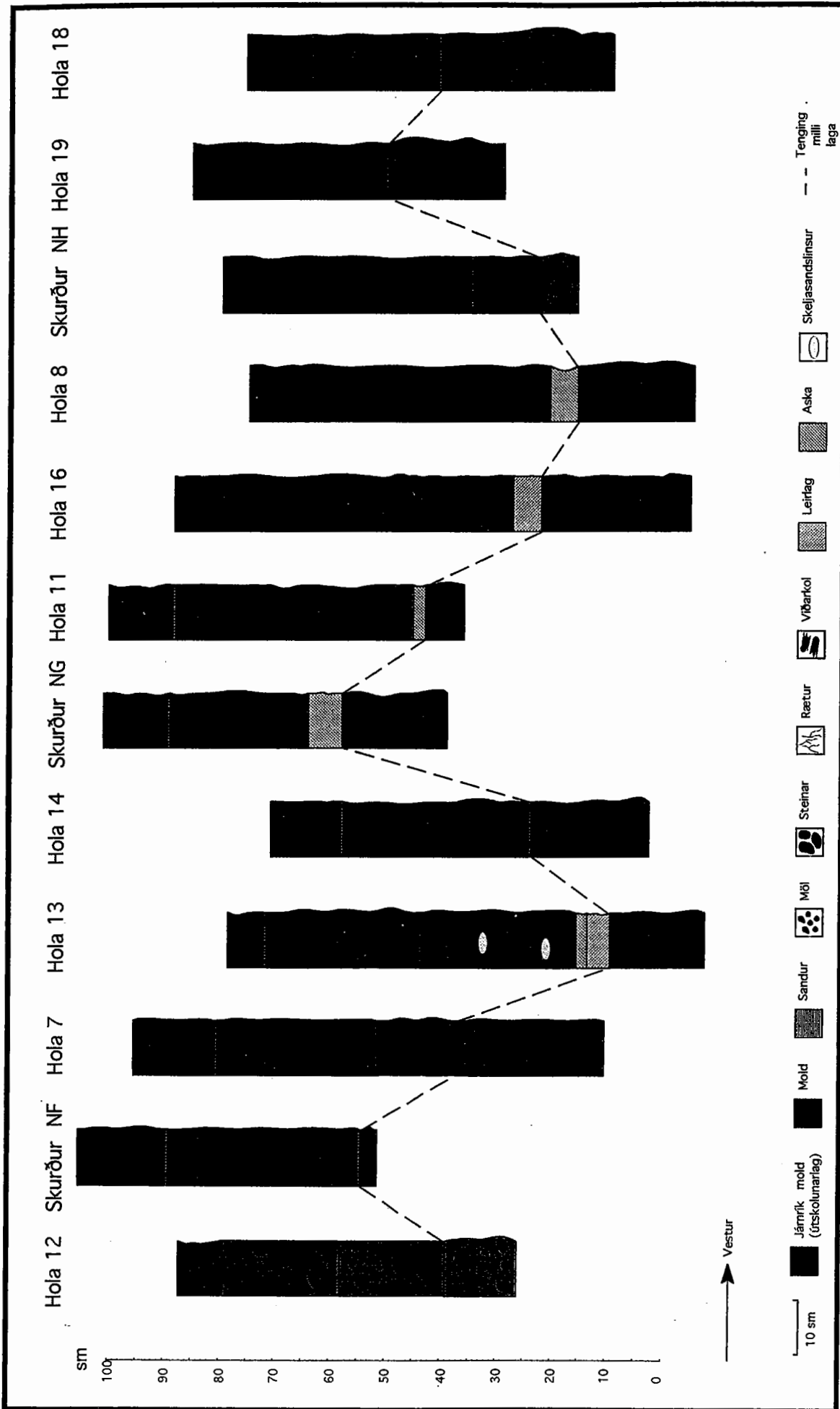
Með hliðsjón af kortinu, sem sýnir fosfafrávik við Nesstofu, voru nokkur sýni valin úr til magnbundinnar heildarefnagreiningar. Þeim greiningum er ekki lokið, en það stendur til að bera niðurstöður þeirra saman við ómagnbundnu greiningarnar, til að kanna samkvæmni aðferðarinnar, og jafnframt að bera fosfatmagn í jarðveginum saman við fosfatmagn í berggrunnum og í öskulögnum á svæðinu, til að reyna að meta hve mikill hluti fosfats í jarðveginum á rætur að rekja til lífræns efnis.



Mynd 5. Kort sem sýnir fosfat-frávik á rannsóknarsvæðinu. (Kortgrunnur frá Garðari Guðmundssyni 1995).

## Lokaorð

Ég vil að lokum þakka Margréti Hallsdóttur, frjókornasérfræðingi, fyrir að benda mér á þetta verkefni í upphafi, fornleifafræðingunum Garðari Guðmundssyni og Orra Vésteinssyni fyrir aðstoð við vettvangsvinnu, útvegum heimilda og korta og ýmsar góðar ábendingar, Stefáni Arnórssyni prófessor fyrir yfirlestur handrits og góðar ábendingar um heimildir o.fl., Jóni Eiríkssyni, jarðfræðingi, fyrir aðstoð við tölvuúrvinnslu, Guðrúnu Larsen, öskulagasérfræðingi, fyrir upplýsingar, Brynhildi Magnúsdóttur, jarðfræðinema, og systur minni Örnú Björk fyrir aðstoð við vettvangsvinnu og að lokum Andra Stefánssyni, jarðfræðingi, fyrir ábendingar um heimildir.



Mynd 6. Jarðvegssnið.

## Heimildir

1. Arrhenius, O. 1931: **Die Bodenanalyse im Dienst der Archäologie.** Zeitschrift für Pflanzenernährung, Düngung, und Bodenkunde, Teil A 10, 427-439.
2. Battey, M.H. 1981: **Mineralogy.** Longman Scientific & Technical. Essex, England.
3. Bethell, P. & Máté, I. 1989: **The use of Soil Phosphate Analysis in Archaeology: A Critique.** Í: Scientific Analysis in Archaeology and its interpretation. Ritsstj. Julian Henderson. Institute of Archaeology, Oxford. 1-29.
4. Brady, J.E. 1990: **General Chemistry, principles & structure.** 5th ed. John Wiley & Sons, Inc. New York. 778-781.
5. Cook, S.F. & Heizer R.F. 1965: **Studies on the chemical Analysis of Archaeological Sites,** Berkley and Los Angeles. University of California Publications in Anthropology 2.
6. Cox, P.A. 1995: **The Elements on Earth.** Oxford University Press. Oxford. 287 bls.
7. Eidt, Robert C. 1973: **A rapid Chemical Field Test for archaeological Site surveying.** Í: American Antiquity, Vol. 38 no. 2, 206-210.
8. Feigl F. 1958: **Spot Tests in inorganic Chemistry.** Elsevier. Amsterdam.
9. Fishman, M.J. & Friedman, L.C. (ritstjórar) 1989: Techniques of Water-Resources Investigations of the United States Geological Survey. **Methods for determination of inorganic substances in water and fluvial sediments.** Book 5. Chapter A1. 3d ed. United States department of the interior. Washington.
10. Garðar Guðmundsson, 1995. **Fornleifarannsóknir í Nesi við Seltjörn II.** Fornleifastofnun Íslands, FS006:95012. Reykjavík 1995. 17 bls.
11. Gundlach, H. 1961: **Tüpfelmethode auf Phosphat, angewandt in prähistorischer Forschung (als Feldmethode).** Microchemica Acta 5, 735-737.
12. Gurney, D. A. 1985: **Phosphate Analysis of Soils: a guide for the Field Archaeologist.** Technical paper No. 3. Institute of Field Archaeologists. Birmingham.
13. Keeley, H.C.M. 1981: **Recent work using soil phosphorus analysis in archaeological prospection.** Ancient Monuments Lab. Report 3851. Revue d'Archéométrie 5. 89-95.
14. Krauskopf, Konrad B. & Bird, Dennis K. 1995: **Introduction to Geochemistry.** McGraw-Hill Inc. New York. Bls. 367-370.
15. Lorch, W. 1940: **Die Siedlungsgeographische phosphatmethode.** Die Naturwissenschaften 40/41, 28, 633-640.
16. Ólafur Arnalds 1995: **Jarðvegsfræði, kennsluefni.** útg. Ólafur Arnalds. Reykjavík. 44 bls.
17. Smeck, Neil E. 1985: **Phosphorus Dynamics in Soils and Landscapes.** Í: Geoderma, an international Journal of Soil Science. Vol. 36, 185-199.
18. Sveinn Jakobsson, o.fl. 1991. **Náttúrufar á Seltjarnarnesi.** Náttúrufræðistofnun Íslands. Reykjavík. 7-19. (Skýrslan er óútgefin).
19. Troels-Smith, J. 1955: **Karakterisering af løse jordater.** Danm.geol. Unders. Ser IV, 3 (10), 73 bls.
20. Wentworth C.K. 1922: **A Scale of Grade and Class Terms for clastic Sediments.** Journal of Geology 30. 377-392.

Viðauki A. Lóðrétt dreifing fosfata á svæðinu.

**Hola nr. 12.**

Lag nr.	Dýpi [sm]	Fosfat-gildi
4	6	5
3	12	5
3	17	5
3	22	5
3	27	5
2	30	4
2	35	4
2	40	4
2	45	4
2	47	4
1	52	4

**Hola nr. 13.**

Lag nr.	Dýpi [sm]	Fosfat-gildi
6	6	3
5	9	2
5	14	3
5	19	4
5	24	4
5	29	4
5	34	4
4	36	4
4	41	3
4	46	3
4	51	4
4	56	5
4	61	5
3	64	5
2	67	5
1	70	5
1	75	5
1	80	5
1	85	5

**Skurður nr. NF.**

Lag nr.	Dýpi [sm]	Fosfat-gildi
	4	5
3	6	3
3	10	3
3	14	3
2	18	4
2	24	4
2	30	3
2	36	4
2	40	3
2	42	4
2	48	4

**Hola nr. 14.**

Lag nr.	Dýpi [sm]	Fosfat-gildi
3	12	4
2	14	3
2	19	4
2	24	3
2	29	3
2	34	4
2	39	4
2	44	4
2	47	4
1	50	4
1	55	4
1	60	4
1	65	5
1	68	5

**Hola nr. 7.**

Lag nr.	Dýpi [sm]	Fosfat-gildi
4	13	3
3	17	3
3	22	3
3	24	3
3	27	3
3	32	4
3	37	4
3	42	4
2	46	4
2	51	4
2	56	4
1	60	4
1	65	4
1	70	4
1	75	4
1	80	5

## Viðauki A. Lóðrétt dreifing fosfata á svæðinu.

### Skurður nr. NG.

Lag nr.	Dýpi [sm]	Fosfat-gildi			
			3	65	3
			2	68	4
			2	73	4
			2	78	4
			2	83	4
			1	88	4
			1	92	4
4	4	3			
4	8	3			
4	12	3			
3	16	3			
3	22	3			
3	28	3			
3	34	3			
3	36	3			
2	38	3			
1	44	3			
1	50	3			
1	54	3			
1	58	3			

### Hola nr. 8.

Lag nr.	Dýpi [sm]	Fosfat-gildi
4	15	4
4	20	4
4	25	5
4	30	5
4	35	5
4	40	5
3	48	5
3	51	5
2	56	5
1	60	5
1	65	5
1	70	5
1	75	5

### Hola nr. 11.

Lag nr.	Dýpi [sm]	Fosfat-gildi
4	6	4
4	11	3
3	13	3
3	18	4
3	23	4
3	28	4
3	33	3
3	38	4
3	43	4
3	48	4
3	53	4
2	56	4
1	58	4

### Skurður nr. NH.

Lag nr.	Dýpi [sm]	Fosfat-gildi
4	10	3
4	15	3
4	18	3
3	20	3
3	25	3
3	30	4
3	35	3
3	40	4
3	44	4
2	46	4
2	51	4
2	56	4
1	58	4
1	63	4

### Hola nr. 16.

Lag nr.	Dýpi [sm]	Fosfat-gildi
6	7	3
5	10	3
5	15	3
5	20	4
5	25	4
5	30	4
eyða		
4	50	4
4	55	4
4	60	4
3	62	4

## Viðauki A. Lóðrétt dreifing fosfata á svæðinu.

### Hola nr. 19.

Lag nr.	Dýpi [sm]	Fosfat-gildi
2	6	3
2	10	3
2	15	3
2	20	3
2	25	4
2	30	4
2	35	4
1	37	4
1	42	4
1	45	4

### Hola nr. 18.

Lag nr.	Dýpi [sm]	Fosfat-gildi
3	18	3
3	23	3
3	28	3
3	33	3
2	38	4
2	43	4
2	48	4
2	53	4
2	58	4
1	63	4

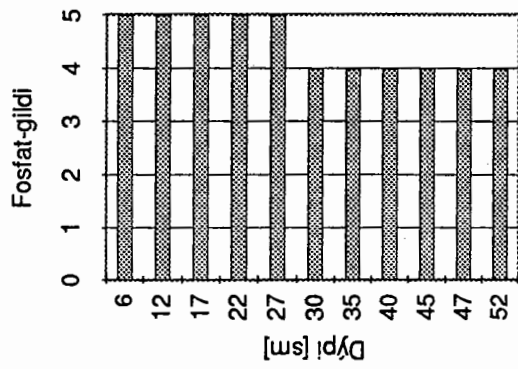


## Viðauki B. Fosfat-gildi úr blettaaðferðinni, lárétt dreifing.

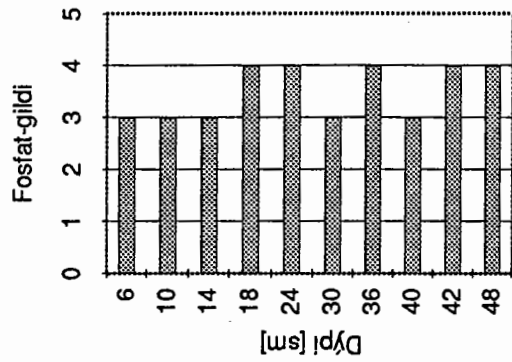
Sýni nr.	fosfat-gildi	Sýni nr.	fosfat-gildi	Sýni nr.	fosfat-gildi	Sýni nr.	fosfat-gildi
X360,Y300	4	X400,Y360	4	X440,Y360	3	X470,Y380	3
X360,Y310	3	X400,Y370	4	X440,Y370	4	X470,Y390	4
X360,Y320	5	X400,Y380	5	X440,Y380	3	X470,Y400	2
X360,Y330	5	X400,Y390	4	X440,Y390	3	X470,Y410	3
X360,Y340	4			X440,Y400	3	X470,Y420	
X360,Y350	5	X410,Y300	3	X440,Y410	4		
X360,Y360	4	X410,Y310	4	X440,Y420		X480,Y300	5
		X410,Y320	4			X480,Y310	4
X370,Y300	3	X410,Y330	4	X450,Y300	4	X480,Y320	3
X370,Y310	3	X410,Y340	4	X450,Y310	4	X480,Y330	4
X370,Y320	3	X410,Y350	4	X450,Y320	4	X480,Y340	4
X370,Y330	3	X410,Y360	4	X450,Y330	4	X480,Y350	3
X370,Y340	5	X410,Y370	4	X450,Y340	4	X480,Y360	3
X370,Y350	4	X410,Y380	4	X450,Y350	4	X480,Y370	2
X370,Y360	3	X410,Y390	4	X450,Y360	3	X480,Y380	2
				X450,Y370	4	X480,Y390	2
X380,Y300	3	X420,Y300	4	X450,Y380	4	X480,Y400	3
X380,Y310	3	X420,Y310	3	X450,Y390	4	X480,Y410	5
X380,Y320	3	X420,Y320	5	X450,Y400	3	X480,Y420	
X380,Y330	5	X420,Y330	3	X450,Y410	4		
X380,Y340	4	X420,Y340	3	X450,Y420		X490,Y300	5
X380,Y350	3	X420,Y350	4			X490,Y310	4
X380,Y360	3	X420,Y360	4	X460,Y300	3	X490,Y320	3
X380,Y370	3	X420,Y370	4	X460,Y310	3	X490,Y330	4
X380,Y380	3	X420,Y380	4	X460,Y320	4	X490,Y340	4
X380,Y390	3	X420,Y390	3	X460,Y330	3	X490,Y350	3
				X460,Y340	3	X490,Y360	4
X390,Y300	3	X430,Y300	3	X460,Y350	4	X490,Y370	3
X390,Y310	4	X430,Y310	3	X460,Y360	4	X490,Y380	3
X390,Y320	3	X430,Y320	4	X460,Y370	3	X490,Y390	3
X390,Y330	4	X430,Y330	3	X460,Y380	3	X490,Y400	3
X390,Y340	2	X430,Y340	4	X460,Y390	3	X490,Y410	4
X390,Y350	4	X430,Y350	4	X460,Y400	3	X490,Y420	
X390,Y360	4	X430,Y360	3	X460,Y410	2		
X390,Y370	2	X430,Y370	2	X460,Y420		X500,Y300	4
X390,Y380	4	X430,Y380	3			X500,Y310	5
X390,Y390	3	X430,Y390	4	X470,Y300	4	X500,Y320	5
				X470,Y310	4	X500,Y330	5
X400,Y300	2	X440,Y300	4	X470,Y320	4	X500,Y340	3
X400,y310	2	X440,Y310	4	X470,Y330	4	X500,Y350	5
X400,Y320	3	X440,Y320	3	X470,Y340	4	X500,Y360	4
X400,Y330	4	X440,Y330	4	X470,Y350	3	X500,Y370	5
X400,Y340	3	X440,Y340	3	X470,Y360	3	X500,Y380	4
X400,Y350	3	X440,Y350	4	X470,Y370	3	X500,Y390	5

Sýni nr.	fosfat-gildi	Sýni nr.	fosfat-gildi	Sýni nr.	fosfat-gildi	Sýni nr.	fosfat-gildi
X500,Y400	4	X530,Y350	3	X560,Y300	4	X600,Y430	3
X500,Y410	4	X530,Y360	4	X560,Y310	3	X600,Y440	4
X500,Y420	5	X530,Y370	3	X560,Y320	4	X600,Y450	2
X500,Y430	3	X530,Y380	3	X560,Y330	5		
X500,Y440	3	X530,Y390	3	X560,Y340	3	X610,Y430	3
X500,Y450	2	X530,Y400	4	X560,Y350	3	X610,Y440	3
		X530,Y410	4	X560,Y360	4	X610,Y450	3
X510,Y300	5	X530,Y420	3	X560,Y370	4		
X510,Y310	5	X530,Y430	3	X560,Y380	3	Tjörn 1m	2
X510,Y320	4	X530,Y440	2	X560,Y390	4	Tjörn 2h	2
X510,Y330	4	X530,Y450	3	X560,Y400	3	Tjörn 3v	2
X510,Y340	3			X560,Y410	3		
X510,Y350	5	X540,Y300	3	X560,Y420	2	X350,Y300	3
X510,Y360	4	X540,Y310	4	X560,Y430	3	X350,Y310	4
X510,Y370	4	X540,Y320	3	X560,Y440	2	X350,Y320	5
X510,Y380	3	X540,Y330	4	X560,Y450	3	X350,Y330	4
X510,Y390	4	X540,Y340	3			X350,Y340	3
X510,Y400	4	X540,Y350	4	X570,Y370	3	X350,Y350	4
X510,Y410	4	X540,Y360	4	X570,Y380	3	X350,Y360	3
X510,Y420	4	X540,Y370	4	X570,Y390	4		
X510,Y430	3	X540,Y380	4	X570,Y400	3		
X510,Y440	3	X540,Y390	4	X570,Y410	3		
X510,Y450	3	X540,Y400	3	X570,Y420	2		
		X540,Y410	3	X570,Y430	2		
X520,Y300	3	X540,Y420	3	X570,Y440	3		
X520,Y310	4	X540,Y430	3	X570,Y450	4		
X520,Y320	4	X540,Y440	3				
X520,Y330	3	X540,Y450	4	X580,Y380	3		
X520,Y340	3			X580,Y390	3		
X520,Y350	3	X550,Y300	3	X580,Y400	2		
X520,Y360	4	X550,Y310	4	X580,Y410	1		
X520,Y370	4	X550,Y320	3	X580,Y420			
X520,Y380	3	X550,Y330	4	X580,Y430	4		
X520,Y390	4	X550,Y340	4	X580,Y440	3		
X520,Y400	2	X550,Y350	4	X580,Y450	3		
X520,Y410	4	X550,Y360	4				
X520,Y420	4	X550,Y370	4	X590,Y390	3		
X520,Y430	3	X550,Y380	3	X590,Y400	2		
X520,Y440	2	X550,Y390	3	X590,Y410	3		
X520,Y450	2	X550,Y400	4	X590,Y420	3		
		X550,Y410	4	X590,Y430	3		
X530,Y300	4	X550,Y420	3	X590,Y440	2		
X530,Y310	3	X550,Y430	4	X590,Y450	3		
X530,Y320	3	X550,Y440	4				
X530,Y330	4	X550,Y450	3				
X530,Y340	3						

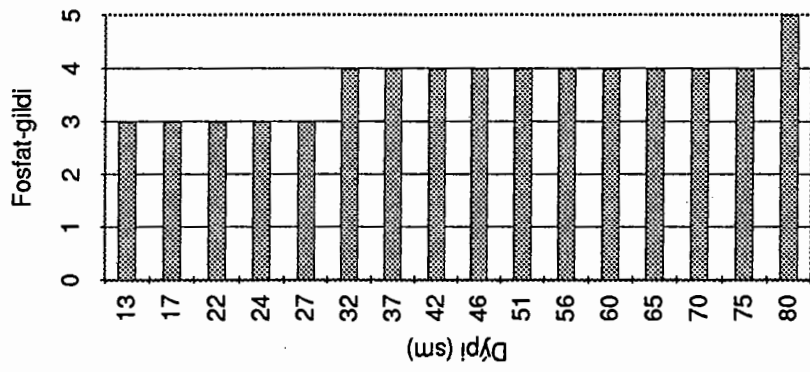
### Hola nr. 12



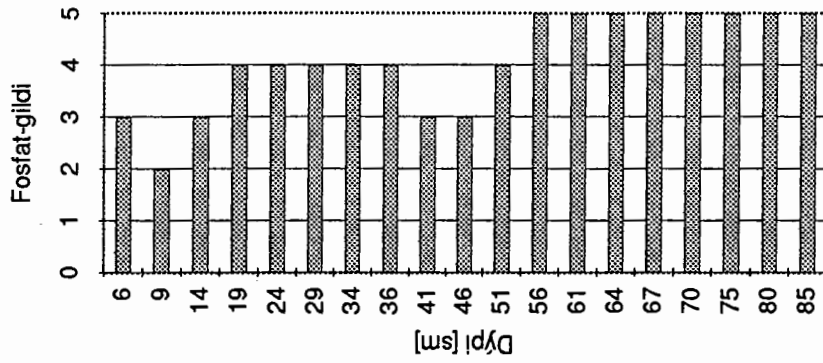
### Skurður nr. NF



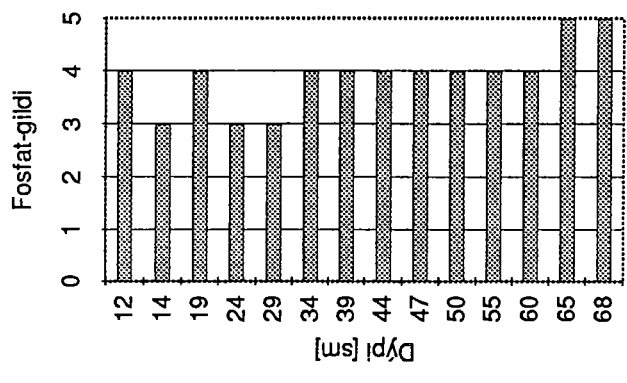
### Hola nr. 7



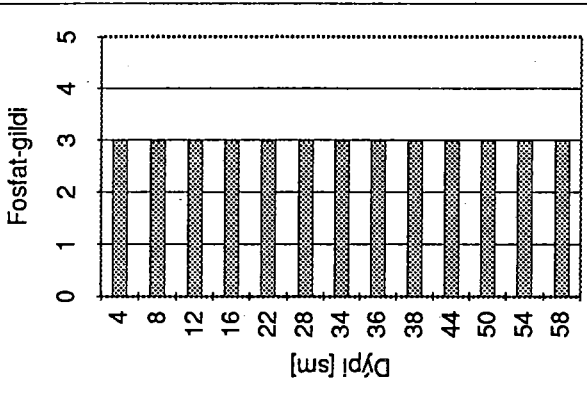
### Hola nr. 13



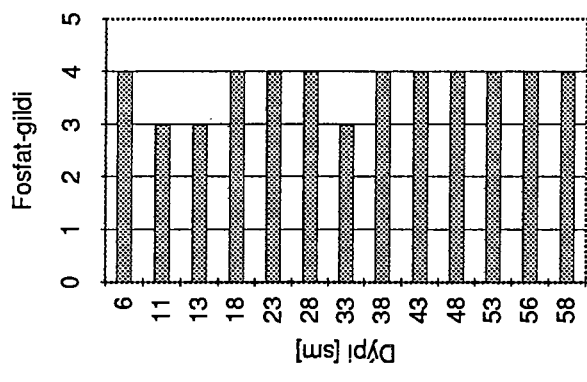
### Hola nr. 14



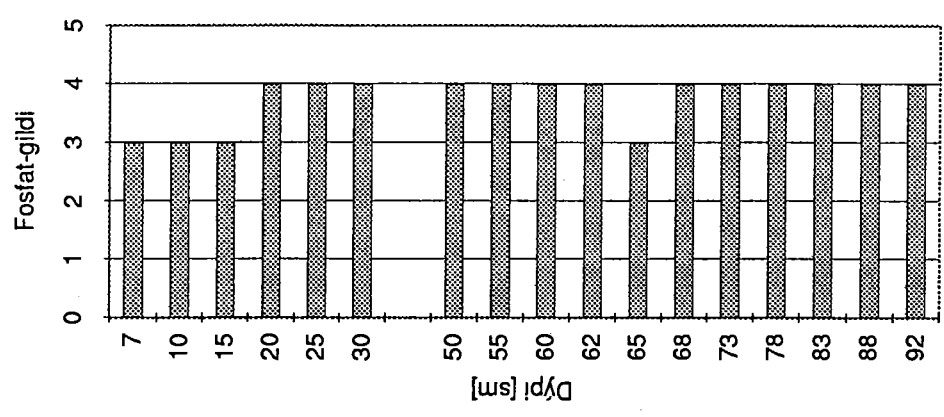
### Skurður nr. NG



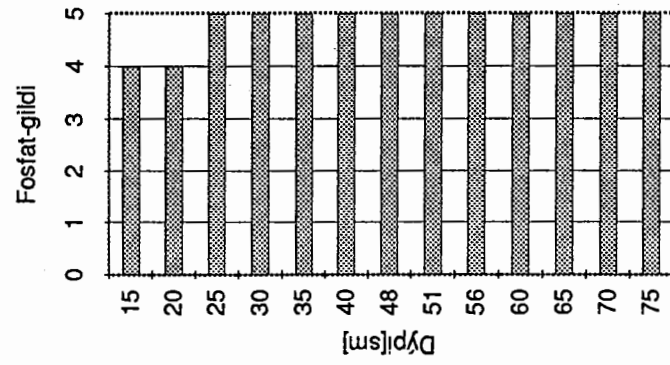
### Hola nr. 11



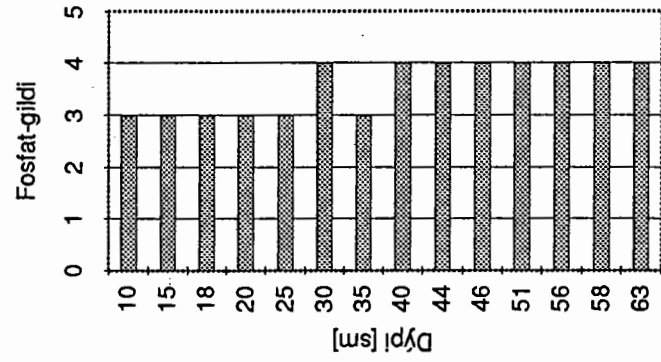
### Hola nr. 16



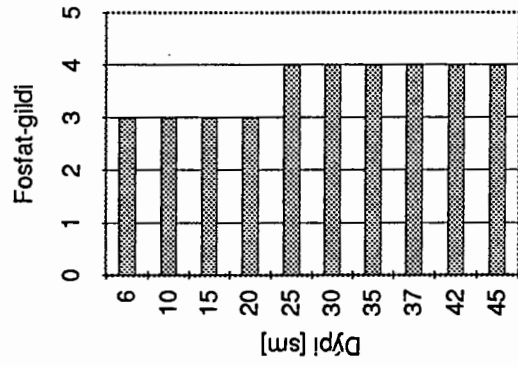
### Hola nr. 8



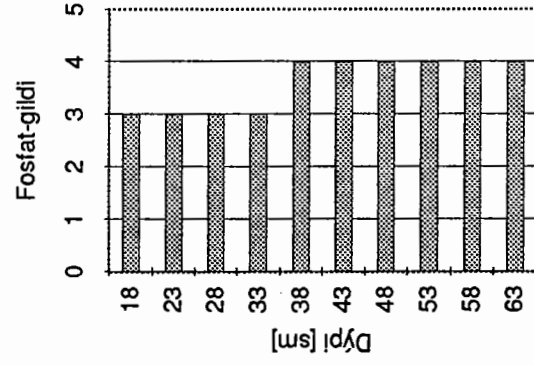
### Skurður nr. NH



### Hola nr. 19



### Hola nr. 18



## Viðauki C. Sniðlýsingar

### Snið: Hóla nr. 7.

Heildarþykkt sniðsins, þ.e. dýpt holunnar, er 0,97 m.

Lag 1  
*Jarðvegur* 0,27 m.

Jarðvegsblandaður sandur neðst, verður grófara upp á við, stærstu steinar eru um 7,5 sm í þvermál.

*Litur:* Rauðbrúnn.

*Byggingarlag:* Sérkorna.

*Lagmót:* Jöfn.

*Kornastærð:* -6,5-14 Phi.

*Sýni nr:* 1996210611.

*Annað:*

Lag 2  
*Jarðvegur* 0,26 m.

*Litur:* Rauðbrúnn.

*Byggingarlag:* Kubbslaga.

*Lagmót:* Ógreinileg.

*Kornastærð:* -6-14 Phi.

*Sýni nr:*

*Annað:* Töluvert af rótartægjum. Í laginu er einn steinn, um 5 cm í þvermál.

Lag 3  
*Jarðvegur* 0,29 m.

*Litur:* Brúnn.

*Byggingarlag:* Kornótt.

*Lagmót:* Ógreinileg.

*Kornastærð:* -6-14 Phi.

*Sýni nr:*

*Annað:* Mikið af lífförum. Steinvölur á stangli, 2-5 cm í þvermál. Í 0,20 m hæð frá botni lagsins er slitrótt lag af viðarkolamolulum. Meira af rótartægjum en í lagi nr. 2.

Lag 4  
*Jarðvegur* 0,15 m.

Núttímajarðvegur með grasi, súrum o.fl.

*Litur:* Brúnn.

*Byggingarlag:* Kornótt.

*Lagmót:* Við yfirborð jarðar.

*Kornastærð:* 8,5-14 Phi.

*Sýni nr:*

*Annað:* Mjög mikið af rótartægjum.

### Snið: Hóla nr. 8.

Heildarþykkt sniðsins er 0,8 m.

Lag 1  
*Jarðvegsblandaður sandur og möl*  
0,21 m.

Lagið verður heldur grófara upp á við. Mjög grófur sandur til fínkorna mól. Efst er gróf mól. Á við og dreif um lagið er mjög gróf mól og steinar. Kornin eru hálfnúin til núin. Þegar skafið var dálítið niður í botninn, á holunni, virtist setið þar vera heldur grófara, en jarðvegsblandað.

*Litur:* Rauðbrúnn.

*Byggingarlag:* Sérkorna.

*Lagmót:* Ógreinileg.

*Kornastærð:* -6,5-0 Phi.

*Sýni nr:* 1996210621 úr laginu og 1996210622 úr botninum.

*Annað:*

Lag 2  
*Jarðvegur* 0,05 m.

*Litur:* Rauðbrúnn m/ grábrúnum blæ.

*Byggingarlag:* Kubbslaga.

*Lagmót:* Jöfn.

*Kornastærð:* 5-14 Phi.

*Sýni nr:*

*Annað:*

Lag 3  
*Jarðvegur* 0,09 m.

*Litur:* Rauðbrúnn.

*Byggingarlag:* Kubbslaga.

*Lagmót:* Jöfn.

*Kornastærð:* 8,5-14 Phi.

*Sýni nr:*

*Annað:* Dálítið af lífförum, eftir orma og önnur jarðvegsdýr. Örlítið af rótartægjum.

Lag 4  
*Jarðvegur* 0,35 m.

*Litur:* Brúnn.

*Byggingarlag:* Kornótt.

*Lagmót:* Ógreinileg.

*Kornastærð:* 8,5-14 Phi.

*Sýni nr:*

*Annað:* Töluvert af lífförum og rótartægjum. Í laginu var einn lítill steinn (5 sm í þvermál).

Lag 5  
*Jarðvegur* 0,10 m.

Nútímajarðvegur með grasi, súrum o.fl.

*Litur:* Brúnn.

*Byggingarlag:* Kornótt.

*Lagmót:* Við yfirborð jarðar.

*Kornastærð:* 8,5-14 Phi.

*Sýni nr:*

*Annað:* Mjög mikið af rótartægjum.

### **Snið: HOLA nr. 16.**

Heildarþykkt sniðsins er 0,93 m.

Lag 1  
*Jarðvegur* 0,09 m.

Jarðvegslag blandað fínum til grófum sandi.

*Litur:* Brúnn.

*Byggingarlag:* Sérkorna.

*Lagmót:* Ógreinileg.

*Kornastærð:* 0,5-14 Phi.

*Sýni nr:*

*Annað:* Neðst í laginu er einn lítill hnullungur (25-30 sm í þvermál). yfirborð hans er slétt.

Lag 2  
*Jarðvegur* 0,18 m.

Jarðvegur blandaður mjög fínum sandi.

*Litur:* Rauðbrúnn.

*Byggingarlag:* Sérkorna.

*Lagmót:* Ógreinileg.

*Kornastærð:* -6-14 Phi.

*Sýni nr:*

*Annað:* Lagið er rauðast efst. Í laginu er 1 lítill steinn (6 sm í þvermál).

Lag 3  
*Öskulag* 0,05 m.

*Litur:* Ljósbrúnn.

*Byggingarlag:* Kubbslaga.

*Lagmót:* Ógreinileg.

*Kornastærð:*

*Sýni nr:*

*Annað:* Lagið er dálftið siltkennt viðkomu, líklega leifar landnámslagsins.

Lag 4  
*Jarðvegur* 0,18 m.

Lagið er misþykkt, allt frá 4 til 19 sm.

*Litur:* Brúnn - dökkbrúnn. Lagið er rauðleitt í miðjunni.

*Byggingarlag:* Kubbslaga.

*Lagmót:* Ógreinileg.

*Kornastærð:* -7-14 Phi.

*Sýni nr:*

*Annað:* Dálftið af lífförum. Einn lítill steinn og einn stór voru í laginu (8 og 9,5 sm í þvermál). Lagið er eitthvað hreyft til, því það er bæði misþykkt og mislitt, líklega af manna völdum.

Lag 5  
*Jarðvegur* 0,34 m.

*Litur:* Brúnn.

*Byggingarlag:* Kornótt.

*Lagmót:* Jöfn.

*Kornastærð:* 8,5-14 Phi.

*Sýni nr:*

*Annað:* Töluvert af rótartægjum og lífförum.

Lag 6  
*Jarðvegur* 0,09 m.

Nútímajarðvegur með grasi, súrum o.fl.

*Litur:* Brúnn.

*Byggingarlag:* Kornótt.

*Lagmót:* Við yfirborð jarðar.

*Kornastærð:* 8,5-14 Phi.

*Sýni nr:*

*Annað:* Mjög mikið af rótartægjum.

### **Snið: SKURÐUR nr. NE.**

Heildarþykkt sniðsins er 0,54 m.

Lag 1  
*Jarðvegur* 0,03 m.

Jarðvegsblandaður sandur og mól.

*Litur:* Rauðbrúnn.

*Byggingarlag:* Sérkorna.

*Lagmót:* Jöfn.

*Kornastærð:* -5,5-14 Phi.

*Sýni nr:*

*Annað:*

Lag 2  
*Jarðvegur* 0,35 m.

*Litur:* Brúnn  
*Byggingarlag:* Kornótt.  
*Lagmót:* Ógreinileg..  
*Kornastærð:* 8,5-14 Phi.  
*Sýni nr:*  
*Annað:* Töluvert af rótartægjum og lífförum.

Lag 3  
*Jarðvegur* 0,16 m.

Nútímajarðvegur með grasi, súrum o.fl. Lokasjóður í næsta nágrenni.  
*Litur:* Brúnn.  
*Byggingarlag:* Kornótt.  
*Lagmót:* Við yfirborð jarðar.  
*Kornastærð:* 8,5-14 Phi.  
*Sýni nr:*  
*Annað:* Mjög mikið af rótartægjum.

### **Snið: Hola nr. 11.**

Heildarþykkt sniðsins er 0,64 m.

Lag 1  
*Jarðvegur* 0,06 m.

*Litur:* Brúnn-rauðbrúnn.  
*Byggingarlag:* Sérkorna.  
*Lagmót:* Ógreinileg..  
*Kornastærð:* -5,5-14 Phi.  
*Sýni nr:*  
*Annað:* Leir og siltkenndur jarðvegur. Eitt og eitt gróft sandkorn. Eitthvað af steinum.

Lag 2  
*Öskulag* 0,03 m.

*Litur:* Dökkbrúnn.  
*Byggingarlag:* Kubbslaga.  
*Lagmót:* Skörp.  
*Kornastærð:* 5-14 Phi.  
*Sýni nr:* 1996240611-1.  
*Annað:* Lagið er siltkennt, sennilega leifar Kötlu ~1500.

Lag 3  
*Jarðvegur* 0,43 m.

*Litur:* Brúnn.  
*Byggingarlag:* Kubbslaga.  
*Lagmót:* Jöfn.  
*Kornastærð:* 8,5-14 Phi.  
*Sýni nr:*

*Annað:* Leirkennt lag með lífförum og rótartægjum.

Lag 4  
*Jarðvegur* 0,12 m.

Nútímajarðvegur með grasi, súrum o.fl.  
*Litur:* Brúnn.  
*Byggingarlag:* Kornótt.  
*Lagmót:* Við yfirborð jarðar.  
*Kornastærð:* 8,5-14 Phi.  
*Sýni nr:*  
*Annað:* Mjög mikið af rótartægjum.

### **Snið: Hola nr. NH.**

Heildarþykkt sniðsins er 0,64 m.

Lag 1  
*Jarðvegsblandaður sandur og möl.*  
0,07 m.

*Litur:* Rauðbrúnn.  
*Byggingarlag:* Sérkorna.  
*Lagmót:* Jöfn.  
*Kornastærð:* -5,5-14 Phi.  
*Sýni nr:*  
*Annað:*

Lag 2  
*Jarðvegur.* 0,12 m.

*Litur:* Brúnn, örflítið rauðleitt.  
*Byggingarlag:* Kubbslaga.  
*Lagmót:* Jöfn.  
*Kornastærð:* 5-14 Phi.  
*Sýni nr:*  
*Annað:* Lagið er siltkennt.

Lag 3  
*Jarðvegur* 0,26 m.

*Litur:* Brúnn.  
*Byggingarlag:* Kornótt.  
*Lagmót:* Jöfn.  
*Kornastærð:* 8,5-14 Phi.  
*Sýni nr:*  
*Annað:* Töluvert af rótartægjum og lífförum.

Lag 4  
*Jarðvegur* 0,19 m.

Nútímajarðvegur með grasi, súrum o.fl.  
*Litur:* Brúnn.



*Byggingarlag:* Kornótt.  
*Lagmót:* Við yfirborð jarðar.  
*Kornastærð:* 8,5-14 Phi.  
*Sýni nr:*  
*Annað:* Mjög mikið af rótartægjum.

### **Snið: Hola nr. 14.**

Heildarþykkt sniðsins er 0,68 m.

Lag 1  
*Sandur og möl.* 0,21 m.

*Litur:* Brúnn-rauðbrúnn.  
*Byggingarlag:* Sérkorna.  
*Lagmót:* Jöfn.  
*Kornastærð:* -6-14 Phi.  
*Sýni nr:*  
*Annað:* Lagið er jarðvegsblandaður, mjög grófur, sandur, upp í meðalkorna möl. Efst er mjög gróf möl og litlir steinar á stangli. Smávegis af rótartægjum.

Lag 2  
*Jarðvegur* 0,34 m.

*Litur:* Brúnn.  
*Byggingarlag:* Kubbslaga.  
*Lagmót:* Skörp.  
*Kornastærð:* 8,5-14 Phi.  
*Sýni nr:*  
*Annað:* Lagið er leirkennt. Töluvert af rótartægjum og lífförum.

Lag 3  
*Jarðvegur* 0,13 m.

Nútímajarðvegur með grasi, súrum o.fl.  
*Litur:* Brúnn.  
*Byggingarlag:* Kornótt.  
*Lagmót:* Við yfirborð jarðar.  
*Kornastærð:* 8,5-14 Phi.  
*Sýni nr:*  
*Annað:* Mjög mikið af rótartægjum. Lokasjóður vex í grenndinni.

### **Snið: Hola nr. 19.**

Heildarþykkt sniðsins er 0,56 m.

Lag 1

*Jarðvegsblandaður sandur og möl.*  
0,19 m.

*Litur:* Rauðbrúnn.  
*Byggingarlag:* Sérkorna.  
*Lagmót:* Mjög skörp.  
*Kornastærð:* -6,5-14 Phi.  
*Sýni nr:*  
*Annað:* Lagið er áberandi grófast efst, þar eru steinar allt upp í 11 sm í þvermál.

Lag 2  
*Jarðvegur* 0,32 m.

*Litur:* Brúnn.  
*Byggingarlag:* Kornótt.  
*Lagmót:* Jöfn.  
*Kornastærð:* 8,5-14 Phi.  
*Sýni nr:*  
*Annað:* Töluvert af rótartægjum.

Lag 3  
*Jarðvegur* 0,05 m.

Nútímajarðvegur með grasi, súrum o.fl.

*Litur:* Brúnn.  
*Byggingarlag:* Kornótt.  
*Lagmót:* Yfirborð jarðar.  
*Kornastærð:* 8,5-14 Phi.  
*Sýni nr:*  
*Annað:* Mjög mikið af rótartægjum.

### **Snið: Hola nr. 18.**

Heildarþykkt sniðsins er 0,66 m.

Lag 1  
*Sandur* 0,06 m.

*Litur:* Dökkgrár.  
*Byggingarlag:* Sérkorna.  
*Lagmót:* Skörp.  
*Kornastærð:* 0-4,5 Phi.  
*Sýni nr:* 19962306.10-1.  
*Annað:* Dökkgrár, einsleitur, sandur með rauðleitu ívafi.

Lag 2  
*Jarðvegsblandaður sandur og möl.*  
0,25 m.

*Litur:* Rauðbrúnn.  
*Byggingarlag:* Sérkorna.  
*Lagmót:* Mjög jöfn.  
*Kornastærð:* -3,5-14 Phi.  
*Sýni nr:* 19962306.10-2 (neðst), 1996-2306.10-3 (miðja) og 19962306.10-4 (efst).

*Annað:*

Lag 3  
*Jarðvegur* 0,23 m.

*Litur:* Brúnn.  
*Byggingarlag:* Kornótt.  
*Lagmót:* Jöfn.  
*Kornastærð:* 8,5-14 Phi.  
*Sýni nr:* 19962306.10-5, af jurta-  
leifum.  
*Annað:* Töluvert af rótartægjum. Í lag-  
inu eru kolaðar jurtaleifar, frá botni  
lagsins og upp í miðbik þess.

Lag 4  
*Jarðvegur* 0,12 m.

Nútímajarðvegur með grasi, súrum  
o.fl.  
*Litur:* Brúnn.  
*Byggingarlag:* Kornótt.  
*Lagmót:* Við yfirborð jarðar.  
*Kornastærð:* 8,5-14 Phi.  
*Sýni nr:*  
*Annað:* Mjög mikið af rótartægjum.

**Snið: Skurður nr. NG.**

Heildarþykkt sniðsins er 0,59 m.

Lag 1  
*Jarðvegur* 0,19 m.

*Litur:* Rauðbrúnn.  
*Byggingarlag:* Sérkorna.  
*Lagmót:* Jöfn.  
*Kornastærð:* 5-14 Phi.  
*Sýni nr:*  
*Annað:* Siltkennt moldarlag með líf-  
förum. Botn holunnar er úr allgrófu  
malarlagi, með litlum steinum á stangli.

Lag 2  
*Jarðvegur með öskulagi* 0,31 m.

*Litur:* Brúnn.  
*Byggingarlag:* Kornótt.  
*Lagmót:* Jöfn.  
*Kornastærð:* 8,5-14 Phi.  
*Sýni nr:*  
*Annað:* Töluvert af rótartægjum. Í  
laginu eru tveir litlir steinar. Neðst í  
laginu, í 0,19-0,25 m hæð frá botni, er  
mjög þétt og leirkennt lag, grátt að lit,  
efst í því er örmjó ljós rönd sem virkar  
aðeins grófari, þetta mun vera land-

námslagið. Þetta lag finnst aðeins á  
einum stað í skurðinum, þar sem virðist  
hafa verið torfveggur, þannig að það er  
hreyft til af manna völdum.

Lag 3  
*Jarðvegur* 0,9 m.

Nútímajarðvegur með grasi, súrum  
o.fl.  
*Litur:* Brúnn.  
*Byggingarlag:* Kornótt.  
*Lagmót:* Við yfirborð jarðar.  
*Kornastærð:* 8,5-14 Phi.  
*Sýni nr:*  
*Annað:* Mjög mikið af rótartægjum.

**Snið: Hola nr. 13.**

Heildarþykkt sniðsins er 0,86 m.

Lag 1  
*Jarðvegsblandaður sandur og möl.*  
0,17 m.

*Litur:* Rauðbrúnn.  
*Byggingarlag:* Sérkorna.  
*Lagmót:* Mjög jöfn.  
*Kornastærð:* -6,5-14 Phi.  
*Sýni nr:*  
*Annað:*

Lag 2  
*Öskulag* 0,4 m.

*Litur:* Ljósbrúnn.  
*Byggingarlag:* Kubbslaga.  
*Lagmót:* Mjög skörp.  
*Kornastærð:*  
*Sýni nr:* 19962406.12-1.  
*Annað:* Lagið er svo leirkennt að hægt  
er að hnoða það eins og föndurleir.

Lag 3  
*Öskulag* 0,02 m.

*Litur:* Svartur.  
*Byggingarlag:* Kubbslaga.  
*Lagmót:* Mjög skörp.  
*Kornastærð:*  
*Sýni nr:*  
*Annað:* Lagið er mjög leirkennt, eins  
og lag 2. Ofan á því, hér og þar, eru  
bleikleitar skellur.

Lag 4  
Jarðvegur 0,28 m.

*Litur:* Brúnn.  
*Byggingarlag:* Misleitt, líklega mann-  
vistarleifar.  
*Lagmót:* Mjög jöfn.  
*Kornastærð:* 2.5-14 Phi.  
*Sýni nr:*  
*Annað:* Brúnt jarðvegslag með svar-  
brúnum skellum, sem stafa af koluðum  
jurtaleifum, en dálítið er af þeim.  
Skeljasandslinsur eru hér og þar um allt  
lagið.

Lag 5  
Jarðvegur 0,28 m.

*Litur:* Brúnn.  
*Byggingarlag:* Kornótt og dálítið  
misleitt.  
*Lagmót:* Jöfn.  
*Kornastærð:* -3-14 Phi.  
*Sýni nr:*  
*Annað:* Dálítið er af sandi og mól í lag-  
inu Litlar bleikar klessur (u.þ.b. 1 sm)  
eru hér og þar. Töluvert af lífförum. Í  
laginu var kolaður greinarbútur, um 3  
sm breiður.

Lag 6  
*Núttímajarðvegur með grasi, súrum og*  
*o.fl.* 0,07 m.

*Litur:* Brúnn.  
*Byggingarlag:* Kornótt.  
*Lagmót:* Við yfirborð jarðar.  
*Kornastærð:* 8,5-14 Phi.  
*Sýni nr:*  
*Efnagreining nr:*  
*Annað:* Mjög mikið af rótartægjum.

### **Snið: Hola nr. 12.**

Heildarþykkt sniðsins er 0,61 m.

Lag 1  
Jarðvegur 0,14 m.

*Litur:* Rauðbrúnn.  
*Byggingarlag:* Sérkorna.  
*Lagmót:* Mjög jöfn.  
*Kornastærð:* -4-14 Phi.  
*Sýni nr:*  
*Annað:* Sandblönduð mold. Smávölur  
hér og þar, u.þ.b. 2 sm í þvermál.

Lag 2  
Jarðvegur 0,18 m.

*Litur:* Rauðbrúnn, þó minna rautt en  
lag 1.  
*Byggingarlag:* Sérkorna.  
*Lagmót:* Jöfn.  
*Kornastærð:* 4-14 Phi.  
*Sýni nr:*  
*Annað:* Örlítið sandblönduð mold.  
Mikið er af mjög grófri mól og litlum  
steinum, 4-10 sm í þvermál. Nokkuð  
er af rótartægjum.

Lag 3  
Jarðvegur 0,21 m.

*Litur:* Brúnn.  
*Byggingarlag:* Kornótt.  
*Lagmót:* Jöfn.  
*Kornastærð:* 8.5-14 Phi.  
*Sýni nr:*  
*Annað:* Litlir steinar á stangli, um 6 sm  
í þvermál.

Lag 4  
*Núttímajarðvegur með grasi, súrum og*  
*mjaðjurt.* 0,08 m.

*Litur:* Brúnn.  
*Byggingarlag:* Kornótt.  
*Lagmót:* Við yfirborð jarðar.  
*Kornastærð:* 8,5-14 Phi.  
*Sýni nr:*  
*Annað:* Mjög mikið af rótartægjum.