

***Kolefni-14 aldursgreiningar  
í íslenskri fornleifafræði***

**Páll Theodórsson  
Raunvísindastofnun Háskólans**



Höfundur  
(með tösku ljósmyndarans)

## ***Smárit***

Raunvísindamenn senda ritsmíðar sínar til tímarita eða kynna þær á ráðstefnum þar sem erindin birtast í ráðstefnuriti. Oft henta þessar leiðir ekki:

- Langur tími líður frá fullgerðu handriti til útgáfu.
- Áhugahópur erlendis er þröngur.
- Takmörkuð lengd greinar.
- Höfundur óskar meiri frjálstræðis.
- Greinin oftast en ekki opin á Netinu.

Einföld leið er að kynna efni af þessu tagi í ***Smáriti***.

## **Kolefni-14 aldursgreiningar í íslenskri fornleifafræði**

- ✓ KOLEFNI-14 AÐFERÐIN er öflugasta verkfæri fornleifafræðinnar til aldursgreininga.
- ✓ Hún jafn traust í íslenskum fornleifarannsóknum og erlendum.
- ✓ Niðurstöður geislakolsgreininga sýna að búseta hófst í Reykjavík skömmu eftir AD 700.
- ✓ Aðeins með opinni umræðu og frekari rannsóknum er hægt að losna við efasemdir.
- ✓ Aldursgreiningastofa við Raunvísindastofnun gæti stýtt biðtíma og skilað tvöfalt meiri nákvæmni en fæst erlendis.

## **Kolefni-14 aldursgreiningar í íslenskri fornleifafræði**

Bandaríski efnafræðingurinn W F Libby fann upp kolefni-14 aðferðina árið 1949. Á fyrsta áratug hennar voru tímatöl nokkurra forsögulegra menningarskeiða rannsókuð, tímatöl sem höfðu verið byggð upp á löngum tíma með eldri aðferðum af fjölda vísindamanna. Þá kom t.d. í ljós að akuryrkja í Evrópu hóst um 1000 árum fyrr en áður hafði verið talið (sjá t.d. Renfrew 1990). Hart var deilt um niðurstöður ýmissa geislakolsgreininga á þessu bernskuskeiði aðferðarinnar og það gat tekið allt að áratug að komast til botns í deilumálunum. Undan-tekningarlítið lauk þeim með því að kolefni-14 mælingarnar reyndust gefa réttan aldur. Síðustu áratugi hafa deilur af þessu tagi verið afar fátíðar og aðferðinni er treyst. Á Íslandi er saga þessarar öfluglu tækni hinsvegar allt önnur og þær vonir sem voru bundnar við hana þegar henni var fyrst beitt hér á landi hafa ekki ræst nema að hluta. Hvernig má það vera? Þessi bæklingur mun reyna að svara því.

Ég lýsi – með nokkurri einföldun – grunnatriðum kolefni-14 aldursgreininga og ræði ýmis hagnýt atriði sem æskilegt er að notendur aðferðarinnar kunni skil á. Sýnt verður með dæmum hvernig má bæta úrvinnslu geislakolsgreininga. Lýsingin nýtist íslensku áhuga- og fagfólki best ef inn í hana er fléttuð umfjöllun á vandamálum sem fram hafa komið í íslenskum fornleifarannsóknum. Það er von mín að þetta rit geti aukið skilning þeirra sem hafa áhuga á sögu landnáms á Íslandi og á kolefni-14 aðferðinni – á möguleikum hennar og takmörkunum.

Að lokum er kynnt áætlun um að koma upp aðstöðu til kolefni-14 aldursgreininga við Raunvísindastofnun þar sem einfalt íslenskt mælikerfi mun skila tvöfalt meiri nákvæmni en fæst hjá erlendum stofum um þessar mundir, og fyrstu niðurstöður geta fengist innan viku ef þörf krefur. Verði þessir möguleikar nýttir vel geta kolefni-14 aldursgreiningar orðið öflugra hjálpartæki í íslenskum en erlendum fornleifarannsóknum.

## 2. Kolefni-14 aðferðin – uppgjör 50 ára reynslu

Nýlega kom út fróðlegt yfirlitsrit um aðferðina og niðurstöður hennar í ýmsum vísindagreinum, *Celebrating 50 years of radiocarbon* (Radiocarbon, 51 (1) 2009) þar sem sérfræðingar skrifa um sérgrein sína. Margvísleg vandamál hafa komið upp í kolefni-14 aldursgreiningum á þessum fimm áratugum og mikið má læra af reynslu þeirra sem hafa glímt við margvíslega erfiðleika eins og fram kemur hér í nokkrum tilvitnunum.

Niðurstöður geislakolsgreininga frá umfangsmikilli fornleifarannsókn í Kvosinni 1971-1975 olli vonbrigðum. Þeim hefur ekki verið treyst, álitnar næstum brotlegar, fjarri væntingum. Y V Kuzmin (2009, bls. 160) ræðir í bókinni um stöðu sem þessa:

**The association of samples for  $^{14}\text{C}$  dating and prehistoric events with assumed ages is a major problem. Often, the expected age is based on wrong assumptions, and the produced  $^{14}\text{C}$  date at first glance looks unreliable, even ridiculous, and only after re-evaluation of the initial provenance does a reasonable explanation arise for the difference between the expected and measured ages.**

Íslenskir fornleifafræðingar hafa nána samvinnu við gjóskulagafraeðinga en ónóga við kolefni-14 sérfræðinga. Í ritinu bendir Kuzmin á að (2009, bls. 162):

**Creative collaboration between archaeologists and  $^{14}\text{C}$  specialists is the key to any progress in the field of prehistoric time frames.**

Í framangreindu riti er víða fjallað um nýtt öflugt tól, tölfræði Bayes, sem á síðari árum hefur í vaxandi mæli verið beitt í túlkun á geislakolsgreiningum, þar sem vitneskja um viðfangsefnið getur þrengt verulega líkindaferilinn sem lýsir aldri mannvistarleifa. Bayes, stærðfræðingur og guðfræðingur, fann upp þessa aðferð á 18. öld. Í grein eftir J van der Plicht í framangreindri bók stendur:

**... when a series of dates is available...., the precision can be improved significantly. Such analysis is based on the so-called Bayesian statistics, by**

which in addition to the  $^{14}\text{C}$  measurements prior information is used. Bayesian analysis is even dubbed the “third radiocarbon revolution”.

Grunnatriði aðferðar Bayes verður beitt hér við úrvinnslu íslenskra geislakolsgreininga.

### 3. Kolefni-14 aðferðin

#### 3.1. Myndun og dreifing geislakols

Kolefni-14 myndast efst í lofthjúpi jarðar. Nifteindir losna þar stöðugt úr kjarna atóma við árekstur orkuríkra geimgeislaagna. Þegar nifteindirnar rekast síðan á kjarna köfnunarefnisatóma ( $\text{N}14$ ) myndast kolefni-14, geislakol, geislavirkt afbrigði (samsæta) af kolefni. Helmingunartími þess er 5568 ár.

$\text{C}14$  atómin bindast súrefni og mynda kolsýrusameindir,  $\text{CO}_2$ , sem berast með loftstraumum niður í lægri lög lofthjúpsins og blandast við kolsýruna sem þar er. Styrkur geislakolsins (remman) í kolsýrunni,  $\text{C}14/\text{C}12$  hlutfallið, vex þó ekki í andrúmsloftinu við þetta stöðuga  $\text{C}14$  innstreymi því geislavirk dofnun og  $\text{C}14$  tap til sjávar vega upp á móti viðbótinni. Remman hefur því haldist nærri stöðug í árþúsundir. Hvergi ná að myndast frávik í lofthjúpinum frá hnattrænni meðalremmu geislakolsins því blöndun loftstrauma og vinda er ör.

Dálítið flökt og langtímabreytingar (nokkur %) hafa þó á liðnum árþúsundum verið í remmunni vegna breytilegs innstreymis geimgeisla. Flöktið hefur töluverð áhrif á kolefni-14 aldursgreiningar og takmarkar iðulega þá nákvæmni sem mögulegt er að ná í tímasetningu geislakolsgreindra sýna. Þetta er rætt í kafla 3.6.

Stöðug skipti eru milli kolsýru andrúmsloftsins og karbonats sjávar.  $\text{C}14$  remman í yfirborðslagi hafisins og í sjávarlífverum er um 5% lægri en í loftinu því jafnvægi milli lofs og sjávar næst ekki að fullu vegna þess hversu hægur þessi  $\text{CO}_2$  flutningur er. Sýni úr dýrum og mönnum sem hafa fengið hluta af fæðu sinni úr sjávarfangi gefa því of háan geislakolsaldur (Árný E. Sveinbjörnsdóttir 2010). Þetta er í raun ekki

alvarleg takmörkun, aðeins þarf að sneiða hjá þessum sýnum í aldursgreiningum, t.d. beinum úr fólki þar sem fiskur getur verið umtalsverður hluti fæðunnar.

### 3.2. Kolefni-14 í nýmynduðum lífefnum

Kolefni er grunnþáttur alls lífræns efnis, lífefnis. Fyrstu sameindir þess verða til úr kolsýru andrúmsloftsins í plöntum (og í þörungum úr karbónati sjávar) við ljóslífgun með orku frá geislum sólar. Allt lífefni sem myndast þannig á yfirborði jarðar ár hvert hefur nákvæmlega sömu C14 remmu (sama C14/C12 hlutfall), hvar á jörðu sem það myndast og hver sem plantan er, og sama remma er í dýrum sem lifa á jarðargróðri.

Á hverju þröngu árabili (nokkrum árum), t.d. við upphaf landnáms, var C14 remman sú sama í ystu áhringjum trjáa, í grasi og í nýmynduðum vef í beinum dýra. Leifar af þessum efnum geta varðveist í aldir. C14 remma þeirra dvínar jafnt og þétt því í þeim er engin C14 endurnýjun eins og í andrúmsloftinu. Hún lækkar þar 1,0% á hverjum 80 árum, helmingast á 5568 árum og hefur fylgst að í þeim alla tíð. C14/C12 hlutfall þeirra felur því í sér upplýsingar um tímann sem liðið hefur frá vaxtarári gróðursins, aldur leifanna. Því eldra sem sýni er, þ.e. því lengri tími sem hefur liðið frá því lífrænu sameindirnar mynduðust við ljóslífgun (frá vaxtartíma), því minna er núna eftir af geislakoli þeirra. Kolefni-14 aldursgreining sýnis felst í því að mæla fyrst remmuna og leita síðan í fornum trjám að áhringjum með þekktan aldur að sömu C14 remmu. C14/C12 hlutfallið í þeim er lykillinn að ákvörðun vaxtartímans. Þetta eru sannreyndar grunnforsendur kolefni-14 aðferðarinnar.

### 3.3. Mælitölan BP, geislakolsaldur

C14 remma í lífrænum fornleifum er skilgreind með mælitölunni *BP* (skammstöfum fyrir *Before Present*). Á bak við þetta heiti (þar sem *Present* vísar til ársins 1950) er söguleg flækja sem ekki verður skýrð hér, en gróft séð gefur BP talan tímann í árum frá upphaflegri myndun

lífefnisins fram til ársins 1950, og má því kalla hana *geislakolsaldur* eða kolefni-14 aldur. Fyrir 100 eininga hækkun BP tölunnar vex aldurinn um það bil 100 ár. Mælitíð BP er gefin í einingu sem kallast villandi nafni, *C14 ár*, þótt þetta sé hrein tala og tengist tíma aðeins óbeint.

Allar aldursgreiningarstofur hafa C14 staðal (eða hliðstæðan), sem er oxalsýra framleidd úr gróðri frá 1953. Hlutfallið milli C14 remmu aldursgreindra sýna og staðalsins er mælt og geislakolsaldurinn BP er skilgreindur með jöfnunum:

$$BP = - 5568 \log(A_{\text{sýni}}/A_{\text{ox}})/\log 2 \quad (\text{vökvasindurtækni})$$

$$BP = - 5568 \log[(C14/C12)_{\text{sýni}}/(C14/C12)_{\text{ox}}]/\log 2 \quad (\text{AMS})$$

5568 er helmingunartími geislakolsins í árum,  $A_{\text{sýni}}$  og  $A_{\text{ox}}$  púlsafjöldinn á mínútu í vökvasindurmælingu fyrir aldursgreind sýni og oxalsýrustaðal og C14 og C12 er hlutfallslegur fjöldi C14 og C12 atóma í AMS greiningu.

### 3.4. Óvissa BP mælinga, $\Delta BP$

Hverri BP mæliniðurstöðu fylgir óvissa, hér táknuð með  $\Delta BP$  (stundum með  $\sigma$ ), sem hver stofa metur (og stundum vanmetur). Á áratugunum fyrir síðustu aldamót var óvissan iðulega vanmetin, en eftir aldamótin er það mun sjaldgæfara, enda er svigrúm fyrir strangt gæðaeftirlit nú mun rýmra vegna aukinnar afkastagetu stofanna.

Síðasta áratug hefur uppgefin óvissa í mæliniðurstöðum hjá flestum stofum verið um  $\pm 35$  C14 ár í reglubundnum aldursgreiningum. Óvissan  $\Delta BP$  minnir á að við getum ekki sagt nákvæmlega hver sé hin rétta BP tala sýnis. Mælda talan er álitin líklegust, en hvaða gildi sem er í þröngu bili fyrir ofan og neðan mældu töluna kemur líka til greina, en líkurnar minnka með vaxandi fráviki frá mæligildinu. Þessum líkum er lýst með Gauss-kúrfunni á Y-ásnum á Mynd 3. Líkurnar á því að rétta BP talan liggi einhvers staðar milli  $(BP - \Delta BP)$  og  $(BP + \Delta BP)$  eru 68%. Í greinum fornleifafræðinga eru niðurstöður iðulega túlkaðar út frá tvöföldu óvissubili, en þá eru líkurnar 96% að rétta talan liggi innan þessa bils.

### 3.5. Kvörðunarferill kolefni-14 aðferðarinnar

Árhringir í alda og árbúsunda gömlum trjám geyma forna C14 remmu, þ. e. eins og hún er nú eftir aldalanga eðlisbundna dofnun, 1,0% á hverjum 80 árum. Árhringjasýni með þekktan aldur sem spanna allan búsetutíma manna á Íslandi mætti sækja í bandarísku rauðviðarsneiðina sem er geymd í Náttúrufræðistofu Kópavogs (Mynd 1). Þar eru merktir árhringir frá nokkrum merkisárum í sögu Íslands. Vaxtartíma sérhvers árhrings má finna með því að telja fjölda yngri árhringja út að berki, en tréð var fellt árið 1973.

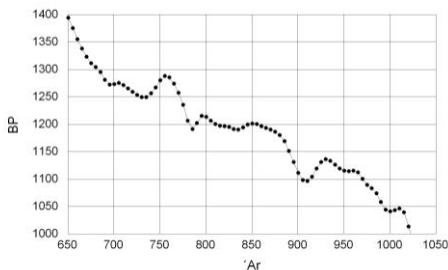


Mynd 1 Sneið úr 1300 ára gömlum bandarískum rauðviði, varðveitt í Náttúrufræðistofu Kópavogs.

Kolefni-14 remman hefur verið mæld með ítrustu nákvæmni í árhringjum frá síðustu 12 þúsund árum í gömlum lifandi trjám og í trjám sem hafa flest varðveist í jarðvegi. Oftast hafa 5 eða 10 samliggjandi árhringir verið í hverju mælisýni. Sýni frá sérhverjum áratug í bandarískri furu mæld í gasteljara hafa gefið sömu BP tölu (þ.e.



innan mælióvissu) og áhringir frá sama áratug í írskri eik mældir í vökvasindurnema.



Mynd 2 Áhringjaferillinn

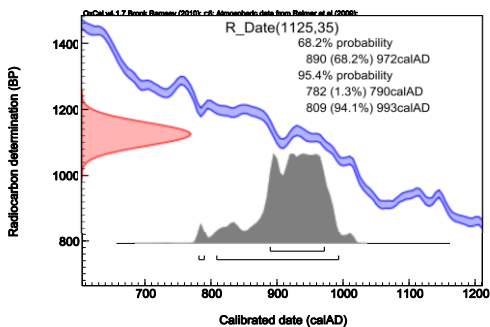
Mynd 2 sýnir kvörðunarferil kolefni-14 aðferðarinnar á tímabilinu AD 650-1050, þ.e. BP töluna sem fall af tíma, þar sem hver punktur er fenginn af mælingu 5 samliggjandi áhringja. Óvissan  $\Delta BP$  í þessum mælingum er 12-14 C14 ár. BP talan lækkar með lækkandi aldri áhringjanna, þó ekki jafnt eins og gert var ráð fyrir á fyrsta áratug aldursgreininganna, heldur eru óreglulegar bugður á ferlinum. Á nokkrum tímaskeiðum fellur ferillinn ekki heldur rís um árabíl.

### 3.6. Ákvörðun vaxtartíma

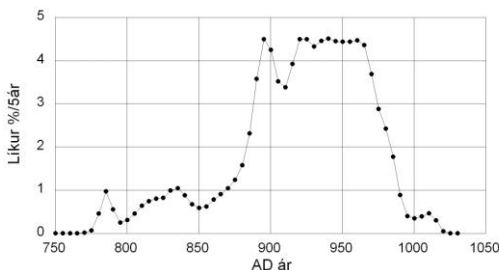
Eftir að BP tala sýnis hefur verið mæld (og óvissa metin) felst lokaskref kolefni-14 aldursgreiningar í því að finna áhringi á kvörðunarferlinum (Mynd 2) sem gefa nærri sömu BP tölu, þ.e. sem uxu á sama árabili og líffefnið í sýninu myndaðist.

BP tala sýnis er oft aðeins á einum stað á kvörðunarferlinum (t. d. þegar BP=1130), en getur verið á þremur (BP=1120) og jafnvel 5 stöðum. Stundum gefa öll sýni frá mörgum áratugum nærri sömu BP tölu, t.d. á tímabilinu frá AD 780-880, þá er hún mjög nærri 1200. Þegar við leitum að vaxtartíma sýnis með BP=1200±35, getur hann hafa verið hvenær sem er á tímabilinu AD 780-880. Þessi flati hluti

kvörðunarferilsins takmarkar mögulega nákvæmni geislakolsgreininga í íslenskum fornleifarannsóknum á mikilvægu tímabili.



Mynd 3 OxCal svar fyrir BP=1125±35.



Mynd 4 Líkindaferill fyrir BP=1125±35.

Vegna óvissunnar í BP tölunni og kvörðunarferlinum verður að lýsa vaxtartímanum með líkindaferli. Ferillinn ræðst af BP tölunni, óvissu hennar og lögun kvörðunarferilsins á óvissubili sýnisins, sem veldur jafnan óreglulegum ferli. Líkindaferillinn, eins og hann verður sýndur hér, gefur hlutfallslegar líkur á því að sýnið sé frá tilteknu 5 ára bili kvörðunarferilsins. Til einföldunar er oft látið nægja að gefa upp miðju þess árabils sem liggur innan marka staðalfráviks ( $\sigma$ , Mynd 3).

Líkindaferillinn fæst af forritinu *OxCal*, sem má fá á Netinu án endurgjalds. Þegar BP og  $\Delta$ BP sýnis hafa verið sett inn í viðeigandi reiti

fæst ferillinn og mörk eins og tveggja staðalfrávika líkindabilsins. Þetta er sýnt á Mynd 3 fyrir  $BP=1125\pm 35$ . Taka má afrit af líkindatöflunni í OxCal og flytja í Excel eða annað töflu/myndforrit og fá mynd með kvörðuðum Y-ás (Mynd 4) sem sýnir hlutfallslegar líkur (%) þess að sýnið sé frá tilteknu 5 ára tímabili kvörðunarferilsins. Þetta er rætt nánar í kafla 7.1.

### 3.7 Mæliaðferðir

Um þessar mundir eru einkum þrjár aðferðir notaðar til að mæla BP tölu sýna:

1. Hlutfallið milli fjölda C14 og C12 atóma er mælt í sérhæfðum massagreini (AMS aðferð, **A**ccelerator **M**ass **S**pectrometry, lang algengasta aðferðin).
2. Geislavirknin er mæld í vökvasindurnema (VST).
3. Geislavirknin er mæld með sýnið í gasformi ( $CO_2$ ).

Þriðja aðferðin er elst en er nú sjaldan notuð því nemarnir eru stórir (1-8 lítrar) og skýlingin (blý eða járn) utan um þá vegur mörg tonn. Nákvæmustu geislakolsmælingar síðari ára hafa verið gerðar með þessari tækni í Groningen í Hollandi (van der Plicht og fl. 2009).

Í reglubundnum aldursgreiningum er óvissan  $\Delta BP$  um þessar mundir oftast um  $\pm 35$  C14 ár, hvor aðferðin (VST eða AMS) sem er notuð. Verð AMS greininga er um 30-40% hærra en VST greininga því AMS kerfin eru dýr, kosta um 300 milljónir króna. Þau eru hinsvegar mjög afkastamikil. AMS stofur skila 2000-4000 aldursgreiningum á ári, en hvert vökvasindurtæki 100-150. Meginkostur AMS aðferðarinnar er að massi mælisýnanna (grafít) er um 1000-falt minni en vökvasindursýnanna (benzen). Um 10 grömm af viðarkolum þarf til að gera 3 ml af benzeni, en aðeins um 10 mg (um 1/10 af eldspýtu) fyrir grafítsýni AMS mælinganna.

Líklegt er að á næstu 10-20 árum muni nákvæmni AMS greininga aukast og verð á greiningum lækka nokkuð. Því er ráðlegt að setja í langtímageymslu öll mikilvæg sýni sem hugsanlega geta varpað frekara ljósi á aldur fornleifa. Þetta er auðvelt í ljósi smæðar sýnanna.

### *3.8 Sýni geislakolsgreind í íslenskum fornleifarannsóknum*

Í íslenskum fornleifarannsóknum eru hentugustu sýnin til geislakolsgreininga viðarkol og bein húsdýra. Hér verður einungis rætt um þessar tvær tegundir.

*Viðarkol.* Afar sjaldgæft er að viðarbútar frá landnámsöld varðveitist, þeir rotna oftast og hverfa. Þegar viður er brenndur verður ávallt dálítið eftir af koluðum viði. Viðarkol varðveitast sem ósnert í árþúsundir í jörðu vegna efnafræðilegra eiginleika þeirra. Öll viðarkol sem finnast við forna bústaði á Íslandi eru örugglega mannvistarleifar og hver moli er óskeikul klukka sem er gangsett á vaxtartíma áhringjanna í viðarkolunum, oftast af birki. Þá hefst niðurtalningin, þ.e. dofnun geislavirkinnar, því í trjánum er engin C14 endurnýjun.

Viðarkol henta mun betur til aldursgreininga en bein; þau finnast nær ávallt í fornum húsarústum og ruslahaugum, og sýnagerð þeirra er auðveldari en beina. Geislakolsgreining viðarkola gefur vaxtartíma viðarins, ekki hvenær hann var brenndur. Þetta getur valdið skekkju í tímasetningu mannvistarinnar. Rætt er nánar um þennan skekkjuvald, foraldur sýnisins, í kafla 4.3.

Þegar niðurstöðu geislakolsgreiningar á viðarkolum er hafnað vegna þess að hún víkur mikið frá því sem er talinn mögulegur aldur, þá hefur annaðhvort eitthvað misfarist í aldursgreiningunni eða að forsendur væntinga um aldur eru rangar. Oft er mögulegt að sannprófa aldursgreininguna með nýjum mælingum. Vert er að muna að rangar niðurstöður kolefni-14 greininga eru sjaldgæfar.

*Bein.* Bein húsdýra sýna örugglega tíma mannvistarinnar því þau hafa óverulegan foraldur (örfá ár) og henta að því leyti betur en viðarkol til

geislakolsgreininga. Þau finnast hinsvegar fremur sjaldan í húsarústum en ávallt í ruslahaugum. Við slök varðveisluskilyrði rotna beinin með tímanum og verða óhæf til geislakolsgreiningar.

*Forhreinsum mælisýna.* Margvísleg aðskotaefni, lífræn jafnt sem ólífræn, fylgja jafnan þeim sýnum sem tekin eru til aldursgreiningar. Staðlaðar aðferðir skilja mæliefnið – viðarkolin og kollagen beina – frá þessum efnum svo þau valda sjaldan skekkju. Forhreinsum viðarkolasýna er töluvert einfaldari en beina (Ramsey og fl. 2004).

### 3.9 Fjöldi aldursgreindra sýna

Í íslenskum fornleifarannsóknum hefði verið æskilegt að láta geislakolsgreina töluvert fleiri sýni en almennt hefur tíðkast á síðari árum, en þar hefur kostnaður vafalítið oft verið takmarkandi þáttur, hugsanlega einnig ástæðulitlar efasemdir um áreiðanleika aðferðarinnar.

Eftirfarandi verkefni er tekið sem dæmi um vönduð vinnubrögð. Fyrir nokkrum árum rannsökuðu erlendir vísindamenn 9 kolagrafir í Eyjafjallahreppi (Church og fl. 2007). Til aldursgreininga voru valdir viðarkolamolar með berki eða af mjórri grein, þ.e. með óverulegan foraldur. Þrjú sýni af viðarkolaleifum úr botni hverrar gryfju voru AMS aldursgreind svo traust vitneskja fékkst um BP tölu viðarkola úr hverri kolagryfju. Innra samræmi hverra þriggja mælinga var gott. Í þessari litlu rannsókn, sem tók fámennan hóp sennilega 1-2 vikur, voru alls 27 sýni aldursgreind.

Í fornleifarannsókninni í Reykjavík 1971-1975 (Nordahl 1988) voru liðlega 30 sýni geislakolsgreind, sem var óvenju mikill fjöldi á alþjóðlegan mælikvarða fyrir þann tíma frá einni rannsókn. Þremur áratugum síðar voru 28 sýni geislakolsgreind í rannsókninni að Hofstöðum (Lucas og fleiri 2010). Æskilegt hefði verið að fá þar töluvert fleiri, viðbótin einkum af viðarkolum. Í umfangsmiklum rannsóknum á upphafi og þróun landnáms á komandi árum er æskilegt

að láta geislakolsgreina 40-60 sýni þegar unnið er að því að leggja grunn að tímatali landnáms í öllum landshlutum.

### *3.10 Sýni úr húsarústum og ruslahaugum*

Þegar viði er brennt vetrarlangt í arni, er um vorið vart nokkur aska eða viðarkolamolar þar frá haustinu, hvað þá eldri molar, því reglulega þarf að fjarlægja öskuna. Í fornu torfbæjunum bárust viðarkolamolar í nokkrum mæli í gólflagið, en einu ári eða tveimur síðar var sennilega lítið eftir af þeim því gólfið var hreinsað öðru hverju. Þegar íveru í fornum bæjum lauk voru viðarkolin í eldstæðinu og gólfinu, sem fornleifafræðingar grafa upp öldum síðar, vafalítið að mestu frá síðasta misseri íverunnar. Geislakolsgreining viðarkola úr bæjarrústum sýnir því allajafnan hvenær búsetu lauk þar, oftast áratugum eftir að bærinn var byggður.

Í ruslahaugum bæjanna finnast hinsvegar viðarkol og bein frá öllum búsetutímanum og því dýpra sem þau liggja því eldri þau. Með geislakolsgreiningu sýna úr ruslahaugum má því lesa sögu búsetunnar. Af þessum sökum er mikilvægt að leita að ruslahaugunum og beina meginátaki aldursgreininganna að sýnum þaðan. Aldursgreining sýna úr ruslahaugum hófst fyrst með fornleifarannsóknunum í Mývatnssveit, en fjöldi sýna úr húsdýrabeinum þaðan hafa verið AMS greind (Lucas og fleiri 2010, Edvardsson og McGovern 2006).

## **4. Nákvæmni og skekkjuvaldar**

### *4.1 Föst skekkja (hliðrun) í BP mælingum*

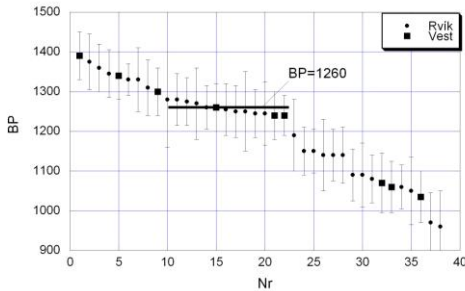
Alþjóðlegar samanburðarmælingar, sem meirihluti aldursgreiningarstofa tók þátt í, fóru fram á síðustu áratugum nýliðinnar aldar. Þegar niðurstöðurnar voru birtar fylgdu nöfn stofanna ekki, sennilega vegna þess að þær gátu verið viðkvæmt mál fyrir sumar stofurnar. Í ljós kom að föst skekkja, hliðrun (e. bias), var í niðurstöðum allmargra stofa, en mismikil (sjá t.d. Scott o.fl. 1998). Þessi skekkja kom sennilega einkum frá gerð staðalsýnisins. Þegar frávikkið frá réttu

gildi er svipað eða minna en óvissan í reglubundnum mælingum stofunnar kostar það töluverða vinnu að kanna hvort hliðrun sé í mælingunum og meta stærð hennar.

#### *Kolefni-14 stofan í Kaupmannahöfn.*

Skýrasta dæmið um hliðrun kom fram, en með öðrum hætti, í mælingum aldursgreiningarstofunnar í Kaupmannahöfn, en þar var notuð sama mælitækni og í Uppsölum (Rasmussen o.fl. 1999). Á árunum 1972-1993 var unnið að því að kortleggja þykktarmynstur áhringja í dönskum eikartjám fyrir síðustu þúsundir ára. Mæld var þykkt hvers áhrings í 92 þverskurðarsneiðum úr misgömlum dönskum eikum, sem flestar fundust í múrum, og sýni úr ystu áhringjum þeirra tekin til geislakolsgreiningar. Þegar lokið var við gerð þykktarmynsturs áhringjanna fyrir þúsundir ára fékkst vaxtartími geislakolgreindu áhringjanna svo vart skeikaði ári. Þegar þessu verkefni var lokið hafði kvörðunarferill geislakolsgreininga verið mældur (Mynd 2) og því mátti nú finna rétta BP tölu hvers sýnis sem hafði verið geislakolsgreint og hver skekkjan var í sérhverri ofangreindra 92 BP mælinga. Í ljós kom að BP talan hafði að meðaltali verið vanmetin um 45 C14 ár hjá stofunni, en mælióvissan (um  $\pm 60$  C14 ár) var rétt metin. Nákvæm aldursgreining víkingaskipanna sem fundust í Hróarskeldufirði byggðist á þykktarferli áhringjanna sem fékkst í þessari rannsókn.

*Stofan í Uppsölum.* Í fyrstu athugun minni á aldursgreiningum sýna frá Reykjavík og Vestmannaeyjum (mæld í Uppsölum, rædd í kafla 8.1) taldi ég eftir að hafa athugað ýmsar mælingar Uppsalastofunnar að sennilega væri ekki marktæk hliðrun í niðurstöðum hennar (Páll Theodórsson 1997). Í þessu endurmati kanna ég á annan hátt hvort sjá megi þar merki um hliðrun. BP tölur sýnanna frá Reykjavík og Vestmannaeyjum sem mæld voru í Uppsölum, er raðað eftir fallandi gildi á Mynd 5. Öll sýni frá 100 ára bili, AD 780-880, ættu að gefa BP nálægt 1200, þ.e. frá BP=1185 til 1215.



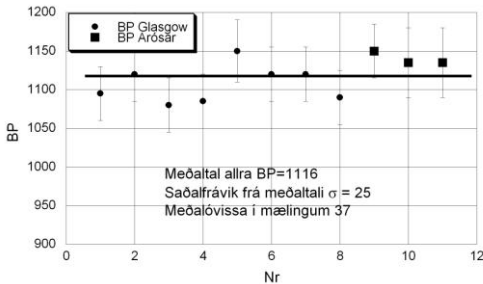
Mynd 5 BP tala sýna frá Reykjavík og Vestmannaeyjum.

Á myndinni blasir við sterk vísbending um +60 C14 ára hliðrun í mælingunum því 13 sýni gefa BP-tölu nálægt 1260, en við um 1200 er nánast eyða. Af þessari ástæðu, og einnig til að sýna varfærni í mati á aldri landnáms, hef ég í úrvinnslu á gögnunum í kafla 8.1 lækkað allar BP tölurnar frá Uppsölum um 60 C14 ár.

*Nákvæmni AMS mælinga, beinn samanburður.* Þegar mörg sýni frá þröngu árabili eru geislakolsgreind hjá tveimur stofum og BP tölunum ber saman innan mælióvissu er líklegt að óveruleg hliðrun sé í mælingum stofanna. Síðustu 15 ár hafa nær öll geislakolsgreind íslensk fornleifasýni verið mæld með AMS tækni, flest í Glasgow og Árósum. 11 sýni úr beinum nautgripa frá þröngu árabili úr ruslahaug við Hrísheima í Mývatnssveit voru aldursgreind, 8 hjá stofunni í Glasgow og 3 í Árósum (Edvardsson og McGovern 2006, Mynd 6).

Meðaltal sýnanna sem mæld voru í Glasgow er BP=1107 og í Árósum 1140. Tölfræðilega er þarna vart marktækur munur. Ennfremur má benda á að staðalfrávikid frá meðalgildi allra 11 BP talnanna (BP=1116) er  $\pm 25$  C14 ár, lægri en óvissan í stökum mælingum ( $\pm 35$  C14 ár). Þetta bendir sterklega til að óveruleg hliðrun sé í mælingum stofanna tveggja og reyndar einnig að óvissan sé metin varlega.





Mynd 6 BP tala sýna frá Hrísheimum mæld í Glasgow og Árósum

*AMS, samanburður við gjóskulög.* Gjóskutímatalið, sem Sigurður Þórarinnsson lagði grunninn að og þróaði, er mikilvægt í tímasetningu íslenskra fornleifa (Sigurður Þórarinnsson 1944). Í norrænu fornleifarannsókninni í Þjórsárdal sumarið 1939 veitti hann því athygli að allar fornleifar í dalnum lágu rétt fyrir ofan gjóskulag sem við vitum nú að kom úr gosi frá Veidivatnasvæðinu árið AD 871. Það hlaut því snemma nafnið *Landnámslagið*. Í ljósi nýrra upplýsinga er þetta villandi og leiðandi rangnefni og segir að sjálfsögðu ekkert um upphaf landnáms. Ég mun ég því kalla það V-871 að hætti jarðfræðinga. Það er gagnlegt með öðrum gjóskulögum til tímasetningar á elstu búsetu á Íslandi.

Gjóskulög má í einstaka tilvikum nota til að sannreyna niðurstöður geislakolsgreininga. Hér verða tekin tvö dæmi. Í rannsókn breskra vísindamanna á fornum kolagröfum við Markarfljót (Church og fleiri 2007, Mynd 2) lá uppkastið frá einni gröfinni þétt ofan á þunna gjóskulagi frá gosi AD 933 í Eldgjá og jafn þétt þar undir var þykkt öskulag frá gosi í Kötlu AD 920. Þarna var því gert til kola um AD 945. Það ár er geislakolsaldurinn samkvæmt kvörðunarferlinum  $BP=1119\pm 15$  en meðalgildi þriggja viðarkolasýna (mæld í Glasgow) var  $BP=1137\pm 20$ . Hér er samræmið gott.

Tvö sýni úr beinum nautgripa frá ruslahaug við Hrísheima voru geislakolsgreind í Glasgow (Ragnar Edvardsson og Thomas McGovern 2006). Þau lágu þétt ofan á V-871 laginu en undir gjóskulagi frá um 940. Þau gáfu BP=1200 og BP=1220, óvissan var  $\pm 35$  C14 ár í báðum mælingum. Um AD 880 er BP talan á kvörðunarferlinum  $1180 \pm 13$  en meðaltal beinasýnanna BP=1210 $\pm$ 25. Í þessum grófa samanburði er viðunandi samræmi milli AMS mælinga og gjóskulagatímata.

#### 4.2 Óvissumat BP mælinga

Við verðum einnig að geta treyst óvissunni  $\Delta$ BP. Alþjóðlegu samanburðarmælingarnar, sem rætt var um í kafla 4.1 sýndu að nokkuð bar á því að óvissan var í raun meiri en stofunnar gáfu upp.

*Óvissumat í mælingum frá Uppsölum.* Mynd 5 gefur vísbendingu um að óvissan sé rétt metin hjá stofunni í Uppsölum vegna þess hversu mörg sýni fyrir leiðréttingu gefa nálægt BP=1260 (BP=1200 eftir leiðréttingu), en þar var mælióvissan yfirleitt um 70 C14 ár.

*Óvissumat í AMS mælingum.* Sé óvissan  $\Delta$ BP rétt metin ætti staðalfrávik BP talna frá meðaltalinu í mælingum sýna frá sama tíma að vera sem næst  $\Delta$ BP. Mynd 6 sýnir að óvissan er rétt metin bæði hjá stofunum í Glasgow og Árósum.

#### 4.3 Foraldur viðarkola

Geislakolsgreining viðarkola gefur ekki árið (með óvissubili) sem viðinum var brennt heldur árin sem áhringirnir mynduðust. Áratugir geta skilið þessa atburði að. Þessi tímamunur í árum kallast foraldur eða eiginaldur sýnisins. Ég nota hér heitið foraldur. Hann getur valdið skekkju í tímasetningu mannvistar og stundum er vísað er til hans til að skýra hærri geislakolsaldur en búist var við. Málið er flóknara en ætla má við fyrstu sýn. Ég hef ekki séð umræðu um hvað felst í raun á bak við orðið eða hversu mikil skekkja getur verið af þessum sökum. Ég fer ég því nokkuð ítarlega í málið.

Fyrst þarf að líta á hvað felst í orðinu *foraldur*. Er hann 40 ár þegar grein með 40 áhringjum var brennd skömmu eftir að hún var hoggin af tré, eða telst foraldurinn 100 ár ef BP tala mælda viðarkolamolans er 100 C14 árum hærri en BP tala yngsta áhringsins? Hér mætti tala um *raunforaldur* í fyrra tilvikinu og *sýndarforaldur* í því síðara.

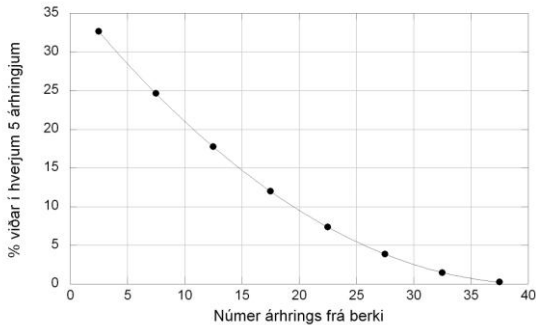
Í íslenskum fornleifarannsóknum eru viðarkolin oftast af birki. Dæmigerður lífaldur þess er 80-100 ár. Líklegt er að bolur birkitrjáanna og gildar greinar þeirra hafi einkum farið til smíða, en yngri greinarnar í eldivið, sem vart hafa verið geymdar lengi áður en þeim var brennt.

Þegar viðarkolamoli úr grein með t.d. um 40 áhringjum er tekinn til aldursgreiningar eru það ystu (yngstu) áhringirnir sem endurspegla aldur mannvistarinnar. Komi molinn frá innstu áhringjunum er sýnið um 40 árum eldra en sýni úr ystu áhringjunum sem gefur réttan aldur mannvistarinnar. Foraldursskekkjan í geislakolsgreiningu ræðst þó einungis af mismuninum í BP tölunni eins og hún var á vaxtartíma ysta áhringsins og áhringjanna í viðarkolamolunum, þ.e. af sýndarforaldrinum. Fram til þessa hefur þess t.d. ekki verið gætt að viðarkolamoli getur virst af BP tölunni að dæma verið yngri en yngsti áhringurinn.

Í eftirfarandi greiningu geri ég ráð fyrir til einföldunar að viðarkolin komi úr grein sem nýlega var höggvin af tré og að hún sé með 40 jafnþykkum áhringjum.

*AMS mæling.* 10 mg aldursgreindur moli getur komið hvaðan sem er úr þversniði greinarinnar. Líkurnar á því að hann sé frá innstu (þ.e. elstu) 5 áhringjunum er aðeins 0.2% því viðarmassi þeirra er líftill, en 32% að hann sé frá ystu 5 áhringjunum (Mynd 7). Fornleifafræðingurinn vill fá að vita hvenær greinin var hoggin af trénu, þ.e. hann vill fá BP tölu yngsta áhrings, BP(1), en mælingin gefur BP tölu (með óvissu) mælisýnisins, BP(n), n'ta áhring frá berki. Hversu mikið getur AMS mæld BP tala viðarkolamola, BP(n), vikið frá BP tölu yngsta áhrings, BP(1). Frávikið, sýndarforaldurinn, Fv(BP), er:

$$Fv(BP) = BP(n) - BP(1) .$$



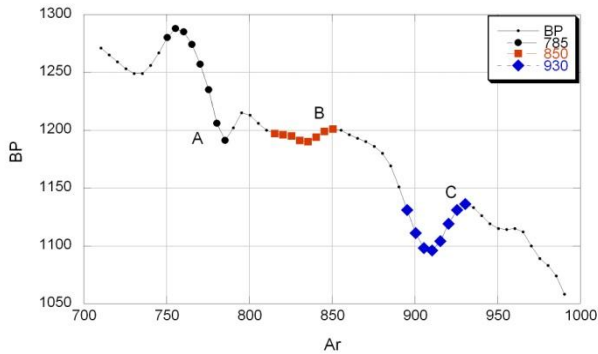
Mynd 7 Massi viðar í hverjum 5 áhringjum.

Það er  $Fv(BP)$  sem veldur skekkju í mati á aldri mannvistarinnar, ekki fjöldi áhringja í greininni, eins og almennt virðist hafa verið gert ráð fyrir.  $Fv(BP)$  ræðst bæði af því frá hvaða áhringjum ( $n$ ) hins brennda viðarbúts molinn er og frá hvaða tíma greinin er. Á Mynd 8 eru þrjú 40 ára tímabil auðkennd á tímabilinu AD 700-1000:

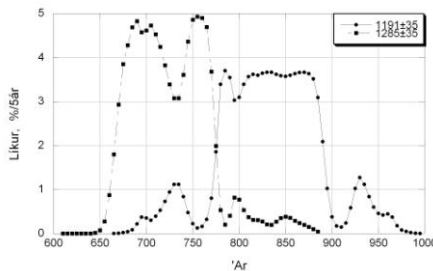
A: AD 785-750, B: AD 850-815 og C: AD 930-895.

Lítum á möguleg gildi á sýndarforaldrinum í áhringjahópnum þremur. Í hópi A er yngsti áhringinn frá AD 785. Í aðeins 25 árum eldri áhring, frá 760, er BP talan 91 C14 árum hærri. Líkindaferlarnir fyrir bilin tvö sem hafa þessi ár sem lægra mark eru sýndir á Mynd 8b. Ferlarnir eru í meginráttum svipaðir en um 110 ár skilja þá að þótt munur í raunaldri sé aðeins 25 ár.

Í áhringjahópi B getur BP tala eldri áhringja verið 11 C14 árum lægri en í yngsta áhringnum og í C getur hún verið 35 C14 árum lægri. Bugðurnar á kvörðunarferlinum valda þessu.

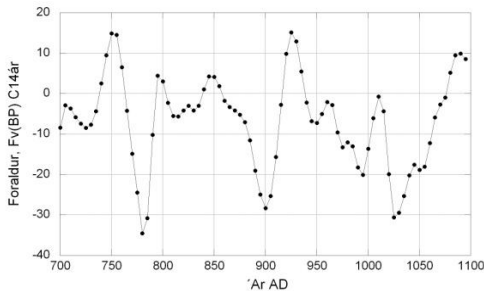


Mynd 8a Kvörðunarferillinn með tímabilum A, B og C



Mynd 8b Líkindaferlar fyrir AD 760 og 785.

*Vökvasindurmæling.* Sé sýni tekið til vökvasindurmælingar, um 10 grömm, er það oftast safn fjölda viðarkolamola sem koma nokkuð jafnt dreift úr öllu þversniðinu, um 32% úr 5 ystu áhringjunum, 24% úr næstu 5 og svo framvegis (Mynd 7). BP tala sýnisins verður þá nálægt vegnu meðaltali BP talnanna á 40 ára tímabili, vegið eftir líkum hverra 5 áhringja, þ.e. hlutfallslegs massa þeirra. Mynd 9 sýnir Fv(BP) þessa sýnis sem fall af AD ári á tímabilinu AD 700-1100 fyrir grein með 40 áhringjum. Ferillinn getur verið gagnlegur við túlkun á niðurstöðum.



Mynd 9 Fv(BP), sýndarforaldur fyrir 40 ára grein.

Af þessu er ljóst að það er ekki fjöldi áhringjanna, sem ræður skekkjunni í mannvistartímanum heldur frávikid BP(fv). Sýnið getur jafnvel sýnst yngra en yngsti áhringurinn. BP(fv) er að meðaltali um +7 C14 ár á tímabilinu AD 700-1000. Í aðeins 11% af þessu tímabili er BP(fv) meira en 20 C14 ár. Foraldurinn veldur því sjaldan alvarlegri skekkju.

Í AMS aldursgreiningu má draga verulega úr háum Fv(BP) gildum með því að velja nokkra mola, mylja þá og taka sýni úr mylsnunni. Þá nálgast Fv(BP) að vera svipað og fyrir vökvasindursýni.

#### 4.4 Samantekt: Nákvæmni, óvissa og foraldur

Af framangreindum athugunum á nákvæmni og óvissu í geislakolsgreiningum í íslenskum fornleifarannsóknum á liðnum áratugum hefur (eftir leiðréttingu á mælingum frá Uppsölum) verið sýnt að treysta má niðurstöðunum, bæði mældu BP tölunni og óvissunni. Engar séraðstæður ríkja á Íslandi sem hafa áhrif á geislakolsgreiningar. Foraldur viðarkola af birki veldur sjaldan alvarlegri skekkju. Sérhver viðarkolamoli sem finnst í rannsókn á fornleifum frá landnámsöld er mannvistarleif og óskeikul klukka. Það þarf því traust rök til að hafna niðurstöðum geislakolsgreininganna. Aflestur klukkunnar, mæling C14 remmunnar, og túlkun niðurstöðunnar, er hinsvegar vandaverk. Mistök

geta orðið í einstökum mælingum, og komi fram grunur um skekkju skal reynt að endurmæla sýnið eða mæla fleiri. Kolefni-14 aldursgreiningar á íslenskum fornleifasýnum eru því jafn áreiðanlegar og á erlendum. En hver er staða geislakolsgreininga í íslensku fræðasamfélagi um þessar mundir?

## 5. Kolefni-14 aldursgreiningar í íslenskri fornleifafraeði

### 5.1 Staða geislakolsgreininga í íslenskri fornleifafraeði

Kolefni-14 aðferðin er öflugasta verkfæri fornleifafraeðinnar til tímasetningar á mannvistarleifum. Erlendis er staða hennar traust, en hér á landi er hún talin bágborin eins og eftirfarandi yfirlýsing ber með sér (Lucas og fleiri 2010, bls. 43):

**Saga geislakolsgreininga á Íslandi, og þar með saga tímasetningar landnáms, hefur verið vörðuð vandamálum og deilum. ....Mistúlkun fornleifafraeðinga og annarra á niðurstöðum geislakolsaldursgreininga hefur verið viðvarandi vandamál, ekki síst vegna þess að menn hafa ekki horfst í augu við skekkjuvalda eins og þennan [þ.e. háan foraldur “landnámsbirkis”].**

### 5.2 Upphaf vandans

Vandinn er allur heimatilbúinn. Hann hófst um miðjan 8. áratug síðustu aldar þegar fjölmörg sýni (yfir 30 sýni) frá umfangsmikilli fornleifarannsóknnum í Reykjavík voru geislakolsgreind. Þegar nokkur hluti sýnanna hafði verið mældur bentu niðurstöðurnar til mun eldri búsetu en bókað landnám gerði ráð fyrir.

Sýnin voru mæld hjá aldursgreiningastofunni í Uppsölum, sem Ingrid U. Olsson veitti forstöðu. Hún þekkti vel tímatal Ara fróða, sem talið var hafið yfir vafa. Hún skýrði hinn háa aldur með tilgátu sem gerði ráð fyrir að staðbundin lægð væri í C14 remmunni í andrúmsloftinu yfir Íslandi vegna áhrifa frá hafinu (þar sem remman er um 5% lægri en í andrúmsloftinu) eða vegna útstreymis C14 snauðrar kolsýru á eldfjalla- og hverasvæðum. Væri tilgátan rétt var kolefni-14 aðferðin gagnslítill í íslenskri fornleifafraeði. Á grundvelli tilgátunnar

voru niðurstöður aldursgreininganna taldar ómarktækar. Else Nordahl, sem stjórnaði fornleifarannsókninni 1971-1974 í Reykjavík, nýtti þær ekki til tímasetningar á fornleifunum í skýrslu sinni, hún gaf einungis BP tölurnar í textanum en ekki vaxtartímann (Nordahl 1988).

Ingrid er þekkt fyrir vandvirkni í mælingum, en einnig fyrir að vera fljót að grípa til vanhugsaðra skýringa. Þar má benda á nokkur dæmi úr greinum hennar. Að hún skuli nefna tvær mögulegar skýringar á þessum háa aldri má taka sem vísbendingu um að hér hafi einungis verið um hugdettu að ræða, enda kynnti hún ekki tilgátu sína á prenti fyrr en um áratug síðar (1983), og þá einungis í stuttu máli, en ræddi hana vart þar né útskýrði. Ég hef síðustu tvo áratugi rætt tilgátu Ingridar um hafhrif við erlenda sérfræðinga, allir hafa þeir án hiks hafnað henni, einn kallaði hana “det rene sludder”. Báðir hlutar tilgátunnar voru afsannaðir í tveimur rannsóknnum breskra vísindamanna (Shore og fl. 1995, Dugmore og fl. 1995).

Ekki er óeðlilegt að sterkar efasemdir hafi ríkt um niðurstöður aldursgreininganna frá Reykjavík, því þótt trú á sannfræði fornþóknemntanna hafi á síðasta fjórðungi nýliðinnar aldar farið dvínandi var enn stuðst við landnámstímatál Ara fróða, enda er hann talinn hafa skrifað Íslendingabók AD 1100-1120, meira en öld áður en farið var að skrifa Íslendingasögurnar.

Í umfangsmiklum fornleifarannsóknnum síðustu 15 ára hefur athygli vísindamanna nær öll beinst að mannvistarleifum fyrir ofan V-871 lagið og þeir segjast nú vissir “um að landnám Íslands hafi átt sér stað á seinnihluta 9. aldar ..” (Lucas og Roberts 2010, bls. 43). Tímatál landnáms í Íslendingabók er því enn talið traust.

En er í raun hægt að treysta tímatáli Ara? Í Skírni birtist 1987 athyglisverð grein eftir Jónas Kristjánsson þáverandi forstöðumann Árnastofnunar, *Sannfræði fornsagnanna*. Þar kannaði hann af þremur dæmum hversu langt aftur í tíma megi treysta tímasetningu sem byggist á munnmælasögum og kemst að þeirri niðurstöðu að þessi tími sé um 120 ár. Jónas bendir þar á að elsti atburðurinn sem Ari fróði gat árssett



var fundur Grænlands 986 og að Ari gat ekki sagt hvenær Alþingi var stofnað. Ljóst er af þessu að vart má treysta því sem Ari segir um landnámið.

Efasemdarödd sem þessi hafði lítil áhrif. Í stórauðnum fornleifarannsóknum eftir aldamótin 2000 hafa komið fram fjölmargar sannanir um mannvist á Íslandi skömmu eftir 870, en þær segja ekkert um eldri mannvist. Í skýrslum fornleifafræðinga má einnig finna ótvíræðan vitnisburð og sterkar vísbendingar um mun *eldri* mannvist (Páll Theodórsson 2011b). Skáli 1 við Aðalstræti var reistur 100-200 árum fyrir AD 871, manngerð sótkorn hafa fundist víða á landinu undir 871 gjóskulaginu og þétt byggð var komin í Mývatnssveit skömmu eftir AD 870 og eldri byggð hlýtur að hafa verið komin nálægt Húsavík allöngu áður, en þar hefur ekkert verið gert til að leita hennar.

### 5.3 Ný tilgáta

Framangreind tilgáta var þó ekki gefin upp á bátinn fyrr en önnur leysti hana af hólmi (Guðmundur Ólafsson 1998). Í Víðgelmi, helli í Hallmundarhrauni, fannst eldstæði með fornum mannvistarleifum, beinum og viðarkolum, sem hlutu að vera frá sama tíma. Þrjú sýni voru AMS greind, tvö úr beinum af nautgripum (meðaltal BP=1088±22) en aðeins eitt af viðarkolum (BP=1225±30), sem nóg var þó af. Vitað er að Hallmundarhraun rann eftir 870 því V-871 lagið liggur undir því. Guðmundur dró af aldursgreiningunum þá ályktun að birkinu hefði verið brennt “allt að 150 árum áður en hraunið rann og hellirinn varð til.”, og:

**..að á landnámsöld hafi menn verið að brenna gömlum viði. Landnámsmenn komu að áður óbyggðu landi sem hafði verið viði vaxið um aldaradur. Þeir hafa að öllum líkindum byrjað á því að safna í eldinn feysknum gömlum viði sem hafði hlaðist upp svo öldum skipti fyrir landnám.**

Ef rétt, gat þessi tilgáta skýrt á einfaldan hátt hvers vegna sýni frá upphafi landnáms höfðu gefið svo háan aldur. Þessi tilgáta, sem hlaut að

hafa mikil áhrif á túlkun íslenskra geislakolsgreininga, hvíldi á veikum grunni, aldursgreiningu á einu viðarkolasýni.

Þessa tilgátu varð að staðfesta. Í rannsókn Fornleifastofnunar Íslands í Kvosinni 2001 fundust í skálanum koluð byggkorn og viðarkol þétt saman og voru því talin vera frá sama tíma (Garðar Guðmundsson og fl. 2004, Árný Erla Sveinbjörnsdóttir og fl. 2004). 8 pör af þessum nærri samliggjandi viðarkolum og byggkornum voru bæði í eldstæðinu og gólflagin. Þessi 16 sýni voru AMS aldursgreind. Afar sjaldgæft er að svo mörg sýni séu geislakolsgreind í þröngu viðfangsefni. Á þessu var gefin eftirfarandi skýring:

**A sampling program carried out throughout the excavation was designed to address some of the questions regarding the Icelandic <sup>14</sup>C dating problems.**

Nú skyldi komist til botns í “the Icelandic <sup>14</sup>C dating problems”, þ.e. hvers vegna birkisýni frá landnámstímanum gáfu óásættanlega háan aldur. Hér gafst tækifæri til að sannreyna tilgátu Guðmundar Ólafssonar.

Rætt er ítarlega um þessar mælingar í kafla 8.2. Mælingarnar sýndu að viðarkolin voru mun eldri en byggkornin og var þetta talið sanna tilgátuna um að viðarsýnin hafi gefið of háan aldur. Greinarhöfundar draga af þessu þá ályktun að “viðarsýni frá landnámstímanum gefa einfaldlega ekki réttan tíma mannvistarinnar” og því sé ekki hægt að nota viðarkol til að tímasetja upphaf byggðar á Íslandi (Árný E. Sveinbjörnsdóttir og fl. 2004).

Tilgátan er þó augljóslega röng, þess hafði ekki verið gætt að ævagamalt dautt birkisprek er ekki til, dauðar greinar sem liggja á botni skógarins eyðast við rotnun á örfáum árum. Um gamla sprekið sagði skógræðingur (Páll Theodórsson 2009, bls. 265):

.... sprek endist ekki nema örfá ár í skógarbotni áður en það fúnar.

#### *5.4 Geislakolsgreiningar á villigötu*

“Staðfestingin” á tilgátu Guðmundar beindi íslenskri fornleifafræði inn á þá villigötu sem hún hefur nú fylgt í rúman áratug. Viðarkol frá húsarústum og ruslahaugum, hentugustu sýnin, hafa vart verið geislakolsgreind í íslenskum fornleifarannsóknum síðustu 15 ár, nær einungis bein húsdýra (sjá t.d, Lucas og fleiri 2010, bls. 59).

Þessi takmörkun í vali sýna til geislakolsgreininga hefur verið keypt dýru verði því viðarkol finnast ávallt bæði í fornum húsarústum og ruslahaugum, en bein sjaldan í húsarústum, nema á Hofstöðum, en þar tengjast þau hugsanlega trúarathöfnum. Í Reykjavík og í Mývatnssveit hafa farið fram umfangsmiklar fornleifarannsóknir síðustu 10 ár. Þekking okkar á búsetuþróun á þessum stöðum er mun gloppóttari en hún gæti verið ef viðarkol hefðu einnig verið aldursgreind. Í smáritinu um upphaf landnáms (Páll Theodórsson 2011b) er bent á dæmi úr fornleifarannsóknum síðustu ára þar sem eðlilegt hefði verið að taka viðarkol til aldursgreininga en var ekki gert. Fleiri dæmi koma fram hér í síðari köflum.

## 6. Gjóskutímatal

Ég vil skjóta hér inn athugasemd um gjóskutímatalið. Þegar tímasetning bæjarrústa byggist á gjósku í veggjartorfi er hætta á rangtúlkun, því þá er jafnan talið víst að bærinn hafi verið byggður eftir að gjóskulagið féll. Svo þarf þó ekki að vera.

Veggi torfbæja þurfti oftast að endurhlaða, að hluta eða öllu leyti, 30-40 árum eftir að þeir voru fyrst hlaðnir. Þjóðveldisbærinn í Þjórsárdal var byggður á árunum 1974-1979, vafalítið úr vel völdu torfi. Síðastliðið sumar (2011), um 35 árum síðar, var norðurgafli bæjarins endurhlaðinn. Frá því að Þjóðveldisbærinn var byggður hefur Hekla gosið þrívégis, á árunum 1986-2000, og líklegt er að einhver gjóska sé frá þessum gosum í nýja norðurgaflinum. Sjáist hún þar útilokar það augljóslega ekki að bærinn hafi verið byggður fyrir 1986. Sjáist gjóska hinsvegar undir vegg og gólfi er ekki vafi á því að bærinn hafi verið hlaðinn eftir gosið sem gjóska kom frá.

## 7. Bætt úrvinnsla geislakolsgreininga

Á síðustu 10 árum hefur fjöldi sýna sem koma frá einstökum fornleifarannsóknnum vaxið mjög. Þessu fylgir að vaxandi kröfur verður að gera til ítarlegrar úrvinnslu mæligagna.

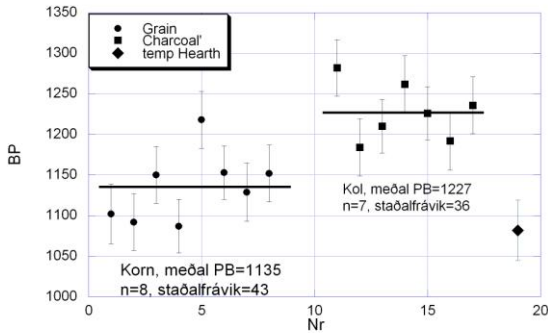
### 7.1. Líkindaferill fluttur í nýtt úrvinnsluforrit

Vaxtartími sýnis ákvarðast ekki einungis af BP tölu þess heldur einnig af óvissubílinu  $\Delta BP$ . Því verður vaxtartíminn ekki gefinn með ártali (nema til einföldunar) heldur með líkindaferli eins og bent var á í kafla 3.6. Lítum á tímasetningu geislakolsgreiningar sem gefur  $BP=1125\pm 35$ , þá sem tekin var sem dæmi í Mynd 3. Þar er sýnd niðurstaða OxCal forritsins, líkindaferillinn og mörk óvissubíla. Einfaldasta framsetning aldursákvörðunarinnar er að gefa miðju  $1\sigma$  bilsins sem vaxtartíma sýnisins og hálfa breidd þessa bils sem óvissu:  $AD\ 931\pm 41$ .

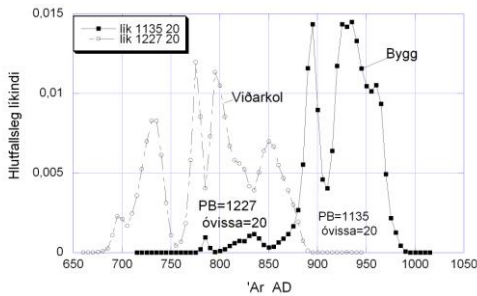
Vaxtartíma sýnisins verður þó, eins og skýrt var í kafla 3.6, aðeins lýst að fullu með líkindaferlinum á mynd 3. Þar var bent á að taka má afrit af líkindatöflunni í Oxcal og flytja í Excel eða annað svipað töflu/myndforrit og vinna síðan á ýmsan hátt með gögnin eins og sýnt verður í dæmum í síðari köflum.

### 7.2. Tölfræðileg úrvinnsla sýna frá sama tíma

Í úrvinnslu íslenskra geislakolsgreininga á síðari árum er líkindadreifing og óvissubíli OxCal forritsins oftast sýnd fyrir sérhvert sýni. Viðarkola/byggkorna pörin 8 frá skálanum við Aðalstræti, sem rætt var um í kafla 5.3, eru gott dæmi um hvernig má einfalda og styrkja úrvinnsluna miðað við það sem almennt hefur tíðkast. Það sýnir einnig hversu vandlega þarf að vinna úr gögnunum til að fullnýta þær vísbendingar sem í þeim felast.



Mynd 10 BP tölur byggs og kola.



Mynd 11 Líkindaferill fyrir viðarkol og byggkorn.

Í stað þess að sýna líkindadreifingu allra 16 sýnanna, eins og oftast hefur verið gert (sjá t.d. Árný E. Sveinbjörnsdóttir 2010), er hér einfaldara og skýrara að sýna fyrst á mynd BP tölur sýnanna með óvissubili þeirra (Mynd 10), og reikna meðaltöl fyrir kornin og kolin (“temp. hearth” sýni sleppt í úrvinnslunni hér) og staðalfrávikin frá meðaltölunum. BP meðaltal byggsins (með óverulegan eiginaldur) er 1135, en 1227 fyrir viðarkolin, sem geta haft töluverðan eiginaldur.

Hér staðfestir Mynd 10 það sem var reyndar tekið sem gefið, að byggkornin séu öll frá þröngu tímabili því staðalfrávik BP talnanna frá meðaltalinu ( $\pm 43$  C-14 ár) er svipað óvissunni í mælingunum ( $\pm 36$  C14 ár). Kolin (öll af birki) virðast einnig vera frá þröngu árabili því frávikðið frá meðaltalinu, staðalfrávikðið, er nærri það sama og óvissan í mælingunum, ( $\pm 35$  C14 ár). Viðarkolin eru greinilega eldri en byggkornin.

Eðlilegast er að sýna líkindadreifinguna einungis fyrir meðaltölin tvö því þau eru nákvæmari en einstakar mælingar (Mynd 11). Óvissan í meðaltali  $n$  endurtekinna BP mælinga er fræðilega  $\Delta B/\sqrt{n}$ . Samkvæmt þessu er óvissan í meðaltölunum tveimur um  $\pm 15$  C14 ár, bæði fyrir byggkornin og viðarkolin. Bent skal á að hér eru tveir líkindaferlar, sóttir í OxCal forritið, settir á eina mynd í öðru forriti. Ferlarnir sýna að kolin eru frá tímabilinu AD 715-875 og byggðið frá AD 885-970. Myndir 10 og 11 fela í raun í sér allt sem geislakolsgreiningin segir um aldur sýnanna.

### 7.3 Túlkun á niðurstöðum

*Túlkun vísindamannanna.* Vísindamennirnir voru í raun að kanna með þessari einstaklega ítarlegu rannsókn hvort treysta megi aldursgreiningum á viðarkolum frá landnámstímanum, en rannsókn Guðmundar Ólafssonar hafði gefið vísbendingu um að svo væri ekki. Þeir töldu fullvíst að birkinu hafi verið brennt á nærri sama tíma og byggðið var uppskorið þar sem bygg og kol í hverju pari fundust þétt saman og að öruggt væri að byggðið, sem er án foraldurs, gæfi réttan aldur mannvistarinnar. Þegar í ljós kom að aldur viðarkolanna var mun hærri en byggsins drógu höfundarnir af þessu eftirfarandi ályktun (Árný E. Sveinbjörnsdóttir og fl., 2004):

**As pointed out by Ólafsson, the wood collected by the first settlers in Iceland to build their fire had very likely been dead, possibly for more than a century. This makes "Settlement" wood unsuited for  $^{14}\text{C}$  dating as it can be much older than the archaeological context.**

Rökin fyrir ályktuninni hljóma sannfærandi og tilgátan um “landnámsbirki” var nú talin staðfest. Staðhæfingin að eldiviðurinn hafi verið ævagamalt dautt sprek er þó röng, dautt birki rotnar á örfáum árum (Páll Theodórsson 2009). Eldsneytið var ekki sprek heldur oftast birkigreinar sem höggnað voru af trjám sama ár og þeim var brennt. Ábending greinarhöfunda festi engu að síður rætur og hefur valdið því að síðastliðin 15 ár hafa nær einungis bein húsdýra úr húsarústum og ruslahaugum verið geislakolsgreind, til mikils skaða fyrir tímasetningar fornleifanna.

*Ósamræmi.* Hér blasir við tvöfalt ósamræmi. V-871 gjóskan er talin hafa legið undir gólfi skálans. Viðarkol í eldstæði eru jafnan frá lokaári búsetunnar (kafla 3.10). Þau ættu þá í þessu tilviki að vera mörgum áratugum yngri en V-871 gjóskan. Þetta er í ósamræmi við geislakolsgreiningu viðarkolanna. Þá eru byggkornin miklu yngri en viðarkolin, sem ekki geta verið komin af ævagömlu spreki. Hér virðist aðeins ein skýring möguleg á hinum háa aldri viðarkolanna, að á lokaskeiði íveru í skálanum hafi eldiviðurinn komið frá stoðum úr eldri skála sem hafi þá verið rifinn, ekki af nýhognum greinum.

Ósamræmi sem þetta kemur ekki ósjaldan upp í vísindum, að traustum aðferðum ber ekki saman. Ekki er þá skynsamlegt slá föstu hver sé hin rétta skýring og loka þannig málinu. Rétt er að leita frekari upplýsinga. Þær eru innan seilingar. Viðarkolin sem fundust undir gólfi skálans (Roberts 2002, bls. 39) eru örugglega eldri en skálinn, eða nærri jafngömul honum. Geislakolsgreining þeirra gæti varpað nýju ljósi á málið.

## **8. Úrvinnsla og túlkun geislakolsgreininga frá þremur rannsóknnum**

### *8.1 Geislakolsgreiningar frá Reykjavík*

Á áttunda áratug nýliðinnar aldar fóru fram umfangsmiklar fornleifarannsóknir í Reykjavík og Vestmannaeyjum. Niðurstöðurnar

komu á óvart, þær gáfu sterka vísbendingu um að landnám í Reykjavík hefði hafist 150-200 árum fyrr en talið var. Þetta var – og er enn – ekki talið geta staðist.

Ég vil nú rýna töluvert betur en áður í aldursgreiningarnar frá Reykjavík, brjóta málið til mergjar. Greining mín í Skírni 2009 og 2010 náði of skammt, þar útilokaði leyfileg lengd greinanna ítarlega tölfræðiúrvinnslu og efnið var of sérhæft fyrir lesandahóp tímaritsins. Ég lagði því ekki næga vinnu í úrvinnslu geislakolsgreininganna. Það styrkir umræðuna að nú hafa verið færð rök fyrir því að:

- (1) treysta má nákvæmni mælinganna,
- (2) treysta má óvissumati geislakolsgreininganna,
- (3) engar séraðstæður eru hér á landi sem skekkja mælingarnar,
- (4) ólíklegt er að foraldur birkisýna valdi verulegri skekkju.

Fyrst leiðrétti ég nú líklega 60 ára hliðrun í mælingunum frá Uppsölum, sem rætt var um í kafla 4.1. Við þessar mælingar bæti ég 6 aldursgreiningum frá Reykjavík úr seinni rannsóknnum. Geislakolsgreining viðarkolanna og byggkornanna frá skálanum á lóð Aðalstræti 14, sem rætt er um í kafla 7.2, eru sýndar sem tvær mælingar (meðaltölin). Tveimur sýnum er sleppt, þar sem óvissan er mjög há ( $\Delta BP=260$ ) og þar sem BP gildið er mjög lágt ( $BP=245$ ). Mynd 12 sýnir leiðréttu BP tölur sýnanna og óvissu þeirra, raðað eftir fallandi BP tölu.

Hér er fyrst og fremst leitað svara við tveimur spurningum: Hvenær hófst búseta samkvæmt þessum geislakolsgreiningum í Kvosinni og hvenær lagðist hún af?

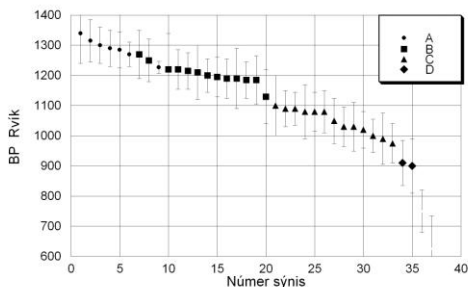
*Hefðbundin tölfræðileg úrvinnsla.* Á Mynd 12 er BP tölum sýnanna frá Reykjavík raðað eftir fallandi gildi og þær flokkaðar í 4 hópa eftir aldri:

- (A) Sýni með BP tölu sem er hærri en 1200 miðað við eitt óvissubíl, sýni nr 1-6 og 9.
- (B) Sýni með BP tölu þar sem 1200 er innan eins óvissubils, sýni nr. 7, 8 og 10-20.

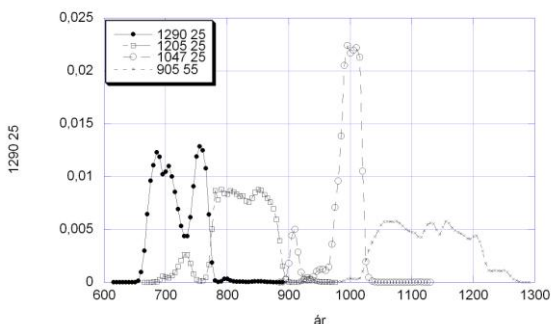


(C) Sýni nr. 20-33.

(D) Sýni nr. 34-35.



Mynd 12 BP tölur sýna frá Reykjavík.



Mynd 13 Líkindaferlar fyrir hópana 4 á mynd 12

Mynd 13 sýnir líkindadreifingu fyrir meðaltölin fjögur. Þar er notað að óvissan í meðaltalinu er lægri en óvissa einstakra mælinga, eins og útskýrt var í kafla 7.2. Í hópi A (elstu sýnin) eru 7 sýni með BP tölu sem er hærri en 1200 miðað við eitt óvissubíl. Má treysta því að þessi sýni séu eldri en frá því 100 ára langa tímabili þar sem öll sýni gefa BP tölu nálægt 1200 (AD 780-880), eða er þetta slembifrívík. Tölfræðilega má þá búast við að 16% af sýnunum í hópi B (13 sýni), eða að um 2 sýni, gæfu tölur sem féllu í hóp A, en þau eru 7. Þetta sýnir að sýnin eru

vafalítið eldri en frá AD 780. Líkindaferillinn fyrir hóp A segir þá að búsetan hafi hafist á tímabilinu AD 680-780. Líkindaferillinn fyrir hóp D sýnir að búsetu í Kvosinni líkur á tímabilinu AD 1020-1220.

*Grunnatriði í aðferð Bayes notuð.* Hér hentar aðferðarfræði Bayes vel til að ná meiru úr mæliniðurstöðunum, en hún byggist á því að nota einnig aðra vitneskju um viðfangsefnið. Skoðum gögnin í anda þessarar aðferðar. Við höfum hér 35 geislakolsgreiningar frá um 300 ára samfelldri byggð í Kvosinni, um 12 síni á öld. Telja má líklegt að þau hafi dreifst nokkuð jafnt yfir búsetutímann.

*Upphaf búsetu.* Sýnin 13 í hópi B eru frá um 100 ára tímabili (AD 780-880) og sami fjöldi (13) frá um 120 ára tímabili (AD 900-1020). Þetta styður tilgátuna um nokkuð jafna tímadreifingu sýna. Við getum því búist við að sýnin 7 í hópi A séu frá um 60 ára tímabili fyrir AD 780, þau elstu frá um AD 720.

*Lok búsetu.* Aðeins 2 síni eru í hópi D og samkvæmt sömu forsendu má búast við að þau komi frá um 20 ára tímabili eftir 1020, að búsetunni ljúki um AD 1040.

Þegar merki sjást um að búsetu ljúki er það stundum talið sýna að aðstæður hafi verið of erfiðar fyrir áframhaldandi búskap. Þetta gildir vart um Reykjavík, bæjarstæðin hafa vafalítið verið flutt. En hvert, hvar voru bæir íbúanna næstu aldir eftir AD 1020? Þetta er áhugavert rannsóknarverkefni sem lítill gaumur hefir verið gefinn. Nokkur lóðrétt örkolasníð á Reykjavíkursvæðinu gætu varpað ljósi á þetta.

*Vestmannaeyjar.* Dreifing leiðréttu BP talnanna frá Vestmannaeyjum er svipuð tímadreifingunni í Reykjavík (Mynd 5), en mun færri síni voru aldursgreind. Ég tel að aldursgreiningarnar bendi sterklega til búsetu þar á svipuðu tímabili og í Reykjavík. Leita mætti staðfestingar/höfnunar á þessu með örkolasníðum.

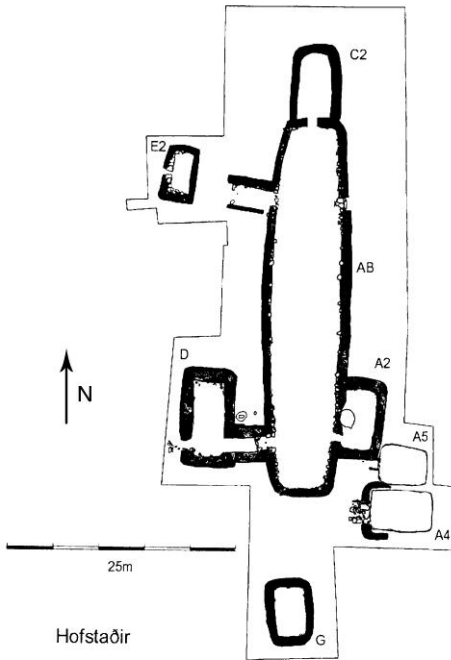
## 8.2 Aldursgreining sýna frá Hofstöðum í Mývatnssveit

Umfangsmestu fornleifarannsóknir á Íslandi á síðari árum fóru fram á vegum Fornleifastofnunar Íslands frá 1992 í Mývatnssveit, meginhluti þeirra á Hofstöðum. Erlendir vísindamenn áttu þar stóran og merkan hlut því þeir komu með margvíslega nýja tækni og reynslu. Mörgum þáttum rannsókna er lýst ítarlega í fjölmörgum framvinduskýrslum sem eru aðgengilegar á Netinu og heildarniðurstöðum á Hofstöðum í 440 blaðsíðna bók sem ég kalla hér Hofstaðabók (Lucas og fleiri 2009).

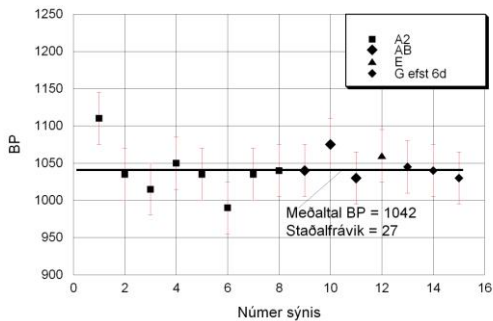
Í kafla bókarinnar þar sem fjallað er um aldursgreiningu rústanna út frá gjóskulögum og geislakolsgreiningum er textinn undarlega stuttur, liðlega tvær blaðsíður. Til að fá meiri upplýsingar um aldursgreiningarnar þarf að leita til framvinduskýrslanna.

Á Hofstöðum var grafinn upp stór skáli (AB) og nokkur minni mannvirki (Mynd 14). Ég ræði hér niðurstöður aldursgreininganna ítarlega því ef unnið er vandlega úr þeim kemur fram sterk vísbendingu um að tímasetningin á upphafi búsetunnar á Hofstöðum sé röng. Bærinn G, sem var dálítið niðurgrafið jarðhýsi, er talinn elsta mannvirkið á svæðinu. Þegar hann var byggður var grafið í gegnum öskulag sem eftir ítarlega rannsókn var talið vera V-871 lagið (Adolf Friðriksson og Orri Vésteinsson 1998). Í Hofstaðabókinni er hinsvegar sagt, án skýringa, að gjóskan sé frá gosi á Veiðivatnasvæðinu um AD 940 (V-940). Ég hef ekki fundið viðunandi skýringu á þessari túlkunarbreytingu.

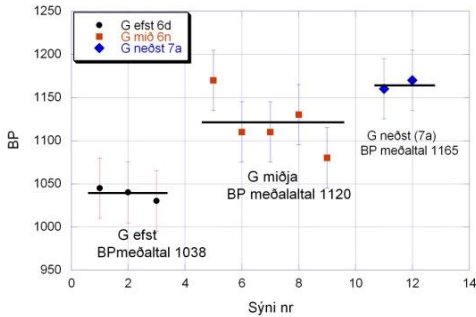
Álitið er að jarðhýsið G hafi aðeins verið nýtt í skamman tíma, 20-30 ár, hér verður reiknað með 25 árum. Tóft hússins var notuð sem ruslagryfja. Samkvæmt þessu mati var farið að nota bæjartóftina G fyrir rusl annaðhvort eftir AD 895 eða eftir AD 965, eftir því hvort miðað er við að grafið hafi verið í gegnum V-871 lagið eða V-940. Geislakolsgreiningar gefa sterka vísbendingu um að fyrri möguleikinn sé líklegri.



Mynd 14 Grunnmynd af mannvirkjum á Hofstöðum.

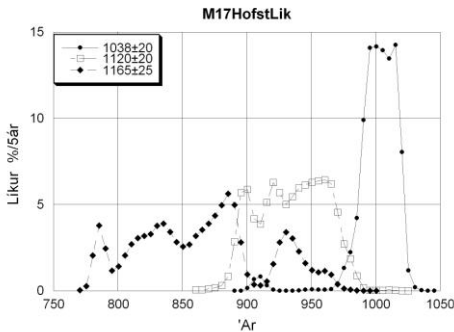


Mynd 15 Yngstu sýnin frá Hofstöðum.



Mynd 16 BP tölur sýna í ruslagryfju G.

Frá Hofstöðum voru 27 húsdýrabein AMS aldursgreind, en engin viðarkol, sem gnægð var þó af og hefðu vafalítið gefið ítarlegri upplýsingar um búsetuþróunina. Í bókinni er ekki gefin skýring á þessu, þótt það hljóti að vekja undrum þeirra sem þekkja til aðferða forleifarannsóknna. Skýringin er vafalítið trú á tilgátuna “landnámsbirki”.



Mynd 17 Líkindaferlar sýna í ruslagryfju G

Geislakolsgreindu sýnin frá húseiningum AB, A2 og E og þrjú yngstu (efstu) sýnin í ruslagryfju G virðast öll vera frá sama tíma (Mynd 15),

að öllum líkindum frá lokum búsetunnar á staðnum. En hversu gömul eru elstu sýnin í G? Mynd 16 sýnir BP tölur og óvissu sýnanna úr ruslagryfjunni G og meðalgildi BP talnanna fyrir sýnin úr dýptarlögnum þremur. Líkindadreifing meðaltalnanna er sýnd á Mynd 17.

Hér verður athyglinni fyrst beint að elstu sýnunum, þau sem lágu dýpst, sýnin tvö í lagi 7a. Meðaltal þeirra er  $BP=1165\pm 27$ . Aðferð Bayes er mikið notuð við túlkun á gagnasafni sem þessu, þar sem vitað er að aldurinn vex með dýpi. Þá má útiloka þann hluta líkindaferils beinanna í 7a sem kemur eftir AD 900, sýni frá þessu tímabili væru í miðlaginu. Sýnin í 7a eru því frá tímabilinu AD 780-880. Þetta samræmist ekki staðhæfingunni í Hofstaðabókinni, að grafið hafi verið í gegnum V-940 gjóskulagið þegar bærinn var byggður og fyrst hafi verið farið að kasta rusli í tóftina um AD 965. Hinsvegar samræmist það fyrri ályktun, að grafið hafi verið gegnum V-871 lagið. Þetta dæmi sýnir hversu mikilvægt er að vinna vandlega úr geislakolsgreiningunum og að það krefst traustrar þekkingar á kolefni-14 aðferðinni.

Möguleikar til að tímasetja jarðhýsið G voru ekki fullnýttir. Í gólfluginu fundust viðarkol sem eru frá þeim tíma sem var búið í bænum, enda var eldstæði þar. Þau eru eldri en sýnin í 7a. En hversu mikið eldri?

### 8.3 Upphaf búsetu á Hofstöðum

Það er fleira en geislakolsgreiningin sem bendir til að eldra tímatalið sé rétt. Hvorki í framvinduskýrslum né í Hofstaðabókinni hef ég fundið sannfærandi rök fyrir endurskoðuðu gjóskugreiningunni. Frá eldri hluta rannsóknanna á Hofstöðum (fyrir 1998) hafa 9 gjóskulagaþversnið frá svæðinu verið birt, afrakstur 15 daga vinnu sérfræðings í fjórum ferðum á árunum 1992 til 1997 (Magnús Á Sigurgeirsson 1998). Hvergi er þar minnst á dálítið yngra gjóskulag. Sumarið 1999 voru tekin tvö ný gjóskusnið við Hofstaði, en þar kom ekkert nýtt fram Samanburður við gjóskupþversnið í nágrenninu leiddi hinsvegar nýtt í ljós (Lucas 2009):

**However, a bombshell was dropped this season when, after comparative work on neighbouring site, it was realized that the LNS V-871±2 AD ..... was in fact V-940 AD.”**

Hvers vegna er tekið svo sterkt til orða hér? Ekki er óalgengt að vísindamenn þurfi að endurskoða túlkun í ljósi nýrra upplýsinga. Skýring mín er að þetta hafi verið þeim léttir því búseta að Hofstöðum svo skömmu eftir 870 var vart samræmanleg tímatali Ara fróða. Á þessum tíma var ekkert vitað um aldur búsetu á öðrum stöðum í Mývatnssveit.

Enn sterkari stuðningur við búsetu að Hofstöðum fyrir AD 940 kemur fram í samantekt í nýlegri framvinduskýrslu (Orri Vésteinsson 2011):

**Sumarið 2010 var í þriðja sinn gerð atлага að því að tímasetja fornþýli í Mývatnssveit og nágrenni. ....Því er nú vitað um sjö staði á þessu svæði sem mannvist hafði hafist fyrir ~940. ... Fyrir utan Hofstaði er hvergi hægt að fullyrða að byggð hafi ekki verið komin á fyrir ~940. .... Það má því álykta að flestir ef ekki allir þekktir bólstaðir á svæðinu hafi verið komnir í byggð fyrir ~940. Það eru alls 40 staðir sem vitað er um ...**

Er ekki ósennilegt, í ljósi þessarar nýjustu vitneskju, að aðeins á kostajörðinni Hofstöðum skuli búskapur hefjast *eftir* AD 940?

Af þessum upplýsingum tel ég að grafið hafi verið gegnum V-871 lagið en ekki V-940 þegar bærinn G var byggður. Í dagbókum vísindamannanna kunna að vera upplýsingar sem styrkja síðari túlkunina. Sé svo þá þarf að kynna þær mun betur en gert hefur verið til að hægt verði að ræða þau rök. Eins og fram hefur komið hér að framan og rætt er í næsta kafla eru góðar líkur á því að mögulegt verði að fá frekari aldursgreiningar á mannvirkum á Hofstöðum. Málinu er ekki lokið.

#### *8.4 Elsta mannvirkið á Hofstöðum?*

Fjórum metrum suðaustur af skálanum var dálítið niðurgrafið hús, A5 (Sunken Floored Building). Það kann að vera elsta mannvirkið á

svæðinu. Lýsingin á húsinu hefst með því að sagt er að elstu mannvistarleifarnar þar sé hrúga af viðarkolum undir gólflagi hússins. Þessar elstu mannvistarleifar í A5 voru ekki geislakolsgreindar. Í húsinu var eldstæði sem aðeins var notað á fyrra tímasteiðinu. Þar hafa vafalítið fundist viðarkol, enda er talið að þarna hafi verið járnvinnsla.

Þess er ekki getið hvort gjóska hafi sést í leifum veggjartorfsins eða undir veggnum. Ekkert virðist vitað um aldur hússins. Varla leikur vafi á því að geislakolsgreiningar á viðarkolum, allt frá viðarkolahrúgunni undir húsinu til viðarkola efst í gólfluginu, gætu gefið fróðlegar upplýsingar um aldur mannvistarleifanna. Þetta er enn eitt dæmi um glatað tækifæri til tímasetninga sem ekki var nýtt vegna þess að viðarkol þóttu ekki hæf til geislakolsgreiningar vegna trúar á vanhugsaða tilgátu um “landnámsbirki” með háan foraldur.

Um tímasetningu mannvistarleifanna á Hofstöðum má segja svipað og um fornleifarnar í Aðalstræti, það er dapurlegt að eftir þessa umfangsmiklu og kostnaðarsömu fornleifarannsókn skuli ekki vera vitað meira um tímaþróun búsetunnar en raun ber vitni vegna þessa að viðarkol voru ekki geislakolsgreind.

### *8.5 Aldursgreining með örkolum*

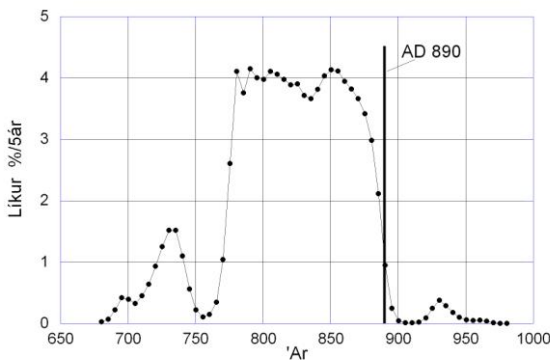
Að lokum vil ég benda á möguleika örkolaaðferðarinnar til að tímasetja upphaf búsetu að Hofstöðum. Örkol eru sótkorn í reyk. Sót frá eldi landnemanna settist í síþykkandi jarðveginn (Páll Theodórsson 2010). Samkvæmt mynd 2.10 í Hofstaðabókinni er jarðvegsþykkunin um 3 cm á öld. Sjáist sótið fyrst rétt fyrir ofan V-871 lagið, t.d. 1,0 cm, sýnir það að búseta hafi hafist þar um 30 árum eftir AD 870, eða um AD 900. Hugsanlega sést sótið 1,0 cm undir laginu, þá hefur búseta hafist þar um AD 840. Upplausnin sem má ná í rannsókn af þessu tagi svarar til um 15 ára (0,5 cm í þykkt). Þetta eru lauslegt mat en það gefur vísbendingu um möguleika aðferðarinnar. Nokkur örkolasnið á svæðinu geta að öllum líkindum gefið allnákvæmar upplýsingar um upphaf búsetu þar.



## 9. Útlagi í Surtshelli

Síðasta dæmið sækir ég í rannsókn á mannvistarleifum útlaga sem höfðu búið allvel um sig í Surtshelli í Hallmundarhrauni, í afkima sem er kallaður Vígishellir (Guðmundur Ólafsson og fl. 2004). Þeir hlóðu þar 7 m langa 3.5 m breiða hústóft úr grjóti. Ruslalagið í Vígishelli var 3-7 cm þykkt þegar sýnin voru tekin, en áður mun það hafa verið þykkra, 30-50 cm.

Áhugavert er að reyna að komast eins nærri og mögulegt er að því hvenær elstu útlagar Íslands sem vitað er um bjuggu tímabundið í hellinum. Hallmundarhraun rann skömmu eftir 870, því V-871 lagið liggur þétt undir því (Haukur Jóhannesson 1989). Þó sást sumstaðar 2ja til 3ja cm jarðvegslag milli hraunbotnsins og V-871 lagsins. Því kann nokkur tími að hafa liðið frá því að V-871 lagið lagðist yfir svæðið þar til hraunið rann, kannski áratugur. Vart hefur verið búandi í hellinum allengi eftir að hraunið rann. Miðað við kólnun hraunsins í Heimaey eftir gosið 1973 gæti nægileg kólnun hafa tekið 10-20 ár. Sé þetta nærri lagi gætu útlagarnir vart hafa búið um sig í hellinum fyrr en eftir AD 890.



Mynd 18 Líkindadreifing, bein í helli.

En hvað segja geislakolsgreiningar um aldur mannvistarinnar? Tvö bein úr nautgripum voru tekin til aldursgreiningar og gáfu þau BP 1197±36 og 1214±41. Mynd 18 sýnir líkindadreifingu meðaltalsins. Hér kemur þá aðeins til greina yngsti hluti ferilsins, milli AD 920 og 950.

Með frekari rannsókn má sennilega fá traustari vitneskju um aldur mannvistarleifanna. Nærtækast er að geislakolsgreina bein með meiri nákvæmni. Þá mundi það skýra myndina ef traustari vitneskja fengist um aldur Hallmundarhrauns. Nálægt hraunjaðrinum liggur 1-2 cm þykkt kolalag fyrir ofan V-871 lagið, sem er vafalítið kolaðar jurtaleafar af bruna þegar hraunið rann. Nákvæm aldursgreining á þessum koluðu jurtaleafum með ±15 C14 ára óvissu gæfi nákvæma tímasetningu á gosinu því kvörðunarferillinn fellur ört á því tímabili sem kemur til greina.

## **10. Framtíðarhorfur – geislakolsgreiningar við Raunvísindastofnun**

Í aldursgreiningum með vökvasindurtækni er oftast notað fyrirferðarmikið tæki sem er framleitt í Finnlandi, *Quantulus*, sem var þróað til margvíslegra mælinga á veikum geislavirkum sýnum. Það hentar vel til aldursgreininga, en kostar um 20 milljónir króna. Vegna kostnaðar eru sýni í reglubundnum mælingum sjaldan mæld í tækinu nema 2 daga, og er óvissan þá ±40 C14 ár þegar ungt 3ja ml benzensýni er mælt.

Stefnt er að því að setja á laggirnar aldursgreiningastofu við Raunvísindastofnun Háskólans, en þar hefur einfalt vökvasindurkerfi, ICELS, verið sérhannað til geislakolsgreininga. Það vegur aðeins um 30 kg en Quantulus vegur um 800 kg. Nákvæmni geislakolsgreiningarinnar ræðst af því hve löngum tíma er hægt að verja til að mæla hvert sýni (helst 7 til 14 daga) og er því mjög kostnaðarsamt að ná fyllstu nákvæmni með 20 milljóna tæki, en er vel viðráðanlegt með ICELS. Nákvæmni og stöðugleiki ICELS í geislakolsmælingum hafa verið könnuð vandlega og benda mælingarnar til að óvissan ΔBP í geislakolsgreiningunum geti til jafnaðar orðið um ±15 C14 ár þegar sýni

frá landnámstímanum verða mæld (Páll Theodórsson 2011a og 2012). Þetta er liðlega helmingi lægri óvissa en fæst í reglubundnum mælingum hjá erlendum aldursgreiningastofum. Þessi aukna nákvæmni getur styrkt mjög rannsóknir á upphafi og þróun landnáms á Íslandi.

Ekki er nóg að hafa vökvasindurkerfi til að mæla geislakolið, einnig þarf efnagerðarkerfi sem breytir viðarkolum og beinum í benzen (3 ml). Þetta kerfi hefur nú fengist með hagstæðum kjörum en uppsetning þess bíður þar til breiðari stuðningur við verkefnið hefur verið tryggður. Þessi aðstaða mun bjóða íslenskum fornleifafræðingum upp á eftirfarandi kosti:

1.  $\pm 15$  C14 ára óvissu, sem jafngildir nákvæmni sem fæst þegar 4 sýni eru tilreidd og mæld með AMS tækni til að ná þessari nákvæmni.
2. Hægt verður að endurmæla síðar sýni ef vafi ríkir um nákvæmnina eða óskað er eftir meiri nákvæmni.
3. Hægt verður að skila niðurstöðu fyrir mikilvæg sýni innan viku.
4. Strangt gæðaeftirlit verður með mælingunum þar sem gátasýni verða mæld reglulega til að sannprófa áreiðanleika þeirra.

## 11. Lokaorð

Kolefni 14 aðferðin er jafn traust í íslenskum fornleifarannsóknnum og erlendum. Niðurstöðurnar frá Reykjavík og Vestmannaeyjum sýna að búseta hófst á báðum stöðum löngu fyrir AD 870, sennilega skömmu eftir aldamótin AD 700. Þessum niðurstöðum hefur fram til þessa verið hafnað. Aðeins með opinni umræðu og frekari rannsóknnum verður hægt að útrýma vafanum. Dæmin sem hér hafa verið tekin af geislakolsgreiningum í íslenskum fornleifarannsóknnum sýna að það er vandaverk að vinna úr gögnunum og að túlka niðurstöðurnar. Loks er hér bent á stórbætta möguleika sem aldursgreiningastofa við Raunvísindastofnun Háskólans gæti boðið upp á.

## **Þakkir**

Grein þessi er unnin í verkefni sem er styrkt af Rannsóknasjóði Rannís. Ég þakka Gunnari Atla Thoroddsen fyrir tölvugerð mynda.

## **Heimildir**

- Adolf Friðriksson og Orri Vésteinsson 1998. Fornleifarannsóknir á Hofstöðum í Mývatnssveit 1995. *Archaeologia Islandica* 2, 92-109.
- Ágústa Edwald og Tom McGovern 2009. Skútustaðir midden investigations. NABO IPY Project Field Report.
- Árný E. Sveinbjörnsdóttir, Jan Heinemeier og Garðar Guðmundsson. 2004.  $^{14}\text{C}$  dating of the settlement of Iceland. *Radiocarbon*, 46 (1), 387-394.
- Árný Erla Sveinbjörnsdóttir 2010. 14C aldursgreiningar og nákvæm tímasetning fornleifa. Árbók hins íslenska Fornleifafélags, bls. 29-56.
- Church, M J, A J Dugmore, K A Mairs, A R Millard, G T Cook, G Sveinbjarnardóttir, P A Cough, K H Roucou, 2007. Charcoal Production During the Norse and Early Medieval Periods in Eyjafjallahreppur, Southern Iceland. *Radiocarbon* 49(2), 659-672.
- Dugmore J, G T Cook, J S Shore, A J Newton, K J Edwards og Guðrún Larsen 1995. Radiocarbon dating tephra layers in Britain and Iceland. *Radiocarbon* 37 (2), 379-388.
- Garðar Guðmunsson, Árný E. Sveinbjörnsdóttir, og Jan Heinemeier. Í Excavations at Aðalstræti 2003, 2004. Ritst. Gavin Lucas, bls 50-54. Fornleifastofnun Íslands.
- Guðmundur Ólafsson. Fylgsmíð í Víðigelmi 1998. Árbók hins íslenska Fornleifafélags, bls. 125-147.
- Guðmundur Ólafsson, Kevin P. Smith og Agnes Stefánsdóttir, 2004. Rannsókn á minjum í Surtshelli. Rannsóknaskýrslur Þjóðminjasafns.
- Haukur Jóhannesson 1989. Aldur Hallmundarhrauns. Fjölrit Náttúrufræðistofnunar 9
- Jónas Kristjánsson 1987. Sannfræði fornsagnanna. Skírnir 161. ár, bls. 233-269.
- Lucas, Gavin (ritst.) 2009. Hofstaðir, Excavation of a Viking age feasting hall in North-Eastern Iceland. *Fornleifastofnun Íslands*, 440 bls.
- Lucas, G og Howell M. Roberts 2010. Fornleifar í fersku ljósi. Í Upp á yfirborðið - Nýjar rannsóknir í íslenski fornleifafræði, ritst. Orri Vésteinsson, Gavin Lucas og Ragnheiður Gló Gylfadóttir, *Fornleifastofnun Íslands*.
- Magnús Á Sigurgeirsson 1998. Gjóskulagarannsóknir á Hofstöðum 1992-1997. *Archaeologia Islandica* 1, bls. 110-118.
- Magnús Á Sigurgeirsson 2010. Í (ritstj. Orri Vésteinsson). *Archaeological investigations in Mývatnssveit, Reykjadalur and Svartárkot 2010. Fornleifastofnun Íslands*, FS454-02264, bls. 72-80.

- McGovern, Thomas, S Perdicaris, Sophia, R Harrison, K Smiarowski og N Manigault, 2006, Norse Laboratory Report No, 32.
- Nordahl, E. 1988. Reykjavik from the archaeological point of view. AUN 12. Uppsala: Societas Archaeologica Upsaliensis.
- Olsson, I U 1983. Radiocarbon dating in the Arctic Region. Radiocarbon 25, 393-394.
- Orri Vésteinsson 2011. Í ritstj. Orri Vésteinsson, Archaeological investigations in Mývatnssveit, Reykjadalur and Svartárkot 2010. Fornleifastofnun Íslands, FS454-02264, bls 98.
- Páll Theodórsson. 1997. Upphaf landnáms og geislakolsgreiningar. Skírnir, 171. ár, 92-110.
- Páll Theodórsson 2000. Aldursgreining með kolefni-14. Náttúrufræðingurinn 69 (2) bls. 95-208..
- Páll Theodórsson, 2009. Upphaf landnáms á Íslandi 670 AD Skírnir, 183. ár, bls. 261-280.
- Páll Theodórsson, 2010. Hvað hét fyrsti landnámsmaðurinn? Skírnir, 184 ár. bls. 511-521.
- Páll Theodórsson 2011a. Balanced-Energy Counting Window for Stable Liquid Scintillation Radiocarbon Dating. Radiocarbon 53 (2).
- Páll Theodórsson 2011b. Upphaf landnáms á Íslandi. Skýrsla frá Raunvísindastofnun Háskólans.
- Páll Theodórsson 2012. High precision 14C routine counting and delayed recounting of LSC samples. Verður kynnt í júlí á ráðstefnu.
- Ramsey, Christopher Bronk, Thomas Higham og Philip Leach 2004. Towards high-precision AMS: Progress and limitations. Radiocarbon 46, bls. 17-24.
- Ragnar Edvardsson og Thomas McGovern (ed) 2006. Hrísheimar 2006. Fornleifastofnun Íslands.
- Rasmussen, Kaare L, Henrik Tauber, Niels Bonde, Kjeld Kristensen og Páll Theodórsson, 1999. A 23-years retrospective blind check of accuracy of the Copenhagen Radiocarbon dating system. Radiocarbon 41 (1), bls. 9-15.
- Renfrew, C. 1990/1973. Before civilization: The radiocarbon revolution and prehistoric Europe. London: Penguin.
- Robert, H M. (ritstj.) 2002. Fornleifarannsókn á lóðunum Aðalstræti 14-18, 2001. Fornleifastofnun Íslands FS156-00161.
- Roberts, H, M, (Ritstj.) 2004. Excavations at Aðalstræti, 2003. Fornleifastofnun Íslands, FS243-00162.
- Scott E M, D D Harkness og G T Cook 1998. Interlaboratory comparisons: Lessons to be learned. Radiocarbon 40 (1), 331-340.
- Shore, J S, G T Cook og A J Dugmore 1995. The 14C content of modern vegetation samples from the flanks of the Katla Volcano, Southern Iceland. Radiocarbon 35, 1-24.

- Sigurður Þórarinnsson 1944. Tefrokronologiska studier på Island. Munksgaard, Köbenhavn.
- Taylor, R E, 2009 Six decades of radiocarbon dating in New World archaeology. Í Celebrating 50 years of Radiocarbon. Radiocarbon 51, s 173-212.
- van der Plicht, Johannes, Hendrik J Bruins og Albert J Nijboer 2009. Í Celebrating 50 years of Radiocarbon. Radiocarbon 51, s 213-242.
- Þorsteinn Vilhjálmsson, 2010. Hvenær varð landnám manna á Íslandi. Skírnir 184 (vor 2010), Hið Íslenska bókmenntafélag, Reykjavík.