

Jökulhörfun og sjávarstöðubreytingar á Íslandi við lok síðasta jökulskeiðs

Sandra Ósk Snæbjörnsdóttir



Saga sjávarstöðubreytinga á Íslandi í kjölfar jökulhörfunar við lok síðasta jökulskeiðs er ekki auðskilin. Margir þættir hafa áhrif á hækkun og lækkun sjávarstöðu svo sem stækkandi jöklar og jökulhörfun, svörun jarðskorpu við auknu eða minnkuðu fargi og hnattræn hækkun sjávar vegna bráðnunar stóru meginlandsjöklanna. Margir óvissuþættir fylgja í kjölfarið sem flækja málið enn frekar.

Tilgangur þessarar ritgerðar er ekki að fjalla ítarlega um einstaka staði heldur að reyna að birta einhvers konar heildarmynd af jökulhörfun og sjávarstöðubreytingum á Íslandi á síðjökultíma og fram á nútíma. Tímasetningar eru í C14-árum nema annað sé tekið fram, og reynt er að feta meðalveginn eða notast við nýjustu heimildir þar sem þeim ber ekki saman.

Pleistocentími hófst fyrir um tveim milljón árum og lauk fyrir um 12 þúsund árum. Þetta er það tímabil í jarðsögunni sem einkennist af endurteknum jökulskeiðum sem hvert um sig vörðu í um 100 þúsund ár og styttri hlýskeiðum sem vörðu í um 10-20 þúsund ár. Síðasta jökulskeið, sem ber nafnið Weichsel í N-Evrópu, hófst fyrir um 115 þúsund árum. Sögusvið þessarar ritgerðar er síðari hluti Weichsel, frá því að jökulskeiðið náði hámarki sínu á Íslandi og þar til jöklar höfðu hörfað að og inn fyrir stöðu þeirra í dag.

Síðjökultími skiptist í hlýrri og kaldari tímabil. Bøllingskeið var hlýtt og hófst fyrir um 13 þúsund árum.

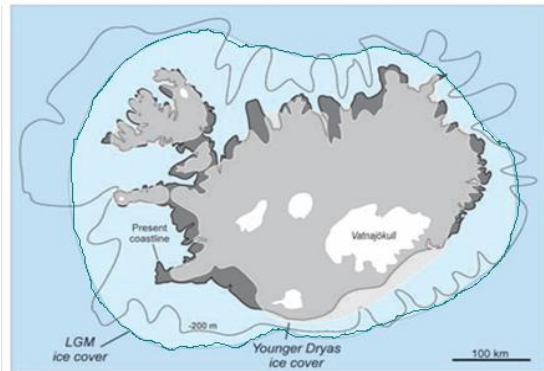
Hið kalda eldra Dryas tók við fyrir um 12 þúsund árum en það kemur lítið sem ekkert við sögu í þessari ritgerð. Allerød hlýskeiðið hófst fyrir um 11 þúsund árum og lauk þegar Yngra Dryas tók við fyrir um 11.800 árum.

| | | | |
|---------------------------------------|--------------|-------------|----------------------|
| Holocene 11 000 - present | Nútími | Subatlantic | 3660-1680 ár BP |
| | | Subboreal | 5970-3660 ár BP |
| Pleistocene 1.808 000-11.000 ár BP | Síðjökultími | Atlantic | 7900-5970 ár BP |
| | | Boreal | 9760-7900 ár BP |
| | | Preboreal | 10800-9760 ár BP |
| | | Yngri Dryas | 11000-10000 ár BP |
| | | Allerød | 11800-11000 ár BP |
| | | Eldri Dryas | 12000-11800 ár BP |
| | | Bølling | 13000-12000 ár BP |
| | | Weichsel | 115 000-10.000 ár BP |
| | | Eemian | |
| | | Saale | |
| Holstein | | | |
| Elster | | | |

Mynd 1: Tímaskalinn, Pleistocene og Holocene.
Mynd: SÓS, 2008.

Nútími (Holocen) hófst fyrir um 10.800 árum og hið hlýja og þurra Preborealskeið er fyrsta skeið Nútíma og jafnframt síðasta skeiðið sem sérstaklega er fjallað um í þessari ritgerð.

Hafa ber í huga að hér er ekki verið að tala um eiginleg hlý- og kuldaskið, einsog hin lotubundnu jökul- og hlýskeið Pleistocene heldur aðeins mun styttri tímabil undir lok Weichsel jökulskeiðsins.

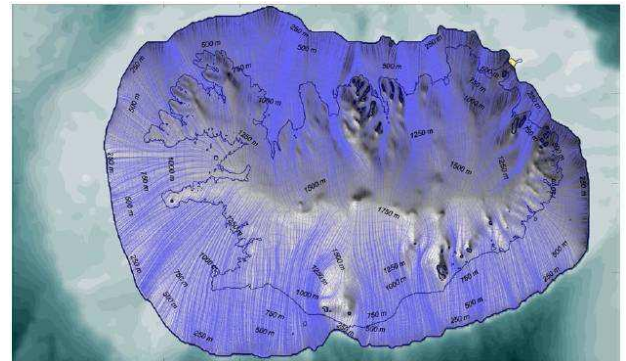


Mynd 2: Myndin sýnir útbreiðslu jökulsins við hámark Weichsel (LGM ice cover) og á Yngra Dryasskeiði. Gráar línur tákna landgrunnið. Mynd: Wolfarth ofl. 2008.

Hámark síðasta jökulskeiðs

Weichseljökulskeiðið náði hámarki á Íslandi fyrir um 18-20 þúsund árum. Útbreiðsla jökla á þessum tíma er ekki vel þekkt, en talið er að jöklar hafi skriðið langt út á landgrunnið frá ísaskilum sem þá lágu yfir landinu endilöngu. Jöklar gengu meðal annars norður fyrir Grímsey. Mönnum greinir á um hversu þykkur jökullinn var, frá 1000-1500 m og allt að rúmlega 2000 m þykkur. Jöklunin

var mjög umfangsmikil og sammælast menn um að íslaus svæði hafi umfram allt verið í háum fjöllum til stranda sem stóðu upp úr ísbreiðunni. Sjávarstaða á þessum tíma var mjög lág eða um 120 m lægri en hún er í dag vegna þess gríðarlega magns vatns sem bundið var í jökulskjöldum meginlandanna.

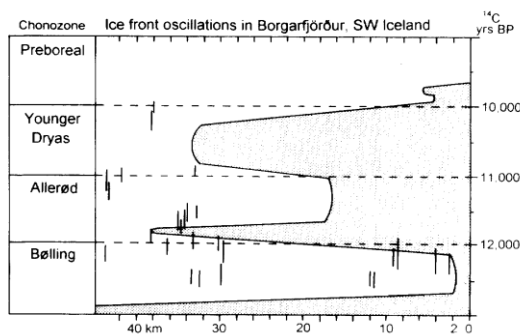


Mynd 3: Módel sem sýnir útbreiðslu jökulsins við hámark Weichsel (LGM). Mynd: Hubbard o.fl. 2006.

Jökulhörfun hefst...

Eftir að hámarki var náð tóku jöklar að hörfa nokkuð hratt. Jökulhörfunin var töluvert seinna á ferð hér á landi en annars staðar á norðlægum slóðum. Stóru meginlandsjöklarnir í Norður-Ameríku, Skandinavíu og á Barentshafi tóku allir að hörfa fyrir um 18 þúsund árum en hér hófst jökulhörfun ekki fyrr en fyrir um 15.500-13.600 úti fyrir Norðurlandi og enn seinna úti fyrir Vesturlandi, eða fyrir um 13 þúsund árum. Elstu merki um jökulhörfun frá Prebølling er að finna í Röndinni á Melrakkaslétu og setlög sem líklegast eru frá sama tíma

hafa fundist í Fnjóskadal. Ekki er vitað hvenær jökulhörfun frá ystu stöðum hófst úti fyrir Suður- og Austurlandi. Sú kenning hefur verið sett fram að ör hnattræn hækkun sjávarborðs í kjölfar bráðnunar stóru meginlandsjökla hafi leitt til þess að jaðrar íslenska meginjökulsins úti á landgrunni hafi flotið upp með þeim afleiðingum að ísinn kelfdi hratt. Jökulskjöldurinn, sem var að stórum hluta undir sjávarmáli, nánast hrundi saman í kjölfarið. Þetta virðist allavega hafa verið raunin úti fyrir Vesturlandi þar sem Faxaflói og strandsvæði Borgarfjarðar virðast hafa orðið íslaus nánast samtímis fyrir um 13.000-12.600 árum og sömu sögu er að segja um Ísafjarðardjúp.



Mynd 4: Framhlaup og hörfun jökuls í Borgarfirði á síðjökultíma. Myndin sýnir skýrt hina gríðarhröðu jökulhörfun sem átti sér stað við upphaf Bøllingskeiðs. Mynd: Ó. Ingólfsson 1997.

Bølling – hlýskeið á síðjökultíma

Gögn úr borkjörnum frá Norðurlandi gefa til kynna að áhrifa frá golfstraumnum hafi farið að gæta snemma á Bøllingskeiði, eða fyrir um 12 þúsund árum. Jöklar virðast víðast

hvar hafa hoptað hratt inn fyrir núverandi strandlínu þó hugsanlega hafi þeir enn legið úti fyrir strönd á Suðurlandi.

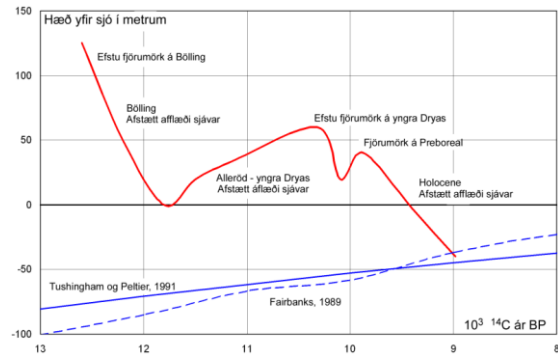
Sjávarstaða var há á þessum tíma, hæstu fjörumörk á Vesturlandi eru til að mynda frá þessu tímabili; Stóri-Sandhóll í mynni Skorradals markar sjávarstöðu í 150 m yfir sjávarstöðu dagsins í dag, auk þess sem fjörumöl í Stóru Fells-Öxl í austanverðu Akrafjalli markar sjávarstöðu í 105 m yfir sjávarmáli. Há fjörumörk frá þessum tíma er víðar að finna á landinu t.d. við innanverðan Breiðafjörð í um 110 m hæð miðað við núverandi sjávarstöðu, á Reykjanesskaga í um 70 m hæð og á Tjörnesi í um 90 m hæð svo dæmi séu tekin. Ástæða þess að fjörumörk mynduðust í þessari miklu hæð er sú að hörfun jökulsins af landgrunninum og inn fyrir núverandi strandlínu var hraðari en svo að ris jarðskorpunnar héldi í við hækkun hnattræns sjávarborðs.

Ekki er að fullu ljóst hversu umfangsmikil jökulleysingin var á þessum tíma. Jöklar frá lokum Allerødsskeiðs og á Yngra Dryasskeiði hafa eytt ummerkjum auk þess sem nútímahraun hafa runnið yfir önnur. Þó bendir margt til þess að jöklar hafi verið litlir eða jafnvel alveg horfnir af stórum hlutum landsins við lok Bøllingskeiðs.

Allerød og Yngra Dryas – jöklar stækka á ný

Eftir því sem jöklar héldu áfram að hopa við lok Bøllingskeiðs og í upphafi Allerød fyrir um 11.800 árum hóf land að rísa. Vegna jarðfræðilegrar sérstöðu jarðskorpunnar á Íslandi sem er bæði þynnri og heitari en gengur og gerist og lágrar seigju í deighveli möttuls var svörun við jökulhörfuninni mjög hröð og varð landris langt umfram hnattræna hækkun sjávarborðs. Sjór tók að falla frá landi og fjöllumörk færðust neðar. Var sjávarborð líklegast nálægt eða neðan við sjávarborð í dag. Loftslag fór kólnandi á nýjan leik þegar líða tók á Allerød, framrás jökla hófst á ný og náðu þeir langleiðina út undir núverandi strandlínu. Ástæða þessarar kólnunar er talin vera tæming stóru ísvatnanna í Norður-Ameríku og Baltíska ísvatnsins í Atlantshafið. Sú tæming hafði í för með sér að ferskvatnslinsa flaut ofaná hinum salta sjó og stöðvaði hita- og seltuhringrásina svo nýtt kuldaskið, Yngra Dryas, tók við.

Það var við lok Allerød og fram á Yngra Dryas sem Fossvogslögin tóku að hlaðast upp, en þau eru ein mikilvægasta heimildin um jarðlagaskipan á Reykjavíkursvæðinu frá Síðjökultíma.



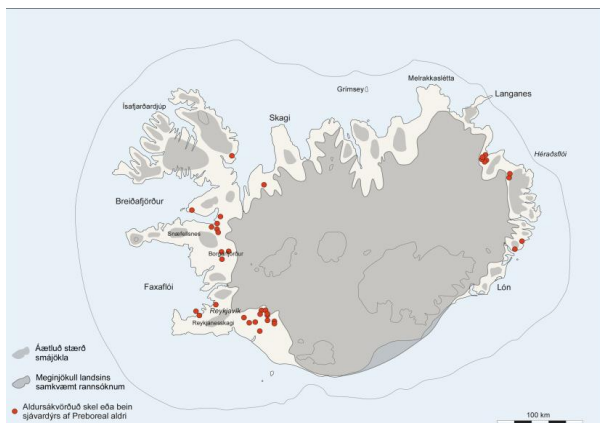
Mynd 5: Afstæðar sjávarstöðubreytingar á V- og SV-landi á síðjökultíma og við upphaf nútíma. Breytingar á legu yfirborðs Atlantshafs sýndar með bláum línunum. Mynd: H. Norðdahl o.fl. Í birtingu

Áhrif vegna aukinnar fergingar landsins vegna stækkandi jökla, auk hækkaðs hnattræns sjávarborðs vegna bráðnunar stóru meginlandsjöklanna leiddu til hækkaðs afstæðs sjávarborðs þegar líða tók á Allerødskeiðið. Það stóð sem hæst um mitt Yngra Dryas skeið, líklega um 50-70 m yfir núverandi sjávarstöðu. Jöklar héldu áfram að stækka og urðu stærstir á Yngra Dryasskeiði fyrir um 10.300 árum síðan. Þá gengu jöklar víða fram í firði, t.d. á Austfjörðum og í Hvalfirði og út fyrir strandlínu á Suðausturlandi, meðan skagar voru víða íslausir auk annesja á norðanverðum Vestfjörðum.

Aldursgreiningar gefa til kynna að Skóga- eða Veddegjóskan, þekkt gjóskulag sem bæði er að finna á Norðurlandi og í Vedde í Noregi, sé frá þessum tíma. Þetta þekkt lag hefur m.a. verið notað til að afmarka jökullaus svæði við Eyjafjörð og Skjálfanda.

Það var á Yngri Dryasskeiði sem Búðagarðarnir hófu að myndast, en

Það eru lengstu jökulgarðar á Íslandi. Þeir teygja sig 70 km eftir Suðurlandsundirlendinu í suðaustlægri stefnu, 25-45 km innan núverandi strandlínu og endurspeglar jökulhörfunina á Yngra Dryas og Preborealskeiði. Þeir byggðust upp við hærri sjávarstöðu fyrir framan jökul sem að verulegu leiti stóð í sjó. Ytri hluti garðanna er frá Yngra Dryas og er rúmlega 10 þúsund ára en innri hlutinn frá framrás jökulsins á Preboreal fyrir um 9.800 árum



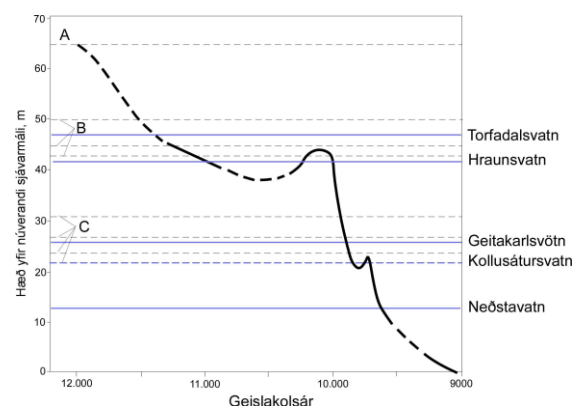
Mynd 6: Líkleg útbreiðsla jökuls á Preboreal tíma. Mynd: Norðdahl o.fl. Í birtingu.

Nútími nálægast – Preborealskeið

Lítið er vitað um hvenær jöklar tóku að hörfa eftir Yngra Dryas en gögn frá Norðausturlandi benda til þess að hörfunin hafi þegar verið hafin fyrir um 10.200 árum. Afstætt sjávarborð lækkaði um 40 m í kjölfar landriss við hörfunina. Jöklar tóku að ganga fram á ný undir lok síðjökultíma og við upphaf nútíma. Þegar þeir voru sem stærstir á Preborealskeiði fyrir um 9.800 árum voru þeir nánast jafn

umfangsmiklir, eða aðeins um fimmtungi minni en þeir voru þegar þeir voru sem stærstir á Yngra Dryas. Jöklar voru enn til staðar í dölum norðan Reykjavíkur og á Borgarnessvæðinu. Mestur munur milli skeiða var á Norðurlandi þar sem Skagi var að mestu íslaus á Preborealskeiði auk þess sem skriðjökullinn sem gekk út Eyjafjörð á Yngra Dryasskeiði hafði hörfað langt inn í landið

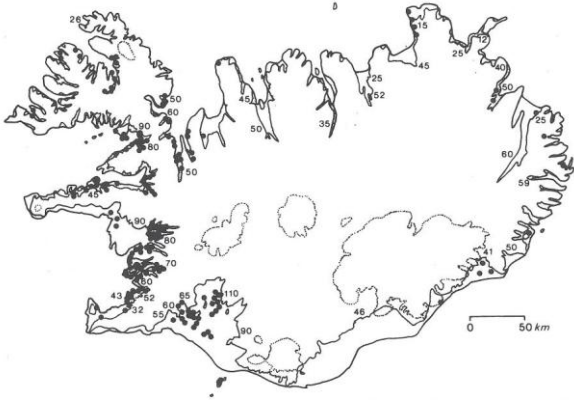
Eftir að Preboreal-hámarkinu var náð byrjuðu jöklar að hopa hratt og tók land að rísa á nýjan leik á miklum hraða. Sjávarborð féll hratt í kjölfarið og var lægst fyrir um 9.000 árum, tugum metra undir núverandi sjávarborði. Sem dæmi má nefna að sjávarborð í Faxaflóa var á þessum tíma um 40 m undir núverandi sjávarmáli.



Mynd 7: Landris á Íslandi 12.000-9.000 ár BP. Notast er við gögn úr setkjörnum úr ofantöldum vötnum til að ákvarða landris, þar sem skoðaðar voru hvenær breytingar milli ferskvatnssets og sjávarsets eiga sé stað. Mynd: Ó. Ingólfsson 2008.

Þegar þarna var komið við sögu voru jöklar við og innan þeirra marka sem þeir liggja í dag.

Á hverju byggist þessi saga – og það sem flækir málin



Mynd 8: Lína innan núverandi strandlínu sýnir stöðu hæstu fjörumarka. Fundarstaðir steingervinga eru einnig merktir inná mynd. Mynd: Ó. Ingólfsson, 1991.

Saga jökulhörfunar og sjávarstöðubreytinga á Íslandi er ekki auðskilin. Sú þekking sem er til staðar byggist fyrst og fremst á C14-aldursgreiningum á steingerðum skeljum úr sjávarseti sem flestar hafa verið greindar úr setkjörnum. Jarðlagaskipan í strandhéruðum þar sem sjávar- og ferskvatnsset skiptast á og jarðfræði hafsbotsins hafa að geyma mikla sögu. Auk þess má lesa miklar upplýsingar úr landformum, til dæmis geta jökulsorfnir dalir, djúpir firðir og stefna og lega jökulráka sagt til um útbreiðslu og skriðstefnu jökuls. Þá hafa jarðeðlisfræðilegar mælingar meðal annars verið notaðar til sýna útbreiðslu jökulruðnings og legu mögulegra jökulgarða.

Það sem flækir málin við rannsóknir á þessum ferlum er meðal

annars hversu gríðarlega hratt landris á sér stað á Íslandi vegna lítillar seigju í hinni þunnu og heitu jarðskorpu og deiga hluta möttulsins, en helmingunartími þess er um 250 ár, samanborett við t.d. 2000-2500 ár á Svalbarða. Sem dæmi má nefna að sjávarstaða á Reykjavíkursvæðinu féll um 45 m á minna en 900 árum og þegar leikar stóðu sem hæst reis land um 13 cm á ári. Aldurinn á hæstu strandlínu er einnig umdeildur og líklegast er hann misjafn milli landshluta.

Það flækir málin enn frekar hversu mismikið er til af upplýsingum milli landshluta. Mest er til af upplýsingum frá Vesturlandi og Suðvesturhorninu í kringum Faxaflóa. Sem dæmi má nefna Melbakka, Ásbakka og Skorholtsmela sem endurspegla sögu jökulhörfunar á Faxaflóasvæðinu. Melbakkar og Ásbakkar eru um 5 km langir og 30 m háir og í þeim er að finna lagskipt set þar sem þrjár syrpur af myndun sjávarsets eru greinilegar. Í Skorholtsmelum er meðal annars að finna aldursgreind setlög sem benda til framrásar jökla í Borgarfirði á eldra Dryas fyrir um 11.800 árum, en heimildir um þá framrás er einungis að finna á Borgarfjarðarsvæðinu. Einnig er þó nokkuð til af upplýsingum frá Breiðafirði og Barðaströnd. Lítið er vitað um sögu jökulhörfunar á Norðaustur- og Austur- og Suðurlandi,

og það sama má segja um hálendið. Aldursgreiningarhæf gögn hafa aðeins fundist á fáum stöðum á Austfjörðum, og þar hefur C14-aldursgreining tengd jökulhörfuninni nær einungis verið gerð á gögnum frá Vopnafirði.

Þá hafa hraun runnið á Nútíma á stórum svæðum, aðallega á Suðausturlandi en einnig Norðausturlandi og miðhálendinu. Sú mikla eldvirkni í kjölfar jökulhörfunar er talin hafa átt sér stað vegna hins gríðarlega fargs sem var létt af þegar jöklar hurfu.

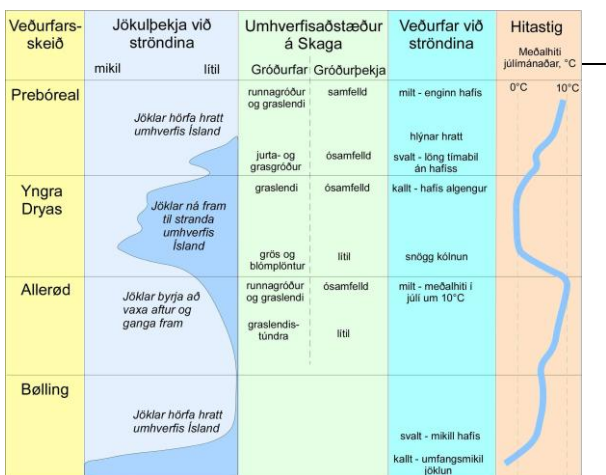
Að lokum ber að nefna svokallaða „C14-plataer“, það er að segja tímabil þar sem C14-framleiðsla í andrúmsloftinu hefur sveiflast mikið. Þetta er óvissuþáttur í C14 greiningum sem gerir mönnum til dæmis erfitt fyrir með að gera greinamun á aldursgreiningum á bilinu 10.000 +/- 300 C14 ár.



Mynd 9: Tímaás: Jökulhörfun og sjávarstöðubreytingar á síðjökultíma. Mynd SÓS, 2008

Samantekt:

Frá því að jöklar meginlandanna tóku að bráðna fyrir um 20 þúsund árum þar til fyrir 6 þúsund árum síðan hækkaði yfirborð heimshafanna um 120-130 m. Íslenski meginjökullinn byrjaði að hörfa fyrir um 15 þúsund árum, töluvert seinna en annars staðar á norðurslóðum. Jökullinn hopaði hratt, líklega hefur hann flotið upp frá landgrunninu og kelft með miklum hraða. Við lok Allerød fyrir um 11 þúsund árum kólnaði á ný, jöklar gengu fram og sjávarborð hækkaði. Við lok Yngra Dryas hopuðu jöklar og afstætt sjávarborð lækkaði. Jöklar gengu svo fram á nýjan leik á Preboreal tíma, og náðu hámarki fyrir 9800 árum. Upp frá því hófst hröð



Mynd 10: Samantekt: Saga jökulhörfunnar og umhverfissaga á Síð-Weichsel og fram á Nútíma. Mynd Ó. Ingólfsson, 2008.

jökulhörfun og var sjávarborð lægst fyrir 9000 árum, þá tugum metra undir núverandi sjávarmáli. Á þeim tíma voru jöklar innan og við þau mörk sem þeir liggja í dag.

Heimildir:

Ólafur Ingólfsson 1998: Isavsmältning och israndlinjer på Island, *Israndlinjer i Norden* 109-124

Hreggviður Nordahl, Ólafur Ingólfsson & Halldór G. Pétursson: Síðjökultími og ísaldarlok á Íslandi, jökla- og sjávarstöðubreytingar, í *birtingu*.

Hreggviður Nordahl & Halldór G. Pétursson 2005: Relative Sea-Level Changes in Iceland: new Aspects og the Weichselian Deglaciation og Iceland, *Elsevier, Amsterdam* 25-88

Barbara Wohlfarth, Svante Björck, Svend Funder, Michael Houmark-Nielsen, Ólafur Ingólfsson, Juha-Pekka Lunkka, Matti Saarnisto & Tore Vorren 2008: Quaternary of Norden, *Episodes, Vol. 31, no. 1* -9

Ingibjörg Kaldal & Skúli Víkingsson 1990: Early Holocene deglaciation in Central Iceland, *Jökull no. 40*, 51-66

Alun Hubbard, David Sugden, Andrew Dugmore, Hreggviður Norðdahl & Halldór G. Pétursson 2006: A modelling insight into the Icelandic Last Glacial Maximum ice sheet. *Quaternary Science Reviews* 25, 2283-2296

Steven L. Forman & Ólafur Ingólfsson 1999: Late Weichselian glacial history and postglacial emergence of Phippsøya, Sjuøyane, northern Svalbard: a comparison of modelled and empirical estimates of a glacial-rebound hinge line. *Boreas, vol. 29*, 16-25.

Ólafur Ingólfsson, Svante Björck, Hafliði Hafliðason & Mats Rundgen 1997: Glacial and climatic events in Iceland reflecting regional North Atlantic Climatic shifts during the Pleistocene-Holocene transition. *Quaternary Science Reviews* 16, 1135-1144.

Hreggviður Norðdahl 2005: Síðjökultími og ísaldarlok á Íslandi, <http://www.ni.is/midlun-og-thjonusta/hrafnathing/greinar/nr/79>
Skoðað 14.04.2008

Ólafur Ingólfsson 2007: Stóð sjávarborð við Ísland hærra eða lægra á Þjóðveldistímanum en í dag? <http://visindavefur.is/svar.php?id=6931>;
Skoðað 16.04.2008.

Einnig var stuðst við glósur úr tímum í Jarðsögu 2, vorið 2008.