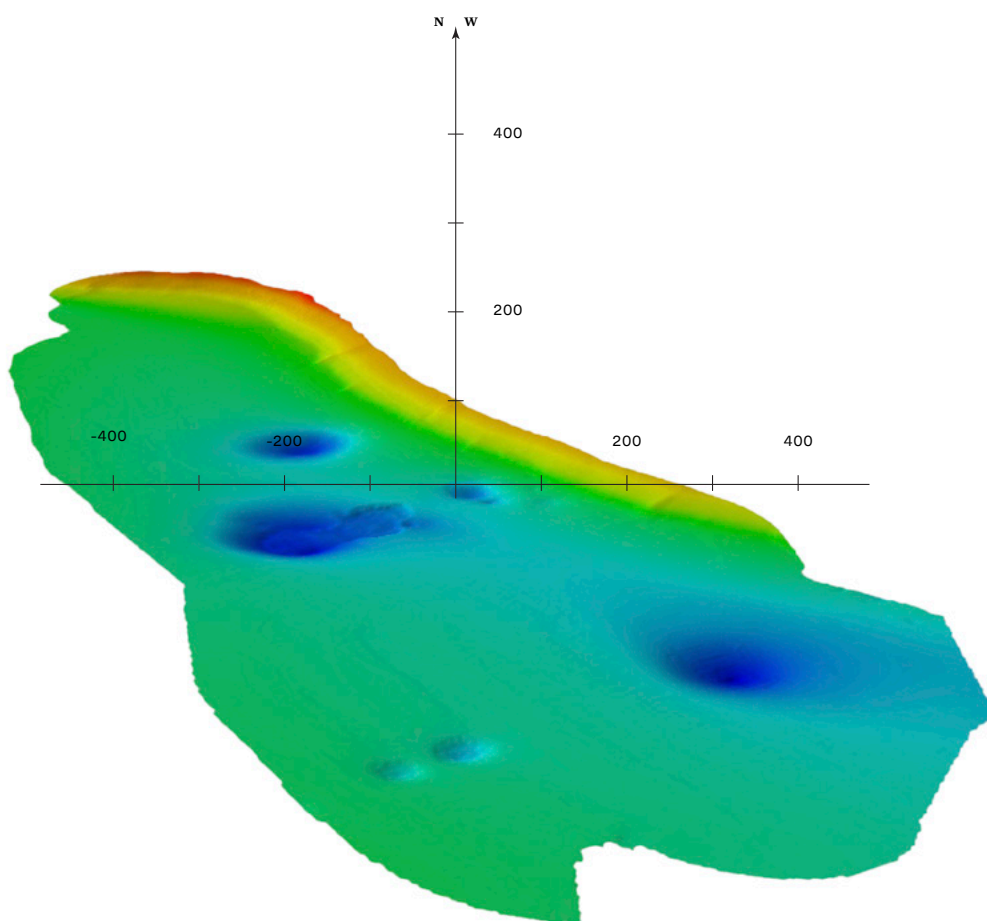


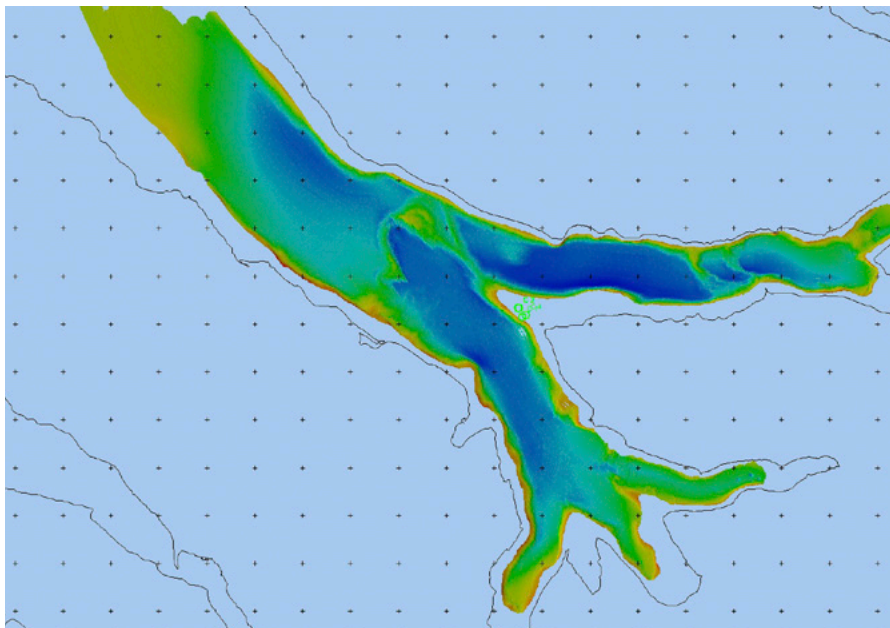
Holur á botni Geirþjófsfjarðar og líklegur uppruni þeirra



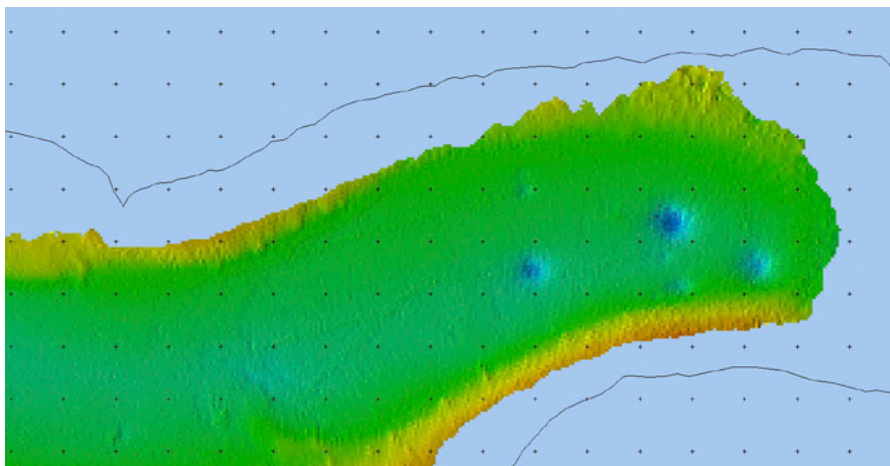
INNARLEGA Í GEIRÞJÓFSFIRÐI, sem er einn af Suðurfjörðum Arnarfjarðar, eru stórar holur í botnsetinu, og er stærsta holan 280 metrar í þvermál og 20 metrar á dýpt. Botninn umhverfis holurnar er á rúmlega 70 metra dýpi. Holurnar voru fyrst kortlagðar í leiðangri rs. Árna Friðrikssonar 2002. Köfunarþjónustan ehf. kannaði þær nánar í október og nóvember 2022.

Hér verður holunum lýst á grundvelli framangreindra mælinga. Birt eru gögn sem gefa færi til ágiskana um uppruna þeirra. Gögnin gefa einnig upplýsingar um virkni í holunum á undanförunum árum.

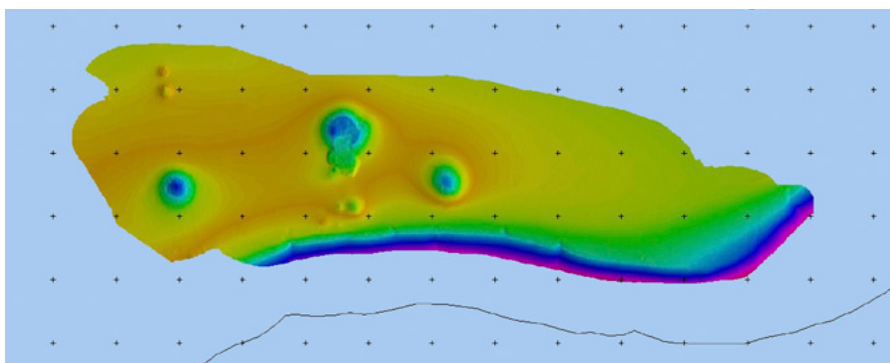
Gískað er á að holurnar hafi myndast við uppstreymi vökva. Ljóst er að frekari rannsókna er þörf til staðfestingar þeirrar tilgátu, t.d. könnunar á eðli vökvans.



1. mynd. Fjölgeisla-dýptarkort byggt á mælingum Hafrannsóknastofnunar 2001 og 2002. Dökkblár litur markar mesta dýpið, meira en 100 metrar. – A multibeam chart of Arnarfjörður, NW-Iceland, made from Marine Research Institute data from 2001 and 2002.



2. mynd. Mælingar Hafrannsóknastofnunar innst í Geirþjófsfirði leiddu í ljós stórar holur í botninum. Sjávardýpi á svæðinu er um 70 metrar, en holurnar ná allt að 20 metrum niður fyrir það dýpi. Byggt á gögnum Hafrannsóknastofnunar. – A detail from the MRI surveys. This is in Geirþjófsfjörður, and shows holes in the bottom sediment. The holes are dug into the fjord bottom at about 70 metres' depth.



3. mynd. Svæðið sem mælt var í nóvember og desember 2022. Litirnir tákna mismunandi dýpi, og bil milli hnitakrossa er 200 metrar. – A survey by the Icelandic Diving Service in Nov.-Dec. 2022 provided a more detailed view of the holes.

INNGANGUR – HOLUR KORTLAGÐAR

Árin 2001 og 2002 fór fram árleg kvörðun dýptarmæla í rannsóknarskipinu Árna Friðrikssyni í Arnarfirði. Í hléum var fjölgeislamælir skipisins gangsettur og mælt með honum í firðinum. Unnið var úr þessum gögnum og útbúið kort af firðinum (1. mynd). Þetta kort gaf ýmsar upplýsingar um botn fjarðarins. Þar á meðal komu í ljós smáatriði í lögun þverhryggja (jökulgarða) á botninum.

Samkvæmt ábendingu Guðmundar Bjarnasonar skipstjóra var ákveðið síðara árið að mæla langt inn eftir Geirþjófsfirði. Rækjusjómenn höfðu sagt honum frá misdýpi á þeim slóðum. Í ljós kom að um miðbik fjarðarins var að finna holur í botnsetinu. Sumar þeirra reyndust vera bæði stórar og djúpar (2. mynd).

Niðurstöður mælinganna hafa verið aðgengilegar á heimasíðu Hafrannsóknastofnunar og verið kynntar á fundum en ekki birtar á prenti. Þó er margt athyglisvert í þeim, og mörgum hafa fundist holurnar í Geirþjófsfirði sérlega áhugaverðar. Þær gáfu tilefni til frekari könnunar, sem hér verður greint frá.

MÆLINGAR KÖFUNAR- ÞJÓNUSTUNNAR

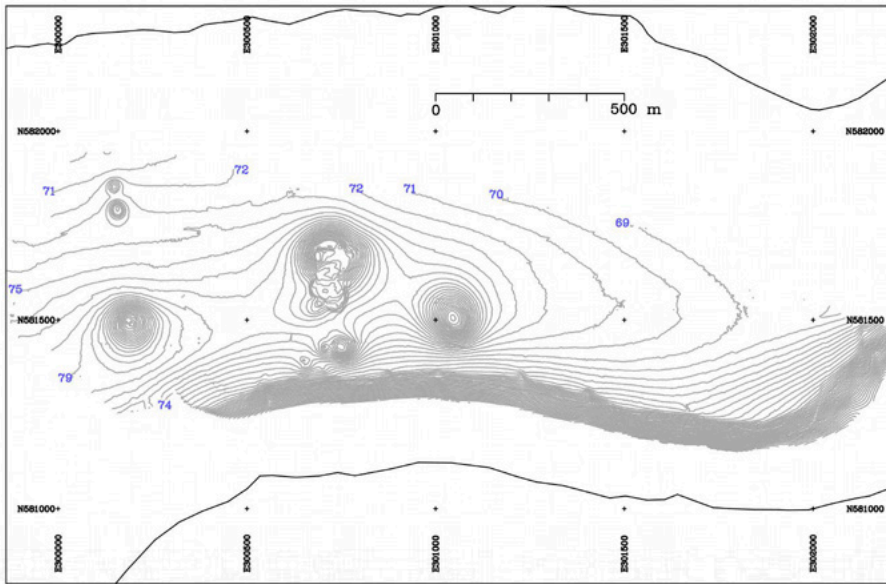
Í nóvember og desember 2022 gafst tækifæri til að kanna holurnar í Geirþjófsfirði nánar. Mælingabátur Köfunarþjónustunnar var í bæði skiptin í verkefnum í Arnarfirði, búinn fjölgeisla-mæli og setþykktarmæli. Var ákveðið að skjótast inn í Geirþjófsfjörð og freista þess að afla frekari upplýsinga.

NIÐURSTÖÐUR

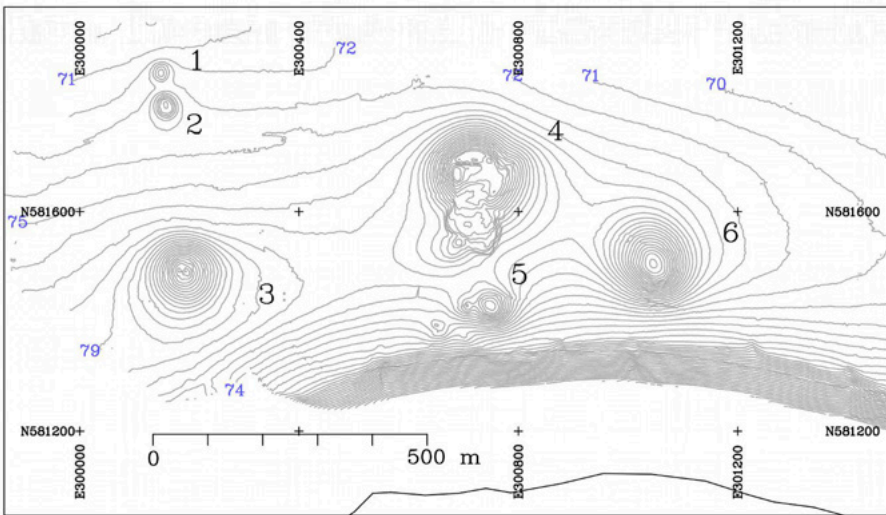
Fjölgeislamælingarnar

Dýpi

Dýptarkort Köfunarþjónustunnar er sýnt á 3. mynd. Þar sjást þrjár stórar holur og þrjár minni. Þessar holur komu allar fram í mælingu Hafrannsóknastofnunar. Botninn á mælinga-svæðinu, sem er um miðbik fjarðarins, er nokkurn veginn sléttur á 69 til 74 metra dýpi, en holurnar ná niður á allt að 93 metra dýpi. Fjörðurinn grynnskar bratt að strönd norðan og sunnan fjarðar, og sést drjúgur hluti suðurhlíðarinnar á kortunum.



4. mynd. Hefðbundið dýptarkort af Geirþjófsfirði. Valdar dýptarlínur eru merktar með dýptartölum. – A conventional contour map brings out the details of bathymetry in Geirþjófsfjörður.



5. mynd. Holurnar í Geirþjófsfirði ásamt dýptartölum. Holur nr. 1 og 2 eru grynnsstar, 4 og 5 metra djúpar. Hóla nr. 3 er umtalsvert stærra, um 17 metra djúp og um 240 metrar í þvermál. Stærst er hóla nr. 4, nálega 20 metra djúp og 280 metrar í þvermál. Hún er raunar samsett úr tveimur eða þremur holum. Stærst þeirra er nyrst, en lítil hóla syðst. Á milli þeirra er svo hóla með bröttum börnum og er hér talin hafa myndast við hrun þar sem efni úr henni hefur flætt til norðurs, niður í stærstu holuna. Hóla 5 er um það bil 5 metra djúp. Vestan hennar vottar fyrir smáholu. Hóla 6 er sambærileg við hóluna 3, 15 metra djúp og um 200 metrar í þvermál. – Zooming in on the area of the holes gives a better definition of their morphology. Holes number 1 and 2 are the shallowest, 4 and 5 metres' deep. Hole number 3 is considerably larger, about 17 metres in depth and 240 metres wide. The largest is hole 4. This is a compound structure of two or three holes. The central portion is a hole with steep sides, suggesting a collapse and a slide of material to the north. Hole 5 is approximately 5 metres' deep. Hole 6 is comparable to number 3, 15 metres' deep and about 200 metres wide.

Mörgum finnst auðveldara að átta sig á sjávardýpi með dýptarlínum, og er slíkt kort sýnt á 4. mynd.

Holurnar

Á 5. mynd hefur holusvæðið verið stækkað til að draga fram einkenni holnanna. Á myndina eru settar dýptartölur til glöggvunar. Einnig eru holunum gefin númer.

Eins og myndirnar hér að framan bera með sér eru holurnar í botninum misstórar. Breiddin er frá nokkrum metrum upp í 280 metra, og dýpið 1–20 metrar. Myndirnar geta gefið til kynna að hliðar holnanna séu brattar og háar. Raunin er sú að hóla 3 til dæmis dýpar

um 14 metra (frá 80 m í 94 m) á 62–127 metra kafla, eftir því hvar mælt er. Halli hliðanna frá láréttu er þannig 6,3 til 12,7 gráður. Sambærilegar tölur fyrir hóluna 3 eru 7,1 til 12,3 gráður.

Þegar kort sem gert er með gögnum Hafrannsóknastofnunar (2. mynd) er borið saman við kort Kjöfnarþjónustunnar (3. mynd) vekur athygli að mismunur er að finna á lögun hóluna 4. Þessi mismunur er dreginn fram á 6. mynd. Við samanburðinn virðist ljóst að hrun, sem rætt er í skýringum við 5. mynd, hefur orðið eftir mælingu Hafrannsóknastofnunar.

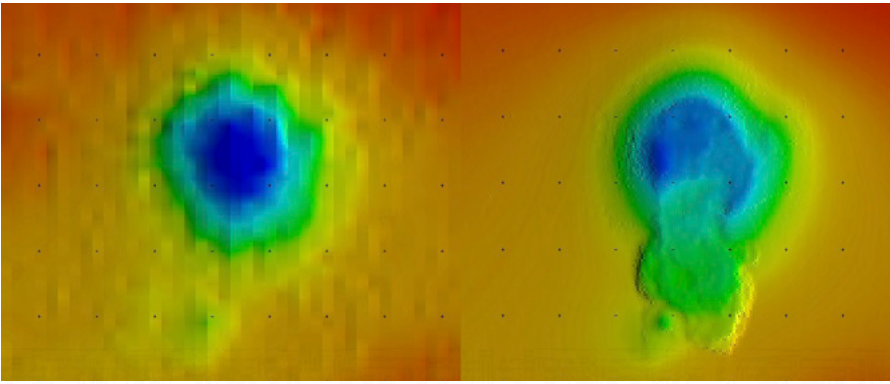
Nánar er vikið að þessari breytingu í umræðukaflanum í lok greinarinnar.

Setþykktarmælingarnar

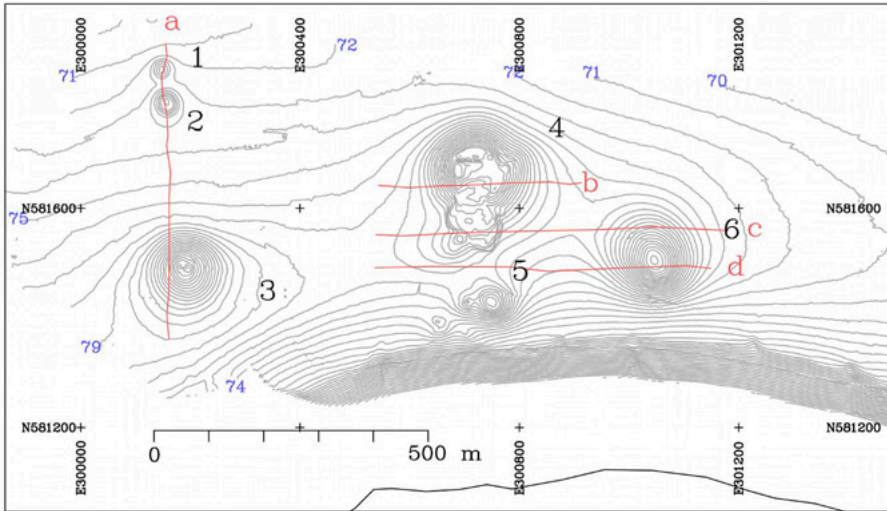
Setþykktarmælingar eru sambærilegar við bergmálsdýptarmælingar, en þar er notuð lægri tíðni og hljóðmerki hefur meiri orku. Útskrift mælitækjanna er sambærileg við dýptarsnið úr dýptarmæli, en sýnir einnig endurvarp af jarðlögum neðan botns. Setþykktarmælingar voru gerðar á athugunarsvæðinu í Geirþjófsfirði, og verða þessir mælisnið sýnd hér á eftir. Lega þeirra er sýnd á 7. mynd.

Sniðin

Myndir 8 til 11 sýna dæmi um endurvarpssnið af svæðinu. Lega sniðanna er sýnd á 11. mynd. Þau sýna endurvarp



6. mynd. Hóla 4 árið 2002 til vinstri og árið 2022 til hægri. Nokkur munur er á upplausn myndanna en ljóst virðist að efni úr hrygg í suðurjaðri stóru holunnar hefur flætt til norðurs inn í holuna og skilið eftir sig nokkurn veginn hringlaga brotsár. – Hole 4 in 2002 (left) and 2022 (right). Evidently, the southern rim of the large hole has collapsed and flowed into the hole, leaving a subcircular scar.



7. mynd. Lega endurvarpssniða, sem sýnd eru á næstu myndum. – The position of the profiles of Figs. 8 to 11.

af hafsbotni og lögum undir botni. Láréttar rauðgular línur eru dýptarkvarði (í millisekúndum endurvarpstíma) og eru dregnar með 10 mS bili (10 millisekúndur endurvarpstíma jafngilda nálægt 7,5 metrum). Lóðréttar línur eru dregnar með mínútu bili. Sniðin hafa verið klippt til og á myndunum er sýndur um 60 metra hárluti þeirra (80 mS). Snið a er um 530 metra langt. Yfirhækkun sniðanna er um það bil þreföld.

Þrjár myndanir eru mest áberandi í sniðunum. Yngsta myndunin verður hér kölluð *nútímaset*. Nedri mörk þess eru dregin á sniðin með fjólublárrí línu. Þetta eru setlög sem einkum hafa myndast við upphledslu finkornaðs framburðar frá landi eftir ísöld. Setið hefur sléttað það landslag sem fyrir var, og myndað flatan og tiltölulega sléttan botn í dýpri hluta fjarðarins. Holurnar

sem hér er fjallað um hafa síðan myndast í þessari sléttu.

Mjög ofarlega í nútímasetinu er lag sem hefur þá náttúru að hleypa hljóðmerki illa eða ekki í gegnum sig. Yfirborð þessa lags er merkt með brúnum lit á sniðunum. Ógegnsæi eða lítið gegnsæi í seti stafar venjulega af grófleika eða af gasi í setinu. Líklegasta skýringin á þessu lagi í Geirþjófsfirði er að það sé í raun yfirborð gass í setinu. Áberandi er að lagið hverfur í nágrenni holnanna.

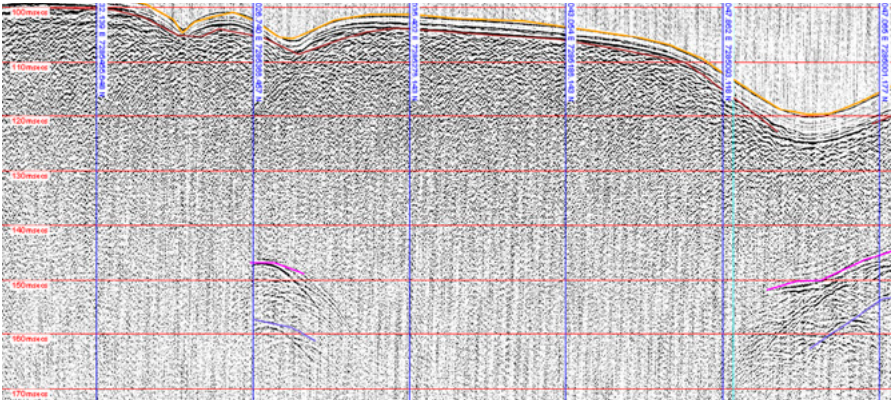
Undir nútímasetinu eru eldri lög sem mynduðu botninn við upphaf Nútíma. Fjörðurinn var þá umtalsvert dýpri en nú. Mælingarnar sýna lagskiptingu í þessum eldri lögum (merkt með bláum lit) og því má ætla að þarna sé um að ræða setlög frá ísaldarlokum. Hvergi á svæðinu sést í ótvíraða storkubergsklöpp.

Dýpi á undirlag nútímasets

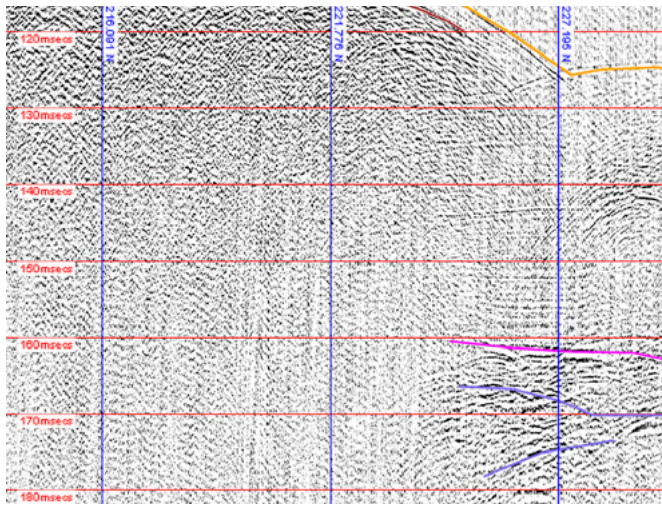
Þar sem greina má undirlag nútímasetsins í sniðunum virðist það mynda lögð eftir miðju fjarðarins (12. mynd). Á mælingasvæðinu sést að yfirborð þess hallast frá landi sunnan fjarðar niður á 125 metra dýpi. Vestast á svæðinu (undir holu 3) má rekja það niður á 120 metra dýpi, en síðan finnst það á 110 metra dýpi undir holu 2, sem bendir til að lögðin liggja á milli þessara tveggja holna.

Útbreiðsla ógegnsæja lagsins

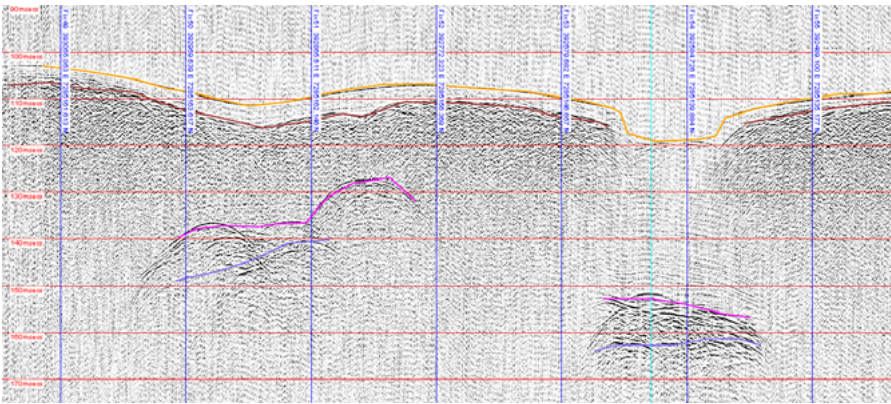
Eins og að framan greinir er botnset á mælingasvæðinu allajafna ógegnsætt fyrir hljóðmerki. Svo er þó ekki í kringum holurnar. Þetta kemur glögglega fram á 13. mynd. Skýringin á þessari útbreiðslu lagsins tengist væntanlega uppruna holnanna, þ.e. uppstreymi og flutningi setsins úr holunum. Yfirborð



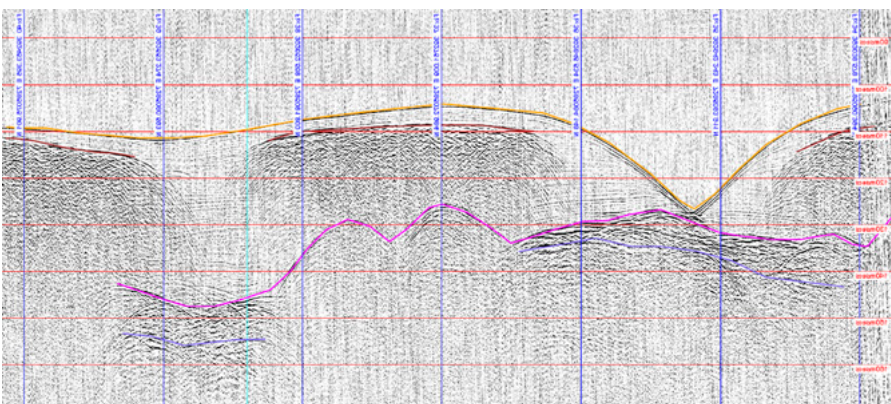
8. mynd. Endurvarpssnið a frá norðri til suðurs gegnum holu 1 og 2 og jaðar holu 3. Sniðið einkennist af ógegnsæju seti, en við holurnar sést í dýpri jarðlög. Staðsetning þessa sniðs og annarra er sýnd á 7. mynd. – Seismic profile a from north to south through holes 1 and 2 and the margin of hole 3. The sediments are capped by a (semi-)opaque layer, and only allow penetration in the vicinity of the holes. The position of this, and other profiles, is shown in Fig. 7.



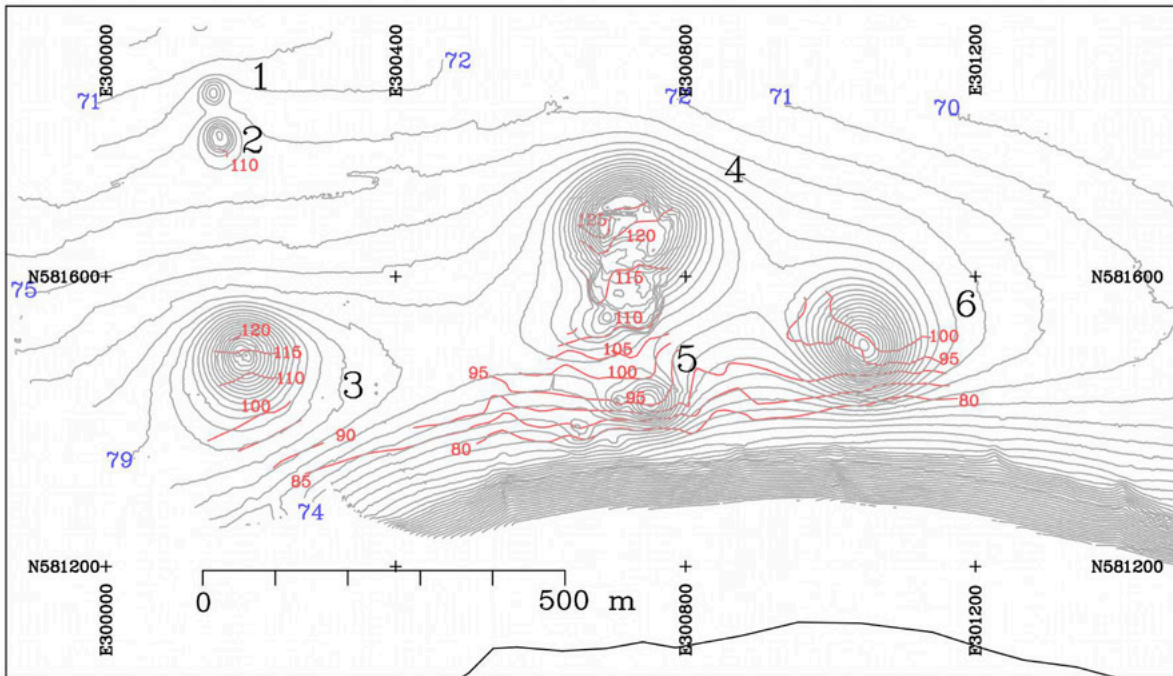
9. mynd. Snið b frá vestri til austurs yfir holu 4. Ógegnsætt set báðum megin við holuna, en gegnsætt í henni. Óslétt yfirborð í botni holunnar vegna skriðu. – Profile b from west to east over hole 4. Opaque sediment on both sides of the hole but absent in hole.



10. mynd. Snið c frá vestri til austurs, með holu 4 til vinstri og jaðar á holu 6 til hægri. – Profile c from west to east with hole 4 on the left, and the rim of hole 6 on the right.



11. mynd. Snið d frá vestri til austurs. Hóla 6 til hægri. – Profile d from west to east. Hole 6 on right penetrating layered Recent sediments to the sublayer.



12. mynd. Jafndýptarlínur á botn nútímasets (rauðar). Línurnar er dregnar á dýptarkortið til samanburðar. – Contours of depth to the bottom of Recent sediments (red).

ógegnsæs sets er hvergi á meira en 2 metra dýpi í setinu, en heildarþykkt nútímasets er víða yfir 30 metrum. Þetta gæti bent til þess að holurnar séu myndar seint á Nútíma (sjá næsta kafla).

UMRÆÐA – UPPRUNI HOLNANNA

Holurnar í Geirþjófsfirði eru grafnar í set, sem hér er talið vera nútímaset. Í nokkrum endurvarpssniðum, svo sem sniði **d** á 10. mynd, má sjá lagskiptingu í þessu seti. Lagskiptingin kemur fram sem daufar láréttar línur í sniðunum. Þar sem lagskiptingin mætir holuvegg skerst hún sundur. Þannig grafast holurnar niður í setið og eru yngri en það.

Hvað veldur því að holur grafast í stafla af setlögum á 70 metra dýpi í þröngum og kyrrum firði? Og hvað veldur því að gröfturinn virðist hafa átt sér stað eftir að setið hafði hlaðist upp á botninum?

Ljóst virðist að vökvaflæði af einhverju tagi komi hér við sögu. En hvers kyns vökva? Erfitt er að ímynda sér að hreyfingar sjávar í Geirþjófsfirði hafi á einhverjum tíma, seint á Nútíma, byrjað að mynda hvirfla um miðbik fjarðarins,

svo öfluga að þeir gætu borað sig niður í gegnum setið. Slíkir hvirflar hefðu að auki þurft að vera staðbundnir um langt skeið og á mörgum stöðum.

Miklu líklegra er að vökvastreymi hafi borist upp í gegnum setið. Slíkt streymi hefði komið fínkorna botnssetinu í sviflausn sem hefði borist burt með straumum, aðallega sjávarfallastraumum. Streymið hefur þá, auk setsins, fjarlægð ógegnsæja lagið í holunum. Vökvinn hefði getað verið vatn, heitt eða kalt. Hér verður ekki ráðist í hugsanlegar skýringar á vatnsuppsprettu á mörgum stöðum í miðjum Geirþjófsfirði. Þess má þó geta að heitt vatn finnst á nokkrum stöðum í nágrenninu. Til dæmis finnst það í Dufansdal, og einnig í Reykjarfirði, þar sem það er meðal annars notað í sundlag. Þá má nefna að við rannsóknarboranir í kalkþörungasetlög árið 2000 fékkst volgur kjarni af botni í vestanverðum Trostansfirði.

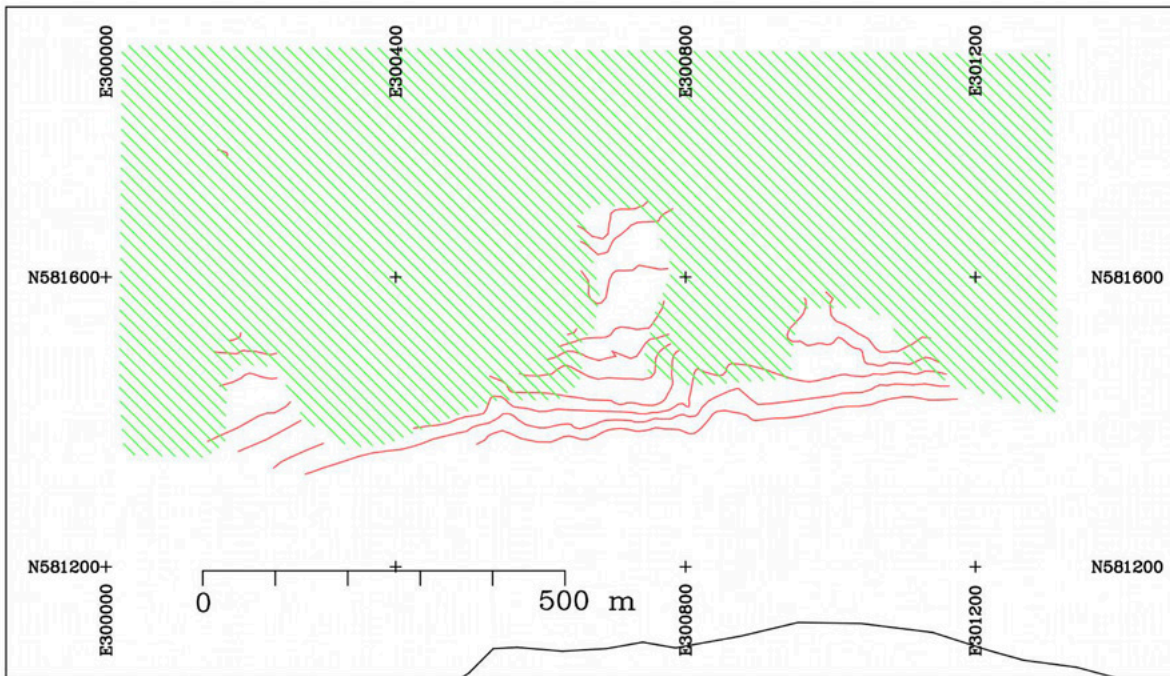
Sú staðreynd að umtalsvert magn efnis hefur færst til í holu 4 bendir til þess að kerfið sé virkt. Ástæða hrunsins í og við holuna gæti verið sú að ný uppspretta

vökva hafi myndast við brún holunnar sem fyrir var. Sú uppspretta gæti þá hafa gert setið vatnsósa, vökvakennt, og valdið rennsli þess niður í holuna. Hringlaga jaðar hrunsvæðisins gæti hafa orsakast af uppsprettu í miðjum „hringnum“.

Hér að framan er leitað að þekktum náttúrulegum öflum sem gætu skýrt myndun holnanna í Geirþjófsfirði. Skyllt er þó að nefna að svæðið um miðbik Geirþjófsfjarðar má telja helsta búsvæði skrímsla á landinu (Þorvaldur Friðriks-son, munnl. uppl.), og því verður ekki full- yrt með algjörrri vissu að myndun holnanna sé tengd „náttúrulegum“ ferlum.

SUMMARY

A multibeam survey in 2001 and 2002 by the Marine Research Institute (now: Marine and Freshwater Research Institute) revealed, among other things, large holes in the bottom sediments in Geirþjófsfjörður, a small fjord within Arnarfjörður, NW Iceland. This discovery led the Icelandic Diving Service, in November and December 2022, to make a further study of the area, using a multi-beam sounder and a seismic profiler.



13. mynd. Útbreiðsla ógegnsærs / illa gegnsærs lags (grænn litur). Dýptarlínur af 12. mynd (rauðar) til samanburðar.
 – Distribution of opaque horizon in the sediments (green). Contours from Fig. 12 (red) for comparison.

At the fjord bottom, at about 70 metres' depth, there are three large holes in the area, and at least three small ones. The large holes have diameters of 200 to 280 metres, and depths of 15 to 20 metres. Seismic profiles show them to be cut through horizontal layers of sediment considered to be Recent in age. It is suggested that the holes were made by water flowing upwards through the sediments. This would locally liquefy the sediments and allow them to be transported out of the area by tidal currents. One hole (no. 4) shows a marked change between the 2002 and 2022 surveys (Fig. 6). The change is consistent with the development of new upwelling of water at the southern rim of Hole 4, resulting in flow of liquefied sediment into the hole.

The nature of a liquid rising through the sediments is not known. Hot water springs are found in neighbouring fjords, but coldwater could also be responsible here.

ÞAKKIR

Guðmundur Bjarnason var skipstjóri Árna Friðrikssonar þegar fjölgeislamælingar Hafrannsóknastofnunar voru gerðar í Arnarfirði. Hann var hvatamaður að því að þessi grein var skrifuð. Guðrún Helgadóttir jarðfræðingur las yfir handrit að þessari grein og gerði hjálplegar athugasemdir. Gögn úr fjölgeislamælingum Hafrannsóknastofnunar eru aðgengileg á heimasíðu stofnunarinnar.

UM HÖFUNDA



Kjartan Thors (f. 1945) lauk BS-próf í jarðfræði við Háskólann í Manchester 1969 og Ph.D.-prófi 1974. Hann starfaði sem sérfræðingur á Hafrannsóknastofnun 1974–1995, var stundakennari við Háskóla Íslands 1975–1998 og ritstjóri Náttúrufræðingsins 1976–1980. Kjartan rak eigin jarðfræðistofu 1995–2013. Hann sinnir nú ráðgjafastörfum í takt við eftirspurn.



Guðbjörn Margeirsson (f. 1974) lauk BS-prófi í jarðfræði frá Háskóla Íslands 2014. Hann starfaði sem sérfræðingur hjá Nýsköpunarmiðstöð Íslands 2017–2019, og hefur starfað hjá Köfunarþjónustunni ehf. við sjómælingar frá 2019 til dagsins í dag.

Kjartan Thors
 Aðallandi 18
 108 Reykjavík
 thors.kjartan@gmail.com

Guðbjörn Margeirsson
 Köfunarþjónustunni ehf.
 Óseyrarbraut 27
 220 Hafnarfirði
 gudbjorn@diving.is