

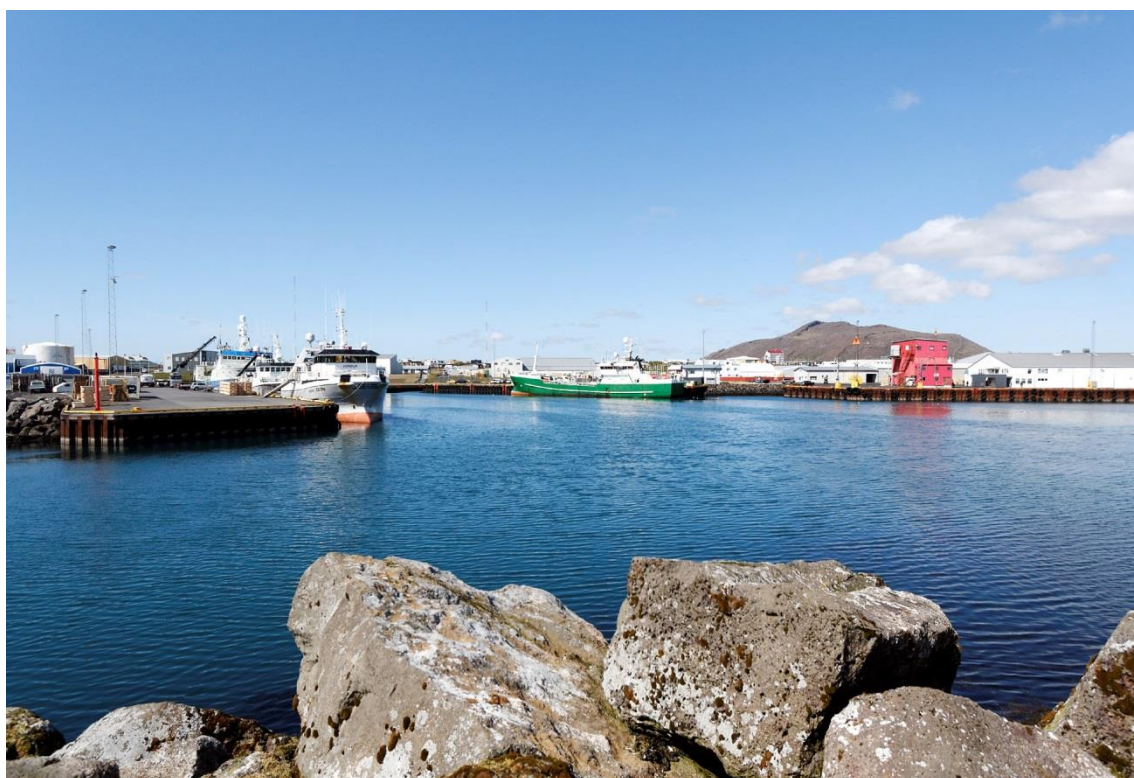


---

# Sjávarborðsrannsóknir

Úrvinnsla sjávarborðsmælinga frá  
Grindavík, Landeyjahöfn og Hornafirði

---



Guðjón Scheving Tryggvason

Útgáfa A - Júní 2016

## Sjávarborðsrannsóknir

### Úrvinnsla sjávarborðsmælinga frá Grindavík, Landeyjahöfnog Hornafirði

Útgáfa	Dagsetning	Endurskoðun	Útgefið af	Útgefið til
Drög C	2015.04.21		SS, BE	Vegagerðin
Drög B	2015.04.15		SS	Vegagerðin
Drög A	2015.03.09		SS, BE	Vegagerðin
Upplýsingar um skýrslu				
Verkkaupi:	Vegagerðin			
Fulltrúi verkkaupa:	Sigurður Sigurðarson			
Verkefni:	Sjávarborðsrannsóknir			
Verkefnisnúmer.:				
Aðgengi:	<input checked="" type="checkbox"/> Opið	<input type="checkbox"/> Dreifing háð samþykki verkkaupa	<input type="checkbox"/> Lokað	
Höfundar:	Guðjón Scheving Tryggvason			
Tilvísun:				

## Samantekt

Með verkefni þessu er gert átak til að safna saman og vinna úr sjávarfallamælingum úr höfnum landsins. Samfelldar sjávarfallamælingar eru til í nokkrum höfnum en ná yfir mislöng tímabil. Siglingastofnun og áður Vita- og hafnamálastofnun stóðu fyrir því að settir voru upp sjávarborðsmælar í samvinnu við hafnaryfirvöld á hverjum stað og er rekstur mælanna á ábyrgð hafnanna.

Í fyrsta hluta verkefnisins hefur stafrænum gögnum frá sjávarfallamælingum í þremur höfnum, Hornafirði, Grindavík og Landeyjahöfn verið safnað saman. Þessar hafnir voru valdar þar sem ákvörðun á sjávarföllum og sjókortanúlli er mjög mikilvæg fyrir dýpi á siglingaleið að og frá höfnunum. Farið hefur verið yfir mælingarnar og fyllt í stutt göt og augljósar tímahliðranir leiðréttar. Unnið hefur verið úr leiðréttum tímaröðum, sjávarföllin greind og meðalsjávarborð ákvarðað.

Þær hafnir sem teknar eru fyrir í þessum fyrsta hluta verkefnisins hafa nokkra sérstöðu þar sem aðrir þættir en stjarnfræðileg sjávarföll hafa áhrif á sjávarfallasveifluna. Sjávarföllin í Hornafjarðarósi mótast mjög af ósnum sem er stærsti sjávarfallaós landsins. Þar streymir mikið magn sjávar inn og út á hverju falli með háum straumhraða sem hefur töluverð áhrif á sjávarstöðuna á hverjum tíma. Í Grindavík gætir mikils ölduáhláðanda þegar brimar úti fyrir höfninni og tölverðs í Landeyjahöfn. Þá eru töluverðar jarðskorpuhreyfingar þar sem land er að rísa við Hornafjörð en að síga á utanverðu Reykjanesi.

Annar tilgangur þessarar úrvinnslu er að greina á afstöðubreytingar lands og sjávar. Annars vegar hækkun sjávarborðs vegna rúmmálsbreytinga sjávar sem afleiðingu af hnattrænni hlýnun og hins vegar vegna jarðskorpuhreyfinga. Þessar breytingar nema að stærðargráðunni örfáir millimetrar á ári. Það kemur í ljós við úrvinnslu sjávarfallamælinganna að standa þarf betur að mælingunum, kvarða sjávarfallamæla mun oftar, skrá mælingar og bilanir og skipta mælum út þegar þeir bila. Þarfir hafnanna fyrir nákvæmar upplýsingar eins og afstöðubreytingar lands og sjávar eru takmarkaðar. Þessar upplýsingar eru hins vegar mjög áhugaverðar. Það er því spurning hvort þessar mælingar eiga að vera á hendi hafnanna eins og nú er eða hvort flytja eigi ábyrgðina yfir til ríkisins t.d. á ríkisstofnun eins og Vegagerðina.

# Efnisyfirlit

Samantekt .....	1
Efnisyfirlit.....	2
1. Inngangur .....	4
1.1 Sjávarhæðarmælirinn.....	4
1.2 Mæliaðferðin.....	5
1.3 Úrvinnslan.....	6
1.4 Langar sveiflur í sjávarborði. ....	8
2. Sjávarfallamælingar í Grindavík 1994 til 2014.....	9
2.1 Mælingar í Grindavík .....	9
2.2 Kvarðanir .....	10
2.3 Meðalsjávarboð í Grindavík.....	11
2.4 Mánaðarmeðaltöl sjávarfallamælis í Grindavík.....	15
2.5 Flóðstuðlar í Grindavík.....	17
2.6 GPS mælingar nálægt Grindavík.....	18
2.7 Meðalsjávarboð og hæðir í Grindavík. ....	18
2.8 Nýtt kortanúll fyrir Grindavík?.....	18
2.9 Helstu niðurstöður fyrir Grindavík: .....	19
3. Sjávarfallamælingar í Landeyjahöfn. ....	20
3.1 Inngangur .....	20
3.2 Hæðarkerfi.....	20
3.3 Sjávarfallamælingar í Landeyjahöfn. ....	20
3.4 Niðurstöður sjávarfallagreiningar: .....	22
3.5 Hæðarkerfi Landeyjahafnar.....	22
4. Sjávarfallamælingar á Hornafirði.....	23
4.1 Mælingar .....	23
4.2 Sjávarfallamælingar árið 1980.....	23
4.3 Úrvinnsla sjávarfallamælinga frá 1994 .....	23
Ársmeðaltöl frá 1994.....	23
Mánaðarmeðaltöl.....	24
4.4 Hvanneyjarmælir og hæðarkerfi á Hornafirði .....	26
4.5 Flóðmælir á Þinganesgarði .....	29
4.6 Flóðmælir í höfninni á Hornafirði .....	30

4.7	Aðrar sjávarborðsmælingar við Hornafjörð .....	30
4.8	Sjávarfallagreining á Höfn í Hornafirði .....	31
4.9	Nýtt hæðarkerfi fyrir Ósinn og höfnina .....	31
4.10	Dýptarmælingar.....	32
4.11	Sjávarfallastuðlar fyrir Hornafjarðarós:.....	33
5.	Heimildaskrá:.....	34
6.	Viðauki.....	35
6.1	Greindir stuðlar fyrir Grindavíkurhöfn: .....	35
6.2	Greindir stuðlar fyrir Landeyjahöfn:.....	36
6.3	Greindir stuðlar fyrir Hornafjarðarós .....	37

# 1. Inngangur

Tilgangur verkefnis er að safna saman stafrænum gögnum frá sjávarfallamælum, yfirfara þær, kvarða og leiðrétta og reikna út stjarnfræðileg sjávarföll. Einnig að bera þær saman við fyrri úrvinnslu og kanna afstöðubreytingar milli lands og sjávar.

Sjávarhæðamælingar eru nauðsynlegar höfnum landsins bæði til að meta flóðhæðir á hverjum tíma en ekki síður til að meta minnsta dýpi fyrir siglingu skipa. Þær eru líka forsenda fyrir flóðamat sem m.a. hefur áhrif á hönnun sjóvarna.

Sjávarhæðamælingar eru nauðsynlegar til að fylgjast með breytingum á afstöðu lands og sjávar. Þar spilar inn í hækkun sjávarborðs vegna gróðurhúsaáhrifa, landsig og landris vegna ýmissa skorpuhreyfinga, þar með talin áhrif minnkandi jökla, t.d. er landsig á Reykjanesi en landris við Höfn í Hornafirði.

Ekki er mikið til af samfelldum sjávarborðsmælingum við Ísland. Lengsta mæliröðin er frá Reykjavíkurborg og nær frá árinu 1956.

Á fyrrihluta tíunda áratugar síðustu aldar byrjaði Vita og hafnamálastofnun ríkisins að vinna að því að koma upp upplýsingakerfi fyrir sjófarendur, sem miðaði að því að sjófarendur hefðu aðgang að eins góðum upplýsingum um veður og sjólag og kostur væri. Í þeim tilgangi var veittur beinn aðgangur að upplýsingum frá öldudufnum sem voru notuð til að finna hönnunarforsendur sjóvarnagarða. Einnig voru nokkrar hafnir styrktar til að koma upp sjálfvirkum veður- og sjávarfallanemum. Það er því eitthvað til af samfelldum sjávarfallamælingum frá stærri höfnum landsins frá því um og eftir 1994. Í þessu verkefni hefur mælingum frá nokkrum þessara hafna verið safnað saman ásamt þeim upplýsingum sem tiltækar eru um kvarðanir og aðrar staðreyndir um rekstur mælanna.

Um 1978-1980 var farið í mikið átak á vegum Vita og hafnamálastofnunar ríkisins til að mæla og reikna sjávarföll og fastsetja hæðarviðmiðun fyrir hafnir landsins. Settir voru upp nokkrir sjávarfallamælur sem mældu í u.þ.b. 3 mánuði og voru síðan færðir á milli hafna. Úrvinnsla mælinga frá 1978 til 1980 var gerð af Hafnamálastofnun og Gunnari Þorbergssyni á Orkustofnun. Áhugavert er að bera úrvinnslu nýrri mælinga saman við þær eldri.

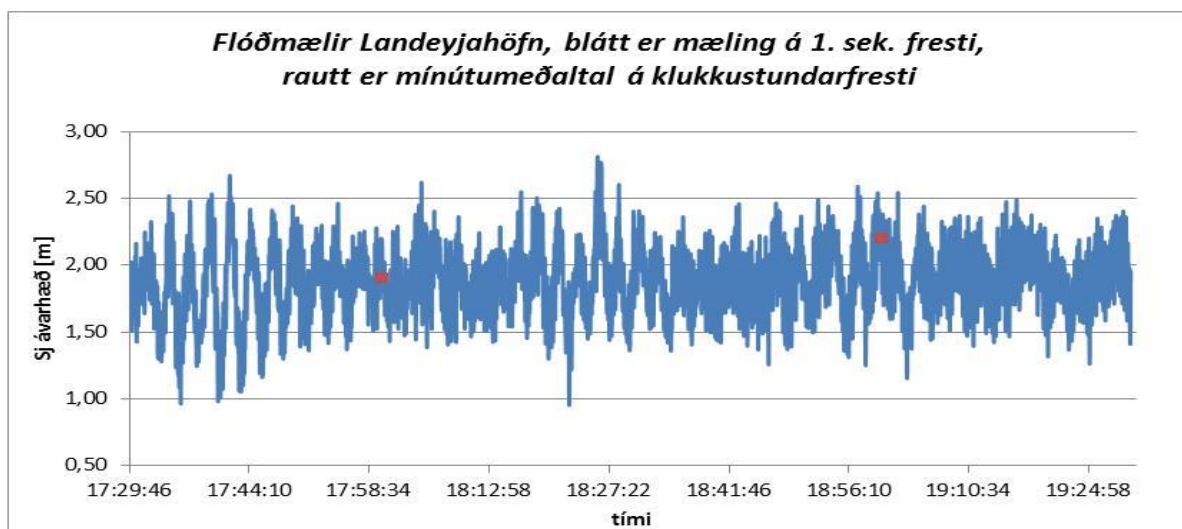
Verkefnið er unnið fyrir styrk úr rannsóknasjóði Vegagerðarinnar sem var veittur í mars 2014, verkefnisstjóri er Sigurður Sigurðarson, á siglingasviði Vegagerðarinnar. Þá er verkefnið unnið í samvinnu við Björn Erlingsson hjá Veðurstofnunni

## 1.1 Sjávarhæðarmælirinn.

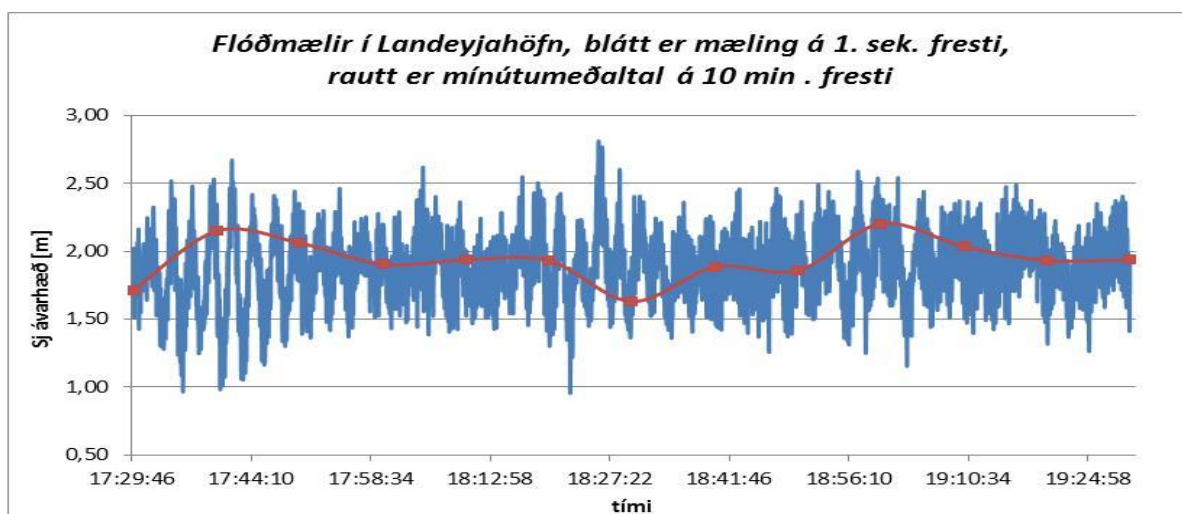
Sjávarhæðarmælarnir sem eru notaðir eru í höfnum hér við land eru allir þrýstimælur, þ.e. mælur sem mæla þrýsting og er þeim komið fyrir í einhverskonar festingu á ákveðnu dýpi, yfirleitt við hafnarkant. Þrýstingur á ákveðnu sjávardýpi er summa af þrýstingi vegna sjávarins fyrir ofan skynjara og loftþrýstingi á mælistað. Til að mæla eingöngu sjávarhæð þarf að eyða áhrifum loftþrýstings og er það gert með því að hafa mjóa loftslöngu samhliða rafmagnsvírum í skynjarann. Loftslangan er opin út í andrúmsloft á mælistað og jafnar hún út bakþrýsting skynjarans og mælir hann því engöngu þrýsting af völdum sjávarhæðar. Ef eðlisþyngd sjávar er þekkt má reikna sjávarhæð. Enda þótt mælunum sé stundum komið fyrir í röri við hafnarkant er í engu tilfelli reynt að sía öldur eða jafna út mælingar með því að hindra streymi inn í rörið. Hefðbundin aðferð til að jafna sjávarborðsmælingar er að hafa rörið lokað í neðri endann og hafa einungis lítið gat, sem er miklu minna en þvermál rörsins, til að hindra streymi inn í rörið og síá þar með ókyrrð frá mælingum. Flóðmælarnir geta því virkað sem öldumælur.

## 1.2 Mæliaðferðin.

Þrýstímælarnir mæla sjávarhæð á 10 mínútna fresti, á þann hátt að tekið er meðaltal af síðustu mínúttunni á hverjum 10 mínútum, þ.e. mínútu 9-10, 19-20, 29-30 o.s.f.v. Mælt er á sekúndu fresti og tekið meðaltal af 60 mælingum. Meðaltalið er síðan skráð sem gildið á hverjum heilum 10 mínútum. Þessi aðferð orkar tvímælis vegna þess að rörið sem skynjara hefur verið komið fyrir í dempar ekki öldur. Íðulega eru öldur og langar öldur (stundum kölluð sog) sem geta verið 2 til 10 mínútna langar til staðar í höfnum. Sýnataka (sömplun) sjávarstöðu á 10 mínútna fresti er því of hæg. Betra hefði verið að taka meðaltal í allar 10 mínúturnar og skrá það eða að skrá mínútu meðaltal á mínútu fresti. Annað sem þarf að bæta er tímasetning mæligildanna, núverandi meðaltal er raunverulega á tímann 9,5 mínútur, 19,5 mínútur en ekki 10,0 mínútur, 20,0 mínútur. Full ástæða er til að breyta mæliaðferðum og byrja að taka og geyma mínútumeðaltöl. Mínútumeðaltölin yrðu þá filteruð með tilheyrandi stafrænum filter til að geta tekið út klukkutímagildin (eða 10 mínútna gildin), enda er yfirleitt unnið úr flóðmælingum sem gerðar eru á klukkustundar fresti. Norðmenn nota þessa aðferð við sína sjávarfallamæla, þ.e. að safna mínútumeðaltölum, einnig fær GLOSS, Global Sea-Level Observing System (7, 6) , gögn á þessu formi úr Reykjavíkurmælinum. Næstu myndir sýna dæmi um flóðmælingar teknar á klukkustundar, 10 mínútna- og mínútuþrefti.

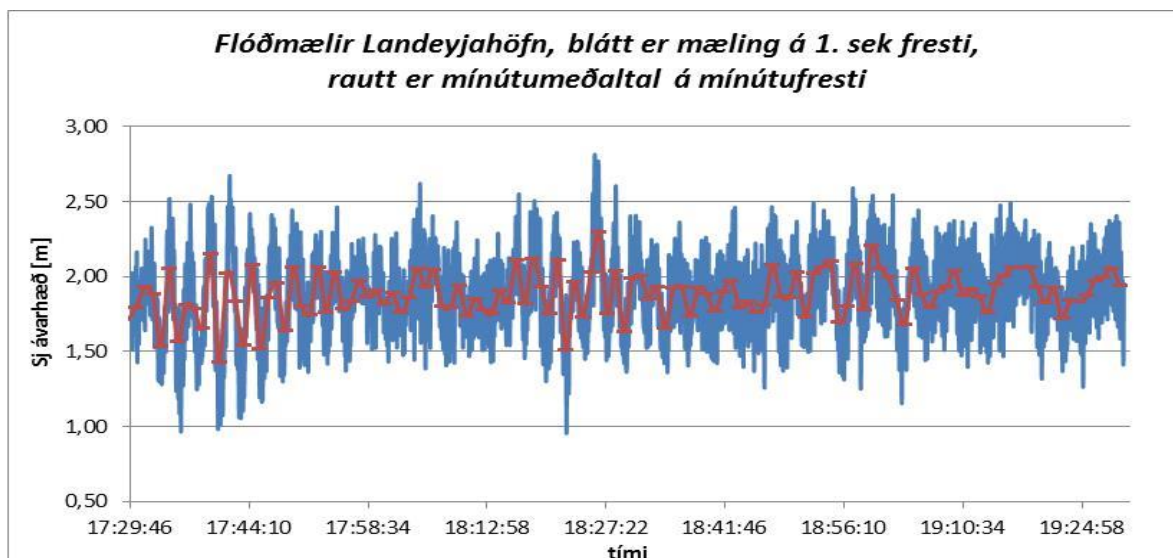


Mynd 1: Klukkutímagildi frá ósíuðum flóðmæli geta verið alllangt frá meðaltalsgildi.



Mynd 2: 10 mínútna mæligildin geta einnig verið alllangt frá meðaltalsgildum.





Mynd 3: Mínútumeðaltöl fylgja mælingum mikið betur.

Tillögur að breyttri skráningu sjávarfallamælinga:

- Nú er safnað mínútumeðaltali á 10 mínútna fresti
- Breyta þarf mæliaðferð og skrá mínútumeðaltöl á mínútufresti. Nú þegar fær GLOSS (6) gögn úr Reykjavíkurmælinum á þessu formi.
- Til að vakta sjávarflóð (Tsumani) óskar GLOSS (7) eftir sjávarfallamælingum á mínútu fresti.
- Þar sem áhugavert er að skrá öldur ásamt flóðhæð verður safnað sekúndugildum í eins klukkustundar lotum eins og nú er gert á nokkrum stöðum.
- Finna þarf út hvernig hentugast er að skrá mælitíma fyrir flóðhæð en hann er í miðju hvernar mínútulotu.

### 1.3 Úrvinnslan.

Í þessu verkefni er í megindráttum leitað eftir tvennskonar úrlausnum. Annarsvegar að finna meðalsjávarborð og hinsvegar flóðstuðla, útslag og fasa. Flóðstuðlarnir lýsa sjávarföllum á hverjum stað auk þess að út frá þeim er hægt að finna kortanúll í höfnum, en það er viðmiðun við dýptarmælingar og sjókortagerð. Kortanúll hefur verið skilgreint hér eftir formúlunni:

$$\text{Kortanúll} = \text{meðalsjávarborð} - (M2 + S2 + N2 + O1) \quad (I)$$

Þar sem M2, S2, N2, O1 eru flóðstuðlar úr greiningu sjávarfallamælinga. Hugsanlegt er að breyta skilgreiningu og taka upp lægstu stjarnfræðilega sjávarstöðu sem nýtt núll, LAT (Lowest Astronomical Tide). Kortanúll og þar með hæðarkerfi hafna er ekki það sama og hæðarkerfi viðkomandi sveitarfélags, sem yfirleitt nota meðalsjávarhæð sem núll í sínum hæðarkerfum.

Flóðstuðlagreining finnur almennt séð meðalsjávarborðið, sem meðaltal af mæligögnum, en þar sem landhæð er breytileg, (landris eða landsig) eins og í Grindavík og Hornafirði er reynt að gera grein fyrir breytingum í meðalsjávarhæð eftir tímabilum. Almennt fór úrvinnslan þannig fram að eftir



yfirferð og villuleit var mæligildum fækkað í klukkustundargildi. Eins og áður segir eru mæligildi (meðaltal í eina mínútu) til á 10 mínútna fresti. 10 mínútna gildin voru síuð til að fá jafnari klukkuþímagildi.

Notuð var sía, sem lýst er í Pugh, David T. 1987. Appendix 1. bls 419, sem sýnar út hraðari sveiflur en 2 tíma.. (2). Sían hefur formið:

$$X_f(t) = F_o \cdot X(t) + \sum F_m [X(t + m) + X\{t - m\}] \quad (II)$$

Þar sem  $m=1$  til 27;  $F_m$  eru síustuðlar. Eftir síun var búin til ný mæliseria sem samanstendur af klukkuþímagildum. Ath. Önnur mæligildi s.s. loftþrýstingur, vindhraði og hiti voru ekki síuð. Flóðstuðlagreiningin var gerð á mælingar beint, þ.e. án loftþrýstleiðréttingar. Flóðstuðlagreining var gerð með forritinu Tappy, open source forriti í Python. Forritið finnur stuðla út frá aðferð minnstu kvaðrata.

Til að finna meðalsjávarborð voru fundin dags, mánaðar og ársmeðaltöl af klukkuþíma gildum sjávarfallamælinganna. Mikill breytileiki er milli daga og mánaða í loftþrýstingi og þar með sjávarborði. Til að reyna að jafna út sveiflur af völdum loftþrýstings voru mælingar leiðréttar gagnvart loftþrýstingi. Leiðréttingin nam 8,4 mm fyri hvert hPa. Miðað var við meðalloftþrýsting á hverjum stað. Meðalsjávarborð á hverjum stað er ekki endilega ein föst tala og er síður en svo auðveld í mælingu. Ýmsir hlutir hafa áhrif á hæð sjávar og má þar nefna loftþrýsting, þar sem hár loftþrýstingur lækkar sjávarborð, vindur sem blæs á land hækkar sjávarborð við land og í höfnum, lægð sem ferðast yfir hafflötinn getur flutt með sér litla flóðbylgju, grynningar utan hafna geta haft áhrif, náttúrulegar sveiflur hafna og flóa hafa áhrif, hitastig sjávar hefur áhrif og öldur sem brotna við strönd geta og hækkað sjávarborð.

Sjávarborðsmælarnir sjálfir geta verið mismunandi næmir á umhverfisþætti, t.d. eru þrýstinemar næmir fyrir breytingum í seltumagni sjávar (eðlisþyngd), mælarnir geta einnig bilað á lúmskan hátt, þeir geta byrjað að sýna hægt rek (drift) sem getur verið erfitt að greina, bakþrýstijöfnunarrörið til yfirborðs getur lokast eða hálf stíflast og getur það valdið mikilli seinkun í útjöfnun bakþrýstings mælisins sem erfitt er að greina frá sjávar og landhæðabreytingum. Mælar bila fyrr eða síðar og ekki er öruggt að nemi hafi verið settur í nákvæmlega í sömu hæð og fyrri mælir eða með nákvæmlega sömu eiginleika. Það er því ekki auðvelt að túlka eða lesa land- eða sjávarhæðarbreytingar úr mælingum og yfirleitt er enga vissu að fá um slíkt nema um margra áratuga mælingar sé að ræða. Rekstur og umhirða sjávarfallamæla krefst því augljóslega gríðarlega mikillar ögunar og samviseksemi. Athuga þarf kvörðun mælis og tengingu hans í fastmerki reglulega og sýnist ekki vanþörf á að það sé gert einu sinni á ári. Afar mikilvægt er að skrifa rekstrasögu mælisins af mikilli samviseksemi, þar þurfa að koma fram allar breytingar, lagfæringar, óhöpp, klukkuvillur, allar kvarðanir og allar hallamælingar frá mæli í fastmerki. Vandséð er að þetta verði gert almennilega nema einhverri stofnun verði falið að bera ábyrgð á þessu og fái til þess fé. Við yfirferð á gögnum í þessu verkefni vantaði sárlega vandaða upplýsingagjöf og kvarðanir með hverjum mæli. Við kvörðun flóðmælis er sérstöku áhaldi eða mæli komið fyrir á mælistað og mælt niður að sjávarborði með sérstöku málbandi sem gefur hljóð og ljósmerkimerki við það að snerta sjávarborðið. Handhægu röri er komið fyrir, sem málbandið er haft í, og rörinu sökkt niður fyrir sjávarborð. Rörið er með hindrun, þ.e. þrengingu neðst, og við það verður yfirborð sjávar inni í rörinu mikið stöðugra og auðveldar það mælinguna. Hægt er að framlengja rörið upp að mæliáhaldi ef koma þarf í veg fyrir að vindur trufli málbandið. Jafnframt þarf að hallamæla aflestrarviðmið málbands í fastmerki.

## 1.4 Langar sveiflur í sjávarborði.

Ekki voru skoðaðar lengri sveiflur en eitt ár í þessu verkefni. Í sjávarföllum koma fyrir lengri sveiflur og eru þær skv. Ólafur Guðmundson og Páll Einarsson 1991. (1), fyrir Reykjavík:

Lota	útslag mm	Lýsing
435 dagar	4,0	Chandlersveifla
8,8 ár	12,8	Lunar perigee sveifla
18,8 ár	37,8	Lunar nodal sveifla

Tafla 1: Langar sjávarfallasveiflur

Þegar þessar 3 sveiflur leggjast saman myndar þær a.m.k. 5 cm sveiflu í sjávarborði á 18,8 árum í Reykjavík, og samsvarandi fyrir aðrar hafnir. Til að finna gott meðalsjávarborð til ákvörðunar á kortanúlli hafna þarf því ca. 19 ára mælingar. Af þessum orsökum er vandasamt að leita að raunverulegum sjávarborðsbreytingum nema hafa margra áratuga mælingar. Á síðari stigum var unnið úr sjávarfallamælingum í Reykjavík og þær notaðar sem viðmiðun við ákvörðun á meðalsjávarborði annarra staða. Lögð var áhersla á tímabilið frá 1995 til og með 2013. Þetta tímabil var notað vegna þess að það nær yfir 19 ára tímabil og inniheldur því löngu sveiflurnar í sjávarborði. Mælirinn var einnig á sama stað allan tíman, þ.e. við Miðbakka í Reykjavíkurböfn og mælirinn hafði að mestu verið kvarðaður.

## 2. Sjávarfallamælingar í Grindavík 1994 til 2014

### 2.1 Mælingar í Grindavík

Stöðugar sjávarborðsmælingar hófust árið 1994 þegar veðurstöð var sett upp í Grindavíkurhöfn í framhaldi af átaki Vita og Hafnamálastofnunar, síðar Siglingastofnunnar Íslands, til að stuðla að auknu upplýsingaflæði til sjómanna. Veðurstöðvarnar voru tengdar með upphringimótaldi á Siglingastofnun og var gögnum safnað á klukkustundar fresti. Fyrstu árin voru forritin í þróun og dálítið var um truflanir í gagnaflutningi og var því viðbúið að eitthvað væri um villur og göt í gagnasafni. Mælingar voru til á Siglingastofnun frá 1. nóv. 1994. Mikil vinna fór í að yfirfara gögnin og reyna að fylla upp í göt. Eftir nokkra leit fannst diskur úr mælitölvunni sem var í Grindavík hjá MogT ehf. ásamt upplýsingum um breytingar á mæliháð, mælistuðlum, kvörðunum og skynjaraskiptum, en þeir hafa þjónustað veðurstöðvarnar nánast frá upphafi. Gögn frá þeim diskum bættu gagnasafnið töluvert. Eftir sem áður var allmikið af smá götum og var fyllt í þau með ágiskunum byggðum á flóðaspá. Þrátt fyrir þetta eru nokkur göt í mælingum, vikur og mánuðir þar sem skynjari er bilaður. Auk gata í mælingum fannst tímahliðrun í mælingum, leiðrétt var fyrir augljósum skekkjum, t.d. í des 1996 og jan 1997 en þá var skekkja metin 20 mínútur. Samanburður á mæliseríu og spágögnum gefur hugmynd um hvort um klukkuskekkju geti verið um að ræða. Grunur er um tímaskekkjur víðar í gögnum fram að miðjum júlí 2010, en þá var söfnununaraðferð breytt og MogT tók að sér söfnun gagna og framsetningu á alnetinu. Eftir það er klukka í veðurstöð athuguð og stillt reglulega eftir alheimsklukku. Ekki fannst hentug aðferð til að endurmeta tímasetningu mæligagna og leiðréttu en erfitt getur reynst að leiðréttu klukkuskekkjur þar sem klukka er vitlaus um nokkrar mínútur.

Ekki eru til nákvæmar upplýsingar um mælistuðla fyrr en í september 1997 en þá var skynjari endurnýjaður og gerð tilraun til kvörðunar og nýjir stuðlar settir í mælinn. Síðan þá er talið nokkuð öruggt að mælingar séu með óbreyttum mælistuðlum og óbreyttri hæð skynjara. Kvörðunin 1997 var hinsvegar ekki nógu góð og kom það í ljós við seinni kvarðanir.

Mælingar frá september 1997 til október 2001 voru leiðréttar með formúlunni:

$$\text{rétt\_mæling} = 0,0697 + 0,916 * \text{mæling}.$$

Mælingar eftir það voru leiðréttar með formúlunni:

$$\text{rétt\_mæling} = 0,0560 + 0,914 * \text{mæling}.$$

Um mitt ár 2016 hefur þessi leiðrétting ekki enn verið sett í veðurstöðina og sýnir mælir því ekki rétta sjávarhæð.

Frá upphafi mælinga þar til mælistuðlum er breytt í september 1997 eru mælingar óleiðréttar, þ.e. eins og þær koma úr mælinum að því undanskildu að vitað er að 24. nóvember 1995 var skipt um skynjara og er hann 1,96 cm ofar en fyrir var. Mælingar fram að því voru lækkaðar um 1,96 cm. Síðan þá er talið að skynjari hafi verið í sömu hæð. Fyrstu mælistuðlar eru settir inn eftir gerð nema og ættu að vera nánast réttir þar sem eiginleikar skynjara eru þekktir. Ekki er þó full vissa fyrir því að hæð skynjara fram til september 1997 sé rétt. Samkvæmt kvörðunum árin 2000 og 2008 er flóðmælirinn í Grindavík að sýna of há gildi. Ath. mikil skekkja er í kvörðun eða 0,916 í stað 1.00. Ástæðan er að öllum líkindum misheppnuð kvörðun sem fór fram í september 1997.

Engin gögn eru til á eftirfarandi tímabilum:

- Frá 16 nóvember 1995 til 24. nóvember 1995, þó eru til veðurgögn á þessu tímabili.
- Frá 6 júlí 1996 til 20. september 1996, þó eru til veðurgögn á þessu tímabili.
- Einkennilegt trend og stökk eru í október og nóvember 1996.
- Frá september 1996 til september 1997 eru gögn með óeðlilega miklum breytileika í hæð. Hugsanlega var verið að reyna stilla hæð sensors eða hann hálf bilaður.
- Frá 15. júlí 1997 til 19 september 1997.
- Frá 31. desember 1997 til 5. janúar 1998.
- Frá 5. maí 2014 til 11. júlí 2014.

Gögnin frá 1994 til 1997 eru með mjög breytilegu meðalgildi og einnig koma fyrir þrep í tímaseríum. Hugsanlega er verið að breyta hæð skynjara hvað eftir annað og eru gögnin tæplega trúverðug.

19. september 1997 er reynt að kvarða mæli og nýjir stuðlar settir inn. Ekki er vitað til að stuðlum hafi verið breytt síðan. Eins og áður segir hefur að öllum líkindum eitthvað misfarist í þeirri kvörðun og er hún talin röng. Ath. þessi kvörðun er enn til staðar (2016) í mælinum.

16-21. maí 2011 losnar nemi og er einungis fastur í miklum gróðri. Nemi talinn hafa sýnt ótrúverðug gildi áður og dæmdur ónýtur.

## 2.2 Kvarðanir

Þrýstineminn eru tengdur með svo kallaðri straumlykkju við veðurstöð (veðurtölvu) sem sér um að skrá mælingar frá sjávarhæðarskynjara og veðurskynjurum og sér einnig um samskipti við rekstraraðila. Straumlykkja er notuð þar sem hún er talin með öruggustu aðferðum til að koma hliðrænum upplýsingum milli staða. Fjarlægð og spennuflökkt innan ákveðinna marka hafa engin áhrif á hana. Þrýstinemarnir geta haft mismunandi mælisvið, t.d. 0 til 7metra eða 0 til 10 metra, einnig geta þeir verið gerðir fyrir vatn eða sjó. Straumlykkjan er 4 til 20 mA, sem þýðir að þegar veðurstöðin skynjar 4 mA þá er neminn ofansjávar og við 20 mA er neminn á mesta mældiypi, 7 eða 10 m eftir gerð nema. Ef skipt er um nema og sá nýji er af annarri gerð þarf að breyta mælistuðlum í veðurtölvu (Campbell). Þann 19 september 1997 var skipt um nema og var settur nemi frá Keller með 10m mælisviði. Einnig var þá reynt að kvarða mælinn og voru nýjir stuðlar settir í veðurstöðina. Síðan þá hafa nemi verið endurnýjaðir með sömu gerð og mælistuðlum ekki verið breytt, eftir því sem best er vitað. 17. apríl árið 2000 er mælirinn kvarðaður og hallamælt frá honum í viðmiðunarpunkt. Aftur var kvarðað 18. ágúst 2008. Kvörðunarverkefnið var samvinnuverkefni Siglingastofnunar og Landmælinga Íslands.

Við kvörðun flóðmælis er sérstöku áhaldi eða mæli komið fyrir á mælistað og mælt niður að sjávarborði með sérstöku málbandi sem gefur hljóð og ljósmerki við það að snerta sjávarborðið. Handhægu röri er komið fyrir, sem málbandið er haft í, og rörinu sökkt niður fyrir sjávarborð. Rörið er með hindrun, þ.e. þrengingu neðst, og við það verður yfirborð sjávar inni í rörinu mikið stöðugra og auðveldar það mælinguna. Hægt er að framlengja rörið upp að mæliáhaldi ef koma þarf í veg fyrir að vindur trufla málbandið. (Guðmundur Valsson desember 2010, Kvörðun á Sjávarfallamælum 2008-2009 samanburður við mælingar 2000 (4)). Viðmiðunarpunktar í kvörðun voru HB-612, LM0722 og SG-6.

29. september 1995 er settur nýr skynjari 19,6 mm hærra en áður, sama hæð er síðan eftir því sem best er vitað.

September 1997 er skipt um skynjara.

Kvörðun í apríl árið 2000, í hafnarkerfi, viðmiðun HB-612, var  $0,0697+0,916^*$  aflestur flóðmælis.

Október 2001 er skipt um skynjara.

Kvörðun í ágúst árið 2008, í hafnarkerfi, viðmiðun HB-612, var  $0,0560+0,914^*$  aflestur flóðmælis.

Maí 2011 er skipt um skynjara.

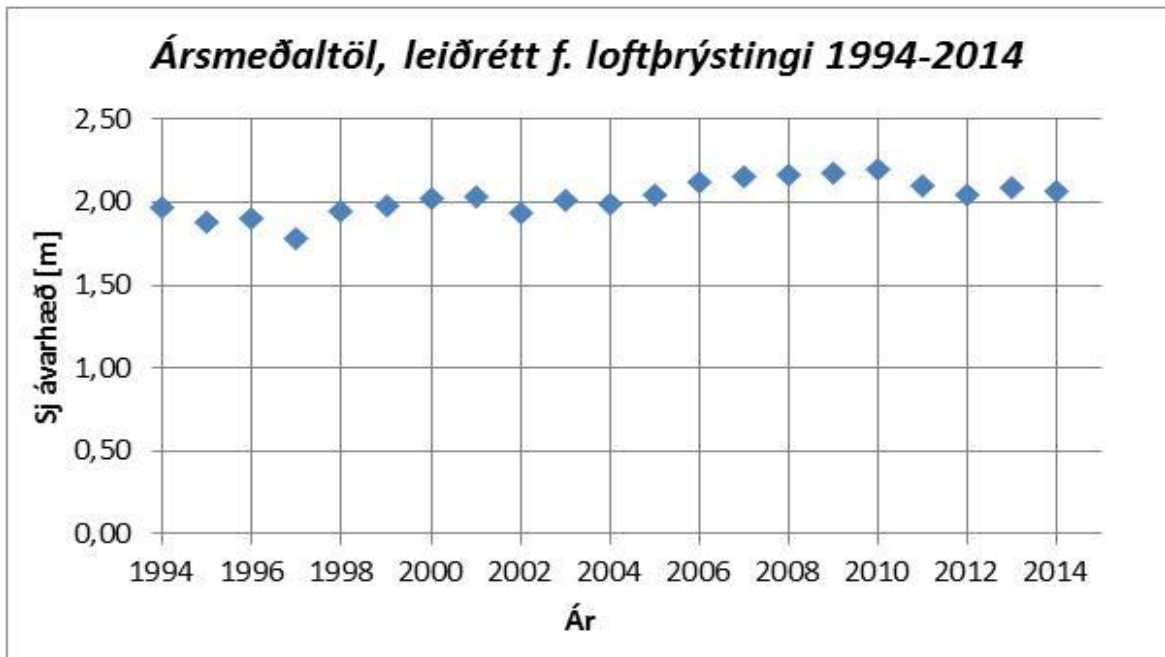
Júlí 2014 er skipt um skynjara.

Hallatala í kvörðunum er óeðlilega langt frá 1,0 sem hún ætti að vera. Eina skýringin er sú að illa hafi tekist til við kvörðunina frá 1997. Ekki er um að ræða að mælirinn sé í ferskvatnsstillingu. Benda má á að allmikið innrennsli er af fersku vatni í höfnina og gæti selta verið mismunandi í höfninni eftir því hvort er aðfall eða útfall. Ekki var reynt að meta áhrif þess á kvörðun. 14 mm hæðarmismunur kemur fram í kvörðunum, en lítill sem enginn í hallatölu. Líklegast er að hæðarmunur í kvörðunum stafi af því að nýr skynjari í október 2001 hafi ekki farið í sömu hæð og fyrir þann tíma. Mæligögnin frá sept 1997 til okt 2001 voru kvörðuð með gildum úr kvörðun árið 2000 og mæligögn eftir okt 2001 með gildum úr kvörðun 2008.

### 2.3 Meðalsjávarboð í Grindavík

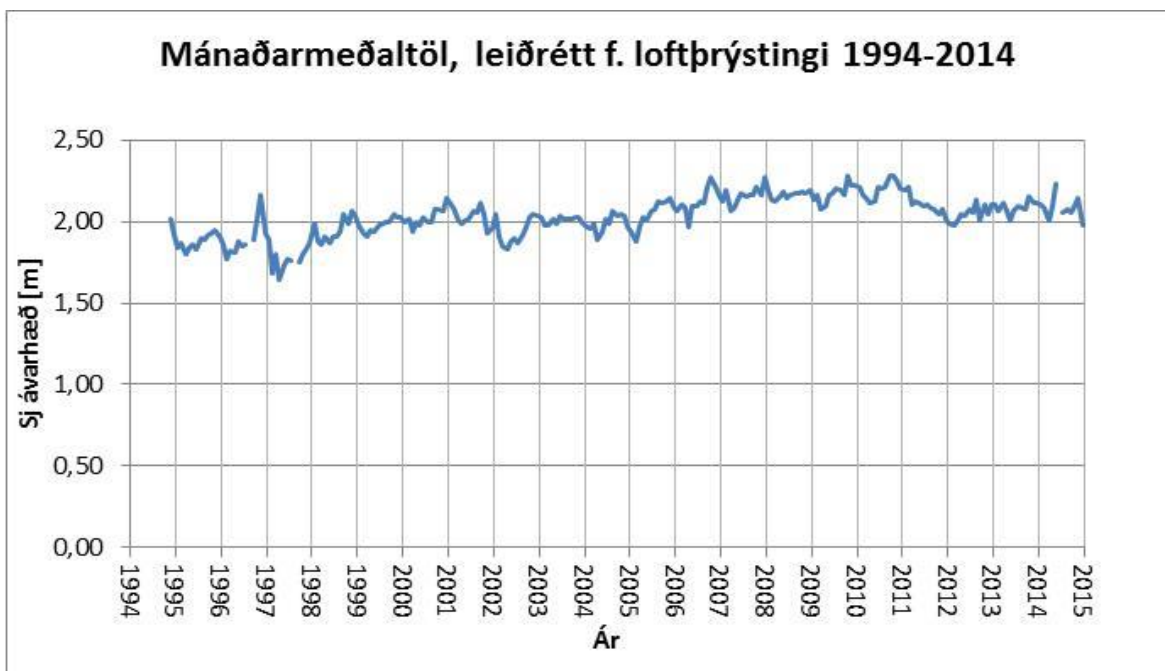
Reiknuð voru dags-, mánaðar- og ársmeðaltöl úr gögnunum eftir að þau höfðu verið leiðrétt gagnvart loftþrýstingi. Miðað var við að meðalloftþrýstingur í Grindavík væri 1005.0 hPa. Leiðrétt var um 8,4mm fyrir 1 hPa breytingu á loftþrýstingi.

Á mynd 4 eru ársmeðaltölin sýnd fyrir tímabilið 1994 til 2014. Hækkandi meðaltal merkir að sjór hækkar miðað við mælinúll. Þar sem hækkun er mjög mikil verður að álíta að um landsig sé að ræða. Samkvæmt myndinni væri landris frá 1994 til 1997, landsig frá 1997 til 2001, landris frá 2001 til 2002, landsig frá 2002 til 2010, og landris frá 2010 til 2015. Ekkert skal fullyrt hvort þetta sé rétt, þessar breytingar gætu verið eitthvað annað, t.d. breytileg áhrif veðurs eða mælitæknileg áhrif. Sjá þó síðar.

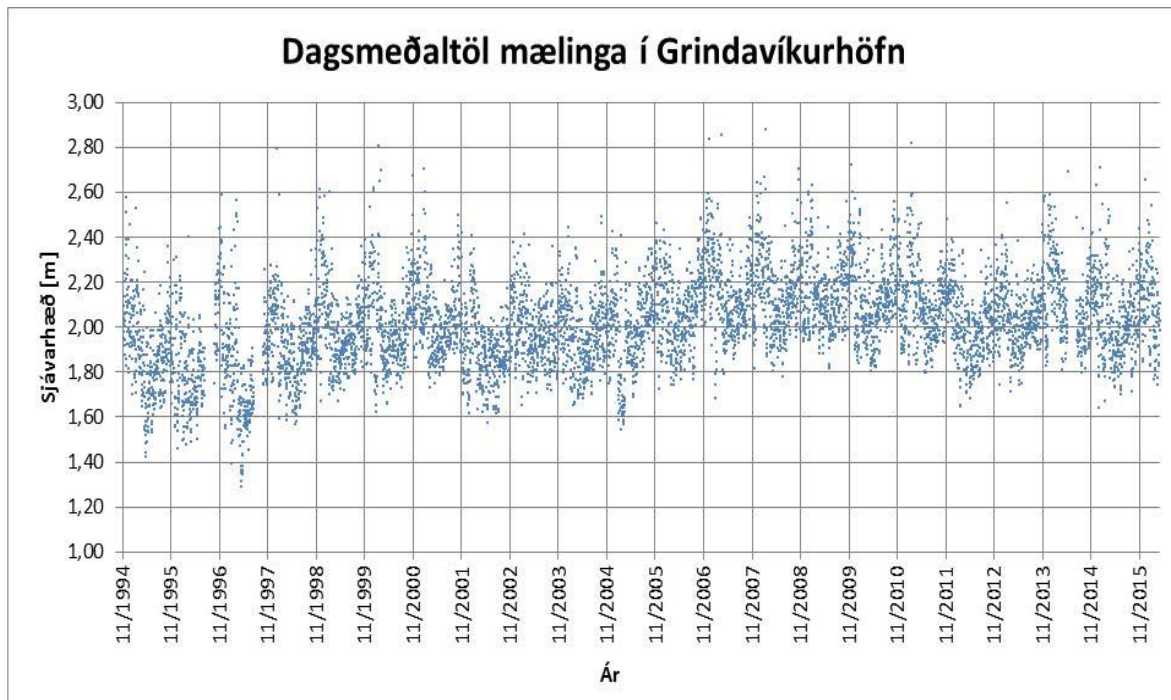


Mynd 4: Ársmeðaltöl leiðrétt fyrir loftþrýstingi, ath. mælirinn er með óvissri kvörðun 1994-1997.

Myndir 5 og 6 sýna mánaðar- og dagsmeðaltöl sömu mælinga.

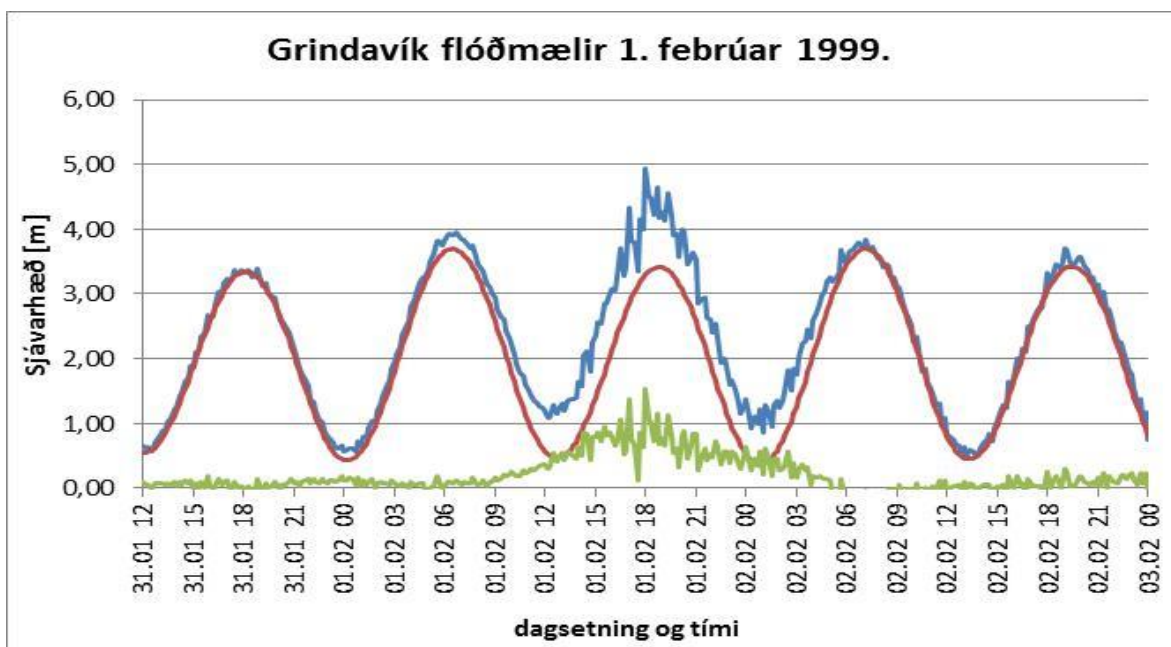


Mynd 5: Mánaðarmeðaltöl frá nóvember 1994 til desember 2014.



Mynd 6: Dagsmeðaltöl allra mælinga sem til eru frá Grindavíkurhöfn.

- Mikill breytileiki er í dagsmeðaltölum yfir árið og milli daga, sjá mynd 6, líkleg skýring er að mikill áhlaðandi getur verið í höfninni, sérstaklega ölduáhlaðandi. Sem dæmi um mikla sjávarhæð í höfninni eru dagarnir 31.janúar til 2. febrúar 1999 sýndir á mynd 7. Þá náði sjór langt upp á ljóshús og bjarga þurfti fólksbíl af bryggjunni, en til er myndband af björguninni á netinu. [www.youtube.com/watch?v=6UTqu496RzM](http://www.youtube.com/watch?v=6UTqu496RzM)

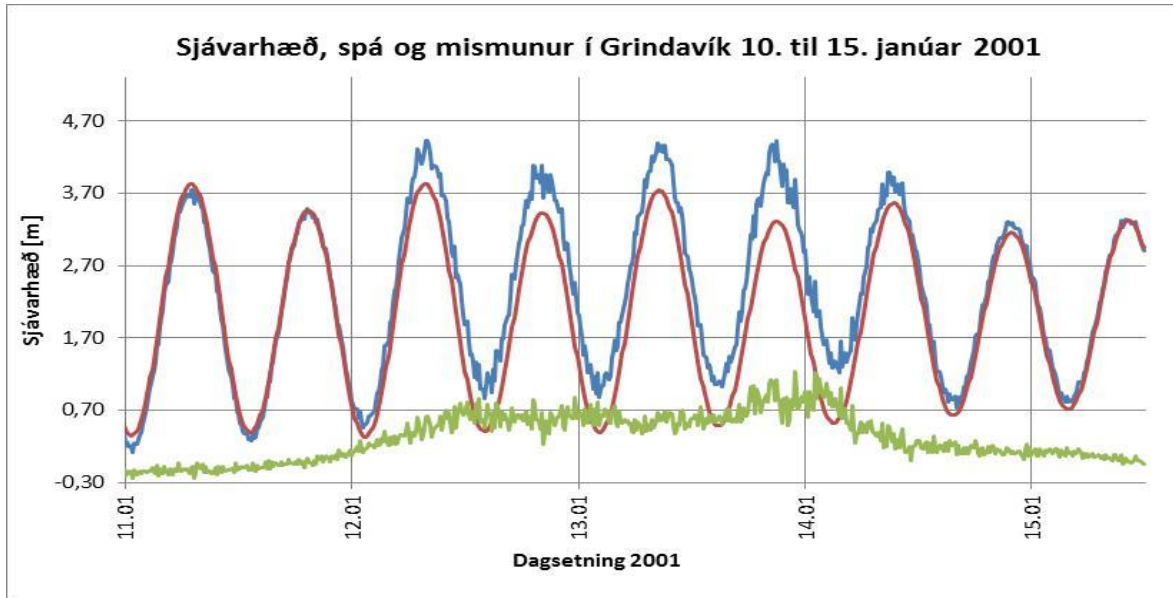


Mynd 7: Sjávarflóð í Grindavíkurhöfn 1. febrúar 1999. Dæmi um áhlaðanda. Blátt er mæling, rautt er spá og grænt er mismunur.

Af mynd 7 má sjá að sjór hefur farið a.m.k. 1,3 – 1,5 m yfir sjávarfallspá. Raunverulegt sjávarborð hefur þó verið hærra því mælingin sýnir ekki öldur og ekki er mælt í 9 mínútur af hverjum 10.

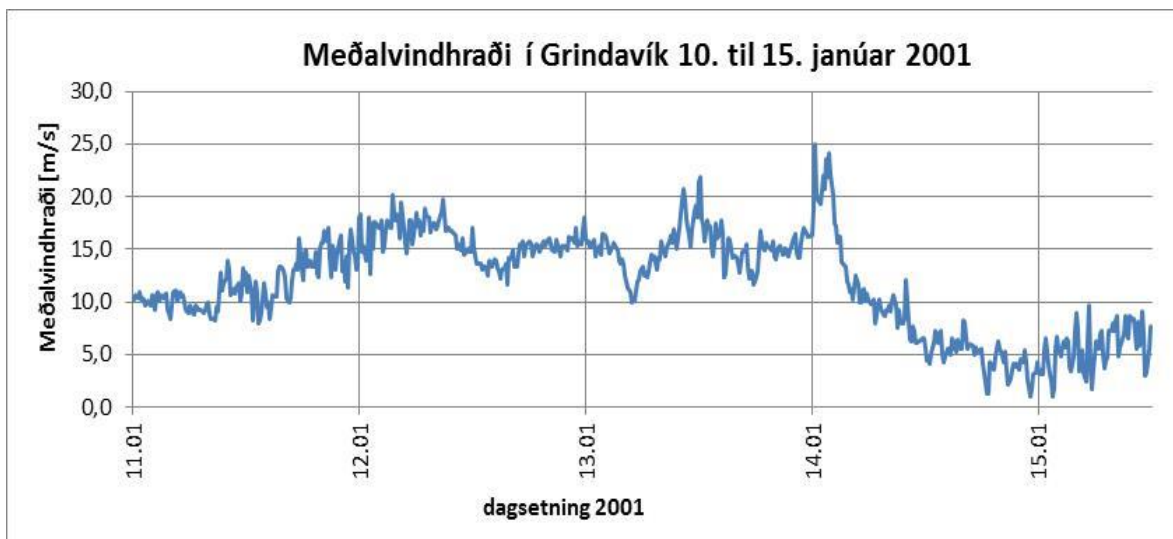


Annað tímabil af handahófi er sýnt á mynd 8 sem er frá 10. til 15. janúar 2001. Þar sést að meðalsjárvarborð hefur hækkað meir en 50 cm í vel á annan sólarhring miðað við reiknuð sjávarföll. Á mynd 9 sést vindhraði á sama tíma. Vindáttir voru SA til SV á tímabilinu. Umhugsunarvert er að 50 cm meðalsjárvarhækkun í 12 sólarhringa á ári vegna veðurs hækkar ársmeðaltalið um 16,4 mm, frá því sem annars væri.



Mynd 8: Meðalsjárvarborð getur hæglega hækkað um 0,5 m. í rúmlega sólarhring.

- Áhrif vinds, loftþrýstings, aldna og grunnsævis geta augljóslega hækkað meðalsjárvarborð frá því sem það annars væri og verður til að auka breytileika í meðaltölum.



Mynd 9: Meðalvindhraði í Grindavík m/s 10. – 15. jan. 2001, vindáttir voru frá SA til SV.

## 2.4 Mánaðarmeðaltöl sjávarfallamælis í Grindavík

Vegna óvissu í uppsetningu og kvörðun frá 1994 til 1997 var þeim mælingum sleppt í frekari úrvinnslu og tímabilið frá því í september 1997, þegar skipt er um skynjara, til mars 2016 skoðað nánar. Nú voru tiltæk góð gögn frá Reykjavík sem ná yfir sama tímabil. Mælingarnar í Grindavík voru því leiðréttar miðað við Reykjavík, en hægt er að flytja hæðir milli hafna ef veður og sjávarfallabættir eru þeir sömu á báðum stöðum. Þetta er oft notað ef flytja þarf hæðarviðmiðun á milli hafna eða tveggja staða og ekki eru til langtíma sjávarfallamælingar á seinni staðnum. Ef veður og sjávarfallabættir eru svipaðir milli staða má nota formúluna:

$$Mmt_a - MSH_a = Mmt_b - MSH_b \quad \text{eða} \quad MSH_b = Mmt_b + (MSH_a - Mmt_a) \quad (\text{III})$$

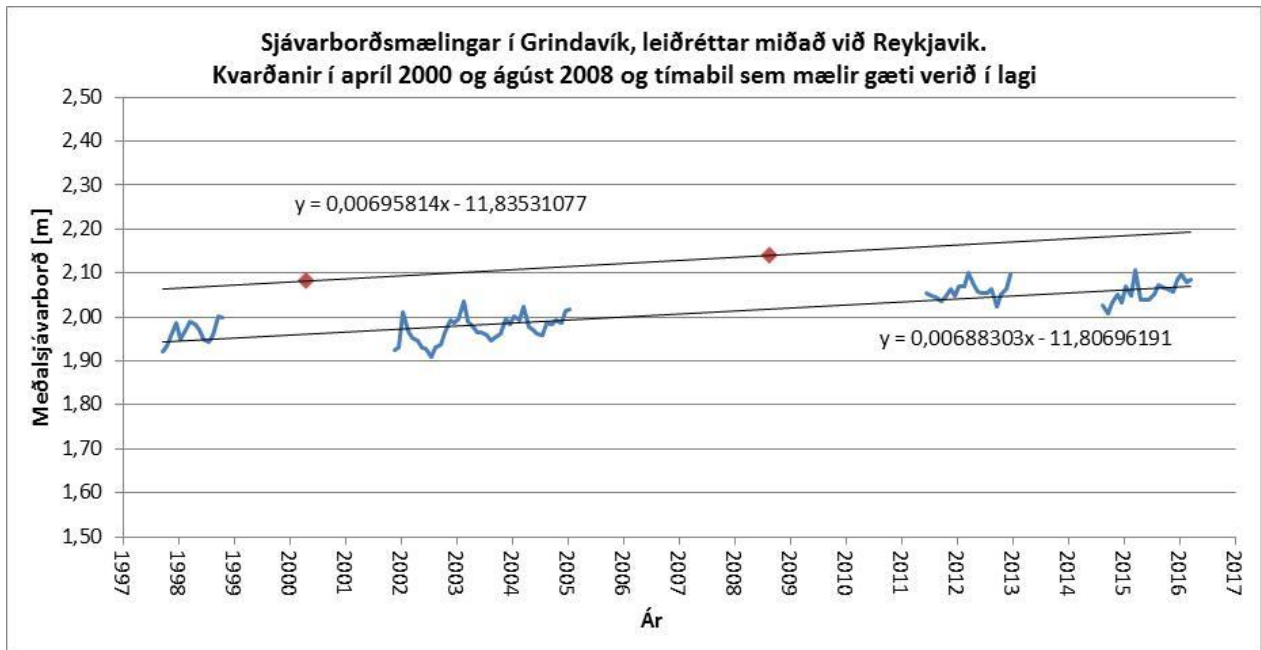
Þar sem  $MSH_a$  er meðalsjávarhæð á stað a og  $Mmt_a$  er meðaltal eins eða fleiri mánaða á stað a. Notuð voru mánaðarmeðaltöl á báðum stöðum en þau gefa oftast gleggri mynd af sjávarborði en ársmeðaltöl. Mynd 10 sýnir mælda sjávarborðshæð í Grindavík, leiðrétt miðað við Reykjavík, þar sem meðalsjávarborð í Reykjavík er sett sem 2,2494m árið 2004,6 (ákvarðað í nýju landshæðarneti Íslands af Landmælingum Íslands, ISH2004). Eyður eru í grafi við skynjaraskipti.



Mynd 10: Meðalsjávarborð í Grindavík, leiðrétt miðað við Reykjavík. Skynjaraskipti eru við eyður

Ef mynd 10 er skoðuð miðað við hvenær skipt er um skyjara í sjávarfallamæli vakna grunsemdir um bilanir í skynjara á mælitímabilinu. Sjá má að sjávarborð rís hratt 1999 til 2001, 2005 til 2011 og 2013 til 2014. Skipt er um skynjara í september 1997, maí 2011 og júlí 2014. Kvarðanir eru gerðar í apríl 2000 og ágúst 2008. Þegar skipt er um skynjara í október 2001 er gamli skynjari mældur og sýndi hann 4,23 mA en á að sýna 4,0mA. Það er því komið rek (drift) í skynjarann sem nemur 0,23mA sem umreiknað í sjávarhæð er um 14 cm. Skynjarinn er því að sýna um 14 cm of mikla sjávarhæð þegar hann er tekinn upp. Kvörðunin árið 2000 er því líklega gerð þegar mælirinn er kominn í rek. Sama er að segja um kvörðunina í ágúst 2008, hún er líklega einnig gerð þegar rek er komið í mælinn. Reynt var að meta hliðrun sem verður í mælingu þegar skipt er um skynjara árið 2011 og var hún metin 12 cm. Fastsetning skynjara í hæð í kvörðunum er því óreiðanleg en hallatala 0,916 er trúlega rétt þó ekki sé hægt að fullyrða það. Ekki er vitað hvernig rek hagar sér í mæli með tíma né hvort rek breytir

mögnun í skynjara. Mælingarnar í Grindavík eru því óreiðanlegar til að hæðarsetja mælipunkta. Þetta eru mikil vonbrigði með svo langa mæliseríu. Þrátt fyrir þetta má hugsanlega fá einhverjar upplýsingar úr mælingunum. Prófað var að henda út þeim mælingum sem gætu verið rangar og miðað við að mælingar séu réttar í einhvern tíma eftir að skipt er um skynjara. Einnig var skoðuð hæðarbreyting milli þeirra mánaða sem kvörðun var gerð í. Vegna reks mælis er kvörðun í raun einungis í gildi á kvörðunardegi. Mynd 11 sýnir mælingar eftir skynjaraskipti, þegar mælir er ekki í reki, og mælingar í kvörðunarmánuðum.



**Mynd 11 Rauðu punktar, efri lína, eru mælingar við kvörðun mælis, Meðalhækkun sjávarborðs í Grindavík leiðrétt m.v. Reykjavík, frá 1997 til 2016 er 7,0 mm á ári miðað við mælingar í kvörðunarmánuðum.**

Af mynd 11 sést að hallatala milli kvörðunarmánaða og þeirra tímabila sem mælir er líklegast í lagi er mjög svipuð. Neðri lína (mælir í lagi) er of lág um ca 12 cm. Samkvæmt kvörðunarmánuðum (apríl 2000 og ágúst 2008) er sjávarborð að hækka um 7,0 mm á ári miðað við fast sjávarborð í Reykjavík. Þegar sjávarborð á einum stað er leiðrétt miðað við Reykjavík er verið að flytja landhæð á milli staða. Það er því í raun og veru verið að skoða hvernig hæð mælis breytist með tíma, miðað við fasta hæð eða sléttan flöt (2,2494m). Eins og áður segir eru forsendur fyrir að hægt sé að nota svona leiðréttingu þær að sjávarfallaþættir (þar með talið sjávarborðshækkun) og aðrir þættir sem hafa áhrif á sjávarborð (t.d. veður og loftþrýstingur) séu þeir sömu. Gengið er út frá því að svo sé með þeirri undantekningu að landsig er í gangi í Reykjavík, sem þarf ekki að vera það sama og annarsstaðar. Það þarf því að leiðrétta það sérstaklega. Landsig í Reykjavík er talið um 1,2 mm á ári. (3) Leiðrétting vegna landsigs í Reykjavík eykur mælt landsig (og minnar mælt landris) á nýjum stað. Landsig í Reykjavík bætist því við útreiknað landsig í Grindavík og verður það 7,0 mm + 1,2 mm eða 8,2 mm á ári.

Afstæð sjávarborðshækkun í Grindavík byggd á mælingum þar sem mælir gæti verið í lagi frá 1997 til 2016 og ekki miðað við Reykjavík mældist 9,7mm á ári. Að frádræginni hækkun sjávar, um 1.3mm á ári gefur það 8.4mm landsig í Grindavík eða svipað og samanburðurinn við Reykjavík gefur.

Sjávarborð í Grindavík árið 2004,6 samkvæmt efri formúlu (kvörðun) í mynd 11 er 2,113 m.

## 2.5 Flóðstuðlar í Grindavík

Frumpættir sjávarfalla eru vel þekktir og auðvelt að greina þá. Tíðniþættir eru oft greindir með aðferð minnstu kvaðrata. Amennt er úrvinnsla þannig háttað að klukkutímagögnin eru greind án loftþrýstleiðréttingar í sjávarfallabætti. Því lengri tímaseira því betra.

Mælingar, án loftþrýstleiðréttingar frá 2006 til 2010, bæði árin meðtalin, voru greindar í stuðla, og fengust eftirfarandi niðurstöður:

Tafla 2 sýnir sjávarfallastuðla frá greiningu úr sjávarfallamæli í Grindavík árin 2006 til 2010

<b>Sjávarfallastuðlar</b>		
heiti	fasi	útslag
	deg	m
M2	168,6	1,061
S2	207,8	0,412
K2	194,2	0,116
N2	146,7	0,208
O1	73,3	0,062

Tafla 2: Sjávarfallastuðlar fyrir Grindavík

Fyrri dálkur í töflu 3 sýnir sjávarföll í Grindavík í gamla hafnarkerfinu með viðmiðun í HB-612 og er þá kortanúll í +0,37m. Seinni dálkur sýnir sjávarföll í Grindavík 2004,6 með kortanúll sem 0,0m en þá hafa allar tölur verið lækkaðar um 0,37m og þar á meðal viðmiðunin frá 1982.

<b>Sjávarföll í Grindavík 2004,6</b>					leiðrétt
				m	m
Meðalstórstraumsflóð	MSTSFL	MSH+(M2+S2+K2)		3,702	3,332
Meðalsmástraumsflóð	MSMFL	MSH+(M2-S2)		2,762	2,392
Meðalsjávarhæð	MSH	MSH		2,113	1,743
Meðalsmástraumsfjara	MSMFJ	MSH-(M2-S2)		1,464	1,094
Meðalstórstraumsfjara	MSSTFJ	MSH-(M2+S2+K2)		0,524	0,154
		KORTANÚLL	MSH-(M2+S2+N2+O1)	0,370	0,000
Viðmiðun HB-612 1982 lækkar um 0.37m					

Tafla 3: Endurreiknuð sjávarföll í Grindavík

- Þar sem mælingar eru gerðar í hafnarkerfi 1982 með viðmiðun í HB-612 þarf að lækka allar tölur um 0,37 m til að fá nýtt hafnarkerfi (2004,6) og lækkar því viðmið HB-612 um 0,37m miðað við meðalsjávarborð 1982.

Sjávarföll í Grindavík 1982 og 2004 eru sýnd í töflu 4. Ekki er marktækur munur.

<b>Grindaíkurhöfn</b>		1982	2004,6
		m	m
Meðalstórstraumsflóð	MSTSFL	3,35	3,33
Meðalsmástraumsflóð	MSMFL	2,36	2,39
Meðalsjárvarhæð	MSH	1,75	1,74
Meðalsmástraumsfjara	MSMFJ	1,14	1,09
Meðalstórstraumsfjara	MSSTFJ	0,15	0,15
Kortanúll		0,00	0,00

Tafla 4: Sjávarföll í Grindavík 1982 og 2004,6

## 2.6 GPS mælingar nálægt Grindavík

Landmælingapunktur LM0302 er nálægt Reykjanesvita og LM0722 er í höfninni í Grindavík. Samkvæmt GPS mælingum, (4) hefur mismunur á hæð þeirra minkað um um 79 mm á árunum 1997 til 2010, þar sem LM0722 (Grindavík) lækkar minna en LM302. LM302 lækkaði á árunum 1993-2004 um 122 mm, skv Isnet mælingum, eða um 11,09 mm á ári. Miðað við það gæti landsig á árunum 1997-2010 hafa verið 144 mm. Ef LM0722 hefur sigið minna en LM302 um 79 mm, þá hefur höfnin sigið alls um 65 mm á árunum 1997-2010. Eða um 5,0 mm á ári. Samkvæmt flóðmælingu í Grindavík gæti landsig verið um 8,2mm á ári sem er allmiklu meira en GPS mælingar gefa til kynna.

## 2.7 Meðalsjárvarboð og hæðir í Grindavík.

Hæðarkerfi Grindavíkurhafnar var ákvarðað 1982 og var viðmiðunarpunktur HB-612 settur í 6,579 m í hafnarkerfi. Í meðalsjárvarborðskerfi 2004,6 er hann 2,113 m neðar eða í kóta 4,466 m. Árið 2000 var nýr mælipunktur hæðarmældur frá HB-612. Þ.e. LM0722 og var hann ákvarðaður 3,913m í hafnarkerfi. Í meðalsjárvarborðskerfi 2004,6 verður hann 2,113m neðar eða 1,800m. Í Landshæðakerfi Íslands, ISH2004 er LM0722 gefin hæðin 1,798m einungis munar 2 mm.

Tafla 5 sýnir hæðarviðmiðanir í Grindavík 1982 og 2004.

Hafnarkerfi Grindavík	1982	2004,6	Meðalsjb. kerfi 2004,6
	m	m	m
HB-612	6,579	6,207	4,466
LM0722	3,913	3,541	1,800
Meðalsjárvarborð	1,75	1,74	0,00

Tafla 5: Hæðarpunktar í Grindavík

## 2.8 Nýtt kortanúll fyrir Grindavík?

Þar sem land hefur sigið töluvert í Grindavíkurhöfn frá því að kortanúll var síðast ákvarðað hefur dýpi aukist samsvarandi. Á þá að breyta dýpistöllum í hafnarkorti? Svarið er „ekki endilega“ en ástæðan er sú að breytingin er í hagstæða átt (fyrir siglingar) og sú að kortanúll er nú oftast en áður miðað við „LAT“ eða lægstu stjarnfræðilegu sjávarstöðu sem spáð verður á 19 ára tímabili miðað við nýja greiningu. Norðmenn, Bretar o.fl. nota þessa skilgreiningu í sínum höfnum, (5). Lægsta sjávarstaða í spá fyrir Grindavík í nýju hafnarkerfi með meðalsjárvarborð í 1,74 er -0,261 m. Taka mætti upp nýtt hafnarkerfi þar sem spá færi aldrei niður fyrir 0,0 m (LAT kerfi). Þannig verður hæð HB-612 í LAT kerfi

6,470 m. Við það að taka upp LAT kerfi í Grindavík mundi dýpka um 11,0 cm. í stað 37,0 cm. Eftir sem áður getur sjávarstaða farið niður fyrir 0,0m, s.s. vegna áhrifa veðurþátta.

<i>Hefðbundið hafnarkerfi</i>		<i>LAT hafnark</i>		
<i>Grindavíkurhöfn</i>		1982	2004,6	2004,6
		m	m	m
Meðalstórstraumsflóð	MSTSFL	3,35	3,33	3,59
Meðalsmástraumsflóð	MSMFL	2,36	2,39	2,65
Meðalsjávarhæð	MSH	1,75	1,74	2,00
Meðalsmástraumsfjara	MSMFJ	1,14	1,09	1,36
Meðalstórstraumsfjara	MSSTFJ	0,15	0,15	0,42
Kortanúll		0,00	0,00	0,26
LAT kortanúll		-0,26	-0,26	0,00
HB-612		6,579	6,207	6,468
LM0722		3,913	3,541	3,802

Tafla 6: Sjávarföll og hæðarkerfi

## 2.9 Helstu niðurstöður fyrir Grindavík:

- Landsig í Grindavíkurhöfn er um 8,2 mm á ári (2000 -2008) út frá kvörðunarmánuðum
- Landsig í Grindavík er um 5 mm á ári skv GPS landmælingum (1997 – 2010) og Isnet2004.
- Meðalsjávarborð er 2,113 m árið 2004,6 (í viðmiðun 1982)
- LM0722 er +3,541 m í nýju hafnarkerfi og +1,800 m í nýju meðalsjávarkerfi
- LM0722 er +3,802 m í nýju LAT hafnarkerfi.
- Öll mæliserían er stórlega gölluð að því leiti að meðalsjávarborð reikar óeðliega mikið upp og niður, reyndar að því er virðist bara upp. Ekki verður hjá því komist að álíta að mælir sé bilaður mikinn hluta mælitímabilsins. Bilunin lýsir sér í því að rek kemur í mælinn sem stendur yfir í mörg ár í senn. Rek mælisins er áætlað að sé frá 0,0 cm til 14 cm, þ.e. að mælir sýnir aukna sjávarhæð um allt að 14 cm þegar hann fer í rek. Tvisvar sinnum var mælirinn kvarðaður en með 8 ára millibili, sem er alltof langur tími. Svo virðist sem kvarðanir séu gerðar þegar mælir er í reki og gefa þær svipaðar niðurstöður, sem verður til þess að grunsemdir um bilanir vakna ekki fyrr er löngu seinna við úrvinnslu. Það verður því ekki of oft ítrekað að það þarf að kvarða sjávarfallamælana miklu oft og fylgjast betur með þeim.
- Þar sem flóðmælingar í Grindavík eru stórlega gallaðar er óvarlegt að breyta hafnarkerfi Grindavíkur á þeim forsendum. Lagt er til að mælir verði kvarðaður og ný mæligildi verði sett í mælitölvu og niðurstöður endurskoðaðar að einhvejum tíma liðnum.

### 3. Sjávarfallamælingar í Landeyjahöfn.

#### 3.1 Inngangur

Bygging Landeyjahafnar hófst haustið 2008 og var hún tekin í notkun í júlí 2010. Eldgos hófst á Fimmvörðuhálsi þann 20. mars 2010 og lauk 13. apríl 2010. Gos hófst í Eyjafjallajökli þann 14. apríl 2010 og lauk 23. maí 2010. Jökulhlaup fylgdi gosinu í Eyjafjallajökli með allmiklum efnisburði til sjávar. Þrátt fyrir gosið varð ekki mikið um tafir við framkvæmdir og var höfnin opnuð í júlí 2010.

#### 3.2 Hæðarkerfi

Á framkvæmdatíma hafnarinnar var sett niður 10 m löng borstöng skammt norður af höfninni. Á enda stangarinnar var sett plata og mæliskrúfa sem viðmiðunarmælipunktur Landeyjahafnar við framkvæmdir. 4. júní 2009 var mælipunkturinn mældur inn miðað við landskerfispunkt LM0354 við Seljaland. Mælt var með trimble 4000 SSI GPS tæki og stóð mæling yfir í 9,5 tíma. Landmælingar gáfu upp geóíðumismun 65,218 m sem ákvarðar hæð viðmiðunarpunkts sem +4,282 m í landskerfi, þ.e. í meðalsjávarhæð. Geóíðmunurinn var talinn vera með nákvæmni +- 30cm. Eftirtektarvert er að geóíðmunurinn er óvenju breytilegur á svæðinu frá Eyjafjöllum til Vestmannaeyja.

Þann 8. júní 2009 var flóðhæð í Vestmannaeyjahöfn og Landeyjahöfn samlesin og var viðmiðun landskerfi (Ísnet 93) og hafnarkerfi í Vestmannaeyjum. Samlestur gaf hæð á mælipunkti (borstöng) sem 5,84 m í hafnarkerfi og 4.45 m í landskerfi. (Reiknað var með að meðalsjávarborð í Vestmannaeyjum væri 1,39 m í hafnarkerfi)

Staðsetning mælipunkts Landeyjahafnar, júní 2009

WGS 84	WGS84	Isnet93
63° 31' 55.98790'' N	63° 31.93313' N	austur 444543.240
20° 06' 52.35762'' V	20° 06.87263' V	norður 336854.803
69.50 m	69,50 m	4,45 m

Tafla 7 Staðsetning mælipunkts Landeyjahafnar

Veðurstöð var sett upp við höfnina í september 2010 og flóðmælir í október 2010. Flóðmælirinn var settur við stiga á austurhorni bryggjunnar og hæð hans miðuð við kóta 5,00 m á steyptri þekju við stigann.

#### 3.3 Sjávarfallamælingar í Landeyjahöfn.

Nær samfelldar flóðmælingar eru til frá 26. október 2010. Unnið var úr mælingum til maí 2015, en þá kemur hliðrun í mæli. Ekki er vitað hvað veldur en ástæða er til að taka mæli upp og athuga hann. Truflun varð, rúmir tveir sólarhringar 28.-30. mars 2011, þá er einkennileg hliðrun í mæli. Önnur truflun varð 24.-25. janúar 2013, en þá virðist mælir vera tekinn upp eða aftengdur. Engar frekari upplýsingar hafa fundist um þau atvik. Mæligildi sem vantaði voru skálduð með hliðsjón af sjávarfallaspá og nærliggjandi gildum og fékkst þá samfelld mæliröð. Mælingar eru gerðar á 10 mínútna fresti þannig að meðaltal er tekið af síðustu mínútunni. Skynjarinn er ekki í röri þannig að eina dempunin á öldum er vegna dýpis. Öldur og sog eru því mæld ásamt flóðhæð. Þetta veldur því að mæld sjávarhæð getur vikið allmikið frá raunverulegum sjávarföllum. Sömplun á 10 mínútna fresti



þar sem sog eru með minna en 20 mínútur sveiflu getur valdið töluverðri skekkju (aliasing), þetta væri að hafa mæli í röri með hindrun sem dempar slíkar sveiflur en þá eykst hættan á stíflum sem trufla mælingu. Þar sem mælingar eru til á 10 mínútna fresti voru þær filteraðar með 10 mín filter (2) til að jafna klukkutímagildin.

Klukkutímagildin voru notuð til að reikna mánaðarmeðaltöl, sem voru síðan leiðrétt miðað við flóðmæligögn í Reykjavík og meðalsjávarborð reiknað. Flóðstuðlagreining var gerð á klukkutímagildum frá nóv 2010 til apríl 2015. Hæsta mælda sjávarstaða var +3,62 m og lægsta -0,48 m. Mælir hefur ekki verið kvarðaður og gætu niðurstöður breyst við kvörðun. Niðurstöður sjávarfallagreiningar eru sýndar í Tafla 8.

Landeyjahöfn	fasi		útslag
	deg		m
Z0	-		1,429
M2	163,3		0,874
S2	200,6		0,343
K2	201,9		0,095
N2	140,8		0,172
O1	66,2		0,066

Tafla 8 Sjávarfallastuðlar fyrir Landeyjahöfn

Mánaðarmeðaltöl in eru sýnd í mynd 12.



Mynd 12 Sjávarborð í Landeyjahöfn miðað við Reykjavík, mánaðarmeðaltöl

Sjá má af mynd 12 að mánaðarmeðaltölin hliðrast niður á við í maí 2015. Mælir gæti hafa losnað. Meðalsjávarborð frá upphafi fram í maí 2015 reiknast 1,429 m.

### 3.4 Niðurstöður sjávarfallagreiningar:

Tafla 9, vinstri taflan sýnir sjávarföll miðað við mælinúll sé 5,0 m neðan við bryggjuþekju við stiga. Mælir hefur ekki verið kvarðaður og engin trygging er fyrir því að hann hafi farið í rétta hæð þegar hann var settur niður. Sé hann réttur hækkar viðmið um 2,6 cm, þ.e. hæð þekju við stiga verður 5,026 m. Enn verður að minna á nauðsyn þess að kvarða sjávarfallmæla.

Landeyjahöfn nóv 2010-apr 2015	sjávarföll mælir		sjávarföll	Landeyjah.	Vm 1980
	m			m	m
MSH+(M2+S2+K2)	2,741		MSTSFL	2,767	2,64
MSH+(M2-S2)	1,960		MSMFL	1,986	1,98
MSH	1,429		MSH	1,455	1,39
MSH-(M2-S2)	0,898		MSMFJ	0,924	0,80
MSH-(M2+S2+K2)	0,117		MSSRFJ	0,143	0,13
MSH-(M2+S2+N2+O1)	-0,026		KORTANÚLL	0,000	0,00
viðmiðun 5,00 við stiga verður 5,026m					

Tafla 9 Ákvörðun sjávarfalla við Landeyjahöfn 2013 og Vestmannaeyjahöfn 1980. Á hvorum stað fyrir sig eru sjávarföllin miðuð við sjókortanúll sem ætlað er til siglinga.

Mælitímabilið er of stutt til að áætla afstöðubreytingar milli lands og sjávar.

### 3.5 Hæðarkerfi Landeyjahafnar

15. Apríl 2016 hallamældu MogT frá viðmiðunarpunkti að bryggjuþekju við stiga, þar sem flóðmælir er staðsettur. Hæð á þekju reyndist 0,677m neðan við viðmiðunarpunkt, sé bryggja í 5.026 gefur það hæð viðmiðunarpunkts sem +5,703 m.

Staður	Hafnarkerfi	Landskerfi
	m	m
Bakkinn rör	5,703	4,248
múrb v. Stiga	4,814	3,359
þekja við stiga	5,026	3,571

Tafla 10 Mælipunktur Landeyjahöfn, hæðir í metrum miðað við tímenn 2013,0

Eftirtektarvert er að viðmiðunarpunktur hafnarinnar, (bakkinn rör) fær hæðina +4,248m í meðalsjávarborskerfi, sem ætti að vera sama og landskerfi, samkvæmt úrvinnslu og fyrirliggjandi hæðarsetningu mælis. Sami punktur fékk hæðina +4,282m í landskerfi samkvæmt GPS mælingu og uppgöfinum geoiðumismun frá Landmælingum Íslands.

Skekka (hliðrun) virðist koma í mæli á tímabilinu mars-mai 2015 og er til staðar síðan. Fullt tilefni er til að taka mæli upp og athuga hann og koma honum betur fyrir, t.d. á stálstöng sem mundi auðvelda upptöku og tryggja betur að nýjir skynjarar fari í sömu hæð og áður. Ath. mælir hefur ekki verið kvarðaður þannig að niðurstöður eru óáreiðanlegar.

## 4. Sjávarfallamælingar á Hornafirði.

### 4.1 Mælingar

Fyrstu samfelldu sjávarborðsmælingar sem eru tiltækar eru frá því 1978 til 1980 en þá mældi Hafnamálastofnun Ríkisins sjávarhæðir í allmörgum höfnum landsins í þeim tilgangi að fastsetja hæðarkerfi hafna, eða „sjókortanúll“ sem viðmiðun fyrir siglingar. Á Hornafirði var settur upp siritandi mælir af gerðinni Steevens og mældi hann í höfninni frá júní 1978 til september 1979. Þann 9. september 1979 var settur niður þrýstimælir við Hlein í Hvanney og náðust mælingar til 11. október sama ár en þá bilar tenging við mælinn. Snemma árs 1994 var sett upp veðurstöð í Hvanney ásamt sjávarborðsmæli og eru til gögn síðan þá en með mislöngum eyðum. Nokkrum sinnum hefur verið skipt um þrýstinema á þessu tímabili, skipt var um skynjara í febrúar 1999, júní 2002 og febrúar 2010 svo vitað sé.

### 4.2 Sjávarfallamælingar árið 1980

Úrvinnsla mælinga frá 1978 var gerð af Hafnamálastofnun og Gunnari Þorbergssyni á Orkustofnun. Tafla 11 sýnir niðurstöður fyrir Hornafjörð. Þar kemur fram að í Ósnum er munur á stórstraumsflóði og stórstraumsfjöru 2,0 m en í höfninni 1,1 m. Sjávarfallasveiflan minnkar þannig töluvert frá hafi inn að höfn vegna þrenginga í Ósnum og fjörðunum innan Óssins. Vegna þess hve miklu munar á sjávarföllum voru sett upp tvö hæðarkerfi, annarsvegar fyrir höfnina og hinsvegar fyrir Ósinn, sjá töflu 1. HB-561 og HB-563 eru hæðarboltar við höfnina og í hlið Hvanneyjarvita.

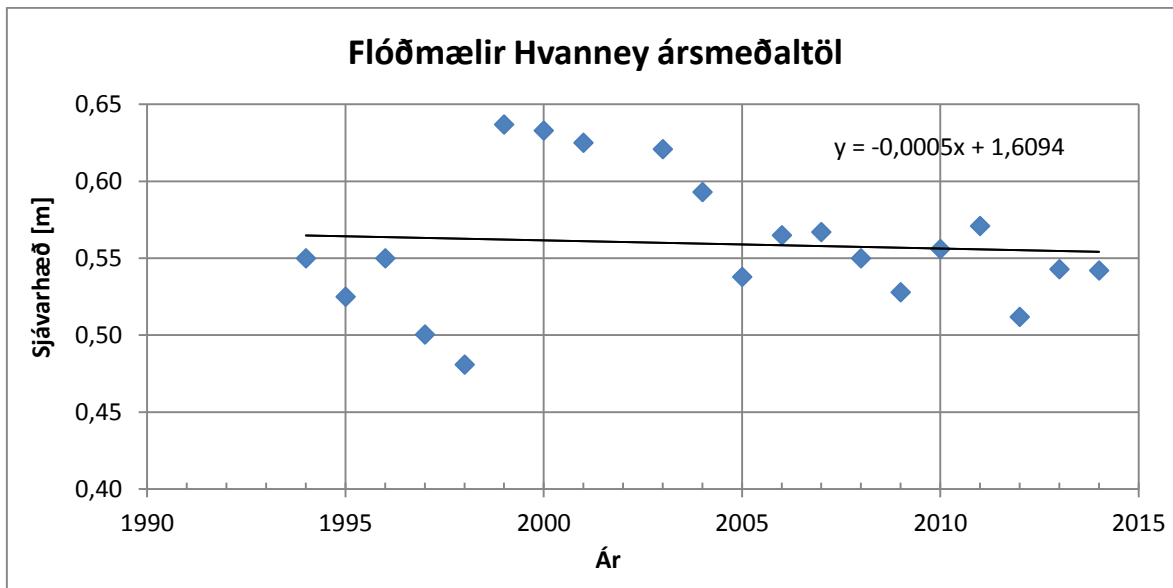
	Höfnin (m)		Ós við Hlein (m)
MSTFL	1,169	MSTFL	2,112
MSMFL	0,898	MSMFL	1,532
MSH	0,634	MSH	1,122
MSMFJ	0,370	MSMFJ	0,713
MSTFJ	0,099	MSTFJ	0,130
Kortanúll	0,000	Kortanúll	0,000
HB-561	2,770	HB-563	9,827

Tafla 11 Ákvörðun sjávarfalla við Hornafjörð 1980, í höfninni og í Ósnum. Á hvorum stað fyrir sig eru sjávarföllin miðuð við sjókortanúll sem ætlað er til siglinga.

### 4.3 Úrvinnsla sjávarfallamælinga frá 1994

#### Ársmeðaltöl frá 1994

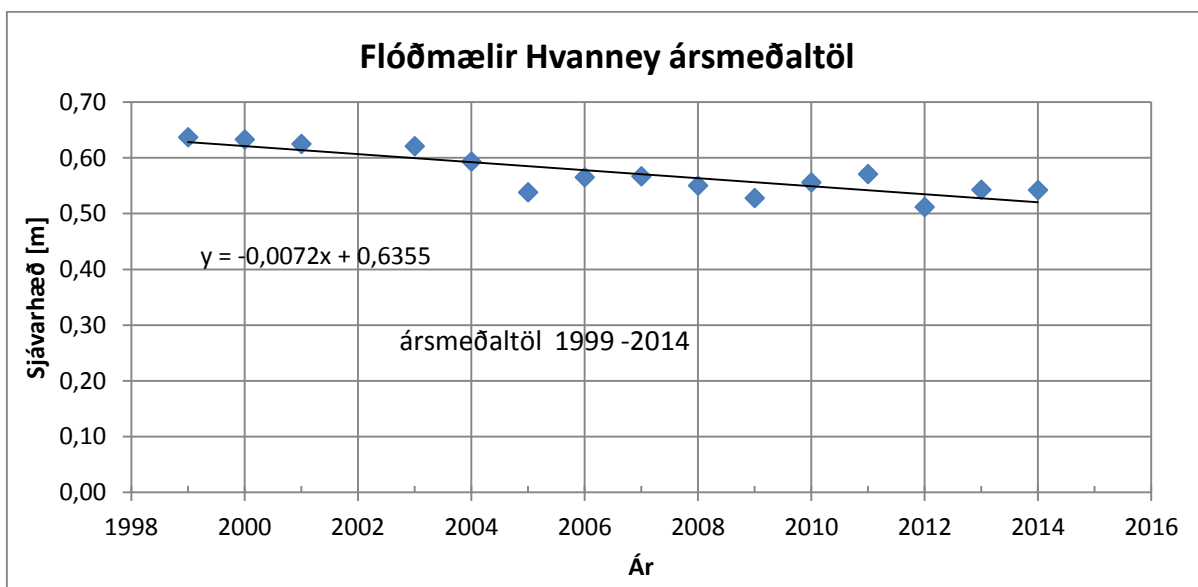
Gögnum frá veðurstöðinni í Hvanney var safnað saman og þau yfirfarin. Þó nokkuð mikið er af villum fyrstu árin, sem stafar líklega af truflunum í módemsamböndum, einnig er nokkuð um hlé eftir að skynjarar hafa bilað. Hvert ár er tekið fyrir sig, leitað að tímabilum sem vantar og eru þá settar inn tímasetningar til að fá samfellda tímaröð. Fyllt var upp í styttri eyður. Byrjað var á því að taka einföld ársmeðaltöl og eru þau sýnd í Mynd 13.



Mynd 13 Ársmeðaltöl Hvanneyjarmælis frá 1994 til 2014 sýna litla sem enga afstöðubreytingu lands og sjávar

Við eftirgrennslan kom í ljós að skipt hafði verið um mæli og mælifestingu á tímabilinu milli 1998 og 1999. Ekki hefur tekist að finna kvörðun fyrir mælinn fyrstu mæliárin. Einnig er vitað að mælafesting skekkist, hugsanlega á tímabilinu 1997 og 1998, þannig að mælir lyftist og mælir þar af leiðandi lægra sjávarborð. Mælingum frá 1994 til 1999 var því sleppt í bili.

Ársmeðaltöl frá 1999 eru sýnd í Mynd 14 að slepptu árinu 2002 sem sýnir óeðlilega hátt meðalgildi, eða 0,8-0,9m. Öruggt má telja að mælir sé bilaður árið 2002. Skipt er um skynjara í júní en mælir verður ekki trúlegur fyrr en í september. Ársmeðaltölin sýna nú afstöðubreytingu lands og sjávar sem svarar til 7,2 mm á ári, þannig að land hækkar miðað við sjó.

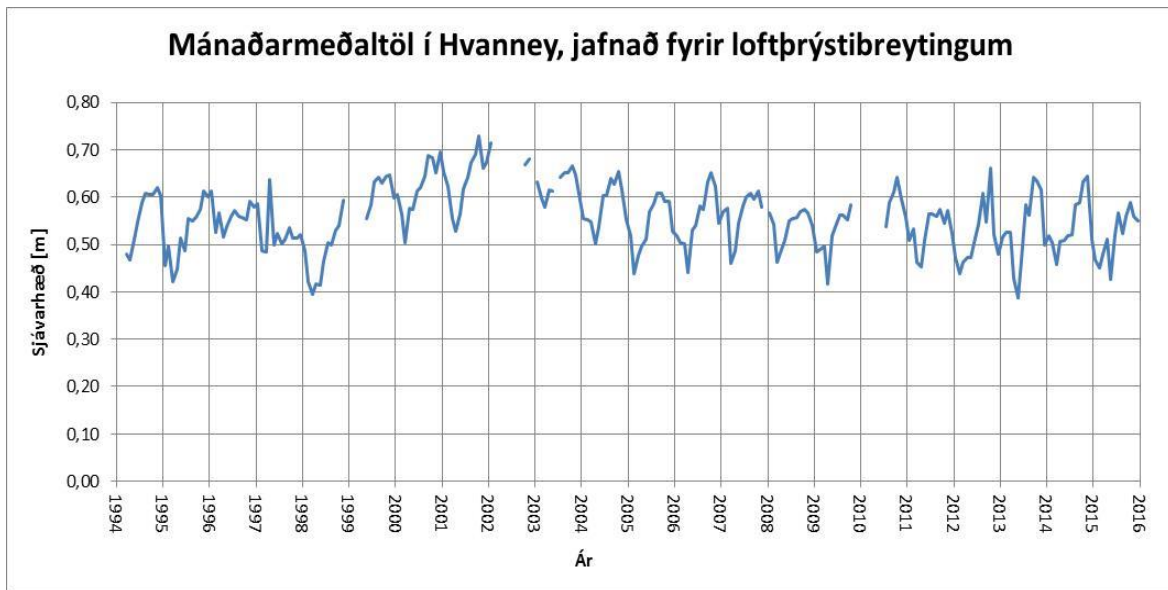


Mynd 14 Ársmeðaltöl Hvanneyjarmælis frá 1999 til 2014 sýnir 7,2 mm afstöðubreytingu lands og sjávar á ári

### Mánaðarmeðaltöl

Mánaðarmeðaltöl eru á margan hátt gleggri en ársmeðaltölin, auðveldara er að sjá eyður og trend. Mánaðarmeðaltölin voru fundin og unnið með þau á ýmsan hátt. Mánaðarmeðaltölin voru leiðrétt gagnvart loftþrýstingi frá veðurstöðinni í Hvanney og var miðað við að svörun sjávarborðs við

loftþrýstingi væri sú sama og í Reykjavík eða 0,0084m við 1,0 hPa (mb) loftþrýstibreytingu. Mánaðarmeðaltölín eru sýnd á Mynd 15.

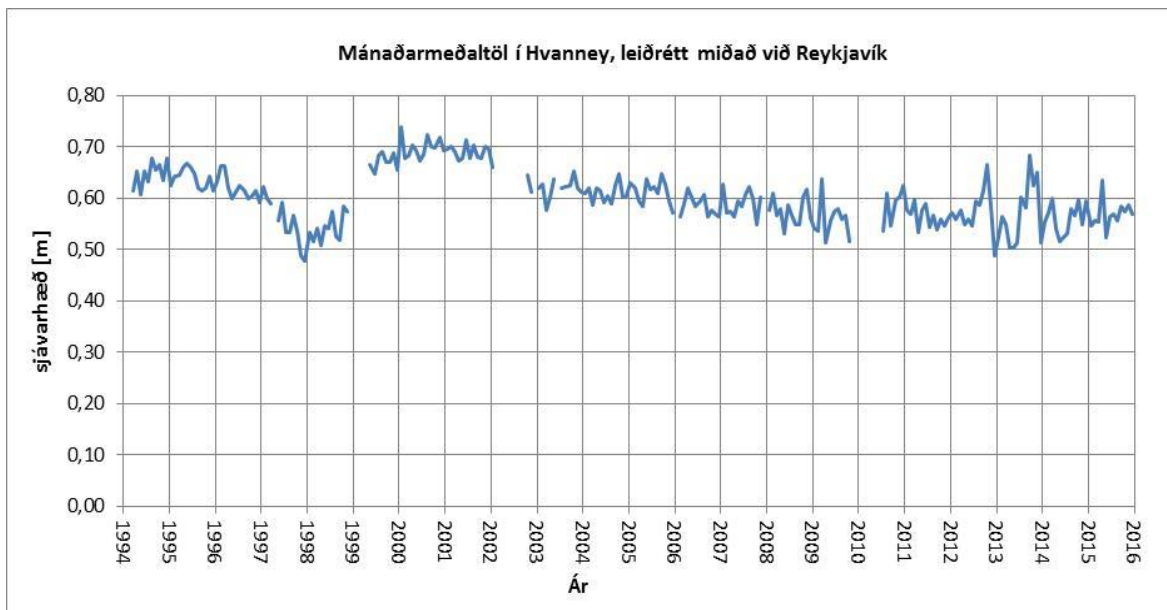


Mynd 15 Mánaðarmeðaltöl Hvanneyjarmælis eftir árum frá 1994 til og með 2015.

Til eru góðar sjávarhæðarmælingar frá Reykjavík á sama tíma, kvarðaðar til 2008 en leiðréttar þurfti fyrir sigi á flóðmæli fram að því. Líklegt er að einhver skekkja sé til staðar eftir 2008 vegna áframhaldandi sigs flóðmælis. Mælingarnar í Hvanney voru leiðréttar miðað við Reykjavík, en hægt er að flytja hæðir milli hafna ef veður og sjávarfallaþættir eru þeir sömu á báðum stöðum. Þetta er oft notað ef flytja þarf hæðarviðmiðun á milli hafna eða tveggja staða og ekki eru til langtíma sjávarfallamælingar á seinni staðnum. Ef veður og sjávarfallaþættir eru svipaðir milli staða má nota formúluna:

$$Mmt_a - MSH_a = Mmt_b - MSH_b \text{ eða } MSH_b = Mmt_b + (MSH_a - Mmt_a) \quad (III)$$

þar sem  $MSH_a$  er meðalsjávarhæð á stað a og  $Mmt_a$  er meðaltal eins eða fleiri mánaða á stað a. Leiðréttar mælingar í Ósnum eru sýndar í Mynd 16.



**Mynd 16** Mælingar beint af mæli í Hvanney leiðréttar gagnvart meðalsjárvarborði 2,2494m árið 2004,6 í Reykjavík. Myndin sýnir hvernig sjávarborðshæð breytist á Höfn miðað við Reykjavík.

Samkvæmt grafi hefur verið landris í Hvanney frá 1994 til 1998, landsig frá 1998 til 2001 og landris síðan þá. Einnig virðist rishraði að minnka. Nú skal ekkert fullyrt hvort þetta sé rétt, engar kvarðanir eru til á mæli í Hvanney allan þennan tíma. Mælir gæti allt eins verið á hreyfingu eða verið að bila á einhverjum tímabilum. Skipt var um mæliskynjara í febrúar 1999, júní 2002 og febrúar 2010. Auk þess hefur mælir hagað sér óeðlilega frá 2012 eins og sjá má af grafi. Vitað er að mælafesting bilar um 1998 og er endurnýjuð 1999. Mælir gæti því verið hálf laus í einhvern tíma fyrir 1999. Þess má geta að GPS mælingar sem stundaðar eru á Höfn sýna stöðugt landris frá 1997, sbr. Minnisblað frá Veðurstofu Íslands 2.7.2014.

Eins og áður hefur komið fram var meðalsjárvarborð í Ósnum ákvarðað 1,12 m í Óskerfi byggt á úrvinnslunni frá 1980. Mælir í Óskerfi ætti því að sýna meðalsjárvarborð um 1,12 m. Mælirinn er hinsvegar að sýna meðaltal frá um 0,7 m til um 0,55 m og er því ekki að mæla í því kerfi. Meðalsjárvarborð í höfninni var ákvarðað árið 1980 sem 0,634 m í hafnarkerfi. Mælirinn er miklu nær því kerfi og engu líkara en hann hafi verið stilltur til að sýna 0,63 m meðaltal þegar hann er settur upp um 1994, sbr Mynd 16. Það er því líklegast að mælir sé settur upp til að mæla í gamla hafnarkerfinu.

#### 4.4 Hvanneyjarmælir og hæðarkerfi á Hornafirði

Hæðarkerfi á Höfn eru í raun 4 og getur það hæglega valdið ruglingi. Eins og áður segir eru 2 hafnarkerfi, eitt fyrir höfnina, kallað hafnarkerfi, og annað fyrir Ósinn, bæði voru ákvörðuð árið 1980. Þriðja kerfið er bæjarkerfið sem mælt var af Hnit um 1975 og að einhverju leiti endurmælt af Fjarhitun um 1995-97. Ekki er vitað hvernig upphafshæð þess var ákvörðuð, en venja er að reyna að hafa viðmiðun í bæjarkerfum sem næst meðalsjárvarborði. Fjórða kerfið, ef svo má segja, er GPS-RTK mælikerfið á Höfn, en það er stillt af til að gefa hæðir miðað við hafnarkerfið. Hæðarmælingar með GPS RTK geta valdið vandræðum, sérstaklega á stöðum eins og Höfn, þar sem mikill munur er innbyrðis á Geoiðu (lárétu) og GPS ellipsoíðu. Sem dæmi má nefna að þessi munur, miðað við landmælingahús Landmælinga Ísland, er um 7 cm við höfnina, 15 cm við þinganesgarð og 16 cm í

Hvanney. Fjarlægð milli landmælingahúss og Hvanneyjar er einungis 4 km. Nokkuð innbyrðis ósamræmi virtist vera komið milli þessara kerfa og var hallamælt frá landmælingahúsi út í Hvanney haustið 2015 af Landmælingum og Vegagerðinni. Helstu hæðarpunktur tengdir höfninni og Ós eru sýndir í Tafla 12.

**Tafla 12 Mælikerfi á Höfn, taflan sýnir hæðarpunkta á Höfn í helstu hæðarkerfum, þ.e. í bæjarkerfinu, gamla hafnarkerfinu, RTK-GPS kerfinu, sem ætti að vera sama og hafnarkerfið og gamla óskerfið. Einnig er sýnd hallamælingin frá 2015 sem er sett í viðmiðun á LM348 í 16,975m sem er hæð hans í landskerfi. Síðasti dálkurinn sýnir fleiri punkta sem voru hallamældir af heimamönnum frá punktum í mælingunni 2015.**

Staður	heiti	Hnit Fjh Bæjarkerfi	höfnin VH-kerfi	RTK GPS	Ós VH-kerfi	Hallamæling LMI 2015	hallamælt frá LMI pkt
		Fjarh 97					
Stöpull við vatnstank	9001	14,14	15,087	15,14		14,572	
LM348	9002	16,53	17,477	17,589		16,975	
	9003	16,72	17,667				
	9004	19,95	20,897	21,106			
bolli í víta	HB563	8,236	9,183	9,1	9,827		8,6265
Hvanney rautt	9214	7,382	8,329	8,247			
bryggja miklagarði	9144	1,417		2,341			
Vigt mar07 farinn	Mænir		7,79	7,79			
Vigtarhorn		1,921	2,868	2,964		2,318	
Melatangi	9009	3,08	4,027	4,035		3,507	
osland minnismerki	9157	9,735	10,682	10,643		10,137	
Rörtoppur flóðmælir				1,085			0,4415
Sensor hvanneyjarmælis 1999 til 2015 reiknað							-2,2385
(P1-3) Hvammur							2,3745
Skrúfa í bryggju við flóðm							1,769
bolli í hafnarkanti	Vg-06					1,778	
HV1 hvanney				6,827		6,359	
Base RTK				26,33			
Bolti í klöpp						3,03	
Varapunktur við pakkhús	Auka						2,402

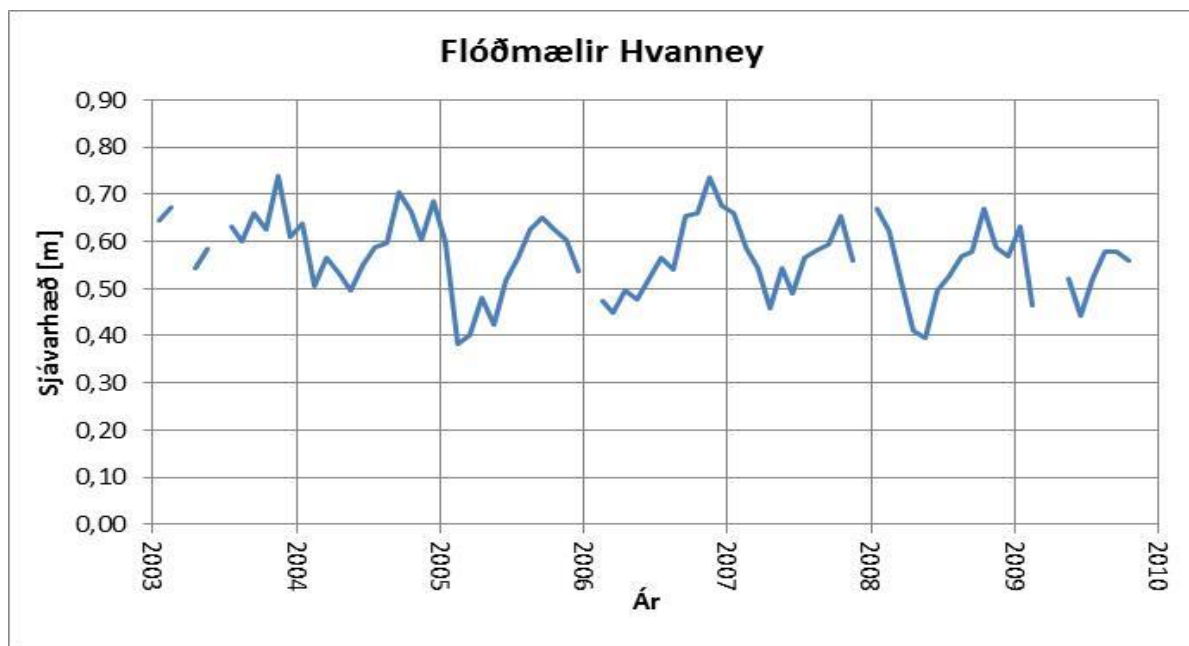
Eftir að hæðir milli Hvanneyjar og annarra hæðarpunkta voru endurmældar, var Hvanneyjamælir tengdur í hæðarkerfið. Miðað var við hallamælingar 2015 sem eru í landskerfi, ISH2004. Eins og áður segir eru engar kvarðanir til fyrir Hvanneyjarmæli, en nú er hæð á mæliröri þekkt. Fjarlægð skynjara frá mæliröri er þekkt, mæld 2,68 m árið 2014. Að vísu var skipt um skynjara í október 2009 og gengið er út frá því að skynjari sé sömu hæð og áður. Þá er viðmiðunarhæð í flóðmælitölvu (Campbell) þekkt, en hún er -1,513m. Auk þess var gert ráð fyrir að skynjari væri rétt kvarðaður, þ.e. að hann sé réttur frá verksmíðu. Notað var tímabilið 2003 til 2009 en þá er tiltölulega langt tímabil sem mælingar líta trúlega út. Þetta eru tæplega 7 ár, sem er of stuttur tími til að byggja endanlega hæðarákvörðun á, og voru mælingar því leiðréttar miðað við meðalsjárborð í Reykjavík á hefðbundinn hátt. Með því er átt við að veðurfars og sjávarfallapættir séu þeir sömu á báðum stöðum. Leiðrétt var samkvæmt eftirfarandi jöfnu:

$$Mmt_a - MSH_a = Mmt_b - MSH_b \quad (IV)$$

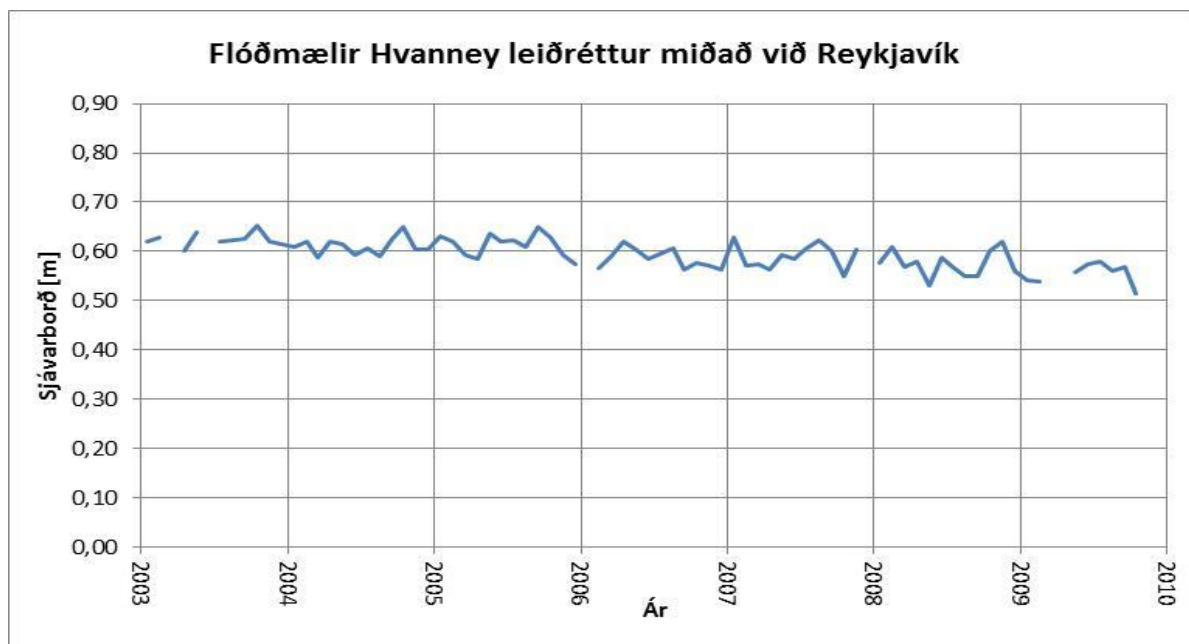
Þar sem  $MSH_a$  er meðalsjárvarhæð í Reykjavík og  $MSH_b$  er meðalsjárvarhæð við Hvanney og  $Mmt_a$  og  $Mmt_b$  eru meðaltöl eins eða fleiri mánaða í Reykjavík og Hvanney. Meðalsjárborð í Reykjavík var ákvarðað af Landmælingum sem 2,2494m með tímann árið 2004,6. Tíminn 2004,6 kemur til af því að það er viðmiðunartími í nýja hæðarkerfi landsins, ISH2004, en það var mælt á þessum tíma (4-11 ágúst 2004). Augljóst er að þar sem hæð lands breytist með tímanum verður að tengja hana við tíma. Til að fá samhengi í hæðarmælingar var því reynt að ákvarða hæðir mælipunkta út frá mælingum í



Hvanney fyrir sama tíma. Mynd 17 sýnir mánaðarmeðaltöl frá Hvanneyjarmæli árin 2003 til 2009 og Mynd 18 sýnir leiðrétt mánaðarmeðaltöl frá Hvanneyjarmæli. Mánuðum þar sem stór göt eru í mælingum var sleppt.

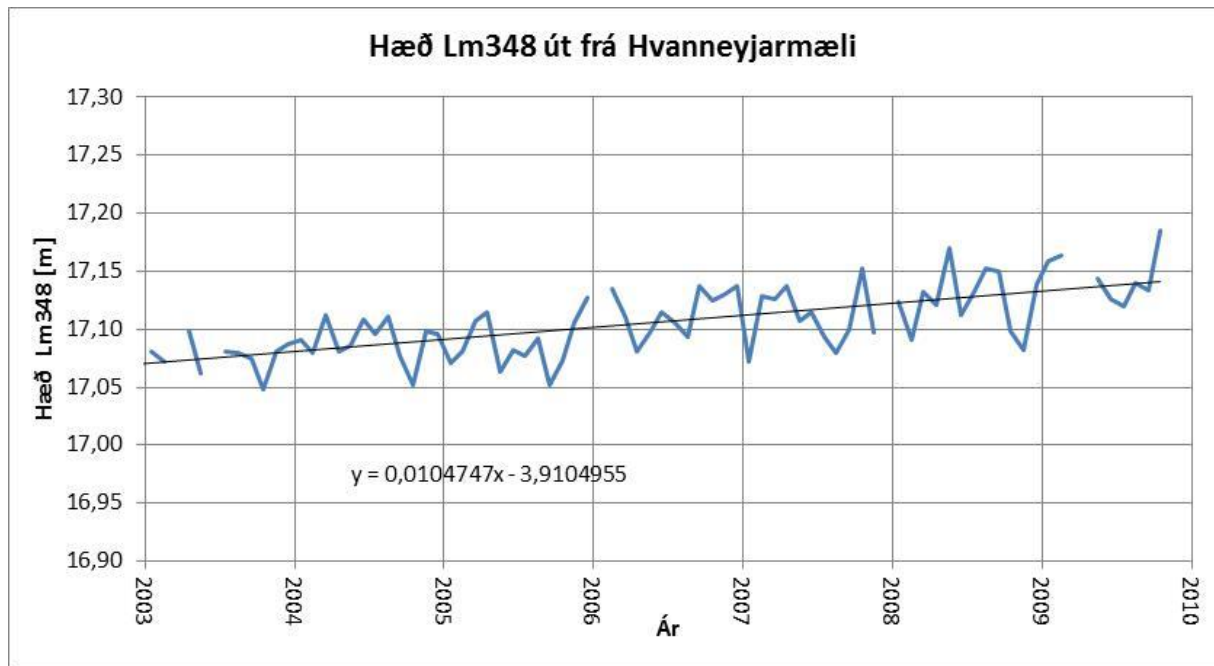


Mynd 17 Mánaðarmeðaltöl beint frá mæli 2003 til 2009



Mynd 18 Leiðréttar mánaðarmeðaltalsmælingar Hvanneyjarmælis miðað við Reykjavík

Hæð landmælingapunkts LM348 var ákvörðuð út frá leiðréttum Hvanneyjarmæli (miðað við Reykjavík) með því að setja meðalsjárvarborð sem 0,0m á hverjum tíma. Mynd 19 sýnir hæð LM348 á árunum 2003 til 2009.



Mynd 19 Hæð LM348 á árunum 2003 til 2009 miðað við sjávarborðsmæli í Hvanney

Á Mynd 19 sést að hæð LM348 er ákvörðuð sem  $h=0,01047 \text{ m} \cdot \text{ár} - 3,9105$  sem gefur 17,087 m árið 2004,6. Einnig sést að landris á þessu tímabili í Hvanney miðað við Reykjavík er 10,5 mm á ári með 2,6mm skekkjumörkum (95%). Þar sem landris er miðað við Reykjavík er það ofmetið um 1,2 mm og er því 9,3 mm á ári samkvæmt flóðmæli árin 2003 til 2010. LM348 er ákvarðaður í landshæðarkerfi ISH2004 sem 16,975 m en hæð hans miðað við meðalsjávarborð við Hvanney, mælt með sjávarfallamælinum, er 17,087 m. Þarna kemur fram mismunur milli Landskerfisins. ISH2004, og sjávarfallmælinga á Höfn, sem nemur 11,2 cm. Þessi munur er viðunandi þó hann sé í hærri kantinum, mælirinn hefur ekki verið kvarðaður og ekki er heldur óeðlilegt að munur komi fram á samræmdu landskerfi, ISH2004, og meðalsjávarborðsmælingu á einstaka stað.

Eins og áður segir voru sjávarföll við Ósinn ákvörðuð árið 1980 (sjá 4,2) og var hæðarpunktur í vita, HB-563, ákvarðaður miðað við sjávarföll. Hæð hans var ákvörðuð 9,827 m í Óskerfi þar sem meðalsjávarborð er í hæðinni 1,122 m. Hann hefur því hæðina 8,705 m í meðalsjávarborðskerfi í Ós árið 1980. Þessi punktur fær hæðina 8,739 m í meðalsjávarkerfi Ós 2004,6 eða nánast sömu hæð, einungis munar 3,4 cm. Þetta þýðir, að því gefnu, að hæðarákvörðun HB-563 árið 1980 hafi verið rétt, að einungis hefur orðið 3,4 cm landris, þ.e. miðað við sjávarborð, frá 1980 til 2004 eða um 1,4 mm á ári. Samkvæmt flóðmæli 2003-2010 er landris á Höfn um 9,3mm á ári og samkvæmt GPS mælingum á Höfn 1997-2014 er landris um 13 mm á ári. Landris 1980-2004 um 1.4 mm á ári virðist því ekki passa inn í aðrar mælingar. Skýringin á því kann að vera að landsig hafi verið í gangi um og eftir 1980 eða að ákvörðunin á sjávarborði 1980 hafi einfaldlega verið röng.

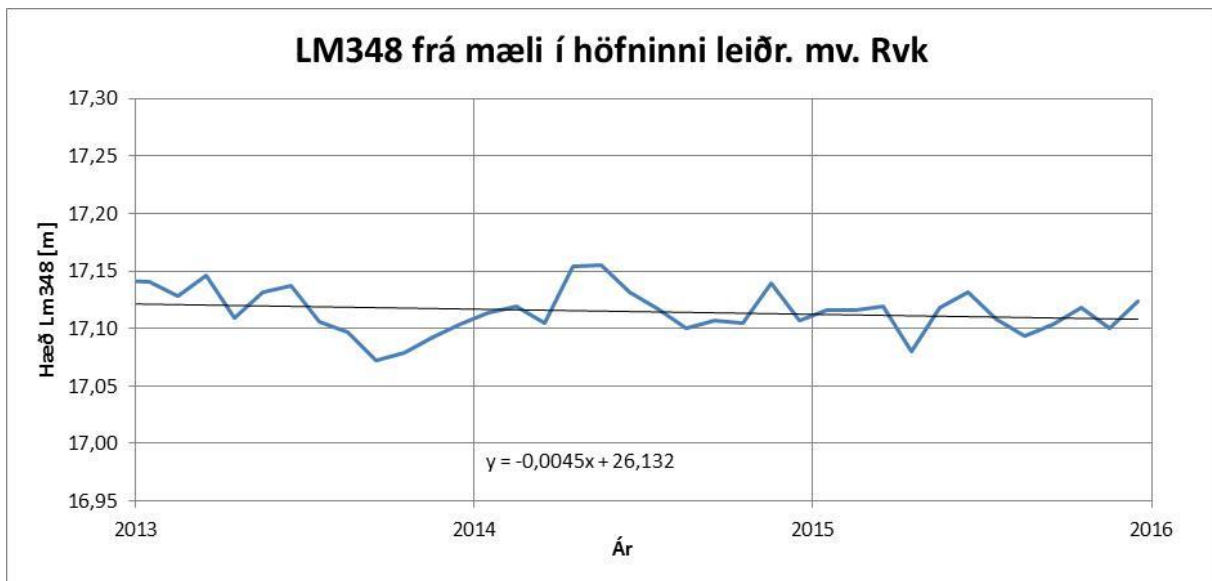
#### 4.5 Flóðmælir á Þinganesgarði

Flóðmæli af sömu gerð og er í Hvanney var komið fyrir á garðinum við Þinganesker á tímabilinu 5. september til 17. október 2006. Hæð hans var mæld með RTK-GPS með viðmiðun á vigtarhorni í gamla hafnarkerfinu. Vegna mikils breytileika í geoiðu á svæðinu kemur fram skekkja í hæðarákvörðunum RTK mælinga. Samkvæmt geoiðumodeli LMÍ má ætla að hæð flóðmælisins hafi verið vanáætluð um 8 cm. Að teknu tilliti til þess og leiðréttingu m.v. meðalsjávarborð í Reykjavík

(2,2494) fékkst hæð landmælingapunkts LM348 í lok sept 2006 sem 17,150 m, en reiknuð út frá mælingum á Þinganesmæli og Hvanneyjarmælir gaf hæðina 17,134 m á sama tíma. Einungis munar 1,6 cm. Óháð sjávarborðsmæling við Þinganesker styður því áætlaða hæðarsetningu sjávarhæðarmælis í Hvanney.

#### 4.6 Flóðmælir í höfninni á Hornafirði

Nýr flóðmælir var settur niður við höfnina í nóvember 2012. Kvörðun var gerð sumarið 2014. Kvörðun fór þannig fram að málband var sett á bryggjuna við mælinn og sjávarstaða lesin með jöfnu millibili yfir eitt fall. Málbandið var lauslega stillt af miðað við mælipunkt á bryggju og var því ekki fundin kvörðunarformúla heldur notast við meðalmismun, sem kom út frá málbandi og mæli. Mismunur reyndist 0,501m þar sem mælir sýnir of hátt. Mælingar frá desember 2012 til desember 2015 voru skoðaðar og gáfu þær hæð á mælipunkti LM348 sem 17,115 m +/- 0,02 m miðað við tímenn 2014,6. Mælir í Hvanney er óreiðanlegur þannig að hann var ekki notaður á þessu tímabili. Þetta er lægri tala en búast mátti við út frá mælingum í Hvanney 2003 til 2009. Það getur verið að landrishaði sé að minnka, einnig er höfnin langt fyrir innan sjávarfallaósinn, á svæði eða flóa þar sem bæði ár og grunnvatn streymir í, svo ekki er gefið að meðalsjávarborð sé eins stöðugt og við ströndina. Einnig er hugsanlegt að vindur hafi mikil áhrif á sjávarborð í Skarðsfirði. Hæð LM348 reiknuð frá mælinum í höfninni eru sýndar á Mynd 20 og sýna þær landsig. Ekki liggur fyrir haldbær skýring á á þessu en mælitímabilið er mjög stutt.



Mynd 20 Hæð á landmælingapunkti LM348 reiknuð frá sjávarfallamælingum í höfninni

#### 4.7 Aðrar sjávarborðsmælingar við Hornafjörð

Frá 7. maí til 11. maí 2005 voru sjávarföll mæld með fiskamerkjum í höfninni, við Melabryggju og í Ósnum. Fiskamerki er lítið skráningartæki til að setja á fiska og skrá þau hita og þrýsting. Frá 21. september til 12. október 2006 var aftur mælt en þá með þrýstinema í höfninni, við Árnanes og Skógey. Seinni mælingin var framkvæmd af Hönnun hf. fyrir Vegagerðina í tengslum við undirbúning fyrir nýjan veg yfir Hornafjarðarfljót. Samkvæmt þeim mælingum hafði munur á stórstraumsflóði og fjöru í höfninni aukist verulega og mældist nærri 1,7 m, en áður hafði munurinn verið um 1,1 m, þ.e. í mælingunum 1979. Svipaðar niðurstöður, þ.e. aukin sjávarföll í höfninni, fengust úr mælingunum

2005. Þó svo að sveiflan inn í höfninni hafi breyst þá er sveiflan út í Ós svipuð og áður, um eða tæpir 2 m.

Í þessu samhengi þarf að benda á að á tímabilinu 1991 til 1995 voru framkvæmdir við Ósinn sem miðuðust við að gera hann stöðugann. Byggður var sjóvarnargarður á Suðurfjörutanga út í Hvanney til að hindra að efni bærisk út í Ósinn úr vestri og bogadreginn garður í framhaldi af Austurfjörutanganum til að varna efnisburði úr austri. Fram að þessum tíma hafði Ósinn raskast með um 10 ára millibili. Eftir þessar aðgerðir hefur Ósinn verið mun víðari og streymi um hann óhindrað miðað við það sem áður var.

#### 4.8 Sjávarfallagreining á Höfn í Hornafirði

Stuðlar voru greindir með forritinu TAPPY, sem er frjálst, (open source) forrit keyrt í Python. Sjávarfallagreining var gerð á mælingum frá Hvanney 2004 til 2009, mælingum á Þinganesgarði 5. september til 17. október 2006 og frá mælingum í höfninni frá desember 2012 til desember 2015. Niðurstöður eru sýndar í Tafla 13. Mælingin við Þinganesgarð er mikið trufluð af ágjöf og hárrí öldu svo það er óvíst hversu áreiðanleg hún er, þó er ljóst af mælingu að sjávarfallasveiflan er allmiklu hærri en við Hvanney, hugsanlega allt að 30% hærri. Endurtaka þarf mælingu við Þinganesgarð til að ákvarða sjávarföll þar með öruggari hætti. Tafla 13 sýnir sjávarföll við Hvanney, Þinganesgarð og í Hornafjarðarhöfn. Tölurnar í sviga er hæð kortanúls, ákvörðuðu út frá sjávarfallastuðlum.

Tafla 13 Greining sjávarfalla í Hornafirðir, í Ósnum, við enda Þinganesgarðs og í höfninni í nýju LAT hæðarkerfi,

Sjávarföll í Hornafirði	Ósinn - Hvanney 2004-2009	Þinganesgarður 2006	Hornafjarðarhöfn 2012-2015
	Sjávarföll Kortanúll	Sjávarföll Kortanúll	Sjávarföll Kortanúll
	m	m	m
<b>MSTSFL</b>	2,29	2,52	2,15
<b>MSMLF</b>	1,73	1,83	1,69
<b>MSH</b>	1,32	1,32	1,32
<b>MSMFJ</b>	0,91	0,82	0,94
<b>MSSTFJ</b>	0,35	0,13	0,48
<b>KORTANÚLL</b>	0,0 (0,21)	0,0	0,0 (0,34)

#### 4.9 Nýtt hæðarkerfi fyrir Ósinn og höfnina

Fram til þessa hefur ákvörðun á núlli fyrir sjókort á Íslandi verið byggð á sjávarfallastuðlum. Í nálægum löndum er hinsvegar farið að nota aðra viðmiðun fyrir sjókortanúll, en það er lægsta stjarnfræðilega sjávarstaða, eða LAT (Lowest Astronomical Tide). Það er gert til þess að sjávarfallaspár sýni ekki neikvæðar tölur. Hér er lagt til að lægsta stjarnfræðilega sjávarstaða verði tekin upp sem ný viðmiðun fyrir hæðarkerfi í Ós. Einnig er lagt til að hafa sama hæðarkerfi fyrir Ósinn og höfnina. Núll í Ós gefur meðalsjávarborð um 1,32 m m.v. LAT. Núverandi sjávarfallamælir sýnir meðalsjávarborð í 0,613 m miðað við árið 2004,6 en það verður tímaviðmiðun nýs hæðarkerfis í Ósi. Hæðarkóti skynjara í Ós verður -0,808 í LAT kerfi. Vert er að hafa í huga að þrátt fyrir að spáð sjávarföll fari ekki niður fyrir 0,0 í Ós geta þau gert það á grynslunum. Tafla 14 sýnir tillögu að nýjum hæðarkerfum á Höfn. Ós MSH eru hæðir á viðmiðunarpunktum í meðalsjávarborðskerfi, ákvörðuðu út frá sjávarfallamælingum í Ósi, þar sem meðalsjávarborð er sett sem 0,0m Hallamæling LMÍ 2015

eru hæðir í landskerfi, ISH2004. Sjókort LAT eru hæðir í sjókortakerfi fyrir Ósinn og höfnina í LAT kerfi með meðalsjárborð í 1,32 m

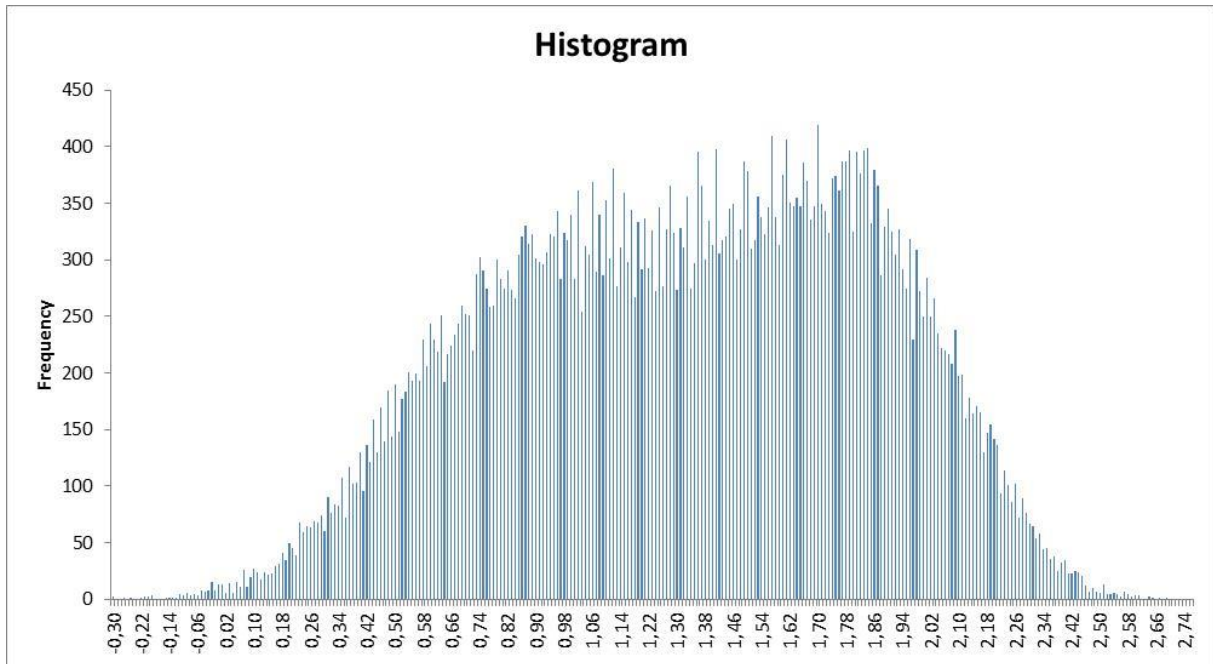
**Tafla 14 Hæðir á fastmerkjum í þremur hæðarkerfum, meðalsjárkerfi fyrir Ós, samræmdu landskerfi ISH2004 og nýju LAT hæðarkerfi.**

Hæðarkerfi á Höfn í Hornafirði		Ós MSH	Hallamæling	Sjókort
Staður	heiti	hæðir	LMI 2015	LAT kerfi
Stöpull við vatnstank	9001	14,683	14,572	16,003
LM348	9002	17,086	16,975	18,406
Meðalsjárborð 2004,6		0,000	-0,111	1,320
	9003			
	9004			
bolti í vita (9,827 gamalt)	HB563	8,738	8,627	10,058
Hvanney rautt	9214			
bryggja miklagarði	9144			
Vigtarhorn		2,429	2,318	3,749
Melatangi	9009	3,618	3,507	4,938
osland minnimerki	9157	10,248	10,137	11,568
Rörtoppur flóðmælir		0,553	0,442	1,873
Sensor hvanneyjarmælis 1999 til 2015 reiknað		-2,128	-2,239	-0,808
(P1-3) Hvammur		2,486	2,375	3,806
Skrúfa í bryggju við flóðm		1,880	1,769	3,200
bolti í hafnarkanti	Vg-06	1,889	1,778	3,209
HV1 hvanney		6,470	6,359	7,790
Base RTK				
Bolti í klöpp		3,141	3,030	4,461
Varapunktur við pakkhús	Auka	2,513	2,402	3,833

#### 4.10 Dýptarmælingar

Dýptarmælingar í Ós og í höfninni hafa verið gerðar með GPS-RTK frá seinni hluta ársins 2005, sem er til mikils hagræðis í dýptarmælingum þar sem bæði staðsetning og sjávarhæð fæst þá í rauntíma. Þar sem sjávarhæðin fæst beint þarf ekki að leiðrétta sérstaklega fyrir sjávarföllum og öldum eins og þurfti áður. Í dýptarmælingu með GPS-RTK er rétt dýpi = mælt dýpi – RTK hæð (sem er hæð báts eða hæð sjávarborðs). Á Höfn vill svo óheppilega til að GPS-RTK kerfið, sem er í eðli sínu staðbundið, er hæðarstillt í gamla hafnarkerfinu. Eins og áður hefur komið fram passar gamla hafnarkerfið ekki fyrir Ósinn og reyndar ekki lengur fyrir höfnina. Dýptarmælingar sem gerðar hafa verið í Ós eru því ekki „réttar“ miðað við þann skilning sem lagður er í framsetningu dýptarmælinga á sjó, þ.e. að dýpið sé u.þ.b. lágmarksdýpi. Hinsvegar er flóðmælirinn nokkurn veginn í samræmi við dýptarmælingar þannig að sé hann notaður með dýptarmælingum fæst nokkurn veginn rétt dýpi. Þ.e. þegar siglt er um Ósinn er lesið af flóðmæli og sýni hann neikvæðar tölur er talan dregin frá dýpi og fæst þá nokkurn veginn raundýpi. Miðað við nýtt Óskerfi má áætla að skekkja í núverandi dýptarmælingum sé eftirfarandi: GPS-RTK gefur sjávarhæð of lága í Ósi um 8 cm. Nýtt óskerfi hækkar mælda sjávarhæð um 87,3cm í LAT kerfi. Dýptarmælingar eru því að sýna 95,3cm of mikið dýpi í LAT kerfi. Hæðarkerfið á Höfn í Hornafirði miðast við 2004,6.

Sjávarfallamælingar í Ósnum fyrir árin 2003 til 2009 voru færðar í nýtt sjávarfallakerfi miðað við LAT og eru sýndar á tíðnigrafi, Mynd 21.



Mynd 21 Tíðnigraf fyrir sjávarfallamælingar í Ósnum, Hvanneyjarmælir, fyrir árin 2003 til 2009, hliðrað í nýtt LAT hæðarkerfi

#### 4.11 Sjávarfallastuðlar fyrir Hornafjarðarós:

Stuðlar voru greindir með TAPPY forritinu sem er frjálst (open source) forrit, keyrt í Python. Sjávarfallastuðlar eru sýndir í Tafla 17 í viðauka.

## 5. Heimildaskrá:

1. Ólafur Guðmundsson og Páll Einarsson Raunvísindastofnun Háskólans 1991. Úrvinnsla sjávarfallagagna, sjávarföll og hægfara sjávarborðsbreytingar í Reykjavík.
2. Pugh D. T. UK 1987, Tides, Surges and Mean Sea-Level. Natural Environment Research Council Swindon,
3. Haraldur Ketill Guðjónsson. Hluti BS ritgerðar í Jarðfræði. Jarðvísindadeild Verkfræði og náttúruvísindasvið Háskóli Íslands Reykjavík, Janúar 2014. Sjávarborðsbreytingar í Reykjavík
4. Guðmundur Valsson desember 2010. Kvörðun á Sjávarfallamælum 2008-2009 samanburður við mælingar 2000. Landmælingar Íslands.
5. Statens Karverk, heimasíða.
6. GLOSS, The Global Sea-Level Observing System.  
<http://www.ioc-sealevelmonitoring.org/ssc/stationdetails.php?id=SSC-reyk>
7. The Global Sea-Level Observing System Implementation Plan 2012. Unesco. „GLOSS is conducted under the auspices of the Joint WMO/IOC Commission for Oceanography and Marine Meteorology (JCOMM) of the World Meteorological Organization (WMO) and the Intergovernmental Oceanographic Commission (IOC).“ <http://www.gloss-sealevel.org/>



## 6. Viðauki

### 6.1 Greindir stuðlar fyrir Grindavíkurhöfn:

Tafla 15 Sjávarfallastuðlar fyrir Grindavíkurhöfn greindir eð TAPPY, byggt á mælingum frá 2006 til 2010.

name	speed	phaseAngle	amplitude
	deg/h	deg	m
Z0	0	0	1,743
Sa	0,0410686	234,4	0,101
Ssa	0,0821373	193,2	0,005
MSm	0,471521	331,3	0,022
Mm	0,5443747	238	0,016
MSf	1,0158958	98	0,013
Mf	1,098033	199,7	0,024
2Q1	12,854286	320,6	0,001
nuJ1	12,92714	292,1	0,003
Q1	13,398661	22,2	0,012
rho1	13,471515	26,6	0,002
O1	13,943036	73,3	0,062
MP1	14,025173	245,3	0,001
M1	14,492052	171,2	0,004
NO1	14,496694	267,3	0,006
pi1	14,917865	86,1	0,001
P1	14,958931	117,6	0,031
S1	15	66,4	0,004
K1	15,041069	117,8	0,094
psi1	15,082135	16,8	0,003
phi1	15,123206	135,2	0,003
theta1	15,51259	159	0,001
J1	15,585443	120,5	0,005
SO1	16,056964	92,2	0,003
OO1	16,139102	87,1	0,002
MNS2	27,423834	88,4	0,008
2N2	27,895355	125,4	0,027
mu2	27,968208	119,6	0,032
N2	28,43973	146,7	0,208
nu2	28,512583	151,4	0,04
M2	28,984104	168,6	1,061
MKS2	29,066242	184,4	0,003
lambda2	29,455625	177,5	0,007
L2	29,528479	205	0,029
T2	29,958933	204,8	0,021
S2	30	207,8	0,412
R2	30,041067	194,7	0,005
K2	30,082137	194,2	0,116
MSN2	30,544375	240	0,001
eta2	30,626512	210,2	0,006
2SM2	31,015896	68,5	0,001
MO3	42,92714	164,6	0,001
M3	43,476156	185,4	0,006
SO3	43,943036	169,5	0,001
MK3	44,025173	11	0,001
SK3	45,041069	260,1	0,003
MN4	57,423834	122,8	0,002
M4	57,968208	135,8	0,008
SN4	58,43973	145,5	0,001
MS4	58,984104	200,1	0,009
MK4	59,066242	186,1	0,003
S4	60	296,7	0,001
2MN6	86,407938	19,8	0,002
M6	86,952313	49,2	0,002
2MS6	87,968208	50,5	0,002
2SM6	88,984104	99,7	0,001
M8	115,93642	358,7	0,001

## 6.2 Greindir stuðlar fyrir Landeyjahöfn:

Tafla 16 Sjávarfallstuðlar fyrir Landeyjahöfn byggt á mælingum frá 2010 til 2015.

Landeyjahöfn 2010-2015			
name	speed	phaseAngle	amplitude
	deg/h	deg	m
Z0	0	0	1,429
Sa	0,04106864	239,4	0,084
Ssa	0,08213728	272,1	0,011
M5m	0,471521048	298,1	0,004
Mm	0,544374706	203,5	0,025
MSf	1,015895755	165,8	0,004
Mf	1,098033035	208,1	0,024
2Q1	12,85428619	312,3	0,004
nuJ1	12,92713985	316,7	0,002
Q1	13,3986609	7,1	0,014
rho1	13,47151456	43,4	0,002
O1	13,94303561	66,2	0,066
MP1	14,02517289	117,9	0,002
M1	14,49205212	47,7	0,005
NO1	14,49669393	126	0,009
chi1	14,56954759	111,3	0,001
pi1	14,91786468	167,3	0,002
P1	14,95893136	120,5	0,031
S1	15	50,6	0,006
K1	15,04106864	126,5	0,096
psi1	15,08213532	344,9	0,004
phi1	15,12320592	128,5	0,002
theta1	15,51258969	114,1	0,001
J1	15,58544335	154,3	0,003
SO1	16,05696439	115,3	0,001
OO1	16,13910167	129,3	0,002
ups1	16,68347638	107,1	0,002
MNS2	27,42383378	91,1	0,007
2N2	27,89535483	120,1	0,023
mu2	27,96820849	114,3	0,028
N2	28,43972954	140,8	0,172
nu2	28,5125832	145,3	0,033
M2	28,98410425	163,3	0,874
MKS2	29,06624153	233,2	0,004
lambda2	29,45562529	170,5	0,005
L2	29,52847895	189,7	0,021
T2	29,95893332	198,8	0,018
S2	30	200,6	0,343
R2	30,04106668	209,2	0,004
K2	30,08213728	201,9	0,095
MSN2	30,54437471	239,4	0,001
eta2	30,62651199	223,8	0,007
2SM2	31,01589575	34,1	0,001
M3	43,47615637	148,8	0,004
SO3	43,94303561	82	0,001
SK3	45,04106864	247,8	0,002
MN4	57,42383378	329,8	0,001
M4	57,96820849	81,3	0,004
SN4	58,43972954	309,5	0,001
MS4	58,98410425	178,8	0,005
MK4	59,06624153	193,5	0,001
S4	60	304	0,001
2MN6	86,40793803	8,7	0,001
M6	86,95231274	42,6	0,002
2MS6	87,96820849	49,7	0,001
M8	115,936417	352	0,001

### 6.3 Greindir stuðlar fyrir Hornafjarðarós

Tafla 17 Sjávarfallastuðlar fyrir Hornafjarðarós byggt á mælingum í Hvanney árin 2003 til 2009.

name	speed	phaseAngle	amplitude
	deg/h	deg	m
Z0	0	0	1,320
Sa	0,04106864	219,5	0,094
Ssa	0,08213728	205,2	0,015
MSm	0,47152105	41,5	0,018
Mm	0,544374705	204,4	0,002
MSf	1,015895755	43,9	0,009
Mf	1,098033035	189,9	0,017
2Q1	12,85428619	54,2	0,002
nuJ1	12,92713985	135,6	0,001
Q1	13,3986609	60,6	0,019
rho1	13,47151455	82,6	0,004
O1	13,9430356	98,5	0,086
MP1	14,02517288	162,8	0,006
M1	14,49205212	320,3	0,006
NO1	14,49669393	323	0,005
chi1	14,56954759	99,9	0,002
pi1	14,91786468	112,9	0,002
P1	14,95893136	111,6	0,029
S1	15	315,6	0,001
K1	15,04106864	99	0,099
psi1	15,08213532	231	0,001
phi1	15,12320592	131,9	0,002
theta1	15,51258969	105,6	0,001
J1	15,58544335	114,3	0,004
SO1	16,0569644	234,4	0,004
OO1	16,13910168	99,4	0,003
MNS2	27,42383378	218,6	0,001
2N2	27,89535483	103,8	0,017
mu2	27,96820849	155	0,006
N2	28,43972954	123,7	0,123
nu2	28,51258319	126,8	0,025
M2	28,98410424	145,2	0,655
MKS2	29,06624152	217,3	0,002
lambda2	29,45562529	148,4	0,011
L2	29,52847895	160,4	0,025
T2	29,95893332	176,7	0,012
S2	30	187,3	0,244
R2	30,04106668	151	0,006
K2	30,08213728	171,7	0,073
MSN2	30,54437471	217,2	0,004
eta2	30,62651199	190,3	0,002
2SM2	31,01589576	33,9	0,006
MO3	42,92713985	47,4	0,013
M3	43,47615637	120,3	0,006
SO3	43,9430356	87,2	0,008
MK3	44,02517288	41,4	0,012
SK3	45,04106864	113,7	0,005
MN4	57,42383378	79,9	0,012
M4	57,96820849	102,9	0,035
SN4	58,43972954	65,7	0,004
MS4	58,98410424	158,4	0,031
MK4	59,06624152	143,8	0,008
S4	60	234,4	0,004
2MN6	86,40793803	70	0,003
M6	86,95231273	94	0,006
2MS6	87,96820849	158,5	0,007
2SM6	88,98410424	227,6	0,002
M8	115,936417	25,1	0,001