



Ákvörðun á flóðhæð í Básendaflóði

Áfangaskýrsla

Verkefnið er styrkt af rannsóknasjóði Vegagerðarinnar



Gísli Viggósson
Jónas Elíasson
Sigurður Sigurðarson
Drög 30. mars 2016

Ákvörðun á flóðhæð í Básendaflóði

Áfangaskýrsla

Útgáfa	Dagsetning	Endurskoðun	Útgefið af	Útgefið til
Útgáfa B	2016.03.18			ÞI
Útgáfa A	2015.11.12		GV, JE, SS	
Upplýsingar um skýrslu				
Verkkaupi:	Vegagerðin			
Forsíðumynd:	Uppdráttur Olsen af Reykjavík 1801, Olsen. Minjasafn Reykjavíkur			
Verkefni:	Verkefni styrkt af rannsóknasjóði Vegagerðarinnar			
Verkefnisnúmer:	ÖS1750-30			
Aðgengi:	<input checked="" type="checkbox"/> Opið <input type="checkbox"/> Dreifing háð samþykki verkkaupa <input type="checkbox"/> Lokað			
Höfundar:	Gísli Viggósson, Jónas Elíasson og Sigurður Sigurðarson			
Tilvísun:				

Samantekt

Metnar eru þær upplýsingar sem til eru um Básendaflóðið með aðferðafræði strandverkfærðinnar og ályktað af hverju það fellur ekki að langtímadreifingu sjávarflóða. Hætta af sjávarflóðum er mest þegar mjög djúpar og víðáttumiklar lægðir grafa um sig á stóru hafsvæði bæði fyrir sunnan og norðan land, og vindorkan í lægðakerfinu er nægileg til að byggja upp svo orkumiklar öldur að orkutoppurinn er 15 til 20 sekúndur, þá geta kenniöldur farið yfir 12 m og allt upp í 18 m.

Básendaflóðið varð 8. og 9. Janúar 1799. Þetta er fyrir tíma skipulagðra veðurathugana. Ætla má að lægðin sem olli Básendaflóðinu sé með dýpstu lægðum sem komið hafa upp að suðvesturlandinu samfara stórstreymi. Stærsta flóðalægð sem gögn ná yfir kom 9. janúar 1990. Þá mældist hæsta kennialda á Garðskagadufli um 16,3m en lægðin kom upp að landinu á fjöru þegar ekki var stórstreymt. En lægðin sem slík er talin vera einna líkust Básendalægðinni 1799. Af völdum hennar varð gríðarlegt tjón á Suðurströndinni allt upp á Snæfellsnes (Mynd 1).

- Á Eyrarbakka og Stokkseyri brotnuðu skip og hús, skepnur fórust í tugatali.
- Í Grindavík braut flóðið 6 skip, skemmdi 8, spillti 5 hjáleigum og drap 100 fjár.
- Í Höfnum fauk timburkirkjan á Hvalsveli, Kirkjuvogskirkja skekkdist á grunninum og tvö skip brotnuðu.
- Á Básendum tók flóðið öll mannvirki, einn maður fórst en kaupmaðurinn bjargaði sér og fjölskyldunni í land með miklu harðfygli. Kaupstaðurinn eyddist og reis aldrei aftur.
- Í Njarðvíkum brotnuðu 8 skip, fiskigarðar og túngarðar sópuðust burtu og bátar fuku í nærliggjandi sóknum.
- Á Vatnsleysuströnd og Innesjum urðu miklir skaðar.
- Á Seltjarnarnesi gekk sjór yfir eiðið svo nesið varð eyja. Geir Vídalín biskup, sem þá sat á Lambastöðum, taldi flóðið hafa náð fimm álnum (3 metrum) hærra en venjuleg stórstraumsflóð. Flóðið spillti mörgum jörðum og 20 bátar eyðilögðust.
- Í Örfirisey spilltist land svo af sand- og malarburði, að bæir fóru í eyði.
- Í Reykjavík skemmdist þakið á dómkirkjunni og rúður brotnuðu í tugthúsinu (nú forsætisráðuneytið), en ekki er getið um að sjór hafi komist í hús, sem er mjög athyglisvert, því fjöldi verslunarhúsa stóð á malarkambinum við Hafnarstræti, en gatan hafi verið fullbyggð að sunnanverðu, austur að læknum fyrir aldamótin 1800 (Mynd 14).
- Á Kjalarnesi fauk eitt kot og hús skemmdust.
- Á Akranesi tók af alla byggð á Breiðinni. Fólk bjargaðist naumlega.
- Í Staðarsveit gekk sjór allt að 1500 föðmum (rúmlega 2 ½ kílómetri) á land, braut 16 báta, spillti 14 jörðum og 50 fjár flæddi.
- Á Snæfellsnesi tók Búðakaupstað af þegar eitt hús brotnaði alveg og tvö önnur skemmdust. Ný hús voru reist þar sem Búðir eru nú.
- Í Ólafsvík brotaði verslunarhús.
- Á Skógarstönd brotnuðu fimm bátar og þrír bæir og tjón varð í Dölunum.

Meirihluti húsa sem skemmdust voru hjallar, útihús eða verbúðir en bæir, kirkjur og verslunarhús skemmdust einnig eða eyðilögðust. Samtals geta heimildir um 187 báta eða skip (skip = sexæringar eða stærri bátar) sem skemmdust þá eða eyðilögðust. Nokkurt tjón varð á búpeningi, getið er um 10 kýr, 226 kindur og 63 hesta sem flóðið grandaði. Ein kona druknaði, en margir voru hætt komnir og misstu allt sitt.

Allir þessir skaðar eru af þeirri stærðargráðu, að miðað við löggjöf dagsins í dag mundu þeir falla undir almannavarnakerfið, því þegar veðurhamur er þetta mikill samfara sjávarflóði, þá er fólk í lífshættu, mismunandi mikilli eftir því hver staðurinn er. Því var safnað eins miklum gögnum og hægt var um atburðinn.

Skipulagning fór fram á þrem fundum þar sem einstök atriði í staðarrannsókn á Básendum ákveðin og aðilar skiptu með sér verkum. Stærsti hlutinn var könnun á rituðum heimildum, sérstaklega úrvinnslu fræðimanna á fornum heimildum sem taldar eru í kafla 2. Tekin var saman sú þekking sem fyrir hendi er um áhlaðanda vegna vinds, öldu og lágs loftþrýstings sem getur lagst ofan í sjávarföll og valdið því að sjór gengur á land (Viðauki 1). Samskonar fræðileg könnun var gerð á upprennsli öldu á sjávarkambi og sjónvörnum og ágjöf yfir þá (Viðauki 1). Ennfremur var kannað öldufar og sjávarflóð við suðvesturströnd landsins (Viðauki 2) og bráðabirgðaútreikningar gerðir með sérstöku ölduforriti fyrir Faxaflóa og hafsvæðið umhverfis Reykjanes (Viðauki 2).

Þegar þessar upplýsingar eru metnar saman kemur í ljós að nánast engin líkindi eru til að sjávarhæð fari yfir 5.0 – 5,5 metra yfir stórstraumsfjöruborð samkvæmt mælingum síðustu 60 ára í Reykjavík. Sjávarborðið hækkar um 1 cm á hvert millibar sem loftþrýstingur fer undir meðalloftþrýsting, þessu er ekki hægt að bæta ofan á áður nefnda 5 – 5,5 m. Samkvæmt sögulegum heimildum er Básendaflóðið að minnsta kosti 1 – 2 metrum hærra en þetta.

Fræðilega má skýra þennann mun með áhlaðanda aðallega, en langölduhreyfing er líka möguleiki. Sjávarföllin eru sem slík langölduhreyfing sem nær 4 metrum í stórstraumsflóði í Faxaflóa og það er ekki útilokað að við sérstakar aðstæður geti lægðahreyfing fyrir suðvestan land valdið öldumögnun (resonance). Rannsókn á þessu krefst mikillar könnun með sérhæfðum reikniforritum, henni var slegið á frest vegna kostnaðar.

Vindáhlaðandi af stærðargráðu 1 – 2 metrar er þekktur víða um heim og veldur mannskæðum flóðum í aftökum. Strandvarnir í Norður Evrópu eru aðallega til að verjast flóðum af þessu tagi. Fræðilega athugunin leiddi í ljós að í stórstraumsflóði er aðdýpi við Básenda of mikið til að Básendaflóðið verði skýrt með vindáhlaðanda.

Öðru máli gegnir um áhlaðanda vegna öldu. Í aftakaveðrinu 9. janúar 1990 mældist 16,3 metra há kennialda á Garðskagadufli sem áður segir. Slík alda getur hæglega valdið 1 - 2 metra áhlaðanda þar sem hún kemst ósveigð og óbrotin inn að grunnbroti. Þessar aðstæður eru fyrir hendi yst á Reykjanesi og fræðilegir útreikningar staðfesta þennann áhlaðanda, en hann var síðan endanlega reiknaður með aðferð frá Japan (Viðauki 1) sem staðfest er með tilraunum. Í Faxaflóa eru grynningarsvæði sem kallast Hraunin, þar sem há alda brotnar og svignar, grunnbrot verður minna og áhlaðandi minni.

Helstu niðurstöður þessara bráðabirgðaútreikninga eru:

Tafla 1: Bráðabirgðaútreikningar á Básendaflóðinu.

Staður	Kennialda, m	Áhlaðandi	Flóðhæð
Básendar	14 – 16	2,5 -2,7	6,3 – 6,5
Lambastaðir	3,2	1,4	5,4
Kvosin, Reykjavík	1,5	1,2	5,2

Talið er sennilegt að veðrið 1799 hafi verið heldur verra en 1990. Sé óvissan vegna þessa tekin með í reikninginn gæti flóðhæðin verið um 0,2 – 0,6 m hærrí.

Flóðatölur fyrir Lambastaði og Kvosina eru lægri en heimildir gefa til kynna. Það er hinsvegar alþekkt, að þegar brjótandi öldur sem orsakast af 3,2 m kenniöldum, samfara upprennsli og ágjöf, valda bæði stað- og tímabundnum hækkunum á sjávarstöðunni er líklegt að menn meti flóðhæðina hærrí en hún var í reynd.

Samt sem áður er óvissan töluverð. Skoðaður var mikill fjöldi korta og ljósmynda sem lýsa aðstæðum eins og þær voru um 1799 í Reykjavík. Það sem einkum vekur athygli eru húsin sem standa við Hafnarstræti (þá Strandgade) 1801 og áður er getið (Mynd 14). Að þessi hús hafi sloppið án skemmda í flóði sem náí 6 – 7 m hæð og 1,5 metra öldu er nánast útilokað því þá hefðu þau verið hálf full af sjó. Heimildir benda því til að varðandi Kvosina sé áætlun flóðhæðar nærri lagi.

Heimildir benda sterklega til þess að við Örfirisey og á Seltjarnarnesi utan Eiðis hafi sjávarstaða verið hærrí en í Reykjavík, t.d. gekk sjór inn í Eiðistjörn og yfir mýrina þar. Könnun á gömlum kortum og samanburður við lýsingar bendir til að flóðhæðin á þessum stöðum hafi verið um 6 metrar, eða rúmlega 0,5 metrum hærrí en á Lambastöðum innan við nes.

Niðurstaða fyrsta áfanga og tillögur að næsta áfanga

Niðurstaðan af þessu verkefni er því að flóðhæð hafi verið rúmum einum metra lægri í Reykjavík í Básendaflóðinum heldur en á Básendum sjálfum. Munurinn er vegna ölduáhlaðanda fyrst og fremst. Ölduáhlaðandi er mjög staðbundið fyrirbrigði, háð öldustefnu og hæð, sjávardýpi og legu strandar. Því er ekki mögulegt að áætla hættuna á öðrum stöðum sem urðu illa úti í Básendaflóðinu nema með sjálfstæðri rannsókn fyrir þá staði.

Að sjálfsögðu þarf að endurreikna ölduskilyrðin til að fá ölduhæðina rétta framan við Básenda, við Lambastaði, framan við Eiðsgranda og framan við Kvosina. Jafntframt þarf að leitast við að fá mat á feril lægðarinnar til að spá fyrir um ölduhæðir og ekki síður til að meta loftþrýsting og vindharða meðfram ströndinni til að meta hækkun sjávarborðs vegna lágs loftþrýstings og vindáhlaðanda.

Talið er nauðsynlegt að halda þessari vinnu áfram eins og list er í umsókn til Vegagerðarinnar um rannsóknarfé fyrir 2016 þar sem ætlunin er að að vinna að mælingum og rannsóknnum, svo sem hæðarmælingum á Básendum, öldusveigjureikningum við svipaðar aðstæður og í Básendaflóðinu, ásamt reikningum á

upprensli öldu fyrir þau strandsvæði þar sem heimildir greina frá skemmdum. Jafnframt þarf að kanna áhrif veðurfarsþátta á mældar sjávarstöður á þeim stöðum þar sem sjávarfallamælingar hafa verið framkvæmdar.

Hvort breyta þarf hönnunarforsendum fyrir mannvirki vegna Básendaflóðs eða hliðstæðu þess er meiri óvissu háð. Benda má á til viðmiðunar að íbúðarhús eru hönnuð fyrir 375 ára jarðskjálftaáburð sem er í samræmi við Evrópustaðal. Með þeim fræðum sem hér er búið að sýna er hægt að kanna hvort Básendaflóð eða hliðstæða gæti verið atburður með álíka endurkomutíma.

Efnisyfirlit

1.	Inngangur	12
1.1.	Stutt ágríp af verkefnalýsingu:	12
1.2.	Tilgangur og markmið:	12
1.3.	Bakgrunnur og forsaga:	12
1.4.	Framkvæmdalýsing:	12
1.5.	Væntanlegur árangur, birting niðurstaðna:	12
1.6.	Hvað veldur sjávarflóðum?	13
1.7.	Lægðin sem olli Básendaflóðinu.	13
1.8.	Stutt lýsing á Básendaflóði í Reykjavík og nágrenni.	13
1.9.	Þróun byggðar í Kvosinni frá 1778 – 1800 fyrir Básendaflóð	13
1.10.	Ölduhæðir og hæð á sjávarkömbum við Básenda og innan við Lambastaði og í Kvosinni í Reykjavík.	14
1.11.	Bráðbirgðaniðurstaða á ákvörðun á flóðhæð í Básendaflóðinu	14
2.	Helstu heimildir um Básendaflóðið	16
2.1.	Yfirlit	16
2.2.	Suðurnesjaannáll	16
2.3.	Árbók Reykjavíkur	16
2.4.	Espihólsannáll.....	17
3.	Stutt yfirlit yfir helstu flóðastaði.	19
3.1.	Sjávarflóð á Eyrarbakka og Stokkseyri.	19
3.2.	Sjávarflóð í Grindavík.	19
3.3.	Sjávarflóð í Höfnum.....	19
3.4.	Sjávarflóð á Básendum.....	19
3.5.	Sjávarflóð í Njarðvíkum.	19
3.6.	Sjávarflóð á Vatnsleysuströnd.....	20
3.7.	Sjávarflóð á Seltjarnarnesi.....	20
3.8.	Sjávarflóð í Örfirisey.	20
3.9.	Sjávarflóð í Reykjavík.....	20
3.10.	Sjávarflóð á Kjalarnesi.	20
3.11.	Sjávarflóð á Akranesi.....	20
3.12.	Sjávarflóð í Staðarsveit,.....	21
3.13.	Sjávarflóð í Búðarkaupstað.	21
3.14.	Sjávarflóð í Ólafsvík.	21
3.15.	Sjávarflóð á Skógarströnd.	21
4.	Nánari lýsing á sjávarflóðum í Básendaflóðinu	22
4.1.	Sjávarflóð á Eyrarbakka og Stokkseyri.	22
	Básendaflóðið 9.janúar 1799.	22
4.2.	Upphaf sjóvarna á Eyrarbakka og Stokkseyri.	22
4.3.	Sjávarflóð í Þorlákshöfn og í Selvogi.	22
4.4.	Sjávarflóð í Grindavík.	22
4.5.	Lýsing kaupmannsins á atburðarásinni að Básendum 1799.....	23
4.6.	Lýsing Magnúsar Grímssonar á minjum að Básendum	24
4.7.	Lýsing á innsiglingunni og legunni að Básendum	26
4.8.	Sjávarflóð á Vatnsleysuströnd.....	30
4.9.	Sjávarflóð á Seltjarnarnesi.....	31

4.10.	Sjávarflóð í Reykjavík.....	32
4.11.	Mælingar og kort af gömlu Reykjavík	34
4.12.	Sjávarflóð í Örfirisey	39
4.13.	Sjávarflóð á Kjalarnesi	40
4.14.	Sjávarflóð á Akranesi.....	40
4.15.	Sjávarflóð í Borgarfjarðar- og Mýrarsýslu	40
4.16.	Sjávarflóð í Staðarsveit og á Búðum.	40
4.17.	Sjávarflóð í Ólafsvík og á Skógarströnd.....	41
5.	Sjávarstöður í aftakaveðrum	42
5.1.	Samantekt fræðimanna um aftakaveðrið 9. janúar 1799.....	42
5.2.	Ölduáttir sem fylgja djúpum lægðum úr suðvestri	43
5.3.	Básendaflóðið 9. janúar 1799	43
5.4.	Sjór gengur á land	44
6.	Bráðabirgðaniðurstöður á ákvörðun á flóðhæð í Básendaflóðinu	45
6.1.	Ölduhæðir og hæð á sjávarkömbum við Básenda og innan við Lambastaði og í Kvosinni í Reykjavík.	45
6.2.	Ákvörðun á flóðhæðum	45
6.3.	Samandregnar bráðbirgðaniðurstöður á Básendaflóðinu	46
7.	Niðurstaða fyrsta áfanga og tillögur að næsta áfanga.....	48
8.	Heimildaskrá.....	49
9.	Viðauki I – Fræði vinds öldu og áhlaðanda	54
10.	Hækkun sjávarborðs innan brimgarðs	54
10.1.	Almennt.....	54
10.2.	Sjávarföll.....	54
10.3.	Áhrif loftþrýstings á sjávarborð	56
11.	Áhlaðandi vegna vinds og öldu.	57
11.1.	Vindáhlaðandi	57
11.2.	Áhrif grunnbrota á sjávarborð	59
11.3.	Ölduáhlaðandi	59
12.	Upprennsli og ágjöf yfir sjávarkamba og sjóvarnir	67
12.1.	Skilgreiningar á kennistærðum.	67
12.2.	Flæðarmál	68
12.3.	Flái	69
12.4.	Hæð upprennslis	69
12.5.	Ágjöf yfir sjávarkamb.....	71
12.6.	Mesta ágjöf einnar öldu	72
12.7.	Upprennslis hraði og dreifing ágjafar.....	72
12.8.	Ágjöf við malarfjörur	72
13.	Viðauki II – Öldufar og sjávarflóð við suðvesturströnd landsins.....	74
14.	Sjávarföll og sjávarstaða.....	74
15.	Kvörðun áhlaðanda í Reykjavík í aftakaveðrinu 9.janúar 1990.....	78
16.	Öldufar á grunnslóðum við Ísland og spá um sjávarflóð við strendur landsins	
	78	
17.	Öldufar á hafi.....	80
17.1.	Mælingar	80
17.2.	Öldusveigjуреikningar.	81
18.	Aftakaflóðið 9. janúar 1990.....	82

18.1.	Atburðarlýsing.....	82
18.2.	Lýsing á veðurkortum 7.- 9. Janúar 1990.....	82
19.	Bráðabirgðaniðurstöður á ákvörðun á flóðhæð í Básendaflóðinu	93
19.1.	Ölduhæðir og hæð á sjávarkömbum við Básenda og innan við Lambastaði og í Kvosinni í Reykjavík.	93
20.	Dæmi um ágang sjávar við byggð á Akranes.....	94
21.	Viðauki III - Viðbótargögn.....	98
22.	Yfirlit	98
23.	Eldri heimildir	98
24.	Flóðhæðakerfi sjómælinga.....	98
25.	Dæmi um stormflóð	100
26.	Aðrar heimildir	103
26.1.	Gömul sjókort og dýptarmælingar fyrir daga Reykjavíkurfhafnar	108

Myndaskrá

Mynd 1. Yfirlit yfir mestu tjón í Básendaflóðinu. Húsatjón er sýnt með stjörnu.....	17
Mynd 2. Húsaskipan á Básendum úr vefritinu Ferlar: http://www.ferlir.is/?id=18874 ,	25
Mynd 3. Festill fyrir NV taugina á innra skipinu á Mynd 8.....	26
Mynd 4. Minjaskiltið (til vinstri) og nafnskiltið (til hægri) að Básendum	26
Mynd 5. Hæðalínur sýna +2,2 m, +4,2 m og +6,2 m í hæðakerfi Sjósmælinga Íslands. Stórstraumsflóð er í +3,8m.	27
Mynd 6. Leiðarlýsing að Básendum 1788 (Sjósmælingar Íslands).	28
Mynd 7. Langsnið framan við Básenda.	28
Mynd 8. Kort af innsiglingunni og legunni að Básendum (Sjósmælingar Íslands).	29
Mynd 9. Loftmynd Samsýnar á já.is af Básendum.	30
Mynd 10. Mæliblöð danska herforingjaráðsins frá 1902 af sjávarkambinum við Eiðsgranda og Eiðstjörn (t.v.) og af sjávarkömbunum við Eyri, Melshús og Lambastaði (t.h.) (Landmælingar Ísland).....	32
Mynd 11. Eiðstjörn og sunnan Lambastaða og inn að Kaðlaskjóli (Landmælingar Ísland)	32
Mynd 12. Reykjavíkursandur um 1870. Ljósmynd: M. Andersen. Þjms. Lpr. 1292.	33
Mynd 13. Uppdráttur Rasmus Lievog af kaupstaðalóðinni 1787	34
Mynd 14. Uppdráttur Ole Ohlsen af Reykjavík 1801.	35
Mynd 15. Kort gert eftir uppdrætti Rasmusar Lievogs frá 1787 (t.v.) og af Ohlsen og Aanum 1801 (t.h.).	36
Mynd 16. Kort af Reykjavík árið 1801. Kortið gerði Aage Nielsen-Edwin, 1983 byggt m.a. á korti Lievog. Árbæjasafn.	37
Mynd 17. Mæliblað danska herforingjaráðsins frá 1902 af Kvosinni og Arnarhól.	38
Mynd 18. Gömul hæðamæling af Örfirisey í staðbundnu hæðakerfi.....	39
Mynd 19. Öldufarsreikninga fyrir vestan ölduátt þegar ölduhæð á Garðskaga er 16,0 m og sveiflutími orkutopps er 20 s.	44

Mynd V1. 1. Endurkomutími flóðhæða í Reykjavíkurböfn.	55
Mynd V1. 2. Skerspenna og straumur vegna vindspennu.	57
Mynd V1. 3. Mynd af niðurstöðum (3) með innsettu því svæði sem gögnin í ¹⁰ ná yfir	62
Mynd V1. 4. sýnir lækkun sjávarstöðu vegna öldu við og framan við grunnbrotslínuna og hækkun ölduáhláðanda innan hennar þegar aldan skellir beint og skáhallt á ströndina. ¹³	63
Mynd V1. 5. Afstöðumynd af rannsóknabryggjunni í Japan.....	64
Mynd V1. 6. Heiti á brjótandi öldum á hallandi strönd	67
Mynd V1. 7. Upprennsli er háð fláa sjóvarnar, dýpi og hæð hennar og breidd í toppinn ásamt gerð sjóvarnarinnar og holrými. Hlutfall eða fjöldi aldna í ágjöf skiptir máli fyrir hverja tegund mannvirkis.	69
Mynd V2. 1 Niðurstöður úr Reiknilíkani fyrir sjávarflóð, Reykjavík janúar 1990.....	74
Mynd V2. 2. Niðurstöður úr Reiknilíkani fyrir sjávarflóð, Grindavík 21. febrúar 1996. 75	
Mynd V2. 3.	77
Mynd V2. 4. Niðurstöður úr Reiknilíkani fyrir sjávarflóð, ýmsir sjávarfallamælar febrúar 1990.	78
Mynd V2. 5. Yfirlit yfir ölduhæðir með endurkomutíma miðað við 98 % tíðni, eins árs og 100 ára.	80
Mynd V2. 6. Öldufar utan Faxaflóa	81
Mynd V2. 7. Reiknilíkan fyrir öldusveigjureikninga, reikninetið fyrir dýpi í Faxaflóa og fyrir Reykjanes.....	82
Mynd V2. 8. Veðrið 7 - 9. Janúar 1990. Veðurkort evrópsku veðurmiðstöðvarinnar ..	84
Mynd V2. 9. Flóðaverðið 9. Janúar 1990. Ölduspákort evrópsku veðurmiðstöðvarinnar	85
Mynd V2. 10. Teikning gerð eftir ferli þrýstirita í Reykjavík 7. Til 10 janúar 1990.....	86
Mynd V2. 11. Öldureikniforrit, staðsetning öldumælidufla og sjávardýpi.	87

Mynd V2. 12. Samanburður á mældum ölduhæðum og reiknuðum ölduhæðum í aftaka-veðrinu 9. janúar 1990 byggt á öldufarsreikningum í töflu 2.	89
Mynd V2. 13. Sýnir öldufar á stórstraumsflóði í suðvestan (t.v.) og vestan ölduátt (t.h.) þegar kennialdan við Garðskagadufl er 16,0 m og sveiflutími orkutopps er 20,0 s.	90
Mynd V2. 14. Innri hluta Faxaflóa, Sundunum og upp í Hvalfjörð.	91
Mynd V2. 15. Myndin sýnir öldufar við Seltjarnarnes á stórstraumsflóði í suðvestan ölduátt þegar þegar kennialdan á hafi er 16,0 m og sveiflutími orkutopps er 20,0 s. .	91
Mynd V2. 16. Myndin sýnir öldufar við Seltjarnarnes á stórstraumsflóði í vestan ölduátt þegar þegar kennialdan á hafi er 16,0 m og sveiflutími orkutopps er 20,0 s.	92
Mynd V2. 17. Staðsetning reiknipunkta með loftmynd.....	94
Mynd V2. 18. Númer og staðsetning mælipunkta í öldusveigjureikningum.	94
Mynd V2. 19. Hæð kenniöldu í öllum mælipunktum 50m frá landi.	95
Mynd V2. 20. Sýnir í hnotskurð hve alsan er breytileg meðfram ströndinni á Akronesi. Á myndinni sést vel hver vegna byggð á Breiðinni lagðst af eftir Básendaflóðið en byggðin var ofan við Vitann þar sem kennialdan hefur væntanlega verið yfir 7m há.	95
Mynd V2. 21. Yfirlit yfir tjónastaði á Akranesi 5. Janúar 1984.....	96
Mynd V3. 1. Bæjarteikning danskra landmælingamanna af Stokkseyri frá því í byrjun 20. aldarinnar. (Landmælingar Íslands.)	98
Mynd V3. 2. Bryggjan og fjaran á Stokkseyri í desember 1977. (Vísir 15.12 .1977 Tímarit.is).	100
Mynd V3. 3. Dæmi um áhlaðanda. Sjávarflóðið í Grindavíkurhöfn 1. Febrúar 1999 kl. 18	101
Mynd V3. 4. Grindavíkurhöfn.....	101
Mynd V3. 5. Flóð í Reykjavík á YouTube	102
Mynd V3. 6. Ánanaust að morgni 10. Febrúar 2010.....	102
Mynd V3. 7. Ágjöf yfir sjóvarnargrð í Ánanaustum á forsíðu Fréttablaðsins 4. september 2007.	103
Mynd V3. 8. Ljósmynd Sveins Þormóðssonar af ágjöf upp á Skúlagötu á morgunflóðiinu þann 24. Mars 1970, sem birtist á baksíðu Morgunblaðsins daginn eftir.	103

Mynd V3. 9. Mæliblað frá Forverk með hæðamælingu af Eiðsgranda frá 1978 bl.312 SA. (Forverk,1978).....	104
Mynd V3. 10. Hæðarpunktar frá 1959 af Eiðsmýrinni. (Jörgen Þormóðsson Landfræðingur,LUKR).....	105
Mynd V3. 11. Hæðarpunktar frá 1959 af Eiðsmýrinni. (Jörgen Þormóðsson Landfræðingur,LUKR).....	105
Mynd V3. 12. Kort Lottin af Reykjavík 1836(Árbæjarsafn)	106
Mynd V3. 13. Mynd af mæliblaði danska herforingjaráðsins frá 1902. (Landmælingar Íslands)	106
Mynd V3. 14. Sjókort af Kollafirði, Hólmshöfn og Skerjafirði mælt 1776 og gefið út 1788. (Faxaflóahafnir).....	108
Mynd V3. 15. Ytri höfnin í Reykjavík, mælt 1839 og 1878. (Faxaflóahafnir)	108
Mynd V3. 16. Dýptarmæling af hafnarsvæðinu í Reykjavík frá 1780. (Faxaflóahafnir)	109
Mynd V3. 17. Dýptarmæling eftir Knud Zimsen byggt á eldri og yngri uppdráttum. (Faxaflóahafnir).....	110

1. Inngangur

1.1. Stutt ágríp af verkefnalýsingu:

Verkefninu er ætlað að kryfja þær upplýsingar sem til eru um Básendaflóðið með aðferðafræði strandverkfræðinnar og komast að niðurstöðu um af hverju það fellur ekki að langtímadreifingu sjávarflóða.

1.2. Tilgangur og markmið:

Tilgangurinn er að rannsaka ítarlega heimildir um Básendaflóðið. Leitast verður við að kanna aðstæður á flóðasvæðunum á Seltjarnarnesi og á Básendum. Kannað verður hvort flóðið hefur í raun farið yfir Kvosina og núverandi flugvallarsvæði og matið á hæð flóðsins endurskoðað. Þá verður lagt mat á hæð stjarnfræðilega flóðsins og metið hve hátt Básendaflóðsið fer yfir þau mörk. Markmiðið er að áætla hvaða veðurskilyrði geta skapað slík flóð, með seinni tíma líkangerð í huga. Á síðustu rúmlega 100 árum hefur sjávarhæð í Reykjavíkurböfn við innanverðan Faxaflóa farið um 10 sinnum yfir +4.9m og hæsta mæling á yfir 50 árum er um +5.1m. Á grundvelli heimilda hefur flóðhæð í Básendaflóðinu árið 1799 verið metin á bilinu 6 - 7m í Reykjavík. Sú flóðhæð fellur engan veginn að langtímadreifingu sjávarhæða í Reykjavík sem byggir á mælingum og mati á flóðhæð síðustu 140 ár.

1.3. Bakgrunnur og forsaga:

Skráðar heimildir um Básendaflóðið eru víða til en ekki fullrannsakaðar. Athuganir á landhæð, áætlanir á landsigi og landrasi eru líka ófullnægjandi. Ýmis gögn varðandi stjarnfræðileg flóð þarf að skoða frekar. Fyrir hendi er úttekt á tölfræði sjávarflóða í Reykjavík¹, sem sýnir endurkomutíma Básendaflóðs mjög langan í samanburði við önnur flóð, en jafnframt að áhrifasvæði flóðsins sé stórt og þéttbýlt. Áhættumat og björgunaráætlanir fyrir Básendaflóð hafa ekki verið gerðar vegna þessarar óvissu, né heldur er vitað að hve miklu leyti þarf að taka tillit til slíkra flóða í mannvirkjahönnun.

1.4. Framkvæmdalýsing:

Samantekt á sögulegum heimildum, nálgast mælda sjávarstöðu með reikningum á áhlaðanda og meta líklega sjávarhæð Básendaflóðsins. Gert er ráð fyrir að verkefnið verði unnið á rannsóknarárinu og verður leitast við að beita strandverkfæðilegum aðferðum við úrvinnslu þessa rannsóknaverkefnis.

1.5. Vætanlegur árangur, birting niðurstaðna:

Á síðustu árum hefur aukin áhersla verið lögð á mat á sjávarflóðum m.a. fyrir skipulagsmál. Aukin umfjöllun um hættu á sjávarflóðum knýr á um rannsóknir á þessu

¹ Eliasson, J. (1996). Probability of tidal surge levels in Reykjavik, Iceland. Journal of Coastal Research, 12(1), 368-374. Sjá ennfremur viðauka 1.

sviði sem mun nýtast öllum hlutaðeigandi til öruggari uppbyggingar á vegum, höfnum og við skipulag íbúðabyggða á lágsvæðum. Gerð verður skýrsla um niðurstöður rannsóknarinnar og þær birtar í tímaritsgrein eins og þurfa þykir.

1.6. Hvað veldur sjávarflóðum?

Við Íslandsstrendur er mest hættu á sjávarflóðum þegar mjög djúpar og víðáttumiklar lægðir grafa um sig á stóru hafsvæði bæði fyrir sunnan og norðan land og þegar næg vindorka er í lægðakerfinu til að byggja upp orkumiklar öldur með orkutopp allt að 15 til 20 sekúndur og kenniöldur vel yfir 12 m og allt upp í 18 m. Það fer síðan eftir dýpt lægðarinnar og flóðhæð í stórstraumsflóði þegar lægðin gengur á land, hve mikil sjávarflóðin verða, vegna lágs loftþrýstings og vindhraða sem veldur vindáhlaðanda og ölduhæða sem valda staðbundnum ölduáhlaðanda við ströndina en einnig hraða lægðarinnar og stefnu gagnvart ströndinni.

1.7. Lægðin sem olli Básendaflóðinu.

Lægðin sem olli Básendaflóðinu er með dýpstu lægðum samfara stórstreymi sem komið hafa upp að suðvesturlandinu. Flóðalægðin 9. janúar 1990 er talin vera einna líkust lægðinni 1799 sem gögn ná yfir en þá mældist hæsta kennialda á Garðskagadufli um 16,3m en sú lægð kom upp að landinu á fjöru þegar ekki var stórstreymt.

1.8. Stutt lýsing á Básendaflóði í Reykjavík og nágrenni.

Yfirlit yfir þá staði þar sem tjón varð mest í Básendaflóðinu er á Mynd 1 bls. 17.

Fyrir innan *Lambastaði* á Seltjarnarnesi, sunnan verðu, gekk sjórinn þvert yfir nesið milli Skerjafjarðar og Eiðisvíkur á um 500 m breiðu belt. Heimildir geta að flóðhæðin hafi náð *3 m yfir stórstraumsflóð sem svarar þá til sjávarhæðar um +7 m* og hefur þetta verið álit manna fram til þessa.

Í *Örfirisey* gekk sjór yfir alla eyjuna og spilltist land svo af sand- og malarburði, að eyjan mátti lítt byggileg teljast, enda *lögðust býli úti þar í eyði.*

Í **Kvosinni** í Reykjavík geta heimildir ekki um spjöll af völdum flóðsins enda hefur hafnarsvæðið gamla verið í nokkru vari fyrir öldu. Öðru máli gegnir um ofviðrið. Vitað er að rúður í tugthúsinu á Arnarhóli brotnuðu og það svipti burt obbanum af þakskífum á suðurhlið dómkirkjunnar.

1.9. Þróun byggðar í Kvosinni frá 1778 – 1800 fyrir Básendaflóð

Eftir afnám einokunarverslunarinnar árið 1778 fluttist fjöldi kaupmanna til Reykjavíkur þegar ókeypis lóðir stóðu til boða meðfram sjávarkambinum sem myndaði smám saman hina svonefndu Strandgade, er seinna varð Hafnarstræti, sem var orðin nær fullbyggð sunnan Hafnarstrætis fyrir aldmótin 1800. Norðan Hafnarstrætis, sjávarmegin, voru uppsátur, bryggjur og athafnasvæði kaupmanna. Í dag liggur malbikið nánast beint

ofan á sjávarkambinum við vesturenda Hafnarstrætis. Ekki er getið um skemmdir á þessu svæði í Básendaflóðinu.

1.10. Ölduhæðir og hæð á sjávarkömbum við Básenda og innan við Lambastaði og í Kvosinni í Reykjavík.

Ölduhæðin framan við Básenda í Básendaflóðinu hefur verið milli 14 til 16m samkvæmt öldufarsreikningunum í töflu 3, viðauka 2. Aldan innan við Lambastaði er samkvæmt öldufarsreikningum um 2,6m miðað við stórstraumsflóð og 16 m kenniöldu á hafi. Aldan hækkar um 11% þegar flóðhæð hækkar úr +4,0m í +5,0m og hækkar um 12,5% þegar aldan á hafi hækkar úr 16 m í 18 m. Miðað við 18 m öldu í hafi og +5,0m flóðhæð er aldan í Básendaflóðinu áætluð um 3,2m innan við Lambastaði. Aldan framan við sjávarkambinn í Kvosinni er hér áætluð um 1,5m í Básendaflóðinu og framan við Eiðsgranda. Að sjálfsögðu þarf að endurreikna þessi ölduskilyrði til að fá ölduhæðina rétta fyrir utan Básenda, við Lambastaði, framan við Eiðsgranda og framan við Kvosina. Jafntframt þarf að leitast við að fá mat á feril lægðarinnar til að spá fyrir um ölduhæðir og ekki síður til að meta loftþrýsting og vindhraða meðfram ströndinni til að meta hækkun sjávarborðs vegna lágs loftþrýstings og vindáhlaðanda.

1.11. Bráðbirgðaniðurstaða á ákvörðun á flóðhæð í Básendaflóðinu

Meginniðurstaða þessa verkefnis er, að tjón af völdum Básendaflóðsins 1799 má rekja til mjög hárrar sjávarstöðu samfara djúpri krappri lægð sunnan úr hafi, sem veldur aftaka brimi og mikilli ölduhæð á svæðum fyrir opnu hafi sunnan og vestanlands. Takmörkuð hætta er af aftakasjávarflóðum af völdum aftakabrima, þar sem öldu gætir lítið eins og í Kvosinni í Reykjavík. Bráðbirgðamat á einstökum stöðum fer hér á eftir, stuðst við niðurstöður rannsókna Yanagishima og Katoh (1990)²:

Básendar

- Áætluð ölduhæð er $H_{s_{\text{Básendar}}}$ =14 til 16m og loftþrýstingur og vindhraði með 100 ára endurkomutíma.
- Reiknuð hækkun sjávarborðs η = 2,5 til 2,7m, flóðhæð +6,3 til +6,5 m
- „Sjór gekk að minnsta kosti fjórum álnum (um 2,5m) hærra á Básendum í flóðinu en í mestu stórstraumsflóðum“.

Lambastaðir

- Áætluð ölduhæð er $H_{s_{\text{Lambastaðir}}}$ =3,2m og loftþrýstingur og vindhraði með 100 ára endurkomutíma.
- Reiknuð hækkun sjávarborðs η =1,4m, flóðhæð +5,4m um 1,0m yfir sjávarkambinn þar sem kamburinn var lægstur.

² Yanagishima, S. & Katoh, K: Field Observation on Wave Set-up near the Shoreline. Coastal Engineering, 1990, 95-108.

- Brjótandi öldur samfara upprennsli og ágjöf olli bæði stað- og tímabundnum hækkunum á sjávarstöðunni þannig að flóðhæðin var líklega metinn hærri en hún var í reynd eins og oft vill verða.

Kvosin

- Áætluð ölduhæð er $H_{s_{Kvosin}} = 1,5\text{m}$ og loftþrýstingur og vindhraði með 100 ára endurkomutíma.
- Reiknuð hækkun sjávarborðs $\eta = 1,2\text{m}$, flóðhæð $+5,3\text{m}$ um sömu hæð og sjávarkamburinn þar sem kamburinn var lægstur.
- Hvergi er getið um tjón né sjávarflóð við verslunarhúsin og pakkhúsin sunnan við Hafnarstræti. Flóðhæðin náði nærri sömu hæð og hæð sjávarkambinsins. Ölduáhlaðanda gætir vart á Víkinni framan við Kvosina.

Verkefnið „Ákvörðun á flóðhæð í Básendaflóði“ var kynnt á rannsóknaráðstefnu Vegagerðarinnar þann 20. Október 2015³.

³ Gísli Viggóson, Jónas Elíasson, Sigurður Sigurðarson, 2015, „Ákvörðun á flóðhæð í Básendaflóð, mesta sjávarflóði Íslandsögunnar“. Glærुकyning. sjá: [http://www.vegagerdin.is/vefur2.nsf/Files/Gisli_Viggosson_glaer_radst15/\\$file/0915%20G%C3%ADsli%20Vigg%C3%B3sson.pdf](http://www.vegagerdin.is/vefur2.nsf/Files/Gisli_Viggosson_glaer_radst15/$file/0915%20G%C3%ADsli%20Vigg%C3%B3sson.pdf)

2. Helstu heimildir um Básendaflóðið

2.1. Yfirlit

Suðurnesjaannáll, Sigurður B. Sívertsen, Útskálar á Suðurnesjum, 1799-1889. Þessi annáll er afar fróðlegur um veður í nágrenni Reykjavíkur á mestu harðindaárum 19. aldar. Fyrir 1836 er aðeins tekið úr annálnum efni sem ekki finnst í hinum annálunum (5 færslur), svo og frásögnin um Básendaflóðið 1799.

Árbækur Reykjavíkur, Jón Helgason, Reykjavík, 1783-1924.

Espihólsannáll, Jón Jakobsson, Espihól

Básendaflóðið 1799, Vefnir: 6. vefrit 2006 Lýður Björnsson⁴.

Básendaveðrið 1799, Lesbók Morgunblaðsins 20. mars 1999, Árni Árnarson⁵

Vefritið Ferlar: Básendar⁶, Básendar I⁷ og Stafnes - Básendar⁸

2.2. Suðurnesjaannáll

Eftir nýjár, aðfaranótt 9. janúar gjörði ofsalegt sunnanveður af hafútsuðri, höfðu þó komið önnur lík, en eigi jafnmikil. Fylgdi veðri þessu mikið regn, þrumur og leiftranir í stórstraum og var himininn allur ógurlegur að líta. Þar með fylgdi óskaplegt stórbrim og hafrót með miklum fallþunga og ægilegri flóðbylgju. Urðu skemmdir miklar hvarvetna.

2.3. Árbók Reykjavíkur

Í ársbyrjun – aðfaranótt hins 9. janúar – brá til útsuðuráttar um allt Suður- og Vesturland, með þeim býsnum, sem fæstir höfðu áður lifað. Um öll Suðurnes, allt austur að Eyrarbakka, gjörði feikna hafrót og stórflóð. Olli það hvarvetna mestu skemmdum á bátum, geymsluhúsum og hjöllum við sjó. Bátsenda-kauptún (nálægt Sandgerði á Miðnesi) lagðist af með öllu, því að sjór og veður braut þar öll bæjar og verslunarhús; fékk kaupmaðurinn (Hinrik Hansen) með naumindum forðað lífi sínu og fjölskyldu sinnar á flóttu að Stafnesi. Fiskigarðar og túngarðar þar syðra sópuðust heim á tún, sumstaðar tók jafnvel af túnin, skipauppsátur og brunna. Hvalneskirkju tók ofan að grundvelli, hið sama var um kirkjuna að Nesi við Seltjörn (sem að vísu var niðurlögð fyrir hálfu öðru ári); en kirkjurnar í Kirkjuvogi og á Kálfatjörn skekktust. Á Seltjarnarnesi gerði óveður þetta mikinn usla og olli miklum skemmdum. Um 18 skip og minni róðrabátar

⁴ Lýður Björnsson 2006, „Básendaflóðið 1799“, 6. vefrit, sjá:

<http://vefnir.is/qrein.php?id=696>

⁵ Árni Árnarson 20. mars 1999 „Básendaveðrið 1799“, Lesbók Morgunblaðsins, sjá:

http://timarit.is/view_page_init.jsp?issId=242877

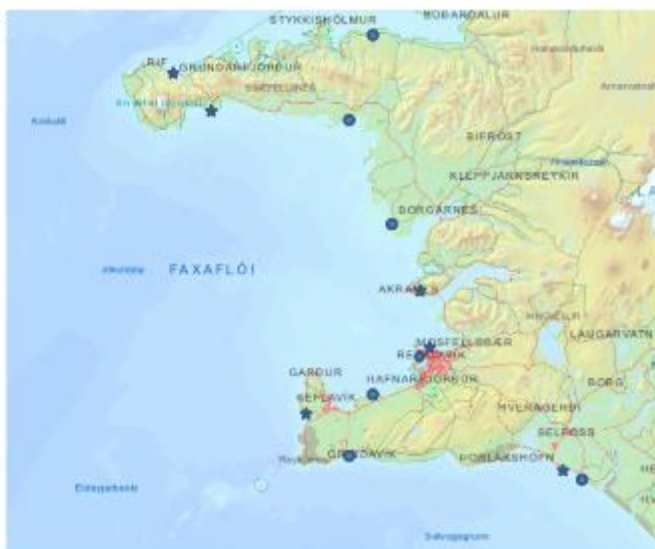
⁶ Magnús Grímsson, „Básendar“ Vefritið Ferlar, sjá <http://www.ferlir.is/?id=18874>

⁷ „Básendar I“ Vefritið Ferlar, sjá: <http://www.ferlir.is/?id=3729>

⁸ „Stafnes - Básendar“ Vefritið Ferlar, sjá: <http://www.ferlir.is/?id=4284>

brotnuðu, svo að sum fóru í spón, en önnur löskuðust, svo að ekki var fært mönnum né hestum. Er haft eftir jafn-athugulum heimildarmanni og biskupinum á Lambastöðum, að „5 álnum hefði sjór gengið hærra, þverhnýptu máli, en í öðrum stórstraumsflóðum“. Í Effersey spilltist land svo af sand- og malarburði, að eyjan mátti lítt byggileg teljast, enda lögðust býli úti þar í eyði, þótt seinna risu sum þeirra upp aftur og héldust í byggð fram undir miðja 19. öld. Í þessu mikla veðri fauk m.a. mestallur þaksteinn af suðurhluta dómkirkjubaksins, svo og rúður úr gluggum kirkjunnar. Ýmiskonar skemdir urðu og á fleiri húsnum með þaksteini á þekju.

Eyrarbakka, hús brotnuðu
 Stokkseyri
 Grindavík
Básendum, hús brotnuðu
 Vatnleysuströnd
 Seltjarnarnesi
Örfirisey, hús brotnuðu
Akranesi, hús brotnaði
 Borgarfirði
 Mýrum
 Staðarsveit
Búðum, hús brotnaði
Ólafsvík hús, brotnuðu
 Skógarströnd



Mynd 1. Yfirlit yfir mestu tjón í Básendaflóðinu. Húsatjón er sýnt með stjörnu.

2.4. Espihólsannáll

Um Veturinn þetta ár, nóttina milli þess 8. og 9. Januári, gjörði hið mesta ofsastórviðri af suðvestri. Fylgdi því regn, skruggur og leiftranir með geigvænlegustu himinginum. Þessu varð (að vonum) samfara sjóarrót og óskaplegt brim. Þá urðu á einni nóttu dæmalausar óvenjur á landinu, suðaustan, sunnan, vestan og norðvestan, sem of langt er upp að rekja og utan tilgang þessa smásmíðis. Þó misstu menn ei líf sitt utan ein manneskja á Bátssandskaupstað. Þá drap haugabrim og ofviðri mikinn fjölda af peningi manna, kúm, hrossum og sauðfé, einkum á sjóarsíðu. Tók út og mölbraut timburhús á kaupstöðum og býli landbúa. Hreif skip í sjó, svo brotnuðu í spón, en sum tók í loft upp. Tún, engjar og lönd ónýttust og víða. Búendur flýðu rúm sín og bæi með konu og börnum hálfnöktum til að forða sér dauða. Þá urðu og húsbrunar á nokkrum stöðum.

Bátssendakaupsstaðurinn hjá Stafnesi eyðilagðist alveg, því að öll höndlunarhús braut sjór og veður, svo að þar stóð ekki eftir og rótaðist grundvöllurinn sjálfur, enda gekk sjór 164 faðma upp fyrir efstu hús kaupstaðarins. Fórst einn maður, en Hansen kaupmaður bjargaðist í dauðans angist með konu sína og börn hálfnakin heim að Loddu, hjáleigu frá Stafnesi. Sjór gekk að minnsta kosti fjórum álnum (um 251 cm.) hærra á Básendum í flóðinu en í mestu stórstraumsflóðum. (Árið 1776 var dönsk alin löggilt hér á landi með konunglegri tilskipun. Var hún 24 þumlungar eða 62,8 sentimetrar að lengd).

3. Stutt yfirlit yfir helstu flóðastaði.

3.1. Sjávarflóð á Eyrarbakka og Stokkseyri.

Á Eyrarbakka og Stokkseyri brotnuðu skip og hús, skepnur fórust svo tugum skipti, braut alla garða og sjávarkampinn allan til grunna. Kaupstaðarhús á Eyrarbakka með vörum molaðist allt og fleyttist allt langt upp á Breiðumýri með öðru fleiru. Fólk varð allt í dauðans hræðslu, en ekkert varð flúið. Lækkaði svo malarkamburinn framan við fjöru að var lítið hærrí en fjaran sjálf og stóð fólk mikill ótti af þessari breytingu, þar sem ekkert undanfæri gæfist að flýja flóð sem ættu nú greiðan aðgang inn í þorpið. Þá lét Lambertsen verslunarstjóri Sunckenberg verslunarinnar sem þá hét, hlaða mikinn garð fyrir framan búðirnar og Húsið sem enn stendur og störfuðu margir Bakkamenn við framkvæmd þessa.

3.2. Sjávarflóð í Grindavík.

Í Grindavík spillti flóðið 5 hjáleigum, þar brotnuðu 6 skip og 8 að auki skemmdust og 100 fjár fór í sjóinn⁹. Í Grindavík eyðilögðust tún á tveim bæjum, og önnur stórskemmdust, fimm hjáleigur spilltust, sex skip brotnuðu, átta manns meiddust og hundrað fjár fórust¹⁰.

3.3. Sjávarflóð í Höfnum.

Kirkjuvogskirkja skekktist, tvö skip brotnuðu og einn maður meiddist. Timburkirkjuna á Hvalsvelli tók af grunni og fauk burtu.

3.4. Sjávarflóð á Básendum.

Mjög djúp og kröpp lægð olli ofviðri og eyðileggingu við suður- og vesturströnd Íslands aðfararnótt hins 9. janúar 1799. Loftþrýstingur var óvenju lágur og stórstreymt og hækkaði sjávarstaða við landið fyrir áhrif þessara þátta. Náttúruhamfarir þessar taka nafn af Básendum en mannvirki þar eyðilögðust þessa nótt. Þar sameinuðust ofsarok af suðvestri og stórstraumsaðfall við að þrýsta sjónum inn fremur mjóa rennu. Sjór gekk að minnsta kosti fjórum álum (um 228 cm.) hærra á Básendum í flóðinu en í mestu stórstraumsflóðum.

3.5. Sjávarflóð í Njarðvíkum.

Fiskigarðar og túngarðar á Nesinu sópuðust heim á tún, sumstaðar tók af skipsuppsátur og brunna og átta skip brotnuðu. Tveir bátar fuku í Njarðvíkursókn og fundust eigi síðan og einn brotnaði, 4 bátar í Útskálasókn.

⁹ Lýður Björnsson, „Básendaflóðið 1799“, bls.5

¹⁰ Sigurður Þór Guðjónsson „Íslenskir annálar og aðrar gamlar veðurheimildir“. Annálar 1400 – 1800. Lykilbók 1, Reykjavík 1998. (sjá http://www.vedur.is/media/vedurstofan/utgafa/hlidarefni/annalar_sig-th.pdf). bls.119

3.6. Sjávarflóð á Vatnsleysuströnd.

Miklir skaðar á Vatnsleysuströnd og Innesjum og vestur um allt land, sem menn vissu ekki dæmi til eins stórkostlegt, um land allt á einni nóttu.

3.7. Sjávarflóð á Seltjarnarnesi.

Flóðið spillti mörgum jörðum á Seltjarnarnesi og eyðilagði þar yfir 20 báta¹¹.

Fyrir innan Lambastaði á Seltjarnarnesi gekk sjórinn yfir þvert nesið milli Skerjafjarðar og Eiðsvíkur svo að Seltjarnarnes varð að eyju í flóðinu. **Er haft eftir jafnathugulum heimildarmanni og biskupinum á Lambastöðum, að 5 álnum hefði sjór gengið hærra, þverhniptu máli, en í öðrum stórstraumsflóðum.**

3.8. Sjávarflóð í Örfirisey.

Örfirisey spilltist land svo af sand- og malarburði, að eyjan mátti lítt byggileg teljast, enda lögðust býli þar úti í eyði.

3.9. Sjávarflóð í Reykjavík.

Heimildir geta ekki um spjöll í Reykjavík af völdum flóðsins enda hefur hafnarsvæðið gamla verið í nokkru vari. Öðru máli gegnir um ofviðrið.

Vitað er að rúður í tughúsinu á Arnarhóli (nú húsi stjórnarráðsins) brotnuðu af þess völdum og það svipti burt obbanum af þakskífum á suðurhlið dómkirkjunnar¹².

3.10. Sjávarflóð á Kjalarnesi.

Kot braut á Kjalarnesi ok nokkra báta, ok vedr spillti vídar húsum¹³.

3.11. Sjávarflóð á Akranesi.

Verulegt áfall reið yfir Skagamenn 9. janúar 1799 í Básendaflóðinu en þá tók af byggð á Breiðinni¹⁴ S.6. „*Tók af Breid á Skipaskaga med húsum ok túnum, en sjórinn brauzt inn undir pallskörina, fékk bóndinn brotid gat á badstofu-þekjuna, ok komit þar út mönnum,*

¹¹ Lýður Björnsson, „Básendaflóðið 1799“, bls.6

¹² Sigurður Þór Guðjónsson „Íslenskir annálar og aðrar gamlar veðurheimildir“. Annálar 1400 – 1800. Lykilbók 1, Reykjavík 1998. (Sjá http://www.vedur.is/media/vedurstofan/utgafa/hlidarefni/annalar_sig-th.pdf). bls.120

¹³ Lýður Björnsson, „Básendaflóðið 1799“, bls.6

¹⁴ Guðmundur L. Hafsteinsson, „Akraneskaupstaður Perla Faxaflóa Bæja- og húsakönnun á Skipaskaga“, Akraneskaupstaður 2009, bls. 6

en vard at brjóta sik inn í adra búð, til at koma þeim af sundi, týndist margt þat er hann átti, en honum bættist þat aptr af örleik manna“¹⁵.

3.12. Sjávarflóð í Staðarsveit,

Í Staðarsveit gekk sjór 300-1.500 föðmum lengra á land en venja var í stórstreymi, þar eyðilögðust hús og 50 fjár flæddi. Fjórtán kirkjujarðir Staðarstaðar spilltust. Sextán bátar brotnuðu í Staðarsveit, en tíu að auki höfðu brotnað fyrr um veturinn í Neshreppi

3.13. Sjávarflóð í Búðarkaupstað.

Búðarkaupstað tók af að mestu, þar brotnaði eitt hús alveg, gat kom á annað og sjórinn gróf undan hinu þriðja. Móðuharðindin bitnuðu hart á Snæfellingum og fækkaði þá skipum í verstöðvunum um helming. Eftir Bátsendaflóðið 9. janúar 1799, sem gerði mikinn usla, voru verslunarhúsin á Efríbúðum flutt út fyrir ósinn og ný hús reist þar sem Búðir eru nú¹⁶.

3.14. Sjávarflóð í Ólafsvík.

Í Ólafsvík brotnaði verslunarhús.

3.15. Sjávarflóð á Skógarströnd.

Á Skógarstönd brotnuðu fimm bátar og þrír bæir og tjón varð í Dölunum.

Heimildir benda til að um það bil 100 hús hafi skemmst eða eyðilagst af völdum flóðs eða roks umrædda nótt. Meirihluti þessara húsa voru hjallar, útihús eða verbúðir en bæir, kirkjur og verslunarhús skemmdust einnig eða eyðilögðust. Samtals geta heimildir um 187 báta eða skip (skip = sexæringar eða stærri bátar) sem skemmdust þá eða eyðilögðust. Nokkurt tjón varð á búpeningi, getið er um 10 kýr, 226 kindur og 63 hesta sem flóðið grandaði. Ein kona drukknaði svo sem fram hefur komið⁶.

¹⁵ Lýður Björsson, „Bátsendaflóðið 1799“, bls.6

¹⁶ Úr Árbók Ferðafélags Íslands frá árinu 1932

4. Nánari lýsing á sjávarflóðum í Básendaflóðinu

4.1. Sjávarflóð á Eyrarbakka og Stokkseyri.

Básendaflóðið 9.janúar 1799. Það olli töluverðum skemmdum á eignum Eyrbekkinga.-Jón Espólín segir pakkhús „Byggt 1778 20X13 álnir og stóð austanvent við hin“ hafa eyðilagst á Eyrarbakka og þar dreifði sjórinn viðum og varningi um Breiðumýri ofan verslunarstaðarins. Einnig velti sjórinn um öllum stakkstæðum á Eyrarbakka, gróf grundvöll undan flestum húsum þar, spillti vörum og braut malarkambinn. Hús brotnuðu og hey og búpening tók út, 63 hross, 58 kindur og 9 kýr. Alls olli flóðið tjóni á 52 býlum í hinum forna Stokkseyrarhreppi og þar brotnuðu 27 bátar. Tuttugu og níu menn urðu að flýja heimili sín.

Ofsarok var á útsunnan með miklu hrakviðri og ljósagangi. Lækkaði svo malarkamburinn framan við fjöru að var lítið hærrí en fjaran sjálf og stóð fólki mikill ótti af þessari breytingu, þar sem ekkert undanfæri gæfist að flýja flóð sem ættu nú greiðan aðgang inn í þorpið. Þá lét Lambertsen verslunarstjóri Sunckenberg verslunarinnar sem þá hét, hlaða mikinn garð fyrir framan búðirnar og Húsið sem enn stendur og störfuðu margir Bakkamenn við framkvæmd þessa.

4.2. Upphaf sjóvarna á Eyrarbakka og Stokkseyri.

Á Stokkseyri og Eyrarbakka hafa orðið mikil sjávarflóð sem valdið hafa verulegu tjóni á mannvirkjum, fénaður hefur farist og í flóðinu 1653, Háeyrarflóðinu svonefnda, fórst einn maður. Árin 1787 eða 1788 var byggður fyrsti sjóvarnargarðurinn á Eyrarbakka. Þessi garður hrundi í Stóraflóði 1799 eins og Básendaflóðið var kallað þar. Þegar um sumarið eftir Stóraflóð var hafist handan um að byggja upp sjóvarnargarðinn sem hefur verið í byggingu allar götur síðan. Upphaf bygginga sjóvarnargarða á Stokkseyri má rekja til ársins 1890, fjórum árum eftir að Stokkseyrarkirkja var endurbyggð¹⁷.

4.3. Sjávarflóð í Þorlákshöfn og í Selvogi.

Tjón varð einnig í Þorlákshöfn og Selvogi en ekki hefur fundist nánari lýsinga á því.

4.4. Sjávarflóð í Grindavík.

Í Grindavík spillti flóðið 5 hjáleigum, þar brotnuðu 6 skip og 8 að auki skemmdust og 100 fjár fór í sjóinn ¹⁸. Í Grindavík eyðilögðust tún á tveim bæjum, og önnur

17 Gylfi Ísaksson, „Landbrot og flóðavarnir við Stokksnes og Eyrarbakka, Þorlákshöfn og Selvog“. Skýrsla Fjarhitunar ágúst 1984. bls.11

18 Lýður Björsson, „Básendaflóðið 1799“, bls.5

stórskemmdust, fimm hjáleigur spilltust, sex skip brotnuðu, átta manns meiddust og hundrað fjár fórust.

4.5. Lýsing kaupmannsins á atburðarásinni að Básendum 1799.

Hinrik Hansen kaupmaður sendi Sigurði Péturssyni, sýslumanni og skáldi, lýsingu á atburðum þessarar nætur og er lýsingin dagsett hinn 16. mars 1799. Skjal þetta er varðveitt. Það er á dönsku. Vigfús Guðmundsson gaf það út nokkuð stytta í Blöndu og á íslensku. Þar er þýðanda ekki getið og hefur Vigfús því væntanlega sjálfur fært lýsinguna úr dönsku dragtinni og í íslensku flíkurnar. Rétt þykir að birta lýsinguna hér í heild þó að löng sé enda gefur hún mjög góða mynd af atburðunum á Básendum þessa nótt:

Lotningarfull frásaga (Ærbödig Pro Memoria). Vegna ástæðnanna verð eg að bera fram fyrir héraðsdómarann tjónið hræðilega, sem varð í byrjun þessa árs á verzlunarstaðnum Básendum, er eg hafði náðarsamlega í hendur fengið. Út af því er eg nú fjárþrota með óþroskuð börn og óþægilegan aðbúnað. Til að gera héraðsdómaranum þetta skiljanlegt, tek eg mér leyfi til að segja söguna sanna, eins og hún gerðist. Sést þá hversu ofurefli sævarins, hefur eyðilaggt verzlunarstaðinn og margskonar fjármuni mína, og í hvílíkum dauðans vandræðum eg var staddur, með mínum nánustu, meðan allt var að eyðileggjast. Þessi hörmulega saga er þá svona:

*Eptir að við öll (eg, kona, 4 börn og vinnukona) vorum háttuð, varð eg þess var um nóttina (á að gízka kl. 2) hversu veðrið af suðri til vesturs magnaðist, svo iðulega fór að braka í húsunum. Þar að auki fóru að heyrast skellir, hver aptir annan, eins og veggbrjótur væri að vinnu á hlið hússins og undirstöðu. Af þessu fór eg á fætur, til þess að líta eptir veðrinu og vita, hvað gengi á úti. Þrátt fyrir svart myrkrið lauk eg upp húsdryum eldhúsmeginn, og þá þegar **brauzt sjórinn inn á mig, með svo miklu afli og straum, að fyllti herbergin á lítilli stundu.** Flúðum við þá í skyndi upp á húsloptið, hálfnakin upp úr rúmunum, því við óttuðumst, að við mundum farast í sjónum niðri, þar sem íbúðin var.*

- 1. Og í myrkrinu þorðum við ekki út úr húsinu, bæði vegna **æðandi brimaldanna og rjúkandi ofviðris**; svo vissum við líka að allt umhverfis húsin var hulið sjó. Og megum víst þakka guði, að við gripum þá ekki það óyndis úrræði, því þá hefðum við öll farizt. Þarna stóðum við nú langan tíma á loptinu í sífelldum dauðans ótta, að veður og sjór mundi þá og þegar mola húsið niður að grundvelli. **Ofviðrishrinurnar og brimið lamdi sífellt** á húsinu, svo það var nú farið að brotna, mótstöðuafli þess rýrnaði og sjórinn streymdi út og inn.*
- 2. Hér um bil kl. 7 (að við héldum) treystumst við ekki lengur að geta bjargað lífinu þarna á loptinu. Braut eg því gluggann á norðurhliðinni. Þar smugum við öll út, eins og við stóðum (hálfnakin). Eg vóð með yngsta barnið á handleggnum, þar sem sjórinn flæddi yfir og skolaði með sér borðum, plönkum, fjármunum og búshlutum.*
- 3. Náðum þó fjósinu með mestu erfiðismunum og lífshættu. Fjósið stendur svolítið hærra og fjær sjónum en íbúðarhúsið. En tæplega höfðum við dvalið þar fjórðung stundar, þegar mæniásinn brast í fjósinu. Við urðum því að flýja*

þaðan aptur, og til hlöðunnar. Annar gaflinn var brotinn af henni, en í staðinn var þar kominn hlaði af trjáviðardóti, er við urðum að skríða yfir, með mikilli hættu, til að komast inn. Þarna stóðum við skjálfandi nokkurn tíma, unz veðrið fór með nokkuð af þakinu, en hinn hlutinn blaktaði fram og aptur, eins og blaðsnepill.

4. Til þess enn að reyna að bjarga lífinu, gerðum við síðustu tilraun, yfirgáfum eyðilagða kaupstaðinn, leiddumst öll saman og héldum 4 áleiðis til byggða. Vóðum svo og skriðum í rokinu, unz við eptir miklar þrautir náðum að næstu hjáleigu, er nefnist Lodda (Loðvíksstofa), rétt hjá Stafnesi. Fátæki bóndinn þar, Jón Björnsson og kona hans, tóku á móti okkur-sem vorum nærri örmagna af kulda, áreynslu og hugsýki-með mestu alúð og hjartagæzku.

Sýslumaður lét gera úttekt á tjóninu og er virðingagerðin dagsett 9. maí 1799. Þar eru hús ýmist sögð vera gjörónýtt eða stórskemmd. Auk þessa voru sex bátar sem kaupmaður átti og hafði gert út til fiskveiða gjörónýttir, af sumum þeirra var kjölurinn einn eftir. Úttektin segir eftirfarandi um flóðhæð og landbrot af völdum flóðsins:

Hversu mjög sjórinn gekk á land og hve hátt risu flóðöldur má

ráða af því, að sjórinn komst 164 faðma upp fyrir verzlunarstaðinn

(274 metra ef miðað er við þriggja álna faðm), og rekadrumbur hefur

skolazt upp á þakið á einu verzlunarhúsanna, og liggur þar enn, 4

álnum ofar grundvelli. Verzlunarstaðurinn sýnist alveg óbyggjandi

til frambúðar, því grundvöllurinn virðist vera 1-2 álnum lægri en

áður.¹⁹

4.6. Lýsing Magnúsar Grímssonar á minjum að Básendum

"Skammt suður frá túninu á Stafnesi eru Básendar, þar sem kaupstaðurinn var. Ganga þar inn í landi tveir vogar, eigi stórir, og neskorn fram á milli. Nes þetta hefir verið slétt og grasi vaxið, þó nú sé það mjög af sér gengið. Það snýr í útsuður. Fremst á nesinu sér til rústanna af bænum á Básendum; eru þær eigi stórar mjög, en allglöggar. Vör hefir þar verið niður frá bænum út í hinn nyrðra voginn. Litlu ofar á nesinu er rústin af búðar- og vöruhúsinu. Það hefir snúið frá útnorðri í landsuður, hér um bil 11 faðma á lengd, en 7 faðma á breidd, eftir þeim undirstöðum, sem nú sjást. Að vestanverðu við hús þetta hefir verið hlífðargarður, stór og mikill, fyrir hafsjó. Nokkrum spöl ofar á nesinu hefir íveruhúsið verið. Rústir þess sjást og múrsteinabrot á millum, þó ei svo glöggar, að

19 Vigfús Guðmundsson: S. st., 58-61.

mældar verði, en garður hefir verið um það hér um bil 10 faðma á breidd, en 20 faðma á lengd. Allar þessar rústir sýnast að hafa verið vandaðar og sterklega gjörðar, mest allt hlaðið af hraungrjóti, enda eru hér góð tök í slíku. Undirstöður húsanna eru eins og garðarnir, hrundar mjög og skörðóttar.“²⁰



Mynd 2. Húsaskipan á Básiendum úr vefritinu Ferlar: <http://www.ferlir.is/?id=18874>,

Innsigling á Básiendum hefir verið vandrötuð og eigi fær fyrir hafskip nema með vissum vindum, enda hafa þar verið mörg sundmerki og nákvæm, sem sum eru enn í manna minnum og sjást, en sum varla eða alls ekki. Útsker eru eigi fá fyrir framan vogana, en gott, þegar inn kemur. Kaupskipin áttu að hafa legið í syðra vognum. Voru þau jafnan bundin landfestum, svo að ei máttu snúast fyrir vindi; voru af hverju skipi 4 eða 5 festar; það kölluðu þeir svínbundið. Festar þessar sjást enn, og eru 5 á landskerjum eða landi, en 4 á útskerjum. Ég sá eina þeirra aðeins á nesinu, sem fyrr er getið. Er það járnsúla mikil, greypt niður í klöppina og blýi hleypt í kring; gat er á stólpanum og þar í hringur digur og víður. Járnstólpinn er ferskeyttur, á tvo vegu 12 en hina tvo 15 millimet.; hæð hans frá klöppinni var 32 millimeter, diameter hringsins 53½ millim., en yfir um hringinn var digurðin 23 millimeter. Öll þessi járn voru ryðbrunnin mjög. Festar þær, sem í útskerjum voru, gat ég ei skoðað, því enginn bátur var við hendina, enda sagði mér kunnugur maður, að þær væru með sama hætti og umbúningi allar 9. Að öðrum járnstólpa kom ég, og var

20 Magnús Grímsson: Fornminjar um Reykjanesskaga. 255-257

hann eins og sá, sem þegar er lýst, nemar þar var hringurinn úr. Ég spurði manninn, því



Mynd 3. Festill fyrir NV taugina á innra skipinu á Mynd 8

svo væri. Hann sagði, að sjómaður einn svarf hann úr með launung, en Stafnesbóndi komst þó að því um það leyti hann var ónýtur orðinn, hringurinn. Varð bóndi þá reiður, kvaðst ei vilja berja manninn, en á meðan hann lifði, mætti enginn hreifa neitt af menjum þessum. Það hefir ei heldur verið síðan. Yfir þær festar, sem á útskerjum eru, fellur sjór ætíð, og þar ryðbrenna járnin óðum. Við hinn síðarnefnda járnstólpann, sem ég sá, var á klöppina höggið ASS, en á skeri einu var mér sagt, að væru ótal slík fangamörk. Það er að austanverðu við syðri voginn,

en þangað komst ég ei, því bát vantaði, en hásjávað var. Um fjöru kvað mega ganga út á það sker. Útskerin eru alltaf umflotin. Landnorðurhallt við nesið sér rúst af kálgarði, eigi alllitlum; þar var brunnur í, djúpur og góður. Á botni hans segja menn, að verið hafi eikartré slegin í kross, og svo hver tunnan upp af annarri innan í til þess að eigi félli sandur í brunninn. Nú er það allt komið í sand, en sést þó, hvar brunnurinn var, af grjótpúst dálítilli í útsuðurhorni garðsins. Garðurinn liggur móti suður-útsuðri og er skammt frá Básendum. Upp undan syðra vogshotninum og fyrir nesinu er grasi vaxin flöt, allfríð; það heitir Brennitorfa, því þar áttu kaupmenn að hafa haft brennur. Nokkru sunnar, upp á hrauninu er hóll hár, sem kallaður er Draughóll. Þar átti að hafa verið dys til forna, og rótuðu sjómenn henni alveg um. Þar fundur þeir lítið fémætt. Spölkorn suður þaðan í hrauninu og ekki rétt fram við sjó eru klettar tveir allháir og nokkurra faðma breitt sund á milli. Þá kalla menn Gálgakletta. Áttu Básendamenn að hafa lagt tré milli klettanna og hengt þar menn á, þegar þá greindi mjög á við einhverja. Er það í munnmælum, að beinum hinna hengdu hafi verið kastað í gjótu undir annan klettinn og borið grjót fyrir að framan."

Myndir 2 og 3 sýna Básenda, húsaskipan og einn festil. Mynd 4 minjaskilti á staðnum.

4.7. Lýsing á innsiglingunni og legunni að Básendum



Mynd 4. Minjaskiltið (til vinstri) og nafnskiltið (til hægri) að Básendum

Mynd 5 sýnir grófustu drætti landhæðar. Á heimasíðu Minjar í hættu af náttúruvöldum má finna upplýsingar um minjar í hættu og er þar ýtarlega fjallað um fornleifaskráningu og sögu Básenda í máli og myndum²¹.

Þá hafa fundist leiðsögubækur (Mynd 6 og Mynd 8), sem gefnar höfðu verið út 1788. Þessar bækur eru fjórar og eru til í tveim eintökum og voru gefnar Sjómælingum Íslands 1952 og eru varðveittar þar. Í leiðsögubókunum er að finna meðal annars lýsingu af legunni að Básendum og kort af Básendahöfn eins og hún var á árabílinu 1776-1788.



Mynd 5. Hæðalínur sýna +2,2 m, +4,2 m og +6,2 m í hæðakerfi Sjómaelninga Íslands. Stórstraumsflóð er í +3,8m.

²¹ Minjastofnun, „Minjar í hættu af náttúruvöldum – Fornleifaskráning – Básendar“, sjá: <https://minjarihaettu.wordpress.com/fornleifar/basendar/fornleifar/>



Om BOESANDS HAVN, Plade C.

Denne ligger strax, knap en halv Miil, Norden for den foregaaende, og befæiles alle Aaringer. Landet maae ikke søges alt for nær, eller Havnen anduues, med mindre det er godt Veir og nogenlunde flet Vand, hvorføre Sydlige og Syd-Ostlige Vinde dertil ere de beste. Paa en halv Miil eller för feer man kiendelig Kiöbmands-Husene og Flaget paa samme, tilligemed, naar man kommer nærmere, en humpelagtig Høi paa det læge Land, noget Syden for Indløbet, kaldet *Gualga-Klette*; dette Mærke søger man at bringe omtrent i O. $\frac{1}{2}$ S. paa Compasset, indtil man kommer saa nær, at man kan see den Mærke-Tönde paa en Stang, som staaer ved Strandbredden, da, ved at holde denne i Klöften paa *Gualga-Klette*, seiler man paa dette Mærke, indtil man faaer de Nordlige Mærker over eet, nemlig den opreiste Tönde paa West-Enden af *Houl*, og den, som staaer ved *Gimbay*, dog saa, at denne sidste holdes lidet Öffen for den förste (7); det förer lige i Havnen, og man kan paa *ydre Leyden* efter Vindens og Strömmens Beskaffenhed enten stoppe for et Anker, eller strax faae Toug bragt i Land i Ringene. Mere end 2de Fartöier kan denne Havn ikke modtage paa een Tid, det ene at ligge paa *Indre*, det andet paa *ydre Leyden*. Paa begge Steder fortöies i Ringe. Paa *indre Leyden* ligger Skibet ordentlig svinebunden, men paa *ydre Leyden* maae det Toug, som paa Kaarten sees at gaae agterud fra Skibet, gaar ud af Klydfet og ligge under Skibet, thi saa kan det svaie og ligge for dette med Land-Vind; alle tre Touge, Skibet ligger for, bör være Svær-Touge. Paa *indre Leyden* er der med Ebben $2\frac{1}{2}$ Favn dybt, og paa *ydre Leyden* $4\frac{1}{2}$ Favn.

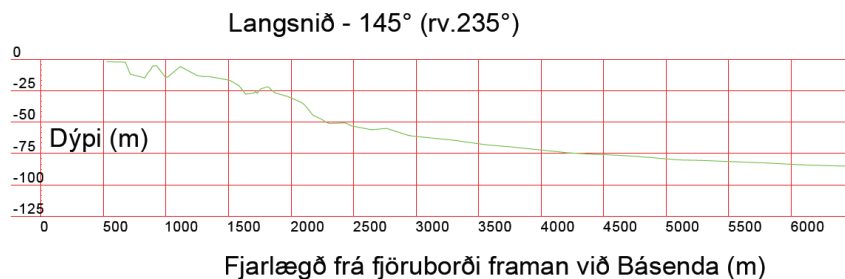
Med lavt Vand er denne Havn ganske god, men med Storm af Westlige Vinde og høit Vand, da staaer Rullingen ind over Skiaerene, der i Særdeleshed lader sig fornemme paa *ydre Leyden*, da Skiaerene allerede ere under med $\frac{3}{4}$ Flod. Paa denne Havn ere der Lodfer. Havne-Tiden, og Vandets Stigen og Falden, er som i den foregaaende.

(7) Disse Mærker af opreiste Tönder have den Feil at være for smaae og ukjendelige, til man er meget nær. De opsettes af Lodferne, kun naar Skibe ere i vente.

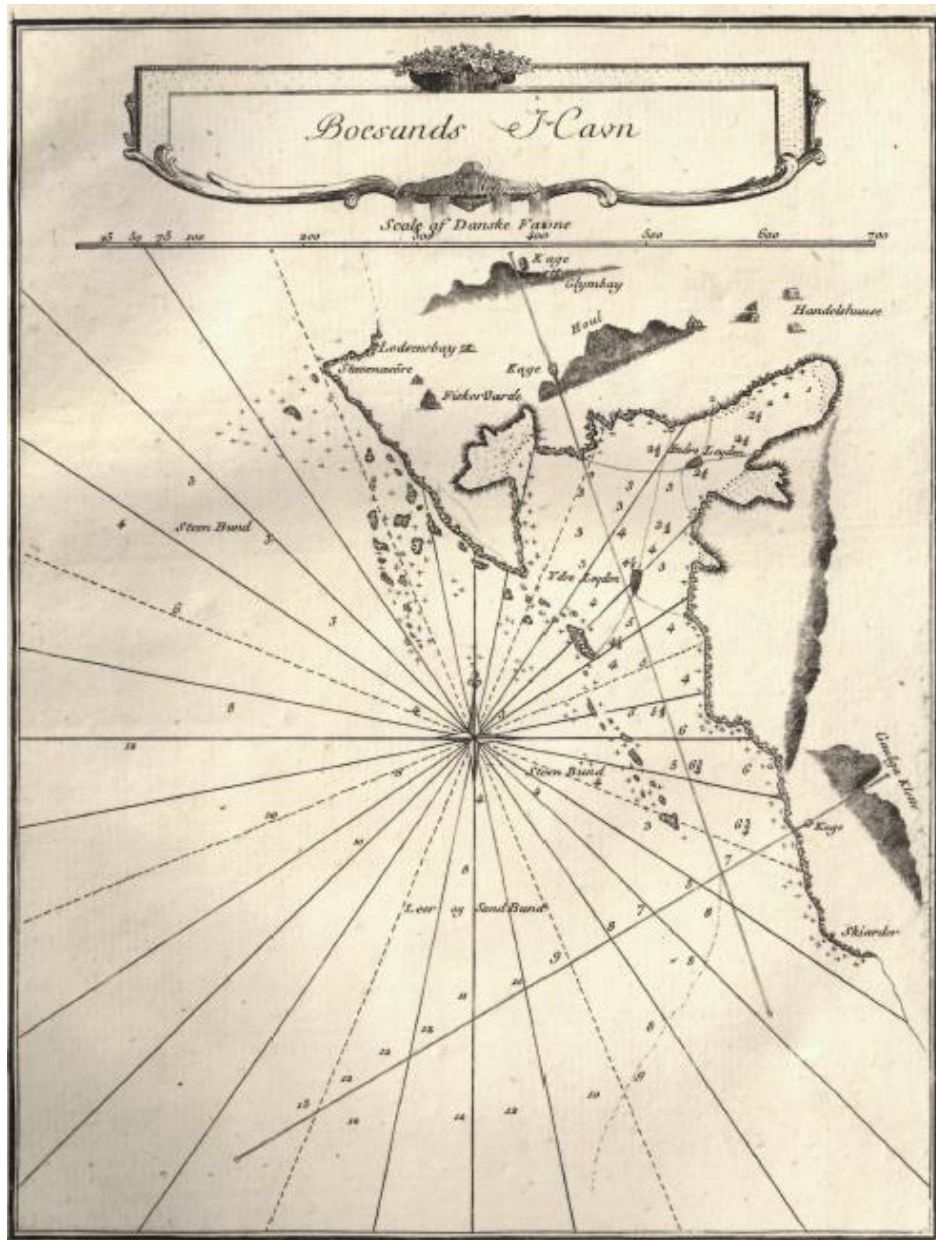
Om

Mynd 6. Leiðarlýsing að Bäsendum 1788 (Sjómælingar Íslands).

Á langsniðinu (Mynd 7) má sjá dýpið fyrir framan Bäsenda eins og sjókort sýna það í dag.



Mynd 7. Langsnið framan við Bäsenda.



Mynd 8. Kort af innsiglingunni og legunni að Básendum (Sjómælingar Íslands).

Loftmynd af siglingaleiðinni er sýnd á (Mynd 9). Á henni má vel staðsetja skipaleiðina innan við boðana á (Mynd 8). Leiðin er stórhættuleg, í raun ófær nema í þokkalegu veðri fyrir þaulvana og gjörkunnuga menn. Þegar inn á leguna er komið eru skipin svínbundin í polla sem eru á landi og á skerjunum. Á (Mynd 8) sést vel hvar skipin eru svínbundin á innri og ytri legunni. Sjást nokkrir þeirra enn og má gera ráð fyrir að hæð þeirra sé í stórstraums flóðborði að minnsta kosti, en ekkert er á móti því að hafa svona festingar ofar.



Mynd 9. Loftmynd Samsýnar á já.is af Básendum.

4.8. Sjávarflóð á Vatnsleysuströnd.

Fiskigarðar og túngarðar á Nesinu sópuðust heim á tún, sumstaðar tók af skipsuppsátur og brunna og átta skip brotnuðu. Tveir bátar fuku í Njarðvíkursókn og fundust eigi síðan og einn brotnaði, 4 bátar í Útskálasókn. Miklir skaðar á Vatnsleysuströnd og Innesjum og vestur um allt land, sem menn vissu ekki dæmi til eins stórkostlegt, um land allt á einni nóttu.²²

Sjór gekk á land á Vatnsleysuströnd og braut tíu báta²³.

²² Sigurður B. Sívertsen: Suðurnesjaannáll, Rauðskinna hin nýrri III., bls. 35-36.

²³ Lýður Björsson, „Básendaflóðið 1799“, bls. 6

4.9. Sjávarflóð á Seltjarnarnesi.

Fyrir innan Lambastaði á Seltjarnarnesi gekk sjórinn þvert yfir nesið milli Skerjafjarðar og Eiðisvíkur á um 500 m breiðu beltinu svo að Seltjarnarnes varð að eyju og var álitnið að flóðhæðin hefði náð 3 m yfir stórstraumsflóð eða milli 6 – 7 m í hæðakerfi Sjósmælinga.

Heimildir um flóðhæðir og hæðir á sjávarkömbum.

Meyvant Sigurðsson, fyrrverandi bónda að Eiði á Seltjarnarnesi, segir svo frá miklu sjávarflóði þar, 16. September 1936.²⁴

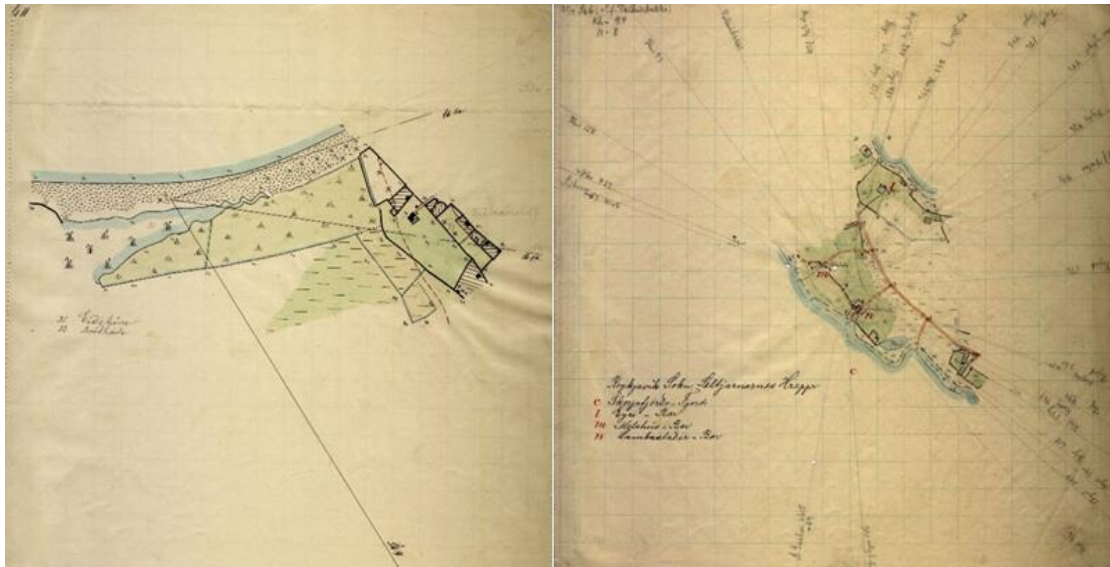
Sekstánda september 1936 strandaði franska rannsóknaskipið Pourquoi Pas ? á skeri útaf Mýrum. Einn maður komst lífs af. Mikill áhlaðandi var við Eiði, svo ég flutti bátinn heim á hlað. Þar flaut hann þegar flóð var hæst. Þegar þetta var, var ekki stærsti straumur, því ég athugaði það til að vita hvort nauðsynlegt væri að festa bátinn. En daginn eftir hafði lækkað til muna og átti þá að vera stærsti straumur. Hjá Ísaki á Bjargi stóðu kýr í hækla af vatni inni í fjósi. **Sjávarhæð var slík, að róandi var frá Eiði til Skerjafjarðar og mýrin öll á kafi.**"

Vegna þessara lýsingar Meyvants var forvitnast um landhæð við Eiði, sérstaklega fjörukamb, áður en vegur var lagður. Samkvæmt upplýsingum Ragnars Árnasonar, Mælingadeild Borgarverkfræðings var hæð +3,2 til +5,9m (hæðakerfi Reykjavíkurborgar). Ef notuð er hæðin +3,7m sem viðmið og að auki 0,5 m fyrir ristubáts, yrði hæðin +4,2m í (hæðakerfi Reykjavíkurborgar) eða +6,0m í hæðakerfi Sjósmælinga Íslands. Ekki er ólíklegt að aldan á vikinni og loftþrýstingur hafi hækkað sjávarborðið allt að hæðinni +6,0m.

Í kortasjá Landmælingar Íslands er að finna mæliblöð danska herforingjarráðsins frá byrjun síðustu aldar, farið er inn á söguleg gögn og þaðan farið á sögulegar teikningar²⁵.

²⁴ Þorbergur Þorbergsson „Verkamannabústaðir við Eiðisgranda í Reykjavík. Sjávarhæðir og grundun húsa“. Október 1980.

²⁵ Landmælingar Íslands, 2016, „Kortasjá“, sjá <http://atlas.lmi.is/kortasja/>



Mynd 10. Mæliblöð danska herforingjaráðsins frá 1902 af sjávarkambinum við Eiðsgranda og Eiðstjörn (t.v.) og af sjávarkömbunum við Eyri, Melshús og Lambastaði (t.h.) (Landmælingar Ísland).



Mynd 11. Eiðstjörn og sunnan Lambastaða og inn að Kaðlaskjóli (Landmælingar Ísland)

Lægst hæð á sjávarkambinum við Eiðsgranda var 1902 um +3,5m og +2,2m við Eiðstjörn. Hæð á sjávarkömbunum við Eyri, Melshús og Lambastaði er ekki gefin upp á þessum mæliblöðum.

Mynd 10 er af mæliblaði danska herforingjaráðsins frá 1902 af sjávarkambinum við Eiðstjörn og sunnan Lambastaða og inn að Kaðlaskjóli. Hæð á sjávarkambinum sunnan Lambastaða þar sem hann er lægstur er um +2,5m til +2,7m en Eiðsmýrin er lægst um +2,1m til 2,3m.

Lægst var hæðin á sjávarkamburinn innan við Lambastaði 1902 um +2,6m en lægst við Eiðsmýrina um +2,2m milli Skerjafjarðar og Eiðstjarnarinnar.

Samkvæmt þessum mæliblöðum sem eru í hæðakerfi miðað við meðalsjárhæð, var hæðin á sjávarkambinum lægst innan við Lambastaði um **+4,4m** en við Eiðsgranda um **+5,3m** í hæðakerfi Sjómælinga Íslands.

4.10. Sjávarflóð í Reykjavík

Heimildir geta ekki um spjöll í Reykjavík af völdum flóðsins enda hefur hafnarsvæðið gamla verið í nokkru vari. Öðru máli gegnir um ofviðrið. Vitað er að rúður í tughúsinu

á Arnarhóli (nú forsætisráðuneytið) brotnuðu af þess völdum og obbinn af þakskífum á suðurhlið dómkirkjunnar sviptist burt.²⁶

Eftir afnám einokunarverslunarinnar árið 1878 fluttist fjöldi kaupmanna til Reykjavíkur þegar ókeypis lóðir stóðu til boða meðfram ströndinni í Kvosinni.

Árin 1779-80 voru fjögur verslunarhús Hólmakaupstaðar flutt úr Örfirisey til Reykjavíkur og árið 1787 voru þar eftir 4 bæir og 2 timburhús.

Þegar kaupmenn fara síðan að byggja verslunarhús, vildu þeir vera sem næst sjónum og reistu hús sín fyrir sunnan undir grjótgarðinn, sem náði milli lækjaróssins og Grófarinnar, og þar myndaðist smá saman hin svonefnda Strandgade, er seinna varð Hafnarstræti og var byggður á sínum tíma til að verja túnin á Austurvelli fyrir ágangi sjávar.

En fyrir framan tjörnina og allt út á gráum malarkambi fram með sjó er fagurgræn slétta og er heljarmikill grjótgarður hlaðinn henni til varnar rétt ofan við malarkambinn alla leið frá lækjarósum vestur að brekkunni fyrir handan. Fyrir framan þennan grjótgarð er vegurinn eftir sjálfum malarkambinum, og er farið yfir lækinn í sjálfum ósnum.



Mynd 12. Reykjavíkursandur um 1870. Ljós.: M. Andersen. Þjms. Lpr. 1292.

Á árabílinu 1792 – 1802 voru að staðaldri átta til ellefu kaupmenn í Reykjavík meðan í öðrum kaupstöðum voru sjaldnast fleiri en tveir til þrír. Kaupmenn í Reykjavík röðuðu sér með hús sín meðfram ströndinni þar sem nú er Hafnarstræti. Kaupskip þeirra urðu að liggja úti á legunni en uppskipun og lestun fór fram á bátum sem rennt var upp í sandfjöruna.²⁷

Hafnarstræti var fullbyggt að sunnanverðu austur að læk fyrir aldmótin 1800.

²⁶ Sigurður Þór Guðjónsson „Íslenskir annálar og aðrar gamlar veðurheimildir“. Annálar 1400 – 1800. Lykilbók 1, Reykjavík 1998. (sjá

http://www.vedur.is/media/vedurstofan/utgafa/hlidarefni/annalar_sig-th.pdf). bls.119

²⁷ Guðjón Friðriksson. „Hér heilsast skipin“, saga Faxaflóahafna bls.29

Norðan Hafnarstrætis, sjávarmegin, voru uppsátur, bryggjur og athafnasvæði kaupmanna.

Í dag liggur malbikið nánast beint ofan á sjávarkambinum við vestur enda Hafnarstrætis.²⁸

4.11. Mælingar og kort af gömlu Reykjavík

Kaupstaðarlóðin árið 1787



Mynd 13. Uppdráttur Rasmus Lievog af kaupstaðarlóðinni 1787²⁹

Kaupstaðarlóðin var mæld út 12. febrúar árið 1786 og þá stóðu hús Innréttinganna við Aðalstræti. Aðeins eitt þeirra stendur enn, Aðalstræti 10, en húsið Aðalstræti 16 er að stofni til hús frá Innréttingunum og teljast þau því meðal elstu húsa í Reykjavík. Á kortinu sést að Reykjavíkirkirkja stendur enn í kirkjugarðinum við Aðalstræti. Um 1780 var Hólmsverslun flutt úr Effersey og ný verslunarhús hafa verið reist af viðum þeirra gömlu við norðurenda Aðalstrætis. Bæjarhús Víkurbæjarins, sem voru torfhús, standa enn við norðvesturenda Tjarnarinnar. Tugthúsið, nú Stjórnarráðshúsið, er risið austan Lækjar.³⁰

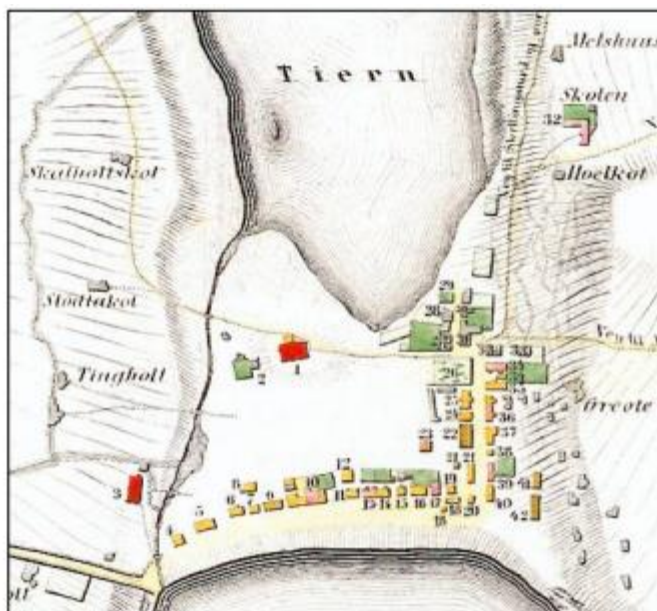
²⁸ Guðný Gerður Gunnarsdóttir Anna Lísu Guðmundsdóttir Drífa Kristín Þrastardóttir, „Ingólfstorg og nágrenni Skrá yfir fornleifar og hús í vesturhluta Kvosar“, Reykjavík 2011 Minjasafn Reykjavíkur Skýrsla 157 bls.4

²⁹ R. Lievog, Kaupstaðarlóðin 1787. Reykjavíkorkort. Dagatal 1986. Kort af Reykjavík frá 1715-1981. Unnið af Nönnu Hermansson, Salvöru Jónsdóttur og Mjöll Snæsdóttur. Árbæjarsafn, Reykjavík, 1986

³⁰ Guðný Gerður Gunnarsdóttir Anna Lísu Guðmundsdóttir Drífa Kristín Þrastardóttir, „Ingólfstorg og nágrenni Skrá yfir fornleifar og hús í vesturhluta Kvosar“, Reykjavík 2011 Minjasafn Reykjavíkur Skýrsla 157 bls.7

Vegna umræðna og skipulags fyrirhugaðs Hafnartorgs árið 2016, er ekki úr vegi að vitna í Sögu Reykjavíkur³¹ en þar er verið að fjalla um stækkun kaupstaðarins og stendur þar „ í öðru lagi var til þess ætlast að leggja til kaupstaðarins alla jörðina Arnarhól, einkum vegna þess hve fallega hún lægi við, að því að byggingar snerti, og haganlega til garðstæða.“

Kaupstaðarlóðin var mæld út 1786 og sést afmörkun hennar á korti Rasmus Lievog frá 1787, Mynd 13. Á kortinu frá 1787 sést hvar Fálkahúsið er við núverandi Hafnarstræti þar sem það var við ströndina (merkt æ) við enda sjóvarnargarðs sem þá var ofan við flæðamálið til varnar Austurvelli og hús J.C.Sunchenbergs, fyrsta kaupmanns í Reykjavík. Einungis ein bryggja er sýnd, í Grófinni. Á kortinu sést kaupstaðarlóðin ásamt hjáleigum og tómhúsabýlum austan og vestan við hana. Verslunarréttindin höfðu í för með sér að fjöldi kaupskipa kom til landsins og kaupmenn byggðu sér verslunarhús ofan við sjávarkambinn.



Mynd 14. Uppdráttur Ole Ohlsen af Reykjavík 1801.³²

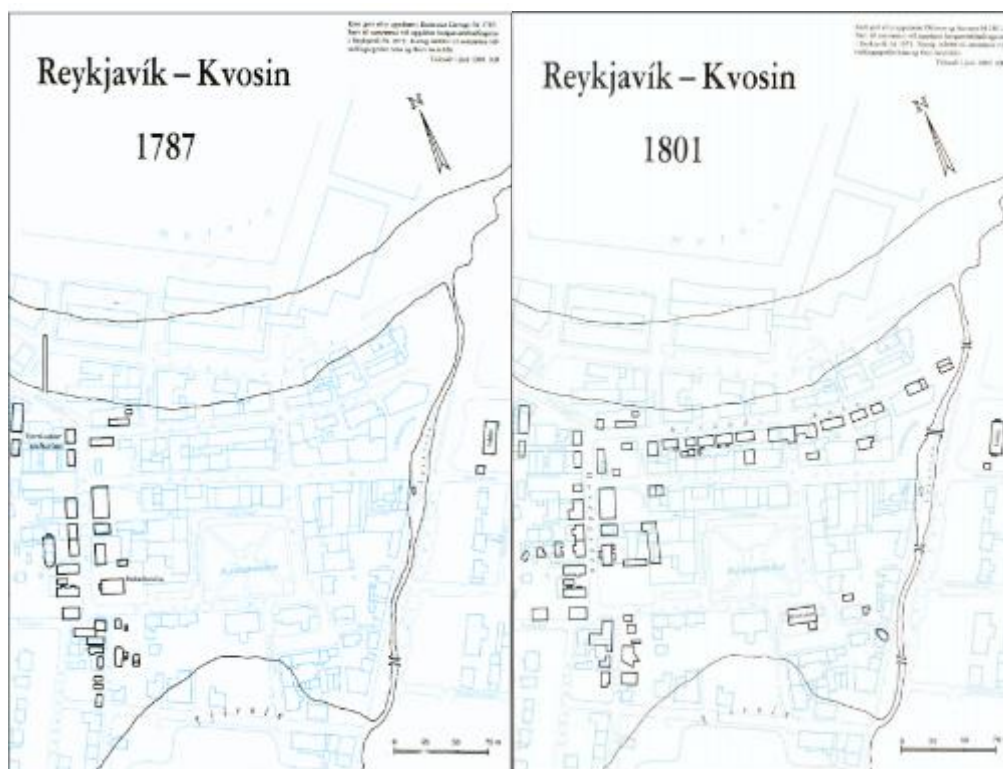
Í raun er hægt að segja að aðeins tvær götur hafi að þá verið í bænum. Hafnarstræti og Aðalstræti. Kaupmennirnir bjuggu í Hafnarstræti í timburhúsum sem flutt voru frá Noregi og þar voru verslunarhús og pakkhús. Hafnarstræti var hins vegar svo grýtt að hestvagn gæti ekki komist “eftir þessari aðalgötu höfuðstaðarins”, skrifaði Hook (Ferð um Ísland 1809).³³

³¹ Klemens Jónsson „Saga Reykjavíkur“, fyrra bindi bls. 129

³² Uppdráttur Olsen af Reykjavík 1801. Uppdráttur, Reykjavík, 1801, Olsen. Minjasafn Reykjavíkur.

³³ Sigurður Líndal, Pétur Rafn Árnason „Saga Íslands IX“, 2008. Bls.143

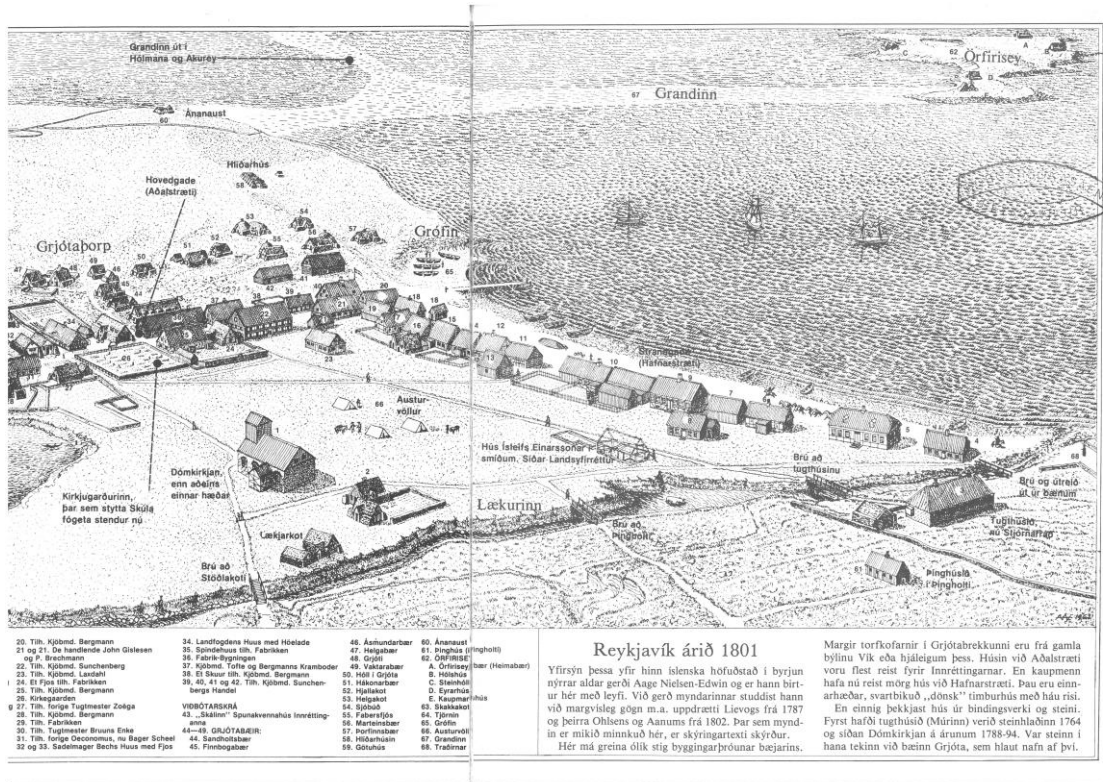
Hafnarstræti myndaðist (Mynd 14) sem gata eftir sjávarkambinum, rétt ofan við flæðarmálið og lá leiðin inn í kaupstaðinn frá austri um Arnarhól um traðir. Fyrstu húsini við götuna risu á dögum Innréttinganna, Kaðlahúsið og Fálkahúsið. Við Hafnarstræti risu hús kaupmanna á fyrstu árum kaupstaðarins og segja má að gata hafi verið fullbyggð austur að læknunum fyrir aldamótin 1800. Norðan götunnar, sjávarmegin, voru uppsátur, bryggjur og athafnasvæði kaupmanna. Þar risu pakkhús sem seinna var breytt í verslunarhús³⁴.



Mynd 15. Kort gert eftir uppdrætti Rasmusar Lievogs frá 1787 (t.v.) og af Ohlsen og Aanum 1801 (t.h.).³⁵

³⁴ Guðný Gerður Gunnarsdóttir Anna Lísu Guðmundsdóttir Drífa Kristín Þrastardóttir, „Ingólfstorg og nágrenni - Skrá yfir fornleifar og hús í vesturhluta Kvosar“, Reykjavík 2011 Minjasafn Reykjavíkur Skýrsla 157 bls.4

³⁵ Guðný Gerður Gunnarsdóttir og Hjörleifur Stefánsson. „Kvosin. Byggingarsaga miðbæjar Reykjavíkur“. Bls.



Mynd 16. Kort af Reykjavík árið 1801. Kortið gerði Aage Nielsen-Edwin, 1983 byggt m.a. á korti Lievog. Árbæjasafn.³⁶

Reykjavík 1801

Um 1800 var risinn samfelld röð húsa í boga meðfram fjörunni við Strandgötu, sem í dag er suðurhluti Hafnarstrætis, (Trausti Valsson, 1986). Á fjörukambinum komu kaupmenn sér upp reitum til fiskbreiðslu og sumir byggðu sér bryggju út í fjöruna þar sem kaupskipin lágu úti fyrir. Ofan við húsin voru svo matjurtargarðar kaupmanna og meðfram þeim.

Svo heppilega vill til að þrír uppdrættir eru til af Reykjavík frá árinu 1801. Mæling og teikning eftir norsku landmælingamennina Ole Ohlsen, norskan liðsforingja í danska hernum sem starfaði að strandmælingum héraðs og Ole Mentzen Aamum. Eitt kortanna er sérlega skýrt og í lit, Mynd 14. Sé þetta kort borið saman við kort Rasmusar Lievogs frá 1787 sést að þorpið hefur stækkað. Megin breytingin er sú að upp er risin húsaröð við sunnanvert núverandi Hafnarstræti. Þar höfðu kaupmenn reist hús sín. Við norðvesturhorn Tjarnarinnar má sjá fyrsta vísir að Tjarnagötu. Dómkirkjan var fullgerð nokkrum árum áður, en gamla Víkurkirkjan austan við núverandi Aðalstræti er horfin. Vegur lá norðan við Hólavallarskóla, hann lá einnig að Lambastöðum á Seltjarnarnesi þar þar sem Geir Vítalín biskup bjó á þessum tíma. Húsin sem hafa bættst

³⁶ Aage Nielsen-Edwin, Fjórar teikningar af Reykjavík á 18. og 19 öld.

við sunnan við núverandi Hafnarstræti frá kortinu 1787 hafa eftirfarandi númer: 4,5,9,10,11,12,13,14,15,16,17,19,20.

Heimildir um hæðir á sjávarkömbum.

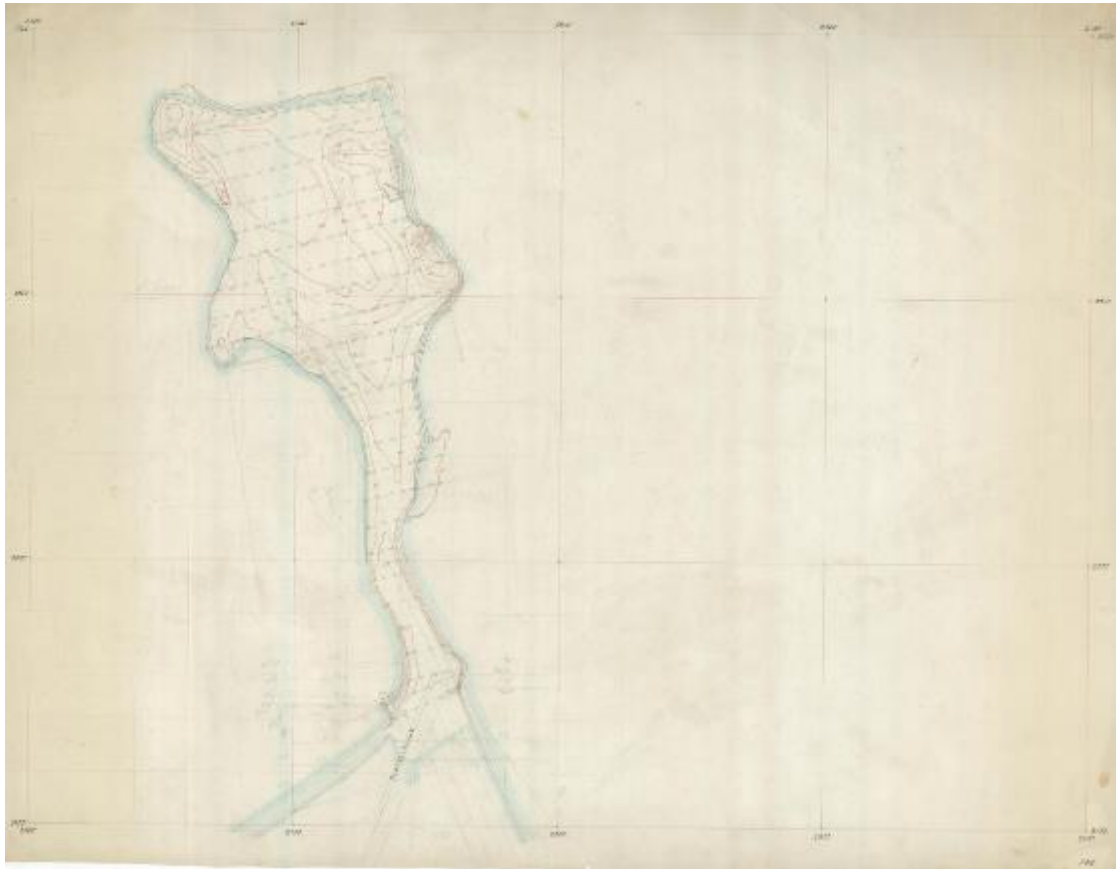
Í kortasjá Landmælingar Íslands er að finna mæliblöð danska herforingjarráðsins frá byrjun síðustu aldar, <http://atlas.lmi.is/kortasja/> farið er inn á söguleg gögn og þaðan farið á sögulegar teikningar. Þar er hægt að finna eftirfarandi mæliblöð frá 1902:



Mynd 17. Mæliblað danska herforingjarráðsins frá 1902 af Kvosinni og Arnarhól.

Hæð gatnamóta Aðalstrætis og Hafnarstrætis samkvæmt Mynd 17 4.16, er +3,5 m, miðjavegu milli Aðalstætis og Pósthússtrætis er mæld hæð +4,2m og hæðin á Hafnarstræti á móts við Torgið er +3,4m. Hæðin á Austurstræti er mæld +2,9m við Íngólfstorg, +2,6m við Pósthússtræti og í Hafnarstræti er hæðin +2,5m miðavegu að Torginu. Hæð á sjávarkambinum við Hafnastræti var 1902 um +3,5m. Samkvæmt þessum mæliblöðum sem eru í hæðakerfi miðað við meðalsjárvarhæð, var hæðin á sjávarkambinum í Kvosinni um **+5,3m** í hæðakerfi Sjómælinga Íslands.

4.12. Sjávarflóð í Örfirisey



Mynd 18. Gömul hæðamæling af Örfirisey í staðbundnu hæðakerfi.

Árin 1779-80 voru fjögur verslunarhús Hólmakaupstaðar flutt úr Örfirisey til Reykjavíkur og árið 1787 voru þar eftir 4 bæir og 2 timburhús.

Í Örfirisey spilltist land svo af sand- og malarburði, að eyjan mátti lítt byggileg teljast, enda lögðust býli úti þar í eyði, þótt seinna risu sum þeirra upp aftur og héldust í byggð fram undir miðja 19. öld.³⁷

Í skýrslu frá 1896 segir að Örfiriseyjargrandinn fari á kaf á flóði svo að nemi um 3m þannig að á háflæði veitir hann aðeins takmarkað skjól í norðlægum og norðvestlægum stormum en var óvarinn fyrir norðaustlægum áttum.³⁸

³⁷ Jón Helgason Árbók Reykjavíkur bls.

³⁸ Guðjón Friðriksson. „Hér heilsast skipin“, saga Faxaflóahafna bls.29

Á klöppinni vestan olúgeymanna í Örfirisey er grafið nafn Hendricks Hansen sem var kaupmaður á Básendum þar sem Básendaflóðið eyddi þeim stað árið 1799.³⁹

4.13. Sjávarflóð á Kjalarnesi

Kot braut á Kjalarnesi ok nokkra báta, ok vedr spillti vídar húsum⁴⁰.

4.14. Sjávarflóð á Akranesi

Verulegt áfall reið yfir Skagamenn 9. janúar 1799 í Básendaflóðinu en þá tók af byggð á Breiðinni⁴¹.

Tók af Breið á Skipaskaga með húsum ok túnum, en sjórinn brautz inn undir pallskörina, fékk bóndinn brotid gat á badstofu-þekjuna, ok komit þar út mönnum, en vard at brjóta sik inn í adra búd, til at koma þeim af sundi, týndist margt þat er hann átti, en honum bættist þat apr af örleik manna⁴².

4.15. Sjávarflóð í Borgarfjarðar- og Mýrarsýslu

Þrjátíu og sex bátar skemmdust eða eyðilögðust í Borgarfjarðarsýslu og sextán að auki í Mýrasýslu. Verbúðir eyðilögðust við Álftanes og í Hítárnesi⁴³.

4.16. Sjávarflóð í Staðarsveit og á Búðum.

Í Staðarsveit gekk sjór 300-1.500 föðmum lengra á land en venja var í stórstreymi, þar eyðilögðust hús og 50 fjár flæddi. Fjórtán kirkjujarðir Staðarstaðar spilltust. Sextán bátar brotnuðu í Staðarsveit.

Búðakaupstað tók af að mestu, þar brotnaði eitt hús alveg, gat kom á annað og sjórinn gróf undan hinu þriðja. Eftir Bástendaflóðið, sem gerði mikinn usla, voru verslunarhúsin á Efríbúðum flutt út fyrir ósinn og ný hús reist þar sem Búðir eru

Flutningaskip Hans Hjaltalíns, kaupmanns á Búðum og Stapa, slitnaði upp og brotnaði undir Sölvahamri.

³⁹ Guðjón Friðriksson. „Hér heilsast skipin“, saga Faxaflóahafna bls. 18.

⁴⁰ Lýður Björsson, „Básendaflóðið 1799“, bls.6

⁴¹ Guðmundur L. Hafsteinsson, „Akraneskaupstaður Perla Faxaflóa Bæja- og húsakönnun á Skipaskaga“, Akraneskaupstaður 2009, bls. 6

⁴² Lýður Björsson, „Básendaflóðið 1799“, bls.6

⁴³ Lýður Björsson, „Básendaflóðið 1799“, bls.6

4.17. Sjávarflóð í Ólafsvík og á Skógarströnd.

Verslunarhús brotnaði í Ólafsvík. Tveir bátar eyðilögðust á Hellissandi og fimm að auki á Skógarströnd. Þar brotnuðu þrjú bæir.

5. Sjávarstöður í aftakaveðrum

5.1. Samantekt fræðimanna um aftakaveðrið 9. janúar 1799

Lýður Björnsson: Mjög djúp og kröpp lægð olli ofviðri og eyðileggingu við suður- og vesturströnd Íslands aðfararnótt hins 9. janúar 1799. Loftþrýstingur var óvenju lágur og stórstreymt og hækkaði sjávarstaða við landið fyrir áhrif þessara þátta. Náttúruhamfarir þessar taka nafn af Básendum en mannvirki þar eyðilögðust þessa nótt. Þar sameinuðust ofsarok af suðvestri og stórstraumsaðfall við að þrýsta sjónum inn fremur mjóa rennu. Sjór gekk að minnsta kosti fjórum álnum (um 228 cm.) hærra á Básendum í flóðinu en í mestu stórstraumsflóðum. Hafi verið um einstakan aftakaþrýstiatburð að ræða er mögulegt að lægsti þrýstingur á Básendum hafi farið undir 920 mb. án þess að athuganir Sveins Pálssonar þurfi að vera rangar. Hér að framan voru leiddar líkur að því að landbrotið að Básendum hafi hafist eftir kl. 2 f. h. og hefur þá verið komið bullandi aðfall syðra. Einnig kvað mest að brimi við Lambastaði kl. 4-8 f. h. en þá hefur verið háflóð.

Mjög djúp og kröpp lægð olli ofviðri og eyðileggingu við suður- og vesturströnd Íslands aðfararnótt hins 9. janúar 1799. Loftþrýstingur var óvenju lágur (**hafi verið um einstakan aftakaþrýstiatburð að ræða er mögulegt að lægsti þrýstingur á Básendum hafi farið undir 920 mb. án þess að athuganir Sveins Pálssonar þurfi að vera rangar**) og stórstreymt og hækkaði sjávarstaða við landið fyrir áhrif þessara þátta. Náttúruhamfarir þessar taka nafn af Básendum en mannvirki þar eyðilögðust þessa nótt. Þar sameinuðust ofsarok af suðvestri og stórstraumsaðfall við að þrýsta sjónum inn fremur mjóa rennu.

Sjór gekk að minnsta kosti fjórum álnum (um 228 cm.) hærra á Básendum í flóðinu en í mestu stórstraumsflóðum.

Svo vel vill til að Sveinn Pálsson mældi hitastig og loftþrýsting tvisvar á sólarhring um 1800 og bæði allöngu fyrr og síðar. Lægsti loftþrýstingur sem Sveinn Pálsson mældi dagana 8. og 9. janúar 1799 var um hádegið hinn 9. janúar, tæpar 27 tommur sem samsvarar um 973 millibörum. Kvöldið áður var loftþrýstingur nær hinn sami á Kotmúla. Milli mælinganna eru sennilega um 15 klst. og lendir fávíðrið alveg á milli þeirra.

Trausti Jónsson veðurfræðingur: Trausti hefur athugað mælingar Sveins Pálssonar og telur í ljósi þeirrar athugunar að loftþyngdarmælir Sveins Pálssonar hafi sýnt of mikinn loftþrýsting, að minnsta kosti svo að óþarft sé að leiðrétta mælingar miðað við hæð athugunarstaðar yfir sjávarmál. Kotmúli er í 75 m. hæð yfir sjávarmál og hefði loftþrýstingur þar átt að vera þremur línum (um 9 mb.) lægri en við sjávarmál⁴⁴.

⁴⁴ Lýður Björnsson, „Básendaflóðið 1799“, bls.10

Trausti Jónsson kveður ekkert tortryggilegt koma fram í lýsingum samtímamanna á hegðun lægðarinnar sem gekk yfir landið umrædda nótt árið 1799.

Guðmundur Hafsteinsson veðurfræðingur: Tekur undir þetta álit Trausta. Guðmundur skrifaði skýrslur um aftakaveðrið 9. janúar 1990 með samantekt af veðurfarspáttum flóðaverðanna 1925, 1936, 1975, 1977, 1894,1988 og 1990 ásamt kortum sem sýna ferlil lægðanna og dýpt á hverjum tíma⁴⁵.

Björn Erlendsson hafeðlisfræðingur: Hefur tekið saman skýrslu um sjávarflóð og um veðurháða þætti sjávarflóða. Sjávarflóð. Veðurstofu Íslands. 10/4/2013/v1.2

5.2. Ölduáttir sem fylgja djúpum lægðum úr suðvestri

Þegar lægðir koma upp að landinu úr suðvestri kemur aldan fyrst úr suðaustri upp að suðvesturströndinni og snýr sér síðan í sunnan og suðvestan ölduáttir og þaðan yfir í vestan ölduátt þegar lægðin er komin inn á vestanvert landið.

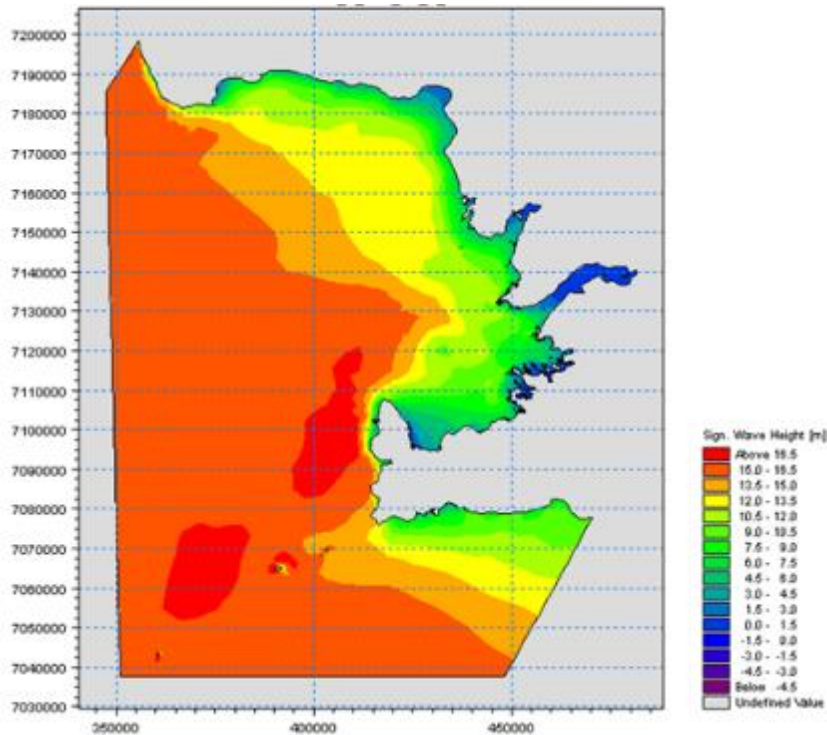
Fyrst verður vart við flóð á Eyrarbakka og Stokkseyri og Þorlákshöfn og síðan í Grindavík á meðan aldan er að snúa sér úr suðaustri yfir í sunnan og þaðan yfir í suðvestan ölduáttir. Á meðan aldan er að snúa sér úr suðvestri yfir í vestan ölduáttir verða mestu flóðin á utanverðum Reykjaneskaga og innan Faxaflóða. Hér að framan voru leiddar líkur að því að landbrotið að Básendum hafi hafist eftir kl. 2 f. h. og hefur þá verið komið bullandi aðfall syðra. Einnig kvað mest að brimi við Lambastaði kl. 4-8 f. h. en þá hefur verið háflóð.

Staðir sem urðu verst úti í Básendaverðinu eiga það sameiginlegt að vera þar sem úthafsaldan náði næst sjávarbyggð. Hvergi gat úthafsaldan komist nærri byggð en að Básendum. Á öldufarskortinu sést að aldan er langhæst framan við Básenda og eins sést vel hve aldan er há utan Akranes, Mýra, Staðarsveit og Búða og Arnarstapa. Aldan e einnig há utan Kjalarness, Álftanes og Seltjarnarnes.

5.3. Básendaflóðið 9. janúar 1799

Básendaflóðið 9. janúar 1799 er talið mesta sjávarflóð sem hefur átt sér stað við Íslandsstrendur frá upphafi byggðar. Eins og lýsingar bera með sér þá hefur mjög djúp lægð komið upp að vestanverðu landinu um miðnætti þann 9. janúar samfara gífurlegu hafróti og aftaka veðri. Stórstreymt var og fjara upp úr miðnætti en flóð upp úr kl 06. Sjávarflóðið olli tjóni meðfram suðurströndinni allt austur á Stokkseyri. Á öllu Reykjanesi varð gífurlegt tjón á byggðum bóllum og uppsátrum báta og skipa. Seltjarnesið fór að hluta undir sjó og eins gekk sjór á land á Kjararnesi og Akranesi. Tjón varð víða á Snæfellsnesi bæði sunnan og norðan á nesinu frá Búðum að sunnan og að Staðarsveit að norðan. Mikill veðurofsi varð um alla Vestfirði og Norðurland.

⁴⁵ Guðmundur Hafsteinsson „Flóðaveðrið 9. Jan 1990 og sjóvarnir á svæðum sem fyrir því urðu“. Fjarhitun hf.og Hafnamálastofnun ríkisinsins. Ágúst 1990. bls.9



Mynd 19. Öldufarsreikninga fyrir vestan ölduátt þegar ölduhæð á Garðskaga er 16,0 m og sveiflutími orkutopps er 20 s.

Síðastliðina hálfra öld olli aftakaflóðið 9. janúar 1990 miklum skemmdum á mannvirkjum um sunnan- og vestan vert landið. Lægðin var víðáttumikil og varð um 928 hPa djúp. Aftakabrim var, en ekki stórstreymt. Þá mældust hæstu ölduhæðir við Surtsey og Garðskaga sem mælst hafa hér við land. Hæsta ölduhæð við Surtsey mældist kl. 03 um nóttina $H_s = 16,7$ m og $T_p = 19,4$ sekúndur og hæsta aldan $H_{max} = 22,9$ m. Hæsta ölduhæð við Garðskaga mældist kl. 09 $H_{max} = 25,3$ m en hæsta kennialda mældist kl. 06 $H_s = 16,3$ m, $T_p = 14,5$ sekúndur.

5.4. Sjór gengur á land

Í miklum áhlaðanda af álandsvindi og flóði nær aldan að ganga yfir sjávarkambinn. Það er eðli strandarinnar að byggja upp sjávarkamba þar sem laust efni er í fjörum og ræðst hæð þeirra af sjávarföllunum og ölduáruninni þannig að í meðalvetrarbrimum og á flóði flæðir yfir sjávarkambana. Upprennslið er háð öldugerðinn þ.e. ölduhæð og sveiflutíma og fláa sjávarkambansins, hrjúfleika og holrými ásamt stefnu og botnhalla utan sjávarkambansins. Öldurnar á rúmsjó og öldur sem hafa brotnað utan við sjávarkambinn fylgja ákveðinni ölduhæðadreifingu. Það sýnir sig að upprennslíð fylgir einnig ákveðnum dreifingum og eins magn upprennslis. Af þessu sést að sjávarflóð eru afleiðingar af annað hvort hárrí sjávarstöðu samfara brimi eða lægri sjávarstöðu samfara miklu brimi innan grunnbrotanna nema hvorutveggja sé.

6. Bráðabirgðaniðurstöður á ákvörðun á flóðhæð í Básendaflóðinu

6.1. Ölduhæðir og hæð á sjávarkömbum við Básenda og innan við Lambastaði og í Kvosinni í Reykjavík.

Ölduhæðin framan við Básenda í Básendaflóðinu hefur verið milli 14 til 16m samkvæmt öldufarsreikningunum á Mynd 19 V2.12 í Viðauka 2. Aldan innan við Lambastaði er samkvæmt öldufarsreikningum í töflu 2 í viðauka 2, um 2,6m miðað við stórstraumsflóð og 16 m kenniöldu á hafi. Aldan hækkar um 11% þegar flóðhæð hækkar úr +4,0m í +5,0m og hækkar um 12,5% þegar aldan á hafi hækkar úr 16 m í 18 m. Miðað við 18 m öldu í hafi og +5,0m flóðhæð er aldan í Básendaflóðinu áætluð um 3,2m innan við Lambastaði. Aldan framan við sjávarkambinn í Kvosinni er hér áætluð um 1,5m í Básendaflóðinu. Að sjálfsögðu þarf að endurreikna þessi ölduskilyrði til að fá ölduhæðina rétta framan við Básenda, við Lambastaði, framan við Eiðsgranda og framan við Kvosina. Jafntframt þarf að leitast við að fá mat á feril lögðarinnar til að spá fyrir um ölduhæðir og ekki síður til að meta loftþrýsting og vindharða meðfram ströndinni til að meta hækkun sjávarborðs vegna lágs loftþrýstings og vindáhlaðanda.

Danska herforingjaráðið mældi 1902 valda staði á höfuðborgarsvæðinu og eru til mæliblöð sem Landmælingar Íslands hafa gert aðgengileg í Kortasjá á heimasíðu sinni <http://atlas.lmi.is/kortasja/>. Samkvæmt þessum mæliblöðum sem eru í hæðakerfi miðað við meðalsjávarhæð, er hæðin á sjávarkambinum lægst innan við Lambastaði um +4,4m en við Eiðsgranda og í Kvosinni var sjávarkamburinn um +5,3m í hæðakerfi Sjómælinga Íslands.

6.2. Ákvörðun á flóðhæðum

Básendar

Áætlað $H_{s_{500\text{ár}}}$ = 14-16m, og loftþrýsting í Reykjavík um 922 hPa og vindhraða 37 m/s sem er með 100 ára endurkomutíma í Reykjavík fæst hækkun sjávarborðs vegan grunnbrota, loftþrýstings og vindáhlandanda. Viðauki 1:

$$\eta = a \left(\frac{H_o}{L_o} \right)^{2 \cdot 1/2 \cdot 0,4} + b\Delta P + c U^2 \cos\theta + C = 1,56 + 0,71 + 0,27 - 0,05 = 2,5m$$

$$\eta = a \left(\frac{H_o}{L_o} \right)^{2 \cdot 1/2 \cdot 0,4} + b\Delta P + c U^2 \cos\theta + C = 1,73 + 0,71 + 0,27 - 0,05 = 2,7m$$

Stórstraumsflóð er í um 3,8m. Flóðhæðin í 3,8 + 2,5 til 2,7 = 6,3 til 6,5m í Sjómælingakerfinu sem er í samræmi við „Sjór gekk að minnsta kosti fjórum álfnum (um 2,5m) hærra á Básendum í flóðinu en í mestu stórstraumsflóðum“.

Lambastaðir

Áætlað Hs500ár = 3,2m, og loftþrýsting í Reykjavík um 922 hPa og vindhraða 37 m/s sem er með 100 ára endurkomutíma í Reykjavík fæst hækkun sjávarborðs vegna grunnbrota, loftþrýstings og vindáhlandanda. Viðauki1:

$$\eta = a \left(\frac{H_o}{L_o} \right)^{2 \cdot 1/2 \cdot 0,4} + b\Delta P + c U^2 \cos\theta + C = 0,48 + 0,71 + 0,27 - 0,05 = 1,4m$$

Stórstraumsflóð +4,0m. Flóðhæðin við sjávarbambinn innan við Lambastaði verið hefur verið í um +5,4m en sjávarbamburinn þar var í um +4,4m og í +5,3m við Eiðsgranda.

Yfirborð Eiðstjarnarinnar var í um +4,0m en sjávarstaðan utan sjávarbambana var í +5,4m þannig að hækkunin er um 1,4m

Flóðborðið hefur verið 1,0m hærra en sjávarbamburinn sunnan við Lambastaði og 0,1m hærra en sjávarbamburinn við Eiðsgrandann og 1,4m hærra en yfirborð Eiðstjarnarinnar einungis vegna sjávarstöðunnar en þá tekur við stöðug ágjöf fyrst innan Lambastaða og síðan yfir Eiðsgrandann. Aldan framan við Eiðsgranda er áætluð svipuð að hæð og framan við Lambastaði, um Hs=3,2m.

Upprennslið og ágjöfin sem fylgt hefur brjótandi öldunum sem gengu yfir sjávarbambinn sunnan Lambastaða og að hluta til við Eiðsgrandann olli bæði stað- og tímabundnum hækkunum á sjávarstöðunni þannig að flóðhæðin var líklega metinn hærra en hún var í reynd eins og oft vill verða.

Kvosin

Áætlað Hs500ár = 1,5m, og loftþrýsting í Reykjavík um 922 hPa og vindhraða 37 m/s sem er með 100 ára endurkomutíma í Reykjavík fæst hækkun sjávarborðs vegna grunnbrota, loftþrýstings og vindáhlandanda. Viðauki1:

$$\eta = a \left(\frac{H_o}{L_o} \right)^{2 \cdot 1/2 \cdot 0,4} + b\Delta P + c U^2 \cos\theta + C = 0,26 + 0,718 + 0,27 - 0,05 = 1,2m$$

Stórstraumsflóð +4,0m. Flóðhæðin framan við sjávarbambinn í Kvosinn verið um 5,2m en sjávarbamburinn í um 5,3m. Upprennslið og ágjöfin sem fylgt hefur öldunni framan við sjávarbambinn hefur valdið usla en ekki teljandi tjóni.

Hvergi er getið um tjón né sjávarflóð við verslunarhúsin og pakkhúsin sunnan við Hafnarstræti og má því álykta að sjávarstaðan í Básendaflóðinu hafi getað verið nærri hæðinni á sjávarbambnum þar sem undiröldu hlýtur að hafa gætt við hann.

6.3. Samandregnar bráðbirgðaniðurstöður á Básendaflóðinu

Básendar

- Áætluð ölduhæð er $H_{s_{Básendar}} = 14$ til 16m og loftþrýstingur og vindhraði með 100 ára endurkomutíma í Reykjavík.
- Reiknuð hækkun sjávarborðs $\eta = 2,5$ til 2,7m, flóðhæð +6,3 til +6,5 m

- „Sjór gekk að minnsta kosti fjórum álnum (um 2,5m) hærra á Básendum í flóðinu en í mestu stórstraumsflóðum“.

Lambastaðir

- Áætluð ölduhæð er $H_{s_{\text{Lambastaðir}}} = 3.2\text{m}$ og loftþrýstingur og vindhraði með 100 ára endurkomutíma í Reykjavík.
- Reiknuð hækkun sjávarborðs $\eta = 1,4\text{m}$, flóðhæð $+5,4\text{m}$ um $1,0\text{m}$ yfir sjávarbambinn þar sem kamburinn var lægstur.
- Brjótandi öldur samfara upprennsli og ágjöf olli bæði stað- og tímabundnum hækkunum á sjávarstöðunni þannig að flóðhæðin var líklega metinn hærri en hún var í reynd eins og oft vill verða.

Kvosin

- Áætluð ölduhæð er $H_{s_{\text{Kvosin}}} = 1,5\text{ m}$ og loftþrýstingur og vindhraði með 100 ára endurkomutíma í Reykjavík.
- Reiknuð hækkun sjávarborðs $\eta = 1,2\text{m}$, flóðhæð $+5,2\text{m}$ um sömu hæð og sjávarbamburinn þar sem kamburinn var lægstur.
- Hvergi er getið um tjón né sjávarflóð við verslunarhúsin og pakkhúsin sunnan við Hafnarstræti. Flóðhæðin náði nærri sömu hæð og hæð sjávarbambsins. Ölduáhlaðanda gætir vart á Víkinni framan við Kvosina.

7. Niðurstaða fyrsta áfanga og tillögur að næsta áfanga

Niðurstaðan af þessu verkefni er því að flóðhæð hafi verið rúmum einum metra lægri í Reykjavík í Básendaflóðinum heldur en á Básendum sjálfum. Munurinn er vegna ölduáhlaðanda fyrst og fremst. Ölduáhlaðandi er mjög staðbundið fyrirbrigði, háð öldustefnu og hæð, sjávardýpi og legu strandar. Því er ekki mögulegt að áætla hættuna á öðrum stöðum sem urðu illa úti í Básendaflóðinu nema með sjálfstæðri rannsókn fyrir þá staði.

Að sjálfsögðu þarf að endurreikna ölduskilyrðin til að fá ölduhæðina rétta framan við Básenda, við Lambastaði, framan við Eiðsgranda og framan við Kvosina. Jafntframt þarf að leitast við að fá mat á feril lægðarinnar til að spá fyrir um ölduhæðir og ekki síður til að meta loftþrýsting og vindharða meðfram ströndinni til að meta hækkun sjávarborðs vegna lágs loftþrýstings og vindáhlaðanda.

Talið er nauðsynlegt að halda þessari vinnu áfram eins og líst er í umsókn til Vegagerðarinnar um rannsóknarfé fyrir 2016 þar sem ætlunin er að að vinna að mælingum og rannsóknum, svo sem hæðarmælingum á Básendum, öldusveigjureikingum við svipaðar aðstæður og í Básendaflóðinu, ásamt reikingum á upprennsli öldu fyrir þau strandsvæði þar sem heimildir greina frá skemmdum. Jafnframt þarf að kanna áhrif veðurfarsþátta á mældar sjávarstöður á þeim stöðum þar sem sjávarfallamælingar hafa verið framkvæmdar.

Hvort breyta þarf hönnunarforsendum fyrir mannvirki vegna Básendaflóðs eða hliðstæðu þess er meiri óvissu háð. Benda má á til viðmiðunar að íbúðarhús eru hönnuð fyrir 375 ára jarðskjálftaáburð sem er í samræmi við Evrópustaðal. Með þeim fræðum sem hér er búið að sýna er hægt að kanna hvort Básendaflóð eða hliðstæða gæti verið atburður með álíka endurkomutíma.

8. Heimildaskrá

Jónas Eliasson, J. (1996). Probability of tidal surge levels in Reykjavik, Iceland. *Journal of Coastal Research*, 12(1), 368-374. Sjá ennfremur viðauka 1.

Yanagishima, S. & Katoh, K: Field Observation on Wave Set-up near the Shoreline. *Coastal Engineering*, 1990, 95-108.

Lýður Björnsson, „Básendaflóðið 1799“, *Vefnir*, 6.vefrit 2006, bls. 1-12

Sigurður Þór Guðjónsson „Íslenskir annálar og aðrar gamlar veðurheimildir“. Annálar 1400 – 1800. Lykilbók 1, Reykjavík 1998, (sjá: http://www.vedur.is/media/vedurstofan/utgafa/hlidarefni/annalar_sig-th.pdf). bls. 165

Guðmundur L. Hafsteinsson, „Perla Faxaflóa Bæja- og húsakönnun á Skipaskaga“, Akneskaupstaður 2009,

Úr Árbók Ferðafélags Íslands frá árinu 1932

Gylfi Ísaksson, „Landbrot og flóðavarnir við Stokksnes og Eyrarbakka, Þolákshöfn og Selvog“. Skýrsla Fjarhitunar ágúst 1984.

Vigfús Guðmundsson: Básendar við Faxaflóa, Blanda III.,

Magnús Grímsson. Fornminjar um Reykjanesskaga. Landnám Ingólfs. Reykjavík 1935-36. Þorbergur Þorbergsson: Verkamannabústaðir við Eiðisgranda í Reykjavík. Sjávarhæðir og grundun húsa. Október 1980.

Guðjón Friðrsson. „Hér heilsast skipin. Fyrra bindi. Uppheimar“. Reykjavík . 2013. Rasmus Lievog, Kaupstaðarlóðin 1787. Reykjavíkurlort. Dagatal 1986. Kort af Reykjavík frá 1715-1981. Unnið af Nönnu Hermansson, Salvöru Jónsdóttur og Mjöll Snæsdóttur. Árbæjarsafn, Reykjavík, 1986

Guðný Gerður Gunnarsdóttir Anna Lís Guðmundsdóttir Drífa Kristín Prastardóttir, „Ingólfstorg og nágrenni Skrá yfir fornleifar og hús í vesturhluta Kvosar“, Reykjavík 2011 Minjasafn Reykjavíkur Skýrsla (sjá: http://borgarsogusafn.is/sites/borgarsogusafn.is/files/atoms/files/skyrsla_158.pdf.)

Klemens Jónsson. Saga Reykjavíkur I - II. Reykjavík 1929.

Trausti Valsson. Reykjavík Vaxtarbroddur. Þróun Höfuðborgar. Reykjavík. 1986. Uppdráttur Olsen af Reykjavík 1801. Uppdráttur, Reykjavík, 1801, Olsen. Minjasafn Reykjavíkur.

Sigurður Línal, Pétur Rafn Árnason Saga Íslands IX. Samin af tilhlutan Þjóðhátíðarnefndar. Hið íslenska bókmennta félag . Reykjavík 2008

Guðný Gerður Gunnarsdóttir og Hjörleifur Stefánsson og fl. Kvosin, byggingarsaga miðbæjar Reykjavíkur. Torfusamtökin, Reykjavík 1987.

Age Nielsen- Edwin, 1983. Fjórar teikningar af Reykjavík á 18. og 19 öld.

Jón Helgason Árbækur Reykjavíkur, 1783-1924. Reykjavík 1941.

Á heimasíðu Minjar í hættu má finna upplýsingar um minjar í hættu af náttúruvöldum.. Á heimasíðunni er ýtarlega fjallað um fornminjarnar á Básendum. <https://minjarihaettu.wordpress.com/fornleifar/basendar/fornleifar/>

Suðurnesjaannáll, Sigurður B. Sívertsen, Útskálar á Suðurnesjum, 1799-1889. Fyrir 1836 er aðeins tekið úr annálum efni sem ekki finnst í hinum annálunum (5 færslur), svo og frásögnin um Básendaflóðið 1799.

Espihólsannáll, Jón Jakobsson, Espihól

Básendaveðrið 1799, Lesbók Morgunblaðsins 20. Mars 1999, Árni Árnarson, (sjá http://timarit.is/view_page_init.jsp?issId=242877)

Vefritið Ferlar, (sjá <http://www.ferlir.is/?id=18874>, <http://www.ferlir.is/?id=3729>, <http://www.ferlir.is/?id=4284> ofl)

Björn Erlendsson Sjávarflóð á Íslandi, Veðurstofa Íslands 2013. Youtube myndir

Stokkseyri 1990 9. Janúar 1990 <https://www.youtube.com/watch?v=s3DCzIKjAL4>

Flóðið 1990 no2 <https://www.youtube.com/watch?v=7uuWjD-j5ik>

Flóð í Reykjavík 11. Október 2012 <https://www.youtube.com/watch?v=jA05l6p94UM>

Stormur í Reykjavík 2. Nóvember 2012
<https://www.youtube.com/watch?v=7SWnUZpejTE>

Skúlagata 2. Nóvember 2012 <https://www.youtube.com/watch?v=aG3J6PH5S2s>

Storm í Reykjavík 2. Nóvember 2012
<https://www.youtube.com/watch?v=mH6SmUtSppi>

Viðauki 1

Jónas Elíasson og Sveinn Valdimarsson. Flóðhæðhæðirí Reykjavíkurhöfn, Verkfræðistofnun Háskóla Íslands, Júlí 1993 (Unnið fyrir Reykjavíkurhöfn)

Jónasar Elíassonar. Probability of Tidal Surge Levels Reykjavik, Iceland. Journal of Coastal Research. 1996

Ólafur Guðmundsson og Páll Einarsson. Úrvinnsla sjávarfallagagna, sjávarföll og hægfara sjávarborðsbreytingar í Reykjavík. Raunvísindastofnun Háskóla Íslands 1991.

Meðalloftþrýstingur í Reykjavík 1949 – 2010 Veðurstofu Íslands 2011.

Engelund, F. Steady wind setup in prismatic lakes, Prog. Rep 28, pp. 31 – 38, Inst. Hydrodynamics and Hydr. Eng. Techn. Univ. Denmark, April 1973, (endurprentað í: Pedersen, F. B. (1986). Environmental Hydraulics: Stratified Flows: Stratified Flows (Vol. 18). Springer Verlag).

Bretschneider, C.L. Engineering aspects of hurricane surge. Í: Ippen A.T. (editor) Estuary and Coastline Hydrodynamics. McGraw-Hill 1966.

Pugh, D.T.,: Tides, Surges and Mean Sea-level. John Wiley & Sons 1987.

Gísli Viggósson Sigurður Sigurðarson Baldur Bjartmarsson og Ingunn Jónsdóttir Grindavíkurhöfn. Innsigling. Rannsóknir og tillögur til úrbóta. Siglingastofnun Maí 2007

Longuet-Higgins, M. S., & Stewart, R. W.). Radiation stresses in water waves; a physical discussion, with applications. In Deep Sea Research and Oceanographic Abstracts (Vol. 11, No. 4, pp. 529-562). Elsevier. 1964

Battjes, J. A., & Janssen, J. P. F. M. Energy loss and set-up due to breaking of random waves. Coastal Engineering Proceedings, 1(16). 1978

Stockdon, H. F., Holman, R. A., Howd, P. A., & Sallenger, A. H. Empirical parameterization of setup, swash, and runup. Coastal engineering, 53(7), 573-588. 2006

Yoshimi Goda Random Seas and Design of Marine Structures (2nd Edition) , Yokohama National University. Advanced Series on Ocean Engineering - Volume 15 1985)

Yanagishima, S. & Katoh, K: Field Observation on Wave Set-up near the Shoreline. Coastal Engineering, 1990.

Wikipedia: https://en.wikipedia.org/wiki/Rayleigh_distribution

T.W. Hsu, J.R.C. Hsu, W.K. Weng, SK Wang, SH Ou Wave setup and setdown generated by obliquely incident waves, Coastal Engineering, 2006 – Elsevier.

EurOtop Wave Overtopping on Sea Defences and Related Structures. Assessment Manual 2008“. Die Kuste. Heft 73. Jahr 2007

=====

Viðbót við bls 10, mars 2016/JE

Hér er reiknað eins og alda sé með fasta hæð úti á dýpi. Þegar tekið er tillit til að ölduhæðin er breytileg skapast dálítill óvissa um hvaða ölduhæð eigi að setja inn í (3) til að fá réttann meðaláhlaðanda. Sé gert ráð fyrir að ölduhæðin sé Rayleigh dreifð⁴⁶ (Wiki) þá þarf að taka tillit til að öldukrafturinn og orkan eru annarar gráðu liðir, svo meðalorka og meðalöldukraftur svarar til ölduhæðarinnar $H_0 = 1,23 H$ þar sem H er meðalölduhæðin $H = H_s/1,6$, H_s er kennialdan. Sé reiknað með þessu má margfalda loturnar og ölduhæðirnar í töflu 1 með hlutfallinu $1,6/1,23 = 1,30$, miðað við óbreytt b og e , en þetta þarfnast nánari rannsóknar.

Sé reiknað með þessu er $T_s = 1,3 T$ og $H_{0s} = 1,3 e L_0$. Kenniölduhæð $H_s = 16$ m út af Garðskaga svarar þá til $L_0 = 307$ m og meðallotu $T = 12$ sek. í töflu 1 ef öldubratti meðalöldu er 4%.

Viðauki 2

Gylfi Ísaksson Gísli Viggósson Guðmundur Hafsteinsson *Flóðaveðrið 9. Jan 1990 og sjóvarnir á svæðum sem fyrir því urðu. Fjarhitun hf.og Hafnamálastofnun ríkisins. Ágúst 1990.*

Ólafur Guðmundsson og Páll Einarsson. Úrvinnsla sjávarfallagagna, sjávarföll og hægfara sjávarborðsbreytingar í Reykjavík. Raunvísindastofnun Háskóla Íslands. 1991

Kjartan Gíslason Reiknilíkan Fyrir vindáhlaðanda við Ísland. Umhveris- og byggingarverkfræðiskor, Háskóli Íslands 1995.

Gunnar Guðni Tómasson Ólöf Rós Káradóttir Kjartan Gíslason Reiknilíkan fyrir sjávarföll. Verlfræðistofnun Háskóla Íslands. 1996.

Gunnar Guðni Tómasson Kjartan Gíslason Þorbjörn Karlsson. Reiknilíkan fyrir sjávarflóð. Verlfræðistofnun Háskóla Íslands. 1996.

Gylfi Ísaksson Gílsi Viggósson Skipulags- og byggingareglum á lágsvæðum þar sem hætta er á flóðum. Skipulag ríkisins 1994, unnið af Fjarhitun hf. <http://ww2.sigling.is/lisalib/getfile.aspx?itemid=4488>,

Gylfi Ísaksson Gísli Viggósson Sigurður Thoroddssen Freyr Jóhannesson Lágsvæði 2.áfangi, Skipulags- og byggingarráðstafanir og sjóvarnir. Vita- og Hafnmálastofnun, Skipulag ríkisins og Viðlagartrygging Íslands 1995, unnið af Fjarhitun hf. <http://ww2.sigling.is/lisalib/getfile.aspx?itemid=4489>.

⁴⁶ Wikipedia: https://en.wikipedia.org/wiki/Significant_wave_height

Helgi Gunnar Gunnarsson. Öldureiknilíkan fyrir strönd Akraness og Akraneshöfn. Umhverfis- og byggingavrkfræðideild. Háskóli Íslands. 2011.

Viðauki 3

https://en.wikipedia.org/wiki/World_Geodetic_System

Vísir 15. desember 1977 .bls 10, Tímarit .is

Guðjón Scheving Tryggvason. Sjávarborðsrannsóknir. Úrvinnsla sjávarborðsmælinga á Hornafirði, Grindavík og Landeyjahöfn. 2015. Skýrslan er í vinnslu.

Helgi Jean Claessen http://www1.search-results.com/search?apn_dtid=%5EBND406%5EYY%5EIS&d=406-495&shad=s_0043&atb=sysid%3D406%3Aappid%3D495%3Auid%3D08f88f1f4647b384%3Asrc%3Dcrb%3Ao%3DAPN10645%3Atg%3D&p2=%5EAG6%5EBND406%5EYY%5EIS&apn_ptnrs=%5EAG6&o=APN10645&apn_uid=9657302920344402&lang=en&gct=ds&q=helgijean&tpr=10&ctype=videos

Kort Victor Lottin af Reykjavík 1836. Reykjavíkurtkort. Dagatal 1986. Kort af Reykjavík frá 1715-1981. Unnið af Nönnu Hermansson, Salvöru Jónsdóttur og Mjöll Snæsdóttur. Árbæjarsafn, Reykjavík, 1986

9. Viðauki I – Fræði vinds öldu og áhlaðanda

10. Hækkun sjávarborðs innan brimgarðs

10.1. Almennt

Við Íslandsstrendur er mest hættu á sjávarflóðum (stormflóðum) þegar mjög djúpar og víðáttumiklar lægðir grafa um sig á stóru hafsvæði bæði fyrir sunnan og norðan land og þegar nóg vindorka er í lægðakerfinu til að byggja upp orkumiklar öldur með orkutopp allt að 15 til 20 sekúndur og kenniöldur vel yfir 12 m og allt upp í 20 m. Mesta ölduorkan byggist upp í hægri-aftur-fjórðungi lægðarinnar. Það fer síðan eftir dýpt lægðarinnar hve mikið hækkun verður á sjávarborðinu í loftþyngdarbylgjunni sem fylgir lægðarmiðjunni. Loftþyngdarbylgjan (hækkunar vegna lágs loftþrýstings í lægðinni) ferðast sem grunnvatnsbylgja þegar hún kemur upp á landgrunnið og fer með hraðanum $C = \sqrt{gD}$ þar sem g er þyngdarhröðun en D dýpið. Vindáhlaðandinn fer síðan eftir vindhraða að landi og dýpinu auk þess sem hraði lægðarinnar og hraði loftþyngdarbylgjunnar skipta verulegu máli líka. Aðdragandi öldunnar stjórnar hæð hennar ásamt vindhraðanum og breidd landgrunnsins og grunnbrotin stjórna því hve ölduáhlaðandinn verður mikill auk hækkunar vegna lágs loftþrýstings í lægðinni.

Sjávarföllin, loftþyngdarbylgjan, vindáhlaðandinn og ölduáhlaðandinn eru orsakavaldar að meðalsjávarstöðu eins og hún mælist á hverjum tíma. Sjávarfallabylgjan (stjarnfræðileg sjávarföll) er stærsti þátturinn, hún hefur sveiflutíma 12 tímar of 25 mínútur en loftþyngdarbylgjan virkan sveiflutíma sem er mun minni. En hæðin á þessum þáttum fer mjög eftir lögun landgrunnsins og er því mjög breytileg frá einum stað til annars vegna breytilegs hraða og stefnu vindsviðs lægðarinnar og hugsanlegrar mögnunar á landgrunni.

Hér á eftir verður gerð grein fyrir þeim fræðum sem taka þarf tillit til þegar hugsanleg hækkun sjávarborðs í stormflóðum er metin.

10.2. Sjávarföll

Inngangur

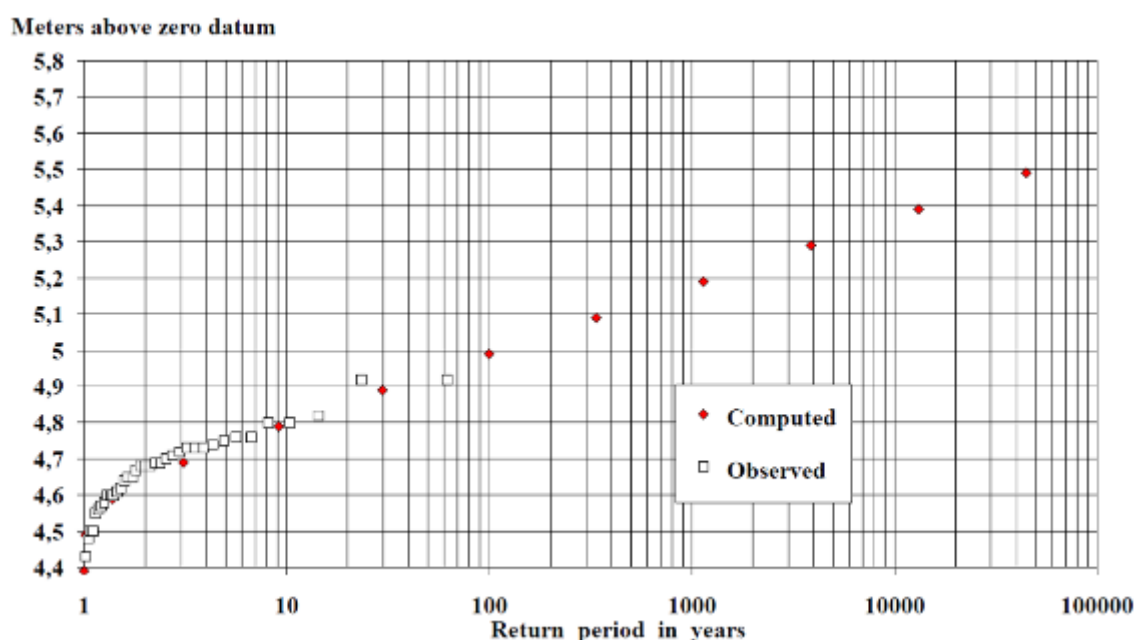
Sjávarfallamælingar hafa verið stundaðar samfelld í Reykjavíkurböfn síðan 1956 og víða í höfnum landisins síðan 1993-95. Þessir sjávarfallamælar eru í eigu viðkomandi hafnarsjóðs. Mælarnir voru settir upp í Þorlákshöfn, Grindavík, Sandgerði, Njarðvík, Hafnarfirði, Sundahöfn, Grundatanga, Akranesi, Borgarnes, Ólafsvík, Patreksfirði, Ísafirði, Skagaströnd, Sauðárkróki, Dalvík, Húsavík, Hornafirði, Landeyjahöfn og Vestmannaeyjum. Rekstur nokkra þessara mæla hefur ekki gengið sem skildi. Mæld er sjávarfallasveiflan og breytingar á sjávarstöðu vegna veðurfarsþátta eins og af áhrifum loftþrýstings og áhrifum vinds á sjávarborðið og langar sveiflur, bæði grunnsveiflur og yfirsveiflur sem orsakast af lögun flóa og fjarða og form hafna. Þar sem hafnamynni er innan grunnbrota mælist einnig hækkun vegna grunnbrota. Sveiflutími þessara sveiflna geta verið frá nokkrum mínútum upp í klukkutíma. Hæð þessara sveiflna er breytileg eftir aðstæðum frá nokkrum sm upp í tugi sm.

Hæstu mældu sjávarstöður í Reykjavík

Hæsta og lægsta sjávarstaða sem reiknuð er við venjuleg veðurskilyrði samkvæmt Sjávarfallatöflum Sjómælinga Íslands er +4,62m og – 0,44m.

Jónas Elíasson og Sveinn Valdimarsson⁴⁷ og tóku saman flóðaannál fyrir Reykjavík og þar kom fram að sjávarhæð hefur 7 sinnum (8-10 sinnum 2015) farið upp fyrir 4,9 m (3,1 m í bæjarkerfi) á undangengnum 100 árum. Þann 31. janúar 1990 fór flóðhæð upp í 4,89 metra og 2. janúar 1991 mældist 4,97 metra flóð. Þann 10. febrúar 1997 mældist hæsta sjávarstaða í Reykjavíkurhöfn frá upphafi mælinga, eða 5.09 metrar (3,27 m í bæjarkerfi, en hæð hafnardekks er 3,53 m). Það sem er sérstakt við þetta flóð er að því fylgdi ekki brim eða hafrót í Reykjavík, - sluppu mörg mannvirki betur við skemmdir af þeim sökum, en mikill vindur mældist við Stórhöfða eða um 111 hnútar (57 m/s) í verstu hviðunum. Þetta flóð var til dæmis ekki skráð í flóðaannál Veðurstofunnar þar sem engin teljandi tjón urðu. Í Morgunblaðinu þann 11. febrúar segir að flætt hafi upp um niðurföll í húsi við Skeljagranda og lekið hafi inn í hús við Granaskjól og hafi slökkviliðið verið kallað til aðstoðar á báðum stöðum

Tölfræðileg úrvinnsla á árshámörkum sjávarfalla í Reykjavík.



Mynd V1. 1. Endurkomutími flóðhæða í Reykjavíkurhöfn.

Líkindafræðileg greining á mælingum sjávarborðs fyrir árin 1956-1989 í Reykjavík¹ var lítilllega endurbætt og birt í ⁴⁸. Hæsta toppi hvers árs var skipt upp í stjarnfræðilegt flóð

⁴⁷ Jónas Elíasson og Sveinn Valdimarsson. Flóðhæði Reykjavíkurhöfn, Verkfræðistofnun Háskóla Íslands, Júlí 1993 (Unnið fyrir Reykjavíkurhöfn)

⁴⁸ Jónas Elíasson. Probability of Tidal Surge Levels Reykjavik, Iceland. Journal of Coastal Research. 1996

og viðbót vegna loftþrýstings og áhlaðanda. Báðir þættir voru reiknaðir mjög langt fram í tímann, Mynd V1. 1.

Flóð með endurkomutíma 100.000 ár reiknast 5,55 metrar og lækkar um 18 sentimetra við hverja deilingu með tíu og er komið niður í tæpa 5 metra við endurkomutímann 100 ár. Flóðhæð í Básendaflóðinu var 1 – 2 metrum hærra en 100.000 ára flóðið. Það er því ljóst að hæð Básendaflóðsins eins og því er lýst í heimildum er mjög ólíklega hluti af þeirri tölfræði sem Mynd V1. 1 lýsir. Orsökina er vænanlega sú, að þessi tölfræði lýsir frávikum frá stjarnfræðilegu flóði einungis eins og þau mælast í Reykjavíkurböfn, og þau eru minni en annarsstaðar á Faxaflóasvæðinu vegna skjólsins í höfninni. Ef svo er berast böndin fyrst og fremst að áhlaðanda vegna vinds og öldu.

10.3. Áhrif loftþrýstings á sjávarborð

Áhrif loftþrýstings á sjávarborð er háð breytingu á loftþrýsting og eðlisþyngd sjávar samkvæmt eftirfarandi jöfnu:

$$\Delta h = \Delta p / \rho g$$

Δh er hæðarbreyting á sjávarborði vegna loftþrýstings, Δp er breyting á loftþrýstingi og ρ er eðlisþyngd sjávar og g þyngdarhröðunin. Jafnan gefur að lækkun loftþrýstings um 1 mb svari til 1 sm hækkunar á sjávarstöðu. Ólafur Guðmundsson og Páll Einarsson aðlöguðu þetta samband að íslenskum aðstæðum út frá sjávarborðsmælingum í Reykjavík ⁴⁹, en samkvæmt þeirra athugunum er hækkun sjávarborðs um 0,84cm fyrir hvert hPa lækkun á loftþrýsting frá meðalloftþrýstingi. Miðað við að loftþrýstingur í Reykjavík með endurkomutíma 1 ár, 10 ár og 100 ár, sé 950, 931 og 922 mb, og að meðalloftþrýstingur sé 1006 mb ⁵⁰, fæst Hækkun sjávarborðs vegna loftþrýstings með gefinn endurkomutíma $\Delta h_{1\text{ár}} = 0,47$ m, $\Delta h_{10\text{ár}} = 0,63$ m, $\Delta h_{100\text{ár}} = 0,71$ m.

⁴⁹ Ólafur Guðmundsson og Páll Einarsson. Úrvinnsla sjávarfallagagna, sjávarföll og hægfare sjávarborðsbreytingar í Reykjavík. Raunvísindastofnun Háskóla Íslands 1991.

⁵⁰ Meðalloftþrýstingur í Reykjavík 1949 – 2010 samkvæmt Veðurstofu Íslands 2011.

11. Áhlaðandi vegna vinds og öldu.

11.1. Vindáhlaðandi

Mikið er skrifað um vindáhlaðanda. Ein besta útlistunin, og líka ein sú elsta, er eftir Engelund 1973⁵¹. Samkvæmt honum er jafnan fyrir vindáhlaðanda:

$$l = (\tau_s - \tau_b) / (\rho_v g D), \text{ og ef lengdin í land er } L \text{ þá er áhlaðandinn } \Delta h = l L.$$

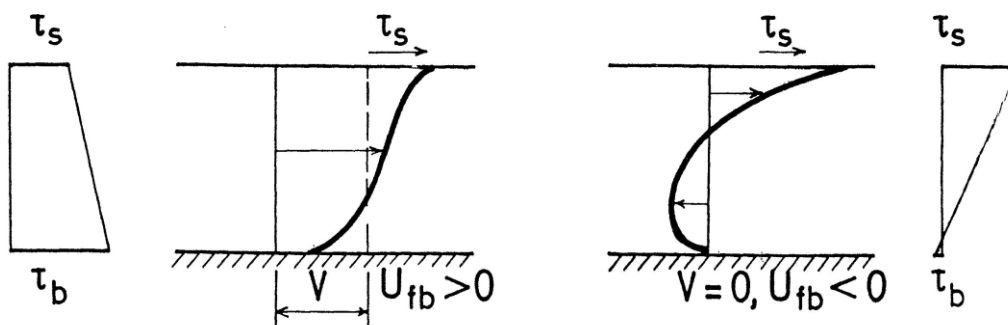
Nú er τ_s miklu minna en τ_b . Þá er skerhraði í vindinum við yfirborð tæpast mikið meira en 5 – 10 % af vindhraðanum sjálfum svo vel má giska á sem fyrstu nálgun:

$$l = \rho_l (U_v / 12)^2 / (\rho_v g D) \approx 10^{-6} U_v^2 / g D, \text{ v og } l \text{ standa fyrir vatn og loft.}$$

Fyrir vind sem er rúmlega 30 m/s þá gerir þetta á dýpinu $D = 5$ m, um 2 cm/km sem er ekki mikið, enda hættulegur vindáhlaðandi nánast óþekktur hér á landi. Þetta segir þó ekki alla söguna. Jafnvægishallinn tekur ekki tillit til:

Straumur að landi

Straumur í báðar áttir



Mynd V1. 2. Skerspenna og straumur vegna vindspennu.

Vegna straumpungans í byrjunarstöðunni (Mynd V1. 2 til vinstri) myndast tregða í kerfinu getur farið með áhlaðandann upp fyrir jafnvægisstöðuna, allt að 100 %.

Í lang flestum tilfellum er dýpið ekki jafnt á svæðinu þar sem vatnsborðið er að hlaðast upp. Þá er það staðan í Mynd V1. 2 til vinstri sem gildir fyrir innstraum meðfram ströndunum sitt hvoru megin í firði þar sem er grynnt. Í miðjunni er straumur út aftur þar sem er dýpst. Nú er jafnvægishallinn allt annar en fyrir jafndjúpt vatn, vandamálið er ekki lengur tvívítt heldur þrívítt.

⁵¹ Engelund, F. Steady wind setup in prismatic lakes, Prog. Rep 28, pp. 31 – 38, Inst. Hydrodynamics and Hydr. Eng. Techn. Univ. Denmark, April 1973, (endurprentað í: Pedersen, F. B. (1986). Environmental Hydraulics: Stratified Flows: Stratified Flows (Vol. 18). Springer Verlag).

Það er enginn vindur án öldu. Aldan bætir við öldukraftinum (radiation stress), hann leggst við τ_{ps} . Á grunnu vatni er öldukrafturinn $1/8 \rho_v g H^2$ í þversniðinu, annar helmingur hans er þrýstikraftur (jafn í allar áttir) hinn helmingur er straumkraftur sem virkar aðeins í stefnu öldustraumsins. Við ströndina (hliðar og enda) er engin alda og þá verður að koma vatnsborðshækkun til að halda jafnvægi við öldukraftinn. Aldan fer mest inn þar sem vatnið er dýpst. Frá djúpálfnum leitar hún inn að bökkunum báðu megin og lækkar. Vatnsborðið hækkar svo í takt við lækkun öldunnar. Þessi samanburður leiðir til að 0,5 m meðalalda ($H_s = 0,8$ m) mun í nær öllum tilfellum héraendis bera með sér meiri ölduáhláðanda en vindáhláðandann sem sá vindur er veldur öldunni býr til.

Það sem sagt er hér að framan er hægt að líkja eftir í einföldum líkönum.

Öldustefnan veldur að vísu erfiðleikum, en með því að nota Schnells lögmál er hægt að búa til einingarektor sem gefur stefnu öldunnar óháð ölduhæð.

Aðalerfiðleikarnir í eftirlíkingu á vind og ölduáhláðanda stafa af ólínulegum liðum sem Engelund og aðrir seinni tíma fræðimenn hafa engar aðferðir til að leysa. Sem dæmi má nefna skerspennuna við botninn er τ_b , en lítill vandi er að sýna fram á að hún margfaldast þegar aldann er há. Þetta breytir jafnvægisstöðunni til hækkunar. Aðrir tímabreytilegir straumar, t. d. sog hafa svipuð áhrif. Þá eru ótalin áhrif frá snöggum dýpisbreytingum, en meginforsendan í forritum sem reikna öldusveigju og áhláðanda er að dýpið breytist mjög rólega. Á hraunbotni nálægt landi hér á Íslandi er þetta mjög fjarri lagi. Þar til viðbótar er landgrunnsbrúnin þar er þessi forsenda alls ekki uppfyllt.

Þarna á móti kemur að straum- og öldujöfnur eru veikt ólínulegar þannig að oft eru tölulegar lausnir í vel gerðum forritum miklu betri en búast mætti við fyrirfram. Hér skiptir reynsla og þekking þeirra sem verkið vinna mestu máli.

Vindhraði í Reykjavík með endurkomutíma 1 ár, 10 ár og 100 ár er 26, 31 og 37 m/s. Varðandi Básenda, þá virðist að grynningar nái ekki nema um $L = 600$ m út. Ef gískað er á 30 m/s vind og $D = 2$ m; 600 m úti þá er hækkunin:

$$\Delta h = 1 L = 10^{-6} U_v^2 L / g D = 0,027 \text{ m} \quad (10^{-6} \text{ er lágmark samkv. }^{52})$$

Samkvæmt þessu skiptir vindáhláðandi litlu máli í Básendaflóðinu.

Notum nú aðra nálgun og reiknum vindáhláðanda samkvæmt aðferð sem víða er notuð, Bretschneider (1966)⁵³. Þegar vindur blæs að strönd og sjávarbotninn eða landgrunnið er nálgað við að vera með jafnan halla yfir einhverja lengd L , þá er áhláðandinn Δh , þegar stöðugu ástandi hefur verið náð, lýst með jöfnunni:

⁵² Pedersen, Flemming B. Environmental Hydraulics: Stratified Flows: Stratified Flows. Vol. 18. Springer Science & Business Media, 2012.

⁵³ Bretschneider, C.L. Engineering aspects of hurricane surge. Í: Ippen A.T. (editor) Estuary and Coastline Hydrodynamics. McGraw-Hill 1966.

³⁶ Pugh, D.T.: Tides, Surges and Mean Sea-level. John Wiley & Sons 1987.

$$\Delta h = k U^2 L \ln(h_1/h_2)/(g(h_1 - h_2))$$

þar sem: k er núningstuðull milli lofts og sjávar oft tekinn sem $3 \cdot 10^{-6}$ ($3 \cdot 10^{-6}$ er hámark samkv. ⁶⁾ U er vindhraði (m/s)

L er lengd sjávarbotns sem vindur blæs yfir

h_1 og h_2 eru sjávardýpi við ytri og innri enda á lengdinni

g er þyngdarhröðunin

9,81 (m/s²)

Í tilfellinu $h_1 \cong h_2$ er þetta sama líkingin og áður nema nú er $k = 3 \cdot 10^{-6}$ í stað 10^{-6} áður, eða þrisvar sinnum stærri. Reiknaður vindáhlaðandi samkvæmt þessari líkinu er talinn of hár miðað við mældan vindáhlaðanda í flóðaveðrinu 9 janúar 1990, sjá Viðauka 2. Því er æskilegt að kanna betur gögn úr sjávarborðmælum vegna vinds á sjávarborðið til að finna sambandið milli sjávarborðsbreytinga og vindhraða og betra mat á gildinu k.

11.2. Áhrif grunnbrota á sjávarborð

Þegar öldur líða inn á grunnsævi eða rekast á sker, verður öldubrattinn (hæð á mótí lengd) of mikill og grunnbrot myndast. Innan grunnbrota hækka sjávarborðið þegar margar stórar öldur brotna hver á fætur annari í ólögum og dæla sjó inn fyrir brimgarðinn. Sjávarborðið lækkar síðan aftur þegar lágur öldur koma á eftir háu öldunum. Hækkun á sjávarborði og sveiflur innan grunnbrota eru háðar orku öldunnar og stefnu utan þeirra gagnvart lögun strandar og botns frá brotum upp flæðamáli. Öldur sem brotna í brimgarðinum geta haldið áfram að brotna alveg upp í flæðamáli. Fyrir kemur að öldur taki sig upp á hæstu sjávarstöðu og brotna ofan við flóðborð (fyllur) og geta þá valdið ágjöf yfir sjávarkamba og miklu tjóni, sjá nánar í kafla 4.

Það er eðli strandarinnar að byggja upp sjávarkamba og ræðst hæð þeirra af sjávarföllunum og öldúrauninni þannig að í meðalvetrarbrimum og sjávarflóðum flæðir yfir sjávarkambana. Upprennslið er háð öldugerðinn þ.e. ölduhæð og sveiflutíma og fláa sjávarkambansins og hrjúfleika ásamt stefnu og botnhalla utan sjávarkambansins. Öldurnar á rúmsjó og öldur sem hafa brotnað utan við sjávarkambinn fylgja ákveðinni ölduhæðadreifingu. Það sýnir sig að upprennslíð fylgir einnig ákveðnum dreifingum og eins magn upprennslis. Af þessu sést að sjávarflóð eru afleiðingar af annað hvort hárrí sjávarstöðu samfara brimi eða lágri sjávarstöðu samfara miklu brimi eða hvorutveggja innan grunnbrota.

11.3. Ölduáhlaðandi

Öldufræðin

Þar sem engin öldusveigja er og allir öldufaldar beinir og samsíða, er í hinni klassísku fræði reiknað með að ölduorkan varðveitist og orkustraumurinn sé allstaðar sá sami. Þessi forsenda heldur nokkurnvegin þegar botn er lítið hallandi og ölduslóðin það stutt að ekki þarf að reikna með áhrifum vindspennu eða núnings við botn.

Hér á eftir er H ölduhæð, o merkir úti á dýpi, B merkir brjótandi alda, meðaldýpi D , L er öldulengd og T öldutíminn, líka kallað lotan. Nota má $H_s = H_{1/3} = 1,6 H$ og breyta töflum tilsvareandi.

Úti á dýpi

Þar sem brot byrja

$$\frac{1}{8}\rho g H_0^2 \frac{1}{2} c_0 = \frac{1}{8}\rho g H_0^2 \frac{1}{2} \sqrt{\frac{gL_0}{2\pi}} = \frac{1}{8}\rho g H_0^2 \frac{1}{2} \sqrt{\frac{gH_0}{2\pi e_0}} = \frac{1}{8}\rho g H_B^2 c = \frac{1}{8}\rho g H_B^2 \sqrt{gD_B} \quad (1)$$

Líking (1) gefur hlutfalli H_0/H_B með því að gera ráð fyrir að $H_B = b D_B$. T.d. má reikna með að $b = 0,7$. Þá fæst að $H_0/H_B = (e/0,027)^{1/5}$. Hér er stuðullinn e öldubrattinn úti á dýpi, H_0/L_0 .

Orkuflutningurinn í öldunni er $E_{tr} = E c_g$ þar sem c_g er grúppuhraðinn. Úti á dýpi er $E_{tr0} = \frac{1}{2} E_0 c_0$.

Í hverju þversniði er öldukraftur samskonar kraftur og í öðrum straumi. Öldukrafturinn er $S = F + P_w + P_s$, þar sem F er straumkrafturinn, P_w er þrýstikraftur öldunnar og P_s er þrýstikrafturinn án öldu $P_s = \frac{1}{2} \rho v g (D + \zeta)^2$ þar sem ζ er frávik meðalvatnsborðs frá núllstöðunni, þ. e. án öldu, þessi stærð er núll úti á dýpi þar sem áhrifa botns gætir ekki á ölduna. Þar er öldukrafturinn $S_0 = \frac{1}{2} E_0$ ⁵⁴, ζ þýðir ekki sama hér og í⁹.

Óbreyttur orkuflutningur í x stefnu gefur $dE_{tr}/dx = 0$. Með þessari líkingu má reikna út breytingar á ölduhæðinni með því að gera ekki ráð fyrir öðrum breytingum á vatnsdýpi en dýptarkort sýna.

Um leið og aldan tekur botn hækkar hún vegna þess að c_g minnkar og ζ verður neikvæð, þ.e.a.s. meðalsjárborð lækkar. Þegar aldan byrjar að brotna lækkar ölduhæðin og ζ hækkar. Þegar aldan hefur brotnað að fullu við stöndina er ζ í hámarki ($\zeta = \zeta_c$) og kallast þá ölduáhláðandinn, sjá⁵⁵.

⁵⁴ Longuet-Higgins, M. S., & Stewart, R. W.). Radiation stresses in water waves; a physical discussion, with applications. In Deep Sea Research and Oceanographic Abstracts (Vol. 11, No. 4, pp. 529-562). Elsevier. 1964

⁵⁵ Battjes, J. A., & Janssen, J. P. F. M. Energy loss and set-up due to breaking of random waves. Coastal Engineering Proceedings, 1(16). 1978

Tafla V1. 1. Áhlaðandi í metrum fyrir mismunandi öldubratta og lotur.

Lota sek	Lo m	Áhlaðandi við öldubratta, m		
		2%	3%	4%
8	100	0,2	0,3	0,4
10	156	0,3	0,4	0,6
12	225	0,4	0,6	0,9
14	306	0,5	0,8	1,2
16	399	0,7	1,1	1,5
18	505	0,8	1,4	1,9
20	624	1,0	1,7	2,4

Þar sem áhrifa vindspennu og núnings við botn gætir ekki, og P_s er tekið með í öldukraftinum, þá er öldukrafturinn stöðugur, $dS/dx = 0$. Af þessu ákvarðast ζ . Sé þess gætt að úti á dýpi er $\zeta = 0$, og dýpið látið breytast rólega þá er ζ auðreiknanleg, fyrst inn að broti og síðan alveg inn á strönd. Þá fæst:

$$\begin{array}{ccc}
 \text{Úti á dýpi} & \text{Þar sem brot byrja} & \text{Inni á strönd} \\
 S_0 = \frac{1}{16} \rho g H_0^2 = & S_B & = S_c = \frac{1}{2} \rho g D_B \zeta_c \left(1 + \frac{\zeta_c}{D_B} \right)
 \end{array} \quad (2)$$

Líkingar (1) og (2) gefa ζ_c , sem er ölduáhlaðandinn á ströndinni. Hann stjórnast að nær öllu leiti af H_0 en e hefur dálítill áhrif.

Til að finna ζ_c þarf að ákveða $b = H_0/D_B$. Nú er $b < 1$. Þar sem H_0/H_B er nálægt 1 þá verður hlutfallið $\zeta_c/D_B \ll 1$ svo því má sleppa í (2). Hin endanlega líking fyrir ζ_c verður þá.

$$\zeta_c = 0,238 H_0 b^{4/5} e^{1/5} \quad (3)$$

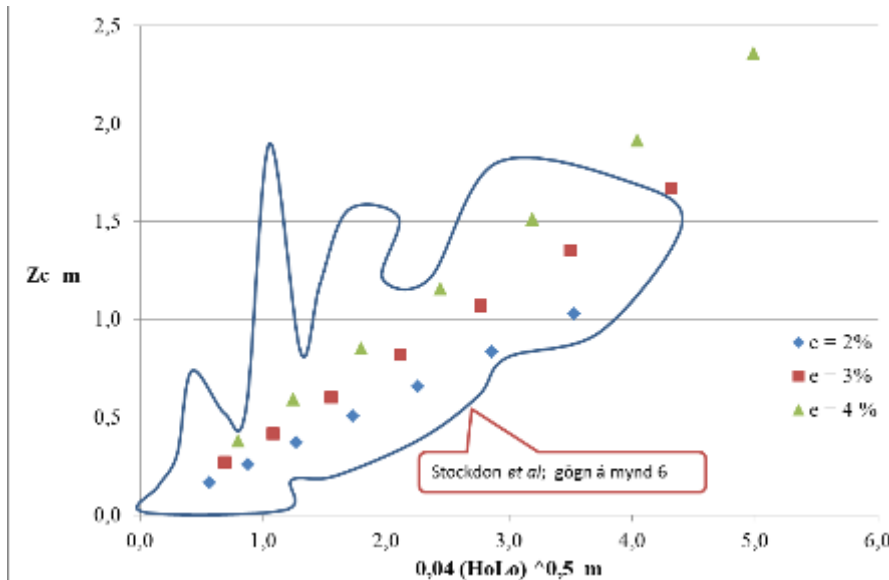
Tafla 1 er reiknuð með $b = 0,7$. Þá er formúlan $\zeta_c = 0,18 e^{1/5} H_0$. Þessi nálgun sýnir að innan hvernar lotu er áhlaðandinn ekki langt frá því að vera línulegur með H_0 því $e^{1/5}$ breytist ekki mikið.

Í ⁵⁶ er notuð breytan $(H_0 L_0)^{1/2}$. $H_0 = e_0 L_0$ þegar e tákna öldubrattann, þá er formúlan fyrir ζ_c sem er ölduáhlaðandinn á ströndinni:

$$\zeta_c = 0,18 e^{0,2} H_0 = 0,18 e^{0,7} (H_0 L_0)^{1/2}.$$

⁵⁶ Stockdon, H. F., Holman, R. A., Howd, P. A., & Sallenger, A. H. Empirical parameterization of setup, swash, and runup. Coastal engineering, 53(7), 573-588 2006

Töluvert víðtæka rannsókn þarf til að finna hvernig tafla 1 passar við¹⁰ og aðra fræðimenn sem skrifað hafa um áhlaðanda. Það verður ekki gert að sinni, nema Mynd V1. 3er látin fylgja, þar er samanburður við Mynd 6 í¹¹. Stuðullinn 0,04 er í staðin fyrir strandhallann í¹⁰, en 4% er algengur strandhalli. Á Mynd V1. 4 má sjá að gögn varðandi þrjár hæstu ζ_c í töflu 1 eru ekki til, sem bendir til að þarna sé um sjaldgæfa atburði að ræða.



Mynd V1. 3. Mynd af niðurstöðum (3) með innsettu því svæði sem gögnin í¹⁰ ná yfir

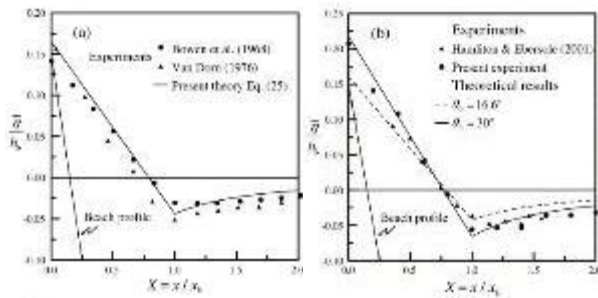
Hér er reiknað eins og alda sé með fasta hæð úti á dýpi. Þegar tekið er tillit til að ölduhæðin er breytileg skapast dálítill óvissa um hvaða ölduhæð eigi að setja inn í (3) til að fá réttann meðaláhlaðanda. Sé gert ráð fyrir að ölduhæðin sé Rayleigh dreifð⁵⁷ (Wiki) þá þarf að taka tillit til að öldukrafturinn og orkan eru annarar gráðu liðir, svo meðalorka og meðalöldukraftur svarar til ölduhæðarinnar $H_0 = 1,23 H$ þar sem H er meðalölduhæðin $H = H_s/1,6$, H_s er kennialdan. Sé reiknað með þessu má margfalda loturnar og ölduhæðirnar í töflu 1 með hlutfallinu $1,6/1,23 = 1,30$, miðað við óbreytt b og e , en þetta þarfnast nánari rannsóknar. Sé reiknað með þessu er $T_s = 1,3 T$ og $H_{0s} = 1,3 e L_0$. Kenniölduhæð $H_s = 16$ m út af Garðskaga svarar þá til $L_0 = 307$ m og meðallotu $T = 12$ sek. í töflu 1 ef öldubratti meðalöldu er 4%.

Dæmi um mat á hækkun sjávarborðs innan grunnbrota frá USA

Mælingar á mesta ölduáhlaðanda við rannsóknastöðina í Duck, norður Carolína¹³ árið 1985 reyndist best lýst með eftirfarandi jöfnu:

$$\zeta_c = 0,45 \xi_0 H_s$$

⁵⁷ Wikipedia: https://en.wikipedia.org/wiki/Significant_wave_height



Mynd V1. 4. sýnir lækkun sjávarstöðu vegna öldu við og framan við grunnbrotslínuna og hækkun ölduáhlaðanda innan hennar þegar aldan skellir beint og skáhallt á ströndina.¹³

þar sem H_s er ölduhæð á rúmsjó og ξ_0 er öldubrotatala sem er skilgreind sem hlutfallið milli fláa strandar/mannvirkis/sjóvarnar og kvaðratrótarinnar af öldubrattanum.

$$\xi_0 = \text{tg} \alpha / (H_0/L_0)^{1/2}$$

Þessi líking passar vel við (3) í kafla 2.3.1 ef strandhalli er settur 4 %. Hækkun sjávarborðs vegna lágs loftþrýstings, vindáhlaðanda og ölduáhlaðanda.

Rannsóknir í Japan

Í ⁵⁸ er sýnt fram á að fyrir botnhalla 1/50 - 1/100 og öldubrotta 0,01 - 0,05 þá megi nálga aðferð Goda (1985) til að meta hækkun vegna ölduáhlaðanda með jöfnunni:

$$\Delta h = a (H_s^2 L_s^{1/2})^{0,4}$$

þar sem H_s og L_s eru kennialda úthafsöldu og kenniöldulengd. Stuðullinn a var ákvarðaður fyrir athugunarstað á sandströnd í Japan $a = 5,2$ sem gefur Δh í sm. Þessi jafna gefur Δh í töflu 2. Niðurstöðum töflu 1 og töflu 2 ber ágætlega saman þrátt fyrir að aðferðir eru ólíkar.

⁵⁸ Yoshimi Goda Random Seas and Design of Marine Structures (2nd Edition) , Yokohama National University. Advanced Series on Ocean Engineering - Volume 15 1985)

Tafla V1. 2. Ölduáhlaðandi fyrir utan Básenda fyrir ýmsa endurkomutíma.

Endur- koma í árum	H_s	Lota sek	L_s m	e_0	Δh m
1	11	15	350	3,2 %	1,14
100	16	18	500	3,2 %	1,66
500	18	19	565	3,2 %	1,86

Til að fá tölulegt mat á hækkun sjávarborðs vegna lágs loftþrýstings og vindáhlaðanda sem bætist ofan í ölduáhlaða verður hér stuðst við niðurstöður rannsókna í Japan⁵⁹. Þeir byggðu bryggju við sandströnd að Kyrrahafi til rannsókna, meðal annars á sjávarflóðum. Munurinn á sjávarföllum er 1,4 m, ölduhæð mikil og botnhalli 1/60 sem gerir þessar aðstæður að mörgu leiti líkar aðstæðum við suðurströnd Íslands.

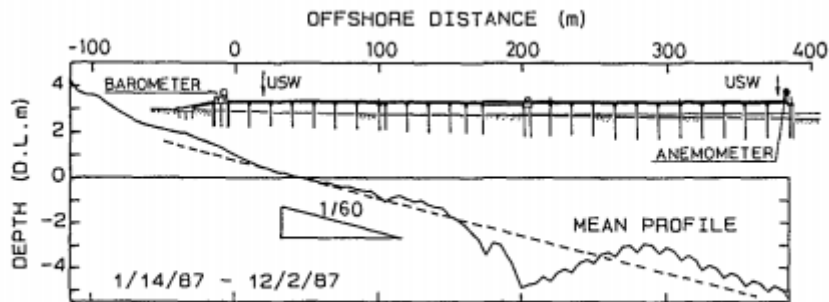


Figure 2 Locations of instruments

Mynd V1. 5. Afstöðumynd af rannsóknabryggjunni í Japan

Mynd V1. 5 sýnir m.a. staðsetningu sjávarborðmælisins sem er U.S.W (Ultrasonic Wave Gauge).

Til að nálgja mæliniðurstöðurnar er eftirfarandi líking notuð. Hún er fengin með því að leggja við hækkunina vegna ölduáhlaðanda, hækkun sjávarborðs vegna þriggja þátta, loftþrýstings, vinds og tilfallandi hækkun af öðrum orsökum.

$$\Delta h = a (H_s^2/L_s^{1/2})^{0,4} + b\Delta P + c U_v^2 \cos\theta + C \quad (4)$$

Hér eru sömu ták og áður, en að auki er hornið milli normals strandar og vindstefnu sett θ . Fastarnir $a = 5,20$ (cm/m), $b = 0,84$ (cm/hPa), $c = -0,04$ (cm/m²/s²), $C = -4,85$ (cm). eru fundnir með línulegri aðhvarfsgreiningu. Þar er stærðin $b = 0,84$ cm/hPa fundin af Ólafi Guðmundssyni og Páli Einarssyni árið 1991 eins og getið er í aðalskýrslu.

⁵⁹ Yanagishima, S. & Katoh, K: Field Observation on Wave Set-up near the Shoreline. Coastal Engineering, 1990.

Vindáhlaðandinn er kvarðaður miðað við reiknaðan vindáhlaðanda í reiknilíkani fyrir sjávarflóð frá 1996 og veðurgögn úr aftakaveðrinu 9. Janúar 1990 reyndist stuðullinn c vera nærri $0,02 \text{ cm/m}^2/\text{s}^2$ fyrir Reykjavík og $0,023 \text{ cm/m}^2/\text{s}^2$ fyrir Grindavík samanber

Tafla V1. 3. Reiknaður áhlaðandi í metrum fyrir Lambastaði, Kvosina og Básenda.

Lambastaðir									
a (cm/m)	Hs(m)	T (1/s)	b (cm/mb)	ΔP (mbar)	(cm/m ² /s ²)		θ°	C (cm)	Δh
5,2	3,2	20	0,84	84	0,02	37	0	-4,85	
a(Ho2L1/2)0,4	+	b ΔP	+	cU2cos θ	+	C			
48		71		27		-5		141	1,4m
Kvosin									
5,2	1,50	20	0,84	84	0,02	37	0	-4,85	
a (cm/m)		T (1/s)	b (cm/mb)	ΔP (mbar)	(cm/m ² /s ²)		θ°	C (cm)	
a(Ho2L1/2)0,4	+	b ΔP	+	cU2cos θ	+	C			
26		71		27		-5		119	1,2m
Básendar									
5,2	14	20	0,84	84	0,02	37	0	-4,85	
a (cm/m)		T (1/s)	b (cm/mb)	ΔP (mbar)	(cm/m ² /s ²)		θ°	C (cm)	
a(Ho2L1/2)0,4	+	b ΔP	+	cU2cos θ	+	C			
156		71		27		-5		249	2,5m
Básendar									
5,2	16	20	0,84	84	0,02	37	0	-4,85	
a (cm/m)		T (1/s)	b (cm/mb)	ΔP (mbar)	c (cm/m ² /s ²)		θ°	C (cm)	
a(Ho2L1/2)0,4	+	b ΔP	+	cU2cos θ	+	C			
173		71		27		-5		266	2,7m

Dæmi um hækkun sjávarborðs vegna ölduáhlanda

Japanska líkingin verður hér notuð til að reikna dæmi um tölulegt mat á hækkun sjávarborðs vegna lágs loftþrýstings, vind- og ölduáhlanda vegna grunnbrota á utanvert Reykjanes.

Gefum okkur sambandið milli $T_p = 14,1 \sqrt{H_s/g}$ fyrir V til SV ölduáttir utan Garðskaga og látum japönsku jöfnuna gilda þá fæst hækkun á sjávarborði innan grunnbrota með ölduhæð eins og í töflu 2 og loftþrýstingi og áhlaðanda samkvæmt töflu 3 bætt. Vindur og alda eru reiknuð þvert á strönd. Japanska aðferðin í kafla 2.4.1 samræmist vel kafla 2.3.1 og inniheldur auk þess loftþrýsting og vindáhlaðanda. Hún er því notuð fremur en USA aðferðin í kafla 2.3.2.

Tafla V1. 4. Ölduáhlaðandi fyrir utan Sandgerði fyrir ýmsa endurkomutíma.

Endur- koma í árum	H _s	Lota sek	L _s m	e ₀	ΔP mb	U _v m/s	Δh m	Sjávar hæð m
1	11	15	350	3,2 %	56	26	1,8	5,6
100	16	18	500	3,2 %	84	37	2,4	6,2 ~ 6,4
500	18	19	565	3,2 %	-	-	-	

Miðað er við stórstraumsflóð í Sandgerðishöfn, þar er hæðarkerfi sama og í Básendum, fæst flóðhæðin $3,8 + 1,8 = 5,6\text{m}$ með endurkomutíma eitt ár. Þetta dæmi sýnir að flóðhæðin innan grunnbrota getur verið um $+6,4\text{m}$ á sama tíma og flóðhæðin utan grunnbrota getur verið $3,8 + 0,6 + 0,4 = +4,8\text{m}$.

Mest fæst flóðhæðin $3,8 + 2,4$ til $2,6\text{m} = 6,2$ til $6,4\text{m}$ sem er í samræmi við „Sjór gekk að minnsta kosti fjórum álnum (um 251 cm) hærra á Básendum í flóðinu en í mestu stórstraumsflóðum“.

Með því að bera saman Δh dálkinn í töflu 2 og 3 sést að ölduáhlaðandinn er 70 % af sjávarborðshækkuninni í töflu 3. Þau 30 % sem eftir eru skýrast að mestu leyti af loftþrýstingi.

Niðurstöður töflu 3 eru fengnar með því að leggja saman árshámörk allra liða í (4) með sama endurkomutíma. Þetta er nokkuð rétt fyrir liðina sem lýsa ölduáhlaðanda, loftþrýstingi og vindáhlaðanda því þeir koma allir fyrir í miklum stormi og þessi aðferð er notuð í kafla 1.2.3. Að leggja þá niðurstöðu við meðalstórstraumsflóð er nálgun á réttari tölfræði (fræðileg útlistun er í ¹) sem álitin er nægilega nákvæm fyrir þessa áfangaskýrslu.





12.Upprennsli og ágjöf yfir sjávarkamba og sjóvarnir

Í þessum kafla er stuðst við skýrsluna „EurOtop Wave Overtopping on Sea Defences and Related Structures. Assessment Manual 2008“. Die Kuste. Heft 73. Jahr 2007. Þessi fræði verða notuð í seinni áfanga

12.1. Skilgreiningar á kennistærðum.

Hönnunarlada fyrir stöðugleika sjóvarna og fyrir upprennslu öldu, miðast við ölduhæð rétt framan við undirstöðu sjávarkambins og er skilgreind með öldurófinu sem, $H_{m0} = 4(m_0)^{1/2}$ þar sem m_0 er orkuróf öldunnar.

Sveiflutími öldu miðast við meðal sveiflutíma öldurófs $T_{m-1} = (m_{-1}/m_0)$. Þessi sveiflutími tekur meira tillit til lengri sveiflutíma en meðal sveiflutíminn. Samband sveiflutíma orkuorkurófs með einn orkutopp er (monochromatic wave) $T_p = 1,1 T_{m-1}$.

	Spilling	$0.2 < \xi_{m-1,0}$ demiöldur
	Plunging	$\xi_{m-1,0} < 2 - 3$ veltialda
	Collapsing	$\xi_{m-1,0} \pm 2 - 3$ fallöldur
	Surging	$\xi_{m-1,0} > 2 - 3$ súgöldur

Mynd V1. 6. Heiti á brjótandi öldum á hallandi strönd

Öldubrattinn er skilgreindur sem hlutfallið milli ölduhæðar við sjávarkamb og öldulengdar á rúmsjó H_{m0}/L_0 . Bratti minni en 0,01 er skilgreindur sem undiralda en stærri en 0,04 – 0,06 sem vindalda.

Öldubrotatala er skilgreind sem hlutfallið milli fláa sjávarkamb og kvaðratrótarinnar af brattanum, $\xi_{m-1,0} = \text{tg}\alpha / (H_{m0}/L_0)^{1/2}$. Venjulegur flái á sjóvörn er 1:1,5 og fyrir undiröldu með bratta 0,01 er brotatalan 6,7 en fyrir vindöldu með bratta 0,05 er brotatalan 3. Brotatalan segir til um hvaða gerð öldubrota eiga sér stað þegar aldan brotnar framan og á fláa mannvirkis.

Hugtök úr orðasafni Samgöngustofu ⁶⁰

spilling breakers - dembiöldur

plunging breakers - steypiöldur

collapsing breakers - hrunöldur; fallöldur

surging breakers - súgöldur; veltiöldur

spending beach - dreifiströnd

surf similarity parameter - brimstuðull; brimlíkingarstuðull.

Þegar brotatalan $\xi_{m-1,0} = \text{tg}\alpha / (H_{m0}/L_0)^{1/2}$ er minni en 0,2 springur aldan í toppinn þegar aldan rennur upp sjóvörn með litlum halla (spilling). Þegar brotatalan er milli 0,02 og 2 - 3 þá eiga sér stað veltibrot við sjóvörnina (plunging). Þegar brotatalan er nærri 2-3 (collapsing) þá er aldan við það að brotna á mannvirkinu og þegar talan er stærri en 2 - 3 þá myndast nærri standandi alda framan við mannvirkið (surging), sjá nánar á Mynd V1. 6.

12.2. Flæðarmál

Flæðarmálið er svæðið framan við sjávarkamb og getur verið lárétt og upp í fláa 1:10. Flæðarmálið getur verið djúpt, grunnt eða mjög grunnt. Ef sjórinn er grunnur eða mjög grunnur þarf að taka tillit til grynningastuðuls (shoaling) og grunnbrota á kenniöldu (depth limited effects) þegar ölduhæð við fót sjávarkambs er fundin. Lágmarks lengd flæðarmáls er skilgreind sem ein öldulengd. Erfitt er að skilgreina nákvæmlega breytingu úr grunnum í mjög grunnan sjó. Í grunnum sjó brotna öldur í flæðarmálinu og ölduhæðin minnkar, en öldurófið heldur meira og minna lögum sinni frá upphaflegu öldurófi. Í mjög grunnum sjó breytist ölduhæðin verulega og varla nokkrir toppar eru greinanlegir í öldurófinu. Þar sem öldurnar verða mjög litlar vegna brota verða margir mismunandi sveiflutímar til.

Almennt er sagt að færslan frá grunnum yfir í mjög grunnan sjó er þegar að upphafleg ölduhæð hefur lækkað um 50% vegna grunnbrota. Ölduhæð við strendur á grunnum sjó er miklu minni en þar sem dýpi er mikið.

⁶⁰ Sverrir Konráðsson, Samgöngustofa

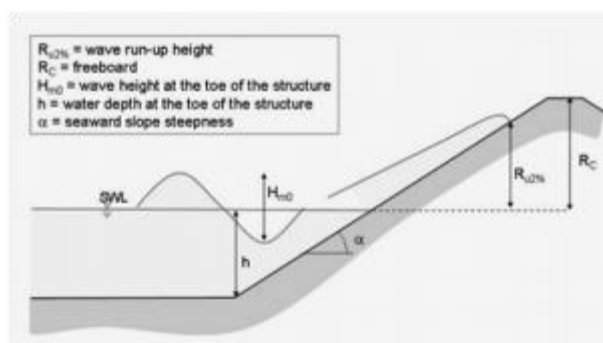
12.3. Flái

Hluti mannvirkis er skilgreindur sem flái ef hallinn er á bilinu 1:1 og 1:8.

Þessi mörk eru einnig gild fyrir meðalfláa sem er fláinn sem myndast ef dregin er lína milli $-1.5H_{m0}$ og $+R_{u2\%}$ (sjá kafla 3.4) miðað við meðalsjávarhæð en ef berma er á fláanum þá er ekki tekið tillit til hennar.

12.4. Hæð upprennslis

Upprennsli öldu, $R_{u,x\%}$ er mælt lóðrétt frá sjávarborði upp að efri brún sjóvarnar. Upprennsli öldu er breytilegt og er m.a. háð ölduhæð og gerð öldunnar. Í Hollandi og Þýskalandi hefur hæð sjóvarnargarða verið miðuð við upprennsli öldu sem svara til að 2 % af fjölda innkomandi aldna sé hærrí, $R_{u2\%}$. Þannig er upprennslið eingöngu háð fjölda innkomandi aldna en ekki fjölda upprennslis sem er erfitt að meta. Minnsta upprennsli er oft miðað við 2 cm þunnt lag af sjó. Þekkt er, að þegar er miðað er við að tvö prósent aldna valdi herra upprennsli við hönnunarskilyrði, þá sýnir reynslan að engar skemmdir verða á grasi innan við sjóvörnina. Meginþungi rannsókna á upprennsli hefur eðlilega miðast við að finna þessi skilyrði fyrir 2 % upprennsli.



Mynd V1. 7. Upprennsli er háð fláa sjóvarnar, dýpi og hæð hennar og breidd í toppinn ásamt gerð sjóvarnarinnar og holrými. Hlutfall eða fjöldi aldna í ágjöf skiptir máli fyrir hverja tegund mannvirkis.

$R_{u2\%} / H_{m0} = 1.65 \gamma_b \gamma_f \gamma_\beta \xi_{m-1,0}$ með hámark:

$R_{u2\%} / H_{m0} = 1.00 \gamma_b \gamma_f \text{ surging } \gamma_\beta \xi_{m-1,0} (4.0 - 1.5/\sqrt{\xi_{m-1,0}})$

Frá $\xi_{m-1,0} = 1.8$ hækkar hrjúfleika stuðullinn $\gamma_f \text{ surging}$ línulega upp í 1 fyrir $\xi_{m-1,0} = 10$ sem má skilgreina með:

$\gamma_f \text{ surging} = \gamma_f + (\xi_{m-1,0} - 1.8) * (1 - \gamma_f) / 8.2$

$\gamma_f \text{ surging} = 1.0$ fyrir $\xi_{m-1,0} > 10$

Stuðlarnir $\gamma_b \gamma_f \gamma_\beta$ eru skilgreindir:

γ_b tekur tillit til áhrifa bermu á upprennsli og ágjöf.

γ_f tekur tillit til gerð grjótláa og fláa.

Gildi á γ_f grjótgarða með fláa 1:1.5.

Tafla V1. 5. γ_f gildi grjótgarða.

Gerð varnar	γ_f
Slétt, þétt yfirborð	1.0
Grjót (1 lag, þéttur kjarni)	0.60
Grjót (1 lag, gljúpur kjarni)	0.45
Grjót (2 lög, þéttur kjarni)	0.55
Grjót (2 lög, gljúpur kjarni)	0.40

γ_β tekur tillit til áhrifa aldna undir horni.

Stuðst er við eftirfarandi jöfnu:

$$\gamma_\beta = 1 - 0.0063 |\beta| \quad \text{fyrir } 0^\circ \leq |\beta| \leq 80^\circ$$

fyrir $|\beta| > 80^\circ$ er notað gildi fyrir $\beta = 80^\circ$

Gerum ráð fyrir samfeldum fláa og öldustefnu þvert á sjóvörnina þá fæst upprengislið

$$R_{u2\%} / H_{m0} = 1.00 \gamma_f \text{ surging } \xi_{m-1,0} (4.0 - 1.5/\sqrt{\xi_{m-1,0}})$$

Fyrir gljúpan kjarna er hámarki náð fyrir $R_{u2\%} / H_{m0} = 1.97$

Hingað til hefur einungis 2% upprengisli verið skilgreint. Ýmsar leiðir eru til sem reikna upprengisli fyrir önnur hlutföll eða reikna fjölda alda í ágjöf yfir ákveðna hæð á flóðavörn. Auðveldasta leiðin til að reikna annað en 2% upprengisli (eða hlutfall ágjafar) er að nota 2% gildið og gera ráð fyrir Rayleigh dreifingu.

Líkurnar á ágjöf má reikna skv.:

$$P_{ov} = N_{ow} / N_w = \exp [-(\sqrt{-\ln 0.02}) * R_c / R_{u, 2\%}]^2]$$

Líkindin á ágjöf er háð fjölda aldna framan við mannvirkið, N_{ow} og fjölda aldna sem valda ágjöf.

$$P_{ov} = N_{ow} / N_w.$$

Til að meta upprengisli fyrir gljúpan kjarna fyrir mismunandi prósentur er stuðst við stuðla fyrir jöfnurnar:

$$R_{u2\%} / H_{mo} = A \xi_{m-1,0} \quad \text{fyrir} \quad 1,0 < \xi_{m-1,0} < 1,5$$

$$R_{u2\%} / H_{mo} = B(\xi_{m-1,0})^C \quad \text{fyrir} \quad 1,1 < \xi_{m-1,0} < (D/B)^{1/C}$$

$$R_{u2\%} / H_{mo} = D \quad \text{fyrir} \quad (D/B)^{1/C} < \xi_{m-1,0} < 7,5$$

Tafla V1. 6: Töflu texti

%	A	B	C	D	$(D/B)^{1/C}$
0,1	1,12	1,34	0,55	2,58	3,29
2,0	0,96	1,17	0,46	1,97	3,10
5,0	0,86	1,05	0,44	1,68	2,91
10,0	0,77	0,94	0,42	1,45	2,81
33,0	0,72	0,60	0,34	0,82	2,51

Þannig verður hlutfallslega mesta upprensli $R_{u2\%} / H_{mo} = 1,97$ fyrir 2 % af innkomandi öldur en 1,45 fyrir 10 % af öldunum þegar aldan kemur hornrétt á sjóvörnina.

Miðað við 1, 2, 3 m háa öldu með 10 s sveiflutíma við fót sjóvarnar með fláa 1:1,5 fæst $H_{mo}/L_o = 0,0064, 0,01282$ og $0,01923$ og þar með $\xi_{m-1,0} = 8,3, 5,89$ og $4,8$ en þá myndast (surging - súgalda) alda framan við sjóvörnina. Mesta hlutfallslega upprenslið við 2 % fjölda aldna verður þá um 1,97 eða mesta upprensli jafn og 2, 3,9 og 5,9 m og fyrir 10 % fjölda aldna upprensli 1,45 eða mesta upprensli 1,5, 2,9 og 4,4 m upp fyrir hönnunarsjávarstöðu. Miðað við hönnunarsjávarstöðu +5,0 m fæst hæð á sjóvörn samtals 7, 8,9 og 10,9 m fyrir 2 % upprensli og 6,5, 7,9 og 9,9 m fyrir 10 % upprensli.

12.5. Ágjöf yfir sjávarkamb

Ágjöf er skilgreind sem meðalmagn af sjó á hvern metra breiddar sjávarkambs, q , til dæmis í $m^3/s/m$ eða $l/s/m$. Meðalmagnið segir ekki til um hve margar öldur valda upprensli og ágjöf né hve mikið magn hver alda ber með sér. Magnið af sjó sem hver alda ber með sér er gefið sem m^3 á öldu á breiddar metra.

Mesta magn ágjafar öldu er háð meðalággjöfinni, q tímanum sem ággjöfin varir, t og fjölda aldna sem valda ággjöf.

Það er ekki stöðugt rennsli yfir sjávarkamb við ággjöf, heldur tilviljanakennt í tíma og rúmi. Hæstu öldur ýta miklu magni af sjó yfir kambinn á skömmum tíma. Lægri öldur valda ekki ággjöf.

Meðalrennsli í ággjöf er mikið notað og má auðveldlega mæla

$q < 0.1$ l/s/m :

$q = 1$ l/s/m :

$q = 10$ l/s/m :

$q = 100 \text{ l/s/m}$:

Ágjöf yfir sjóvarnir er skilgreind með jöfnunni:

$$q/V(g \cdot H_{m0}^3) = a \cdot \exp(-b \cdot R_c / H_{m0})$$

Stuðlarnir a og b eru síðan fundir með líkantilraunum. Ágjöf er púlserandi magn einstakra aldna sem mjög erfitt er að henda reiður á. Því liggja ekki einhlítar niðurstöður til grundvallar mati á ágjöf.

Stuðlarnir a og b fást með nálgun 0,2 og 2,3:

$$q/V(g \cdot H_{m0}^3) = 0.2 \cdot \exp(-2.3 R_c / (H_{m0} \gamma_\beta \gamma_f))$$

12.6. Mesta ágjöf einnar öldu

Tveggja parametra Weibull dreifing hentar mjög vel til að lýsa mestu ágjöf öldu. Weibull jafnan er með lögunarstuðull, b og formstuðul, a . Lögunarstuðull fyrir sléttan fláa er sá sami og fyrir grjótfháa eða $b = 0,75$.

Líkindi á meiri ágjöf frá öldu er:

$$P_v = P(V_{\max} < V) = 1 - \exp(-(V/a)^{0,75})$$

Þar sem $a = 0,84 \cdot T_w \cdot q \cdot t / N_{ov}$.

Raunverulega er þá hægt að finna ágjöf á öldu sem

$$V = a \cdot (-\ln(1 - P_v))^{4/3}$$

og þar með mestu ágjöf einnar öldu sem

$$V_{\max} = a \cdot (\ln N_{ov})^{4/3}$$

12.7. Upprennslis hraði og dreifing ágjafar

Þegar upprennslíð nær ytri brún kamb er hraðinn það mikill á ágjöfinni að ágjöfin kastast upp í loftið áður en hún lendir innan við kambinn. Hve langt ágjöfin kastast inn fyrir kambinn er hægt að tengja við kenniölduna. Miðað við lárétta lengd frá kambi þá berst um 10 % af ágjöfinni nærri tvær ölduhæðir en 1 % af ágjöfinni um 3,5 ölduhæðir.

Rúmmál sjávar sem gefur yfir kamb mannvirkis er gefið í rúmmetrum á öldu á breiddar metra.

12.8. Ágjöf við malarfjörur

Malarfjörur eru frábrugðnar vörðum fláum í stærð og hreyfanleika efnis. Hefðbundin steinastærð er nægjanlega lítil til að leyfa sjáanlega breytingar á fjöruþversniði jafnvel

undir litlu ölduálagi. Malarfjörur laga sig að staðbundnu öldufari svo fremi sem nægilegt efni sé til staðar. Upprennsli og ágjöf við malarfjöru er því reiknað án tillits til upphaflegs fláa.

Jafnvægis þversnið malarfjöru undir ölduálagi er skilgreindur af Van der Meer (1988). Mikilvægasta breytan fyrir upprensli og ágjöf er hæðin á kambi yfir meðalsjárvarhæð, H_c . Fyrir fjöru með $D_{n50} < 0.1$ m er þessi hæð á kambi aðeins fall af ölduhæð og öldu krappa. Hér er notaður meðalsveiflutími T_m en ekki $T_{m-1.0}$.

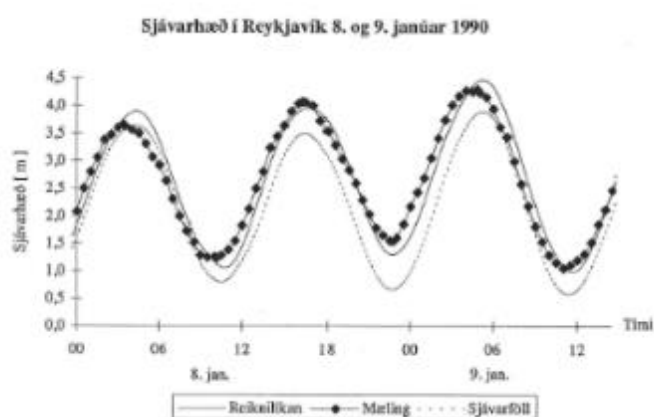
$$h_c / H_{m0} = 0.3 s_{om}^{-0.5}$$

Aðeins hæstu öldur berast yfir fjörutoppinn og mesta sjómagnið mun vætla gegnum efsta efnið aftan við fjörukambinn. Jafnan gefur upprensli og ágjöf nálægt $Ru_{2\%}$.

13. Viðauki II – Öldufar og sjávarflóð við suðvesturströnd landsins

14. Sjávarföll og sjávarstaða

Eftir flóðaverðið 9. janúar 1990 varð mikil umræða um nauðasyn betri upplýsinga um aftakaveður og afleiðinga þeirra. Unnin var skýrsla af Fjarhitun hf. og Hafnamálastofnun ríkisins um „Flóðaveðrið 9. Jan 1990 og sjóvarnir á svæðum sem fyrir því urðu⁶¹“ sem kom út í ágúst 1990. Á árinu 1991 kom út skýrslan „Úrvinnsla sjávarfallagagna, sjávarföll og hægfara sjávarborðsbreytingar í Reykjavík á vegum Raunvísindastofnunar Háskólans⁶². Á því ári hófst samvinna milli Hafnamálastofnunar, Veðurstofu Íslands og Verkfræðistofnunar Háskólans um gerð reiknilíkans til rannsókna á sjávarflóðum við Ísland.



Mynd 4.3: Mæld og reiknið (veðurgögn) sjávarhæð í Reykjavík, ásamt sjávarföllum, 8. og 9. janúar 1990

Líkt og með einfalda lögðarlíknaninu fæst gott samræmi við mælingar. Í töflu 4.5 má sjá samanburð á tíma útgilda og útslags.

Tafla 4.5: Samanburður á tíma útgilda og útslags

Dagsetning	Mæld		Reiknilíkan		Mismunur	
	Tími	Sjávarhæð [m]	Tími	Sjávarhæð [m]	Tími [mín]	Sjávarhæð [m]
8/1/90	03:24	3,65	04:20	3,90	56	0,25
8/1/90	10:09	1,24	10:50	1,06	41	-0,18
8/1/90	16:15	4,07	16:40	3,95	25	-0,12
8/1/90	22:45	1,55	22:40	1,31	-5	-0,24
9/1/90	04:50	4,30	05:10	4,48	20	0,18
9/1/90	11:00	1,06	11:40	0,99	40	-0,07

¹hljóð er við meðalsjávarhæð +2,15 m.

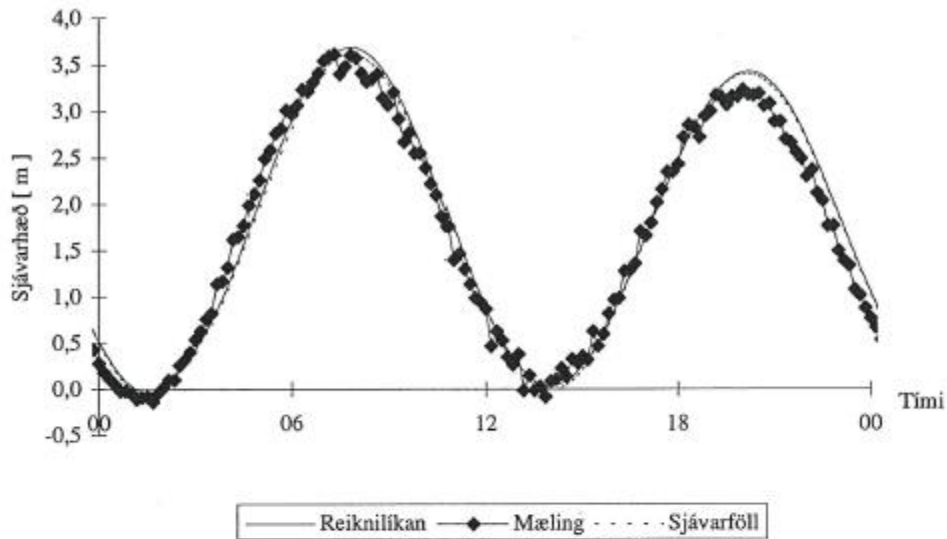
Mesti munur á sjávarhæð og sjávarföllum fæst kl. 20:30 þann 8. janúar eða um 74 cm.

Mynd V2. 1 Niðurstöður úr Reiknilíkani fyrir sjávarflóð, Reykjavík janúar 1990.

⁶¹ Gylfi Ísaksson Gísli Viggósson Guðmundur Hafsteinsson Flóðaveðrið 9. Jan 1990 og sjóvarnir á svæðum sem fyrir því urðu. Fjarhitun hf. og Hafnamálastofnun ríkisins. Ágúst 1990.

⁶² Ólafur Guðmundsson og Páll Einarsson. Úrvinnsla sjávarfallagagna, sjávarföll og hægfara sjávarborðsbreytingar í Reykjavík. Raunvísindastofnun Háskóla Íslands. 1991

Sjávarhæð í Grindavík, 21. febrúar 1996



Mynd 4.17: Mæld og reiknuð (veðurgögn) sjávarhæð í Grindavík, ásamt sjávarföllum, 21. febrúar 1996

Í töflum 4.10 og 4.11 er útslag sjávarhæðar og tími útgilda samkvæmt mælingum og reiknilíkani borin saman.

Tafla 4.10: Samanburður á tíma útgilda og útslags, Reykjavík

Dagsetning	Mæld		Reiknilíkan		Mismunur	
	Tími	Sjávarhæð [m]	Tími	Sjávarhæð* [m]	Tími [mín]	Sjávarhæð [m]
21/2/96	01:50	-0,07	02:00	0,05	10	0,12
21/2/96	08:00	4,59	08:10	4,63	10	0,04
21/2/96	14:33	-0,1	14:30	0,11	-3	0,21
21/2/96	20:30	4,14	20:40	4,29	10	0,15

*Miðað er við meðalsjávarhæð +2,15 m.

Tafla 4.11: Samanburður á tíma útgilda og útslags, Grindavík

Dagsetning	Mæld		Reiknilíkan		Mismunur	
	Tími	Sjávarhæð [m]	Tími	Sjávarhæð* [m]	Tími [mín]	Sjávarhæð [m]
21/2/96	01:40	-0,14	01:30	-0,03	-10	0,11
21/2/96	07:20	3,61	07:50	3,69	30	0,08
21/2/96	13:50	-0,08	14:00	0,04	10	0,12
21/2/96	20:00	3,23	20:10	3,43	10	0,20

*Miðað er við meðalsjávarhæð +1,75 m.

Mynd V2. 2. Niðurstöður úr Reiknilíkani fyrir sjávarflóð, Grindavík 21. febrúar 1996.

Á árinu 1993 hófst síðan þróun reiknilíkans fyrir sjávarföll á landgrunni Íslands sem Gunnar Guðni Tómasson verkfræðingur við Háskóla Íslands ásamt nemendum sínum hafði umsjón með⁶³. Líkangerðin byggir á forritinu AQUASEA sem verkfræðistofan Vatnaskil hafði lánað til notkunar í verkefnið. Tvær skýrslur um reiknilíkön fyrir sjávarföll og sjávarflóð komu út á árinu 1996⁶⁴. Jónas Elíasson prófessor vann að úrvinnslu sjávarborðsmælinga í Reykjavík með nemendum sínum á árunum 1993 til 1996, sjá Viðauka 1 kafla 1.2.3. Einnig var unnið að skipulags- og byggingareglum á lágsvæðum þar sem hætta er á flóðum⁶⁵. Einnig var gefin út skýrsla um Lágsvæði 2. áfangi, Skipulags- og byggingarráðstafanir og sjóvarnir⁶⁶.

Hafnamálastofnun og síðar Siglingastofnun þróuðu í samvinnu við Veðurstofu Íslands og Háskóla Íslands upplýsingakerfi um veður og sjólag sem heldur utan um m.a. öldumælingar og ölduspár við Ísland frá evrópsku veðurmiðstöðinni (ECMWF) og reiknilíkön fyrir sjávarföll og sjávarflóð við Ísland. Sjávarfallalíkan Siglingastofnunar reiknar sjávarföll út frá sjö sterkustu sjávarfallapáttunum við Ísland, sem eru stjarnfræðilegu stuðlarnir M2, S2, N2, K2, O1, Q1 og K1. Það byggir á tvívíðum hluta Princeton Ocean Model, sem notað er við útreikninga á sjávarföllum víða um heim. Verki verkfræðistofa hefur annast rekstur Reiknilíkans fyrir sjávarföll. Frá árinu 2013 hefur Upplýsingakerfið um veður og sjólag verið rekið af Vegagerðinni.

Reiknilíkan fyrir sjávarflóð frá 1996 var kvaðrað miðað við tvö ólík veðurskilyrði. Janúar veðrið 1990 (Mynd V2. 1) þegar lægðin kemur beint upp að landinu nálægt háfjöru þegar ekki var stórstreymt og miklu ölduálagi, áhrif loftþrýstings verða mikil og sjávarflóð allt að 70-80 cm í Reykjavík og veðrið 20. febrúar 1996 (Mynd V2. 2) á mjög hárrí sjávarstöðu, þegar lægðin fer langt fyrir vestan landið og þrýstingur lækkar ekki mikið á landinu, þótt veður sé slæmt. Vindáhlandi verður ekki mikill og sjávarflóðið reyndist aðeins um 10 cm hærra en reiknað.

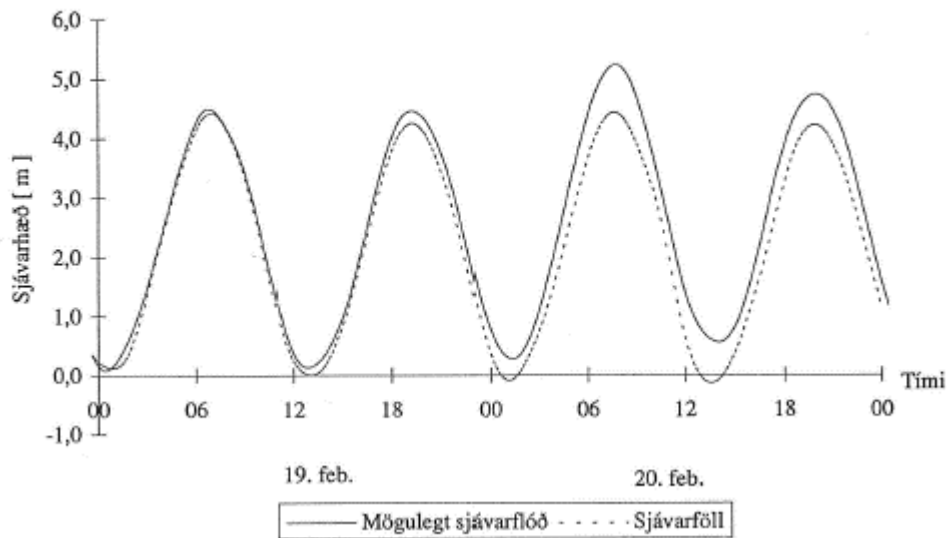
⁶³ Kjartan Gíslason Reiknilíkan Fyrir vindáhlaðanda við Ísland. Umhveris- og byggingarverkfræðiskor, Háskóli Íslands 1995.

⁶⁴ Gunnar Guðni Tómasson Ólöf Rós Káradóttir Kjartan Gíslason Reiknilíkan fyrir sjávarföll. Verkfræðistofnun Háskóla Íslands. 1996.

⁶⁵ Gylfi Ísaksson Gísli Viggósson Skipulags- og byggingareglum á lágsvæðum þar sem hætta er á flóðum. Skipulag ríkisins 1994, unnið af Fjarhitun hf. <http://ww2.sigling.is/lisalib/getfile.aspx?itemid=4488>,

⁶⁶ Gylfi Ísaksson Gísli Viggósson Sigurður Thoroddssen Freyr Jóhannesson Lágsvæði 2. áfangi, Skipulags- og byggingarráðstafanir og sjóvarnir. Vita- og Hafnmálastofnun, Skipulag ríkisins og Viðlagartrygging Íslands 1995, unnið af Fjarhitun hf. <http://ww2.sigling.is/lisalib/getfile.aspx?itemid=4489>.

Sjávarhæð í Reykjavík 19. og 20. febrúar 1996



Mynd V2. 3. Niðurstöður úr Reiknilíkani fyrir sjávarflóð, Reykjavík febrúar 1990

Það er því forvitnilegt að kanna hve há sjávarstaðan hefði orðið ef janúarlægðin hefði komið á stórstreymi. Með reiknilílaninu má meta þetta með því að láta lægðina ganga yfir landið á öðrum tíma en hún gekk yfir í raun. Þann 20. febrúar 1996 kl. 7:22 var stjarnfræðilegt flóð í Reykjavík 4,6 m samkvæmt töflum Sjómælinga Ísland. Helstu niðurstöður þessara útreikinga eru að sjávarhæð verður mest í Reykjavík ef lægðin er stödd rétt suðvestur af landinu á háflóði að morgni 20. febrúar. Á Mynd V2. 3 má sjá reiknaða flóðaspá og reiknuð sjávarföll án áhrifa veðurs fyrir tilvik sem gaf hæstu sjávarhæð í Reykjavík.

Staður	Meðal-sjávarhæð [m]	Reiknuð sjávarstaða		Sjávarföll		Mesti mismunur	
		Tími	Sjávarhæð [m]	Tími	Sjávarhæð [m]	Tími	Sjávarhæð [m]
Reykjavík	+2,15	07:40	5,24	07:40	4,44	08:20	0,82
Sandgerði	+1,96	07:30	4,85	07:30	4,04	07:50	0,81
Grindavík	+1,75	07:10	4,32	07:10	3,56	07:30	0,77
Þorlákshöfn	+1,64	07:10	4,09	07:00	3,37	07:30	0,72
Eyrarbakki	+1,64	07:00	4,08	07:00	3,37	07:30	0,71
Landeyjar*		07:00	2,08	07:00	1,48	07:10	0,61
Höfn*		06:10	1,60	06:10	1,31	19/2 21:50	0,36
Djúpivogur	+1,2	21/2 05:40	2,50	05:00	2,22	19/2 21:40	0,31
Akureyri	+0,65	12:00	2,19	12:10	1,57	11:50	0,62
Siglufjörður	+0,74	12:00	2,27	12:00	1,61	11:50	0,66
Flateyri	+1,25	09:50	3,64	09:40	2,80	10:10	0,84
Brjánslækur*		08:40	3,23	08:40	2,39	13:30	0,86
Arnarstapi*		08:00	2,98	07:50	2,13	08:20	0,85
Staðastaður*		07:50	3,04	07:50	2,19	12:50	0,87

* Ekki búið að leiðrétta m.v. meðalsjávarhæð

** Upplýsingar um meðalsjávarhæð fengnar hjá starfsmönnum Vita- og hafnamálastofnunar

Mynd V2. 4. Niðurstöður úr Reiknilíkani fyrir sjávarflóð, ýmsir sjávarfallamælar febrúar 1990.

Í töflu á Mynd V2. 4 má sjá hæstu reiknaða sjávarstöðu á nokkrum stöðum kringum landið. Tíminn miðast við 20. febrúar 1996.

15. Kvörðun áhlaðanda í Reykjavík í aftakaveðrinu 9. janúar 1990

Allt frá hádegi þann 7. janúar 1990 stefndi flóðalægðin svo til beint á suðvestur landið og allan þann tíma var vindhraði líklega milli 11 og 12 vindstig (28,5 -32,6m/s) austan við feril lægðarinnar. Loftþrýstingur var allan þennan tíma mjög lágur, eða á bilinu 928 – 977 mbör. Áhlaðandinn í Reykjavík var mestur, Mynd V2. 1, kl. 20:30 þann 8. janúar um 74sm en þá var loftþrýstingur um 944mbör í Reykjavík. Áhlaðandinn vegna loftþrýsings hefur verið um 0,84x (1013 – 944) eða um 58sm og 16sm verið vegna vindáhlanda, eða 0,018x30² jafnt og 16sm. (Við kvörðun Reiknilíkans fyrir sjávarföll var miðað við meðalloftþrýsting 1013 mbör).

16. Öldufar á grunnslóðum við Ísland og spá um sjávarflóð við strendur landsins

Á árunum 2009 og 2010 var unnið að verkefninu “Öldufar á grunnslóðum við Ísland” og verkefninu “ Spá um sjávarflóð við strendur landsins” þar sem leitast var við spá fyrir um sjávarflóð við Ísland á meðal annars vegna loftlagsbreytinga á vegum Rannsókn- og þróunarsvið Siglingastofnuna. Fyrsti áfangi var spálíkan fyrir suðvesturland og var stuðst við ölduspágögn frá veðurmiðstöðinni ECMWF í Englandi og öldufar reiknað inn Faxaflóa með DHI MIKE 21 SW öldureiknilíkani. Ölduhæðir utan Faxaflóa voru síðan

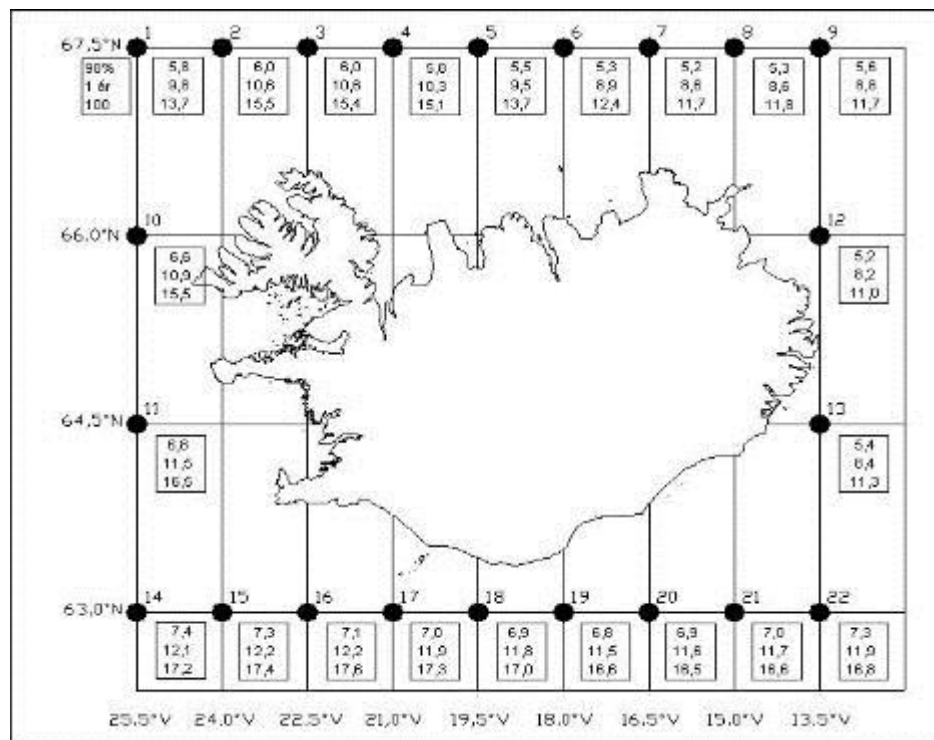
bornar saman við ölduhæðir á Garðskagadufli. Sjávarföll miðuðust við sjávarföll og áhlaðanda í Reykjavík samkvæmt Sjávarfallalíkani Siglingastofnunar. Líkanið var kvarðað miðað við aftakaveðrið 9. janúar 1990 bæði fyrir Garðskagadufli og fyrir dufl sem var staðsett utan Reykjavíkur á þessum tíma. Í framhaldinu voru reiknaðar ölduhæðir fyrir valda staði á Akranesi, Kjalanesi, Reykjavík, Seltjarnarnesi og Álftanesi. Á grundvelli ölduhæða og sjávarstöðu er upprensli og ágjöf reiknað og metin á hverjum stað. Er það byggt á upplýsingum á sjóvörnum á þessum stöðum. Verkefnið var unnið af Gísla Viggóssyni ásamt verkfræðingum Siglingastofnunar þeim Ingunni Jónsdóttur og Péttri Inga Sveinbjörnssyni, nú hjá siglingasviði Vegagerðarinnar.

17.Öldufar á hafi

17.1. Mælingar

Öldudufli af Waverider gerð hefur verið staðsett út af Garðskaga 64°3,150'N 22°52,62'V um 7 sjómílur frá Garðskaga á um 60 m dýpi síðan 1983.

Grunnurinn að ölduspálíkaninu eru ölduspágögn frá veðurmiðstöðinni ECMWF í Englandi. Líkindadreifing öldu með endurkomutíma minna en eitt ár er nálgueð með þriggja gilda Weibul líkindadreifingu, en fyrir endurkomutíma eitt ár og meira, nálgueð með Weibuldreifingu með þröskuldsgildi 5m. Sveiflutími orkutopps öldurófsins er áætlaður með líkingunni $T_p = 14.1 \cdot (H_s/g)^{1/2}$, þar sem g er þyngdarhröðunin. Siglingastofnun/Vegagerðin hefur í samvinnu við Veðurstofu Íslands fengið ölduspágögn frá Veðurmiðstöð Evrópuríkja í Reading í Englandi (ECMWF) fyrir valda punkta á miðunum hringinn í kringum landið. Það er ekki síst öldustefnan sem gerir gögnin mikilvæg þar sem duflin sem notueð eru við öldumælingarnar mæla ekki ölduáttir. Ölduhæðadreifingar eru nálgueðar með þriggja parametra Weibuldreifingu fyrir öldhæðir minni eða jafn 60%-99% tíðni en með Weibuldreifingu með 5 m þröskuldsgildi fyrir 1-100 ára endurkomutíma.



Mynd V2. 5. Yfirlit yfir ölduhæðir með endurkomutíma miðueð við 98 % tíðni, eins árs og 100 ára.

Öldufar utan Faxaflóa er fengin úr ECMWF gögnunum sem meðaltöl tveggja punkta: 63,0°N 24,0°V og 64,5°N 25,5°V og fyrir líkindadreifingu öldumælinganna á Garðskaga með $T_p = 14,1 \text{ v}$ (H_s/g) fyrir SV ölduáttir utan Garðskaga.

Endurkomutími	SV-átt		V-átt		NV-átt	
	Kennialda [m]	Sveiflutími [sek]	Kennialda [m]	Sveiflutími [sek]	Kennialda [m]	Sveiflutími [sek]
98%	5,6	10,7	3,7	8,7	-	-
1 ár	11,2	15,1	9,6	13,9	5,7	10,8
10 ár	14,2	17,0	13,0	16,2	7,2	12,0
100 ár	17,0	18,6	16,0	18,0	8,3	13,0

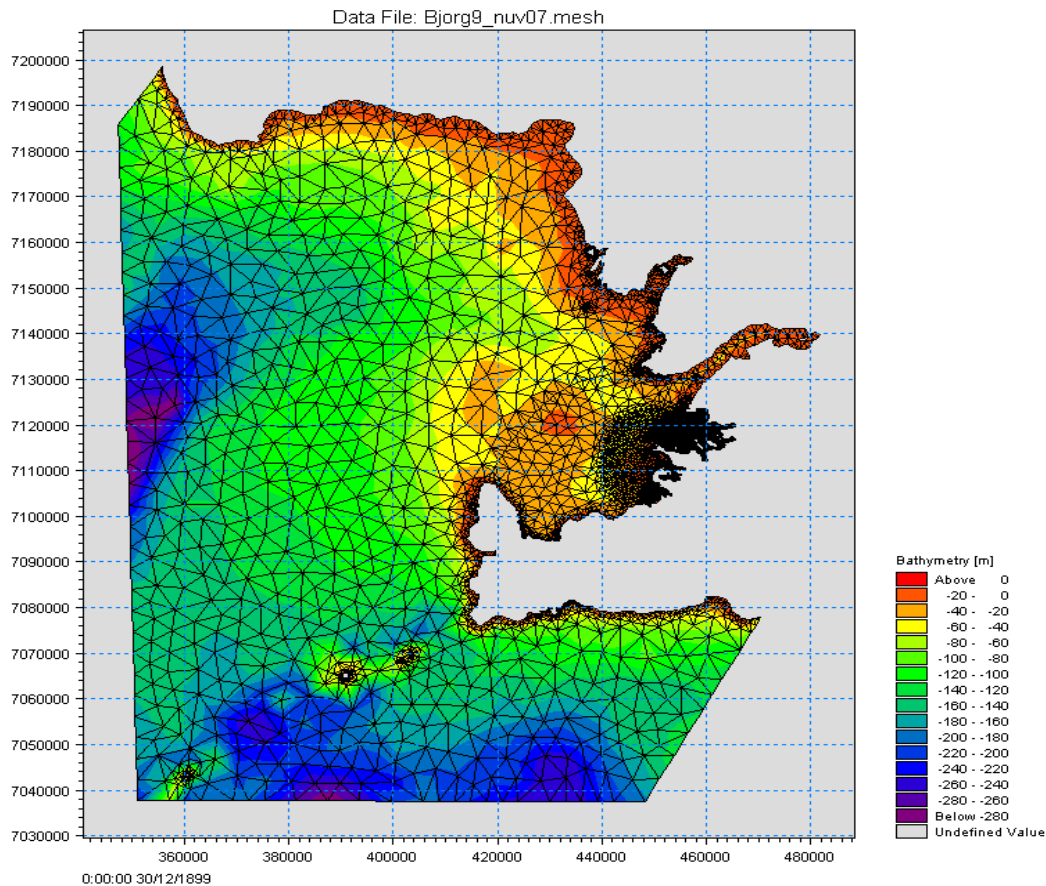
Mynd V2. 6. Öldufar utan Faxaflóa⁶⁷

17.2. Öldusveigjureikningar.

Útbreiðsla öldu er óháð sjávarbotni þegar dýpi er meira en hálf öldulengdin. Á grynri sjó eru öldulengdir og öldustefnur háðar breytingum á legu botnsins. Alda sem nálgast strönd sveigir frá upphaflegri stefnu til lands. Stefnubreytingin stafar af því að hraði öldunnar er háður dýpinu sem hún ferðast yfir en hraðinn minnkar með minnkandi dýpi. Öldutoppurinn, líka kallaður öldufaldur, myndar því boginn fald við ströndina þegar aldan kemur skáhalt að strönd. Þessi hegðun öldunnar er kölluð öldusveigja.

Siglingastofnun/Vegagerðin notar öldusveigjuforritið MIKE21 SW sem þróað er hjá dönsku straumfræðistofnunni DHI. Nákvæmar upplýsingar um dýpi, úthafsöldu og vind eru forsendur öldufarsreikninga. Forritið hefur m.a. verið kvarðað með hliðsjón af úrvinnslu öldumælinga við Garðskaga og eldri öldumælingum á Faxaflóa.

⁶⁷ Helgi Gunnar Gunnarsson. Öldureiknilíkan fyrir strönd Akraness og Akraneshöfn. Umhverfis- og byggingavrkræðideild. Háskóli Íslands. 2011.



Mynd V2. 7. Reiknilíkan fyrir öldusveigjureikninga, reikninetið fyrir dýpi í Faxaflóa og fyrir Reykjanes.

18. Aftakaflóðið 9. janúar 1990

18.1. Atburðarlýsing

Aftakaflóðið 9. janúar 1990 olli miklum skemmdum á mannvirkjum um sunnan- og vestan vert landið. Lægðin var víðáttumikil og um 928 hPa djúp. Aftakabrim var en ekki stórstreymt. Þá mældust hæstu ölduhæðir við Surtsey og Garðskaga sem mælst hafa hér við land. Hæsta ölduhæð við Surtsey mældist kl. 03 um nóttina Hs = 16,7 m og Tp = 19,4 sekúndur og hæsta aldan Hmax = 22,9 m. Hæsta ölduhæð við Garðskaga mældist kl. 09 Hmax = 25,3 m en hæsta kennialda mældist kl. 06 Hs = 16,3 m, Tp = 14,5 sekúndur.

18.2. Lýsing á veðurkortum 7.- 9. Janúar 1990

Í skýrslu um flóðaveðrið 9. Janúar 1990⁶⁸ og sjóvarnir á svæðum sem fyrir því urðu sem gefnin var út í ágúst 1990 er yfirgripsmikil greinagerð um flóðalægðina eftir Guðmund Hafsteinsson veðurfræðing ásamt samantekt af veðurfarspáttum flóðaverðanna 1925,

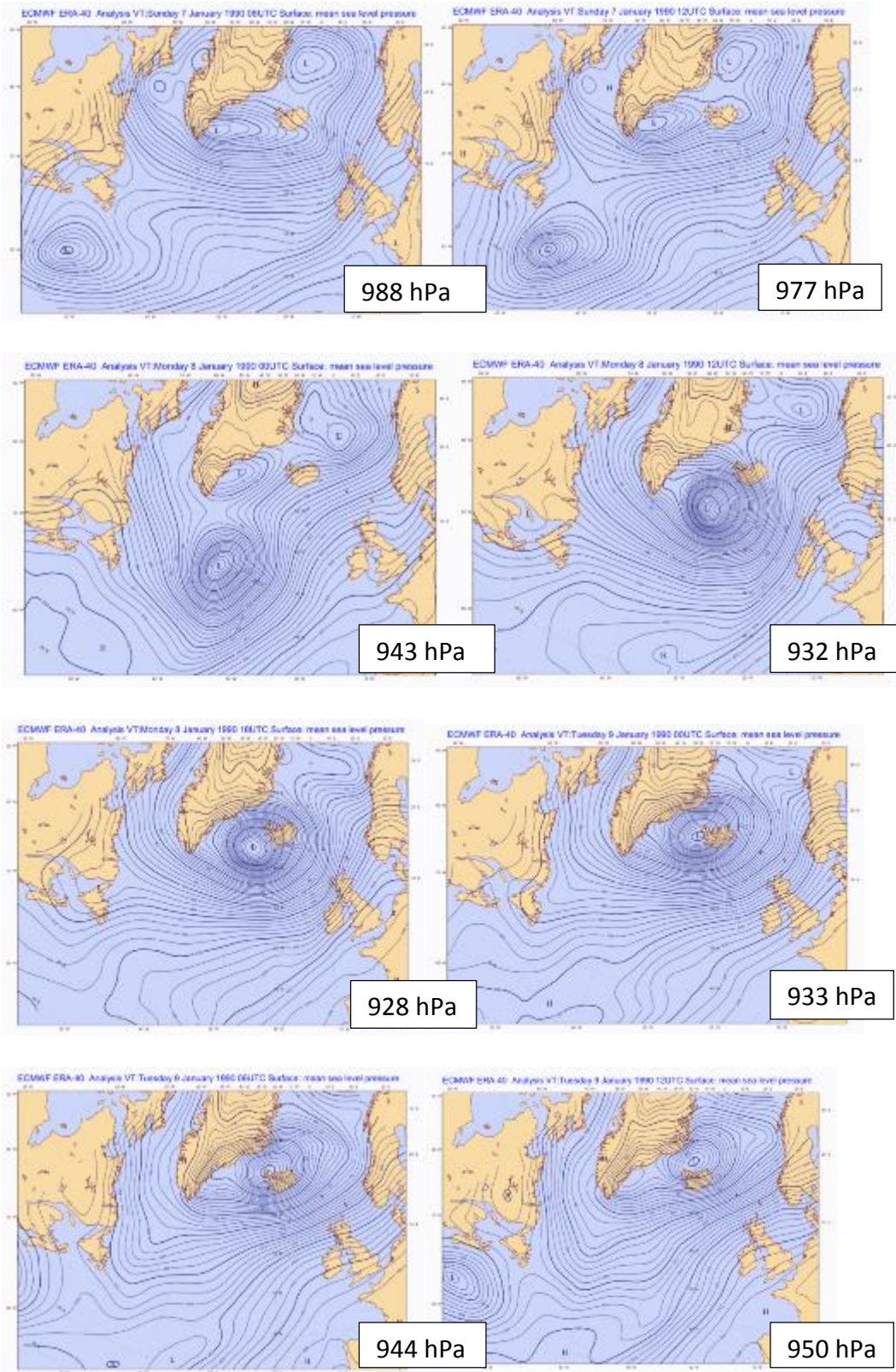
⁶⁸ Gylfi Ísaksson Gísli Viggósson Guðmundur Hafsteinsson. Flóðaveðrið 9. Jan 1990 og sjóvarnir á svæðum sem fyrir því urðu. Fjarhitun hf. og Hafnamálastofnun ríkisins. Ágúst 1990.

1936, 1975, 1977, 1894,1988 og 1990 og kortum sem sýna ferlil lægðanna og dýpt á hverjum tíma:

Flóðalægðin sjálf kemur fyrst fram sem sjálfstæð lægð á Atlantshafi um miðjan dag 6. janúar á u.þ.b. 34°N 73°V, og er þá um 1013 mb í lægðarmiðju. Hún hreyfist ákveðið til ANA og fer talsvert dýpkandi, og á miðnætti aðfaranótt 7. janúar er þrýstingur í lægðarmiðju u.þ.b. 998 mb. Lægðin er þá á 39°N 59°V og skip nokkru sunnar tilkynnir um SV 9 vindstig. Lægðin er þá þegar farin að dýpka mjög mikið og loftvog virðist falla um ein 10 mb á 3 klst. á undan lægðinni. Á hádegi 7. janúar er þrýstingur í lægðarmiðju orðinn 977 mb, eða um 20 mb lægri en hann var hálfum sólarhring áður. Loftvog fellur um 12-14 mb á 3 klst. á undan lægðinni og á stóru svæði í hlýja geiranum virðist vera komin S- og SV 10-11 vindstig.

Tafla V2 1. Ferill og dýpt lægðar.

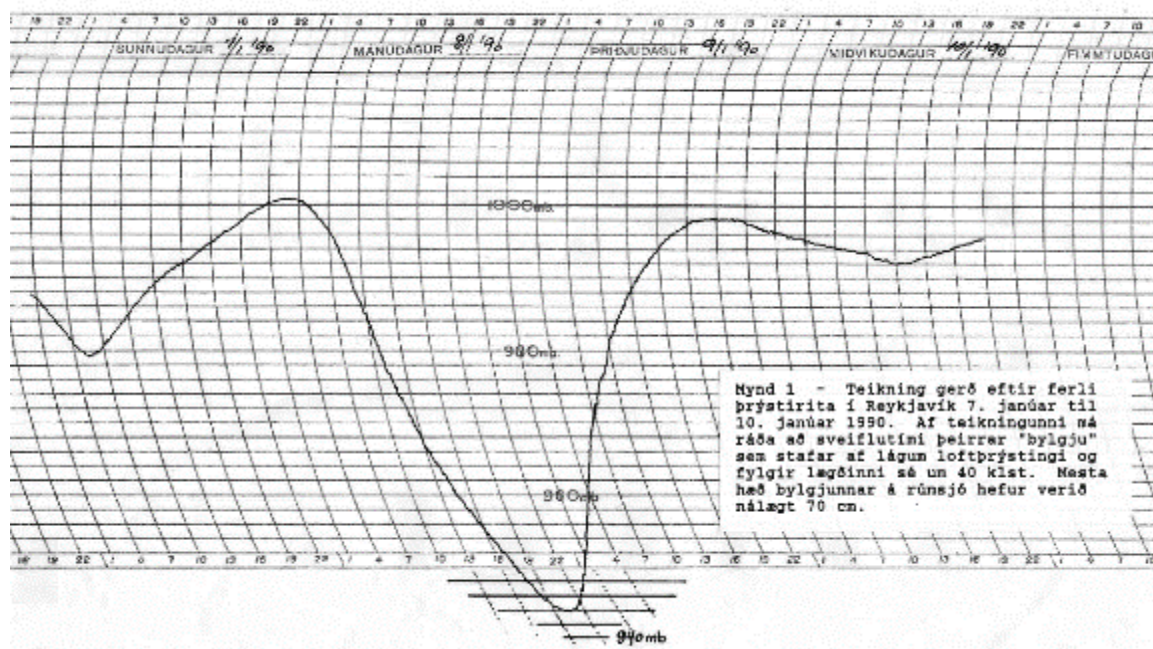
Dagur kl.	N breidd	V lengd	Loftþrýst.	Athugasemdir
6/1 kl. 12	34,0N	73,0V	1013 mb	
6/1 kl. 18	-	-	-	
7/1 kl. 00	39,0N	59,0V	998 mb	
7/1 kl. 06	41,5N	51,5V	988 mb	
7/1 kl. 12	45,0N	44,0V	977 mb	
7/1 kl. 18	48,5N	40,5V	954 mb	
8/1 kl. 00	53,0N	35,0V	943 mb	
8/1 kl. 06	57,0N	36,5V	934 mb	
8/1 kl. 12	61,4N	28,3V	932 mb	
8/1 kl. 15	61,9N	27,0V	930 mb	
8/1 kl. 18	62,7N	25,5V	928 mb	dýpst
8/1 kl. 21	64,0N	24,6V	931 mb	
9/1 kl. 00	64,8N	25,3V	933 mb	
9/1 kl. 03	66,0N	22,4V	940 mb	
9/1 kl. 06	67,3N	21,5V	944 mb	
9/1 kl. 12	68,2N	20,5V	950 mb	



Mynd V2. 8. Veðrið 7 - 9. Janúar 1990. Veðurkort evrópsku veðurmiðstöðvarinnar

Um þessar mundir er lægðin stödd tæplega 600 km ASA af Nýfundnalandi og hreyfist hratt til norðausturs. Hraði hennar virðist vera um 50 hnútar og hér tekur hún að dýpka gríðarlega. Er helst að sjá að hún dýpki um rúmlega 20 mb á næstu 6 klst. Fram til miðnættis aðfaranótt 8.

að morgni 8. janúar er lægðin orðin 934 mb djúp og hefur þá dýpkað um 54 mb á einum sólarhring. En þrátt fyrir það hve djúp lægðin er orðin heldur hún sínu striki enn um sinn en yfirleitt hægja svo djúpar lægðir mjög ferðina og taka að leita til vinstri. Það er ekki fyrir en undir kvöld þann 8. janúar sem þess verður vart að lægðin hægi ferðina. Kl. 18 virðist lægðin vera einna dýpst eða um 928 mb í lægðarmiðju. Þá er hún stödd tæplega 200 km SV af Reykjanesi og virðist stefna beint á Reykjanes, en sveigir nokkuð af leið síðar um kvöldið þannig að hún fer norður fyrir vestan landið og á þeirri leið er hraði hennar varla miklu meiri en 20 hnútar. Kl. 21 er hún tæplega 100 km vestur af Garðsskaga og farin að grynnast lítið eitt. Þaðan stefnir hún til norð-norðvesturs og er skammt út af Snæfellsnesi á miðnætti. Þaðan tekur hún síðan strikið norðaustur yfir Vestfirði og eykur hraðann aftur. Frá miðnætti til kl. 6 að morgni 9. janúar virðist hraði hennar vera að jafnaði um 30 hnútar og þrýstingur í lægðarmiðju hefur hækkað í 944 mb. Ferill lægðarinnar og dýpt á hverjum tíma er sýndur í töflu 1 og einnig á korti V2.18.

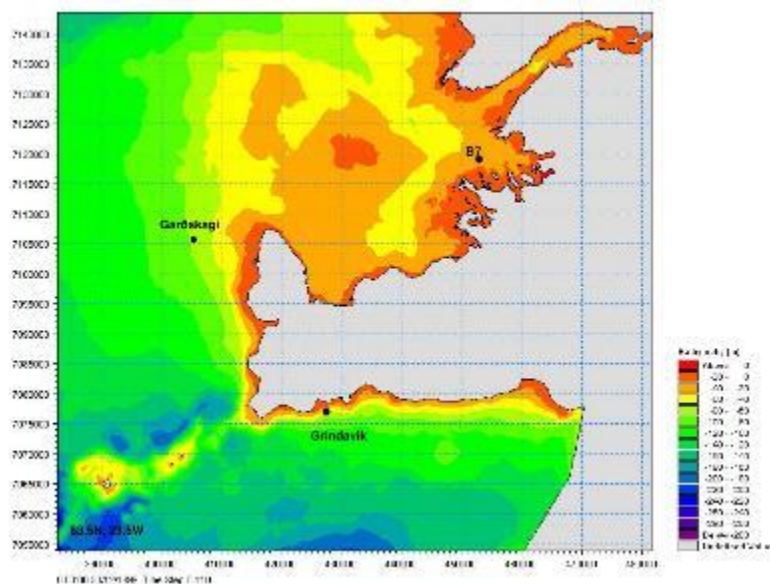


Mynd V2. 10. Teikning gerð eftir ferli þrýstirita í Reykjavík 7. Til 10 janúar 1990⁶⁹.

Þessi lægð er með allra dýpstu lægðum sem hingað koma og það verður að teljast mjög óvenjulegt að svo djúp lægð fari svo hratt jafnlanga leið og hér varð raunin á. Allt frá því á hádegi 7. janúar stefnir lægðin svo til beint á suðvestanvert landið og allan þann tíma eru líklega 11-12 vindstig hægra megin við feril lægðarinnar. Þar til á hádegi 8. janúar er hraði lægðarinnar að meðaltali um 47 hnútar. Hún hefur því fylgt dyggilega

⁶⁹ Gylfi Ísaksson Gísli Viggósson Guðmundur Hafsteinnsson. Flóðaveðrið 9. Jan 1990 og sjóvarnir á svæðum sem fyrir því urðu. Fjarhitun hf.og Hafnamálastofnun ríkisinsins. Ágúst 1990.

þeim öldum sem berast með slíkum hraða og nært þær stöðugt í heilan sólarhring á sunnan- og suðvestan ofsaveðri og jafnvel fárviðri.

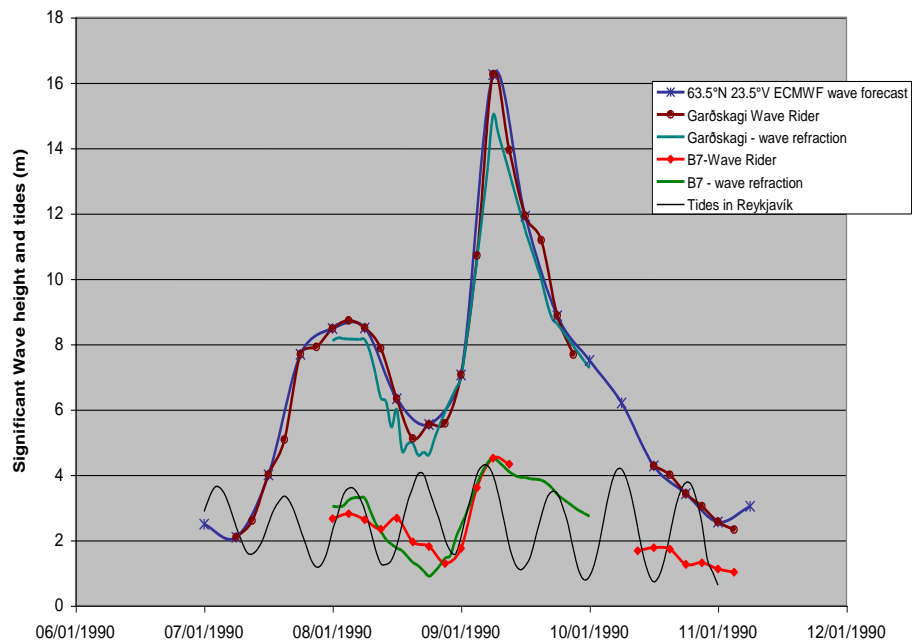


Mynd V2. 11. Öldureikniforrit, staðsetning öldumældufla og sjávardýpi.

Öldufar frá þessari lægð var reiknað í öldusveigjuforritinu MIKE21 SW og fyrir veðurgögnin frá ECMWF og niðurstöður bornar saman við mældar ölduhæðir á öldumældisduflum sem sýnd eru á Mynd V2. 10. Þá voru mæld sjávarföll borin saman við spáð sjávarföll úr reiknilíkani fyrir Reykjavík. Niðurstöður þessara útreikninga eru sýndir í töflu 2 ásamt Mynd V2. 12. Ölduhæðir voru reiknaðar fyrir valda staði til að reikna upprennslu og ágjöf fyrir þá staði. Í töflu V2 2. eru sýndar niðurstöður þessara reikninga s.s. fyrir hæðarmun, upprennslu og ágjöf samkvæmt fræðum í viðauka 1. Verkefnið var unnið af Gísla Viggóssyni ásamt verkfræðingum Siglingastofnunar þeim Ingunni Jónsdóttur og Pétri Inga Sveinbjörnssyni, nú hjá siglingasviði Vegagerðarinnar.

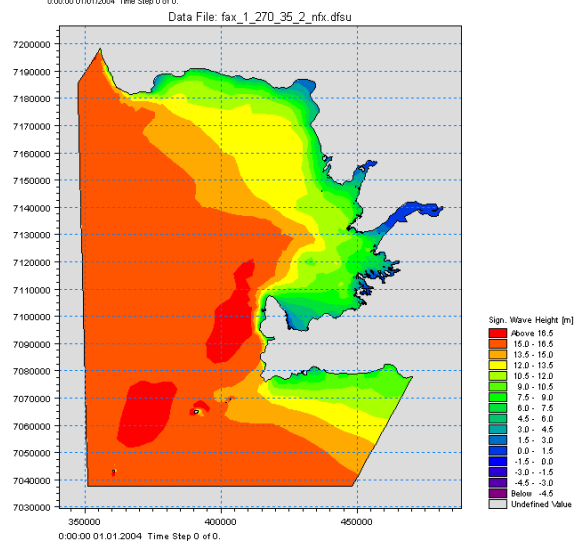
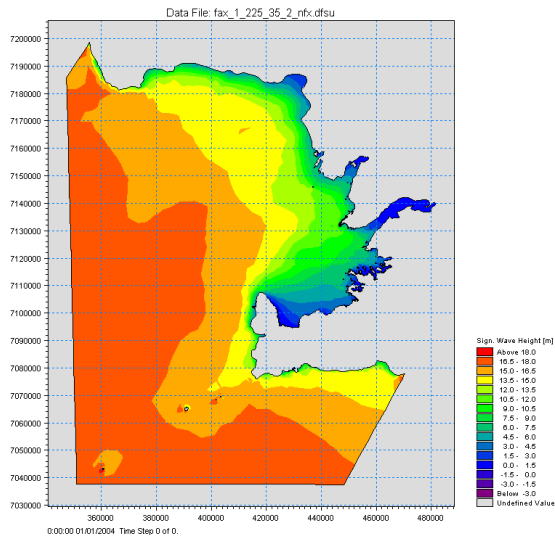
Tafla V2. 2. Aftaka sjávarflóð á Faxaflóasvæðinu í janúar 1990. Yfirlit yfir samanburð á reiknuðum og mældum kenniöldum og sjávarhæðum ásamt reiknuðum kenniöldum, upprennslí og ágjöf á völdu stöðum framan við sjóvarnir á lágsvæðum.

			8.1.1990 23:00	9.1.1990 00:00	9.1.1990 01:00	9.1.1990 02:00	9.1.1990 03:00	9.1.1990 04:00	9.1.1990 05:00	9.1.1990 06:00	9.1.1990 07:00	9.1.1990 08:00	9.1.1990 09:00	9.1.1990 10:00	9.1.1990 11:00	9.1.1990 12:00	9.1.1990 13:00	
ECMPFW (63.5N23W)	Vindhraði (m/s)			23,2						23,7						22,2		
	Vindátt (°)			231						244						245		
	Loftþrýst. (hPa)																	
	Hs (m)			7,06						16,25						11,92		
	Tp (s)			13,51						18,88						15,48		
	Ölduátt (°)			206						226						235		
63.5,23.5 (Mike)	Hs (m)																	
Garðskagi	Hs (m)		6,63	6,97	8,09	9,30	10,59	11,97	13,42	15,01	14,43	13,84	13,25	12,66	12,07	11,48	10,98	
	Tp (s)		13,69	13,98	14,98	15,86	16,71	17,53	18,33	19,05	18,60	18,14	17,67	17,21	16,74	16,28	16,08	
Garðskagaduffl mælt	Hs (m)			7,06			10,71			16,25			13,94			11,92		
	Tp (s)			13,51			16,04			18,88			16,33			15,48		
Grindavík Mike	Hs (m)		6,26	6,33	7,30	8,24	9,12	9,93	10,66	11,31	10,61	9,93	9,27	8,66	8,08	7,55	7,23	
	Tp (s)		13,63	13,99	14,95	15,87	16,75	17,6	18,42	19,2	18,69	18,18	17,67	17,16	16,65	16,15	15,94	
B7 Mike	Hs (m)		2,06	2,45	2,82	3,26	3,72	4,10	4,37	4,53	4,41	4,25	4,10	3,99	3,93	3,92	3,88	
	Tp (s)		8,41	8,64	8,74	8,87	8,99	9,10	9,19	9,23	9,18	9,14	9,11	9,05	9,01	8,94	8,71	
B7 mælt	Hs (m)			1,75			3,61			4,51			4,33					
	Tp (s)																	
Reykjavík mæld			1,59	2,10	2,80	3,41	4,02	4,27	4,28	3,99	3,40	2,61	1,83	1,31	1,10	1,21	1,52	
Sjávarfallaspá, 63st																		
Sjávarfallaspá, 7st			0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Áhlaðandi Spá 63 +áhl.			1,59	2,10	2,80	3,41	4,02	4,27	4,28	3,99	3,40	2,61	1,83	1,31	1,10	1,21	1,52	
			0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Ölduhæðir																		
Ölduhæðir	1	Akranes	2,48	2,76	3,18	3,55	3,93	4,13	4,21	4,14	3,81	3,39	2,96	2,66	2,53	2,57	2,72	
	2	Kjalarnes	0,94	1,04	1,13	1,24	1,36	1,47	1,55	1,62	1,58	1,52	1,46	1,41	1,38	1,36	1,34	
	3	Sæbraut	0,33	0,38	0,44	0,51	0,59	0,64	0,67	0,68	0,64	0,60	0,55	0,52	0,50	0,50	0,51	
	4	Ananaust	0,72	0,86	1,08	1,32	1,56	1,73	1,81	1,80	1,65	1,45	1,25	1,11	1,06	1,07	1,13	
	5	Seltj.nes N	1,40	1,62	1,97	2,31	2,64	2,84	2,95	2,93	2,71	2,42	2,11	1,90	1,80	1,83	1,94	
	6	Seltj.nes V	1,75	2,06	2,47	2,92	3,36	3,71	3,94	4,03	3,80	3,50	3,19	2,97	2,86	2,87	2,94	
	7	Seltj.nes S	0,79	0,89	1,02	1,16	1,32	1,42	1,49	1,49	1,38	1,23	1,09	1,00	0,95	0,96	0,99	
	8	Álfarnes NV	1,17	1,40	1,70	2,00	2,28	2,44	2,50	2,45	2,24	1,97	1,69	1,49	1,40	1,44	1,54	
	9	Álfarnes V	1,60	1,90	2,20	2,54	2,90	3,19	3,41	3,51	3,32	3,09	2,86	2,69	2,61	2,60	2,62	
Hæðarmunur																		
Hæð á landi (+6.0m) yfir flóðhæð	1	Akranes	6	4,41	3,90	3,20	2,59	1,98	1,73	1,72	2,01	2,60	3,39	4,17	4,69	4,90	4,79	4,48
	2	Kjalarnes	6	4,41	3,90	3,20	2,59	1,98	1,73	1,72	2,01	2,60	3,39	4,17	4,69	4,90	4,79	4,48
	3	Sæbraut	6	4,41	3,90	3,20	2,59	1,98	1,73	1,72	2,01	2,60	3,39	4,17	4,69	4,90	4,79	4,48
	4	Ananaust	6	4,41	3,90	3,20	2,59	1,98	1,73	1,72	2,01	2,60	3,39	4,17	4,69	4,90	4,79	4,48
	5	Seltj.nes N	6	4,41	3,90	3,20	2,59	1,98	1,73	1,72	2,01	2,60	3,39	4,17	4,69	4,90	4,79	4,48
	6	Seltj.nes V	6	4,41	3,90	3,20	2,59	1,98	1,73	1,72	2,01	2,60	3,39	4,17	4,69	4,90	4,79	4,48
	7	Seltj.nes S	6	4,41	3,90	3,20	2,59	1,98	1,73	1,72	2,01	2,60	3,39	4,17	4,69	4,90	4,79	4,48
	8	Álfarnes NV	6	4,41	3,90	3,20	2,59	1,98	1,73	1,72	2,01	2,60	3,39	4,17	4,69	4,90	4,79	4,48
	9	Álfarnes V	6	4,41	3,90	3,20	2,59	1,98	1,73	1,72	2,01	2,60	3,39	4,17	4,69	4,90	4,79	4,48
Upprennslí																		
Hæð á sjóvarnir m. v. 10% upprennslí (EurOtop)	1	Akranes	5,33	6,27	7,60	8,78	9,95	10,51	10,64	10,24	9,16	7,72	6,30	5,33	4,92	5,09	5,63	
	2	Kjalarnes	3,00	3,67	4,51	5,29	6,07	6,48	6,63	6,44	5,78	4,91	4,03	3,44	3,18	3,27	3,54	
	3	Sæbraut	2,09	2,68	3,47	4,19	4,90	5,24	5,30	5,02	4,37	3,51	2,66	2,09	1,86	1,97	2,28	
	4	Ananaust	2,68	3,40	4,43	5,40	6,38	6,88	7,02	6,71	5,89	4,80	3,72	2,99	2,69	2,83	3,23	
	5	Seltj.nes N	3,70	4,55	5,77	6,90	8,00	8,57	8,73	8,41	7,50	6,26	5,02	4,17	3,82	3,97	4,45	
	6	Seltj.nes V	4,24	5,20	6,53	7,81	9,10	9,87	10,23	10,08	9,14	7,90	6,65	5,79	5,41	5,54	5,96	
	7	Seltj.nes S	2,78	3,45	4,34	5,17	6,01	6,42	6,52	6,24	5,48	4,47	3,48	2,82	2,54	2,66	3,02	
	8	Álfarnes NV	3,36	4,22	5,37	6,43	7,46	7,96	8,06	7,69	6,79	5,58	4,37	3,56	3,22	3,38	3,85	
	9	Álfarnes V	4,01	4,96	6,12	7,25	8,41	9,09	9,42	9,29	8,42	7,28	6,15	5,38	5,04	5,14	5,47	
Ágjöf																		
Ágjöf yfir sjóvarnir (l/s/m) (EurOtop)	1	Akranes	1	4	35	147	480	767	829	564	203	39	5	1	0	0	1	
	2	Kjalarnes	0	0	0	0	1	5	7	4	1	0	0	0	0	0	0	
	3	Sæbraut	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	4	Ananaust	0	0	0	0	4	14	19	9	1	0	0	0	0	0	0	
	5	Seltj.nes N	0	0	1	13	85	183	216	133	34	4	0	0	0	0	0	
	6	Seltj.nes V	0	0	6	53	258	523	659	511	200	48	9	2	1	1	3	
	7	Seltj.nes S	0	0	0	0	1	4	6	2	0	0	0	0	0	0	0	
	8	Álfarnes NV	0	0	0	5	40	92	105	55	10	1	0	0	0	0	0	
	9	Álfarnes V	0	0	3	24	135	296	386	295	104	22	4	1	0	1	1	
Ágjöf yfir sjóvarnir (m ³ /klst/m) (EurOtop)	1	Akranes	2	16	124	529	1727	2760	2983	2032	731	141	18	3	1	2	5	
	2	Kjalarnes	0	0	0	0	4	18	27	16	2	0	0	0	0	0	0	
	3	Sæbraut	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	4	Ananaust	0	0	0	0	13	51	70	32	3	0	0	0	0	0	0	
	5	Seltj.nes N	0	0	4	46	306	659	779	481	123	14	1	0	0	0	0	
	6	Seltj.nes V	0	1	22	189	928	1884	2373	1840	720	172	32	8	4	5	10	
	7	Seltj.nes S	0	0	0	0	3	14	20	8	1	0	0	0	0	0	0	
	8	Álfarnes NV	0	0	1	16	143	330	378	198	36	2	0	0	0	0	0	
	9	Álfarnes V	0	0	5	85	486	1066	1388	1063	375	79	13	3	2	2	4	

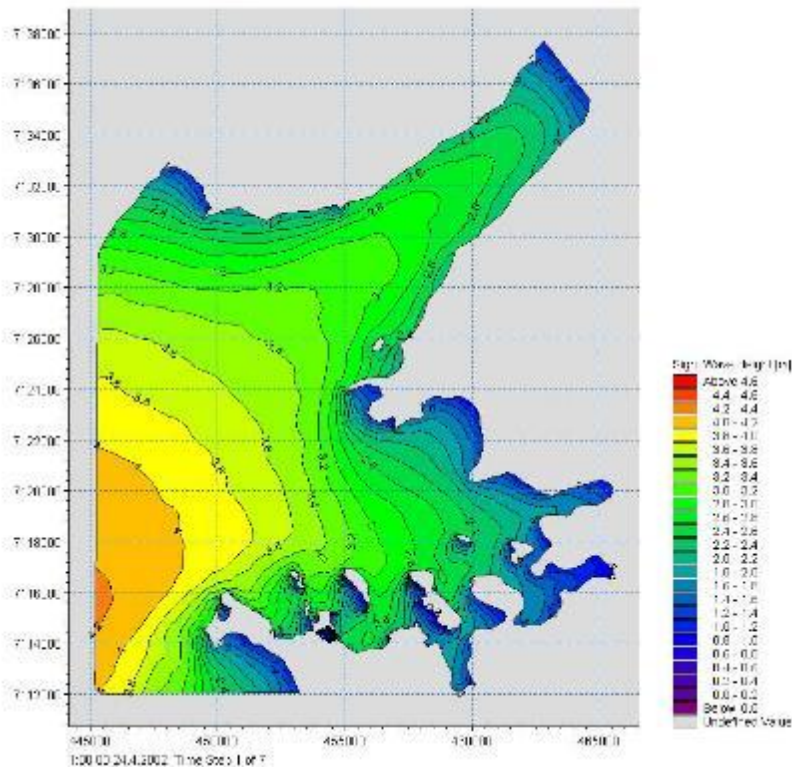


Mynd V2. 12. Samanburður á mældum ölduhæðum og reiknuðum ölduhæðum í aftaka-veðrinu 9. janúar 1990 byggt á öldufarsreikningum í töflu 2.

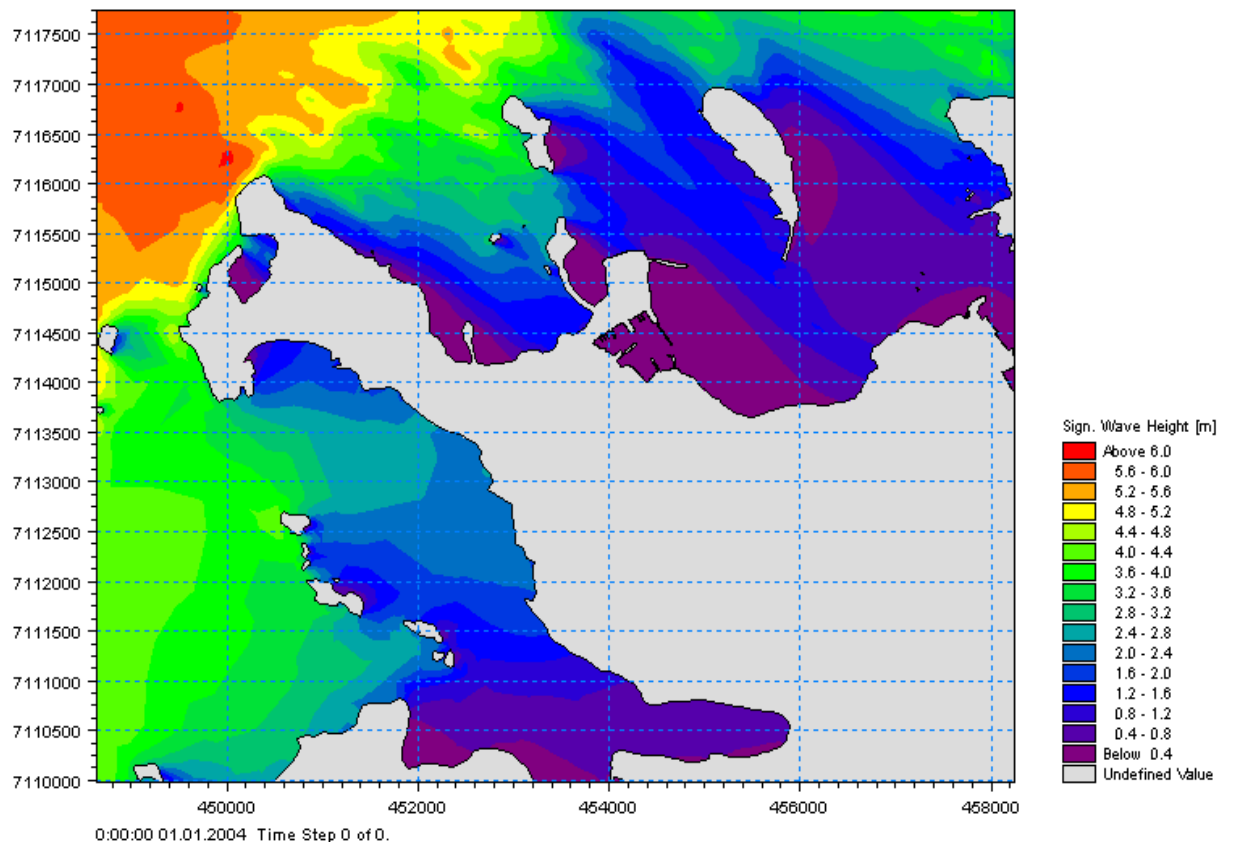
Hér á eftir eru myndir af öldufari í stærri kvarða reiknað fyrir niðurstöður í töflu 2, kenniöldu af á hafi 16,0 m og sveiflutíma orkutopps 20 sek., Myndir V2. 13 til V2.16.



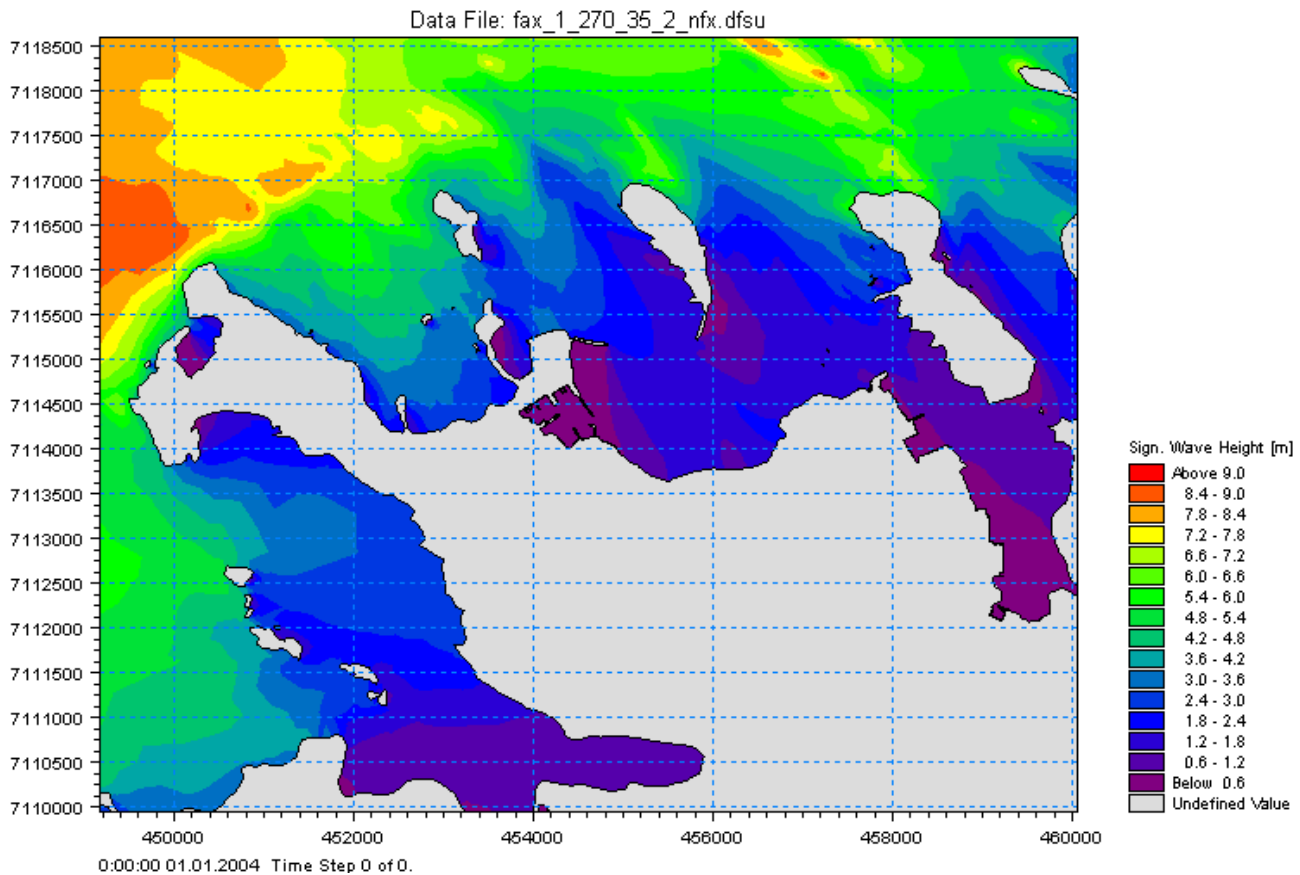
Mynd V2. 13. Sýnir öldufar á stórstraumsflóði í suðvestan (t.v.) og vestan ölduátt (t.h.) þegar kennialdan við Garðskagadufl er 16,0 m og sveiflutími orkutopps er 20,0 s.



Mynd V2. 14. Innri hluta Faxaflóa, Sundunum og upp í Hvalfjörð.



Mynd V2. 15. Myndin sýnir öldufar við Seltjarnarnes á stórstraumsflóði í suðvestan ölduátt þegar þegar kennialdan á hafi er 16,0 m og sveiflutími orkutopps er 20,0 s.



Mynd V2. 16. Myndin sýnir öldufar við Seltjarnarnes á stórstraumsflóði í vestan ölduátt þegar þegar kennialdan á hafi er 16,0 m og sveiflutími orkutopps er 20,0 s.

Á myndunum V2. 13 – 16 sést greinilega hve miklu minni aldan er við ströndina en úti á hafi nema yst á Reykjanesi er úthafsalda það nálægt að ölduáhlaðandi svarandi til hennar hæðar nær að skapast. Ef litið er til þess að ekki er stórstreymt fyrr en þremur til fjórum dögum síðar og að lægðin fer hjá því sem næst á háfjöru við suðurströndina virðist ljóst að lægðir á borð við þessa eru líklegar til að valda flóðum hvað sem líður sjávarföllum eða stórstreymi. Þá virðist einnig ljóst að tjón af völdum þessarar lægðar hefði orðið margfalt meira ef hana hefði borið að á stórstraumsflóði. Staðfest er að Básendaveðrið bar að á stórstraumsflóði. Nánar þarf að reikna öldufar, áhlaðanda og upprennslu frá þessari lægð út frá þeirri forsendu að hún hitti á stórstraumsflóð eins og Básendaveðrið og má þá vera að tölfraðileg staða Básendaflóðsins skýrist verulega. Þar með mundi skýrast hvar er að búast við tjóni og hvaða viðbúnað almannavarnir þurfa að hafa.

19. Bráðbirgðaniðurstöður á ákvörðun á flóðhæð í Básendaflóðinu

19.1. Ölduhæðir og hæð á sjávarkömbum við Básenda og innan við Lambastaði og í Kvosinni í Reykjavík.

Ölduhæðin framan við Básenda í Básendaflóðinu hefur verið milli 14 til 16m samkvæmt öldufarsreikningunum á Mynd V2. 13. Aldan innan við Lambastaði er samkvæmt öldufarsreikningum í töflu 2, um 2,6m miðað við stórstraumsflóð og 16 m kenniöldu á hafi. Aldan hækkar um 11% þegar flóðhæð hækkar úr +4,0m í +5,0m og hækkar um 12,5% þegar aldan á hafi hækkar úr 16 m í 18 m. Miðað við 18 m öldu í hafi og +5,0m flóðhæð er aldan í Básendaflóðinu áætluð um 3,2m innan við Lambastaði og einnig frama við Eiðsgranda. Aldan framan við sjávarkambinn í Kvosinni er hér áætluð um 1,5m í Básendaflóðinu.

Tafla 3. Bráðbirgðaniðurstöður. Aftaka sjávarflóð á Faxaflóasvæðinu í janúar 1990 og 5.janúar 1984 . Yfirlit yfir samanburð á reiknuðum og mældum kenniöldum og sjávarhæðum ásamt reiknuðum kenniöldum á völdu stöðum framan við sjóvarnir á lágsvæðum.

		Aftaka sjávarflóð á Faxaflóasvæðinu											
		Ölduhæðir og sveiflutími											
		9.jan.1990	9.jan.1990	9.jan.1990	9.jan.1990	9.jan.1990	9.jan.1990	9.jan.1990	9.jan.1990	9.jan.1990	5.jan.1984	5.jan.1984	5.jan.1984
		0 kl.6:00*	0 kl.6:00	0 kl.6:00	0 kl.6:00	0 kl.6:00	0 kl.6:00	0 kl.6:00	0 kl.6:00	0 kl.6:00	4 kl.6:00*	4 kl.6:00	4 kl.6:00
		30.tímabrep	Eitt tímabrep	Eitt tímabrep	Eitt tímabrep	Eitt tímabrep	Eitt tímabrep	Eitt tímabrep	Eitt tímabrep	Eitt tímabrep	30.tímabrep	Eitt tímabrep	Eitt tímabrep
	Vindhraði (m/s)	23,7	23,7	23,7	23,7	23,7	23,7	23,7	23,7	23,7	22,0	22	22
	Vindátt (°)	244	244	244	244	244	244	244	244	244	267	267	267
	Hs (m)	16,25	16,25	16,25	16,25	16,25	16,25	16,25	16,25	16,25	14,00	14,00	14,00
	Tp (s)	18,9	18,9	18,9	18,9	18,9	18,9	18,9	18,9	18,9	15,3	15,3	15,3
	Ölduátt (°)	226	226	226	270	270	270	270	270	270	245	245	245
	Flóðhæð (m)	4,00	4,00	5,00	4,00	5,00	6,00	3,41	3,41	5,00			
		Hs(m)	Hs(m)	Hs(m)	Hs(m)	Hs(m)	Hs(m)	Hs(m)	Hs(m)	Hs(m)	Hs(m)	Hs(m)	Hs(m)
Ölduhæðir	1	Akranes	3,18	3,21	3,61	3,31	3,74	4,15	2,88	2,87	3,50		
	2	Kjalarnes	1,54	1,51	1,55	1,67	1,72	1,76	1,51	1,51	1,56		
	3	Sæbraut	0,57	0,58	0,63	0,62	0,66	0,73	0,56	0,56	0,64		
	4	Ánanaust	1,79	1,82	2,06	1,89	2,15	2,39	1,66	1,66	2,04		
	5	Seltj.nes N	2,59	2,61	2,91	2,67	3,00	3,29	2,35	2,34	2,82		
	6	Seltj.nes V	3,41	3,43	3,86	3,53	4,00	4,45	3,09	3,08	3,79		
	7	Seltj.nes S	1,37	1,36	1,51	1,42	1,59	1,76	1,27	1,26	1,52		
	8	Álfanes NV	2,29	2,30	2,61	2,31	2,63	2,93	2,05	2,05	2,53		
	9	Álfanes V	3,49	3,53	3,80	3,88	4,22	4,55	3,34	3,36	3,80		

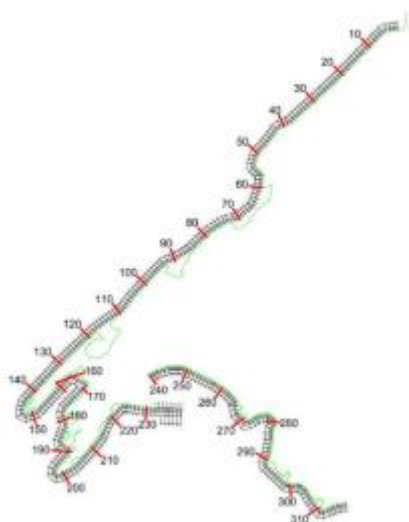
Að sjálfsögðu þarf að endurreikna þessi ölduskilyrði til að fá ölduhæðina rétta framan við Básenda, við Lambastaði, framan við Eiðsgranda og framan við Kvosina. Jafntframt þarf að leitast við að fá mat á feril lægðarinnar til að spá fyrir um ölduhæðir og ekki síður til að meta loftþrýsting og vindharða meðfram ströndinni til að meta hækkun sjávarborðs vegna lágs loftþrýstings og vindáhlaðanda.

20. Dæmi um ágang sjávar við byggð á Akranes

Vegna þessa hve aldan er breytileg eftir ströndinni er talið nauðsynlegt að reikna öldufar meðfram valdri byggð á lágsvæðum. Dæmi um breytilega ölduhæð meðfram strönd á lágsvæði er öldufar við Akranes. Á Mynd V2. 13 (t.h.) sést vel hvenig mjög há alda nær alla leið upp að Akranesi. Vitnað er í meistararitgerð Öldureiknilíkan fyrir strönd Akraness og Akraneshöfn, 2011⁷⁰ en í ritgerðinni er reiknuð ölduhæðir með endurkomutíma 98% af tímanum og 1 ár, 10 ár og 100 ár, um 50 m frá landi eftir allri ströndinni á Akranesi fyrir +4,0 +4,5 +5,0 +5,5 og +6,0m hárar sjávarstöður.

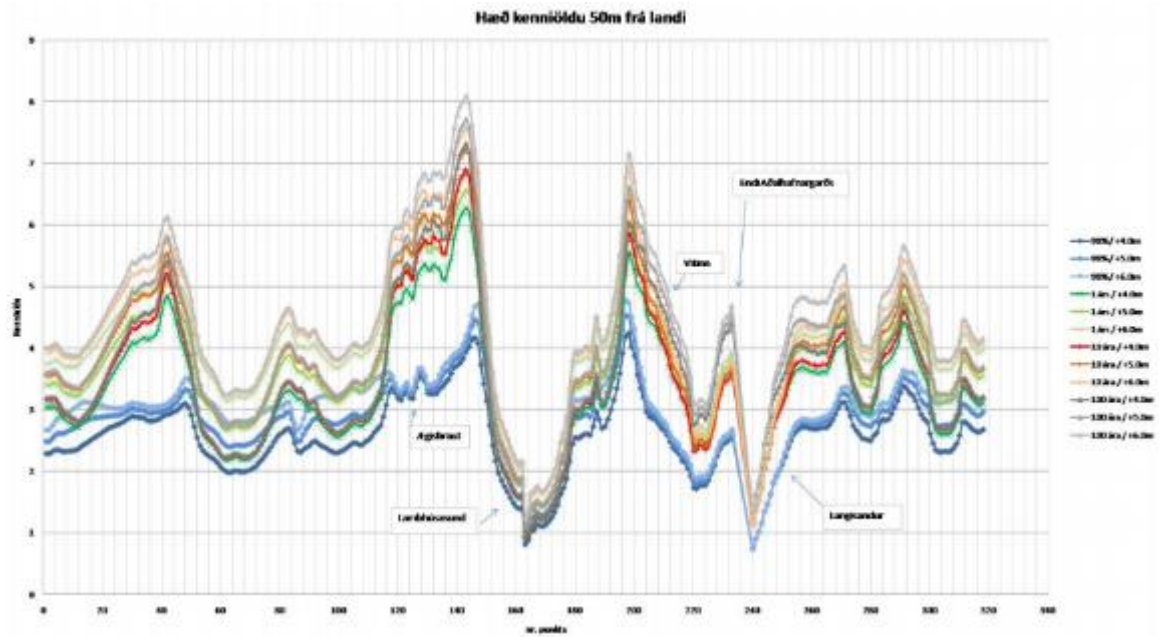


Mynd V2. 17. Staðsetning reiknipunkta með loftmynd.

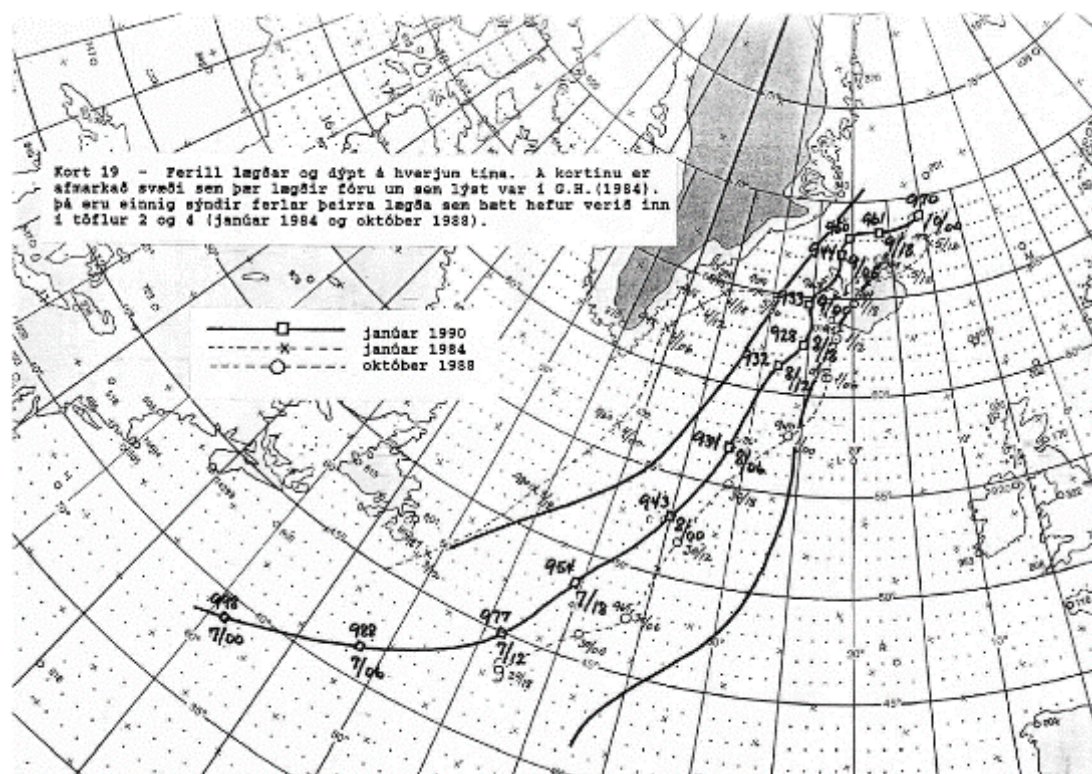


Mynd V2. 18. Númer og staðsetning mælipunkta í öldusveigjueikningum.

⁷⁰ Helgi Gunnar Gunnarsson. Öldureiknilíkan fyrir strönd Akraness og Akraneshöfn. Umhverfis- og byggingavrkræðideild. Háskóli Íslands. 2011.



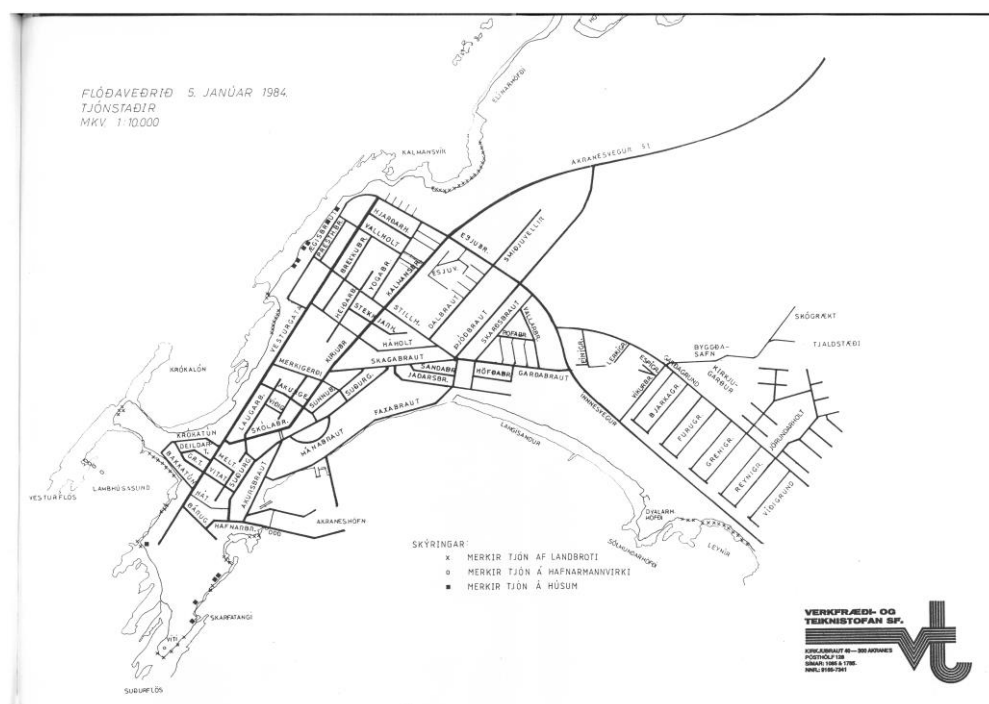
Mynd V2. 19. Hæð kenniöldu í öllum mælipunktum 50m frá landi.



Mynd V2. 20. Sýnir í hnotskurð hve alsan er breytileg meðfram ströndinni á Akresni. Á myndinni sést vel hver vegna byggð á Breiðinni lagðst af eftir Básendaflóðið en byggðin var ofan við Vitann þar sem kennialdan hefur væntanlega verið yfir 7m há.

Mynd V2. 20 sýnir feril lægða sem valdið hafa sjávarflóðum suðvestanlands á síðustu öld⁷¹.

Mesta tjón af völdum sjávarágangs á Akranesi varð í flóðaveðrinu 5. janúar 1984 og er tjón á landbroti, hafnarmannvirkjum og húsum á Akranesi sýnt á Mynd V2. 21. Á myndinni sést að langmesta tjónið varð við Ægissíðuna en þar er kennialdan hæst yfir 8m samkvæmt Mynd V2. 19.



Mynd V2. 21. Yfirlit yfir tjónastaði á Akranesi 5. Janúar 1984⁷².

Hvort breyta þarf hönnunarforsendum fyrir mannvirki vegna Básendaflóðs eða hliðstæðu þess er meiri óvissu háð. Benda má á til viðmiðunar að íbúðarhús eru hönnuð fyrir 375 ára jarðskjálftaþburð sem er í samræmi við Evrópuþaðal. Með þeim fræðum sem hér er búið að sýna er hægt að kanna hvort Básendaflóð eða hliðstæða gæti verið atburður með álíka endurkomutíma.

Talið er nauðsynlegt að halda þessari vinnu áfram eins og list er í umsókn til Vegagerðarinnar um rannsóknarfé fyrir 2016 þar sem ætlunin er að að vinna að mælingum og rannsóknum, svo sem hæðarmælingum á Básendum, öldusveigjureikingum við svipaðar aðstæður og í Básendaflóðinu, ásamt reikingum á upprennsli öldu fyrir þau strandsvæði þar sem heimildir greina frá skemmdum.

⁷¹ Gylfi Ísaksson Gísli Viggósson Flóðaveðrið 9. Jan 1990 og sjóvarnir á svæðum sem fyrir því urðu. Fjarhitun hf.og Hafnamálastofnun ríkisins. Ágúst 1990.

⁷² Gísli Viggósson Skýrsla um flóðaveðrið á Akranesi 5. Janúar 1984. Hafnamálastofnun ríkisins, Tæknideild Akneskaupstaðar og Verkfræði- og teiknistofa Akranesi

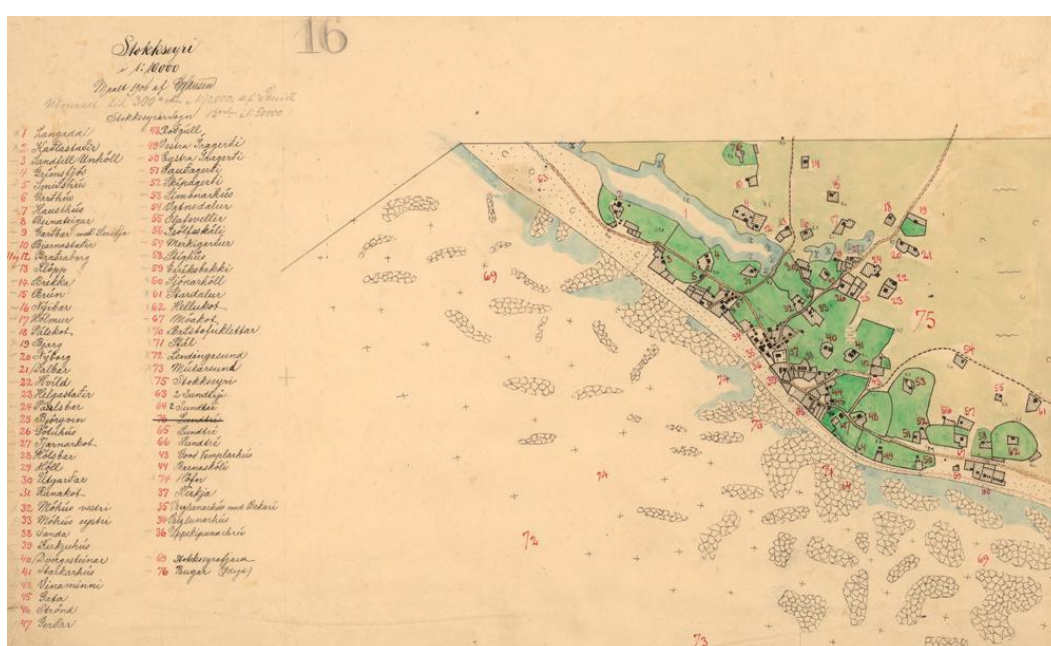
21. Viðauki III - Viðbótargögn

22. Yfirlit

Í þessum viðauka númer 3, er efni sem ekki var notað við gerð áfangaskýrslu en mun nýtast í endanlegri vinnslu aðalskýslu og við mat á flóðhæð á öðrum stöðum sem ekki er fjallað um í þeirri skýrslu. Vegna mismunandi ölduáhlaðanda getur munur á flóðhæð í sama stormflóðinu verið meiri en munurinn á stjarnfræðilegu flóði segir til um.

Efninu er skipt í Eldri heimildir, Flóðhæðakerfi staða, Dæmi um stormflóð og Aðrar heimildir.

23. Eldri heimildir



Mynd V3. 1. Bæjarteikning danskra landmælingamanna af Stokkseyri frá því í byrjun 20. aldarinnar. (Landmælingar Íslands.)

24. Flóðhæðakerfi sjómælinga

Almennt skal leitast við að heimfæra hæðartölur til Alþjóða landmælingalærfisins (World Geodetic System⁷³) sem gengið var frá 1984 (WGS 84) og endurskoðað 2004.

Á síðustu árum var unnið við uppbyggingu að sameiginlegu hæðarkerfi fyrir Ísland. Nú er komið hæðarnet í kringum allt landið sem tengir saman þéttbýlisstaði, byggðarkjarna, hálendi og framkvæmdasvæði.

⁷³ https://en.wikipedia.org/wiki/World_Geodetic_System

Í Reykjavík og nágrennasveitarfélögum er sameiginlegt hæðarkerfi (Hæðarkerfi Reykjavíkur) í notkun síðan 1904. Allar teikningar á þessu svæði, uppdrættir, kort og samningar þar sem hæðir koma við sögu eru gerðar í Hæðarkerfi Reykjavíkur. Munur á milli þessara kerfa, þ.e. Hæðarkerfis Reykjavíkur og Landshæðarkerfis Íslands ISH2004 er í dag u.þ.b. 46 cm.

Hæðakerfi Sjósmælinga gengur út frá meðalstórstraumsfjöru sem á að vera 0,00 eða sem því næst. Landshæðakerfi einstakra staða miðast við meðalsjárborð eða því sem næst. Til að bera saman hæðir í sjómælingakerfi og landmælingakerfi þarf að bæta við landhæðir muninum á meðalsjárhæð og meðalstórstraumsfjöru. Þá verða landhæðir og hæðir í sjómælingakerfi sambærilegar, ef hæðartölurnar eru samkvæmt nýjustu endurmælingum og endurskoðun á hæðarkerfum. Tekið skal fram að slíkar endurmælingar og endurskoðun á hæðarkerfum breytir núllstöðunni yfirleitt mjög lítið, sjá þó það sem sagt er hér að ofan um hæðarkerfi Reykjavíkur frá 1904.

Hæðakerfi Reykjavíkurhafna og Seltjarnarnes og Hafnafjarðarhafnar (1980):

	SI	RV	ISH2004
Meðalstórstraumsflóð	4,14 m	2,18 m	1,72 m
Meðalsmástraumsflóð	2,960 m	1,18 m	1,07 m
Meðalsjárhæð	2,16 m	0,38 m	- 0,07 m
Meðalsmástraumfjara	1,35 m	- 0,52 m	-0,97 m
Meðalstórstraumsfjara	0,17 m	- 1,62 m	-2,07 m

25.Dæmi um stormflóð

Eyrarbakki og Stokkseyri

Í skýrslu Fjarhitunar frá ágúst 1984 er stutt yfirlit yfir sjávarflóð á Eyrarbakka og Stokkseyri frá 1750 til 1977 og í skýrslu Fjarhitunar frá ágúst 1990 er samantekt á flóðaveðrinu 9. Jan. 1990, Mynd V3. 1 og sjóvarnir á svæðum sem fyrir því urðu.

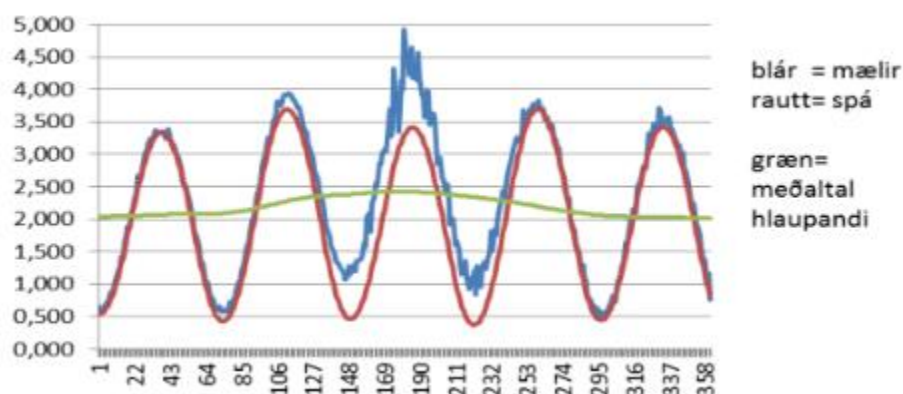


Mynd V3. 2. Bryggjan og fjaran á Stokkseyri í desember 1977. (Vísir 15.12 .1977 Tímarit.is).

Þetta gerðist svo skyndilega og gekk svo fljótt yfir að það var engin leið að bjarga neinu", sagði Páll Bjarnason⁷⁴, hjá Hrað frystihúsinu á Stokkseyri í samtali við Vlsi, en hann var einn sjónarvotta að atburðunum þar í gærmorgun. „Um klukkan korter fyrir niu í morgun, áður en ég fór til vinnu, leit ég niður fyrir frystihúsið og yfir höfnina og þá var allt með kyrrum kjörum þar. Það var ekkert mjög hvasst en flóðhæðin var mikil. Síðan um það bil fimmtán mínútum seinna, klukkan niu, kemur mikil fylling með þeim afleiðingum að þrír af þeim fjórum bátum sem lágu þarna lentu uppá bryggju. Þeir sátu þar góða stund en rak síðan smátt og smátt upp í fjöruna. Eirin er þó enn á bryggjunni. Það var algjörlega ófært um bryggjuna, þegar þetta stóð yfir. Hún var alveg á bólakafi. Og varnargarðurinn hérna rétt fyrir austan var meira og minna á kafi líka.

⁷⁴ Vísir 15.desember 1977.bls10.Tímarit.is

Grindavík 1.2. 1999



Mynd V3. 3. Dæmi um áhlaðanda. Sjávarflóðið í Grindavíkurhöfn 1. Febrúar 1999 kl. 18⁷⁵

Dæmi um mikla sjávarhæð í höfninni dagarnir 31. jan til 2. feb 1999 eru sýndir á Mynd V3. 3 en þá náði sjór langt upp á ljóshús og bjarga þurfti fólksbíl af bryggjunni, en til er myndband af björguninni á netinu. Sjá má að sjór hefur farið 1,3 – 1,4 metra yfir stjarnfræðilegt flóð. Raunverulegt sjávarborð hefur farið hærra því ekki er mælt nema í eina mínútu af hverjum 10 og mælirinn sýnir ekki ölduna.

Með tilkomu ytri brimvarnargarðanna 2002-03 lækkaði ölduhæðin í hafnarmynninu það mikið að ekki hafa orðið vart við sjávarflóð innan Grindavíkurhafnar síðan.



Mynd V3. 4. Grindavíkurhöfn.

⁷⁵ Guðjón Schevibg Tryggvason. Sjávarborðsrannsóknir. Úrvinnsla sjávarborðsmælinga á Hornafirði, Grindavík og Landeyjahöfn. 2015. Skýrslan er í vinnslu.

Reykjavík



Mynd V3. 5. Flóð í Reykjavík á YouTube

Við hæstu sjávarstöður sem mælst hafa í Reykjavík kemur sjór upp úr niðurföllum á mótum Austurstrætis og Bankastrætis, Mynd V3. 5. Slíkt flóð er til á Youtube⁷⁶.



Mynd V3. 6. Ánanaust að morgni 10. Febrúar 2010.

⁷⁶ Helgi Jean Claessen. Myndband á You Tube: http://www1.search-results.com/search?apn_dtid=%5EBND406%5EYY%5EIS&d=406-495&shad=s_0043&atb=sysid%3D406%3Aappid%3D495%3Auid%3D08f88f1f4647b384%3Asrc%3Dcrb%3Ao%3DAPN10645%3Atg%3D&p2=%5EAG6%5EBND406%5EYY%5EIS&apn_ptnrs=%5EAG6&o=APN10645&apn_uid=9657302920344402&lang=en&gct=ds&q=helgijean&tpr=10&ctype=videos

Í stormflóðum er sjógangur oftast mestur á norðurströnd Reykjavíkur og Seltjarnarness. Þá skvettist sjór miklu hærra en meðalásjavarborð eins og er á Mynd V3. 7.



Mynd V3. 7. Ágjöf yfir sjóvarnargrö í Ánanaustum á forsíðu Fréttablaðsins 4. september 2007.

Myndin birtist á forsíðu Fréttablaðsins þann 5. 09.2007. Sjávarhæð var hæst 3,44 m kl. 12:00 en þá var ölduhæð á Garðskagadufli um 8,9 m. Hæð á sjóvarnargarði yfir sjó $7,2 - 3,44 = 3,8$ m.



Mynd V3. 8. Ljósmynd Sveins Þormóðssonar af ágjöf upp á Skúlagötu á morgunflóðinni þann 24. Mars 1970, sem birtist á baksíðu Morgunblaðsins daginn eftir. .

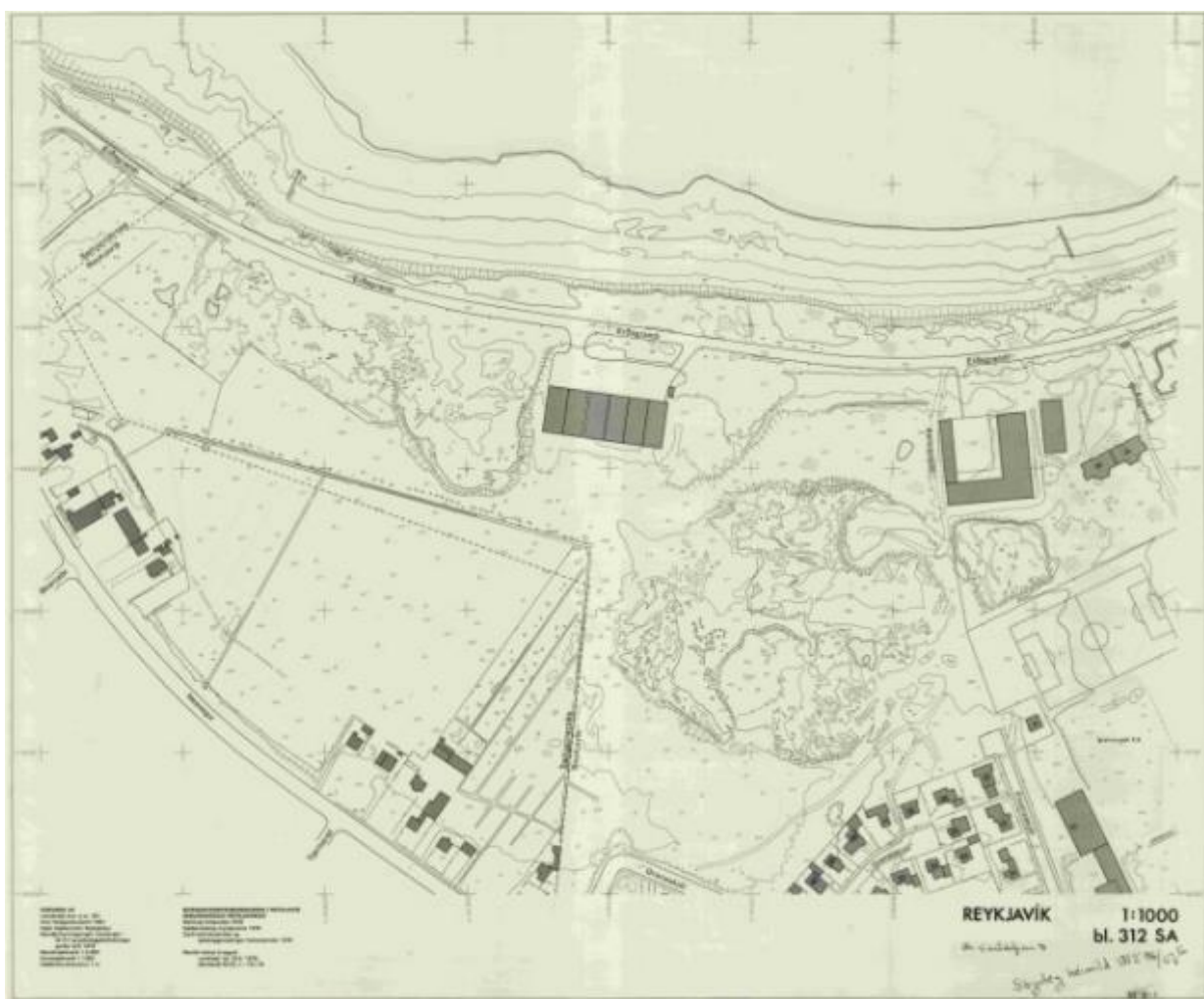
26. Aðrar heimildir

Haft var samband við Önnu Lísu Guðmundsdóttir jarðfræðing á fornleifadeild Árbæjarsafnsins. Anna hefur unnið við fornleifarannsóknir í Kvosinni og telur að

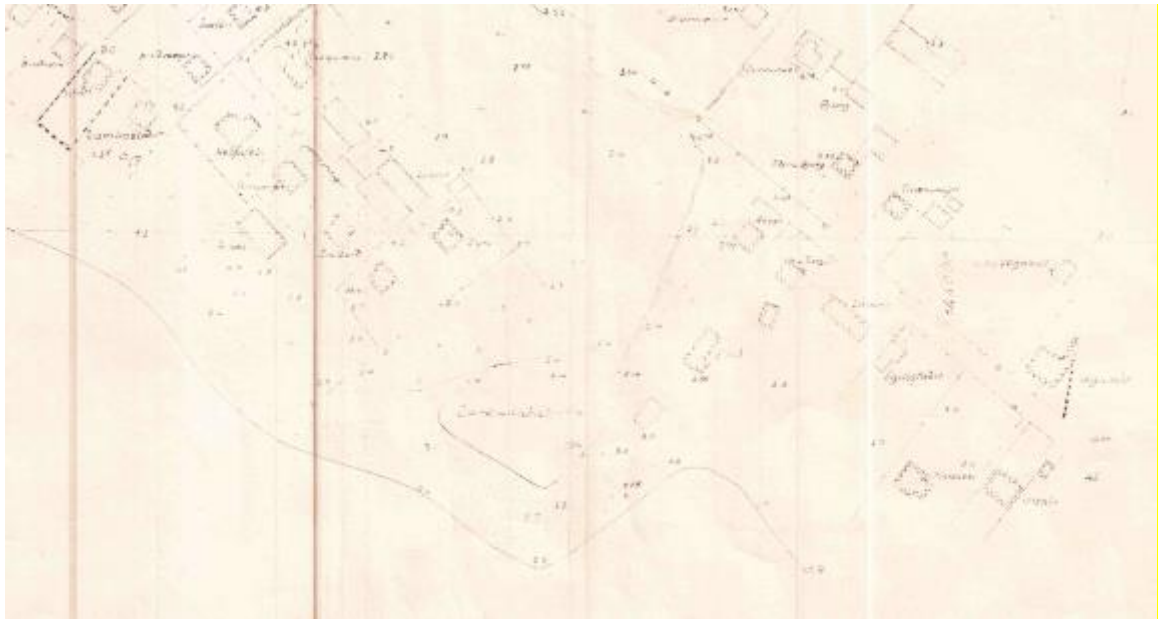
landnámslagið hafi sigið um allt að einn metra frá landnámi. Við uppgröft á Ingólfstorgi kom í ljós malarlag sem talið er hugsanlega hafi borist þangað í Básendaflóðinu.

Anna fylgdist með þegar núverandi götuhæð var sett beint ofan á grjótið í gamla sjávarkambinn. Æskilegt er að fá upplýsingar um hæð á núverandi Hafnargötu og á grunnum húsanna sunnan við Hafnarstræti en með því fæst hæð yfir sjávarmáli á gamla fjörukambinum og gólfhæð húsanna innan við fjörukambinn.

Eftirfarandi kortablöð geta þjónað sem gögn við að átta sig á hvort marktækar landhæðarbreytingar hafi átt sér stað í Reykjavík undanfarin 200 ár.



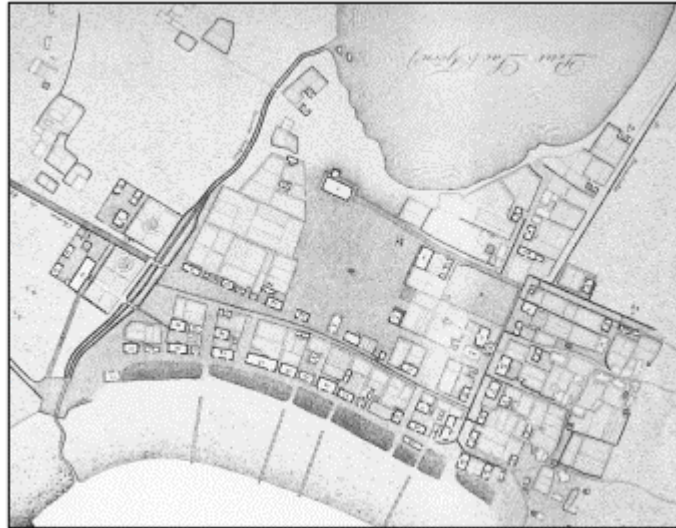
Mynd V3. 9. Mæliblað frá Forverk með hæðamælingu af Eiðsgranda frá 1978 bl.312 SA. (Forverk,1978)



Mynd V3. 10. Hæðarpunktur frá 1959 af Eišmýrinni. (Jörgen Þormóðsson Landfræðingur,LUKR)



Mynd V3. 11. Hæðarpunktur frá 1959 af Eišmýrinni. (Jörgen Þormóðsson Landfræðingur,LUKR)



Mynd V3. 12. Kort Lottin af Reykjavík 1836⁷⁷(Árbæjarsafn)

Í kortasjá Landmælingar Íslands er að finna mæliblöð danska herforingjarráðsins frá byrjun síðustu aldar, <http://atlas.lmi.is/kortasja/> farið er inn á söguleg gögn og þaðan farið á sögulegar teikningar. Þar er hægt að finna eftirfarandi mæliblöð frá 1902:

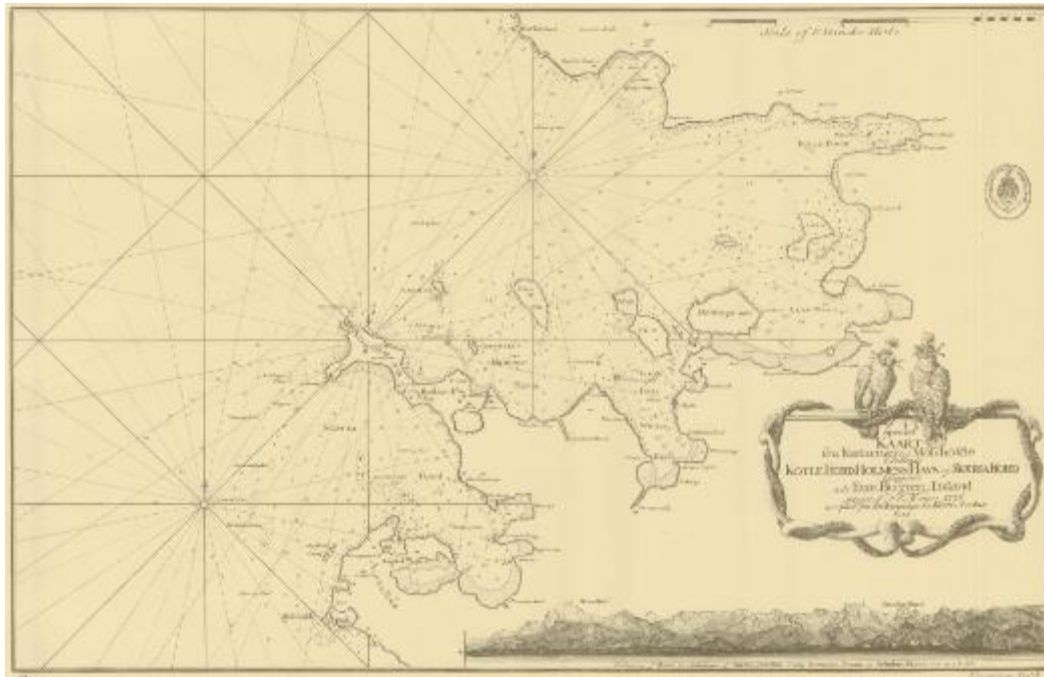


Mynd V3. 13. Mynd af mæliblaði danska herforingjaráðsins frá 1902. (Landmælingar Íslands)

⁷⁷ Kort Victor Lottin af Reykjavík 1836. Reykjavíkurlort. Dagatal 1986. Kort af Reykjavík frá 1715-1981. Unnið af Nönnu Hermansson, Salvöru Jónsdóttur og Mjöll Snæsdóttur. Árbæjarsafn, Reykjavík, 1986

Hæð gatnamóta Aðalstrætis og Hafnarstrætis er +3,5 m, miðjavegu milli Aðalstætis og Pósthússtrætis er mæld hæð +4,2m og hæðin á hafnarstræti á mótis við Torgið er +3,4m. Hæðin á Austurstræti er mæld +2,9m við Íngólfstorg, +2,6m við Pósthússtræti og í Hafnarstræti er hæðin +2,5m miðavegu að Torginu. Hæð á sjávarkambinum við Hafnastræti var 1902 um +3,5m.

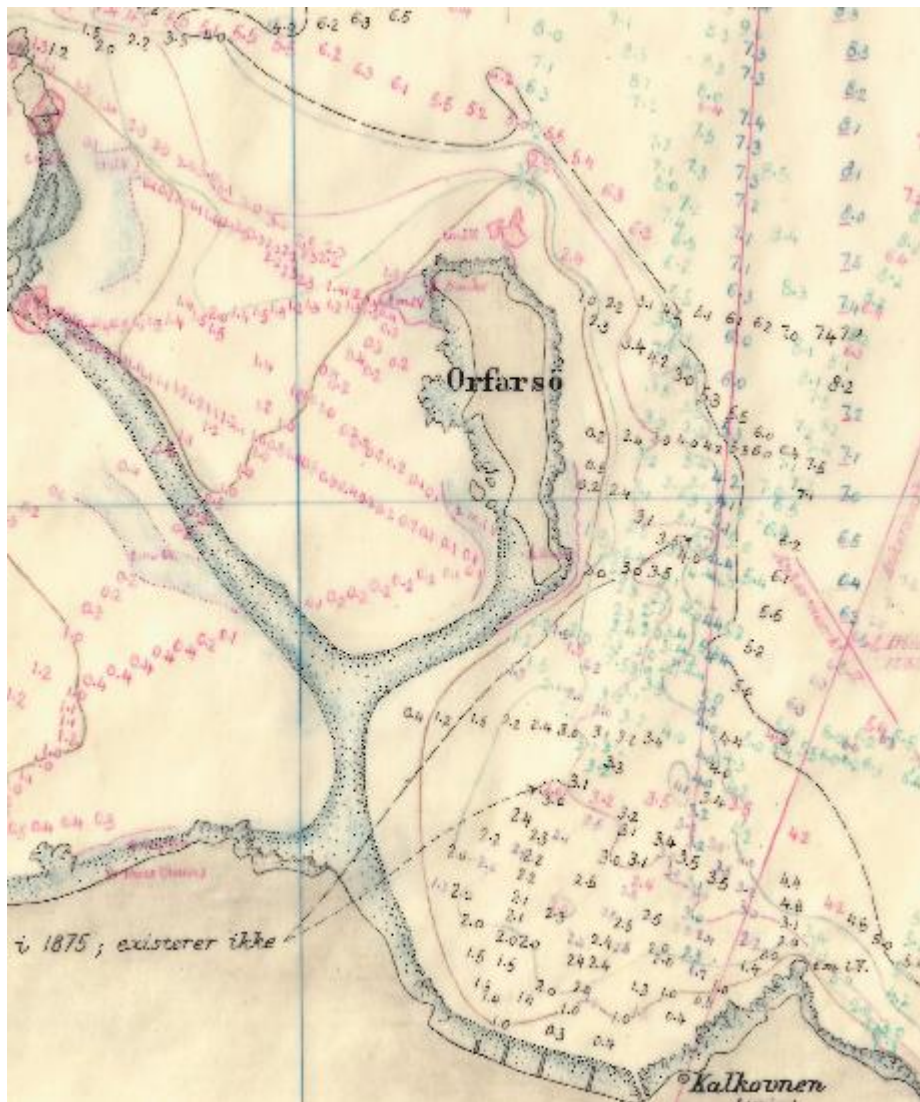
26.1. Gömul sjókort og dýptarmælingar fyrir daga Reykjavíkurhafnar



Mynd V3. 14. Sjókort af Kollafirði, Hólmshöfn og Skerjafirði mælt 1776 og gefið út 1788. (Faxaflóahafnir)



Mynd V3. 15. Ytri höfnin í Reykjavík, mælt 1839 og 1878. (Faxaflóahafnir)



Mynd V3. 16. Dýptarmæling af hafnarsvæðinu í Reykjavík frá 1780. (Faxaflóahafnir)

