

# Sauðárkrókur - Sjávarflóð Mat á sjóvörnum og hættu á sjávarflóðum



Bryndís Tryggvadóttir  
Helgi G Gunnarsson  
Ingunn Erna Jónsdóttir  
Fannar Gíslason  
Sigurður Sigurðarson  
Maí 2020



Útgáfa	Dagsetning	Endurskoðun	Útgefið af	Útgefið til
A	2020.05.04		BT, HGG, IEJ, FG,SS	
Upplýsingar um skýrslu				
Verkkaupi:				
Verkefni:	Sauðárkrókur - Sjávarflóð- Mat á sjónörnum og hættu á sjávarflóðum			
Verkefnisnúmer.:				
Aðgengi:	<input checked="" type="checkbox"/> Ópið	<input type="checkbox"/> Dreifing háð samþykki verkkaupa	<input type="checkbox"/> Lokað	
Höfundar:	Bryndís Tryggvadóttir, Helgi G Gunnarsson, Ingunn Erna Jónsdóttir, Fannar Gíslason og Sigurður Sigurðarson			
Tilvísun:				
Forsíðumynd	Ágjöf norðan á Skarðseyrinni 10 febrúar 2020. Mynd Indriði Þ Einarsson.			



## Helstu niðurstöður

Þau óveður sem gengu yfir dagana 10. - 12. des 2019, 11. - 13. jan og 10. feb 2020 ollu miklum usla á Sauðárkróki þegar mikið magn af sjó gaf á land yfir sjóvarnir norðan á Skarðseyri. Ætla má að sjór hafi flætt yfir um 2,5 hektara svæði í þessum atburðum, að meðaltali hafi gengið um 8.000 m<sup>3</sup> af sjó á land og vatnsdýpi orðið mest um 0,75 m á eyrinni. Ástæður sjávarflóðanna þegar þessir þrír atburðir áttu sér stað voru samspil vonsku veðurs, hárrar öldu, vinds og lágs loftþrýstings.

Tímaröð af sjávarföllum úr innanverðum Skagafirði, ásamt veðurgögnum frá evrópsku veðurstöðinni (ECMWF), voru nýtt til að mynda 40 ára langa tímaröð með bæði vind- og haffræðilegum gögnum. Gögnin voru notuð bæði fyrir greiningu sjávarhæðar á tímabilinu og sem inntak í líkan sem hermír stórt gagnasafn af aftaka atburðum. Líkanið gefur möguleika á að meta endurkomutíma atburða með þeim hætti að hægt er að yfirfæra þá yfir í reiknaða ágjöf. Greiningin er notuð til að meta endurkomutíma þeirra atburða sem átt hafa sér stað á umræddum mánuðum auk þess sem virkni núverandi sjóvarnar verður metin út frá ofangreindum aftaka atburðum.

Að lokum er þessari aðferðafræði beitt til að leggja mat á það hve mikið þarf að hækka sjóvarnir þannig að ágjöf yfir þær verði innan viðmiðunarmarka.

Niðurstaða þessara athugana var að til að uppfylla kröfur um að ágjöf yfir sjóvarnir við Strandveg fari ekki yfir 3 l/s/m þá þurfi að hækka sjóvarnirnar um 40 til 60 cm. Þannig þurfi hæð þeirra að vera á bilinu +4,2 til 4,3 m, lægst vestast næst höfninni en hærra austar.

Jafnframt kemur fram að setja þurfi strangari kröfur fyrir aðstæður eins og á eyrinni á Sauðárkróki þar sem sjór safnast fyrir á landi og afrennsli á ekki greiðan aðgang út í sjó. Til að meðalágjöf í atburðum svipuðum þeim og orðið hafa í vetur verði einn tíundi hluti þess sem í raun varð þá þarf að hækka sjóvörnina norðan á Skarðseyrinni um tæpan meter í hæðina +4,9 m. Þannig er verið að breyta tíðni atburða sem nú koma að jafnaði á árs fresti, yfir í það að koma á um 10 til 30 ára fresti.



## Efnisyfirlit

Helstu niðurstöður .....	i
Efnisyfirlit .....	ii
1 Inngangur .....	3
1.1 Eldri veður sem valdið hafa flóðum og skemmdum á Sauðárkróki. ....	4
2 Endurkomutími sjávarhæðar með áhlaðanda .....	6
3 Mat á ágjöf í nýliðnum flóðaveðrunum.....	11
4 Mat á endurkomutíma sjávarflóða .....	12
4.1 Afmörkun óháðra aftaka atburða.....	13
4.2 Hermun aftaka atburða .....	14
4.3 Safn aftaka atburða flutt inn fjörðinn.....	16
4.4 Vindáhlaðandi.....	17
4.5 Mat á ágjöf í atburðunum í desember 2019 og janúar og febrúar 2020 .....	18
5 Ágjöf yfir sjónvörn við Strandveg .....	22
6 Sjóvarnir til að minnka flóðahættu.....	24
6.1 Hækkun sjóvarna til að uppfylla viðmiðunarmörk fyrir ágjöf .....	24
6.2 Hækkun sjóvarna til að hindra flóð á eyrinni .....	24
6.3 Hönnunarsnið í núverandi sjóvarnir .....	25
6.4 Grjótnám .....	26
7 Tilvitnanir .....	27
Viðauki I - Mæling á strandsvæðum við Sauðárkrók .....	28
Viðauki II – Öldufarsreikningar á Skagafirði inn á Sauðárkrók .....	31
Mat á ölduhæð í Skagafirði og við Sauðárkrók.....	31
Niðurstöður öldufarsreikninga .....	32



## 1 Inngangur

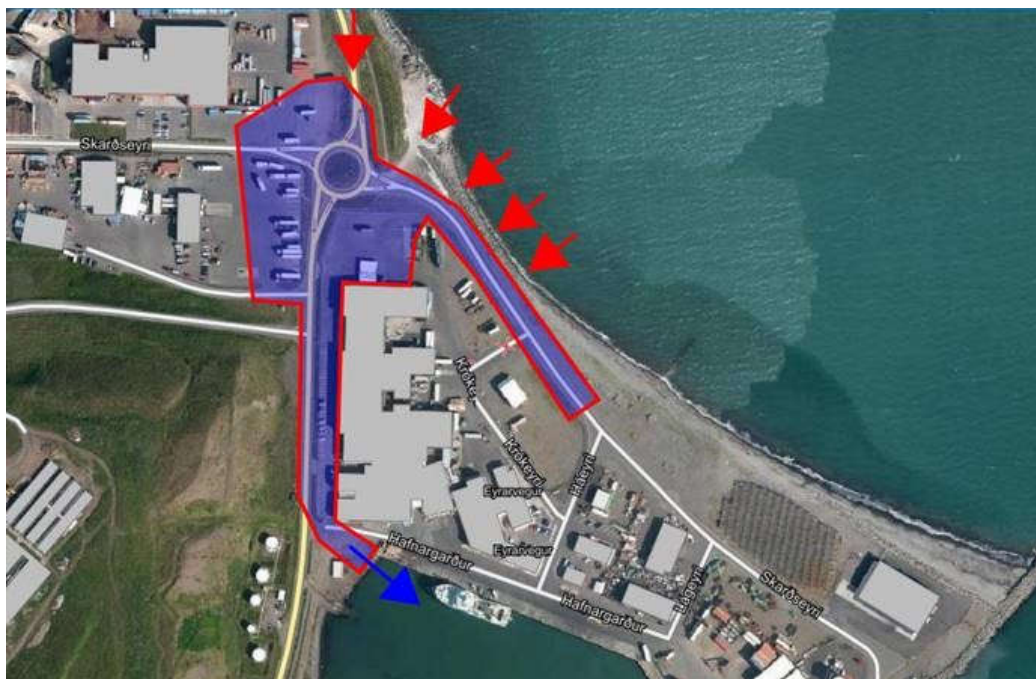
Á nýliðnum vetri hafa sjávarflóð á norðanverðu landinu verið óvenju tíð og há. Í þrítugum hefur flætt yfir Skarðseyrina á Sauðárkróki á jafn mörgum mánuðum frá desember 2019 til febrúar 2020, sjór staðið uppi og flætt inn í fyrirtæki. Sjóvarnargarður á norðanverðri eyrinni skemmdist að hluta í desember veðrinu. Vegna þessa hefur Vegagerðin greint atburðina og metið endurkomutíma þeirra sem er nauðsynlegt til þess að ákvarða hver hæð á varnargörðunum þarf að vera til þess að standast áraun frá atburði sem þessum og jafnvel stærri. Sömuleiðis hefur reglulega flætt yfir sjóvörnina við Strandveg og því var ágæti hennar metið samhliða mati á sjóvörninni á eyrinni

Tímaröð af sjávarföllum úr innanverðum Skagafirði, ásamt veðurgögnum frá evrópsku veðurstöðinni (ECMWF), voru nýtt til að mynda 40 ára langa tímaröð með bæði vind- og haffræðilegum gögnum. Gögnin voru notuð bæði fyrir greiningu sjávarhæðar á tímabilinu og sem inntak í líkan sem hermír stórt gagnasafn af aftaka atburðum. Líkanið gefur möguleika á að meta endurkomutíma atburða með þeim hætti að hægt er að yfirfæra þá yfir í reiknaða ágjöf. Greiningin er notuð til að meta endurkomutíma þeirra atburða sem átt hafa sér stað á umræddum mánuðum auk þess sem virkni núverandi sjóvarnar verður metin út frá ofangreindum aftaka atburðum.

Í desember 2019 og janúar og febrúar 2020 sköpuðust aðstæður við eyrina á Sauðárkróki þar sem sjór flæddi yfir Skarðseyrina að iðnaðarsvæðinu og út í höfnina aftur við Eyrarveg.

Í óveðrinu 10 og 11. desember 2019 var mikil ölduhæð norðan við landið, yfir 12 m skv. veðurlíkani ECMWF, og mældist 14 m á öldudufli, samhliða nokkuð lágum loftþrýstingi. Afleiðingar voru þær að mikið brim skall á sjóvörninni við Skarðseyrina sem skemmdist þó nokkuð og mikill sjór gekk á land. Úr greinargerð hafnarstjórans á Sauðárkróki um veðrið: „*Ofboðslegur sjór gekk á land á flóðinu um nóttina 11. desember. Eyrin var umflotin frá hringtorgi og suður að Fisk. Áhlaðandi var gríðarlegur. Sjór flæddi inn á sláturhúsið og inn í forstofu Fisk. Fengin var grafa til að taka rás í bakkan á milli hafnar og gamla Kívanishússins svo sjórinn gæti runnið ofan í höfnina. Eftir það tók vatnið að réna...*“ Starfsmenn hafnarinnar áætluðu að sjávarstaða hafi hæst farið í 2,15 – 2,2 m þessa daga. Sjóvörn meðfram Strandveginum laskaðist einnig í veðrinu.

Frá u.þ.b. 7. - 15. janúar 2020 kom tímabil með þó nokkuð lágum loftþrýstingi norðan við landið sem samkvæmt gögnum ECMWF fór lægst niður í um 946 hPa þann 7. janúar. Á tímabilinu 11. - 14. janúar var stórstreymt og á flóði var sjávarhæð samhliða áhlaðandi vegna lágs loftþrýstings það há að það flæddi yfir hjá hringtorginu við eyrina. Loftþrýstingur skv. gögnum ECMWF á því tímabili var á bilinu 960 - 980 hPa. Lögðu starfsmenn hafnarinnar og sveitafélagsins mat á útbreiðslu flóðvatnsins, sjá Mynd 1, og að dýpi hafi verið um 50-60 cm við hringtorgið.



**Mynd 1 Mat á útbreiðslu sjávarflóðs 13. og 14. janúar 2020 af starfsmönnum sveitafélagsins.**

10. febrúar 2020 átti sér svo stað enn stærri atburður þar sem sjór gekk yfir eyrina og nú í töluvert meira magni en í fyrri tveim atburðunum. Þá fór saman stórstreymi og enn lægri loftþrýstingur en á tímabilinu 11. – 14. janúar eða um 958 hPa á hádegisflóðinu 10. febrúar skv. gögnum ECMWF. Flæddi sjór um hafnarsvæðið, beggja vegna við Fisk Seafood en þar fór aðeins vestan við bygginguna í fyrri tveim atburðunum, sjá Mynd 1.

Þar sem mismikill snjór var á jörðu fyrir alla þrjá atburðina hefur sjórinn ekki átt eins greiða leið með að renna út í höfnina í öllum atburðunum heldur hlaðist upp og gegnbleytt snjóinn. Hefur það spilað inn í hversu mikið dýpi myndaðist á svæðinu hverju sinni og hversu mikið viðbragðsaðilar þurftu að opna farvegi út í höfnina til að afvatna svæðið.

### **1.1 Eldri veður sem valdið hafa flóðum og skemmdum á Sauðárkróki.**

Eitt versta sjávarflóðaveður seinni tíma fyrir norðurlandi gekk yfir þann 16. nóvember 1982 og olli landbroti og skemmdum allt frá Blönduósi í vestri til Húsavíkur í austri. Samkvæmt veðurlíkani ECMWF náði úthafsaldan 11 m hæð norðan við Skagafjörðinn og samkvæmt vindlíkani Veðurstofu Íslands var mesti klst. meðalvindur við Sauðárkrók metinn sem 22,9 m/s norðanvindur.

Svo segir í skýrslu þeirra Árna Ragnarssonar, arkitekts og Hallgríms Ingólfssonar, tæknifræðings, dómkvaddra matsmanna “Aðfaranótt þriðjudagsins 16. nóvember 1982, gekk lægð austur með Norðurlandi, kröpp og djúp, um 950 millibör. Á Sauðárkróki gekk veður upp með suðvestan og síðan vestan stormi um nóttina, sem snérist með morgninum í norðan hvassviðri með rokhvössum éljum og þungu brimi. Brimið var svo þungt, að því er líkt við brim sem gerðu árin 1962, 1950 og 1934. Hins vegar var stórstreymt nú, mjög hátt í sjó og háflæði um hádegisbil þann 16. nóvember. Þá gekk sjór yfir fjörukambinn og grjótvarnir meðfram strandlengjunni við Sauðárkrók og hlutust af sjóganginum miklar skemmdir á hafnarmannvirkjum, grjótklæðningum, götum, húsum, bátum tog fleiru.”

Og síðar: “Á strandlengjunni frá Gönguskarðsráós suður og austur að sandfangara gekk sjór yfir sjávarkambinn. Hann var ekki grjótvarinn nema umá 60 metra kafla fram við réttarhús



Kaupfélags Skagfirðinga og malbikað plan norðan við húsið. Grjótvörnin þarna er að mestu horfin og leifarnar haldlittlar og komnar niður í sjólinu.” Þá koma lýsingar á skemmdum á malbiki, skreiðarhjöllum g beituskúrum. “Sjór gekk upp að slátur- og frystihúsi Kaupfélagsins og inn í móttöku og skemmdi þar húsakynni og kjötafurðir.”

Eftir lýsingu á skemmdum á sandfangara og hafnarmannvirkjum er komið að fjörunni milli Gömlu-bryggju og hreppamarka: Strandlengjan frá Gömlu-bryggju suður og austur að hreppamörkum, er grjótvarin að miklu leyti og liggur Strandvegur þar innan við. Næst Gömlu-bryggjunni er um 700 metra grjótklæðning, en svo tekur við óvarið bíl, um 220 metra löng fjara milli þessarar grjótvarnar og annarrar norður af Hegrabraut, sem er um 200 metra löng. Þá tekur við óvarin fjara suður og austur að hreppamörkum. Grjótvörnin er alls um 900 metra löng og var um 2.5 metra há yfir sjó (hálfvallin).

Hún rofnaði á mörgum stöðum í briminu og lækkaði öll um allt að 2 metrum. Fyllingarefni hefur víða dregist út í rofunum og í heild er grjótvörnin alvarlega skemmd. Þar sem fjaran er óvarin hefur land brotið og sjávarkamburinn færst innar. Ofan við fjöruna milli grjótvarnanna hefur klæðning sem lögð var á Strandveginn í sumar, flagnað af á um 30 metra kafla. Þar gekk sjór yfir götuna og braut girðingu við íbúðarhús.

Að öðru leyti lenti vegurinn undir sjávarkambinum ofan við þessa 220 metra löngu fjöru og skemmdir á honum því vandkannaðar nákvæmlega, en virðast ekki umtalsverðar.“





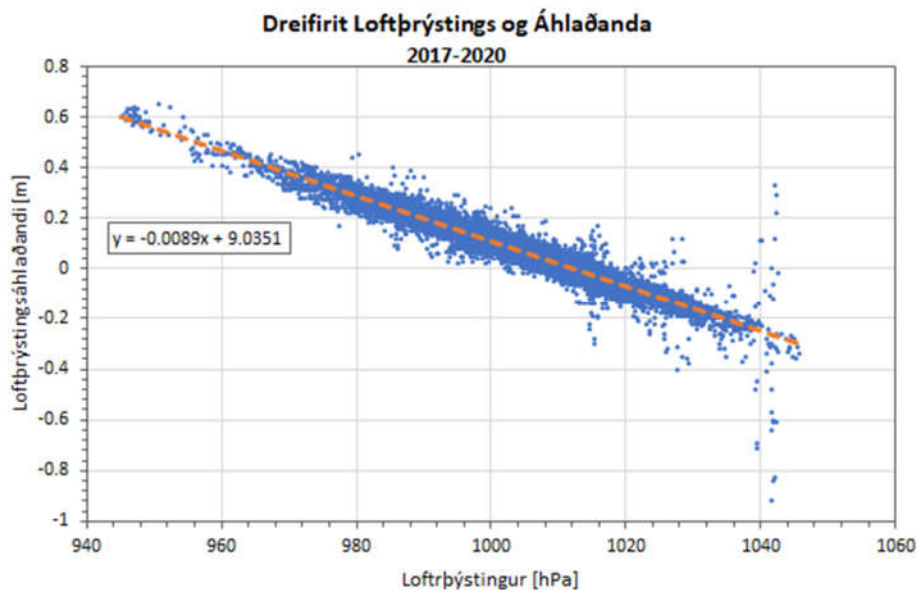
## 2 Endurkomutími sjávarhæðar með áhlaðanda

Sjávarhæð er samspil ýmissa þátta. Stærst vega stjarnfræðileg sjávarföll sem stafa af aðdráttaraflum tungls, sólar og reikistjarna. Sjávarföllin ráðast af gangi himintunglanna og eru því fyrir fram þekkt og gefin út í sjávarfallatöflum. Þá koma til ýmsir veðurfarslegir þættir sem leggjast ofan á sjávarföllin, svokallaður áhlaðandi. Greint er milli áhlaðanda af þrenns konar uppruna. Fyrst ber að nefna áhlaðandi vegna loftþrýstings, í lágum loftþrýstingi hækkar yfirborð sjávar en lækkar á móti þar sem loftþrýstingur er hærrí. Vindáhlaðandi myndast þegar vindur blæs yfir haffletinum. Vindhraði og lengd aðdrags hafa áhrif á stærð hans en þó er dýpi stærsti áhrifaþátturinn þar sem vindáhlaðandi verður yfirleitt ekki mikill nema að það sé mjög aðgrunnt og grynningar nái langt út. Að síðustu ber að nefna ölduáhlaðanda. Hann myndast þar sem öldur brotna á grynningum utan strandar og aðstæður haga því þannig til að sjór á ekki greiða leið út til hliðar við grunnbotin.

Sem hluti af greiningu á atburðunum og sem innlegg í hönnun sjóvarna á svæðinu var mynduð söguleg tímaröð af reiknaðri sjávarhæð ásamt mati á áhlaðanda loftþrýstings annars vegar og mati á vindáhlaðanda við eyrina á Sauðárkrók hins vegar. Ekki er lagt sambærilegt mat á ölduáhlaðanda að svo stöddu á þessu svæði en vitað er að ölduáhlaðandi getur verið töluverður á svæðinu, samanber veðrið desember 2019.

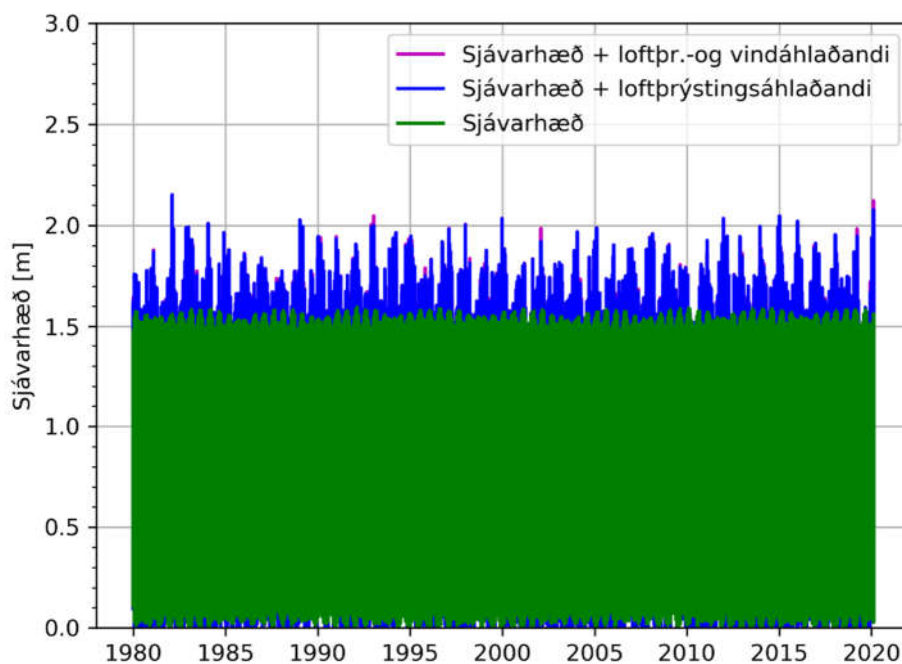
40 ára söguleg tímaröð frá 1. janúar 1980 af veðurfarsþáttum úr veðurlíkani evrópsku veðurstofunnar ECMWF í punkti með hnitin 66,5° N, 20,0° V fyrir utan Skagafjörð var nýtt til þess að fá mat á loftþrýsting. Sjávarfallalíkan Mike frá DHI var nýtt til þess að fá tímaröð af stjarnfræðilegum sjávarföllum í Skagafirði. Hér er sjávarhæð gefin í hæðarkerfi Sauðárkókshafnar þar sem reiknað er með að „núll“ í því kerfi sé 0,8 m neðan við meðalsjávarhæð. Fyrir mat á áhlaðanda var byggt á líkingu um hækkun sjávarhæðar vegna loftþrýstings (Kamphuis, 2000) sem gefur um 1 cm hækkun fyrir fall á loftþrýstingi um 1 hPa miðað við meðalloftþrýsting 1013 hPa. Greining á samanburði á reiknuðum áhlaðanda í sjávarfallalíkani Vegagerðarinnar við loftþrýstingsgögn frá ECMWF gaf mjög svipað samband, eða 0,9 cm fyrir fall á loftþrýstingi um 1 hPa frá 1012 hPa eins og sjá má á Mynd 2.



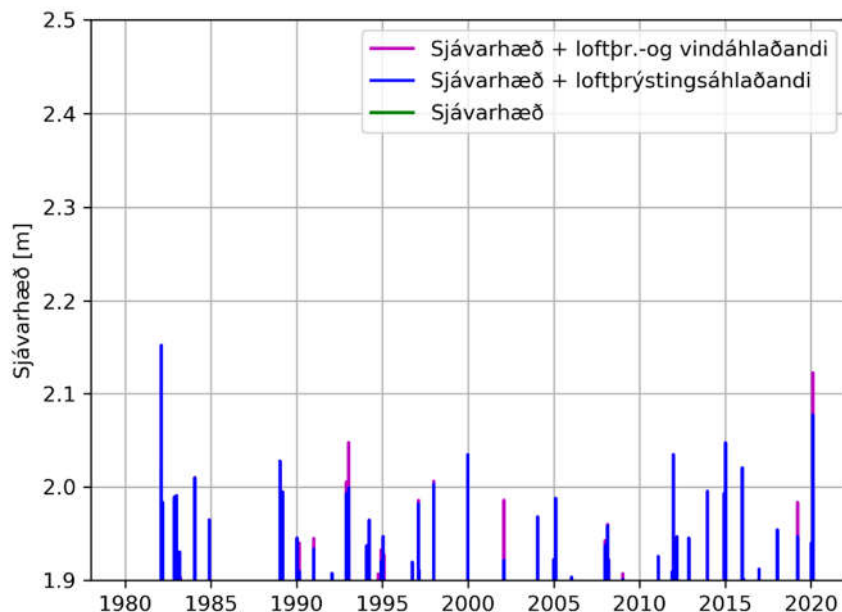


**Mynd 2. Dreifirit loftþrýstings og áhlaðanda úr sjávarfallalíkani Vegagerðarinnar fyrir árin 2017 til 2020.**

Á Mynd 3 má sjá 40 ára reiknaða röð af sjávarhæð í Skagafirði, ásamt loftþrýstingsáhlaðanda og svo vindáhlaðanda við eyrina. Á Mynd 4 má sjá sömu tímaröð sem sýnir eingöngu toppa á sjávarhæð yfir 1,9 m. Þar sést að miðað við þessar forsendur fer sjávarhæð í þessari 40 ára röð yfir 2,1 m tvisvar sinnum. Fyrri atburðurinn er 9. febrúar 1982 en óveðrið sem fjallað er um í kaflanum á undan var í nóvember 1982 og reiknast sjávarhæð í þeim atburði hæst um 2,0 m. Seinni atburðurinn er 10. febrúar 2020. Alls eru 10 atburðir í þessari tímaröð þar sem sjávarhæð fer yfir 2,0 m.

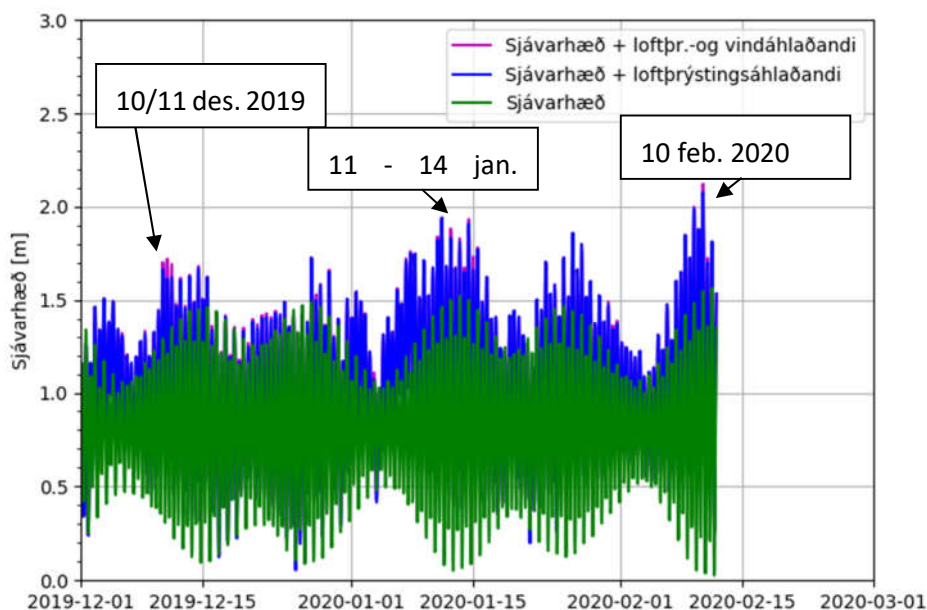


**Mynd 3. Reiknuð 40 ára tímaröð af sjávarhæð ásamt mati á loftþrýstings- og vindáhlaðanda við eyrina á Sauðárkróki. Sjávarhæð er gefin í hæðarkerfi Sauðárkrókshafnar.**



**Mynd 4. Reiknuð 40 ára tímaröð af sjávarhæð ásamt mati á loftþrýstings- og vindáhlaðanda við eyrina á Sauðárkróki þar sem hún fer yfir 1,9 m. Sjávarhæð er gefin í hæðarkerfi Sauðárkrókshafnar.**

Fyrir atburðinn 10. og 11. desember 2019, sjá nánar á Mynd 5, er ljóst af umfangi hans að sjávarhæð við Skarðseyrina hefur verið hærrí en þessi greining gefur til kynna. Munar þar líklega um ölduáhlaðanda sem í þeim atburði hefur, á grynningunum utan eyrinnar, mögulega verið þó nokkur. Ölduhæð úti á hafi í þeim atburði er með stærstu atburðum sem koma fyrir á tímabilinu síðastliðin 40 ár. Mat hafnarstarfsmanna var að flóðhæðin hafi hæst farið í um 2,15 – 2,2 m, en reiknuð sjávarhæð er hæst um 1,7 m. Þar munar að einhverju leyti um ölduáhlaðanda en einnig er ákveðin óvissa í mati á sjávarstöðu í reikningunum sem notaðir eru í þessari skýrslu.



**Mynd 5.** Reiknuð sjávarhæð ásamt mati á loftþrýstings- og vindáhlaðanda við eyrina á Sauðárkróki frá desember 2019 – febrúar 2020. Sjávarhæð er gefin í hæðarkerfi Sauðárkrókshafnar.

General Pareto líkindadreifing var aðlöguð að hinni 40 ára löngu tímaröð sjávarhæðar með vind- og loftþrýstingsáhlaðanda til að meta endurkomutíma sjávarhæðar við eyrina á Sauðárkróki, sjá töflu 1.

**Tafla 1.** Endurkomutími sjávarhæðar með vind- og loftþrýstingsáhlaðanda við eyrina á Sauðárkróki byggt á General Pareto líkindadreifingu.

Endurkomutími	Sjávarhæð [m]
1 ár	1,94
10 ár	2,08
50 ár	2,12
100 ár	2,15

Umfang sjávarflóðsins á Sauðárkróki 10. og 11. desember var samspil þess að annars vegar olli óveðrið svo miklu brimi (sjötta stærsta úthafshalda undanfarin 40 ár skv. gögnum ECMWF) að sjónvörnin við Skarðseyri skemmdist og hins vegar hárrar sjávarstöðu auk áhlaðanda vegna öldu og loftþrýstings.

Umfang sjávarflóðsins sem átti sér stað um mánuði seinna í janúar hefur væntanlega verið samspil þess að sjónvörnin við Skarðseyri var skemmd eftir veðrið í desember auk þess að samkvæmt þessari greiningu var sjávarstaðan það há að um var að ræða atburð sem að jafnaði kemur u.þ.b. einu sinni á ári.

Um mánuði seinna í febrúar kemur svo atburður með svo hárrí sjávarstöðu að samkvæmt þessari greiningu er hann sá annar stærsti undanfarin 40 ár og reiknast með um 50 ára endurkomutíma. Umfang sjávarflóðsins var eftir því, auk þess að sjónvörnin við Skarðseyri var skemmd.

Byggt á þessari 40 ára reiknuðu röð af sjávarhæð við eyrina á Sauðárkróki var hægt að setja atburðina sem hafa átt sér stað í vetur í samhengi og meta endurkomutíma þeirra. Ljóst er að á



Þriggja mánaða tímabili áttu sér stað þrjár atburðir sem með tilliti til öldu og sjávarhæðar voru aftaka atburðir

Þessa greiningu á reiknaðri röð af sjávarhæð má nota sem innlegg í hönnun á sjónvörnum á þessu svæði. Hún nægir þó ekki ein og sér því að sjávarflóð verða ekki af hárra sjávarstöðu einni sér. Til þess þarf að koma há alda sem gefur yfir náttúrulega sjávarkamba eða sjóvarnarmannvirki. Sjávarflóð verða vegna flókins samspils hárrar sjávarstöðu og hárrar öldu. Mörg dæmi eru um mikil aftaka sjávarflóð þó að hvorki sjávarhæð né ölduhæð ein sér teljist aftök, hvort um sig einungis frekar sjaldgæfir atburðir. Næstu kaflar fjalla um samspil öldu og sjávarhæðar og greiningu á ágjöf.



### 3 Mat á ágjöf í nýliðnum flóðaveðrunum

Til að meta stærðargráðu þeirra flóðaatburða sem átt hafa sér stað undanfarna mánuði þarf að leggja mat á það hve mikil ágjöfin yfir sjóvörnina var í veðrunum. Matið var unnið í samráði við hafnarstjóra Skagafjarðahafna, Dag Þ. Baldvinsson. Ágjöf yfir sjóvörn er metin í l/s á hvern lengdarmetra meðfram sjávarkambi eða sjóvörn og því þurfti að áætla ýmsa þætti fyrir hvern atburð. Þættirnir voru:

- Hlutfall af snjó á jörðinni.
- Stærð svæðis sem fór á flot (sjá Mynd 1).
- Mesta dýpi og meðal dýpi flóðs á landi.
- Tímabil þar til jafnvægisástandi var náð, þ.e. þegar flóðið var í hámarki.
- Lengd varnargarðs sem flæddi yfir

Þá var einnig lagt mat á mesta sjávarhæð þegar atburðirnir áttu sér stað og var hún metin á 2,1 – 2,3 m þar sem hún var mest í febrúar en minnst í janúar.

Hægt var að leggja mat á þættina með mismikilli nákvæmni, enda erfitt þegar nokkur tími er liðinn frá því að atburðurinn átti sér stað. Samkvæmt hafnarstjóra þótti enginn snjór að ráði þegar atburðirnir áttu sér stað, en mikið magn af snjó gæti haf hindrað rennsli sjós af eyrinni og þannig aukið á flóðið því snjórinn bráðnar og blandast við sjóinn. Svæðið sem fór á flot var mjög svipað í öllum atburðum, þó var það minnst í janúar atburðinum og mest í febrúaratburðinum. Það sama má segja um mesta dýpi, en gert var ráð fyrir að meðaldýpi á svæðinu hafi verið um helmingur mesta dýpis. Tímabil sem atburðirnir vörðu yfir og lengd varnargarðsins var áætlað að hafi haldist óbreytt milli atburða og því var það aðallega stærð svæðis sem fór á flot og meðaldýpi sem stýrði magn ágjafar þar sem það voru breytilegu þættirnir milli atburða. Ágjöf var svo fundin út frá kvóta rúmmáls sjávar á landi, tíma sem atburðurinn varði og lengd varnargarðs sem sjó gaf yfir til að fá ágjöf í mælieiningunni l/s/m, niðurstöður úr mati þessu má sjá í töflu 2 hér fyrir neðan.

**Tafla 2 Mat á ágjöf yfir sjóvarnargarða í flóðunum í desember, janúar og febrúar s.l. byggt á gögnum frá starfsmönnum sveitafélagsins.**

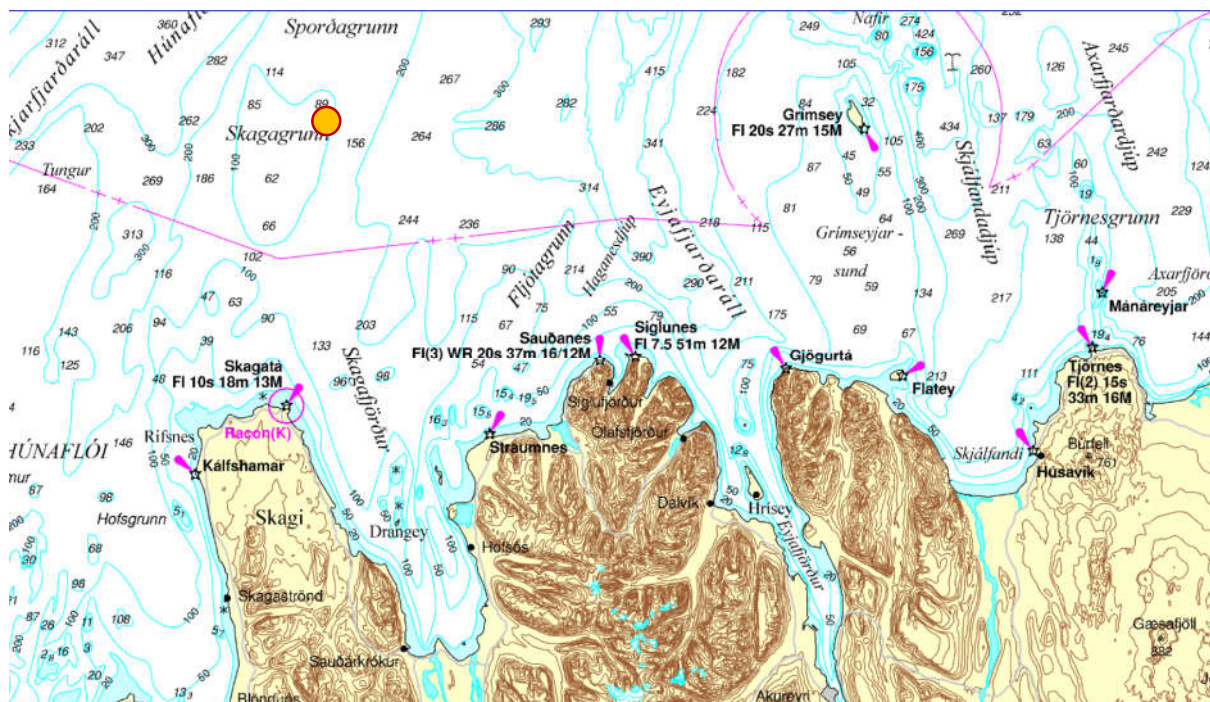
Þáttur		10-12. des 2019	11.-13.jan 2020	10. feb 2020
<b>Stærð svæðis</b>	[m <sup>2</sup> ]	25.000	22.000	27.000
<b>Mesta dýpi</b>	[m]	0.65	0.6	0.75
<b>Meðaldýpi</b>	[m]	0.33	0.3	0.38
<b>Rúmmál vatns</b>	[m <sup>3</sup> ]	8.125	6.600	10.125
<b>Hlutfall af snjó</b>		<10%	<10%	<10%
<b>Tími</b>	[Klst]	1,5	1,5	1,5
<b>Lengd varnargarðs</b>	[m]	80	80	80
<b>Ágjöf</b>	[l/s/m]	19	15	23

Til samanburðar er ágjöf uppá 10 l/s á lengdarmetra stundum notuð sem viðmið fyrir hættulegar aðstæður fyrir vegfarendur og eingöngu ættu reyndir einstaklingar í öryggisbúnaði að vera á ferli við slíkar aðstæður.



## 4 Mat á endurkomutíma sjávarflóða

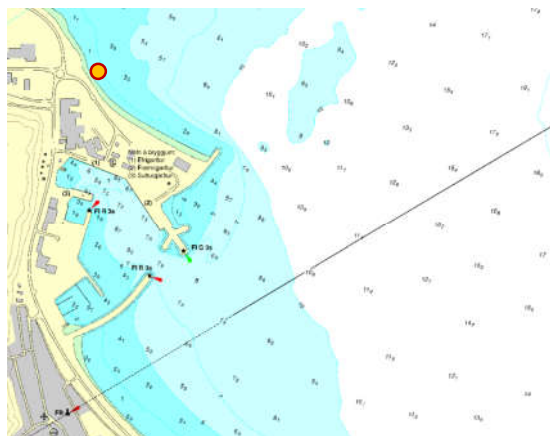
Sem mat á virkni núverandi sjóvarnar og innlegg í hönnun sjóvarna á svæðinu var myndað stórt gagnasafn af aftakaatburðum sem byggist á 40 ára sögulegri tímaröð frá svæðinu. Notast var við spágögn frá evrópsku veðurstofunni ECMWF frá árunum 1979 til 2020 í hnit 66,5°N 20,0°V, sem er á hafsvæðinu rétt norðan við Skagafjörðinn, sjá Mynd 6. Spágögnin innihalda vindhraða, vindstefnu, hæð kenniöldu, sveiflutíma og stefnu kenniöldu auk loftþrýstings við sjávaryfirborð, en hann var notaður til að meta áhlaðanda vegna loftþrýstings. Að auki var notast við tímaröð fyrir stjarnfræðileg sjávarföll á Skagafirðinum sem reiknuð er í öldulíkaninu MIKE 21 SW út frá stjarnfræðilegum stuðlum.



**Mynd 6. Úthafspunktur evrópsku veðurstofunnar ECMWF 66,5°N 20,0°V fyrir veður- og haffræðileg gögn (Af kortavefsjá íslenskra sjökorta Landhelgisgæslunnar og Landmælinga Íslands).**

Úr tímaröðinni voru einangraðir ríflega 2000 óháðir atburðir og notaðir til að útbúa gagnasafn með 350.000 óháðum atburðum þar sem í það minnsta ein af ofangreindum breytum er í hærra lagi. Gagnasafnið var útbúið með því að nota aðferðina „Multivariate extreme value modelling“ (B. Gouldby, 2014). Þar er notast við óháða atburði til að herma þær breytur sem stuðla að aftaka atburðum. Aðferðin varðveitir þá fylgni sem er milli breytanna í útgildum. Atburðirnir eru síðan færðir nær Sauðárkróki með öldulíkaninu MIKE 21 SW og svokölluðu Meta Model, sem er ekki öldulíkan en hermir eftir niðurstöðum MIKE og sparar því keyrslutíma verulega. Atburðirnir voru færðir upp að ströndinni í punkt á um 2 m dýpi utan við Skarðseyrina norðaustan við FISK Seafood, sjá Mynd 7. Við val á staðsetningu punkts á grunnslóð var framkvæmd næmnigreining þar sem niðurstöður úr punktinum voru bornar saman við niðurstöður úr tveimur punktum á 2 m dýpi um 1 km beggja vegna við punktinn. Þannig mátti sjá að munur milli haffræðilegra gagna var hverfandi og því óþarfi að meta ágjöf yfir sjövrönnina frá mörgum stöðum á grunnslóð innan svæðisins sem er til athugunar.

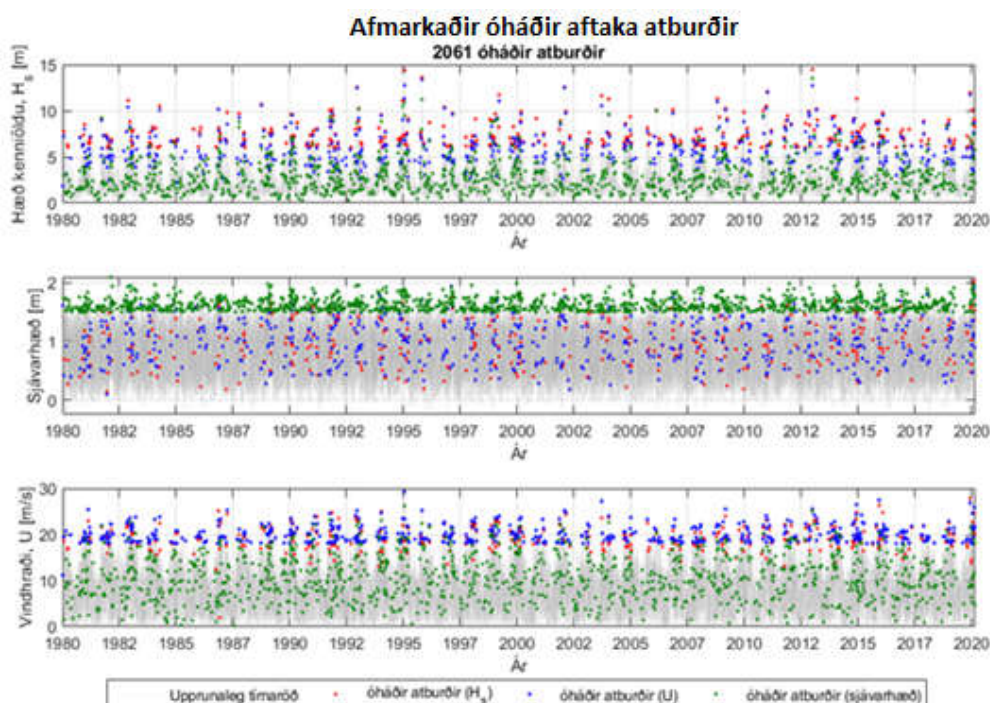




Mynd 7. Staðsetning á grunnslóð á 2 m dýpi við eyrina við Sauðárkrók (Af kortavefsjá íslenskra sjókorta Landhelgisgæslunnar og Landmælinga Íslands).

#### 4.1 Afmörkun óháðra aftaka atburða

Tryggja þarf að atburðirnir sem notaðir eru úr tímaröðinni til að herma eftir séu óháðir aftaka atburðir. Þá er átt við að ekki séu notuð tvö eða fleiri tímaskref úr sama flóðaatburðinum. Þannig eru óháðir aftaka atburðir afmarkaðir í 40 ára löngu tímaröðinni með þeim hætti að fyrst eru valdir toppar á hæð kenniöldu, sjávarhæð og vindhraða sem eru yfir ákveðnum þröskuldsgildum. Úr því gagnasafni eru síðan valdir toppar út frá hæð kenniöldu og vindhraða með í það minnsta 36 klukkustunda millibili en allir toppar á sjávarhæð eru valdir. Þröskuldsgildið fyrir hæð kenniöldu á hafi er 6 m, fyrir sjávarhæð 1,5 m og 18 m/s er þröskuldurinn fyrir vindhraða. Afmörkunin skilar 2061 óháðum atburðum sem notaðir eru til að herma 350.000 óháða aftakaatburði, sjá Mynd 8.



Mynd 8. Tímaröð hæð kenniöldu (efst), sjávarhæð (mið) og vindhraða (neðst). Tímaröðin er af-þjöppuð í óháða atburði út frá hæð kenniöldu (rauðir), sjávarhæð (grænir) og vindhraða (bláir).

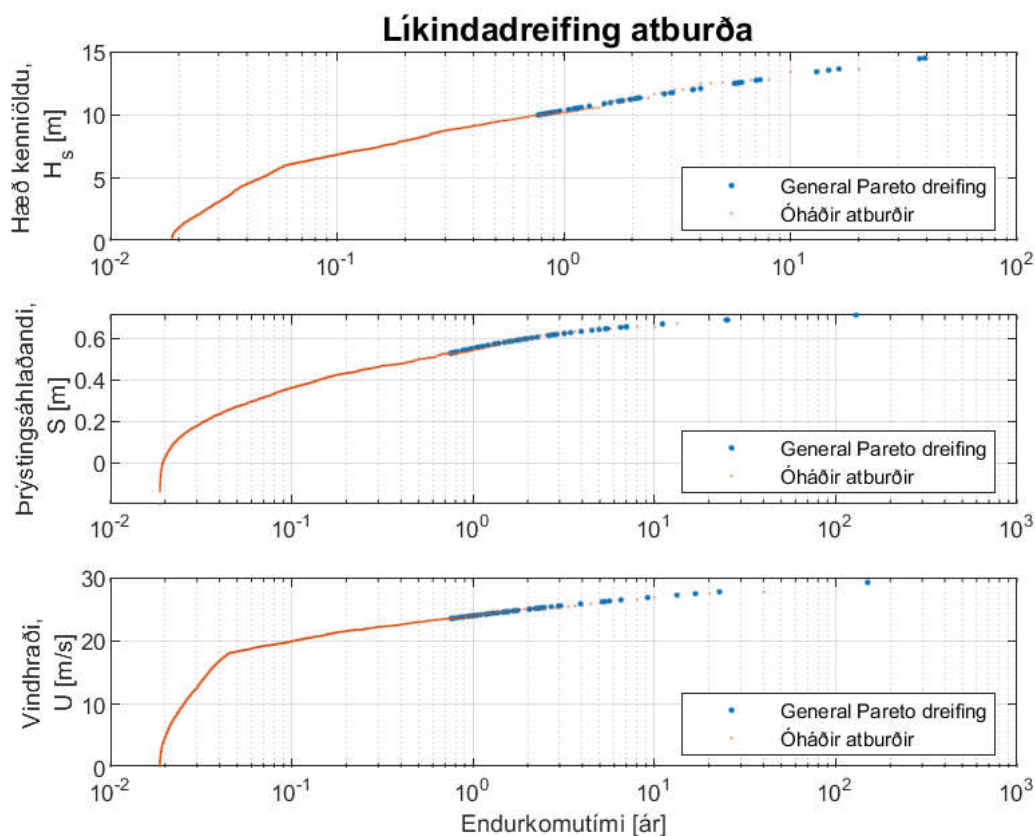




## 4.2 Hermun aftaka atburða

Hermun gagna er tvíþætt, annarsvegar er Multivariate Extreme Value Modelling notað til að herma 350.000 gildi af hæð kenniöldu, vindhraða og loftþrýstingsáhlaðanda. Hinsvegar að nota hermdu gildin af þessum þrem þáttum til að herma hinar breytur úr sambandi sínu við þá þætti sem þegar hafa verið hermdir.

Til að byrja með er General Pareto Líkindadreifingin aðlöguð að afmörkuðu óháðu atburðunum, sjá Mynd 9, líkurnar fyrir gildi sem eru fyrir ofan 80% eru færð yfir á Gumbel skala með því að taka tvöfaldan neikvæðan logra af líkunum,  $Y_i = -\log(-\log(f_i))$ . Þar sem  $f$  eru líkur fyrir viðeigandi gildi í einum af þrem breytum sem verið er að herma að þessu sinni, s.s.  $i$ .



**Mynd 9. Líkindadreifing (rauð) og General Pareto dreifing (blá) fyrir hæð kenniöldu (efst), loftþrýstingsáhlaðanda (mið) og vindhraða (neðst) byggt á óháðum atburðir úr 40 ára tímaröðinni**

Multivariate extreme value modelling byggist á því að nota jöfnuhneppi til að líkja eftir sambandi milli hæð kenniöldu, vindhraða og loftþrýstingsáhlaðanda, sbr jöfnuna hér fyrir neðan.

$$Y_{-i}|Y_i = aY_i + Y_i^b W$$

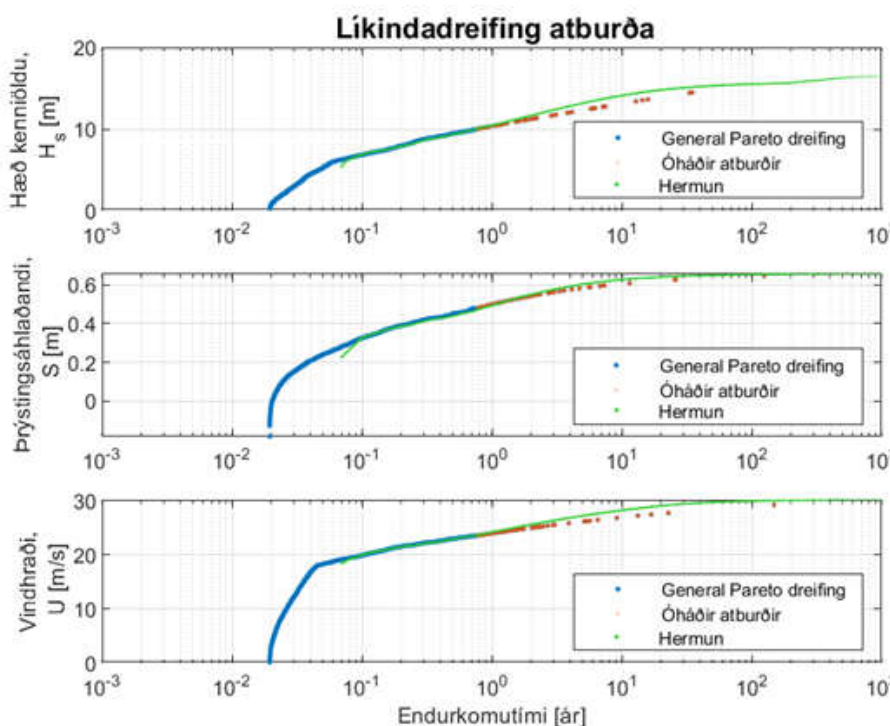
Þar sem  $Y_{-i}$  eru  $Y$  gildin fyrir þær tvær breytur sem skal herma og  $Y_i$  er skilyrða breytan sem hermt er útfrá. Þá er  $a$  fasti á bilinu  $]0,1[$ ,  $b$  er fasti á bilinu  $] -1, 1[$  og  $W$  eru leifar sem fylgja normaldreifingu. Jöfnuhneppið er leyst sérstaklega þar sem hver breyta er skilyrða breytan með most likelihood method undir því skilyrði að  $Y_i$  sé topp 20%. Þegar búið er að leysa jöfnuhneppið er það notað með Monte Carlo aðferð til að herma 350.000 þar sem neðangreind fjögur skref eru endurtekin þar til fjölda atburða er náð.

1. Handahófskennt gildi af  $Y_i$  er valið, gefið að það sé í topp 20%,



2. Handahófskennt gildi af  $W$  er valið út frá meðaltali og staðalfrávikum sem fundið var þegar jöfnuhneppið var leyst.
3.  $Y_{-i}$  eru reiknaðar út frá jöfnu (1) með  $W$  úr skrefi 2 og viðeigandi a og b.
4. Breyta  $Y$  aftur yfir í  $f$  og nota General Pareto dreifinguna til að fá viðeigandi gildi.

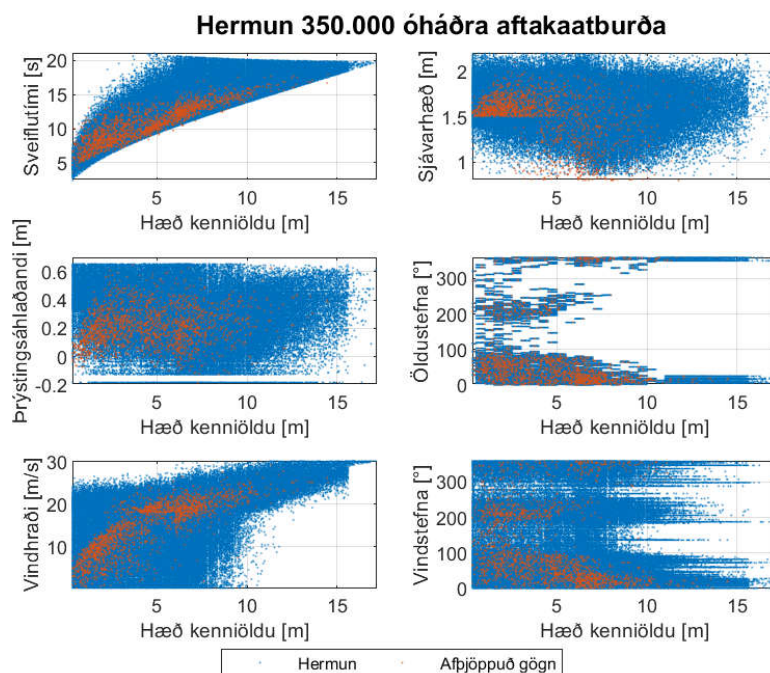
Þessi aðferð skilar þá 350.000 óháðum atburðum þar sem í það minnsta ein af breytunum inniheldur hátt gildi. Mynd 10 sýnir samanburð líkindadreifingu á þeim þrem breytum sem hermdar voru með Monte Carlo aðferðinni og óháðu atburðanna sem Multivariate Extreme Value Modelling er byggð á.



**Mynd 10. Samanburður líkindadreifinga óháðra atburða (blár og rauður) og hermunar (grænn) fyrir hæð kenniöldu (efst), loftþrýstingsáhlaðanda (mið) og vindhraða (neðst).**

Þær breytur sem eftir sitja, þ.e.a.s. öldustefna, sveiflutími kenniöldu, vindstefna og stjarnfræðileg sjávarföll eru byggðar á sambandi sínu við þær þrjár breytur sem voru hermdar með Monte Carlo aðferðinni. Þá er öldustefna og sveiflutími byggð á hæð kenniöldu, vindstefna er byggð á vindhraða og stjarnfræðileg sjávarföll byggð á loftþrýstingsáhlaðanda og árstíma.

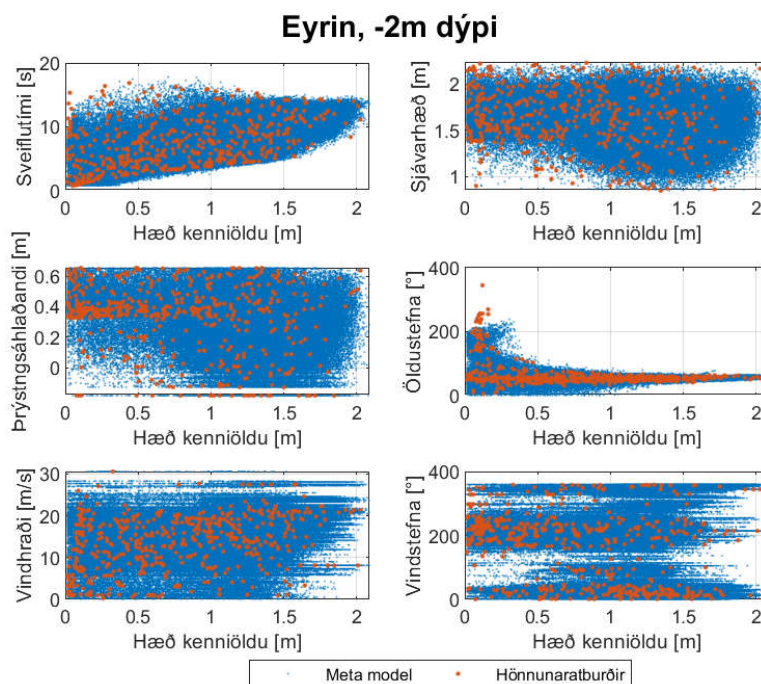
Á Mynd 11 má sjá samanburð dreifingu þeirra 2061 óháðra atburða úr 40 ára tímaröðinni (rauðir) og hermun 350.000 óháðra aftaka atburða út frá þeim (bláir). Hermdu atburðirnir fylgja dreifingu aftaka atburðanna úr tímaröðinni að mestu leiti auk þess sem hærrí útgildi fást. Þetta gagnasafn af 350.000 hermdum aftaka atburðum var síðan flutt inn Skagafjörðinn úr hnit 65,5°N 20,0°V í þeim tilgangi til að nota þá við mat á ágjöf yfir sjóvörnina á eyrinni á Sauðárkróki.



Mynd 11. Dreifing 350.000 óháðra aftaka atburða úr hermuninni (blá) borin saman við dreifingu óháðra aftaka atburða úr 40 ára tímaröðinni (rauð).

### 4.3 Safn aftaka atburða flutt inn fjörðinn

Til að sjá hvernig þessir atburðir hegða sér við eyrina á Sauðárkróki þarf að flytja þá inn Skagafjörðinn úr hnitinu 66,5°N 20,0°V. Vegagerðin notar sjávarfallalíkanið MIKE 21 SW til að flytja atburði úr



Mynd 12. Vind- og hafnræðileg gögn í 2m dýpi norðan við eyrina á Sauðárkrók. Hönnunaratburðir (rauðir) voru fluttir inn að ströndinni með Mike SW 21 öldulíkani en Allt stóra gagnasafnið (blátt) var flutt inn að ströndinni með Meta Model sem byggist á hönnunaratburðunum.



úthafspunkti nær ströndinni. Að þessu sinni er MIKE 21 SW notað saman við Meta Model sem byggt er á Radial Basis falli til að færa alla 350.000 aftakaatburðina að 2 m dýpi út við eyrina á Sauðárkróki, rétt norðaustan við FISK Seafood. Þessar tvær aðferðir eru notaðar saman því ef MIKE öldulíkanið væri eingöngu notað þá tæki það vikur ef ekki mánuði að flytja alla 350.000 atburðina. Þess í stað eru 500 hönnunaratburðir valdir úr hermda gagnasafninu sem eru lýsandi hvernig punktaskýið hegðar sér og þeir eru keyrðir í MIKE 21 SW. Niðurstöðurnar úr keyrslunni eru svo setta inn í Meta Model ásamt hönnunaratburðunum til að greina sambandið milli atburða í hnitinu 66,5°N 20,0°V og í 2 m dýpi við eyrina. Niðurstöðurnar má sjá í Mynd 12 en frekari lýsing á Meta Model aðferðinni og Multivariate Extreme Value Modelling má finna í *Mat á aftaka sjávarflóðum: Innleiðing aðferða sem byggist á samlíkum útgilda* (Bryndís Tryggvadóttir, 2020).

#### 4.4 Vindáhlaðandi

Vindáhlaðandi sjávar var áætlaður út frá jöfnu Bretschneider þar sem  $U$  er vindhraði,  $h$  er dýpi sjávar og  $L$  er lengd dýpis.

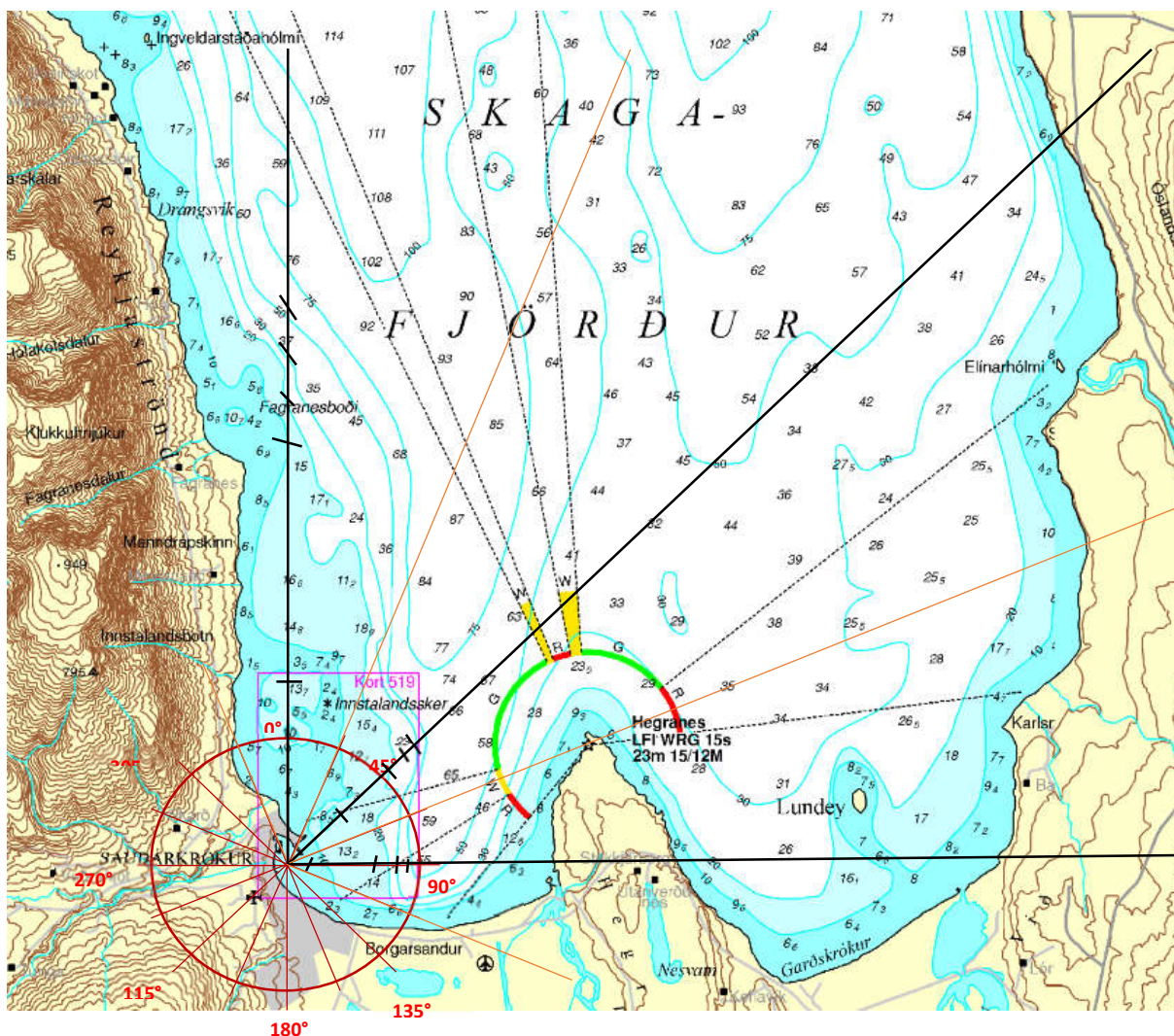
$$S_w = 3 \cdot 10^{-6} \cdot U^2 \cdot L \cdot \frac{\ln\left(\frac{h_1}{h_2}\right)}{g(h_1 - h_2)}$$

Dýpi sjávar og lengd dýpis byggist á dýptarmælingum Landhelgisgæslunnar en dýptarkort af innanverðum Skagafirðinum má sjá á Mynd 13. Svæðinu utan eyrinnar er skipt í þrjú hluta eftir því úr hvaða átt vindurinn kemur eins og sjá má á vindáttahringnum á Mynd 13. Þrjú þversnið af sjávarbotninum eru notuð, eitt fyrir hvern hluta, þá er vindáhlaðandi t.d. fyrir vind með stefnu 22,5° - 67,5° reiknaður með þversniði sjávarbotns í 45°. Dýpi og lengd sjávarbotns fyrir hvert þversnið má sjá í töflu 3. Ef vindátt er á bilinu 122,5° - 327,5° er vindáhlaðandi metinn sem enginn. Mesti vindáhlaðandi sem metinn er í hermda gagnasafninu nær 11 cm, en af þeim atburðum sem hafa vindáhlaðanda þá er 10% með yfir 6 cm og 2% yfir 8 cm í vindáhlaðanda.

**Tafla 3 Dýpi sjávar og lengd dýpis frá 2 - 75 m dýpi hjá Sauðárkrók sem notað er við mat á vindáhlaðanda.**

Vindátt:	337°-23°		23°-68°		68°-113°	
Dýpi [m]	Fjarlægð frá landi [m]	Lengd dýpis [m]	Fjarlægð frá landi [m]	Lengd dýpis [m]	Fjarlægð frá landi [m]	Lengd dýpis [m]
-75	8230	750	3227	660	2280	320
-50	7480	660	2567	130	1960	160
-30	6820	330	2437	300	1800	340
-20	6490	3830	2137	870	1460	1030
-10	2660	2240	1267	170	430	200
-7	420	50	1097	950	230	60
-5	370	270	147	117	170	140
-2	100	100	30	30	30	30





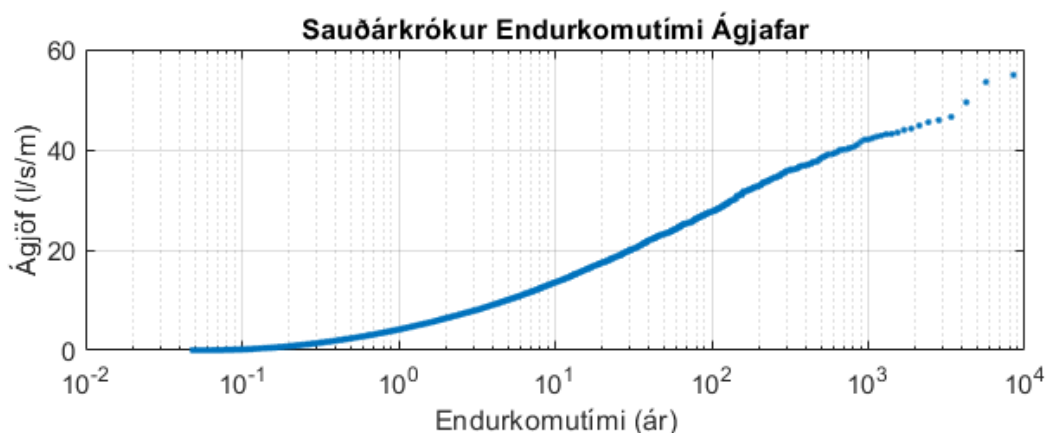
Mynd 13. Sjókort af Skagafirðinum við Sauðárkrók, notað við mat á vindáhlaðanda (Af kortavefsjá íslenskra sjókorta Landhelgisgæslunnar og Landmælinga Íslands).

#### 4.5 Mat á ágjöf í atburðinum í desember 2019 og janúar og febrúar 2020

Þegar kom að því að reikna ágjöf yfir sjávarkamb fyrir atburðina veturinn 2019-2020 var notast við jöfnu 6.5 úr EurOtop 2018 ágjafarleiðarvísi. Jafnan hér fyrir neðan lýsir ágjöf fyrir sjövrörn af sama tagi og má finna á Sauðárkróki þar sem  $q$  er ágjöf í l/s/m,  $R_c$  er hæðarmunur milli landsins bakvið sjövrörnina og sjávarhæðar,  $H_s$  er hæð kenniöldu,  $\gamma_f$  er hrifni/gljúpleikastuðull og  $\gamma_\beta$  er stuðull sem tekur tillit til þess ef alda kemur undir horni.

$$q = 0.09 \cdot \exp\left(-\left(1.5 \frac{R_c}{H_s \cdot \gamma_f \cdot \gamma_\beta}\right)^{1.3}\right) \cdot \sqrt{g \cdot H_s^3}$$

Í febrúar 2020 var strendur og sjóvarnir við Sauðárkrók hæðarmældar. Hæð sjóvarnar við eyrina þar sem hvað mest gaf yfir reyndist vera +3,9 m í hæðarkerfi hafnarinnar. Niðurstöður hæðarmælinga má finna í Viðauka. Þá er sjövrörnin úr einu grófu grjótlagi því var notað gildið 0.55 fyrir hrifnistuðul sjóvarnarinnar í samræmi við töflu 6.2 í EurOtop 2018 ágjafarleiðarvísi. Áætlað er að öldurnar skelli á sjövrörninni með 90° horni, þannig að öldufaldar eru samsíða ströndinn, og því er öldustefnu stuðullinn 1. Endurkomutími ágjafar byggt á atburðum í hermda gagnasafninu má finna á Mynd 14 og töflu 4.

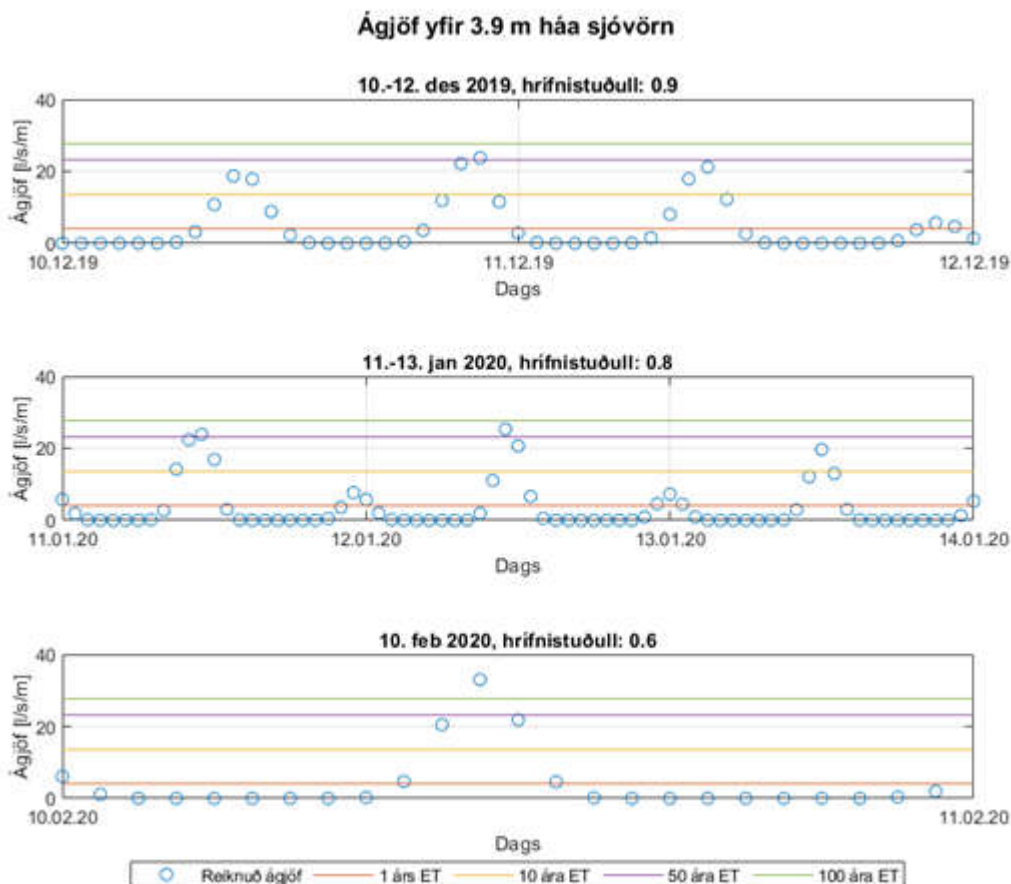


Mynd 14. Endurkomutími ágjafar yfir sjóvarnir á norðanverðri eyrinni miðað við safnið af hermdum aftaka atburðum.

Tafla 4. Endurkomutími ágjafar yfir 3,9 m háa sjóvörn á norðanverðri eyrinni, hrífnistuðull 0,55

Endurkomutím i [Ár]	Ágjöf [l/s/m]
1	4
10	14
50	23
100	28
1000	42

Þegar atburðirnir í des 2019 til feb 2020 skulu á voru aðstæður ekki með besta móti hvað varðar gleypni grjótkápunnar. Snjór, klaki og þari höfðu safnast á sjóvörninni sem gerði það að verkum að hún varð þéttari og ekki eins gleypin eða hrjúf, þannig að ágjöf varð meiri. Því má áætla að hrífnistuðull sjóvarnarinnar í desember hafi verið nær 0,9 heldur en það sem telst dagsdaglegt ástand. Að sama skapi hafi stuðullinn verið nær 0,8 í janúar veðrinu en í febrúar má áætla að hann hafi verið nokkuð nálægt sínu meðalgildi eða 0,6. Því var notast við annan hrífnistuðull þegar ágjöf atburðanna var reiknuð heldur en þann sem notaður er til að reikna ágjöf atburða í hermda gagnasafninu. Samanburður á ágjöf atburðanna og endurkomutíma ágjafar í hermda gagnasafninu má sjá á Mynd 15 en þar er hrífnistuðullinn tekinn fram fyrir hvern atburð fyrir sig auk meðalhrífnisstuðli sem notaður var við mat á ágjöf atburðanna í hermda gagnasafninu.



**Mynd 15. Reiknuð ágjöf þriggja nýlegra atburða yfir sjóvörn í +3.9 m borin saman við endurkomutíma úr hermda gagnasafninu.**

Eins og kemur fram í töflu 5 þá er mesta ágjöfin í þessum þremur atburðum á bilinu 24 til 33 l/s/m. Tíminn sem tók flóðið að þekja svæðið sem fjallað er um í inngangi þessarar skýrslu var gróflega metinn sem 4 klst af starfsmönnum sveitafélagsins. Mesta 4 klst meðalágjöf má finna í töflu 5 en þar kemur einnig fram að endurkomutími þessara atburða er talinn vera á bilinu 10 til 30 ár miðað við samanburðinn við ágjöf atburða í hermda gagnasafninu.

**Tafla 5. Reiknuð ágjöf þriggja nýlegra atburða yfir 3.9 m háa sjóvörn og mat á endurkomutíma atburðanna sem áttu sér stað í des 2019 - feb 2020.**

	Mesta ágjöf [l/s/m]	Hæsta 4 klst meðaltal [l/s/m]	Endurkom utími [ár]	Hrífistuðull
<b>10-12. Des 2019</b>	24	17	20	0,9
<b>11.-13. Jan 2020</b>	25	15	10	0,8
<b>10. Feb 2020</b>	33	20	30	0,6

Til samanburðar var ágjöf vegna óveðursins þann 16. nóvember 1982 reiknuð á sama máta og ofangreindir atburðir og notast við vindgögn fyrir Sauðárkrók úr vindlíkani Veðurstofunnar. Reyndist ágjöf vegna óveðursins 1982 ná mest 18 l/s/m miðað við hrifnistuðulinn 0.8. Þá var hæsta 4 klst meðaltal 12 l/s/m sem setur óveðrið í sömu stærðargráðu og janúar atburðurinn með ca. 10 ára endurkomutíma. Það skal tekið fram að þarna er verið að meta ágjöf í veðrinu 1982 yfir núverandi sjóvarnarmannvirki en ekki þær sjóvarnir sem þá voru.





Samkvæmt þessu hefur veðrið árið 1982 verið heldur skárri en veðrin síðustu mánuði. Hins vegar er líklegt að sjóvarnir hafi verið bæði lægri og efnisminni og því séu ágjafar tölur vanmetnar. Líklegra er að ágjöfin hafi verið á pari við veðrin síðustu mánuði eða jafnvel heldur verri.



## 5 Ágjöf yfir sjóvörn við Strandveg

Hermda gagnasafnið var einnig notað til að meta ágjöf yfir sjóvörn við Strandveg á Sauðárkróki. Þó um sé að ræða sömu atburði á mjög svipuðum stað þá hegðar aldan sér öðruvísi utan við Strandveg en norðan við eyrina líkt og má sjá á öldusveigumyndum í viðauka. Því var MIKE 21 SW og meta model notuð líkt og lýst er í kafla 4.3 til að flytja aftaka atburðina inn að fjórum stöðum á 2 m dýpi norðan við Strandveg, sjá Mynd 16. Samkvæmt heimamönnum gengur mest yfir garðinn á svæðinu milli stöðva 200 og 800 og að innan þess svæðis sé aldan mjög þung sem skelli á sjóvörninni milli stöðva 500 og 700. Þá er talið að garðurinn frá stöð 1100 og að smábáta höfn sé í lagi.



Mynd 16 Staðsetning athugunarpunkta Strv1 til Strv 4 við Strandveg þar sem lagt var mat á ágjöf yfir sjóvörnina.

Niðurstöður hæðarmælinga sem framkvæmd var í febrúar 2020 fyrir hverja staðsetningu má finna í töflu 6. Hæðir eru gefnar upp í hæðarkerfi Sauðárkrókshafnar

Tafla 6 Hæð sjóvarnar við athugunarpunkta Strv1 til Strv 4 sem sýndir eru á Mynd 16. Hæð er gefin upp í hæðarkerfi Sauðárkrókshafnar

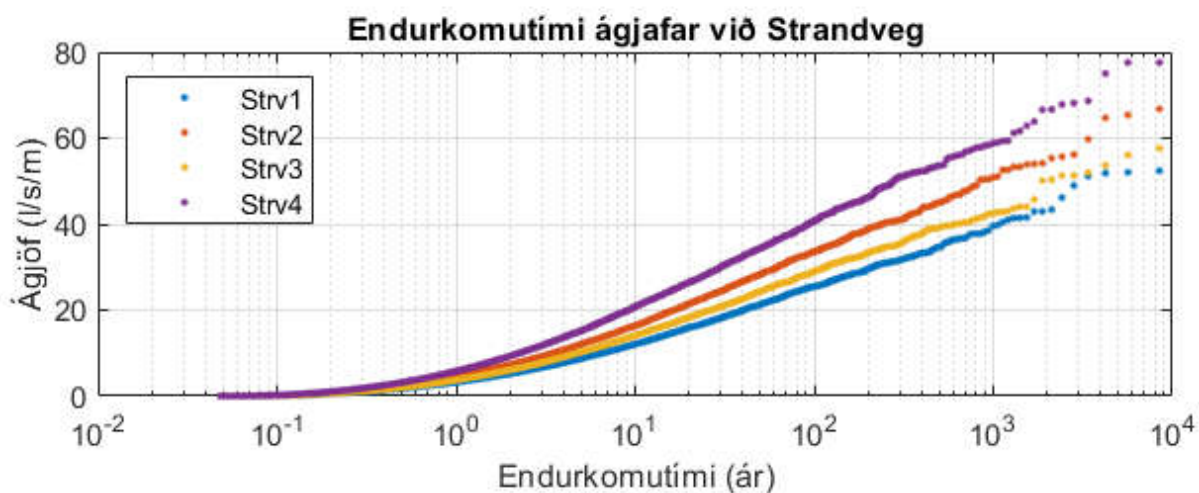
Staðsetning	Hæð
Strv1	+3,9 m
Strv2	+3,8 m
Strv3	+3,8 m
Strv4	+3,6 m



Endurkomutími ágjafar yfir sjövrönnina við Strandveg byggt á sömu jöfnu og notuð var í kafla 4.5 má sjá á Mynd 17 og töflu 7. Líkt og sjövrönnin við eyrina er þessi sjövrönn einnig úr einu grófu gjótlagi, því var hrífnistuðullinn fyrir þessa sjövrönn einnig metinn sem 0.55.

Tafla 7 Endurkomutími ágjafar í fjórum athugunarpunktum við Strandveg

Endurkomutím i	Ágjöf [l/s/m]			
	Strv1	Strv2	Strv3	Strv4
98 % tímans	0	0	0	0
1 ár	3	5	4	6
10 ár	12	16	14	21
50 ár	21	28	24	35
100 ár	26	34	29	41
1000 ár	40	51	43	59



Mynd 17 Endurkomutími ágjafar yfir fjórar staðsetningar á sjövrönn við Strandveg



## 6 Sjóvarnir til að minnka flóðahættu

### 6.1 Hækkun sjóvarna til að uppfylla viðmiðunarmörk fyrir ággjöf

Hönnun varna við sjávarflóðum tekur mið af leyfilegri ággjöf yfir sjóvarnarmannvirki. Ýmis viðmiðunarmörk fyrirfinnast sem taka tillit til mismunandi þátta fyrir innan varnarmannvirkin. Það getur verið gangandi eða akandi vegfarendur og er þá greint á milli hvort vegfarendur eru óviðbúnir eða viðbúnir, hvort ekið sé á meðal hraða eða lágum hraða. Þá eru ýmsar viðmiðanir fyrir varnarmannvirkið sjálft, hvernig frágangur er á landi bak við mannvirkið og fyrir byggingar. Fjarlægð vegfarenda og mannvirkja frá sjövrörn skiptir einnig miklu máli. Til að flækja málið enn frekar eru viðmiðanir bæði gefnar fyrir meðalággjöf,  $q$ , lítra á sekúndu á hvern lengdarmetra ( $l/s/m$ ), og hámarksággjöf í einstakri öldu,  $V_{max}$ , lítra á lengdarmetra ( $l/m$ ). Í þessari skýrslu er eingöngu fjallað um meðalággjöf og verða því eingöngu tilgreind viðmið sem eiga við um meðalággjöf.

Algeng viðmið fyrir ásættanlega ággjöf við aðstæður eins og við Strandvega eru að ággjöf fari ekki yfir 1 til 5  $l/s/m$ . Að teknu tilliti til aðstæðna er ákveðið að í veðrum sambærilegum þeim sem gengið hafa yfir undanfarið fari æskileg hámarks ággjöf yfir sjóvarnarmannvirki við Strandveg ekki yfir um 3  $l/s/m$ . Það svarar til þess að ággjöf í slíkum veðrum, sem hafa endurkomutíma 10 til 30 ár, verði svipuð því sem gefur að jafnaði yfir núverandi sjóvarnir í meðalári. Með öðrum orðum þá svarar þetta til þess að færa atburð sem nú hefur eins árs endurkomutíma yfir í það að endurkomutími verði um 10 til 30 ár. Svo ággjöf af stærðargráðunni 3  $l/s/m$  hafi í það minnsta 10 ára endurkomutíma þurfa sjóvarnir við Strandveg og á norðanverðri eyrinni að vera í hæðinni +4,2 til + 4,3 sem er hækkun uppá 40-60 cm eins og kemur fram í töflu 8.

**Tafla 8 Nauðsynleg hæð á sjövrörnum við Strandveg og á norðanverðri eyrinni svo að ággjöf sem nemur 3  $l/s/m$  hafi að lágmarki 10 ára endurkomutíma. Hæðir í hæðarkerfi Sauðárkrókshafnar.**

Staðsetning	Núverandi hæð	Ný hæð	Breyting
Strv 1	+3,9	+4,3	+0,4
Strv 2	+3,8	+4,3	+0,5
Strv 3	+3,8	+4,3	+0,5
Strv 4	+3,6	+4,2	+0,6
Eyrin	+3,9	+4,3	+0,4

### 6.2 Hækkun sjóvarna til að hindra flóð á eyrinni

Fyrir aðstæður eins og á eyrinni á Sauðárkróki þar sem sjór safnast fyrir á landi og afrennsli á ekki greiðan aðgang út í sjó, er það heildarmagn af sjó sem kemur yfir varnarmannvirki á hverju falli sem mestu máli skiptir. Við slíkar aðstæður getur þurft að miða við strangari kröfur en þar sem ágjafarvatn getur runnið burt og safnast ekki upp.

Þegar búið er að kryfja nýliðna ágjafaratburði í desember, janúar og febrúar er mögulegt að skoða hvernig best sé að draga úr ággjöfni til að draga úr flóðahættu á eyrinni. Löng reynsla er fyrir því að áhrifamest sé að hækka sjóvarnir til að draga úr ággjöf. Með sömu aðferðafræði og notuð var hér að ofan við mat á ággjöf, má skoða hve mikið þurfi að hækka sjóvarnir til að draga megi úr ággjöf niður á ákveðið hlutfall af núverandi ággjöf. Skoðað var að lækka ággjöf niður í ákveðin hlutföll af ággjöf yfir núverandi mannvirki. Þar voru skoðuð hlutföllin 50%, 25%, 10% og 5% af núverandi ággjöf.



Eins og kemur fram í töflu 9 þarf að hækka sjóvörnina í +4,2 m til að helminga ágjöfina fyrir alla þrjá atburðina. Það er hækkun um 0,3 m. Til að meðal ágjöfin í atburðunum færi niður í einn tíunda hluta af því sem í raun varð eða í um 1,5 til 2 l/s/m þarf að hækka sjóvörnina í um +4,7 til 4,9 m, það er hækkun um u.þ.b. 1 m.

**Tafla 9. Nauðsynleg hæð á sjóvörn á norðanverðri eyrinni miðað við hlutfallslega minnkun á ágjöf atburðanna í des 2019 - feb 2020. Hæðir í hæðarkerfi Sauðárkrókshafnar.**

Hlutfall ágjafar atburðanna	Ný hæð miðað við hlutfall ágjafar atburða [m]			
	50%	25%	10%	5%
<b>10.-12. Des 2019</b>	+4,2	+4,5	+4,9	+5,1
<b>11.-13. Jan 2020</b>	+4,2	+4,5	+4,9	+5,1
<b>10. Feb 2020</b>	+4,2	+4,4	+4,7	+4,9

Niðurstaða þessa er að til að minnka ágjöf yfir sjóvarnarmannvirki niður fyrir æskilega hámarkságjöf sem skilgreind er í kaflanum hér að ofan og koma í veg fyrir sambærileg flóð og orðið hafa í vetur, þá þarf að hækka sjóvarnarmannvirki norðan á eyrinni í +4,9 m í hæðarkerfi Sauðárkrókshafnar.

### 6.3 Hönnunarsnið í núverandi sjóvarnir

EKKI er til hönnunarsnið í sjóvörnina norðan á eyrinni, en til viðmiðunar er hér sýnt snið í nýlega sjóvörn aðeins norðan við eyrina. Árið 2015 var byggð um 250 m löng sjóvörn við Þverárfellsveg, norðan brúar yfir Gönguskarðsá. Grunnmynd og snið í sjóvörn eru sýnd á

Mynd 18 Sjóvörn við Þverárfellsveg, grunnmynd.

og Mynd 19. Hæð sjóvarnar var í +5,0 m í hæðarkerfi Sauðárkrókshafnar.



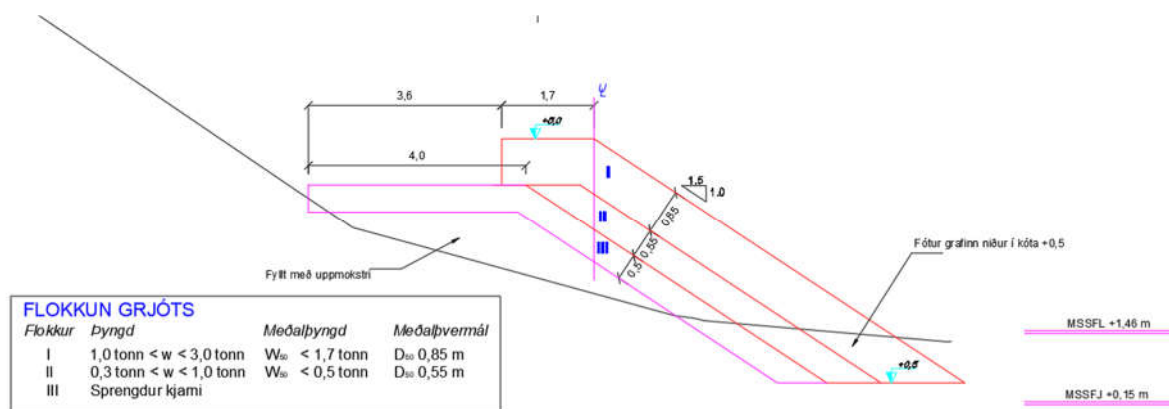
**Mynd 18 Sjóvörn við Þverárfellsveg, grunnmynd.**

Miðað við niðurstöðurnar hér að framan þarf hæð sjóvarnar á norðanverðri eyrinni að vera ekki lægri +4,9 m. Við hönnun er rétt að taka mið af hönnun sjóvarnar við Þverárfellsveg, Mynd 19.



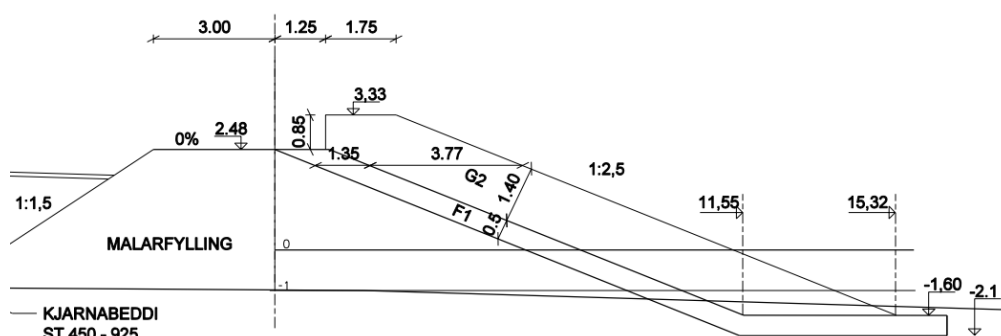


En þar sem land bak við sjövrönnina er lægra á eyrinni þarf að huga betur að flóðavörn innan við krónu sjóvarnar.



**Mynd 19** Snið í sjövrönn við Þverárfellsveg frá árinu 2015, snið og grjóttflokkar. Hæðir í hæðarkerfi Sauðárkrókshafnar.

Við hönnun endurbóta á sjövrönum við Strandveg þarf að skoða hvernig þær falla að núverandi sjövrönn, sjá hönnunarsnið frá árinu 2003 á Mynd 20.



**Mynd 20** Snið í sjövrönn við Strandveg frá árinu 2003. Grjóttflokkur G2 svarar til steinstærðar 0,5 til 2,0 tonn. Hæðir eru í gamla bæjarkerfinu þar sem „núllið“ er 0,616 m hærra en hæðarkerfi Sauðárkrókshafnar. Þannig er hönnunarhæð sjóvarnarinnar +3,95 m í hæðarkerfi Sauðárkrókshafnar.

## 6.4 Grjótnám

Undanfarin ár hefur grjót í sjövarnir og hafnargarða aðalega verið tekið úr opinni grjótnámu í Tófulág á Skaga í landi Hvalness. Heiti námu í námuskrá Vegagerðarinnar er Hvalnesnáma 2 með fastnúmer 19493. Fjarlægð grjótnámu frá verkstað norðan á Skarðseyrinni er um 37,5 km.



## 7 Tilvitnanir

1. Kamphuis (2000). „*Introduction to coastal engineering and management: 2nd edition*“. World Scientific.
2. B. Gouldby, D. Wyncoll, M. Panzeri, M. Franklin, T. Hunt, D. Hames, N. Tozer, P. Hawkes, U. Dornbusch, og T. Pullen (2017). „Multivariate extreme value modelling of sea conditions around the coast of england“. *Proceedings of the Institution of civil engineers, Maritime engineering*, 170 tbl., bls. 3–20
3. Bryndís Tryggvadóttir (2020) *Mat á aftaka sjávarflóðum: Innleiðing aðferða sem byggist á samlíkum útgilda*. Lokaverkefni í MSc námi við Umhverfisverkfræði hjá Háskóla Íslands. Reykjavík.



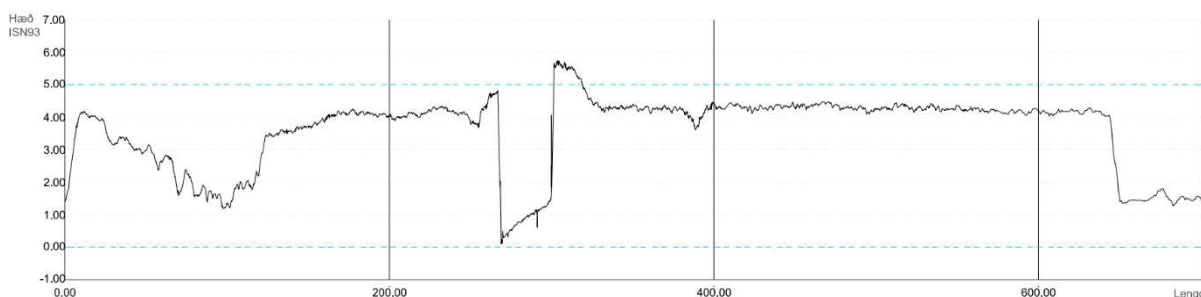


## Viðauki I - Mæling á strandsvæðum við Sauðárkrók

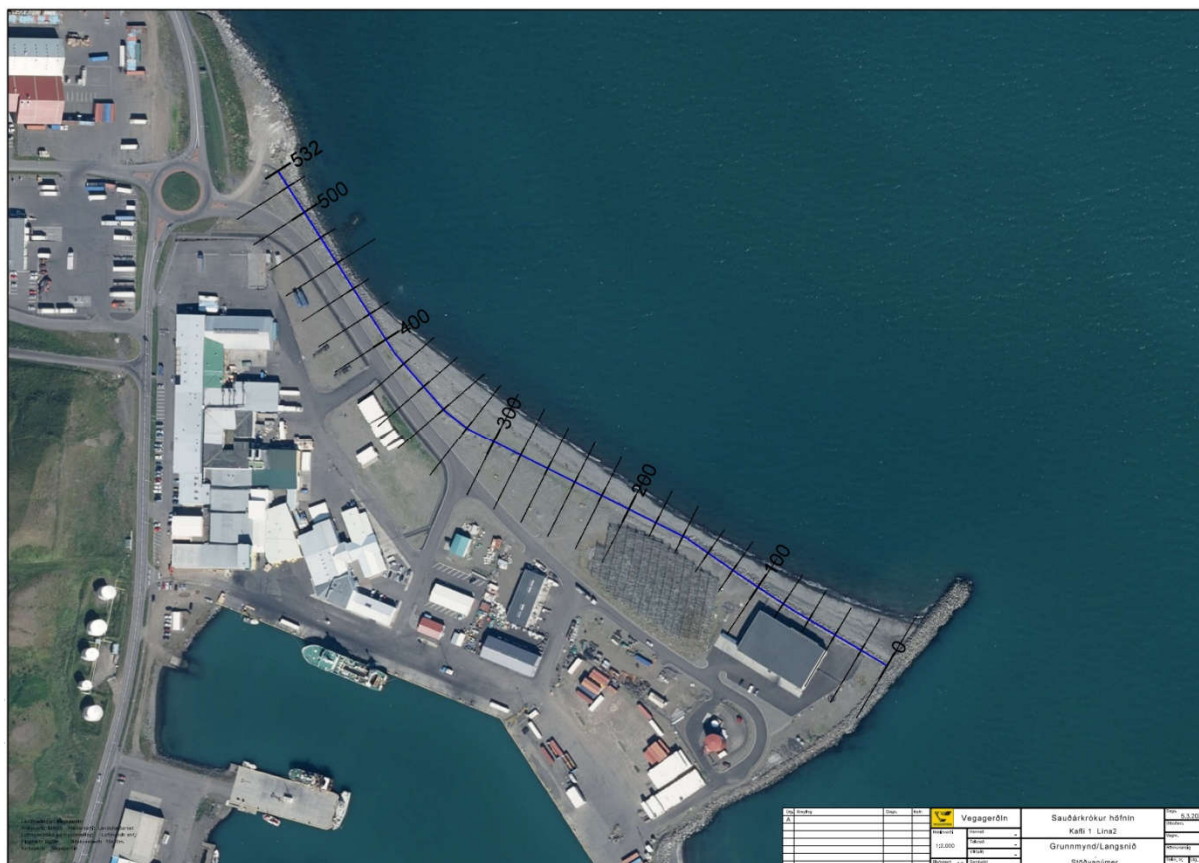
Strandsvæði við Sauðárkrók voru mæld með dróna í mars 2020. Um mælinguna sá Karl Matthías Valtýsson tæknifræðingur Vegagerðarinnar. Mælingin var gerð í hæðarkerfinu ÍSNET93. Þá var mældur mismunur hæðarkerfanna ÍSNET93 og hæðarkerfis Sauðárkrókshafnar sem mest verið notað við framkvæmdir á hafnarsvæðinu. Mismunur kerfanna reyndist vera 0,686 m, þar sem hæðartölur á landi eru hærrí í hafnarkerfinu þar sem „núll“ þess kerfis er neðar. „Núll“ hafnarkerfis er rétt neðan við meðalstórstraumsfjöru, en „núll“ ÍSNET93 hæðarkerfisins er nálægt því að vera í meðalsjárhæð. Hæðarpunktur HB-272 er þá í +3,925 í hafnarkerfi, +3,309 í gamla bæjarkerfinu og +3,239 í ÍSNET93 eða Vegagerðarkerfi.



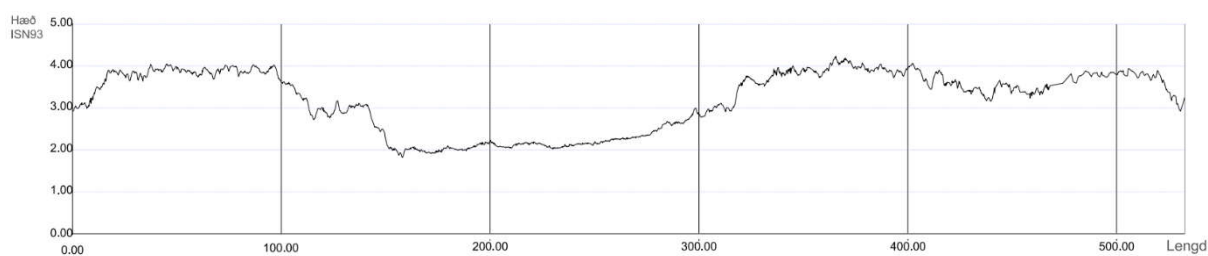
**Mynd 21** Sauðárkrókur, strandmæling, grunnmynd, lína 1, norðan hringtorgs, snið 0 til 700.



**Mynd 22** Hæð á sjölvörn í Línu 1, langsnið, hæðarkerfi ÍSNET93.



**Mynd 23** Sauðárkrúkur, strandmæling, grunnmynd, lína 2, sunnan hringtorgs að sandfangara, snið 0 til 532.



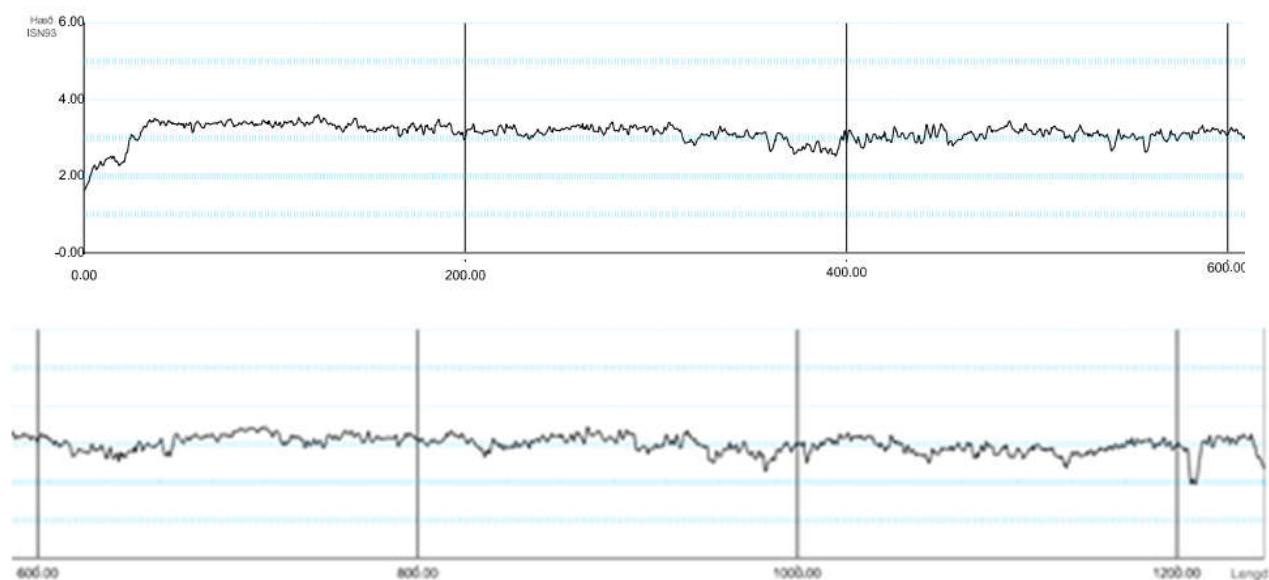
**Mynd 24** Hæð á sjövnörn í Línu 2, langsníð, hæðarkerfi ÍSN93.

Við mat á ágjöf yfir sjövnörnina var tekið mið af hæð sjóvarnar í sniði 440 sem er um +3,2 m í ÍSN93 hæðarkerfinu, það svarar til um +3,9 m í hæðarkerfi Sauðárkrókshafnar.





Mynd 25 Sauðárkrúkur, strandmæling, grunnmynd, lína 5, sunnan hringtorgs að sandfangara, snið 0 til 1246.



Mynd 26 Hæð á sjóvörn í Línu 2, langsníð, hæðarkerfi ÍSNET93.



## Viðauki II – Öldufarsreikningar á Skagafirði inn á Sauðárkrók

### Mat á ölduhæð í Skagafirði og við Sauðárkrók

Til að leggja mat á ölduhæð við Sauðárkrók var sett upp reiknilíkan fyrir Skagafjörð með MIKE SW hugbúnaðinum. Fyrirliggjandi er líkindafræðileg úrvinnsla öldufarsgagna frá evrópsku veðurstöðinni í Reading í Englandi (ECMWF) og var notuð úrvinnsla úr punkti 67°N, 19.5°V á jaðri reikninsins. Keyrð var alda með 98% tíðni, 1,10 og 100 ára endurkomutíma úr norð-norðvestri, norðri og norð-norðaustri. Tafla 1 og tafla 2 sýna gildi ölduhæða, sveiflutíma öldu og vindhraða fyrir viðkomandi stefnur.

**Tafla 10: Úthafsalda í ECMWF punkti 67°N 19.5°**

Tíðni(% af tíma)/ endurkomutími	NNV		N		NNA	
	Hs(m)	Tp(s)	Hs(m)	Tp(s)	Hs(m)	Tp(s)
<b>98%</b>	6.1	11.1	6.7	11.7	6.1	11.1
<b>1</b>	7.2	12.1	6.8	11.7	7.2	12.1
<b>10</b>	10.5	14.6	10.1	14.3	10.5	14.6
<b>100</b>	13.0	16.2	12.7	16.0	13.0	16.2

**Tafla 11: Vindhraði í ECMWF punkti 67°N 19.5°**

Tíðni(% af tíma)/ endurkomutími	NNV	N	NNA
	337.5°	0°	22.5°
	(m/s)	(m/s)	(m/s)
<b>98%</b>	16	16	18
<b>1</b>	18	18	20
<b>10</b>	28	26	28
<b>100</b>	36	34	34
<b>1000</b>	40	38	38



## Niðurstöður öldufarsreikninga

Niðurstaða fyrir allar keyrslurnar eru sýndar á myndum 1 til 24, með jafnhæðalínum ölduhæðar og öldustefnum.

Mynd 27: Skagafjörður - alda með 98% tíðni úr NNV.

Mynd 28: Sauðárkrókur - alda með 98% tíðni úr NNV.

Mynd 29: Skagafjörður – 1 árs alda úr NNV.

Mynd 30: Sauðárkrókur - 1 árs alda úr NNV.

Mynd 31: Skagafjörður – 10 ára alda úr NNV.

Mynd 32: Sauðárkrókur - 10 ára alda úr NNV.

Mynd 33: Skagafjörður – 100 ára alda úr NNV.

Mynd 34: Sauðárkrókur - 100 ára alda úr NNV.

Mynd 35: Skagafjörður - alda með 98% tíðni úr N.

Mynd 36: Sauðárkrókur - alda með 98% tíðni úr N.

Mynd 37: Skagafjörður – 1 árs alda úr N.

Mynd 38: Sauðárkrókur - 1 árs alda úr N.

Mynd 39: Skagafjörður – 10 ára alda úr N.

Mynd 40: Sauðárkrókur - 10 ára alda úr N.

Mynd 41: Skagafjörður – 100 ára alda úr N.

Mynd 42: Sauðárkrókur - 100 ára alda úr N.

Mynd 43: Skagafjörður - alda með 98% tíðni úr NNA.

Mynd 44: Sauðárkrókur - alda með 98% tíðni úr NNA.

Mynd 45: Skagafjörður – 1 árs alda úr NNA.

Mynd 46: Sauðárkrókur - 1 árs alda úr NNA.

Mynd 47: Skagafjörður – 10 ára alda úr NNA.

Mynd 48: Sauðárkrókur - 10 ára alda úr NNA.

Mynd 49: Skagafjörður – 100 ára alda úr NNA.

Mynd 50: Sauðárkrókur - 100 ára alda úr NNA.

Mynd 51: Sauðárkrókshöfn – alda með 98% tíðni úr NNV.

Mynd 52: Sauðárkrókshöfn - 1 árs alda úr NNV.

Mynd 53: Sauðárkrókshöfn - 10 ára alda úr NNV.

Mynd 54: Sauðárkrókshöfn - 100 ára alda úr NNV.

Mynd 55: Sauðárkrókshöfn – alda með 98% tíðni úr N.

Mynd 56: Sauðárkrókshöfn - 1 árs alda úr N.

Mynd 57: Sauðárkrókshöfn - 10 ára alda úr N.

Mynd 58: Sauðárkrókshöfn - 100 ára alda úr N.

Mynd 59: Sauðárkrókshöfn – alda með 98% tíðni úr NNA.

Mynd 60: Sauðárkrókshöfn - 1 árs alda úr NNA.

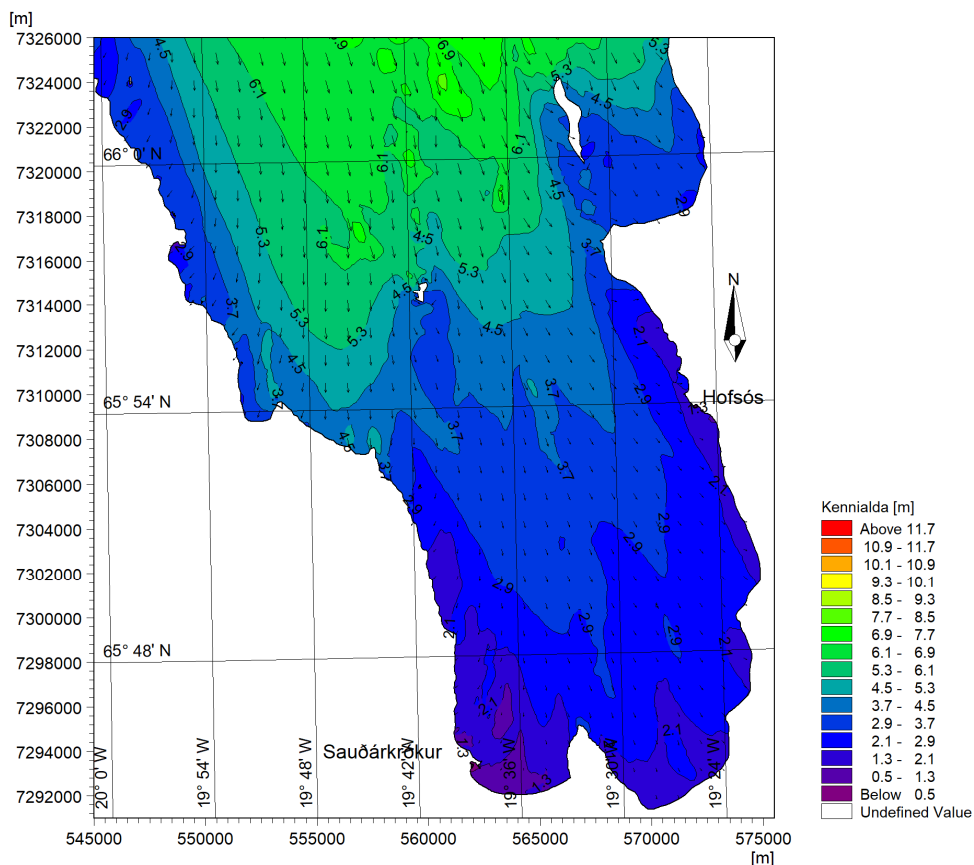
Mynd 61: Sauðárkrókshöfn - 10 ára alda úr NNA.



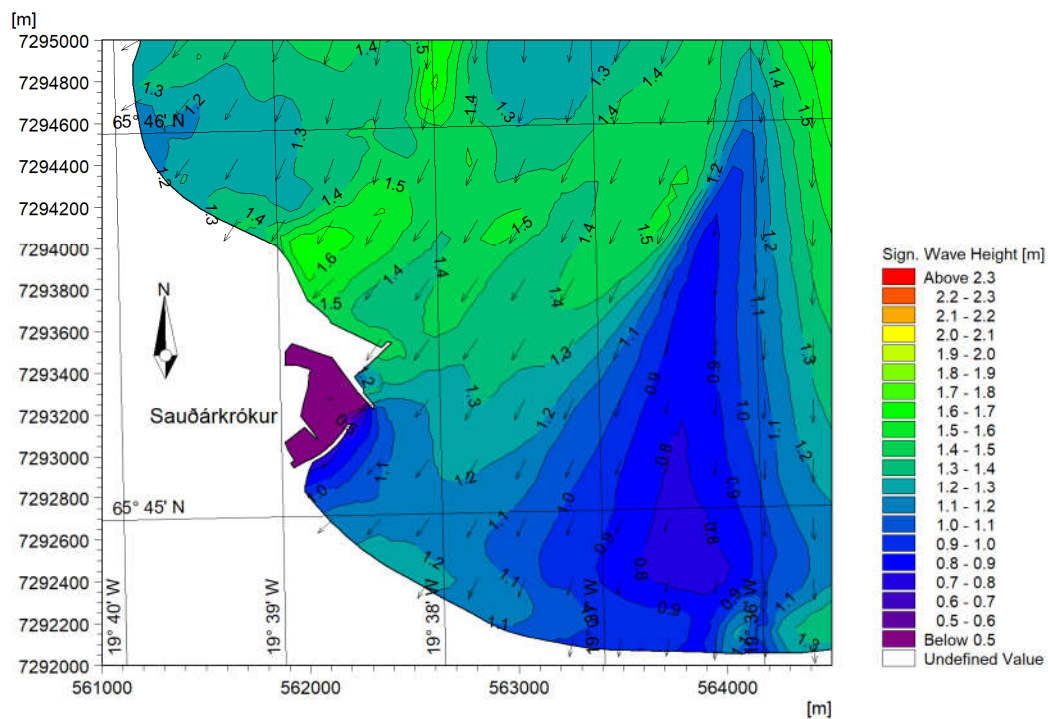
Mynd 62: Sauðárkrókshöfn - 100 ára alda úr NNA.



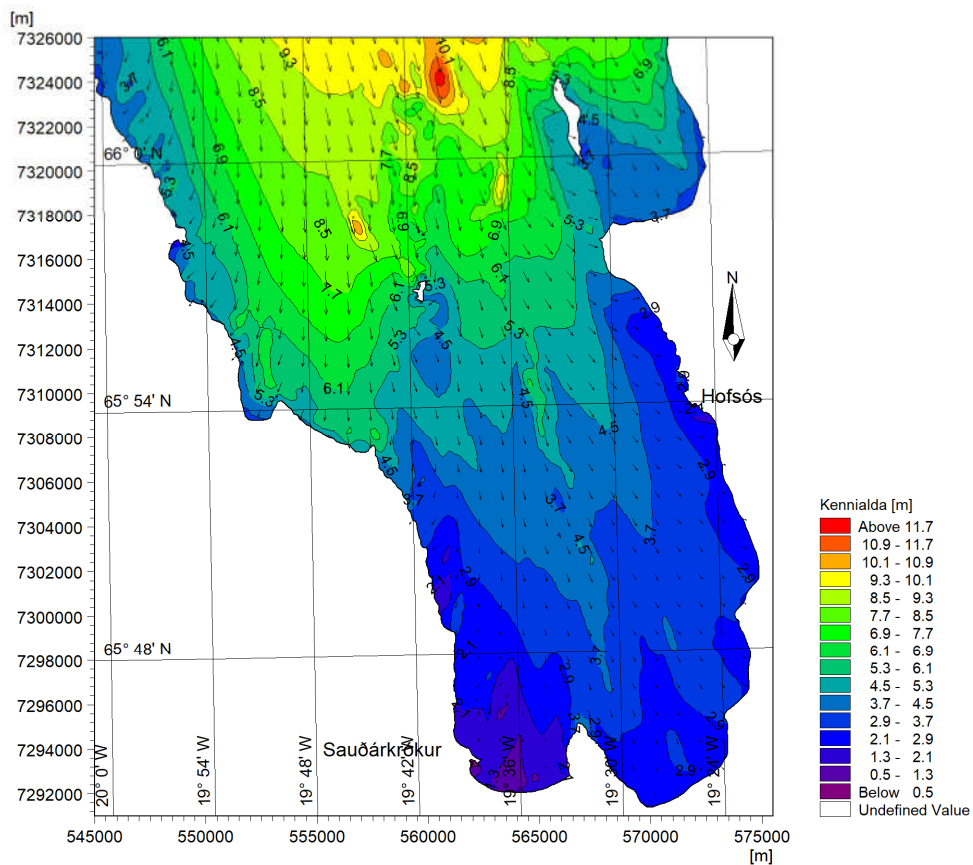




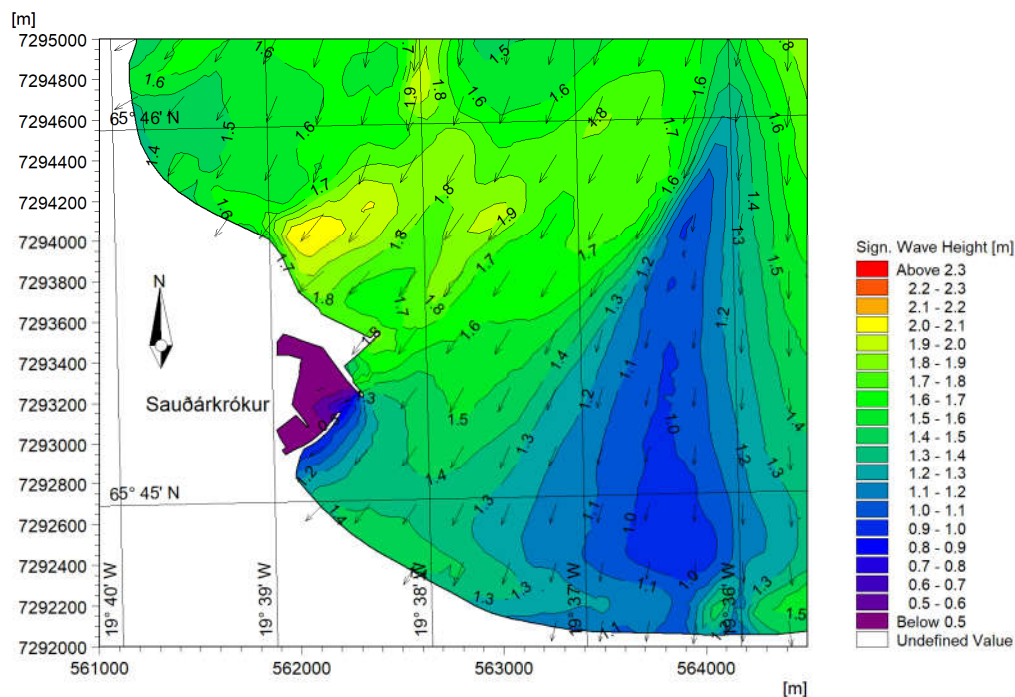
Mynd 29: Skagafjörður – 1 árs alda úr NNW.



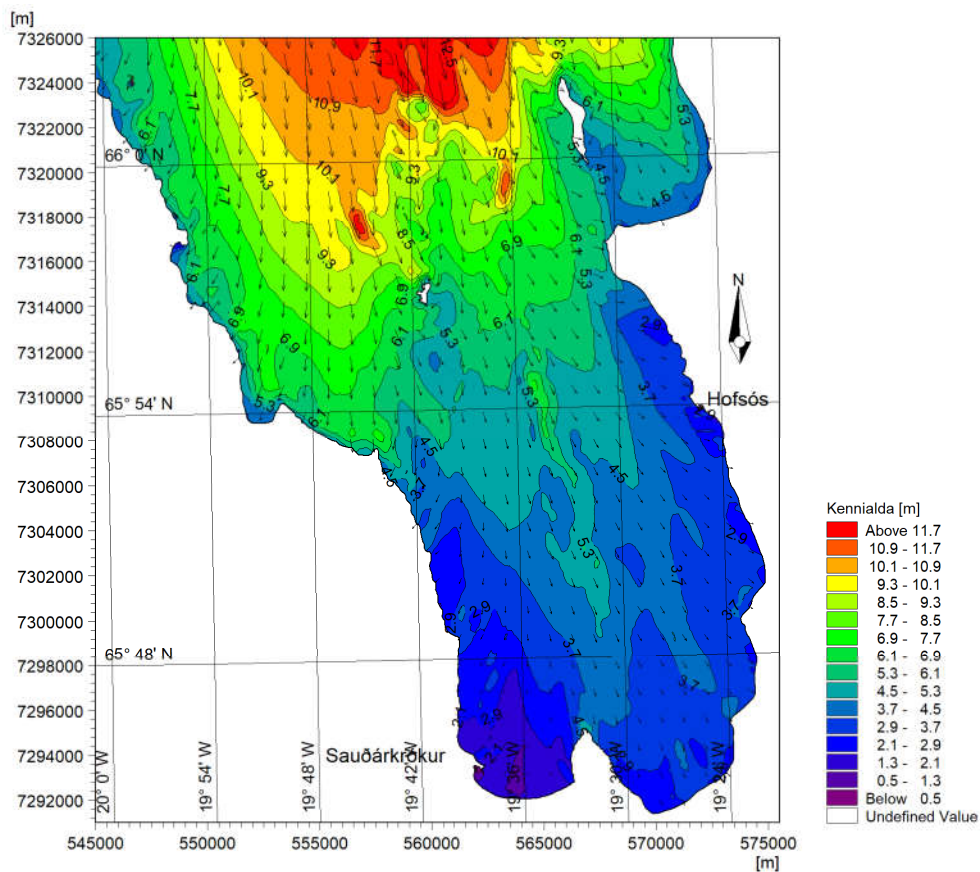
Mynd 30: Sauðárkrúkur - 1 árs alda úr NNW.



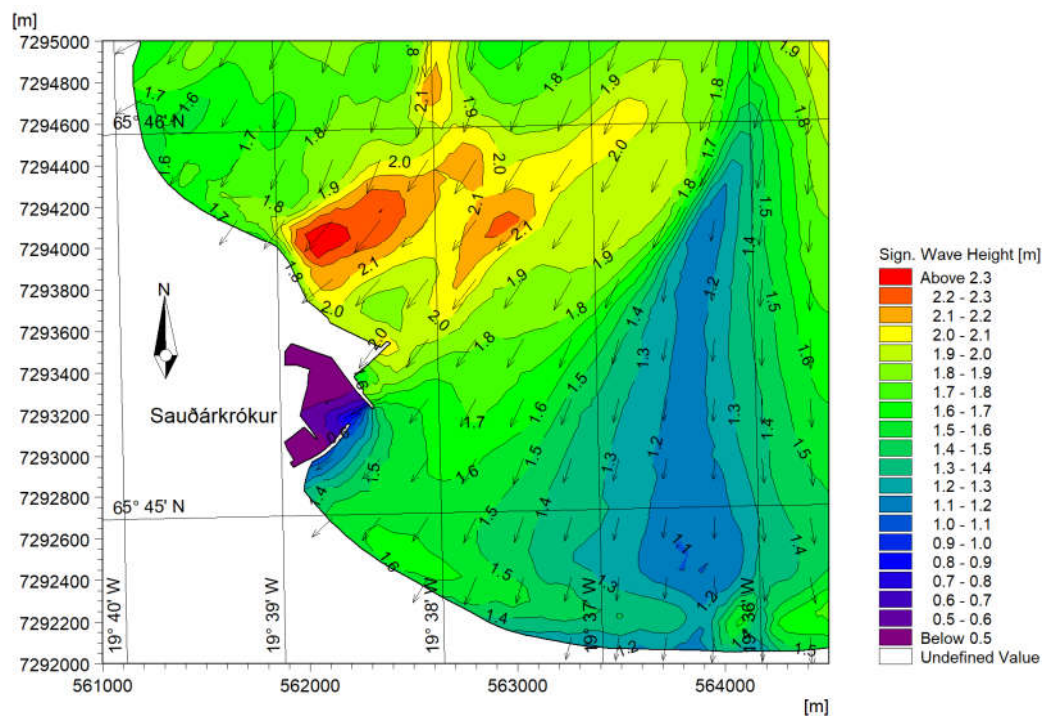
**Mynd 31: Skagafjörður – 10 ára alda úr NNV.**



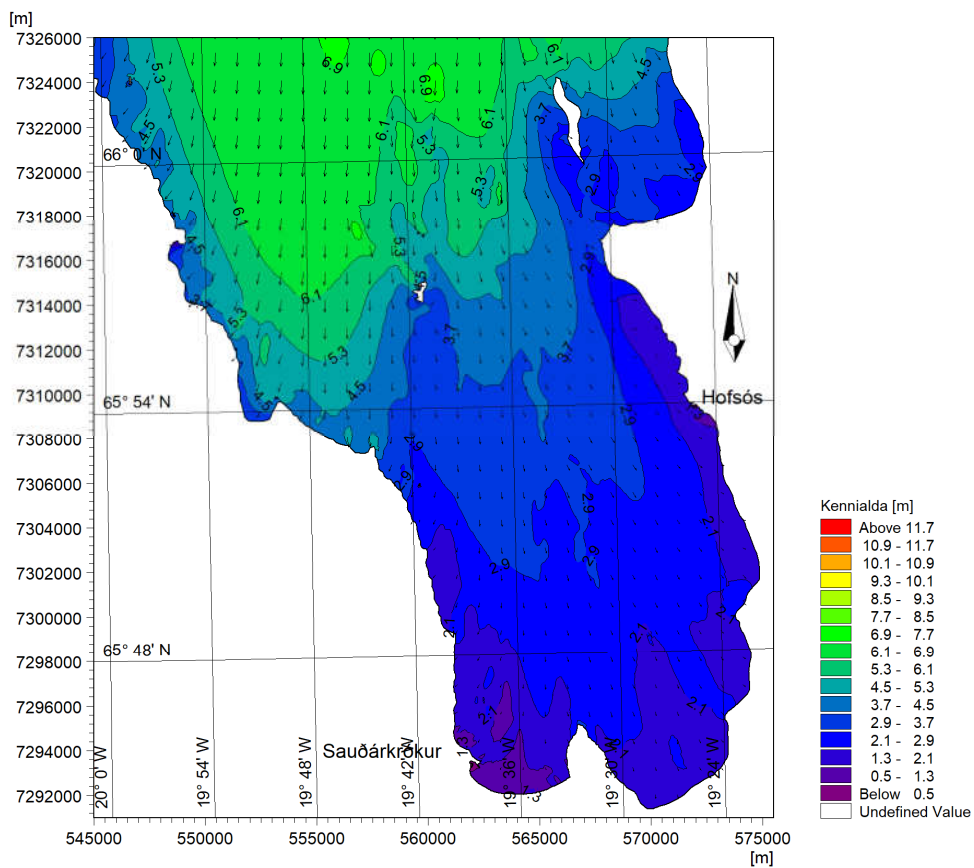
**Mynd 32: Sauðárkrúkur - 10 ára alda úr NNV.**



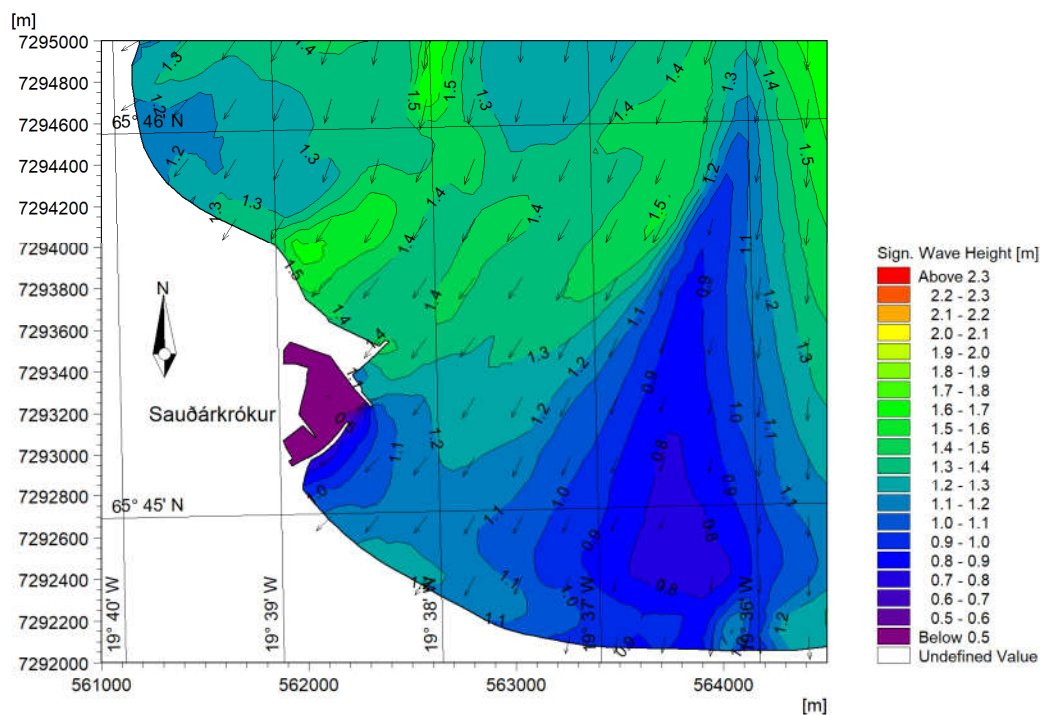
**Mynd 33: Skagafjörður – 100 ára alda úr NNV.**



**Mynd 34: Sauðárkrökur - 100 ára alda úr NNV.**

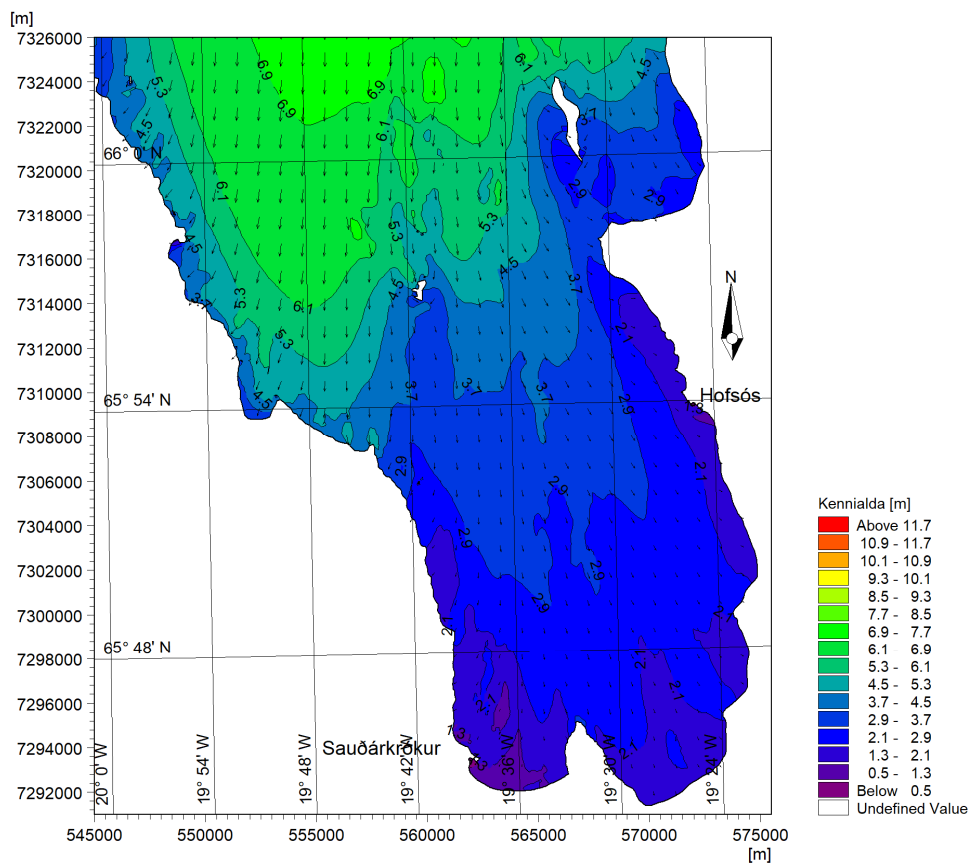


**Mynd 35: Skagafjörður - alda með 98% tíðni úr N.**

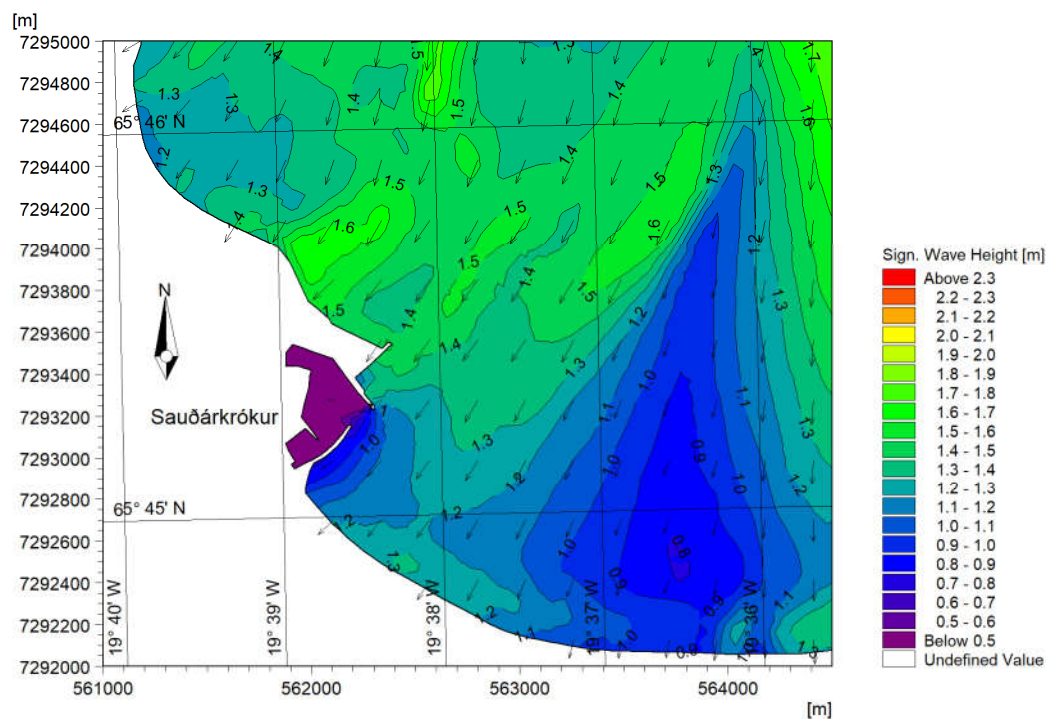


**Mynd 36: Sauðárkrúkur - alda með 98% tíðni úr N.**

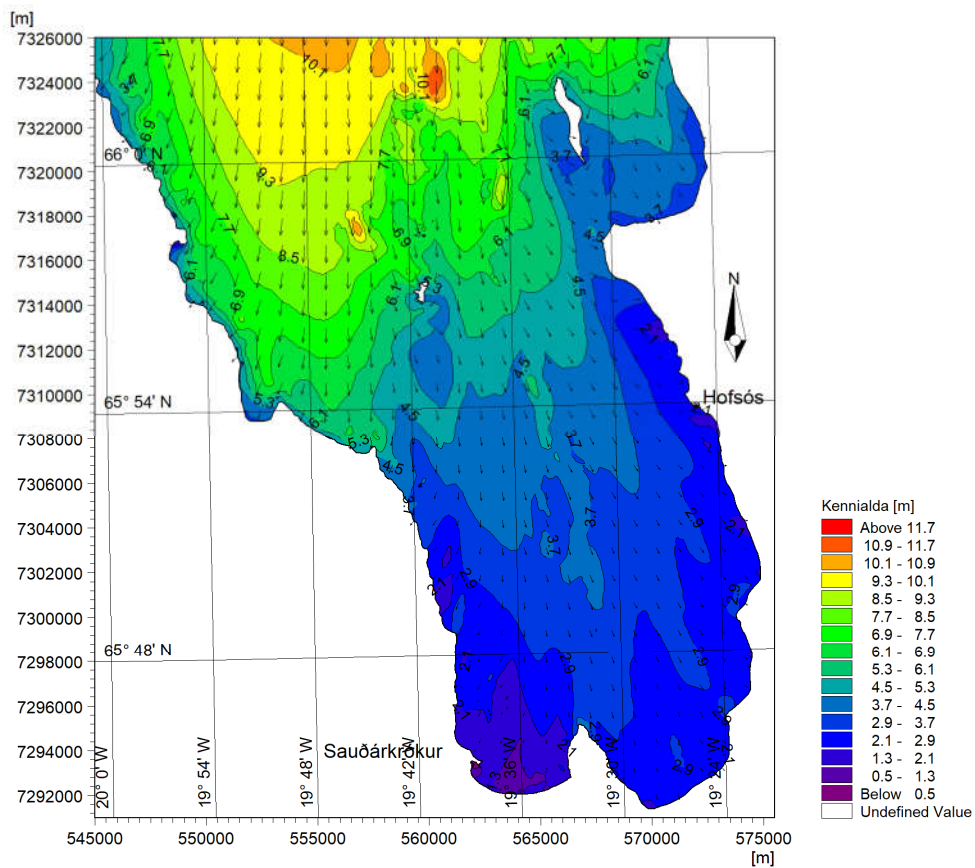




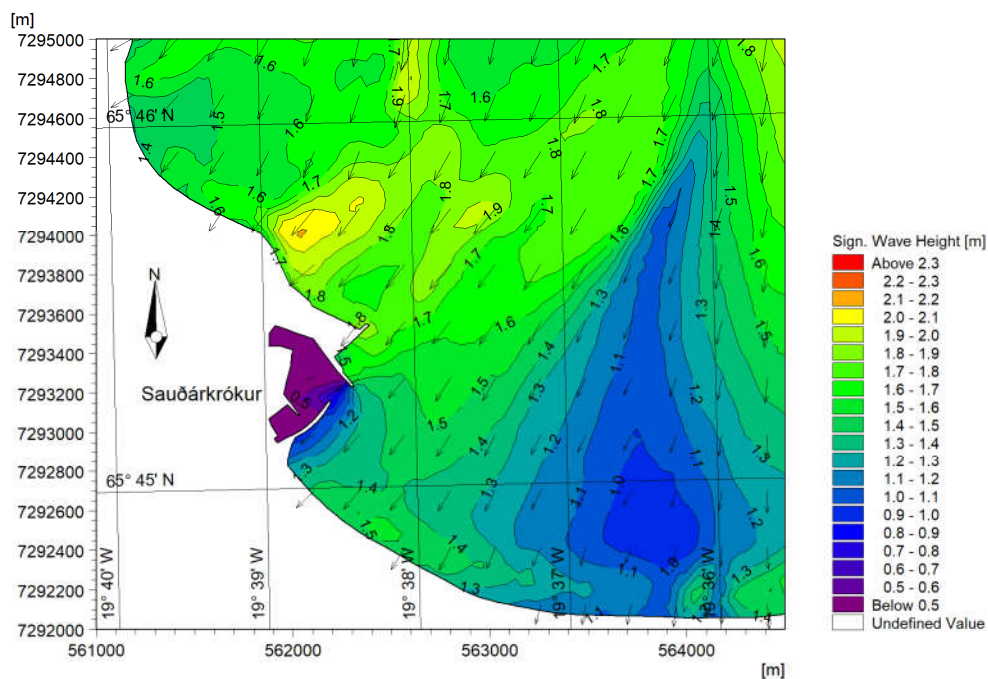
Mynd 37: Skagafjörður – 1 árs alda úr N.



Mynd 38: Sauðárkrókur - 1 árs alda úr N.

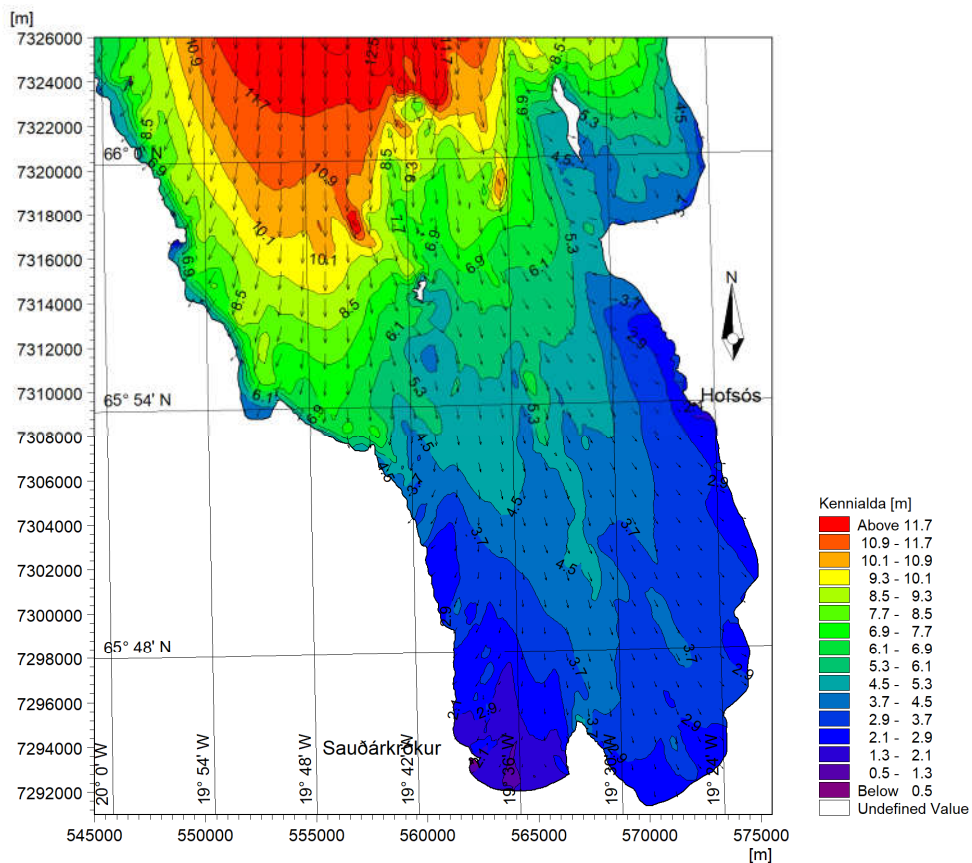


**Mynd 39: Skagafjörður – 10 ára alda úr N.**

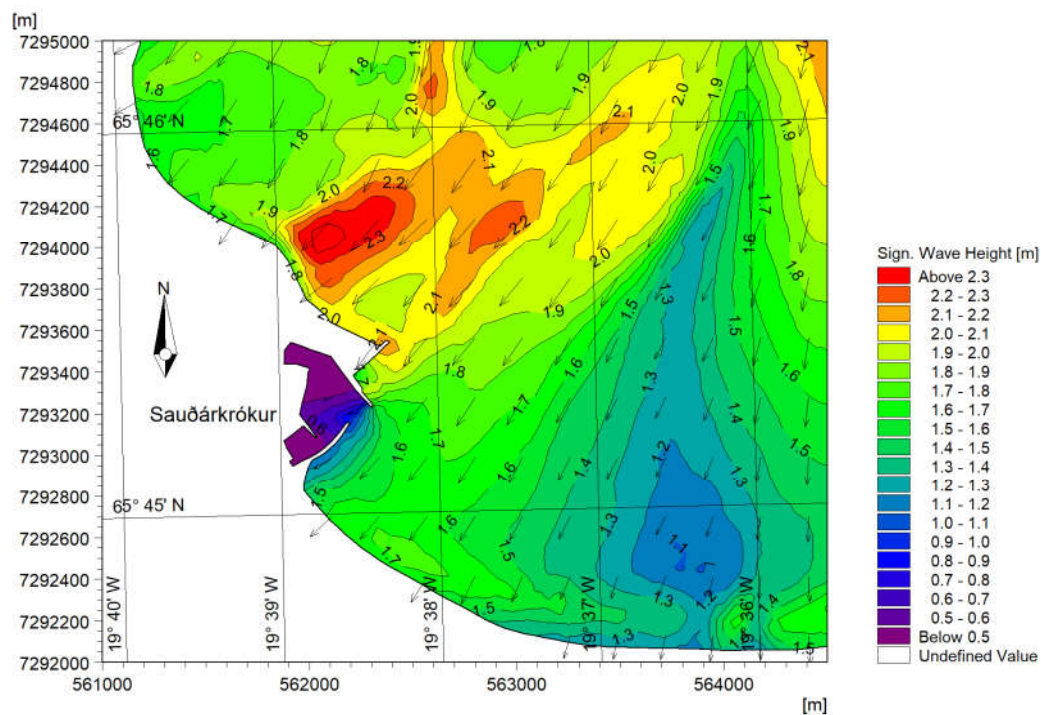


**Mynd 40: Sauðárkrúkur - 10 ára alda úr N.**

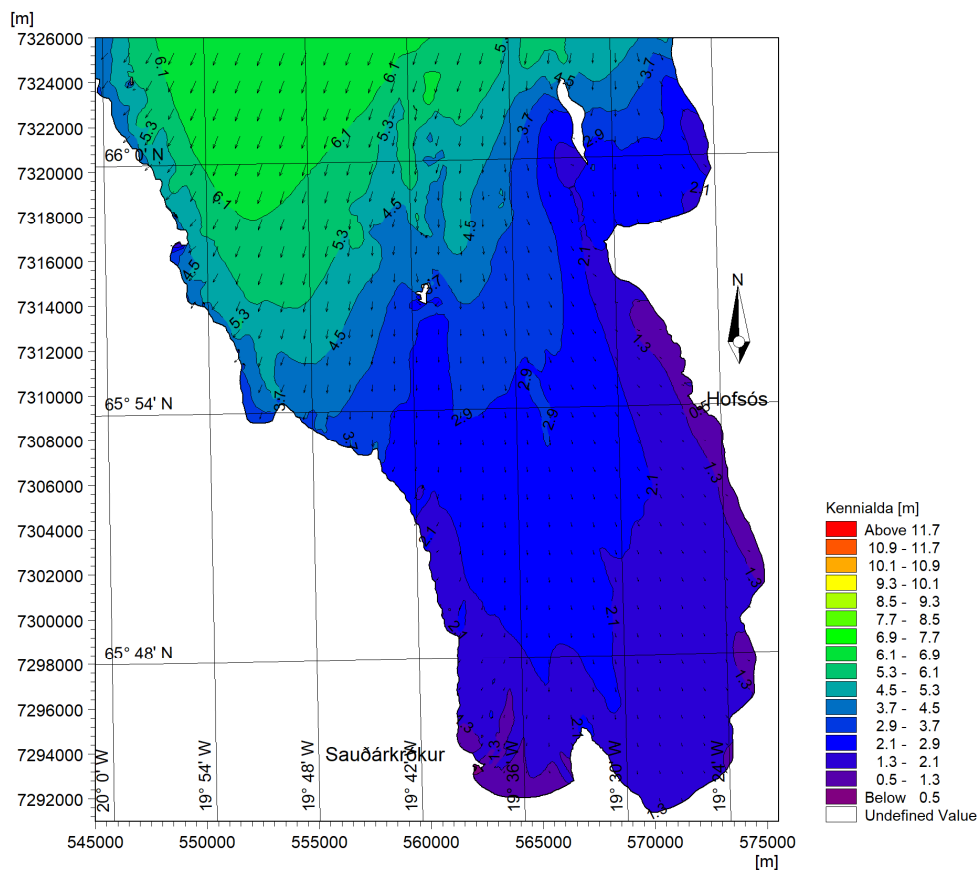




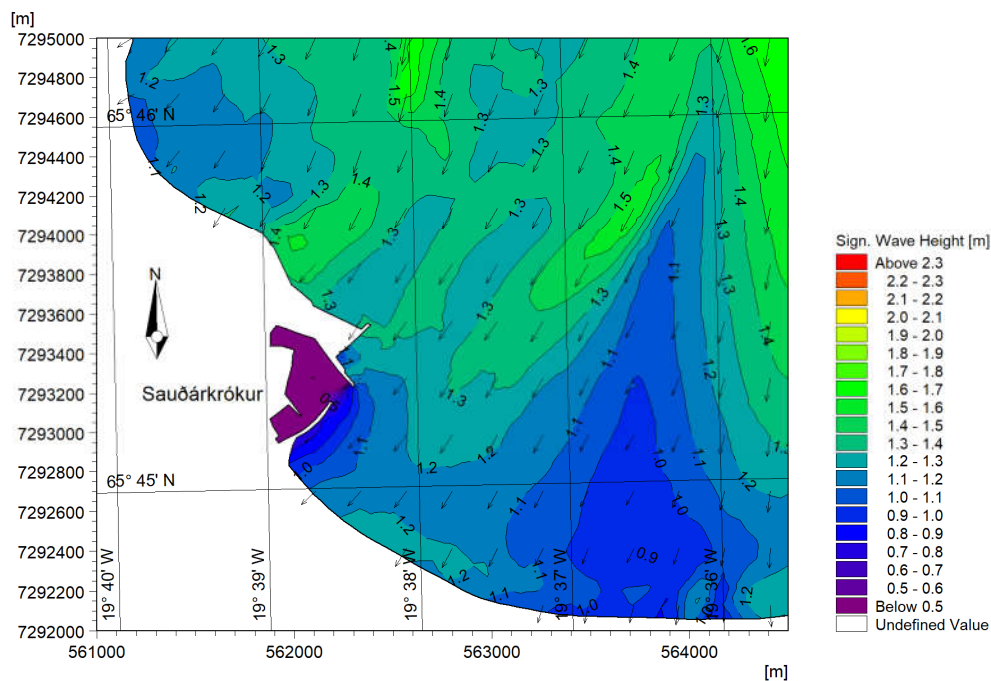
**Mynd 41: Skagafjörður – 100 ára alda úr N.**



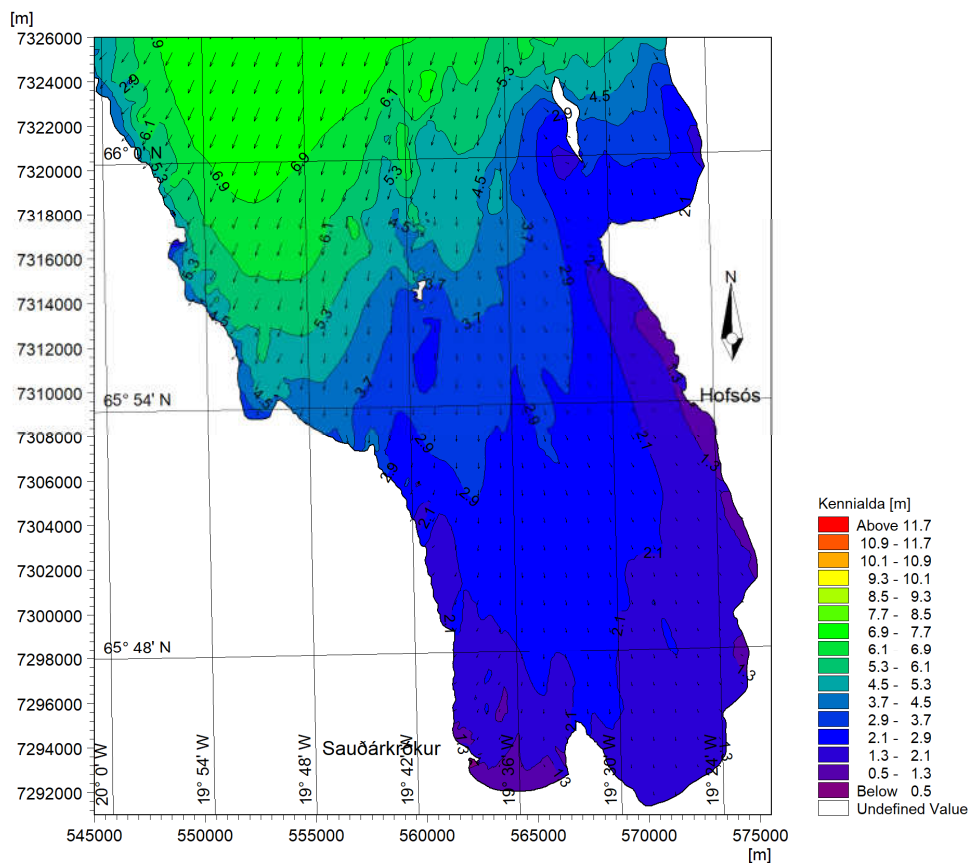
**Mynd 42: Sauðárkrúkur - 100 ára alda úr N.**



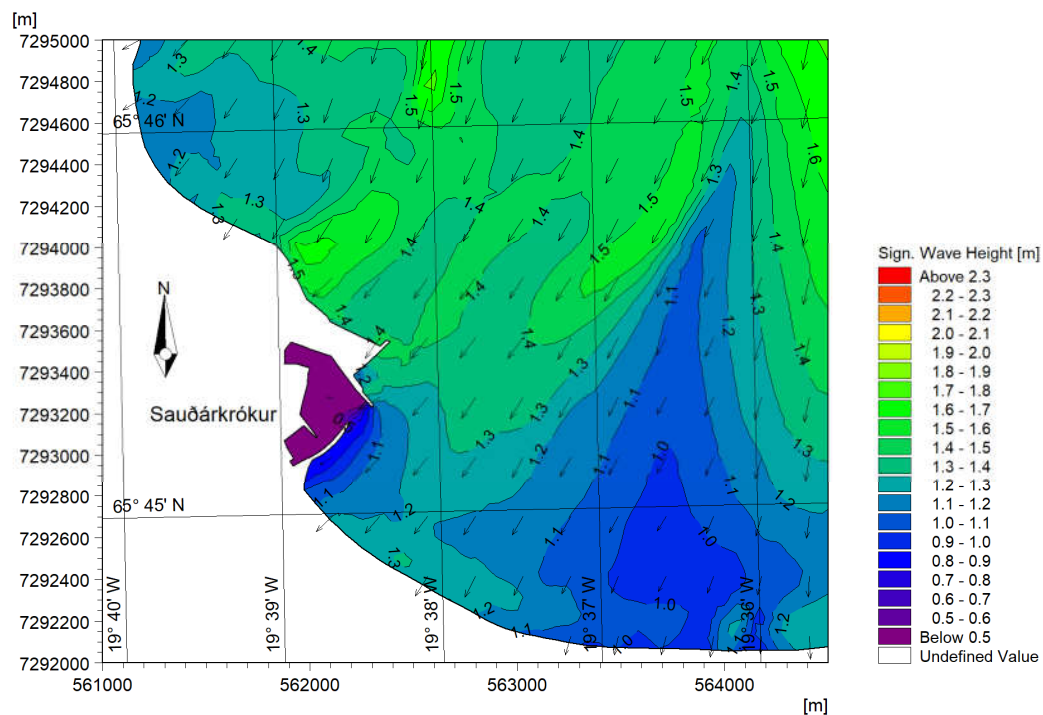
Mynd 43: Skagafjörður - alda með 98% tíðni úr NNA.



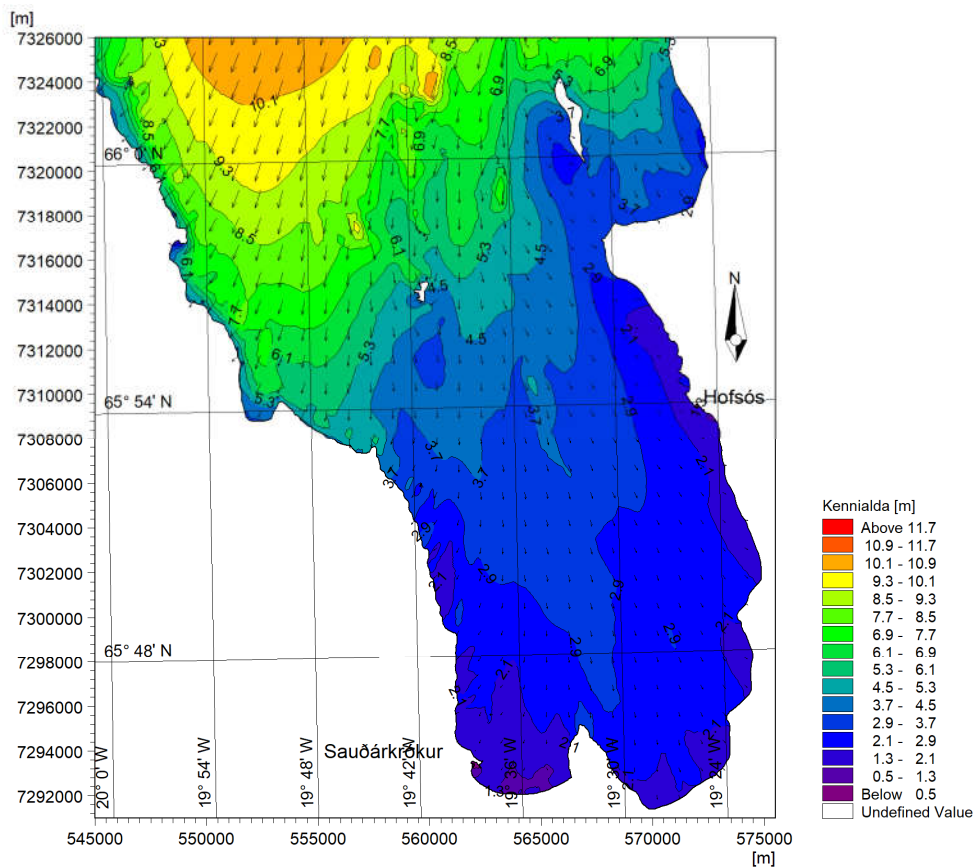
Mynd 44: Sauðárkrókur - alda með 98% tíðni úr NNA.



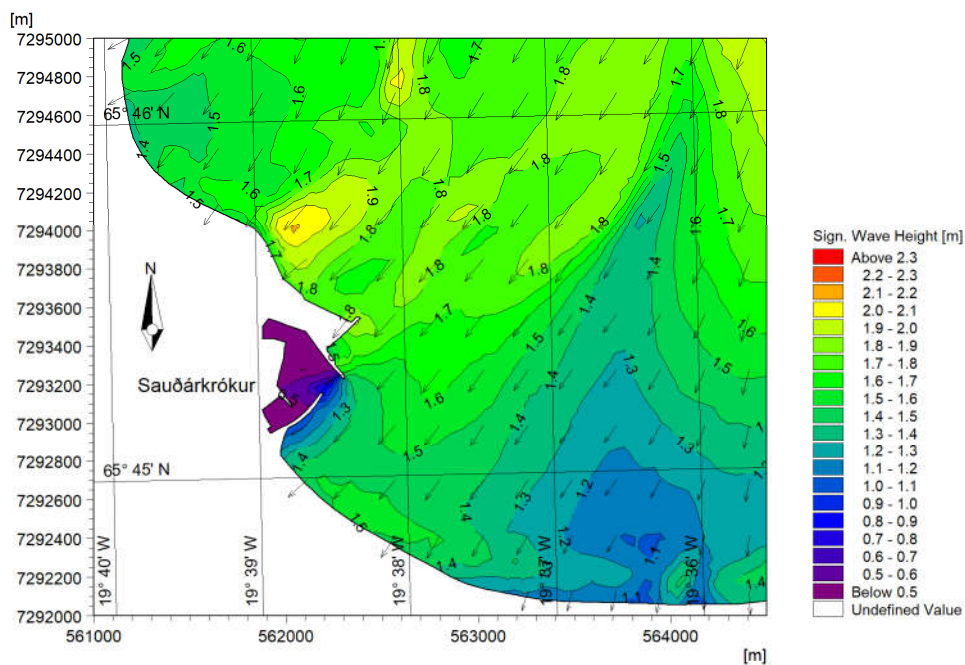
**Mynd 45: Skagafjörður – 1 árs alda úr NNA.**



**Mynd 46: Sauðárkrúkur - 1 árs alda úr NNA.**

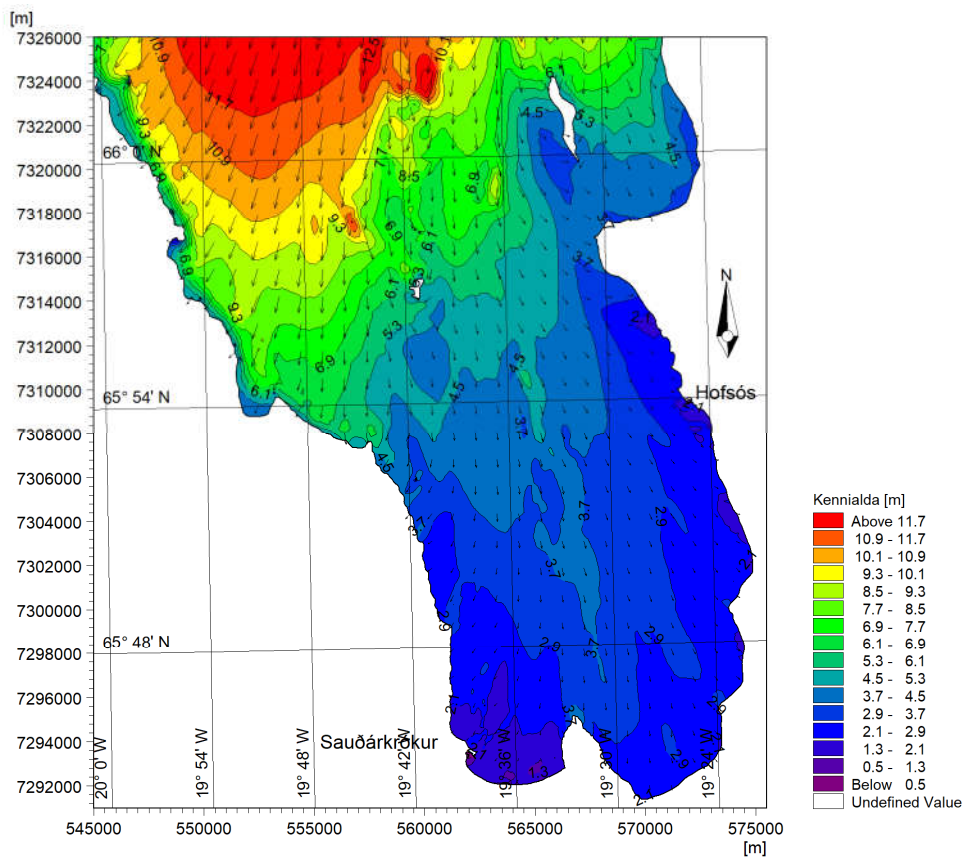


Mynd 47: Skagafjörður – 10 ára alda úr NNA.

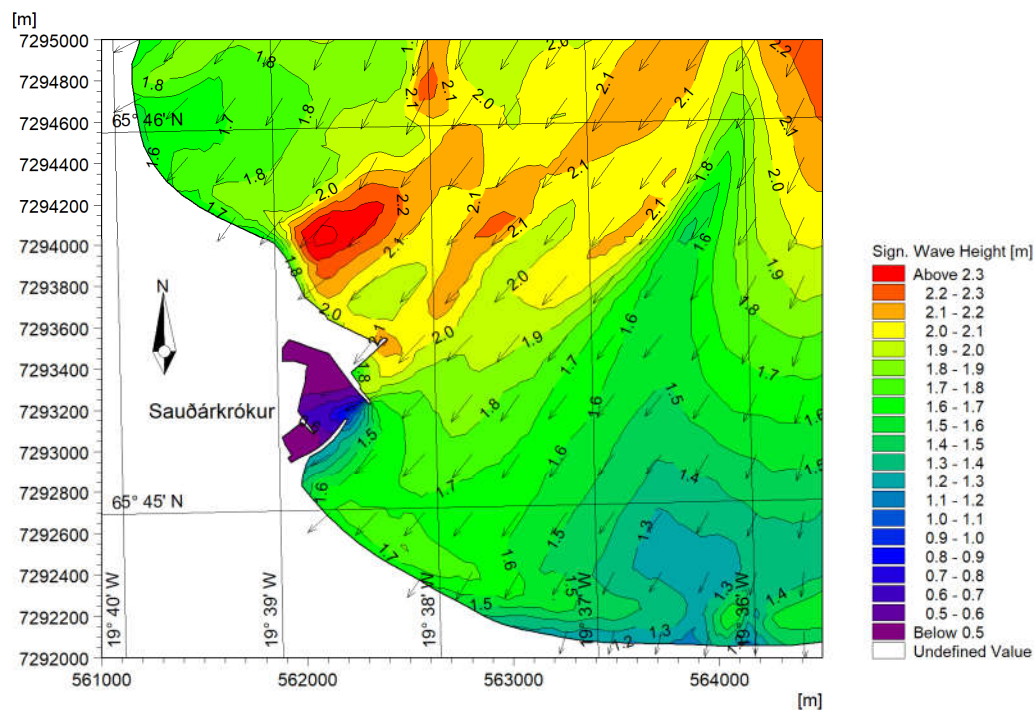


Mynd 48: Sauðárkrúkur - 10 ára alda úr NNA.

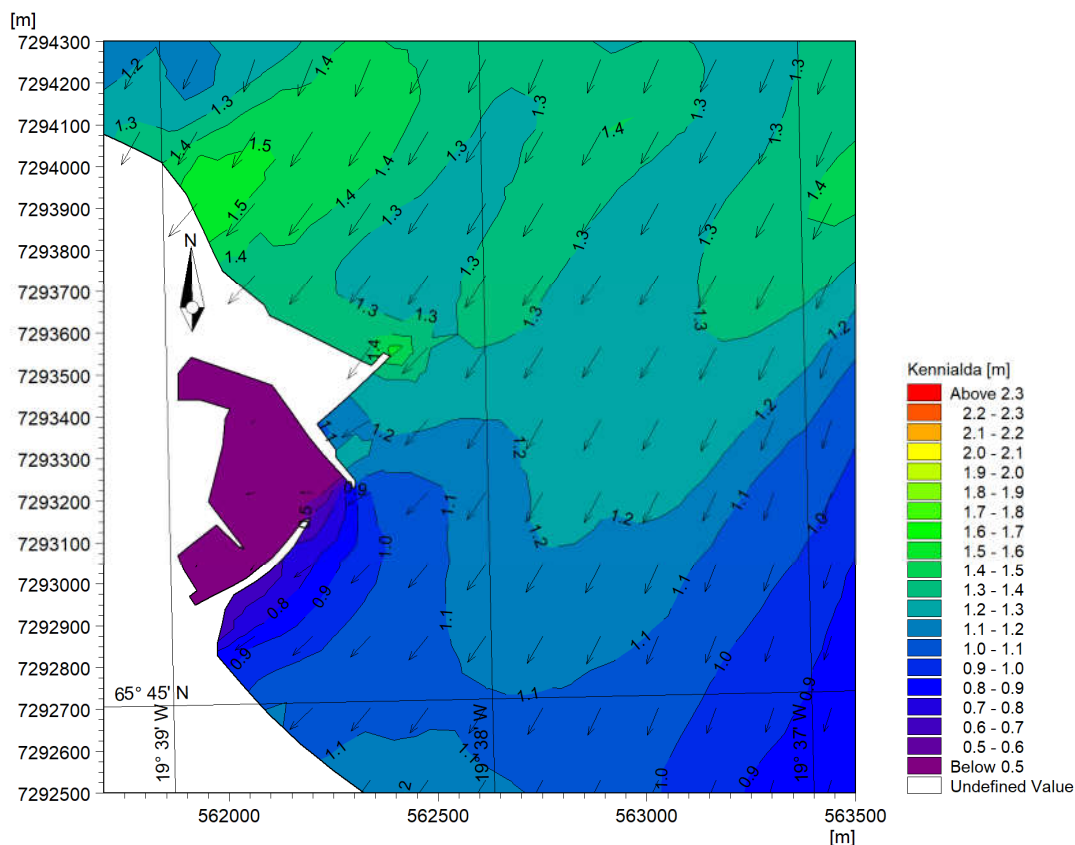




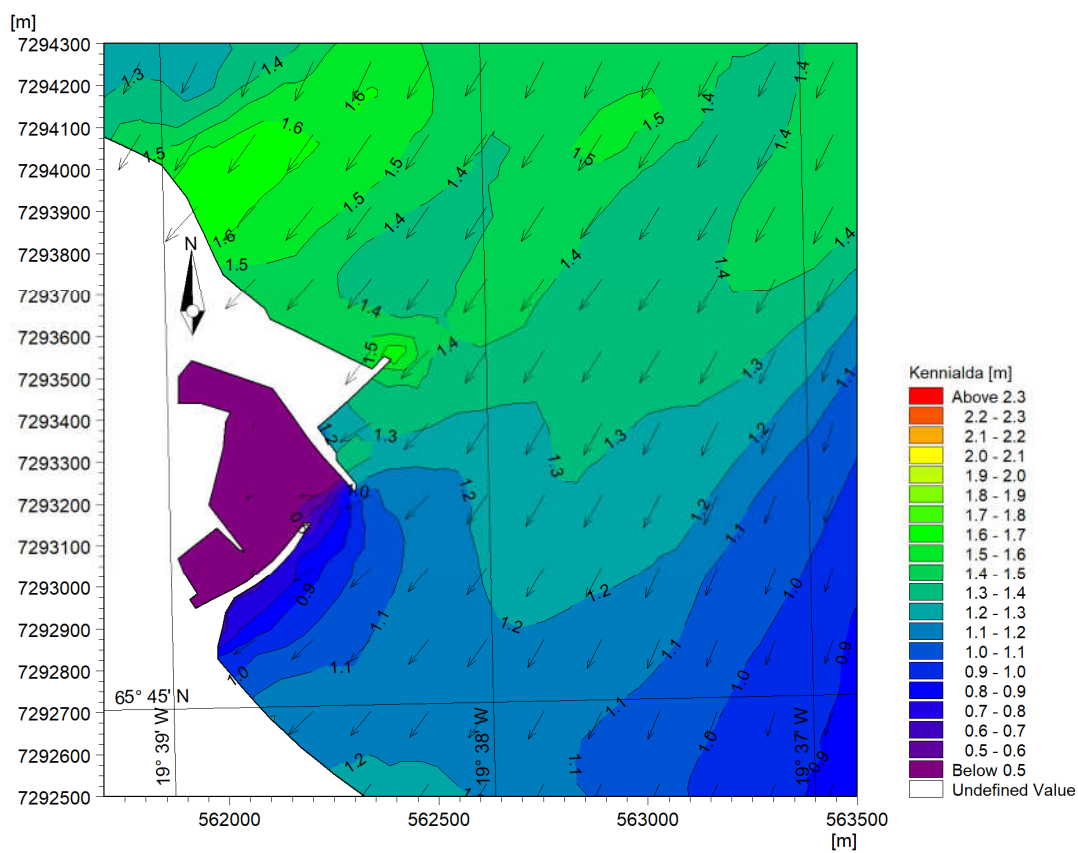
Mynd 49: Skagafjörður – 100 ára alda úr NNA.



Mynd 50: Sauðárkrúkur - 100 ára alda úr NNA.

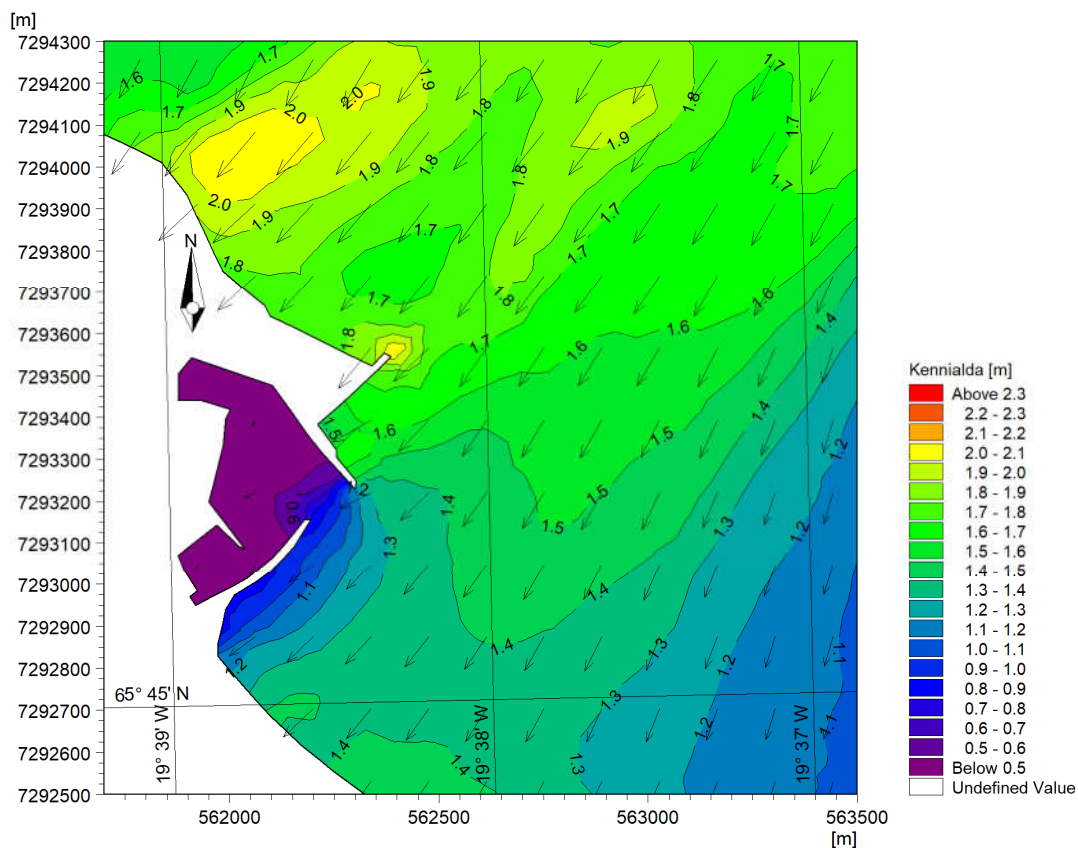


**Mynd 51: Sauðárkrókhöfn – alda með 98% tíðni úr NNV.**

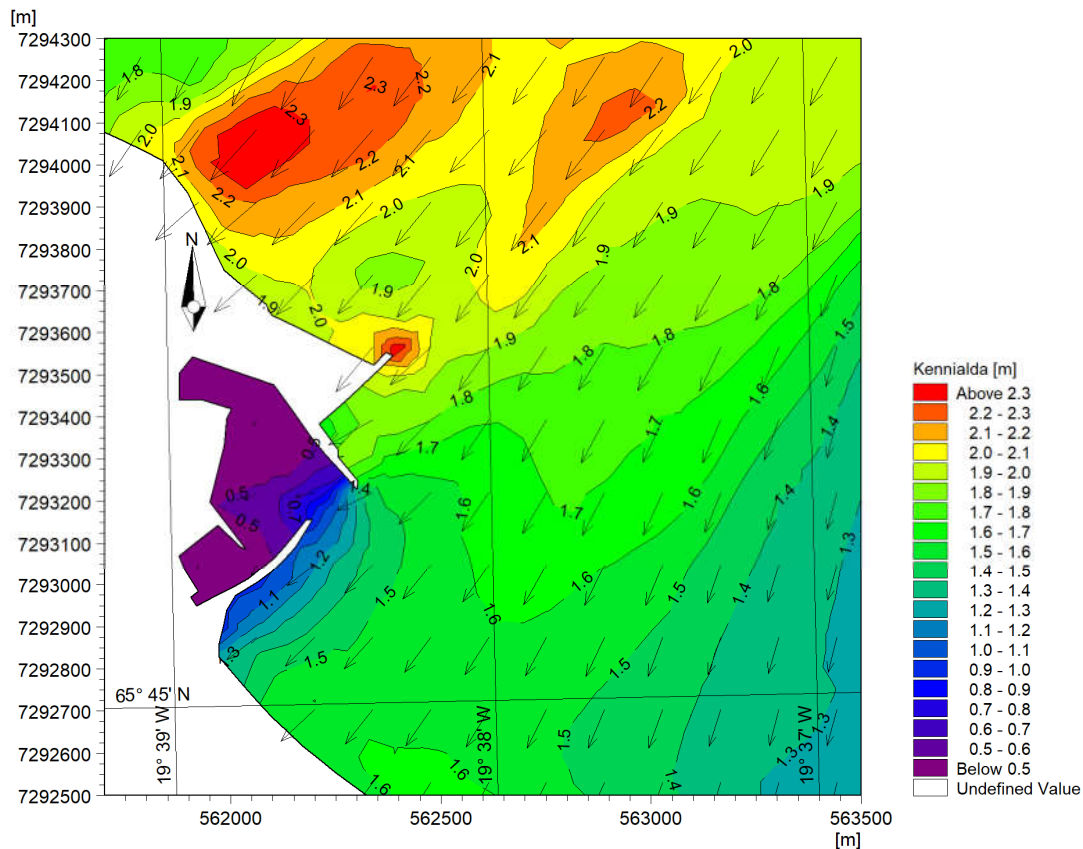


**Mynd 52: Sauðárkrókhöfn - 1 árs alda úr NNV.**

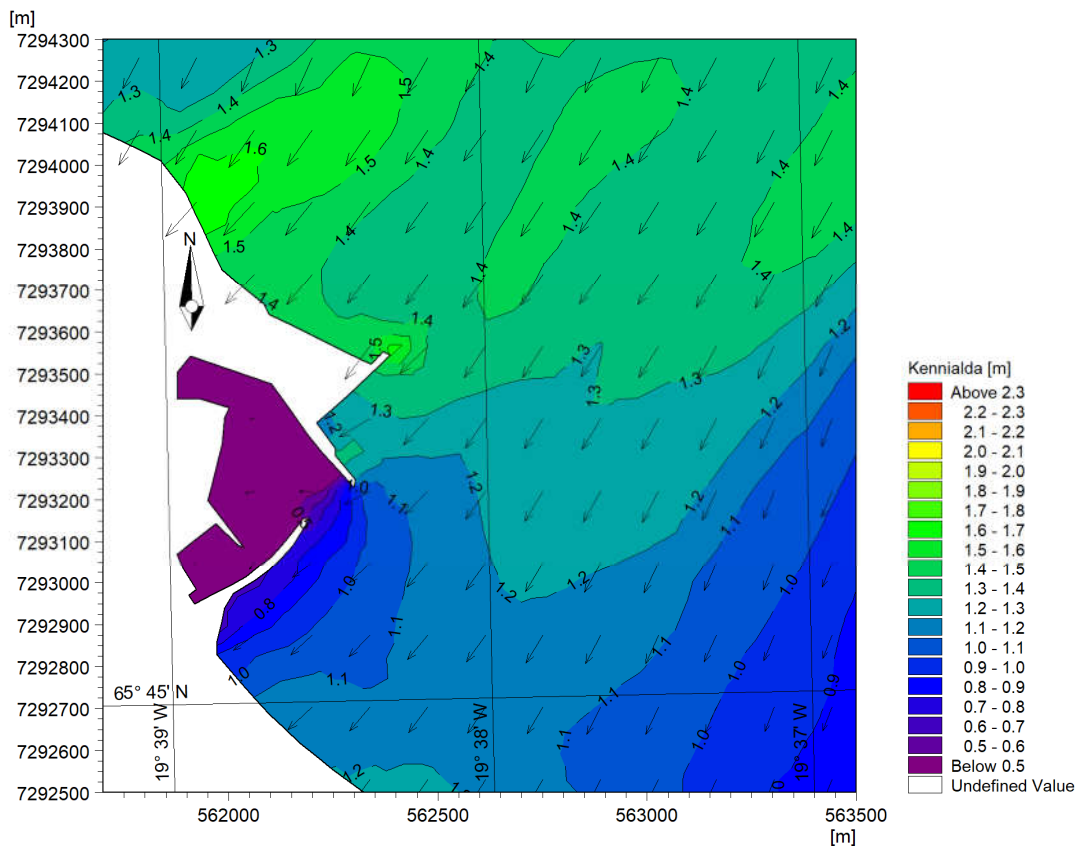




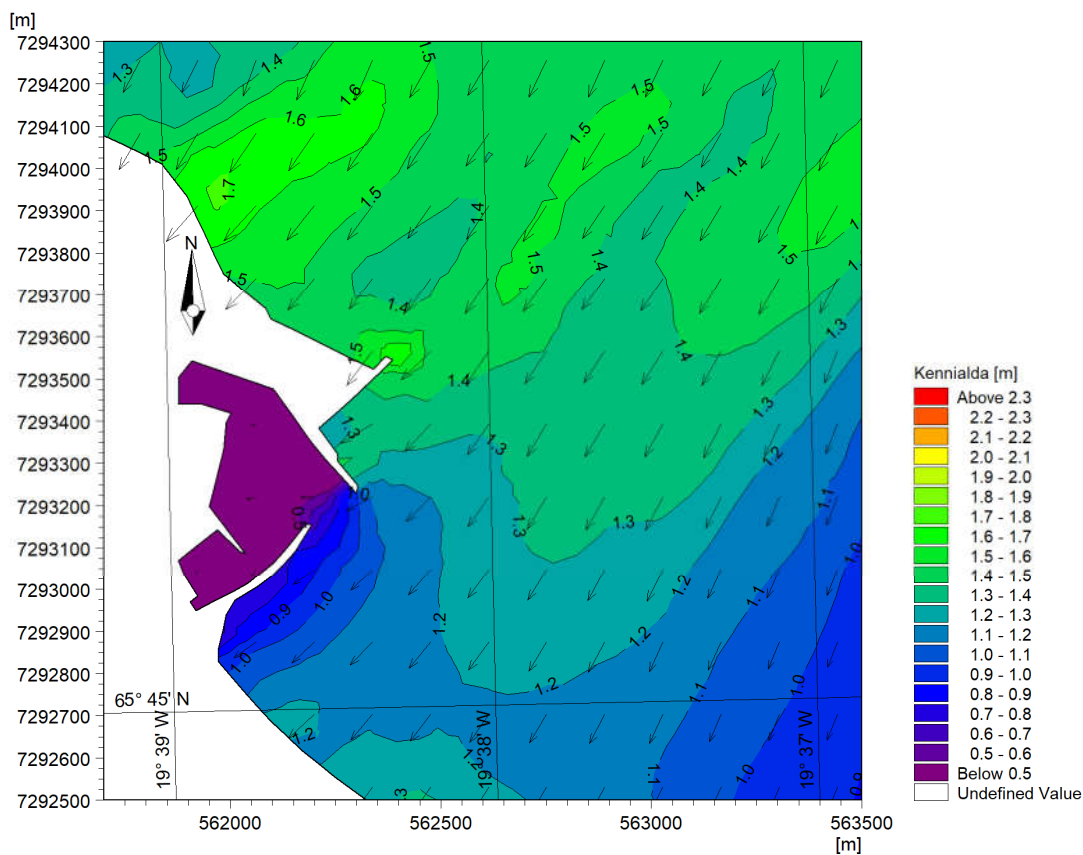
**Mynd 53: Sauðárkrókskhöfn - 10 ára alda úr NNV.**



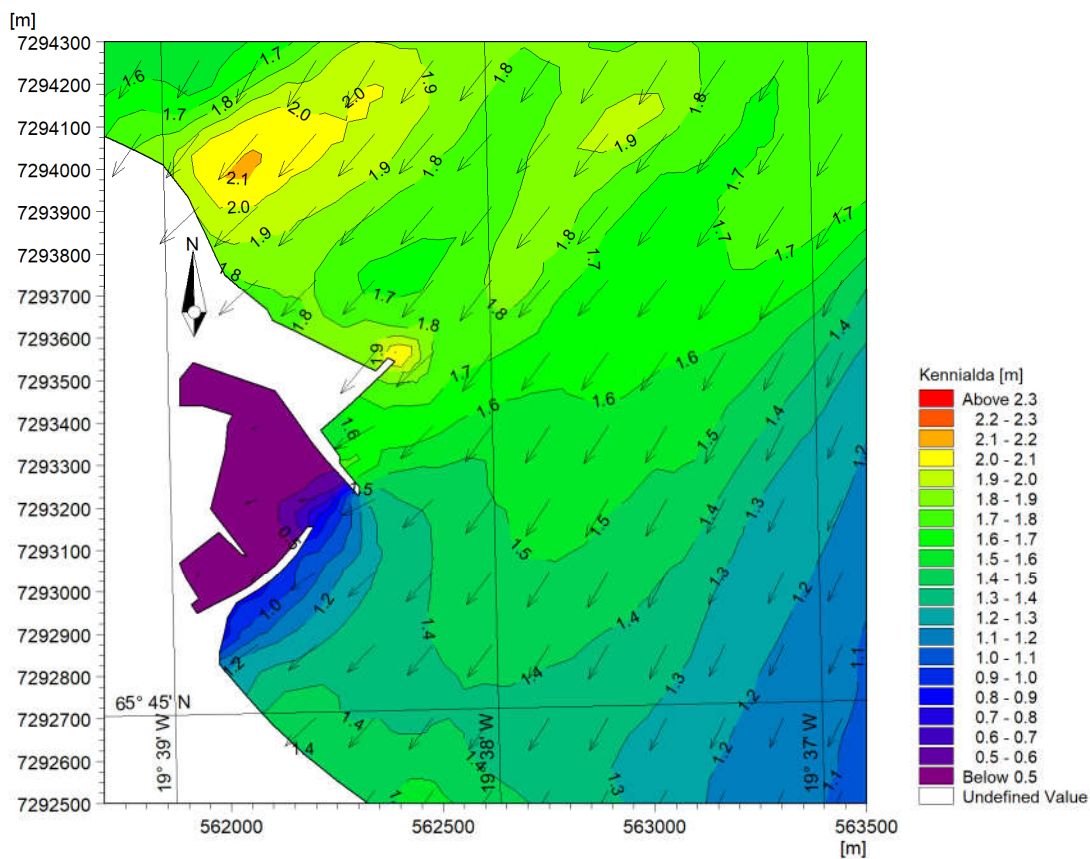
**Mynd 54: Sauðárkrókskhöfn - 100 ára alda úr NNV.**



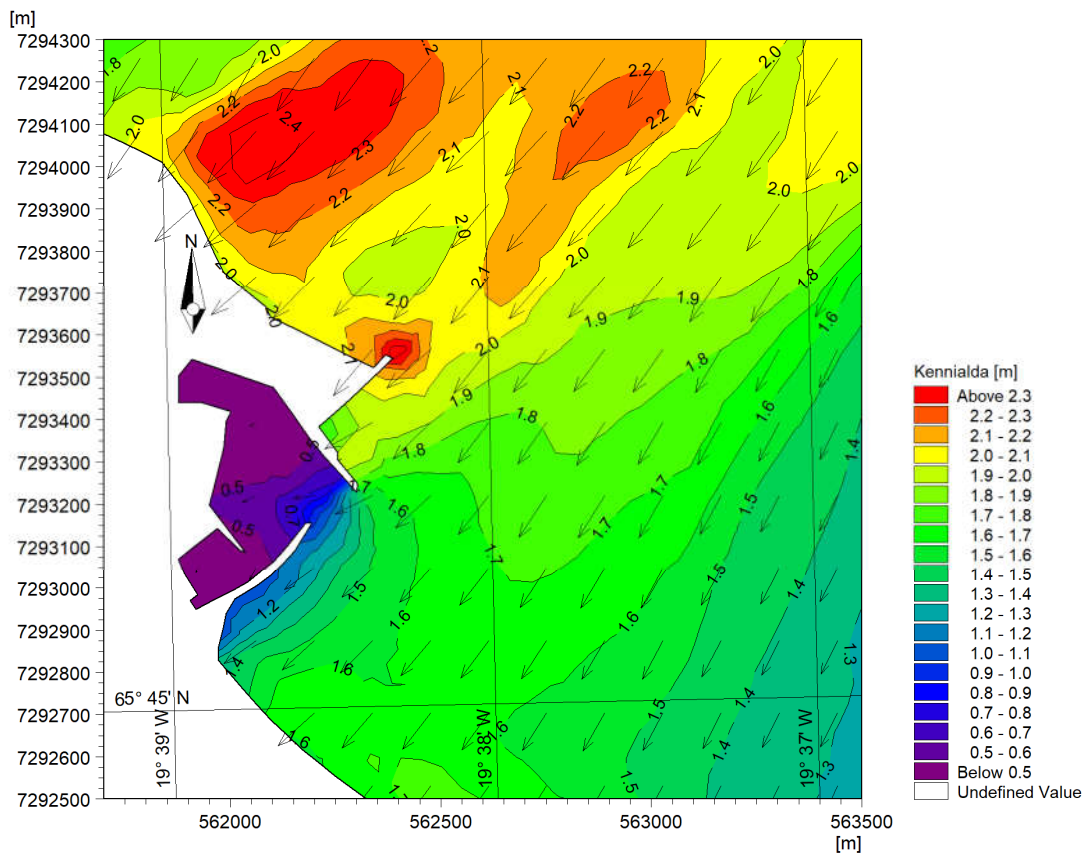
Mynd 55: Sauðárkrókhöfn – alda með 98% tíðni úr N.



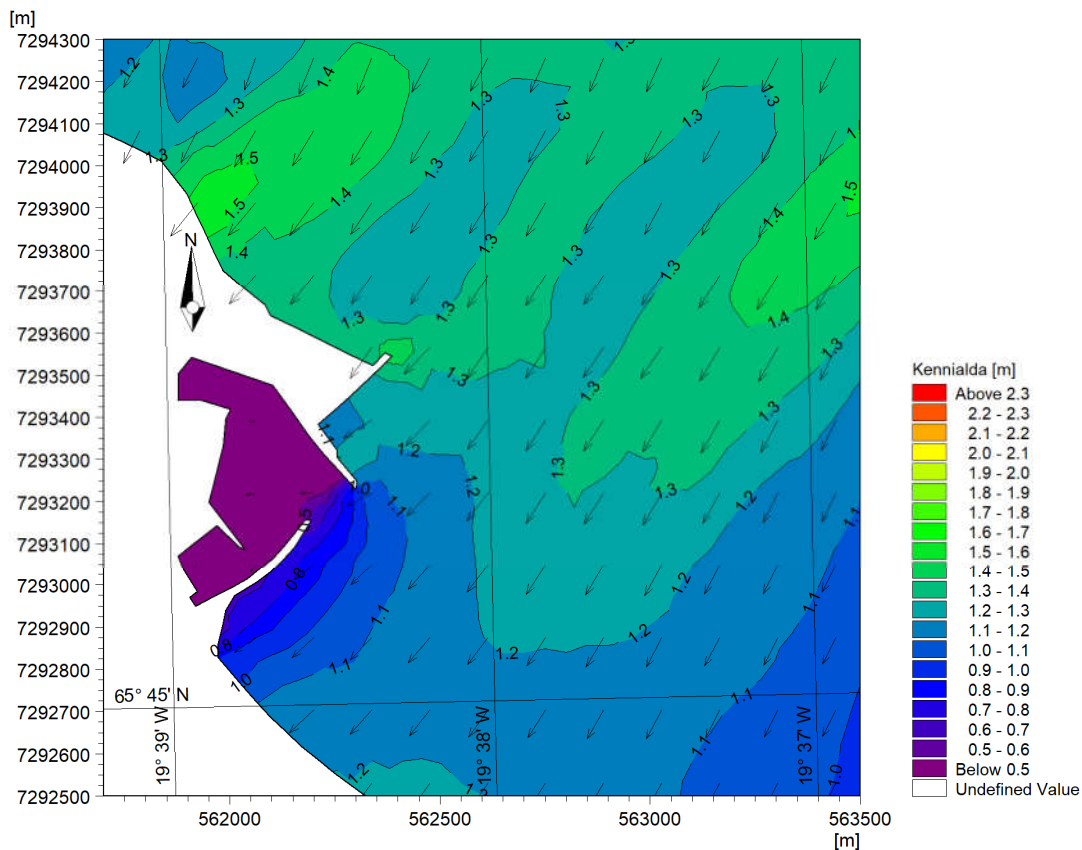
Mynd 56: Sauðárkrókhöfn - 1 árs alda úr N.



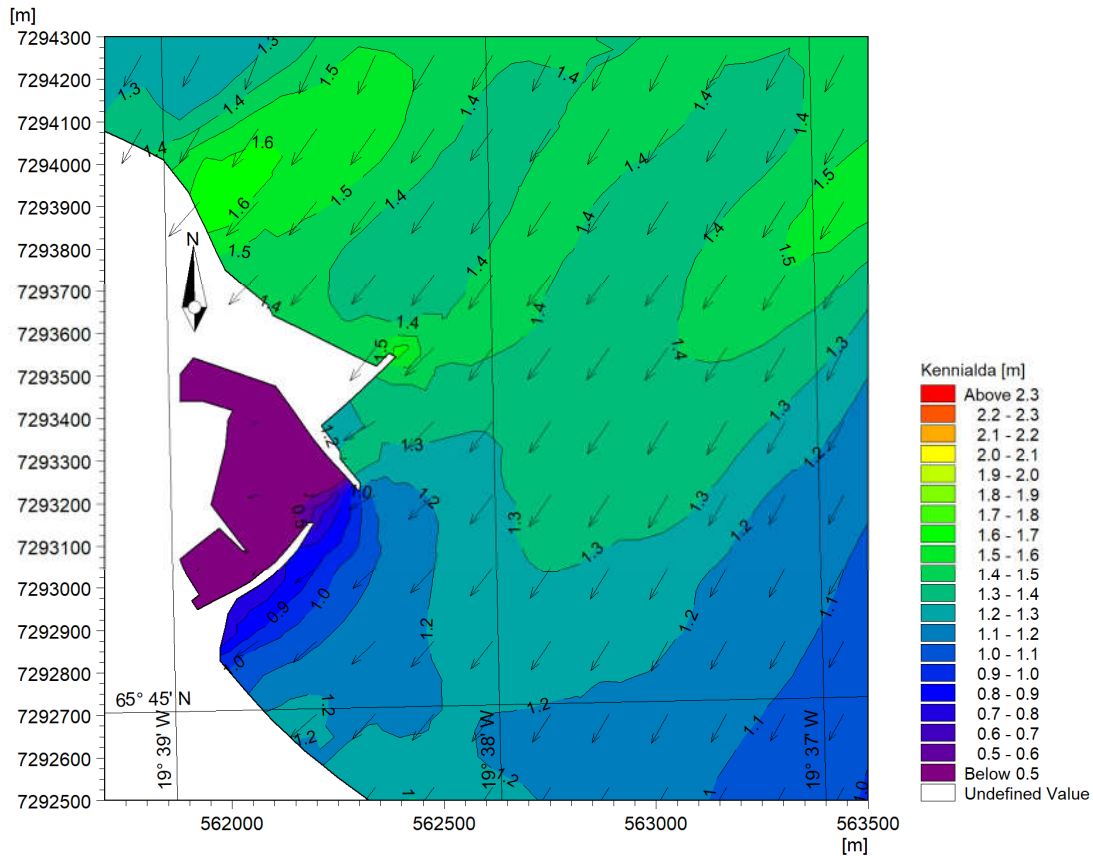
Mynd 57: Sauðárkrókshöfn - 10 ára alda úr N.



Mynd 58: Sauðárkrókshöfn - 100 ára alda úr N.

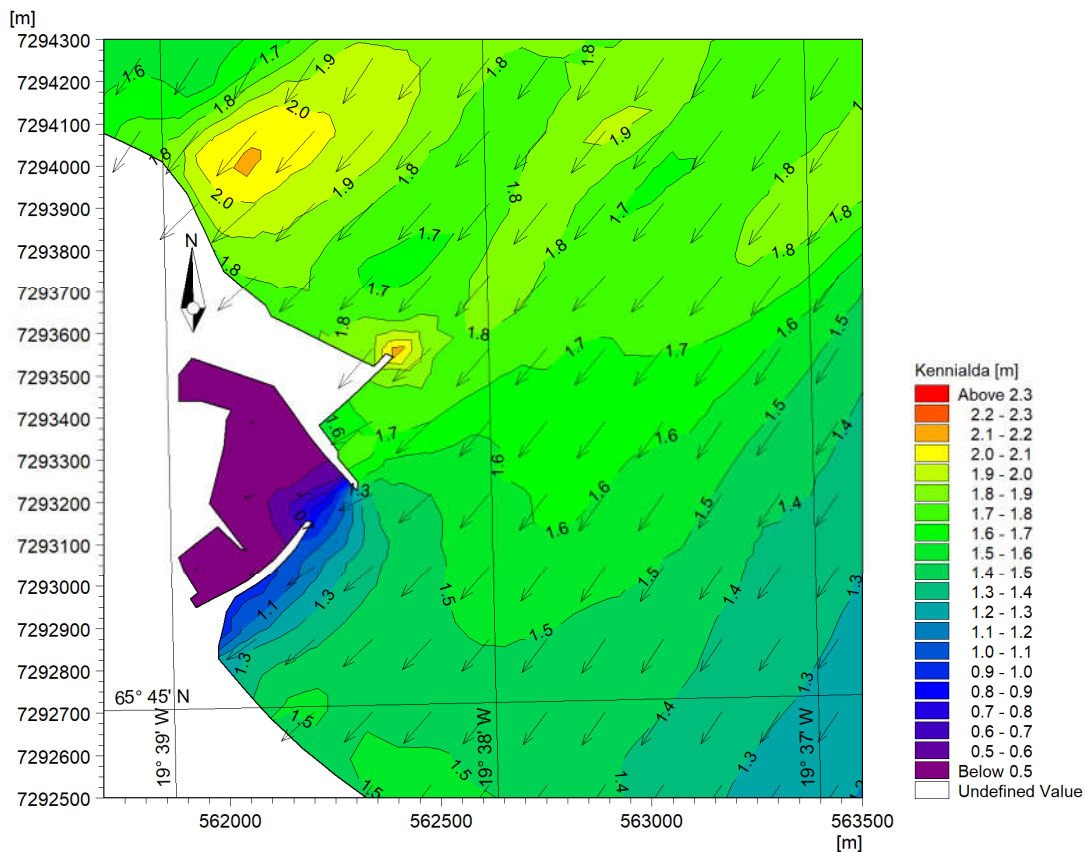


**Mynd 59** Sauðárkrókshöfn – alda með 98% tíðni úr NNA.

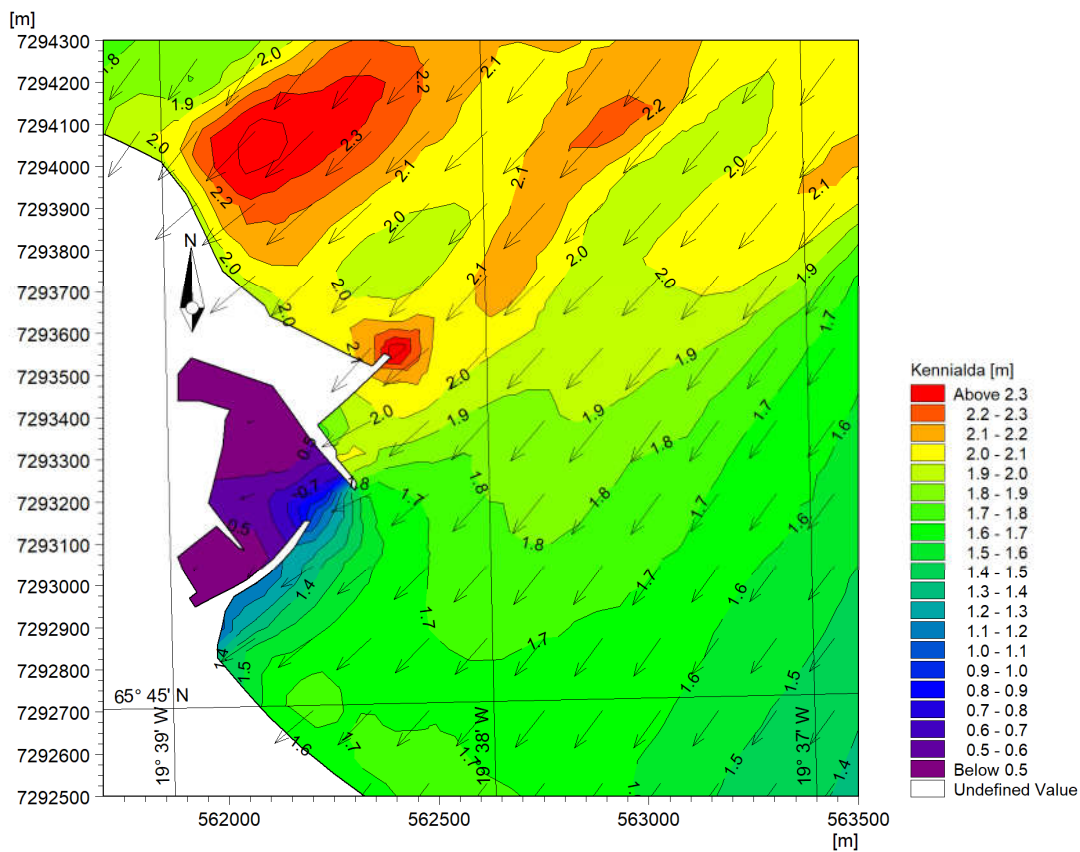


**Mynd 60:** Sauðárkrókshöfn - 1 úrs alda úr NNA.





**Mynd 61: Sauðárkrókshöfn - 10 ára alda úr NNA.**



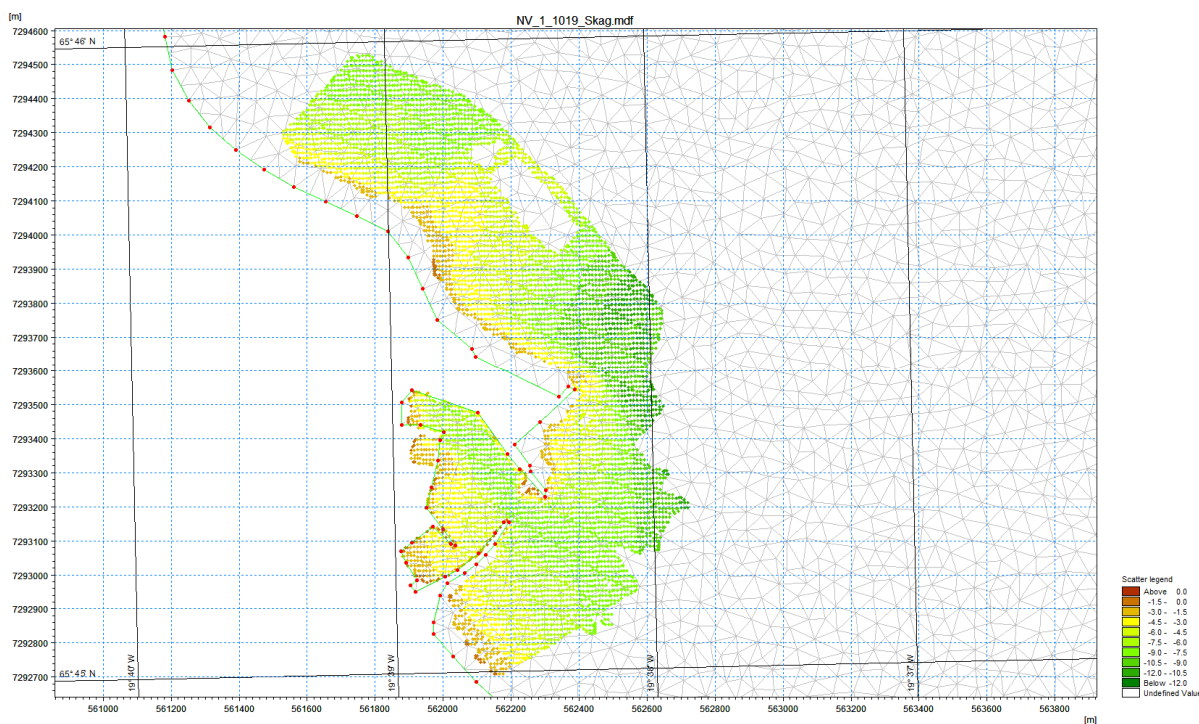
**Mynd 62: Sauðárkrókshöfn - 100 ára alda úr NNA.**



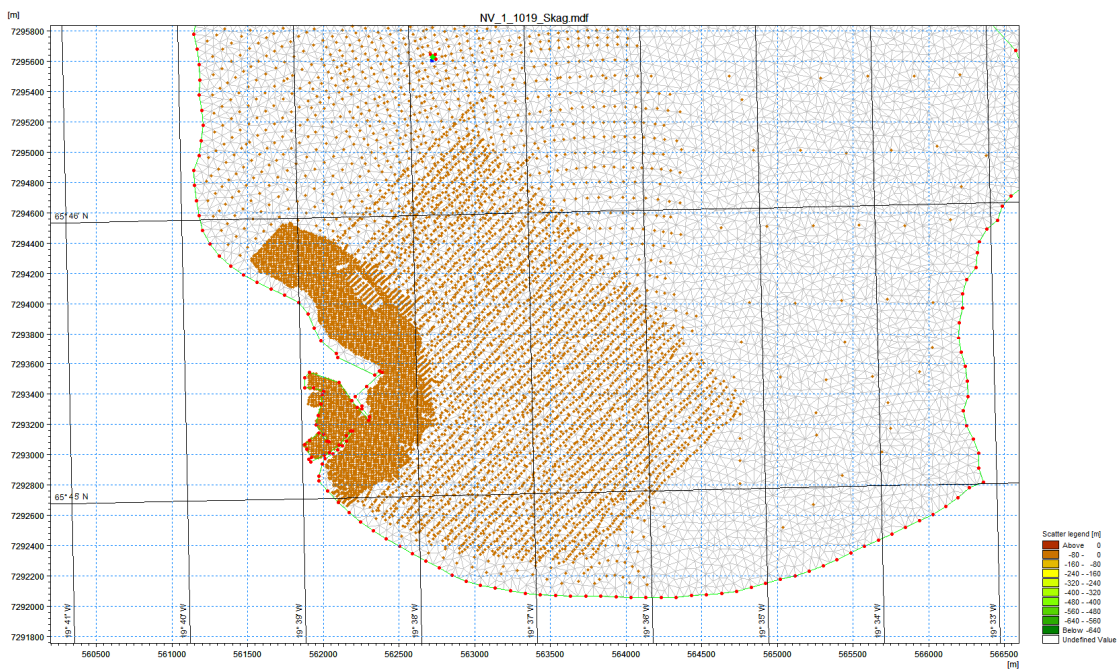


## 8 Mælingar við Sauðárkrókshöfn.

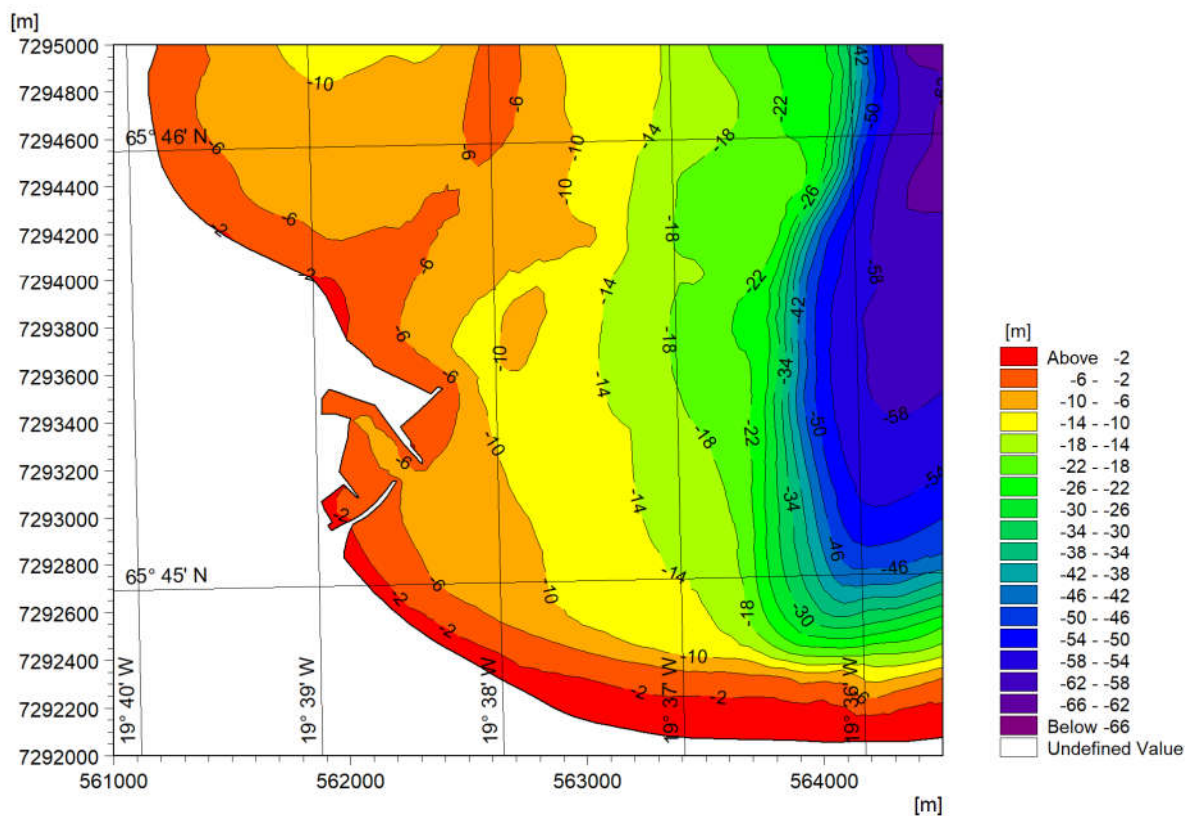
Ný samsett mæling var sett inn í fyrir liggjandi dýptargrunn.



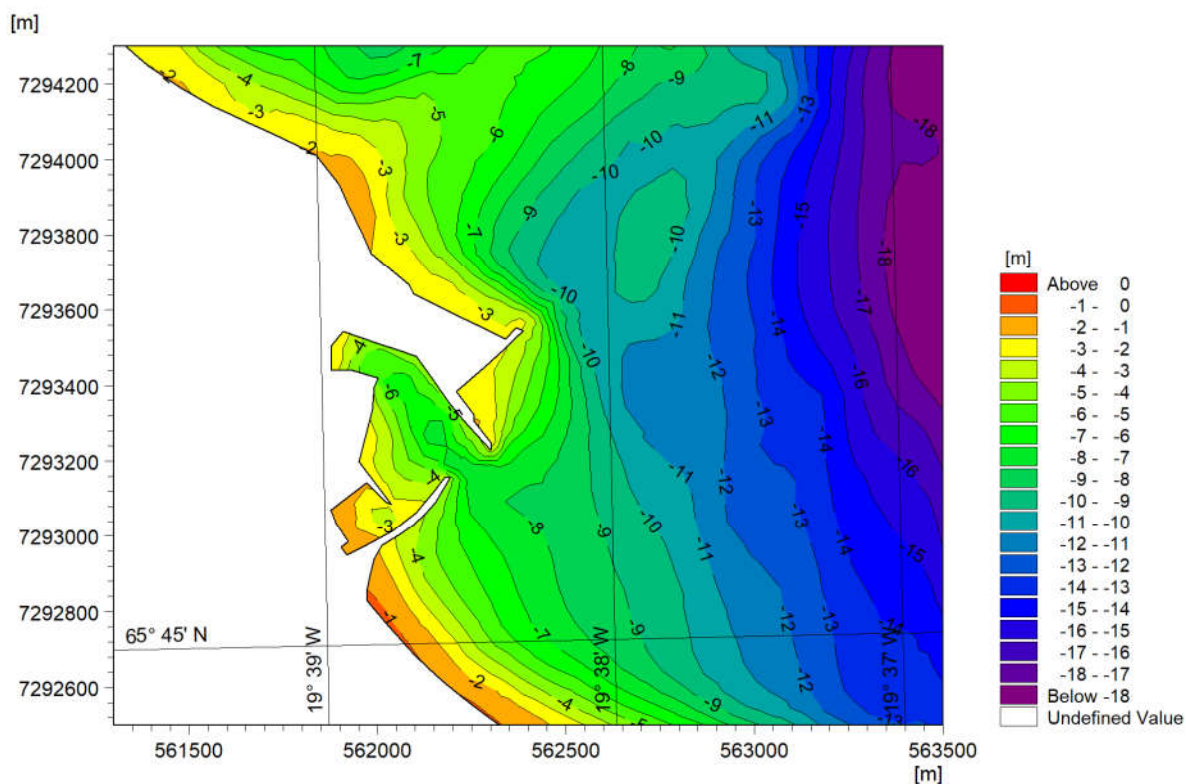
Mynd 63: Samsett dýptarmæling (Teikning C-3905).



Mynd 64: Dýptargrunnur



Mynd 65: Dýpi hafsvæðis framán við Sauðárkrök.



Mynd 66: Dýpi hafsvæðis við Sauðárkrökshöfn.

## 9 Niðurstöður í punkti Dufl sbr. Líkantilraunir, (UTM-27, 562612, 7293599)



Tafla 12: Öldufar í 65.757833°, 19.38° (Dufli)

		Hs (m)	Tp (s)	Dir (°)
NNV	98%	1.32	10.2	34
	1	1.41	10.7	35
	10	1.72	11.4	37
	100	1.94	11.7	37
N	98%	1.38	10.8	36
	1	1.46	10.6	36
	10	1.75	11.9	39
	100	2.03	12.5	40
NNA	98%	1.34	9.3	35
	1	1.43	9.8	37
	10	1.80	10.8	42
	100	2.07	11.3	44