

# Ferjuhöfn við Bakkafjöru

## Áfangaskýrsla um rannsóknir og tillögur



SIGLINGASTOFNUN

# Ferjuhöfn við Bakkafjöru

Áfangaskýrsla um rannsóknir og tillögur

Aðalhöfundur og stjórnandi rannsókna  
Gísli Viggósson



SIGLINGASTOFNUN

Febrúar 2006



# Efnisyfirlit

<b>1.</b>	<b>INNGANGUR</b> .....	<b>7</b>
<b>2.</b>	<b>NIÐURSTÖÐUR</b> .....	<b>8</b>
2.1.	Hliðið á sandrifinu .....	8
2.2.	Ferjuhöfnin .....	9
2.3.	Bakkaferja.	9
2.4.	Líkantilraunir .....	10
2.5.	Ferðatilhögun og frátafir Bakkaferju .....	10
2.6.	Bygging ferjuhafnar .....	10
2.7.	Kostnaður	11
2.8.	Framkvæmdatími .....	11
<b>3.</b>	<b>UNDIRBÚNINGUR AÐ RANNSÓKNUM VEGNA FERJULÆGIS VIÐ BAKKAFJÖRU</b> .....	<b>12</b>
3.1.	Viljayfirlýsing Alþingis og fjárveitingar til Bakkafjörurannsóknna.....	12
3.2.	Yfirlit um undanfarnar Bakkafjörurannsóknir.....	12
<b>4.</b>	<b>HELSTU EINKENNI BAKKAFJÖRU OG SÖFNUN UPPLÝSINGA UM NÁTTÚRUFAR</b> .....	<b>15</b>
<b>5.</b>	<b>FORSENDUR FYRIR STAÐARVALI FYRIR FERJUHÖFNINA OG ÞRÓUN HUGMYNDA UM GERÐ HENNAR OG STAÐSETNINGU</b> .....	<b>18</b>
5.1.	Ferjuhöfn á Bakkafjöru.....	18
5.2.	Staðsetning ferjuhafnar utan við sandrifið (eyjarhöfn) .....	19
5.2.	Síðustu áform.....	20
<b>6.</b>	<b>SIGLINGALEIÐ MILLI VESTMANNAEYJA OG BAKKAFJÖRU OG AÐSTÆÐUR VIÐ BAKKAFJÖRU</b> .....	<b>22</b>
6.1.	Siglingaleiðir milli Vestmannaeyja og Bakkafjöru.....	22
6.2.	Sandrif, hlið og eyrar við Markarfljótsós .....	22
6.3.	Sjávarföll við Bakkafjöru .....	29
<b>7.</b>	<b>ÖLDUMÆLINGAR</b> .....	<b>30</b>
7.1.	Um öldufar á siglingaleiðum milli Vestmannaeyja og lands .....	30
7.2.	Öldumælingar .....	30
7.2.1.	Öldumælingar við Surtsey.....	30
7.2.2.	Líkindadreifing öldu við Surtsey fyrir tímabilið 1988–2004.....	30
7.2.3.	Öldumælingar við Bakkafjöru.....	32
7.3.	Ölduspágögn .....	33
7.3.1.	Uppruni ölduspágagna .....	33
<b>8.</b>	<b>ÖLDUFARSREIKNINGAR</b> .....	<b>36</b>
8.1.	Forsendur.	36
8.1.	Niðurstöður .....	38



8.1.1.	Niðurstöður öldufarsreikninga fyrir siglingaleiðir .....	38
8.2.1.	Niðurstöður öldufarsreikninga fyrir Bakkafjöru.....	41
<b>9.</b>	<b>NAUÐSYNLEGT LÁGMARKSDÝPI Á SANDRIFINU, UTAN FERJULÆGIS OG Í SANDRIFINU.....</b>	<b>43</b>
9.1.	Kröfur um lágmarksdýpi .....	43
9.2.	Dýpi og grunnbrot við Bakkafjöru.....	44
9.3.	Samanburður á kenniöldu brotalda við Bakkafjöru og hafnirnar í Þorlákshöfn og Grindavík .....	44
<b>10.</b>	<b>HÖNNUNARLEIÐBEININGAR FYRIR BREIDD HAFNARMYNNIS OG INNSIGLINGARRENNU .....</b>	<b>48</b>
10.1.	Botnbreidd innsiglingar.....	48
10.2.	Hönnun innsiglingarrennu að ferjuhöfn á Bakkafjöru.....	50
10.3.	Breidd hafnarmynniss .....	51
<b>11.</b>	<b>GERÐ OG AFKASTAGETA BAKKA FERJU .....</b>	<b>52</b>
11.1.	Almennt ...	52
11.2.	Helstu mál skipsins .....	52
11.3.	Ganghraði	53
11.4.	Stjórnhæfni, véla- og skrufubúnaður.....	53
11.5.	Öryggisbúnaður .....	53
11.6.	Flutningsgeta .....	53
11.7.	Mönnun skipsins .....	54
11.8.	Smíðakostnaður .....	54
11.9.	Rekstrarkostnaður .....	54
<b>12.</b>	<b>LÝSING Á FERJUHÖFN Á BAKKAFJÖRU OG HELSTU HÖNNUNARSJÓNARMÍÐ .....</b>	<b>55</b>
<b>13.</b>	<b>LÍKANTILRAUNIR MEÐ SKIPLÍKAN OG KVÖRÐUN GRUNNBROTA Í INNSIGLINGUNNI .....</b>	<b>58</b>
13.1.	Inngangur	58
13.2.	Bygging líkans.....	58
13.3.	Öldugerðir og veður .....	60
13.4.	Skipslíkan	60
13.5.	Öldumælingar og brotöldutalning .....	63
13.6.	Öldumælingar í innsiglingarrennunni .....	68
13.7.	Siglingar skipslíkans .....	66
13.8.	Tilraunasiglingar í Bakkafjörulíkani 13. janúar 2006.....	69
<b>14.</b>	<b>NIÐURSTÖÐUR LÍKANTILRAUNA OG MAT Á FRÁTÖFUM FERJU .....</b>	<b>72</b>
14.1.	Helstu niðurstöður líkantilrauna .....	72
14.2.	Ölduhæð við dufl.....	72
14.3.	Ferðir ferju og frátafir .....	73
14.3.1.	Ferðatilhögun.....	73
14.3.2.	Ferðatíðni.....	73
14.3.3.	Frátafir .....	74
14.3.4.	Frátafir miðað við 3,5 m ölduhæð .....	74

14.3.5.	Frátafir miðað við 3,8 m ölduhæð .....	75
14.3.6.	Frátafir miðað við 4,5 m ölduhæð .....	75
14.3.7.	Samantekt frátafa .....	76
14.4.	Reynsla skipstjóra af aðstæðum við Bakkafjörudúfl .....	76
<b>15.</b>	<b>FRUMHÖNNUN BRIMVARNARGARÐA .....</b>	<b>78</b>
15.1.	Jökulhlaup í Markarfljóti og og ferjuhöfn á Bakkafjöru .....	80
<b>16.</b>	<b>NAUÐSYNLEGAR UNDIRBÚNINGSRANNSÓKNIR FYRIR VERKHÖNNUN .....</b>	<b>81</b>
16.1.	Dýptarmælingar og botnsýnataka .....	81
16.2.	Framburður botnskriðs í Markarfljóti .....	81
16.3.	Öldustefnumælingar við Bakkafjöru .....	82
16.4.	Straumfræðilegar rannsóknir .....	82
16.5.	Grjótnámsrannsóknir .....	82
16.6.	Frekari rannsóknir .....	84
<b>17.</b>	<b>KOSTNAÐARÁÆTLUN VEGNA GERÐAR FERJUHAFNAR, SMÍÐI FERJU OG VEGAGERÐ AUK ANNARS BÚNAÐAR .....</b>	<b>86</b>
17.1.	Áætlun um heildarkostnað .....	86
17.2.	Áætlaður framkvæmdatími .....	87
<b>18.</b>	<b>VIÐAUKI. „BAKKAFJARA. SEDIMENT TRANSPORT AND MORPHOLOGY“ .....</b>	<b>88</b>



# 1. Inngangur

Í þessari áfangaskýrslu um rannsóknir og tillögur Siglingastofnunar Íslands vegna hugmynda um ferjuhöfn á Bakkafjöru er greint frá niðurstöðum þeirra rannsókna sem gerðar hafa verið á undanförunum árum á eiginleikum sandstrandarinnar og á öldufari og sjólagi við hana og utan hennar. Einnig er skýrt frá líkantilaunum sem gerðar hafa verið í rannsóknastöð Siglingastofnunar í Kópavogi þar sem sett var upp líkan af ferjuhöfn á Bakkafjöru sem notað var til að kanna áhrif náttúruaflanna á slíkt mannvirki og á siglingu ferju yfir sandrifið utan ferjulægisins og inn um hafnarmynnið.

Í skýrslunni eru einnig tillögur um gerð ferjuhafnarinnar sem byggjast á þeirri þekkingu og reynslu sem fengist hefur með gerð hafnarmannvirkja á suðurströndinni, þ.e. í Þorlákshöfn, Grindavík og Höfn í Hornafirði auk þeirrar vitneskju sem líkantilraunirnar skiluðu. Þá var dönsk rannsóknarstöð í straumvísindum vegna hafnargerða, Dansk Hydraulisk Institut, fengin til að taka að sér útreikninga á efnisburði meðfram ströndinni og við ferjulægið og er gerð grein fyrir niðurstöðum þeirra athugana í þessari skýrslu.

Gerð er tillaga að ferjuhöfn á Bakkafjöru í skýrslunni og greint í meginatriðum frá gerð og stærð ferju sem annast gæti siglingar milli Heimaeyjar og Bakkafjöru. Skýrt er frá því hvaða forsendur liggja að baki mati á frátöfum ferjunnar frá reglulegum siglingum vegna veðurs og ölduhæðar og lagt mat á það hversu tíðar og langvarandi þær muni verða. Þá er þess freistað að meta heildarkostnað við verkefnið, þ.e. við byggingu ferjulægis með öllu sem því tilheyrir og kaup- eða smíðaverð ferju. Til þess að auka nákvæmni í því mati er nauðsynlegt að takast á hendur enn frekari rannsóknir og nánari útfærslu ýmissa atriða. Ennfremur eru birtar hér forsendur og ályktanir sem hafa leitt til þeirrar meginniðurstöðu sem sett er fram í skýrslunni að kringumstæður og náttúrufar gefi kost á því að byggð verði ferjuhöfn á Bakkafjöru og haldið uppi reglulegum ferjusamgöngum milli Heimaeyjar og ferjuhafnarinnar allan ársins hring. Miðað við tæknilegar forsendur telst þessi valkostur fyllilega raunhæfur þegar til þess kemur að velja þá leið sem farin verður til að bæta úr samgöngumálum Vestmannaeyinga.

Gera verður ráð fyrir því að um eitt ár þurfi til að ljúka nauðsynlegum frumrannsóknum áður en fullnaðarhönnun mannvirkja getur hafist.

Ef ákvörðun um að hefja framkvæmdir liggur fyrir á árinu 2007 má gera ráð fyrir að hægt verði að taka mannvirki í notkun árið 2010.

Gera má ráð fyrir að 2–2,5 ár taki að ljúka framkvæmdum við ferjuhöfnina að fullu.

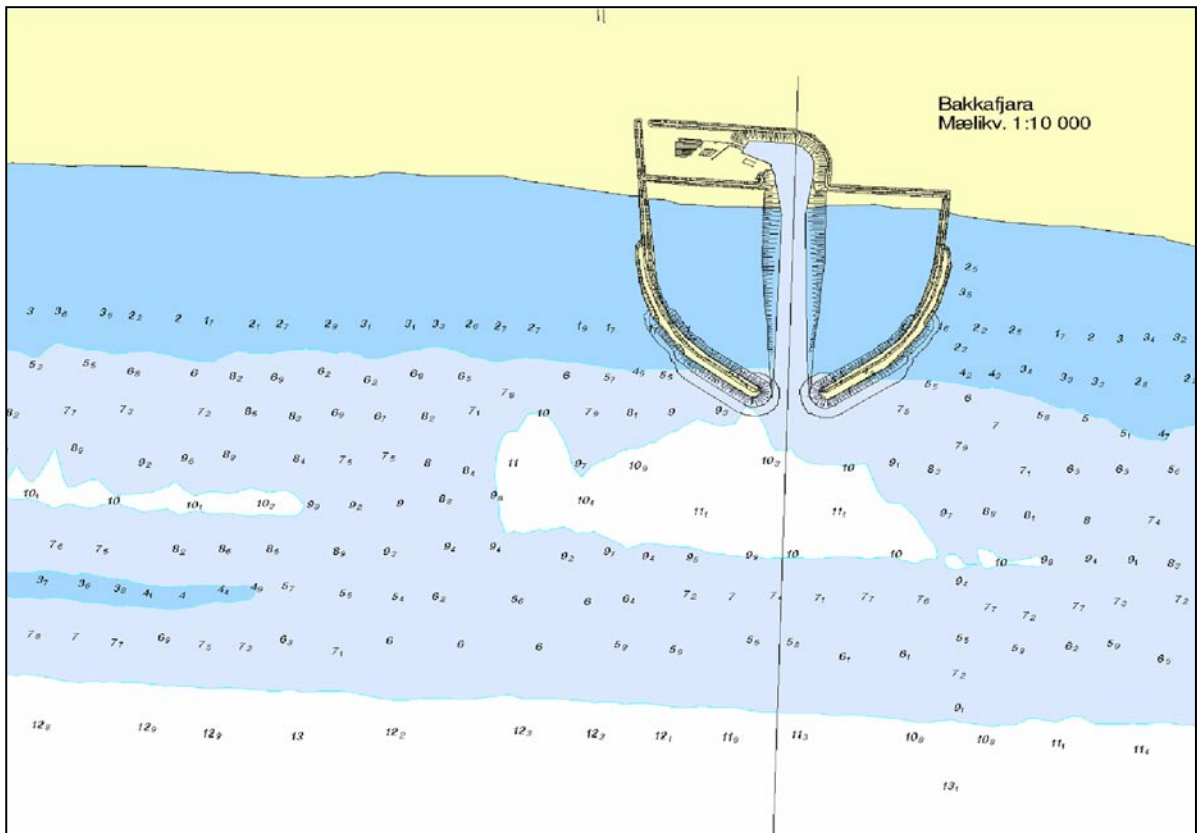
Áætlað er að tími sem fer í umhverfismat, hönnun og öflun leyfa til framkvæmda sé á bilinu 1–1,5 ár.

Áætlaður smíðatími skips er 15–18 mánuðir.

Heildarkostnaður við gerð ferjuhafnar á Bakkafjöru og smíði nýrrar ferju er áætlaður á bilinu 3,8–4,5 milljarðar króna á núverandi verðlagi.

## 2. Niðurstöður

Meginniðurstaðan af rannsóknum Siglingastofnunar undanfarin ár á því viðfangsefni að skapa forsendur fyrir ferjusiglingar milli Vestmannaeyjahafnar og Bakkafjörü eru þær í stuttu máli að tekist hefur að staðsetja ferjuhöfn á Bakkafjörü með tillitil til skjóls og staðsetningar gagnvart sandrifi utan strandarinnar og þróa heppilega innsiglingu sem er nægilega örugg fyrir ferjusiglingar. Athuganir benda og til þess að rekstrarkostnaður hafnarinnar vegna grynningar af völdum efnisburðar verði ekki óhóflegur. Eru ekki sýnilegir neinir tæknilegir meinbugir á því að byggja ferjulægi á Bakkafjörü og halda úti ferju á siglingaleiðinni milli Vestmannaeyjahafnar og Bakkahafnar með fullu öryggi og frátöfum innan viðmiðunarmarka.



Mynd 2.1. Afstöðumynd af tillögu Siglingastofnunar Íslands að ferjulægi á Bakkafjörü.

### 2.1. Hliðið á sandrifinu

Ölduhæðin við suðurströndina er lægst undan Bakkafjörü sem er í vafi af Vestmannaeyjum. Undan Bakkafjörü er sandrif í um 800 til 900 m fjarlægð frá fjörinni. Sandrif þetta myndast í samspili efnisburðarins sem á sér stað meðfram ströndinni og þvert á hana, ölduhreyfinganna og breytilegrar hæðar sjávarfalla. Á því er op eða „hlið“ þar sem jafnan er 6–7 m dýpi og helst það opið þótt efni berist að því en getur færst nokkuð til. Skýringin er sú að aldan nær ekki að bera efni lengra úr austri eða vestri en að hliðinu. Þar sem sandrif eru berst hluti þess efnis

sem er á ferð meðfram ströndinni eftir því og er að sama skapi minni efnisburður eftir fjörunni. Standi sama ölduáttin yfir um lengri tíma flyst hliðið til undan öldunni. Á tímabilinu frá 1979 til 2005 hefur hliðið færst mest um 400 m til vesturs árið 1986 og mest um 140 m til austurs árið 1990. Þegar þessi frávik verða er talið að það líði nokkrar vikur eða mánuðir þar til fyrra jafnvægi er komið á að nýju og er tímalengdin háð því hvaða ölduátt er ríkjandi.

Til öryggis er miðað við að eftir aftakaveður sem koma með margra ára millibili geti þurft að dýpka og fjarlægja um 80.000 m<sup>3</sup> úr sandrifinu og er í þeim áætlunum miðað við 2 m dýpkun í 200 m rennu á 200 m löngu svæði yfir sandrifið.

Breidd sandrifsins milli 10 m jafndýpslínanna er um 350 m og á miðju rifinu er dýpi að jafnaði milli 6 og 7 m en getur minnst orðið 5,5 m. Þannig er fjarlægðin frá 10 m dýpi utan rifsins að hárifinu þar sem er 6 m dýpi um 200 m. Frá 6 m dýpi að hafnarmynni eru um 500 m og á því bili er állinn milli sandrifs og fjöru um 300 m breiður og er dýpi þar um 10 m og þar yfir. Hafnarmynnið nær út í álinn og er fjarlægðin frá hafnarmynni að fjöruborði um 550 m.

## 2.2. Ferjuhöfnin

Ferjuhöfnin er dæmigerð höfn við sandströnd varin með bogadregnum brimvarnargörðum úr grjóti (bermugörðum). Hafnarmynni er haft þröngt til að stemma stigu við efnisburði inn í höfnina. Inn af hafnarmynninu liggur innsiglingarrenna með 7 m dýpi í ytri hluta og 5,5 m dýpi í innri hluta og innan sjálfrar ferjuhafnarinnar.

Miðað við venjulegt ástand munu líða á bilinu 3 til 4 ár þar til efni hefur sest svo að varnargörðunum að sandurinn fer að berast framhjá hafnarmynninu. Eftir það er talið að um 20.000 til 25.000 m<sup>3</sup> af efni berist inn um hafnarmynnið á ári hverju miðað við að breidd hafnarmynnis sé 70 m. Áætlaður kostnaður vegna viðhaldsdýpkana er 10–15 millj. kr. á ári.

Þær rannsóknir sem áformað er að gera á þessu ári munu m.a. beinast að því að kanna nánar eiginleika strandarinnar og hegðun efnisburðarins næst henni með það að markmiði að finna hagkvæmstu legu hafnarmynnisins og ákvarða dýpi þess. Í frumhönnun er gert ráð fyrir að hraði straumsins sem fleytir efninu framhjá hafnarmynninu sé um 1,1–1,4 m/s. Talið er að lega hafnarmynnisins muni ekki breytast að ráði frá því sem gert er ráð fyrir við frumhönnun ferjuhafnarinnar.

## 2.3. Bakkaferja

Við hönnun ferjunnar skal taka mið af dýpi á sandrifinu og dýpi í hafnarmynni / innsiglingarrennu ásamt breidd þess og ölduhæð og straumum á siglingaleið. Ferjan verður hönnuð fyrir „hafsvæði B“ og verður því heimilt að sigla 20 sjómílur frá landi með farþega. Hún mun því geta siglt til Þorlákshafnar ef þörf krefur. Miðað er við ferju sem er 49 m löng (mesta lengd), 12 m að breidd og með 3,5 m djúpristu. Ganghraði verður um 15 sjómílur og skipið verður búið tveimur stýrisskrúfum og öflugri bógskrúfu. Ferjan verður búin öllum nauðsynlegum öryggistækjum samkvæmt gildandi reglum.

Ætlaður heildarkostnaður við smíði ferjunnar er um 1.200 milljónir og árlegur rekstrarkostnaður hennar er áætlaður um 175–200 millj. kr.

## 2.4. Líkantilraunir

Gerðar hafa verið í rannsóknarstöð Siglingastofnunar tilraunir með líkan af ferjuhöfn á Bakkafjöru og umhverfi þess. Tilraunirnar fólu í sér siglingu skipslíkans yfir sandrifið og inn í ferjuhöfnina. Skipslíkanið hafði því nær sömu stærðarhlutföll og stöðugleika og fyrirhuguð ferja. Meginniðurstöður úr þessum tilraunum eru:

Grunnbrot sem sigling ferjunnar þarf að taka mið af eru á um 250 m svæði á og utan sandrifsins frá um 10 m dýpi á fjöru utan þess inn að 6 m dýpi rétt innan hárfisins.

Unnt hefur verið með öldumælingum, talningu öldubrota og rannsóknnum á siglingum skipslíkansins að fastsetja viðmiðunarmörk fyrir örugga siglingu um grunnbrotin.

Líkantilraunirnar hafa sýnt fram á sambandið milli ölduhæðarinnar á rifinu og fjölda grunnbrota.

Viðmiðunarmörk ölduhæða á 10 m dýpi utan rifs eru um 4,5 m og um 4,0 m á rifinu á flóði og við meðalsjárvarhæð en 4,0 m og 3,5 m á fjöru. Við þessi viðmiðunarmörk er fjöldi veltibrota innan 10 m dýpis að rifinu, 6–10% á flóði og 9–11% á fjöru, að jafnaði um 10%. Við viðmiðunarmörk brotna öldur ekki utan 10 m dýpis á rifinu. Ölduhæðin lækkar frá rífi að hafnarmynni en þar hækkar aldan vegna fyrirstöðu sem er við hafnarmynnið og lækkar síðan ört inn innsiglingarrennuna og er vel innan marka í sjálfu ferjulæginu. Ölduhæð á Bakkadufli er 3,8 m við þessi viðmiðunarmörk óháð ölduátt og sjávarstöðu.

## 2.5. Ferðatilhögun og frátafir Bakkaferju

Miðað er við að farþegafjöldi ferjunnar geti verið vel yfir 300 farþegar og ferjan mun geta tekið allt að 36 fólksbíla í hverri ferð. Við frumhönnun er gert ráð fyrir 1096 ferðum á ári. Er gert ráð fyrir því að um vetur verði farnar tvær ferðir á dag en fjórar ferðir á dag að sumarlagi.

Öldumælingar á Bakkadufli hafa staðið yfir frá októberlokum 2003, samtals í 26 mánuði. Miðað við fastar ferðir og viðmiðunarmörk ölduhæðar 3,8 m, hefðu 39 ferðir fallið niður á þessu 26 mánaða tímabili. Af þeim ferðum væru 36 að vetrarlagi eða 4,3% ferða og 3 ferðir hefðu fallið niður yfir sumarmánuðina eða 0,2%. Samtals hefðu um 1,6% allra áætlunarferða á tímabilinu fallið niður.

Mörgum af þessum 39 ferðum hefði verið hægt að hliðra til um nokkrar klukkustundir á dag og sigla þegar veður var orðið betra. Hefði það verið gert væri um 15 ferðir að ræða á þessu 26 mánaða tímabili sem hefðu fallið alveg niður, eða 1,9% yfir veturinn, 0% yfir sumarið og 0,6% yfir allt árið. Frátafirnar samsvara 7 ferðum á ári eða 3–4 dögum ef miðað er við 2 ferðir á dag. Er sú tíðni frátafa sambærileg frátöfum Herjólfss sem að jafnaði verður að fella niður ferðir tvisvar til þrisvar á ári.

## 2.6. Bygging ferjuhafnar

Byggðir verða tveir um 600 m langir brimvarnargarðar (bermugarðar) út frá Bakkafjöru. Miðað er við að grjót í brimvarnin fái úr námu í 25–30 km fjarlægð. Byggður verður fyrirstöðugarður meðfram Markarfljóti og vegslóði frá fyrirhugaðri ferjuhöfn eftir fyrirstöðugarði að brú sem gerð verður til bráðabirgða yfir Markarfljót og þaðan verður lagður bráðabirgðavegur að grjótnámi. Einnig verður lagður rúmlega 3 km

vegur frá Bakkaflogvelli að ferjuhöfninni.

Bygging ferjubryggju felst í rekstri 65 m stálþils með 20 metra gafflpili þar sem ekjubrú verður og 15 m gafflpili í austurenda, fyllingu í þil, lögnum, lýsingu og steyptri þekju. Dýpka þarf meðfram þili og á snúningssvæði í 5,5 m og innsiglingarrennu í 5,5–7,0 m dýpi, alls um 285.000 m<sup>3</sup>. Sett verður upp ekjubrú við gafflþil, byggt 200 m<sup>2</sup> þjónustuhús með landgöngubrú fyrir farþega og gengið frá plönnum og bílastæðum með varanlegu slitlagi. Lokafrágangur ferjuhafnar felst í að byggja jarðvegsmanir til varnar sandfoki og uppgræðslu lands.

## **2.7. Kostnaður**

Heildarkostnaður við gerð ferjuhafnar á Bakkafjöru og byggingu nýrrar ferju er áætlaður á bilinu 3,8 – 4,5 milljarðar króna á núverandi verðlagi, sbr. kafla 16.1.

Helsti óvissuþáttur varðandi kostnað eru forsendur sem áætlunin byggir á varðandi grjótnám. Þær þarf að staðfesta með grjótnámsrannsókn á fyrirhuguðum efnistöðum.

Gera verður ráð fyrir því að um eitt ár þurfi til að ljúka nauðsynlegum frumrannsóknum. Áætlaður kostnaður við þær rannsóknir og aðrar sem þarf að leiða til lykta áður en að lokahönnun kemur er um 40 millj. kr. Einnig þarf að fara fram umhverfismat og öflun nauðsynlegra leyfa.

## **2.8. Framkvæmdatími**

Áætlað er að tími sem fer í umhverfismat, hönnun og öflun leyfa til framkvæmda sé á bilinu 1–1,5 ár.

Gera má ráð fyrir að 2–2,5 ár taki að ljúka framkvæmdum við ferjuhöfnina að fullu.

Áætlaður smíðatími skips er á bilinu 15–18 mánuðir.

Verði tekin ákvörðun árið 2007 um að ráðast í framkvæmdina má gera ráð fyrir að hægt verði að taka mannvirki í notkun árið 2010.



### **3. Undirbúningur að rannsóknum vegna ferjulægis við Bakkafjöru**

#### **3.1. Viljayfirlýsing Alþingis og fjárveitingar til Bakkafjörurannsóknna**

Á 126. löggjafarþingi 2000–2001 samþykkti Alþingi þingsályktunartillögu um rannsóknir á möguleikum þessa að koma upp ferju aðstöðu á Bakkafjöru. Inntak þingsályktunartillögunnar var að Siglingastofnun Íslands skyldi kanna hvort unnt væri að stytta siglingatíma Vestmannaeyjaferju með því að byggja ferjuaðstöðu á Bakkafjöru og var vísað til þess að reynsla hefði þegar fengist af hönnun og byggingu hafnarmannvirkja á suðurströndinni sem nýta mætti í þágu þessa verkefnis og var í því sambandi bent á hafnargerðina á Höfn í Hornafirði og í Þorlákshöfn og Grindavík þar sem tekist var á við aðstæður sem ekki voru með öllu ólíkar því sem gerist á og við Bakkafjöru. Með þingsályktunartillögunni fylgdi áætlun um undirbúningsrannsóknir þar sem kostnaður var áætlaður um 10 millj. kr. á ári miðað við þriggja ára tímabil.

Á fjárlögum árána 2003, 2004 og 2005 fengust árlega 5,0 millj. kr. í tímabundið framlag til rannsókna á öldufari og straumum fyrir suðurströndinni, samtals 15 millj. kr. Í samgönguáætlun 2005–2008 voru veittar 10 millj. kr. á ári á árunum 2005 og 2006 af liðnum „óskipt ferjulægi Bakkafjöru — rannsóknir.“ Fjárveitingarnar hafa verið nýttar til fullnustu og voru rannsóknir stundaðar af kappi á tímabilinu, einkum árið 2005.

#### **3.2. Yfirlit um undanfarnar Bakkafjörurannsóknir**

Á undanförunum árum hefur framtíðartilhögun í samgöngumálum Vestmannaeyja verið mikið til umfjöllunar. Meðal þeirra hugmynda sem hafa verið taldar líklegar til að verða að gagni við að bæta samgöngur milli lands og Eyja í framtíðinni er bygging ferjulægis á Bakkafjöru og rekstur ferju á Eyjasundi milli Vestmannaeyjahafnar og Bakkafjöru. Í þessari skýrslu er greint frá þeim athugunum og rannsóknum sem gerðar hafa verið á vegum Siglingastofnunar Íslands á þessu verkefni og niðurstöður þeirra kynntar.

Í þingsályktunartillögu um rannsóknir á ferjuaðstöðu við Bakkafjöru (þskj. 55) sem samþykkt var í lok árs 2000 er gert ráð fyrir að a.m.k. þrjú ár þurfti til að rannsaka og meta hvort aðstæður leyfi reglulegar ferjusiglingar milli Vestmannaeyjahafnar og Bakkafjöru, þar á meðal með því að meta það hversu oft brim og veðurofsi myndi hamla siglingum Bakkafjöruferju. Hönnun og þróun aðstöðu fyrir ferju mun einkum taka mið af þeim sjónarmiðum að fyllsta öryggis verði gætt í hvívetna en jafnframt verði stofnkostnaði stillt í hóf eins og unnt er sem og þeim rekstrarkostnaði við ferjulægið sem skapast vegna dælingar á sandi og mól sem í það kann að berast og frátafa ferjunnar frá siglingum á áætlunarleiðinni vegna veðurofsa og hafróts.

Siglingastofnun Íslands hefur sinnt Bakkafjörurannsóknum undanfarnin ár eins og fé hefur fengist til. Undirbúningur að rannsóknum á aðstæðum á Bakkafjöru hófst með því að færa allar tiltækar dýptarmælingar undan Bakkafjöru og við Vestmannaeyjar og suðvesturland yfir á stafrænt form. Þá hefur verið unnið að

öldufarsreikningum á siglingaleiðinni milli Eyja og Þorlákshafnar.

Talið var nauðsynlegt að kanna breytingar á sandrifum með dýptarmælingum vetur, sumar, vor og haust í a.m.k. þrjú ár á tímabilinu 2002 til 2005. Þetta helgast af því að aðstæður við sandströndina eru síbreytilegar og er þá bæði átt við skammtímabreytingar háðar árstíðum og langtímabreytingar háðar ríkjandi veðurfari (öldufari og straumum).

Samið var við Vestmannaeyjahöfn um reglulegar dýptarmælingar við Bakkafjöru til að fylgjast með botnbreytingum undan Bakkafjöru. Í verksamningnum við Vestmannaeyjahöfn er gert ráð fyrir 15 mælingum á tímabilinu 2002 til 2006. Fyrsta dýptarmælingin var gerð 18. október 2002, önnur mælingin var gerð 17. júlí 2003, sú þriðja 18. júlí 2004 og hin fjórða 7. maí 2005.

Öldumælingar undan Bakkafjöru hófust í nóvember 2003 og síðastliðið haust voru rauntímamælingar frá ölduduflinu birtar í upplýsingakerfi Siglingastofnunar um veður og sjólag.

Í lokaskýrslu starfshóps samgönguráðherra „Samgöngur við Vestmannaeyjar“ í mars 2003 er gerð grein fyrir rannsóknnum og tillögum um ferjulægi við Bakkafjöru í því horfi sem þær voru á þeim tíma. Í skýrslunni er sett fram tillaga að ferjulægi innan sandrifanna og var áætlaður kostnaður við byggingu ferjulægis ásamt ferju um 3,3 milljarðar króna.

Á árunum 2003 fram á mitt ár 2005 var unnið að gagnasöfnun og fleiri tillögur settar fram um tilhögun ferjulægisins. Hugmyndin var sú að setja fram tillögu að ferjulægi bæði utan brimgarðs og innan hans og hafa báðar þessar leiðir verið teknar til athugunar. Hér er um viðamiklar rannsóknir að ræða og um margt eru þær frumkvöðlastarf. Því var ákveðið að kynna niðurstöður þeirra með skýrslu á ensku sem birt var á alþjóðaráðstefnu um náttúrufar og mannvirkjagerð á ströndinni, *Second International Coastal Symposium in Iceland*, sem haldin var á Höfn í Hornafirði dagana 5–8 júní 2005. Talsverðar umræður urðu þar um tillögurnar og varð meginniðurstaðan sú að hverfa ætti frá hugmyndum um ferjulægi sem væri staðsett framan á sandrifinu utan við brimgarðinn. Þess í stað yrði haldið áfram að þróa tillöguna að ferjulægi innan við „hliðið“ á sandrifinu vestan Markarfljótsóss og gera ráð fyrir því að siglt yrði beint inn um hliðið á sandrifinu og yfir álinn innan rífsins og inn um hafnarmynnið.

Frá hausti 2005 hefur verið unnið markvisst að rannsóknnum sem taldar eru nauðsynlegar til kanna hvort gerlegt og hagkvæmt sé að halda uppi ferjusiglingum milli Vestmannaeyja og Bakkafjöru. Byggt var líkan af botninum undan Bakkafjöru og ferjulæginu á Bakkafjöru í rannsóknastöð Siglingastofnunar. Þar voru áhrif sjávarhreyfinga á mannvirkið könnuð og gerðar tilraunir með siglingu skipslíkans inn í ferjulægið. Markmiðið með þessum líkantilraunum er að kanna siglingu ferju yfir sandrifið og inn í fyrirhugað ferjulægi við Bakkafjöru. Notuð er sama tækni og beitt var með góðum árangri við líkantilraunir af innsiglingunni til Grindavíkurhafnar. Sams konar öldur eru notaðar og grunnbrot eru talin við mismunandi sjávarstöðu og ölduhæð. Fjarstýrt skipslíkan sem notað var við Grindavíkurtílaunirnar hefur því sem næst sömu mál og fyrirhuguð ferja. Líkantilraunir hófust undir lok desember 2005 og lýkur í febrúar 2006.



Mynd 3.2.1. Frá líkantilraunum í rannsóknarstöð Siglingastofnunar. Ferja siglir út úr mynni ferjuhafnarinnar á Bakkafjöru

Danska straumfræðistöðin (Dansk Hydraulisk Institut) var fengin til að annast útreikninga á efnisburði vegna hinnar miklu reynslu sem stofnunin hefur af rannsóknum á efnisburði meðfram sjávarströndum og hefur m.a. unnið að rannsóknum á efnisburði við sandstrendur Danmerkur í áratugi. Nýlega lauk rannsóknum á efnisburði við fiskihöfnina við Torsminde á Vestur-Jótlandi en hafnarmynnið þar liggur innan brimgarðsins. Á grundvelli þessara rannsókna var lokið við að breyta legu brimvarnargarða haustið 2004 og lengja þá. Reynslan eftir það sýnir að dregið hefur verulega úr söfnun efnis í innsiglingunni og innan hafnarinnar. Er þetta dæmi um að tekist hafi að draga verulega úr efnisburði inn um hafnarmynni sem liggur innan brimgarðsins.

Að mörgu leyti eru aðstæður við Torsminde líkar aðstæðum við fyrirhugað ferjulægi á Bakkafjöru. Gísli Viggósson, sem stýrt hefur Bakkafjörurannsóknum, kynnti sér aðstæður við Torsminde haustið 2005 og í framhaldi af því var gerður samningur við Dönsku straumfræðistöðina um að annast nauðsynlegar rannsóknir á efnisburði við Bakkafjöru í samvinnu við Siglingastofnun Íslands. Þessar rannsóknir eru áfangaskiptar. Í fyrri áfanga er fengist við að kanna stöðugleika strandarinnar með tilliti til hafnargerðar og mati á söfnun efnis að ferjulæginu og inn í það. Ef af framkvæmdum verður þarf annan áfanga þar sem gerðar verða ýtarlegri rannsóknir á efnisburðinum til að geta sagt nánar til um hegðun efnisburðar við hafnarmynnið og breytingar á legu strandarinnar næst ferjulæginu.

Framangreindar rannsóknir og tilraunir byggjast á upplýsingum um öldufar árána 1979–2005 meðfram ströndinni og eru niðurstöður þessarar skýrslu m.a. byggðar á vinnu við fyrri áfanga í útreikningum á efnisburðinum.

Rannsóknir við Bakkafjöru eru nú í svipuðum farvegi og þær rannsóknir sem leiddu til úrbóta á innsiglingum og hafnarmannvirkjum við Hornafjarðarós og í Grindarvík sem gerðar voru fyrir nokkrum árum. Verkefni af þessu tagi eru ærið flókin þar sem fengist er við mjög öfluga og margþætta náttúrukrafta svo sem háar og orkuhlaðnar haföldur, mikla strauma og mikinn efnisburð. Því þarf að beita bæði líkantilraunum og reiknilíkönum mjög markvisst og meta niðurstöður á grundvelli reynslu þeirra sem best þekkja til.

## 4. Helstu einkenni Bakkafjöru og söfnun upplýsinga um náttúrufar

Megin úrlausnarefnið við að koma á ferjusiglingum milli Bakkafjöru og Vestmannaeyjahafnar er að leysa þau verkefni sem fylgja hinu kröftuga brimi sem dynur á óvarinni sandströndinni við Bakkafjöru. Þarna eru mikil átök á ferð þegar sandurinn leitast við að mynda jafnvægi við sibreytilegt brimið sem gnauðar um ströndina án afláts og veldur sífelldum breytingum á henni. Vettvangur átakanna nær frá efsta hluta upprennslis öldunnar og út fyrir grunnbrotin.

Ölduorkan og stefna hennar tekur stöðugum breytingum því þversnið fjörunnar leitar sífellt jafnvægis en nær því aldrei nema skamma hríð þar til aldan breytist á ný. Sandurinn í sérhverjum hluta af þversniði fjörunnar hefur sérstaka og einkennandi kornadreifingu og botnhallinn er mismunandi og það ræðst af hæð sjávarfalla hvort sandrif myndast og hvernig þau verða.

Hin endalæsa viðleitni til að skapa náttúrulegt jafnvægi milli efnis og orkuáhrifa veldur því að jafnan er efnisburður meðfram ströndinni og einnig þvert á hana, misjafnlega mikill eftir því hve öflugar öldurnar eru sem á sandinn orka. Botnbreytingar þvert á ströndina eiga sér stað vegna þess að aldan er breytileg eftir stefnu og styrk vinda og storma. Afgerandi munur er á þessum aðstæðum milli árstíða og er því unnt að tala um sérstakar sumar- og vetraraðstæður. Háa vetraraldan flytur efni úr fjörunni brott með sér út á dýpið þar sem brimgarðurinn er eða út á sandrif skammt undan ströndinni eins og raunin er við Bakkafjöru. Þessir efnisflutningar eiga sér stað á bilinu frá flóðborði rétt út fyrir brimgarðinn.

Efnisflutningar meðfram ströndinni eiga sér stað þegar aldan kemur skáhallt að ströndinni og verður þeirra einkum vart innan brimgarðsins frá fjöruborði og niður á dýpi sem svarar til hæðar brotöldunnar. Mesti sandburðurinn á sér stað þegar aldan kemur undir 45° horni að ströndinni en þegar aldan skellur þvert á ströndina verða ekki neindir efnisflutningar meðfram henni.

Flestar hafnir sem byggðar hafa verið við sandstrendur eru annað hvort tiltölulega stórar hafnir þar sem hafnarmynnið er látið ná út fyrir brimgarðinn eða hafnir sem hafa verið byggðar innan við brimgarð. Víða gætir erfiðleika við rekstur slíkra hafna, m.a. vegna þess að sífellt þarf að vera að dýpka og flytja burt sand sem safnast í þær.

Við rannsóknir og þróun vegna mögulegra ferjusiglinga milli Bakkafjöru og Heimaeyjar og ferjulægis við sandströndina hefur Siglingastofnun notast við öldumælingar og öldufarsrannsóknir auk þess að styðjast við þá þekkingu og reynslu sem fengist hefur af rannsóknum og mannvirkjagerð vegna úrbóta á innsiglingunum til Hafnar í Hornafirði, Þorlákshafnar og einnig Grindavíkur þar sem siglt er í gegnum brimgarðinn um 70 m breiða innsiglingarennu. Innsiglingarnar til Þorlákshafnar og Grindavíkur eru báðar dæmigerðar fyrir hafnir sem eru innan brimgarðsins.

Það er ekki nægilegt að hafa fræðilegan skilning á eiginleikum sandstranda og geta sett upp reiknilíkön með helstu breytum sem þar eru að verki. Til þess að slíkar aðgerðir skili árangri þarf fyrst að safna

grunnupplýsingum fyrir það tiltekna svæði sem til athugunar er. Dýptarmælingar og ýmsar aðrar mælingar á rannsóknarsvæðinu eru meðal slíkra grunnagna og þykir alla jafna heppilegt ef þær ná yfir langt tímabil. Hvað Bakkafjöru snertir er völ á nokkrum dýptarmælingum og öldugögn ná yfir tímabil sem spannar áratugi.

Fyrsta dýptarmælingin við Bakkafjöru var gerð árið 1973 af Sjó-mælingum Íslands. Haustið 2002 var næsta mæling gerð og hefur verið fylgst með dýpisbreytingum síðan með mælingum sumrin 2003 og 2004 og vorið 2005. Allar þessar mælingar sýna sandrifið 800–900 m undan landi og álinn innan þess. Kornastærð sands í fjörunni og út á sandrifið er að jafnaði um 0,36 mm en að jafnaði um 0,2 mm utan 10 m dýpis sem er í um 1100 fjarlægð frá fjörunni. Fyrsta dýptarmælingin lýsir aðstæðum á milli sumar- og vetraraðstæðna, önnur og þriðja mæling sýna aðstæður að sumri og vormælingin sýnir vetraraðstæður

Í skýrslu Dansk Hydraulic Institut (DHI), *Bakkafjara. Sediment Transport and Morphology*, sem fylgir hér með í viðauka I er gerð nánari grein fyrir efnisburði meðfram suðurströndinni, einkanlega eiginleikum sandrifsins. Byggt er á ölduspágögnum sbr. mynd 2.1 í skýrslunni frá árunum 1979 til 2005 og eru öldufarsreikningar gerðir á 9 stöðum eftir ströndinni á 40 m dýpi, mynd 2.2 í skýrslunni. Þar sést að aldan er lægst undan Bakkafjöru vegna skjólsins sem Vestmannaeyjar veita fyrir öldu og vindi.

Samkvæmt þessum útreikningum á efnisburði meðfram ströndinni er efnisburður mestur í febrúar en næst mestur er hann í mars og desember, síðan í nóvember og janúar og apríl. Lítil efnisburður meðfram ströndinni á sér stað yfir sumarmánuðina. Heildar efnisburðurinn er mjög breytilegur eftir árum og einnig er það misjafnt hversu mikið efni fer á hreyfingu í stórviðrum. Mesti efnisburður átti sér stað árið 2004, einnig var mikill efnisburður samhliða ströndinni árin 1989 og 1986. Í febrúar 1989 olli einn stormur allt að sjöföldum árlegum efnisburði og austanstormurinn í mars 2004 olli allt að fimm földum efnisburði meðal árs. Sýnir það að einstök stórviðri geta haft veruleg áhrif á umhverfi ferjulægisins.

Mesti efnisburðurinn eftir sandrifinu austan hliðs til vesturs átti sér stað árið 1986 en þá barst um 500.000 m<sup>3</sup> af efni eftir sandrifinu. Efnismagn sandrifsins er um 1.250 m<sup>3</sup> á lengdarmetra og því hefur rifið lengst um 400 m til vesturs í efnisflutningunum miklu árið 1986.

Mesti efnisburðurinn eftir sandrifinu vestan hliðs til austurs átti sér stað árið 1990 en þá barst um 170.000 m<sup>3</sup> af efni eftir sandrifinu. Í þessu sandrifi eru einnig um 1250 m<sup>3</sup> efnis á hverjum lengdarmetra og því hefur rifið lengst um 140 m til austurs í þetta sinn.

Dýpið í hliðinu á sandrifinu mun haldast svipað og það hefur gert undanfarin ár, milli 6 og 7 m á fjöru. Hliðið helst opið en lokast ekki af sandburði af þeirri ástæðu að öldur sem koma úr suðvestri og suðaustri megna ekki að bera efni lengra til austurs eða vesturs en að hliðinu. Gerðir hafa verið útreikningar fyrir öll helstu veður sem hugsanlegt þótti að yllu svo miklum efnisburði að hliðið lokaðist. Í ljós hefur komið að hliðið færir nokkuð til og „rekur“ undan ríkjandi ölduátt en það lokast ekki.

Til öryggis er miðað við að eftir aftakaveður sem að jafnaði koma

ekki nema með margra ára millibili geti þurft að dýpka og fjarlægja um 80.000 m<sup>3</sup> úr sandrifinu og er þá miðað við 2 m dýpkun í 200 m rennu á 200 m svæði yfir sandrifið. Talið er að það tæki nokkrar vikur eða jafnvel mánuði þar til jafnvægi náttúrunnar væri komið á að nýju og er tímalengdin háð ríkjandi ölduáttum. Þegar aðstæður eru afbrigðilegar verður ávallt hægt að sigla um hliðið rétt austan eða vestan venjulegrar innsiglingarlínu.

Leitast er við að finna leiðarlínu þar sem hliðið er dýpst og minnstar líkur eru á að sandrifið eða sandeyrin berist inn að siglingarleiðinni.

Upp við ströndina er nettó efnisburður til austurs um 100.000 m<sup>3</sup> á ári. Heildar nettó efnisburður undan Bakkafjöru er hins vegar um 30.000 m<sup>3</sup> til vesturs utan á sandrifinu. Búast má við að efni safnist fyrir og hlaðist upp vestan hafnarinnar í 3–4 ár þar til að jafnvægi er náð. Eftir það er áætlað að berist á ári um 20.000 – 25.000 m<sup>3</sup> efnis inn um hafnarmynnið miðað við 70–80 m breitt hafnarmynni.

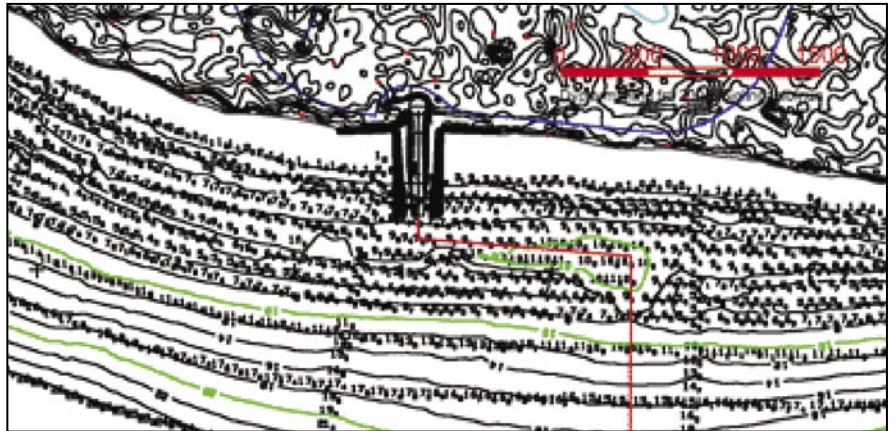
Niðurstöður líkantilrauna sýna að öldurnar brotna á bilinu frá 10 m dýpi upp á sandrifið, aðallega á um 200 m vegalengd. Stakar öldur brotna á innanverðu sandrifinu. Fundin hafa verið tengslin milli fjölda veltibrota og hlutfallsins milli ölduhæðar á sandrifinu og dýpis þar. Þessar niðurstöður hafa verið hagnýttar með því að tengja þær siglingu ferju í líkani og á grundvelli fjölda veltibrota og siglingar ferjunnar eru fundin öryggismörk við ölduduflið í mismunandi ölduátt og við mismunandi sjávarstöðu. Þegar viðmiðunaráldan fyrir mismunandi sjávarstöðu er umreiknuð við ölduduflið fæst sú niðurstaða að öryggismörkin eru einungis háð ölduáttum. Þannig verða öryggismörkin fyrir suðvestan ölduátt um 3,6 m við ölduduflið en 3,8 m fyrir sunnan ölduátt og 4,5 m fyrir suðaustan ölduáttir óháð sjávarstöðu. Suðvestan ölduátt varir í 41,6% heildartíma, sunnan ölduátt í 22,5 % og suðaustan ölduátt varir í 11,7% og má því einfalda öryggismörk við Bakkadufli í 3,8 m ölduhæð.

## 5. Forsendur fyrir staðarvali fyrir ferjuhöfnina og þróun hugmynda um gerð hennar og staðsetningu

### 5.1. Ferjuhöfn á Bakkafjöru

Í skýrslu starfshóps um samgöngur til Vestmannaeyja frá árinu 2003 er gerð all ýtarleg grein fyrir frumhugmyndum að staðsetningu ferjuhafnar við Bakkafjöru. Þær byggðust á rökstuddri tilgátu um að hliðið vestan við mynni Markarfljótsóssins væri stöðugt og suðvestan aldan lægst þar en sunnan- og suðvestan aldan kemur þarna þvert á ströndina. Ölduorkan var talin vera í lágmarki vestan Markarfljótsins og þar með væru efnisflutningar öldunnar einnig í lágmarki sem og efnisburður þvert á ströndina.

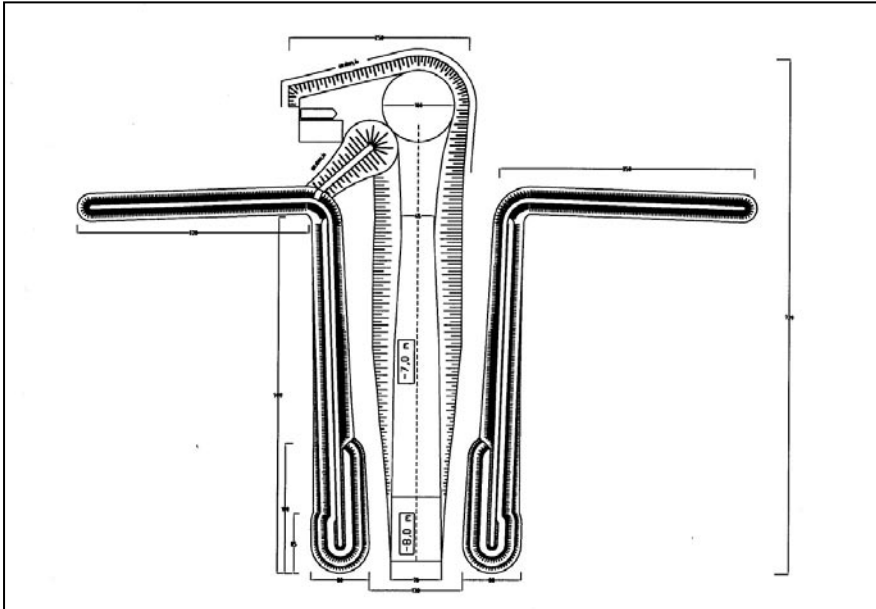
Með þessar gefnu forsendur í huga var á það benti að hugsanlega mætti staðsetja ferjulægi rétt vestan við ós Markarfljóts. Ferja sem kæmi úr Vestmannaeyjahöfn myndi sigla þaðan í átt að fljótsmynninu og beygja þvert að ströndinni á um 20 m dýpi og sigla inn um hliðið á sandrifinu þar sem dýpi er rétt innan við 7 m, og beygði aftur innan við hliðið og sigldi vestur að mynni ferjulægisins sem væri um 3 km vestar þar sem tveir bermugarðar myndu ná út á 8 – 9 m dýpi, sjá meðfylgjandi mynd 5.1.1. Allar þurftu þessar hugmyndir og tilgátur nánari athugunar við og hafa tekið ýmsum breytingum eftir því sem rannsóknum og tilraunum hefur miðað áfram.



Mynd 5.1.1. Staðarval ferjuhafnar á Bakkafjöru. Frumtillaga Siglingastofnunar 2003. Ætlaðir fyrir-stöðugarðar eru táknaðir með blárrí línu, siglingaleið ferju með rauðri línu.

Þegar upphaflega var gerð tillaga um staðsetningu ferjuhafnar rétt austan við dælustöðina á Bakkafjöru var byggt á öldufarsreikningum, loftmyndum, umsögn staðkunnugra og vettvangsskoðun. Stefna garðanna var til suðurs þannig að aðburður efnis frá vestri myndi stöðvast við vestari garðinn en eystri garðurinn myndi hlífa fyrir aurburði Markarfljóts ásamt leiðigarði sem gerður yrði við fljótið.

Miðað við frumhugmyndir að tveimur 500 m löngum brimvarnargörðum var talið að heildarmagn af sprengdum kjarna og stórgrýti í brimvarnargarða þyrfti að vera um 580.000 m<sup>3</sup>. Álitíð var að heildarkostnaður við fyrstu hugmyndir um ferjulægi gæti verið nálægt 3,3 milljörðum króna á verðlagi ársins 2003. Þar af færu 2 milljarðar í brimvarnargarða, 0,3 milljarður í dýpkun og 1,0 milljarður í ferju og aðstöðusköpun. Ekki var lagt mat á kostnað við fyrirstöðugarða og vegagerð.



Mynd 5.1.2. Frumtillaga Siglingastofnunar að ferjuhöfn á Bakkafjöru frá árinu 2003.

## 5.2. Staðsetning ferjuhafnar utan við sandrifið (eyjahöfn)

Auk upphaflegu tillögunnar um ferjuhöfn á ströndinni var gerð tillaga að ferjuhöfn sem lægi framan við sandrifið í manngerðri eyju, sjá mynd 5.4.1. Miðað við hana yrði ferjuhöfnin staðsett um 1 km vestan við dælustöðina á Bakkafjöru og um 1 km utan við ströndina. Ferjuhöfnin yrði tengd við land með vegi og um 400 m langri brú. Sjálf ferjuhöfnin var samkvæmt þessari hugmynd staðsett utan við brimgarðinn og utan rífsins sem er um 800–900 m frá ströndinni en þar eru botnbreytingar af völdum brimsins í lágmarki. Ferjuhöfninni var í þessari tillögu valinn staður þar sem hönnunarálagið er álíka mikið frá öldu sem kemur vestan og austan Vestmannaeyja. Slík ferjuhöfn yrði byggð með svokölluðum bermugörðum til varnar fyrir briminu en slíkir garðar hafa verið byggðir víða hér á landi. Hafnarmynnið snýr til vesturs á tillögunni og skyldi hönnunin miðast vð að sem minnst af efni berist inn í ferjulægið.

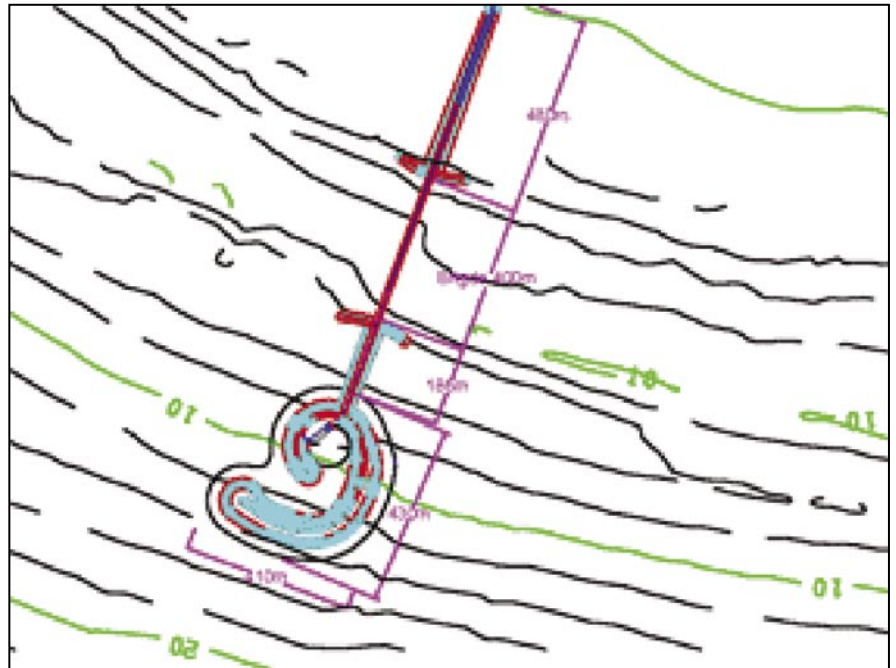
Talið er að efnisburður með ströndinni sé nálægt lágmarki á þeim stað sem höfninni var valinn staður samkvæmt tillögunni. Til að halda áhrifum mannvirkisins á efnisburðinn meðfram ströndinni sem berst eftir ölduáttum til vesturs og austurs í lágmarki var gert ráð fyrir 400 m langi brú yfir álinn þar sem efnið getur að mestu borist óhindrað undir brúna.

Áætlað var að heildarmagn af sprengdum kjarna og stórgrýti í brimvarnagarða og landtengingu yrði um 1.700.000 m<sup>3</sup> þar af var áætlað að til þyrfti um 70.000 m<sup>3</sup> af stórgrýti milli 20 og 30 tonn að þyngd. Gert var ráð fyrir að mannvirkið yrði reist á tveimur árum en unnið að lokafrágangi þriðja árið.

Miðað var við að aðalefnisnáman yrði í Þorlákshöfn og var áætlað að flytja með grjóttflutningaskipum um 650.000 m<sup>3</sup> af sprengdum kjarna og stórgrýti í ferjuhöfnina fyrra sumarið frá miðjum mars til loka september. Jafnframt átti að gera veg að ferjuhöfninni úr grófri möl úr Markarfljótsaurum og grjótvörja hann ásamt því að steypa undirstöður undir brúna. Seinna sumarið var áformað að ljúka við byggingu



brimvarnargarðs og ferjubryggju og brúargerðina. Þriðja árinu hefði svo verið varið til að fullklára mannvirkin og koma upp aðstöðu fyrir farþega og flutningatæki, leggja bundið slitlag á vegi og ljúka ýmsum frágangi.



Mynd 5.2.1. Hugmynd að ferjulægi utan brimgarðs (eyjarhöfn) og vegtengingu (brú) í land.

Í janúar 2005 var að nýju gert frumkostnaðarmat að ferjulægi utan rifsins. Inni í kostnaðartölum er gert ráð fyrir 8% vegna undirbúnings og hönnunar og 20% fyrir ófyrirséð útgjöld og umsjón á byggingartíma. Verðlag er miðað við janúar 2005 (byggingarvísitala, 304,7 stig)

### Tafla 5.2.1. Frumkostnaðarmat vegna ferjulægis utan rifs

	Millj.kr.
Bygging brimvarnargarða (um 1.700.000 m <sup>3</sup> ) og fyllingar við enda brúar (um 286.000 m <sup>3</sup> )	3.750
Brú út í ferjuhöfn (eftirspennit á 3 höfum br. 8,5 m lengd 408 m), vegagerð frá Bakka (rúmlega 3 km), bryggja fyrir ferju (80 m, dýpi 8 m) og ekjubrú.	1.540
Ný ferja (mesta lengd 45 m, flutningsgeta 400 farþ. 28 einkabílar)	1.170

Inni í þessari tölu er virðisaukaskattur nema af kostnaði við ferju (skipasmíði er undanþegin vsk). Upphæð virðisaukaskatts er um 1.040 millj. kr.

### 5.2. Síðustu áform

Á alþjóðlegu ráðstefnunni á Höfn um mannvirkjagerð og náttúruvar á ströndinni sem stóð yfir dagana 5.–8. júní 2005 var fjallað um rannsóknir og tillögur að ferjuaðstöðu á Bakkafjöru og bæði kynntar hugmyndir um ferjulægi innan og utan brimgarðs. Í pallborðsumræðum í lok ráðstefnunnar var fjallað um hugsanlegar áætlunarsiglingar ferju milli Vestmannaeyja og Bakkafjöru og mannvirkjagerð sem til þarf þeirra vegna. Meginniðurstaða umræðnanna var að stefna skyldi að

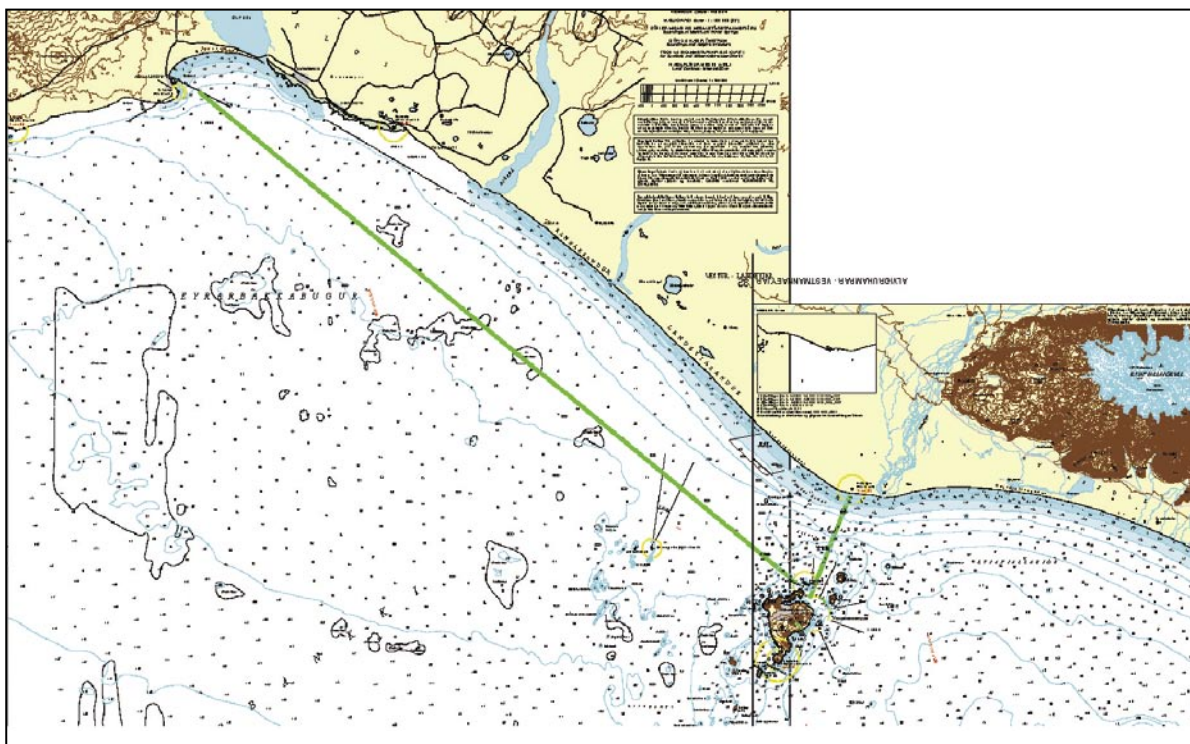
beinni innsiglingu að ferjulæginu vestan Markarfljótsósa. Sérfræðingar á ráðstefnunni álitu ferjulægi utan sandrifs ekki fýsilegan kost, m.a. vegna meiri áhættu við byggingu ferjulægis þar og vegna mun meiri rekstrarkostnaðar. Einnig var talið óráðlegt og erfitt í framkvæmd að ætla farþegum að aka bifreiðum út í hafnareyna eftir brú yfir brimgarðinn.

Talið var að frátafir yrðu svipaðar hvor leiðin sem farin væri en heppilegast af ýmsum ástæðum að ferjan yrði staðsett í skjólgóðu lægi á ströndinni í vari fyrir særóki og brimgný. Í pallborðsumræðunum á ráðstefnunni kom fram að Ísland er leiðandi í söfnun og miðlun upplýsinga um ölduhæð á siglingaleið ferjuskipa samanber siglingaleið Sæfara milli Grímseyjar og Dalvíkur. Verður sú reynsla að sjálfsögðu nýtt í sambandi við ferjusiglingar milli Vestmannaeyjahafnar og Bakkafjöru ef af þeim verður.

## 6. Siglingaleið milli Vestmannaeyja og Bakkafjöru og aðstæður við Bakkafjöru

### 6.1. Siglingaleiðir milli Vestmannaeyja og Bakkafjöru

Stysta siglingaleið milli Vestmannaeyjahafnar og lands er í norður milli Elliðaeyjar og Ingimundarklakks, þar yfir Álinn og í stefnu á dælustöðina á Bakkafjöru. Þessi leið er tæpar 6 sjómílar. Hún er talsvert í vari fyrir suðvestan-, sunnan- og suðaustan ölduátt. Siglingaleið sem er meira í vari fyrir suðvestan ölduátt liggur norður frá Elliðaey til norðausturs yfir Álinn og í átt að mynni Markarfljóts. Hún er tæpar 7 sjómílar.



Mynd 6.1.1. Siglingaleið milli Vestmannaeyjahafnar og Þorlákshafnar og Vestmannaeyjahafnar og Bakkafjöru.

### 6.2. Sandrif, hlið og eyrar við Markarfljótsós

Þótt landingar á suðurströnd Íslands væru slæmar og víða háskalegar var talsvert útræði þaðan fyrr á tímum, einkum fyrir 1700, enda fengsæl fiskimið fyrir landi. Í II. bindi *Íslenzkra sjávarháttu* Lúðvíks Kristjánssonar er t.d. frá því greint að frá Dyrhólahöfn hafi flest stórskip landsins gengið á 17. öld. Á Byggðasafninu í Skógum er brimsandaskipið *Pétursey* varðveitt og er ómetanleg heimild um það bátalag sem best reynsdist á sandströndinni. Í III. bindi *Íslenzkra sjávarháttu*, bls. 81, er lýst eyrum, rifum og hliðum á landingarstöðum við sunnlensku sandströndina en þessi náttúrufyrirbæri og hegðan þeirra skipta miklu fyrir áform um gerð ferjuhafnar á Bakkafjöru. Sandrifin eru aldrei samfelld heldur eru á þeim hlið með óreglulegu millibili og eru þessi fyrirbæri vel þekkt við suðurströnd Íslands.

Í stórviðrum brotnar aldan fyrst langt fyrir utan sandrifin og það fer síðan eftir öldugerð og ölduátt hversu oft aldan brotnar á leið sinni upp að ströndinni þar sem hún fjarar að lokum út. En við venjulegar

veðuraðstæður brotnar aldan fyrst á sandrifunum og breytist þá bylgjuhreyfingin í öldustrauma sem mynda harðan straum, líkasta fljóti, í álum sem liggur samsíða ströndinni innan sandrifa. Þessi straumur leitar svo sem botnstraumur út um hliðin sem eru með óreglulegu millibili á sandrifunum.

Þegar hafaldan brotnar á sandrifi eða framan við það breytist ferill efnisagnanna sem þær bera með sér frá því að vera nær því hringlaga í öldustraum sem stefnir svo gott sem þvert á ströndina. Sjórinn sem aldan ber með sér þarf að berast frá ströndinni og myndar botnstraum sem leitar að hluta til út undir öldunum niðri undir botni. Þetta veldur því að botnstraumurinn flytur efnið út að sandrifinu þegar brim er en upp að ströndinni þegar sjólítið er. Þverstraumar þessir skýra það hversvegna aðstæður við sandströndina eru aðrar á veturna þegar brim eru tíð heldur en um sumar þegar sjór er kyrrari. Vetrarbrimið veldur rofi á og við ströndina og efnið sem þar kemst á hreyfingu flyst út á sandrifin sem hlaðast upp og þar grynkar. Lágur sumaröldur bera efnið af rifunum upp á ströndina á nýjan leik og aftur dýpkar á sandrifinu.

Sjávarföll af þeirri gerð sem gætir við suðurströnd Íslands eiga stóran þátt í að mynda sandrifin og halda þeim við vegna þess að brimið færast til eftir því hver sjávarstaðan er og við það breytast efnisflutningarnir meðfram ströndinni.

Sandrifin verja ströndina fyrir innan sig því hæstu öldurnar brotna á rifunum. Fjörufláa er flatari undan rifunum en þar sem hlið eru vegna mildara sjólags þar heldur en þar sem hafaldan kemst óhindruð að ströndinni í gegnum hliðin. Þar sem ekki eru sandrif verður allur efnisburður meðfram ströndinni en þar sem sandrifin eru berst hluti þess efnis sem er á hreyfingu með þeim. Efni safnast saman á sandrifinu og einnig framan við það. Þar sem sandrif eru er því minni efnisburður samhliða ströndinni heldur en þar sem þau eru ekki.

Sumarið 1973 gerðu Sjómælingar Íslands dýptarmælingar á grunnsvævi undan Bakkafjöru. Þessar mælingar sýna samfelld sandrif í um 800 m fjarlægð undan Bakkafjöru og er dýpið niður á sandrifin á fjöru á bilinu 3 til 5 m. Innan við rifin er áll með dýpi á bilinu 7,5 til 10 m. Samkvæmt þessum mælingum eru tvö hlið eða op milli sandrifa undan Bakkafjöru og er annað þeirra til suðvesturs undan ósi Markarfljóts, en þar er dýpið 7 til 8 m. Hliðið vestan fljótsins er um 350 m breitt með um 7 m dýpi. Hitt hliðið er rúma 2 km vestan Markarfljóts og dýpið þar er minnst um 5,8 m.

Fyrsta dýptarmælingin í mælingarunu vegna hugsanlegs ferjulægis á Bakkafjöru var gerð 18. október 2002. Samanburður á þeirri mælingu og mælingunni frá 1973 sýnir að verulegar botnbreytingar hafa átt sér stað. Sandrifið er nú í sömu fjarlægð og það var árið 1973 eða í um 800 m fjarlægð frá landi og er dýpi í álum innan sandrifsins 8 til 10 m, eða svipað og var 1973. Nú eru að minnsta kosti tvö hlið á rifinu, annað þeirra vestan Markarfljótsóss, um 150 m breitt, og er dýpi þar um 6,0 m. Hitt hliðið er um 2 km vestan Markarfljóts og er um 500 m breitt og er dýpið á bilinu 7,5 m. Rifið sem var suðaustan við Markarfljótsósinn árið 1973 er þar ekki lengur. Þar er aðdýpi mjög mikið og aðeins um 400 m út í 10 m dýpi.

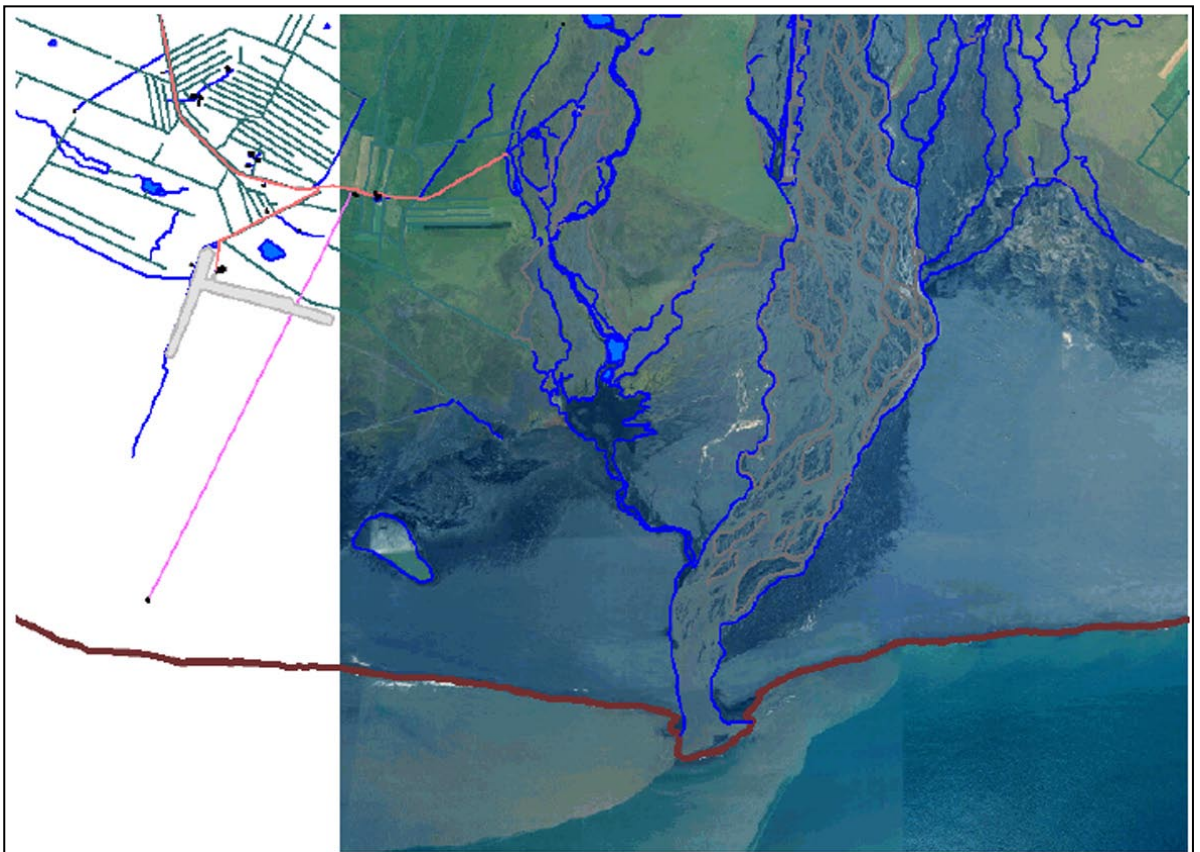
Það sem einkennir ströndina við Markarfljótsósinn er að mikil eyri

er undan ósi fljótsins sem myndast af framburði þess. Eyrin nær allt að 300 m frá landi og er mjög breið. Áreyrar á suðurströndinni eru yfirleitt ekki stórar um sig þar sem brimið sverfur sífellt úr þeim og ræðst það af ríkjandi ölduátt hverju sinni hver stefna áróssins verður.

Skýringin á því hversu stór eyrin undan Markarfljótsósi var haustið 2002 er annars vegar óvenju lítið haustbrim við ströndina og hins vegar mikill aurframburður Markarfljóts. Orkustofnun hefur mælt rennsli í Markarfljóti og lagt mat á botnskrið efnis og svifaur. Talið er að um 100.000 m<sup>3</sup> af botnefni berist til sjávar með Markarfljóti í meðal árferði og um 1.000.000 m<sup>3</sup> af svifaur sem berst til hafs. Kanna þarf betur hversu mikið efni muni geta borist með flóðum Markarfljóts.

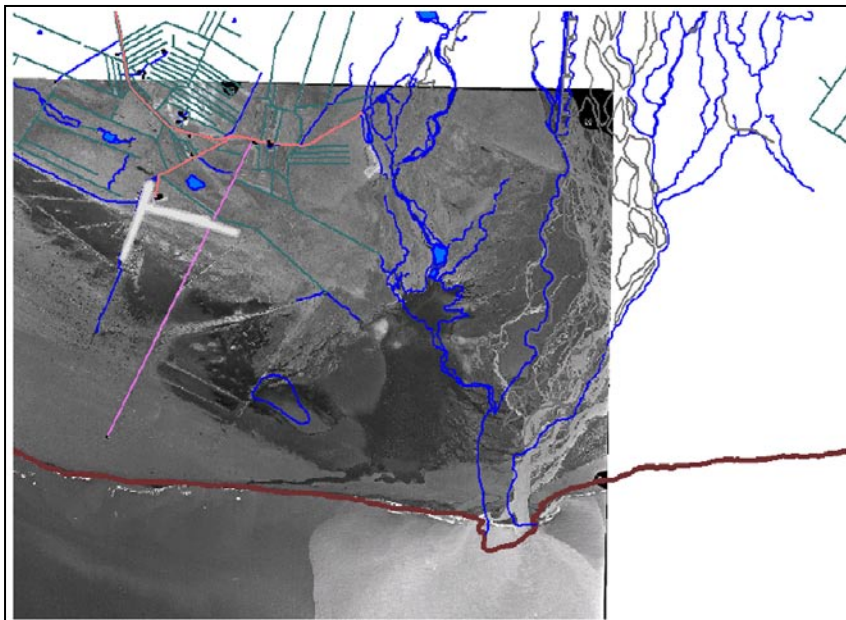
Til að leggja mat á þróun strandarinnar við Markarfljót og eyrina undan ósnum hafa verið kannaðar loftmyndir frá árunum 1954, 1960, 1971, 1976, 1989, 1996 og 2000. Myndirnar sýna staðsetningu óss Markarfljóts á mismunandi tímum og er viðmiðunargrunnur frá árinu 2000. Aðrar myndir er lagðar ofan á þann grunn og sést þá vel hvernig ósinn færist. Myndirnar eru unnar af Ísgraf í samvinnu við Siglingastofnun og Vegagerðina.

Á loftmyndunum sést að ströndin er tiltölulega stöðug rétt austan dælustöðvarinnar. Einnig sést að fljótið hefur flæmst verulega um, ýmist til austurs og vesturs. Því er nauðsynlegt að hefta færslu fljótsins til vesturs þannig að það nái ekki til ferjuhafnarinnar og á grundvelli þessara loftmynda er hægt að ákvarða hvar fyrirstöðugarðar yrðu staðsettir vestan Markarfljóts.

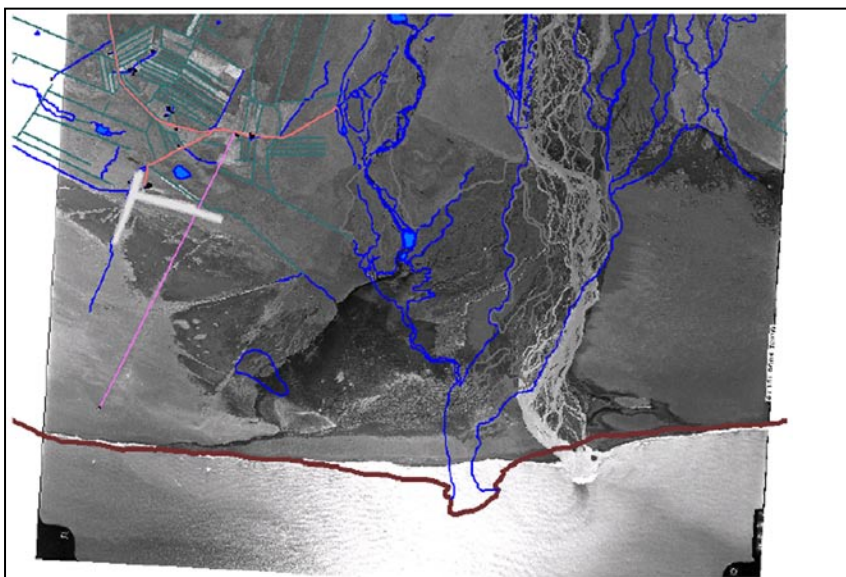


Mynd 6.2.1. Bakkafjöruströnd árið 2000.

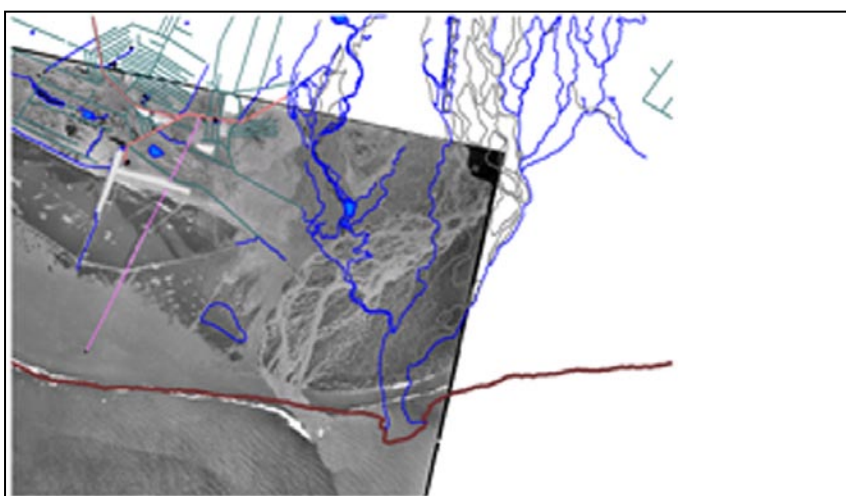




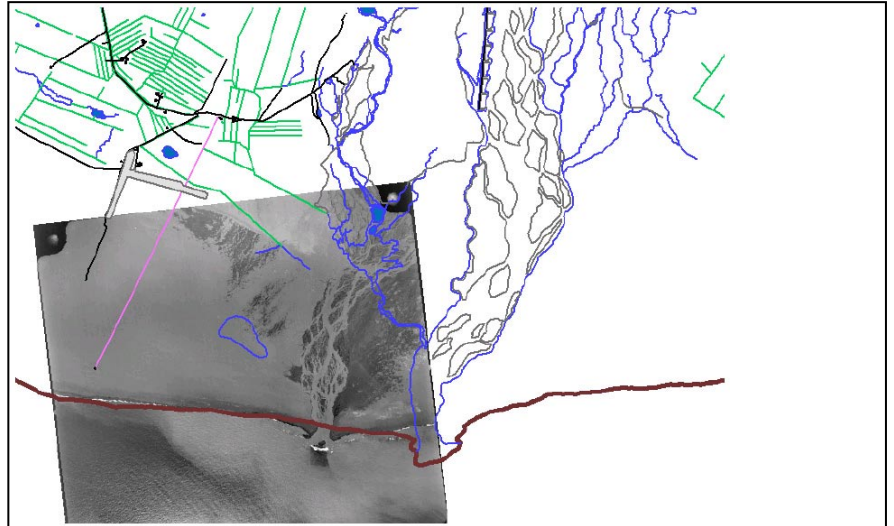
Mynd 6.2.2. Bakkafjörurströnd árið 1996.



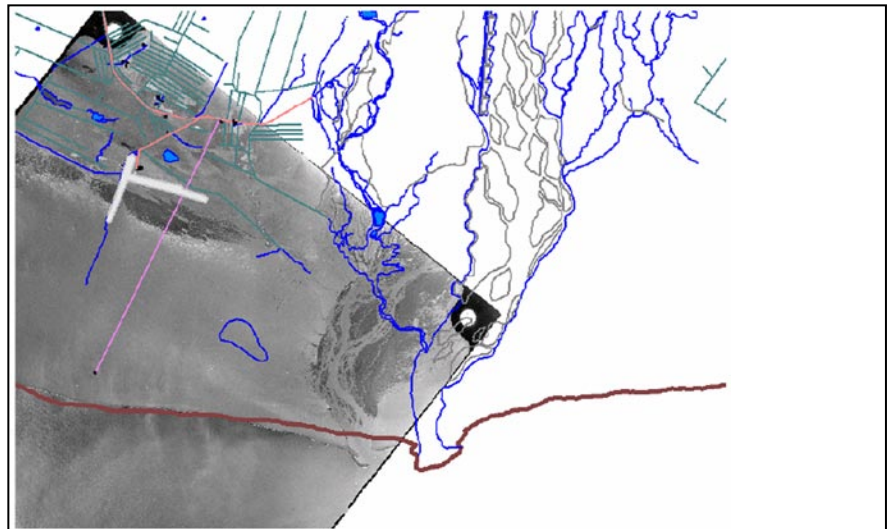
Mynd 6.2.3. Bakkafjörurströnd árið 1989.



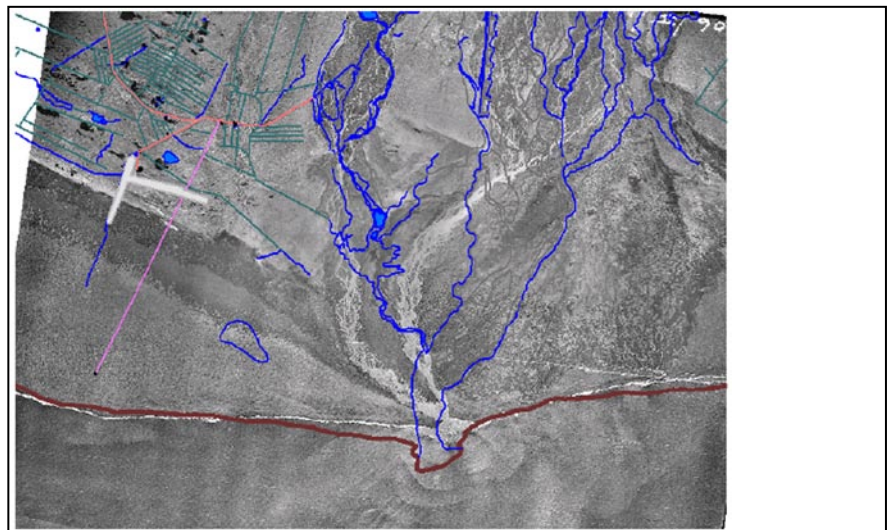
Mynd 6.2.4. Bakkafjörurströnd árið 1976.



Mynd 6.2.5. Bakkafjörurströnd árið 1971.



Mynd 6.2.6. Bakkafjörurströnd árið 1960.



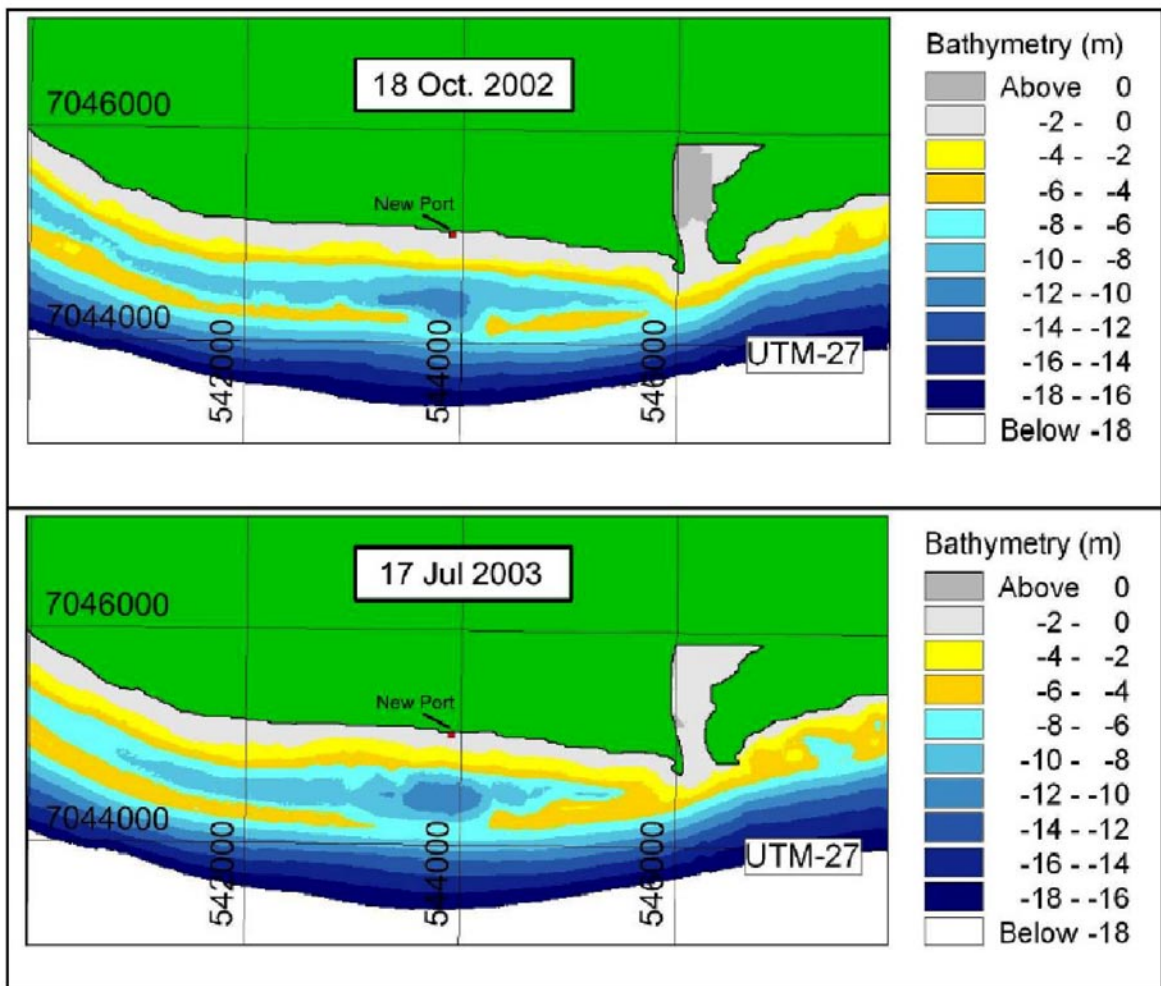
Mynd 6.2.7. Bakkafjörurströnd árið 1954.

Þær aðstæður undan Bakkafjörur sem hér hefur verið lýst í máli og myndum sýna hversu mikilvægt það er að gerðar voru reglulegar

dýptarmælingar undan Bakkafjöru, en mælingar voru gerðar 17. júlí 2003, 18. júlí 2004 og 7. maí 2005. Á mynd 6.2.8 er dýpi undir 6 m táknað með gulum lit. Á myndunum frá sumrunum 2003 og 2004 sést hvernig lág alda og mikill aurburður Markarfljóts að sumarlagi berst eftir sandeyri til vesturs. Myndirnar sýna dæmigert sumarástand.

Á myndinni frá 7. maí 2005 sést að vetrarbrimið hefur því sem næst eytt sandeyrinni og einnig hefur það hjálpað til að vinna á henni hversu lítill Markarfljótsaur hefur borist að henni. Myndin lýsir dæmigerðu vetrarástandi.

Á mynd frá því í október 2002 sjást haustaðstæður milli sumar- og vetrarástands. Sandrifið teygir sig til austurs en sandeyrin að vestan er að byrja að hopa undan haustbriminu.



Mynd 6.2.8. Hér sjást haust- (efri) og sumaraðstæður (neðri) við Bakkafjöru við hliðið á sandrifinu.



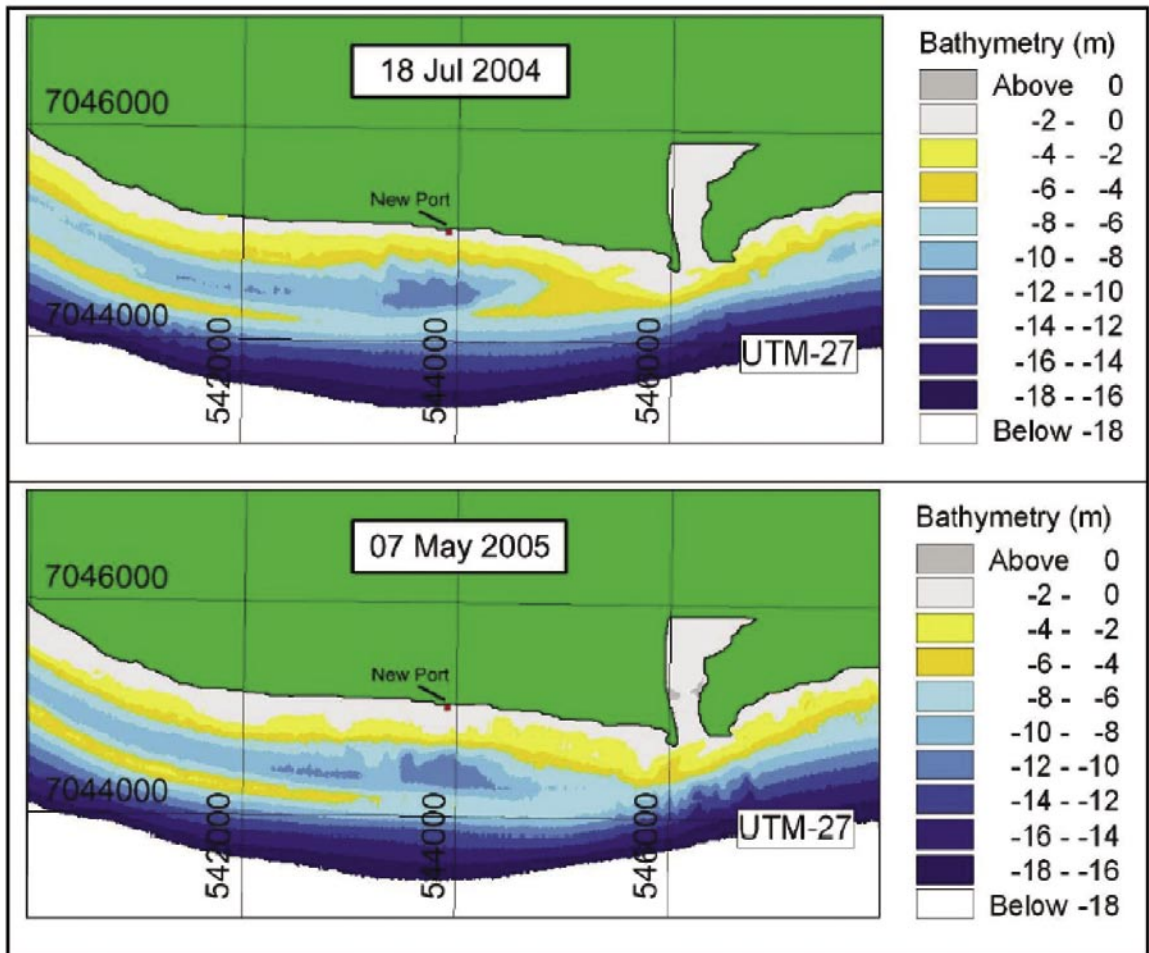


Figure 3.2 Bathymetries, 2002, 2003, 2004 and 2005

Mynd 6.2.9. Á efri hluta myndarinnar sjást sumaraðstæður undan þeim stað á Bakkafjöru þar sem ferjulægið gæti komið. Neðri myndin sýnir vetrar / voraðstæður þar sem greinlega sést hversu mikið vetrarbrimið hefur sorfið af sandrifinu undan Markarfljótsósi.

Skýringin á því að hliðið sem er rúma 2 km vestan við Markarfljótsós helst opið er að ölduorkan meðfram ströndinni tekur breytingum og þar með efnisburðurinn. Aldan undan hliðinu er í lágmarki bæði úr suðvestan- og suðaustan átt. Einnig hefur árframburður úr Markarfljóti áhrif á þróun hliðsins.

### 6.3. Sjávarföll við Bakkafjöru

Sjávarföll við Bakkafjöru eru ákvörðuð út frá sjávarföllum í Vestmannaeyjahöfn og eru helstu kennistærðir eins og lýst er í töflu 6.3.1.

**Tafla 6.3.1**

Hæsta stjarnfræðilega flóð	2,92 m
Meðalstórstraumflóð	2,64 m
Meðalsmástraumflóð	1,98 m
Meðalsjárhæð	1,39
Meðalsmástraumsfjara	0,80 m
Meðalstórstraumsfjara	0,13
Meðalflóð	Um 2,3 m
Meðalsjárhæð	Um 1,4 m
Meðalfjara	Um 0,5 m

## 7. Öldumælingar

### 7.1. Um öldufar á siglingaleiðum milli Vestmannaeyja og lands

Ölduhæð undan suðurströnd Íslands er með því mesta sem gerist. Þar hefur mælst tæplega 17 m há kennialda (meðaltal hæstu alda) og hæsta alda yfir 25 m á öldudufli hefur mælst við Surtsey. Hér er miðað við kenniöldu sem er meðaltal hæstu alda og er ávallt miðað við þessa ölduhæð þegar annað er ekki tekið fram. Upplýsingar um ölduhæð og öldufar eru forsendur þess að reikna efnisburð meðfram ströndinni, frátafir á siglingaleiðum og grunnur að hönnunarforsendum hafnarmannvirkja. Hér verður lýst þeim mælingum sem gerðar hafa verið, ölduspágögnum sem fyrir liggja auk öldufarsreikninga sem til eru fyrir svæðið.

### 7.2. Öldumælingar

#### 7.2.1. Öldumælingar við Surtsey

Öldudufli af Waverider-gerð hefur verið staðsett út af Surtsey samfleytt frá því í september 1987. Frá október 1987 til september 1992 var duflið staðsett á 63°52,2'N, 20°32.1'V. Frá sama tíma til september 1994 á 63°16,7'N 20°37,3'V og frá þeim tíma til dagsins í dag á 63°17,1' N 20°20,7'V. Langtímaölduspá fyrir ölduhæð við Surtsey var unnin fyrir tímabilið 1988–2004. Líkindadreifing öldu með endurkomutíma minna en eitt ár er nálgueð með þriggja gilda Weibull líkindadreifingu, en fyrir endurkomutíma eitt ár og meira en hún er nálgueð með Weibull dreifingu með þröskuldsgildi 5 m.

#### 7.2.2. Líkindadreifing öldu við Surtsey fyrir tímabilið 1988–2004

Tafla 7.2.2.1.

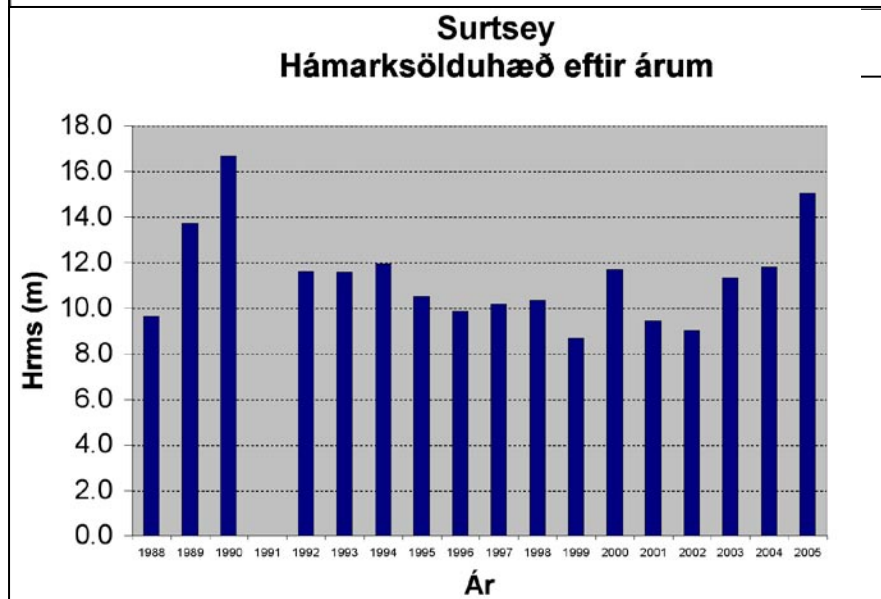
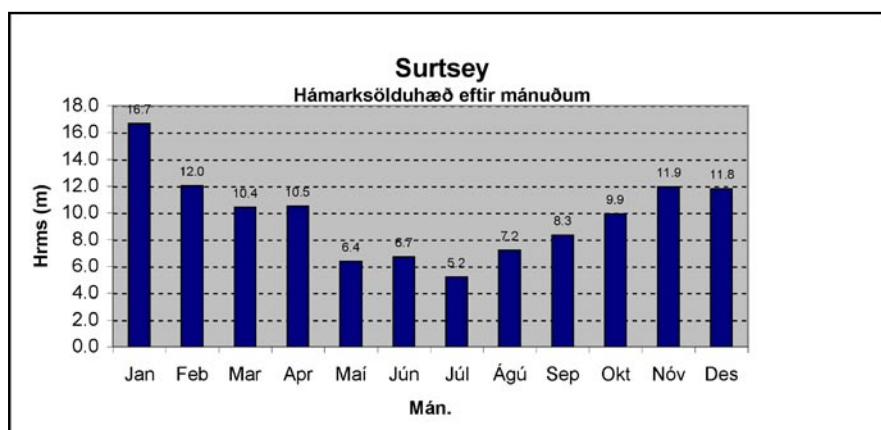
Surtsey

Tíðni (% af tíma)	Endurkomutími (ár)	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jún	Júl	Ágú	Sep	Okt	Nóv	Des	Des-Feb	Mar-Mai	Jún-Ágú	Sep-Nóv	Jan-Des	
Weibull 3 par																			
60%	1 ár	3.9	4.4	3.7	2.6	2.1	1.8	1.6	1.8	2.3	2.5	3.1	3.7	4.0	2.8	1.7	2.7	2.9	
70%		4.5	4.9	4.2	3.0	2.5	2.0	1.9	2.0	2.7	2.9	3.6	4.2	4.6	3.3	2.0	3.1	3.4	
80%		5.2	5.6	4.9	3.5	2.9	2.4	2.2	2.4	3.1	3.4	4.2	4.9	5.3	3.9	2.3	3.7	4.0	
90%		6.3	6.7	5.9	4.3	3.5	2.9	2.6	2.9	3.9	4.3	5.1	5.9	6.4	4.8	2.8	4.5	5.1	
95%		7.4	7.6	6.8	5.0	4.1	3.4	3.1	3.4	4.5	5.1	6.0	6.8	7.3	5.7	3.3	5.4	6.0	
98%		8.7	8.7	7.8	5.9	4.8	4.0	3.6	3.9	5.4	6.0	7.1	7.9	8.5	6.8	3.9	6.4	7.2	
99%		9.6	9.5	8.5	6.6	5.3	4.5	4.0	4.4	6.0	6.7	7.8	8.7	9.3	7.6	4.3	7.1	8.1	
		13.8	12.6	11.6	9.6	7.5	6.4	5.6	6.2	8.7	10.0	11.2	11.9	12.9	11.0	6.1	10.5	12.0	
Weibull 5m þröskuldsgildi																			
	1 ár	13.7	13.2	11.7	9.9	6.6	6.1		6.7	7.9	10.4	11.8	11.7	12.9	10.9	6.1	10.8	11.7	
	5 ár	15.6	14.8	13.1	11.4	6.9	6.6		7.5	8.7	11.9	13.6	13.1	14.6	12.3	6.8	12.4	13.4	
	10 ár	16.4	15.5	13.7	12.0	7.1	6.8		7.8	9.0	12.6	14.4	13.6	15.3	12.9	7.1	13.0	14.1	
	25 ár	17.5	16.4	14.5	12.8	7.3	7.1		8.2	9.4	13.4	15.4	14.4	16.3	13.7	7.4	13.9	15.0	
	50 ár	18.3	17.1	15.1	13.5	7.4	7.2		8.5	9.7	14.0	16.2	15.0	17.0	14.3	7.7	14.6	15.7	
	100 ár	19.1	17.8	15.6	14.1	7.5	7.4		8.8	10.0	14.6	16.9	15.6	17.7	14.9	7.9	15.3	16.4	

Á mynd 7.2.1.1 hér á eftir er sýnt yfirlit yfir hæstu öldur eftir árum og mánuðum. Eins og sést mældust hæstu öldur 1990 en næst hæstu 1995, þriðju hæstu öldur mældust 1989 og fjórðu hæstu 2004.

Tafla 7.2.2.2. Hæstu öldur á Surtseyjardufli 1988–2005

SRT	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jún	Júl	Ágú	Sep	Okt	Nóv	Des	Max
1988	6.3									3.4	4.8	9.6	<b>9.6</b>
1989	13.7	12.0	9.1	5.4	5.2	5.3	5.0	4.0	3.2	9.1	5.2	9.3	<b>13.7</b>
1990	16.7	7.6	8.7							5.0	6.1		<b>16.7</b>
1991													
1992									5.6	7.8	8.4	11.6	<b>11.6</b>
1993	11.6	11.6	9.6	8.7	6.4	5.7		7.2	6.1	9.9	5.5	6.2	<b>11.6</b>
1994	10.1	8.5	10.1	7.3						5.8	11.9	8.3	<b>11.9</b>
1995	8.3	8.9	10.4	10.5	3.8	2.8				6.2	4.5	9.5	<b>10.5</b>
1996	7.1	9.7	3.5	7.6	4.3	4.0	4.2	4.8	5.1	9.9	9.2	6.4	<b>9.9</b>
1997	9.7	9.3	10.1	6.5	5.5	4.5	5.2	4.8	8.3	5.8	6.7	9.4	<b>10.1</b>
1998	10.3	7.5	9.5	5.5	6.0	3.1	2.7	4.8	6.3	5.8	9.9	8.5	<b>10.3</b>
1999	8.3	8.7	6.5	6.3	6.2	4.9	4.7	4.4	7.6	8.3	7.1	7.9	<b>8.7</b>
2000	5.6	11.7	9.0	4.4	6.0	5.9	3.7	3.9	6.4	7.9	5.9	7.1	<b>11.7</b>
2001	8.9	9.2	5.9	5.6	5.5	6.7	2.9		5.0	6.0	9.4	8.5	<b>9.4</b>
2002	9.0	7.8	7.1	7.4	4.0	3.8	4.7	4.6	7.6	4.7	6.8	7.6	<b>9.0</b>
2003	8.7	11.3	8.7	6.3	5.5	4.1	4.2	3.2	6.6	7.6	7.9	8.2	<b>11.3</b>
2004	6.8	7.4	8.0	5.4	4.6	4.0	6.8	5.3	8.3	8.7	11.8	11.8	<b>11.8</b>
2005	15.0	10.6	7.8	6.9	3.3	3.8	3.6	5.1	6.9	5.8	7.8	8.8	<b>15.0</b>
Max	<b>16.7</b>	<b>12.0</b>	<b>10.4</b>	<b>10.5</b>	<b>6.4</b>	<b>6.7</b>	<b>5.2</b>	<b>7.2</b>	<b>8.3</b>	<b>9.9</b>	<b>11.9</b>	<b>11.8</b>	<b>16.7</b>



Mynd 7.2.2.1. Yfirlit yfir hæstu mældu öldur í hverjum mánuði (efri) og á hverju ári (neðri) á Surtseyjardufli fyrir tímabilið 1988–2005.

### 7.2.3. Öldumælingar við Bakkafjöru

Öldumælingar hófust við Bakkafjöru í lok nóvember 2003. Staðsetning öldumælidufls er 63°,29N, 20°,35V á 28 m dýpi. Rauntímamælingar hafa verið aðgengilegar á heimsíðu Siglingastofnunar frá haustinu 2005. Á þessu tímabili hefur mælst hæst á ölduduflinu 7,65 m þann 2. mars 2004, kl. 23:00 og 6,49 m þann 7. febrúar 2005, kl. 21:00.

Langtímaölduspá fyrir ölduhæð við Bakkafjöru var unnin fyrir rúmlega tveggja ára tímabil á sama hátt og fyrir Surtsey og eru niðurstöðurnar sýndar í töflu 7.2.3.1.

**Tafla 7.2.3.1. Líkindadreifing öldu við Bakkafjöru fyrir tímabilið nóv. 2003–jan. 2006.**

Bakkafjara nóv. 2003 - jan. 2006

Tíðni (% af tíma)	Endurkomutími (ár)	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jún	Júl	Ágú	Sep	Okt	Nóv	Des	Des-Feb	Mar-Mai	Jún-Ágú	Sep-Nóv	Jan-Des
Weibull 3 þar		2.5	2.3	2.1	1.7	1.6	1.2	1.3	1.4	1.6	1.5	2.2	2.5	2.4	1.6	1.3	1.8	1.8
60%		2.8	2.7	2.5	1.9	1.7	1.4	1.4	1.6	1.8	1.8	2.4	2.8	2.8	1.9	1.5	2.0	2.1
70%		3.1	3.1	2.9	2.2	2.0	1.5	1.7	1.8	2.2	2.1	2.7	3.1	3.1	2.3	1.7	2.4	2.5
80%		3.7	3.7	3.7	2.7	2.3	1.8	2.0	2.2	2.7	2.5	3.2	3.6	3.7	2.9	2.0	2.9	3.1
90%		4.1	4.3	4.4	3.1	2.5	2.0	2.3	2.5	3.1	2.9	3.6	4.1	4.1	3.5	2.3	3.3	3.6
95%		4.6	4.9	5.4	3.6	2.8	2.2	2.7	2.8	3.7	3.4	4.0	4.6	4.7	4.4	2.7	3.8	4.3
98%		5.0	5.4	6.1	4.0	3.0	2.4	2.9	3.1	4.1	3.8	4.3	4.9	5.0	5.0	2.9	4.2	4.7
99%		6.4	7.1	9.3	5.6	3.8	3.1	4.0	4.1	5.9	5.3	5.4	6.2	6.5	7.9	3.9	5.6	6.7
Weibull 5m proskuidsglæð																		
	1 ár	6.7	6.4	7.8									5.6	6.4	7.3			6.7
	5 ár	7.3	6.7	8.4									5.8	6.8	8.0			7.3
	10 ár	7.6	6.8	8.7									5.8	7.0	8.3			7.6
	25 ár	7.9	7.0	9.0									5.9	7.2	8.6			7.9
	50 ár	8.2	7.1	9.3									6.0	7.4	8.9			8.2
	100 ár	8.4	7.3	9.5									6.0	7.5	9.1			8.4

**Tafla 7.3.2.2. Langtímadreifing ölduhæða fyrir öldudufl við Bakkafjöru fyrir tímabilið nóv. 2003–jan. 2006 og Surtsey tímabilið 1988 – 2004.**

		Bakkafjara	Surtsey
Tíðni	Endurkomutími (ár)	Hs (m)	Hs (m)
60%		1,8	2,9
70%		2,1	3,4
80%		2,5	4,0
90%		3,1	5,1
95%		3,6	6,0
98%		4,3	7,2
99%		4,7	8,1
	1	6,7	11,7
	10	7,6	14,1
	100	8,4	16,4

## 7.3. Ölduspágögn

### 7.3.1. Uppruni ölduspágagna

Þegar vinna hófst við Bakkafjöruverkefnið voru einungis aðgengileg gögn frá norsku veðurstofunni í Bergen, NMI, fyrir árin 1988 til 1993. Unnin var ölduspá aftur í tímann fyrir árin 1987 til ársloka 1993 fyrir 10 staði umhverfis Ísland. Spáð er fyrir um hæð öldunnar, sveiflutíma og öldustefnu. Það er ekki síst öldustefnan sem gerir gögnin mikilvæg þar sem duflin sem notuð eru við öldumælingarnar geta ekki mælt stefnu.

Með tilkomu samstarfs Siglingastofnunar Íslands, Veðurstofu Íslands og Evrópsku veðurmiðstöðvarinnar (ECMWF) í Reading í Englandi hefur aðgengi að veður- og öldugögnum margfaldast. Á hverri klukkustund eru gögn frá ölduduflum Siglingastofnunar send til ECMWF sem síðan notar þessi gögn til að sannreyna sín ölduspálíkön en Siglingastofnun fær bæði eldri spágögn og rauntímaspágögn frá ECMWF. Eldri gögn kallast 1,5° ERA 15 en það eru öldugögn fyrir árin 1979 til 1999 og síðastliðið sumar voru aðgengileg öldugögn 1,5° ERA 40 sem ná yfir tímabilið 1958 til 2004. Þessi gögn byggjast á svokölluðum leiðréttum veðurgögnum þar sem safnað hefur verið saman öllum fánlegum veður- og öldumælingum og unnin gögn á sex tíma fresti yfir allt tímabilið fyrir hverja 1,5° á öllum heimshöfum. Þessi gögn eru talin þau áreiðanlegustu sem eru aðgengileg í dag. ERA 15 öldugögnin voru notuð við að reikna efnisflutninga meðfram ströndinni í námunda við Bakkafjöru. Öll miðlun gagna milli Siglingastofnunar og ECMWF fer fram með milligöngu Veðurstofu Íslands og er áreiðanleiki þessarar miðlunar mjög mikill.

Undanfarin ár hefur Siglingastofnun einnig fengið aðgang að veður- og ölduspágögnum frá ECMWF einu sinni á sólarhring um miðnætti. Veðurgögnin eru með 1,5° upplausn en ölduspágögnin eru með 0,5° upplausn. Bæði Siglingastofnun og Evrópska veðurstofan hafa borið saman öldugögn frá ölduduflum Siglingastofnunar, einkum Surteyjardufli, og er áreiðanleiki ölduspágagnanna það mikill að Siglingastofnun hefur ákveðið að setja upp á heimasíðu sinni um veður og sjólag kort af Íslandsmiðum sem sýnir á hverjum stað spá um ölduhæð, sveiflutíma öldu og öldustefnu á sex tíma fresti næstu daga fyrir öll miðin og með 0,5° upplausn. Mjög góð fylgni er milli þessara gagna fyrir stað 63°30' N og 20°30' V og öldumælinga við Bakkafjöru.

Á næstunni mun upplausn veður- og öldugagna enn aukast í 0,25° og einnig mun Siglingastofnun fá gögn tvisvar á dag. Með tilkomu þessara spágagna mun ölduhæðaspá fyrir Bakkafjöru sem og aðra staði við Ísland verða mjög áreiðanleg fyrir næstu daga. Í febrúar 2006 mun Siglingastofnun síðan opna nýja heimasíðu um veður og sjólag þar sem markmiðið verður að veður-, öldu- og sjávarfallagögn verði áreiðanleg, aðgengileg og notendavæn fyrir sjófarendur, vísindamenn og aðra sem þurfa á slíkum gögnum að halda.

Unnin hefur verið langtíma ölduhæðaspá sem byggir á þriggja parametra Weibull tíðnidreifingu fyrir ölduspágögn fyrir ERA 15 fyrir stað (63°N, 21,0°V) sbr. töflu 6.3.1.1.

Einnig hefur verið unnin langtímaölduhæðaspá fyrir DMNI gögnin fyrir stað (63,5°N, 21,5°V).

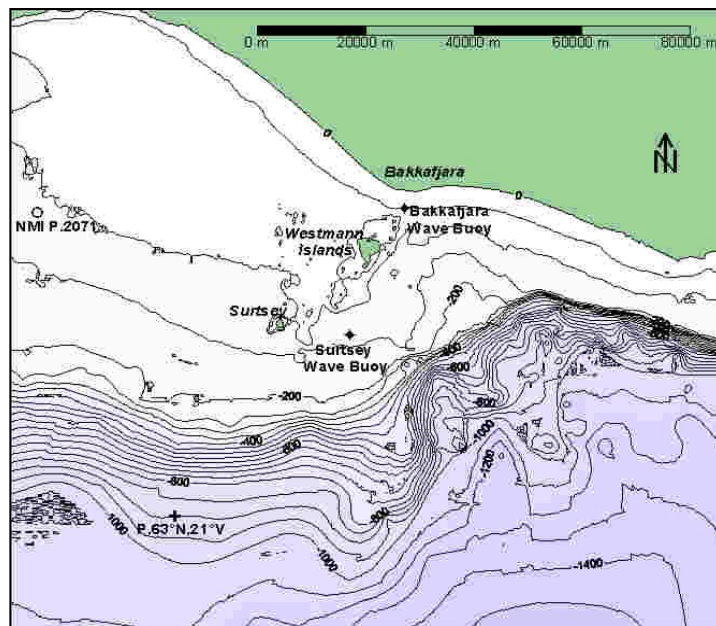
Tafla 7.3.1.1. Tíðnidreifing öldu 1979–1999.

Tíðni (% af tíma)	Endurkomutími (ár)	Jan	Feb	Mar	Apr	Mái	Jún	Júl	Ágú	Sep	Okt	Nóv	Des	Des-Feb	Mar-Mai	Jún-Ágú	Sep-Nóv	Jan-Des
Weibull 3 þar																		
60%	1 ár	3.8	4.0	3.4	2.5	1.9	1.7	1.6	1.7	2.2	2.7	3.0	3.8	3.9	2.6	1.7	2.6	2.6
70%		4.3	4.5	3.9	2.8	2.2	1.9	1.8	2.0	2.5	3.1	3.4	4.3	4.4	3.0	1.9	3.0	3.1
80%		5.0	5.2	4.6	3.3	2.5	2.2	2.0	2.2	2.9	3.6	4.0	5.0	5.1	3.6	2.1	3.5	3.7
90%		6.1	6.3	5.6	4.1	3.0	2.6	2.3	2.7	3.6	4.4	5.0	6.0	6.1	4.5	2.6	4.4	4.7
95%		7.1	7.3	6.6	4.9	3.5	3.1	2.7	3.1	4.3	5.1	6.1	6.9	7.1	5.4	3.0	5.3	5.7
98%		8.4	8.5	7.8	5.9	4.1	3.6	3.1	3.7	5.1	6.0	7.4	8.1	8.4	6.6	3.5	6.4	7.0
99%		9.4	9.4	8.6	6.7	4.5	4.0	3.4	4.1	5.7	6.7	8.4	8.9	9.2	7.4	3.9	7.2	7.9
Weibull 5m þröskulsgildi																		
	1 ár	13.5	13.6	12.9	10.3	6.0	5.5	6.1	6.4	8.4	9.3	13.7	12.1	13.1	11.6	6.1	11.4	11.9
	5 ár	15.6	15.4	14.9	12.0	6.3	5.8	6.7	7.0	9.5	10.5	16.3	13.6	14.9	13.5	6.7	13.4	13.8
	10 ár	16.4	16.2	15.7	12.8	6.4	5.8	6.9	7.2	10.0	11.0	17.3	14.3	15.7	14.4	6.9	14.2	14.6
	25 ár	17.6	17.2	16.9	13.7	6.5	5.9	7.2	7.5	10.5	11.6	18.8	15.1	16.7	15.4	7.2	15.3	15.7
	50 ár	18.5	18.0	17.7	14.5	6.6	6.0	7.4	7.7	11.0	12.1	19.9	15.8	17.5	16.2	7.5	16.1	16.5
	100 ár	19.3	18.8	18.5	15.2	6.6	6.1	7.6	7.9	11.4	12.5	20.9	16.4	18.2	17.1	7.7	17.0	17.3

Tafla 7.3.1.2. Tíðnidreifing öldu eftir vindáttum

63,0°N 21,0°V  
Jan - Des

Tíðni (% af tíma)	Endurkomutími (ár)	0°	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°	Samtals
Weibull 3 þar										
60%	1 ár	-	-	-	-	-	-	-	-	2.6
70%		-	-	-	-	-	-	-	-	3.1
80%		-	-	-	-	-	2.5	-	-	3.7
90%		-	-	-	-	2.3	3.7	-	-	4.7
95%		-	-	-	2.5	3.3	4.8	-	-	5.7
98%		-	-	3.3	3.6	4.6	6.1	3.9	-	7.0
99%		2.4	2.6	4.2	4.4	5.6	7.1	5.2	2.2	7.9
Weibull 5m þröskulsgildi										
	1 ár	-	-	7.4	7.9	9.8	11.3	10.7	-	11.9
	5 ár	6.5	6.5	8.4	9.5	11.6	13.2	13.2	6.2	13.8
	10 ár	6.8	6.8	8.7	10.2	12.3	14.1	14.3	6.4	14.6
	25 ár	7.3	7.3	9.2	11.1	13.3	15.2	15.7	6.7	15.7
	50 ár	7.5	7.6	9.6	11.7	14.1	16.0	16.7	6.9	16.5
	100 ár	7.8	8.0	9.9	12.4	14.8	16.8	17.8	7.1	17.3
		2.5%	3.4%	8.2%	11.7%	22.5%	41.6%	7.9%	2.2%	100.0%



Mynd 7.3.1.1. Staðsetning ölduduflla og ölduspápunkta.

**Tafla 7.3.1.2. Langtíma ölduhæðarspá fyrir ölduspágögn frá DNMI, (P2071 (63,5°N, 21,5°V) fyrir árin 1987–1993.**

% of time	Return Period	135° SE	180° S	225° SW	270° W	All Dir.
90%			4.31	4.59	2.10	5.71
98%		4.63	6.83	6.88	5.24	7.82
99%		5.55	7.74	7.74	6.08	8.63
	1	9.16	11.23	11.03	8.86	12.19
	10	11.12	13.22	12.92	10.28	14.41
	100	12.94	15.00	14.64	11.55	16.51
		11.7%	30.0%	41.8%	16.5%	100%



## 8. Öldufarsreikningar

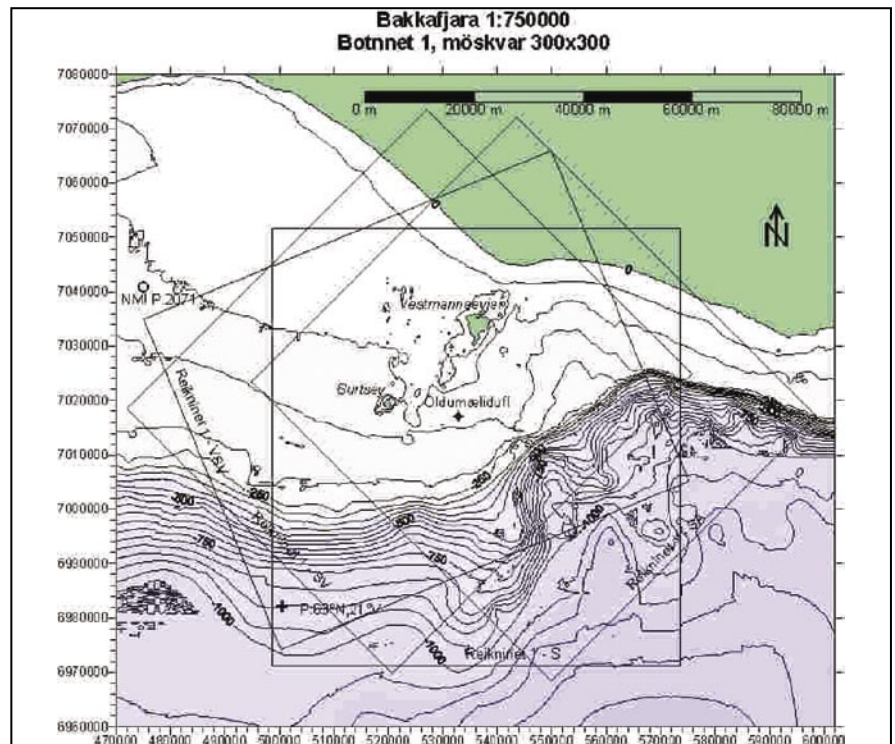
### 8.1. Forsendur

Öldumælingar, ölduspár og úrvinnsla þeirra er grunnurinn að svokölluðum öldufarsreikningum.

Hér er stuðst við niðurstöður öldumælinga við Surtsey ( $63^{\circ}17,14N$ ,  $20^{\circ}20,70W$ ) fyrir árin 1988–2000 og ölduspár norsku veðurstofunnar (DNMI) fyrir tímabilið 1987–1993 og Evrópsku veðurstofunnar fyrir árin 1979–1999, 1,5°ERA 15 fyrir stað ( $63^{\circ}N$ ,  $21^{\circ}V$ ). Staðsetning öldudufls og reiknipunkts Evrópsku veðurstofunnar eru sýndar á mynd 8.1.1. Munurinn á þessum gögnum er að ölduduflið mælir einungis ölduhæð og sveiflutíma öldu en spágildin ná einnig til öldustefnu og fleiri þátta. Við úrvinnslu öldugagna er ávallt stuðst við öldustefnur ölduspágagna þegar lagt er mat á líklegar frátafir.

Á miklu dýpi er útbreiðsla öldu óháð sjávarbotni en á grynna vatni eru öldulengdir og öldustefnur háðar breytingum á legu botnsins. Fyrir útreikningana þurfa því einnig að liggja fyrir nákvæmar mælingar af sjávarbotni á stafrænu formi og er stuðst við mælingar Sjósmælinga Íslands svo og hnitúð sjókort.

Öldufarsreikningarnir fara fram á reikninetum sem eru grófmöskva yst fjarri ströndinni þar sem dýpi er mikið og staðbundin einkenni á botni hafa lítil áhrif á ölduna en verða svo fingerðari þegar nær dregur ströndinni og þá eru minni hafsvæði tekin fyrir í einu.

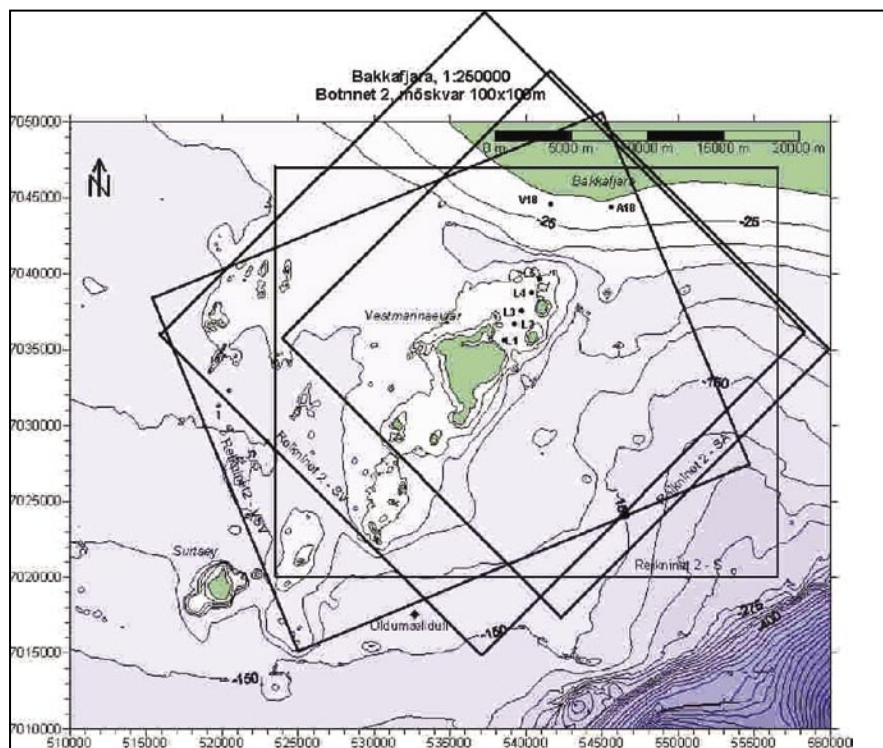


Mynd 8.1.1. Öldumældufl við Surtsey og reiknipunktur Evrópsku veðurstofunnar.

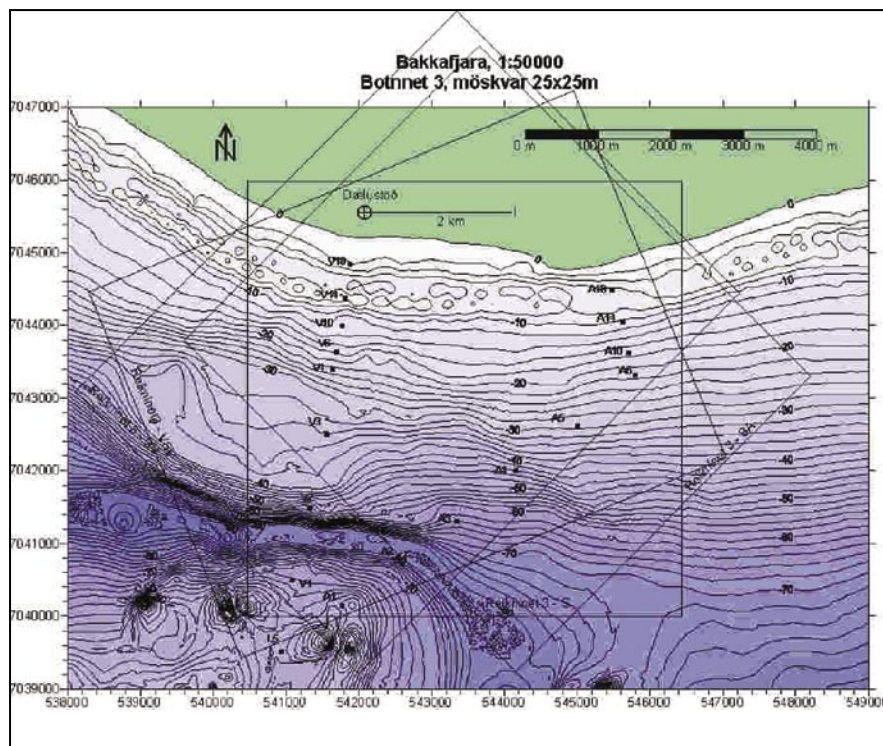
Öldufarsreikningar voru fyrst gerðir fyrir úthafsöldu að Bakkafjöru á fjórum botnnetum og ölduhæðir reiknaðar í 18 punktum á tveimur siglingaleiðum frá Eyjum að Bakkafjöru, annars vegar til móts við dælustöðina vestan Markarfljóts og hins vegar austan fljótsins.

Ennfremur voru skoðaðar aðkomuleiðir upp að ströndinni nokkuð nákvæmlega á innsta og þéttasta botnnetinu.

Myndir 8.1.1 og 8.1.2 sýna tvö ystu botnnetin og reikninetin sem notuð voru við útreikningana. Mynd 8.1.4 sýnir punktana sem notaðir voru við útreikningana næst Bakkafjöruströnd.

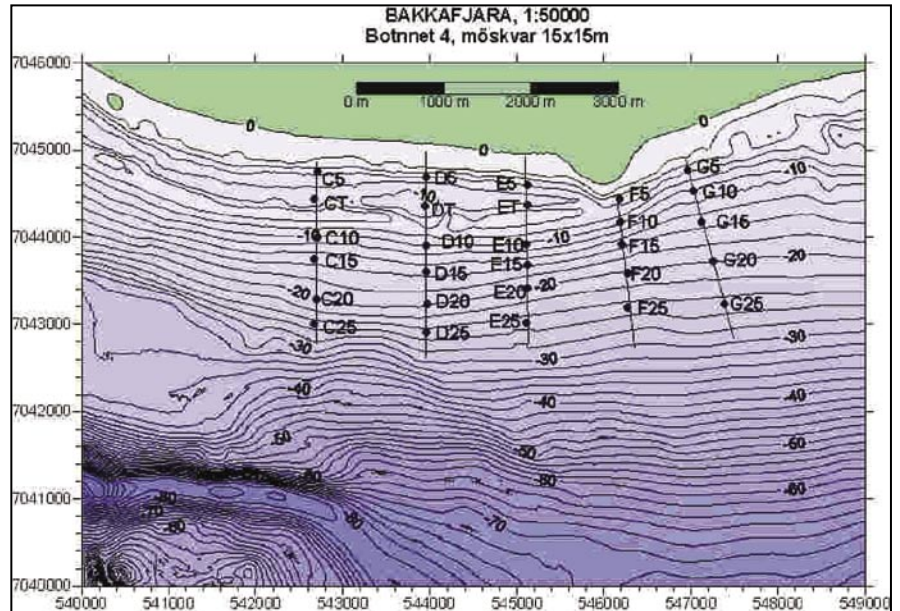


Mynd 8.1.2. Öldumæli-  
dufl við Surtsey og reikni-  
punktur Evrópsku veður-  
stofunnar.



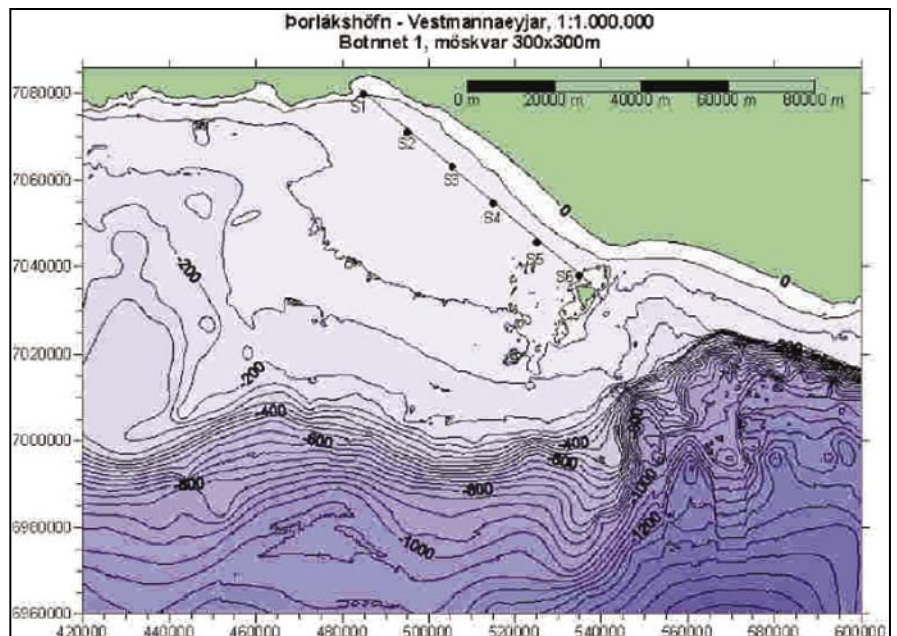
Mynd 8.1.3. Botnnet 3 og  
reikninet 3, ásamt reikni-  
punktum á vestari og  
eystri siglingaleið.





Mynd 8.1.4. Reiknipunkturar við Bakkafjöru.

Auk ofangreindra útreikninga var skoðuð leiðin milli Þorlákshafnar og Eyja. Reikningar voru gerðir á einu botn- og reiknineti og reiknuð ölduhæð í sex punktum (S1-S6) á siglingaleiðinni. Netíð ásamt punktum er sýnt á mynd 8.1.1.5.



Mynd 8.1.5. Reiknipunkturar á siglingaleiðinni milli Þorlákshafnar og Vestmannaeyja.

## 8.1. Niðurstöður

### 8.1.1. Niðurstöður öldufarsreikninga fyrir siglingaleiðir

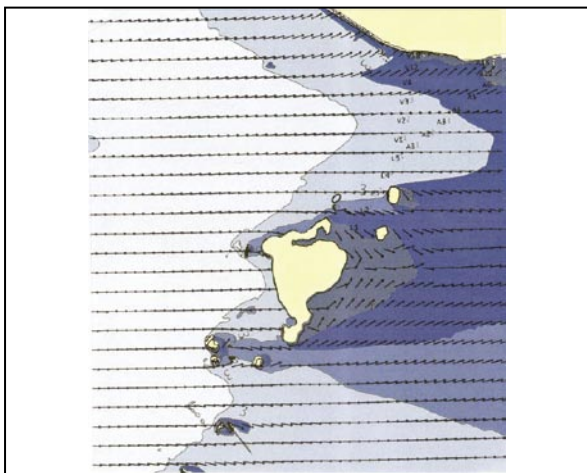
Öldufarsreikningar voru gerðir úr fimm áttum (V, VSV, SV, S og SA) og fyrir nokkrar mismunandi tíðnir eins og sýnt er í töflu 8.2.1. Niðurstöður öldufarsreikninga fyrir siglingaleiðir byggjast á DNMI-gögnum.

Tafla 8.1.1.1. Ölduhæð og sveiflutími úthafsöldu í öldufarsreikningum (DNMI-gögn fyrir stað 63,5°N, 21,5°V).

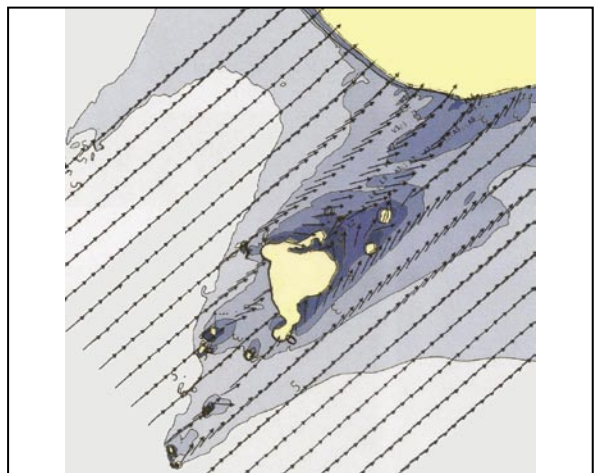
Tíðni / endurk.tími	V		VSV		SV		S		SA	
	Hs(m)	Tz(s)	Hs(m)	Tz(s)	Hs(m)	Tz(s)	Hs(m)	Tz(s)	Hs(m)	Tz(s)
90 %							4.3	7.4		
95%	3.5	6.6	4.3	7.4	5.7	8.5	5.5	8.3	3.2	6.4
98%	4.9	7.9	5.6	8.4	6.9	9.3	6.8	9.3	4.6	7.7
1ár	8.5	10.4			11.0	11.8			9.2	10.0
100ár					14.6	13.6			12.9	12.8

Niðurstöður reikninganna eru annars vegar fengnar í stökum reiknipunktum og myndrænt með jafnhæðarlínum öldu og stefnuörvum.

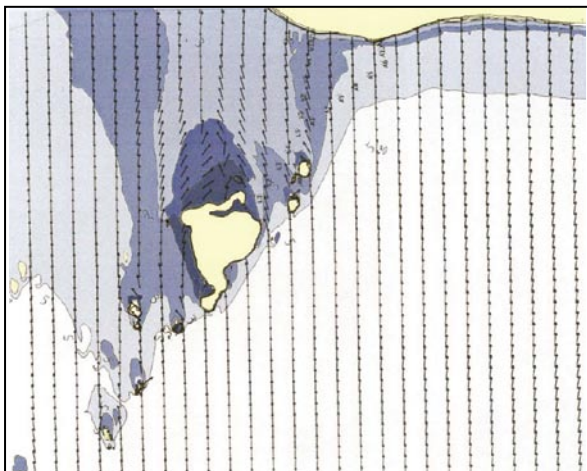
Dæmi um myndræna framsetningu má sjá á myndum 8.1.1.1 til 8.1.1.4. Þær sýna 98% öldu úr vestri, suð-vestri, suðri og suð-austri á botnneti 2. Örvanar sýna stefnu öldunnar og ölduhæð lækkar með dekkri bláum lit.



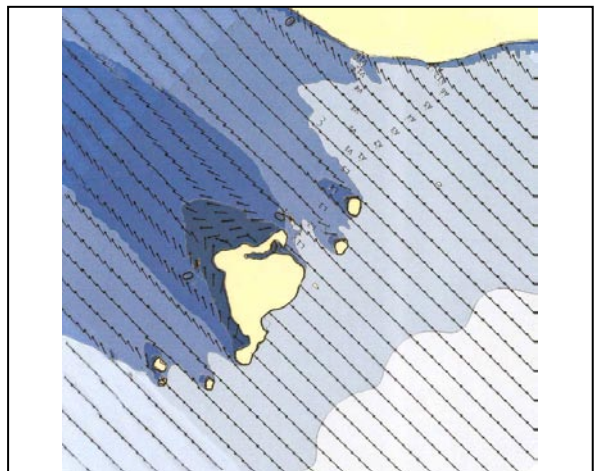
Mynd 8.1.1.1. 98% alda úr vestri (Hs=4,9 m, Tz=7,9 s)



Mynd 8.1.1.2. 98% alda úr suðvestri (Hs=6,9 m, Tz=9,3 s)



Mynd 8.1.1.3. 98% alda úr suðri (Hs=6,8 m, Tz=9,3 s)



Mynd 8.1.1.4. 98% alda úr suðaustri (Hs=4,6 m, Tz=7,7 s)

Öldufarsreikningarnir eru miðaðir við 3,5 m háa kenniöldu á 10 m dýpi í punkti C10 utan við rífið móts við ferjulægið á Bakkafjöru. Umreiknaðar niðurstöður öldufarsreikninga eru sýndar í töflu 8.2.2 fyrir þá punkta sem gáfu hæsta öldu fyrir hverja átt.

**Tafla 8.1.1.2. Ölduhæð og sveiflutímu úhafsöldu í öldufarsreikningum miðað við 3,5 m kenniöldu í reiknipunkti C 10**

	Hs=7.5m V	Hs=8.8m SV	Hs=6.1 m S	Hs=5.3m SA
		Hs(m)	Hs(m)	Hs(m)
S3		7,9	5,3	2,8
S4		7,8	5,3	3,0
V1	5,0	4,0	2,8	4,1
V11	3,6	4,1	3,2	3,5
V12	3,5	4,1	3,3	3,4
<b>C10</b>	<b>3,5</b>	<b>3,5</b>	<b>3,5</b>	<b>3,5</b>

Í töflunni kemur fram að þegar aldan er 3,5 m undan Bakkafjöru verður vestanaldan hæst 5,0 m á siglingaleiðinni milli lands og Eyja og 7,5 m úti á hafi. Í suðvestan ölduátt þegar aldan er 3,5 m undan Bakkafjöru verður aldan hæst 4,1 m á siglingaleiðinni að Bakkafjöru og 7,9 m á siglingaleiðinni til Þorlákshafnar og er þá aldan 8,8 m úti á hafi. Í sunnan ölduátt þegar aldan er 3,5 undan Bakkafjöru verður aldan hæst 3,3 m á siglingaleiðinni að Bakkafjöru og 5,3 m á siglingaleiðinni til Þorlákshafnar og er þá aldan 6,1 m úti á hafi.

Í suðaustan ölduátt, þegar aldan er 3,5 undan Bakkafjöru, verður aldan hæst 4,1 m á siglingaleiðinni að Bakkafjöru og 3,0 m á siglingaleiðinni til Þorlákshafnar og er þá aldan 5,3 m úti á hafi. Vestmannaeyjar skýla þannig siglingaleiðinni til Þorlákshafnar í austan ölduátt.

**Tafla 8.1.1.3. Heildartími þegar alda er jöfn eða hærri en 3,5 og 4,0 m á siglingaleið milli Vestmannaeyja og Bakkafjöru reiknaður sem hundraðshluti af heildartíma hvers mánaðar**

	Jan	Feb.	Mar.	Apr.	Mái	Júni	Júlí	Ág.	Sep.	Okt.	Nóv.	Des.	Meðal frátafir á á r i	Meðal frátafir okt.-mars
Hs=3.5 í C10	2.9	6.6	3.5	0.8	0.1	0.1	0,0	0,0	0.3	1	2.6	3.6	1.8	3.4
Hs=4.0 í C10	0.9	1.7	1.5	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	1.4	1.2	0.6	1.1

Þegar miðað er við hæstu ölduhæð 3,5m á siglingaleiðinni milli Eyja og Bakkafjöru er meðaltíðnin 1,8 % yfir árið og 3,4 % yfir vetrarmánuðina. Sambærilegar frátafir fyrir hæstu ölduhæð 4,0m er 0,6% yfir árið að jafnaði en 1,1 % yfir tímabilið október til mars.

8.2.1. Niðurstöður öldufarsreikninga fyrir Bakkafjöru

Niðurstöður öldufarsreikninga fyrir Bakkafjöru byggjast á ERA 15 gögnum.

Í meðfylgjandi töflum eru niðurstöður öldufarsreikninga þar sem tengd er saman ölduhæð á hafi fyrir mismunandi öldustefnur, ölduhæð á Surtseyjardufli, ölduspápunkta (63,5°N,20,0°V og 63,5°N, 20,5°V) og ölduhæð á Bakkadufli, sjá mynd 8.1.1 sjá töflu 8.2.4. Einnig er reiknuð ölduhæð á innsiglingarleiðinni og á þeim stöðum sem mældar voru öldur í líkani inn að ferjuhöfn, sjá mynd 14.1.1. Þessir reikningar eru gerðir fyrir mismunandi sjávarstöður þær sömu og notaðar voru í líkantilraunum. Þessar niðurstöður tengja saman ölduhæðir og stefnur á hafi, við ölduduflin tvö og ölduhæðir við innsiglinguna við Bakkafjöruhöfn, sjá töflu 8.2.5.

Tafla 8.2.1.1. Yfirlit yfir öldufarsreikninga frá hafi að Bakkafjöru fyrir V, SV, S og SA ölduáttir

Sh. +3.15m, Vindhr. 2m/s, Stefnudreifing 31.5° (2), Botn viðnám 0.01 (freq 0.3), Öldubrotstuðull 0.73															
V (7.9%)															
Point	90% Hs=2.5m Tz=5.6s			95% Hs=2.5m Tz=5.6s			98% Hs=3.9m Tz=7.0s			1ár Hs=10.8m Tz=11.7s			100ár Hs=17.8m Tz=15.0s		
	Hs [m]	Tz [s]	St. [°]	Hs [m]	Tz [s]	St. [°]	Hs [m]	Tz [s]	St. [°]	Hs [m]	Tz [s]	St. [°]	Hs [m]	Tz [s]	St. [°]
Z3: 63N 21W				2.4	5.6	275	3.7	7.0	275	10.3	11.7	275	17.0	15.0	275
Surtsey -dúfl				2.1	5.6	269	3.3	7.0	269	9.0	11.7	266	14.4	14.8	264
Bakkafjara - dúfl				1.9	5.6	261	2.7	7.0	257	5.6	11.6	243	7.4	14.5	238
Z1: 63.5.20.0				1.5	5.6	266	2.3	7.0	267	4.5	11.6	254	6.6	14.4	244
Z2: 63.5.20.5				2.3	5.6	262	3.6	7.0	263	9.6	12.6	263	14.9	14.0	261
D25				1.6	5.6	259	2.3	7.0	253	4.1	11.6	238	4.1	14.4	233
D20				1.7	5.6	257	2.2	7.0	248	4.5	11.5	233	4.8	14.4	230
D15				1.6	5.6	251	2.2	7.0	243	5.6	11.5	229	6.9	14.0	228
D10				1.5	5.6	246	2.1	7.0	238	5.6	10.9	223	6.5	11.7	222
DT				1.3	5.6	243	1.8	6.9	234	4.2	9.3	223	4.3	8.6	221
D5				1.0	5.6	225	1.5	6.9	219	3.0	9.2	216	2.9	8.0	216
SV (41.8%)															
Point	90% Hs=3.7m Tz=6.8s			95% Hs=4.8m Tz=7.8s			98% Hs=6.1m Tz=8.8s			1ár Hs=11.3m Tz=12.0s			100ár Hs=16.8m Tz=14.6s		
	Hs [m]	Tz [s]	St. [°]	Hs [m]	Tz [s]	St. [°]	Hs [m]	Tz [s]	St. [°]	Hs [m]	Tz [s]	St. [°]	Hs [m]	Tz [s]	St. [°]
Z3 63N 21W	3.7	6.8	225	4.8	7.8	225	6.1	8.8	225	11.3	12.1	225	16.8	14.6	225
Surtsey -dúfl	3.2	6.8	230	4.2	7.8	230	5.3	8.8	230	9.7	12.1	229	13.7	14.6	227
Bakkafjara - dúfl	1.7	6.8	237	2.1	7.8	236	2.5	8.8	234	3.6	12.0	221	5.0	14.3	204
Z1 63.5.20.0	2.1	6.8	217	2.8	7.8	218	3.6	8.8	220	6.4	12.1	221	9.1	14.5	215
Z2 63.5.20.5	3.0	6.8	222	3.8	7.8	221	4.7	8.8	221	8.0	12.0	218	11.4	14.3	215
D25	1.7	6.8	230	1.9	7.8	228	2.2	8.8	224	3.3	12.0	206	3.9	14.4	200
D20	1.6	6.8	228	1.9	7.8	225	2.1	8.8	221	3.3	12.0	204	4.0	14.4	198
D15	1.6	6.8	227	2.0	7.8	224	2.4	8.8	221	3.8	11.9	207	4.5	14.3	201
D10	1.6	6.8	223	2.1	7.8	220	2.6	8.7	217	4.3	11.9	206	5.2	14.1	202
DT	1.5	6.8	223	2.0	7.7	219	2.5	8.7	217	4.1	11.3	208	4.7	12.5	203
D5	1.4	6.8	210	1.9	7.7	206	2.5	8.6	205	4.0	10.3	199	4.3	10.6	196
S (22.6%)															
Point	90% Hs=2.3m Tz=5.4s			95% Hs=3.3m Tz=6.5s			98% Hs=4.6m Tz=7.6s			1ár Hs=10.0m Tz=11.3s			100ár Hs=14.8m Tz=13.7s		
	Hs [m]	Tz [s]	St. [°]	Hs [m]	Tz [s]	St. [°]	Hs [m]	Tz [s]	St. [°]	Hs [m]	Tz [s]	St. [°]	Hs [m]	Tz [s]	St. [°]
Z3 63N 21W	1.7	5.4	160	2.5	6.5	160	3.4	7.6	160	7.5	11.3	160	11.1	13.7	160
Surtsey -dúfl	2.0	5.4	178	2.9	6.5	178	4.1	7.6	178	8.8	11.3	178	12.8	13.7	178
Bakkafjara - dúfl	1.5	5.4	175	2.1	6.5	174	2.8	7.6	173	5.3	11.3	170	7.5	13.6	169
Z1 63.5.20.0	1.8	5.4	185	2.6	6.5	186	3.6	7.6	186	7.4	11.3	185	10.3	13.7	183
Z2 63.5.20.5	1.6	5.4	175	2.3	6.5	175	3.1	7.6	175	5.7	11.3	175	7.8	13.6	176
D25	1.67	5.4	180	2.3	6.5	179	3.1	7.6	179	6.1	11.3	179	8.7	13.6	178
D20	1.64	5.4	179	2.3	6.5	179	3.0	7.6	179	6.2	11.3	179	8.9	13.5	178
D15	1.59	5.4	179	2.2	6.5	179	3.0	7.6	179	6.3	11.2	178	8.5	12.7	178
D10	1.52	5.4	179	2.1	6.5	178	3.0	7.6	179	6.2	10.6	179	7.1	10.7	178
DT	1.44	5.4	179	2.0	6.5	180	2.7	7.5	180	4.4	9.0	180	4.5	8.3	179
D5	1.36	5.39	180	2.0	6.5	180	2.7	7.5	180	3.9	8.0	180	3.9	7.3	180
SA (11.7%)															
Point	90% Hs=1.2m Tz=3.9s			95% Hs=2.5m Tz=5.6s			98% Hs=3.6m Tz=6.8s			1ár Hs=7.9m Tz=10s			100ár Hs=12.4m Tz=12.5s		
	Hs [m]	Tz [s]	St. [°]	Hs [m]	Tz [s]	St. [°]	Hs [m]	Tz [s]	St. [°]	Hs [m]	Tz [s]	St. [°]	Hs [m]	Tz [s]	St. [°]
Z3 63N 21W															
Surtsey -dúfl															
Bakkafjara - dúfl	1.0	3.9	141	2.0	5.6	141	2.8	6.8	142	5.3	10.0	149	7.8	12.5	152
Z1 63.5.20.0	1.0	3.9	142	2.1	5.6	143	3.0	6.8	143	6.4	10.0	144	9.4	12.5	148
Z2 63.5.20.5	0.6	3.9	147	1.2	5.6	147	1.6	6.8	147	3.6	9.9	146	5.5	12.4	143
D25	0.98	3.9	142	2.0	5.6	142	2.8	6.8	144	5.6	10.0	152	8.6	12.4	158
D20	0.96	3.9	142	2.0	5.6	143	2.7	6.8	145	5.6	10.0	153	8.8	12.3	159
D15	0.97	3.9	142	1.9	5.6	144	2.6	6.8	147	5.6	9.9	156	6.3	11.7	161
D10	0.96	3.9	143	1.8	5.6	146	2.6	6.8	150	5.6	9.7	159	7.0	10.0	164
DT	0.96	3.9	143	1.7	5.6	149	2.3	6.8	155	4.1	8.8	164	4.4	7.9	168
D5	0.87	3.9	147	1.7	5.6	155	2.5	6.7	159	3.8	7.5	167	3.8	6.9	171



Tafla 8.2.1.2. Yfirlit yfir öldufarsreikninga frá hafi að Bakkafjöru með tilliti til líkantilrauna fyrir V, SV, S og SA ölduáttir

Punktur	SV (Sh +2.3)			SV (Sh +1.4)			SV (Sh +0.6)		
	Tár			Tár			Tár		
	Hs=11.3m			Hs=11.3m			Hs=11.3m		
	Hs (m)	Tz (s)	St. (°)	Hs (m)	Tz (s)	St. (°)	Hs (m)	Tz (s)	St. (°)
Z3 63N 21W	11.3	12.1	225	11.3	12.1	225	11.3	12.1	225
Surtsey -dufl	9.7	12.1	229	9.7	12.1	229	9.7	12.1	229
Bakkafjara - dufl	3.5	12.0	220	3.5	12.0	219	3.4	11.9	218
Z1 63.6.20.0	6.4	12.1	221	6.3	12.1	221	6.3	12.0	221
Z2 63.6.20.6	8.0	12.0	217	7.9	12.0	217	7.9	12.0	217
D26	3.2	12.0	205	3.2	12.1	204	3.1	12.0	203
D20	3.3	12.0	203	3.2	12.0	202	3.2	12.0	201
D16	3.6	11.9	205	3.6	12.0	204	3.5	11.9	203
D10	4.1	11.9	206	4.1	11.9	205	4.0	11.8	204
DT	3.7	10.5	210	3.4	9.8	209	3.0	9.1	207
D8	3.1	9.0	196	2.7	8.0	194	2.2	6.9	193
X2	2.9	6.4	197	2.4	7.3	196	1.9	6.1	196
X10a (26/8)	3.9	10.4	208	3.6	9.8	206	3.3	9.0	206
X10b (21/8)	3.9	10.5	206	3.6	9.9	204	3.3	9.2	203
X6 (18/8)	4.2	11.9	204	4.2	11.8	203	4.1	11.8	201
X10c (16/8)	4.2	11.1	201	4.0	10.7	199	3.7	10.0	196
X14 (11/8)	3.7	11.9	204	3.6	11.9	203	3.6	11.9	202
X18 (7/8)	3.4	12.0	202	3.4	12.0	201	3.3	12.0	200
X20	3.3	12.0	202	3.3	12.0	201	3.2	12.0	200
X26	3.2	12.0	205	3.1	12.1	204	3.1	12.0	203
	S (SL +2.3)			S (SL +1.4)			S (SL +0.6)		
	Hs=6.3m			Hs=6.3m			Hs=6.3m		
Point	Hs (m)	Tz (s)	St. (°)	Hs (m)	Tz (s)	St. (°)	Hs (m)	Tz (s)	St. (°)
Z3 63N 21W	4.7	9.0	180	4.7	9.0	180	4.7	9.0	180
Surtsey -dufl	5.6	9.0	178	5.6	9.0	178	5.6	9.0	178
Bakkafjara - dufl	3.6	9.0	172	3.6	9.0	172	3.6	9.0	172
Z1 63.6.20.0	4.9	9.0	186	4.9	9.0	186	4.9	9.0	186
Z2 63.6.20.6	4.1	9.0	175	4.0	9.0	176	4.0	9.0	175
D26	4.0	9.0	179	4.0	9.0	179	4.0	9.0	179
D20	4.0	9.0	179	4.0	9.0	179	4.0	9.0	179
D16	4.0	9.0	179	4.1	9.0	179	4.1	9.0	179
D10	4.1	8.9	180	4.1	8.9	180	4.1	8.9	180
DT	3.5	8.0	179	3.2	7.5	179	2.9	6.9	179
D8	2.9	7.1	180	2.5	6.3	181	2.1	5.5	181
X2	2.8	6.2	183	2.3	5.4	184	1.8	4.6	184
X10a (26/8)	3.6	8.0	180	3.4	7.4	180	3.0	6.8	180
X10b (21/8)	3.6	7.9	179	3.3	7.4	179	3.0	6.8	179
X6 (18/8)	4.2	8.9	180	4.2	8.9	180	4.2	8.8	180
X10c (16/8)	4.0	8.3	180	3.8	7.9	180	3.5	7.3	180
X14 (11/8)	4.0	9.0	179	4.1	9.0	179	4.1	9.0	179
X18 (7/8)	4.0	9.0	179	4.1	9.0	179	4.1	9.0	179
X20	4.1	9.0	179	4.1	9.0	179	4.1	9.0	179
X26	4.0	9.0	179	4.0	9.0	179	4.0	9.0	179
	SA (SL +2.3)			SA (SL +1.4)			SA (SL +0.6)		
	Hs=6.3m			Hs=6.3m			Hs=6.3m		
Point	Hs (m)	Tz (s)	St. (°)	Hs (m)	Tz (s)	St. (°)	Hs (m)	Tz (s)	St. (°)
Z3 63N 21W									
Surtsey -dufl	5.4	9.0	127	5.4	9.0	127	5.4	9.0	127
Bakkafjara - dufl	4.4	9.0	147	4.4	9.0	147	4.4	9.0	148
Z1 63.6.20.0	5.2	9.0	143	5.2	9.0	143	5.2	9.0	143
Z2 63.6.20.6	2.8	9.0	147	2.8	9.0	147	2.8	9.0	147
D26	4.5	9.0	150	4.5	9.0	150	4.5	9.0	150
D20	4.5	9.0	151	4.5	9.0	152	4.5	9.0	152
D16	4.4	9.0	153	4.4	9.0	154	4.4	9.0	155
D10	4.5	8.9	156	4.5	8.9	159	4.5	8.8	160
DT	3.7	7.6	157	3.4	7.1	158	3.1	6.5	158
D8	2.9	6.6	169	2.5	5.9	170	2.1	5.1	171
X2	2.8	5.8	170	2.3	5.0	171	1.9	4.3	173
X10a (26/8)	3.6	7.7	159	3.3	7.2	160	2.9	6.6	161
X10b (21/8)	3.7	7.7	157	3.4	7.1	158	3.0	6.5	158
X6 (18/8)	4.5	8.9	158	4.5	8.8	159	4.5	8.7	159
X10c (16/8)	4.1	8.1	162	3.8	7.6	163	3.5	7.1	164
X14 (11/8)	4.5	9.0	154	4.5	9.0	154	4.5	9.0	155
X18 (7/8)	4.4	9.0	152	4.4	9.0	153	4.4	9.0	153
X20	4.4	9.0	151	4.4	9.0	152	4.4	9.0	152
X26	4.5	9.0	150	4.5	9.0	150	4.5	9.0	150

## 9. Nauðsynlegt lágmarksdýpi á sandrifinu, utan ferjulægis og í sandrifinu

### 9.1. Kröfur um lágmarksdýpi

Samkvæmt tæknikröfum Siglingastofnunar þarf dýpi að vera við bestu skilyrði og á smástreymi lágmark 1,0 m undir kili skips í innsiglingu og 0,6 m undir kili skips innan hafnar. Þegar ölduhæð er innan við 3,5 m þarf dýpi sem svarar til djúpristu skips að viðbætti 2/3 ölduhæðar á staðnum. Þegar ölduhæð er meir þarf dýpið að vera 50% meira en djúprista skipsins.

Unnið hefur verið eftir þessum kröfum við hönnun hafna og hefur dýpi í innsiglingum og í höfnum verið miðað við þessar forsendur. Ef gætt er að þessum forsendum koma ekki upp vandamál varðandi djúpristu fiskiskipa í innsiglingum og í höfnum. Miðað við að djúprista Bakkaferju verði um 3,5 m þarf lágmarksdýpi að vera minnst 1,5 sinnum djúpristan eða 5,3 m við hafnarmynnið og um 6 m á fjöru á sandrifinu miðað við stórstraumsfjöru.

Samkvæmt fræðunum brotna öldur þar sem botn er láréttur þegar hlutfallið milli hæstu brotnandi ölduhæðar og dýpis er 0,78. Þegar tekið er tillit til botnhalla þá fæst hlutfallið milli hæstu brotnandi kenniöldu, dýpis og botnhalla

$$H_{sb} / h = 0,56 e^{3.5 m} \text{ þar sem } m \text{ er botnhallinn.}$$

Líkindin,  $Q$ , á jafnri eða hærri öldu í öldugerð er

$$H_Q = 2 \sigma \sqrt{(2 \ln(1/Q))}$$

Þar sem  $\sigma$  er eitt staðalfrávik ölduhæða.

Þar með fæst sambandið milli fjölda brotnandi aldna í prósentum og dýpis þegar miðað er við botnhallann frammi á sandrifinu 1/50:

Tafla 9.1.1.

Ölduhæð, $H$	Lýsing	$H_b / h$
$H_{.01}$	Jafnt og 1 % af öldunum brotna	0,40
$H_{.02}$	Jafnt og 2 % af öldunum brotna	0,43
$H_{.05}$	Jafnt og 5 % af öldunum brotna	0,49
$H_{.06}$	Jafnt og 6 % af öldunum brotna	0,51
$H_{.08}$	Jafnt og 8 % af öldunum brotna	0,53
$H_{.10}$	Jafnt og 10 % af öldunum brotna	0,56
$H_{.136}$	Jafnt og 13,6 % af öldunum brotna, $H_{sb}$	0,60

Grunnbrot nærri innsiglingarennu og hafnarmynni geta verið hættuleg minni skipum. Það er erfitt að setja almenn viðurkennd viðmiðunarmörk fyrir grunnbrot utan hafna en grunnbrotin verða vissulega að vera innan ákveðinna marka og er þá oft miðað við að sá tími sem siglingar teppast vegna grunnbrota sé skemmri en ein vika á ári eða innan við 2% af heildartímanum. Hæstu öldur byrja að brotna þegar kennialdan



er um það bil 0,4 sinnum dýpið, þá gilda þessi viðmið bæði fyrir öldufar og dýpi utan hafna. Ef miðað er við að sigling sé möguleg þegar allt að 10% af öldunum brotna þá er hægt að setja viðmiðunarmörk bæði hvað varðar öldufar og dýpi utan hafnar á hverjum stað sem tekur mið af kenniöldu, dýpi og botnhalla á staðnum.

$$H_{s,2\%} = 0.56 h_{\min}$$

$$h_{\min} = 1.8 H_{s,2\%}$$

Þar sem  $H_{s,2\%}$  er kennialdan miðað við að 2% af tímanum og  $h_{\min}$  er minnsta dýpið í innsiglingunni. Þessi viðmiðunarmörk eru mikilvæg fyrir skip sem eru af svipaðri lengd eða styttri en öldulengdin,  $L = (gh)^{1/2} T_s$ , þar sem  $L$  er öldulengdin og  $g$  er þyngdarhröðun,  $9,81 \text{ m/s}^2$  og  $T_s$  sveiflutími kenniöldunnar. Öldulengdin miðað við 6 m dýpi og 8 sekúnda öldu er 62 m þannig að 8 sekúndna alda verður ávallt lengri en 60 m.

## 9.2. Dýpi og grunnbrot við Bakkafjöru

Kennialdan við Bakkadúfl sem er 2% af tímanum er  $H_{s,2\%} = 4,4 \text{ m}$  fyrir allar ölduáttir og þarf því meðaldýpið að vera um  $h_{\min} = 7,9 \text{ m}$ .

Minnsta dýpi á sandrifinu síðastliðin ár var 2005 um 5,6 m, 2004 um 6,8 m, 2003 um 6,5 m, 2002 um 7,9 m og 1973 um 5,8 m eða um 6,5 m á stórstraumsfjöru og 7,9 m við meðalsjávarhæð.

Stórstraumsfjara er 0,13 m, smástraumsfjara er 0,8 m og meðalsjávarhæð er í 1,4 m smástraumflóð er 1,98 m og stórstraumsflóð er 2,64 m. Meðalmunur flóðs og fjöru er innan við 2 m.

Í líkaninu eru tilraunirnar gerðar miðað við meðalfjöru 0,5 m, meðalsjávarhæð 1,4 m og meðalflóðhæð 2,3 m.

Dýpi á sandrifinu er þá 6,5 m á meðalfjöru, 7,4 m við meðalsjávarhæð og 8,3 m á meðalflóði.

Ef miðað er við dýpi á sandrifinu síðastliðin ár kemur í ljós að minnsta dýpi á sandrifinu árið 2005 var um 5,6 m, 2004 um 6,8 m, 2003 um 6,5 m, 2002 um 7,9 m og 1973 um 5,8 m. Þannig sést að meðaldýpið hefur verið um 6,5 m eða um 7,9 m á meðalfjöru.

## 9.3. Samanburður á kenniöldu brotalda við Bakkafjöru og hafnirnar í Þorlákshöfn og Grindavík

Samanburður á yfirliti yfir smástraumsfjöru og kenniöldu við Hornafjarðarhöfn, Þorlákshöfn og Bakkafjöru leiðir eftirfarandi í ljós. (Miðað er við kenniöldu 95% af tímanum á Hornafjarðardúfli, Bakkafjörudúfli og á 30 m dýpi utan Þorlákshafnar):

Grynnslin á Hornafirði:	Smástraumfjara 1,00 m og $H_{s,95\%} \sim 4,1 \text{ m}$ .
Bakkafjara:	Smástraumfjara 0,80 m og $H_{s,95\%} \sim 3,6 \text{ m}$ .
Þorlákshöfn:	Smástraumfjara 1,06 m og $H_{s,95\%} \sim 5,0 \text{ m}$ .

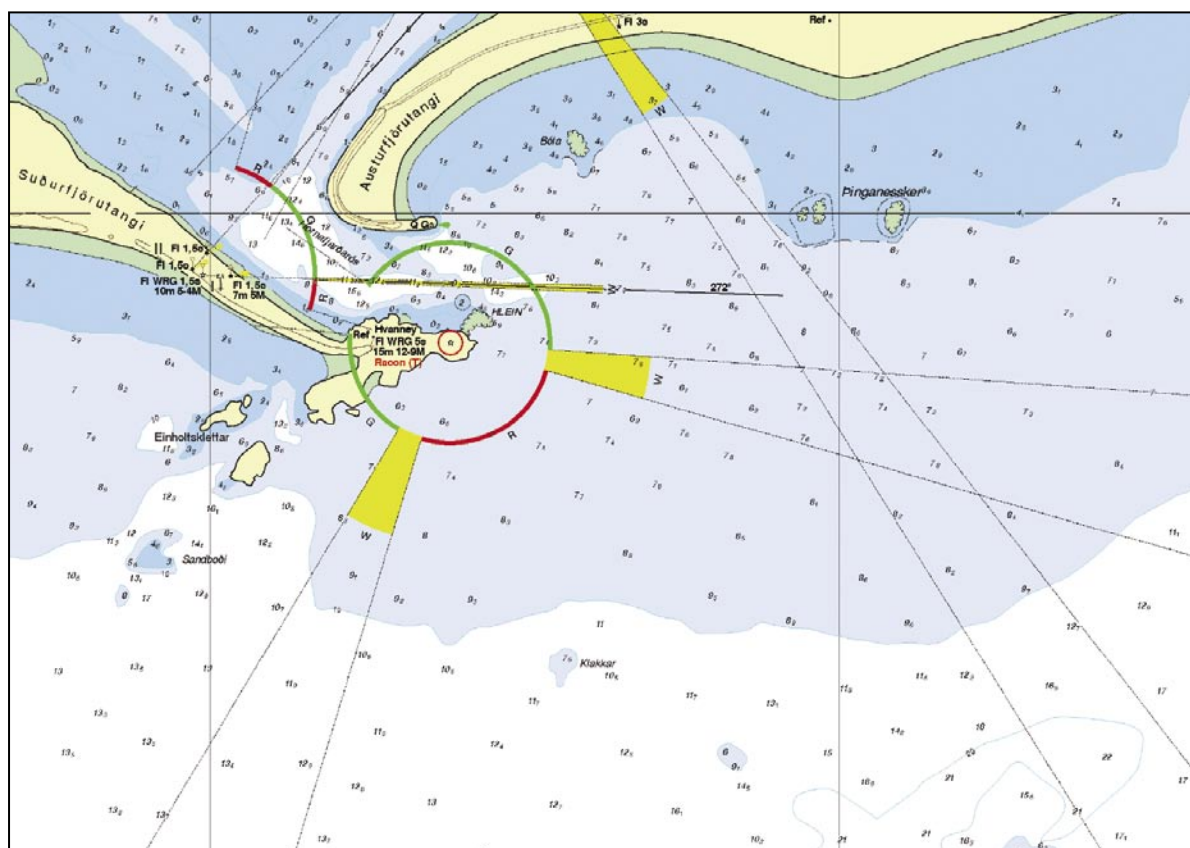
Dýpið á smástraumsfjöru á Grynslunum til Hornafjarðar er um 8,5 m með botnhalla um 1/200, í innsiglingunni til Þorlákshafnar er dýpið breytilegt frá 6,5 til 9 m með botnhalla 1/120 og á Bakkafjöru tæpir 6,8 m á sandrifinu með botnhalla 1/50. Ef skoðað er hlutfallið milli

kenniöldu  $H_{sb95\%}$  og dýpis á smástraumsfjöru fæst fyrir Grynnslin 0,48, fyrir Þorlákshöfn 0,56 – 0,77 og fyrir Bakkafjöru 0,53.

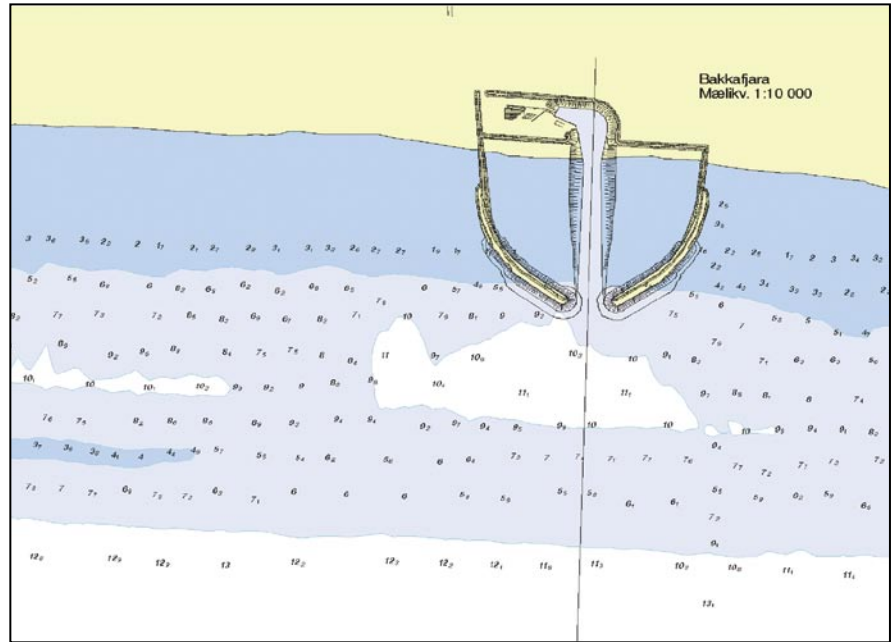
Miðað við framangreind öldu- og dýpisskilyrði brotna um 6% af öldunum á 800 m svæði á Grynnslnum inn að snúningi í Straumbandið. Síðan tekur við um það bil 500 m sigling þvert á suðvestan öldu. Í innsiglingunni til Þorlákshafnar brotna um 13,6 % af öldunum á um 350 m siglingu inn að snúningi og þaðan um 130 m inn að hafnarmynni. Síðasti hluti siglingarinnar er þvert á suðvestan öldu. Í aðsiglingunni að Bakkafjöruhöfn brotna um 8% af öldunum á sandrifinu utan Bakkafjöru. Sú sigling er um 250 m svæði og brotnar aldan þar samsíða rifinu. Innan rifsins tekur við 300 m breiður áll með meira en 10 m dýpi þar sem aldan er innan marka. Alltaf mun verða siglt hornrétt hornrétt á ríkjandi ölduátt.

Samkvæmt þessu leiðir samanburður á þeirri vegalengd sem siglt er í brotöldum í innsiglingu að þessum þremur höfnum eftirfarandi í ljós:

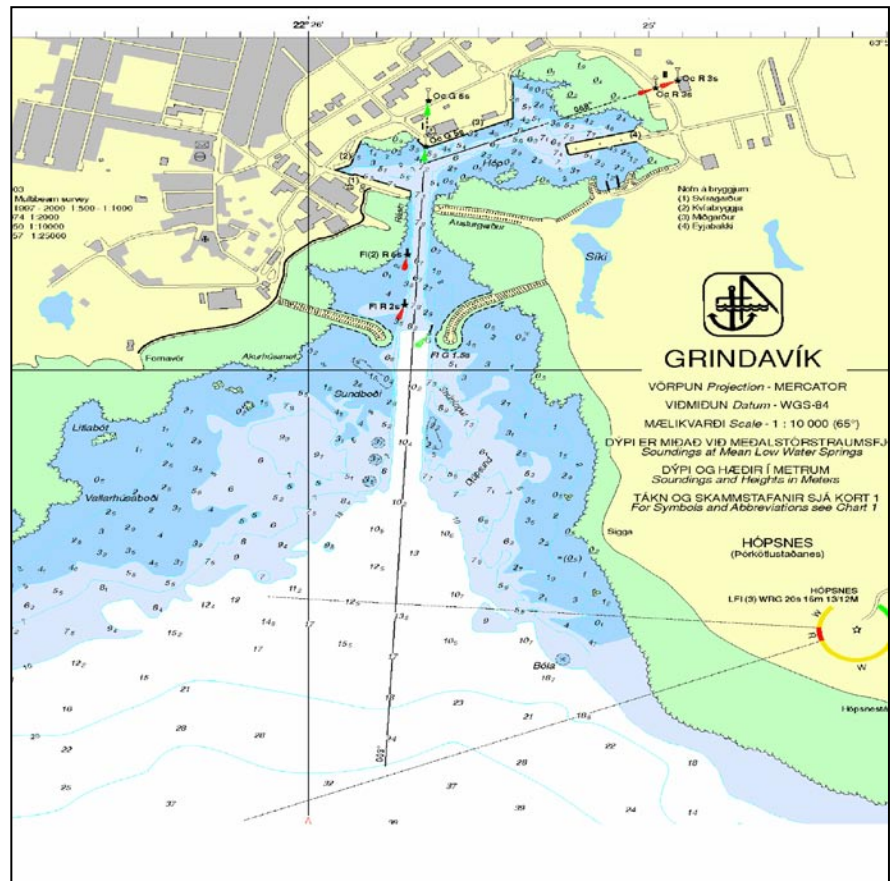
Hornafjörður:	800 m
Þorlákshöfn:	480 m
Bakkafjara:	250 m



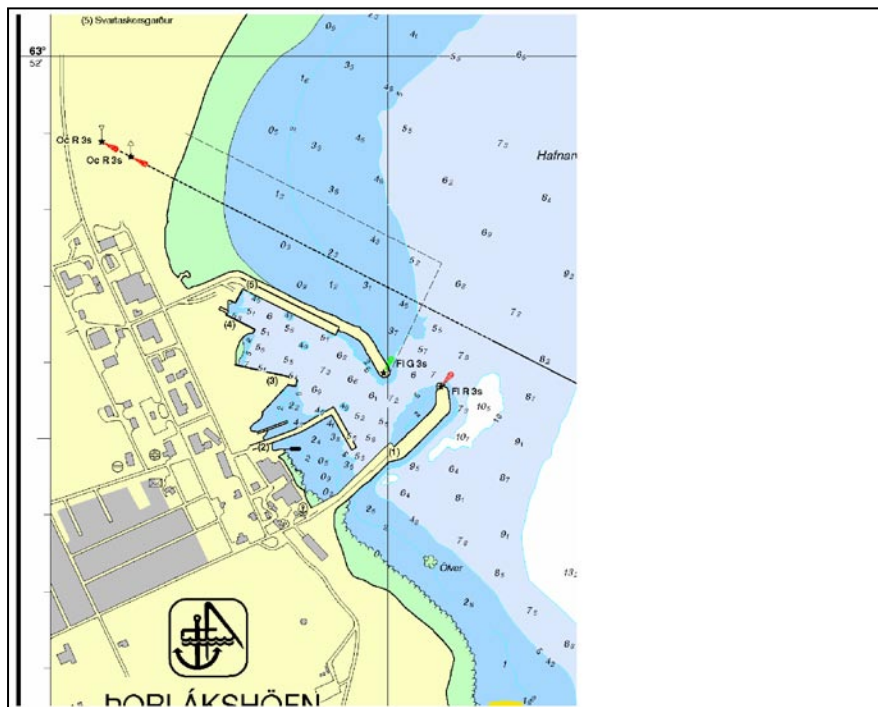
Mynd 9.3.1. Innsiglingin að Höfn í Hornafirði. Hér er vegalengdin sem siglt er í brotöldum allt að 800 m.



Mynd 9.3.2. Tillaga að ferjuhöfn á Bakkafjöru. Vegalend sem sigld er í brotöldum um 200 m.



Mynd 9.3.3. Myndin sýnir gömlu og nýju innsiglinguna til Grindavíkurhafnar. Athyglisvert er að bera saman gömlu innsiglinguna og siglinguna yfir rífið við Bakkafjöru þar sem siglt var við svipaða ölduhæð og gert var í Grindavík en við ólíkar aðstæður þar sem klöpp er í botni gömlu innsiglingarinnar þar og siglt var mjög nærri landi.



Mynd 9.3.4. Innsigling að Portlákshöfn.

## 10. Hönnunarleiðbeiningar fyrir breidd hafnar- mynnis og innsiglingarrennu

Í eftirfarandi hönnunarreglum er stuðst við *Approach Channels, Preliminary Guidelines* útgefið af PIANC / IAPH ( 1995) í samvinnu við IMPA og IALA. Samkvæmt þessum reglum ræðst breidd innsiglingarrennu af stjórnhæfni skipa, veðurhæð, straumum og öldu ásamt botn-gerð og dýpi og gæðum leiðarmerkja. Í hönnunarreglunum fyrir innsiglingarrennur er tekist á við flesta þætti er snerta breidd rennunnar. Engar reglur eru til fyrir fiskiskip eða ferjur en þessi skip eru yfirleitt með mun betri stjórnhæfni en flutningaskip, flapsastýri, skiptiskrúfu og þverskrúfur auk þess að vera mun minni. Þó svo stjórnhæfni fiskiskipa sé góð þá eru aðstæður í innsiglingunni til ferjulægis í Bakkafjöru með því erfiðasta sem þekktist þannig að taka þarf full tillit til aðstæðna við úrbætur á aðsiglingunni.

### 10.1. Botnbreidd innsiglingar

Botnbreidd innsiglingarrennu er gefin fyrir einbreiða rennu með jöfnunni:

$$W = W_{BM} + \sum_{i=1} W_i + W_{Br} + W_p$$

Breidd $w_i$	Ytri renna, fyrir opnu hafi.	Innri renna í skjóli
<b>a) Hraði skipa ( hnútar)</b>		
- full ferð > 12	0.1 B	0.1 B
- hálf ferð > 8 - 12	0.0	0.0
- hæg ferð 5 - 8	0.0	0.0

Stjórnhæfni skipa	Góð	Sæmileg	Léleg
Grunnbreidd rennu $w_{BM}$	1.3 B	1.5 B	1.8 B

Breidd $w_i$	Hraði skipa	Ytri renna , fyrir opnu hafi.	Innri renna í skjóli
<b>b) Vindur þvert á rennu (hn.)</b>			
- hægur 15 (≤ Beauf. 4 ) strekkingur > 15 -33 (> Beauf.4 -7 )	óháður	0.0	0.0
	full f.	0.3B	–
	hálf f.	0.4B	0.4 B
	hæg f.	0.5B	0.5 B
-hvass > 33 - 48 (> Beauf. 7-9 )	full f.	0.6B	–
	hálf f.	0.8 B	0.8 B
	hæg f.	1.0 B	1.0 B

<b>c) Straumur þvert á rennu (hn.)</b> - hverfandi < 0.2 -hægur 0.2 -0.5  - í meðallagi > 0.5 - 1.5  - sterkur > 1.5 - 2.0	óháður full f. hálf f. hæg f. full f. hálf f. hæg f. full f. hálf f. hæg f.	0.0 0.1 B 0.2 B 0.3 B 0.5 B 0.7 B 1.0 B 0.7 B 1.0 B 1.3 B	0.0 – 0.1 B 0.2 B – 0.5 B 0.8 B – – –
<b>d) Með / mótstraumur í rennu (hn.)</b> - lítill $\leq 1.5$ - í meðallagi > 1.5 - 3  - sterkur > 3	óháður full f. hálf f. hæg f. full f. hálf f. hæg f.	0.0 0.0 0.1 B 0.2 B 0.1 B 0.2 B 0.4 B	0.0 – 0.1 B 0.2 B – 0.2 B 0.4 B
<b>e) Kennialda <math>H_s</math> og öldulengd <math>\lambda</math> (m)</b> - $H_s \leq 1$ og $\lambda \leq L$ (Öldulengd styttri en skips lengd) - $3 > H_s > 1$ og $\lambda \approx L$ (Öldulengd jöfn skipslengd)  $H_s > 3$ og $\lambda > L$ (Öldulengd mun lengri en skipslengd)	óháður full f. hálf f. hæg f. full f. hálf f. hæg f.	0.0 $\approx 2.0 B$ $\approx 1.0 B$ $\approx 0.5 B$ $\approx 3.0 B$ $\approx 2.2 B$ $\approx 1.5 B$	0.0

Breidd $w_i$	Ytri renna , fyrir opnu hafi.	Innri renna í skjóli
<b>f) Siglingaleiðbeiningar</b> - mjög góðar ( shore traffic control) - góðar - í meðallagi, sjónrænar, yfirleitt gott skyggni - í meðallagi, sjónrænar, oft slæmt skyggni	0.0 0.1 B 0.2 B $\geq 0.5 B$	0.0 0.1 B 0.2 B $\geq 0.5 B$
<b>g) Gerð botns</b> - ef dýpi er $\geq 1.5 D$ - ef dýpi er < 1.5 D og - sléttur og mjúkur -sléttur eða hallandi og harður - ósléttur og harður	0.0  0.1 B 0.1 B 0.2 B	0.0  0.1 B 0.1 B 0.2 B
<b>h) Dýpi í rennu</b> - $\geq 1.5 D$ - 1.5 D - 1.25 D - < 1.25 D	0.0 0.1 B 0.2 B	$\geq 1.5 D$ 0.0 < 1.5 D - 1.15 D 0.2 B < 1.15 D 0.4 B

Viðbót vegna brúna ( $W_{Br}$ eða $W_{Bg}$ )	Hraði skips	Ytri renna, fyrir opnu hafi.	Innri renna í skjóli
Hallandi brúnir á rennu	Full f. Hálf f. Hæg f.	0.7 B 0.5 B 0.3 B	– 0.5 B 0.3 B
Brattar og harðar brúnir	Full f. Hálf f. Hæg f.	1.3 B 1.0 B 0.5 B	– 1.0 B 0.5 B

## 10.2. Hönnun innsiglingarrennu að ferjuhöfn á Bakka- fjöru

Miðað er við að ferjan sigli með hálfri ferð. Samkvæmt hönnunarreglum PIANC þarf botnbreidd innsiglingarrennunnar að vera:

**Tafla 10.2.1. Hönnunarreglur PIANC**

Breidd	Ytri renna, fyrir opnu hafi, Hs>3 m	Ytri renna, fyrir opnu hafi, H<3m	Innri renna í skjóli
Hraði skips hálf ferð	0.0	0.0	0.0
Stjórnhæfni skips	1.3 B	1.3 B	1.3 B
Vindur þvert á rennu	0.4 B	0.4 B	0.4 B
Straumur þvert á rennu	1.0 B	1.0 B	1.0 B
Með/mótstraumur í rennu	0.2 B	0.2 B	0.2 B
Kennialda og öldulengd	2.2 B	1.0 B	1.0 B
Siglingaleiðbeiningar	0.5 B	0.5 B	0.5 B
Gerð botns	0.1 B	0.1 B	0.1 B
Dýpi í rennu	0.2 B	0.2 B	0.2 B
Viðbót vegna brúna	0.0	0.0	0.0
<b>Samtals</b>	<b>5,9 B</b>	<b>4,7 B</b>	<b>4,7 B</b>

Samkvæmt þessum reglum þarf breidd á innsiglingarennu að vera minnst 5,9 sinnum breidd hönnunarskipsins (12 x 5,9) 70,8 m í ytri rennu þegar kennialdan er hærri en 3 m og 4,7 sinnum breiddin (12x4,7) 56,4 m þegar kennialdan er undir 3 m og við bestu skilyrði og þegar gert er ráð fyrir hallandi brúnum.

### 10.3. Breidd hafnarmynnis

Breidd á hafnarmynni er oft miðuð við eftirfarandi reglu þegar umferð er lítil og sog og straumar eru fyrir hendi:

$$b = (2,5 + 5 U / V) B$$

þar sem:

b = breidd innsiglingarrennu

B = breidd hönnunarskips

U = straumur þvert á skipið

V = hraði skips

Hafnarmynnið þarf að vera um það bil  $(2,5 + 5 \times 3/6) \times 12 = 60$  m að lágmarki þegar miðað er við 12 m breitt skip á 6 hnúta ferð og þegar straumurinn er 3 hnútar þvert á hafnarmynnið.

Lagt er til að miðað við 70 m botnbreidd hafnarmynnis og að aðsigling verði bein og sem næst öldustefnunni, bæði í aðsiglingu og þegar siglt er úr höfn. Það þýðir að lega hafnagarðana við hafnarmynnið á að vera samsíða ríkjandi öldufaldi.



## 11. Gerð og afkastageta Bakkaferju

### 11.1. Almennt

Þegar skoðaðar eru grundvallarkröfur til ferjukosts á siglingaleiðinni milli Vestmannaeyja og Bakkafjörú er ljóst að afkastageta og byggingarlag ferju á siglingaleiðinni er svipað og fyrir ferju til siglinga milli Vestmannaeyja og Þorlákshafnar nema hvað snertir djúpristu og breidd ferjunnar, enda er ferjunni ætlað að geta siglt til Þorlákshafnar þegar þess er þörf.

Í kafla um öldufarsreikninga eru bornar saman ölduhæðir á þessum siglingaleiðum og er miðað við þegar aldan er 3,5 m undan Bakkafjörú er vestanaldan hæst 5,0 m á siglingaleiðinni milli lands og Eyja og 7,5 m úti á hafi. Í suðvestan ölduátt þegar aldan er 3,5 m undan Bakkafjörú verður aldan hæst 4,1 m á siglingaleiðinni að Bakkafjörú og 7,9 m á siglingaleiðinni til Þorlákshafnar og er þá aldan 8,8 m úti á hafi. Í sunnan ölduátt þegar aldan er 3,5 m undan Bakkafjörú verður aldan hæst 3,3 m á siglingaleiðinni að Bakkafjörú og 5,3 m á siglingaleiðinni til Þorlákshafnar og er þá aldan 6,1 m úti á hafi. Í suðaustan ölduátt, þegar aldan er 3,5 m undan Bakkafjörú, verður aldan hæst 4,1 m á siglingaleiðinni að Bakkafjörú og 3,0 m á siglingaleiðinni til Þorlákshafnar og er þá aldan 5,3 m úti á hafi. Það eru suðaustlægar áttir sem hafa reynst verst og hafa valdið töfum og hindrunum á siglingum Herjólfss þótt stundum séu suðvestan öldurnar stærri og öflugri. Í austanátt er nánast sléttur sjór ef siglt er skammt frá landi milli Þorlákshafnar og Vestmannaeyja.

Með þær niðurstöður að leiðarljósi hefur meðal annars verið hægt að leggja mat á stærð og ganghraða ferjunnar.

Bakkaferja yrði hefðbundin ekjuferja sem gæti farið frá Vestmannaeyjum á tveggja klukkustunda fresti. Ferjan hefði bílapilfar þar sem hægt yrði að keyra út að framan og aftan. Ofan bílapilfars kæmi farþegasalur og yrðu þar sæti fyrir þann hámarksfjölda farþega sem ferjan á að geta flutt.

Æskilegt yrði að stefni ferjunnar yrði hannað með það í huga að koma í veg fyrir högg á stefni í ölduróti rífsins sem er fyrir framan Bakkafjörú en slíkt gæti verið afar óþægilegt fyrir farþega í frekar hárrí ölduhæð.

Flokkun farþegaferja (97/C293/01) tekur mið af ölduhæð og fjarlægð frá landi.

Ferjan yrði því hönnuð til siglinga á „hafsvæði B“ og myndi uppfylla reglur um öryggi farþegaskipa í innanlandssiglingum, nr. 666/2001. Slíkt gerði ferjunni kleift að sigla ótakmarkað, þ.e. án takmarkana gagnvart ölduhæð, á siglingaleiðum umhverfis Ísland þar sem miðað er við 20 sjómílna fjarlægð frá strandlínu þar sem skipreika fólk getur lent.

### 11.2. Helstu mál skipsins

Eins og fram kemur í gögnum Siglingastofnunar um rannsóknir á siglingaleiðinni og aðstæðum við Bakkafjörú er nauðsynlegt að takmarka djúpristu skipsins eins og kostur er og er tekið mið af lestaðri djúpristu sem nemur 3,5 m.

Efnisburður inn í höfnina í Bakkafjörú er í beinu hlutfalli við breidd

hafnarmynnis sem aftur er í beinu hlutfalli við breidd ferjunnar. Æskilegt er því að breidd ferjunnar fari ekki yfir 12 m.

Hvað varðar lengd skipsins þá er tekið tillit til þess að siglingaleiðin tekur um hálf klukkustund og afkastagetu skipsins gagnvart flutningum á farþegum, bílum og öðrum flutningatækjum reynist 49 metra skip standast þær kröfur. Með tilliti til ofangreinds þá yrðu helstu mál ferjunnar með framagreindri flutningsgetu u.þ.b. :

Mesta lengd	$L_{OA}$	$\approx 49$ m
Lóðlínulengd	$L_{pp}$	$\approx 46$ m
Breidd	B	$\approx 12$ m
Djúprista	T	$\approx 3,5$ m

### 11.3. Ganghraði

Siglingaleiðin milli Vestmannaeyja og Bakkafjöru er um 6 til 7 sjómíllur. Ganghraði skips af ofangreindri stærð yrði að vera um 15 sjómíllur á klukkustund til að siglingatími gæti orðið um hálf klukkustund milli Eyja og Bakkafjöru.

### 11.4. Stjórnhæfni, véla- og skrufubúnaður

Stjórnhæfni skipakosts á svo þröngri siglingaleið með sterkum straumum innan rifs og hafnar er afgerandi fyrir öryggi siglinganna. Því verður að telja nauðsynlegt að búa skipið tveimur aðalvélum svo og tveimur stýrisskrúfum sem og öflugri bógskrúfu.

Afkastageta framdrifsvéla skipsins þurfa að vera nokkuð umfram afl til að ná framangreindum ganghraða ef miðað er við u.þ.b. 49 m. langt skip. Gera verður því ráð fyrir a.m.k. tveimur 1.500 kW aðalvélum. Þar að auki er nauðsynlegt að búa skipið a.m.k. þremur sjálfstæðum orkugjöfum/ljósavélum sem hver fyrir sig er nægjanlega afkastamikil til anna þörfum bógskrúfu undir fullu álagi.

Til að lágmarka áhættu siglinganna er nauðsynlegt að gera miklar kröfur til áreiðanleika framdrifsbúnaðar og bógskrúfu skipsins, bæði í krafti vandaðrar hönnunar og smíði þess, sem og ítarlegs fyrirbyggjandi viðhalds skipsins og búnaðar þess.

### 11.5. Öryggisbúnaður

Nauðsynlegt að búa skipið sérstaklega vel af öryggisbúnaði sem sé eins fljótvirkur og unnt er með tilliti til skamms viðbragðstíma ef skipið verður fyrir óhappi innan sandrifs við Bakkafjöru.

### 11.6. Flutningsgeta

Flutningsgeta ferjunnar Herjólfur er 524 farþegar og 68 einkabílar og þar af 18 á hengidekki. Herjólfur fer nú daglega tvær ferðir milli Vestmannaeyja og Þorlákshafnar. Miðað við fyrirhugaða ferðatíðni Bakkaferry (tvær ferðir á veturna og 4 ferðir á sumrin) og dreifingu farþega og fjölda bifreiða með Herjólfur yfir alla mánuði hvers árs væri nauðsynlegt að lágmarksfjöldi farþega hinnar nýju ferju færi ekki undir 250 og að ferjan gæti tekið allt að 36 fólkubíla í hverri ferð.

Miðað við hærri mörk breiddar einkabíla sem nemur 1,90 m og 5 m lengdar og leyfilegri hámarksbreidd flutningabíla upp á 2,60 m þá

myndi 4 akreina 45 m langt bíladekk anna flutningum 36 eða allt að 3x45 m akreinum flutningabíla. Hægt er að auka flutningsgetu einkabíla verulega með hengidekki en það er vart raunhæft þegar ferðatíðni er jafn mikil og sigling jafn stutt og gert er ráð fyrir. Auk þess myndi slíkur búnaður tefja losun og lestun skipsins.

Þar sem ferðartími er stuttur eru þarfir fyrir aðstöðu farþega miðaðar við sætasali og kaffistofu. Til að gera mönnun skipsins sem hagstæðasta og samtímis tryggja öryggi farþega er æskilegt að öll aðstaða farþega verði á einu dekki yfir bílapílfari.

Í ljósi helstu málsetninga skipsins getur leyfilegur farþegafjöldi ferjunnar verið vel yfir rúmlega 300 farþegum. Samkvæmt reglum um farþegaflutninga með skipum verður hér að taka tillit til af sætafjölda fyrir farþega, salernisaðstöðu, öryggis- og björgunarbúnaðar ásamt öryggismönnun skipsins.

### **11.7. Mönnun skipsins**

Öryggismönnun skipsins myndi taka mið af fjölda farþega eins og nú er gagnvart Herjólfri þannig að miðað mætti lágmarksmönnun og hámarksmönnun við fjölda farþega og reglur um mönnun farþegaskipa til að halda rekstrarkostnaði á skipinu í hófi. Vegna mönnunar ferjunnar og öryggisatriða verða öll farþegarými á einu þílfari yfir bílapílfari. Einnig ætti að hafa í huga að ferjan geti þurft að sigla til Þorlákshafnar en sigling þangað tekur um 2¾ klukkustundir.

### **11.8. Smíðakostnaður**

Smíðaverð farþegaferju mun taka mið af því að skipið uppfylli skilyrði ferju til að sigla á „hafsvæði B“ samkvæmt reglum um öryggi farþegaskipa í innanlandssiglingum, nr. 666/2001 og tilskipun Evrópusambandsins nr. 98/18/EC um öryggisreglur og staðla fyrir farþegaskip. Miðað við framangreint, kröfur um burðar- og afkastagetu, ganghraða og stjórnhæfni svo og flutningsgetu farþega og farartækja ásamt fullkomnum öryggisbúnaði má áætla verð ekjuferjunnar um 1.200 milljónir króna að teknu tilliti til kostnaðar vegna hönnunar og undurbúnings og 20% álags vegna ófyrirséðra útgjalda.

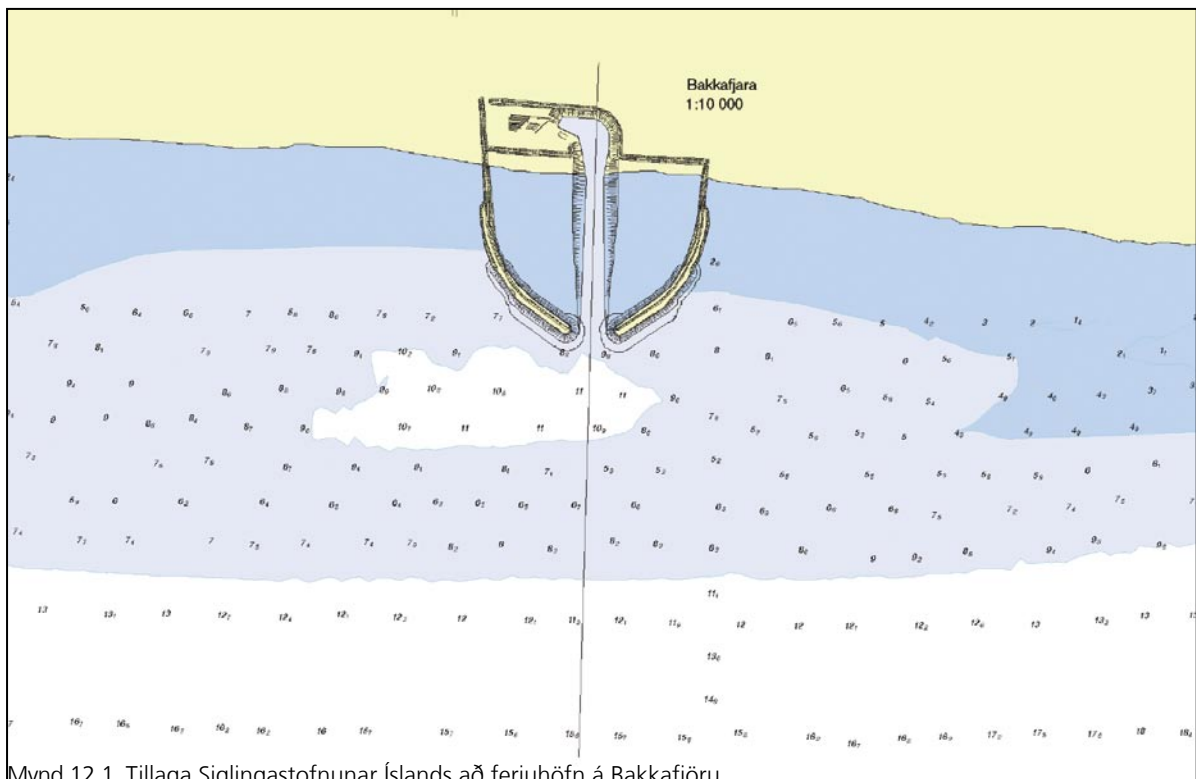
### **11.9. Rekstrarkostnaður**

Árlegur rekstrarkostnaður ætlaðar Bakkaferju miðað við skip á borð við það sem að framan er lýst sem skilar um 1.100 ferðum á ársgrundvelli frá Vestmannaeyjum til Bakkafjöruhafnar er áætlaður um 175–200 milljónir króna. Hér er miðað við forsendur rekstrar eins og olíukostnað, tryggingar, hafnagjöld, launakostnað, viðhaldskostnað og stjórnunarkostnað.

## 12. Lýsing á ferjuhöfn á Bakkafjöru og helstu hönnunarsjónarmið

Rannsóknir við Bakkafjöru eru nú komnar í svipaðan farveg og þegar unnið var að rannsóknnum á úrbótum á aðstæðunum við Hornafjarðarós, Þorlákshöfn og á innsiglingunni til Grindavíkurhafnar enda eru þessi verkefni mjög flókin með háar öldur og strauma og efnisburð. Því þarf að beita bæði líkantilraunum og reiknilíkönum og meta niðurstöður á grundvelli reynslu þeirra sem best þekkja til.

Ef að framkvæmdum verður þarf ýtarlegri rannsóknir á efnisburðinum við ferjuhöfnina til að geta sagt til um hegðun efnisburðar framhjá hafnarmynninu og þar með breytingar á legu strandarinnar næst ferjulæginu. Jafnframt þarf að mæla öldustefnur ásamt öldum í nokkra mánuði til að kvarða þá líkanreikninga. Endanleglega brimvarnargarða ræðst síðan af niðurstöðum þessara reikninga. Um verður að ræða minni háttar breytingar á legu brimvarnargarðanna. Talið er að þessar breytingar á legu garðanna muni breyta litlu um mat á kostnaði við byggingu brimvarnargarðanna. Þessum rannsóknnum verður hægt að ljúka undir lok ársins 2006.



Mynd 12.1. Tillaga Siglingastofnunar Íslands að ferjuhöfn á Bakkafjöru

Á yfirlitmynd 12.1 er sýnd teikning af fyrirhugaðri ferjuhöfn ásamt aðsiglingu og á yfirlitmynd 12.2 er ferjuhöfnin sýnd ásamt aðkomuleiðum á landi og nálgægum fyrirstöðugarði sem mun hindra að Markarfljót valdi skemmdum á ferjuhöfninni. Eins og áður er komið fram er nauðsynlegt að koma í veg fyrir að Markarfljót færir mikið til vesturs eins og fljótið hefur oft gert. Því er lagt til að fyrirstöðugarðar sem Vegagerðin og Landgræðsla hafa byggt verði framlengdir niður að ósnum.

Fyrirstöðugarðurinn er byggður úr mól úr Markarfljóti og völdu stórgrýti. Stórgrýti og kjarnagrjót ofan frá Seljalandi og Drangshlíð sem flutt verður í ferjuhöfnina verður flutt niður eftir fyrirstöðugarðinum og á yfirlitsmyndinni sést einnig vegtengingin milli fyrirstöðugarðsins og hafnarinnar. Líkur eru á að gerð verði bráðabirgðabrá yfir Markarfljót til að geta nýrr stórvirk flutningatæki við byggingu ferjuhafnarinnar. Þjóðvegurinn niður að Bakkaflugvelli verður væntanlega framlengdur austan flugvallar niður að ferjuhöfninni.

Umhverfis hafnarsvæðið verða byggðar manir til að hindra bæði særok og sandfok. Umhverfis hafnarsvæðið þarf að hækka landið með því að dæla efni úr innsiglingarennunni, allt að 280.000 m<sup>3</sup>, upp á land og er lagt til að stórt svæði umhverfis höfnina verði síðan grætt upp til að hefta sandfok. Á sínum tíma gekk ágætlega að græða upp sandinn framan við í Vík í Mýrdal til að koma í veg fyrir sandfok. Var það verkefni samstarfsverkefni Landgræðslunnar, Siglingastofnunar og Vegagerðarinnar. Í ljósi þeirrar reynslu sem þar fékkst er ekki ástæða til að ætla annað en að unnt verði að hefta sandfok í kringum ferjuhöfn á Bakkafjöru.

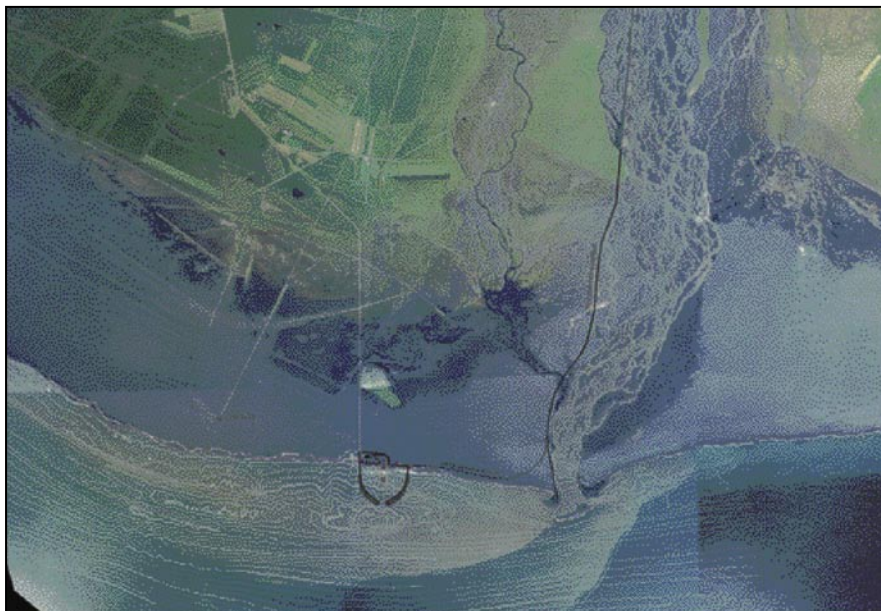
Inni á hafnarsvæðinu verður geymslusvæði fyrir vöruflutninga svo sem gá mavöllur og önnur aðstaða sem til þarf. Bílastæði verða fyrir þá sem vilja skilja bílinn eftir og afgreiðsla fyrir farþega með landgöngubrú eins og er í Vestmannaeyjum og Þorlákshöfn. Ferjulægið sjálft verður hefðbundið ferjulægi með ekjubrú og stálpílskanti. Viðlegukanturinn verður um 65 m langur með 15 m breiðum gafli til að snúa á og með og viðlegudýpi verður 5,5 m. Framan við ferjuhöfnina verður 80 m snúningsrými og síðan tekur við 500 m löng innsiglingarena með 5,5 m dýpi næst höfninni og 7 m dýpi í ytri hluta hafnarinnar. Hönnun innsiglingarennunnar byggir á reynslunni af innsiglingarennunni til Grindavíkur en aldan lækkar mjög hratt inn rennuna þannig að öldugangur og sog í sjálfri ferjuhöfninni verður í lágmarki.

Lega og lengd garðanna tekur mið af að fleyta sandburðinum framhjá hafnarmynninu. Magn efnis sem inn í höfnina berst er í beinu hlutfalli við breidd hafnarmynnisins og því er gert ráð fyrir að ferjan verði ekki breiðari en 12 m. Breidd mynnis ferjuhafnarinnar ræðst af breidd ferjunnar, öldu- og veðurhæð og straumum eins og lýst er í kafla 10.3. Þannig er gert ráð fyrir 70 m breiðu hafnarmynni í núverandi áætlanum.

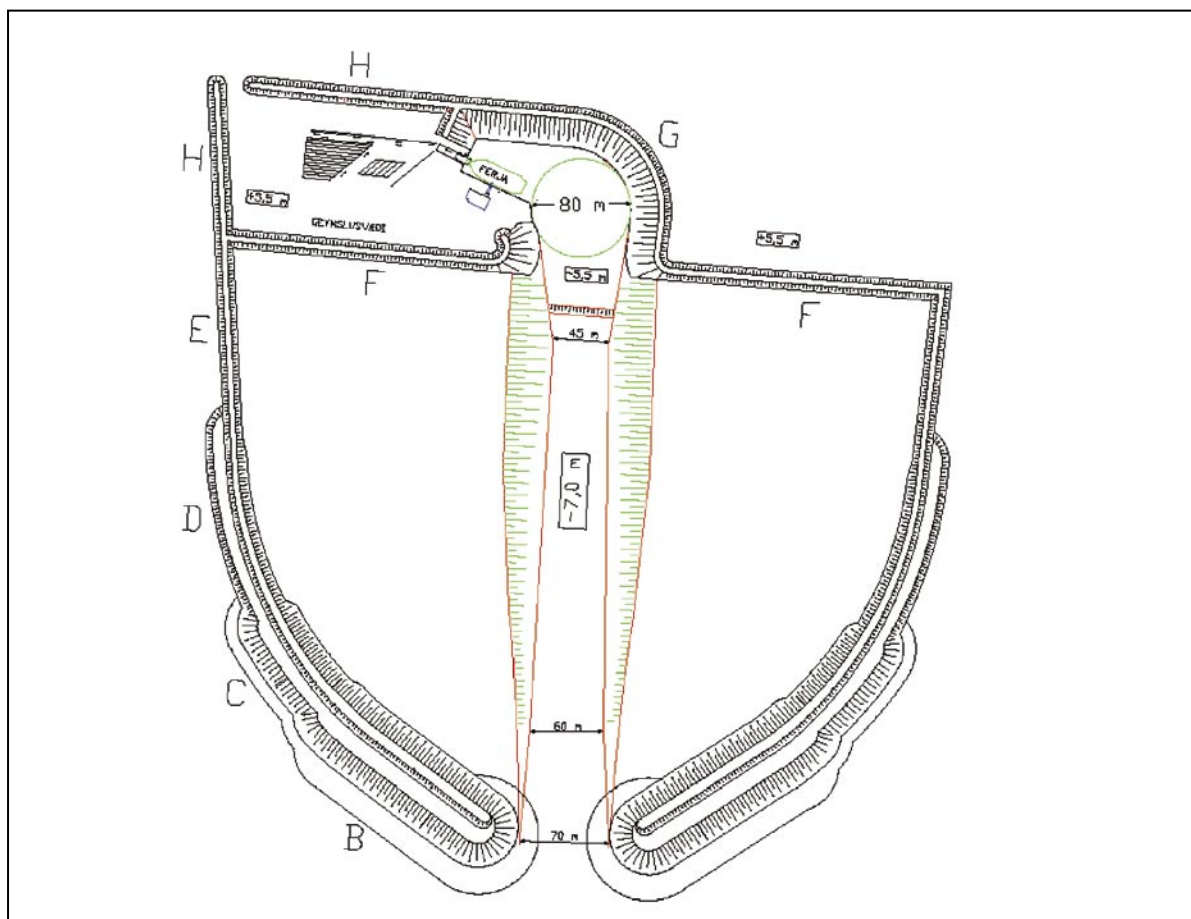
Brimvarnargarðarnir eru dæmigerðir íslenskir bermugarðar sem mikil reynsla er komin á. Þeir eru auðveldir í byggingu og viðhaldi. Til að valda sem minnstri röskun á náttúrulegum aðstæðum er gert ráð fyrir að byggja báða garðana samtímis út til enda úr kjarnagrjóti á skömmum tíma, einni til tveimur vikum. Til að það geti tekist þarf áður að vera búið að flytja miklar birgðir af kjarnagrjóti niður að ferjulæginu. Þessi aðferð var reynd við byggingu Austurfjörugarðsins í Hornafjarðarós í smástreymi og reyndist þar mjög vel. Síðan verður stórgrýti lagt út til að verja kjarnagrjótið og brimvarnargarðarnir byggðir á einu sumri.

Hluti af efninu sem berst fram hjá hafnarmynninu mun berast inn um hafnarmynnið og er reiknað með að rúmlega 20.000 m<sup>3</sup> af sandi berist inn að jafnaði á ári. Sandur sem berst inn um hafnarmynnið mun setjast í innsiglingarennuna og inn á bak við brimvarnargarðana. Ekki

verður þörf á viðhaldsdýpkun á hverju ári þar sem magnið ekki það mikið.  
Í höfninni þarf að hafa tiltækan allan nauðsynlegan öryggisbúnað.



Mynd 12.2. Staðsetning ferjuhafnar á Bakkafjöru, vegarstæði og fyrirstöðugarður.



Mynd 12.3. Tillaga Siglingastofnunar Íslands að ferjuhöfn á Bakkafjöru. Bermugarðar verja innsiglingarrennuna. Snúningssvæði er inni í ferjulæginu þar sem ferjan mun liggja við stálþilsbakka.

## 13. Líkantilraunir með skipslíkan og kvörðun grunnbrota í innsiglingunni

### 13.1. Inngangur

Frá síðastliðnu hausti hefur Siglingastofnun unnið markvisst að rannsóknnum sem taldar eru nauðsynlegar til kanna hvort hagkvæmt geti verið að halda uppi ferjusiglingum milli Vestmannaeyja og Bakkafjörú. Í nóvember 2005 var hafin bygging líkans af botninum undan Bakkafjörú í rannsóknastöð stofnunarinnar. Markmiðið með þessum líkantilraunum er að kanna siglingu ferju yfir sandrifið og inn í innsiglingarennu ferjuhafnar við Bakkafjörú ásamt því að kanna ölduhreyfingu innan hafnar og stöðugleika brimvarnagarða ferjuhafnarinnar.

Notuð er sama tækni og beitt var með góðum árangri við líkantilraunirnar af innsiglingunni til Grindavíkurhafnar á árinu 1997. Þannig er notað svipað mat og kröfur til innsiglingarinnar bæði hvað varðar talningu grunnbrota og siglingu fjarstýrðs líkanskipis. Notaðar eru meðal annars sömu öldur. Grunnbrot eru talin við mismunandi sjávarstöðu og ölduhæð.

Fjarstýrða líkanskipið sem notað var við tilraunirnar vegna innsiglingarinnar til Grindavíkurhafnar hefur nærri sömu mál og fyrirhuguð ferja.

Líkantilraunir hófust undir lok desember 2005 og mun ljúka í febrúar 2006.

### 13.2. Bygging líkans

Líkanið er af ferjuhöfninni var byggt í mælikvarða 1:60 eins og flest hafnarlíkön sem Siglingastofnun hefur unnið að. Þessi mælikvarði er það stór að hægt er að mæla ölduhreyfingu og stöðugleika brimvarnagarða auk þess að leggja mat á siglingu skipa með því að sigla fjarstýrðu líkanskipum. Í þessum mælikvarða eru lengdir og dýpi í líkani 1/60 hluti af því, sem þær eru í náttúrunni. Notað er Froude's líkanlögmál og samkvæmt því kvarðast þyngd í mælikvarða 1:60<sup>3</sup> eða 1 tonn í náttúrunni verður 4,63 grömm í líkani.

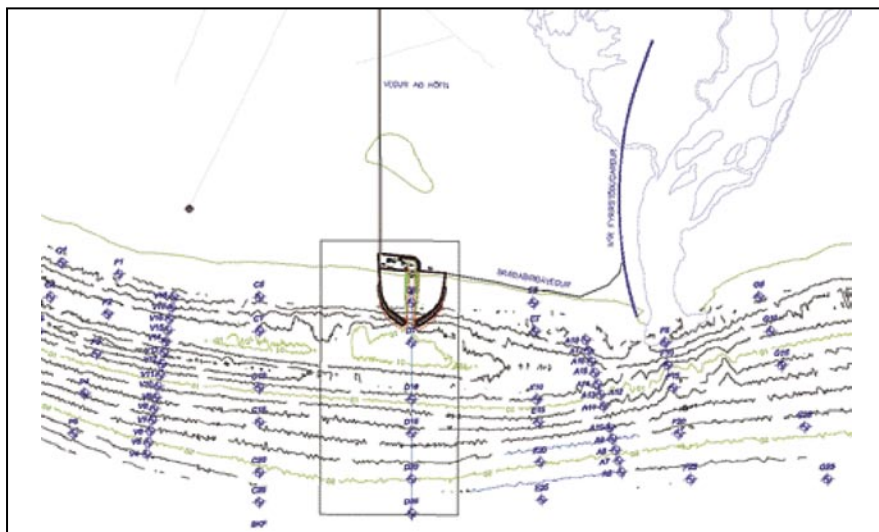
Tímakvarði er kvarðratrótin af 60 eða 1:7,75, þannig verða öldu- og skipshreyfingar 7,75 sinnum hraðari en í náttúrunni.

Mynd 13.2.1 sýnir yfirlit yfir land- og hafsvæði sem byggt var í líkaninu. Svæðið er valið þannig að þær botnbreytingar sem móta ölduna yfir sandrifið og álinn að ferjuhöfninni lenda innan líkansvæðisins. Gólfflöturinn er 20 x 40 m<sup>2</sup>, sem svarar til 1200 x 2400 m<sup>2</sup> í náttúrunni. Eins og fram kemur á mynd 13.2.1 eru jafndýpislínur um það bil samsíða á þessu svæði og var því ákveðið að byggja líkanið með samsíða jafndýpislínum eins og sýnt er á mynd 13.2.2. Á þeirri mynd sést að líkanið nær út að 20 m dýpi en ölduvélarnar eru á 25 m dýpi. Líkanið er byggt þannig að hægt er að stilla upp ölduvélum fyrir S, SA og SV ölduáttum.

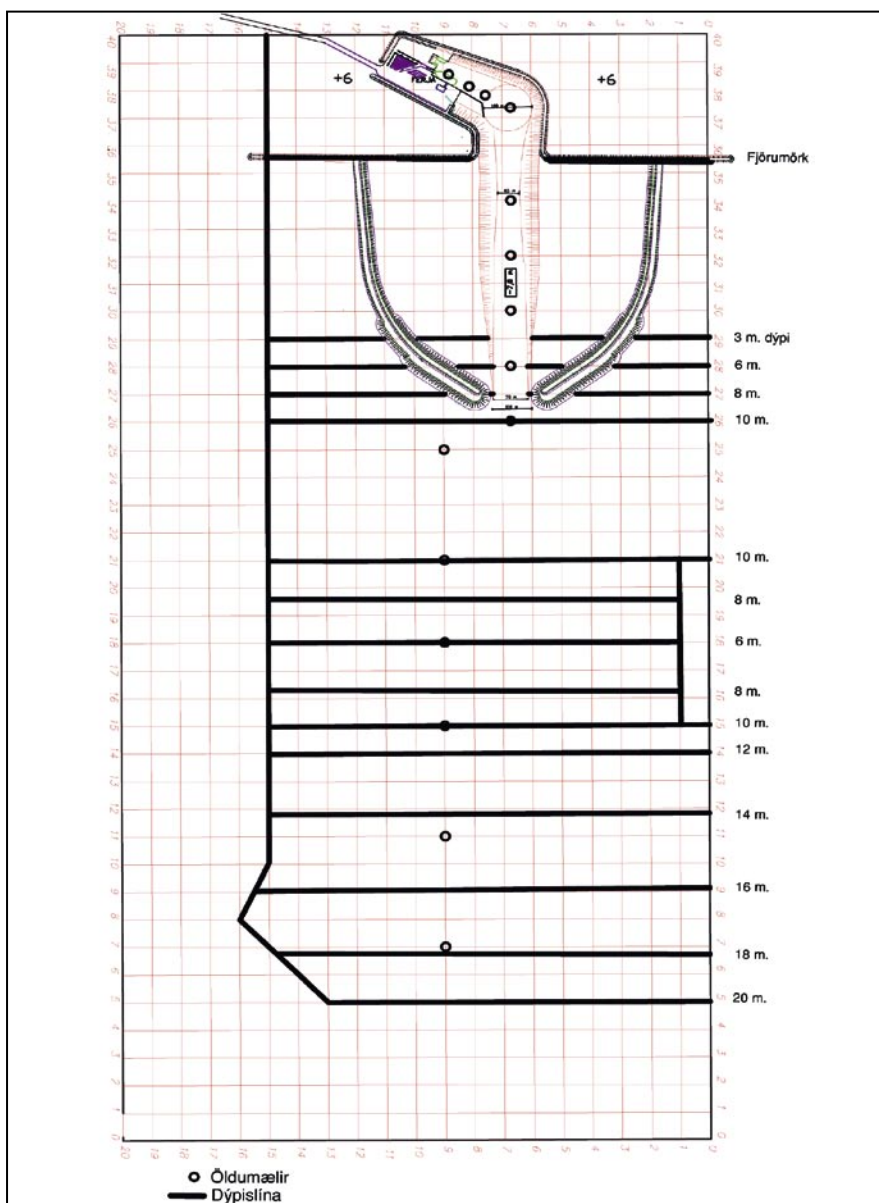
Botninn er gerður úr mól með 2 cm sandsteypu ofan á út að um 20 m dýpi. Nákvæm eftirlíking af botninum er fengin með því að leggja blikkstrimla í jafndýpislínur.

Við prófanir á brototalningu og siglingu líkanskipis var notað vatnsborð í líkani, sem svarar til meðalfjörú, +0,5 m, meðalsjávarhæðar +1,4 m og meðalflóðs +2.3 m.





Mynd 13.2.1. Afstöðumynd af líkansvæði og umhverfi þess. Reiknipunktur öldufarsreikninga sjást hér.



Mynd 13.2.2. Líkanið sem notað var við tilraunir Siglingastofnunar vegna ferjuhafnar á Bakkafjöru.



### 13.3. Öldugerðir og veður

Notaðar voru tvær 5,5 m breiðar ölduvélar. Þær voru staðsettar fyrir enda líkansins sem svarar til sunnan ölduáttar samkvæmt öldufarsreikningum. Þessi tæki geta framkallað náttúrulegar öldur. Á grunnu vatni er aldan svokölluð grunnvatnsalda, en þá er þekkt samband milli ölduhæðar og lárétts agnahraða öldunnar. Spaðar framan á tækjunum færast fram og til baka með mismundandi færslu og færsluhraða og framkalla náttúrulegar öldur í samræmi við mælda ölduhreyfingu.

Á mynd 13.2.2 er sýnd staðsetning öldumæla í líkani. Greiningatæki reiknar úr helstu kennistærðir öldunnar sem síðan eru notaðar við úrvinnslu gagna.

Við prófanir á siglingu líkanships voru sömu öldugerðir valdar og við líkantilraunirnar í Grindavík árið 1997. Stuðst var við tvær öldugerðir sem mældust í suðvestan veðrum. Leitast var við að finna suðvestan veður þegar ölduhæð var sem næst 6,0 m. Þessar veðuráðstæður voru á sínum tíma valdar í samvinnu við Sverri Vilbergsson hafnarstjóra í Grindavík. Fyrir valinu urðu veðrin frá 10. október 1994 milli klukkan 1800 og 2100 síðdegis og veðrið frá 4. febrúar 1994 milli klukkan 0300 og 0600 um morguninn. Stórstraumsflóð var í fyrra veðrinu, 1994.10.06.18/21, klukkan 1830 og ölduhæð á dufl  $H_s = 5,5$  m og  $T_p = 14,3$  sek og  $T_z = 11,4$  sek og klukkan 21 var ölduhæð  $H_s = 6,15$  m,  $T_p = 14,3$  sek og  $T_z = 11,6$  sek. Í seinna veðrinu, 1995.02.04.03/06, var smástraumfjara klukkan 0430. Ölduhæð við dufl var klukkan 0300  $H_s = 5,87$  m,  $T_p = 14,4$  sek og  $T_z = 10,0$  sek en klukkan 0600 var  $H_s = 5,88$  m,  $T_p = 15,3$  og  $T_z = 10,1$  sek.

Veður af þessu tagi eru algeng og í þeim er sambland af vind- og undiröldu.

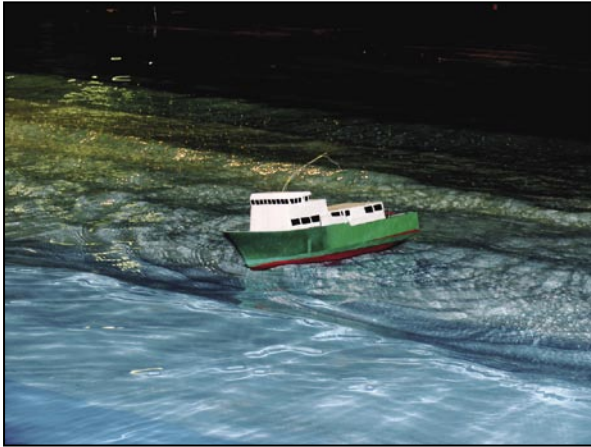
### 13.4. Skipslíkan

Í kafla 11 er mesta lengd ferjunnar áætluð um 49 m, breidd um 12 m og djúprista um 3,5 m. Leitast var við að kvarða líkanið sem næst ferjunni og var leitast við að kvarða byrjunarstöðugleikann sem næst GM um 1,0 m.

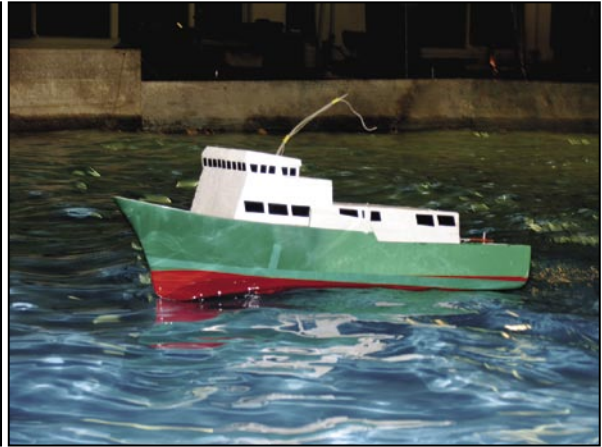
Skipslíkanið er eftirlíking af skuttogara með mestu lengd 50,1 m, breidd 10,8 m. Við kvörðun líkansins reyndist djúpristan vera um 4,0 m miðað við  $GM = 1,0$  m. Sveiflutími veltu reyndist vera 9,8 sekúndur.

Við þessi hleðsluskilyrði reyndist líkanið vera ágætist sjóskip og telst fara vel í sjó líkt og krafa verður gerð um til fyrirhugaðrar ferju. Hér eftir kallast líkanskipið ferjan.

Hraði ferjunnar er að jafnaði um 6 hnútar á klukkustund innan ferjuhafnar og í innsiglingarennunni og um 8 hnútar utan hafnar. Hefst hver ferð í ferjulæginu og er siglt út hafnarmynnið og yfir sandrifið og þaðan út fyrir 15 m jafndýptarlínu og til baka.



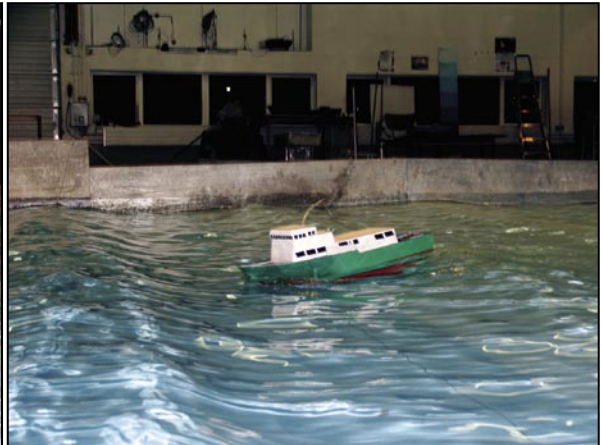
Mynd 13.4.1.



Mynd 13.4.2.



Mynd 13.4.3.



Mynd 13.4.4.



Mynd 13.4.5.



Mynd 13.4.6.

Á myndum 13.4.1–13.4.6. er skipslíkanið sem notað var við tilraunir vegna ferjuhafnar á Bakkafjöru á siglingu í mismunandi sjólagi.

Siglingaleiðin frá ferjuhöfninni út að 15 m jafndýptarlínunni er um 1750 m löng. Siglingin skiptist þannig að um 750 m eru innan ferjuhafnar, um 500 m eru frá hafnarmynni upp á hárfið og tæpir 500 m þaðan út á 15 m jafndýptarlínuna. Er þá miðað við dýptarmælingu frá vorinu 2005. Állinn er um 300 m breiður þar sem dýpið er 10 m eða

meira en þar sem dýpið er minna en 10 m er sandrifið einnig um 300 m breitt. Það eru um 180 m frá 10 m utan sandrifs upp að minnsta dýpi á sandrifinu.

Til samaburðar er lengd innsiglingarinnar til Grindarvíkurhafnar frá Miðbakka út að 15 m jafndýptarlínunni um 1400 m og þar af innsiglingarennan sjálf um 880 m.

Minnsta dýpið á sandrifinu er í líkaninu 6,5 m á fjöru, 7,4 m á meðalsjárhæð og 8,3 m á flóði.

Almennt má segja að mun auðveldara sé að sigla á móti öldunni og þegar siglt er um grunnbrot eru veltibrot afgerandi. Styrkleiki veltibrotaræðst af ölduhæð, sjávarstöðu og ölduátt. Leitast er við að finna viðmiðunarmörkin þar sem innsigling telst opin eða lokuð ferjunni. Mjög erfitt er að meta áhrif veltibrotar með öðrum hætti en út frá siglingu skipa.

Við siglingu eru það einkum veltibrotin og öldulengdin sem skipta máli. Þegar öldur eru mun lengri en skipið er hætta á að skipin fari verulega út af stefnu. Æskilegast er að hafa öldulengdina heldur lengri en skipslengdina. Ef miðað við 7 m dýpi og 9 sekúnda öldu sem er algengust er öldulengdin um 75 m sem er afar heppilegt miðað við 50 m langt skip. Við þetta hlutfall dregur úr hættu á að skrufan og stýrið verði óvirkt vegna loftblöndunar sem á sér stað í brotinu þegar öldur verða of brattar og brotna undir skipið að aftan.

Vindálag getur haft veruleg áhrif á rek stærri skipa með mikið vindfang. Vindalagið hefur einkum áhrif á skip sem sigla einungis með kjölfestu og vistir. Þá getur skipið bæði hallast talsvert undan vindálaginu og rekið.

Þegar líkanskipi er fjarstýrt þarf að taka tillit til eftirfarandi þátta. Líkanið er kvarðað samkvæmt Froude's líkanlög máli. Lengdarkvarði er 1:60 en tímakvarði 1:7,75. Þannig verður stjórnandinn að svara 7,75 sinnum hraðar en í raunveruleikanum. Með þjálfun er hægt að nálgast rétta svörun. Í stað þess að vera um borð í sínu skipi er stjórnandinn í um 1,8 m hæð yfir skipinu eða sem svarar 100 m þannig að stjórnandinn hefur ekki sömu aðstæður til að meta stefnubreytingar en á hinn bóginn hefur hann heildar yfirsýn yfir allar aðstæður bæði fjarlægð í ólög og strauma. Stjórnandi skipslíkans getur ekki numið stefnubreytingu sem sést á bóg skipsins um borð þannig að stjórnandi líkansins hefur alls ekki sömu aðstæður til að stjórna sínu skipi eins og skipstjóri um borð í raunverulegu skipi.

Jafnframt eru nokkrir mannlegir þættir sem taka verður tillit til svo sem að það tekur 7,75 sinnum skemmri tíma að sigla líkansskipinu en í raunveruleikanum. Hver sigling er því langtum styttri en við raunverulegar aðstæður. Hins vegar getur líkanstjórnandi aldrei slakað á árvekni sinni og með þreytunni sem óhjákvæmilega kemur dregur úr athygli og hætta á mistökum eykst. Í líkaninu er hægt að endurtaka siglingu við sömu skilyrði þannig að áhrif þjálfunar og æfinga vega þungt.

Ofan á þetta bætist að skip bæði í líkani og við raunverulegar aðstæður bregðast misjafnlega við stjórn tökum og sjólagi og öðrum veðuraðstæðum. Þegar tekið er tillit til takmarkana bæði hafnar- og skipslíkans og fræðilegu mati beitt á þær upplýsingar sem fást með líkantilraunum er talið að sigling með fjarstýrðu skipslíkani í hafnarlíkani geti

gefið traustar og ábyggilegar upplýsingar um raunverulegar aðstæður og hegðun raunverulegs skips.

Rannsóknarmenn lögðu mat á hverja keyrslu í líkaninu og gáfu umsögn um hana. Leitast var við að finna viðmiðunarmörk fyrir siglingu inn og út innsiglinguna miðað við siglingahæfni og sjóhæfni ferjunnar ásamt fjölda brota á siglingaleiðinni og styrkleika veltibrimanna.

Með öldumælingum, talningu grunnbrota og siglingu skipa er komin grunnur til að meta öryggi skipa við siglingu á grunnsævi. Tilraunir með siglingu skipslíkana auka skilning á hegðun skipa í öldum og í veltibrotum og leiðir siglingin einkar vel í ljós strauma og staðbundin straumköst.

Ekki tókst að finna heppilega aðferð til að mæla staðsetningu skipslíkansins á siglingu undan ferjuhöfninni þannig að hægt væri að endurtaka siglingu nákvæmlega og bera ferðirnar saman. Í þess stað er stuðst við umsögn Sigmars Þórs Sveinbjörnssonar sem stýrði skipslíkaninu en hann er reyndur skipstjórnarmaður og var m.a. um árabíl stýrimaður á Vestmannaeyjaferjunni Herjólfu.

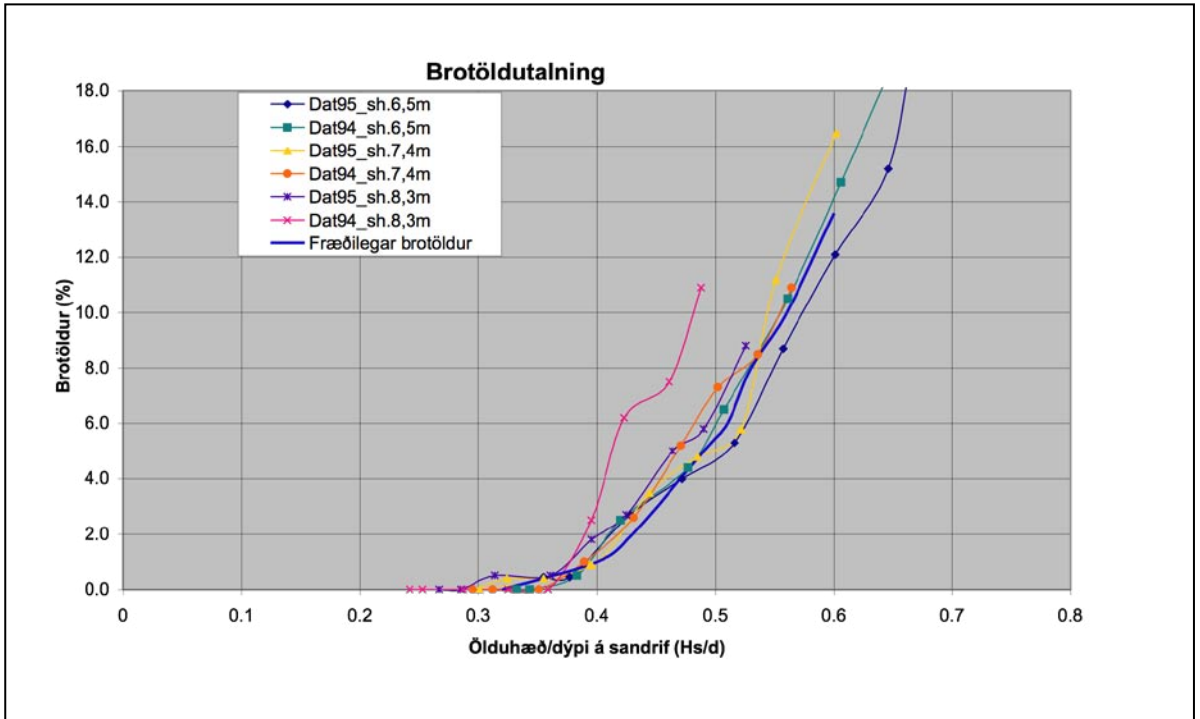
### **13.5. Öldumælingar og brotöldutalning**

Daglegar prófanir í líkaninu voru gerðar af Sigmari Þór Sveinbjörnssyni í samvinnu við Gísla Viggósson og aðra starfsmenn Siglingastofnunar. Mat á siglingu líkans og brotatalningar voru gerðar í samvinnu við Baldur Bjartmarsson verkfræðing á Siglingastofnun.

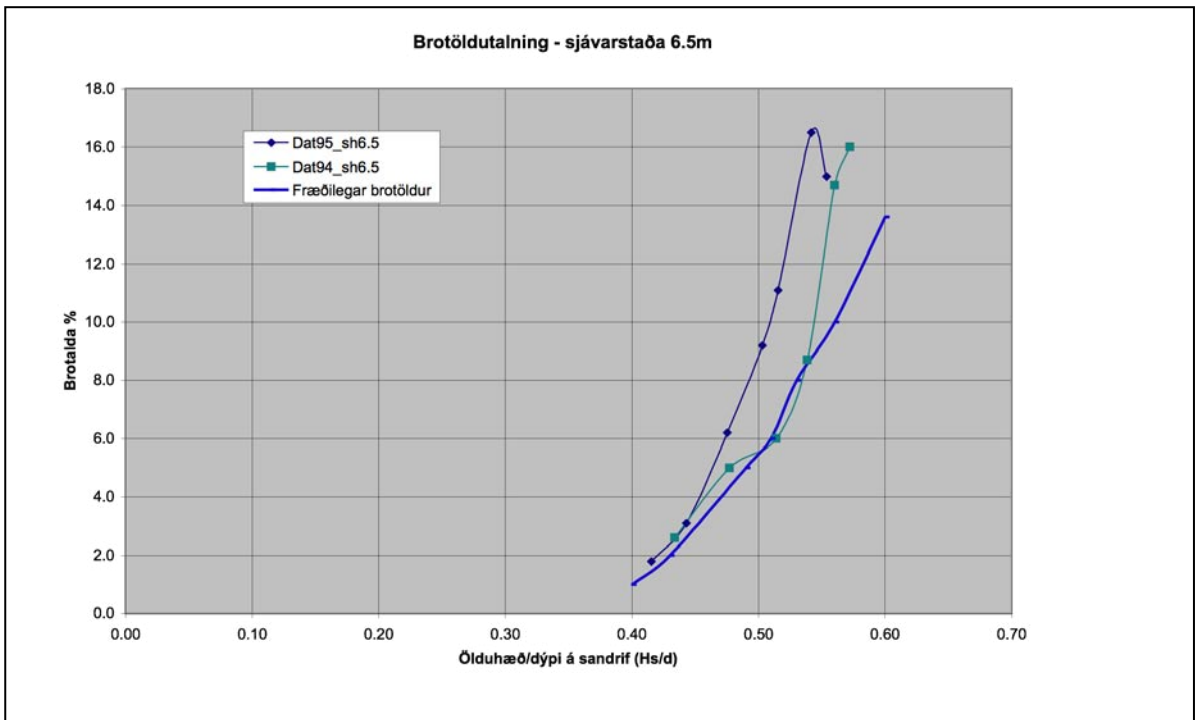
Talning brota fór þannig fram að taldar voru öldur sem brotnuðu fram fyrir sig, veltibrot, en ekki þær öldur sem brotna við að springa í toppinn þar sem þær eru taldar mun hættuminni. Taldar voru brotöldur á svæðinu innan við 10 m dýpi og einnig var skráð niður ef öldur brotnuðu frammi við 10 m. Þá var skráð hvenær tvær eða fleiri öldur brotnuðu í röð ásamt fjölda brota í prósentum. Mælingar voru endurteknar fyrir hvora öldugerðina og ölduhæð hækkuð eftir hverja keyrslu. Það sem einkennir grunnbrot er að við smá hækkun á ölduhæð fjölgar brotum ört.

Öldumælingar í innsiglingalínunni og brotöldutalningar voru endurteknar einu sinni fyrir hverja sjávarstöðu og öldugerð. Fjöldi brota í prósentum er síðan teiknaður sem fall af hlutfallinu milli ölduhæðar og dýpis af einnig ölduhæð og eru niðurstöður sýndar á myndum 13.5.1–13.5.8. Jafnaframt er teiknaður inn á myndinar fjöldi brota í prósentum samkvæmt jöfnunni sem gefin er upp í kafla 9 um nauðsynlegt lágmarks dýpi á rifinu. Aðeins ein mæling sker sig úr og er sú mæling sýnd á mynd 13.5.1 að öðru leyti teljast þessar niðurstöður marktækar og segja til um fjölda brotalda.

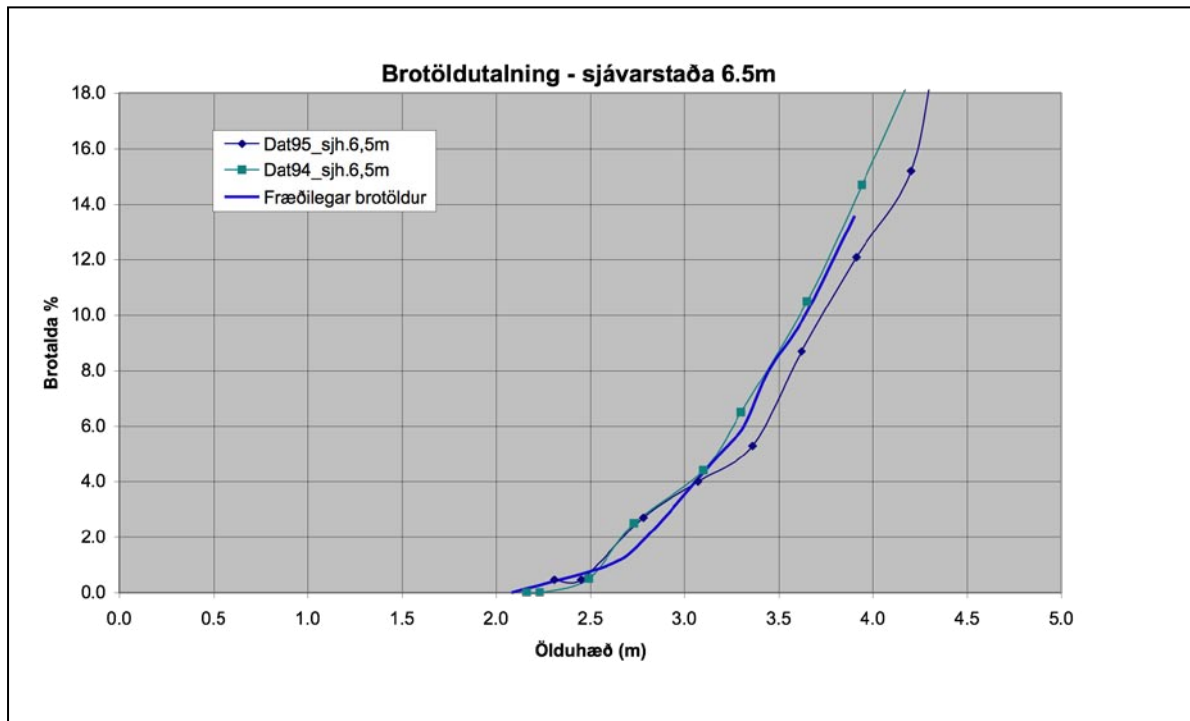
Niðurstöður brotöldutalninga eru að öldur brotna á 180 m svæði innan 10 m jafndýptarlínu að 6 m dýptarlínunni efst á sandrifinu. Hlutfallið milli kenniöldu á 10 m dýpi og heildardýpis er frá 0,4 þegar samfelld brot byrja innan 10 m dýpisins. Á sama tíma er hlutfallið við öldumæli á 6 m dýpi um 0,49–0,54 eða að jafnaði um 0,52 sem samkvæmt mati á fjölda brota er um 7% aldnanna. Niðurstöður mælinga eru að brotöldufjöldinn er frá 6,3–11,1% eða að jafnaði 8,9%. Hafa ber í huga að annars vegar er um fræðilegt mat að ræða og hins vegar sjónmælingar þannig að munurinn telst innan skekkjumarka. Samantekt á þessum niðurstöðum er sýnd á myndum 13.5.1.–13.5.8.



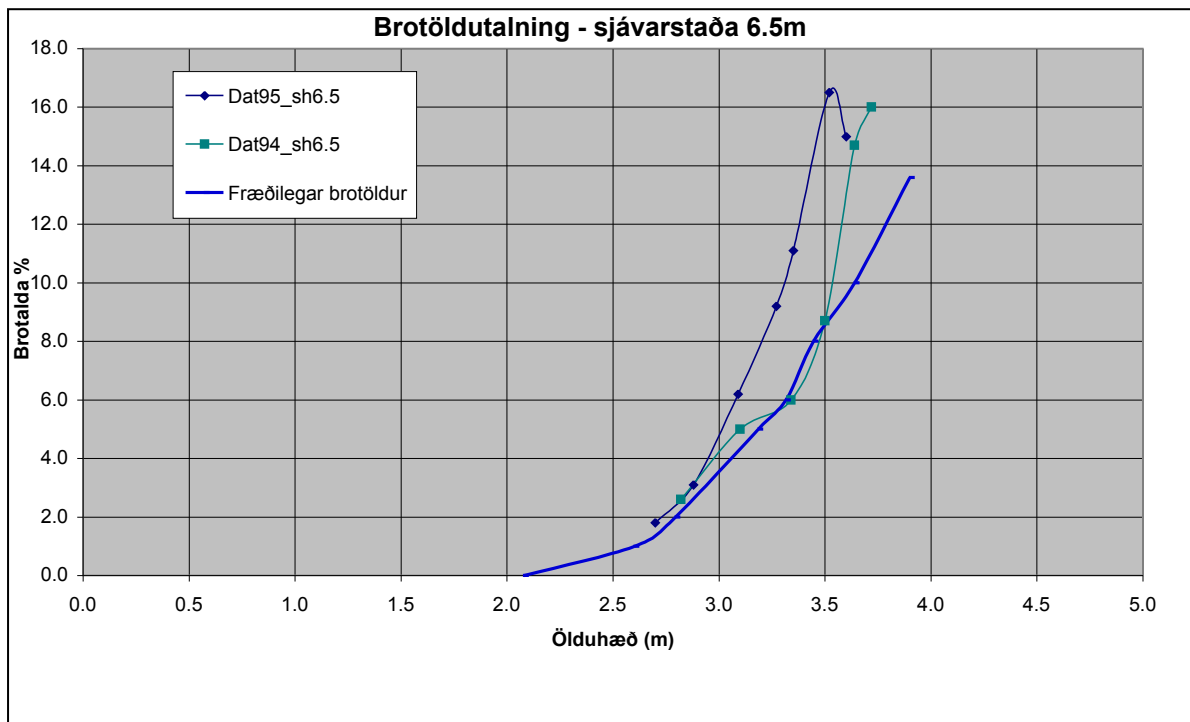
Mynd 12.5.1. Brotöldutalning 5.–9. jan. 2006. Sjávarstöður 6,5, 7,4 og 8,3 m.



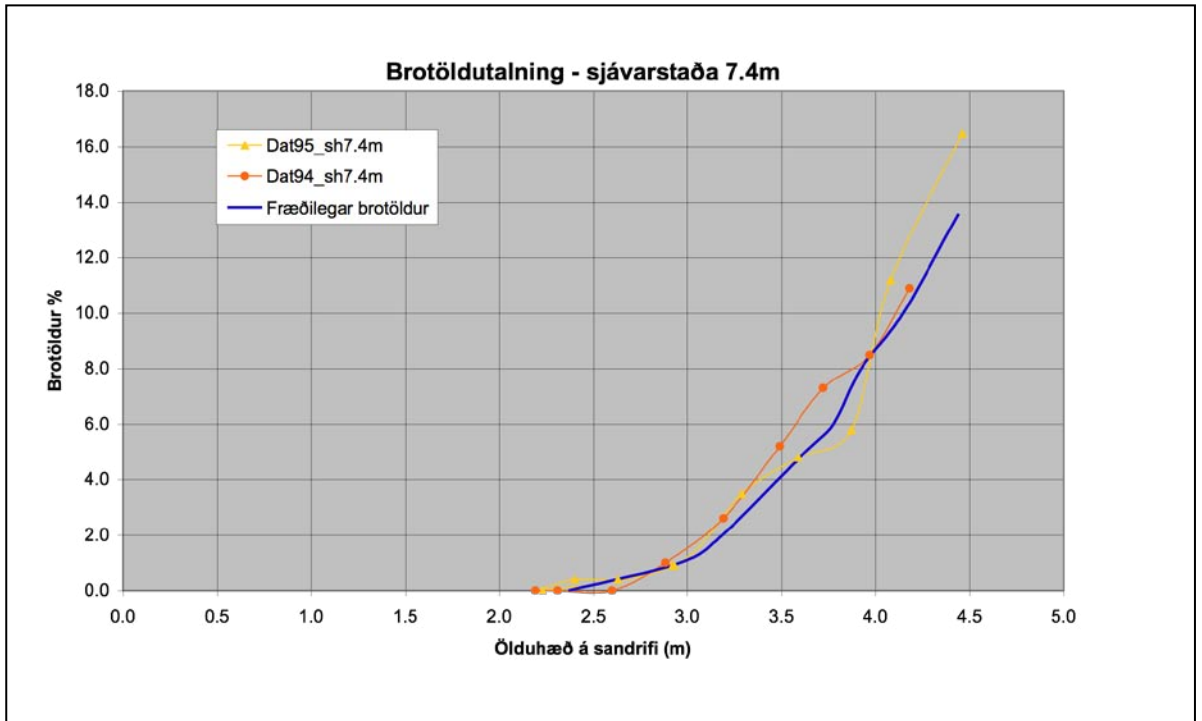
Mynd 12.5.2. Brotöldutalning 12.–16. jan. 2006. Sjávarstöður 6,5, 7,4 og 8,3 m.



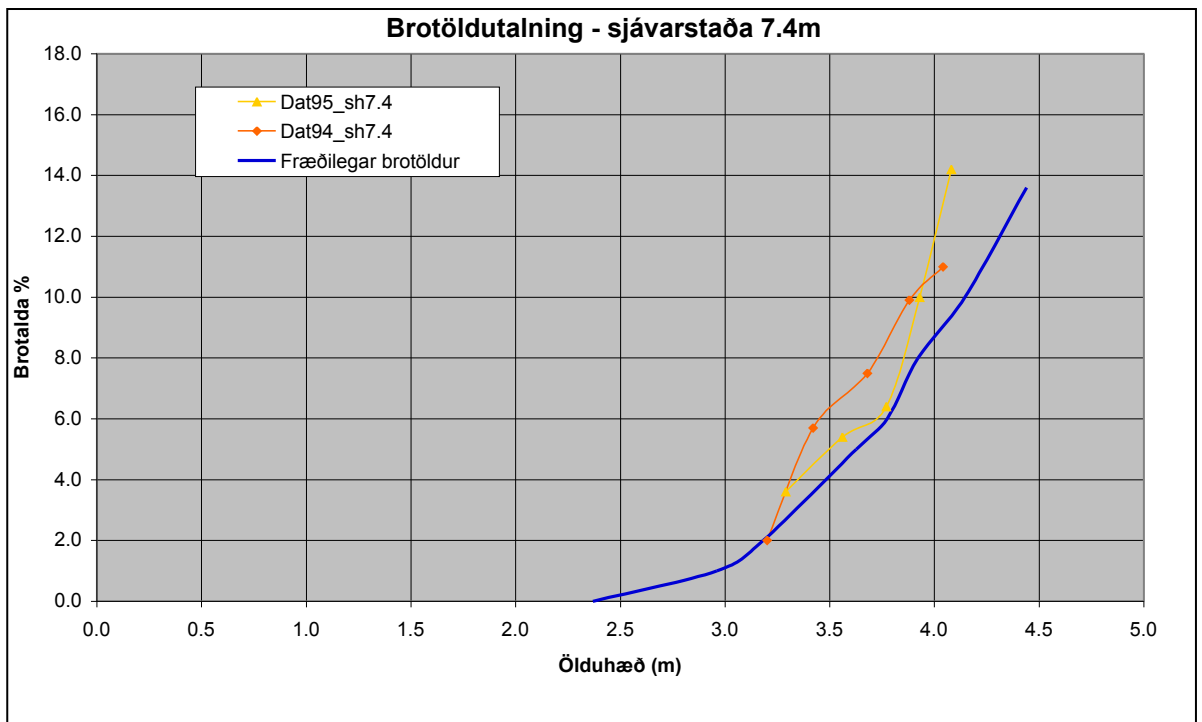
Mynd 12.5.3. Brotöldutalning 5.–9. jan. 2006. Sjávarstaða 6,5 m.



Mynd 12.5.4. Brotöldutalning 12.–16. jan. 2006. Sjávarstaða 6,5 m.

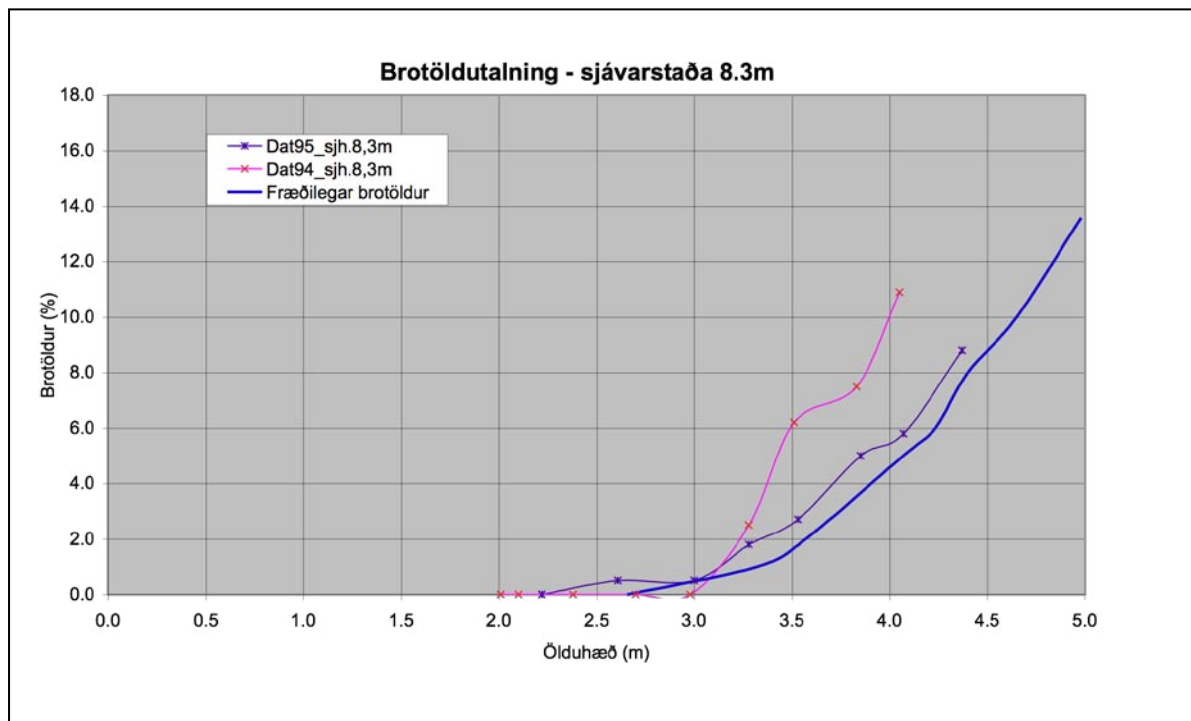


Mynd 12.5.5. Brotöldutalning 5.–9. jan. 2006. Sjávarstaða 7,4 m.

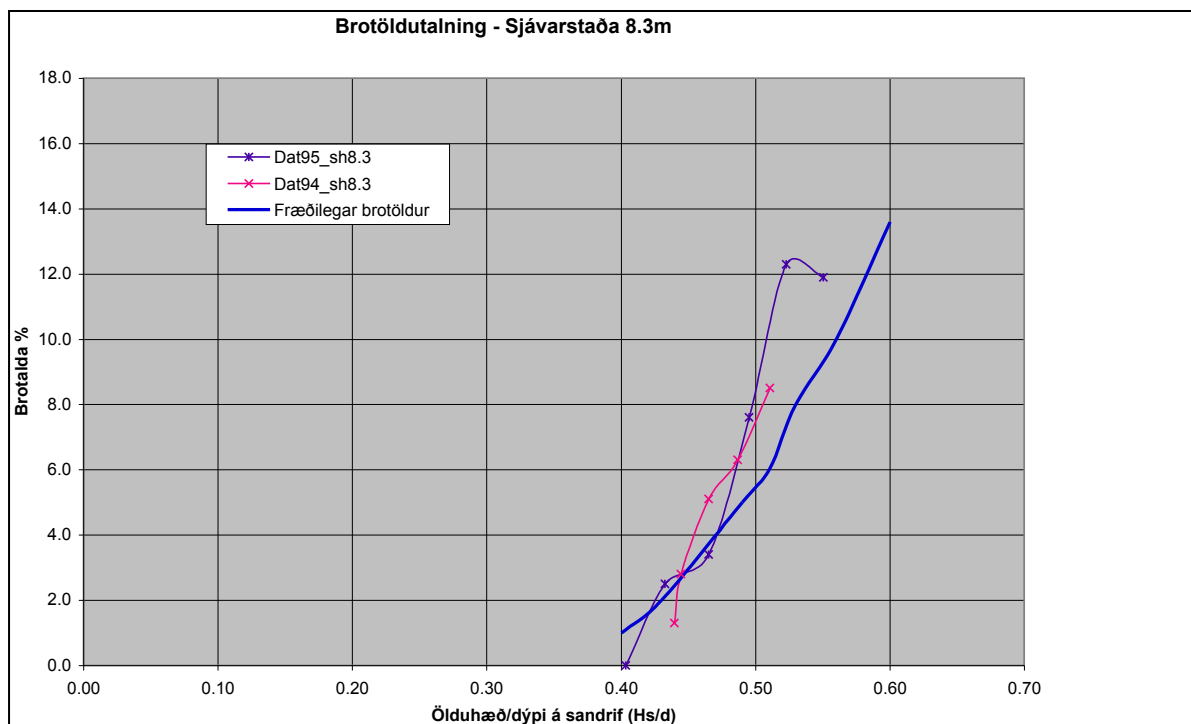


Mynd 12.5.6. Brotöldutalning 12.–16. jan. 2006. Sjávarstaða 7,4 m.





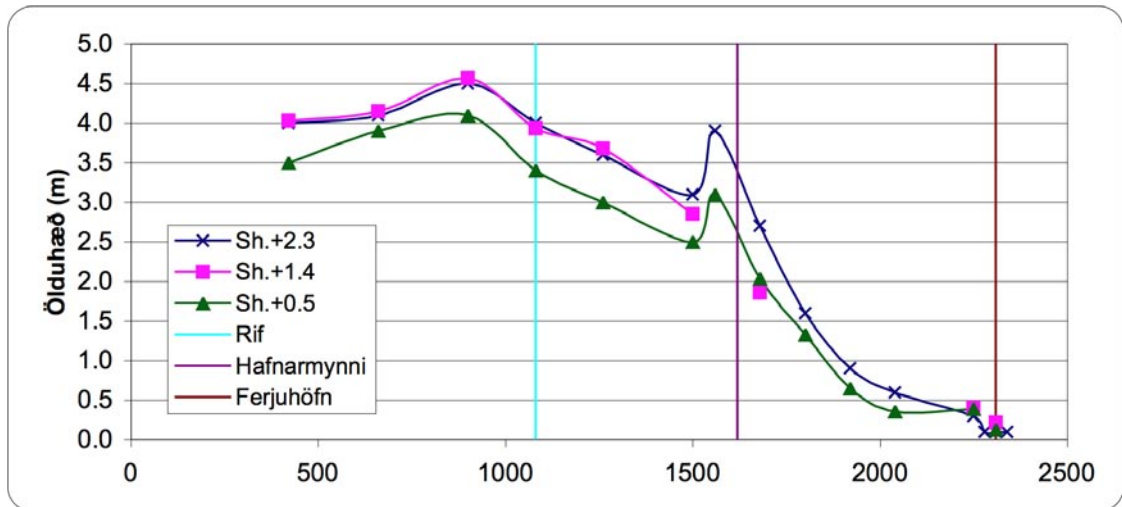
Mynd 12.5.7. Brotöldutalning 5.–9. jan. 2006. Sjávarstaða 8,3 m.



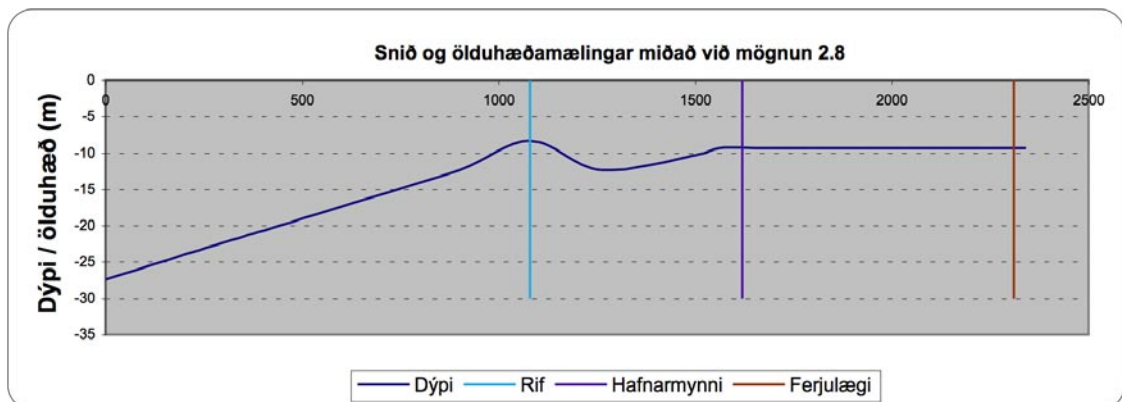
Mynd 12.5.8. Brotöldutalning 5.–9. jan. 2006. Sjávarstaða 8,3 m.

### 13.6. Öldumælingar í innsiglingarrennuni

Á myndum 13.6.1. og 13.6.2 sést yfirlit yfir staðsetningu öldumæla í líkaninu. Mældar voru öldur á fjöru, +7,4 m og á flóði +8,3 m. Auk þess voru mældar öldur á hönnunarstöðu +3,4 m. Niðurstöður þessara mælinga eru sýndar á myndum, þar sést hve aldan lækkar ört inn innsiglingarennuna og inni í ferjulæginu er hún innan marka.



Mynd 13.6.1. Öldumælingar við viðmiðunarmörk frá ölduvél inn í ferjulægi. Viðmiðunarmörk ölduhæða á 10 m dýpi utan rifs er um 4,5 m og um 4,0 á rifinu á flóði og hálf-föllnu (mögnun 2,8) en 4,0 m og 3,5 m á fjöru. Athygli skal vakin á hækkun öldunnar í hafnarmynni sem verður vegna fyrirstöðu af mannvirkinu.



Mynd 13.6.2. Þversnið í líkanið af ströndinni út á 25 m dýpi. Snið miðast við sjávarstöðu + 2,3 m.

### 13.7. Siglingar skipslíkans

Talsverður tími fór í að kvarða líkanið og var kvörðun líkans ekki ásættanleg fyrir en um 13. janúar 2006. Stuttu síðar tókst að kvarða líkanið endanlega og er talið að sjóhæfni ferjunnar hafi lítið breyst eftir það þó svo endanleg kvörðun færi ekki fram fyrir en um 18. janúar 2006.

### 13.8. Tilraunasiglingar í Bakkafjörulíkani 13. janúar 2006

Búið að gera breytingar á skipslíkaninu sem gera það eðlilegra. Það skal tekið fram að ekki voru vandkvæði við að sigla skipinu inn í höfnina sjálfa heldur voru það eingöngu brot á og við sandrifið sem orsökðu varasamar aðstæður.

**Tafla 13.8.1. Umsögn um siglingar skipslíkans í Bakkafjörulíkani, mat á brotöldum og öldumælingar**

#### Sjávarhæð 2,3 m (flóð)

95040203.grv

Mögnun	Við ölduvél d=-20.3m	Framan við rif d=- 12.3m	Á rífi d=- 8.3m	Aftan við rif d=- 12.3m	Brotalda %	Aths. rannsakanda
2,2	3,4	3,9	3,7	3,3	1,3	Innsigling í lagi
2,4	3,3	3,9	3,7	3,4	2,8	Innsigling í lagi, einstaka smá brot
2,6	3,7	4,2	3,9	3,5	5,1	Innsigling í lagi en stöku brot
2,8	4,0	4,5	4,0	3,6	6,3	Hægt að sigla inn með því að sæta lagi, skipið tekur inn á sig ef það lendir í brotum, varasamt að sigla inn.
3,0	4,3	4,5	4,2	3,8	8,5	Hættuástand, mjög varasamt að sigla inn vegna brotsjóa á rífinu, allt að fjögur brot koma í röð. Hugsanlega hægt að velja lag til að komast inn.

94100618.grv

Mögnun	Við ölduvél d=-20.3m	Framan við rif d=- 12.3m	Á rífi d=- 8.3m	Aftan við rif d=- 12.3m	Brotalda %	Aths. rannsakanda
2,2	3,0	3,5	3,4	3,1	0,0	Innsigling í lagi
2,4	3,3	3,8	3,6	3,3	2,5	Innsigling í lagi
2,6	3,8	4,2	3,9	3,5	3,4	Innsigling í lagi en stöku brotöldur
2,8	4,0	4,5	4,1	3,7	7,6	Orðið varasamt en í lagi að fara inn ef farið er gætilega.
3,0	4,5	4,9	4,3	4,0	12,3	Innsigling varasöm nokkuð kröftug brot, en hægt að sigla inn með því að velja lag

#### Sjávarhæð +1,4 m (meðalsjávarhæð)

95040203.grv

Mögnun	Við ölduvél d=-19.4m	Framan við rif d=- 11.4m	Á rífi d=- 7.4m	Aftan við rif d=- 11.4m	Brotalda %	Aths. rannsakanda
2,2	3,0	3,6	3,3	3,1	3,6	Innsigling í lagi
2,4	3,4	4,0	3,6	3,4	5,4	Innsigling í lagi einstaka smá brot
2,6	3,7	4,3	3,8	3,6	6,4	Innsigling í lagi, en einstaka varasamt brot, skipið tók inn á sig að framan ef það lenti í brotum á sandrífinu á útleið og inn á sig að aftan ef það lenti í brotum á lensinu.

2,8	4,0	4,6	3,9	3,7	10,0	Orðið varasamt að sigla inn vegna brota á rífi og tekur sjó inn á sig bæði aftan og framan ef það lendir í brotunum. Þarf að velja lag til að fara inn.
3,0	4,2	4,8	4,1	3,7	14,2	Mjög varhugaverð innsiglingin, stór brot og verður að keyra skipið meira en ¼ ferð til að komast vel í gegnum brotinn. Skipið tekur inn á sig bæði aftan og framan ef það lendir í brotum. Tel það á mörkum að hægt sé með öryggi að sigla inn og út frá höfninni.

**94100618.grv**

Mögnun	Við ölduvél d=-19.4m	Framan við rif d=- 11.4m	Á rífi d=- 7.4m	Aftan við rif d=- 11.4m	Brotalda %	Aths. rannsakanda
2,2	3,0	3,6	3,2	3,1	2,0	Innsigling í lagi
2,4	3,2	3,8	3,4	3,2	5,7	Innsigling í lagi
2,6	3,5	4,1	3,7	3,5	7,5	Innsigling í lagi en stöku brotöldur sem eru hættulitlar
2,8	3,7	4,4	3,9	3,6	9,9	Orðið varhugavert ef skipið lendir í brotum en í lagi að fara inn ef valið er lag og farið er gætilega
3	4,0	4,7	4,0	3,7	11,0	Mjög varhugavert að sigla inn, kröftug brot og skipið tekur inn á sig að framan og að aftan á lensinu. Þarf að keyra meira en ¼ ferð til að komast auðveldlega gegnum brotinn á útleiðinn.

**Sjávarhæð +0,5 (fjara)****95040203.grv**

Mögnun	Við ölduvél d=-18.5m	Framan við rif d=- 10.5m	Á rífi d = - 6.5m	Aftan við rif d=- 10.5m	Brotalda %	Aths. rannsakanda
2,0	2,6	3,2	2,9	2,9	3,1	Innsigling í lagi
2,2	3,0	3,6	3,1	3,0	6,2	Innsigling í lagi
2,4	3,3	3,8	3,3	3,2	9,2	Innsigling í lagi en koma ekki mjög kröftug brot.
2,6	3,5	4,1	3,4	3,3	11,1	Innsigling getur verið varasöm ef skipið lendir í sterkustu brotunum.
2,8	3,8	4,4	3,5	3,4	16,5	Varasamt að sigla inn, skipið fer í gegnum nokkur kraftmikil brot, skipið tekur inn á sig að framan ef það lendir í stærri brotöldunum.
3,0	4,0	4,6	3,6	3,4	15,0	Innsigling mjög varasöm, stór kraftmikil brot og þarf meira afl en ¼ til að komast gegnum brimgarðinn. Skipið tekur inn á sig að framan á útleið og að aftan á lensinu ef það lendir í broti.

## 94100618.grv

Mögnun	v / ölduvél d=-18.5m	Framan við rif d=- 10.5m	Á rífi d=- 6.5m	Aftan við rif d=- 10.5m	Brotalda %	Aths. rannsakanda
2,2	3,0	3,3	3,1	3,0	5,0	Innsigling í lagi
2,4	3,3	3,5	3,3	3,2	6,0	Innsigling í lagi
2,6	3,6	3,9	3,5	3,3	8,7	Sigla þarf inn með varúð, þar sem töluvert kraftmiklar brotöldur koma og skipið tekur inn á sig þegar það lendir í þeim öldum.
2,8	3,8	4,1	3,6	3,4	14,7	Varasamt að sigla inn þar sem mjög öflug og slæm brot koma þannig að skipið tekur inn á sig bæði á útleið og lensinu. Keyra þarf meira en ¼ afl til að komast gegnum brimgarðinn á sandrifinu. Tel það mikla áhættu að sigla inn.
3,0	4,1	4,4	3,7	3,4	16,0	Hættuleg innsigling, mjög kröftug brot og þarf að auka vélarafli til að komast í gegnum brotin á rifinu. Tekur inn á sig að framan og aftan. Tel það mikla áhættu að sigla inn.

## 14. Niðurstöður líkantilrauna og mat á frátöfum ferju

### 14.1. Helstu niðurstöður líkantilrauna

Meginniðurstaða tilraunasiglinga í líkani er að á flóði, sjávarstöðu +8,3 m og á meðalsjávarhæð, sjávarstöðu +7,4 m telst sigling möguleg með aðgát við mögnun 2,8 og við mögnun 2,6 á fjöru eða sjávarstöðu +6,5 m. Brotöldufjöldinn er þá orðinn um 10% að jafnaði og fleiri öldur brotna í röð.

Þegar þessar niðurstöður eru bornar saman við niðurstöður líkantilrauna af Grindavíkurhöfn þá var eftirfarandi mat lagt til grundvallar:

Innsiglingin til Grindavíkur taldist opin þegar allt að 4 einstakar öldur brotnuðu og lokuð þegar tvær eða fleiri öldur brotnuðu í röð eða þegar 10 til 12 einstakar öldur brotna á hálf tíma. Þannig taldist innsiglingin opin þegar allt að 2% af öldunum brotnuðu en lokuð þegar allt að 6% af öldunum brotnaði.

Reynslan hefur sýnt að þessi mörk eru of lág þó svo ekki sé vitað með vissu hvar mörkin liggja í dag en talið er að þau liggja talsvert ofar eða um 10%.

Því er talið ásættanlegt að miða við siglingu í allt að 10% grunnbrota á 250 m kafla frá 10 m jafndýptarlínunni og yfir sjálfum hrygg sandrifsins.

Hafa ber í huga að eftir því sem öldurnar verða hærri þá byrjar öldubrot utar en við það lækka brotin á sandrifinu.

### 14.2. Ölduhæð við dufl

Til að kvarða niðurstöður líkantilrauna og öldufarsreikninga er tekið meðaltal ölduhæðamælinga á 10 m dýpi utan rifs og á 6 m dýpi á rifinu og meðaltalið borið saman við meðaltal reiknaðra ölduhæða á sömu stöðum fyrir SV, S og SA ölduáttir. Þar með er hægt að finna viðkomandi ölduhæðir á öldudufli.

Niðurstaða þessarar kvörðunar er sýnd í töflu 14.2.1.

**Tafla 14.2.1. Kvörðun með upplýsingum frá öldudufli**

	Ölduátt %	Hs á hafi m	Hs Surtsey m	Ölduátt á hafi	Ölduátt Dufl	Ölduátt sandrif	Hs dufl m	Hs dufl m	Hs dufl m	Hs dufl m	Hs dufl m
Dýpi							6,5	7,4	8,3		
SV átt	41,6	11,3	9,7	225°	219°	204°	<b>3,6</b>	<b>3,6</b>	<b>3,5</b>	<b>3,6</b>	
S átt	22,5	6,3	5,6	180°	172°	179°	<b>3,8</b>	<b>3,8</b>	<b>3,7</b>	<b>3,8</b>	
SA átt	11,7	6,3	5,4	135°	147°	158°	<b>4,5</b>	<b>4,5</b>	<b>4,4</b>	<b>4,4</b>	
	75,8										<b>3,8</b>

Niðurstaða þessara kvörðunar er að viðmiðunarmörk fyrir suðvestan ölduátt er um 3,6 m um 42% af tímanum, fyrir sunnan ölduátt 3,8 m um 23% af tímanum og 4,4 m fyrir suðaustan ölduátt 12% af tímanum. Vegið meðaltal miðað við tíðni er um 3,8 m.

Æskilegra hefði verið að mæla einnig öldustefnur þannig að þá hefði verið hægt að meta frátafir fyrir hverja ölduátt fyrir sig en Siglingastofnun hefur ekki haft tækni á að mæla öldustefnur um leið

og ölduhæðir og sveiflutímar hafa verið mældir. Til þess þarf verulega dýrari og vandmeðfarnari mælitæki en stofnunin hefur yfir að ráða.

Því er stuðst við viðmiðunarmörk sem svara til kenniöldu 3,8 m við Bakkafjöru öldudúfl og að ölduáttir eru 180° með 24° reikningslegu frávikum úr suðvestan ölduátt og 22° frávikum úr suðaustan ölduátt. Í reynd brotna ólögin samfelld á sandrifinu þannig að stefnufrávikin eru minni.

### **14.3. Ferðir ferju og frátafir**

#### **14.3.1. Ferðatilhögun**

Vegna þess hve siglingaleiðin frá Vestmannaeyjum til Bakkafjöru er stutt verður unnt að fjölga ferðum milli lands og Eyja. Einnig verður auðveldara að hliðra til ferðum ef ófært er þann tíma dagsins sem ferjan á að vera í áætlun og sigla þá utan áætlunartíma.

Miðað við þann fjölda farþega og farartækja sem Herjólfur flytur árlega milli Vestmannaeyja og Þorlákshafnar er ekki óeðlilegt að gera ráð fyrir því að Bakkaferja myndi fara tvær ferðir yfir vetrartímann og fjórar ferðir á sumrin milli Eyja og Bakkafjöruhafnar. Að meðaltali flytur Herjólfur yfir vetrartímann, október til mars, milli sex og sjö þúsund farþega á mánuði eða rúmlega 100 farþega í ferð. Yfir háannatímann (júní, júlí og ágúst) flytur Herjólfur að jafnaði milli 15.000 og 16.000 farþega á mánuði eða rúmlega 250 farþega í ferð. Á ársgrundvelli flytur Herjólfur rúmlega 115.000 farþega að meðaltali hin síðustu ár miðað við 700 ferðir á ári sem gerir um 165 farþega í ferð. Gera má því ráð fyrir að Bakkaferja muni geta flutt að lágmarki 250 farþega og 36 bíla í hverri ferð og fari tvær til fjórar ferðir milli lands og Eyja og muni með því uppfylla þær flutningskröfur sem gerðar verða til hennar.

Í nágrannalöndum okkar þar sem bílaferjur eru í föstum áætlunarsiglingum hefur þróunin orðið sú að hraðgengir farþegabátar annast hluta af farþegaflutningum með hraðari og tíðari ferðum. Þannig má fastlega gera ráð fyrir að yfir háannatímann að sumri verði slíkir farþegabátar í ferðum milli lands og Eyja.

#### **14.3.2. Ferðatíðni**

Þegar ferjuleiðin milli Vestmannaeyja og Bakkafjöru er skoðuð með tilliti til siglingatíma, sem er áætlaður um 30 mínútur, og fjölda farþega og farartækja, er nauðsynlegt að miða við ákveðna brottfarartíma ferjunnar til að geta lagt mat á ákveðnar stærðir tengdar brottför og þeim aðstæðum sem eru við Bakkafjöru. Þó er eðlilegt að gert sé ráð fyrir að hliðra megi brottfarartíma ef sjólag veður og samgöngur á landi gefa tilefni til þess en slíkt hefur afar mikil áhrif á útreiknaðar og áætlaðar frátafir ferjunnar.

Miðað er við að farnar verði tvær ferðir á dag yfir vetrartímann sem er skilgreindur frá október til loka mars. Fyrri ferðin yrði farin milli kl. 7 og 9 að morgni og seinni ferðin milli kl. 19 og 21 að kvöldi. Fjöldi ferða yfir vetrartímann miðað við áætlun yrði alls 364 ferðir.

Yfir sumartímann, sem er skilgreindur frá aprílbyrjun til loka september, er gert ráð fyrir fjórum ferðum á dag. Fyrsta ferð yrði farin milli kl. 7 til 8 á morgnana, önnur ferð um kl. 12 á hádegis, þriðja ferð kl. 17 eða 18 síðdegis og síðasta ferð milli kl. 20 og 21 að kvöldi. Fjöldi



ferða yfir sumartímann miðað við áætlun yrði alls 732 ferðir.

Alls væri hægt að gera ráð fyrir 1.096 ferðum ferjunnar á ári miðað við að ferðum sé haldið uppi sérhvern dag en draga verður frá ferðir sem falla inn á lögbundna frídaga sem eru samningsbundnir og eru það 6 dagar á ári. Einnig er gert ráð fyrir að ferðir muni falla niður vegna óveðurs en hin síðari ár hafa árlega fallið niður 2 til 4 ferðir Herjólfis til Þorlákshafnar af völdum veðurs.

#### 14.3.3. Frátafir

Samkvæmt niðurstöðum líkantilrauna miðast örugg sigling Bakkaferju við 3,8 m ölduhæð við öldudufli þannig að ferjan mun ekki leggja í ferð ef hærra alda mælist á ölduduflinu. Sú viðmiðun sem hér verður gengið út frá eru öryggismörk við 3,8 m ölduhæð með farþega og til samanburðar verður skoðað ef öryggismörk hefðu verið miðuð við 3,5 m ölduhæð.

Skipið verður þó hannað til að geta siglt í hvaða veðri sem er og í samræmi við alþjóðlega staðla. Reynslan frá líkantilraunum af innsiglingunni til Grindavíkurhafnar hefur sýnt að viðmiðunarmörk líkantilrauna eru lægri en mat skipstjórnanna í reynd og voru því kannaðar frátafir fyrir öryggismörk við 4,5 m ölduhæð.

Siglingastofnun á mælingar á öldudufli við Bakkafjöru frá desember 2003 til dagsins í dag. Hér er um 26 mánaða mælingar að ræða og liggja fyrir ölduhæðir miðað við hverja byrjaða klukkustund. Í mati á frátöfum er annars vegar miðað við fasta áætlun þegar skipið getur farið á fyrirfram áætluðum tíma en hins vegar þegar hægt verður að hliðra til ferðum og sigla þegar veður leyfir ef ófært er á föstum áætlunartíma.

#### 14.3.4. Frátafir miðað við 3,5 m ölduhæð

Tafla 14.3.4.1. Frátafir miðað við 3,5 m ölduhæð á Bakkafjörudufli\*

Föst áætlun			Áætlun með hliðrun		
Ár	mán.	Fjöldi frátafa	Ár	mán.	Fjöldi frátafa
2003	des	4 ferðir	2003	des.	1 ferð
2004	jan.	1 ferð	2004	jan.	1 ferð
2004	febr.	1 ferð	2004	febr.	
2004	mars	10 ferðir	2004	mars	4 ferðir
2004	sept.	5 ferðir	2004	sept.	
2004	nóv.	2 ferðir	2004	febr.	
2004	des.	9 ferðir	2004	des.	2 ferðir
2005	jan.	8 ferðir	2005	jan.	1 ferð
2005	febr.	7 ferðir	2005	febr.	3 ferðir
2005	apríl	1 ferð	2005	apríl	1 ferð
2005	okt.	1 ferð	2005	okt.	
2005	nóv.	3 ferðir	2005	nóv.	
2005	des.	5 ferðir	2005	des.	1 ferð
2006	jan.	9 ferðir	2006	jan.	3 ferðir
<b>Alls</b>	<b>26 mán.</b>	<b>66 ferðir</b>	<b>Alls</b>	<b>26 mán.</b>	<b>23 ferðir</b>

\*ATHUGIÐ AÐ Í FRÁTAFATÖFLUNUM ER ÞEIM MÁNUÐUM SLEPPT ÞEGAR FRÁTAFIR VORU ENGAR.

Í töflu 14.3.4.1 er gerð grein fyrir frátöfum eins og búast má við þeim ef öryggismörk Bakkaferju yrðu sett við 3,5 m ölduhæð á Bakkadufli. Frátafir hefðu orðið alls 66 á 26 mánaða tímabilinu eða 2,8%. Ef miðað er við vetrartímanna hefðu 60 ferðir fallið niður eða 7,6% ferða yfir vetrartímanna en 6 ferðir yfir sumartímanna eða 0,4%. Ef tekið er mið af áætlunum með hliðrun er alls um 23 ferðir að ræða yfir veturinn sem falla niður eða 2,9 %.

#### 14.3.5. Frátafir miðað við 3,8 m ölduhæð

Ef skoðaðar eru klukkutíma mælingar á ölduhæð við Bakkafjörudufli frá desember 2003 fram til 20. janúar 2006 kemur í ljós að frátafir ferjunnar sem sigla á milli Vestmannaeyja og Bakkafjörufnar miðað við 3,8 m ölduhæð og hærri hefði einungis orðið í örfáum tilfellum ef tekið er mið af ferðum sem hægt væri að hliðra til ef ófært er á föstum brottfarartíma. Frátafir á tímabilinu hefðu orðið eins og lýst er í töflu 14.3.5.1.

**Tafla 14.3.5.1. Frátafir miðað við 3,5 m ölduhæð á Bakkafjörudufli**

Föst áætlun			Áætlun með hliðrun		
Ár	mán.	Fjöldi frátafa	Ár	mán.	Fjöldi frátafa
2003	des	1 ferð	2003	des.	1 ferð
2004	jan.	1 ferð	2004	jan.	4 ferðir
2004	mars	9 ferðir	2004	mars	
2004	sept.	2 ferðir	2004	sept.	
2004	des.	7 ferðir	2004	des.	
2005	jan.	5 ferðir	2005	jan.	1 ferð
2005	febr.	7 ferðir	2005	febr.	3 ferðir
2005	apríl	1 ferð	2005	apríl	1 ferð
2005	des.	3 ferðir	2005	des.	1 ferð
2006	jan.	3 ferðir	2006	jan.	3 ferðir
<b>Alls</b>	<b>26 mán.</b>	<b>39 ferðir</b>	<b>Alls</b>	<b>26 mán.</b>	<b>15 ferðir</b>

Af áætlunarferðum hefðu 36 fallið niður yfir vetrartímanna á 26 mánaða tímabili sem samsvarar 4,3% ferða yfir veturinn, 3 ferðir yfir sumartímanna (0,2%) og alls 39 ferðir yfir allt tímabilið eða 1,6% ferða. Ef tekið er mið af áætlunum með hliðrun er alls um 15 ferðir að ræða yfir veturinn. Hér er um að ræða frátafir sem samsvara 1,9% ferða yfir veturinn, 0% yfir sumarið og 0,6% yfir allt árið. Frátafirnar samsvara um sjö ferðum á ári eða 3–4 dögum ef miðað er við tvær ferðir á dag sem eru sambærilegar við frátafir Herjólfss til Þorlákshafnar eru um 2 dagar á ári.

#### 14.3.6. Frátafir miðað við 4,5 m ölduhæð

Ef tekið er mið af klukkutíma mælingum á ölduhæð á Bakkafjörudufli frá desember 2003 fram til 20. janúar 2006 kemur í ljós að frátafir ferjunnar sem sigla á milli Vestmannaeyja og Bakkafjörufnar miðað við 4,5 m ölduhæð og hærri hefði einungis orðið í örfáum tilfellum eða mjög svipaðar frátafir vegna veðurs sem tálmuðu ferðum gamla og nýja Herjólfss til Þorlákshafnar.

Tafla 14.3.6.1. Frátafir miðað við 4,5 m ölduhæð á Bakkafjörudufli

Föst áætlun			Áætlun með hliðrun		
Ár	mán.	fjöldi frátafa	Ár	mán.	fjöldi frátafa
2004	mars	5 ferðir	2004	mars	5 ferðir
2004	des.	1 ferð	2004	des.	1 ferð
2005	jan.	2 ferðir	2005	jan.	2 ferðir
2005	febr.	4 ferðir	2005	febr.	4 ferðir
2005	des.	1 ferð	2005	des.	1 ferð
2006	jan.	1 ferð	2006	jan.	1 ferð
<b>Alls</b>	<b>26 mán.</b>	<b>14 ferðir</b>	<b>Alls</b>	<b>26 mán.</b>	<b>14 ferðir</b>

Alls er hér um 14 ferðir að ræða yfir veturinn á 26 mánaða tímabili sem samsvarar 1,7% ferða yfir veturinn, 0% yfir sumarið og 0,6% yfir allt árið.

Miðað við reynslu frá Grindavík má gera ráð fyrir því að þau viðmið-unarmörk sem sett voru í líkantilraununum geti reynst of lág og ferjan muni í raun sigla þótt ölduhæð fari yfir 3,8 m. Einungis reynslan af siglingu ferjunnar mun skera úr um þessi öryggismörk.

#### 14.3.7. Samantekt frátafa

Eins og sjá má í töflunum að framan er gert ráð fyrir svipuðum frátöfum Bakkaferju frá siglingum og nú verða á ferðum Herjólfss milli Eyja og Þorlákshafnar. Vegna þess hve stutt er á milli Bakkafjörü og Heimaeyjar er auðvelt að hliðra til áætlunum ef ófært er á áætlunartímum

#### 14.4. Reynsla skipstjóra af aðstæðum við Bakkafjörudufli

Sigurbjörn Guðmundsson skipstjóri á fiskiskipinu Sturlu frá Grindavík var í samstarfi við Siglingastofnun haustið 2005 vegna ýmissa rann-sóknaverkefna sem Siglingastofnun vinnur að og hefur tekist mjög góð samvinna við útgerð skipsins og áhöfn þess. Sigurbjörn hefur áratuga reynslu sem skipstjóri á margs konar fiskiskipum frá Grindavík og hefur því mjög langa reynslu af því að sigla skipum gegnum brimskafla og um erfiðar innsiglingar. Sigurbjörn siglir reglulega framhá ölduduflinu undan Bakkafjörü. Í samvinnu við Siglingastofnun hefur hann leitast við að meta aðstæður til siglinga inn að hugsanlegu ferjulægi. Sigurbjörn byggir mat sitt á þeirri reynslu sem hann hefur öðlast við siglingu í brimi inn til Grindavíkurhafnar. Stærð og mál Sturlu eru:

Tafla 14.4.1. Helstu mál fiskiskipsins Sturlu

Mesta lengd	52,60	metrar
Skráð lengd	49,58	metrar
Breidd	8,53	metrar
Djúprista, lestað	2,5+4,8=3,70	metrar
Brúttórúmllestir	486,5	tonn

Sigurbjörn hefur skráð ferðir sínar framhjá fyrirhugaðri ferjuhöfn við Bakkafjöru og gert athuganir á sjólagi, mælingar teknar við öldudufli.:

**Tafla 14.4.2. Athuganir Sigurbjörns við Bakkafjöru**

Dagur	Tími dags	Veður	Ölduhæð	Mælt á dufli
30. 08. 2005	20:10	SA 2 m/s	1,5 m	Hs=1,9 m
01.09. 2005	21:00	NV 2 m/s	1,0 m	Hs=0,9 m
06.01. 2005	20:10	SA 2 m/s	1,0 m	Hs=0,73 m
20.09. 2005	12:00	V 4 m/s	1,5 m	Hs=1,11 m
22.09. 2005	03:00	Hægviðri, regn	0,5 –1,0 m	Gögn vantar
27.09. 2005	19:45	NV 5 m/s	2,0 –2,5 m	Hs=1,37 m
06.10. 2005	21:05	S 6 m/s	2,5 m	Hs=2,45 m
11.10. 2005	19:30	NV 3 m/s	2,5 m	Hs=1,36 m
21.10. 2005	00:30	NA 3 m/s	3,0 m	Gögn vantar
09.12. 2005	01:30	SSV 6 til 7 vst.	4,0 – 5,0 m	Hs=3,93*

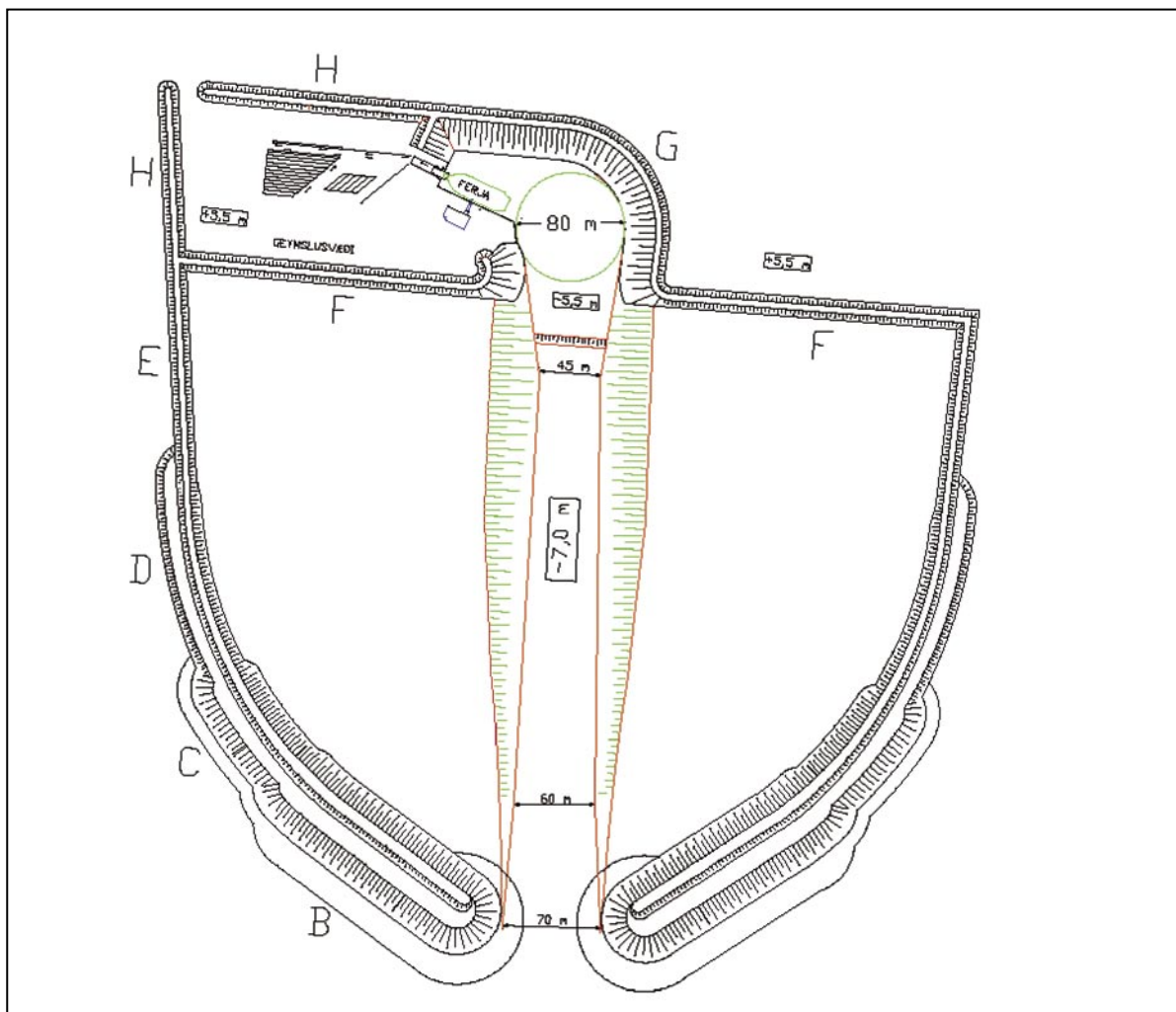
\*Að þessu sinni var sunnan þung bára. Sjólag breyttist til hins betra við duflið, þar var minni bára SSA 3 m. Mælt á dufli Hs= 3,93 m kl 0100 og Hs = 4,27 m kl. 0200.

Sigurbjörn skipstjóri sagðist hann hafa tekið eftir því að þegar skipið nálgast duflið eða þann stað sem fyrirhuguð Bakkafjöruhöfn á að vera staðsett þá batnaði sjólagið ætíð greinilega óháð því hvaða ölduátt var þegar hann sigldi þar framhjá. Stefna öldubrotanna er ætíð samhliða rífinu óháð vindáttum.

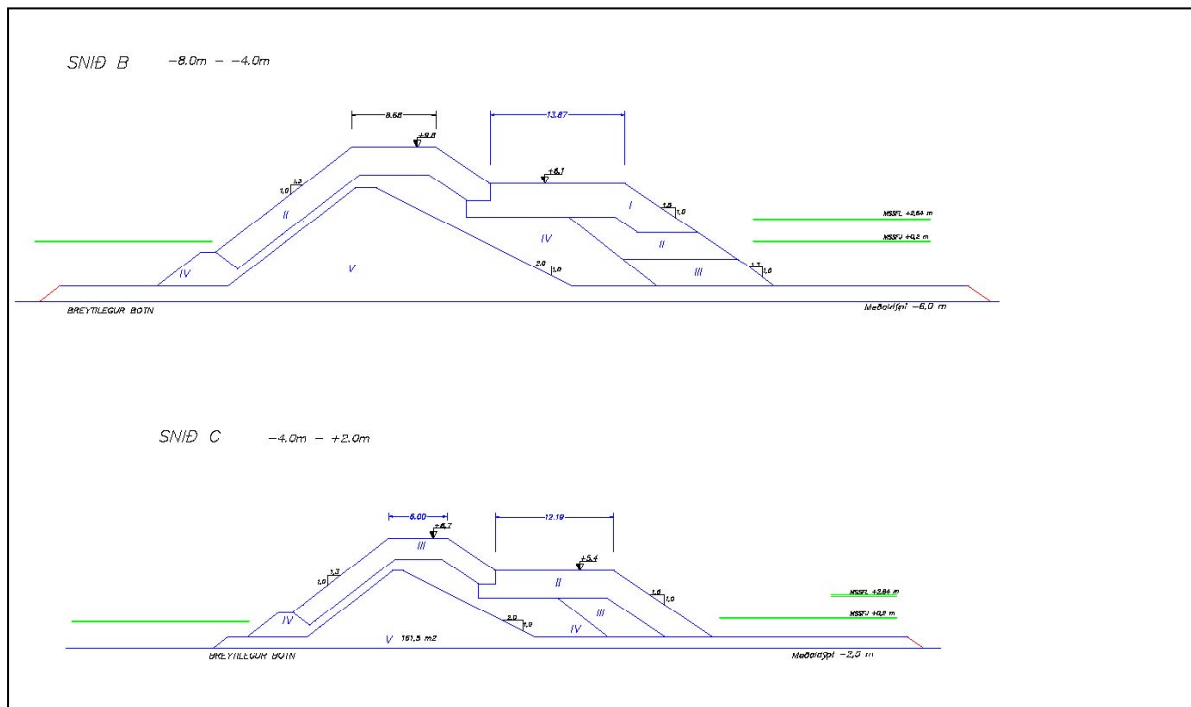
Sigurbjörn heimsótti líkanstöð Siglingastofnunar og sigldi skipslíkaninu í Bakkafjöruhöfn. Eftir það lagði hann mat á aðstæðurnar miðað við reynslu sína af líkaninu, reynsluna af Grindavíkurrinnsiglingu og reynsluna af siglingu við Bakkafjörudufli. Niðurstaða Sigurbjörns er að 3,5 m viðmiðunarmörkin séu vel innan öryggismarka. Í ölduhæð 4,0 væri hægt að sigla inn með varúð og í ölduhæð 4,5 væri þetta orðið varasamt.

## 15. Frumhönnun brimvarnargarða

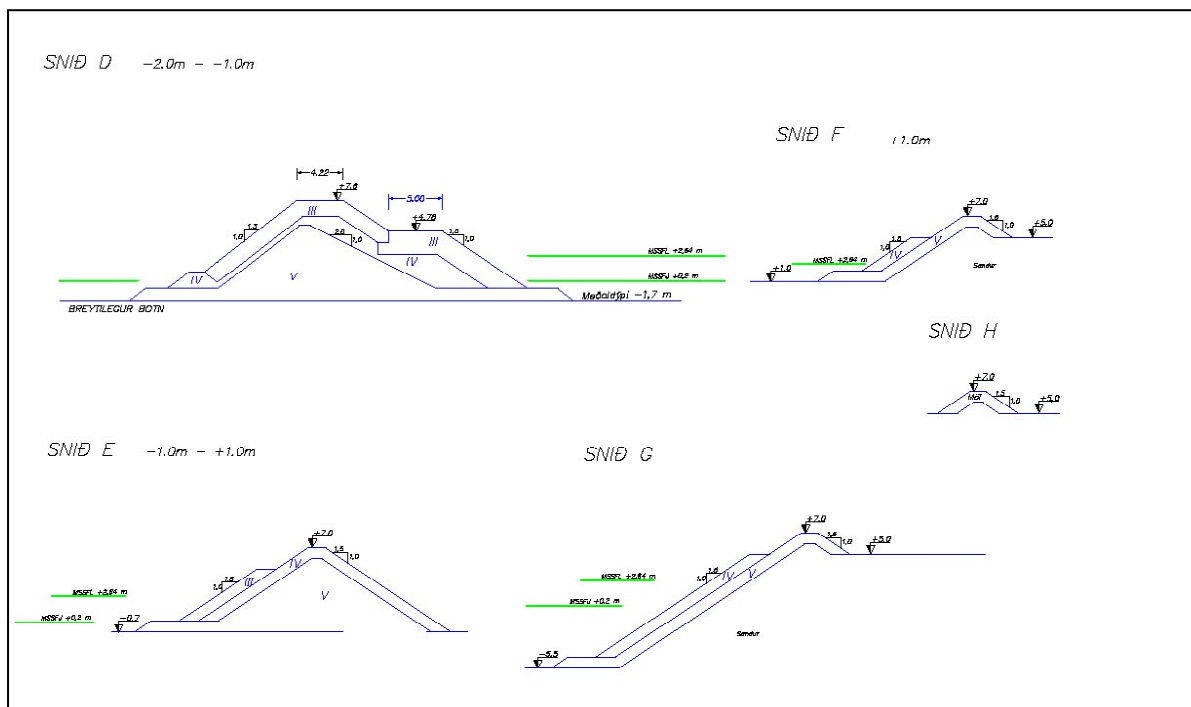
Frumhönnun brimvarnargarða mun taka mið af ölduáraun með endurkomutíma 100 ár og sjávarstöðu með endurkomutíma 20 til 50 ár. Hönnunarölduhæðirnar meðfram brimvarnargörðunum er metnar út frá öldufarsreikningum og öldumælingum í líkaninu. Ljóst er að sandrifið veitir ferjuhöfninni talsverða vörn þar sem hæstu öldur brotna framan á rifinu. Frumhönnun brimvarnargarðanna tekur mið af hönnunaröldu um 5,0 m og hönnunarsjávarstöðu í 3,4 m. Frumhönnun brimvarnargarðanna tekur mið af íslenski gerð bermugarða og eru þversnið og staðsetning þeirra sýnd á myndum 15.1 til 15.3. Þessi þversnið eru hefðbundin þversnið í bermugarða en athygli er vakin á því að aðeins er gert ráð fyrir stærsta flokkaða stórgrýtinu milli 10 til 20 tonn. Heildarmagn af efni í ferjuhöfnina, fyrirstöðugarða og vegi og er um 600.000 m<sup>3</sup> og þar af um 250.000 m<sup>3</sup> af flokkuðu grjóti, 225.000 m<sup>3</sup> af sprengdum kjarna og 120.000 m<sup>3</sup> af möl.



Mynd 15.1. Tillaga Siglingastofnunar að skipulagi ferjuhafnar og staðsetningu sniða á bermugörðum.



Mynd 15.2. Bermusnið.



Mynd 15.3. Bermusnið.

### **15.1. Jökulhlaup í Markarfljóti og og ferjuhöfn á Bakka-fjöru**

Annað veifið verða jökulhlaup í Markarfljóti og hefur Vegagerðin hannað fyrirstöðugarða við fljótið til að hefta það frá því að flæmast um sandana. Hönnunarflóð þessara garða hefur undanfarið miðast við flóð með 100 ára endurkomutíma og stærð þess metin 1.250 m<sup>3</sup>/s sem eru þau mörk sem miðað var við þegar hönnuð var brú yfir Markarfljót.

Talið er víst að á árhundruða fresti komi mikil jökulhlaup niður Markarfljótsaura. Í nýlegri skýrslu frá Ríkislögreglustjóra, *Hættumat vegna eldgosa og hlaupa frá vestanverðum Mýrdalsjökli og Eyjafjallajökli* er fjallað um líkur á Kötluhlaupi niður eftir farvegi Markarfljóts, en stærð slíkra hlaupa getur verið á bilinu 200.000–250.000 m<sup>3</sup>/s. Í skýrslunni kemur fram að endurkomutími eldgosa í Entujökli, þar sem umrætt jökulhlaup ætti upptök sín, er um 700 ár. Þar sem endurkomutími þessara jarðhræringa er svo langur er ekki tekið tilliti til Kötluhlaupa niður Markarfljót því við hönnunaratburðir hafnarmannvirkja hafa endurkomutíma á bilinu 50 til 100 ár.



## 16. Nauðsynlegar undirbúningsrannsóknir fyrir verkhönnun

Hönnun og þróun aðstöðu fyrir ferju tekur einkum mið af að halda í lágmarki stofnkostnaði og rekstrarkostnaði vegna dælingar á sandi og vegna frátafa. Ferjuaðstaðan verður og að uppfylla allar öryggiskröfur sem gerðar eru fyrir fólksflutninga með ferjum og skal þess gætt í öllum undirbúningi að unnt sé að koma þeim við. Fyrsta áætlunin um undirbúningsrannsóknir var sett fram í fyrrgreindri þingsályktunartillögu um rannsóknir á ferjuaðstöðu á Bakkafjöru. Þessi rannsóknáætlun hefur verið endurskoðuð í takt við þróun verkefnisins og er eftirfarandi rannsóknir liður í lokahönnun mannvirkja.

### 16.1. Dýptarmælingar og botnsýnataka

Undirbúningur að rannsóknum á ferjuaðstöðu á Bakkafjöru hófst með því að færa dýptarmælingar undan Bakkafjöru og við Vestmannaeyjar yfir á stafrænt form og þegar hafa verið gerðir öldufarsreikningar fyrir siglingaleiðirnar milli Eyja og Þorlákshafnar og Eyja og Bakkafjöru. Nauðsynlegt er að gera reglulegar dýptarmælingar til að fylgjast með botnbreytingum undan Bakkafjöru og hefur verið samið við Vestmannaeyjahöfn um að sinna því verki. Var fyrsta mælingin gerð haustið 2002. Samkvæmt þessum samningi munu starfsmenn Vestmannaeyjahafnar gera dýptarmælingar við ströndina norðan Vestmannaeyja og einnig við Vestmannaeyjar og Vík í Mýrdal samkvæmt nánari skilgreiningu. Var gert ráð fyrir 15 mælingum á tímabilinu 2002 til 2006. Mælingar skulu fara fram vor, sumar og haust samkvæmt nánari ákvörðun. Mun Siglingastofnun gera mælingaáætlun fyrir hverja mælingu þar sem fram kemur m.a. mælingasvæði og siglingalínur. Árangurinn er að mælt hefur verið aðeins fjórum sinnum í október 2002, júlí 2003, júlí 2004 og í maí 2005. Ástæður þess að ekki hefur verið mælt oftar er bæði veðurfarslegar og eins skortur á mannskap í Vestmannaeyjum þegar aðstæður hafa leyft að gerðar hafa verið mælingar. Nauðsynlegt er að halda þessum mælingum áfram:

- mæla að minnsta kosti tvisvar á ári sama svæði og mælt hefur verið til að kanna betur sumar- og vetraraðstæður. Jafnframt þarf að mæla ströndina frá fjöruborði að flóðborði og ofar.
- taka botnsýni eftir sniði þvert á ströndina frá flóðborði með 500 m millibili á 16 m dýpi fyrir hvern dýptarmetra. Sniðið þar sem botnsýnin eru tekin þurfa að ná frá 2.5 km vestan fyrirhugaðrar ferjuhafnar og 2.5 km austur fyrir höfnina.

### 16.2. Framburður botnskriðs í Markarfljóti

Kanna þarf betur framburð botnskriðs (sands) í Markarfljóti og tengja saman við rennsli árinna. Einkum þarf að kanna mesta botnskrið í ánni. Orkustofnun hefur mælt rennsli í Markarfljóti og lagt mat á botnskrið efnis og svifaur. Markmiðið með þessari athugun er að kanna samspil milli framburðar Markarfljótsins og sandrifja undan fjörunni. Með þessu móti fæst aukin og haldbetri þekking á hegðun sandrifsins til vesturs að hliðinu við fyrirhugaða innsiglingu að ferjuhöfninni.

### 16.3. Öldustefnumælingar við Bakkafjöru

Jafnframt því að halda áfram öldumælingum undan Bakkafjöru þarf að mæla með mikilli vissu nákvæma öldustefnu í innsiglingalínunni til að getað notað sem gögn í straumfræðilegt reiknilíkan af hafnarsvæðinu. Mæla þarf samtímis ölduhæð, sveiflutíma öldu og öldustefnu á 20 m dýpi fyrir utan fyrirhugaða innsiglingalínu í að minnsta kosti tvo til þrjá mánuðina yfir vetrarmánuðina.

### 16.4. Straumfræðilegar rannsóknir

Rannsóknnum vegna efnisburðar er skipt í tvo áfanga. Fyrri áfanginn er sú vinna sem fyrir liggur í DHI-skýrslunni sem fylgir hér með í viðauka. Markmið fyrri áfanga er að gefa yfirlit og mat á efnisburði við Bakkafjöru og mat á hvort ferjuhöfnin er raunhæfur kostur. Það mat liggur nú fyrir og tekur þá við annar áfangi með ákvörðun á endanlegri staðsetningu ferjuhafnarinnar í þversniðinu með tilliti til efnisburðar fram hjá hafnarmynninu. Árlegur efnisburður til austurs er um 250.000 m<sup>3</sup> og það munu líða 3 til 4 ár þar til hverkin vestan hafnarinnar fyllist og efnið fer að berast fram hjá hafnarmynninu. Eftir það berst þetta efni fram hjá hafnarmynninu og er það m.a. háð styrk öldustraumsins þvert á hafnarmynnið, stærð hafnarmynninsins og legu brimvarnagarðanna hvaða náttúrulega dýpi verður í hafnarmynninu og hve mikið af efni berst inn í höfnina á ári.

Aðeins mjög nákvæmt straumfræðilegt reiknilíkan getur metið þessar aðstæður og ræður DHI yfir slíku reiknilíkani. Með þessum reikningum er hægt að meta hvaða áhrif aftaka veður hafa á efnisburð við ferjuhöfnina og ýmsa þá þætti sem þarf að afla upplýsinga um vegna viðhalds og reksturs hafnarmannvirkja. Forsenda slíkra reikninga eru nákvæmar upplýsingar um botninn og kornastærðir sem verða fengnar með dýptarmælingunum sem lýst er hér að ofan ásamt upplýsingum um framburð sands í Markarfljótinu. Jafnframt er nauðsynleg forsenda mjög nákvæmar upplýsingar um öldustefnur sem mun fást með öldustefnumæli veturinn 2006 til 2007.

### 16.5. Grjótnámsrannsóknir

Við frumhönnun hafnarinnar er gert ráð fyrir að til hennar þurfi um 600.000 m<sup>3</sup> af efni. Af flokkuðu grjóti þarf 250.000 m<sup>3</sup> þar af um 25.000 m<sup>3</sup> af stórgrýti milli 10 og 20 tonn að stærð. Af sprengdum kjarna þarf 225.000 m<sup>3</sup> og um 120.000 m<sup>3</sup> af möl.

Samkvæmt álit Jarðfræðistofunnar Stapa koma nokkrir staðir til greina sem mögulegt er að vinna grjót, sjá eftirfarandi greinargeð Stapa og jarðfræðikort.

*Yfirlit yfir jarðfræði svæðisins frá Reykjanesi að Eyjafjöllum er sýnt á mynd 16.5.1. Þar eru jarðlög sem flestir kannast við sem eldri-grágrýtismyndun (berg frá fyrri hluta ísaldar, oft nefnd Hreppamyndun) sýnd með dökkgrænum lit, yngri-grágrýtismyndun (berg frá síðari hluta ísaldar) með ljósgrænum lit og nútímahraunin með bleikum lit. Yngri grágrýtismyndunin er yfirleitt að mestu úr móbergi og því ekki álitleg til grjótnáms fyrir hafnargerð. Í eldri-grágrýtismynduninni er aftur á móti meira af heillegum hraunlögum og því nokkrar líkur á því að finna í*

þeirri myndun berg, sem nýst getur til hafnargerðar. Sum nútímahraunin eru heilleg og henta ágætlega í brimvarnir.

**1) Eyjafjöll:** Berggrunnur láglendissvæðisins frá Seljalandi og austur fyrir Holtsós er gerður úr jarðlögum frá fyrri hluta Ísaldar. Þar er hugsanlegt að finna grjót í brimvarnir. Basalt af ankaramítgerð er í Pöstum við Hvamm (1A) og Arnarholti við NA horn Holtsóss (1B). Í um 430 m hæð á Hamragarðaheiði (1C), ofan við Seljalandsfoss, er nútímahraun sem fyllt hefur dal eða runnið á tiltölulega sléttu landi. Þarna gæti hraunið verið nokkuð þykkt og hugsanlega vinnanlegt í brimvarnir. Fjarlægð í námu við Pöst er um 20 km, en um 25 km í hinar tvær. Klifra þarf upp úr um 30 m í 430 m hæð á um 6 km löngum kafla í námuna á Hamragarðaheiði.

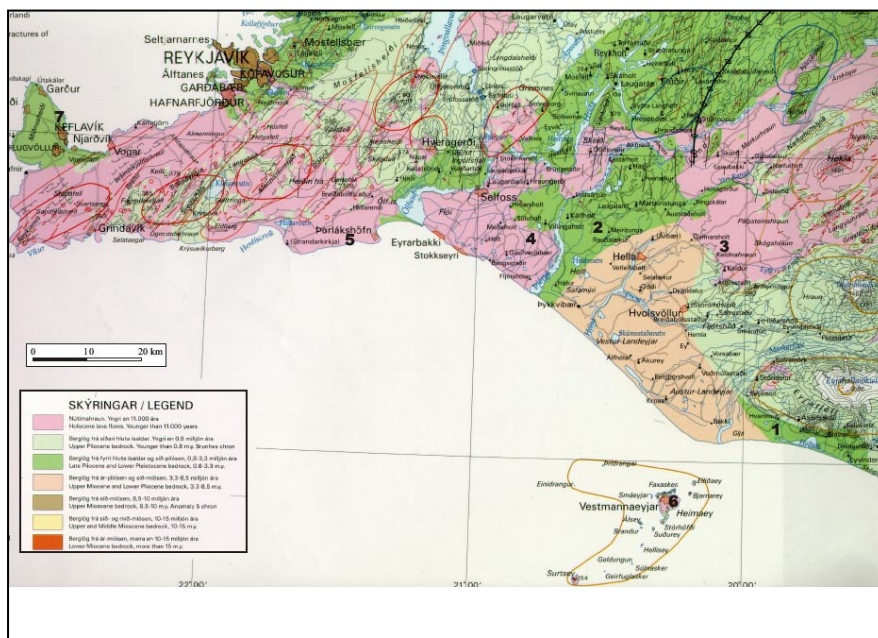
**2) Holt:** Svæðið austan við Þjórsá er gert úr jarðlögum frá fyrri hluta Ísaldar. Þar er hugsanlegt að finna berg í brimvarnir.

**3) Keldur — Gunnarsholt:** Á ofanverðum Rangárvöllum hafa hraun runnið niður á láglendi. Hugsanlega er hægt að vinna efni í brimvarnir úr þessum hraunum.

**4) Flói:** Þjósrárhraunið myndar svæðið milli Ölfusár og Þjórsár. Það er nokkuð heillegt og kæmi vel til greina til vinnslu fyrir brimvarnir.

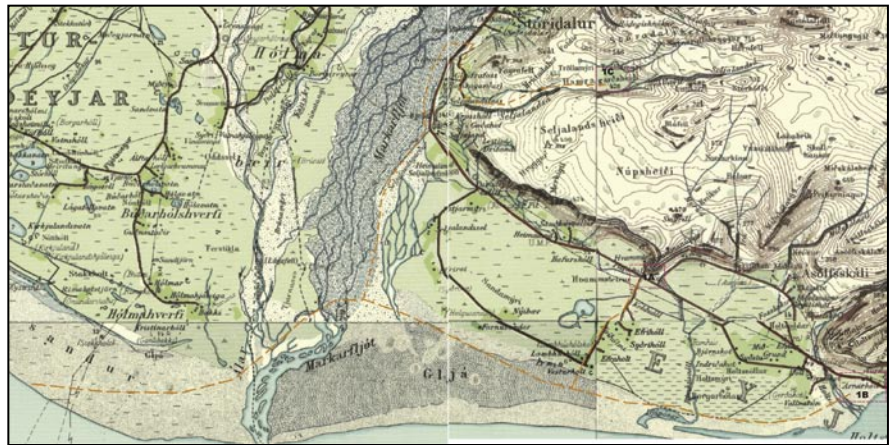
**5) Þorlákshöfn:** Þorlákshöfn stendur á heillegu dyngjuhrauni. Þetta hraun hentar vel í brimvarnir. Til greina kæmi að sigla með efni þaðan að Bakkafjöru.

**6) Vestmannaeyjar:** Hraun hafa runnið frá Helgafelli og Eldfelli. Þau gætu komið til álita fyrir vinnslu í brimvörn á Bakkafjöru. Sigla þarf með efnið.



Mynd 16.5.1. Jarðfræði landsvæðisins frá Reykjanesi að Eyjafjöllum. (Haukur Jóhannesson og Kristján Sæmundsson 1998).

Mynd 16.5.1. Staðsetning hugsanlegra grjótnáma fyrir brimvarnir í Pöstum (1A), í Arnarholti (1B) og á Hamragarðsheiði (1C).



Svæði 1 Eyjafjöll liggur næst Bakkafjöru og möguleg náma gæti verið í um 30 km fjarlægð. Samkvæmt álti Jarðfræðistofunnar Stapa gæti náma á þessu svæði best gefið um 20 til 25% yfir 1 tonni og um 3 til 5% yfir 10 tonnum. Svæði 2 og 3 gefa svipað magn stórgrýtis en eru lengra frá Bakkafjöru. Búist er við að Þjórsárhraun á svæði 4 geti gefið hærra hlutfall stórgrýtis eða um 35% yfir 1 tonni og allt að 10% yfir 10 tonnum. Hins vegar er mjög langt í þá námu en búast má við að vegalengdin sé um 60 km. Náman á Hafnarsandi við Þorlákshöfn, svæði 5, sem tekið var úr við byggingu Austurgarðs gaf um 40% yfir 1 tonni og um 13% yfir 10 tonnum. Þá gerir jarðfræðistofan Stapi ráð fyrir að grjótnám í nýja hrauninu í Vestmannaeyjum, svæði 6, gæti gefið svipað og Seljaland – Drangshlíð. Kostnaður við byggingu brimvarnargaða og flóðavarnargarða ræðst bæði af flutningskostnaði efnis úr námu að byggingarstað og nýtingu efnis úr námu.

Flutningur efnis úr námum á svæðum 1 til 4 færi landleiðina, væntanlega eftir þjóðvegum með flutningatækjum sem greiða þungaskatt. Á svæði 1 verður skoðaður sá möguleiki að flytja efni með stórvirkum flutningtækjum utan þjóðvega. Efni úr námum í Þorlákshöfn og Vestmannaeyjum yrði flutt sjóleiðina en það krefst vissra tilfæringa við móttöku efnisins á Bakkafjöru. Ekki er hægt að útiloka að sá kostur yrði hagkvæmari en flutningar á landi.

Lagt er til að við frekari undirbúning verksins verði leitað að heppilegum námum á svæðum 1, 4, 5 og 6 og þær kannaðar með kjarnaborunum.

### **16.6. Frekari rannsóknir**

Á árunum 2006 og 2007 væri æskilegt að ljúka öllum undirbúningsrannsóknum fyrir hönnun ferjuhafnarinnar. Til þess þarf að vinna eftirfarandi verkþætti:

Áætlaður kostnaður við rannsóknir sem ólokið er á árinu 2006 og 2007 áður en endanleg hönnun geti hafist.

### Tafla 16.6.1. Yfirlit um rannsóknir sem gera þarf vegna framkvæmda við ferjuhöfn á Bakkafjöru

Verkþáttur	
-	Dýptarmælingar og taka botnsýna
	Mæling á Bakkafjöru
-	Sjálfvirk veðurathugunarstöð á Bakkaflygvelli, tenging við veður og sjólag
-	Öldumælingar hófust 18. nóvember 2003 og verður haldið áfram
-	Ölduspár verða aðgengilegar við Bakkafjöru
-	Halda áfram úrvinnslu öldugagna og öldufarsútreikninga
	Öldustefnumælingar , 4 mánuði
-	Fá mat á rennsli og framburði Markarfljóts
-	Mælingar á fjöru samkvæmt loftmyndum
-	Reiknilíkan fyrir öldur, strauma og efnisburð við ferjuhöfnina og viðhaldsdýpkun
-	Botnrannsóknir
-	Grjótnámsrannsóknir
-	Gerð áhættugreiningar á siglingu ferju og ferjulagi og öllum þáttum er varða farþega, áhöfn skips og mannvirkja
-	Skýrslugerð
<b>Nauðsynlegur kostnaður á árunum 2006–2007 er samtals: 40 millj. kr.</b>	

Frá 2002 þar til í febrúar 2006 hefur verið varið um 40 millj. kr. til Bakkafjörurannsóknna af almennu rannsóknarfé Siglingastofnunar, „Óskipt ferjulægi Bakkafjöru – rannsóknir á Samgönguáætlun 2005 – 2008“ og „Hafnir, líkantilraunir og grunnkort“.

Til ráðstöfunar á liðnum „Ferjulægi Bakkafjöru – rannsóknir“ er á áætlun 10 millj. kr. fyrir árin 2006. Áætlun um lokaáfangi í undirbúningsrannsóknnum 2006 og 2007 gerir ráð fyrir um 40 millj. kr. Fjárvöntun er því 30 millj. kr. til að geta lokið nauðsynlegum rannsóknnum á árunum 2006 og 2007 áður en lokahönnun mannvirkja getur hafist.

## 17. Kostnaðaráætlun vegna gerðar ferjuhafnar, smíði ferju og vegagerð auk annars búnaðar

### 17.1. Áætlun um heildarkostnað

Heildarkostnaður við gerð ferjuhafnar á Bakkafjöru og byggingu nýrrar ferju er áætlaður á bilinu 3,8 – 4,5 milljarðar króna á verðlagi í febrúar 2006.

Kostnaðartölur í sundurliðun hér á eftir miðast við verðlag í janúar 2006 (byggingarvísitala 316,7 stig). Um 20% álag er reiknað á verð til að gera ráð fyrir ófyrirséðum kostnaði og umsjón. Virðisaukaskattur er meðtalinn nema í kostnaði við ferju (skipasmíði er undanþegin virðisaukaskatti).

Áætlunin byggir á eftirfarandi forsendum:

Byggðir verða tveir um 600 m langir brimvarnargarðar út frá Bakkafjöru. Miðað er við að grjót í brimvarnir fái úr námu í 25 til 30 km fjarlægð frá byggingarstað. Byggður verður fyrirstöðugarður meðfram Markarfljóti og vegslóði að fyrirhugaðri ferjuhöfn eftir fyrirstöðugarði að brú sem gerð verður til bráðabirgða yfir Markarfljót og þaðan verður lagður bráðabirgðavegur að grjótnámu. Einnig verður lagður rúmlega 3 km vegur frá Bakkaflugvelli að ferjuhöfninni.

Bygging ferjuhafnar felst í rekstri 65 m stálþils með 20 metra gaflþili þar sem ekjubrú verður og 15 m gaflþili í austurenda, fyllingu í þil, lögn- um lýsingu og steyptri þekju. Dýpka þarf meðfram þili og á snúnings- svæði í 5,5 m og innsiglingarrennu í 5,5–7,0 m dýpi, alls um 285.000 m<sup>3</sup>. Sett verður upp ekjubrú við gaflþil, byggt 200 m<sup>2</sup> þjónustuhús með landgöngubrú fyrir farþega og gengið frá plönunum og bílastæðum með varanlegu slitlagi. Lokafrágangur við ferjuhöfnina felst í að byggja jarð- vegsmanir til varnar sandfoki og uppgræðslu lands í sama tilgangi.

Smíði bíla- og farþegaferju miðast við 49 m langt og 12 m breitt skip með um 3,5 m djúpristu. Í Vestmanneyjum þarf einhverjar breytingar að gera á ferjuaðstöðunni sem þar er til að aðlaga hana nýrri ferju. Reiknað er með að það gæti kostað á bilinu 20–30 milljónir kr.

#### Tafla 17.1.1. Áætlaður heildarkostnaður við að koma á ferjusiglingum milli Heimaeyjar og ferjuhafnar á Bakkafjöru

	Áætlaður kostnaður
<b>Undirbúningur og hönnun</b>	
Kostnaður við umhverfismat, hönnun hafnar og annarra mannvirkja	210 millj. kr
<b>Aðstöðusköpun, fyrirstöðugarður, bráðabirgðabrá og vegir</b>	
Vegur 3,3 km, fyrirstöðugarður 136.000 m <sup>3</sup> , vegslóðar 20 km, brú 60 m	640 millj. kr
<b>Bygging brimvarnargarða og dýpkun</b>	
Brimvarnargarðar 470.000 m <sup>3</sup> , dýpkun 285.000 m <sup>3</sup>	1.760 millj. kr.
<b>Ferjubryggja og aðstaða</b>	
Stálþilsbryggja 100 m, þjónustuhús 200 m <sup>2</sup> , ekjubrú plön og frágangur	330 millj. kr
<b>Ferja</b>	
Ný bíla- og farþegaferja og breyting á ferjuaðstöðu Vestmannaeyjum	1.230 millj. kr
<b>Áætlaður heildarkostnaður við ferjuhöfn og ferju</b>	<b>4.170 millj. kr</b>

Helsti óvissuþáttur varðandi kostnaðinn eru forsendur sem áætlunin byggir á varðandi grjótnám. Þær forsendur þarf að staðfesta með grjótnámsrannsókn á fyrirhuguðum efnistöðum. Áætlaður kostnaður við þær rannsóknir og aðrar sem þarf að gera áður en að lokahönnun kemur er um 40 millj. kr.

### **17.2. Áætlaður framkvæmdatími**

Áður en lokahönnun mannvirkja og endanleg gerð verkáætlana getur farið fram er nauðsynlegt að gera allnokkrar rannsóknir og athuganir, einkum varðandi efnisburð við hafnarstæði og möguleikum á efnisámi til mannvirkjagerðarinnar. Er gert ráð fyrir að unnt sé að ljúka þeim á u.þ.b. einu ári héðan í frá, í febrúar 2007. Áætla má að sá tími sem síðan fer í umhverfismat, hönnun og öflunar leyfa til framkvæmda sé á bilinu 1–1½ ár.

Gert er ráð fyrir að heildar framkvæmdatími við ferjuhöfn og tengd mannvirki sé 2–2½ ár frá því að lokahönnun og umhverfismat liggur fyrir. Áætlaður smíðatími ferju er 15–18 mánuðir.

Liggi fullnaðarákvörðun um framkvæmdir fyrir árið 2007 ætti að vera unnt að taka mannvirkin í notkun árið 2010.



**18. Viðauki. „Bakkafjara. Sediment Transport and Morphology“**



## **Bakkafjara**

### **Sediment Transport and Morphology**

#### **Phase 1**

## Bakkafjara

### Sediment Transport and Morphology

#### Phase 1

Agern Allé 5  
DK-2970 Hørsholm, Denmark

Tel: +45 4516 9200  
Fax: +45 4516 9292  
Dept. fax: +45 4516 8952  
e-mail: dhi@dhi.dk  
Web: www.dhi.dk

Client  Siglingastofnun	Client's representative  Gísli Viggósson
-------------------------------	--

Project  Bakkafjara Sediment Transport and Morphology	Project No  53551
---	-------------------------

Authors  Berry Elfrink Ida Brøker Gísli Viggósson	Date  27 January 2006
	Approved by  Ida Brøker

Revision	Description	By	Checked	Approved	Date
1	Final Report Phase 1	BRE/GV	IBH	IBH	27/01/06
0	Technical Note Phase 1	BRE/GV	IBH	IBH	16/12/05

Key words  Sediment transport Bar stability Sedimentation currents	Classification  <input type="checkbox"/> Open <input type="checkbox"/> Internal <input checked="" type="checkbox"/> Proprietary
---	---

Distribution Siglingastofnun: DHI:	Gísli Viggósson IBH, BRE, JAO	No of copies e-mail + 2 3
--	----------------------------------	---------------------------------



## CONTENTS

1	INTRODUCTION .....	1-1
1.1	Purpose of the Study .....	1-1
2	NEAR-SHORE WAVE CONDITIONS.....	2-1
2.1	Analysis of historical storms .....	2-3
3	OVERALL SEDIMENT BUDGET .....	3-1
3.1	Historical Evolution .....	3-1
3.2	Method for Calculation of Littoral Drift .....	3-5
3.3	Sediment Properties and Sensitivity of Littoral Drift.....	3-5
3.4	Relations between Littoral Drift and Coastline Orientation and Overall Sediment Budget .....	3-8
3.5	Variability of Long-shore Littoral Drift.....	3-10
4	STABILITY OF THE BAR AND THE “SPIT” .....	4-1
5	SHORELINE FLUCTUATIONS .....	5-1
6	SEDIMENTATION INSIDE THE HARBOUR .....	6-1
7	CURRENTS IN FRONT OF THE HARBOUR.....	7-1
8	FUTURE INVESTIGATIONS .....	8-1
9	REFERENCES .....	9-1

## APPENDICES

A	Wave energy per wave height interval Wave energy per wave direction interval Wave energy per wave period interval
B	Morphological Modelling; A Tool for Optimisation of Coastal Structures

## **1 INTRODUCTION**

At a technical workshop held in Siglingastofnun offices during the period 11 to 15 December 2005 a technical note was prepared. In the present report some further elaborations on the previous work are included. The report summarises the analysis of sediment transport and morphology around the planned harbour at Bakkafjara undertaken during November and December 2005.

### **1.1 Purpose of the Study**

The purpose of the study is to discuss the following aspects which all contribute to the assessment of the feasibility of a harbour facility at Bakkafjara:

- Overall stability of the coastline at Bakkafjara
- Morphology of the outer bar to the west of Bakkafjara
- Shoreline fluctuations adjacent to the harbour
- Sedimentation inside the harbour
- Expected currents in front of the harbour entrance

The report includes the following sections:

Section 2: Near-shore wave conditions, which include statistics and discussion of variability of the near-shore wave conditions.

Section 3: Overall sediment budget, brief description of the historical evolution, sensitivity of littoral drift to key parameters, calculated relations between littoral drift and coastline orientation, overall sediment budget, variability of long-shore littoral drift.

Sections 4 to 7 discuss the three topics of stability of the bar, shoreline fluctuations, sedimentation inside the harbour and currents in front of the harbour.

Section 8 briefly describes recommended future activities.

## 2 NEAR-SHORE WAVE CONDITIONS

The sediment transport along the coastline at Bakkafjara is completely dominated by the rough wave climate. As the waves approach the coastline and lose their energy through breaking, a strong current is driven in the near-shore zone along the coastline. The current varies with the angle of the incoming waves and reaches a maximum for an angle of about 45 degrees. The width of the surf zone is a function of the wave height and the coastal profile. The maximum currents and sediment transport occur on the steep seaward front of the bar and the inner part of the profile. The littoral drift is very sensitive to wave directions, heights and to some extent to the wave period. A detailed wave transformation from offshore to near-shore is therefore crucial for the quantification of the near-shore processes.

Siglingastofnun has provided offshore wave data off the Westmannaeyjar for the period 1979 to November 2004. (Siglingastofnun has recently obtained wave data for the period 1958 to 2005. These additional data have not yet been included in the present analysis. However, data from the past 25 years form a very good basis for the assessment of the present and future development of the coastline. The existing offshore time series have been supplemented with the new data for November and December 2004).

The offshore wave statistics are presented in Figure 2.1.

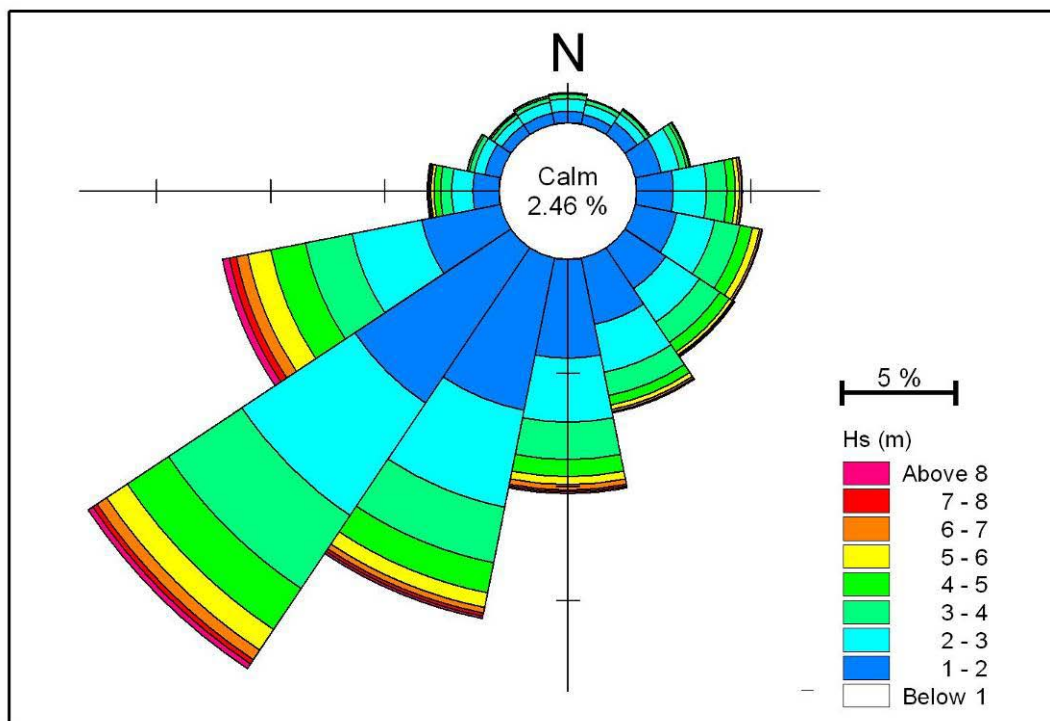


Figure 2.1 Offshore wave statistics

The wave model MIKE 21 NSW (Near-Shore Waves) has been used for the wave transformation. MIKE 21 NSW is a parameterised stationary wind wave model, which includes shoaling, refraction, growth due to wind, dissipation due to white capping, breaking and bottom friction. In the present case the model was set-up with a resolution of 200 m x 50 m. In total 891 wave transformation simulations were carried out to represent all relevant combinations of wave parameters, height, directions and period. The results are organised in such a way that an offshore time series of waves can be transferred to any point by interpolation between the results from the simulations. Near-shore time series of wave parameters have been established in 9 points along the 40 m depth contour. The extraction points are shown in Figure 2.2. The reference points have been selected well outside the surf zone but close enough to the coastline to account for the sheltering effect of the islands. The near-shore wave roses are presented in Figure 2.3.

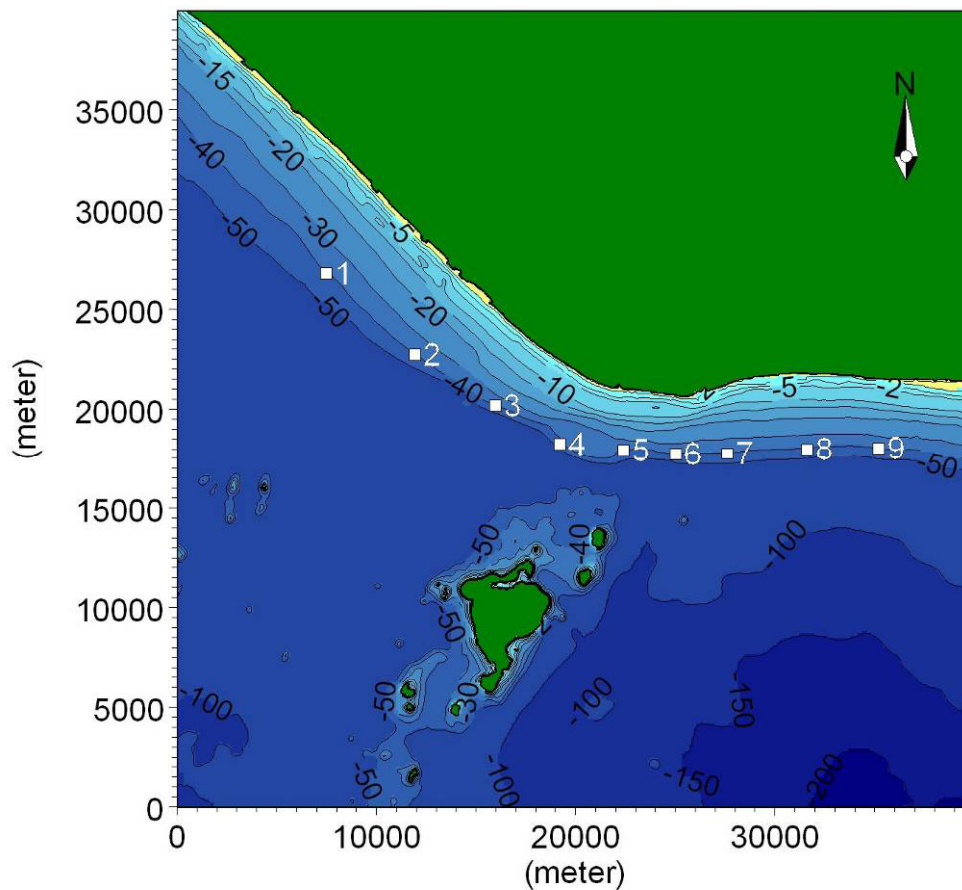


Figure 2.2 Extraction points for near-shore wave time series



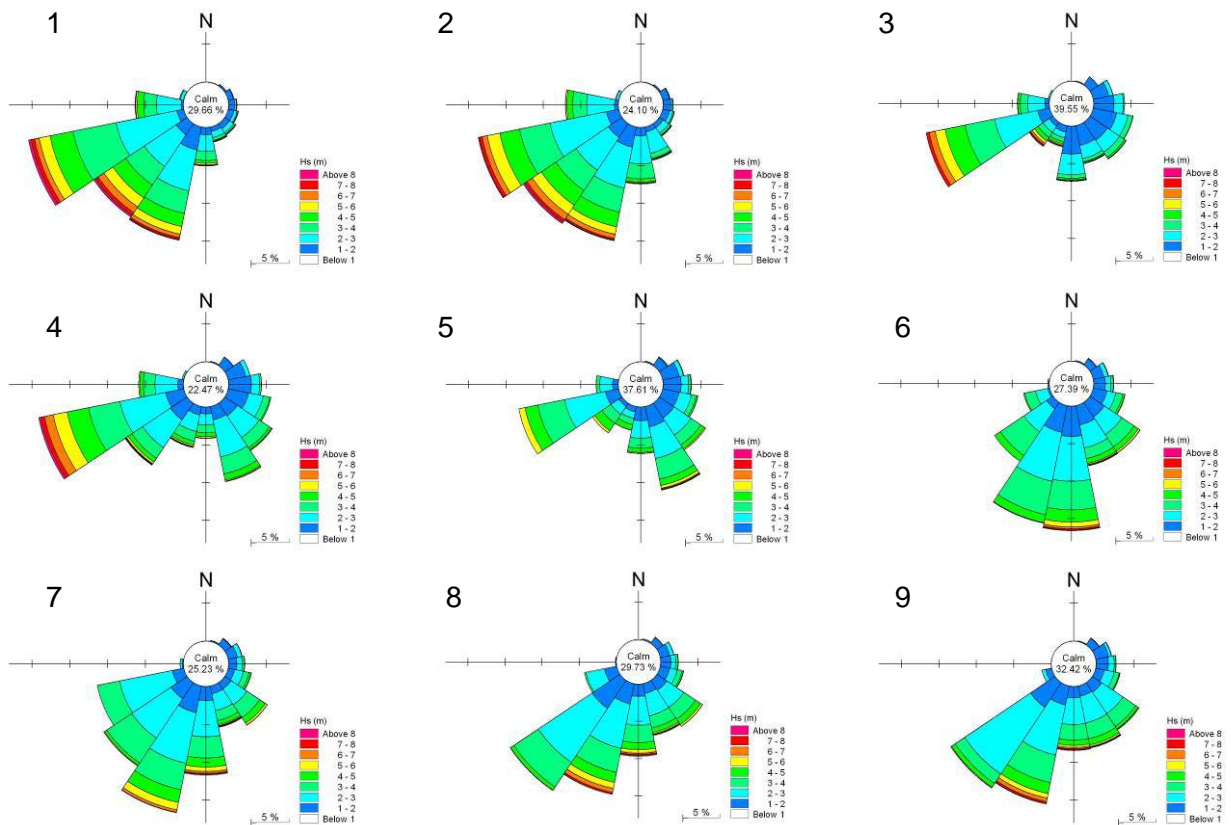


Figure 2.3 Near-shore wave roses

It is clearly seen how the Westmannaeyjar give shelter for the dominating westerly waves. The effect becoming more and more pronounced from point 1 to point 5. From point 6 to 9 the westerly waves again become more important.

Appendix A includes the wave energy distribution per wave height interval, per directional interval and per wave period interval for the 9 near-shore wave statistics compared to offshore.

## 2.1 Analysis of Historical Storms

An analysis was made of the importance of recent historic storms on the sediment budget. Continuous offshore wave records from the period 1979 – 2004 were transformed to near-shore locations using a 2D wave transformation model MIKE 21 NSW. The transformed wave data were used to define individual storm events. In this analysis a storm event is defined as the time period in which the significant wave height  $H_s$  exceeds a certain critical height. The storm period ends when the wave height becomes lower than this critical value. For each storm period the following parameters were calculated:

- Start of the storm (day, month, year)
- Duration (in hours)
- Mean and max wave height ( $H_s$ ) during the event

- Mean wave period (MWD) and mean wave period ( $T_m$ ).
- Littoral drift during the storm normalised with the average net annual drift for the entire period.

The applied method of identifying individual storm events is somewhat arbitrary and may be subject to improvement. A possible improvement might be achieved by allowing the wave height to temporarily drop below the critical value for a limited amount of time during one storm event. Two different criteria were used to rank the storm events: 1 – Exposure to wave energy (calculated as the product of wave energy and storm duration) and, 2) – magnitude of (gross) littoral transport. The first criterion will typically lead to the storm events that are best remembered in terms of wave height and/or duration. The second criterion leads to a ranking of storms in terms of their importance for coastal sediment transport and shoreline evolution. The two criteria will not necessarily lead to the same ranking of storm events. A storm with high waves and a long duration will score relatively low if the mean angle of wave incidence becomes perpendicular to the shoreline, where the long-shore sediment transport becomes small.

Table 1 shows the rankings of storms in the offshore region. The critical wave height was taken here as 8m.

Table 1: Overview of 20 most important storm events between 1979 and 2004. Location offshore region, ranking based on exposure to wave energy

no	Start of the storm			Dur (Hrs)	Hs <sub>mean</sub> (m)	Hs <sub>max</sub> (m)	MWD (° N)	T <sub>m</sub> (s)	Score (%)
	day	month	year						
1	29	12	1980	42	12.3	15.0	250.8	14.9	100.0
2	10	1	1990	42	11.8	15.0	219.3	14.6	92.0
3	24	12	1992	60	9.4	10.5	225.6	13.4	84.9
4	2	4	1995	48	10.1	12.0	250.9	14.0	77.5
5	9	3	1997	60	8.9	10.3	229.9	12.5	75.4
6	1	2	1993	48	9.9	11.4	231.9	13.4	75.1
7	3	2	1993	54	8.8	9.4	231.5	13.0	66.9
8	17	11	1982	42	10.0	11.4	260.8	13.2	66.6
9	6	3	1997	36	10.7	13.1	242.1	15.2	65.0
10	28	11	1994	48	9.2	10.1	241.0	13.3	64.9
11	18	11	1985	36	10.3	11.4	201.3	13.1	60.7
12	6	1	1984	30	11.2	13.4	242.4	15.5	59.4
13	16	11	1985	30	10.8	13.8	166.9	12.4	55.8
14	11	1	2000	30	10.1	12.2	228.1	13.4	49.0
15	16	12	1986	36	9.2	11.0	187.3	14.2	48.1
16	13	2	1989	30	10.0	11.6	251.7	14.0	48.0
17	10	1	1983	24	11.1	13.1	232.5	14.0	47.0
18	4	3	1983	42	8.4	9.0	231.0	13.4	46.7
19	16	3	1998	36	9.0	10.1	250.6	12.0	46.1
20	26	2	1980	30	9.7	10.2	237.1	12.7	44.4

The table indicates that the most severe storm started on Dec 29th 1980 and lasted 42 hours. The mean significant wave height during the storm was 12.3 m and the maximum significant wave height was 15.0m. The average wave period and wave direction were 14.9s and 250.8° N, respectively.

The same analyses were performed for the inshore positions 2, 5 and 8. Position 2 is located W of the new port, Position 5 is located between the Westmannaeyjar and the main Island, approximately where the new port will be established, and position 8 is located East of the new port. The water depth in these positions is 40m. The wave conditions in the near-shore positions can be quite different from the offshore region due to the sheltering effect of the Westmannaeyjar. Generally, the wave heights were found to be lower than in the offshore region. For the inshore positions a critical wave height was taken as 5m. It is noted that the choice of this critical wave height is arbitrary and that different rankings can be obtained for different critical wave heights. Tables 2 – 4 show the calculated ranking of the storm events.

The results show that the importance of the individual storm events depends on the location; for position 2, with a shoreline orientation of approximately  $222^\circ$  N, the most powerful storm in terms of wave energy (start Feb. 5<sup>th</sup> 1989, duration 210 hours) has a mean wave direction of  $226.1^\circ$  N. In terms of sediment transport, the most important storm in this location (start Feb 2<sup>nd</sup> 1993, duration 72 hours) had a mean direction of  $197.3^\circ$  N.

Similarly, the most powerful storm in position 5, which has a shoreline orientation of approximately  $188^\circ$  N, (start March 13<sup>th</sup> 2004, duration 96 hours) had a mean wave direction of  $154.6^\circ$  N. The most important storm in terms of sediment transport (start Feb 10<sup>th</sup> 1989, duration 24 hours) had a mean wave direction of  $156.4^\circ$  N. It is noted that this storm corresponds to the number 1 storm (in terms of wave energy) for location 2. The calculated storm durations are different for the two positions due to the applied criteria of exceeding a certain critical wave height.

For location 8, which has a shoreline orientation of approximately  $180^\circ$  N, the most powerful storm (start Feb. 2<sup>nd</sup> 1979, duration 126 hours) had a mean wave direction of  $180^\circ$  N (e.g. perpendicular to the coast). The most important storm for long-shore sediment transport (start Nov 16<sup>th</sup> 1985) had a mean wave direction of  $170^\circ$  N.

The analysis has shown that the annual sediment transport along the coast is dominated by the occurrence of single storm events. During one single storm, a transport of sediment corresponding to several times the averaged annual sediment transport can occur. The most extreme case was observed for location 5, where during the storm starting on Feb 10<sup>th</sup> 1989, a volume of sediment corresponding to 7 times the average annual drift was transported. It is noted however, that the average transport rate in position 5 is considerably lower than in locations 2 and 8 due to the sheltering effect of the Westmannaeyjar.

Table 2a: Overview of 20 most important storm events between 1979 and 2004. Location 2, ranking based on exposure to wave energy;  $Q_{gross} = 2.6 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{y}$

no	Start of the storm			Dur (Hrs)	Hs <sub>mean</sub> (m)	sHs <sub>max</sub> (m)	MWD (° N)	T <sub>m</sub> (s)	Score (%)	Q/Q <sub>ann</sub> (-)
	day	month	year							
1	5	2	1989	210	7.5	9.7	226.1	12.7	100.0	1.48
2	27	3	2003	162	6.8	9.1	228.5	11.3	63.5	0.97
3	11	1	2002	126	7.5	8.9	215.2	12.1	59.2	0.68
4	11	3	1997	120	7.6	9.4	218.7	12.2	57.9	2.69
5	12	3	1985	108	7.3	9.2	229.0	11.7	48.7	1.04
6	18	2	2002	114	7.0	8.7	238.0	11.2	47.0	0.91
7	2	1	1983	120	6.8	9.1	227.7	11.7	46.6	0.58
8	3	2	1993	72	8.5	10.2	197.3	13.2	43.5	3.73
9	16	1	2001	108	6.8	8.7	208.5	11.7	42.1	1.11
10	20	3	1993	108	6.8	8.0	233.9	11.9	41.9	1.43
11	4	3	1983	90	7.4	9.5	218.1	12.5	41.4	0.78
12	20	2	2001	114	6.6	8.2	227.4	11.1	41.3	0.78
13	31	12	1983	102	6.9	8.2	237.1	12.3	40.9	1.33
14	31	1	1992	126	6.1	7.4	223.6	10.7	39.7	0.25
15	24	12	1992	84	7.5	9.4	206.0	12.7	39.5	1.15
16	1	1	2005	84	7.3	8.9	243.4	11.6	37.6	1.45
17	12	2	2000	90	7.1	8.7	233.8	12.7	37.6	0.90
18	23	3	1986	120	6.1	6.6	233.7	11.5	37.2	0.46
19	17	1	1989	84	7.1	8.6	229.5	13.1	35.6	0.50
20	25	2	1980	78	7.4	10.6	217.3	12.3	35.5	0.55

Table 2b: Overview of 20 most important storm events between 1979 and 2004. Location 2, ranking based on contribution to long-shore sediment transport.  $Q_{gross} = 2.6 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{y}$

no	Start of the storm			Dur (Hrs)	Hs <sub>mean</sub> (m)	Hs <sub>max</sub> (m)	MWD (° N)	T <sub>m</sub> (s)	Score (%)	Q/Q <sub>ann</sub> (-)
	Day	Month	year							
1	3	2	1993	72	8.5	10.2	197.3	13.2	100.0	3.73
2	19	2	1997	42	7.5	9.7	197.0	13.5	85.0	3.17
3	18	12	1986	66	7.3	10.1	214.9	14.6	72.4	2.70
4	11	3	1997	120	7.6	9.4	218.7	12.2	72.2	2.69
5	5	2	1989	210	7.5	9.7	226.1	12.7	39.8	1.48
6	1	1	2005	84	7.3	8.9	243.4	11.6	39.0	1.45
7	20	3	1993	108	6.8	8.0	233.9	11.9	38.3	1.43
8	31	12	1983	102	6.9	8.2	237.1	12.3	35.6	1.33
9	10	2	1982	48	7.4	9.4	201.3	12.9	34.4	1.28
10	5	3	1990	42	7.3	8.2	247.8	12.4	31.4	1.17
11	24	12	1992	84	7.5	9.4	206.0	12.7	30.9	1.15
12	20	3	2000	48	7.3	8.0	247.1	11.6	30.1	1.12
13	10	1	1995	78	6.6	8.5	238.0	11.8	29.8	1.11
14	16	1	2001	108	6.8	8.7	208.5	11.7	29.7	1.11
15	12	11	1993	90	6.5	7.5	250.8	11.6	29.6	1.10
16	12	3	1985	108	7.3	9.2	229.0	11.7	27.9	1.04
17	19	11	1985	48	7.3	9.1	190.7	13.2	26.8	1.00
18	27	3	2003	162	6.8	9.1	228.5	11.3	26.0	0.97
19	18	2	2002	114	7.0	8.7	238.0	11.2	24.4	0.91
20	12	2	2000	90	7.1	8.7	233.8	12.7	24.2	0.90

Table 3a: Overview of 20 most important storm events between 1979 and 2004. Location 5, ranking based on exposure to wave energy.  $Q_{gross} = 1.1 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{y}$

no	Start of the storm			Dur (Hrs)	Hs <sub>mean</sub> (m)	Hs <sub>max</sub> (m)	MWD (° N)	T <sub>m</sub> (s)	Score (%)	Q/Q <sub>ann</sub> (-)
	Day	month	year							
1	13	3	2004	96	7.0	8.6	154.6	11.3	100.0	4.94
2	14	2	1986	54	6.8	7.7	155.7	11.7	54.2	1.78
3	20	2	1982	60	6.3	7.2	163.8	10.7	51.2	0.83
4	19	2	1979	48	6.6	7.7	154.8	11.2	44.3	1.25
5	10	2	1989	24	9.1	9.7	156.4	12.2	42.3	7.12
6	19	12	2000	48	6.1	7.6	156.6	10.5	37.9	0.88
7	13	12	1986	30	7.5	8.1	160.7	11.2	36.2	1.83
8	27	12	1981	42	6.3	7.9	128.1	10.6	35.6	0.43
9	8	1	2003	48	5.7	6.5	168.4	11.7	33.3	0.45
10	9	2	1991	36	6.2	7.2	158.4	11.0	29.8	0.52
11	5	2	1982	36	6.2	7.3	162.3	10.5	29.4	0.59
12	27	2	1988	42	5.4	5.5	249.5	9.9	26.3	0.22
13	20	6	1992	42	5.3	5.5	247.9	9.7	25.4	0.21
14	7	3	2002	24	7.0	7.5	157.5	10.8	25.1	0.88
15	26	2	1991	24	7.0	8.1	157.1	10.2	24.9	1.00
16	18	11	2002	24	6.9	7.1	152.0	10.0	24.2	0.68
17	15	12	1986	18	7.7	8.8	152.6	11.5	23.1	1.57
18	30	11	1983	30	5.9	6.9	158.2	9.5	22.6	0.30
19	30	4	1993	36	5.4	5.7	246.9	10.1	22.5	0.21
20	10	4	1984	36	5.4	5.7	246.9	9.6	22.1	0.19

Table 3b: Overview of 20 most important storm events between 1979 and 2004. Location 5, ranking based on contribution to long-shore sediment transport.  $Q_{gross} = 1.1 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{y}$

no	Start of the storm			Dur (Hrs)	Hs <sub>mean</sub> (m)	Hs <sub>max</sub> (m)	MWD (° N)	T <sub>m</sub> (s)	Score (%)	Q/Q <sub>ann</sub> (-)
	Day	month	year							
1	10	2	1989	24	9.1	9.7	156.4	12.2	100.0	7.12
2	13	3	2004	96	7.0	8.6	154.6	11.3	69.4	4.94
3	16	11	1985	12	8.4	8.4	152.4	13.5	30.3	2.15
4	13	12	1986	30	7.5	8.1	160.7	11.2	25.6	1.83
5	14	2	1986	54	6.8	7.7	155.7	11.7	25.0	1.78
6	16	2	2003	12	8.2	8.2	154.0	11.9	24.6	1.75
7	15	12	1986	18	7.7	8.8	152.6	11.5	22.0	1.57
8	19	2	1979	48	6.6	7.7	154.8	11.2	17.6	1.25
9	26	2	1991	24	7.0	8.1	157.1	10.2	14.	1.00
10	7	3	2002	24	7.0	7.5	157.5	10.8	12.4	0.88
11	19	12	2000	48	6.1	7.6	156.6	10.5	12.3	0.88
12	20	2	1982	60	6.3	7.2	163.8	10.7	11.7	0.83
13	24	12	1989	18	7.3	7.8	128.1	12.4	11.2	0.80
14	1	4	1984	18	6.9	7.8	149.1	10.7	10.6	0.75
15	19	12	1982	18	6.9	7.2	154.8	11.5	9.8	0.70
16	18	11	2002	24	6.9	7.1	152.0	10.0	9.6	0.68
17	20	2	2002	12	7.3	7.3	159.8	11.9	9.4	0.67
18	5	2	1982	36	6.2	7.3	162.3	10.5	8.4	0.59
19	7	11	2003	24	6.2	7.2	151.5	10.0	8.0	0.57
20	10	3	2003	24	6.4	7.0	159.6	12.5	7.8	0.55

Table 4a: Overview of 20 most important storm events between 1979 and 2004. Location 8, ranking based on exposure to wave energy.  $Q_{gross} = 1.3 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{y}$

no	Start of the storm			Dur (Hrs)	Hs <sub>mean</sub> (m)	Hs <sub>max</sub> (m)	MWD (° N)	T <sub>m</sub> (s)	Score (%)	Q/Q <sub>ann</sub> (-)
	Day	month	year							
1	20	2	1979	126	7.5	12.0	180.0	12.1	100.0	1.69
2	13	3	2004	150	6.9	8.8	168.8	10.9	99.1	3.24
3	17	1	1991	108	7.5	10.3	193.0	12.2	85.6	2.06
4	20	2	2003	120	7.1	8.9	191.9	12.4	84.3	1.34
5	14	2	1986	90	6.7	8.7	180.6	11.5	57.6	0.21
6	20	2	1982	90	6.6	7.9	177.2	11.1	55.1	0.67
7	29	11	1993	72	7.4	11.3	195.2	12.3	54.9	1.25
8	9	2	1991	84	6.7	7.4	177.5	11.3	53.4	0.71
9	3	4	1984	48	8.4	11.6	180.7	12.4	47.4	0.31
10	18	1	1987	66	6.6	8.1	183.2	10.8	40.9	0.30
11	18	12	1997	78	5.9	7.3	188.2	10.4	38.4	0.29
12	26	12	1989	60	6.6	8.0	183.6	13.2	36.9	1.57
13	27	2	1991	54	7.0	8.3	181.9	11.5	36.9	0.78
14	4	3	2004	48	7.4	10.5	190.5	12.2	36.6	1.41
15	21	11	1993	48	7.4	9.7	194.7	11.5	36.5	0.84
16	16	11	1985	30	9.1	11.0	170.0	13.5	35.2	6.37
17	10	2	1989	30	8.9	10.0	166.8	12.1	33.5	3.82
18	7	12	1991	54	6.5	7.8	195.3	10.7	31.8	0.45
19	25	10	1979	60	6.1	7.2	186.0	10.8	31.2	0.23
20	13	1	2001	48	6.7	7.5	196.8	11.1	30.7	0.78

Table 4b: Overview of 20 most important storm events between 1979 and 2004. Location 8, ranking based on contribution to long-shore sediment transport.  $Q_{gross} = 1.3 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{y}$

no	Start of the storm			Dur (Hrs)	Hs <sub>mean</sub> (m)	Hs <sub>max</sub> (m)	MWD (° N)	T <sub>m</sub> (s)	Score (%)	Q/Q <sub>ann</sub> (-)
	Day	Month	year							
1	16	11	1985	30	9.1	11.0	170.0	13.5	100.0	6.37
2	10	2	1989	30	8.9	10.0	166.8	12.1	60.0	3.82
3	13	3	2004	150	6.9	8.8	168.8	10.9	50.8	3.24
4	17	1	1991	108	7.5	10.3	193.0	12.2	32.4	2.06
5	20	2	1979	126	7.5	12.0	180.0	12.1	26.6	1.69
6	26	12	1989	60	6.6	8.0	183.6	13.2	24.6	1.57
7	4	3	2004	48	7.4	10.5	190.5	12.2	22.2	1.41
8	20	2	2003	120	7.1	8.9	191.9	12.4	21.0	1.34
9	29	11	1993	72	7.4	11.3	195.2	12.3	19.7	1.25
10	13	12	1986	36	7.5	8.3	167.2	11.5	18.8	1.20
11	16	11	1993	24	8.7	10.5	181.6	12.2	18.2	1.16
12	28	12	1987	36	6.9	7.5	196.9	13.6	14.0	0.89
13	21	11	1993	48	7.4	9.7	194.7	11.5	13.3	0.84
14	4	1	1989	36	7.2	8.6	191.0	12.2	13.2	0.84
15	22	12	1985	42	6.4	7.2	185.3	12.7	12.6	0.80
16	29	12	1989	30	6.9	7.4	205.9	11.6	12.4	0.79
17	13	1	2001	48	6.7	7.5	196.8	11.1	12.3	0.78
18	27	2	1991	54	7.0	8.3	181.9	11.5	12.2	0.78
19	30	11	1992	48	6.5	7.6	200.0	11.9	12.2	0.78
20	27	12	1988	42	6.5	7.2	185.7	12.8	12.1	0.77

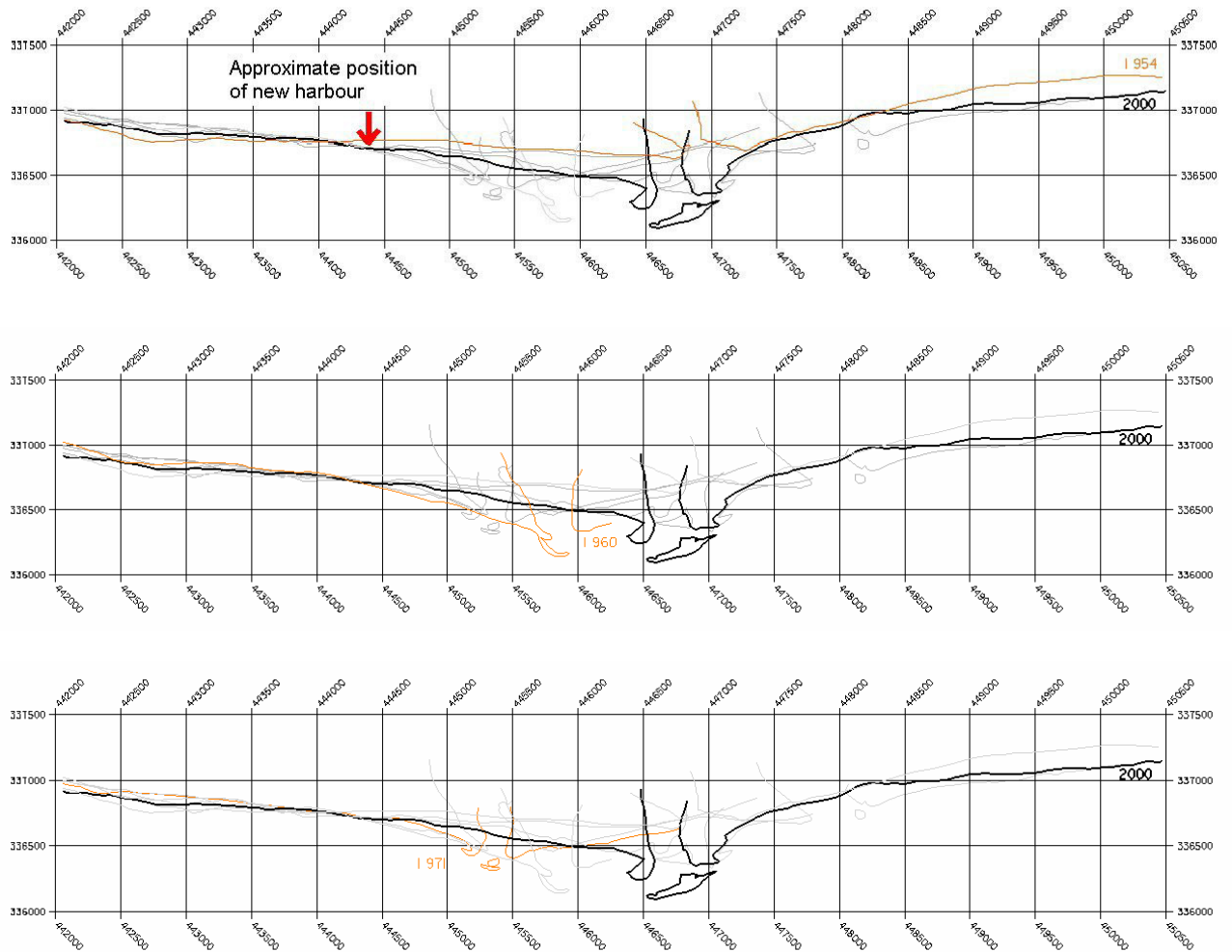


### 3 OVERALL SEDIMENT BUDGET

#### 3.1 Historical Evolution

The shoreline evolution and the development of the river mouth have been analysed from 7 sets of aerial photos from 1954 to 2000, see Ref. /2/. The shorelines are reproduced in Figure 3.1 below.

The harbour is located at 543910 E (UTM 27). It appears that the historical coastline has been very stable around this location whereas variability of up to 300 m is seen to the east of the location and 100 m to the west of the location.





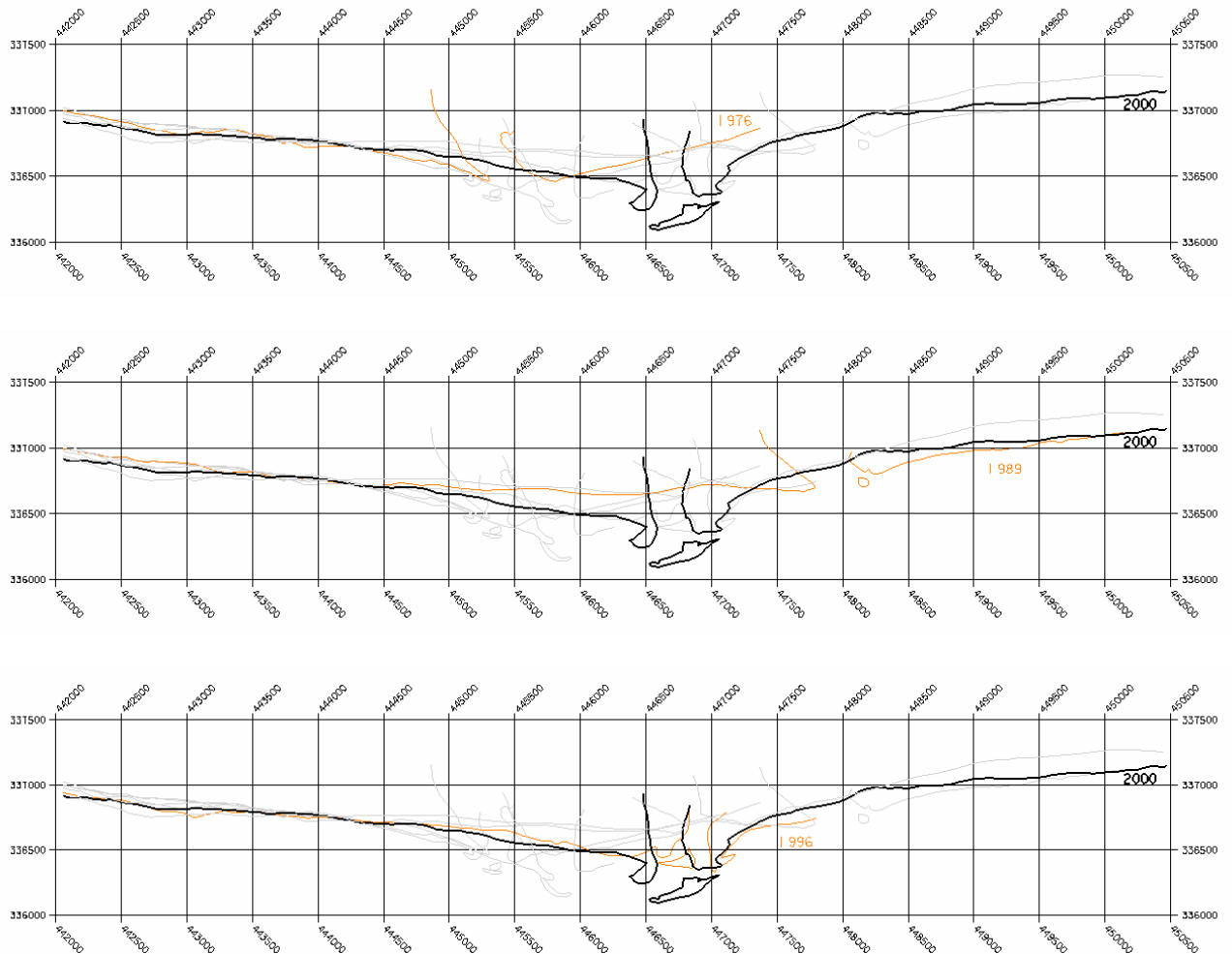


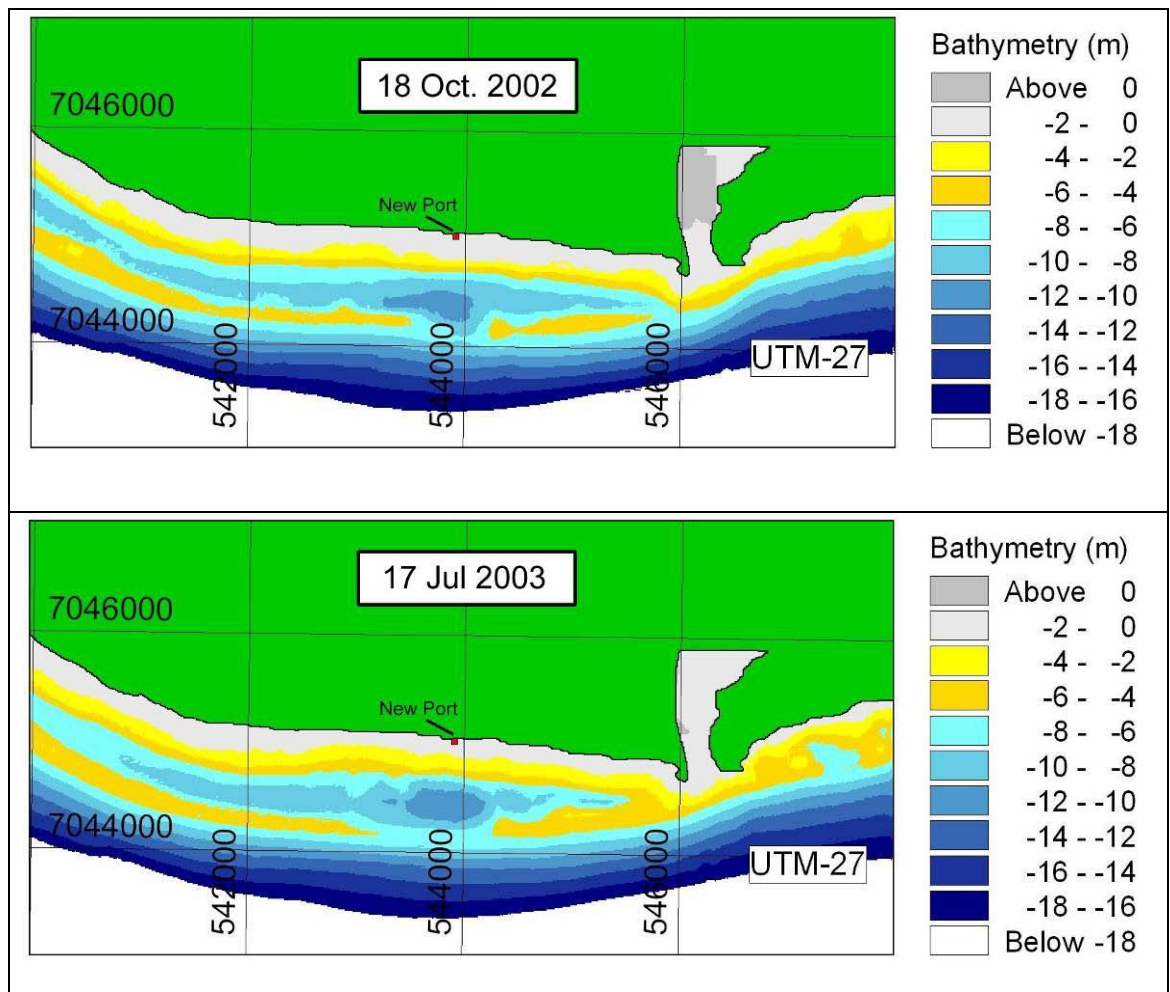
Figure 3.1 Shorelines derived from aerial photos, see Ref. /2/

The bathymetries have been measured every summer since 2002. These bathymetries are reproduced in Figure 3.2. Depth contours lower than 6 m are indicated in yellow shades. The bathymetries are in fact only snapshots of the morphodynamics that occur during the year. On the basis of the available 4 bathymetries no clear long term trends in the near-shore morphology can be derived. However, the dynamic behaviour in front of the river mouth is demonstrated clearly. The discharge of sand in the river strongly influences the bathymetry in front of the river. It is clearly seen that a bell shaped delta is formed during the summer months with the high discharges in the river. The situation in the summer with relative low wave-generated transport and high sediment supply from the river is clearly shown in the bathymetries of July 2003 and July 2004. The outer bar has migrated away from the port area and an extensive “spit” has developed from the river mouth towards West.

The bathymetry of May 2005 represents the situation at the end of the winter with strong wave-generated transport and low sediment supply from the river. The outer bar has reached its most eastern location and the “spit” on the western side of the river mouth is virtually absent.

The bathymetry of Oct. 2002 represents an intermediate stage between summer and winter conditions. The outer bar still extends quite far towards East, but the “spit” is already starting to erode by the action of the waves and the decrease in sediment supply as a result of decreasing melting water discharge.

The average river discharge of the sand fraction is known to be about 100,000 m<sup>3</sup>/year, whereas the discharge of fines is much higher about 1 mill. m<sup>3</sup>/year. It is expected that only the sand fraction contributes to the near-shore morphology. The fines are spread over a very large area and do not interact with the morphology. The development in front of the river mouth will be discussed in more detail in the following sections.



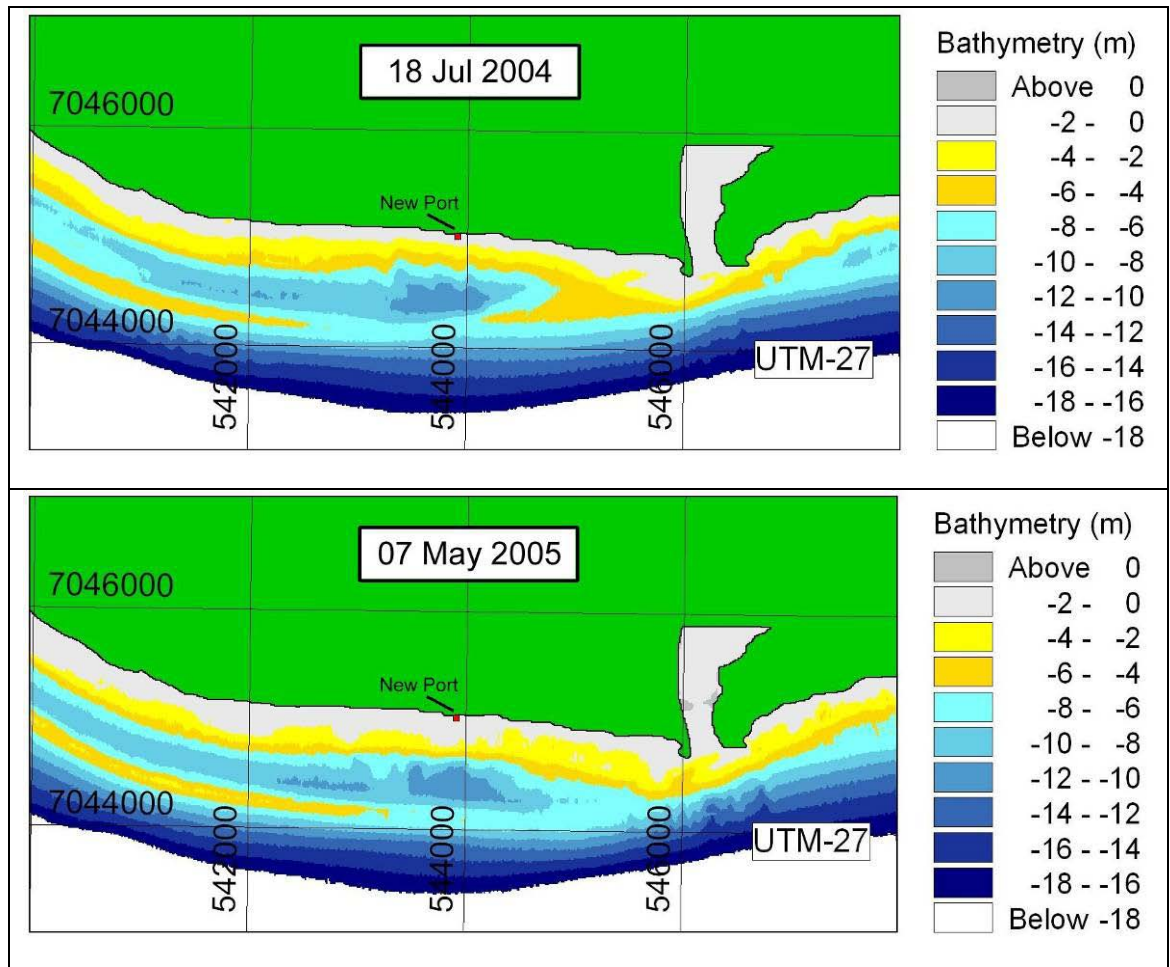


Figure 3.2 Bathymetries, 2002, 2003, 2004 and 2005

The differences between winter- and summer conditions are illustrated by means of a difference plan (e.g. the difference between 2005 and 2004 bathymetries) as shown in Figure 3.3.

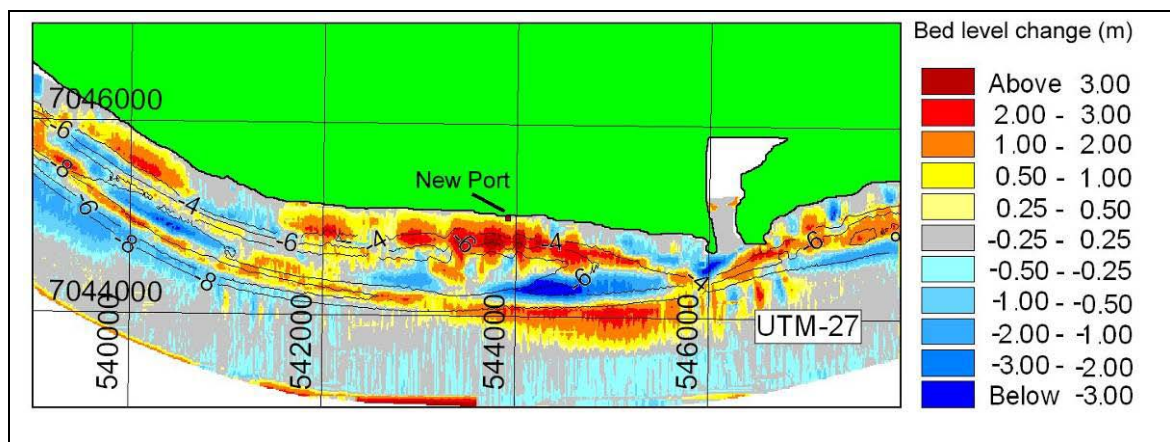


Figure 3.3 Difference plot between winter and summer bathymetries

The depth contours of the 2004 bathymetry are shown for reference. The figure shows that strong erosion of the spit west of the river mouth has occurred (blue colours). Sediment has been deposited further offshore and on the first bar (red colours).

### 3.2 Method for Calculation of Littoral Drift

The below analysis of littoral drift along the coast at Bakkafjara has been carried out using the numerical modelling complex LITPACK.

LITPACK includes modules for transformation of waves across a coastal profile, for calculation of wave driven currents and for calculation of long-shore sediment transport across the coastal profile, as illustrated in Figure 3.4. LITPACK uses a deterministic sediment transport model, which calculates sediment transport as function of the local wave height, period, direction, loss of energy in the breaking, current speed and direction, sediment properties. LITPACK is described in detail in Ref. /1/.

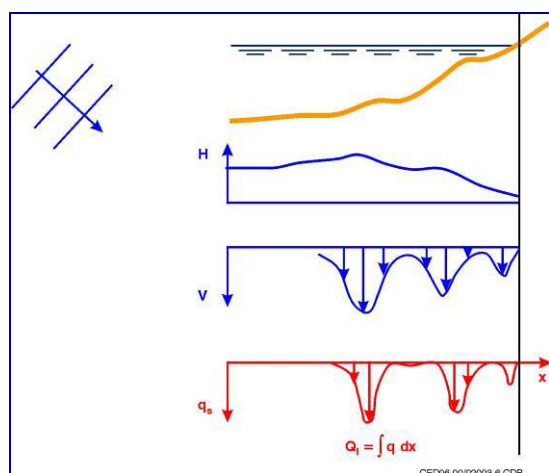


Figure 3.4 Illustration of basis modules in LITPACK for the calculation of waves, currents and sediment transport across the coastal profile

The Scientific Basis of LITPACK relies heavily on research work performed at the Technical University of Denmark during the last 25 years. For more detailed information about the Scientific Background, the reader is referred to Ref. /3/.

### 3.3 Sediment Properties and Sensitivity of Littoral Drift

Sediment transport varies strongly with sediment grain size and with sediment density. Furthermore, the littoral drift for given wave conditions is sensitive to the hydraulic roughness of the sea bed shape.

Sediment samples have been collected in 3 profiles, sn 1, sn 9 and sn 16, see Ref. /2/. The three profiles and the median grain sizes are shown in Figure 3.5. The grain size distributions in all samples are relatively well sorted,  $\sqrt{d_{84}/d_{16}} = 1.4$ .

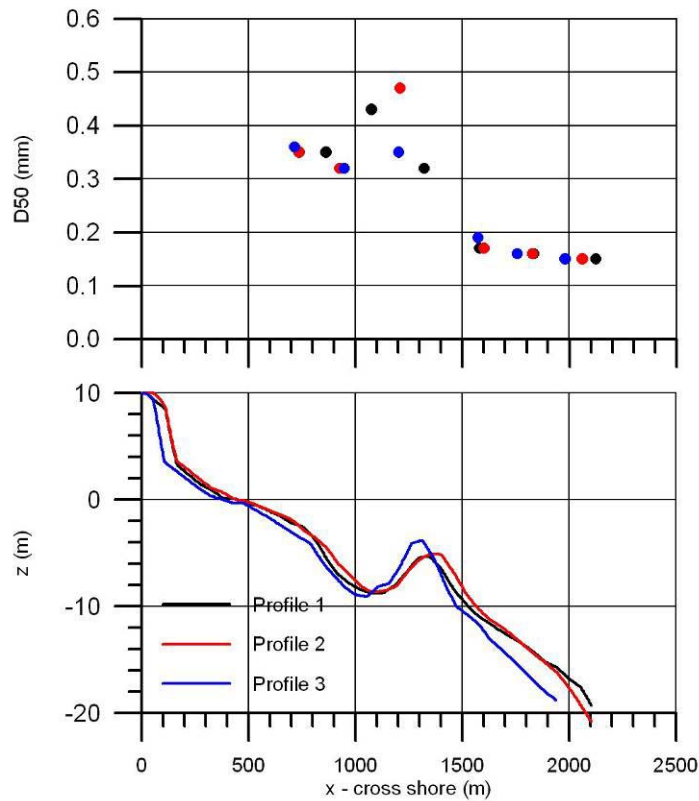


Figure 3.5 Upper figure: median grain sizes along three profiles.  
Lower figure: profiles 1 = sn 1, 2 = sn 9, 3 = sn 16

During the site inspection on 13 December a number of sediment samples were collected around the water line at different distances from the river mouth. A clear variation of the mean grain size with distance from the river mouth was found as shown in Figure 3.6.

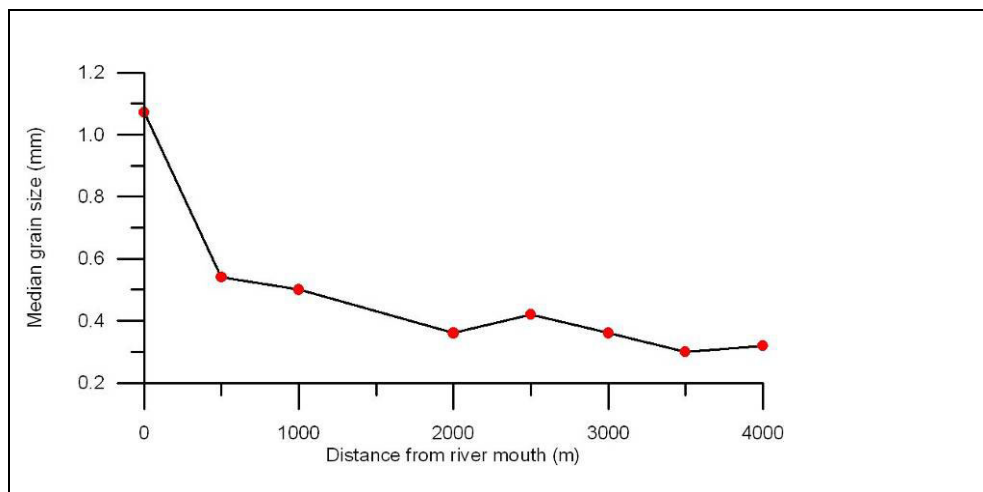


Figure 3.6 Variation of d50 with distance from river mouth



The new sediment data correspond well to the previously found data. In the sediment transport calculations presented below, a median grain size of 0.36 mm has been used in the below calculations from the shoreline to the top of the bar. From 10 m and seaward a grain size of 0.2 mm has been used. The gradation is kept constant along the entire profile.

The bathymetry around Bakkafjara has been measured in 2002, 2003, 2004 and 2005. Coastal profiles have been extracted from the bathymetry from 2005 at the 9 locations shown in Figure 2.2. These profiles are shown in Figure 3.7.

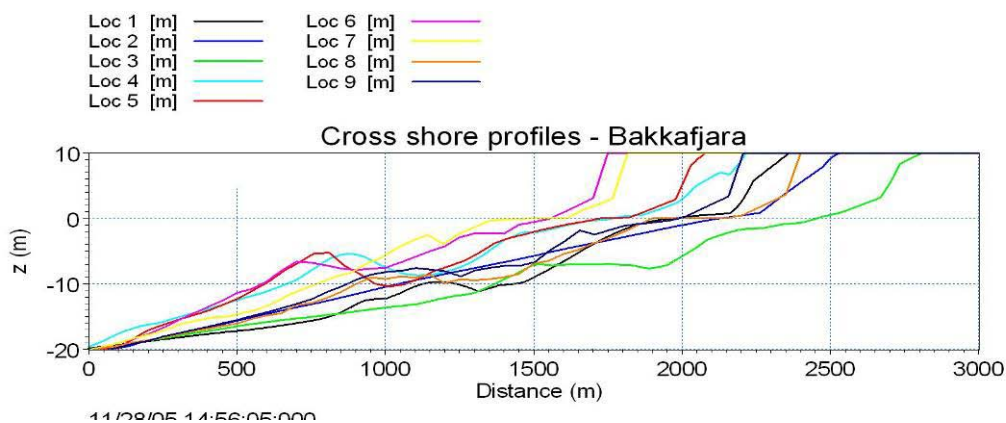


Figure 3.7 Coastal profiles, bathymetry 2005

It is seen that all profiles 1-5 include a distinct bar with a crest level between 5 and 6 m. The profiles 6-9 do not include an offshore bar.

The sensitivity of the density of the bed material and the hydraulic roughness have been tested by calculating contributions from all components in the wave statistics to the net and gross littoral drift for location 5, which is close to the harbour location. The calculations have been made for orientations of the coastline (the direction of the shore normal) between 160° and 200°. The results obtained for the combinations of two roughnesses and two densities are shown in Figure 3.8.

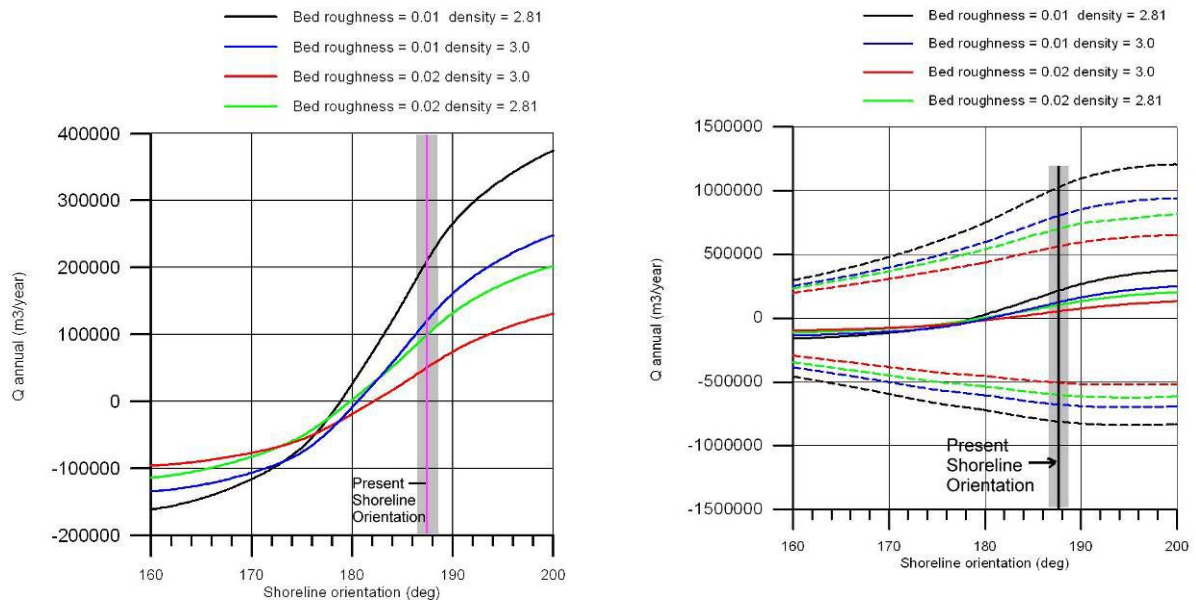


Figure 3.8 Left: net littoral drift. Right: the east-going and west-going contributions to the net transport. Positive numbers: transport to the east

Figure 3.8 clearly illustrates that the net transport around the planned location of the harbour is small, whereas the gross transport is large, 6-700,000 m<sup>3</sup>/year to the west and to the east, respectively. The littoral drift is seen to be sensitive both to roughness and density. The tested realistic range of these two parameters shows calculated transport rates, which vary within a factor of 2. A precise calibration of the model set-up is not possible due to the lack of measured sediment transport volumes. Therefore, default values based on DHI experience in other, similar studies have been used. The below calculations have been performed with a bed roughness of 0.01 m and a relative density of the sand of 3.0. This combination gives conservative littoral drift rates based on general experience.

### 3.4 Relations between Littoral Drift and Coastline Orientation and Overall Sediment Budget

The calculated east- and west-going transport as well as the net transport for the locations 1 and 2 to the west of the harbour and for the locations 7, 8 and 9 to the east of the harbour is shown in Figure 3.9 as function of the local orientation of the coastline. Positive transport rates indicate transport towards east. The grey shading indicates the actual coastline orientation. All transport rates are calculated for the time series of waves for the years 1979 to 2004.

It appears that the net transport along the open coast 5 km west of the harbour location is about 0.3 mill m<sup>3</sup>/year east-going. The net transport on the open coast east of the harbour location is about 0.4 mill m<sup>3</sup>/year east-going. The supply of sand from the river is estimated at 0.1 mill m<sup>3</sup>/year. These overall sediment transport rates indicate that the coastline is in a dynamic equilibrium.



The comparison of coastlines observed in the period from 1954 to 2000, see Figure 3.1, shows that the coastline has accreted slightly to the west of the harbour location and has accreted around the river mouth and also to the east of the river mouth. However, the processes around the river mouth are very complex and a volume of deposition due to gradients in the littoral drift can not be derived from the observations.

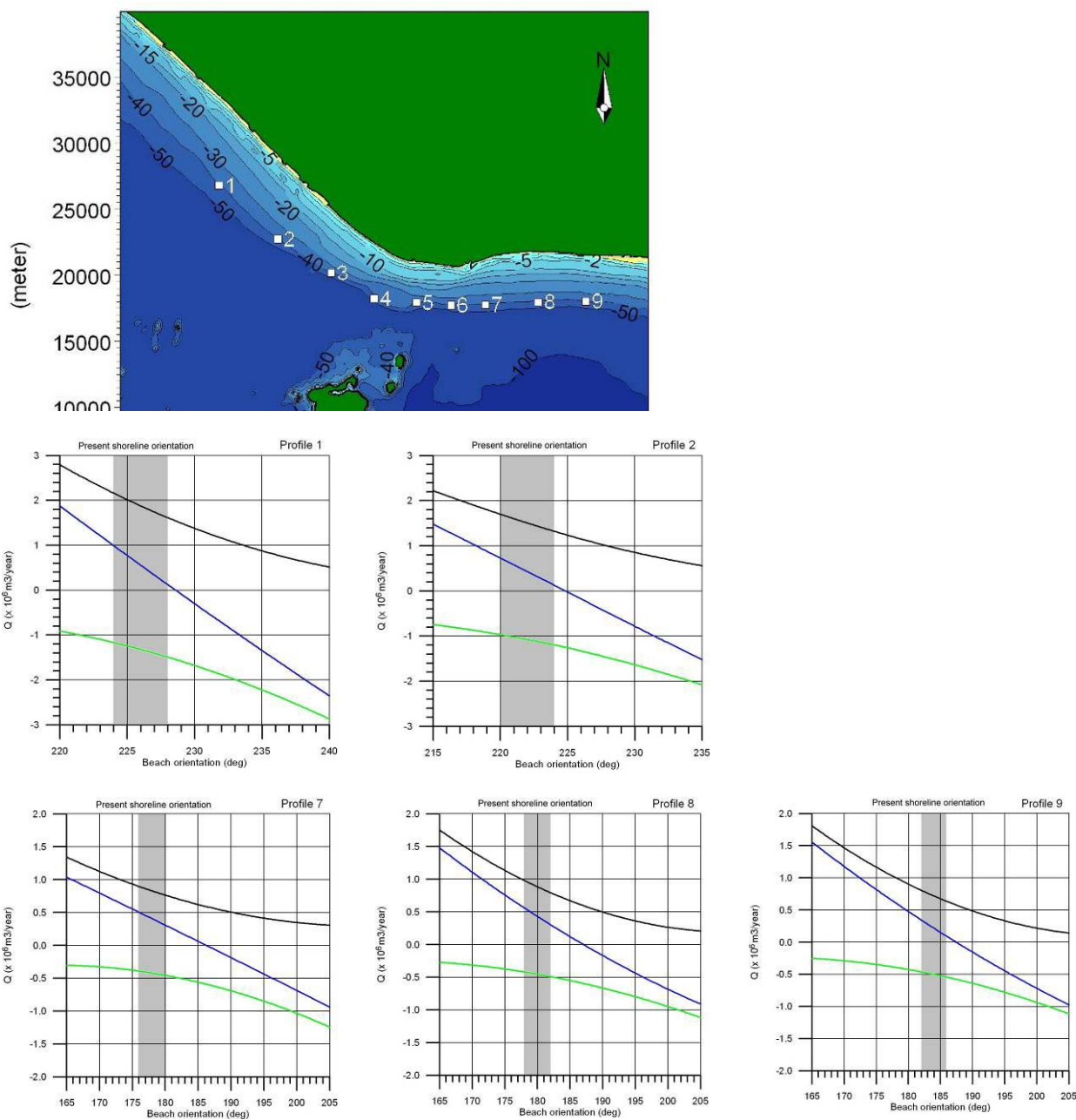


Figure 3.9 East- and west-going transport as well as the net transport for 2 locations to the west and three to the east of the harbour

### 3.5 **Variability of Long-shore Littoral Drift**

The long-shore transport varies not only along the coastline but also strongly over the year and from year to year. The cumulative long-shore transport for locations 2, 5 and 8 is shown in Figure 3.10. It appears that the net littoral drift passing point 5 is low compared to the other 2 locations. It is also noted that most of the time the littoral drift is to the east in all points, but short severe south-easterly wave events lead to short periods of high transport rates to the west.

The yearly eastward and westward transports for point 5 are shown in Figure 3.11. The diagram shows east-going net yearly transport rates up to 0.5 mill m<sup>3</sup> and west-going net yearly transport rates up to 0.7 mill m<sup>3</sup>.

The variability over the year is illustrated for point 5 in Figure 3.12, which shows average transport for every month of the 25 years of wave data. It appears that November, December, February and March are the most severe months with gross transport rates up till 40-60,000 m<sup>3</sup>/month.

The distribution of the long-shore transport along the coastal profiles is shown for the sections at point 2, 5 and 8 in Figure 3.13. It is seen that the long-shore transport is concentrated on the bar and the inner part of the profiles at points 2 and 5 and that the transport is concentrated in the inner part of the profile at point 8. In profile 2 it is seen that the net long-shore transport is east-going both on the bar and at the inner part of the profile. At profile 5 the net transport has reversed on the bar and is west-going. This change in net littoral drift on the bar will be further discussed in Section 4.

#### **Dynamics of breaker bars**

The formation of bars along sandy coasts is due to the so-called undertow in the surf zone. When the waves break a large amount of water is pushed shoreward in the surface roller. A similar amount of water flows seaward near the bed to compensate for the on-shore flux in the surface. The sediment transport in the surf zone is sea-ward directed due to this so-called undertow. The net cross-shore sediment transport under non-breaking waves is shoreward directed mainly due to asymmetry in the orbital motion. These cross-shore processes are responsible for the seasonal variations of the coastal profiles. The severe winter storms erode in the inner part of the profile and drag sediment out into the bar. The milder summer conditions transport sediment back to the inner part of the coastal profile, which is re-established. The breaker bars are most pronounced at locations with moderate tidal ranges as the tide moves the breaker point and thereby the cross-shore processes up and down along the profile. The point of convergence of sediment from inshore and from offshore is therefore not well defined and the bars can not be formed. Long-shore and cross-shore processes do interact.

The breaker bars act as “pass ways” for the long-shore transport. At the same time the breaker bars form a natural protection of the inner part of the profile, partly because the highest waves break on the bar and hit the coast with reduced energy and partly because the total long-shore transport is smaller when bars are present. The bars are never uniform along long stretches of coastline but are broken up either by rip channels or other phenomena. In the present case there seem to be two reasons for the change from a



barred profile at points 1-5 and no bars at profiles 7-9. Partly because the wave climate changes along the coastline and there is a divergent point between point 5 and 6 for long-shore transport on the bar and partly because the waves are slightly lower in the sheltered area behind Westmannaeyjar and the tidal range is such that the bars can not form. Furthermore, the system is affected by the yearly supply of sand from the river.

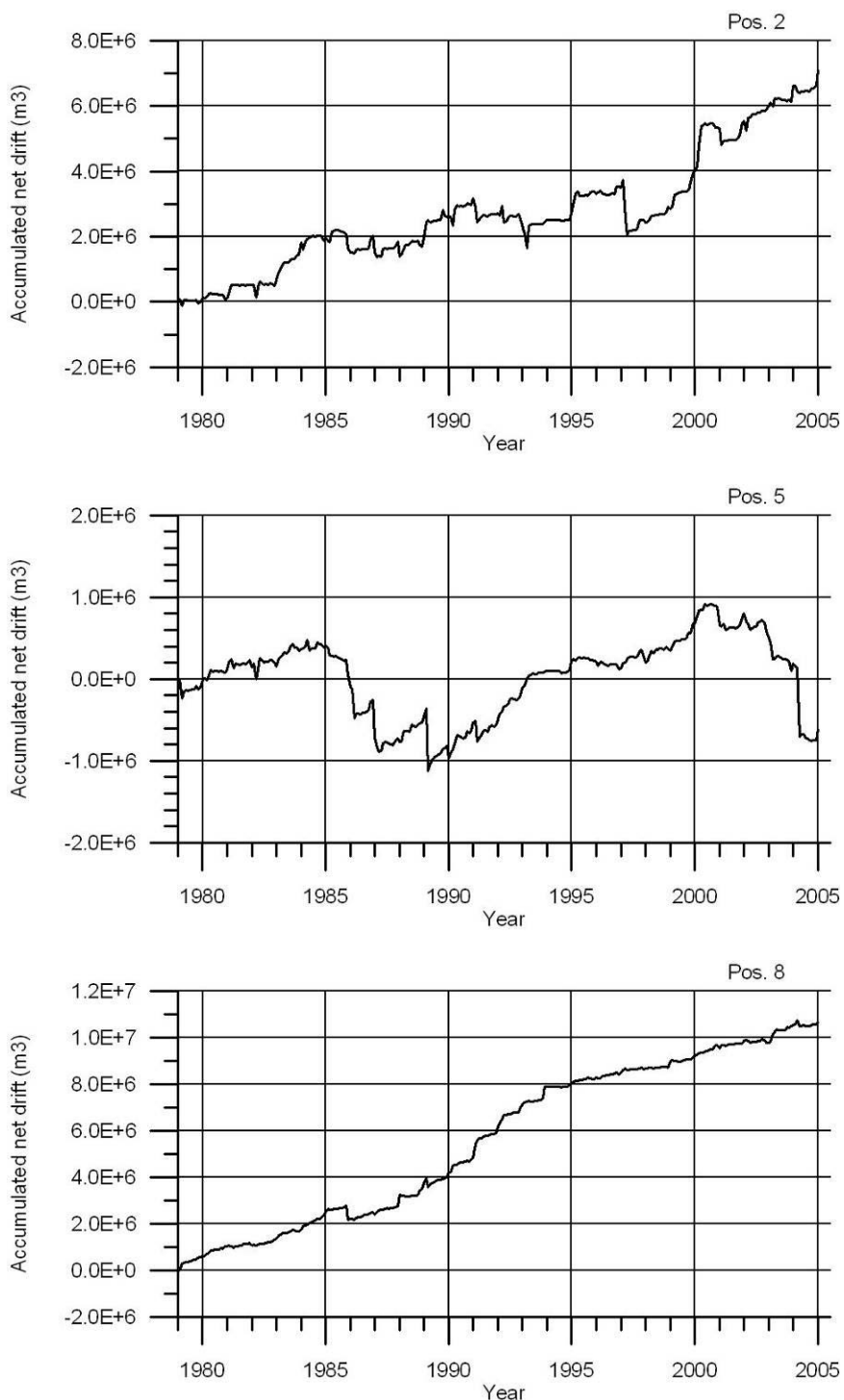


Figure 3.10 Cumulative net littoral drift in locations 2, 5 and 8. Positive rates are east-going, i.e. the gradient is positive during east-going transport events and negative during west-going events. NOTE: different scales

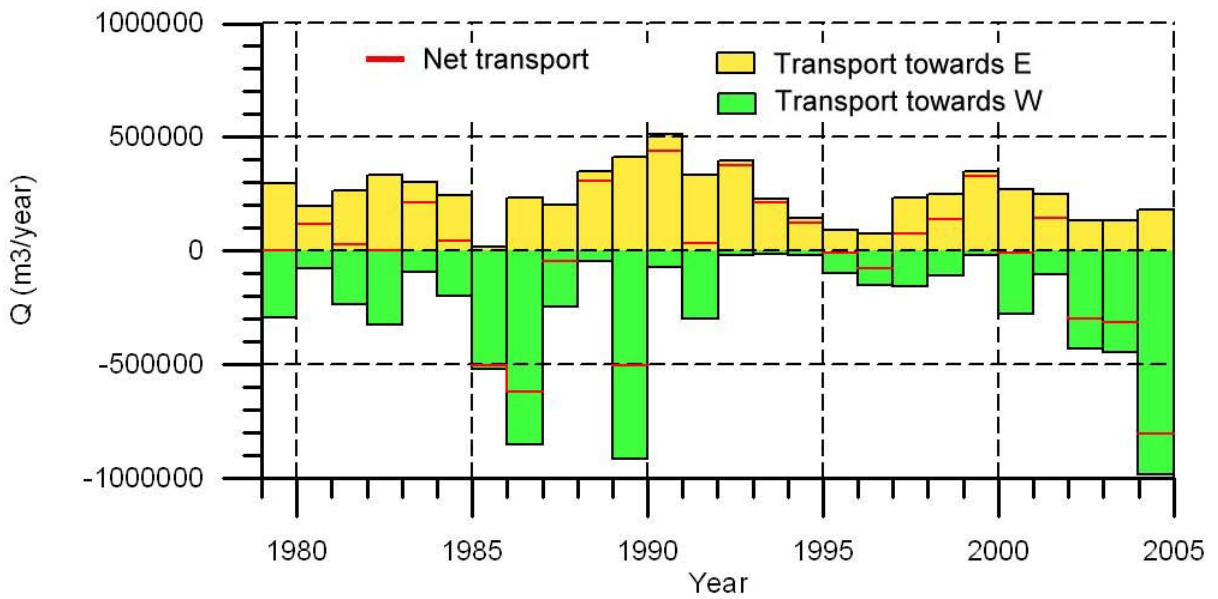


Figure 3.11 The average east- and west-going transport rates per year as well as net transport. Point 5

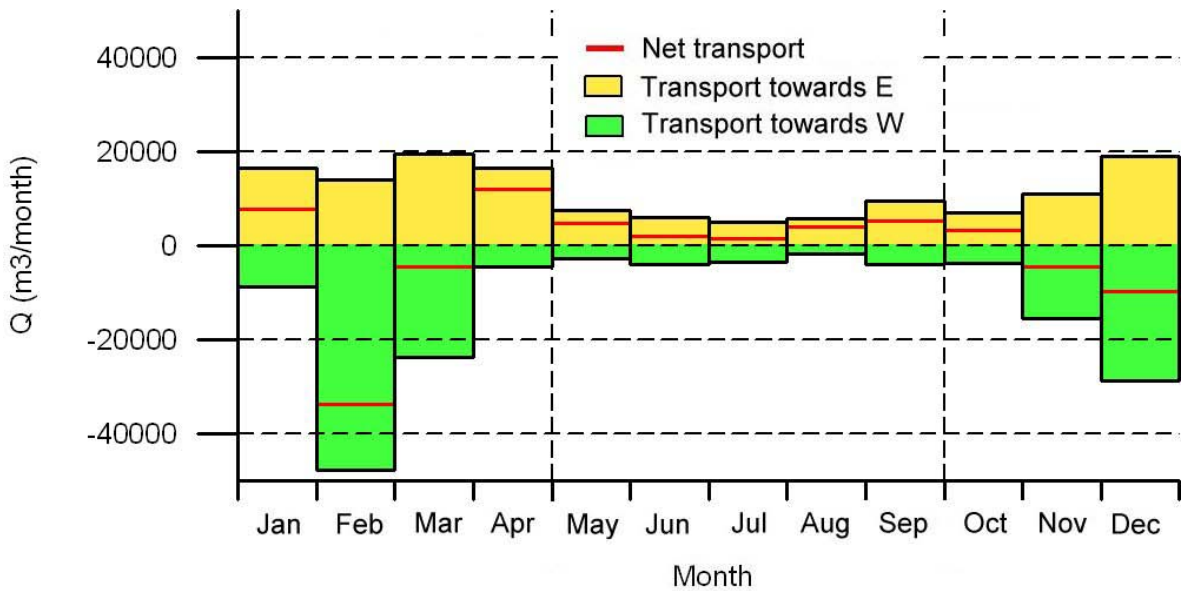


Figure 3.12 Variability over the year of east-going and west-going transport, point 5

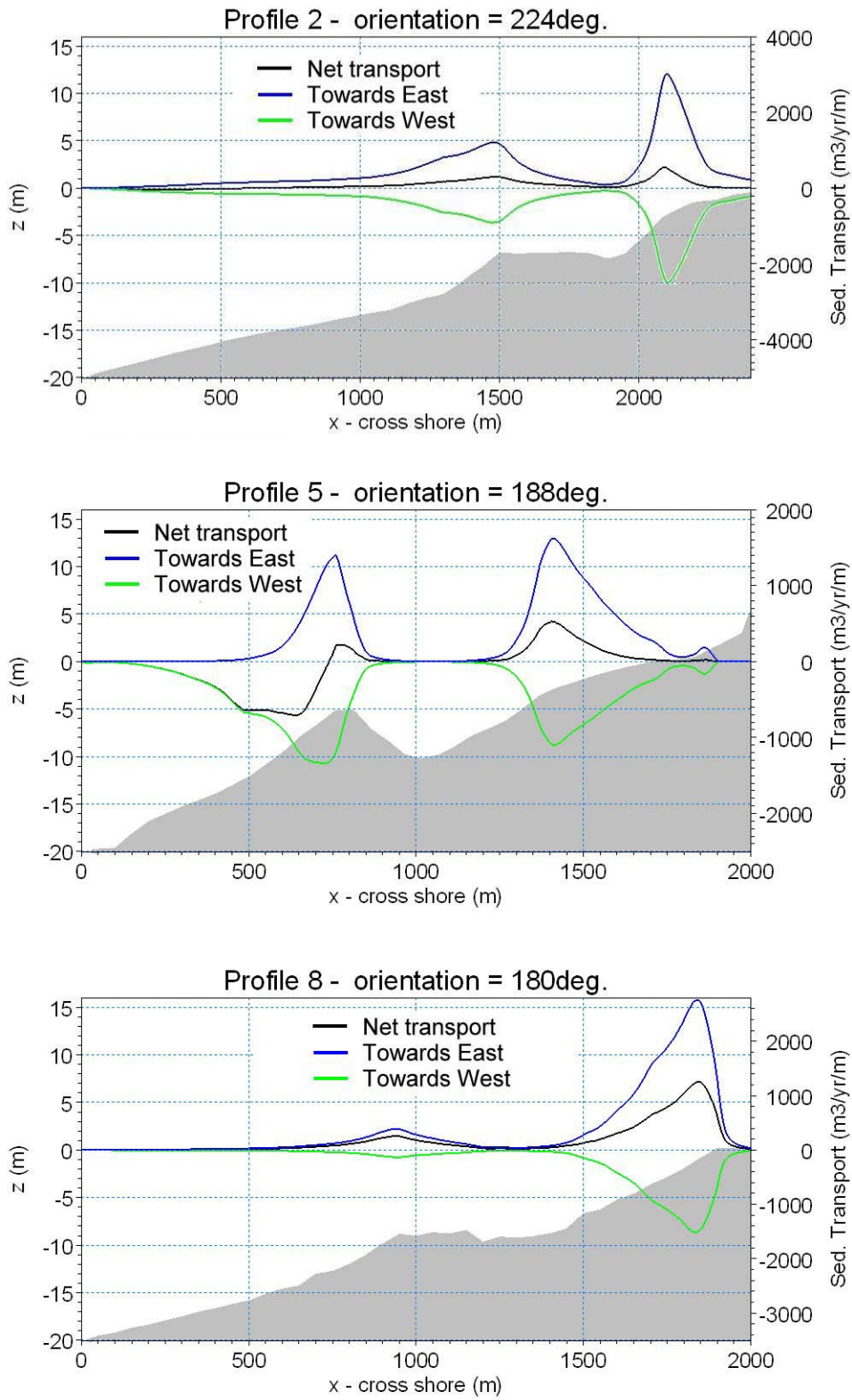


Figure 3.13 Cross-shore distribution of net- and gross long-shore transport along the profiles at point 2, 5 and 8



#### 4 STABILITY OF THE BAR AND THE “SPIT”

The below Figure 4.1 shows the 2005 bathymetry and the points 4-7 as well as the planned location of the harbour, here marked as point “10”. The figure shows the existence of a bar between the sections at points 4 and 5 and no bar from the river mouth and eastward. From the bathymetries measured in 2002, 2003 and 2004, see Figure 3.2, it appears that the bar has not reached and passed the harbour in any of these cases. The bathymetries from 2002, 2003 and 2004 on the other hand show the growth of a spit formation from the delta off the river mouth. This spit is growing towards west. However, the spit is not observed to have reached the location of the harbour.

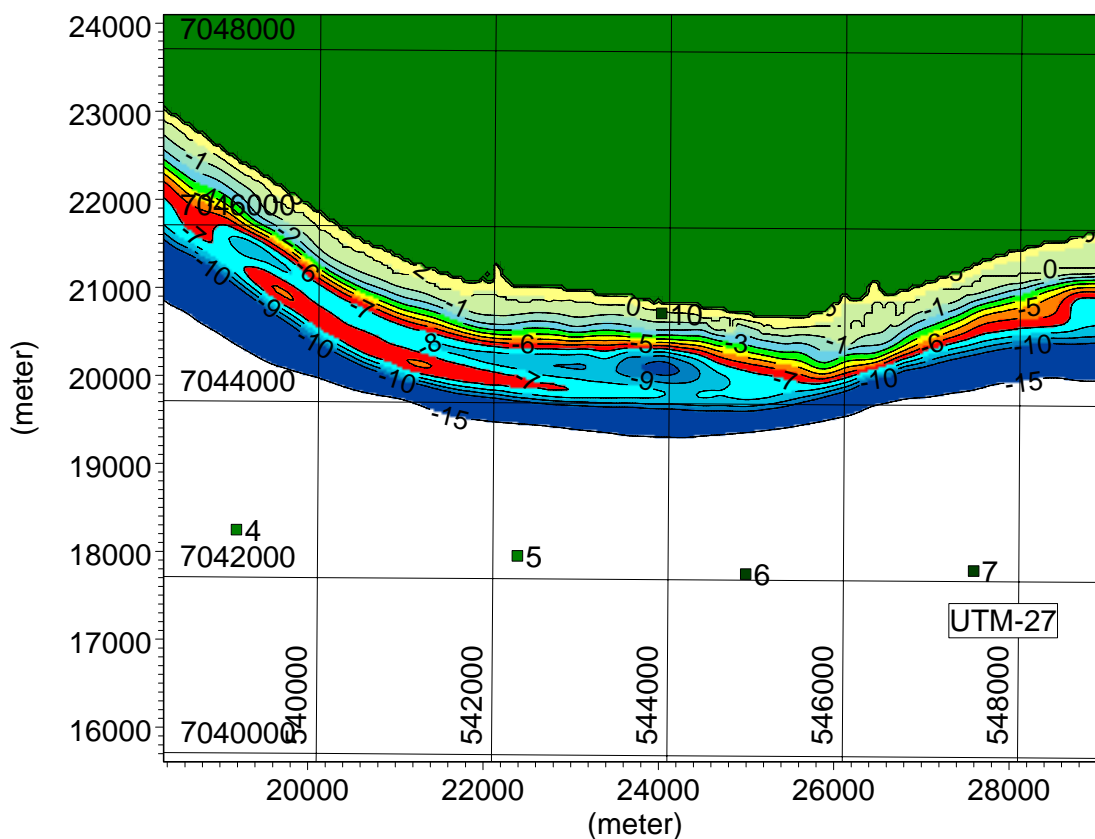


Figure 4.1 2005 bathymetry with indication on the points 4-7 and the location of the harbour at point 10. Depths between 4 and 6 m are red and orange

A rough estimate of the maximum growth of the spit and the bar respectively during one event is found by accumulating westward transport on the spit across the section at point 6 and eastward transport on the bar across the section at point 5. The results of this analysis are shown in Figure 4.2.

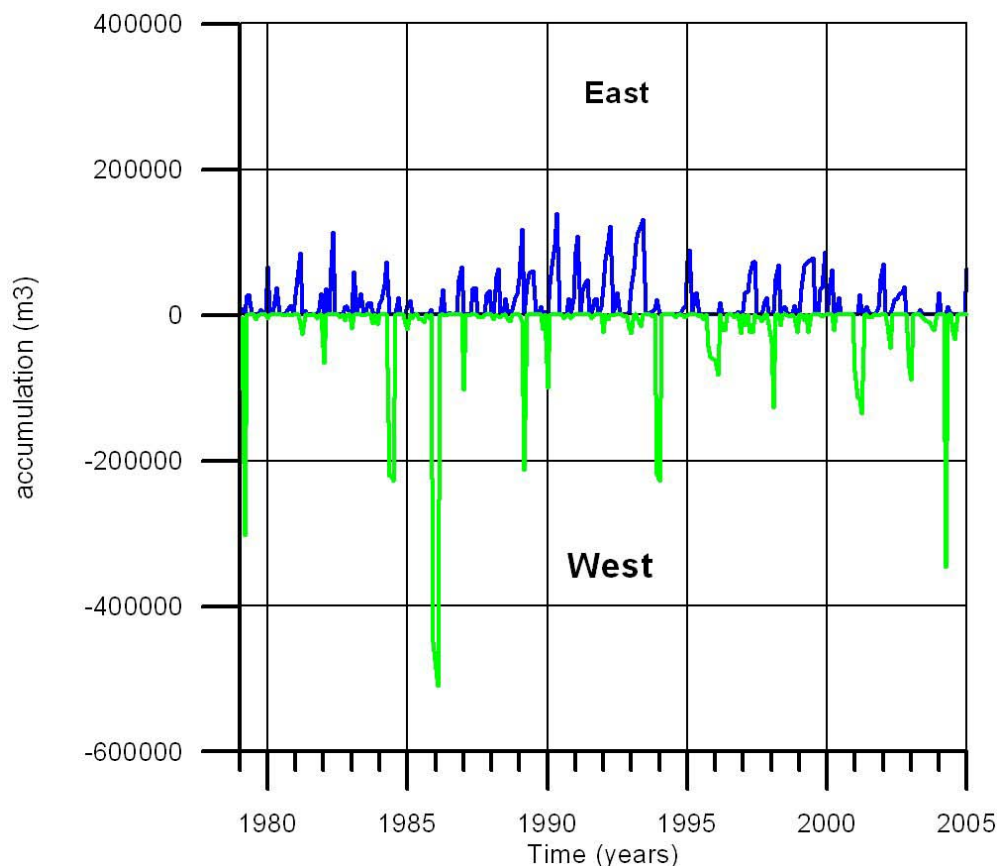


Figure 4.2 Accumulated eastward transport during each event on the bar at section 5 (blue curve) and accumulated westward transport during each event on the spit at section 6 (green curve)

### Growth of the spit towards west

The worst case is identified to have taken place during 1986. The maximum amount of accumulation was about 500,000 m<sup>3</sup>. With a volume in the outer bar of approx. 1250 m<sup>3</sup>/m this corresponds to a lengthening of the spit of 400 m. It is noted that the events with west-going transport and spit growth have typically been followed with periods of east-going transport. During the 25-year time period there has not been a series of events with west-going transport, which could cause the spit to grow and close the gap between the eastern spit and the western bar.

Further, it is noted that the average supply of sand from the river is about 100,000 m<sup>3</sup>/year. The growth of the spit is not only limited by the transport capacity towards the west but also by the limited source of sand in the delta. The calculations have shown that the net littoral drift is clearly east-going further to the east, see Figure 3.10, point 8. This indicates that the source of sand for the spit growth is limited to the amount in the river delta.

Based on the present information it is concluded that the spit will not reach the harbour area.

New information regarding extreme sand discharges in the river may raise the need for reconsidering this preliminary conclusion.



### **Growth of the bar towards east**

The worst case is identified to have taken place in 1990 and has led to an eastward transport on the bar of about 170,000 m<sup>3</sup>. With a volume in the outer bar of approx 1250 m<sup>3</sup>/m this corresponds to a lengthening of the bar of 140 m. It is noted that the net transport on the bar at section 5 is directed to the west. It is therefore possible that a series of events with eastward transport and thereby lengthening of the bar towards east may cause problems with regard to the bar temporarily reaching the harbour area. However, with a net westward transport on the bar at section 5, south-easterly storms will push the bar back towards west.

Clearly the bar/spit developments are very delicate balances between opposing transport processes. Even though the above analysis indicates that the gap between the bar and the spit is a relatively stable feature it is recommended to include the possibility of dredging through the bar after unfortunate combinations of south-easterly storms following extreme sediment discharge in the river. The dredging would amount to about 80,000 m<sup>3</sup>, considering 200 m across a bar with a 200 m wide dredged channel and an average dredging need of 2 m.

In case of strong sedimentation from either E or W, it is expected that the gap as a whole will migrate somewhat along the coastline. Therefore, if the entrance to the harbour should be (partially) blocked by the spit/bar, then the ferry would still be able to enter the port by navigation around the spit and sail a short distance along the shore between the coastline and the spit/bar.

The time periods in which this partial blocking occurs is expected to be small, in the order of a few weeks to months, depending on the prevailing wave conditions. After the establishment of the new harbour, the water depths in the outer part of the beach profile will vary the same way as they do today and are not expected to be affected by the new harbour.

## 5 SHORELINE FLUCTUATIONS

Figure 5.1 shows the principles of the shoreline development around a harbour, which allows for by-pass. In this sketch the dominating waves are from a northeasterly direction. Immediately after construction there will be deposition in the updrift corner between the port and the shoreline and erosion on both updrift and downdrift side. On the updrift side the port shelters for the northwesterly waves and the littoral drift is larger close to the port than on the open updrift coast. Later on, build-up of a sand fillet on the updrift side takes place. The sand fillet keeps growing until the natural by-pass is as large as the littoral drift along the sand fillet. On the downdrift side the erosion increases until the bypass starts to feed the near-shore zone. In the case of Bakkafjara these mechanisms will take place. However, due to the large variations in littoral drift we will see fluctuations around the average shoreline.

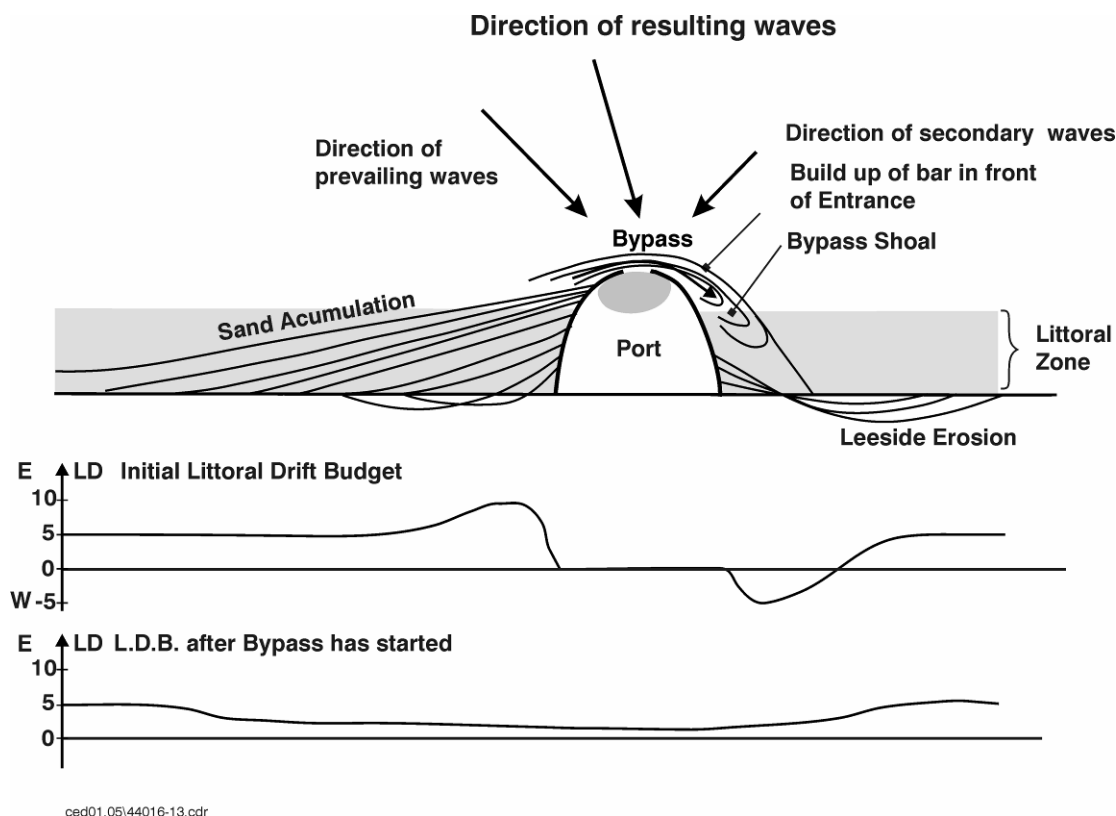


Figure 5.1 Schematic shoreline development, morphological development and net littoral drift (LD) for a port at a coast with slightly oblique resulting wave attack, from Ref. /4/

The preliminary sketches of the harbour include breakwaters which extend about 630 m from the existing shoreline. This is enough to block the littoral drift on the shoreward side of the trough in the initial situation. The fluctuations on either side of the harbour are estimated from the accumulated eastward and westward long-shore transport on the inner part of the coastal profile, which are shown in Figure 5.2.

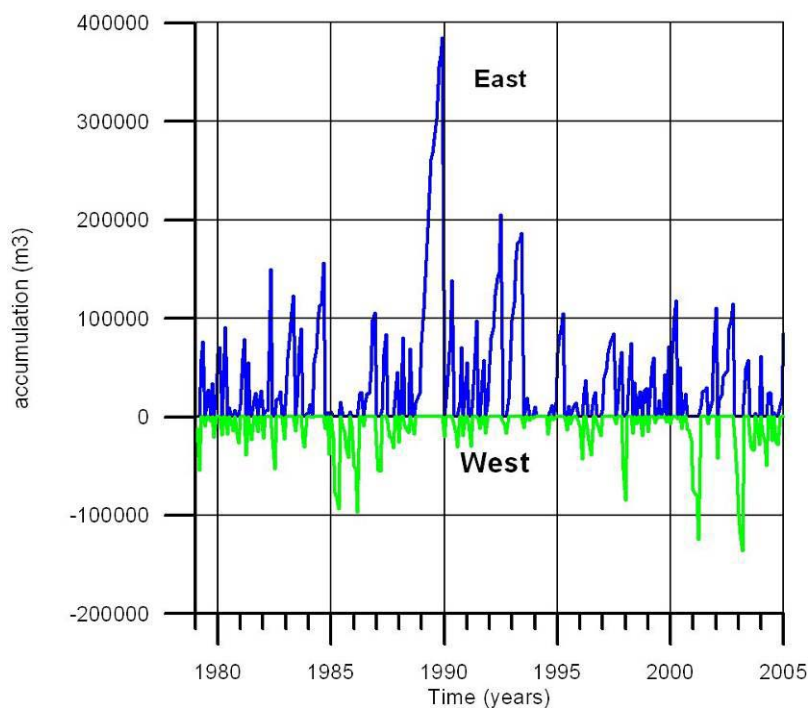


Figure 5.2 Accumulated eastward and westward littoral drift on the inner part of the profile calculated for the section at location 5

From Figure 3.13 it is seen that the net transport on the inner part of profile 5 is towards east and amounts up to around 100,000 m<sup>3</sup>/year. The total net transport at profile 5 is about 30,000 m<sup>3</sup>/year to the west, see Figure 3.10, point 5. From the historical shore-lines it is seen that the most extreme turning of the shoreline is about 20°. Assuming a deviation of the deposition fillet of 20°, the average extension to the west after one year is about 280 m and the accretion along the western breakwater is 100 m. Here the active height of the inner part of the profile is assumed to be 7 m. In average the volume in the deposition fillet will grow with 100,000 m<sup>3</sup>/year. An equilibrium will develop where the sediment by-passes the harbour. Fluctuations corresponding to the events are shown in Figure 5.2.

## 6 SEDIMENTATION INSIDE THE HARBOUR

Figure 6.1 shows the simulated sediment transport field around the entrance to the port of Thorsminde.

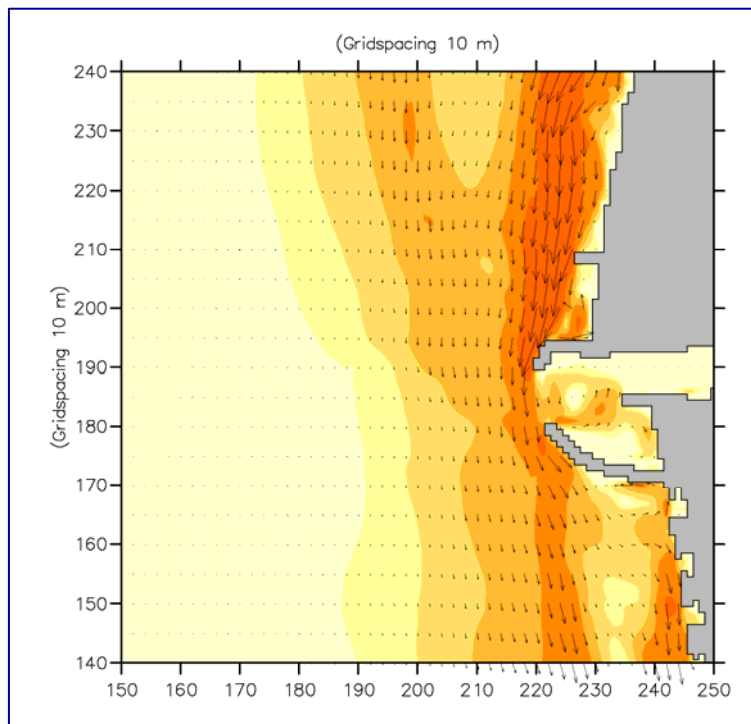


Figure 6.1 Calculated sediment transport field around Thorsminde for typical wave conditions

As a rough estimate of the annual sedimentation into the harbour basin, the following rule of thumb for exchange of fine suspended sediment into a harbour basin can be applied:

$$Q = 0.07 \times D \times V \times C \times W$$

Where  $Q$  is the annual sedimentation ( $\text{m}^3/\text{year}$ ),  $D$  is water depth,  $V$  is current speed,  $C$  is mean concentration and  $W$  is width of the harbour entrance. This formula has been used to estimate sedimentation of sand as follows:

$$Q = 0.07 \times Q_1 \times W$$

Where

$Q_1$  = long-shore sediment flux ( $\text{m}^3/\text{m}/\text{year}$ ) passed the entrance

The transport through the entrance of the harbour of Bakkafjara was estimated to be in the order of  $20,000 \text{ m}^3/\text{year}$ . This rough assessment is based on the maximum long-shore gross sediment transport on the open coast, see Figure 3.13.

## 7 CURRENTS IN FRONT OF THE HARBOUR

Figure 7.1 shows the bathymetry and velocity field around the entrance to the port of Thorsminde as calculated in a previous DHI project. The simulations indicate a slightly lower flow velocity in front of the entrance than along the main part of the shoreline.

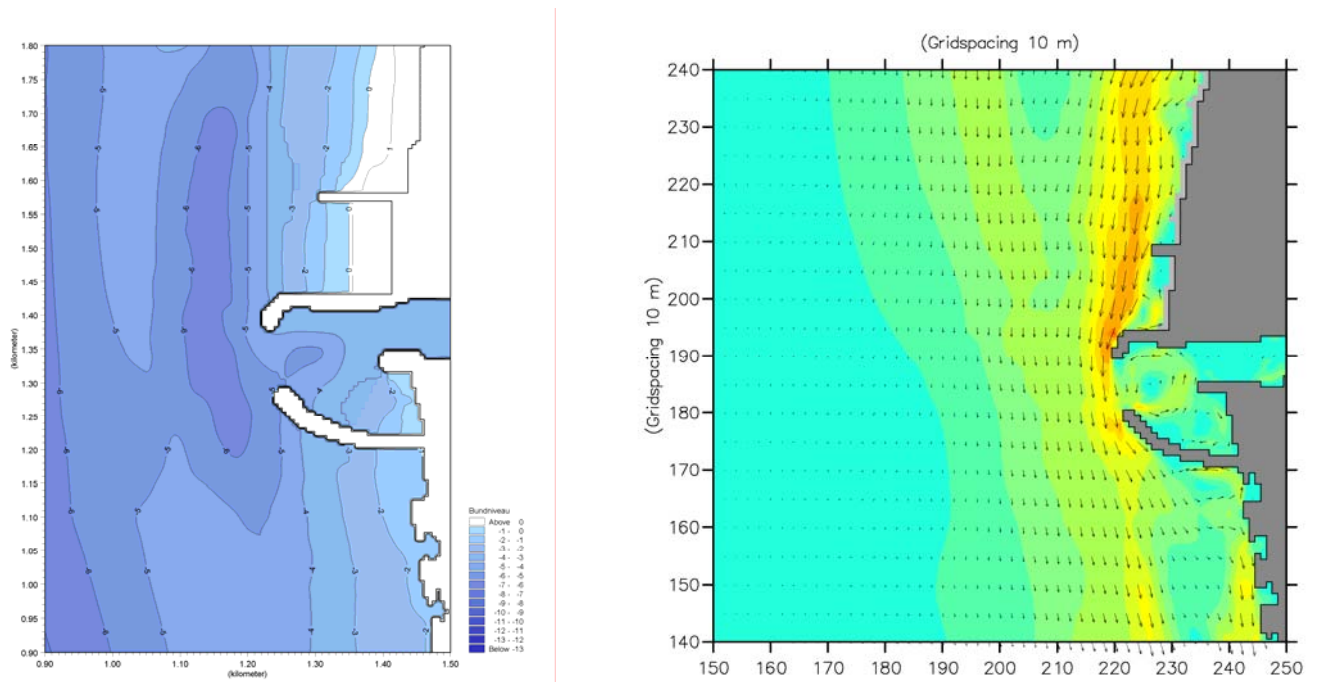


Figure 7.1 Left: model bathymetry around the port of Thorsminde. Right: simulated wave generated flow field

Flow velocities across the beach profile at Bakkafjara were calculated for 3 wave heights: 3.0 m, 3.5 m and 4.0 m. The waves were assumed to approach the coast under an angle of 45 degrees, corresponding to max. wave driven currents, see Figure 7.2.

The max. flow speed along the open coast was approx. 1.5 m/s for all events. The flow passed the harbour entrance is expected to be slightly lower than the maximum flow seen on the open coast, in the order of 1.1-1.4 m/s.

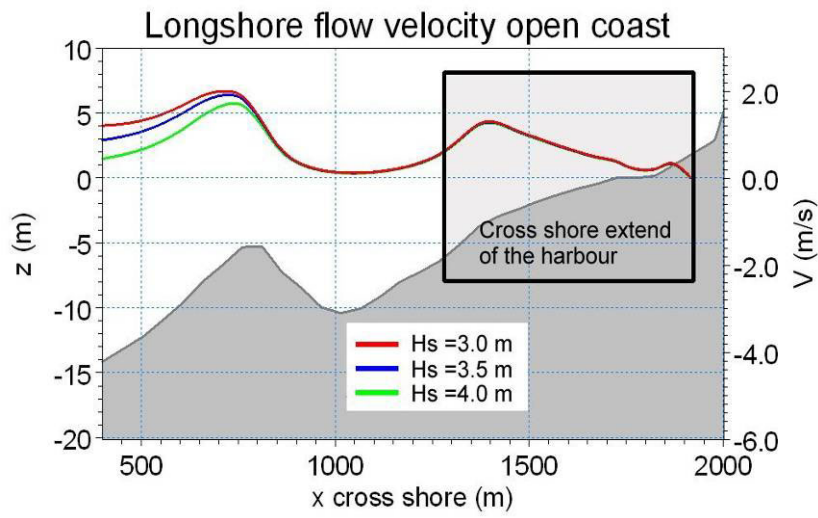


Figure 7.2 Simulated long-shore current velocities for three incident wave heights

## 8 **FUTURE INVESTIGATIONS**

If the project is deemed feasible based on the above described findings and the other aspects, the following activities are recommended in connection with optimisation and design of the harbour layout.

### **Field survey**

The following is recommended:

- Bathymetric survey covering the same area as covered in previous surveys. The survey should be performed twice per year to study seasonal variations in near-shore bathymetry. The surveys should be extended to cover beach profiles ranging from the dry beach to approximately the low waterline. The beach profiles should be based on the same vertical datum as the bathymetric survey.
- To undertake a bed sampling programme as follows: along cross-shore profiles with a distance of 500 m extending from the high water mark to 16 m with sampling for every meter of water depth. Profiles should start 2.5 km west of the harbour and continue till 2.5 km east of the harbour.
- To deploy a directional wave meter at 20 m of water depth off the harbour for a winter period of at least 2 months (for calibration and validation of wave transformation).

### **Additional data**

The year to year variability of the discharge and estimated extremes of sand transport in the river. These data shall be used to assess the frequency of occurrence of growth of a spit from the delta towards the harbour location.

### **Additional numerical modelling**

More detailed quantification of the fluctuations of the shoreline around the harbour a detailed morphological modelling of extreme events. The morphological model results will focus on depth in front of the harbour and sedimentation in the harbour. The proposed activities are described in the technical proposal of October 2005.



## 9 REFERENCES

- /1/ DHI Water & Environment, Description of LITPACK.
- /2/ Gísli Viggósson et al (2005). *A ferry and ferry port on the exposed south coast of Iceland*. 2. Int. symposium in Iceland.
- /3/ Fredsøe & Deigaard. *Mechanics of Coastal Sediment Transport* (1992). World Scientific, Singapore. 369 pp. ISBN 981-02-0840-5.
- /4/ Karsten Mangor (2004). *Shoreline Management Guidelines*. DHI Water & Environment.